



APAT

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

**LINEE GUIDA PER LE MISURE DI RADON
IN AMBIENTI RESIDENZIALI**

RTI CTN_AGF 4/2004

APAT
Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale

Linee Guida per le misure di Radon in ambienti residenziali

Autori

Luigi Minach (APPA Bolzano), Enrico Maria Chiaberto (ARPA Piemonte),
Mauro Bonomi (APPA Trento), Roberto Lazzaron (ARPA Valle d'Aosta),
Flavio Trotti (ARPA Veneto), Elena Caldognetto (ARPA Veneto)

Responsabile di progetto APAT
Giancarlo Torri



Responsabile CTN_AGF
Sandro Fabbri

Informazioni legali

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Informazioni addizionali sull'argomento sono disponibili nel sito Internet (<http://www.sinanet.apat.it>)

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma

Centro Tematico Nazionale – Agenti Fisici
c/o ARPA Emilia-Romagna – Sezione Provinciale di Piacenza
Via XXI Aprile, 48
29100 Piacenza

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	LO SCOPO DELLA MISURA.....	3
2.1	Misura di controllo in una casa esistente.....	3
2.2	Misura in previsione dell'adozione di azioni di bonifica a seguito del riscontro di superamento dei possibili livelli di azione.....	3
2.3	Misura in previsione di una ristrutturazione della casa	4
2.4	Misura in previsione di una nuova costruzione: misura in un'abitazione limitrofa all'edificio ancora in fase di progetto.....	4
2.5	Verifica del buon funzionamento di contromisure per l'abbattimento del radon	5
2.6	Monitoraggio ambientale e mappatura radon del territorio	6
3.	RASSEGNA DELLE TIPOLOGIE DI MISURA	7
3.1	La misura integrata	7
3.2	La misura istantanea	7
3.3	La misura in continuo con strumentazione attiva	8
4.	LE CONDIZIONI PER UNA CORRETTA MISURA DEL RADON IN AMBIENTI RESIDENZIALI.....	9
4.1	Valutazione accurata	9
4.2	Misura di studio di breve durata.....	10
5.	IL RISULTATO DELLA MISURA.....	12
6.	REQUISITI DEI LABORATORI DI MISURA	13
	ALLEGATI.....	15
	Allegato A	16
	Allegato B	19
	GLOSSARIO	23
	BIBLIOGRAFIA	25

1. INTRODUZIONE

Il radon ed i suoi prodotti di decadimento sono uno degli argomenti di maggiore attualità nell'ambito dei fattori fisici di rischio ambientale. Essi sono considerati tra i principali inquinanti dell'aria indoor, classificati come agenti cancerogeni di gruppo 1 (agenti di accertata cancerogenicità per l'uomo) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC/OMS) [1, 2, 3].

La presenza del radon nelle abitazioni dipende principalmente dalla tipologia del suolo sul quale è costruito l'edificio e dai materiali da costruzione utilizzati. Normalmente il radon penetra nelle abitazioni dalla parte inferiore dell'edificio (crepe, fessure, canali, tubazioni ecc. nella pavimentazione o nelle pareti a diretto contatto con il terreno).

Alcuni materiali da costruzione contenenti minerali di origine vulcanica (p. es. certi tipi di tufi utilizzati essenzialmente nel Centro-Sud dell'Italia) possono emettere quantità di radon non trascurabili che si vanno a sommare al contributo dovuto all'emissione dal suolo.

In Italia, a differenza dei luoghi di lavoro (D.lgs n. 230/1995 – D.lgs n. 241/2000, capo III-bis), non esistono per gli ambienti di vita disposizioni a carattere normativo che stabiliscano i livelli di riferimento per la salvaguardia della popolazione dai rischi derivanti da esposizioni a sorgenti naturali di radiazioni e le misure da intraprendere in caso di loro superamento [4, 5, 6, 7, 8].

A livello europeo, è stata emanata la Raccomandazione 90/143/Euratom del 21/II/1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi. Essa individua in 400 Bq/m^3 il livello di concentrazione media annua di gas radon per un'azione correttiva per gli edifici già esistenti, mentre per gli edifici da costruire il livello di concentrazione da non superare è di 200 Bq/m^3 .

Alcuni paesi hanno adottato valori di riferimento, raccomandati o imposti con valore normativo come indicato in tabella n. 1.1. Anche l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) ha raccomandato dei livelli di azione per la concentrazione di radon nelle abitazioni nella misura di 200 Bq/m^3 . Nonostante l'assenza di normative specifiche, i vari laboratori p.es. i Centri di Riferimento Regionali per la Radioattività presenti sul territorio italiano hanno intrapreso già da tempo una serie di iniziative volte a determinare la concentrazione di radon nelle abitazioni e scuole delle regioni italiane attraverso numerose campagne di misura. Di particolare rilevanza è l'Indagine Nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, condotta nei primi anni novanta e coordinata dall'ISS e dall'ENEA-DISP (ora APAT) [9, 10, 11].

Uno studio effettuato nell'ambito delle attività del CTN-AGF (anno 2001, TASK 06-12-2001 "Rassegna nazionale delle iniziative di monitoraggio in tema di radon per la caratterizzazione del territorio") conferma che, a tutto il 2001, erano state effettuate, o erano in corso di svolgimento, numerose campagne di misura a valenza territoriale rivolte alla determinazione dei livelli di concentrazione di radon nell'aria indoor di edifici abitativi o scuole (Allegato A). Allo stesso tempo, questa rassegna evidenzia una notevole varietà d'approccio al problema, in modo particolare per quanto riguarda le strategie utilizzate per il campionamento delle abitazioni dove effettuare le misure, gli strumenti ed i metodi di misura utilizzati e la durata del periodo di esposizione dei rivelatori (si veda anche Allegato B).

La presente linea guida è stata realizzata dal gruppo di lavoro del CTN-AGF per la Task “Misure radon negli ambienti residenziali”, costituito dalle ARPA di Veneto, Piemonte, Valle d’Aosta e dalle APPA delle Province Autonome di Trento e Bolzano, coordinate dall’APPA della Provincia Autonoma di Bolzano. Essa si propone di integrare le conoscenze esistenti riguardo le azioni da effettuare per una corretta valutazione della presenza di radon negli ambienti di vita e di fornire riferimenti operativi utili per quanti si trovino ad operare in questo campo, con riferimento alle diverse finalità delle azioni di misura intraprese. L’impostazione è quindi rivolta più agli aspetti inerenti le metodologie di indagine piuttosto che alle tecniche strumentali di misura.

