



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583478
cstival@units.it

ARGOMENTO

33

Benessere, igiene e salute dell'utenza

Riduzione delle concentrazioni di radon

Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura**
Corso di **Tecnologie e soluzioni edilizie**
per la **sostenibilità ambientale**

Classificazione delle esigenze: BSI (2)

classe	esigenze	requisiti	
BSI. Benessere, igiene e salute dell'utente	Condizioni di igiene ambientale connesse con le variazioni del campo elettromagnetico artificiale	BSI.7.1	Protezione degli ambienti e degli spazi esterni da variazioni del fondo elettromagnetico generato da fonti artificiali
		BSI.7.2	Impianto elettrico e disposizione degli elettrodomestici, in modo da esporre gli utenti a valori minimi di campo elettromagnetico
	Purezza dell'aria interna	BSI.8.1	Controllo del ricambio d'aria con ventilazione naturale o meccanica
	Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria interna	BSI.9.1	Riduzione delle emissioni tossiche e nocive di materiali, elementi e componenti
		BSI.9.2	Riduzione delle concentrazioni di radon
Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria esterna	BSI.10.1	Controllo dell'inquinamento atmosferico esterno	

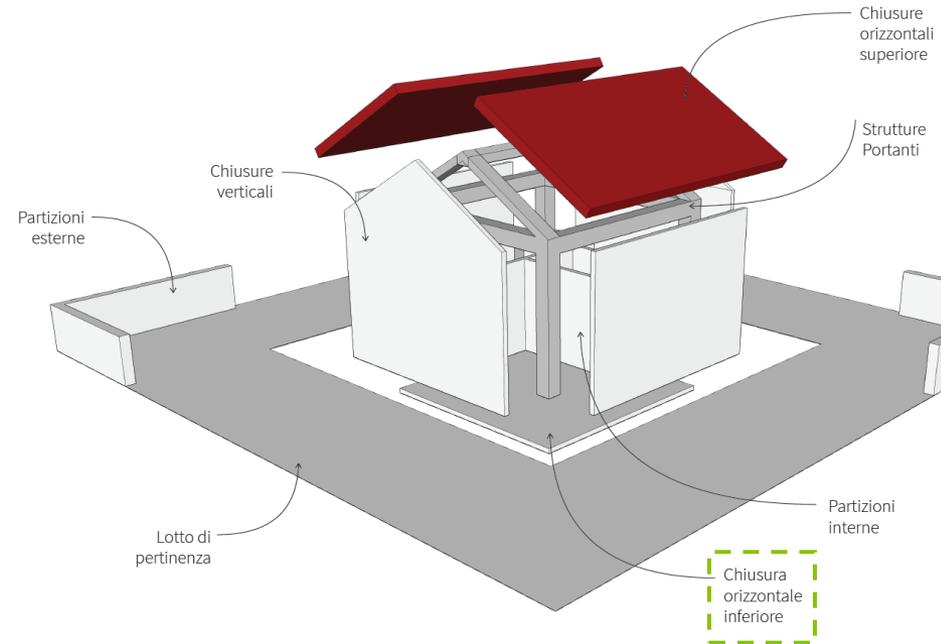
Chiusure orizzontali inferiori

La **chiusura inferiore** (o chiusura **di base**) è l'insieme delle unità tecnologiche e degli elementi del sistema edilizio avente funzione di separare e conformare gli spazi interni del sistema edilizio dal **terreno** sottostante o dalle **strutture di fondazione**.

Le funzioni espletate dalle chiusure orizzontali inferiori, oltre alla resistenza ai carichi propri e di esercizio, derivanti dallo schema funzionale adottato, sono:

- il **controllo** degli **agenti idrici**, in quanto il terreno sottostante è caratterizzato dalla presenza di acqua, sia in forma di umidità in risalita sia, eventualmente, di falda;
- il **controllo** degli **agenti termici**, poiché il terreno è caratterizzato da uno stato termico funzione della profondità che risente con un certo ritardo, delle variazioni climatiche che interessano l'aria esterna;
- il controllo della risalita del **gas radon**, di cui il terreno è la fonte maggiormente rilevante;

- l'**attrezzabilità impiantistica**, specialmente se a contatto con il terreno sono previsti locali di fascia funzionale primaria;
- la **resistenza meccanica** ai carichi permanenti e variabili, garantendo la **praticabilità**.



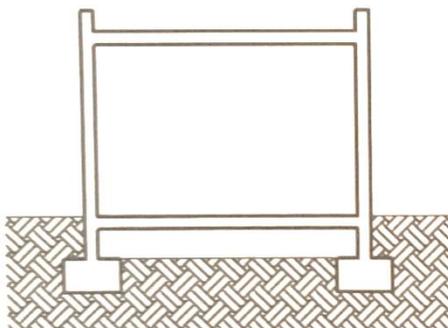
Schemi funzionali delle chiusure inferiori

La chiusura orizzontale è funzionalmente definita da un **insieme coordinato** di **strati funzionali** la cui aggregazione dipende fondamentalmente dalle **caratteristiche idriche** del **terreno** e dalla destinazione d'uso dei locali che la chiusura stessa confina.

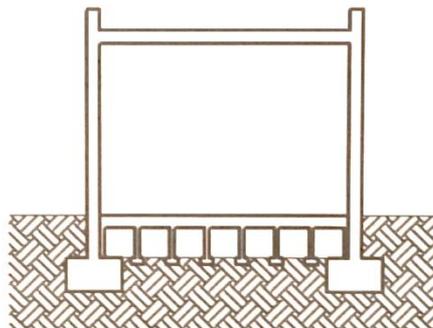
In funzione del rapporto con il terreno si individuano tre **schemi funzionali** di chiusura orizzontale inferiore:

- si parla di chiusura a **contatto diretto** con il terreno (o in rapporto continuo con il terreno) quando esso avviene per tutta la superficie della stessa;
- una chiusura a **contatto** (o rapporto) **lineare** o puntuale appoggia su **strutture** di **scarico** al terreno;
- una chiusura **priva** di **contatto** si configura come completamente **separata** dal terreno.

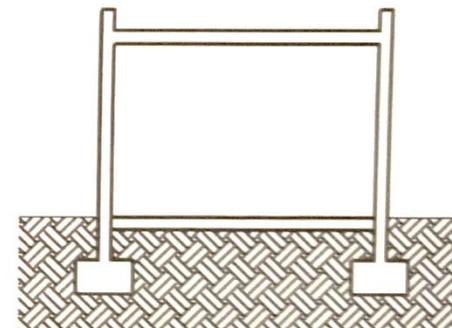
CONTATTO NULLO



CONTATTO LINEARE O PUNTUALE



CONTATTO DIRETTO



Soluzioni a contatto diretto

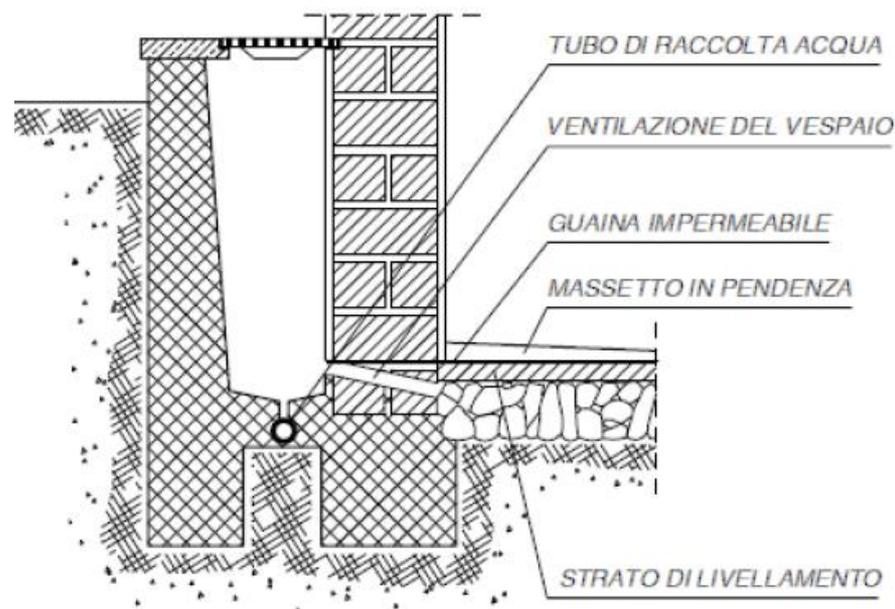
La protezione dall'umidità è dunque realizzata attraverso la realizzazione di:

1. una **intercapedine aerata**. Tale soluzione permette anche l'illuminazione dei locali in tutto o in parte interrati;
2. un **vespaio aerato**, che fornisce la resistenza meccanica necessaria a sostenere la chiusura. È realizzato con **pietrame** a granulometria variabile di spessore compreso tra 25 e 40 cm. Un **massetto armato** con rete elettrosaldata completa la soluzione «nuda»;
3. in alternativa, un **massetto** posto su **membrana impermeabile**.

In assenza di ventilazione, si verifica un accumulo dell'umidità dell'aria dal terreno: si richiede allora la predisposizione di una **barriera al vapore**.

Viceversa, consentendo l'aerazione dell'intercapedine, quest'ultima è soggetta a **lavaggio**, con annullamento dell'effetto coibente.

Chiusura orizzontale inferiore realizzata con vespaio in pietrame sfuso.

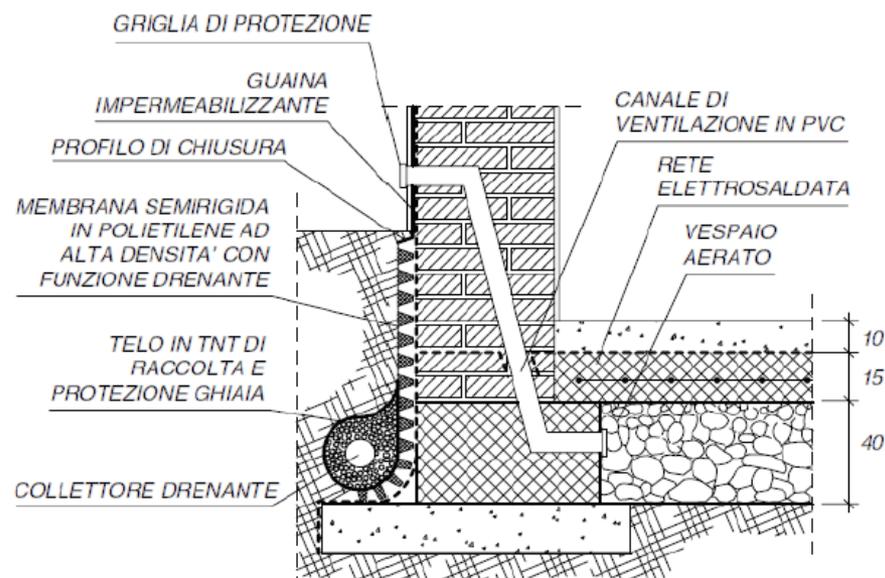
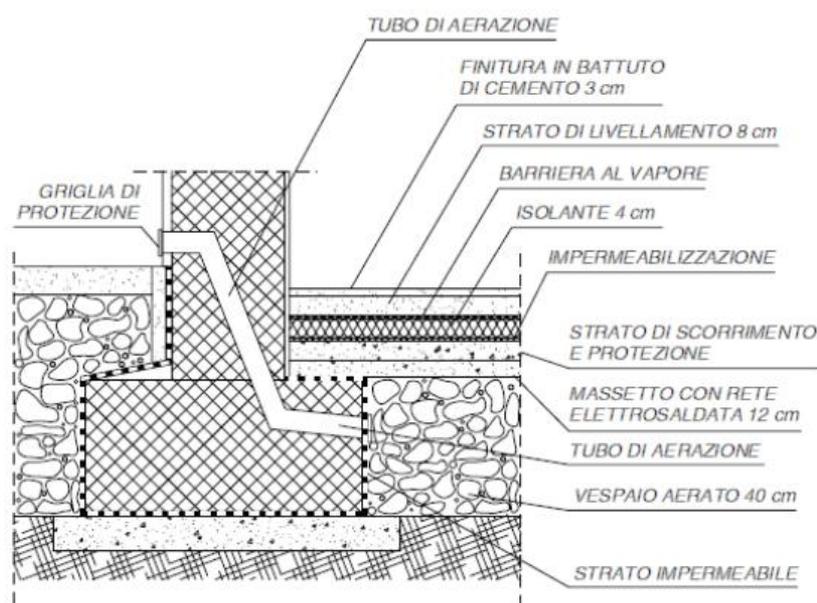


Soluzioni a contatto diretto

L'aerazione attraverso il pietrame di pezzatura variabile è consentita da una rete di canali paralleli comunicanti all'esterno, aventi interasse 100-150 cm e diametro equivalente non inferiore a 150 mm.

