

Ordine dei Geologi Lazio
SEMINARIO: Stakeholders Event LIFE-Respire
07-07-2021

Misura della concentrazione di radon all'interno, nel terreno e nell'acqua con la tecnica dei rivelatori a tracce: tecnica innovativa che supera le limitazioni della suddetta tecnica.

Claudio Cazzato

Fisico

Specializzato in Fisica Sanitaria

Esperto di Radioprotezione di III Grado N. 412

(Ministero del Lavoro e della Prev. Sociale)

Membro del GER (Gruppo di Emergenza Radiologica Nazionale)

www.radongas.it

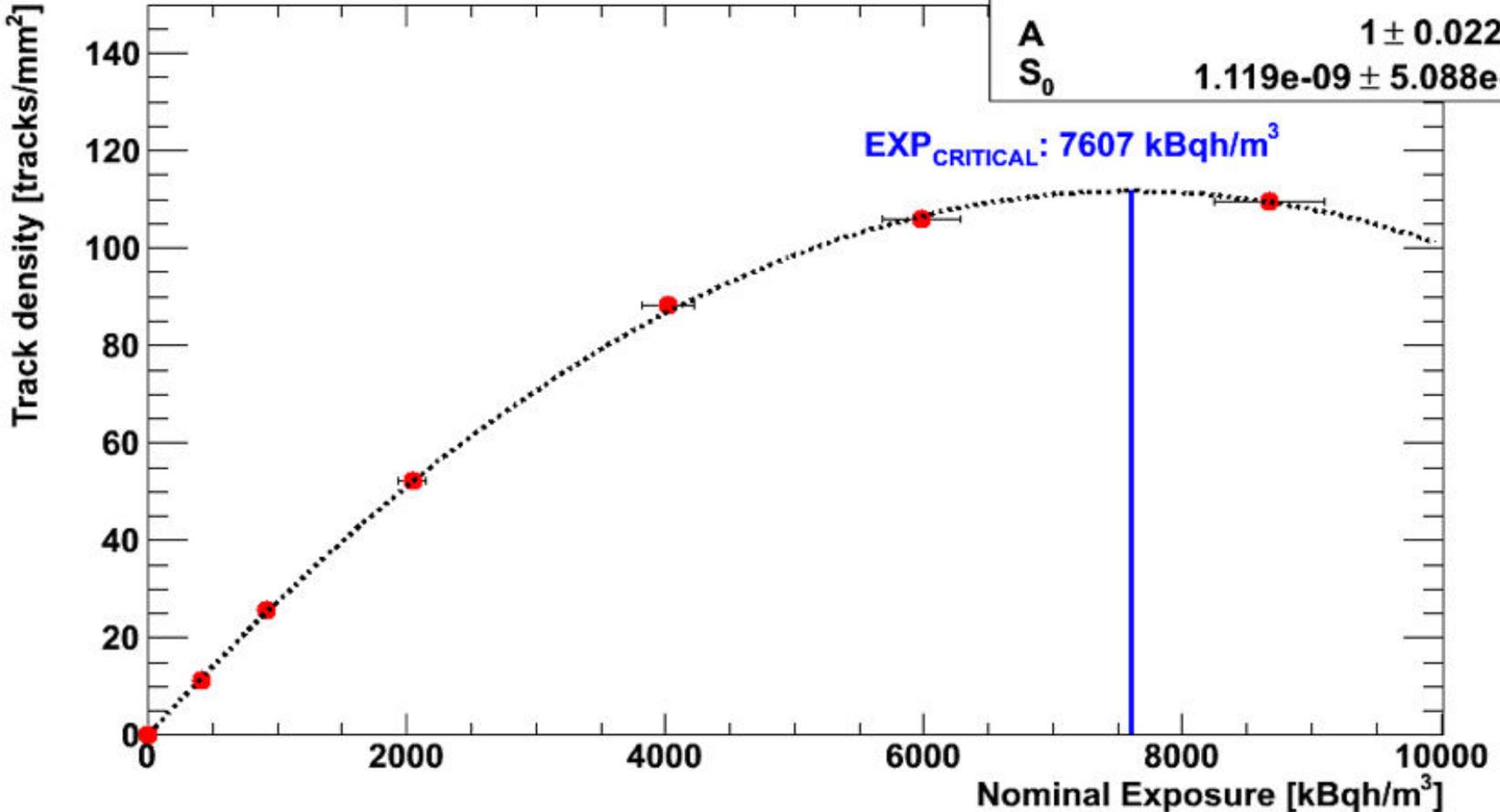
Limiti delle tecniche attuali

Per le indagini a larga scala i dosimetri di radon più utilizzati sono quelli a **tracce con camere di diffusione**. Tuttavia, data la limitata linearità di risposta, questi dispositivi sono spesso inadatti a misurare le alte concentrazioni di radon incontrate nel suolo, nelle grotte, nelle terme ecc.

Risposta dei dosimetri a tracce

Characterization of CR-39 response

χ^2 / ndf	0.733 / 4
Prob	0.9472
A	1 ± 0.02204
S_0	$1.119\text{e-}09 \pm 5.088\text{e-}11$



Limiti delle tecniche attuali

Con questi dosimetri passivi, di solito si utilizza soltanto una delle superficie del rilevatore di tracce. Per incrementare la linearità di risposta di detti dosimetri, *Csige e Csegzi (The Radamon radon detector and an example of application. In Radiation Measurements 34, pp 437-440 (2001))* hanno utilizzato anche la **superficie posteriore** del rilevatore di tracce, garantendo uno strato d'aria di circa 1 mm o meno tra detta superficie posteriore e la parete della camera passiva.

Limiti delle tecniche attuali

Tuttavia, la risposta della superficie posteriore del rilevatore non è soltanto dovuta al radon contenuta a detto strato d'aria, come rivendicato da detti autori, ma anche al radon assorbito nella parete dell'alloggiamento del CR-39 della camera di diffusione, come riportato da *More e Hubbard (222Rn absorption in plastic holders for alpha track detectors: a source of error- Radiation Protection Dosimetry. Vol. 71, pp85-91 (1997))*.

Limiti delle tecniche attuali

Queste misurazioni sono compromesse dalla difficoltà di ottenere uno strato d'aria sottile riproducibile sopra detta superficie del rilevatore. Un'altra fonte di errori può essere dovuta al fatto che l'assorbimento del radon nella plastica della parete della camera non si verifica in condizioni di equilibrio. In tal caso, la quantità di radon assorbita da detta plastica **dipende fortemente dalla temperatura.**

Limiti delle tecniche attuali



La superficie posteriore del rilevatore, invece, potrebbe essere sfruttata al fine di incrementare la linearità di risposta di tutte le camere passive di radon senza le fonti di errore sopracitate.

Limiti delle tecniche attuali

Quando vengono utilizzati per misurare il radon nel suolo, gli attuali dosimetri passivi a tracce di radon richiedono ampie perforazioni da praticare nel suolo. Poiché spesso un singolo campionamento è insufficiente, si può richiedere una serie di unità di campionamento, producendo quindi un ampio lavoro sul campo. Inoltre **grandi perforazioni** del suolo possono **causare errori** nelle misurazioni del radon come riportato da *Tanner (Errors in measuring radon in soil gas by means of passive detector. Nuclear Geophysics Vol. 5, pp25-30 (1991).*

Limiti delle tecniche attuali

Per riuscire a usare i rivelatori a tracce finora utilizzati per misurazioni di radon nel suolo a lungo termine, sono stati effettuati dei tentativi, in passato, per ridurre la risposta dei rilevatori passivi. Per esempio [Mazur et al. \("Measurements of radon concentration in soil gas by CR-39 detectors". *Radiation Measurements* 31, pp 295-300 \(1999\)\)](#) hanno inserito il rivelatore di tracce in un tubo di diametro molto piccolo, 5 mm. Grazie alle piccole dimensioni, queste camere passive ridotte possono essere inserite direttamente sotto terra senza necessità di grandi fori nel terreno.

Limiti delle tecniche attuali

Purtroppo, in questo caso, riducendo le dimensioni delle camere di diffusione di un fattore 100 (cioè da 30 cm^3 a $0,3 \text{ cm}^3$) era possibile soltanto ridurre la risposta di un fattore 10 o meno. Con quest'approccio, **non è più possibile alcuna riduzione di sensibilità** poiché, in pratica, è difficile ridurre ulteriormente la dimensione di dette camere passive.

Limiti delle tecniche attuali

Nuove esigenze

Inoltre, negli ultimi anni, si sta prestando molta attenzione alla misura della concentrazione di radon nell'acqua, sia per la tutela della salute sia per le scienze della terra, e i dosimetri passivi attualmente disponibili non consentono di eseguire le misurazioni del radon direttamente in acqua.

Limiti delle tecniche attuali

Nuove esigenze

D. Pressianov, et al. (The compact disk as radon detector-A laboratory study of the method. Health Physics, 64, pp 642-651 (2003)) hanno ideato un dosimetro passivo di radon compatto basato sull'assorbimento del radon nel volume del rilevatore di tracce stesso, formato **da un foglio in policarbonato**.

Inconvenienti:

- procedure complesse di attacco elettro chimico
- come bassa sensibilità,
- tempo di reazione non rapido e
- dipendenza della sua risposta dalla temperatura ambiente

Nuove esigenze per le misure passive di radon

- Dosimetri passivi compatti
- Dosimetri con risposta variabile
- Range di risposta ampio
- Linearità della risposta
- Risposta indipendente dai parametri ambientali, principalmente temperatura e umidità

Perché queste nuove esigenze?