<i>Organismi Internazionali</i>	<i>Edifici esistenti</i>	<i>Edifici nuovi</i>	
Euratom	400	200	Raccomandazione 90/143
O.M.S.	200	200	Air quality Guidelines for Europe 1987
<i>Paesi</i>			
Svizzera ^{1*}	1000	400*	Ordonnance sur la radioprotection (ORaP) du 22 Juin 1994
Austria	400	200	Raccomandazioni dell'Austrian Radiation Protection Commission (1992)
Irlanda del Nord	200	200	Statutory Rule 2000 N°39 Building Regulation
Regno Unito	200	200	Board Statement on Radon in Homes, Doc NRPB 1, No 1. TSO
Polonia ^{2**}	Vedi commenti	Vedi commenti	Monitor polski 1995, No.35, poz.419 Zarzadzenie Prezesa PAA z dn.7 VII 1995
Rep.Ceca	200	200	Decree of SONS No.184/1997
Svezia	400	200	Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations
Finlandia	400	200	Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries - Recommendations
Norvegia	400	200	Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries - Recommendations
Danimarca	400	200	Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries - Recommendations
Stati Uniti	150	150	EPA: Indoor Radon Abatement Act 1988
Canada	800	800	Ligne directrice Santé Canada 1988

Tabella n. 1.1: Livelli di riferimento raccomandati per mitigazione radon (in Bq/m³)

¹ il livello di riferimento di 400 Bq/m³ è raccomandato anche per edifici da ristrutturare

² il livello di riferimento di 400 Bq/m³ è applicabile alle costruzioni inabitate prima del 1° Gennaio 1998, mentre il livello di azione di 200 Bq/m³ è applicabile alle costruzioni inabitate a partire dal 1° Gennaio 1998

2. LO SCOPO DELLA MISURA

Premesso che in Italia per la concentrazione del gas radon in ambienti residenziali non vi sono dei limiti di legge che fissano dei precisi vincoli, si ritiene che al momento, a parte studi ambientali (ad esempio indagini di mappatura del territorio), una linea guida riguardo all'esecuzione di misure in ambienti residenziali debba considerare soprattutto le possibili esigenze del privato che richiede, come servizio tipicamente a pagamento, la misura del gas radon. A tal proposito sono state individuate le seguenti motivazioni di richiesta.

2.1 Misura di controllo in una casa esistente

Un privato può richiedere una misura del radon nella sua abitazione.

Tipicamente, saranno effettuate delle **misure integrate** che coprono l'intero anno, in seguito denominate **accurate**, condotte in un locale significativo (eventualmente in più locali secondo i criteri di cui al Cap. 4.1). Il livello medio annuo di radon potrà così essere confrontato con i livelli di azione eventualmente adottati. Misure integrate di durata inferiore all'anno possono essere effettuate ove sia possibile indicare le condizioni di riferibilità al dato annuale.

Le condizioni di misura sono quelle di normale utilizzo dell'abitazione in oggetto. Si dà preferenza al monitoraggio di un locale al piano più basso dell'abitazione (condizione in genere cautelativa, in quanto solitamente il maggior contributo di radon indoor proviene dal suolo), secondo i criteri di cui al Capitolo 4.1

Sono altresì possibili, a cura dell'ente tecnico di controllo localmente competente, delle **misure di studio di breve durata** (qualche giorno) in una o più stanze dell'abitazione. Le condizioni di misura saranno tipicamente quelle più favorevoli all'accumulo del radon.

Le modalità operative e i criteri per la valutazione degli esiti saranno di volta in volta definite dal summenzionato ente (nel Cap. 4.2 viene riportata una procedura di riferimento). Tra le conclusioni dei rilevamenti ci potrà essere l'indicazione di procedere ad effettuare una valutazione accurata, secondo le modalità di cui al precedente punto.

2.2 Misura in previsione dell'adozione di azioni di bonifica a seguito del riscontro di superamento dei possibili livelli di azione

Lo scopo principale della misura sarà quello di appurare, attraverso approfondimenti metrologici, quali tipi di contromisure possano essere adottate per mitigare i livelli di radon riscontrati nell'abitazione, al fine di pianificare la messa in opera dell'intervento rimediabile maggiormente consona alla situazione. Tipicamente si cercherà quindi di individuare mediante strumentazione attiva i punti deboli, sempre in relazione al radon, dell'edificio o dell'abitazione e di eseguire le misure nelle condizioni più critiche (p. es. nei mesi invernali, nei locali ai piani più bassi, eventualmente creando anche

un'apertura nella pavimentazione, con il sistema di riscaldamento in funzione e poi spento, mettendo in depressione la stanza ecc.).

2.3 Misura in previsione di una ristrutturazione della casa

Lo scopo principale della misura sarà quello di appurare se le concentrazioni del gas radon, misurate nella casa prima della ristrutturazione sono tali da ritenere opportuno pianificare o meno l'adozione di contromisure per l'abbattimento del radon. In questo caso, in base al tempo a disposizione per le misure, alla tipologia della casa / appartamento (modalità di contatto con il terreno, presenza di un piano interrato, posizione dell'edificio rispetto al pendio, ecc.) ed al progetto di ristrutturazione (cosa si intende realizzare, locazione delle stanze ad uso abitativo, ecc.) si sceglierà il sistema di misura più adeguato (nella maggioranza dei casi una misura in continuo con strumentazione attiva). Tipicamente si cercherà quindi di individuare, sempre in relazione al radon, i punti deboli della casa o del progetto e di eseguire le misure nelle condizioni più critiche (p. es. nei mesi invernali, nei locali ai piani più bassi, eventualmente creando anche un'apertura nella pavimentazione, con il sistema di riscaldamento in funzione e poi spento, mettendo in depressione la stanza ecc.). Se esistente, in proposito, si può anche considerare la **mappa del radon (G)** relativa al proprio territorio.

2.4 Misura in previsione di una nuova costruzione: misura in un'abitazione limitrofa all'edificio ancora in fase di progetto

Un caso particolare può essere quello di un edificio ancora in fase di progetto che verrà costruito in prossimità di un edificio esistente, nel quale possono essere eseguite misure del gas radon, allo scopo di stimare in via approssimativa (!) se convenga adottare accorgimenti contro il radon al momento della realizzazione dell'edificio.

Anche se è assodato che dalle misure eseguite in un'abitazione non si possa con certezza risalire alle concentrazioni dell'abitazione limitrofa, le misure condotte nella casa vicina possono dare utili informazioni riguardo ad un possibile rischio radon nella zona. Questo vale soprattutto se nella casa monitorata vengono riscontrati valori elevati. Nel caso contrario la misura non è conclusiva.

Anche in questo caso si cercherà di eseguire le misure nelle condizioni più favorevoli all'accumulo del radon (esempio nei mesi invernali, nei locali al piano più basso, eventualmente creando anche un'apertura nella pavimentazione, con il sistema di riscaldamento in funzione e poi spento, mettendo in depressione la stanza, ecc.). Chiaramente riguardo all'edificio nuovo si arriverà solamente ad una stima sulla consistenza della presenza di radon.

Un diverso approccio al problema, che permette di limitare o addirittura di evitare le misurazioni in edifici limitrofi, è quello di considerare, se esistente, la **mappa del radon (G)** relativa al proprio territorio, che consente di individuare quelle aree per le quali è particolarmente consigliata l'adozione di particolari provvedimenti edilizi.

2.5 Verifica del buon funzionamento di contromisure per l'abbattimento del radon

Si tratta della misura di controllo dopo che in un edificio sono state pianificate e realizzate delle azioni di rimedio per il radon al fine di verificarne il buon funzionamento. Normalmente per motivi di tempo questi controlli sono eseguiti con sistemi attivi. In ogni caso conviene distinguere tra sistemi di abbattimento passivi (ventilazione naturale, isolamento) e quelli attivi (con ventilatori che aumentano il ricambio d'aria, che creano una depressione in cantina o nel sottosuolo, che creano una sovrappressione nella casa o nel sottosuolo, ecc.).

