



LA FISICA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI



MINISTERO DELL'INTERNO
Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
Ispettorato Nazionale del Corpo Militare della Croce Rossa Italiana
1° Workshop "Radioprotezione sanitaria"
Roma - 19 dicembre 2011



Sandro Sandri

Responsabile del laboratorio ENEA IRP FUAC

ENEA Istituto di Radioprotezione, CR Frascati

Presidente AIRP – Associazione Italiana di Radioprotezione

sandro.sandri@enea.it



Cos'è Una Radiazione

2



**TRASPORTO DI ENERGIA TRA
PUNTI DIVERSI DELLO SPAZIO
SENZA MOVIMENTO DI CORPI
MACROSCOPICI E SENZA
BISOGNO DI UN MEZZO DI
PROPAGAZIONE MATERIALE**

Cos'è Una Radiazione Ionizzante

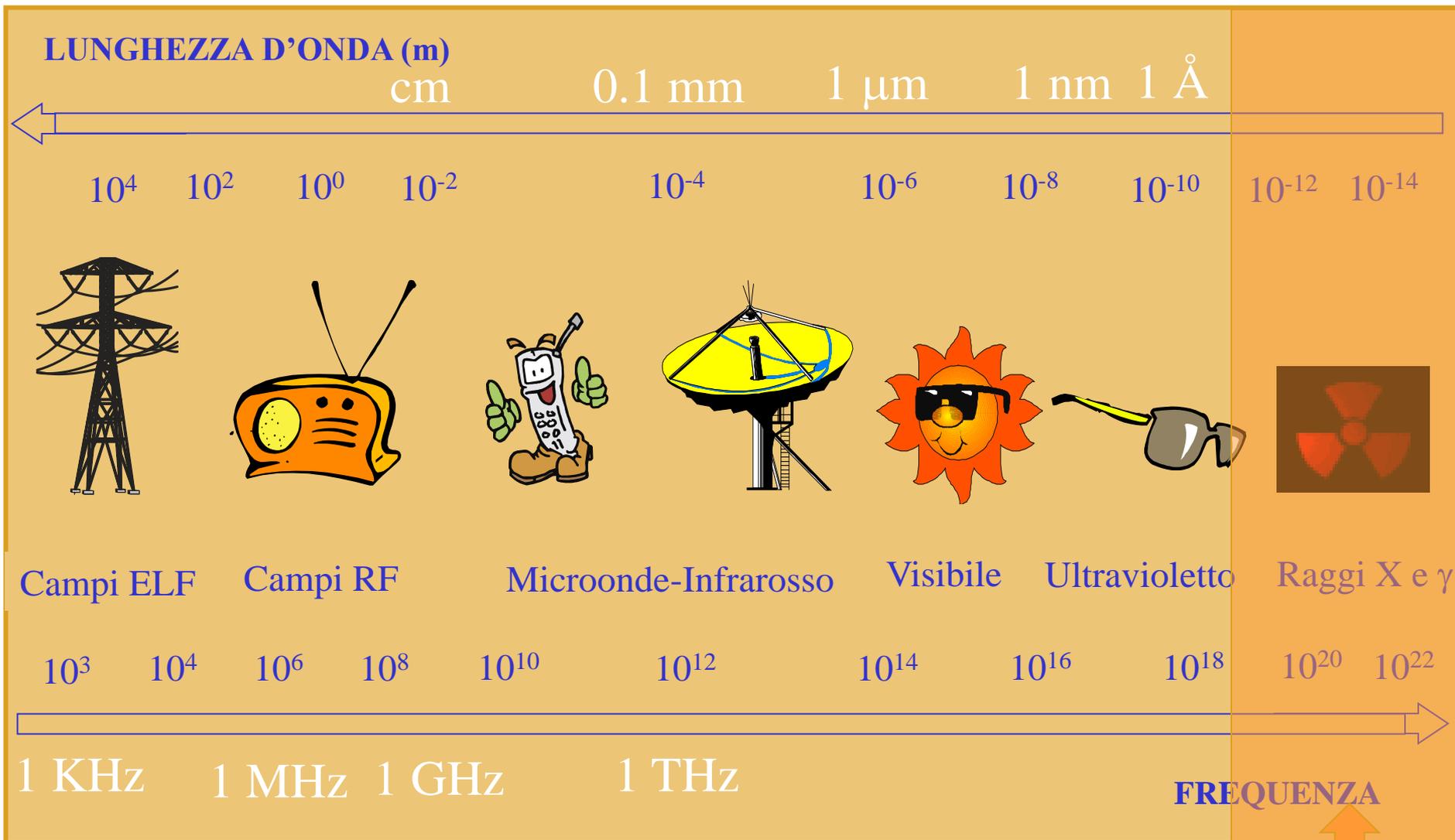
3

radiazione in grado di produrre ionizzazione
in una parte degli atomi e
delle molecole del mezzo attraversato.



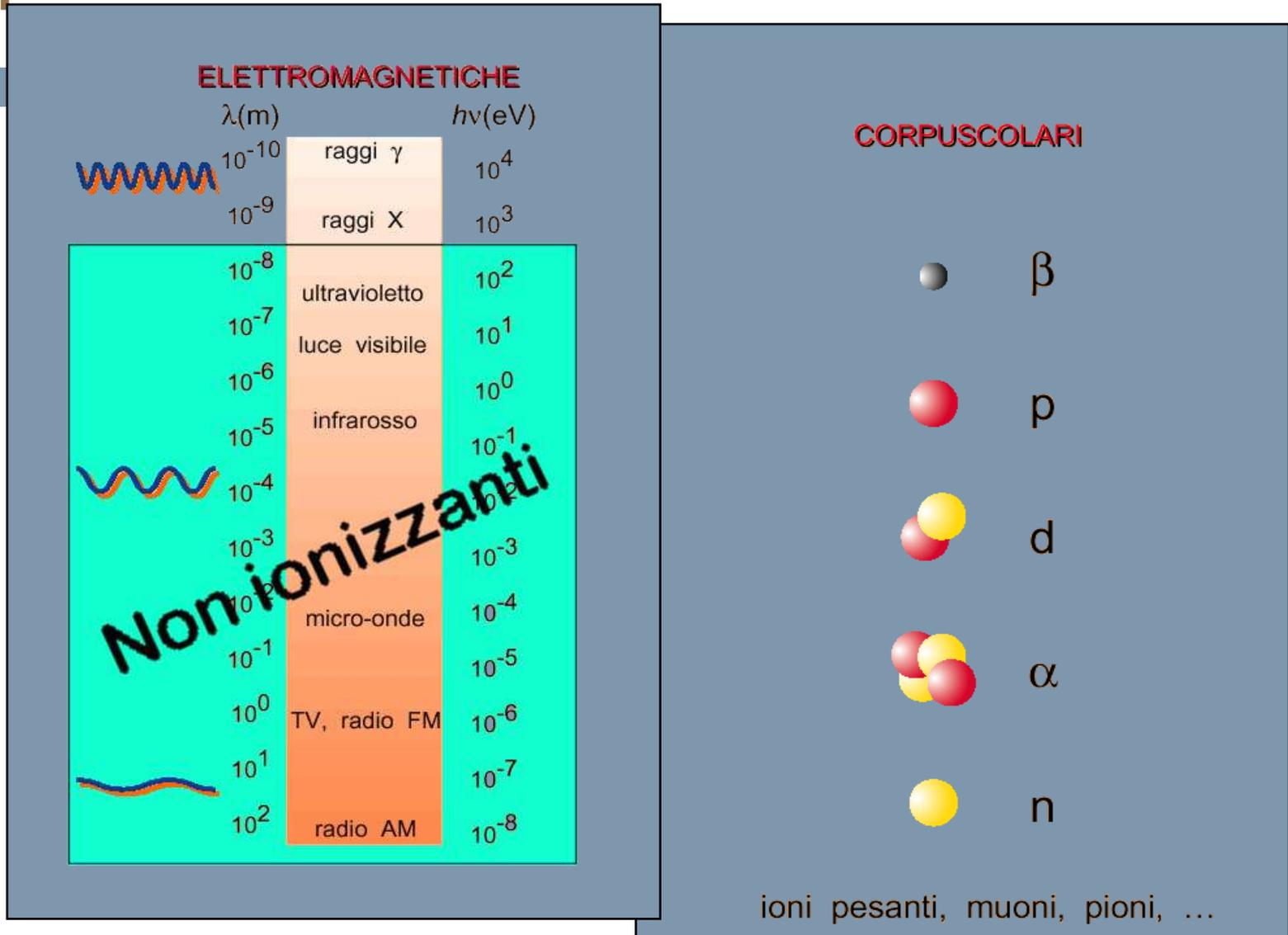
L'energia trasportata
dalla radiazione si
Misura solitamente
In elettron-volt (eV)
 $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ ergs}$

SPETTRO ELETTROMAGNETICO



Tipi di radiazione ionizzante

5



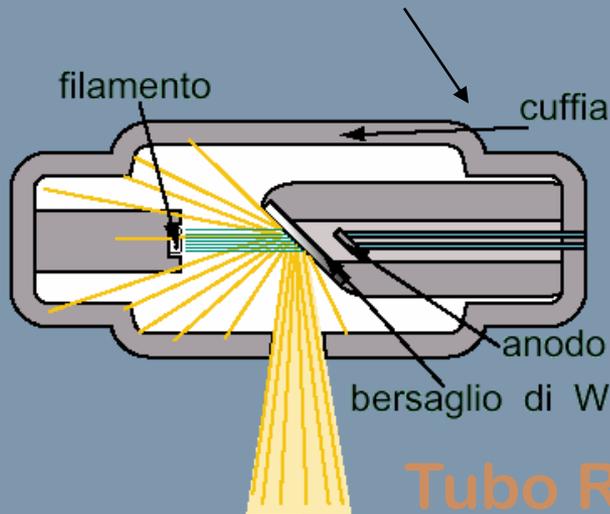
Sorgenti di R.I.

