

IL RADON NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

T. Ciaciri¹, F. Tomei¹, M. Fiaschetti¹, R. Giubilati¹, B.G. Ponticciello¹, S. De Sio¹, F. Naro¹, G. Tomei²,
A. Sancini¹

Rischio radon e prevenzione

¹ "Sapienza" Università di Roma, Unità Operativa di Medicina del Lavoro; Dipartimento di Scienze Anatomiche, Istologiche, Medico-Legali e dell'Apparato Locomotore, Roma

² Dipartimento Neurologia e Psichiatria, Università Roma Sapienza

RIASSUNTO. Il radon, elemento chimico radioattivo, rappresenta per l'uomo la più importante fonte di radiazioni ionizzanti di origine naturale. Esso è responsabile di una serie di patologie, tra cui il tumore del polmone. In Italia il valore medio della distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni è di 70-75 Bq/m³. Per quanto riguarda la popolazione generale, al momento, non esistono norme specifiche ma si fa riferimento a raccomandazioni e direttive europee, anche se il Piano Nazionale Radon, avviato nel 2002, rappresenta il primo passo verso la predisposizione di adeguamenti normativi definitivi, in materia di rischi connessi all'esposizione al radon. Negli ambienti di lavoro, il tema è normato da alcuni decreti legislativi finalizzati alla protezione dei lavoratori esposti a sorgenti naturali di radiazioni. La misurazione dei livelli di esposizione, effettuabile attraverso una strumentazione attiva o passiva, è necessaria al fine di attuare azioni correttive in caso di superamento dei livelli di azione. Le attuali conoscenze sul radon e sui suoi effetti ci esortano comunque ad adottare, fin da adesso, una serie di provvedimenti di natura preventiva in grado di ridurre al minimo l'esposizione, salvaguardando così il benessere della popolazione.

Parola chiave: radon, effetti sulla salute, radiazioni ionizzanti.

ABSTRACT. RADON RISK AND PREVENTION. *The chemical element Radon is the strongest source of natural ionizing radiations for men and it is responsible of some pathologies, such as lung cancer. The concentration of this gas in houses is in Italy on average 70-75 Bq/m³. Apart from a regulative first step, represented by the 2002 Radon National Plan, at the moment there are no specified rules regarding the risks of exposition to radon in general population. On the contrary, safeguarding workers exposed to natural sources of radiation, working places are regulated by legislative decrees.*

In order to carry out corrective actions in case of high rates, it is necessary to correctly measure the expositional levels both with active and passive instruments. The topical knowledge about radon and its effects urge us to take preventive and reductive measures, protecting the well-being of population.

Key word: radon, health effects, ionizing radiation.

Introduzione

Il radon è un elemento chimico radioattivo, gassoso, inodore, incolore ed insapore appartenente alla famiglia dei gas nobili o inerti. Esso deriva dal decadimento nucleare del radioisotopo Radio 226 (Ra-226), originato a sua volta per decadimenti successivi, dall'uranio 238 (U-238). L'uranio ed il radio sono solidi e sono presenti nel suolo e nella roccia, il radon, essendo un gas, si distribuisce uniformemente nell'aria ambiente.

Materiali e metodi

La ricerca è stata condotta consultando siti specifici, quali Pubmed, Parlamento.it, Apat.Gov, Istituto superiore di sanità ed Epicentro, WHO, Eur-Lex.Europa.eu. Non sono stati posti limiti temporali alla ricerca. Il materiale reperito è stato selezionato al fine di approfondire le seguenti tematiche: caratteristiche fisiche del radon, fonti ambientali, esposizione ambientale, effetti sulla salute, legislazione, misure di prevenzione e protezione.

Caratteristiche fisiche

Con il termine "radon" si indica l'elemento con massa atomica 222 (222Rn) e numero atomico 86. Esso ha 26 isotopi (da 199Rn a 226Rn), tre dei quali si riscontrano in natura: il 220Rn (Toron) della serie di decadimento del Torio, il 222Rn (Radon) della serie dell'uranio 238 ed il 219Rn (Attinon) della serie dell'uranio 235. Generalmente con il termine radon, ove non diversamente specificato, si indica l'isotopo 222 (222Rn).

Il radon, che rappresenta per l'uomo la più importante fonte di radiazioni ionizzanti di origine naturale, è presente nella crosta terrestre in concentrazione variabile, in funzione della particolare conformazione geologica. Ha un'emivita pari a 3.82 giorni, proviene dalla roccia e dal suolo e tende a concentrarsi negli ambienti chiusi come i sotterranei e le case.

Una volta inalato, a seguito del processo di decadimento radioattivo, produce elementi detti "figli", quali il Polonio 218 (218Po), il Polonio 214 (214Po), il Piombo

214 (214Pb) ed il Bismuto 214 (214Bi), anch'essi radioattivi, ma di natura non gassosa. In particolare il Polonio 218 (218Po) ed il Polonio 214 (214Po), decadendo, emettono particelle alfa. In alternativa i "figli" possono formarsi nell'area ambiente per decadimento del radon ed essere poi inalati assieme al particolato, ai fumi etc. I "figli" del radon, una volta giunti a livello polmonare si fissano ai tessuti e continuano ad emettere particelle alfa, in grado di danneggiare il DNA (1).

Fonti ambientali

La principale sorgente è rappresentata dall'infiltrazione del gas emanato dal suolo che, spinto verso l'esterno dalla differenza di pressione o per diffusione, penetra negli edifici tramite intercapedini, crepe, fessure, canaline di drenaggio, pavimenti e tubature, concentrandosi nell'aria interna. La diffusione dal suolo è direttamente proporzionale alla sua permeabilità e porosità, dipendendo dalla consistenza del terreno (massima diffusione per quelli sabbiosi e argillosi), dal suo stato (un terreno gelato, impregnato d'acqua o coperto dalla neve libera una quantità di radon molto inferiore a quella che fuoriesce da un terreno secco) ed in ultimo dalle condizioni meteorologiche (maggiore diffusione con aumento temperature del suolo e dell'aria, pressione barometrica, velocità e direzione del vento). Il flusso di gas che entra negli edifici dipende dalla loro tipologia, in particolare dalla forma, dalle dimensioni, dalla presenza di uno o più piani, dal tipo di fondamenta, dalle modalità di impiego dei locali (collegamento seminterrato-piani abitati, ecc), dall'integrità strutturale, dalla ventilazione dell'edificio nonché dal suo stato di manutenzione. Altre sorgenti sono rappresentate dai materiali da costruzione (tufi, pozzolane, graniti, porfidi e additivi).

L'acqua è una sorgente di importanza generalmente minore, con qualche eccezione relativa ad alcune acque di pozzo, in quanto le concentrazioni di radon variano a seconda del percorso dell'acqua e delle caratteristiche dei materiali attraversati e alle acque termali (2).

Il radon, presente negli impianti idrici per uso domestico, arriva a contatto dell'uomo attraverso l'ingestione e l'inalazione quando il radon, emesso dall'acqua del rubinetto, si disperde nell'ambiente (3). Per quanto riguarda l'aria in genere il radon proveniente dal suolo va incontro ad una rapida diluizione, tuttavia in situazioni particolari quali le valli incassate, può raggiungere concentrazioni non trascurabili grazie al verificarsi di fenomeni di inversione termica che portano a deboli movimenti di aria.

Esposizione ambientale

In Italia, l'esposizione della popolazione è stata valutata tramite un'indagine promossa e coordinata dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'ANPA e realizzata negli anni 1989-1996 su un campione di 5361 abitazioni. Il valore medio della distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni è risultato di 70-75 Bq/m³ (Becquerel per metro cubo, che indica il numero di tra-

sformazioni al secondo che avvengono in un metro cubo d'aria), a cui corrisponde, secondo una stima preliminare, un rischio individuale sull'intera vita dell'ordine di 0.5%. Dalla stessa indagine emerge che le concentrazioni medie variano nelle singole regioni passando da poche decine di Bq/m³ fino ad oltre 100 Bq/m³; in particolare le regioni a più elevata concentrazione di radon nelle abitazioni sono risultate essere il Lazio, la Lombardia, il Friuli Venezia-Giulia e la Campania, con valori compresi tra 95 e 120 Bq/m³; la regione Calabria e le Marche si sono attestate fra le regioni con la più bassa concentrazione di gas radon (2, 4, 5).

Effetti sulla salute

Nel I° secolo A.C. Tito Lucrezio Caro nel suo scritto "De Rerum Natura" scrive di danni polmonari subiti dai minatori a causa di gas provenienti dal sottosuolo. Un aumento della mortalità per malattie respiratorie tra i minatori è stata riportata già nel XVI secolo, ma solo nel XIX secolo la malattia è stata attribuita al tumore del polmone. Nel 1950 viene accertata la relazione causale tra radon e tumore polmonare dei minatori. A partire dal 1980 sono stati effettuati studi epidemiologici anche sulla popolazione esposta al radon nelle abitazioni civili; i risultati documentano un incremento del rischio di tumore polmonare, statisticamente significativo, anche per esposizioni relativamente basse (6). Nel 1988 questi studi hanno portato l'International Agency for Research on Cancer (IARC) a classificare il radon nel Gruppo 1 degli agenti cancerogeni (7). La stessa Agenzia, il 15 settembre 1998, ha pubblicato la sesta monografia sull'effetto delle radiazioni ionizzanti sulla salute, che dall'analisi delle conoscenze fisiche, biologiche ed epidemiologiche giunge ad una valutazione quantitativa del rischio oncogeno tramite modelli matematici. Il radon, per le sue proprietà fisiche ed il suo essere ubiquitario, è considerato, per la popolazione generale, la seconda causa di tumore polmonare, dopo il fumo di tabacco (8).