Nel primo caso (sistemi passivi) si consiglia di eseguire una misura di controllo come riportato nel punto 2.1), dando chiaramente preferenza a misure integrate che coprano l'intero anno ed eseguite in un locale significativo dell'abitazione (eventualmente in più stanze).

Nel secondo caso (sistemi attivi), dato che si tratta di metodi che riducono la concentrazione del gas radon solamente quando sono in funzione (ventilatore acceso), la verifica più opportuna consiste in una misura in continuo con strumentazione portatile per un periodo di alcuni giorni, una volta con il sistema di abbattimento spento e di seguito con il sistema acceso o viceversa. Inoltre per la misura si sceglierà il periodo dell'anno con i valori di concentrazione di radon più alti, cioè normalmente durante il periodo invernale. In base alla differenza tra i valori misurati con il sistema acceso/spento si potrà valutare il buon funzionamento e l'efficacia del metodo adottato.

Si accenna che allo scopo di un risparmio energetico i sistemi di abbattimento attivi sono spesso utilizzati in maniera intermittente, p. es. programmati da un timer, in modo da garantire basse concentrazioni di radon soprattutto durante le ore di un effettivo utilizzo dei locali. In questo caso le misure dovranno tenere conto della presenza di tali sistemi che dovrà essere riportata anche nel rapporto di prova.

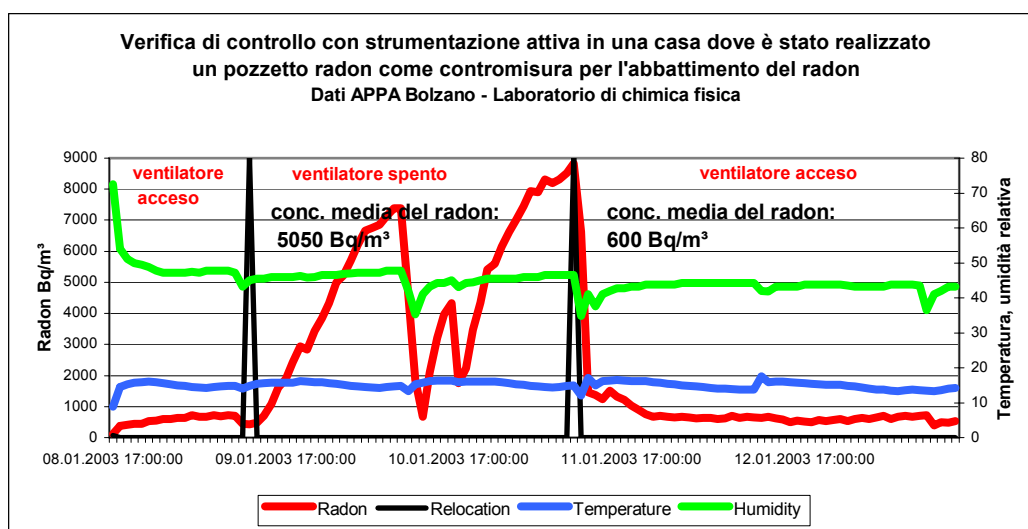


Figura n. 2.1: Andamento dei parametri controllati a seguito di un intervento di risanamento del radon

A titolo d'esempio la Figura n. 2.1 mostra l'andamento della concentrazione di radon indoor misurata in continuo assieme ad altri parametri d'interesse (temperatura, umidità relativa, ecc.) in una casa dove come contromisura è stato realizzato un "pozzetto

radon” dal quale per mezzo di un piccolo ventilatore da 24 Watt viene aspirata dal suolo sotto la casa l’aria carica di radon ed espulsa all’esterno.

Ulteriori informazioni a riguardo sono disponibili sul sito:

www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/radon/index_i.htm

2.6 Monitoraggio ambientale e mappatura radon del territorio

In questo caso sarà l’ente preposto al coordinamento dell’indagine a definire le condizioni e le tipologie di misura, che potranno essere uguali o simili a quelle riportate di seguito, a seconda degli scopi dell’indagine.

3. RASSEGNA DELLE TIPOLOGIE DI MISURA

Tenuto conto degli scopi e delle diverse possibilità di esecuzione del monitoraggio, è opportuno distinguere e scegliere tra le seguenti tipologie di misura, che si differenziano tra di loro principalmente per la durata del periodo di osservazione e per le informazioni che si possono trarre dai dati misurati.

3.1 La misura integrata

La misura integrata permette di ottenere il valore medio della concentrazione di radon nel periodo di osservazione. È possibile eseguire le misure integrate o per un breve periodo di tempo (alcuni giorni) a titolo di studio (vedi Cap. 2.1) o per un lungo periodo di tempo per stime accurate (generalmente un anno). La misura integrata con strumentazione passiva è normalmente quella più usata ed esistono diversi tipi di rivelatori adatti allo scopo (vedi allegati). I dosimetri passivi hanno il vantaggio di avere dimensioni molto piccole e di non richiedere la corrente elettrica per il loro funzionamento. Possono anche essere spediti al richiedente per posta, il quale seguendo le istruzioni all'uso allegate allo strumento dà inizio all'esposizione nel locale della propria abitazione individuato come maggiormente rappresentativo. Dopo un periodo di tempo concordato con l'organismo di misura, il dosimetro viene restituito al laboratorio per l'analisi.

La misura integrata, eseguita sull'anno (o eventualmente su alcuni mesi nel caso in cui siano applicabili condizioni di riferibilità ad un valore medio annuo), è particolarmente indicata per determinare in maniera rappresentativa la concentrazione del gas **radon indoor (G)**, in quanto media i fattori di variabilità del radon in un ambiente confinato (per es. le tipiche fluttuazioni giornaliere e stagionali).

La durata del periodo d'esposizione va valutata preventivamente, in quanto nel caso di esposizioni molto lunghe ed in presenza di concentrazioni molto elevate del gas radon, il dosimetro può andare in saturazione, cioè può perdere la capacità di registrare la reale concentrazione di radon. In questo caso bisogna ripetere la misura per periodi consecutivi più brevi. Dato che i costi della misura sono relativamente bassi, questi sistemi sono particolarmente indicati per l'esecuzione di campagne di misura.

3.2 La misura istantanea

Questa può essere eseguita o sul posto con uno strumento portatile che permette di campionare e di misurare in breve tempo la concentrazione del gas radon, oppure raccogliendo uno o più campioni d'aria (anche in diverse stanze) in appositi contenitori, che vengono poi portati ed analizzati in laboratori specializzati, normalmente al massimo dopo alcuni giorni. In entrambi i casi, la concentrazione del gas radon misurata darà solamente un'informazione puntuale, valida per le condizioni di quell'ora e quel giorno. Tramite misure o campioni successivi, prelevati di seguito in un arco di tempo

maggiore (esempio nelle 24 ore) è possibile ricavare una prima indicazione dell'andamento temporale della concentrazione di radon in un determinato ambiente.

La misura istantanea può trovare applicazione, tra i vari scopi, nell'ambito degli accertamenti di studio di cui al Cap. 2.1. Tale tipo di misurazione è, in effetti, in genere costosa, in quanto prevede il sopralluogo di personale tecnico competente.

3.3 La misura in continuo con strumentazione attiva

Esistono diversi strumenti portatili, che permettono di monitorare la concentrazione del gas radon in continuo, p. es. registrando delle medie orarie per un periodo a scelta, anche per diversi mesi. I dati registrati possono essere scaricati sul posto di misura con un PC portatile, oppure anche via modem.