6

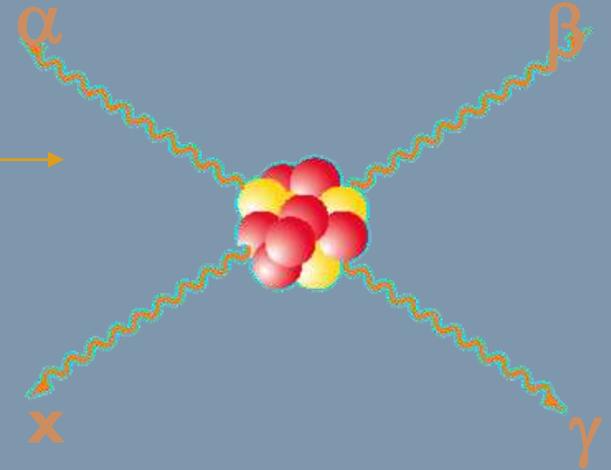
sorgenti radioisotopiche

(naturali, artificiali,
modificate dall'uomo);

macchine radiogene

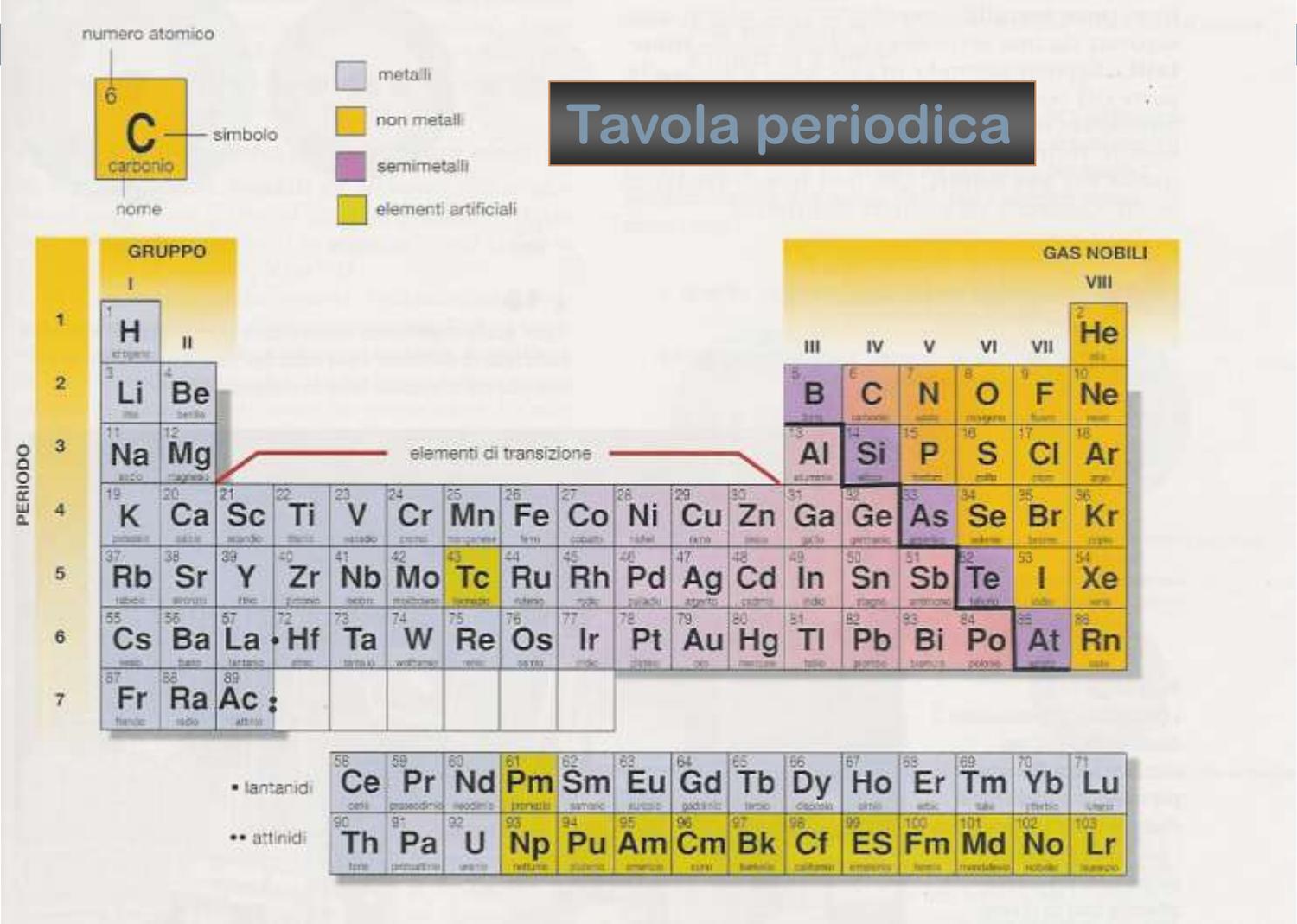


Tubo RX



INOLTRE:
sorgenti extraterrestri
(raggi cosmici)

Elementi, isotopi e simboli



Elementi, isotopi e simboli

8

numero atomico

6

C simbolo

metalli

non metalli

elettrone

protone

neutrone

elettrone che si muove intorno al nucleo

nucleo atomico

Atomo di elio

The diagram illustrates the structure of an atom. At the top, it shows a legend for the periodic table: a blue square represents 'metalli' (metals) and a yellow square represents 'non metalli' (non-metals). Below this, a yellow square contains the atomic number '6' and the symbol 'C', with labels 'numero atomico' and 'simbolo' pointing to them. The main part of the diagram shows three individual particles: a small blue sphere with a minus sign labeled 'elettrone', a larger orange sphere with a plus sign labeled 'protone', and a larger blue sphere labeled 'neutrone'. Below these is a model of a Helium atom ('Atomo di elio') with a central nucleus ('nucleo atomico') containing two protons and two neutrons, and two electrons ('elettrone che si muove intorno al nucleo') orbiting in two elliptical paths. To the right, a portion of the periodic table is visible, showing the noble gas Helium (He) and other elements like Neon (Ne), Argon (Ar), Krypton (Kr), Xenon (Xe), and Radon (Rn).

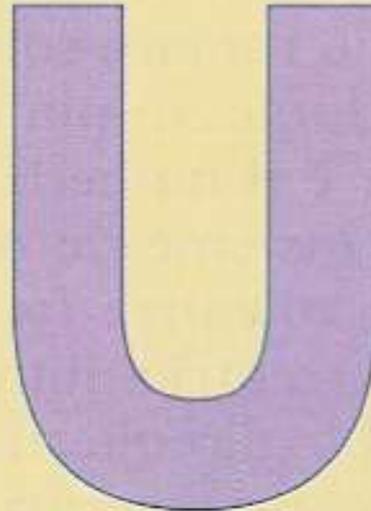
Elementi, isotopi e simboli

9

numero di massa → **A** 238

*Numero atomico =
numero di protoni
nel nucleo*

numero atomico → **Z** 92

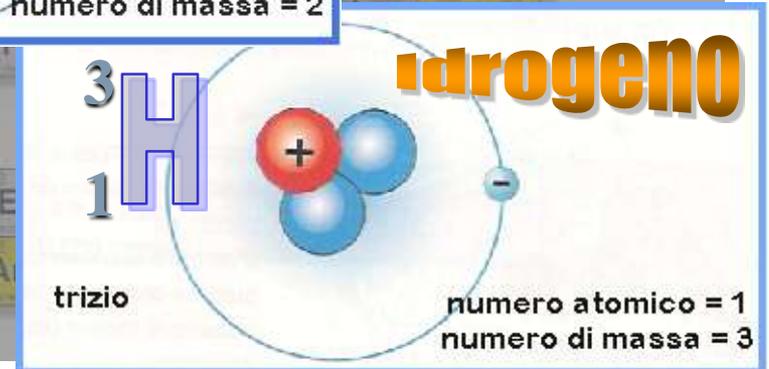
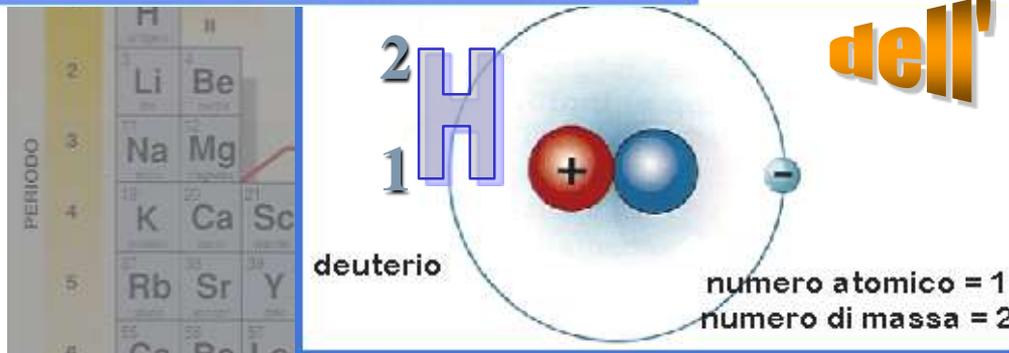
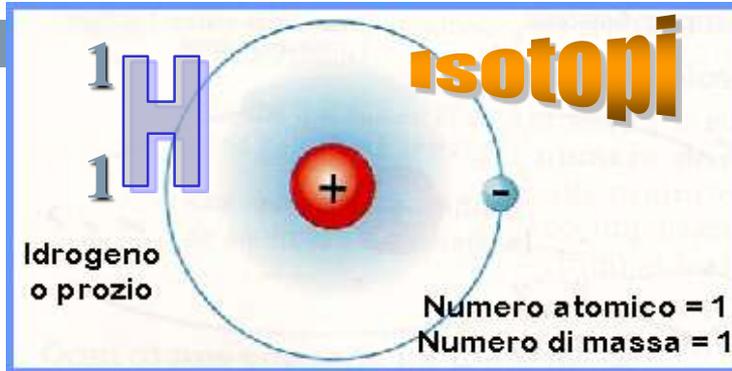


simbolo
dell'uranio

Numero di massa = Numero di neutroni + Numero atomico

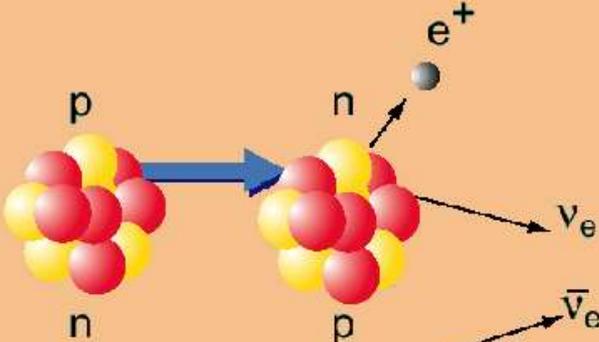
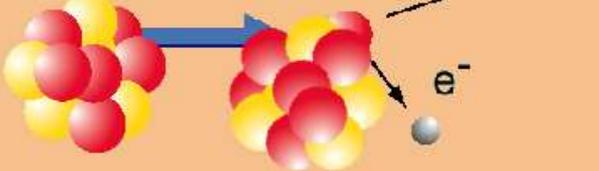
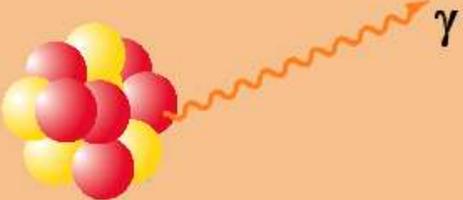
Elementi, isotopi e simboli

