

Radon e salute

I notevoli mutamenti dello stile di vita intervenuti negli ultimi decenni, rendono sempre più attuale la problematica del radon. Infatti, l'uomo trascorre ormai sempre meno tempo all'aria aperta perché le attività di lavoro e di socializzazione avvengono sempre più frequentemente in ambienti confinati. L'esposizione al radon al giorno d'oggi è senz'altro maggiore rispetto ai decenni e secoli precedenti.

L'importanza della rilevazione del radon è legata al fatto che rappresenta il parametro di base per la valutazione del rischio-impatto sulla popolazione della principale fonte di esposizione a radioattività ambientale e per la pianificazione delle risposte da adottare, anche in relazione alla normativa vigente sull'esposizione negli ambienti di lavoro.

L'effetto sanitario legato all'esposizione al gas (ovvero l'irraggiamento del tessuto polmonare da parte delle particelle alfa emesse dal radon e dai suoi discendenti) consiste nell'aumento del rischio di insorgenza di tumore polmonare. In particolare, il processo fisico-biologico che lega il radon al tumore polmonare è così sintetizzabile: il radon è un gas inerte che, emesso dal suolo e dai materiali da costruzione, si concentra nell'aria degli ambienti chiusi (abitazioni, luoghi di lavoro, etc.), e qui decade producendo altri radionuclidi, detti "prodotti di decadimento del radon". Quando si respira, l'aria inalata contiene sia radon che i suoi prodotti di decadimento: il radon, in quanto un gas inerte, viene in gran parte espirato, mentre i suoi prodotti di decadimento si attaccano alle pareti interne dell'apparato bronchiale e qui decadono emettendo radiazioni ionizzanti, le quali, soprattutto le particelle alfa, producono un danno alle cellule bronco-polmonari, incluso il loro DNA, che può evolversi in un tumore.

Quindi il radon agisce come "trasportatore" dei suoi prodotti di decadimento, i quali sono i veri responsabili del danno biologico. Per brevità, comunque, si usa spesso parlare di rischio radon, intendendo con questo il rischio connesso all'esposizione ai prodotti di decadimento del radon.

Per quel che riguarda l'evidenza del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon, l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha classificato sin dal 1988 il radon ed i suoi prodotti di decadimento tra le sostanze cancerogene di gruppo 1, sulla base di indagini epidemiologiche su coorti di minatori di miniere sotterranee (WHO-IARC, 1988), confermando questa classificazione in un'analisi più recente (WHO-IARC, 2001).

La probabilità di contrarre il tumore polmonare è proporzionale alla concentrazione di radon in aria, al tempo trascorso nei vari ambienti di vita sia residenziali che di lavoro nonché al consumo di tabacco. Tale associazione tra fumo di tabacco e esposizione al radon crea un effetto sinergico (che si manifesta con un'interazione moltiplicativa) in base al quale, a parità di esposizione al radon, il conseguente rischio per un fumatore di contrarre un tumore polmonare risulta molto superiore (10-20 volte) di quello di un non fumatore (Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali - ex Salute - Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie - Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia).

La concentrazione media di questo gas nell'aria è di 0,2 picocurie per litro; tuttavia, una quota importante della popolazione è esposta a livelli di radon variabili da 1,25 a 100 picocurie per litro in relazione alle emissioni del gas dal materiale da costruzione, dal suolo e dall'acqua e alla sua diffusione negli spazi confinati attraverso strutture interrato. Pur assumendo che non vi è alcun livello di radiazione ionizzante completamente sicuro (22) è necessario definire una soglia di rischio ragionevolmente tollerabile.

