



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Best practices per la riduzione del radon in ambienti confinati sottoposti a interventi di efficientamento energetico

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

**QUADERNI
AMBIENTE E SOCIETÀ**

31 / 2024



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Best practices per la riduzione del radon in ambienti confinati sottoposti a interventi di efficientamento energetico

QUADERNI
AMBIENTE E SOCIETÀ

31 / 2024

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 31/2024
ISBN 978-88-448-1229-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Elena Porrazzo
ISPRA – Area Comunicazione Ufficio Grafica

Coordinamento pubblicazione online:

Daria Mazzella
ISPRA – Area Comunicazione

Autori

Clara Peretti, Lucio Confessore - 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
Introduzione	5
Rassegna delle Best practices per la riduzione del radon in ambienti indoor	8
1.1 Generalità sulle Best Practices	8
1.2 Utilizzo di apparecchiature	12
1.3 Sigillatura delle vie d'ingresso	13
1.4 Tecniche di ventilazione e aspirazione	14
1.4.1 Ventilazione dei locali	17
1.4.2 Diminuzione della depressione interna ai locali	18
1.4.3 Depressurizzazione del terreno di fondazione (pozzo radon)	18
1.4.4 Ventilazione del vespaio	20
1.4.5 Aspirazione del sistema di drenaggio dell'acqua	22
1.4.6 Aspirazione dell'aria da pavimenti con intercapedine	23
1.4.7 Tecniche di pressurizzazione	24
1.5 Barriere protettive	30
1.6 La prevenzione in caso di nuovi edifici	31
1.7 Le norme tecniche sul radon	34
1.8 Coinvolgimento, inclusione, condivisione e divulgazione	35
2 CONCLUSIONI	40
APPENDICE	42
Le schede radon del SUPSI	42
Riduzione della concentrazione di Radon indoor – Regione Sardegna	44
Linee guida per la prevenzione al radon in ambienti indoor – Regione Lombardia	47
Misure di risanamento e misure di prevenzione – APPA Bolzano	50
Radon - cosa fare – Arpa Toscana	53
Bibliografia	55
Sitografia	56

Premessa

L'obiettivo di questo documento è quello di fornire un elenco di best practices relative agli interventi di prevenzione e riduzione del radon negli ambienti chiusi, compatibilmente con gli interventi di efficientamento energetico ed in accordo con il recente Piano Nazionale d'Azione per il Radon (PNAR). Come è stato dimostrato da diversi studi scientifici, gli interventi di efficientamento energetico applicati agli edifici, possono peggiorare la qualità dell'aria indoor ed in particolare produrre un aumento della concentrazione di radon se realizzati in assenza di interventi di prevenzione dell'accumulo di tale gas. Ciò può rappresentare un problema rilevante per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione dell'esposizione al radon e dei casi di tumore polmonare associati.

La principale difficoltà nell'affrontare il tema è la multidisciplinarietà: sono infatti coinvolti gli ambiti della salute, ambientali e di risparmio energetico. Il presente documento mira a delineare un chiaro quadro per determinare le soluzioni di riduzione radon quando si agisce sugli immobili per efficientarli, guidando il lettore nei principali riferimenti che trovano approfondimento negli allegati.

Il presente documento si basa sui seguenti riferimenti:

- 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
- DLgs. n. 101/2020 e successive modifiche e integrazioni
- 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, con conversione in legge L.103/2023
- Censimento e analisi della documentazione tecnica e scientifica, della normativa nazionale e regionale, degli standard e delle certificazioni per l'efficientamento energetico degli edifici a livello nazionale e in riferimento ad altre realtà a essa confrontabili (Quaderno ISPRA 27/23¹)
- Raccolta, analisi e valutazione delle iniziative e delle buone pratiche per il miglioramento della qualità dell'aria indoor negli edifici pubblici e privati, per individuare i parametri da prendere in considerazione, assieme al radon (Quaderno ISPRA 28/23²)
- Direttive europee sul tema dell'efficienza energetica e della qualità dell'aria (EPBD, EED) – con aggiornamento direttiva 2024

Nel presente documento non vengono prese in considerazione le analisi geologiche in virtù dell'esistenza dell'accordo di collaborazione specifico su questo tema tra Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e ISPRA.

¹ Quaderno ISPRA 27/23: Censimento e analisi della documentazione tecnica e scientifica, della normativa nazionale e regionale, degli standard e delle certificazioni per l'efficientamento energetico degli edifici a livello nazionale e in riferimento ad altre realtà a essa confronta.

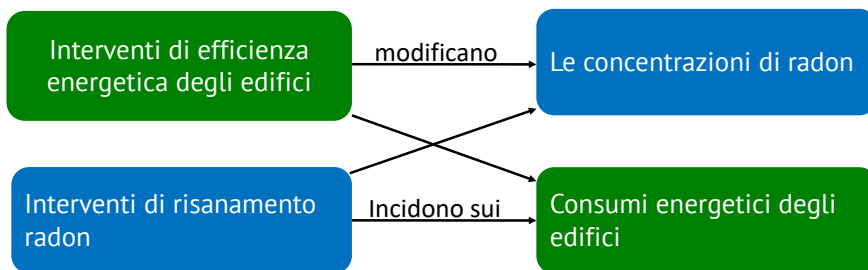
² Quaderno ISPRA 28/23: Raccolta, analisi e valutazione delle iniziative e delle buone pratiche per il miglioramento della qualità dell'aria indoor negli edifici pubblici e privati, per individuare i parametri da prendere in considerazione, assieme al radon.

Introduzione

Gli Interventi di risanamento radon indoor se da un lato servono a diminuire la concentrazione di tale gas all'interno degli edifici possono, in alcuni casi e soprattutto quando sono basati sull'incremento dei ricambi d'aria tra interno ed esterno, incidere anche in maniera sostanziale sull'aumento dei consumi energetici. Parallelamente tutti gli interventi messi in atto per ridurre i consumi energetici possono modificare le concentrazioni di radon interne, aumentandole oppure riducendole (Fig. 1).

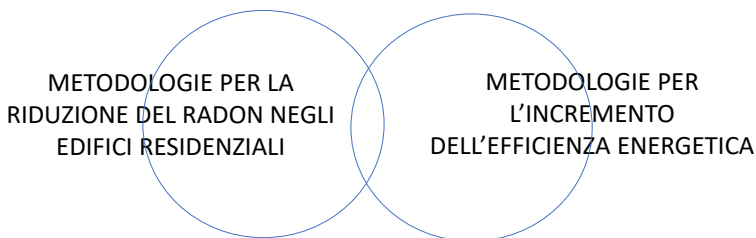
Gli interventi di efficientamento energetico, quali rivestimenti a protezione delle escursioni termiche o infissi a tenuta stagna, possono ridurre le vie di fuga naturali del radon e aumentare l'escursione termica tra interno ed esterno degli edifici, incrementando così la depressione nelle abitazioni e l'ingresso del radon dal sottosuolo.

Fig. 1 - Rapporto tra radon e interventi di efficienza energetica



È quindi doveroso cercare di ottimizzare i benefici potenzialmente derivanti dalle due tematiche (riduzione del radon ed efficienza energetica) in particolare attraverso la ricerca dell'intersezione tra le due metodologie, come rappresentato in Fig.2.

Fig. 2 - Intersezione tra metodologie



Il 10 maggio 2023 la Conferenza delle Regioni e delle Province autonome ha espresso parere positivo all'adozione del Piano nazionale d'azione per il radon (di seguito indicato con l'acronimo PNAR). Nella Gazzetta Ufficiale n. 43 del 21 febbraio 2024 è stato pubblicato il DPCM 11 gennaio 2024 recante "Adozione del piano nazionale d'azione per il radon 2023-2032".

Il PNAR:

- contiene gli obiettivi per affrontare i rischi a lungo termine dell'esposizione al radon nei luoghi di lavoro e nelle abitazioni
- descrive la linea d'azione nazionale sul tema
- fornisce agli esperti e ai cittadini interessati informazioni sulla strategia italiana per ridurre l'esposizione della popolazione al radon.

Per aiutare le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano a procedere con le campagne di misurazione della concentrazione di radon indoor, allo scopo di individuare le aree prioritarie di cui all'articolo 11 del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 e per avviare gli interventi di riduzione e prevenzione della concentrazione di radon indoor, è stata promossa l'istituzione di appositi Fondi economici. Con il decreto-legge 13 giugno 2023, n. 69 "Disposizioni urgenti per l'attuazione degli 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 sono stati istituiti due Fondi.

- Il Fondo per l'individuazione delle aree prioritarie di intervento, istituito presso il MASE, volto a finanziare programmi di misurazione della concentrazione media annua di attività di radon in aria da parte delle Regioni e Province autonome di Trento e di Bolzano, con una dotazione di 10 milioni di euro per ciascuno degli anni 2023, 2024 e 2025. Con uno o più decreti del MASE di concerto con i ministri della salute e dell'economia e delle finanze, previa intesa in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano, verranno stabiliti i criteri e le modalità di utilizzo del Fondo.
- Il Fondo, istituito presso il MASE, 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, con una dotazione di 10 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2023 al 2031. Il Fondo verrà assegnato alle Regioni e Province autonome di Trento e di Bolzano sulla base dell'individuazione delle aree prioritarie e secondo i criteri stabiliti con uno o più decreti del ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica, di concerto con i ministri della salute, dell'economia e delle finanze, previa intesa in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano.

Per quanto riguarda il risparmio o efficientamento energetico, sono disponibili vari incentivi economici che hanno recentemente dato un notevole impulso agli interventi sugli edifici. Come è dimostrato da numerosi studi, tali interventi possono produrre un aumento della concentrazione di radon indoor specialmente se realizzati con modalità che non tengono conto del loro impatto sulla concentrazione di radon e se non vengono contemporaneamente abbinati interventi di risanamento da radon. Questo può rappresentare un problema rilevante per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione

dell'esposizione al radon e dei casi di tumore polmonare associati. Gli interventi riguardanti l'efficientamento energetico degli edifici devono quindi tenere conto del radon affinché nell'ambito del medesimo intervento edilizio si abbia un risanamento dal punto di vista sia energetico sia del radon. Va assolutamente evitato che un intervento di risparmio energetico causi un peggioramento della esposizione al radon (Fonte: PNAR).

Sul tema dell'efficienza energetica si segnala che è in fase di definizione la quarta recast della Direttiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), anche definita Direttiva "Case Green". L'accordo europeo raggiunto a dicembre 2023 è stato confermato ed è ora attesa la seconda approvazione dalla plenaria del Parlamento di fine febbraio 2024.

Queste le novità al testo della direttiva EPBD IV:

- nuovi edifici a zero emissioni dal 2030
- miglioramento energetico graduale degli immobili esistenti con obiettivi intermedi al 2030 e al 2035
- obbligo di installare pannelli solari su alcune tipologie di edifici
- progressivo abbandono delle caldaie a gas fino al divieto dal 2040, settore edilizio climaticamente neutro entro il 2050

Per gli edifici residenziali, gli Stati membri dovranno mettere in atto misure per garantire una riduzione dell'energia primaria media utilizzata di almeno il 16% entro il 2030 e di almeno il 20-22% entro il 2035.

Entro il 2030 dovrà essere ristrutturato almeno il 16% degli edifici non residenziali con le peggiori prestazioni ed entro il 2033 il 26% degli edifici con le peggiori prestazioni, attraverso requisiti minimi di prestazione energetica. Nel complesso, il 55% della riduzione dei consumi energetici dovrà essere raggiunto attraverso la ristrutturazione degli edifici con le prestazioni peggiori.

I nuovi edifici occupati o di proprietà delle pubbliche amministrazioni dovranno essere a emissioni zero a partire dal 2028. A partire dal 2030 tutti i nuovi edifici dovranno essere a emissioni zero.

Gli Stati membri dovranno adottare misure per decarbonizzare i sistemi di riscaldamento e per eliminare gradualmente i combustibili fossili dal riscaldamento e dal raffreddamento. Per le caldaie a combustibili fossili, l'obiettivo è quello di eliminarle gradualmente entro il 2040.

La direttiva andrà a modificare fortemente l'approccio alla riqualificazione degli edifici e in particolar modo la struttura dei sistemi di incentivazione, discussi di seguito nel presente documento.

