



Regione del Veneto

Direzione Regionale per la Prevenzione



ARPAV

*AGENZIA REGIONALE PER LA PREVENZIONE
E PROTEZIONE AMBIENTALE DEL VENETO*

RAPPORTO SUL PROBLEMA DELL'INQUINAMENTO DA GAS RADON NELLE ABITAZIONI

REGIONE DEL VENETO
DIREZIONE REGIONALE PER LA PREVENZIONE

ARPAV

AGENZIA REGIONALE PER LA PREVENZIONE E PROTEZIONE AMBIENTALE DEL VENETO
DIREZIONE AREA TECNICO-SCIENTIFICA
DIPARTIMENTO PROVINCIALE DI VERONA

RAPPORTO
SUL PROBLEMA DELL'INQUINAMENTO
DA GAS RADON NELLE ABITAZIONI

A cura di

R. Gnesotto – CR-SER (Centro di Riferimento del Sistema Epidemiologico Regionale)

G. Torri – ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione Ambientale)

F. Trotti, E. Caldognetto, G. Fusato – ARPAV

G. Zannoni – IUAV (Istituto Universitario di Architettura di Venezia)

Questo documento è stato elaborato nell'ambito di un apposito gruppo di lavoro regionale che si occupa della prevenzione da radon indoor, a seguito della Deliberazione della Giunta n. 770 del 30.03.01. Il gruppo di lavoro è presieduto dalla dr.ssa Giancarla Niero, Responsabile della Direzione Regionale per la Prevenzione, e coordinato dalla dr.ssa Giovanna Frison, appartenente alla medesima Direzione.

Verona 10.01.02

RAPPORTO SUL PROBLEMA DELL'INQUINAMENTO DA GAS RADON NELLE ABITAZIONI

INDICE:

<i>Il problema sanitario</i>	<i>pag. 3</i>
<i>Le tecniche di misura</i>	<i>pag. 8</i>
<i>Le basi per una normativa per le abitazioni</i>	<i>pag. 16</i>
<i>Le azioni di rimedio</i>	<i>pag. 20</i>
<i>Analisi della problematica radon con riferimento alla realtà del Veneto</i>	<i>pag. 41</i>
<i>Bibliografia</i>	<i>pag. 55</i>

Il problema sanitario

All'interno del vasto argomento riguardante l'inquinamento indoor e la qualità ambientale, il gas radon, come agente inquinante, è un aspetto trattato, fino ad ora, solo marginalmente. Quest'apparente disinteresse è probabilmente dovuto alle caratteristiche dell'inquinante, che oltre a essere inodore, incolore e insapore è anche di origine "naturale" e quindi implicitamente "normale" o in ogni modo inevitabile e anche perché non direttamente connesso ad attività tecnologico-produttive.

In effetti, il radon è sempre stato presente all'interno delle costruzioni ma è diventato un problema per la coincidenza di due fattori:

- l'acquisizione della consapevolezza della sua pericolosità in termini di aumento di rischio di effetti sanitari gravi (tumore polmonare)
- la differente tecnica costruttiva, a seguito della crisi energetica, che ha favorito alcuni sistemi costruttivi e certe prassi abitative portando a una ipersigillazione delle case favorendo l'aumento della concentrazione di radon (assieme a numerosi altri inquinanti).

Cenni storici

Il primo rapporto noto, riguardo ai rischi legati all'esposizione al radon, risale al 1556; si tratta di un testo classico di mineralogia: *De re metallica* di Georgius Agricola (1494-1555), che studiò l'insorgenza di una particolare malattia al polmone nei minatori delle miniere di argento della regione di Schneeberger, una piccola città della Sassonia. Anche Paracelsus (1493-1541), in un suo libro pubblicato postumo nel 1567 con il titolo *Über die Bergsucht und andere Bergkrankheiten*, parla di questa malattia etichettandola con il nome di *Mala Metallorum*, sostenendo che una "malattia del polmone" era causata dall'inalazione della polvere, presente nelle miniere, che conteneva vari metalli.

Solo tre secoli dopo, nel 1879 questa patologia fu classificata come tumore polmonare da Harting e Hesse¹. Nel 1898, Marie e Pierre Curie estraevano il Radio (Ra-226) da alcuni minerali e la cosiddetta "emanazione di radium", più avanti chiamata Radon (Rn-222), fu identificata come un gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento del Radio, anche se l'effettiva scoperta del radon come elemento chimico avviene solo nel 1900 ad opera di Ernst Dorn senza però che ne fosse definita la pericolosità.

Nonostante che sin dal 1896 fosse stato scientificamente provato che i raggi X provocavano lesioni alla pelle, si diffuse la convinzione comune che bere radio o radon disciolto in acqua potesse distruggere il cancro allo stomaco. In seguito a questa strana pratica si diffusero numerosi prodotti, medicinali e non, contenenti radio che ebbero un discreto successo fino agli anni venti, quando, in seguito a una serie di decessi imputabili all'uso di questi prodotti, iniziò un rapido declino di questa pratica "curativa", anche se nei primi anni '50 esistevano ancora alcuni prodotti contraccettivi contenenti radio e fino ai primi anni '70, in Unione Sovietica, venivano prescritti ancora bagni di radon, inalazioni e bevande. Il valore terapeutico del radon non è mai stato provato mentre la sua pericolosità è stata largamente riconosciuta.

Di fatto esistono anche oggi casi di trattamenti termali fondati sull'inalazione di radon che si richiamano a non ben documentati valori terapeutici.

Dai primi del 1900 agli anni '70 si diffusero numerosi studi sui minatori delle miniere di uranio altamente esposti ad elevate concentrazioni di radon e in questi ultimi decenni sono stati pubblicati numerosi rapporti che confermano una forte relazione fra la presenza di questo inquinante nell'aria e il cancro al polmone.

Già un anno dopo la scoperta del radon, alcune misurazioni eseguite da Elster e Geitel nel 1901 rivelarono che il radon è un costituente sempre presente nell'aria atmosferica ma solo negli anni '50 in Svezia si cominciarono ad effettuare le prime misurazioni di radon indoor in un campione di 225 case.

Caratteristiche del radon ed effetti sanitari

Il radon ($Rn-222$) è un gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio presente nel terreno. Ha un tempo di dimezzamento di 3,8 giorni e decade emettendo radiazioni di tipo alfa. A sua volta genera dei radionuclidi che sono ancora alfa emettitori ($Po-218$ e $Po-214$) definiti “prodotti di decadimento” o “figli” del radon. I prodotti di decadimento hanno tempi di dimezzamento brevi o brevissimi (minuti o millisecondi).

Il radon giunge in superficie attraverso la porosità del terreno e penetra nelle abitazioni attraverso fessurazioni, giunti di connessione, canalizzazioni, ecc. presenti nell'attacco a terra delle costruzioni. Il radon è presente anche in molti materiali da costruzione tra i quali alcuni presentano una forte esalazione (ad esempio il tufo litoide, poco impiegato nell'edilizia veneta). La concentrazione del radon dipende molto dal substrato geologico su cui è costruita la casa, dal tipo di contatto tra edificio e suolo (tipologia e tecnologia costruttiva dell'attacco a terra) e dalle caratteristiche stesse dell'edificio (forma, dimensione, disposizione delle bucaure, livello rispetto al suolo dei locali abitati, ecc.) fino anche alle modalità di uso dell'edificio/abitazione.

Il principale motivo che causa l'ingresso del radon è la differenza di pressione che normalmente si riscontra tra l'interno degli edifici e l'esterno. Generalmente l'interno degli edifici è in depressione rispetto all'esterno. Tale differenza è dovuta essenzialmente al fatto che la temperatura interna è superiore a quella esterna (specie di notte e d'inverno) e alla influenza dei movimenti dell'aria esterna (venti). La depressione che si riscontra all'interno degli edifici produce un continuo flusso dall'esterno (e quindi anche dal suolo) verso l'interno.

Il radon ha una elevata mobilità e si distribuisce rapidamente in tutto l'ambiente in modo piuttosto uniforme. Essendo un gas inerte non reagisce chimicamente o elettricamente, per cui, una volta inalato, è prontamente esalato dall'organismo stesso e quindi, dal punto di vista sanitario, non sarebbe poi così pericoloso.

In aria, durante il suo decadimento, produce altri nuclidi radioattivi che sono invece carichi e chimicamente reattivi. Una volta prodotti, questi rimangono, in parte, tal quali, mentre, in parte, si fissano sul pulviscolo presente nell'aria (voc - composti organici volatili - molecole di vapore, o altri aerosol come il fumo da sigaretta o quello prodotto da attività di cucina, ecc.). La parte che non si fissa sul pulviscolo è definita “frazione non attaccata”, mentre quella che si fissa sul pulviscolo è definita “frazione attaccata”. I prodotti di decadimento del radon, per effetto diffusivo, si depositano parzialmente sulle superfici dei locali (pareti, mobili ecc.). In aria quindi rimane solo una parte di essi (quella non depositata).

Questa parte rimasta in aria è quella che può essere inspirata. In questo caso, contrariamente al radon, i prodotti di decadimento reagiscono e possono depositarsi sulle superfici dei tessuti dell'apparato respiratorio. I radionuclidi depositati sono ancora radioattivi ed emettono ancora radiazioni. Le radiazioni di tipo alfa penetrano nel tessuto e producono una intensa ionizzazione.

Per meglio comprendere questo effetto è opportuno fornire alcune precisazioni.

- La funzione dell'apparato respiratorio è quella di assorbire ossigeno dall'aria per trasferirlo al sangue e quindi ai tessuti, eliminando al contempo l'anidride carbonica, prodotto metabolico dell'attività cellulare. Prima di giungere agli alveoli (unità elementare dei polmoni) l'aria viene filtrata attraverso il naso, attraverso la trachea e dal muco dei bronchi ma, nonostante questo meccanismo di filtrazione sommariamente descritto, può accadere che sostanze tossiche giungano ai polmoni producendo dei danni in funzione della sostanza, della sua concentrazione e della durata dell'esposizione.
- Raggiunto l'apparato respiratorio, il particolato, a seconda delle sue dimensioni, viene trattenuto nel tratto naso-faringeo, oppure può arrivare a quello tracheo bronchiale, oppure giungere fino a quello polmonare nel quale un apparato ciliare tende a riportare verso la faringe i corpi estranei attraverso la secrezione di muco e un movimento costante delle ciglia presenti nei polmoni.
- Questa operazione di "pulizia" svolta dalle ciglia impiega circa 30 minuti. Se in questo periodo i prodotti di decadimento del radon (in particolare quelli a vita breve) decadono emettendo particelle alfa, queste ultime possono danneggiare le cellule basali che si trovano in vicinanza, all'interno del polmone. I tempi di dimezzamento dei prodotti di decadimento del radon variano da micro secondi ad alcuni minuti.
- Nei fumatori la "vitalità" delle ciglia polmonari è notevolmente ridotta a seconda della quantità di nicotina presente. Questo causa dei tempi di "pulizia" e allontanamento degli inquinanti più lunghi, con maggiore permanenza dei radionuclidi nei polmoni e maggiore esposizione dei tessuti alle radiazioni.
- Anche la "frazione non attaccata" riesce a giungere ai polmoni e, trattandosi di particelle molto piccole, si depositano più facilmente nella parte più interna del polmone. Queste particelle sono le più piccole e il loro percorso verso l'uscita dell'apparato respiratorio, causato dal movimento delle ciglia polmonari, è lungo e quindi è maggiore il rischio di danno per decadimenti ed emissione di radiazioni.

Come abbiamo detto l'emissione delle radiazioni alfa produce un'intensa ionizzazione del tessuto cellulare. Il cammino delle particelle alfa in tessuti del tipo di quelli presenti nell'apparato polmonare è di alcune decine di micron, per cui solo le cellule superficiali sono quelle esposte. Il passaggio di una particella alfa attraverso il nucleo della cellula può causare cambiamenti nel genoma, cioè mutazioni. Nella maggior parte dei casi tali danni sono riparati, ma si possono anche sviluppare mutazioni cellulari in grado di dare origine ad un processo cancerogeno.

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 principalmente sugli studi epidemiologici sui minatori. Diversi modelli di calcolo per la valutazione dell'aumento di rischio di tumore polmonare sono stati sviluppati e discussi negli ultimi decenni^{ii, iii, iv}. La principale assunzione fatta in questi modelli è la linearità senza soglia tra il rischio di tumore polmonare e l'esposizione al radon. Tale assunzione è in parte giustificata e spiegabile dal fatto che, in particolare per i livelli di esposizione rilevati normalmente negli edifici residenziali, raramente una cellula epiteliale del polmone sarà attraversata da più di una singola radiazione alfa nel corso della vita umana. La probabilità di insorgenza di un tumore non dipenderebbe, quindi, dal numero di radiazioni che attraversano una cellula, ma dal numero totale delle cellule colpite che è proporzionale all'esposizione. Vi è inoltre la convinzione che molti tumori abbiano un'origine mononucleare. In definitiva, sembra che sia una singola interazione tra una singola cellula e una singola radiazione alfa, in assenza di regolari processi di riparazione, il principale evento dal quale scaturisce lo sviluppo del tumore.

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 1 è riportata una stima, effettuata dal National Research Council Americano, sul numero di tumori polmonari attribuibili al radon sulla base dei dati disponibili per l'anno 1993 ^v negli Stati Uniti, ove la stima della concentrazione media di radon nelle abitazioni è di circa 50 Bq/m³.

Popolazione	N. di tumori polmonari (tutte le cause)	Numero di tumori polmonari attribuibili all'esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento	
		Modello1	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% di tutti i tumori polmonari negli uomini siano tra i fumatori, e che il 90% di tutti i tumori polmonari tra le donne siano tra le fumatrici.

Tab. 1 - Stima del numero di tumori polmonari attribuibili al radon nelle abitazioni per l'anno 1993 in USA ^v

Dai dati riportati in tabella 1 si può notare che la grande maggioranza dei casi di tumore polmonare sarebbe occorsa tra i fumatori e le fumatrici. Considerando, poi, che in Usa vi sono circa 48 milioni di fumatori su 260 milioni di abitanti, si nota che il rischio per i fumatori è molto superiore che per i non fumatori. Questo fa sì che anche ai fini di una strategia volta alla riduzione del rischio sanitario dovuto al radon, uno dei sistemi più efficaci è quello di ridurre il fumo da tabacco. Deve essere sottolineato che le stime sopra riportate sono affette da una notevole incertezza. Ad esempio l'EPA (Agenzia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti) afferma che il numero di 15.000 casi per anno di tumori polmonari è la migliore stima, ma il valore può variare da 7.000 a 30.000. Vi è, in ogni caso, un consenso generale sul fatto che l'esposizione al radon rappresenta dopo il fumo diretto, la seconda causa di morte per tumore polmonare.

L'United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations UNSCEAR afferma che il radon è responsabile approssimativamente del 50% della dose efficace media annuale alla quale è sottoposto un individuo della popolazione mondiale per effetto delle esposizioni a radiazioni naturali e di circa il 43% della dose efficace media annuale per tutti i tipi di esposizioni^{vi}.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), ha valutato la cancerogenicità del radon nel 1988 e lo ha inserito nel

gruppo 1, in cui, attualmente, sono classificate le 75 sostanze, miscele o condizioni di esposizione che sono state riconosciute come cancerogene per gli esseri umani^{vii}. In base ai risultati della valutazione vi è una *sufficiente evidenza* di cancerogenicità in studi sugli animali, e vi è una *sufficiente evidenza* di cancerogenicità in studi sugli esseri umani.

L'EPA ha inserito il radon nel gruppo A, in cui sono classificate le sostanze definite come "cancerogene" per l'uomo (di recente l'EPA ha adottato un diverso criterio di classificazione^{viii} e la valutazione del radon deve ancora essere effettuata alla luce di questi nuovi criteri).

L'esposizione al radon è stata presa in considerazione nel Piano Sanitario Nazionale 1998 – 2000. Nel documento è riportata una stima sull'incidenza dei tumori polmonari attribuibili al radon: il 5-20% di tutti i tumori polmonari^{ix}. Annualmente in Italia vi sono circa 30.000 casi di tumore polmonare; ciò significa che il radon è ritenuto responsabile di circa 1.500 – 6.000 casi ogni anno.

Stime sul rischio associato al radon relative ai livelli specifici di esposizione del Veneto sono riportate nel capitolo "Analisi della problematica radon con riferimento alla realtà del Veneto".

Le tecniche di misura

Premessa

Esistono molte tecniche di misura della concentrazione di radon e dei suoi prodotti di decadimento. La scelta di uno di questi metodi dipende principalmente dal tipo di informazione che si vuole ottenere e dal grado di precisione / accuratezza con cui si ritiene accettabile il dato. Ad esempio, diverso è il caso di misure per la valutazione del rischio da misure per la verifica di azioni di bonifica.

Uno dei principali obiettivi è quello della valutazione del **rischio** associato alla permanenza in un certo ambiente, valutazione finalizzata alla decisione di intraprendere o meno eventuali ulteriori interventi, compresi quelli di bonifica. L'approccio maggiormente utilizzato è quello di valutare il rischio sulla base della misura dell'**esposizione** al radon o ai suoi prodotti di decadimento.

L'esposizione è data dal prodotto della **concentrazione di radon**, o dei suoi prodotti di decadimento, per il **tempo** trascorso nell'ambiente in esame. È quindi necessario effettuare misure della concentrazione di radon o dei suoi prodotti di decadimento ed eventualmente conoscere i tempi di permanenza.

L'unità di misura derivata della concentrazione di radon nel Sistema di Unità Internazionale (SI) è espressa in:

Bq/m³ (Bequerel per metro cubo)

Variabilità del radon

La concentrazione di radon (o dei suoi prodotti di decadimento) indoor è soggetta a grande variabilità, che dipende da diversi fattori, tra i quali i principali sono:

Caratteristiche del sito:

- Contenuto di radio presente nel suolo sottostante l'edificio
- Esalazione dal suolo
- Permeabilità del suolo
- Presenza di faglie in vicinanza dell'edificio

Caratteristiche legate all'edificio:

- Materiali impiegati (contenuto di radio, esalazione)
- Tipologia dell'edificio

- Tecnica costruttiva
- Modo d'impiego dei locali
- Stato e manutenzione dell'edificio
- Contenuto di radio e radon nell'acqua utilizzata

Condizioni ambientali:

- Temperatura
- Pressione
- Umidità
- Condizioni meteorologiche (vento, pioggia)

Connessa a tali parametri è una forte variabilità spaziale; per taluni di essi è pure rimarchevole la variabilità temporale. È possibile che due abitazioni molto simili tra loro e molto vicine abbiano concentrazioni di radon molto diverse. È anche possibile che la concentrazione di radon di un'abitazione vari molto, sia durante le ore del giorno, sia tra periodi di media durata (settimane), sia da una stagione all'altra. Per questi motivi, effettuare misure per brevissimi tempi (ore) o anche per tempi intermedi (settimane) o addirittura per tempi lunghi (pochi mesi) potrebbe portare ad una sovrastima o sottostima della reale situazione. L'indirizzo generale, sempre se lo scopo finale è la valutazione del rischio, è quello di avere la migliore stima possibile della **concentrazione media annuale**.

Ad esempio la Raccomandazione della Commissione delle Comunità europee del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi^x pone dei livelli di riferimento corrispondenti a determinati valori di "*concentrazione media annua di gas radon*". Nella raccomandazione è esplicitamente raccomandato che *a motivo delle variazioni giornaliere e stagionali dei livelli di radon in ambienti chiusi le decisioni relative alla protezione contro le radiazioni siano in linea di massima basate su misurazioni della media annuale di gas radon o dei suoi prodotti di decadimento negli edifici*. Ancora, nel caso dell'esposizione al radon negli ambienti di lavoro, il Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241^{xi} introduce alcuni livelli di riferimento che sono espressi in termini di "*concentrazione di attività di radon media in un anno*".

Per effettuare la stima della concentrazione di radon che possa essere confrontata con i livelli di riferimento, al fine di decisioni su eventuali interventi, ci sono diverse possibilità. Tra queste le principali sono:

- Il prolungamento dei tempi di misura fino a coprire un intero anno. Questo sistema garantisce una migliore stima, ma ovviamente richiede tempi lunghi.
- L'esecuzione di misure per tempi inferiori (alcuni mesi) e l'impiego di opportuni fattori di correzione, precedentemente stabiliti, che tengano conto, per esempio, del periodo stagionale durante il quale è stata fatta la misura e quindi riportino la concentrazione ad un valore annuale. Questo tipo di misure con correzione sono effettuate, per esempio in Inghilterra ove una grande casistica di misure ha permesso di fissare dei fattori di correzione dovuti alle variazioni stagionali.
- L'esecuzione di misure di durata intermedia (giorni-settimane) con un sistema di valutazione del risultato, sulla base del quale decidere se effettuare ulteriori misure. Questo tipo di misure sono impiegate ad esempio negli Stati Uniti, in particolare nei casi in cui è richiesta la certificazione per le transazioni immobiliari.

- Mentre nei primi due casi è raccomandato il normale uso dell'edificio e il mantenimento delle normali abitudini di vita, proprio per avere una più accurata stima della reale esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento, nell'ultimo caso devono essere seguite determinate procedure per rendere significativo il risultato della misura, del tipo: chiudere le finestre, spegnere eventuali impianti di condizionamento, posizionare gli apparati di misura nei locali più bassi dell'edificio, fino anche a scartare condizioni meteorologiche sfavorevoli.

