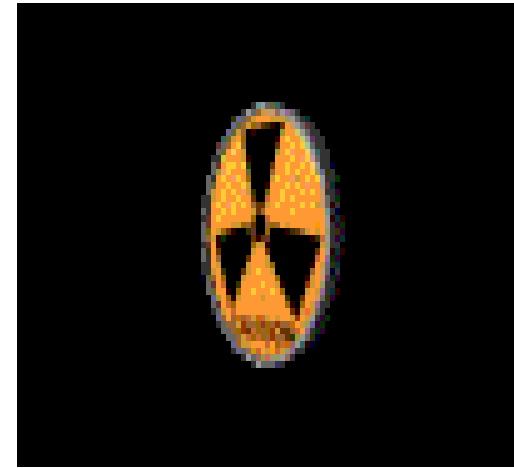


DOSIMETRIA E RADIOPROTEZIONE



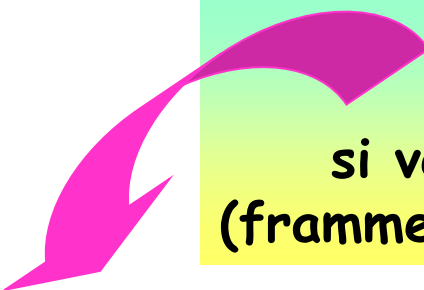
Effetti biologici delle radiazioni

- Range, esposizione
- Dose assorbita, equivalente, efficace
- Danno biologico
- Dosi limite e radioprotezione



Le radiazioni nella materia

Ogni radiazione, interagendo con la materia, cede energia alla struttura atomica/molecolare del materiale attraversato.



Se l'energia ceduta è sufficiente
(**radiazioni ionizzanti: $E \geq 100 \text{ eV}$**),
si verificano nel materiale effetti distruttivi
(frammentazioni, rotture di legami, ionizzazione, ...).

Radiazioni ionizzanti:

- **elettromagnetiche** ($m=0$, $E=h\nu$) \rightarrow raggi X e γ
- **corpuscolari** ($m>0$, $E = \frac{1}{2} mv^2$) \rightarrow particelle α , β^\pm , p, n, ...

L'assorbimento delle radiazioni nella materia è un processo molto vario e complesso. I parametri importanti sono:
tipo e energia della radiazione incidente, natura del materiale.

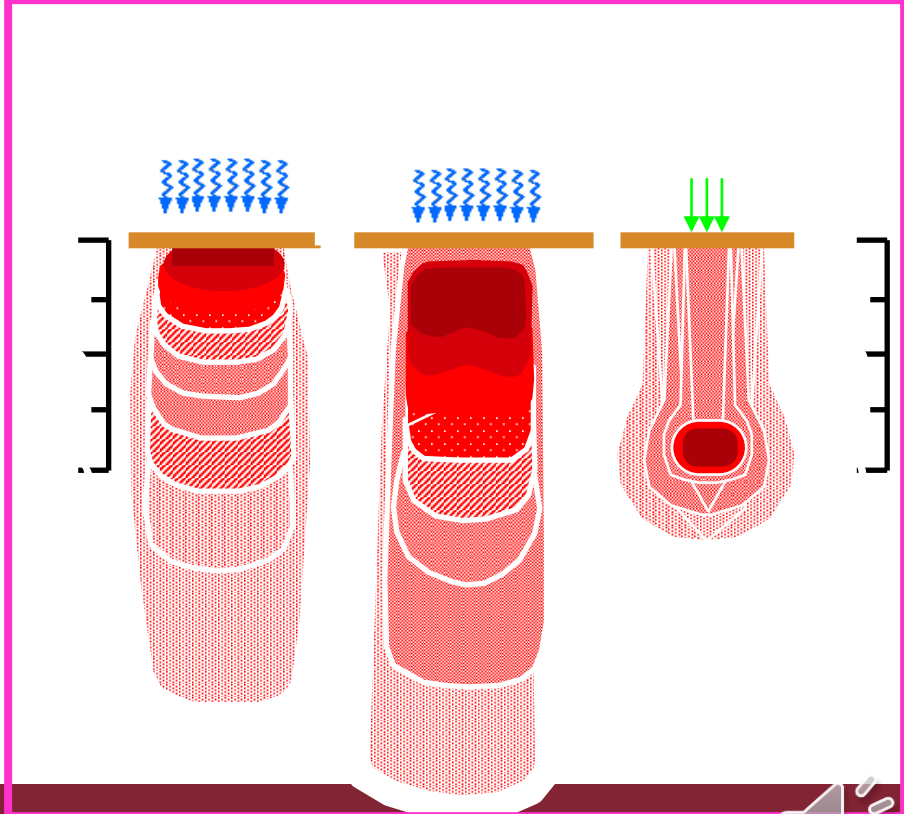
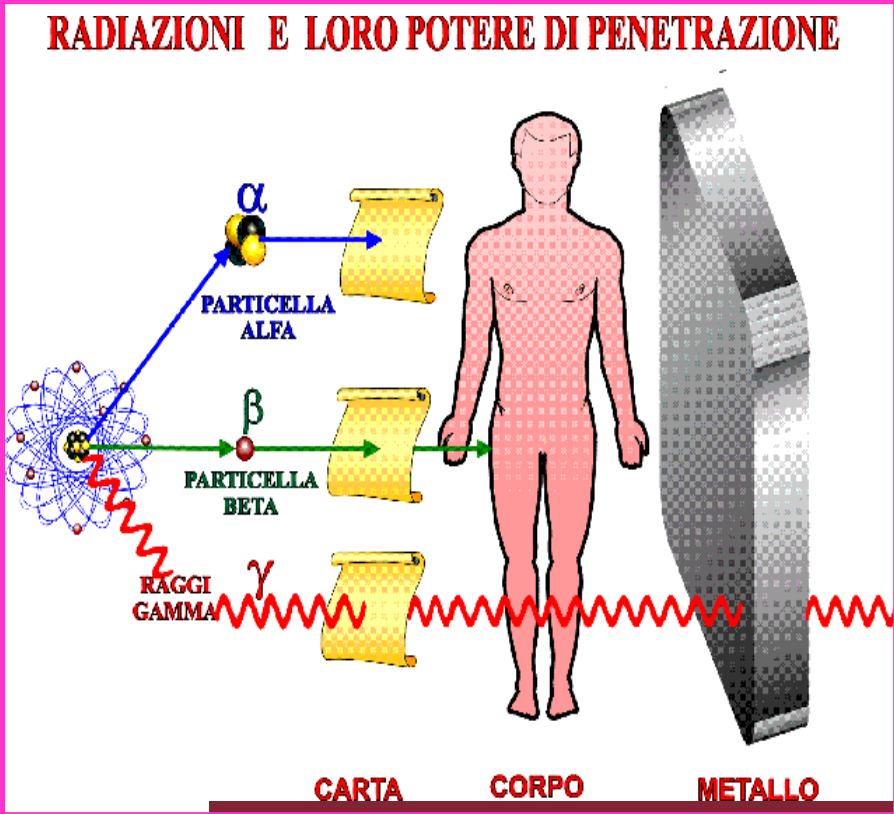