Rassegna delle Best Practices per la riduzione del radon in ambienti indoor

1.1 Generalità sulle Best Practices

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 (con focus sul radon) e dell'efficientamento energetico presenta diverse variabili, tra queste:

- destinazione d'uso degli immobili: scuole, residenziale e uffici sono le destinazioni più studiate
- numero degli edifici oggetto dello studio: due sono gli approcci – analisi statistica di un campione rappresentativo di edifici oppure analisi di un singolo edificio dettagliando specifici aspetti
- edifici nuovi o ristrutturazioni
- numero di piani dell'edificio, contatto con il terreno e collocazione dei locali tecnici e delle pertinenze

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
- 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 (esempio: granito, mattoni e cementi contenenti ceneri, ecc.)
- alcune misure di efficientamento energetico sono responsabili della riduzione del tasso di ventilazione negli edifici
- le misure che riducono il tasso di ventilazione di un ambiente possono aumentare il radon indoor. Tale aspetto è anche legato alla modifica del differenziale di pressione interno/esterno causata dalla riduzione del tasso di ventilazione
- la sostituzione delle finestre è l'intervento che è correlato al maggior aumento delle concentrazioni di radon se non abbinato ad un sistema di ventilazione adeguato
- la tipologia di ventilazione (naturale, meccanica, ibrida) e la sua funzionalità influenzano le concentrazioni di radon (possono aumentarle oppure ridurle)
- i seminterrati abitabili presentano potenziale di rischio radon maggiore
- è necessario affrontare il tema del radon congiuntamente a quello del risanamento energetico
- 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

I temi aperti ovvero i temi per i quali ancora non si dispone di una risposta univoca sono:

-
- gli edifici nuovi hanno concentrazioni maggiori di quelli di vecchia costruzione e/o riqualificati
 - i sistemi impiantistici (a gas, elettrici, HVAC) possono essere una delle principali vie di accesso per il radon

I temi oggetto di dibattito, ovvero quelli per i quali ci sono conclusioni contrastanti sono:

- la geologia e la geomorfologia e la loro correlazione alle concentrazioni di radon negli edifici
- l'utilità dei misuratori economici per la determinazione delle concentrazioni di radon
- la gestione della ventilazione (portate, ricambi dell'aria) in funzione delle concentrazioni di radon

Sulla base della documentazione raccolta, risulta che gli interventi per la riduzione del radon si possono distinguere e classificare in funzione di diverse variabili, tra queste:

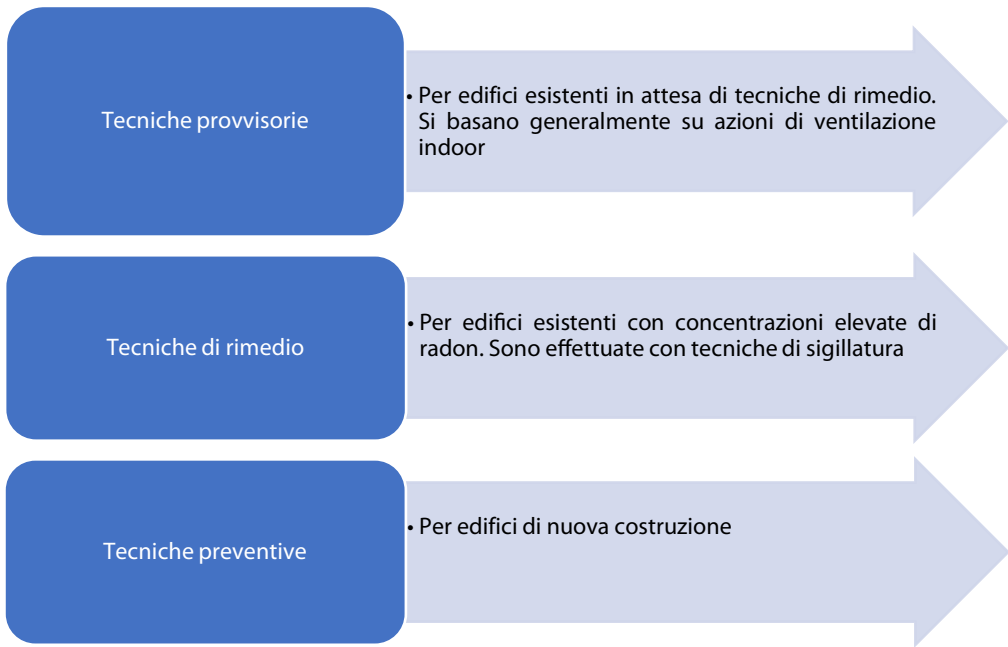
- età dell'edificio (nuovo, ristrutturato, riqualificato, da riqualificare, esistente, storico, ecc.)
- destinazione d'uso (scolastico, residenziale, uffici, ecc.)
- tipologia edilizia
- collocazione dell'edificio (a contatto con il terreno, multipiano, ecc.)

I criteri generali che possono essere individuati sulla base della documentazione disponibile in letteratura per la definizione e l'applicazione delle misure di intervento, si basano sulle seguenti attività e sono nel seguito sommariamente riportati:

- eliminazione delle fonti di radon
- aumento della resistenza dell'edificio all'ingresso del radon (mediante sigillatura degli ingressi)
- trattamento dell'aria (sistemi di filtrazione ed elettrostatici)
- allontanamento del radon (sistemi di pressurizzazione, aspirazione e ventilazione)

Una prima 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.

Figura 1.1 - Tecniche provvisorie, di rimedi e preventive



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.

Figura 1.2 – 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.

Figura 1.3 - Variabili tecniche da considerare per gli interventi di risanamento

Sito	• Geomorfologia del suolo e del terreno
Sorgente di radon	• Terreno, materiali, acqua e loro combinazioni
Edificio	• Tipologia di materiali da costruzione, tipo di struttura portante, età, eventuali vincoli architettonici, presenza di vespai o locali tecnici
Luogo di lavoro	• Concentrazione di radon esistente se nota, interazione con altri inquinanti indoor, impatto sulla salubrità degli ambienti e sull'efficienza energetica
Attività svolta	• Impatto sulle abitudini di vita, sul comfort delle persone occupanti e sulla sicurezza degli occupanti
Costo	• Costo di progettazione, realizzazione e mantenimento

Uno dei parametri con cui si può valutare l'efficacia delle azioni di rimedio è 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 %.

Tabella 1.1 - 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.

1.2 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 migliaio 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 caricati 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.

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'analoga 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.

1.3 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.

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.

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 ad 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.

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.

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.

In caso di concentrazione di radon elevati (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).

1.4 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. 2022³). Per altri inquinanti invece non vi è ancora una chiara correlazione, questo ad esempio è il caso del radon.

Figura 1.4 - Correlazione tra l'aumento dell'ermeticità degli ambienti sulla qualità dell'aria

A rapid review of the impact of increasing airtightness on indoor air quality

IAQ Parameter	Impact	IAQ Parameter	Impact
CO ₂	☹️	NO ₂ – in areas with high outdoor levels	☺️
PM _{2.5} – in areas with high outdoor levels	☺️	NO ₂ – in average areas	☹️
PM _{2.5} – in areas with average outdoor pollutant levels	☹️	Mould/moisture	☹️
Formaldehyde	☹️/☹️*	Radon	☹️
VOC	☹️/☹️*	CO	☹️

* Reviewed studies with Formaldehyde and VOC either identified no clear relationship, or a negative relationship. More studies are needed to better understand this relationship.

Fonte: Kempton et al. 2022

Stappare 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 come

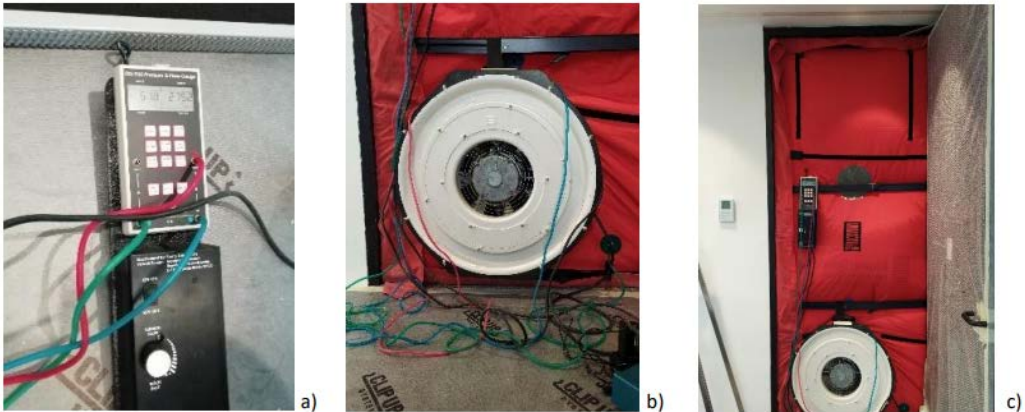
³ Leela Kempton, Dan Daly, Georgios Kokogiannakis, Mark Dewsbury. 2022. "A rapid review of the impact of increasing airtightness on indoor air quality". Journal of Building Engineering Volume 57, 1 October 2022, 104798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104798>

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 Door**⁴ 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 $n\Delta p$, il tasso di ricambio del volume interno d'aria a quella determinata ΔP . La Δp che si considera come riferimento è di 50 Pa.

⁴ Fonte: UNI EN ISO 9972/2015

Figura 1.5 - Esempio di misura della permeabilità mediante blower door test in un edificio residenziale. a) manometro b) ventilatore c) telaio ermetico.



Fonte: ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico - "La tenuta all'aria degli edifici" - Manuela di approfondimento tecnico - 28 Settembre 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} .

1.4.1 Ventilazione dei locali

La ventilazione naturale è generalmente un'azione provvisoria da mettere in atto in una fase transitoria e fino all'applicazione di misure più a lungo termine. Ciò anche tenendo conto dell'elevata interazione con le condizioni climatiche esterne che a volte, specie in condizioni di troppo caldo o di troppo freddo, non è sostenibile a causa della difficoltà a mantenere le finestre chiuse o aperte a seconda dei casi. Per ovviare a questo, si possono realizzare delle aperture regolabili sugli infissi oppure dei veri e propri fori alle pareti con

regolatori di flusso, producendo un significativo aumento del ricambio d'aria, anche se in contrasto con le basilari regole di efficienza energetica.

1.4.2 Diminuzione della depressione interna ai locali

Le tecniche per diminuire la naturale depressione interna dei locali e quindi sfavorire l'ingresso del radon sono quelle in grado di:

- prevedere dispositivi di areazione e ventilazione nelle cantine
- evitare di collegare il vano scala o la tromba dell'ascensore allo scantinato (mettere una porta)
- prevedere sistemi di ricambio d'aria attraverso prese d'aria poste al di sopra del livello del suolo di dimensioni tali da garantire che l'aria in ingresso sia in quantità uguale a quella aspirata
- installare valvole di tenuta nelle canne fumarie
- chiudere i flussi verticali di aria attraverso il pavimento tra un piano e l'altro (specie per i solai in legno)
- chiudere le aperture esistenti nelle coperture (botole, abbaini, finestre) al fine di ridurre l'uscita dell'aria
- creare artificialmente una sovrappressione all'interno dei locali abitati installando un impianto di ventilazione con recupero di calore
- utilizzare infissi con guarnizioni a tenuta
- ridurre al minimo cavedi o intercapedini
- evitare di mantenere una temperatura interna molto diversa da quella esterna in inverno
- limitare l'utilizzo di aspiratori elettrici (bagni) e cappe cucina in quanto aumentano la depressione interna perché pompano all'esterno più aria di quella che aspirano.

1.4.3 Depressurizzazione del terreno di fondazione (pozzo radon)

In caso di edifici il cui solaio poggia direttamente sul terreno, senza alcuna intercapedine, vespaio o locale interrato e seminterrato fra locali abitati e terreno stesso, l'aspirazione, che mette in depressione la base dell'edificio, può essere effettuata direttamente nel terreno al di sotto del perimetro dell'edificio. La tecnica in esame prevede la captazione dell'aria ricca di gas radon, presente negli strati di terreno a contatto con l'edificio, da un punto/area di assorbimento, ubicato al di sotto della soletta controterra, e l'aspirazione del gas tramite una condotta che canalizza il flusso alla quota di copertura dell'edificio.