In conclusione l'estrema variabilità temporale richiede un'attenta valutazione sulla significatività dei risultati in relazione ai tempi di misura. In assenza di fattori proiettivi e di sistemi di valutazione dei risultati sufficientemente consolidati per l'Italia (o meglio per ogni singola Regione), che rapportino le misure di più breve durata al dato annuale, l'orientamento attuale è quello di avere la migliore stima della concentrazione di radon o dei suoi prodotti di decadimento sulla base di misure che ricoprono un intero anno solare.

Tale è stata la scelta delle indagini su vasta scala finora effettuate dall'Istituto Superiore della Sanità e dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente^{xii} e dalle Regioni^{xiii}.

Radon e prodotti di decadimento

Un secondo problema riguarda la scelta tra misure della concentrazione di radon e misure dei suoi prodotti di decadimento.

Come abbiamo accennato in precedenza, l'aumento del rischio sanitario è dovuto in parte significativa alle radiazioni emesse dai prodotti di decadimento del radon che si depositano sulle superfici dei tessuti dell'apparato respiratorio, piuttosto che al radon, il quale, essendo un gas inerte, si deposita sulle stesse superfici in misura minore. In particolare, sono le radiazioni di tipo alfa emesse dal Po-218 e dal Po-214 quelle che contribuiscono maggiormente all'irraggiamento dei tessuti polmonari e, in definitiva, all'aumento del rischio.

Sarebbe quindi logico misurare direttamente la concentrazione dei prodotti di decadimento del radon per avere una accurata stima del rischio.

Un punto da sottolineare riguarda la maggiore difficoltà operativa nella effettuazione di misure della concentrazione dei prodotti di decadimento del radon in aria. Le metodologie per l'esecuzione di queste misure sono piuttosto complesse e richiedono strumentazione relativamente costosa. In considerazione a quanto emerso dal punto precedente, ossia della necessità di lunghi tempi di misura, risulta di conseguenza improponibile l'impiego di uno strumento di questo tipo, dal costo di decine di milioni, che rimanga fisso, per un intero anno o anche per alcuni mesi in un edificio, per ottenere questo tipo di misura.

Questo problema viene risolto sfruttando il fatto che il rapporto tra la concentrazione dei prodotti di decadimento del radon e il radon stesso è, per le abitazioni e per i normali ambienti di lavoro, relativamente costante. In questo modo è possibile riferire le valutazioni di rischio a partire dalla misura della concentrazione del solo radon, oppure stabilire direttamente delle **concentrazioni di radon di riferimento** oltre le quali, in pratica, il rischio è considerato inaccettabile. Quasi tutta la normativa è impostata sulla base del valore della concentrazione di radon. Per questi motivi, nel corso degli ultimi decenni, sono stati sviluppati e largamente utilizzati alcuni particolari sistemi per la misura della concentrazione del radon.

I rivelatori a tracce

Le particelle alfa del tipo di quelle emesse dal radon o dai suoi prodotti di decadimento hanno una certa massa e una certa velocità. Nella loro interazione con la materia, l'energia che possiedono viene rilasciata durante gli urti con gli atomi o le molecole del mezzo che attraversano. Sono come proiettili che penetrano in un bersaglio.

Il percorso dipende dalla densità del mezzo che attraversano. In aria sono in grado di percorrere alcuni centimetri, in materiali più densi, come plastica o tessuti umani, il loro cammino è di alcuni micron (10^{-3} mm).

A causa della loro massa relativamente grande sono in grado di ionizzare il mezzo che attraversano, ossia di romperne i legami molecolari e atomici producendo ioni. Su questo fenomeno si basa la quasi totalità dei sistemi di rivelazione delle radiazioni. In molti materiali gli ioni si ricombinano e non rimane alcun segno del passaggio della radiazione, ma nel caso di alcuni materiali dielettrici (plastiche) questi processi producono, in determinate condizioni, una rottura permanente dei legami molecolari, lasciando quindi una **traccia** del loro passaggio. Queste tracce non sono visibili ad occhi nudo, essendo dell'ordine di alcune decine di nanometri (milionesimi di millimetro). Tuttavia se il materiale è sottoposto ad alcune procedure chimiche (trattamento con soluzioni acide o alcaline a temperature di alcune decine di gradi) queste tracce si sviluppano fino a diventare visibili ai normali microscopi ottici o addirittura, in alcuni casi, ad occhio nudo.



Figura 1 - Formazione e sviluppo delle tracce nucleari

Il numero di tracce che si sviluppano è proporzionale alla concentrazione di radon presente nell'ambiente in cui il materiale è stato esposto e al tempo di esposizione.

Esistono in commercio diversi materiali che possono essere impiegati per questo tipo di misure tra i quali, ad esempio:

- LR-115 e CN-85 (nitrato di cellulosa) prodotti dalla Kodak Pathé (Francia)
- CR-39 (poliallildiglicol carbonato) prodotto dalla Page Mouldings - Pershore (UK), dalla American Acrylics and Plastics (USA) dalla TASL (UK)
- Makrofol (policarbonato) prodotto dalla Bayer AG tedesca.

Questi materiali sono inseriti in opportuni contenitori chiamati dispositivi di campionamento; ve ne sono di forme e dimensioni diverse. In figura 2 sono riportati alcuni di questi dispositivi impiegati in indagini sulla misura di radon in abitazioni.



Figura 2 - Dispositivi a tracce per la misura della concentrazione di radon

La procedura di misura è estremamente semplice: i dispositivi di campionamento contenenti i materiali sensibili sono posizionati all'interno degli edifici, attivati e lasciati per il tempo necessario (fino a sei mesi e oltre). Durante la misura devono essere mantenute le normali abitudini di vita e di utilizzo dell'edificio. Il radon penetra per diffusione (o permeazione) in questi dispositivi e produce per effetto del suo decadimento una serie di radiazioni alfa che sono registrate dai materiali sensibili. Al termine della esposizione i dispositivi sono riconsegnati al laboratorio di analisi che provvede allo sviluppo chimico, al conteggio delle tracce e al calcolo della concentrazione di radon.

Questa tecnica di misura è stata ampiamente studiata e offre un accettabile grado di affidabilità; è, infatti, quella più largamente utilizzata, in tutti i paesi del mondo, per effettuare valutazioni di rischio associato all'esposizione al radon negli edifici.

Il loro costo è decisamente basso. Vi sono attualmente, sul mercato italiano, diverse ditte che offrono la possibilità di effettuare misure con costi che si aggirano intorno alle 100.000 lire per una singola misura (per coprire un anno possono essere necessarie più rilevazioni).

Gli elettreti

Questa tecnica è stata sviluppata negli anni '80 e anch'essa viene principalmente utilizzata per la determinazione della concentrazione di radon. Il sistema si basa su un disco di teflon che viene caricato elettrostaticamente (come una matita quando si strofina su un maglione di lana) e ha la capacità di mantenere la carica (negativa) a lungo nel tempo. Il disco, così caricato, viene inserito in un contenitore, chiamato "camera" che è esposto al radon.

Nella camera il disco genera un campo elettrico. Quando il radon entra nella camera, le radiazioni alfa che sono prodotte, come abbiamo visto in precedenza, ionizzano l'aria presente dando origine a coppie di ioni. Gli ioni positivi sono attratti dal campo elettrico e si depositano sulla superficie del disco di teflon neutralizzando in parte la carica originale. Al termine della esposizione la carica sul disco di teflon sarà ridotta di una quantità che è funzione della concentrazione di radon. Dalla misura della differenza di carica elettrostatica prima e dopo l'esposizione, tenuto conto del tempo di esposizione, è possibile stimare la concentrazione di radon.



Figura 3 - Sistema di misura passivo ad elettreti

Esistono diverse dimensioni della camera e almeno due diversi tipi di dischi di teflon. Le combinazioni di queste camere e dischi offrono un ampio spettro di possibilità di misure in particolare da poche ore fino a diversi mesi. Come abbiamo visto le misure per tempi lunghi sono indicate per le valutazioni di rischio, ma questa tecnica, impiegata per tempi brevi, ha trovato una certa diffusione negli Stati Uniti, ove l'EPA raccomanda di far controllare la concentrazione di radon in occasione della compra-vendita degli immobili. Anche per questi sistemi il costo è basso e si aggira intorno alle 100.000 lire (per coprire un anno possono essere richieste più rilevazioni per singola misura).

Misure in continuo di radon

Le tecniche di misura descritte in precedenza sono definite anche tecniche ad integrazione (mediante nel tempo la concentrazione di radon) e sono quelle più indicate per effettuare misure di radon per tempi lunghi, quando il principale scopo è la valutazione dell'esposizione annuale e quindi del rischio associato alla permanenza in determinati ambienti.

Vi sono dei casi in cui, invece, è necessario conoscere la concentrazione di radon in modo continuo. Per esempio, nel caso degli ambienti di lavoro o nelle scuole, si può presentare la necessità di controllare l'andamento della concentrazione di radon per valutare l'esposizione durante le ore di permanenza rispetto alle ore in cui gli ambienti non sono frequentati. Un altro caso può essere quello della ricerca di eventuali punti di ingresso del radon in un edificio ove è necessaria una risposta in tempo reale. Ancora, nel caso si voglia verificare, in tempi brevi, l'efficacia di una azione di bonifica in un edificio o determinare la concentrazione di radon in un'acqua e così via. Per tutti questi casi si utilizza generalmente della strumentazione che, nella quasi totalità dei casi, fornisce i risultati sul posto di misura.

Tutta la strumentazione di questo tipo si basa sull'interazione delle radiazioni prodotte dal radon durante il suo processo di decadimento, con la materia. In alcuni casi (camere a scintillazione) quando le radiazioni alfa colpiscono dei particolari materiali si producono delle piccole scintille che sono rivelate da fotomoltiplicatori (rivelatori di luce) e contate; in altri casi (camere a ionizzazione) si misurano gli ioni prodotti in piccoli volumi in cui si mantiene una elevata differenza di potenziale; in altri casi ancora, le radiazioni vengono evidenziate per effetto delle alterazioni elettriche che inducono in materiali semiconduttori.

In tutti i casi, dei sistemi di conteggio elettronici rendono conto delle radiazioni presenti e quindi sono correlati con la concentrazione di radon.

Nel corso di questi ultimi decenni sono stati prodotti diversi tipi di strumenti con costi anche molto diversi in relazione ai materiali impiegati e al grado di affidabilità che presentano. Alcuni di questi sono stati sviluppati per un uso scientifico e pertanto sono molto sofisticati, ma anche costosi (fino ad alcune decine di milioni), alcuni sono stati sviluppati per il pubblico, quindi sono relativamente meno costosi (se ne trovano anche intorno al milione e mezzo) e offrono ovviamente minori prestazioni. A parte questi ultimi, tutta la strumentazione ha raggiunto un buon grado di qualità e offre sufficienti garanzie in termini di affidabilità.

Misure in continuo dei prodotti di decadimento del radon

Con i sistemi appena descritti, opportunamente adattati, possono essere fatte anche misure per la determinazione della concentrazione dei prodotti di decadimento del radon. La maggior parte della strumentazione prevede una fase di campionamento dei prodotti di decadimento del radon su degli appositi filtri della durata dell'ordine dei minuti; i filtri sono poi misurati con rivelatori di radiazioni alfa. In alcuni casi possono essere fatti dei cicli di misura in modo automatico ad intervalli di alcune ore, lasciando la strumentazione incustodita. Con queste tecniche si ottiene una misura che, in principio, è meglio legata alla valutazione del rischio, tuttavia non sono impiegate in modo diffuso a causa della maggiore complessità, del maggior costo, ma soprattutto del fatto che sono relative al brevissimo periodo di campionamento, mentre per valutazioni più corrette occorrono misure mediate nel lungo periodo.

Indicazioni ai cittadini per l'esecuzione delle misure nelle abitazioni e per la valutazione dei risultati

In questo paragrafo sono presentate alcune possibilità in ordine alle modalità di effettuazione di misure nelle abitazioni e di valutazione dei risultati delle stesse. Si accenna a diverse opzioni per motivi di completezza, pur rinviando al capitolo “Analisi della problematica radon con riferimento alla realtà del Veneto” per le soluzioni operative concordate in Veneto.

- Estensione temporale delle rilevazioni: come già detto, si suggerisce di effettuare una misura per un intero anno solare, eventualmente divisa in due o più periodi, possibilmente, ma non necessariamente, facendo coincidere l'inizio delle misure con l'inizio delle stagioni. Futuri aggiornamenti della tecnica e conoscenze del territorio potranno consentire una riduzione del tempo di esposizione. Si ritiene che, con grandissima probabilità, la misura annuale sarà comunque riconosciuta come valida in futuro.
- Estensione spaziale delle rilevazioni: nelle abitazioni che si sviluppano in un unico piano (purché di superficie non superiore ai 200 m²) è sufficiente la misura del radon in un singolo locale, il più frequentato, tipicamente la camera da letto. Se l'abitazione è multipiano può darsi il caso di singola misura nella camera da letto (più rappresentativa dell'esposizione, con tendenza alla sottostima ove essa sia situata ai piani superiori) o in un locale frequentato del piano inferiore (sovrastima – cautelativa – dell'esposizione) ovvero di misure ai diversi piani successivamente mediate (pesando sui tempi di permanenza). I rivelatori non devono essere utilizzati nelle cucine o nei bagni. Casi particolari (ad esempio abitazioni molto grandi) devono essere analizzati di volta in volta

con gli esecutori delle misure. Durante le misure devono essere mantenute le normali abitudini di vita, senza adottare particolari accorgimenti relativi al radon.

- Valutazione dei risultati di misura: si intende con ciò il confronto con il “livello di azione” (valore di riferimento per la concentrazione di radon nell’abitazione per l’adozione di interventi risanatori) che è immediato, disponendo del dato di misura di un singolo locale; per le abitazioni multipiano con misure in diversi livelli, può essere confrontata con il livello d’azione la media dei locali o il valore di piano singolo (inferiore – più cautelativo – o camera da letto – più rappresentativo).

Le basi per una normativa per le abitazioni

Premessa

Tutti gli aspetti normativi che possono essere adottati per il problema della esposizione al radon hanno come obiettivo finale quello della “**riduzione del rischio**”. I dispositivi adottati vanno dall’emanazione di vere e proprie leggi con valori di riferimento da rispettare e sanzioni, a raccomandazioni con valori suggeriti, ma anche a tutti quei dispositivi che agevolano l’applicazione delle normative, quali facilitazioni finanziarie, agevolazioni fiscali, ecc. In ogni caso deve essere ben tenuto in considerazione un adeguato programma **di informazione del pubblico**, quale parte integrante di una efficace strategia di protezione e prevenzione.

Nella maggior parte dei paesi europei, e anche a livello della Commissione Europea, c’è una distinzione per il tipo di normativa proposta (leggi o raccomandazioni) tra **ambienti di lavoro** e **ambienti residenziali** (abitazioni).

Il principale motivo di questa differenza sul tipo di normativa deriva, probabilmente, dal fatto che, essendo il radon un inquinante di origine naturale, non è facilmente individuabile il soggetto responsabile del rischio.

Nel caso degli ambienti di lavoro, l’esposizione al radon dei lavoratori non è considerata volontaria e il datore di lavoro è stato quindi ritenuto “responsabile” dell’eventuale eccesso di rischio. Per questo motivo ad esempio la Commissione Europea ha ritenuto lecito imporre per legge un sistema di protezione con valori di riferimento (livelli di azione), ecc.

Nel caso delle abitazioni, invece, non c’è un responsabile se non il proprietario e risulta problematico imporre un dispositivo di legge. Questo è il motivo per cui la Commissione Europea e molti paesi hanno scelto di raccomandare dei livelli di riferimento cercando, nello stesso tempo, di aumentare il livello di informazione al pubblico.

Ambienti di lavoro

In Italia esiste una normativa molto recente che offre un quadro di riferimento sulla problematica del radon negli ambienti di lavoro.

Il Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241

Il 31 agosto 2000 è stato pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 203 il 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. Il decreto stabilisce alcuni campi di applicazione individuando fin da subito alcuni ambienti di lavoro tra i quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte, terme e tutti i luoghi di lavoro sotterranei. Le regioni e le province autonome sono incaricate di effettuare, entro il 31 agosto 2005, una prima individuazione delle zone per le quali anche gli ambienti di lavoro in superficie rientrano nel campo di applicazione della legge. Sono individuate anche alcune attività particolari (non specificatamente connesse con l’esposizione al radon), quali quelle che implicano l’uso o lo

stoccaggio di materiali (o la produzione di residui), che abitualmente non sono considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali in quantità significative.

Nel decreto è fissato un *Livello di azione* in termini di *concentrazione di attività di radon media in un anno* di 500 Bq/m³. Soglie diverse sono previste per le terme e le attività con materiali/residui ad elevato contenuto di radionuclidi naturali.

Il livello di azione suddetto rientra nel complesso delle indicazioni fornite in campo internazionale dai vari organi che si occupano di radiazioni ionizzanti. In particolare:

- La Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP)^{iv} stabilisce un intervallo di valori di concentrazione media annuale di 500-1500 Bq/m³ entro il quale scegliere un livello di azione. Questi valori sono corrispondenti a un intervallo, espresso in termini di dose efficace, di 3 – 10 mSv/anno.
- L'International Atomic Energy Agency^{xiv} suggerisce un livello di azione corrispondente ad una concentrazione media annuale di radon di 1000 Bq/m³.
- La Commissione europea, nelle raccomandazioni per l'implementazione della parte riguardante il radon della direttiva 96/29/EURATOM, indica un intervallo corrispondente ad una concentrazione media annuale di 500 – 1000 Bq/m³ entro il quale scegliere un livello di azione^{xv}.

Ambienti residenziali

Non esiste, attualmente, in Italia alcuna normativa nazionale o regionale sul radon negli ambienti domestici. Alcuni sporadici dispositivi sono stati adottati nei regolamenti comunali relativamente al caso della costruzione di nuovi edifici. Tali dispositivi tendono ad informare i cittadini, all'atto della concessione edilizia, sul problema del radon.

La raccomandazione della Commissione Europea

Il 21 febbraio 1990 è stata emanata una raccomandazione della Commissione Europea sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi^x. Nella raccomandazione viene fatta una distinzione tra *edifici esistenti* e *edifici da costruire*.

Per gli **edifici esistenti** si raccomanda, in pratica, di adottare *provvedimenti semplici ma efficaci volti a ridurre il livello di radon* qualora sia superato un livello di riferimento pari a **400 Bq/m³**. Si raccomanda una urgenza *proporzionale alla misura in cui tale limite di riferimento viene superato* e, soprattutto, si raccomanda che *laddove siano ritenuti necessari provvedimenti correttivi la popolazione interessata sia informata sui livelli di radon ai quali è esposta e sui provvedimenti adottabili per ridurre tali livelli*.

Per gli **edifici da costruire** si raccomanda che sia adottato un *livello di progettazione* pari a **200 Bq/m³**, ossia che si debbano adottare opportune procedure di edificazione tali da garantire che la concentrazione media annuale di radon nel futuro edificio sia al di sotto di tale valore. Si raccomanda anche che *le informazioni relative ai probabili livelli d'esposizione al radon e alle misure preventive da adottare siano fornite, in quanto pertinenti, a coloro che partecipano alla costruzione di nuovi edifici*.

L'adozione di un doppio livello di riferimento, più alto per gli edifici esistenti e più basso per gli edifici da costruire, può essere giustificata per il fatto che i costi degli interventi preventivi sono notevolmente inferiori a quelli di rimedio nel caso degli edifici esistenti.

La situazione negli altri paesi

La quasi totalità dei paesi industrializzati che sono intervenuti sul problema del radon nelle abitazioni lo hanno fatto emanando delle raccomandazioni. Nella tabella seguente sono riportati livelli di riferimento raccomandati da alcuni paesi^{xvi}. Sono pure riportati i livelli di azione indicati per gli ambienti di lavoro.

	Edifici esistenti	Edifici da costruire	Ambienti di lavoro
Australia	200		1000
Austria	400	200	400/ 370 (168h) o 1110 (40h) ^(a)
Belgio	400	-	-
Canada	800		-
Danimarca	200/400	200	400
Finlandia	400	200	400
Francia	-	-	-
Germania	250/1000	250	-
Grecia	400	200	400
Irlanda	200		150 (scuole) - 200
Italia	-	-	500 + altri ^(b)
Lussemburgo	150		-
Olanda	-	-	-
Norvegia	200/400	200	200/400
Portogallo	-	-	-
Regno unito	200	200	400
Slovenia	400	200	-
Spagna	-	-	-
Svezia	200/ 400		400
Svizzera	400/ 1000		400/ 1000 - 3000
USA	150		150 (scuole)

In neretto sono riportati livelli di riferimento non raccomandati, bensì imposti. Danimarca, Germania e Norvegia hanno due livelli raccomandati in funzione delle azioni da adottare: più semplici al superamento del livello inferiore, di qualsiasi tipo, anche complesse, al superamento del livello superiore.

^(a) Vi sono due livelli imposti: 370 Bq/m³ come media mensile (168 ore lavorative) e 1110 Bq/m³ come media settimanale (40 ore lavorative).

^(b) Alcuni luoghi di lavoro particolari hanno valori di riferimento diversi (ad esempio, le terme).

Tabella 2 – Livelli di riferimento per il radon indoor in vari paesi

Altri paesi hanno emesso delle raccomandazioni: Bielorussia, Repubblica Ceca, Latvia, Polonia, Jugoslavia e/o normative con livelli imposti: Bielorussia, Latvia, Lituania, Russia, Repubblica Slovacca, Jugoslavia.

