



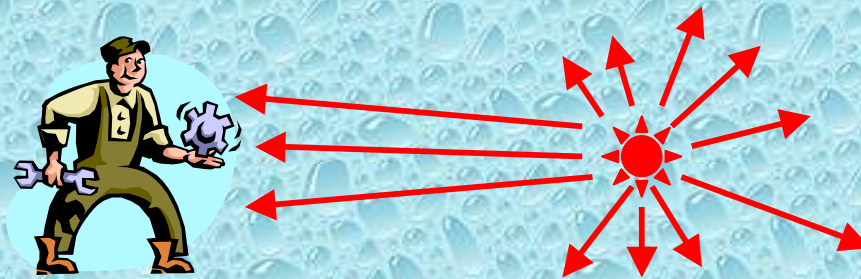
## •CONCETTI

- radioprotezione;
- Dose assorbita, Equivalente Efficace ;
- Decreti sulla radioprotezione

## Rischi da radiazioni ionizzanti:

irraggiamento:

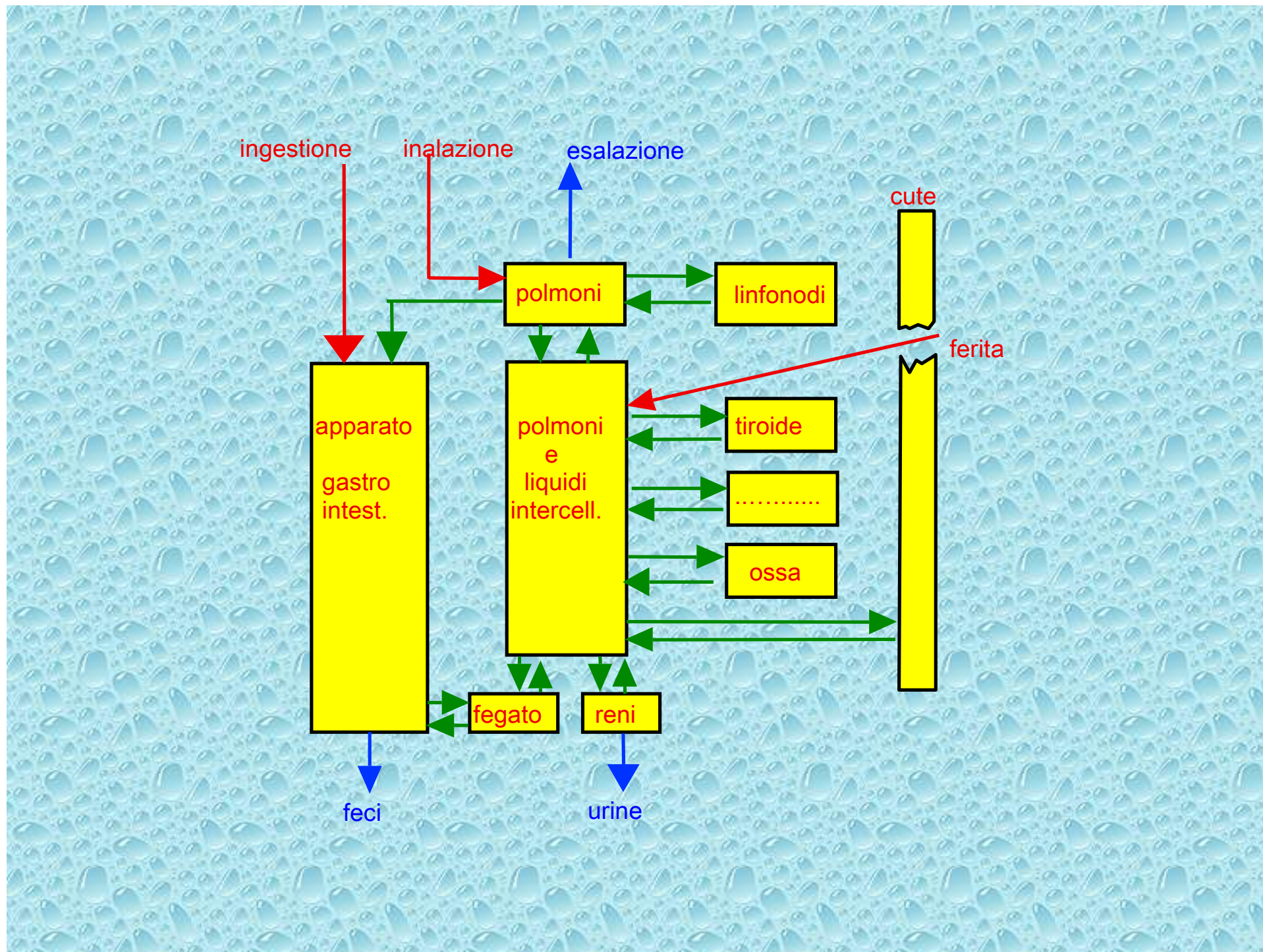
Sorgente esterna all'organismo  
Le radiazioni incidono sul lavoratore



Contaminazione interna:

Sorgente entra nell'organismo a seguito di  
Ingestione, inalazione, ....





Per quanto detto fino ad ora sulle proprietà delle radiazioni:

irraggiamento:

Radiazione penetrante:  
fotoni  
neutroni  
elettroni alta energia (linac)

Contaminazione interna:

Radiazione a corto range:  
Particelle beta  
Particelle alfa



## Un po' di storia della radioprotezione

Da quando le radiazioni ionizzanti sono presenti nei reattori e negli apparati che utilizzano l'energia nucleare, i progettisti di questi sistemi devono includere nei relativi progetti le schermature e la **protezione dalle radiazioni sia per il personale addetto al loro funzionamento che per la popolazione nel suo insieme.**

La sorveglianza e il monitoraggio continuo dei livelli di radiazione sono responsabilità dei **fisici sanitari**, che devono garantire la **sicurezza degli operatori e del pubblico** in modo che nessuno riceva una dose pericolosa o non necessaria per esposizione alle radiazioni.

I criteri per il progetto delle schermature e l'applicazione delle misure di sicurezza sono basate sulle conoscenze aggiornate dei **rischi dovuti alle radiazioni ionizzanti** e degli effetti che esse provocano sull'uomo.

Nel corso degli anni, con l'aumentare delle conoscenze in questo campo, la "pericolosità" delle radiazioni è andata aumentando e le norme di sicurezza adottate su scala mondiale sono diventate sempre più restrittive.



Il genere umano è da sempre esposto a varie forme di radiazione naturale costituite dai raggi cosmici e da tutti gli **elementi radioattivi naturali** ( $^{40}\text{K}$ , gas Radon, Uranio, Torio, Radio, ecc. ecc.).

| Radio nuclide              | Modo del decadimento          | $T_{1/2}$ (anni)      | Energia liberata<br>$E_{\beta}, E_{\alpha}$ (MeV) |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
| $^{40}\text{K}$            | cattura K, $\beta$ , $\gamma$ | $1.28 \times 10^9$    | 1.31                                              |
| $^{87}\text{Rb}$           | $\beta$                       | $4.75 \times 10^{10}$ | 0.28                                              |
| $^{232}\text{Th}$ (+figli) | famiglia radioattiva          | $1.40 \times 10^{10}$ | 4.71                                              |
| $^{235}\text{U}$ (+figli)  | famiglia radioattiva          | $7.04 \times 10^8$    | 5.31                                              |
| $^{238}\text{U}$ (+figli)  | famiglia radioattiva          | $4.47 \times 10^9$    | 4.90                                              |

Comunque i **livelli di radiazione naturali** sono troppo deboli per mettere in luce gli effetti dannosi delle radiazioni

Gli **effetti dannosi** delle radiazioni divennero evidenti solo alla fine dell'800 quando, in seguito alla scoperta dei **raggi X** (Roentgen) e della **radioattività** (Bequerel) furono disponibili intense sorgenti di radiazione.

Solo un mese dall'annuncio della scoperta dei raggi X da parte di Roentgen (gennaio 1896) un costruttore e sperimentatore di tubi sotto vuoto mostrò lesioni alla cute e alle mani che oggi indichiamo come dermatite subacuta da raggi X.

Quelle lesioni erano il risultato di esposizioni ad alte dosi avvenute Manipolando apparecchi a raggi X, prima ancora del riconoscimento dei raggi X da parte di Roentgen

Nel 1901 Bequerel mostrò eritema della cute in corrispondenza della tasca del vestito nella quale aveva tenuto per qualche tempo una fiala di vetro contenente sali di Radio. Poco dopo Pierre Curie si provocò intenzionalmente un eritema da Radio sulla cute del braccio ed ebbe l'idea che le radiazioni potessero avere proprietà terapeutiche.



Molti malcapitati ricevettero come ricostituente iniezioni di materiali contenenti Radio e Torio e furono successivamente colpiti da tumore.

Nel 1903 fu scoperto che l'esposizione ai raggi X poteva indurre sterilità negli animali da laboratorio; pochi anni dopo fu annunciato che gli embrioni di uova di rospo fertilizzate con sperma irradiato con raggi X presentavano anomalie.

Nel 1904 furono segnalate le prime anemie e le prime leucemie indotte da raggi X e già nel 1902 si constatò che un carcinoma cutaneo si era sviluppato su precedente dermatite da raggi.

Nel 1911 furono messi in evidenza 94 casi di tumori indotti da raggi X, 50 dei quali in radiologi. Nel 1922 fu stimato che almeno 100 radiologi morirono come risultato di cancro indotto da radiazioni.

Entro circa dieci anni dalla scoperta di Roentgen e Bequerel una gran parte delle patologie da dosi elevate ed intense di esposizione a radiazioni ionizzanti era stata riconosciuta e sommariamente descritta.



Le lesioni da incorporazione di sostanze radioattive furono scoperte più tardi, attorno agli anni '20 quando si manifestarono necrosi e tumori ossei al mascellare di operaie che durante la prima guerra mondiale erano state addette a dipingere le lancette ed il quadrante di orologi luminescenti con vernici contenenti sali di Radio: esse avevano ingerito le vernici facendo la punta ai piccoli pennelli inumidendoli con le labbra, gesto frequentemente ripetuto durante il lavoro.

Inoltre si notò che i minatori che lavoravano nelle miniere di cobalto della Sassonia e nelle miniere di pechblenda in Cecoslovacchia, entrambe contenenti grosse percentuali di uranio, soffrivano di cancro ai polmoni con una percentuale trenta volte più elevata che il resto della popolazione: oggi è noto che questi lavoratori erano vittime di esposizione interna al gas Radon ed ai suoi figli, prodotti di decadimento dell'uranio: la concentrazione di Radon emesso dalle pareti dei tunnel nell'aria respirata, soprattutto a causa della scarsa ventilazione, è estremamente elevata in miniera. Oggi per legge è imposta una ventilazione forzata delle miniere e turni di lavoro limitati per i minatori.