Il rischio di tumore polmonare aumenta proporzionalmente all'aumentare della concentrazione di radon e della durata di esposizione, mantiene la distribuzione per età (i tumori polmonari rari fino all'età di 45 anni, raggiungono i valori massimi dai 65 anni in su) e, a parità di concentrazione e durata di esposizione, il rischio di tumore polmonare è maggiore (circa 25 volte) tra i fumatori, inclusi gli ex fumatori rispetto ai non fumatori, a causa della sinergia tra radon e fumo (6, 9).

In Italia su un totale di 32000 decessi per tumore polmonare, quelli attribuibili al radon sono, allo stato attuale delle conoscenze, circa 3200. Di questi la maggior parte è tra fumatori ed ex-fumatori, soprattutto di sesso maschile (10).

Per quanto riguarda la ricerca relativa ad altre patologie legate all'esposizione al radon, sia a livello lavorativo che domestico, il WHO riporta una serie di evidenze tra le quali un'associazione positiva tra esposizione a radon e leucemia e (11-12), radon e sclerosi multipla (13), che necessitano di ulteriori conferme.

Legislazione e valori di riferimento

In generale non sono riportate evidenze di “soglia”, ciò significa che non è stato individuato un valore al di sotto del quale il rischio per la salute, legato all’esposizione al radon, è assente. Sono però state emanate nel corso degli anni una serie di raccomandazioni e normative il cui scopo è fare prevenzione e salvaguardare la popolazione generale e lavorativa dal rischio radon.

Popolazione generale

Non esistono per gli ambienti di vita norme che stabiliscano i livelli di riferimento per la salvaguardia della popolazione generale dai rischi derivanti dall’esposizione a sorgenti naturali di radiazioni e le misure da intraprendere nel caso vengano superate, ma solo delle raccomandazioni che hanno valore indicativo.

A livello europeo sono state emanate le Raccomandazione 90/143/Euratom e 928/2001/Euratom. La prima (14) tutela la popolazione dall’esposizione al radon in ambienti chiusi raccomandando:

- che il livello di riferimento sia pari ad una dose effettiva equivalente di 20 mSv annui, equivalente ad una concentrazione media annua di gas radon di 400 Bq/m³;
- che il livello di progettazione sia pari a una dose effettiva equivalente di 10 mSv annui, equivalente a una concentrazione media annua di gas radon di 200 Bq/m³”.

Al di sopra di questi valori si raccomandano interventi di bonifica, la cui l’urgenza è proporzionale all’entità di superamento del limite, e, laddove siano ritenuti necessari provvedimenti correttivi, si consiglia di informare la popolazione sui livelli di radon ai quali è esposta e sui provvedimenti adottabili per ridurne i livelli.

La seconda raccomandazione europea (3) protegge la popolazione dall’esposizione al radon presente nell’acqua potabile, indicando un livello di azione per le acque potabili da acquedotto pubblico pari ad una concentrazione di radon in acqua di 100 Bq/l, ed un valore limite da non superare di 1000 Bq/l (paragonabile a quella causata da una concentrazione di radon in ambiente chiuso pari a 200 Bq/m³). Tale limite è applicabile anche nel caso di acque potabili attinte da pozzi artesiani (approvvigionamento individuale). Inoltre, il Consiglio Superiore di Sanità ha raccomandato che la concentrazione di radon nelle acque minerali e imbottigliate non superi i 100 Bq/litro (32 Bq/litro per le acque destinate ai bambini e ai lattanti) (15).

Nel 2001 sono state emanate le “Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati” (2), volte a fornire indicazioni generali per la realizzazione di un programma nazionale per la prevenzione e la promozione della salute negli ambienti confinati, cioè gli “ambienti indoor” di vita e di lavoro non industriali, quali quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto.

Il Piano Nazionale Radon (16), attivato nel 2002 dal Ministero della Salute, nasce con l’obiettivo di ridurre i rischi sanitari connessi all’esposizione al radon ed ai suoi prodotti di decadimento. Il Piano prevede la valutazione

dettagliata dei rischi sanitari connessi all’esposizione al radon in Italia, l’istituzione e l’attivazione dell’Archivio Nazionale Radon, presso l’Istituto Superiore di Sanità, la mappatura della concentrazione del gas negli edifici, l’avvio di un piano di informazione della popolazione generale e di gruppi specifici ed infine la predisposizione di adeguamenti normativi in materia di rischi connessi all’esposizione al radon.

La direttiva della Comunità Europea nr. 106/1989 “sui materiali edilizi” nell’allegato I stabilisce che “l’opera deve essere concepita e costruita in modo da non compromettere l’igiene o la salute degli occupanti o dei vicini e in particolare in modo da non provocare: ..emissione di radiazioni pericolose” (17), mentre il DPR 6 giugno 2001, n. 380. “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia” (18) all’articolo 4 (Regolamenti edilizi comunali) sancisce il rispetto delle “normative tecnico-estetiche, igienico-sanitario, di sicurezza e vivibilità degli immobili e delle pertinenze degli stessi”.

Infine il 10 novembre 2008 il Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie ha emanato una “raccomandazione sull’introduzione di sistemi di prevenzione dell’ingresso del radon in tutti gli edifici di nuova costruzione” (19), che prevede che, negli strumenti urbanistici di tutti gli enti preposti alla pianificazione e controllo del territorio, sia introdotta la prescrizione, per tutti i nuovi edifici, di adottare semplici ed economici accorgimenti costruttivi finalizzati alla riduzione dell’ingresso di radon e di facilitare l’installazione di sistemi di rimozione del radon e nel contempo raccomanda analoghe prescrizioni per quegli edifici soggetti a lavori di ristrutturazione o manutenzione straordinaria, che coinvolgano in modo significativo le parti a contatto con il terreno.

Lavoratori

Negli ambienti di lavoro, il D.Lgs 26/05/00 n. 241 (20), che ha aggiornato il precedente D.Lgs. 230/1995 (21) e che rappresenta il recepimento e l’attuazione della direttiva comunitaria 96/29 (22), ha introdotto il Capo III bis dedicato alla protezione dei lavoratori dall’esposizione a sorgenti naturali di radiazioni; in particolare il D.Lgs fa riferimento a:

- 1) attività lavorative che prevedono esposizione a radon, toron, radiazioni gamma o ad ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei (20); dove con la definizione di locale o ambiente sotterraneo si intende un locale o ambiente con almeno tre pareti interamente sotto il piano di campagna, indipendentemente dal fatto che queste siano a diretto contatto con il terreno circostante. Tale definizione include inoltre i locali che hanno una apertura verso l’esterno (per esempio i locali pubblici che hanno di norma un ingresso sulla strada) ed i locali che sono circondati da una intercapedine aerata (23). L’esercente procede, entro ventiquattro mesi dall’inizio dell’attività, alle misurazioni (per mezzo di organismi “riconosciuti”) delle concentrazioni di attività di radon medie in un anno, nei locali occupati con continuità dai lavoratori, (locali di servizio, spogliatoi, ambienti di

passaggio come i corridoi, lungo il percorso di visita guidata nelle grotte/catacombe o nelle postazioni di guida dei macchinisti nel caso delle metropolitane cittadine). Per gli ambienti che non rappresentano una vera e propria postazione di lavoro, le misure vanno effettuate solo nel caso in cui il personale vi trascorra almeno 10 ore al mese (magazzini, bunker delle banche etc) (23).

- 2) Attività lavorative durante le quali i lavoratori sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o ad ogni altra esposizione in luoghi di lavoro non sotterranei ma in zone ben individuate o con caratteristiche determinate dalle Regioni e dalle Province autonome. Anche in tal caso l'esercente procede, entro ventiquattro mesi dall'individuazione o dall'inizio dell'attività, se posteriore, alle misurazioni (per mezzo di organismi "riconosciuti") delle concentrazioni di attività di radon medie in un anno (20).

In questi due ultimi casi, se le misurazioni presentano un valore inferiore al valore di azione, pari a 500 Bq/m^3 , ma superiore all'80% di questo, cioè un valore superiore a 400 Bq/m^3 , l'esercente assicura nuove misurazioni nel corso dell'anno successivo. Nel caso di superamento del livello di azione l'esercente, avvalendosi dell'esperto qualificato, è tenuto ad attuare azioni idonee per ridurre il valore, e procede a nuova misurazione per verificare l'efficacia delle azioni correttive. Nel caso queste ultime si siano dimostrate inefficaci, l'esercente adotta le misure di protezione sanitaria dei lavoratori (sorveglianza fisica e medica, ecc.). Tuttavia qualora l'esercente dimostri, avvalendosi dell'esperto qualificato, che nessun lavoratore è esposto ad una dose superiore al livello di azione, non è tenuto ad adottare le azioni di rimedio (es. limitate ore annue di permanenza nei locali dove si superano i 500 Bq/m^3) (20).

- 3) Attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali o la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi naturali e attività lavorative in stabilimenti termali o attività estrattive. In questi casi l'esercente, entro ventiquattro mesi dall'inizio della attività, effettua una valutazione preliminare sulla base delle misurazioni effettuate (per mezzo di esperto qualificato). Nel caso in cui le esposizioni valutate non superino il livello di azione fissato in 1 mSv/anno di dose efficace per i lavoratori e 0.3 mSv/anno di dose efficace per le persone del pubblico, l'esercente è tenuto alla sola ripetizione delle valutazioni con cadenza triennale o, nel caso di variazioni significative, del ciclo produttivo. Nel caso in cui risulti superato il livello di azione, l'esercente è tenuto ad effettuare l'analisi dei processi lavorativi impiegati. Nel caso in cui risulti superato l'80 per cento del livello di azione, l'esercente è tenuto a ripetere con cadenza annuale le valutazioni (20).

