

## INTRODUZIONE AL RADON

L'esistenza di un'alta mortalità tra i minatori dell'Europa centrale era stata riscontrata già nel I° secolo a.C.: Tito Lucrezio Caro nella sua opera "De Rerum Natura" riporta i danni polmonari subiti da minatori a causa di "gas provenienti dal sottosuolo".

Nel 1500 G. Agricola in "De Re Metallica" descrive i danni a livello dell'apparato respiratorio nei minatori. Ipotizza che nell'aria delle miniere ci sia un tipo di polvere che corrode i polmoni. Contemporaneamente Paracelso riscontra l'alta mortalità dovuta a malattie polmonari tra i lavoratori delle miniere d'argento nella regione di Schneeberg in Sassonia.

Bisogna però aspettare la fine del 1800 per vedere identificata la maggior causa di morte nel tumore al polmone: nel 1879 infatti due medici tedeschi Haertinge e Hesse classificano il danno come cancro al polmone.

Nel 1900 Dorn scopre il radon e lo definisce "emanazione di radio". Nel 1908 Ramsay e Gray chiamano l'emanazione di radio "niton" e ne determinano la densità, che risulta la più alta tra i gas allora conosciuti. Infine nel 1923 viene definitivamente chiamato "radon".

Nel 1924 Ludewig e Lorentzen ipotizzano che il cancro al polmone sia attribuibile all'esposizione al radon. Iniziano le prime misure di radon outdoor.

Negli anni 50 iniziano le prime campagne di misurazione indoor: le prime misurazioni vengono eseguite in 225 abitazioni svedesi e mettono in evidenza valori relativamente alti di concentrazione di radon dovuti all'uso di particolari materiali da costruzione. In Italia nasce l'interesse per il radon negli ambienti di vita a partire dagli anni '70.

Negli anni '60 iniziano le prime indagini epidemiologiche sulle miniere di uranio, a seguito delle quali iniziano a essere emanate normative di radioprotezione. Questi studi hanno messo in luce gli effetti sanitari dell'esposizione al radon e rivelato una stretta relazione tra esposizione al radon e incidenza di tumore al polmone.

Nello stesso tempo si accerta l'interazione del radon con altri fattori di rischio, principalmente il fumo. Una sinergia che aumenta notevolmente i rischi di insorgenza di tumore al polmone.

Nel 1977 l'UNSCEAR (Comitato Scientifico delle Nazioni Unite sugli effetti della radiazione atomica) classifica il radon come principale sorgente di esposizione alle radiazioni per la popolazione mondiale. Nel 1988 l'Agenzia Internazionale di ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità dichiara che il radon è una delle 75 sostanze cancerogene per l'uomo assieme al benzene, amianto, fumo di tabacco, ecc; in più lo identifica cancerogeno del 1 gruppo e lo pone al 2° posto dopo il fumo quale causa di tumore polmonare.

A partire dagli anni '80 vengono pubblicati i rapporti dell'ICRP relativi al radon e ai suoi prodotti di decadimento: ICRP 24,32,60,65,115,126,137.

Nel 1996 la direttiva 96/29/Euratom stabilisce i criteri per la protezione dei lavoratori dall'esposizione alla radioattività naturale ed in particolare il radon, che in Italia viene recepita nel 2000 con il D.Lgs 241/00. Nel 2013 la direttiva 59 recepita dal D.Lgs 101 del 31/07/2020 estende la protezione dell'esposizione alla radioattività naturale alla popolazione.

La radioattività naturale determina il maggior contributo, pari all'86%, alla dose ricevuta dalla popolazione mondiale, con una variabilità da regione a regione, dipendente dalla diversa composizione del suolo.

Il maggior contributo alla radioattività naturale è dato dai radionuclidi primordiali, prodotti al momento della formazione della terra e ancora attivi a causa del lungo tempo di dimezzamento radioattivo. Sono costituiti dai radioisotopi delle tre serie radioattive dell' $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$   $^{40}\text{K}$ . Gli altri contributi alla radioattività naturale sono dovuti ai raggi cosmici, circa il 16%, e ai radionuclidi cosmogenici ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  che danno un contributo trascurabile.)

Il radon è un gas nobile con tre isotopi  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{219}\text{Rn}$  ciascuno appartiene ad una delle tre famiglie.

