

LIVELLO DI ESPOSIZIONE AL RADON NELLE PRINCIPALI AREE METROPOLITANE ITALIANE

GIANCARLO TORRI, VALERIA INNOCENZI

Servizio Controllo Radiazioni Ambientali

Introduzione

Nel corso degli ultimi anni la cosiddetta "Indoor Air Quality" (IAQ) è divenuta una delle principali problematiche ambientali, particolarmente nei grossi agglomerati urbani nei quali la concentrazione di molteplici attività favorisce l'aumento delle pressioni ambientali.

Il progresso tecnologico-industriale ha determinato un aumento quantitativo e una diversificazione delle sostanze presenti negli ambienti confinati con la conseguente variazione della "qualità" dell'aria interna. L'introduzione di nuovi criteri costruttivi nell'edilizia, come l'utilizzo di isolamenti e di infissi a tenuta per favorire l'isolamento termico e quindi il risparmio energetico, ha ridotto il ricambio d'aria e quindi accentuato tale cambiamento.

Negli ambienti confinati quali abitazioni, luoghi di lavoro, scuole, palestre, negozi, ecc., in media si trascorre l'80% - 90% del tempo e la percentuale stimata sale per alcune categorie di persone come bambini, anziani, malati ecc. Risulta quindi evidente, ai fini della riduzione dell'esposizione¹ della popolazione agli inquinanti, il monitoraggio della salubrità di tali ambienti.

Le difficoltà di controllo sono date dall'estrema eterogeneità delle fonti di inquinamento e degli agenti inquinanti, unita alla complessità delle sperimentazioni tossicologiche necessarie per stabilire l'effetto dell'esposizione e le concentrazioni da ritenersi accettabili per ciascuna sostanza.

Nell'ambito dell'IAQ, il radon, come agente inquinante, non è trattato oggi, così come in passato, con la dovuta importanza. Questo apparente disinteresse e la sua inconsapevole accettazione, probabilmente, sono dovuti alle caratteristiche del gas che, oltre ad essere incolore, insapore e inodore, non produce alcun effetto avvertibile dai sensi, anche ad elevate concentrazioni. Inoltre il radon è di origine "naturale" e quindi considerato implicitamente "normale" o in ogni modo inevitabile.

Recentemente però l'acquisizione della consapevolezza dell'impatto per la salute dell'uomo ha evidenziato la necessità di affrontare il problema con il massimo rigore. Oltre alla sensibilizzazione nell'ambito normativo, sono stati intrapresi numerosi studi e campagne di misura volte a stimarne la concentrazione all'interno degli edifici.

Il radon (^{222}Rn) è un gas nobile radioattivo, chimicamente inerte ed elettricamente neutro, prodotto dal decadimento dell'uranio (^{238}U), presente nella crosta terrestre. Il ^{222}Rn a sua volta decade e genera una catena di nuclei instabili, chiamati "prodotti di decadimento del radon", a loro volta radioattivi, fino ad arrivare al nucleo stabile del ^{206}Pb .

Mentre in atmosfera si diluisce rapidamente, negli ambienti confinati, specie se il ricambio d'aria è limitato, il radon si accumula e, in alcuni casi, può arrivare a livelli di concentrazione tali da rappresentare una fonte di rischio per la salute degli occupanti. In assenza di particolari eventi, quali incidenti nucleari o esplosioni atomiche, il radon nei

¹ **Esposizione** – grandezza di riferimento per la valutazione del rischio sanitario; l'esposizione è il prodotto tra la concentrazione di una sostanza e il tempo trascorso a contatto con tale sostanza.

luoghi chiusi costituisce la fonte più rilevante di esposizione a radiazioni ionizzanti per la popolazione (UNSCEAR, 2000).

L'effetto sanitario legato all'esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento consiste nell'aumento di rischio di insorgenza di tumore polmonare; dopo il fumo di sigaretta, l'esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento costituisce la seconda causa di decesso per questo tipo di patologia.

In Italia dove la concentrazione media di radon registrata è di 70 Bq/m³, ben più alta rispetto alla media mondiale di 40 Bq/m³, si stima che circa il 5÷20% dei circa 30000 casi l'anno di tumore polmonare sia attribuibile al radon.

