

MISURA DELLA CONCENTRAZIONE DI GAS RADON NEL TERRENO

Tecnica innovativa di proprietà del Laboratorio Radongas srl

Brevetto Europeo N. 2307912: "New method and apparatus for measurements of radon concentration indoors, in soil, in water, and/or aqueous media"

1

1. RIASSUNTO

Le attuali tecniche di misura del radon negli ambienti confinati, in cui non vi sono condizioni ambientali particolarmente critiche, non sono adatte per misure nel terreno caratterizzato da alte concentrazioni di radon, elevata variabilità di concentrazione da punto a punto e umidità non trascurabile.

Inoltre, tali misure sono fortemente dipendenti dalle dimensioni dei fori praticati nel terreno per l'introduzione delle sonde impiegate per la misurazione del radon.

Il brevetto europeo N. 2307912 ha portato una rivoluzione nel campo delle misure passive a tracce col CR-39, grazie alla realizzazione di opportune plastiche in policarbonato aventi una struttura cristallina molto ordinata che presenta delle nano holes aventi dimensioni confrontabili con l'atomo di radon. Il radon presente nelle matrici oggetto della misura si annida in maniera uniforme all'interno delle holes di queste plastiche, le quali fungono da radiatori che, affacciati al CR-39, producono su questo le tracce delle particelle alfa emesse dal radon e dai suoi figli.

Questa rivoluzionaria tecnica di misura supera tutti i limiti dei comuni dosimetri attualmente disponibili, in quanto hanno dimensioni molto compatte, sono insensibili all'umidità, possono essere utilizzati in tutte le matrici (aria, acqua, terreno) e persino in matrici con elevate concentrazioni di radon (maggiori di 100.000 Bq/m³), grazie alla possibilità di poter disporre di radiatori a bassa solubilità di radon.

2. PREMESSA

La tecnica attualmente più utilizzata per la misura del radon nel terreno consiste di un monitore attivo (tipo RAD7/8, AlphaGuard) che aspira aria dal terreno mediante una sonda conficcata nel terreno stesso. Si tratta di una misura che presenta molti aspetti critici che portano a inevitabili errori:

- se dura meno di 2 ore, non si raggiunge l'equilibrio secolare tra il radon e i suoi figli;
- si tratta di un sistema forzoso e il gas radon potrebbe provenire anche da punti relativamente lontani se la permeabilità del sottosuolo è alta o essere impedita da ostruzioni della punta da cui si aspira l'aria;

Radongas srl

Amministratore Unico: Dr Claudio Cazzato
Via L. Cadorna, 6 – 73043 Copertino (Le)
P.IVA / C.F. 05004310750
www.radongas.it
E-mail: info@radongas.it
PEC: radongas@pec.it



- difficilmente può essere considerata rappresentativa del sito in quanto la misura dura molto poco, mentre sappiamo che la concentrazione di radon presente nel terreno varia, e anche di molto, al variare dell'ora di estrazione, delle condizioni meteorologiche, del giorno, della stagione.



Figura 1 – Tecnica tradizionale di misura di Radon nel terreno

3. LA TECNICA INNOVATIVA DI MISURA UTILIZZATA DAL LABORATORIO RADONGAS SRL

Il Laboratorio Radongas utilizza la tecnica dei dosimetri a tracce, che è la stessa impiegata per le misure indoor, riconosciuta come molto affidabile e raccomandata dalle autorità, in quanto ogni dosimetro è marchiato con numero specifico e, pertanto, rimane una prova documentale della misura eseguita. Il problema dell'utilizzo dei normali dosimetri a tracce è che tutti hanno una camera a diffusione che presenta un volume non trascurabile che falsa la misurazione.

Gli scienziati più accreditati in queste misure raccomandano di utilizzare fori nel terreno da 1 a 2 cm di diametro. In tale volume non può essere posizionato il normale dosimetro che si utilizza nelle abitazioni. Inoltre, i dosimetri impiegati negli ambienti indoor non possono essere utilizzati nei luoghi in cui vi è un elevato tasso di umidità, come quello riscontrato nei terreni.

