

Regione Lombardia

LINEE GUIDA PER LA PREVENZIONE DELLE ESPOSIZIONI AL GAS RADON IN AMBIENTI INDOOR. AGGIORNAMENTO DEL QUADRO NORMATIVO, SCIENTIFICO ED EPIDEMIOLOGICO

Sommario

1 - AGGIORNAMENTO DEL QUADRO NORMATIVO, SCIENTIFICO ED EPIDEMIOLOGICO	3
CONTRIBUTI	3
Prima edizione	3
Seconda edizione	3
INTRODUZIONE	4
Prima edizione	4
Seconda edizione	5
Radon e salute	6
Stime di rischio	7
Inquadramento normativo	8
Il radon in Italia e in Lombardia	10
Come si misura il radon indoor	14
IL RADON NEGLI EDIFICI	15
Meccanismi di ingresso	15
I materiali da costruzione	16
Caratteristiche dell'edificio e rischio radon	17
Radon ed efficientamento energetico	18
2 - SVILUPPI INNOVATIVI, SOLUZIONI APPLICABILI, DATI E DOCUMENTAZIONE RELATIVA A PROGETTI REALIZZATI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO RADON INDOOR FINALIZZATE	19
TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE	19
Barriere impermeabili	19
Depressione alla base dell'edificio	20
Pressurizzazione alla base dell'edificio	23
Depressione o pressurizzazione?	25
Tipologie di vespaio	26
La linea separazione del "solaio a terra"	28
Depressurizzare o pressurizzare i vespai?	29
Ventilazione naturale o ventilazione forzata?	31
Temporizzazione degli impianti	32
Il problema rumore	33
TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE - SCHEDE	35
SPERIMENTAZIONI DI RISANAMENTI IN PROVINCIA DI BERGAMO	54
Tecniche d'intervento	54
Risultati	58
Aspetti economici	59
Alcune considerazioni	59
BIBLIOGRAFIA	60
SITOGRAFIA	61

1 - AGGIORNAMENTO DEL QUADRO NORMATIVO, SCIENTIFICO ED EPIDEMIOLOGICO

CONTRIBUTI

Prima edizione

Hanno contribuito alla realizzazione della prima edizione 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 che ha realizzato la prima edizione

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.

Seconda edizione

Hanno fornito contributi alla realizzazione della seconda edizione del documento:

REGIONE LOMBARDIA

DG WELFARE

Nicoletta Cornaggia

Salvatore Caruso

Daniela Aimetti

ARPA LOMBARDIA

Rosella Rusconi – Dirigente Fisico – UO Centro Regionale Radioprotezione

Daniela Lunesu – Tecnico Fisico – UO Centro Regionale Radioprotezione

ATS BERGAMO

Giovanni Battista Campanella – Dirigente Medico, SC Igiene e Sanità Pubblica, Salute-Ambiente-DIPS
Antonio Pinto – Medico Specializzando in Igiene e Medicina Preventiva Università Vita-Salute San Raffaele
Gaetano Gramano – Assistente Tecnico, SC Igiene e Sanità Pubblica, Salute-Ambiente-DIPS

ATS BRESCIA

Andrea Paladini – Dirigente Ingegnere, SS Salute e Ambiente
Marco Fortunato – Dirigente Sanitario, SS Salute e Ambiente
Maura Bressanelli – Dirigente Medico, Dipartimento di Igiene e Prevenzione Sanitaria
Roberta Ferranti – Dirigente Medico, Direttore SC Igiene, Sanità Pubblica, Salute - Ambiente

ATS BRIANZA

Raffaele Manna – Dirigente Ingegnere, Responsabile SS Salute e Ambiente
Maurizio Leuzzo – TdP, SS Salute e Ambiente

ATS MILANO CITTÀ METROPOLITANA

Michele Barletta – Dirigente Responsabile SS Urban Health
Luca Moro – Dirigente fisico, SC Salute e Ambiente

INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce un aggiornamento delle Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor, approvate con Decreto della Direzione Generale Sanità n. 12678 del 21 dicembre 2011.

L'obiettivo è quello di integrare e aggiornare dette indicazioni, alla luce delle più recenti normative europee e nazionali e delle evidenze scientifiche ed epidemiologiche, nonché dell'evoluzione delle conoscenze tecniche e delle buone pratiche in materia di prevenzione. L'aggiornamento mira a rafforzare le strategie di mitigazione del rischio da radon negli ambienti confinati, con particolare attenzione agli edifici ad uso abitativo, scolastico e lavorativo, al fine di tutelare in modo più efficace la salute pubblica e promuovere una maggiore consapevolezza e responsabilizzazione tra i soggetti coinvolti.

Prima edizione

La problematica del radon indoor è da anni ampiamente studiata e discussa a livello mondiale e, nel tempo, le strategie per la tutela della salute pubblica dalle esposizioni a gas radon sono state modulate in relazione alle conoscenze scientifiche all'epoca note.

Nel passato, infatti, l'attenzione era posta sulla riduzione delle esposizioni a concentrazione di gas radon elevati. In effetti le stime di rischio di contrarre un tumore polmonare erano basate, fino a pochi anni fa, principalmente su studi epidemiologici che coinvolgevano gruppi di lavoratori di miniere sotterranee di uranio caratterizzate da valori molto alti di concentrazione di gas radon.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), organizzazione tecnico scientifica dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), già dagli anni '90, ha classificato il gas radon tra i cancerogeni accertati del gruppo I, per i quali vi è massima evidenza di cancerogenicità, fornendo indicazioni circa la necessità di intervenire sulle concentrazioni elevate di gas radon.

Tali informazioni, estrapolate per valori di concentrazione più bassi, hanno permesso l'emanazione delle prime Direttive Europee e del D. Lgs 241/00 che ha introdotto, in Italia, la regolamentazione del rischio radon nei luoghi di lavoro.

A seguito delle incertezze legate all'utilizzo di tali studi epidemiologici effettuati sui lavoratori delle miniere, in anni recenti, sono stati condotti numerosi studi epidemiologici - e resi pubblici i relativi risultati - il cui obiettivo era quello di studiare l'effetto delle concentrazioni di gas radon notevolmente più basse rispetto a quelle rinvenibili negli ambienti già studiati e caratterizzati da valori elevati di concentrazioni di gas radon.

I risultati di questi recenti studi epidemiologici dimostrano che l'esposizione al gas radon nelle abitazioni determina un aumento statisticamente significativo dell'incidenza di tumore polmonare e che tale aumento è proporzionale al livello di concentrazione di gas radon negli ambienti confinati.

Tali studi hanno permesso di stimare che - su un periodo di osservazione di 25-35 anni - si ha un aumento del rischio relativo di sviluppare tumore polmonare del 10-16% per ogni 100 bequerel per metro cubo (Bq/m³) di concentrazione di gas radon.

È stata anche dimostrata una forte sinergia (effetto moltiplicativo) tra esposizione al radon e abitudine al fumo da tabacco, a causa della quale il rischio dovuto all'esposizione al radon è molto più alto (circa 25 volte) per i fumatori che per i non fumatori. Tali studi hanno anche confermato che non è possibile individuare un valore soglia di concentrazione di gas radon nelle abitazioni al di sotto del quale il rischio sia considerabile nullo; infatti, anche per esposizioni prolungate a concentrazioni medio o basse di radon, ovvero concentrazioni non superiori a 200 Bq/m³, si assiste ad un incremento statisticamente significativo del rischio di contrarre la malattia.

Sulla base di queste evidenze scientifiche, si sta sviluppando a livello nazionale ed internazionale un nuovo approccio - a cui Regione Lombardia con questo documento si allinea - finalizzato a ridurre i rischi connessi all'esposizione al gas radon in ambienti confinati. Tale approccio non è più orientato esclusivamente all'abbattimento dei valori più elevati di concentrazione di radon - la cui riduzione puntuale è comunque da perseguire attraverso interventi di bonifica - ma orientato a promuovere interventi finalizzati anche al decremento delle concentrazioni medio/basse di radon - tenendo conto del rapporto costo/beneficio - sia attraverso l'applicazione di tecniche di prevenzione ex ante (edifici di nuova realizzazione) sia attraverso tecniche prevenzione ex post (bonifica su edifici esistenti).

Queste linee guida intendono rappresentare uno strumento operativo per i Comuni, per i progettisti e per i costruttori di edifici e mirano a fornire indicazioni e suggerimenti riguardanti la realizzazione di nuovi edifici radon-resistenti e le azioni per ridurre l'esposizione al gas radon nel caso di edifici esistenti, anche in sinergia con gli interventi finalizzati al risparmio energetico.

Le evidenze scientifiche rilevano l'opportunità di intervenire sin dalla progettazione dell'edificio, attraverso sistemi che prevedano la riduzione sia dell'ingresso del gas radon nell'abitazione che la sua concentrazione negli ambienti chiusi al fine di contenere l'esposizione dei suoi abitanti al gas. Tali interventi possono essere anche realizzati durante interventi di manutenzione straordinaria che prevedano il coinvolgimento dell'interfaccia suolo-edificio.

Le azioni proposte per la mitigazione, se previste in fase di cantiere, hanno un impatto economico ancor più limitato rispetto ad opere di bonifica da intraprendere in edifici già ultimati; in ogni caso considerando il rapporto costo/beneficio, sono giustificati anche interventi finalizzati alla riduzione di concentrazioni di radon medio-basse, e non solo alla riduzione dei valori più elevati.

Le indicazioni operative illustrate fanno riferimento ai seguenti documenti:

- *Rischio di tumore polmonare attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni nelle regioni Italiane. Primo rapporto sintetico. CCM - Ministero della Salute. 2010*
- *Raccomandazione sull'introduzione di sistemi di prevenzione dell'ingresso del radon in tutti gli edifici di nuova costruzione del Sottocomitato Scientifico del progetto CCM "Avvio per Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia". 2008*

Seconda edizione

Dalla pubblicazione della prima edizione delle "Linee Guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor" avvenuta con decreto del direttore generale della DG Sanità n. 12678 del 12 dicembre 2011, il tema della protezione dell'esposizione al gas radon è stato ulteriormente regolamentato, mediante l'emanazione di nuove normative a livello nazionale ed europeo, nonché di specifiche disposizioni regionali. Il quadro normativo aggiornato prende origine dalla Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio del 5 dicembre 2013, che introduce, tra l'altro, l'obbligo per gli Stati membri dell'Unione Europea di definire piani d'azione nazionali per affrontare i rischi di lungo termine dovuti alle esposizioni al radon nelle abitazioni, negli edifici pubblici e nei luoghi di lavoro.

La Direttiva 2013/59/Euratom è stata recepita in Italia mediante il D.Lgs. 31 luglio 2020 n. 101, come modificato poi con il decreto legislativo correttivo e integrativo 25 novembre 2022 n. 203. Esso stabilisce i valori di riferimento di concentrazione media di attività di radon in aria sia per i luoghi di lavoro sia per le abitazioni, distinguendo le abitazioni in esistenti e di nuova costruzione, costruite cioè dopo il 31 dicembre 2024. Prevede inoltre all'articolo 10, comma 1, l'adozione del Piano nazionale di azione radon (PNAR), concernente i rischi dovuti all'esposizione al radon, inclusa la presenza del radon nelle abitazioni, mediante

decreto del Presidente del Consiglio dei ministri.

Il Piano nazionale d'azione per il radon 2023-2032, adottato con il DPCM 11 gennaio 2024, realizza la strategia nazionale per affrontare il problema del radon in Italia, con l'obiettivo di proteggere la salute dei cittadini agendo su tre macroaree strategiche (Misurazione – Intervento – Coinvolgimento), declinate in azioni, a loro volta articolate in attività. Viene promossa la ricerca, l'educazione, la formazione e l'informazione, con l'obiettivo di proteggere la salute dei cittadini, favorendo campagne di misurazioni, anche volontarie, e l'implementazione di interventi di risanamento, quando necessari.

A livello di Regione Lombardia si evidenziano alcuni importanti atti normativi, quali La Legge regionale 3 marzo 2022, n. 3, che ha modificato sostanzialmente la Legge Regionale 30 dicembre 2009, n. 33 in tema di prevenzione e protezione dal rischio di esposizione al gas radon in ambienti chiusi, introducendo al Capo II *quater* un articolato esclusivamente dedicato al tema.

Nel rispetto di quanto richiesto dal D.Lgs. 101/2020 si è quindi provveduto nel 2023 ad una prima individuazione dei Comuni in cui le concentrazioni di radon indoor sono mediamente più elevate, secondo i criteri stabiliti dal decreto stesso, identificando così il primo elenco di Comuni ricadenti nelle cosiddette "aree prioritarie". Questa attività è stata svolta dalla UO Centro Regionale Radioprotezione di ARPA Lombardia sulla base dei dati disponibili, in attuazione di quanto stabilito dall'art. 11 del D.Lgs. 101/2020, ed è stata oggetto di pubblicazione da parte di Regione Lombardia con DGR n. XII/508 del 26/6/2023 successivamente ripresa in Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana (Serie Generale n. 211 del 9/9/2023).

Nello stesso anno, Regione Lombardia - DG Welfare, nelle more del riconoscimento dei servizi di dosimetria previsto dall'art 155 del D.Lgs. n. 101/2020, ha provveduto alla costituzione di un elenco di soggetti che hanno autocertificato il possesso dei requisiti di legge con lo scopo di fornire al cittadino, esercente o proprietario di abitazione, un servizio di consultazione omogeneo, ordinato e organizzato dei soggetti in possesso dei requisiti citati, a cui affidare le misure di esposizione al radon in ambiente confinato.

Infine, con Delibera n. 3866 del 3 febbraio 2025, è stato istituito il servizio telematico di "gestione radon indoor" (Ge.R.I.) integrato nel sistema informativo regionale della prevenzione (ai sensi dell'art.66 terdecies l.r. 33/2009, art. 18 del D.Lgs. 101/2020).

Per quanto sopra, si rende opportuno l'aggiornamento del documento, anche nel rispetto di quanto previsto nella Delibera N.3720- (DL) Determinazioni in ordine agli indirizzi di programmazione del SSR per l'anno 2025 (capitolo 2.16.1).

Radon e salute

Il radon è un gas nobile radioattivo, incolore ed inodore, appartenente alla famiglia di decadimento dell'U-238, elemento presente in natura nelle rocce e nei suoli quasi ovunque, con concentrazioni variabili a seconda della tipologia di roccia. Per esempio, rocce come lave, tufi, pozzolane e graniti, essendo più ricche d'uranio possono presentare e rilasciare maggiori quantità di radon rispetto ad altri tipi di rocce.

Essendo il radon un gas nobile non è in grado di legare con altri elementi e pertanto può liberamente muoversi attraverso le porosità del materiale e raggiungere l'aria in superficie. Il grado di emanazione del radon dal suolo non dipende solamente dalla concentrazione dell'uranio nelle rocce, ma anche dalla particolare struttura del terreno stesso. Tanto maggiori sono gli spazi interstiziali presenti nei minerali e le fessurazioni delle rocce che compongono il terreno, tanto più radon sarà liberato nell'aria dal sottosuolo, costituendo queste delle vere e proprie vie di propagazione per questo gas. Nell'aria esterna non raggiunge mai concentrazioni significative e pertanto il rischio di esposizione delle persone è estremamente basso.

Tuttavia, se il gas radon entra in un ambiente chiuso, quale un'abitazione o un luogo di lavoro, a causa del limitato ricambio d'aria, questo può aumentare le concentrazioni in aria, esponendo la popolazione a evidenti rischi per la salute. La continua corsa all'efficientamento energetico e all'ottimizzazione dell'isolamento degli stabili, infatti, costituisce una significativa barriera alla fuoriuscita del gas verso l'ambiente esterno, contribuendo all'aumento della concentrazione del gas nei luoghi abitati.

Come già detto, attualmente gli studi scientifici confermano che il radon è la seconda causa di tumore ai polmoni dopo il fumo in molti paesi del mondo. È inoltre stato verificato che vi è una maggior probabilità di induzione di tumore al polmone per persone che fumano o che hanno fumato in passato, rispetto a coloro che non hanno mai fumato durante la loro vita, e, in ogni caso, che il radon è la prima causa di tumore al

polmone per i non fumatori. In particolare, studi sul tumore al polmone in Europa, Nord America e Asia [WHO 2009] ne attribuiscono al radon una quota di casi che va dal 3% al 14%. Gli studi indicano che il rischio del tumore al polmone aumenta proporzionalmente con l'aumentare dell'esposizione al radon. Tuttavia, essendo un numero molto alto di persone esposto a concentrazioni medio basse, ne deriva che la maggior parte dei tumori al polmone correlati al radon sono causati da livelli di concentrazione medio - bassi piuttosto che da alti.

Stime di rischio

Il rapporto "Rischio di tumore polmonare attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni nelle regioni italiane. Primo rapporto sintetico", elaborato nel 2010 dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) nell'ambito del progetto "Centro Controllo Malattie (CCM) Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia", ha stimato i rischi associati all'esposizione al radon in Italia.

Per la stima del numero di casi di tumore polmonare attribuibili al radon, sono stati utilizzati i seguenti dati:

- un eccesso di rischio relativo (ERR) del 16% per ogni 100 Bq /m³ di incremento di concentrazione di radon media su un tempo di esposizione di circa 30 anni, come valutato dall'analisi degli studi epidemiologici condotti in Europa [Darby 2005];
- dati ISTAT del 2002 di mortalità per tumore polmonare;
- medie regionali di concentrazione di radon nelle abitazioni derivate dall'indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni [Bochicchio 2005].

Nella Tabella 1 è illustrata la situazione relativa al numero di casi di tumore polmonare per anno (*casi osservati*) nelle Regioni Italiane. L'ISS ha quindi stimato il numero dei casi per anno attribuibili all'esposizione al radon nelle abitazioni e la loro prevalenza rispetto al totale dei casi osservati.

Per la Lombardia, lo studio ISS evidenzia che il 15% dei casi annui osservati di tumore al polmone sia da attribuire all'esposizione a gas radon indoor.

Regione	Casi osservati	Numero di casi stimati			Percentuale dei casi osservati		
		Stima puntuale	Intervallo di confidenza (95%)		Stima puntuale	Intervallo di confidenza (95%)	
Abruzzo	558	49	16	88	9%	3%	16%
Basilicata	219	10	3	19	5%	1%	9%
Calabria	665	26	8	48	4%	1%	7%
Campania	2 822	372	128	642	13%	5%	23%
Emilia - Romagna	2 886	190	62	346	7%	2%	12%
Friuli - Venezia Giulia	775	106	37	182	14%	5%	23%
Lazio	3 121	499	175	841	16%	6%	27%
Liguria	1 212	69	23	128	6%	2%	11%
Lombardia	5 718	862	301	1 464	15%	5%	26%
Marche	764	34	11	63	4%	1%	8%
Molise	108	7	2	13	6%	2%	12%
Piemonte	2 816	280	94	496	10%	3%	18%
Puglia	1 706	131	43	237	8%	3%	14%
Sardegna	746	69	23	124	9%	3%	17%
Sicilia	2 054	109	35	201	5%	2%	10%
Toscana	2 231	159	52	289	7%	2%	13%
Trentino - Alto Adige	401	35	12	62	9%	3%	16%
Umbria	455	39	13	69	8%	3%	15%
Valle d'Aosta	69	5	1	8	7%	2%	12%
Veneto	2 808	238	79	428	8%	3%	15%
Italia	32 134	3 237	1 087	5 730	10%	3%	18%

Tabella 1: Rischio di tumore polmonare attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni nelle regioni italiane. Fonte ISS

Questi dati sono stati confermati da uno studio successivo dell'ISS [Bochicchio 2013] nel quale si stima inoltre che la maggior parte dei tumori polmonari attribuibili al radon si verifichi tra coloro che fumano, sia maschi che femmine (72% e 60%, rispettivamente, a livello nazionale).

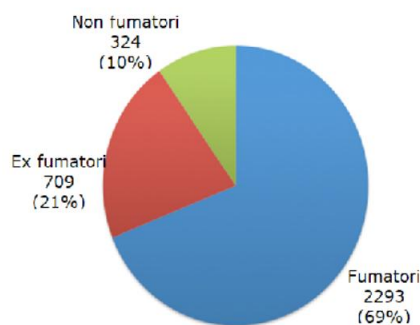


Fig. 1 Numero di tumori al polmone attribuibili al radon separati per categorie di fumo. Fonte ISS

Recentemente è stato inoltre evidenziato che nei bambini asmatici il radon può essere associato ad un aumento della morbilità dell'asma [Banzon 2023] e che l'esposizione cronica al radon, anche a livelli inferiori a quelli oncogenici, può avere effetti misurabili sullo sviluppo cognitivo, emotivo e neurobiologico nei bambini e negli adolescenti [Taylor 2022; Taylor 2024; Pulliam 2024].

Inquadramento normativo

Diversi sono i documenti e le raccomandazioni prodotte dagli organismi internazionali, quali l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS – WHO) e l'International Commission on Radiological Protection (ICRP), che forniscono indicazioni, metodologie e livelli di riferimento per affrontare la problematica del radon indoor, sia per esposizioni residenziali che per esposizioni lavorative.

Riferimento importante in Europa (superato con la pubblicazione della Direttiva 2013/59/Euratom) è stata la raccomandazione della Comunità Europea 90/143/Euratom, che indicava il valore di concentrazione in aria oltre cui intraprendere azioni di risanamento per le abitazioni esistenti - pari a 400 Bq/m³ - e l'obiettivo a cui tendere per le nuove edificazioni, pari a 200 Bq/m³.

Con la Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio del 5 dicembre 2013 sono state introdotte importanti novità, tra cui l'obbligo per gli Stati Membri dell'Unione Europea di stabilire livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni medie annue di attività di radon in aria in ambienti chiusi, anche di lavoro, non superiori a 300 Bq/ m³, fatte salve particolari situazioni giustificate a livello nazionale, e di definire un piano d'azione nazionale che affronti i rischi di lungo termine dovuti alle esposizioni al radon nelle abitazioni, negli edifici pubblici e nei luoghi di lavoro.

Il D.Lgs. 31 luglio 2020 n. 101, entrato in vigore il 27/08/2020 in recepimento della Direttiva 2013/59/Euratom, stabilisce al Titolo I del Capo IV rilevanti modifiche rispetto al quadro normativo precedente in tema di protezione dall'esposizione al radon. Oltre a una revisione ed estensione delle disposizioni sulla protezione dal radon nei luoghi di lavoro, il decreto contiene, per la prima volta, indicazioni sulla protezione dal radon nelle abitazioni.

Definisce, inoltre, quale strumento operativo per la radioprotezione, il "livello di riferimento", espresso in termini di valore medio annuo della concentrazione di attività di radon in aria, il cui valore massimo è stabilito come di seguito indicato:

- 300 Bq/m³ per i luoghi di lavoro,
- 300 Bq/m³ per le abitazioni esistenti,
- 200 Bq/m³ per le abitazioni costruite dopo il 31/12/2024.

Per un'efficace controllo sull'esposizione dei lavoratori al radon, la Direttiva 2013/59/Euratom e il Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n.101, individuano alcune situazioni di particolare interesse dal punto di vista della radioprotezione (luoghi di lavoro sotterranei, luoghi di lavoro semisotterranei e al piano terra in aree prioritarie, stabilimenti termali) ma rimandano al PNAR il compito di identificare "altre" tipologie di luoghi di lavoro ed edifici pubblici nonché "specifiche" tipologie di attività lavorative, che necessitano di un diverso approccio.

Il Piano nazionale d'azione per il radon 2023 – 2032 riporta un primo elenco di queste specifiche tipologie di luoghi di lavoro alle quali si applica quanto previsto dagli articoli 17 e 18 del decreto legislativo 31 luglio 2020, n.101. Esso fornisce inoltre elementi per l'individuazione delle "aree prioritarie", uniformando strategie e metodologie per le campagne di misurazione sul territorio nazionale e fornendo una mappatura della radioattività naturale potenziale del territorio nazionale su base geologica. Data la multidisciplinarietà

propria del fenomeno radon, la finalità principale del Piano si ottiene mediante la realizzazione di azioni in ambiti molto diversi, ricondotte nei tre Assi - Misurare, Intervenire, Coinvolgere -, e di Attività realizzate con il coinvolgimento di differenti amministrazioni.

A livello regionale, si rammenta che già nel 1991 Regione Lombardia aveva emanato la circolare n. 103/SAN, che anticipava alcune misure di prevenzione e di cautela nei confronti della esposizione a radon negli ambienti di lavoro interrati e seminterrati.

Con l'art. 2, comma 1 della Legge Regionale 3 marzo 2022, n. 3, è stata come detto aggiornata la Legge Regionale 30 dicembre 2009, n. 33 "Testo unico delle leggi regionali in materia di sanità" (BURL n. 52, 3° suppl. ord. del 31 dicembre 2009), inserendo il Capo II *quater*, che per la prima volta si riferisce al tema radon indoor; nello specifico il capo è denominato "Prevenzione e protezione dal rischio di esposizione al gas radon in ambienti chiusi".

Con deliberazione della Giunta regionale n. XI/508 del 26 giugno 2023, Regione Lombardia ha approvato la "Prima individuazione delle aree prioritarie a rischio Radon in Lombardia ai sensi dell'articolo 11, comma 3, D.Lgs. n. 101 del 31 luglio 2020", predisposta da ARPA Lombardia e pubblicata nel Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia - Serie Ordinaria n. 26 del 28 giugno 2023. L'elenco dei comuni in area prioritaria è stato quindi pubblicato sulla GU della Repubblica Italiana n.211 del 9 settembre 2023.

Più recentemente, Regione Lombardia, con Decreto n. 11740 del 03/08/2023, ha pubblicato un bando relativo alla manifestazione di interesse per l'iscrizione nell'Elenco Regionale dei soggetti che svolgono attività di servizio di dosimetria del gas radon, istituito nelle more del riconoscimento di idoneità di cui all'art. 155 comma 3 del D.Lgs.n.101/2020. I soggetti che autocertificano il possesso dei requisiti minimi di cui all'Allegato II, sezione I, del citato Decreto sono inseriti in un elenco omogeneo, ordinato e organizzato, consultabile dai cittadini, enti e operatori sulla pagina web della DG Welfare dedicata al Servizio Prevenzione dell'esposizione al Radon.

Da ultimo, con Delibera n. 3866 del 3 febbraio 2025, è stato approvato il documento "Flussi di comunicazione attività controllo radon", in collaborazione con ARIA Spa e con il contributo di ARPA Lombardia, che descrive il progetto informativo per la realizzazione dei servizi telematici funzionali alla trasmissione dei dati e delle informazioni di cui alla citata Legge Regionale 33/2009, art. 66 *terdecies* comma2. Detti servizi telematici, inseriti nell'area denominata "Gestione Radon Indoor" (Ge.R.I.), all'interno del Sistema Informativo Regionale della Prevenzione, consentirà agli esercenti e ai servizi di dosimetria presenti nel relativo elenco di cui al Decreto della Direzione Generale Welfare n. 11740 del 03/08/2023 la trasmissione delle informazioni e dei dati, rispettivamente, di cui all'art. 18 comma 2, e agli artt. 18 comma 2, e 19 comma 4 del D.Lgs. n. 101/2020.

I risultati delle misurazioni di concentrazione di radon così raccolti all'interno del sistema Ge.R.I. sono georeferenziati mediante il sistema informativo Geografia Salute Ambiente (Geo.S.A.), istituito con la Delibera Consiglio Regionale N.XI/2395 del 15/02/2022, Piano Predefinito 09 - Macro Obiettivo 5 "Ambiente Clima e Salute", che consente l'integrazione dei dati ambientali e sanitari e delle loro relazioni ed è parte del Sistema Informativo della Prevenzione. Geo.S.A. si configura come servizio WEBGIS customizzato, con strati informativi (vettoriali e raster) precaricati per l'elaborazione di mappe che permettono di individuare cluster di malattia e aree geografiche critiche per la salute collettiva e individuale. È una piattaforma ad accesso riservato, accessibile tramite profilazione, capace di sostenere le ATS e Regione Lombardia nella strategia multilivello di prevenzione dell'esposizione al radon, contribuendo alla tutela della salute pubblica attraverso un approccio territoriale, basato su evidenze e orientato all'azione.