In confronto ai rivelatori passivi, il grande vantaggio di alcuni di questi sistemi è che possono registrare contemporaneamente alla concentrazione del radon altri parametri importanti come la temperatura interna ed esterna della casa, la pressione atmosferica, l'umidità relativa, l'eventuale spostamento dello strumento, ecc.. Inoltre permettono di analizzare l'andamento temporale dei parametri registrati e di correlarli tra di loro. Da questi dati si possono trarre importanti informazioni circa gli specifici meccanismi d'ingresso del radon in una casa o anche riconoscere eventuali fattori casuali.

Avendo un riscontro in tempo quasi reale, si possono anche sperimentare diverse condizioni di misura (sistema di riscaldamento spento ed acceso, ventilazione in depressione o meno, ecc.) cioè creare condizioni favorevoli all'ingresso del radon, oppure anche verificare subito l'efficacia di eventuali provvedimenti (sigillare una crepa, creare un'apertura di ventilazione in cantina, ecc.).

Di contro il principale svantaggio di questi sistemi è il costo relativamente elevato della strumentazione, oltre al fatto che normalmente i dati vanno raccolti ed interpretati sul posto da una persona esperta. Per questo motivo, tali sistemi non sono adeguati per l'esecuzione di campagne di misura, ma più per la verifica di singole situazioni, p. es. prima di una ristrutturazione di una casa. Essi sono indispensabili per la verifica ed il controllo del funzionamento delle contromisure per abbattere il radon.

Una descrizione sintetica dei principali strumenti di misura è riportata nell'Allegato B.

4. LE CONDIZIONI PER UNA CORRETTA MISURA DEL RADON IN AMBIENTI RESIDENZIALI

4.1 Valutazione accurata

Mira a dare un valore rappresentativo della concentrazione di radon in una casa o appartamento. Può servire anche per decidere se adottare o meno delle contromisure per il radon.

Durata: normalmente un anno, eventualmente alcuni mesi nel caso in cui sia possibile ricondurre il valore misurato ad una stima annuale, in quanto i **livelli d'azione (G)** raccomandati dalla direttiva comunitaria per ambienti residenziali e quelli individuati dalla normativa nazionale riguardo agli ambienti di lavoro sono espressi in termini di concentrazione media annua.

- Dato che normalmente elevate concentrazioni di radon sono da attribuire all'apporto di gas radon dal terreno, si procede all'esecuzione di una singola misura in una stanza regolarmente utilizzata al piano più basso dell'abitazione (condizione tipicamente più cautelativa), possibilmente, sulla base dei tempi di permanenza, in una camera da letto, in particolare in quella di bambini. Nella scelta del locale, oltre ai criteri dei tempi di permanenza dei residenti, vanno tenuti in considerazione quelli di carattere tecnico-edilizio (per esempio, orientandosi verso i locali con pareti a diretto contatto con il terreno,..), eventualmente incrementando il numero dei locali da monitorare se la complessità edilizia lo richiedesse, come da indicazioni dell'ente tecnico di controllo localmente competente.
- Dato che normalmente ai piani superiori al piano terra il rischio radon è minore, qui le misure saranno eseguite, nei casi in cui si riscontrino condizioni specifiche, prevalentemente nelle stanze maggiormente utilizzate. Tali condizioni, che andranno indicate dall'ente tecnico di controllo localmente competente, possono riguardare, ad esempio, edifici realizzati con materiali ad alto contenuto di radioattività naturale (certi tipi di tufo, graniti ecc.) o vecchie case con mura molto spesse, realizzate con sassi e ricoperte solo all'esterno con intonaco (infatti il radon può salire all'interno delle mura).
- Locali non adeguati per la misura sono di norma: la cucina (elevata ventilazione), il bagno ed il corridoio (ridotta permanenza), la stanza della caldaia (sempre ventilata), la cantina (anche nel caso di valori elevati, il risultato non è significativo, in quanto non rappresentativo dell'esposizione).
- Durante tutto il periodo di misura nelle stanze vanno mantenute "normali" condizioni di uso dell'abitazione (inclusa la ventilazione).
- In genere, va determinata la media annuale delle concentrazioni di radon, p. es. misurando nel semestre estivo ed in quello invernale. Nel caso questo non fosse possibile è necessario ricondurre il valore misurato ad una stima annua.
- Lo strumento di misura va posizionato in un luogo sicuro (rischio di colpi, manomissione, ecc.); per evitarne lo spostamento, se possibile, va fissato nel punto di misura. Non va posizionato vicino a sorgenti di calore (stufe, termosifoni, luoghi in cui sia soggetto all'irradiazione diretta dei raggi solari, per esempio dietro a

vetrate) o vicino a ventilatori e ad almeno un metro da finestre e porte. Inoltre almeno a 30 cm dalle pareti e ad almeno 1 metro dal pavimento e soffitto. Non va posizionato all'interno di armadi e contenitori chiusi, ecc.

- Il valore di concentrazione misurato, o comunque quello più elevato in caso di misurazioni in più locali, dovrà essere confrontato con i livelli definiti dalla normativa: se risulterà sostanzialmente inferiore al **livello di azione (G)** il dato complessivo potrà essere ritenuto rappresentativo e conclusivo; in caso contrario, prima dell'eventuale azione di bonifica, sarà opportuno effettuare degli approfondimenti secondo le indicazioni dell'ente tecnico di controllo localmente competente (si veda il Cap. 2.2).

4.2 Misura di studio di breve durata

Questo tipo di misura esula dal protocollo standard per le misurazioni, di cui al paragrafo precedente, ma viene comunque presentato con riferimento a quei casi in cui l'ente tecnico di controllo localmente competente concorda con i residenti specifici e mirati rilevamenti all'interno dell'abitazione, secondo modalità operative di valutazione degli esiti che fissa di volta in volta. Tra le conclusioni dei rilevamenti, ci potrà essere l'indicazione a procedere ad una valutazione accurata.

La misura, della durata di una - due settimane, va eseguita tipicamente nelle condizioni più critiche, cioè favorevoli all'ingresso del radon. Di seguito sono riportate alcune indicazioni operative per l'esecuzione della misura.

- Dato che normalmente elevate concentrazioni di radon sono da attribuire all'apporto di gas radon dal terreno, la misura va eseguita in locali regolarmente utilizzati al piano più basso dell'abitazione. In base ai comuni tempi di permanenza dei residenti nei diversi locali sono da preferire camere da letto, in particolare quelle di bambini
- Locali non adeguati per la misura sono di norma: la cucina (elevata ventilazione), il bagno ed il corridoio (ridotta permanenza), la stanza della caldaia (sempre ventilata), la cantina (anche nel caso di valori elevati, il risultato non è significativo, in quanto non rappresentativo dell'esposizione nell'abitazione).
- Prima della misura la stanza va tenuta chiusa (porte, finestre) almeno per 12 ore. Se non ci sono altre indicazioni da parte dell'ente tecnico di controllo localmente competente, anche durante la misura le stanze vanno ventilate il meno possibile. È comunque preferibile eseguire le misure in presenza degli inquilini della casa, in quanto le condizioni di misura possono essere controllate.
- La misura va eseguita possibilmente nella stagione fredda ed in questo caso con il riscaldamento acceso. Nel caso di misure con strumentazione attiva si consiglia di mettere in depressione la casa con appositi sistemi di ventilazione (blower door). Mettendo in depressione la casa si favorisce l'ingresso del radon.
- Eventuali condizioni climatiche anomale (forte vento, forti sbalzi di pressione, ecc.) vanno annotate. Tali condizioni possono alterare notevolmente il risultato di misura e richiedere una ripetizione. Per questo motivo di norma le misure di breve durata non vanno eseguite in previsione di estreme condizioni meteo.
- Lo strumento di misura va posizionato in un luogo sicuro (rischio di colpi, manomissione, ecc.); per evitarne lo spostamento, se possibile, va fissato nel punto

di misura. Non va posizionato vicino a sorgenti di calore (stufe, termosifoni, luoghi in cui sia soggetto all'irradiazione diretta dei raggi solari, p.es. dietro a vetrate) o vicino a ventilatori e ad almeno un metro da finestre e porte. Inoltre almeno a 30 cm dalle pareti e ad almeno 1 metro dal pavimento e soffitto. Non va posizionato all'interno di armadi e contenitori chiusi, ecc..

