

# SU LA INFLUENZA DI ALCUNI ELEMENTI METEOROLOGICI SU LA DIFFUSIONE DEL RADON NELL'ARIA TELLURICA

G. ALIVERTI - G. LOVERA

Nel n. 3 (1948) di questa rivista uno di noi <sup>(1)</sup> ha dato notizia di un nuovo metodo quantitativo di misura della radioattività dell'aria tellurica e insieme ha riferito sui risultati di molte misure eseguite presso l'Osservatorio Geofisico di Pavia con il nuovo dispositivo. Dai valori medi di quelle misure risulta stabilito che in regime di pressione atmosferica decrescente il contenuto in radon dell'aria alla profondità da due a tre metri nel suolo è maggiore di quello che si osserva in regime di pressione crescente <sup>(2)</sup>. Il risultato in questione dimostra che al crescere della pressione l'aria atmosferica penetra nel suolo e si mescola a quella tellurica diminuendone il contenuto in radon e viceversa che al diminuire della pressione atmosferica l'aria tellurica viene aspirata fuori dal terreno, donde l'aumento di radioattività che si osserva alle profondità suddette.

Considerando dunque un pozzetto verticale praticato nel suolo e munito di parete laterale impermeabile, il fenomeno della diffusione del radon proveniente dal fondo di esso (dal terreno sottoposto) è complicato dalle variazioni degli elementi meteorologici, come pressione e temperatura, e anche eventualmente da altri.

Ci siamo perciò proposti di trattare la questione tenendo conto almeno di una delle cause di perturbazione della diffusione pura e semplice per determinare quale può essere la distribuzione del radon entro al pozzetto quando quella causa agisce, e interpretare poi i risultati sperimentali.

---

<sup>(1)</sup> G. ALIVERTI, *Nuovo metodo quantitativo per la misura del contenuto in radon dell'aria tellurica*, « Annali di Geofisica », n. 3, 1948, Roma, « Rivista Geomineraria », n. 1, 1948, Milano, Politecnico.

<sup>(2)</sup> Vedi anche: EDWARD M. KOVACH, *Terr. Magn. a. Atm. Electricity*, marzo, 1946; e *Trans. of the Am. Geophysical Union*, Vol. 26, 1945.

L'equazione generale della semplice diffusione unidirezionale è nel nostro caso:

$$D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \lambda n = \frac{\partial n}{\partial t} \quad [1]$$

con  $n$  numero di atomi per unità di volume nel pozzetto,  $D$  coefficiente di diffusione,  $\lambda$  costante di disintegrazione del radon,  $x$  ascissa lungo l'asse del pozzetto verticale praticato nel suolo e munito di parete laterale impermeabile. Il termine  $\lambda n$  tien conto della scomparsa del radon per disintegrazione. Posto

$$\frac{\lambda}{D} = \alpha^2 \quad [2]$$

la [1] diviene:

$$\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \frac{1}{D} \frac{\partial n}{\partial t} - \alpha^2 n = 0 \quad [3]$$

Consideriamo il processo in condizioni stazionarie (cioè  $\frac{\partial n}{\partial t} = 0$ ): la [3] si riduce allora alla:

$$\frac{d^2 n}{d x^2} - \alpha^2 n = 0 \quad [4]$$

il cui integrale generale è:

$$n = A e^{\alpha x} + B e^{-\alpha x} \quad [5]$$

con  $A$  e  $B$  costanti da determinarsi con le condizioni agli estremi.

Supponiamo che il pozzetto sia aperto superiormente (come lo sono i canalicoli del terreno). Poiché la concentrazione del radon nell'aria atmosferica in prossimità del suolo è trascurabile rispetto a quella dell'aria tellurica <sup>(1)</sup>, possiamo considerare come praticamente nulla la prima: le condizioni agli estremi sono allora, contando la  $x$  dal fondo del pozzetto (di lunghezza  $l$ ):

$$\begin{cases} x=0 & n=n_0 \\ x=l & n=0 \end{cases} \quad [6]$$

e la [5], precisate le costanti, diviene:

---

<sup>(1)</sup> Poiché la concentrazione del radon nell'aria atmosferica in prossimità del suolo si può ammettere al massimo dell'ordine del *centesimo* di quella dell'aria tellurica, la considerazione che per  $x=l$  è  $n=n_1 \simeq \frac{n_0}{100}$  (anziché  $n=0$ ) porterebbe ad un termine correttivo la cui entità rientra largamente nei limiti degli errori sperimentali.

$$n = n_0 \frac{e^{\alpha(l-x)} - e^{-(l-x)}}{e^{\alpha l} - e^{-\alpha l}} = n_0 \frac{\operatorname{senh} \alpha(l-x)}{\operatorname{senh} \alpha l} \quad [7]$$

Si tratta di una curva concava verso l'alto, che nell'intervallo  $0 < x < l$  corre al disotto della retta:

$$n = n_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

con la quale ha in comune i punti  $x=0$  ed  $x=l$ , ed alla quale tende per  $\alpha=0$ .

Ma se oltre al fenomeno della diffusione, dovuto alle differenze di concentrazione da punto a punto del pozzetto, vi è anche per esempio un *moto convettivo ascendente uniforme*, l'equazione in condizioni stazionarie diventa:

$$\frac{d^2 n}{dx^2} - \frac{w}{D} \frac{dn}{dx} - \frac{\lambda}{D} n = 0 \quad [8]$$

con  $w$ =velocità di convezione; posto:

$$\frac{w}{D} = 2\beta^2, \quad \frac{\lambda}{D} = \alpha^2,$$

si ha:

$$\frac{d^2 n}{dx^2} - 2\beta^2 \frac{dn}{dx} - \alpha^2 n = 0. \quad [9]$$

La soluzione (sempre con le condizioni agli estremi [6]), è

$$n = n_0 e^{\beta^2 x} \frac{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} (l-x)}{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} l}$$

cioè:

$$\frac{n}{n_0} = e^{\beta^2 x} \frac{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} (l-x)}{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} l} \quad [1]$$

Ora se invece che ascendente il *moto convettivo è discendente*, in condizioni stazionarie (con le stesse notazioni di prima):

$$\frac{d^2 n}{dx^2} + 2\beta^2 \frac{dn}{dx} - \alpha^2 n = 0 \quad [10]$$

La soluzione è:

$$n = n_0 e^{-\beta^2 x} \frac{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} (l-x)}{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} l}$$

e quindi:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\beta^2 x} \frac{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} (l-x)}{\operatorname{senh} \sqrt{\beta^4 + \alpha^2} l} \quad [II]$$

La costante  $\alpha^2 = \lambda/D$  nel nostro caso, cioè diffusione del radon, vale  $2,097 \cdot 10^{-6}/0,1 = 2,097 \cdot 10^{-5}$  (C.G.S.). Possiamo quindi considerare vari casi di velocità  $w$  ponendo per esempio:  $\alpha^2 = \beta^4$ ,  $3 \alpha^2 = \beta^4$ ,  $5 \alpha^2 = \beta^4$ ,  $10 \alpha^2 = \beta^4$ ,  $20 \alpha^2 = \beta^4$ ,  $30 \alpha^2 = \beta^4$ .

Si ha la seguente tabella numerica, ricordando che  $w = 2 \beta^2 D$ .

TABELLA I

$\beta^4 =$	0	$\alpha^2$	$3\alpha^2$	$5\alpha^2$	$10\alpha^2$	$20\alpha^2$	$30\alpha^2$
$\beta^2 =$	0	$4.58 \cdot 10^{-3}$	$0.79 \cdot 10^{-2}$	$1.02 \cdot 10^{-2}$	$1.45 \cdot 10^{-2}$	$2.05 \cdot 10^{-2}$	$2.51 \cdot 10^{-2}$
$w \left\{ \begin{array}{l} \text{cm} \\ \text{sec} \\ \text{cm} \\ \text{min} \end{array} \right.$	0	$0.916 \cdot 10^{-3}$	$1.59 \cdot 10^{-3}$	$2.05 \cdot 10^{-3}$	$2.90 \cdot 10^{-3}$	$4.10 \cdot 10^{-3}$	$5.02 \cdot 10^{-3}$
	0	$0.549 \cdot 10^{-1}$	$0.952 \cdot 10^{-1}$	$1.23 \cdot 10^{-1}$	$1.74 \cdot 10^{-1}$	$2.46 \cdot 10^{-1}$	$3.01 \cdot 10^{-1}$