Interessa soprattutto i Geologi

L'Allegato III del Dlgs 101/2020, individua gli elementi da prendere in considerazione per il Piano Nazionale d'azione per il radon, al comma 2, recita:

Metodologie, dati e criteri per la classificazione delle aree prioritarie o per la determinazione di altri parametri che possano essere utilizzati come indicatori specifici di situazioni caratterizzate da un'esposizione al radon potenzialmente elevata.

Legge Regionale Puglia N.30

Art. 3, comma 2

L'approvazione dei piani urbanistici generali e attuativi deve essere preceduta da studi preliminari del suolo e del sottosuolo, in grado di definire particolari tecniche costruttive, imposte con le norme tecniche di attuazione, ovvero con prescrizioni in materia di costruzione dei manufatti edilizi, da considerare in sede di progettazione dei vespai, del sistema di ventilazione degli interrati e seminterrati, nonché idonee prescrizioni sull'uso di materiali contaminati e cementi pozzolanici, ovvero materiali di origine vulcanica.

Come soddisfare queste richieste?

Radon film-badge

- Sfruttando l'assorbimento del radon di alcuni materiali in fogli sottili, che verrebbero utilizzati come radiatori, che assorbono il radon e che irradiano l'elemento sensibile del dosimetro.
- Al variare del radiatore, varia la sensibilità.



Come soddisfare queste richieste?

La risposta di questo dosimetro è dovuta ai particolari processi radon-assorbenti, che includono l'assorbimento del radon nel volume della sostanza utilizzata come radiatore (assorbimento) o in quello sulla superficie della sostanza stessa (adsorbimento).

Per un radiatore con assorbimento in equilibrio, il coefficiente di ripartizione del radon tra detta sostanza radioattiva e l'aria **varia nel range da 1 a diverse centinaia.**

Linearità della risposta per 3 ordini di grandezza.

Utilizzando il CR-30 come rivelatore di tracce, la sua risposta può variare di 3 ordini di grandezza utilizzando radiatori radon assorbenti diversi, cioè possiamo confezionare film-badge con una risposta che varia tra:

0,01 tracce/cmq.KBq.h con un radiatore metallico, fino a:

20 tracce/cmq.KBq.h con un radiatore detto CR-2000

Limiti delle tecniche attuali

Nuove frontiere

La risposta di una tale dosimetro, formato da un rilevatore di tracce (CR-39) davanti a un radiatore, potrebbe essere alterata **dalla presenza di umidità** relativa elevata e/o in caso di utilizzo per misurazioni dirette in acqua.

Questo problema è facilmente superabile se il dosimetro viene rinchiuso in un sacchetto di plastica a chiusura ermetica caratterizzato da un'alta permeabilità al radon e bassa permeabilità all'acqua.





Campi di utilizzo dei dosimetri film-badge

- **Misure veloci (1 settimana) della concentrazione di radon indoor**
- **Misure della concentrazione di radon in acqua**
- **Misure della concentrazione di radon nel terreno**
- **Misure della concentrazione di radon in ambienti con alta concentrazione**
- **Misure della concentrazione di radon in ambienti umidi**
- **Misure di radon non influenzate dal Thoron.**

Overestimate of radon concentration

- ◆ *Observed Radon conc. = Actual Radon conc. + Relative Sensitivity(Thoron) x Thoron conc.*
 - ◇ *For example, when actual radon conc. and detected thoron conc. are 100 Bq/m³, respectively, radon concentration observed by Radtrak is estimated to be 168 Bq/m³.*
- ◆ *Even when NRPB/SSI detectors are used, their readings might be overestimated if they are placed near the wall(indoor thoron source).*



20-02-2019: **Claudio Cazzato** consegna, presso il centro di ricerca INAIL sito a Monte Porzio Catone (Roma), al prof. **Shinij Tokonami** (Hirosaki University del Giappone- Institute of Radiological Emergency medicine) il sistema di misura per il Thoron emesso dalle pareti utilizzato dal laboratorio RADONGAS, denominato Pinocchio, realizzato da un'idea del **Dott. Luigi Tommasino** (sulla destra), inventore di diverse tecniche di misure del radon e del thoron. I due scienziati sono famosi in tutto il mondo per le loro ricerche sul radon e sul thoron.

Film-badge della Radongas SRL

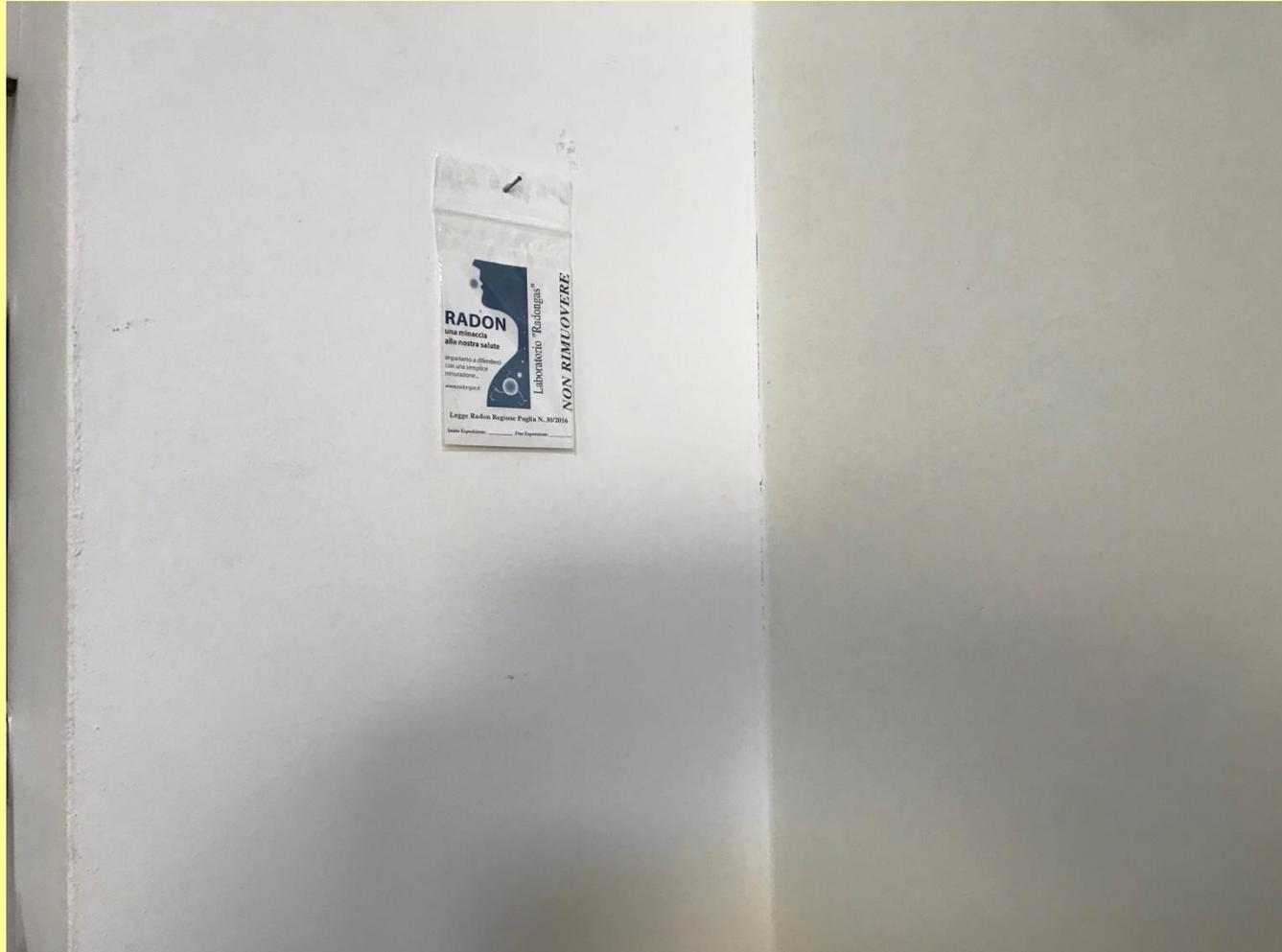
www.radongas.it



Film-badge della Radongas SRL



Film-badge della Radongas SRL



Decreto legislativo 15 febbraio 2016, n. 28

Limite: 100 Bq/l

100 KBq/m³

In aria: 400 KBq/m³





The water/air-partition-coefficient ($K_{w/air}$)

-In-air-response of the badge with a radiator of $S=80$:

$$R_{air} = (0.8 \pm 0.08) \text{ Tracks.m}^3/(\text{cm}^2. \text{ kBq} . \text{ h})$$

-In-water-radon response at 15°C $K_{w/air} = 0.3$:

$$R_{water} = (0.8 \pm 0.08) / 0.3 = (2.7 \pm 0.27) \text{ Tracks.m}^3/(\text{cm}^2. \text{ kBq} . \text{ h})$$

-In-water-radon response at 20°C $K_{w/air} = 0.25$:

$$R_{water} = (0.8 \pm 0.08) / 0.25 = (3.2 \pm 0.32) \text{ Tracks.m}^3/(\text{cm}^2. \text{ kBq} . \text{ h})$$

-In-water-radon response at 10°C $K_{w/air} = 0.35$:

$$R_{water} = (0.8 \pm 0.08) / 0.35 = (2.29 \pm 0.23) \text{ Tracks.m}^3/(\text{cm}^2. \text{ kBq} . \text{ h})$$



