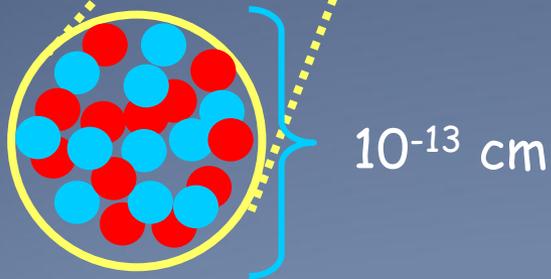
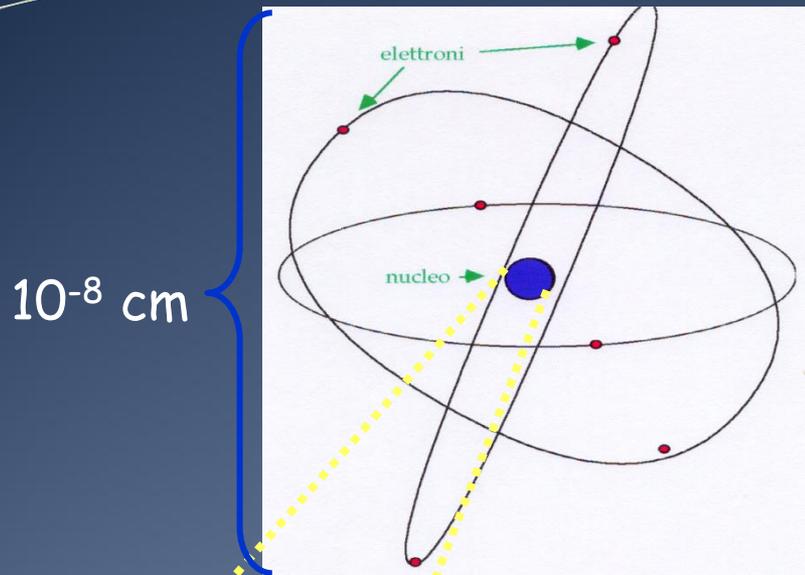


Aspetti di fisica ambientale: la radioattività

Sorgenti di radiazioni e principi di radioprotezione



Gli atomi...

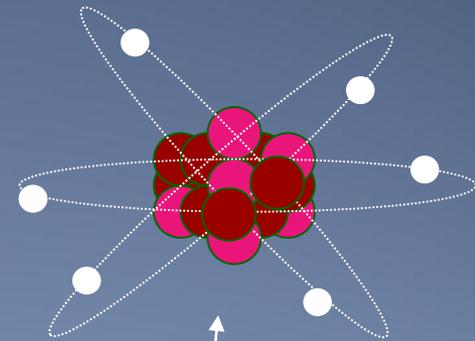
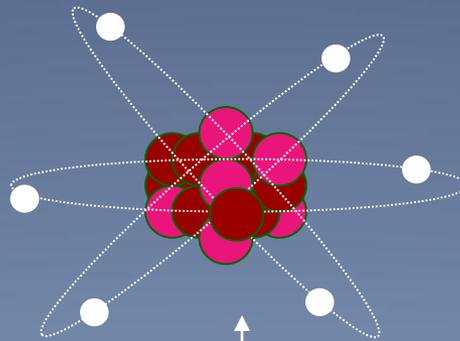
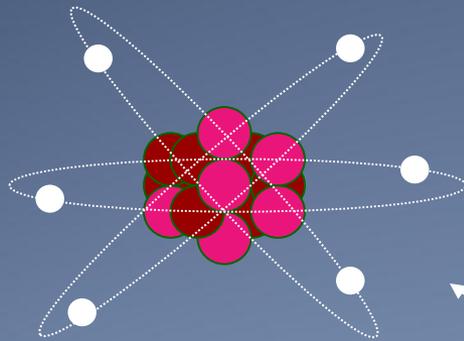


...e i nuclei

Il nucleo è composto da
protoni ● e neutroni ●
interagenti tramite le **forze nucleari**

Atomi e Isotopi

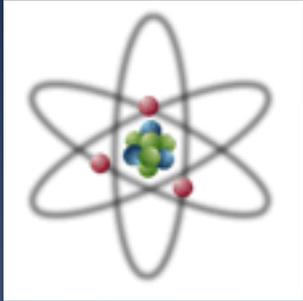
ISOTOPI: atomi dello stesso elemento, con uguale numero di protoni ma con differente numero di neutroni



- protoni (z)
- neutroni (n)
- elettroni (z)

stabile

radioattivo



La **radioattività** è il fenomeno per cui alcuni nuclei si trasformano in altri emettendo particelle.

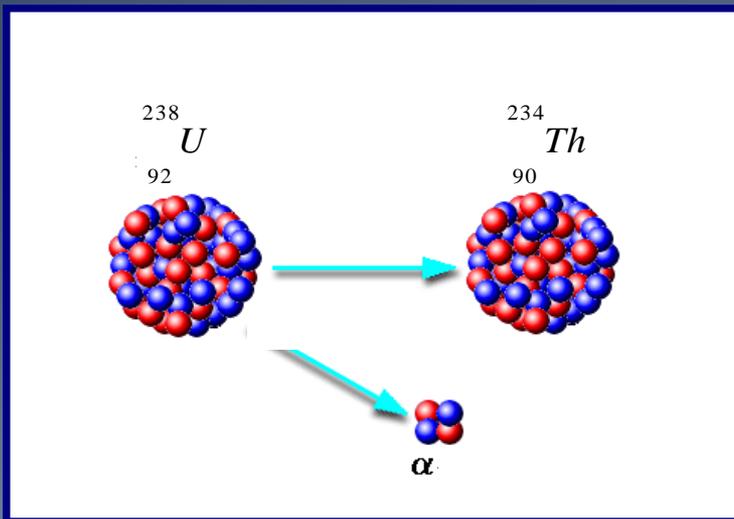
Non è stata inventata dall'uomo, ma è un fenomeno naturale, presente ovunque: nelle Stelle, nella Terra e nei nostri stessi corpi.

Gli isotopi presenti in natura sono quasi tutti stabili. Tuttavia, alcuni isotopi naturali, e quasi tutti gli isotopi artificiali, sono instabili, a causa di un eccesso di protoni e/o di neutroni. Tale instabilità provoca la trasformazione spontanea in altri isotopi accompagnata dall'emissione di particelle. Questi isotopi sono detti **isotopi radioattivi**.

La trasformazione (**decadimento radioattivo**) di un nucleo radioattivo porta alla produzione di un altro nucleo, che può essere anch'esso radioattivo oppure stabile.

I decadimenti radioattivi

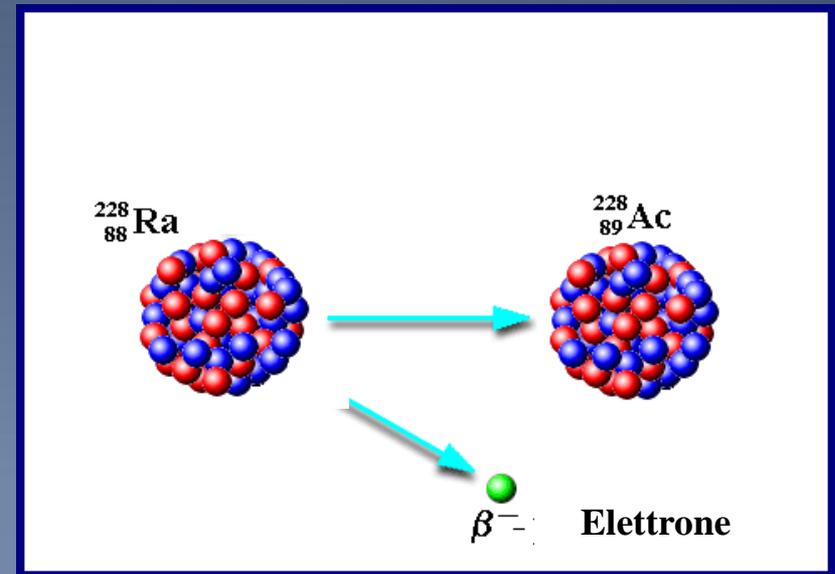
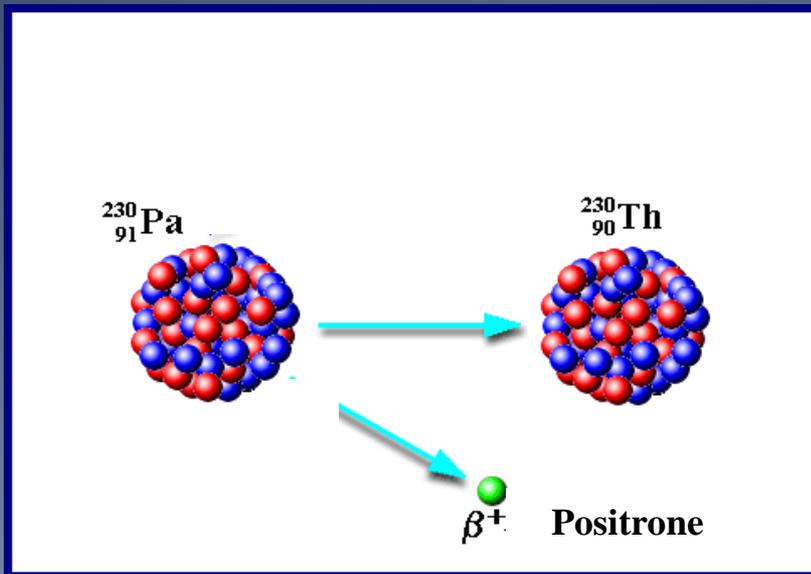
Decadimento α