Il Decreto Legislativo 81/08 (24) prevede che il datore di lavoro sia tenuto all'osservanza delle misure generali di tutela per la protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori elaborando, tra l'altro, un documento di valutazione dei rischi. Per la protezione dal rischio radon il D.Lgs. 81/08 prevede che si faccia riferimento alla nor-

mativa specifica inerente le radiazioni ionizzanti: il D.Lgs 230/95 (21) che per quanto riguarda il Radon è stato integrato dal D.Lgs 241/2000 (19).

Compito del medico competente o del medico autorizzato, in caso di esposti in categoria A, è collaborare alla valutazione dei rischi, alla predisposizione della attuazione delle misure per la tutela della salute e della integrità psico-fisica dei lavoratori, all'attività di formazione e informazione nei confronti dei lavoratori nonché alla attuazione e valorizzazione di programmi volontari di «promozione della salute», secondo i principi della responsabilità sociale (art. 25 D.Lgs 81/2008 e s.m.i.). Inoltre, come stabilito dal codice etico ICOH (25), il Medico del Lavoro partecipa al miglioramento dell'ambiente di lavoro e del lavoro stesso, per renderli compatibili ad esigenze di sicurezza e di salute nonché allo sviluppo di una organizzazione e di una cultura del lavoro che vada nella direzione della salute e della sicurezza, creando nello stesso tempo un clima sociale positivo e non conflittuale e tale da poter migliorare la produttività delle imprese.

Valutazione e misura del rischio radon

Ai fini di una corretta prevenzione si deve conoscere la concentrazione del radon negli ambienti di vita e di lavoro.

Va premesso innanzitutto che, a causa delle variazioni dei livelli di radon in ambienti chiusi sia giornaliere, sia stagionali, dovute alle differenti condizioni meteorologiche, le valutazioni dovrebbero essere basate su misurazioni della media annua di gas radon o dei suoi prodotti di decadimento, possibilmente suddivisa in due semestri corrispondenti ai periodi caldi (primavera-estate) e freddi (autunno-inverno). Si raccomanda inoltre che tali misurazioni vengano effettuate con l'applicazione di tecniche per le quali devono essere garantite, da parte delle autorità competenti, sia l'adeguatezza della qualità sia l'affidabilità (14).

La misurazione dei livelli di radon può essere effettuata attraverso (23, 26):

Strumentazione passiva, che non necessita di essere alimentata da corrente elettrica:

- Rivelatori a tracce nucleari: la tecnica risulta di discreta affidabilità e di elevata sensibilità, essendo in grado di misurare anche concentrazioni di radon di poche decine di Bq/m^3 , ed è indicata per tempi di esposizione superiori al mese fino ad un massimo di un anno.
- Camere a ionizzazione ad elettretre: la tecnica, di elevata sensibilità, è indicata per misurare anche concentrazioni di radon di poche decine di Bq/m^3 ed è indicata per misure di esposizione brevi (alcuni giorni) o lunghe (mesi).
- Canestri con carbone attivo: la sensibilità è in genere molto elevata ed indicata per misurare anche concentrazioni di radon di poche decine di Bq/m^3 .

Strumentazione attiva, che necessita di alimentazione elettrica (batteria interna o collegamento diretto alla rete): camere a ionizzazione, camere a scintillazione, dispositivi a barriera di superficie. La sensibilità di questi sistemi è in genere molto elevata ed indicata per misurare anche concentrazioni di radon di pochi Bq/m^3 .

La prevenzione tecnica

Anche se non è possibile eliminare del tutto il radon dagli ambienti in cui si vive, ci sono diversi modi, con diversa efficacia, per ridurre la concentrazione nei luoghi chiusi:

- depressurizzazione del suolo: consiste nel realizzare sotto o accanto la superficie dell'edificio un pozzetto per la raccolta del radon, collegato a un ventilatore. In questo modo, si crea una depressione che raccoglie il gas e lo espelle all'esterno dell'edificio.
- Pressurizzazione dell'edificio: consiste nell'incrementare la pressione interna dell'edificio, in modo da contrastare la risalita del radon dal suolo; l'aria interna spinge così, con l'ausilio di un ventilatore, il radon fuori dall'edificio.
- Ventilazione dell'edificio e del vespaio al fine di diluire il radon presente.
- Sigillatura delle vie di ingresso: parziale (utilizzando materiali polimerici), cioè a livello delle fessure, delle giunzioni pavimento-pareti, dei passaggi dei servizi, (idraulici, termici, delle utenze ecc.), o totale su tutta la superficie di contatto con il suolo (utilizzando fogli di materiale impermeabile al radon).

Per le nuove costruzioni si raccomanda l'utilizzo di criteri anti-radon, quali la tecnica del vespaio o delle intercapedini, riempiendo il vespaio con ghiaia e stendendo su tutta la superficie di contatto suolo-edificio un foglio di materiale impermeabile al radon o, in alternativa, quella di uno o più pozzetti, stendendo comunque sempre sotto la prima gettata uno strato di ghiaia di circa 5-10 cm e un foglio di materiale impermeabile al radon.

Discussione

Il radon è la principale fonte di radiazioni ionizzanti di origine naturale. La sua diffusione è ubiquitaria ed è impossibile da eliminare, ma è necessario ridurre quanto più possibile la sua concentrazione in quanto nell'uomo può causare una serie di patologie, tra cui la più documentata, dall'epidemiologia nazionale ed internazionale, è il tumore del polmone, soprattutto se associata all'abitudine al fumo di sigaretta.

Quanto sia importante la tematica è dimostrato dal continuo interesse che organismi nazionali ed internazionali hanno mostrato e mostrano sull'argomento, anche attraverso la stesura di norme e raccomandazioni atte a ridurre il rischio e a salvaguardare la salute dei lavoratori e della popolazione.

Bibliografia

- 1) http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Radioattivita_e_radiazioni/Radon/
- 2) Accordo tra il ministero della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati". 3 Raccomandazione 2001/928/Euratom.
- 4) Bochicchio et al., Results of the representative Italian national survey on radon indoors. *Health Phys* 71 (5): 743-750; 1996.
- 5) Bochicchio et al., Results of the National Survey on Radon Indoors in All the 21 Italian Regions. Proc. Workshop "RADON in the Living Environment", 19-23 April 1999, Athens, Greece, 997-1006; 1999.
- 6) Who Handbook On Indoor Radon. A Public Health Perspective. World Health Organization 2009.
- 7) WHO-IARC. IARC Monograph on the Evaluation of Carginogenic risks to Humans: man made mineral fibres and Radon. IARC Monograph Vol.43, Lyon, France: 1988).
- 8) National Academy of Sciences- Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VI Report: "The Health Effects of Exposure to Indoor Radon". 1998.
- 9) Quaderni per la salute e la sicurezza. Il radon in Italia: guida per il cittadino. ISPESL. 2007.
- 10) Bochicchio F. Istituto Superiore Sanità. Salute ed esposizione al radon. Stato dell'arte del Progetto CCM "Avvio del piano nazionale radon per la riduzione del rischio tumore polmonare in Italia" e sue possibili ricadute pratiche. SANIT. 23 giugno 2008.
- 11) Rericha V et al. Incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma in Czech uranium miners: a case-cohort study. *Environ Health Perspect*, 2006. 114(6): 818-822.
- 12) Smith BJ, Zhang L, Field RW. Iowa radon leukemia study: A hierarchical population risk model, *Stat Med*, 2007. 10: 26(25): 4619-4642.
- 13) Bolviken B et al. Radon: a possible risk factor in multiple sclerosis. *Neuroepidemiology* 2003. 22: 87-94.
- 14) Raccomandazione 90/143/Euratom del 21/2/1990.
- 15) <http://www.epicentro.iss.it/problemi/radon/radon.asp>
- 16) Ministero della Salute. Piano Nazionale Radon. 2002.
- 17) Direttiva 89/106/CEE del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione. G.U.C.E. 11 Febbraio 1989 - L40 e G.U.C.E. 30 Agosto 1993 - L220.
- 18) DPR n. 380/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- 19) CCM "Raccomandazione sull'introduzione di sistemi di prevenzione dell'ingresso del radon in tutti gli edifici di nuova costruzione".
- 20) Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000.
- 21) Decreto Legislativo n°230 del 17 marzo 1995.
- 22) Commissione delle Comunità Europee, Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996.
- 23) 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. 2003.
- 24) Decreto Legislativo 81/08 e s.m.i.
- 25) Il Codice Internazionale di Etica per gli Operatori di Medicina del Lavoro.
- 26) Linee guida per la misurazione del Radon in ambienti residenziali. ISPRA 2004 .

Richiesta estratti: Prof. Francesco Tomei, MD - Via Monte delle Gioie 13, 00199 Rome, Italy - Phone: +39 06 49 91 25 65, +39 06 49 91 25 40, Fax: + 39 06 86 20 31 78, +39 06 49 91 25 54, E-mail: francesco.tomei@uniroma1.it

R. Remetti, G.E. Gigante

Studio sperimentale sull'influenza della ventilazione naturale e artificiale sulla concentrazione di radon indoor

Sapienza, Università di Roma, Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria, Roma

RIASSUNTO. Lo studio presenta i risultati sperimentali di una campagna di misura della concentrazione giornaliera di radon condotta utilizzando uno spettrometro Genitron AlphaGuard. Le misure hanno avuto lo scopo di evidenziare la variabilità della concentrazione di radon nell'arco delle 24 ore, allo scopo di cercare una correlazione con parametri ambientali, quali temperatura e pressione, o con condizioni locali, quali la presenza o meno di un sistema di ventilazione forzata. La maggior parte delle misure sono state condotte nell'area del Laboratorio di Misure Nucleari del Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria di "Sapienza" - Università di Roma. I risultati ottenuti senza ventilazione forzata e con porte e finestre chiuse mostrano una rapida crescita della concentrazione di radon durante la notte. Al mattino, dopo l'apertura di porte e finestre, la concentrazione diminuisce bruscamente. Con il sistema di ventilazione forzata in funzione la concentrazione di radon non ha raggiunto mai valori significativi.