2. ACCUMULO DI RADON NEGLI AMBIENTI CONFINATI

Le principali sorgenti che determinano la presenza di radon negli ambienti confinati sono il suolo, i materiali da costruzione, l'aria esterna e l'acqua. Nelle normali condizioni, secondo l'ultimo rapporto dell'UNSCEAR (UNSCEAR, 2000), il contributo al radon indoor dal suolo può essere stimato intorno al 60÷70%, mentre quello da materiali edili è valutato tra il 15% e il 20%. In Tabella 2.1 è riportata una stima dei contributi alla concentrazione media di radon indoor apportati dalle principali sorgenti (Nero & Naranoff, 1988).

Tabella 2.1 - Stima dei contributi alla concentrazione media di radon indoor (Bq/m³)².

Sorgente	Monofamiliari	Appartamenti
Suolo	55	>0
Materiali da costruzione	2	4
Esterno	10	10
Acqua	0,4	0,4
Concentrazione media osservata	55	12

Tale rappresentazione deve considerarsi in modo del tutto generico in quanto il radon, come sarà meglio descritto in seguito, si presenta come un fenomeno molto variabile. In linea di massima, il range di concentrazione indoor del gas è compreso tra alcune decine fino a migliaia di Bq/m³, ma sono stati registrati casi di decine o centinaia di migliaia di Bq/m³.

Generalmente, concentrazioni di radon indoor elevate (>400 Bq/m³) sono da imputare alle proprietà litologiche del suolo; le rocce, infatti, soprattutto se permeabili o fratturate e con un rilevante contenuto di uranio/radio (tufo, granito, porfido, fillade quarzifera, ecc.), possono emanare elevate quantità di radon che, per effetto della minore pressione rispetto all'esterno (Nero & Naranoff, 1988), penetra all'interno degli edifici, dove si accumula, fino a raggiungere gli alti livelli di concentrazione.

La depressione, prodotta principalmente dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno del fabbricato e dal vento che colpisce l'edificio (Nero & Naranoff, 1988), è infatti in grado di aspirare il radon attraverso le microscopiche fessure delle superfici di contatto con il suolo. Tanto maggiore risulta la differenza di temperatura tra interno ed esterno e la forza dei venti, quanto maggiore generalmente è l'ingresso e la conseguente concentrazione di radon indoor. Per questo motivo d'inverno e di notte si rilevano i picchi di concentrazioni del gas.

² Becquerel (Bq) – unità di misura, adottata dal S.I., dell'attività di un elemento radioattivo, ovvero numero di disintegrazioni nucleari per unità di tempo, corrispondente ad una disintegrazione al secondo.

Anche le caratteristiche costruttive degli edifici e il modo di uso degli edifici stessi incidono sulla concentrazione di radon indoor.

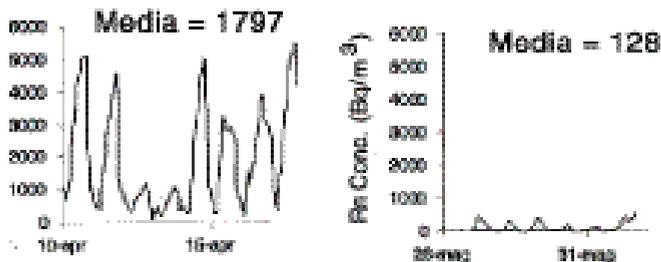
A ragione dei diversi parametri che contribuiscono alla presenza di radon, la sua concentrazione presenta una grande variabilità sia in termini spaziali (due abitazioni molto vicine e simili tra loro possono avere concentrazioni di radon molto diverse) che temporali (tra le ore diurne e notturne, durante i cicli meteorologici, da una stagione all'altra, ecc.) (Globe & Socolow, 1990).

A titolo di esempio in Figura 2.1 è riportato l'andamento della concentrazione media di radon in uno stesso edificio in due intervalli temporali di cinque giorni, rilevati a distanza di circa un mese l'uno dall'altro (fonte APAT).