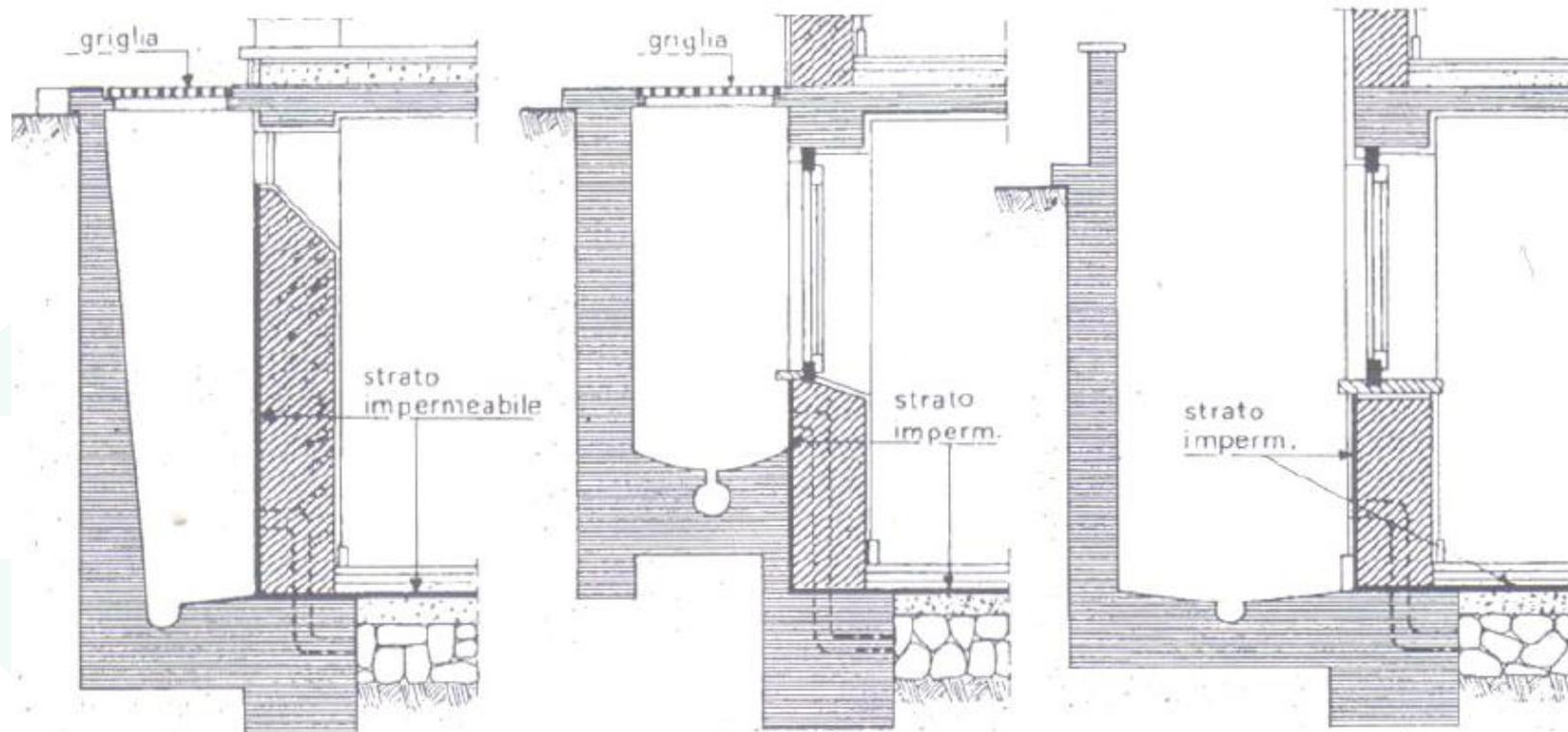
Le pezzature maggiori, avendo una superficie ridotta, si contrappongono al fenomeno di risalita capillare; le pezzature più fini fungono da supporto agli strati soprastanti.

Lo strato finale è costituito da ghiaietto con rifinitura bentonitica.



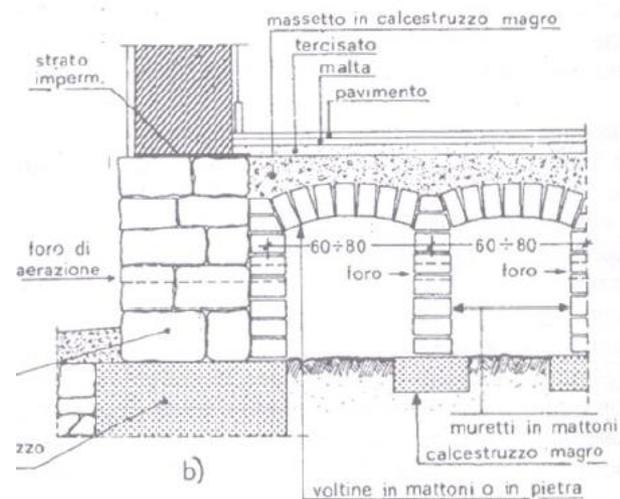
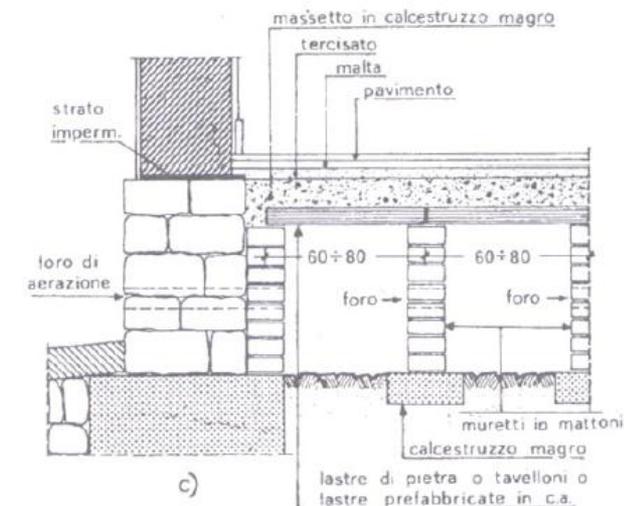
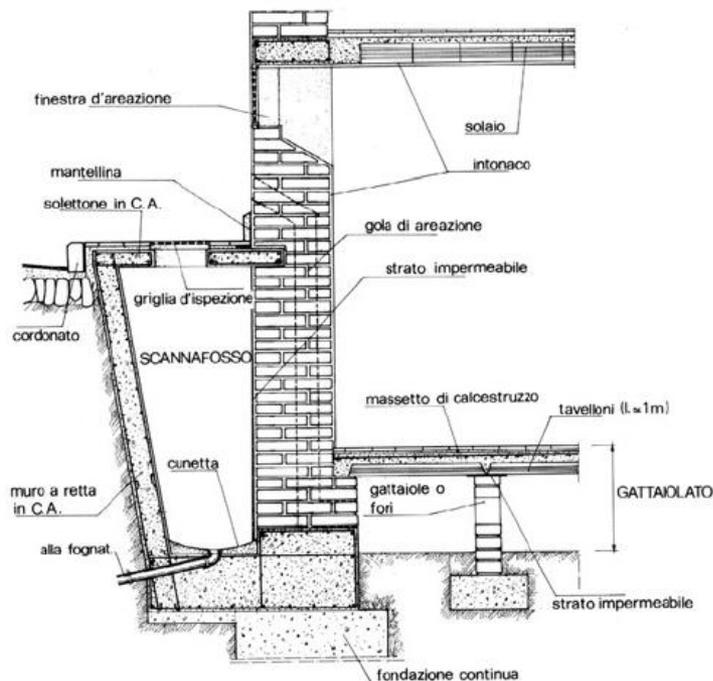
Soluzioni a contatto diretto

Lo strato impermeabilizzante deve proteggere i locali interrati fino alla quota del piano campagna o fino all'apertura di ventilazione dei locali stessi.



Soluzioni a contatto lineare/puntuale

Nella chiusura con **rapporto lineare**, lo strato portante poggia sul terreno mediante **elementi di sostegno** di diverso sviluppo, ad esempio **tavelloni in appoggio su muretti** di spessore non inferiore a 60 mm, oppure **casseforme cupolari in PVC** o **polipropilene** che sostengono un **massetto in calcestruzzo**.



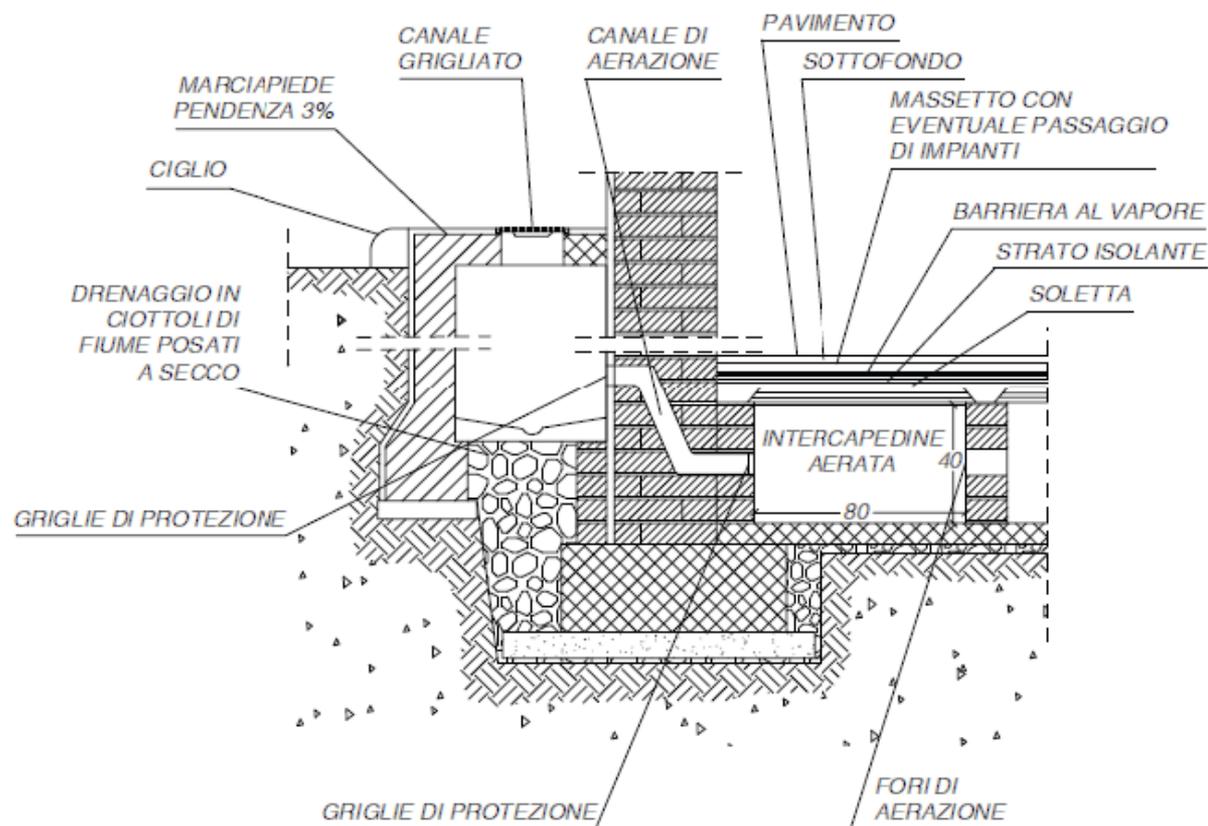
Soluzioni a contatto lineare/puntuale

Uno strato **coibente**, soprastante lo strato resistente, consente il **controllo degli scambi termici** con il terreno.