In relazione alle caratteristiche di permeabilità del terreno, la captazione del gas può essere localizzata in un unico punto o essere distribuita su una superficie più ampia, mediante l'impiego di tubi fessurati o geocompositi drenanti disposti ad anello e posizionati sotto la soletta. Il flusso d'aria ascendente si instaura principalmente per effetto camino, indotto dal gradiente termico tra l'ambiente interno dell'edificio e l'esterno.

L'aspirazione di radon dal terreno è un sistema estremamente efficace in quanto viene attuata la riduzione dei livelli di concentrazione direttamente nel sottosuolo, congiuntamente alla produzione di una depressione rispetto agli ambienti interni dell'edificio, che riduce l'infiltrazione del radon nell'edificio. Per la realizzazione di quanto detto è però necessario avere un terreno a bassa permeabilità in modo da non impedire la formazione di una sufficiente depressurizzazione nella cavità del pozzetto di estrazione.

Dal punto di vista tecnico sarà necessario individuare le fratture, i vuoti, le porosità del terreno attraverso le quali il gas trova un agevole percorso di risalita e in questi punti creare un risucchio che devii il percorso del gas canalizzandolo verso l'esterno dell'edificio. Se le finiture interne o le destinazioni d'uso non consentono la realizzazione di uno scavo al centro dell'edificio, il punto di aspirazione può essere applicato nell'immediato perimetro dell'edificio, ovviamente con una minore efficacia.

Qualora il sistema passivo non sia sufficiente a garantire l'estrazione dell'aria ricca di radon, è possibile installare un ventilatore aspirante nella parte terminale della condotta, avendo cura di posizionarlo in un locale non abitato (es. sottotetto).

In fase costruttiva è possibile realizzare, al di sotto del getto del magrone o della platea di fondazione, un pozzetto di captazione del radon presente nel terreno, e possibilmente in posizione centrale rispetto all'edificio. Questo è costituito da un vano, usualmente in calcestruzzo prefabbricato, con lato inferiore aperto e poggiante su un nucleo drenante di ghiaia grossolana. Il pozzetto è collegato, mediante canalizzazione, ad un secondo pozzetto collocato in prossimità dell'edificio e ubicato poco sotto il piano campagna, in cui è alloggiato il ventilatore aspirante alimentato elettricamente. Dato che l'efficacia del sistema diminuisce con l'aumentare della distanza dal punto di estrazione, è preferibile cercare di realizzare il pozzetto il più a ridosso possibile dell'edificio.

Il radon captato viene dunque liberato in atmosfera, avendo cura di posizionare la bocca di emissione lontano dai prospetti dell'edificio o dagli edifici limitrofi, al fine di evitare l'immissione del contaminante dagli infissi esterni. La soluzione ottimale consiste nella canalizzazione del gas fino alla quota di gronda dello stabile, dove viene più facilmente disperso.

È importante tener presente che l'aspirazione d'aria dall'intercapedine, dalle canaline o da pozzetti, può provocare una pericolosa emissione di monossido di carbonio (gas tossico) da stufe o fornelli a legna con fiamma aperta che siano presenti nei locali al di sopra o adiacenti.

La tecnica sopra descritta può essere applicata per edifici con locali interrati, avendo cura di dimensionare correttamente il sistema di aspirazione (ventilatore e canalizzazione) e di effettuare l'isolamento esterno delle superfici verticali controterra.

Per il risanamento di edifici esistenti è possibile realizzare un corpo drenante perimetrale, effettuando uno scavo in verticale o una trincea drenante, costituita da un nucleo in ghiaia grossolana, adeguatamente protetto mediante avvolgimento con tessuto filtrante per evitare l'intasamento del corpo centrale, in cui è alloggiata una condotta di captazione. Alla sommità deve essere installato un ventilatore aspirante, eventualmente ubicato in un pozzetto ispezionabile, a sua volta collegato alla tubazione di mandata per il conferimento del gas alla quota di progetto.

Il corpo drenante può essere ubicato anche al di sotto della superficie della pavimentazione con la realizzazione di opere di demolizione e ricostruzione il più delle volte non desiderate. L'efficacia del sistema e l'area di influenza del pozzo sono strettamente legate alla permeabilità del terreno, alla profondità del pozzo stesso ed alla potenza di estrazione del ventilatore: un singolo pozzo, realizzato al di sotto dell'edificio, in un suolo con buona permeabilità, dotato di un aspiratore di circa 80 W, può avere effetto su un'area di circa 300 m² con centro sul pozzo.

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

1.4.4 Ventilazione del vespaio

Disponendo di un volume tecnico sotto l'edificio o di un vespaio sufficientemente libero in cui non sono presenti detriti, può essere ipotizzabile in prima istanza ricorrere alla ventilazione naturale realizzando delle bucaure di circa un metro di diametro alla base perimetrale dell'attacco a terra. Laddove possibile è preferibile realizzare tali bucaure nei prospetti nord e sud con l'accortezza di tenere più alti i fori a sud per una migliore areazione.

Se i valori di riduzione di concentrazione del radon ottenuti con questa tecnica non sono soddisfacenti, è possibile incrementare la ventilazione naturale canalizzando le condotte di aspirazione e raggiungendo l'esterno mediante l'utilizzo di tubi a periscopio, in modo da portare in quota la tubazione, oltre il cornicione di gronda, e sfruttare i venti dominanti ed all'effetto "Venturi" per migliorare l'effetto aspirante. Negli edifici esistenti la canalizzazione dovrà essere realizzata all'esterno.

In presenza di tubazioni idrauliche all'interno del vespaio, il potenziamento della ventilazione potrebbe portare a fenomeni di congelamento e pertanto si dovrà provvedere alla opportuna coibentazione delle stesse.

Infine, nei luoghi a forte presenza di vento (per esempio in collina o in prossimità del mare) può rendersi necessario applicare sistemi di protezione sulle bocchette per evitare che le raffiche investano direttamente i condotti di areazione modificando così l'andamento dei flussi di aria.

Un'ulteriore tecnica che assume un carattere più propriamente preventivo nei confronti dell'ingresso del radon negli edifici, consiste nella realizzazione di un vano di aerazione (parete ventilata), tra edificio e terreno. Questo consente la libera circolazione dell'aria lungo il perimetro esterno dell'edificio. È necessario, tuttavia, avere cura nella regimentazione delle acque meteoriche, al fine di evitare ristagni d'acqua, e realizzare un buon sistema di impermeabilizzazione e drenaggio a tergo del muro di contenimento del terreno.

In mancanza di risultati accettabili con la ventilazione naturale, è opportuno ricorrere a sistemi di movimentazione forzata dell'aria, per esempio all'utilizzo di ventilatori collegato alle tubazioni esistenti ed inseriti direttamente all'interno della muratura, se lo spessore è adeguato.

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

Dal pozzetto o contenitore si può partire un finto pluviale per l'evacuazione del gas almeno fino alla quota del cornicione sottogronda.

Nel caso di ventilazione forzata è conveniente sigillare i fori di ingresso dell'aria per realizzare una maggiore depressione o sovrappressione nei confronti del terreno.

Si possono impiegare estrattori centrifughi collegabili direttamente in linea con la tubazione collocati in genere al termine della condotta, per esempio, nel sottotetto in modo da gestire meglio anche il rumore prodotto da tale apparecchio. Gli estrattori devono avere una potenza minima di 50-80 W ed in grado di movimentare circa 100-150 m³/h e garantire quindi la depressione necessaria allo scopo. L'adozione di un sistema di estrazione attiva ha, naturalmente, un costo maggiore rappresentato sia dall'acquisto del ventilatore stesso che dall'energia necessaria al suo funzionamento. Nell'ipotesi di impianto di estrazione di 70 W utilizzato per 24 ore al giorno occorre preventivare un consumo annuo di energia pari a circa 600 kWh. In questo senso può essere valutata una temporizzazione del tempo di attivazione dell'estrattore in modo da conseguire un risultato adeguato ma, al contempo, ridurre il consumo di energia elettrica ed allungare la vita dell'impianto.

Le tecniche di depressurizzazione prevedono l'aspirazione dell'aria dal sottosuolo, sia con sistemi "passivi", sfruttando l'effetto camino, e sia con metodi "attivi" per mezzo di ventilatori, allo scopo di richiamare aria esterna e diluire quella interna. La scelta tra i due sistemi deve essere valutata tenendo in considerazione il livello di radon, l'ampiezza della superficie interessata, l'efficacia della depressione naturale, i costi di realizzazione della canalizzazione e dell'esercizio del ventilatore.

Il volume sul quale intervenire per creare una depressione sotto i locali abitati può anche essere un locale tecnico posto a piano terra, oppure seminterrato o interrato non direttamente destinato ad abitazione ma di utilizzo saltuario (anche giornaliero ma comunque non di soggiorno quotidiano) e che quindi possa essere utilizzato come “locale di sacrificio” da mettere in depressione. Le aperture di comunicazione con l'appartamento sovrastante dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria.

1.4.5 Aspirazione del sistema di drenaggio dell'acqua

In taluni casi è necessario prevedere un efficiente sistema di drenaggio delle acque di falda o prevenire la risalita di acqua interstiziale per la presenza di acquiferi sotterranei superficiali. Si ricorre, pertanto, alla realizzazione di un sistema drenante costituito da corpo in materiale inerte di pezzatura grossolana nel quale viene alloggiato un tubo fessurato, installato per formare una serpentina che copra in maniera omogenea tutta la superficie orizzontale di attacco a terra.

Il sistema drenante viene portato in depressione attraverso un impianto di aspirazione, in modo analogo a quanto descritto in precedenza.

Nel caso sia presente un sistema di drenaggio dell'acqua di falda, il sistema di prevenzione di ingresso del radon si può collegare ad esso, canalizzando una delle estremità all'esterno. Le tubazioni forate dell'impianto di drenaggio fungeranno anche da impianto di aspirazione distribuito al di sotto dell'intera superficie della costruzione evacuando l'acqua di falda nella sezione inferiore e il radon nella parte alta.

L'aria presente nel suolo sotto l'edificio viene aspirata utilizzando le tubazioni per il drenaggio dell'acqua installate in fase di costruzione.

Il sistema di canalizzazioni viene portato in depressione attraverso un impianto di aspirazione forzata, ottenendo ottimi risultati (si riportano riduzioni della concentrazione di radon intorno al 50%).

L'efficacia del sistema è condizionata dallo sviluppo delle canalizzazioni rispetto alla base dell'edificio e dalla tenuta del sistema di drenaggio.

L'installazione dei sistemi di aspirazione attiva deve essere effettuata possibilmente all'interno dei pozzetti di ispezione del sistema di drenaggio.

Dove possibile, è importante provvedere alla sigillatura dell'impianto di drenaggio (adozione di valvole a tenuta sulle uscite del sistema), affinché lo stesso possa garantire il raggiungimento di una adeguata depressurizzazione, evitando in tal modo la necessità di dover ricorrere a sistemi di aspirazione ad alta potenza.

L'aspirazione deve essere limitata alla rete di drenaggio dell'edificio e pertanto il sistema deve essere isolato dalla rete idrica pubblica per mezzo di sifoni.

Nella realizzazione si può valutare di temporizzare l'attivazione dell'impianto in modo da attuare un risparmio energetico e una più lunga durata delle apparecchiature.

Laddove esista l'eventualità di una quota di falda piuttosto alta una ricorrente soluzione costruttiva consiste nel posizionare, al di sotto del solaio a terra, delle tubazioni drenanti per allontanare l'acqua dalle fondazioni dell'edificio.

Questo medesimo impianto è particolarmente funzionale anche per limitare e contrastare il percorso di risalita del radon. L'accortezza in fase di cantiere dovrà essere quella di collegare fra loro tutte le tubazioni in modo da avere un unico punto di aspirazione. Le tubazioni drenanti saranno posate su un letto di ghiaia, separato dal getto di magrone da un tessuto-non-tessuto.

1.4.6 Aspirazione dell'aria da pavimenti con intercapedine

L'aspirazione dell'aria da pavimenti con intercapedine è una tecnica che prevede la realizzazione di un nuovo pavimento dotato di un'intercapedine e di un sistema di aspirazione dell'aria dall'intercapedine stessa. L'intercapedine è collegata ad un ventilatore che aspira l'aria ricca di radon e la veicola all'esterno attraverso una tubazione di scarico.

