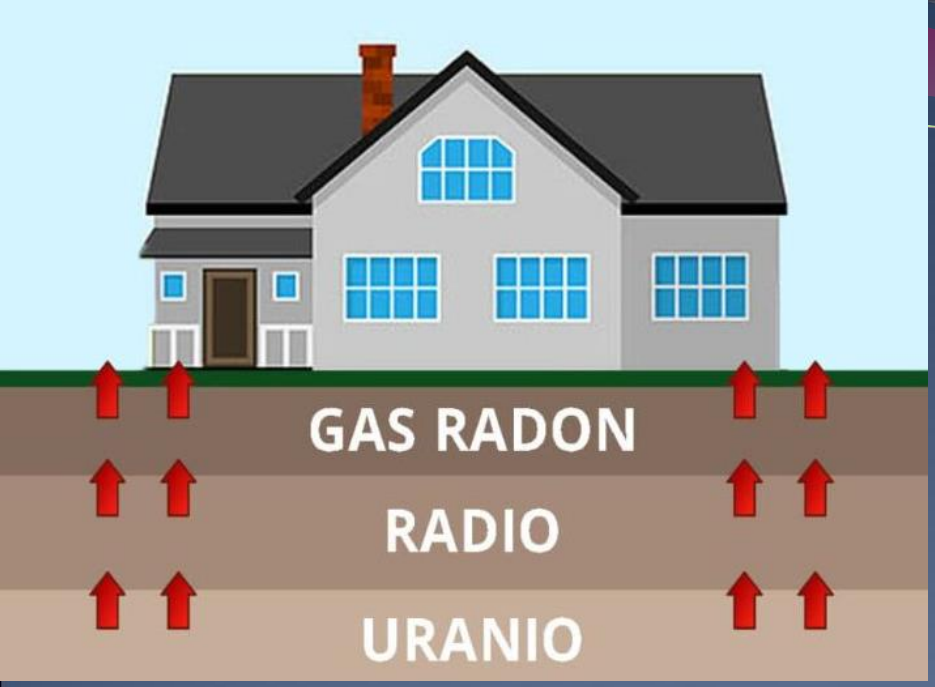
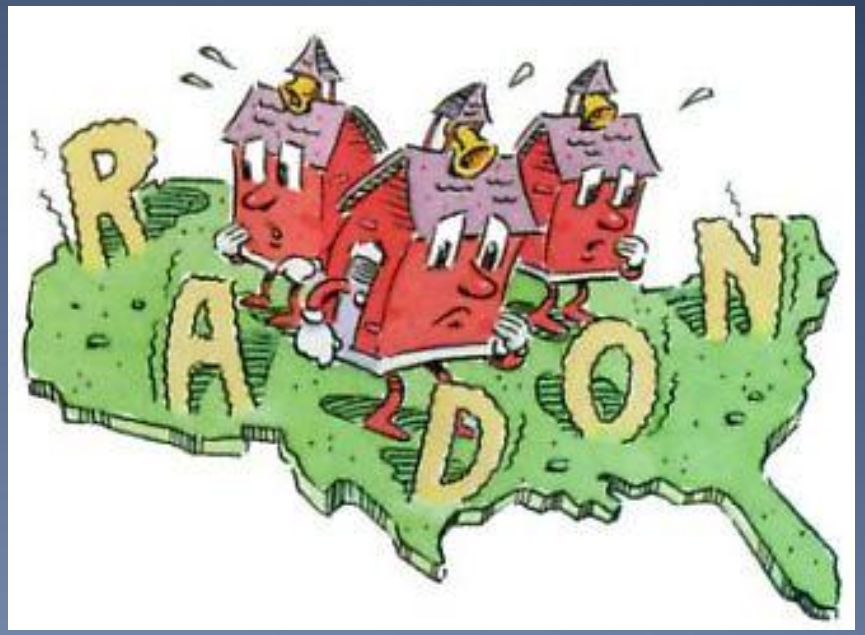
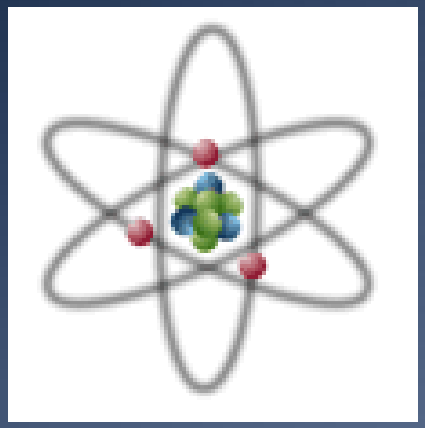




Conoscere il Radon

Questionario sulla conoscenza del radon

Maria Luisa De Giorgi
marialuisa.degiorgi@unisalento.it

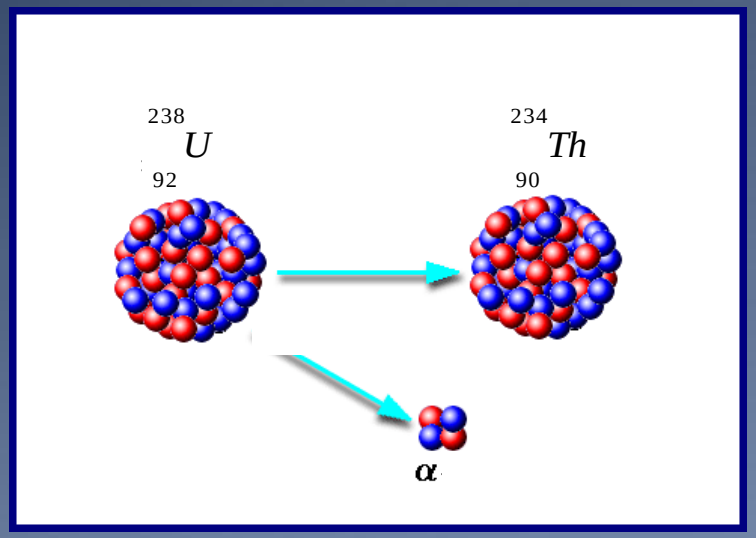


La **radioattività** è il fenomeno per cui nuclei di alcuni atomi (isotopi radioattivi) si trasformano (*disintegrano*) in altri (nuclei figli, anch'essi radioattivi oppure stabili) emettendo particelle o rilasciando energia sotto forma di radiazione elettromagnetica.

