

IL THORON: MISURE IN AMBIENTI INTERNI

M. Magnoni, E. Chiaberto, E. Serena, F. Righino, S. Procopio
ARPA Piemonte – Centro Regionale per le Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti
Via Jervis 30 – Ivrea (TO)

INTRODUZIONE

Il ^{220}Rn , l'isotopo del radon appartenente alla famiglia radioattiva del Torio (^{232}Th), e per questo altrimenti conosciuto con il nome di Thoron, è caratterizzato da un'emivita molto breve ($t_{1/2} = 55,6$ s) che, a differenza di quanto accade con il ^{222}Rn ($t_{1/2} = 3,82$ giorni), ne limita fortemente la diffusione in ambiente.

Quantità apprezzabili di Thoron si possono trovare infatti solo nelle immediate vicinanze della matrice (roccia) che lo ha prodotto. In presenza però di rocce o materiali da costruzione che contengano elevati quantitativi di Torio, si possono avere, in ambienti confinati, significativi accumuli di Thoron; in questi casi può essere molto utile poter disporre di semplici sistemi di misura che consentano la simultanea misura di ^{222}Rn e ^{220}Rn . Un ulteriore motivo che giustifica un particolare interesse per il Thoron risiede nel fatto che esso, a parità di concentrazione, risulta più radiotossico del ^{222}Rn .

Sfortunatamente, la misura del ^{220}Rn è assai meno agevole di quella del ^{222}Rn , soprattutto se ci si restringe a considerare la categoria degli strumenti di tipo passivo (dosimetri), cioè di quei sistemi di misura che non necessitano di alimentazione elettrica e che sono quindi assai meno costosi e di più facile impiego anche su vasta scala.

In questo lavoro verranno pertanto presentati i primi risultati di alcune esperienze sulle misure di Thoron che abbiamo effettuato, impiegando una tecnica, quella degli elettreti (E-PERM), già ben nota e diffusa per la misura del ^{222}Rn .

IL THORON NEGLI AMBIENTI INTERNI ED ESTERNI: ASPETTI TEORICI

I livelli di ^{220}Rn normalmente presenti in atmosfera al livello del suolo si aggirano tipicamente attorno a 1 Bq/m^3 , solo di poco inferiori a quelli che sono in media i valori del ^{222}Rn ($5-6 \text{ Bq/m}^3$). Viceversa, considerando gli ambienti chiusi, la differenza tra i valori medi tipici di ^{220}Rn e ^{222}Rn si amplia notevolmente a favore del ^{222}Rn . Si può infatti dimostrare che, in un ambiente confinato caratterizzato da un tasso di ventilazione (ricambio d'aria) λ_v e da una identica introduzione [$\text{Bq}/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$] di ^{220}Rn e ^{222}Rn , il rapporto tra le concentrazioni medie all'equilibrio è dato da:

$$\frac{C_{Rn220}}{C_{Rn222}} = \frac{\lambda_v + \lambda_{Rn222}}{\lambda_v + \lambda_{Rn220}} \quad (1)$$

(vedi grafico in Figura 1).

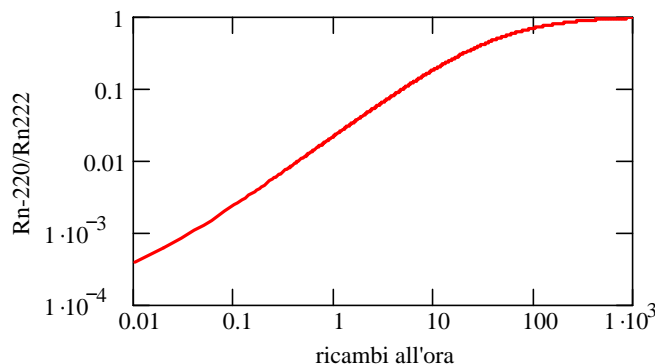


Figura 1: rapporto tra le concentrazioni di ^{220}Rn e ^{222}Rn in funzione del tasso di ventilazione in caso di uguale tasso di introduzione per i due radioisotopi

