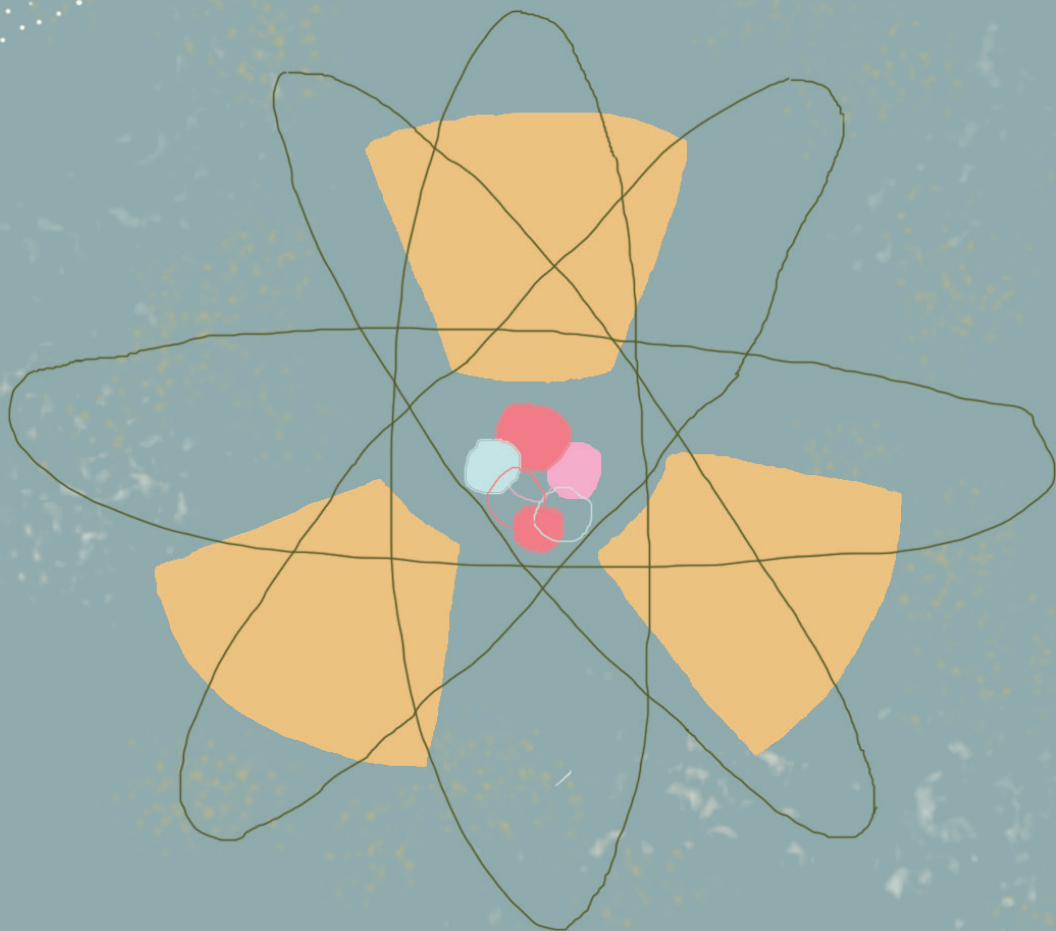


OBIETTIVO SVILUPPO SOSTENIBILE

Il radon: cos'è e come possiamo evitarlo **Vademecum per professionisti e cittadini**



SOMMARIO

1	Cos'è il radon	3
2	Un po' di storia...	5
3	La radioattività	6
4	La radioattività naturale	7
5	La formazione del radon	8
6	Il trasporto del radon	10
7	Il rischio radon	11
8	Il radon indoor	12
9	I meccanismi di ingresso del radon negli edifici	13
10	Le azioni di rimedio	15
11	Il radon in Italia	18
12	Il radon nel mondo e in Europa	21
13	La normativa italiana negli ambienti di lavoro	23
14	Le linee guida del Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano	25
15	La normativa relativa al radon nelle abitazioni	27
16	La misurazione del radon	28
17	Il Servizio Radon ENEA	32

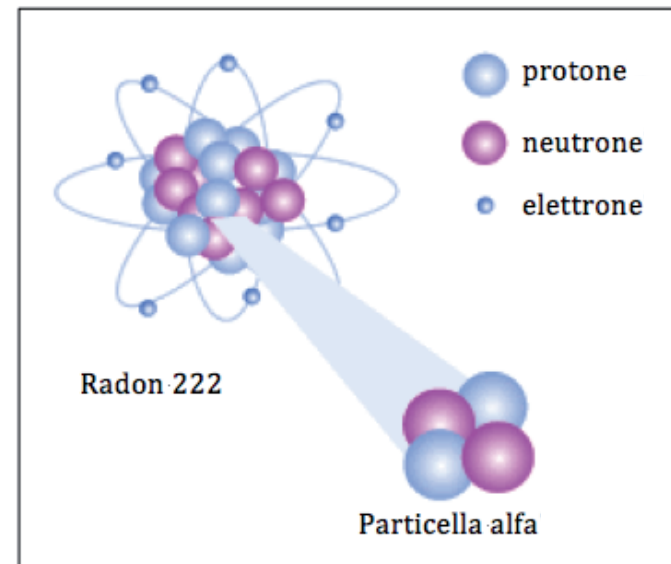
1. Cos'è il radon

Il radon è un gas radioattivo di origine naturale presente sulla Terra in concentrazioni variabili da zona a zona.

Dal punto di vista chimico il radon è un gas nobile, incolore, inodore e chimicamente inerte. *Quindi non si vede, non si sente e non ci si accorge della sua presenza...*

Costituisce la principale sorgente di esposizione alle radiazioni ionizzanti per la popolazione mondiale. La tossicità del radon è causata dalla sua radioattività che viene introdotta e depositata nell'apparato respiratorio insieme all'aria che respiriamo.

L'esposizione al radon è considerata causa di molte migliaia di decessi ogni anno, in quanto è un agente cancerogeno del polmone riconosciuto dallo IARC (l'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità) fin dal 1988.



2. Un po' di storia...

Tabella I - Stima dell'impatto sanitario del radon secondo il report dell'Istituto Superiore di Sanità del 2010

Regione	Casi osservati tumore polmonare	Numero casi stimati			% di casi osservati		
		Stima puntuale	Intervallo di confidenza (95%)		Stima puntuale	Intervallo di confidenza (95%)	
Abruzzo	558	49	16	88	9	3	16
Basilicata	219	10	3	19	5	1	9
Calabria	665	26	8	48	4	1	7
Campania	2822	372	128	642	13	5	23
Emilia Romagna	2886	190	62	346	7	2	12
Friuli Venezia Giulia	775	106	37	182	14	5	23
Lazio	3121	499	175	841	16	6	27
Liguria	1212	69	23	128	6	2	11
Lombardia	5718	862	301	1464	15	5	26
Marche	764	34	11	63	4	1	8
Molise	108	7	2	13	6	2	12
Piemonte	2816	280	94	496	10	3	18
Puglia	1706	131	43	237	8	3	14
Sardegna	746	69	23	124	9	3	17
Sicilia	2054	109	35	201	5	2	10
Toscana	2231	159	52	289	7	2	13
Trentino Alto Adige	401	35	12	62	9	3	16
Umbria	455	39	13	69	8	3	15
Valle d'Aosta	69	5	1	8	7	2	12
Veneto	2808	238	79	428	8	3	15
Italia	32134	3237	1087	5730	10	3	18

Il radon è stato scoperto durante gli studi sulla radioattività all'inizio del secolo, ma i suoi effetti erano già noti nel I secolo A.C. (Tito Lucrezio Caro nel *De Rerum Natura* riporta i danni polmonari subiti da minatori a causa di gas provenienti dal sottosuolo).

Solo alla fine del 1800 si è scoperto che il danno consiste in un tumore polmonare; a metà del 1900 sono iniziate le prime misurazioni di radon indoor e i primi studi radiobiologici che dimostrano il ruolo preminente dei prodotti di decadimento del radon rispetto al radon stesso nell'indurre il tumore polmonare.

Nel 1988 l'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) dichiara che il radon è una delle 75 sostanze cancerogene per l'uomo assieme a benzene, amianto, fumo di tabacco ecc.; in più lo identifica come cancerogeno di gruppo I e lo pone al 2° posto dopo il fumo quale causa di tumore polmonare.



Nel febbraio 1990 viene pubblicata la Raccomandazione 90/143/Euratom relativa all'esposizione del radon nelle abitazioni.

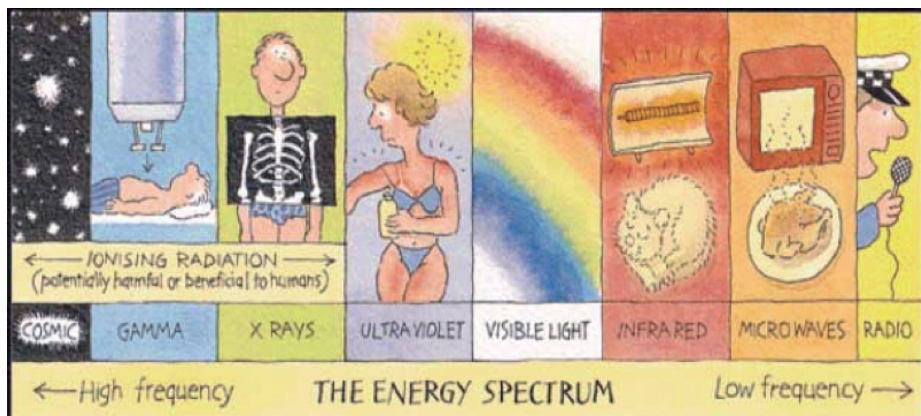
Nel 1996, la Direttiva 96/29/Euratom stabilisce i criteri per la protezione dei lavoratori dall'esposizione alla radioattività naturale - e in particolare al radon - che tutti gli stati membri nel giro di pochi anni inseriranno nella propria legislazione.