ABSTRACT. EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF NATURAL AND ARTIFICIAL VENTILATION ON INDOOR RADON CONCENTRATION. The study presents the results of a campaign of measurements on the daily radon concentration using a Genitron Alpha Guard spectrometer.

All the measurements have been intended to highlight the radon concentration variability during the 24 hours of the day and trying to find correlations with other ambient parameters such as temperature and pressure or local conditions such as the presence or not of a forced ventilation system. The main part of the measurements have been carried in the area of the Nuclear Measurement Laboratory of the Department of Basic and Applied Sciences for Engineering of "Sapienza" - University of Rome. Results show a rapid rise of radon concentration in the night, when the artificial ventilation system was off and with door and windows closed. In the morning, after the opening of door and windows, the concentration falls down abruptly. With artificial ventilation system in function concentration never reaches significant values.

Key words: radon, indoor pollution, ventilation.

Introduzione

Il radon, in particolare il radionuclide ^{222}Rn presente nella catena di decadimento dell'uranio-238, è il fattore che contribuisce maggiormente alla dose efficace che riceviamo ad opera fondo naturale di radiazioni ionizzanti; infatti contribuisce per 1,26 mSv al valore medio mondiale di 2,48 mSv/anno, (1), ricevuto ad opera delle varie fonti del fondo naturale di radiazioni (raggi cosmici, radionuclidi cosmogenici, radioattività naturale). I suoi effetti sulla salute umana, in particolare la possibilità di indurre tumore al polmone, la cui correlazione positiva con la concentrazione di radon in aria è stata dimostrata da studi epidemiologici sui minatori addirittura a partire dal 16° secolo, (2). Il progredire delle conoscenze ha poi dimostrato come il radon sia un problema globale per tutto il pianeta, in quanto l'uranio, da cui esso deriva, è diffuso, se non altro come elemento in traccia, in tutta la crosta terrestre. Il radon, penetrando negli edifici sia attraverso le fondazioni (seguendo il suo naturale movimento dalla crosta terrestre verso l'alto) che dai materiali da costruzione di pareti e pavimenti, in particolare i materiali tufacei e granitici e i cementi pozzolanici, è sicuramente uno dei responsabili di inquinamento "indoor" che richiede più attenzione. Le campagne nazionali di misura effettuate dall'ANPA (ora ISPRA) a partire dal 1988 hanno evidenziato un valore medio di concentrazione di radon nelle unità abitative pari a circa 77 Bq/m³, con un 5% di alloggi con concentrazioni superiori a 200 Bq/m³ e l'1% superiore a 400 Bq/m³. La variabilità è dovuta a svariati fattori, in primo luogo la distanza dell'unità abitativa dal terreno e il tipo di materiali usati nella costruzione. La raccomandazione attuale nei confronti degli alloggi di civile abitazione è di non superare i 200 Bq/m³ per le unità di nuova costruzione e i 400 Bq/m³ per quelle vecchie.

Nel caso delle abitazioni civili l'indicazione della concentrazione di radon è da intendersi essenzialmente come una questione di "libero arbitrio", vista la facoltà di ognuno di regolare i propri ricambi d'aria, anche se vanno effettuate campagne di monitoraggio per evidenziare eventuali zone abitative caratterizzate da concentrazioni elevate e avvertire così i cittadini e le autorità locali per l'assunzione di opportune cautele. Per i lavoratori la questione cambia radicalmente, in quanto in Italia, il Legislatore

sancisce (DL 239/1995 e successive modificazioni e integrazioni, in particolare il DL 241/2000), un livello d'azione di 500 Bq/m^3 (come media annua) e l'obbligo del datore di lavoro di predisporre verifiche periodiche della concentrazione di radon nel caso di lavoro in ambienti chiusi o poco areati. È una misura che va ad affiancarsi a quelle previste per i lavoratori di terme e miniere.

Il valore limite attuale è da considerarsi come media annuale, il che rende i controlli più complessi in quanto occorre effettuare un monitoraggio continuo del radon o misure in un intervallo di tempo che sia significativo per rilevare le eventuali variazioni nell'anno. Il presente lavoro vuole evidenziare l'andamento nell'arco di un intero giorno della concentrazione di radon, mettendo in evidenza come una opportuna gestione della ventilazione può contribuire a ridurre il problema.

Materiali e metodi

Una serie di misure sperimentali è stata condotta in un generico ambiente di lavoro, il Laboratorio di Misure Nucleari del Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria di "Sapienza" - Università di Roma. Il laboratorio è abbastanza sfavorito per quando riguarda l'esposizione al radon, in quanto è (i) parzialmente seminterrato, (ii) ha pareti in materiale tufaceo e (iii) poggia su suolo roccioso di tufo lionato originato da una colata piroclastica e caratterizzato da profonde fessurazioni.

Le misurazioni sono state eseguite con uno spettrometro Genitron Alphaguard PQ2000. Questo strumento utilizza una camera a ionizzazione connessa ad uno spettrometro alfa e a una unità DSP ("Digital Signal Processing") per il riconoscimento del profilo del segnale di tensione

del ^{222}Rn . La presenza dello spettrometro alfa e dell'analizzatore DSP, unitamente alla protezione da campi magnetici, umidità e vibrazioni, diminuisce le interferenze e assicura il raggiungimento di bassi limiti di rivelazione, 2 Bq/m^3 e una grande dinamica, 2MBq/m^3 . L'Alphaguard è in grado di fornire un valore misurato della concentrazione di radon in aria, della pressione atmosferica, temperatura e umidità relativa ogni 10 minuti; i risultati vengono conservati nella memoria dello strumento per poi essere trasferiti su PC tramite una interfaccia RS232.

Risultati

La Fig. 1 mostra i risultati di un esperimento effettuato presso il Laboratorio di Misure Nucleari iniziato alla chiusura del laboratorio e proseguita nel giorno successivo. Nelle prime 12 ore (dalle 19:32 alle 7:32 del giorno successivo, si nota una sistematica crescita della concentrazione di radon, che ha raggiunto la concentrazione massima di 239 Bq/m^3 . Al mattino, aperta la porta e una finestra, si è creata una ventilazione naturale che ha abbassato abbastanza velocemente la concentrazione. La misura è poi proseguita per la notte successiva mantenendo aperta la porta e la finestra: come si può notare non si è avuto aumento significativo della concentrazione. Il valore minimo riscontrato in tutto l'intervallo di misura è stato di 4 Bq/m^3 , il valore medio di 79 Bq/m^3 .

La Fig. 2 è relativa ad una misura effettuata nello stesso laboratorio, con porte e finestre chiuse, mantenendo attivo l'impianto di ventilazione forzata, disattivato durante le precedenti misure. Come si vede la concentrazione si è mantenuta molto più bassa, con un valore massimo di 82 Bq/m^3 , minimo sempre intorno a 4 Bq/m^3 e medio 15 Bq/m^3 . Verso

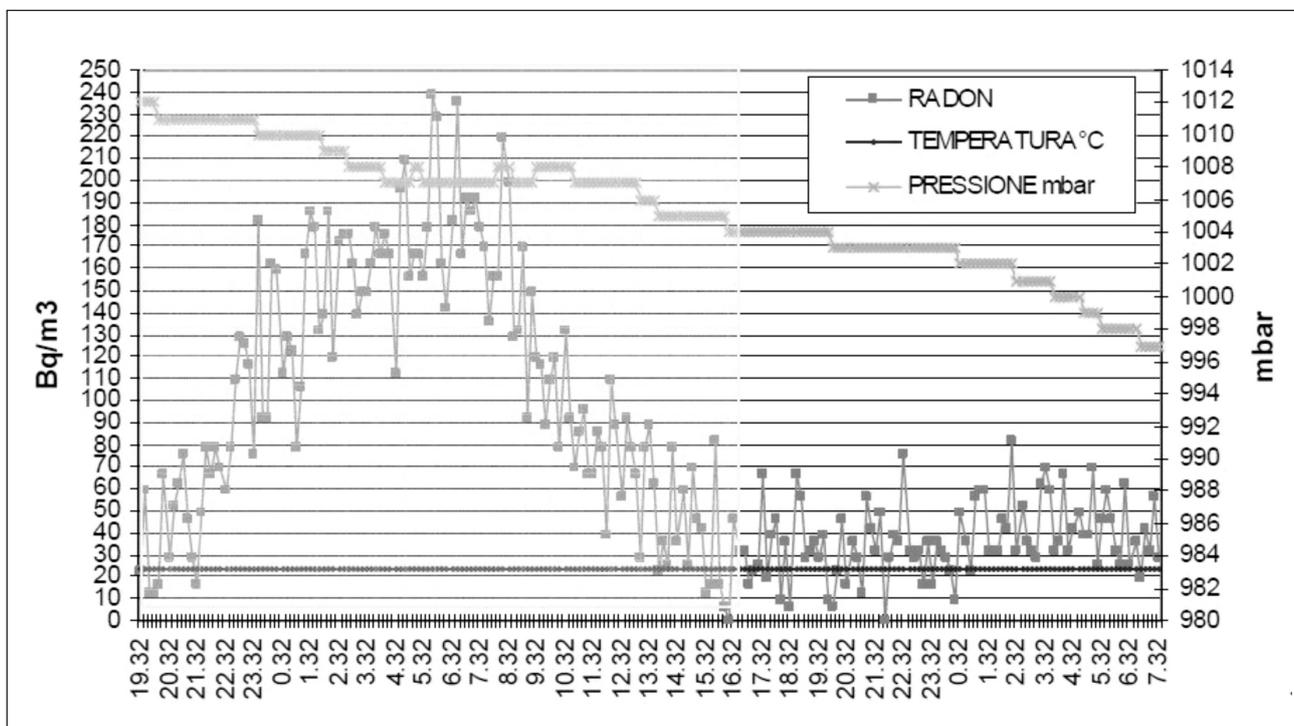


Figura 1. Variazione della concentrazione di radon. Laboratorio di Misure Nucleari - Impianto di ventilazione spento

