

Qualità dell'aria indoor: minimizzazione degli agenti inquinanti con particolare attenzione al gas radon

(Accordo di collaborazione Mase-ISPRA
per supporto all'attività
di prevenzione e riduzione
del rischio di esposizione
al radon indoor)

Qualità dell'aria indoor: minimizzazione degli agenti inquinanti con particolare attenzione al gas radon

(Accordo di collaborazione Mase-ISPRA
per supporto all'attività
di prevenzione e riduzione
del rischio di esposizione
al radon indoor)

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma

www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Quaderni Ambiente e Società 32/2024

ISBN 978-88-448-1233-1

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Elena Porrazzo

ISPRA – Area Comunicazione

Coordinamento pubblicazione online:

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

(Ottobre 2024)

Autori

Lucio Confessore, Clara Peretti - consulenti ISPRA

Barbara Bellomo, Silvia Brini, Pietro Bussu, Elisabetta De Maio, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Raffaella Gaddi, Giuliana Giardi, Ilaria Leoni, Arianna Lepore, Silvia Mariotti, Sandra Moscone, Sabrina Panico, Annarita Pescetelli, Elisa Raso, Daniela Santonico, Stefania Viti -ISPRA

Margherita Arpaia, Federico Massimi, Laura Petrone - MASE

Sommario

Premessa	4
1 Riferimenti tecnici e normativi	5
2 La qualità dell'aria indoor e il radon	8
3 IL PIANO NAZIONALE D'AZIONE PER IL RADON	11
4 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI RADON	16
4.1 Misure di radon	19
4.1.1 Tipologia di misure	19
4.1.2 Le norme tecniche	21
4.1.3 Durata delle misure	22
4.2 Gli strumenti di misura	25
4.2.1 Gli strumenti passivi	25
4.2.2 Strumentazione di tipo attivo	32
4.3 Requisiti degli organismi di misura	37
5 INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RADON IN AMBIENTI INDOOR	41
5.1 Introduzione	41
5.2 Utilizzo di apparecchiature	44
5.3 Sigillatura delle vie d'ingresso	45
5.4 Tecniche di ventilazione e aspirazione	51
5.4.1 Ventilazione nei locali	53
5.4.2 Diminuzione della depressione interna ai locali	58
5.4.3 Depressurizzazione del terreno di fondazione (pozzo radon)	59
5.4.4 Ventilazione del vespaio	64
5.4.5 Aspirazione del sistema di drenaggio dell'acqua	69
5.4.6 Aspirazione dell'aria da pavimenti con intercapedine	71
5.4.7 Tecniche di pressurizzazione	74
5.4.8 Confronto fra tecniche di pressurizzazione e tecniche di depressione	80
5.5 Barriere protettive	83
5.6 La prevenzione in caso di nuovi edifici	86
6 Bibliografia	90
7 Sitografia	91

Premessa

Il presente documento si pone l'obiettivo di fornire delle indicazioni tecniche per la gestione della problematica riguardante la presenza di radon negli ambienti residenziali indoor. Esso, partendo da una panoramica che riguarda più in generale l'inquinamento indoor, riporta le metodologie più comuni per la valutazione dei livelli di concentrazione di radon e i principali interventi tecnici e organizzativi che si possono attuare sia in edifici esistenti, sia in quelli di nuova realizzazione per la prevenzione e riduzione del rischio da esposizione a tale gas. Tutto ciò tenendo ben presente che gli interventi di prevenzione da radon non devono in alcun modo pregiudicare quanto si sta cercando di perseguire con i target di razionalizzazione dell'energia e, nello stesso tempo, le tecniche messe in campo per raggiungere tali target non devono portare ad un aumento della presenza di radon nei luoghi chiusi.

Per ambienti interni o indoor si intendono gli ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali e in particolare, quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto. Secondo questo criterio, l'ambiente indoor comprende: le abitazioni, gli uffici pubblici e privati, le strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi, banche, etc.), locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, etc.). i mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, etc.)¹. Si tratta, quindi, di ambienti nei quali la popolazione trascorre gran parte del proprio tempo subendo, di conseguenza, un prolungato contatto con le suddette potenziali sorgenti di inquinamento

¹Accordo del 27/09/2001 tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati». Pubblicato nella Gazz. Uff. 27 novembre 2001, n. 276, S.O.

1 Riferimenti tecnici e normativi

Ad oggi in Italia non esiste una legislazione cogente che regolamenti l'inquinamento dell'aria indoor. Tuttavia, nel tempo sono stati emessi dei documenti specifici in materia, alcuni per esempio relativi ai limiti di sostanze dannose di taluni materiali:

- Direttiva 2004/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 aprile 2004 relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili dovute all'uso di solventi organici in talune pitture e vernici e in taluni prodotti per carrozzeria
- Decreto Ministeriale del 10 ottobre 2008 "Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno"
- Decreto Ministeriale dell'11 aprile 2008, recepimento italiano della Comunicazione 302/2003 della Commissione Europea sui Criteri Ambientali Minimi di prodotti e sistemi.
- Il Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 e il successivo Decreto legislativo n. 203 del 2022 che integra e corregge alcuni punti del precedente, rappresentano i principali riferimenti sul tema radon.
- Il Decreto-legge n. 69 del 2023, convertito con modificazioni dalla Legge 10 agosto 2023, n. 103, descrive nell'art. 8, l'istituzione di uno specifico fondo per la prevenzione e riduzione della concentrazione del radon indoor e per una piena compatibilità delle misure di efficientamento energetico con i programmi di qualità dell'aria negli ambienti chiusi e con gli interventi di prevenzione e riduzione della concentrazione di radon indoor, ai sensi del D.Lgs n. 101/2020.
- Il DPCM 11 gennaio 2024 con il quale è stato adottato il "Piano Nazionale d'Azione per il Radon 2023-2032".

Essendo poi la problematica della qualità dell'aria indoor notevolmente connessa con gli impianti di climatizzazione, è possibile citare alcune norme tecniche quali:

- Norma UNI 10339:1995 che fornisce indicazioni per la classificazione e la definizione dei requisiti minimi degli impianti e dei valori delle grandezze di riferimento durante il loro funzionamento e prescrive le portate d'aria minima o massima per persona oppure per metri quadrati di superficie, in base alla categoria e alla destinazione d'uso dell'edificio.
- Norma UNI 10381- 2:1996 che fornisce indicazioni riguardo la classificazione, le dimensioni e le caratteristiche costruttive dei componenti utilizzati nella realizzazione delle condotte negli impianti aeraulici
- UNI EN 12097:2007 che riguarda la "Ventilazione degli edifici – Rete delle condotte – Requisiti relativi ai componenti destinati a facilitare la manutenzione dei sistemi di condotte".
- Norma UNI EN 15780:2011 che riguarda la "Ventilazione degli edifici – Condotti – Manutenzione degli impianti di ventilazione" e definisce linee guida per la pulizia, ispezione e documentazione.

-
- Norma UNI EN 16798-1:2019 che riguarda la “Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici – Parte 1: Parametri di ingresso dell’ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell’aria interna, all’ambiente termico, all’illuminazione e all’acustica – Modulo M1-6”, rappresenta una delle principali norme di riferimento per la gestione del microclima indoor.

Vi sono poi:

- Le linee guida su microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro (2006): Questo testo, redatto a cura del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome e dell’Ispesl, fornisce indicazioni operative e progettuali per garantire ambienti di lavoro sicuri e confortevoli. In particolare, si concentra su aspetti quali il microclima, l’aerazione e l’illuminazione degli ambienti di lavoro al fine di garantire un’aria pulita e salubre, e mantenere condizioni ottimali per il benessere dei lavoratori.
- Le linee Guida per la qualità dell’aria indoor dell’OMS che rappresentano un’importante risorsa per la tutela della salute pubblica, offrendo una panoramica completa sui fattori che influenzano la qualità dell’aria indoor e sulle strategie per migliorarla. L’edizione del 2009 si è concentrata sui problemi di salute associati alla presenza di umidità, muffe e altri agenti biologici negli edifici, indicando le misure per controllare la loro crescita negli ambienti indoor. Il 22 settembre 2021 sono state pubblicate quelle sulla qualità dell’aria “*WHO global air quality guidelines*” (AQGs), per il PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂, CO, con l’obiettivo di proteggere la salute delle popolazioni.
- L’Accordo Stato Regioni del 7/02/2013 “Linee guida per la valutazione e la gestione dei rischi correlati all’igiene degli impianti di trattamento aria” che rappresentano uno strumento scientifico per l’analisi dello stato igienico degli impianti di condizionamento, offrendo allo stesso tempo indicazioni utili ai datori di lavoro e agli operatori per garantire un ambiente di lavoro salubre e sicuro.
- L’Accordo del 27 settembre 2001 tra il Ministero della salute, le Regioni e le Province autonome, che ha portato alla pubblicazione delle Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati².
- L’accordo tra Governo, Regioni, Province autonome e gli Enti locali concernente “Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie e asma”³ che propongono indicazioni atte a privilegiare la riduzione dei

² Accordo del 27/09/2001 tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati». Pubblicato nella Gazz. Uff. 27 novembre 2001, n. 276, S.O.

³ Accordo del 18/11/2010, ai sensi dell’articolo 9 del decreto legislativo 27 agosto 1997, n. 281, tra Governo, Regioni, Province autonome di Trento e Bolzano, Province, Comuni e comunità montane concernente «Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma». (Repertorio atti n. 124/CU). Pubblicato nella Gazz. Uff. 13 gennaio 2011, n. 9.

principali fattori di rischio ambientali per asma e allergia, al fine di contrastare l'incidenza di queste patologie nell'infanzia e l'adolescenza.

Importanti strumenti di tutela della salute pubblica sono stati, infine, inseriti nella normativa italiana con il divieto di fumo in luoghi pubblici⁴, negli autoveicoli in presenza di minori e di donne in stato di gravidanza e alle pertinenze esterne delle strutture ospedaliere⁵, poiché il fumo rappresenta una delle fonti di inquinamento indoor più pericolose. Più recentemente, nel 2017, uno specifico riferimento a un idoneo ambiente di lavoro indoor è stato inserito nella Direttiva n. 3 del 2017 in materia di lavoro agile⁶ dove, a garanzia della salute e sicurezza del lavoratore che svolge la prestazione in tale modalità, viene introdotto l'obbligo da parte del datore di lavoro di somministrare un'adeguata formazione periodica circa il corretto svolgimento della prestazione di lavoro stessa in ambienti indoor, oltre che in quelli outdoor.

Tab.1.1 - Normativa di riferimento per il radon e ambito di applicazione

Normativa di riferimento	Ambito di applicazione
D.L.vo 101/2020 s.m.i. «Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117.»	Norma nazionale quadro per la protezione dalle radiazioni ionizzanti, radon incluso
D.L.vo 203/2022	Disposizioni integrative e correttive al D.Lgs. 101/2020
D.L. 69/2023 «Disposizioni urgenti per l'attuazione di obblighi derivanti da atti dell'Unione europea e da procedure di infrazione e pre-infrazione pendenti nei confronti dello Stato italiano» Convertito con modificazioni dalla legge 10 agosto 2023, n. 103	Istituzione del Fondo per la prevenzione e riduzione del radon indoor e per rendere compatibili le misure di efficientamento energetico, di qualità dell'aria in ambienti

⁴ Legge 16 gennaio 2003, n. 3 "Disposizioni ordinarie in materia di pubblica amministrazione" pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 15 del 20 gennaio 2003 - Supplemento Ordinario n. 5, art. 51. (Tutela della salute dei non fumatori) e ss.mm.

⁵ D. Lgs. n. 6 del 12 gennaio 2016. Recepimento della direttiva 2014/40/UE sul ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri relative alla lavorazione, alla presentazione e alla vendita dei prodotti del tabacco e dei prodotti correlati e che abroga la direttiva 2001/37/CE. Pubblicato nella Gazz. Uff. 18 gennaio 2016, n. 13.

⁶ Direttiva del 1/06/2017, n. 3. Indirizzi per l'attuazione dei commi 1 e 2 dell'articolo 14 della Legge 7 agosto 2015, n. 124 e linee guida contenenti regole inerenti all'organizzazione del lavoro finalizzate a promuovere la conciliazione dei tempi di vitae di lavoro dei dipendenti. Pubblicata nella Gazz. Uff. 17 luglio 2017, n. 165.

Normativa di riferimento	Ambito di applicazione
	<p>chiusi con gli interventi di prevenzione e riduzione del radon indoor (art.8).</p> <p>Istituzione del Fondo per la individuazione delle aree prioritarie di cui all'articolo 11 del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 (art.7)</p> <p>Le risorse economiche sono assegnate alle Regioni</p>
DPCM 11 gennaio 2024 "Piano Nazionale d'Azione per il Radon 2023-2032"	Individua strategie e modalità di intervento per ridurre l'esposizione al radon nei luoghi di vita e di lavoro

2 La qualità dell'aria indoor e il radon

Spesso non si prende in considerazione il fatto che l'aria indoor degli ambienti civili potrebbe essere molto più inquinata di quella esterna in quanto la percezione delle sorgenti di emissione nocive è molto più spostata verso l'esterno a causa della presenza del traffico, di camini industriali, ecc.. Invece, più all'interno che all'esterno possono concentrarsi agenti inquinanti chimici, biologici e fisici pericolosi per l'uomo. Secondo la definizione del Ministero della Salute per inquinamento indoor si intende *"la modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica interna, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria stessa e tali da costituire un pericolo ovvero un pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo"*.

Una cattiva qualità dell'aria interna, aggravata dalla presenza di condizioni microclimatiche sfavorevoli (ad esempio aria troppo umida) porta alla creazione di muffe, che oltre ad essere inestetiche, possono essere insidiose per la salute umana e inoltre ammalorare le superfici dei materiali e degli arredi. Allo stesso tempo, uno spazio con un'elevata concentrazione di agenti inquinanti, di impurità, di virus e batteri può aggravare il sopraggiungere di patologie, aumentare le sintomatologie allergiche e peggiorare in generale la qualità della vita.

Il rischio aumenta nel caso di soggetti particolarmente suscettibili alla problematica, che possono subire effetti sulla salute a concentrazioni degli inquinanti relativamente basse o manifestare risposte più gravi rispetto a quelle riscontrate dalla popolazione generale. I gruppi considerati più a rischio sono in primis i bambini oltre agli anziani e le persone con patologie croniche, a livello cardiaco, respiratorio e del sistema immunitario.

¹ Link alla [pagina del sito del Ministero della Salute](#).

All'inquinamento dell'aria indoor contribuisce un insieme di sostanze chimiche, fisiche e biologiche che possono avere diversa origine ed in particolare:

- Sostanze che dall'esterno accedono negli ambienti indoor attraverso le porte, le finestre e tutte le altre aperture associate agli impianti di areazione, ricambio d'aria e climatizzazione: per esempio i gas di combustione generati dal traffico veicolare, dagli impianti termici e dagli impianti industriali
- Sostanze presenti negli spazi chiusi ed associate ai materiali costruttivi, ai prodotti impiegati (pulizia, profumazioni, decoro, manutenzione, arredo), alle combustioni con fiamma libera (fornelli a gas, camini, stufe a legna) ed al fumo di tabacco, alla scarsa igiene (acari, batteri, funghi) e alla presenza di animali domestici

Tra le sostanze inquinanti indoor trova collocazione il radon, gas radioattivo di origine naturale che si forma nel terreno a causa del decadimento radioattivo dell'uranio presente nelle rocce, penetra negli ambienti interni attraverso crepe, fessure o punti aperti delle fondamenta e può raggiungere concentrazioni anche molto elevate in caso di ridotto ricambio d'aria.

In generale per tutti gli inquinanti indoor ed in particolare per il radon è dunque di fondamentale importanza mettere in atto una serie di interventi e di misure di prevenzione basate su aspetti comportamentali e tecnici, in grado di ridurre il più possibile la formazione e l'accumulo delle sostanze chimiche.

Tra gli aspetti comportamentali riportiamo i seguenti:

- Arieggiare costantemente gli ambienti favorendo l'ingresso di aria cosiddetta "primaria" e quindi la diluizione degli inquinanti indoor sia agendo direttamente sulle finestre e sia installando dei sistemi di "ventilazione meccanica controllata" che espellono l'aria interna esausta per introdurre aria esterna, previo riscaldamento o raffrescamento, a seconda della stagione (anche a recupero energetico quando viene parzialmente recuperata l'energia necessaria per la variazione di temperatura dell'aria). Va ricordato che le aperture delle finestre vanno effettuate tenendo conto degli orari in cui è minore la produzione di inquinanti outdoor.
- Mantenere sempre un livello di umidità relativa compreso tra il 44% e il 55% e una temperatura compresa tra i 18° e i 22° in modo da ridurre al massimo la formazione di muffe e batteri i quali possono comportare allergie e problemi respiratori. Una corretta ventilazione degli ambienti consentirà di diminuire la presenza di polveri e microrganismi.
- Ridurre l'esposizione al fumo passivo: negli ambienti indoor domestici sarebbe bene evitare del tutto di fumare.
- Utilizzare adeguati sistemi di ventilazione durante la cottura dei cibi (cappe aspiranti) mantenendo comunque aperte le finestre quando possibile.
- Utilizzare prodotti per la pulizia e la manutenzione degli ambienti (tinte, vernici, solventi, ecc.) per il tempo strettamente necessario, con le minime quantità possibili ed arieggiando costantemente i locali.

-
- Mantenere una sufficiente pulizia degli ambienti in modo da ridurre il più possibile la presenza di muffe e allergeni domestici (acari della polvere e derivati epiteliali di animali domestici).

Vi sono poi azioni di prevenzione basate sull'utilizzo di prodotti a bassa emissione di inquinanti, come per esempio i composti organici volatili, per le normali attività di tinteggiatura o verniciatura degli ambienti o di particolari materiali da costruzioni in grado di assorbire le sostanze inquinanti quali:

- la lana di pecora che contemporaneamente garantisce all'ambiente un clima costante d'estate e in inverno, e una migliore qualità della vita poiché riduce notevolmente spifferi, muffe e umidità.
- il biomattone in calce e canapa che è in grado di assorbire anche l'umidità senza trattenerla grazie a tanti micropori pieni di aria che lo caratterizzano.
- finiture interne a base d'argilla, di latte o di tuorlo d'uovo, in grado di assorbire composti organici volatili, polveri e neutralizzare gli odori.
- pitture minerali in grado di catturare e trasformare la formaldeide presente negli ambienti.

Oppure azioni di prevenzione che prevedono il mantenimento negli ambienti delle cosiddette piante "mangia smog", in grado di assorbire alcune sostanze nocive per l'uomo, molto diffuse negli ambienti interni, come la formaldeide e il fumo di tabacco, per trasformarle in principi nutritivi. Tra esse citiamo l'areca, la rhaps excelsa e i più comuni bambù, ficus, palma da dattero nana, ficus alii, felce di Boston, edera, spatifillo, dracena.

Infine, è di fondamentale importanza l'attuazione di interventi tecnici in grado di agire sulle condizioni di microclima quali:

- L'installazione di sistemi di coibentazione delle porte e delle finestre in modo da ridurre l'ingresso diretto di aria esterna inquinata, facendo, però, attenzione a mantenere un opportuno ricambio d'aria.
- L'utilizzo di sistemi di climatizzazione dotati di filtri HEPA (*High Efficiency Particulate Air Filter*) per le particelle sospese fino a 0,1 micron, filtri a carboni attivi, filtri ionizzatori che attirano le polveri e filtri "UVGI" che sfruttano la luce ultravioletta e che sono in grado di distruggere batteri e agenti patogeni.
- Utilizzare sistemi elettronici in grado di "purificare" l'aria quali:
 - Gli ozonizzatori che, senza alcun filtro, sfruttano la capacità dell'ozono di eliminare le sostanze inquinanti. In questo caso però è necessario prestare attenzione al funzionamento del dispositivo, in quanto un'eccessiva quantità di ozono può essere a sua volta dannosa per le persone.
 - Sistemi "a plasma freddo", i quali, attraverso la ionizzazione dell'aria, sono in grado di eliminare gli inquinanti senza dover emettere alcuna sostanza nell'ambiente.
 - Sistemi a fotocatalisi, che grazie ad una naturale reazione fotochimica riescono ad eliminare sia le sostanze organiche volatili e sia batteri.

Naturalmente è assolutamente strategico assicurare la pulizia e la manutenzione periodica dei sistemi di filtrazione come da manuale d'uso delle apparecchiature di climatizzazione al fine di evitare la diffusione di agenti patogeni che potrebbero depositarsi.

In tale contesto si collocano anche le misure tecniche e organizzative per la prevenzione del radon (vedere Capitolo 5) le quali sono orientate da una parte ad impedire la risalita di tale gas negli ambienti indoor e dall'altra ad evitare che esso, una volta riuscito ad accedere, non si accumuli al di sopra dei livelli di concentrazione fissati dalla normativa vigente, mediante la diluizione con aria esterna.

In ogni caso le tecniche di riduzione degli inquinanti indoor, tra cui il radon, devono essere coerenti con quanto previsto dalle Direttive EPBD (Energy Performance of Building Directive) ed in particolare dalle Direttive 2018/844/UE EPBD III e 2024/1275/UE (EPBD IV) che hanno l'obiettivo della decarbonizzazione del patrimonio edilizio europeo ed il raggiungimento per gli stati membri della neutralità climatica entro il 2050. In particolare, le Direttive EPBD prevedono:

- La realizzazione di nuovi edifici a zero emissioni dal 2030
- L'obbligo di installare pannelli solari su alcune tipologie di edifici entro il 2027
- Il progressivo abbandono delle caldaie a gas fino al divieto dal 2040
- L'obbligo di emissioni zero per tutti gli edifici dal 2050

La sfida è dunque quella di trovare un giusto compromesso tra la riduzione del radon e gli interventi di efficientamento energetico, ossia garantire che le azioni tecniche e organizzative attuate per ridurre i consumi energetici non vadano invece a ridurre anche i ricambi di aria negli ambienti indoor con l'accumulo di sostanze pericolose e quindi con il conseguente aumento dell'esposizione umana.

In tale ottica la migliore prevenzione dal radon sembrerebbe quella di evitare il suo ingresso negli edifici piuttosto che quella di farlo uscire attraverso metodi naturali o tecnologici. Ciò comporta però degli investimenti tecnici più onerosi rispetto alla semplice diluizione con aria esterna in quanto significherebbe procedere con l'installazione, per esempio, di membrane sottopavimento oppure di sistemi di aspirazione del radon nel vespaio.

3 II PIANO NAZIONALE D'AZIONE PER IL RADON

Con la pubblicazione del DPCM 11 gennaio 2024 (Gazzetta Ufficiale n. 43 del 21 febbraio 2024) è stato adottato il "Piano Nazionale d'Azione per il Radon 2023-2032".

La finalità generale del Piano Nazionale d'Azione per il Radon (PNAR) è la riduzione dei rischi di lungo termine attribuibili all'esposizione al radon, in linea con le raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e gli obiettivi dell'Agenda 2030 dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) per lo Sviluppo Sostenibile. Tale finalità deriva direttamente dal decreto legislativo 31 luglio 2020, n.101 e s.m.i., e in particolare dal suo Allegato III, il quale contiene 15 punti che descrivono gli elementi che sono stati presi

in considerazione per il PNAR, concernente i rischi di lungo termine dovuti all'esposizione al radon.

L'obiettivo del Piano si raggiunge attraverso una molteplicità di azioni, ricondotte in 3 assi, chiamati "Misurare, Intervenire, Coinvolgere", e di attività previste all'interno delle suddette azioni realizzate con il coinvolgimento di differenti amministrazioni.

Data la multidisciplinarietà propria del fenomeno radon, la finalità principale del Piano si ottiene mediante la realizzazione di azioni in ambiti molto diversi relativi alla presenza di:

- classificazione delle aree territoriali in cui si ritiene prioritario intervenire;
- disponibilità di servizi di dosimetria radon riconosciuti idonei;
- interventi di esperti di interventi di risanamento adeguatamente formati;
- indicazioni sugli interventi di risanamento e per la progettazione di nuovi edifici dotati; di sistemi di prevenzione dell'ingresso di radon;
- sensibilizzazione dei proprietari delle abitazioni;
- possibilità di introdurre forme di incentivo economico, ecc. (DPCM 11 gennaio 2024).

Gli obiettivi specifici di riduzione dell'esposizione al radon da realizzarsi nei prossimi 10 anni di durata del Piano sono:

- la riduzione della concentrazione di radon nei luoghi di lavoro con concentrazione di radon superiore ai 300 Bq/m³, nel rispetto delle previsioni normative;
- la riduzione della concentrazione di radon almeno nel 50% delle abitazioni con concentrazione di radon superiore ai 200 Bq/m³, dando priorità a quelle con concentrazione superiore a 300 Bq/m³;
- la verifica che il livello di concentrazione di radon sia inferiore ai 200 Bq/m³ nelle abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024.

La dotazione di 10 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2023 al 2031 è finalizzata a finanziare l'attuazione di interventi di riduzione e prevenzione della concentrazione di radon indoor in eventuale sinergia con i programmi di risparmio energetico e di qualità dell'aria in ambienti chiusi. Nell'ultima modifica al testo, con entrata in vigore in data 11-8-2023 è stata dettagliata la destinazione dei fondi, che verrà ulteriormente approfondita mediante specifici decreti attuativi.