10



Emissioni da radioisotopi

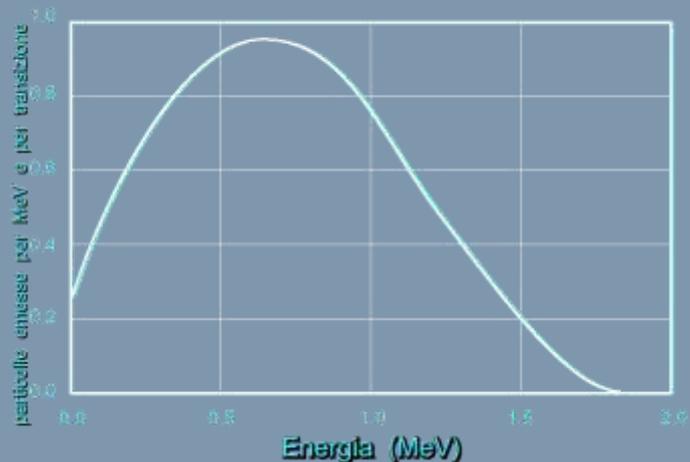
11

beta +		${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X$
beta -		${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} X$
alfa		${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} X$
gamma		${}^A_Z X \rightarrow {}^A_Z X$

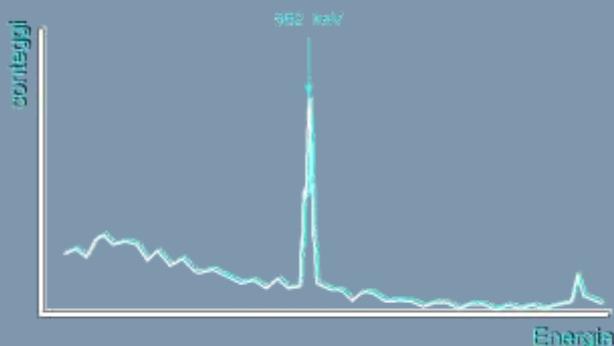
Caratteristiche delle emissioni

12

SPETTRO DI EMISSIONE β PER IL ^{32}P



SPETTRO CARATTERISTICO DEL ^{137}Cs



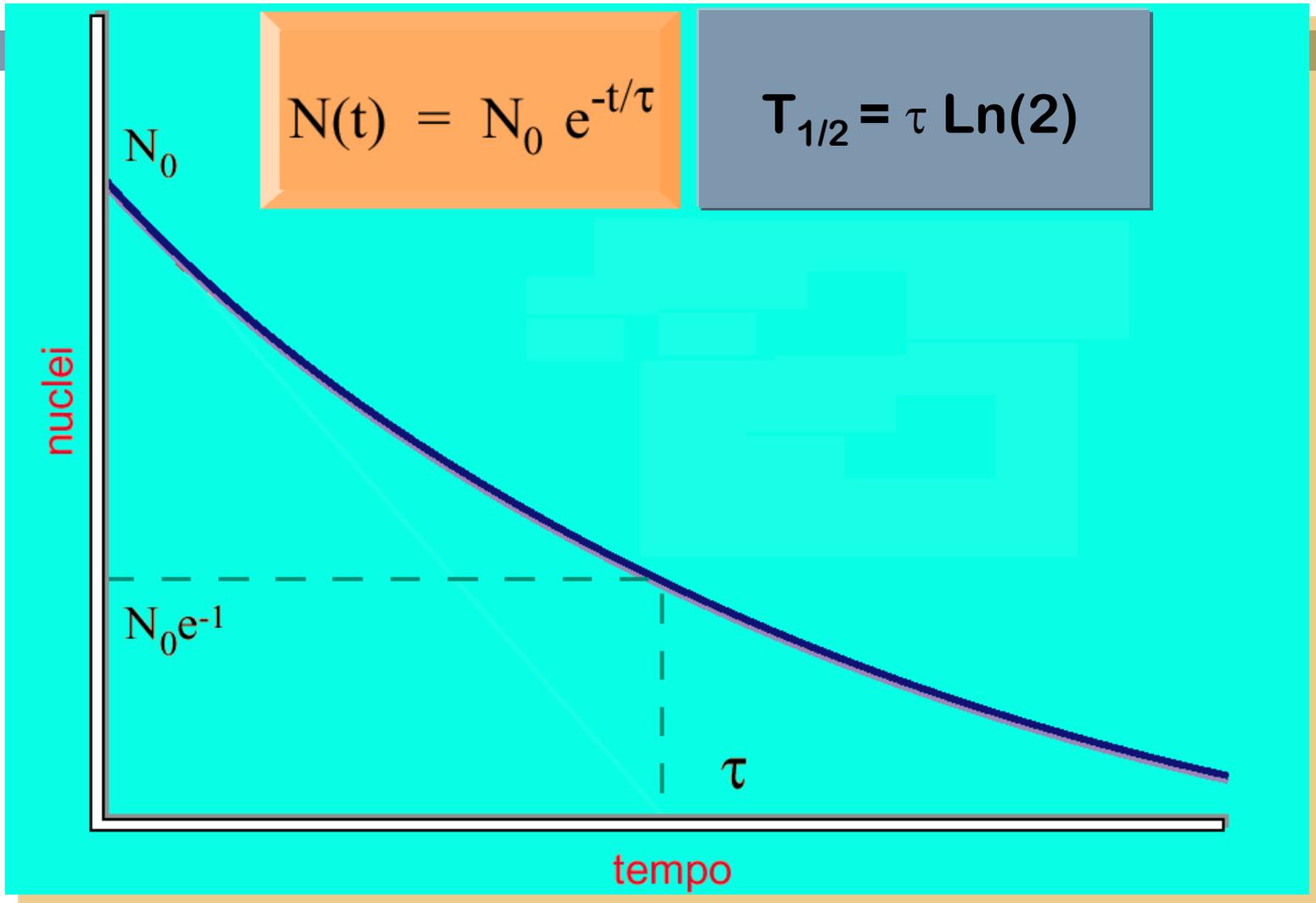
I **beta** sono emessi ad energia variabile in modo continuo con spettri caratteristici. L'energia di massima intensità è solitamente $1/3$ di quella più elevata.

L'energia massima può andare da alcuni keV ad alcuni MeV.

Le **alfa** ed i **gamma** hanno invece energie discrete e sono emessi ad uno o più valori di energia ben definiti

Radioattività e Decadimento

13



Radioattività e sua misura

14

L'attività di una sorgente radioattiva è il numero di disintegrazioni nell'unità di tempo:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

L'unità di misura è il bequerel (Bq), pari ad una disintegrazione al secondo.

In precedenza si usava il curie (Ci):

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

L'attività decade col tempo con legge esponenziale:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

Sorgenti radioisotopiche

15

- sorgente radioisotopica:

materia radioattiva della quale, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività, o la concentrazione di radionuclidi o l'emissione di radiazioni

- sorgente sigillata (D.Lgs. 230/95 e s.m.i.):

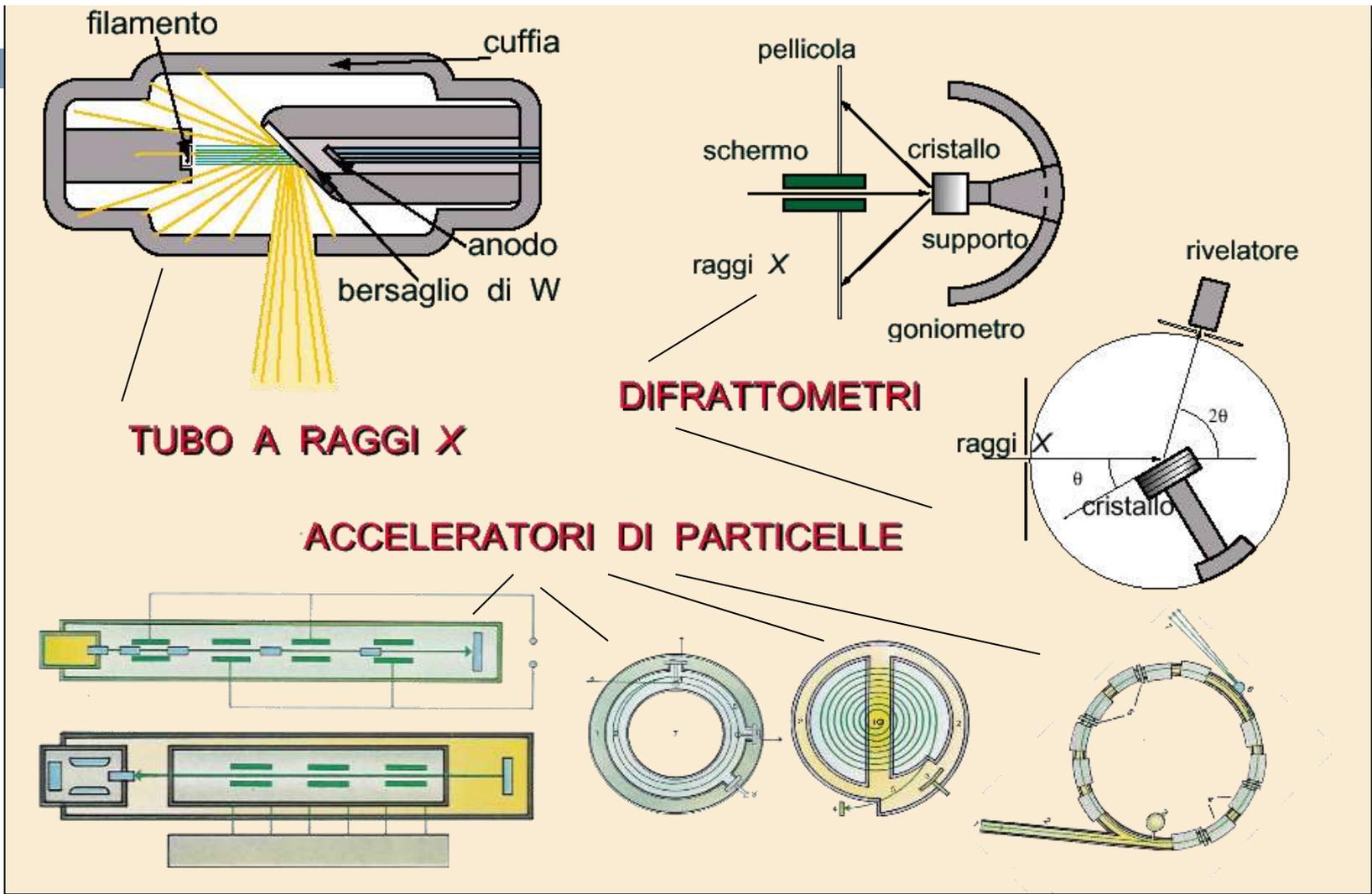
materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive superiore ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica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