L'utilizzo di Geo.S.A. e in particolare la funzione "Scenario Radon" consente l'integrazione territoriale dei dati radon con altri scenari ambientali, sanitari e urbanistici. In particolare, l'applicativo consente di:

- georeferenziare le misure radon e visualizzarne la distribuzione spaziale;
- utilizzare, come da indicazione PNAR, i dati esistenti per elaborare "*mappature di confronto fra radon indoor e indicatori di natura geologica*" e sovrapporle con indicatori edilizi e flussi sanitari (distribuzione dei casi di tumore polmonare e confronto con tassi standardizzati di incidenza di tumore polmonare per area);
- supportare le politiche edilizie preventive, fornendo strumenti alle amministrazioni locali e alle ATS per promuovere la progettazione radon-resiliente nei nuovi edifici e nelle ristrutturazioni;
- supportare la pianificazione di interventi di mitigazione;
- monitorare nel tempo l'evoluzione del rischio, le opere di bonifica e la copertura delle misurazioni

- nei territori di competenza;
- attuare il follow-up delle attività di bonifica e mitigazione in ambienti scolastici, residenziali e lavorativi, tracciando gli interventi effettuati e valutando l'impatto delle misure di risanamento attraverso l'analisi comparata delle concentrazioni pre- e post-intervento.

Il radon in Italia e in Lombardia

In Italia, nel periodo 1989-1991, è stata condotta una campagna di misura del radon indoor su tutto il territorio nazionale, promossa dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e dall'ENEA DISP – oggi ISPRA, allo scopo di valutare l'esposizione della popolazione al radon all'interno delle abitazioni.

La prima mappatura nazionale 1989 – 1998 (Figura 2) ha portato a stimare una media nazionale di concentrazione di radon indoor pari a 70 Bq/m³, superiore a quello della media europeo stimato in circa 59 Bq/m³ [fonte Joint Research Centre – JRC]. Le regioni con i valori più alti sono il Lazio e la Lombardia, poi seguono il Friuli e la Campania. In Lombardia, la prima campagna nazionale ha restituito un valore di media regionale pari a 116 Bq/m³ e le maggiori concentrazioni di radon sono state rilevate in provincia di Milano (area nord-est), in provincia di Bergamo e di Sondrio; la prevalenza di abitazioni con concentrazioni di radon superiori a 400 Bq/m³ è stata stimata essere attorno al 2,5%.

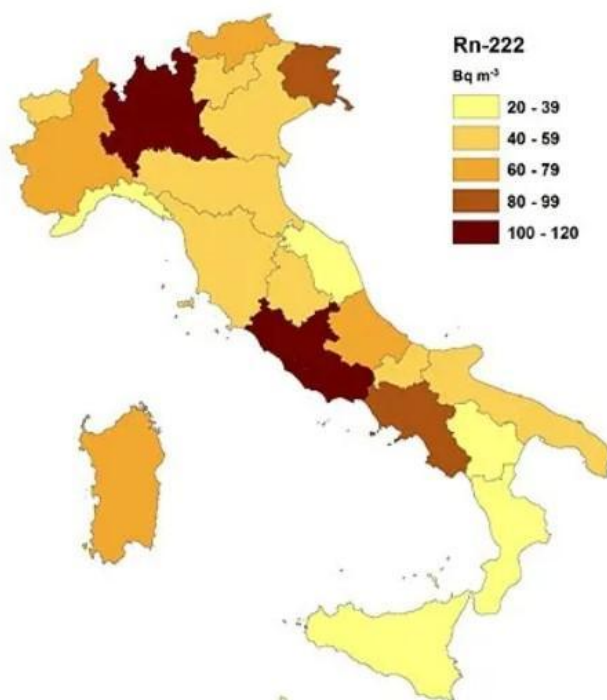


Figura 2: Livelli medi regionali di concentrazione di radon indoor (Bq/m³) stimate nel corso di una indagine nazionale condotta negli anni 1989-1998 – Fonte Istituto Superiore di Sanità

Successivamente, Regione Lombardia ha approfondito, a più riprese, le indagini territoriali (campagne di mappatura e monitoraggio 2003/2004 e 2009/2010) al fine di meglio conoscere la distribuzione del fenomeno sul territorio.

I punti di misura sono stati distribuiti sul territorio regionale sulla base di maglie regolari tali da garantire una copertura significativa ed omogenea dell'intera Regione; le rilevazioni sono state svolte in locali con caratteristiche omogenee posti al piano terreno, adibiti ad abitazione, collocati in edifici costruiti o ristrutturati dopo il 1970, preferibilmente con cantina o vespaio sottostante. Le misurazioni sono state effettuate impiegando una tecnica *long-term* mediante i rilevatori a tracce di tipo CR-39, posizionati nei punti di interesse per due semestri consecutivi.

Dalle elaborazioni più recenti sull'intero set di dati ad oggi disponibili di concentrazioni medie annuali di radon (3900 punti di misurazione) è risultato che:

- la distribuzione del radon nelle abitazioni lombarde è disomogenea: i valori più alti si registrano in zone situate nella fascia nord della regione, nelle province di Sondrio, Bergamo, Varese, Lecco e

- Brescia, mentre nell'area della pianura padana la presenza di radon è molto bassa;
- i valori medi annuali di concentrazione di radon nelle abitazioni sono risultati compresi nell'intervallo 8 – 1793 Bq/m³; la media aritmetica regionale è di 137 Bq/m³,
 - l'8,1 % dei locali indagati presenta valori superiori a 200 Bq/m³ e il 3,6% (pari a 140 locali) presenta valori superiori a 300 Bq/m³.

I risultati sono complessivamente coerenti con quelli dell'indagine nazionale svoltasi nel 1989-1998.

I dati disponibili sono stati successivamente elaborati con metodi statistici allo scopo di individuare i comuni in area prioritaria secondo il criterio transitorio stabilito dall'art. 11, comma 3 del D.Lgs. 101/2020 che classifica in area prioritaria le zone nelle quali la stima della percentuale di edifici che supera il livello di riferimento di 300 Bq/m³ è pari o superiore al 15%, sulla base di indagini o misure di radon effettuate o riferite o normalizzate al piano terra. La metodologia di analisi dati seguita per ottenere la prima individuazione delle aree prioritarie è descritta nel dettaglio nella relazione tecnica allegata alla DGR n. XII/508 del 26/6/2023. Viene di seguito presentata (Figura 3) la mappa della Regione Lombardia ottenuta con l'approccio sopra descritto, le maglie di colore blu scuro corrispondono alle aree in cui sono presenti comuni per i quali la probabilità di superamento della concentrazione di 300 Bq/m³ è superiore al 15%. Una successiva ulteriore analisi dei dati ha permesso di ricavare il primo elenco di comuni in area prioritaria, illustrato nella Figura 5 e riportato nella Tabella 2.

Da osservare che i valori di concentrazione più bassi si trovano nella parte meridionale della regione, costituita da litologie come morene e depositi fini; valori medio alti si osservano invece nella fascia di transizione tra la Pianura Padana e la parte di montagna, caratterizzata da depositi alluvionali molto permeabili, che proprio per questa caratteristica permettono maggiori fuoriuscite di radon dal suolo.

Da osservare anche che le aree in cui è più probabile misurare valori elevati di concentrazione corrispondono alle zone meno densamente abitate, come si può vedere dal confronto tra le mappe in Figura 3 e in Figura 4. La valutazione dell'eventuale sovrapposizione delle aree a maggior concentrazione di radon indoor con quelle a maggior densità abitativa assume infatti particolare rilevanza ai fini della gestione e riduzione del rischio collettivo; poiché in Lombardia tale sovrapposizione non si verifica, in termini numerici assoluti è verosimile che la maggior parte degli edifici con concentrazioni di radon superiori al livello di riferimento si trovi al di fuori delle aree prioritarie. Per tale motivo, ai fini della riduzione del rischio, assume particolare importanza l'adozione generalizzata di interventi volti a ridurre l'esposizione al gas radon, sia negli edifici esistenti che in quelli di nuova costruzione, mediante la realizzazione di misure di prevenzione e mitigazione dell'ingresso e delle concentrazioni di radon negli edifici. L'individuazione dei comuni in area prioritaria permette di definire priorità di intervento volte alla riduzione del rischio individuale; resta ferma la necessità di promuovere ed implementare su tutto il territorio regionale tecniche costruttive volte a ridurre l'esposizione indoor al gas radon, avendo come obiettivo la riduzione del rischio collettivo e il conseguente miglioramento delle attività di prevenzione sanitaria.

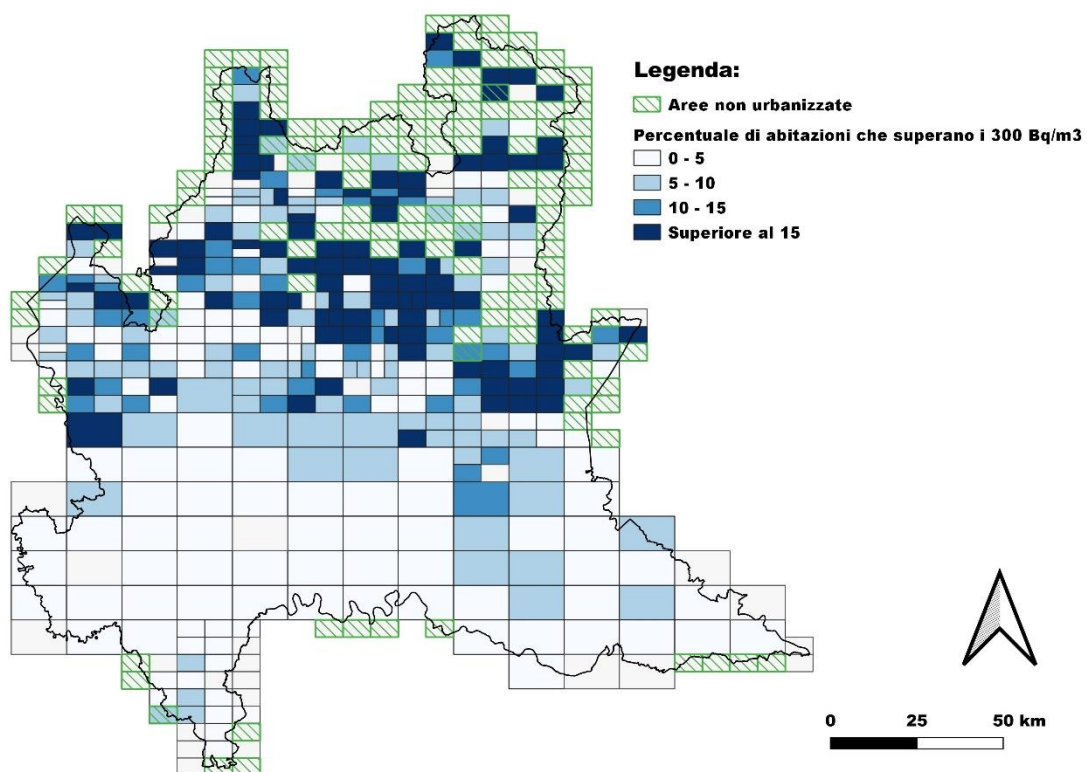


Figura 3: Classificazione delle maglie di campionamento in funzione della percentuale di superamento del livello di riferimento di 300 Bq/m³ – Fonte Regione Lombardia

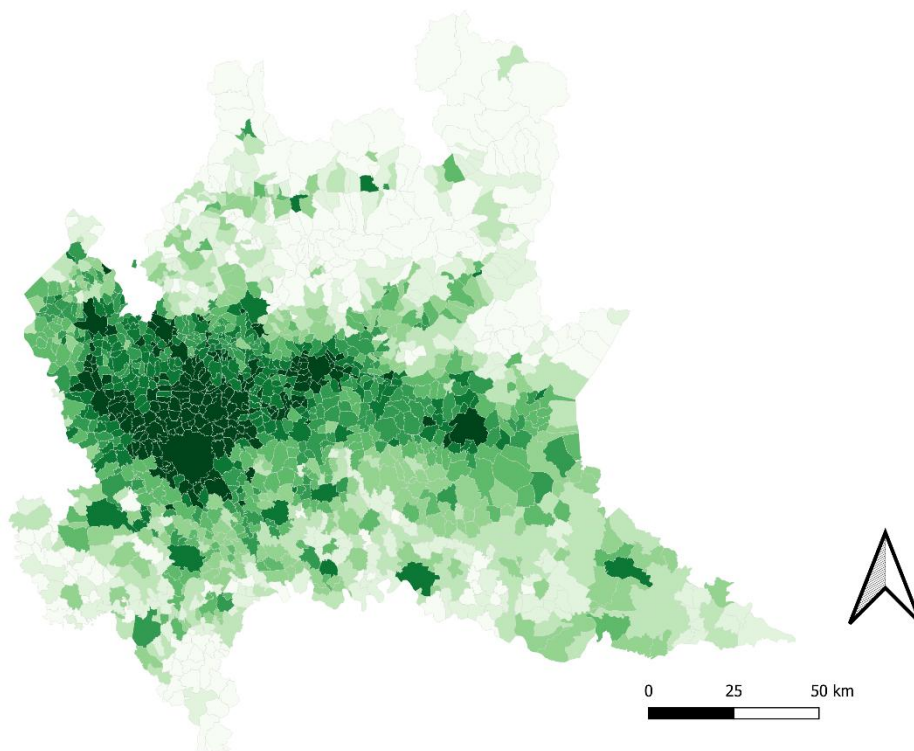


Figura 4: Mappa della densità abitativa – Fonte Regione Lombardia

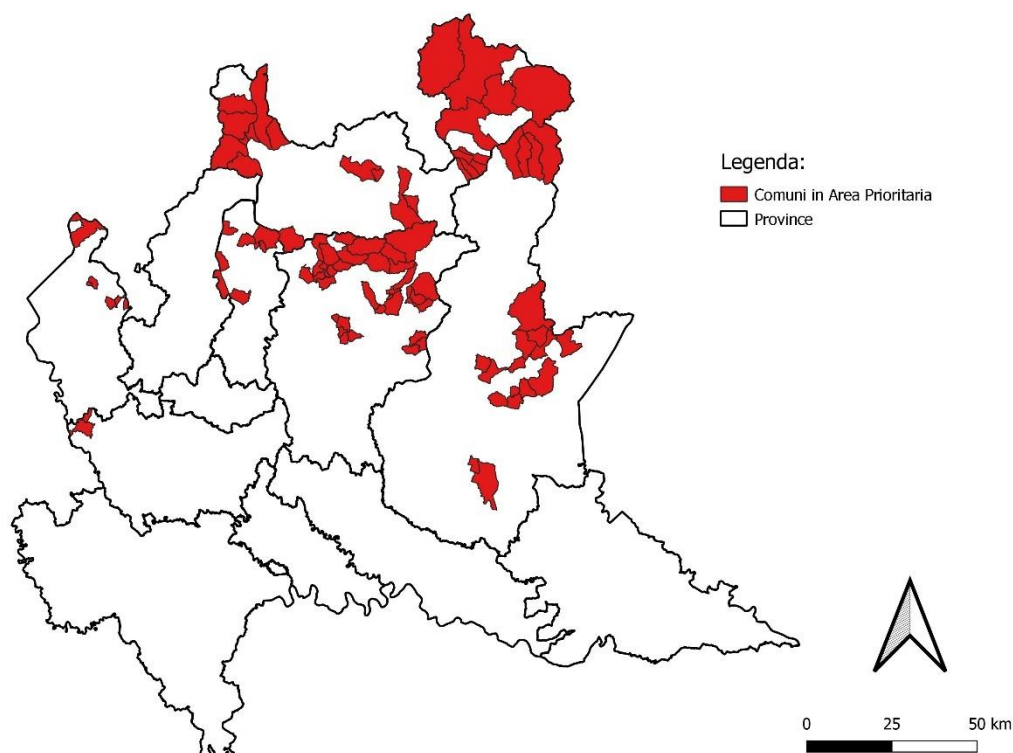


Figura 5: Comuni in area prioritaria – Fonte Regione Lombardia. Individuazione da DGR n. XII/508 del 26/6/2023

COMUNE	PROV	ABITANTI	COMUNE	PROV	ABITANTI	COMUNE	PROV	ABITANTI
1 ABBADIA LARIANA	LC	3198	31 GROMO	BG	1133	61 RIVA DI SOLT	BG	881
2 ALGUA	BG	656	32 GROSIO	SO	4356	62 SABBIO CHIESE	BS	3915
3 ANFO	BS	448	33 IDRO	BS	1865	63 SALTRIO	VA	2983
4 AVIATICO	BG	575	34 ISOLA DI FONDRA	BG	171	64 SAMOLACO	SO	2860
5 BAGOLINO	BS	3747	35 LAVENONE	BS	487	65 SAN GIACOMO FILIPPO	SO	369
6 BESANO	VA	2508	36 LENNA	BG	553	66 SELVINO	BG	1990
7 BISUSCHIO	VA	4268	37 LIVIGNO	SO	6904	67 SERNIO	SO	476
8 BRANZI	BG	666	38 LODRINO	BS	1624	68 SOLT COLLINA	BG	1777
9 CAINO	BS	2141	39 LOVERO	SO	625	69 SONGAVAZZO	BG	696
10 CAMPODOLCINO	SO	927	40 MACCAGNO CON PINO E VEDDASCA	VA	2390	70 SPRIANA	SO	79
11 CARONA	BG	286	41 MAZZO DI VALTELLINA	SO	1024	71 TEMU'	BS	1105
12 CASARGO	LC	837	42 MESE	SO	1798	72 TORRE DI SANTA MARIA	SO	2388
13 CASSIGLIO	BG	110	43 MEZZOLD	BG	164	73 TOVO DI SANT'AGATA	SO	626
14 CASTANO PRIMO	MI	10871	44 MOIO DE' CALVI	BG	195	74 VALBONDIONE	BG	972
15 CASTELLO DELL'ACQUA	SO	614	45 MONTIRONE	BS	5067	75 VALDIDENTRO	SO	4129
16 CASTIONE DELLA PRESOLANA	BG	3348	46 ODOLO	BS	1917	76 VALDISOTTO	SO	3595
17 CASTO	BS	1623	47 OLIVETO LARIO	LC	1193	77 VALFURVA	SO	2508
18 CHIAVENNA	SO	7161	48 OLMO AL BREMBO	BG	486	78 VALGOGLIO	BG	586
19 CLUSONE	BG	8498	49 OLTRESSENDA ALTA	BG	144	79 VALLIO TERME	BS	1408
20 COSTA DI SERINA	BG	4753	50 ONORE	BG	919	80 VALNEGRA	BG	215
21 CUNARDO	VA	2887	51 PIARIO	BG	1007	81 VALVESTINO	BS	173
22 DERVIO	LC	2582	52 PIAZZA BREMBANA	BG	1193	82 VANZAGHELLO	MI	5246
23 FERRERA DI VARESE	VA	705	53 PIAZZATORRE	BG	389	83 VARENNA	LC	723
24 FINO DEL MONTE	BG	1141	54 PIAZZOLO	BG	87	84 VERVIO	SO	202
25 FONTENO	BG	566	55 PIURO	SO	1873	85 VESTONE	BS	4174
26 FOPPOLO	BG	167	56 PONTE DI LEGNO	BS	1761	86 VEZZA D'OGGIO	BS	1474
27 GANDELLINO	BG	961	57 PONTE IN VALTELLINA	SO	2250	87 VILLA DI CHIAVENNA	SO	6612
28 GEROLA ALTA	SO	161	58 PONTE NOSSA	BG	1716	88 VILLA D'OGNA	BG	968
29 GHEDI	BS	18496	59 PREMANA	LC	2174	89 VIONE	BS	622
30 GORDONA	SO	1925	60 PREMOLO	BG	1058	90 VOBARNO	BS	8259

Tabella 2: Primo elenco di comuni lombardi in area prioritaria – Fonte Regione Lombardia (DGR n. XII/508 del 26/6/2023)

Occorre infine sottolineare che la concentrazione di radon indoor dipende da una molteplicità di fattori, tra cui le caratteristiche geomorfologiche del sottosuolo, le caratteristiche costruttive, i materiali utilizzati, le modalità di aerazione e ventilazione, nonché le abitudini di utilizzo della singola unità immobiliare. Per tale motivo l'unico modo per valutare con certezza la concentrazione di radon in un ambiente indoor è quella di eseguire la determinazione sperimentale della sua concentrazione.

Anche per tale motivo sono attualmente in corso ulteriori campagne di misura, promosse da Regione Lombardia ed effettuate in collaborazione da ARPA Lombardia e le ATS, allo scopo di acquisire maggiori dati ed informazioni utili per la migliore definizione e l'aggiornamento dell'elenco dei comuni in area prioritaria. In continuità con gli anni precedenti, per monitorare l'adozione delle "Linee guida per la prevenzione delle

esposizioni al gas radon in ambienti indoor” da parte dei Comuni lombardi, la Struttura Ambienti di Vita e di Lavoro della DG Welfare ha richiesto la compilazione di una survey per verificare il recepimento nei Regolamenti Edilizi Comunali (REC), o in subordine nella normativa tecnica dei Piani delle Regole dei rispettivi Piani di Governo del Territorio (PGT).

In base ai dati ricavati dalla survey risulta che al 2023 circa il 49% dei Comuni lombardi ha adottato nei propri Regolamenti edilizi le “Linee Guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor” di cui al decreto Direttore Generale Sanità n. 12678 del 21/12/2011.

Come si misura il radon indoor

Le misure di concentrazione di radon in aria indoor sono essenziali per valutare l'esposizione delle persone che frequentano o abitano i locali; tali misurazioni sono relativamente semplici da realizzare, ma devono essere realizzate secondo protocolli standardizzati affinché i risultati siano affidabili, confrontabili e riproducibili.

Una indicazione in tale senso, che in Italia ha costituito uno dei primi riferimenti utile, era fornita dalle “Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei”, (adottate dal Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano nel febbraio 2003) che per la prima volta illustravano le modalità di esecuzione delle misure annuali nei luoghi di lavoro ai sensi dell'ormai abrogato D. Lgs 241/00.

Più recentemente, l'Allegato II al D.Lgs. 101/2020 specifica al punto 3.a della Sezione I che la misurazione di concentrazione media annua di attività di radon in aria deve essere effettuata per un intero anno solare, mediante uno o più periodi di campionamento consecutivi, utilizzando metodiche di misura riferibili a norme tecniche nazionali o internazionali [UNI EN ISO 11665-5:2020, WHO 2009]. Le misurazioni della concentrazione media annua di attività di radon in aria e la redazione delle relative relazioni tecniche devono essere pertanto effettuate da servizi di dosimetria riconosciuti ai sensi dell'articolo 155 dello stesso Decreto, tenuto conto delle indicazioni dell'articolo 127. Nelle more del riconoscimento, in base al comma 7 dell'articolo 17, sono definiti “organismi idoneamente attrezzati” quelli che soddisfano i requisiti minimi indicati nell'allegato II del decreto.

Sulla pagina web istituzionale di Regione Lombardia dedicata alla “prevenzione dell'esposizione al gas radon”, è disponibile l'elenco regionale aggiornato dei soggetti che svolgono attività di servizio di dosimetria ed hanno autocertificato il possesso dei requisiti di legge.

È necessario seguire alcuni criteri al fine di misurare la concentrazione di gas radon in ambienti chiusi e adibiti ad attività con permanenza continua di persone (abitazioni, uffici pubblici e luoghi di lavoro ai sensi del D.Lgs. 101/2020, da ultimo modificato con il D.Lgs. 203/2022 e poi integrato da precise indicazioni e criteri di cui al PNAR 2023-2032 cui lo stesso D.Lgs. 101/2020 rimanda nelle sue previsioni) e conseguentemente valutare la necessità/opportunità per avviare soluzioni tecniche per ridurre la concentrazione di radon.

Sebbene siano i prodotti di decadimento, e principalmente il polonio (Po-218 e Po-214), i maggiori responsabili della dose di radiazioni fornita dal radon, la misura della concentrazione di attività di gas radon è generalmente considerata una valida alternativa alle misurazioni della concentrazione dei prodotti di decadimento, anche a causa della sua relativa semplicità ed efficacia in termini di costi.

Attualmente i dispositivi di misura maggiormente utilizzati sono: i rivelatori a tracce, le camere a ionizzazione a elettrodi, i rivelatori ad integrazione elettronica e i rivelatori in continuo. I primi due sono di tipo passivo, non necessitano di alimentazione elettrica per funzionare e misurano la concentrazione media di radon del periodo misurato. Gli altri sono di tipo attivo, possono disporre di una pompa di campionamento e consentono di monitorare l'andamento temporale della concentrazione di radon, in genere su tempi più limitati.

La scelta del tipo di rivelatore da utilizzare dipende dall'informazione desiderata (la concentrazione media di attività di radon o la sua variazione temporale) e dalla durata della misurazione: si definiscono *short term*, cioè a breve termine, le rilevazioni che effettuano misure di qualche giorno o settimana e *long term* quelle su lungo periodo (almeno qualche mese).

Le misure a breve termine (*short-term*) sono adatte a dare una prima e immediata indicazione di massima sulla concentrazione di gas presente in un ambiente, con il limite che tale concentrazione si riferisce al solo

periodo di effettuazione della misura, è fortemente influenzata dai numerosi parametri, anche meteorologici e stagionali, e non può essere ritenuta rappresentativa delle reali concentrazioni medie. Questo tipo di misurazione è utile soprattutto quando si vuole progettare e/o conoscere l'efficacia di interventi di mitigazione con misure *ex ante* ed *ex post*; in questi casi le misure sono effettuate preferibilmente con monitor in continuo in grado di fornire informazioni quantitative sulle variazioni temporali delle concentrazioni di radon in un ambiente, anche in relazione alla eventuale attivazione o disattivazione di sistemi di ricambio d'aria o di altri interventi di mitigazione.

Le misurazioni a lungo termine (*long-term*), eseguite in normali condizioni di utilizzo e di ventilazione dei locali, sono quelle più adatte a determinare la concentrazione di radon presente in un ambiente. Per valutare la concentrazione media annua di attività di radon in un locale si eseguono di norma due misure semestrali consecutive, al fine di tener conto della variabilità stagionale e delle diverse condizioni meteorologiche.

Fermo restando quanto indicato al punto 3. a della Sezione I dell'Allegato II al D.Lgs. 101/2020, la scelta del metodo di misura può essere fatta in funzione dell'obiettivo e del tipo di informazione desiderata.

In Tabella 3 vengono indicate le principali tipologie dei dispositivi in uso per la misura della concentrazione di radon e le loro caratteristiche; la Tabella 4 fornisce ulteriori informazioni circa gli utilizzi di tali dispositivi.

Rivelatore	Tipo	Durata tipica del campionamento	Costo
a tracce	Passivo	long-term	Contenuto
elettretre	Passivo	short-term / long-term	Medio
ad integrazione elettronica	Attivo	short-term / long-term	Medio
monitor in continuo	Attivo	short-term	Elevato

Tabella 3 – Rivelatori di gas radon in aria e loro caratteristiche

Obiettivo	Tipo di misura	Dispositivo
Valutazione dell'esposizione	Misura integrata nel tempo	1, 2, 3, 4
Test preliminare finalizzato alla progettazione e verifica di misure di risanamento	Monitoraggio in continuo	4

Tabella 4 - Principali metodi e dispositivi in uso per misure di radon in ambienti residenziali

IL RADON NEGLI EDIFICI

Meccanismi di ingresso

La principale sorgente di radon negli edifici è il suolo, in particolare nelle aree in cui si sono riscontrati valori di concentrazioni elevati negli edifici.

Spesso lo strato superiore del terreno è scarsamente permeabile costituendo una barriera per la risalita del radon nell'edificio; tuttavia, la penetrazione delle fondamenta nel terreno può creare canali privilegiati di ingresso del gas all'interno degli edifici.