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

I decadimenti radioattivi

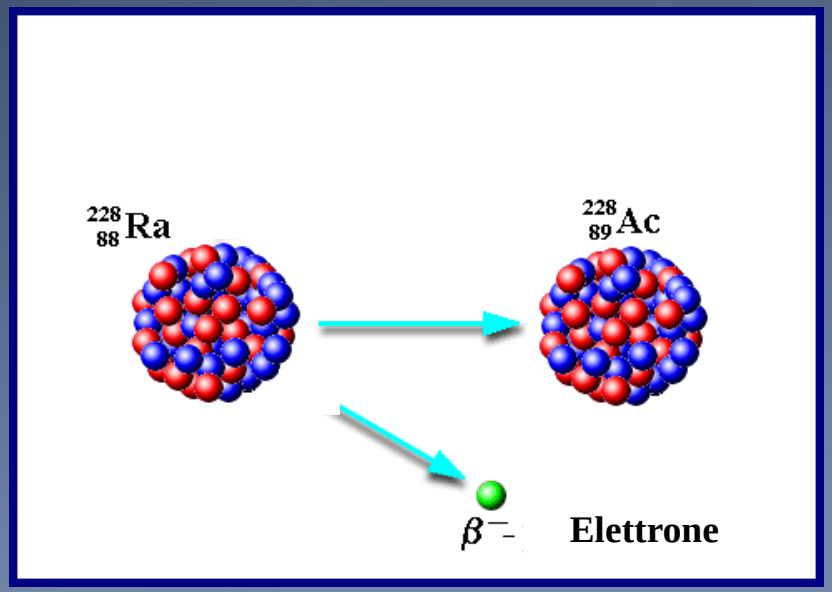
Decadimento α

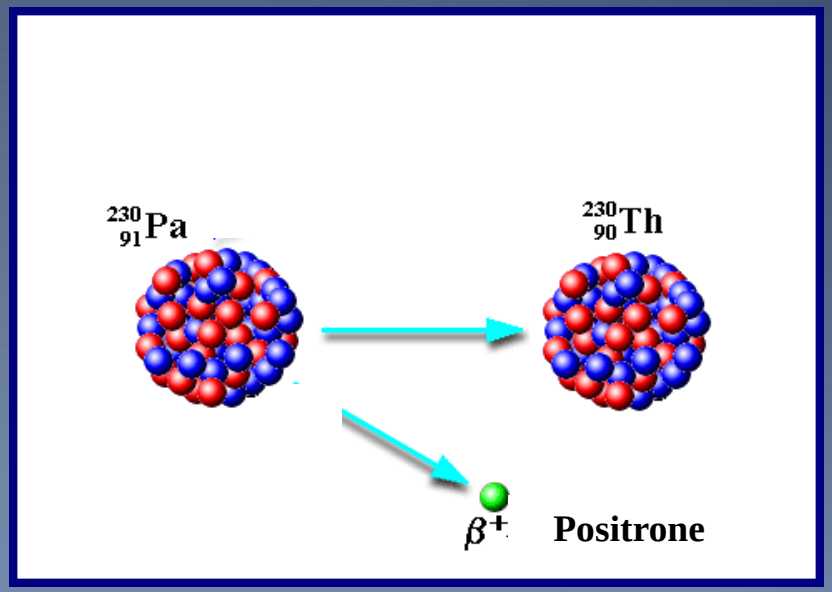


Le radiazioni α sono poco penetranti e possono essere completamente bloccate da un semplice foglio di carta

I decadimenti radioattivi

Decadimento β

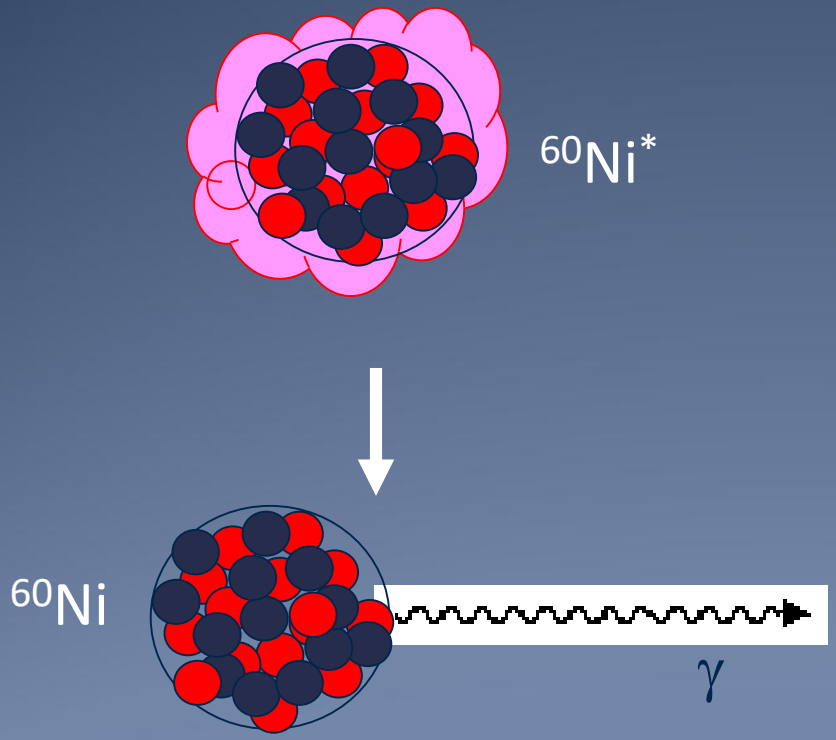




Le radiazioni β sono più penetranti di quelle α, ma sono bloccate da piccoli spessori di materiali metallici

La diseccitazione gamma

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



Decadimento β

$(^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni^* + e^- + \nu)$

Emissione γ

$^{60}Ni^* \rightarrow {}^{60}Ni + \gamma$

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

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.

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

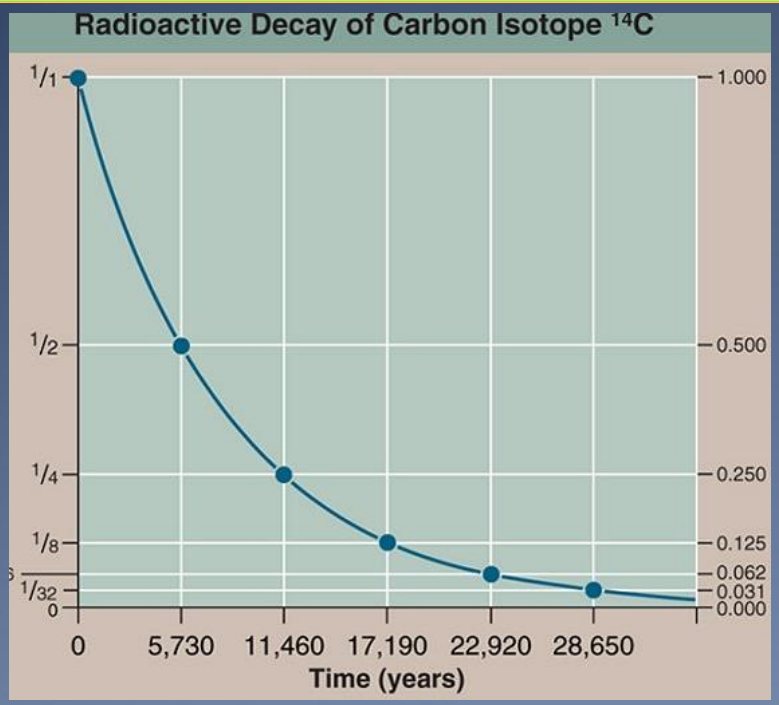
1 Bq = 1 disintegrazione al secondo

In passato si misurava in Curie

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

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

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

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

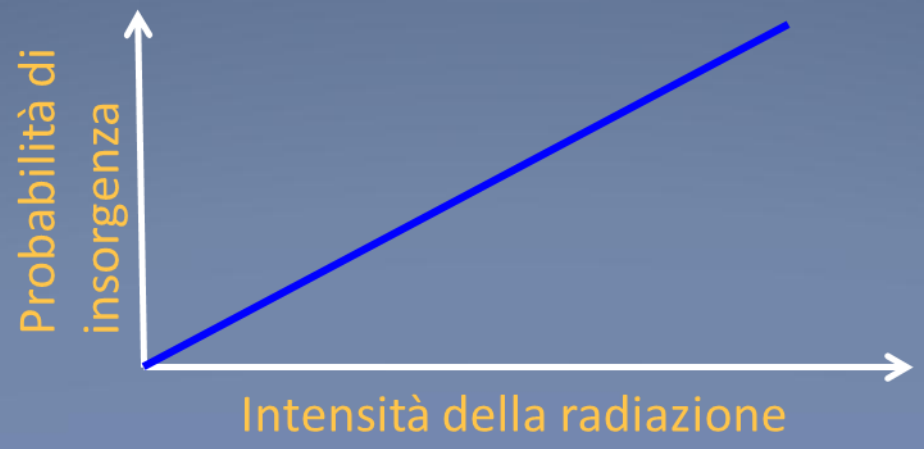
L'attività diminuisce nel tempo con un tempo di dimezzamento tipico per ogni sostanza radioattiva

Alcuni esempi

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

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 probabilita' di insorgenza di un danno aumenti linearmente con l'intensità della radiazione che investe un organismo senza alcuna soglia minima:



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.