Un altro genere di effetti cominciò ad essere noto verso la fine degli anni '20: durante i suoi studi di genetica Muller mostrò che raggi X e raggi gamma producono **mutazioni genetiche** e cromosomiche nel moscerino dell'aceto, mutazioni che vengono trasmesse ai discendenti secondo le leggi dell'ereditarietà biologica.

La radioprotezione si occupò in maniera rilevante degli **effetti genetici** solo dopo la seconda guerra mondiale, quando questi furono considerati come **i più gravi ed insidiosi dell'esposizione alle radiazioni**.

In questi anni viene approfondito anche il capitolo dei cosiddetti “effetti tardivi” (costituiti in gran parte da tumori maligni) che compaiono in una piccola frazione delle persone di una popolazione sottoposta a dosi anche non elevate di radiazioni.

Alla International Conference on Pacific Uses of Atomic energy (Ginevra, 1955) Tzuzuki riportò la notizia che tra i sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki erano stati osservati circa 200 casi di leucemia, un numero enormemente più alto di quello atteso in base alle caratteristiche endemiche della malattia.



Negli anni seguenti fu annunciato l'aumento di frequenza di altre forme tumorali maligne nei sopravvissuti, mentre venivano resi noti i risultati di indagini epidemiologiche sull'incremento di tumori maligni tra i pazienti curati con radiazioni per forme morbose non tumorali. Court, Brown e Dale nel 1957 poterono dimostrare un aumento della frequenza di leucemie nelle cause di morte di pazienti trattati con roentgenterapia per dolori dovuti ad artrosi vertebrale. A cavallo del 1960, a causa delle ricadute radioattive (fallout) conseguenti alle esplosioni nell'atmosfera di ordigni bellici nucleari di prova iniziò purtroppo anche il fenomeno di piccole dosi annue ricevute costantemente da vastissime popolazioni di interi continenti e si cominciò a parlare di "dose collettiva" ricevuta da un insieme di persone esposte. Già negli anni '50 era stato studiato un altro campo di effetti delle radiazioni: i danni riguardanti lo sviluppo embrionale e fetale. Furono soprattutto le ricerche sistematiche dei coniugi Russel che mostrarono le capacità lesive delle radiazioni sulla organogenesi che si verifica nell'embrione umano nei primi mesi dal concepimento, anche per dosi non elevate. Nasce così una speciale forma di protezione per le donne durante la gravidanza ed in generale per le donne in età fertile.

## Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

Quando una particella ionizzante interagisce con le molecole di un tessuto organico, essa perde energia attraverso interazioni di tipo elettrico con gli elettroni degli atomi. Anche particelle non direttamente ionizzanti come fotoni o neutroni interagiscono con la materia attraverso cessione di energia agli elettroni degli atomi.

Quando un elettrone viene strappato ad un atomo, lo ionizza. Inoltre, a causa della energia cinetica acquistata, lungo il suo percorso interagisce e ionizza altri atomi del tessuto.

Questi ioni, estremamente instabili, si combinano con gli altri atomi e molecole del tessuto dando luogo ad una vera e propria reazione a catena.

A seguito di questo fenomeno vengono create nuove molecole, differenti da quelle originarie di cui è composto il tessuto, e vengono messi in moto dei radicali liberi.

Questi ultimi possono interagire tra loro o con altre molecole: attraverso processi che tutt'oggi non sono ben noti, possono indurre cambiamenti biologicamente significativi nelle molecole stesse che possono essere causa di un loro malfunzionamento.



Questi cambiamenti, che si manifestano nel giro di pochi millesimi di secondo successivi all'irraggiamento, possono uccidere le cellule o alterarle al punto di generare l'insorgenza di tumori o mutazioni genetiche, a seconda che le cellule colpite sono somatiche o germinali.

Vi sono quindi due meccanismi fondamentali mediante i quali la radiazione può danneggiare le cellule: **effetto diretto ed effetto indiretto**

Nel **primo caso la radiazione** può portare alla **rottura di una molecola** a seguito del meccanismo di ionizzazione. Nel **secondo caso** invece la radiazione, sempre a causa di ionizzazione, può produrre nuovi elementi chimici come i radicali  $O^+$  o  $OH^-$  che **interagiscono chimicamente con la cellula dando luogo a nuove alterazioni**.

L'effetto biologico delle radiazioni non è quindi sostanzialmente diverso da un qualsiasi altro effetto chimico.

Il risultato della trasformazione chimica dipende dalla molecola sulla quale la radiazione ha agito.

Se la molecola fa parte di un mitocondrio, (presenti a migliaia nella cellula) il malfunzionamento di uno di essi non pregiudica l'intero sistema cellulare.

Se invece la radiazione distrugge direttamente o indirettamente una molecola di DNA in un cromosoma, il risultato è una mutazione.

Negli ultimi anni è stato compiuto un considerevole sforzo per determinare gli effetti delle radiazioni sul corpo umano.

Poiché non è possibile ovviamente effettuare esperimenti diretti sulla popolazione, la attuale conoscenza degli effetti delle radiazioni è basata su:

- dati raccolti in occasione di incidenti (Chernobyl per esempio);
- studi epidemiologici effettuati sui sopravvissuti al bombardamento di Hiroshima e Nagasaki;
- studi sulle popolazioni esposte alle esplosioni nucleari effettuate a scopi militari
- studi ed esperimenti effettuati su animali da laboratorio



Lo stato attuale di conoscenza in questo campo può essere riassunto come segue:

**esiste una informazione ben documentata sugli effetti di esposizione acuta (cioè limitata nel tempo) ad alte dosi**

poiché gli effetti, se davvero esistono, sono estremamente rari,  
**esiste una limitata conoscenza per quanto concerne:**

- dosi acute non troppo elevate e non ripetute;
- basse dosi acute ripetute occasionalmente;
- bassissime dosi croniche.

Le assunzioni conservative che vengono fatte nel campo della radioprotezione sono le seguenti:

- **esiste una relazione lineare dose-effetto per qualsiasi esposizione**, da quelle acute a quelle croniche, indipendentemente dalla intensità della dose ricevuta: il danno è proporzionale alla dose integrale assorbita
- **Non vi è alcuna soglia sulla dose da radiazione**, al di sopra della quale l'effetto si manifesta, ma al di sotto no;
- **tutte le dosi assorbite da un organo sono completamente additive**, indipendentemente dal ritmo di assunzione e dagli intervalli temporali tra una assunzione e le successive;
- **non vi è alcun meccanismo di recupero o riparo** biologico alla radiazioni.



## Rischi dovuti alle radiazioni ionizzanti

Il danno biologico e' dovuto alla interazione delle radiazioni con le molecole dei tessuti

Le radiazioni depositano energia lungo il percorso: rompono i legami chimici

delle molecole dei tessuti e creano radicali liberi  $H^+$  e  $OH^-$  che poi reagiscono chimicamente con le cellule

l'effetto biologico delle radiazioni non è sostanzialmente diverso da un qualsiasi altro effetto chimico

Il “danno biologico” e' proporzionale alla “dose assorbita”, ossia alla energia depositata dalla radiazione per unita' di massa

La dose assorbita si misura con strumenti fisici che rilevano il campo di radiazioni esistente in un dato punto dello spazio

L'equivalente di dose assorbita si esprime in Sievert (Sv)

Come sappiamo collegare il “danno” alla dose ?

Conoscenze sui danni generati dalla radiazione sull'uomo:

- studi sui sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki
- studi sulle popolazioni esposte ai test nucleari
- conseguenze di terapie mediche
- conseguenze di incidenti nucleari
- esperimenti su animali

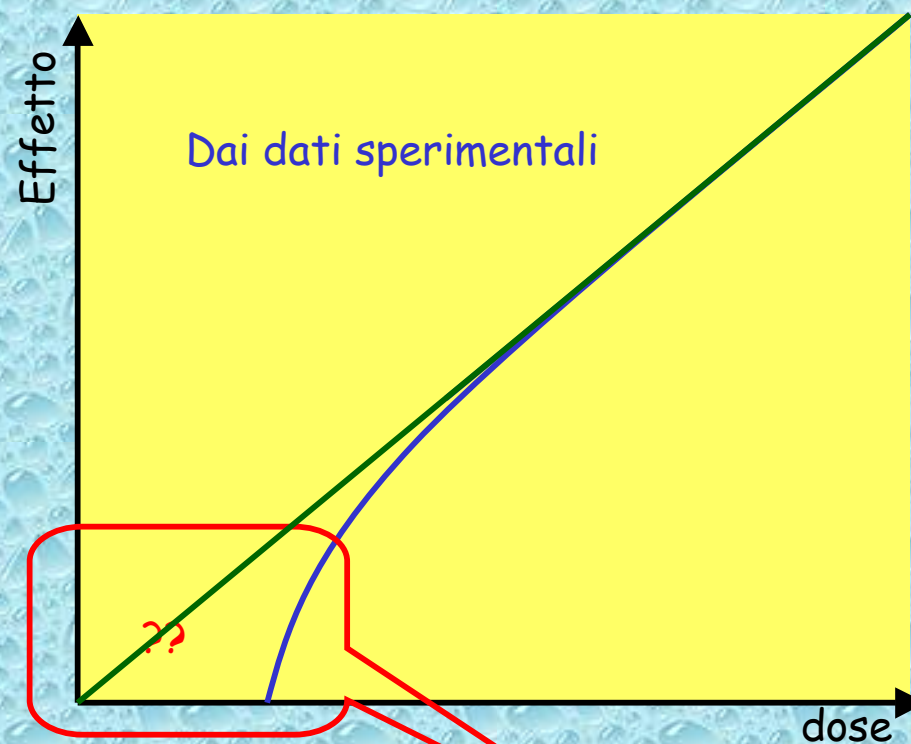
L'uso pacifico dell'energia nucleare e' senza dubbio l'attivit  con il maggiore e piu' severo controllo sui rischi dei lavoratori e della popolazione

Esiste un organismo mondiale: l' ICRP  
(International Commission on Radiation Protection)

Le sue “raccomandazioni” sono recepite da tutti i paesi



Come stabilisce gli standard di radioprotezione ?



Nella zona a basse dosi gli effetti sono immisurabili

L'ICRP assume che una dose, comunque piccola, produce un danno:  
non vi e' soglia, la curva passa per l'origine

## Le raccomandazioni dell'ICRP

- 1 nessuna attività umana deve essere accolta a meno che la sua introduzione produca un beneficio netto e dimostrabile
- 2 ogni esposizione alle radiazioni deve essere tenuta Tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile in base a Considerazioni sociali ed economiche principio "ALARA": As Low As Reasonably Achievable
- 3 l'equivalente di dose ai singoli individui non deve superare i limiti raccomandati

I tre principi devono essere applicati in sequenza: si passa cioè al secondo quando si è verificato il primo, e al terzo quando si sia verificato anche il secondo.



