

# Interazione radiazione-materia biologica

## Radioprotezione

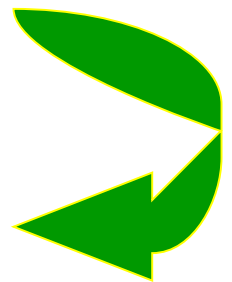
L'interazione dipende da  **$E$** ,  **$m$** ,  **$Q$** : parametri che regolano il trasferimento di energia in un'interazione e da quante interazioni avvengano in una data quantità di materiale (tessuto, organo, etc).

Gli urti in cui elettroni sono estratti dagli atomi/molecole (**ionizzazione**) sono generalmente dannosi per i tessuti biologici (e anche per molti materiali inorganici)



Radiazioni non  
ionizzanti (NI)

Radiazioni ionizzanti



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

# Effetti biologici dell'irradiazione

**Radiazione:** trasporto di energia nello spazio

- energia poi ceduta quando viene assorbita dalla materia
- effetto minimo garantito: aumento di  $T$  della zona interessata all'assorbimento

**Effetti** dell'assorbimento di radiazione:

- **Fisiologico** (es. fotosintesi) e **parafisiologico** (es. percezione sensoriale raggi X)
- **Patologico**: la radiazione nuoce più o meno gravemente alla normale attività cellulare

# Radiazioni non ionizzanti

Le onde elettromagnetiche emesse da

- Linee dell'alta tensione
- Apparecchi di risonanza magnetica nucleare
- Antenne radio
- Telefoni cellulari
- Stufe e fornelli a infrarossi

**Questi fotoni non hanno energia sufficiente per ionizzare**

(almeno per campi e.m. abbastanza poco intensi, per cui valga il regime di risposta lineare – 1 fotone alla volta)

# Effetti NI (1)

Basse freq. Freq. radio	$1000\text{km} \div 1\text{km}$  $1\text{km} \div 1\text{m}$	<p>Carica superficiale, eccitazioni nervose, disturbi al controllo muscolare, ??</p> <p>Riscaldamento fino a circa 10 mm di profondità</p>
Microonde	$1\text{m} \div 1\text{mm}$ a) 30cm b) 10cm  c) < 3cm	<p>Riscaldamento anche in profondità:</p> <p>a) Riesce ad arrivare sotto la pelle di 7-10cm</p> <p>b) Energia assorbita dallo spessore della cute</p> <p>Morte di piccoli mammiferi se potenza elevata</p> <p>c) Riscaldamento epidermico</p> <p>Disturbi: senso di calore, cefalea, dolore orbitario, sonnolenza, ipotensione, cataratta, opacità del cristallino, mutazioni cellule riproduttive.</p>
Infrarossi	$1\text{mm} \div 780\text{nm}$	<p>Aumento di <math>T</math> con alterazioni fisiologiche cellulari, mutazioni geniche e cromosomiche (errata duplicazione DNA); se intensi, danni alla cornea e alla retina</p>

# Effetti NI (2)

Laser IR/visibile		Effetti termici sulla retina dell'occhio
Visibile	(780÷400)nm	Abbagliamento dell'occhio
<p>UV</p> <p>UVA(315-400)nm</p> <p>UVB(280-315)nm</p> <p>UVC(100-280)nm</p> <p>(UVB e UVC sono in realtà ionizzanti,  <math>E_{\text{fotone}} &gt; 4\text{eV}</math>)</p>	<p>(100-400)nm</p> <p><math>\lambda &lt; 290\text{nm}</math> sono i più dannosi, ma quelli solari sono scarsi alla superficie terrestre</p>	<p>Fotocheratite, vasodilatazione, scottature solari (danni cellulari) e cancro alla pelle (melanoma). Mutazioni dovute a specifiche eccitazione di gruppi molecolari:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\lambda = 285\text{nm}</math> amminoacidi aromatici (fenilalanina, tirosina)</li> <li>▪ <math>\lambda = 265\text{nm}</math> basi amminiche degli acidi nucleici</li> <li>▪ <math>\lambda = 230\text{nm}</math> amminoacidi aciclici</li> </ul> <p>Distruzione di batteri, sterilizzazione</p>

# Effetti NI – Uomo

**Strato corneo:** schermo contro la luce, parzialmente riflessa e in parte assorbita dallo spessore

**Vasi del derma:** assorbono e disperdono calore prodotto dall'irradiazione IR (1100 nm) vanno fino a 1.5 cm sotto la pelle, nel visibile fino a 1 mm e nell'UV fino a 0.1 mm.

Reazioni cutanee: **eritema** (IR immediato, scompare al cessare della irradiazione perché è vasodilatazione termica, UV appare dopo periodo di latenza di alcune ore e regredisce dopo qualche giorno in quanto è dovuto a vasodilatazione chimica), **iperpigmentazione**

**Occhio:** Sia IR che UV causano congiuntiviti. Intensi raggi IR che arrivano al fondo dell'occhio causano ustioni alla retina (eclissi senza schermo o sfera di fuoco nucleare). Opacità cristallino.

Applicazioni mediche: vasodilatazione, produzione di vitamina D



# Radiazioni ionizzanti



a) **Direttamente** ionizzante - particelle cariche:

- alfa ( $\alpha$ )
- beta ( $\beta^+$ ,  $\beta^-$ )
- altre particelle cariche (protoni, ioni, ...)

perdono energia tramite interazione Coulombiana con gli elettroni del materiale

b) **Indirettamente** ionizzante – particelle neutre:

- elettromagnetiche (raggi X e  $\gamma$ )
- neutroni

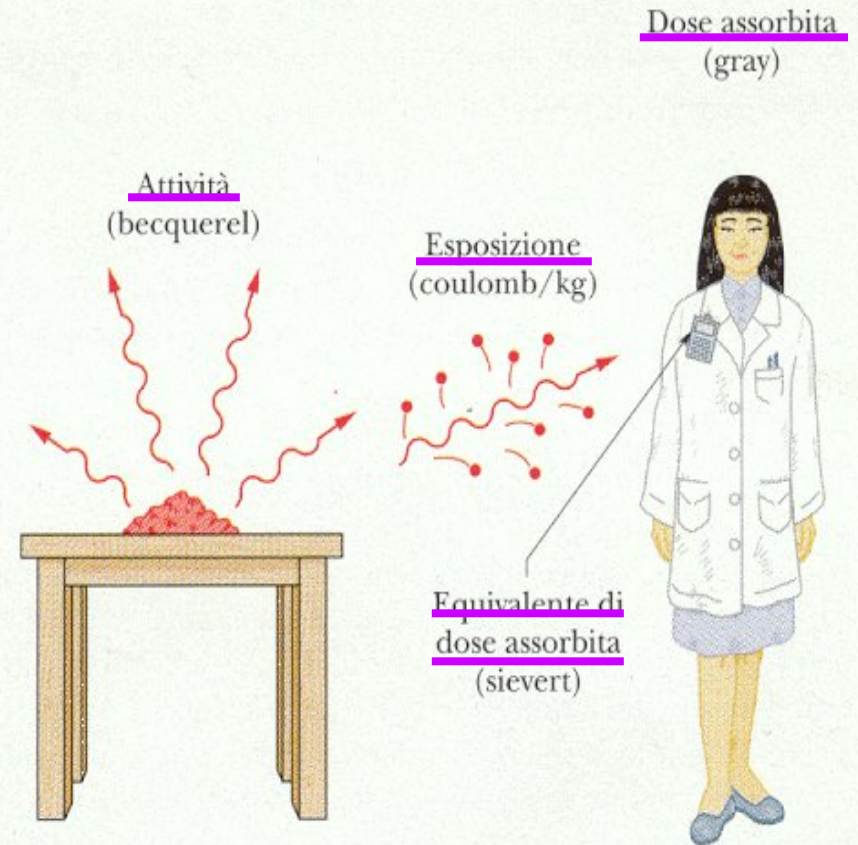
urtano ed espellono particelle cariche, che perdono energia, a loro volta ionizzando

# Emissione ed assorbimento di radiazione

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

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





# Grandezze radio-protezionistiche

**Attività:** numero dei decadimenti al secondo (ignora completamente la natura dei decadimenti e che fine fanno le radiazioni)

**Esposizione:** la quantità di ionizzazione prodotta dalla radiazione

**Dose assorbita:** quantità totale di energia che le radiazioni ionizzanti cedono alla materia per l'unità di massa attraversata (dipende dal tipo di sostanza che assorbe)

**Equivalente di dose:** misura l'effetto biologico della radiazione assorbita (tiene conto del tipo di radiazione, in modo da stimarne gli effetti indipendentemente dal tipo)

# Unità per la dosimetria

Attività	Esposizione	Dose assorbita (D)	Eq. di dose (DxFQ)
BECQUEREL	Coulomb/kg	GRAY	SIEVERT
Bq	C/kg	Gy	Sv
1 Bq = 1 disint./s	1 C/kg = 3.88·10 <sup>3</sup> Röntgen	1 Gy = 1 J/kg = 1 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> = 100 rad	1 Sv = 1 J/kg = 100 rem
1 Ci = 3.7 ·10 <sup>10</sup> Bq (vecchie unità)	1R = 2.58·10 <sup>-4</sup> C/kg (vecchie unità)	1 rad = 10 <sup>-2</sup> J/kg (vecchie unità)	1 rem = 10 <sup>-2</sup> J/kg (vecchie unità)