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 le 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**

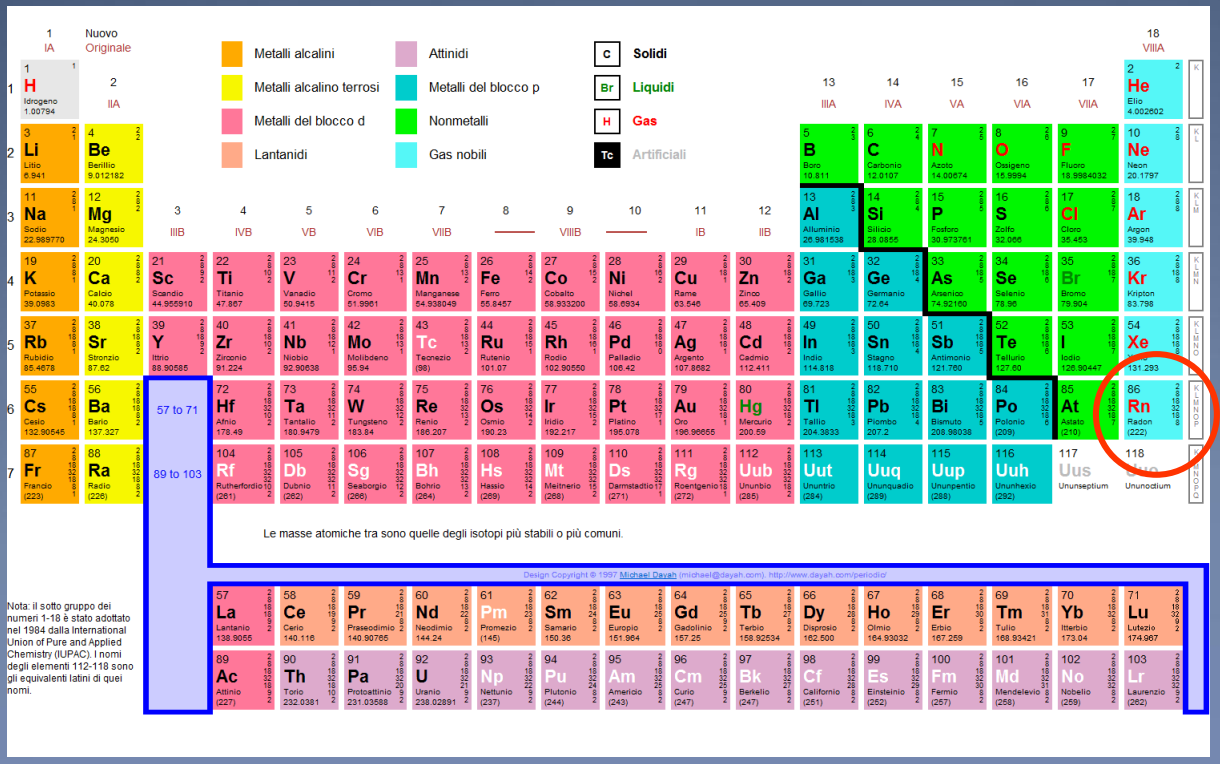
- Radionuclidi a vita media breve (in misura minore anche lunga) sono prodotti artificialmente per vari scopi (produzione di energia, armamenti, controlli industriali, diagnostica e terapia medica, etc): **radionuclidi antropogenici**

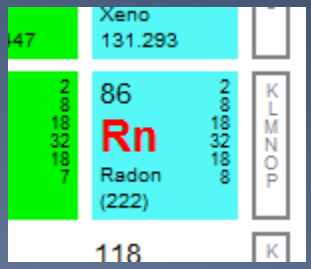
URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY

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

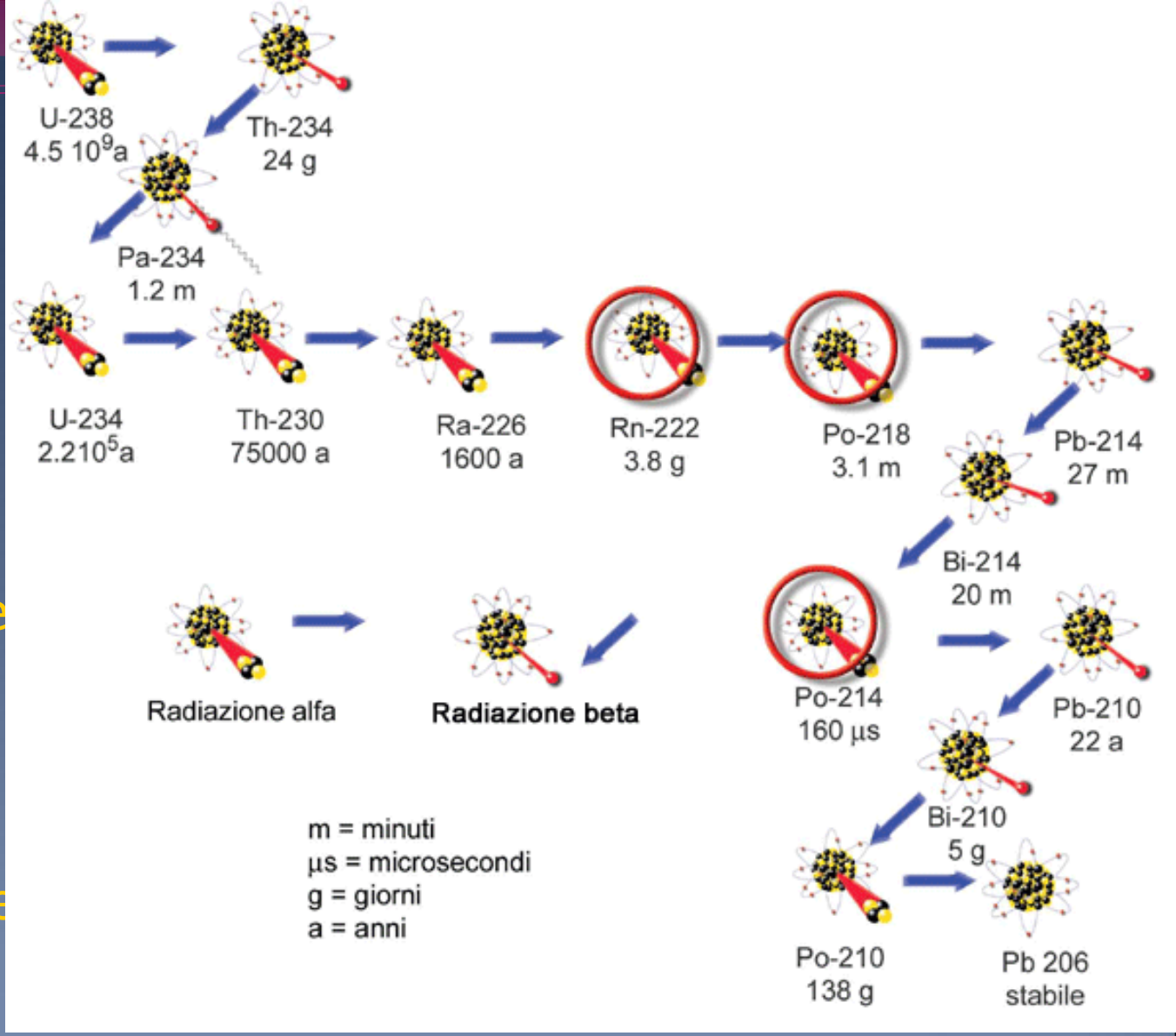
Che cos'è il Radon?