La risalita del gas radon dal suolo verso l'interno dell'edificio avviene per effetto della lieve depressione, causata essenzialmente dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio, in cui viene a trovarsi l'interno dell'edificio rispetto all'esterno per fenomeni quali l'"effetto camino" (Figura 6) e l'"effetto vento" (Figura 7); tale depressione provoca un "risucchio" dell'aria esterna, anche dal suolo, verso l'interno dell'edificio.

Il fenomeno è più significativo quanto maggiore è la differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio.

La differenza di pressione può essere amplificata dalla presenza di venti forti e persistenti, i quali investendo l'edificio direzionalmente, possono creare forti pressioni sulle pareti investite e depressioni su quelle non investite, accentuando il "richiamo" di aria dal suolo verso l'interno dell'edificio ("effetto vento").

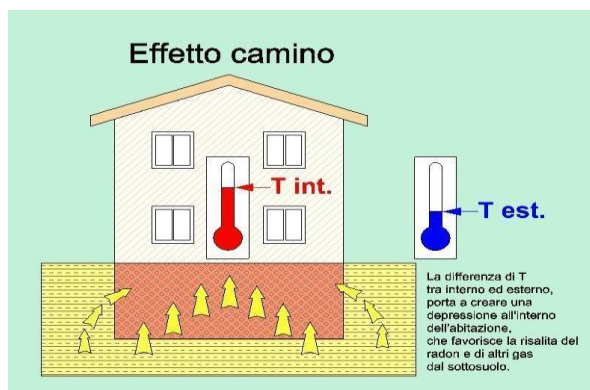


Figura 6: Effetto camino

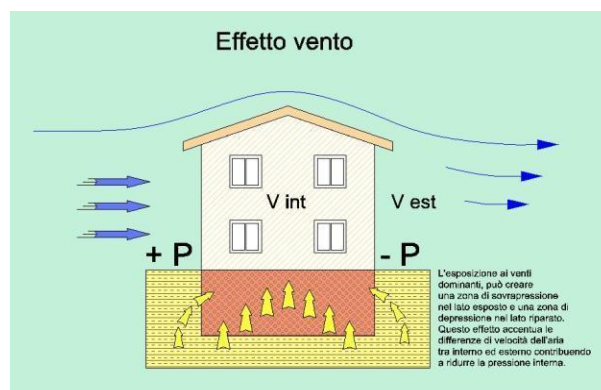


Figura 7: Effetto vento

A causa della dipendenza dalle differenze di temperatura e di velocità dell'aria, la concentrazione di radon indoor è variabile a seconda delle condizioni meteorologiche e può presentare sensibili variazioni sia giornaliere che stagionali.

Il radon tende a diminuire rapidamente con l'aumento della distanza degli ambienti abitati dal suolo; si avranno quindi normalmente concentrazioni di gas radon più elevati nei locali interrati o seminterrati rispetto ai locali posti a piani rialzati.

La differenza di pressione può essere inoltre accentuata da fattori quali:

- impianti di aspirazione (cappe delle cucine, aspiratori nei bagni, ecc.) senza un sufficiente approvvigionamento di aria dall'esterno;
- presenza di canne fumarie senza prese d'aria esterna;
- mancanza di sigillatura delle tubazioni di servizio.



Figura 8: vie d'accesso per il radon

I materiali da costruzione

Anche alcuni materiali da costruzione possono essere causa di un significativo incremento delle concentrazioni di gas radon all'interno dell'edificio, a causa del loro contenuto di radionuclidi di origine naturale.

I materiali che possono costituire una sorgente significativa di radon indoor sono quelli caratterizzati da un elevato contenuto di Ra-226 (precursore del radon) e da un'elevata permeabilità al gas.

La Commissione Europea ha emanato un documento [RP 112] che indica che i materiali da costruzione non dovrebbero contribuire al superamento di concentrazione di gas radon pari a 200 Bq/m^3 negli edifici.

Numerosi sono gli studi che hanno approfondito tale tematica; le misurazioni del contenuto di Ra-226 nei materiali lapidei italiani hanno mostrato valori di attività specifica che vanno da meno di 1 Bq/kg a qualche centinaio di Bq/kg . In campioni di tipo sedimentario, come i travertini, si sono riscontrate le concentrazioni

più basse; valori più elevati sono stati invece osservati nei graniti e nelle sieniti (250-350 Bq/kg di Ra-226).

Un primo studio italiano [Righi 2006] ha misurato la radioattività naturale di un campione ristretto di materiali da costruzione comunemente usati in Italia; da tale rilevazione è emerso che sono numerosi i materiali che hanno un indice di rischio eccedente i valori di riferimento indicati dalla Commissione Europea. Tale indice di rischio è tuttavia da correlare alle proprietà del materiale ed al suo uso; lo studio infatti ha evidenziato che i materiali basaltici e i composti ceramici avevano valori di emanazione di radon più elevati rispetto ad altri materiali con i medesimi indici di rischio.

Un successivo studio [Trevisi 2012] condotto a livello europeo ha determinato i livelli di radioattività naturale di materiali edilizi provenienti da numerosi paesi europei ed ha valutato che numerosi sono quelli che superano i valori indicati dalla Commissione Europea; le misurazioni confermano una elevata concentrazione di radionuclidi naturali nelle pietre di origine vulcanica e di origine metamorfica.

In un più recente studio [Rapporto ISTISAN 17/36] sono state raccolte le misure di concentrazione di attività di radionuclidi naturali quali Ra-226, Th-232 e K-40 su circa 23000 campioni di materiali strutturali e informazioni su densità ed emanazione e/o esalazione del radon relative a circa 1500 campioni di materiali da costruzione o di loro componenti. I valori di attività specifica del Ra-226 si confermano molto variabili, ma tendenzialmente più alti nei materiali derivati da rocce ignee.

Caratteristiche dell'edificio e rischio radon

I principali punti attraverso i quali l'aria carica di gas radon riesce a penetrare dal suolo nell'edificio sono le aperture, le fessurazioni, i giunti o le superfici particolarmente permeabili.

A parità di presenza di radon nel suolo e di differenza di pressione interno – esterno, l'effettiva concentrazione del gas radon è fortemente influenzata dalle caratteristiche tecniche dell'abitazione così come dalle sue caratteristiche di fruizione e di gestione (Tabella 5).

Caratteristiche dell'edificio che aumentano la probabilità di ingresso di radon	
Scavo di fondazione	- effettuato minando la roccia - in area di riempimento, su ghiaia o sabbia - in terreni di fondazione con crepe o molto permeabili, anche se al di fuori delle aree a rischio radon
Attacco a terra	- contatto diretto del primo solaio e/o di alcune pareti con il terreno - mancanza di vespaio areato
Superfici permeabili	- pavimenti naturali in terra battuta, ciottoli, ecc. - solai in legno - pareti in forati - muratura in pietrisco
Punti di infiltrazione	- fori di passaggio cavi e tubazioni - giunti o fessurazioni in pavimenti e pareti - pozzetti ed aperture di controllo - prese elettriche nelle pareti della cantina - camini, montacarichi, ecc.
Distribuzione spazi	- locali interrati o seminterrati adibiti ad abitazione - presenza di scale aperte che conducono alla cantina
Fruizione	- nulla o scarsa ventilazione dei locali interrati - scarsa ventilazione dei locali abitati - lunga permanenza in locali interrati o seminterrati

Tabella 5: fattori che facilitano la presenza di radon indoor

L'utilizzo abituale di ambienti seminterrati o interrati (es. taverne, locali hobby) come spazi di vita quotidiana o a permanenza prolungata rappresenta una pratica diffusa in alcune aree del territorio, in particolare nel Nord Italia, per ragioni di tipo abitativo, culturale e climatico. Tali ambienti, spesso ben rifiniti e di ampie dimensioni, sono frequentemente impiegati per attività conviviali, ricreative o di studio/lavoro.

Tuttavia, i locali al di sotto del piano terreno presentano un rischio significativamente maggiore di accumulo di gas radon, oltre a criticità legate a umidità, muffe e scarsa ventilazione, che possono impattare negativamente sulla qualità dell'aria indoor e sulla salute degli occupanti.

In particolare:

- il radon penetra più facilmente in ambienti interrati a causa della prossimità con il suolo e della ridotta ventilazione naturale;
- l'umidità in eccesso può favorire la crescita di muffe indoor, associate a effetti irritativi e allergici;
- la ventilazione inadeguata comporta un accumulo di inquinanti chimici e biologici.

In questi casi si raccomanda un approccio precauzionale, soprattutto nei casi in cui bambini o soggetti fragili trascorrono molte ore in tali ambienti.

Si ritiene opportuno, inoltre, che vengano fornite indicazioni inerenti all'aerazione minima di tutti i locali di servizio, quali cantine, locali tecnici, ecc. posti al piano interrato o seminterrato, sottostanti locali con presenza di persone, poiché tali locali possono costituire ambienti in cui si accumula il gas radon, che inevitabilmente, successivamente può infiltrarsi nei locali al piano superiore. Tale aspetto raramente è disciplinato dai regolamenti di igiene comunali o dai regolamenti edilizi. Tali aperture di aerazione, fatto salvo impedimenti tecnici, dovrebbero essere collocate il più vicino possibile all'intradosso del solaio sovrastante.

Radon ed efficientamento energetico

Negli ultimi anni è risultata sempre più forte la volontà di migliorare le prestazioni energetiche degli edifici esistenti e dei fabbricati di nuova costruzione, al fine di ridurre l'impatto energetico-ambientale e favorire al contempo la creazione di ambienti interni salubri.

Tuttavia, le riqualificazioni per l'efficientamento energetico ambientale degli edifici, che portano a "sigillare" l'edificio al fine di evitare le dispersioni termiche, possono indurre effetti negativi sulla qualità ambientale interna.

Tra le diverse sostanze nocive che possono accumularsi negli ambienti chiusi, la presenza del gas radon è di grande rilevanza. In particolare, gli interventi di efficientamento energetico che comportano l'isolamento completo e omogeneo dell'edificio, compresi i balconi, le finestre, i tetti, i muri, le porte e i pavimenti, se non abbinati ad un adeguato sistema di ventilazione degli ambienti interni, possono comportare l'aumento della concentrazione di radon negli ambienti.

L'analisi della letteratura scientifica recente evidenzia infatti una diretta connessione tra i livelli di radioattività nelle abitazioni e le nuove pratiche di costruzione di nuovi fabbricati e di ristrutturazione di edifici preesistenti, a causa della maggiore ermeticità e quindi della minore permeabilità dell'edificio. Inoltre, il non corretto posizionamento dei pannelli isolanti sulle pareti esterne potrebbe favorire la risalita del radon nell'intercapedine tra il cappotto termico e il muro e quindi l'ingresso nell'edificio attraverso fessurazioni nell'involucro.

Più in generale, l'isolamento termico degli edifici, se non associato ad una adeguata ventilazione e in correlazione con altre abitudini e stili di vita, quali l'uso di prodotti per la casa e il fumo di tabacco, potrebbero compromettere seriamente la qualità dell'aria interna, accrescendo la concentrazione di radon indoor, derivante anche dagli stessi componenti dei prodotti da costruzione, nonché di agenti pericolosi (bioeffluenti, particelle, VOC, SVOC, muffa/umidità), provenienti dai rivestimenti di finitura, dalle vernici e dagli arredi.

Nell'ambito delle azioni di mitigazione, pertanto, la combinazione di un involucro edilizio altamente ermetico e di un sistema di ventilazione meccanica o naturale con recupero del calore sono fondamentali per migliorare la qualità dell'aria interna e ridurre il potenziale di radon indoor, senza compromettere l'efficienza energetica dell'edificio.

2 - SVILUPPI INNOVATIVI, SOLUZIONI APPLICABILI, DATI E DOCUMENTAZIONE RELATIVA A PROGETTI REALIZZATI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO RADON INDOOR FINALIZZATE

TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE

Il fattore su cui è più immediato e semplice intervenire per ridurre le esposizioni al gas radon nelle abitazioni è quello legato alla tipologia e alla tecnologia costruttiva dell'edificio.

Le tecniche di controllo dell'inquinamento indoor da gas radon possono essere schematicamente riassunte in:

- **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).

È chiaro che, per quanto sia indispensabile evitare l'ingresso del gas radon nelle abitazioni e luoghi di lavoro, si deve parimenti provvedere all'allontanamento di quello che, malgrado le misure contenitive, riesce a superare le barriere. L'isolamento degli stabili dovrebbe essere progettato a senso unico consentendo un continuo ricambio d'aria con l'esterno al fine di abbattere la concentrazione di radon superstita alle misure.

Barriere impermeabili

Si tratta di una tecnica applicabile prevalentemente nella nuova edificazione ma adattabile anche in edifici esistenti e consiste nello stendere sull'intera superficie dell'attacco a terra dell'edificio una membrana impermeabile che separi fisicamente l'edificio dal terreno. In questo modo il gas che risalirà dal suolo non potrà penetrare all'interno dell'edificio e devierà verso l'esterno disperdendosi in atmosfera (Figura 9).

È una tecnica che già viene normalmente eseguita in diversi cantieri allo scopo di evitare risalite dell'umidità capillare dal terreno. Spesso, tuttavia, la membrana viene posta solo sotto le murature (membrana tagliamuro per evitare il rischio di umidità sulle murature a piano terra) ma per essere efficace anche nei confronti del gas radon deve essere posata su tutta l'area su cui verrà realizzato l'edificio e senza soluzione di continuità prevedendo termosaldature tra i fogli e sovrapposizioni laddove necessario.

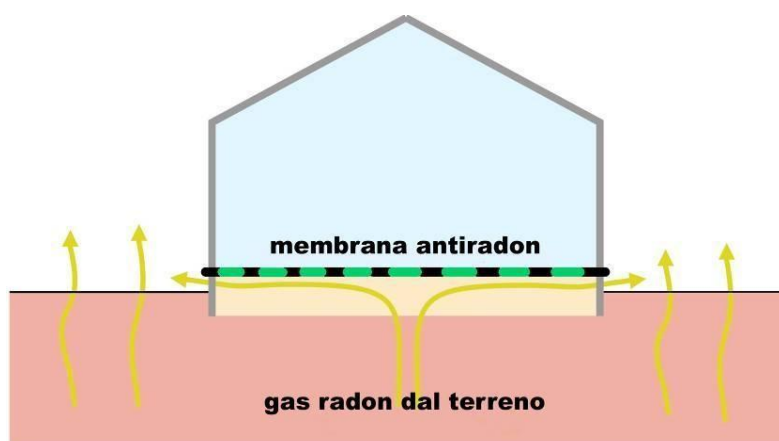


Figura 9: una membrana impermeabile antiradon di separazione fra l'attacco a terra e l'edificio è un sistema efficace nei confronti dell'ingresso del radon nelle abitazioni, purché attentamente posata.

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 perforazione 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 10).

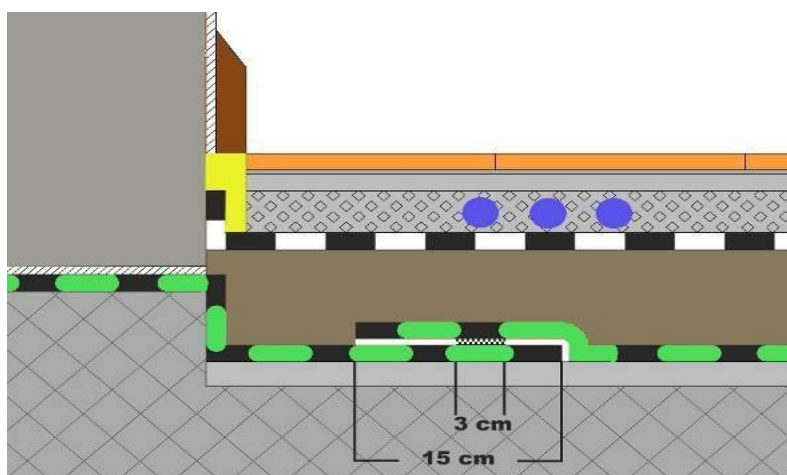


Figura 10: la membrana posta sulla superficie orizzontale andrà sovrapposta per circa 15 cm sulla membrana tagliamuro e sigillata o incollata per una perfetta tenuta all'aria.

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:

- direttamente nel terreno al di sotto o al perimetro dell'edificio in caso di costruzioni il cui solaio a terra poggi direttamente sul terreno senza alcuna intercapedine, vespaio, locale interrato e seminterrato o altri volumi fra locali abitati e terreno. In pratica si tratta di intercettare, con un sistema di aspirazione, le fratture, i vuoti, le porosità 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.

Laddove al piano terra siano presenti locali di servizio (autorimesse, cantine, lavanderie) sarà possibile effettuare uno scavo al centro dell'edificio e canalizzare il gas all'esterno (Figura 11).

Se le finiture interne o le destinazioni d'uso non consentono questa tipologia di intervento, il punto di aspirazione può essere applicato nell'immediato perimetro dell'edificio, ovviamente con una minore efficacia nei confronti della superficie dell'edificio e quindi valutando l'opportunità di due o più punti contrapposti di aspirazione (Figura 12);

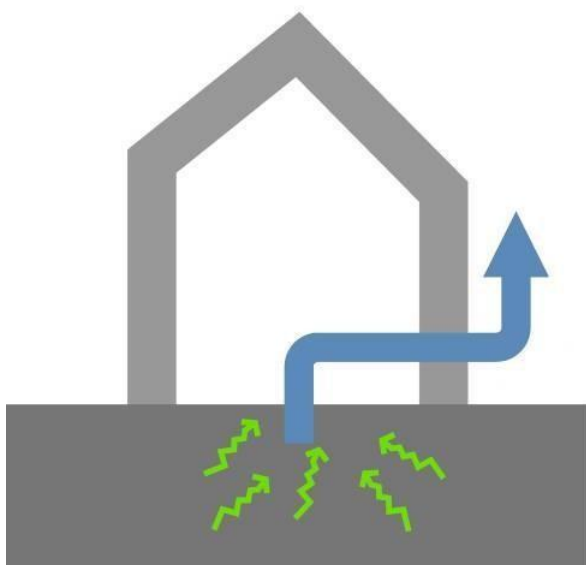


Figura 11: depressione del sottosuolo sotto l'edificio

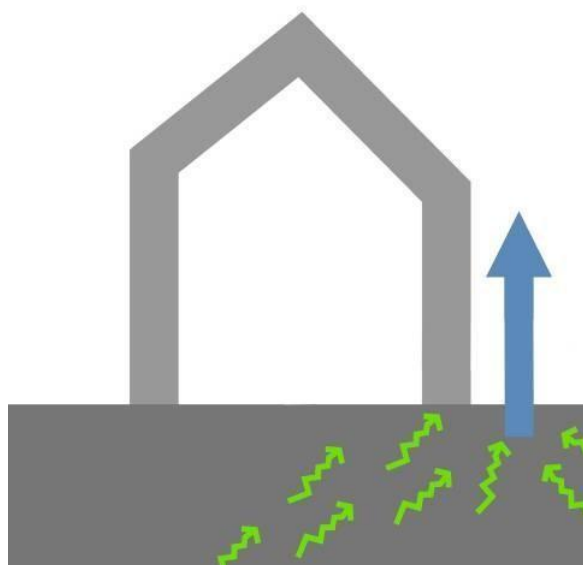


Figura 12: depressione del sottosuolo con aspiratore perimetrale

- all'interno di un volume preesistente, per esempio un vespaio, che funge da volume da mettere in depressione e che intercetta ed espelle il gas prima che entri nell'alloggio (Figura 13);

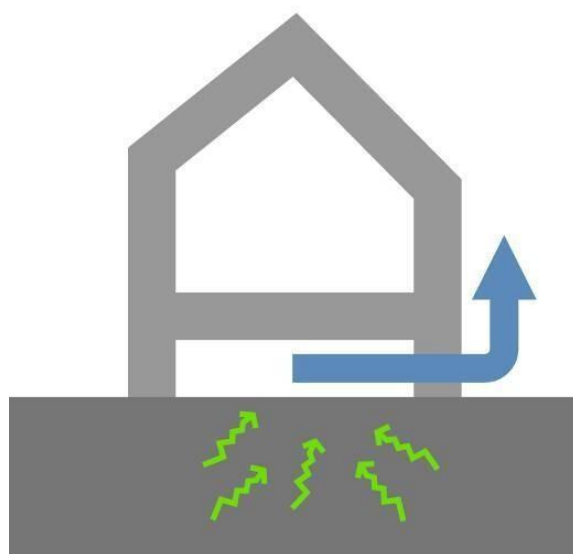


Figura 13: depressione del volume del vespaio

- 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 (Figure 14 e 15). Le aperture di comunicazione con l'appartamento sovrastante dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria.

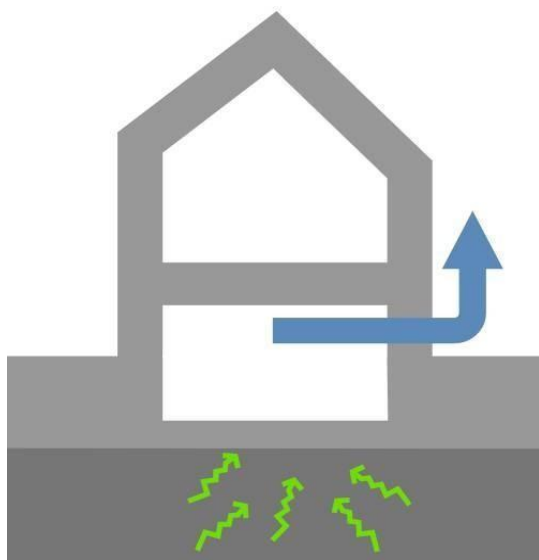


Figura 14: depressione di un volume tecnico sotto l'edificio

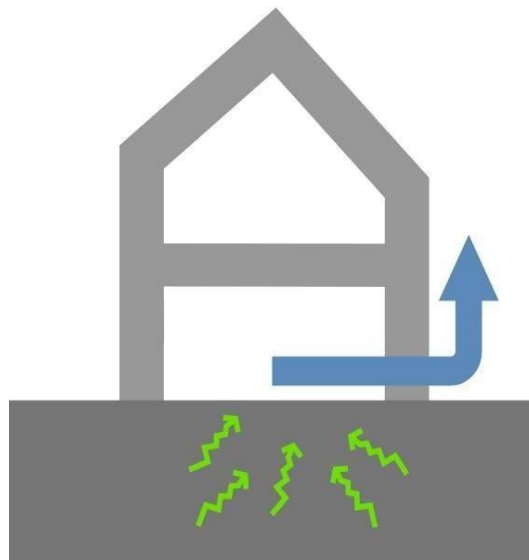


Figura 15: depressione di un volume tecnico alla base dell'edificio

In caso di **edifici di nuova costruzione** l'impianto di aspirazione che mette in depressione la base dell'edificio potrà essere solo predisposto, come già detto, e messo in funzione in caso di esito positivo della presenza del gas radon.

Dato che la maggiore efficacia si ottiene con una aspirazione direttamente sotto l'edificio, le tecniche applicabili sono essenzialmente due:

- posizionare al di sotto dell'edificio un pozzetto di aspirazione collegato a una canalizzazione di evacuazione fino al perimetro dell'edificio (Figura 16). Il pozzetto di aspirazione, o comunque un altro tipo di punto di suzione, dovrà essere collegato a una tubazione, generalmente in pvc, canalizzata all'esterno fuori terra. In caso di necessità (livelli di radon elevati) potrà essere collegato, alla tubazione che raggiunge il perimetro dell'edificio, un sistema elettromeccanico di aspirazione che metterà in depressione il sottosuolo intercettando il flusso di gas;



Figura 16: depressione del sottosuolo tramite pozzetto.

- laddove sia previsto un sistema di tubazioni di drenaggio dell'eventuale acqua di falda, il sistema di prevenzione di ingresso del radon potrà essere predisposto semplicemente unendo fra loro queste tubazioni e canalizzando una delle estremità all'esterno fuori terra (Figura 17). 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'accortezza dovrà essere quella di collegarle a serpentina in modo che un solo punto di aspirazione possa interessare tutta l'area su cui sorge l'edificio. Anche in questo caso l'aspiratore verrà installato solo in caso di verifica della presenza del gas in quantità eccessive prestando attenzione a che non interferisca con l'evacuazione dell'acqua.

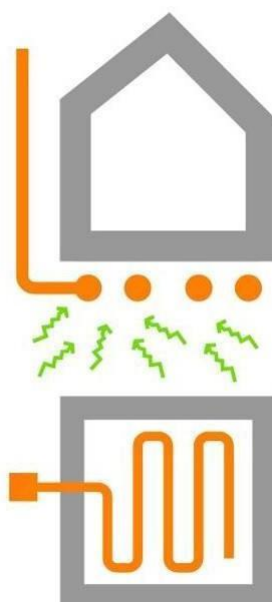


Figura 17: depressione del sottosuolo tramite tubazioni drenanti

- In entrambi i casi, trattandosi di nuove costruzioni sarà comunque sempre opportuno e particolarmente funzionale la messa in opera anche di una membrana impermeabile all'interno degli strati che costituiscono l'attacco a terra (Figura 18) che, già di per sé, costituirà un'efficace soluzione.



Figura 18: membrana impermeabile antiradon fra il terreno e l'edificio

Pressurizzazione alla base dell'edificio

L'inverso della tecnica precedente consiste nell'insufflare aria al di sotto dell'edificio per creare una zona di sovrappressione. In questo modo si crea un moto d'aria che tendenzialmente 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. Il radon, infatti, non esce dal terreno in pressione ma semplicemente per differenza di pressione fra edificio e terreno.

Si tratta quindi della medesima tecnica della depressione nel quale viene semplicemente invertito il flusso del ventilatore sulla canalizzazione.

È una tecnica prevalentemente adatta al patrimonio edilizio esistente, in quanto nelle nuove costruzioni la predisposizione di una barriera antiradon e di un sistema aspirante fornisce migliori risultati e necessita di un impianto dimensionalmente più limitato e quindi meno costoso e comportante consumi inferiori.

La pressurizzazione può avvenire direttamente nei confronti del terreno oppure di un volume-vespaio sottostante l'edificio (Figura 19);

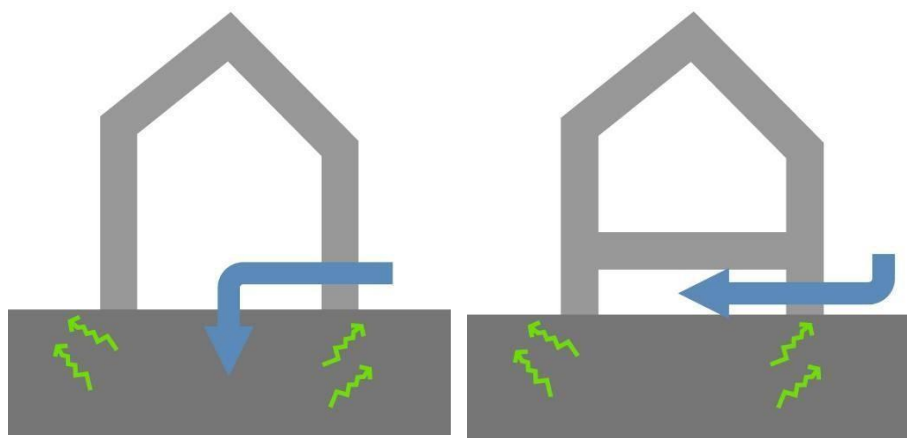


Figura 19: pressurizzazione del terreno o del vespaio

- è possibile anche creare una pressurizzazione all'interno di un locale posto a piano terra, oppure seminterrato o interrato (Figura 20). In questo caso, potrebbe anche essere un locale abitato e non esclusivamente un locale tecnico, in quanto la pressurizzazione impedisce l'ingresso del gas e la pressione interna non è così elevata da creare disagio agli abitanti. Sicuramente anche in questo caso le aperture di comunicazione del locale dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria, considerando comunque che la sovrappressione non è così elevata da spingere lontano il gas, ma tale da contrastare e invertire la naturale depressione che si crea fra terreno ed edificio;

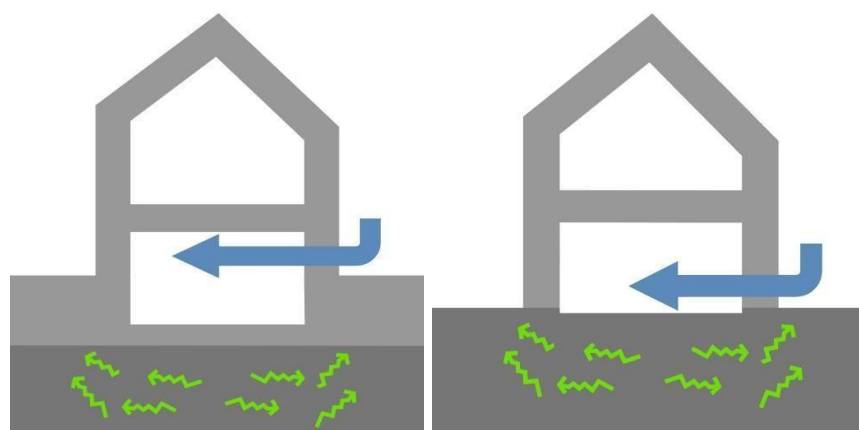


Figura 20: pressurizzazione di un locale tecnico alla base dell'edificio

- non si tratta invece di una soluzione funzionale la pressurizzazione del terreno al perimetro dell'edificio (Figura 21) 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

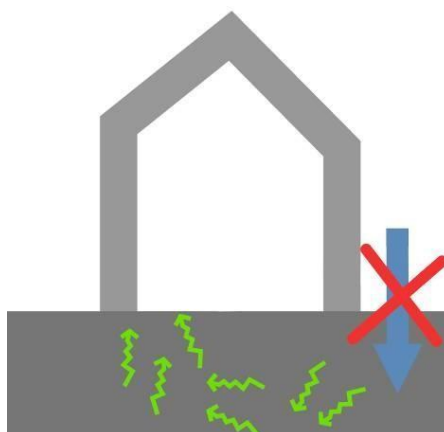


Figura 21: non pressurizzare il terreno al perimetro dell'edificio

Depressione o pressurizzazione?