A causa delle fluttuazioni dovute alle condizioni climatiche, si rende quindi necessaria, per non sottostimare o sovrastimare il rischio reale associato all'esposizione, la quantificazione della concentrazione di radon media annua; quasi tutta la normativa è infatti impostata sulla base di questo valore.

Esistono da decenni tecnologie di misura che sono in grado di effettuare, a bassi costi, misure integrate ossia misure per periodi di tempo lunghi.

Figura 2.1 - Esempio della variabilità della concentrazione di radon in uno stesso locale in differenti periodi.



3. IL RADON E LE IMPLICAZIONI SANITARIE

Nell'analisi delle conseguenze all'esposizione di radon si è seguito, in modo preponderante, l'indirizzo dell'"epidemiologia analitica", basato su ricerche sistemiche delle correlazioni tra lo stato di salute e la presenza dell'agente responsabile.

Diversi modelli di calcolo per la valutazione dell'aumento di rischio di tumore polmonare con l'esposizione di radon sono stati sviluppati e discussi negli ultimi decenni (ICRP, 1991; BEIR IV, 1990; ICRP, 1993; BEIR VI, 1998): la principale assunzione fatta è la linearità senza soglia tra il rischio di tumore polmonare e l'esposizione al radon. La probabilità di fenomeni oncogeni, infatti, non dipende dal numero di radiazioni che colpiscono una singola cellula epiteliale, ma dal numero totale di interazioni tra cellule e radiazioni, che è proporzionale all'esposizione (ICRU, 1980; BEIR, 1998).

Inoltre, alcuni autori hanno avanzato l'ipotesi che a parità di esposizione totale la situazione di maggiore rischio si presenti per esposizioni a bassi livelli di concentrazione per tempi piuttosto prolungati piuttosto che per picchi di concentrazione in tempi ridotti (ICRU, 1980).

Tra i vari fattori che entrano in gioco nel meccanismo di formazione del tumore è senz'altro da porre l'accento sul fumo: la combinazione tra fumo e radon ha un effetto sinergico più che sommatorio.

In Tabella 3.2 è riportata la stima, ponderata dal National Research Council americano, del numero di tumori polmonari attribuibili al radon per l'anno 1993 negli Stati Uniti, dove la concentrazione media di radon calcolata nelle abitazioni è di circa 50 Bq/m³ (BEIR VI, 1998).

Dai dati riportati si può notare che la maggioranza dei casi di tumore polmonare è occorsa tra fumatori, di entrambi i sessi. Considerando che in Usa sono circa 50 milioni i fumatori su 260 milioni di abitanti, risulta che il rischio per i fumatori sia superiore rispetto a quello per i non fumatori. Questo dimostra che ai fini di una strategia volta alla riduzione del rischio sanitario dovuto al radon, uno dei sistemi auspicabili risulterebbe essere la riduzione o meglio ancora l'eliminazione del fumo da tabacco.

Tabella 3.2 - Stima dei tumori polmonari attribuibili al radon nelle abitazioni per l'anno 1993 in USA (BEIR VI, 1998).

Popolazione	No. di tumori polmonari (tutte le cause)	Numero di tumori polmonari attribuibili all'esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento	
		Modello 1	Modello 2
Uomini (a)			
Fumatori	90.600	11.300	7.900
Non-fumatori	4.800	1.200	900
Totale	95.400	12.500	8.800
Donne (a)			
Fumatrici	55.800	7.600	5.400
Non-fumatrici	6.200	1.700	1.200
Totale	62.000	9.300	6.600
Uomini e donne			
Fumatori	146.400	18.900	13.300
Non-fumatori	11.000	2.900	2.100
Totale	157.400	21.800	15.400

(a) Assumendo che il 95% dei tumori polmonari negli uomini siano tra fumatori e che il 90 % dei tumori polmonari tra le donne siano tra fumatrici.

In Italia, si stima che il 5÷20% dei circa 30000 casi di tumore ai polmoni rilevati ogni anno sia attribuibile al radon e ai suoi prodotti di decadimento e più dell'80% al consumo di tabacco (Piano Sanitario Nazionale, 1998-2000).