Nel 2000 con il D.Lgs. 241/00 l'Italia recepisce la Direttiva europea modificando la norma italiana di radioprotezione con l'introduzione del capo III bis che regola, tra l'altro, il radon nei luoghi di lavoro.

Arrivando ai giorni nostri, nel 2009 viene pubblicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità l'*Handbook on Indoor Radon*, che riassume le ultime scoperte relative all'esposizione al radon negli ambienti di vita.

3. La radioattività

Il termine 'radiazione' viene abitualmente usato per descrivere fenomeni apparentemente assai diversi tra loro, quali l'emissione di luce da una lampada, di calore da una fiamma, di particelle elementari da una sorgente radioattiva ecc.



Caratteristica comune a tutti questi tipi di emissioni è il trasporto di energia nello spazio. Questa energia viene ceduta completamente o in parte quando la radiazione interagisce con la materia.

Numerosi elementi esistenti in natura sono costituiti da atomi i cui nuclei sono energeticamente instabili, e quindi destinati a mutare nel tempo. Il ritorno alla stabilità avviene con emissione di radiazione corpuscolare (α o β), spesso accompagnata da radiazione elettromagnetica (γ).

La 'radioattività' è quel processo naturale per cui gli atomi instabili emettono energia da parte dei nuclei trasformandosi in atomi di un diverso elemento o in stati energetici di minor energia dello stesso elemento.

Il fenomeno è regolato dalla legge del decadimento radioattivo secondo cui, per ogni radionuclide, deve trascorrere un tempo caratteristico (tempo di dimezzamento) affinché il numero di nuclei radioattivi presenti si dimezzi.

4. La radioattività naturale

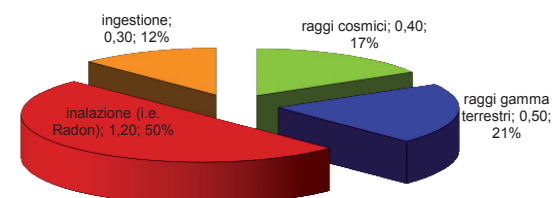
L'uomo è stato esposto da sempre a una radioattività di origine naturale, dovuta principalmente ai radionuclidi presenti nel suolo e nelle rocce, creatisi al momento della formazione della Terra e ancora attivi a causa del loro lungo tempo di decadimento, e ai raggi cosmici.

Nella nostra epoca, alla radioattività naturale cui la popolazione è esposta quotidianamente si somma l'esposizione a sorgenti artificiali di radiazioni, utilizzate in ambito medico, industriale, nella ricerca scientifica o legate all'impiego pacifico dell'energia nucleare o alla conduzione in passato di test nucleari in atmosfera.

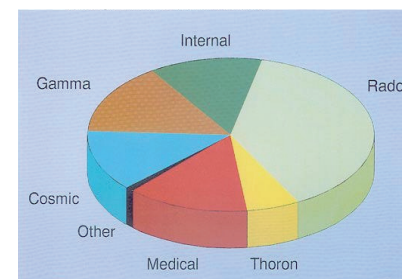
La radioattività di origine naturale, di cui fa parte il radon, determina comunque il maggior contributo alla dose ricevuta dalla popolazione mondiale, come si può vedere nelle immagini seguenti.

La radioattività del radon si misura in Becquerel (Bq), dove un Becquerel corrisponde alla trasformazione di un nucleo atomico al secondo. La concentrazione nell'aria si esprime in Bq/metro cubo (Bq/m^3), indicando così il numero di trasformazioni al secondo che avvengono in un metro cubo d'aria.

Contributi delle sorgenti di radioattività naturale alla dose efficace media mondiale (mSv) (UNSCEAR2000)



Dose media annuale mondiale



5. La formazione del radon

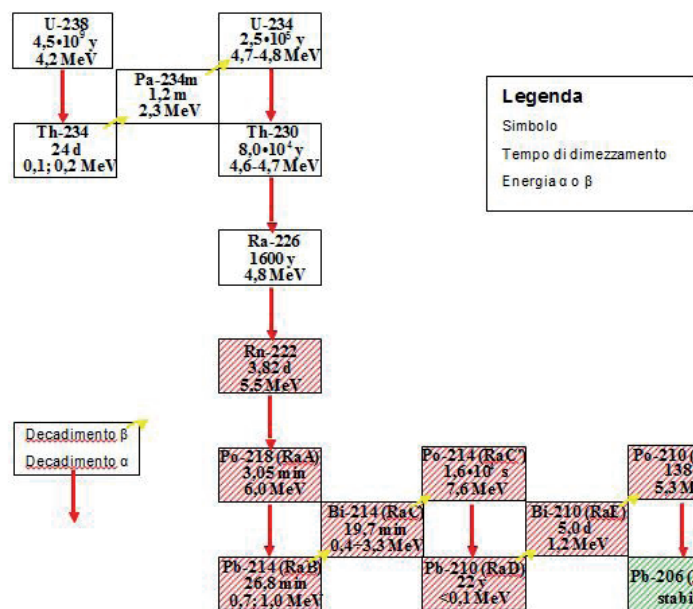
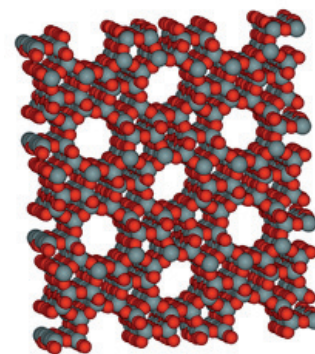
Il radon si forma continuamente in alcune rocce della crosta terrestre in seguito al decadimento del Radio 226 (^{226}Ra), uno dei radioisotopi della catena radioattiva dell'Uranio 238 (^{238}U). L'uranio, al pari del torio e del ^{40}K , è un elemento presente nel magma ricco di silicio, prodotto al momento della formazione della Terra. Questi elementi radioattivi sono ancora presenti a causa del loro lungo tempo di dimezzamento ($4,5 \times 10^9$ anni per l' ^{238}U ; $1,4 \times 10^{10}$ anni per il ^{232}Th e $1,2 \times 10^9$ anni per il ^{40}K). Dal magma si sono formati nel tempo diversi tipi di roccia (graniti, sieniti, rocce vulcaniche ecc.) che contengono i precursori del radon con concentrazioni geograficamente variabili in quanto dipendono dalle modalità di formazione delle caratteristiche geologiche del sito.

Il radon si trasforma spontaneamente in una serie di altri elementi radioattivi, conosciuti come prodotti di decadimento o "figli" del radon.



Le più alte concentrazioni di radon nel suolo si riscontrano in presenza di rocce granitiche ricche di uranio, specialmente se permeabili e fratturate, o in presenza di rocce di origine vulcanica (pozzolane, tufi, lave ecc.). Le zone in corrispondenza di fratture geologiche e faglie sono spesso associate a concentrazioni elevate di radon in quanto questo viene facilmente rimosso dagli strati profondi e trasportato negli strati superiori del suolo. Ma non dimentichiamoci della possibilità di rimozione dell'uranio da parte delle acque sotterranee, da cui deriva la presenza di radon in parecchi centri termali.

Tuttavia, elevate concentrazioni di radon si osservano solo quando il radon riesce a fuoriuscire dal reticolo cristallino dei minerali in cui viene generato. Pensiamo ad un minerale contenente Ra-226, il "padre" del radon: nel decadimento del Ra-226 vengono emessi una particella α e un atomo di radon, che si stacca dal reticolo di roccia e si allontana nella direzione opposta a quella della particella α . La posizione dell'atomo di radon nel reticolo di roccia e la direzione di rinculo del radon determinano la fuoriuscita o meno del radon dal minerale. Nella maggior parte dei casi solo una piccola percentuale del radon prodotto riesce a fuoriuscire dal minerale e a raggiungere distanze anche elevate dal punto in cui è stato generato.



6. Il trasporto del radon

Il radon, una volta fuoriuscito dalla roccia in cui è stato generato, può essere trasportato anche molto lontano, soprattutto per diffusione e grazie ai gas e all'acqua presenti nel suolo. La distanza che il radon può percorrere dipende in gran parte dal suo tempo di dimezzamento. La diffusione consente in genere lo spostamento del radon su distanze dell'ordine di cm o di metri, mentre il trasporto da parte di gas e/o acqua può in alcuni casi determinare migrazioni per distanze molto maggiori.

Dalla roccia il radon può salire in superficie, attraversando lo spessore di suolo sopra il basamento roccioso dove si è formato. In questo passaggio sono fondamentali le caratteristiche del suolo: innanzitutto se è o meno permeabile e poroso, e in second'ordine densità e umidità. Ad esempio terreni argillosi, quindi compatti, a elevata umidità sono associati a basse concentrazioni di radon, mentre in terreni carsici o fratturati si ritrovano alte concentrazioni di radon.