- sorgente naturale di radiazioni (D.Lgs. 230/95 e s.m.i.):

sorgente di radiazioni ionizzanti di origine naturale, sia terrestre che cosmica

Macchine radiogene

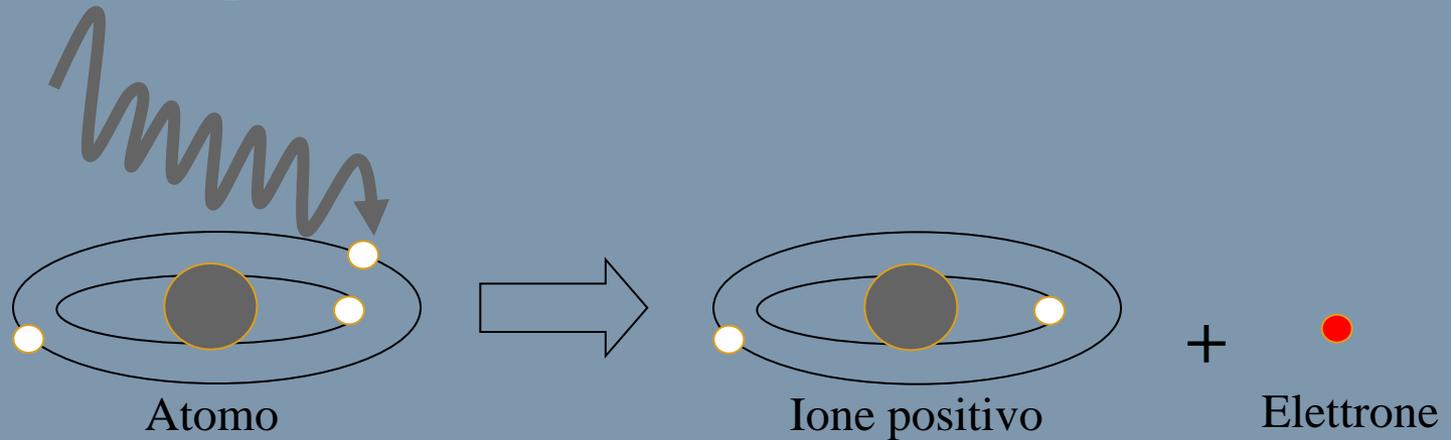
16



I PROCESSI DI IONIZZAZIONE ED ECCITAZIONE

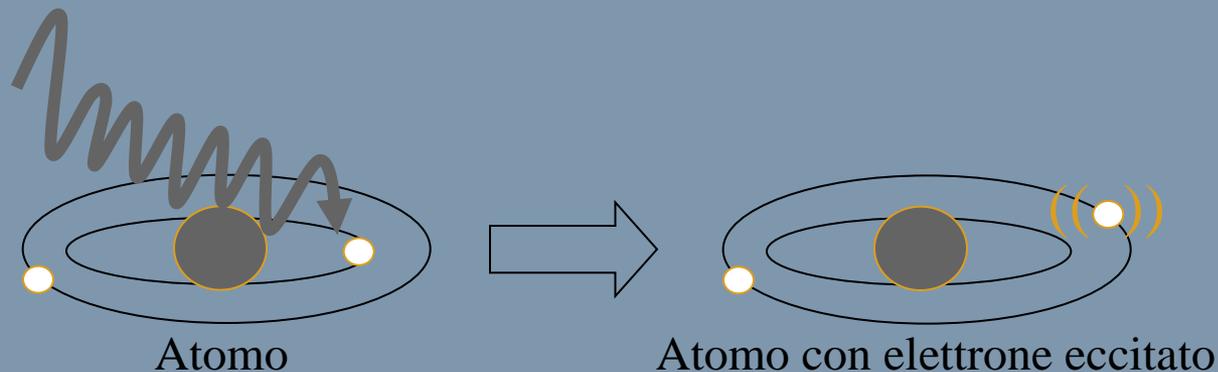
Ionizzazione: fornire all'elettrone una quantità di energia superiore ad E_b .

Risultato: ione positivo + elettrone.

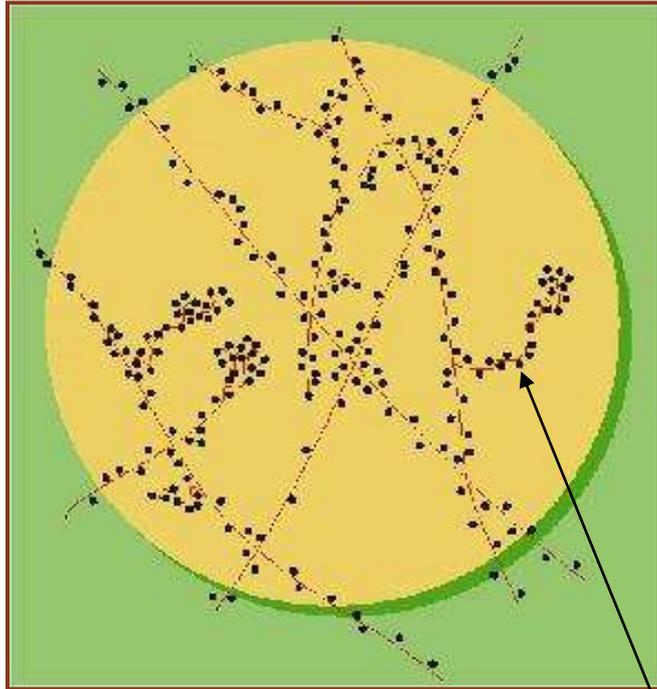


Eccitazione: fornire all'elettrone una quantità di energia inferiore a E_b .

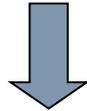
Risultato: atomo (neutro) con elettrone "eccitato".