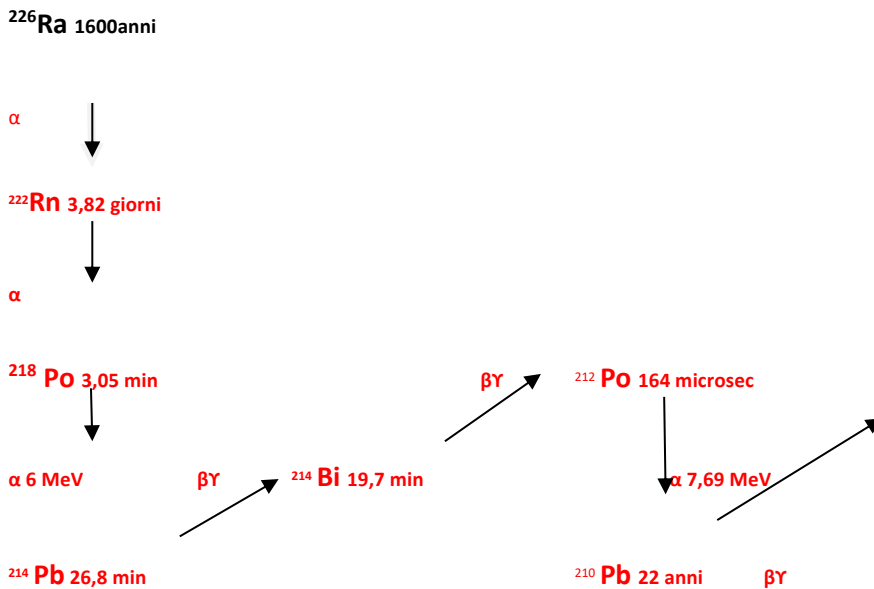
radioattive naturali  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ . Le dosi più importanti sono del  $^{222}\text{Rn}$ . Il suo progenitore diretto è il

$^{226}\text{Ra}$  isotopo solido legato al materiale di origine e a differenza del radon che è un gas e che quindi può

migrare in aria e/o acqua finchè non decade con emissione di radiazione alfa e con tempo di dimezzamento di 3,82 giorni. Con questo tempo la probabilità che il  $^{222}\text{Rn}$  decada nell'apparato respiratorio è trascurabile, questo di per se non costituirebbe un problema sanitario, ma una volta decaduto, si formano in rapida successione quattro isotopi solidi  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ , chimicamente attivi, carichi positivamente, che facilmente aderiscono sul pulviscolo atmosferico e sulle superfici e in questo caso non sono più disponibili per l'inalazione. Il  $^{218}\text{Po}$  e il  $^{214}\text{Po}$  decadono con emissione di particelle alfa, mentre il  $^{214}\text{Pb}$  e il  $^{214}\text{Bi}$  decadono con emissione  $\beta$  e  $\gamma$ . Per inalazione il tessuto più esposto è l'epitelio bronchiale il cui spessore varia tra 10 e 100  $\mu$  ed è confrontabile con il percorso della  $\alpha$  che perdono la loro energia in tale tessuto. A differenza delle radiazioni  $\beta$  e  $\gamma$  che attraversano l'epitelio senza cessioni rilevanti di energie, che si distribuisce su porzioni molto più estese dei tessuti circostanti, o, nel caso dei  $\gamma$ , anche fuori dell'organismo. Il  $^{214}\text{Po}$  decade nel  $^{210}\text{Pb}$  con un tempo di dimezzamento di 22,3 anni e viene rimosso dal tessuto bronco polmonare in tempi molto più brevi. L'irraggiamento del sistema respiratorio è quindi dovuto alle radiazioni  $\alpha$  emesse dai prodotti a breve tempo di dimezzamento del radon i così detti figli del radon. Consideriamo il  $^{222}\text{Rn}$  in uno spazio chiuso, dopo circa 3, 4 ore si crea un equilibrio secolare per cui la velocità di formazione per decadimento del precursore è uguale alla velocità di decadimento di ciascun prodotto: il radon e i suoi figli continuano a decadere tutti con eguale attività (numero di disintegrazioni al secondo).

