I risanamenti radon in area carsica: esempi applicativi ed efficacia di abbattimento in funzione delle tecniche di mitigazione

Tiziana Tunno[1], Antonio Parravicini[1], Andrea Gritti[1]

[1] *Assoradon, Associazione Italiana Professionisti Radon, via Comelico, 18 -20135 Milano*

segreteria@assoradon.org

INTRODUZIONE

I risanamenti radon su edifici in aree con caratteristiche geologiche particolari, come ad esempio le aree carsiche, rappresentano una categoria particolarmente sfidante: sebbene si parta generalmente da concentrazioni medio-alte per le quali le varie tecniche offrono buone percentuali di riduzione, questa condizione del sottosuolo porta all'esigenza di dover spesso approcciare la risoluzione del problema mediante più tentativi per ridurre le concentrazioni al di sotto del livello di riferimento. Il bilancio tra percentuale di riduzione della concentrazione radon e scelta del metodo economicamente più vantaggioso è sicuramente squilibrato. L'esperienza maturata nel risanamento di diversi edifici, sia pubblici sia privati, e i relativi risultati di efficacia di abbattimento ottenuti verranno esplicitati e confrontati rispetto all'applicazione delle diverse tecniche implementate prima di raggiungere l'obiettivo di ridurre le concentrazioni indoor al di sotto del livello di riferimento. Le valutazioni che ne derivano possono essere di indirizzo rispetto alle scelte da porre in campo nella gestione dei risanamenti che rientrano in questa categoria. Nel lavoro si riportano la descrizione del sottosuolo, il confronto tra le tecniche impiegate per ridurre la concentrazione radon, i risultati di breve e di lungo periodo che confermano la bontà della scelta di risanamento.

Le informazioni di partenza degli edifici oggetto di risanamento sono sinteticamente presentate nella tabella 1. In tutti i casi la definizione del progetto di risanamento, generalmente guidata da una fase preliminare di diagnosi sull'edificio mediante tecniche analitiche per la ricerca dei cosiddetti "punti caldi", è stata accompagnata da misurazioni di breve periodo delle concentrazioni di gas radon. In particolare, i diversi momenti di attivazione degli impianti pilota hanno subito variazioni/implementazioni con lo scopo di massimizzare l'efficacia di riduzione.

Tabella 1. *Descrizione del campione di edifici oggetto di risanamento, a ciascun edificio è stato associato un numero identificativo (ID)*

Identificativo Edificio (ID)	Destinazione d'uso	Tipologia di attacco a terra	Livello del piano	Anno di costruzione	Regione
1	Uffici	Platea	Terra	1980	Puglia
2	Uffici	Platea	Terra	1960	Puglia
3	Abitazione privata	Vespaio	Terra	1900	Puglia
4	Scuola	Vespaio	Rialzato	1920	Puglia
5	Uffici	Vespaio (copertura parziale)	Terra	1930	Puglia
6	Palestra	Vespaio	Terra	1980	Lombardia
7	Uffici	Vespaio	Rialzato	1960	Lombardia
8	Abitazione privata	Soletta controterra	Terra	1950	Lombardia

