

Il rischio radon in ambienti sanitari: monitoraggio ambientale e dose efficace

B. CAMMAROTA, MARIA TERESA CASONE, L. DE PAOLA*, F. SCHILLIRÒ*, U. DEL PRETE

Seconda Università degli Studi di Napoli, Dipartimento di Medicina Pubblica, Clinica e Preventiva A. S. L. Napoli 1, P.O. "M. del Popolo degli incurabili"

* Seconda Università degli Studi di Napoli, Dipartimento di Diagnostica per Immagini e Radioterapia

KEY WORDS

Radon risk; healthcare facilities

SUMMARY

«Radon risk in healthcare facilities: environmental monitoring and effective dose». Background: Radon, the second cause of lung cancer after smoking (WHO-IARC), is a natural, radioactive gas, which originates from the soil and pollutes indoor air, especially in closed or underground spaces. Objectives: The purpose of this study was to determine the concentration of radon gas, its effective dose, and the measurement of microclimatic °C; U.R. % and air velocity in non-academic intensive care units of public hospitals in the Naples area. Methods: The annual average concentrations of radon gas were detected with EIC type ionization electret chambers, type LLT, with exposure over four 3-month periods. Results: The concentrations varied for all health facilities between 186 and 1191 Bq/m³. Overall, the effective dose of exposure to radon gas of 3mSv/a recommended by Italian legislation was never exceeded. Conclusions: The concentration of radon gas showed a decreasing trend starting from the areas below ground level to those on higher floors; such concentrations were also influenced by natural and artificial ventilation of the rooms, building materials used for walls, and by the state of maintenance and improvements of the building (insulation of floors and walls). The data obtained confirmed the increased concentration of radionuclides in the yellow tuff of volcanic origin in the Campania Region and the resulting rate of release of radon gas, whereas the reinforced concrete structure (a hospital located on the hillside), which had the lowest values, proved to provide good insulation against penetration and accumulation of radon gas.

RIASSUNTO

Il radon è un gas naturale radioattivo, proveniente dal sottosuolo e da alcuni materiali da costruzione, che si concentra nell'aria indoor, soprattutto in luoghi interrati e privi di aerazione. Secondo lo WHO-IARC è considerato il secondo fattore di rischio della neoplasia polmonare dopo il fumo di sigaretta. Gli AA. hanno svolto a Napoli un'indagine su alcuni locali di strutture sanitarie, in essi è stata determinata la concentrazione del gas radon, della sua progenie e la dose efficace; nonché le misure microclimatiche di °C; U. R. % e velocità dell'aria. Le concentrazioni medie annuali dell'attività del gas Radon sono state rilevate con camere ad elettretti di tipo EIC - tipo LLT, con esposizione per quattro trimestri. Le concentrazioni variano per tutti i locali tra 186-1191 Bq/m³ e non è stata mai superata la dose efficace per esposizione individuale di gas radon indicata dalla normativa in 3 mSv/a. Le principali variazioni di concentrazione del gas radon presentano un andamento decrescente dai locali interrati a

Pervenuto il 17.4.2009 - Accettato il 10.6.2009

Corrispondenza: Prof. Umberto Del Prete, Dipartimento di Medicina Pubblica, Clinica e Preventiva-S.U.N., Via Luciano Armani 5, 80138 (NA) - Tel/ Fax. 081/45.7444 - E-mail : umberto.delprete@unina2.it

quelli in quota; tali concentrazioni sono influenzate anche dall'aerazione naturale ed artificiale dei locali, dalla ventilazione, dai materiali da costruzione delle pareti nonché dallo stato di manutenzione e di ristrutturazione edilizia (isolamento di pavimenti e pareti). I dati ottenuti confermano ulteriormente la maggiore concentrazione nel tufo giallo campano dei radionuclidi di origine vulcanica e del loro coefficiente di emanazione del gas radon, mentre la struttura in cemento armato (Azienda Ospedaliera in collina), presentando i valori più bassi, risulta creare un buon isolamento rispetto alla penetrazione ed accumulo del gas radon.

