

# Radon

[www.fisicaxscuola.altervista.org](http://www.fisicaxscuola.altervista.org)

# Radon

---

- Un po' di storia...
- ... e oggi?
- Caratteristiche Chimico-Fisiche
  - Isotopi del Radon
  - "Nascita" del Radon
- Danni Biologici
- Propagazione del Radon
- Metodi per la mitigazione del Radon
- Misura del Radon
- Normativa
- Radon e eventi geologici

# Un po' di storia ...

---

1/2

Anche se non si conosceva l'elemento, gli effetti negativi del Radon erano conosciuti già in tempi antichi, in quanto erano già stati notati i danni (in particolare al sistema respiratorio) provocati dalla lunga esposizione ai "miasmi" delle miniere [Lucrezio (90-50 a.C.); Paracelso (XVI secolo) ...].

Già verso la fine del '400 Georg Bauer (o Pauer), detto Agricola, descrisse in dettaglio i danni a livello polmonare dei minatori delle miniere di Schneeberg e Jachymov e ipotizzò che la "malattia polmonare di Schneeberg" fosse dovuta all'aria che si respirava nelle miniere.

Nel 1879 Haerting e Hesse, con autopsie effettuate su minatori morti nelle miniere di Schneeberg, identificarono la malattia polmonare come tumore dei polmoni (linfosarcoma), che collegarono al fumo delle sigarette e all'aria respirata all'interno delle miniere.

Nel 1898 Pierre e Marie Curie isolarono il radio e il polonio proprio da rocce che provenivano dalla regione di Jachymov: nasce lo studio della radioattività.

Nel 1900, Dorn scoprì un prodotto, gassoso e radioattivo, esalato dai sali di radio, che chiamò quindi «emanazione del radio»; questo venne isolato qualche anno più tardi (1908) da Ramsay e Gray e chiamato infine radon solo a partire dal 1923.

# Un po' di storia ...

---

2/2

Tuttavia gli studi e i dati raccolti sul radon non bastarono a convincere tutti della sua pericolosità e alcuni scienziati ancora attribuivano i tumori ai polmoni ad altri fattori. Il problema era che non si riusciva a spiegare come potesse insorgere il tumore solo in conseguenza dell'inalazione del radon, per cui la relazione tra radon e tumore veniva spesso negata.

Esperimenti su animali compiuti dal 1951 dimostrarono la potenziale carcinogenità del radon per i polmoni delle specie testate. Rilevamenti epidemiologici tra i minatori di uranio, dalla metà degli anni '60, hanno infine confermato questo pericoloso potenziale sull'uomo.

Per quanto riguarda l'inalazione del radon all'interno delle abitazioni, fin dal 1907 il premio Nobel Ernest Rutherford aveva fatto notare che ognuno inala radon tutti i giorni. Nonostante ciò in quegli anni erano in voga le sostanze radioattive come agenti curativi, sotto forma di applicazioni termali, ciò testimonia come il radon non fosse in realtà percepito come "pericoloso".

Nella seconda metà del '900 vengono eseguite le prime misurazioni di radon in abitazioni costruite con materiali che contengono molto radon. I risultati vengono comunque interpretati dalla comunità scientifica come un problema locale e legato ai particolari materiali costruttivi. Soltanto negli ultimi 10 anni si è compreso che la concentrazione di radon deriva prevalentemente dal flusso convettivo e che può essere alla base dei più grandi problemi di salute pubblica.

# ... e oggi?

1/3

Le autorità locali, sostenute dalle Autorità responsabili della salute pubblica, devono valutare l'entità del problema della concentrazione di radon nelle case e nei luoghi pubblici alla luce dell'architettura locale e delle condizioni geologiche e aiutare a realizzare misure preventive per ridurre il rischio (si veda in tal senso la normativa vigente).

Negli anni '90 sono state effettuate misure di livelli di concentrazione di radon all'interno delle abitazioni, coinvolgendo complessivamente 5000 abitazioni, il risultato medio nazionale per la concentrazione media di gas radon all'interno delle abitazioni è circa  $70 \text{ Bq/m}^3$ , valore relativamente elevato rispetto alla media mondiale valutata intorno a  $40 \text{ Bq/m}^3$  e a quella europea di circa  $59 \text{ Bq/m}^3$ .

Attualmente le varie regioni stanno eseguendo misurazioni autonome; infatti il decreto legislativo 230/95 sancisce che devono essere le regioni e le province a individuare le zone del proprio territorio a elevata probabilità di concentrazione di gas radon. In mancanza di una precisa normativa nazionale, però, le varie regioni stanno procedendo in maniera disomogenea, sia per quanto riguarda la suddivisione del territorio sia per il numero di campionamenti, mentre alcune regioni ancora non hanno iniziato campagne di misura.

La situazione europea è stata fotografata dal WHO (World Health Organization che equivale al OMS Organizzazione Mondiale della Sanità), che ha riassunto le misurazioni eseguite nei vari stati europei.

# ... e oggi?

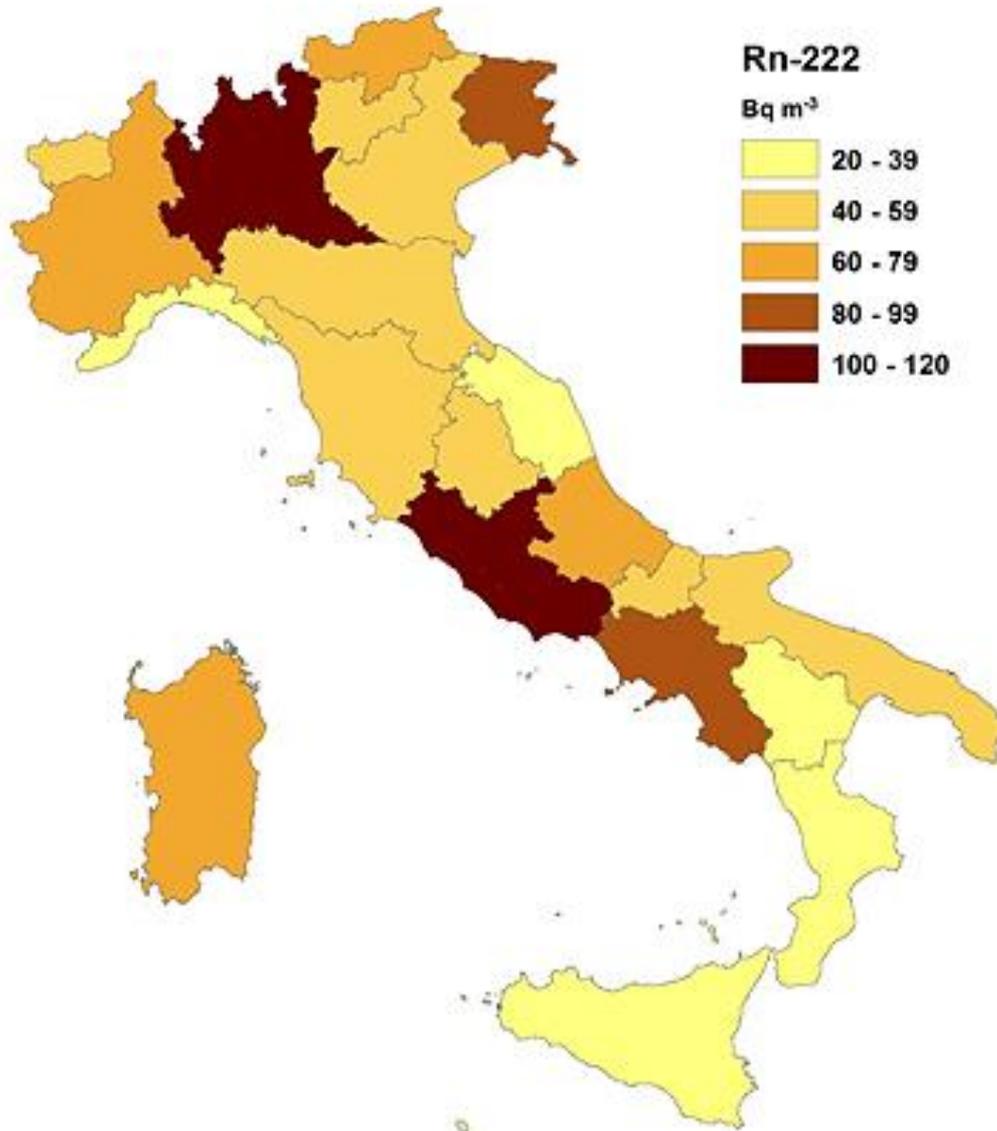
Stato	Abitanti ( $\cdot 10^6$ )	Numero di misurazioni	Concentrazione media (Bq/m <sup>3</sup> )
Austria	8	3499	75
Francia	56,9	6878	68
Repubblica Ceca	15,6	75 000	140
Germania	85	7500	50
Svezia	8,4	350 000	108
Gran Bretagna	57	270 000	20
Italia	56,8	4800	77

Fonte: OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità, divisione Europa.