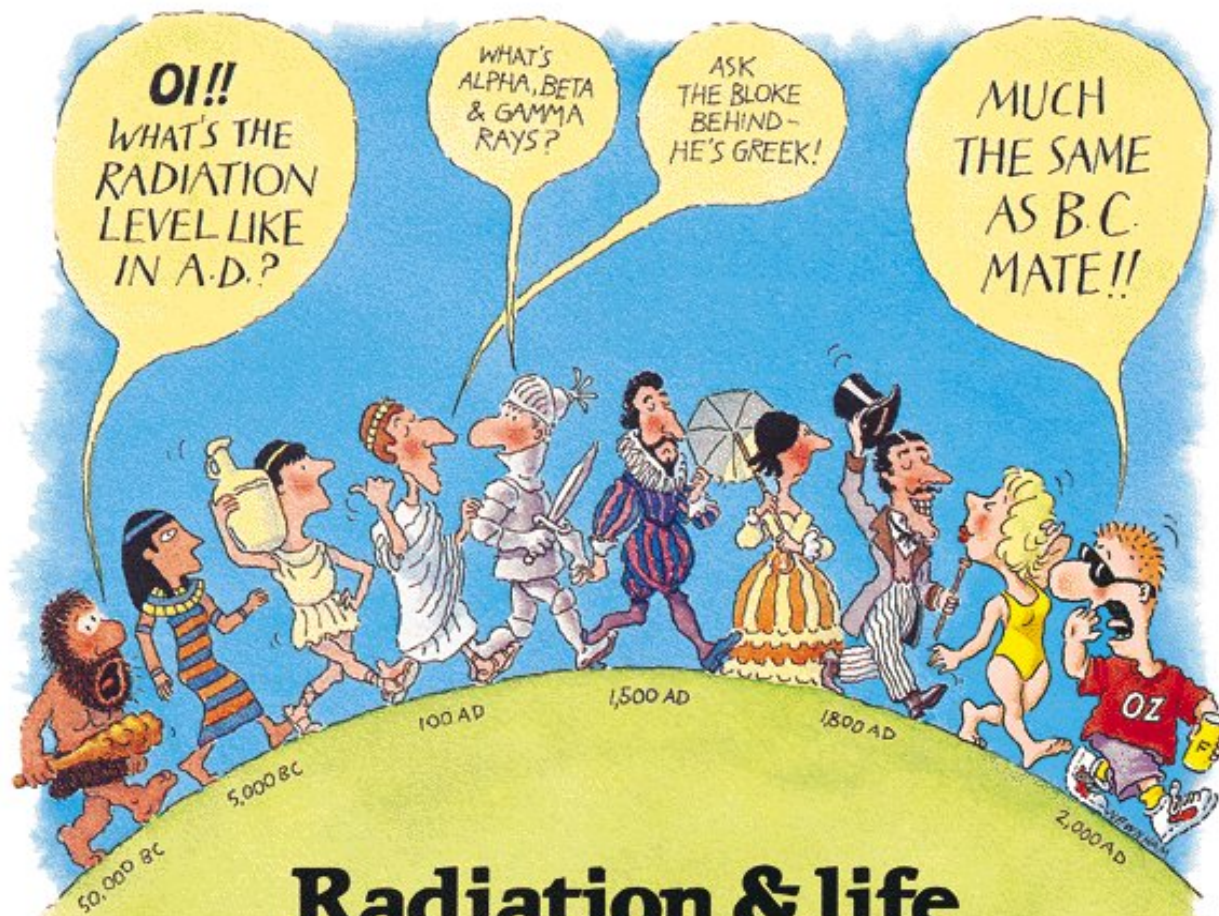
Il fattore di qualità FQ serve a rendere confrontabili gli effetti biologici di dosi equivalenti di diversi tipi di radiazione

# Fattore di qualità

Tipo	FQ
Fotoni (X e $\gamma$ )	1
Elettroni	1
Protoni > 2 MeV	5
Neutroni < 10 keV o > 20 MeV	5
Neutroni tra 10 KeV e 20 MeV	10 (20 tra 100 KeV e 2 MeV)
Particelle $\alpha$	20
Ioni pesanti	20

Radiazione  $\alpha$  causa un danno maggiore di  $\beta$  o  $\gamma$  (a parità di dose)