Il finanziamento sarà "finalizzato a finanziare la progettazione e l'attuazione di interventi di riduzione e prevenzione della concentrazione di radon in ambienti chiusi, in particolare mediante attività di monitoraggio, analisi, rilevamento geologico, bonifica e risanamento delle costruzioni dalla sostanza inquinante, in eventuale sinergia con i programmi di risparmio energetico e di qualità dell'aria in ambienti chiusi".

Il PNAR è strutturato in 3 ASSI:

- Misurare, Intervenire, Coinvolgere
- Ciascun ASSE è suddiviso in Azioni

- Per ciascuna Azione sono definiti obiettivo, soggetto coordinatore, soggetti partecipanti, attività da svolgere durata temporale, costi.

A seguire lo schema di sintesi:

Tab. 3.1 - Schema strutturale del PNAR

Schema funzionale della struttura del PNAR	
ASSE 1	Misurare: individuazione delle situazioni di maggiore esposizione
Azione 1.1 fino a 1.7	Dalle metodologie per lo svolgimento di campagne di misura, ai protocolli di misura e servizi di dosimetria per del radon
Azione	1.1 Metodologie e strategie per lo svolgimento di campagne di misurazione del radon indoor
	1.2 Indicazioni e criteri per la caratterizzazione del territorio su base geologica
	1.3 Individuazione delle tipologie di luoghi di lavoro, di attività lavorative e di edifici con accesso del pubblico a maggior rischio
	1.4 Registrazione dei dati sulla concentrazione di radon
	1.5 Protocolli per la misurazione della concentrazione di radon indoor e la stima dell'esposizione integrata
	1.6 Indicazioni riguardanti i livelli prestazionali e le modalità operative e gestionali dei servizi di dosimetria radon
	1.7 Criteri per l'individuazione delle aree prioritarie
ASSE 2	Intervenire: strumenti per la prevenzione e riduzione della concentrazione di radon indoor
Azione 2.1 fino a 2.7	Dagli interventi di risanamento e indicazioni per la prevenzione nei nuovi edifici, agli esperti di risanamento radon e interazione con qualità aria indoor e efficientamento energetico
Azione	2.1. Indicazioni riguardanti gli interventi di risanamento
	2.2 Indicazioni per prevenire e ridurre l'ingresso del radon nel caso di nuove costruzioni e di ristrutturazioni
	2.3. Identificazione di materiali da costruzione con maggiore esalazione di radon

Schema funzionale della struttura del PNAR	
	2.4 Indicazioni riguardanti la formazione e la qualificazione degli esperti in interventi di risanamento radon
	2.5 Indicazione dei dati sugli interventi di risanamento
	2.6. Connessione con programmi di prevenzione del fumo
	2.7 Connessioni con programmi di qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico
ASSE 3	Coinvolgere: informazione, educazione, formazione e divulgazione
Azione 3.1 fino a 3.6	Osservatorio nazionale radon, comunicazione, formazione, partecipazione, Citizen science
Azione	3.1. Osservatorio nazionale radon
	3.2. Strategie di comunicazione e promozione di campagne informative
	3.3. Sviluppo di un piano formativo rivolto ai lavoratori e alle figure professionali di sicurezza che operano in ambito pubblico e privato
	3.4 Educazione
	3.5. Partecipazione
	3.6 Citizen science: una strategia per la riduzione dell'esposizione al radon nelle abitazioni

Alcune azioni prevedono indicazioni di prima applicazione (es.: Azione 1.1 Metodologie e strategie per lo svolgimento di campagne di misurazione del radon indoor), altre sono tutte da sviluppare.

Tra le azioni previste dall'Asse 3 del PNAR troviamo l'Azione 3.6 relativa alla Citizen science sulla strategia per la riduzione dell'esposizione al radon nelle abitazioni.

La Citizen science è la partecipazione di cittadini in rete o in gruppi organizzati nelle attività di raccolta di dati e produzione di informazioni, attraverso misurazioni, stime, modelli, osservazioni, valutazioni, interpretazioni o elaborazioni, con l'obiettivo di ampliare la consapevolezza personale e la conoscenza scientifica della fenomenologia a cui sono connessi.

I progetti di Citizen science, coinvolgendo i cittadini, promuovono la consapevolezza e l'attenzione per l'ambiente, i partecipanti contribuiscono significativamente alla ricerca e alla sperimentazione aumentando le proprie competenze scientifiche e implementando

la raccolta dei dati. Le esperienze già realizzate rappresentano un'importante testimonianza dell'importanza e della fattibilità di questo particolare tipo di azioni.

Nella tabella seguente si riporta il dettaglio dell'Azione 3.6 del PNAR.

Tab. 3.2 - Schema dell'azione 3.6 del PNAR

Azione 3.6: Citizen science: una strategia per la riduzione dell'esposizione al radon nelle abitazioni			
Oggetto	Fornire alla popolazione, ai decisori istituzionali e politici, agli operatori del settore edilizio, ai medici di medicina generale e ai pediatri di libera scelta, elementi di conoscenza del fenomeno radon al fine di ridurre in maniera diffusa l'esposizione al radon nelle abitazioni esistenti e di nuova costruzione		
Riferimento normativo	Decreto legislativo 31 luglio 2020, n.101 - Allegato III, punto 7		
Obiettivo	Definire gli elementi strategici per una riduzione diffusa dell'esposizione al radon nelle abitazioni		
Destinatari	Decisori istituzionali e politici, a livello locale, medici di medicina generale e pediatri di libera scelta, operatori del settore edilizio, popolazione.		
Attività	1. Implementazione ed elaborazione di un progetto nazionale di <i>Citizen science</i> che individua, sulla base delle competenze e del ruolo dei vari destinatari, gli strumenti per attuare una riduzione diffusa dell'esposizione al radon nelle abitazioni e per contribuire all'acquisizione dei dati, con progetti mirati		
	2. Attuazione a livello regionale del progetto di <i>Citizen science</i> per incrementare le conoscenze sui livelli di gas radon nelle abitazioni e indurre comportamenti individuali coerenti con l'obiettivo di ridurre l'esposizione al radon nelle abitazioni private		
Prodotti	1. Documento che riporta i contenuti del progetto di <i>Citizen science</i> orientato alla riduzione dell'esposizione al radon nelle abitazioni pubbliche e private destinato alle varie tipologie di destinatari		
	2. Documenti per la promozione e avvio dei progetti di <i>Citizen science</i> da realizzare a livello regionale		
Indicatori	Descrizione	Udm	Target
	Documento con i contenuti del progetto di <i>citizen science</i>	SI/NO	SI
	Realizzazione di progetti regionali, uno per ogni Regione e Provincia autonoma	%	100%
Coordinatore	MASE, MS		

Azione 3.6: Citizen science: una strategia per la riduzione dell'esposizione al radon nelle abitazioni										
Partecipanti	Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano, ARPA/APPA, INAIL, ISIN, ISPRA, ISS									
ANNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Attività 1										
Attività 2										

(fonte DPCM 11 gennaio 2024)

Concentrazioni relativamente basse di radon possono comportare un aumento della possibilità di insorgenza di patologie polmonari, poiché non esiste una concentrazione certa al di sotto della quale il rischio connesso all'esposizione al radon sia nullo.

L'introduzione dei livelli di riferimento sia per le abitazioni esistenti sia, in maniera più stringente, per le nuove costruzioni in sostituzione dei livelli di azione, ammette questa criticità e suggerisce di intraprendere azioni rivolte alla popolazione che facciano conoscere il radon, i suoi effetti e le misure per proteggersi. La valutazione della distribuzione dei livelli di concentrazione di radon mostra come un relativamente piccolo numero di persone è esposto a elevate concentrazioni mentre la maggior parte della popolazione è esposta a livelli bassi o moderati.

Il PNAR stabilisce che, per intervenire sulle situazioni di moderata esposizione che coinvolgono un gran numero di persone, occorre individuare delle strategie per la riduzione diffusa dell'esposizione al radon rivolte a tutta la popolazione che consentano una informazione e una partecipazione a cittadini, operatori del settore edilizio, medici di medicina generale, pediatri di libera scelta e decisori politici e istituzionali, a livello locale.

4 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI RADON

La valutazione della concentrazione di radon negli ambienti domestici è di fondamentale importanza per evidenziare le eventuali criticità legate alla presenza e all'accumulo di tale gas all'interno dei locali e di conseguenza per definire e progettare le misure di intervento più appropriate da attuare nel breve e nel lungo termine, per la riduzione della sua concentrazione.

A tal proposito è necessario tener conto che la concentrazione di radon varia sia nello spazio (oltre che da zona a zona del territorio anche nel particolare da edificio a edificio) e sia nel tempo, a causa dei numerosi fattori che influiscono sulla sua origine e sulle dinamiche di trasporto ed accumulo. La presenza del radon in un ambiente chiuso varia continuamente lungo tutto l'arco della giornata (generalmente di notte si raggiungono

livelli più alti che di giorno) ed anche stagionalmente, avendosi di norma in inverno concentrazioni maggiori che in estate. Pertanto, le misure su tempi lunghi (generalmente un anno) sono quelle che assumono il maggior significato e che di fatto permettono il confronto con il valore di azione stabilito dal DLgs 101/20 e pari a 300 Bq/m^3 .

Il livello di radon varia generalmente anche 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 abitazioni distribuite su un singolo piano è sufficiente, in generale, una misura in un unico locale; per edifici multipiano è possibile eseguire un'unica misura 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). Resta inteso che si possono prevedere misurazioni in più locali distribuiti su più piani dell'edificio, allo scopo di eseguire indagini più accurate.

È quindi di fondamentale importanza svolgere una valutazione delle possibili concentrazioni di radon basandosi sulle informazioni disponibili relative al tipo di edificio, alla morfologia del terreno ed ai meccanismi di diffusione del radon la quale potrà essere integrata delle misure strumentali che possano far ottenere dei dati significativi sui trend di concentrazione di radon soprattutto negli ambienti a maggiore presenza umana.

Per la valutazione delle concentrazioni di radon è generalmente possibile seguire tre approcci diversi.

- Approccio predittivo: Prevede la previsione della concentrazione di radon nei singoli edifici sulla base della conoscenza delle sorgenti di radon e di modelli di diffusione. Questa metodologia è abbastanza complicata in quanto, come abbiamo visto, vi sono moltissimi fattori che influiscono sulla concentrazione di radon e molti di questi non sono neanche conosciuti per il singolo edificio. Questa dipendenza multifattoriale comporta che la concentrazione di radon possa essere anche molto diversa tra un edificio e l'altro, ed anche tra diverse zone di uno stesso edificio.
- Approccio misurativo: prevede la misurazione della concentrazione di radon in tutti gli edifici, con il vantaggio di poter identificare tutte le situazioni in cui viene superato il livello di azione. Ovviamente questo approccio ha un costo complessivo notevole, soprattutto per edifici di grandi dimensioni.
- Approccio misto: raggruppa entrambi i precedenti, svolti in tempi diversi. Vi sarà quindi la preventiva identificazione delle aree a maggiore presenza di radon e la successiva misura di tutti gli edifici presenti in tali aree. È ovviamente il metodo più diffuso ed è basato sul fatto che, a determinate condizioni, si riscontrano zone geografiche abbastanza definite nelle quali la concentrazione di radon negli edifici risulta mediamente sensibilmente più alta che altrove. Ciò capita soprattutto quando il suolo è la principale fonte di provenienza del radon (quasi sempre) e gli edifici hanno in gran parte caratteristiche simili. Questo approccio ha il vantaggio di basarsi su un numero ridotto di misure ma non garantisce che

tutti gli edifici con alti valori di concentrazione di radon vengano identificati, in quanto quelli al di fuori delle aree selezionate non vengono nemmeno cercati.

Una volta valutata la geomorfologia del terreno si può passare alla fase di caratterizzazione dell'edificio e quindi all'analisi delle sue caratteristiche dal punto di vista strutturale, impiantistico e logistico. Per questo si possono utilizzare specifiche "check list" valutative (come quella proposta nel seguito) con le quali assegnare un punteggio alle varie specifiche ottenendo un valore finale che, tenendo conto anche di quanto desunto dalla fase precedente, permette di definire un livello potenziale di rischio da approfondire o meno mediante lo svolgimento delle misure.

Tab.4.1- Esempio di check list da utilizzare nella valutazione

Indicatore	Note da considerare
Collocazione geomorfologica dell'edificio	Posizione geografica, altitudine, variazioni di temperatura, condizioni di vento, presenza di pendii, tipologia di suolo, permeabilità del suolo, granulometria del terreno, presenza di vulcani, ecc. Va prestata attenzione alle fasce detritiche e alle zone franose, nonché ai terreni granitici, carsici e ghiaiosi.
Tipologia di edificio	Casa isolata, villa, casolare, baita, appartamento in palazzina, ecc.
Piano	
Data di costruzione dell'edificio	
Configurazione dell'edificio	<p style="text-align: center;"> sopra il terreno sotterraneo seminterrato su pilastri </p> Fa riferimento al tipo di attacco dell'edificio al terreno, al numero di piani fuori terra ed alla presenza di locali seminterrati, vespai, intercapedini, taverne ed alle aperture verso l'esterno dei suddetti locali, ecc.
Stato di manutenzione dell'edificio	Presenza di crepe, fessurazioni nei locali a diretto contatto con il terreno
Materiali di costruzione	Cemento, pietra, granito, porfido, pozzolana, tufo e altri materiali di origine vulcanica elementi prefabbricati, legno, ecc.
Caratteristiche dell'isolamento verso l'esterno	Quantità e caratteristiche delle porte, finestre, lucernai, con particolare riferimento alla presenza di doppi vetri

Conformazione delle pareti	Eventuali pareti poste a contatto diretto con il terreno
Presenza di canali, passaggi di comunicazione tra i piani dell'edificio	Cavedi, canalizzazioni, pozzetti, canne fumarie, vani ascensori o montacarichi, ecc.
Rivestimento dei pavimenti e delle pareti	Cemento, legno, vinilico, marmo, gres, ceramica, carta da parati, tinte murarie, ecc.
Tipologia dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento	Impianto autonomo o centralizzato. Presenza di fancoils, split, termosifoni. Verificare se l'impianto di riscaldamento a pavimento è a diretto contatto con il terreno. Nel caso di riscaldamento geotermico, inoltre, il radon entra attraverso l'isolamento delle tubazioni dell'acqua.
Ventilazione e ricambio d'aria	Verificare se il sistema di ventilazione preleva aria fredda da cantine; aspira l'aria esterna attraverso tubi interrati (preriscaldamento dell'aria) e con giunzioni non a tenuta radon.
Provenienza dell'acqua	Acquedotto diretto, pozzo, cassoni di accumulo
Fruizione e comportamenti	Destinazione d'uso dei locali e tempo di permanenza medio

4.1 Misure di radon

4.1.1 Tipologia di misure

La concentrazione di radon indoor segue generalmente cicli stagionali con livelli più alti nei mesi "freddi" e più bassi in quelli "caldi". Tuttavia, ciò è influenzato molto da parametri "individuali" come le abitudini degli occupanti, in relazione ai cambiamenti nel numero di ricambi d'aria di ciascun ambiente e dalle le caratteristiche costruttive dell'edificio in dipendenza dei materiali e della tipologia della costruzione.

Quanto detto si riflette in variazioni stagionali differenti, anche significativamente, tra edifici della stessa regione e determina situazioni inverse in cui la concentrazione di radon nel periodo primaverile ed estivo può superare quella registrata in autunno e inverno. Generalmente, ci si riferisce a queste situazioni con l'espressione "*reverse seasonal variation*".

Variazioni stagionali inverse possono dar luogo a significative sottostime dell'effettiva concentrazione media di radon indoor laddove vengano realizzate campagne di misura che prevedono esposizioni di durata inferiore ad un anno, e.g. misure nel trimestre invernale con successiva stima della media annua con eventuale ricorso a fattori di correzione stagionali spazialmente mediati.

Per decidere in quali locali o ambienti sotterranei di uno stesso edificio effettuare le misure di concentrazione di radon, bisogna tenere conto del fatto che le misure devono essere pianificate in modo da essere rappresentative dell'esposizione del personale. Perciò in linea di massima le misure non dovranno essere condotte in locali che non siano occupati con continuità dai lavoratori, come per esempio i locali di servizio, gli spogliatoi e gli ambienti di passaggio come i corridoi.

Nell'ambito di un progetto dell'Istituto Superiore di Sanità, descritto dal documento "Variazioni stagionali inverse della concentrazione di radon indoor e relativo impatto sui protocolli di misura" la concentrazione di radon è stata misurata in sette abitazioni differenti. Le misure, di durata semestrale, hanno interessato un minimo di due locali (ma fino a quattro) per ciascuna abitazione e sono state realizzate con tre tipologie distinte di rivelatori passivi ai quali è stato associato, per una delle abitazioni considerate, il monitoraggio orario con rivelatori continui. I risultati hanno messo in luce come i protocolli di misura che prevedono periodi di monitoraggio inferiori a un anno possano condurre a considerevoli sottostime, se il periodo considerato corrisponde o comprende il periodo invernale, o in significative sovrastime, se la misura viene condotta durante la stagione primaverile o estiva.

La tipologia di monitoraggio può essere distinta secondo la durata temporale del campionamento:

- Istantanea: il campionamento è effettuato con un unico prelievo di durata inferiore ad 1 h. Questo tipo di campionamento permette di eseguire una misurazione estremamente definita nel tempo ed è utile, per esempio, al fine di caratterizzare puntualmente vie di accesso o di riflusso dell'aria.
- Continua: il campionamento è effettuato mediante una serie di prelievi contigui tra loro. Le misurazioni eseguite permettono di rilevare le variazioni temporali delle grandezze in osservazione.
- Ad integrazione: il campionamento è effettuato senza soluzione di continuità temporale per periodi compresi, generalmente, tra qualche giorno e diversi mesi, fino ad un anno. La misurazione fornisce il valore dell'esposizione al radon e quindi della concentrazione media nel periodo monitorato.

La tipologia istantanea è da utilizzare con cautela in quanto la concentrazione del radon è estremamente variabile sia su base giornaliera che stagionale.

La modalità di campionamento può, invece, essere distinta secondo il tipo di dispositivo utilizzato, potendosi avere:

Tecniche attive di tipo "real time" in cui esiste un forzamento dell'aria indotta nel sistema di misura, costituite generalmente da analizzatori che necessitano di corrente elettrica e che sono in grado di rilasciare dati di concentrazione direttamente a display dello strumento

Tecniche passive basate sulla naturale diffusione dell'aria nei sistemi di misura di tipo "non real time" che non sono dotati di sistema di lettura immediato e che necessitano di una fase successiva in laboratorio per l'ottenimento del dato di concentrazione di radon

Le tecniche attive sono generalmente utilizzate quando si ha la necessità di controllare l'andamento della concentrazione di radon per valutare l'esposizione durante le ore di permanenza rispetto alle ore in cui gli ambienti non sono frequentati. Un altro caso può essere quello della ricerca di eventuali punti di ingresso del radon in un edificio ove è necessaria una risposta in tempo reale.

Le tecniche passive, invece, vengono effettuate quando il principale scopo è la valutazione dell'esposizione annuale e quindi del rischio associato alla permanenza in determinati ambienti.

Tab.4.2 – Tipologie di misure di radon

Tipologia di misura	Intervallo di tempo	Scopo misura
Misure a lungo termine	Da 1 mese ad 1 anno	Monitoraggio indoor
Misure a breve termine	Da 1 a 10 giorni	A scopo d'indagine. Per discriminare edifici a diversi livelli di concentrazione o locali di uno stesso edificio
Misure istantanee	Da 1-2 a 10 minuti	Per determinati edifici o per scopo di ricerca
Monitoraggio continuo	Variabile	Per studiare particolari ambienti, per rilevare variazioni stagionali o di origine geodinamica

4.1.2 Le norme tecniche

In ogni caso, per lo svolgimento di misure di radon in ambienti indoor, sia mediante analizzatori in continuo e sia mediante dosimetri passivi, è possibile seguire come riferimento alcune norme tecniche, tra le quali le principali sono:

UNI ISO 11665-4: 2021 - Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon-222 - Parte 4: Metodo di misura ad integrazione per la determinazione della concentrazione media di attività usando un campionamento passivo e analisi successiva: La norma descrive le tecniche di misura ad integrazione del radon-222 con campionamento passivo. Fornisce indicazioni per determinare la concentrazione di attività media di radon-222 in aria in seguito a misure basate su un campionamento passivo, di facile utilizzo e a basso costo, e le condizioni di utilizzo dei dispositivi di rivelazione. Il presente documento si applica a campionamenti di durata che varia da alcuni giorni ad un anno senza soluzione di continuità. Questo metodo è applicabile a campioni di aria con concentrazioni di attività di radon superiori a 5 Bq/m³.

UNI EN ISO 11665-5: 2020 - Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 5: Metodi di misura in continuo della concentrazione in attività: La norma descrive i metodi di misura in continuo per la determinazione della concentrazione di radon-222. Fornisce indicazioni per un monitoraggio continuo delle variazioni temporali della concentrazione di radon in ambienti confinati o aperti. Questo documento è inteso per valutazioni delle variazioni temporali della concentrazione di radon in ambiente, in edifici pubblici, in abitazioni e in luoghi di lavoro, come una funzione dei parametri d'influenza come ventilazione e/o condizioni meteorologiche. Il metodo di misura descritto si applica ai campioni di aria con concentrazione di radon maggiore di 5 Bq/m³.

- UNI ISO 11665-8: 2020 - Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon- 222 - Parte 8: Metodologie per le indagini iniziali e supplementari negli edifici: La norma specifica i requisiti per la determinazione della concentrazione di attività del radon in tutti i tipi di edificio. Gli edifici possono essere singole abitazioni, edifici pubblici o industriali, edifici sotterranei, etc. Il documento descrive i metodi di misura per determinare durante la fase iniziale di indagine la media annuale di concentrazione di attività del radon negli edifici. Esso tratta anche delle indagini necessarie per identificare la sorgente, le vie di ingresso e i percorsi di diffusione del radon negli edifici (indagini aggiuntive). Infine, la norma descrive i requisiti applicabili per le verifiche immediate post-mitigazione dopo che sono state implementate azioni di rimedio, per il monitoraggio dell'efficacia delle azioni realizzate nonché le verifiche di sostenibilità degli edifici in relazione al radon. La norma non indica le modalità di diagnosi tecnica degli edifici o le prescrizioni per le azioni di rimedio.

4.1.3 Durata delle misure

La normativa stabilisce che il livello di azione per la concentrazione di radon si riferisce alla concentrazione di attività media annua, comprendente sia il periodo diurno che il periodo notturno. Le tecniche di misura da utilizzare, quindi, devono consentire di coprire interamente l'arco di un anno solare, mediante una o più esposizioni, anche perché in Italia le conoscenze sui fattori di correzione stagionali per trasformare misure di durata inferiore all'anno in valori medi annui, non sono attualmente sufficienti.

A causa della forte variabilità delle emissioni di radon, influenzata da fattori climatici, tellurici e stagionali, è in ogni caso sconsigliabile effettuare misure di breve durata, (di qualche ora o anche di pochi giorni) in quanto esse forniscono generalmente stime poco rappresentative della situazione media annuale, e portano spesso a contromisure insufficienti o, comunque, inadeguate.

In un articolo pubblicato nel 2024 dal titolo *"Short-Term vs. Long-Term: A Critical Review of Indoor Radon Measurement Techniques"* è stata svolta una valutazione dell'accuratezza delle misure di breve periodo nel prevedere le medie annuali. Sono inoltre stati confrontati gli approcci di monitoraggio in Europa (dove le misurazioni a lungo termine sono inserite

in tutti i riferimenti legislativi) e negli Stati Uniti (dove sono prevalenti le misure di breve periodo). Nell'articolo sono stati identificati venti studi attraverso ricerche nei database scientifici e in letteratura, concentrandosi sull'accuratezza dei sistemi di monitoraggio di breve periodo e sulla gestione del radon. Nella maggior parte di essi si raccomanda un test di almeno quattro giorni per lo screening iniziale, ma la precisione varia in funzione dei livelli di radon ed in particolare diminuisce per livelli moderati (concentrazioni superiori di 75 Bq/m³), richiedendo conferma con periodi di test più lunghi (durata di 3 mesi) e soprattutto per livelli di radon elevati, per i quali le misure brevi sono state indicate come inadatte a causa delle notevoli variazioni.

Anche la stagionalità ha avuto un ruolo importante: i mesi invernali hanno fornito un quadro più rappresentativo delle medie annuali del radon.

L'associazione Assoradon (Associazione italiana professionisti radon) ha pubblicato un approfondimento dal titolo "Indicazioni tecniche per la valutazione rischio radon con misure di breve periodo" disponibile sul sito dell'associazione⁸. Al paragrafo 1.5 del documento viene richiamato il Decreto della Regione Lombardia n.12678 del 21 dicembre 2011, che descrive le modalità di esecuzione di misure di breve termine. Nel documento vengono consigliate le tempistiche di campionamento da differenziare in base alla stagione di monitoraggio, con misura di durata non inferiore a 7 giorni, e in particolare:

- almeno 7 giorni nel periodo invernale;
- almeno 10 giorni nel periodo primaverile/autunnale;
- almeno 15 giorni nel periodo estivo.

