



**Studiare e Lavorare in Sicurezza nelle Aule e nei Laboratori  
Dei Dipartimenti biologici, chimici e farmaceutici.  
19 - 23 Febbraio2018**

## ***Elementi di Radioprotezione***

***Prof. Tommaso Maggipinto***

***Dipartimento di Fisica  
Esperto Qualificato dell'Università di Bari***

**22 Febbraio2018**

# Indice

- ◆ **Principi fisici delle radiazioni ionizzanti**
- ◆ **Sorgenti di radiazioni**
- ◆ **Interazione delle radiazioni con la materia**
- ◆ **Effetti biologici**
- ◆ **Quadro normativo**
- ◆ **Sicurezza laboratorio radioisotopi**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

# Radioprotezione

Scienza interdisciplinare avente l'obiettivo di preservare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori, degli individui, della loro progenie e della popolazione nel suo insieme, riducendo i rischi sanitari derivanti dall'impiego di *radiazioni ionizzanti*, in attività che siano giustificate dai benefici che ne derivano alla società e ai suoi componenti

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

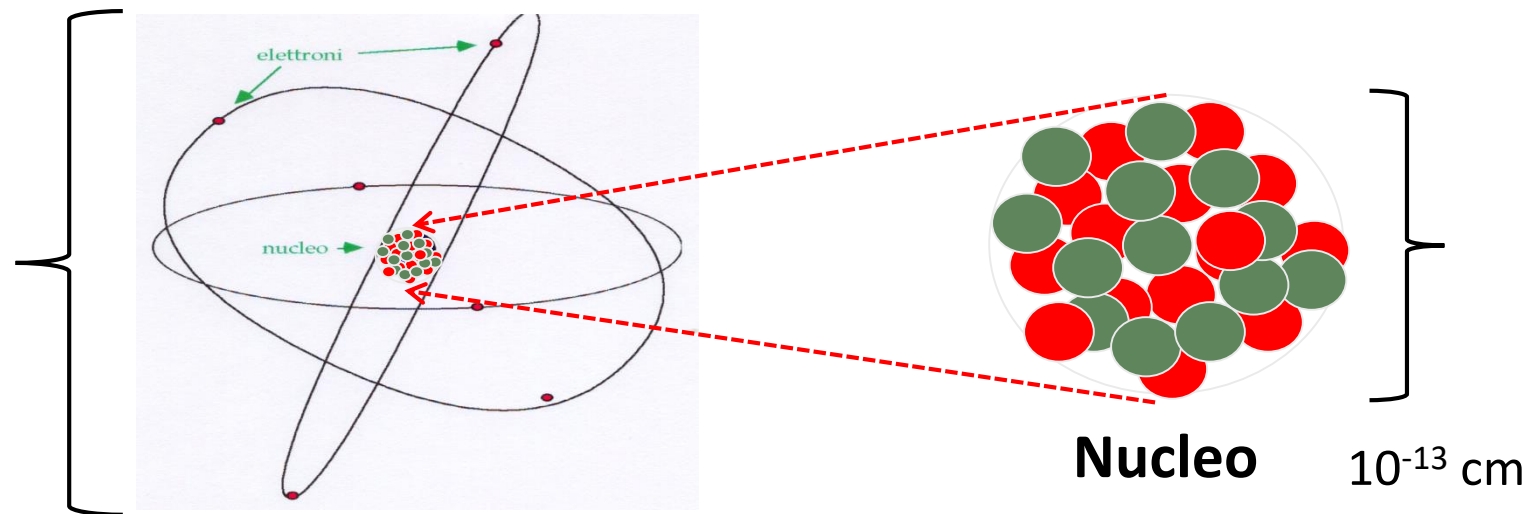
Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

Prima di introdurre le nozioni generali sulle radiazioni è utile richiamare alcuni concetti relativi alla struttura atomica della materia

L'atomo è la più piccola parte di un elemento che mantiene le caratteristiche dell'elemento stesso.



**Principi Fisici**

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

**Principi Fisici**

Il nucleo è composto da Protoni e Neutroni interagenti tramite le **forze nucleari**

*Sorgenti di Radiazione*

L'atomo è neutro:

numero protoni = numero elettroni

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

Massa protone ~ massa neutrone ~ 2000 massa elettrone  $\rightarrow M_{\text{atomo}} \approx M_{\text{nucleo}}$

*Effetti biologici*

$$R_{\text{atomo}} = 100.000 \cdot R_{\text{nucleo}}$$

*Quadro normativo*

Se l'atomo avesse le dimensioni di un pallone da basket, il nucleo avrebbe le dimensioni di un granello di sabbia !!!

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

***Principi Fisici***

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

# Eccitazione

Se ad un elettrone viene fornita energia dall'esterno, l'elettrone passa a ruotare su un'altra orbita (ECCITAZIONE), ma ritorna dopo un po' di tempo a ruotare nell'orbita primitiva emettendo l'energia assorbita sotto forma di onda elettromagnetica.

***Principi Fisici***

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

# Ionizzazione

Se ad un elettrone viene fornita energia dall'esterno in quantità sufficientemente elevata, esso può essere definitivamente allontanato dall'atomo cui appartiene (IONIZZAZIONE) e l'atomo, restato privo dell'elettrone, si chiama IONE.

***Principi Fisici***

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

A livello atomico, l'unità di misura dell'energia non è quella abitualmente usata nella fisica del mondo macroscopico, cioè il Joule.

L'unità usata è l'elettronvolt (eV) ed i suoi multipli:

1 eV = energia acquistata da un elettrone accelerato dalla differenza di potenziale di 1 Volt

L'energia che acquista un corpo avente una massa di 1 mg cadendo dall'altezza di 1 m è pari a:

in Joule:  $1 \cdot 10^{-5}$  J circa

in eV:  $0,6 \cdot 10^{13}$  eV



**Principi Fisici**

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

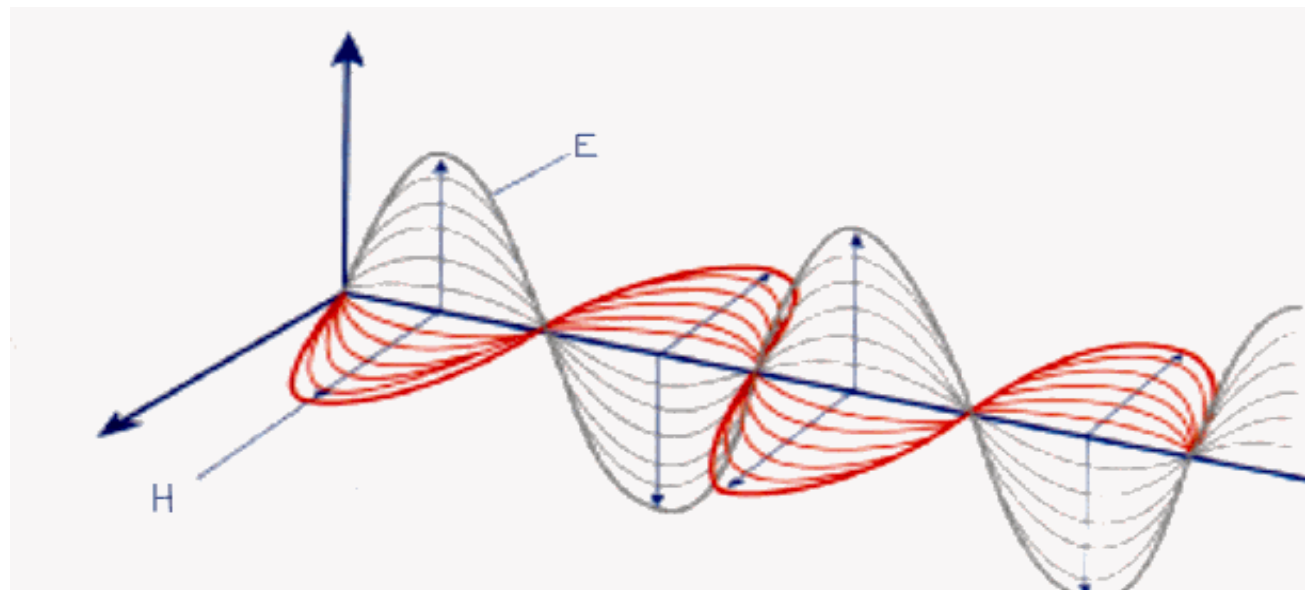
Con il termine **radiazione** si intende l'emissione e la propagazione attraverso lo spazio e la materia di **energia** a livello microscopico

➤ onde elettromagnetiche (fotoni)

➤ particelle subatomiche (radiazioni corpuscolari)

**Principi Fisici**

La **radiazione elettromagnetica** è rappresentata da un campo elettrico e un campo magnetico perpendicolari tra loro.



La velocità di propagazione nel vuoto ("c")  $\sim 3 \times 10^8$  m/sec  
Questa è la velocità della luce !

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

**Principi Fisici**

**Lunghezza d'onda ( $\lambda$ ):** distanza lineare tra due massimi successivi di un'onda

**Ampiezza:** distanza verticale tra un massimo e l'asse delle x

**Frequenza ( $\nu$ ):** numero di oscillazioni del campo in 1 secondo (Hz = 1 ciclo/s)

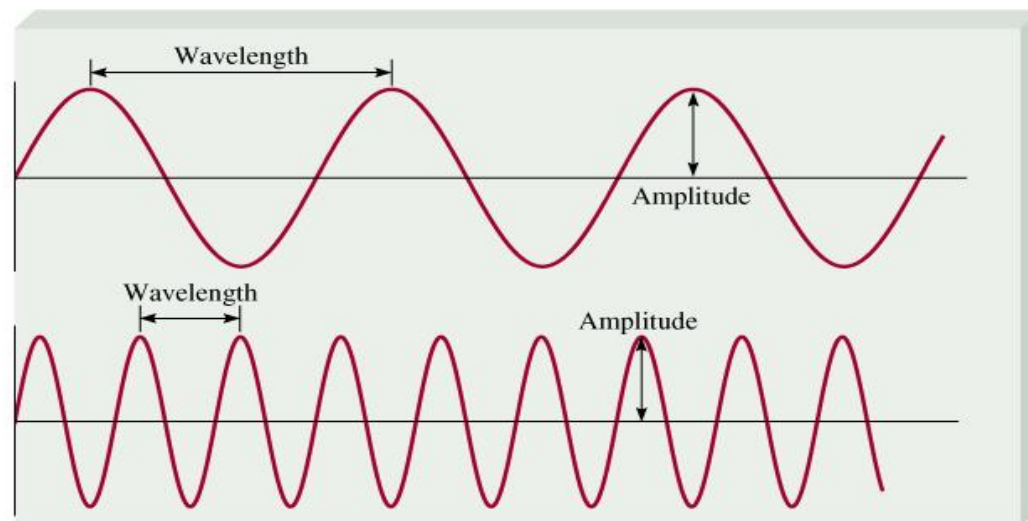
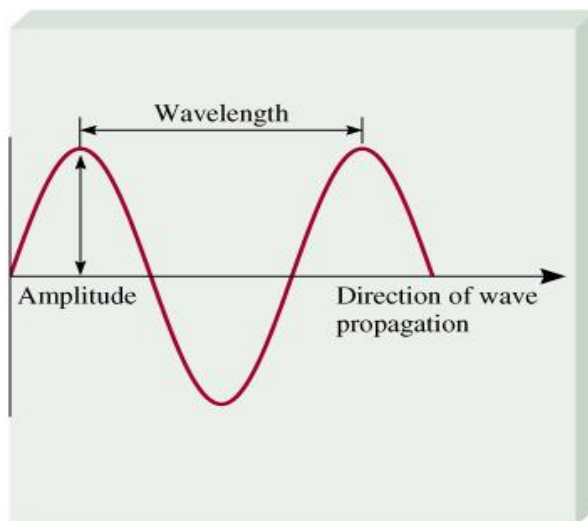
Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi