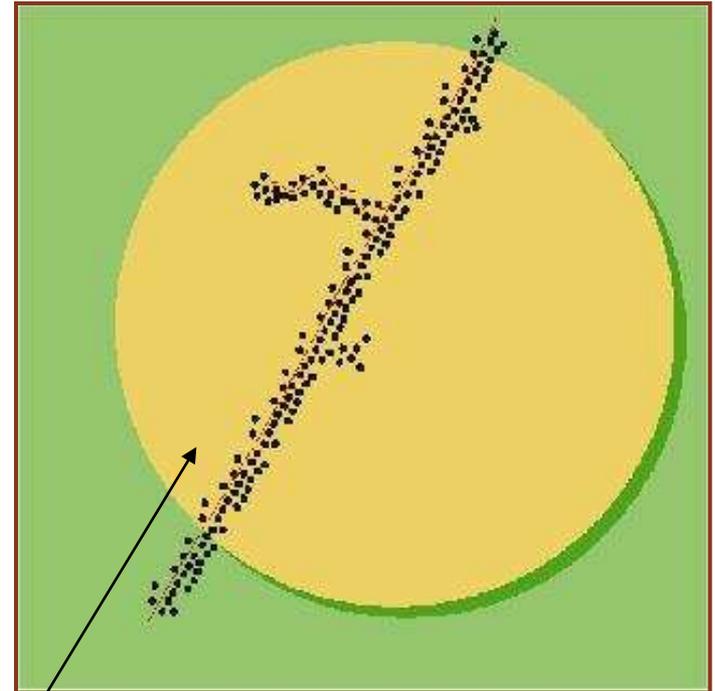
DENSITÀ DI IONIZZAZIONE



Bassa densità di ionizzazione



particelle leggere, elettroni



Alta densità di ionizzazione



particelle pesanti, protoni e alfa

TRACCE

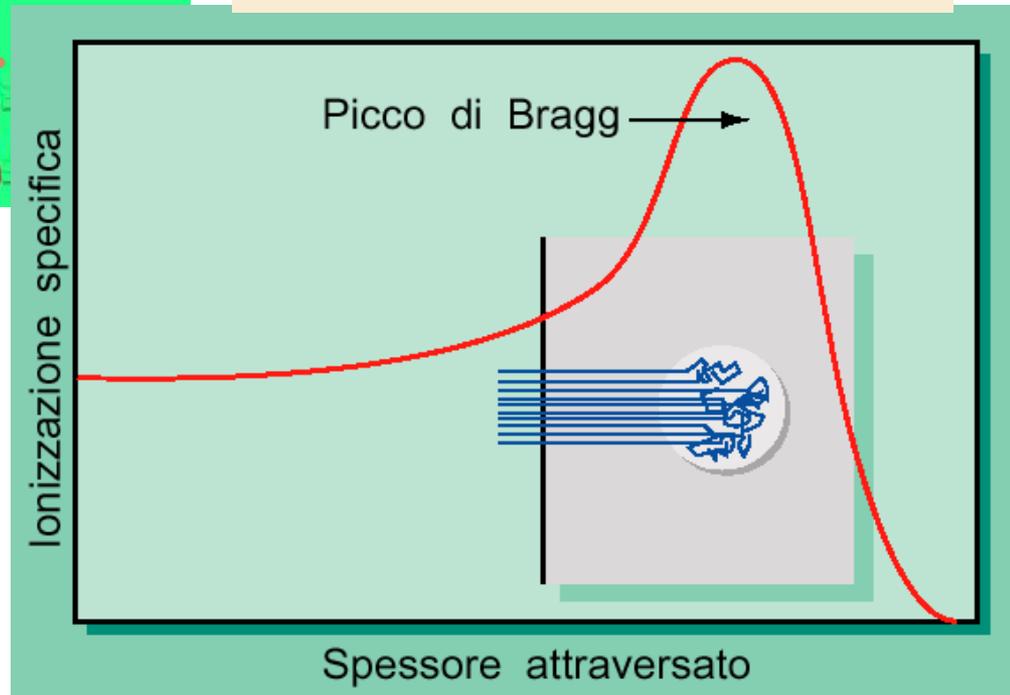
Interazione di α

19



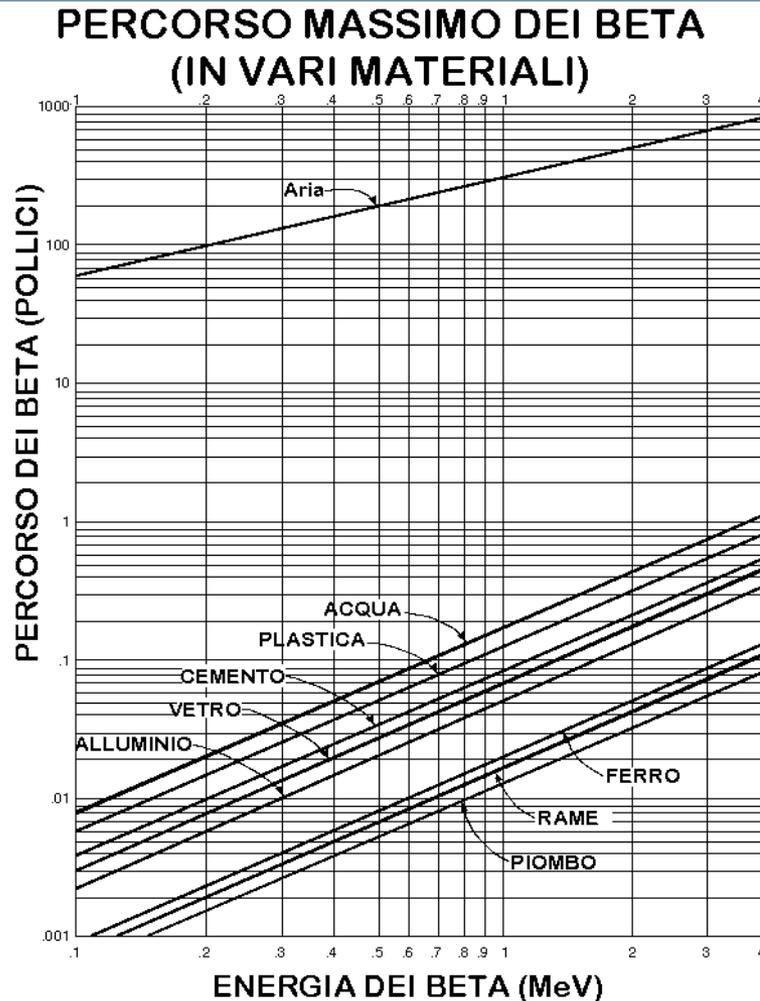
**PERDONO ENERGIA PER
IONIZZAZIONE ED
ECCITAZIONE IN MODO
CONTINUO E
PRATICAMENTE COSTANTE.**

**LA IONIZZAZIONE HA UN
AUMENTO VERSO LA FINE
DEL PERCORSO DELLA
PARTICELLA PER POI
DIMINUIRE IN MODO
REPENTINO**



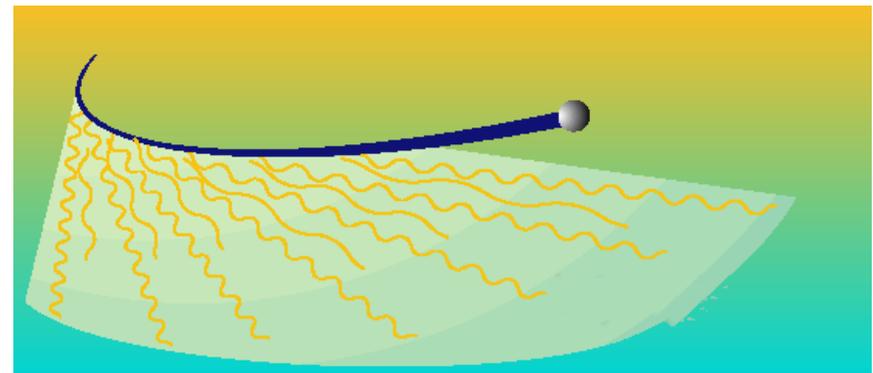
Interazione di β

20



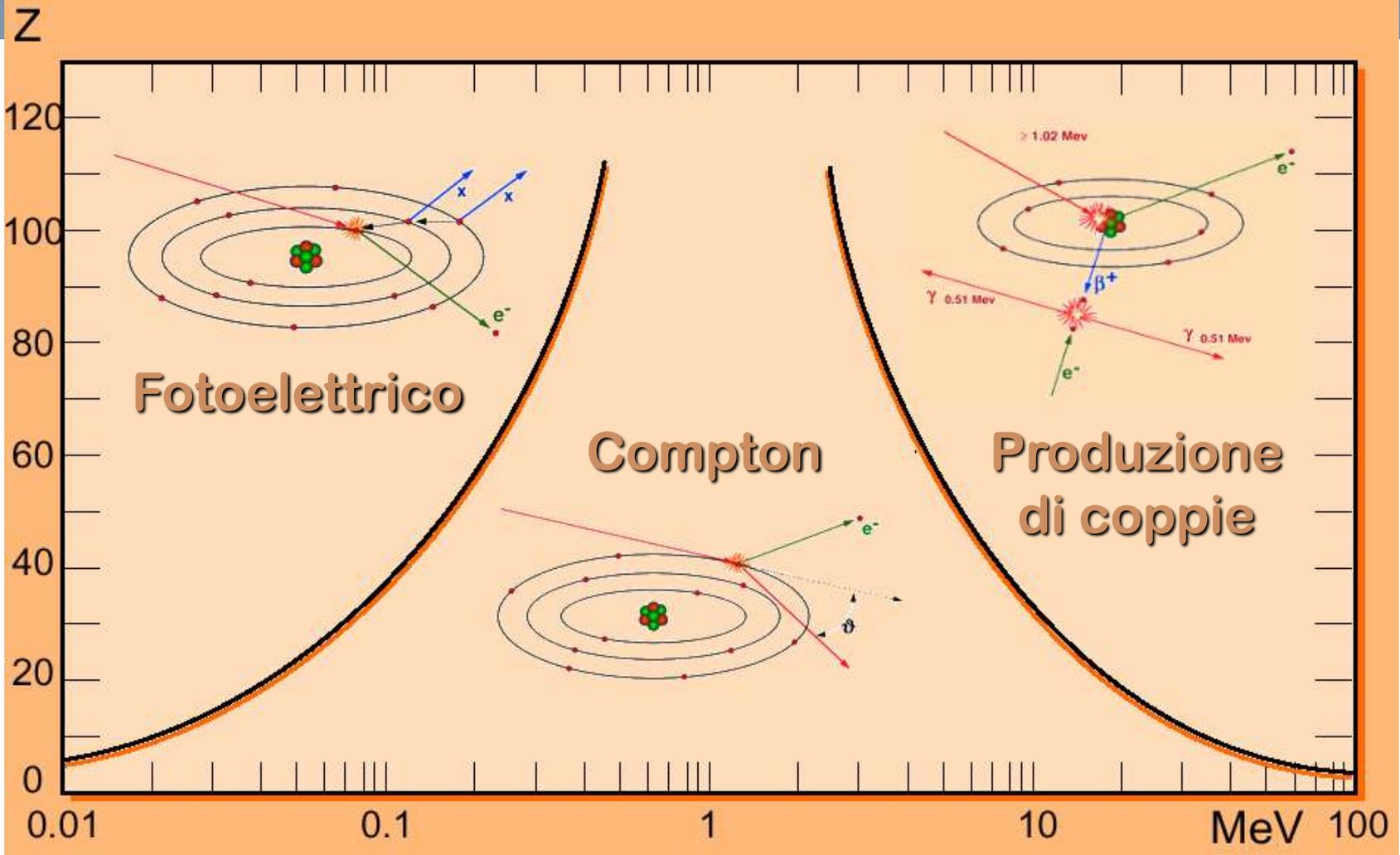
Si fermano in alcuni mm di acqua e in pochi metri di aria

Perdono energia anche per irraggiamento o **Bremmstrhalung**



Interazione di X e γ

21



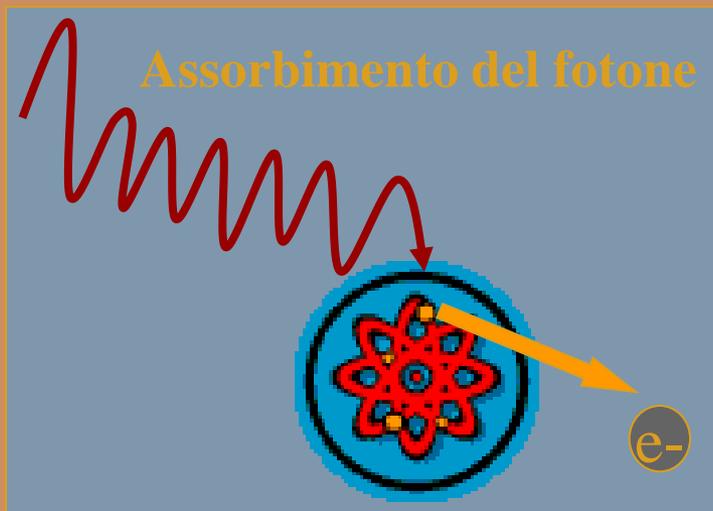
EFFETTO FOTOELETTRICO

L'energia del fotone è trasferita all'elettrone dell'atomo il quale quindi viene espulso con un'energia pari a

$$E_e = E_\gamma - E_b$$

Diventa rilevante al crescere della densità del mezzo e al diminuire dell'energia del fotone incidente.

ESEMPIO



Piombo

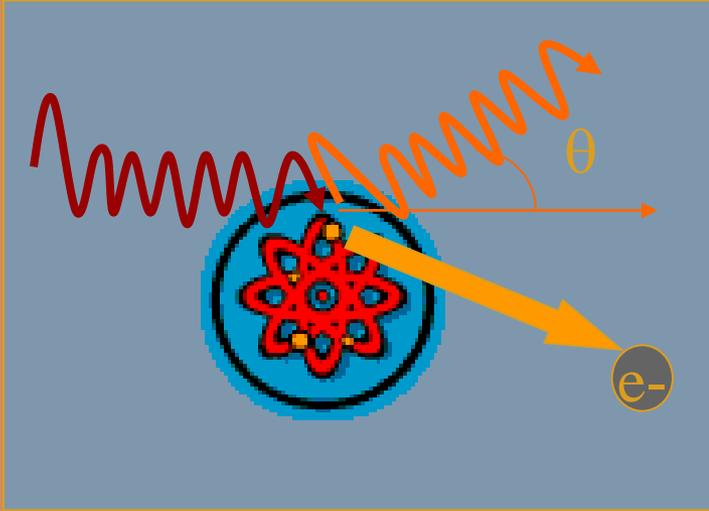
Materiale ad elevata densità



OK!