Il dimensionamento di tale strato deve tener conto:

- della (eventuale) **presenza** di un **sistema** di **riscaldamento radiante** annesso a pavimento;
- dell'interazione fra il **terreno** e la **struttura** per il rispetto delle prescrizioni in materia di **efficienza energetica**.

È necessario prevedere un **massetto** in **calcestruzzo armato** al di sopra dello strato coibente per assicurare la **ripartizione** dei **carichi** trasmessi dalla pavimentazione.



Soluzioni a contatto lineare/puntuale

Può essere necessario prevedere un **secondo strato di barriera al vapore** superiore allo strato coibente:

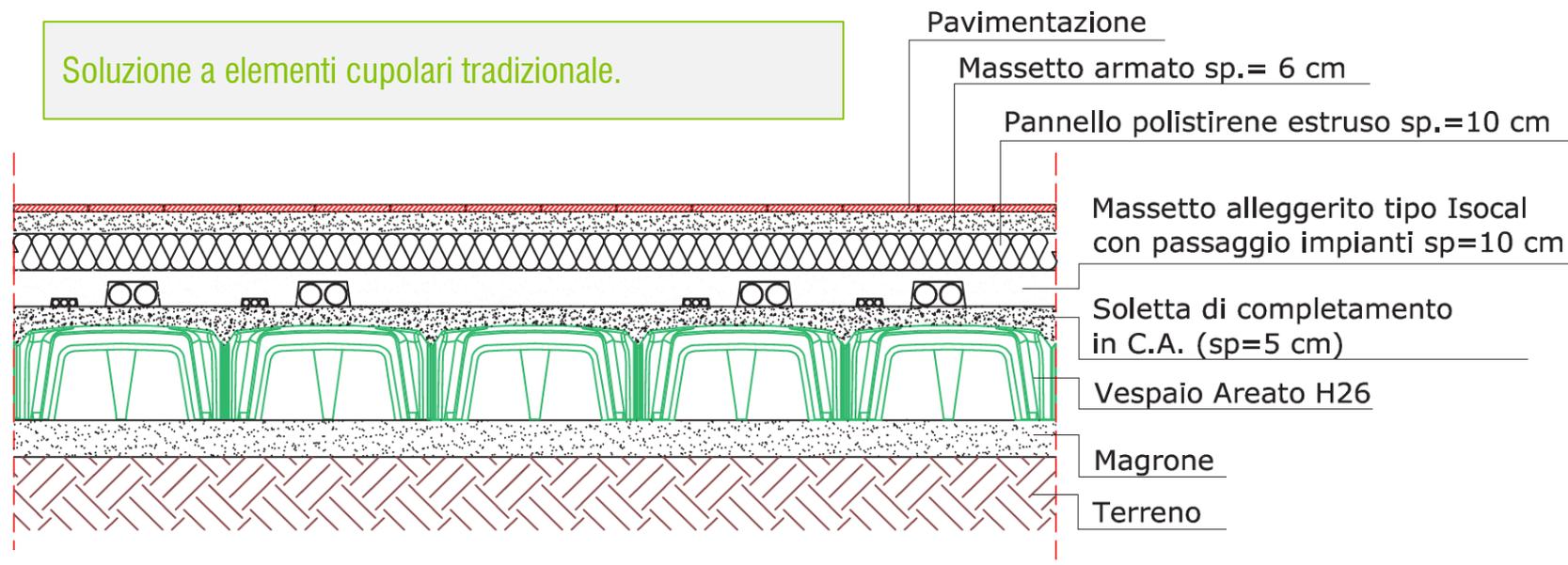
- il primo strato, infatti, protegge lo strato termoisolante dal flusso di **vapore proveniente dal terreno**, specialmente nel periodo autunnale;
- il secondo strato funge da protezione analoga dal flusso di **vapore proveniente dallo spazio confinato**.

Un sistema di contatto puntuale è costituito dai **casseri modulari prefabbricati in PVC**, a quattro o cinque gambe, che fanno denominare il sistema «**a granchio**» o «**a cupole**». Essi poggiano su un **sottofondo di calcestruzzo magro** che conferisce **planarità, orizzontalità e regolarità di posa** a tutto il sistema.

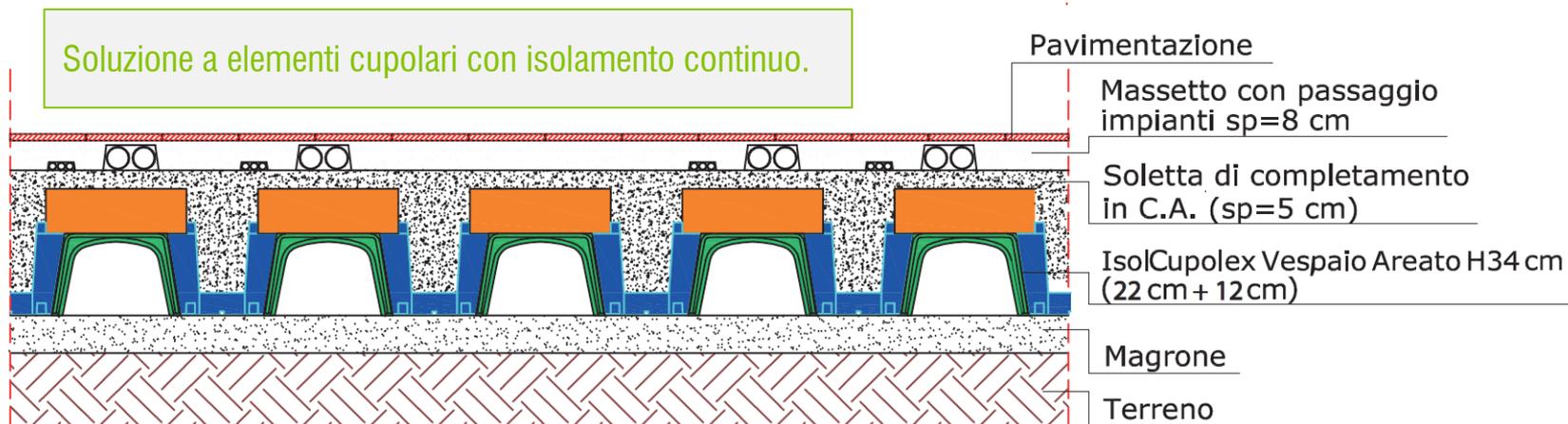


Soluzioni a contatto lineare/puntuale

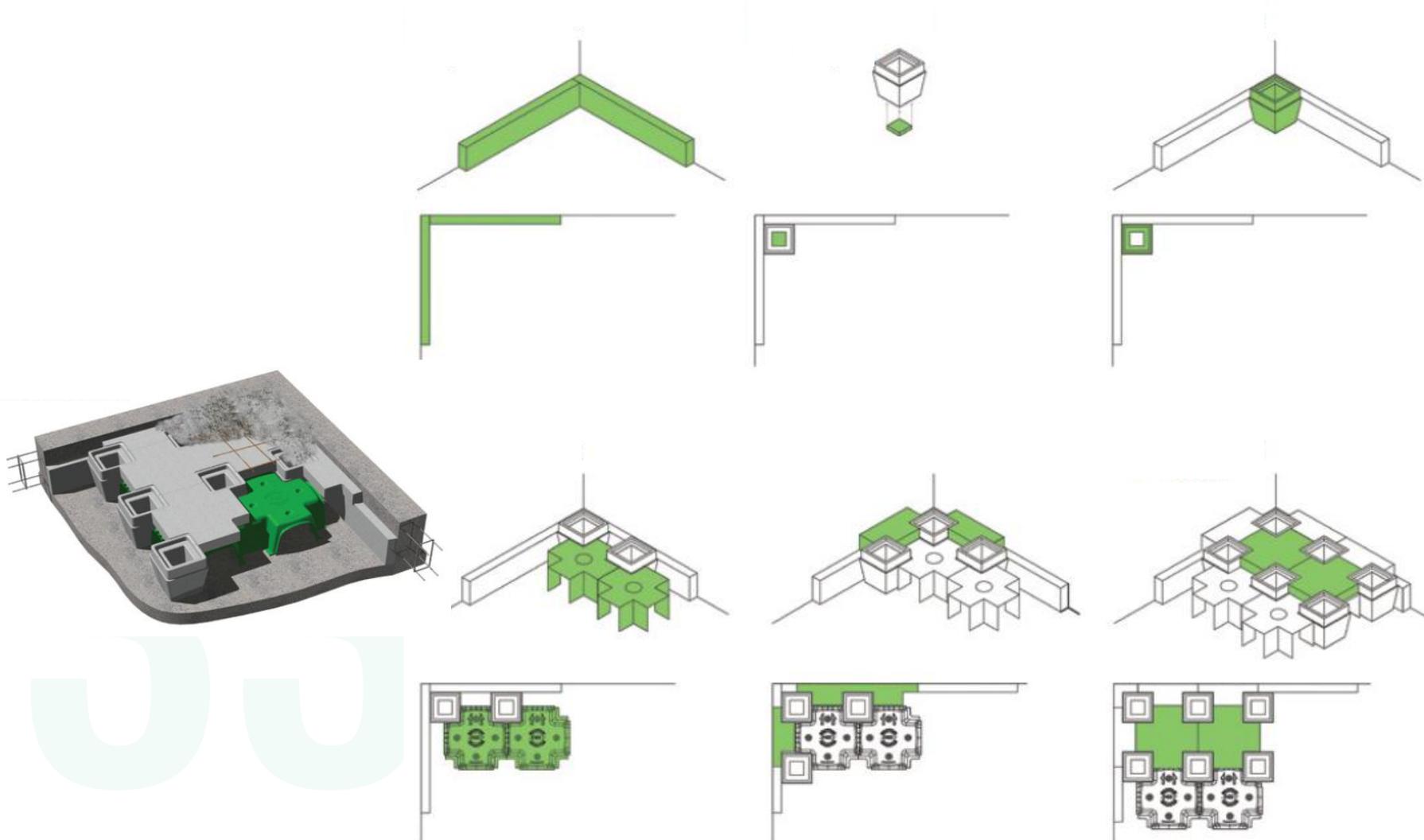
Soluzione a elementi cupolari tradizionale.



Soluzione a elementi cupolari con isolamento continuo.