INTRODUZIONE

Il radon (gas nobile derivante dal decadimento dei radionuclidi primordiali ^{235}U ranio, ^{238}U ranio e ^{232}T orio), liberato in natura dalla crosta terrestre ed immesso in atmosfera, costituisce per il suo accumulo in ambienti confinati un serio problema di Sanità Pubblica, per la sua capacità di indurre gravi patologie (tumore polmonare) nei soggetti esposti (6). Lo IARC-WHO lo ha inserito nel gruppo 1 degli agenti cancerogeni (13). Il radon è un gas radioattivo α -emittente. Particelle α di qualche MeV, come quelle emesse da radioisotopi α -emittenti, vengono infatti rapidamente degradate in energia (ceduta al tessuto biologico con effetti di eccitazione e ionizzazione degli atomi componenti le biomolecole) e "bloccate" nello strato superficiale di epidermide, costituito da cellule in continuo fisiologico ricambio, senza costituire rischio di danno per gli organi critici interni (8). Le α sono particelle direttamente ionizzanti e ad alto LET (*Linear energy transfer*); pertanto depositano tutta l'energia (cinetica) posseduta in un volume molto limitato con conseguente addensamento, lungo il proprio percorso, del danno biologico arrecato ai tessuti. Tale aspetto riduce notevolmente l'efficienza dei naturali meccanismi di difesa e/o riparazione del danno cellulare (17). La radiazione α assume, infatti, un "fattore di peso" (w_R), nel calcolo della dose equivalente, secondo la formula:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{TR}$$

circa 20 volte maggiore rispetto a quella di riferimento (X , γ) e dunque un effetto biologico altrettanto maggiore. La D_{TR} è la dose assorbita mediata nel tessuto o organo T, dovuta alla radiazione radon e progenie hanno pari nocività potenziale ma in realtà il danno biologico è indotto soprattutto dalla progenie. Infatti il radon, gas non reattivo, quando

inalato viene rapidamente espulso con la espirazione con conseguente trascurabile contributo di dose ai polmoni. Diversamente i "discendenti" solidi (^{218}Po , ^{214}Po del più rilevante isotopo ^{222}Rn) contestualmente presenti nell'aria liberi o adesi all'aerosol, si depositano nell'epitelio bronchiale rilasciandovi dosi significative di radiazione α . In assenza totale di aerazione, la concentrazione nell'aria dei "discendenti" assume un valore massimo dopo un tempo sufficientemente lungo, allorché vengono a realizzarsi condizioni di "equilibrio radioattivo" tra i discendenti suddetti, (che hanno tutti breve tempo di dimezzamento), e il "genitore" radon. In definitiva il gas radon agisce come generatore e trasportatore dei suoi prodotti di decadimento, principali causa, nelle ipotesi di prolungata esposizione umana ad elevate concentrazioni, di tumore polmonare (15, 20).

La valutazione di dose da contaminazione interna da radon viene effettuata utilizzando la concentrazione dei suoi prodotti di decadimento, che sono di natura particolata e possono essere inalati come tali o legati all'aerosol ambientale. La valutazione delle frazioni dei prodotti di decadimento del Rn legati e non legati all'aerosol atmosferico viene effettuata utilizzando sistemi di campionamento dell'aerosol che sfruttano il comportamento fisico dovuto alla dimensione delle particelle. In particolare per separare la frazione non legata (aerosol o particelle di dimensioni comprese fra 0,5-20 nm) da quella legata (aerosol o particelle di dimensioni maggiore di 20 nm) si utilizzano le capacità di intercettazione degli schermi a rete metallica (9, 10). La normativa vigente per la valutazione di dose ai lavoratori indica un fattore convenzionale di conversione pari a 3 nSv per una esposizione di 1 Bqhm⁻³. Le disposizioni legislative in cui i D.Lgs. 241/00 e 257/01 (Direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi

derivanti dalle radiazioni ionizzanti) che integrano il D.Lgs. 230/95 (Direttive 89/618 - 90/641- 92/3 Euratom), considerano il rischio radon in “particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei” o anche diversi ma situati “in zone con caratteristiche determinate”, a partire dai locali seminterrati o al piano terra. È da ritenersi che in attesa della prevista mappatura di tali zone da parte delle Regioni, la normativa è applicabile e si possono eseguire verifiche anche ai piani fuori terra che possono evidenziare concentrazioni di attività del gas radon non trascurabili. Le scuole materne e dell’obbligo sono oggetto di una particolare attenzione (7).