Public Health
England

Protecting and improving the nation's health

Results of the 2019 intercomparison of passive radon detectors

Table 6. Performance classification scheme based on measurement error

Performance classification in each exposure:

Set ID	Exposure 2	Exposure 3	Exposure 1	Exposure 5	Exposure 4	Detector type	Filter	Holder	Detector material	Detector material supplier
	116 kBq m ⁻³ h	363 kBq m ⁻³ h	639 kBq m ⁻³ h	1278 kBq m ⁻³ h	2553 kBq m ⁻³ h					
1-1	A	A	A	A	A	Closed		NRPB	CR-39	MINet (UK)
13-1	A	A	A	A	A	Closed	yes	NRPB/SSI	CR-39	RTP Company
20-1	A	A	A	A	A	Closed		TASL	PADC	TASL
136-1	A	A	A	A	A	Closed		NRPB / SSI	PADC	TASL
136-2	A	A	A	A	A	Closed		Film badge	PADC	TASL
13-2	A	A	A	A	B	Closed	yes	Duotrak	CR-39	RTP Company
19-1	B	A	A	A	A	Closed		ARPA	CR-39	TASL
141-1	B	A	A	A	A	Closed		Radosure	TASTRAK	TASL
186-1	B	A	A	A	A	Closed		TASL	TASTRAK PADC	TASL
5-1	B	B	A	A	A	Closed		TASL	CR-39	TASL
16-1	B	B	A	A	A	Closed		RSK cylindrical	PADC (CR-39)	Radosys
62-1	A	B	A	A	B	Closed		Own design	Polycarbonate Makrofol	Covestro GmbH
16-2	B	A	B	A	B	Closed		RSK pentagonal	PADC (CR-39)	Radosys
181-1	B	B	A	B	A	Closed		Radosys	PADC (CR-39)	Radosys
25-1	B	A	A	C	B	Open			LR115	Algade/Dosimad

Brevetto Europeo N.2307912

New methods and apparatus for the measurements of radon concentrations indoors, in soil, in water, and/or aqueous media.

Ideato da: Luigi Tommasino

sviluppato da: Claudio Cazzato

Proprietà: Claudio Cazzato

AN INTERNATIONAL COOPERATION BY USING AN ALL-ENCOMPASSING PASSIVE RADON MONITOR

L. Tommasino^{1,*}, J. Chen², R. Falcomer², M. Janik³, R. Kanda³, F. DeFelice⁴, F. Cardellini⁴, R. Trevisi⁵, F. Leonardi⁵, M. Magnoni⁶, E. Chiaberto⁶, G. Agnesod⁷, M. Faure Ragani⁷, G. Espinosa⁸, J. Golzarri⁸, K. Kozak⁹ and J. Mazur⁹

¹National Agency for Environmental Protection (retired), Rome, Italy

²Radiation Protection Bureau, Health Canada, 775 Brookfield Road, Ottawa, Canada K1A 1C1

³National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan

⁴National Institute of Radiation Metrology, ENEA, Casaccia, Rome, Italy

⁵National Institute for Insurance Against Accidents at Work, DiMEILA, Rome, Italy

⁶ARPA Piemonte, Ivrea, Italy

⁷ARPA Val D'Aosta, Italy

⁸Physics Institute, Mexico City University, UNAM, Mexico

⁹Institute of Nuclear Physics, PAN, Krakov, Poland

*Corresponding author: ltommasino@gmail.com

The recently developed radon film-badge makes it possible to measure radon indoors, in soil, in water and/or in aqueous media (e.g. mud). As a result of its wide response linearity, this monitor has been successfully used to measure radon in-water with concentrations from 10 to ~10 000 Bq/L. By exploiting the unique characteristics of this badge, a mini-survey has been carried out by Health Canada in which radon in water was measured from 12 private wells, as well as in tap water originating from the Ottawa River. Due to the widespread interest of different laboratories in using these passive monitors, laboratories were provided with plastic films to construct their own badges by using in-house CR-39 detectors. Monitors were then irradiated by a known radon concentration at the National Institute of Radiation Metrology (ENEA)'s radon chamber and sent back to each laboratory for processing and counting. Even though these laboratories have been using different etching- and counting-procedures, the film-badge responses varied only within ~12%.

AN INTERNATIONAL COOPERATION BY USING A WHOLE-EMBRACING PASSIVE RADON MONITOR

L. Tommasino¹, J. Chen², R. Falcomer², M. Janik³, R. Kanda³, F. De Felice⁴, F. Cardellini⁴, R. Trevisi⁵, F. Leonardi⁵, M. Magnoni⁶, E. Chiaberto⁶, G. Agnesod⁷, M. Faure Magani⁷, G. Espinosa⁸, J. Golzarri⁸, K. Kozak⁹, J. Mazur⁹.

1. National Agency For Environmental Protection (Retired), Rome, Italy
2. Radiation Protection Bureau, Health Canada, Ottawa, Canada
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. ARPA Val D'Aosta, Italy
8. Physics Institute, Mexico City University, UNAM, Mexico
9. Institute of Nuclear Physics, PAN, Krakov, Poland



Caratterizzazione delle aree

STUDI DI PRIMO LIVELLO: PERS

Individuazione di *Radon Prone Areas* (ad esempio per la redazione di un nuovo piano urbanistico)

Algoritmo per il calcolo del **Potenziale di Esalazione di Radon dal Suolo** (ANPA, 2000).
Base di partenza della caratterizzazione geologica in questo studio è la suddivisione in “**Unità di Roccia**”, di cui si definiscono:

- Litologia, spessore, fratturazione
- Carsismo e presenza di faglie
- Concentrazione di isotopi radioattivi (eventuale presenza di mineralizzazioni uranifere)
- Presenza nell'area di manifestazioni gassose e sorgenti calde ($T > 20^{\circ}\text{C}$)
- Gradiente geotermico dell'area

A ciascuno di questi parametri è assegnato un punteggio utilizzato per la determinazione del PERS

- Altri parametri: permeabilità e caratteristiche idrogeologiche, esistenza di cavità sotterranee, spessore e natura della coltre di copertura.
- Misure di *soil radon* mirate esclusivamente al controllo e alla validazione della procedura di classificazione.



ANPA

AGENZIA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

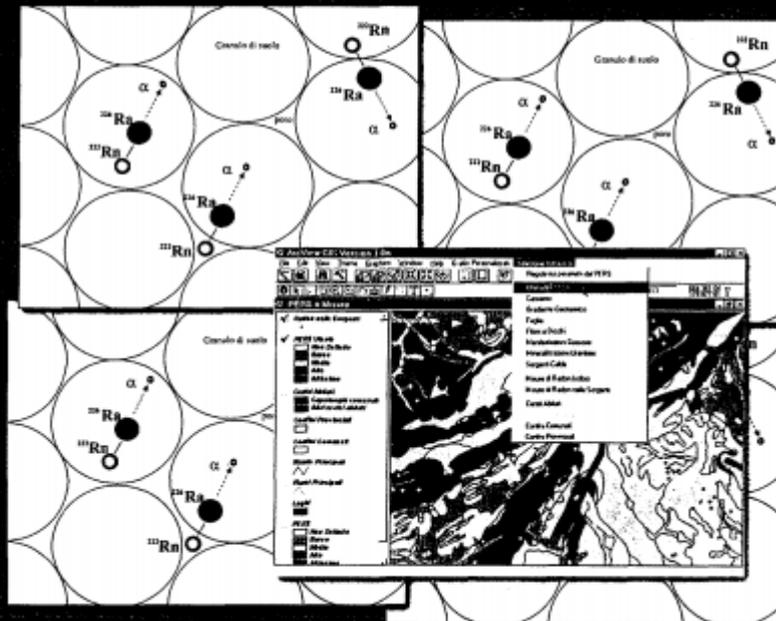


IT0100051

ANPA-RT-00-009

IL SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE PER LA VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI ESALAZIONE DI RADON DAL SUOLO

