

RADON NELL'ACQUA POTABILE DELLA PROVINCIA DI PARMA

Silvia Vaccari⁽¹⁾, Ermanno Papotti⁽¹⁾, Cesare Dalledonne⁽¹⁾, Mauro Bocciarelli⁽²⁾, Riccardo Franchini⁽³⁾

*(1) Servizio di Fisica Sanitaria, Università degli Studi di Parma, via Volturmo n.39, 43100 Parma
(2) ASCAA S.p.A., Via Verdi n. 14, 43100 Parma (3) Arpa Sez. Parma, Via Spalato 4, 43100*

INTRODUZIONE

Il Servizio di Fisica Sanitaria ha svolto un'indagine sul contenuto di Radon nelle acque potabili della rete idrica nella provincia di Parma.

Il Radon 222 è un radioisotopo di origine naturale di notevole rilevanza dal punto di vista sanitario. E' un isotopo della serie del decadimento dell'Uranio 238 e la sua presenza nell'ambiente è legata a quella del Radio 226 nelle rocce e nel terreno.

Poiché si tratta di un gas inerte, si muove liberamente attraverso il materiale poroso, come il terreno e i frammenti di roccia, e può dissolversi nell'acqua e venirne trasportato.

L'introduzione nel corpo umano avviene mediante l'inalazione del gas presente in aria o l'ingestione dello stesso disciolto in acqua.

Quest'ultima via di introduzione è la meno rilevante dal punto di vista dosimetrico, tuttavia l'utilizzazione dell'acqua contenente concentrazioni apprezzabili di gas Radon può rappresentare un'ulteriore via d'ingresso negli ambienti domestici.

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Il Rn-222 esiste in acqua come gas disciolto a livelli di concentrazione assai variabili (da poche decine a centinaia e più di Bq/l) che dipendono da diversi fattori di natura geochemica e fisica (3).

Solitamente si è rilevato nelle acque sotterranee una concentrazione di Rn decisamente superiore rispetto a quella del Ra-226. Tale fatto è imputabile alla propensione del Rn a diffondere attraverso i pori delle particelle del suolo per decadimento del Ra-226 presente nei solidi dell'acquifero (4).

Infatti il Rn, essendo di natura gassosa ed avendo una spiccata inerzia reattiva, tende facilmente a diffondere attraverso la porosità del suolo solubilizzandosi in acqua (presenza di Rn negli acquiferi) oppure disperdendosi direttamente in aria.

Le caratteristiche di fratturazione e di alterazione della roccia condizionano il passaggio del Radon dai granuli al liquido circostante; le condizioni di flusso dell'acqua condizionano il tragitto fino alla sorgente e al pozzo.

Nelle acque superficiali le concentrazioni di Rn-222 sono solitamente molto basse (con valori molto al di sotto di 1 Bq/l), a causa dell'elevata volatilità e del breve tempo di dimezzamento, e vanno aumentando nelle acque provenienti da falde acquifere di rocce sedimentarie (con valori nel range di 1-50 Bq/l), fino a valori di circa 10-300 Bq/l nel caso di pozzi.

Le concentrazioni più elevate sono frequentemente associate ad alte concentrazioni di Uranio nelle rocce circostanti.

Nel caso delle acque potabili, i livelli di attività del Radon sono fortemente influenzati dalle caratteristiche del pozzo, dal sistema di distribuzione e dalle modalità delle operazioni di potabilizzazione.

E' stato stimato che il coefficiente di trasferimento del Radon dall'acqua all'aria indoor è di circa 10^{-4} ; il contributo all'aria indoor derivante dal Radon presente nell'acqua potabile varia da 1 a 7 % del livello totale in aria indoor di Radon (5).

MATERIALI E METODI

Le determinazioni radiometriche sono state effettuate presso il laboratorio del Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università di Parma, dove sono stati portati i campioni d'acqua prelevati nei vari pozzi della provincia.

La natura gassosa del Radon e la sua conseguente propensione alla fuoriuscita dalla matrice liquida in cui è disciolto, rendono particolarmente critiche le procedure di manipolazione dei campioni di acqua.