Nell’ambito della esposizione lavorativa *il superamento dell’80% del livello di azione* (400 Bq/m^3) *comporta la ripetizione delle misure effettuate; il suo superamento* (500 Bq/m^3) *richiede che il datore di lavoro, avvalendosi dell’Esperto Qualificato* attui azioni di rimedio idonee a ridurre il valore al disotto del livello di azione, tenuto conto del principio di ottimizzazione, ne verifica l’efficacia con nuove misure, ne dà idonea comunicazione con relazione dell’Esperto Qualificato all’Agenzia Regionale, all’ASL e alla Direzione Provinciale del Lavoro territoriali. Si considera che il “livello di azione” di 500 Bq/m^3 di concentrazione media di attività del radon in un anno”, corrisponde alla dose efficace di esposizione lavorativa individuale di 3 mSv/anno , con un fattore di equilibrio stimato, F.eq del 40%, *fattore di conversione di 3 nSv di dose efficace per unità per esposizione, corrispondente ad 1 Bqhm^{-3}* , per un orario di lavoro di 8 ore al giorno per 5 giorni settimanali per 50 settimane per anno. Considerato che il contributo di dose efficace al polmone deriva essenzialmente dalla progenie solida del gas radon, si deduce l’importanza di monitorare oltre che la concentrazione di attività del gas radon, anche quella della sua progenie.

La rilevanza della problematica ha stimolato ad intraprendere uno studio i cui obiettivi sono di seguito sintetizzati:

- 1) monitoraggio ambientale annuale della concentrazione media di attività del gas radon;
- 2) dosimetria biologica da esposizione lavorativa al gas radon in attuazione del disposto del D. Lgs.

241/00 e 257/01 e s.m.i. valutata indicativamente in relazione ad un tipico tempo di lavoro ipotizzato, settimanale ed annuo.

MATERIALI E METODI

Sono stati indagati alcuni locali delle seguenti strutture sanitarie: Presidio Ospedaliero in centro storico, costruzione in tufo (locale al primo piano, locali 1 e 2 al piano ammezzato, locale seminterrato, locali contrapposti al piano terra, D ed R); Azienda Ospedaliera 1 (locale al piano secondo, al piano ammezzato, al piano terra, locale seminterrato) e Azienda Ospedaliera 1’ (locale al piano terra, locale seminterrato -1 e locale seminterratoD-1, locale interrato -2) in centro storico, costruzione in tufo); Azienda Ospedaliera collina (locale al primo piano, al piano terra e locale interrato), costruzione in cemento armato.

I suddetti locali di lavoro si estendono da ambienti confinati interrati o seminterrati fino al quarto livello sovrastante e riguardano edilizia tradizionale in tufo ad uso ospedaliero in centro storico urbano e quella ospedaliera in cemento armato, con e senza aperture e/o impianti di ventilazione, con tre principali tipologie di superfici: $\leq 50 \text{ mq}$; >50 e $\leq 100 \text{ mq}$; $>100 \text{ mq}$ (per questi ultimi sono stati impiegati due rivelatori).

Le concentrazioni medie annuali della attività del gas radon sono state rilevate con *camere ad elettretti* di tipo EIC – tipo LLT, con esposizione per quattro trimestri e lettura presso un laboratorio certificato.

Le concentrazioni di ^{218}Po minime e massime annuali in Bq/m^3 , nell’intervallo di 30’ e le *dosi α* , in μSv , associate ai decadimenti del gas radon, nel valore integrato in 30’, sono state determinate con rivelatore portatile per la determinazione della attività della progenie radon, tipo radon RAE progeny della ditta americana RAE Systems, Inc.

Le determinazioni microclimatiche di temperatura, umidità relativa e velocità dell’aria sono state eseguite al centro del locale ad una altezza di 1,5 mt con valori medi di 30’ nei quattro trimestri. L’apparecchio utilizzato è il Multiacquisitore della ditta LSI di Milano tarato in sede, dotato di sonda

psicrometrica e sonda anemometrica a filo caldo. I risultati delle misure sono riferiti in termini di valori minimi e massimi annuali.