Considerando in particolare un tipico valore di λ_v (ad esempio $\lambda_v = 1 \text{ ora}^{-1}$), l'espressione si semplifica fino a diventare:

$$\frac{C_{Rn220}}{C_{Rn222}} = \frac{\lambda_v}{\lambda_{Rn220}} = 0,022 \quad (2)$$

da cui si ricava che, in condizioni normali, la concentrazione del ^{220}Rn in ambienti confinati è circa il 2% di quella del ^{222}Rn , cioè, tipicamente, di $1-2 \text{ Bq/m}^3$, un valore confrontabile con quello all'aperto.

La presenza del Thoron, sia pure indirettamente, può anche essere facilmente individuata effettuando misure di spettrometria γ . In tal caso gli isotopi di riferimento da cercare sono il ^{212}Pb e il ^{208}Tl , che hanno intense emissioni γ . La concentrazione media di Thoron all'equilibrio in un'abitazione può essere, con buona approssimazione, espressa in funzione di quella dei suoi figli, e in particolare del ^{212}Pb nel seguente modo:

$$C_{Rn220} = \frac{\lambda_* + \lambda_{Pb212}}{\lambda_{Pb212}} \cdot C_{Pb212} \quad (3)$$

dove λ_* è una costante di rimozione per il ^{212}Pb che tiene conto della ventilazione del locale e del fenomeno del cosiddetto plateau.

Eseguendo misure di Thoron gas in ambienti confinati caratterizzati da materiali da costruzione contenenti apprezzabili quantitativi di ^{232}Th , occorre tenere presente che la concentrazione di ^{220}Rn risulta fortemente disomogenea, con un marcato massimo in prossimità delle pareti che fungono da sorgente di Thoron. Considerando il solo meccanismo diffusivo, il profilo di concentrazione del ^{220}Rn risulta descritto dall'equazione:

$$C_{Rn220}(z) = C_{Rn220}(0) \cdot e^{-\sqrt{\frac{\lambda_{Rn220}}{D}} \cdot z} \quad (4)$$

dove D è la costante di diffusione in aria per gli isotopi del radon. In Figura 2 è mostrato un tipico profilo della concentrazione di Thoron, espresso in unità arbitrarie.

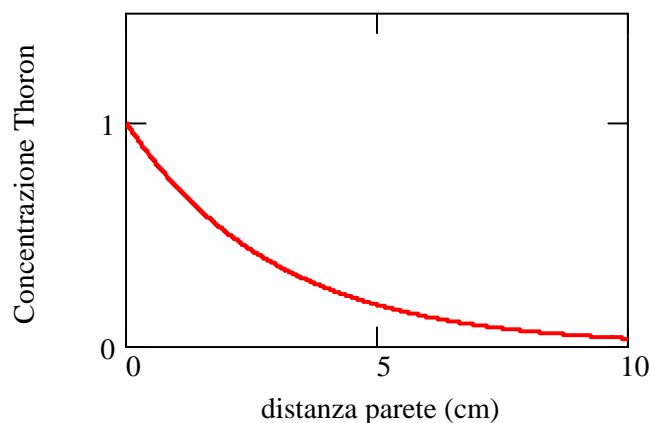


Figura 2: tipico profilo della concentrazione di ^{220}Rn in funzione della distanza da un piano infinito (parete) che funge da sorgente emanante; il calcolo è stato eseguito secondo la (4), con $D = 1.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

E' interessante notare infine che i valori tipici dei figli del ^{220}Rn (cioè del ^{212}Pb e del ^{208}Tl) nell'atmosfera libera sono normalmente piuttosto bassi: tipicamente dell'ordine di una decina di mBq/m^3 . Tuttavia, in questi casi, una deduzione teorica della concentrazione di ^{220}Rn a partire da quella dei figli non può essere fatta, neppure in prima approssimazione, impiegando l'equazione (3), dal momento che i meccanismi di diluizione verticale che operano in queste circostanze non possono essere descritti con semplici cinetiche del I ordine, ma occorre tener conto di meccanismi di tipo diffusivo e di mescolamento verticale che rendono la concentrazione del ^{220}Rn (e del ^{212}Pb) assai dipendente dalla distanza dal suolo, rendendo in tal modo privo

di significato la definizione di un valore medio atmosferico per il Thoron. Le considerazioni che verranno svolte in questo lavoro non potranno pertanto essere estese al caso delle misure di Thoron in atmosfera.