Soluzioni a contatto lineare/puntuale

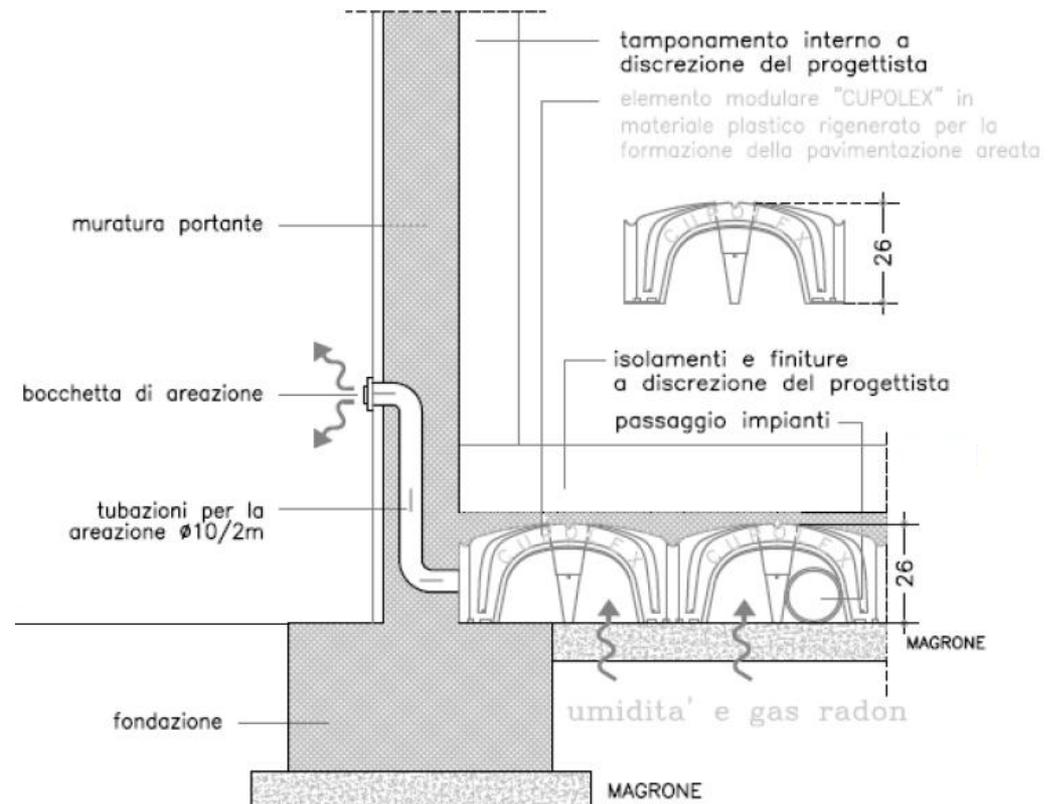


Soluzioni a contatto lineare/puntuale

L'utilizzo di **casseforme modulari a perdere** realizza uno spazio tra il terreno ed il piano di calpestio, nel quale è possibile **disporre reti impiantistiche**.

È comunque necessario mantenere **aperture al perimetro** per consentire un'adeguata ventilazione; lo **sfiato** deve essere **in quota** rispetto al piano campagna per evitare risalita e caduta dell'acqua piovana.

Il requisito di attrezzabilità impiantistica è reso inoltre possibile dalla predisposizione di un **massetto di alloggiamento** per gli impianti tecnici che ivi sono annegati, oppure attraverso un pavimento sopraelevato che consente una più semplice **accessibilità** alle reti di distribuzione.



Radon

La norma UNI 11277:2008 richiama, quale requisito relativo al benessere ed alla **salute dell'utenza**, la necessità che i materiali utilizzati siano esenti da rischio di **emissione di radon**; devono inoltre essere previsti **sistemi di confinamento del radon** potenzialmente **proveniente dal sottosuolo** in località a rischio.

Questo gas estremamente diffuso, responsabile di buona parte delle radiazioni ionizzanti di **origine naturale**, viene **emesso principalmente dal terreno**; altre fonti di radon possono essere riscontrate in materiali da costruzione, costituiti in prevalenza da **materiali lapidei** e derivati, quali la **pozzolana**, il **tufo**.

Il **radon 222**, cancerogeno, è un gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento del radio 226 – a sua volta prodotto del decadimento dell'uranio 238 – attraverso l'espulsione di un nucleo di elio.

Il radon si trasforma in modo del tutto naturale in altri elementi, radioattivi anch'essi, concludendo la catena di decadimento con un elemento stabile, il **piombo 206**.

RADIAZIONE IONIZZANTE

l'insieme delle radiazioni in grado di produrre il fenomeno fisico della ionizzazione nella materia che attraversano, ossia una scissione di molecole e atomi in ioni



Radon: le origini

L'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (**AIRC**) classifica il gas radon, congiuntamente ai prodotti derivanti dal suo decadimento, tra le sostanze per le quali esistono sufficienti **evidenze** di **cancerogenicità** nell'uomo. In Italia il radon è seconda causa di neoplasie polmonari dopo il fumo.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-OMS) già dal 1988 ha dichiarato il radon una delle 75 sostanze cancerogene per l'uomo, al pari di al benzene, all'amianto, al fumo di tabacco.

Il gas radon è **inodore**, **insapore** ed **incoloro**, ed inoltre è **incombustibile** e non esplosivo.

La pericolosità di tale agente inquinante è dovuta al suo **accumulo** in **ambienti chiusi**, quali abitazioni o uffici, in cui **l'utenza si trattiene mediamente per l'80% della giornata**. La concentrazione di gas negli ambienti confinati dipende essenzialmente da:

- tipologia del **suolo** di **fondazione**;



- caratteristiche del **sistema tecnologico** dell'edificio;
- proprietà dei **materiali** edili **impiegati**.

L'elemento radio è presente in tutte le **rocce**, perciò nei **materiali** da costruzione **minerali** il **radon** viene **generato continuamente**, liberandosi dalle superfici ed elevando la concentrazione presente nei locali.

Radon: le origini

Materiali	Intensità di esalazione [Bq m ⁻³ h ⁻¹]
pietra arenaria	0,9 ÷ 1,0
porfido	3,3
laterizi	0,2
pietra pomice	1,5
calcestruzzo	1,1
gesso naturale	0,2

Il radon, in quanto elemento gassoso, è inalato ed espulso dall'organismo tramite l'**apparato respiratorio**, con il quale è direttamente a contatto. Qui possono infatti avvenire reazioni di eccitazione e cattura nucleare, o di ionizzazione (tipiche delle radiazioni α) che modificano la struttura degli acidi nucleici con conseguente danneggiamento e quindi la **morte cellulare** (per radiazioni di elevata intensità) o **fenomeni tumorali** (per radiazioni a bassa intensità ma **prolungate nel tempo**).

Il controllo ed il monitoraggio della presenza di questo agente inquinante è affidata a campagne di misura per la **mappatura del territorio** tali da consentire la stima dei livelli di radon negli ambienti maggiormente frequentati da particolari categorie di utenza come **scuole, uffici ed abitazioni**.

Misurazioni e monitoraggi costituiscono la premessa per intraprendere eventuali **azioni di rimedio** volte ad abbattere le concentrazioni del gas, e devono **precedere** qualsiasi **opera di bonifica o mitigazione**.

Il rischio correlato al radon cresce in proporzione alla **concentrazione del gas** all'interno degli ambienti confinati ed al **tempo di permanenza** dell'agente inquinante in tali ambienti.

Per quantificare il livello di gas radon in un ambiente si utilizza il **Becquerel** (Bq), unità di misura riferita all'attività del nuclide: 1 Bq indica un decadimento radioattivo al secondo. Per agenti gassosi si indica l'**attività del nuclide per unità di volume** (Bq m⁻³).

Radon: campagne di monitoraggio

La concentrazione del gas radon varia:

- in base alla **localizzazione** sul **territorio**;
- in base alla posizione del locale, in dipendenza dalla **quota rispetto al terreno**;
- nel **tempo**, sia nell'arco della stessa giornata che nel corso dell'anno.

La propagazione del radon nel terreno e la sua penetrazione all'interno di ambienti confinati avviene secondo dinamiche complesse, per cui non è possibile stimare la concentrazione di radon in un edificio a partire dalla tipologia edilizia e dalla composizione del terreno di fondazione. È quindi necessario affidarsi a **misurazioni in situ** per valutare la possibilità di intraprendere **azioni** di **contenimento**.

Una campagna di misure accurate dovrebbe perciò protrarsi per tempi lunghi (generalmente **un anno**). Gli spazi da considerarsi per la campagna di misure sono quelli maggiormente frequentati dall'utenza, perciò gli spazi di fascia funzionale primaria.

FINALITÀ DELLE MISURAZIONI

Controllo di un edificio esistente
(durata di circa 12 mesi)

Intervento di ristrutturazione
(verifica della tipologia e dell'intensità
delle azioni da intraprendere)

Intervento di nuova costruzione
(misure condotte in edifici limitrofi)

Verifica delle azioni intraprese
(durata di circa 12 mesi)

Monitoraggio e mappatura del territorio

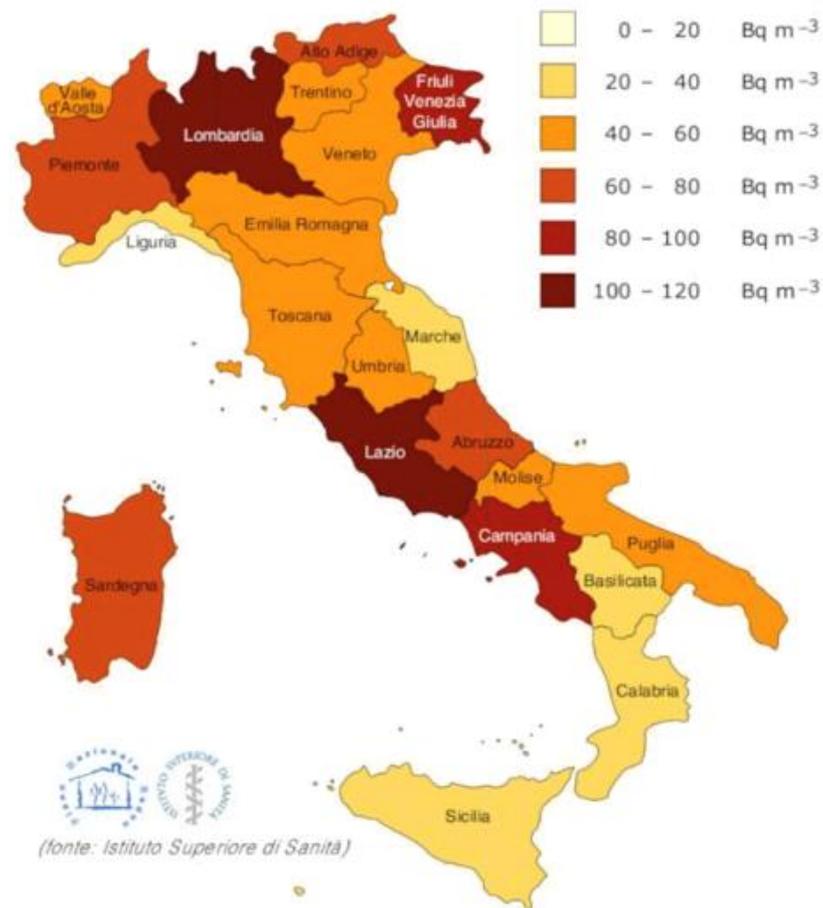
Radon: campagne di monitoraggio

Diverse indagini svolte su scala nazionale e locale hanno premesso di individuare le porzioni di territorio caratterizzati da **concentrazioni elevate** di radon, individuando così le zone maggiormente a rischio.