# Radioattività naturale

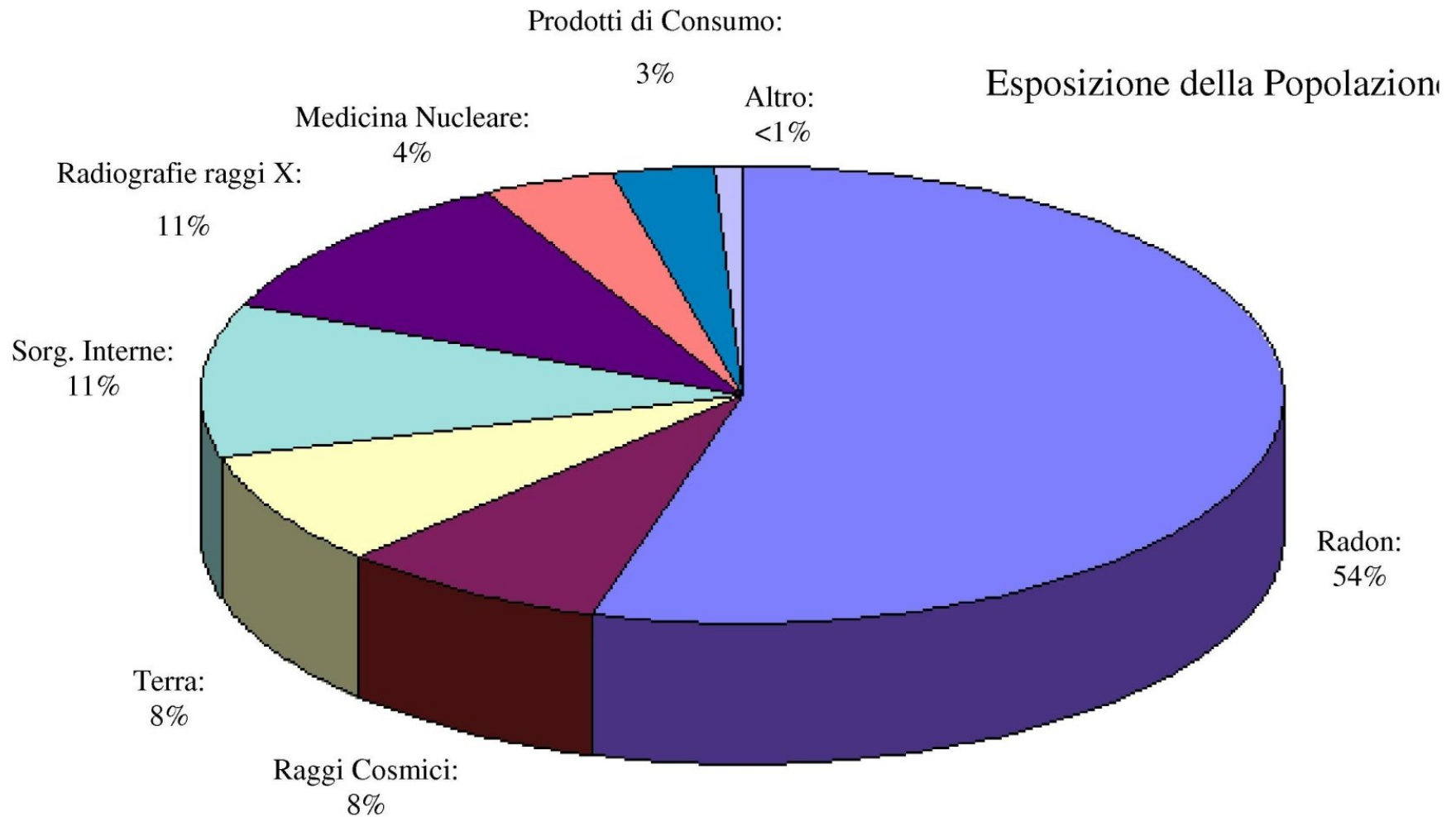


## Radiation & life

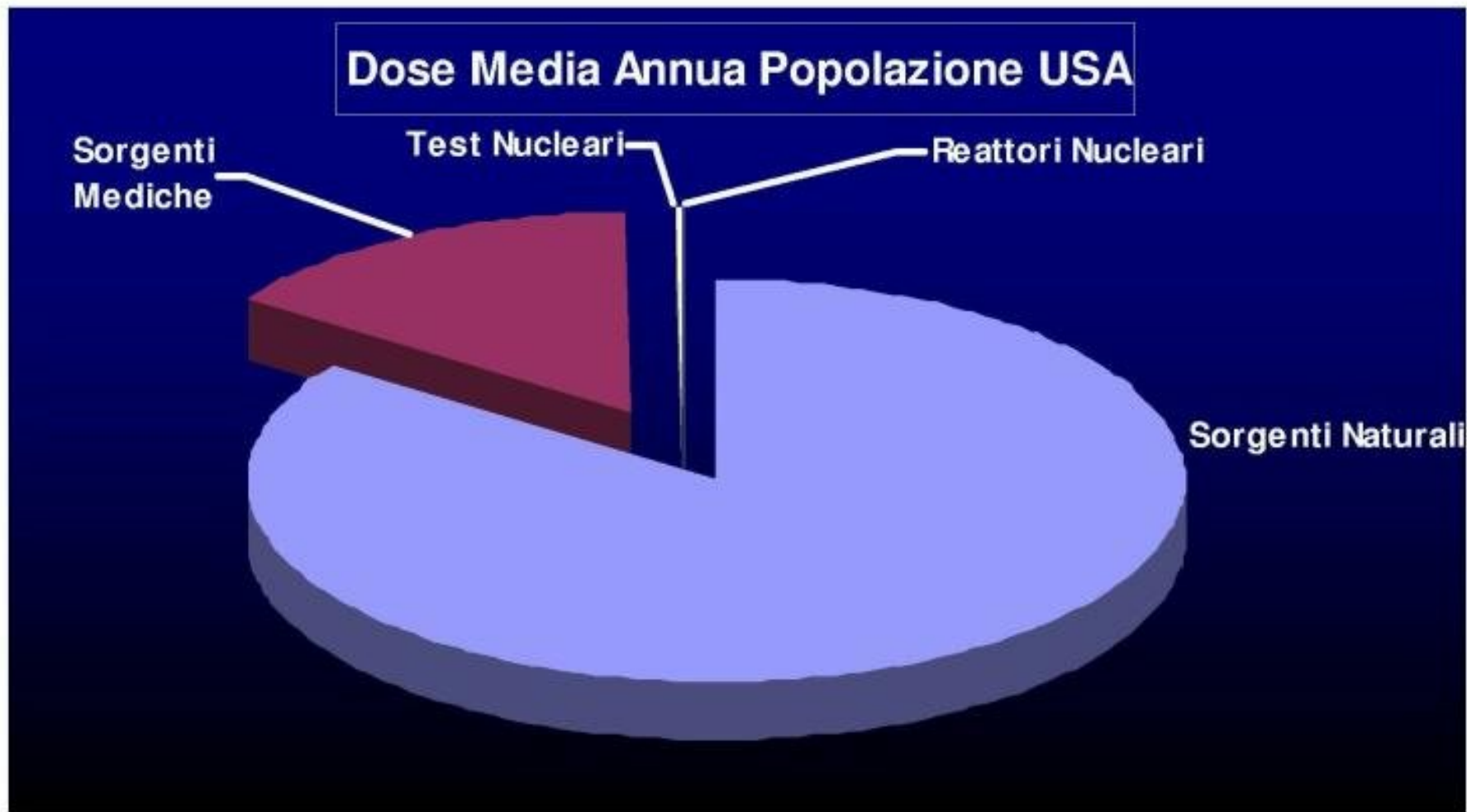
"Life on earth has developed with an ever present background of radiation. It is not something new, invented by the wit of man; radiation has always been there."

Eric J Hall, Professor of Radiology, College of Physicians and Surgeons, Columbia University, New York. "Radiation and Life".

# Esposizione media



# Esposizione media





# Sorgenti di radioattività

Alcuni Esempi di Sorgenti di Esposizione (Artificiali e non)	Dose
Centrale elettrica a carbone	1.65 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Centrale Nucleare (operazioni normali zona dell'impianto)	6 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Radionuclidi nel corpo umano (ad es. potassio)	390 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Materiali da edilizia (calcestruzzo)	30 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Acqua potabile	50 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Gas Naturale in casa	90 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Raggi-X da vecchio schermo TV (a 2.5 cm di distanza)	5 $\mu\text{Sv}/\text{ora}$
Orologio da taschino o da polso (con quadrante luminoso)	60 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Occhiali (contenenti torio)	60-110 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Volo aereo (a 12 km di altezza)	5 $\mu\text{Sv}/\text{ora}$

# Radioattività da radionuclidi interni all'uomo

Nuclide	Massa Totale del Nuclide presente nel corpo umano	Attività Totale del Nuclide presente nel corpo umano	Assunzione giornaliera
Uranio	90 µg	1.1 Bq	1.9 µg
Torio	30 µg	0.11 Bq	3 µg
Potassio 40	17 mg	4.4 kBq	0.39 mg
Radio	31 pg	1.1 Bq	2.3 pg
Carbonio 14	95 µg	15 kBq	1.8 µg
Trizio	0.06 pg	23 Bq	0.003 pg
Polonio	0.2 pg	37 Bq	~0.6 µg

Cibo	<sup>40</sup> K [Bq/kg]	<sup>226</sup> Ra [Bq/kg]
Banana	130.2	0.04
Noce Brasiliana	207.2	40-260
Carota	125.8	0.02-0.07
Patata	125.8	0.04-1
Birra	14.4	---
Carne rossa	111	0.02
Acqua potabile	---	0-0.006