Particolare attenzione è stata quindi posta sia alla fase di prelievo che a quella di misura del Radon in acqua affinché, data la sua spiccata volatilità ed il tempo di dimezzamento relativamente breve, non si verificassero perdite considerevoli in brevi intervalli di tempo. In particolare durante il prelievo si è cercato di minimizzare gli scambi d'aria con l'esterno e di evitare la manipolazione dei campioni d'acqua all'aria aperta. I campioni d'acqua sono stati inseriti in opportuni contenitori in vetro da 0,5 litri opportunamente sigillati e le misure del Radon disciolto in acqua sono state effettuate mediante il sistema di deemanazione e relativa misura con camera a ionizzazione (AlphaGUARD PQ2000 PRO, Genitron Instruments).

Con questa tecnica i campioni vengono degassati in modo da separare la fase gassosa disciolta, la quale dovrebbe contenere il Radon, da quella liquida (6).

Ciò viene assicurato tramite un apposito dispositivo (AquaKIT con AlphaPUMP, Genitron Instruments) che trasferisce il Radon presente nel campione alla camera a ionizzazione.

La relazione che consente di determinare la concentrazione effettiva di Radon nei campioni d'acqua analizzati è la seguente:

$$c_w = c_a \times [(V_{\text{Sys}} - V_{\text{Sam}}) / V_{\text{Sam}} + k] - c_o$$

dove: c_w = concentrazione di Rn nel campione d'acqua (Bq/l)

c_a = concentrazione di Rn nel set-up di misura dopo la deemanazione del Radon (Bq/l)

c_o = concentrazione di Rn nel set-up di misura prima dell'analisi, ossia livello zero (Bq/l)

V_{Sys} = volume interno del set-up di misura (ml)

V_{Sam} = volume del campione d'acqua (ml)

k = coefficiente di diffusione del radon (varia in funzione della temperatura)

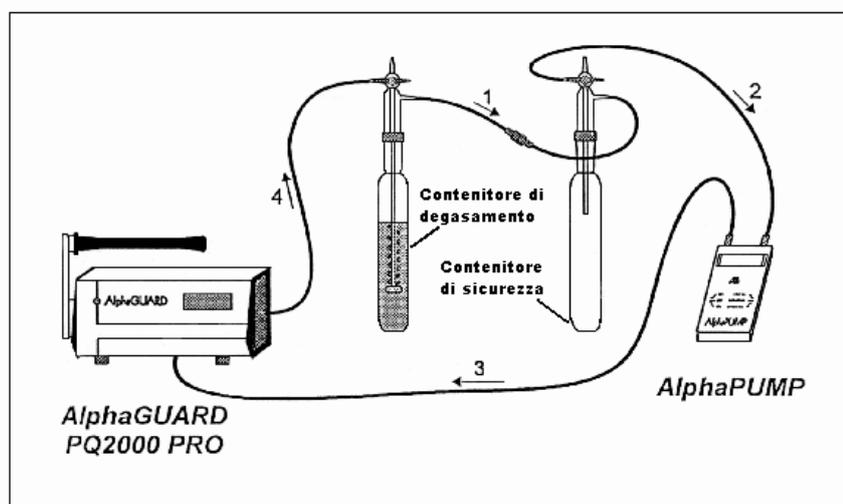


Figura 1. Sistema AlphaGUARD - Genitron Instruments

Il tempo stimato per la misura di un singolo campione risulta essere di circa un'ora.

La misura può essere fatta sul posto oppure, dopo il prelievo del campione di acqua, in laboratorio.

Le fasi più delicate della misura sono perciò il campionamento, che deve essere effettuato in modo da evitare scambi in atmosfera, e la procedura di degassamento, che deve essere effettuata in modo da liberare completamente il gas disciolto. Queste fasi influenzano l'accuratezza e la riproducibilità dei risultati.

La sensibilità del metodo impiegato è risultata essere di 0,5 Bq/l.

E' possibile, allungando i tempi di misura, aumentare ancora la sensibilità del metodo. Tuttavia per gli scopi di questo lavoro si è ritenuto che i valori di sensibilità indicati fossero adeguati.

I risultati ottenuti con questa procedura sono stati poi corretti per il decadimento radioattivo: il Radon ha infatti un'emivita di 3,82 giorni. Ciò significa che le misure sui campioni dovevano essere eseguite entro poco tempo dal campionamento (al massimo un giorno o due) e che era necessario tenere conto precisamente dell'istante del prelievo (giorno e ora).