PROCEDURE SPERIMENTALI

Le misure di Thoron in campo sono state condotte utilizzando il sistema passivo R-T E-PERM, (Radon – Thoron - Electret – Passive Environmental Radon Monitor) ovvero utilizzando dispositivi costituiti da una camera a ionizzazione ad elettret (un disco di teflon caricato elettricamente che si scarica proporzionalmente alla ionizzazione prodotta dalla radiazione). Nello specifico abbiamo scelto la configurazione costituita da camere standard di tipo S ed elettreti di tipo LT (long-term).

I dosimetri R-T E-PERM sono una modifica del più noto dosimetro R E-PERM utilizzato normalmente per la misura della concentrazione di Radon, ottenuta praticando sul corpo della camera di tipo “S” una serie di aperture chiuse con nastro conduttivo in Tyvek® di 0.06 mm di spessore. In questo modo si ottiene un’area di diffusione di 30 cm² rispetto ai tradizionali 0,3 cm² degli R E-PERM permettendo così non solo al Radon ma anche al Thoron di diffondersi all’interno della camera a ionizzazione.

Il valore della concentrazione di attività del Thoron si ottiene come differenza tra la concentrazione di attività di Radon sommata a quella del Thoron, misurata dal dosimetro R-T E-PERM e quella del Radon soltanto, misurata dal dosimetro R E-PERM.

Sperimentalmente occorre quindi affiancare ai dosimetri R-T E-PERM, altri dosimetri di tipo E-PERM standard (R E-PERM), disegnati in modo da minimizzare il contributo del Thoron.

Poiché gli R E-PERM rispondono al Radon ed alla radiazione gamma mentre gli R-T E PERM rispondono al Radon, ai gamma ed anche al Thoron, è possibile ricavare il contributo dovuto al Thoron per differenza, tenendo conto opportunamente dei coefficienti di calibrazione dei dosimetri.

Per l’esecuzione delle misure si è scelta un’abitazione sita in Valle Cervo (BI), località rinomata per la presenza di una pregevole pietra ornamentale nota come “sienite della Balma”. Tale roccia magmatica intrusiva, che appartenente ad un plutone risalente all’Oligocene, è caratteristica della vallata alpina piemontese ed è stata diffusamente utilizzata in loco come esclusivo materiale da costruzione.

La sienite della Balma contiene concentrazioni elevate di radionuclidi appartenenti alla serie dell’Uranio ma anche del Torio (354 Bq/kg di ²³⁸U e 195 Bq/kg di ²³²Th).

Nell’abitazione scelta per effettuare le prove sperimentali si misurano mediamente concentrazioni di circa 1500 Bq/m³ di attività di ²²²Rn. In essa sono state scelte due zone di misura (A e B) nelle quali tre E-PERM di tipo R-T e due E-PERM di tipo R sono stati collocati a varie distanze dalla sorgente (muro in pietra a vista di sienite della Balma), in modo da poter registrare eventuali variazioni della concentrazione del gas Thoron in funzione della distanza dalla parete.

La dose gamma nelle zone di misura è risultata pari a 0,73 µSv/h.

Gli E-PERM sono stati posizionati in prossimità della parete e a distanze crescenti. La disposizione sperimentale nella zona di misura A, indicata nella Figura 3a, è stata mantenuta per un periodo di misura di 26 giorni.

Nella zona di misura B, gli E-PERM sono stati posizionati in maniera analoga per un periodo di 12 giorni (vedi Figura 3a); nei successivi 15 giorni, è stata adottata una diversa configurazione in modo da verificare eventuali interferenze tra i campionatori (Figura 3b).