Dalla tabella appare evidente che in Italia il numero delle misurazioni è ancora più basso rispetto al resto di Europa.

... e oggi?

3/3



## Risultati dell'indagine nazionale sull'esposizione al radon nelle abitazioni

*Fonte: ISPRA - Istituto Superiore  
per la Protezione e la Ricerca  
Ambientale*

# Caratteristiche Chimico-Fisiche

Il radon (un tempo detto *niton*) è l'elemento chimico che nella tavola periodica viene rappresentato dal simbolo Rn e numero atomico 86.

## Caratteristiche:

1. elevata densità (9,72 kg/m<sup>3</sup> a 0 °C e 1 atm)
2. chimicamente inerte (gas nobile)
3. naturalmente radioattivo e tossico
4. inodore, insapore e incolore (STP)
5. estremamente volatile e solubile in acqua<sup>1</sup>
6. è diffuso in tutta la crosta terrestre e si può trovare in numerose rocce di origine vulcanica, come graniti, pozzolane, tufi, lave. Il suolo è responsabile dell'80% del radon presente nell'atmosfera, l'acqua del 19% e le altre fonti solo dell'1% .
7. L'atmosfera terrestre contiene mediamente 10<sup>-15</sup> ppm di radon.

<sup>1</sup> poiché la sua concentrazione in atmosfera è in genere estremamente bassa, l'acqua naturale di superficie a contatto con l'atmosfera (sorgenti, fiumi, laghi...) lo rilascia in continuazione per volatilizzazione anche se generalmente in quantità molto limitate.

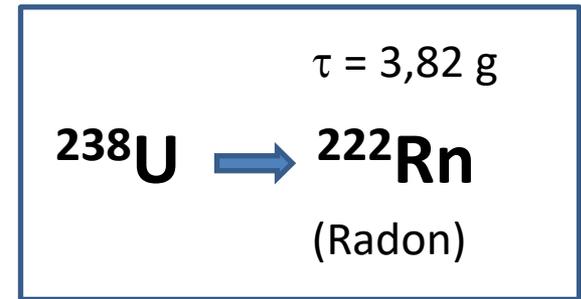
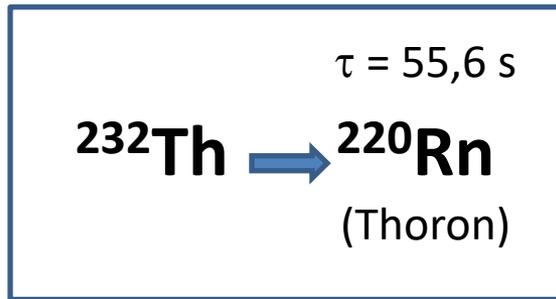
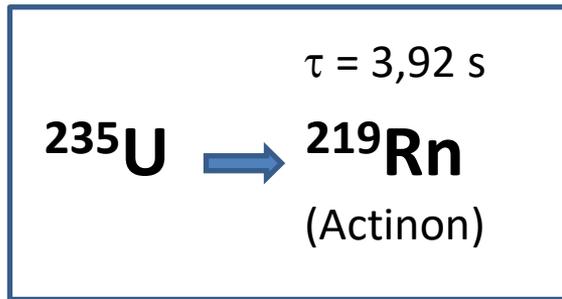
Isotopi più stabili					
iso	NA	TD	DM	DE	DP
<sup>211</sup> Rn	sintetico	14,6 ore	ε β <sup>+</sup> α	2,892 ? 5,965	<sup>211</sup> At <sup>211</sup> At <sup>207</sup> Po
<sup>212</sup> Rn	sintetico	24 minuti	α	?	<sup>208</sup> Po
<sup>217</sup> Rn	sintetico	0,6 millisecondi	α	?	<sup>213</sup> Po
<sup>218</sup> Rn	sintetico	35 millisecondi	α	?	<sup>214</sup> Po
<sup>219</sup> Rn	sintetico	3,96 secondi	α	?	<sup>215</sup> Po
<sup>220</sup> Rn	sintetico	55,61 secondi	?	?	?
<sup>222</sup> Rn	100%	3,824 giorni	α	5,590	<sup>218</sup> Po

iso: isotopo  
NA: abbondanza in natura  
TD: tempo di dimezzamento  
DM: modalità di decadimento  
DE: energia di decadimento in MeV  
DP: prodotto del decadimento

# Caratteristiche Chimico-Fisiche

## *Isotopi del Radon*

Esistono tre isotopi del radon che sono il prodotto intermedio del decadimento di tre nuclidi "capostipiti": **Torio 232**, **Uranio 235** e **Uranio 238**.