SISTEMA DI DISTRIBUZIONE E DI CONTROLLO DELL'ACQUA

IL SISTEMA ACQUIFERO SOTTERRANEO PARMENSE

Il sistema acquifero principale della pianura parmense figura 2, cioè quello maggiormente sfruttato per il rifornimento idrico pubblico e non, è quello coincidente con i depositi alluvionali quaternari ed in particolare con i depositi ghiaiosi riferibili alle conoidi alluvionali oloceniche del fiume Taro e del torrente Parma; estesi dall'alta alla bassa pianura, sino al limite con l'unità idrogeologica del fiume Po, tali acquiferi hanno un limite inferiore localizzato al contatto con i depositi marini pleistocenici, in cui si verifica l'interfaccia acqua dolce/acqua salata e la cui conformazione è controllata dall'andamento delle strutture geologiche sepolte.

Il sistema acquifero principale è in realtà costituito da una serie di acquiferi sovrapposti, localizzati entro i sedimenti alluvionali grossolani, ossia entro depositi formati prevalentemente da alternanze di sabbie e ghiaie e conglomerati, con intercalazioni di limi ed argille. Il serbatoio idrico sotterraneo è quindi formato da depositi a permeabilità molto variabile, che ne condiziona il comportamento idraulico.

La ricarica del sistema acquifero avviene per lo più nelle aree di alta pianura ad opera delle dispersioni di subalveo dei corsi d'acqua e delle infiltrazioni delle acque meteoriche: in queste aree si hanno condizioni di falda libera o semiconfinata. All'altezza della via Emilia la maggiore estensione e continuità delle coperture a granulometria fine, nonché l'aumento delle intercalazioni di strati di argilla o limi, a minore permeabilità, determinano condizioni di acquifero compartimentato o confinato, con falda in pressione (19).

RISULTATI

I prelievi sono stati effettuati nei punti di alimentazione degli acquedotti della rete idrica dei comuni di Parma, Fidenza_Noceto e Fontanellato .

La mappa mostra la posizione dei pozzi esaminati.

I risultati ottenuti, la media dei quali si aggira sul valore di 8,0 Bq/l, indicano una certa uniformità dei valori di radon per le acque esaminate e un livello generale di concentrazione medio-basso. Inoltre si può escludere la presenza di livelli anomali che, anche senza presentare rilevanza dosimetrica e sanitaria, dovrebbero essere però studiati con ulteriori indagini ed approfondimenti.