Penetrazione (range)

Radiazioni α, β, γ
in diversi materiali...

**Range $R (\propto E)$ =
distanza media
percorsa nella materia**

... e nel corpo umano
(impiego terapeutico)



Linear Energy Transfer (LET)

Le RI penetrano più o meno in profondità nei tessuti irradiati in funzione della loro natura ed energia ed in funzione della costituzione atomica del materiale irradiato.

In base a questo concetto le RI possono essere caratterizzate dalla densità di ionizzazione prodotta nella materia (raggi X e raggi γ sono a bassa densità di ionizzazione mentre particelle α e neutroni sono ad alta densità di ionizzazione).

La grandezza che esprime l'energia ceduta dalla radiazione per unità di percorso nel mezzo assorbente è detta *trasferimento lineare di energia (LET)* e si misura in $\text{eV}/\mu\text{m}$.



LET: trasferimento lineare di energia

- E' l' energia depositata dalla radiazione lungo un percorso rettilineo all' interno dei tessuti attraversati

Radiazioni a basso LET: fotoni, elettroni

la loro azione radiobiologica è influenzata dalla presenza di ossigeno

Radiazioni ad alto LET: protoni, neutroni, particelle pesanti

la loro azione radiobiologica non è influenzata dalla presenza di ossigeno

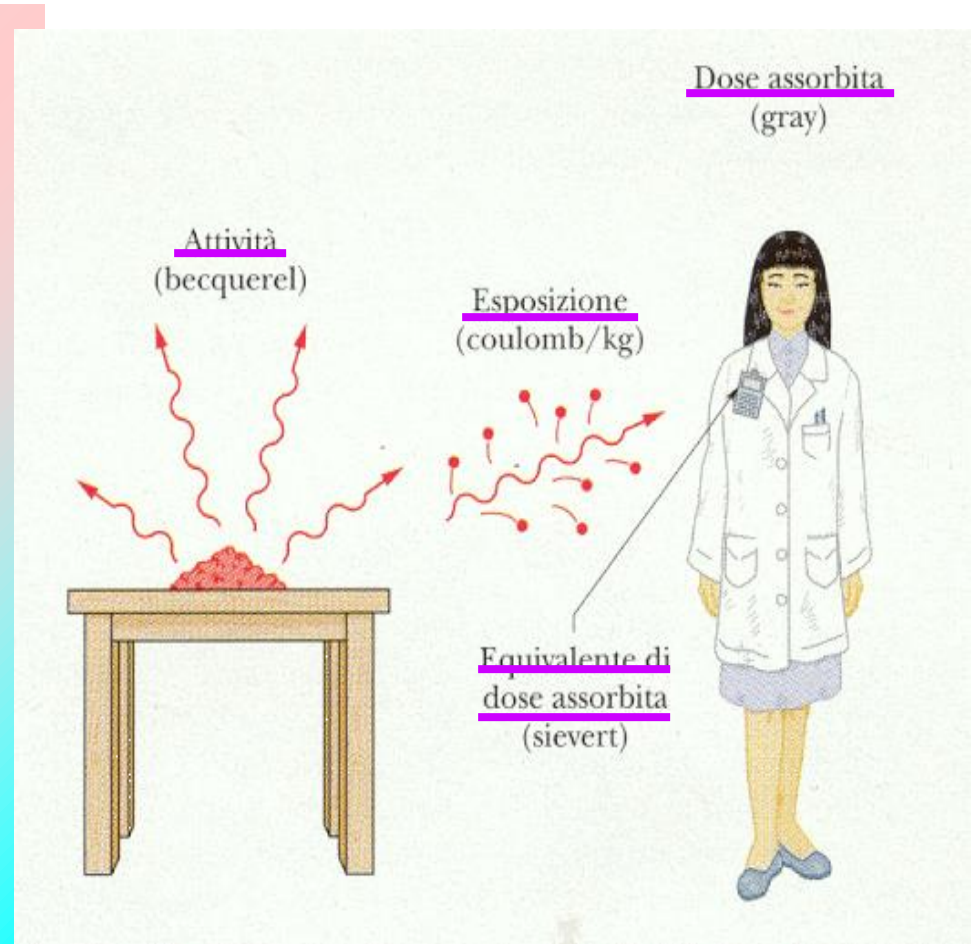


Emissione e assorbimento di radiazioni

Le radiazioni emesse da una sorgente radioattiva vengono irraggiate nello spazio in tutte le direzioni.

Una loro frazione, dipendente dall'angolo solido e dalla distanza ($I \propto \Omega/r^2$), colpisce il soggetto esposto cedendogli energia.

I danni che esso ne riceve dipendono dall'energia, dal tipo di radiazione, dagli organi che ne vengono colpiti.



Esposizione

I raggi X e γ nella materia provocano ionizzazione, cioè creano coppie di ioni carichi.

Esposizione (dose irradiata) =
misura della ionizzazione prodotta da una radiazione in un materiale