Questo perché il radon, essendo un gas, riesce facilmente a infiltrarsi in qualsiasi spazio vuoto. Una volta arrivato all'interfaccia suolo-atmosfera, il radon può entrare negli edifici o liberarsi nell'aria ambiente.

Il radon che troviamo in atmosfera deriva principalmente dal terreno (80%) e, in maniera minore, dall'acqua presente nel sottosuolo (19%).

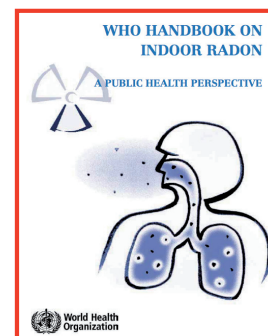
7. Il rischio radon

Gli effetti sanitari dell'esposizione al radon sono stati messi in luce da studi epidemiologici condotti sui minatori delle miniere di uranio, ovvero in situazioni di alti valori di esposizione. Questi studi hanno rivelato una stretta relazione tra esposizione al radon, in particolare ai figli del radon, e incidenza di tumore polmonare. Recentemente, sulla base di nuovi dati epidemiologici, si è potuto provare la significatività della causa di tumore polmonare anche nel tipo di esposizione che si verifica nelle abitazioni, con livelli di concentrazione bassa ($< 200 \text{ Bq/m}^3$). Questi risultati vengono sintetizzati nei messaggi chiave contenuti nell'Handbook che l'OMS ha pubblicato nel 2009, che stanno portando ad un cambiamento delle policy internazionali e nazionali di regolamentazione dell'esposizione al radon.

I radioisotopi che determinano la dose al tessuto polmonare - e quindi il rischio di tumore - sono i prodotti di decadimento del radon che vengono inalati.

Diversamente dal radon, queste sostanze sono chimicamente ed elettricamente reattive, e sono introdotte all'interno dell'organismo attraverso il pulviscolo atmosferico e il vapore acqueo a cui si attaccano o che contribuiscono a formare come nuclei di condensazione. Durante il ciclo respiratorio, una parte consistente di queste sostanze si

deposita lungo le pareti del tratto respiratorio, dove continuano a decadere e a emettere particelle α che possono danneggiare in modo diretto o indiretto il DNA delle cellule. Se il danno non è riparato correttamente dagli appositi meccanismi cellulari, può evolversi dando origine a un processo cancerogeno. La maggior parte dei danni al DNA viene riparata da appositi meccanismi cellulari, ma alcuni di essi possono persistere e nel tempo svilupparsi in un tumore polmonare. Maggiore è la quantità di radon e dei suoi prodotti di decadimento inalata e



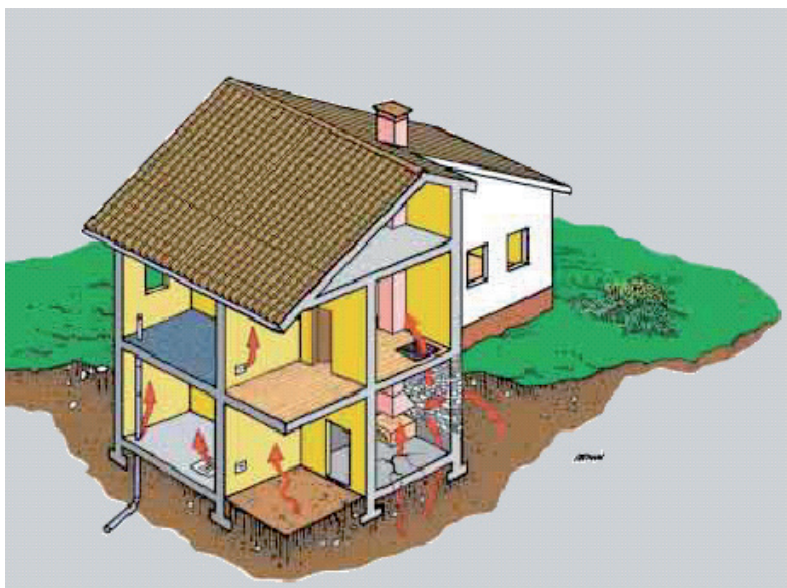
maggiore è la probabilità che qualche danno non venga riparato completamente, e possa quindi svilupparsi successivamente in un tumore, soprattutto se le cellule sono esposte ad altre sostanze cancerogene; particolarmente significativo è il contributo delle sostanze contenute nel fumo di sigaretta, per quanto riguarda i fumatori attivi. Al contrario, il contributo alla dose al polmone dovuto esclusivamente al gas radon è trascurabile, in quanto il gas nobile, una volta inspirato, viene in massima parte eliminato con l'aria espirata e la probabilità che possa decadere mentre si trova nel polmone è piuttosto bassa.

8. Il radon indoor

Le principali fonti di ingresso del radon negli ambienti interni (“indoor”) sono principalmente (in ordine di importanza):

- il suolo circostante e sottostante l’edificio
- i materiali da costruzione (es. tufo, pozzolana, intonaci e cementi, graniti presenti nella costruzione o nei rivestimenti interni)
- l’acqua presente nel sottosuolo (es. prelevata da pozzi artesiani).

La quantità di aria disponibile per la diluizione in un ambiente confinato è limitata rispetto a quella disponibile all’esterno, dove i livelli di concentrazione risultano molto bassi, anche se non zero. Anche per questo motivo, oltre che a causa dei meccanismi tipici di ingresso del radon negli edifici, i livelli di concentrazione di radon indoor sono tipicamente molto maggiori di quelli che si trovano all’esterno (“outdoor”).



9. I meccanismi di ingresso del radon negli edifici

L’ingresso del radon dal suolo negli edifici è principalmente legato al trasporto d’aria per convezione (avvezione), determinato dalla presenza di una forza di risucchio (depressione) e da una più o meno scarsa resistenza al passaggio d’aria (lo stato di infiltrazione). Presentiamo nel seguito, seppur in maniera schematica, questi parametri fondamentali anche ai fini delle azioni di rimedio.

Depressione

Tra i locali dell’edificio e il suolo si viene a creare una depressione, in conseguenza della differenza di temperatura esistente tra i due volumi. È il cosiddetto “effetto camino”, che determina un’aspirazione d’aria (e del radon in essa trasportato) dal suolo all’interno dell’edificio. Quanto più alto è il gradiente di temperatura (la differenza di temperatura diviso lo spessore medio della fondamenta), tanto più marcato sarà l’effetto. Normalmente la concentrazione di radon nei locali è maggiore in inverno e nelle prime ore del mattino ed è minore se il locale non è riscaldato. Questo fenomeno porta alle caratteristiche variazioni periodiche che si riscontrano nell’arco della stagioni e nelle 24 ore. La depressione può venire accentuata da ulteriori elementi, come la presenza di un vano ascensore o le prese d’aria e risente di aperture come camini, finestre, lucernari, scale di accesso al piano interrato nonché da impianti di aspirazione forzata, che provocano un tiraggio aggiuntivo a quello dovuto alla semplice differenza di temperatura.

In certe situazioni, in genere in case isolate, anche l’esposizione a venti di forte intensità può creare delle variazioni di pressione importanti per l’aumento dell’ingresso del radon.

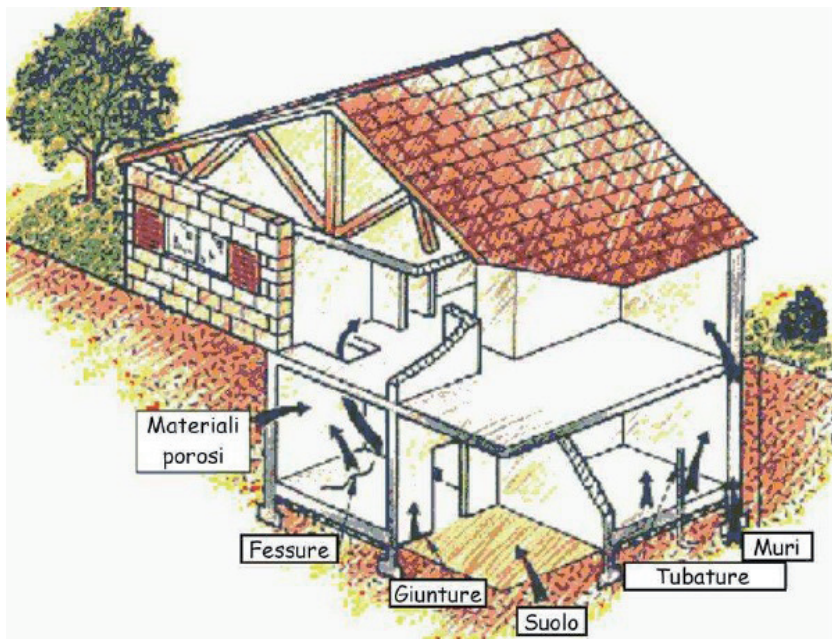


10. Le azioni di rimedio

Infiltrazione

Il livello di infiltrazione condiziona la resistenza al passaggio d'aria contenente radon secondo i meccanismi di risucchio precedentemente descritti, ma in casi limite di importanti fessurazioni permette anche al radon un significativo trasporto per diffusione. L'infiltrazione è legata essenzialmente alla presenza di crepe, fessure e giunti nei pavimenti e nelle pareti, così come di fori di passaggio di cavi, tubazioni (soprattutto in tubi vuoti) e rete di scarico in fognatura. L'infiltrazione può essere accentuata in presenza di:

- pozzetti di ispezione;
- zone critiche di grande estensione come pavimenti naturali in terra battuta, in ghiaia, in lastre di pietra o ciottoli;
- componenti costruttivi permeabili (solai in legno, a laterizi forati, muri in pietra e simili);
- utilizzo di mattoni forati, ad esempio per le pareti della cantina.