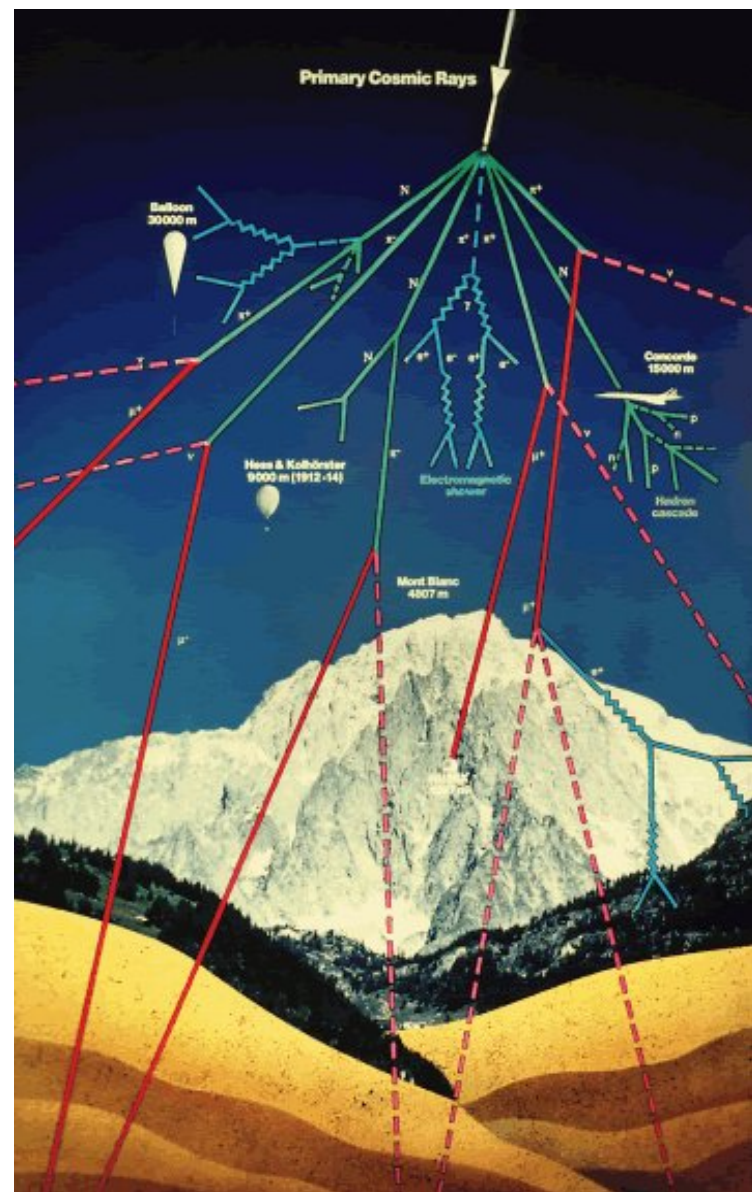
# Raggi cosmici

**Primari:** colpiscono lo strato esterno dell'atmosfera.

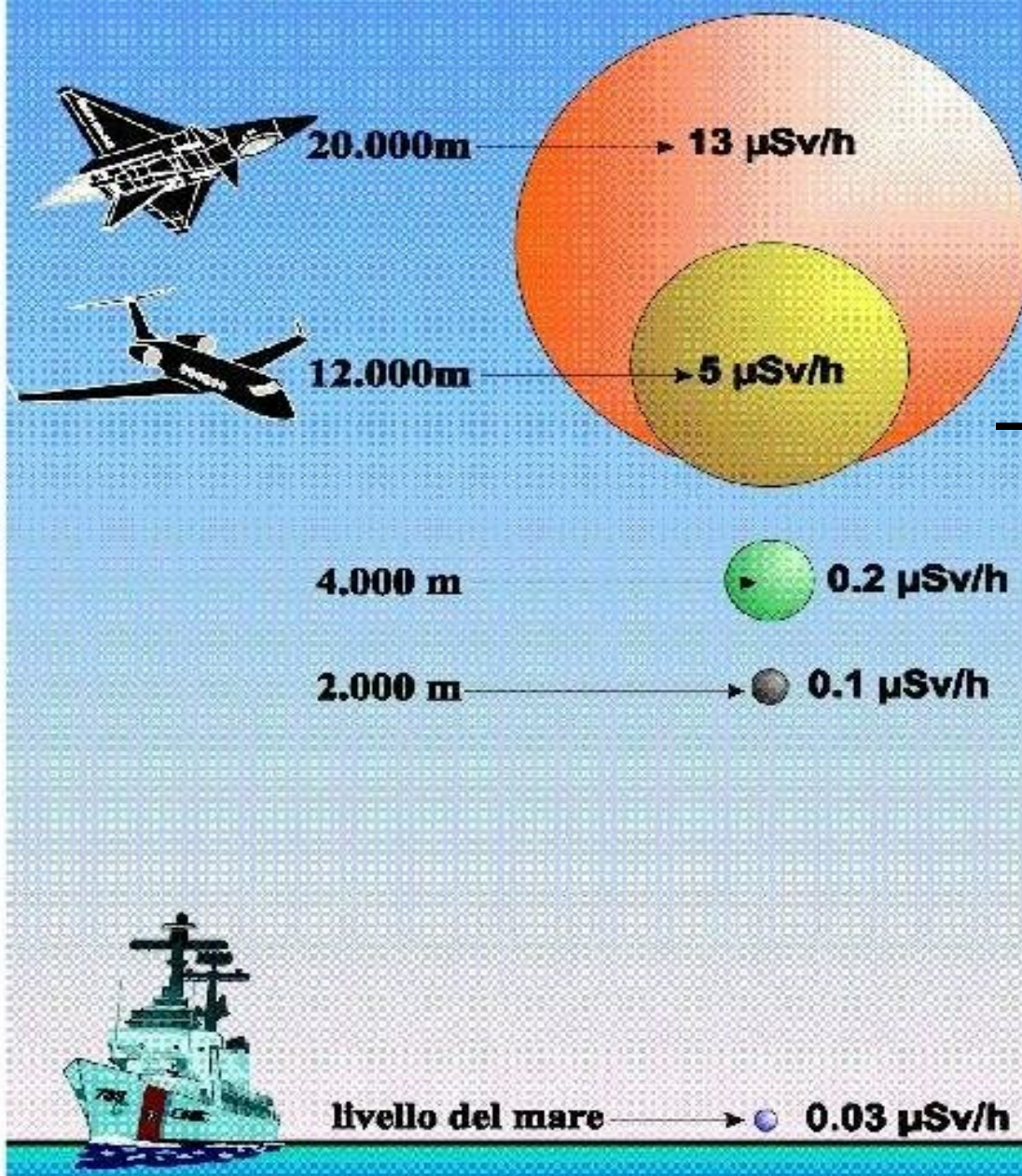
Tutte le particelle stabili: fotoni, neutrini (tanti!), elettroni, positroni, protoni, nuclei a lunga vita media ( $>10^6$  anni), particelle provenienti da interazioni con gas interstellare (neutroni, nuclei leggeri)

**Secondari:** sciame di nuove particelle e antiparticelle create nella collisione dei cosmici primari con gli atomi dell'atmosfera.

Dall'analisi dello sciame di “pioggia” cosmica scoperti (anni '30) il positrone (prima particella di antimateria), ed altre particelle elementari (pioni e muoni)



# RAGGI COSMICI



25% dell'assorbimento

10000 m

75% dell'assorbimento



# Raggi cosmici e voli aerei

Volo	Volo Subsonico a 11 km d'altezza			Volo Supersonico a 19 km d'altezza		
	Durata del volo (ore)	Dose per A/R (mrad) (μGy)		Durata del volo (ore)	Dose per A/R (mrad) (μGy)	
Los Angeles-Parigi	11.1	4.8	48	3.8	3.7	37
New York-Parigi	7.4	3.1	31	2.6	2.4	24
Chicago-Parigi	8.3	3.6	36	2.8	2.6	26
New York-Londra	7.0	2.9	29	2.4	2.2	22
Los Angeles-New York	5.2	1.9	19	1.9	1.3	13
Sydney-Acapulco	17.4	4.4	44	6.2	2.1	21

Il personale di volo delle compagnie aeree in media è esposto a circa 2 mSv/anno in più del background medio al suolo.

# Irraggiamento totale medio per fondo di radiazione naturale:

Sorgente	Dose equivalente (in mSv/anno)
Raggi cosmici	0,45
Radiazione gamma terrestre	0,6
$^{40}\text{K}$	0,17
Elementi pesanti	0,07
$^{14}\text{C}$	0,01
<b>Totale</b>	<b>1,29</b>

# Esposizione per diagnostica/terapeutica medica

Sorgente di dose per cure mediche	Dose [mSv]
Radiografia – raggi X	0.01 – 0.1
Esame diagnostico alla tiroide (sulla tiroide)	300 – 600
Esame diagnostico alla tiroide (a tutto il corpo)	30 – 50
TAC	10 – 20
Trattamento terapeutico alla tiroide (sulla tiroide)	100000
Trattamento terapeutico alla tiroide (a tutto il corpo)	50 – 150

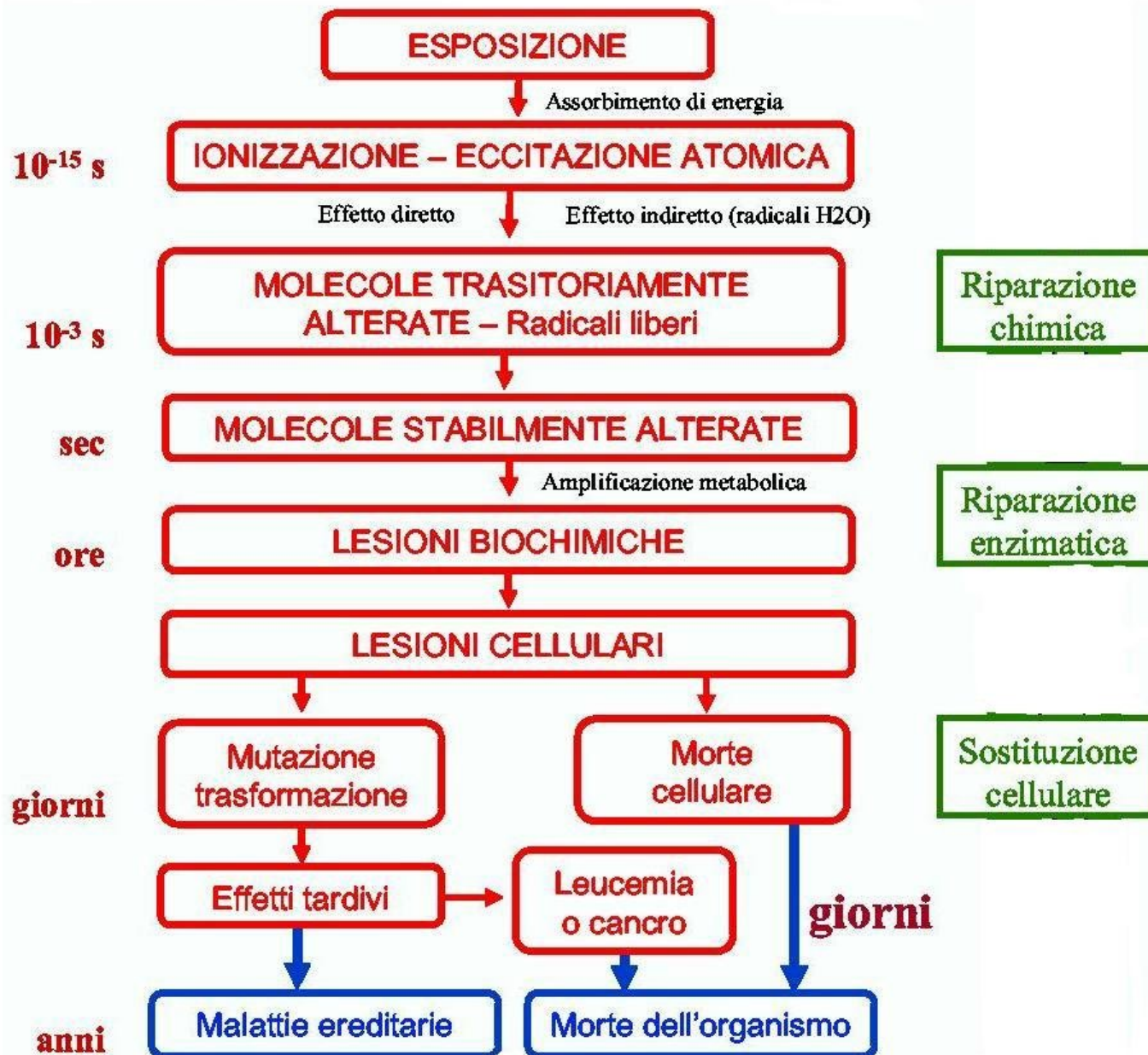
# Effetti biochimici - biologici

Processo di ionizzazione implica modifica struttura cellula

- Ionizzazione ( $10^{-24} \div 10^{-14}$  s)
- Gli ioni sono instabili: generano **radicali liberi** ( $10^{-7} \div 10^{-3}$  s), spesso a partire da  $\text{H}_2\text{O}^\pm$ : frammenti  $\text{OH}^-$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}^+$ , e  $\text{H}$
- Interazione radicali liberi ( $10^{-6}$  s) con le biomolecole ne causano **mutamenti** ( $10^{-3} \div 10^3$  s)
- Questi mutamenti biologici (immediati o tardivi) possono dare origine a effetti diversi, tra cui:
  - a) **modifiche** del patrimonio genetico
  - b) **interruzione** del processo di riproduzione cellulare (mitosi)