In prossimità delle zone di misure A e B è stato inoltre collocato un misuratore in continuo “Alphaguard” in modo da ottenere un valore di concentrazione Radon da confrontarsi con quello rivelato con il metodo E-PERM. In Figura 4 è illustrato l’intero apparato sperimentale.

Oltre alle misure con gli E-PERM, sono state eseguite nella stessa abitazione anche misure di spettrometria gamma (HPGe) sul particolato atmosferico aspirato per circa 24 ore su filtro di carta, tramite apposita pompa. Ciò ha consentito di calcolare la concentrazione dei prodotti di decadimento a vita breve del Radon e del Thoron (²¹⁴Bi – ²¹⁴Pb e ²¹²Pb) presenti nell’atmosfera interna della casa.

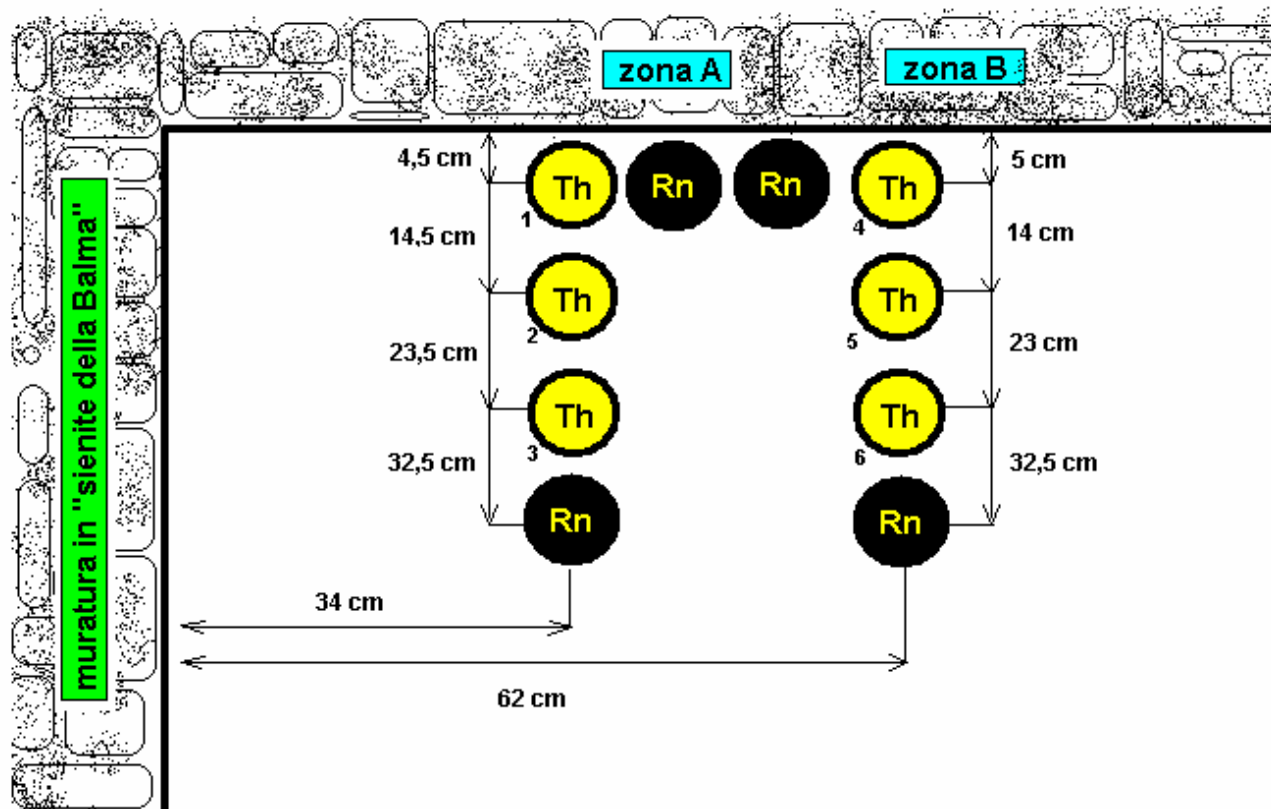


Figura 3a: schema sperimentale - posizione dei dosimetri RT EPERM (Th) e R EPERM (Rn).