In realtà, il maggior pericolo per la salute umana non è rappresentato tanto dal radon quanto dai suoi prodotti di decadimento. Infatti il radon, oltre ad essere chimicamente stabile, ha un tempo di dimezzamento pari a 3,82 giorni; pertanto, la frazione maggioritaria inalata di questo gas viene espulsa senza contribuire in misura rilevante ai danni a livello dell'apparato respiratorio.

Al contrario, i prodotti di decadimento del radon sono chimicamente reattivi e hanno un tempo di dimezzamento breve; una volta generati rimangono in parte liberi o in cluster, cioè agglomerati di particelle con diametro inferiore a 1nm (frazione non attaccata), e in parte si associano al particolato atmosferico (frazione attaccata), depositandosi sulle superfici (effetto plate-out) o rimanendo sospesi in aria. I prodotti di decadimento che rimangono sospesi in aria possono essere inalati. Peraltro, i sistemi di filtraggio dell'apparato respiratorio non sono in grado di bloccare le particelle più piccole che quindi si fissano sui tessuti più profondi. I prodotti di decadimento, a loro volta, continuano a decadere emettendo radiazioni: tra questi, i radionuclidi emettitori a vita breve, ^{218}Po e ^{214}Po , forniscono il maggior contributo alla dose assorbita dai bronchi e dai polmoni, provocando danni che, in alcuni casi, possono modificare la struttura cellulare e innescare un processo tumorale.

Si usa comunque il termine “rischio radon” per questione di “semplicità” dal momento che solo in sua presenza si formano i prodotti di decadimento.

4. ASPETTI LEGISLATIVI IN MATERIA DI RADON

Gli aspetti normativi in materia di radon hanno come obiettivo finale la “riduzione del rischio” ad un livello che può essere considerato “accettabile”; tali provvedimenti vanno dall’emanazione di vere e proprie leggi con valore di riferimento e sanzioni, a raccomandazioni con valori suggeriti, ma anche a una serie di dispositivi che favoriscono l’applicazione delle normative, quali agevolazioni finanziarie e/o fiscali, ecc.

La normativa distingue tra ambienti di lavoro e ambienti domestici.

In Italia, in data 1.1.2001 è entrato in vigore il Decreto Legislativo n. 241 del 26.5.2000 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 203 del 31.8.2000 N. 140/L): “Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM del 13.5.96 in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti”. Il D. Lgs. 241/2000 che recepisce la direttiva 96/29/EURATOM del 13.5.96, modifica e integra il D. Lgs. n. 230 del 17.3.1995³, principale corpo normativo sulla protezione dalle radiazioni ionizzanti.

Nel campo di applicazione del D. Lgs. 230/95 e s.m.i., relativamente all’esposizione al radon, rientrano tutti i luoghi sotterranei ed esplicitamente tunnel, sottovie, catacombe, grotte e terme, ma anche luoghi di lavoro in superficie con determinate caratteristiche e/o collocati in zone “a maggior probabilità di alte concentrazioni di radon”. Spetta alle regioni e alle province autonome stabilire i parametri distintivi dei suddetti ambienti di lavoro e individuare le zone a rischio radon, azione che viene definita “mappatura”. Al datore di lavoro compete il maggior onere per una corretta prevenzione e protezione dei lavoratori ed eventualmente del pubblico, ma ben precisi adempimenti al D. Lgs. 230/95 e s.m.i. sono previsti anche per le istituzioni; oltre alle regioni, in diverse attività previste dal Decreto sono coinvolti gli Uffici Provinciali del Lavoro, le Aziende Sanitarie Locali, il Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, l’APAT e l’ISPESL.

Una “Sezione Speciale” della “Commissione Tecnica Nucleare” costituita da 21 esperti della pubblica amministrazione e degli Enti pubblici interessati ha il compito di emanare linee guida, opinioni e proposte di modifica dello stesso Decreto; ad oggi questa Sezione che avrebbe dovuto portare a termine la maggior parte delle sue attività entro febbraio 2004 non è stata ancora costituita, ritardando quindi la completa applicazione del Decreto.