Marzo 2000



32 / 08

Serie

Stato dell'Ambiente 9/2000

PARAMETRO	CONTRIBUTO AL PERS	SUDDIVISIONE	RACCOLTA DATI
1. Litologia (Unità di Roccia, UDR)	Non rientra direttamente nel calcolo del PERS.	È stata suddivisa in UdR in base a genesi e composizione, considerando in particolare quei caratteri che possono influenzare la presenza di ^{238}U e ^{226}Ra .	Rielaborazione della cartografia geologica presente in bibliografia.
2. Concentrazione di isotopi radioattivi nelle rocce	Parametro fondamentale poiché gli elementi radioattivi (in particolare il ^{226}Ra) costituiscono la sorgente da cui è emanato il radon.	3 classi in base al contenuto di ^{226}Ra .	Analisi chimiche di campioni raccolti nelle diverse Udr e confrontato con i dati bibliografici.
3. Spessore della Unità di Roccia	Definisce i volumi di roccia in gioco e le quantità totali di elementi radioattivi presenti.	4 classi di spessore.	Rielaborazione della cartografia e delle sezioni geologiche bibliografiche.
4. Fratturazione delle rocce	Parametro importante poiché influenza sia la capacità di esalazione del radon dalla roccia, sia la capacità di migrazione dei gas attraverso un ammasso roccioso.	4 classi , tenendo conto di meso-fratturazione e macro-fratturazione geometria e distribuzione delle fratture. Le classi rappresentano la fratturazione efficace riguardo alla migrazione di un gas in un ammasso roccioso.	Analisi di terreno; analisi di foto aeree; analisi qualitativa della relazione tra reologia dei materiali e distribuzione delle faglie e della deformazione.
5. Carsismo	Parametro importante poiché i reticoli di cavità sotterranee creano vie preferenziali per la migrazione di gas e perché la dissoluzione dei carbonati può concentrare gli elementi radioattivi presenti nelle impurità insolubili.	3 classi in base all'intensità del processo.	Analisi di foto aeree; dati di censimenti delle aree carsiche.
6. Faglie	Parametro importante poiché, in funzione delle sue caratteristiche, può creare vie preferenziali di risalita di gas, può essere sede di migrazione di fluidi, è sempre associata a zone fortemente fratturate e deformate; tutti elementi che influenzano la presenza di radon in superficie.	Le faglie vengono distinte in base al tipo (sovrascorrimento e faglia diretta o trascorrente) e all'importanza (principale-secondaria). Tali caratteristiche, unitamente ad alcuni parametri del territorio circostante, determinano intorno alla faglia una area di influenza in cui si ha contribuito al PERS.	Analisi di foto aeree; rielaborazione della cartografia geologica e strutturale e controllo con analisi puntuali di terreno.
7. Mineralizzazioni uranifere	Parametro di interesse locale, ma importante poiché ^{238}U e ^{226}Ra costituiscono la sorgente da cui è emanato il radon.	Sono circondate da una area di influenza in cui si ha un contributo al PERS.	Bibliografia.
8. Manifestazioni gassose	Parametro importante perché la circolazione di fluidi ad alta temperatura favorisce la mobilità di ^{238}U e ^{226}Ra e la migrazione di gas verso la superficie.	Vengono distinte in base alle caratteristiche chimiche dei fluidi e sono circondate da una area di influenza in cui si ha un contributo al PERS valutato.	Bibliografia.
9. Sorgenti calde ($T > 20^\circ\text{C}$)	Parametro importante perché la circolazione di fluidi ad alta temperatura favorisce la mobilità di ^{238}U e ^{226}Ra e la migrazione di gas verso la superficie.	Vengono distinte in base alle caratteristiche chimiche dei fluidi e sono circondate da una area di influenza in cui si ha un contributo al PERS valutato.	Bibliografia.
10. Gradiente geotermico	Parametro importante perché nelle aree ad alto gradiente si ha una forte mobilità di fluidi che possono trasportare in superficie il radon formatosi in profondità, se le rocce profonde hanno alto contenuti in elementi radioattivi.	3 classi in base alla variazione della temperatura con la profondità	Bibliografia.

tab. 3: parametri geologici considerati nell'algoritmo per il calcolo del PERS

Studi di secondo livello

Quello proposto da NEZNAL ed altri (2004) e ripreso in Italia da Castelluccio, 2010 sulla base delle indicazioni suggerite dall'ARPA nel 2000.

Questo approccio necessita di misurare, con due diverse tipologie di misure, sia la massima concentrazione di radon nel terreno, sia la permeabilità intrinseca del terreno. Conoscendo questi valori si calcola il “potenziale radon” (RP) mediante la seguente formula:

INDICI DI PERICOLOSITÀ DA RADON PER STUDI DI SECONDO LIVELLO

Approccio proposto da Neznal et al. (2004)

Radon index (RI): indice qualitativo

Radon potential (RP): indice numerico

- Definiscono il livello di pericolosità di un determinato sito in termini di rilascio di radon dal suolo.
- Utilizzati per definire il grado di protezione dal radon che un edificio necessita per essere messo in opera su quel sito.

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

in cui: CA = concentrazione di attività di radon nel suolo (kBq/m³)
k = permeabilità intrinseca del suolo (m²)

RP < 10	→	RI basso
10 ≤ RP < 35	→	RI medio
RP ≥ 35	→	RI alto

PROTOCOLLO PER LA SCALA DI CANTIERE: CALCOLO DEGLI INDICI DI PERICOLOSITÀ

RI	Soil Radon concentration (kBq/m ³)		
Low	$^{222}\text{Rn} < 30$	$^{222}\text{Rn} < 20$	$^{222}\text{Rn} < 10$
Medium	$30 \leq ^{222}\text{Rn} \leq 100$	$20 \leq ^{222}\text{Rn} \leq 70$	$10 \leq ^{222}\text{Rn} \leq 30$
High	$^{222}\text{Rn} > 100$	$^{222}\text{Rn} > 70$	$^{222}\text{Rn} > 30$
CON PERMEABILITÀ INTRINSECA STIMATA	$< 4 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-13} \leq k \leq 4 \cdot 10^{-12}$	$> 4 \cdot 10^{-12}$
	Low	Medium	High
	Permeability (k, m ²)		

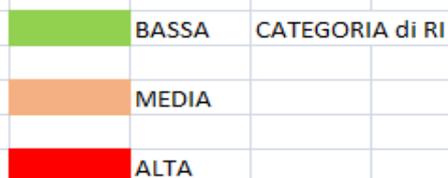
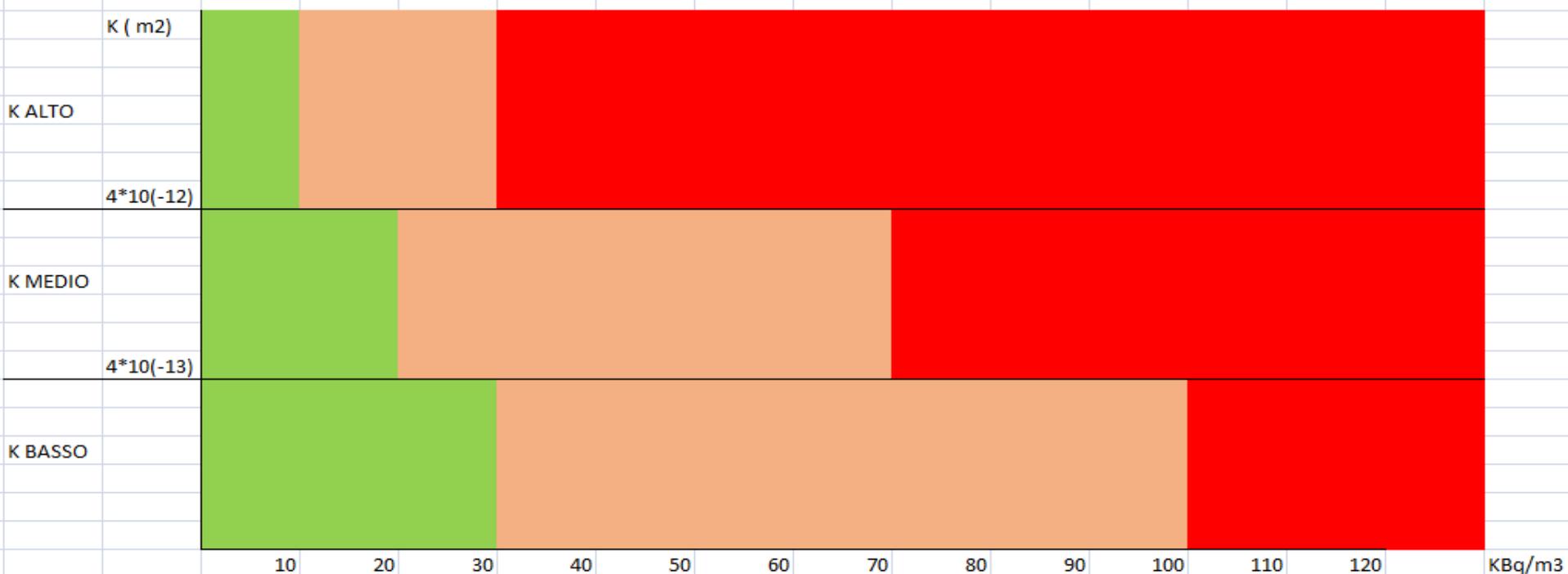
(Neznal et al., 2004)

RADON INDEX: funzione della Permeabilità e Concentrazione

Grafico adattato da Claudio Cazzato

CATEGORIE DI RI (RADON INDEX) con permeabilità intrinseca stimata (Neznal et a. 2004)

(Grafico adattato da Claudio Cazzato)



VALUTAZIONE RISCHIO RADON

Swedish Radiation Protection Authority (SSI)

Si basa esclusivamente sulla concentrazione di radon nel suolo, secondo le seguenti corrispondenze (Dubois, 2005):

- a) < 10 kBq/m³, low risk areas;
- b) 10-50 kBq/m³, normal risk areas;
- c) > 50 kBq/m³, high risk areas.

SISTEMA INNOVATIVO DELLA RADONGAS

(Coperto da Brevetto Europeo N. 2307912)

La tecnica utilizzata dal laboratorio RADONGAS consiste in :

-un dosimetro a tracce CR-39 delle dimensioni 0,9X2,0 cm ricoperto da **2 strati di policarbonato da 40 µm** di spessore, che catturando il radon nei suoi pori diventa un **radiatore** a tutti gli effetti.

Il radiatore trasforma la **concentrazione volumetrica di radon in una concentrazione superficiale** che irradia così il CR-39. Il dosimetro così preparato viene inserito in una piccola busta di polietilene progettata ad hoc che viene termosaldata in modo tale da impedire all'umidità presente nel terreno di entrare in contatto col CR-39.