Materiale di riferimento: **aria** (1 cm³, 0°C, 1 atm)

Unità di misura:

SI: **C/kg**

pratico: **Röntgen** \rightarrow 0.33 · 10⁹ C in 1 cm³ di aria a 0°C, 1 atm

1 R = 2.58 · 10⁻⁴ C/kg



Dose assorbita



Dose = energia assorbita per unità di massa

$$D = \Delta E / \Delta m$$

m = massa del materiale assorbitore, non della radiazione!

Unità di misura:

SI → Gray = J/kg

pratico → rad = 100 erg/g

1 Gy = 100 rad



Problema: la stessa dose dovuta a radiazioni diverse e/o assorbita da materiali diversi produce effetti/danni diversi!



Dose equivalente

Per uniformità si definisce una radiazione standard: raggi X a 200 keV

Efficacia Biologica Relativa: $RBE = D_{(X\ 200\ keV)} / D_R$
= rapporto tra le dosi della radiazione standard e della radiazione R che producono lo stesso effetto nel materiale di riferimento.

Unità di misura:
SI → Sievert = RBE · Gray
pratico → rem = RBE · rad

$1\ Sv = 100\ rem$

Al posto della RBE si usa il **fattore di qualità QF** che tiene conto degli effetti globali di ionizzazione

Radiazione	QF
fotoni, elettroni	1
protoni	5
neutroni (varie energie)	5-20
particelle alfa, nuclei pesanti	20

es. 1 Gy (α) = 10 Sv
 1 Gy (X 200 keV) = 1 Sv



Dose efficace

Ulteriore problema: la stessa dose equivalente assorbita in organi o tessuti diversi produce effetti/danni diversi!

Dose efficace = dose equivalente "pesata" a seconda del diverso impatto sugli organi:
 $D_{eff} = w \cdot D_{eq} = w \cdot QF \cdot D$

A ogni organo/tessuto si assegna un **fattore di peso w** .

La somma dei fattori di peso di tutti gli organi è 1 (su tutto il corpo: dose efficace = dose equivalente)

Organi	w
gonadi	0.20
midollo osseo	0.12
colon	0.12
polmone	0.12
stomaco	0.12
vescica	0.05
mammella	0.05
fegato	0.05
esofago	0.05
tiroide	0.05
cute	0.01
superfici ossee	0.01
altri tessuti (tot.)	0.05
totale	1.00



Dall'irraggiatore all'irraggiato: sintesi

Dall'emissione...