Mentre negli ambienti di lavoro si applicano “leggi”, negli ambienti residenziali si adottano “raccomandazioni”. Questo principalmente perché l’esposizione al radon dei lavoratori non è volontaria e il lavoratore stesso non è responsabile dell’eventuale eccesso di rischio; nel caso delle abitazioni non esiste un responsabile se non il proprietario e risulta problematico imporre provvedimenti legislativi e sanzioni.

La Commissione Europea ha emanato, il 21 febbraio 1990, una raccomandazione (90/143/EURATOM) sulla tutela della popolazione contro l’esposizione al radon negli ambienti residenziali in cui sono fissati precisi livelli di riferimento espressi in termini di concentrazione media annua di gas radon:

- per gli edifici esistenti si fissa un livello di riferimento pari a 400 Bq/m³ superato il quale si raccomanda di intervenire, con azioni di rimedio volte a ridurre il livello di radon, con un’urgenza proporzionale alla misura in cui il limite di riferimento viene superato;
- per gli edifici da costruire si fissa un livello di progettazione pari a 200 Bq/m³ e quin-

³ “Attuazione delle direttive EURATOM 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti” (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.136 Suppl. Ordinario, 13 giugno 1995).

di devono essere adottate opportune procedure di edificazione tali da garantire che la concentrazione media annuale di radon sia inferiore a tale valore.

L'adozione di un doppio livello di riferimento, più alto per gli edifici esistenti e più basso per gli edifici da costruire, è dovuto al fatto che i costi degli interventi preventivi sono notevolmente inferiori a quelli di rimedio. Ovviamente la concentrazione di radon nelle nuove abitazioni non può essere determinata con certezza fino a quando l'edificio non sia interamente occupato.

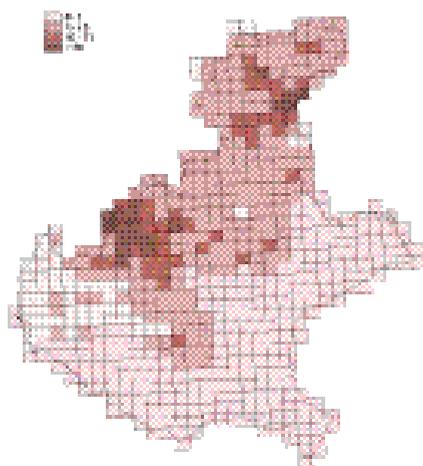
Inoltre, la raccomandazione 90/143/EURATOM sottolinea l'importanza, e quindi la necessità, di un'adeguata informazione della popolazione sul radon indoor. In USA si stima che circa il 75% della popolazione sia stata raggiunta e sensibilizzata su tale problematica. Va sottolineato che le esposizioni in ambienti domestici possono essere, in molti casi, superiori a quelle riscontrabili nei luoghi di lavoro, in virtù del maggior tempo di permanenza e per il fatto che molto di questo tempo è trascorso di notte, durante la quale, come detto, le concentrazioni sono generalmente superiori alla media giornaliera.

Molti Paesi hanno emanato delle raccomandazioni nelle quali si indicano dei livelli di azione superati i quali si raccomanda di adottare provvedimenti per ridurre la concentrazione di radon (Akerblom, 1999). Solo pochi Paesi hanno invece, imposto per legge dei livelli massimi di concentrazione, superati i quali vi è l'obbligo di intervenire.

In Italia, la regione del Veneto ha emanato una delibera regionale riguardo l'esposizione al radon in ambienti domestici (n. 79/2002) nella quale è stato individuato un valore di riferimento di 200 Bq/m^3 di concentrazione di radon media annuale, oltre il quale viene raccomandato di adottare azioni di bonifica. È stata anche effettuata una prima valutazione delle aree che presentano una maggiore probabilità di superamenti del valore di riferimento e sono stati identificati i comuni che si trovano in queste aree.

In Figura 4.2 è riportata la mappatura della regione in termini di percentuale di edifici che superano la concentrazione di 200 Bq/m^3 (ARPA VENETO, 2000).