L'Ente per la Protezione dell'Ambiente americano (EPA), suggerisce "un livello di intervento" di 4 pCi/l (=148 Bq/m³) (Becquerel per metro cubo) in aria (IARC, 1988; ICRP, 1987). Secondo A. B. Cohen (Cohen, 1971, 1983), il livello medio di radon nelle case dei Paesi occidentali è di 1 pCi/l. Cohen esprime i rischi da radiazione in termini di "perdita dell'aspettativa di vita" e stima di 1,2 minuti la perdita dell'aspettativa di vita relativa a 1 millirem di radiazione assorbita e una perdita dell'aspettativa di vita di 20 ore per un'esposizione annuale nella propria abitazione a 1 pCi/l. Con questo modello esemplificato si può proiettare l'esposizione equivalente di 4 pCi/l per un intero anno come equivalente a 4.000 millirem o 4 rem. L'esposizione professionale massima ammissibile per le persone occupate in settori radiologicamente esposti è di 5 rem l'anno. Altre fonti valutano in 14 rem l'equivalente della dose di 4 pCi/l, ma non è chiaro come si sia giunti a un valore così elevato (BEIR, 1988; Istituto Superiore di Sanità, 1989).

La cancerogenicità del radon è dimostrata da studi molecolari e cellulari effettuati sugli animali e, soprattutto, da studi epidemiologici. Il meccanismo d'induzione cancerogenesi da parte delle radiazioni è un processo complesso, non ancora del tutto noto, che avviene in più stadi, che possono essere influenzati, ognuno, da altri fattori. Per quantificare il rischio sanitario per la popolazione associato all'esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento, la tendenza attuale è quella di basarsi soprattutto sugli studi epidemiologici sui minatori.

Negli ultimi decenni sono stati sviluppati diversi modelli di calcolo per la valutazione dell'aumento del rischio di tumore polmonare (IARC, 1988; ICRP, 1987; ICRP, 1993).

In particolare, le più recenti e accurate stime di rischio che prendono in esame le esposizioni nelle abitazioni basate su un insieme di 13 studi europei su un totale di 7.148 casi di tumore polmonare e di 14.208 controlli, confermano e consolidano le valutazioni dei decenni precedenti. Il rischio in eccesso rispetto alla non esposizione viene valutato in circa il 16% per ogni 100 Bq/m³; ne consegue che, in funzione della concentrazione media italiana pari a 70 Bq/m³, circa l'11% degli oltre 31.000 casi di tumore polmonare che ogni anno si registrano in Italia sono attribuibili al radon e per la grande maggioranza tra i fumatori, cifra che rappresenta circa il 2% di tutti i decessi per ogni tipo di tumore.

Ricerche condotte in Paesi Europei hanno rilevato concentrazioni medie di radon nelle abitazioni variabili da 20 a 100 Bq/m³, generalmente intorno ai 55 Bq/m³; tra i Paesi a più bassa concentrazione, si trovano l'Inghilterra (20 Bq/m³) e la Germania (50 Bq/m³), mentre, oltre la media si collocano la Francia (68 Bq/m³), l'Austria (75 Bq/m³), la Svezia (108 Bq/m³), la Repubblica Ceca (140 Bq/m³). Negli Stati Uniti d'America sono stati rilevati valori medi di 46 Bq/m³; la media mondiale è di 40 Bq/m³.

Non esiste una concentrazione "sicura" al di sotto della quale la probabilità di contrarre il tumore è nulla. Tuttavia, molte organizzazioni scientifiche internazionali, l'OMS, la Comunità Europea e singoli Paesi hanno fissato dei livelli di riferimento per le abitazioni e per gli ambienti di lavoro al di sotto dei quali ritengono il rischio accettabile. Al di sopra di questi valori, invece, suggeriscono e in alcuni casi impongono di adottare provvedimenti per la riduzione della concentrazione.