Tab. 4.3- Numeri di misure da effettuare in funzione dell'ampiezza del locale

Categoria	Numero di misure raccomandato
Locali separati di piccole dimensioni (inferiori a 50 m ²)	Una misura in ciascun locale, salvo quanto sopra previsto
Ambienti di medie e grandi dimensioni	Una misura ogni 100 m ² di superficie

Il protocollo sviluppato dall'Agenzia inglese *Health Protection Agency* (HPA), prevede il posizionamento dei dispositivi di misurazione del radon anche al piano terra degli edifici.

Il numero dei punti di controllo dipende dalla dimensione del luogo di lavoro e dalla sua collocazione rispetto al piano di campagna (sotterraneo o piano terra), come è mostrato nella tabella seguente. Per i locali sotterranei, per esempio, il protocollo HPA prevede un punto di misurazione in ogni locale, stanza o area indipendentemente dalle dimensioni e dal grado di occupazione.

⁸ <https://www.assoradon.org/>

Tab. 4.4 – Numero di punti di misura raccomandato dall’HPA

Locale	Numero di misure
Locali sotterranei	1 in ogni locale, stanza, area, indipendentemente dalle dimensioni e dal grado di occupazione
<ul style="list-style-type: none">• Uffici di piccole dimensioni• Negozio di piccole dimensioni• Banche	1 ogni 100 m ² di superficie (per gli uffici 1 ogni 2-3 uffici)
<ul style="list-style-type: none">• Uffici di grandi dimensioni• Negozio con dimensione maggiore di 1000 m• Aree ad accesso pubblico• Scuole, Alberghi• Industrie leggere	1 ogni 250 m ² di superficie
Come sopra, con dimensione maggiore di 5000 m ²	1 ogni 500 m ² di superficie
Aree con dimensione maggiore di molte migliaia di m ²	1 ogni 1000 m ² di superficie

Il protocollo americano EPA, infine, fornisce indicazioni molto dettagliate sul posizionamento dei dispositivi di misurazione. Il dispositivo deve essere posto in punti in cui non possa essere rimosso o spostato durante il periodo di esposizione ed inoltre la misurazione non deve avvenire vicino a porte e a correnti d'aria causate dall'impianto di riscaldamento e di ventilazione e deve essere condotta lontano almeno 90 cm da finestre o altre aperture nella parete esterna.

In generale il dispositivo dovrebbe essere posizionato:

- a circa 30 cm dalle pareti
- a circa 50 cm dal pavimento
- a minimo 10 cm da altri oggetti
- ad un'altezza ottimale corrispondente al punto di respirazione di un adulto.
- lontano da fonti eccessive di calore come camini o aree ad elevata umidità

Le misure dovranno essere pianificate in modo da essere rappresentative dell'esposizione delle persone occupanti e quindi esse, in linea di massima non dovranno essere condotte

in locali che non siano occupati con continuità, come per esempio gli stanzini o gli sgabuzzini, i bagni e gli ambienti di passaggio come i corridoi.

Considerato che numerosi studi hanno messo in evidenza la variabilità della concentrazione di radon anche fra ambienti contigui, le misure dovranno in generale essere effettuate in ogni locale fisicamente separato. In caso di un numero elevato di ambienti "analoghi" sulla base di considerazioni riguardanti le caratteristiche della costruzione e dell'uso degli ambienti stessi, compresa la ventilazione e il tipo di attività, potrà essere giustificata la riduzione del numero di misure da effettuare in uno stesso edificio.

4.2 Gli strumenti di misura

4.2.1 Gli strumenti passivi

Gli analizzatori di radon di tipo passivo non necessitano di alimentazione elettrica e generalmente richiedono un lungo periodo per fornire una risposta mentre i secondi sono veri e propri analizzatori elettrici in continuo i quali sono in grado di fornire risposte immediate. La determinazione della concentrazione di radon con sistemi passivi di misurazione dipende, oltre che dal tipo di elemento sensibile adottato per la rivelazione delle radiazioni, dalle modalità di campionamento del gas, dalla geometria del contenitore del rivelatore, nonché dal tipo di protezione adottata per il dispositivo prima e dopo l'esposizione. I criteri e i requisiti minimi di detto campionamento sono finalizzati a garantire una misura integrata della concentrazione di radon il più indipendente possibile dalle particolari condizioni ambientali, nonché dalla presenza di prodotti di decadimento del radon, del thoron (e relativi prodotti di decadimento), di aerosol, di polvere, di turbolenza e vortici di aria, ecc.

La strumentazione di tipo passivo, maggiormente impiegata nella misura della concentrazione di radon indoor è costituita dai seguenti rivelatori:

- Rivelatori a carica elettrostatica: Il sistema si basa su un disco di teflon (un elettrete⁹⁾ che viene caricato elettrostaticamente (come una matita quando si strofina su un maglione di lana) e ha la capacità di mantenere la carica (negativa) a lungo nel tempo. Il disco, così caricato, viene inserito in un contenitore, chiamato "camera" che è esposto al radon. Nella camera il disco genera un campo elettrico. Quando il radon entra nella camera, le radiazioni alfa che sono prodotte, come abbiamo visto in precedenza, ionizzano l'aria presente dando origine a coppie di ioni. Gli ioni positivi sono attratti dal campo elettrico e si depositano sulla superficie del disco di teflon neutralizzando in parte la carica originale. Al termine

⁹⁾ L'elettrete è un materiale dielettrico che ha una carica elettrica quasi permanente, o polarizzazione elettrostatica in grado di generare un campo elettrico interno ed esterno, ed è l'equivalente elettrostatico di un magnete permanente

della esposizione la carica sul disco di teflon sarà ridotta di una quantità che è funzione della concentrazione di radon. 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. Per l'utilizzo di questo tipo di dosimetro, va posta attenzione ad alcune condizioni per quanto concerne la manipolazione e le condizioni di misura, ossia:

- 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 ed 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.

Fig. 4.1 - Rivelatore a carica elettrostatica



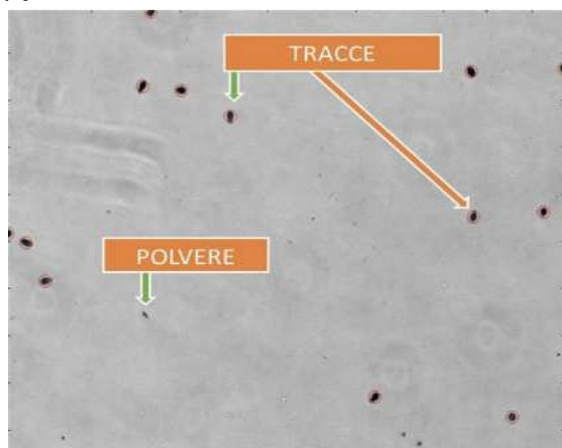
Fonte: www.xgammaguard.it

Dalla misura della differenza di carica elettrostatica prima e dopo l'esposizione, tenuto conto del tempo di esposizione, è possibile stimare la concentrazione di radon.

- Rivelatori a tracce nucleari: I rivelatori a tracce nucleari (*Solid State Nuclear Track Detectors*) sono costituiti da un film a polimeri sensibili alle radiazioni alfa. L'interazione delle particelle alfa con il materiale plastico causa un danno ai legami chimici del polimero, formando la cosiddetta "traccia latente", la quale, per renderla visibile al microscopio, viene attaccata mediante un trattamento chimico od elettrochimico ottenendo una "traccia visibile". Il trattamento chimico consiste nell'immersione dei dosimetri in una soluzione di idrossido di sodio in acqua distillata al 25%, alla temperatura di 98 °C per un'ora, e successivamente in una soluzione di acido acetico al 2% per 45 minuti con risciacquo finale in acqua distillata per 60 minuti. Al termine di tali operazioni i dosimetri vengono asciugati

e archiviati in busta trasparente sigillata, pronti per essere sottoposti a misure. Il trattamento elettrochimico utilizza, oltre a quanto visto per quello chimico, un campo elettrico che amplifica ulteriormente le tracce

Fig. 4.2 – Immagine al microscopio delle tracce di particelle alfa emesse dal radon sulla superficie di un dosimetro



Fonte: ARPA Puglia.

Il rivelatore è posizionato in una cameretta che presenta delle fessure piccolissime (dell'ordine di 10^{-6} mm) che consente l'ingresso al suo interno solo della molecola monoatomica del radon e da impedire l'ingresso dei suoi "figli" adsorbiti sul particolato, della polvere e dell'aerosol.

Le caratteristiche dei rivelatori di tracce nucleari sono di seguito elencate:

- sono sensibili alle radiazioni alfa e insensibili ad altri tipi di radiazioni (in particolare alla radiazione gamma)
- forniscono un valore della concentrazione media di radon su lunghi periodi (da alcuni mesi a un anno) per cui sono gli strumenti che meglio soddisfano le richieste della normativa italiana
- forniscono una risposta in genere indipendente dalle condizioni ambientali (non influenzati da temperature fino a 110°C e da intervalli di umidità compresi tra il 5% ed il 95%)
- consentono un conteggio automatico delle tracce, permettendo un notevole risparmio dei tempi di analisi
- si possono conservare e rianalizzare anche dopo decenni
- non necessitano di alimentazione elettrica
- robustezza e basso costo
- piccole dimensioni del rivelatore e del contenitore che offrono il vantaggio di un utilizzo in grandi quantità ed in condizioni di maneggevolezza
- possibilità di archiviare i rivelatori già sviluppati in modo che essi rimangano sempre disponibili per nuove misure

- buone caratteristiche dosimetriche, una risposta su di un ampio intervallo di energia (200 keV - 14 MeV) ed una bassa soglia di rivelazione.

I principali problemi connessi all'impiego di tali dosimetri sono relativi alla variabilità del numero di tracce di fondo del materiale, dovuta ad imperfezioni legate al processo di produzione, dipendente a sua volta da numerosi fattori, quali il grado di purezza del monomero di partenza, la sua concentrazione, il ciclo termico di polimerizzazione, nonché ovviamente dalle procedure di conservazione.

Fig. 4.3 – Dosimetro tipo NRPB/SSI



Fonte: ESPEL

Figura 4.4 – Dosimetro "Rn-Disk"



Fonte: ESPEL

Figura 4.5 – Dosimetro "PICO-RAD".



Fonte: ESPEL:

Figura 4.6 – Dosimetro "ANPA"



Fonte: ESPEL

Figura 4.7 – Dosimetro ENEA-IRP



Fonte: ESPEL

Figura 4.8 – Dosimetri Long Term e Short Term



Fonte: ESPEL

I dosimetri, prima della esposizione e successivamente al termine della stessa, devono essere custoditi in bustine di materiale non permeabile al radon in modo tale da evitare esposizioni aggiuntive a quelle del locale monitorato.

Esistono in commercio diversi materiali che possono essere impiegati per i rivelatori tra i quali, per esempio:

- LR-115 e CN-85 (nitrato di cellulosa)
- CR-39 (poliallidiglicolcarbonato)
- Makrofol (policarbonato)

I rivelatori denominati "C39" sono costituiti da una piccola lastra di materiale plastico alloggiato in un contenitore in polipropilene senza filtri di tipo "chiuso" detto "camera di diffusione".

Fig. 4.9 - Rivelatore a tracce tipologia C39



Fonte: www.radon.it

Gli "LR 115" sono, invece, costituiti da un supporto plastico avente uno spessore massimo di 0,5 mm, rivestito da uno strato di circa 12 μ m di nitrato di cellulosa che rappresenta la parte sensibile. L'energia associata alle particelle alfa è, tuttavia, molto elevata per produrre un danno osservabile nel film, pertanto ad esso viene anteposto uno strato di Mylar (un film di poliestere flessibile), avente il compito di assorbire energia e rallentare le particelle alfa, le quali, arrivando sul film sottile con energia minore, produrranno un danno maggiormente osservabile.

I dosimetri vengono collocati all'interni del locale da investigare, o appoggiati sulla superficie di un mobile, su una mensola, o appesi al muro per mezzo di ganci o chiodi o di altri appigli già presenti e vengono lasciati per un determinato periodo di tempo. Il posizionamento deve essere realizzato tenendo conto di:

- Evitare la vicinanza di finestre, porte, sorgenti di calore, apparecchiature elettriche, caminetti anche spenti, di prese o mandate dell'impianto di ventilazione e l'illuminazione diretta del sole
- Non collocarlo a terra o troppo vicino al soffitto ma ad un'altezza possibilmente compresa tra 150 e 250 centimetri da terra ed a una distanza dalle pareti di almeno 30 centimetri
- Non collocarlo all'interno di armadi e contenitori chiusi
- Posizionare il dosimetro in modo che il punto di esposizione rappresenti il vertice di un cono immaginario capovolto avente angolo di 140 gradi, il quale dovrà essere libero da ostacoli e impedimenti

Per quanto riguarda il numero di dosimetri da posizionare, è bene utilizzare, salvo particolari esigenze:

- un dispositivo per ogni locale separato di superficie netta minore di dimensioni 50 m²
- un dispositivo ogni 50 m² (o sua frazione) di superficie netta per locali di superficie minore di 200 m²
- un dispositivo ogni 100 m² per locali di superficie maggiore di 200 m²

Dopo aver effettuato il posizionamento di ogni singolo dispositivo, è buona prassi annotare la sua collocazione (eventualmente con fotografie), la data e l'ora dell'operazione d'inizio monitoraggio.

È importante che, durante il periodo di monitoraggio, i locali dove vengono collocati i dispositivi di misura, continuino ad essere utilizzati, dalle persone ospitanti, con le stesse modalità ed abitudini che queste erano solite seguire in precedenza, curando peraltro di non avvicinare il dispositivo stesso o comunque di non alterarne la collocazione.

Il periodo di misura è generalmente pari a sei mesi o ad un anno. In caso di periodi di monitoraggio inferiori all'anno, la misura deve essere eseguita possibilmente nella stagione fredda e con il riscaldamento acceso.

Terminato il periodo di esposizione occorre:

- verificare che il dispositivo si trovi nella stessa collocazione annotata al momento del posizionamento, che non sia ostruito, danneggiato o chiuso;
- estrarre i rivelatori dalla camera di esposizione e chiudere il dispositivo
- annotare data e ora di fine monitoraggio;
- far pervenire i rivelatori ed eventualmente le camere di esposizione al laboratorio per il rilievo delle tracce ed il conseguente calcolo della concentrazione media di attività del radon misurata.

Rivelatori a canestri di carbone attivo: Un altro tipo di misuratore, alternativo al dosimetro, è il canestro a carboni attivi, costituito da un contenitore metallico dotato di una superficie filtrante attraverso cui il radon diffonde in modo passivo e da un coperchio a tenuta di gas per evitare fughe parziali della frazione adsorbita. Al suo interno è collocata una quantità nota di carboni attivi, che hanno la proprietà di adsorbire il radon, che vengono poi analizzati in un laboratorio specializzato, in modo da risalire in modo indiretto alla sua concentrazione.

Fig. 4.10 – Canestro a carboni attivi



Fonte: www.radonmarketacademy.it

La rilevazione del radon con i canestri di carbone attivo è un metodo economico e adatto per rilievi di breve o media durata (da due o tre giorni fino al massimo di una settimana),

con una tecnica che presenta una sensibilità in genere molto elevata ed indicata per misurare concentrazioni di radon anche di poche decine di Bq/m³.

Uno dei problemi di questo metodo è dato dalla capacità del carbone attivo di adsorbire, oltre al radon, anche l'acqua presente in atmosfera o altre sostanze, mandando il campionario in saturazione. Secondo la procedura indicata dall'Ente di Protezione Ambientale Americano (EPA) il rivelatore viene calibrato per una esposizione di 48 ore a 20-25 °C e per determinati valori di umidità e, al di fuori da tali parametri, per ottenere risultati precisi, si devono introdurre dei fattori correttivi.

I vantaggi dell'uso del canestro, oltre al basso costo, è la sua possibile rigenerazione mediante ciclo termico ad alta temperatura, che lo riattiva, eliminando gli elementi adsorbiti in precedenza.

Gli svantaggi di questi sistemi sono sostanzialmente: l'impiego limitato a brevi periodi di monitoraggio e la sensibilità del carbone attivo all'umidità e alla presenza di altre sostanze gassose che, analogamente al radon, possono adsorbirsi saturando almeno in parte il materiale. È necessaria quindi un'accurata calibrazione del sistema nelle reali condizioni di applicazione.

4.2.2 Strumentazione di tipo attivo

I sistemi attivi sono quelli basati sull'interazione delle radiazioni prodotte dal radon durante il suo processo di decadimento, con la materia. In alcuni casi (camere a scintillazione) quando le radiazioni alfa colpiscono dei particolari materiali si producono delle piccole scintille che sono rivelate da fotomoltiplicatori (rivelatori di luce) e contate. In altri casi (camere a ionizzazione) si misurano gli ioni prodotti in piccoli volumi in cui si mantiene una elevata differenza di potenziale; in altri casi ancora, le radiazioni vengono evidenziate per effetto delle alterazioni elettriche che inducono in materiali semiconduttori. In tutti i casi, dei sistemi di conteggio elettronici rendono conto delle radiazioni presenti e quindi sono correlati con la concentrazione di radon.

Oggi è possibile utilizzare strumentazioni portatili e di rapido approvvigionamento, in grado di monitorare in tempo reale, 24 ore su 24, il livello di radon insieme ai parametri microclimatici più comuni quali umidità relativa e temperatura, spesso fattori determinanti per il peggioramento della salubrità degli ambienti.

I misuratori di radon per uso domestico presentano le seguenti caratteristiche:

- Misura mediante tecniche attive
- Ridotto costo
- Facilità di utilizzo (collegamento con app oppure indicatori semaforici)
- Suggerimenti per necessità di intervento (al superamento di una determinata soglia o valore medio suggeriscono di attivare interventi di mitigazione del radon)

-
- In alcuni casi: misura simultanea di altri parametri quali la CO₂, la temperatura dell'aria o altri inquinati
 - Per alcuni modelli non è prevista la possibilità di taratura dello strumento.

La strumentazione domestica si suddivide in due categorie:

- Misuratori in continuo: con intervallo di misura di un'ora
- Misuratori che producono dati mediati su diversi intervalli di esposizione (media giornaliera, media di lungo periodo).

In un recente articolo dal titolo "Evaluation of consumer digital radon measurement devices: a comparative analysis" sono stati testati otto misuratori domestici utilizzando lo standard americano ANSI/AARST MS-PC-2022, dal titolo "Performance Specifications for Instrumentation Systems Designed to Measure Radon Gas in Air". Sono state verificate le prestazioni di otto misuratori a tre diverse concentrazioni di radon:

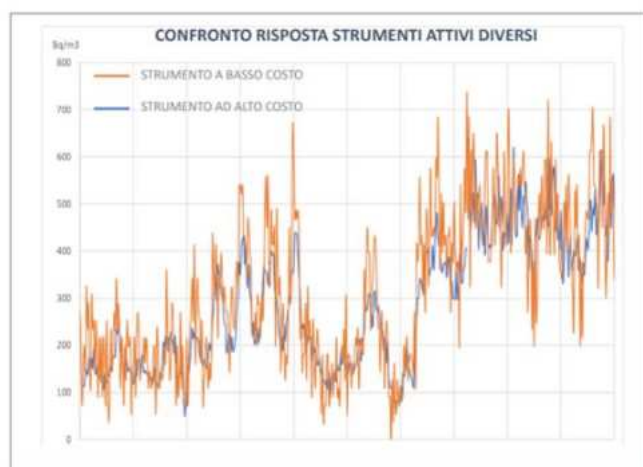
- elevate concentrazioni (tra circa 1.000 e 10.000 Bq/m³)
- concentrazioni tra 450 e 500 Bq/m³
- concentrazione ambientale di circa 20 Bq/m³.

Nello studio non sono state valutate le prestazioni sul lungo periodo, che rimangono quindi da approfondire, dato che il test durava circa una settimana. L'IPE (errore percentuale individuale) e il CV (coefficiente di variazione) sono stati calcolati per tutti gli otto modelli di dispositivi. Sette degli otto modelli di dispositivi soddisfacevano i criteri del $\pm 25\%$ per la componente di precisione del requisito di prestazioni minime di cui sopra, che stabilisce che tutti e cinque i dispositivi per ciascun modello di dispositivo devono rientrare nell'intervallo IPE approvato. Si prevedeva che la precisione dei modelli dei dispositivi sarebbe aumentata con l'aumento della concentrazione di radon. Per sette degli otto modelli di apparecchi la precisione è rimasta la stessa oppure è migliorata all'aumentare della concentrazione di radon. I risultati ottenuti nello studio pubblicato nel 2024 sono in linea con le pubblicazioni precedenti e differiscono di pochi punti percentuali perché alcuni strumenti non sono più in commercio oppure sono stati aggiornati.

Secondo uno studio di ARPA Lombardia riguardante il confronto tra misuratori domestici e strumentazione professionale, nel complesso i risultati sono confrontabili in termini di andamento anche se non pare propriamente corretto estrapolare medie annuali da dati relativi a brevi periodi.

Nella figura seguente si riporta il grafico con il confronto tra l'andamento di concentrazioni di radon di misuratori domestici a basso costo e di misuratori ad alto costo.

Fig. 4.11 – Confronto tra strumenti a basso e altro costo per la misura del radon indoor



Fonte: ARPA Lombardia

La possibilità di utilizzo della strumentazione domestica per la misura del radon deve essere attentamente valutata in funzione degli obiettivi. Non sarà mai possibile sostituire le misure eseguite da personale competente e laboratori di prova certificati. A tal fine si può fare riferimento alla UNI/PdR 122:2022 dedicata alla definizione degli approcci per il campionamento dell'aria per i diversi inquinanti. Il radon all'interno della UNI/PdR 122:2022 appartiene ai parametri che necessitano il coinvolgimento di un laboratorio di prova.

In generale si può affermare che il ricorso a misuratori domestici ha senso nei seguenti casi:
a seguito di una misura di radon annuale eseguita mediante dosimetro, in attesa di realizzare un risanamento, può essere utilizzato un misuratore domestico per gestire il ricambio dell'aria (finestre, porte e altre aperture)

prima di eseguire lavori di ristrutturazione, in un edificio nel quale non si conoscono le concentrazioni di radon eseguire una misura della durata di alcuni giorni quando l'edificio è inutilizzato

per incrementare il campionamento in un edificio da risanare, affiancando alla strumentazione da laboratorio alcuni strumenti domestici per dettagliare maggiormente le dinamiche di variazione delle concentrazioni.

Tali dispositivi sono spesso dotati di sensori di tipo "intelligente" e possono comunicare in modalità wireless con gli impianti di climatizzazione già presenti in un edificio, per attivarli in caso di necessità, inviando dati e/o allarmi anche ai terminali (smartphone, tablet, computer) di chi vive lo spazio.

Il dispositivo di misura deve essere calibrato almeno ogni cinque anni. Va scelto orientativamente un intervallo di misura di 10 minuti per una durata di monitoraggio prevista inferiore alle 6 ore altrimenti un intervallo di misura di 60 minuti. La misura va eseguita possibilmente nella stagione fredda e con il riscaldamento acceso. Eventuali condizioni climatiche anomale (forte vento, forti sbalzi di pressione ecc.) vanno annotate, se non è stato possibile evitarle.

La strumentazione attiva è in grado di determinare una misura istantanea oppure in continuo della concentrazione del radon in aria. Si tratta di sistemi di monitoraggio elettronici portatili, che, lasciati nel locale da monitorare per periodi variabili da 24 a 48 ore, hanno il vantaggio di dare un risultato in tempo quasi reale e permettono un'analisi degli andamenti giornalieri p.es. sulla base delle medie orarie. Sono strumenti a batteria di lunga durata, dotati di monitor e collegabili ad un PC e di grande capacità di memoria. Essi sono generalmente in grado di misurare in contemporanea anche temperatura, umidità e pressione ambientale.

Il posizionamento del dispositivo nei locali prescelti in un luogo sicuro deve fare in modo di:

- evitare situazioni di estrema umidità e polverosità;
- evitare campi elettromagnetici rilevanti;
- mantenere temperatura e pressione ambientali ad un livello che non differisca da quello di taratura
- evitare l'illuminazione diretta del sole e la vicinanza di finestre, porte, sorgenti di calore, caminetti anche spenti, apparecchiature elettriche, di prese o mandate dell'impianto di ventilazione;
- non collocarlo all'interno di armadi e contenitori chiusi;
- non collocarlo a terra o troppo vicino al soffitto ma, per quanto possibile, ad un'altezza compresa tra 100 e 300 centimetri da terra. A una distanza dalle pareti di almeno 30 centimetri e da qualunque altro oggetto di almeno 10 centimetri, ad eccezione di particolari circostanze di misura che dovranno essere motivate.

Dopo aver effettuato il posizionamento del dispositivo è necessario attendere almeno 60 minuti per permettere al processo di diffusione dell'aria all'interno della camera di ionizzazione di aver raggiunto l'equilibrio con l'ambiente.

Durante il periodo di monitoraggio, il locale ove è collocato il dispositivo di misura, deve avere chiuse porte e finestre e ogni altro passaggio d'aria. Ogni apertura verso l'esterno deve essere stata già chiusa almeno 12 ore prima dell'inizio del monitoraggio, nel caso di durata del monitoraggio stesso inferiore ad una settimana.