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



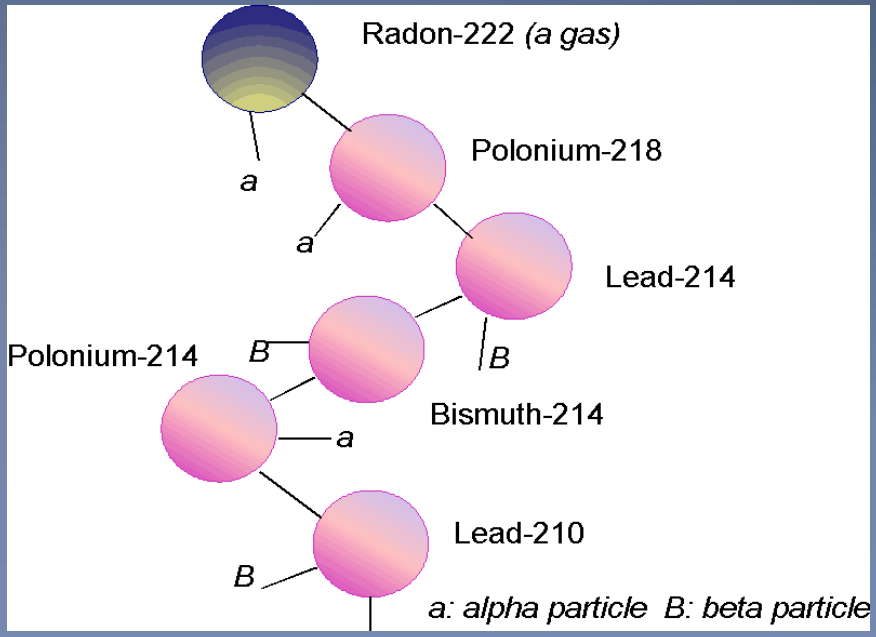


proviene dal decadimento del radioisotopo Ra-226 originato, per decadimenti successivi, dal 'capostipite' U-238 diffusamente presente nella crosta terrestre in concentrazione variabile in funzione della particolare conformazione geologica

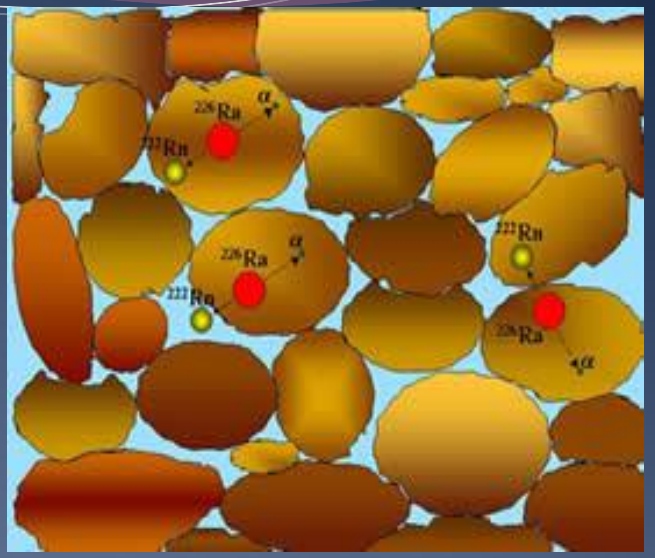


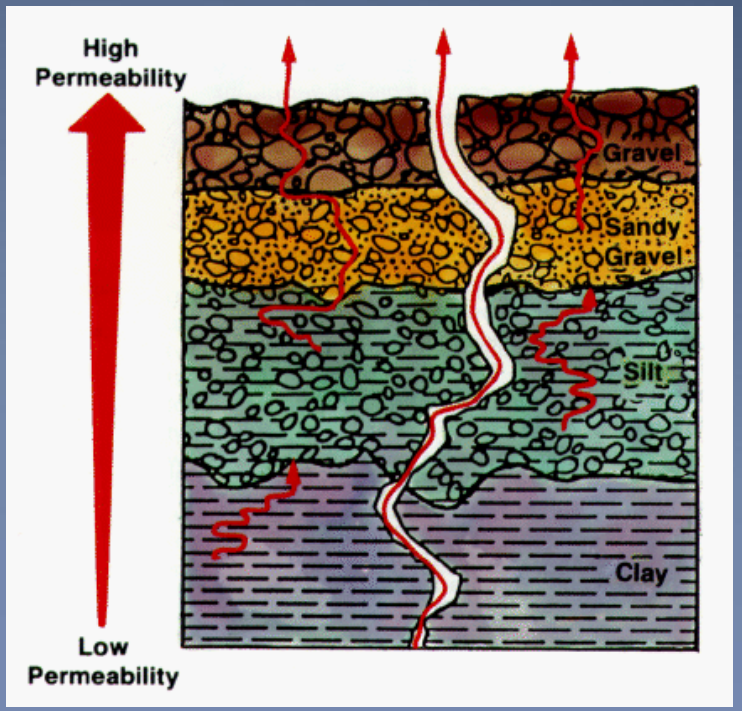
E’ radioattivo con tempo di dimezzamento dell’attività pari a 3.82 giorni.

Decade con emissione di radiazione α producendo ‘discendenti’ radioattivi che emettono radiazione



Rimane per la parte prevalente intrappolato nella matrice solida nella quale si forma e solo una piccola frazione, emerge dal suolo o si discioglie nelle acque e diffonde