**Principi Fisici***Sorgenti di Radiazione**Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia**Effetti biologici**Quadro normativo**Sicurezza laboratorio radioisotopi*

- ◆ Nei processi di trasferimento di energia, la radiazione elettromagnetica si comporta come una particella priva di massa, ma dotata di energia, il FOTONE.
- ◆ L'energia di un fotone dipende dalla frequenza ( $\nu$ ) della radiazione

$$E_{\text{fotone}} = h\nu$$

$$h \text{ (costante di Planck)} = \underline{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}$$

Affinchè una radiazione e/m possa essere ionizzante

( $E > 12 \text{ eV}$ ) la frequenza deve essere superiore a  **$3 \times 10^{15} \text{ Hz}$**

**Principi Fisici**

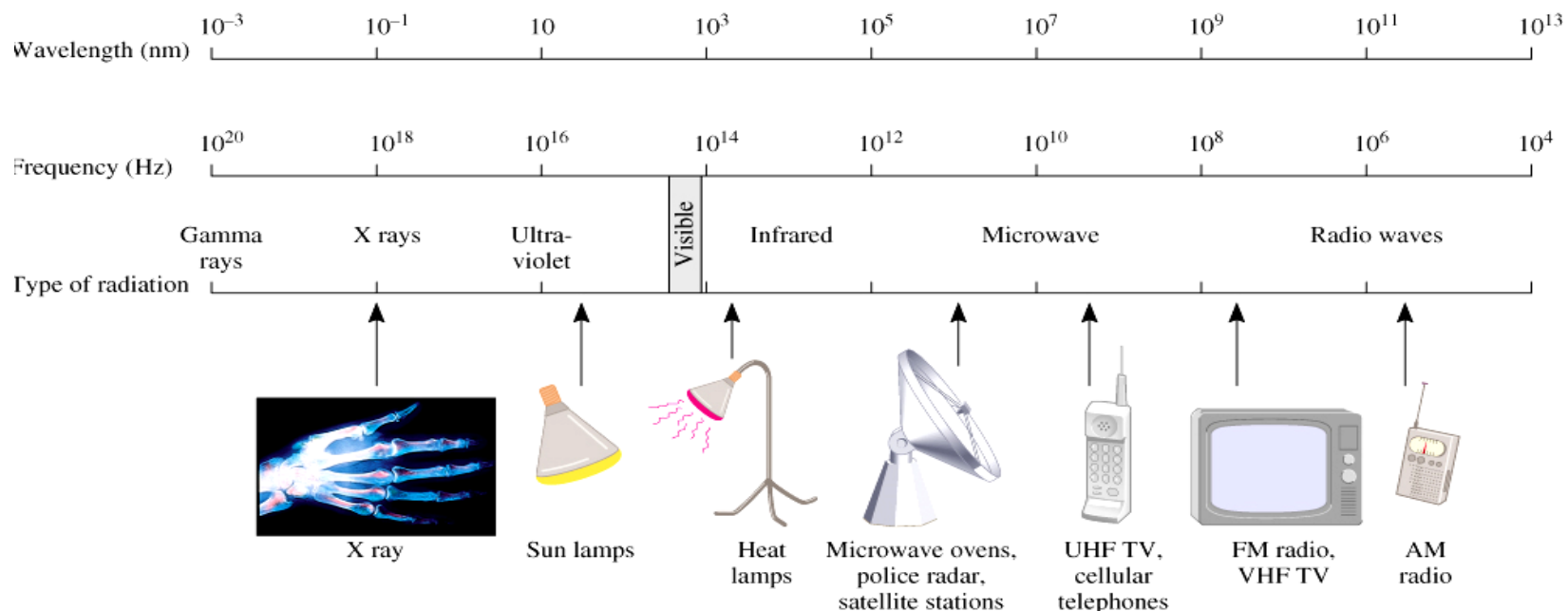
**Sorgenti di Radiazione**

**Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia**

**Effetti biologici**

**Quadro normativo**

**Sicurezza laboratorio radioisotopi**



## ***Principi Fisici***

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

- particelle leggere elettricamente cariche ( es: elettroni e positroni)
- particelle pesanti elettricamente cariche (es: protoni, deutoni, particelle  $\alpha$ )
- particelle neutre (es: neutroni)

**Principi Fisici**

Le radiazioni vengono classificate in base alla capacità di provocare danni agli organismi viventi.

*Sorgenti di Radiazione*

L'azione **lesiva** delle radiazioni sull'organismo è legata ai processi fisici di **ionizzazione** degli atomi e delle molecole dei tessuti biologici

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

Da questo punto di vista, le radiazioni sono classificate in:

*Quadro normativo*



*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

- **ionizzanti**
- **non ionizzanti**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

# Radiazioni ionizzanti: hanno energia sufficiente (**>12 eV**) per ionizzare i tessuti biologici.

Si usa fare un ulteriore suddivisione:

- ✓ **Direttamente ionizzanti:** particelle cariche (elettroni, protoni, particelle  $\alpha$ , etc.) la cui energia cinetica è sufficiente per produrre ionizzazione per collisione;
- ✓ **Indirettamente ionizzanti:** raggi X, raggi  $\gamma$  e neutroni che, interagendo con la materia, possono mettere in moto particelle direttamente ionizzanti o dar luogo a reazioni nucleari



# Radiazioni NON ionizzanti: NON hanno energia sufficiente (< 12 eV) per ionizzare i tessuti biologici.

*Principi Fisici*

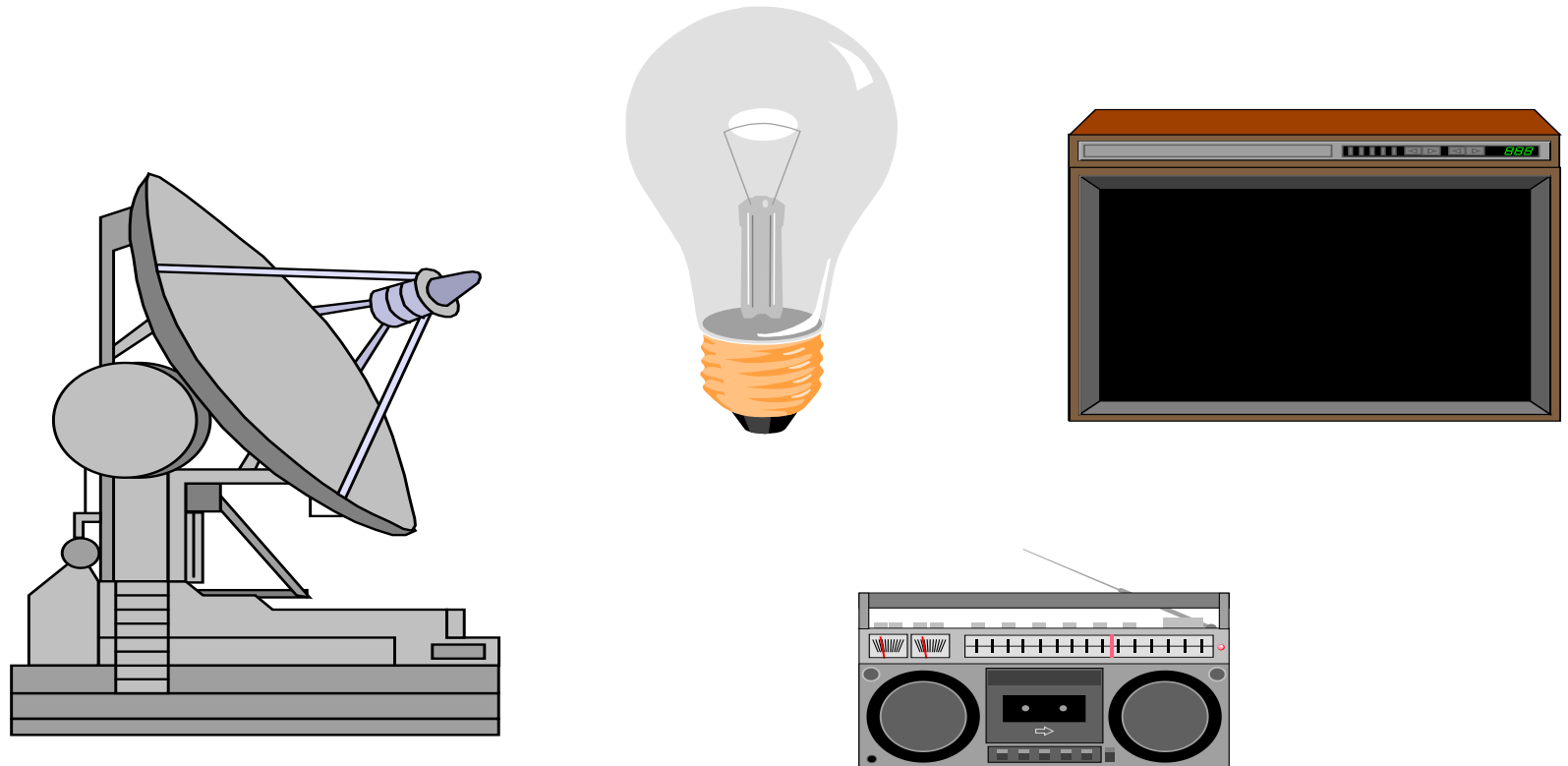
*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*



## ***Principi Fisici***

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*



### **SCOPERTA DEI RAGGI X**

**1895**

**Konrad Röntgen**



### **SCOPERTA DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE DELL'URANIO**

**1896**

**Henry Becquerel**



### **SCOPERTA DELLE PROPRIETÀ RADIOATTIVE DEL POLONIO E DEL RADIO**

**1898**

**Coniugi Curie**

Fonti NATURALI di Radiazioni Ionizzanti:

**raggi cosmici primari e secondari**

(protoni, particelle  $\alpha$ , mesoni, elettroni,  
fotoni, neutroni)

**decadimento radioattivo di  
nuclidi naturali**  
(particelle  $\alpha$  e  $\beta$  , raggi  $\gamma$ )

*Principi Fisici*

***Sorgenti di  
Radiazione***

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

## Fonti ARTIFICIALI di Radiazioni Ionizzanti:

**strumenti di  
uso quotidiano**

(rilevatori di incendio, rilevatori di umidità,  
insegne luminose, quadranti d'orologio...)