RISULTATI E CONSIDERAZIONI

Nel Presidio Ospedaliero (tabella 1), la concentrazione media annua di attività del gas radon risulta: al piano terra nel locale D di 209 Bq/m³; nel locale R di 283 Bq/m³. In posizione opposta, nel locale seminterrato di 559 Bq/m³; al piano ammezzato, nel locale 1, di 393 Bq/m³; nel locale 2 di 1.186 Bq/m³ e al primo piano, nel locale esaminato (deposito) è di 471 Bq/m³. Nei locali D, R, locale 1° piano e locale 1° piano ammezzato, risultano valori di concentrazione media annua del gas radon inferiori a 500 Bq/m³, "livello di azione". Infine nel locale 2 piano ammezzato e locale seminterrato si hanno valori superiori al "livello di azione" (500 Bq/m³).

Risulta assumere rilievo sul contenimento della concentrazione media annua di attività del gas radon, la completa ristrutturazione edilizia e impiantistica dei locali D ed R. I pavimenti e le pareti presentano evidente continuità, gli ambienti risultano puliti e igienizzati; è presente un impianto di condizionamento e ricambi dell'aria ambiente che ne garantisce un discreto rinnovo e controllo delle condizioni termoigrometriche.

Il locale 2 (1.186 Bq/m³) presenta scarsa volumetria, assenza di impianti di condizionamento e scarso ricambio naturale; sulle pareti interne si evidenziano alcune lesioni di continuo. Queste condizioni, essendo questo locale interno rispetto agli altri, permettono un maggiore accumulo di gas radon. Il locale seminterrato (559 Bq/m³), di recente ristrutturazione, discrete condizioni di igienizzazione, è dotato di un modesto ricambio naturale dell'aria ambiente. Infine il locale al primo piano, (471 Bq/m³) che presenta una finestra sempre chiusa, è privo di ricambi naturali e/o artificiali, espone evidenti lesioni superficiali e profonde sulle pareti e una insoddisfacente igienizzazione.

Nell'Azienda Ospedaliera 1 centro storico (tabella 1), la concentrazione di attività media annua

del gas radon risulta: nel locale seminterrato, deposito, non frequentato, di 1.191 Bq/m³; in quello al piano terra di 463 Bq/m³; al piano ammezzato, di 588 Bq/m³; al piano secondo, di 376 Bq/m³. In quest'ultimo la concentrazione media annua di attività del gas radon con quella del piano terra risulta inferiore al livello di azione (500 Bq/m³); nel locale al piano ammezzato e nel locale seminterrato il valore misurato supera il livello di azione.

Va illustrato che il locale seminterrato (1.191 Bq/m³), già ristrutturato, presenta un tasso elevato in quanto durante l'intero monitoraggio non era attivo l'impianto di condizionamento, con un ricambio naturale dell'aria ambiente molto scarso, con umidità relativa più elevata rispetto agli altri e una modesta igienizzazione. La dose ambientale a breve termine (30') associata ai decadimenti del gas radon, risulta elevata (0,587-0,934 μSv) come elevati sono i livelli di attività del ²¹⁸Po (303-606 Bq/m³). La concentrazione in Bq/m³ (463 e 588 - piano terra e piano ammezzato) di gas radon è relativa alla ristrutturazione, ai valori termoigrometrici, con buoni ricambi naturali dell'aria ambiente. Sembra assumere ruolo la ridotta volumetria sui livelli di attività rilevati. Difatti il locale al piano ammezzato presenta un volume ridotto rispetto agli altri con una parete senza intonaco. Nel locale al piano secondo (376 Bq/m³), la concentrazione di radon è influenzata dalla scarsa aerazione e da lesioni di continuo dell'intonaco.

Nell'Azienda Ospedaliera, 1', situata nel centro storico, la concentrazione risulta, nel locale interrato -2, di 364 Bq/m³; nel locale seminterrato D-1, di 408 Bq/m³; nel locale seminterrato -1 (deposito), di 562 Bq/m³ e nel locale R, al piano terra, di 274. In tutti i locali i valori rilevati risultano inferiori a 500 Bq/m³ ad eccezione del locale seminterrato -1, il cui valore è lievemente superiore (562 Bq/m³). In questo locale è presente un limitato impianto di aerazione, le condizioni termoigrometriche e di ricambio d'aria risultano insoddisfacenti come le condizioni di manutenzione edilizia. La concentrazione di attività del ²¹⁸Po risulta in un range di 76 151-Bq/m³. Nel locale D -1 408 Bq/m³ si osserva una normale manutenzione edilizia, preesistenza di impianto di condizionamento di pregressa generazione, ricambi naturali modici e condizioni termoigro-