Sorgente radioattiva

Attività → becquerel, curie

Materiale irraggiato

Esposizione → C/kg, röntgen

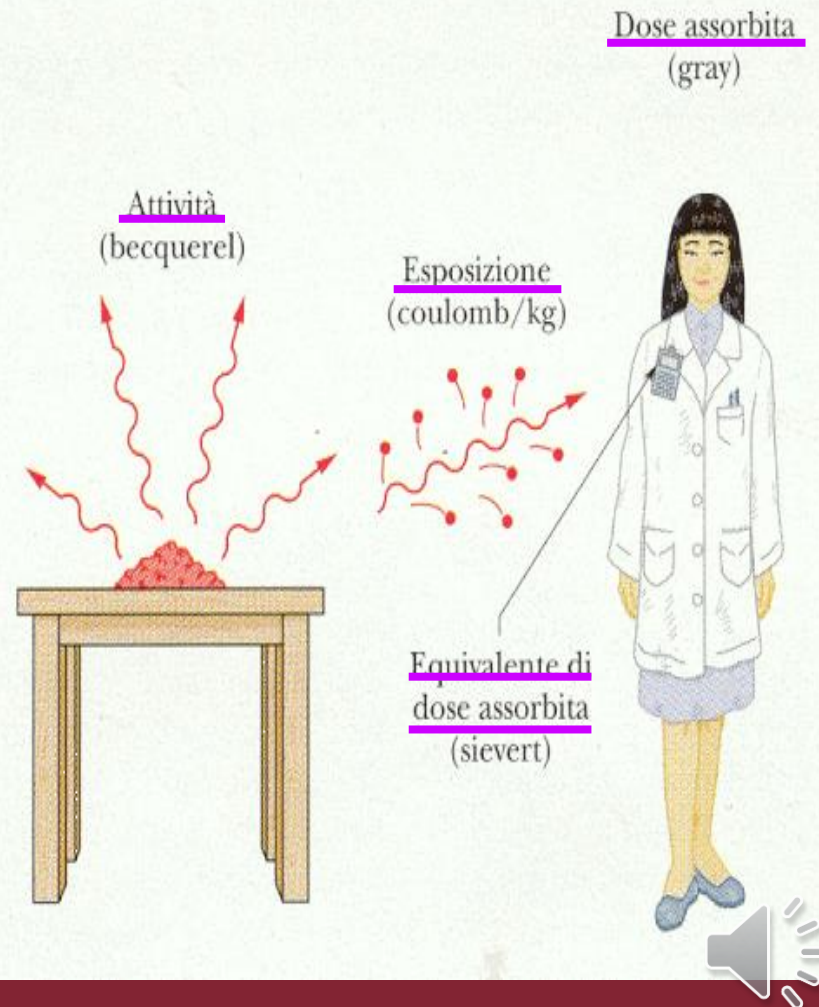
Assorbimento

Dose assorbita → gray, rad

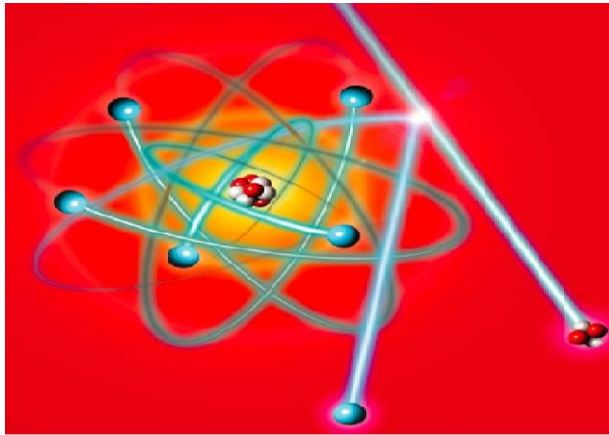
Danno biologico

Dose equivalente/efficace
→ sievert, rem

...all'assorbimento



Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti



ATOMI

- eccitazione
- ionizzazione