Le radiazioni α sono poco penetranti e possono essere completamente bloccate da un semplice foglio di carta

I decadimenti radioattivi

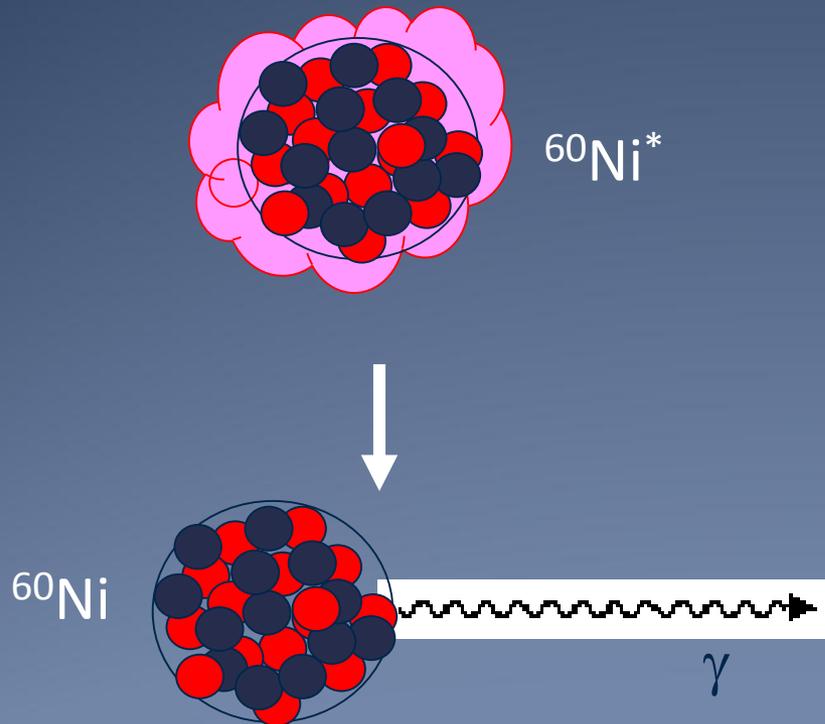
Decadimento β



Le radiazioni β sono più penetranti di quelle α , ma sono bloccate da piccoli spessori di materiali metallici

La diseccitazione gamma

Molto frequentemente il nucleo "figlio" viene creato in un stato eccitato e si diseccita emettendo radiazione gamma

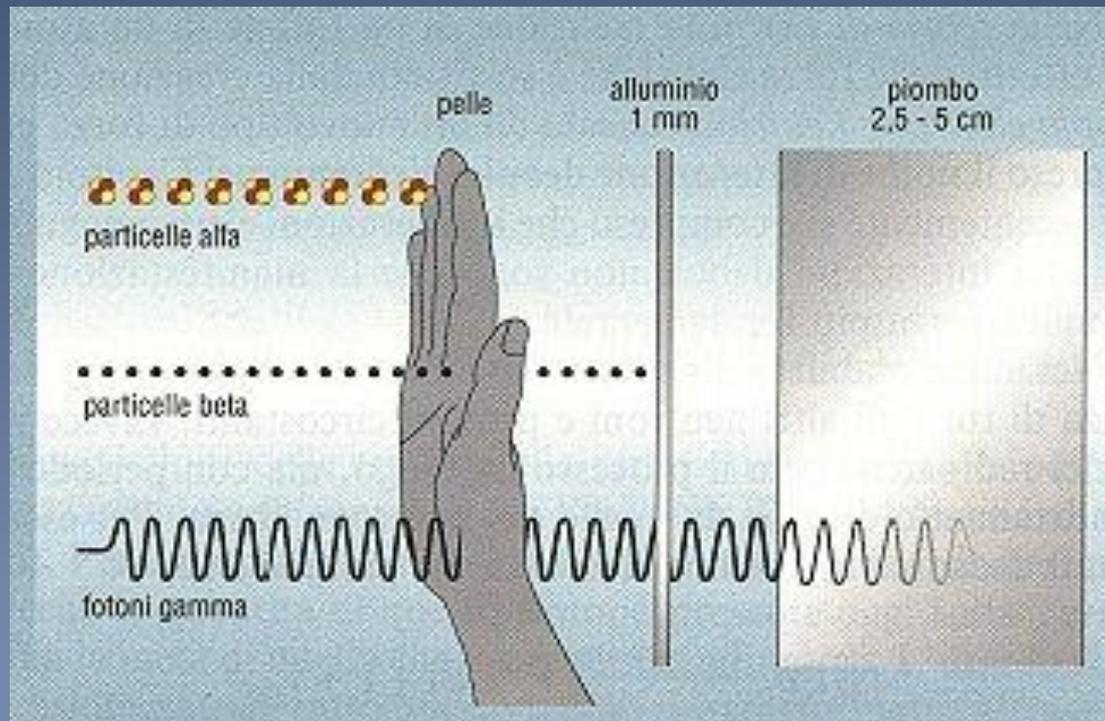


Emissione γ



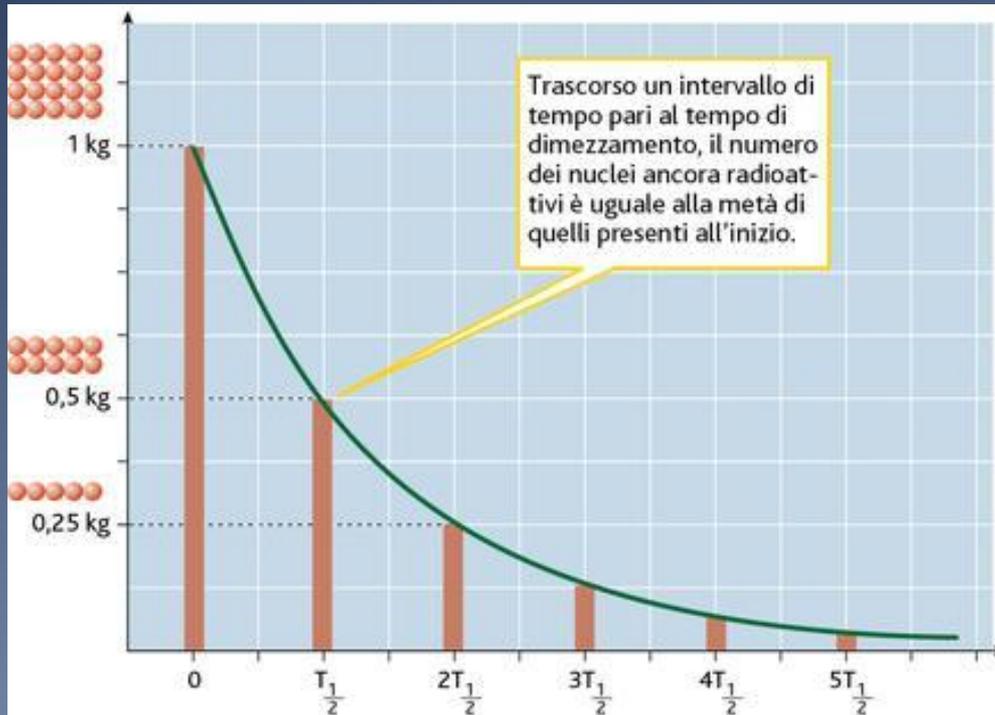
Al contrario delle radiazioni α e β , le radiazioni γ sono molto penetranti, e per bloccarle occorrono materiali ad elevata densità come il piombo.