Dopo aver visto le due tecniche principali di mitigazione dell'inquinamento indoor da gas radon, fondamentalmente 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 22) 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 (Figura 23);
- 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 (Figura 24). 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.

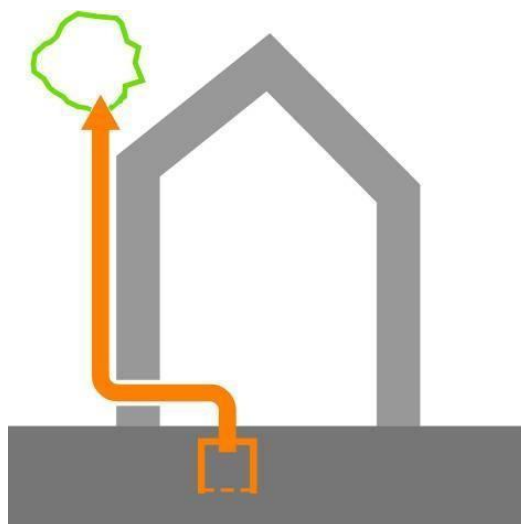


Figura 22: evacuazione del gas aspirato in quota oltre la linea di gronda dell'edificio



Figure 23 e 24: necessità della manutenzione dei punti di aspirazione dell'aria

Tipologie di vespaio

Il termine vespaio viene usato in edilizia per intendere differenti configurazioni dell'attacco a terra e non in maniera propriamente univoca:

- può essere un volume interamente vuoto o riempito parzialmente o totalmente con materiale di varia natura: macerie, terra, ghiaia, ecc.;
- può essere interrato, parzialmente interrato o fuori terra;
- può avere altezze diverse, da un minimo di circa 10 centimetri fino anche a 60-70 centimetri;
- può essere praticabile, nel senso di accessibile per ispezione-manutenzione impianti, verifiche del solaio a terra, ecc. nel caso sia ovviamente vuoto;
- lo scopo principale è quello di separare la casa dall'umidità del terreno e in alcuni Regolamenti Edilizi viene prescritto come soluzione tecnica obbligatoria anche con il nome di "vuoto sanitario", a sottolineare appunto la funzione igienica per il mantenimento di adeguati valori di umidità relativa degli ambienti sovrastanti;
- in alcune tipologie di costruzione può essere assente e l'edificio poggia direttamente con il solaio a terra sul terreno (costruzioni d'epoca di modesto pregio) oppure su platee di fondazione in calcestruzzo (con il medesimo scopo di costituire una barriera all'umidità).

Ai fini della riduzione delle concentrazioni di gas radon, 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 tali soluzioni:

- se il vespaio ha un volume completamente vuoto (Figura 25), 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;

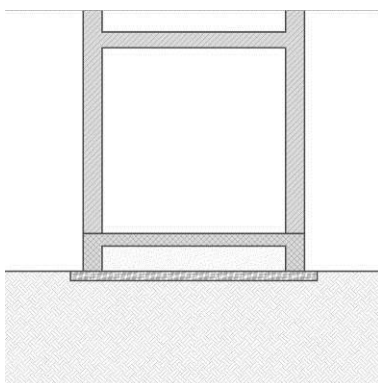


Figura 25: vespaio sotto l'edificio completamente vuoto

- 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 (Figura 26), sarà sufficiente individuare un punto idoneo per intercettare il volume;

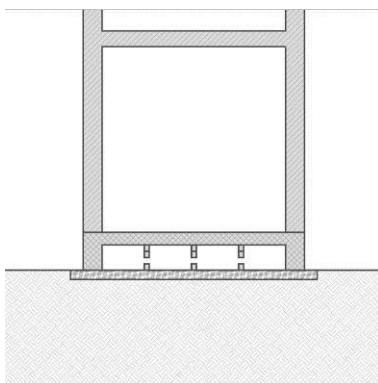


Figura 26: vespaio sotto l'edificio compartimentato aperto

- 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 (Figura 27);

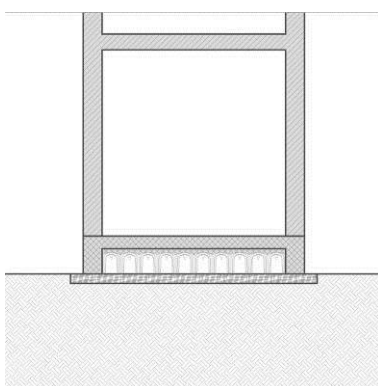


Figura 27: vespaio sotto l'edificio aperto con casseri a perdere in materiale plastico

- 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 (Figura 28), 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.

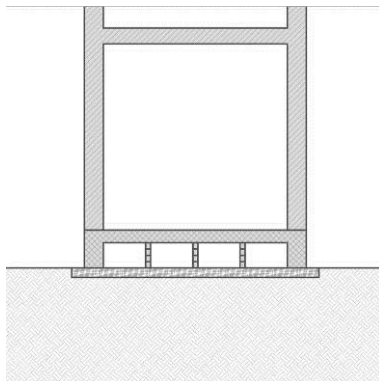


Figura 28: vespaio sotto l'edificio compartimentato chiuso

- se il vespaio è parzialmente o totalmente riempito con materiale di riporto, ghiaia, macerie, ecc. (Figura 29), 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 poggiante direttamente sul terreno in quanto, con ogni probabilità, non si potrà avere alcuna circolazione d'aria.

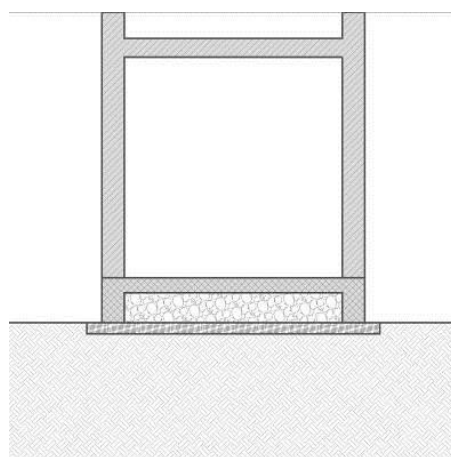


Figura 29: vespaio sotto l'edificio parzialmente o totalmente riempito

La linea separazione del “solaio a terra”

Gli schemi che seguono intendono fornire una prima classificazione delle possibili variabili che intervengono sulla linea che separa il gas dall'uomo (Figura 30).

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.).



Figura 30: il solaio a terra costituisce la linea di separazione fra volumi abitati e volumi non abitati

Depressurizzare o pressurizzare i vespai?

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 (Figura 31).

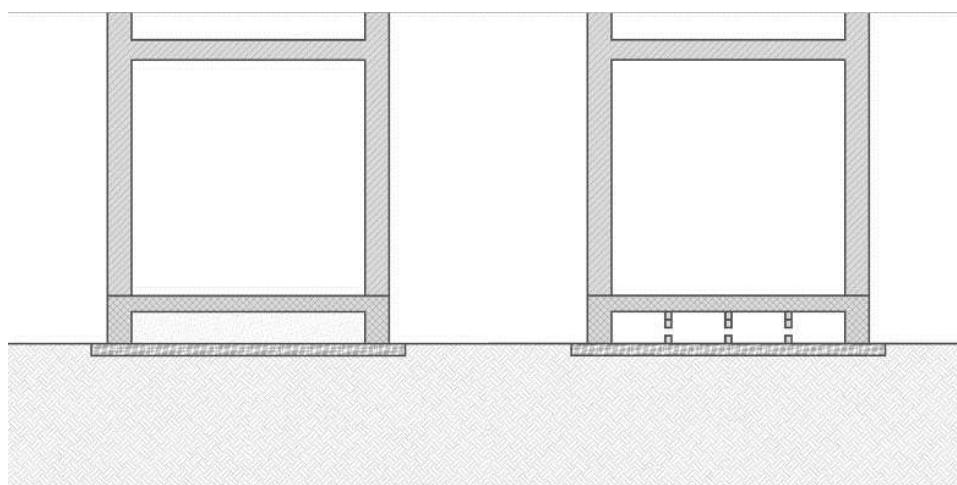


Figura 31: pressurizzare prevalentemente solo i vespai di volume ridotto, altrimenti meglio depressurizzare

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 (Figura 32). 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

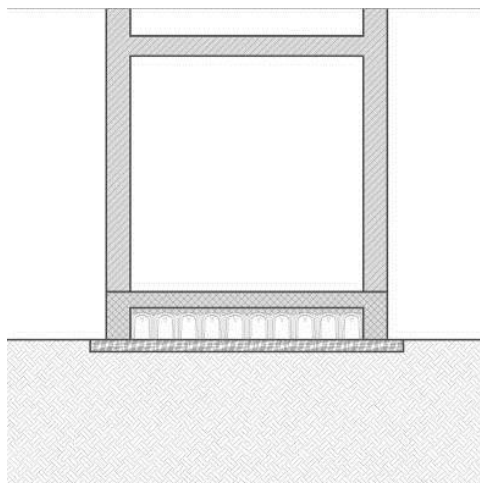


Figura 32: i vespai realizzati con casseri a perdere in materiale plastico hanno una buona tenuta all'aria

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 (Figura 33).

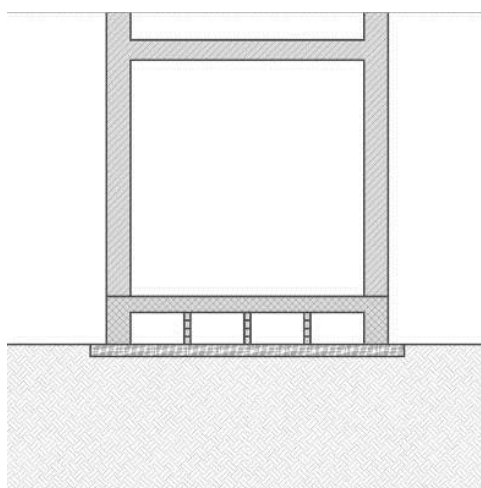


Figura 33: è sempre più opportuno depressurizzare i vespai compartimentati chiusi

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 poggiante direttamente sul terreno (Figura 34).

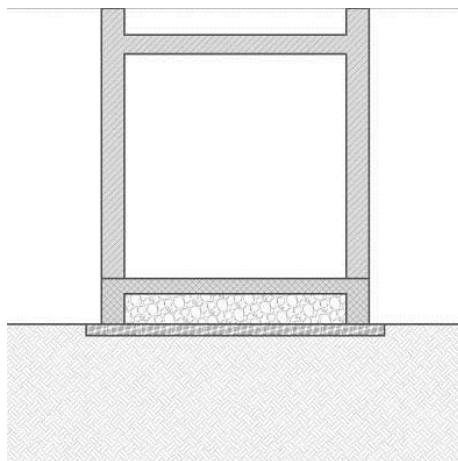


Figura 34: i vespai parzialmente o totalmente riempiti con materiale di riporto o terra possono essere pressurizzati o depressurizzati in funzione del riempimento.

Ventilazione naturale o ventilazione forzata?

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 aperture di aerazione permanente di 100-120 centimetri di diametro alla base perimetrale dell'attacco a terra (Figura 35). Laddove possibile è preferibile realizzare tali aperture nei prospetti nord e sud con l'accortezza di tenere più alti i fori a sud per una migliore aereazione.

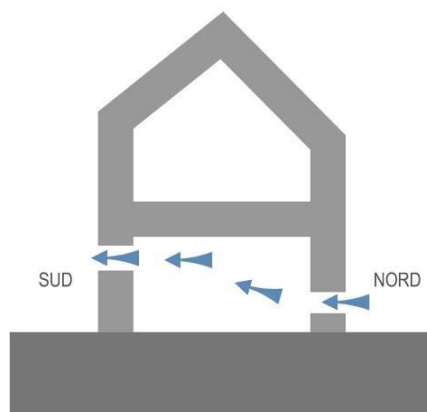


Figura 35: se il volume del vespaio è libero è possibile valutare la possibilità di una ventilazione naturale del volume.

Se i valori di concentrazione del radon ottenuti con questa tecnica non sono soddisfacenti e se desideri evitare l'uso di ventilatori, un sistema per incrementare la ventilazione naturale è quello di portare in quota una tubazione, oltre il cornicione di gronda (Figura 36), che grazie ai venti dominanti e all'effetto Venturi riesca a migliorare l'effetto aspirante.

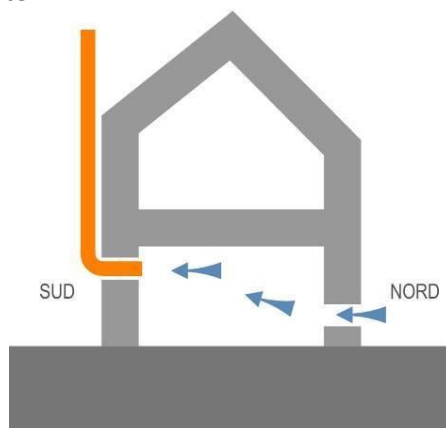


Figura 36: per incrementare la ventilazione naturale di un vespaio vuoto è possibile portare in quota la tubazione di evacuazione per innescare un effetto Venturi.

In mancanza di risultati soddisfacenti anche con questo accorgimento, è opportuno ricorrere alla posa di un ventilatore collegato alle tubazioni esistenti (Figura 37).

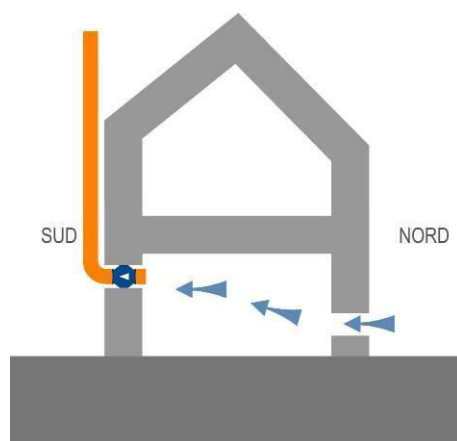


Figura 37: in mancanza di risultati adeguati con la ventilazione naturale sarà necessario utilizzare un ventilatore che potrà essere inserito nella canalizzazione già esistente

In caso di ventilazione naturale è indispensabile mantenere aperte una doppia serie di aperture di aerazione permanente contrapposte - di ingresso e di uscita dell'aria (Figura 38) – al fine di intercettare il gas ed espellerlo dai fori di uscita. Nel caso di ventilazione forzata risulta più conveniente sigillare fori di ingresso dell'aria per realizzare una maggiore depressione/pressione nei confronti del terreno; tale modalità è preferibile in caso di pressurizzazione (Figura 39).

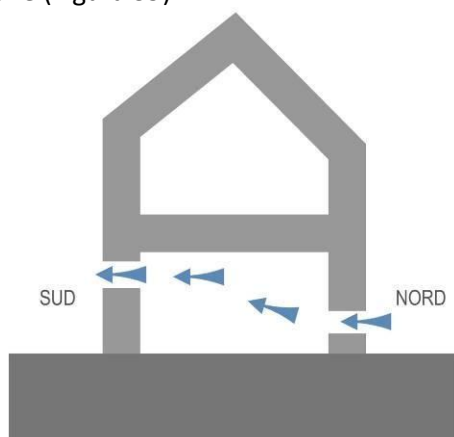


Figura 38: in caso di ventilazione naturale dovranno essere presenti aperture di aerazione permanente su due lati contrapposti dell'edificio, possibilmente nord-sud.

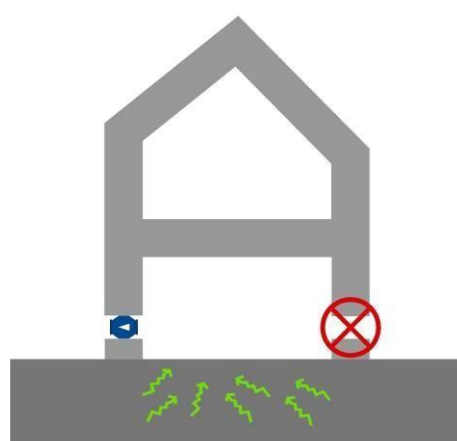


Figura 39: in caso di ventilazione forzata tramite ventilatore, dovrà essere presente la sola bocca di aspirazione e chiuse tutte le altre aperture di aerazione al perimetro, in modo che l'impianto agisca nei confronti del terreno e non sull'ingresso dell'aria dalla apertura contrapposta.

Temporizzazione degli impianti

Le potenze dei ventilatori utilizzati per pressurizzare o depressurizzare variano dai 20 ai 120 Watt con portate

da 200 a 1000 m³/h, a seconda della tipologia costruttiva, dei livelli di concentrazione del gas e della tecnica costruttiva dell'attacco a terra. In certi casi si tratta di potenze non modeste che possono portare a consumi energetici elevati.

È possibile anche temporizzare l'uso dei ventilatori in funzione dei livelli di concentrazione del radon indoor e soprattutto in funzione della velocità di discesa della concentrazione di radon dopo l'accensione e della sua velocità di risalita dopo lo spegnimento. Questo tipo di valutazione può essere fatto solo con una strumentazione di misura attiva.

Seguendo un preciso protocollo spento/acceso/spento dei ventilatori, deve essere effettuato un monitoraggio in continuo delle concentrazioni di gas radon. Si propone di seguito un protocollo di misura:

- spento, almeno 9-10 giorni in modo da comprendere un fine settimana
- acceso, almeno 9-10 giorni in modo da comprendere un fine settimana
- spento, almeno due giorni (ora fissa)
- acceso, almeno due giorni (ora fissa)
- spento, almeno due giorni (ora fissa)
- acceso, almeno due giorni (ora fissa)

} in modo da comprendere
un fine settimana

In questo modo si ottiene un andamento temporale delle concentrazioni di radon nelle diverse giornate e con ventilatori spenti e accesi (Figura 40), ma soprattutto si ottiene l'informazione circa la velocità di discesa del livello di radon dopo l'accensione e la sua velocità di risalita dopo lo spegnimento dei ventilatori.

La Figura 40 illustra un esempio dove sono visibili le variazioni di concentrazione che si registrano nel fine settimana, periodo durante il quale generalmente si modificano le abitudini di utilizzo degli edifici, e nel periodo diurno e notturno durante il quale gli scambi d'aria fra esterno e interno sono differenti.

Sulla base del monitoraggio temporale sarà quindi possibile valutare l'eventuale temporizzazione dei sistemi di ventilazione. Per esempio, se si tratterà di un edificio scolastico con presenza di personale e di alunni dalle ore 8 alle ore 16, i ventilatori potranno essere accesi dalle ore 06.00 alle ore 16.00 dei giorni in cui vi è attività scolastica, solo nel caso che l'attivazione dei ventilatori mostri significativi decrementi delle concentrazioni di gas radon nelle aule. Tale modalità gestionale consente notevoli risparmi in termini energetici.

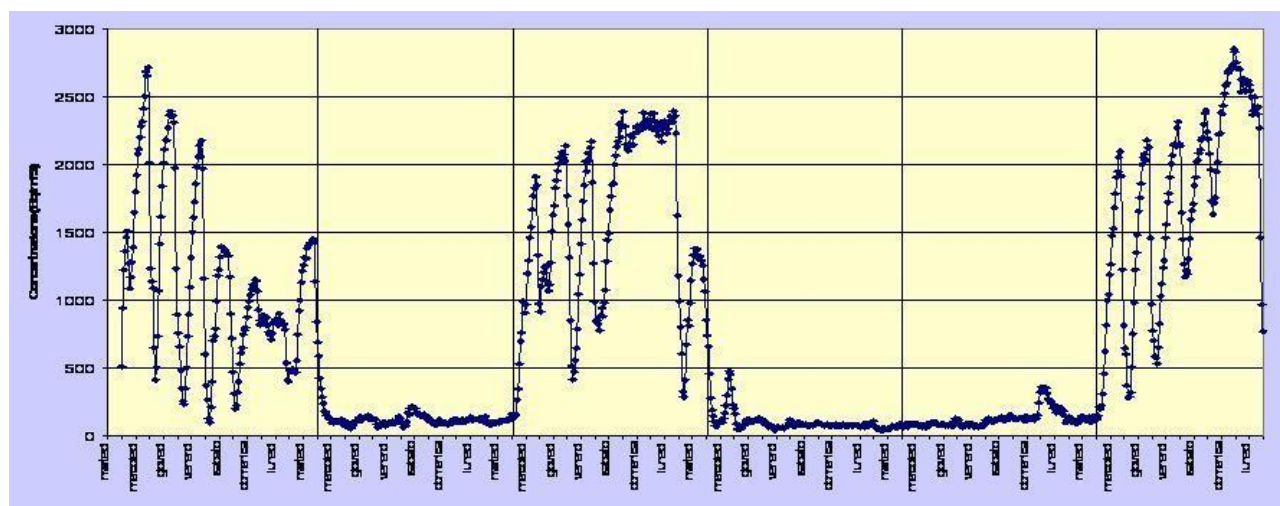


Figura 40: un esempio di andamento temporale della concentrazione del gas radon con ventilatori spenti durante il fine settimana in un edificio scolastico

Il problema rumore

Sistemi di ventilazione di una certa potenza possono generare rumori e vibrazioni che, nel tempo, possono diventare particolarmente fastidiosi.

Oltre alla possibilità di temporizzare gli impianti, con eventuale spegnimento nelle ore notturne laddove la concentrazione del gas e la destinazione d'uso dell'edificio lo consenta, un accorgimento opportuno è quello da adottare dei sistemi di fissaggio delle tubazioni e dei ventilatori che attenuino le vibrazioni e ne impediscano il trasferimento alle strutture dell'edificio (Figura 41).

A questo proposito in commercio sono disponibili diversi prodotti che permettono di fissare gli elementi in

modo da evitare trasmissione di vibrazioni. È anche possibile utilizzare sistemi di posa fonoassorbenti e fonoisolanti che consentono di rivestire le tubazioni degli impianti attenuando il rumore proveniente dalla sorgente (ventilatore).



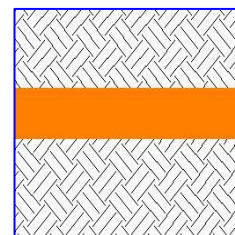
Figura 41: prodotti, materiali e sistemi per il fissaggio degli impianti e limitare la trasmissione di rumore e vibrazioni alle strutture dell'edificio.

TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE - SCHEDE

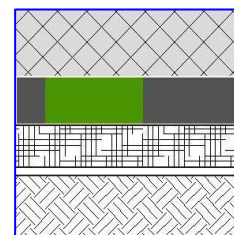
Negli schemi che seguono sono sintetizzate alcune soluzioni funzionali che rispecchiano modalità di intervento per la bonifica di edifici esistenti e la prevenzione delle nuove costruzioni.

Nei negli schemi grafici delle pagine successive, sono presenti alcune schematizzazioni grafiche interpretabili secondo la legenda che segue:

Tubazione in pvc, diametro normalmente 100-120 millimetri salvo altre esigenze di progetto.

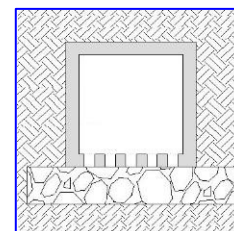


Membrana impermeabile verde/nera (bituminosa, pvc, polietilene, barriera al vapore, antiradon, ecc. in funzione del progetto) stesa sopra lo strato di magrone liscio, livellato e privo di asperità e massetto impiantistico superiore (o altro strato di completamento).



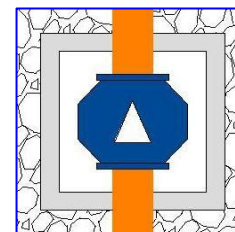
Pozzetto (in calcestruzzo, plastica, polietilene, ecc.) di dimensioni circa (50 x 50 x 50) centimetri aperto nella parte inferiore e posato su uno strato di ghiaia grossa di 10-12 centimetri di spessore.

È possibile impiegare anche un normale pozzetto in calcestruzzo “ribaltato”, ossia con la faccia aperta verso il basso.



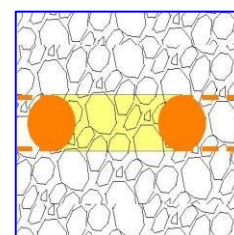
Pozzetto (in calcestruzzo, plastica, polietilene, ecc.) di dimensioni circa 50 x 50 x 50 centimetri e comunque idoneo ad alloggiare il ventilatore di progetto.

La tubazione in pvc potrà essere canalizzata su qualsiasi faccia del pozzetto in funzione del percorso previsto. Il coperchio del pozzetto nella parte superiore consentirà la messa in opera dell'impianto e la sua manutenzione. Andrà predisposto l'allacciamento elettrico.



Tubazioni drenanti (calcestruzzo, pvc, ecc.) presenti normalmente sotto le fondazioni di alcuni edifici per il drenaggio e l'allontanamento di eventuale acqua di falda in caso di risalita.

Il collegamento di queste tubazioni fra loro, nel momento della posa, consente di trasformarle in un sistema aspirante, laddove si verifichi la presenza eccessiva di radon, collegando una estremità a un ventilatore.



Tubazione in pvc, diametro normalmente 100-120 millimetri, salvo altre esigenze di progetto, all'estremità superiore collegata al ventilatore e destinata ad aspirare il radon nel terreno.

È aperta all'estremità inferiore e presenta una serie di aperture di aerazione permanente del diametro di 25-30 millimetri sul perimetro. È avvolta e protetta da un tessuto-non-tessuto per evitare che il materiale di riempimento dello scavo, ghiaia di grossa pezzatura, penetri nella tubazione.

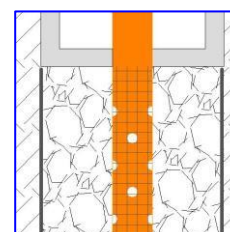


Figura 42: tecniche di prevenzione e mitigazione**SCHEDA RIASSUNTIVA: DEPRESSIONE – PRESSURIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO**

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.