Figura 4.2 - Frazioni di abitazioni (%) con livelli eccedenti 200 Bq/m^3 (dati normalizzati alla tipologia standard regionale rispetto al piano).



Da questa mappatura è stata fatta una prima lista di 86 comuni che sono stati dichiarati ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon:

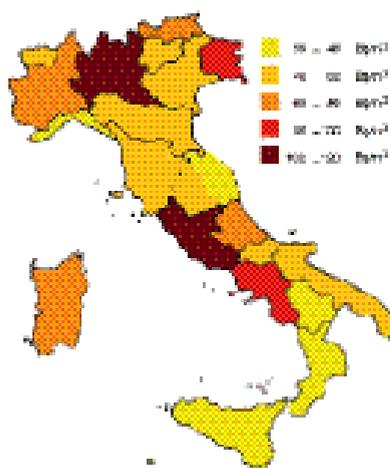
- si consiglia ai cittadini residenti in questi comuni di effettuare misurazioni di radon per un intero anno;
- si consiglia ai cittadini residenti al di fuori di questi comuni di effettuare misurazioni qualora la loro abitazione abbia locali al piano terra o inferiore.

5. CONCENTRAZIONE NELLE PRINCIPALI CITTÀ ITALIANE

In Italia, l'esposizione media annua della popolazione e la distribuzione della concentrazione di radon indoor sono state valutate in un'indagine nazionale sulla radioattività nelle abitazioni organizzata, tra il 1989 e il 1997, dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) e dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) in collaborazione con le Regioni e condotta con il supporto degli Assessorati Regionali alla Sanità attraverso i Centri di Riferimento Regionali per la radioattività ambientale (CRR) oggi confluiti nelle Agenzie Regionali e Provinciali per la protezione dell'ambiente ARPA/APPA (Bochicchio et al., 1999).

La concentrazione media annua nazionale è risultata di 70 Bq/m^3 . Tale valore può essere considerato medio-alto in confronto con i valori di altri paesi e con la media mondiale stimata di circa 40 Bq/m^3 .

Figura 5.3 – Valori delle concentrazioni medie regionali di radon in Italia.



In Figura 5.3 è riportata la mappa della concentrazione media di radon nelle regioni italiane, in Tabella 5.3 sono riportati i principali risultati dell'indagine e in Tabella 5.4 sono riportati i dati di aggregati per regione.

Tabella 5.3 – Risultati dell'indagine sulla concentrazione di radon nelle abitazioni italiane.

No. di abitazioni	5361
No. di città	232
Max (Bq/m^3)	1036
Media aritmetica (Bq/m^3)	70
Scarto tipo della media (Bq/m^3)	1
Media geometrica (Bq/m^3)	52
Scarto tipo della media geometrica	2.1
Abitazioni > 150 Bq/m^3	7.9%
Abitazioni > 200 Bq/m^3	4.1%
Abitazioni > 400 Bq/m^3	0.9%
Abitazioni > 600 Bq/m^3	0.2%

Tabella 5.4 - Risultati della concentrazione media annuale di radon nelle regioni italiane.

Regione	Concentrazione di radon (Bq/m ³) AM ± SE	Abitazioni > 200 Bq/m ³		Abitazioni > 400 Bq/m ³	
		N	%	N	%
Piemonte	69 ± 3	9	2.1%	3	0.7%
Valle d'Aosta	44 ± 4	0	0.0%	0	0.0%
Lombardia	111 ± 3	70	8.4%	18	2.2%
Alto Adige Province	70 ± 8	1	1.3%	0	0.0%
Veneto	58 ± 2	7	1.9%	1	0.3%
Friuli-Venezia Giulia	99 ± 8	22	9.6%	11	4.8%
Liguria	38 ± 2	1	0.5%	0	0.0%
Emilia-Romagna	44 ± 1	3	0.8%	0	0.0%
Toscana	48 ± 2	4	1.2%	0	0.0%
Umbria	58 ± 5	1	1.4%	0	0.0%
Marche	29 ± 2	1	0.4%	0	0.0%
Lazio	119 ± 6	37	12.2%	10	3.4%
Abruzzo	60 ± 6	5	4.9%	0	0.0%
Molise	43 ± 6	0	0.0%	0	0.0%
Campania	95 ± 3	42	6.2%	3	0.3%
Puglia	52 ± 2	5	1.6%	0	0.0%
Basilicata	30 ± 2	0	0.0%	0	0.0%
Calabria	25 ± 2	1	0.6%	0	0.0%
Sicilia	35 ± 1	0	0.0%	0	0.0%
Sardegna	64 ± 4	3	2.4%	0	0.0%