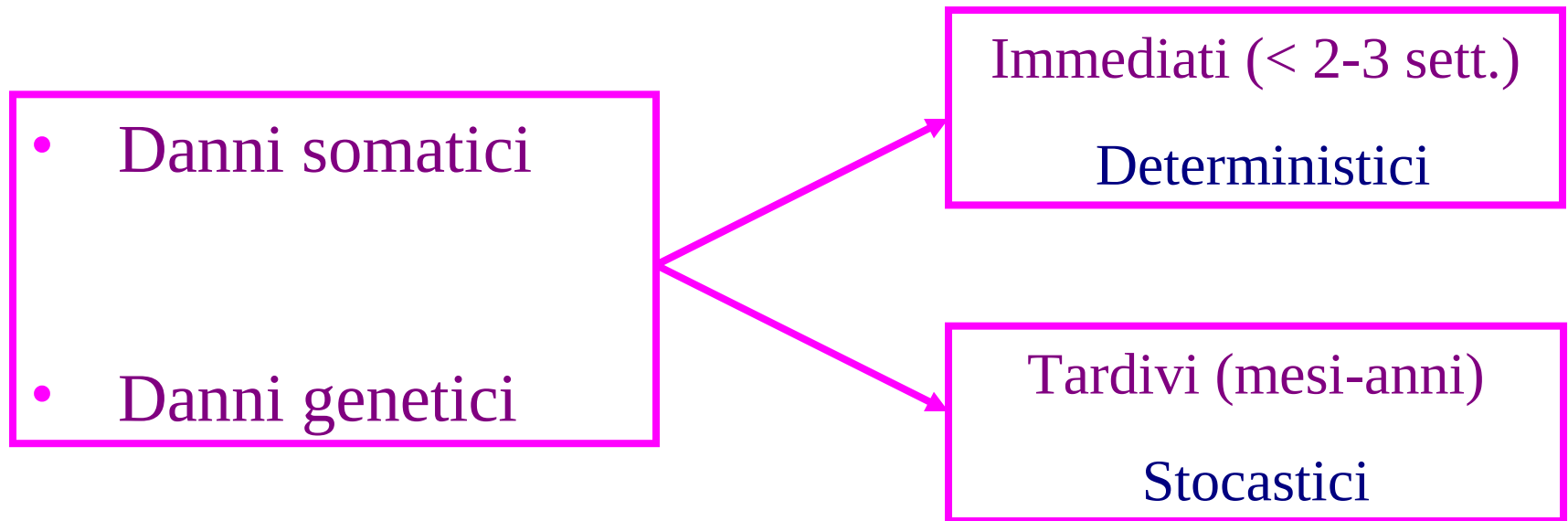
La maggior parte del trasferimento energetico ai materiali biologici avviene per via indiretta e mediata dai radicali di origine acquosa.

# Effetti dell'esposizione



# Danno biologico

Due classi generali





# Danni biologici

## Effetti somatici deterministici:

hanno una soglia  
sono graduali  
sono di solito precoci

- La soglia si colloca verso 0.5 - 1 Gy
- I tessuti con soglia più bassa sono:

### →Gonadi

Ipospermia	0.15 Gy esp. acuta	0.4 Gy/anno cronica
Sterilità maschile	3.5 - 6 Gy acuta	2 Gy/anno cronica
Sterilità femminile	2.5 - 6 Gy acuta	0.2 Gy/anno cronica

### →Cristallino

Opacità	2 -10 Gy acuta	0.15 Gy/anno cronica
---------	----------------	----------------------

### →Ematopoietico (soprattutto linfociti, ma anche globuli rossi)

Depressione midollare	0.5 Gy acuta	0.4 Gy/anno cronica
-----------------------	--------------	---------------------

# Danni biologici

## Effetti stocastici (probabilistici):

non hanno una soglia (o così si pensa)

la probabilità di comparsa è proporzionale alla dose equivalente

la gravità dell'effetto non dipende dalla dose (tutto o nulla)

LNT (linear no threshold) model

- Probabilità di accadimento di tumore letale a basse dosi per unità di dose =  $0.05 \text{ Sv}^{-1}$
- Accadimento =  $0.05 \times n. \text{ persone} \times \text{dose efficace}$ .

**Esempio:**  $n. \text{ persone} = 1.000.000 = 10^6$

dose efficace =  $1 \text{ mSv} = 10^{-3} \text{ Sv}$

Numero di accadimenti =  $5 \cdot 10^{-2} \times 10^6 \times 10^{-3} = 50$

Cioè in media 50 tumori letali in più per ogni milione di persone esposte ad 1 mSv (in più oltre al fondo di radiazione)

(dose limite annuale di legge per la popolazione generale, mentre lavoratori esposti Cat. A: 20 mSv/anno; Cat. B: 6 mSv/anno)

# Danni somatici (1): sindrome acuta

Dose (Sv)	Effetto di una irradiazione generalizzata
<0.25	Nessun sintomo
0.50	Nausea, lieve malessere e riduzione dei globuli rossi nella II e III settimana
1	Fortissima nausea con vomito e astenia. Nella II-IV settimana appare la prima leucopenia e poi anemia riducendo le capacità di difesa dell'organismo
2	Sindrome acuta da radiazioni: <b>stato iniziale</b> di shock con nausea, vomito, inappetenza, <b>stadio di latenza</b> , <b>stadio acuto</b> con grave anemia, leucopenia, astenia, febbre, tachicardia, ipotensione arteriosa, diarrea, tendenza a collasso
4	Stadio acuto più grave: 50% degli irradiati muore dopo circa 30÷60 giorni
6	100% degli irradiati muore entro i 30 giorni successivi
>6	Lo stadio acuto è dominato dalla caduta dell'epitelio intestinale con grave shock e setticemia (morte individuo)

# Danni somatici (2): dosi pericolose

Dosi con effetti rilevanti dal punto di vista della radiopr.	Dose assorbita	Range
Primi sintomi di disturbi da Esposizione alla Radiazione	0.75 Gy	
Inizio della sindrome ematopoietica	3 Gy	1 - 8 Gy
Inizio della sindrome gastrointestinale	10 Gy	5 - 12 Gy
Inizio della sindrome cerebrovascolare	100 Gy	>50 Gy
Soglia per cataratta (dose all'occhio)	2 Gy	
Probabilità di morte al 50% senza cure mediche	4 Gy	3 - 5 Gy
Dose efficace per il raddoppio di rischio di effetti genetici	1 Sv	
Dose efficace per il raddoppio di rischio di cancro	5 Sv	(8% ogni Sv, livello nat. al 20%)
Dose efficace per l'incremento di rischio di cancro dell' 1 per mille	12.5 mSv	(8% per 1 Sv)
Soglia per consigliare un aborto terapeutico (dose efficace all' utero)	0.1 Sv	
Three Mile Island (dose efficace complessiva presso la Centrale)	0.8 mSv	

## Danni somatici (3)

Cute	<p>Dose eritema (soglia): arrossamento cute dopo 7-12 giorni (diverso da quello solare) e iperpigmentazione. Eritema bolloso (vesciche) ulcerazioni necrotiche (cicatrici, cute atrofica con degenerazione carcinomatosa a distanza di anni, dermatite cronica)</p> <p><math>\alpha</math> con <math>E &lt; 7 \text{ MeV}</math> e <math>\beta</math> con <math>E &lt; 70 \text{ keV}</math> non danno lesione</p> <p><math>\beta</math> con <math>E &lt; 0.5 \text{ MeV}</math> danno lesioni superficiali</p> <p>Irradiazione neutronica: reazione eritematosa è immediata</p>
Tessuti emopoietici	<p>Tessuti linfatici, midollo osseo rosso (leucociti ed eritrociti). Riduzione dei globuli bianchi e rossi (anemia e leucopenia). I tessuti linfatici sono i più sensibili (anche con dosi modeste)</p>
Sistema gastro-intestinale	<p>Mucose boccali e faringee sono molto sensibili, arrossamento, gonfiore, ulcerazione. Mucosa gastrica, villi duodeno e tenue sono i più sensibili: mancanza di epitelio implica mancanza di barriera contro i batteri e quindi morte per <b>setticemia</b>. Fegato e pancreas molto resistenti</p>

## Danni somatici (4)

### Apparato riproduttivo

I tessuti germinali sono altamente sensibili. Danni temporanei e permanenti. Riduzione numero di spermatozoi con dosi basse (settimane seguenti) e alterazioni ciclo mestruale. Riduzione di fertilità. Dose di 2.5 Sv inducono sterilità temporanea. Dosi superiori inducono sterilità permanente Sterilità nell'uomo non implica impotenza.