**strumenti di  
uso industriale**

(rilevatori di difetti nelle saldature,  
apparecchi per la sterilizzazione...)

**strumenti di  
uso medico**

(radiologia, uso di radioisotopi sia per  
diagnosi che per terapia...)

**ricerca  
scientifica**

(uso di radioisotopi traccianti .....)

*Principi Fisici*

*Sorgenti di  
Radiazione*

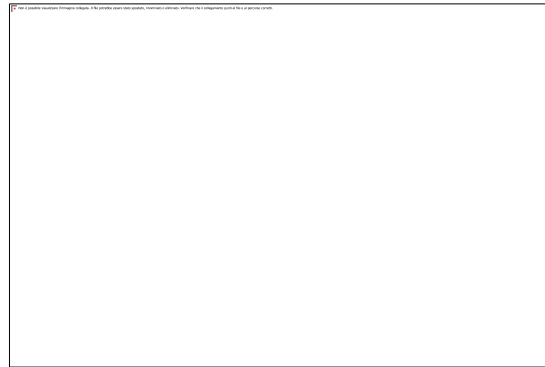
*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

# Principali fonti di esposizione alle radiazioni ionizzanti



**Naturali - 82%**

**Artificiali - 18%**

<b>Radon - 56%</b>	<b>Medicina nucleare - 4%</b>
<b>Raggi cosmici - 8%</b>	<b>Prodotti di consumo - 3%</b>
<b>Terreno - 8%</b>	<b>Altro - 1%</b>
<b>Interne - 10%</b>	<b>Radiografie - 10%</b>

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

**Nuclide:** ben definito nucleo costituito da un determinato numero di protoni e di neutroni. Esso viene indicato come:



- **X** indica l'elemento chimico;
- **Z** : numero atomico dell'elemento = numero di protoni nel nucleo ( $\equiv$  numero di elettroni atomici);
- **A** : numero di massa del nucleo, cioè il numero totale di protoni (Z) e neutroni (N)  $\rightarrow A=Z+N$ .

I protoni ed i neutroni sono chiamati genericamente nucleoni. Ne risulta ovviamente che  $N=A-Z$



isotopi

Principi Fisici

Sorgenti di  
Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

# Radioattività

Emissione spontanea di particelle e di onde elettromagnetiche da parte di nuclei instabili

- ✓ Naturale (in quasi tutti i nuclei avente  $Z$  compreso tra 81 e 92);
- ✓ Artificiale (bombardamento del nucleo con particelle come protoni o neutroni).

Si può avere un processo  
in cascata finché non si  
giunge ad un nucleo stabile



**Serie radioattiva**

*Principi Fisici*

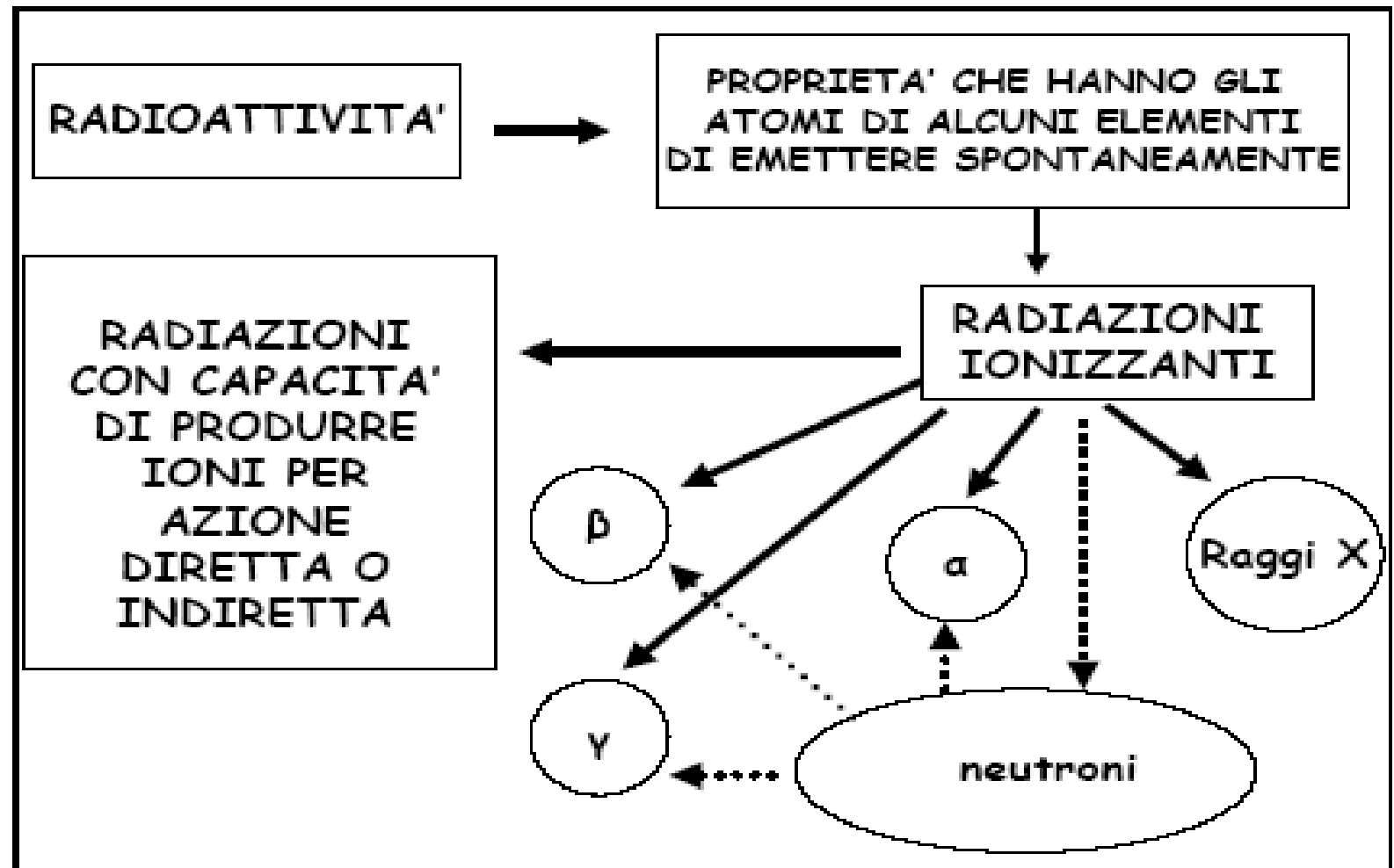
***Sorgenti di  
Radiazione***

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*



Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi



## Radiazioni emesse dall'atomo:

- Raggi X di frenamento
- Raggi X caratteristici

## Radiazioni emesse dal nucleo

- Particelle alfa ( $\alpha$ )
- Particelle beta ( $\beta$ )
- Raggi gamma ( $\gamma$ )

*Principi Fisici*

**Sorgenti di  
Radiazione**

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

Principi Fisici

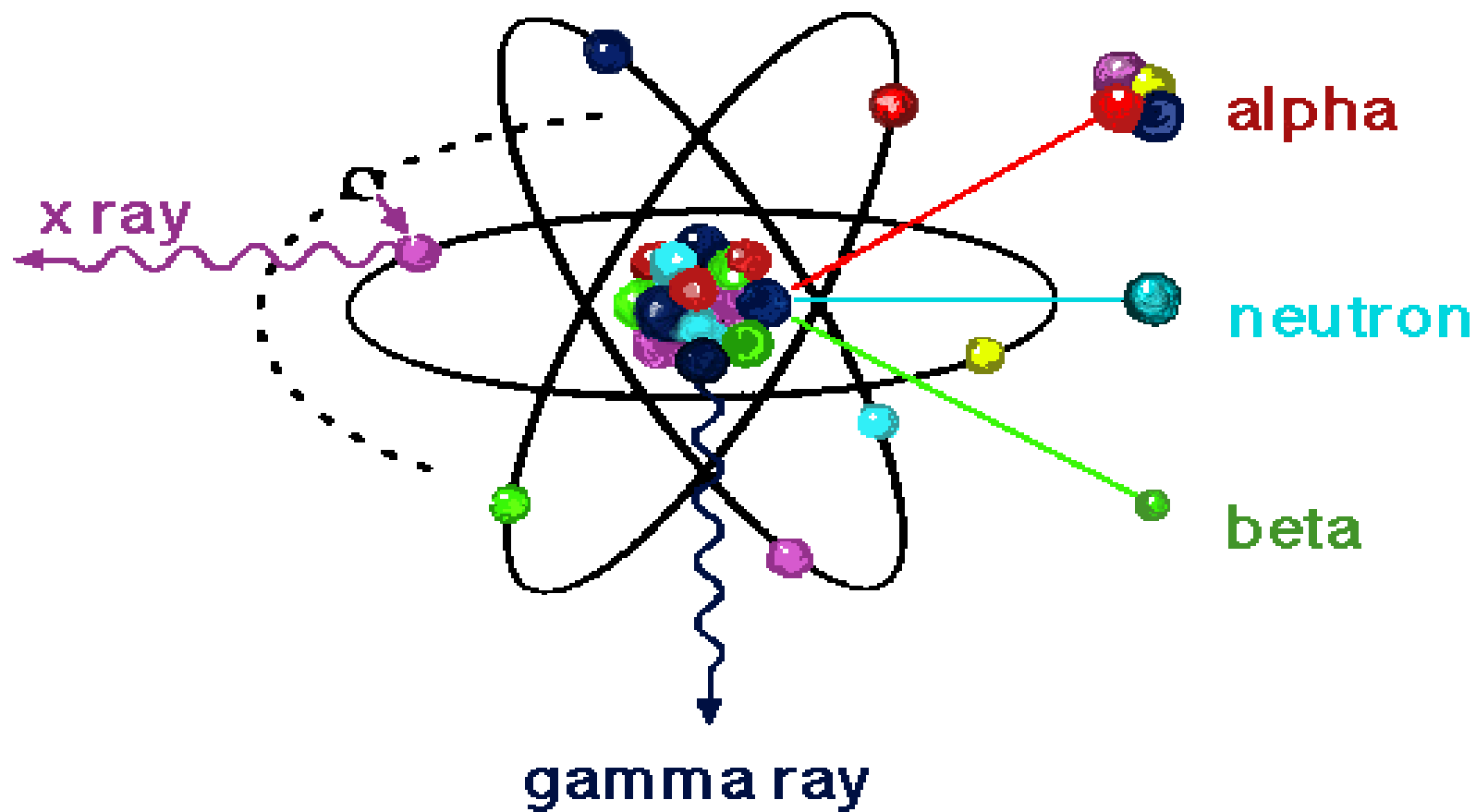
Sorgenti di  
Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi



Principi Fisici

Sorgenti di  
Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

$\lambda$



Costante di decadimento

La velocità di decadimento è detta **Attività (A)**

Essa si misura in Bequerel (**Bq**),

1 Bq = 1 dps (una disintegrazione al sec.)

In passato si usava il Curie (Ci), 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  dps = 37 GBq

Il decadimento può avvenire in tempi assai brevi o molto lunghi. La misura di tale tempo è data dal TEMPO DI DIMEZZAMENTO o TEMPO DI VITA MEDIA cioè il tempo alla fine del quale la metà degli atomi radioattivi inizialmente presenti ha subito una trasformazione spontanea

**Radioisotopo artificiale**  
**Iodio-131: 8 giorni**

**Radioisotopo artificiale**  
**Tecnezio-99: 6 ore**

**Radioisotopo naturale**  
**Potassio-40:**  
**1,3 miliardi di anni**

**Dopo 10 tempi di dimezzamento la radioattività di un isotopo è 1000 volte minore di quella iniziale**

*Principi Fisici*

***Sorgenti di Radiazione***

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

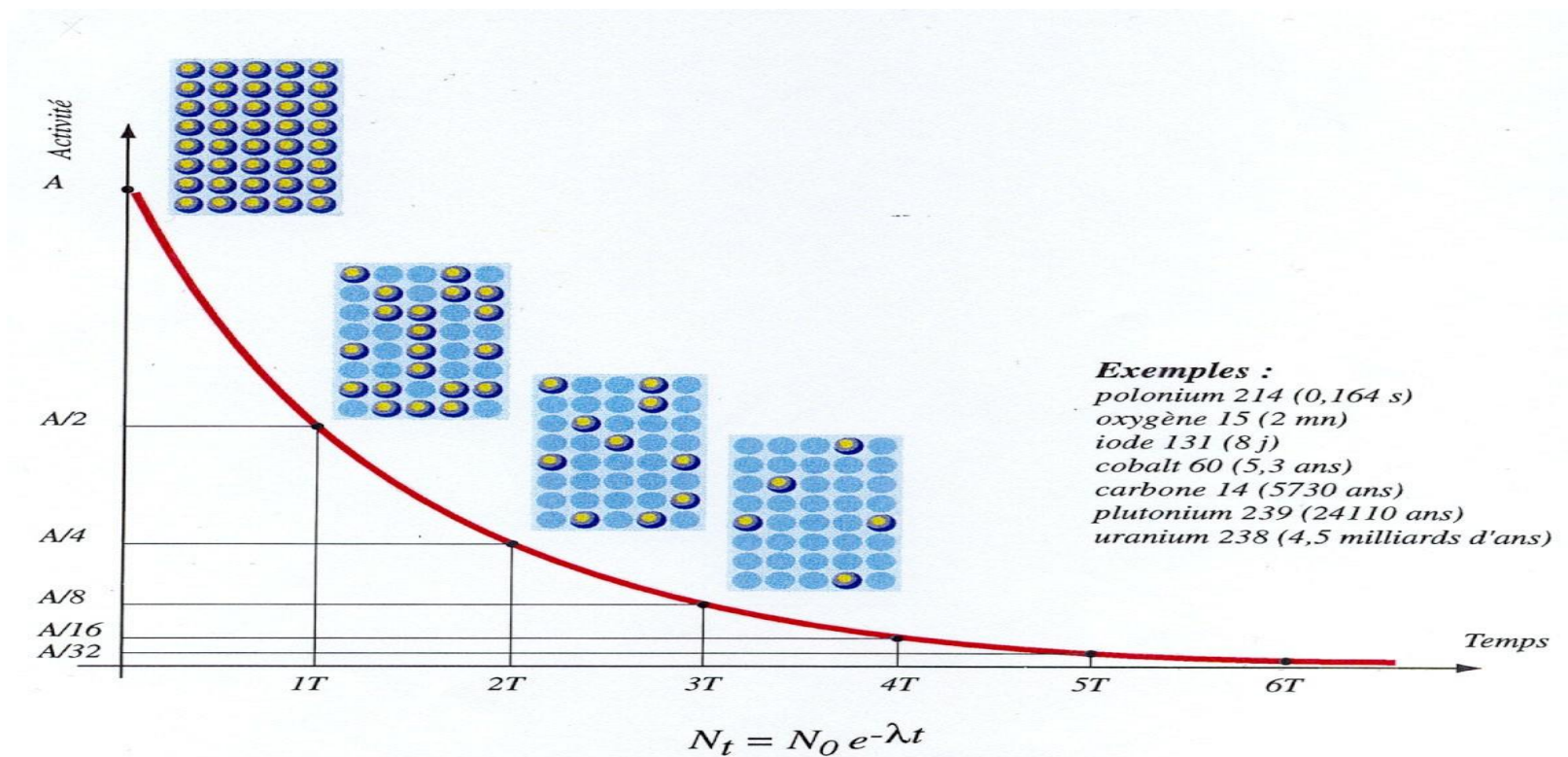
*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

Principi Fisici

**Sorgenti di  
Radiazione**Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## Radioisotopi più comunemente utilizzati in radioanalisi

 **$\beta$  EMITTENTI**

	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$	$^{32}\text{P}$	$^{33}\text{P}$	$^{35}\text{S}$	$^{45}\text{Ca}$	$^{63}\text{Ni}$
T1/2	12,35 aa	5730 aa	14,29 gg	25,5 gg	87,44 gg	163 gg	96 aa
Percorso in aria (mm)	6	240	790	60	260	60	80
Percorso in acqua (mm)	0,0052	0,29	8	0,6	0,32	0,6	0,067
schermatura	NO	NO	1 cm Plexi	NO	NO	NO	NO

*Principi Fisici***Sorgenti di  
Radiazione***Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia**Effetti biologici**Quadro normativo**Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

## Radioisotopi più comunemente utilizzati in radioanalisi

### $\gamma$ EMITTENTI

	$^{51}\text{Cr}$	$^{125}\text{I}$
T1/2	27,7 gg	60 gg
schermatura	piombo	piombo

Principi Fisici

Sorgenti di  
Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## **SORGENTI di RADIAZIONI IONIZZANTI**

**Macchine  
radiogene**

**Apparecchi  
a raggi X**

**Acceleratori  
di particelle**

**Sostanze  
radioattive**

**Sorgente  
sigillata**

**Sorgente  
NON Sigillata**

*Principi Fisici*

***Sorgenti di  
Radiazione***

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*



*Principi Fisici*

***Sorgenti di  
Radiazione***

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

1. **Macchine radiogene:** apparecchi che emettono radiazioni ionizzanti solo quando sono in funzione.
2. **Sorgenti radioattive:** composti solidi, liquidi o gassosi contenenti isotopi radioattivi che emettono continuamente radiazioni ionizzanti.

*Principi Fisici*

***Sorgenti di  
Radiazione***

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

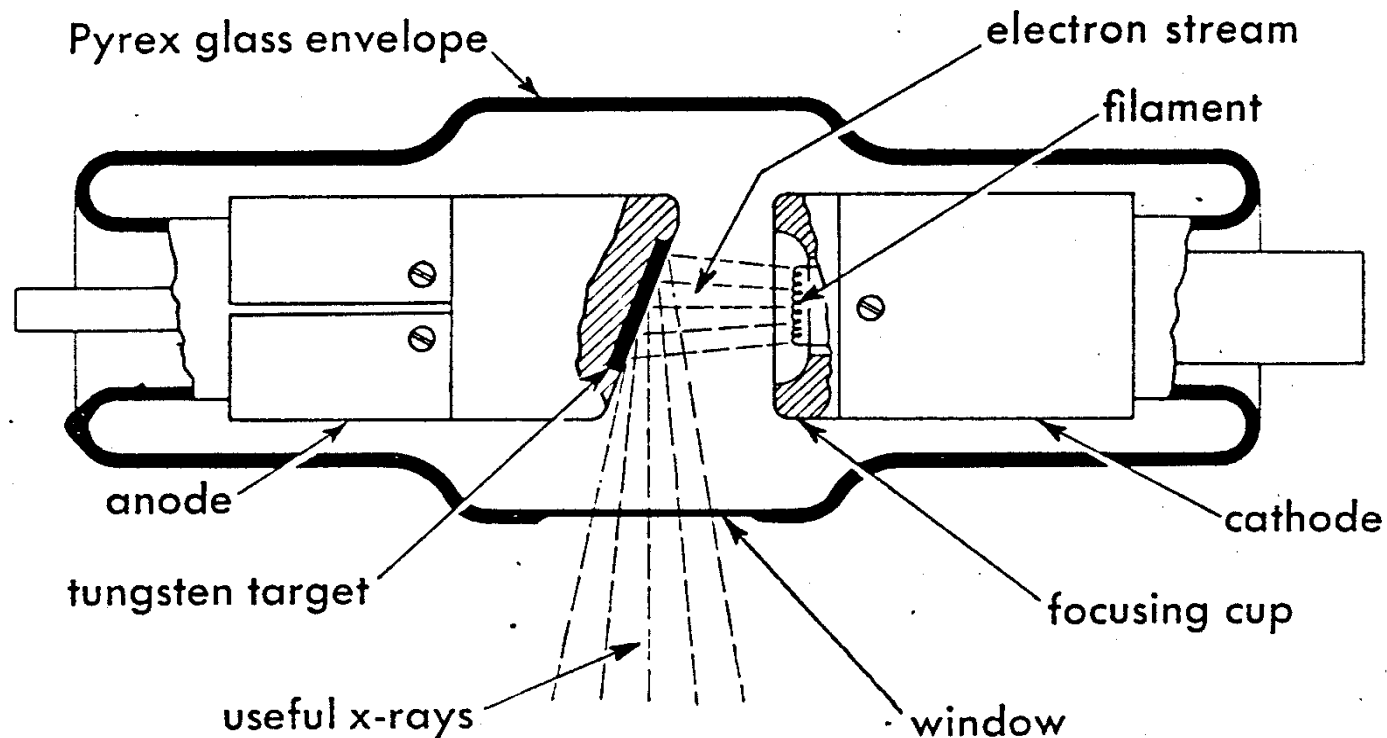
*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