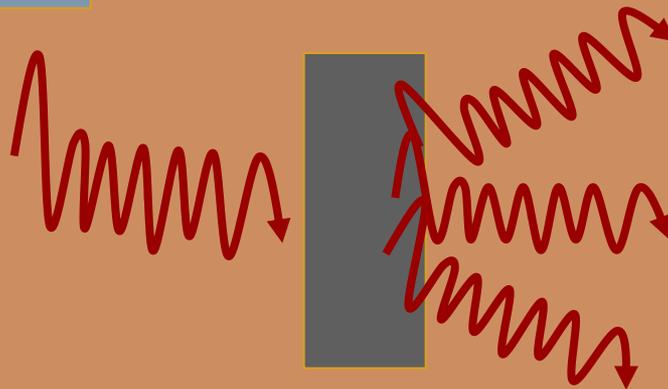
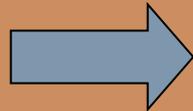
EFFETTO COMPTON

Il fotone incidente cede parte della sua energia all'elettrone e viene poi diffuso ad un certo angolo θ .



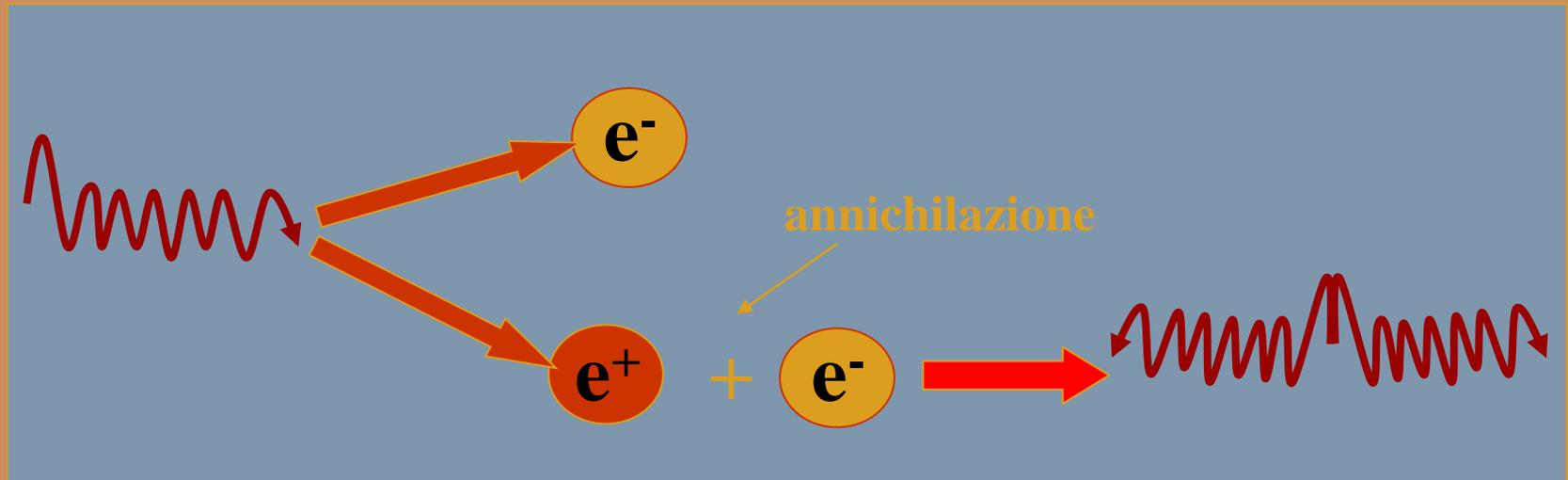
- All'aumentare dell'energia del fotone incidente diminuisce l'energia del fotone diffuso.
- Tale interazione può produrre radiazione diffusa.

ESEMPIO



PRODUZIONE COPPIE

Un fotone con energia molto elevata può convertire la sua energia creando una coppia elettrone-positrone.



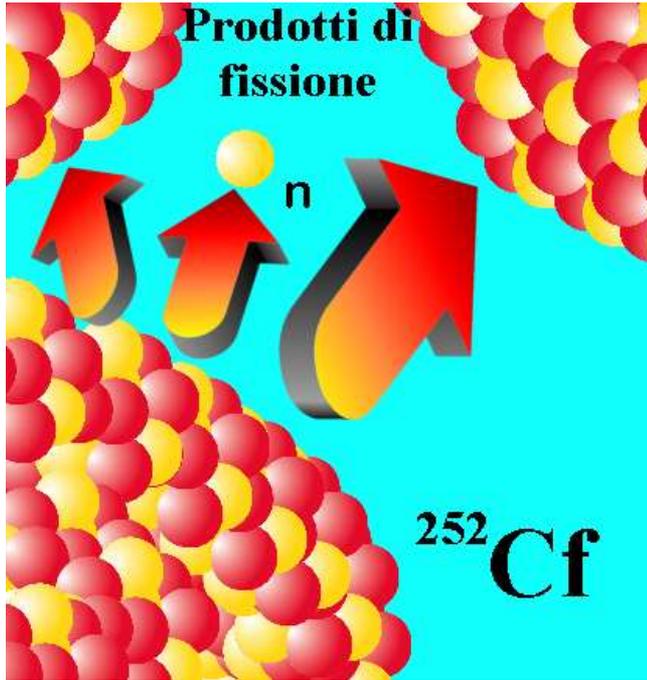
Il processo di annichilazione è alla base del funzionamento della PET

È più rilevante per energie elevate del fotone e per materiale ad elevata densità.

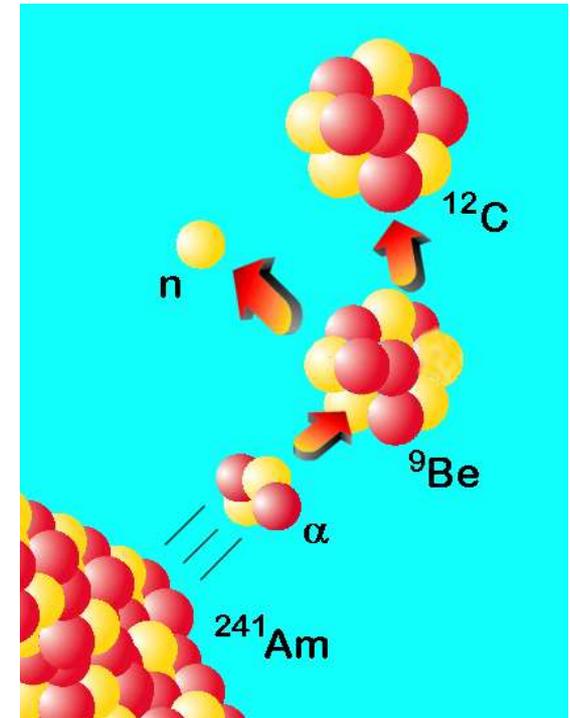
Produzione di neutroni con isotopi

25

Fissione spontanea



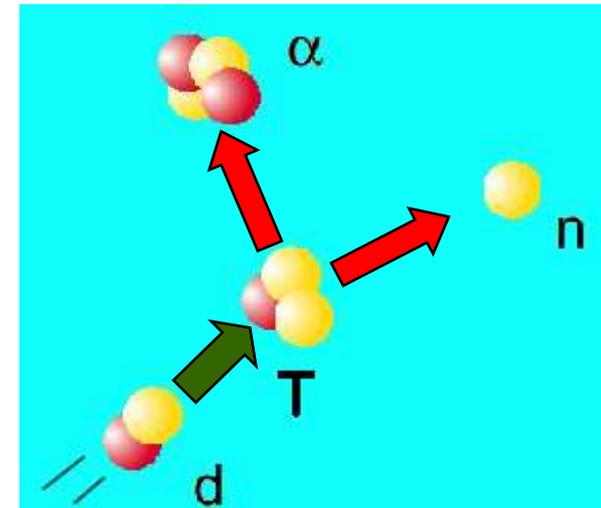
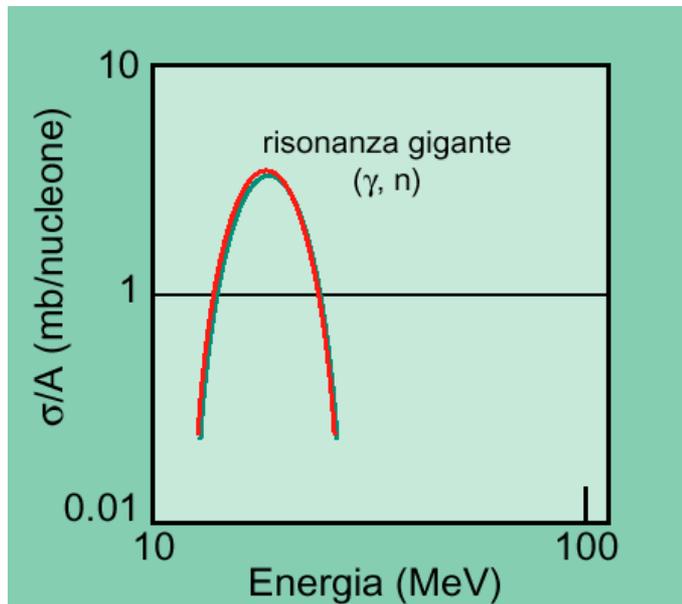
Reazioni α, n ; γ, n



Produzione di neutroni negli acceleratori

26

In seguito a reazioni di tipo γ, n (risonanza gigante)