Tabella 1 - Concentrazione media annuale di attività del gas radon – dose in μSv (val. min. – val. max), ^{218}Po (Bq/m^3), temperatura, umidità relativa, ventilazione indoor

Tabella 2 – Mean annual concentration of radon gas measured in μSv (min.val. – max.val.), ^{218}Po (Bq/m^3), °C; U. R. %, V_a m/sec indoor

	Presidio Ospedaliero - centro storico - costruzioni in tufo				Azienda Ospedaliera 1 - centro storico - costruzioni in tufo				Azienda Ospedaliera 1' - centro storico - costruzioni in cemento armato								
	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale	Locale				
Concentrazione del gas Radon, Bq/m^3	471	393	1.186	559	209	283	376	588	463	1.191	274	408	562	364	217	290	186
Dose μSv	0,090-0,765	0,033-0,207	0,115-0,257	0,088-0,535	0,12-0,398	0,025-0,291	0,020-0,101	0,02-0,056	0,179-0,259	0,587-0,934	0,035-0,061	0,011-0,152	0,035-0,051	0,012-0,109	0,011-0,05	0,011-0,07	0,006-0,07
^{218}Po , Bq/m^3	228-681	76-303	151-227	151-379	76-227	76-76	151-151	76-151	303-454	303-606	76-76	76-227	76-151	0-76	0-76	0-76	0-76
T a. °C	17,4-31,8	20,9-27,1	21,9-24,3	14,3-20	21-21,4	22,3-23,8	21-27,2	18,6-22,6	19,8-27,6	15,4-23,3	21,4-24,8	21,9-25,9	20,6-26	20,6-24,2	21,5-27,8	21,2-26,1	16,8-22
U.r. %	50,3-58,2	59	48,2-65,2	63-72	69,6	33,4-63,3	31-53,9	35,9-57	55,3-63,3	60,7-75,9	30-64,3	33,1-52	45,5-68,2	29,5-63,3	36,3-65	36,7-64,6	80,9-49/64,5
V_a m/sec	0,01-0,03	0,02-0,09	0,05-0,01	0,02-0,05	0,04-0,12	0,04-0,2	0-0,03	0,02-0,05	0-0,02	0,01-0,03	0,02-0,14	0,06-0,16	0,02-0,04	0,02-0,04	0,02-0,07	0,02-0,05	0,02-0,04

Nota: T_a =temperatura dell'aria indoor; U_r =umidità relativa dell'aria indoor; V_a =velocità dell'aria indoor

metriche discretamente controllate. La dose ambientale a breve termine (30'), associata ai decadimenti del radon, risulta essere tra 0,011 e 0,152 μSv , l'attività del ^{218}Po tra 76 e 227 Bq/m^3 . Nel locale R (piano terra) ($274 \text{Bq}/\text{m}^3$), i livelli di dose in μSv e di attività del ^{218}Po sono basse, con condizioni termoisometriche soddisfacenti. Anche nel locale interrato -2, la ristrutturazione attuata ed il modico ricambio d'aria artificiale dimostrano il contenimento della concentrazione ambientale del gas radon.

Nell'Azienda Ospedaliera zona collinare (tabella 1), la concentrazione risulta: nel locale interrato, di 186 Bq/m^3 ; nel locale al piano terra di 290 Bq/m^3 ; nel locale al primo piano, di 217 Bq/m^3 . Nei tre locali le concentrazioni medie annue di attività del

gas radon risultano inferiori a $400 \text{Bq}/\text{m}^3$, pari all'80% del "livello di azione".

I risultati relativi alla dose efficace dovuta alla esposizione lavorativa al gas radon, calcolata secondo il fattore di equilibrio convenzionale ($F_{eq} = 40\%$) per 16 ore settimanali di permanenza nel locale ipotizzate per 46 settimane lavorative annuali, in rapporto al coefficiente di conversione convenzionale [$F=3 \text{nSV} (\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$] sono illustrati nella tabella 2.