I figli del Radon disponibili per l'inalazione sono meno di quelli generati perché una frazione aderisce sulle superfici presenti nell'ambiente. Si introduce un fattore di equilibrio F che è il rapporto tra la concentrazione di attività in aria dei figli e la concentrazione di attività del Radon. Tale fattore è minore di 1 e per le abitazioni si assume un valore di riferimento pari a 0,4. Valori minori sono tipici dell'aria filtrata infatti al diminuire delle concentrazioni di aerosol, una maggiore frazione dei figli del radon si deposita su pareti e superfici varie e non è disponibile per l'inalazione. Si potrebbe, quindi, pensare di filtrare l'aria ambiente per e ridurre l'irraggiamento bronco polmonare purtroppo il minor valore di F è compensato dal fatto che l'inalazione dei figli non attaccati al pulviscolo porta ad un maggior contributo alla dose che i l'inalazione dei figli attaccati al pulviscolo. Concludendo in ambienti abitativi la dose da inalazione dovuta dai figli del radon è indipendente

dal fattore F e appare appropriato riferirsi alla concentrazione di radon anziché alle concentrazioni dei figli del radon. Operativamente è un grande vantaggio poiché la misura della concentrazione di radon richiede strumentazione meno complessa e costosa di quella necessaria per la misura delle concentrazioni dei figli.



## GRANDEZZE E UNITA' DI MISURA RELATIVE AL RADON E AI SUOI PRODOTTI DI DECADIMENTO

**Energia potenziale alfa (Potential Alpha Energy) di un atomo della catena di decadimento del radon.**

Energia totale alfa emessa nel corso del decadimento di tale atomo fino al  $^{210}\text{Pb}$ . E' la somma dell'energia rilasciata solo dalle particelle alfa prodotte durante la serie di decadimenti radioattivi che portano alla

formazione del  $^{210}\text{Pb}$  considerato stabile. L'unità di misura è il J o il MeV ( $1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$ ). Il maggior contributo all'energia potenziale è dato dal  $^{218}\text{Po}$

### Energia potenziale alfa per unità di attività di prodotto di decadimento del radon.

Rapporto tra energia potenziale alfa e costante di decadimento fisico del radionuclide considerato. L'unità di misura è il J/Bq o il MeV/Bq.

Il maggior contributo all'energia potenziale alfa per unità di attività è dato dal  $^{214}\text{Pb}$  a causa del suo lungo tempo di dimezzamento.

Radionuclide	$T_{1/2}$	per atomo	per unità di attività	
$^{218}\text{Po}$ 3,05 min	3,05 min	13,69 MeV	3615 MeV/Bq	$5,79 \times 10^{-10} \text{ J Bq}^{-1}$
$^{214}\text{Pb}$	26,8 min	7,69 MeV	17840	28,6
$^{214}\text{Bi}$	19,9 min	7,69 MeV	13250	21,2
$^{214}\text{Po}$	164 $\mu\text{s}$	7,69 MeV	$3 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-6}$
Totale			34710	55,6

### Concentrazione in aria di energia potenziale (Potential Alpha Energy Concentration PAEC) di una miscela di prodotti di decadimento del radon a vita breve.

Somma delle energie potenziali alfa per unità di attività associate a una qualsiasi miscela di prodotti di decadimento a vita media breve nell'unità di volume.

$$\text{PAEC} = \sum_i C_i (\text{PAE}_i / \lambda \tau_i)$$

Dove  $C_i$  è la concentrazione del prodotto di decadimenti  $i$ .

L'unità di misura è il J/m<sup>3</sup> (SI) o il MeV/m<sup>3</sup>

La concentrazione di energia potenziale alfa di una miscela di prodotti di decadimento del radon, può essere espressa in termini di concentrazione equivalente in equilibrio con il radon.

### Concentrazione equivalente all'equilibrio (Energy Equivalent Concentration EEC)

Concentrazione di radon in equilibrio con i suoi prodotti di decadimento che ha la stessa concentrazione di energia potenziale alfa della miscela presa in esame. (Bq/m<sup>3</sup>)

$$\text{EEC} = 0,105C_1 + 0,515C_2 + 0,380C_3 + 6 \times 10^{-8}C_4$$

Dove  $C_1, C_2, C_3, C_4$  sono rispettivamente le concentrazioni del  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e del  $^{214}\text{Po}$ .