Nella maggioranza dei casi, per gli edifici esistenti, è stato fissato un unico livello al di sopra del quale viene, appunto, suggerito un intervento di risanamento volto a ridurre la concentrazione di radon. In altri casi sono fissati due livelli: se la concentrazione supera il livello inferiore si raccomanda di adottare semplici rimedi (in alcuni casi anche specificando quali), mentre se la concentrazione è più alta anche del livello superiore si raccomanda di adottare qualsiasi azione, anche più complessa, in quanto si ritiene di dover comunque ridurre un rischio ritenuto troppo elevato. In due casi, Svezia e Svizzera sono fissati due livelli dei quali il più elevato è un valore imposto: si ha l'obbligo di adottare azioni di rimedio nel caso di superamento del livello superiore.

Molti paesi hanno fissato livelli diversi per gli edifici esistenti e per i nuovi edifici. Il Regno Unito ha fissato un unico livello per i due casi, ma per gli edifici da costruire questo livello assume un carattere imposto.

La maggior parte dei livelli raccomandati si trova nell'intervallo 200 - 400 Bq/m³.

Questi valori rientrano nell'intervallo di concentrazione media annuale di 200-600 Bq/m³ fissato dalla citata Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP)^{iv} relativamente agli ambienti domestici. Espresso in termini di dose efficace questi valori corrispondono a 3 – 10 mSv/anno.

Si noti che 3 - 10 mSv/anno corrispondono ad una concentrazione di radon rispettivamente di:

200 – 600 Bq/m³ per gli ambienti residenziali

500 – 1500 Bq/m³ per gli ambienti di lavoro

Tale differenza è dovuta ai diversi tempi medi di permanenza annuali nei due tipi di ambienti: 7.000 ore per anno per gli ambienti residenziali e 2.000 ore per anno per gli ambienti di lavoro.

La legislazione italiana ha fissato, per gli ambienti di lavoro un livello di riferimento per il radon pari a una concentrazione media annuale di 500 Bq/m³, corrispondente a 3 mSv/anno. Nel caso delle abitazioni gli stessi 3 mSv/anno sono quindi ottenuti ad una concentrazione media annuale di 200 Bq/m³.

La scelta del / dei livelli di riferimento, ma anche del tipo di intervento normativo, raccomandazione o livelli imposti, dipende certamente dalla stima di rischio associata, ma anche da fattori socio economici e di sostenibilità dell'azione di prevenzione.

La presenza di radon varia nei singoli paesi e nelle singole regioni ed essa caratterizza il numero di edifici che superano il livello di riferimento ovvero dei casi di tumore evitabili nell'ipotesi di rimozione dei superamenti: livelli di riferimento più bassi si traducono in vantaggi sanitari ma comportano costi individuali e collettivi maggiori (per esempio per i risanamenti) e vanno valutati rispetto alla fattibilità e all'efficacia degli interventi di mitigazione (essendo il radon inquinante naturale, sotto un certo valore di concentrazione indoor non si può scendere). Nel capitolo "Analisi della problematica radon con riferimento alla realtà del Veneto" sono sviluppate valutazioni in materia volte all'individuazione di un livello di riferimento per le abitazioni nel Veneto.

Le azioni di rimedio

La necessità di attività di sperimentazione di azioni di rimedio

Prima di qualunque considerazione su questo argomento deve essere sottolineato che in Italia non esiste ancora una consolidata esperienza in materia e che le principali informazioni sono basate su lavori internazionali, effettuati in particolare nei paesi anglosassoni USA e UK e in Svezia ove le tipologie edilizie e le tecniche costruttive sono a volte fortemente differenti e quindi i risultati non sono direttamente trasferibili al patrimonio edilizio italiano. Nonostante i principi operativi, i meccanismi di ingresso e le azioni di mitigazione siano state ampiamente individuate e sperimentate, risulta oltremodo necessario e prioritario programmare e finanziare un adeguato studio sperimentale sulla applicabilità di queste tecnologie di risanamento al patrimonio edilizio veneto per valutarne e confrontarne la differente efficacia alla luce delle caratteristiche tecnologiche e tipologiche dell'architettura locale nonché delle specifiche pratiche abitative dell'utenza.

Azioni di mitigazione della presenza di gas radon nelle costruzioni

Dai risultati delle indagini effettuate^{xvii} è emerso che in Veneto il radon è un inquinante che entra nelle costruzioni provenendo soprattutto dal sottosuolo oppure esalando dai materiali da costruzione.

Il radon entra negli edifici principalmente attraverso i flussi d'aria che provengono dal suolo sottostante; la presenza del radon all'interno della costruzione dipende dunque essenzialmente da due fattori: la differenza di pressione interno/esterno e la struttura basamentale dell'edificio.

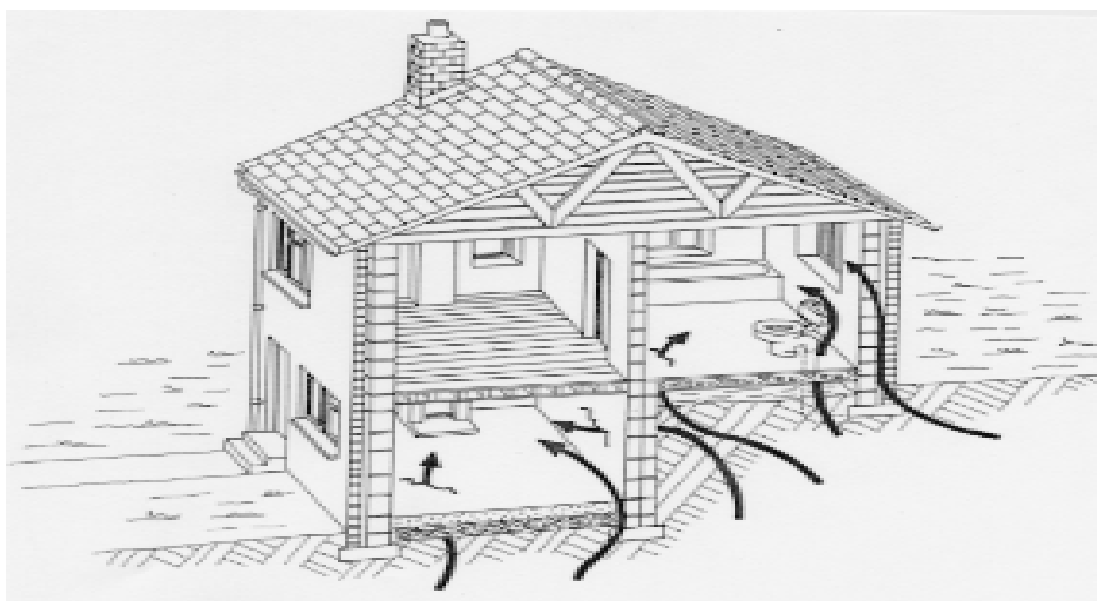


Figura 4 - Il radon entra dalle numerose aperture, crepe e fessure presenti nel solaio gettato sul terreno o rialzato, dalle entrate delle canalizzazioni di servizio o attraverso le fondazioni

La pressione interna di un edificio infatti è generalmente minore di qualche Pascal rispetto alla pressione esterna. Questo può essere dovuto alla presenza di sistemi impiantistici aspiranti (canne di esalazione, condotti di aspirazione, sistemi di ventilazione) oppure a particolari situazioni di attraversamento dell'edificio da parte di un flusso d'aria (effetto Venturi causato per esempio dal riscontro di due finestre aperte su prospetti opposti), oppure ancora alla differenza di temperatura fra aria esterna e aria interna che, soprattutto durante la stagione invernale oppure durante le ore notturne, risulta maggiore, innescando un moto convettivo "a salire" dell'aria calda interna rispetto a quella più fredda esterna che provoca un effetto camino aspirante nei confronti del suolo.

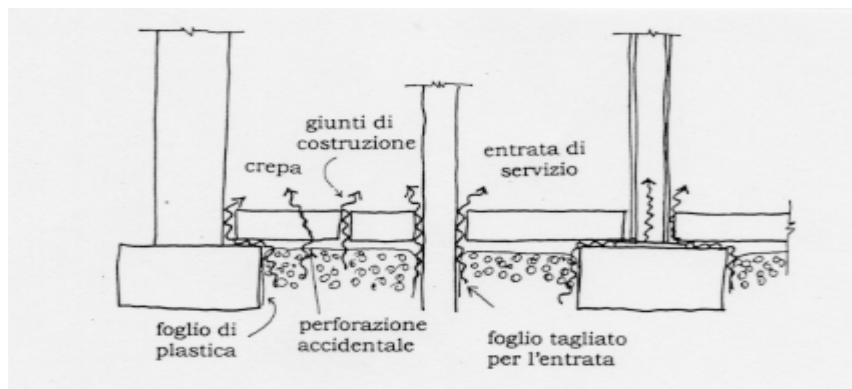


Figura 5 - Principali vie di ingresso del radon dal suolo all'interno dell'edificio

Non è possibile eliminare totalmente il radon ma solo ridurne la concentrazione. Quattro sono i criteri per la mitigazione che presuppongono azioni di tipo passivo (non meccanizzate) o di tipo attivo (con sistemi a consumo di energia). Queste ultime possono anche essere a funzionamento discontinuo, nel senso che i sistemi meccanici a consumo di energia impiegati (aspiranti, soffianti, ecc.) non necessariamente operano senza soste ma anche solamente a intervalli regolamentati. I criteri sono:

- eliminare le fonti (se dovute ai materiali)
- aumentare la resistenza dell'edificio (sigillare gli ingressi)
- trattare l'aria (sistemi di filtrazione)
- allontanare il flusso di gas (sistemi di pressurizzazione, aspirazione e ventilazione).

Sulla base delle nostre conoscenze sui materiali e sulle tecnologie costruttive e sulla base di una analisi dei risultati delle indagini effettuate nella regione^{xvii}, è possibile affermare che nel Veneto il radon proviene prevalentemente dal terreno, essendo l'esalazione di radon da parte dei materiali da costruzione secondaria.

Le Azioni di mitigazione devono quindi mirare soprattutto a impedire o limitare l'ingresso del radon dal suolo. É necessario comunque ricordare che ogni azione di rimedio va valutata secondo la sua effettiva efficacia nella riduzione del rischio. Metodi efficaci nella riduzione delle concentrazioni dei prodotti di decadimento del radon possono non condurre a una equivalente riduzione delle dosi apportate al polmone in quanto agiscono provocando prevalentemente l'eliminazione della frazione attaccata dei prodotti del radon rispetto a quella non attaccata, che ha un ruolo non secondario per la dose ai polmoni.

Alcune azioni inoltre possono risultare efficaci per determinate concentrazioni di gas arrivando anche a ridurne notevolmente la presenza, per esempio consentendo di passare da 2.000 a 500 Bq/m³, mentre per concentrazioni iniziali inferiori, ma comunque oltre la soglia considerata nociva, possono fornire risultati modesti, per esempio consentendo di passare soltanto da 400 a 350 Bq/m³.

Si possono ipotizzare tre momenti applicativi di queste azioni:

Tecniche provvisorie, applicabili temporaneamente in costruzioni già realizzate laddove si sia verificata la presenza dell'inquinante a livelli elevati e in attesa dell'applicazione di Tecniche di rimedio

Tecniche di rimedio, applicabili in edifici già realizzati laddove si sia verificata la presenza dell'inquinante a livelli elevati

Tecniche preventive, applicabili in edifici di nuova costruzione laddove sia ipotizzato il rischio di inquinamento indoor da radon.

Tecniche provvisorie

Le azioni provvisorie si basano fondamentalmente sulla ventilazione indoor, ossia arieggiare gli ambienti in modo tale da evacuare il gas che si è concentrato all'interno della costruzione riducendo la concentrazione ad un livello prossimo alla concentrazione presente naturalmente nell'aria esterna.

L'opportunità di prevedere delle azioni di rimedio di tipo provvisorio può trovare la propria giustificazione nei tempi a volte piuttosto lunghi necessari per ottenere la concessione edilizia necessaria per attuare delle azioni definitive. La tempistica burocratica può essere in alcuni casi ridotta mentre in altri possono necessitarsi tempi più lunghi a seconda della dimensione dell'intervento di mitigazione previsto. Tali tempi potrebbero suggerire di intervenire in via provvisoria con azioni temporanee.

La ventilazione interna agisce sull'aria indoor diluendo la concentrazione di radon mediante l'incremento del rateo di ventilazione. Si tratta di una misura che dovrebbe essere sempre impiegata per eliminare qualsiasi sostanza inquinante dall'ambiente indoor e non solo il radon, e quindi per una maggiore salubrità complessiva della casa.

La provvisorietà di tali azioni, di costo mediamente contenuto, risiede nel fatto che il bilancio energetico, in particolare in regime invernale, potrebbe risultare particolarmente sfavorevole in quanto esse causano una perdita dell'aria climatizzata. Laddove ciò non avvenisse o fosse tollerato se ne potrebbe ipotizzare l'impiego anche su periodi di tempo medio-lunghi. Queste azioni comunque consentono di guadagnare tempo per l'ottimizzazione delle azioni di rimedio.

Fondamentalmente si tratta di arieggiare i locali mediante l'apertura delle finestre almeno tre volte al giorno, iniziando l'apertura dai locali posti ai livelli più bassi (anche interrati o seminterrati) e la chiusura da quelli posti ai piani più alti per limitare l'innescarsi di un effetto camino. Se la costruzione è a un solo livello con due fronti esposti gli infissi andranno richiusi prima sul fronte sottovento per limitare un effetto Venturi. La semplice apertura regolare degli infissi riduce anche l'effetto "aspirante" a causa del quale l'edificio risucchia radon dal terreno, ma rende impossibile il controllo della qualità dell'aria entrante e anche della quantità in funzione delle perdite di calore. Secondariamente, ma da non trascurare, vi è anche la necessità di controllare il possibile ingresso di insetti nell'ambiente interno. Giova inoltre ricordare che l'apertura di infissi esclusivamente nella parte alta della costruzione o la non chiusura di canne fumarie di camini non utilizzati vanifica in modo non secondario l'effetto dell'arieggiamento naturale nei confronti della concentrazione di radon se non addirittura peggiora la situazione in quanto si può innescare un effetto

aspirante dal sottosuolo. Azioni del tipo "fai da te" sono quindi sempre da valutare con grande attenzione e da attivarsi per brevi periodi di tempo nell'attesa dell'intervento e della valutazione da parte di un tecnico esperto.

Come già detto all'inizio del capitolo, le azioni di mitigazione possono essere di tipo attivo o di tipo passivo. Si potrebbe sostenere che le Tecniche provvisorie di intervento dovrebbero essere esclusivamente di tipo passivo dal momento che l'applicazione di una tecnologia di tipo attivo necessita la messa in opera di sistemi impiantistici che comportano un onere economico e una invasività nella costruzione che difficilmente conviene effettuare in via provvisoria. Le azioni attive dovrebbero quindi essere esclusivamente di rimedio oppure preventive: alcuni esempi di interventi attivi, configurabili come provvisori, sono di seguito comunque riportati per completezza dell'informazione e perché, talvolta, possono nondimeno risultare convenienti. Si tratterebbe in sintesi di applicare una ventilazione forzata mediante un ventilatore che introduce aria esterna nell'edificio al posto della ventilazione naturale. L'applicabilità di azioni attive in via provvisoria dipende dalla loro onerosità, dalla difficoltà di applicare a breve Azioni di rimedio alternative e dalla concentrazione dell'inquinante.

Per l'applicazione di tecniche provvisorie passive o attive è possibile:

- Collocare all'interno della parte vetrata di due infissi su prospetti contrapposti un ventilatore passivo analogo a quelli impiegati per arieggiare i locali caldaia. Se l'infisso presenta vetri singoli l'operazione è semplice ed economica. Con infissi muniti di vetrocamera diventa più onerosa.
- Prevedere sistemi di pressurizzazione attiva a basso regime all'interno di alcuni elementi tecnici quali cassonetti per tapparelle o canne di aspirazione, eventualmente già predisposte, installando dei ventilatori che soffiino aria all'interno dei locali
- Posare degli specifici sistemi ventilanti nelle murature di perimetro e un sistema aspirante a basso regime. Quest'ultima tecnologia in particolare potrebbe rivelarsi efficace in via definitiva contribuendo anche alla evacuazione di altri inquinanti presenti nella abitazione ma è molto importante verificare il rischio di messa in depressione della casa, e il conseguente effetto risucchio, attraverso un calcolo delle portate d'aria.

Tutte queste azioni garantirebbero risultati più efficaci se applicate parallelamente alla sigillatura delle linee di ingresso dal radon in prossimità dell'attacco a terra (vedi Tecniche di rimedio).

Tecniche di rimedio

Nella applicazione di azioni di rimedio, laddove si riscontri una eccessiva concentrazione di gas, va valutata la possibilità di intervenire sulle cause che creano una depressione all'interno dell'edificio. Dato che nella maggior parte dei casi risulta molto complesso individuare tali cause nonché intervenire per modificarle, può essere più opportuno intervenire sulla parte basamentale cercando di controllare i punti di ingresso dell'inquinante.

É quindi fondamentale iniziare da una analisi della tipologia della costruzione e in particolare del suo attacco a terra. Si possono ipotizzare:

- costruzioni direttamente in appoggio sul terreno senza locali sottostanti interrati
- costruzioni con il piano terra alla quota del terreno e locali sottostanti interrati
- costruzioni rialzate dal terreno (20 - 100 centimetri) con locali sottostanti interrati
- costruzioni rialzate dal terreno (20 - 100 centimetri) con una intercapedine occupata da riempimenti drenanti (es. ghiaia)
- costruzioni rialzate dal terreno (20 - 100 centimetri) con una intercapedine occupata da elementi strutturali (muretti di sostegno)
- costruzioni rialzate dal terreno (20 - 100 centimetri) con una intercapedine libera da elementi strutturali o da riempimenti drenanti (solaio continuo in appoggio sulle pareti perimetrali)
- costruzioni sollevate dal terreno con un sistema a pilastri o a setti portanti e un sottostante volume aperto e libero da ingombri salvo gli elementi strutturali.

Alcune costruzioni possono presentare casistiche tipologiche miste anche piuttosto complesse, per esempio un edificio con una parte che insiste su una cantina sottostante, una parte direttamente a terra e una parete verticale controterra.

É importante ricordare che tutte le pareti verticali controterra vanno considerate, alla stregua di un solaio a terra, come possibile via di ingresso, nonostante la loro verticalità faccia pensare a un ruolo secondario nell'ingresso del gas.

Le situazioni sono abbastanza variabili e le azioni possibili non sono tutte necessariamente in alternativa, alcune possono essere applicate anche contemporaneamente. In ogni caso non è possibile l'abbinamento della/delle azioni più idonee ad una determinata tipologia tecnico-costruttiva senza esaminare il caso specifico.

Alcune di queste Azioni di rimedio sono piuttosto analoghe ad altre Azioni preventive che vedremo più avanti, con la differenza che, intervenendo in fase di costruzione, l'applicazione del sistema di mitigazione risulta più facile, economica e funzionale. Anche in fase di risanamento comunque le possibilità di buoni risultati sono numerose. Queste azioni, come quelle preventive, possono essere di tipo passivo oppure di tipo attivo.

Azioni di tipo passivo

Le azioni di tipo passivo tendono a evitare l'ingresso del radon nell'abitazione. In caso di interventi di risanamento di edifici preesistenti è possibile:

- la ventilazione naturale del vespaio qualora l'edificio presenti un volume relativamente vuoto al di sotto della soletta dell'attacco a terra e con gli eventuali ambiti presenti comunicanti fra loro. Potrebbe essere sufficiente realizzare delle aperture comunicanti con il volume del vespaio al piede dell'edificio e su due prospetti opposti (circa 100 cm² ogni metro lineare). Una opportuna valutazione della direzione dei venti dominanti potrebbe innescare naturalmente una ventilazione in grado di diluire sufficientemente il gas proveniente dal terreno.
- la sigillatura di tutte le possibili vie di ingresso negli elementi tecnici (pareti e solai) a contatto con il terreno. Si possono infatti verificare delle fessurazioni lungo le linee di attacco fra parete verticale e solaio orizzontale, oppure anche per tutto lo spessore dell'elemento nei punti in cui viene effettuato un getto di calcestruzzo nuovo contro un

getto preesistente già indurito (riprese di getto) e causate dall'inevitabile ritiro differenziato del secondo getto di calcestruzzo e ai successivi micro-assesamenti strutturali.