Gli impianti di ventilazione e condizionamento che sono usualmente utilizzati, possono rimanere accesi a condizione che non immettano aria nuova dall'esterno.

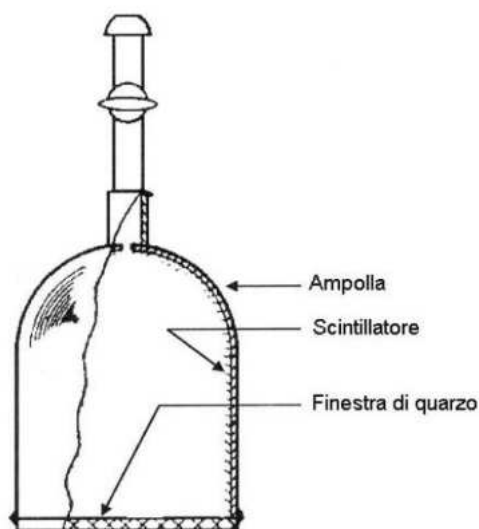
I principali sistemi attivi sono quindi i seguenti:

Camere di ionizzazione ad elettrete: Nelle camere a ionizzazione il radon diffonde, attraverso una membrana permeabile, all'interno di una camera a volume noto e,

decadendo, ionizza l'aria, generando ioni che vengono raccolti per mezzo di elettrodi (elettretti). Dal conteggio degli impulsi di tensione si risale al numero di decadimenti alfa avvenuti, e quindi alla concentrazione di radon nell'aria. Il principale svantaggio di questo metodo è che gli elettrodi sono sensibili anche ai raggi γ ambientali e ai raggi cosmici per cui devono essere accompagnati da dosimetri aggiuntivi sistemati in contenitori impermeabili al radon per permettere la stima della dose dovuta alle radiazioni diverse dalle particelle α del radon. La misura data da questi dosimetri aggiuntivi viene sottratta a quella precedente.

Camere a scintillazione: un fotomoltiplicatore trasforma gli impulsi luminosi, generati in seguito agli urti delle particelle alfa con un materiale sensibile (solfuro di zinco), di cui è rivestita la camera (chiamata comunemente "Cella di Lucas"), in impulsi elettrici che vengono misurati da un contatore. Il loro numero è direttamente proporzionale al numero di particelle alfa e quindi alla concentrazione di radon. La cella a scintillazione è il dispositivo classico per la tipologia di campionamento istantaneo con una modalità sempre di tipo attivo. Il campionamento avviene facendo fluire l'aria nella cella attraverso le valvole di ingresso e di uscita, per un periodo sufficiente (10 volte il tempo medio di transito dell'aria nella cella) per uguagliare la concentrazione di radon interna alla cella con quella esterna.

Fig. 4.12 – Cella di Lucas



Fonte: www.radongas.it

- Dispositivi a barriera di superficie: Tali dispositivi, anche chiamati "sistemi a due filtri", sono costituiti da una camera di decadimento dotata di due filtri, uno all'ingresso ed uno all'uscita, e da una pompa per l'aspirazione dell'aria. Il primo filtro elimina il particolato facendo passare solo il radon, mentre il secondo,

consente di raccogliere i prodotti di decadimento formati durante il tempo di transito all'interno della camera. L'attività del secondo filtro viene generalmente misurata con rivelatori al solfuro di zinco che registrano le particelle alfa emesse dal radon e, mediante un algoritmo, si ricava la concentrazione di radon in aria.

Fig. 4.13 – Analizzatori in continuo di radon



Fonte: www.misurediradon.it

4.3 Requisiti degli organismi di misura

In base a quanto stabilito dalla normativa vigente, per lo svolgimento delle misurazioni di concentrazione di radon effettuate in ambito professionale, il datore di lavoro si deve avvalere di organismi riconosciuti da istituti previamente abilitati o, nelle more del riconoscimento, di organismi idoneamente attrezzati.

In assenza del decreto che stabilisce le modalità di abilitazione risulta necessario definire in via transitoria i requisiti minimi dei laboratori che possono quindi essere identificati come "idoneamente attrezzati".

Gli organismi o laboratori che sono conformi alla norma EN ISO/IEC 17025 e che hanno accreditato metodi di prova (misura) idonei a misurare la concentrazione di radon media annua possiedono requisiti tecnici coerenti con quanto previsto.

I requisiti minimi dei servizi di dosimetria secondo quanto previsto dall'Allegato II del D.Lgs.101/2020, nelle more del riconoscimento di idoneità, sono:

- a) denominazione, codice fiscale, indirizzo ed eventuale indirizzo WEB
- b) individuazione del responsabile tecnico con formazione professionale adeguata ed esperienza documentata in materia di almeno due anni;
- c) individuazione delle persone abilitate ad eseguire le misure;
- d) indicazione sui metodi di misurazione con riferimento a norme internazionali o nazionali o sui metodi sviluppati dal laboratorio e sottoposti a validazione;
- e) certificato di taratura con indicazione della riferibilità a campioni primari;

-
- f) programma di controllo di qualità misure del metodo di misurazione impiegato;
 - g) assicurazione della qualità dei risultati anche attraverso la partecipazione a programmi idonei di confronti interlaboratori;
 - h) adozione di procedure e istruzioni scritte per i metodi di misurazione, comprese quelle per le tarature e il controllo di qualità.

Le tecniche di misura della concentrazione di radon necessitano di diversi gradi di competenza del personale che effettua le misure e dell'applicazione di procedure di taratura e di controllo di qualità dei dati.

Il responsabile tecnico del laboratorio dovrebbe possedere una adeguata formazione tecnico-scientifica e una documentata esperienza sulla misura di radon in aria. Nell'ambito dell'organismo, inoltre, dovrebbero essere chiaramente definiti i compiti e le responsabilità relative agli aspetti tecnici di misura della concentrazione di radon.

Inoltre:

- se l'organismo è costituito da una sola persona fisica, questa deve essere in possesso dei requisiti indicati per il responsabile tecnico delle misure.
- Se l'organismo è costituito da più persone fisiche con compiti e formazioni professionali diverse, le rispettive responsabilità tecniche relative alle misure di concentrazione di radon dovranno essere definite in un documento scritto.

Gli organismi incaricati, oltre ad utilizzare una certa tecnica di misura, dovranno garantire 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 fino alla manutenzione degli strumenti.

In particolare:

Gli organismi che utilizzano rivelatori ad elettretti, in particolare negli ambienti sotterranei, dovranno essere dotati di strumenti o tecniche idonee anche alla misura della dose da radiazione gamma, che viene sottratta come un contributo di fondo e che deve essere misurata indipendentemente dalla concentrazione di radon, poiché non sono attualmente disponibili dati medi regionali o locali in tali ambienti, dove sia il contributo dei materiali che della radiazione cosmica sono poco conosciuti.

Gli organismi che impiegano due rivelatori per postazione di misura, al fine di migliorare l'affidabilità dei risultati e abbassare l'incertezza sul risultato, dovranno fornire il risultato ottenuto dalla media delle due misure, a meno che lo scarto fra queste non sia superiore ad un valore prefissato che può essere indicativamente fissato intorno al 20-30%, a seconda del livello di concentrazione di radon.

Gli organismi che impiegano rivelatori ad elettretti dovrebbero tarare il sistema di lettura una volta l'anno e verificare il corretto funzionamento del sistema di lettura mediante elettretti di riferimento, con una periodicità che dipende dalla frequenza di utilizzo del sistema

-
- Gli organismi che impiegano rivelatori a tracce dovrebbero tarare il sistema di misura utilizzato dopo all'acquisto ed inoltre, dopo ogni modifica delle condizioni di utilizzo, dovrebbero verificare il corretto funzionamento delle apparecchiature

Le misure, le tarature, i controlli di funzionamento e di qualità dovranno essere effettuati seguendo una o più procedure scritte, mentre tutte le procedure o istruzioni dovranno contenere una descrizione delle operazioni da compiere e dovranno indicare le modalità di registrazione e di conservazione dei risultati.

In ogni caso, ai risultati delle misure dovrà essere associata l'incertezza tipo composta, che tiene conto dei diversi contributi e deve essere calcolata secondo la norma UNI CEI ENV 13005.

Gli organismi che effettuano misure di concentrazione di radon dovrebbero prendere parte a circuiti di interconfronto organizzati da centri LAT (Laboratori Accreditati di Taratura) o istituti di valenza analoga almeno una volta ogni tre anni e, nel caso in cui i risultati non siano adeguati agli obiettivi prefissati dalla tecnica di misura, sarà necessario individuare le cause e adottare idonee azioni correttive, documentando il ripristino di affidabilità del sistema.

Il risultato delle misure dovrà essere contenuto in una relazione tecnica nella quale 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 della concentrazione di radon media annua associato al luogo della misura, chiaramente individuato (se in un luogo di lavoro vengono effettuate misure in più locali/ambienti o più misure in uno stesso ambiente, è necessario che nella scheda informativa compilata dal committente sia identificato ciascun punto di misura e che lo stesso identificativo sia riportato nella relazione)
 - 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 relative ai risultati.

Nel seguito si riporta una possibile scheda informativa sulle caratteristiche dei locali/ambienti nei quali effettuare le misure.

Tab. 4.5 – Esempio di scheda informativa di presentazione dei risultati delle misure

Ragione sociale richiedente	
Indirizzo richiedente	
Riferimento telefonici/mail	
Nominativo referente interno	
Denominazione del locale	
Posizione del locale rispetto al piano campagna	1: 1° piano sottoterra 2: 2° piano sottoterra 3: 3° piano sottoterra
Presenza di accesso diretto dall'esterno	1: si 2: no
Presenza di ulteriori aperture verso l'esterno	1: si 2: no
Presenza di impianto di climatizzazione attivo	1. solo riscaldamento 2. riscaldamento/raffrescamento 3. solo raffrescamento 4. nessuno
Le pareti sotterranee del locale/ambiente	1. sono totalmente affacciate ad cavedio aerato 2. sono solo parzialmente affacciate a cavedio aerato 3. sono completamente a contatto con il terreno 4. sono completamente (o anche parzialmente) costituite da roccia
Il pavimento	1. Confina con un altro piano 2. È a contatto diretto con il terreno 3. È a contatto con un vespaio aerato
Presenza di condensa/tracce di umidità	1: si 2: no
Individuazione univoca del punto/dei punti di misura all'interno del locale/ambiente (eventualmente allegare planimetria)	
Note:	

5 INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RADON IN AMBIENTI INDOOR

5.1 Introduzione

Per poter affrontare, in modo sinergico e integrato, la riduzione dell'esposizione al radon, l'efficacia degli interventi di efficientamento energetico degli edifici e il perseguimento di una sempre migliore qualità dell'aria indoor, è necessario definire in modo puntuale gli interventi che coniugano entrambi gli obiettivi. La letteratura scientifica sul tema della qualità dell'aria indoor (con focus sul radon) e dell'efficientamento energetico mette in evidenza la necessità di definire alcune diverse variabili relative alle caratteristiche dell'edificio in oggetto e tra queste:

- La destinazione d'uso degli immobili: scuole, abitazioni residenziale, uffici
- Edifici esistenti o di nuova costruzione
- Luogo di ubicazione dell'edificio con particolare riferimento alle caratteristiche del terreno
- Numero di piani dell'edificio
- Tipologia di materiale costruttivo dell'edificio
- Tipologia di contatto dell'edificio con il terreno

In base alle attuali evidenze scientifiche, si è potuto constatare che:

- Vi è correlazione tra alcuni interventi di efficientamento energetico con l'aumento delle concentrazioni di radon, con particolare riferimento alla sostituzione delle finestre soprattutto se non abbinato ad un sistema di ventilazione adeguato
- I differenziali di pressione tra interno ed esterno sono uno dei driver delle variazioni di concentrazioni di radon
- Oltre al terreno anche alcuni materiali da costruzione possono essere fonte di radon (granito, mattoni e cementi contenenti ceneri, ecc.)
- I seminterrati abitabili presentano potenziale di rischio radon maggiore
- Le abitudini abitative incidono nelle concentrazioni di radon con particolare riferimento alla gestione di apertura e chiusura delle finestre, porte finestre ed aperture in generale.

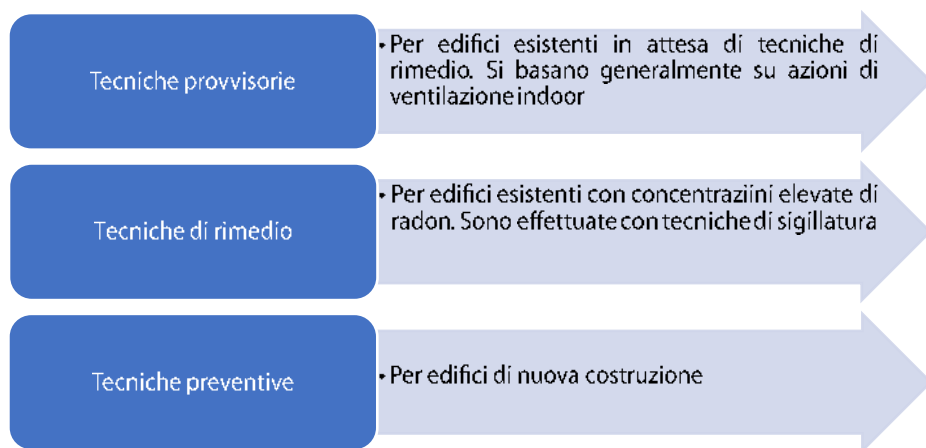
Sulla base della documentazione disponibile in letteratura, i criteri generali che possono essere utilizzati per la definizione e per l'applicazione delle misure di intervento, si basano sostanzialmente su:

- Interventi di riduzione del radon già presente nell'edificio: sono interventi che partono dalla presenza di radon indoor e sono rivolte al suo allontanamento come misura immediata ed alla prevenzione del suo ingresso e/o accumulo come misura definitiva. Essi si basano su sistemi di trattamento dell'aria (pressurizzazione, aspirazione e ventilazione)
- Interventi di prevenzione e riduzione dell'ingresso di radon nell'edificio: sono interventi che hanno l'obiettivo di inibire o ridurre quanto più possibile l'ingresso

del radon nell'edificio. Essi si basano sull'aumento della resistenza dell'edificio all'ingresso del radon, per esempio mediante la sigillatura degli ingressi e/o l'isolamento del pavimento.

Un'ulteriore suddivisione della tipologia di interventi riguarda le necessità che si hanno circa le tempistiche con le quali si intende raggiungere i risultati previsti, mettendo in atto prima alcune tecniche provvisorie, che consentono di arginare o ridurre il radon in tempi brevi, e successivamente realizzare interventi più a lungo termine. Per edifici di nuova costruzione, invece, sarà possibile progettare già da subito tecniche strutturali di prevenzione del radon in grado di mantenere le sue concentrazioni a livelli bassi già nell'immediato.

Fig. 5.1 – Tipologie di tecniche per la prevenzione del radon



Un'ulteriore suddivisione degli interventi è basata, invece, sulle loro connotazioni tecniche e si possono avere, quindi, azioni di tipo "passivo" quando la riduzione del radon si basa solo sulle caratteristiche strutturali dell'edificio e di azioni di tipo "attivo" quando è presente un sistema impiantistico (di ventilazione o di aspirazione) a supporto dell'edificio.

Fig. 5.2 – Azioni passive e attive

AZIONI PASSIVE	AZIONI ATTIVE
<ul style="list-style-type: none"> • Ventilazione naturale dei locali interrati/seminterrati • Ventilazione naturale • Sigillatura di fessure ed intercapedini • Isolamento della struttura 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilazione meccanica dei locali • Depressione/Pressurizzazione del suolo, del vesapio o dell'intero edificio

La scelta della migliore misura di rimedio o di prevenzione da attuare dipende da una serie di variabili tecniche, logistiche ed economiche, prime fra tutti le tipologie di sorgenti di radon presenti.

Fig. 5.3 – Variabili tecniche da considerare per gli interventi di risanamento radon

Sito	<ul style="list-style-type: none">• Geomorfologia del suolo e del terreno
Sorgente di radon	<ul style="list-style-type: none">• Terreno, materiali, acqua e loro combinazioni
Edificio	<ul style="list-style-type: none">• Tipologia di materiali da costruzione, tipo di struttura portante, età, eventuali vincoli architettonici, presenza di vespai o locali tecnici
Luogo di lavoro	<ul style="list-style-type: none">• Concentrazione di radon esistente se nota, interazione con altri inquinanti indoor, impatto sulla salubrit� degli ambienti e sull'efficienza energetica
Attivit� svolta	<ul style="list-style-type: none">• Impatto sulle abitudini di vita, sul comfort delle persone occupanti e sulla sicurezza degli occupanti
Costo	<ul style="list-style-type: none">• Costo di progettazione, realizzazione e mantenimento

Uno dei parametri con cui si pu  valutare l'efficacia delle azioni di rimedio   rappresentato dal fattore di riduzione (FR), ossia dal rapporto tra la concentrazione di radon prima e dopo l'intervento. Buoni fattori di riduzione si hanno a partire da un valore di circa 6-7 ossia da interventi che permettono di ridurre la concentrazione del 60-70 %.

Tab. 5.1 - Tipologie di interventi e fattore di riduzione

Tipologia di Intervento	Efficienza	
	Edifici esistenti	Nuovi edifici
Sigillatura di fessure e intercapedini	10-60 %	
Incremento della ventilazione naturale dei locali abitati	Discreta	
Incremento della ventilazione del vano tecnico/vuoto sanitario	60-90 %	
Pressurizzazione dei locali abitati	40-80 %	
Depressurizzazione attiva sotto soletta	70-85 %	70-95%
Depressurizzazione del terreno di fondazione (Pozzo radon)	70-95 %	
Depressurizzazione passiva sotto soletta		20-50 %
Isolamento mediante membrana impermeabile al radon		30-70 %
Sigillatura con membrane del giunto tra soletta e muro di fondazione		10-90 %
Sigillatura degli interstizi tra condotte e pareti/pavimenti a contatto con il suolo		10-90 %

Molto importante è valutare la tipologia della costruzione in oggetto ed in particolare il suo attacco a terra che può essere anche molto diverso da edificio ad edificio, potendo avere per esempio una o più caratteristiche rispetto a quelle elencate nel seguito:

- edifici direttamente appoggiati sul terreno, senza locali sottostanti interrati
- edifici con il piano terra posti alla quota del terreno e presenza di locali sottostanti interrati
- edifici rialzati dal terreno con presenza di locali sottostanti interrati
- edifici rialzati dal terreno con un'intercapedine occupata da riempimenti drenanti (per esempio ghiaia)
- edifici rialzati dal terreno con un'intercapedine occupata da elementi strutturali (muretti di sostegno)
- edifici rialzati dal terreno con un'intercapedine libera da elementi strutturali o da riempimenti drenanti (solaio continuo in appoggio sulle pareti perimetrali)
- edifici sollevati dal terreno con un sistema a pilastri ed un sottostante volume aperto.

5.2 Utilizzo di apparecchiature

Queste tecniche consentono la riduzione dei prodotti di decadimento del radon, adsorbiti sul particolato atmosferico (polveri, aerosol), tramite speciali apparecchiature che sono in

grado di ridurre la loro concentrazione (precipitatori elettrostatici, generatori di ioni, ventilatori e sistemi di filtrazione, ecc.).

Nei precipitatori elettrostatici, i prodotti di decadimento che sono sotto forma di ioni carichi positivamente, sono sottoposti ad un campo elettrico e possono essere raccolti da collettori ai quali è applicata una tensione negativa dell'ordine di qualche migliaia di Volt. Sullo stesso principio si basano i generatori di ioni, che producono ioni negativi in aria sui quali, per effetto dell'attrazione elettrica, si attaccano i prodotti di decadimento carichi positivamente aumentandone la deposizione sulle superfici interne dell'edificio (effetto "plate-out") e quindi riducendone la presenza in aria.

Si può effettuare anche la filtrazione diretta dell'aria sia con filtri, in grado di trattenere il particolato atmosferico sul quale è attaccata una frazione dei prodotti di decadimento, sia con materiali tipo carbone attivo con il quale oltre alla filtrazione si ha anche un parziale adsorbimento del gas radon e dei suoi prodotti di decadimento.

Fig. 5.4 – Esempi di filtri dell'aria



Fonte: www.kowasolution.com

I fattori di riduzione che si ottengono utilizzando questi metodi sono relativamente bassi (qualche unità). Inoltre, occorre tenere presente che molti di questi sistemi alterano la composizione dell'aria e di conseguenza il normale comportamento del radon e dei suoi prodotti di decadimento, per cui ad una certa riduzione della concentrazione di radon non corrisponde quasi mai un'analogia riduzione della dose efficace. Per questi motivi tali sistemi sono scarsamente applicati nelle abitazioni con elevate concentrazioni di radon e sono invece maggiormente applicati dove le concentrazioni superano di poco i livelli di azione.

5.3 Sigillatura delle vie d'ingresso

La sigillatura delle vie di accesso del radon è la tecnica di abbattimento passiva più semplice e più indicata come azione immediata di rimedio e prevenzione rispetto alla presenza di radon. Essa tiene conto delle sue vie di ingresso dal sottosuolo attraverso le imperfezioni costruttive che non rendono la struttura impermeabile al passaggio del gas, ossia la presenza di fessure nei punti di giunzione tra condutture elettriche o dell'acqua e

i muri o di crepe nelle condutture o rotture nella pavimentazione che offrono al radon una via di accesso preferenziale all'interno dell'edificio.

Anche tutte le canalizzazioni degli impianti tecnici collegati al sottosuolo (reti di adduzione acqua o energia elettrica, scarichi fognari, ecc.) che transitano attraverso le interfacce a contatto con il terreno, possono formare delle linee di ingresso del gas. In certe condizioni climatiche i cicli di gelo/disgelo possono provocare dei cambiamenti di volume delle strutture con conseguente fessurazione delle chiusure perimetrali dell'edificio, come anche nelle situazioni di clima caldo e suolo argilloso nelle quali si verifica un ciclo di ritiro/dilatazione in risposta alle variazioni di piovosità stagionale. Anche i naturali assestamenti strutturali possono aprire nuove fessurazioni o peggiorare quelle presenti.

La sigillatura può quindi riguardare solo le singole fessurazioni visibili oppure tutta la superficie del piano di calpestio ed eventualmente anche le pareti in contatto diretto con il terreno.

In genere per gli interventi singoli vengono utilizzati dei ricoprenti sintetici (materiali polivinilici o resine epossidiche) e, nel caso di piccole aperture attorno alle tubazioni che escono dal muro, ad esempio quelle dell'impianto di riscaldamento e dell'impianto idrico, possono essere impiegati anche i comuni sigillanti elastici, dotati di buone prestazioni in termini di tenuta e di ottima durata nel tempo.

Fig. 5.5 – Possibili ingressi di radon in corrispondenza dei buchi per le canalizzazioni di servizio



Fonte: Consiglio Nazionale Ingegneri

La sigillatura deve essere effettuata preparando adeguatamente la zona di intervento in modo che il sigillante possa avere una presa salda, senza distaccare parti in muratura e curando l'adesione del sigillante ai bordi. Le piccole rotture del pavimento possono essere trattate semplicemente sostituendo l'elemento o la zona fratturata, con elementi uguali o simili, oppure riempiendo con cemento il vuoto creato dalla rimozione delle mattonelle.

Tab. 5.2 – Descrizione dei principali prodotti sigillanti

Prodotto	Descrizione
Sigillante acrilico	Viene fornito in tubi da utilizzare con una pistola dispenser. È verniciabile e diventa efficace una volta asciutto.
Sigillante siliconico	Simile al precedente ma più costoso e non altrettanto facilmente verniciabile, anche se con maggiori caratteristiche di elasticità. Viene fornito in tubo per dispenser in confezioni di diversa misura ed anche in contenitori pressurizzati. È prevalentemente impiegato per la sigillatura delle fessure che si formano attorno ai sanitari.
Sigillante poliuretano	Economico e di grande efficacia grazie al caratteristico effetto espandente della miscela. È prevalentemente impiegato per il riempimento di crepe o cavità di grandi dimensioni in particolare nei posti meno raggiungibili e soprattutto attorno al punto di ingresso delle canalizzazioni impiantistiche. Viene fornito in contenitori di aerosol pressurizzati e viene dispensato grazie ad un tubo di plastica flessibile che ne consente l'applicazione anche in contesti di accesso disagiati. Una volta esposto all'atmosfera inizia a espandersi fino a riempire l'apertura. La sua durata nel tempo è inferiore a quella degli altri sigillanti per cui possono rendersi opportune delle riapplicazioni a distanza di alcuni anni
Malta di cemento polimerica	con rapporto cemento/sabbia di 1/4 o 1/6 e nella quale viene impiegata una emulsione polimerica per l'impasto (al posto dell'acqua) tipo acetato di polivinile, stirene butadiene o una emulsione di polimeri acrilici. L'emulsione polimerica migliora la capacità di adesione della malta di sigillatura con il getto di calcestruzzo preesistente. Il basso costo e i notevoli volumi che può facilmente riempire la rendono idonea per il riempimento di ampie cavità, specie quelle attorno agli impianti, oppure per grandi crepe o giunti nelle aree calpestabili grazie alla elevata resistenza alla abrasione. È opportuno impiegare nell'impasto un inerte a bassa granulometria e asportare una parte della malta preesistente, onde creare uno scasso per l'applicazione della nuova miscela polimerica sigillante. L'impiego di un legante antiritiro migliora l'effetto sigillante.