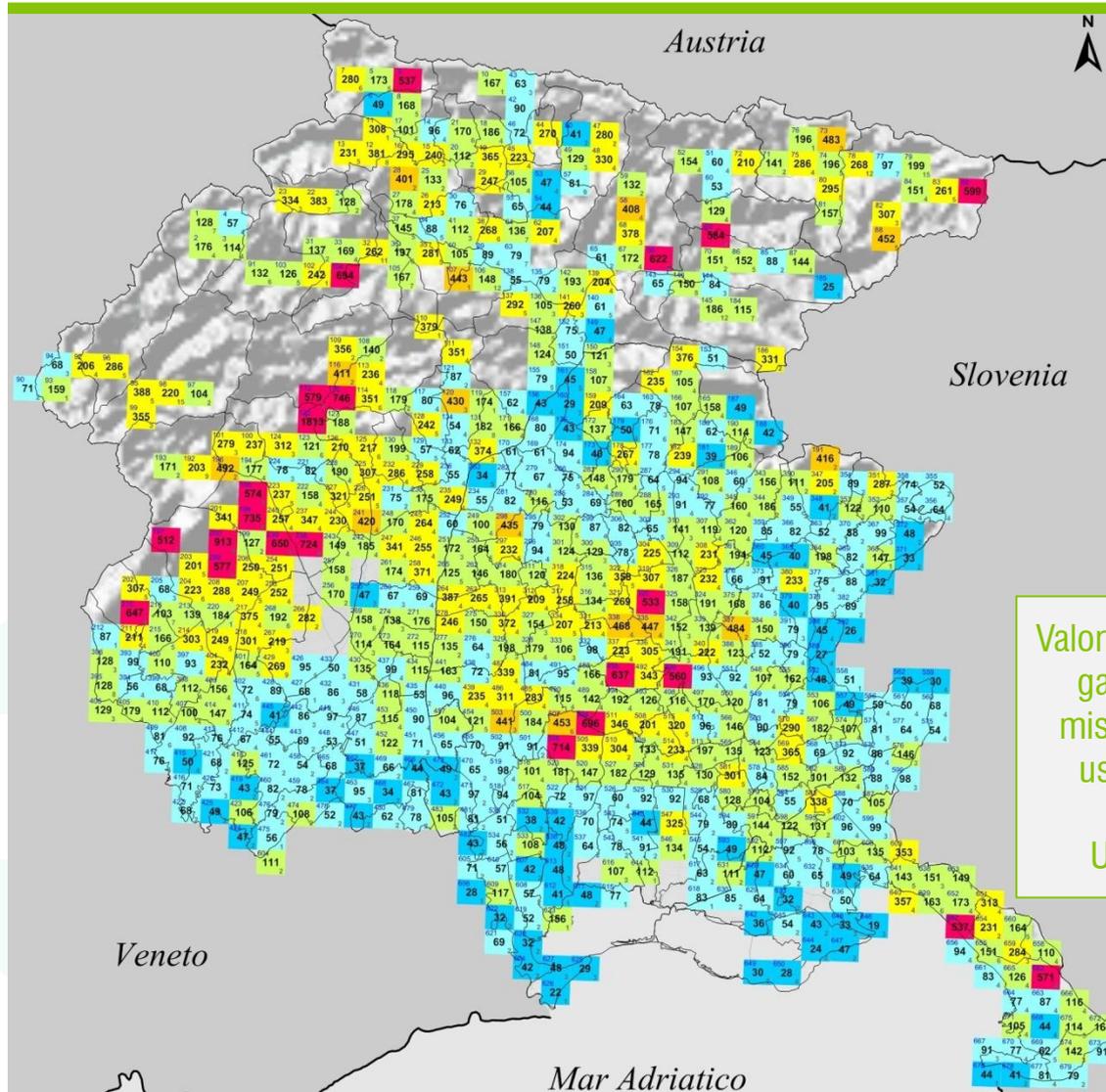
A metà degli Anni '90 una prima indagine, condotta dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e del Territorio (APAT) ha valutato, sul territorio nazionale, una **concentrazione media di gas radon di 70 Bq m⁻³** negli ambienti confinati, ed ha individuato nelle Regioni Campania, Lazio, Lombardia e Friuli Venezia Giulia una presenza di radon più rilevante.

Nelle prime due Regioni tale fatto è dovuto alla presenza di **suoli di origine vulcanica** contenenti elementi radioattivi, mentre nel **Friuli – Venezia Giulia** i livelli elevati di radon sono dovuti ai **suoli carsici** ed ai conseguenti fenomeni erosivi che incrementano le possibilità di diffusione del gas all'interno degli edifici.

Valori medi di concentrazione del gas radon nelle regioni italiane.



Radon in Friuli-Venezia Giulia

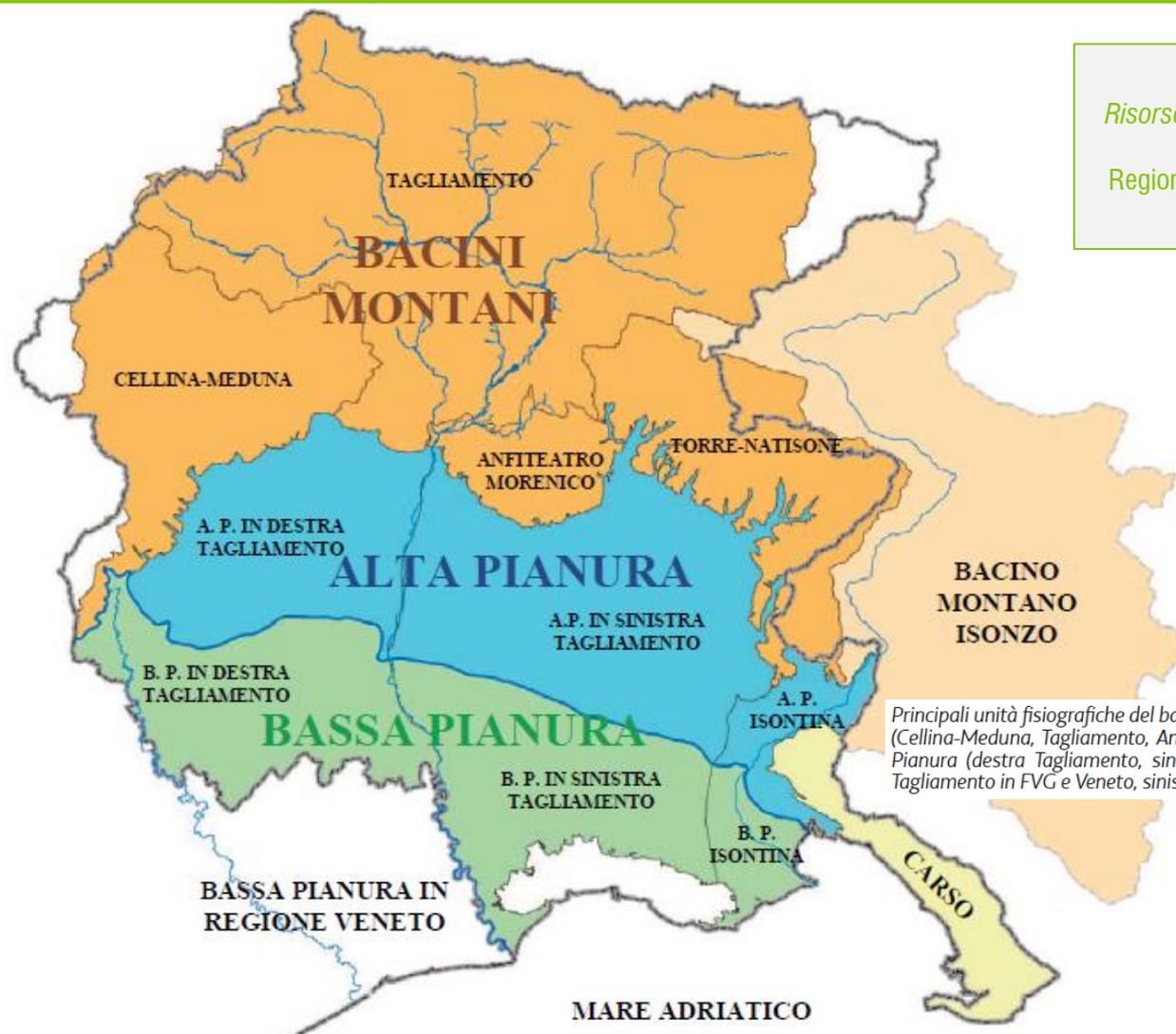


Concentrazione di radon Bq m⁻³

- da 0 a 50
- da 50 a 100
- da 100 a 200
- da 200 a 400
- da 400 a 500
- da 500 a 2000

Valori medi aritmetici delle concentrazioni di gas radon derivanti dalle campagne di misura condotte su circa 4000 edifici ad uso residenziale e scolastico primario
Un riquadro ha superficie ~ 10 km²

Radon in Friuli-Venezia Giulia

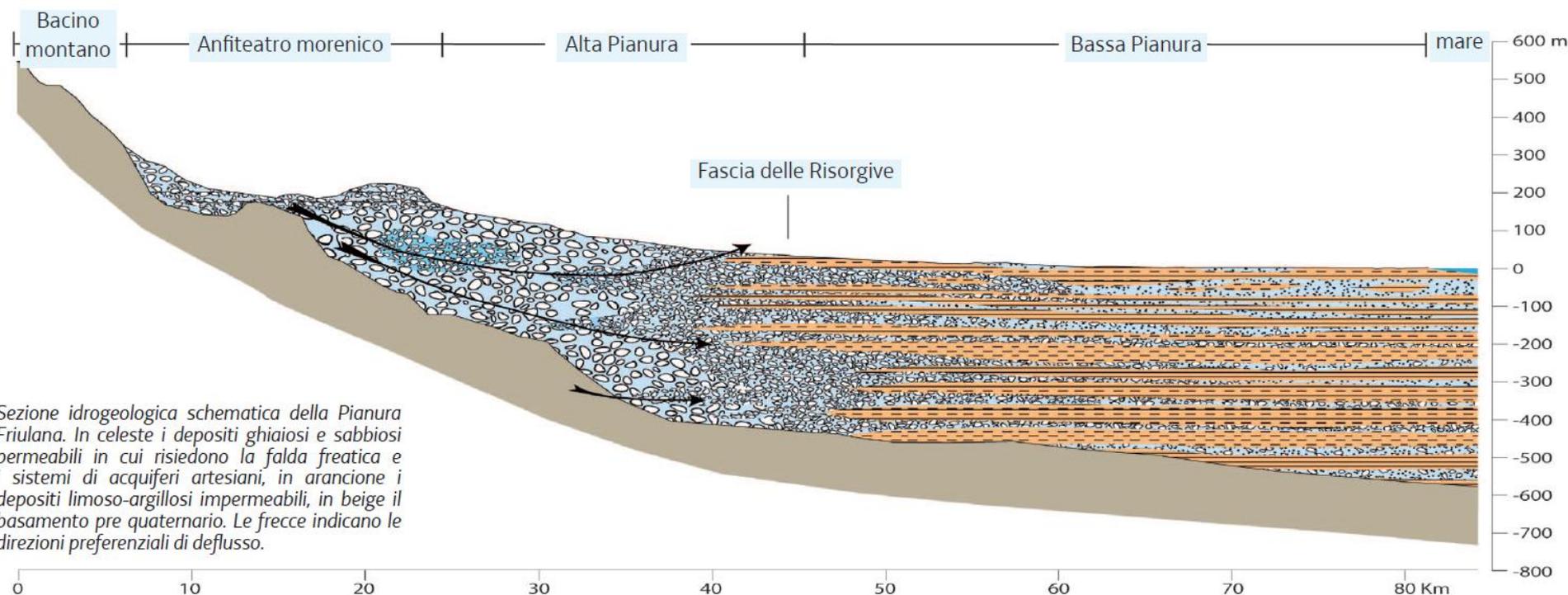


Fonte e-pub:
Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo
Regione Friuli Venezia Giulia e Università di Trieste,
2011. ISBN 9788883033148

Principali unità fisiografiche del bacino idrogeologico del Friuli Venezia Giulia: i bacini montani (Cellina-Meduna, Tagliamento, Anfiteatro Morenico, Torre-Natisone e Isonzo), il Carso, l'Alta Pianura (destra Tagliamento, sinistra Tagliamento e isontina) e la Bassa Pianura (destra Tagliamento in FVG e Veneto, sinistra Tagliamento e isontina).

Radon in Friuli-Venezia Giulia

Fonte e-pub:
*Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia:
sostenibilità dell'attuale utilizzo*
Regione Friuli Venezia Giulia e Università di Trieste,
2011. ISBN 9788883033148



Sezione idrogeologica schematica della Pianura Friulana. In celeste i depositi ghiaiosi e sabbiosi permeabili in cui risiedono la falda freatica e i sistemi di acquiferi artesiani, in arancione i depositi limoso-argillosi impermeabili, in beige il basamento pre quaternario. Le frecce indicano le direzioni preferenziali di deflusso.

Radon negli edifici

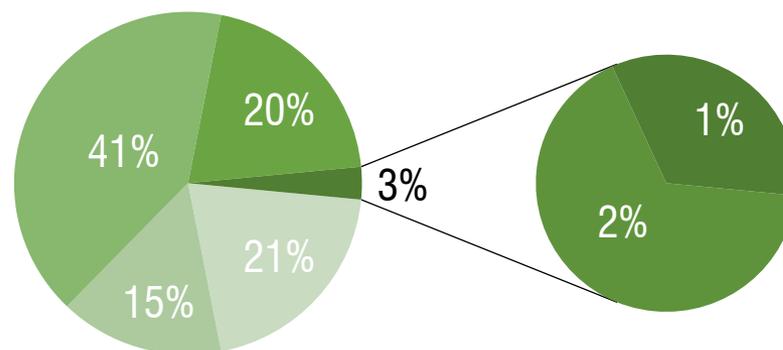
I principali meccanismi che comportano la presenza di radon all'interno degli organismi edilizi sono:

- **diffusione;**
- **convezione;**
- **infiltrazione.**

La diffusione del radon negli ambienti confinati è dovuta essenzialmente alla sorgente rappresentata dal **terreno** ed ai **materiali edili**; anche l'acqua è un fattore significativo per giustificare la presenza del gas.