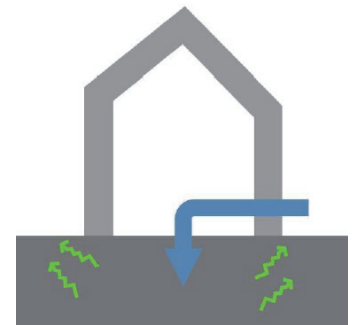
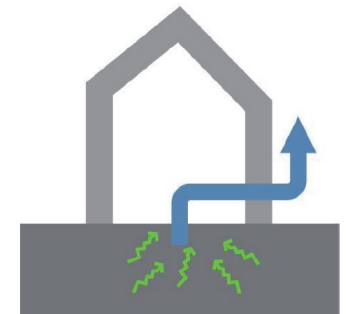


Anche se non è possibile eliminare del tutto il radon dagli ambienti in cui si vive, ci sono diversi modi (con diversa efficacia) per ridurne la concentrazione nei luoghi chiusi, tra cui le seguenti tre classi di intervento:

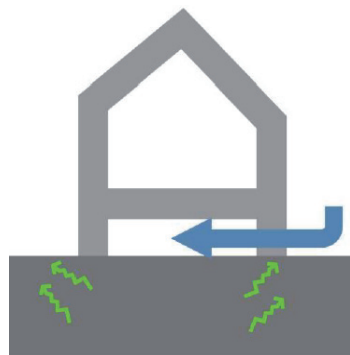
- Depressurizzazione del suolo o alla base dell'edificio
- Pressurizzazione alla base dell'edificio
- Inserimento di barriere impermeabili.

La scelta del tipo di intervento dipende dal caso specifico; va presa tenendo conto di un bilancio costi-benefici e, per quanto riguarda le costruzioni esistenti, dell'eventuale presenza di una ristrutturazione. Siccome è generalmente impossibile rimuovere la sorgente (talvolta si tratta di materiali da costruzione), il principio di base consiste nel deviare il radon prima che entri nel locale chiuso, usando uno o più dei seguenti metodi:

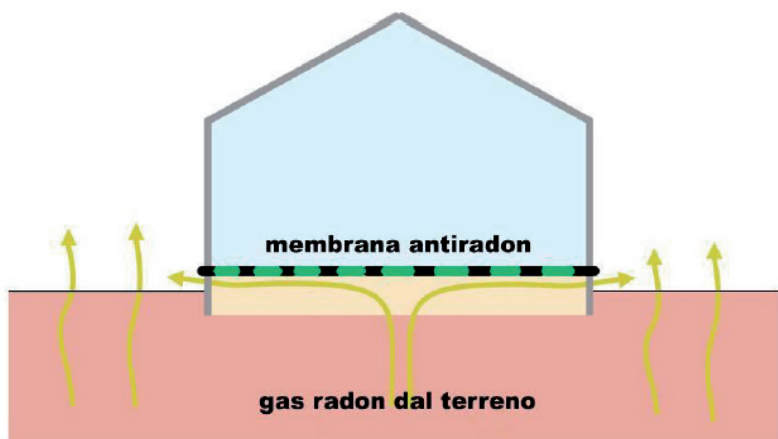
- **Creando una depressione nel suolo sottostante l'edificio** per ridurre l'ingresso del radon dal suolo: normalmente la pressione dell'aria in un edificio è minore rispetto al suolo e questo causa l'ingresso del gas all'interno degli edifici. Se la differenza di pressione tra il suolo e l'edificio viene ridotta, l'ingresso del radon verrà diminuito. Per ottenere buoni risultati, la zona del suolo sottostante l'edificio deve essere mantenuta ad una pressione più bassa utilizzando dei pozzetti di drenaggio con ventilatori con camini sul tetto. A volte è sufficiente il tiraggio naturale, spesso conviene una ventilazione forzata, partendo da pozzetti in posizione centrale, perimetrale o sfruttando vespai presenti sotto il massetto delle fondamenta.
- **Insufflando aria al di sotto dell'edificio** per creare una zona di sovrappressione (l'inverso della tecnica precedente). In questo modo si crea un moto d'aria che tende a contrastare l'effetto risucchio creato dalla casa nei confronti del terreno (per minore pressione interna) e spinge il gas al di fuori del perimetro della costruzione



lasciando che si disperda in atmosfera. Il radon, infatti, non esce dal terreno in pressione ma semplicemente per differenza di pressione fra edificio e terreno. Si tratta quindi della medesima tecnica della depressione nella quale viene semplicemente invertito il flusso del ventilatore sulla canalizzazione. È una tecnica prevalentemente adatta ad edifici esistenti. È possibile pressurizzare anche i locali, ma occorre fare molta attenzione a garantire la sovrappressione con guarnizioni a tenuta d'aria su porte, finestre ecc.



- **Inserendo una membrana impermeabile al radon**, che fornisce un ulteriore elemento di garanzia di prevenzione dell'ingresso del radon all'interno degli edifici, quando è possibile effettuare interventi invasivi su edifici esistenti o come azione preventiva in nuove costruzioni.



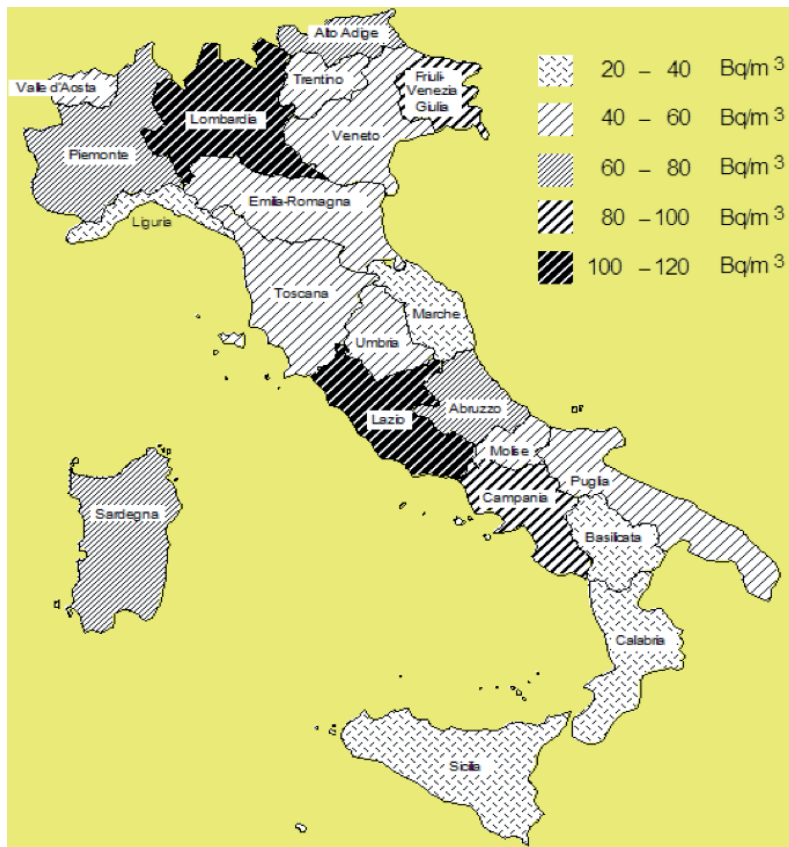
In qualunque situazione d'intervento, in presenza di costruzioni esistenti possono essere presi in considerazione ulteriori minori interventi basati sulle seguenti tecniche.

- Aumentando il ricambio d'aria dei locali siti in prossimità del terreno e facilitando in tal modo la fuoriuscita dell'aria ricca di radon all'esterno tramite la diluizione con aria fresca proveniente dall'esterno. Questo effetto si può ottenere ad esempio aprendo al mattino le finestre; sostituire l'aria ricca di radon presente in un locale con aria esterna può essere un modo immediato ed efficace per ottenere discreti risultati, sia che il radon provenga dal suolo che dalle pareti. Se dopo aver migliorato la ventilazione naturale la concentrazione di radon resta comunque alta è necessario ricorrere a misure più impegnative come la ventilazione meccanica. Negli ambienti lavorativi, dove di solito sono già presenti sistemi di aerazione meccanica, qualora la concentrazione di radon fosse comunque elevata, è necessario eseguire miglioramenti quali il potenziamento o una migliore distribuzione dei canali di ventilazione. Si tratta di una strategia che può avere una sua funzionalità in caso di concentrazioni elevate e in via provvisoria, in attesa di interventi più radicali. Non può essere considerata una tecnica da bonifica definitiva e talora ottiene effetti controproducenti, ad esempio quando l'azione del ventilatore, aspirando aria nell'ambiente, mette in depressione il volume abitato aumentando l'effetto di risucchio nei confronti del terreno.
- Sigillando le superfici di tamponamento degli edifici come i pavimenti o le pareti nel caso che i materiali da costruzione dell'edificio presentino un alto potere di esalazione di radon. Il radon è un gas in grado di fluire attraverso qualunque fessura presente nel basamento che poggia sul suolo. È necessario sigillare crepe e fessure e qualunque altra soluzione di continuità per ridurre la penetrazione di radon. Per edifici con problemi marginali di radon, la sola sigillatura delle fessure può essere sufficiente a risolvere il problema, così come l'utilizzo di vernici o rivestimenti isolanti delle pareti può risultare un altrettanto efficace rimedio.