Nel caso della donna l'arresto della produzione degli ormoni follicolare e luteinico causa involuzione pseudosenile dell'apparato sessuale. In caso di gravidanza:

**Uovo fecondato:** morte se irradiato nelle prime divisioni (gastrulazione), malformazioni se irradiato dopo l'impiantazione dell'uovo (15 giorni). Di solito morte del feto o feto deforme. Se l'utero viene irradiato in epoca successiva le malformazioni diminuiscono.

**Embrione:** danni in caso di alterazioni mucosa uterina.

## Danni somatici (5)

Capelli, barba, peli	Caduta nella prima settimana. Ricrescita normale (uomo) depigmentati (negli animali)
Occhio	Radioresistente tranne la lente cristallina (opacità con radiaz. ionizzanti)
Sistema respiratori	Tessuti bronchiali e polmonari rispondono con infiammazioni e fibrosi.
Tiroide	Riduzione della secrezione ghiandola tiroidea
Tessuto osseo	Poco sensibile, solo molte decine di Gy inducono necrosi ossee. Compromissione o arresto o riduzione del processo di sviluppo ossa lunghe nei bambini e ragazzi. Muscoli, tendini e tessuti connettivi sono molto radioresistenti
Reni	Lesioni degenerative. Nefrosclerosi causa di accorciamento di vita
Encefalo	Molto sensibile: con dosi molte elevate si ha morte nel giro di poche ore o qualche giorno

# Effetti stocastici (probabilistici)

- Danni di gravità indipendente dalla dose
- Effetti presenti solo in alcuni individui a caso esposti alle RI, indipendentemente dalla dose assorbita ma statisticamente più probabili quando la dose sia maggiore
- Danni non tipici/esclusivi delle radiazioni ionizzanti
- Assenza di una dose soglia
- Effetti insorgono dopo anni
- Effetti presenti spontaneamente anche sui non esposti
- **Effetti:** neoplasie, aberrazioni cromosomiche, mutazioni genetiche (somatiche o prole)



# Danni genetici stocastici (1)

Studi sperimentali su animali e piante indicano probabilità d'insorgenza di danni genetici.

Su umani ci sono dati epidemiologici da Hiroshima-Nagasaki e da Chernobyl

Table 1. Mortality in the Life Span Study (LSS), 1950–1990, according to age at the time of bombing (based on Pierce *et al*<sup>(4)</sup>).

Age at time of bombing in 1945	No of people in LSS in 1950	Percentage surviving to 1991	Solid cancers		Leukaemia	
			Observed deaths	Estimated excess <sup>(a)</sup>	Observed deaths	Estimated excess <sup>(b)</sup>
0–9	17,824	94	227	24	35	15
10–19	17,557	86	662	66	43	17
20–29	10,882	77	816	62	32	12
30–39	12,270	51	1688	78	50	20
40–49	13,489	16	2370	72	59	22
50+	14,550	1	1815	32	30	1
Total	86,572	56	7578	334	249	87

4% in più

35% in più

<sup>(a)</sup>Estimated number, based on a model under which the excess relative risk (ERR) varies with dose according to a linear relationship, and such that the ERR decreases with increasing age at exposure and is greater for females than for males.

<sup>(b)</sup>Estimated number, based on a model under which the excess absolute rate (EAR) varies with dose according to a linear-quadratic relationship, and also varies by age at exposure, time since exposure and gender.

# Danni genetici stocastici (2)

Studi statistici sugli esposti al fallout nucleare di Hiroshima e Nagasaki mostrano un significativo aumento d'incidenza di cancro solido e **leucemia**

Table 2. Mortality in the Life Span Study (LSS), 1950–1990, by radiation dose (based on Pierce *et al*<sup>(a)</sup> and Shimizu *et al*<sup>(14)</sup>).

Dose (Sv) <sup>(a)</sup>	No of people in LSS in 1950 <sup>(b)</sup>	Solid cancers		Leukaemia		Non-cancer diseases	
		Observed deaths	Estimated excess <sup>(c)</sup>	Observed deaths	Estimated excess <sup>(d)</sup>	Observed deaths	Estimated excess <sup>(e)</sup>
<0.005	36,459	3013	–42	73	9	11,484	–106
0.005–0.1	32,849	2795	85	59	–3	10,293	155
0.1–0.2	5467	504	18	11	0	1743	–52
0.2–0.5	6308	632	77	27	15	2018	20
0.5–1.0	3202	336	73	23	16	950	64
1.0–2.0	1608	215	84	26	22	446	40
2.0 or more	679	83	39	30	28	183	50
Total	86,572	7578	334	249	87	27,117	171

<sup>(a)</sup>Based on dose to the colon for solid cancers and for non-cancer diseases, and on dose to the red bone marrow for leukaemia, with a weighting factor of 10 for neutrons in each case.

<sup>(b)</sup>Numbers subdivided according to weighted colon dose.

<sup>(c)</sup>Estimated number, based on a model under which the excess relative risk varies with dose according to a linear relationship.

<sup>(d)</sup>Estimated number, based on a model under which the excess absolute rate varies with dose according to a linear–quadratic relationship.

<sup>(e)</sup>Estimated number, based on a model under which the excess relative risk varies with dose according to a linear–quadratic relationship.

# Danni genetici stocastici (3)

## Prima generazione

- Primo mese di gravidanza: aborto
- Secondo-terzo mese: no aborto ma colpiscono l'embrione nel periodo della formazione degli organi e degli apparati. Malformazioni
- Quarto mese: né aborti né malformazioni, ma inducono effetti tardivi nei primi anni del nascituro. Difetti nel sistema nervoso centrale. Dati di Hiroshima e Nagasaki indicano che la sensibilità alle RI del cervello del feto è max tra l'8 e la 15 settimana dal concepimento. Successivamente la sensibilità del sistema nervoso diminuisce.

# Danni genetici stocastici (4)

## Discendenti

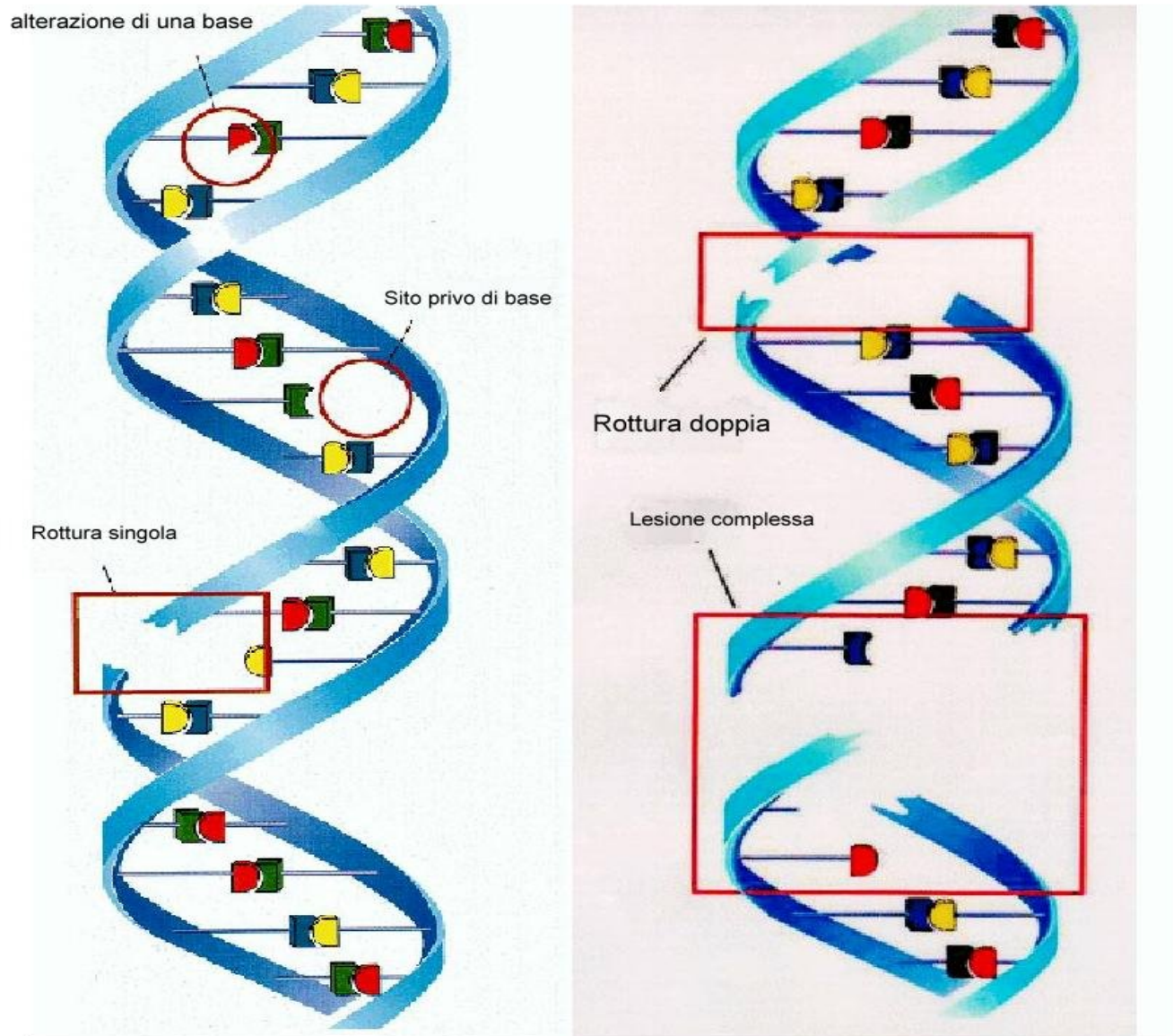
Danni di natura genetica compaiono nei discendenti di persone irradiate sulle gonadi. Cambiamenti nei geni e nei cromosomi