Da questi numeri si può mediante la [I] passare al calcolo degli andamenti di  $n/n_0$  lungo il pozzetto in corrispondenza a ciascuno dei valori, per la velocità  $w$ , ipotetizzati per il *moto ascendente*. Precisamente:

TABELLA II

$n/n_0$  secondo la [I], con  $l = 300$  cm

$x \backslash \beta^4$ (cm)	0	$\alpha^2$	$3\alpha^2$	$5\alpha^2$	$10\alpha^2$	$20\alpha^2$	$30\alpha^2$
50	0.76 <sub>1</sub>	0.89 <sub>2</sub>	0.92 <sub>3</sub>	0.94 <sub>4</sub>	0.96 <sub>5</sub>	0.97 <sub>6</sub>	0.98 <sub>7</sub>
100	0.56 <sub>7</sub>	0.73 <sub>1</sub>	0.85 <sub>7</sub>	0.89 <sub>6</sub>	0.92 <sub>9</sub>	0.95 <sub>8</sub>	0.96 <sub>6</sub>
150	0.40 <sub>5</sub>	0.65 <sub>8</sub>	0.77 <sub>5</sub>	0.83 <sub>5</sub>	0.88 <sub>8</sub>	0.93 <sub>7</sub>	0.93 <sub>8</sub>
200	0.25 <sub>6</sub>	0.50 <sub>7</sub>	0.65 <sub>1</sub>	0.73 <sub>4</sub>	0.82 <sub>5</sub>	0.89 <sub>5</sub>	0.91 <sub>2</sub>
250	0.12 <sub>5</sub>	0.30 <sub>5</sub>	0.44 <sub>6</sub>	0.52 <sub>9</sub>	0.65 <sub>5</sub>	0.77 <sub>7</sub>	0.82 <sub>4</sub>

TABELLA III

 $n/n_0$  secondo la [I], con  $l=225$  cm

$\begin{matrix} x & \beta^2 \\ \text{(cm)} & \end{matrix}$	0	$\alpha^2$	$3\alpha^2$	$5\alpha^2$	$10\alpha^2$	$20\alpha^2$	$30\alpha^2$
50	0.72 <sub>1</sub>	0.86 <sub>1</sub>	0.91 <sub>1</sub>	0.93 <sub>4</sub>	0.95 <sub>1</sub>	0.97 <sub>1</sub>	0.98 <sub>6</sub>
100	0.49 <sub>1</sub>	0.70 <sub>1</sub>	0.80 <sub>1</sub>	0.85 <sub>1</sub>	0.91 <sub>1</sub>	0.94 <sub>1</sub>	0.95 <sub>1</sub>
150	0.28 <sub>1</sub>	0.49 <sub>1</sub>	0.63 <sub>1</sub>	0.70 <sub>1</sub>	0.80 <sub>1</sub>	0.88 <sub>1</sub>	0.92 <sub>1</sub>
200	0.09 <sub>1</sub>	0.20 <sub>1</sub>	0.28 <sub>1</sub>	0.35 <sub>1</sub>	0.46 <sub>1</sub>	0.58 <sub>1</sub>	0.66 <sub>1</sub>

Analogamente mediante la [II] si ottengono rispettivamente le seguenti tabelle, relative alla *sovrapposizione di moto discendente*:

TABELLA IV

 $n/n_0$  secondo la [II], con  $l=300$  cm

$\begin{matrix} x & \beta^2 \\ \text{(cm)} & \end{matrix}$	$\alpha^2$	$3\alpha^2$	$5\alpha^2$	$10\alpha^2$	$20\alpha^2$	$30\alpha^2$
50	0.56 <sub>1</sub>	0.11 <sub>1</sub>	0.31 <sub>1</sub>	0.22 <sub>1</sub>	0.12 <sub>1</sub>	0.08 <sub>1</sub>
100	0.31 <sub>1</sub>	0.17 <sub>1</sub>	0.11 <sub>1</sub>	0.05 <sub>1</sub>	0.01 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>
150	0.16 <sub>1</sub>	0.06 <sub>1</sub>	0.03 <sub>1</sub>	0.01 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>
200	0.03 <sub>1</sub>	0.02 <sub>1</sub>	0.01 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	—	—
250	0.03 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	—	—