Sulla base dei dati sperimentali relativi ad alte dosi e assumendo una relazione lineare dose-effetto, si ricava l' **indice di rischio globale (RIM)**

**$RIM = 1.65 \cdot 10^{-2}$  eventi gravi per Sv ricevuto**

Distinto rispettivamente in:

$1.25 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  per la cancerogenesi

$0.4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  per gli effetti ereditari

Cosa significa? Vediamo un esempio

Un tecnico radiologo operante in un servizio di radiologia ospedaliero assume in media  $0.2 \text{ mSv/anno}$ : quale e' la probabilita' p che, alla fine del suo periodo lavorativo, contragga una grave malattia?

Poiche' il periodo lavorativo e' pari a 50 anni, la Dose totale assunta nell'arco dell'intero periodo lavorativo varra':

$$H = [0.2 \text{ mSv/anno}] \cdot [50 \text{ anni}] = 10 \text{ mSv} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$P = H \cdot RIM = 1.6 \cdot 10^{-4}$$

Cioe', in media, solo un tecnico su sedicimila si ammala.

**Equivale ad aver fumato in tutta la vita solo 90 sigarette !!**

## I limiti di dose

L'ICRP distingue due categorie:

- a) Gli individui esposti per motivi professionali
- b) La popolazione nel suo insieme

Il limite per i lavoratori professionalmente esposti e':  
100 mSv in 5 anni (cioe' in media 20 mSv/anno)

Supponendo un periodo lavorativo di 50 anni, il lavoratore alla fine della attivita' potra' al massimo aver assorbito 1 Sv

Poiche' il  $RIM = 1.65 \cdot 10^{-2}$  eventi gravi per Sv ricevuto

per questo lavoratore esistera' una probabilita' dello 1.65% di contrarre una malattia grave dipendente dalla sua intera attivita' lavorativa (50 anni)

*Stiamo parlando di probabilita', non di certezza*



## I limiti di dose

L'ICRP distingue due categorie:

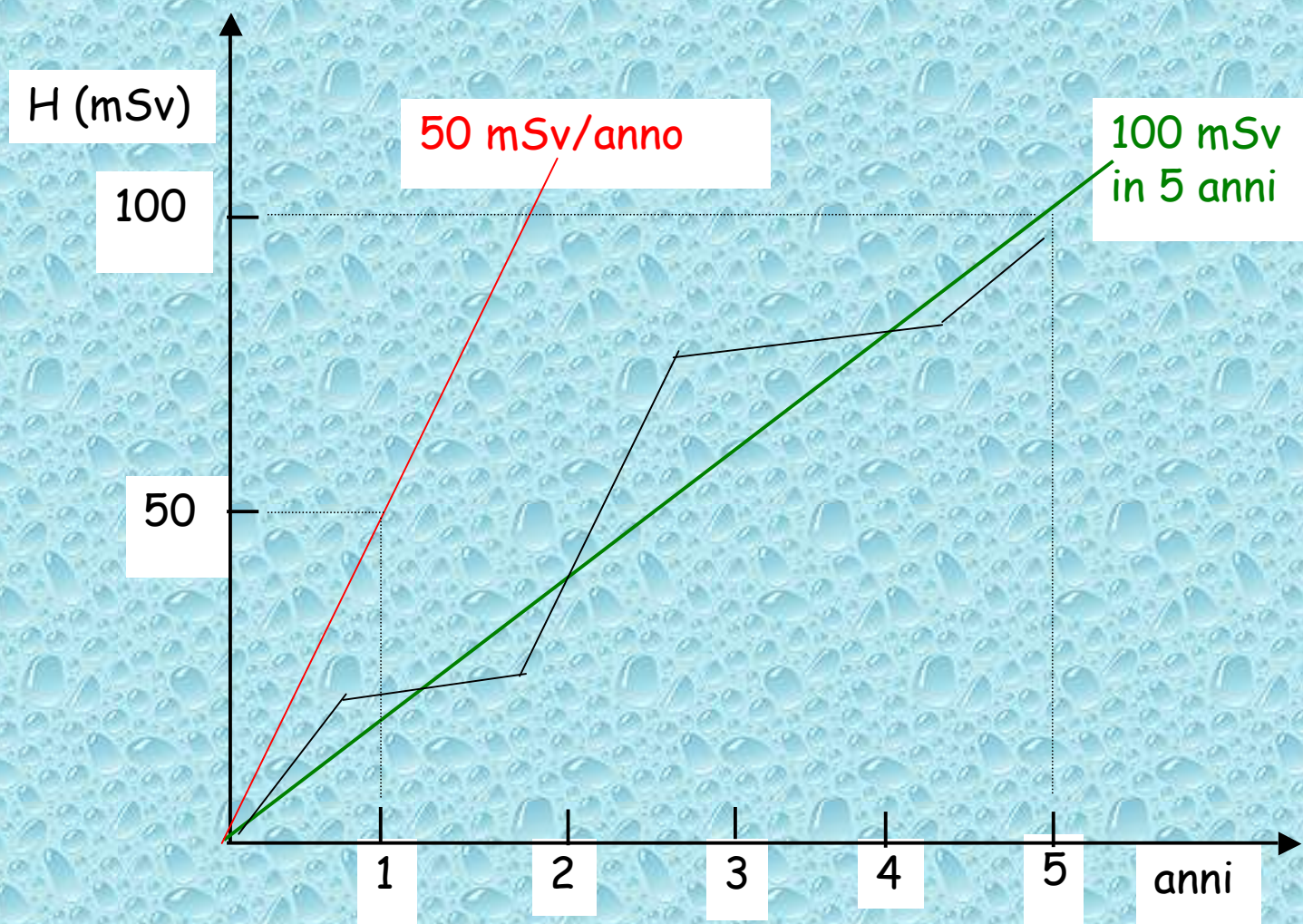
- a) Gli individui esposti per motivi professionali
- b) La popolazione nel suo insieme

Il limite di dose per le persone del pubblico è: 1 mSv per anno solare

Questo valore coincide con quello dovuto alla radioattività naturale

(raggi cosmici,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ , ... )

Esiste una probabilità su 100.000 di contrarre durante l'intera vita una grave malattia per esposizione naturale a dosi di 1 mSv/anno



esempio di profilo temporale di dose per un lavoratore professionalmente esposto



## Confronto di pericolosità tra centrali a carbone e centrali nucleari

**Tabella 8.3**

**Rischi sanitari complessivi (popolazione + professionali) per la produzione di elettricità con centrali a carbone e nucleari**

Energia prodotta: 1000 MWe anno

| Autore   | Carbone                                             | Nucleare                                        |
|----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Hamilton | da 7,7 a 9,1 decessi                                | 0,77 decessi                                    |
| Holdren  | da $3,9 \times 10^4$ a $1,5 \times 10^6$<br>GLP (*) | da $3,4 \times 10^3$ a $8,2 \times 10^4$<br>GLP |
| Inhaber  | da $3,8 \times 10^4$ a $2,1 \times 10^6$<br>GLP     | da $2 \times 10^3$ a $1 \times 10^4$<br>GLP     |
| Pochin   | da 15 a 20 decessi                                  | da 1,5 a 2 decessi                              |
| CEPN     | da $3,8 \times 10^4$ a $4 \times 10^4$<br>GLP       | $3 \times 10^3$<br>GLP                          |

(\*) GLP = Giornate Lavorative Perdute, inclusi i decessi (1 Decesso = 6000 GLP).

Fonte: ref. (15). Per i riferimenti agli autori delle valutazioni, vedere ref. (16).

Riduzione dell'aspettativa di vita (in giorni)  
in funzione del particolare tipo di rischio

| Tipo di rischio                      | riduzione di aspettativa di vita |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Smoking 20 cigarettes a day          | 2370 (6.5 years)                 |
| Overweight by 20%                    | 985 (2.7 years)                  |
| Mining and Quarrying                 | 328                              |
| Construction                         | 302                              |
| Agriculture                          | 277                              |
| Government                           | 55                               |
| Manufacturing                        | 43                               |
| Radiation - 0.35 mSv/yr for 30 years | 49                               |
| Radiation - 0.1 mSv/yr for 70 years  | 34                               |

*Estimated Days of Life Expectancy Lost From Various Risk Factors*



Attività con RIM =  $10^{-6}$

|                                                       |
|-------------------------------------------------------|
| Smoking 1.4 cigarettes (lung cancer)                  |
| Radiation dose of 10 mrem (cancer)                    |
| Eating 40 tablespoons of peanut butter (liver cancer) |
| Eating 100 charcoal broiled steaks (cancer)           |
| Spending 2 days in New York City (air pollution)      |
| Driving 40 miles in a car (accident)                  |
| Flying 2,500 miles in a jet (accident)                |
| Canoeing for 6 minutes (accident)                     |

**Tabella 12.1**  
**Valutazioni di decessi annuali e di DAV per la popolazione USA**  
**dovuti alla produzione di energia**

| Sorgente                 | Decessi<br>per anno | Anni perduti<br>in media | Diminuzione di<br>Aspettativa di<br>Vita (giorni) |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>CARBONE</b>           |                     |                          |                                                   |
| Inquin. atmosferico      | 10.000              | 10                       | 11,5                                              |
| Inc. per il trasporto    | 300                 | 35                       | 1,0                                               |
|                          |                     |                          | <b>Tot. 12,5</b>                                  |
| <b>PETROLIO</b>          |                     |                          |                                                   |
| Inquin. atmosferico      | 2.000               | 10                       | 2,2                                               |
| Incendi                  | 500                 | 35                       | 2,0                                               |
|                          |                     |                          | <b>Tot. 4,2</b>                                   |
| <b>GAS</b>               |                     |                          |                                                   |
| Inquin. atmosferico      | 200                 | 10                       | 0,2                                               |
| Esplosioni               | 100                 | 35                       | 0,4                                               |
| Incendi                  | 100                 | 35                       | 0,4                                               |
| Asfissie                 | 500                 | 25                       | 1,5                                               |
|                          |                     |                          | <b>Tot. 2,5</b>                                   |
| <b>IDROELETTRICITÀ</b>   |                     |                          |                                                   |
| Cadute dighe             | 50                  | 35                       | 0,2                                               |
|                          |                     |                          | <b>Tot. 0,2</b>                                   |
| <b>NUCLEARE (400 GW)</b> |                     |                          |                                                   |
| Emissione di routine     | 8                   | 20                       | 0,018                                             |
| Incidenti                | 8                   | 20                       | 0,018                                             |
| Trasporto                | <0,01               | 20                       | —                                                 |
| Scorie                   | 0,4                 | 20                       | 0,001                                             |
| Tossicità Plutonio       | <0,01               | 20                       | —                                                 |
|                          |                     |                          | <b>Tot. 0,037</b>                                 |
| <b>Folgorazioni</b>      | <b>1.200</b>        | <b>35</b>                | <b>5,0</b>                                        |
| <b>TOTALE GENERALE</b>   |                     |                          | <b>24</b>                                         |

*Fonte: da ref. (3)*



# Dose Assorbita

Definisce la quantità di energia depositata in un qualsiasi mezzo da qualsiasi forma di radiazione ionizzante:

$$D = dE/dm$$

L'unità di misura è il Gray:

$$\text{Gy} = \text{J/kg}$$

La dose assorbita corrisponde ad 1Gray quando 1 Joule di energia viene depositato su 1 kg di materia.