I fattori numerici presenti nella formula si ricavano dividendo l'energia potenziale alfa per unità di attività relativa a ciascun radioisotopo per l'energia potenziale alfa per unità di attività totale relativa alla miscela dei prodotti di decadimento in equilibrio con il radon.

$$K(C_1) = 5,79/55,6 = 0,105$$

$$K(C_2) = 28,6/55,6 = 0,515$$

$$K(C_3) = 21,2/55,6 = 0,380$$

$$K(C_4) = 3 \times 10^{-6} / 55,6 = 6 \times 10^{-8}$$

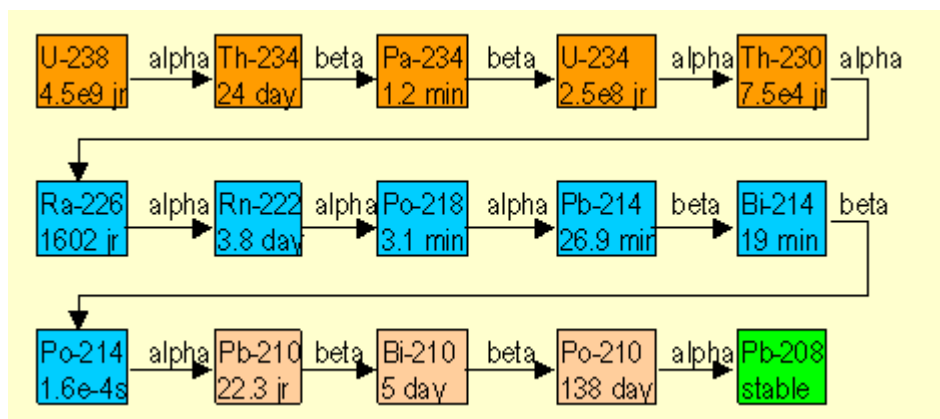
### Fattore di equilibrio (F)

Rapporto tra la concentrazione equivalente all'equilibrio e la concentrazione effettiva del radon.

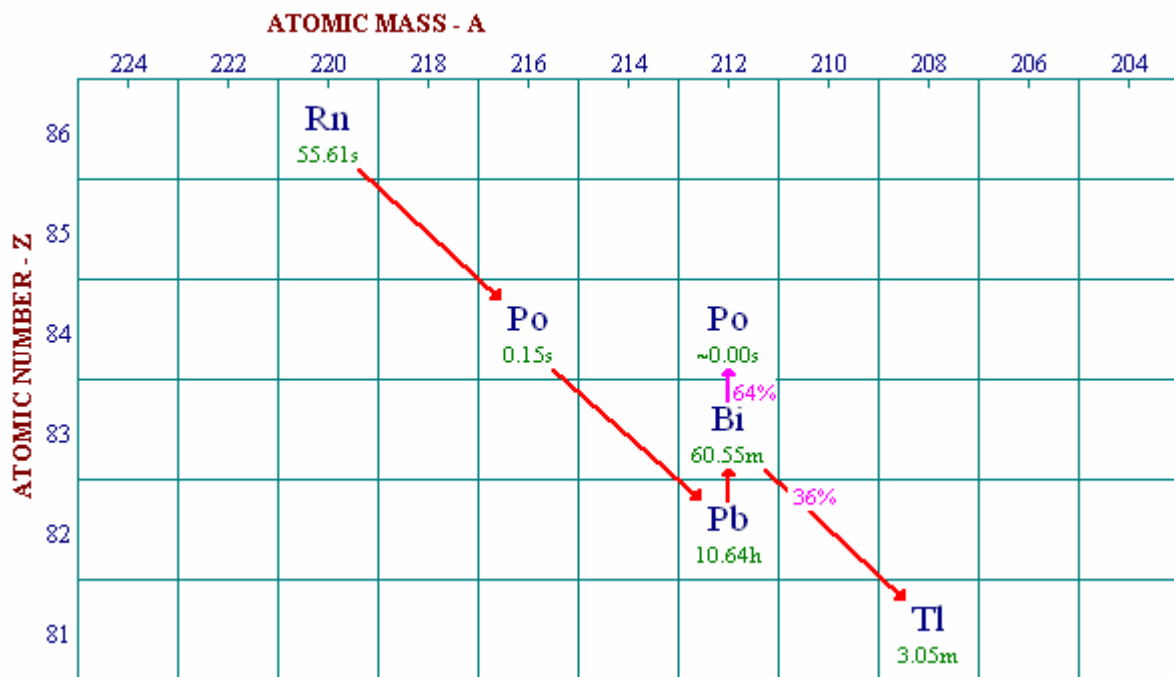
Il fattore di equilibrio è un parametro utile per la valutazione dei prodotti di decadimento del radon; definisce il disequilibrio fra la miscela dei prodotti di decadimento e il capostipite.