AM = Media aritmetica; SE = Standard Error

In Tabella 5.5 sono riportati i principali dati di radon riguardanti le 8 più grandi città italiane.

Tabella 5.5 – Concentrazione media annua di radon nelle principali città italiane.

Città	Totale misure effettuate	Media aritmetica (Bq/m ³)	Abitazioni >200Bq/m ³ N	Abitazioni >400Bq/m ³ N
Bologna	47	42	1 (2,1%)	0
Firenze	34	32	0	0
Genova	70	24	0	0
Milano	156	75	1	0
Napoli	25	130	8 (32%)	0
Palermo	47	27	0	0
Roma	148	117	15 (10,1%)	3 (2%)
Torino	99	41	0	0

I dati sono ricavati dai risultati dell'indagine nazionale il cui campionamento, del tutto casuale, era basato su una rappresentatività regionale. La numerosità del campione non è tale da considerare i dati medi delle singole città rappresentativi dei valori medi reali, pur rappresentando un punto di riferimento per studi futuri.

6. AZIONI DI RIMEDIO

Con la definizione di "azioni di rimedio" si indica una serie di criteri da adottare al fine di riportare il valore della concentrazione di radon indoor al di sotto dei limiti "imposti" per legge o "raccomandati".

In Italia non esiste ancora una consolidata esperienza in materia; le principali informazioni in merito provengono da lavori internazionali svolti nei paesi anglosassoni USA e UK e in Svezia, dove le tipologie edilizie e le tecniche costruttive sono in alcuni casi fortemente differenti rispetto a quelle italiane e quindi i dati non sempre sono direttamente trasferibili al nostro patrimonio edilizio (Gnesotto et al., 2002).

Il parametro principale con cui si valuta l'efficacia delle azioni di rimedio è rappresentato dal "Fattore di Riduzione" (FR), ossia il rapporto tra la concentrazione di radon in condizioni normali (concentrazione iniziale) e a seguito o durante l'intervento (concentrazione finale).

Il successo di una azione di rimedio dipende ovviamente oltre che dalla concentrazione iniziale di radon dal livello di riferimento, ossia quel valore al di sotto del quale si vuole ridurre la concentrazione stessa. Generalmente, sono comunque considerate delle buone azioni di rimedio quelle caratterizzate da fattori di riduzione superiori ad alcune unità (4-5).

Le azioni di rimedio atte a ridurre la concentrazione di radon negli edifici si possono classificare in (Giangrasso et al., 1994):

- l'eliminazione del radon dall'aria interna;
- la ventilazione/miscelazione con aria esterna;
- la riduzione dell'ingresso di radon.

L'eliminazione dall'aria interna - Questi sistemi consistono nella installazione di apparecchiature all'interno degli edifici (precipitatori elettrostatici, generatori di ioni, ventilatori e sistemi di filtrazione) che sono in grado di ridurre la concentrazione di radon e, in modo particolare la concentrazione dei prodotti di decadimento, trattenendo soprattutto la frazione di questi ultimi non attaccata.

I fattori di riduzione sono relativamente bassi (qualche unità) pertanto sono di scarsa applicazione nelle abitazioni (Mueller, 1988). Qualche applicazione può essere individuata nei casi di lieve superamento dei livelli di azione in particolare per gli ambienti di lavoro.

Ventilazione/miscelazione con aria esterna - La concentrazione di radon all'interno degli edifici. Un aumento del numero di ricambi di aria, ottenuto sia con una ventilazione naturale che forzata, è in grado di ridurre la concentrazione di radon.