- In assenza di altre indicazioni, nel caso di una seconda o ulteriore misura, lo strumento va collocato nello stesso posto.

5. IL RISULTATO DELLA MISURA.

Allo scopo di fornire una documentazione completa, il risultato d'analisi o certificato oltre alla concentrazione del radon dovrà contenere i dati ritenuti rilevanti relativi all'edificio ed alla / alle stanza /e nelle quali sono state eseguite le misure e i dati relativi alle condizioni di misura (si veda a riguardo: CTN task 06.02.03.b "Definizione degli standard informativi per la realizzazione di un DB delle misure di radon indoor"). Come informazione minima, segnatamente per le misure di cui al Capitolo 2.1, dovranno essere riportati i seguenti dati:

- nome ed indirizzo del richiedente (luogo di misura);
- piano del locale;
- utilizzo del locale;
- posizione dello strumento di misura;
- tipo di rivelatore;
- periodo di misura (data inizio e fine misura);
- le condizioni di misura;
- la concentrazione di radon misurata con l'incertezza associata.

Per i risultati delle misure va fatta una chiara postilla che circoscrive l'ambito di validità della rilevazione ed in cui si annota che il richiedente della misura è stato informato sul mantenimento delle condizioni per una corretta misura e che a riguardo egli se ne assume ogni responsabilità.

6. REQUISITI DEI LABORATORI DI MISURA

Relativamente ai luoghi di lavoro nel D.lgs n. 230/1995 e s.m.i. sono introdotte alcune specifiche per la caratterizzazione degli organismi di misura del gas radon. In particolare, al capo III-bis articolo 10-ter comma 4 si stabilisce che per misure della concentrazione di radon, l'esercente di un luogo di lavoro deve avvalersi di *organismi riconosciuti* ai sensi dell'articolo 107 dello stesso decreto, o, nelle more del riconoscimento, di organismi idoneamente attrezzati. Gli organismi che effettuano le misure di concentrazione di radon, inoltre, devono essere riconosciuti da *istituti previamente abilitati*, le cui modalità di abilitazione saranno disciplinate con successivo decreto. In attesa del decreto sono attualmente istituti abilitati al riconoscimento degli organismi di misura l'APAT e l'ISPESL. Nell'ambito del documento "Linee Guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" [8] approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, sono definiti i requisiti minimi che devono essere in possesso dei laboratori che effettuano le misure di concentrazione di radon in aria con strumentazione passiva e che possono quindi essere identificati come "idoneamente attrezzati". Tale documento può essere preso come riferimento anche per le misure di radon in ambienti residenziali.

In particolare le caratteristiche degli organismi di misura sono le seguenti:

- responsabile tecnico con formazione professionale di tipo tecnico-scientifica ed esperienza documentata in misure di radon in aria;
- individuazione delle persone abilitate ad eseguire le misure, definizione specifica di compiti e responsabilità per gli aspetti tecnici di misura;
- utilizzo di una tecnica di misura idonea e garanzia che le condizioni ambientali siano adeguate alla tecnica utilizzata e che tutto il ciclo della misura sia tenuto sotto controllo, dalla conservazione del materiale impiegato alla manutenzione degli strumenti;
- periodica taratura della tecnica di misura (la taratura dei metodi di misura deve garantire la riferibilità a campioni primari, tramite istituti primari di metrologia, centri SIT nazionali (se esistenti) o internazionali, oppure istituti di comprovata qualificazione scientifica; inoltre deve essere assicurato il controllo del funzionamento delle apparecchiature prima di ogni serie di misure);
- periodico controllo di qualità dei dati. Parte integrante del controllo di qualità dei dati è la partecipazione a circuiti di interconfronto organizzati da centri SIT o istituti di valenza analoga. Gli organismi che effettuano misure di concentrazione di radon dovrebbero prendere parte a tali circuiti almeno una volta ogni tre anni;
- utilizzo di procedure e istruzioni scritte per le misure, comprese le tarature e il controllo di qualità;
- rilascio del resoconto delle misure firmato dal responsabile tecnico, che garantisce l'affidabilità del dato al committente. Nella relazione tecnica o resoconto dovrebbero essere riportate almeno le seguenti informazioni: intestazione dell'organismo che rilascia il documento, identificazione del documento (per esempio un numero o codice progressivo), i dati anagrafici del committente, la tecnica di misura utilizzata, periodi di esposizione dei rivelatori (sotto la responsabilità del committente) e

relativi risultati in termini di concentrazione, il risultato, se esistente, della concentrazione di radon media annua associato al luogo della misura, l'incertezza associata a tutti i risultati delle misure, la firma della persona che ha effettuato le misure e di chi autorizza il rilascio del risultato, eventuali note di commento relative ai risultati.

ALLEGATI

Allegato A

Iniziative di monitoraggio in tema di radon in Italia per la caratterizzazione del territorio (tratto da rapporto AGF-T-RAP 01-10, TASK 06-12-2001).

Allegato B

Descrizione dei principali strumenti di misura

Allegato A

Si riportano in questo allegato alcune informazioni di sintesi sulle iniziative di monitoraggio in tema di radon ultimate o in corso di svolgimento in Italia a tutto il 2001, significative per la caratterizzazione del territorio dal punto di vista dei livelli di concentrazione di radon.

Il numero complessivo di attività censite (in aggiunta all'indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni) è di 93.