La tecnica utilizzata dal Laboratorio Radongas consiste di un dosimetro a tracce CR-39 di 1 mm di spessore e dimensioni 9 mm x 20 mm, avente una superficie di lettura di 360 mm². Il dosimetro a tracce è ricoperto con due radiatori di policarbonato di 40 µm di spessore ognuno, che catturano il radon nei suoi pori, per cui trasformano la concentrazione di radon da volumetrica in superficiale. Il dosimetro così preparato viene inserito in una piccola busta di polietilene progettata ad hoc che impedisce all'umidità di entrare a contatto col CR-39.

La possibilità di realizzare un dosimetro con tali caratteristiche è stata resa possibile sfruttando una tecnica, coperta da brevetto Europeo (Brevetto N. 2307912: "New methods and apparatus for

Radongas srl

Amministratore Unico: Dr Claudio Cazzato
Via L. Cadorna, 6 – 73043 Copertino (Le)
P.IVA / C.F. 05004310750
www.radongas.it
E-mail: info@radongas.it
PEC: radongas@pec.it

the measurements of radon concentrations indoors, in soil, in water, and/or aqueous media”), il cui inventore è il Dott. Luigi Tommasino, uno dei maggiori esperti mondiali di radon, già ricercatore ENEA, co-fondatore di due riviste internazionali di radioprotezione (*Radiation Protection Dosimetry* e *Radiation Measurements*), che vanta a suo credito diversi brevetti e invenzioni. Questi brevetti sono stati sfruttati, tra l’altro, sia per la campagna nazionale del radon nelle abitazioni che per la campagna di misure di esposizione ai raggi cosmici in alta montagna, nonché sui voli dell’Alitalia. La suddetta invenzione è stata sviluppata e perfezionata dal dott. Claudio Cazzato, già suo allievo e collega presso l’ENEA DISP di Roma.

La bontà del brevetto è stata dimostrata da un Interconfronto nel 2017 tra i seguenti nove Laboratori, i cui risultati sono stati pubblicati in *Radiation Protection Dosimetry* (2017, pp. 1-4):

1. National Agency for Environmental Protection , Rome, Italy
2. Radiation Protection Bureau, Health Canada, 775 Brookfield Road, Ottawa, Canada K1A 1C1
3. National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan
4. National Institute of Radiation Metrology, ENEA, Casaccia, Rome, Italy
5. National Institute for Insurance Against Accidents at Work, DiMEILA, Rome, Italy
6. ARPA Piemonte, Ivrea, Italy
7. ARPAVal D’Aosta, Italy
8. Physics Institute, Mexico City University, UNAM, Mexico
9. Institute of Nuclear Physics, PAN, Krakov, Poland



Figura 2 – (a) Dimensioni dei dosimetri utilizzati per le misure nel terreno; (b) Puntazza smontata con le tre cavità in cui sono collocati i dosimetri passivi

La misura nel terreno viene effettuata mediante una sonda ad asta del diametro di 2,0 cm e lunghezza 125 cm, denominata *puntazza*, che presenta all’interno tre piccole cavità cilindriche di dimensioni 14 mm x 30 mm, distanziate tra loro di 30 cm, all’interno delle quali viene alloggiato il dosimetro.

Radongas srl

Amministratore Unico: Dr Claudio Cazzato
Via L. Cadorna, 6 – 73043 Copertino (Le)
P.IVA / C.F. 05004310750
www.radongas.it
E-mail: info@radongas.it
PEC: radongas@pec.it



Le cavità in cui sono collocati i dosimetri sono a 90, 60 e 30 cm di distanza tra loro. In questa maniera si riesce a misurare **la massima concentrazione di radon nel terreno** (a 80-100 cm), e, sfruttando il fitting dei tre valori, **anche il coefficiente di diffusione (m^2/sec)**.

La misura dura da settimana, ma, sfruttando altri radiatori, può durare anche diversi mesi.