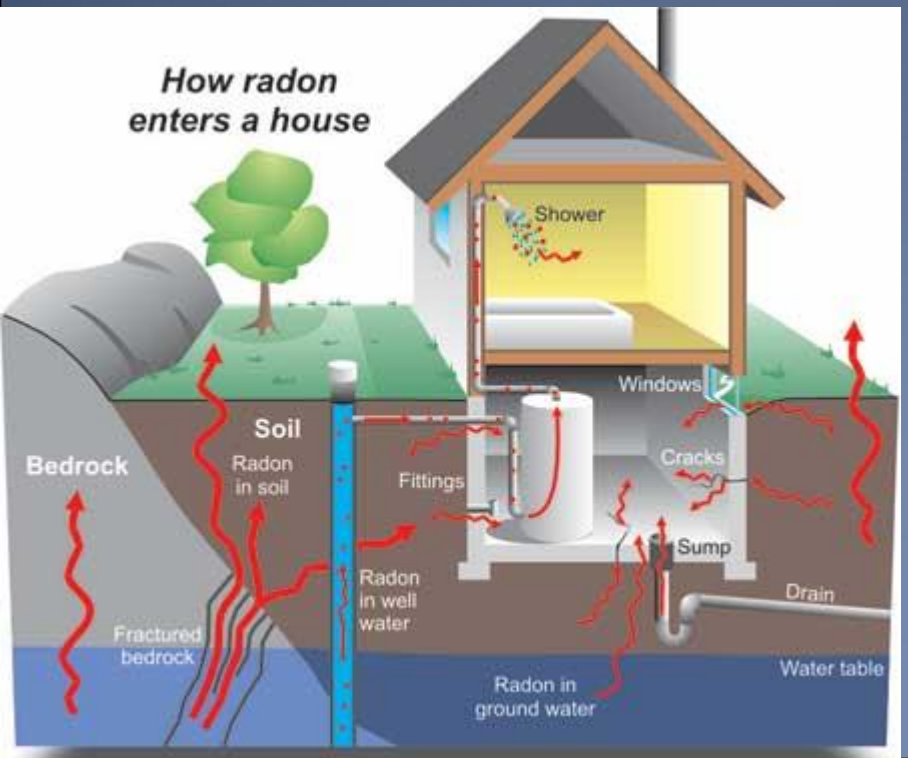




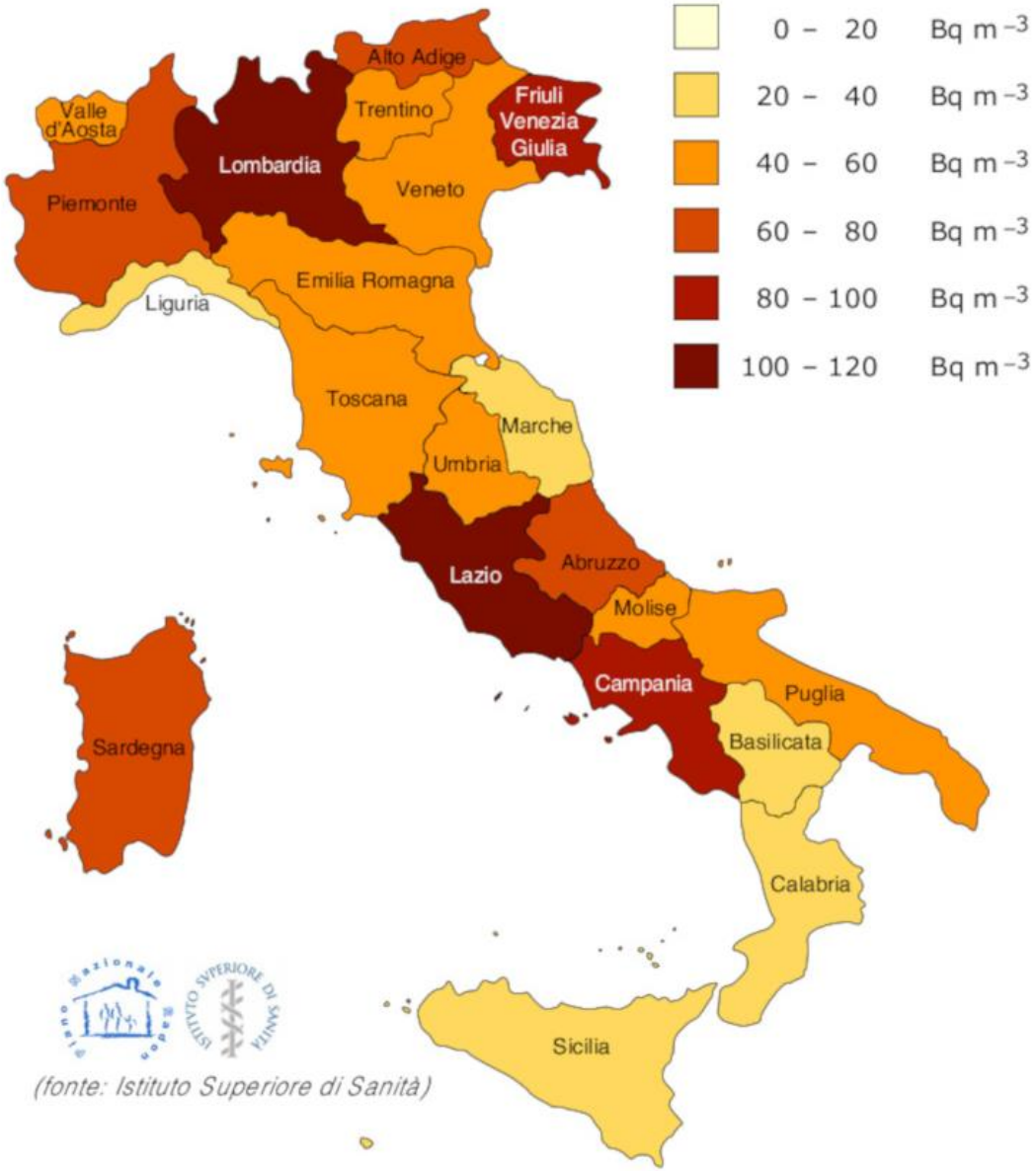
Perché il problema Radon si pone negli ambienti chiusi?

Il gas Radon emergente dal suolo o portato in superficie dalle acque terrestri si diffonde rapidamente nell'atmosfera, venendo a produrre concentrazioni molto basse nei luoghi aperti

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.

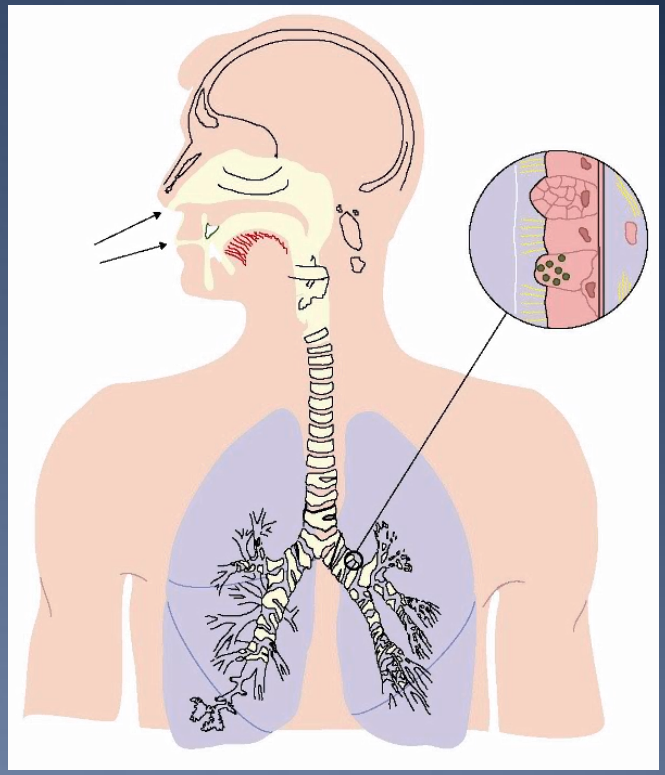


ATTENZIONE: il valore di concentrazione medio regionale, ricavabile dalla mappa, non dà nessuna indicazione riguardo al livello di radon della propria abitazione.
Per conoscere la concentrazione di radon nella propria casa è necessario effettuare una misura con dispositivi adeguati.

Mappa della concentrazione media di Radon in Italia

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 signicative di radiazione che possono produrre tumori polmonari

Secondo l'Agenzia 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 inquadrato al secondo posto, dopo il fumo, come causa per l'insorgenza di tumori polmonari.

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

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

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

concentrazione di attività

espressa in **Bq/m^3**

e **dal tempo di esposizione**

Il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso, e in tutti i casi, non può superare 300 Bq/m^3 medi in un anno misurato con strumentazione passiva

le misure della concentrazione media annua di radon in aria devono essere effettuate per un periodo complessivo di un anno suddiviso in due semestri consecutivi.