11. Il radon in Italia

In Italia dal 1989 al 1997 è stata condotta un'indagine sui livelli di concentrazione di radon nelle abitazioni, organizzata dall'APAT (ora ISPRA) e dall'ISS (Istituto Superiore di Sanità), in collaborazione con le strutture regionali competenti, che ha consentito di valutare la concentrazione media annuale di radon nelle abitazioni e di stimare il numero di abitazioni in cui la concentrazione di radon supera determinati livelli. È stato analizzato un campione rappresentativo di 5361 abitazioni su tutto il territorio nazionale.

I risultati dell'indagine hanno evidenziato una concentrazione nazionale annuale media di 70 ± 1 Bq/m³ e la media regionale riportata nell'immagine seguente.



La percentuale di abitazioni con concentrazione maggiore di 200 e 400 Bq/m³ (livelli di azione raccomandati dalla vecchia Raccomandazione dell'Unione Europea - vedi capitolo 15 - per le case di nuova costruzione e per quelle esistenti) è rispettivamente del 4,1 e 0,9%.

Negli ultimi anni, in diverse Regioni italiane sono state intraprese campagne di monitoraggio per affinare la conoscenza dei livelli di concentrazione di radon presenti nel territorio. La situazione è fortemente disomogenea tra le varie Regioni: in alcune sono uscite specifiche delibere che regolamentano le attività relative al radon, altre hanno realizzato campagne di monitoraggio che generalmente coinvolgono anche le ARPA, altre ancora non si sono attivate.

Dal punto di vista legislativo (D.Lgs. 230/95 e s.m.i., vedi capitolo 13) le Regioni hanno il compito di definire le zone con probabilità di alte concentrazioni di radon (*radon prone areas*), sulla base di dati già disponibili e dei risultati di apposite campagne di indagine.

La prima provincia autonoma ad individuare una mappa delle zone a rischio nel proprio territorio è stata la provincia autonoma di Bolzano. Sono poi seguite altre Regioni, tra cui Friuli Venezia Giulia, Veneto, Lombardia, Toscana. Le varie regioni hanno adottato criteri diversi sia per la scelta delle unità territoriali (zone ben individuate sulla base di determinati criteri - statistici, geologici, ecc. - nelle quali fare il monitoraggio) sia per la definizione di area a rischio (o "prone area", zona in cui la concentrazione di radon in un certo numero di abitazioni supera un determinato valore). Al momento solo una regione italiana, la Toscana, ha pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale l'elenco dei 13 comuni identificati come aree a rischio (comuni per i quali la percentuale stimata di abitazioni con concentrazione di radon superiore a 200 Bq/m³ sia pari ad almeno il 10%).

In Italia, è stato elaborato nel 2002 un Piano Nazionale Radon (PNR) con la collaborazione di un gruppo multidisciplinare di esperti, nell'ambito della commissione per l'elaborazione di proposte di intervento sull'inquinamento indoor. Il PNR, che ha avuto il parere favorevole del Consiglio Superiore di Sanità e della Conferenza Stato-Regioni, rappresenta un insieme organico e coordinato di azioni volte alla riduzione del rischio radon (incluse normative, mappature, informazione, formazione). Alla fine del 2005, il PNR ha ricevuto un primo finanziamento dal Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (CCM) del Ministero della Salute per la realizzazione del progetto "Avvio del Piano nazionale radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia".

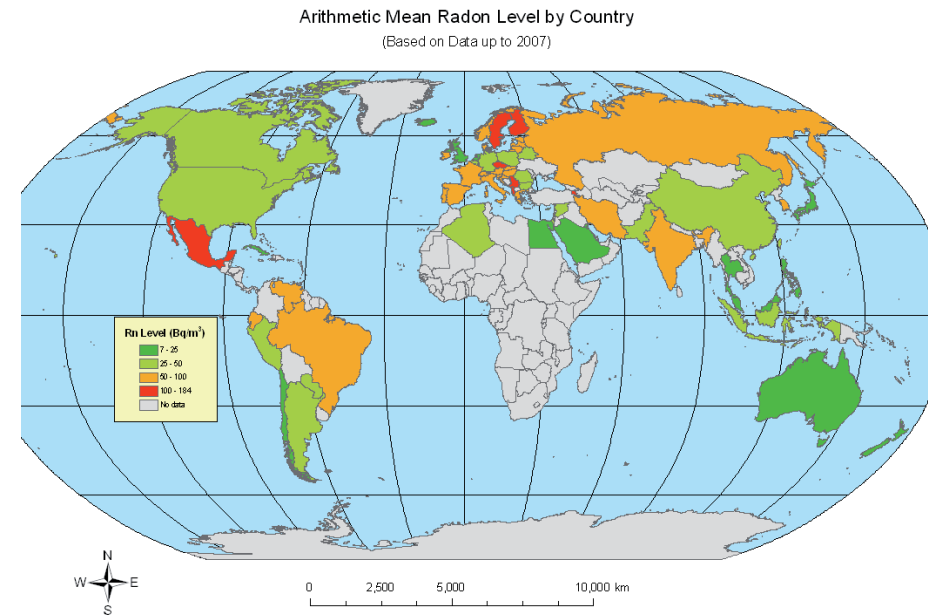
12. Il radon nel mondo e in Europa

A coordinare il progetto è l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), con la collaborazione delle Regioni, dell'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza sul lavoro (ISPESL, ora INAIL), dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT, ora ISPRA).

Il Piano Nazionale Radon punta a realizzare nei prossimi anni, in modo coordinato e condiviso a livello nazionale, il complesso di azioni necessarie per affrontare il "problema radon". Lo scopo del PNR, oltre alla valutazione e riduzione del rischio connesso all'esposizione al radon in Italia, è l'individuazione delle zone e degli edifici con più elevata concentrazione di radon.

In vaste regioni del globo sono state eseguite campagne di indagine tese all'individuazione delle zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon. La mappa mondiale presentata qui sotto mostra, con riferimento all'anno 2007, i valori medi nelle nazioni che hanno effettuato queste valutazioni. Si noti come in certe parti del mondo, specialmente nel continente africano, non vi siano dati disponibili.

La concentrazione media mondiale di radon è 40 Bq/m^3 , come indicato nei rapporti dell'UNSCEAR del 1988 e 2000.

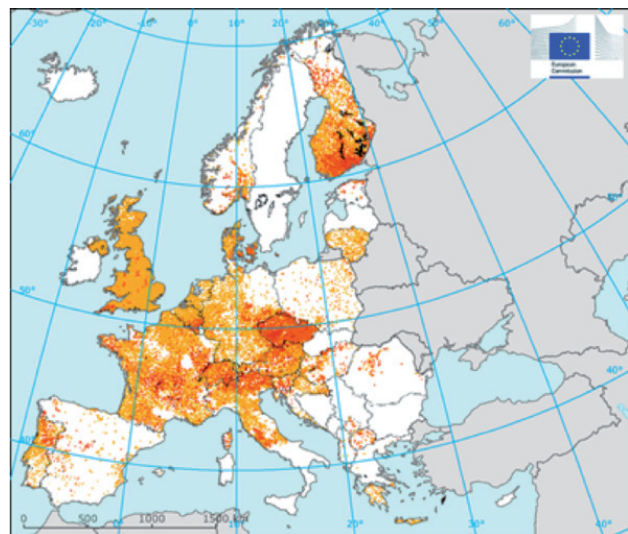


13. La normativa italiana negli ambienti di lavoro

In Europa esiste una lunga tradizione di monitoraggio, indirizzato a individuare le *radon prone area* all'interno delle proprie nazioni, cioè le zone territoriali, individuate con criteri geometrici o geografici o amministrativi, dove risulta particolarmente probabile la presenza di concentrazioni medie significativamente superiori alla media regionale o nazionale.

La figura seguente mostra la distribuzione della concentrazione di radon all'interno delle varie nazioni europee che hanno effettuato queste campagne, che sono comunque in continuo aggiornamento.

A livello europeo, nel 2009 è iniziato il progetto triennale Radon Prevention and Remediation (Radpar), che vede coinvolti esperti di 11 Paesi europei, tra cui l'Italia. A livello mondiale, l'OMS ha creato nel 2005 l'International Radon Project, in cui venti paesi hanno formato una rete di collaborazione per identificare e promuovere programmi per la riduzione dell'impatto del radon sulla salute. Il progetto, di durata triennale, ha avuto come obiettivo principale l'elaborazione del WHO "Handbook on Indoor Radon" (pubblicato nel 2009), contenente linee guida e raccomandazioni sui diversi aspetti della problematica radon con l'intento di favorire una strategia comune nei diversi Stati.



Mapa del Radon indoor in Europa. Dicembre 2011

Media Aritmetica (Bq/m³)

< 100
da 100 a 300
da 300 a 1000
> 1000

Media aritmetica delle concentrazioni di radon indoor in ambienti al piano terra, con celle di griglia 10x10 km.

Fonte: European Commission, DG Joint Research Center (JRC), Institute for Transuranium Elements, REM action.

Considerando il quadro normativo, nel 1996 l'Unione Europea, con la direttiva 96/29/EURATOM, ha stabilito i criteri per la protezione dei lavoratori e della popolazione dall'esposizione alla radioattività naturale e in particolare al radon. Detta direttiva è stata recepita in Italia il 31 agosto 2000 con il D.Lgs. 241/00, che modifica e integra il precedente D.Lgs. 230/95. Tra le novità, è interessante sottolineare l'introduzione del Capo III-bis, che riguarda l'esposizione dei lavoratori a sorgenti naturali di radiazioni.