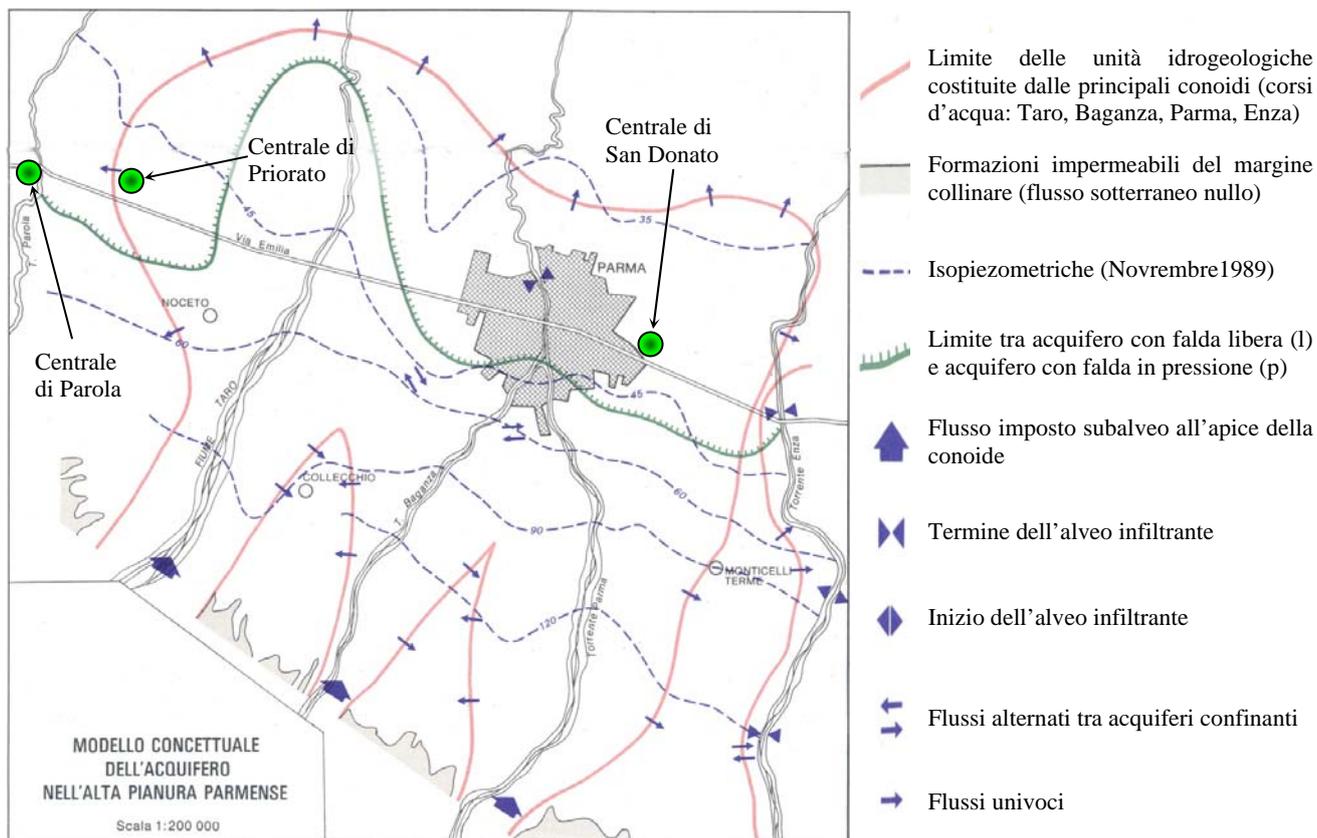


Figura 2. Modello concettuale dell'acquifero dell'alta pianura parmense (19).

CAMPIONE	COMUNE	PERIODO	CONCENTRAZIONE RADON (Bq/l)		
					Media
Parola 1	FONTANELLATO	30/09/2002 29/09/2003	7,5	8,2	7,8
Parola 2	FONTANELLATO	30/09/2002 29/09/2003	7,3	10,9	9,1
Badesse 3	FONTANELLATO	30/09/2002 29/09/2003	9,5	12,5	11,0
Badesse 4	FONTANELLATO	30/09/2002 29/09/2003	10,0	8,2	9,1
Case Villa 5	NOCETO	30/09/2002 29/09/2003	9,2	7,5	8,4
Case Villa 6	NOCETO	30/09/2002 29/09/2003	8,8	7,9	8,4
Priorato 2	FONTANELLATO	08/10/2002 30/09/2003	8,4	9,4	8,9
Priorato 3	FONTANELLATO	08/10/2002 30/09/2003	8,4	8,7	8,6
Priorato 4	FONTANELLATO	08/10/2002 30/09/2003	4,7	9,4	7,1
Priorato 5	FONTANELLATO	08/10/2002 30/09/2003	6,4	5,0	5,7
Priorato 6	FONTANELLATO	08/10/2002 30/09/2003	5,2	11,1	8,2
S.Donato Emilia 1	PARMA	07/11/2002 01/10/2003	2,0	4,6	3,3
S.Donato Ferrovia 2	PARMA	07/11/2002 01/10/2003	7,3	8,8	8,1

Tabella 1. Valori delle concentrazioni di Radon rilevati dai campionamenti effettuati presso i pozzi della provincia di Parma.

VALUTAZIONI DOSIMETRICHE E RISCHIO RADIOLOGICO

Per completare una qualunque indagine sulla radioattività ambientale è necessario correlare i dati ottenuti a valutazioni dosimetriche.

Il Radon presente nell'acqua può causare un'esposizione umana attraverso ingestione ed inalazione, contribuendo, in alcuni casi, a dosi supplementari che non dovrebbero essere ignorate da un punto di vista della protezione dalle radiazioni.

Studi epidemiologici hanno dimostrato che il rischio associato all'ingestione di acqua contenente Radon è alquanto limitato (10): si calcola infatti che un consumo quotidiano di 2 litri di acqua con una concentrazione di radon di 100 Bq/l, possa fornire una dose di circa 0,3 mSv/anno (11).