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

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.

L'intercapedine può essere realizzata anche tramite l'applicazione di una stuoia in plastica (di spessore 10-20 mm) dotata di struttura alveolare la quale viene 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 condotta consentendo l'utilizzo di aspiratori di bassa potenza. Per evitare la rimozione della vecchia pavimentazione, si può optare per l'applicazione di un nuovo rivestimento sopra quello esistente in modo tale da installare la stuoia alveolare 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. L'anello di stuoie deve essere posizionato internamente alla stanza, rispettando una distanza dal bordo di circa 50 centimetri. Nella realizzazione può essere valutata la possibilità di temporizzare l'attivazione dell'impianto, in modo da conseguire un risultato adeguato ma, al contempo, ridurre il consumo di energia elettrica ed allungare la vita delle apparecchiature.

In certi casi è conveniente sistemare sotto la platea, oppure sotto il massetto dei tubi di drenaggio del diametro di 10 cm. Il genere di posa dei tubi dipende dalla permeabilità del

materiale circostante. Nell'utilizzo di ghiaia o ghiaietta i tubi sono posati a serpentina con una distanza tra i tubi fino a 8 m e collegati a un tubo di aspirazione (tubo a parete piena).

Quando il sistema delle tubature è inserito direttamente nel terreno (protezione dei tubi con ghiaia e/o stuoia geotessile) è indispensabile una distanza inferiore, da 1 – 3 m. Dev'essere lasciata una distanza minima dai muri esterni di 1 – 2 m. Affinché nel sistema di drenaggio del radon si possa creare una depressione, è necessario impedire che possa penetrarvi dell'aria proveniente dal sistema di drenaggio dell'acqua (separazione dei due sistemi, per esempio, mediante fondamenta o plastica). In terreni ghiaiosi e con fenditure profonde (per esempio zone carsiche) in cui non è possibile creare sotto il massetto alcuna depressione, è necessario, sotto il sistema di drenaggio, ridurre fortemente la permeabilità del terreno con calcestruzzo magro.

In generale si può affermare che da una parte è fondamentale impermeabilizzare l'edificio al radon, dall'altra è importante favorire la ventilazione naturale del suolo.

Attualmente un "fondamento a platea" in cemento speciale (protetto da membrane di plastica a tenuta radon), che ricopre tutta la superficie orizzontale dello scavo per la nuova costruzione, è la migliore protezione nei confronti del radon.

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.

1.4.7 Tecniche di pressurizzazione

Le tecniche di pressurizzazione o sovrappressione, che di fatto rappresentano l'inverso di quelle basate sulla depressione, consistono nell'insufflare aria al di sotto dell'edificio in modo da creare un moto d'aria che contrasta l'effetto risucchio creato dalla casa nei confronti del terreno (per minore pressione interna) e spinge il gas al di fuori del perimetro della costruzione lasciando che si disperda in atmosfera.

È possibile contrastare l'ingresso del radon proveniente dal suolo applicando una debole sovrappressione (pari a circa 2 Pa) mediante l'installazione di un ventilatore di poche decine di watt, eventualmente dotato di unità di riscaldamento dell'aria di mandata. È necessario localizzare con cura il punto di installazione del dispositivo, al fine di dar luogo ad una distribuzione quanto più uniforme dell'aria immessa ed evitare l'inquinamento acustico degli ambienti. Il sistema può essere dotato di temporizzatore per la modulazione del tempo di esercizio ed il controllo dei consumi energetici.

È possibile ottenere lo stesso effetto descritto mediante un impianto di ventilazione meccanica controllata, eventualmente dotata di recupero di calore, che, tramite un sistema

di canali di aspirazione ed immissione d'aria, consente di agire uniformemente su tutto l'edificio.

Il radon non esce dal terreno in pressione ma semplicemente per differenza di pressione fra edificio e terreno.

La pressurizzazione può avvenire o direttamente nel terreno, o in un volume-ve-spazio sottostante l'edificio oppure può interessare tutto l'edificio.

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 esclusivamente un locale tecnico, in quanto la pressione interna non è così elevata da creare disagio agli abitanti. Anche in questo caso le aperture di comunicazione del locale dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria.

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

Dato che la pressurizzazione ricorre ad apporti di aria esterna, un ulteriore effetto benefico consiste nel diluire la concentrazione di radon già presente negli ambienti.

La pressurizzazione può interessare anche l'intero edificio instaurando e 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 offrire un'adeguata tenuta all'aria, in modo che la differenza di pressione possa distribuirsi in modo uniforme a tutti i livelli ed offrire un valido ostacolo all'ingresso del radon. Alcuni indizi che possono aiutare a determinare se l'edificio offre una certa tenuta, sono 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. Quando possibile, può essere vantaggioso posizionare il ventilatore nel sottotetto, anche per limitare problemi di rumorosità dello stesso, e diffondere l'aria per mezzo di una presa d'aria al soffitto. Dovrebbe essere posta attenzione al fatto che la presa di ventilazione non ponga problemi di comfort per gli occupanti; in ogni modo il posizionamento deve consentire all'aria uscente di potersi propagare liberamente, evitando di dirigere il flusso direttamente contro pareti o mobili.

In caso di posizionamento nel sottotetto, potrebbe non essere necessario predisporre una presa d'aria collegata verso l'esterno, in quanto la ventilazione presente in tali spazi

dovrebbe essere sufficiente per il funzionamento. In caso contrario, oppure per installazioni dell'impianto in altri locali, una presa d'aria collegata direttamente con l'esterno garantirà il necessario apporto d'aria pulita per il funzionamento dell'impianto.

Il dimensionamento dovrebbe essere basato sulla volumetria dell'edificio, tenuto conto che dovrebbe essere garantito un totale ricambio d'aria ogni 4 ore. Ad esempio, un appartamento di 100 m² con una volumetria di circa 280 m³, per cui è necessario un ventilatore capace di sviluppare un flusso d'aria di circa 70 m³/h. Si tratta dunque di un flusso d'aria che viene garantito da un ventilatore di poche decine di watt, che garantisce quindi efficienza energetica.

Ovviamente il dimensionamento potrà essere soggetto ad un successivo perfezionamento, in modo da conseguire un compromesso ottimale tra efficacia della riduzione del radon e perdita di efficienza energetica; una possibilità di modulazione semplice ed economica è ottenibile associando un temporizzatore al ventilatore, conseguendo oltretutto un contenimento dei costi per l'esercizio e preservando la vita utile dello stesso.

La pressurizzazione del terreno sotto l'edificio, invece, viene adottata quando, in presenza di una permeabilità estremamente elevata del suolo sotto l'edificio, l'impiego di altre tecniche di riduzione della concentrazione del radon risulta poco efficace.

Il sistema consiste nell'immettere nel sottosuolo l'aria prelevata dall'interno dell'edificio per mezzo di un ventilatore, creando quindi una sovrappressione nel sottosuolo che contrasti l'infiltrazione del radon all'interno dell'edificio e al contempo diluisca la concentrazione del gas nel suolo stesso.

Come punto di ingresso dell'aria nel suolo possono essere realizzate cavità come quelle impiegate per i pozzetti, oppure, se presente, quello del sistema di drenaggio dell'acqua sotto l'edificio.

L'impiego di aria interna in luogo di quella esterna evita la possibilità di gelare il terreno sottostante l'edificio, in modo particolare durante i mesi più rigidi, con possibili ripercussioni sulla stabilità dell'edificio. D'altro canto, l'immissione nel sottosuolo di aria calda e umida dell'edificio può creare condense e risalita di umidità.

L'impianto si configura quasi come un pozzetto radon, dove il senso di funzionamento del ventilatore viene invertito in modo da spingere l'aria nel sottosuolo.

Poiché l'aria da immettere nel sottosuolo è prelevata internamente all'edificio, non è necessario prevedere in questo caso una canalizzazione di espulsione.

Il ventilatore, 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, può essere interrato sotto il pavimento e collegato ad una presa d'aria interna all'edificio.

È importante che la sovrappressione realizzata nel sottosuolo non trovi sfogo attraverso imperfezioni del pavimento, fessure od altre aperture, creando una circolazione quasi chiusa dell'aria, con la conseguente diminuzione dell'efficacia. Pertanto, per la buona

riuscita di questo intervento è necessaria una sistematica sigillatura di tutte le possibili aperture tra il suolo e il pavimento.

In virtù della bassa casistica di questa tecnica di mitigazione non ci sono dati sufficienti riguardo al numero di punti di ingresso di aria nel sottosuolo da mettere in opera per avere un adeguato risanamento; nei casi trattati è stato messo in atto un solo punto di ingresso di aria nel suolo, posto al centro della base dell'edificio.

Anche per quanto riguarda il dimensionamento del sistema di ventilazione le informazioni disponibili sono limitate; si ritiene che un ventilatore da circa 100 W possa essere adeguato per edifici di dimensioni ordinarie.

Dopo aver visto le due tecniche principali di mitigazione dell'inquinamento indoor da gas radon, fundamentalmente molto simili e anche identiche in alcuni punti per quanto riguarda i sistemi impiantistici da adottare, è possibile fare alcune valutazioni sulla relativa efficacia e sulle opportunità di impiego.

Non è, infatti, possibile definire a priori quale possa essere la tecnica migliore in quanto difficile, per quanto concerne 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, ecc., 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 i medesimi; 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 (Figura 19) ed evitare che rientri dalle finestre sui prospetti. 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, è spesso il problema maggiore. Per la tecnica della pressurizzazione invece è sufficiente un punto di aspirazione alla base dell'edificio in prossimità del ventilatore
- in casi di pressurizzazione il punto di aspirazione dell'aria, posto in prossimità della quota terra, necessita di un'opera di manutenzione e soprattutto di pulizia per evitare che venga parzialmente ostruito. Si tratta di un'operazione semplice ma da prevedere e programmare, operazione che invece è 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 probabile aumento dei livelli di rumore;

-
- nelle nuove costruzioni, potendo più agevolmente prevedere i percorsi delle canalizzazioni soprattutto di evacuazione, si preferisce la depressione in quanto prevede consumi energetici più limitati e maggiore garanzia di efficacia;
 - in situazioni con impianti in depressione il radon viene aspirato ed evacuato in punti noti e progettati. Con impianti di pressurizzazione 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 spinto lontano; il fermo dell'impianto di depressione riapre invece immediatamente le vie di ingresso al gas che è nelle vicinanze.
 - In linea di massima, comunque, entrambe le soluzioni sono valide, si può ragionevolmente sostenere che la tecnica della depressione raggiunge più agevolmente i risultati di abbattimento delle concentrazioni di gas radon, invece per adottare la tecnica della pressurizzazione è necessaria una maggiore esperienza nel valutare le condizioni di progetto.

Ai fini della scelta delle tecniche basate sulla depressione o sulla pressurizzazione, risulta particolarmente utile conoscere l'esistenza e caratteristiche del vespaio in quanto è il principale elemento tecnico sul quale è più agevole intervenire.

Per intervenire sul volume-vespaio si possono adottare diverse 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 (igloo), ovvero la soluzione costruttiva 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 poi eventualmente canalizzate al medesimo aspiratore ma che agisca comunque sull'intera superficie. Si tratta di un intervento che può risultare complesso e presentare costi elevati per cui potrà essere considerato come un solaio a terra poggiante direttamente sul terreno. In questo caso andrà anche verificata la presenza di eventuali aperture/crepe/fori nel punto di connessione fra

solaio a terra e parete verticale che potrebbero costituire dei punti di ingresso/uscita dell'aria limitando gli effetti dell'impianto

- 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. Trattasi quindi di una situazione favorevole per via dei limitati volumi nel quale però l'aria può circolare e quindi si possono ottenere risultati soddisfacenti con potenze e consumi ridotti. 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 poggiate direttamente sul terreno in quanto, con ogni probabilità, non si potrà avere alcuna circolazione d'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.).

In merito alla tecnica più opportuna in funzione della tipologia di solaio, si può partire dal presupposto che la tecnica della pressurizzazione richiede in genere una maggiore potenza dei ventilatori rispetto alla depressione e risente maggiormente delle perdite dovute alla non perfetta tenuta del volume pressurizzato.

