

SULLA ESALAZIONE DEL RADON DAL SUOLO

G. ALIVERTI - G. LOVERA

È noto che la ionizzazione dell'aria atmosferica presso il suolo è per una parte importante dovuta alle sostanze radioattive presenti nell'aria e cioè alle emanazioni e ai loro prodotti di disintegrazione: le emanazioni si liberano continuamente dal suolo, dentro il quale, in quantità più o meno grande, in modo diffuso, si trovano sempre elementi radioattivi, cioè atomi di uranio, radio, torio, attinio, ecc. L'uscita delle emanazioni radioattive dal suolo è favorita dal soleggiamento del terreno e dalle diminuzioni di pressione atmosferica e influenzata anche da altre circostanze più o meno importanti. La quantità di gas radioattivo che può uscire dal terreno dipende naturalmente dal contenuto radioattivo del materiale costituente il suolo, e ciò a parità di condizioni meteorologiche e dello stato del terreno: l'ordine di grandezza del contenuto di radio, che è l'elemento più generalmente misurato, è di 10^{-12} grammi di radio per grammo di roccia.

La valutazione della velocità con la quale il radon esce dal terreno è stata tentata diverse volte sia sperimentalmente sia teoricamente. Le prime esperienze sono state eseguite nel 1909 da H. Ebert ma senza un risultato quantitativo attendibile; in seguito, nel 1912, J. Joly e L. B. Smyth a Dublino e nel 1915 J. R. Wright e O. F. Smith in Manila, fecero misure quantitative ma con metodo poco preciso e molto laborioso. Nel 1932-33 sono state fatte misure con un nuovo metodo e precisamente da P. Reginald Zupancic e nel 1933-34 da P. Robert Zeilinger rispettivamente a Innsbruck nel giardino dell'« Istituto per lo Studio delle Radiazioni » e a Hoetting presso Innsbruck. Recentemente e cioè dal luglio 1944 all'agosto 1945 una serie numerosa di esperienze col metodo usato da Zupancic, è stata eseguita nel giardino dell'Istituto di Fisica della Fordham University di New York.

Teoricamente la questione è stata trattata da V. F. Hess e da W. Schmidt (1918) e in seguito ancora da Schmidt (1926) e infine da J. Priessch (1931).

I risultati medi delle misure ora citate e quelli delle considerazioni teoriche sono raccolti nella Tabella I:

TABELLA I

Autore	Località	anno	esalazione media cmq sec		n° delle misure
			in curie	in atomi	
Joly e Smyth	Dublino	1911	$23.3 \cdot 10^{-18}$	0.115	10
» »	»	»	$113.5 \cdot 10^{-18}$	2.02	12
Smyth	»	1912	$71.2 \cdot 10^{-18}$	1.32	98
Wright-Smith	Manila	1915	da $45.6 \cdot 10^{-18}$ a $19.3 \cdot 10^{-18}$	da 0.81 a 0.343	—
R. Zupancic	Innsbruck	1932-33	$23 \cdot 10^{-18}$	0.109	66
R. Zeilinger	Hoetting	1933-34	$43.5 \cdot 10^{-18}$	0.711	150
Thomas Cullen	New York	1914-45	$8.92 \cdot 10^{-18}$	0.159	149

risultati dalle considerazioni teoriche:

Autore	anno	esalazione per cmq e per sec	
		in curie	in atomi
Hess e Schmidt	1918	da 24 a $33 \cdot 10^{-18}$	da 0.127 a 0.586
Schmidt	1926	da 0.8 a $3.0 \cdot 10^{-18}$	da 0.011 a 0.053
Prichsch	1931	ca $20 \cdot 10^{-18}$	ca 0.356

Come si vede dalla tabella, i risultati sperimentali ottenuti più recentemente sono in discreto accordo con quelli dedotti dalla teoria.