SISTEMA INNOVATIVO DELLA RADONGAS (Coperto da Brevetto Europeo N. 2307912)



MISURE NEL TERRENO LABORATORIO RADONGAS













Estrattore



Ryzhakova (2014)

Equazione di diffusione del radon

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

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 e

ρ_d è la densità del suolo asciutto.

Ryzhakova (2014)

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 (precursore del Radon) 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 della suddetta Equazione 1 di diffusione è (Ryzhakova, 2014) è:

Ryzhakova (2014)

La soluzione della suddetta Equazione 1 di diffusione è (Ryzhakova, 2014) è:

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

Lunghezza di diffusione

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

dove $C_{A,\infty}$ è la concentrazione di attività ^{222}Rn alla profondità grande (80, 100 cm) e L_D è la lunghezza di diffusione di ^{222}Rn .

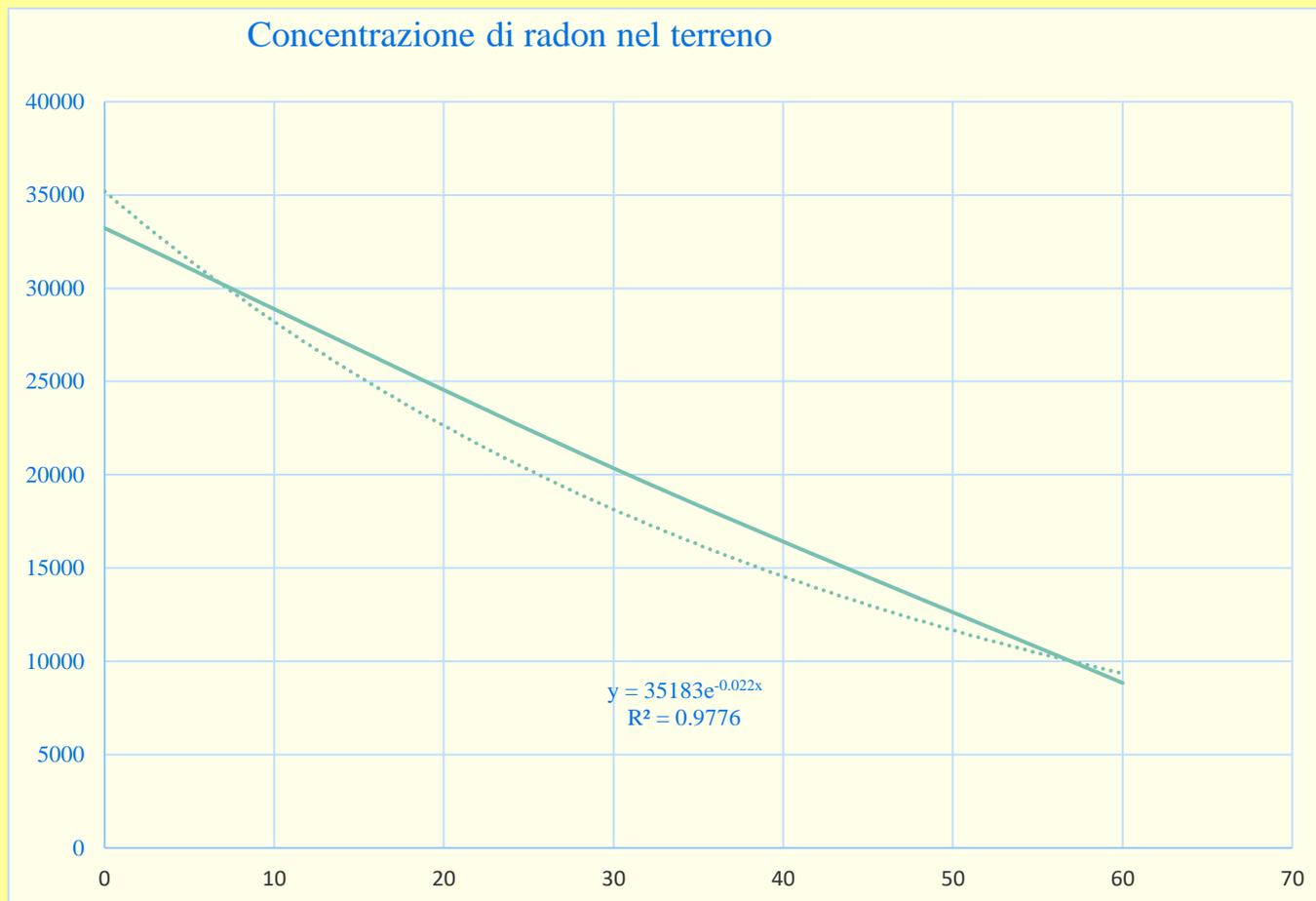
Ryzhakova (2014)

L'esalazione di radon nel terreno è:

$$J_0 = \lambda L_D C_{A,\infty}$$

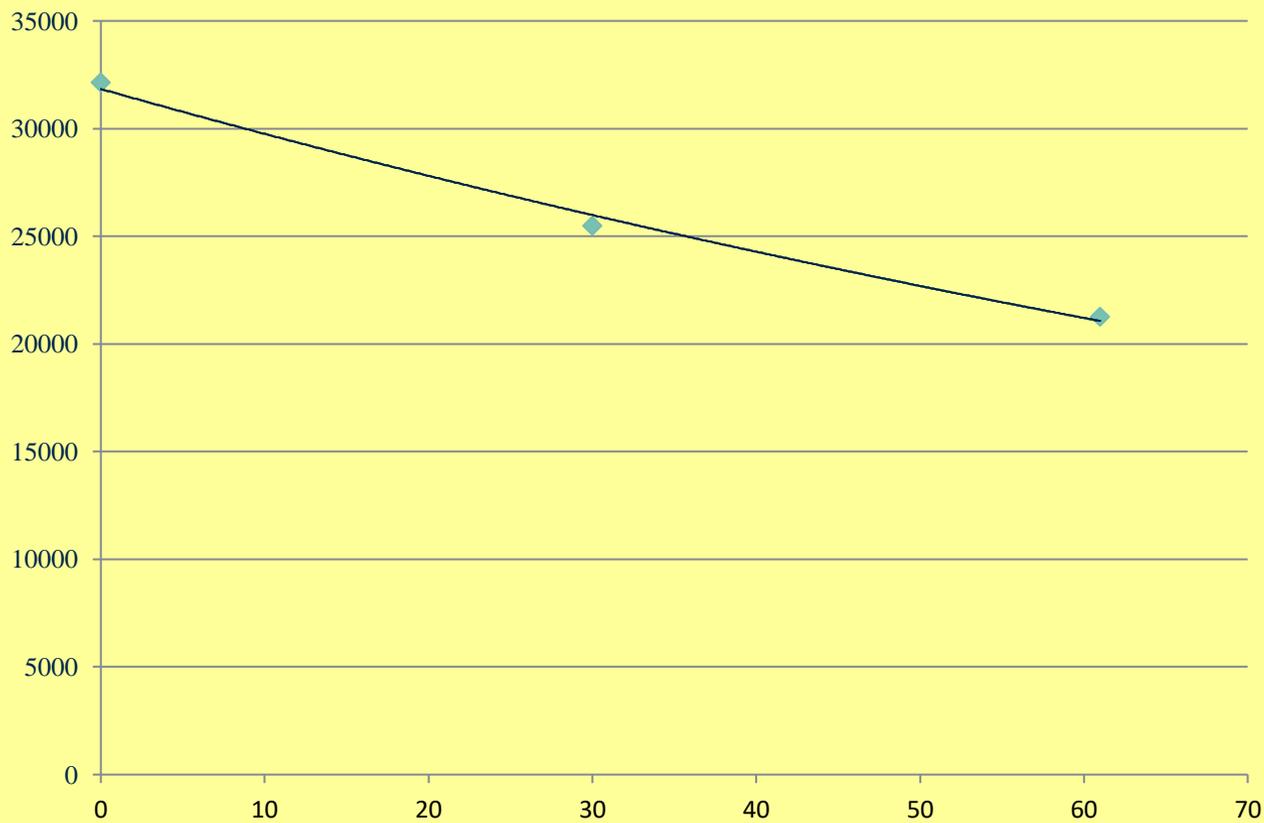
Misure ottobre 2020- Comune di Lequile (LE)

PUNTI MISURE (Profondità (cm)	Bq/cm3		Bq/m3
30	8842	±	941
60	20352	±	2142
90	33224	±	2446



Misure a Leverano (LE) Novembre 2020

Profondità	Bq/m3	±	Bq/m3
19	21267		1230
50	25495		1280
80	32158		1860



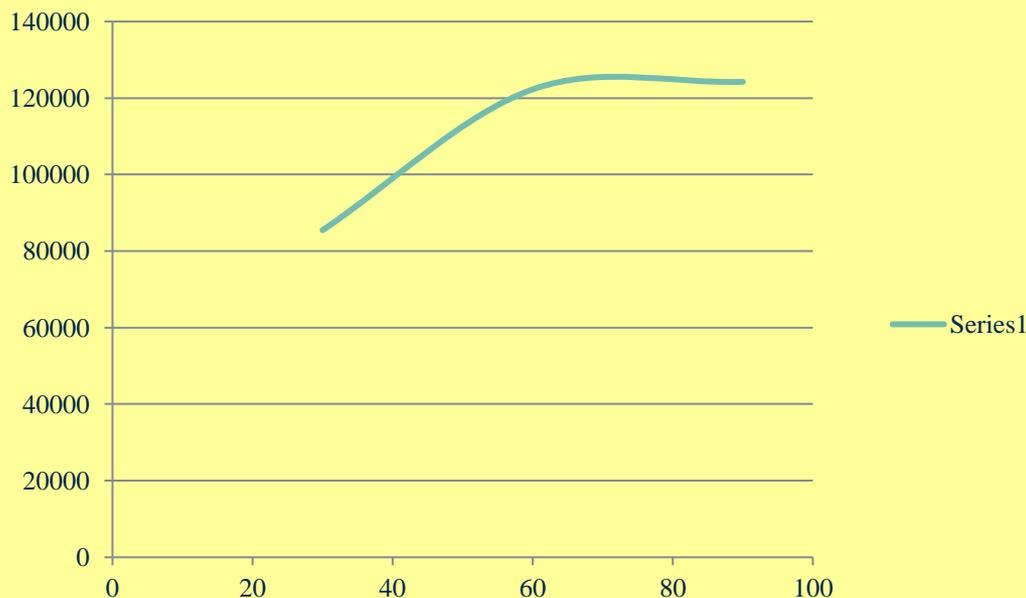
$$y = 31845e^{-0.007x}$$
$$R^2 = 0.9939$$