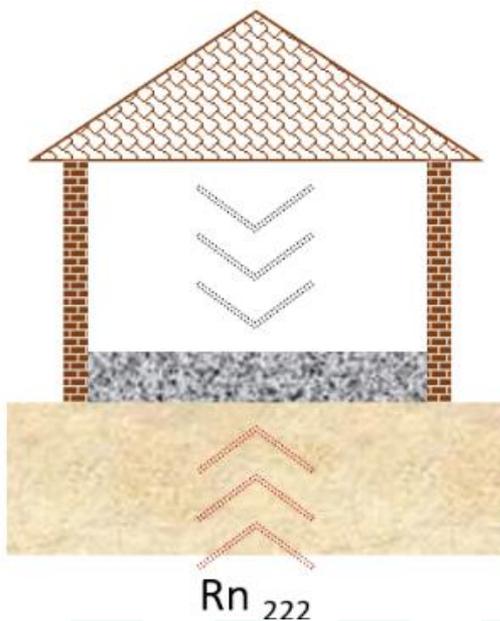
Per quanto riguarda i **materiali da costruzione**, la concentrazione di radon procurata dipende dalla superficie afferente al singolo materiale e dalla **porosità** del materiale stesso. Mediamente il contributo alla concentrazione del gas, per soluzioni tecnologiche tradizionali, è stimabile in $10\div 20 \text{ Bq m}^3 \text{ h}^{-1}$.

- Elementi costruttivi (diffusione)
- Suolo (diffusione)
- Suolo (convezione)
- Aria esterna (infiltrazione)
- Acqua
- Gas naturale

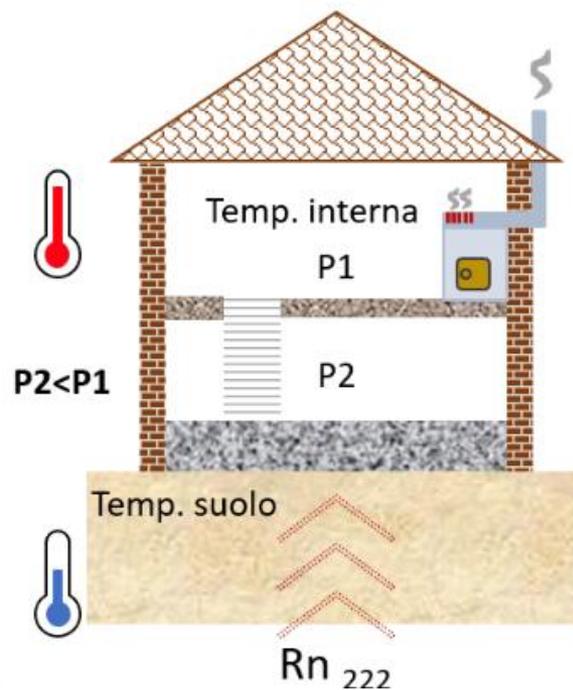


Radon negli edifici

DIFFUSIONE



CONVEZIONE



TRASPORTO FLUIDO



Radon negli edifici

Il gas radon, prevalentemente, si accumula negli **interstizi del terreno** e perviene in superficie per **diffusione** attraverso **discontinuità** come crepe o fessure, attraverso i **suoli** più **porosi e permeabili**. L'aria presente nel terreno risale verso la superficie ad una velocità variabile ($1,5\div 4,0 \text{ m s}^{-1}$), arricchendosi di gas radon fino a raggiungere concentrazioni significative pur con infiltrazioni modeste. La **permeabilità del terreno** è fattore ben più decisivo rispetto alla concentrazione di radon presente nel terreno stesso.

L'**advezione** (detta anche convezione) si instaura per **differenza di pressione** tra l'**ambiente interno** ed **esterno** comportando l'ingresso del gas dal suolo negli edifici **attraverso le chiusure inferiori**. Flussi d'aria e gradiente di temperatura sono i fattori che influiscono sulla diffusione del gas radon per advezione.

Il meccanismo di **infiltrazione** è legato all'ingresso diretto di aria con la **ventilazione** e mediante **processi non regolati** in presenza di crepe o fessurazioni.

Anche l'acqua rappresenta un fattore di diffusione del gas in quanto il radon è solubile in acqua; la sua solubilità aumenta al diminuire della temperatura. L'agente inquinante può essere rimosso per diffusione molecolare dall'acqua (nella quale il livello medio della concentrazione è pari a 10 kBq m^{-3}) in atmosfera.

Nuova costruzione

- estrema pianificabilità degli interventi
- elevata efficacia delle azioni

Ristrutturazione Risanamento

- azioni più complesse ed impegnative
- esito incerto
- possibile urgenza dell'intervento

Radon: riferimenti normativi

PROTEZIONE E PREVENZIONE DA GAS RADON

NORMATIVA

Individuazione di soglie di concentrazione del gas tali da rendere necessaria l'adozione di misure correttive o mitiganti

Attività media nell'arco di 12 mesi $> 500 \text{ Bq m}^{-3}$
per ambienti lavorativi

(D. Lgs. 230/1995; D. Lgs. 241/2000)

Attività media nell'arco di 12 mesi $> 500 \text{ Bq m}^{-3}$
per ambienti abitativi in edifici nuovi
Attività media nell'arco di 12 mesi $> 500 \text{ Bq m}^{-3}$
per ambienti abitativi in edifici esistenti

(Raccomandazione UE 143/1990)

Radon: strategie di mitigazione

Le **condizioni** che caratterizzano il **sito**, eventualmente corredate da disposizioni della committenza e normative influenzano le opzioni inerenti le **misure** di **protezione**.

Per interventi di **nuova costruzione** è necessario indagare le caratteristiche del terreno di fondazione:

- è necessario verificare la presenza di un'elevata **concentrazione** di radon, consultando eventuali mappature o dati disponibili, oppure informandosi sullo **stato degli edifici adiacenti**;
- si deve considerare la **permeabilità del terreno** di **fondazione**, in particolar modo nel caso in cui siano richiesti o previsti interventi su terreni rocciosi; terreni umidi o argillosi, al contrario, creano condizioni di bassa concentrazione del gas.

Estremamente più complesso è l'intervento su **edifici esistenti**, in quanto le operazioni di **risanamento** richiedono la misura negli ambienti potenzialmente esposti ed una ineliminabile **invasività delle azioni**.

1. DESCRIZIONE DELLA SITUAZIONE INIZIALE

Conoscenza ed analisi del contesto

2. INTERVENTO PROGETTUALE

Opportuna disposizione dei locali

Isolamento alla migrazione del radon

Diluizione delle concentrazioni di radon

3. VERIFICA DELL'EFFICACIA DELLE AZIONI

Misurazioni finali di raffronto

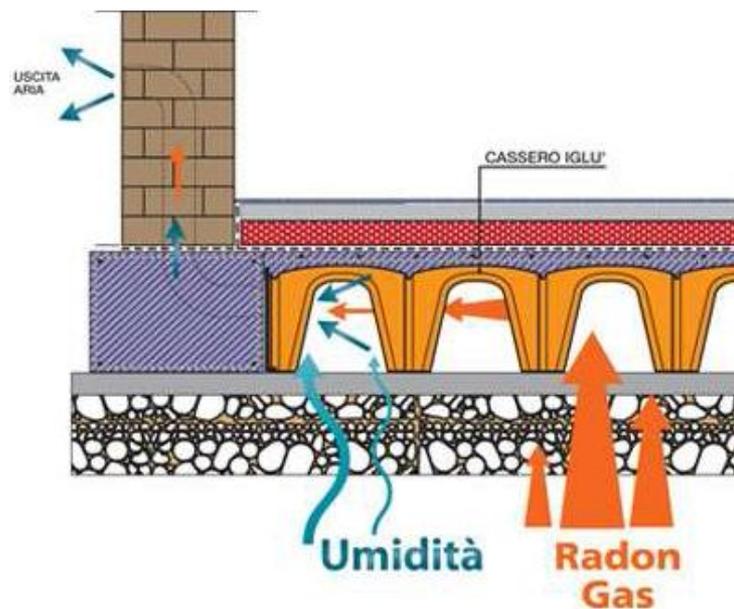
Radon: strategie di mitigazione

L'aspetto che più direttamente è collegato alla presenza di radon negli edifici è rappresentato dalla **tipologia di attacco a terra**, seguito dalla tipologia di **suolo** e dalle **condizioni climatiche esterne**. Si possono distinguere cinque situazioni diverse:

1. chiusura **appoggiata sul terreno**;
2. chiusura provvista di **intercapedine**;
3. chiusura provvista di **intercapedine aerata**;
4. presenza di **vani interrati**;
5. presenza di **vani seminterrati**.

Tra queste, la peggiore situazione è senza dubbio rappresentata dal solaio appoggiato direttamente sul terreno. Per questo i Regolamenti Edilizi Comunali, nel caso di **nuove realizzazioni** o di **modifiche di destinazione d'uso** dei locali controterra, indicano **l'altezza minima dell'intercapedine** da realizzarsi sotto al solaio degli ambienti abitabili, oltre a richiedere che essa sia **aerata** attraverso la realizzazione di fori nelle pareti perimetrali.

Questa tecnica permette di raggiungere un duplice effetto: **ridurre** la **pressione** entro l'intercapedine, limitando l'effetto **risucchio del radon dal terreno**, e **diluirne** la **concentrazione** immettendo aria esterna e asportando all'esterno parte del gas. Inoltre, la tecnica contribuisce ad **eliminare l'umidità proveniente dal terreno**, contrastandone la risalita per capillarità.



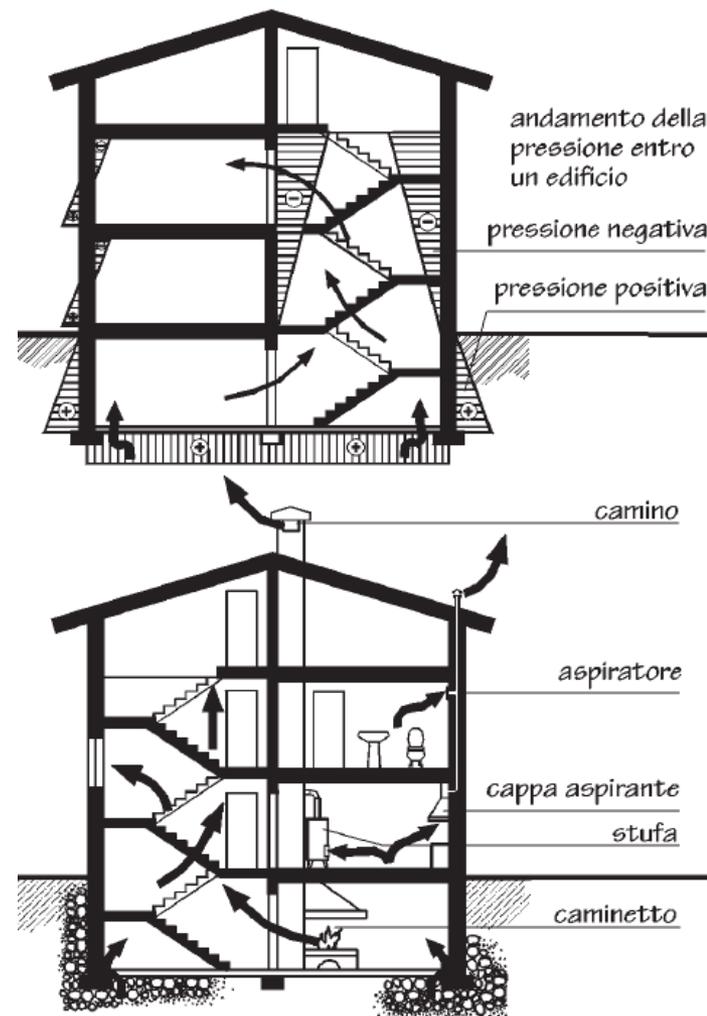
Radon: strategie di mitigazione

Gli ambienti più suscettibili al rischio radon sono posti al **piano terra**, oppure totalmente o parzialmente **interrati**; attraverso comunicazioni verticali prive di serramenti interni può avvenire la **circolazione dell'aria** e, con essa, il **trasporto del radon** ai piani superiori.