È consigliabile pressurizzare un vespaio libero o con compartimenti comunicanti fra loro laddove le dimensioni volumetriche siano abbastanza contenute e la pianta non particolarmente complessa, in caso contrario è preferibile depressurizzare.

I vespai realizzati con casseri a perdere in pvc di solito hanno una buona tenuta all'aria per la loro caratteristica costruttiva. In questo caso quindi le perdite di carico dovute alla tenuta del volume sono più limitate e la tecnica della pressurizzazione può dare dei risultati più interessanti anche per volumi abbastanza ampi. Le connessioni a incastro dei casseri e il successivo getto di completamento in calcestruzzo limitano infatti la permeabilità del sistema soprattutto verso gli ambienti abitati sovrastanti. Nei vespai a compartimenti chiusi il successo della pressurizzazione è limitato e il rischio di avere dei volumi con pressioni diversificate può essere causa di trasmigrazione del gas da un volume all'altro fino a trovare una strada di ingresso per l'interno dell'edificio; in tali casi è preferibile utilizzare la tecnica della depressurizzazione. Nel caso di un riempimento del vespaio poco poroso (terra, macerie fini e residui di legante, ecc.) senza alcuna lama d'aria nella parte alta entrambe le tecniche possono fallire e quindi è preferibile utilizzare la tecnica per il solaio a terra poggiate direttamente sul terreno.

1.5 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.

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.

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 rotture.

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.

1.6 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 elevate 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 condotta collettrice. 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 basta, 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 perciò 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 interrato. 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

1.7 Le norme tecniche sul radon

Le norme tecniche sul tema radon ad oggi pubblicate si suddividono in:

- norme sulla misurazione della concentrazione del radon in aria
- norme sulla misurazione della concentrazione del radon in acqua
- norme sulla misurazione della concentrazione del radon dai materiali

Vi sono poi alcune norme tecniche che prendono in considerazione la connessione tra concentrazione di radon ed efficienza energetica degli edifici e che nello specifico riguardano, per esempio, la progettazione e l'installazione di sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC) con finalità di rimozione del radon e di sistemi di pavimentazioni contro terra mediante aggiunta di isolante considerando la tematica radon.

Tabella 1.2 - Normative sul tema radon ed efficienza energetica

	Efficienza energetica degli edifici	Qualità degli ambienti interni	Radon
Norme tecniche sulla misura, campionamento	UNI/TS 11300	UNI/PdR 122:2022	UNI ISO 11665
Norme che inseriscono limiti anche in funzione di una classificazione	UNI EN 16798-1	UNI EN 16798-1	In fase di pubblicazione allegato nazionale UNI EN 16798-1
Norme di progettazione	UNI EN 16798-1, UNI/TS 11300	UNI EN 16798-1	-

Ad oggi non esiste, invece, una norma tecnica che prenda in considerazione le attività per la prevenzione del radon in edifici nuovi oppure che sia riferita alla riduzione delle concentrazioni in edifici esistenti. In tale contesto è possibile però citare la **DIN/TS 18117-1:2021** il quale è uno standard tedesco ad oggi ancora in fase di ultimazione, applicabile solo agli edifici residenziali o ai luoghi di lavoro, che descrive le misure per proteggere le costruzioni dall'accumulo di radon, sia di tipo strutturale e sia legate alle tecniche di ventilazione. Esse sono differenziate per fabbricati di nuova costruzione o ristrutturati.

Nella norma tecnica DIN/TS 18117-1:2021 la valutazione per gli interventi di riqualificazione con finalità di riduzione del radon avviene sulla base dei seguenti parametri:

- tasso di ventilazione degli ambienti
- concentrazione media annuale di radon (per edifici esistenti nei quali è stata fatta una misura mediante dosimetro).

Il legame tra questi due parametri è di fondamentale importanza perché descrive e caratterizza l'edificio e la sua capacità di ridurre il radon.

Tabella 1.3 - Tenuta all'aria dell'edificio (Fonte: DIN/TS 18117-1:2021)

	elevata	Media	bassa
n50 [h ⁻¹]	< 1,0	1- 3	> 3
n50 misurato secondo la norma UNI EN			

Considerando la classificazione riportata in Tabella 1.3, le opzioni per l'applicazione delle misure di ventilazione sono riportate nella Tabella successiva.

Tabella 1.4 - Metodiche di riqualificazione in funzione della tenuta all'aria e della concentrazione di radon (Fonte: DIN/TS 18117-1:2021), interventi per la ventilazione degli ambienti

Concentrazione effettiva di radon nell'aria interna Bq/m ³	Tenuta all'aria dell'edificio (riferita alla Tabella 1.3)	Utilizzo dell'ambiente		
		Praticamente inutilizzato, nessun posto di lavoro	Poco utilizzato, nessun posto di lavoro	Luogo di vita o di lavoro
< 300		Di norma non sono necessarie misure, ma sono consigliate in singoli casi con collegamento al sistema di ventilazione: L; Z;A		
300 - 500	Elevata	Come per livello < 300	Come per livello < 300	L; Z
	Media			Non si può realizzare ventilazione
	Bassa			
500 - 1000	Elevata		L; Z	
	Media		Non si può realizzare ventilazione	
	Bassa		Non si può realizzare ventilazione	
1000		Non si può realizzare ventilazione		

- L : Aumento del ricambio d'aria, ad es. sistemi di immissione/espulsione bilanciati (sistema a pressione uguale)
- Z : Immissione aria in sovrappressione
- A: Immissione aria in sottopressione

1.8 Coinvolgimento, inclusione, condivisione e divulgazione

Nell'ambito delle buone prassi da adottare per la qualità dell'aria e dunque per la prevenzione del rischio radon, è di fondamentale importanza definire ed attuare dinamiche di divulgazione attraverso le quali coinvolgere nel processo decisionale tutti i pertinenti portatori di interessi a livello nazionale o locale, compresi i rappresentanti della società civile, come le organizzazioni dei consumatori, con l'obiettivo di diffondere una maggiore consapevolezza, ottenere un riscontro su tali politiche e migliorarne l'accettazione da parte del pubblico. Delineare le attività coinvolgimento delle parti è un atto complesso che richiede il concorso di molti attori nonché competenze.

Tale attività può essere condotta intersecando diversi gruppi di lavoro, quali per esempio:

- ARPA/APPA, costruttori e tecnici del settore edilizio,
- ENEA

- esperti in interventi di risanamento da radon
- regioni e Province autonome di Trento e Bolzano
- ISIN, ISPRA, ISS,
- pubbliche amministrazioni
- gruppo di Studio Nazionale (GdS) Inquinamento indoor
- progetti di ricerca PNRR – PNC sul tema in oggetto
- associazioni di settore

Il contesto attuale è rappresentato in Tabella 1.6. Il D.Lgs n. 101 approfondisce la necessità di divulgazione per le aree prioritarie. Sono descritti di seguito alcuni spunti per la divulgazione nelle Aree Prioritarie e non.

Tabella 1.6 - Destinazioni d'uso e riferimenti, esempio di applicazione

	Aree Prioritarie (Comuni)	Aree non prioritarie (Comuni)	Aree da definire (mancanza di dati o altro)
Residenziale pubblico D.lgs. n. 101	specifici programmi di misurazione della concentrazione di radon nell'ambiente chiuso per il patrimonio di edilizia residenziale pubblica + misure correttive		
Ambienti di lavoro D.lgs. n. 101	Obbligo di fare misure in locali semi o situati al piano terra		
Scuole D.lgs. n. 101	Come ambienti di lavoro	Come ambienti di lavoro	Come ambienti di lavoro
Residenziale privato	D.lgs. n. 101: promuovere campagne e azioni		
Residenziale pubblico	Fare misure e promuovere campagne e azioni		

Le attività di divulgazione dovranno essere differenziate in funzione dei target. Nella Tabella 1.7 di seguito è descritto l'obiettivo di tali attività, nonché esempi di strumenti che potranno essere messi in atto.

Tabella 1.7 - Target, obiettivi e esempi di prodotti

Target	Obiettivi	Esempio di prodotti, strumenti e attività
Utente finale	Far conoscere il tema del radon, informare che interventi sull'efficienza energetica hanno ripercussioni sulla qualità dell'aria	<ul style="list-style-type: none">• Citizen science• Comunicazione sui social• Eventi• Materiali da distribuire
Progettisti delle riqualificazioni energetiche	Evitare che interventi di efficientamento energetico trascurino il tema radon	<ul style="list-style-type: none">• Corsi di formazione• Coinvolgimento degli ordini professionali
Esperti di risanamento radon	Evitare che interventi per la riduzione del radon trascurino il tema dell'efficienza energetica	<ul style="list-style-type: none">• Eventi• Formazione continua
Installatori	Evitare che l'installazione di interventi di efficientamento energetico trascurino il tema radon	<ul style="list-style-type: none">• Formazione• informazione
Amministrazioni (base comunale)	Formare e informare	Preparazione di un esempio di forma di regolamento edilizio che affronti il tema radon ed efficienza energetica

Esempi di documentazione per la popolazione sono stati realizzati anche dalle Agenzie Regionali e Provinciali, come per esempio il flyer del 2012 dell'ARPA Bolzano dal titolo **"Radon. Effetti del risanamento energetico"**.

Figura 1.6 - Flyer "Radon Effetti del risanamento energetico"



Fonte: APPA Bolzano.

Nel 2010 l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha attivato un gruppo di studio nazionale sull'inquinamento indoor al quale partecipano varie istituzioni nazionali e territoriali, fornire documenti tecnico-scientifici condivisi e conseguire una omogeneità di azioni a livello nazionale.

Figura 1.7 - Flyer "Radon Effetti del risanamento energetico"

Effetti dei risanamenti energetici

I risanamenti energetici (come p. es. il montaggio di finestre e porte d'entrata a maggiore tenuta stagna o di barriere-vapore sul tetto) modificano la permeabilità dell'involucro dell'edificio. In tal modo vengono influenzati i rapporti di pressione, nonché gli indici di ricambio d'aria e gli indici di infiltrazione del radon.

In modo analogo, nel caso in cui una parete non sia stata costruita secondo lo stato attuale della tecnica, è possibile che l'applicazione di un'isolazione termica permetta la risalita di aria del suolo ricca di radon attraverso le intercapedini formatesi tra l'isolazione e la muratura e che il gas si diffonda all'interno dell'edificio attraverso i punti non stagni.

Tali effetti possono provocare un notevole aumento della concentrazione di radon nei locali interni.



La prevenzione delle infiltrazioni di radon è solo possibile mediante un risanamento eseguito a regola d'arte.

I risanamenti hanno un influsso sull'ermeticità dell'involucro dell'edificio.

Effetti dei risanamenti energetici | 7

Fonte: APPA Bolzano.

Lo scopo del gruppo di studio è quello di fare il punto della situazione attuale sul tema della qualità dell'aria indoor con particolare attenzione posta nei confronti degli ambienti lavorativi (es. uffici, banche, poste, ecc.), domestici, scolastici e ricreativi, del ruolo delle sorgenti, delle emissioni dei materiali, degli interventi di efficienza energetica, e dell'esposizione della popolazione.

I lavori del GdS costituiscono un concreto punto di riferimento per gli operatori di settore, in particolare per la elaborazione di documenti di riferimento per fornire un pratico contributo alla soluzione dei problemi legati alla complessa tematica della qualità dell'aria indoor.

Il progetto PNRR - PNC "necessARIA"⁵ nasce, invece, dall'esigenza di analisi, promozione, sviluppo, collaborazione e condivisione delle competenze e delle politiche sul tema della qualità dell'aria, a partire dagli edifici scolastici. Nel progetto verranno studiate soluzioni per la riduzione del radon nelle scuole mediante l'installazione di sistemi di ventilazione meccanica controllata. Il tema del **radon** viene approfondito dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

L'obiettivo primario dello studio è di garantire la salute delle persone all'interno degli ambienti di vita e di lavoro. Migliorare la qualità dell'aria indoor nelle scuole si tradurrà in un beneficio significativo per tutta la vita sulla salute degli studenti, del personale docente, tecnico amministrativo, del personale di ditte esterne e no, anche nell'ottica dell'inclusione, come sottolineato nelle DPCM 26 luglio 2022 (Linee Guida).