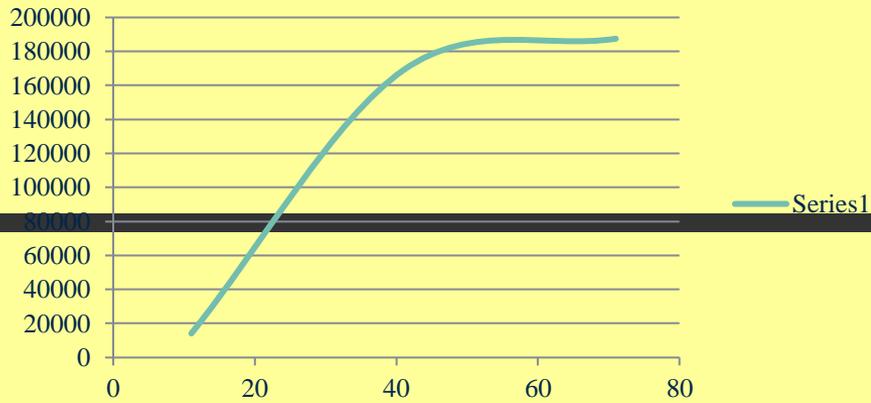
- ◆ Series1
- Expon. (Series1)
- Expon. (Series1)

La misurazione è stata effettuata dal 9-01-2018 al 13-01-2018 per complessive 97 ore. Il tempo è stato quasi sempre piovoso, per cui come si vede dalla figura N. 1 la massima concentrazione di radon si trova a 60 cm.

Località: FRIGOLE -LECCE

PUNTI MISURE (Profondità (cm)	Bq/cm3		Bq/m3
30	85446	±	8560
60	122277	±	10120
90	124280	±	9651





Profondità	Bq/m3	±	Bq/m3
11	14234		953
41	168959		11254
71	187368		11300

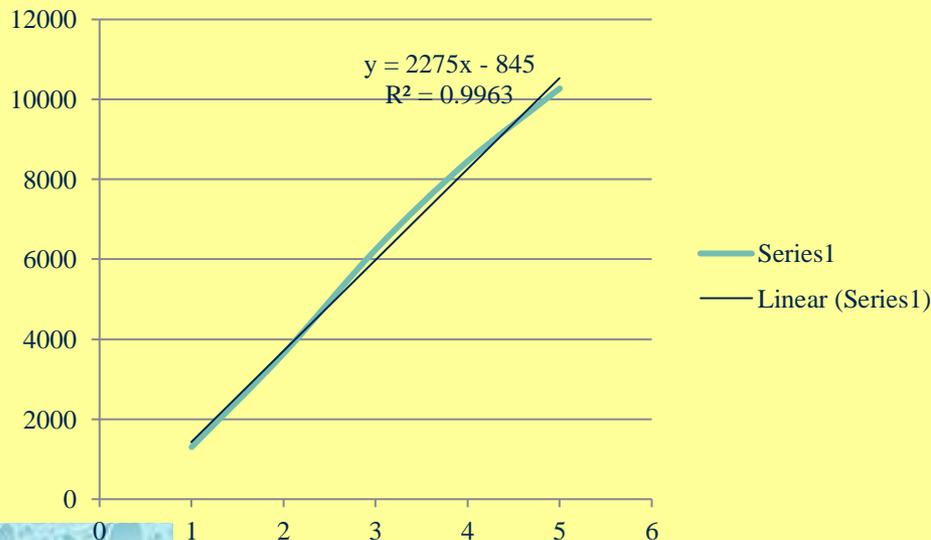
$$J_0 = \lambda L_D C_{A,\infty}$$

J_0 = Esalazione (Bq/(h*m²))

L_D = Lunghezza di Diffusione

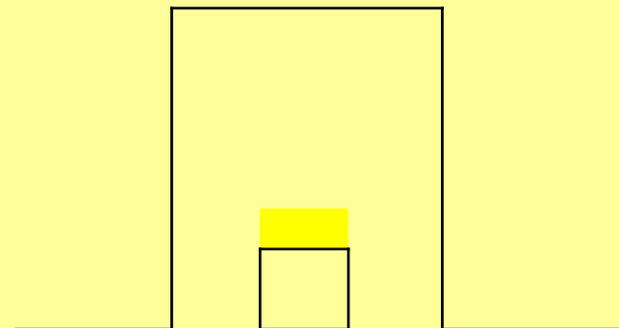
$C_{A=}$ = Concentrazione massima nel terreno

Ore	Bq/m3
1	1300
2	3640
3	6240
4	8450
5	10270

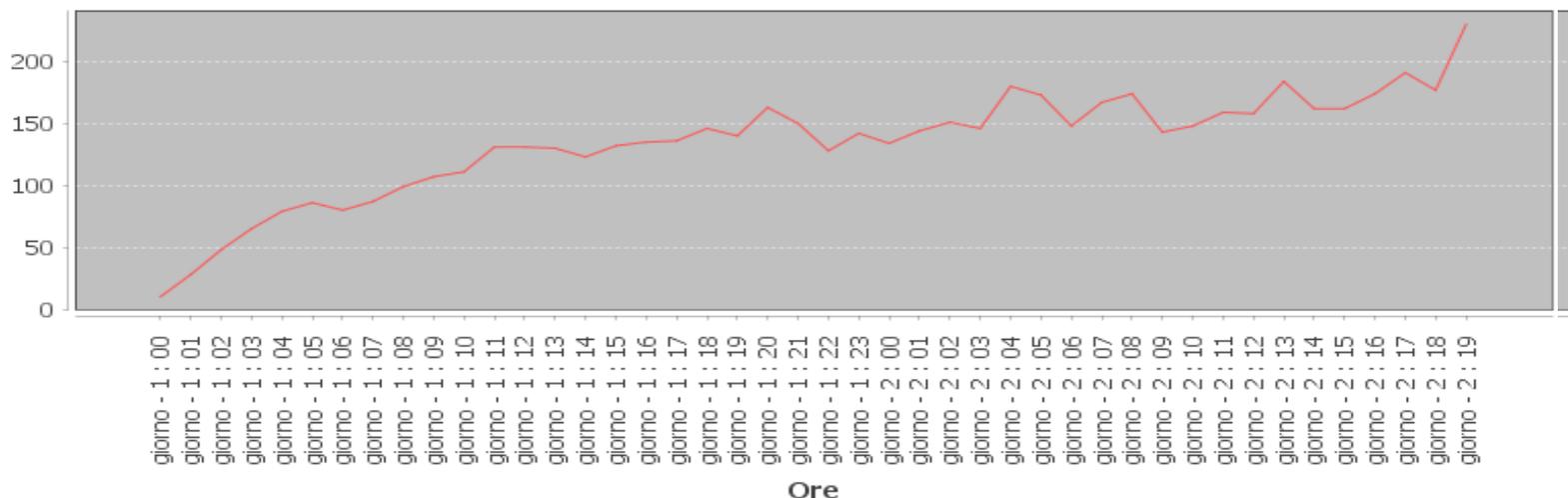


Terreno a Copertino. Misure ottobre 2020

Oltre alle misure nel terreno, è stata misurata l'eszalazione del Radon con un secchio all'interno del quale è stato posizionato (Figura in giallo) un dosimetro attivo con fotodiodo da 1 cmq della RADONGAS in fase di produzione.



Concentrazione gas radon





Standard CSN 730601 Repubblica Ceca.

CALCOLO delle SPESSORE DELLE MEMBRANE ANTI RADON sulla base:

- **Concentrazione massima di radon nel terreno;**
- **Coefficiente di Diffusione**

Equazione del trasporto del radon in una membrana

Ipotesi: Solo diffusione, una dimensione

1)

$$\frac{\partial C_{(x,t)}}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C_{(x,t)}}{\partial x^2} - \lambda \cdot C_{(x,t)}$$

Soluzioni dell'equazione 1)

C =Concentrazione di Radon all'interno

$$C = \frac{E.(A_f + A_w)}{n.V} \quad (\text{Bq/m}^3)$$

E = Rateo di esalazione all'interno

$$E = \frac{l.\lambda.C_s}{\sinh(d/l)} \quad (\text{Bq/m}^2.\text{h})$$

d =spessore della membrana in m

C_s =Concentrazione di Radon nel terreno (Bq/m³)

λ =costante di decadimento Radon (0,00756 1/h)

l = Lunghezza diffusione nella membrana= (m)

$$\sqrt{\frac{D}{\lambda}}$$

D =Coefficiente Diffusione membrana (m²/h)

d=spessore della guaina calcolata

$$d \geq l \cdot \operatorname{arcsinh} \frac{\alpha_1 \cdot l \cdot \lambda \cdot C_s \cdot (A_f + A_w)}{C_{dif} \cdot n \cdot V}$$

• Rimane da valutare la permeabilità del suolo, cioè il valore

α_1 = (7 suolo con alta permeabilità), (3 suolo permeabilità media), (2,1 suolo con permeabilità bassa).