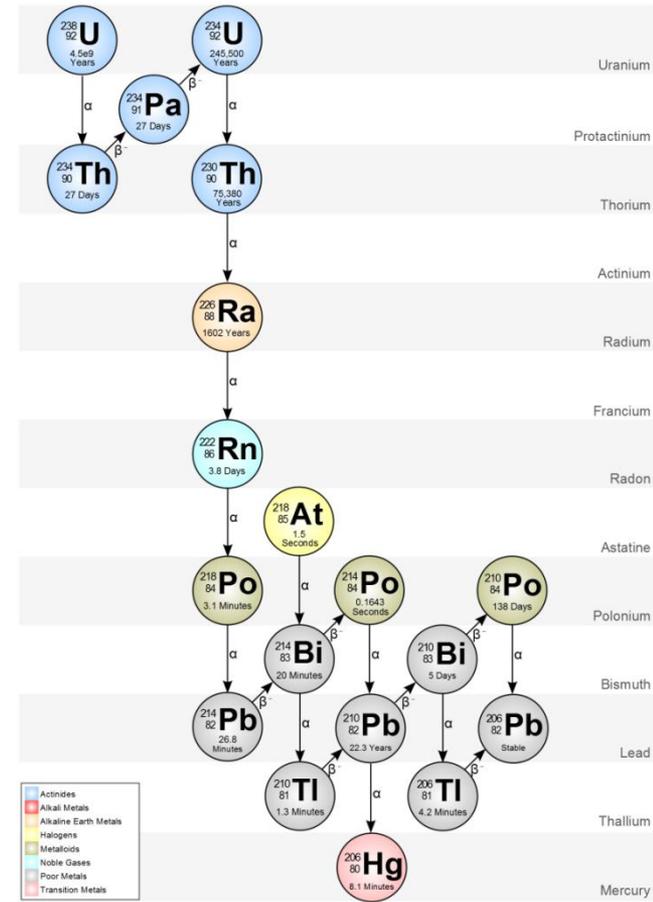
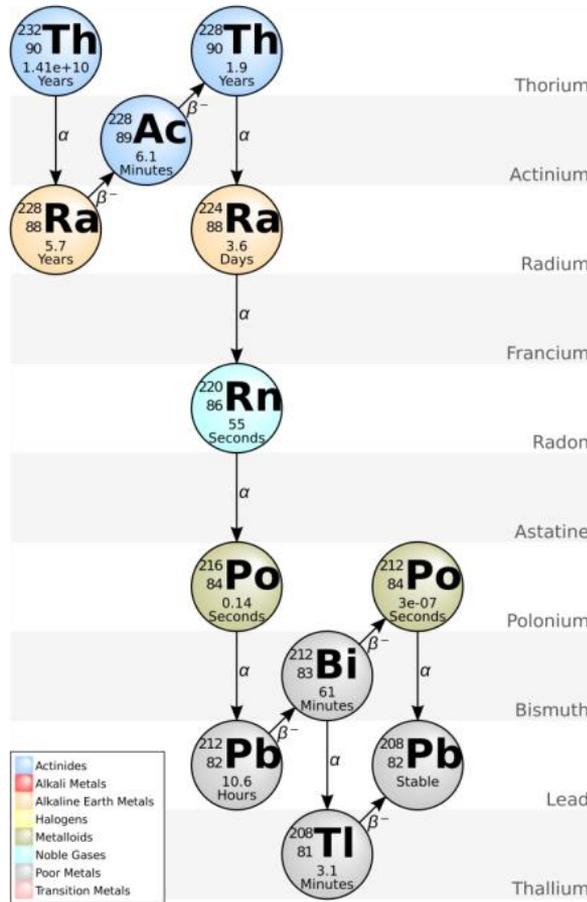
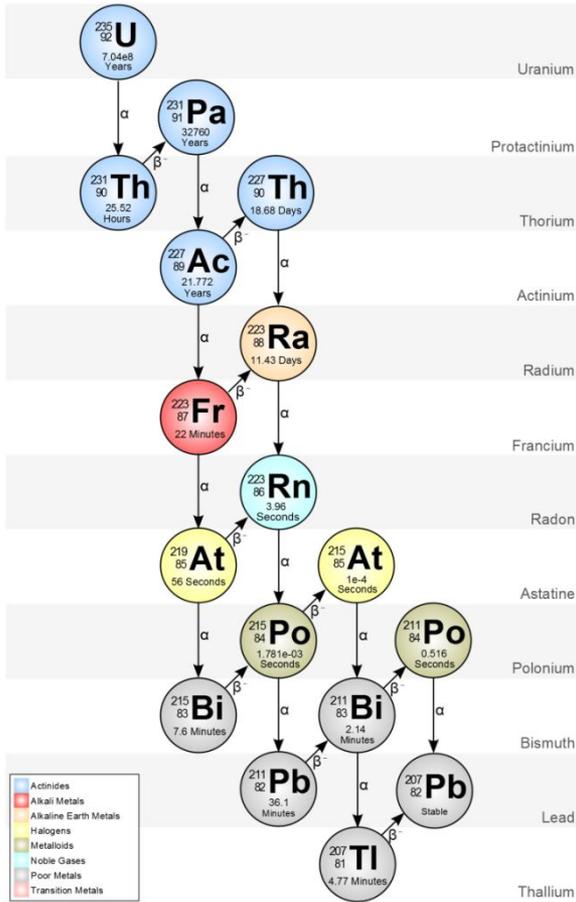


La vita media così breve dei primi due isotopi, implica un loro decadimento quasi immediato; ciò, insieme al fatto che i nuclei figli del Radon sono tutti allo stato solido e dunque si depositano, praticamente annulla la probabilità che essi arrivino in superficie e che possano quindi essere inalati dall'uomo.

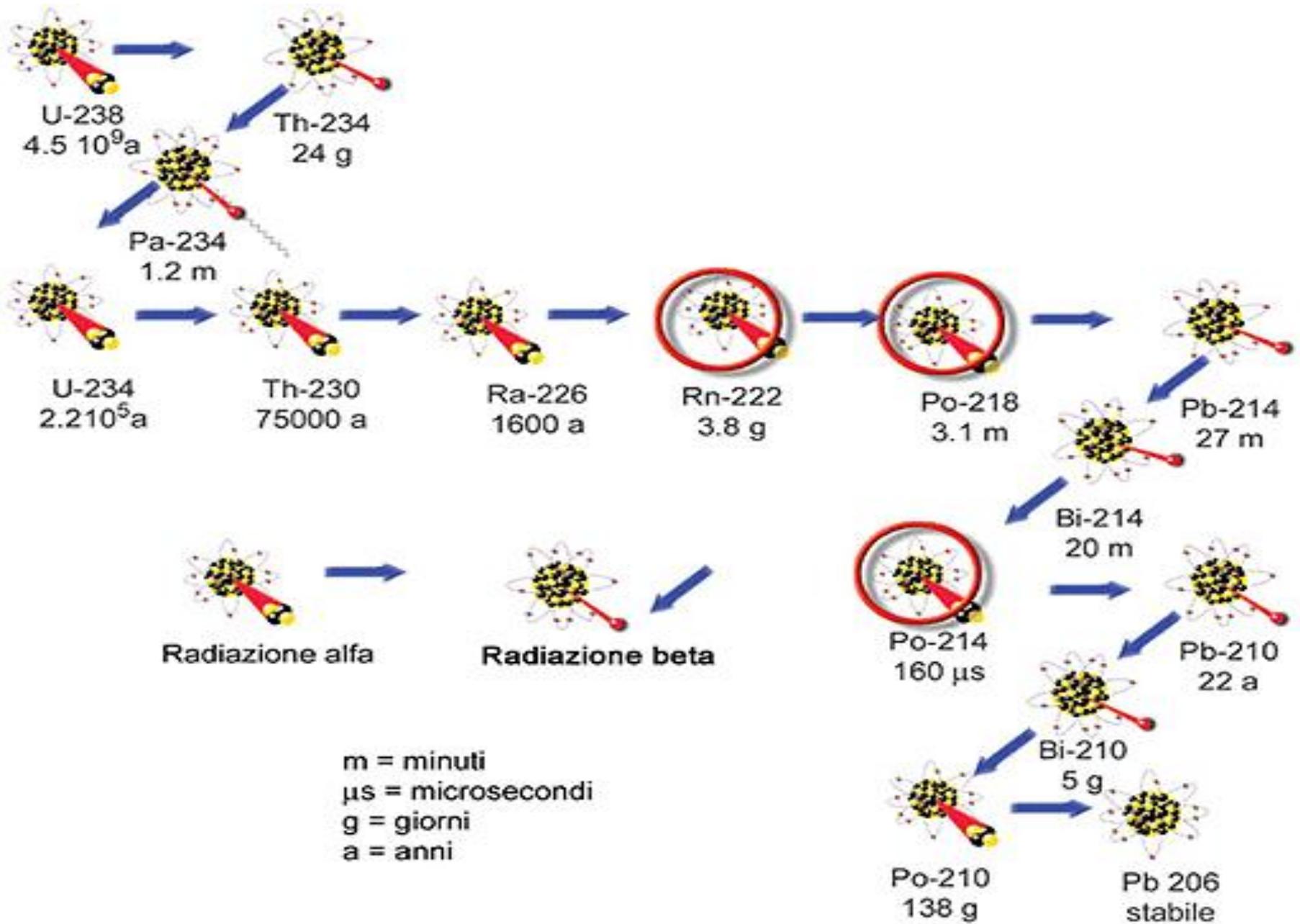
Quindi la quantità che dal suolo riesce a raggiungere la bassa atmosfera e diventare pericolosa per l'uomo è molto ridotta rispetto al nuclide derivante dal  ${}^{238}\text{U}$ , pertanto dal punto di vista dell'interesse per la salute umana, il  ${}^{222}\text{Rn}$  è l'unico isotopo "interessante".

# Caratteristiche Chimico-Fisiche

"Nascita" del Radon



Schema del decadimento radioattivo di Uranio-235, Uranio-238, Torio-232 e la "nascita" del Radon

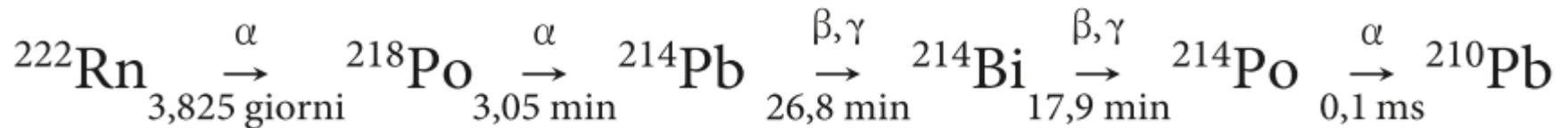


Schema del decadimento radioattivo dell'Uranio-238 e la "nascita" del Radon-222

# Caratteristiche Chimico-Fisiche

Dalle catene di decadimento risulta evidente che il Rn deriva direttamente dal Ra per decadimento  $\alpha$ ; la sua presenza dipende perciò dalla concentrazione di Radio. La lunga vita media dei suoi più importanti e illustri antenati (Uranio, Torio e Radio), dispersi in piccole tracce un po' ovunque nella crosta terrestre, garantisce la costante presenza del  $^{222}\text{Rn}$  e dei suoi discendenti negli ambienti naturali.