Capacità di penetrazione



Legge del decadimento radioattivo

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau}$$



Si definisce tempo di dimezzamento ($T_{1/2}$) il tempo in cui il numero di nuclei instabili si dimezza, cioè

$$N(T_{1/2}) = N_0/2$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

può variare dalle migliaia di anni alle frazioni di secondo

Attività di una sorgente radioattiva

La quantità di radiazione emessa da una sorgente si misura con una grandezza chiamata **attività** (A):

A = numero di atomi che si disintegrano in un secondo

Si misura in **Bequerel**

1 Bq = 1 disintegrazione al secondo

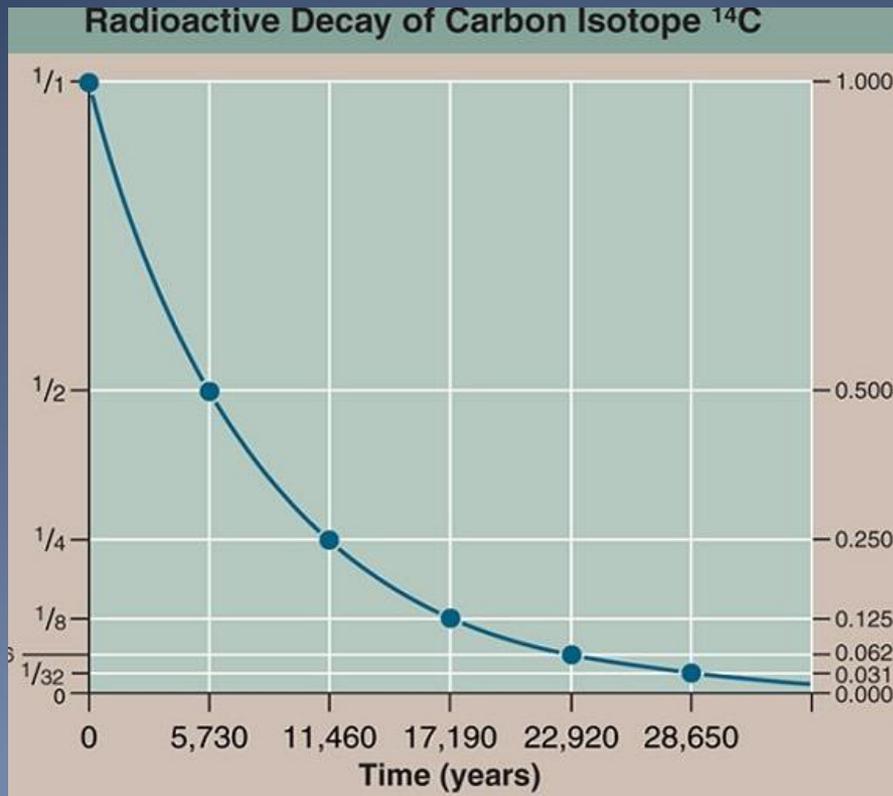
In passato si misurava in **Curie**

1 Ci = 37 miliardi ($3.7 \cdot 10^{10}$) di disintegrazioni al secondo

L'attività diminuisce nel tempo con un tempo di dimezzamento tipico per ogni sostanza radioattiva

Legge del decadimento radioattivo

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



Si definisce tempo di dimezzamento ($T_{1/2}$) il tempo in cui l'attività si dimezza, cioè

$$A(T_{1/2}) = A_0/2$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

può variare dalle migliaia di anni alle frazioni di secondo

Alcuni esempi

ISOTOPO	RAD. EMESSA	$T_{1/2}$
^{60}Co	elettroni e gamma	5.27 anni
^3H	elettroni	12.3 anni
^{137}Cs	elettroni e gamma	30 anni
^{15}O	elettroni e gamma	123 secondi
^{40}K	elettroni e gamma	$1.26 \cdot 10^9$ anni
^{14}C	elettroni	5730 anni

Il tempo di dimezzamento ha importanti conseguenze sulla radioprotezione:

A parità di Attività iniziale

- *una sorgente con tempo di dimezzamento lungo emette radiazioni (ed è quindi potenzialmente pericolosa) per molto tempo*
- *una sorgente con tempo di dimezzamento breve si esaurisce rapidamente, ma “concentra” l’emissione di radiazione in un tempo breve con possibilità di produrre danni rilevanti anche per esposizioni limitate nel tempo*

CALCOLIAMO!!!!

Radioattività nel corpo umano (70 kg)

Elemento	Percentuale nel corpo umano	Radioisotopo	Abbondanza isotopica
Carbonio	23 %	^{14}C	$1.5 \cdot 10^{-10} \%$
Potassio	0.23 %	^{40}K	0.01 %

Radioattività in una banana (150 g)

Elemento	Percentuale	Radioisotopo	Abbondanza isotopica
Potassio	0.35 %	^{40}K	0.01 %



$$M(\text{C}) = 70 \times 0.23 = 16 \text{ kg (carbonio)}$$

$$M(^{14}\text{C}) = 16 \times 1.5 \cdot 10^{-12} = 24 \cdot 10^{-12} \text{ kg} = 24 \cdot 10^{-9} \text{ g}$$

$$N(^{14}\text{C}) = (M(^{14}\text{C}) \times N_A) / A = (24 \cdot 10^{-9} \times 6.02 \cdot 10^{23}) / 14 = 10.32 \cdot 10^{14}$$

$$A = \lambda N$$

$$\lambda = 0.693 / T_{1/2}(\text{s})$$

$$T_{1/2}(\text{s}) = 5730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 1.8 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

$$A = 0.693 \times 10.32 \cdot 10^{14} / 1.8 \cdot 10^{11} = 3.97 \cdot 10^3 \text{ dis/s} = 4000 \text{ Bq}$$

$$M(\text{K}) = 70 \times 0.0023 = 0.16 \text{ kg} = 160 \text{ g (potassio)}$$

$$M(^{40}\text{K}) = 160 \times 0.0001 = 160 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

$$N(^{40}\text{K}) = (M(^{40}\text{K}) \times N_A) / A = (160 \cdot 10^{-4} \times 6.02 \cdot 10^{23}) / 40 = 24 \cdot 10^{19}$$

$$A = \lambda N$$

$$\lambda = 0.693 / T_{1/2}(\text{s})$$

$$T_{1/2}(\text{s}) = 1.26 \cdot 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 4 \cdot 10^{16} \text{ s}$$

$$A = 0.693 \times 24 \cdot 10^{19} / 4 \cdot 10^{16} = 4 \cdot 10^3 \text{ dis/s} = 4000 \text{ Bq}$$

$$M(\text{K}) = 150 \times 0.0035 = 0.525 \text{ g (potassio)}$$

$$M(^{40}\text{K}) = 0.525 \times 0.0001 = 0.525 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

$$N(^{40}\text{K}) = (M(^{40}\text{K}) \times N_A) / A = (0.525 \cdot 10^{-4} \times 6.02 \cdot 10^{23}) / 40 = 8 \cdot 10^{17}$$

$$A = \lambda N$$

$$\lambda = 0.693 / T_{1/2}(\text{s})$$

$$T_{1/2}(\text{s}) = 1.26 \cdot 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 4 \cdot 10^{16} \text{ s}$$

$$A = 0.693 \times 8 \cdot 10^{17} / 4 \cdot 10^{16} = 1.4 \cdot 10 \text{ dis/s} = 14 \text{ Bq}$$

Radiazioni ionizzanti

“*ionizzare*” un atomo significa strappare uno o più elettroni dalla loro orbita intorno al nucleo:

l'atomo non è più “*neutro*” ma diventa carico positivamente e si chiama “*ione*”.

Il comportamento chimico dello ione è diverso da quello di un atomo neutro e questo altera il materiale (*ad es. una cellula*) di cui lo ione fa parte.

Esposizione a sorgenti radioattive

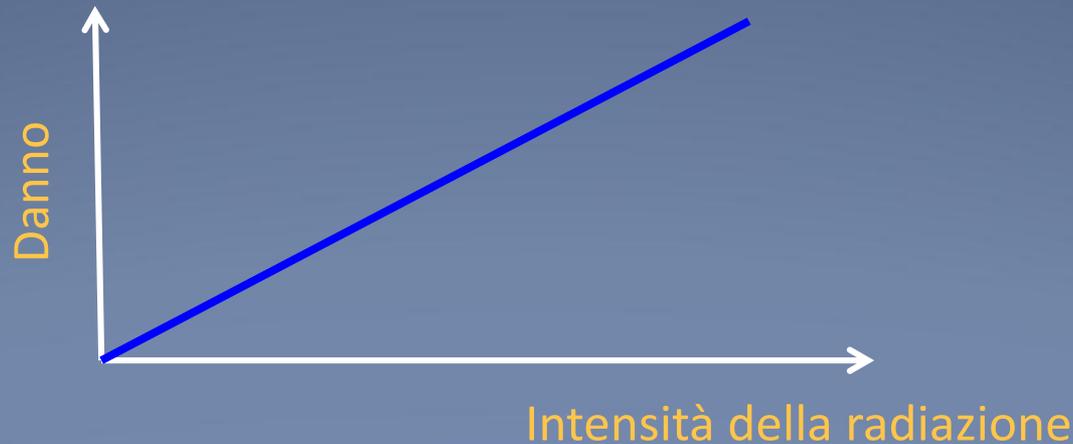
Si distingue tra:

- **irradiazione esterna** (*esposizione alle radiazioni emesse dalla sorgente senza contatto tra la persona esposta e la sorgente*)
- **contaminazione interna** (*la sostanza radioattiva può venire inalata e/o ingerita restando depositata nell'organismo*)

La dosimetria

Ogni singola radiazione che colpisce un organismo biologico provoca alterazioni a livello cellulare e quindi un danno.