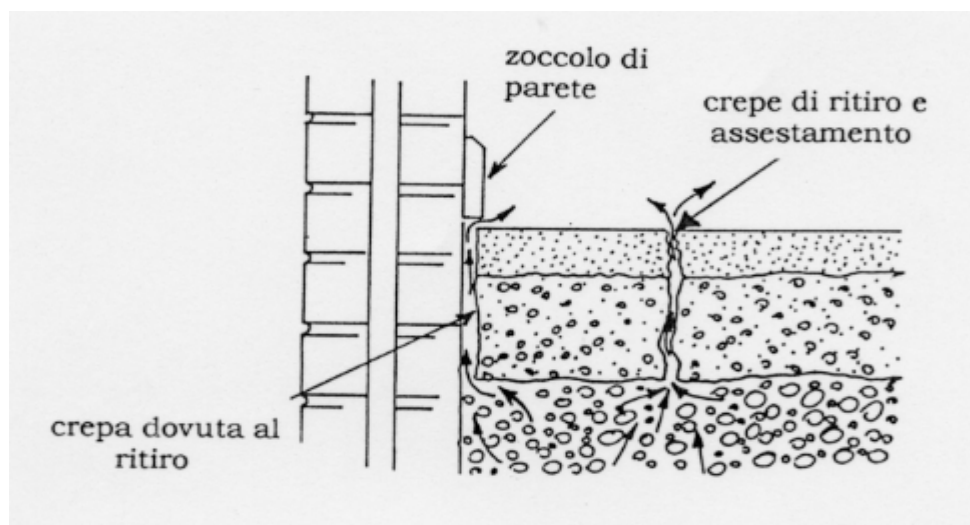


Figura 6 - Crepe e fessurazioni nelle riprese di getto e nell'attacco parete-solaio

Si tratta di fessurazioni di spessore variabile, a seconda della tipologia dell'attacco a terra e della tecnologia costruttiva dell'elemento tecnico, che oscilla fra una larghezza inferiore al millimetro fino anche ai tre millimetri realizzando un'area effettiva di apertura pari anche a un metroquadrato nella cantina di una abitazione monofamiliare. Anche tutte le canalizzazioni degli impianti tecnici collegati al sottosuolo (reti di adduzione acqua o energia elettrica, scarichi fognari, ecc.) che transitano attraverso le frontiere a contatto con il terreno possono formare delle linee di ingresso del gas. In certe condizioni climatiche critiche anche i cicli di gelo/disgelo possono provocare dei cambiamenti di volume delle strutture con conseguente fessurazione delle chiusure perimetrali dell'edificio, come anche nelle situazioni di clima caldo e suolo argilloso nelle quali si verifica un ciclo di ritiro/dilatazione in risposta alle variazioni di piovosità stagionale. Tutte queste crepe, fessurazioni, giunti, canalizzazioni passanti, ecc. possono essere sigillate con opportuni prodotti. Fra questi:

- sigillante acrilico in emulsione fornito in tubi da utilizzare con una pistola dispenser. Diventa efficace una volta asciutto ed è verniciabile
- sigillante a base siliconica, analogo al precedente ma più costoso, con maggiori caratteristiche di elasticità e non altrettanto facilmente verniciabile. Viene fornito in tubo per dispenser in confezioni di diversa misura e anche in contenitori pressurizzati. È prevalentemente impiegato per la sigillatura delle fessure che si formano attorno ai sanitari
- sigillante a base poliuretanica, economico e di grande "riuscita" grazie al caratteristico effetto espandente della miscela. È prevalentemente impiegato per il riempimento di crepe o cavità di grandi dimensioni in particolare nei posti meno raggiungibili e soprattutto attorno al punto di ingresso delle canalizzazioni impiantistiche. Viene fornito in contenitori di aerosol pressurizzati e viene dispensato grazie a un tubo di plastica flessibile di 10 millimetri di diametro che ne consente l'applicazione anche in contesti di accesso disagiati. Una volta esposto all'atmosfera inizia a espandersi fino a

riempire l'apertura. La sua durata nel tempo è inferiore a quella degli altri sigillanti per cui possono rendersi opportune delle riapplicazioni a distanza di alcuni anni

- malta di cemento polimerica con rapporto cemento/sabbia di 1/4 o 1/6 e nella quale viene impiegata una emulsione polimerica per l'impasto (al posto dell'acqua) tipo acetato di polivinile, styrene butadiene o una emulsione di polimeri acrilici. L'emulsione polimerica migliora la capacità di adesione della malta di sigillatura con il getto di calcestruzzo preesistente. Il basso costo e i notevoli volumi che può facilmente riempire la rendono idonea per il riempimento di ampie cavità, specie quelle attorno agli impianti, oppure per grandi crepe o giunti nelle aree calpestabili grazie alla elevata resistenza alla abrasione. È opportuno impiegare nell'impasto un inerte a bassa granulometria e asportare una parte della malta preesistente, onde creare uno scasso per l'applicazione della nuova miscela polimerica sigillante. L'impiego di un legante antiritiro migliora l'effetto sigillante.

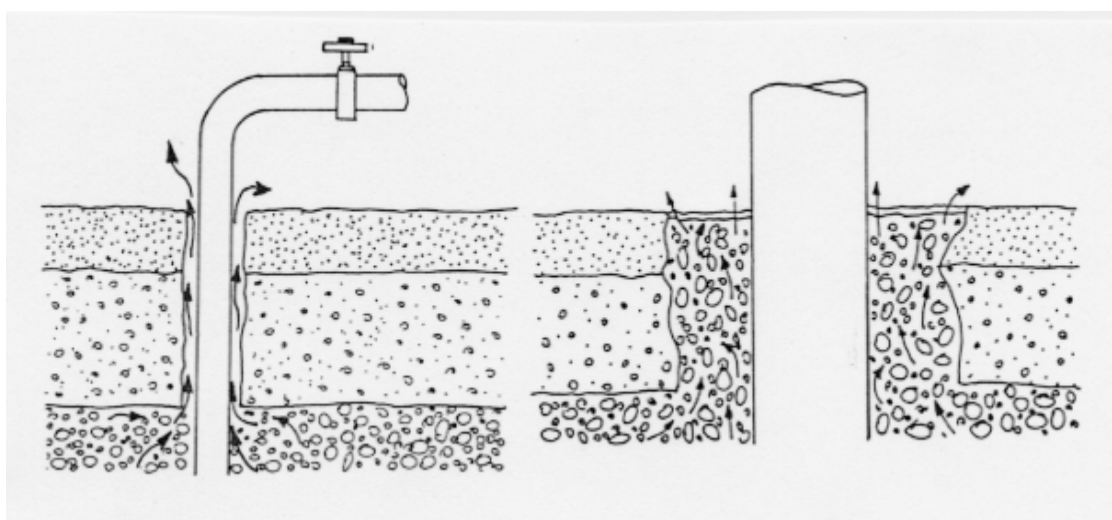


Figura 7 - Vie di accesso del gas radon in corrispondenza delle bucatore per l'ingresso delle canalizzazioni di servizio

Dato che non sono escludibili delle infiltrazioni in queste fessure, i materiali impiegati dovranno presentare una buona resistenza all'acqua.

Accanto ai suddetti interventi “puntuali” si possono avere interventi più estensivi che prevedono di effettuare il getto di una caldana di cemento sul solaio a terra che sigilli tutte le crepe presenti, realizzata questa eventualmente impiegando additivi plastificanti o leganti antiritiro e previa interposizione di un foglio di materiale sintetico come barriera antiradon (vedi i sistemi passivi delle Azioni preventive). Qualora nell'ambito di una generale ristrutturazione venisse rifatta la pavimentazione potrebbe convenire, oltre a quanto già descritto, prevedere al di sotto di essa, una intercapedine ventilata nella quale bloccare e asportare l'aria carica di radon con sistemi aspiranti.

Le fessurazioni sulle quali è possibile intervenire con le tecniche di sigillatura appena viste possono essere facilmente prevedibili in fase di realizzazione di nuove costruzioni in quanto le tecnologie costruttive sono molto più uniformi. Al contrario negli edifici storici, la molteplicità delle tecnologie costruttive impiegate e i vari ampliamenti e modifiche subite dall'edificio nel corso degli anni possono causare delle discontinuità in punti meno prevedibili.

In ogni caso le tecniche di sigillatura non forniscono prestazioni di livello elevato e soprattutto non assicurano una adeguata durata nel tempo, per cui devono sempre essere abbinate ad altre azioni di rimedio e di controllo della circolazione dell'aria (sistemi aspiranti o altro) e non applicate come soluzione unica. La riduzione della concentrazione dell'inquinante infatti è generalmente della metà e raramente arriva a due terzi, data la difficoltà di assicurare l'individuazione e il trattamento di tutte le crepe esistenti, ma presenta dei costi contenuti e facilità di esecuzione. La tecnica sarebbe dunque adatta per livelli di radon fino a 400-500 Bq/m³.

Azioni di tipo attivo

Le azioni di tipo attivo si basano prevalentemente sulla diluizione del radon e dei suoi prodotti di decadimento e si avvalgono di apparecchiature meccaniche che prevedono quindi una manutenzione. La mitigazione della presenza dell'inquinante è conseguita da sistemi di ventilazione ambiente (vedi a proposito anche le Azioni provvisorie per la ventilazione ambiente) o di trattamento dell'aria interna oppure da sistemi che creano una condizione di pressione negativa o di pressione positiva al di sotto del solaio a terra dell'edificio (per "solaio a terra" si intende il primo elemento di chiusura orizzontale inferiore dell'edificio al di sotto del quale non si svolgono funzioni abitative. Può trattarsi quindi anche di un solaio sopraelevato e non necessariamente di un solaio "controterra").

Ventilazione ambiente

La ventilazione ambiente agisce sull'aria indoor diluendo la concentrazione di radon mediante l'incremento del rateo di ventilazione. Dei suoi limiti e comunque della sua opportunità quale Azione provvisoria si è già detto nella descrizione delle tecniche suddette.

La ventilazione ambiente di tipo attivo è più propriamente indicata per interventi di rimedio e può essere applicata mediante un ventilatore che produce una ventilazione forzata che introduce aria esterna non temperata nell'edificio pressurizzandolo. La portata del sistema è in funzione della capacità dell'impianto di climatizzazione di compensare le perdite di energia senza che il flusso d'aria entrante possa modificare la temperatura media radiante oltre la soglia di comfort. Questo flusso può essere regolato da una valvola di controllo igroregolabile (in funzione dell'umidità relativa presente nell'aria) o termostatica (in funzione della temperatura).

Negli edifici di nuova costruzione una ridotta quantità di aria può produrre una significativa riduzione dell'inquinante grazie all'effetto pressurizzazione, che diminuisce i flussi entranti di radon, e alla buona tenuta degli infissi.

Negli edifici non recenti con inferiori capacità di "tenuta" degli infissi e maggiore presenza di crepe di infiltrazione i flussi d'aria necessari devono essere probabilmente maggiori di quanto il sistema impiantistico di controllo della temperatura interna possa sopportare. Per questi edifici è necessario un rifornimento di aria temperata e controllata attraverso un sistema di ventilazione forzata con recupero di calore. Un ventilatore a "recupero di calore" (o scambiatore di calore aria-aria) utilizza, in regime invernale, il calore dell'aria espirata per riscaldare parzialmente l'aria immessa mentre in regime estivo avviene l'inverso. A seconda della tipologia costruttiva può essere applicato all'intero edificio o solamente ai locali a piano terra o interrati. Migliora in generale la qualità dell'aria (e quindi non è efficace solo per il radon ma anche per altri inquinanti indoor) e necessariamente porta a un incremento dei consumi, ma non così elevato come si potrebbe immaginare in quanto l'eliminazione del vapore acqueo interno che si ottiene con questo sistema mantiene più asciutte, e quindi coibenti, le chiusure perimetrali dell'edificio.

Sempre per la ventilazione ambiente, in alternativa a questo primo sistema che "soffia" aria nell'edificio pressurizzandolo, è possibile utilizzare un impianto che aspira l'aria viziata

sostituendola con aria esterna che entra da opportune bocchette igroregolabili a funzionamento passivo poste nelle pareti perimetrali (che tendono ad evitare la messa in depressione dell'ambiente) abbinate a un sistema aspirante in continuo a basso regime. È un sistema particolarmente efficace per l'inquinamento indoor in generale ma, per quanto riguarda il radon, potrebbe essere opportuna anche la sigillatura delle possibili vie di ingresso a terra in quanto si rischia sempre di mandare in depressione l'ambiente interno.

Trattamento dell'aria interna

Il trattamento dell'aria interna è un sistema di mitigazione ottenuto dagli studi condotti nell'industria mineraria. Viene quindi qui sinteticamente citato solo per completezza.

L'approccio più logico sembrava quello di rimuovere il genitore radionuclide Rn-222, ma i metodi di tipo fisico e chimico testati sono apparsi subito assolutamente complessi e costosi.

Altri test di laboratorio hanno dimostrato che sistemi di assorbimento a carbone attivo possono avere una certa efficacia assieme a metodi quali i sistemi a precipitazioni elettrostatiche, filtrazioni ad alta efficienza e spazi caricati unipolarmente. Questi sistemi possono essere considerati interessanti dal punto di vista teorico nella eliminazione dei prodotti da decadimento del radon anche se non certamente rappresentativi di azioni attualmente perseguibili e applicabili su ampia scala.

Aspirazione: depressurizzazione del vespaio, ventilazione del vespaio, depressurizzazione del suolo

L'aspirazione è un metodo praticabile in quelle situazioni costruttive nelle quali le fessurazioni e le crepe sono talmente numerose o ampie da sconsigliarne la sigillatura. In questi casi si può ottenere una riduzione della concentrazione indoor di radon deviando il flusso di gas che dal terreno entra nell'edificio attraverso un sistema di aspirazione che intercetta il gas al di sotto del solaio a terra scaricandolo poi nell'atmosfera. Questo sistema collettore deve produrre una piccola pressione sub-atmosferica nel suolo e deve necessariamente scaricare l'inquinante, attraverso opportune canalizzazioni, al di sopra della quota di copertura. Si tratta di un metodo che non solo riduce la concentrazione di radon nel suolo sotto la costruzione, ma diminuisce il flusso del gas entrante dalle fessure in quanto si produce una depressione che aspira aria anche dall'interno della costruzione e quindi le aperture risultano occupate dal flusso inverso.

L'aspirazione può essere di tipo passivo attraverso un camino ventilato in zone nelle quali il vento può produrre passivamente delle pressioni differenziali di qualche Pa pari alla differenza esistente tra edificio e suolo, oppure anche facendo semplicemente passare la canalizzazione in prossimità di una fonte di calore quale, per esempio, lo scaldabagno che riscalda la tubazione e innesca un moto ascensionale. L'aspirazione è comunque prevalentemente di tipo attivo e attivata mediante un ventilatore in grado di produrre delle differenze che vanno dai 25 ai 50 Pa e oltre, se necessario. È complesso identificare la grandezza del ventilatore richiesto, un ventilatore assiale con portata 50 l/s è spesso sufficiente ma se si è in presenza di un suolo particolarmente impermeabile e di un buon numero di fessure può essere necessario un ventilatore centrifugo di portata maggiore. La posizione del sistema aspirante è inoltre importante in quanto può produrre rumori fastidiosi.

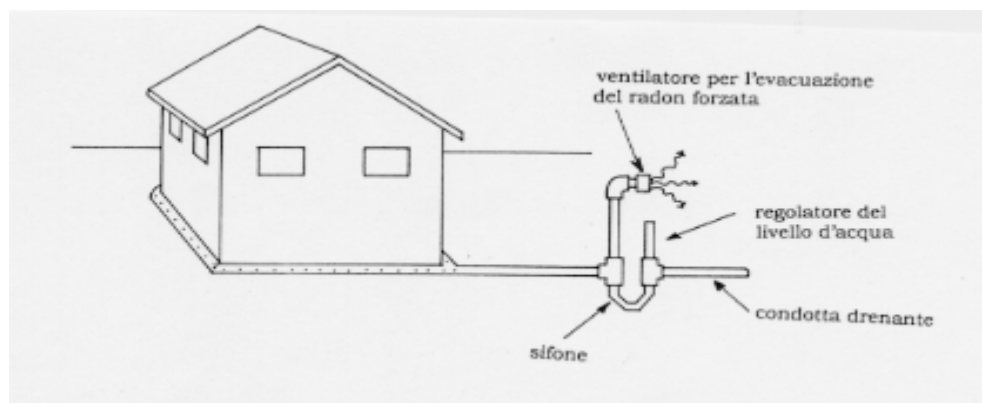
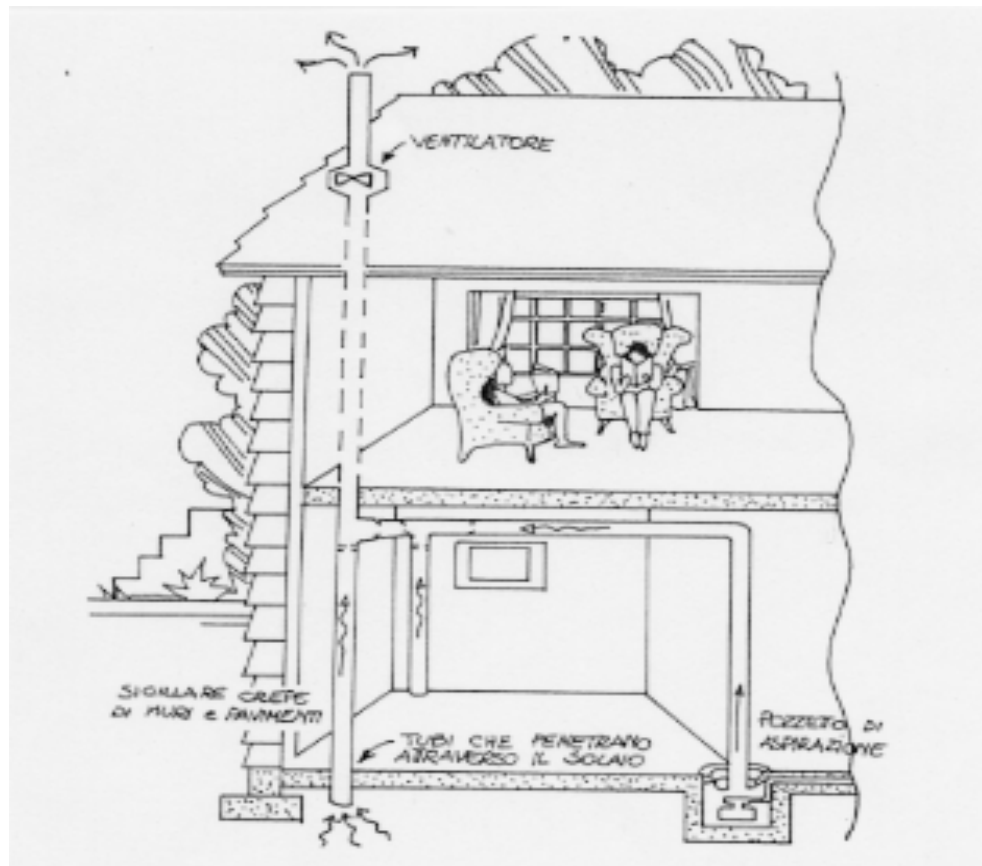


Figure 8 e 9 - Il sistema di tubazioni aspiranti forma un anello attorno all'edificio, il gas viene poi trasportato lontano attraverso un ventilatore e scaricato in atmosfera

Il sistema aspirante può essere collegato:

- (depressurizzazione del vespaio) al preesistente sistema di vespaio sotto il solaio a terra, in caso di costruzioni parzialmente sollevate dal terreno con intercapedine sottostante e laddove le pareti perimetrali di contenimento risultino sufficientemente impermeabili all'aria. Si tratta di una tecnica dalle prestazioni fortemente variabili in funzione della dimensione della camera d'aria del vespaio, del materiale di riempimento (sabbia, ghiaia grossa o a granulometria fine, muretti di sostegni, solaio sospeso e quindi vespaio, ecc.),

della conformazione della pianta e della tecnologia costruttiva delle pareti d'ambito. L'aspirazione in un vespaio senza bocchette di ventilazione produce generalmente una depressione superiore rispetto alla parte abitata tale da invertire il flusso di gas

- (ventilazione forzata del vespaio, analoga alla ventilazione naturale vista per le azioni passive) si tratta di un caso analogo al precedente ma nel quale sono presenti delle bocchette di ventilazione aperte al perimetro del vespaio grazie alle quali si ottiene invece un effetto diluizione e riduzione della concentrazione del gas. L'efficacia rispetto al caso precedente è in funzione della planimetria della costruzione e della tecnica costruttiva del vespaio. Questo sistema risulta più efficace con planimetrie regolari e con vespai prevalentemente liberi (quindi non riempiti ma con solai sospesi) nei quali l'aria riesce a circolare con maggiore facilità
- (depressurizzazione del suolo) in alternativa, in mancanza di intercapedine e in caso di costruzioni direttamente in appoggio sul terreno senza locali sottostanti interrati o con locali sottostanti interrati o parzialmente interrati che necessitano di bonifica, è possibile realizzare un pozzetto (o più pozzetti se possibile) interrato costruito di elementi prefabbricati o in muratura a nido d'ape o in plastica al quale è collegato il sistema aspirante.

Si tratta di pozzetti di dimensioni in pianta circa 60 per 60 centimetri la cui quantità e disposizione è in funzione della pianta dell'edificio.

La loro profondità è variabile da 50 - 60 centimetri fino anche a 180 - 200. Maggiore è la profondità più efficace è l'intercettazione dal gas.