Se il problema riguarda, invece, un'area più estesa, potrebbero essere necessari interventi più importanti come la completa sostituzione della pavimentazione del locale oppure l'impiego di membrane a bassa permeabilità per esempio in polietilene, accoppiato all'occorrenza con strati multipli di alluminio o PVC. In alcuni casi queste barriere sono rigide ed in grado di formare un'intercapedine di qualche millimetro tra il solaio (o le

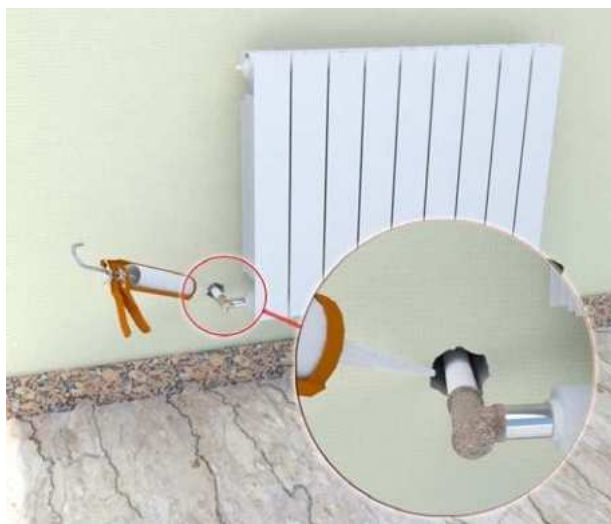
pareti) e la ricopertura (pavimenti o intonaci), nelle quali può essere applicato anche un sistema di ventilazione naturale o forzata per aspirare il radon presente.

È possibile utilizzare anche materiali ricoprenti come le normali tinte murarie, passate in almeno tre strati, o le carte da parati per i quali, alcuni studi condotti negli Stati Uniti (EPA 1988) hanno dimostrato che sono in grado di abbattere l'emissione di radon fino al 30%.

La sigillatura deve essere il più possibile accurata, in quanto, se non effettuata a regola d'arte, potrebbe creare nuovi punti di ingresso del radon.

Le condotte per la corrente elettrica e le tubature dell'acqua, che attraversano parti dell'edificio a contatto con il terreno, devono essere rese stagne (per esempio mediante appositi manicotti). I pozzetti di ispezione devono essere delimitati, ai lati e in basso, da uno strato impermeabile, per esempio in argilla o in plastica.

Fig. 5.6 - Esempio di sigillatura del bordo della tubazione dell'impianto del riscaldamento



Fonte: ARPA Toscana

Nel caso di installazione di scambiatori geotermici ad aria o sistemi simili, deve essere garantito che l'aria del terreno ricca di radon, non penetri nell'edificio attraverso l'impianto di ventilazione. Gli scambiatori devono essere perciò realizzati con tubi di plastica ermetici con giunti stagni o mettendo in sovrappressione le condutture interrate.

Fig. 5.7 – Esempi di pozzetto di ispezione stagno e tubature stagne



Fonte: Confederazione Svizzera

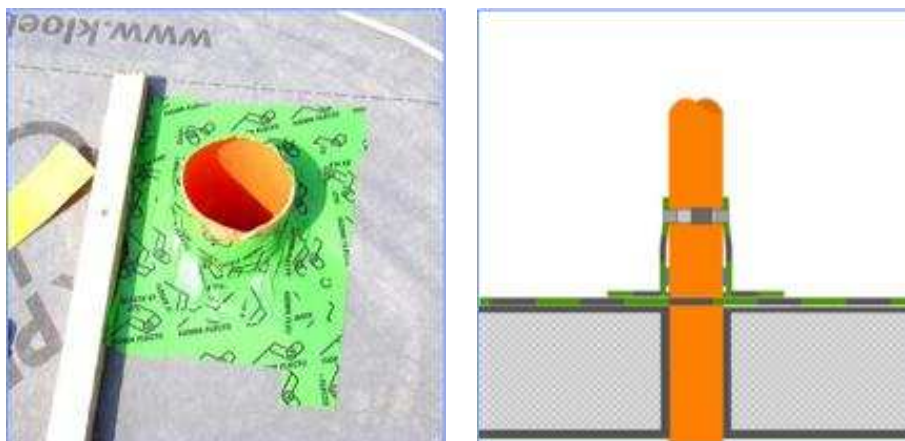
In presenza di locali interrati o seminterrati, non occupati in maniera continuativa, vanno effettuate misure d'isolamento con le parti dell'edificio abitate, mediante, per esempio:

- Porte a chiusura ermetica automatica
- Sigillatura a regola d'arte dei fori di passaggio (per esempio condotte per l'acqua, la corrente elettrica e il riscaldamento) attraverso il soffitto dello scantinato
- Sigillatura dei canali d'installazione, dei pozzi per ascensori e scivoli.

I locali con pavimenti naturali dovrebbero essere particolarmente isolati verso la parte abitata ed accessibili preferibilmente solo dall'esterno mentre le platee e le pareti a contatto col terreno devono essere eseguite in calcestruzzo della classe di esposizione XC2 o superiore.

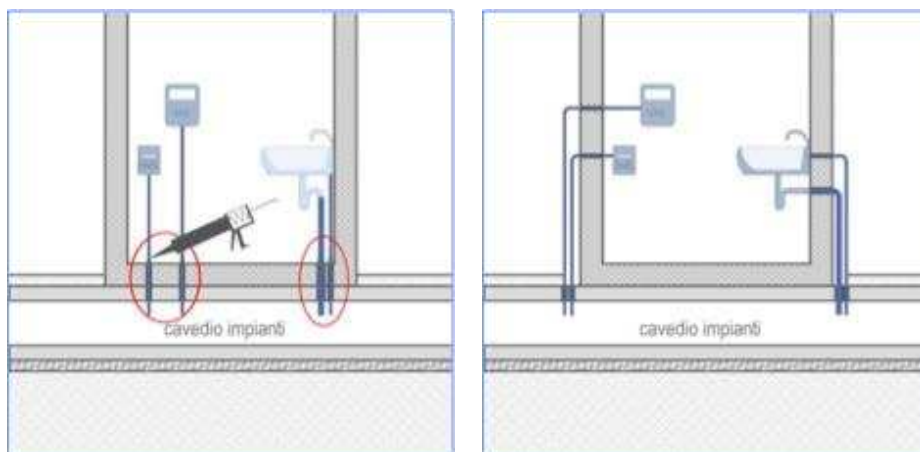
Se si dovesse sigillare unicamente la metà inferiore dell'edificio, quale misura di protezione dal radon, è buona norma installare una presa d'aria esterna al fine di limitare la depressione al piano cantina.

Fig. 5.8 – Esempio di sigillatura di tubazioni



Fonte: Evaluation of Radon Indoor Pollution Risk in High Efficiency Energy Buildings - Journal of Civil Engineering and Architecture

Fig. 5.9 – Esempio di sigillatura di cavi da utenze a cavedio



Fonte: Regione Lombardia

Fig.5.10 – Esempio di manicotto stagno



Fonte: radonmarket.com

Se si dovesse sigillare unicamente la metà inferiore dell'edificio, quale misura di protezione dal radon, è buona norma installare una presa d'aria esterna al fine di limitare la depressione al piano cantina.

In caso di concentrazione di radon elevate (maggiori di 1000 Bq/m³), le tecniche di sigillatura non sono però sufficienti a risolvere il problema e vanno integrate con metodi di isolamento attivi (come, per esempio, una buona ventilazione forzata).

5.4 Tecniche di ventilazione e aspirazione

L'infiltrazione è un flusso d'aria non intenzionale e incontrollato attraverso l'involucro edilizio, comandato da due forzanti: il vento (forzante naturale e quindi aleatoria) e l'effetto camino (innescato dalla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno). Questo flusso d'aria attraversa l'involucro dai punti di infiltrazione che sono passaggi, non voluti, che molte volte rappresentano difetti e crepe del costruito. È un fenomeno non lineare che dipende, oltre che dalle due forzanti appena descritte, anche dalle caratteristiche dell'involucro. I tipici punti deboli della tenuta all'aria in un edificio residenziale si riscontrano laddove lo strato impermeabile può essere perforato o più in generale interrotto, come ad esempio: chiusure tra muro perimetrale esterno e tramezzi, tetto e solai; finestre, porte esterne, lucernari; prese, interruttori, condutture degli impianti tecnici inseriti nei muri perimetrali; accessi a soffitte termicamente non isolate o a cantine non riscaldate.

L'infiltrazione incide sul bilancio energetico in quanto causa una dispersione di calore e questo provoca un aumento dei costi di riscaldamento. L'infiltrazione causa problemi di salubrità dell'ambiente, infatti può mettere in movimento materiali dannosi per la salute umana contenuti negli elementi edili (polveri, fibre, ecc.) e causare delle correnti d'aria indesiderate. La maggiore condensazione, che viene a crearsi nei punti d'infiltrazione (che sono i più freddi dell'involucro) genera problemi d'umidità e favorisce lo sviluppo di muffe all'interno degli edifici. L'infiltrazione va quindi evitata costruendo o rendendo gli involucri edilizi impermeabili all'aria e provvedendo all'aria di rinnovo mediante un sistema di ventilazione controllato, sia esso di tipo meccanico o naturale.

La minimizzazione del tasso di ventilazione può avere molte conseguenze per la qualità dell'aria. Vi è infatti evidenza scientifica che la riduzione del tasso di ventilazione peggiora la qualità dell'aria interna per alcuni inquinanti quando non sono adottate tecniche di ventilazione (Kempton et al. 2022¹⁰). Per altri inquinanti invece non vi è ancora una chiara correlazione, questo ad esempio è il caso del radon.

Sigillare le intercapedini di una casa, o aumentare l'ermeticità, è un approccio comune per ridurre il consumo energetico e rendere la casa più confortevole. Tuttavia, le persone hanno bisogno di una certa quantità di aria pulita nelle loro case per mantenerla di qualità e sono state sollevate preoccupazioni sul fatto che l'aumento dell'ermeticità possa avere

¹⁰ Leela Kempton, Dan Daly, Georgios Kokogiannakis, Mark Dewsbury. 2022. "A rapid review of the impact of increasing airtightness on indoor air quality". *Journal of Building Engineering* Volume 57, 1 October 2022, 104798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104798>

come conseguenza indesiderata una riduzione della qualità dell'aria interna (IAQ). Questa rapida revisione ha identificato 20 studi che hanno esaminato l'impatto dell'aumento dell'ermeticità dell'aria sulla qualità dell'aria interna. Questi studi coprono un'ampia gamma di luoghi, climi e tipi di edifici. I parametri di qualità dell'aria interna analizzati comprendevano CO₂, PM_{2,5}, formaldeide, VOC, NO₂, umidità relativa, problemi di muffa, monossido di carbonio (CO) e radon. Sulla base degli studi esaminati, sono emerse prove limitate per identificare correlazioni dirette tra l'aumento dell'ermeticità e la qualità dell'aria interna in generale. Dagli studi è emersa una correlazione negativa con la concentrazione di CO₂, le cui concentrazioni aumentano con la diminuzione dei livelli di tenuta dell'aria. È stata evidenziata una correlazione negativa per i VOC (Composti Organici Volatili) e la formaldeide, anche se alcuni studi non hanno trovato una relazione chiara per questi parametri e sarebbero necessari ulteriori studi per comprendere questo impatto. È stata riscontrata una correlazione positiva tra il tasso di ricambio d'aria e le concentrazioni di PM_{2,5} e NO₂ nelle aree in cui i livelli esterni sono elevati. In questi casi, si è riscontrato che l'aumento dell'ermeticità riduce l'infiltrazione di contaminanti esterni. Non sono state individuate correlazioni dirette per i problemi di muffa, radon o CO, né per il PM_{2,5} o l'NO₂ in aree con livelli esterni medi.

Il Blower Door¹¹ è uno strumento di misura e valutazione della tenuta all'aria dell'involucro. È anche uno strumento diagnostico perché consente di verificare la qualità della costruzione dell'involucro e della posa degli infissi. Viene installato in corrispondenza di una porta (o finestra) che divide la zona condizionata dall'ambiente esterno. Il ventilatore richiama aria dall'edificio fino a produrre e mantenere al suo interno una certa e costante depressione; ugualmente succede se si vuole produrre, al contrario, una sovrappressione. In questo modo è stata creata quella differenza di pressione, tra l'ambiente condizionato e l'ambiente esterno, che causa il moto d'infiltrazione d'aria. Di questo è quantificata la portata oraria [m³/h] presente in funzione della Δp creata e, a partire da questo valore, sono calcolati degli indici di cui, il più importante, è n Δp , il tasso di ricambio del volume interno d'aria a quella determinata ΔP . La Δp che si considera come riferimento è di 50 Pa.

¹¹ Fonte: UNI EN ISO 9972/2015

Fig. 5.11 – Esempio di misura della permeabilità mediante blower door test in un edificio residenziale. a) manometro b) ventilatore c) telaio ermetico



Fonte: ANIT – La tenuta al radon degli edifici – 2022

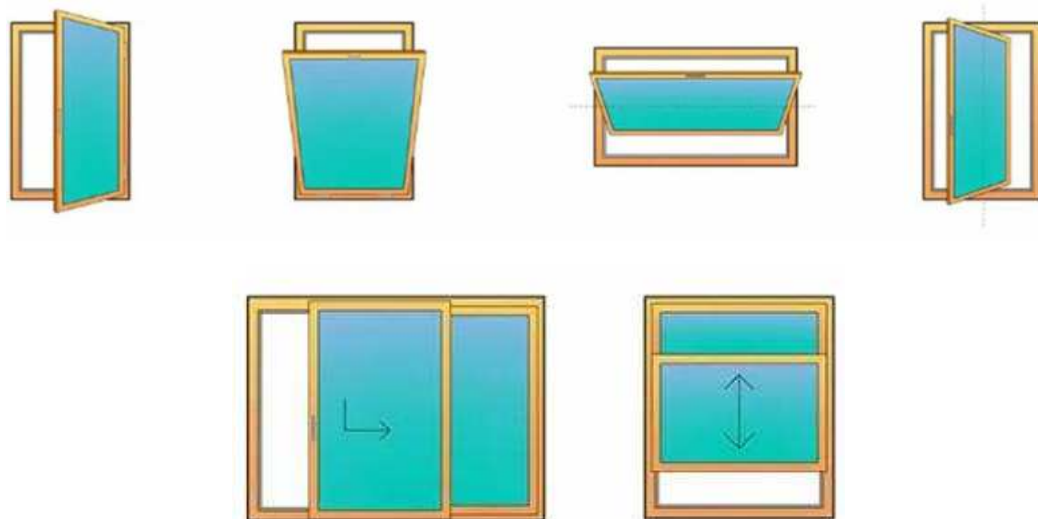
Con il BD test si valuta se l'involucro è permeabile all'aria o meno; il parametro che descrive questa qualità del costruito è n_{50} [1/h], cioè, il tasso di ricambio orario del volume interno d'aria per una Δp creata di 50 Pa. L'infiltrazione, quella portata d'aria che, in media, durante l'anno, naturalmente, transita attraverso l'involucro non è una quantità conosciuta, è descritta dal parametro n [1/h], cioè il tasso di ricambio medio annuo orario del volume interno d'aria.

L'infiltrazione dipende da un gran numero di variabili (caratteristiche dell'involucro, vento, effetto camino) e averne una stima precisa è possibile utilizzando la tecnica dei gas traccianti, ma questa è molto onerosa perché richiede personale specializzato e strumenti di misura costosi. Esistono però dei metodi (due sono trattati in questo lavoro) che forniscono valori approssimativi ma attendibili di n [1/h] a partire dalla conoscenza di n_{50} : si riesce allora ad ottenere la stima di un parametro molto importante, n , a partire da un dato facilmente ottenibile, n_{50} .

5.4.1 Ventilazione nei locali

La ventilazione naturale dei locali è generalmente un'azione provvisoria da mettere in atto nel transitorio, in attesa dell'applicazione di misure definitive o comunque più a lungo termine. Ciò anche perché a volte, specie in condizioni di troppo caldo o di troppo freddo, l'interazione con le condizioni climatiche esterne, non è sostenibile a causa della difficoltà a mantenere le finestre chiuse o aperte. Allo scopo di applicare il metodo della ventilazione naturale con più frequenza, si possono installare degli infissi caratterizzati da aperture regolabili oppure mediante dei veri e propri fori alle pareti installando dei regolatori di flusso, in grado di produrre un significativo aumento del ricambio d'aria.

Figura 5.12 – Esempi di aperture negli infissi per favorire la ventilazione naturale



Fonte: www.puntosicurezzaCasa.it

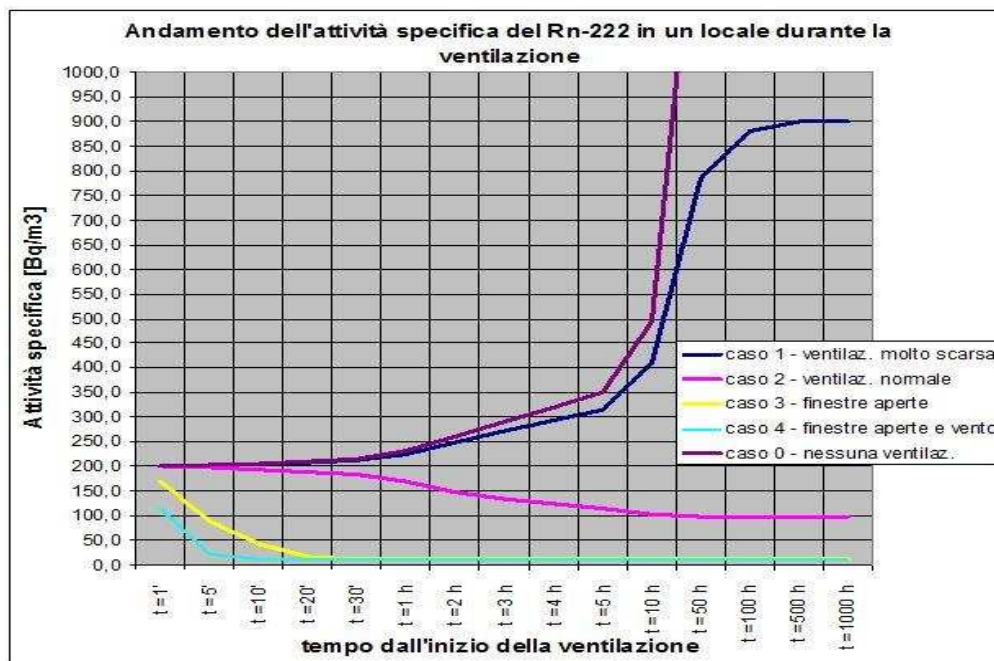
Dal punto di vista chimico-fisico, ipotizzando un locale con ingresso di radon costante nel tempo, è possibile associare il fattore di riduzione (FR) al ricambio d'aria (λ) tramite la concentrazione di radon.

In particolare, considerando come C_1 e C_2 le concentrazioni e come λ_1 e λ_2 i ricambi d'aria rispettivamente in assenza ed in presenza di misura di intervento, si ha:

$$FR = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Nel caso di un ricambio naturale di aria prossimo a zero (quindi λ_1 molto piccolo), un minimo incremento della ventilazione può produrre una notevole riduzione della concentrazione di radon. Ciò vuol dire che, tenendo conto che la ventilazione naturale di un edificio varia da circa 0,3 a 2 ricambi d'aria/ora, per ottenere sufficienti riduzioni della concentrazione di radon, occorre incrementare notevolmente la ventilazione degli ambienti, con possibili problemi di conservazione di energia e di accettabilità. Nel grafico seguente si riporta l'andamento dell'attività specifica del radon 222 in funzione dei diversi casi di ventilazione ambientale: nessuna, molto scarsa, normale, finestre aperte, finestre aperte con vento.

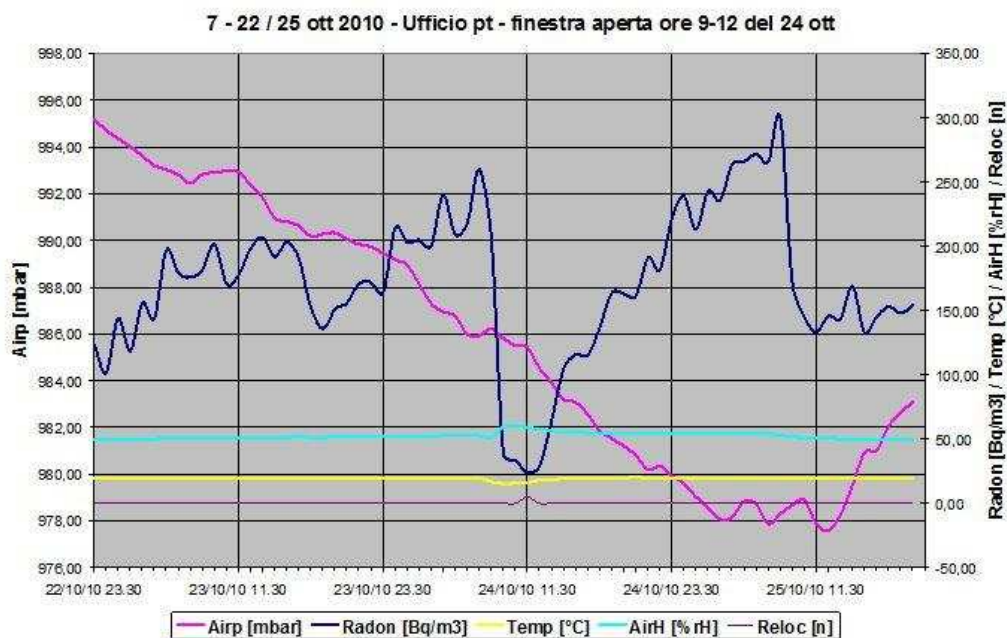
Fig. 5.13 – Andamento della concentrazione di radon in funzione della ventilazione



Fonte <https://www.radongas.eu/>

Nello schema seguente, invece, si riporta un esempio di rilevazione del radon 222 in un locale seminterrato con una ventilazione di tre ore generata dall'apertura della finestra. Come si vede dall'andamento, il giorno in cui la finestra è stata mantenuta aperta per circa 30 minuti, la concentrazione di radon viene praticamente azzerata, riducendosi di circa dieci volte fino a valori tipici outdoor. Come si nota, inoltre, dopo la chiusura della finestra, occorrono circa 12 ore per tornare a valori di preventilazione.

Fig. 5.14 – Andamento della concentrazione di radon con apertura della finestra per tre ore



Fonte <https://www.radongas.eu/>

Il valore medio di radon riscontrato è stato pari a 171 Bq/m^3 con un valore massimo pari a 300 Bq/m^3 .

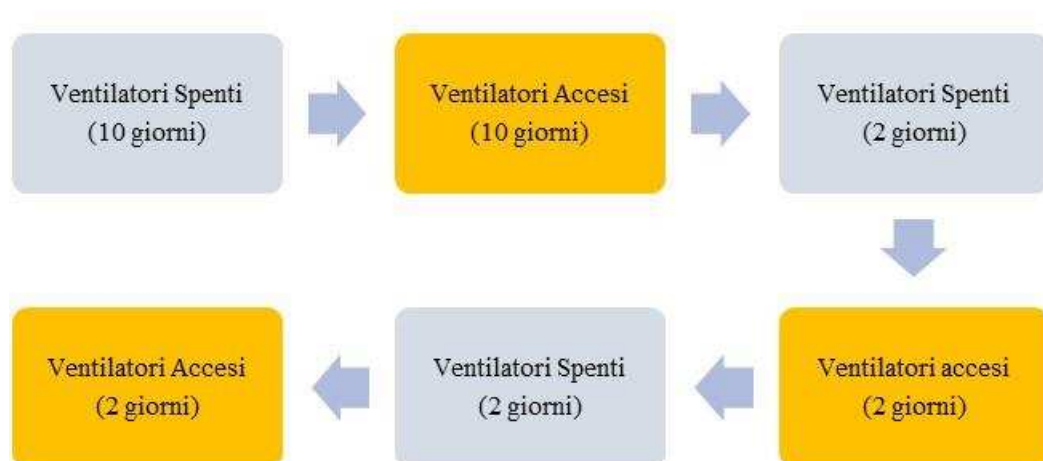
Nel caso venga appurato che la ventilazione naturale basata sull'apertura delle finestre non è sufficiente ad assicurare un livello accettabile di radon, è possibile ricorrere all'installazione di apparecchiature e/o impianti in grado di muovere l'aria in maniera forzata a. e di ridurre anche la concentrazione dei prodotti di decadimento del radon provocandone la loro deposizione sulle superfici.

Generalmente tutti gli interventi basati sulla ventilazione attiva e passiva provocano una certa perdita della climatizzazione degli ambienti interni, con forti conseguenze sia sul comfort degli ambienti stessi e sia del maggiore costo necessario per riscaldare (o climatizzare) i locali. Nelle località soggette a climi particolarmente rigidi (oppure molto afosi) sarebbe utile e talvolta necessario installare un sistema di ventilazione dotato di scambiatore di calore con recupero di energia. In ogni caso un impianto di ventilazione forzata prevede la presenza, in ogni ambiente di almeno due prese d'aria: una che preleva l'aria dall'ambiente e la invia all'esterno ed un'altra l'altra che, al contrario, immette aria pulita nell'ambiente, prelevandola dall'esterno eventualmente facendola passare prima dal recuperatore di calore.