TABELLA V

 $n/n_0$  secondo la [II], con  $l=225$  cm

$\begin{matrix} x & \beta^2 \\ \text{(cm)} & \end{matrix}$	$\alpha^2$	$3\alpha^2$	$5\alpha^2$	$10\alpha^2$	$20\alpha^2$	$30\alpha^2$
50	0.54 <sub>1</sub>	0.11 <sub>1</sub>	0.33 <sub>6</sub>	0.22 <sub>1</sub>	0.12 <sub>1</sub>	0.08 <sub>1</sub>
100	0.28 <sub>1</sub>	0.16 <sub>1</sub>	0.11 <sub>1</sub>	0.05 <sub>1</sub>	0.01 <sub>1</sub>	0.00 <sup>0</sup> 0
150	0.12 <sub>1</sub>	0.05 <sub>6</sub>	0.03 <sub>1</sub>	0.01 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	0.00 <sup>0</sup> 0
200	0.03 <sub>1</sub>	0.01 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	0.00 <sub>1</sub>	—	—

I numeri di queste quattro tabelle sono rappresentati nelle figure 1 e 2, nelle quali è rappresentato anche l'andamento relativo alla diffusione pura e semplice. Come si vede la corrente ascendente provoca un aumento rapido della concentrazione in radon dalla superficie verso il fondo e viceversa il moto discendente dà origine a una lenta variazione nella prima parte del tubo e poi a un rapido aumento. Quantitativamente è da sottolineare che bastano piccolissimi valori di  $w$  (v. Tabella I) per deformare considerevolmente l'andamento della concentrazione  $n$  nel pozzetto rispetto a quello dovuto a diffusione senza convezione ( $\beta^1 = 0$ ).

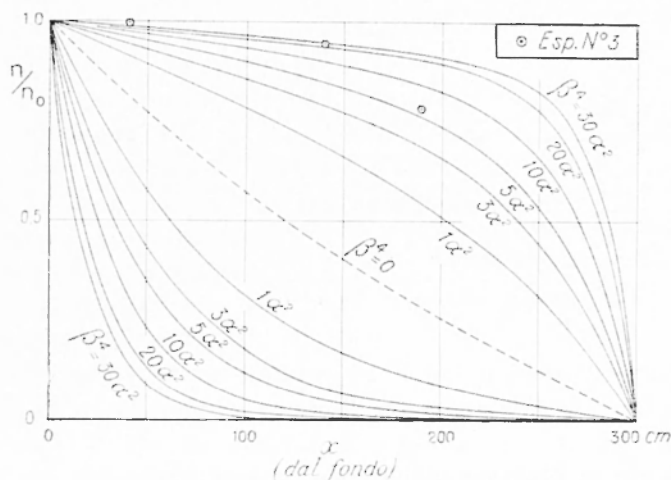


Fig. 1

Bisogna notare che in pratica non si ha sempre un quadro così schematico di fenomeni: per esempio le cose si complicano sotto l'influenza di differenze di temperatura lungo l'asse del pozzetto. Per il caso specifico del suolo dell'Osservatorio di Pavia anche queste influenze possono però essere indagate da vicino (anche se non con il sussidio della teoria) in quanto le misure di radioattività qui considerate sono state eseguite nei fori della stazione dei geotermometri e si conoscono bene gli andamenti normali della temperatura durante le stagioni e durante il giorno alle varie profondità fino a quella di tre metri; la figura 3 desunta da un lavoro del prof. Gamba (1) dà gli andamenti medi annui della temperatura dedotti da un ventennio

(1) P. Gamba, Pubbl. n. 11, 1929, Ufficio Idrografico del Po.

di osservazioni rispettivamente nella capanna meteorica e nel suolo alle profondità di metri uno, metri due e metri tre. Per quanto riguarda la variazione diurna della temperatura bisogna tenerne conto per la capanna meteorica ma non per le profondità di 2 e di 3 metri,