Recentemente noi abbiamo dato notizia ⁽¹⁾ di misure eseguite presso l'Osservatorio Geofisico di Pavia per determinare la distribuzione del radon dentro a un pozzetto verticale praticato nel terreno e lasciato aperto, in relazione a diverse condizioni meteorologiche: è stato dimostrato sperimentalmente che pressione e temperatura influiscono con le loro variazioni a far sì che la diffusione del radon nel pozzetto avvenga sovente come se al fenomeno di diffusione pura e

(1) G. ALIVERTI e G. LOVERA, *Annali di Geofisica*, n. 1, 1919.

semplice si sovrapponga un moto convettivo verso l'alto o verso il basso a seconda dei casi; considerazioni teoriche relative a tale complicazione del fenomeno risultano appunto in buon accordo con i risultati delle esperienze. Nel caso di stazionarietà delle condizioni meteorologiche la distribuzione del radon nel pozzetto corrisponde alle condizioni imposte dal valore del coefficiente di diffusione e dalla profondità del pozzetto d'esperienza, nonché dal valore della costante di disintegrazione del radon. Per il caso di diffusione pura e semplice risulta dalle considerazioni teoriche citate che il numero degli atomi contenuti per unità di volume d'aria alle varie profondità $l-x$ del pozzetto è dato dalla espressione:

$$n = n_0 \frac{\sinh \alpha (l-x)}{\sinh \alpha l} \quad [1]$$

nella quale n_0 è la concentrazione del radon sul fondo del pozzetto, l è la lunghezza del foro, x la distanza dal fondo, $\alpha^2 = \lambda/D$ con λ costante di disintegrazione del radon e D coefficiente di diffusione di esso nell'aria; nelle condizioni normali di temperatura e di pressione quest'ultimo coefficiente vale 0,100 CGS (esso varia in ragione inversa della pressione e aumenta con la temperatura).

Poiché il numero di atomi di radon che in un secondo passano attraverso un centimetro quadrato di sezione normale del pozzetto è dato da $-D \frac{dn}{dx}$ si ha dalla [1]:

$$-D \frac{dn}{dx} = D \alpha n_0 \frac{\cosh \alpha (l-x)}{\sinh \alpha l} = \sqrt{\lambda D} n_0 \frac{\cosh \alpha (l-x)}{\sinh \alpha l}$$

da cui

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sul fondo } x=0 \\ \text{alla superf. } x=l \end{array} \right. \left(-D \frac{dn}{dx} \right)_{x=0} = \sqrt{\lambda D} n_0 \frac{\cosh \alpha l}{\sinh \alpha l}$$

$$\left(-D \frac{dn}{dx} \right)_{x=l} = \sqrt{\lambda D} n_0 \frac{1}{\sinh \alpha l}$$

Numericamente si ha:

$$\alpha^2 = 2,097 \cdot 10^{-5} \quad , \quad \alpha = 4,58 \cdot 10^{-3} \quad , \quad l = 225 \text{ cm} \quad , \quad \alpha l = 1,030$$

$$\lambda D = 2,097 \cdot 10^{-7} \quad \sqrt{\lambda D} = 4,58 \cdot 10^{-4}$$

$$\cosh \alpha l = 1,579 \quad \sinh \alpha l = 1,222$$

Ora se per n_0 assumiamo il valore medio dedotto per estrapolazione dalle esperienze citate e cioè poniamo $n_0 = 2,41 \cdot 10^4$, si ricava:

$$\begin{aligned} \text{per } x=0 & \quad -D \frac{dn}{dx} = 14,3 \text{ atomi per cm}^2 \text{ e sec} \\ \text{per } x=l & \quad -D \frac{dn}{dx} = 9,0 \text{ atomi per cm}^2 \text{ e sec} \end{aligned}$$