Per quanto riguarda i valori di riferimento nelle abitazioni, molti dei Paesi industrializzati hanno emanato delle raccomandazioni per spingere la popolazione ad affrontare il problema, invitandola a misurare innanzitutto la concentrazione di radon e ad adottare azioni di risanamento quando questa superi determinati livelli, in quanto ritenuta fonte di un rischio elevato per la salute. Tali valori variano da Paese a Paese e, comunque, per la maggior parte si trovano nell'intervallo tra 150 e 400 Bq/m³. La Commissione Europea, con la Raccomandazione 143/Euratom del 21.02.1990, ha fissato dei valori di riferimento della concentrazione di radon nelle abitazioni oltre i quali raccomanda interventi di bonifica per la sua riduzione: 400 Bq/m³ per edifici esistenti, 200 Bq/m³ per edifici da costruire (come parametro di progetto). I due valori sono diversi in relazione alla maggiore semplicità di intervento in caso di nuovi edifici. Molti Paesi hanno adottato valori di riferimento unici per case già costruite e in costruzione: Stati Uniti 150 Bq/m³, Inghilterra 200 Bq/m³, Germania 250 Bq/m³. In Italia non è ancora stato fissato un valore di riferimento a livello nazionale, ma è comunque vigente la raccomandazione europea.

Relativamente ai valori di riferimento negli ambienti di lavoro, il Decreto Legislativo 241/2000 (che modifica e integra il precedente Decreto Legislativo 230/95) ha introdotto la valutazione e il controllo dell'esposizione al radon nei luoghi di lavoro (scuole incluse).

Nel Decreto sono individuate, in una prima fase, alcune particolari tipologie di luoghi di lavoro e tutti quelli sotterranei per i quali i datori di lavoro hanno l'obbligo di effettuare misure e valutazioni. Il Decreto fissa anche un livello di riferimento di 500 Bq/m³, oltre il quale il datore di lavoro deve intervenire con più approfondite valutazioni ed eventualmente con azioni di bonifica.

Sono stati definiti anche compiti per le istituzioni: in particolare, le regioni devono eseguire una mappatura del territorio e individuare le zone in cui il problema si presenta in modo più rilevante, dove sarà obbligatorio effettuare misure e interventi in tutti i luoghi di lavoro, anche in superficie.

Una prima individuazione delle aree doveva essere effettuata entro il 31 agosto 2005, tuttavia la mancata costituzione di una speciale commissione, che avrebbe dovuto stabilire le Linee Guida per le metodologie di mappatura, porterà a un ritardo. La commissione ha anche l'incarico di indicare le modalità di misura della concentrazione di radon.

Radon Indoor

Contesto

La radioattività può avere un'origine sia artificiale che naturale. La radioattività artificiale è quella che si genera a seguito di attività umane: produzione di energia nucleare, apparecchiature mediche per diagnosi e cure, apparecchiature industriali, attività di ricerca, eccetera, cui vanno aggiunte le attività legate alla produzione di materiale bellico.

La radioattività naturale è dovuta alla presenza di radiazioni provenienti dal cosmo, alle interazioni tra queste e l'atmosfera e alla presenza di molti elementi radioattivi esistenti fin dalle origini della terra, che non si sono ancora trasformati completamente e ancora non hanno raggiunto lo stato di stabilità finale. Questi elementi sono presenti ovunque nell'aria, nel suolo, nelle acque e perfino nel nostro corpo.

Tra gli elementi radioattivi di origine naturale ricade, appunto, il radon, gas inodore ed incolore prodotto dal decadimento dell'uranio 238 (elemento presente in tutte le rocce della crosta terrestre che, in presenza di fessure o aperture, si può diffondere all'interno degli ambienti confinati di un edificio, tendendo a concentrarsi). È considerato, pertanto, un inquinante tipicamente indoor (presente in case, scuole, ambienti di lavoro, etc.) la cui concentrazione, peraltro, può essere molto variabile sia in termini temporali che spaziali.

Essendo l'interno degli edifici, generalmente, in depressione rispetto all'esterno si producono dei moti convettivi nel suolo che fanno sì che il radon venga "aspirato" verso l'interno degli edifici stessi penetrando attraverso:

- le fessure dei pavimenti, anche se invisibili, che sono sempre presenti;
- le giunzioni pavimento-parete;
- i passaggi degli impianti termici, idraulici, delle utenze elettriche, del gas, etc..