Il  $^{222}\text{Rn}$ , in quanto elemento radioattivo, decade con un tempo di dimezzamento di 3,82 giorni emettendo una particella  $\alpha$ : si trasforma così in  $^{218}\text{Po}$ . Più in dettaglio, la sua disintegrazione dà luogo a una serie di elementi radioattivi, tutti solidi, fino al piombo  $^{206}\text{Pb}$ , non radioattivo.



I prodotti del decadimento del  $^{222}\text{Rn}$  costituiscono il cosiddetto **deposito attivo**, chiamato così perché i suoi costituenti, diffondendo nell'aria, vanno a fissarsi sulle superfici solide che incontrano.

Poiché il tempo di dimezzamento del  $^{222}\text{Rn}$  è molto più grande di quello dei discendenti (fino al  $^{210}\text{Pb}$ ) si ha equilibrio secolare con gli elementi indicati nella serie sopra riportata.

# Danni Biologici

Tra i nuclei "figli" del Rn, quelli che risultano più dannosi per la salute sono il  $^{218}\text{Po}$  e il  $^{214}\text{Po}$ , poiché, tra i discendenti a vita breve del  $^{222}\text{Rn}$ , sono i due che decadono emettendo **una particella  $\alpha$** .

Le particelle  $\alpha$  hanno un potere penetrante molto debole (questo è legato alla sezione d'urto delle particelle  $\alpha$ , diversa da quella degli elettroni, più piccoli) e, infatti, non oltrepassano lo strato basale dell'epidermide; possono penetrare nella pelle solo se hanno un'energia di almeno 7,5 MeV.

Il loro potere ionizzante però è molto elevato, quindi il loro **grado di pericolosità diventa alto se sono emesse da una sorgente interna al corpo umano (cosa che accade proprio quando il radon viene inalato)**.

Inoltre i metalli pesanti in cui generalmente decade il radon hanno un'altissima probabilità di fissarsi al pulviscolo atmosferico generando un «aerosol radioattivo»; questo, se respirato, si deposita nel parenchima polmonare, emettendo particelle  $\alpha$  e  $\beta$  che possono danneggiare il DNA delle cellule e portare alla formazione di tumori.

Maggiore è la quantità di aerosol inalato, maggiore è il rischio che qualche danno non venga riparato e che si trasformi in tumore.



# Danni Biologici

---

Studi sugli effetti combinati dell'esposizione al radon e al fumo delle sigarette hanno mostrato che l'effetto totale di tali esposizioni è decisamente maggiore della somma dei due effetti.

**In altre parole il fumo aumenta considerevolmente il rischio di tumore ai polmoni correlato al radon, e viceversa.**

Se prendiamo come riferimento un non fumatore esposto a una concentrazione di radon molto bassa e poniamo il suo rischio di tumore polmonare uguale a 1, il rischio di un fumatore che fuma abitualmente un pacchetto di sigarette al giorno, anch'esso esposto alla stessa concentrazione di radon, è 25 volte più alto.

Il tumore al polmone costituisce, al momento, l'unico danno, per la salute dell'uomo, che è stato definitivamente correlato all'esposizione al Radon. Non ci sono prove che altre malattie respiratorie (come, ad esempio, l'asma e la fibrosi polmonare) siano legate alle radiazioni emesse dai prodotti di decadimento di questo isotopo.

# Propagazione del Radon

---

Il radon che diffonde in aria proviene in prevalenza dal suolo, soprattutto da rocce vulcaniche (come il **tufo** e la **pozzolana**), ma percentuali rilevanti di radon sono state trovate anche nelle **rocce fosfatiche**, cioè quei tipi di rocce sedimentarie costituite da resti di organismi animali.

La percentuale di radon in atmosfera dipende anche dalla natura del suolo, in quanto il gas viene diffuso facilmente da un sottosuolo poroso o fratturato, arrivando a raggiungere anche distanze considerevoli dal punto in cui è stato generato. Viceversa, un terreno compatto, per esempio con un'alta percentuale di limi o argille, può costituire una forte barriera alla sua diffusione.

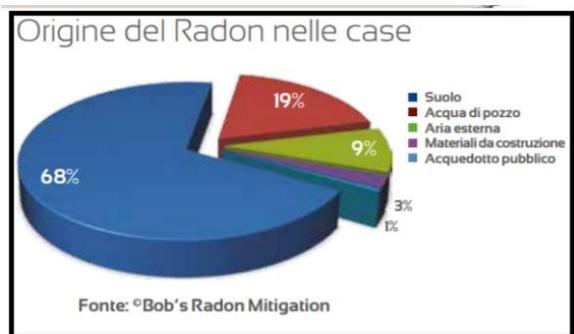
**All'esterno il radon non crea problemi rilevanti**, in quanto si trova diluito nell'aria in piccole concentrazioni che si riducono gradualmente mentre ci si allontana dalla fonte di emissione.

Una volta diffuso dal suolo, dai materiali da costruzione e a volte dall'acqua, il radon tende a disperdersi rapidamente.

# Propagazione del Radon

Negli ambienti interni, invece, il radon tende a concentrarsi maggiormente, soprattutto in locali poco areati, dove si può accumulare fino a raggiungere concentrazioni ritenute pericolose. Il ricambio d'aria nei locali influisce, abbassandolo, sul livello di concentrazione di questo nuclide.

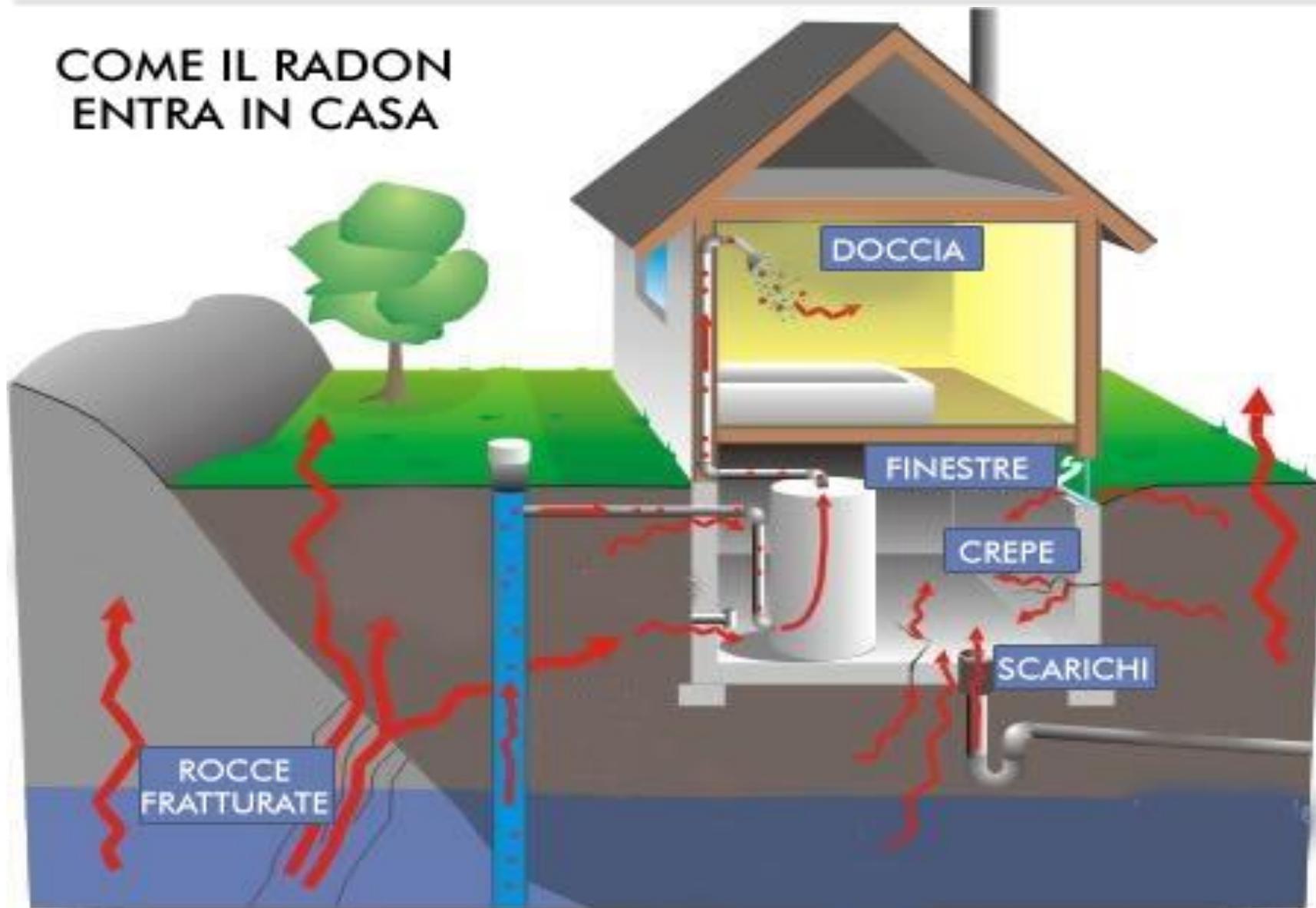
La maggior parte del radon presente in una casa proviene dal suolo sul quale essa è costruita, ma frazioni non trascurabili provengono sia dall'acqua sia dai materiali da costruzione, che possono contenere  $^{238}\text{U}$  o  $^{232}\text{Th}$ .