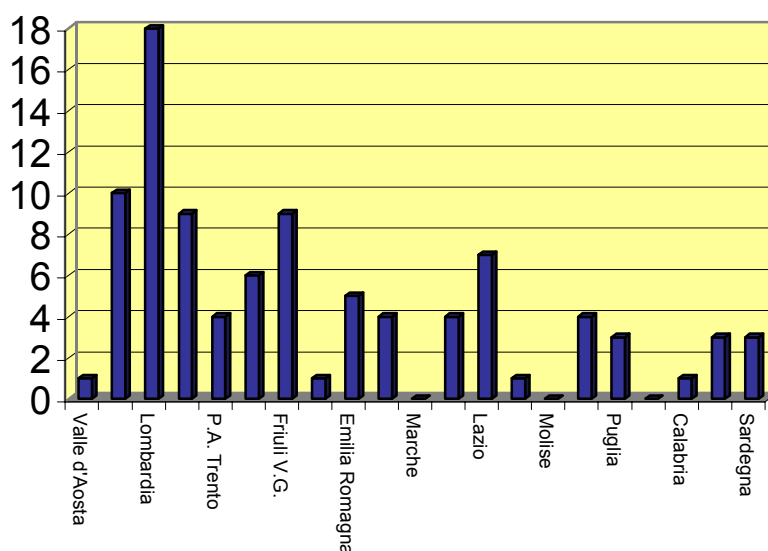


Figura n. A1: Numero di indagini censite per regione

Le indagini censite sono suddivise per Regione /Provincia Autonoma secondo quanto indicato nel grafico di Figura n. A1. Esse riguardano misure di concentrazione di radon in aria in abitazioni e uffici, luoghi di lavoro, scuole; misure di concentrazione di radon disciolto nelle acque; misure di emanazione di radon dal terreno; misure di concentrazione di radon nel suolo; misure di concentrazione di radioattività naturale nelle rocce e nei materiali da costruzione.

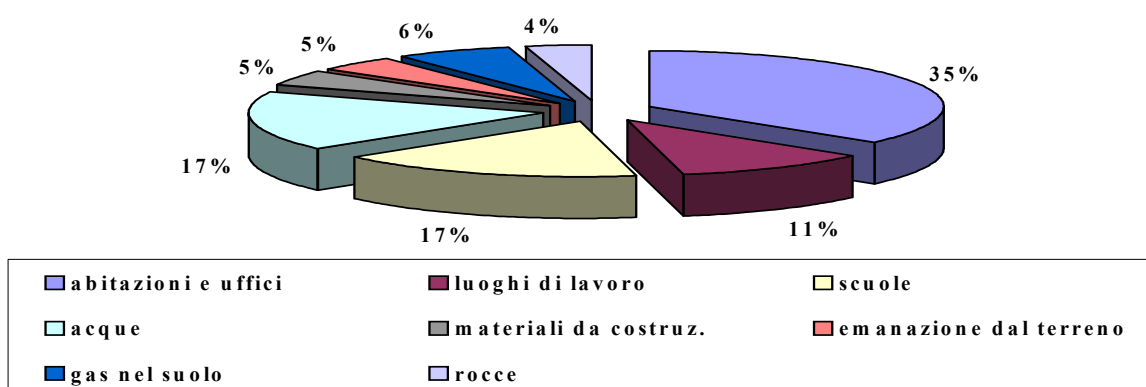


Figura n. A2: Tipologia di indagini a valenza territoriale censite

Dal grafico di Figura n. A2 si vede che il 35% delle indagini riguardano la concentrazione di radon in aria in ambienti residenziali. Un altro 17% riguarda misure di concentrazione di radon in aria nelle scuole che vengono abitualmente effettuate con metodi analoghi. Il numero complessivo di siti di misura per ogni tipo di indagine è riportato in Figura n. A3.

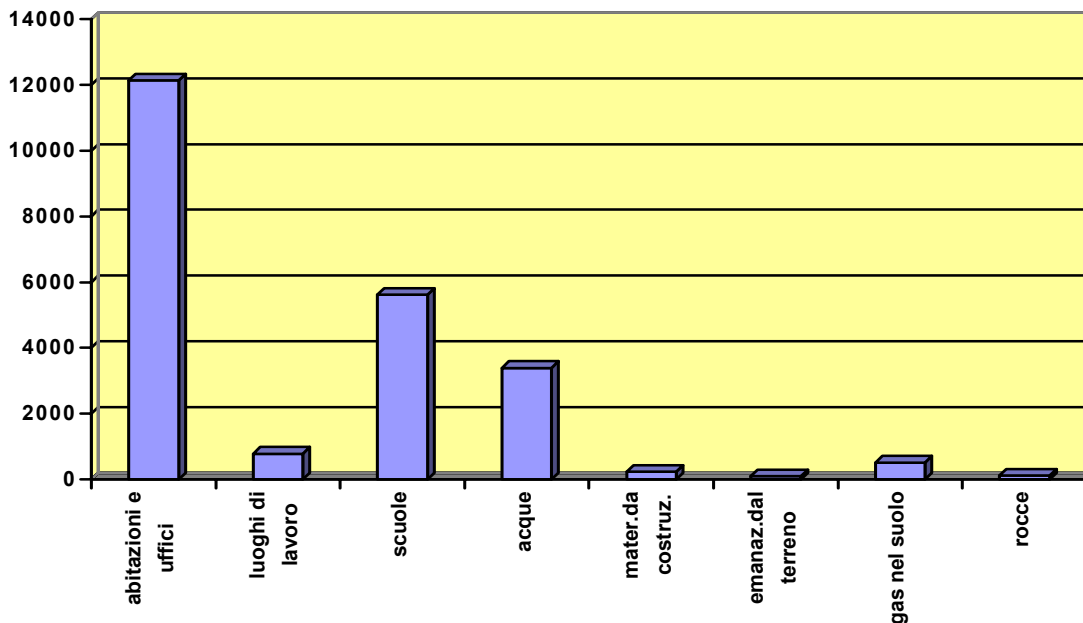


Figura n. A3: Numero complessivo siti di misura per tipologia di indagine

Si osserva che la grande maggioranza dei siti di misura nelle indagini radon a valenza territoriale è costituita da abitazioni-uffici e scuole in cui è stata misurata la concentrazione di radon in aria. Queste indagini sono state condotte su popolazioni di numerosità distribuita secondo quanto riportato in Figura n. A4.

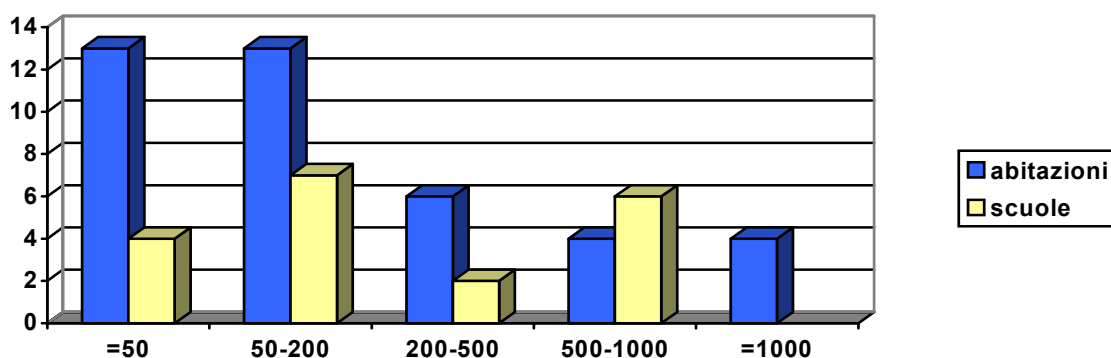


Figura n. A4: Numerosità delle popolazioni considerate per le campagne di misura di concentrazione di radon in aria indoor in abitazioni e scuole.

I metodi di misura utilizzati per le misure di concentrazione di radon in aria indoor sono riportati in Figura n. A5. Essa considera le campagne di misura in ambiente residenziale, nelle scuole e nei luoghi di lavoro.