È importante considerare che un intervento di risanamento da radon può costituire l'occasione per effettuare un'ampia operazione di ristrutturazione e manutenzione di alcune parti dell'edificio.

In linea generale, il contenimento e la riduzione degli effetti del gas radon sono perseguibili attraverso tre strategie, che possono essere adottate sinergicamente:

- opportuna **disposizione dei locali abitati** dell'organismo edilizio, con particolare attenzione riservata ai vani principali;
- **isolamento e tenuta dell'involucro edilizio** alla **migrazione del radon** (principalmente dal suolo);
- **ventilazione** per la **diluizione della concentrazione** e l'asportazione del gas.



Radon: strategie di mitigazione

Essendo il **terreno** di fondazione la principale sorgente del gas radon, la principale strategia deve necessariamente mirare a **separare** i **locali** appartenenti alla **fascia funzionale primaria dal suolo** o dagli ambienti ad esso adiacenti. Corollario immediato, per gli interventi di rifunzionalizzazione o trasformazione di organismi edilizi esistenti, è che non devono essere previsti locali di abitazione, o comunque a permanenza continuata, in ambienti a diretto contatto col suolo.

Devono essere **evitate** altresì **comunicazioni dirette**, senza interruzioni, tra l'eventuale **piano interrato** ed i **livelli superiori**, così da inibire l'effetto di trasferimento del radon per correnti d'aria.

In continuità con quanto appena espresso, un intervento di risanamento da radon in un organismo esistente può essere associato alla realizzazione di **strati funzionali** di **isolamento termico** e di **tenuta all'aria**; in particolare quest'ultimo intervento prevede la messa in opera degli stessi elementi tecnici.

DISPOSIZIONE DEI LOCALI ABITATIVI

Evitare di posizionare locali di abitazione a diretto contatto con il terreno (per interventi di ristrutturazione)

Evitare vani scala aperti fino al livello della cantina, consentendo così la diffusione del radon

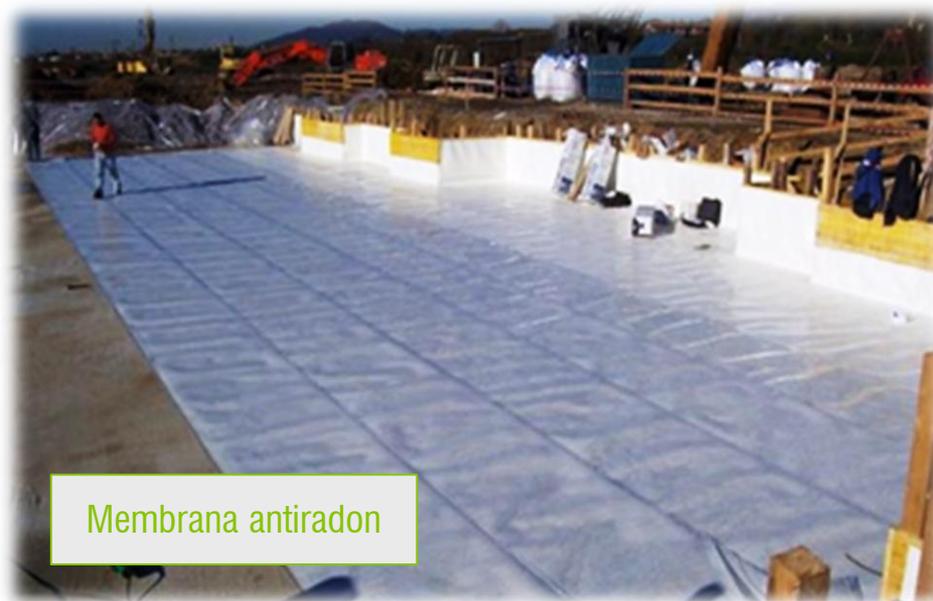
Ridurre la permanenza in locali a maggiore rischio di concentrazione di radon al di sopra dei livelli di attenzione

Radon: strategie di mitigazione

Come si è visto, il radon perviene all'interno degli edifici secondo tre meccanismi:

- la **diffusione** delle particelle attraverso gli elementi tecnici di confine;
- **l'advezione** e **l'infiltrazione** attraverso gli elementi stessi, nel primo caso aperture, nel secondo caso punti singolari; tali contributi sono i più significativi.

Per quanto concerne la diffusione del radon, la totalità dei materiali da costruzione è sensibile a questo fenomeno, con l'esclusione di pochi perfettamente **impermeabili** quali i **metalli** ed il **vetro**. Ai fini della protezione dagli effetti nocivi del gas, risultano problematici i materiali molto permeabili, poiché il gas può diffondersi con facilità e avviare il decadimento radioattivo all'interno dei locali, piuttosto che all'interno dell'elemento tecnico (condizione in cui i prodotti del decadimento vi rimangono imprigionati risultando di fatto innocui).



Membrana antiradon

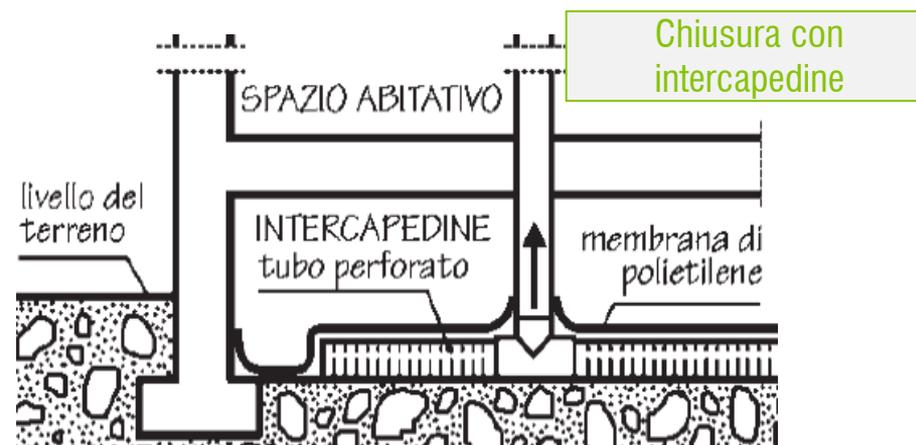
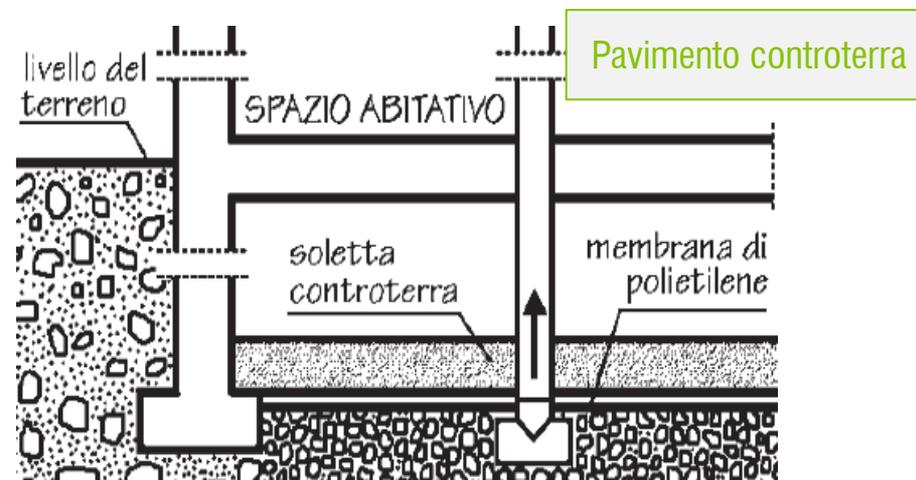
Per edifici di nuova costruzione, nel caso in cui la concentrazione di radon nel sottosuolo sia elevata, si può ricorrere a **elementi tecnici isolanti**, quali fogli o **membrane**, che rendano la chiusura inferiore **impermeabile al radon**, realizzata con una miscela di bitume ed elastomeri. Questo strato permette di prevenire anche la risalita di **umidità** dal **terreno**.

Radon: strategie di mitigazione

La membrana, per essere efficace, deve essere applicata **su tutto il sedime dell'edificio**, e non solo con funzione di membrana «**tagliamuro**» contro la risalita dell'umidità per capillarità.

Le membrane antiradon sono solitamente costituite da **polietilene** ad **alta densità** laminato su diversi strati, nei quali è incorporata una **rete d'armatura** in fibra di poliestere, per uno spessore complessivo inferiore a 1 mm – considerando anche le necessarie sovrapposizioni all'atto della posa in opera.

In edifici nuovi, è comunque opportuno affidarsi ad una **soluzione composta** che contempra sia la membrana antiradon che un sistema di **aerazione** dell'attacco a terra.



Radon: strategie di mitigazione

Negli edifici esistenti, la presenza di discontinuità negli elementi tecnici a contatto con il terreno innesca **l'infiltrazione** di aria dal sottosuolo, così da costituire un vettore per l'ingresso del gas radon negli ambienti confinati. I punti di infiltrazione possono essere:

- **singolari** (fori di passaggio per allacciamenti alle reti infrastrutturali, pozzetti ed aperture di controllo);
- **lineari**, come giunti e fessurazioni negli elementi tecnici di diversa giacitura;
- **bidimensionali**, ad esempio pavimentazioni di locali interrati realizzati in ghiaia o in pietra, o strutture permeabili al radon in genere (in laterizi forati o in pietra, non isolate).

I rimedi possibili prevedono la posa di membrane isolanti sulla superficie interna degli elementi tecnici a contatto con il terreno e la sigillatura dei punti singoli e lineari costituiti da fessurazioni ed asole tecniche. In alternativa, possono essere usate pitture inorganiche a base di cemento, o organiche a base polimerica.

DISCONTINUITÀ PER POTENZIALI INFILTRAZIONI DI ARIA RICCA DI RADON

Fori di passaggio tubazioni, giunti

Aperture per il controllo delle reti infrastrutturali

Camini ed aperture nei cantinati

Pavimenti in lastre di pietra

Elementi tecnici permeabili
(paramenti lapidei, solai in legno, laterizi forati)

Radon: strategie di mitigazione

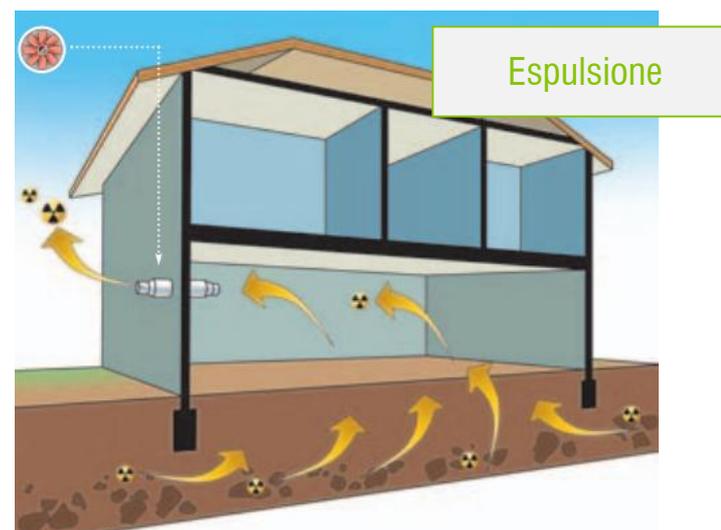
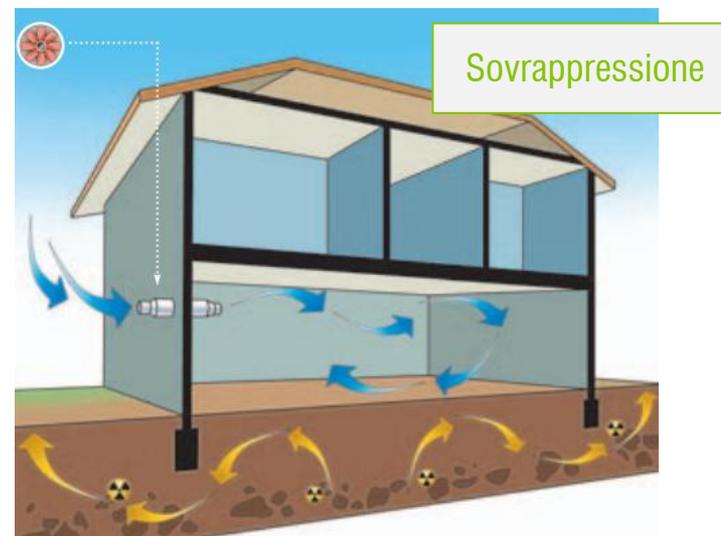
Il radon si diffonde in un edificio anche con la **ventilazione** indotta dall'eventuale **depressione esistente** tra il **sottosuolo** e gli **ambienti confinati**.