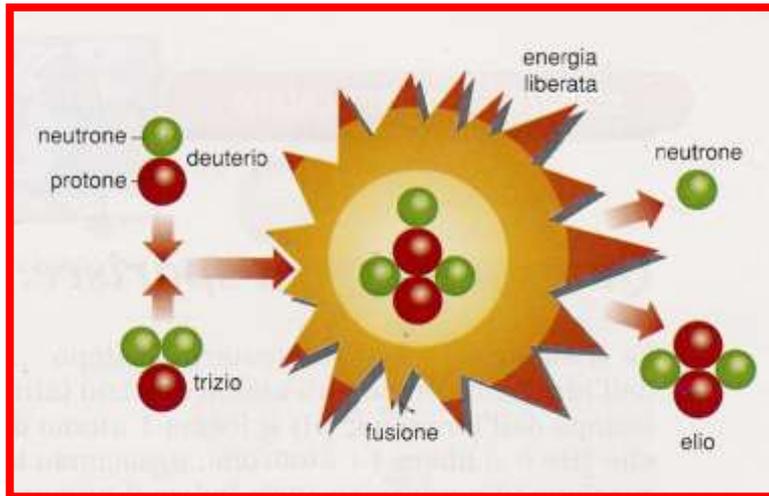


In seguito a reazioni nucleari provocate da particelle accelerate

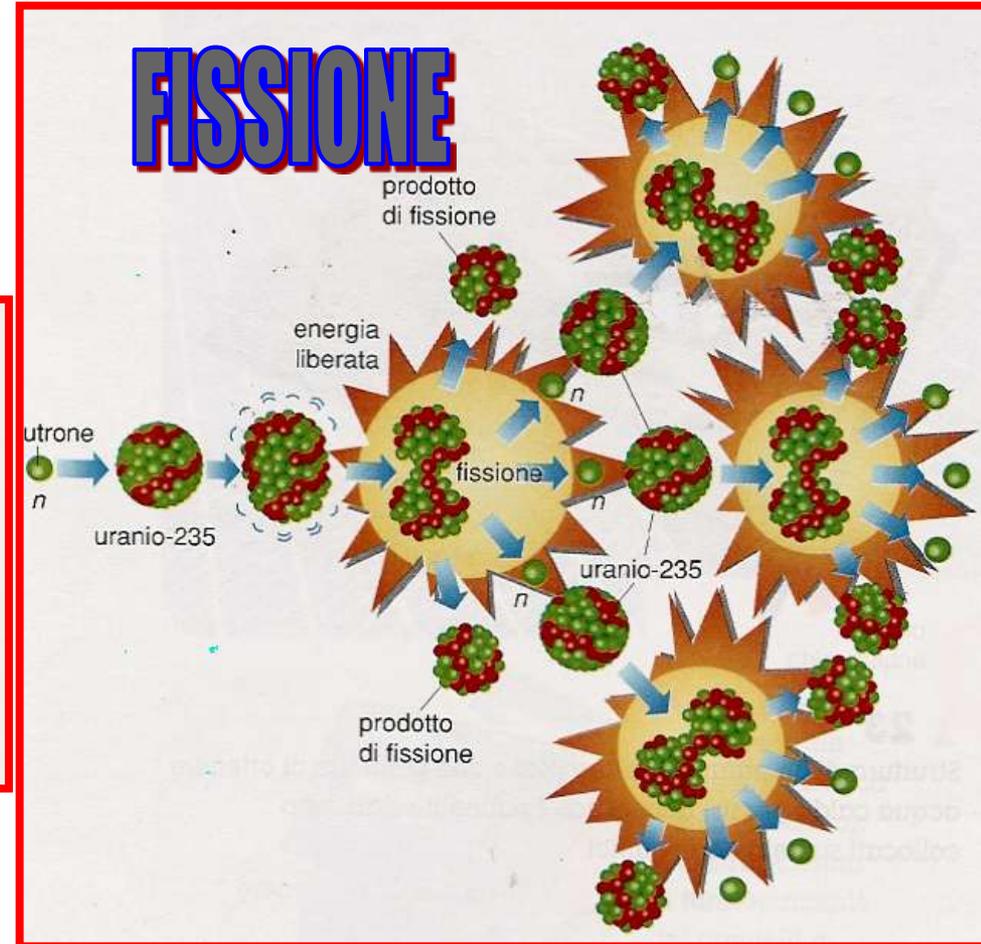
Produzione di neutroni nei reattori nucleari

27

FUSIONE

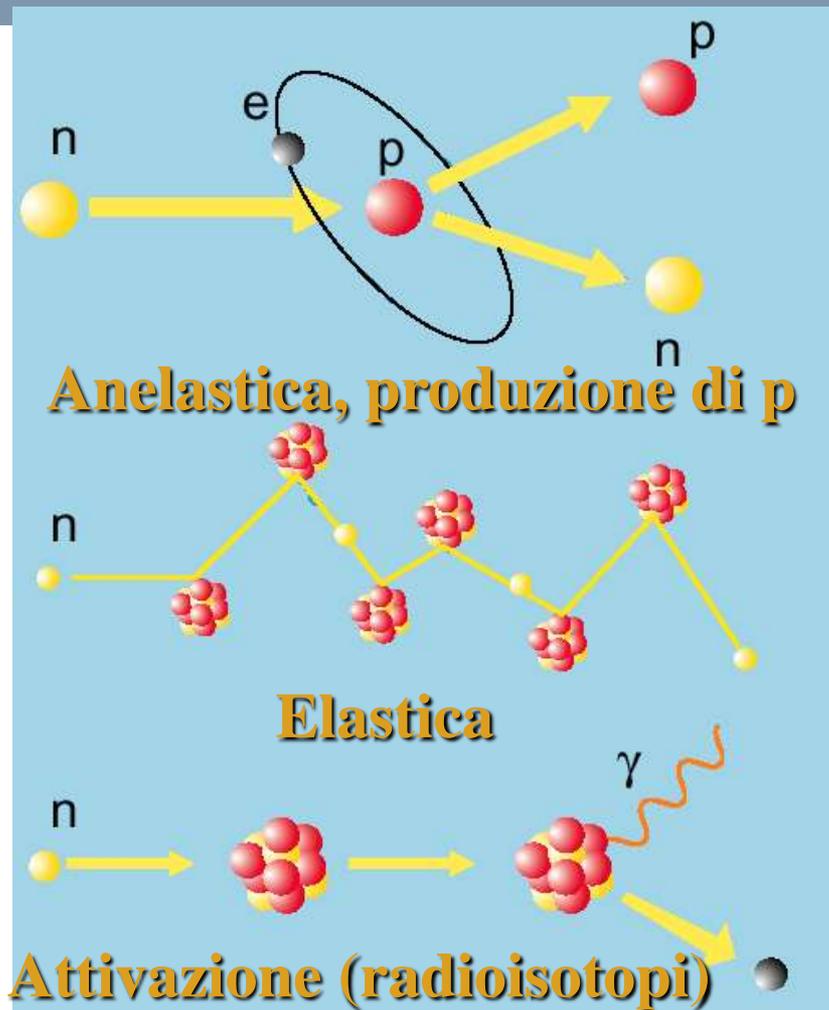


FISSIONE



Interazioni dei neutroni

28



- diffusione elastica** (n,n) ;
- diffusione anelastica** (n,n) ,
 $(n,n\gamma)$, $(n,2n)$;
- cattura radiativa** (n,γ) ;
- emissione di particelle**
- cariche** (n,p) , ecc;
- fissione** (n,f) ;
- spallazione** (n, sciame) .

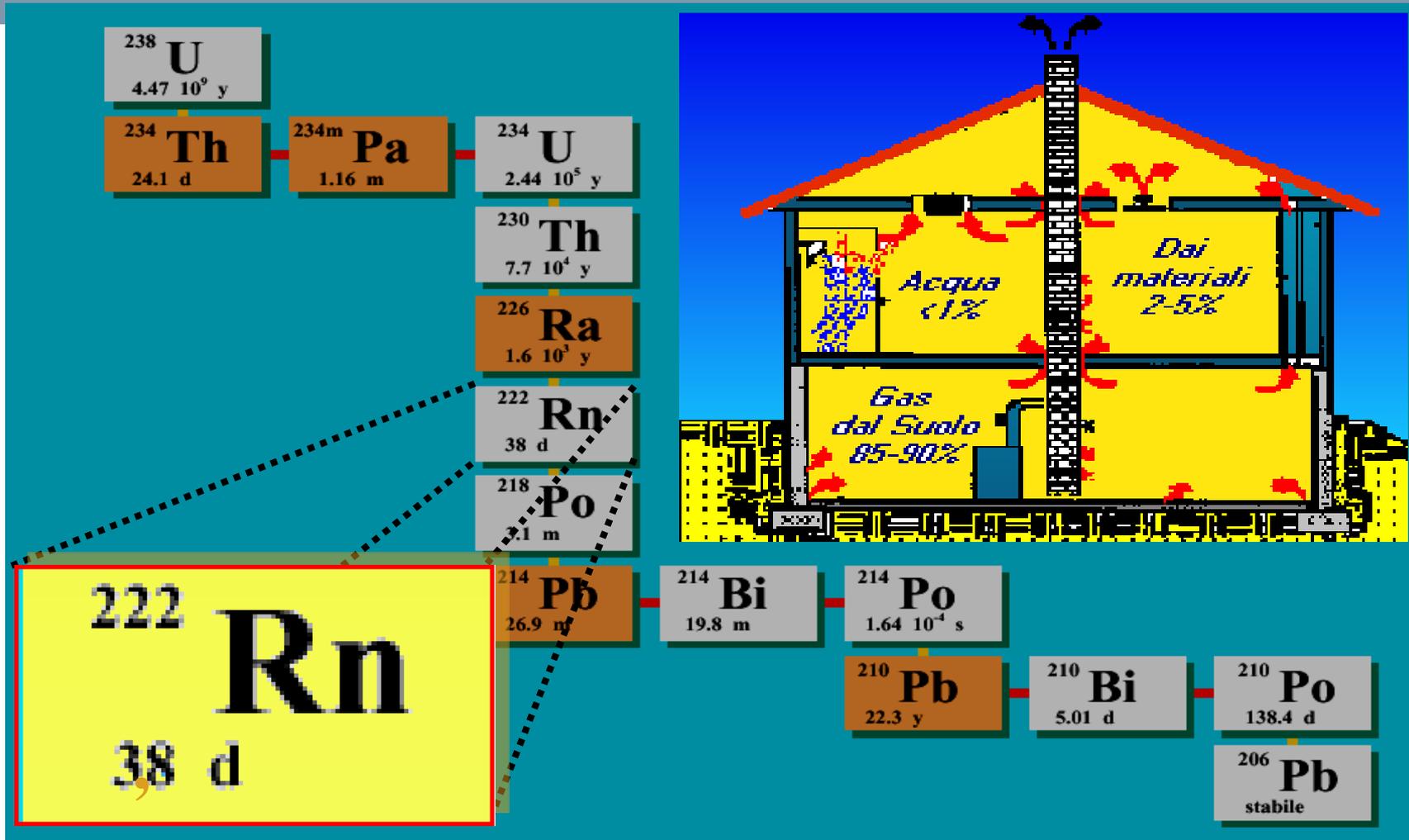
La radioattività naturale

29

- **Radiazione cosmica**
 - Al suolo: neutroni e componente ionizzante
- **Radioisotopi cosmogenici**
 - Principali: ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na
- **Radioisotopi primordiali**
 - Potassio 40 (^{40}K)
 - Famiglia dell'uranio (^{238}U)
 - Famiglia dell'attinio (^{235}U)
 - Famiglia del torio (^{232}Th)

Il Radon

30



GRANDEZZE DI DOSE

Per dose si intende genericamente la quantità di energia rilasciata da una radiazione per unità di massa del bersaglio.

TRASFERIMENTO DI
ENERGIA
(ai secondari carichi)

CESSIONE ED
ASSORBIMENTO DI
ENERGIA

KERMA: rappresenta l'energia cinetica E ceduta in un elemento di massa m dai secondari carichi.
L'unità di misura è il Gray. ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{Kg}$)

DOSE ASSORBITA: energia assorbita per unità di massa.
Unità di misura è il **gray (Gy)**.
 $1 \text{ Gy} =$ assorbimento di 1 J di energia radiante per kg di materia
($1\text{J}/\text{kg}$).