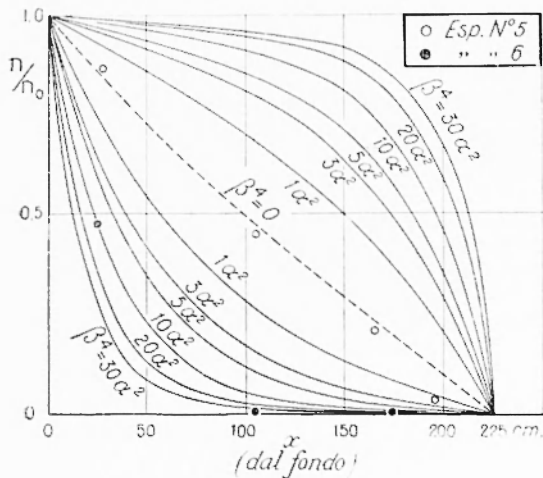


Fig. 2

più spiccato nei mesi in cui le temperature medie citate differiscono poco fra loro e cioè soprattutto alla fine dell'inverno e alla fine dell'estate.

Dato che la pressione atmosferica rimanga stazionaria per un notevole intervallo di tempo, è da ritenere che le differenze di temperatura lungo l'asse del pozzetto possano provocare delle circolazioni e quindi rimescolamenti fra aria atmosferica e aria tellurica.

Molto più semplice è invece l'influenza delle variazioni di pressione, nel caso che non siano in atto rimescolamenti dovuti a gradienti di temperatura; infatti in tale caso si deve pensare a un movimento complessivo dell'aria tellurica richiamata verso l'esterno o spinta verso le maggiori profondità. In questo caso è possibile appunto rappresentare il fenomeno con le considerazioni teoriche precedenti.

Alcune determinazioni dirette della distribuzione della concentrazione in radon nel pozzetto da 3 m e in uno da 2,25 m, permettono di concludere che effettivamente le considerazioni teoriche si accordano bene con i dati sperimentali.

Non sarà inutile soffermarsi su le difficoltà di vario tipo inerenti alle misure in questione. In primo luogo non si possono naturalmente

così che in pratica soltanto alla linea « cap. meteorica » della figura 3 è da pensare sovrapposta una oscillazione giornaliera; questa oscillazione è però notevole così che in alcune ore della giornata il gradiente di temperatura nel pozzetto può essere volto verso il basso e in altre verso l'alto. Questo può succedere in tutte le epoche dell'anno ma in modo

prevedere con sicurezza le vicende meteorologiche locali e perciò presentandosi una giornata che promette tempo buono si iniziano le misure; esse richiedono per ogni andamento un intervallo di tempo piuttosto lungo, per determinare cinque punti della curva circa sei ore. In secondo luogo le influenze che si vogliono studiare, come si è detto, sono almeno due e quindi sarebbe molto comodo che una delle due fosse soltanto debolmente agente, cioè se varia notevolmente la temperatura bisognerebbe fosse stazionaria la pressione e viceversa; è evi-

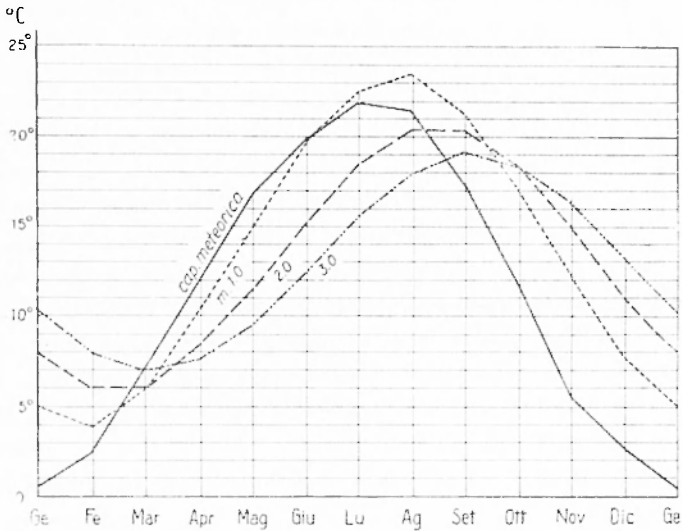


Fig. 3

dente che simili condizioni ideali non si creano ma possono capitare soltanto per caso.