Le condizioni di equilibrio non sono mai raggiunte a causa principalmente della deposizione dei prodotti di decadimento su qualsiasi superficie incontrino; la concentrazione di radon risulta sempre maggiore di quella dei suoi prodotti, quindi F minore di 1.

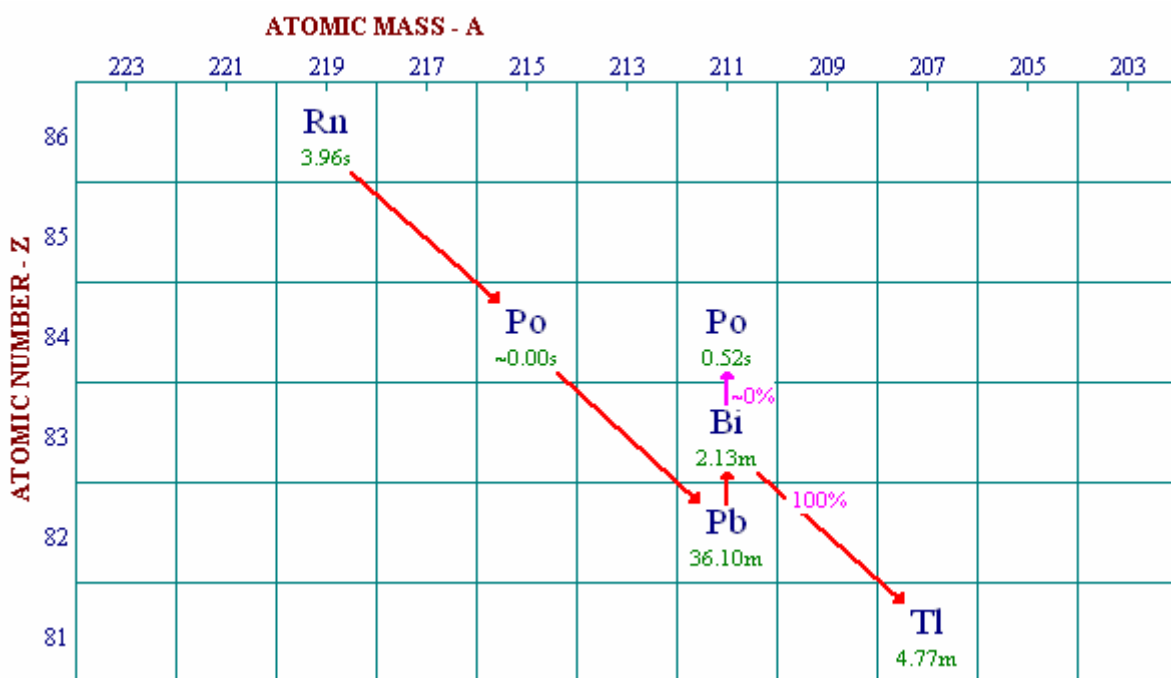
L'UNSCEAR 2000 riporta un valore  $F=0,4$  per gli ambienti interni  $f=0,6$  all'aperto; quest'ultimo valore dipende da numerosi fattori ambientali, inclusa l'esalazione del radon dal suolo e le condizioni atmosferiche.



*Serie radioattiva dell' $^{238}\text{U}$ , da cui si origina il  $^{222}\text{Rn}$*



$^{232}\text{Th}$  Serie dei decadimenti del  $^{220}\text{Rn}$   
(Thoron)



$^{235}\text{U}$  Serie dei decadimenti del  $^{219}\text{Rn}$   
Actinon