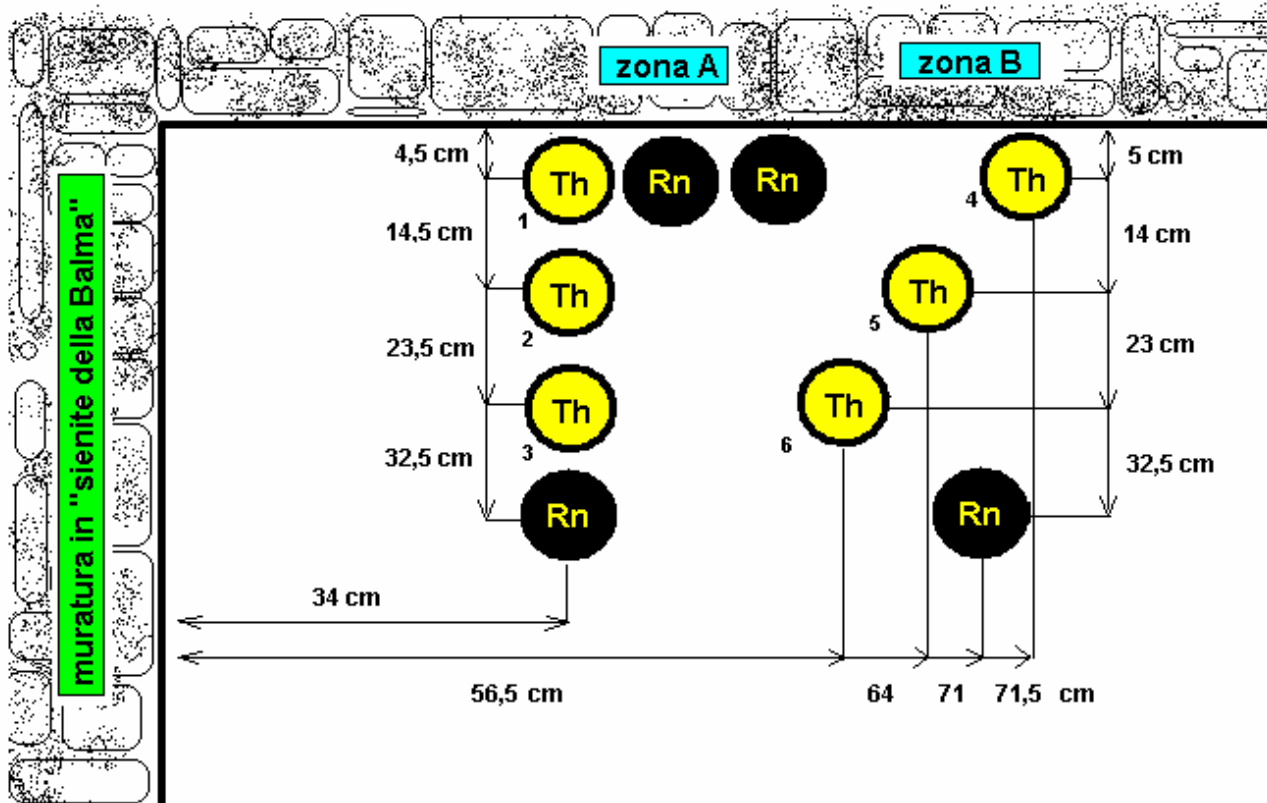


Figura 3b: schema sperimentale modificato.



Figura 4: apparato sperimentale di misura.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Dalle letture dei dosimetri ad elettretre sono state calcolate le concentrazioni riportate in tabella 1.