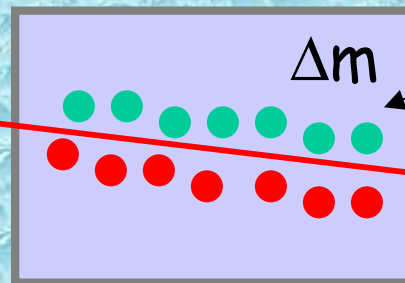
## Grandezze Dosimetriche

### Esposizione X

Misura la ionizzazione che raggi X o gamma producono in aria

$$X = \frac{q}{\Delta m}$$

$$q^+ = q^- \equiv q$$



aria

$\Delta m$

Si misura in Coulomb/kg

Molto usata e' la vecchia unita': il Roentgen [R]

$$1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$



# Dose Equivalente

Misura l'effetto biologico di un particolare tipo di radiazione:

$$H = S_R D_R W_R$$

$W_R$  è un coefficiente che dipende dal tipo di particella considerata:

$$W_R = 1 \text{ (b, X, g)}$$

$$W_R = 5 \text{ (p, n_{lenti})}$$

$$W_R = 5,20 \text{ (n_{veloci})}$$

$$W_R = 20 \text{ (a)}$$

La dose equivalente si misura in Sievert (Sv).

## Dose assorbita D

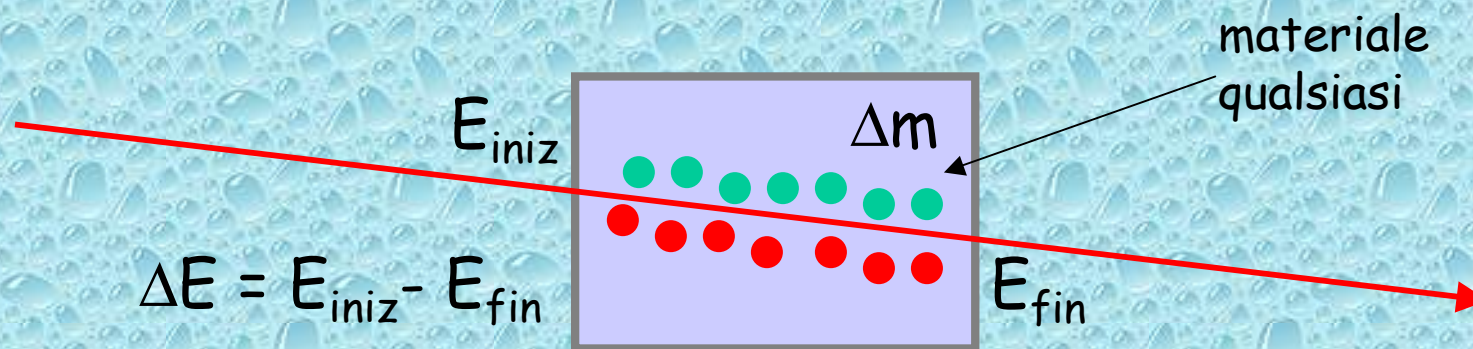
Misura l'energia rilasciata dalla radiazione nella unita' di massa

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Ad ogni interazione la radiazione cede una piccola parte della sua Energia alla materia

Particelle cariche: ionizzazione del mezzo attraversato

Fotoni: effetto fotoelettrico, Compton, produz. coppie



La dose assorbita D si misura in gray

1 gray = 1 Joule/kg

Dose assorbita D ed esposizione X sono ovviamente legate tra loro



## Fattore di qualita' Q

a parita' di Dose assorbita D il danno biologico dipende dal tipo di radiazione

Maggiore e' la densita' di ionizzazione (numero ionizzazioni prodotte Per unita' di percorso), maggiore e' il danno biologico

La ICRP ha introdotto un peso della pericolosita' delle radiazioni: il fattore Qualita' Q, tipico di ogni tipo di radiazione.

| Tipo di radiazione                         | Q  |
|--------------------------------------------|----|
| raggi X<br>raggi gamma<br>elettroni        | 1  |
| protoni<br>neutroni                        | 10 |
| particelle $\alpha$<br>partic. con $Z > 2$ | 20 |

Dose equivalente H

$$H = D \cdot Q$$

Quindi una dose assorbita, per esempio, pari a 200 mgray corrisponde ad una dose equivalente pari a:

200 mSv nel caso raggi X, fotoni o elettroni

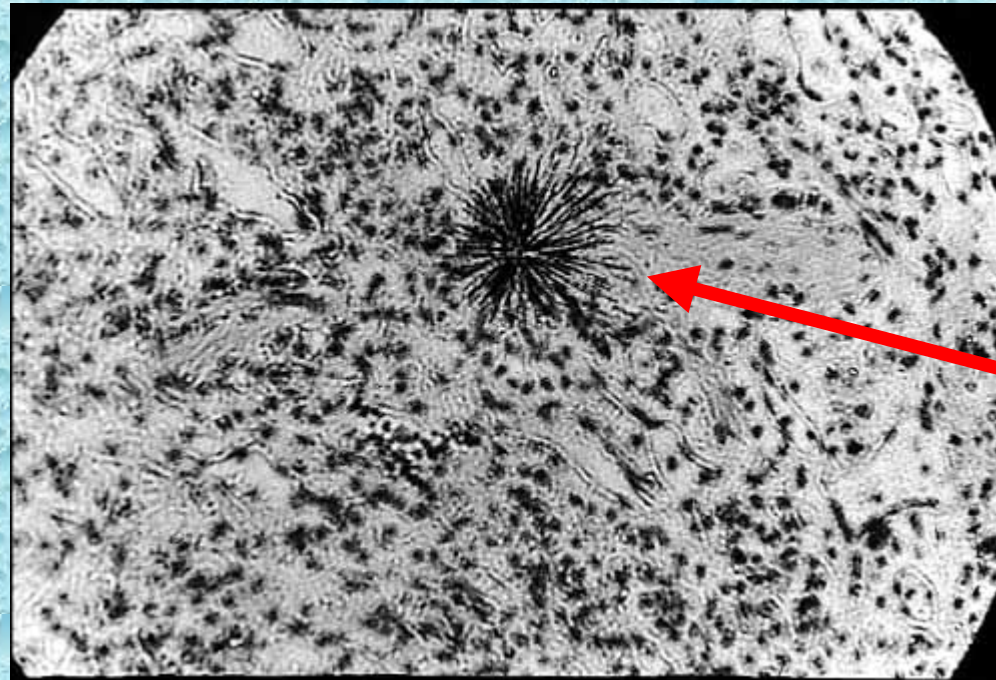
2 Sv nel caso di protoni o neutroni

4 Sv nel caso di particelle  $\alpha$



# Un esempio

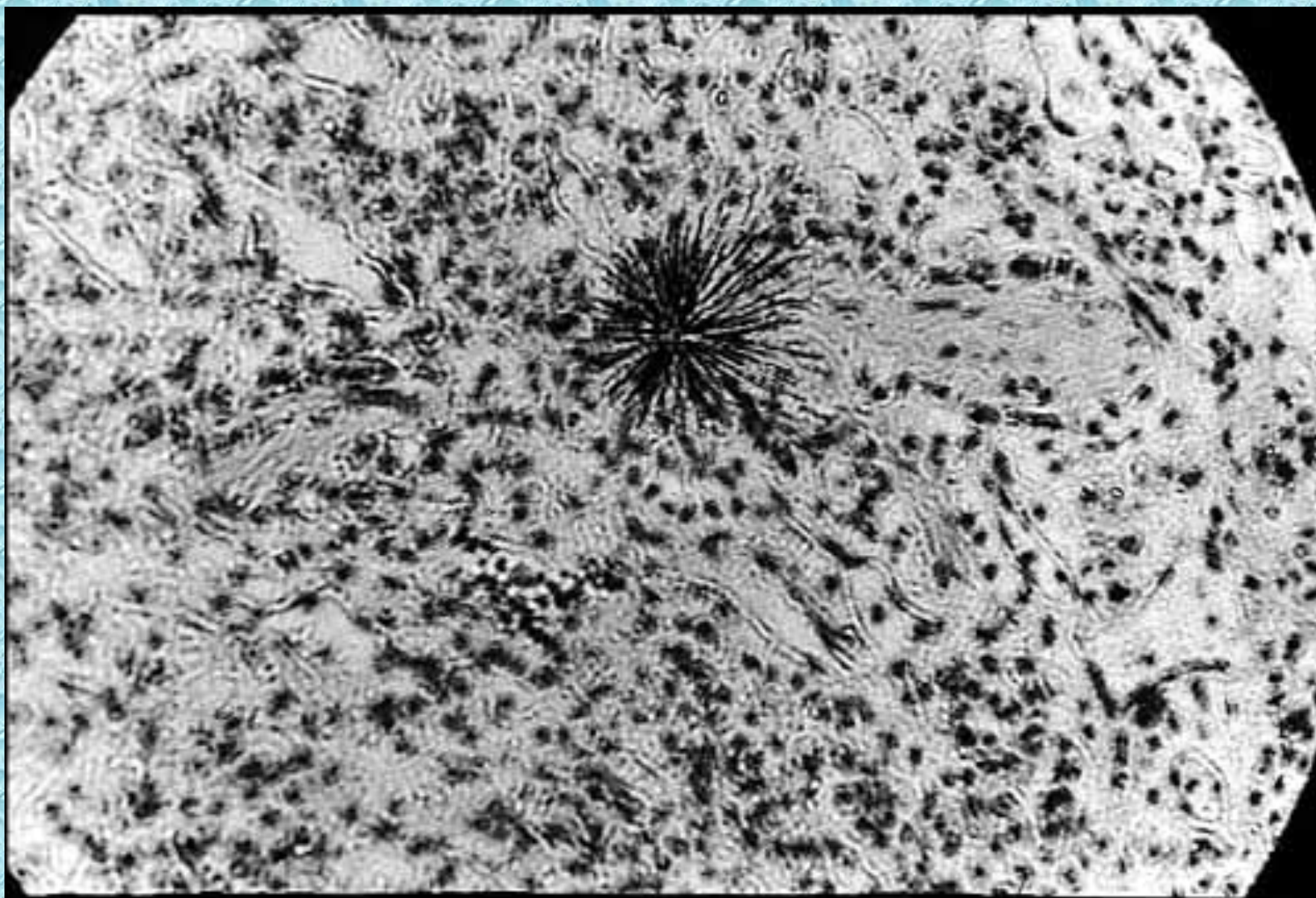
Nell'immagine è rappresentato l'effetto di un granello di Plutonio (dimensioni di ~1mm) depositatosi su tessuto polmonare di una scimmia.