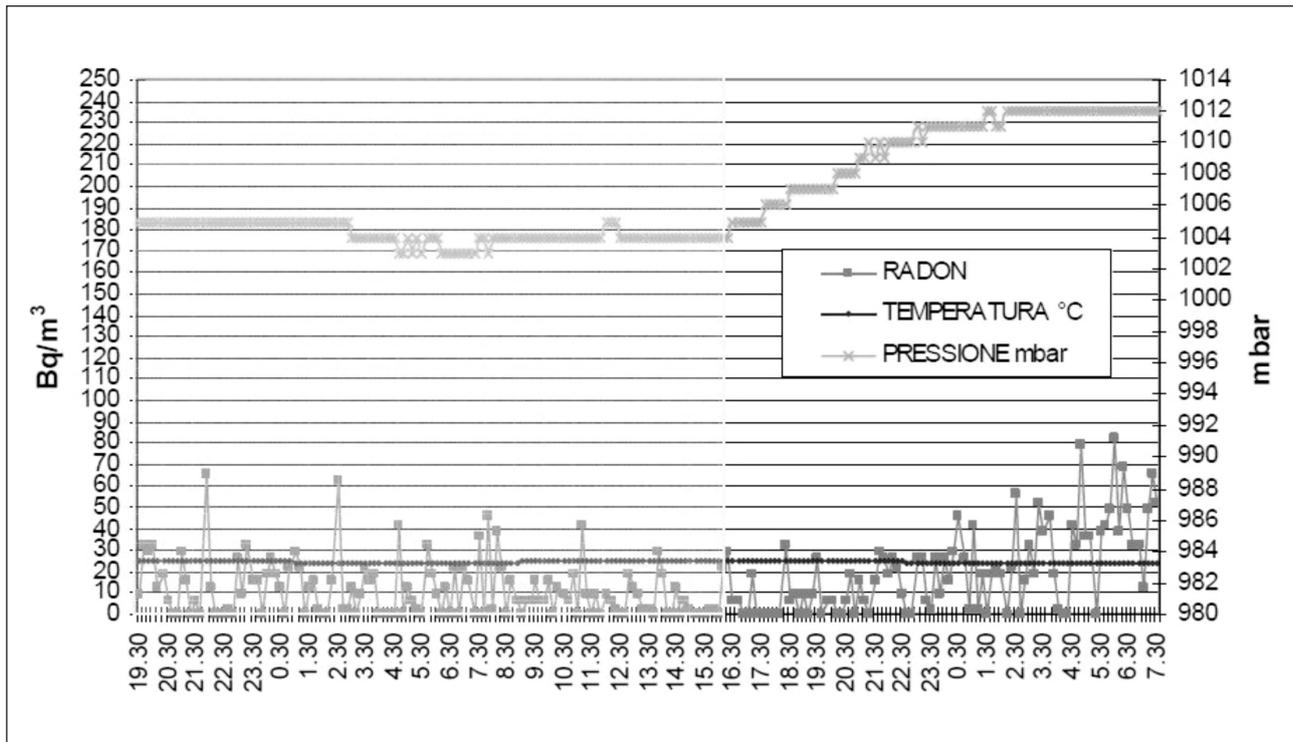


Figura 2. Variazione della concentrazione di radon. Laboratorio di Misure Nucleari - Impianto di ventilazione acceso

l'ultima parte della misura si può notare una certa tendenza alla risalita della concentrazione dovuta probabilmente all'aumento della pressione atmosferica da 1004 mbar a 1012 mbar.

Discussione

Lo studio di quale sia una concentrazione accettabile di radon è un argomento in continua evoluzione: a mano a mano che aumentano le conoscenze di radiobiologia, soprattutto con l'azione delle radiazioni ionizzanti con il DNA, e necessario aggiornare continuamente i valori limite. Nel 2007 la Pubblicazione 103 dell'International Commission on Radiological Protection ha consigliato di tendere ad una concentrazione di radon all'interno di locali tanto bassa quanto ragionevolmente possibile, (concetto ALARA - As Low As Reasonably Achievable) (3). Anche l'UNSCEAR, mostrando i risultati di recentissime indagini epidemiologiche, evidenzia la tendenza ad abbassare ulteriormente le concentrazioni di riferimento, (4). Molto probabilmente i nuovi valori, che, come prassi, saranno successivamente recepiti dai vari Legislatori nazionali, dovrebbero aggirarsi attorno a 160 Bq/m³ per i luoghi di lavoro e 60 Bq/m³ per le abitazioni. In questo contesto, per

una corretta igiene del lavoro, sembra limitativo tenere sotto controllo solo la concentrazione media annuale. Sarebbe opportuno caratterizzare gli ambienti anche in termini di variazione massima accettabile della concentrazione. Tale operazione, che potrebbe essere compiuta anche una sola volta per ambiente, consentirebbe di valutare l'efficacia dei sistemi di ventilazione e potrebbe suggerire una corretta gestione dell'aerazione del locale. Tutto ciò sarebbe in perfetta sintonia con le attuali tendenze della radioprotezione che, oltre a fissare valori limiti che non è consentito superare, raccomandano di mantenere le dosi quanto più basso possibile.

Bibliografia

- 1) Burguignon M et al, Effects of ionizing radiations. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, UNSCEAR 2006.
- 2) Remetti R. Radon, un problema di sicurezza del lavoro. CONQUISTE DEL LAVORO, vol. 158; p. 5-6, (2010).
- 3) Anspaugh L et al. Sources of radiation exposure. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, UNSCEAR 2000.
- 4) Valentin J ed. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, Publication 103, Elsevier 2007.

Richiesta estratti: Romolo Remetti - romolo.remetti@uniroma1.it

N. L'Abbate¹, C. Di Pierri¹, V. Martucci², G. Cianciaruso², M. Ragone²

Valutazione della concentrazione media annua di radon negli ambienti di lavoro del settore bancario in Puglia

¹ Sezione di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Mediche e del Lavoro, Università degli Studi di Foggia

² ARPA Puglia

Parole chiave: radon, concentrazione indoor, settore creditizio.

ABSTRACT. RADON CONCENTRATIONS IN APULIAN BANKING WORKPLACES. According to the obligations provided by the Legislative Decree 241/2000, this study was performed to evaluate the annual average concentration of radon in banking premises existing in Apulia. Passive detectors were placed in areas distant from sources of heat and/or air. The following information was gathered about the workplaces: their position regarding soil, external apertures (doors and windows), ventilation and air-conditioning systems, wall and floor characteristics. In 74 bank branches 324 measurements were carried out. The values ranged from a minimum of 2 Bq/m³ to a maximum of 848 Bq/m³; the mean concentration was 94,11 Bq/m³ (DS ± 119,73). In 5 measurements the values exceeded the maximum limit of 500 Bq/m³; besides, 6 values were ranged from 400 to 500 Bq/m³. These data seem to be influenced by the geological features of the Apulian sub-surface with karst phenomena.

Key words: radon, indoor, bank.

Introduzione

Il fondo naturale di radiazione è costituito per più della metà dalla famiglia radioattiva naturale dell'uranio 238. Nell'ambito di tale famiglia il radon 222 riveste la maggior importanza per l'esposizione umana non tanto per le sue modalità di decadimento quanto per le sue caratteristiche chimiche: il radon è infatti un gas inerte che può diffondere dal mezzo in cui è stato prodotto nell'atmosfera ed essere respirato dall'uomo.

La quantità di radon presente in rocce e terreni è proporzionale al loro contenuto di uranio (presente naturalmente in ogni materiale); i materiali più ricchi di radon sono quelli di origine vulcanica. Le più importanti sorgenti di radon indoor sono il suolo, i materiali da costruzione, l'arredo ed (in misura minore) l'acqua per uso domestico ed i gas combustibili per produrre energia. Ai piani interrati ed al piano terra degli edifici il contributo dominante è quello del terreno; salendo ai piani superiori la presenza di radon diminuisce e diventa dominante il contributo dei materiali da costruzione.

Una volta rilasciato in atmosfera il radon si comporta diversamente a seconda che si trovi all'aperto o in ambienti chiusi: all'esterno, essendo un gas, si disperde rapidamente nell'ambiente per cui le concentrazioni in aria sono molto basse; all'interno di ambienti chiusi, soprattutto in condizioni di ridotto ricambio d'aria, esso può raggiungere concentrazioni anche notevoli cui può corrispondere un rischio significativo per la salute delle persone che frequentano tali ambienti.

Infatti la radioattività indoor rappresenta una delle maggiori fonti di esposizione dell'uomo a radiazioni ionizzanti e l'effetto principale che deriva dall'inhalazione di gas radon e dai suoi prodotti di decadimento è l'insorgenza di tumori polmonari. È noto in proposito che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) ha classificato il radon come sostanza cancerogena del Gruppo 1 (ossia sostanza per cui vi è evidenza certa di cancerogenicità nell'uomo) e che vi sono molteplici studi su tali effetti nocivi sulla salute (1, 2, 3).