Materiale da costruzione	Ra-226 (Bq* / kg)		Th-232 (Bq* / kg)	
	media	min-max	media	min-max
tufo	209	136-316	349	99-542
cemento	42	7-98	66	9-240
pietra sienite	317	239-384	234	173-342
pietra peperino	159	109-256	171	152-231
calcestruzzo	22	21-23	16	16
laterizi	29	0-67	26	3-51
sabbia	18	0-24	22	6-27
ghiaia	15	11-21	14	13-16
gesso	8	0-16	3	1-8
calce	9	7-15	6	2-8
travertino	1	0-2	0	0-1
marmo	4	1-13	1	0-3
granito	89	24-378	94	36-358
porfido	41	25-51	59	45-73

# Propagazione del Radon

COME IL RADON  
ENTRA IN CASA



# Propagazione del Radon

---

Un'altra importante via attraverso la quale il radon può entrare nelle abitazioni è costituita dall'**acqua potabile**, proveniente dal sottosuolo o da sorgenti, nella quale esso si trova naturalmente disciolto.

La maggiore concentrazione di radon in ambienti chiusi deriva dal fatto che il radon presente all'interno di una casa tende infatti a ristagnare, in quanto la **pressione all'interno di un'abitazione risulta inferiore (di pochi pascal) a quella esterna**, favorendo quindi l'ingresso di aria dall'esterno ma limitando il ricambio di aria (poca di quella presente all'interno esce).

La dipendenza della concentrazione di radon da pressione e temperatura spiega il ruolo ricoperto dalle **condizioni meteorologiche** (vento, pressione barometrica, umidità) che si traduce non solo in **variazioni stagionali** della concentrazione di radon in una data casa, ma anche in differenze osservate tra i **livelli diurni e notturni** (concentrazioni maggiori generalmente si hanno in inverno e di notte).

Le differenze di pressione e di temperatura sono alla base dei due principali meccanismi che causano l'aumento della concentrazione di radon negli ambienti chiusi: **effetto camino ed effetto vento**.

# Propagazione del Radon

---

## ❖ Effetto Camino

L'effetto camino è causato dalla differenza di temperatura tra esterno e interno; a causa dei moti convettivi, interni all'abitazione, si genera una differenza di pressione che tende ad assorbire anche l'aria proveniente dal sottosuolo, e con essa il radon contenuto nel suolo:

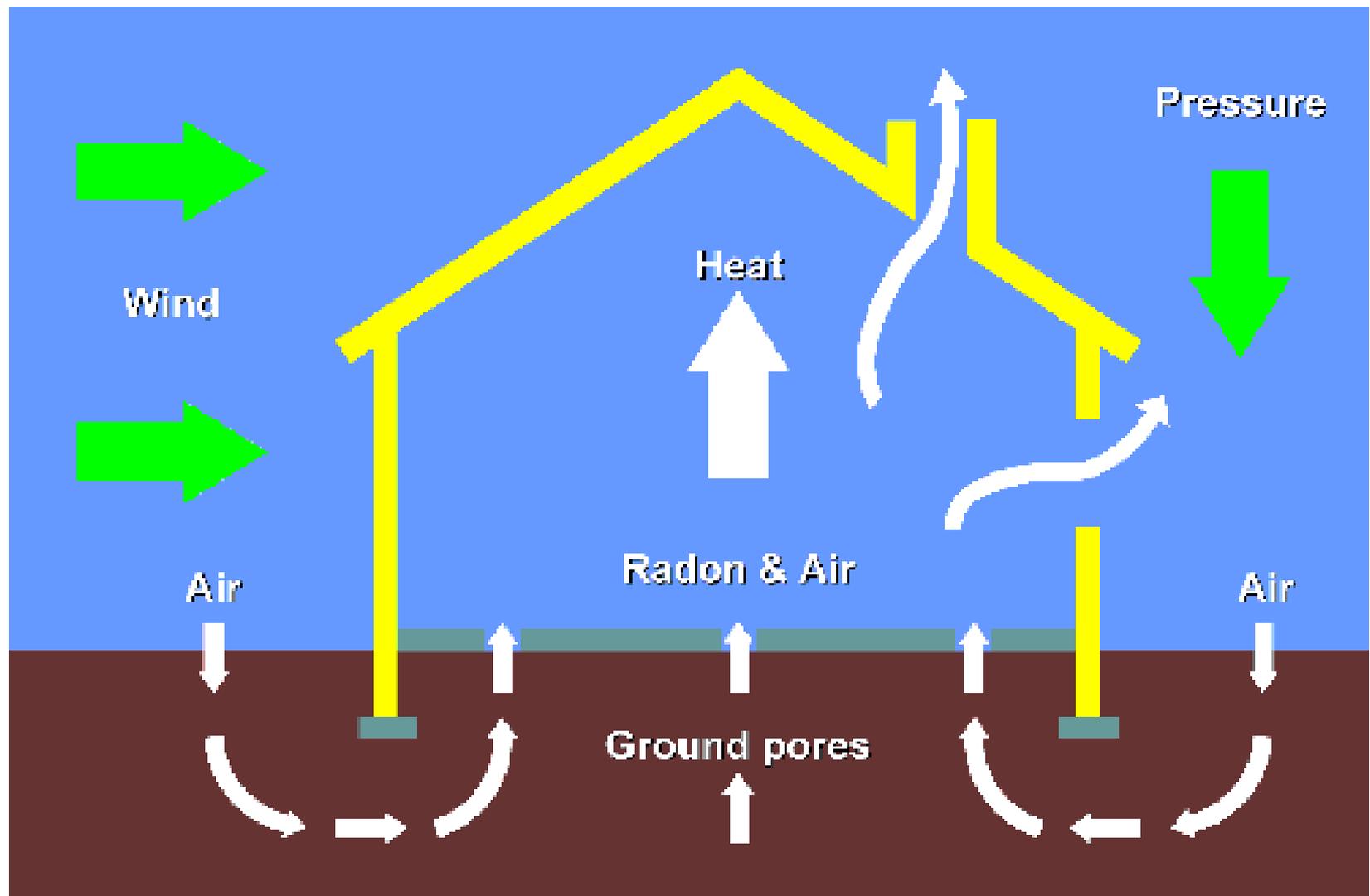
$$\Delta p = \alpha \left( \frac{1}{T_e + 273} - \frac{1}{T_i + 273} \right) \quad \text{con} \begin{cases} T_i = \text{Temperatura interna} \\ T_e = \text{Temperatura esterna} \\ \alpha = 3642 \text{ Pa} \cdot \text{K} \end{cases}$$

Per effetto di questa differenza di pressione si genera un risucchio d'aria dal suolo; da una crepa di qualche millimetro, quindi, possono essere aspirati diversi metri cubi di aria proveniente dal sottosuolo.