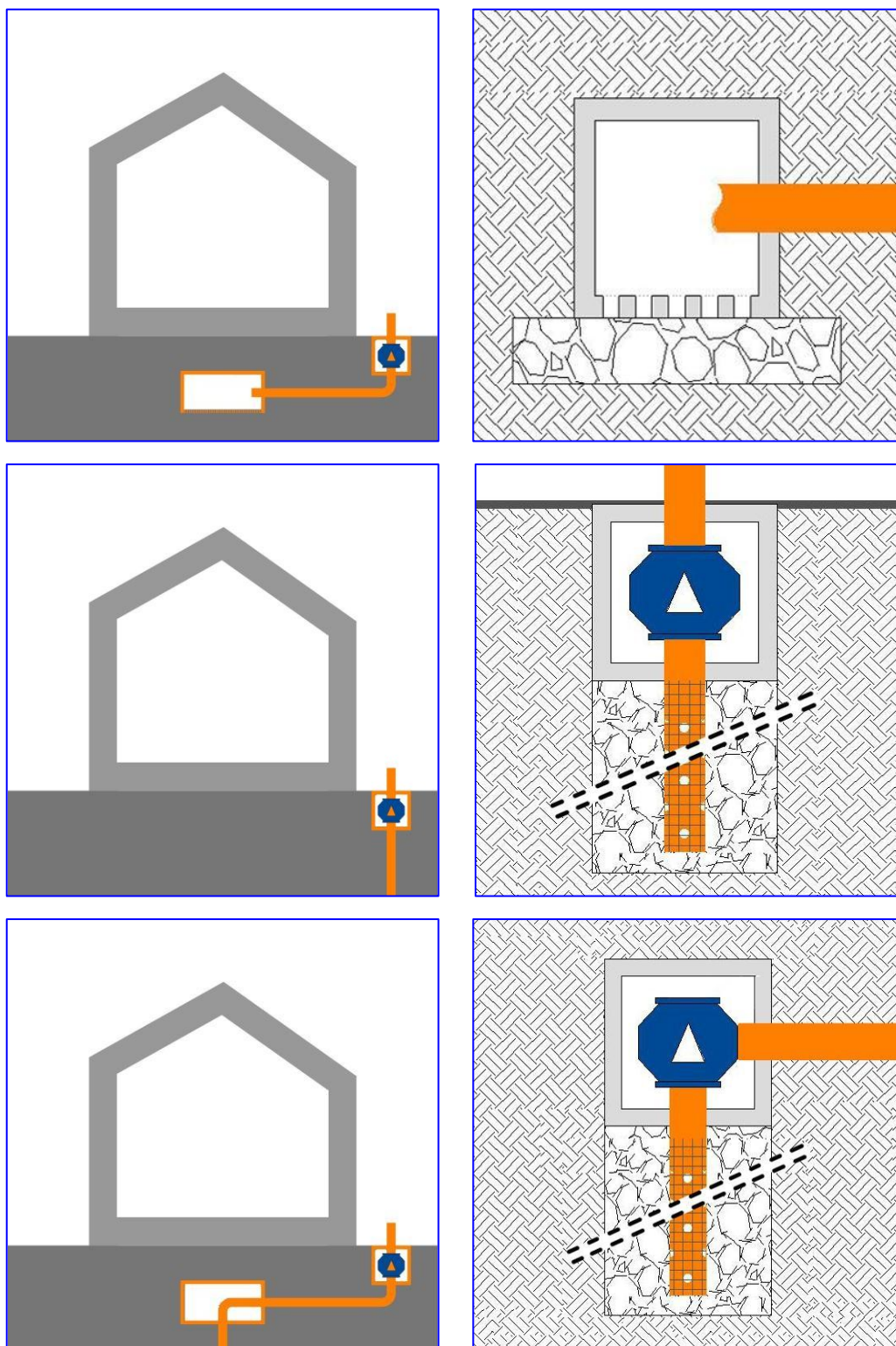


Figura 43: tecniche di prevenzione e mitigazione**SCHEDA RIASSUNTIVA: DEPRESSIONE – PRESSURIZZAZIONE DEI VOLUMI ALLA BASE DELL'EDIFICIO**

L'ingresso del radon può essere controllato:

- **aspirando** l'aria dal **vespaio** o da locali tecnici (fuori terra, seminterrati o interrati) sotto l'edificio, intercettando il gas ed evacuandolo in atmosfera prima che entri negli ambienti superiori;
- **insufflando** aria all'interno del **vespaio** o nei locali tecnici al di sotto dell'edificio per creare un volume in sovrappressione che impedisca al gas di uscire dal terreno e lo respinga al di fuori del perimetro dell'edificio.

Il vespaio o il locale tecnico fanno le veci di un pozzetto.

Il percorso di evacuazione del radon, in caso di impianto di aspirazione/depressione, può essere esterno o interno all'edificio in ragione di aspetti estetici e funzionali.

Nel caso di percorso interno il ventilatore andrà sempre posizionato verso l'estremità alta per mantenere l'intero condotto in depressione ed evitare rischi di perdite.

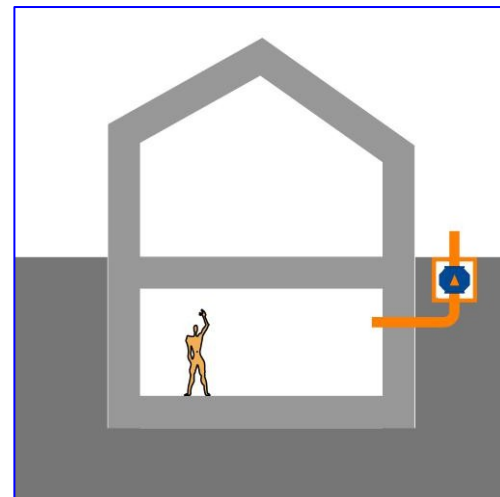
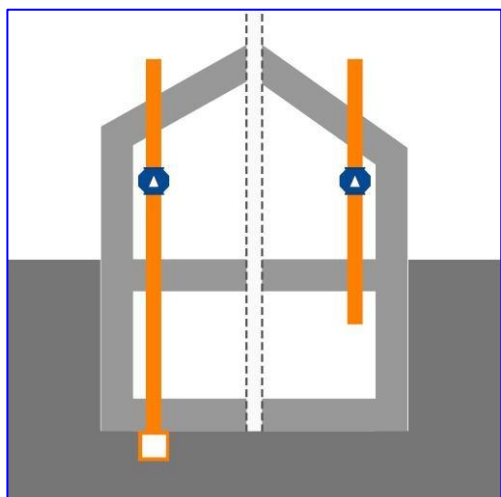
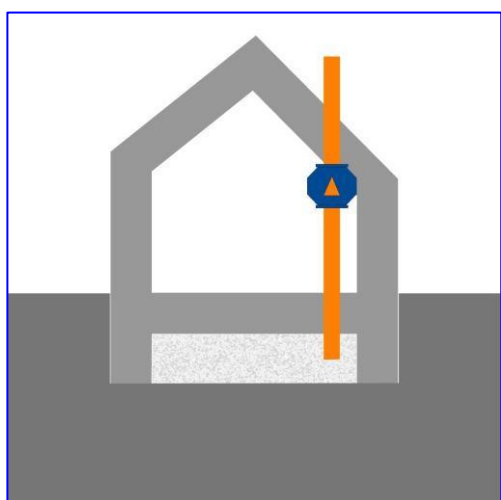
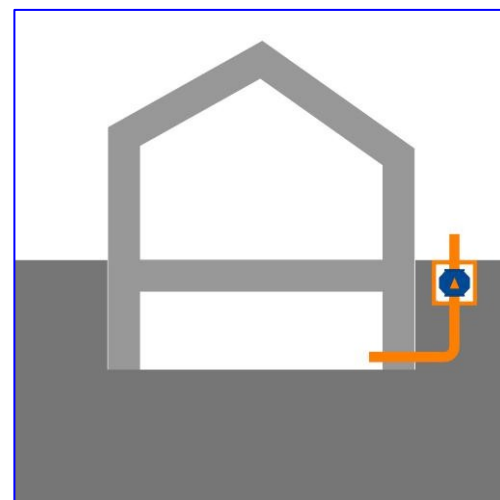
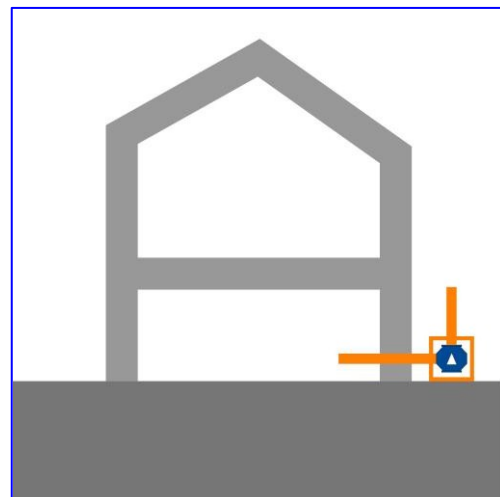
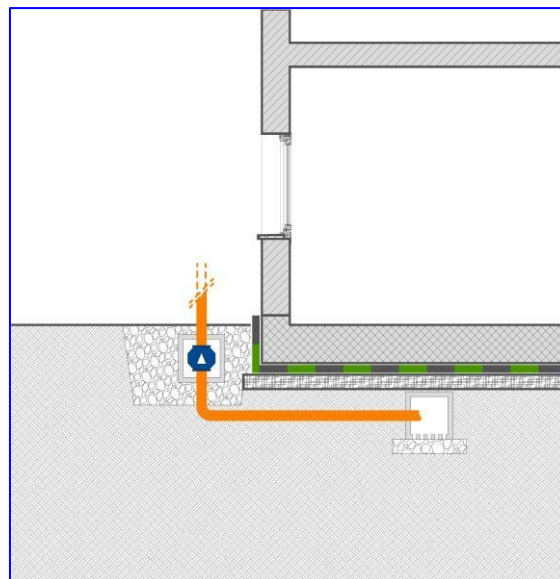


Figura 44: prevenzione nuova edificazione**VENTILAZIONE NATURALE O MECCANICA TRAMITE POZZETTO CENTRALE E MEMBRANA IMPERMEABILE**

In interventi di nuova edificazione risulta particolarmente semplice e poco oneroso predisporre un pozzetto al di sotto dell'edificio, subito prima del getto di magrone (o più pozzetti in funzione della superficie dell'edificio considerando che ogni punto di ventilazione agisce normalmente in un'area di circa 8 metri di diametro).

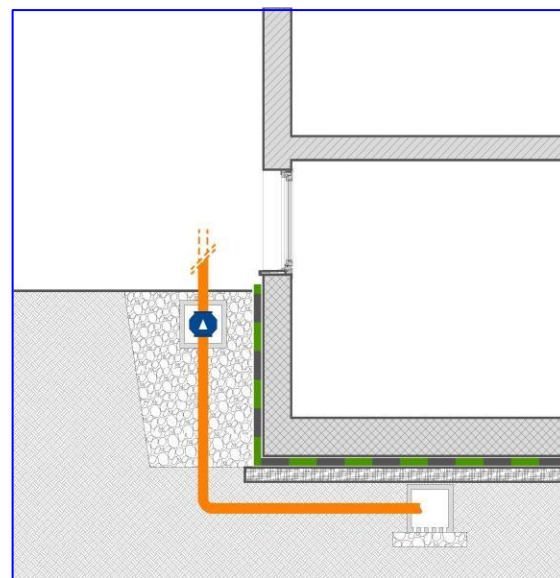
Il pozzetto è forato nella parte inferiore e poggia su uno strato di circa 10-12 centimetri di ghiaia grossa.

E' collegato a un secondo pozzetto situato al perimetro dell'edificio tramite una tubazione in pvc di almeno 100-120 millimetri di diametro. Questo secondo pozzetto viene chiuso con il proprio coperchio alla medesima quota del terreno, e quindi a vista, oppure leggermente interrato sotto un modesto spessore di terra restando comunque accessibile in caso di necessità. Lo scavo per la messa in opera di questo pozzetto potrà eventualmente essere riempito con ghiaia, terra, ecc.



Una volta conclusa la costruzione verranno eseguite delle misure per valutare il livello del radon eventualmente presente nell'abitazione. Laddove la concentrazione risulti sotto estremamente bassa anche in relazione agli usi previsti, l'impianto predisposto potrà non essere attivato. In caso di concentrazioni elevate, il secondo pozzetto al perimetro verrà invece aperto e servirà per l'alloggiamento di un ventilatore per la depressione/pressurizzazione del terreno sotto l'edificio tramite la canalizzazione predisposta e collegata al pozzetto aspirante sotto la casa.

- Per questo motivo è opportuno predisporre, nel secondo pozzetto al perimetro, una canaletta per l'eventuale collegamento elettrico del ventilatore e localizzare questo pozzetto in un luogo in cui sia poi facilmente possibile predisporre una tubazione di evacuazione del radon poco invasiva dal punto di vista estetico.



- La medesima soluzione è adottabile in edifici direttamente controterra o con locali seminterrati e interrati.
- In caso di nuove costruzioni risulta particolarmente funzionale abbinare sempre a questo intervento la posa di una membrana impermeabile, membrana che risalirà anche verticalmente sull'esterno della parete controterra in caso di ambienti interrati.

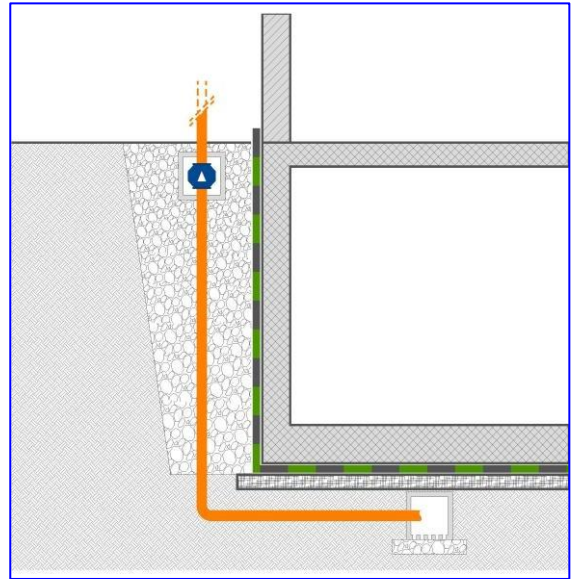
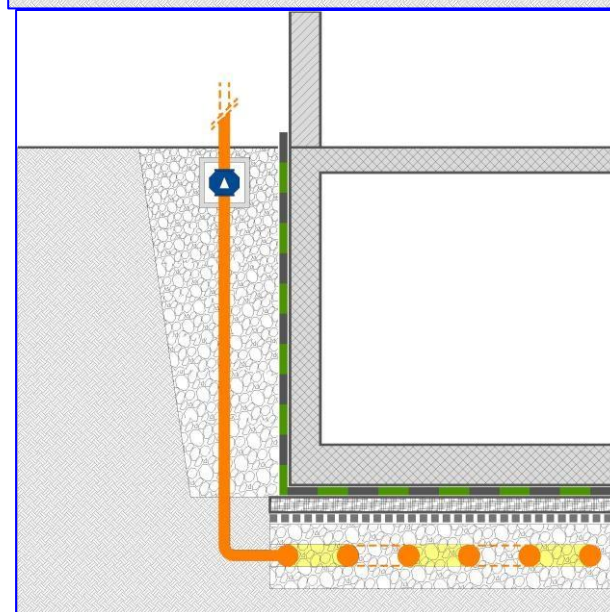
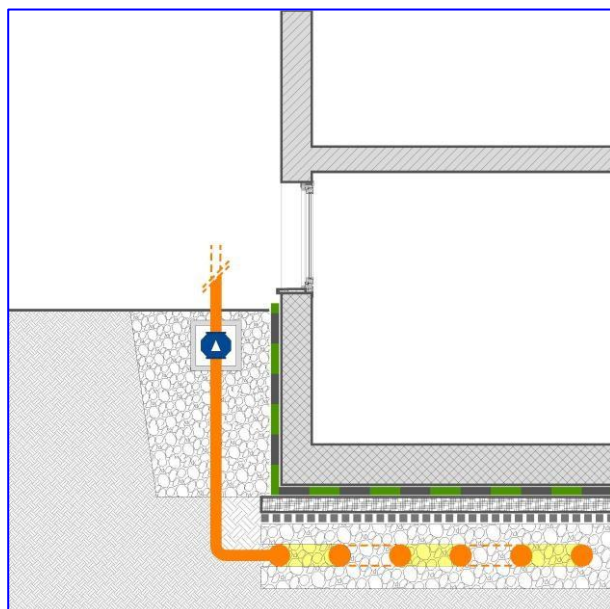
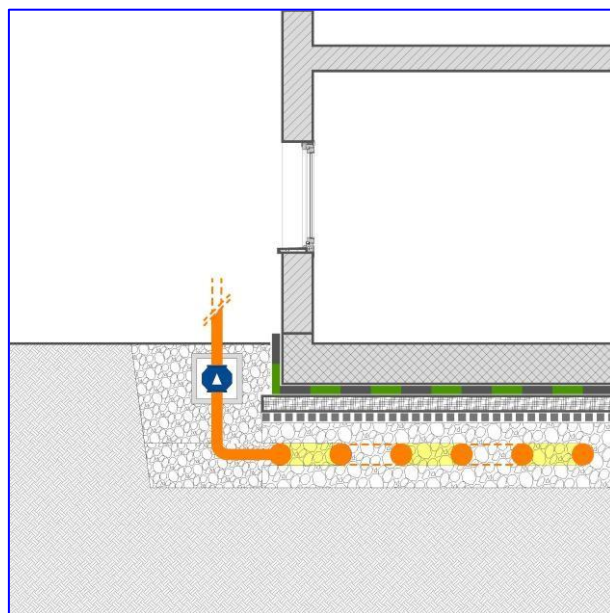
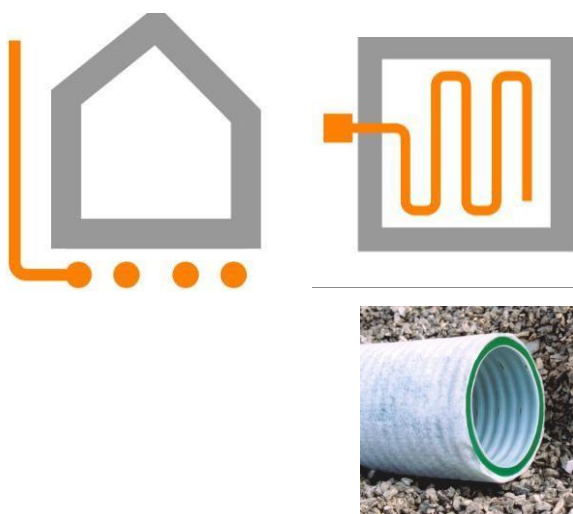


Figura 45: prevenzione nuova edificazione
ASPIRAZIONE MECCANICA TRAMITE TUBAZIONI DRENANTI E MEMBRANA IMPERMEABILE

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.



Una volta conclusa la costruzione verranno eseguite delle misure sul livello di radon presente ed eventualmente verrà alloggiato e messo in funzione un ventilatore come nel caso precedente.

- Per questo motivo è opportuno predisporre, nel pozzetto perimetrale, una canaletta per l'eventuale collegamento elettrico del ventilatore e localizzare questo pozzetto in un luogo in cui sia poi facilmente possibile predisporre una tubazione di evacuazione del radon poco invasiva dal punto di vista estetico.
- La medesima soluzione è adottabile in edifici direttamente controterra o con locali seminterrati e interrati.
- Risulta particolarmente funzionale abbinare sempre a questo intervento la posa di una membrana impermeabile, membrana che risalirà anche verticalmente sull'esterno della parete controterra in caso di ambienti interrati.
- Con questa tipologia di impianto la tecnica più opportuna pare essere quella della depressione in quanto la pressurizzazione deve agire su volumi troppo ampi e articolati con risultati di solito non soddisfacenti.

Figura 46: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: VENTILAZIONE NATURALE DEL VESPAIO CON CASSERI IN PVC E MEMBRANA

Fra le diverse tecniche costruttive del vespaio, è possibile l'utilizzo di casseri a perdere a incastro in pvc (igloo) sui quali viene poi effettuato in getto di completamente in calcestruzzo.

Nel caso di nuove costruzioni questa scelta risulta molto funzionale nei confronti della prevenzione da inquinamento indoor da gas radon, sia per l'incastro presente nei casseri che realizza già una prima tenuta all'aria, sia per la camera d'aria che si realizza al di sotto degli elementi che, collegata con l'esterno tramite una tubazione, consente la circolazione dell'aria nel volume del vespaio migliorando l'efficacia del sistema.

Se il vespaio si trova fuori terra possono essere sufficienti delle aperture di aerazione permanente al perimetro dell'edificio, possibilmente sui prospetti nord e sud per innescare una circolazione d'aria che potrebbe risultare sufficiente.

I fori sul prospetto sud dovranno possibilmente essere più in alto di quelli a nord per una migliore ventilazione naturale.

In caso di bonifica di costruzioni esistenti, ritrovare questa tipologia di vespaio facilita l'intervento. Se le aperture di aerazione permanente perimetrali sono già presenti, ma la concentrazione di radon è ancora troppo elevata, potrà essere collegato a una di queste aperture un ventilatore per incrementare la circolazione. Se non ci sono aperture di aerazione permanente presenti si potranno realizzare ed effettuare prima un tentativo solo con la ventilazione naturale.

Sicuramente un aiuto all'attivazione di un moto d'aria naturale per la ventilazione del vespaio può fornirlo una tubazione che, dal punto di suzione, arrivi in quota oltre il cornicione di gronda. In questo modo i venti dominanti e l'effetto Venturi potrebbero favorire l'attivazione di un sufficiente giro d'aria senza necessità di ventilatori.

- In caso di nuove costruzioni risulta particolarmente funzionale abbinare sempre a questa tipologia di vespaio la posa di una membrana impermeabile.
- Con questa tipologia di vespaio si ottengono risultati interessanti sia in depressione ma anche in pressurizzazione in quanto i casseri in pvc realizzano una buona tenuta nella parte superiore della camera concentrando l'effetto pressurizzante nei confronti del terreno.

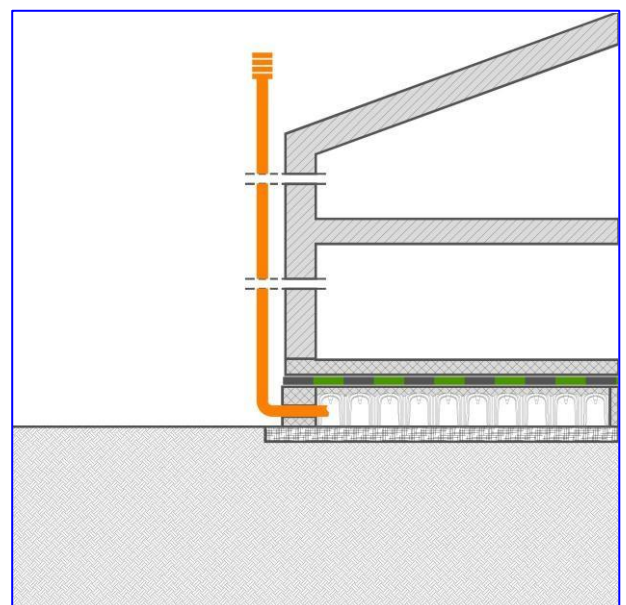
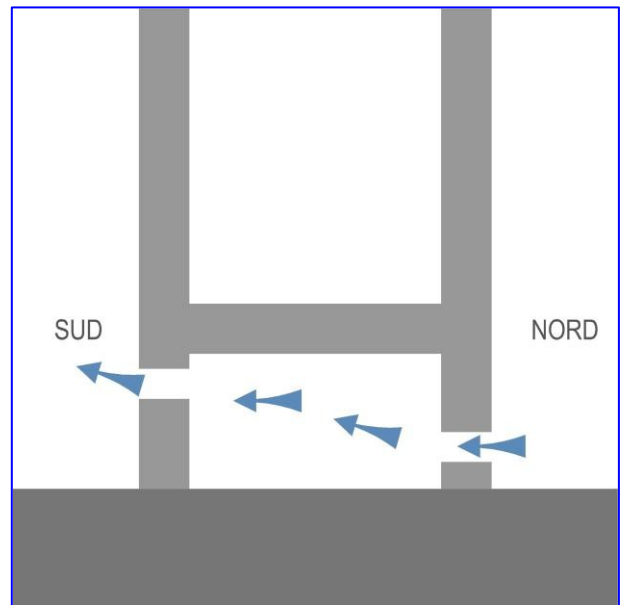
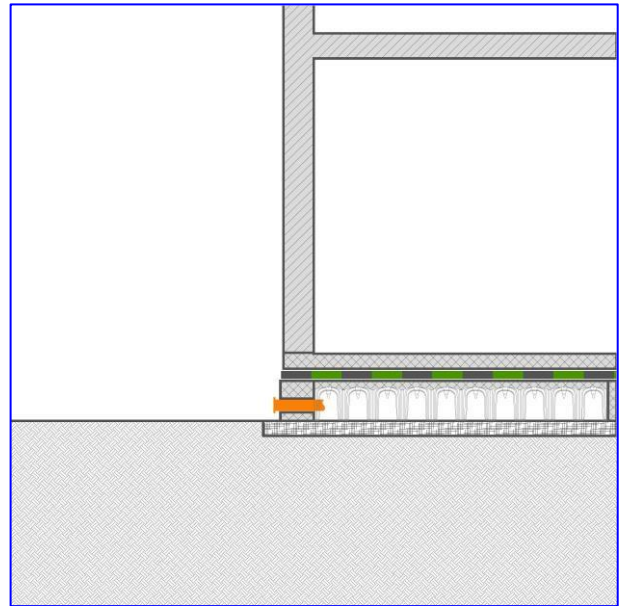
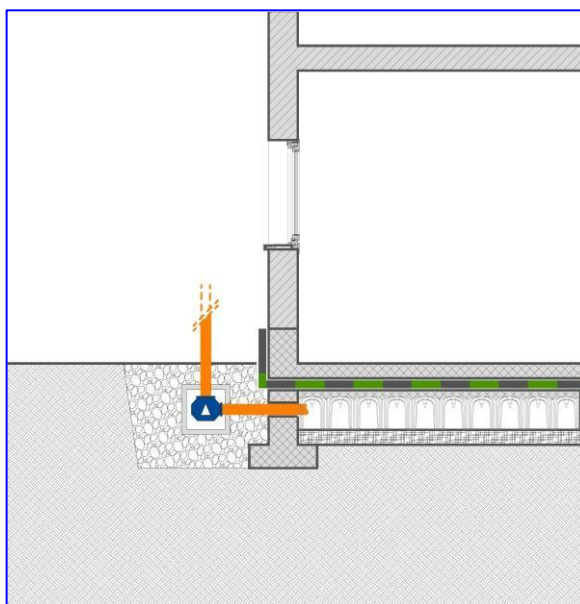


Figura 47: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: VENTILAZIONE MECCANICA DEL VESPAIO CON CASSERI IN PVC E MEMBRANA

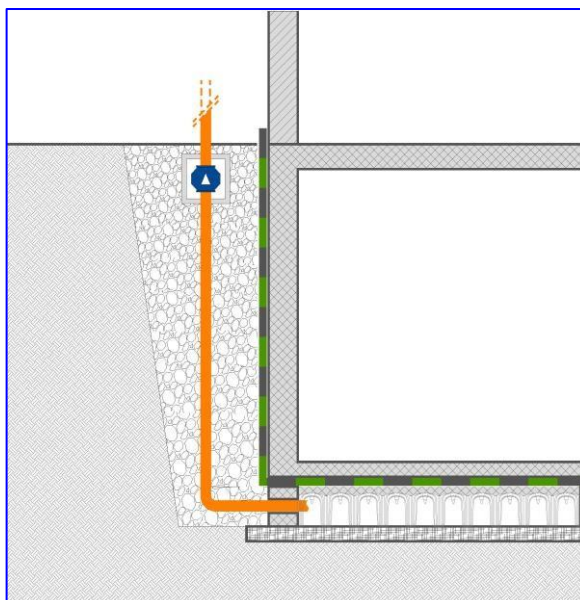
Se il vespaio si trova interrato, le perdite di carico causate dalle curve delle tubazioni spesso non consentono una ventilazione naturale, per cui sarà necessario predisporre un pozzetto limitrofo al vespaio nel quale alloggiare un ventilatore nell'eventualità si rilevino in seguito dei valori alti di inquinamento.