In realtà il radon, essendo un gas inerte, una volta inalato viene anche esalato, mentre sono i figli del radon ad essere chimicamente attivi e quindi a potersi depositare nell'apparato respiratorio. Tali figli del radon, emettendo

radiazioni all'interno del tessuto polmonare, causano danni alle cellule di tale tessuto, favorendo in tal modo un processo cancerogeno a carico dell'apparato respiratorio.

Ognuno dei figli del radon in aria all'interno di un ambiente chiuso può: 1) attaccarsi alle pareti, 2) legarsi a particelle di aerosol, 3) restare libero sino al decadimento; le probabilità relative di questi tre processi dipendono dalle caratteristiche geometriche dell'ambiente e dalla qualità dell'aria.

Il D.Lgs. 26 maggio 2000 n. 241 (4), che integra il D.Lgs. 230/95 ha introdotto, per la prima volta in Italia, la tutela dei lavoratori dal rischio di esposizione alle sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti, prevedendo l'obbligo di misurare la concentrazione di attività di radon media annua in determinati ambienti di lavoro; tale obbligo si estende oltre alle attività svolte nei tunnel, nelle sottovie o nelle grotte, anche a tutte le attività lavorative svolte in luoghi sotterranei e autorizzati, quali ad esempio esercizi pubblici, musei, ospedali, mense, laboratori artigianali, ambulatori, uffici, banche.

In particolare tra le attività lavorative considerate dall'articolo 5, lettera a, del suddetto decreto vi sono quelle attività "durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposte a prodotti di decadimento del radon, del toron e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei".

In tali luoghi di lavoro devono essere verificati (entro 2 anni dall'inizio dell'attività) i livelli di concentrazione di radon. I risultati vanno confrontati con il livello di azione stabilito in 500 Bq m^{-3} come concentrazione media annuale; in caso di superamento del livello d'azione il datore di lavoro entro 3 anni deve porre in essere azioni di rimedio idonee a ridurre la concentrazione di radon. L'allegato I bis fissa per i lavoratori anche il fattore convenzionale di conversione di dose efficace per unità di esposizione al radon ($3 \cdot 10^{-9} \text{ Sv per Bq h m}^{-3}$).

In applicazione degli obblighi previsti dal succitato decreto, riguardanti la valutazione dei rischi di esposizione a radiazioni ionizzanti di origine naturale, in questa indagine è stata condotta una valutazione della concentrazione media annua di radon in locali del settore creditizio, siti in tutta la regione Puglia, facendo seguito a nostre precedenti esperienze sull'argomento nel medesimo territorio (5, 6).

Questo studio, che indica i dati riguardanti le concentrazioni di attività di radon medie annue rilevate nei locali dislocati nelle sei province pugliesi, è stato realizzato in collaborazione con l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Puglia (ARPA, Puglia), che ha eseguito le rilevazioni campionarie nelle filiali bancarie.

Materiali e metodi

Le misurazioni sono state effettuate secondo le "Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" proposte dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, che prevedono l'utilizzo di sistemi di misura (dosimetri) in grado di coprire l'intero anno solare mediante una o più esposizioni (7), nonché quelle della Sottocommissione Permanente ABI per la Safety.

Sono stati utilizzati rilevatori passivi a tracce nucleari su film sottili (LR 115), posizionati ad un'altezza compresa tra 1 e 3 metri, in aree lontane da fonti di calore e/o di ricambio d'aria. Durante l'installazione dei dosimetri sono state desunte informazioni sui locali, riguardanti i seguenti aspetti: posizione rispetto al piano campagna, presenza di eventuali aperture verso l'esterno, presenza di sistemi di aerazione e/o di climatizzazione, caratteristiche delle pareti e del pavimento (8, 9).

Risultati

Sono state effettuate 324 rilevazioni in 74 filiali, di cui 36 dislocate nella provincia di Bari, 6 nella sesta provincia (Barletta-Andria-Trani), 4 a Brindisi, 11 a Foggia, 9 a Lecce, 8 a Taranto. I dati rilevati presentavano valori compresi fra un minimo di 2 Bq/m^3 ed un massimo di 848 Bq/m^3 , con un valore medio di $94,11 \text{ Bq/m}^3$ ($DS \pm 119,73$). Non erano presenti valori duplici o ricorrenti; la mediana era 57,1. Nella tabella I sono rappresentate le concentrazioni di attività di radon medie in un anno rilevate nelle filiali, stratificate per provincia.

In 11 rilevazioni i valori erano ritenuti preoccupanti; i campionamenti considerati tali erano stati effettuati in 5

Tabella I. Concentrazioni di attività di radon medie annuali stratificate per provincia

PROVINCIA	N° FILIALI	N° RILEVAZIONI	CONC. MEDIA Bq/m^3	$\pm DS$	MINIMO	MASSIMO	MEDIANA
BARI	36	160	93	100	2	491	58
BAT	6	20	87	69	15	254	60
BRINDISI	4	17	79	161	19	724	44
FOGGIA	11	47	83	151	7	831	41
LECCE	9	33	129	183	19	848	74
TARANTO	8	39	93	85	8	364	61
MISSING	0	8	NC	NC	NC	NC	NC
TOT. PUGLIA	74	324	94,11	119,73	2	848	57,10

archivi, 3 caveau, 1 riserva idrica, 1 disimpegno, 1 locale impianti. Tutti i locali erano privi di accesso diretto dall'esterno, avevano le pareti sotterranee non completamente a contatto con il terreno, il pavimento a diretto contatto con il terreno e, ad eccezione di due, non avevano ulteriori aperture verso l'esterno. In particolare, 5 rilevazioni superavano la soglia di azione di 500 Bq/m³, introdotta dal D.Lgs. 241/2000; di queste ultime, due erano state determinate a Carmiano in provincia di Lecce, una a Latiano in provincia di Brindisi, due a Troia in provincia di Foggia. Il valore più elevato (848 Bq/m³) è stato rilevato a Carmiano (Le) in prossimità di una canalina elettrica situata in un caveau, dotato di una finestra e privo di impianti di climatizzazione. Le restanti 6 rilevazioni con valori compresi fra 400 Bq/m³ (soglia di attenzione) e 500 Bq/m³ interessavano una sede di Gravina in Puglia (3 campionamenti) e una filiale della città di Bari (3 campionamenti).

Discussione

La concentrazione di attività di radon media annuale di 94,11 Bq/m³, da noi riscontrata nelle filiali bancarie pugliesi, ha superato il valore rilevato negli edifici, sia a livello nazionale (75 Bq/m³) che a livello regionale (51 Bq/m³), da un'indagine nazionale dell'Istituto Superiore di Sanità (10) ma è risultata inferiore a quella media annuale di 157 Bq/m³ rilevata recentemente in un analogo studio condotto su 134 istituti di un gruppo bancario di rilevanza nazionale (11).

Vi è da far rilevare, tuttavia, che le concentrazioni più elevate, al di sopra della soglia di azione o di quella di attenzione previste dal D.Lgs 241/2000, sono state riscontrate in ambienti frequentati sicuramente in maniera molto saltuaria e per brevi periodi di tempo dai lavoratori addetti (archivi, caveau, riserva idrica, disimpegno, locale impianti), permanendo, comunque, l'obbligo di ricorrere ad azioni di rimedio idonee a ridurre la concentrazione di radon prescritte dalla suddetta normativa.

Altro elemento degno di considerazione è dato dalla constatazione che i valori più elevati sono stati rilevati in prevalenza nel territorio salentino ove, in una nostra precedente indagine svolta all'interno delle civili abitazioni nell'intero territorio pugliese, evidenziammo una concentrazione media annua di radon superiore al valore medio nazionale con un proporzionale incremento di rischio di sviluppare un tumore polmonare (5).

Tali dati sembrano risentire delle caratteristiche geologiche del sottosuolo pugliese, interessato dal fenomeno del carsismo. La Puglia, infatti, consta di un substrato calcareo che affiora nella Penisola Salentina, sul Gargano e sulle Murge. Sembra che, attraverso la formazione di una rete sotterranea di diffusione, il radon percorra grandi distanze trasportato dall'acqua e dai gas, raggiungendo l'esterno attraverso numerose faglie. In tal modo anche rocce calcaree, come quelle pugliesi, caratterizzate di solito da un contenuto relativamente basso di uranio, possono liberare notevoli quantità di radon (12).

Bibliografia

- 1) IARC - International Agency of Research on Cancer /WHO-World Health Organization: Evaluation of carcinogenic risks to humans: man-made fibres and radon. IARC Monograph 1988; 43 Lyon.
- 2) Baysson H, Tirmarche M, Tymen G, Gouva S, Caillaud D, Artus JC, Vergnenegre A, Ducloy F, Laurier D. Indoor radon exposure and lung cancer risk. Results of an epidemiological study carried out in France. *Rev Mal Respir* 2005; 22(4): 587-94.
- 3) Walsh L, Tschense A, Schnelzer M, Dufey F, Grosche B, Kreuzer M. The influence of radon exposures on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946-2003. *Radiat Res.* 2010; 173(1): 79-90.
- 4) Decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241 - "Attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti" - Gazzetta Ufficiale n. 203 Suppl. Ordinario 31 agosto 2000.
- 5) L'Abbate N, Marcuccio P, Dipace C, Carbonara M, Carioggia E, Martucci V, Salamanna S, Simeone G, Vitucci L. Indoor radon pollution in houses in the Apulian Region of Italy and evaluation of the probability of lung cancer in the population. *Med Lav* 2002; 93(6): 527-39.
- 6) L'Abbate N, Salamanna S, Acquaviva M, Carioggia E, Martucci V. Indagine sulle concentrazioni di radon nelle scuole di due comuni pugliesi e rischio oncologico. *G Ital Med Lav Ergon* 1999; 21(4): 287-93.
- 7) 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-10 aprile 2003. <<http://www.reteambiente.it/>>.
- 8) Lattarulo O, Martucci V, Vitucci L. L'inquinamento che colpisce i polmoni <<http://www.vglobale.it/>>.
- 9) Nero A. Earth, air, radon and home. *Physics Today* 1989; 42: 32-39.
- 10) Bochicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, et al Results of the representative italian national survey on radon indoors. *Health Physics* 1996; 70(5): 741-748.
- 11) Urso P, Ronchin M, Lietti B, Izzo A, Colloca G, Russignaga D, Carner P. Valutazione delle concentrazioni di radon nel settore bancario: risultati di una indagine condotta in un gruppo bancario di rilevanza nazionale. *Med Lav* 2008; 99(3): 216-33
- 12) Grassi D. Il carsismo della Murgia (Puglia) e sua influenza sulla idrogeologia della regione. *Geol Appl Idrogeol* 1974; 9: 119-160.