Come è possibile osservare, da tale valutazione sono stati esclusi due locali non frequentati adibiti a deposito. Per tutti gli altri ambienti non è stata mai superata la dose efficace di esposizione lavorativa individuale di gas radon di 3 mSv/anno .

Tabella 2 - Valutazione della dose efficace calcolata secondo il fattore di equilibrio convenzionale ($F_{eq} = 40\%$) per 16 ore settimanali di permanenza nel locale. N. di settimane lavorative annuali: 46. coefficiente di conversione convenzionale [$F = 3 \text{nSV} (\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$]

Table 2 - Evaluation of the effective dose calculated according to the equilibrium factor ($F_{eq}=40\%$) of 16 hours/week. N. 46 weeks worked annually

Postazione	Concentrazione media annua di attività del radon in Bq/m^3	Dose di esposizione lavorativa da gas radon in mSv/anno
<i>Presidio Centro storico - costruzione in tufo</i>		
Locale 1° piano S \leq 50 mq. 1 porta + 1 finestra. Chiuso.	Deposito non frequentato	
Locale 1 piano ammezzato S \leq 50 mq. 1p	393	0,86
Locale 2, p. ammezzato S \leq 50 mq. 1p.	1.186	2,62
Locale interrato S $>$ 50 e \leq 100 mq-1 porta.	559	1,23
Locale D. Piano terra S \leq 50mq. Ricambi: attivi	209	0,46
Locale R. piano terra S \leq 50mq. Ricambi: attivi	283	0,62
<i>Azienda Ospedaliera 1 - centro storico - costruzione in tufo</i>		
Locale piano 2° S \leq 50 mq. Ricambi: minimi	376	0,83
Locale piano ammezzato S \leq 50 mq. 1 porta + 1 finestra	588	1,29
Locale piano terra. S \leq 50 mq. 1 porta + 1 finestra	463	1,02
Locale seminterrato S $>$ 100 mq. 1 porta.+ 1 botola	Deposito non frequentato	
<i>Azienda Ospedaliera 1' - centro storico - costruzione in tufo</i>		
Locale R. piano terra. S \leq 50 mq. 1 porta + 1 finestra	274	0,6
Locale D. S \leq 50 mq, seminterrato -1. 1 p. + 1 botola	408	0,9
Locale seminterrato -1. S $>$ 50 e $<$ 100 mq; 2 p. Ricambi attivi	562	1,24
Locale lavoro medici, fisici R. interrato, iniettivo. -2 ; S \leq 50 mq	364	0,8
<i>Azienda Ospedaliera 1 collina - costruzione in cemento armato</i>		
Locale 1° piano S \leq 50 mq. 1 p.+ finestre a segmenti.	217	0,48
Locale piano terra S \leq 50 mq. 1 p.+ finestre a segmenti	290	0,64
Locale interrato in c.a. S $>$ 100 mq. 1 p. + 2 f.	186	0,41

Le strutture sanitarie indagate a Napoli sono presenti in zone urbane con differenti caratteristiche per tipologie edilizie antiche in tufo (centro storico) e quelle recenti in cemento armato (zona collinare), dotate di diverse condizioni impiantistiche e /o di ricambio naturale dell'aria ambiente e delle condizioni termoigrometriche indoor. I risultati ottenuti nel monitoraggio annuale espressi in Bq/m³ variano per il Presidio Ospedaliero (centro storico) da 209 a 1.186; per l'Azienda Ospedaliera 1 e 1' (centro storico) oscillano, rispettivamente, tra 376 e 1.191 Bq/m³ e 274 e 562 Bq/m³ ed infine per l'Azienda Ospedaliera (collina) tra 186 e 290 Bq/m³.

I dati per tutte le strutture sanitarie sono compresi tra 186 e 1.191 Bq/m³; tali valori corrispondono, il primo ad un locale della zona collinare (costruzione in cemento) ed il secondo ad un locale-deposito (non frequentato) dell'Azienda Ospedaliera 1 (costruzione in tufo). Confrontando i dati riportati in bibliografia, per le abitazioni e per la regione Campania, si evidenzia che i nostri tassi medi sono superiori a quelli riferiti dall' A.P.A.T. e da Torri e coll (3, 16) rispettivamente di 95 Bq/m³ e una concentrazione media variabile tra 80 e 100 Bq/m³. Questi ultimi dati sono stati confermati dalla campagna di misura condotta a livello nazionale e regionale dall'Istituto Superiore della Sanità e dall' A.N.P.A. (4, 5, 9, 11).