DESCRIZIONE DEL SOTTOSUOLO: EDIFICI ID da 1 a 5

Gli edifici con codice identificativo (ID) da 1 a 5 sono localizzati nella Regione Puglia e in particolare nel Salento Leccese che dal punto di vista geologico costituisce il settore più meridionale del blocco apulo, caratterizzato da un potente substrato carbonatico, rappresentato da diverse unità riferibili al periodo compreso tra il Cretacico Superiore e il Pleistocene Inferiore. A livello generale è presente un importante basamento di rocce carbonatiche disposte in strati orizzontali, in corrispondenza del quale vi è un'elevata permeabilità per fessurazione e carsismo. Queste rocce, appartenenti alla formazione del Calcare di Altamura (Cretacico -Sup.), formano il basamento dell'intera Penisola Salentina e si presentano, a luoghi, intensamente fratturate secondo sistemi di fratturazione di origine tettonica sub verticali e con direzione NNO-SSE. Su tali fratture si sono impostati successivamente fenomeni carsici, estremamente diffusi sul territorio, che hanno determinato la formazione di cavità anche di notevoli dimensioni.
Al di sopra del basamento calcareo sono presenti le formazioni mioceniche, derivanti da cicli sedimentari, costituite da calcareniti biocostruiti. Queste formazioni, che affiorano localmente lungo il settore più orientale del Salento, sono rappresentate dalla formazione di "Novaglie" (Miocene Sup.) a cui appartiene la "Pietra Leccese", volgarmente indicata come "tufo leccese". Si tratta di una pietra, ampiamente utilizzata nell'edilizia locale, tenera e di facile lavorazione, dal colore giallo paglierino dorato e che offre una buona porosità, non particolarmente ricca di radionuclidi naturali tanto da esserne considerata fonte essa stessa, ma comunque degna di attenzione perché le tecniche costruttive che la impiegano favoriscono una particolare facilità di movimento al gas radon come ad esempio in presenza di muri a sacco, vespai semipieni

di interfaccia con il suolo, vani interrati non più in uso: tutti elementi che si rivelano contenitori di accumulo per il gas.
Il settore più occidentale della penisola salentina nell'ambito territoriale tra Casarano e Leuca è caratterizzato da più estesi affioramenti carbonatici della Formazione di Altamura, in cui insiste una più diffusa presenza di sistemi tettonici e faglie sempre con andamento NNO-SSE. Più limitati invece, rispetto al settore orientale, sono gli affioramenti delle calcareniti che appartengono alla Formazione di Uggiano La Chiesa. Anche in questo ambito il carsismo risulta estremamente diffuso ed è rappresentato soprattutto dalle "vore" o inghiottitoi.

DESCRIZIONE DEL SOTTOSUOLO: EDIFICI ID da 6 a 8

Gli edifici con codice identificativo (ID) da 6 a 8 sono localizzati in Regione Lombardia e in particolare nella Provincia di Bergamo.
Le Prealpi Orobiche sono connotate dal punto di vista geologico da un'estrema complessità rappresentata da successioni sedimentarie marine, in prevalenza mesozoiche, con limitati affioramenti riferibili a successioni plioceniche, nonché sedimenti continentali di età compresa tra l'emersione della catena e l'Olocene. La successione mesozoica è intrusa da corpi magmatici di bassa profondità, di età terziaria, associati ad un corteggio di filoni magmatici. Per l'ambito specifico riferito agli edifici in oggetto ci si colloca nella parte sommitale della successione sedimentaria Norica (triassico Superiore), caratterizzata nell'ordine dalle seguenti formazioni: Dolomia principale, Dolomie zonate, Calcare di Zorzino e le Argilliti di Riva di Solto. L'edificio ID 6 è ubicato sulla piana di Selvino, un altopiano su cui affiorano la Dolomia principale e le Dolomie Zonate, sede di importanti manifestazioni carsiche con doline estese e distribuite. L'edificio ID 7 si colloca lungo il fondo valle della cosiddetta piana di Clusone, caratterizzata da estese coperture glaciali appartenenti al Gruppo di Prato Grande (Pleistocene Medio), che a loro volta ricoprono gli affioramenti della Dolomia Principale (Norico). Quest'ultima è interessata dal lineamento di importanza regionale della Faglia di Clusone che ha determinato intensa fratturazione degli ammassi rocciosi. L'edificio ID 8 si colloca in corrispondenza del territorio di Cene (Bg), in cui affiora la formazione del Calcare di Zorzino, in un ambito territoriale caratterizzato da un'ampia diffusione di morfologie carsiche superficiali e profonde, con la presenza d'inghiottitoi e doline, anche estese.