Le conoscenze attuali portano a ritenere che la probabilità di insorgenza di un danno aumenti linearmente con l'intensità della radiazione che investe un organismo senza alcuna soglia minima:



La dosimetria

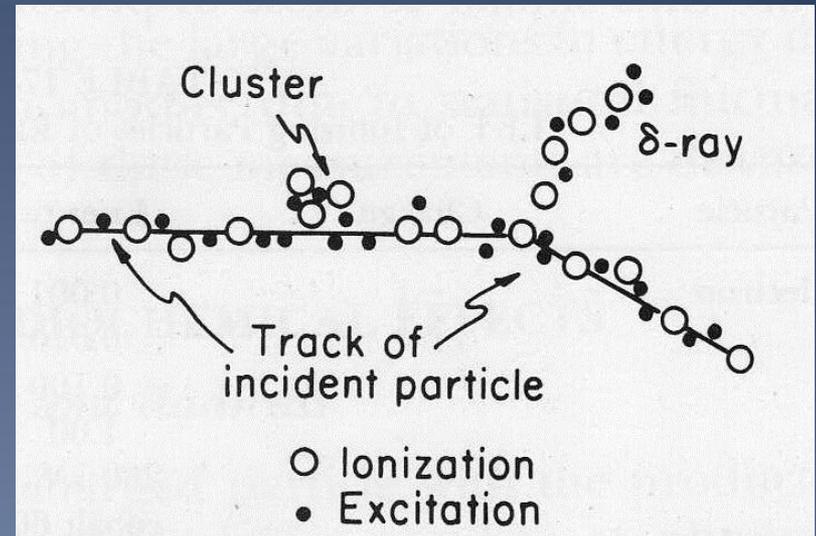
Il principio della “linearità senza soglia” porta a limitare, in qualunque attività, l’esposizione alle radiazioni al livello minimo possibile (principio **ALARA** as low as reasonably achievable)

La **probabilità** di insorgenza di patologie (tumori,...) aumenta con l’esposizione.

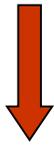
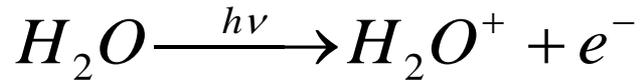
Interazione tra radiazioni ionizzanti e tessuti biologici

STADIO FISICO (10^{-13} secondi): Le interazioni delle particelle ionizzanti producono una serie di eccitazioni e ionizzazioni lungo la traiettoria .

STADIO RADIOCHIMICO: (10^{-9} - 10^{-6} secondi): interazione con la molecola d'acqua (radiolisi che consiste nell'eccitazione o ionizzazione, seguita da scissione, della molecola d'acqua)



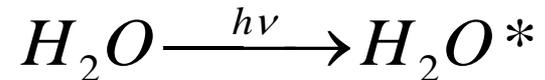
Processo di ionizzazione



Dissociazione della molecola d'acqua ionizzata



Processo di eccitazione



Dissociazione della molecola d'acqua eccitata



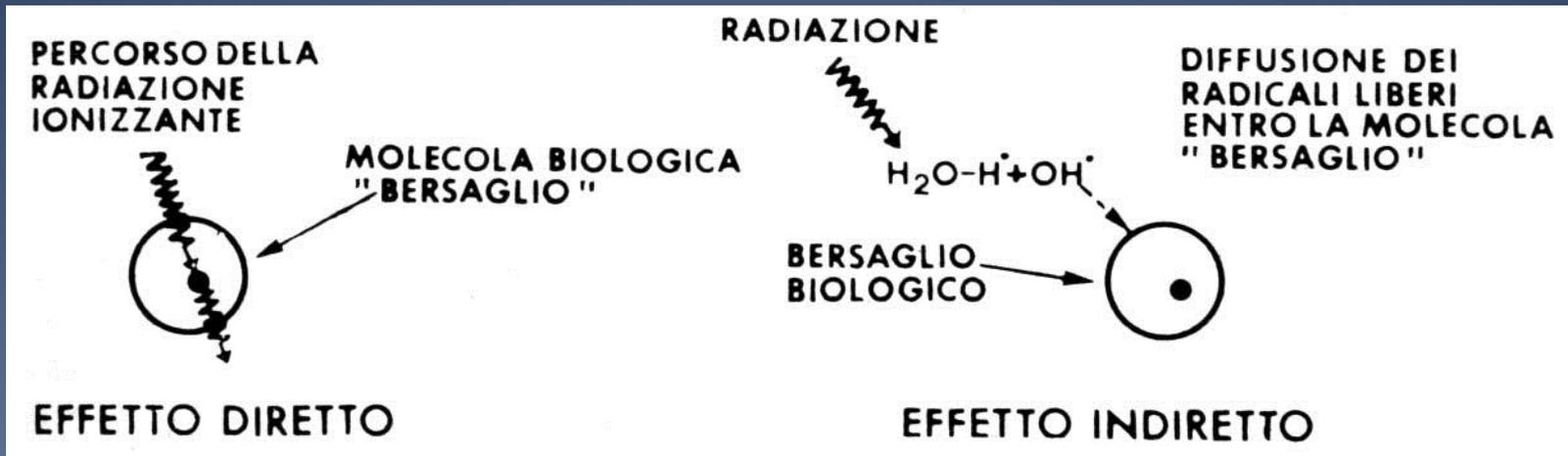
Quindi:

I processi di ionizzazione ed eccitazione danno luogo alla formazione dei *prodotti primari*



che si dissociano generando $H \bullet$ $\bullet OH$ H^+

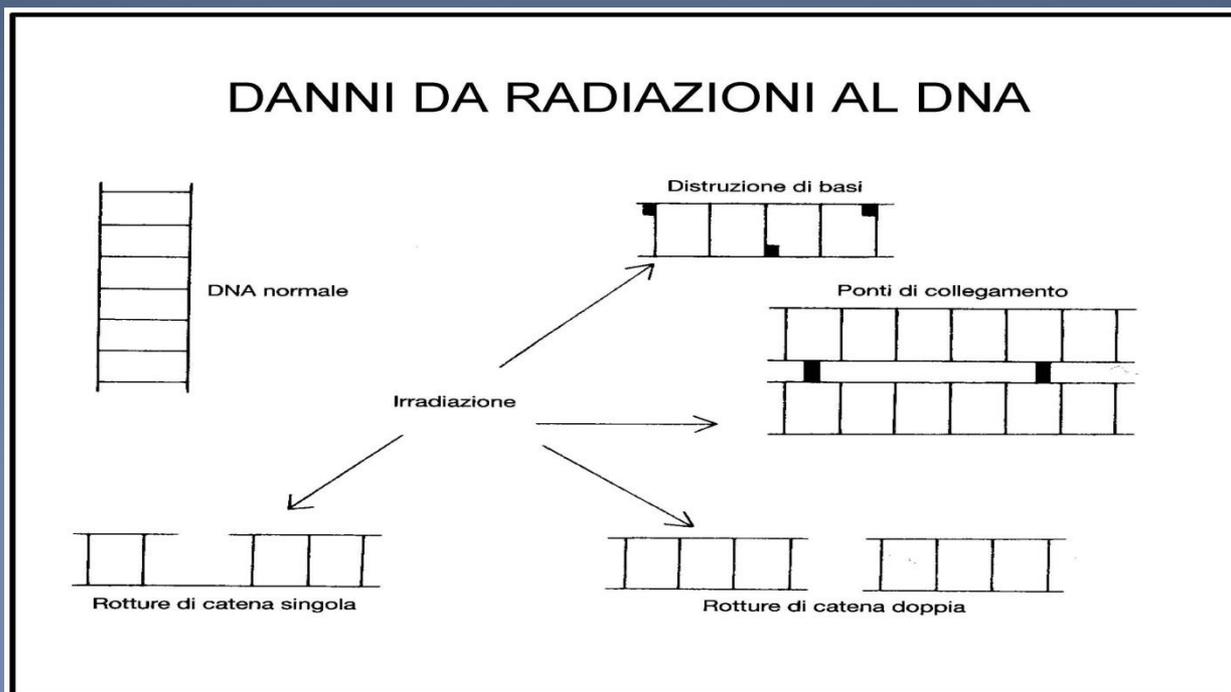
STADIO DEL DANNO BIOMOLECOLARE (frazioni di secondi-settimane): azione sia diretta che indiretta sulle macromolecole biologiche



Il danno della molecola del DNA è considerato l'evento chimico più pericoloso e responsabile della morte cellulare

Il DNA può subire, sia in maniera diretta che indiretta, differenti tipi di danno:

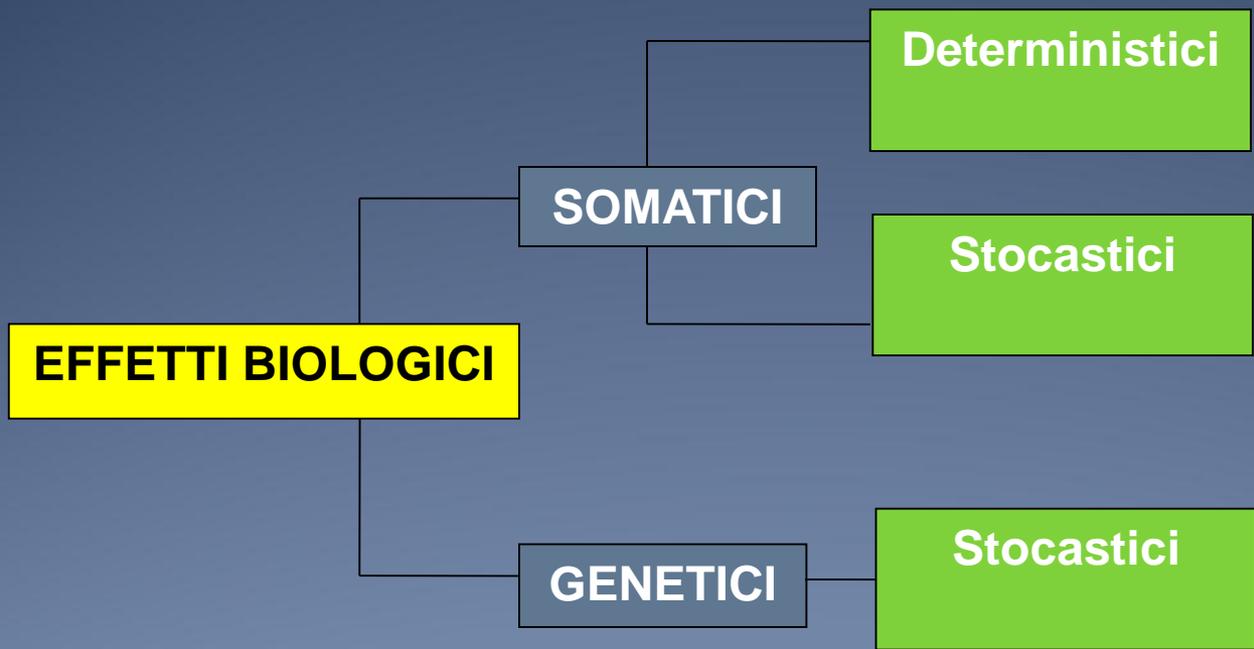
- Rottura di una singola catena,
- Rottura di una doppia catena,
- Distruzione di basi,
- Creazione di ponti di collegamento spuri



FASE BIOLOGICA (giorni-mesi-anni): La manifestazione clinica dell'effetto biologico delle radiazioni si verifica sempre ad una certa distanza dall'esposizione.

Si parla di:

- *effetti acuti* per indicare gli effetti che si manifestano a distanza di giorni da una esposizione singola,
- *effetti tardivi* per indicare quegli effetti che si manifestano a distanza di mesi o anche anni dall'irradiazione.



Come ci si protegge ?

1. Mantenendo la maggior **distanza** possibile tra sorgente radioattiva ed operatore (il numero di radiazioni incidenti sull'individuo esposto diminuisce quadraticamente con la distanza)
2. Minimizzando i **tempi** di esposizione alla sorgente radioattiva
3. Schermando le radiazioni con "pareti" (**schermature**) di materiale opportuno (es., piombo e calcestruzzo)

RADIONUCLIDI IN NATURA

- I radionuclidi prodotti al tempo della formazione del sistema solare sono sopravvissuti fino a oggi solo se la loro vita media è dell'ordine dell'età della terra (miliardi di anni): **radionuclidi primordiali**
- Radionuclidi a vita media più breve sono prodotti naturalmente per bombardamento dell'atmosfera da parte dei raggi cosmici e la loro abbondanza è (quasi) all'equilibrio: **radionuclidi cosmogenici**
- Radionuclidi a vita media breve (in misura minore anche lunga) sono prodotti artificialmente per vari scopi (produzione di energia, armamenti, controlli industriali, diagnostica e terapia medica, etc): **radionuclidi antropogenici**

URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY

type of radiation	nuclide	half-life
	 uranium—238	4.5×10^9 years
α	 thorium—234	24.5 days
β	 protactinium—234	1.14 minutes
β	 uranium—234	2.33×10^5 years
α	 thorium—230	8.3×10^4 years
α	 radium—226	1590 years
α	 radon—222	3.825 days
α	 polonium—218	3.05 minutes
α	 lead—214	26.8 minutes
β	 bismuth—214	19.7 minutes
β	 polonium—214	1.5×10^{-4} seconds
α	 lead—210	22 years
β	 bismuth—210	5 days
β	 polonium—210	140 days
α	 lead—206	stable





||

:

*cos'è, come si misura,
come si interviene*

Che cos'è il Radon?

è un gas nobile, chimicamente inerte, e può diffondere liberamente senza cambiare le proprie caratteristiche fisiche

The image shows a periodic table of elements with various color-coded groups. A red circle highlights the element Radon (Rn, atomic number 86) in the noble gas group. The table includes the following categories:

- Metalli alcalini (Alkali metals)
- Metalli alcalino terrosi (Alkaline earth metals)
- Metalli del blocco d (d-block metals)
- Lantanidi (Lanthanides)
- Attinidi (Actinides)
- Metalli del blocco p (p-block metals)
- Nonmetalli (Nonmetals)
- Gas nobili (Noble gases)
- Solidi (Solids)
- Liquidi (Liquids)
- Gas (Gases)
- Artificiali (Artificial)

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

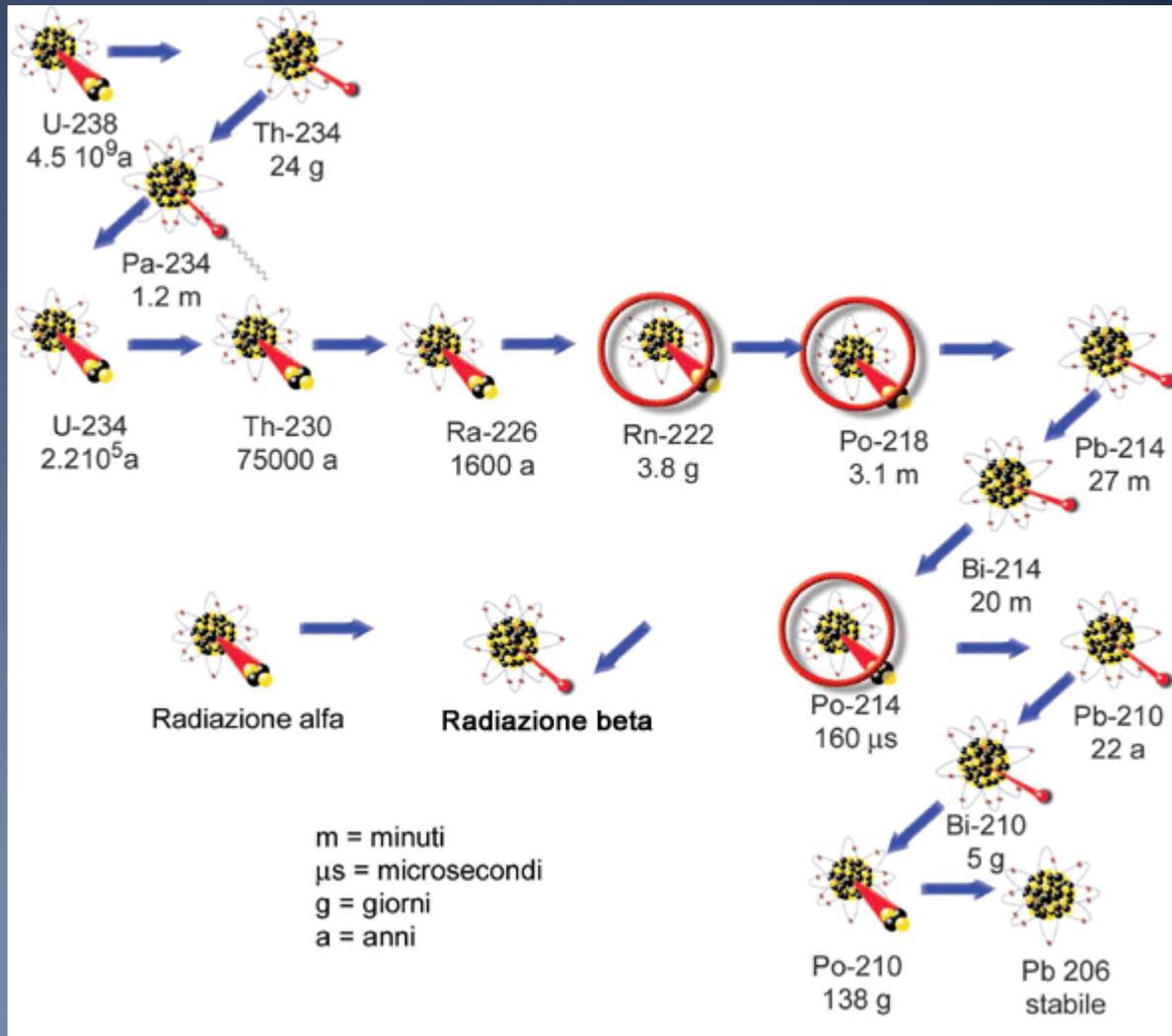
Design Copyright © 1997 Michael DeGuzi (michaeldeguzi.com) http://www.nesah.com/periodic