Le grandezze dosimetriche

32

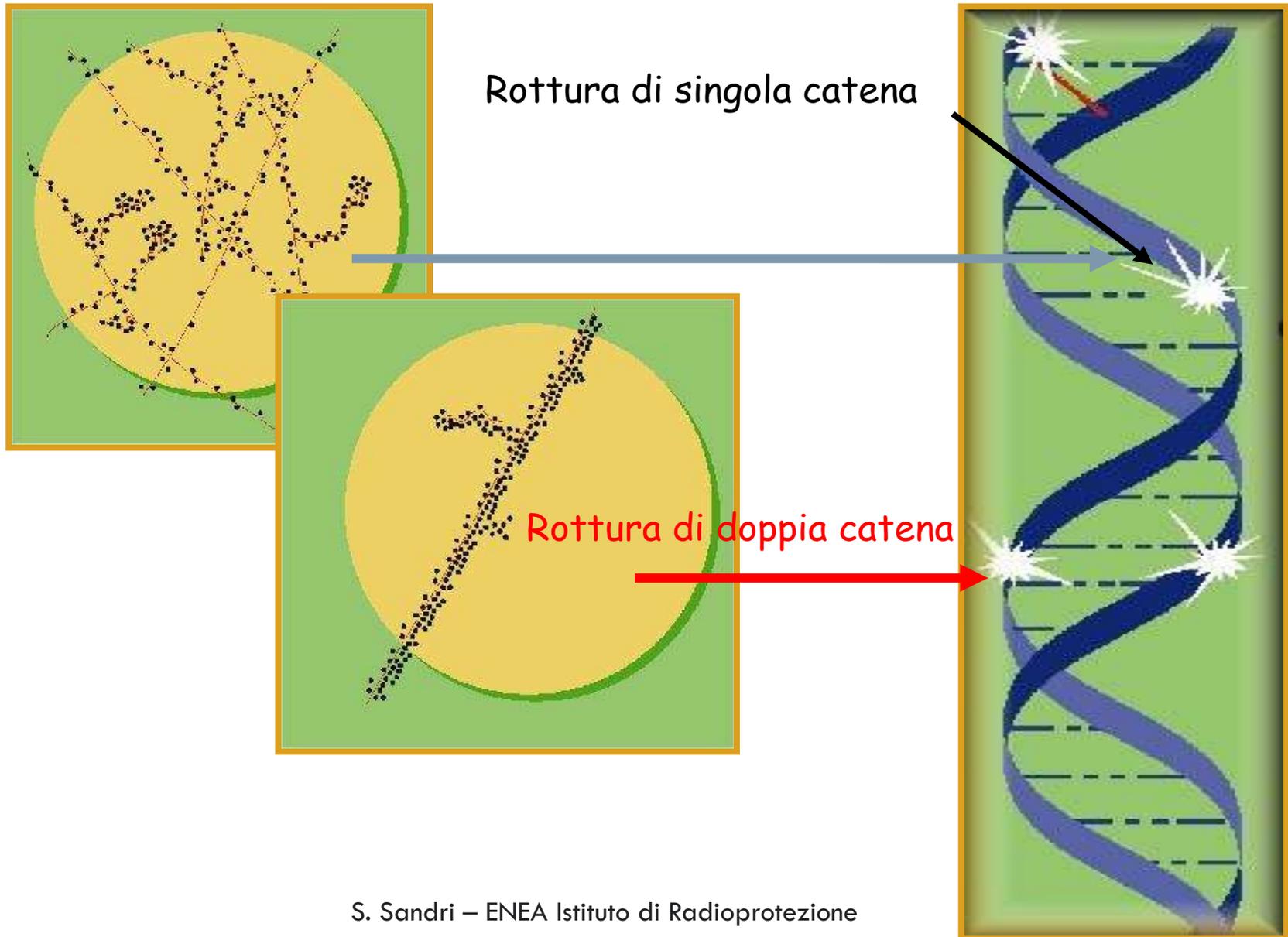
Grandezza	Unità del SI	Vecchia unità	Equivalenza
Attività	bequerel (Bq)	curie (Ci)	1 Bq = $2,7 \times 10^{-11}$ Ci
Tempo di dimezzamento	unità di tempo	unità di tempo	=
Esposizione	coulomb/kg (C/kg)	rontgen	1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg
Intensità di esposizione	rontgen/ora (R/h)	rontgen/ora (R/h)	=
Intensità di esposizione	rontgen/ora (R/h)	rontgen/ora (R/h)	=
Dose assorbita	gray (Gy)	rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Intensità di dose assorbita	gray (Gy/h)	rad/ora (rad/h)	1 Gy/ora = 100 rad/ora
Dose equivalente	sievert (Sv)	rem (rem)	1 Sv = 100 rem
Intensità di dose equivalente	sievert/ora (Sv/h)	rem/ora (rem/h)	1 Sv/ora = 100 rem/ora
Dose efficace	sievert (Sv)	rem (rem)	1 Sv = 100 rem
Intensità di dose efficace	sievert/ora (Sv/h)	rem/ora (rem/h)	1 Sv/ora = 100 rem/ora
Dose collettiva	sievert-persona	rem-persona	1 Sv-p = 100 rem-p

CONCETTO

ENERGIE UGUALI IMPARTITE
DA TIPI DIFFERENTI DI
RADIAZIONI PRODUCONO
DANNI BIOLOGICI DIFFERENTI



PERCHÉ ??... UNA SPIEGAZIONE



Le grandezze dosimetriche

35

- **Dose assorbita**
energia assorbita per unità di massa
unità di misura è il **gray (Gy)**
1 Gy = assorbimento di 1 J di energia radiante per kg di materia (1 J/kg)
- **Dose equivalente e Dose efficace**
dose assorbita nei tessuti moltiplicata per opportuni fattori correttivi
esprimono la probabilità di effetti dannosi per esposizioni a bassi livelli
unità di misura è il **sievert (Sv)**.

DOSE EQUIVALENTE

36

- La dose equivalente è la dose media assorbita in un organo o tessuto, pesata in funzione del tipo e dell'energia della radiazione incidente sul corpo o, nel caso di irraggiamento interno, emessa dalla sorgente
- I fattori di peso della radiazione sono definiti da ICRP e dalle leggi nazionali

$$H_T \equiv \sum_R w_R D_{T,R}$$

L'unità di misura è il Sievert (Sv).

La relazione con la vecchia unità, il rem, è:

$$1 Sv = 100 rem$$

FATTORI DI PESO DI RADIAZIONE

RADIAZIONE	FATTORI DI PESO
Fotoni (tutte le energie)	1
Elettroni e mesoni μ	1
Neutroni < 10 KeV	5
10 KeV – 100 KeV	10
100 KeV – 2 MeV	20
2 MeV – 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protoni > 2 MeV	5
Particelle α , framm. di fissione, nuclei pesanti	20

DOSE EFFICACE

38

- La dose efficace è la dose equivalente media pesata in funzione di organo o tessuto interessati dalla radiazione incidente sul corpo o, nel caso di irraggiamento interno, emessa dalla sorgente
- I fattori di peso dei tessuti sono definiti da ICRP e dalle leggi nazionali
- L'unità di misura è ancora il Sievert.

$$E = \sum_T w_T H_T$$

FATTORI DI PESO DI TESSUTO

39

TESSUTO OD ORGANO	FATTORI DI PESO
Gonadi (effetti genetici)	0,20
Midollo osseo, colon, polmone, stomaco	0,12
Vescica, petto, fegato, esofago, tiroide e rimanente (*)	0,05
Pelle e superficie ossea	0,01

(*) ghiandole adrenaliche, cervello, intestino crasso, intestino tenue, reni, muscolo, pancreas, milza, timo ed utero.

Le grandezze dosimetriche

40

**Dosi assorbite
agli organi
(gray)**

**Fattori di peso
Della radiazione**

**Dosi equivalenti
Agli organi
(sievert)**

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

**Dose efficace
(sievert)**

**Fattori di peso
Per i tessuti**

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Unita': Attivita'

- 1 Curie = 37 miliardi di disintegrazioni al secondo

Sottomultipli

- 1 nCi = 37 Bq
- 1 μ Ci = 37 kBq
- 1 mCi = 37 MBq
- 1 Ci = 37 GBq



Marie Curie
(1867–1934)

Unita` : Attivita`

- 1 Becquerel = 1 disintegrazione al secondo

Sottomultipli

- 1 nCi = 37 Bq
- 1 μ Ci = 37 kBq
- 1 mCi = 37 MBq
- 1 Ci = 37 GBq



*Henri Becquerel
(1852–1908)*

Unità: Dose assorbita (D)

- 1 Gray = energia assorbita nell'unità di massa = 1 J / 1 kg

Sottomultipli

- mGy = 10^{-3} Gy
- μ Gy = 10^{-6} Gy

*Harold Gray
(1905–1965)*



Unità: Dose equivalente (H_T)

- 1 Sievert = energia assorbita nell'unità di massa dell'organo T = 1 J / kg pesata per opportuni fattori peso delle radiazioni.

- (dal 1979)

Sottomultipli

- $\text{mSv} = 10^{-3} \text{ Sv}$
- $\mu\text{Sv} = 10^{-6} \text{ Sv}$



Rolf Sievert
(1896-1966)

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Esposizione esterna ed interna

45



Esposizione esterna:

La sorgente è esterna al corpo.

Le radiazioni più penetranti sono le più pericolose (X, gamma, neutroni)

Esposizione interna:

La sorgente è introdotta nel corpo.

Le radiazioni meno penetranti sono le più pericolose (beta, alfa, ioni)



Esposizione Esterna

46

- **Dovuta a emissioni X, gamma e neutroni**
 - **Macchine radiogene**
 - **Radioisotopi sigillati**
- **Protezione efficace con:**
 - **Distanza**
 - **Barriere**
 - **Ridotti tempi di permanenza**
 - **Sistemi di spegnimento**
 - **Shutter**
 - **Misura dell'esposizione ambiente**



Esposizione Interna

47

- **Dovuta a emissioni alfa, beta**
 - ▣ **Radioisotopi non sigillati**
- **Protezione efficace con:**
 - ▣ **Impiego indumenti protettivi**
 - ▣ **Attenzione nella manipolazione**
 - ▣ **Evitare azioni scorrette (fumare, mangiare)**
 - ▣ **Pulizia dei locali**
 - ▣ **Controllo della contaminazione ambiente**
 - ▣ **Controllo della contaminazione personale**



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Per ulteriori informazioni:

www.enea.it

www.airp-asso.it

Su facebook: AIRP - Associazione Italiana di Radioprotezione

Un blog: <http://radioprotezione.blogspot.com/>