Il progetto MISSION⁶, sulla riduzione dei rischi sanitari in ambienti indoor ha l'ambizione di mettere in rete numerose regioni italiane per sviluppare una strategia di monitoraggio e prevenzione della qualità dell'aria nel contesto scolastico integrata con gli aspetti di efficientamento energetico. L'inquinamento dell'aria interna, comprendente il radon ma anche altri agenti chimici, fisici e biologici rappresenta un importante fattore di rischio per la salute di oltre il 50% della popolazione mondiale. Si stima che l'Europa causi annualmente circa 2 milioni di morti premature, oltre che vari possibili effetti sulla salute, sul comfort e sulla performance lavorativa e scolastica. Tra gli ambienti indoor, quelli scolastici sono luoghi ad alta densità di persone, dove diverse tipologie di contaminati possono permanere a lungo se non si interviene in modo adeguato.

2 CONCLUSIONI

Coniugare interventi di prevenzione del radon e di efficientamento energetico negli edifici non è facile. Come più volte si è ricordato in questo documento i suddetti interventi sembrerebbero in netto contrasto. Gli obiettivi che è necessario prefiggersi, quindi, devono necessariamente far riferimento a sviluppare approcci, tecniche e dinamiche atte sia al risparmio energetico e sia al controllo delle concentrazioni di radon indoor. Non dovrà esserci quindi buona prassi che non tenga conto di questo aspetto cruciale e che sbilanci una delle due problematiche in modo da presentare un problema di qualità dell'aria, di salute o di razionalizzazione dell'energia. La sfida è dunque di tipo culturale e coinvolge tutta una serie di attori che dovranno necessariamente procedere nella stessa direzione con particolare riferimento alle figure degli "Esperti di tecniche di risanamento radon" i quali dovranno essere il punto di riferimento per la progettazione di nuovi edifici e/o per il risanamento di edifici esistenti. Sarà importante per questo anche l'utilizzo delle nuove tecnologie già disponibili sul mercato come il ricorso a sistemi intelligenti di misura e

⁵ Fonte: <https://www.necessaria.it/>

⁶ Fonte:

<https://www.pnrr.salute.gov.it/portale/pnrrsalute/dettaglioContenutiPNRRSalute.jsp?lingua=italiano&id=5834&area=PNRR-Salute&menu=missionesalute>

controllo che acquisiscono dati relativi ai consumi delle macchine e che sono in grado di ridurre i consumi energetici e nello stesso tempo di regolare gli impianti per ottimizzare i parametri ambientali chiave quali umidità, temperatura, composti organici volatili, particolato e CO₂, ovvero le più diffuse sostanze inquinanti l'aria. Il rilevamento ambientale apre infatti nuove possibilità di creare dispositivi più intelligenti che migliorano il nostro comfort e benessere e aumentano le possibilità di elevare l'efficienza energetica degli edifici residenziali, commerciali, industriali.

APPENDICE

Nel seguito sono elencati alcuni studi di particolare interesse con approcci metodologici e livello di dettaglio differenti.

- SUPSI: Schede radon
- Regione Autonoma della Sardegna: la riduzione della concentrazione di Radon indoor
- Regione Lombardia: Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor
- APPA Bolzano. Misure di risanamento in edifici esistenti e misure di prevenzione negli edifici nuovi
- ARPAT: Radon - cosa fare.

Le schede radon del SUPSI

Il Centro Competenze Radon SUPSI (Centre romand de la qualité de l'air intérieur et du radon, Fachhochschule Nordwestschweiz) ha pubblicato nel 2023 una raccolta di dettagli tecnici per una gestione professionale del radon consistenti in alcune schede che comprendono informazioni generali sull'applicabilità e le condizioni di messa in opera così come in merito a vantaggi e svantaggi della tipologia di intervento descritta e informazioni qualitative in merito ad efficacia, durabilità, invasività così come costi di esercizio e implementazione.

Le schede, disponibili in italiano, tedesco e francese vengono identificate con una lettera P se si tratta di un caso di prevenzione, eseguito quindi nell'ambito di una nuova edificazione o di un risanamento globale, e con la lettera R nel caso in cui si tratta di un intervento di risanamento radon su un edificio esistente.

Le soluzioni descritte nel documento sono le seguenti:

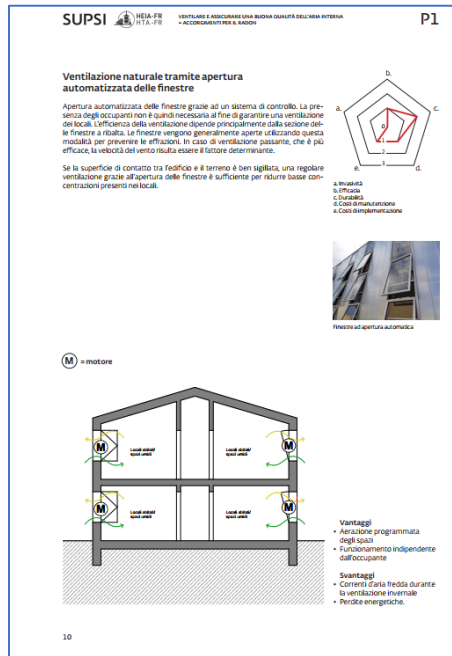
- aerazione tramite apertura manuale delle finestre
- ventilazione naturale tramite apertura automatizzata delle finestre
- ventilazione centralizzata a doppio flusso con recupero di calore
- ventilazione decentrata con recupero di calore
- membrana anti-radon
- messa in depressione /ventilazione locali non abitabili a contatto con il terreno (esempio cantina)
- ventilazione del vespaio esistente
- predisposizione della ventilazione del vespaio
- pozzo radon

Nelle schede ad ogni intervento è stato assegnato un punteggio da 0 a 4 in funzione dei seguenti parametri:

- invasività: Descrive il potenziale disturbo che l'intervento potrebbe portare in termini di complessità del lavoro e discomfort per gli occupanti dell'abitazione interessata

- efficacia: Viene valutato il potenziale di riduzione delle concentrazioni di radon
- durabilità: Viene valutata la capacità dell'intervento di mantenere la sua efficacia nel tempo
- costi di manutenzione: Viene stimato il costo annuale relativo all'esercizio (ad esempio l'elettricità per il funzionamento del ventilatore) e la manutenzione dell'impianto
- costi di implementazione: Viene stimato il costo dell'intervento

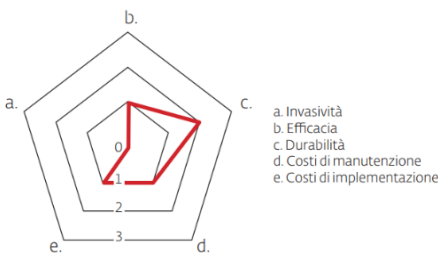
Figura 3 - Esempio scheda per il risanamento



Fonte: Centro Competenze Radon SUPSI

I parametri sono riassunti in un grafico radar, riportato di seguito a titolo di esempio:

Figura 4 - Esempio di grafico per gli interventi di riduzione del radon



Fonte: Schede Radon SUPSI⁷

⁷ Fonte: Schede Radon SUPSI: <https://radonsolutions.ch/>

Nella tabella seguente sono elencati alcuni interventi per la riduzione del radon, la seconda colonna indica se l'intervento si applica agli edifici di nuova costruzione (N) oppure esistenti e da riqualificare (R).

Tabella 1 - Elenco interventi e caratterizzazione (Fonte: Schede Radon SUPSI e altri riferimenti)

	N, R	Invasività	Efficacia	Durabilità	Costi di manutenzione	Costi di implementazione
Aerazione tramite apertura manuale delle finestre	N, R	0	1	1	1	0
Ventilazione naturale tramite apertura automatizzata delle finestre	N, R	0	1	2	1	1
Ventilazione centralizzata a doppio flusso con recupero di calore	N	1	3	3	2	3
	R	3	3	3	3	3
Ventilazione decentrata con recupero di calore	N	2	2	3	2	2
	R	2	2	3	3	2
Membrana anti radon	N	0	3	2	0	2
	R	1	2	2	0	2
Messa in depressione /ventilazione locali non abitabili a contatto con il terreno (esempio cantina)	R	1	2	1	2	1
Ventilazione del vespaio esistente	R	0	3	3	2	1
Predisposizione della ventilazione del vespaio	N	0	3	3	2	1
Pozzo radon	N	1	3	3	1	2
	R	1	3	3	2	2

Riduzione della concentrazione di Radon indoor – Regione Sardegna

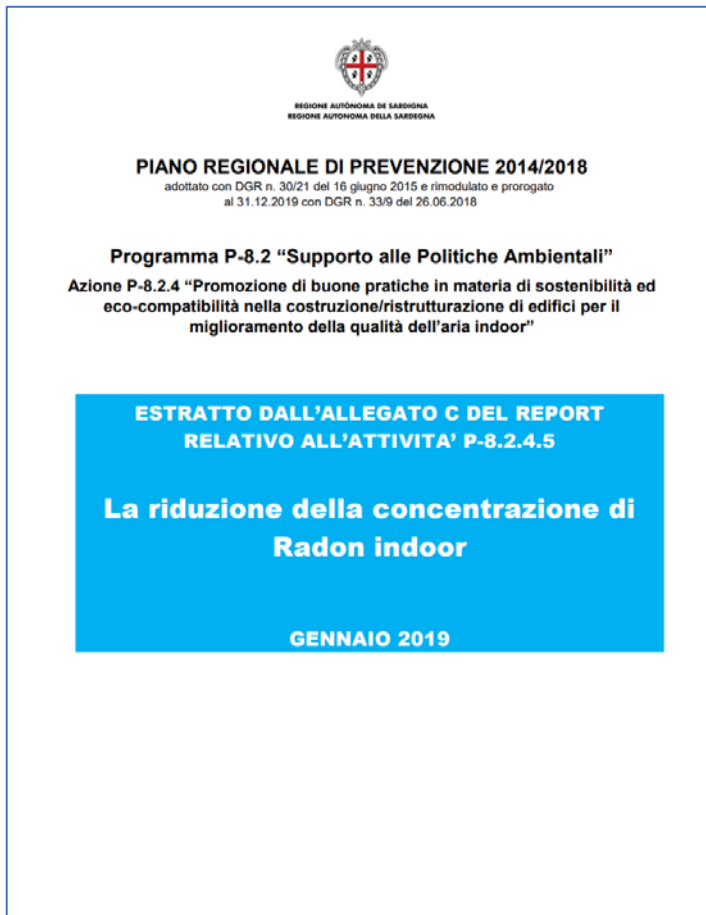
La Regione Autonoma della Sardegna nel 2019 ha descritto alcune tecniche di risanamento/prevenzione di tipo passivo e attivo riportandole in alcune schede descrittive

per gli interventi di prevenzione e di risanamento applicabili a edifici di nuova costruzione e ad edifici esistenti.

Le tecniche attive hanno riguardato la pressurizzazione/depressurizzazione del suolo/vespaio e la ventilazione meccanica dei locali (pressurizzazione dell'intero edificio) mentre le tecniche passive sono state le seguenti:


- sigillatura di fessure e intercapedini
- isolamento della struttura
- ventilazione naturale del locale interrato/seminterrato
- ventilazione naturale del vespaio o del terreno sotto la soletta controterra

Figura 5 – Copertina del documento




Fonte: Regione Sardegna.

Figura 6 - Esempio schede per il risanamento




REGIONE AUTONOMA DE SARDEGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Descrizione	Ambito di applicazione	Immagine
<p>Isolamento esterno dell'involucro mediante barriere sintetiche radon impermeabili</p> <p>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.</p> <p>La membrana deve essere inoltre risvoltata sulle pareti verticali prossime al solaio, per tutta la lunghezza contro terra (ambienti seminterrati - interrati).</p> <p>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.</p> <p>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 ($\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm})$)).</p> <p>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.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Nuovo complesso edilizio</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Nuova costruzione</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Edificio esistente</p>	 <p>The diagram illustrates two scenarios for radon barrier application. The top scenario, labeled 'Nuova costruzione' (New construction), shows a cross-section of a building with a green synthetic membrane applied to the exterior walls and floor, separating the interior from the ground. The bottom scenario, labeled 'Edificio esistente' (Existing building), shows a similar cross-section but with the membrane applied to the exterior walls and floor of an existing structure, with a label 'Membrana sintetica' pointing to the barrier.</p>

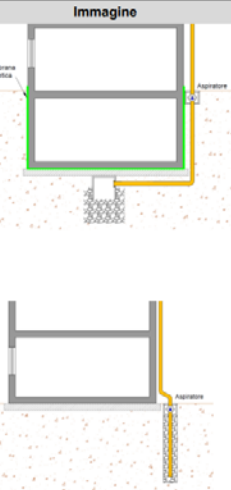
4

Fonte: Regione Sardegna.