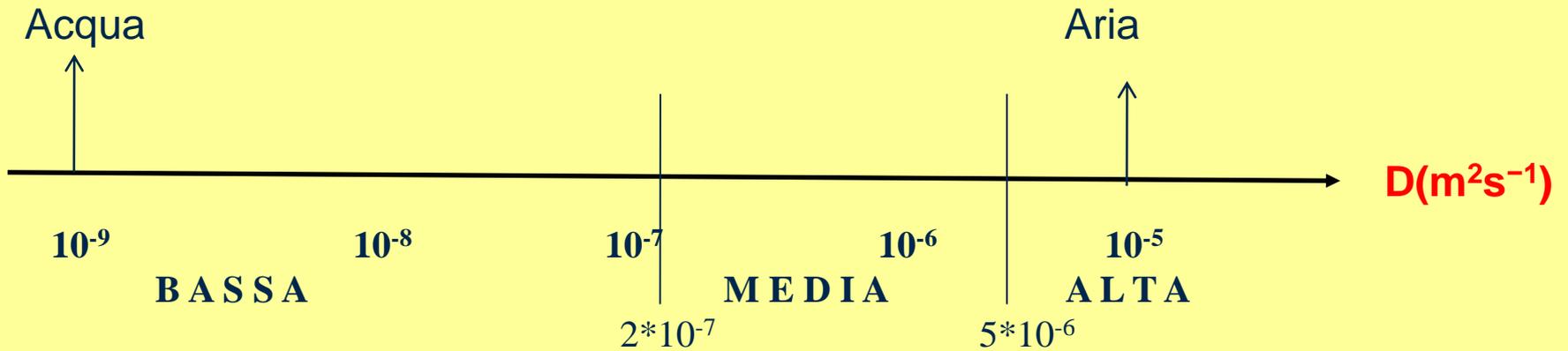
Valori di Alfa

$\alpha=7$ per Terreni con Bassa permeabilità

$\alpha=3$ per Terreni con Media permeabilità

$\alpha=2,1$ per Terreni con Alta permeabilità

Coefficienti di Diffusione ($D(\text{m}^2\text{s}^{-1})$)



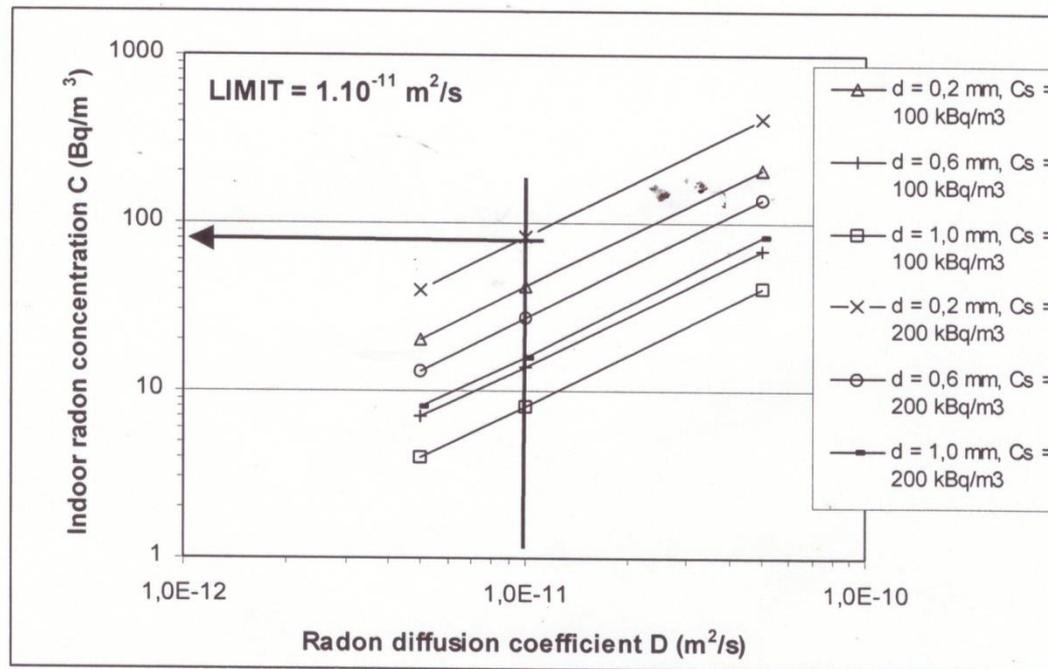
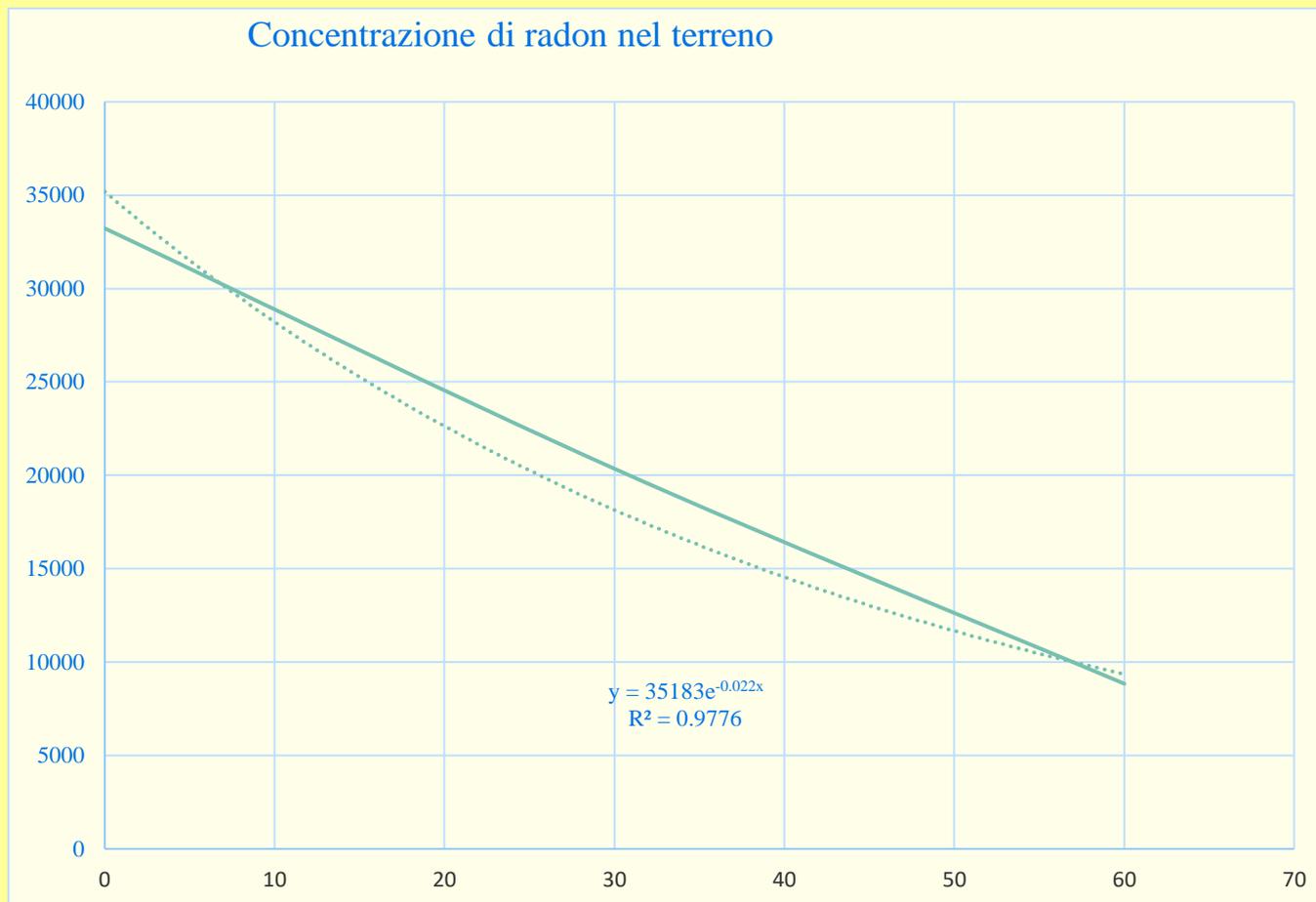


Fig. 4. Indoor radon concentration calculated for the house from the example. For chosen parameters diffusion through the membrane of $D = 1.10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ will be responsible for indoor radon concentration 80 Bq/m^3 , i.e. 40 % of the reference level 200 Bq/m^3 .