Tabella 1 : Risultati delle misure di Radon e Thoron

ZONA A (E-PERM posizionati in linea retta)					
PERIODO DI MISURA		CTh 1 (Bq/m ³)	CTh 2 (Bq/m ³)	CTh 3 (Bq/m ³)	CRn (Bq/m ³)
3/3/06 11.10	8/3/06 10.35	27.5 ± 3.4	9.4 ± 3.4	6.2 ± 3.4	1384 ± 99
3/3/06 11.10	14/3/06 10.50	33.3 ± 2.8	9.8 ± 2.8	7.7 ± 2.8	1556.6 ± 111.7
3/3/06 11.10	29/3/06 10.30	32.5 ± 2.4	10.6 ± 2.4	9.8 ± 2.4	1475.5 ± 86.9
ZONA B (E-PERM posizionati in linea retta)					
PERIODO DI MISURA		CTh 4 (Bq/m ³)	CTh 5 (Bq/m ³)	CTh 6 (Bq/m ³)	CRn (Bq/m ³)
3/3/06 11.10	8/3/06 10.35	45.5 ± 3.4	9.5 ± 3.4	6.8 ± 3.4	1384. ± 99
3/3/06 11.10	14/3/06 10.50	31.5 ± 2.8	6.1 ± 2.8	6.9 ± 2.8	1556.6 ± 111.7
ZONA B (E-PERM posizionati in linea obliqua)					
PERIODO DI MISURA		CTh 4 (Bq/m ³)	CTh 5 (Bq/m ³)	CTh 6 (Bq/m ³)	CRn (Bq/m ³)
14/3/06 10.50	29/3/06 10.30	21.8 ± 2.5	7.4 ± 2.5	7.4 ± 2.5	1409.4 ± 100.3

L'insieme di questi risultati mostra una evidente disomogeneità spaziale delle concentrazioni di Thoron, come previsto dalla teoria: i livelli rilevati in prossimità della parete (4,5 – 5 cm) variano da un minimo di 21,8 Bq/m³ a un massimo di 45,5 Bq/m³, con un valore medio di 32 Bq/m³. A distanze maggiori (> 14 cm), i dati tendono ad un valore medio di 8,1 Bq/m³. Eseguendo quindi sulla base di tutti questi dati una regressione esponenziale secondo la (4), si possono ottenere i valori della concentrazione di Thoron in prossimità della parete [$C_{Rn220}(0)$] e una stima del coefficiente di diffusione D. Si ottiene allora: $C_{Rn220}(0)=43$ Bq/m³ e $D=1,8 \cdot 10^{-4}$ m²/s. Il valore di D risulta superiore di circa un ordine di grandezza rispetto a quello teorico in aria, impiegato nella (4); ciò è plausibile e sta ad indicare che, nel caso reale, non agisce solamente un fenomeno diffusivo ma vi è anche una componente dovuta al trasporto. In Figura 5 è mostrato un confronto tra i dati sperimentali e l'andamento teorico puramente diffusivo.

In Tabella 2 è riportato invece il risultato della misura del ²¹²Pb, effettuata tramite spettrometria gamma, con indicate tutte le correzioni necessarie per ottenere un dato confrontabile con quello del ²²⁰Rn. Il valore da considerare per il ²¹²Pb è dunque pari a 4,68 Bq/m³, che può quindi essere paragonato con quello ottenuto con gli E-PERM tramite la (3): si può quindi ricavare sperimentalmente $\lambda_* = 0,045$ ore⁻¹. Si tratta di un valore

piuttosto basso per questo parametro (somma di ventilazione e plateout) che però è del tutto plausibile se si tiene conto del fatto che l'abitazione in cui erano installati i rivelatori e il campionatore di particolato atmosferico non era abitata durante l'esecuzione delle misure stesse.