Le esperienze sono state fatte in un primo tempo seguendo i seguenti criteri: un elettrodo puro e semplice cilindrico, ancorato a un piccolo treppiedi (appoggiato sull'orlo del pozzetto) veniva calato con delicatezza nel pozzetto in modo da non agitare l'aria e fermato a 50 cm dall'orlo per un primo prelievo (deposizione elettrostatica di  $KaA$ ); finita la attivazione di questo elettrodo lo si sostituiva con un secondo elettrodo pulito che veniva calato a 100 cm dal bordo e a sua volta attivato, mentre intanto si misurava l'attività raccolta sul primo. Una terza esperienza si eseguiva poi a 150 cm, una quarta a 200 cm e una quinta a 250 cm. Però questa serie di attivazioni richiedeva molte ore come già si è detto e tale circostanza portava in generale a variazioni troppo complesse delle condizioni di esperienza.

Così in un secondo tempo si preferì determinare soltanto quattro punti della curva di distribuzione della concentrazione in modo da poter esaurire le misure in una sola mattinata o in un solo pomeriggio; questo sistema ha dato migliori risultati.

Altra difficoltà che si presentava era quella di mantenere pulito e sgombro dai ragni soprattutto il pozzetto di esperienza; in un primo

Fig. 4

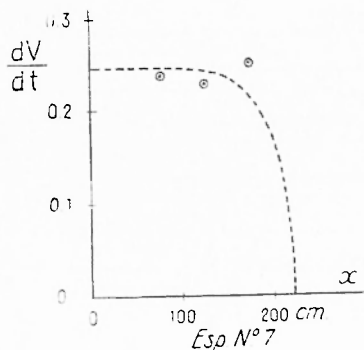


Fig. 5

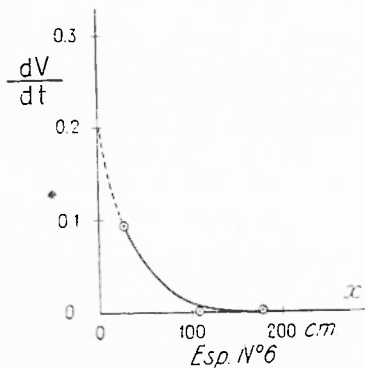
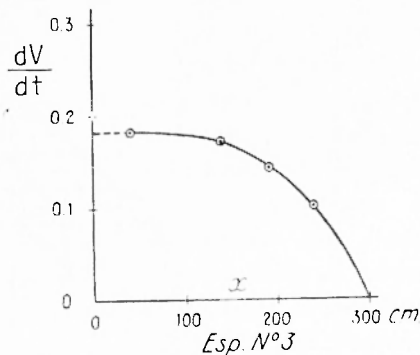


Fig. 6

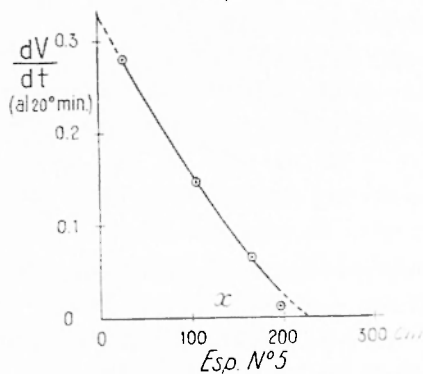


Fig. 7

tempo si pensò di eseguirne la pulizia alcuni giorni prima delle misure e di proteggere il tubo con una pezzuola leggera che consentisse all'aria di muoversi attraverso di essa ma non ai ragni di entrare nel tubo; qualche ora prima delle misure si toglieva la pezza e si faceva la guardia al pozzetto; però questo metodo troppo scomodo e poco sicuro, poiché lasciava dei dubbi sulla importanza dell'ostacolo creato alla diffusione dalla pezzuola, venne presto abbandonato e sostituito da un altro che diede ottimi risultati; sul pozzetto pulito e

aperto venne posta una ampia gabbia di rete metallica a maglie piuttosto strette e per tener lontani i ragni si usò il DDT.