Da rimarcare che la normativa italiana non si applica alle abitazioni, ma solo ai luoghi di lavoro. Il 17/01/2014 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale la nuova Direttiva Europea (2013/59/Euratom, vedi capitolo 15) che abbassa i limiti rispetto alla precedente. Fino al suo recepimento da parte dell'Italia (nel 2018) vale tuttavia quanto indicato nel D.Lgs. 230/95 e s.m.i.

Le attività lavorative oggetto della norma (D.Lgs. 239/95 e s.m.i.) sono:

- attività che si svolgono in luoghi di lavoro sotterranei,
- attività che si svolgono in zone ad alta concentrazione di radon (*prone area*),
- attività che utilizzano materiali che contengono radionuclidi naturali,
- attività che producono rifiuti di lavorazione contenenti radionuclidi naturali,
- attività termali e nelle miniere non uranifere,
- attività lavorative su aerei per quanto riguarda il personale navigante.

Cosa deve fare l'esercente?

Per le prime due tipologie di attività (nelle quali il radon costituisce la principale fonte di radioattività naturale) l'esercente deve misurare la concentrazione di radon per la durata di un intero anno solare; il livello d'azione è fissato in un valore di concentrazione medio annuale di radon pari a 500 Bq/m³; in caso di superamento, se i lavoratori sono esposti ad una dose superiore a 3 mSv, l'esercente deve effettuare azioni di rimedio atte ad abbassare il livello di concentrazione e ripetere le misure; se si mantengono le condizioni di superamento del livello deve sottoporre i lavoratori alla sorveglianza fisica e medica e adottare tutti i provvedimenti previsti al capo VIII del D.Lgs. 230/95; nel caso invece venga superato l'80% del livello d'azione (400 Bq/m³) deve ripetere le misure l'anno successivo.

I limiti di tempo imposti dalla norma sono scaduti da parecchi anni: per la prima tipologia di attività, l'esercente aveva 24 mesi di tempo a partire dal 1/03/2002 (o dall'inizio dell'attività) per misurare la concentrazione media annuale di radon; mentre per i luoghi di lavoro situati nelle *prone area* (zone ad elevata concentrazione di radon) aveva tempo fino al 31/8/2007.

Per le restanti attività (escluse quelle su aerei) l'esercente aveva 24 mesi di tempo, a partire dal 1/09/2003 (o dall'inizio dell'attività) per valutare la dose efficace; il livello d'azione è fissato in 1 mSv per i lavoratori e 0,3 mSv per la popolazione.

14. Le linee guida del Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano

Chi può effettuare le misurazioni?

Per le prime due tipologie di attività la misura della concentrazione media annuale di radon deve essere effettuata da servizi riconosciuti, ai sensi dell'art. 107, comma 3 del D.Lgs. 230/95. A tutt'oggi i due enti (ISPRA, ex APAT, e INAIL, ex ISPESL) incaricati di indicare i servizi idonei, non hanno indicato alcuna lista.

Per ottenere tale riconoscimento è essenziale che un Servizio di valutazione del radon garantisca un'adeguata qualità, quindi un'adeguata accuratezza e ripetibilità della misura di concentrazione di radon; a tal fine è fondamentale che stabilisca e mantenga un adeguato programma di garanzia di qualità che comprende controlli di qualità periodici su tutte le fasi che costituiscono il Servizio, tarature, interconfronti che vengano eseguiti secondo adeguate procedure operative scritte, documentate e registrate; l'accreditamento secondo la norma EN ISO/IEC 17025/2000 è considerato una condizione sufficiente.

Cosa manca per il completamento della norma?

Le misurazioni devono essere effettuate secondo linee guida, che si prevedeva dovessero essere elaborate dalla Sezione Speciale della Commissione Tecnica (art. 9 D.Lgs. 230 e s.m.i.), che doveva fissare anche i criteri per l'individuazione delle *prone area*. La Sezione Speciale della Commissione Tecnica non si è mai insediata. In aggiunta, con la Legge 26 maggio 2011 n. 75, di conversione del Decreto Legge n. 34 del 31 marzo 2011 (Omnibus), la Commissione Tecnica è stata abrogata, e quindi anche la Sezione Speciale.

Per ovviare a tale mancanza, nel 2002 la Conferenza dei Presidenti delle Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano ha approvato le "Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei". Questo documento, approvato il 6 febbraio 2003, ha dato alcune indicazioni tecniche di riferimento per le strutture che effettuano le misure di concentrazione di radon e per le strutture di vigilanza sul territorio.

Metodi di misurazione

I sistemi di misurazione da utilizzare (vedi capitolo 16) sono quelli passivi a integrazione e le tecniche di misura idonee sono quelle che utilizzano un rivelatore a tracce nucleari (LR-115, CR-39 e policarbonato) e quelle che utilizzano un rivelatore a elettretti. La durata della misurazione non deve essere inferiore a un anno. Infatti, poiché in Italia non sono attualmente disponibili le conoscenze sui fattori di correzione stagionali necessari per poter effettuare misure di durata inferiore all'anno, le tecniche di misura da utilizzare devono consentire di coprire interamente l'arco di un anno solare, mediante una o più esposizioni.

Indicazioni per il monitoraggio

La misura deve essere effettuata in tutti i luoghi di lavoro sotterranei, cioè nei locali con almeno tre pareti interamente sotto il piano di campagna, indipendentemente dal fatto che queste siano a diretto contatto con il terreno circostante. Tale definizione include sia i locali che hanno un'apertura verso l'esterno che i locali circondati da un'intercapedine areata.

In linea di massima le misure non vanno effettuate in locali che non siano occupati con continuità dai lavoratori, ad es. locali di servizio, spogliatoi e ambienti di passaggio come corridoi e altro. Altri ambienti, come magazzini, bunker delle banche, centrali termiche ecc., nei quali il personale entra senza occupare una vera e propria postazione di lavoro, ma che rimangono chiusi a lungo, non dovranno essere sottoposti a misura a meno che il lavoratore non vi trascorra una frazione di tempo significativa, che viene indicativamente fissata in 10 ore al mese.

Numero punti di misurazione

In generale le misure devono essere effettuate in ogni locale fisicamente separato, a causa della variabilità della concentrazione di radon anche fra ambienti contigui, evidenziata da numerosi studi. Nel caso di luoghi di lavoro in cui vi sia un numero elevato (dell'ordine delle decine) di ambienti "analoghi", sulla base di considerazioni riguardanti le caratteristiche della costruzione e dell'uso degli ambienti, compresa la ventilazione e il tipo di attività, potrà essere giustificata la riduzione del numero di misure, e quindi l'adozione di una strategia di campionamento.

15. La normativa relativa al radon nelle abitazioni

Tale scelta dovrà essere oggetto di una relazione che resti a disposizione degli organi di vigilanza e dovrà necessariamente essere sottoposta a verifica: se la media dei valori misurati risulterà sostanzialmente inferiore al livello d'azione e la loro variabilità contenuta, l'operazione sarà giustificata anche a posteriori; in caso contrario, sarà necessario estendere in una seconda fase il programma di misura a tutti i locali. Sul numero di punti da controllare negli ambienti di lavoro si utilizza il criterio basato sulla dimensione del locale presentato nella Tabella 2.

Tabella 2 - Numero di misure raccomandato dal Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano in funzione dell'ampiezza del locale

CATEGORIA	NUMERO DI MISURE
Locali separati con superficie < 50 m ²	Una misura in ciascun locale
Ambienti di medie e grandi dimensioni	Una misura ogni 100 m ² di superficie

Posizionamento dispositivi di misurazione

I dispositivi devono essere posizionati ad un'altezza compresa tra circa 1 e 3 metri, in un'area lontana da fonti di calore e di ricambio d'aria.

Nel caso di particolari luoghi di lavoro sotterranei (come tunnel, sottovie, grotte e catacombe) le misure dovranno essere eseguite nei luoghi dove normalmente stazionano gli operatori addetti, ad esempio lungo il percorso di visita guidata nelle grotte/catacombe e nelle postazioni di guida dei macchinisti nel caso delle metropolitane cittadine.

A livello europeo il 21/02/1990 era stata emanata la Raccomandazione 90/143/Euratom che indicava come limiti:

- concentrazione media annuale di radon = 400 Bq/m³ per edifici esistenti (dose efficace di 20 mSv/anno);
- concentrazione media annuale di radon = 200 Bq/m³ per edifici da costruire (dose efficace di 10 mSv/anno).

L'Italia, a differenza di altri paesi europei, non ha mai recepito questa raccomandazione, né adottato altra norma specifica per il radon nelle abitazioni. In alcuni casi, però, i valori specificati dalla raccomandazione CEC 90/143 sono stati utilizzati come riferimento. A seguito dei risultati dei numerosi studi epidemiologici effettuati negli ultimi 20 anni e della conseguente rivalutazione del rischio di tumore polmonare associato all'esposizione al radon nelle abitazioni, nel 2009 l'OMS ha pubblicato il rapporto WHO "Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective", nel quale si raccomanda che i paesi adottino possibilmente un livello di riferimento di 100 Bq/m³, o comunque non superiore a 300 Bq/m³.