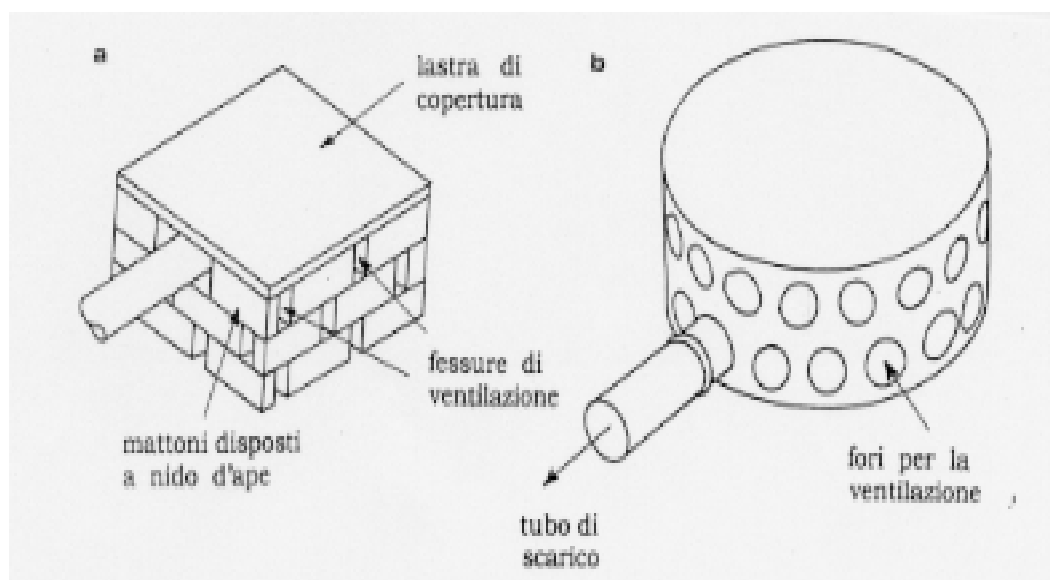


Figura 10 - Pozzetto in mattoni sfalsati (a) e pozzetto in pvc (b)

La pressione negativa che si produce nel pozzetto si estende nei pori tra i granuli del terreno sottostante la casa aspirando il radon. È necessario posizionare una chiusura sufficientemente stagna sopra al pozzetto eventualmente impiegando una membrana in polietilene, mentre le pareti perimetrali dovranno presentare delle bucatore frequenti.

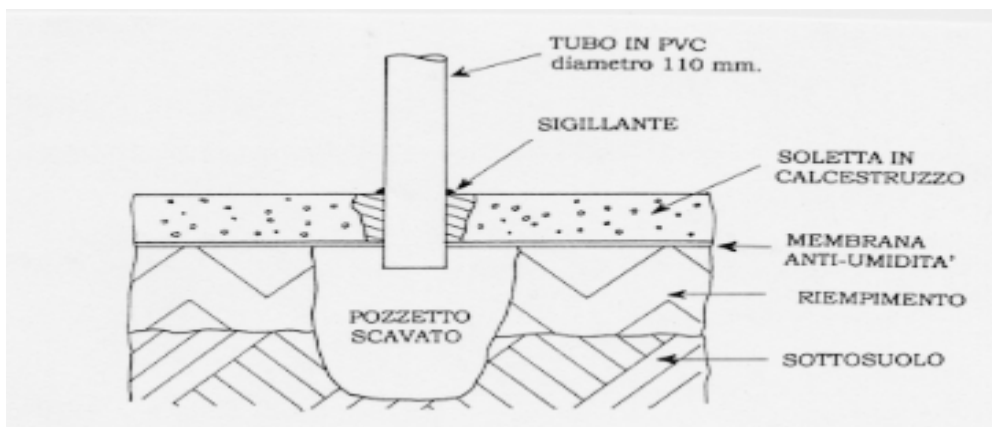


Figura 11 - Pozzetto costruito scavando semplicemente il terreno sottostante il solaio

Questa tipologia di pozzetti può essere distinta in:

- pozzetti interni con tubazioni interne. Per il pozzetto è la posizione più efficace soprattutto se esso è al centro dell'edificio: la posa in opera tuttavia può produrre danni e spesso è difficile trovare un percorso opportuno per la canalizzazione. In condizioni ottimali può raggiungere una discreta influenza su un'area di 200 m² o un raggio di azione di 10-12 metri. In questo caso l'aspiratore deve essere posizionato nel punto più alto in modo tale che le tubature siano in aspirazione per tutta la lunghezza

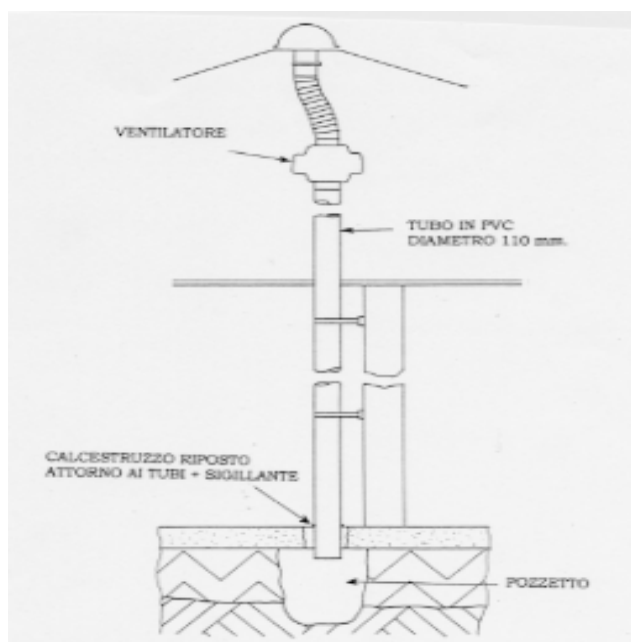


Figura 12 - Il pozzetto viene scavato all'interno dell'edificio al di sotto della soletta di calcestruzzo dell'attacco a terra. Le tubature che partono dal pozzetto e scaricano il gas radon in sommità vengono poste all'interno dell'edificio. Questo tipo di soluzione è realizzabile laddove sia possibile inserire le tubature all'interno di pareti o intercapedini in modo da non recare un danno estetico. È comunque consigliabile porre le tubature all'esterno per evitare rischi in caso di perdite

- pozzetti interni con tubazioni esterne. Rappresenta la soluzione più opportuna in quanto all'efficacia del pozzetto interno si aggiunge il vantaggio di evitare che possibili perdite nella tubazione riportino il radon dentro l'edificio. Per contro si ha l'effetto estetico della canalizzazione in facciata e la necessità di controllare il rischio di condense nelle tubature

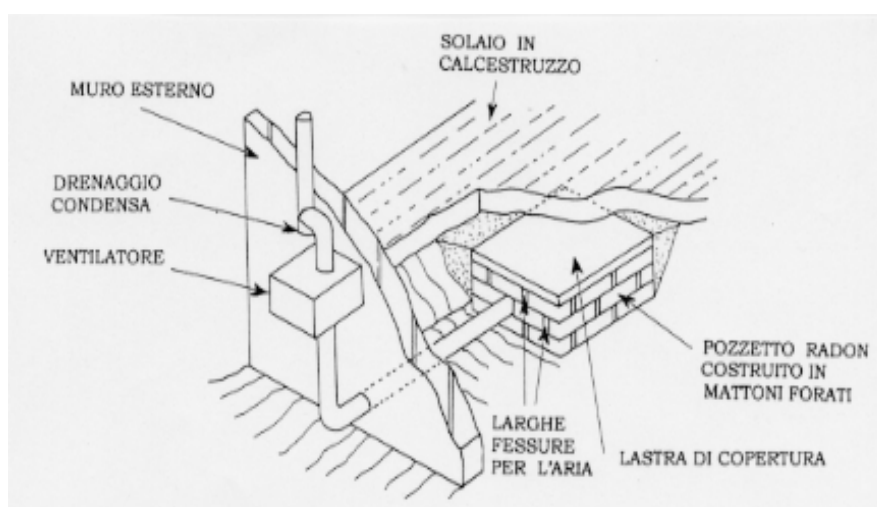
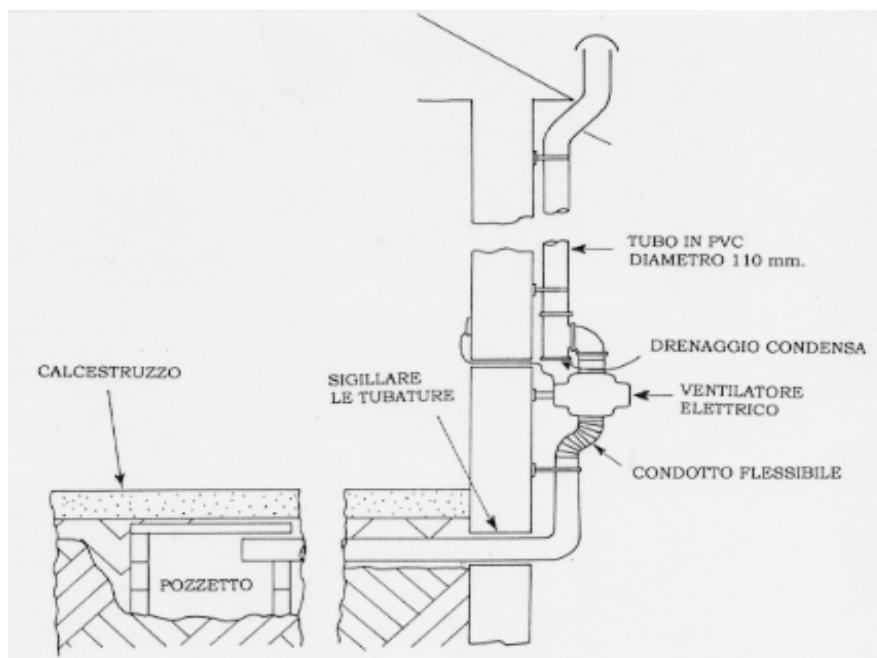


Figure 13 e 14 - Questo schema rappresenta la soluzione migliore. È presente anche un sistema di drenaggio che evita la condensazione nelle tubature e il conseguente malfunzionamento del ventilatore. È evidente che in tutte queste soluzioni lo scarico del gas deve avvenire al di sopra della quota di gronda per evitare ritorni del gas

- pozzetti interni scavati dall'esterno con tubazioni esterne. Si tratta di operare dall'esterno della casa scavando sotto l'abitazione immediatamente all'interno del muro perimetrale per ricavare uno spazio nel quale collocare un pozzetto interno. In una costruzione unifamiliare può essere una soluzione efficace. Il rischio è che il sistema aspirante risucchi l'aria dall'esterno della casa oppure dalla muratura cava anziché da sotto l'edificio. Opportune sigillature in malta, schiuma poliuretantica, ecc. possono controllare questo fenomeno

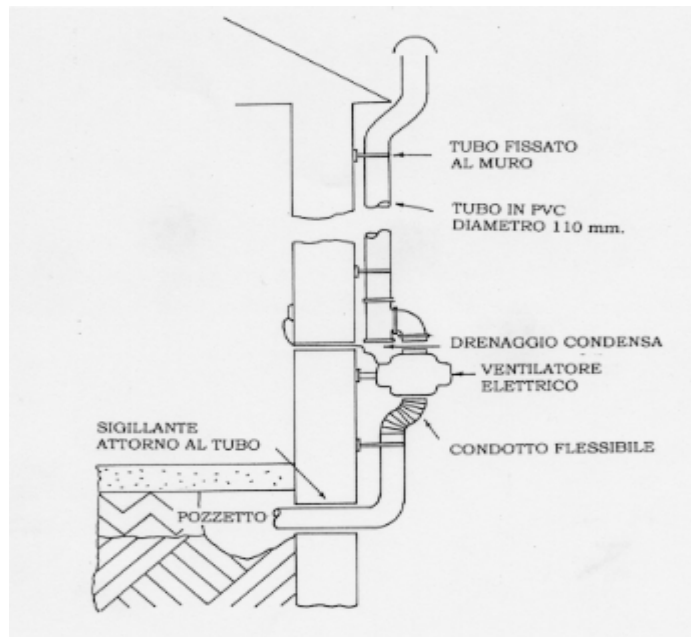


Figura 15 - Questa soluzione prevede il pozzetto scavato, dall'esterno, all'interno dell'edificio e le condotte di scarico all'esterno. Questa soluzione non sempre è possibile perché possono intervenire problemi statici della soletta. Le canalizzazioni hanno una dimensione di 100-110 millimetri di diametro

- pozzetti esterni con tubazioni esterne. Nella impossibilità o difficoltà di collocare i pozzetti all'interno dell'edificio, questi possono essere interrati all'esterno in adiacenza alla muratura di perimetro della costruzione. L'efficacia è discreta soprattutto se l'estensione in pianta della casa è limitata (100-150 m²)

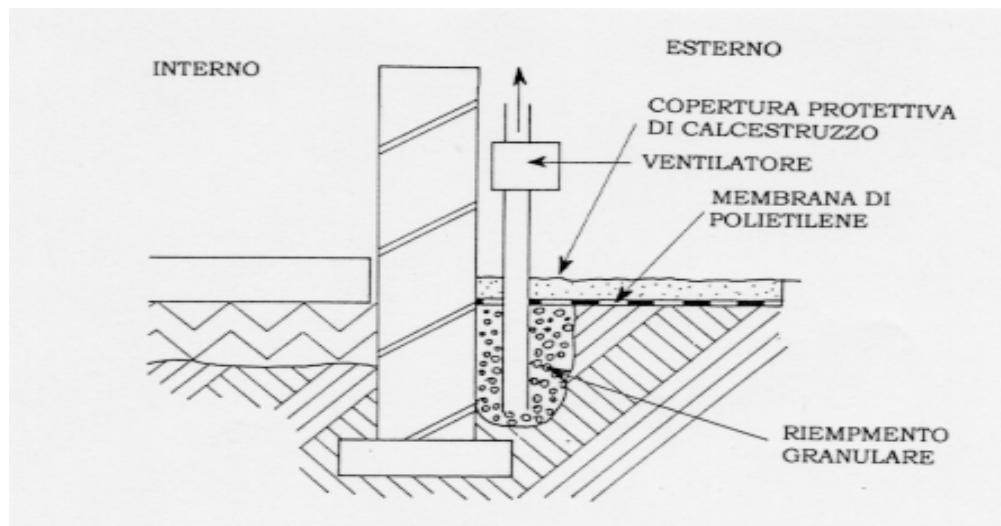


Figura 16 - Questa soluzione prevede che il pozzetto sia scavato all'esterno. Lo svantaggio è rappresentato dal fatto che il raggio di azione di questo sistema aspirante risulta in parte attivo in un'area non interessata dall'edificio. In questo caso sarebbe opportuno coprire il terreno sopra il pozzetto interrando una membrana in polietilene per evitare una eccessiva aspirazione di aria dall'atmosfera

- (depressurizzazione del suolo) al posto dei pozzetti, possono essere interrate delle tubazioni orizzontali forate collegate fra loro e al sistema aspirante. Spesso tali canalizzazioni sono già esistenti e sono normalmente impiegate per il drenaggio dell'acqua dalle fondazioni e interessano l'intero perimetro della casa. Queste canalizzazioni, che possono rappresentare una via di ingresso del radon che attraverso questi tubi può muoversi fino a trovare un punto di ingresso nella casa, possono essere convertite al suo smaltimento intercettandole e collegandole con un sistema aspirante
- (depressurizzazione del suolo) tubazioni come le precedenti possono essere posate anche verticalmente con l'effetto di intercettare il gas a una maggiore profondità. Come la precedente, si tratta di una soluzione un po' complessa e costosa e che può provocare danni alla costruzione, ma è spesso efficace e comunque è più opportunamente classificabile fra le Azioni preventive pre-costruzione. Il raggio di azione di ogni elemento infisso nel terreno può arrivare a cinque-sei metri se le tubazioni sono collegate a un aspiratore che provoca una differenza di pressione di 50-100 Pa. Significa che case isolate di dimensioni contenute possono ottenere prestazioni soddisfacenti anche collocando in opera una sola tubazione verticale.

In questi sistemi la canalizzazione è generalmente in pvc e può avere un diametro di circa 10 centimetri. Se il ventilatore non è posto in sommità ma alla base, e quindi con funzioni di "spingere" il flusso (soluzione possibile solo in caso di condotte di evacuazione del gas poste all'esterno in quanto potrebbero verificarsi delle perdite nei giunti della tubazione), questo deve essere di tipo centrifugo. Le potenze richieste potrebbero oscillare fra i 75 e i 90 Watt.

Differenze di pressione nelle canalizzazioni o nei pozzetti di circa 50 Pa e di 10 Pa nel suolo in punti corrispondenti al perimetro dell'edificio sono indice di buona installazione con discrete garanzie di successo.

Ventilazione della struttura

La ventilazione della struttura riguarda esclusivamente quei sistemi costruttivi che prevedono l'impiego di elementi cavi per la realizzazione delle murature verticali (blocchi di calcestruzzo alleggerito, elementi in laterizio forato, porizzato o alveolato, ecc.). In questa situazione costruttiva l'intercapedine all'interno delle murature può diventare il veicolo attraverso il quale il radon si diffonde all'interno della abitazione. In questo caso le cavità all'interno dei muri possono essere usate per intercettare e canalizzare all'esterno il gas. È quasi sempre necessaria l'aspirazione da ogni muratura perché gli angoli degli edifici sono spesso rinforzati con getti di calcestruzzo che impediscono la comunicazione delle diverse intercapedini.

Pressurizzazione del vespaio

La pressurizzazione del vespaio si basa soprattutto sulla buona tenuta all'aria delle murature di perimetro di contenimento del volume sotto il solaio a terra che consente di realizzare un effetto inverso rispetto ai sistemi di aspirazione. Anziché aspirare aria sotto l'edificio favorendo in un certo senso l'uscita del gas per poi intercettarlo deviandone il flusso, la pressurizzazione prevede che il sistema di ventilazione soffi aria all'interno del volume sotto il solaio a terra. Si crea in questo modo una sovrappressione nel volume sottostante l'edificio che tende a contrastare la naturale fuoriuscita del gas dal terreno e impedisce l'innescarsi dell'effetto "aspirante" della costruzione; a questo punto il radon fuoriesce in altre aree esterne alla casa. Inoltre questo soffio d'aria tende a diluire il gas eventualmente fuoriuscito dal terreno sotto la costruzione. Potrebbe anche accadere che questa tecnica di pressurizzazione "spinga" aria contenente gas radon all'interno della abitazione

favorendone l'ingresso; in molti casi comunque il bilancio fra diluizione del gas e maggior ingresso di aria e radon è favorevole all'abbassamento della concentrazione di inquinante.

Sono possibili due strategie: la prima prevede l'immissione di aria fresca dall'esterno, ma è difficilmente applicabile nei climi freddi in quanto raffredda il volume al di sotto del solaio a terra e crea disagi e scompensi alla temperatura media radiante e maggiori consumi di riscaldamento; questi sono in parte evitabili attraverso la messa in opera di uno strato termoisolante aggiuntivo al di sopra del solaio a terra (con inevitabile rifacimento della pavimentazione). Va considerato che l'aria è spesso carica di umidità e fredda, esiste quindi sempre il rischio di formazione di ghiaccio da condensa nei condotti e nel sistema aspirante ed è importante prevedere dei condensatori.

La seconda strategia prevede che l'aria immessa nel vespaio provenga dall'interno della abitazione, si tratterà quindi di aria riscaldata che non provoca cadute della temperatura superficiale del solaio a terra e rischi di formazioni di ghiaccio. Anche in questo caso il prelevamento di aria calda dall'ambiente porta a un incremento dei consumi che pare essere però sufficientemente contenuto.

L'efficacia anche in questo caso è fortemente variabile in funzione del sistema tecnologico costruttivo del vespaio e del suo materiale di riempimento ed è naturalmente applicabile solo laddove l'intera superficie a terra della costruzione sia interessata dal volume del vespaio.

Tecniche preventive

Alcune di queste azioni sono esclusivamente applicabili a edifici di nuova costruzione, altre possono essere considerate molto simili a quelle proposte negli interventi di ristrutturazione e risanamento (vedi quindi anche le Azioni di rimedio). L'applicazione della medesima tecnologia in una nuova costruzione consente però di semplificarne a volte in modo notevole la messa in opera, oltre a dare la possibilità di calibrare più opportunamente il sistema con risultati più apprezzabili e quasi sempre più economici.

Anche in questo caso si possono avere azioni di tipo passivo oppure attivo.

Azioni di prevenzione di tipo passivo

Fra quelle di tipo passivo si possono avere:

- ventilazione naturale del vespaio. In pratica si tratta di sollevare la casa di una certa altezza dal terreno (da 20 a 100 centimetri in funzione del numero e della dimensione delle bucatore che vengono create sul perimetro del basamento). È una delle soluzioni più efficaci ed economiche in fase di nuova costruzione ma pone forti vincoli di carattere architettonico dovuti alla presenza del basamento e delle bucatore
- messa in opera di una barriera impermeabile al radon in fase di realizzazione delle parti controterra dell'edificio. Si tratta di posizionare un foglio di materiale a bassa traspirabilità in mezzo a due strati a scelta fra quelli che costituiscono il solaio e/o le pareti controterra (generalmente si posiziona la barriera al radon prima del getto della platea di fondazione o della soletta controterra). L'effetto barriera di queste membrane non sempre è totale, ma è sufficiente a rallentare notevolmente il processo di migrazione del gas; si tratta tuttavia di una tecnica certamente efficace ma non sempre duratura per cui è necessario affiancarla sempre ad altri sistemi. I prodotti possibili sono:
 - fogli in polietilene sovrapposti e termosaldati

- guaine fibrobituminose o in pvc, attualmente impiegate come barriera al vapore in edilizia (eventualmente del tipo con interposto o accoppiato un foglio in alluminio), sovrapposte sfiammate o termosaldate
- membrane liquide applicate a freddo a pennello
- asfalto a caldo applicato a spazzola
- membrane specifiche antiradon che taluni produttori commercializzano da qualche tempo, e comunque riconducibili ai prodotti suesposti, sovrapposte e sigillate a freddo.

Tutti questi prodotti, spesso comunque già impiegati durante la costruzione dell'attacco a terra come barriera contro l'umidità, dovrebbero essere posati, se la tecnologia costruttiva lo consente, abbinati a strati di scorrimento (tipo tessuto non tessuto di poliestere da fiocco o da filo continuo) per controllare il rischio di fessurazioni dovute ad assestamenti strutturali dell'edificio. Molto importante per l'efficacia della tecnica è la attenta realizzazione delle giunture, dei bordi e degli angoli e di tutti quei punti nei quali può verificarsi una discontinuità per errori di posa o movimenti del supporto.