In caso di edilizia esistente, nota la tipologia del vespaio e la profondità non eccessiva, si potrà effettuare uno scavo per intercettare questo volume, canalizzandolo poi a un pozzetto con ventilatore.

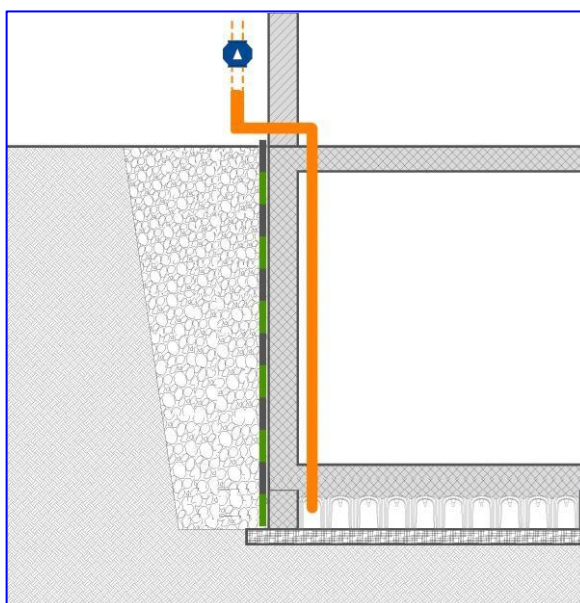


Se questa tipologia di vespaio sottostà a un volume interrato potrà essere predisposto un sistema ventilante in fase di costruzione.

In questo caso la membrana impermeabile risale anche lungo la parete esterna verticale.



Per l'edilizia esistente è improbabile effettuare uno scavo di tale profondità dall'esterno per interventi di bonifica, salvo particolari situazioni. Più semplice potrebbe essere intercettare il volume dall'interno e canalizzare la tubazione internamente in un cavedio, se le destinazioni d'uso degli ambienti lo consentono.

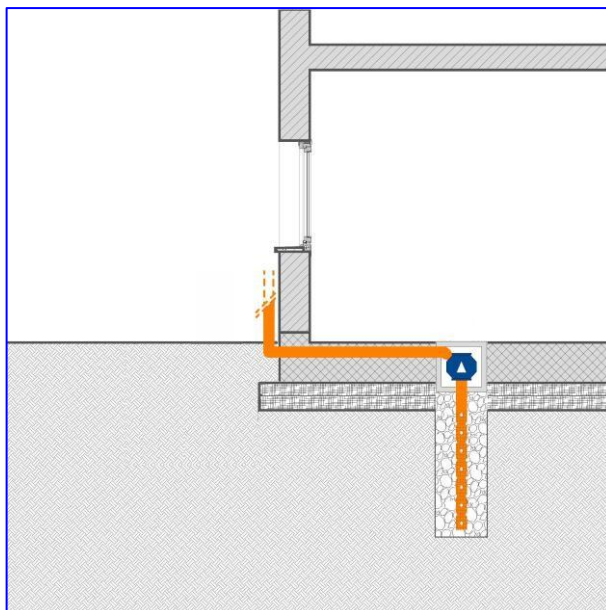


- In caso di nuove costruzioni risulta particolarmente funzionale abbinare sempre a questa tipologia di vespaio la posa di una membrana impermeabile.
- Con questa tipologia di vespaio si ottengono risultati interessanti sia in depressione ma anche in pressurizzazione in quanto i casseri in pvc realizzano una buona tenuta nella parte superiore della camera concentrando l'effetto pressurizzante nei confronti del terreno.

Figura 48: bonifica edilizia esistente
VENTILAZIONE TRAMITE POZZETTO CENTRALE O PERIMETRALE

In caso di interventi di bonifica su costruzioni esistenti il pozzetto potrà essere posizionato al di sotto dell'edificio laddove la destinazione d'uso dei locali, e in particolare il tipo di pavimentazione presente, consentano di effettuare uno scavo per il pozzetto e una traccia per la canalizzazione di evacuazione (per es. in autorimesse, cantine, locali tecnici, ecc.).

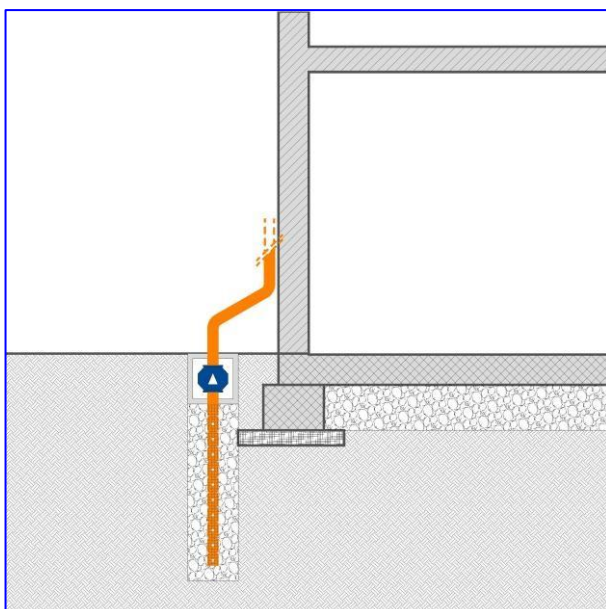
In alcuni casi un attento sopralluogo consente di individuare dei sottoscala, dei depositi o dei locali tecnici in cui è possibile questa installazione.



In caso contrario sarà necessario intervenire al perimetro dell'edificio esistente tenendo conto che l'area sulla quale agirà il sistema di ventilazione sarà per metà esterna all'edificio e quindi potrebbero essere necessari più ventilatori per bonificare l'intera costruzione.

In questo caso verrà effettuato uno scavo nel quale inserire una tubazione in PVC di 100-120 millimetri di diametro aperta all'estremità e con una serie di forature perimetrali di 25-30 millimetri di diametro. La tubazione sarà avvolta in un tessuto- non-tessuto per evitare l'ingresso di materiale nel tubo e lo scavo sarà poi riempito con ghiaia di grossa pezzatura.

In questo caso il pozzetto servirà per l'alloggiamento del ventilatore dal quale partirà poi la tubazione di evacuazione.



In caso di fondazioni continue (travi rovesce, cordoli) di una certa profondità il pozzetto posto perimetralmente all'esterno dell'edificio come nella soluzione precedente potrebbe non svolgere una funzione sufficientemente efficace (soprattutto in caso di pressurizzazione) in quanto la profondità della fondazione potrebbe costituire una barriera che impedisce che l'effetto dei ventilatori agisca nei confronti del terreno sotto l'edificio. In questo caso sarebbe necessario individuare un punto, sia pur perimetrale ma all'interno dell'edificio, dove collocare l'impianto. Sono valide entrambe le soluzioni del pozzetto e del tubo forato anche in funzione delle diverse possibilità di collocare il ventilatore.

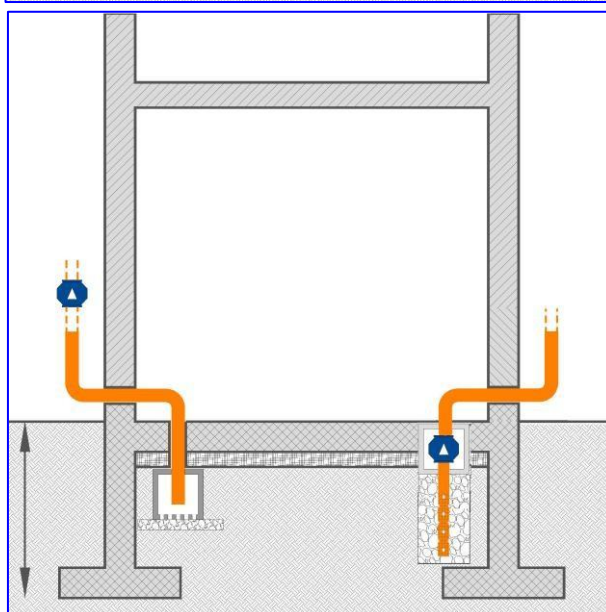


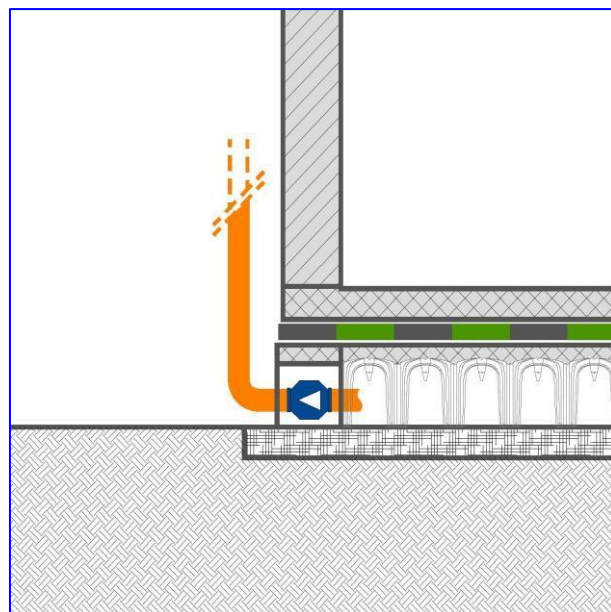
Figura 49: bonifica edilizia esistente
VENTILAZIONE MECCANICA CON VENTILATORE A SCOMPARSA NELLA MURATURA

Qualora sia necessario installare un ventilatore per la depressione/pressurizzazione del vespaio, è possibile inserirlo all'interno della muratura, se lo spessore è adeguato, rendendolo meno visibile e più protetto.

E' sufficiente una contenitore metallico simile ai quello dei contatori di altre utenze per contenere il ventilatore collegato al vespaio.

Dal medesimo punto può partire un finto pluviale anche in rame per l'evacuazione del gas fino almeno alla quota del cornicione sottogronda.

Adottando inoltre la tecnica della pressurizzazione l'impianto diventa meno invadente dal punto di vista estetico in quanto non necessita di tubazione di scarico in quota.



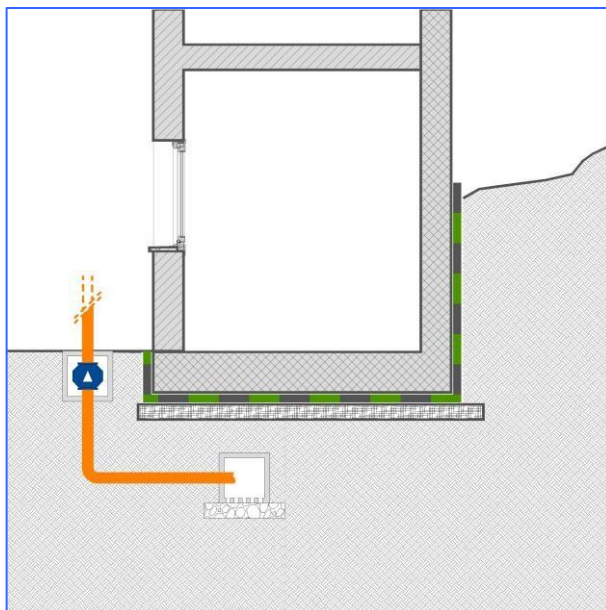
Oppure tutto l'impianto può essere collocato in esterno.

Figura 50: prevenzione nuova edificazione
PRESENZA DI MURATURE VERTICALI CONTROTERRA

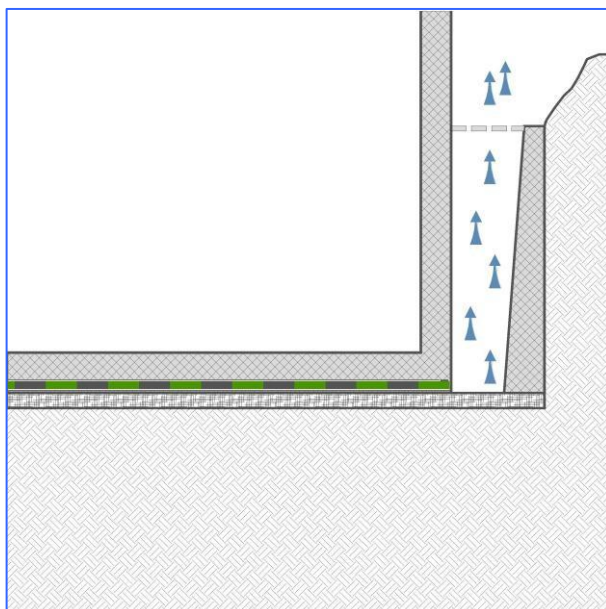
È possibile che alcune pareti perimetrali dell'edificio siano muri di contenimento controterra, soprattutto in caso di edificazione in terreni non pianeggianti.

In questo caso sarà sempre opportuna la predisposizione di un pozzetto al di sotto dell'edificio per l'attivazione di un sistema di depressione/pressurizzazione laddove si verifichi in seguito la presenza di radon.

La membrana impermeabile dovrà, in questo caso, risalire anche all'esterno del muro controterra per ovvie ragioni di umidità e anche per protezione di infiltrazioni di radon da questa superficie.



Soluzioni sicuramente più efficaci per quanto riguarda la protezione dall'umidità e anche da infiltrazioni di radon dalla muratura controterra consiste nel realizzare uno scannafosso fra terreno e muratura così da allontanare il terreno e attivare una buona circolazione d'aria. In questo caso la membrana verticale, peraltro sempre consigliabile, può anche essere evitata.



In alternativa allo scannafosso, più semplice da realizzare e meno invasiva, è la realizzazione di una parete controterra ventilata con appositi elementi ventilanti in plastica che realizzano una intercapedine che consente il transito dell'aria fra terreno e muratura.

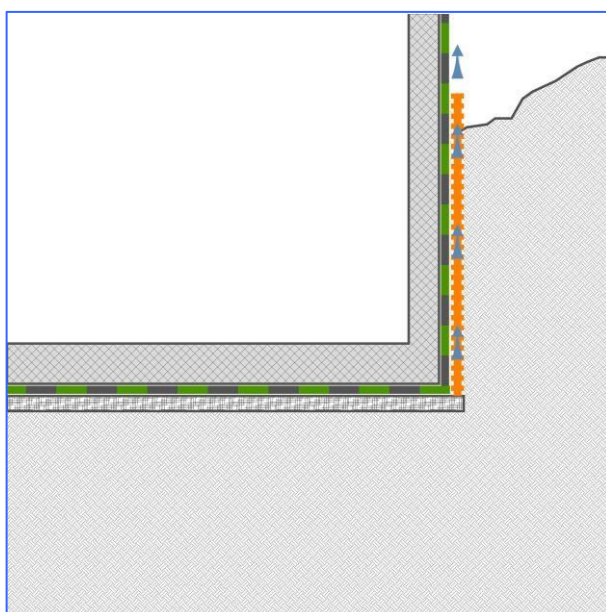


Figura 51: bonifica edilizia esistente
PRESENZA DI MURATURE VERTICALI CONTROTERRA

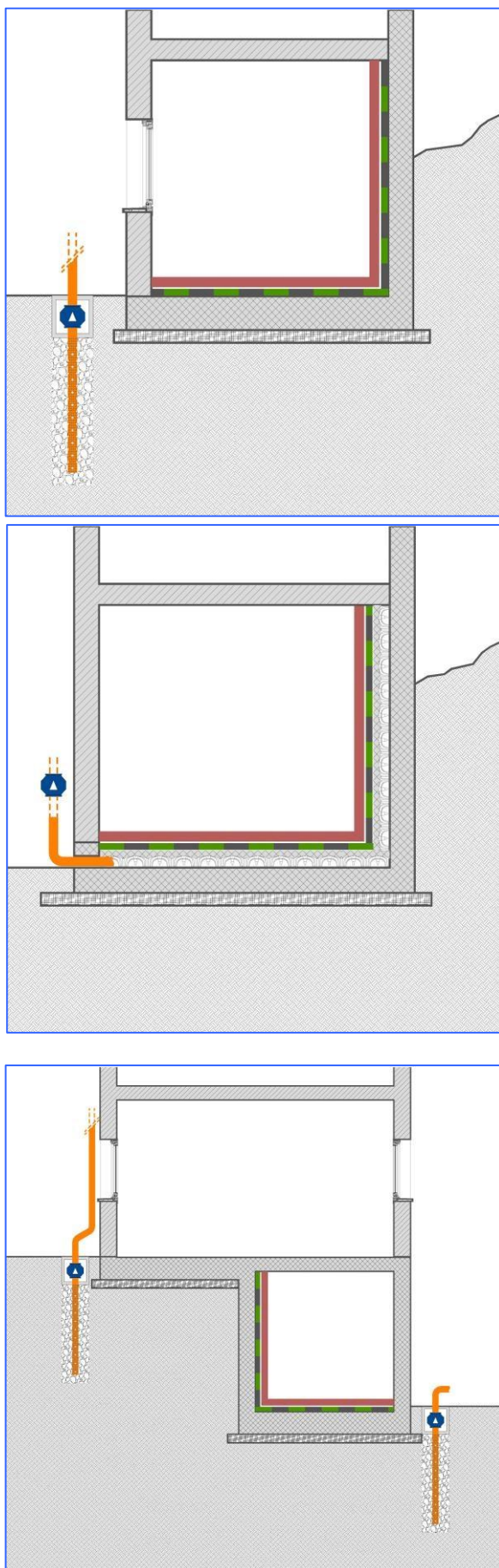
In caso di intervento su edifici esistenti nei quali siano stati riscontrati valori di radon oltre la soglia suggerita e che presentino alcune pareti perimetrali di contenimento controterra può essere sicuramente funzionale la messa in opera di un pozzetto al perimetro dell'edificio per la messa in depressione del terreno o dell'eventuale vespaio. Sconsigliabile la tecnica della pressurizzazione in quanto il gas respinto nel terreno potrebbe trovare un punto di ingresso lungo la parete verticale controterra. Lungo questa parete controterra, inoltre, per una efficace opera di mitigazione della concentrazione di radon, sarà necessario la messa in opera, con particolare cura, di una membrana impermeabile all'interno della muratura che, in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente, potrà essere lasciata a vista oppure protetta di una parete di rivestimento. Operazione analoga andrà eseguita sul solaio controterra con il rifacimento della pavimentazione.

In una situazione di questo tipo ancora più funzionale risulta la realizzazione di una intercapedine ventilata meccanicamente realizzata all'interno dell'edificio tramite la messa in opera di casseri a perdere in plastica (igloo) di basso spessore sia sul solaio a terra che sulla parete verticale controterra, previa messa in opera di una membrana impermeabile e con successivo rivestimento a pavimento e a parete.

Le tipologie edilizie riscontrabili in aree collinari o pedemontane possono essere particolarmente articolate, le cui pareti perimetrali verticali controterra, gli ambienti interrati e/o seminterrati spesso seguono l'orografia e le curve di livello del terreno.

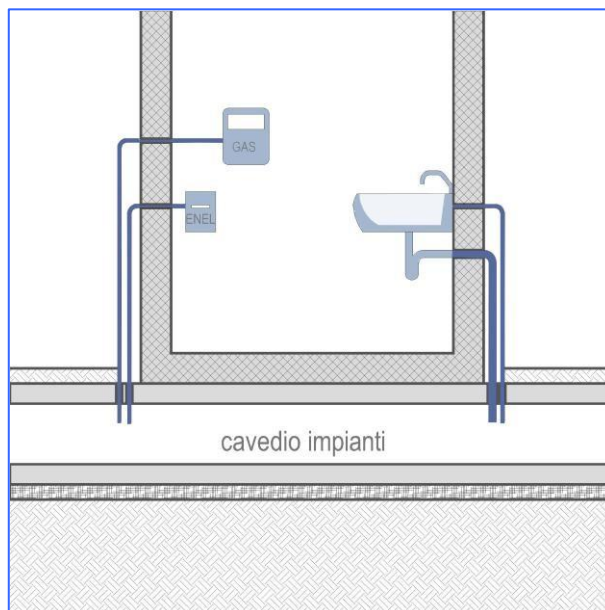
Le tecniche di bonifica per queste tipologie di edifici non sono così differenti da quelle presentate precedentemente; in questi casi si tratterà di applicare più tecniche in funzione dell'articolazione dell'edificio.

Particolare attenzione deve essere posta al fine di evitare che le tecniche adottate si contrastino a vicenda diminuendo le rispettive prestazioni.



**Figura 52: prevenzione nuova edificazione
SIGILLATURA DELLE TUBAZIONI IMPIANTISTICHE**

In caso di nuova edificazione è opportuno verificare la possibilità di far transitare le tubazioni degli impianti dalle pareti perimetrali verticali anziché dal solaio a terra. In questo modo si evitano rischi di transito del gas dal terreno attraverso i fori delle canalizzazioni e problemi di sigillature a tenuta d'aria.



In caso contrario, nell'edilizia di nuova costruzione, il passaggio delle canalizzazioni impiantistiche dovrà essere sigillato con la membrana impermeabile e antiradon tramite una flangia di raccordo, incollata alla membrana e al tubo ed eventualmente stretta con una fascetta da elettricista oppure con del nastro e prima della posa del massetto di allettamento della pavimentazione.

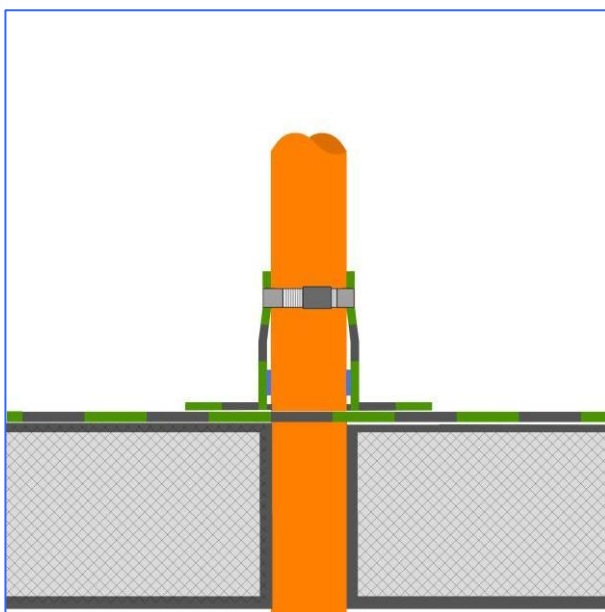
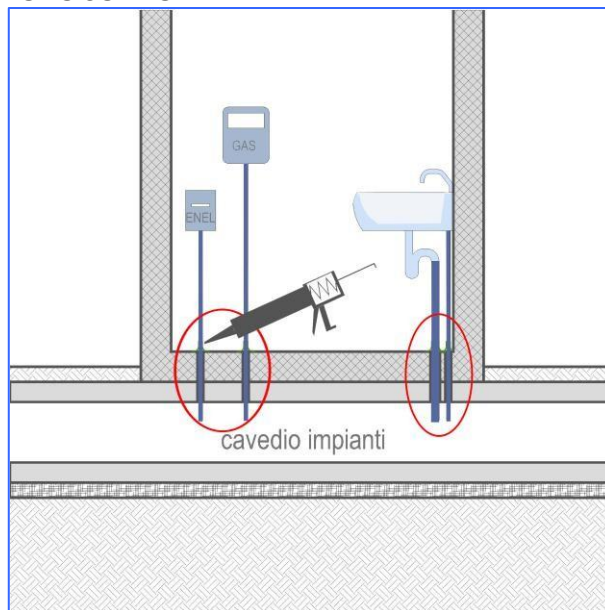
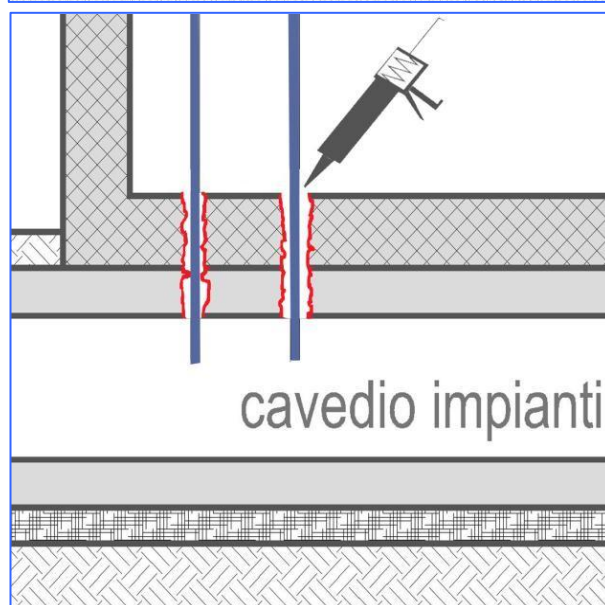


Figura 53: bonifica edilizia esistente
SIGILLATURA DELLE TUBAZIONI IMPIANTISTICHE E DEL NODO SOLAIO-PARETE

Un possibile punto di ingresso del radon dal terreno sono tutti i sottoservizi e gli impianti dell'edificio. I cavedi delle utenze comunali all'interno dei quali corrono le canalizzazioni dei servizi sono infatti dei luoghi in cui il radon si concentra e, da queste zone, può riuscire a passare nell'edificio attraverso le tubazioni di collegamento con gli impianti domestici.



Tutti questi passaggi, che costituiscono una frattura nell'attacco a terra dell'edificio e collegano il terreno con l'interno, dovrebbero quindi essere attentamente sigillati in caso di nuova edificazione ma anche e soprattutto in interventi di bonifica.



Anche le riprese di getto, le crepe lungo la linea di connessione fra parete verticale e solaio a terra, le fessure passanti nella pavimentazione, ecc. dovrebbero essere preliminarmente sigillate prima di un intervento di bonifica. Si tratta di un intervento quasi sempre di tipo non risolutivo ma finalizzato ad attenuare il flusso di gas verso l'interno e da abbinare poi ad altre tecniche di bonifica.

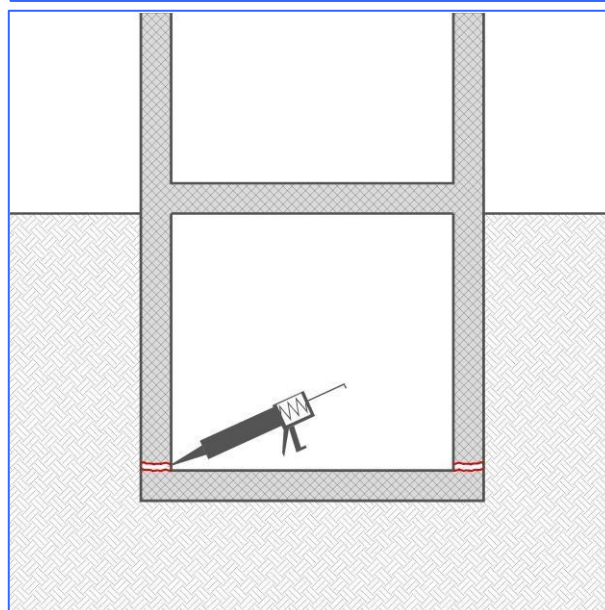
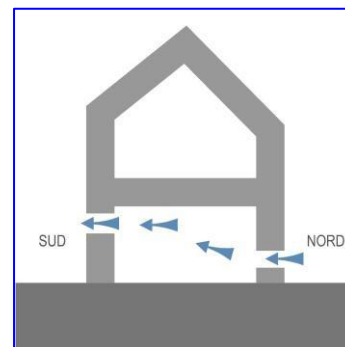
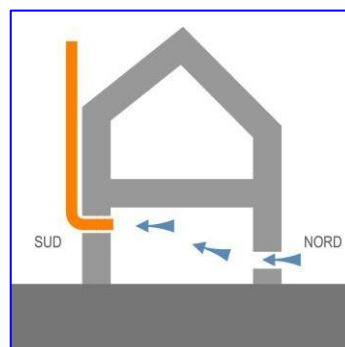


Figura 54: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: MODALITÀ DI VENTILAZIONE NATURALE O MECCANICA

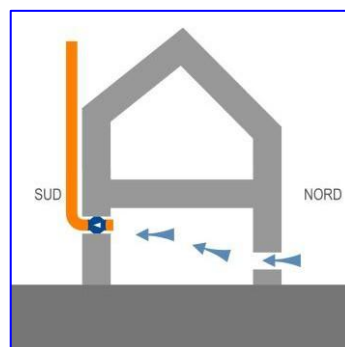
Disponendo di un volume tecnico sotto l'edificio, un vespaio sufficientemente libero e non particolarmente riempito con detriti, ghiaia, macerie, ecc. può essere ipotizzabile in prima istanza provare a innescare una ventilazione naturale realizzando delle aperture di aerazione permanente di 100-120 millimetri di diametro alla base perimetrale dell'attacco a terra. Dove possibile è preferibile realizzare aperture di aerazione permanente nei prospetti nord e sud con l'accortezza di tenere più alti i fori a sud per una migliore circolazione dell'aria.