Anche nel nostro caso, perciò, abbiamo cercato di fare una stima della dose ricevuta dalla popolazione in seguito al consumo dell'acqua potabile.

E' del tutto evidente che, per effettuare una valutazione credibile, occorre anzitutto fare una stima dei consumi di quest'acqua.

In prima fase si può fare l'assunzione che l'acqua consumata dagli abitanti (in media si suole stimare un quantitativo di 2 litri al giorno) sia di esclusiva provenienza locale. Viene cioè trascurato l'eventuale apporto di acqua da altre zone (molto probabile soprattutto per quanto riguarda l'acqua minerale, il cui consumo medio a livello nazionale è di ben 0,4 litri al giorno). Questa assunzione può però ritenersi, in generale, abbastanza conservativa, se si tiene conto dei livelli medi di concentrazioni di Radon nelle acque minerali imbottigliate e del decadimento che intercorre dal loro imbottigliamento all'effettivo consumo.

Una seconda, necessaria, assunzione è che le acque campionate siano rappresentative rispetto a quelle effettivamente consumate dalla popolazione.

Una terza assunzione infine ci porta a considerare come significativo il valore medio precedentemente calcolato.

Sulla base di queste ipotesi è dunque possibile calcolare la dose media annuale da ingestione dovuta al Radon per la popolazione. Si possono utilizzare a questo scopo i fattori di conversione (Sv/Bq), deducibili dalla Raccomandazione della Commissione delle Comunità Europee (12) che considera il valore di $0,35 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq desunto dal trattato del comitato statunitense National Research Council del 1998 (13).

Dalle ipotesi fatte si arriva a valutare una dose media annuale da ingestione in termini di circa 0,021 mSv a persona.

La *Raccomandazione della Commissione sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile* (12) indica che l'aumento della concentrazione di Radon negli ambienti chiusi, causato dall'acqua delle condotte idriche con 1000 Bq/l di Radon, può arrivare a circa 100 Bq/m³ e che nel caso di approvvigionamento idrico, valutando ingestione e inalazione, la dose efficace annuale connessa ad un'acqua con 1000 Bq/l di Radon può essere confrontata con quella causata da una concentrazione di Radon in ambiente pari a 200 Bq/m³.

Nel nostro caso quindi, facendo le dovute proporzioni, non sembra minimamente influire l'apporto del contributo fornito dall'acqua avente una concentrazione media di 8,0 Bq/l sul valore medio delle concentrazioni di Radon indoor (circa 43 Bq/m³ media regionale) rilevate in questa zona (14).

Come si può vedere, le dosi sono assai contenute: se si confrontano i valori con le dosi medie totali comprensive della radioattività naturale e di quella artificiale, si può tranquillamente affermare che il contributo di dose dovuto al Radon in acqua può essere considerato trascurabile.

Non esistendo un valore limite nella legislazione italiana per la concentrazione di Radon in acqua potabile, possiamo confrontare i valori trovati con i limiti proposti da organismi internazionali in modo da poter definire valutazioni dosimetriche e considerazioni in tema di rischio radiologico. Negli Stati Uniti l'EPA (15) suggerì un limite per le acque potabili di 11 Bq/l, superato il quale venivano raccomandati interventi di riduzione. Più recentemente, con il Safe Drinking Water Act

(16) la legislazione americana ha rigettato il limite di 11 Bq/l e si andrà, probabilmente, verso un innalzamento della soglia fino a 15 Bq/l.

Bisogna però rammentare che la limitazione del contenuto di Radon nelle acque potabili trova la sua giustificazione non tanto nella limitazione della dose da ingestione, la quale come si è visto è piuttosto contenuta, quanto piuttosto nel fatto che un'acqua con elevati livelli di Radon può contribuire all'innalzamento della concentrazione di Radon all'interno dell'abitazione.

A questo proposito ricordiamo comunque che, quando i campionamenti vengono effettuati non direttamente nelle abitazioni, ma bensì nei pozzi a monte di esse, i risultati ottenuti rappresentano una sovrastima del Radon effettivamente presente nell'acqua che scaturisce dai rubinetti domestici.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Dai dati ottenuti si può affermare che il Radon disciolto nelle acque potabili non costituisce un rischio radiologico diretto per la popolazione.