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

Tre informazioni essenziali:

1. Quando sono “spente” non emettono radiazioni (SALVO ATTIVAZIONE DEI MATERIALI)
2. 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.
3. Possono dare solo irradiazione esterna

**Rappresentazione realistica di un tubo a raggi X**

**Fig. 2.** A modern Coolidge type of x-ray tube. (Courtesy of the General Electric X-ray Corp.)

Principi Fisici

Sorgenti di  
Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## SORGENTE SIGILLATA

Sorgente formata da materie radioattive solitamente incorporate in materie solide e di fatto inattive o sigillate in un involucro inattivo che presenti resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive superiori ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili

## SORGENTE NON SIGILLATA

Qualsiasi sorgente che non corrisponda alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata

*Principi Fisici*

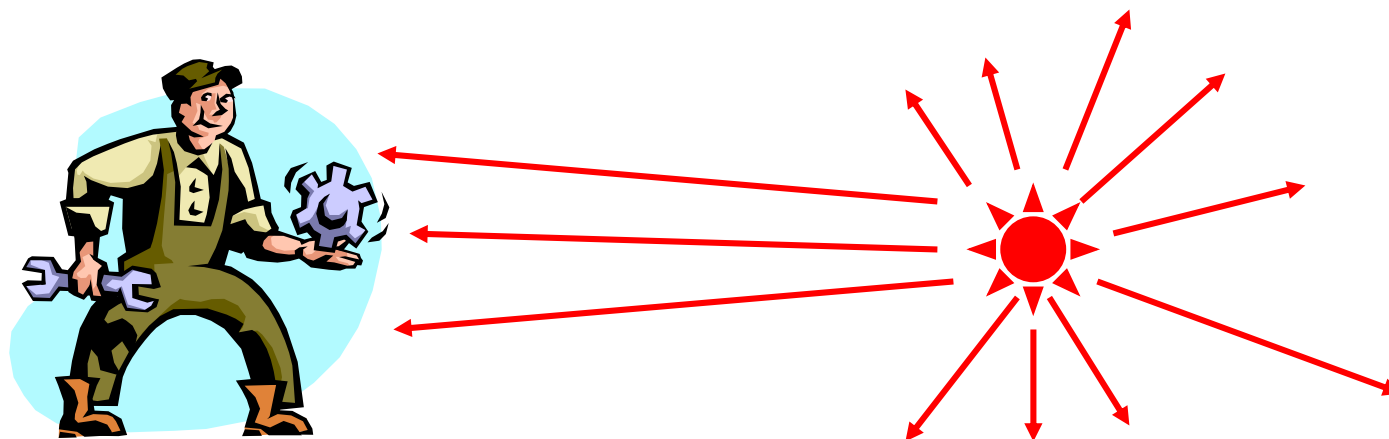
***Sorgenti di  
Radiazione***

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*



Le radiazioni ionizzanti interagiscono con la materia circostante **depositando in essa la loro energia.**

Come vedremo **l'energia depositata** nei tessuti organici provoca un **danno biologico.**

Scopo della radioprotezione e' appunto quello di valutare ed impedire (o quanto meno limitare) il danno biologico sia ai lavoratori professionalmente esposti che al pubblico.

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

**Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia**

Effetti biologici

Quadro normativo

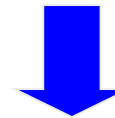
Sicurezza laboratorio radioisotopi

## Particelle ad alto L.E.T. (Linear Energy Transfer)

**Ionizzazione specifica elevata: in aria, per particelle di 1 MeV è circa  $6 \cdot 10^4$  ionizzazioni/cm**



**Breve percorso ma alta densità di ionizzazione**



**Le particelle alfa sono dannose quando il decadimento avviene all'interno del corpo umano a seguito di contaminazione interna**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## **Perdita di energia per collisione**

- Basso L.E.T.
- percorso di pochi metri in aria, 1 cm in plexiglass e alcuni mm in tessuto molle
- Per radiaz. da 1MeV, in aria si ha 42 ionizz./cm

Contamin. esterna: pericolo per occhi, derma e tessuti sottostanti

Contamin. interna: pericolo entro qualche mm dal sito di emissione

## **Perdita di energia per irradiazione**

- Radiazioni X di Bremsstrahlung

La loro produzione è maggiore per materiali ad alto Z, pertanto per la schermatura di  $\beta$ -emettitori vengono usati materiali plastici con basso Z

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

***Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia***

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

**Sono radiazioni indirettamente ionizzanti che trasferiscono la loro energia alla materia per mezzo di complesse interazioni con i nuclei e gli elettroni atomici**

- effetto fotoelettrico
- Effetto Compton
- Produzione di coppie
- conversione interna
- produzione di elettroni Auger

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

***Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia***

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*



*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

**Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia**

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

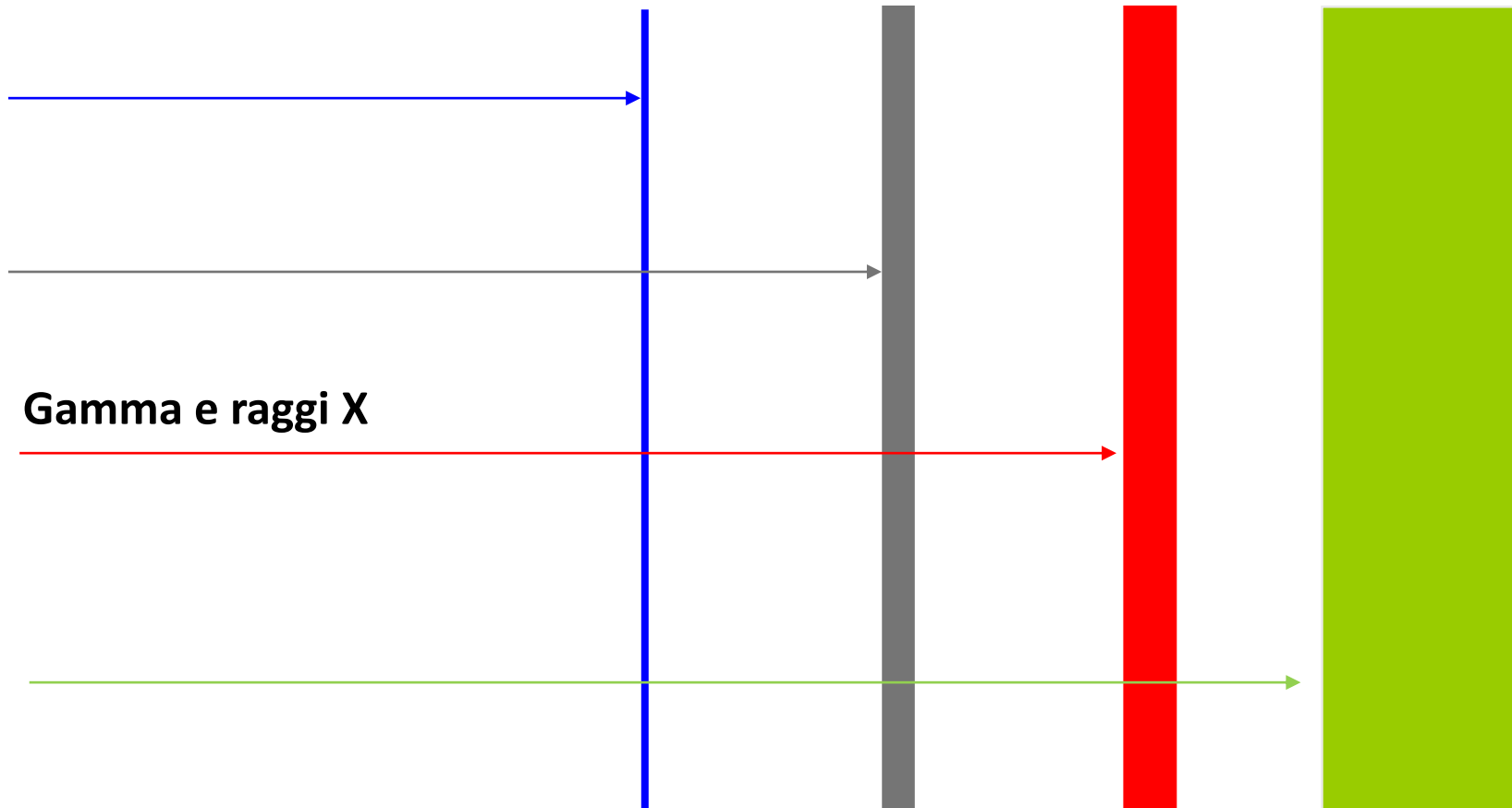
*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

**Carta**

**Plastica**

**Piombo**

**Cemento**



**Gamma e raggi X**

**$E = 1 \text{ MeV}$** **Alpha**

$$R_{\alpha} = 2.3 \text{ cm}$$

**Beta**

$$R_{\beta} = 382 \text{ cm}$$

**Gamma e raggi X**

$$(1/\mu)_{\gamma} = 12200 \text{ cm}$$

**Aria****NON in scala**

$$R_{\alpha} : R_{\beta} : (1/\mu)_{\gamma} = 1 : 170 : 5300$$

*Principi Fisici**Sorgenti di Radiazione**Interazione delle  
radiazioni  
ionizzanti con la  
materia**Effetti biologici**Quadro normativo**Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