Figura 3 – Sonda ad asta, denominata puntazza, conficcata nel terreno ed estrattore

4. STRATEGIA DI MISURA DEL LABORATORIO RADONGAS

Le misure effettuate con la tecnica adottata dal Laboratorio Radongas permettono di effettuare:

- Misurazioni accurate della concentrazione di radon nel terreno;
- Valutazione del coefficiente di diffusione del radon nel terreno mediante la misurazione della concentrazione di radon nel terreno a diverse profondità.

Questa tecnica si basa sulle considerazioni effettuate da Ryzhakova¹ che ha proposto la seguente semplice equazione di diffusione del trasporto di radon nel suolo:

$$[1] \frac{d^2 C_A}{dx^2} - \frac{\lambda}{D_e} C_A + \frac{\lambda}{D_e \eta} K_{em} A_{Ra} \rho_d = 0$$

dove C_A è la concentrazione di attività del ^{222}Rn nel gas del suolo, D_e è il coefficiente di diffusione, λ è la costante di decadimento del ^{222}Rn , η è la porosità del mezzo, K_{em} è il coefficiente di emanazione, A_{Ra} è l'attività specifica di massa del ^{226}Ra (Radio, precursore del Radon) e ρ_d è la densità del suolo asciutto.

¹ K. Ryzhakova, "A new method for estimating the coefficients of diffusion and emanation of radon in the soil" - Journal of Environmental Radioactivity, 135, 63-66, 2014.

Radongas srl

Amministratore Unico: Dr Claudio Cazzato
Via L. Cadorna, 6 – 73043 Copertino (Le)
P.IVA / C.F. 05004310750
www.radongas.it
E-mail: info@radongas.it
PEC: radongas@pec.it



Supponendo che:

- 1) la diffusione molecolare sia il meccanismo di trasporto dominante nel suolo del ^{222}Rn ;
- 2) la porosità e il coefficiente di diffusione siano costanti su tutto il terreno;
- 3) la concentrazione di ^{226}Ra sia costante su tutto il terreno;
- 4) il terreno sia omogeneo nell'ultimo tratto;
- 5) che la concentrazione di radon in superficie sia zero;

la soluzione dell'Equazione [1] di diffusione è

$$C_A(x) = C_{A,\infty} \left(1 - e^{-\frac{x}{L_D}} \right)$$

Dove L_D è uguale a:

$$L_D = \sqrt{\frac{D_e}{\lambda}}$$

$C_{A,\infty}$ è la concentrazione di attività ^{222}Rn alla profondità grande (infinita) e L_D è la lunghezza di diffusione di ^{222}Rn .

Facendo un fit esponenziale con i tre valori di concentrazione trovati alle diverse profondità di si riesce a calcolare la concentrazione massima nel terreno e il coefficiente di diffusione.

Sulla base dei risultati ottenuti (concentrazione massima e coefficiente di diffusione) si può fare la valutazione del rischio radon per le nuove costruzioni.

Per valutare il rischio connesso alla presenza di radon e misurare la concentrazione di radon nel terreno vi sono due approcci:

- 1) Quello proposto dalla *Swedish Radiation Protection Authority* (SSI), che si basa esclusivamente sulla concentrazione di radon nel suolo, secondo le seguenti corrispondenze²:

Concentrazione	Rischio
< 10 kBq/m ³	<i>Low Risk Area</i>
10-50 kBq/m ³	<i>Normal Risk Area</i>
> 50 kBq/m ³	<i>High Risk Area</i>

² Dubois G. "An overview of radon surveys in Europe", Radioactivity Environmental Monitoring - Emissions and Health Unit - Institute for Environment and Sustainability - Joint Research Center - European Commission - EUR 21892 EN (2005).



2) Quello proposto da Nezal et Alii³, ripreso in Italia da Castelluccio⁴ sulla base delle indicazioni suggerite dall'ARPA nel 2000, che ha l'obiettivo di ricavare l'Indice Radon (RI), parametro che definisce il livello di rischio locale connesso alle emanazioni di Radon. L'indice Radon RI (basso, medio, alto) viene ricavato dal valore dell'indice denominato *Radon Potential* (RP) che si ottiene da misure strumentali della concentrazione del Radon nel suolo e della permeabilità intrinseca del terreno, effettuate ad almeno 80 cm di profondità, utilizzando la seguente formula:

$$RP = \frac{C_A - 1}{-\log k - 10}$$

Dove C_A è la concentrazione di attività di radon nel suolo (kBq/m³) e k la permeabilità intrinseca del suolo (m²).