Figura 7 - Esempio schede per il risanamento



REGIONE AUTONOMA DE SARDEGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Descrizione	Ambito di applicazione	Immagine
<p>Depressurizzazione del terreno di fondazione - pozzo radon</p> <p>In fase costruttiva è possibile realizzare, al di sotto del getto del magrone o della platea di fondazione, un pozzetto di captazione del radon presente nel terreno. Questo è costituito da un vano, usualmente in calcestruzzo prefabbricato, con lato inferiore aperto e poggiante su un nucleo drenante di ghiaia grossolana. Il pozzetto è collegato, mediante canalizzazione, ad un secondo pozzetto collocato in prossimità dell'edificio e ubicato poco sotto il piano campagna, in cui è alloggiato il ventilatore aspirante alimentato elettricamente. Il radon captato viene dunque liberato in atmosfera, avendo cura di posizionare la bocca di emissione lontano dai prospetti dell'edificio o dagli edifici limitrofi, al fine di evitare l'immissione del contaminante dagli infissi esterni. La soluzione ottimale consiste nella canalizzazione del gas fino alla quota di gronda dello stabile, dove viene più facilmente disperso.</p> <p>La tecnica sopra descritta può essere applicata per edifici con locali interrati, avendo cura di dimensionare correttamente il sistema di aspirazione (ventilatore e canalizzazione) ed effettuare l'isolamento esterno delle superfici verticali controterra.</p> <p>Per il risanamento di edifici esistenti è possibile realizzare un corpo drenante perimetrale, effettuando uno scavo in verticale o una trincea drenante, costituita da un nucleo in ghiaia grossolana, adeguatamente protetto mediante avvolgimento con tessuto filtrante per evitare l'intasamento del corpo centrale, in cui è alloggiata una condotta di captazione. In sommità deve essere installato un ventilatore aspirante, eventualmente ubicato in un pozzetto ispezionabile, a sua volta collegato alla tubazione di mandata per il conferimento del gas alla quota di progetto.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Nuovo complesso edilizio</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Nuova costruzione</p> <p><input type="checkbox"/> Edificio esistente</p> <p><input type="checkbox"/> Nuovo complesso edilizio</p> <p><input type="checkbox"/> Nuova costruzione</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Edificio esistente</p>	 <p>The diagram illustrates two scenarios for radon suction systems. The top scenario, labeled 'Nuova costruzione' (New construction), shows a cross-section of a building with a radon suction system installed in the foundation. A green membrane is applied to the exterior walls, and a yellow suction pipe is connected to a collection point in the foundation, leading to a radon well. The bottom scenario, labeled 'Edificio esistente' (Existing building), shows a similar cross-section but with the suction system installed in an existing structure, with a label 'Aspiratore' pointing to the suction fan.</p>

7

Fonte: Regione Sardegna.

Linee guida per la prevenzione al radon in ambienti indoor – Regione Lombardia

La Regione Lombardia con il Decreto n. 12678 del 21/12/2011 ha definito delle linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor

Il documento contiene un inquadramento generale sulla problematica del radon, sulle fonti e sugli effetti. Descrive e approfondisce le principali tecniche di prevenzione e di risanamento.

Figura 8 – Copertina del documento

LINEE GUIDA PER LA PREVENZIONE DELLE ESPOSIZIONI AL GAS RADON IN AMBIENTI INDOOR	
INDICE	
1. INTRODUZIONE.....	pag.2
1.1 Radon e salute.....	pag.3
1.2 Stime di rischio.....	pag.4
1.3 Inquadramento normativo.....	pag.4
1.4 Il radon in Italia e in Lombardia	pag.4
1.5 Come si misura il radon indoor	pag.7
2. IL RADON NEGLI EDIFICI	pag.8
2.1 Meccanismi d'ingresso	pag.8
2.2 Caratteristiche dell'edificio e rischio radon	pag.9
3. TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE.....	pag.10
4. SPERIMENTAZIONI DI RISANAMENTI IN PROVINCIA DI BERGAMO.....	pag.43
5. BIBLIOGRAFIA	pag.48

Hanno contribuito alla realizzazione del documento:

- Il Ministero della Salute che ha finanziato tramite un Progetto CCM 2008 la realizzazione della mappatura delle concentrazioni di radon negli edifici svoltasi nel 2009/2010;
- le Aziende Sanitarie Locali (ASL) che hanno attuato le mappature sul territorio regionale
- i cittadini delle abitazioni sottoposte alle indagini;
- ARPA Lombardia Sede Centrale e ARPA Dipartimento di Bergamo che hanno curato la progettazione della mappatura, gli aspetti analitici e l'elaborazione dei dati;
- l'ASL della Provincia di Bergamo che ha sperimentato alcune tecniche di mitigazione in edifici scolastici, con il supporto tecnico dell'Università di Architettura di Venezia (IUAV) e del Politecnico di Milano;
- il Prof. Arch. Giovanni Zannoni - Dip. di Architettura – Università di Ferrara, che con il coordinamento dell'ASL della Provincia di Bergamo, ha elaborato le schede delle tecniche di prevenzione e mitigazione.

Composizione del Gruppo di Lavoro Regionale
Anna Anversa - Regione Lombardia - D.G. Sanità – UO Governo della Prevenzione e tutela sanitaria
Silvia Arrigoni - Laboratorio radiometrico - Dipartimento di Bergamo - CRR Radon ARPA Lombardia
Cristina Capetta - Regione Lombardia - D.G. Sanità – U.O. Governo della Prevenzione e tutela sanitaria
Nicoletta Cornaggia - Regione Lombardia - D.G. Sanità – UO Governo della Prevenzione e tutela sanitaria
Liliana D'Aloja– ASL della Provincia di Bergamo – Dipartimento di Prevenzione Medico - Area Salute e Ambiente
Daniela De Bartolo - ARPA Lombardia - Sede Centrale
Pietro Imbrogno – ASL della Provincia di Bergamo – Dipartimento di Prevenzione Medico - Area Salute e Ambiente
Fabio Pezzotta - ASL della Provincia di Bergamo – Dipartimento di Prevenzione Medico - Area Salute e Ambiente
Elena Tettamanzi – ASL di Varese – Dipartimento di Prevenzione Medico - Servizio di Igiene e Sanità Pubblica

Il documento è stato sottoposto, in data 3 novembre 2011, al confronto con ANCI Lombardia, ANCE Lombardia e gli ordini professionali.

Fonte: Regione Lombardia.

Figura 9 – Esempio di scheda di risanamento

11

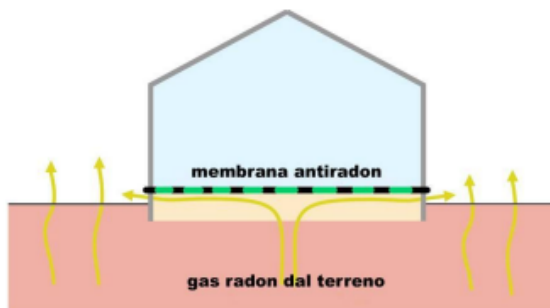


Figura 6: una membrana impermeabile antiradon di separazione fra l'attacco a terra e l'edificio è un sistema efficace nei confronti dell'ingresso del radon nelle abitazioni, purché attentamente posata.

In commercio sono disponibili numerose membrane "antiradon"; è opportuno tuttavia evidenziare che anche una membrana impermeabile (bituminosa, PVC, ecc.) fornisce adeguate prestazioni, specie se del tipo "barriera al vapore" e sottolineare che la posa in opera riveste un ruolo determinante sull'efficacia della barriera. Va ricordato infatti che il radon non fuoriesce dal terreno in pressione, ma viene richiamato dalla leggera depressione che si crea all'interno dell'edificio ed è quindi sufficiente ostacolare questo leggero flusso di gas con una barriera sintetica.

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 rotture (Figura 7).

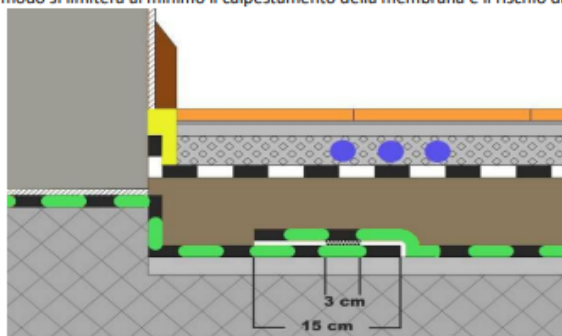


Figura 7: la membrana posta sulla superficie orizzontale andrà sovrapposta per circa 15 cm sulla membrana tagliamuro e sigillata o incollata per una perfetta tenuta all'aria.

Depressione alla base dell'edificio

È una tecnica basata sull'aspirazione del gas prima che possa trovare un percorso verso l'interno dell'edificio e che si realizza creando una depressione d'aria al di sotto o in prossimità dell'edificio tramite un ventilatore di adeguata potenza. Questo sistema di mitigazione può essere realizzato in diversi modi in funzione della tipologia della costruzione (in particolare dell'attacco a terra) e a seconda che si intervenga su edifici esistenti o di nuova costruzione.

I punti di aspirazione, di cui in seguito verranno illustrate le modalità esecutive, possono essere anche più di uno in funzione della dimensione del fabbricato e tenendo conto che, in linea di massima, l'efficacia di questo intervento si esplica all'interno di un raggio di 6-8 metri dal punto di aspirazione.

In caso di **edifici esistenti** l'aspirazione che mette in depressione la base dell'edificio può essere effettuata:

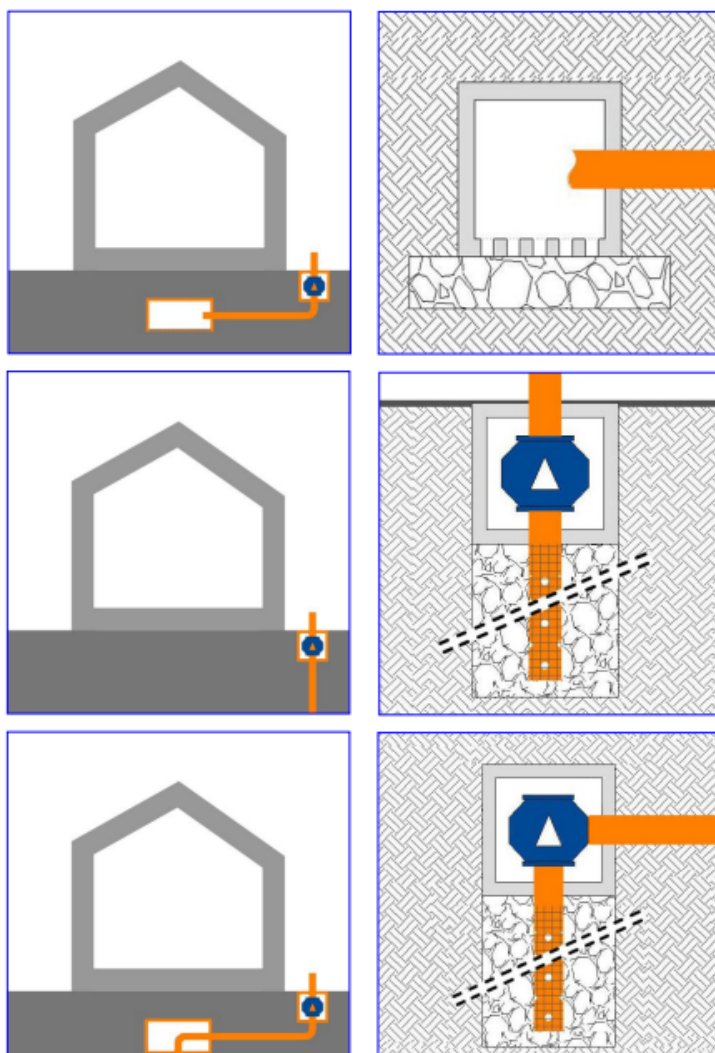
Figura 10 – Esempio di scheda di risanamento

Figura 39: tecniche di prevenzione e mitigazione
scheda riassuntiva: depressione – pressurizzazione del sottosuolo

L'ingresso del radon può essere controllato:

- **aspirando** l'aria dal **terreno** sotto l'edificio, intercettando il gas ed evacuandolo in atmosfera prima che entri negli ambienti;
- **insufflando** aria nel **terreno** al di sotto dell'edificio per creare una zona di sovrappressione che contrasti l'effetto risucchio creato dalla casa e spinga il gas al di fuori del perimetro della costruzione lasciando che si disperda in atmosfera.