Richiesta estratti: Prof. Nicola L'Abbate, Sezione di Medicina del Lavoro - Dipartimento di Scienze Mediche e del Lavoro, Università degli Studi di Foggia, Azienda Ospedaliero-Universitaria "Ospedali Riuniti", Viale Pinto, 71100 Foggia, Italy - Tel. 0881.588035, Fax 0881.588028, E-mail: n.labbate@unifg.it

G. Di Loreto¹, A. Sacco², G. Felicioli³

Radon nei luoghi di lavoro, una panoramica

¹ Dirigente Medico di II° livello, Medico competente coordinatore Inps, Roma

² Dirigente medico Responsabile dell'Unità operativa Medico Competente e Radioprotezione Medica, Azienda Usl Roma

³ Funzionario amministrativo, struttura del Medico competente coordinatore Inps, Roma

RIASSUNTO. Il radon è un elemento chimico radioattivo. Si trova in natura come prodotto del decadimento radioattivo dell'uranio; è responsabile per la maggior parte dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti della popolazione comune, ed è la più variabile da luogo a luogo. Il gas radon proveniente da sorgenti naturali può accumularsi negli edifici, soprattutto in aree confinate; in Italia, alti livelli di radon si possono trovare in spazi sotterranei come cantine, piani bassi, palazzi storici, sorgenti d'acqua calda o fungaie, ecc. in tutti questi luoghi anche di lavoro rappresenta un rischio rilevante per la salute delle persone, specie per i fumatori. Appartiene al gruppo 1 delle sostanze cancerogene per l'uomo. Per assicurare la salute e sicurezza dei lavoratori e delle altre persone che hanno accesso a questi luoghi di lavoro, il medico del lavoro competente può programmare monitoraggi ambientali non costosi (con dosimetri) e sviluppare un piano di informazione e formazione.

ABSTRACT. RADON IN WORKPLACES, A REVIEW. Radon is a *chemical radioactive element*. It occurs naturally as the decay product of *radium*; it's responsible for the majority of the mean public exposure to *ionizing radiation*. It is often the single largest contributor to an individual's *background radiation dose*, and is the most variable from location to location. Radon gas from natural sources can accumulate in buildings, especially in confined areas such as attics, and basements. Breathing in radon is a cause of lung cancer. In Italy, high levels of radon should be found in underground spaces such as wineries, historical buildings, hot springs or mushrooms farms, and it's a hazard all this workplaces. To ensure the health and safety of employees and others who have access to their work environment, the occupational physician can program inexpensive surveys (with dosimeters) and develop an information plan.

Key words: radon, luoghi di lavoro, radiazioni ionizzanti.

Introduzione

Nell'ambito delle sue molteplici attività di collaborazione con il datore di lavoro, il medico del lavoro competente svolge un ruolo di rilievo, oltre che nella collaborazione con il datore di lavoro alla valutazione del rischio, anche nell'attività di formazione ed informazione nei confronti dei lavoratori (articolo 25 comma 1 lettera a del decreto 81/2008).

L'attuale orientamento giurisprudenziale, molto più severo che in passato, ha reso l'obbligo di formazione e informazione importantissimo per il datore di lavoro. Va precisato comunque che questo obbligo è sempre conseguente a quello di valutazione dei rischi e che i destinatari principali sono i lavoratori.

Le caratteristiche principali dell'informazione sono la completezza e la specificità, e, previa la conoscenza dello stato dell'arte, deve tenere presente tutti i rischi ragionevolmente prevedibili con l'ordinaria diligenza.

In considerazione della complessa struttura della valutazione dei rischi, può capitare che nella sua prima fase, l'individuazione, venga tralasciata o trascurata la ricerca del radon specie nei luoghi chiusi (case, uffici, scuole, musei, cantine eccetera); questo gas può arrivare a valori comportanti un elevato rischio per la salute dell'uomo, specie per i fumatori e la popolazione più giovane.

Materiali e metodi

Il radon è un gas inerte e radioattivo, di origine naturale, incolore, insapore, estremamente volatile e solubile nell'acqua. Proviene dal decadimento dell'uranio 238 presente in tutta la crosta terrestre e si trova nelle rocce, nel suolo e nei materiali da costruzione derivanti da rocce vulcaniche (tufo). Tende ad accumularsi negli ambienti confinanti, a volte può raggiungere concentrazioni tali da rappresentare un rischio significativo per la salute degli occupanti, sia nelle abitazioni (popolazione generale), sia in lavoratori che operano in luoghi di lavoro confinanti (seminterrati o sotterranei): il rischio per la salute è il contatto quotidiano, le molte ore trascorse in questi ambienti con infissi a tenuta stagna e pareti non traspiranti. La concentrazione dipende da quanto uranio è presente

nel terreno sottostante l'edificio. Si distribuisce uniformemente nell'aria dell'ambiente chiuso mentre i suoi prodotti di decadimento si attaccano al particolato (aerosol, polveri) dell'aria che si respira e poi si depositano sulle superfici delle mura, dei mobili, eccetera. Gran parte del radon inalato viene espirata prima che decada, mentre i prodotti di decadimento si legano alla pareti dell'albero respiratorio e tramite le radiazioni alfa irraggiano le cellule della parete bronchiale; la principale esposizione al radon avviene in casa, nei luoghi di lavoro e nelle scuole. Il gas aspirato dall'edificio migra dal suolo e dai materiali di costruzione e penetra all'interno degli edifici attraverso le microfessure, gli attacchi delle pareti al pavimento, i passaggi degli impianti delle utenze (termico, idraulico, elettrico). Questo trasporto di radon all'interno dell'edificio avviene per il cosiddetto "effetto camino" dovuto alla differenze di pressione tra l'esterno e l'interno. Quindi i maggiori livelli di radon si riscontrano a livello del contatto suolo edificio o nei locali più a stretto contatto quali gli interrati o seminterrati. Differenti concentrazioni possono riscontrarsi anche in edifici limitrofi con significative variazioni nell'arco della giornata o delle stagioni e tra diverse condizioni meteorologiche, in funzione dei ritmi circadiani, questo soprattutto in relazione al mutare degli stili di vita: aumento della temperatura interna e minore ventilazione durante la notte e nella stagione invernale. In considerazione di queste fluttuazioni per avere una stima precisa della concentrazione media di radon indoor è importante fare una misurazione per una durata significativamente lunga, preferibilmente un anno. Naturalmente questo gas non è pericoloso all'aria aperta poiché si disperde.

I metodi di misura del radon attualmente in uso non incidono in nessun modo sugli stili di vita adottati dagli occupanti degli edifici sottoposti a verifica, sono semplici, innocui ed economici, non emettono alcun tipo di sostanza o di radiazioni. Queste considerazioni fanno comprendere l'importanza della valutazione del rischio radon che deve rientrare a pieno titolo tra gli elementi da considerare nel documento di valutazione dei rischi. Ugualmente importante, per gli stessi motivi e per la scarsa conoscenza della problematica più volte emersa, ha il procedere ad una corretta informazione sul radon. Informazione sui rischi per la salute e monitoraggio debbono essere quindi condotti sinergicamente e rappresentare azioni prioritarie nell'attuazione di un'efficace strategia prevenzionistica. Il monitoraggio ambientale del radon effettuato per tempi lunghi (dosimetria ambientale) rappresenta la strategia attraverso la quale valutare la concentrazione media di radon nell'ambiente lavorativo al fine di stimare la dose ricevuta dai lavoratori. Vengono così identificati gli ambienti da sottoporre a bonifica se vengono superati i livelli di riferimento, oppure se viene evidenziata la necessità di una dosimetria personale cioè valutare la dose ricevuta da ciascun individuo in base al tempo trascorso nell'ambiente lavorativo, alla mansione svolta, al turno lavorativo, alla concentrazione di radon a cui è stato esposto. Se con le misurazioni si dovessero rilevare concentrazioni tali da costituire un rischio per la salute, tali elementi andranno segnalati alle competenti

autorità che si faranno carico di risanare l'ambiente. Tuttavia un metodo abbastanza efficace e immediato di parziale bonifica consiste nell'apertura delle finestre almeno tre volte al giorno per dieci minuti, iniziando dai piani bassi; invece la chiusura deve iniziare dai piani alti per evitare l'effetto camino. Per l'esecuzione di misure della concentrazione di radon si ricorre alle metodologie basate sull'impiego di dispositivi passivi detti anche dosimetri passivi o monitori. In generale si possono identificare due grandi categorie: la prima è costituita da dosimetri passivi con rivelatore a tracce nucleari (dispositivi passivi con rivelatore costituito da un elemento di LR-115, CR-39, policarbonato), la seconda è costituita da dosimetri passivi ad elettret (dispositivi passivi con rivelatore costituito da un disco di teflon elettricamente carico-elettret). Si tratta di strumenti caratterizzati da un rivelatore di materiale plastico sensibile alle radiazioni (rivelatore inserito all'interno di un contenitore, tipicamente di materiale plastico a volte addizionato di componenti che rendono il materiale stesso conduttivo). Affinché un monitoraggio copra l'intero anno solare, le misurazioni dovranno avere la durata di circa 3 mesi per quattro cicli di misurazioni. La suddivisione del campionamento in trimestri è finalizzata anche ad approfondire le variazioni stagionali dei livelli di radon.