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

54	Xeno 131.293
86 Rn Radon (222)	K L M N O P
118	K



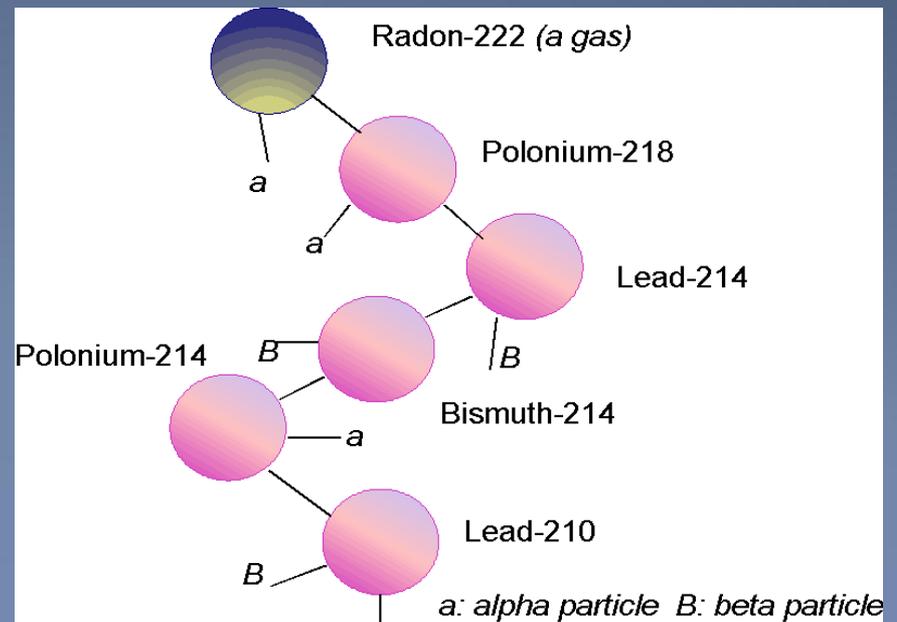
proviene dal decadimento del radioisotopo Ra-226 originato, per decadimenti successivi, dal 'capostipite' U-238 diffusamente presente nella crosta terrestre in concentrazione variabile in funzione della particolare conformazione geologica



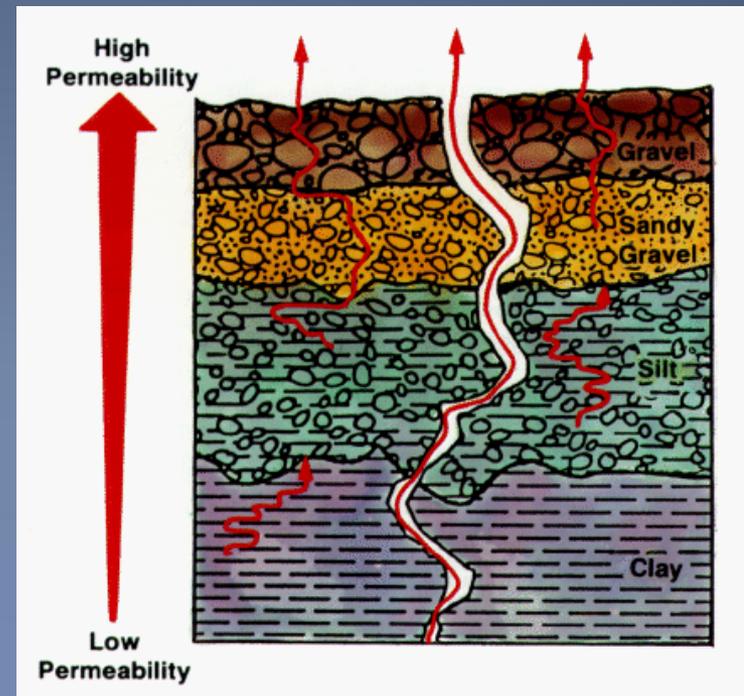
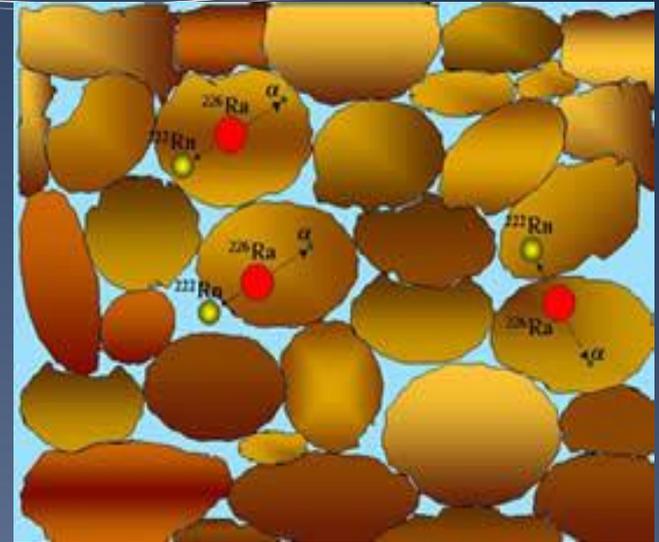
E' radioattivo con tempo di dimezzamento dell'attività pari a 3.82 giorni.



Decade con emissione di radiazione α producendo 'discendenti' radioattivi che emettono radiazione

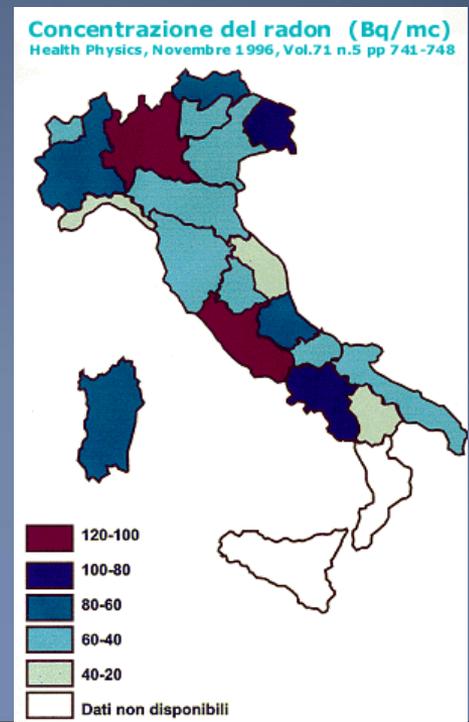


Rimane per la parte prevalente intrappolato nella matrice solida nella quale avviene il decadimento del Ra-226 e solo una piccola frazione, quella emessa dal Ra-226 posto alla periferia dei singoli elementi solidi (superfici e zone di fratture delle rocce, grani di terreno o di sabbia,), emerge dal suolo o si discioglie nelle acque e diffonde

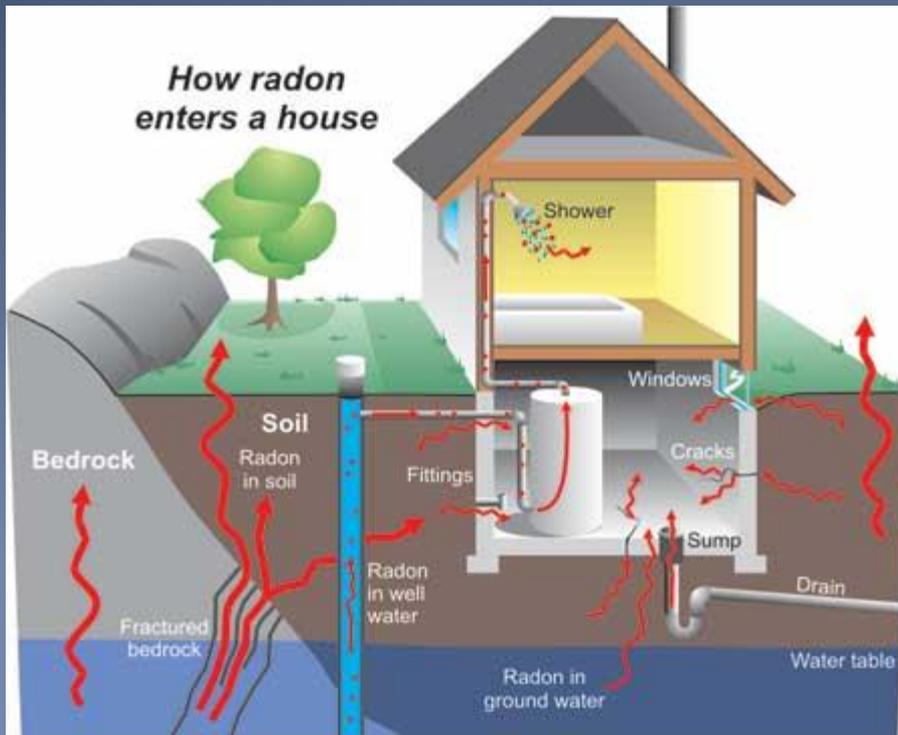


Perché il problema Radon si pone negli ambienti chiusi?