Dal valore di RP si ricava l'Indice Radon (RI), cioè la classe di rischio, secondo la seguente tabella:

Classe di Rischio (RI)	Valore di RP
Bassa	$RP < 10$
Media	$10 \leq RP \leq 35$
Alta	$RP > 35$

Questo secondo approccio richiede uno studio molto più approfondito e distribuito nel corso nell'anno in quanto la concentrazione di radon varia al variare delle stagioni e la permeabilità misurata dipende anch'essa dalle condizioni climatiche. Tali misure hanno bisogno, ovviamente, di tempi lunghi e costosi.

Il metodo brevettato dal Laboratorio Radongas permette di effettuare una valutazione seguendo le linee guida proposte dalla *Swedish Radiation Protection Authority* (SSI) e, in qualche misura,

³ Nezal M., Matolín M., Barnett I. & Mikšová J., "The new method for assessing the radon risk of building sites", Czech Geological Survey Special Papers, CGS Prague (2004).

⁴ Castelluccio M., Moroni M., Tuccimei P., Nezal M. & Nezal M., *Soil Gas Radon Concentration and Permeability at "Valle della Caffarella" Test Site (Roma, Italy). Evaluation of Gas Sampling Techniques and Radon Measurements Using Different Approaches*. Proceedings of 10th International Workshop On The Geological Aspects Of Radon Risk Mapping, Ivan Barnett and Matej Nezal Eds, Czech Geological Survey, Prague (CZ), September 22nd - 25th, 2010: 61-71.



anche l'approccio proposto da Neznal, in quanto riesce a dare una valutazione i) della concentrazione massima di radon nel terreno ii) del coefficiente di diffusione.

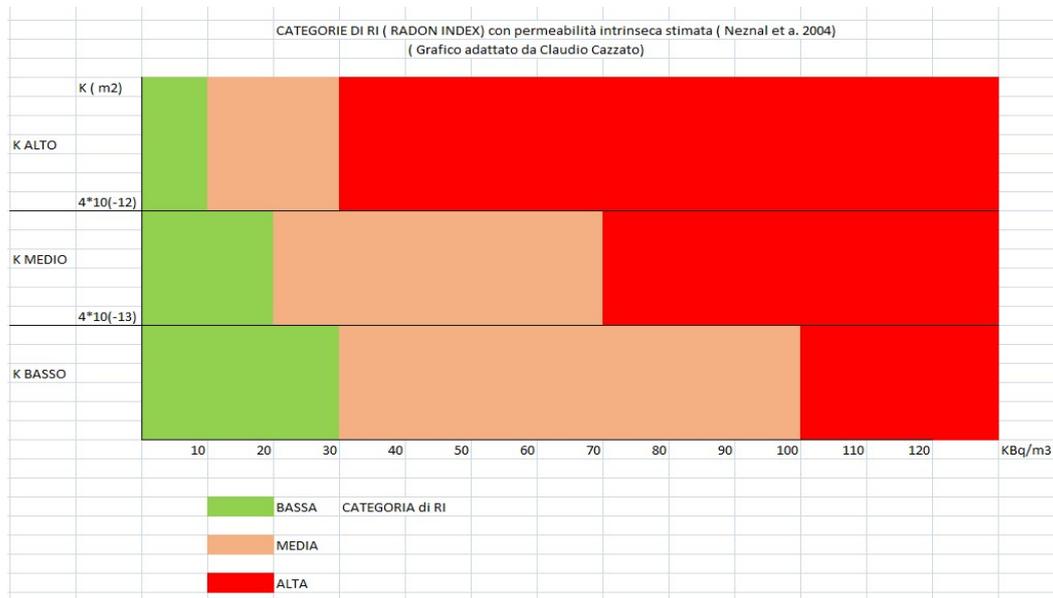


Grafico adattato da Claudio Cazzato sul Radon Indexd

La tecnica proposta è caratterizzata da una **affidabilità** maggiore rispetto a tutte le altre metodologie a disposizione perché:

- non perturba il terreno oggetto della misura,
- non risente dell'alta umidità presente,
- non risente delle perturbazioni di origine elettromagnetiche,
- è insensibile al thoron,
- può durare un tempo sufficiente (da una settimana a qualche mese) per la caratterizzazione del terreno,
- è molto economica e semplice, per cui può essere utilizzata da tutti, anche da parte di chi non ha una formazione specifica nel campo delle misure nucleari.

5. ESEMPIO

La misurazione è stata condotta nell'agro di Casarano (LE), dal 31-03-2023 al 07-04-2023 per un totale di 168 ore. Dalle misure eseguite è stata riscontrata la seguente concentrazione di gas radon nel suolo:

Radongas srl

Amministratore Unico: Dr Claudio Cazzato
Via L. Cadorna, 6 – 73043 Copertino (Le)
P.IVA / C.F. 05004310750
www.radongas.it
E-mail: info@radongas.it
PEC: radongas@pec.it

Profondità (cm)	Bq/m ³
19	32068
49	61318
79	71966

La figura seguente mostra il fitting esponenziale dei valori misurati

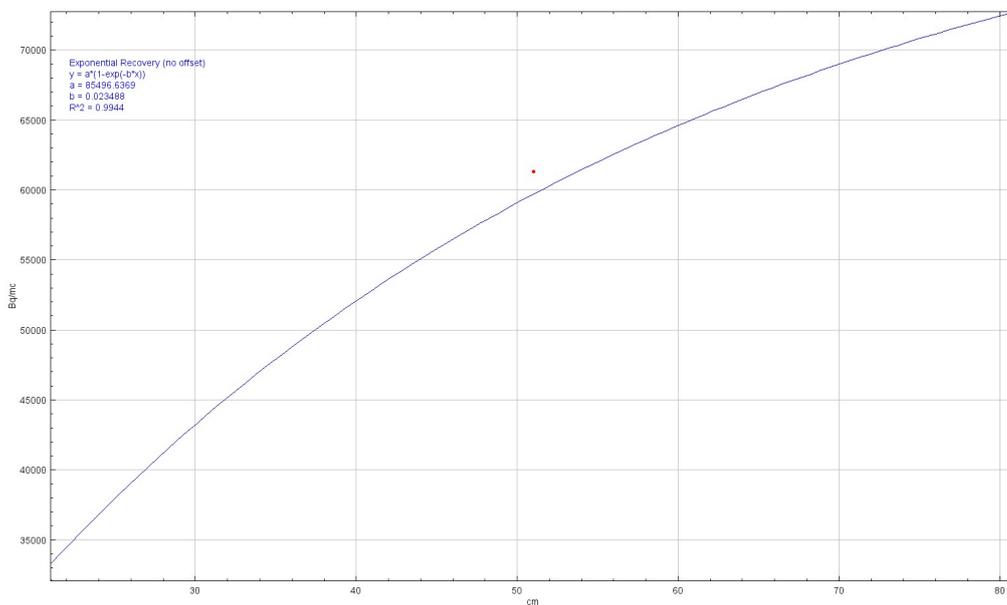


Figura 4 – Andamento della concentrazione di gas radon nel terreno

Dall'equazione del fitting riportato in Figura 4 si evince che:

- Il coefficiente di diffusione di gas radon nel terreno è di circa $3,81 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;
- La massima concentrazione di gas radon nel terreno è di circa **85.000 Bq/m³**.

I dati ottenuti permettono di affermare che l'area in questione è da classificare come **ZONA A RISCHIO ALTO**.

Radongas srl

Amministratore Unico: Dr Claudio Cazzato
 Via L. Cadorna, 6 – 73043 Copertino (Le)
 P.IVA / C.F. 05004310750
 www.radongas.it
 E-mail: info@radongas.it
 PEC: radongas@pec.it