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, camere a ionizzazione,…)

- **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 il 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 traiettroria e lasciano delle tracce di dimensioni nanometriche

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

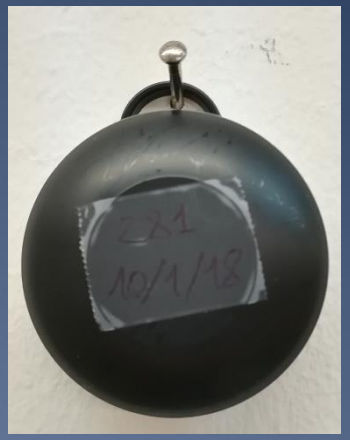
durante l'esposizione *dopo l'attacco chimico*

Posizionamento e punti di misura

- Per locali separati di piccole dimensioni (inferiori a 50m^2) è sufficiente una misura in ciascun locale;

- Per locali separati di medie e grandi dimensioni è consigliabile una misura ogni 100 m^2 di superficie.

I rivelatori vanno posizionati ad una altezza compresa fra circa 1 e 3 metri, in un'area lontana da fonti di calore (stufe, termosifoni, caloriferi climatizzatori) e di ricambio d'aria (finestre e porte). Non va posizionato all'interno di armadi e contenitori chiusi. Durante tutto il periodo di misura nelle stanze vanno mantenute "normali" condizioni di uso (inclusa la ventilazione).

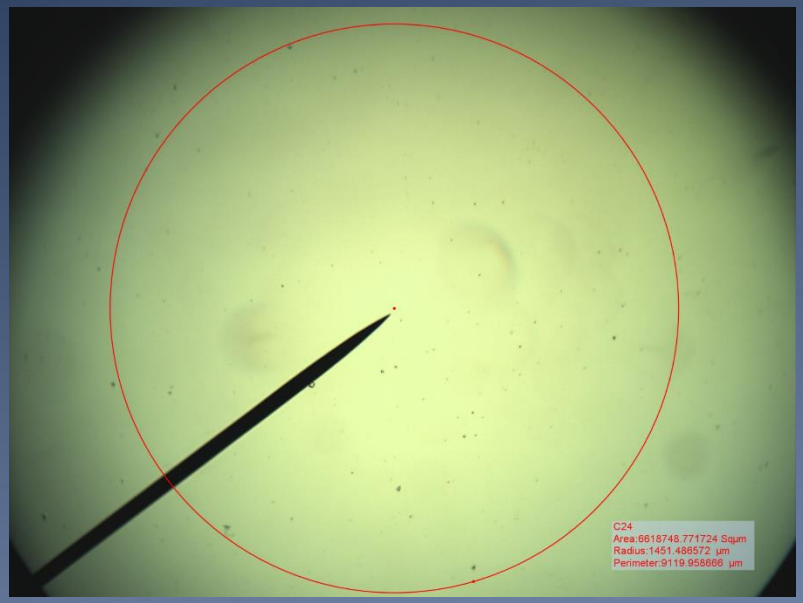


Il dosimetro va montato nel telaio con il lato scritto verso l’alto, lato che è esposto alle radiazione e che viene analizzato nel conteggio delle tracce

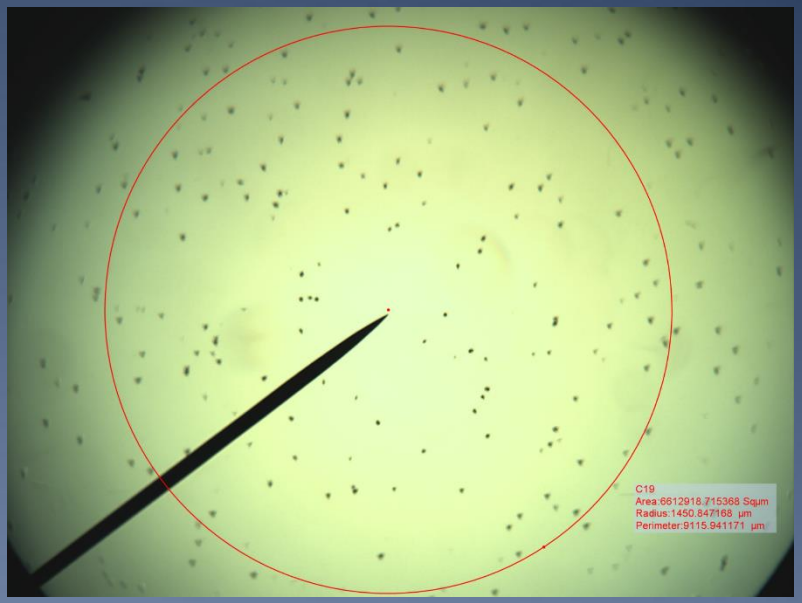
CR-39: i vantaggi

- sensibili alle radiazioni alfa e insensibili ad altri tipi di radiazioni, in particolare alla radiazione gamma;
- forniscono un valore della concentrazione media di radon su lunghi periodi (da alcuni mesi a un anno) per cui sono gli strumenti che meglio soddisfano le richieste della normativa comunitaria e italiana, oltre che quelli prescritti dalla normativa regionale vigente;
- forniscono una risposta in genere indipendente dalle condizioni ambientali;
- consentono un conteggio automatico delle tracce, quindi permettono un notevole risparmio dei tempi di analisi;
- si possono conservare e sottoporre nuovamente a lettura anche dopo diversi anni;
- sono robusti e hanno un basso costo.

I rivelatori sono montati nel rack e inseriti nella vasca per l'attacco chimico in una soluzione di idrossido di sodio (NaOH) in acqua distillata (6.25 M) (250 grammi di NaOH solida per ogni litro di acqua) alla temperatura di 98°C per un'ora.



CR39 vergine
dopo l'attacco chimico



CR39 esposto per 77 giorni
dopo l'attacco chimico

Analisi dei dosimetri

Dal numero di tracce e dal tempo di esposizione si risale alla concentrazione di attività in un ambiente e se tale valore supera la soglia ammessa dalla normativa si interviene per la sanificazione

Il Radon :

come si determina la concentrazione dal numero di tracce sulla superficie dei dosimetri

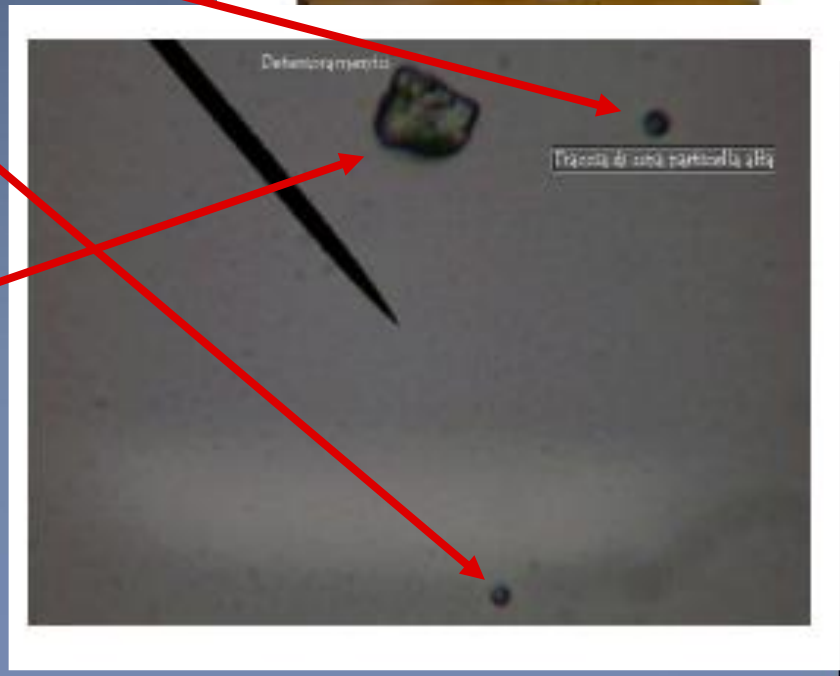
Analisi al microscopio ottico

Dal conteggio del numero di tracce per unità di superficie si risale alla concentazione di Radon