- messa in opera di una barriera ritardante al carbone attivo e zeolite (silicati complessi), che sono miscelati al terreno di fondazione e posti accanto alle strutture di fondazione. Si tratta di materiali con alta resistenza al passaggio del radon che hanno lo scopo di ritardarne il percorso. Dato che il tempo di dimezzamento del radon è di soli 3,8 giorni, ogni ritardo nel processo di migrazione potrà ridurre il livello di concentrazione indoor. Le prime applicazioni sperimentali di questo sistema hanno dato risultati soddisfacenti con il vantaggio che non modificano le proprietà ingegneristiche del suolo.

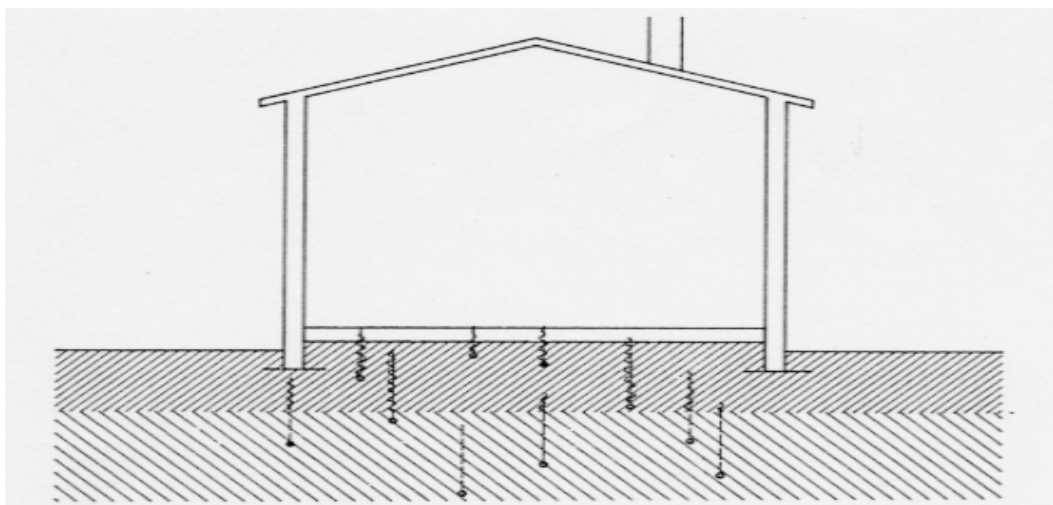


Figura 17 - Barriera ritardante al carbone attivo che agisce frenando la risalita del radon dal suolo

- anche nel caso di nuove costruzioni è possibile sigillare le crepe e le fessurazioni che si creano durante le fasi costruttive con azioni analoghe a quelle previste nelle Azioni di rimedio. In questo caso però tali anomalie possono anche essere in parte evitate prevedendo, progettando e controllando i punti nei quali si possono generare delle discontinuità. Per esempio è possibile intervenire prevedendo dei giunti elastici in fase di getto del calcestruzzo nelle "riprese di getto" o negli attacchi perimetrali parete/solaio (simili ai sistemi waterstop oppure ai profili di bentonite sodica in particolare se è prevista la presenza di acqua). È comunque sempre possibile intervenire per sigillare le crepe in un secondo tempo a lavori completati impiegando dei sigillanti acrilici, oppure a base siliconica o poliuretanica.

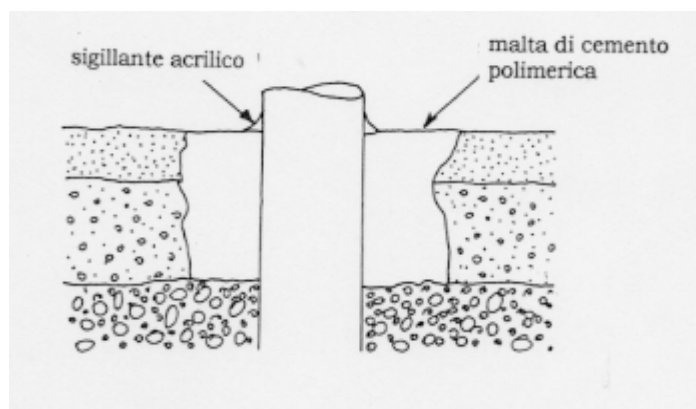


Figura 18 - Corretta sigillatura delle vie di ingresso delle canalizzazioni impiantistiche

- l'impiego di leganti antiritiro a base cementizia in tutti i getti controterra è un'altra tecnologia che nelle nuove costruzioni può limitare l'insorgere di crepe e fessure o comunque limitarne l'entità. Si tratta di particolari cementi in alcuni casi detti anche (erroneamente) "espansivi" che hanno la proprietà di limitare notevolmente i ritiri in fase di consolidamento e presa, e quindi di mantenere stabile la conformazione dell'elemento tecnico che realizzano.

Anche in questi casi non si tratta di soluzioni da impiegarsi in via esclusiva, quanto in abbinamento con altri sistemi di tipo passivo oppure anche attivo. Protezioni migliori si ottengono infatti dalla applicazione di più azioni combinate quali, per esempio, una malta antiritiro per il riempimento di grandi cavità attorno agli impianti e successivo completamento della tenuta con un sigillante acrilico posto attorno alle tubazioni.

Sono invece da evitarsi le guarnizioni in neoprene per la difficoltà di applicazione e i materiali comunemente usati per i "giunti di espansione" in quanto si tratta di prodotti destinati ad altro impiego e che possono risultare eccessivamente porosi.

Dato che è possibile che in queste fessure si possa infiltrare anche acqua di falda, i materiali impiegati dovranno presentare una buona resistenza all'acqua (in questo caso vedi i sigillanti a base di bentonite sodica che in presenza di acqua si gonfiano migliorando la tenuta).

Azioni di prevenzione di tipo attivo

Anche in caso di nuove costruzioni la prevenzione della presenza dell'inquinante radon può essere conseguita da sistemi di aspirazione e ventilazione mediante la messa in opera di impianti analoghi a quelli visti nelle Azioni di rimedio ma che possono dare risultati migliori grazie alla loro opportuna collocazione e dimensionamento.

In fase di costruzione risulta spesso semplice ed economico predisporre dei sistemi di ventilazione/aspirazione da attivare in caso di necessità laddove eventuali sistemi passivi non diano risultati soddisfacenti. In questa fase costruttiva sono possibili soluzioni miste che prevedono il passaggio delle canalizzazioni in adiacenza a fonti di calore (impianto termico, scaldabagno) che favoriscono l'innescarsi di un effetto camino aspirante nella tubazione.

I sistemi sono praticamente i medesimi delle Azioni di rimedio. Si riportano quindi solo le titolazioni rimandando alla lettura delle Azioni di rimedio la descrizione dettagliata del sistema di mitigazione.

- Ventilazione ambiente "soffiante" con sistema a "recupero di calore" (o scambiatore di calore aria-aria). É efficace anche per altri inquinanti indoor e mantiene più asciutte, e quindi coibenti, le chiusure perimetrali dell'edificio.
- Ventilazione ambiente "aspirante" con bocchette igroregolabili a funzionamento passivo poste nelle pareti perimetrali e aspiratore a basso regime. Necessita di un progetto molto attento dell'impianto in funzione dell'edificio per evitare che il sistema mandi in depressione l'alloggio causando il richiamo del gas.
- Aspirazione del suolo di tipo passivo attraverso un camino ventilato oppure attivo mediante un ventilatore collegato al preesistente sistema di vespaio con murature d'ambito a tenuta d'aria (depressurizzazione del vespaio).
- Aspirazione del suolo di tipo passivo attraverso un camino ventilato oppure attivo mediante un ventilatore collegato al preesistente sistema di vespaio con aperture poste sulle murature d'ambito (ventilazione forzata del vespaio).
- Pozzetto interrato interno o esterno (depressurizzazione del suolo). Trattandosi di nuova costruzione non dovrebbe essere problematico prevedere la messa in opera del sistema internamente all'edificio dove l'efficacia risulta maggiore.
- Tubazioni orizzontali forate collegate fra loro e al sistema aspirante sfruttando le canalizzazioni già esistenti per il drenaggio dell'acqua (che altrimenti possono rappresentare una via di ingresso del radon) (depressurizzazione del suolo).
- Tubazioni verticali forate con l'effetto di intercettare il gas a una maggiore profondità. Si tratta di soluzioni efficaci in determinate condizioni di terreno. Il funzionamento è comunque abbastanza simile a quello dei pozzetti interni (depressurizzazione del suolo).
- Pressurizzazione del vespaio creando una sovrappressione nel volume sottostante l'edificio che tende a contrastare la naturale fuoriuscita del gas dal terreno.

Tecniche rimediali e preventive più ricorrenti

All'interno delle numerose azioni di mitigazione possibili e precedentemente elencate ve ne sono alcune che hanno dimostrato una costante buona efficacia nella maggior parte delle applicazioni; per questo motivo risultano essere quelle maggiormente impiegate negli edifici che presentano casistiche tipologiche e tecnologiche omogenee e regolari.

Fra queste, la cui completa descrizione è riportata nelle pagine precedenti, vale la pena di considerare:

- la sigillatura di tutte le possibili crepe e fessurazioni negli elementi tecnici (pareti, solai, passaggi di canalizzazioni impiantistiche) a contatto con il terreno
- la messa in opera di una barriera impermeabile al radon (possibile solo in caso di nuove realizzazioni) posizionando, in fase di costruzione, un foglio di materiale a bassa traspirabilità fra gli strati che costituiscono il solaio e/o le pareti controterra
- la ventilazione naturale del vespaio tramite l'apertura di bocchette perimetrali qualora l'edificio presenti un volume relativamente vuoto al di sotto della soletta dell'attacco a terra e con gli eventuali ambiti presenti comunicanti fra loro

- la depressurizzazione forzata del vespaio tramite un sistema aspirante collegato al vespaio (qualora esistente) sotto il solaio a terra
- la ventilazione forzata del vespaio tramite un sistema aspirante collegato al vespaio. Si tratta di un caso analogo al precedente ma nel quale sono presenti delle bocchette di ventilazione aperte al perimetro del vespaio grazie alle quali si ottiene un effetto diluizione del gas
- la depressurizzazione del suolo (in mancanza di vespaio) tramite un sistema aspirante collegato a tubazioni verticali oppure a uno o più pozzetti interrati interni o perimetrali alla costruzione oppure, ancora, a tubazioni orizzontali preesistenti
- la pressurizzazione del vespaio tramite un sistema che soffi aria all'interno del vespaio. Si crea in questo modo una sovrappressione nel volume sottostante l'edificio che tende a contrastare la naturale fuoriuscita del gas dal terreno.

Altri aspetti tecnici

In chiusura vale la pena di ricordare che tutte le soluzioni suesposte non vanno necessariamente considerate in via esclusiva, ma applicabili anche contemporaneamente, sia quelle di tipo attivo che di tipo passivo, sia in nuove costruzioni sia in interventi di recupero. La casistica costruttiva e tipologica delle nostre case risulta così varia (per comprenderlo è sufficiente guardare il nostro panorama edilizio) che non è possibile definire a priori delle azioni di intervento universalmente e indiscutibilmente valide ed efficaci per le diverse situazioni costruttive.

Inoltre è possibile limitare il rischio radon non solo con sistemi tecnici, ma anche con soluzioni tipologiche che possono favorire un miglior controllo di ingresso dell'inquinante come, per esempio:

- evitare di collegare il vano scala o la tromba dell'ascensore allo scantinato
- prevedere delle bucatore di ventilazione degli ambienti interrati sopravento o su fronti contrapposti e non solo sottovento
- prevedere delle porte di separazione ai vari piani
- prevedere delle guarnizioni di tenuta negli infissi interni ed esterni
- prevedere un ambito di ingresso e svincolo a ogni piano
- prevedere aperture su fronti contrapposti dell'edificio
- evitare cavedi impiantistici a tutt'altezza o intercapedini continue di distribuzione delle canalizzazioni
- evitare strutture di solaio a terra e rivestimento pedonabile interamente in legno e quindi fortemente traspiranti
- evitare vespai di dimensione eccessivamente ampia (oltre i 15/20 centimetri di spessore)
- controllare la presenza e la posizione di cappe di aspirazione o di ventilazione di bagni-cucine-caldai per riscaldamento, ecc.
- controllare la presenza, la posizione e i sistemi di chiusura di canne fumarie di caminetti
- controllare il funzionamento della linea di ingresso dell'aria di facciate ventilate.

Alcune considerazioni economiche

È noto come ogni edificio abbia una storia a sé, anche se si tratta di due edifici identici costruiti uno a fianco dell'altro. Le variabili che intercorrono fra edifici apparentemente simili sono talmente numerose da suggerire sempre una analisi dettagliata prima di avviare qualsiasi opera cantieristica. A maggior ragione fra edifici costruiti in epoche diverse, luoghi differenti e con tecniche costruttive specifiche del luogo, delle esigenze dell'utenza e dell'impresa. Di conseguenza le azioni di mitigazione della presenza di radon fin qui elencate presentano necessariamente delle valutazioni di costo fortemente variabili e determinate fondamentalmente dalla tipologia edilizia che caratterizza la costruzione, dalla tecnologia costruttiva complessiva e in particolare da quella che realizza l'attacco a terra dell'edificio, dalla concentrazione dell'inquinante e anche dalle pratiche abitative della popolazione residente.

Le ipotesi di costo che seguono sono quindi di larga massima da verificare in funzione dell'edificio e delle azioni di mitigazione adottabili.

- Interventi di sigillatura delle vie di ingresso comportano dei costi generalmente non superiori a 500.000/1.000.000 di lire a seconda della dimensione dell'alloggio e della quantità di fessure. Si tratta di un intervento effettuabile anche da parte dell'utente qualora abbastanza esperto nel "fai da te" e di conseguenza con costi inferiori. Non è quasi mai un intervento risolutivo per cui in genere gli andrebbe affiancato almeno un sistema aspirante/soffiante di costo analogo.
- Aspirazione, depressurizzazione, ventilazione del vespaio o del suolo sono i sistemi attualmente considerati più efficaci nella maggior parte dei casi. Comportano il costo del sistema aspirante, della eventuale canalizzazione che trasporta il gas in copertura, della messa in opera degli elementi del sistema abbinato a eventuali sigillature. Il costo di interventi sul costruito generalmente supera il milione e si mantiene sotto i due milioni in caso di villetta unifamiliare isolata su terreno pianeggiante. In caso di configurazioni tipologiche complesse nelle quali è necessario posizionare più ventilatori o intervenire sulla conformazione del vespaio mettendone in comunicazione i volumi, il costo può lievitare anche di due/tre volte. Qualora si raggiungano i quattro/cinque milioni di preventivo conviene ipotizzare tecniche alternative a meno che la dimensione dell'edificio non giustifichi la spesa
- Nelle nuove costruzioni il costo non supera in genere i due milioni anche in tipologie costruttive complesse potendo prevedere a priori le posizioni funzionali ottimali dei sistemi
- La messa in opera di una membrana impermeabile al radon in fase di costruzione comporta costi abbastanza limitati e nell'ordine di 5.000/6.000 lire al metroquadrato in opera. Questa tecnica necessita di una soletta piana sulla quale posare la membrana, soletta che comunque è di solito prevista in fase di progetto ed esecuzione della fondazione. Qualora si intervenga successivamente al getto della fondazione e del solaio controterra, dall'interno dello spazio abitato (e quindi sconsigliabile), si possono avere costi elevati dati principalmente dalla necessità di ripristinare, dopo l'intervento, la continuità delle finiture preesistenti (massetti, intonaci, marmorini, ceramica, ecc.).

Applicazioni alla realtà regionale

Considerazioni sulle problematiche degli interventi su edifici con elevata concentrazione di radon specificatamente riferite alla situazione del Veneto sono sviluppate nel capitolo "Analisi della problematica radon con riferimento alla realtà del Veneto".

Analisi della problematica radon con riferimento alla realtà del Veneto

Premessa

Nella regione Veneto sono state realizzate indagini che consentono una valutazione dell'esposizione al radon all'interno degli edifici residenziali.

In particolare in quest'ultimo decennio sono state condotte due indagini: la prima con l'obiettivo di caratterizzare l'esposizione media della popolazione al radon in Veneto^{xii}, la seconda, finalizzata ad individuare le aree ad alto potenziale radon, ossia le aree in cui vi è attesa una frequenza più elevata di edifici che superano determinati valori di riferimento^{xviii}.

Sulla base dei risultati forniti da queste indagini, nell'ambito del gruppo di lavoro insediato presso la Direzione Regionale per la Prevenzione, si sono maturate soluzioni circa l'adozione in ambito regionale di un livello di riferimento per le abitazioni, l'identificazione di preliminari aree ad alto potenziale e la programmazione di interventi mirati a ridurre il rischio derivante dall'esposizione ad elevate concentrazioni di gas radon e ad una corretta informazione della popolazione.

I paragrafi che seguono descrivono le basi della discussione svoltasi al riguardo e le soluzioni operative emerse.

Lo strumento dell'identificazione delle "aree ad alto potenziale"

Significato e proposte di identificazione delle aree

Esistono caratteristiche del suolo che favoriscono l'afflusso di radon in superficie e che contraddistinguono dunque aree ad alto potenziale di radon. Ivi, la probabilità di abitazioni esistenti o future con elevati valori di radon è maggiore, dunque più efficaci sono la ricognizione dei casi critici e le tecniche costruttive preventive. Lo sviluppo prioritario delle misure preventive nelle aree ad alto potenziale permette peraltro di testarne il funzionamento.

La normativa italiana per i luoghi di lavoro (D.Lgs. n. 241/00)^{xi} prevede l'identificazione delle aree ad alto potenziale per indirizzare in esse il monitoraggio; la Commissione Internazionale di Radioprotezione suggerisce il ricorso a questo strumento per abitazioni e luoghi di lavoro (pubblicazione ICRP n. 65)^{iv}.

Delle prime mappe di aree ad alto potenziale sono state tracciate a seguito dell'indagine regionale di cui alla delibera n.5000 del 8.11.96^{xviii}. Si tratta di mappe di percentuali di abitazioni che superano un determinato livello di riferimento (LR) in sezioni rettangolari del territorio ampie circa 30 km², che si basano su un monitoraggio che ha riguardato fondamentalmente l'area settentrionale della regione (la parte meridionale è stata esclusa per il modesto potenziale di radon desunto dalla campagna del 1989 e dovuto, principalmente, alle caratteristiche geologiche del terreno).

Le mappe delle figure 19 e 20 considerano il livello di riferimento di 200 Bq/m³ e due configurazioni possibili di abitazioni: la tipologia standard regionale rispetto al piano -HS ("Housing Stock")- e l'abitazione a piano terra -PT- (come se tutte le abitazioni fossero a piano terra); una plausibile soglia per la discriminazione delle aree ad alto potenziale

consiste nel 10% di superamenti del LR. La mappa PT è peggiorativa rispetto alla HS (la maggior vicinanza al suolo incrementa i livelli di radon) e le relative aree ad alto potenziale risultano conseguentemente più estese (in tal senso la mappa è più cautelativa); la mappa HS fotografa l'esposizione della popolazione nelle abitazioni effettive, quella PT descrive meglio un indicatore di potenziale. La percentuale di abitazioni HS eccedenti il LR in una data sezione è più bassa della relativa percentuale PT, dunque una lettura alternativa della mappa PT rispetto a quella HS è in termini, grosso modo, di un abbassamento della soglia di discriminazione delle aree ad alto potenziale (dal 10% al 6% circa).