Il gas Radon emergente dal suolo o portato in superficie dalle acque terrestri si diffonde rapidamente nell'atmosfera, venendo a produrre concentrazioni molto basse nell'aria che respiriamo nei luoghi aperti, variabile da luogo a luogo e valutata mediamente pari a 8 Bq/m^3 nelle aree continentali, con valori massimi dell'ordine dei 50 Bq/m^3



Diversa è la situazione dei luoghi chiusi (edifici) o sotterranei (grotte, caverne, ...) penetrati dal gas Radon e nei quali il Radon trova ostacolo alla successiva diffusione nell'atmosfera, dove possono venire a formarsi concentrazioni anche molto elevate e, in particolare, dei locali interrati degli edifici che, da una parte costituiscono la più diretta via di penetrazione del Radon emergente dal suolo, dall'altra sono generalmente anche i locali meno aerati.



Anche i materiali usati nelle costruzioni, che contengono percentuali variabili del 'genitore' Ra-226 possono contribuire in modo significativo alla concentrazione di attività del Radon negli edifici.

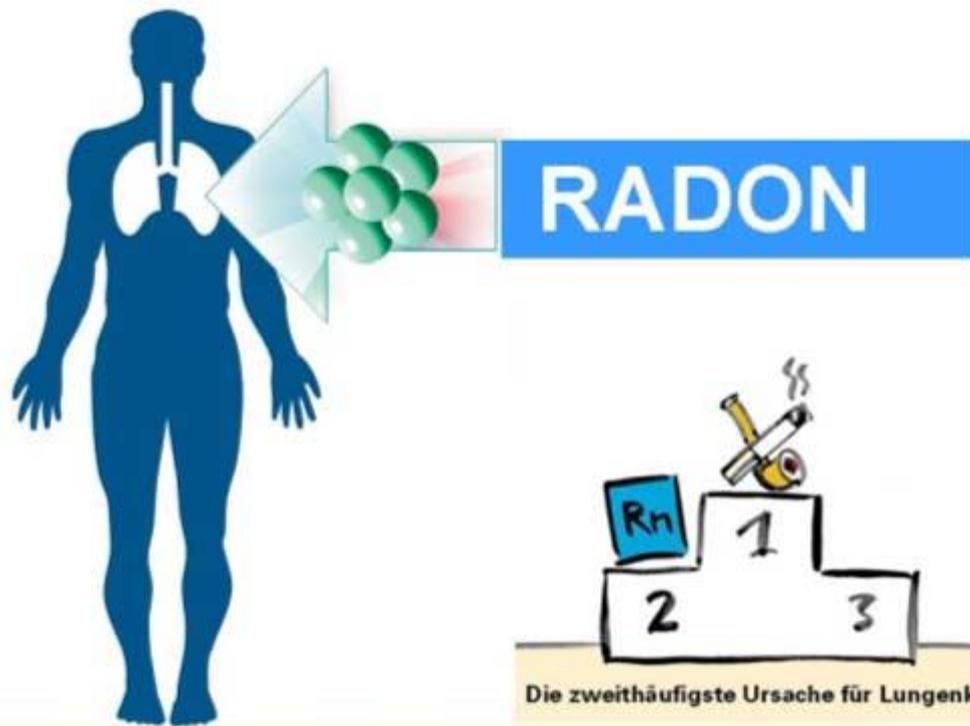
Quali sono gli effetti del Radon?

Essendo un gas nobile, il Radon non è reattivo e, inalato, non si deposita nei polmoni, ma viene rapidamente espulso, con trascurabile contributo di dose ai polmoni.



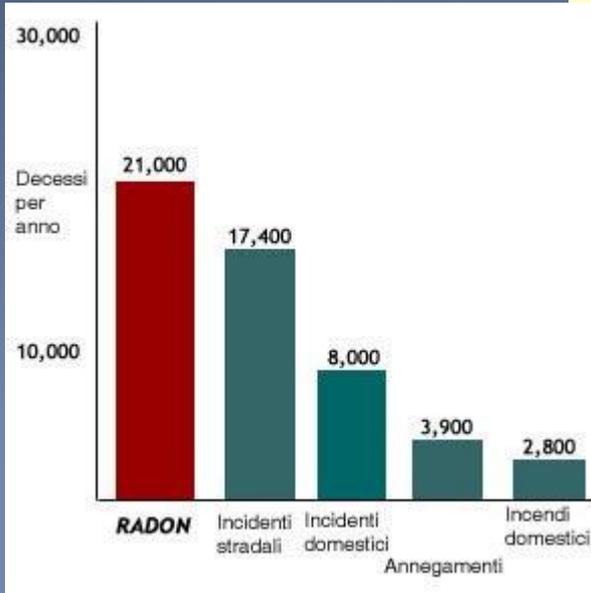
Gli effetti dannosi del Radon sono prodotti dai suoi 'discendenti' radioattivi α -emittitori solidi Po-218 e Po-214 contestualmente presenti nell'aria legati al pulviscolo atmosferico che, inalati, si depositano nell'epitelio bronchiale rilasciandovi dosi significative di radiazione che possono produrre tumori polmonari

Secondo l'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) il Radon è inserito nelle categorie di cancerogenicità al Gruppo 1 (*"evidenza sufficiente di cancerogenicità per l'uomo"*).



Il radon è inquadrate al secondo posto, dopo il fumo, come causa per l'insorgenza di tumori polmonari.

(foto: Radon, Ufficio federale d. sanità pubblica di Berna, CH).



La probabilità dell'insorgenza di un danno conseguente all'esposizione al Radon dipende dalla

concentrazione di attività

espressa in **Bq/m³**

e **dal tempo di esposizione**

È stata osservata una correlazione tra gli effetti del fumo e del Radon: un fumatore rischia 15 volte di più rispetto ad un non fumatore esposto alla stessa concentrazione di Radon

Da quali fattori dipende la concentrazione di Radon?

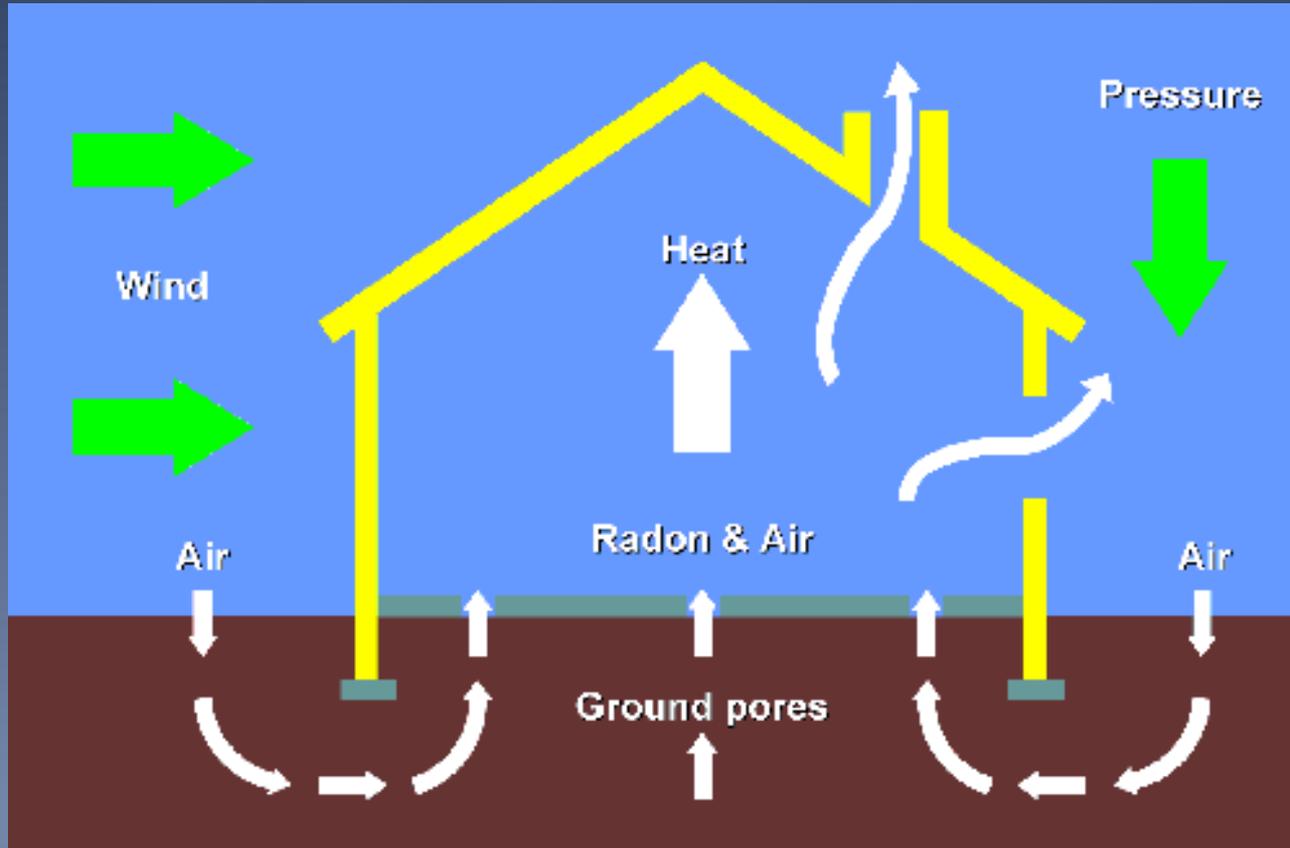
Temperatura: la probabilità di emissione di Radon dalle superfici dei materiali che contengono Ra-226 aumenta con la temperatura (raddoppia passando da 10 a 35°C)

Pressione atmosferica: l'emanazione di Radon dal suolo aumenta al diminuire della pressione

Riscaldamento artificiale: nel periodo invernale aumenta la penetrazione di Radon negli edifici per "effetto camino"

Diversa modalità di uso degli infissi esterni e/o impianti di areazione, dal vento: la concentrazione di Radon diminuisce all'aumentare della ventilazione

Da quali fattori dipende la concentrazione di Radon?