In entrambi i casi è possibile impiegare un pozzetto oppure un tubo forato e collocare il ventilatore in un pozzetto autonomo lontano dal punto di aspirazione o all'interno del pozzetto di aspirazione.



Fonte: Regione Lombardia.

Nel documento sono descritte le principali tecniche di prevenzione e mitigazione relativamente a:

- barriere impermeabili (evitare l'ingresso del radon all'interno degli edifici con membrane a tenuta d'aria)
- depressione alla base dell'edificio (intercettare il radon prima che entri all'interno degli edifici aspirandolo per espellerlo poi in atmosfera)
- pressurizzazione alla base dell'edificio (deviare il percorso del radon creando delle sovrappressioni sotto l'edificio per allontanare il gas)

Da tali tecniche sono state predisposte alcune schede descrittive:

- depressione – pressurizzazione del sottosuolo
- depressione – pressurizzazione dei volumi alla base dell'edificio
- ventilazione naturale o meccanica tramite pozzetto centrale e membrana impermeabile
- aspirazione meccanica tramite tubazioni drenanti e membrana impermeabile
- bonifica edilizia esistente: ventilazione naturale del vespaio con casseri in pvc e membrana
- bonifica edilizia esistente: ventilazione meccanica del vespaio con casseri in pvc e membrana
- ventilazione tramite pozzetto centrale o perimetrale
- ventilazione meccanica con ventilatore a scomparsa nella muratura
- presenza di murature verticali controterra: prevenzione e bonifica
- sigillatura delle tubazioni impiantistiche
- sigillatura delle tubazioni impiantistiche e del nodo solaio-parete
- bonifica edilizia esistente: modalità di ventilazione naturale o meccanica
- bonifica edilizia esistente: tipologie di pozzetti e di canalizzazioni di aspirazione
- bonifica edilizia esistente: punti di evacuazione del radon
- bonifica edilizia esistente: evitare la depressione ambiente

Misure di risanamento e misure di prevenzione – APPA Bolzano

L'Agenzia provinciale per l'ambiente della Provincia di Bolzano, nel 2012 ha prodotto due pubblicazioni sulla prevenzione del radon, una relativa alle misure di risanamento in edifici esistenti ed una relativa ad edifici nuovi.

Le tecniche di prevenzione sono state rivolte a misure di costruzione edile mentre quelle di risanamento hanno riguardato principalmente l'aumento della ventilazione.

Figura 11 - Copertina del documento



Fonte: Provincia autonoma di Bolzano.

Figura 12 – Esempio di scheda di risanamento

Metodi di risanamento

Informazioni tecniche sull'esecuzione di un pozzetto radon

Il tubo di evacuazione, a parete piena (stagno) con un diametro di almeno 7 cm, dev'essere condotto lateralmente attraverso la parete esterna o attraverso il tetto (per esempio attraverso un vano delle installazioni o una canna fumaria in disuso). Nell'esecuzione attraverso il tetto, con un tubo a parete piena del diametro di 15 cm, è possibile promuovere una depressione nel tubo ascendente grazie all'effetto camino (nel caso di un passaggio attraverso un solaio freddo è necessaria un'isolazione termica del tubo). Vantaggi: generazione di depressione passiva, nessun costo d'esercizio di un ventilatore.

La formazione di acqua di condensa nel condotto e il rumore sprigionato dal ventilatore vanno presi in considerazione. L'apertura dell'estrattore d'aria deve trovarsi almeno a 2 metri da finestre e porte.

Secondo l'esperienza, è possibile impiegare con successo ventilatori con una potenza di 20–100 W, che generano una depressione di 60 fino a 500 Pa. Se la situazione relativa al radon lo consente, è possibile l'esercizio a regime non continuo (temporizzatore).

Indicazioni sul pozzetto radon in terreni ad alta permeabilità

Nel caso di terreni ghiaiosi e rocciosi con molte fessure (per esempio terreni carsici), senza ulteriori misure sotto la soletta di fondazione non è possibile creare una depressione. Sotto il sistema di drenaggio del radon dev'essere ridotta fortemente la permeabilità del terreno con uno strato di cemento magro.



Aspirazione puntuale (pozzo radon) – scavo di un pozzetto.



Un ventilatore situato all'esterno crea una leggera depressione sotto la soletta di fondazione.

Metodi di risanamento | 15

Fonte: Provincia autonoma di Bolzano

Radon - cosa fare – Arpa Toscana

Nell'ambito del progetto "Radon: cosa fare", L'ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana produce delle schede operative per il risanamento e la prevenzione del radon che sono in continuo aggiornamento

Per ridurre la concentrazione di radon in un edificio esistente - quando non è previsto un intervento complessivo di ristrutturazione - è possibile adottare tecniche di mitigazione, che consistono in semplici accorgimenti o interventi finalizzati a ridurre l'ingresso del radon nell'edificio e/o ad aumentare il ricambio dell'aria interna attraverso l'immissione di aria esterna. Alcune tipologie di interventi per la riduzione della concentrazione di radon sono illustrate in modo schematico nelle schede realizzate da ARPAT:

- Scheda 1 - Sigillatura delle canalizzazioni verticali, crepe, giunti, impianti; pavimentazione delle cantine e/o impermeabilizzazione della pavimentazione esistente
- Scheda 2 - Ventilazione naturale o forzata del vespaio
- Scheda 3 - Ventilazione delle cantine e dei locali interrati non occupati
- Scheda 4 - Estrazione dell'aria dall'intercapedine sotto il pavimento
- Scheda 5 - Depressurizzazione del suolo mediante pozzetti radon collocati sotto l'edificio
- Scheda 6 - Depressurizzazione del suolo mediante pozzetti radon collocati esternamente all'edificio
- Scheda 7 - Ventilazione delle condutture di drenaggio
- Scheda 8 - Pressurizzazione del suolo sotto l'edificio
- Scheda 9 - Pressurizzazione dell'intero edificio
- Scheda 10 - Ventilazione naturale o forzata degli ambienti interni
- Scheda 11 - Ventilazione forzata degli ambienti interni con l'impiego di sistemi di climatizzazione e recupero del calore.

Figura 13 – Estratto dal sito divulgativo

ARPAT
Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

INSIEME PER UN FUTURO SOSTENIBILE

Agenzia Temi Ambientali Attività Documentazione Notizie

Sei in: Home → Temi ambientali → Radiorattività → Radon → Cosa fare

Radon: cosa fare

Share Tweet RSS

- Ci sono indicazioni particolari per misurare la concentrazione di radon della propria abitazione?
- A chi rivolgersi per misurare il radon nella propria abitazione o luogo di lavoro
- Come prevenire l'ingresso del radon negli edifici di nuova realizzazione
- Cosa fare per ridurre la concentrazione di radon negli edifici esistenti: alcune indicazioni generali
- A chi rivolgersi per avere informazioni sulla distribuzione di radon in Toscana?
- A chi rivolgersi per avere informazioni sugli effetti sulla salute connessi alla presenza di radon?

Fonte: Sito web ARPAT.

Figura 14 – Esempio di scheda di risanamento

Tecniche di mitigazione: ventilazione naturale o forzata del vespaio

Descrizione

Laddove sia presente un vespaio sotto l'edificio, una tecnica di mitigazione semplice da adottare è quello di favorire la ventilazione dello stesso attraverso l'apertura di bocchette per il passaggio dell'aria.

Nel caso in cui la sola presenza di aperture non sia in grado di garantire una adeguata aerazione del vespaio, si può ricorrere all'adozione di sistemi attivi (aspiratori) in grado di creare un flusso uniforme all'interno dell'intercapedine.

L'adozione di sistemi attivi può anche consentire la scelta della tipologia di areazione che può essere quella di creare una depressurizzazione, aspirando aria dall'interno del vespaio, oppure di insufflare aria all'interno dello stesso al fine di creare una pressurizzazione del volume; in entrambi i casi è fondamentale garantire una adeguata sigillatura dei pavimenti degli ambienti posti al di sopra del vespaio, per garantire una efficace differenza di pressione.

In merito all'efficacia di questa tipologia di intervento, sono riportate riduzioni della concentrazione di radon che vanno dal 60 al 90%.

Vantaggi

- ✓ Buona efficacia (forte differenza tra passiva e attiva)
- ✓ Buona conservazione dell'efficienza energetica degli ambienti interni all'edificio

Svantaggi

- ✗ Costi di gestione (alimentazione e

Indicazioni

Radon proveniente dal suolo in presenza di un vespaio sotto all'edificio.

Principio di azione

Ridurre la concentrazione di radon presente alla base dell'edificio.

Effetto dell'intervento

Globale, a tutto l'edificio.

Efficacia

Media/elevata.

Tipicamente attorno al 60 – 90 %.

Costo

Basso.

La ventilazione naturale del vespaio tramite aperture fisse si ottiene a basso zero.

In caso di apertura di nuove prese d'aria e/o di ventilazione attiva i costi sono comunque contenuti.

manutenzione) nel caso di ventilazione forzata

Realizzazione

Per potenziare la ventilazione naturale del vespaio, specialmente nei vecchi edifici, si può intervenire sulle bocchette di areazione, generalmente già presenti allo scopo di evitare la presenza di umidità, rendendole più efficienti tramite la pulizia delle grate di protezione esterne, o dei mattoni forati utilizzati per lo stesso scopo, che possono essere ostruiti con il passare degli anni.

Qualora la dimensione e il numero delle aperture non siano adeguati a garantire una efficiente ventilazione dell'intercapedine, si

Fonte: ARPAT.

Bibliografia

Direzione generale per la salute e la sicurezza alimentare. 2022. Comunicazione su una nuova strategia globale dell'UE in materia di salute.

DECRETO LEGISLATIVO 31 luglio 2020, n. 101 - Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti.

Decreto MITE del 21/6/2022 n. 256 che stabilisce i criteri ambientali minimi (CAM) in ambito edilizia, che le stazioni appaltanti devono seguire per l'affidamento dei servizi progettazione e dei lavori, ai sensi del decreto legislativo 18 aprile 2016 n. 50 (Codice degli appalti).

DECRETO LEGISLATIVO 25 novembre 2022, n. 203 - Disposizioni integrative e correttive al decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, di attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti.

DPCM 11 gennaio 2024 – Piano nazionale di azione per il radon 2023-2032.

ENEA Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie l'Energia e lo sviluppo economico sostenibile. Il Radon: cos'è e come possiamo evitarlo. Vademecum per professionisti e cittadini – Giugno 2014.

INAIL - Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambiente. Quaderni per la salute e la sicurezza. Il radon in Italia: guida per il cittadino – Edizione 2014.

Ministero della Salute, Direzione Generale della Prevenzione Sanitaria. Piano Nazionale della Prevenzione 2020-2025.

Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), edizione 2023.

Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica amministrazione (edizione 2023).

Raccomandazione Euratom n. 143/90 della Commissione del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi. GUCE 27 marzo, L 80.

Ministero dello Sviluppo Economico e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Strategia Energetica Nazionale (SEN), edizione 2017

Sitografia

Arpat Toscana: Radon Cosa fare (ultimo accesso 19 settembre 2024)

<https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/radioattivita/radon/cosa-fare>

Regione Lombardia: Servizio Prevenzione dell'esposizione al gas radon (ultimo accesso 19 settembre 2024)

[Prevenzione dell'esposizione al gas Radon \(regione.lombardia.it\)](http://www.regione.lombardia.it/Prevenzione-dell-esposizione-al-gas-Radon)

Radon Solutions (ultimo accesso 19 settembre 2024)

<https://radonsolutions.ch/>

QUADERNI
AMBIENTE E SOCIETÀ

31 / 2024