Tali impianti sono caratterizzati da ventilatori di potenza variabile dai 20 ai 120 Watt e da portate comprese fra da 200 a $1000 \text{ m}^3/\text{h}$, a seconda della tipologia costruttiva e dei livelli di concentrazione del gas.

Sarebbe utile, qualora possibile, temporizzare l'uso dei ventilatori sia in funzione dei livelli di concentrazione del radon e soprattutto in funzione della velocità di diminuzione della sua concentrazione dopo l'accensione e di conseguente risalita dopo lo spegnimento. Questa valutazione viene effettuata mediante un monitoraggio in continuo delle concentrazioni di radon durante un preciso protocollo di funzionamento dei ventilatori, come quello riportato nello schema seguente.

Fig. 5.15 – Esempio di possibile protocollo di misura



Fonte: www.radongas.eu

In questo modo si ottiene un andamento temporale delle concentrazioni di radon nelle diverse giornate con i ventilatori spenti e accesi, insieme all'informazione riguardante la velocità di diminuzione del suo livello dopo l'accensione dei ventilatori e la velocità di risalita dopo il loro spegnimento.

Sulla base di tale monitoraggio, sarà quindi possibile valutare la necessità di temporizzazione dei ventilatori, con notevoli risparmi energetici anche tenendo conto che i sistemi di una certa potenza possono generare rumori e vibrazioni che, nel tempo, possono diventare anche particolarmente fastidiosi. A tal proposito è opportuno, oltre allo spegnimento degli impianti di ventilazione nelle ore notturne laddove la concentrazione di radon non sia elevata, adottare dei sistemi di fissaggio delle tubazioni e dei ventilatori che attenuino le vibrazioni impedendone il trasferimento alle strutture dell'edificio.

Fig. 5.16 – Sistemi antivibrazione



Fonte: www.tubiplast-srl.com

È anche possibile rivestire le tubazioni degli impianti con materiali fonoassorbenti e fonoisolanti in modo da attenuare il rumore proveniente dal ventilatore.

5.4.2 Diminuzione della depressione interna ai locali

Un'altra tecnica che è possibile adottare per abbassare i livelli di concentrazione di radon all'interno degli ambienti interni è quella basata sulla diminuzione della naturale depressione interna dei locali in modo da sfavorire l'ingresso del radon.

Per attuare tale sistema è però necessario adottare una serie di accorgimenti tecnici ed operativi che sono elencati nel seguito:

- Prevedere dispositivi di areazione e ventilazione nelle cantine
- Porre una porta tra vano scala o tromba dell'ascensore e la zona cantine, evitando ogni tipo di collegamento
- Installare prese d'aria poste al di sopra del livello del suolo in modo da garantire che l'aria in ingresso sia in quantità uguale a quella aspirata
- Installare valvole di tenuta all'interno delle canne fumarie
- Ridurre quanto più possibile i flussi verticali di aria attraverso il pavimento tra un piano e l'altro
- Mantenere chiuse le eventuali aperture esistenti nelle coperture (botole, abbaini, finestre) al fine di ridurre l'uscita dell'aria
- Fare in modo di creare delle sovrappressioni all'interno dei locali abitati installando idonei impianti di ventilazione, meglio se dotati di recupero del calore
- Installare finestre ed infissi in generale con guarnizioni a tenuta
- Ridurre al minimo possibile la presenza di cavedi o intercapedini
- Evitare di mantenere una temperatura interna eccessivamente diversa da quella esterna soprattutto in inverno

-
- Limitare il più possibile l'utilizzo di aspiratori elettrici (per esempio nei bagni) e di cappe da cucina che aumentano la depressione interna pompando all'esterno più aria di quella che aspirano.

5.4.3 Depressurizzazione del terreno di fondazione (pozzo radon)

Nelle situazioni in cui i solai degli edifici poggiano direttamente sul terreno, e quindi in assenza di intercapedini, vespai o locali interrati e seminterrati l'aspirazione dell'aria, effettuata per porre in depressione la base dell'edificio, può essere fatta direttamente nel terreno al di sotto del perimetro dell'edificio stesso. Negli strati di terreno a contatto con l'edificio viene quindi captata aria ricca di radon, il quale viene aspirato tramite una condotta che conduce il flusso di gas alla quota di copertura dell'edificio.

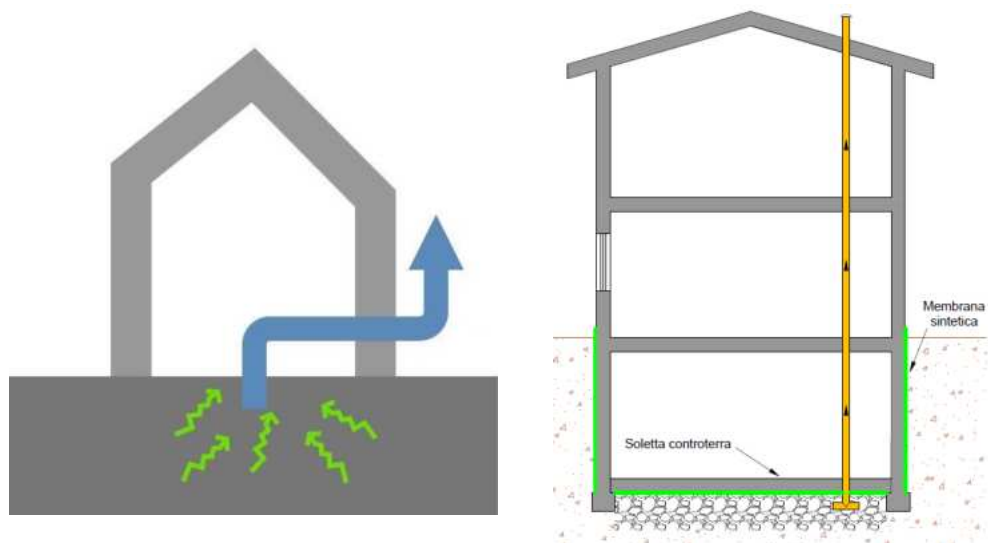
La captazione del radon, effettuata mediante l'impiego di tubi fessurati drenanti posizionati ad anello sotto la soletta può essere effettuata in un unico punto o può essere distribuita su una superficie più ampia in relazione alla permeabilità del terreno. Il gradiente termico tra l'ambiente interno dell'edificio e l'esterno genera un effetto camino che instaura il flusso ascendente del gas.

Tali sistemi consentono la riduzione dei livelli di concentrazione di radon direttamente nel sottosuolo e quindi si rivelano sistemi estremamente efficaci. La depressione che in maniera congiunta si viene a creare rispetto agli ambienti interni dell'edificio, è in grado, inoltre, di ridurre anche le problematiche legate alle infiltrazioni del radon nell'edificio, dovute alla quota parte di radon che non viene aspirata. In tal caso è però necessario disporre di un terreno a bassa permeabilità che consenta la formazione di una sufficiente depressurizzazione nella cavità del pozzetto di estrazione.

Dal punto di vista tecnico sarà necessario creare un risucchio di aria nelle fratture, nei vuoti, e nelle porosità del terreno in modo che il gas trovi un agevole percorso di risalita e possa essere canalizzato verso l'esterno dell'edificio.

Se, per motivi legati alla destinazione d'uso, il punto di aspirazione non può essere applicato al centro dell'edificio, perché è difficile effettuare in quel punto uno scavo, è possibile utilizzare anche l'immediato perimetro dello stesso, ovviamente con una minore efficacia.

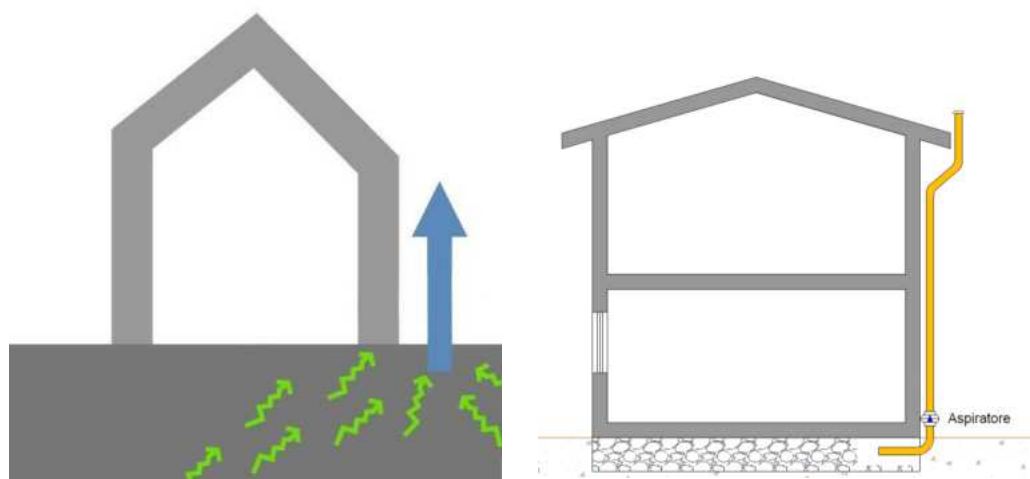
Fig. 5.17 – Depressione nel terreno con scavo fatto al centro dell'edificio



Fonte: Linee Guida Regione Lombardia 2011

È anche possibile installare un ventilatore aspirante nella parte terminale della condotta, avendo cura però di posizionarlo in un locale non abitato (come per esempio un sottotetto) qualora il sistema passivo non sia sufficiente a garantire un'adeguata estrazione dell'aria.

Fig. 5.18 – Depressione nel terreno con scavo a ridosso del perimetro dell'edificio



Fonte: Linee Guida Regione Lombardia 2011

Il pozzetto di captazione del radon che deve essere realizzato nel terreno, come detto possibilmente in posizione centrale rispetto all'edificio, è costituito da un vano, generalmente in calcestruzzo prefabbricato, con lato inferiore aperto e poggiante su un nucleo drenante di ghiaia grossolana. Il pozzetto va collegato ad un secondo pozzetto collocato sempre in prossimità dell'edificio e ubicato poco sotto il piano campagna, in cui è presente il ventilatore aspirante.

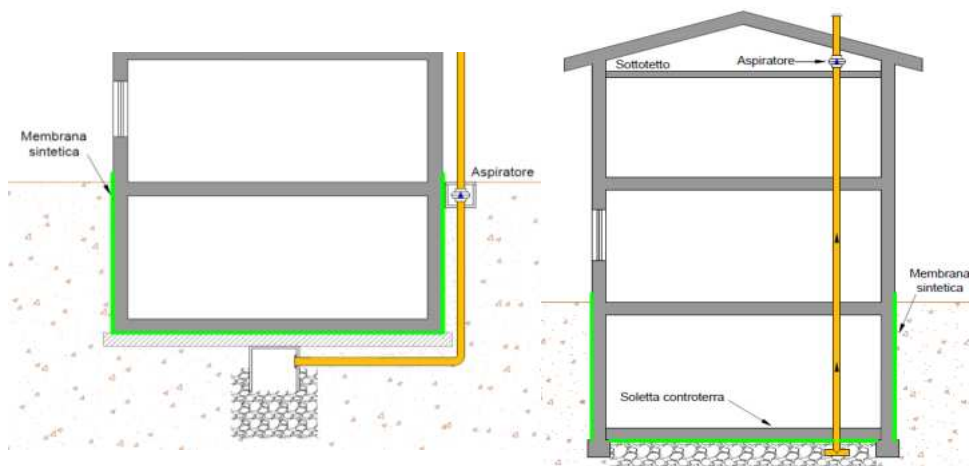
Fig. 5.19 – Depressione del suolo tramite pozzetto



Fonte: Linee Guida Regione Lombardia 2011

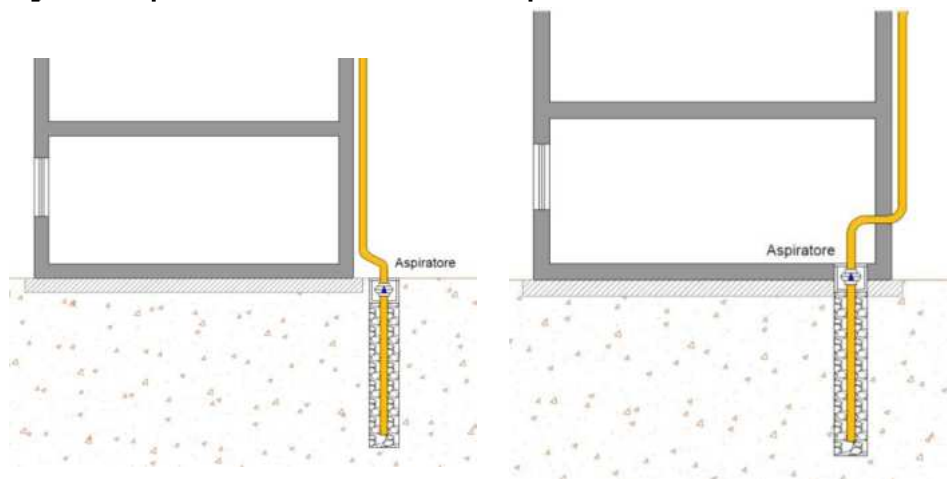
La bocca di emissione del radon captato deve essere posizionata lontano dai prospetti dell'edificio o dagli edifici limitrofi, al fine di evitare l'immissione del gas dalle finestre. La soluzione ottimale sarebbe quella di canalizzare il gas fino alla quota di gronda dell'edificio, da dove viene più facilmente disperso. Ciò soprattutto per evitare che l'aspirazione dell'aria dall'intercapedine, dalle canaline o dai pozzetti, può provocare una pericolosa emissione di monossido di carbonio da eventuali stufe o fornelli a legna con fiamma aperta che possano essere presenti nei locali superiori o adiacenti.

Fig. 5.20 – Depressurizzazione del terreno



Fonte: Regione Sardegna

Fig. 5.21 – Depressurizzazione del terreno con aspiratore



Fonte: Regione Sardegna

Fig. 5.22 – Esempio di pozzetti interni all'edificio



Fonte: ARPA Toscana

Fig. 5.23 – Aspirazione dell'aria con pozzetto interno realizzato centralmente



In casi più complessi possono essere necessari più pozzetti posti in diverse stanze e collegati tra loro con un tubo collettore ed inoltre può essere opportuno realizzare un sistema con tubi di drenaggio posati nel ghiaio, sotto l'intera superficie della pavimentazione.

Fig. 5.24 – Aspirazione dell'aria con pozzetto realizzato esternamente all'edificio

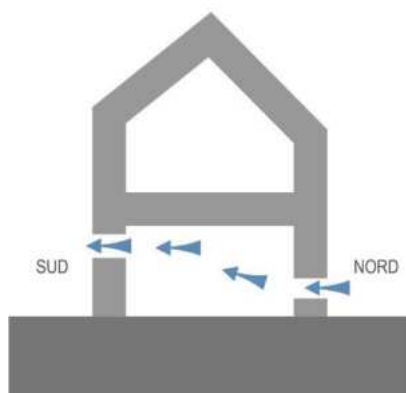


Fonte: ARPA Toscana

5.4.4 Ventilazione del vespaio

In caso di presenza di un vespaio o di volume tecnico sotto l'edificio, può essere applicata la tecnica di ventilazione naturale mediante la realizzazione di bucatore di circa un metro di diametro alla base perimetrale dell'attacco a terra. Laddove possibile è preferibile che tali bucatore siano presenti nei prospetti nord e sud ed in modo da tenere più alti i fori posti a sud per una migliore areazione.

Fig. 5.25 - Ventilazione naturale del vespaio

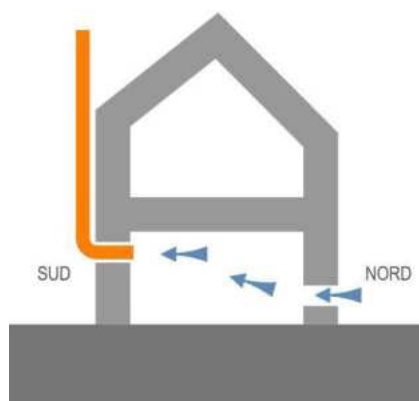


Fonte: Regione Lombardia. Palumbo A., Readelli G., Di Pietrantonio R. R. Prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambiente indoor.

https://storageportalpublicdocs.blob.core.windows.net/1470/SUE%2FRegolamento%20Edilizio%2FLOCANDINA_RA DON_AS%20COMO_2013.pdf

Se la riduzione della concentrazione del radon ottenuta con questa tecnica non risulta adeguata, è possibile aumentare il livello di ventilazione naturale canalizzando le condotte di aspirazione mediante l'utilizzo di tubi a periscopio portati fino ad oltre il cornicione di gronda.

Fig. 5.26 - Ventilazione del vespaio con effetto Venturi



Fonte: Regione Lombardia. Palumbo A., Readelli G., Di Pietrantonio R. Prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambiente indoor.

https://storageportalpublicdocs.blob.core.windows.net/1470/SUE%2FRegolamento%20Edilizio%2FLOCANDINA_RA DON_ASL%20COMO_2013.pdf

Nel caso in cui però all'interno del vespaio siano presenti tubazioni idrauliche, il suddetto potenziamento della ventilazione potrebbe portare a fenomeni di congelamento e pertanto, in tal caso, le tubazioni stesse dovranno essere opportunamente coibentate.

Infine, nei luoghi con forte presenza di vento, per esempio in zone collinari o in prossimità del mare, potrebbe essere necessario applicare sistemi di protezione sulle bocchette in modo da evitare che le raffiche investano direttamente i condotti di areazione e andando in tal modo a modificare l'andamento dei flussi di aria.

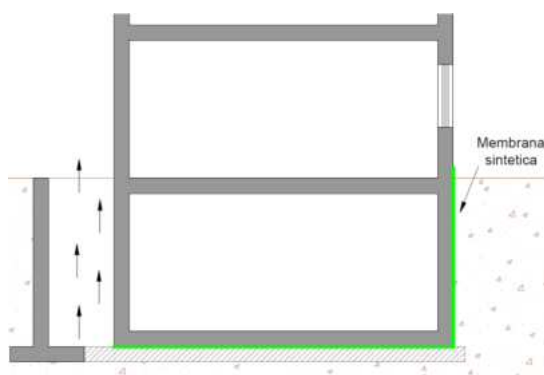
Fig. 5.27 - Aspirazione forzata del vespaio



Fonte: Arpa Toscana

Un'ulteriore tecnica che riduce l'ingresso del radon negli edifici è quella di realizzare un vano di aerazione (una parete ventilata), tra edificio e terreno che consenta la libera circolazione dell'aria lungo il perimetro esterno dell'edificio.

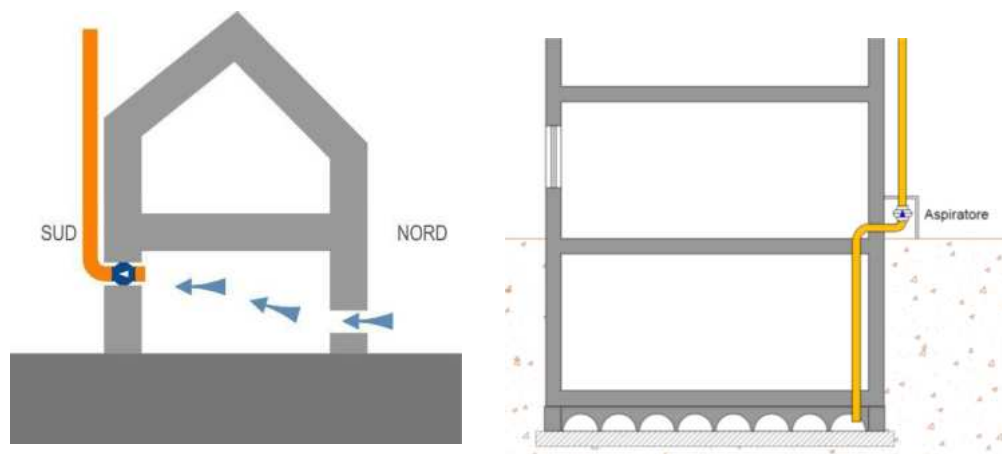
Fig. 5.28 - Parete ventilata



Fonte: Regione Sardegna

Anche in questo caso, in mancanza di risultati accettabili ottenuti con la ventilazione naturale, è possibile ricorrere a sistemi di movimentazione forzata dell'aria, per esempio mediante l'utilizzo di ventilatori collegati alle tubazioni esistenti ed inseriti direttamente nella muratura. In tal caso è conveniente sigillare i fori di ingresso dell'aria per realizzare una maggiore depressione o sovrappressione nei confronti del terreno.

Fig. 5.29 - Esempi di ventilazione forzata del vespaio con ventilatore



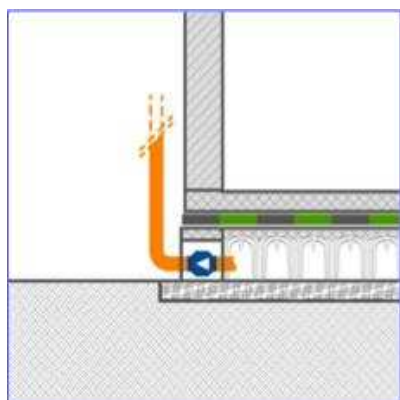
Fonte: Regione Lombardia. Palumbo A., Readelli G., Di

Pietrantonio R. R. Prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambiente indoor.

https://storageportalpublicdocs.blob.core.windows.net/1470/SUE%2FRegolamento%20Edilizio%2FLOCANDINA_RA DON_ASL%20COMO_2013.pdf

Il ventilatore può essere posizionato all'interno di un pozzetto o in un contenitore metallico, rendendolo meno visibile e più protetto e nello stesso ispezionabile.

Fig. 5.30 - Esempio di pozzetto inserito nella muratura



Fonte: Regione Lombardia. Palumbo A., Readelli G., Di Pietrantonio R. R. Prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambiente indoor.

https://storageportalpublicdocs.blob.core.windows.net/1470/SUE%2FRegolamento%20Edilizio%2FLOCANDINA_RA DON_ASL%20COMO_2013.pdf

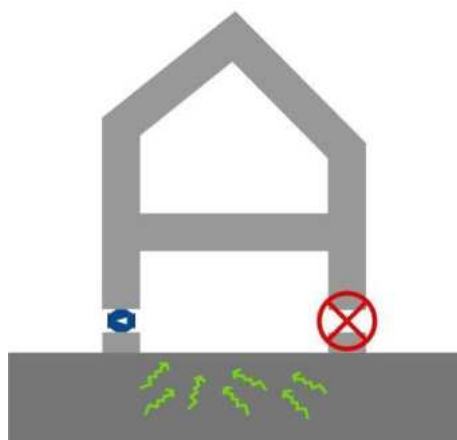
Dal pozzetto o dal contenitore è possibile far partire un finto pluviale per portare il gas almeno fino alla quota del cornicione sotto la gronda dell'edificio.

Fig. 5.31 - Esempi di finto pluviale e di pozzetto esterno



Fonte: Regione Lombardia

Fig. 5.32 - Ventilazione forzata con sigillatura di altri fori di passaggio dell'aria

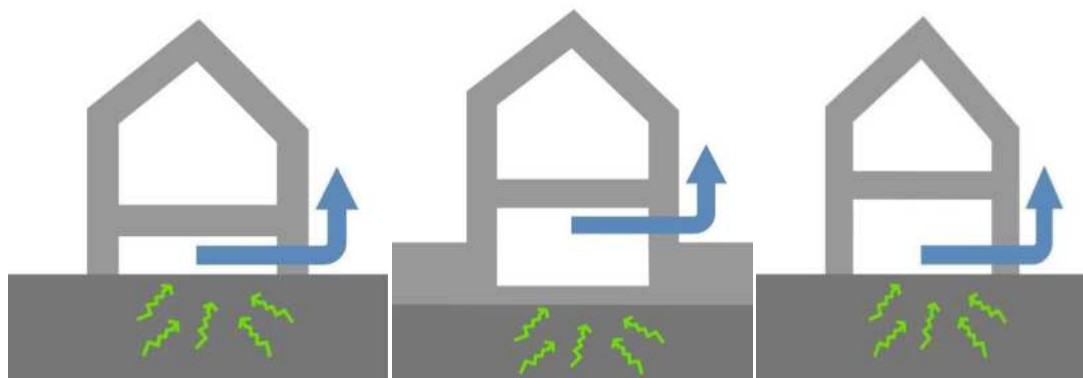


Fonte: Regione Lombardia

Il vano da utilizzare per creare una depressione sotto i locali abitati può anche essere un locale tecnico posto a piano terra, oppure seminterrato o interrato che però non è destinato ad abitazione e che viene utilizzato in modo saltuario. In tal caso le aperture di

comunicazione con l'appartamento sovrastante dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria.