## ❖ Effetto Vento

L'effetto vento è invece dovuto alla differenza di velocità dell'aria tra interno ed esterno di una abitazione. Poiché all'esterno l'aria non è ferma, si genera una differenza di pressione, con la **pressione esterna maggiore di quella interna**. Anche l'effetto vento, quindi, contribuisce a favorire l'ingresso di aria dall'esterno, ma non l'uscita della stessa dall'interno. 19

# Propagazione del Radon



# Metodi per la mitigazione del Radon

---

Per affrontare il problema radon bisogna innanzi tutto differenziare gli interventi da eseguirsi **su costruzione esistente** o **su edifici in fase di progettazione**. Le metodologie per eliminare, o almeno ridurre, la presenza del Rn negli ambienti si dividono in **attive** e **passive**.

Per **edifici di nuova realizzazione** in fase progettuale è possibile mettere in atto le tecniche più adeguate (applicando anche le metodologie riportate nel caso di edifici già esistenti), in ogni caso la prevenzione dal radon inizia con accorgimenti che mirano all'**impermeabilizzazione dell'ambiente** dal radon:

- ❖ accurata localizzazione degli ambienti abitativi, **evitando ad esempio la presenza di camere al piano terra**;
- ❖ realizzazione di **vespai o garage ventilati**, da chiudere con porte che possano essere ermetiche (vedi dopo);
- ❖ scelta di **materiali maggiormente impermeabili al radon**.

Gli ambienti sottostanti l'abitazione (garage o cantine) dovrebbero essere sempre realizzati con **sistemi di ventilazione che consentano una leggera sovrappressione**, favorendo quindi la ventilazione del terreno,

# Metodi per la mitigazione del Radon

---

Nel caso di edifici già esistenti gli accorgimenti saranno limitati, per non arrecare eccessivi danni all'abitazione. Si tratta essenzialmente di interventi sulla ventilazione e sull'attacco a terra.

## □ Ventilazione

- a) Ventilazione naturale (tecnica passiva): è un accorgimento che diminuisce la concentrazione del gas, permettendo così una diluizione del radon. L'apertura di finestre e porte è un espediente efficace negli insediamenti urbani e rurali ma solo quando il clima consente una continua ventilazione.
- b) Ventilazione forzata (tecnica attiva): si realizza installando un estrattore che può essere installato sul sistema centrale d'aria calda forzata e sulle valvole di regolazione della bocchetta d'immissione che può essere applicato direttamente sulle porte e sulle finestre. La ventilazione forzata può essere adottata in tutti gli edifici, come la ventilazione naturale, senza particolari accorgimenti tecnici o costosi interventi d'altro tipo.

# Metodi per la mitigazione del Radon

---

## □ Interventi sull'attacco a terra, pozzo radon e intercapedini

- a) Depressurizzazione attiva del vespaio (tecnica attiva): è possibile diminuire la quantità di radon in ingresso modificando le condizioni di pressione. Un opportuno drenaggio costituito da pietrame o da elementi interposti tra suolo e pavimento permette la captazione del gas, mentre il suo allontanamento è affidato a condotti d'aspirazione forzata.
- b) Tecnica della parete ventilata (tecnica attiva o passiva): creare un'intercapedine tra i muri interni ed esterni, cosicché i movimenti convettivi (**forzati o naturali**) permettono l'allontanamento del gas evitando quindi l'ingresso nell'abitazione.
- c) Pozzo radon (tecnica attiva): è costituito da mattoni non cementati, con dei larghi fori che danno la possibilità al gas radon di entrare nel pozzo, al quale sarà collegato un sistema evacuante, costituito da un tubo e da una pompa aspirante che canalizzeranno il gas, portandolo preferibilmente sul tetto o lontano comunque da porte e finestre. Elimina il 90-98 % del gas.

# Misura del Radon

## *Tipologie di Tecniche*

La misura della concentrazione del radon, all'interno delle abitazioni e in generale dei locali, viene eseguita con due tecniche differenti:

### ATTIVA

- Con collegamento alla rete elettrica;
- Utili per brevi periodi di tempo;
- Più costose e complesse;
- Forniscono una risposta in funzione del tempo, consentendo:
  - l'analisi della concentrazione di radon nei vari momenti della giornata e in differenti condizioni (ad es. riscaldamento acceso/spento finestre aperte/chiuso);
  - l'individuazione di eventuali ingressi preferenziali del gas all'interno dell'abitazione.

### PASSIVA

- Senza collegamento alla rete elettrica;
- Utili anche per lunghi periodi di tempo;
- Più economiche;
- Forniscono, come risposta, il valore della **concentrazione media** di radon relativa al periodo di misura (da alcuni giorni fino a un anno).
- Forniscono un'indicazione media riferita agli ambienti della casa in cui si trascorre il maggior tempo (ad es. in un appartamento la camera da letto o il soggiorno)

## ❖ Metodologie Attive

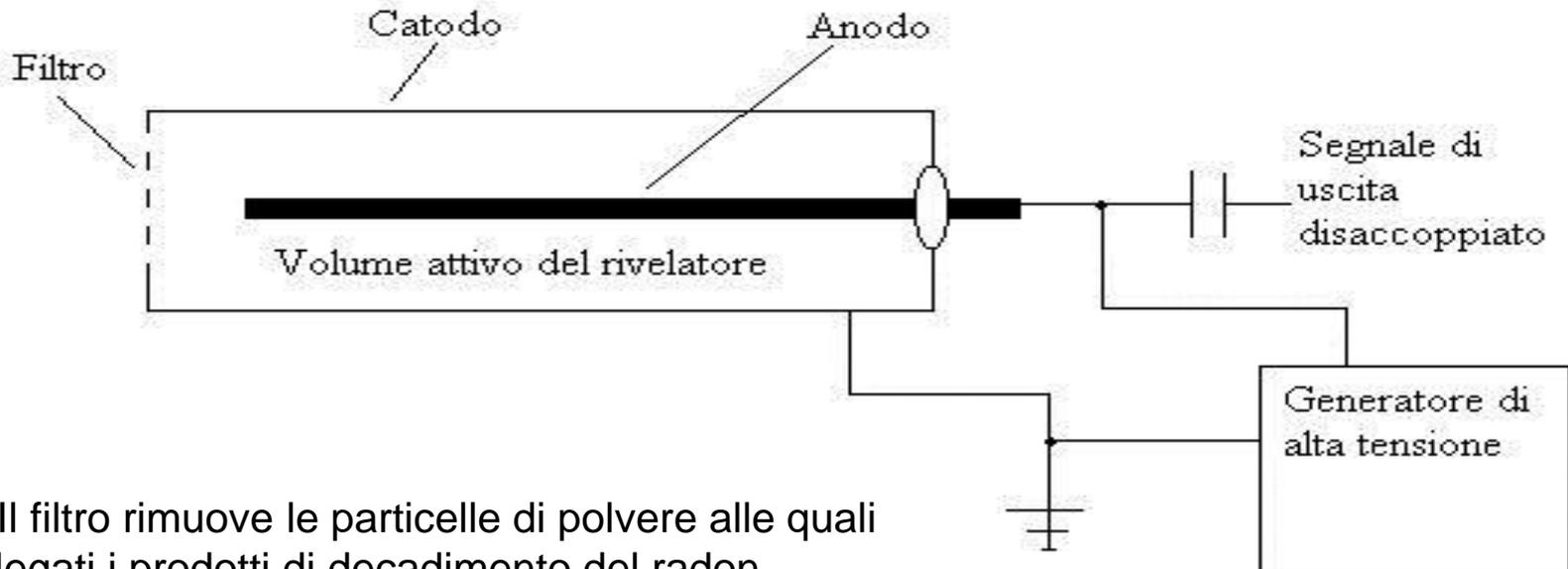
- Camera a ionizzazione
- Rivelatore a Scintillazione

## ❖ Metodologie Passive

- Canestri a Carbone Attivo
- Dosimetri a Elettretre
- Dosimetri Rivelatori a Tracce Nucleari

# Misura del Radon

- ❑ **Camera a Ionizzazione**: condensatore formato da due piastre, a cui è applicata una differenza di potenziale; il gas, una volta entrato all'interno della camera, decadendo, ionizza l'aria; gli ioni così prodotti vengono accelerati dal campo elettrico esistente tra le due piastre e convogliati verso l'anodo e il catodo. Un sistema elettronico registra le variazioni della quantità di carica presente sui due elettrodi e le traduce in concentrazione di gas radon riferita al volume di aria campionato.