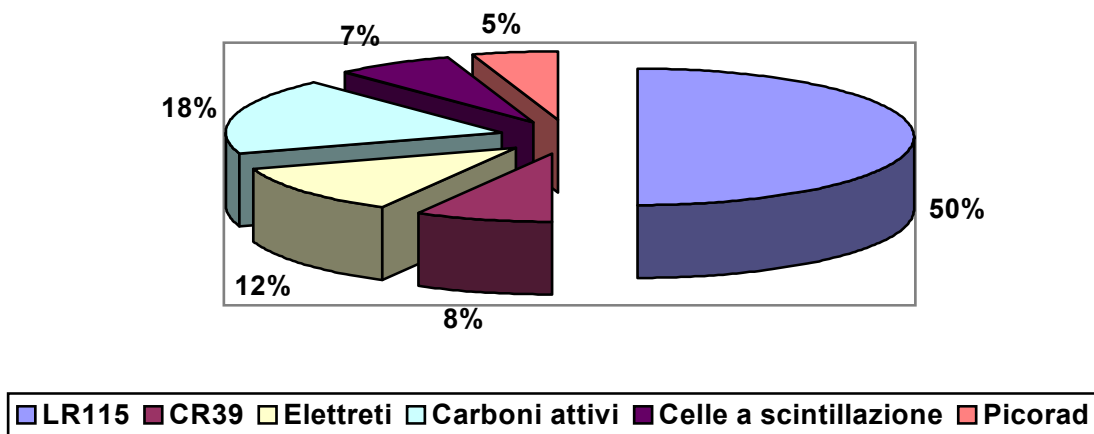


Figura n. A5: Metodi utilizzati per le misure di concentrazione di radon in aria indoor.

Si osserva che la metà delle campagne di misura a valenza territoriale sono state condotte con l'utilizzo di rivelatori a tracce nucleari su film sottile LR-115. Il numero complessivo di attività censite (in aggiunta all'indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni) è di 93.

Allegato B

1. STRUMENTAZIONE PASSIVA

Normalmente la strumentazione viene definita passiva quando non necessita di essere alimentata da corrente elettrica. Si distinguono principalmente le seguenti categorie di rivelatori passivi: rivelatori a tracce nucleari e camere a ionizzazione ad elettret. Il documento “Linee Guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei” individua in tali tecniche di misura quelle in grado di adempiere alle richieste avanzate dalla normativa, fatta salva l’adozione di quelle configurazioni più comunemente impiegate e conosciute, sottoposte negli ultimi anni a diversi interconfronti svolti presso il National Radiological Protection Board - UK (le caratteristiche dei sistemi di misura possono essere reperite nel sito internet dell’ente www.nrpb.org).

1.1 Rivelatori a tracce nucleari (dosimetri radon)

I rivelatori a tracce nucleari sono essenzialmente particolari tipi di materiali plastici. Esistono in commercio diversi materiali sensibili che possono essere impiegati per questo uso tra i quali, ad esempio: LR-115 e CN-85 (nitrato di cellulosa), CR-39 (poliallildiglicol carbonato), Makrofol (policarbonato).

Questi materiali sono inseriti in opportuni contenitori chiamati dispositivi di campionamento; ve ne sono di forme e dimensioni diverse, sempre comunque con un volume di ingombro piuttosto contenuto (dell’ordine di pochi centimetri cubi), estremamente maneggevoli e leggeri.

La procedura di utilizzo per l’utente è alquanto semplice: i dispositivi di campionamento contenenti i materiali sensibili sono posizionati all’interno del locale da monitorare, eventualmente attivati e lasciati nel punto di indagine per il tempo stabilito. Il radon penetra in questi dispositivi per diffusione o per permeazione e produce, per effetto del suo decadimento, una serie di radiazioni alfa che sono registrate dai materiali sensibili. 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. 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. Mentre in molti materiali gli ioni si ricombinano e non rimane alcun segno del passaggio della radiazione, nel caso di questi materiali dielettrici (materiali plastici) tali processi producono, in determinate condizioni, una rottura permanente dei legami molecolari, lasciando quindi una traccia del loro passaggio. Queste tracce non sono visibili ad occhio nudo, essendo dell’ordine di alcune decine di nanometri (millesimi 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.

Al termine dell’esposizione i dispositivi sono riconsegnati al laboratorio di analisi utilizzando nella fase di trasporto alcune accortezze come l’attivazione di congegni

connessi al dosimetro stesso o l'uso di particolari custodie in materiale non permeabile al radon (questo per evitare esposizioni aggiuntive a quelle del locale monitorato).

Il laboratorio provvede quindi allo sviluppo chimico del rivelatore e al conteggio delle tracce; dal conteggio del numero di tracce che si sviluppano, proporzionale alla concentrazione di radon presente nell'ambiente in cui il materiale è stato esposto e al tempo di esposizione, è possibile ricavare il valore della concentrazione di radon specifico del locale monitorato durante il periodo di misura.

Questa tecnica di misura è stata ampiamente studiata ed offre un accettabile grado di affidabilità. La sensibilità dei rivelatori a tracce nucleari è in genere molto elevata ed indicata per misurare anche concentrazioni di radon di poche decine di Bq/m³. Il sistema è indicato per tempi di esposizione superiori al mese fino ad un massimo, indicativamente, di un anno.

Parametri influenti: per l'utilizzo di questo tipo di dosimetro va posta attenzione presso l'organismo di misura ad alcune condizioni per quanto concerne lo stoccaggio del materiale plastico prima della sua esposizione. I dosimetri devono essere riposti all'interno di custodie in materiale a bassa permeabilità al radon.

1.2 Camere a ionizzazione ad elettrete

Il suo funzionamento si basa sull'utilizzo di una camera a ionizzazione di materiale plastico conduttore e di un elettrete costituito da un disco di teflon carico elettrostaticamente in modo permanente. Il gas radon diffonde all'interno della camera a ionizzazione al cui ingresso è posto un filtro per impedire l'entrata dei prodotti di decadimento del radon già presenti nell'ambiente di misura. Per effetto del campo elettrostatico prodotto dall'elettrete all'interno della camera a ionizzazione gli ioni negativi, generati dal decadimento del radon e raccolti dall'elettrete, provocano una diminuzione della carica elettrostatica mentre gli ioni positivi vengono raccolti e neutralizzati dalle pareti della camera. La differenza di carica elettrostatica dell'elettrete, misurata prima e dopo il posizionamento del dosimetro, risulta proporzionale alla concentrazione di radon nell'ambiente di misura e al tempo di esposizione.

La sensibilità dell'elettrete è in genere molto elevata ed indicata per misurare anche concentrazioni di radon di poche decine di Bq/m³. Si possono combinare diversi tipi di elettreti con camere di diverso volume in funzione della sensibilità e dei tempi di misura che si vogliono ottenere. Il sistema è indicato per brevi (alcuni giorni) e lunghi tempi (mesi) di esposizione.

Parametri influenti: per l'utilizzo di questo tipo di dosimetro, va posta attenzione ad alcune condizioni per quanto concerne la manipolazione e le condizioni di misura:

- lo strumento di lettura del potenziale superficiale degli elettreti (voltmetro) va tenuto in ambienti a bassa umidità e normali condizioni di temperatura;
- la superficie dell'elettrete non va toccata e deve risultare priva di polvere (va eventualmente pulita con getti di aria pura);
- il dosimetro ad elettrete è sensibile al fondo gamma dell'ambiente da misurare; al risultato va quindi sottratta la concentrazione di radon equivalente dovuta alla radiazione gamma;
- va considerato un fattore correttivo che tiene conto dell'altitudine del luogo di misura.