Riduzione dell'ingresso di radon - I metodi più adottati in pratica sono quelli che prevengono l'ingresso del radon all'interno dell'abitazione (sigillatura delle vie di ingresso, pressurizzazione dell'edificio, ventilazione del vespaio, depressurizzazione del suolo).

In Tabella 6.6 sono riportati i FR di alcune tipiche azioni di rimedio condotte nel Regno Unito (EUR, 1994): i sistemi che fanno uso di una ventilazione-aspirazione danno risultati generalmente migliori rispetto a sistemi di sigillatura.

Tabella. 6.6 - Fattori di riduzione per alcune azioni di rimedio in abitazioni inglesi.

Tipo di azione di rimedio	N° di abitazioni	F.R. Media	F.R. Range
Sigillatura parziale	40	2,3	1 - 32
Sigillatura totale	21	2,2	1 - 6,5
Pressurizzazione	70	3,2	1 - 24
Ventilazione naturale del vespaio	46	3,1	1 - 17
Ventilazione forzata del vespaio	14	4,0	1 - 17
Depressurizzazione del suolo	159	16	1 - 110

BIBLIOGRAFIA

Akerblom G., 1999. Radon Legislation and National Guidelines. Swedish Radiation Protection Institute SSI. Rapport: 99. 18 Juli. ISSN 0282-4434.

ARPA VENETO, 2000. "Indagine regionale per l'individuazione delle aree ad alto potenziale di radon nel territorio del Veneto (delibera della Giunta Regionale, 8 novembre 1996 n. 5000)". <http://www.arpa.veneto.it/radon/default.asp>.

BEIR IV (National Research Council. Committee on the Biological effects of Ionizing Radiations), 1990. "Health risks of radon and other internally deposited alpha emitters". Washington D.C. National Academy Press.

BEIR VI (National Research Council. Committee on the Biological effects of Ionizing Radiations), 1998. "The health effects of exposure to indoor radon". Washington D.C. National Academy Press.

Bochicchio, F., Campos Venuti G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica S., Tommasino L., 1999. "Results of the national survey on radon in all the 21 Italian regions". International Workshop Radon in the Living Environment. 19-23 April, Athens, Greece.

Commissione Europea. Raccomandazione della Commissione Europea del 21/2/1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon negli ambienti chiusi. G.U. C.E. N.L. 80/26 27/3/90.

EUR, 1994. Report 16003 DE/EN/FR, Radiation protection research action 1992-94. Progress report 1992-93, pp. 1084-87, ISSN 1085-5593.

Gingrasso M., Notaro M., Torri G., 1994. "Azioni di rimedio in edifici con elevata concentrazione di radon". ARIA '94: Atti del 3° convegno nazionale dell'associazione Aria - Monteporzio Catone, 26-28 ottobre. p. 107-113.

Globe R., Socolow R., 1990. "High radon houses: questions about log-normal distributions and implications for the epidemiology and risk assessment". Atlanta.

Gnesotto R., Torri G., Trotti F., Caldognetto E., Fusato G., Zannoni G., 2002. "Rapporto sul problema dell'inquinamento da gas radon nelle abitazioni". Verona.

G.U. n. 203 del 31 agosto 2000 - Supplemento Ordinario n. 140 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".

IARC (International Agency for the Research on Cancer), 1988. Monographs: "Radon and its decay products". Vol. 43.

ICRP (International Commission on Radiological Protection), 1991. Recommendations of the 60 International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. of ICRP 21.

ICRP (International Commission on Radiological Protection), 1993. "Protection Against

Radon-222 at Home and at Work". London, England, Pergamon press 23(2): 1-65, ICRP Publication.

ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements), 1980. Reporter n° 33, Maryland.

Nero A., Naranoff W., 1988. "Radon and its products in indoor air". A. Wiley – Interscience Publications A.

Mueller Associated Inc. Syscon Corporation, Brookhaven National Laboratory, 1988. Handbook of Radon in Buildings. Detection, Safety and Control Hemisphere Publishing Corporation ISBN 0-89116-823-0.

Piano Sanitario Nazionale, 1998-2000. Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 288 del 10/12/1998.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation), 2000. "Sources and effects of ionizing radiation".