Anche i materiali da costruzione emettono radon e possono, in alcuni casi, contribuire considerevolmente ad aumentarne la concentrazione. L'acqua è un'altra sorgente di radon ma, a meno di casi eccezionali, contribuisce in misura minore alla concentrazione del gas, che è molto variabile sia da luogo a luogo sia nel tempo.

Due edifici simili e vicini possono avere concentrazioni molto differenti. Forti variazioni della concentrazione di radon si possono riscontrare tra il giorno e la notte, durante differenti condizioni meteorologiche e tra estate e inverno. Per questo motivo una misura della concentrazione di radon, significativa per capire la situazione e per decidere cosa fare, deve essere fatta per un periodo sufficientemente lungo, possibilmente per un intero anno.

La grandezza utilizzata come riferimento per valutarne l'entità è la concentrazione di radon gas (o radon 222) in aria che viene espressa in Bq/m³ (Becquerel per metro cubo) ossia il numero di trasformazioni nucleari che ogni secondo sono emesse in un metro cubo di aria. In pratica, se si ha una concentrazione, ad esempio, di 400 Bq/m³ vuol dire che 400 nuclei di radon si stanno trasformando, ogni secondo, in ogni metro cubo di aria, emettendo radiazioni.

La misura si può effettuare con due diverse tecniche che prevedono l'utilizzo di rilevatori passivi o attivi. Per rilevatori passivi si intendono generalmente pellicole sensibili alla radiazione alfa che si scalfiscono quando colpite dalla radiazione: il numero delle tracce presenti sulla pellicola in funzione della superficie e del periodo di esposizione fornisce una buona indicazione della concentrazione di radon nell'ambiente. Tali rilevatori, se esposti per non meno di un mese, forniscono ottime indicazioni ad un prezzo accessibile.

I rilevatori attivi sono, invece, costituiti da dispositivi elettronici in grado di misurare, in continuo per ore e giorni, la presenza di radon negli ambienti. I risultati sono più attendibili ma il costo per l'analisi è più elevato; essi vanno usati per determinazioni accurate in genere laddove i rilevatori passivi hanno individuato concentrazioni preoccupanti di radon.

Sulla base di queste considerazioni, vengono di seguito riportate le principali indagini svolte in ambito nazionale per la rilevazione della concentrazione media di Rn-222 in aria nelle abitazioni delle varie regioni al fine di delineare una mappatura delle aree a maggiore rischio e di poter adottare adeguate misure di prevenzione.

Metodi

I dati riportati, provengono essenzialmente da un'indagine nazionale eseguita dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e dall'Agenzia Nazionale per la Protezione Ambientale (ANPA) su un campione di circa 5.000 abitazioni in 232 città; per quanto non recente (anni 1989-1997) rimane a tutt'oggi l'indagine più vasta fino ad ora eseguita in ambito nazionale. Pesando le medie regionali per il numero degli abitanti di ogni regione vengono calcolati a livello nazionale e regionale la media aritmetica, la media geometrica e la deviazione standard nonché la percentuale media di abitazioni che eccedono i due livelli di riferimento (200 e 400 Bq/m³). Essendo necessario molto tempo sia per l'organizzazione logistica che per l'acquisizione di dati relativi ai rilievi ambientali, l'indagine è stata caratterizzata da una particolare complessità operativa e durata delle rilevazioni.

Risultati e Discussione

L'indagine ha evidenziato una concentrazione media (aritmetica) di attività di radon indoor in Italia di circa 70 Bq/m³, valore più elevato rispetto alla media mondiale (40 Bq/m³); la media geometrica è pari a 52 Bq/m³, la deviazione standard geometrica è uguale a 2,1. La media geometrica (che trova la sua applicazione quando le grandezze si susseguono in progressione geometrica o per grandezze che misurano variazioni relative) ottenuta è espressione di una distribuzione asimmetrica positiva caratterizzata, in una sua rappresentazione grafica, da una lunga coda verso le concentrazioni più elevate.