MOLECOLE

- eccitazione
- ionizzazione
- dissociazione

**STRUTTURE
SUB-CELLULARI**

- blocco biosintesi
- effetti genetici
- effetti funzioni nucleo

ORGANI

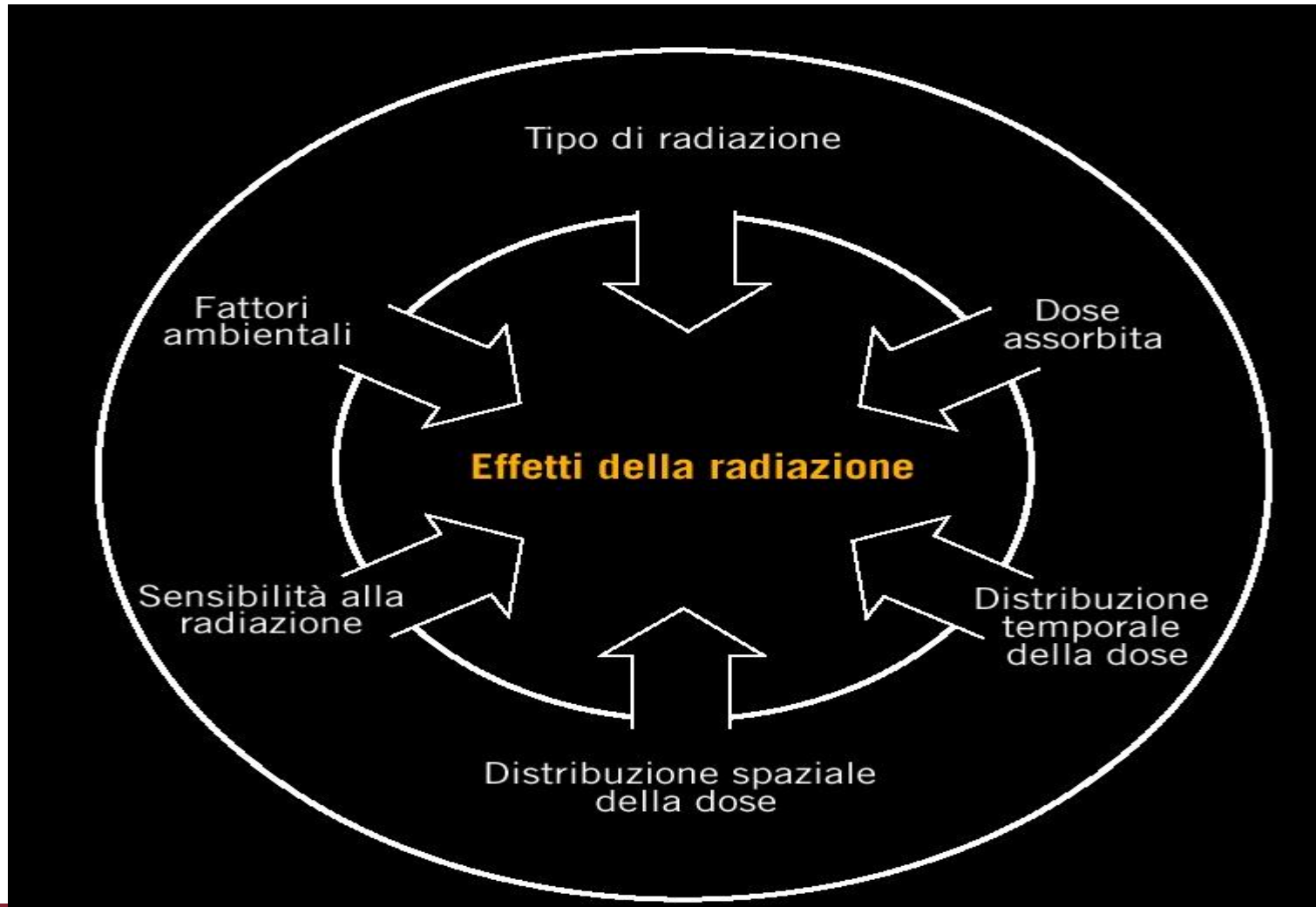
- effetti sulla crescita
- effetti su funzioni nervose
- effetti su risposta umorale

CELLULE

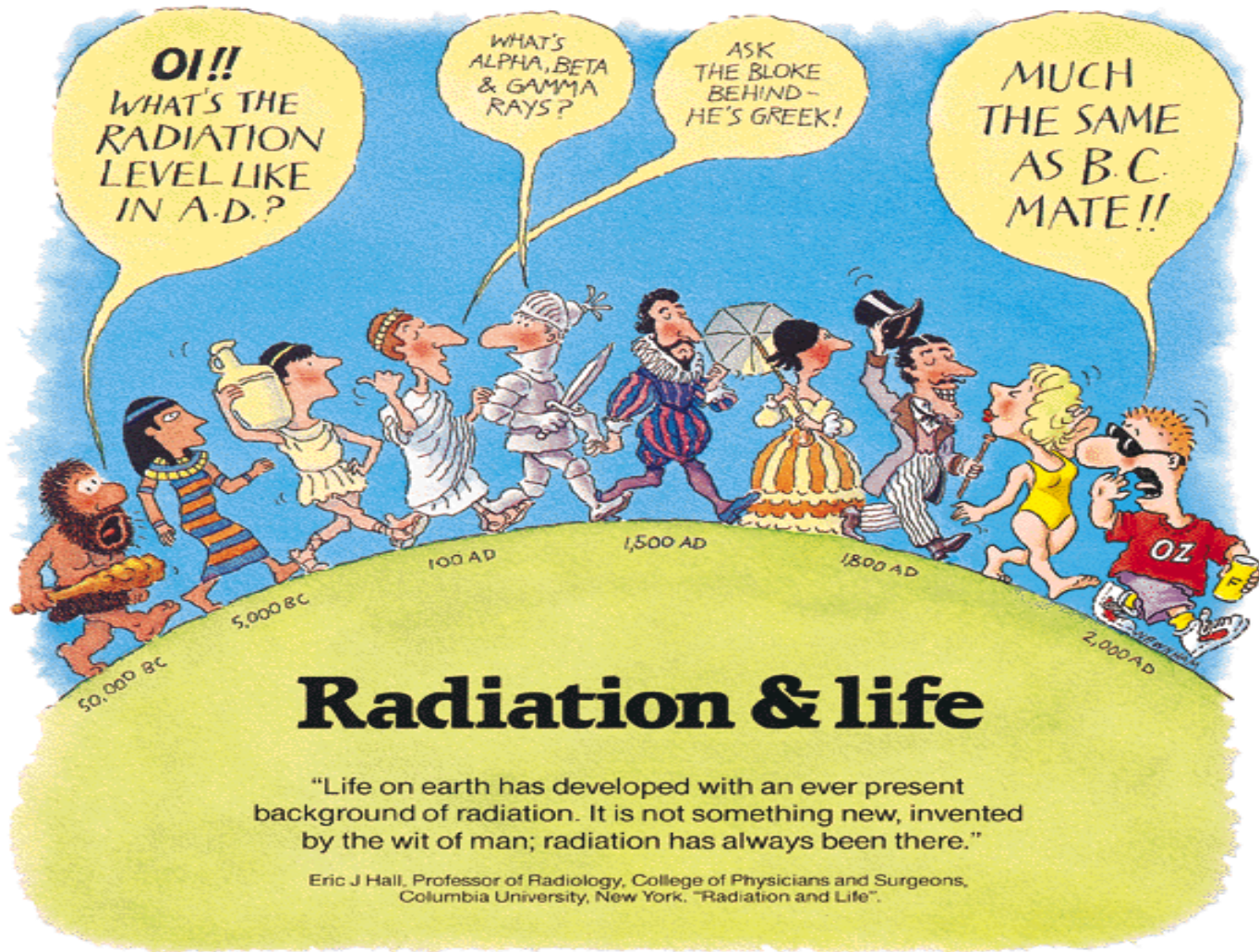
- blocco della divisione
- effetti sul metabolismo