L'immagine è ingrandita 500 volte e risultano ben visibili le tracce delle particelle alfa emesse dal plutonio.

Benché le particelle alfa siano arrestabili da un foglio di carta, si può ben comprendere quale possa essere l'effetto qualora, invece, vengano emesse dall'interno del corpo...





Fonte immagine <http://www.mindat.org/locus/Hot+Female+Lung+Disease1997.htm>



# Dose Efficace

La dose efficace è un indicatore del danno biologico causato dalle radiazioni su di un individuo pesando il danno in funzione del particolare tessuto interessato:

$$E = S_T H_T W_T$$

...per ovvie ragioni, anche la dose efficace si misura in Sievert (Sv).

# Intensità di Dose

L'intensità di dose (o "Dose Rate") esprime la quantità di dose ricevuta nel tempo:

$$\text{Dose} = \text{Intensità di Dose} * \text{Tempo}$$

... pertanto si misura in Sv/h.

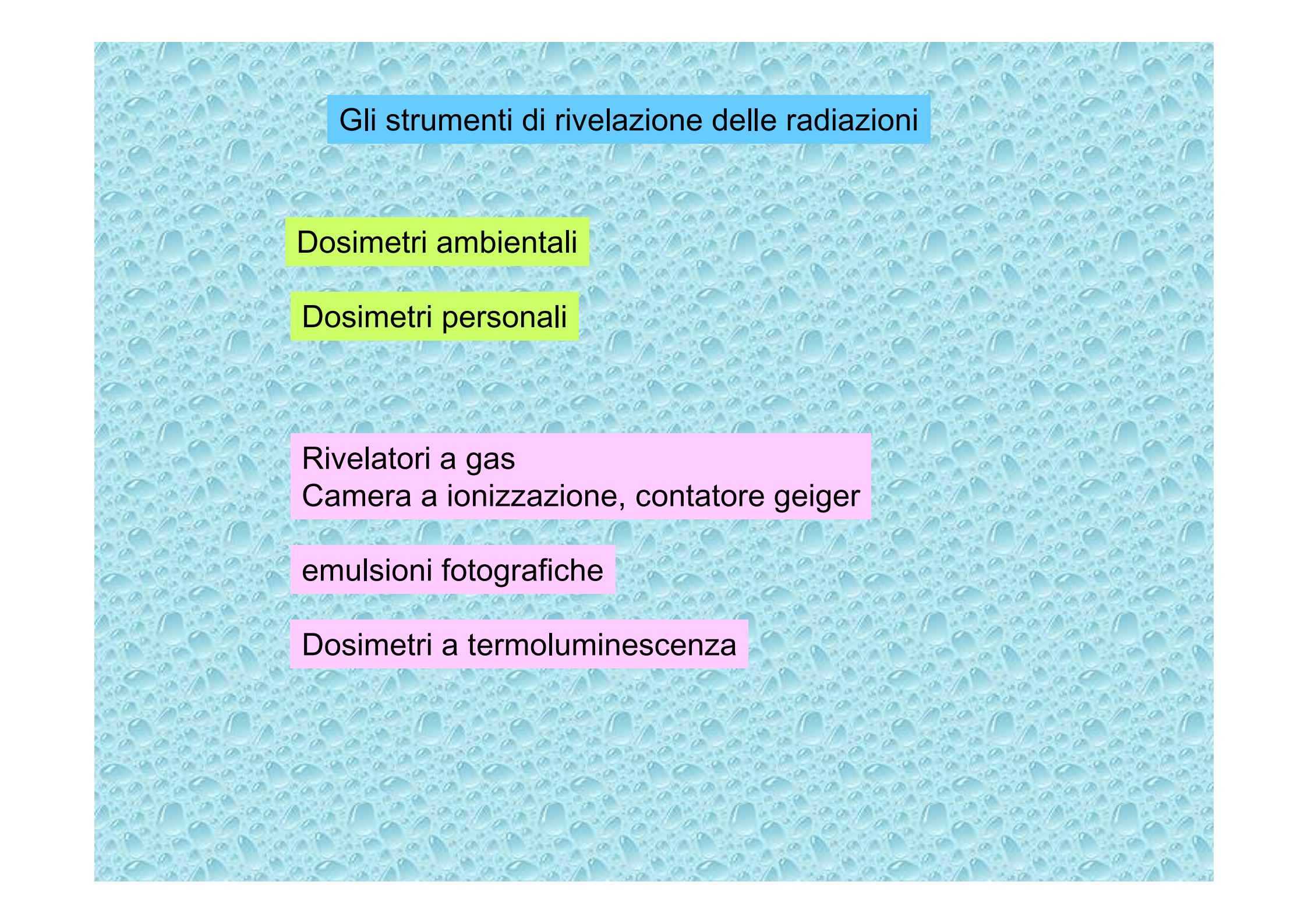


# Flusso

Definisce il numero di particelle (emesse da una sorgente puntiforme), che attraversano l'unità di superficie nell'unità di tempo ( $n/m^2s$ ).

$$\Phi = n/(4\pi r^2)$$

...e quindi:  $n/m^2s$ .



## Gli strumenti di rivelazione delle radiazioni

Dosimetri ambientali

Dosimetri personali

Rivelatori a gas

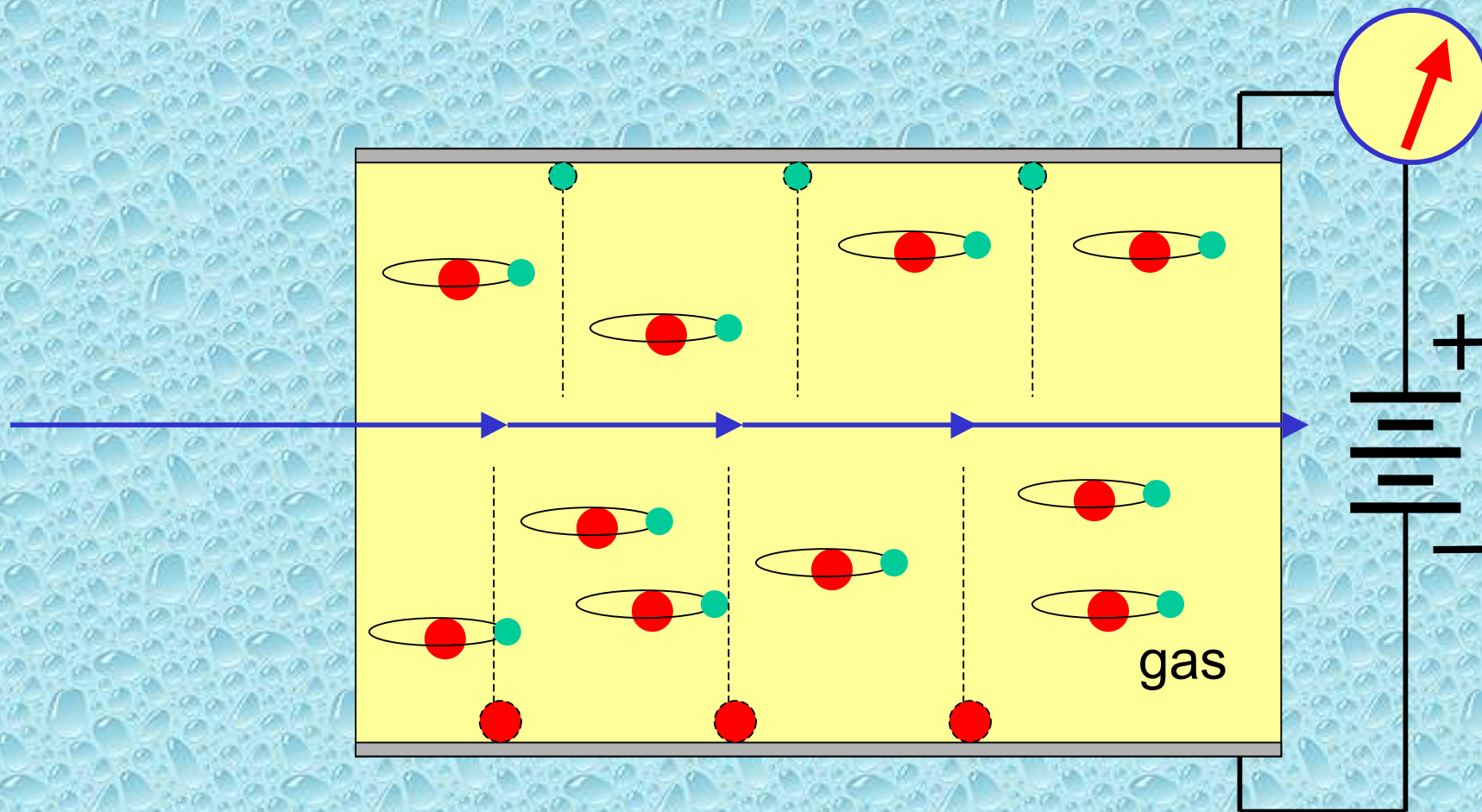
Camera a ionizzazione, contatore geiger

emulsioni fotografiche

Dosimetri a termoluminescenza



## Principio di funzionamento dei rivelatori a gas



## Principio di funzionamento dei rivelatori a gas

La radiazione ionizza le molecole del gas di riempimento  
Gli ioni + e gli elettroni – sono accelerati dal campo elettrico  
Interno al rivelatore e raccolti dalle armature

La carica raccolta  $Q$  induce una differenza di potenziale  
ai capi del condensatore di capacità  $C$

$$\Delta V = Q/C$$

Dalla misura di  $\Delta V$  si risale a  $Q$  e quindi alla Esposizione



## Principio di funzionamento dei rivelatori a gas

funzionano con questo principio:  
Contatori Geiger  
Camere ad ionizzazione  
Penne dosimetriche individuali