- Mutazioni genetiche: alterazione nella funzione dei singoli geni
- Aberrazioni cromosomiche: rottura e riorganizzazione cromosomi
- Variazione nel numero dei cromosomi

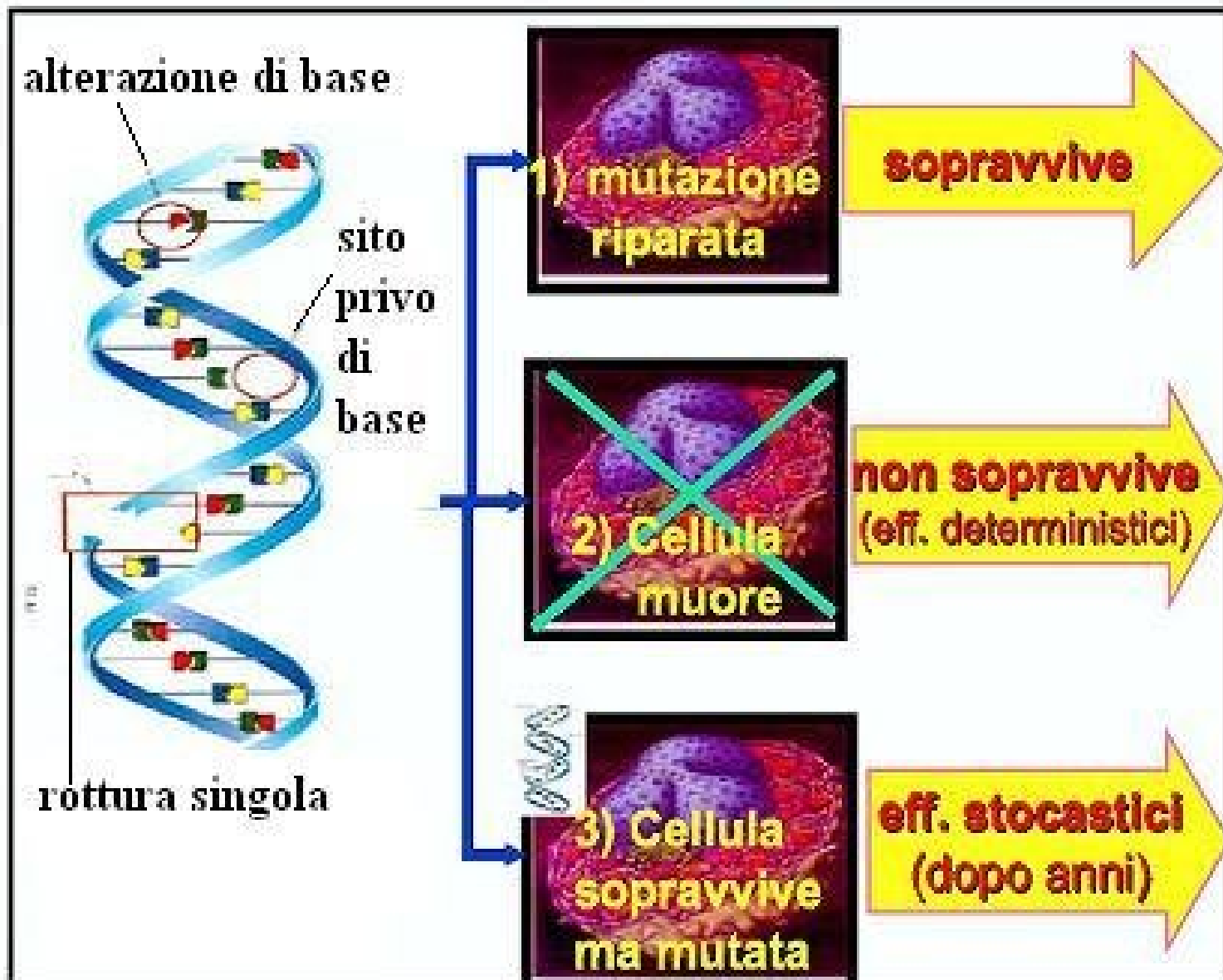
**Mutazioni spontanee** (morti embrionali e fetali, anomalie varie)

**Radioattività artificiale** nuova causa di mutazioni (aumento di aborti e nati malformati dovuti a mutazioni dominanti) e altre malformazioni nelle generazioni successive (mutazioni recessive)

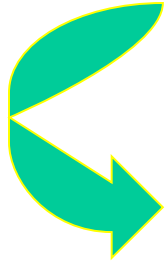
# Danni al DNA



# Effetti delle radiazioni



# Rischi nell'utilizzo di materiale radioattivo



Irradiazione esterna



Contaminazione



- **Esterna:** sorgenti situate all'esterno dell'organismo, radiazioni entrano attraversando la pelle
- **Interna:** le sorgenti sono state introdotte nell'organismo, per: ingestione, inalazione, ferite cutanee, assorbimento per diffusione gassosa...

# Rilascio gassoso





# Radioprotezione (1)

1911

Primi reports medici che collegano raggi X con leucemia e cancro.

1921

Primi suggerimenti che il radio e le sue “emanazioni” possano causare cancro nei minatori: presi sul serio ma non provati.

Primi standards di radioprotezione (britannici)

1922

G. Pfahler raccomanda monitoraggi personali con pellicola radiosensibile

1924

A. Mutscheller suggerisce una "dose tollerata" (0.2 R/giorno)

1928

Si stabiliscono i primi standard internazionali di radioprotezione.

È accettata internazionalmente l'unità Röntgen (R)

# Radioprotezione(2)

1932

G. Failla propone un limite di 0.1 R/giorno per il corpo intero e 5 R/giorno per le dita: nuovo concetto di dose permessa più alta per porzioni limitate del corpo

1941

Un comitato nazionale USA stabilisce un massimo carico permesso al corpo a 0.1  $\mu\text{Ci}$ , basandosi su dati di dipintori di lancette di orologi con radio