Il rapporto dell'OMS ha avuto un notevole impatto nel processo di revisione delle normative internazionali. In particolare, per quanto riguarda l'Europa, il 17 gennaio di quest'anno è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'UE la nuova Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5/12/2013, che l'Italia, entro 4 anni, sarà obbligata a recepire. La nuova Direttiva contiene, per la prima volta, obblighi per i Paesi Membri dell'Unione Europea relativi alla protezione dal radon nelle abitazioni, nonché una più stringente protezione dal radon nei luoghi di lavoro. Per le abitazioni indica un livello di concentrazione media annuale di radon non superiore a 300 Bq/m³.

L'Italia avrà quindi entro quattro anni una normativa nazionale sul radon nelle abitazioni tramite il recepimento della direttiva europea 2013/59/Euratom sopra citata.

Altri Paesi hanno già delle normative in materia, anche se spesso a carattere di semplice raccomandazione, nelle quali sono adottati come livelli di azione valori compresi tra 150 e 1000 Bq/m³; per esempio: Stati Uniti 150 Bq/m³, Regno Unito e Irlanda 200 Bq/m³, Germania 250 Bq/m³, Svezia 400 Bq/m³. Molti di questi Paesi dovranno a breve aggiornare le loro normative, a seguito dell'emanazione della citata direttiva europea e di un'analogia normativa internazionale per i Paesi non europei.

16. La misurazione del radon

Come detto nel capitolo 7, la dose al tessuto polmonare, quindi il rischio di contrarre un tumore polmonare è causato dai prodotti di decadimento del radon. Misurare i prodotti di decadimento del radon è molto difficile e costoso, al contrario la misurazione del radon è molto più semplice ed economica.

Generalmente quindi si misura il radon e attraverso l'ipotesi valida per quasi tutti gli ambienti di vita (fattore di equilibrio $F=0,4$) si ricava un valore di dose efficace, legato ai prodotti di decadimento del radon.

Esistono due tipi di campionamento del radon: *attivo* e *passivo*.

Nel caso di campionamento attivo il campione d'aria ambientale (contenente il radon da misurare) viene prelevato mediante dispositivi che richiedono l'apporto di energia esterna al sistema (es. pompe da vuoto o volumetriche).

Nel campionamento passivo, invece, l'aria ambientale viene prelevata mediante dispositivi che non richiedono l'apporto di energia esterna al sistema (es. per diffusione e/o permeazione).

In entrambi i casi, per evitare l'ingresso dei prodotti di decadimento del radon, l'aria entra nel dispositivo di campionamento attraverso un sistema di abbattimento del particolato, realizzabile ad es. mediante filtri ad alta efficienza o membrane di diffusione/permeazione. A seconda della durata, si può scegliere il *campionamento istantaneo*, in *continuo* e a *integrazione*.

Il campionamento istantaneo, effettuato con un unico prelievo di durata inferiore a 1 h, è utile per caratterizzare puntualmente vie di accesso o di riflusso dell'aria, ma è da utilizzare con cautela in quanto la concentrazione del radon è variabile sia su base giornaliera che stagionale.

Il campionamento in continuo, effettuato mediante una serie di prelievi contigui tra loro, è utile per rilevare le variazioni temporali della concentrazione di radon.

Il campionamento a integrazione, infine, è effettuato senza soluzione di continuità temporale per periodi compresi da diversi giorni fino a un anno. Fornisce il valore dell'esposizione e quindi della concentrazione al radon media nel periodo monitorato.



Esempio di strumento attivo commerciale



DPT NRPB/SSI



DPT Karlsruhe



Elettrete



DPT Radosys



DPT ENEA IRP



Carbone attivo Picorad



Canestro a carbone attivo



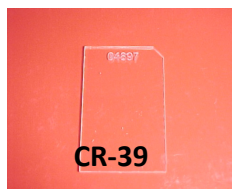
DPT ANPA

Insieme di diverse tipologie di dispositivi passivi (DPT = Dispositivo Passivo a Tracce)

La misurazione del radon secondo la normativa italiana

Per misurare la concentrazione di radon ai sensi di legge è necessario scegliere la tecnica passiva, utilizzando rivelatori a tracce nucleari o elettreti.

I primi sono materiali organici sensibili alle particelle α (es. nitrato di cellulosa, (LRI 15, CN85), policarbonato (Lexan, Makrofol) e poliallil di-glicol carbonato (PADC o CR-39), il più sensibile alle α di un largo range di energie). L'interazione delle particelle α con il materiale organico causa un danno ai legami chimici del polimero, formando la cosiddetta "traccia latente". Questo tipo di traccia non è visibile se non con particolari tecniche di microscopia elettronica. Pertanto per rendere la traccia visibile, occorre ingrandirla, mediante un trattamento chimico o elettrochimico. Le tracce devono poi essere contate, perché la densità di tracce (numero di tracce per unità di superficie) è proporzionale all'esposizione al radon, ossia alla concentrazione media per il tempo di esposizione. Le tracce vengono contate generalmente mediante sistemi ottici: usano sistemi di amplificazione dell'immagine (microscopio ottico), più o meno automatizzati, interfacciati con un calcolatore. Tramite una telecamera le tracce vengono visualizzate sul video dell'elaboratore e mediante un adeguato software di analisi d'immagini vengono contate e analizzate sulla base delle loro caratteristiche geometriche.



Rivelatore a tracce nucleari



Rilevatore ad elettrete

Il rivelatore ad elettrete è un dispositivo formato da una camera di plastica conduttrice a volume noto che contiene l'elettrete, un disco di materiale dielettrico (teflon), caricato elettrostaticamente ad un dato potenziale. Il radon diffonde nella camera passivamente attraverso un filtro.

Le radiazioni emesse dal radon e dai suoi prodotti di decadimento generati all'interno della camera ionizzano l'aria. L'elettrete, carico positivamente, attira gli ioni negativi e questo produce una diminuzione della carica netta e quindi del potenziale superficiale dell'elettrete stesso. Gli ioni positivi si neutralizzano sulla superficie della camera. Si calcola la differenza di voltaggio dell'elettrete prima e dopo l'esposizione. Questa differenza di voltaggio è proporzionale all'esposizione al radon.

La durata del monitoraggio deve essere pari a 1 anno solare, suddiviso in 2 o più periodi (vedi capitolo 14).

La misurazione del radon nelle abitazioni

La misurazione del radon nelle abitazioni non è obbligatoria in Italia.

I locali da considerare per valutare il livello di radon in un'abitazione sono quelli più frequentati dai residenti: in genere viene effettuata una misura nel soggiorno e una nella camera da letto; vengono esclusi il bagno e la cucina (salvo che si tratti di ampi locali ad uso soggiorno), ripostigli, garage, cantine. Se si tratta di una villetta, è consigliata una misurazione anche nella taverna o in altri locali sotterranei utilizzati. In ogni caso, nei locali utilizzati per la misurazione e nel resto dell'abitazione si devono mantenere le normali abitudini di vita e di impiego.

Il livello di radon varia generalmente tra un piano e l'altro degli edifici: ai piani più bassi o interrati, laddove il contatto con il suolo è maggiore, è probabile trovare concentrazioni di radon più elevate. Nel caso di un'abitazione distribuita su un singolo piano è sufficiente, in generale, una misura in salone e una in camera da letto; per abitazioni multipiano è possibile iniziare col misurare il radon al piano abitato più basso (ciò in un'ottica di cautela, in quanto al piano più basso ci si attende il livello di radon più elevato) e in un secondo momento prevedere misurazioni in più locali distribuiti su più piani dell'abitazione, allo scopo di eseguire indagini più accurate.

Come per i luoghi di lavoro, la tecnica da preferire è quella passiva (con rivelatori a tracce nucleari o elettreti) e la durata annuale, per tener conto delle variazioni stagionali della concentrazione di radon.

Strumenti basati sul campionamento in continuo, invece, possono essere utilizzati per verificare l'efficacia di eventuali azioni di rimedio.

17. Il Servizio Radon ENEA

Presso l'ENEA opera l'Istituto di Radioprotezione (IRP) e, al suo interno, il Servizio di valutazione della concentrazione di radon, istituito nel 2002 per fornire ai Datori di lavoro, soggetti alla norma che disciplina l'esposizione a sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti (capo III-bis, D. Lgs. 230/95 e s.m.i.), una struttura riconosciuta idonea per le misure di radon.

Il Servizio, rivolto a Datori di lavoro/Esercenti di pratiche con rischi di inalazione di radioisotopi alfa emettitori e a privati cittadini, consente la valutazione del rischio di esposizione a radionuclidi naturali e di esposizione interna a radioisotopi alfa emettitori mediante campionamento ambientale passivo o attivo.

A livello pratico, il servizio fornito consiste nell'invio dei dispositivi di campionamento passivo all'utente (che provvede al loro posizionamento nei luoghi di lavoro o di residenza), nell'analisi dell'elemento sensibile eseguita in laboratorio e nell'invio del rapporto di misura e della relazione tecnica finale ai sensi di legge (per durata annuale).