Se i valori di concentrazione del radon ottenuti con questa tecnica non sono soddisfacenti e si desidera evitare l'utilizzo di ventilatori, un sistema per incrementare la ventilazione è quello di portare in quota una tubazione, oltre il cornicione di gronda, che, grazie ai venti dominanti e all'effetto Venturi, migliori la quantità di aria circolante.



In mancanza di risultati soddisfacenti anche con questo accorgimento, si ricorre ad un ventilatore collegato alle tubazioni esistenti.



Mentre in caso di ventilazione naturale è indispensabile mantenere aperte una doppia serie di aperture di aerazione permanente contrapposte: di ingresso e di uscita dell'aria, per ventilare il volume del vespaio, In caso di ventilazione forzata il più delle volte risulta più conveniente chiudere i fori di ingresso dell'aria per realizzare una maggiore depressione/pressione, nei confronti del terreno. Soprattutto in caso di pressurizzazione.

In caso contrario si corre il rischio, soprattutto con planimetrie di una certa complessità di intervenire con la ventilazione solo in certe parti del volume del vespaio mentre in altre zone il gas può trovare in percorso di ingresso privo delle turbolenze del ventilatore che agisce in parte anche aspirando aria esterna dai fori di ingresso anziché agire esclusivamente nei confronti del terreno.

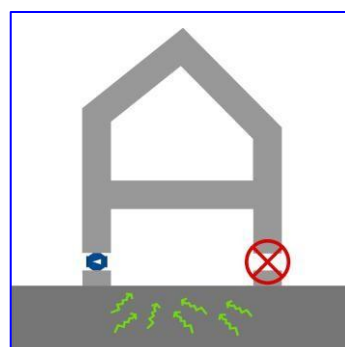
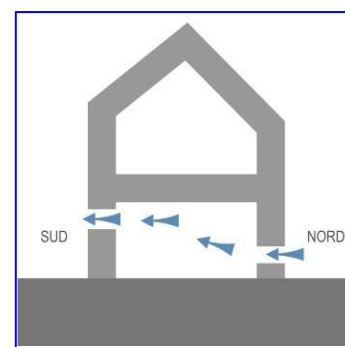
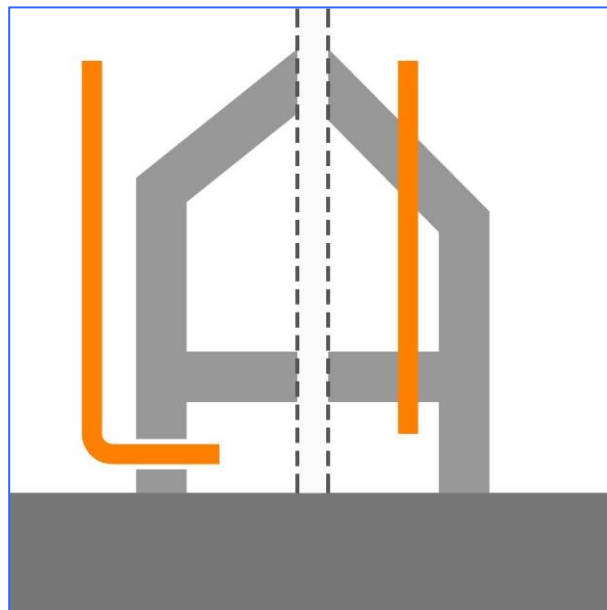


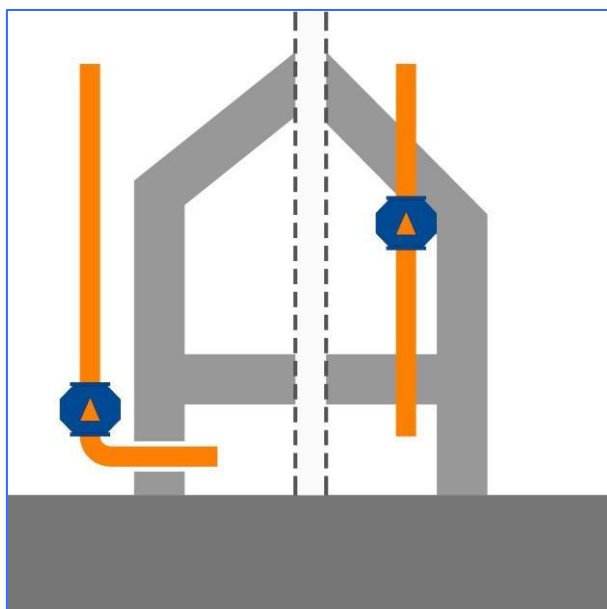
Figura 55: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: MODALITÀ DI VENTILAZIONE NATURALE O MECCANICA

Nel caso sia presente un vespaio vuoto alla base dell'edificio, o comunque senza particolari riempimenti, può essere possibile porre il volume in depressione tramite semplice "effetto Venturi" e quindi senza impianti di aspirazione ma solo ricorrendo alla differenza di pressione innescata dal vento, di altezza e di temperatura.

Il percorso della canalizzazione può essere interno o esterno in funzione della necessità di ridurre al minimo il numero di curvature.



Qualora la presenza di venti dominanti o la differenza di pressione fra interno ed esterno non sia sufficiente a innescare un moto convettivo che richiami il gas del vespaio per disperderlo in quota, sarà necessario inserire un aspiratore nel punto ritenuto più funzionale.



Nelle eventualità il percorso delle tubazioni di evacuazione sia all'interno dell'edificio, è importante porre il ventilatore nel luogo più alto vicino al punto di uscita dell'aria e del gas in atmosfera in modo che l'intera canalizzazione sia in depressione. In questo modo, laddove ci siano delle perdite lungo il condotto dovute a un errato assemblaggio dei tubi, non si avranno delle dispersioni di gas all'interno dell'edificio.

Qualora la tubazione sia esterna, il ventilatore può essere collocato ovunque lungo tutta la lunghezza del tubo, compatibilmente alle esigenze di accessibilità per manutenzione.

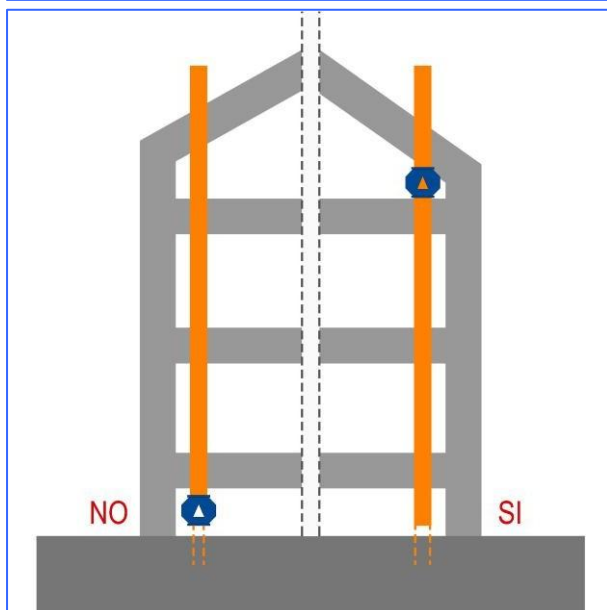


Figura 56: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: TIPOLOGIE DI POZZETTI E DI CANALIZZAZIONI DI ASPIRAZIONE

L'aspirazione nei confronti del sottosuolo può essere effettuata tramite diverse tecniche:

- un pozzetto di circa 50 x 50 x 50 centimetri di qualsiasi materiale aperto nel lato inferiore e posato su uno strato di ghiaia di grossa pezzatura, chiuso superiormente con un coperchio per mantenere l'ispezionabilità e collegato su uno dei lati verticali alla tubazione in pvc di aspirazione;
- un tubo in pvc di 100-120 millimetri di diametro, aperto all'estremità inferiore e forato al perimetro con fori da 25-30 millimetri e avvolto in un telo di tessuto-non-tessuto per evitare l'ingresso di terriccio o ghiaia; il tubo viene inserito in uno scavo di almeno un metro circa di profondità, riempito successivamente con ghiaia di grossa pezzatura. L'eventuale pozzetto superiore, non indispensabile, consente l'ispezione;
- laddove sia possibile, la collocazione di un maggior numero di tubazioni aspiranti aumenta l'efficacia del sistema.

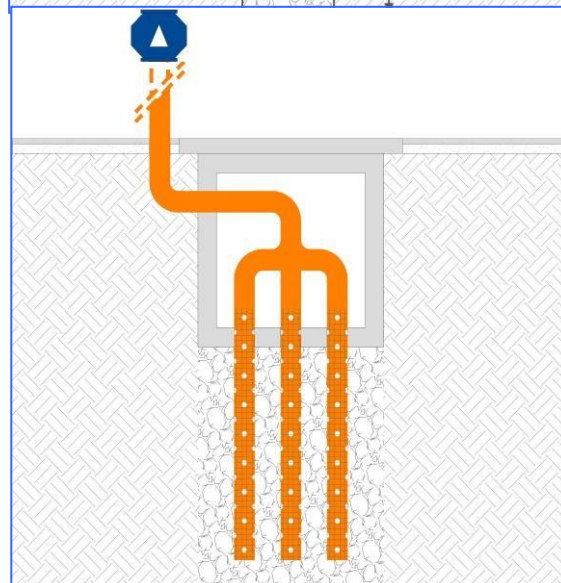
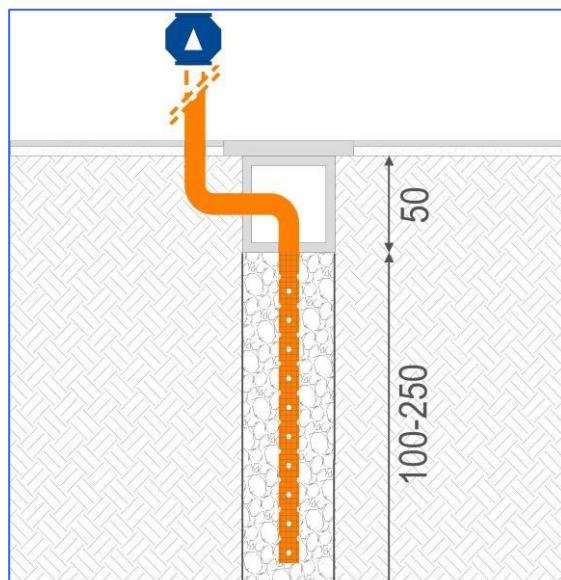
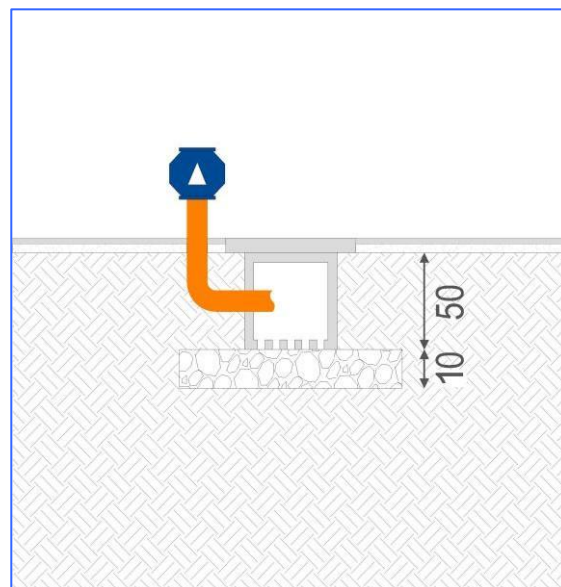


Figura 57: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: PUNTI DI EVACUAZIONE DEL RADON

Ove si ricorra alla tecnica della depressione (del suolo o di volumi tecnici) e nei casi in cui il gas viene aspirato ed evacuato in atmosfera, particolare attenzione andrà posta al punto di uscita e dispersione del gas che dovrebbe avvenire sempre al di sopra della quota del cornicione di gronda in modo che possa essere più facilmente disperso.

Particolare attenzione andrà quindi posta alla vicinanza di aperture sui prospetti dell'edificio stesso ma anche di edifici adiacenti per evitare il re-ingresso del gas nei luoghi ove vi sia permanenza di persone.

L'apertura delle finestre, specie se contemporaneamente su fronti contrapposti oppure su livelli differenti, causa sempre una circolazione d'aria dall'esterno verso l'interno dell'edificio e se il punto di evacuazione del radon è nelle vicinanze, il re-ingresso del gas è possibile per non dire probabile.

Se il punto di evacuazione del gas si trova in un prospetto privo di aperture di aerazione permanente – anche di edifici adiacenti - potrebbe essere possibile disperderlo in atmosfera senza necessariamente arrivare in quota gronda (soluzione, comunque, sempre più opportuna). Particolare attenzione andrà comunque posta agli eventuali giri d'aria, venti dominanti, distanza dall'apertura più prossima, ecc. per evitare rientri.

Nell'impossibilità o nella difficoltà di arrivare in quota gronda con il tubo di evacuazione del gas, è possibile disperderlo in atmosfera a quota terra allontanandosi dagli edifici di almeno cinque metri, ponendo sempre attenzione a eventuali giri d'aria, venti dominanti, distanza dall'apertura più prossima, ecc. per evitare rientri.

Il pozzetto disperdente sarà chiuso superiormente con una griglia pedonabile che consenta il deflusso del gas e aperto nella parte inferiore per il drenaggio dell'acqua meteorica e alloggerà anche il ventilatore che, in alternativa potrà anche essere posto in un pozzetto limitrofo.

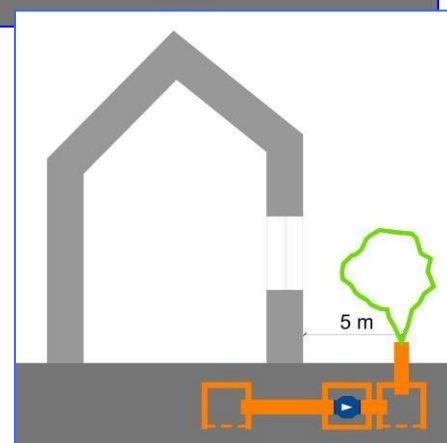
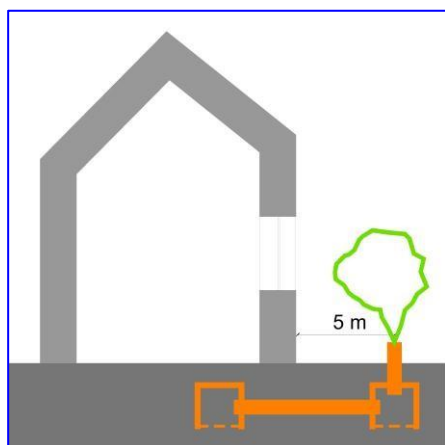
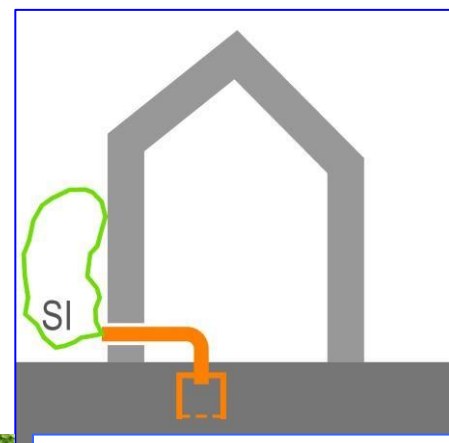
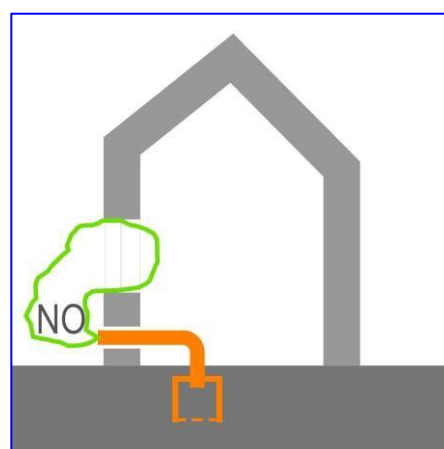
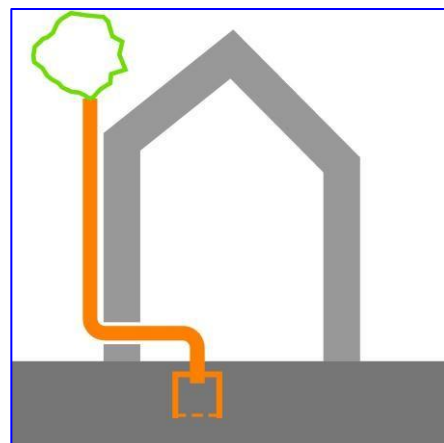
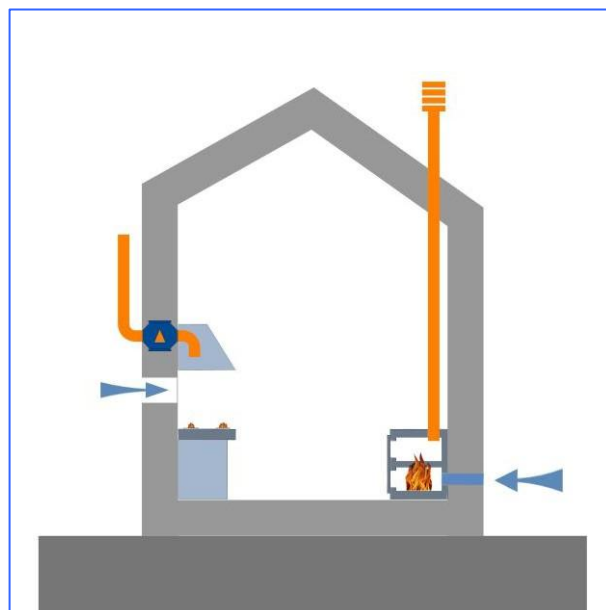


Figura 58: prevenzione nuova edificazione
BONIFICA EDILIZIA ESISTENTE: EVITARE LA DEPRESSIONE AMBIENTE

Alcuni impianti tecnici presenti nell'edificio possono aumentare la depressione dell'ambiente nei confronti del suolo più di quanto non faccia l'effetto camino innescato dall'edificio.

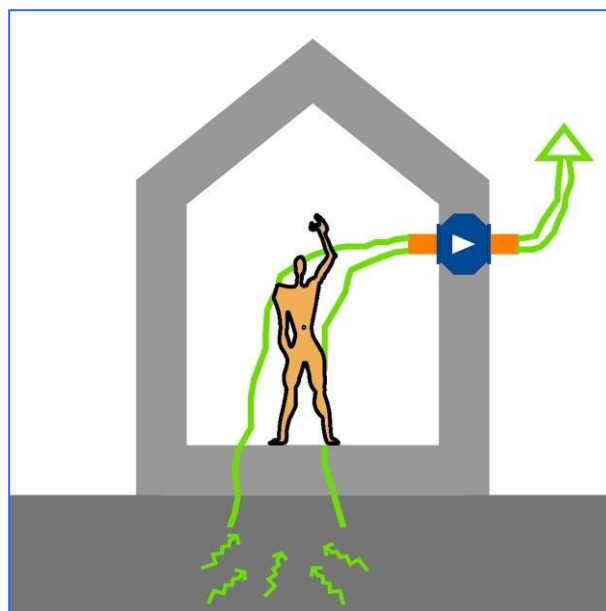
La caldaia del riscaldamento domestico, la cappa di aspirazione in cucina o il caminetto del soggiorno sono tutti elementi che possono aumentare il dislivello di pressione fra sottosuolo ed edificio. E' quindi opportuno considerare sempre questo aspetto e prevedere una presa d'aria esterna per questi sistemi impiantistici in modo da bilanciare il richiamo d'aria provocato da questi impianti.



Fra le possibili tecniche di bonifica di edifici esistenti con eccessive concentrazioni di radon vi è quella della ventilazione indoor che consiste nell'aspirare l'aria dall'ambiente tramite un ventilatore posto sulla parete perimetrale o sull'inferno.

Si tratta di una tecnica che può avere una sua funzionalità in caso di concentrazioni elevate e comunque in via provvisoria in attesa di interventi più radicali. Non può essere considerata una tecnica da bonifica definitiva in quanto il ventilatore, aspirando aria nell'ambiente, mette in depressione il volume abitato aumentando l'effetto risucchio nei confronti del terreno. Il radon viene in effetti espulso ma dopo che ha percorso l'intero volume ambiente ed è stato respirato dagli occupanti.

Provoca inoltre un dispendio energetico in quanto espelle aria climatizzata introducendone altra che deve quindi essere nuovamente trattata.



SPERIMENTAZIONI DI RISANAMENTI IN PROVINCIA DI BERGAMO

L' Azienda Sanitaria Locale della Provincia di Bergamo ha condotto, negli anni 2009/2010, un progetto finalizzato alla realizzazione di azioni di risanamento per la riduzione delle esposizioni di gas radon in alcuni edifici scolastici.

Tali edifici sono stati individuati fra quelli che, durante le precedenti indagini regionali, avevano evidenziato valori di concentrazioni di gas radon indoor superiori a 400 Bq/m³ (Tabella 6).

Tabella 6: le concentrazioni di radon *ex ante*

	Comune	Edificio scolastico	Tipo di misure	Periodo	Concentrazioni di gas radon
1	Endine R.	Scuola elementare	long term (CR39)	ott-apr 07	1100 e 1200 Bq/m ³ al piano seminterrato
2	Bossico	Scuola materna	long term (CR39)	ott-apr 07	760 e 980 Bq/m ³ al piano terra
3	Clusone	Istituto superiore	long term (CR39)	mar-giu 07	tra 500 e 800 Bq/m ³ al piano terra
4	Lefte	Scuola materna	short term (Picorad)	feb-98	tra 1000 e 4000 Bq/m ³ ai piani seminterrato e rialzato
			long term (CR39)	dic 08-mag 09	900 Bq/m ³ al piano rialzato fino a 1700 Bq/m ³ al piano seminterrato

I progetti di risanamento sono stati elaborati dal Politecnico di Milano e dall'Università IUAV di Venezia ed i lavori sono stati eseguiti da imprese edili locali.

Il Laboratorio radiometrico di ARPA Lombardia - Dipartimento di Bergamo ha svolto le misure di concentrazione di gas radon durante e alla fine dei lavori edili previsti dal progetto di bonifica.

Tecniche d'intervento

In relazione agli obiettivi di risanamento (abbattimento dei valori di concentrazione al di sotto di 400 Bq/m³), la progettazione si è indirizzata verso l'adozione di misure di depressurizzazione attiva del suolo attraverso l'esecuzione di pozzetti di suzione da posizionare all'interno del perimetro o, in qualche caso, nell'intorno dell'edificio.

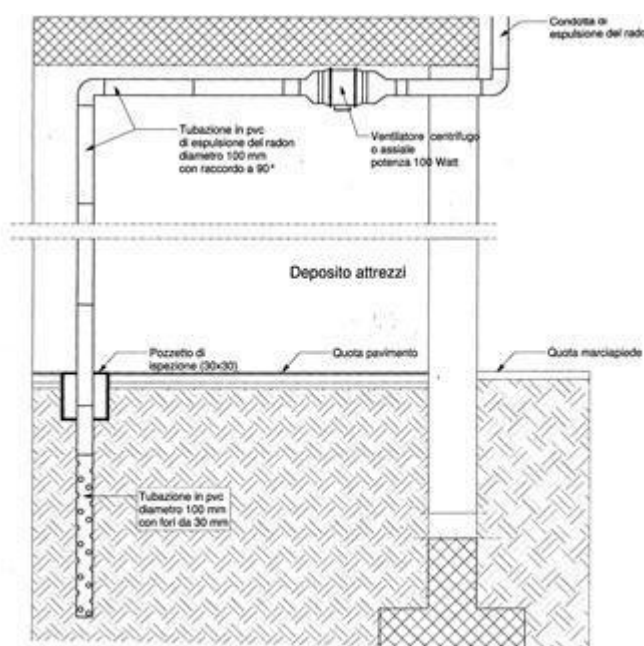


Figura 59: Schema di pozzetto d'aspirazione interno

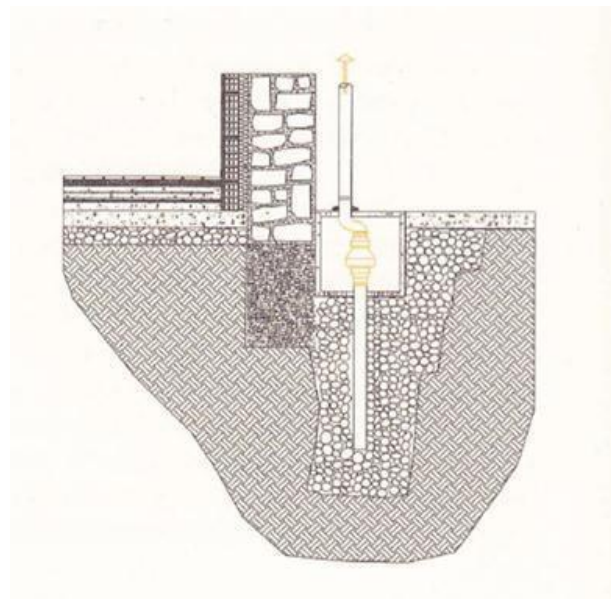


Figura 60: Schema di pozzetto d'aspirazione esterno

Di seguito vengono descritte le sperimentazioni messe in atto.

EDIFICIO 1 - Scuola elementare di Endine Roa

In questa scuola si è deciso di intervenire al piano seminterrato composto da due aule, una palestra con una quota di pavimento inferiore di circa 1 m rispetto alla quota degli altri locali.

Si è adottata una depressurizzazione del terreno sottostante e nell'intorno dell'edificio in modo che, da un lato si potessero limitare le cause del problema alla sua origine e, dall'altro, si riuscisse ad agire prevalentemente all'esterno dell'edificio o in spazi non interessati dallo svolgimento delle attività scolastiche. L'intervento ha previsto la realizzazione di 3 pozzetti ospitanti al loro interno tubi di drenaggio verticali (ca. 1,5 mt. di profondità) collegati a un estractore meccanico della potenza nell'ordine dei 100 Watt.

I primi riscontri strumentali hanno evidenziato un'apprezzabile riduzione delle concentrazioni di radon nei locali scolastici riconducibile all'effetto della depressione generata dal funzionamento dei pozzetti di estrazione.

Ad ulteriore supporto di questo dato vi era la differenza di concentrazioni riscontrate variando la durata di funzionamento dei ventilatori.

Nonostante tale riscontro i valori risultavano ancora leggermente superiori al limite dei 400 Bq/m³: per questo motivo, sono stati eseguiti dei lavori integrativi, mettendo in depressione un ulteriore vano che è stato messo in comunicazione con l'esterno sfruttando le canalizzazioni già installate e collegando un estractore ambientale.