Fig. 5.33 - Depressione del vespaio, di un volume sotto l'edificio e della base dell'edificio



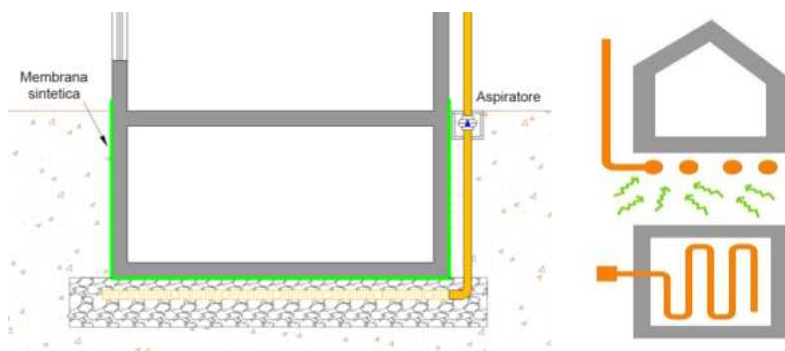
Fonte: Regione Lombardia

5.4.5 Aspirazione del sistema di drenaggio dell'acqua

Tenendo conto che in certi casi occorre prevedere un efficiente sistema di drenaggio delle acque di falda o comunque prevenire la risalita di acqua si ricorre, alla realizzazione di un sistema drenante costituito da corpo in materiale inerte di pezzatura grossolana nel quale viene sistemato un tubo fessurato, che va a formare una serpentina in grado di coprire in maniera omogenea tutta la superficie orizzontale di attacco a terra.

Il sistema drenante viene poi portato in depressione attraverso un impianto di aspirazione, in modo analogo a quanto visto prima.

Fig. 5.34 - Aspirazione del sistema di drenaggio delle acque di falda



Fonte: Regione Lombardia

Il sistema di prevenzione di ingresso del radon si può collegare al sistema di drenaggio dell'acqua, canalizzando una delle estremità all'esterno. Le tubazioni forate dell'impianto di drenaggio serviranno anche come impianto di aspirazione distribuito al di sotto dell'intera superficie dell'edificio, portando l'acqua di falda nella sezione inferiore e il radon nella parte alta.

L'efficacia del sistema è funzione dello sviluppo delle canalizzazioni rispetto alla base dell'edificio e della tenuta del sistema di drenaggio.

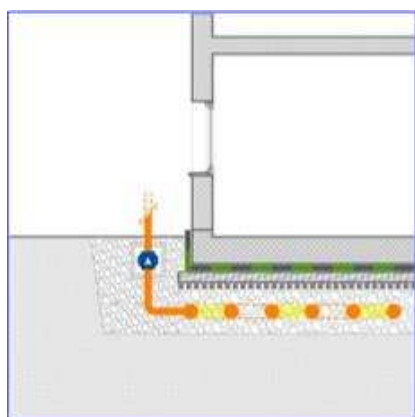
Nel caso sia possibile, è opportuno provvedere alla sigillatura dell'impianto di drenaggio (mediante valvole a tenuta sulle uscite del sistema), in modo che lo stesso possa garantire il raggiungimento di una adeguata depressurizzazione, evitando in tal modo la necessità di impianti di aspirazione ad alta potenza.

Il sistema deve essere isolato dalla rete idrica pubblica per mezzo di sifoni in quanto l'aspirazione deve essere limitata alla sola rete di drenaggio mentre nella realizzazione si può valutare di temporizzare l'attivazione dell'impianto per ragioni di risparmio energetico e per una più lunga durata delle apparecchiature.

In caso di una quota di falda piuttosto alta è importante posizionare delle tubazioni drenanti al di sotto del solaio a terra, in modo da allontanare l'acqua dalle fondazioni dell'edificio.

Tale impianto è particolarmente funzionale anche per contrastare il percorso di risalita del radon facendo in modo di collegare fra loro tutte le tubazioni in modo da avere un unico punto di aspirazione.

Fig. 5.35 - Esempio di ventilazione della condotta di drenaggio



Fonte: Regione Lombardia

5.4.6 Aspirazione dell'aria da pavimenti con intercapedine

Un'ulteriore tecnica esistente è quella di realizzare un nuovo pavimento dotato di un'intercapedine e di un sistema di aspirazione dell'aria dall'intercapedine stessa. Quest'ultima va collegata ad un ventilatore con il compito di aspirare l'aria ricca di radon veicolandola all'esterno attraverso una tubazione di scarico.

Fig. 5.36 - Aspirazione dell'aria con intercapedine



Fonte: ISPESL

Talvolta in luogo della canalina può essere opportuno realizzare sotto l'intera superficie della pavimentazione un sistema con tubi di drenaggio posati nel ghiaio.

Fig. 5.37 - Aspirazione dell'aria con tubi di drenaggio



Fonte: ISPESL

Per fare in modo che in tale sistema si possa creare una depressione, è necessario impedire che possa penetrarvi dell'aria proveniente dal sistema di drenaggio dell'acqua). In terreni ghiaiosi e con fenditure profonde in cui non è possibile creare sotto il massetto alcuna depressione, è necessario ridurre fortemente la permeabilità del terreno con calcestruzzo magro, sotto il sistema di drenaggio.

Fig. 5.38 - Sistema a platea con tubi di drenaggio



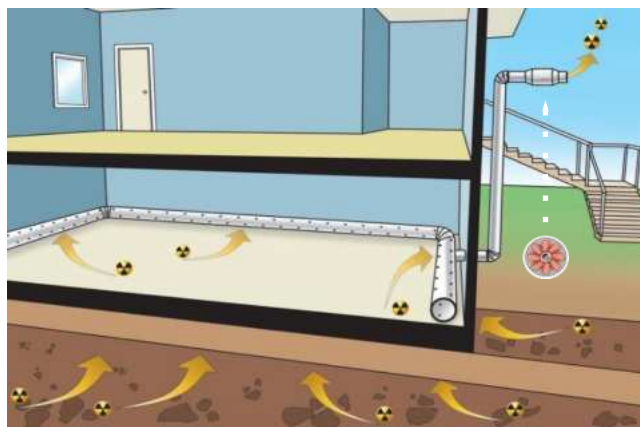
Fonte: ISPESL - Il radon in Italia - Guida per il cittadino - 2007

Nel ghiaio sotto la platea conviene posare alcuni tubi di drenaggio: in caso di necessità tale accorgimento permette di aspirare l'aria dal suolo. È importante che la platea rimanga intatta; le perforazioni per la fognatura, le tubazioni dell'acqua, i cavi elettrici ecc. vanno realizzati lateralmente e trattati con materiali isolanti o flange elastiche. Tutte le pareti

esterne sottoterra devono essere realizzate in cemento, isolate con materiali impermeabili al radon e protette da uno strato di ghiaia ventilato.

Una variante meno costosa dell'intercapedine ventilata che può essere applicata laddove non si possa rifare il pavimento, è quello che prevede la posa di apposite canaline di raccolta, applicate alla linea di congiunzione tra le pareti ed il pavimento della stanza, collegate ad un ventilatore che aspira l'aria ricca di radon e la veicola all'esterno sempre attraverso apposita tubazione.

Fig. 5.39 - Aspirazione dell'aria con canalina di raccolta

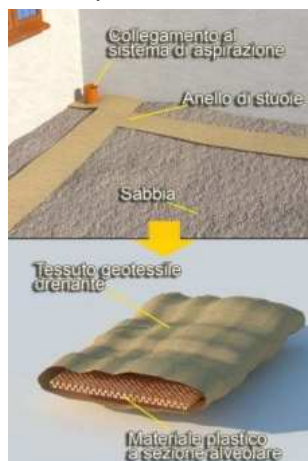


Fonte: ISPESL - Il radon in Italia - Guida per il cittadino - 2007

È possibile realizzare l'intercapedine anche tramite l'applicazione di una stuoia in plastica (di spessore 10-20 mm) collegata ad una tubazione che arriva fino alla sommità dell'edificio e permette, tramite un sistema di aspirazione, di convogliare l'aria estratta al di fuori dell'edificio. Nel caso in cui la tubazione di aspirazione sia verticale e attraversi internamente l'edificio, si può anche sfruttare la ventilazione naturale dovuta al riscaldamento della conduttura consentendo l'utilizzo di aspiratori di bassa potenza. Allo scopo di evitare la rimozione della vecchia pavimentazione, si può anche applicare un nuovo rivestimento sopra quello esistente ed installare a quel punto la stuoia tra le due pavimentazioni.

Le stuoie vanno posizionate in modo da formare un anello chiuso, collegato ad un sistema di aspirazione ed espulsione all'esterno del gas estratto, eventualmente assistito da un ventilatore elettrico. Anche in questo caso, può essere valutata la temporizzazione dell'impianto, in modo da ridurre il consumo di energia elettrica ed allungare la vita delle apparecchiature.

Fig. 5.40- Applicazione di stuoie in plastica



Fonte: ARPA Toscana. Tecniche di mitigazione: estrazione dell'aria dall'intercapedine sotto il pavimento.

(<https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/radioattivita/radon/cosa-fare/radon-tecniche-mitigazione-scheda4-estrazione-aria.pdf>)

In conclusione, un "fondamento a platea" in cemento speciale che ricopre tutta la superficie orizzontale dello scavo per la nuova costruzione, è la migliore protezione nei confronti del radon.

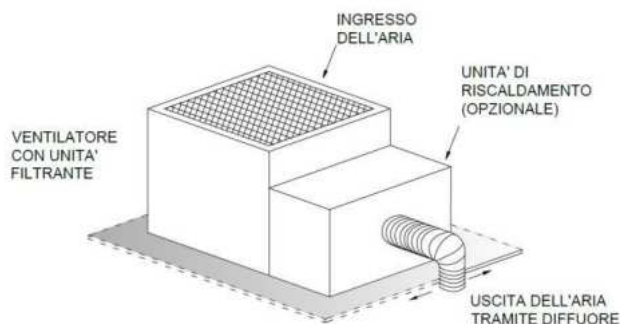
5.4.7 Tecniche di pressurizzazione

Le tecniche di pressurizzazione o sovrappressione rappresentano l'inverso di quelle basate sulla depressione e consistono nell'insufflare aria al di sotto dell'edificio in modo da creare un movimento che contrasta l'effetto risucchio creato dall'edificio nei confronti del terreno a causa della minore pressione interna e disperde il gas in atmosfera).

L'ingresso del radon proveniente dal suolo può essere contrastato applicando una debole sovrappressione mediante l'installazione di un ventilatore eventualmente dotato di unità di riscaldamento dell'aria di mandata.

È possibile ottenere lo stesso effetto descritto mediante un impianto di ventilazione meccanica controllata, meglio se dotato di recupero di calore, che, tramite un sistema di canali di aspirazione ed immissione d'aria, consente di agire in maniera uniforme su tutto l'edificio.

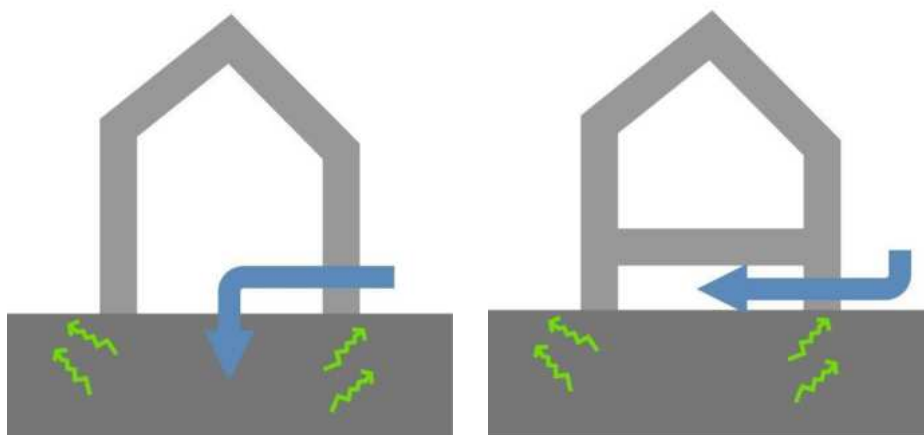
Fig. 5.41 - Impianto di ventilazione meccanica



Fonte: Regione Sardegna

La pressurizzazione può avvenire o direttamente nel terreno, o in un volume sottostante l'edificio.

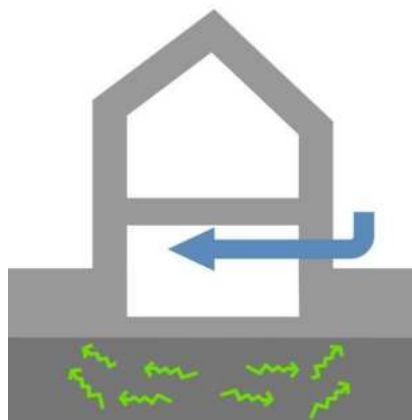
Fig. 5.42 – Pressurizzazione del terreno o del vespaio



Fonte: Regione Lombardia

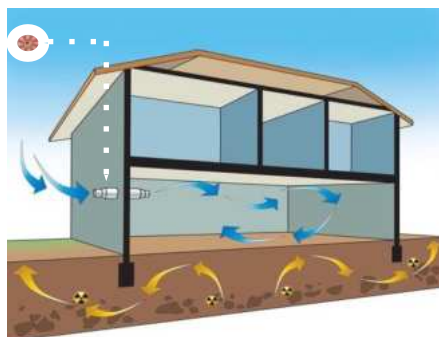
In caso di pressurizzazione dell'interno di un locale posto a piano terra, oppure seminterrato o interrato, quest'ultimo può anche essere un locale abitato e non solo un locale tecnico, in quanto la pressione interna non è così elevata da creare disagio agli abitanti.

Fig. 5.43 - Pressurizzazione di un locale tecnico alla base dell'edificio



Fonte: Regione Lombardia

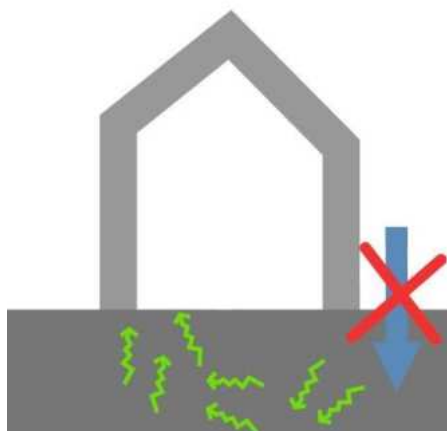
Fig. 5.44 - Pressurizzazione alla base dell'edificio



Fonte: ISPESL

Le tecniche di pressurizzazione non si applicano invece al terreno del perimetro dell'edificio in quanto, soprattutto in caso di superfici ampie e/o di planimetrie complesse, il radon, portato lontano dal punto di sovrappressione, potrebbe essere incanalato verso l'interno in altri punti dell'edificio. Inoltre, i ventilatori utilizzati potrebbero risultare eccessivamente potenti, rumorosi e soprattutto consumare una quantità elevata di energia.

Fig. 5.45 - Pressurizzazione del terreno sul perimetro dell'edificio



Fonte: Regione Lombardia

Un ulteriore effetto benefico della pressurizzazione consiste nel diluire la concentrazione di radon già presente negli ambienti, considerando che essa ricorre all'apporto di aria primaria.

La pressurizzazione può interessare anche tutto l'edificio mantenendo nel tempo una leggera differenza positiva di pressione dell'interno dell'edificio rispetto all'esterno, in modo da far fuoriuscire il radon.

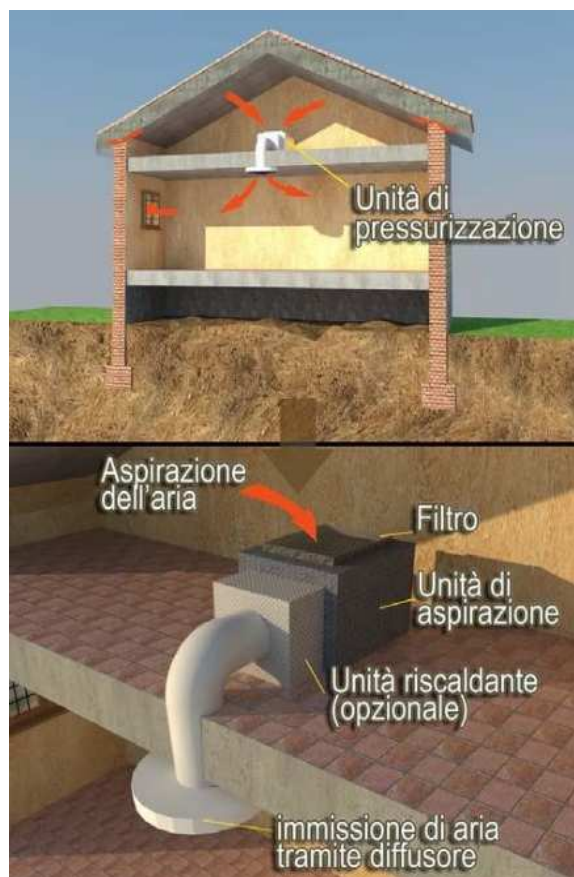
Per una buona applicazione di questa tecnica, l'intero edificio deve però essere caratterizzato da un'adeguata tenuta all'aria, in modo che la differenza di pressione possa distribuirsi in modo uniforme a tutti i livelli ed offrire un certo ostacolo all'ingresso del radon. Si può capire se un edificio ha una buona tenuta verificando la presenza di alcuni indizi come i seguenti:

- formazione di condensa e muffe, anche se l'abitazione è riscaldata
- persistenza degli odori
- presenza evidente di correnti d'aria fresca

L'impianto può essere realizzato con un solo ventilatore, eventualmente dotato di riscaldatore dell'aria, che prelevi l'aria dall'esterno e la immetta nell'ambiente interno, meglio se posizionato nel sottotetto, in modo da limitare problemi di rumorosità e diffondere l'aria per mezzo di una presa d'aria al soffitto. La presa di ventilazione non deve provocare problemi di comfort per gli occupanti ed in ogni caso il posizionamento deve consentire all'aria uscente di potersi propagare liberamente, evitando di veicolare il flusso direttamente contro pareti o mobili.

Il dimensionamento tiene conto della volumetria dell'edificio, e dovrebbe garantire un totale ricambio d'aria ogni 4 ore. Ad esempio, per un appartamento di 100 m² con una volumetria di circa 280 m³, è necessario installare un ventilatore capace di sviluppare un flusso d'aria di circa 70 m³/h e quindi un ventilatore di ventilatore di poche decine di watt, che garantisce quindi anche una certa efficienza energetica.

Fig.5.46 - Pressurizzazione dell'intero edificio



Fonte: ARPA Toscana

La pressurizzazione del terreno sotto l'edificio, invece, viene adottata quando vi è una permeabilità molto elevata del suolo sotto l'edificio e quando l'impiego di altre tecniche di riduzione risultano poco efficaci

La tecnica consiste nell'immettere nel sottosuolo l'aria prelevata dall'interno dell'edificio attraverso un ventilatore, creando quindi una sovrappressione nel sottosuolo che vada a contrastare l'infiltrazione del radon all'interno dell'edificio e nel contempo diluisca la concentrazione del gas nel suolo stesso.

Per l'ingresso dell'aria nel suolo possono essere realizzate delle cavità come quelle impiegate per i pozzetti, oppure, se presente, il sistema di drenaggio dell'acqua sotto l'edificio descritto in precedenza.

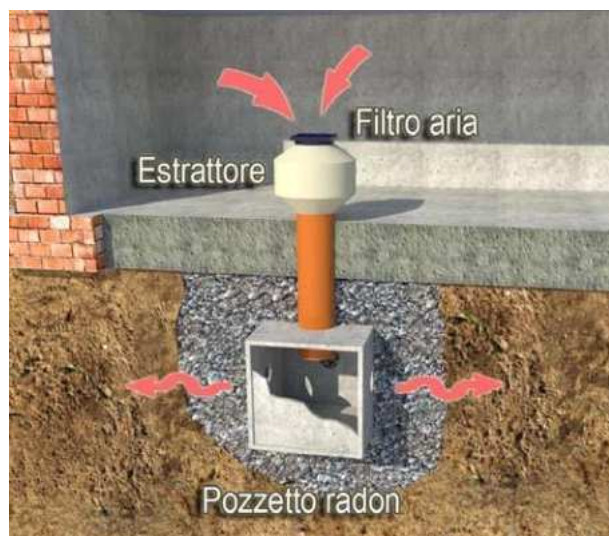
L'impiego di aria interna in luogo di quella esterna evita la possibilità di far gelare il terreno sottostante l'edificio durante i mesi più rigidi, situazione che potrebbe creare possibili ripercussioni sulla stabilità dell'edificio anche se, nello stesso tempo, l'immissione nel sottosuolo di aria calda e umida dell'edificio può creare condense e risalite di umidità.

Il sistema si configura come un pozzetto radon, con il senso di funzionamento del ventilatore invertito ed in grado di spingere l'aria nel sottosuolo. Siccome l'aria da immettere nel sottosuolo è prelevata internamente all'edificio, in tal caso non è necessario prevedere una specifica canalizzazione di espulsione.

Il ventilatore deve essere dotato di filtro per impedire che la polvere prelevata dall'ambiente interno vada ad accumularsi nella cavità del pozzetto determinando a lungo andare un decadimento di efficacia, e può essere interrato sotto il pavimento collegandolo ad una presa d'aria interna.

La sovrappressione realizzata nel sottosuolo non deve trovare alcuno sfogo, per esempio, attraverso imperfezioni del pavimento, fessure od altre aperture, e deve creare una circolazione quasi chiusa dell'aria, con la conseguente diminuzione dell'efficacia. Pertanto, per una buona riuscita di tale intervento, è necessario procedere con una sistematica sigillatura di tutte le possibili aperture tra il suolo ed il pavimento.

Fig. 5.47 - Pozzetto di pressurizzazione del suolo sotto l'edificio



Fonte: ARPA Toscana

5.4.8 Confronto fra tecniche di pressurizzazione e tecniche di depressione

Come si è potuto capire da quanto esposto in precedenza, le due tecniche di mitigazione radon l'una basata sulla pressurizzazione e l'altra sulla depressione, sono fondamentalmente molto simili e anche identiche in alcuni punti per quanto riguarda i sistemi impiantistici da adottare.

Non è però possibile definire a priori quale sia la tecnica migliore in quanto è difficile, per quanto riguarda l'edilizia esistente, conoscere esattamente le tecniche costruttive attraverso le quali è stato realizzato l'attacco a terra, soprattutto nei dettagli delle connessioni, del passaggio degli impianti, nei giunti, e tantomeno conoscere le caratteristiche geologiche del terreno sottostante.

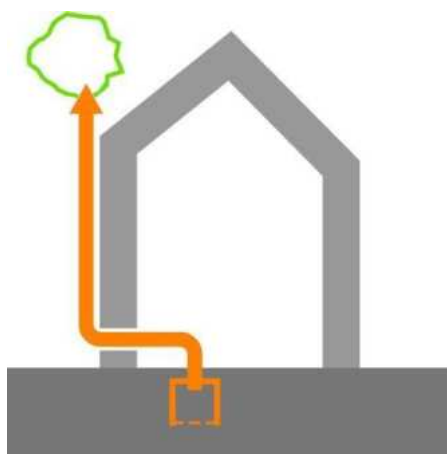
In linea di massima si evidenziano alcuni punti:

- gli impianti di depressurizzazione o pressurizzazione da un punto di vista tecnologico sono gli stessi: la differenza consiste nell'inversione del flusso d'aria. Per questo risulta conveniente adottare delle tipologie di ventilatore che possano essere agevolmente invertiti sulla canalizzazione, oppure, adottare dei ventilatori che consentano, tramite un interruttore, l'inversione del flusso;
- la tecnica della depressione necessita di una tubazione che porti il gas aspirato in quota per disperderlo in atmosfera ed evitare che rientri dalle finestre sui prospetti dell'edificio. Individuare questo percorso dal punto di aspirazione al tetto dell'edificio, che deve essere piuttosto lineare e poco invasivo dal punto di vista costruttivo ed estetico, può essere un problema. Nelle tecniche di pressurizzazione, invece, è sufficiente un punto di aspirazione alla base dell'edificio in prossimità del ventilatore;
- in caso di pressurizzazione, il punto di aspirazione dell'aria, posto in prossimità della quota terra, necessita di manutenzione e soprattutto di pulizia per evitare che venga parzialmente ostruito. Si tratta di un'operazione semplice ma da prevedere e programmare, e che è invece assente in caso di depressione;
- la tecnica della pressurizzazione necessita, in linea di massima, di potenze maggiori rispetto alla depressione, e quindi maggiori costi di esercizio oltre ad un aumento dei livelli di rumore;
- nelle nuove costruzioni, potendo più agevolmente prevedere i percorsi delle canalizzazioni soprattutto di evacuazione, si preferiscono le tecniche basate sulla depressione in quanto prevedono consumi energetici più limitati ed una maggiore garanzia di efficacia;

- in situazioni con impianti in depressione il radon viene aspirato ed evacuato in punti noti e progettati. Negli impianti di pressurizzazione, invece, il radon viene deviato su altri percorsi non definiti dal progettista e non noti;
- in caso di interruzione della corrente o rottura dell'impianto la pressurizzazione ostacola comunque, per un certo tempo, l'ingresso del gas che è stato deviato; il fermo dell'impianto di depressione riapre invece immediatamente le vie di ingresso al gas che si trova nelle vicinanze.

Si può quindi ragionevolmente sostenere che la tecnica della depressione raggiunge più agevolmente i risultati di riduzione delle concentrazioni di gas radon, ed invece per adottare la tecnica della pressurizzazione è necessaria una maggiore esperienza nel valutare le condizioni di progetto.