Stime significative di esposizione al Radon richiedono pertanto misure di concentrazione per lunghi periodi

In quali luoghi è richiesto dalla legislazione italiana il controllo e il contenimento della concentrazione di Radon?

Nei luoghi in cui si svolgono attività che possono esporre i lavoratori o le persone del pubblico a sorgenti naturali come il Radon (D.Lgs. 241/2000):

Tunnel, sottovie, locali sotterranei, catacombe, grotte, stabilimenti termali (per i soli lavoratori addetti)

Il limite di concentrazione è di 500 Bq/m³ medi in un anno

...e nelle civili abitazioni?

L'attuale legislazione non contempla l'esposizione al Radon nelle abitazioni!!!!

La Direttiva CE 1990, mai recepita a livello legislativo in Italia e ormai superata raccomandava valori di riferimento:

400 Bq/m³ negli edifici già esistenti

200 Bq/m³ negli edifici nuovi

Approcci di campionamento

- Istantaneo: la misura viene eseguita in tempi brevi rispetto alla variazione di concentrazione. Sono utili in campagne di monitoraggio in ambienti in cui si pensa che siano superati i livelli critici di concentrazione
- Continuo: permette di valutare le fluttuazioni di concentrazione e di correlarle con i parametri che le inducono
- Integrato: permette di determinare concentrazioni medie in intervalli di tempo predefiniti (giorni, settimane, mesi,..) per valutare l'esposizione media alle radiazioni

Procedure di misura per il Radon

- Metodi attivi

Il campionamento del Rn e dei suoi prodotti di decadimento avviene attraverso l'aspirazione forzata e la misura viene fatta mediante strumentazione attiva (con alimentazione e sistema di amplificazione del segnale). Sono generalmente rivelatori real-time (scintillatori, semiconduttori,...)

- Metodi passivi

Il campionamento del Rn e dei suoi prodotti di decadimento è basato sulla naturale diffusione del gas. I rivelatori registrano i decadimenti radioattivi e l'elaborazione dei dati avviene successivamente in laboratorio.

Rivelatori passivi

- Rivelatori a traccia: sono costituiti da film polimerici sensibili alle particelle α che attraversando il materiale perdono energia, rompono i legami chimici lasciando delle micro tracce. Queste sono successivamente rese più visibili mediante attacco chimico
- Dosimetri a termoluminescenza: si basa sulle proprietà di alcuni cristalli di emettere radiazione luminosa per effetto di riscaldamento dopo essere stati irradiati. Dalla misura della luce emessa si risale alla concentrazione di Rn.
- Elettreti: sono dischi di teflon che mantengono un potenziale elettrostatico stabile. Posto in una cameretta contenente un certo volume d'aria, raccoglie gli ioni prodotti dalle particelle α prodotte dal decadimento del Rn e dei suoi discendenti per cui il suo potenziale si riduce proporzionalmente all'attività presente nella cameretta. Dalla misura della variazione del potenziale in un certo intervallo di tempo è possibile determinare la concentrazione ambientale di Rn
- Canestri di carbone attivo: permette di valutare la concentrazione di Rn dalla misura della radiazione γ dei suoi prodotti di decadimento adsorbiti nel carbone attivo contenuto in scatole metalliche.

I rivelatori a traccia (CR-39 o LR-115)

sfruttano il potere ionizzante delle particelle α che danneggiano le molecole del materiale dielettrico (plastiche) lungo la loro traiettoria e lasciano delle tracce di dimensioni nanometriche

le tracce si rendono visibili ad un microscopio ottico mediante un attacco chimico con soluzione fortemente corrosiva



durante l'esposizione *dopo*
l'attacco chimico

I rivelatori CR-39

Poli Allil Diglicol Carbonato –

resina termoindurente ottenuta mediante processo di polimerizzazione



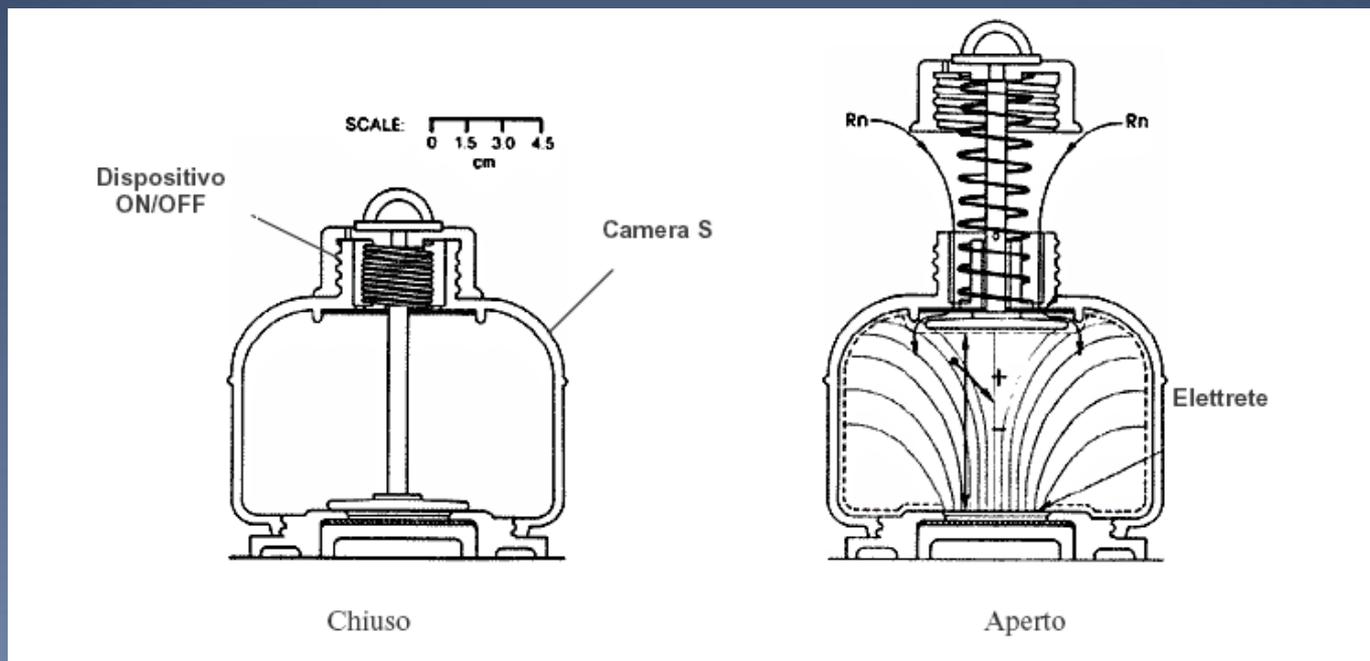
Le lastre presentano delle tracce di fondo dovute ad imperfezioni legate al processo di produzione, con una densità differente per le due facce

dimensioni: (20 x 35 x 0.8) mm³

CR-39: i vantaggi

- sono pratici *(di dimensioni ridotte e maneggevoli)*
- le misure non dipendono dalle condizioni ambientali *(non vi è dipendenza dalla temperatura - fino a 110°C – e dall'umidità – tra il 5% e il 95%)*
- hanno buone caratteristiche dosimetriche *(risposta su un ampio intervallo di energie (200keV-14MeV) e una bassa soglia di rivelazione (< 0.1 mSv))*

Il sistema E-Perm (ad elettreti) si basa sulla misura della variazione di potenziale indotta sull'elettrete dalla raccolta degli ioni prodotti dalla radiazione all'interno di una camera di volume noto.



Il sistema E-Perm si posiziona ad un'altezza compresa tra uno e due metri e in modo tale che sia completamente circondato dall'aria, evitando di coprirlo e/o di collocarlo a ridosso del materiale da costruzione (muri, pavimenti, ecc.).