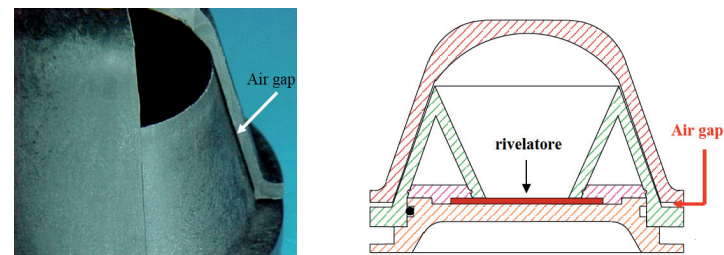
Il dispositivo ENEA di misura del radon

Il dispositivo di misura del radon messo a punto e brevettato dall'ENEA (brevetto MI2006A000703) consiste in uno strumento di misurazione passivo, basato sull'impiego di un rivelatore di tracce nucleari (CR-39) inserito all'interno di un dispositivo di tipo "chiuso", che permette l'entrata del radon per diffusione e permeazione mentre impedisce l'ingresso dei suoi prodotti di decadimento e del toron.

Dispositivo di misura del radon messo a punto dal Servizio Radon ENEA



L'ingresso dei prodotti di decadimento del radon (nella loro forma *attached* e *unattached*) e del toron all'interno del dispositivo è impedito grazie alla sua particolare geometria (*l'air gap*, vedi immagini seguenti).



Il dispositivo ENEA è costituito, in particolare, da una camera d'esposizione in nylon grafitato e da un rivelatore di CR-39, posizionato nella sua parte inferiore. Si è scelto come materiale il nylon grafitato perché presenta una buona conducibilità superficiale.

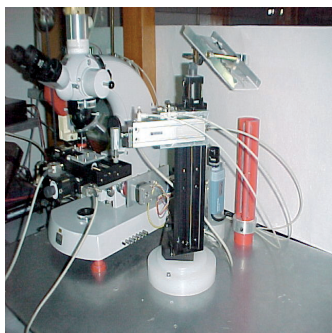
Il rivelatore è ricoperto da una sottile pellicola di mylar alluminizzato in modo tale che il volume sensibile interno al dispositivo sia totalmente conduttivo per garantire un'omogeneità di deposizione dei figli del radon sulle superfici del dispositivo e del rivelatore.

Il dispositivo è realizzato in modo che per ogni rivelatore venga misurato direttamente il proprio fondo, migliorando l'accuratezza della misura. L'elemento sensibile è un rivelatore a stato solido di tracce nucleari (nome commerciale CR-39), protetto da due film, che vanno rimossi prima dell'esposizione; è unicamente identificato da un codice numerico laser inciso su una delle due facce (vedi figura a destra).

Il CR-39 è un polimero trasparente, dalle qualità ottiche estremamente indicate per l'impiego della dosimetria a tracce. Le particelle alfa emesse dal radon e dai suoi prodotti di decadimento presenti all'interno del dispositivo, interagendo con la superficie del rivelatore, creano delle rotture nelle catene del polimero, le cosiddette tracce latenti.

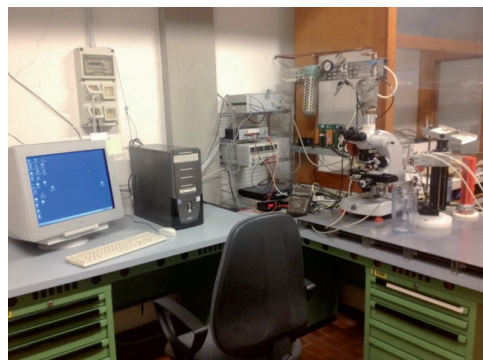


Per poterle osservare occorre ingrandirle fino a dimensione di analisi ottica. L'ingrandimento della traccia si ottiene facendo attaccare il rivelatore in un bagno di soda caustica per un determinato periodo di tempo. Le tracce così ingrandite sono visibili al microscopio ottico, anche con un piccolo ingrandimento (vedi figura sotto a destra).



Le tracce vengono quindi contate ed analizzate al microscopio ottico, tramite un sistema automatico sia di alimentazione dei rivelatori che di controllo di tutti i parametri che possono risultare critici per la qualità della misurazione (figura in alto a sinistra). La densità superficiale di tracce è proporzionale all'esposizione, ovvero all'integrale della concentrazione durante il tempo di esposizione. La concentrazione media risulta pertanto uguale all'esposizione diviso il tempo di durata del controllo.

Sistema di misura del Servizio Radon ENEA



Specifiche tecniche (2013) del dispositivo ENEA

Caratteristiche contenitore (camera diffusione)

Materiale: Nylon conduttivo infrangibile
 Classe: chiuso mediante gap d'aria
 Progetto: ENEA (brevetto MI2006A000703)
 Misure antistatiche contenitore: Materiale volume efficace in Nylon conduttivo
 Misure antistatiche rivelatore: film Mylar alluminizzato

Caratteristiche rivelatore

Materiale: CR-39 (PADC) Intercast Europe S.p.A. (PR)
 Spessore: $(140 \pm 5) \times 10 \mu\text{m}$; Superficie: 900 mm^2
 Etichetta di riconoscimento: Codice numerico 5 cifre laser-inciso

Caratteristiche attacco chimico del rivelatore

Soluzione: NaOH, 6,25 N, 70 °C con agitazione meccanica (condizioni standard)
 Tempo di attacco: 6,8 h (nelle condizioni standard)

Conteggio tracce

Modalità di conteggio: automatico
 Area del campo di conteggio: $0,45 \text{ mm}^2$
 N° campi contati per rivelatore: 65-105;
 N° campi di fondo contati per rivelatore: 76-153
 Messa a fuoco automatica mediante determinazione spessore rivelatore
 Controllo illuminazione automatico a priori su campo centrale
 Controllo illuminazione a posteriori su tutti i campi
 Determinazione diretta overlapping
 Determinazione diretta area efficace campo di lettura

Risposta del rivelatore

Sensibilità tipica: $4,18 \pm 0,04 \text{ (tracce/cm}^2\text{)}/(\text{kBq h m}^{-3}\text{)}$ per uno spessore rimosso di $10,2 \mu\text{m}$
 Fondo tipico (in unità di esposizione): $13,9 \pm 3,5 \text{ (kBq h m}^{-3}\text{)}$
 DS su fondo tipico (in unità di esposizione): $3,1 \pm 0,5 \text{ (kBq h m}^{-3}\text{)}$

Esposizione di saturazione: 22 (MBq h m⁻³)
 Minima esposizione rivelabile a priori (media ± IDS): 17 ± 2 (kBq h m⁻³)
 Minima esposizione rivelabile a posteriori (media ± IDS): 8 ± 1 (kBq h m⁻³)
 Concentrazione minima rilevabile in 3 mesi: 8 (Bq m⁻³)
 Dipendenza temperatura e umidità: trascurabile

Esposizioni di calibrazione

Metodo: Camere radon standard c/o ENEA e HPA, BfS, NIRS
 Range di calibrazione: 110÷2900 (kBq h m⁻³)

Quality Assurance (controlli di qualità)

Controllo d'accettazione partita rivelatori (fondo e sensibilità)
 Controllo omogeneità e costanza illuminazione campo di lettura
 Controllo sistema di lettura con rivelatori di riferimento
 Controllo densimetrico soluzione attacco chimico
 Controllo individuale spessore rimosso dall'attacco chimico
 Controllo individuale sensibilità
 Controllo individuale fondo in transito
 Controllo automatico ageing e fading
 Interconfronto internazionale annuale

La qualità del Servizio Radon ENEA

Dal 2003 il Servizio di valutazione della concentrazione di radon dell'ENEA partecipa periodicamente (1 o più all'anno) ad interconfronti nazionali ed internazionali.

I risultati sono indicati nella Tabella 3. La qualità del Servizio si mantiene sufficientemente alta; in caso di risultati non soddisfacenti è prevista una revisione puntuale di tutte le fasi critiche del sistema di misurazione.

Tabella 3 - Risultati interconfronti

TEST	RISULTATI UFFICIALI INTERCONFRONTI		
	PRECISIONE	ACCURATEZZA	QUALITA'
NRPB 2004	8,5%	9,6%	A
NRPB 2005	9,2%	3,8%	A
NRPB 2006	6,0%	-12,4%	B
NRPB 2006	5,8%	-10,6%	B
NRPB 2007	6,5%	3,5%	A
NRPB 2008	9,0%	7,8%	A
NRPB 2009	7,3%	2,7%	A
NRPB 2010	3,5%	-6,4%	A
NRPB 2010	9,1%	5,9%	A
NRPB 2010	5,6%	3,7%	A
NRPB 2011	4,6%	-14,6%	B
NRPB 2011	7,9%	11,8%	B
NRPB 2011	5,1%	1,8%	A
BfS 2012 set	3,6%	-8,5%	A
BfS 2012 set	4,2%	-8,9%	A
HPA 2012	4,9%	-2,9%	A

Qualità secondo criterio HPA pre-2011

Categoria A: sia accuratezza che precisione < 10%

Categoria B: uno o entrambi i parametri < 15%

Categoria C: uno o entrambi i parametri < 20%

Categoria D: uno o entrambi i parametri < 25%

Categoria E: uno o entrambi i parametri > 25%

Come ottenere il kit per una misurazione di radon

Vai al sito ENEA: <http://www.irp.enea.it/it> e scarica i nostri moduli oppure contattaci ai riferimenti di seguito indicati.

I nostri riferimenti

Istituto di Radioprotezione ENEA

Laboratorio dosimetria, protezione da radionuclidi naturali e taratura

Servizio Radon

via dei Colli 16

40136 Bologna

Fax 051-6098003

e-mail: radon@enea.it

Dott. Massimo Calamosca

Tel. 051-6098361

Dott.ssa Silvia Penzo

Tel. 051-6098345



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

www.enea.it