Fig. 5.48 - Evacuazione del radon aspirato oltre la gronda dell'edificio



Fonte: Regione Lombardia

Ai fini della scelta delle tecniche basate sulla depressione o sulla pressurizzazione, può essere particolarmente utile conoscere l'esistenza e le caratteristiche del vespaio quale principale elemento tecnico sul quale è agevole intervenire, adottando per esempio, le soluzioni riportate nel seguito.

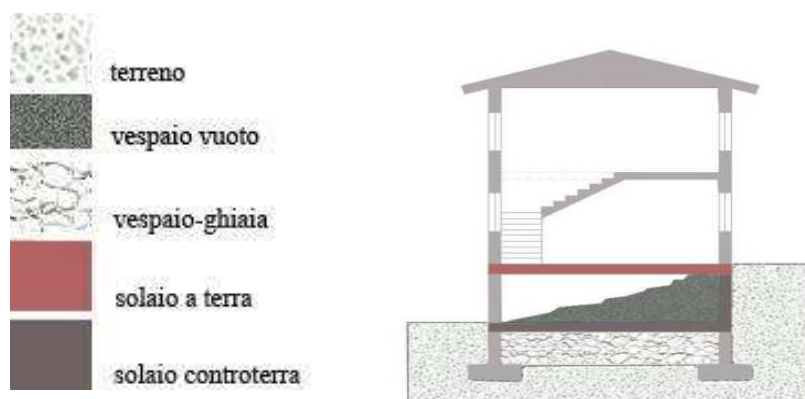
- Se il vespaio ha un volume completamente vuoto sono applicabili entrambe le tecniche di depressione e pressurizzazione individuando un punto idoneo al perimetro attraverso il quale forare il muro perimetrale e intercettare il volume
- Se il vespaio è strutturalmente realizzato con tavelloni posti sopra muricci in mattoni nei quali siano state lasciate delle aperture che mettano in

comunicazioni i diversi comparti, sarà sufficiente individuare un punto idoneo per intercettare il volume

- Se il vespaio è realizzato con casseri a perdere in materiale plastico (i cosiddetti igloo), che realizza un vespaio perfettamente ventilabile, sarà sufficiente individuare un punto di aspirazione che intercetti una sezione libera all'interno di uno dei casseri
- Se il vespaio è strutturalmente realizzato con tavelloni posti sopra muricci in mattoni nei quali però non siano state lasciate delle aperture che mettano in comunicazioni i diversi comparti, sarà necessario individuare più punti di aspirazione-ventilazione, a seconda del numero di compartimentazioni, in modo da realizzare un sistema aspirante in ogni volume, con tubazioni canalizzate al medesimo aspiratore che agisca comunque sull'intera superficie.
- Se il vespaio è parzialmente o totalmente riempito con materiale di riporto (ghiaia, macerie, ecc.) si potranno adottare le medesime tecniche del vespaio vuoto, con particolare attenzione a individuare un buon punto di aspirazione/pressurizzazione nella parte più libera del volume. In questo caso, inoltre, avendo un volume di minore dimensione da mettere in depressione/pressione, potrà anche essere utilizzato un ventilatore di potenza ridotta. Se al contrario il volume è stato completamente riempito con materiale compatto (sabbia, macerie miste a residui di leganti, ecc.) ci si dovrà ricondurre alle tipologie del solaio a terra poggiante direttamente sul terreno in quanto, con ogni probabilità, non si potrà avere alcuna circolazione dell'aria.

In alcuni casi possono coesistere un volume-vespaio vuoto o parzialmente riempito sotto gli ambienti abitati, assieme a un secondo volume-vespaio pieno sottostante (interrato, seminterrato, controterra). Importante è quindi definire la linea orizzontale al di sotto della quale possono essere pensati degli interventi di mitigazione dell'ingresso del gas, quella comunemente costituita dall'elemento tecnico "solaio a terra" e inteso come l'elemento tecnico orizzontale più basso che separa gli ambienti abitabili da quelli non abitabili, ancorché eventualmente fruibili (cantine, rimesse, ecc.).

Fig. 5.49 – Esempio di edificio con linee di separazione tra vani tecnici e vani abitati



Fonte: Regione Lombardia

5.5 Barriere protettive

Mediante l'applicazione di membrane sintetiche nell'interfaccia suolo/edificio, è possibile isolare l'intera superficie di attacco a terra dello stabile. Nell'applicazione a pavimento, la membrana deve essere posizionata tra la superficie superiore del vespaio ed il massetto sul quale successivamente viene posata la pavimentazione.

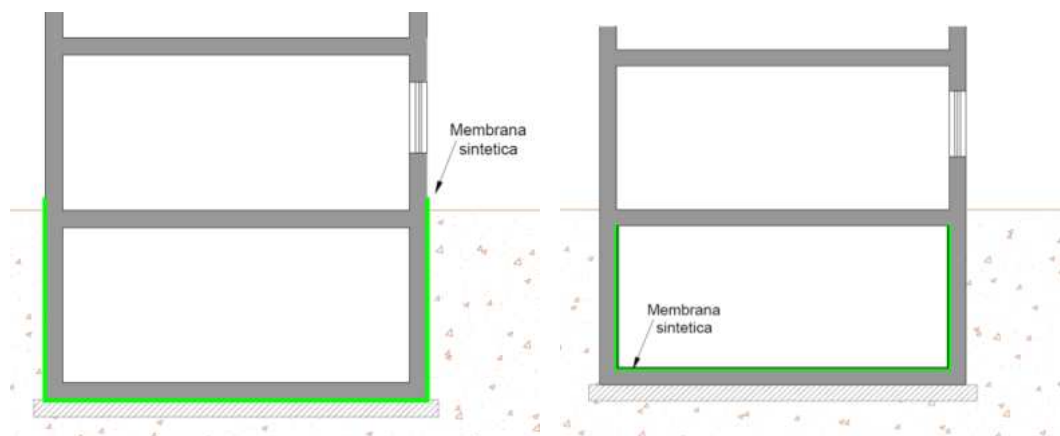
La membrana deve essere inoltre risvoltata sulle pareti verticali prossime al solaio, per tutta la lunghezza contro terra (ambienti seminterrati – interrati).

Nella fase di stesa della membrana è necessario che il piano di posa sia privo di asperità ed inoltre deve essere garantita la continuità di impermeabilizzazione al gas nelle giunzioni, mediante termosaldatura eseguita a regola d'arte. Come per tutti i materiali da costruzione, è importante analizzare le caratteristiche prestazionali delle membrane riportate nelle schede tecniche.

Oltre alle resistenze a trazione, allungamento e resistenza al punzonamento statico (resistenza alle sollecitazioni meccaniche), è necessario valutare la permeabilità al gas radon (volume di gas che può attraversare l'unità di superficie sottoposta ad una differenza di pressione pari ad una atmosfera, in un intervallo di tempo pari a 24 ore).

Qualora si valuti che la sola protezione effettuata dalla membrana non sia sufficiente, è necessario adottare le tecniche di allontanamento del gas mediante ventilazione, ad integrazione delle misure di isolamento.

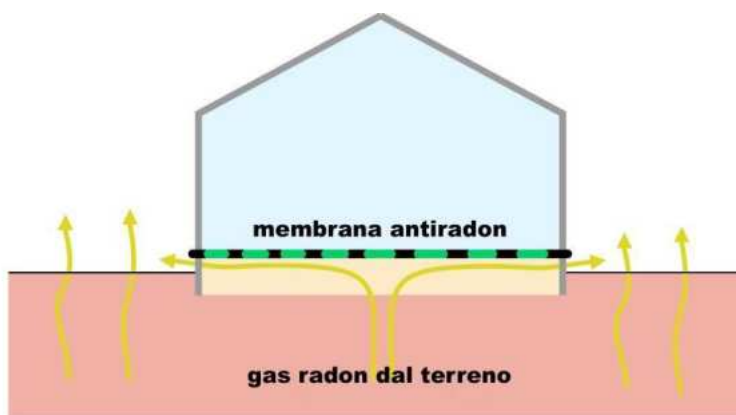
Fig. 5.50 - Membrane protettive per edificio nuovo e per edificio esistente



Fonte: Regione Sardegna

Un'altra soluzione è quella di posizionare delle barriere protettive direttamente sulle solette di fondazione, come quelle a base di strati di poliestere, polipropilene o di polimeri bituminosi (vedere figure seguenti), estremamente resistente che, accoppiata con un sistema di drenaggio perimetrale, crea una corsia preferenziale per l'evacuazione del gas verso l'esterno e allo stesso tempo riesce ad annullare le conseguenze dell'umidità.

Fig. 5.51 - Membrana protettiva



Fonte: Regione Lombardia

Fig. 5.52 - Esempi di posa di barriera protettiva

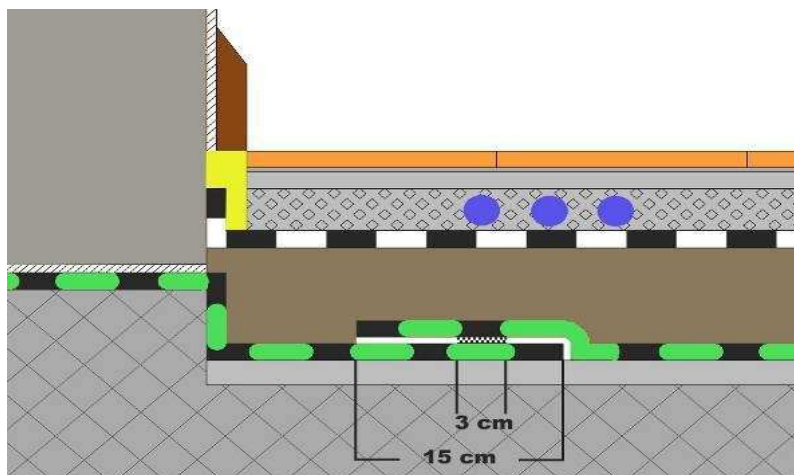


Fonte: www.espertogasradon.it

Tali membrane possono essere autoadesive oppure essere applicate per termofusione. Si tratta in ogni caso di materiali non degradabili i quali, oltre a costituire una barriera per il radon, accoppiano anche caratteristiche di flessibilità e robustezza sia alle sollecitazioni di trazioni longitudinali e trasversali e sia all'allungamento alla rottura.

Particolare attenzione deve però essere posta alla posa in opera della membrana, evitando qualsiasi tipo di bucatura o lacerazione che potrebbe risultare poco importante nell'arrestare la risalita nell'edificio dell'umidità ma sicuramente più critica per quanto riguarda il radon. Per questo motivo il suggerimento è quello di posare innanzitutto una striscia di membrana al di sotto delle murature portanti facendola risvoltare in parte sul piano orizzontale di calpestio. Una volta completata l'esecuzione delle murature, e poco prima della posa dello strato isolante, oppure del getto del massetto impiantistico o di altro strato di completamento, sarà posata la membrana sull'intera superficie sovrapponendola per una quindicina di centimetri con la parte sporgente della membrana tagliamuro e sigillando o incollando i lembi sovrapposti. In questo modo si limiterà al minimo il calpestamento della membrana e il rischio di rottura.

Fig. 5.53 - Esempi di posa di barriera protettiva



Fonte: Regione Lombardia

I pannelli costituiti da vetro cellulare consentono di isolare le superfici dell'edificio a contatto con il suolo: si ottiene la contestuale riduzione dell'ingresso del gas radon proveniente dal terreno, l'isolamento termico e l'impermeabilizzazione all'acqua di pareti e pavimenti. Questo materiale può essere utilizzato nelle nuove costruzioni, disponendo le lastre, debitamente giuntate lungo i bordi, sul piano di posa costituito da terreno o da un magrone livellato. Le lastre in vetro cellulare possono essere applicate anche sulle superfici esterne dei muri controterra. Nel caso di edifici esistenti, il materiale in esame può essere impiegato internamente come sistema isolante.

5.6 La prevenzione in caso di nuovi edifici

Fermo restando l'applicabilità di tutte le misure di prevenzione analizzate nei paragrafi precedenti, nel seguito si forniscono alcune regole di buona prassi, di carattere progettuale, che consentono di abbattere la presenza di radon negli edifici di nuova costruzione.

Prima dell'effettiva progettazione di un nuovo edificio occorre verificare la tipologia di terreno dove effettuare lo scavo per poi decidere gli interventi da realizzare in fase costruttiva. In particolare, va analizzato se il terreno insiste su aree ad elevata concentrazione di radon, oppure su un pendio, su una faglia o su un terreno molto fratturato, o ancora su un terreno molto eterogeneo, per esempio in parte sul letto di un fiume o su materiale di riempimento. In particolare, in pendii molto esposti al sole, costituiti da terreno molto permeabili, il radon può essere trasportato dai moti convettivi anche in quantità molto elevate, anche se si trovano al di fuori delle aree riconosciute ad

elevata concentrazione. Particolare attenzione deve essere fatta, inoltre, durante lo scavo, in quanto anche i terreni argillosi, notoriamente poco permeabili, se vengono perforati, possono dar luogo ad elevare concentrazioni di radon.

In ogni caso è molto difficile prevedere con un buon margine di certezza quale sia la concentrazione del radon del terreno su cui saranno realizzate le fondamenta, in quanto lo scavo cambia completamente la situazione nel suolo. Nella progettazione dei locali, tenendo conto che di regola il problema del radon riguarda soprattutto ambienti a contatto diretto con il terreno, sarebbe opportuno rinunciare all'utilizzo di vani interrati o seminterrati a scopo abitativo ed anzi dotarli di un importante ricambio d'aria. Tutte le tecniche che mirano a "separare" dal suolo tali locali, contribuiscono a proteggere dal radon. È necessario progettare strutture che non creino troppi canali di comunicazione tra aree abitate ed aree a diretto contatto con il terreno che trasportano il radon nella parte abitata dell'edificio come per esempio vani ascensore, camini, condotte verticali. Le cantine dovrebbero avere un accesso esterno indipendente dai locali abitati ed in particolare se esse possiedono una pavimentazione naturale (terra); se ciò non è possibile, è opportuno sigillare adeguatamente le porte delle scale che conducono alle cantine.

Anche dal punto di vista dell'isolamento termico conviene pianificare uno strato d'isolamento tra l'interrato (cantina) ed il piano rialzato, per esempio con delle membrane di plastica o altro. Se possibile converrebbe realizzare un'intercapedine ventilata (vespaio) che assicura un'ottima protezione dal radon.

Tenendo conto che qualsiasi elemento dell'edificio che penetri nel terreno, costituisce un potenziale punto d'infiltrazione di radon, le condotte dell'acqua e del gas, le condotte del gasolio da riscaldamento provenienti da serbatoi interrati o quelle dei serbatoi per la raccolta dell'acqua piovana, andrebbero introdotte dalle pareti laterali e non dal pavimento, assicurando una buona ventilazione della tubazione in prossimità della casa.

Lo stesso vale sostanzialmente anche per condutture di piccolo diametro, come cavi elettrici e d'antenna, che vanno sigillati con materiali elastici. Le fognature vanno realizzate in modo tale che attraversi il pavimento della cantina nel minore numero possibile di punti e devono prevedere il minimo indispensabile di condotte di scarico, possibilmente senza diramazioni e l'isolamento o lo sfiato delle condutture.

È opportuno munire l'edificio di uno strato d'isolamento termico e di una guaina a tenuta stagna appropriata, tra i locali riscaldati e quelli non riscaldati ed anche per la parte esterna delle mura. Se il rivestimento isolante penetra nel terreno, il radon può diffondersi fino ai piani alti della casa attraverso gli spazi vuoti dello strato isolante. È importante sigillare completamente lo strato isolante o interromperlo per un breve tratto, per permettere al radon di uscire all'aperto.

L'aria presente nel sottosuolo che trasporta il radon dal suolo, originariamente era aria esterna. Essa viene continuamente rinnovata e scambiata. Conviene favorire questo scambio naturale p. es. collegando opportunamente lo strato (relativamente permeabile) al di sotto della piastra di fondazione con il materiale di riempimento laterale, altrettanto

permeabile. In questo modo l'aria sotto l'edificio si rinnoverà più rapidamente e la concentrazione di radon diminuirà.

Soprattutto in zone a rischio radon si consiglia di realizzare un fondamento a platea in cemento armato che ricopra tutta la superficie orizzontale dello scavo e di realizzare tutte le mura esterne nella parte interrata in cemento armato, prestando la massima attenzione alla congiunzione tra muro e platea e ad evitare di bucare la platea. Se ciò non fosse possibile, sarebbe opportuno isolare tutte le perforazioni con materiali isolanti o flange elastiche. In aggiunta è possibile realizzare il fondamento a platea su di uno strato in cemento armato e fra questi posare uno strato isolante (membrane impermeabilizzanti in polimeri bituminosi plastificati o membrane di plastica). Se invece vengono progettate delle fondazioni a strisce, non consigliate in zone ad elevata concentrazione di radon, è assolutamente necessario realizzare la pavimentazione in cemento, con uno strato isolante d'ottima fattura. Lo strato isolante non dovrebbe ricoprire solo la pavimentazione, ma anche almeno 0.5 m delle pareti interne. Occorre in ogni caso prestare la massima attenzione a non danneggiare le membrane isolanti, evitando curvature a spigoli. Si consiglia in ogni caso di proteggere all'esterno le pareti interrate con della ghiaia e delle lamine di plastica isolanti. Inoltre, è indispensabile prevedere un sistema d'aspirazione di aria dal suolo. Allo scopo sotto la pavimentazione vanno messi dei tubi di drenaggio in uno strato di ghiaia. La ghiaia va posata direttamente sul terreno compattato, nel caso di un terreno poco o mediamente permeabile. In terreni molto permeabili conviene invece posare la ghiaia su di uno strato di cemento magro, che funge da strato isolante verso il terreno. In questo modo, aspirando l'aria con un ventilatore, diventa più semplice realizzare una depressione. I tubi di drenaggio vanno posati in parallelo e collegati tra loro da una conduttura collettoria. Se possibile collegare lo strato di ghiaia con aperture laterali, in modo che vi possa entrare aria esterna (bisogna però anche prevedere la possibilità di poter chiudere queste aperture). Se entra aria esterna, bisogna prevedere un adeguato isolamento termico per la pavimentazione. Il tubo collettore può condurre direttamente fuori casa, oppure arrivare internamente fino al tetto. In tal modo si crea un'aspirazione naturale che fa fuoriuscire il radon dal terreno. Se ciò non bastasse, si può aumentare l'azione aspirante con un piccolo ventilatore. In questo caso può essere più conveniente chiudere le aperture laterali alla ghiaia (questo va appurato sperimentalmente). Riguardo al tubo collettore è importante sapere che l'aria estratta dal terreno è molto umida e d'inverno si formano notevoli quantità di ghiaccio che possono ostruire il tubo. Conviene perciò prevedere un condensatore, oppure realizzare tutti i tubi in pendenza, di modo che l'acqua di condensa formatasi possa defluire nel terreno.

La scelta dei materiali da costruzione è di fondamentale importanza per garantire un buon isolamento alla permeazione del radon, soprattutto per quel che riguarda le parti interrate. Per la realizzazione delle fondamenta e delle mura è preferibile utilizzare il cemento che fornisce le maggiori garanzie di isolamento rispetto ai mattoni forati. Riguardo alla parte superiore della casa, da questo punto di vista, la scelta dei materiali è meno critica.

In sostanza gli interventi da prevedere in caso di nuove costruzioni sono i seguenti:

-
- Isolamento delle fondamenta con cemento armato minimo spessore 30 cm
 - Realizzazione di vespaio aerato con o senza ventilatore
 - Utilizzo di casseri a perdere modulari a cupola
 - Membrane impermeabili
 - Membrane bugnate ad alta resistenza in polietilene ad alta densità (HDPE)
 - Membrane drenanti
 - Malte isolanti: impermeabilizzanti epossimentizi composti da una resina epossidica da un catalizzatore e da cemento fuso
 - Pitture epossidiche
 - Vernici
 - Leganti liquidi o fibre polipropileniche antiritiro da aggiungere al calcestruzzo in grado di diminuire la formazione di microfessure.
 - Mastici per sigillare crepe e fessure
 - Giunti elastici negli attacchi pareti-solaio per sigillare fessurazioni e crepe (waterstop in PVC)
 - Nastri adesivi
 - Barriere al carbone attivo e silicati (zeolite) da miscelare al terreno posto accanto alle fondazioni per aumentare la resistenza al passaggio del radon.

6 Bibliografia

ARPA Puglia, 2017. [Guida tecnica per le misure di concentrazione media annua di radon in aria in luoghi di lavoro, abitazioni, scuole e luoghi aperti al pubblico.](#)

Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico (ANIT), 2022. [La tenuta all'aria degli edifici- Manuale di approfondimento tecnico.](#)

Bahadori A., Hanson B., 2024. [Evaluation of consumer digital radon measurement devices: a comparative analysis.](#) Journal of Radiological Protection, Volume 44, Number 2. DOI 10.1088/1361-6498/ad4bf1

Confessore L., Ferraro P., 2020. [Il rischio radon negli ambienti di vita e di lavoro - Guida alla misurazione e interventi prevenzione riduzione alla luce del nuovo DLg 31.07.2020 n.10](#) – EPC Libri.

De Maio E., De Maio F., Di Menno Di Bucchianico A., et al., 2023. [Qualità dell'aria indoor e rischio radon in Italia e realtà confrontabili: la normativa, la letteratura scientifica, le certificazioni energetiche.](#) Quaderni Ambiente e Società, ISPRA, 27/23.

Di Carlo C., Venoso G., Ampollini M., et al. [Variazioni stagionali inverse della concentrazione di radon indoor e relativo impatto sui protocolli di misura.](#)

Direttiva 2018/844/UE – EPBD “Energy Performance of Buildings Directive” – Efficienza energetica degli edifici

Direttiva 2018/2002/UE – EED “Energy Efficiency Directive” – Efficienza energetica

Direttive europee sul tema dell'efficienza energetica e della qualità dell'aria (EPBD, EED) – con aggiornamento direttiva 2024

Dimitrova I., Georgiev S., Mitev K., et al., 2023. [Study of the performance and time response of the RadonEye Plus2 continuous radon monitor.](#) Measurement. Volume 207, 112409. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112409>

D.lgs. n. 101/2020 e successive modifiche e integrazioni

DPCM 11 gennaio 2024 “Adozione del piano nazionale d'azione per il radon 2023-2032”, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 43 del 21 febbraio 2024

Gunning G. A., Murray M., Long S. C. et al., 2016. [Inter-comparison of radon detectors for one to our week measurement periods.](#) J Radiol Prot. 2016 Mar;36(1):104-16. doi: 10.1088/0952-4746/36/1/104.

ISPESL, 2007. [Il radon in Italia: Guida per il cittadino.](#) Quaderni per la salute e la sicurezza.

Legge 10 agosto 2023: Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto-legge 13 giugno 2023, n. 69 “Disposizioni urgenti per l'attuazione di obblighi derivanti da atti dell'Unione europea e da procedure di infrazione e pre-infrazione pendenti nei confronti dello Stato italiano”

Regione Lombardia, 2011. [Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor.](#)

Regione Sardegna, 2019. [La riduzione della concentrazione di Radon indoor.](#)

Sá J.P., Branco P.T.B.S, Alvim-Ferraz M.C. M, Maria C. M. et al., 2022. [Radon in Indoor Air: Towards Continuous Monitoring.](#) 2022. Sustainability 2022, 14(3), 1529; <https://doi.org/10.3390/su14031529>

Sethabela C. G., Ocwelwang A. R., Mathuthu M. Maheso A. M., 2021. Comparison of Indoor Radon Levels measured with three different Detectors (Passive and Active). SAIP2021 Proceedings.

Turtiainen T., MitevK., Dehqanzada R., et al., 2022. [Testing of thoron cross-interference of continuous radon measuring instruments.](#) Journal of the European Radon Association 3. <https://doi.org/10.35815/radon.v3.7694>

UNI ISO 11665-4 - Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon- 222 - Parte 4: Metodo di misura ad integrazione per la determinazione della concentrazione media di attività usando un campionamento passivo e analisi successiva

UNI EN ISO 11665-5 - Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 5: Metodi di misura in continuo della concentrazione in attività

UNI ISO 11665-8 – Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon- 222 - Parte 8: Metodologie per le indagini iniziali e supplementari negli edifici

Viti S., Leoni I., Di Menno Di Bucchianico A., et al., 2023. [Qualità dell'aria indoor e rischio radon: rassegna di iniziative e buone pratiche.](#) Quaderni Ambiente e Società, ISPRA, 28/23.

Warkentin P., Curry E., Michael O., Bjorndal B., 2020. [A comparison of consumer-grade electronic radon monitors.](#) <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ab96d6>

Zannoni G., Gaspari J., 2017. [Evaluation of Radon Indoor Pollution Risk in High Efficiency Energy Buildings.](#) *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11 (2017) 757-768.

7 Sitografia

Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nazionale e la Radioprotezione (ISIN) (ultima data di consultazione 08/10/2024) [Radon | Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione \(isinucleare.it\)](#)

Istituto Superiore di Sanità (ISS). Radon (ultima data di consultazione 08/10/2024) <https://radon.iss.it/>

QUADERNI
AMBIENTE E SOCIETÀ

32 / 2024