## rivelatori a gas: Camere ad ionizzazione



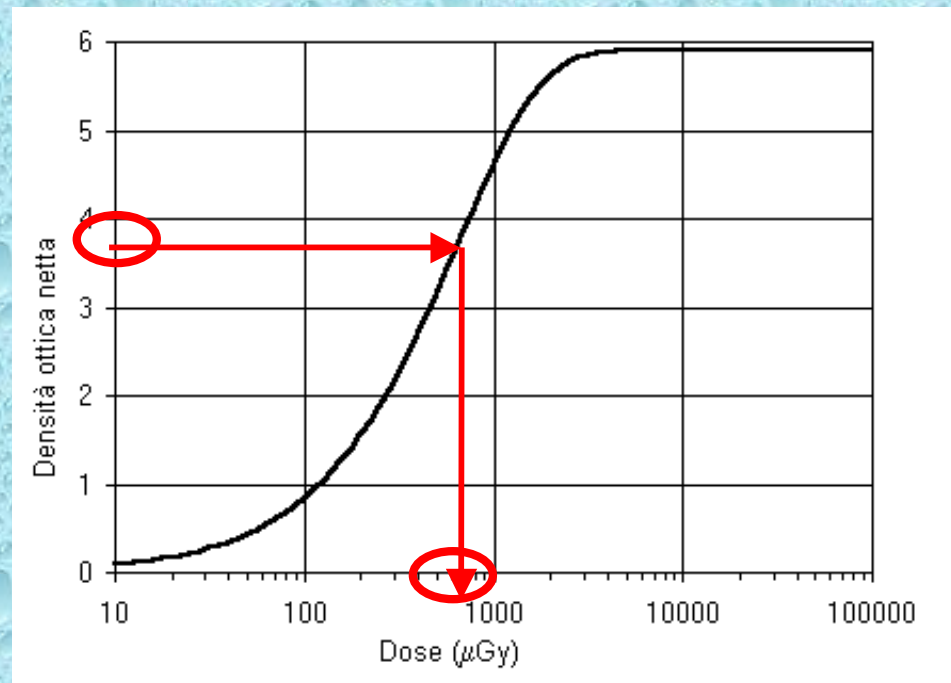


rivelatori a gas: penne dosimetriche individuali



## Emulsioni fotografiche

Una emulsione fotografica irradiata viene impressionata come nel caso della luce visibile e “annerisce”  
L’annerimento e’ proporzionale alla dose



Si ottiene la misura della dose “integrale” assorbita dalla pellicola durante l’intero periodo di esposizione



## Vari tipi di film-badge



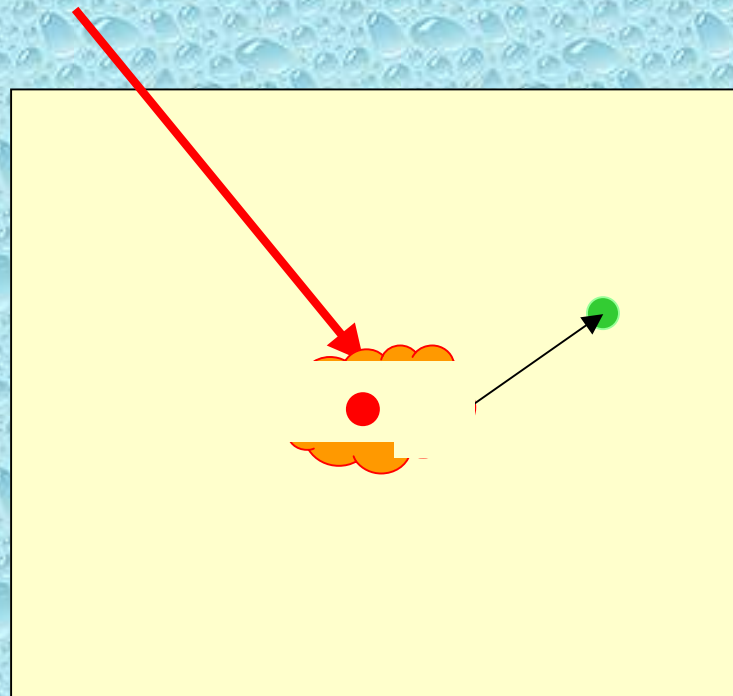
Devono essere  
**SEMPRE**  
portati al seguito

Una volta letti, costituiscono un documento  
Stabile ed archiviabile della dose ricevuta

## Dosimetri a termoluminescenza (TLD)

### Principio fisico di funzionamento

Termoluminescenza = emissione di luce, a seguito di riscaldamento da parte di alcuni materiali isolanti ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{LiF}$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )





La fase di lettura del dosimetro consiste  
quindi nel suo riscaldamento

Un fotomoltiplicatore legge  
la luce emessa



Prporzionale al numero di elettroni  
intrappolati



Proporzionale alla dose assorbita



## Alcuni tipi di dosimetri TLD



NEUTRON ADDITION





## Dispositivi di protezione e monitoraggio individuali



# Principali dispositivi legislativi della Radioprotezione

ICRP → EURATOM → Normativa

Nazionale

- Legge 1869/62 →
  - DPR 185/64 →
  - D.L.vo 230/95 →
  - D.L.vo 241/00 →
- Protezione dei lavoratori e della popolazione.
- 
- D.Lvo 187/00 →
- Protezione dei pazienti sottoposti ad esposizioni sanitarie.

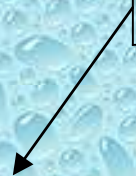


**L'uso di sorgenti di radiazioni**  
(macchine radiogene e materiali radioattivi)



**Rischi biologici**

- Operatori
- Pazienti (campo sanitario)
- Popolazione



**Limitate i rischi**



**RADIOPROTEZIONE**



**Principi fondamentali**

- Giustificazione
- Ottimizzazione
- Limitazione delle dosi

(Disciplina a forte contenuto fisico, biologico e naturalistico che ha l'obiettivo di preservare lo stato di salute dei lavoratori e della popolazione, riducendo i rischi sanitari indotti dall'uso delle radiazioni ionizzanti nelle attività umane *giustificate* dai benefici che ne derivano alla società ed ai suoi membri).

(C. Polvani 80).

## Scopi della Radioprotezione

La *prevenzione* degli effetti dannosi non stocastici e la limitazione a livelli considerati accettabili della probabilità di accadimento degli effetti stocastici.



- La *prevenzione* degli effetti *non stocastici* può essere ottenuta fissando dei limiti di dose a valori inferiori a quelli della dose soglia.
- La *limitazione* degli effetti stocastici è ottenuta mantenendo tutte le esposizioni che risultino giustificate ad un livello tanto basso quanto ragionevolmente ottenibile.



# Campo di applicazione

## 1. Le disposizioni del presente decreto si applicano:

- a) alla costruzione, all'esercizio ed alla disattivazione degli impianti nucleari;
- b) a tutte le pratiche che implicano un rischio dovuto a radiazioni ionizzanti provenienti da una sorgente artificiale o da una sorgente naturale nei casi in cui i radionuclidi naturali siano o siano stati trattati per le loro proprietà radioattive fissili o fertili e cioè:
  - alla produzione, trattamento, manipolazione, detenzione, deposito, trasporto, importazione, esportazione, impiego, commercio, cessazione della detenzione, raccolta e smaltimento di materie radioattive;
  - al funzionamento di macchine radiogene;
  - alle lavorazioni minerarie secondo la specifica disciplina di cui al capo IV.
  - alle attività lavorative diverse dalle pratiche di cui ai punti 1, e 3 che implicano la presenza di sorgenti naturali di radiazioni, secondo la specifica disciplina di cui al capo III-bis;
  - agli interventi in caso di emergenza radiologica o nucleare o in caso di esposizione prolungata dovuta agli effetti di un'emergenza oppure di una pratica o di un'attività lavorativa non più in atto, secondo la specifica disciplina di cui al capo X.

Il presente decreto non si applica all'esposizione

al radon nelle abitazioni o al fondo naturale di radiazione, ossia non si applica né ai radionuclidi contenuti nell'organismo umano, né alla radiazione cosmica presente al livello del suolo, né all'esposizione in superficie ai radionuclidi presenti nella crosta terrestre non perturbata.

Dal campo di applicazione sono escluse le operazioni di aratura, di scavo o di riempimento effettuate nel corso di attività agricole o di costruzione, fuori dei casi in cui dette operazioni siano svolte nell'ambito di interventi per il recupero di suoli contaminati con materie radioattive.



## **PRINCIPI FONDAMENTALI DELLA RADIOPROTEZIONE**

**GIUSTIFICAZIONE:** Qualunque attività umana che comporti l'uso di radiazioni ionizzanti deve apportare un beneficio sociale netto ed accertato.

**OTTIMIZZAZIONE:** Tutte le esposizioni devono essere tenute tanto basse quanto è concretamente ottenibile.

**LIMITAZIONE DELLE DOSI:** I limiti di dose devono essere scelti in modo che i rischi indotti siano minimi e paragonabili a quelli associati ad altre attività lavorative non particolarmente rischiose.

**La somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e gli individui della popolazione.**

**Tale principio non si applica alle seguenti esposizioni:**

- **esposizioni di pazienti nell'ambito di un esame diagnostico o di una terapia che li concerne**
- esposizione di persone che coscientemente e volontariamente collaborano a titolo non professionale al sostegno e all'assistenza di pazienti sottoposti a terapia o a diagnosi medica;
- esposizione di volontari che prendono parte a programmi di ricerca medica o biomedica, essendo tale esposizione disciplinata da altro provvedimento legislativo;
- esposizioni disciplinate in modo particolare dal presente decreto e dai relativi provvedimenti applicativi.



## Art. 4

### Definizioni

- a) acceleratore:** apparecchio o impianto in cui sono accelerate particelle e che emette radiazioni ionizzanti con energia superiore a un mega electron volt (1 MeV);
- b) apprendista:** persona che riceve in un'impresa un'istruzione e una formazione allo scopo di esercitare un mestiere specifico;
- c) attivazione:** processo per effetto del quale un nuclide stabile si trasforma in radionuclide, a seguito di irradiazione con particelle o con raggi gamma ad alta energia del materiale in cui è contenuto;
- d) attività (A):** quoziente di  $dN$  diviso per  $dt$ , in cui  $dN$  è il numero atteso di transizioni nucleari spontanee di una determinata quantità di un radionuclide da uno stato particolare di energia in un momento determinato, nell'intervallo di tempo  $dt$ ;
- e) autorità competente:** quella indicata nelle specifiche disposizioni;
- f) becquerel (Bq):** nome speciale dell'unità di attività (A); un bequerel equivale ad una transizione al secondo:  
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$   
I fattori di conversione da utilizzare quando l'attività è espressa in curie (Ci) sono i seguenti:  
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$  (esattamente)  
 $1 \text{ Bq} = 2,7027 \times 10^{-11} \text{ Ci}$

**g) combustibile nucleare:** le materie fissili impiegate o destinate ad essere impiegate in un impianto nucleare; sono inclusi l'uranio in forma di metallo, di lega o di composto chimico (compreso l'uranio naturale), il plutonio in forma di metallo, di lega o di composto chimico ed ogni altra materia fissile che sarà qualificata come combustibile con decisione del Comitato direttivo dell'Agenzia per l'energia nucleare dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE);

**h) contaminazione radioattiva:** contaminazione di una matrice, di una superficie, di un ambiente di vita o di lavoro o di un individuo, prodotta da sostanze radioattive. Nel caso particolare del corpo umano, la contaminazione radioattiva include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa si sia prodotta;