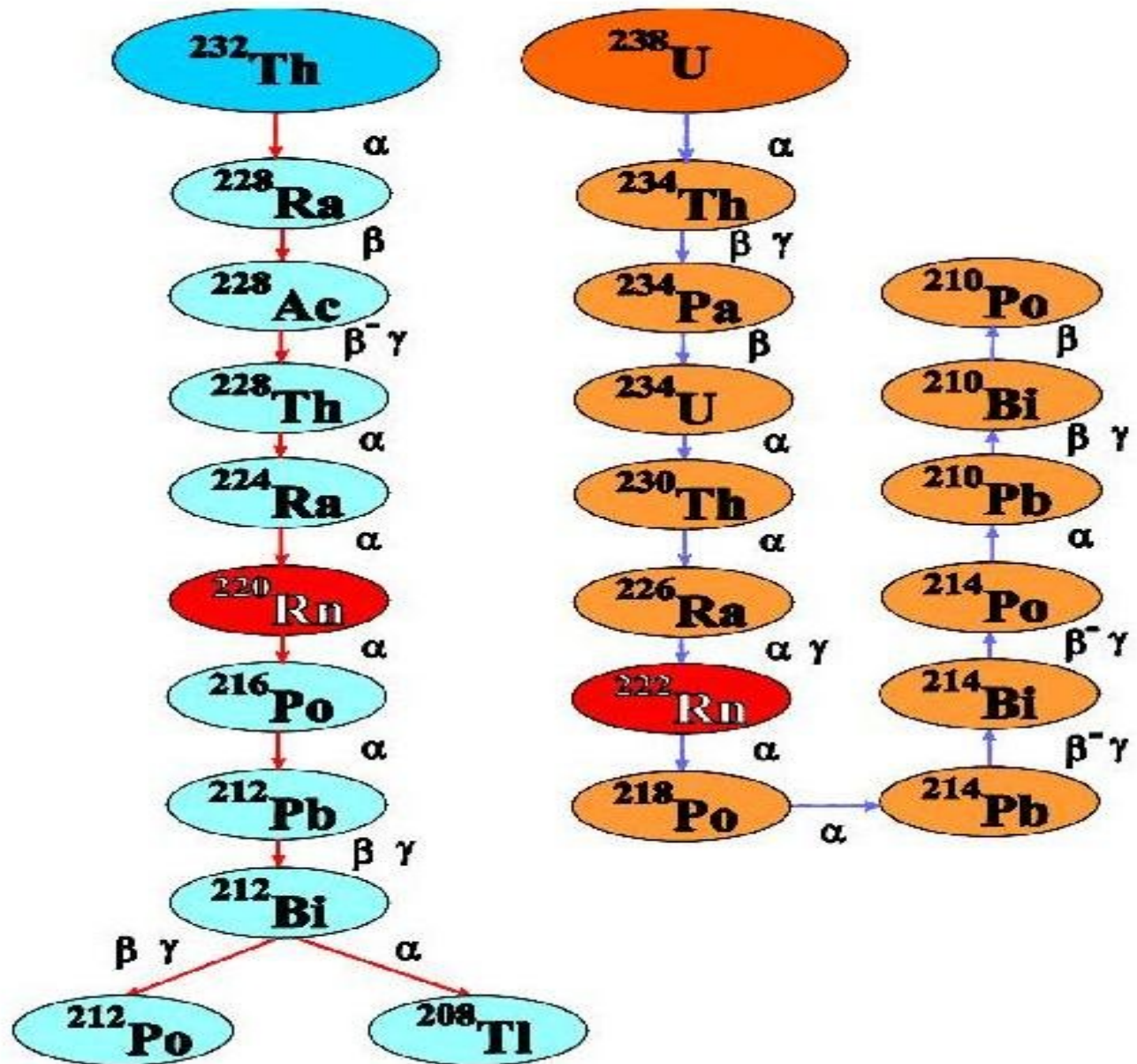
1945-1946

Revisione degli standard per uranio e plutonio, con livelli differenti per sali solubili / insolubili

OGGI: limiti di legge

1 mSv all'anno (6 / 20 mSv per un lavoratore delle radiazioni)

# "Thoron" - Radon

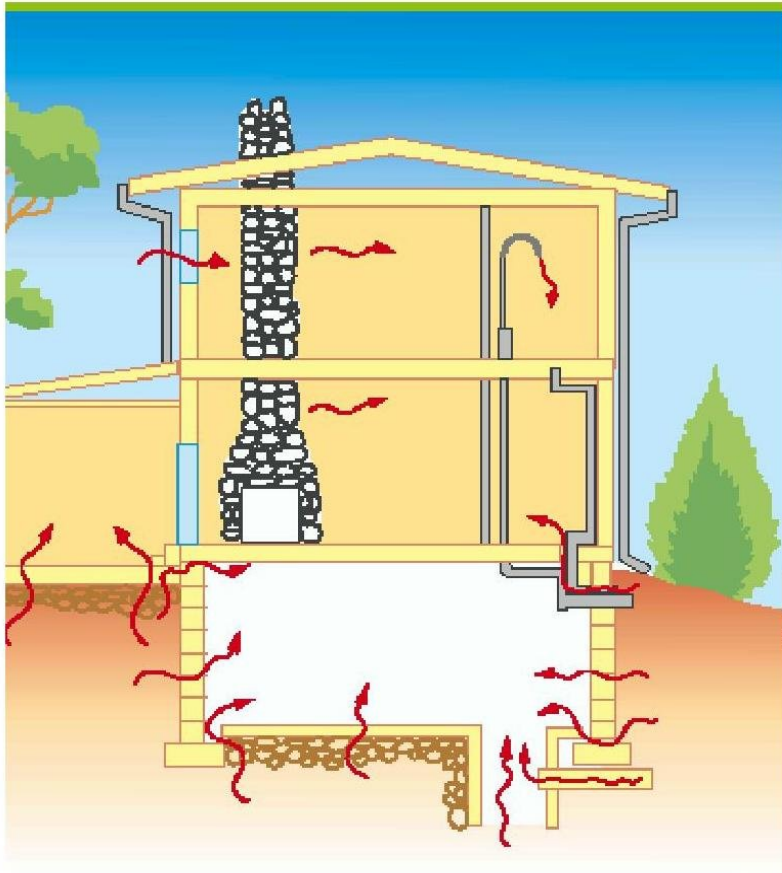


# Il radon

Il  $^{222}\text{Rn}$  è un gas radioattivo naturale, inodore, incolore, l'anello gassoso della catena ( $2n+2$ ) di decadimenti radioattivi del radio, generato a sua volta dal decadimento dell'uranio. L'uranio è presente nelle rocce, soprattutto in quelle granitiche, fin dal tempo della loro formazione. L'uranio è presente anche in tutti i suoli e nelle acque.

Dalla nascita del radon alla sua morte (con conseguente origine dei successivi prodotti di decadimento, a loro volta radioattivi) passano alcuni giorni, e questo tempo è sufficiente a far sì che il radon diffonda anche da diversi metri di profondità (soprattutto attraverso falde acquifere) nell'atmosfera, e si accumuli poi soprattutto negli ambienti chiusi (abitazioni, luoghi di lavoro, ...).

# Diffusione Radon



# Diffusione Radon

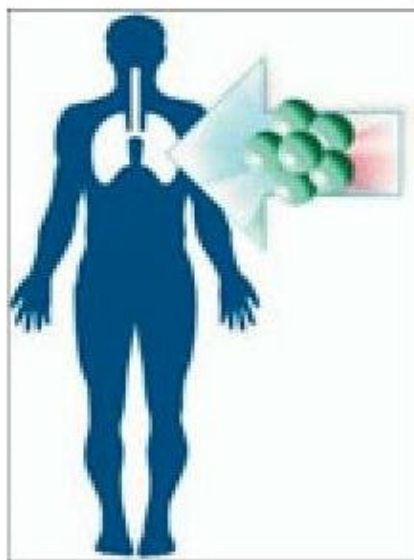
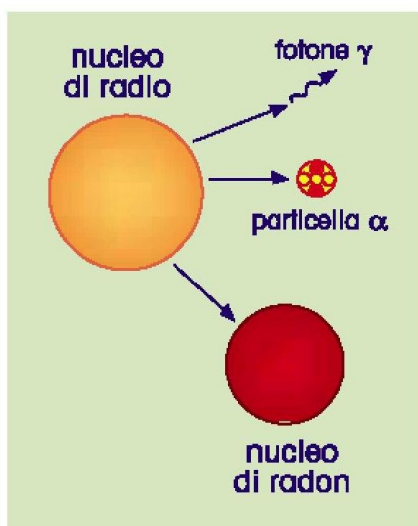
Il  $^{222}\text{Rn}$ , prodotto sotto forma gassosa nel sottosuolo (e in minore quantità nei materiali di costruzione) invade gli interstizi porosi del terreno, migra dal sottosuolo per penetrare negli edifici. Il suo tempo di dimezzamento (circa 3.82 giorni) è sufficiente a far sì che la diffusione possa avvenire su distanze dell'ordine del metro.

Il radon può essere contenuto nei materiali di costruzione degli edifici soprattutto quando sono costruiti usando gesso (20-100 Bq/kg), granito (100-200 Bq/kg), tufo (100-600 Bq/kg) e cementi basati su argilliti alluminose.

Il radon può essere introdotto attraverso le condotte d'acqua, ma questa via di diffusione diventa importante quando le sorgenti si dimostrano particolarmente ricche di  $^{226}\text{Ra}$  (il “genitore” diretto del radon, che ha un tempo di dimezzamento di 1602 anni).

# Trasformazioni Radon

$^{222}\text{Rn}$  e soprattutto i suoi “figli” emettono particelle alfa dotate di elevata energia, capaci di impartire ai tessuti dosi elevate:



Effetti tipici: danneggiamento cellule dell'apparato respiratorio, processo cancerogeno a carico dell'apparato polmonare.

Non ci sono luoghi dove il radon non sia presente: i luoghi chiusi quali case, scuole, negozi, ambienti di lavoro, ecc., sono quelli più a rischio per la nostra salute.



# Limiti legali di esposizione da Radon in locali di lavoro

- L'esercente luoghi di lavoro nei quali si svolgano attività sotterranee procede, entro 24 mesi, alla misura della concentrazione media annuale di radon;
- Se la concentrazione media annuale è inferiore a 400 Bq/m<sup>3</sup> non sono previsti ulteriori obblighi.

**D.Lgs 230/95** modificato dal D.Lgs 241/2000, capo III bis e Allegato I bis

# Effetto sull'aspettativa di vita

Le radiazioni del background naturale non sono una causa statisticamente significativa di morte se non per la loro influenza stocastica carcinogena

Rischio sulla Salute	Stima della diminuzione di aspettativa di vita
Fumare 20 sigarette al giorno	6 anni
Essere sovrappeso (del 15%)	2 anni
Uso di superalcolici (media USA)	1 anno
Tutti gli incidenti	207 giorni
Tutte le catastrofi naturali	7 giorni
Dose media per rad. naturale (3 mSv/a)	15 giorni
Dose media per lavoratori esposti (10 mSv/a)	51 giorni