## Libero cammino medio, $(1/\mu)_\gamma$ , per X e $\gamma$ da 1 MeV

**Aria**  
**12200 cm**

**Acqua**  
**14 cm**

**Alluminio**  
**6 cm**

**Piombo**  
**1.3 cm**

**NON in scala**

Principi Fisici

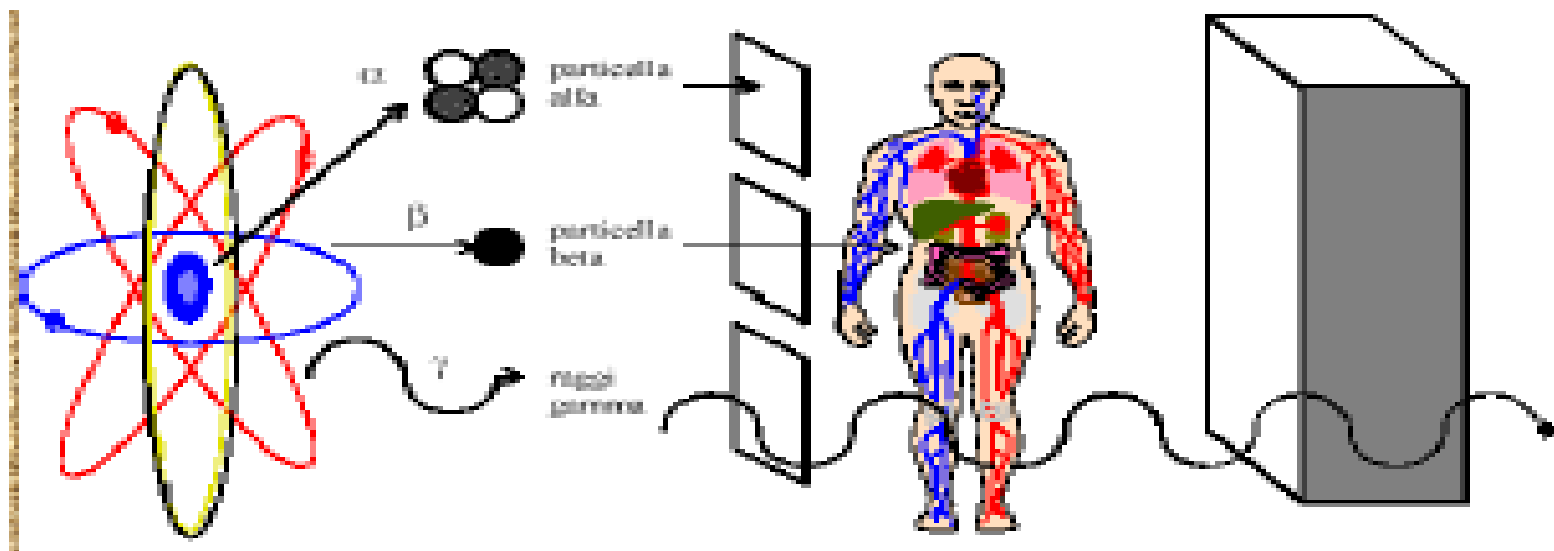
Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni  
ionizzanti con la  
materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi



**Particelle alfa:** penetrazione molto limitata nell'aria.  
Un foglio di carta è sufficiente per fermarle

**Particelle beta:** percorrono qualche metro nell'aria.  
Un foglio di alluminio di alcuni mm è sufficiente ad arrestarle

**Raggi X o gamma:** penetrazione molto elevata. In funzione dell'energia possono arrivare a centinaia di metri nell'aria.  
Alcuni cm di piombo permettono di schermarle

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni  
ionizzanti con la  
materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

# Danni da radiazioni ionizzanti

## **Irradiazione esterna:**

- a) Capacità di penetrazione delle radiazioni nei tessuti corporei
- b) Profondità e caratteristiche dei vari tessuti corporei e organi

## **Irradiazione interna:**

- a) Caratteristiche chimico-fisiche dei radionuclidi
- b) Modalità d'introduzione: inalazione, ingestione, per via cutanea

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

***Effetti biologici***

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## Rischio da irraggiamento esterno

La definizione e la quantificazione del rischio da irradiazione esterna non può prescindere da tre elementi fondamentali:

1. **tempo** (durata dell'esposizione): determina in maniera lineare, a parità di condizioni di esposizione, l'intensità dell'esposizione e conseguentemente del rischio radiologico;

2. **distanza**: la dose di radiazioni segue la legge dell'inverso del quadrato della distanza rispetto al punto di emissione:

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

dove  $D_1$  è l'intensità di dose alla distanza  $r_1$  dalla sorgente e  $D_2$  è l'intensità di dose alla distanza  $r_2$  dalla sorgente (esempio: passando dalla distanza di 1 m a quella di 2 m, l'intensità di dose si riduce di un fattore 4)

3. **disponibilità di schermature**:

la radiazione viene attenuata a seguito dell'interazione con il materiale con cui interagisce; pertanto, la dose da radiazione in un punto viene ridotta interponendo del materiale tra la sorgente e il punto d'interesse. La quantità e il tipo di materiale necessario dipende dal tipo di radiazione: ad esempio le radiazioni X sono penetranti e, nel caso di energie elevate, richiedono spessori considerevoli di piombo (Pb)

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## I Rischi derivanti da sorgenti radioattive possono essere dovuti ad ESPOSIZIONE o CONTAMINAZIONE

Ogni sorgente dà luogo ad un tipo di esposizione diversa:

Radiazione  $\alpha$ : non sussiste il rischio di irradiazione esterna per gli organi interni del corpo, ma è elevato il rischio in caso di esposizione a contatto o in prossimità degli **occhi**.

Radiazione  $\beta$  il rischio da esposizione a radiazione beta è elevato per **contatto diretto** o a distanza ridotta dall'organismo

Radiazione X e  $\gamma$  le radiazioni X e  $\gamma$  sono le più penetranti, e il rischio è presente anche a distanza dalla sorgente; in questo caso sono soggetti a rischio anche gli **organi interni** del corpo, in particolare le gonadi e gli organi ematopoietici (midollo osseo).

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

Si ha rischio di **contaminazione** radioattiva quando si utilizzano sorgenti non sigillate.

Le lesioni sono da attribuirsi a:

- Radiazioni beta
- Radiazioni gamma
- Radiazioni gamma-beta

**Contaminazione esterna = Deposito di materiale radioattivo sulla superficie mucoso-cutanea**



Dermatiti con varie caratteristiche legate alla natura dell'irraggiamento e alla durata della contaminazione

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*



## Contaminazione interna:

Presuppone la solubilità e la metabolizzazione del materiale radioattivo introdotto



### via respiratoria

Particelle con granulometria tra 0,5-5 micron. Possono raggiungere il torrente circolatorio o fermarsi in sede alveolare determinando lesioni localizzate al parenchima polmonare

### via cutanea

Attraverso soluzioni di continuità della cute raggiungono il torrente circolatorio e quindi organi critici

### via digerente

Attraverso cibi e bevande e in relazione alla trasportabilità biologica

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

- ◆ **Le RI sono potenzialmente dannose per i tessuti biologici**
- ◆ **La ionizzazione nei tessuti può modificarne la struttura e la normale funzionalità**
- ◆ **Qualsiasi livello di esposizione può causare danni**
- ◆ **L'organismo possiede una capacità di recupero per bassi livelli di esposizione**

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

**Effetti biologici**

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## Effetti stocastici

Effetti la cui probabilità di accadere viene considerata una funzione della dose senza soglia. Si tratta di effetti "del tutto o del nulla", la cui gravità, quando si manifestano, non dipende dalla dose.

## Effetti non stocastici

Effetti la cui gravità varia in funzione della dose ricevuta e per i quali esiste una dose soglia.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

**Effetti biologici**

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

Somatici

Stocastici  
(Probabilistici)

Tumori solidi  
Leucemie

NON Stocastici  
(Deterministici)

Radiodermite  
Cataratta  
Infertilità  
Ecc.

Genetici  
(Progenie)

Stocastici

## Effetti stocastici

- ⑩ Non presentano una dose soglia per la loro comparsa.
- ⑩ Sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta.
- ⑩ La frequenza di comparsa aumenta all'aumentare della dose.
- ⑩ Si manifestano anche dopo molti anni dall'irradiazione (decenni).
- ⑩ Sono manifestazioni del "tutto o nulla", quale che sia la dose.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## Effetti deterministici

- ⑩ Compare solo al superamento di una dose soglia caratteristica di ogni effetto.
- ⑩ Il superamento della dose soglia comporta l'insorgere dell'effetto in tutti gli individui irradiati.
- ⑩ Il periodo di latenza è breve (giorni o settimane).
- ⑩ La gravità delle manifestazioni cliniche aumentano all'aumentare della dose.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

***Effetti biologici***

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

Principi Fisici

Energia assorbita dalla materia

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Sorgenti di Radiazione

### **D** Dose assorbita

$d\bar{\varepsilon}$  Energia media assorbita in un elemento di volume  
 $dm$  massa dell'elemento di volume

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Unità di misura nel SI     **1 Gray (Gy) = 1 J/Kg**

Quadro normativo

Vecchia unità di misura     1 rad = 100 erg/g     Rad = radiation absorbed dose  
1 Gy = 100 rad

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## Grandezze radioprotezionistiche

Servono a formulare stime del rischio.

Esse sono:

- ◆ La dose equivalente  $H_{TR}$
- ◆ La dose efficace  $E$

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*



*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

La dose assorbita ( $D$ ) è insufficiente a predire sia la severità sia la probabilità degli effetti.

ICRP 60(1990) allo scopo raccomanda l'adozione della grandezza **Dose equivalente**.

Essa tiene conto anche della "pericolosità" della radiazione, ossia della diversa severità dell'effetto biologico della radiazione (tipo ed energia) a parità di dose fisica assorbita in un dato organo o tessuto.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

***Effetti biologici***

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

**Dose efficace** per la valutazione degli effetti stocastici

Se a parità di dose equivalente si irradiano tessuti diversi si osserva che l'incidenza di leucemie e tumori solidi non è uguale per i diversi tessuti.

Per tener conto di questa diversa radiosensibilità ICRP suggerisce l'adozione della grandezza protezionistica "Dose efficace (E)".

Principi Fisici

La dose equivalente  $H_{T,R}$  nel tessuto T, irradiato dalla radiazione R è data da:

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

Sorgenti di Radiazione

$w_R$  - fattore di ponderazione (adimensionale) della radiazione R, misurato rispetto ad una radiazione di riferimento.