Nel complesso i valori riportati risultano in buon accordo con i dati ottenuti da Sabbarese e coll. (14). Difatti l'attività media annua di radon riscontrata dagli AA. è di 145 Bq/m³ con un valore minimo di 3 e massimo 1257 Bq/m³ (14). Così come l'Associazione Altroconsumo (1) riporta che tra le cinque province campane, quella di Napoli presenta una media di 229 Bq/m³ con un valore massimo di 905 Bq/m³ su 52 determinazioni (1). Margrini e coll (12) in un lavoro negli ambienti sotterranei della metropolitana di Roma riferiscono un valore medio di 698 Bq/m³ (270-2001 Bq/m³) su un totale di 129 misurazioni, Urso e coll. (19) riportano per la Campania su 85 misure per locali sotterranei una concentrazione media di 302 Bq/m³ (18-2564 Bq/m³) e per quelli dei piani terra su 40 determinazioni una media annuale di 134 Bq/m³ (3-620 Bq/m³), in linea con i nostri dati.

CONCLUSIONI

Nel complesso per i locali esaminati non è stata mai superata la dose efficace di esposizione individuale di gas radon indicata dalla normativa di 3 mSv/anno. La struttura in cemento armato (Azienda Ospedaliera collina), presentando i valori più bassi, risulta creare un buon isolamento rispetto alla penetrazione ed accumulo del gas radon. I dati ottenuti confermano ulteriormente la maggiore concentrazione nel tufo giallo campano di origine vulcanica dei radionuclidi e del loro coefficiente di emanazione del gas radon. In generale le principali variazioni di concentrazione del gas radon presentano un andamento decrescente dai locali interrati a quelli in quota; tali concentrazioni sono influenzate dall'aerazione naturale ed artificiale dei locali, dalla ventilazione, dai materiali da costruzione delle pareti nonché dallo stato di manutenzione e di ristrutturazione edilizia (isolamento di pavimenti e pareti), come rilevato anche da Anversa e coll. (2). La promozione degli aspetti di igiene edilizia ed abitativa possono essere momento essenziale di prevenzione del rischio radon. Su queste basi assume rilievo l' allegato 5 della deliberazione CIPE n. 57 del 2.08.'02 "Strategia di azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia" che prende in considerazione la qualità della aria indoor e il radon. Dopo aver indicato tra gli obiettivi principali la riqualificazione del settore edilizio mediante lo sviluppo di prodotti ecocompatibili, precisa che per il radon le misure necessarie sono: identificazione delle aree geografiche ad elevato potenziale di radon; identificazione delle potenziali sorgenti e delle relative vie di ingresso del radon negli edifici; definizione delle metodologie di indagine e delle tecniche di monitoraggio; definizione di linee-guida per gli interventi di prevenzione nelle nuove costruzioni e di risanamento del parco esistente (18).

I valori rilevati, pur esprimendo una notevole varietà di impatto di radon, dimostrano il netto controllo del rischio radon e degli aspetti di dosimetria biologica connessi. Essi denotano condizioni meritevoli di ulteriore osservazione e di interventi di natura tecnico- ambientale, organizzativa e sanitaria, necessari per ricondurre gli indicatori ambien-

tali e biologici nei valori definiti dalla normativa nazionale sulla base delle risultanze scientifiche internazionali per fini di prevenzione e protezione dell'uomo dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti.