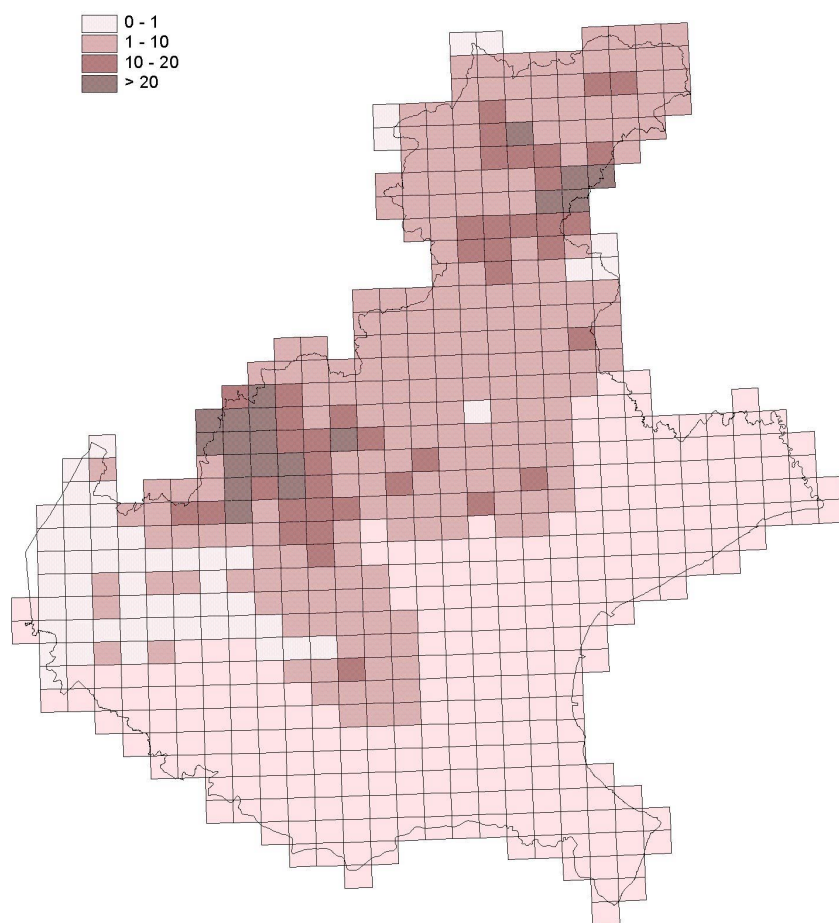


Figura 19 - Frazioni di abitazioni (%) con livelli eccedenti 200 Bq/m³ (dati normalizzati alla tipologia standard regionale rispetto al piano)

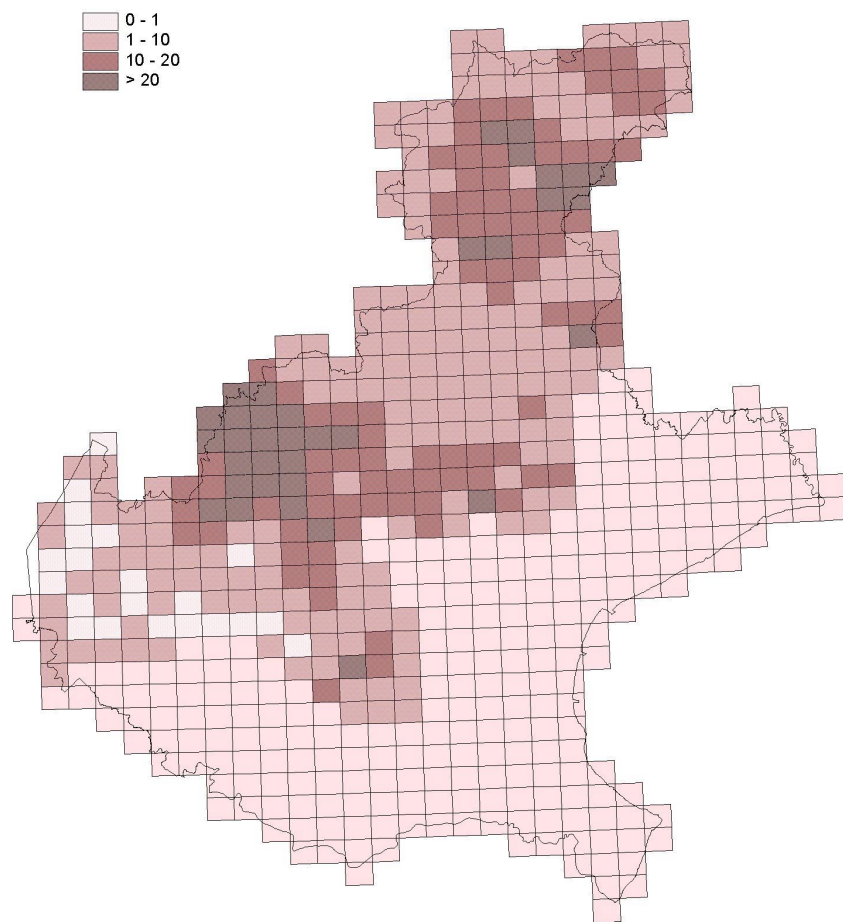


Figura 20 - Frazioni di abitazioni (%) con livelli eccedenti 200 Bq/m³ (dati normalizzati a piano terra)

Le figure 21 e 22 replicano le informazioni testé descritte nell'ipotesi di LR pari a 400 Bq/m³ e di soglia di discriminazione delle aree ad alto potenziale dell'1%.

Va sottolineato che le mappe con le aree ad alto potenziale di radon riportate hanno valore preliminare e che, ove acquisite a fini di politiche della prevenzione, necessiteranno di ulteriori verifiche ed aggiornamenti per i seguenti motivi: diversi Comuni, particolarmente alcuni in aree suscettibili di cospicui livelli di radon, non sono stati raggiunti dal monitoraggio nella summenzionata indagine (per essi si è proceduto ad interpolazioni), per il Veneto meridionale si è estrapolato un dato indifferenziato dalla precedente indagine nazionale sull'esposizione al radon indoor alla luce del comune substrato geologico, le tecniche predittive e di elaborazione dati sono migliorabili, ...

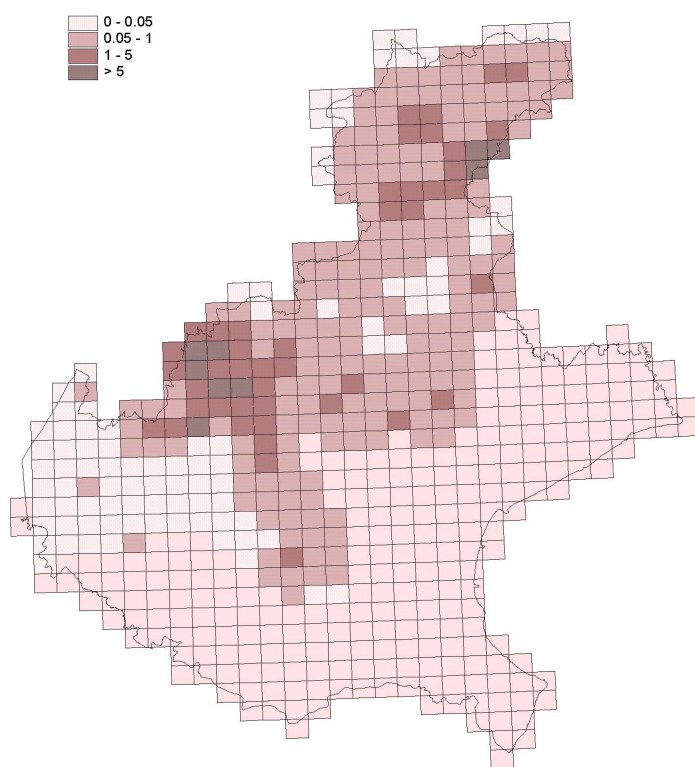


Figura 21 - Frazioni di abitazioni (%) con livelli eccedenti 400 Bq/m³ (dati normalizzati alla tipologia standard regionale rispetto al piano)

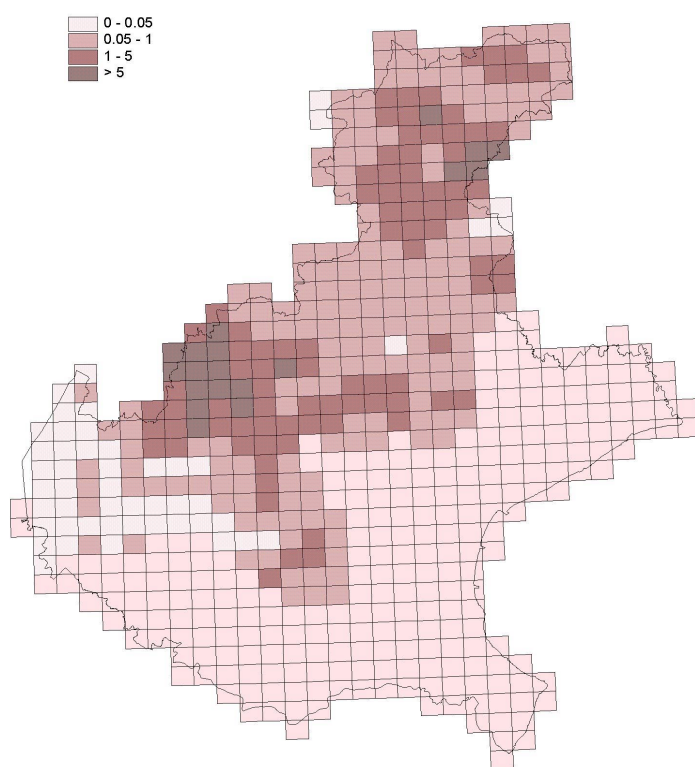


Figura 22 - Frazioni di abitazioni (%) con livelli eccedenti 400 Bq/m³ (dati normalizzati a piano terra)

Patrimonio edilizio ed impatto sanitario per le diverse ipotesi di aree

In tabella 3 sono indicati per ciascuno scenario di area ad alto potenziale di radon (e per il Veneto complessivamente): la percentuale di territorio regionale coinvolto, il numero di abitazioni rinvenibili (tutte o solo quelle che hanno locali a piano terra), il numero di scuole (pubbliche e private, dalle materne alle medie incluse) e di strutture di ricovero (aziende ospedaliere, altre strutture di degenza pubbliche e case di cura private) presenti. I dati della tabella servono a predire la potenziale domanda di controlli derivante dalla scelta di un'area piuttosto che un'altra. Le scuole e gli ospedali sono stati censiti (anticipando gli adempimenti del D.Lgs. n. 241/00 circa i luoghi di lavoro in futuro assoggettati al controllo) per una sorta di attenzione dovuta al sito da parte della struttura pubblica (per le scuole agisce una particolare sensibilità sociale e la tipologia di edificio è spesso più predisposta al radon).

Le fonti dei dati sono rispettivamente: censimenti della popolazione ISTAT 1981 e 1991, siti internet del Ministero dell'Istruzione e della Sanità. L'assegnazione degli edifici ad una determinata area ad alto potenziale di radon è stata operata ove il Comune di appartenenza risultasse incluso in tale area: la condizione per tale inclusione era che almeno il 30% del proprio edificato ricadesse in una delle sezioni rettangolari che costituiscono l'area ad alto potenziale di radon (si è fatto ricorso al tematismo sulle aree urbanizzate della Regione Veneto). Il numero di abitazioni totale per Comune è relativo al censimento ISTAT del 1991, quello di abitazioni con piano terra deriva dal censimento 1981 (nel 1991 non è stata raccolta l'informazione disaggregata per piano) normalizzando al rapporto tra abitazioni totali del Veneto nel 1991 (1.778.815) ed abitazioni totali del Veneto nel 1981 (1.559.391). Le abitazioni con locali a piano terra sono state tenute distinte in quanto, essendo la vicinanza al suolo un fattore determinante per la configurazione del livello di radon indoor, per esse potrebbe essere data indicazione prevalente di misurazione.

Dalla tabella si evince come una porzione individuata tra il 10 e il 20% del territorio del Veneto ricade quindi in aree definibili a rischio radon (la percentuale dipende dal tipo di scelta di area effettuata rispetto alle opzioni disponibili). Ciò corrisponde ad un numero di abitazioni interessate di circa 200.000 – 300.000 rispettivamente. È da notare, inoltre, come si equivalgano le “dimensioni” delle aree ad alto potenziale di radon omologhe per configurazione di abitazione ma distinte per livello di riferimento.

Tipo di area	Territorio regionale interessato (%)	N. di abitazioni con piano terra ^o	N. di abitazioni totali	N. scuole				N. strutture di ricovero
				materne	elementari	medie	TOT	
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	10	99.178	215.667	130	278	147	555	11
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	21	195.907	378.245	210	492	233	935	20
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	9	90.009	197.422	124	259	137	520	10
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	18	165.415	326.983	184	421	204	809	19
Veneto	100	918.187	1.778.815	1.799	1.677	742742	4.218	105

^(o) Sezioni rettangolari (30 km²) coinvolte su sezioni rettangolari totali

^(o) L'espressione “abitazioni con piano terra” comprende abitazioni a piano terra (o assimilato: mezzanino, seminterrato,...) e abitazioni multipiano con locali a piano terra

Tabella 3 - Patrimonio edilizio all'interno di probabili aree ad alto potenziale di radon (e in tutto il Veneto)

In tabella 4 sono riportati, in relazione a ciascuna tipologia di area ad alto potenziale di radon: la quota di territorio regionale rappresentata dall'area, il numero di abitazioni

dell'area eccedenti il livello di riferimento in assoluto ed in percentuale rispetto a tutte quelle presenti, il numero di abitazioni di tutto il Veneto - ad eccezione dell'area in questione - eccedenti il LR in assoluto ed in percentuale rispetto a tutte quelle presenti.

Alcuni dettagli sul calcolo: per l'assegnazione di un Comune (e del relativo patrimonio edilizio) ad una determinata tipologia di area ad alto potenziale si è già detto; per i Comuni che si estendono su più sezioni rettangolari, il numero di abitazioni eccedenti il LR è stato stimato calcolando la percentuale di superamenti del LR come media delle percentuali delle sezioni interessate pesata sulle proporzioni di edificato comunale delle sezioni medesime.

Si osserva come il rinvenimento dei superamenti è, per tutte le tipologie di aree ad alto potenziale, ben più consistente entro l'area ad alto potenziale che non fuori di essa, sia in percentuale (circa un ordine di grandezza di differenza) che in termini assoluti: a titolo di esempio, per l'area con LR 200 Bq/m³ e configurazione HS si ha un 13,8% di superamenti "interni" contro l'1,6% di superamenti "esterni". Naturalmente, a parità di livello di riferimento, il numero assoluto di abitazioni con superamento è più elevato entro l'area ad alto potenziale PT rispetto alla HS (la prima è più estesa). Un altro elemento importante è che la concentrazione di superamenti del livello di riferimento entro le aree ad alto potenziale è maggiore selezionando il LR a 400 Bq/m³ piuttosto che a 200 Bq/m³: cioè a dire che i valori più elevati di radon sono "confinati" nelle aree ad alto potenziale e che valori pur significativi ma meno "estremi" sono distribuiti più diffusamente nel territorio.

Tipo di area	Territorio regionale interessato (%)	Stima delle abitazioni eccedenti il livello di riferimento nei Comuni interni all'area	Stima delle abitazioni eccedenti il livello di riferimento nei Comuni interni all'area rispetto alle abitazioni totali dell'area (%)	Stima delle abitazioni eccedenti il livello di riferimento nei Comuni di tutto il Veneto esterni all'area	Stima delle abitazioni eccedenti il livello di riferimento nei Comuni di tutto il Veneto esterni all'area rispetto alle abitazioni totali esterne all'area (%)
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	10	29.776	13,8	24.777	1,6
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	21	41.051	10,9	13.503	1,0
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	9	4.148	2,1	1.591	0,1
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	18	4.948	1,5	756	0,1

(*) Sezioni rettangolari (30 km²) coinvolte su sezioni rettangolari totali

Tabella 4 - Stime del numero di abitazioni che superano il livello di riferimento nelle distinte configurazioni di probabili aree ad alto potenziale

Dalla tabella 4 si evince anche il numero complessivo veneto di superamenti del LR, che è di circa 5.700 per il LR di 400 Bq/m³ e di oltre 54.000 per il LR di 200 Bq/m³ (pari rispettivamente allo 0,32% ed al 3,1% del patrimonio abitativo regionale): si tratta di un dato certamente da ponderare nell'ambito di una discussione finalizzata alla prospettazione di un livello di riferimento ufficiale per le abitazioni, in relazione alla capacità di gestione dell'intera azione di prevenzione da parte del "sistema" regione.

Le stime presentate in tabella 4 sono da considerarsi del tutto preliminari e suscettibili di future revisioni, considerate le approssimazioni metodologiche che le caratterizzano ad oggi. In particolare, scorrendo l'elenco dei Comuni inclusi nelle aree ad alto potenziale secondo la tipologia HS (figg. 19 e 21), si nota la quasi totale assenza di quelli Euganei; i Colli Euganei per caratteristiche geologiche ed estensione delle stesse sono ragionevolmente reputabili in media ad alto potenziale e la mancata evidenza nell'indagine regionale^{xviii} deriva per lo più dalla sua risoluzione spaziale eccessiva rispetto alla dimensione dell'area.

Nelle due tabelle che seguono sono riportate le stime sull'impatto sanitario per esposizione residenziale al radon nella regione Veneto applicando diversi modelli di calcolo (ICRP 65^{iv} – BEIR VI^v): nella prima sono riportati i casi stimati attribuibili al radon; nella seconda sono riportati i casi potenzialmente evitabili nell'eventualità di bonifica di tutte le abitazioni sopra i livelli di azione di 200 e 400 Bq/m³.

Le stime ICRP si basano sulla concentrazione media di radon nel Veneto come emersa nella prima indagine nazionale^{xii}, sulle percentuali di superamento dei LR risultanti nella seconda recente indagine^{xviii}, ipotizzando un'aspettativa di vita di 77 anni e un fattore di occupazione medio dell'abitazione pari a 0,6. Le stime del BEIR utilizzano quote di tumori polmonari attribuibili al radon, in funzione dei diversi valori di concentrazione, relative alla distribuzione dei livelli di radon nella popolazione statunitense e l'incidenza annua di tumori polmonari nel Veneto.

Per quanto riguarda la prima tabella si sottolinea che i coefficienti di rischio sono ricavati da analisi sui dati epidemiologici di minatori esposti al radon corroborati anche da meta-analisi degli studi su esposizioni residenziali. Tali dati sono affetti da una notevole incertezza, come dichiarato dalla stessa commissione BEIR VI.

Per quanto riguarda la seconda tabella si sottolinea che i casi riportati devono intendersi come stime **indicative** di casi **potenzialmente** evitabili. Sono definiti casi potenzialmente evitabili in quanto, anche nell'ipotesi in cui tutte le abitazioni con concentrazioni superiori al valore di riferimento fossero bonificate, non essendo comunque possibile eliminare completamente il radon, questi abitanti avranno un rischio paragonabile a quello del resto della popolazione e quindi non ridotto a zero. Pertanto i casi effettivamente evitabili sono inferiori a quelli potenzialmente evitabili.

Le stime delle tabelle 5 e 6 sono determinanti ai fini dell'adozione di un livello di riferimento nelle abitazioni, ma, come già detto, non in modo esclusivo dovendo tenere in conto anche elementi di fattibilità tecnologica e valutazioni di costo-efficacia delle azioni conseguenti alla scelta del LR.

REGIONE VENETO ^(a)				
Casi attribuibili al radon				
Modello	Stima puntuale	% sui tumori polmonari totali	Stima del range	
ICRP65	247	7,4%		
BEIR VI (modello "age duration")	287	8.6%	201	487
BEIR VI (modello "age concentration")	422	12,7%	271	754

^(a) Concentrazione media di Radon = 60 Bq/m³

Casi totali di neoplasia polmonare nel Veneto (1995) = 3.323

Tabella 5 - Stima dei casi di neoplasia polmonare attribuibili all'esposizione domestica al radon in Veneto

Casi potenzialmente evitabili a 200 Bq/m ^{3(a)}					
Modello	Stima puntuale	% sui tumori attribuibili al radon	% sui tumori polmonari totali	Stima del range	
ICRP65	26	10.7%	0.8%		
BEIR VI (modello "age duration")	35	12.2%	1.1%	25	60
BEIR VI (modello "age concentration")	52	12.3%	1.6%	36	89

^(a) Percentuale di superamento del LR: 3,1
Casi totali di neoplasia polmonare nel Veneto (1995): 3.323

Casi potenzialmente evitabili a 400 Bq/m ^{3(a)}					
Modello	Stima puntuale	% sui tumori attribuibili al radon	% sui tumori polmonari totali	Stima del range	
ICRP65	5	2.1%	0.2%		
BEIR VI (modello "age duration")	7	2.4%	0.2%	5	12
BEIR VI (modello "age concentration")	10	2.4%	0.3%	7	18

^(a) Percentuale di superamento del LR: 0,32
Casi totali di neoplasia polmonare nel Veneto (1995): 3.323

Tabella 6 - Stima dei casi di neoplasia polmonare per esposizione domestica al radon potenzialmente evitabili in seguito all'adozione di diversi livelli di riferimento in Veneto

Indicazioni per le misure e le bonifiche

In questo paragrafo si formulano dei suggerimenti orientati ad ottimizzare ed uniformare alcuni aspetti delle procedure di misurazione e di bonifica cui ricorresse la popolazione, nell'ottica di un soddisfacente esito dell'azione di prevenzione complessiva.

Misure

La tipologia di misure che si prospetta per caratterizzare un valore di radon rappresentativo dell'abitazione è quella di valutazioni annuali (con impiego dunque di uno o più dosimetri ad integrazione basati su rivelatori di tracce o elettretti): l'anno infatti è l'unità temporale adatta per mediare sulle fluttuazioni connesse a clima ed uso della casa; in alcuni Paesi l'indicazione riguarda periodi più brevi in relazione a stime, fondate su specifici studi sperimentali (in Italia ancora non sviluppati), che permettono di proiettare il dato sull'arco dell'anno o di "misurarne" la distanza su base annuale dal livello di riferimento; il D.Lgs. n.241/00 prevede peraltro determinazioni annuali per il controllo dell'esposizione lavorativa al radon; va sottolineato che procedure codificate per le misure indoor in Italia non sono disponibili e che sembra opportuno suggerire al momento soluzioni (quale è la stima annuale) che evitino il rischio di ricasazione per debole significatività da parte dei futuri organismi di standardizzazione (uno è la Commissione prevista dal suddetto decreto che affronterà il problema per i luoghi di lavoro).

Un altro aspetto di rilievo concerne il numero di locali da monitorare. Il problema è particolarmente delicato in occorrenza di abitazioni multipiano. In figura 23 è mostrata la distribuzione della abitazioni rispetto al piano per l'intera regione e per due tipologie di aree

ad alto potenziale di radon (LR 200 Bq/m³ e configurazione abitazioni PT; LR 400 Bq/m³ e configurazione abitazioni HS), la fonte dei dati è il censimento ISTAT del 1981.