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

La dose efficace E, irradiato dalla radiazione R è data da:

$$E = \sum_{T,R} H_{T,R}$$

Effetti biologici

Unità di misura nel SI: Sievert (Sv)

Vecchia unità di misura: rem (rem = roentgen equivalent man)

1 Sv = 100 rem

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

# Radioprotezione

Scienza interdisciplinare avente l'obiettivo di preservare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori, degli individui, della loro progenie e della popolazione nel suo insieme, riducendo i rischi sanitari derivanti dall'impiego di *radiazioni ionizzanti*, in attività che siano giustificate dai benefici che ne derivano alla società e ai suoi componenti

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## Strumenti

- ☀ **Concettuali:** principi “teorici” fondamentali della Radioprotezione
- ☀ **Normativi:** raccomandazioni internazionali, direttive comunitarie, leggi nazionali, guide e norme tecniche, regolamenti, istruzioni e procedure operative, soggetti a continue rielaborazioni e aggiornamenti in base alle nuove conoscenze e al progresso tecnologico
- ☀ **Tecnici:** dispositivi di Radioprotezione, procedure di collaudo o d’intervento, tecniche di misurazione delle radiazioni (dosimetria esterna ed interna)
- ☀ **Controlli e verifiche ispettive**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## ***Campo di applicazione***

### **Radioprotezione degli Operatori e della Popolazione: (D.Lgs. 230/1995, D.Lgs. 241/2000, D.Lgs. 257/2001)**

- ☀ Esposizione di persone nell'ambito professionale (lavoratori esposti)
- ☀ Esposizione di membri del pubblico

### **Radioprotezione del Paziente: (D.Lgs. 187/2000)**

- ☀ Esposizione di persone sottoposte **ad esami o a trattamenti medici**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

# I Principi Fondamentali della Radioprotezione

(1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – ICRP 60)

La Commissione Internazionale di Radioprotezione (ICRP) nelle sue raccomandazioni ha stabilito quelli che debbono essere i principi fondamentali di radioprotezione ai quali attenersi allo scopo di predisporre un sistema di protezione radiologica efficace:

- **Giustificazione della pratica**
- **Ottimizzazione della protezione**
- **Limitazione delle dosi individuali**

# **SOMMARIO (D.Lgs. 230/95)**

- **Protezione sanitaria dei lavoratori**
- **Protezione sanitaria della popolazione**
- **Stato di emergenza nucleare**
- **Definizione dei regimi giuridici per importazione, produzione, commercio, trasporto e detenzione**
- **Definizione del regime autorizzativo e disposizioni per i rifiuti radioattivi**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*



## OBBLIGHI DEL DATORE DI LAVORO

### Art.61 del D.Lgs.230/95

I datori di lavoro ed i dirigenti che rispettivamente esercitano e dirigono le attività disciplinate dal presente decreto ed i **preposti** che vi sovrintendono devono, nell'ambito delle rispettive attribuzioni e competenze, attuare le cautele di protezione e di sicurezza previste dal presente capo e dai provvedimenti emanati in applicazione di esso.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

**Datori di lavoro Dirigenti e Preposti devono:**

- a) provvedere affinché gli **ambienti di lavoro** in cui sussista un rischio da radiazioni vengano **delimitati, segnalati, classificati in zone** e che l'accesso ad essi sia adeguatamente regolamentato;
- b) provvedere affinché i **lavoratori** interessati siano **classificati** ai fini della radioprotezione;

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

Datori di lavoro Dirigenti e Preposti **devono**:

c) **Predisporre norme interne di protezione e sicurezza** adeguate al rischio di radiazioni e curare che copia di dette norme sia consultabile nei luoghi frequentati dai lavoratori, ed in particolare nelle zone controllate;

d) **fornire ai lavoratori**, ove necessari, i **mezzi** di sorveglianza dosimetrica e di protezione, in relazione ai rischi cui sono esposti;

Datori di lavoro Dirigenti e Preposti **devono**:

- e) **rendere edotti i lavoratori**, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione dei **rischi specifici cui sono esposti**, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne di cui alla lettera c);

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

Datori di lavoro Dirigenti e Preposti **devono**:

- f) **provvedere** affinché i singoli **lavoratori osservino** le norme interne di cui alla lettera c), usino i mezzi di cui alla lettera d) ed osservino le modalità di esecuzione del lavoro di cui alla lettera e);

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

Datori di lavoro Dirigenti e Preposti **devono**:

- g) provvedere** affinché siano **apposte segnalazioni** che indichino il tipo di zona, la natura delle sorgenti ed i relativi tipi di rischio e siano indicate, mediante appositi contrassegni, le sorgenti di radiazioni ionizzanti, fatta eccezione per quelle non sigillate in corso di manipolazione;

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

**Datori di lavoro Dirigenti e Preposti devono:**

- h) fornire al lavoratore** esposto i **risultati delle valutazioni** di dose effettuate dall'esperto qualificato, che lo riguardino direttamente, nonché assicurare l'accesso alla documentazione di sorveglianza fisica concernente il lavoratore stesso.

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## OBBLIGHI DEI LAVORATORI

### Art.68 del D.Lgs.230/95

- 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;



Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

**Quadro normativo**

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## OBBLIGHI DEI LAVORATORI

### Art.68 del D.Lgs.230/95

- 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;
- 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;

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## OBBLIGHI DEI LAVORATORI

### Art.68 del D.Lgs.230/95

- 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.

# Sorveglianza fisica

L'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'Esperto Qualificato al fine di **garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione.**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

# SORVEGLIANZA FISICA

Art.75 D.Lgs. 230/95

Il datore di lavoro deve assicurare la **sorveglianza fisica** per mezzo di **esperti qualificati**.

## Esperto Qualificato

E' la persona che possiede le cognizioni e l'addestramento per:

- effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico, radiotossicologico
- assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione
- fornire le indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI

### ● **Lavoratori esposti:**

I soggetti che, in ragione della loro attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore a 1 mSv per un anno solare.

### ● **Lavoratori non esposti:**

I soggetti sottoposti, in ragione della loro attività lavorativa, ad una esposizione non superiore a 1 mSv.

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

# CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI ESPOSTI

**Categoria A**

**Categoria B**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

## Categoria A

Lavoratori esposti che sono suscettibili di una esposizione superiore, in un anno solare, a:

- 6 m Sv di dose efficace
- 45 mSv per il cristallino
- 150 mSv per la pelle , mani, avambracci, piedi, caviglie



Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio  
radioisotopi

## Categoria B

**Lavoratori esposti** che sono suscettibili, in un anno solare, di una esposizione ad una dose efficace:

superiore a 1 mSv ma inferiore a 6 mSv

## SORVEGLIANZA FISICA E MEDICA

### **Categoria A**

- sorveglianza fisica individuale
- sorveglianza medica semestrale (medico autorizzato)

### **Categoria B**

- sorveglianza fisica ambientale o individuale
- sorveglianza medica annuale (medico autorizzato o competente)

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

## CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

Gli ambienti di lavoro sottoposti a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti sono dette

### zone classificate

La zona classificata può essere:

- **zona controllata**
- **zona sorvegliata**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

E' classificata **zona controllata** ogni area di lavoro ove sussiste per i lavoratori ivi operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

- **6 mSv/anno** per la dose efficace
- **45 mSv/anno** per la dose equivalente al cristallino
- **150 mSv/anno** per la dose equivalente a pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

E' classificata **zona sorvegliata** ogni area di lavoro, che non debba essere classificata zona controllata, ove sussiste per i lavoratori ivi operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

- **1 mSv/anno** per la dose efficace
- **15 mSv/anno** per la dose equivalente al cristallino
- **50 mSv/anno** per la dose equivalente a pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

**DECRETO LEGISLATIVO N. 230/1995  
DECRETO LEGISLATIVO N. 241/2000**

**PRINCIPIO della  
GIUSTIFICAZIONE  
dell'ATTIVITA'**

Le attività che comportano rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti devono essere preventivamente giustificate e periodicamente riconsiderate alla luce dei benefici che da esse derivano

**PRINCIPIO della  
OTTIMIZZAZIONE  
della PROTEZIONE**

Le esposizioni alle radiazioni ionizzanti devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali

**PRINCIPIO della  
LIMITAZIONE della  
DOSE INDIVIDUALE**

La somma delle dosi ricevute non deve superare i limiti prescritti

*Principi Fisici*

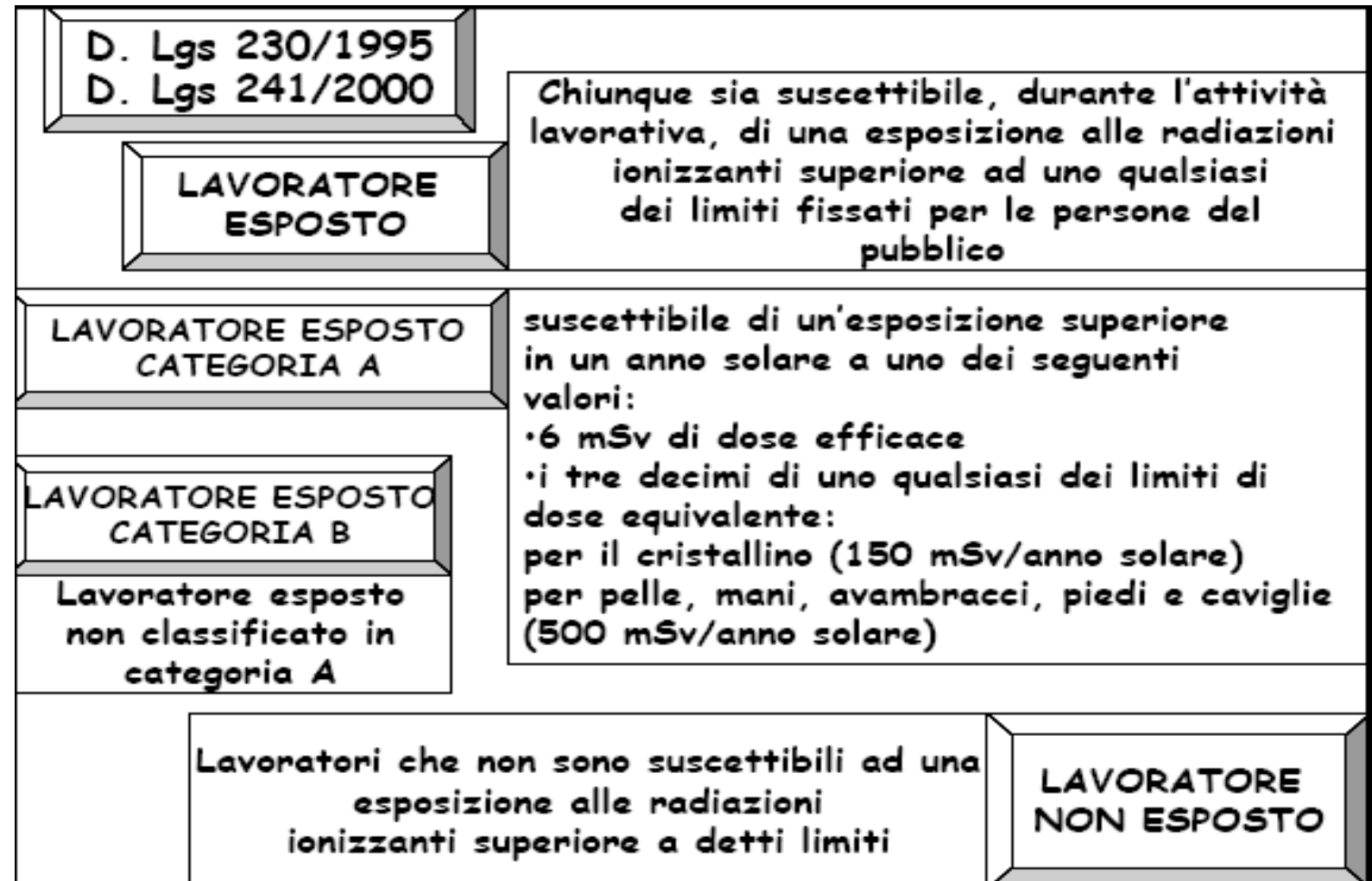
*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*