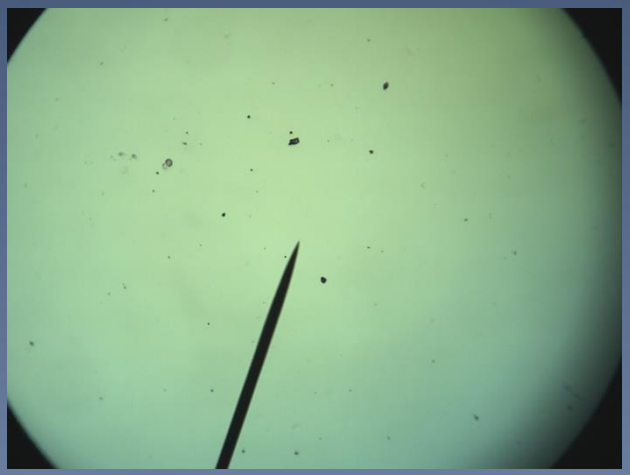
Discriminazione delle tracce:

Le tracce generate dalle particelle α hanno una forma ***regolare*** *(circolare o ellissoidale) e dimensioni dell'ordine di una* ***decina di μm***

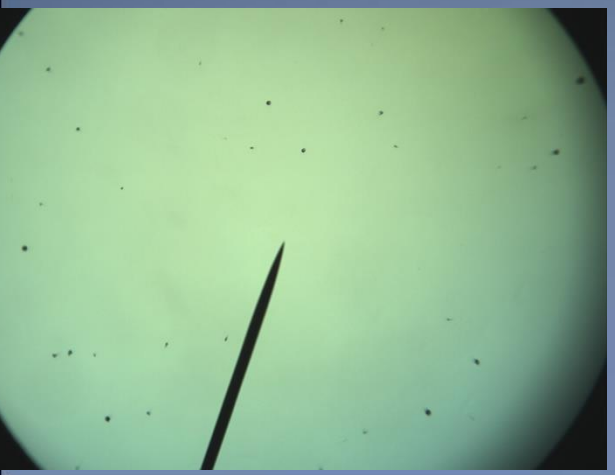
Le tracce dovute ad impurezze e deterioramento son ***irregolari*** *e di* ***dimensioni casuali***