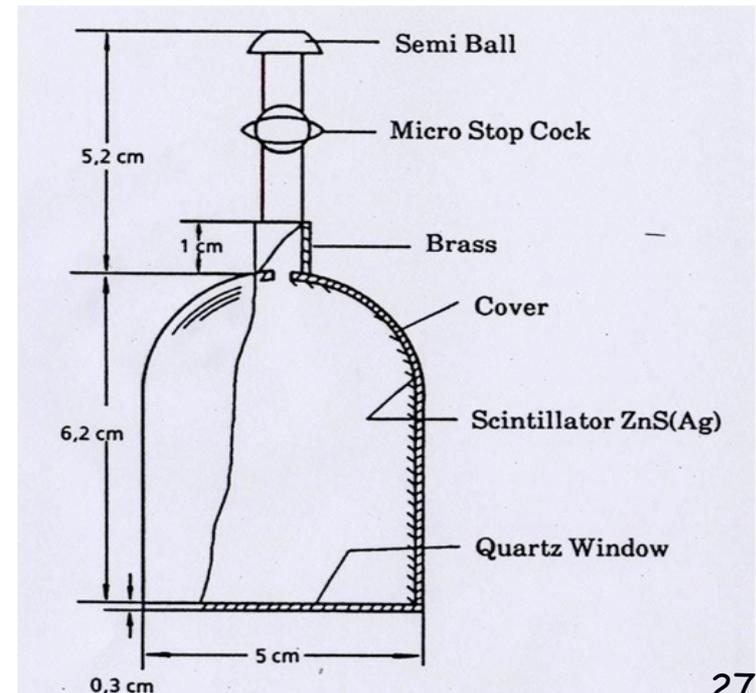


N.B.: Il filtro rimuove le particelle di polvere alle quali sono legati i prodotti di decadimento del radon.

# Misura del Radon

- **Rivelatore a Scintillazione:** è un cilindro (cella di Lucas), nel quale è aspirata l'aria con il radon, rivestito internamente da una vernice al Solfuro di Zinco drogato all'argento, ZnS (Ag), che ha la funzione di scintillatore. Gli elettroni degli atomi dello scintillatore si eccitano se colpiti da una particella  $\alpha$  derivante dal decadimento naturale del radon, in tal modo salgono ad un livello energetico superiore e per tornare allo stato di equilibrio espellono energia sotto forma di fotoni.

Questi attraversano una finestra al quarzo posizionata all'estremità opposta da dove entra l'aria e raggiungono il fotomoltiplicatore. Un sistema elettronico quindi correla l'intensità luminosa, generata dal fotomoltiplicatore, alla concentrazione di radon nel volume di misura.



# Misura del Radon

## *Metodologie Passive*

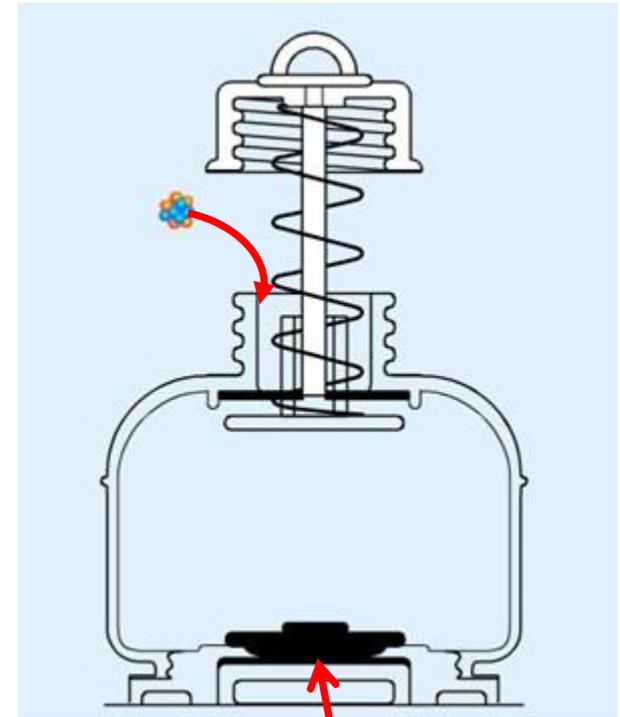
- **Canestri a Carbone Attivo:** scatole metalliche contenenti i carboni attivi che adsorbono (assorbono superficialmente) il radon presente nell'aria. Dopo un tempo di esposizione, dell'ordine di qualche giorno, i canestri, che adsorbono il radon ma non lo rivelano, subiscono un'analisi di spettrometria gamma tramite rivelatore a scintillazione, tipicamente a cristalli di ioduro di sodio. Dai risultati dell'analisi spettrale, dalla conoscenza del tempo di esposizione e del fattore di calibrazione si ricava la concentrazione relativa al periodo di esposizione. Il canestro è sensibile alle condizioni di umidità dell'ambiente; pertanto deve essere pesato prima e dopo la misurazione, per poter eventualmente correggere il valore misurato.



La tecnica dei carboni attivi è adatta a misure di concentrazioni anche inferiori ai 20 Bq/m<sup>3</sup> e richiede pochi giorni per la sua realizzazione (non più di una settimana), ma può essere applicata anche per determinare la concentrazione media annuale eseguendo una misura ogni 3 mesi.

# Misura del Radon

- **Dosimetro a Elettrete**: è una camera di diffusione al cui interno vi è un disco di teflon caricato elettricamente. Per effettuare correttamente la misura è necessario conoscere il potenziale iniziale dell'elettrete e, terminata la misura, si calcola quello finale. Facendo la differenza tra i due potenziali si può determinare la concentrazione di gas radon in quell'ambiente. È un tipo di strumento di comodo utilizzo e in grado di fornire misure di concentrazione di radon fino a pochi Bq/m<sup>3</sup>. È molto sensibile alle condizioni di umidità e deve quindi essere utilizzato in ambienti a bassa umidità e temperature normali.



Disco di Teflon

# Misura del Radon

## *Metodologie Passive*

- **Dosimetri Rivelatori a Tracce Nucleari:** sono dei piccoli dispositivi ( $V \approx \text{cm}^3$ ) all'interno dei quali sono contenuti dei dischi di materiale plastico particolare, come il nitrato di cellulosa, per i quali l'interazione con le particelle  $\alpha$  del decadimento del radon produce ionizzazione del mezzo e causa una rottura dei legami molecolari, che in questi materiali risulta permanente, lasciando quindi una traccia misurabile. Queste tracce non sono visibili a occhio nudo, essendo dell'ordine di alcune decine di nanometri. Tuttavia, se il materiale è sottoposto ad alcune procedure chimiche (trattamento con soluzioni acide o alcaline a temperature di alcune decine di gradi in laboratori specializzati) le tracce si sviluppano fino a diventare visibili ai normali microscopi ottici o addirittura, in alcuni casi, a occhio nudo.



È così possibile risalire alla concentrazione di radon all'interno dell'ambiente relativa al periodo di tempo di misura (anche fino a un anno). È una tecnica di misura affidabile, poco costosa e consente di rivelare concentrazione di radon fino a pochi  $\text{Bq}/\text{m}^3$ .