E' ormai da tempo risaputo che l'inalazione da Radon può provocare seri danni a livello polmonare (17, 18, 19); da studi epidemiologici, al contrario, è risultato che il rischio associato all'ingestione d'acqua contenente Radon è molto contenuto (10, 20).

E' per questo motivo che la concentrazione di Radon nell'acqua potabile non è ancora regolamentata da una normativa a livello nazionale. Di recente si può affermare che, in base alla direttiva comunitaria già citata (12), non sono necessarie azioni correttive se la concentrazione è inferiore a 100 Bq/l, mentre oltre questo limite occorre che gli Stati membri definiscano un livello di riferimento per il Radon da utilizzare in caso siano necessarie azioni correttive per tutelare la salute umana. Nei casi invece di concentrazioni superiori ai 1000 Bq/l, si ritiene che un'azione correttiva sia giustificata in base a criteri di protezione dalle radiazioni.

A completamento di questa ricerca si vorrebbero allargare i campionamenti ad altri pozzi della provincia ed approfondire le conoscenze sulle caratteristiche degli acquiferi in modo da correlare le concentrazioni di Radon rilevate alla geologia della zona, al contesto stagionale ed alla tipologia dei pozzi, rendendo possibile la gestione dei dati per eventuali programmi di monitoraggio nelle abitazioni o per orientare interventi futuri in caso di esposizioni elevate.

BIBLIOGRAFIA

- 1) "Indoor Radon and its hazards" - Edited by Bodansky D., Robkin M.A., Stadler D.R., University of Washington Press; 1987.
- 2) Decreto Legislativo del Governo n. 230/95 integrato dal Decreto Legislativo del Governo n.241/2000 "Attuazione della Direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti".
- 3) "Rare Gas Geochemistry" - Edited by Virk H.S., Guru Nanak Dev University, Amritsar; 1995.
- 4) "Radon, Radium, and Other Radioactivity in Ground Water" Proc. of NWWA Conference - Edited by Graves B.; 1987.
- 5) "Radon and its decay products in indoor air" - Edited by Nazaroff W.W., Nero A.V. Jr. Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons; 1988.
- 6) S. Vaccari et al., "Misure di radon in sorgenti e pozzi dell'Appennino Reggiano-Parmense", atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, 315-320, Parma; 1999.
- 7) DPR 236/88 "Attuazione della Direttiva CE 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano".
- 8) World Health Organization (WHO). "Guidelines for drinking water quality". 2nd edition. Vol. 1. Recommendations. Geneva; 1993.
- 9) International Commission on Radiological Protection. "Protection against radon-222 at home and at work". Oxford: Pergamon Press; ICRP 65; 1994b.
- 10) "Raccomandazione della Commissione delle Comunità Europee del 20 dicembre 2001 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile", (2001/928/Euratom); 2001.
- 11) "Risk Assessment of Radon in drinking Water". Committee on Risk Assessment of Exposure to radon in Drinking Water; National Research Council. National Academy Press, Washington DC; 1999.

- 12) "Radioattività naturale nelle abitazioni". Dossier 7, Regione Emilia Romagna, Servizi Sanitari di Prevenzione, Bologna; Luglio 1991.
- 13) U.S. Environmental Protection Agency (EPA). "National primary drinking water regulations; radionuclides; proposed rules". Fed. Regist., 56 (138): 33050; 1991.
- 14) "Safe Drinking Water Act". Public Law 104-182, 104th Congress, United States, Aug. 6; 1996.
- 15) International Commission on Radiological Protection. "Lung cancer from indoor exposure to radon daughters". ICRP 50; Annals of the ICRP Vol. 17, No. 1; 1987.
- 16) U.S. National Academy of Sciences (NAS). "Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters". BEIR IV. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, National Research Council, Washington, DC. National Academy Press; 1988.
- 17) International Commission on Radiological Protection. "Human respiratory tract model for radiological protection". Oxford: Pergamon Press; ICRP 66; 1994a.
- 18) Cross, F.T., Harley, n.H. and Hofmann, W. "Health effects and risks from ²²²Rn in drinking water". Health Physics, 48 (59): 649; 1985.
- 19) Zavatti A., Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, Pianura Parmense. Quad. Tecn. Protez. Ambient., 56, Pitagora Ed., Bologna; 1996