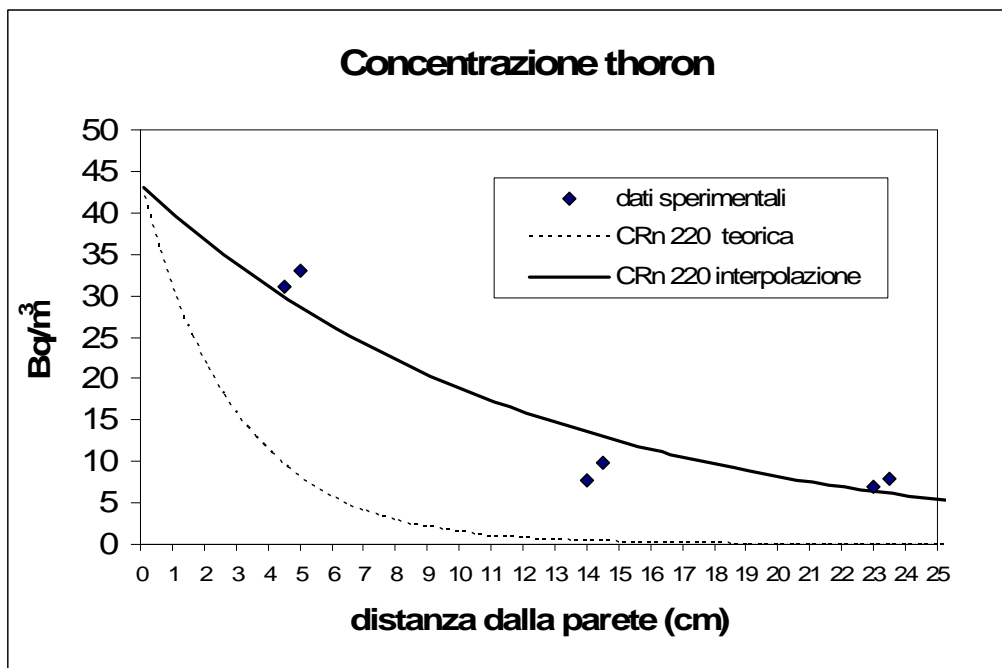


Figura 5: confronto tra i dati sperimentali (valori medi alle varie distanze), interpolazione degli stessi e andamento teorico puramente diffusivo (equazione (4)).

Tabella 2 : Risultati delle misure di ^{212}Pb

inizio aspirazione	29/03/2006 10:30
fine aspirazione	30/03/2006 10:35
data e ora acquisizione spettro	30/03/2006 12:25
tempo di acquisizione spettro	57600 s
^{212}Pb misurato direttamente sul campione	2,04 Bq/m ³
^{212}Pb corretto per il decadimento sul tempo acquisizione spettro	3,29 Bq/m ³
^{212}Pb corretto per il decadimento alla data fine aspirazione	3,70 Bq/m ³
^{212}Pb corretto per il tempo di aspirazione del particolato	4,68 Bq/m ³

CONCLUSIONI

L'impiego di dosimetri ad eletteti R-T E-PERM, accoppiati con dosimetri R E-PERM, si è dimostrato efficace nella misura dei livelli di concentrazione di Thoron in un'abitazione costruita con materiale che presenta contenuti piuttosto elevati sia di ^{238}U che di ^{232}Th . I livelli medi misurati di ^{220}Rn si aggirano attorno agli 8 Bq/m³ con un valore massimo in prossimità della parete di 45,5 Bq/m³. I livelli decisamente più contenuti rispetto al ^{222}Rn (media di 1456 Bq/m³), non rendono tuttavia trascurabile il ^{220}Rn a causa della maggiore radiotossicità dello stesso: a parità di EEC si ha infatti per il ^{220}Rn una PAEC superiore di un fattore 13,62.

Bibliografia

C. Nuccetelli and F. Bochicchio, "The Thoron issue: monitoring activities, measuring techniques and dose conversion factors", *Radiation Protection Dosimetry*, 78, 59-64, (1998).
 G. Carrera, M. Garavaglia, S. Magnoni, G. Valli, and R. Vecchi, "Natural Radioactivity and Radon Exhalation in Stony Material", *Journal of Environmental Radioactivity*, 34, 149-160, (1997).
 P. Kotrappa, "Modified E-PERM for passive measurement of Thoron in air", Rad. Elec. Inc., Manual Part II, 11. Thoron (1996).