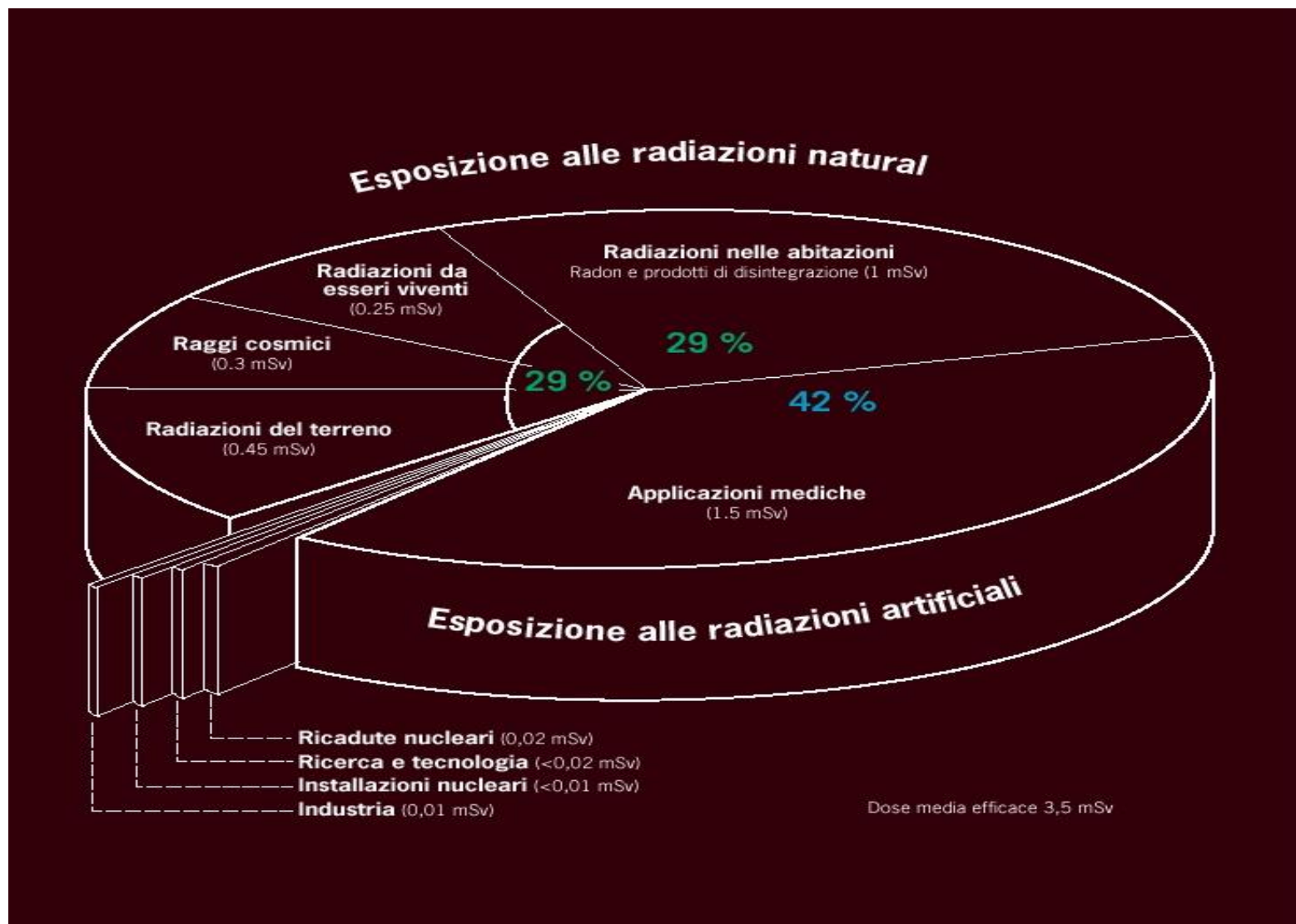
Gli effetti biologici dipendono da...