Le esperienze vennero eseguite parte nel pozzetto da tre metri a pareti di grés della stazione dei geotermometri e parte in un pozzetto profondo m 2,25 e a pareti di ferro installato nelle immediate vicinanze della suddetta stazione. Le condizioni sperimentali che si presentarono con maggiore frequenza furono quelle a pressione decrescente e temperatura dell'aria non molto variabile; la più significativa di esse fu la n. 7 del giorno 5 luglio u. s.; purtroppo però fu interrotta da un improvviso temporale dopo che erano stati determinati soltanto tre punti <sup>(1)</sup>. Le misure iniziate alle ore 12<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> ebbero termine alle ore 16<sup>h</sup> 1<sup>m</sup>; la pressione era in rapida discesa e la temperatura dell'aria esterna invece era in leggera salita e più alta di quella esistente nel suolo alla profondità di un metro. La figura 4 rappresenta la concentrazione in radon in funzione della distanza dal fondo; questa esperienza è stata eseguita nel pozzetto profondo cm 225. Un'altra, la n. 3, eseguita invece nel pozzetto di 300 cm nel pomeriggio del 2 giugno, pure a pressione decrescente e con temperatura dell'aria poco variabile e superiore a quella della profondità di un metro e costituita da 4 misure singole è rappresentata nella figura 5 che è il prototipo della distribuzione di  $n$  in regime di pressione decrescente.

Una esperienza particolarmente interessante è la n. 6 del 29 di giugno, preceduta da parecchie ore di pressione crescente e condotta con pressione quasi stazionaria. La temperatura nel suolo alla profondità di un metro era stazionaria a 22,6 °C, la temperatura minima a 5 cm sopra il suolo (verificatasi all'alba) 7<sup>o</sup>,8, la temperatura minima della capanna meteorica 10,5, quella alle ore 8 (inizio delle misure) 18<sup>o</sup>,0, alla fine 24 gradi circa. I risultati sperimentali relativi al contenuto in radon dell'aria del pozzetto sono rappresentati nella figura 6. Su questa esperienza hanno evidentemente influito e l'andamento della pressione immediatamente antecedente alle misure e la distribuzione della temperatura prima e durante le misure, portando praticamente a zero l'attività dell'aria fino alla profondità di oltre un metro.

Infine interessa segnalare il caso della esperienza n. 5 del 24 giu-

---

<sup>(1)</sup> Il 4<sup>o</sup> punto venuto a mancare per le condizioni meteorologiche, corrisponderebbe a  $x=0,10$  m circa e quindi presumibilmente non avrebbe modificato l'andamento tracciato in figura.

gno eseguita in regime di pressione quasi stazionaria e di temperatura pure poco variabile e poco superiore a quella esistente nel pozzetto alla profondità di un metro: queste condizioni corrispondono « grosso modo » a quelle di diffusione pura e semplice. L'andamento di  $n$  è rappresentato nella figura 7 ed è come si vede notevolmente diverso dai casi considerati precedentemente e molto simile alla curva teorica di diffusione pura e semplice.

Le curve sperimentali ora descritte sono state estrapolate per determinare il valore di  $n_0$  e poter così calcolare il valore del rapporto  $n/n_0$  lungo il pozzetto e per ciascuna esperienza, eccettuata l'esperienza n. 7 data l'incertezza per l'estrapolazione ad  $n_0$ . Tale calcolo permette il confronto fra le curve teoriche e quelle sperimentali: gli andamenti sperimentali così elaborati e riferentisi alle esperienze n. 3, 5, 6, sono stati infatti riportati sulle curve teoriche che si vedono in figura 1 e 2. Essi dimostrano chiaramente che la schematizzazione teorica da noi compiuta ha una effettiva importanza pratica atta ad illuminare le vicende cui è sottoposta la distribuzione del radon dentro a pozzetti praticati nel suolo.

*Istituto Nazionale di Geofisica - Osservatorio di Pavia  
Istituto di Fisica sperimentale dell'Università di Torino  
30 settembre 1948.*

#### RIASSUNTO

*Premesse alcune considerazioni teoriche sulla diffusione del radon nell'aria tellurica e sulle perturbazioni che questo processo risente da parte di alcuni elementi meteorologici (segnalatamente la distribuzione della temperatura nel suolo e l'andamento della pressione atmosferica), sono descritte alcune esperienze in cui si è determinata direttamente la distribuzione della concentrazione del radon in due pozzetti verticali praticati nel suolo, e muniti di parete laterale impermeabile. I risultati di queste esperienze sono in buon accordo con le considerazioni teoriche suddette.*