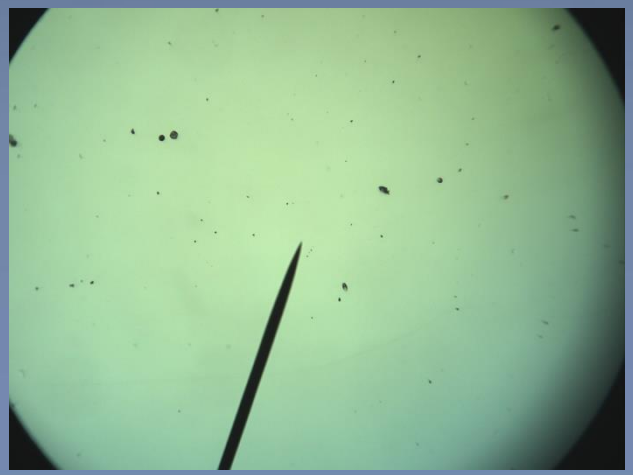


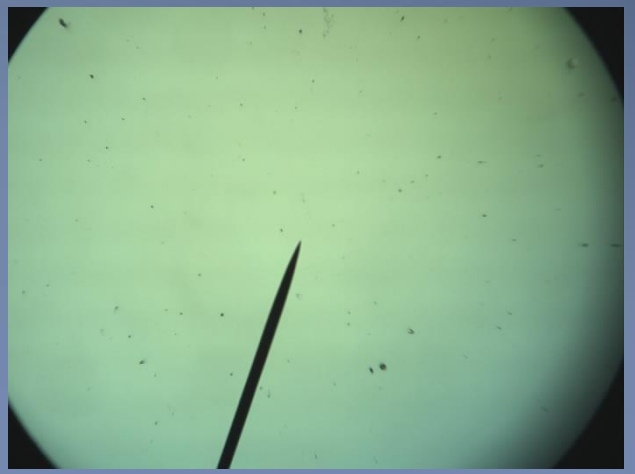
Non esposto

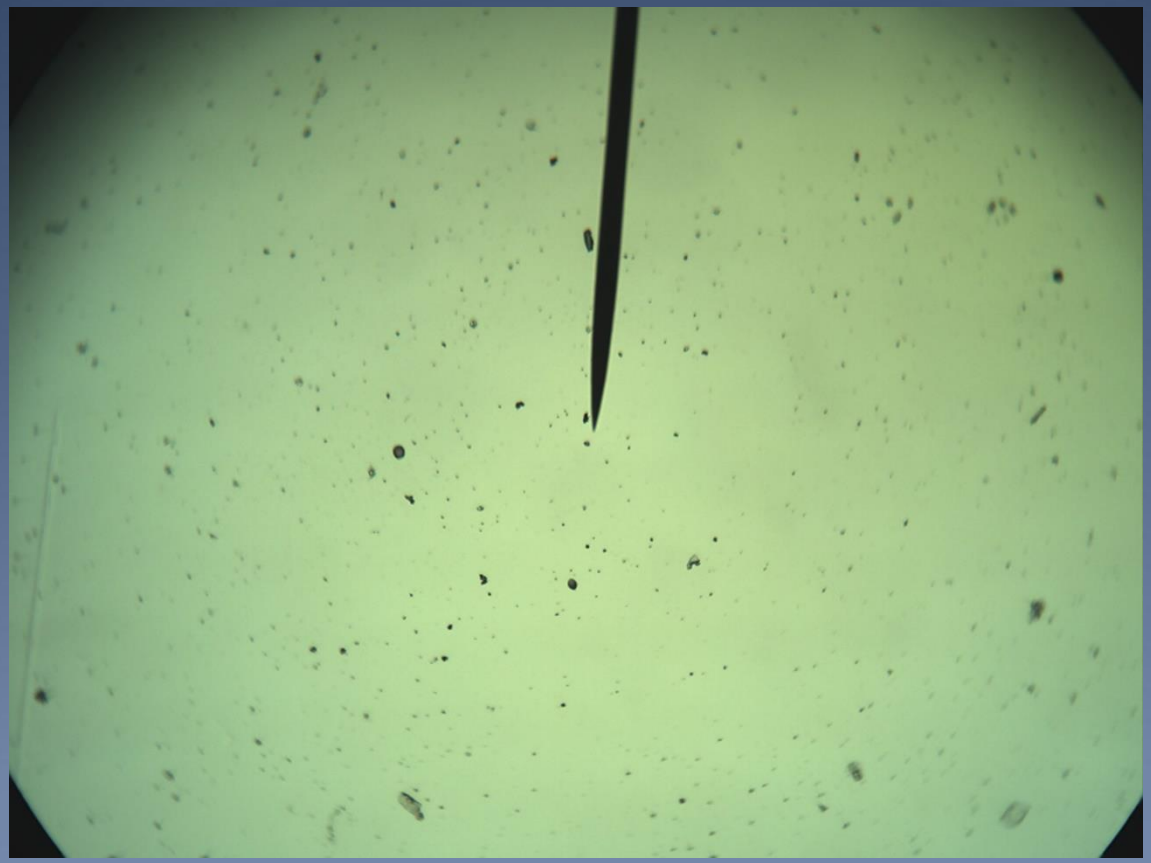


Esposti



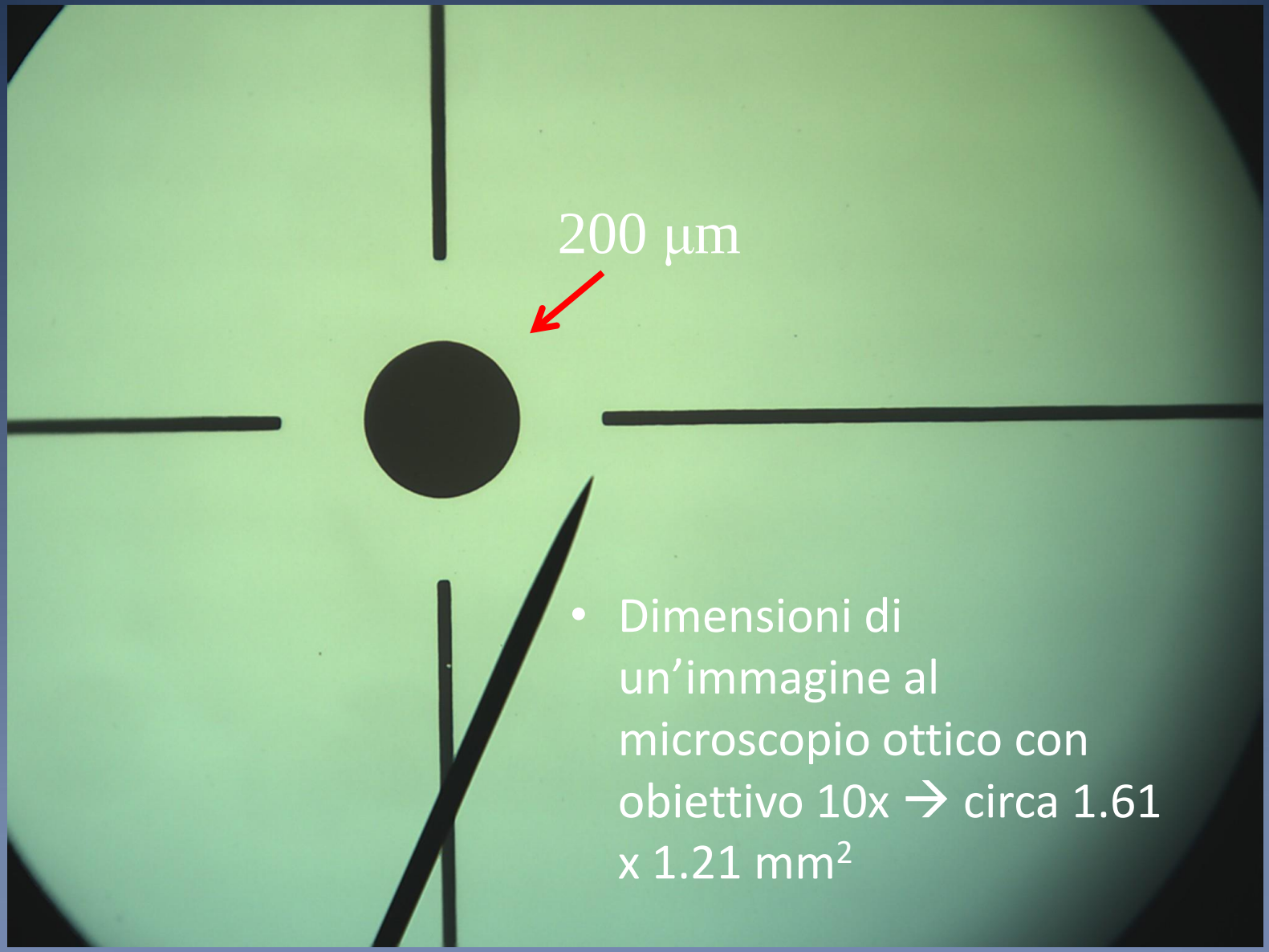






La superficie del dosimetro si è rovinata
(il contenitore e stato ritrovato aperto)

Calibrazione



- Dimensioni di un'immagine al microscopio ottico con obiettivo 10x → circa 1.61 x 1.21 mm^2

Procedura per determinare la concentrazione di Rn

- Misurare il numero di tracce N_T
- Misurare l'area della superficie analizzata $A(cm^2)$
- Calcolare la densità superficiale di tracce $$D_T = \frac{N_T}{A}\left(\frac{n}{cm^2}\right)$$
- Considerare il fattore di taratura (relativo alla faccia superiore) $$F = 0.47\left(\frac{\frac{kBqh}{m^3}}{\frac{n}{cm^2}}\right)$$
- Calcolare la concentrazione integrata sul tempo totale di esposizione $$[C]_{\text{tempo totale}} = D_T\, F\left(\frac{kBqh}{m^3}\right)$$
- Calcolare la concentrazione di Rn

$$[C] = \frac{[C]_{\text{tempo totale}}}{tempo\ di\ esposizione\ in\ h}\left(\frac{kBq}{m^3}\right)$$

Calcolo dell'incertezza

$$[C] = 0.47 \frac{N_T}{A\, N_{ore}} \left[\frac{kBq}{m^3}\right] = 0.47 \frac{N_T}{A\, N_{ore}} 1000 \left[\frac{Bq}{m^3}\right] = 470 \frac{N_T}{A\, N_{ore}} \left[\frac{Bq}{m^3}\right]$$

$$\frac{\Delta[C]}{[C]} = \frac{\Delta N_T}{N_T} + \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta N_{ore}}{N_{ore}}$$

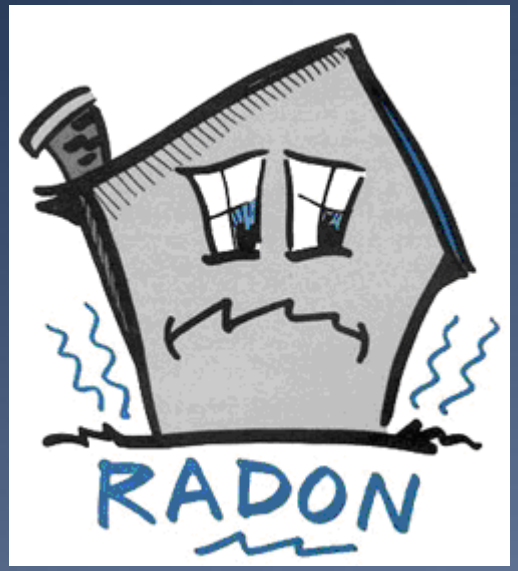
$$\Delta N_T = \sqrt{N_T}$$

$$\frac{\Delta A}{A} \approx 5\%$$

$\frac{\Delta N_{ore}}{N_{ore}}$ trascurabile

Rischio Radon

se lo conosci ti puoi difendere



Grazie per l’attenzione e buon lavoro a voi!!!