**i) datore di lavoro di impresa esterna:** soggetto che, mediante lavoratori di categoria A, effettua prestazioni in una o più zone controllate di impianti, stabilimenti, laboratori, installazioni in genere, estiti da terzi; non rientrano nella presente definizione i soggetti la cui attività sia la sola a determinare la costituzione di una o più zone controllate presso le installazioni dei terzi, ai quali soggetti si applicano le disposizioni generali del presente decreto;

**l) detrimento sanitario:** stima del rischio di riduzione della durata e della qualità della vita che si verifica in una popolazione a seguito dell'esposizione a radiazioni ionizzanti. Essa include la riduzione derivante da effetti somatici, cancro e gravi disfunzioni genetiche;

**m) dose:** grandezza radioprotezionistica ottenuta moltiplicando la dose assorbita (D) per fattori di modifica determinati a norma dell'articolo 96, al fine di qualificare il significato della dose assorbita stessa per gli scopi della radioprotezione;



**n) dose assorbita (D):** energia assorbita per unità di massa, e cioè il quoziente di  $dE$  diviso per  $dm$ , in cui  $dE$  l'energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un elemento volumetrico e  $dm$  la massa di materia contenuta in tale elemento volumetrico; ai fini del presente decreto, la dose assorbita indica la dose media in un tessuto o in un organo. L'unità di dose assorbita è il gray;

**o) dose efficace (E):** somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, ponderate nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose efficace è il sievert;

**p) dose efficace impegnata (E(t)):** somma delle dosi equivalenti impegnate nei diversi organi o tessuti  $HT(t)$  risultanti dall'introduzione di uno o più radionuclidi, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione  $w_T$ ; l'unità di dose efficace impegnata è il sievert;

**q) dose impegnata:** dose ricevuta da un organo o da un tessuto, in un determinato periodo di tempo, in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi;

**r) dose equivalente (HT):** dose assorbita media in un tessuto o organo  $T$ , ponderata in base al tipo e alla qualità della radiazione nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose equivalente è il sievert;

**s) dose equivalente impegnata:** integrale rispetto al tempo dell'intensità di dose equivalente in un tessuto o organo  $T$  che sarà ricevuta da un individuo, in quel tessuto o organo  $T$ , a seguito dell'introduzione di uno o più radionuclidi;

**t) emergenza:** una situazione che richiede azioni urgenti per proteggere lavoratori, individui della popolazione ovvero l'intera popolazione o parte di essa;

**u) esperto qualificato:** persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione riconosciuta secondo le procedure stabilite nel presente decreto;

**a) esposizione:** qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti. Si distinguono:

1. l'esposizione esterna: esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo;
2. l'esposizione interna: esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo;
2. l'esposizione totale: combinazione dell'esposizione esterna e dell'esposizione interna;

**z) esposizione accidentale:** esposizione di singole persone a carattere fortuito e involontario.



**a) esposizione d'emergenza:** esposizione giustificata in condizioni particolari per soccorrere individui in pericolo, prevenire l'esposizione di un gran numero di persone o salvare un'installazione di valore e che può provocare il superamento di uno dei limiti di dose fissati per i lavoratori esposti;

**b) esposizione parziale:** esposizione che colpisce soprattutto una parte dell'organismo o uno o più organi o tessuti, oppure esposizione del corpo intero considerata non omogenea;

**c) esposizione potenziale:** esposizione che, pur non essendo certa, ha una probabilità di verificarsi prevedibile in anticipo;

**d) esposizione soggetta ad autorizzazione speciale:** esposizione che comporta il superamento di uno dei limiti di dose annuale fissati per i lavoratori esposti, ammessa in via eccezionale solo nei casi indicati nel decreto di cui all'articolo 82;

**e) fondo naturale di radiazioni:** insieme delle radiazioni ionizzanti provenienti da sorgenti naturali, sia terrestri che cosmiche, semprechè l'esposizione che ne risulta non sia accresciuta in modo significativo da attività umane;

**f) gestione dei rifiuti:** insieme delle attività concernenti i rifiuti: raccolta, cernita, trattamento e condizionamento, deposito, trasporto, allontanamento e smaltimento nell'ambiente;

**g) gray (Gy):** nome speciale dell'unità di dose assorbita

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J Kg}^{-1}$$

I fattori di conversione da utilizzare quando la dose assorbita è espressa in rad sono i seguenti:

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy} \quad 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad};$$



**h) gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione:** gruppi che comprendono persone la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione ad una determinata fonte di esposizione;

**i) incidente:** evento imprevisto che provoca danni ad un'installazione o ne perturba il buon funzionamento e può comportare, per una o più persone, dosi superiori ai limiti;

**l) intervento:** attività umana intesa a prevenire o diminuire l'esposizione degli individui alle radiazioni dalle sorgenti che non fanno parte di una pratica o che sono fuori controllo per effetto di un incidente, mediante azioni sulle sorgenti, sulle vie di esposizione e sugli individui stessi;

**m) introduzione:** attività dei radionuclidi che penetrano nell'organismo provenienti dall'ambiente esterno;

**n) lavoratore esterno:** lavoratore di categoria A che effettua prestazioni in una o più zone controllate di impianti, stabilimenti, laboratori, installazioni in genere gestiti da terzi in qualità sia di dipendente, anche con contratto a termine, di una impresa esterna, sia di lavoratore autonomo, sia di apprendista o studente;

**o) lavoratori esposti:** persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico.

Sono lavoratori esposti di categoria A i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno solare una dose superiore a uno dei pertinenti valori stabiliti con il decreto di cui all'articolo 10. I lavoratori esposti sono classificati in categoria B;

**p) limiti di dose:** limiti massimi fissati per le dosi derivanti dall'esposizione dei lavoratori, degli apprendisti, degli studenti e delle persone del pubblico, alle radiazioni ionizzanti causate dalle attività disciplinate dal presente decreto. I limiti di dose si applicano alla somma delle dosi ricevute per esposizioni esterne nel periodo considerato e delle dosi impegnate derivanti dall'introduzione di radionuclidi nello stesso pe



**q) livelli di allontanamento:** valori, espressi in termini di concentrazioni di attività o di attività totale, in relazione ai quali possono essere esentati dalle prescrizioni di cui al presente decreto le sostanze radioattive o i materiali contenenti sostanze radioattive derivanti da pratiche soggette agli obblighi previsti dal decreto;

**r) livello di intervento:** valore di dose oppure valore derivato, fissato al fine di predisporre interventi di radioprotezione;

**s) materia radioattiva:** sostanza o insieme di sostanze radioattive contemporaneamente presenti. Sono fatte salve le particolari definizioni per le materie fissili speciali, le materie grezze, i minerali quali definiti dall'articolo. 197 del trattato che istituisce la Comunità europea dell'energia atomica e cioè le materie fissili speciali, le materie grezze e i minerali nonché i combustibili nucleari;

**t) materie fissili speciali:** il plutonio 239, l'uranio 233, l'uranio arricchito in uranio 235 o 233; qualsiasi prodotto contenente uno o più degli isotopi suddetti e le materie fissili che saranno definite dal Consiglio delle Comunità europee; il termine "materie fissili speciali" non si applica alle materie grezze;

**u) materie grezze:** l'uranio contenente la mescolanza di isotopi che si trova in natura, l'uranio in cui il tenore di uranio 235 sia inferiore al normale, il torio, tutte le materie summenzionate sotto forma di metallo, di leghe, di composti chimici o di concentrati, qualsiasi altra materia contenente una o più delle materie summenzionate con tassi di concentrazione definiti dal Consiglio delle Comunità europee;

**v) matrice:** qualsiasi sostanza o materiale che può essere contaminato da materie radioattive; sono ricompresi in tale definizione le matrici ambientali e gli alimenti;



**z) matrice ambientale:** qualsiasi componente dell'ambiente, ivi compresi aria, acqua e suolo.  
Inoltre si intende per:

**a) medico autorizzato:** medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite nel presente decreto;

**b) minerale:** qualsiasi minerale contenente, con tassi di concentrazione media definita dal Consiglio delle Comunità europee, sostanze che permettano di ottenere attraverso trattamenti chimici e fisici appropriati le materie grezze;

**c) persone del pubblico:** individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività e gli individui durante l'esposizione di cui all'articolo 3, comma 5;

**d) popolazione nel suo insieme:** l'intera popolazione, ossia i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico;

**e) pratica:** attività umana che è suscettibile di aumentare l'esposizione degli individui alle radiazioni provenienti da una sorgente artificiale, o da una sorgente naturale di radiazioni, nel caso in cui radionuclidi naturali siano trattati per le loro proprietà radioattive, fissili e fertili, o da quelle delle sorgenti naturali di radiazioni che divengono soggette a disposizioni del presente decreto ai sensi del capo III-bis.  
Sono escluse le esposizioni dovute a interventi di emergenza;

**f) radiazioni ionizzanti o radiazioni:** trasferimento di energia in forma di particelle o onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda non superiore a 100 nm o con frequenza non minore di  $3 \times 10^{15}$  Hz in grado di produrre ioni direttamente o indirettamente;



**g) riciclo:** la cessione deliberata di materiali a soggetti al di fuori dell'esercizio di pratiche di cui ai capi IV, VI e VII, al fine del reimpiego dei materiali stessi attraverso lavorazioni;

**h) riutilizzazione:** la cessione deliberata di materiali ai soggetti di cui alla lettera g) al fine del loro reimpiego diretto, senza lavorazioni;

**i) rifiuti radioattivi:** qualsiasi materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non è previsto il riciclo o la riutilizzazione;

**l) servizio riconosciuto di dosimetria individuale:** struttura riconosciuta idonea alle rilevazioni delle letture dei dispositivi di sorveglianza dosimetrica individuale, o la misurazione della radioattività nel corpo umano o nei campioni biologici. L'idoneità a svolgere tali funzioni è riconosciuta secondo le procedure stabilite nel presente decreto;

**m) sievert (Sv):** nome speciale dell'unità di dose equivalente o di dose efficace.

Se il prodotto dei fattori di modifica è uguale a 1

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

Quando la dose equivalente o la dose efficace sono espresse in rem valgono le seguenti relazioni:

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv} \quad 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem};$$

**n) smaltimento:** collocazione dei rifiuti, secondo modalità idonee, in un deposito, o in un determinato sito, senza intenzione di recuperarli;

**o) smaltimento nell'ambiente:** immissione pianificata di rifiuti radioattivi nell'ambiente in condizioni controllate, entro limiti autorizzati o stabiliti dal presente decreto;

**p) sorgente artificiale:** sorgente di radiazioni diversa dalla sorgente naturale di radiazioni;

**q) sorgente di radiazioni:** apparecchio generatore di radiazioni ionizzanti (macchina radiogena) o materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, dei quali, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività, o la concentrazione di radionuclidi, o l'emissione di radiazioni;

**r) sorgente naturale di radiazioni:** sorgente di radiazioni ionizzanti di origine naturale, sia terrestre che cosmica;

**s) sorgente non sigillata:** qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata;

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

**u) sorveglianza fisica:** l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e 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;

**v) sorveglianza medica:** l'insieme delle visite mediche, delle indagini specialistiche e di laboratorio, dei provvedimenti sanitari adottati dal medico, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti;



**z) sostanza radioattiva:** ogni specie chimica contenente uno o più radionuclidi di cui, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività o la concentrazione.