1.3 Canestri con carbone attivo

Si tratta di piccoli contenitori con carbone attivo, che sono in grado di assorbire una parte del radon presente nell'ambiente di misura. Alla fine del periodo di esposizione (non più di una settimana), deve essere rapidamente misurato in laboratorio o per mezzo di tecniche di scintillazione liquida o di spettrometria gamma.

La sensibilità dei canestri è in genere molto elevata ed indicata per misurare anche concentrazioni di radon di poche decine di Bq/m³.

Parametri influenti: il sistema è particolarmente sensibile all'umidità.

Tale tecnica di misura è ritenuta ai giorni nostri piuttosto precaria ed è scarsamente impiegata.

2. STRUMENTAZIONE ATTIVA

Normalmente la strumentazione viene definita attiva quando necessita di essere alimentata da corrente elettrica tramite batteria interna o collegamento diretto alla rete.

Si distinguono principalmente le seguenti categorie di strumenti attivi:

- camere a ionizzazione: il radon si diffonde all'interno di un determinato volume e decadendo ionizza l'aria. Gli ioni prodotti vengono quindi attratti da un catodo, collegato ad un sistema elettronico che registra le variazioni di carica e le traduce nel valore di concentrazione di radon in aria;
- camere a scintillazione: la misura avviene grazie ad un apposito contenitore (cella) le cui pareti interne sono ricoperte da solfuro di zinco. In tale cella viene raccolta l'aria da esaminare. Il materiale che ricopre l'interno della cella è detto scintillante perché se colpito dalle particelle alfa del radon emette dei fotoni. La cella deve essere quindi accoppiata ad un tubo detto fotomoltiplicatore che trasforma i fotoni in segnale elettrico. Da tale segnale si ricava l'informazione sulla concentrazione di attività di radon in aria;
- dispositivi a barriera di superficie: l'aria dell'ambiente di misura viene campionata su di un apposito filtro, posizionato all'interno dello strumento di misura. Di fronte al filtro è posto un rivelatore a barriera di superficie che dopo un determinato tempo registra le **particelle alfa (G)** emesse dal radon e con un algoritmo di calcolo ricava la concentrazione di attività di radon in aria.

La maggioranza dei modelli prevede un certo numero di accessori opzionali, come ad esempio:

- l'unità per la misura del radon nel suolo;
- l'unità per la misura del radon in acqua;
- l'unità per l'emanazione del radon dai materiali da costruzione;
- il misuratore della progenie alfa-emittente del radon (Po218-Po214);

La sensibilità di questi sistemi è in genere molto elevata ed indicata per misurare anche concentrazioni di radon di pochi Bq/m³.

Parametri influenti:

- riguardo alla camere a ionizzazione: a parte la sensibilità al fondo gamma ambiente non vi sono particolari influenze. Va posta attenzione a situazioni con elevata umidità ed estrema polverosità;
- riguardo alla scintillazione: va posta attenzione a situazioni con elevata umidità ed estrema polverosità.

GLOSSARIO

Attività: numero di disintegrazioni spontanee di un dato radionuclide nell'unità di tempo.

Bq: simbolo del "Becquerel" unità di misura dell'attività.

Bq/m³: unità di misura della concentrazione di attività.

Concentrazione di attività: è la grandezza che esprime l'attività di un dato radionuclide nell'unità di volume.

Dosimetro per il radon: si tratta di un dispositivo in grado di rivelare le particelle emesse dal radon e permette di misurare la concentrazione di attività radon in un dato ambiente; la denominazione "dosimetro" deriva dal fatto che dalla misura della concentrazione di attività radon è possibile valutare la dose: la grandezza direttamente connessa con gli effetti sanitari delle radiazioni (si esprime in Sv/h).

Esposizione: è la misura integrata nel tempo della concentrazione di attività del radon. Si esprime in Bqh/m³.

Livello d'azione: valore di concentrazione di attività di radon in aria o di dose efficace, il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio che riducano tale grandezza a livelli più bassi del valore fissato.

Mappa del radon: definizione su base cartografica dei valori di concentrazione di radon ipotizzabili in ambienti confinati con determinate caratteristiche costruttive, stimati elaborando, con criteri statistici e modelli matematici, i dati sul radon in abitazioni campione, acquisiti tramite opportune campagne di misura (il D.Lvo 241/00 prevede in tal senso la definizione delle aree ad elevato rischio di alte concentrazioni radon - prone areas).

Particelle alfa: particella costituita da due protoni e due neutroni. Il radon emette una particella alfa.

Radionuclide: è un atomo che possiede la proprietà di emettere radiazioni.

Radon e prodotti di decadimento a vita breve (figli del radon): il radon è un elemento radioattivo e come tale decade in un altro elemento il Polonio 218. Il Polonio 218, anch'esso radiattivo, a sua volta decade nel Piombo 214 e successivamente nel Bismuto 214, nel Polonio 214 e nel Piombo 210.

Il radon ha un'emivita di circa 4 giorni mentre i suoi prodotti di decadimento fino al Piombo 210 escluso, hanno un'emivita non superiore a qualche decina di minuti e per tale ragione sono detti figli a vita breve del radon. Il Pb 210 ha infatti un'emivita di circa 22 anni.

Il radon a sua volta è un prodotto di decadimento del radio 226. In pratica il radon ed i suoi prodotti di decadimento a vita breve fanno parte della catena di decadimento dell'Uranio 238.

Radon indoor: concentrazione di attività in un luogo confinato (abitazione, luogo di lavoro, ecc.)

Radon outdoor: concentrazione d'attività radon all'aria aperta.

Sensibilità: è un parametro usato per indicare in uno strumento il valore minimo misurabile.

Tempo di decadimento o emivita: è il tempo che intercorre perché un certo quantitativo di radionuclide si riduca della metà. Per il radon-222 il tempo di decadimento è 3,82 giorni.

BIBLIOGRAFIA:

[1] WHO-IARC (World Health Organization - International Agency for Research on Cancer). *IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans: man made mineral fibres and Radon. IARC Monograph Vol.43, Lyon, France:1988.*

[2] NRPB (National Radiological Protection Board). *Health Risks from Radon, ISBN 0-85951-449-8;2000.*

[3] BEIR-VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon National Research Council). *Health Effects of Exposure to Radon. National Academy Press, Washington, D.C.; 1999.*

[4] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°136 del 13 giugno 1995, *Decreto Legislativo n°230 del 17 marzo 1995.*

[5] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°203 del 31 agosto 2000, *Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000.*

[6] Commissione delle Comunità Europee, *Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996, G.U. delle Comunità Europee L159 del 29 giugno 1996.*

[7] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°276 del 27/11/2001 S.G., *Accordo del 27 settembre 2001.*

[8] Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, *Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei*, Roma 6 febbraio 2003.

[9] ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, ISTISAN Congressi 34, (1994).

[10] Bochicchio et al., *Results of the representative Italian national survey on radon indoors. Health Phys. 71 (5): 743-750; 1996.*

[11] Bochicchio et al., *Results of the National Survey on Radon Indoors in All the 21 Italian Regions. Proc.Workshop "RADON in the Living Environment", 19-23 April 1999, Athens, Greece, 997-1006; 1999.*