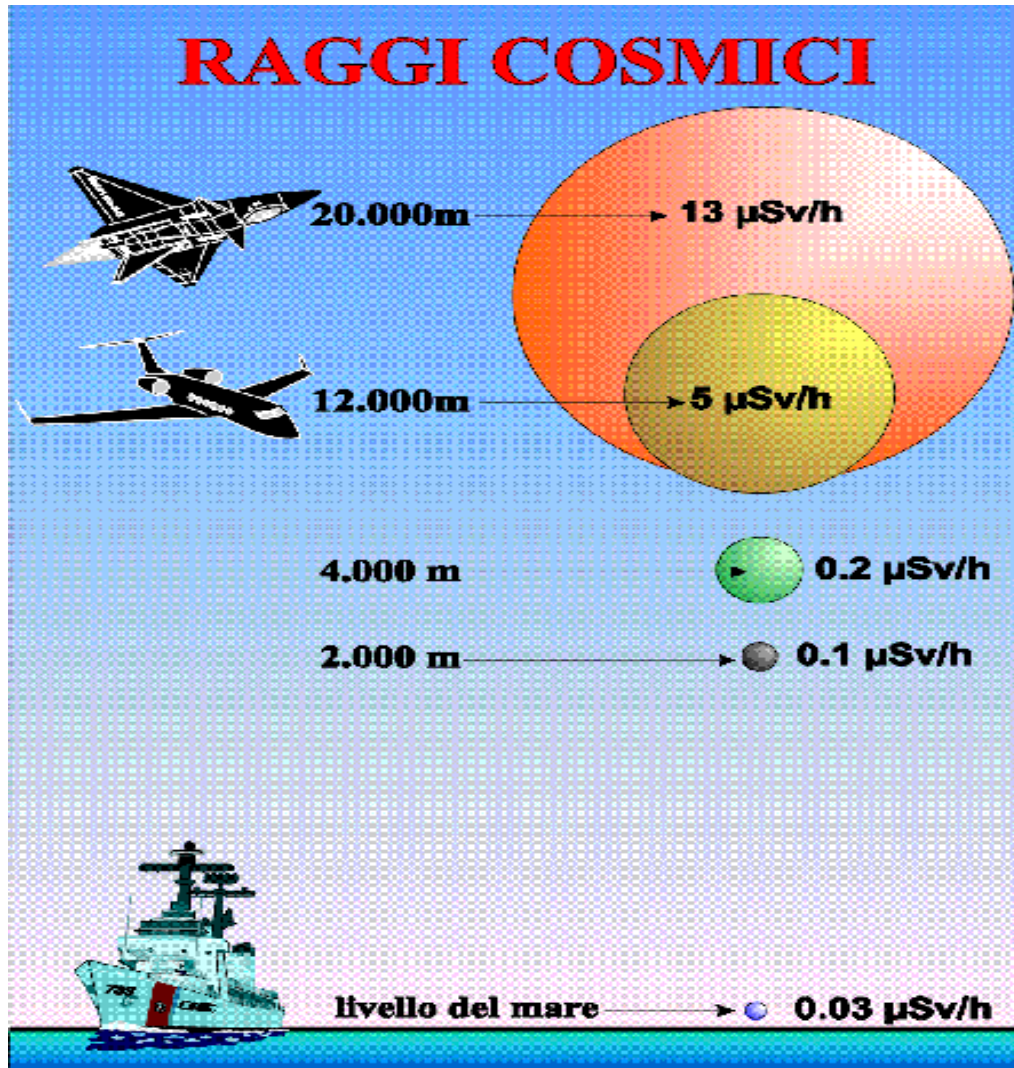
Radiazioni e vita



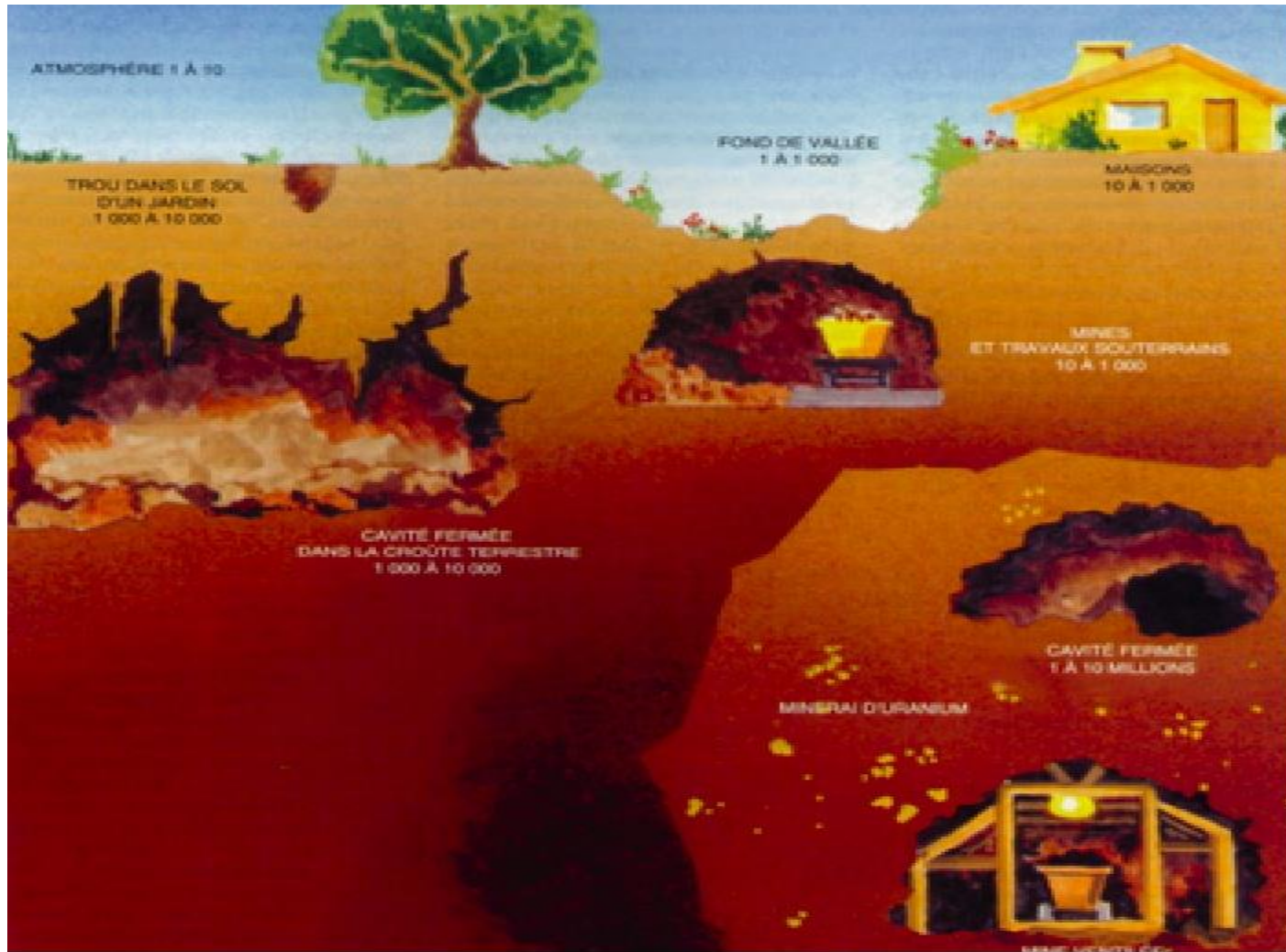
Radiazioni naturali e artificiali



Radiazione cosmica



Il radon nel terreno



Radioattività ambientale in Italia

DOSI AMBIENTALI
(valori annui in mSv)

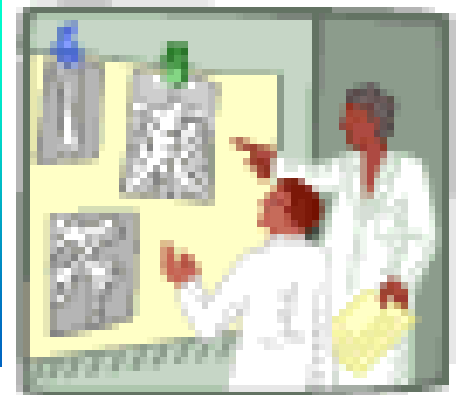


Dose da radiazioni naturali e artificiali

Radiazioni naturali	Dose media annuale
Sorgenti esterne	1 mSv
raggi cosmici	0.5 mSv
radiazione ambientale	0.5 mSv
Sorgenti interne	0.25 mSv
^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{14}C , ^{222}Rn (nel sangue)	
totale	1.25 mSv

Dose media assorbita in una radiografia

Addome	1 mGy
Urografia endovenosa	30 mGy
Colonna lombare	20 mGy
Torace	7 mGy
Radioscopia	100 mGy per min.



Tempo di esposizione

E' determinante **la durata** dell'esposizione:
una stessa dose, assorbita senza danno su tempi lunghi,
può essere letale se assorbita in tempi brevi
(irraggiamento acuto).

L'irradiazione dipende da:

materiale interposto **distanza** **tempo di esposizione**

inserire schermi

allontanarsi

abbreviare

le procedure

RADIOPROTEZIONE



Limiti di dose annua

Dosi efficaci annue in mSv

Radiazioni

Dose media popolazione

Raggi cosmici	0.39
Radiazione terrestre	0.46
Radionuclidi naturali nel corpo	0.23
Radon e suoi discendenti	1.3
TOTALE rad.naturali	2.4
Rad.diagnostica medica	0.33
(paesi industrializzati	1.1)

Dosi efficaci annue in mSv

Radiazioni

Dose media lavoratori

Attività ciclo nucleare	2.9
Attività altra industria	0.9
Attività diagnosi/terapia medica	0.5
MEDIA in attività con radiazioni	1.1

Limiti di dose annua per radiazioni artificiali:

popolazione normale
lavoratori esposti

1 mSv/anno
50 mSv/anno