Dunque alla estremità superiore del pozzetto escono circa nove atomi di radon al secondo dal centimetro quadrato di superficie orizzontale; questo numero è molto più grande delle esalazioni determinate sperimentalmente su diversi terreni e citate più su, quasi sessanta volte di più della esalazione determinata recentemente da Thomas Cullen a New York. Ma il coefficiente di diffusione attraverso il terreno (qualunque terreno) è certamente minore di quello attraverso l'aria del pozzetto, non soltanto perché l'area da cui esce il radon è notevolmente minore della sezione considerata di un centimetro quadrato, ma anche perché il cammino percorso dal radon, a parità di profondità di provenienza, è più lungo e perché è capillare. In altre parole, per la diffusione nel terreno la [1] dovrà scriversi così:

$$n' = n_0 \frac{\sinh \alpha' (l-x)}{\sinh \alpha' l}$$

con $\alpha'^2 = \lambda/D'$ donde: $D' = \lambda/\alpha'^2$.

Sarà perciò alla superficie del suolo:

$$\left(-D' \frac{dn'}{dx} \right)_{x=0} = \frac{\sqrt{\lambda D'} n_0}{\sinh \alpha' l} = \frac{D' \alpha' n_0}{\sinh \alpha' l} = \frac{\lambda n_0}{\alpha' \sinh \alpha' l}$$

e analogamente all'apertura superiore del pozzetto:

$$\left(-D \frac{dn'}{dx} \right)_{x=l} = \frac{\lambda n_0}{\alpha \sinh \alpha l}$$

Quindi: per $x=l$

$$\frac{-D \frac{dn}{dx}}{-D' \frac{dn'}{dx}} = \frac{\alpha' \sinh \alpha' l}{\alpha \sinh \alpha l} = \frac{\alpha' l \sinh \alpha' l}{\alpha l \sinh \alpha l} = \frac{\alpha' l \sinh \alpha' l}{1,259} \quad [2]$$

Questa relazione può servire a determinare il valore del coefficiente di diffusione D' del radon nel terreno una volta che si conosca sperimentalmente, oltre che l'esalazione dal tubo aperto, quella del terreno. Se per es. si potesse assumere come esalazione dal suolo di

Pavia il numero medio ricavato dai dati sperimentali di Zupancic, Zeilinger e Cullen (0,456), si otterrebbe:

$$\frac{9,0}{0,456} = \frac{a'l \operatorname{senh} a'l}{1,259} \quad ; \quad a'l \operatorname{senh} a'l = 24,849.$$

Questa equazione trascendente risolta dà:

$$a'l \simeq 2,86$$

quindi:

$$\frac{a'l}{al} \simeq \frac{2,86}{1,03} \simeq 2,778$$

$$\sqrt{\frac{D}{D'}} \simeq 2,778 \quad ; \quad \frac{D}{D'} \simeq (2,778)^2 = 7,72$$

e infine:

$$D' \simeq \frac{D}{7,72} \simeq \frac{0,1}{7,72} \simeq 0,013$$

Il coefficiente di diffusione del radon nel terreno di Pavia (Osservatorio Geofisico), se la sua esalazione davvero non si scosta sensibilmente (com'è presumibile pensando ai valori della radioattività atmosferica e di quella tellurica osservate) dal numero 0,456 assunto per il calcolo, sarebbe dunque circa otto volte più piccola del coefficiente di diffusione nell'aria. Questa riduzione è dovuta, come già si è detto a diverse cause: 1) l'area efficace da cui esce l'emanazione dal suolo è soltanto una parte del centimetro quadrato considerato essendo la rimanente parte composta di materiale solido; 2) i canalicoli del terreno attraverso ai quali il radon giunge alla superficie hanno sezione piccola e variabile da punto a punto e forma tortuosa e complessa e obbligano il radon a un tragitto più lungo a parità di dislivello.

*Istituto Nazionale di Geofisica - Osservatorio di Pavia
Istituto di Fisica Sperimentale dell'Università di Torino
11 novembre 1918.*

RIASSUNTO

Si svolgono alcune considerazioni sulle determinazioni sperimentali e teoriche della « esalazione del radon » dal suolo e si dimostra come si possa, sotto determinate condizioni, ricavare il valore del coefficiente di diffusione del radon dal terreno.