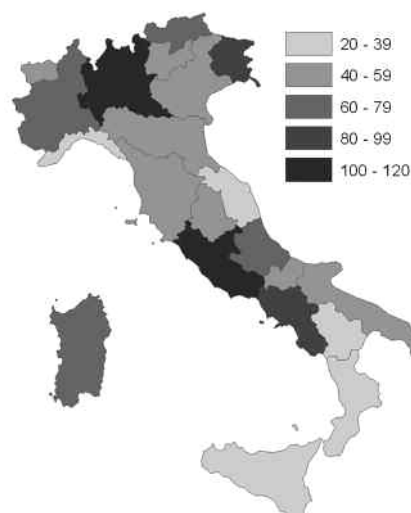
L'incertezza di misura associabile al valore medio riscontrato, valutata pari a circa il 10%, è dovuta a diversi fattori fra cui: le caratteristiche del campionamento, la variabilità della concentrazione del radon sul territorio e la tecnica di misura. È stata anche calcolata la percentuale media di abitazioni che eccedono i due livelli di riferimento della Raccomandazione 143/Euratom del 21.02.1990 che sono risultati rispettivamente 4,1% (corrispondenti a circa 800.000 abitazioni che superano i 200 Bq/m³) e 0,9% (corrispondenti a circa 200.000 abitazioni che superano i 400 Bq/m³).

Un'analisi delle medie rilevate nelle varie regioni evidenzia notevoli differenze; tale distribuzione, in linea con i risultati degli altri Paesi, è da mettere in relazione alla naturale variabilità spaziale del fenomeno, dovuta principalmente al diverso contenuto di uranio nelle rocce, nei suoli, alla loro differente permeabilità e al ruolo svolto in molte località dai materiali da costruzione ricavati da cave locali. In particolare (Tabella 1), nella maggior parte delle regioni (ben 17 su 21) sono state riscontrate concentrazioni al di sotto della media nazionale: i valori più contenuti sono stati rilevati in Calabria (25 Bq/m³), Marche (29 Bq/m³) e Basilicata (30 Bq/m³), mentre, tra le regioni a più elevata concentrazione emergono Lazio (119 Bq/m³) e Lombardia (111 Bq/m³), seguite da Friuli-Venezia Giulia (99 Bq/m³) e Campania (95 Bq/m³). Inoltre, il Friuli-Venezia Giulia, il Lazio e la Lombardia sono le regioni dove sono collocate il maggior numero di abitazioni considerate a maggior rischio radon in relazione alla concentrazione superiore ai 400 Bq/m³ (pari rispettivamente a 4,8%, 3,4%, 2,2%).

Tabella 1 - Radon nelle abitazioni italiane per regione - Anni 1989-1997

Regioni	Radon-222 Bq/m ³ (media aritmetica, STD err.)	Abitazioni >200 Bq/m ³ %	Abitazioni >400 Bq/m ³ %
Piemonte	69 ± 3	2,1	0,7
Valle d'Aosta-Vallée d'Aoste	44 ± 4	0,0	0,0
Lombardia	111 ± 3	8,4	2,2
Bolzano-Bozen	70 ± 8	5,7	0,0
Trento	49 ± 4	1,3	0,0
Veneto	58 ± 2	1,9	0,3
Friuli-Venezia Giulia	99 ± 8	9,6	4,8
Liguria	38 ± 2	0,5	0,0
Emilia-Romagna	44 ± 1	0,8	0,0
Toscana	48 ± 2	1,2	0,0
Umbria	58 ± 5	1,4	0,0
Marche	29 ± 2	0,4	0,0
Lazio	119 ± 6	12,2	3,4
Abruzzo	60 ± 6	4,9	0,0
Molise	43 ± 6	0,0	0,0
Campania	95 ± 3	6,2	0,3
Puglia	52 ± 2	1,6	0,0
Basilicata	30 ± 2	0,0	0,0
Calabria	25 ± 2	0,6	0,0
Sicilia	35 ± 1	0,0	0,0
Sardegna	64 ± 4	2,4	0,0
Italia	70 ± 1	4,1	0,9

Fonte dei dati e anno di riferimento: APAT. Annuario dei dati ambientali, Concentrazione di attività di radon indoor, Estratto edizione 2005-2006, Roma, febbraio 2006 - Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Torri G., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L. - *Results of the National Survey on Radon Indoors in the all the 21 Italian Regions Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop*, Atene. Aprile 1999.