Misure ottobre 2020-Comune di Lequile (LE)

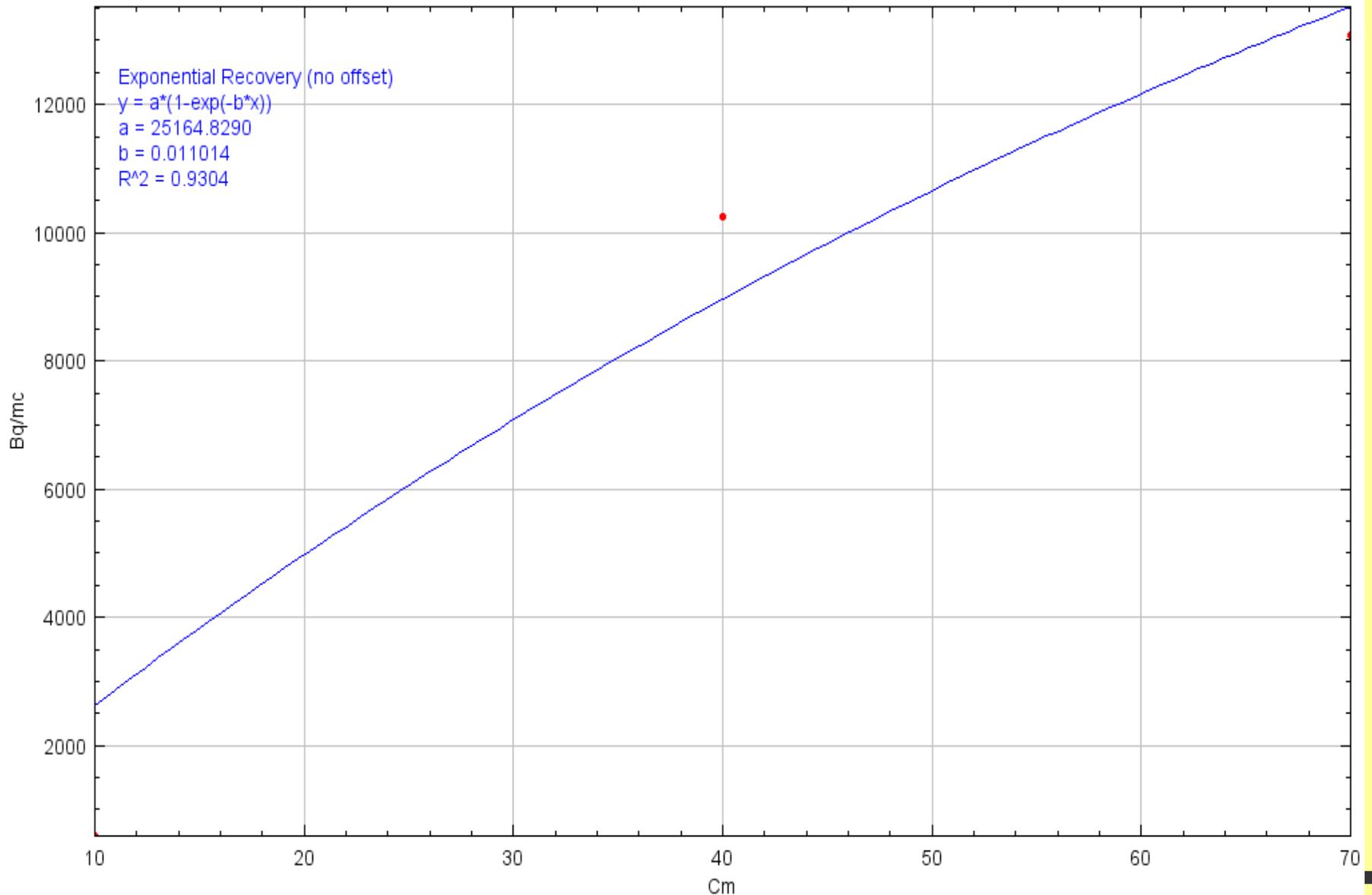
PUNTI MISURE (Profondità (cm)	Bq/cm3		Bq/m3
30	8842	±	941
60	20352	±	2142
90	33224	±	2446



AREA a rischio BASSO

Profondità (cm)	Bq/m ³
70	23076
40	10239
10	588

AREA a rischio BASSO



AREA a rischio BASSO

Coefficiente di diffusione: $L_D =$

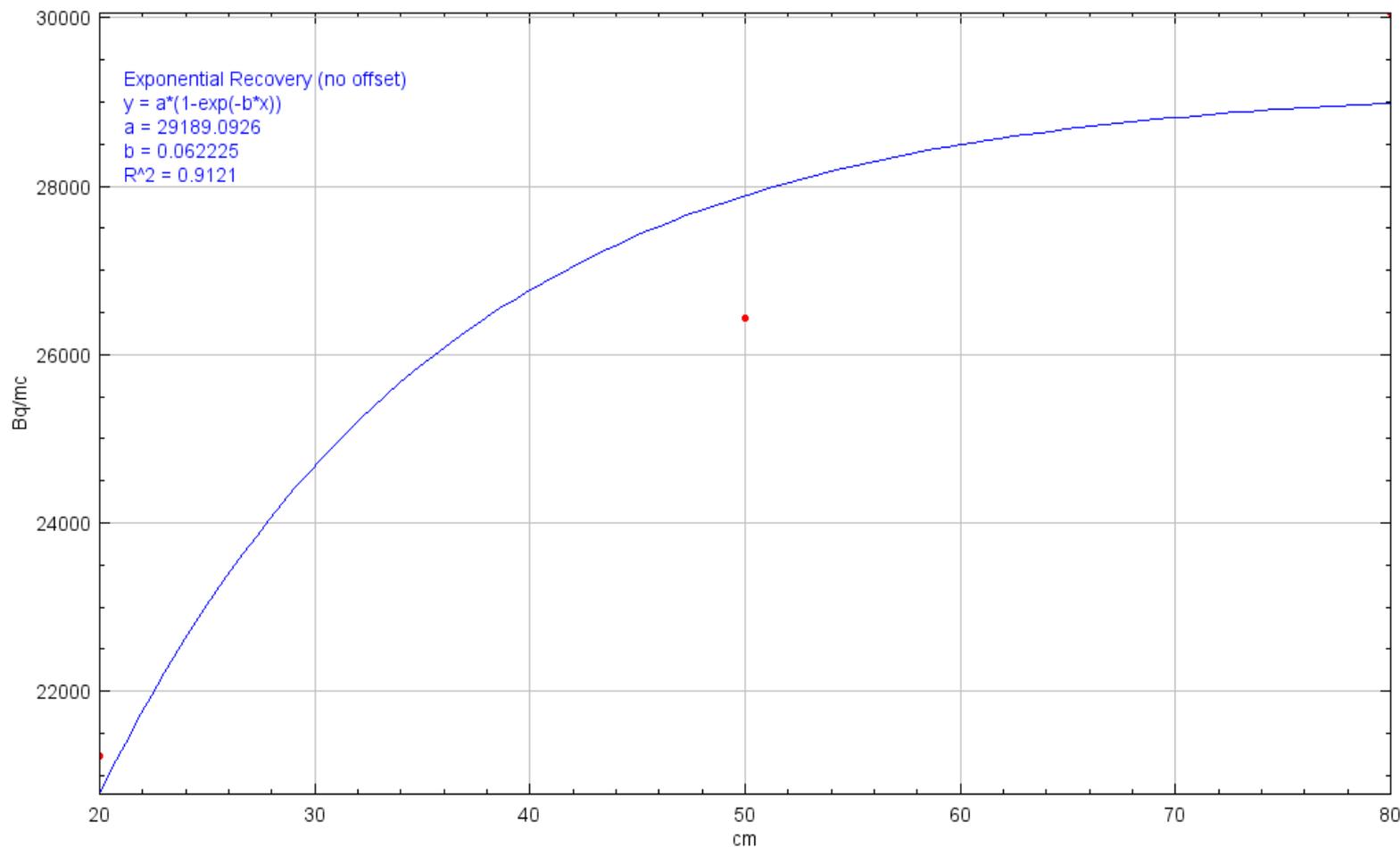
$$\sqrt{\frac{D_e}{\lambda}}$$

ovvero $D_e = 1,7267 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

AREA a rischio MEDIO

Profondità (cm)	Bq/m ³
80	30055
50	26438
20	21239

AREA a rischio MEDIO



AREA a rischio MEDIO

Coefficiente di diffusione: $L_D = \sqrt{\frac{D_e}{\lambda}}$

ovvero $D_e = 5,4142 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



I dosimetri passivi a tracce, accoppiati ad un radiatore, hanno raggiunto una tale accuratezza che possono essere utilizzati in qualunque matrice, superando le incertezze presenti in tutti i sistemi attivi, soprattutto quando questi perturbano l'ambiente in cui si vuole effettuare la misura della concentrazione di radon, come:

- Acqua
- Terreno

Nel terreno è la tecnica più affidabile in assoluto, perché:

- Non perturba il terreno
- E' insensibile all'umidità
- E' insensibile al Thoron
- E' insensibile ai campi elettromagnetici
- E' insensibile ad eventuali sostanze radioattive presenti nel terreno
- Non ha bisogno di calibrazioni da parte dell'utente
- E' a basso costo
- Permette di mappare nello stesso tempo molti punti del sito
- Si può decidere di misurare la concentrazione media di radon in 1,2,3,4,5 settimane ed avere una informazione utile ai fini edilizi, mentre la misura attiva dura solo qualche minuto e non è rappresentativa del sito.
- I dosimetri utilizzati possono essere riletti a distanza di tempo e avere una prova della misura effettuata.

INFINE: permette di misurare sia **la concentrazione massima** nel terreno che **Il coefficiente di diffusione, grandezze necessarie per caratterizzare un sito dal punto di vista del rischio al radon.**