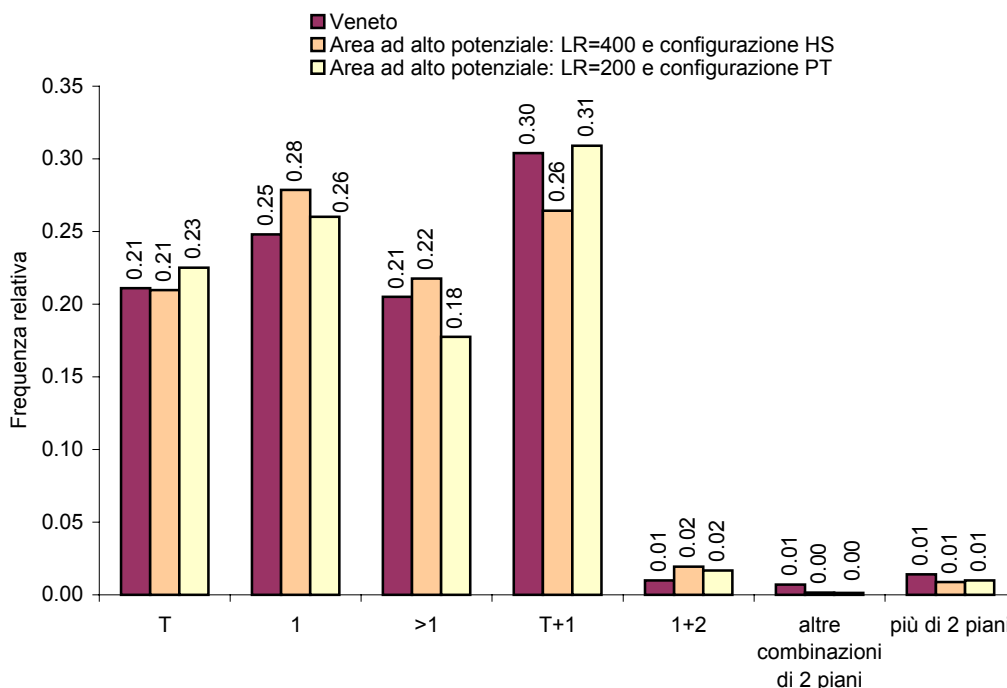


Figura 23 - Distribuzione delle abitazioni rispetto al piano (ISTAT, 1981)

Il 60-70% delle abitazioni (per tutte e tre le tipologie di area coinvolta) si sviluppa su un singolo livello; tuttavia se si darà indicazione preferenziale di procedere al monitoraggio nelle abitazioni con locali al piano terra, restringendo pertanto l'osservazione all'insieme delle abitazioni a piano terra e delle abitazioni costituite da un piano terra ed un primo piano, si constata che a quest'ultima tipologia afferisce più della metà di tale insieme: tutto questo è detto a rimarcare la consistenza delle abitazioni multipiano che si potranno sottoporre a misurazione. Per esse la stima migliore del livello di radon sarebbe la media (pesata o meno per il tempo di occupazione dei locali) delle determinazioni eseguite ai diversi piani; tale stima verrebbe confrontata con il livello di riferimento per giudicare sulla pertinenza dell'intervento di bonifica. Nondimeno, articolare le rilevazioni di radon su più piani comporta una moltiplicazione dei costi per il cittadino, tale da scoraggiare addirittura la richiesta di rilevazione. Per questa ragione si suggerisce un'unica determinazione annuale al piano più basso dell'abitazione (sotterraneo/seminterrato escluso, purché non esaustivo dell'abitazione), in un locale ad alta frequentazione diverso da bagno o cucina. La scelta del piano più basso dell'abitazione è cautelativa, poiché ivi mediamente si rinvenivano le concentrazioni più elevate di radon: ne è testimonianza l'andamento dei livelli di radon con il piano impiegato per le normalizzazioni del caso nell'indagine da poco conclusa (figura 24) ed il fatto che nella stessa indagine la percentuale dei superamenti dei livelli di riferimento si è rivelata essere ben più alta per le misure svolte a piano terra che per quelle condotte ad altri piani (tabella 7). È chiaro che una scelta siffatta porterà a casi di abitazioni multipiano con valore misurato al piano più basso superiore al livello di riferimento (come tali sottoposte a bonifica) la cui media effettiva potrebbe essere invece sotto la soglia; in questo senso anche le stime sui superamenti presentate in tabella 4 andrebbero ritoccate all'insù.

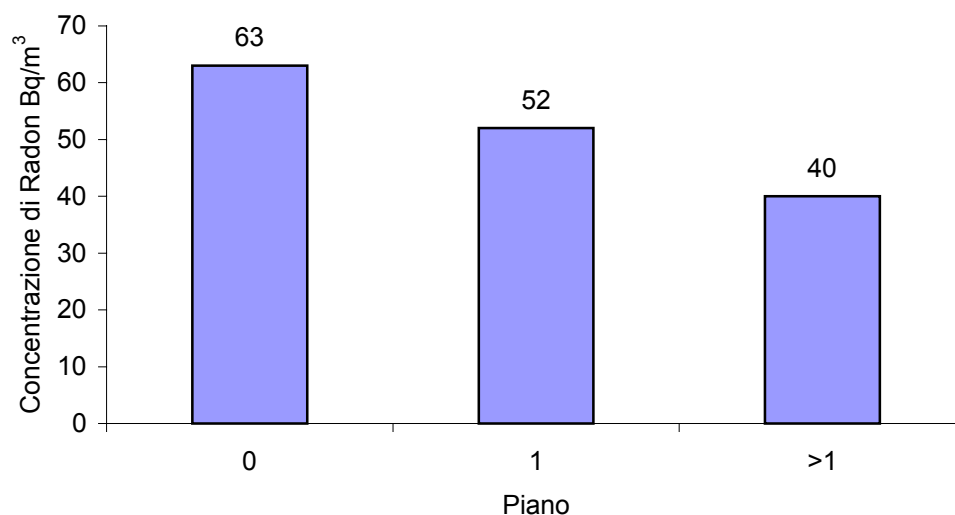


Figura 24 - Andamento delle concentrazioni di radon in funzione del piano a cui è stata eseguita la misura (dati dell'indagine nazionale del 1989)^{xii}

Piano	Superamento del livello di riferimento di 200 Bq/m³ (%)	Superamento del livello di riferimento di 400 Bq/m³ (%)
Terra	13,7	4,0
> Terra	3,7	0,4

Tabella 7 - Superamenti dei livelli di riferimento in funzione del piano di misura nell'indagine regionale del 1996^{xviii}

Considerata l'estensione della potenziale domanda di controlli da parte della popolazione (decine/centinaia di migliaia di misure per le sole aree ad alto potenziale di radon – cfr. tabella 3), è opportuno indirizzare la richiesta di misurazione anche a ditte private attrezzate alla bisogna. In attesa di un elenco ufficiale di ditte riconosciute a livello nazionale, è comunque utile individuare una lista di organismi, da rendere pubblica, ritenuti *idoneamente attrezzati* (Decreto Legislativo n. 241/00) sulla base di alcuni requisiti minimi. Nel comporre tale lista è stato chiesto alle aziende il costo per una determinazione annuale (di caso in caso basata su uno o due dosimetri): mediamente il costo è di lire 200.000 (iva inclusa ma escluse tutte o parte delle spedizioni postali dei dosimetri), con estremi 100.000 – 250.000 lire approssimativamente; il costo indicato per due determinazioni annuali è generalmente doppio e, in conseguenza di ciò, non pare proponibile il ricorso a più misure per le abitazioni multipiano.

Operativamente il cittadino potrà individuare delle ditte accedendo al suddetto pubblico elenco o in modo diretto verificandone i requisiti (sistemi di misura a integrazione come da inizio paragrafo, con forme di qualificazione della ditta e/o del sistema) e chiedere alle aziende una determinazione annuale al piano più basso dell'abitazione (sotterraneo/seminterrato escluso, purché non esaustivo dell'abitazione), in un locale ad alta frequentazione diverso da bagno o cucina; il cittadino potrà altresì rivolgersi all'ARPAV per le misurazioni, secondo disponibilità di quest'ultima.

Sarebbe molto opportuno che i risultati delle misurazioni fossero comunicati alla Struttura regionale competente; questi dati permetterebbero, infatti, di individuare con sempre maggior precisione le aree a rischio, consentendo il continuo miglioramento della definizione della fotografia effettiva sullo stato dell'ambiente per la problematica radon.

Bisognerebbe, quindi, prevedere un sistema per recuperare questi dati: inizialmente, potrebbe essere richiesto alle ditte che saranno eventualmente indicate ai cittadini, di trasmettere i risultati delle misure (previo consenso del cittadino) alla Struttura regionale; potrebbero poi essere immaginati incentivi o sgravi fiscali ai singoli cittadini o alle aziende che effettuano le misure e che ne trasmettono i risultati alla Struttura pubblica.

Il set (minimo) di informazioni utili che dovrebbero essere raccolte a cura della ditta prevede:

- Indirizzo completo ed eventualmente coordinate geografiche
- Tipo di edificio (casa unifamiliare, villa a schiera, palazzina, ecc.)
- Posizione rispetto al suolo del piano più basso dell'edificio (figura 25)

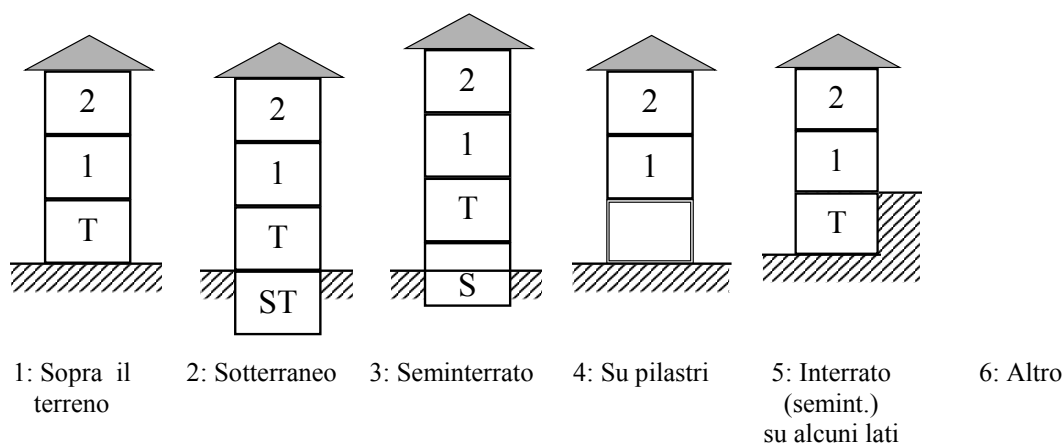


Figura 25 – Posizioni rispetto al suolo del piano più basso dell'edificio

- Utilizzo del seminterrato/sotterraneo
- Presenza di vespai, intercapedini, ecc.
- Piano più basso dell'abitazione (sotterraneo/seminterrato escluso, purché non esaustivo dell'abitazione)
- Numero di piani dell'abitazione (sotterraneo/seminterrato escluso, purché non esaustivo dell'abitazione)
- Tipo di locale dove si è effettuata la misura (camera da letto, salone, ecc.)
- Piano del locale dove si è effettuata la misura
- Periodi di esposizione
- Concentrazione di radon per singolo periodo di esposizione.

Lo standard informativo testé esposto e indicazioni sulle procedure di misura potrebbero essere implementate sul sito internet della Struttura regionale competente.

A scopo di quantificazione del costo collettivo, in tabella 8 è stimata la spesa globale ove tutte le abitazioni (o solo quelle con piano terra) si sottoponessero a misurazione, per tipologia di area ad alto potenziale di radon e per tutto il Veneto: come costo unitario delle misure ci si è riferiti alle predette 200.000 lire. La stessa tabella riporta i costi, distinti per ciascuna delle medesime tipologie di area, per l'eventuale monitoraggio da parte della struttura pubblica delle scuole, come da censimento riportato in tabella 3: si è supposto la misurazione annuale in 3 locali per edificio ed un 30% di sopralluoghi contro il 70% di invii postali dei dosimetri, a costi di tariffario ARPAV.

Tipo di area	abitazioni totali	abitazioni con piano terra	costo misure abitazioni totali (miliardi di lire)	costo misure abitazioni con piano terra (miliardi di lire)	scuole	costo misure scuole (milioni di lire)
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	215.667	99.178	45	20	555	300
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	378.245	195.907	75	40	935	510
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	197.422	90.009	40	18	520	280
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	326.983	165.415	65	35	809	440
Veneto	1.778.815	918.187	355	185	4.218	2.300

Tabella 8 - Stime dei costi per le misurazioni

Bonifiche

Ove la determinazione annuale della concentrazione di radon segnalasse il superamento del livello di riferimento, si dovrebbe procedere alla bonifica dell'abitazione. A questo proposito il cittadino potrà attingere alla Guida Pratica della Regione Veneto di prossima pubblicazione^{xix} ovvero a questo rapporto per le indicazioni sulle azioni di rimedio e contattare poi un'impresa per l'esecuzione dei lavori. È importante che l'impresa verifichi quantitativamente l'efficacia della bonifica compiuta e rilasci una dichiarazione in tal senso al committente. La stessa dichiarazione, con il nullaosta del cittadino, potrebbe essere trasmessa alla Struttura regionale competente per aggiornare una banca dati sulle bonifiche; le indicazioni per le bonifiche potrebbero essere implementate sul sito internet di tale Struttura.

In tabella 9 è stimata la spesa globale ove tutte le abitazioni che si prevede eccedano il livello di riferimento (cfr. tabella 4) procedessero alla bonifica, per tipologia di area ad alto potenziale di radon e per tutto il Veneto: per il computo della spesa si è previsto un costo unitario per intervento di 2 milioni di lire, che secondo alcuni esperti, potrebbe essere ragionevole per una situazione standard, a regime. Nel valutare le abitazioni potenzialmente da bonificare, ovviamente, si sono considerati i superamenti di 200 Bq/m³ per le aree ad alto potenziale di radon del relativo LR e i superamenti di 400 Bq/m³ per le aree ad alto potenziale di radon del relativo LR; la stima per tutto il Veneto è stata differenziata per i superamenti di entrambi tali livelli di riferimento.

Tipo di area	Stima delle abitazioni eccedenti il livello di riferimento	costo bonifiche (miliardi di lire)
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	29.776	60
Oltre il 10% di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	41.051	80
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (tipologia abitativa standard – HS)	4.148	8
Oltre l' 1% di abitazioni eccedenti i 400 Bq/m ³ (configurazione piano terra – PT)	4.948	10
Veneto (LR=200 Bq/m ³)	54.553	110
Veneto (LR=400 Bq/m ³)	5.739	11

Tabella 9 - Stime dei costi per le bonifiche

Soluzioni operative individuate

A valle della discussione tra gli organi competenti, tenute in debita considerazione le stime di impatto sanitario e di carattere socio-economico associate alle diverse opzioni, sono state individuate, da parte della Regione Veneto, alcune soluzioni di tipo operativo, volte a ridurre il rischio derivante dall'esposizione ad alte concentrazioni di gas radon.

È stato così scelto di adottare un livello di riferimento raccomandato di 200 Bq/m³ per tutte le abitazioni, sia da costruire che già esistenti. Inoltre, è stata individuata come area ad alto potenziale di radon quella in cui almeno il 10% delle abitazioni, nella configurazione della tipologia standard regionale rispetto al piano, supera il livello di riferimento di 200 Bq/m³.

Va ricordato a proposito, che le cifre di “dimensionamento” del problema di cui alle tabelle 3, 4, 8 e 9 non tengono conto dell'eventuale inclusione nell'area ad alto potenziale dei Colli Euganei.

Una volta fissati il livello di riferimento e l'area ad alto potenziale di radon, si è prospettato un insieme di attività, coordinate da organismi tecnico scientifici competenti, che si ritiene potrebbero qualificare la politica di prevenzione in materia e che del resto sono diretta conseguenza della discussione rappresentata nei precedenti paragrafi. Tali attività sono di seguito sinteticamente richiamate:

- *Realizzazione dell'indagine nelle scuole (ed eventualmente negli ospedali):* particolarmente nelle aree ad alto potenziale di radon andrebbe condotto un monitoraggio sistematico delle scuole dell'obbligo (il riferimento sulla “sensibilità” di tali siti è implicitamente fornito all'art.10 quinquies del D.Lgs. n. 241).
- *Aggiornamento delle aree ad alto potenziale di radon:* constatato che la definizione qui proposta delle aree ad alto potenziale di radon ha valore preliminare, vanno condotti approfondimenti metrologici in Comuni “critici” sfuggiti al monitoraggio nella passata indagine, che ha tracciato la prima mappa delle aree a rischio^{xviii}, vanno effettuate verifiche sperimentali a campione nell'area meridionale della regione e adeguate le tecniche di elaborazione dati e di predizione.
- *Sperimentazione delle azioni di rimedio per le abitazioni risultate sopra i 200 Bq/m³ nell'indagine dedicata all'individuazione delle aree ad alto potenziale appena conclusa:* 125 abitazioni di detta indagine presentavano concentrazioni annue superiori a 200 Bq/m³ (di cui 33 anche con superamento dei 400 Bq/m³); pare opportuno che, a titolo di verifica empirica dell'efficacia delle indicazioni per le bonifiche, gli organi competenti supportino gli interventi rimediali, per esempio attraverso un controllo sul fronte metrologico; l'esito dell'iniziativa potrebbe fornire utili specificazioni per futuri protocolli.
- *Elaborazione di fattori proiettivi sull'anno per le misurazioni:* va svolto uno specifico studio sperimentale per pervenire a fattori tali da convertire le misure di durata 1-3 mesi (effettuate in qualsivoglia periodo dell'anno) in stime annuali; si potrà così evitare di ricorrere a misure annuali nelle abitazioni e ridurre i tempi di attesa della risposta da parte dell'utente.
- *Predisposizione del numero verde:* per garantire un'informazione rapida ed efficace sul radon in Veneto appare utile istituire un canale conoscitivo diretto tra cittadino ed organi tecnici competenti.
- *Gestione delle banche dati delle misure e delle bonifiche:* l'eventuale disponibilità dei risultati di misure e bonifiche permetterebbe di popolare le banche dati del caso, presso l'organo competente, per monitorare nel tempo lo stato dell'ambiente sul problema radon ed aggiornare la definizione di aree ad alto potenziale.

- *Attivazione di una struttura di individuazione dei laboratori di misura idoneamente attrezzati:* un organismo regionale dovrebbe “governare” il processo delle misurazioni per sondarne l’affidabilità da chiunque siano effettuate, con stesura di procedure tecniche, incontri con i misuratori, eventuale organizzazione di ring test, compilazione di elenchi di organismi idoneamente attrezzati, ecc...

Bibliografia

- [i] F. H. Harting, and W. Hesse (1879) Der Lungenkrebs, die Bergkrankheit in den schneeberger Gruben. V gericht. Med. Off. GesundWes. 96-309 and 31,102-132, 313-337.
- [ii] ICRP International Commission on Radiological Protection 1991. 1990 Recommendations of the 60 International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 60, Ann. Of. ICRP 21
- [iii] BEIR IV National Research Council. Committee on the Biological effects of Ionizing Radiations. Health risks of radon and other internally deposited alpha emitters: BEIR IV; Washington D.C. National Academy Press 1990
- [iv] ICRP International Commission on Radiological Protection Against Radon-222 at Home and at Work. London, England: Pergamon press 23(2): 1-65. ICPR Publication 1993.
- [v] National Research Council: Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI, National Academy Press 1999
- [vi] The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Report 2000
- [vii] IARC Monographs; Radon and its decay products (10043-92-2) Vol.43 (1988)
- [viii] EPA Proposed guidelines for carcinogen risk assessment; notice. Federal Register Vol. 61 No 79 April 23 1996
- [ix] Piano Sanitario Nazionale 1998 – 2000 Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 288 del 10 dicembre 1998.
- [x] Raccomandazione della Commissione delle Comunità europee del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi (90/143/Euratom). Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee 80/26.
- [xi] 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. Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 203 del 31 agosto 2000 – Serie generale
- [xii] F. Bochicchio, G. Campos Venuti, S. Piermattei, G. Torri, C. Nuccetelli, S. Risica, L. Tommasino. Results of the national survey on radon indoors in all the 21 Italian Regions. In Radon in the living environment. 19-23 April 1999. Athens. 997-1006
- [xiii] L. Gaidolfi, M. R. Malisan, S. Bucci, M. Cappai, M. Bonomi, L. Verdi, F. Bochicchio. Radon measurements in kindergartens and schools of six Italian Regions. In Radiation Protection Dosimetry. Vol.78. No.1. Nuclear Technology Publishing. 1998. 73 – 76
- [xvi] IAEA. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation for Safety of radiation Source. Safety series No. 115 Vienna 1996
- [xv] European Commission Recommendations for the implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) concerning significant exposure due to natural radiation sources. Radiation Protection 88 1997
- [xvi] G. Akerblom. Radon legislation and National Guidelines. Swedish Radiation Protection Institute SSI report 99:18. 1999

[xvii] F. Trotti, A. Tanferi, M. Lanciai, P. Mozzo, V. Panepinto, S. Poli, F. Predicatori, F. Righetti, A. Tacconi, R. Zorzin. Mapping of areas elevated indoor radon levels in Veneto. In Radiation Protection Dosimetry. Vol.78. No.1. Nuclear Technology Publishing. 1998. 11 – 14

[xviii] ARPAV e Regione Veneto. Indagine regionale per l'individuazione delle aree ad alto potenziale di radon nel territorio veneto. Verona. 30/11/00.

[xix] ARPAV e Regione Veneto. Il radon in Veneto ecco come proteggersi. In pubblicazione.