Radon nelle abitazioni italiane per regione (Bq/m³)

Conclusioni

A tutto il 2001, risultano censite una cinquantina di campagne e attività di monitoraggio di radon in aria *indoor* per abitazioni e scuole, ultimate o in corso di svolgimento, significative ai fini della caratterizzazione del territorio. Ulteriori indagini di mappatura territoriale eseguite in ambito nazionale effettuate dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) e dall'Agenzia Provinciale per la Protezione Ambientale (APPA) confermano la notevole variabilità della concentrazione di attività di radon e della percentuale di edifici che superano determinati valori di concentrazione di radon. In alcune regioni sono stati avviati, a cura delle ARPA/APPA, studi per l'individuazione delle zone a maggiore probabilità di alte concentrazioni di radon ai sensi del D. Lgs. 230/95 e s.m.i. con l'indicazione dell'anno dell'inizio delle attività. Nel Veneto, Provincia Autonoma di Bolzano e Friuli-Venezia Giulia, è già disponibile una mappatura regionale a seguito di azioni di monitoraggio territoriale a tal fine appositamente progettate. La Provincia Autonoma di Trento, Emilia-Romagna, Toscana e Abruzzo hanno già intrapreso campagne di misura di radon estese all'intero territorio regionale. In Piemonte e Lombardia sono state condotte indagini approfondite su aree già note a priori per gli elevati livelli di radon.

Anche sulla base delle indagini ed interventi svolti da varie regioni, ma soprattutto in relazione alle esperienze maturate in molti Paesi, soprattutto in Europa ed in Nord-America, si è resa evidente la necessità di adottare politiche sanitarie volte alla riduzione del rischio radon. Data la complessità e multidisciplinarietà del problema radon, nonché la molteplicità di competenze amministrative coinvolte, l'esperienza di questi Paesi mostra chiaramente che lo strumento più efficace per il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione del rischio radon è la predisposizione di un Piano Nazionale Radon, col quale programmare e coordinare le numerose e diverse azioni da intraprendere.

Anche l'Italia ha cominciato da diversi anni ad affrontare il problema radon e l'introduzione di una normativa sul radon nei luoghi di lavoro (inserita nel D. Lgs. 241/00) ha accentuato la necessità di un "Piano Nazionale Radon" italiano (PNR), previsto esplicitamente dall'"Accordo tra il Ministro della Salute, le Regioni sul documento: «Linee Guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati», 2001. Questo documento viene considerato, nel Piano Sanitario Nazionale 2003-2005, come il "documento di riferimento per gli obiettivi e gli interventi in questo settore".

Nell'ambito delle azioni già intraprese e dei risultati ottenuti giungono alcune conferme inerenti la pericolosità del radon:

- infatti, una prima stima del numero di tumori polmonari connessi all'esposizione al radon, in Italia e nelle singole regioni evidenzia che ogni anno i decessi per tumore polmonare sono circa 32.000 (in aumento tra le donne), su un totale di circa 150.000 per tutti i tumori;
- il rischio attribuibile al radon è 10% (I.C. = 3%-18%) in Italia, dal 4% al 16% nelle singole regioni;
- i tumori polmonari attribuibili al radon, allo stato attuale delle conoscenze, sono quindi 3.200 (I.C. = 1.100-

5.700) all'anno;

- di questi, la maggior parte è tra i fumatori e gli ex-fumatori, soprattutto per gli uomini, a causa della sinergia tra radon e fumo.