**Inoltre....**

**a) uranio arricchito in uranio 235 o 233:** l'uranio contenente sia l'uranio 235, sia l'uranio 233, sia questi due isotopi, in quantità tali che il rapporto tra la somma di questi due isotopi e l'isotopo 238 sia superiore al rapporto tra isotopo 235 e l'isotopo 238 nell'uranio naturale;

**b) vincolo:** valore di grandezza radioprotezionistica, fissato per particolari condizioni ai sensi del presente decreto, ai fini dell'applicazione del principio di ottimizzazione;

**c) 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, sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti, in cui si verificano le condizioni stabilite con il decreto di cui all'articolo 82 ed 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 fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata;

# Adempimenti del Datore di Lavoro e del Preposto

- a. Prima dell'inizio dell'attività acquisire dall'Esperto Qualificato la relazione di radioprotezione fornendogli dati e planimetrie.
- b. Far classificare le zone e segnalare gli ambienti a rischio.
- c. Provvedere per classificare i lavoratori.
- d. Predisporre norme interne, e regolamentare l'accesso.
- e. Fornire ai lavoratori i mezzi di sorveglianza e di protezione.
- f. Informare i lavoratori sui rischi e sulle norme.
- g. Far rispettare le norme ed il corretto uso dei mezzi di protezione.
- h. Segnalare con contrassegni le sorgenti di radiazioni.
- i. Istituire e compilare il registro di carico-scarico delle sorgenti,
- l. Comunicare ai lavoratori i dati dosimetrici.

*PER I SUDDETTI OBBLIGHI, IL DATORE DI LAVORO SI AVVALE DELLE INDICAZIONI FORNITE DALL'ESPERTO QUALIFICATO.*



# Principali compiti dell'Esperto Qualificato

- Effettuare la delimitazione delle zone controllate e sorvegliate.
- Classificare il personale esposto.
- Effettuare le valutazioni di radioprotezione.
- Effettuare i controlli sui dispositivi di sicurezza.
- Effettuare la sorveglianza ambientale nei luoghi di lavoro.
- Valutare la dose assorbita dai lavoratori.
- Istituire e compilare i documenti di radioprotezione (registri e schede dosimetriche).

# Obblighi dei Lavoratori

- a) osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro ...
- b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica ...
- c) segnalare immediatamente al datore di lavoro, le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo ...
- d) non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza ...
- 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.



# Classificazione dei lavoratori

I lavoratori devono essere distinti in **lavoratori esposti** e **lavoratori non esposti**.

- Sono classificati **lavoratori esposti** i soggetti che sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti per le persone del pubblico.
- Sono considerati **lavoratori non esposti** i soggetti sottoposti ad una esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

Sono previsti diversi adempimenti di sorveglianza fisica e medica per i lavoratori esposti a secondo della loro categoria di classificazione.

# Classificazione dei lavoratori

I lavoratori esposti devono essere ulteriormente suddivisi in due categorie: A e B.



| Limiti di dose individuale: mSv/anno solare |                                   |                                   |                                         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
|                                             | Lavoratori esposti<br>Categoria A | Lavoratori esposti<br>Categoria B | Lavoratori non esposti<br>e popolazione |
| Dose efficace                               | 20                                | 6                                 | 1                                       |
| Dose equivalente<br>Cristallino             | 150                               | 45                                | 15                                      |
| Dose equivalente<br>Pelle ed estremità      | 500                               | 150                               | 50                                      |



# Classificazione zone

**Zona Controllata:** Ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei limiti di dose che stabiliscono la definizione di lavoratore di Categoria A.

Inoltre, ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico, ma che non debba essere classificata Zona Controllata, è classificata **Zona Sorvegliata**.

*Le Zone Controllate e le Zone Sorvegliate devono essere delimitate e segnalate utilizzando la segnaletica definita dalle norme.*

*Nelle Zone Controllate l'accesso è regolamentato.*

# Dosimetro individuale

- E' prescritto dall'E. Q.
- Il dosimetro è individuale e si porta:
  - al petto e, se prescritto, alla mano o al polso
  - sotto eventuali indumenti schermanti
- *Si usa durante il lavoro solo nella struttura per cui è stato assegnato*
- *non si scambia con il collega*
- *lontano da sorgenti di calore, né manomesso*
- *al termine del lavoro riporlo e non abbandonarlo*
- *se smarrito, avvisare ed attendere sostituzione*

*Deve essere fornito da un Servizio di Dosimetria certificato*



# Disposizioni particolari

- *Lavoratrici in età fertile*

La dose all'addome in un trimestre non deve superare 13 mSv.

- *Lavoratrici gestanti*

Obbligo di comunicazione al datore di lavoro. Non possono svolgere attività che le espongano al rischio di superare i limiti di dose per i lavoratori non esposti (e al feto inferiore a 1 mSv).

- *Lavoratrici che allattano*

Non possono eseguire un lavoro implicante un rischio di contaminazione.

# Disposizioni particolari

- *Studenti*

Per gli studenti (di età non inferiore a 18 anni) si applicano le stesse modalità di classificazione stabilite per i lavoratori. Possono quindi essere inclusi nelle categorie A e B dei lavoratori esposti o in quella dei lavoratori non esposti.

- *Minori*

I minori di 18 anni non possono esercitare attività di lavoratori esposti. Gli apprendisti e studenti minori di 18 anni non possono superare i limiti specifici stabiliti



## TAC

In tomografia computerizzata le dosi al paziente possono essere elevate (dipendentemente dallo spessore dello strato e dal numero di strati) ma le dosi efficaci assorbite dal personale in sala comandi risultano di solito estremamente basse.

Per il personale alla console di una TAC la tomografia computerizzata non rappresenta una significativa fonte di rischio.

solo in esami particolari, in cui e' necessario lo stazionamento nelle vicinanze del gantry, il personale e' interessato a campi di radiazioni rilevanti (da 5 a 20  $\mu\text{Gy}/\text{strato}$ ).

# Mammografia



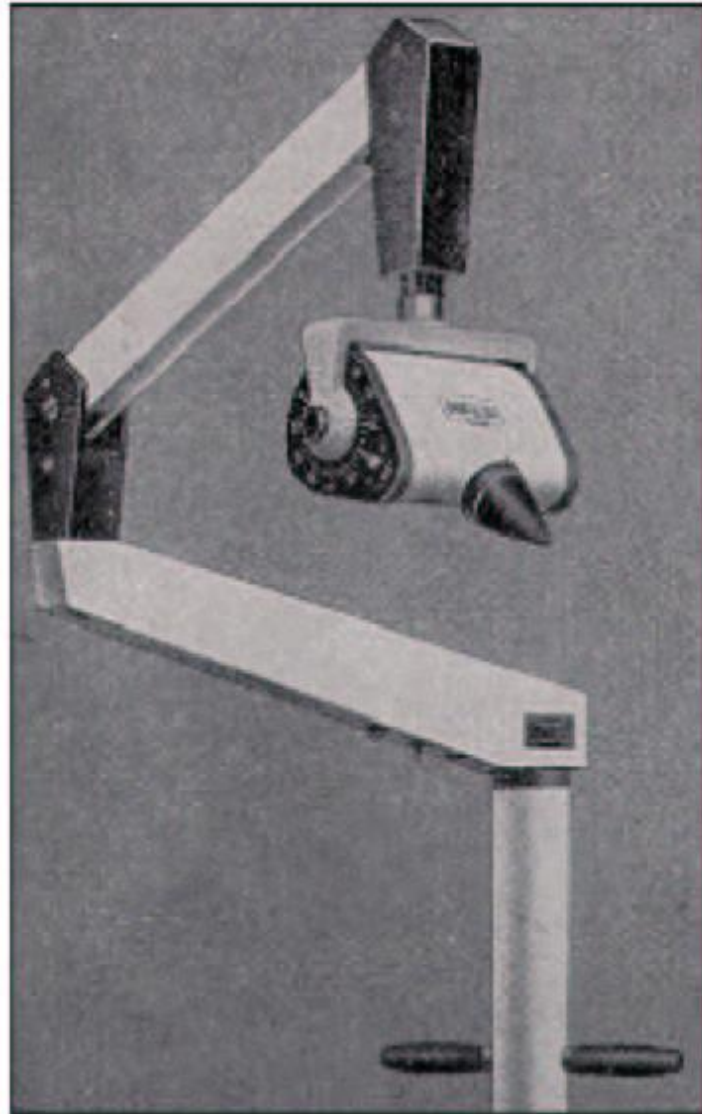
Mammografo

Per quanto attiene le procedure  
**mammografiche**:

con apparecchiature dedicate e  
procedure ottimizzate le esposizioni  
lavorative risultano di assoluta  
irrilevanza radioprotezionistica.



# Radiologia dentale



Monoblocco dentale

Per quanto attiene le procedure di **radiologia dentale**:

con apparecchiature dedicate e procedure ottimizzate le esposizioni lavorative risultano di assoluta irrilevanza radioprotezionistica.

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

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

## Radioimmunologia R.I.A.



*Modalità di manipolazione beta emittenti di alta energia*



|                                                                  |                                                                                                                                                                                             |                                                       |                                                   |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| impiego diagnostico in vivo                                      | 2 - 5 $\mu\text{Sv}$ /esame                                                                                                                                                                 | 3 - 4 mSv/anno per operatore (< 8 mSv/anno)           | 5 - 20 $\mu\text{Sv}$ /esame alle mani            |
| impiego terapeutico (terapia dell'ipertiroidismo)                | < 1 $\mu\text{Sv}$ /terapia (preparazione e somministrazione)                                                                                                                               | < 5 $\mu\text{Sv}$ /terapia (assistenza al paziente)  |                                                   |
| impiego terapeutico (terapia delle metastasi da tumore tiroideo) | < 10 $\mu\text{Sv}$ /terapia (preparazione e somministrazione)                                                                                                                              | < 50 $\mu\text{Sv}$ /terapia (assistenza al paziente) |                                                   |
| impiego "in vitro"                                               | rischio molto contenuto salvo casi particolari, quali l'impiego di emettitori beta di alta energia (ad es. $^{32}\text{P}$ ), per cui occorre l'impiego di particolari mezzi di protezione. |                                                       | << 1 mSv/anno (per le normali attività sanitarie) |

*Tipiche dosi connesse all'impiego di sostanze radioattive in forma non sigillata a scopo terapeutico*