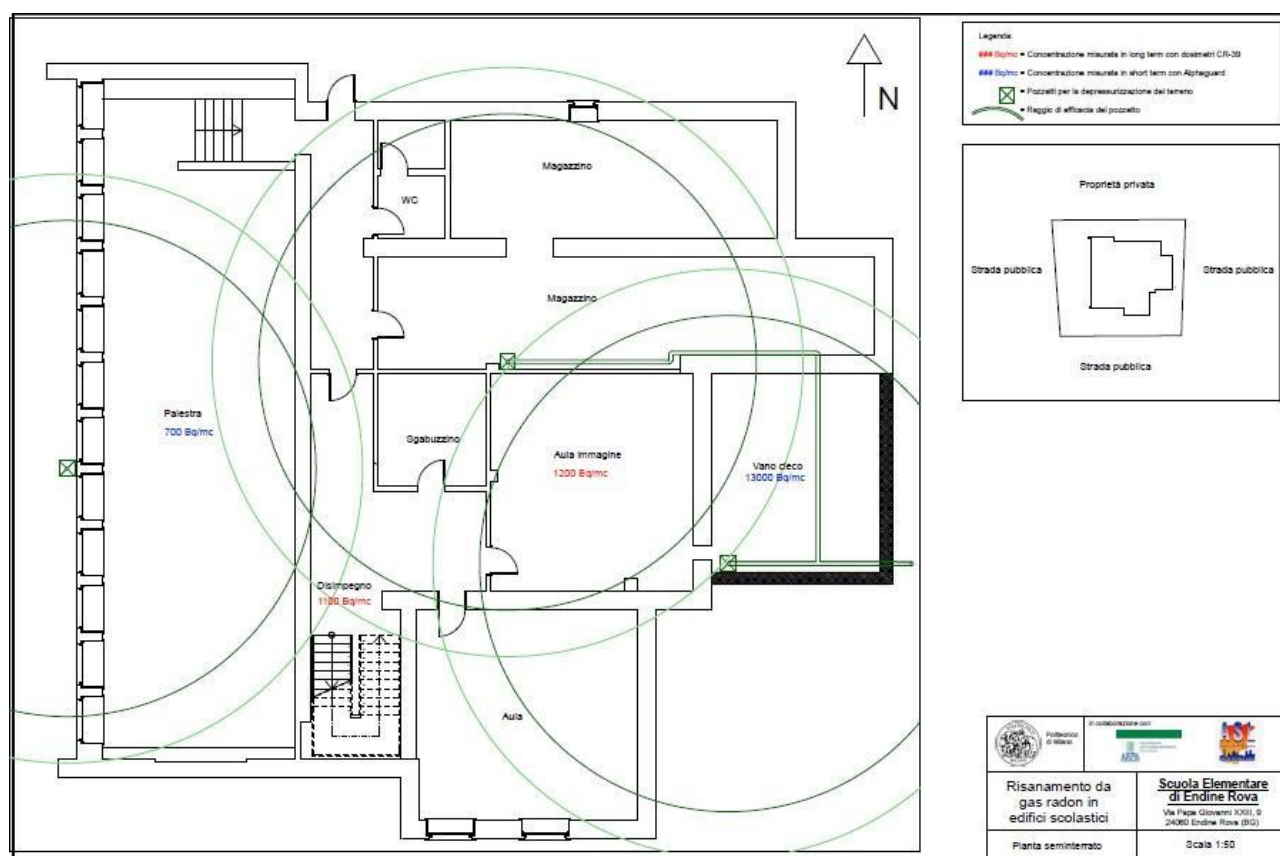


Figura 61: posizione degli estrattori nell'edificio 1

EDIFICIO 2 – Scuola materna di Bossico

Le maggiori concentrazioni di gas radon erano state misurate nel piano inferiore dell'edificio.

È stata prevista la realizzazione di 3 pozzetti ospitanti al loro interno tubi di drenaggio verticali (ca. 1,5 mt. di profondità) collegati a un estractore meccanico della potenza nell'ordine dei 100 Watt.

I primi riscontri strumentali effettuati non hanno evidenziato un effetto apprezzabile della depressione generata dai pozzetti di estrazione, anche con un funzionamento in continuo nelle 24 ore degli estrattori.

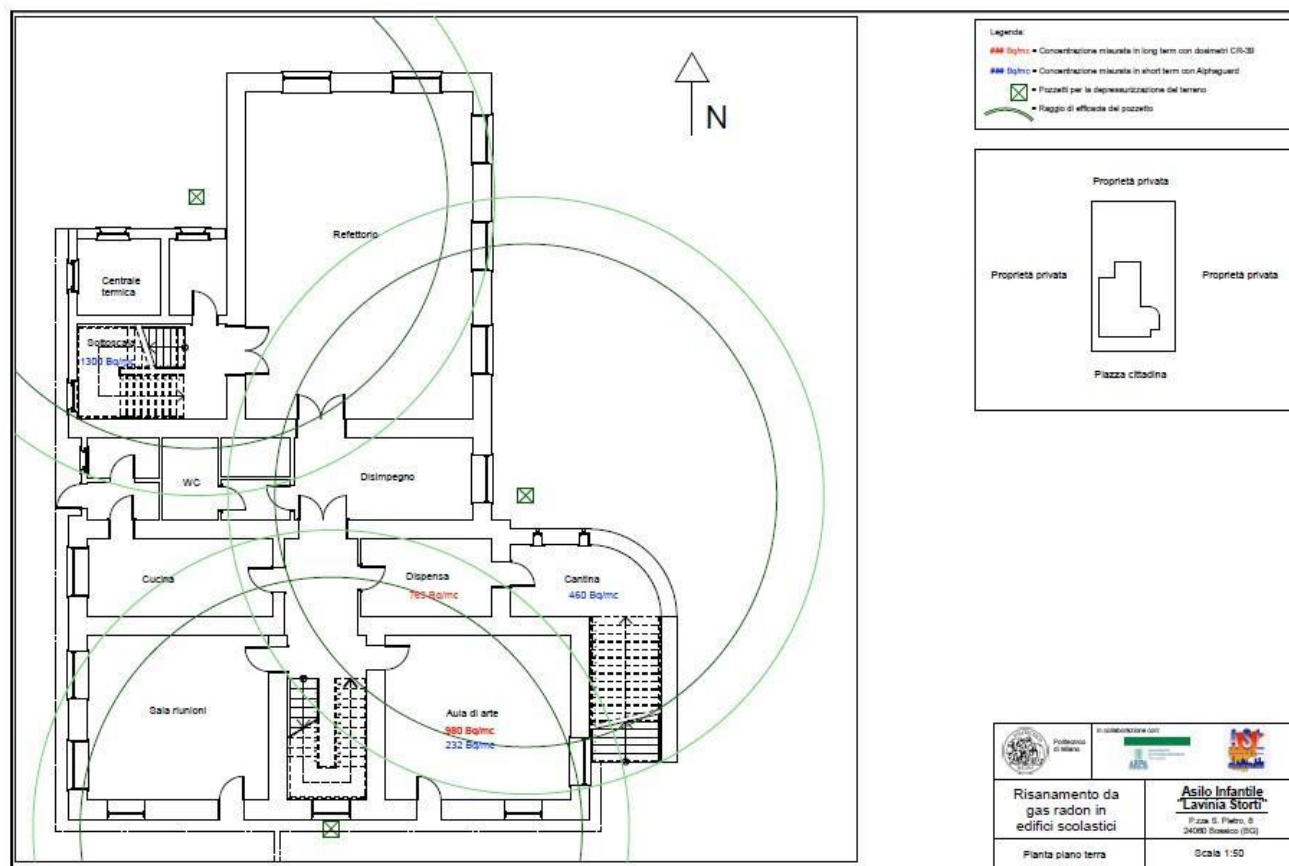
Tale risultato ha richiesto un ulteriore approfondimento; i sopralluoghi hanno evidenziato la presenza di

intercapedini murarie in connessione diretta con il vespaio oltre che con gli spazi scolastici. In particolare, è stato rinvenuto un pozzetto di ispezione di un cavedio contenente canalizzazioni impiantistiche non più in uso in cui sono state registrate concentrazioni di gas radon nell'ordine dei 3.000 Bq/m³.

A seguito delle operazioni di sigillatura del pozzetto sono state effettuate ulteriori misurazioni che hanno evidenziato un miglioramento che tuttavia non ha portato i valori al di sotto della soglia dei 400 Bq/m³.

Sono stati integrati ulteriormente i lavori con la messa in depressione di un cavedio impiantistico dismesso e la sua connessione con un estrattore posizionato in un pozzetto a ridosso della facciata principale a sud dell'edificio.

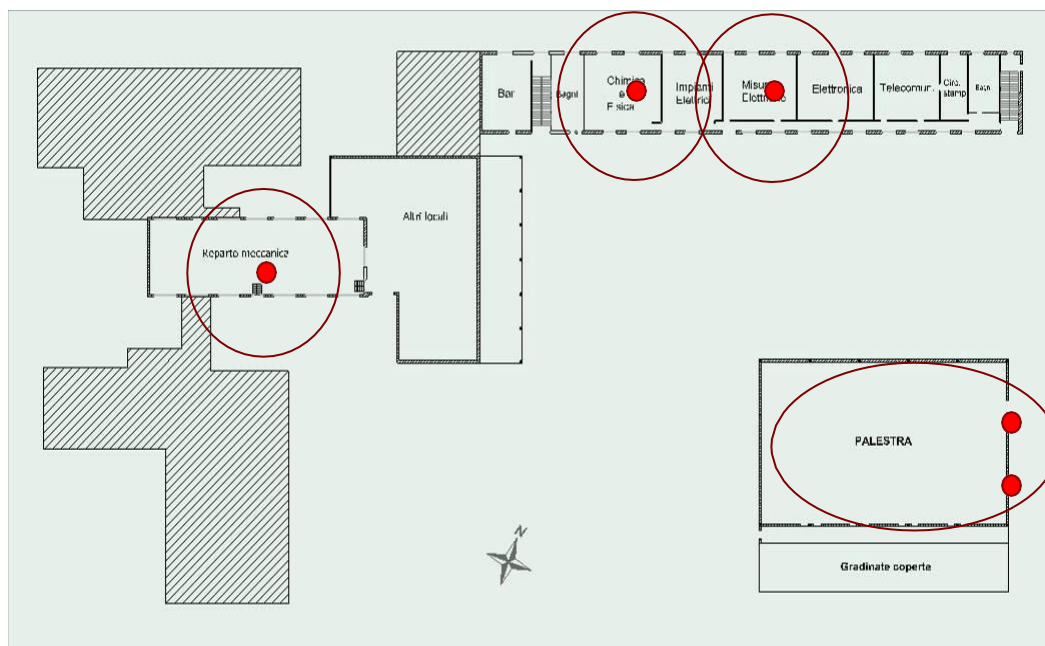
Figura 62: posizione degli estrattori nell'edificio 2



EDIFICIO 3 – Istituto Superiore di Clusone

Data l'articolazione della scuola, si è intervenuto con pozzetti aspiranti posti in ogni padiglione e collocati all'interno delle aule.

Figura 63: posizione degli estrattori nell'edificio 3



Il risultato è stato soddisfacente per l'intero complesso ad esclusione di un'aula/laboratorio nella quale il tortuoso percorso delle tubazioni di uscita e la presenza di altri aspiratori/ambiente, provvisoriamente collocati ante bonifica, ha inizialmente reso complessa la lettura e l'interpretazione dei risultati per cui saranno possibili ulteriori aggiustamenti, eventualmente ponendo in pressurizzazione il sistema attualmente aspirante.

Gli altri aspiratori sono poi stati temporizzati con protocollo 120 minuti on – 30 minuti off per le 24 ore.

EDIFICIO 4 – Scuola materna di Leffe

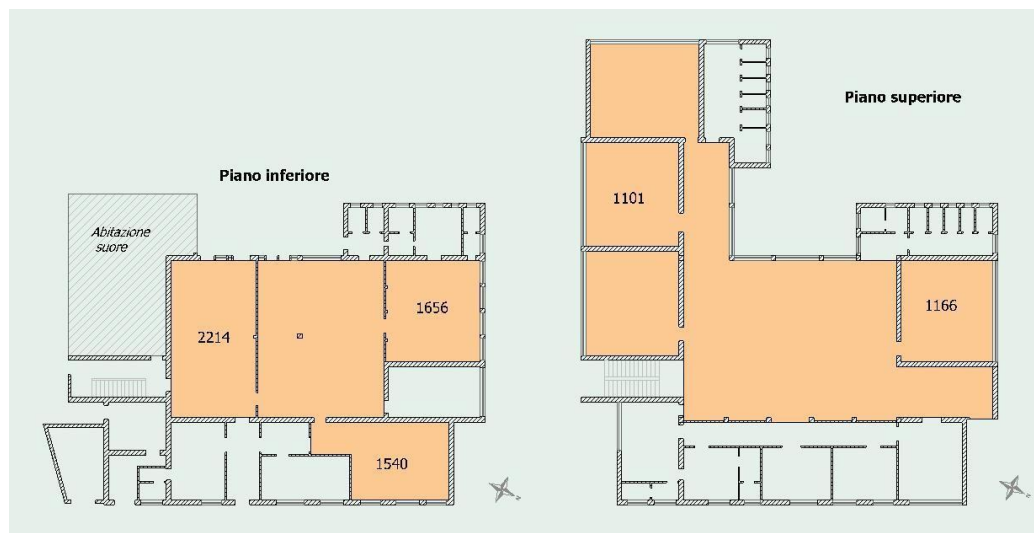


Figura 64: planimetria dell'edificio 4 e concentrazioni riscontrate prima della bonifica

La scuola si presentava articolata su due livelli, in parte controterra e in parte confinante con un'autorimessa interrata dove sono stati individuati due punti all'interno dell'edificio in cui sono stati collocati due aspiratori simmetricamente lungo l'asse longitudinale della scuola a piano terra.

A seguito di un monitoraggio, si è temporizzato gli aspiratori con protocollo 60 minuti acceso – 15 minuti spento con spegnimento nelle ore notturne.

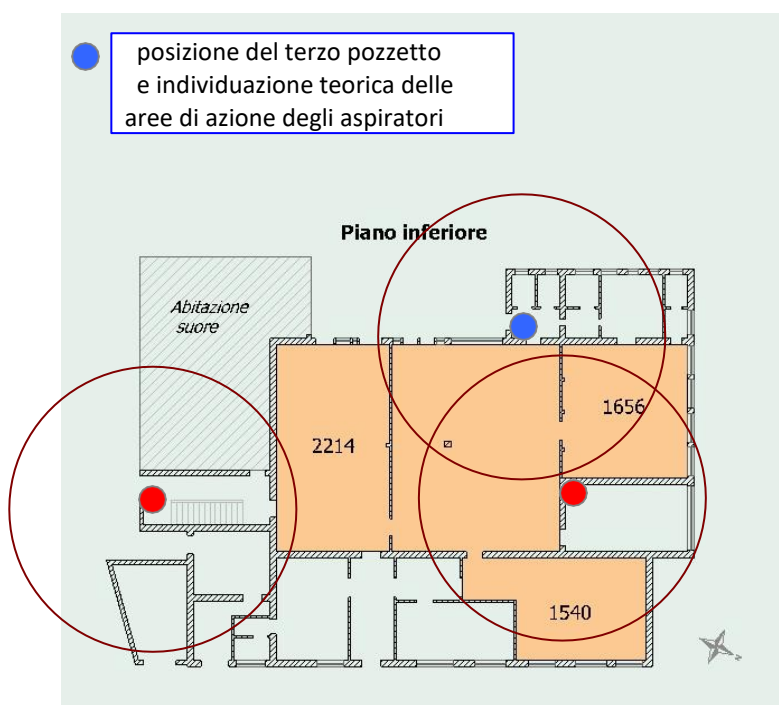
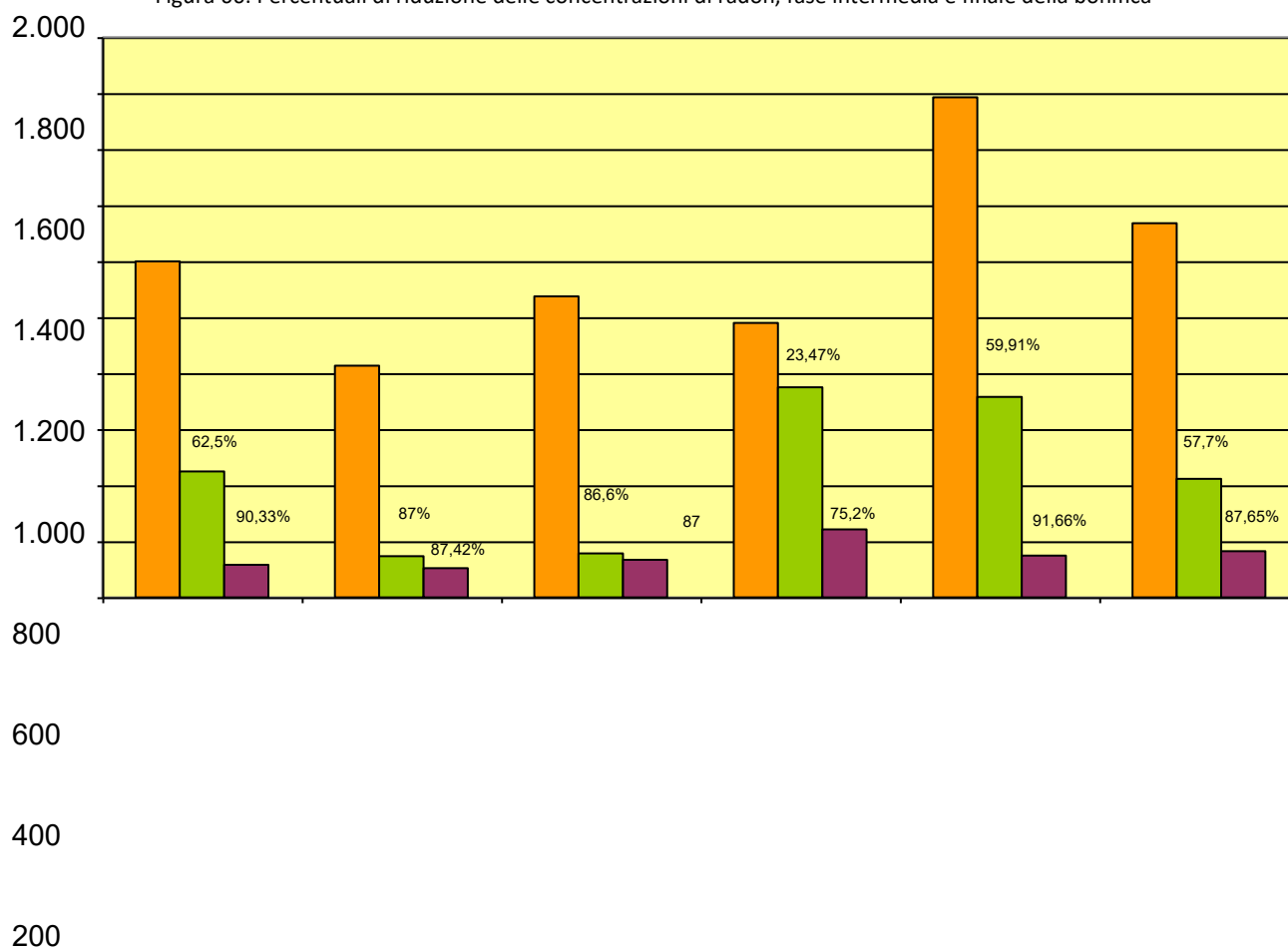


Figure 65: posizione degli estrattori nell'edificio 4

Risultati

È possibile riassumere e visualizzare i risultati degli interventi di bonifica; nella figura 66 sono riportate le concentrazioni rilevate con misure long-term nelle varie fasi della bonifica.

Figura 66: Percentuali di riduzione delle concentrazioni di radon, fase intermedia e finale della bonifica



0

Endine aula

Clusone aula

Clusone palestra

Bossico aula arte

Leffe refettorio

Leffe dormitorio



Nella Tabella 7 sono riportati i risultati delle misure long – term eseguite prima e dopo i risanamenti nei locali degli edifici bonificati da cui emerge che sia ha una riduzione dal 44% e il 91% delle concentrazioni di gas radon in relazione alla situazione iniziale.

EDIFICIO	LOCALE	concentrazione iniziale di gas radon (Bq/m ³)	concentrazione finale di gas radon (Bq/m ³)	efficacia dell'intervento (% di riduzione di gas radon)
1 - Endine	Sottoscala	1108	112	90
	Aula immagine	1200	116	90
	Palestra	497	103	79
2 - Bossico	Dispensa	763	431	44
	Aula arte	980	243	75
3 - Clusone	Palestra	718	157	78
	Laboratorio chimica-fisica (F003)	794	101	87
	Laboratorio impianti elettrici (F004)	575	105	82
	Laboratorio misure elettriche (F005)	1080	147	86
	Laboratorio telecomunicazioni (F007)	659	232	65
	Laboratorio meccanica	368	188	49
4 - Leffe	aula sopra dormitorio	1166	136	88
	aula sopra refettorio grande	1101	100	91
	Dormitorio	1656	165	90
	Refettorio	1540	194	87
	refettorio grande	2214	149	93
	camera suore	7500	141	98

Tabella 7: i risultati delle misure long – term eseguite prima e dopo i risanamenti

Aspetti economici

Il costo della bonifica per ogni edificio scolastico può essere così quantificato:

- progettazione e direzione lavori: circa 4.000 euro;
- realizzazione degli interventi: da 6.500 a 10.500 euro in relazione al numero e della posizione dei pozzetti installati;
- misure e sopralluoghi: da 1500 a 2000 euro per ciascun edificio bonificato.

Inoltre, sono da tener presente i costi gestionali quali il consumo di energia elettrica stimabile tra 18 e 52 euro/anno in funzione della potenza e della temporizzazione degli aspiratori.

Alcune considerazioni

Alcuni degli interventi descritti hanno evidenziato l'importanza della fase diagnostica, che in un intervento di bonifica richiede sempre attenzione, competenza ed esperienza: è necessario cogliere dettagli importanti per capire quali siano le caratteristiche dell'edificio che favoriscono la risalita del gas e quali quelle che si possono sfruttare per espellerlo. Altrettanto importante è avere informazioni complete sulla struttura

dell'edificio e degli impianti, informazioni che a volte non sono disponibili o lo sono solo grazie alla memoria storica degli occupanti: gli edifici più vecchi possono aver subito nel tempo diversi rimaneggiamenti dei quali non si ha riscontro.

BIBLIOGRAFIA

- Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Bolzano – Laboratorio di Chimica e Fisica – Alto Adige, Guida: IL RADON, www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/2908/radon/index_i.htm
- Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto – Il radon in Veneto: ecco come proteggersi – www.arpa.veneto.it
- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli-Venezia Giulia - Indicazioni e proposte per la protezione degli edifici dal radon - www.arpa.fvg.it
- APAT - Linee guida per le misure di radon in ambienti residenziali - 2004
- APAT - Linee guida relative ad alcune tipologie di azioni di risanamento per la riduzione dell'inquinamento da radon" 2005
- ARPA Lombardia Indagine per l'individuazione delle *radon prone areas* in Lombardia, Milano
- Banzon TM et al. Effect of radon exposure on asthma morbidity in the School Inner-City Asthma study. *Pediatr Pulmonol.* 2023 Jul;58(7):2042-2049
- Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L. Torri G., et al. Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all Italian Regions. *Radiation Measurements* 40, 686-694; 2005
- Bochicchio F. et al. Quantitative evaluation of the lung cancer deaths attributable to residential radon: a simple method and results for all the 21 Italian Regions, *Radiation Measurements*, 50: 121–126; 2013 <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.09.011>
- Borgoni R S Galeazzi, P Quatto, D de Bartolo, A Alberici (2009) L'impatto delle caratteristiche degli edifici sulla probabilità di elevati valori nelle concentrazioni di radon indoor: un approccio model based di tipo bayesiano su Atti del Convegno AIRP (Associazione Italiana di Radioprotezione), Frascati, 28-30 ottobre 2009
- Borgoni R., Cremonesi A., Somà G., de Bartolo D., Alberici A. (2007), Radon in Lombardia: dai valori di concentrazione indoor misurati, all'individuazione dei Comuni con elevata probabilità di alte concentrazioni. Un approccio geostatistico, Atti del Convegno AIRP (Associazione Italiana di Radioprotezione), (Vasto, 1-3 ottobre 2007)
- Borgoni R., Tritto V., Bigliotto C., de Bartolo D. (2011), A Geostatistical Approach to Assess the Spatial Association between Indoor Radon Concentration, Geological Features and Building Characteristics: The Case of Lombardy, Northern Italy, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1420- 1440
- CCM – ISS Raccomandazione del Sottocomitato Scientifico del progetto CCM “Avvio del piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia” 2008
- Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano – a cura di - Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei - febbraio 2003
- Darby S. et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ.* 2005 Jan 29;330(7485):223. doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63.
- Radiation Protection 112 - Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. European Commission (2000)
- Facchini U., G. Valli e R. Vecchi, “Il radon nella casa”, Istituto di fisica gen. applicata, Università di Milano, maggio 1991
- GEOEX s.a.s., Il Radon: Manuale di Misura e di Risanamento, <http://www.radon.it>
- Gray et al Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them - *British medical journal*, gennaio 2009.
- IRer – Istituto Regionale di ricerca della Lombardia (2010), Politiche di sicurezza per lo sviluppo sostenibile del territorio: rischio reale e percepito. Allargamento ai rischi emergenti in Regione Lombardia – Dossier Radon, Milano <http://www.irer.it/ricerche/sociale/analisiociale/2009B027>

- ISPESL, Il radon in Italia: guida per il cittadino, Dip. Medicina del Lavoro, 2007
- Rapporto ISTISAN 17/36 Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database of activity concentrations, radon emanations and radon exhalation rates. Istituto Superiore di Sanità 2017
- Ministero della Salute, Dipartimento della Prevenzione - Proposta di Piano Nazionale Radon, 2002 www.iss.it/tesa/prog/cont.php?id=182&tipo=14&lang=1
- Pulliam HR. Neurotoxic effects of home radon exposure on oscillatory dynamics serving attentional orienting in children and adolescents. *Neuroimage*. 2024 Apr 15;292:120606
- Righi S. et al, Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwelling. *Journal of Environmental Radioactivity* 88 (2006) 158- 170. doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.01.009
- Rizzo M. M., Il radon, rischi e prevenzioni, UNI Service, Trento, 2007
- Scivyer C, Buying homes in radon-affected areas, BRE, 2004
- Scivyer C., Guidance on protective measures for new buildings, Brepress 2007
- Scivyer C.R. A., Cripps, A BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings, Brepress, 1998
- Tarroni G., Spezia U. Dossier 1999 - La Radioprotezione in Italia - La salvaguardia della popolazione e dell'ambiente. ENEA ISBN 88-8286-074-4, dicembre 1999.
- Taylor BK et al. Effects of chronic home radon exposure on cognitive, behavioural, and mental health in developing children and adolescents. *Front Psychol*. 2024 Feb 26;15:1330469
- Taylor BK et al. Chronic Home Radon Exposure Is Associated with Higher Inflammatory Biomarker Concentrations in Children and Adolescents. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Dec 23;20(1):246
- Trevisi R. et al, Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance. *Journal of Environmental Radioactivity* 105 (2012) 11-20
- Ufficio federale della sanità pubblica Divisione radioprotezione Servizio tecnico e d'informazione sul radon – Radon: guida tecnica - Berna - www.ch-radon.ch
- UNI EN ISO 11665-5:2020. Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 5: Metodi di misura in continuo della concentrazione in attività, 2020
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with Annexes. United Nations, New York, 2000.
- WHO, Handbook on indoor radon, a public health perspective, WHO, 2009
- Zannoni G., Bigliotto C. "Gas radon, Monitoraggio e bonifica", Edicom, Monfalcone, 2006
- Zannoni G., e al., Regione Veneto "Gas radon, Tecniche di mitigazione — Edicom, Monfalcone, 2006

SITOGRAFIA

- https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2023-09-09&atto.codiceRedazionale=23A04976&elenco30giorni=false
- <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/sistema-welfare/Tutela-e-sicurezza-del-cittadino-lavoratore-e-consumatore/linee-guida-gas-radon/linee-guida-gas-radon>
- <https://www.arpalombardia.it/temi-ambientali/radioattivita/il-radon/>

Milano, settembre 2025