Tale Piano, oltre all'obiettivo primario rappresentato dalla riduzione del rischio di tumore polmonare, si prefigge l'istituzione dell'Archivio Nazionale Radon, presso l'Istituto Superiore di Sanità, la realizzazione di mappe di rischio, l'emanazione di una normativa sulla protezione dal radon nelle abitazioni ed adeguamento di quella sui luoghi di lavoro e la realizzazione di Linee Guida e guide tecniche (per le misure di concentrazione di radon, per le azioni di rimedio sugli edifici esistenti e per la costruzione di edifici a tenuta di radon).

Riferimenti bibliografici

- (1) Accordo del 27 settembre 2001 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. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 276 del 27.11.2001, Supplemento ordinario n. 252.
- (2) APAT: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici: Annuario dati ambientali, 2004.
- (3) APAT: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici: Linee Guida per le misure di Radon in ambienti residenziali, 2004.
- (4) APAT: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici: Annuario dei dati ambientali, Concentrazione di attività di radon indoor, Estratto edizione 2005-2006, Roma, febbraio 2006.
- (5) BEIR-VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon National Research Council). Health Effects of Exposure to Radon. National Academy Press, Washington, D. C; 1999.
- (6) Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Torri G., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L.: Results of the National Survey on Radon Indoors in the all the 21 Italian Regions Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, Atene, Aprile 1999.
- (7) Cohen A. B.: Before It's Too Late, Plenum Press, 1983.
- (8) Cohen A. B.: Concepts of nuclear Physics, McGraw-Hill, 1971.
- (9) Commissione delle Comunità Europee, Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996, G.U. delle Comunità Europee LI 59 del 29 giugno 1996.
- (10) Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230: Attuazione delle direttive Euratom nn. 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n. 136 del 13 giugno 1995.
- (11) 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 della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n. 203 del 31 agosto 2000.
- (12) Direttiva del Consiglio del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione (C 89/106/CEE).
- (13) IARC, International Agency of research on cancer, WHO, World Health Organisation: Evaluation of carcinogenic risks to humans; man-made mineral fibres and radon. IARC Monograph. 43 Lyon, 1988.
- (14) ICRP, International Commission on radiological Protection: Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters. ICRP Publication 50, Annals of the ICRP 17 (1987) n. 1.
- (15) ICRP, International Commission on Radiological protection: Protection against Radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Annali of the ICRP 23 (1993) n. 2.
- (16) Internally deposited alpha-emitters. BEIR IV Report. Washington D. C., National Academy of Sciences, National Academy Press, 1988.
- (17) ISS-ANPA, Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, ISTISAN Congressi 34, (1994).
- (18) Istituto Superiore di Sanità, Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità, 2 (1989) n. 3.
- (19) Legge Regionale del Lazio 31 Marzo 2005, n. 14: Prevenzione e salvaguardia dal rischio gas radon.
- (20) Linee Guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei, Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano, Roma, 6 febbraio 2003.
- (21) Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali (ex Salute), Dipartimento Prevenzione e Comunicazione, Direzione Generale Prevenzione Sanitaria, Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie. Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia (acronimo: PNR-CCM).
- (22) Ministero della Salute: "Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati», del 27 settembre 2001, S.O. alla Gazzetta Ufficiale, n. 276 del 27 novembre 2001 - Serie generale.
- (23) NRPB (National Radiological Protection Board). Health Risks from Radon, ISBN 0-85951-449-8; 2000.
- (24) Raccomandazione della Commissione del 20 dicembre 2001 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile. Gazzetta ufficiale delle Comunità europee L 344/85; [notificata con il numero C (2001) 4.580] (2001/928/Euratom).
- (25) Raccomandazione Euratom n. 143/90 della Commissione del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi (in Gazz. Uff. CEE, 27 marzo, L 80).
- (26) WHO-IARC (World Health Organization - International Agency for Research on Cancer). IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans: man made mineral fibres and Radon. IARC Monograph Vol.43, Lyon, France: 1988.