# Normativa

*In Italia*

Il Decreto Legislativo 230 del 17 marzo 1995, e successive modificazioni (Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241), disciplina le azioni da intraprendere nel caso di attività lavorative che contemplano l'esposizione a particolari sorgenti radioattive naturali, tra le quali le attività lavorative che coinvolgono lavoratori ed eventualmente persone del pubblico esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione, sia in particolari luoghi di lavoro (tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei) sia in zone ben individuate o con caratteristiche determinate che non rientrano nei casi precedenti. In tale DL era fissato un livello di azione per il radon corrispondente a **500 Bq/m<sup>3</sup>**, al cui superamento scattavano degli obblighi per il datore di lavoro.

La normativa è però stata superata con l'emanazione della Direttiva 2013/59/Euratom, che prevede termini molto più stringenti. Tale direttiva doveva essere recepita dagli stati membri entro il 6 febbraio 2018 con un periodo di transizione di 4 anni dall'entrata in vigore il 6 febbraio 2014: ad ora nessuno schema di recepimento è stato pubblicato da parte dell'Italia.

# Normativa

*In Europa*

La normativa italiana al momento non prevede dei controlli per le abitazioni e, per i luoghi di lavoro, limita la concentrazione del radon a 500 Bq/m<sup>3</sup>. Al momento è disponibile la ***“Raccomandazione sull'introduzione di sistemi di prevenzione dell'ingresso del radon in tutti gli edifici di nuova costruzione” (2008)***

La **Direttiva 2013/59/Euratom**, per la prevenzione dai pericoli del radon, prevede che, sia per le abitazioni sia per i luoghi di lavoro, che gli Stati Membri dell'Unione Europea adottino un livello di riferimento di concentrazione di radon non superiore a 300 Bq/m<sup>3</sup> (200 Bq/m<sup>3</sup> per abitazioni nuove). Anche l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha raccomandato (nel 2009) un **livello di riferimento non superiore a 300 Bq/m<sup>3</sup>**.

Allo scopo di proteggere la popolazione anche dall'esposizione al radon presente nelle acque potabili, l'Unione Europea ha emanato una ulteriore Raccomandazione (Raccomandazione 2001/928/Euratom) fissando un **livello di azione pari a 100 Bq/L per le acque potabili provenienti da acquedotti pubblici**, e un limite da non superare pari a 1000 Bq/L, applicabile anche per acque potabili attinte da pozzi artesiani.

# Radon e eventi geologici

1/3

Per minimizzare gli effetti distruttivi di eventi sismici/vulcanici sono stati fatti ampi studi nell'ambito della *Prevenzione e Previsione* degli stessi.

In particolare per **prevenzione** si intende la **messa in atto di strategie che limitino l'impatto catastrofico** sull'uomo e sulle strutture di eventi geologici. Si basa **sull'individuazione delle zone a rischio** e, **fondamentalmente, sull'adozione di metodi di costruzione** di edifici nuovi e di ristrutturazione di edifici esistenti in base a precise **norme antisismiche**.

Per quel che riguarda la **previsione** degli eventi geologici grande interesse riveste lo **studio dei fenomeni che si verificano con sistematicità prima di un evento (precursori)**. Tra questi si annoverano:

- Deformazioni del suolo
- Microsismicità
- Variazione del campo elettrico, magnetico e di temperatura
- Modifiche dei livelli delle acque nelle falde sotterranee
- Variazioni di temperatura e di composizione chimica nelle fumarole
- Anomalie nei valori di concentrazione di Radon

Per quanto riguarda l'ultimo punto in elenco **le variazioni di concentrazione di Radon in zone geologicamente attive (vulcaniche e/o sismiche)** sono, ormai da diversi anni, **oggetto di studio per la previsione di fenomeni geofisici**.

# Radon e eventi geologici

---

2/3

Principalmente si considerano come **precursori di eventi sismici/vulcanici** gli aumenti di Radon, in quanto è stata individuata una correlazione statistica tra tali aumenti (***anomalie positive***) e le attività geofisiche.

Ciò è legato al fatto che, se si verifica uno spostamento di rocce, con conseguente compressione, distensione e fessurazione delle stesse, il radon contenuto nelle rocce del sottosuolo può liberarsi più facilmente ed è possibile che si verifichi un improvviso aumento della quantità di gas rilasciato. Questo fenomeno può essere monitorato da opportune stazioni di misura, poste in punti profondi, quali, ad esempio, pozzi e cantine.

Negli ultimi tempi sono state osservate delle relazioni statistiche anche con le diminuzioni di emissione di Radon (***anomalie negative***), ad esempio nel terremoto dell'Aquila.

Tale fenomeno si spiega con le alterazione delle rocce del sottosuolo che, sottoposte a carico, 'implodono' chiudendo inizialmente i vuoti disponibili, fino a che, raggiunta una soglia di densificazione critica, si assisterà alla formazione di fratture. In termini di rilascio di gas questo si tradurrà inizialmente in una diminuzione di emissione (meno vuoti, meno spazi per i gas) e soltanto quando si formeranno fratture, che rappresentano nuove 'vie' per i gas, l'emissione di radon aumenterà rispetto al suo valore di fondo.

Il vero grande problema della previsione degli eventi sismici/vulcanici è che, per essere effettivamente efficace, una previsione deve essere in grado di fornire informazioni sufficientemente precise su:

- Dove si verificherà l'evento;
- Quando si verificherà l'evento;
- Intensità dell'evento.

Purtroppo al momento, anche se sono stati fatti molti passi avanti, non si è ancora in grado di rispondere con la necessaria accuratezza alle tre domande.

Gli studi comunque proseguono incessantemente e forse non è lontano il momento in cui potremo prevedere questi pericolosi eventi geologici.

# Bibliografia & Sitografia

---

- Mirri L- Parente M., Fisica ambientale - Energie alternative e rinnovabili, Zanichelli
- <http://old.iss.it/radon/>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Radon>
- <http://www.chimica.unibo.it/it/risorse/files/elementi/rn>
- <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/radioattivita-ambientale/Radon>
- <http://personalpages.to.infn.it/~maina/didattica/SIS/rel2001/cordevole-giusio/fisican-radon.pdf>
- [ARPAT: Tecniche di mitigazione per ridurre la concentrazione di radon](#)
- <http://www.arpacampania.it/radioattivita>
- <http://www.studiorredondo.it/wp-content/uploads/2014/12/Arch-Redondo-radon-01-12-2014-x-web.pdf>
- <http://www.radon.it/it/depressurizzazione-del-suolo-mediante-pozzo-radon/>
- <http://www.Inf.infn.it/edu/stageInf/rinvernali02/bistacchiacianffabiani.pdf>
- <http://physicsopenlab.org/2016/02/07/radon/>
- <http://www.Inf.infn.it/edu/stageInf/rinvernali02/bistacchiacianffabiani.pdf>
- <https://radoninformati.wordpress.com/misurazione-radon-222-con-carboni-attivi/>
- <https://www.radonmap.it/resources/documents/IncontroDottAntonioParravicini.pdf>
- <http://slideplayer.it/slide/1007846/>
- [http://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie\\_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1995-06-13&atto.codiceRedazionale=095G0234&elenco30giorni=false](http://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1995-06-13&atto.codiceRedazionale=095G0234&elenco30giorni=false)
- [Direttiva 2013/59/Euratom](#)
- [LINEE GUIDA PER LE MISURE DI RADON IN AMBIENTI RESIDENZIALI \(2004\)](#)

# Crediti Immagini

---

- <http://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2016/01/serieTorio.png>
- <http://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2016/01/u235decay.png>
- <http://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2016/01/u238decay.png>
- <http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/radioattivita/radon/immagini/radon-materiali-dove-si-trova.jpg>
- <http://blog.casanoi.it/wp-content/uploads/2016/01/come-entra-radon-in-casa.jpg>
- [http://www.coeh.man.ac.uk/images/educ/rn\\_house.gif](http://www.coeh.man.ac.uk/images/educ/rn_house.gif)
- <http://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2016/02/cameraloni1.jpg>
- <https://radoninformati.files.wordpress.com/2015/03/canestrocarboniattivi.jpg?w=298&h=174&zoom=2>
- <http://player.slideplayer.it/3/1007846/data/images/img5.jpg>
- <http://www.isprambiente.gov.it/images/temi/radon/italia1.jpg>