*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

**Quadro normativo**

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

**D. Lgs 230/1995  
D. Lgs 241/2000**

**La normativa prescrive al datore di lavoro di classificare e segnalare gli ambienti in cui è presente il rischio da esposizione alle radiazioni ionizzanti e regolamentarne l'accesso**

**ZONA  
CONTROLLATA**

**AMBIENTE DI LAVORO IN CUI  
SUSSISTONO PER I LAVORATORI IN ESSA  
OPERANTI LE CONDIZIONI PER LA  
CLASSIFICAZIONE DI LAVORATORI  
ESPOSTI DI CLASSE A**

**AMBIENTE DI LAVORO IN CUI PUO'  
ESSERE SUPERATO IN UN ANNO SOLARE  
UNO DEI PERTINENTI LIMITI FISSATI  
PER LE PERSONE DEL PUBBLICO E CHE  
NON E' ZONA CONTROLLATA**

**ZONA SORVEGLIATA**



**D. Lgs 230/1995 - D. Lgs 241/2000**

La normativa prescrive che i datori di lavoro esercenti attività comportanti la classificazione degli ambienti di lavoro in una o più zone controllate o sorvegliate oppure la classificazione degli addetti interessati come lavoratori esposti, assicurino la **SORVEGLIANZA FISICA** per mezzo di **ESPERTI QUALIFICATI** iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato Medico Centrale del Lavoro

**SORVEGLIANZA  
FISICA**

**SORVEGLIANZA  
MEDICA**

I datori di lavoro esercenti attività comportanti la classificazione degli addetti interessati come lavoratori esposti, devono assicurare la **SORVEGLIANZA MEDICA** per mezzo di **MEDICI AUTORIZZATI** iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato Medico Centrale del Lavoro, nel caso di lavoratori esposti di categoria A e per mezzo di **MEDICI AUTORIZZATI** o **MEDICI COMPETENTI** per i lavoratori esposti di categoria B

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio radioisotopi*

**SOSTANZE RADIOATTIVE NEI LABORATORI**

**SULLA BASE DELLA NORMATIVA DI  
RADIOPROTEZIONE I LABORATORI DOVE SI  
UTILIZZANO SOSTANZE RADIOATTIVE SONO  
CLASSIFICATI E SORVEGLIATI DA**

**ESPERTI QUALIFICATI**

**I LABORATORI CLASSIFICATI "ESPOSTI"  
SONO SOGGETTI A SORVEGLIANZA SANITARIA,  
A SECONDA DELLA CATEGORIA, DA PARTE DEL**

**MEDICO COMPETENTE**

**MEDICO AUTORIZZATO**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

## Sicurezza in un laboratorio radioisotopi

Per la diminuzione del rischio di esposizione da radiazioni ionizzanti è opportuno predisporre adeguate procedure operative:

- programmazione delle operazioni da effettuare;
- esecuzione preliminare di prove in bianco (cioè senza sorgenti);
- predisposizione di norme operative e di radioprotezione;
- accertamento preventivo del corretto funzionamento di attrezzature e dispositivi di sicurezza e protezione
- effettuazione di un controllo ambientale per prevenire i rischi da dispersione della contaminazione;
- nei casi di utilizzo sistematico di sorgenti non sigillate, predisporre locali per un'opportuna sistemazione delle attrezzature;
- utilizzo di DPI.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

**Sicurezza  
laboratorio  
radioisotopi**

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

**Sicurezza  
laboratorio  
radioisotopi**

Ed inoltre osservare le seguenti norme di carattere generale:

-nei luoghi di lavoro non mangiare, non bere, non fumare;

-mantenere le attrezzature in ordine e pulite;

-osservare un'accurata igiene personale;

-indossare gli indumenti protettivi necessari prima di accedere alle zone di lavoro;

-a fine lavoro depositare gli indumenti protettivi utilizzati negli appositi armadietti;

-non lasciare incustodite e non segnalate le sorgenti radioattive

-svolgere tutte le manipolazioni di sostanze radioattive in aree ben definite, delimitate e segnalate adottando tutte le precauzioni per contenere al massimo la dispersione di materiale liquidi, gas o polveri

*Principi Fisici*

-evitare di lavorare con tagli o abrasioni non protette sulle mani ed avambracci

*Sorgenti di Radiazione*

-sottoporsi alla sorveglianza sanitaria

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

-tutta la strumentazione, piccola o grande ed il materiale in uso in questi laboratori devono essere adibiti esclusivamente per la manipolazione di sostanze radiomarcate

*Effetti biologici*

-in caso di contaminazione degli arredi dei laboratori, dei pavimenti o altro, provvedere immediatamente alla pulizia mediante detergente decontaminante e riferire l'accaduto al responsabile in modo che possa provvedere al controllo dell'avvenuta decontaminazione

*Quadro normativo*

**Sicurezza  
laboratorio  
radioisotopi**

## Caratteristiche di un laboratorio di radioanalisi

Un laboratorio in cui si faccia uso di sorgenti non sigillate deve essere dotato di:

sistema di ventilazione adeguato alla tipologia e alle quantità di sostanze radioattive in esso utilizzate;

una cappa di aspirazione di tipo radiochimico;

pavimenti a sguscio e superfici lavabili per facilitare le operazioni di decontaminazione;

adeguata strumentazione di monitoraggio della contaminazione superficiale;

dosimetri personali, se prescritti;

deposito per lo stoccaggio e il decadimento di rifiuti liquidi e solidi radioattivi, prima del loro smaltimento.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

**Sicurezza  
laboratorio  
radioisotopi**

## Gestione dei rifiuti radioattivi



Definizione: "...qualsiasi materia radioattiva ancorchè contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non è previsto il riciclo o la riutilizzazione..."

D.Lgs 230/1995 modificato dall'art. 4 c. 3 lett. i) del D.Lgs 241/2000

I rifiuti radioattivi devono essere raccolti in appositi contenitori suddivisi in base a :

- stato fisico: solidi/liquidi
- radionuclide: periodo di dimezzamento  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{125}\text{I}$  < **75 giorni** <  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{S}$
- radiotossicità dei radionuclidi presenti
- attività specifica

I rifiuti radioattivi devono essere conservati nel "deposito rifiuti radioattivi", che deve essere segnalato con i dovuti contrassegni. L'accesso al "deposito rifiuti radioattivi" è concesso unicamente al personale autorizzato.

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi



## **Gestione dei rifiuti radioattivi**

Per lo smaltimento finale devono essere consegnati esclusivamente a Ditte autorizzate.

E' dovere di ogni operatore:

- produrre la minor quantità di rifiuto radioattivo sia in termini di attività che di volume, compatibilmente con le esigenze di lavoro e di sicurezza;
- raccogliere separatamente i rifiuti non radioattivi da quelli radioattivi. Deve considerarsi radioattivo tutto ciò che viene a contatto con sorgenti radioattive sia liquide che solide e che non sia stato controllato adeguatamente;
- non versare negli scarichi comuni o in recipienti per la raccolta dei rifiuti non contaminati quelli potenzialmente radioattivi;
- detenere in laboratorio i rifiuti radioattivi, posti in contenitori adeguatamente schermati, solo per il tempo strettamente necessario.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

***Sicurezza laboratorio radioisotopi***



## **In caso di versamento di materiale radioattivo:**

Mentre in alcune situazioni è necessario privilegiare l'intervento sulla dispersione di materiale radioattivo al fine di limitare l'impatto diretto dell'incidente (versamento di grande quantità di liquido a bassa attività senza il coinvolgimento di persone) in altri casi è necessario intervenire in via prioritaria direttamente sulle persone contaminate (contaminazione diretta con liquido radioattivo in prossimità di ferite, mucose, ustioni, con possibilità di ingestione o inalazione). La priorità degli interventi dipende, evidentemente, dalla valutazione effettuata dagli operatori presenti rispetto alla gravità della contaminazione delle persone e dell'ambiente;

in base a tale valutazione dovranno immediatamente essere avvisati, oltre al Preposto, il Direttore o il Responsabile, anche il Servizio per la Sicurezza, l'Esperto Qualificato ed il Medico Autorizzato/Competente.

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

**Sicurezza  
laboratorio  
radioisotopi**

## In caso di versamento di materiale radioattivo:

- cercare di mantenere la calma,
- limitare l'introduzione nel corpo dei contaminanti radioattivi per inalazione, ingestione o contatto
- limitare l'estendersi della zona contaminata circoscrivendola adeguatamente
- rimuovere la contaminazione con le dovute cautele.



Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

In caso di **contaminazione** con materiale radioattivo:

- ✓ Tamponare con carta assorbente la zona della pelle o gli abiti sui quali è avvenuto il versamento.
  - ✓ Togliere gli indumenti contaminati (si può agire efficacemente tagliandoli) unitamente ai mezzi protettivi (maschere, guanti ecc); riporre tali oggetti in sacchetti di plastica in modo da evitare la contaminazione di altri oggetti e dell'area. Porre attenzione a non contaminare occhi, bocca e narici.
  - ✓ Tagliare la ciocca di capelli eventualmente contaminata; non fare assolutamente lo shampoo.
  - ✓ Misurare la contaminazione dell'area interessata.
  - ✓ Lavare solo la parte contaminata con acqua corrente tiepida (non usare acqua calda), cercando di non estendere la contaminazione e facendo attenzione a non danneggiare la pelle; è possibile usare una spazzola morbida e sapone neutro.
- Per tali operazioni utilizzare il lavello dell'area di decontaminazione ovvero quello del laboratorio raccogliendo i liquidi di risciacquo che, se contaminati, saranno eliminati come rifiuto radioattivo.

Principi Fisici

Sorgenti di Radiazione

Interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia

Effetti biologici

Quadro normativo

Sicurezza laboratorio radioisotopi

*Principi Fisici*

*Sorgenti di Radiazione*

*Interazione delle  
radiazioni ionizzanti  
con la materia*

*Effetti biologici*

*Quadro normativo*

*Sicurezza laboratorio  
radioisotopi*

**Grazie per  
l'attenzione**