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED

BIBLIOGRAFIA

1. ALTROCONSUMO: Gas Radon, a rischio 12 regioni su 20. In Campania rischio doppio rispetto al resto d'Italia, Ottobre 2006. www.Altroconsumo.it
2. ANVERSA A, ALBERICI A, GALLELLI G: Monitoraggio regionale del radon indoor in Lombardia e in Liguria. 41° Congresso Nazionale S.It.I, Genova, 20/23 ottobre 2004
3. APAT: Quadro riepilogativo dei risultati dell'indagine nazionale sul radon nelle abitazioni nelle regioni e province autonome italiane (1989-1997); Annuario dei dati ambientali, ed. 2003
4. BOCHICCHIO F, CAMPOS VENUTI G, NUCCETELLI C, et al: Results of the representative Italian national survey on Radon indoors. Health Physics 1996; 71: 743-750
5. BOCHICCHIO F, CAMPOS VENUTI G, PIERMATTEI S, et al: Results of the national survey on Radon indoors in all the 21 Italian regions. Atti Convegno Proc Workshop "RADON in the living environment", 19-23 april 1999, Athens, Greece
6. BOCHICCHIO F, FORASTIERE F, MALLONE S, et al: Case-Control Study on Radon Exposure and Lung Cancer in an Italian Region: Preliminary Results. 10th International Congress of The International Radiation Protection Association, 14-19 Maggio, 2000
7. GAIDOLFI L, MALISAN MR, BUCCI S, et al: Radon measurements in kindergartens and schools of six Italian regions. Radiat Prot Dosim 1998; 78: 73-6
8. HALL ERIC J: *Radiobiology for the radiologist*. V edizion. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000
9. HULKA J: National Radiation Protective Institute di Praga. Contributo al convegno *Prevenzione dai rischi di Radon negli ambienti interni e informazione della popolazione*, ISTISAN, 7 giugno 2004
10. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION: *Protection against radon-222 at home and at work*. ICRP Publication 65, Ann. ICRP 1993; 23 (2)
11. I.S.S. - A.N.P.A.: *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*. ISTISAN congressi 34, Roma 1994.
12. MAGRINI A, GRANA M, GIANELLO G, e coll: Analisi della radioattività naturale dovuta al gas radon presente negli ambienti sotterranei della metropolitana di Roma, G Ital Lav Erg 2007; 29: 789-792
13. O.M.S.- I.A.R.C: *LARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Vol. 43. Lyon, 1988
14. SABBARESE C, DELL'AVERSANA C, CANTIELLO G, e coll: Misure di radon nei luoghi di lavoro di alcune università della Campania. *Convegno dell'Associazione Italiana di Radioprotezione*, Catania, 2005
15. STIDLEY CA, SAMET JM: A review of ecologic studies of lung cancer and indoor radon. Health Phys 1993; 65: 234-251
16. TORRI G, INNOCENZI V, MAGRO L, e coll: *Controllo Ambientale degli agenti fisici*. APAT, 7-9 giugno 2006, Biella.
17. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION: *Sources and effects of ionizing radiation, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes*. New York: United Nations, Vol. I. UNSCEAR 2000; 1.
18. U.S. Environmental Protection Agency. *Linee Guida per la protezione dei cittadini dal radon*. Washington, 2005
19. URSO P, RONCHIN M, LIETTI B, e coll: Valutazione delle concentrazioni di radon nel settore bancario: risultati di una indagine condotta in un gruppo bancario di rilevanza nazionale. Med Lav 2008; 99: 216-233
20. ZOCK C, PORSTENDORFER J, REINEKING A: The influence of biological and aerosol parameters of inhaled short-lived radon decay products on human lung dose. Rad Prot Dosim 1996; 63: 197-206

Legislazione

1. Commissione delle Comunità Europee, direttiva 96/29 EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996, G.U. delle Comunità Europee L. 159 del 29 giugno 1996
2. Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome. Linee guida per le misure di concentrazione di Radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei, Roma, 6 febbraio 2003
3. Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano. Accordo tra il Ministro della Salute, le Regioni e le Province Autonome sul documento concernente: *Linee-Guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*. G.U. n. 276 del 27 Novembre 2001. S.O. n. 252
4. D.Lgs n. 230 del 17-3-1995: Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3 Euratom e

- 96/29/ Euratom in materia di radiazioni ionizzanti. G.U. n. 136 del 13 giugno 1995, S. O. n. 74
5. D.Lgs. n. 241 del 26-5-2000: Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. G.U. n. 203 del 31/8/2000-S.O. n. 140/L
6. D.Lsl. n. 357 del 09-05-2001. Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. G.U. n. 153 del 4 luglio 2001
7. Deliberazione C.I.P.E. n. 57 del 02.08.'02. Strategia di azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia. G.U. n. 255 del 30.10.'02 S.O. n. 205