Sotto l'aspetto medico, va rammentato che il radon è una sorgente di radiazioni ionizzanti, in particolare le particelle alfa prodotte dal decadimento degli isotopi di Polonio 218 e Polonio 214 sono responsabili dell'irraggiamento interno dell'apparato respiratorio. A causa dell'elevato potere ionizzante, il danno causato dalla radiazione alfa lungo il percorso di ionizzazione è molto marcato in termini biomolecolari, il bersaglio critico ai fini della cancerogenità è il DNA nucleare con conseguenti estese lesioni molecolari. Da tempo si hanno evidenze epidemiologiche che dimostrano un aumento statisticamente significativo del rischio di tumore polmonare ed è dimostrato che il radon rappresenta il secondo agente di rischio di cancro polmonare dopo il fumo di tabacco. L'OMS attraverso l'IARC ha classificato il radon appartenente al gruppo 1 delle sostanze cancerogene per l'essere umano (monografie 43/1988 e 78/2001): come evidenziato nel Piano Sanitario Nazionale 1998-2000, il 5-20% dei casi di neoplasia polmonare osservati nella popolazione italiana è attribuibile all'esposizione a radon, il che corrisponde a circa 1500-5500 casi all'anno. Eventuali effetti sanitari del radon diversi dal tumore polmonare non sono sufficientemente comprovati. L'Italia è un Paese a rischio per sue le caratteristiche geologiche e per le tipologie costruttive e abitative, che rappresentano un unicum a livello mondiale. L'Italia infatti ha un patrimonio storico artistico diffuso sul territorio e spesso scuole, università ed uffici pubblici sono ospitati in antichi palazzi costruiti in tufo; archivi e biblioteche, inoltre, sono situati solitamente negli scantinati dei palazzi, dove è assai improbabile un ricambio d'aria adeguato. Molti giovani inoltre frequentano istituti scolastici ed università che occupano edifici storici; tale fenomeno crea il rischio di esposizione al radon in questi individui che a causa della giovane età sono molto

sensibili all'azione nociva delle radiazioni ionizzanti. Parimenti, nel settore eno gastronomico, possiamo notare alcune attività lavorative svolte in luoghi inusuali e ad alto rischio radon: ad esempio, alcune cantine sono site in grotte naturali o ricavate da antiche cave abbandonate, in cui sono spesso ospitate anche fungaie.

In questo originale quadro, rammentiamo che in Italia i lavoratori sono tutelati dal decreto 241 del 2000 e dalla circolare del Ministero della Salute n. 5/01, linee guida per la tutela della salute negli ambienti confinati G.U. n. 276 del 27-11-2001, mentre non c'è ancora una copertura normativa riguardante la tutela della popolazione generale.

Risultati

Per superare questo vuoto normativo e per facilitare le azioni di prevenzione, soprattutto nei confronti del principale rischio da esposizione al radon, il nostro Paese, analogamente ad altri Paesi, ha però attivato un Piano Nazionale Radon (PNR). Si tratta di un piano coordinato di azioni volte alla riduzione del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon ed ai suoi prodotti di decadimento. Il PNR è stato preparato nel 2002 da una commissione del Ministero della Salute, comprendente esperti di diversi enti nazionali e regionali, ed ha avuto il parere favorevole del Consiglio Superiore di Sanità e della Conferenza Stato-Regioni. Alla fine del 2005 il Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie ha approvato il progetto "Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia (acronimo: PNR-CCM)" e ne ha assegnata la responsabilità all'Istituto Superiore di Sanità. Più di recente (10 novembre 2008) il Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie ha emanato una "raccomandazione sull'introduzione di sistemi di prevenzione dell'ingresso del radon in tutti gli edifici di nuova costruzione". Tuttavia, nella valutazione del rischio, non può essere trascurata la concomitante esposizione ad altri agenti cancerogeni per il polmone, in primis il fumo di tabacco, ma anche cancerogeni di natura occupazionale (asbesto, IPA, eccetera).

La coscienza della pericolosità del radon ha portato a numerose iniziative sul piano legislativo: da quando la normativa nazionale in materia di protezione dalle radiazioni ionizzanti (D.Lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni) ha previsto per l'esercente il controllo dei livelli medi di radon negli ambienti di lavoro specie in quelli in sotterraneo e in superficie collocati in aree geografiche ben determinate, per la valutazione di questo rischio sono diventati obiettivi prioritari la definizione di metodologie di misure appropriate e la realizzazione di indagini specifiche. Questo provvedimento segue quello emanato dalla Comunità europea il 21 febbraio 1990, una raccomandazione della Commissione "Sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi" che ha indicato i livelli di riferimento di concentrazione di gas radon nei luoghi frequentati dal pubblico: 200 Bq/m³ come livello di attenzione e 400

Bq/m³ come livello di azione. Oltre i 400 Bq/m³ la Comunità europea suggerisce l'attivazione di azioni di rimedio. Poiché i livelli di radon negli ambienti di lavoro sono fortemente variabili e spesso molto alti (nell'ordine di migliaia di Bq/m³) e gli individui possono ricevere dosi elevate, sono stati compiuti degli sforzi per definire un livello oltre il quale deve essere sottoposto a controllo. In tal senso lo Stato italiano, ha recepito la Direttiva 96/29 EURATOM con il D. Lgs. 241/00, il quale dispone che nei luoghi sotterranei (comma a) articolo 10 bis) come specificato dall'articolo 10 sexies la concentrazione di radon non deve superare i 500 Bq/m³ (allegato I bis, punto 3a). Oltre i 500 Bq/m³ vanno attivate azioni di rimedio nei tempi e modi previsti dall'articolo 10 ter - 10 quinquies del decreto.

Discussione

Il radon, grazie alle sue caratteristiche chimico-fisiche, fa sì che non ci accorgiamo della sua presenza e proprio per questo è pericoloso per la salute dell'uomo in certi ambienti chiusi. La non corretta o non considerata percezione di questo rischio, soprattutto per i suoi effetti nocivi sulla salute a medio lungo termine (cancro al polmone) deve rappresentare un impegno prioritario per gli operatori della sicurezza affinché vengano attivate le strategie necessarie per contrastare la sua azione. Proprio per questo l'azione del Medico competente è basilare: egli può sensibilizzare il datore di lavoro a prendere in considerazione la problematica, dare corrette informazioni ai lavoratori, renderli edotti su questo specifico fenomeno, stabilire piani di misurazione e proporre misure di miglioramento della sicurezza.

Inoltre, per una corretta informazione è necessario conoscere le principali metodiche per ridurre la concentrazione di radon nei luoghi chiusi. In primo luogo bisogna migliorare la ventilazione dell'edificio; è possibile inoltre impedire la risalita del radon dal suolo tramite una pressurizzazione dell'edificio aumentando la pressione interna.

Si può inoltre ricorrere ad una depressione capace di raccogliere il gas ed espellerlo nell'aria esterna tramite un ventilatore posizionato in un pozzetto realizzato accanto o sotto la superficie dell'edificio. Il rischio può essere abbattuto con più efficacia nelle nuove costruzioni tramite un monitoraggio del terreno, l'isolamento del suolo mediante vespai o pavimenti galleggianti, adeguatamente ventilati, uso di guaine e materiali (sabbia, ghiaia, calce, pietra calcarea, gesso naturale, legno, cemento puro e quello alleggerito).

Bibliografia

- Monografia ISPESL a cura di Rosabianca Travisi, Aspetti teorici ed operati per la protezione dal radon nei luoghi di lavoro, Ipsel, Villa Adriana, sd.
- Raccomandazione della Commissione sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi, 21 febbraio 1990.
- Decreto legislativo 19 settembre 1994 n. 626 e successive modifiche ed integrazioni.

Decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230: Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti e successive modifiche ed integrazioni.

Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241: "Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti".

Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro".

Decreto legislativo 3 agosto 2009, n. 106 Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

WHO - IARC: IARC Monographs on The Evaluation of Carcinogenesis Risks to Humans, Volume 43, Man-Made Mineral Fibres and Radon 1988.

WHO - IARC: IARC Monograph on the Carcinogenic Risks to Humans IARC Monographs, Volume 81, Some Internally Deposited Radionuclides, 2001.

Piano sanitario Nazionale 1998-2000, Obiettivo III, Migliorare il contesto ambientale, Aria, Acqua, Radiazioni Ionizzanti.

Accordo tra il Ministro per la salute e le Regioni sul documento concernente: "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinanti" 2001.

Piano nazionale radon 2002.

Centro nazionale per la prevenzione ed il controllo delle malattie: Avvio del Piano nazionale radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia, 2005.

Centro nazionale per la prevenzione ed il controllo delle malattie: Raccomandazione del Sottocomitato scientifico del progetto CCM: "Avvio del piano nazionale radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia", 2008.

Richiesta estratti: *G. Di Loreto: Dirigente Medico di II° livello, Medico competente coordinatore Inps, Via Ciro il grande 21, 00144 Roma, Italy*