L'origine di questa è da ricercarsi:

- nel differente **stato termico** dei **livelli** dell'edificio;
- in alcune **apparecchiature** quali **ventilatori** elettrici e **cappe aspiranti** presenti nei bagni o nelle cucine;
- nei sistemi di **evacuazione** dei **prodotti** della **combustione**, ad esempio per caminetti;
- in sconvenienti esposizioni alla pressione del vento.

Le strategie di protezione dal gas radon riferibili ai processi di ventilazione, passiva e attiva, sono collocabili in quattro principali categorie:

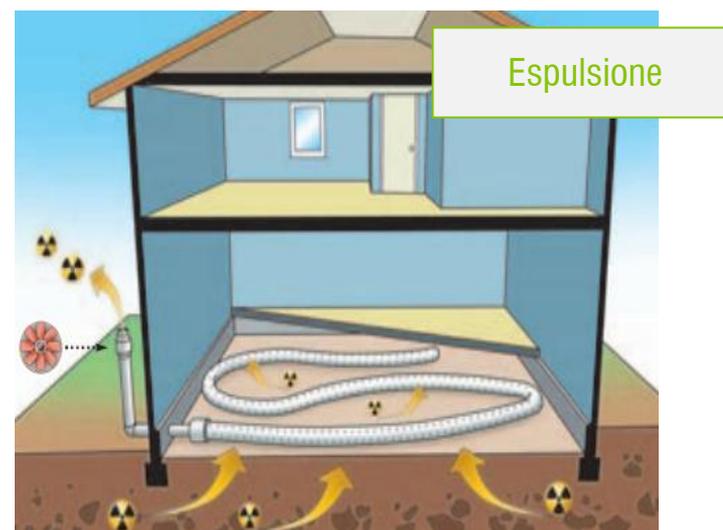
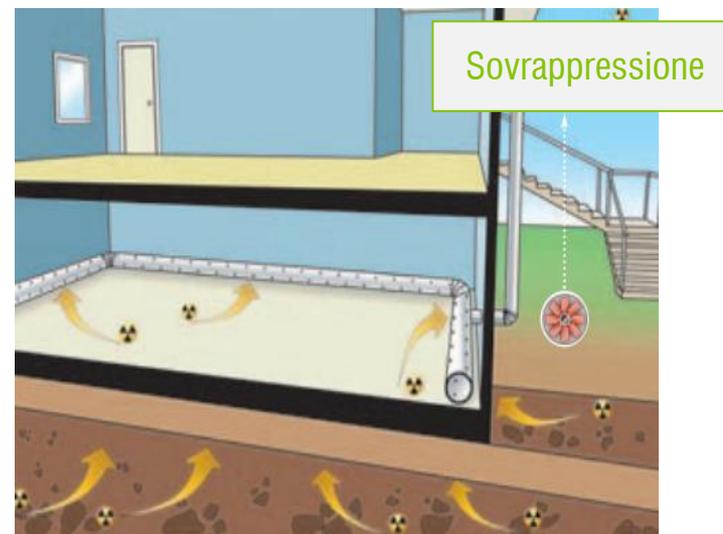
- riduzione o **eliminazione** dei **fattori** di depressione;
- **ventilazione** dello spazio che separa l'edificio dal terreno;
- creazione di **sovrappressione** artificiale nell'edificio;
- **espulsione dell'aria** ed elevata densità di **radon** dai livelli inferiori dell'edificio.



Radon: strategie di mitigazione

La **ventilazione** degli spazi inferiori a contatto con il terreno permette di asportare, secondo un processo passivo o attivo, l'aria ad elevata concentrazione di radon presente nel sottosuolo, rimpiazzandola con aria esterna. La presenza di un **vuoto sanitario** (vespaio aerato) nella chiusura inferiore, allo scopo di proteggere l'edificio dalla risalita di umidità dal terreno, è spesso sufficiente all'evacuazione dell'aria con radon attraverso le aperture del vuoto stesso.

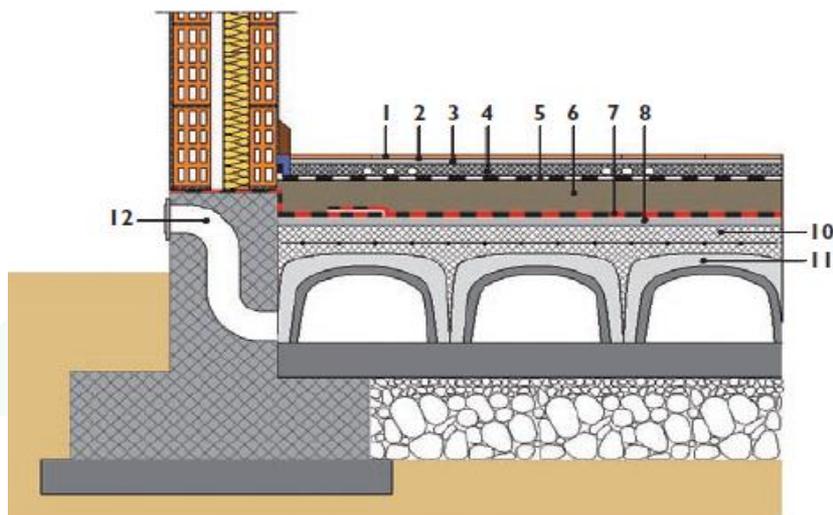
Una seconda alternativa è offerta dalla possibilità di approntare un impianto di **drenaggio** nella **chiusura inferiore** dell'organismo edilizio, allo scopo di aspirare nuova aria da un sottosuolo permeabile. L'impianto di drenaggio, costituito da **tubazioni** con passo crescente in dipendenza dalla permeabilità all'aria del terreno, è posato su **strato** rigido e successivamente ricoperto con **inerti fini** o **calcestruzzo alleggerito**. La soluzione si applica a **nuove costruzioni** o a **risanamenti** della chiusura inferiore.



Radon: strategie di mitigazione

VESPAIO AERATO

IMPIANTO DI DRENAGGIO



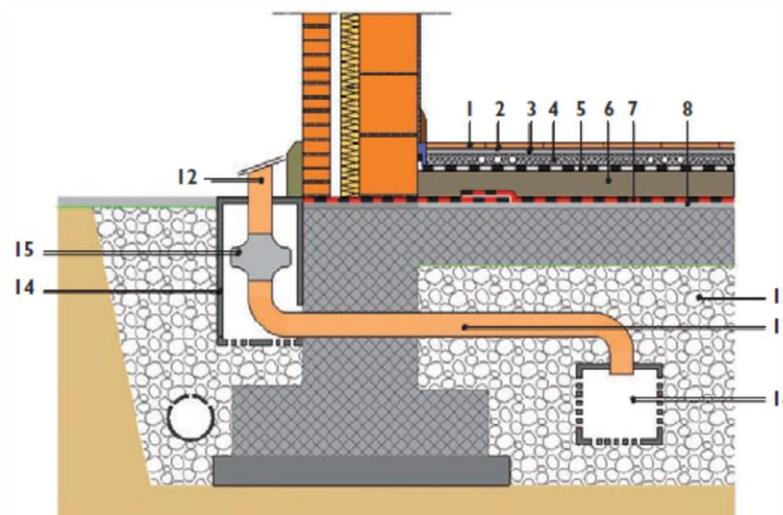
- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. finitura superficiale | 7. strato impermeabile al passaggio del gas radon |
| 2. strato di collegamento | 8. strato di regolarizzazione |
| 3. strato di regolarizzazione | 10. strato di collegamento |
| 4. alloggiamento impiantistico | 11. vuoto sanitario |
| 5. strato di controllo vapore | 12. canalizzazione di espulsione |
| 6. strato di isolamento termico | |

Radon: strategie di mitigazione

L'aria del sottosuolo può essere posta in depressione anche ricorrendo a **sistemi puntuali** di raccolta dell'aria, i **pozzetti**. Tale tecnica di mitigazione viene definita **suzione del suolo**, che prevede la creazione di una **depressione** in grado di generare il **risucchio** dell'**aria ricca** di **radon** e la sua successiva **espulsione** nell'aria esterna. Questi pozzetti, collocati con una perforazione entro una chiusura inferiore esistente o nelle immediate vicinanze dell'edificio, permettono l'espulsione dell'aria raccolta nel sottosuolo; con questi dispositivi si effettua un controllo più efficace in edifici privi di livelli interrati. Per elevate concentrazioni di radon nel sottosuolo (superiori a 1000 Bq m^{-3}) è necessario intervenire in più punti.

Questa tecnica rappresenta la soluzione ideale in edifici penalizzati da elevate concentrazioni di radon in cui, per necessità tecniche e economiche, altre opzioni non siano praticabili.

POZZETTO FORATO



1. finitura superficiale
2. strato di collegamento
3. strato di regolarizzazione
4. alloggiamento impiantistico
5. strato di controllo vapore
6. strato di isolamento termico
7. strato impermeabile al passaggio del gas radon

8. strato di regolarizzazione
10. strato di collegamento
11. vuoto sanitario
12. canalizzazione di espulsione
13. strato drenante
14. pozzetto di aspirazione
15. ventilatore di espulsione

Radon: strategie di mitigazione

In edifici esistenti in cui livello inferiore presenti una sufficiente altezza libera, si ricorre alla realizzazione di un **nuovo pavimento con intercapedine** sovrapposto a quello esistente, prevedendo **l'aspirazione per depressione** dell'aria presente nell'intercapedine stessa.

Allo scopo di inibire il processo di infiltrazione di aria proveniente dal sottosuolo all'interno dell'edificio, è anche possibile generare una sovrappressione nei locali a permanenza continuata. Un impianto di ventilazione meccanica in questi spazi può essere **abbinato** a sistemi per il **recupero di calore**, o a pompe di calore aria/aria, così da associare la protezione dal gas radon all'efficiente impiego delle risorse energetiche.

Secondo questa strategia, è necessario che la portata d'aria estratta sia inferiore alla portata di rinnovo, in modo da garantire una adeguata **differenza di pressione**. Il sistema di ventilazione meccanica controllata deve essere ben isolato e caratterizzato da trascurabili perdite per infiltrazione.



Distribuzione degli ambienti principali e secondari

- Separazione dei locali a permanenza continuata da quelli posti al livello inferiore
- Interruzione, mediante serramenti interni efficaci, delle comunicazioni verticali verso il livello inferiore



Isolamento e sigillatura degli elementi tecnici controterra

- Applicazione di membrane isolanti al radon o equivalenti
- Sigillatura dei punti singoli



Ventilazione naturale o meccanica

- Ventilazione naturale dei vuoti sanitari
- Predisposizione di un impianto di drenaggio nella chiusura inferiore