MATERIALI E METODI

Il protocollo relativo al risanamento di un edificio, per facilità di approccio, può essere strutturato nelle fasi di seguito descritte e rappresentate sinteticamente in allegato 1:

1. monitoraggio integrato di durata annua con dosimetri passivi e relativa valutazione del risultato in funzione della planimetria degli spazi;

2. diagnosi dell'edificio con tecniche di sniffing per la ricerca dei punti caldi e valutazione sulle criticità specifiche dell'edificio;

3. implementazione, se possibile, di impianto pilota mediante una prima tecnica di intervento per il risanamento accompagnata dal monitoraggio (giorni) con strumentazione elettronica in ambienti campione. A seguire, valutazione degli esiti mediante lo studio degli andamenti della concentrazione e i relativi valori medi misurati nei periodi OFF e ON (di operatività della tecnica di risanamento);

4. valutazione dell'efficacia di abbattimento;

5. ottimizzazione con l'impiego di una seconda tecnica di intervento, se la prima non risulta efficace, "osservando" l'edificio con strumentazione elettronica in ambienti campione. A seguire, valutazione degli esiti mediante lo studio degli andamenti della concentrazione e i relativi valori medi misurati nei periodi OFF e ON (di operatività della tecnica di risanamento);

6. monitoraggio integrato di durata annua con dosimetri passivi a seguito di installazione dell'impianto definitivo a maggior efficacia.

Il calcolo dell'efficacia di abbattimento riportato nelle tabelle di seguito è basato sul confronto dei valori medi di concentrazione radon relativamente a intervalli brevi (pochi giorni- tabelle 2 e 3) o lunghi (durata annua - tabella 4) nei periodi denominati OFF (in assenza di impianto) e ON (con impianto di risanamento operativo), mediante l'uso della seguente formula:

$$\frac{(C_{OFF} - C_{ON})}{C_{OFF}} * 100$$

FORMULA EFFICACIA DI ABBATTIMENTO

dove

C_{OFF} = concentrazione media di gas radon - periodo di misura con impianto non attivo

C_{ON} = concentrazione media di gas radon - periodo di misura con impianto attivo

PRINCIPALI ELEMENTI DI PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO

La tecnica della depressurizzazione del suolo/vano/vespaio/sottofondo è quella a maggior garanzia di successo, come risulta evidente dalle statistiche internazionali relative ai risanamenti radon (Handbook on radon indoor - WHO 2009)[1]. Il primo approccio al risanamento per tutti gli edifici in elenco in tabella 1 ha visto proprio l'impiego di un impianto progettato per indurre la depressurizzazione del suolo/vano/vespaio/sottofondo. Il dimensionamento dell'impianto in termini di portata di ventilazione, numerosità di punti di applicazione e ubicazione degli stessi rispetto alla planimetria degli spazi deriva, per ogni specifico caso, dalle valutazioni relative

alla diagnosi strumentale in campo mediante l'ausilio di monitori attivi (sniffing). In tabella 2 si riportano i risultati rispetto alle differenti modalità di intervento di depressurizzazione e il valore di efficacia di abbattimento percentuale (di breve termine - giorni) riscontrato grazie all'installazione di impianti pilota.

Tabella 2. *Esito delle misure di controllo a breve termine con impianto pilota di depressurizzazione in modalità (OFF) e impianto operativo (ON) e relativa percentuale di efficacia di abbattimento*

ID Edificio	Modalità di risanamento	Concentrazione media gas radon impianto OFF (breve termine) Bq/mc*	Concentrazione media gas radon impianto ON (breve termine) Bq/mc*	Efficacia di abbattimento % (breve termine)
1	*Depressurizzazione vespaio*	*2.725*	*968*	*64%*
2	*Depressurizzazione vano interrato*	*960*	*530*	*45%*
3	*Depressurizzazione vespaio*	*506*	*240*	*53%*
4	*Depressurizzazione vespaio*	*441*	*498*	*Non efficace*
*5***	*Depressurizzazione vespaio*	*-*	*1036*	*Non efficace*
6	*Depressurizzazione vespaio*	*860*	*620*	*28 %*
7	*Depressurizzazione vespaio*	*2.650*	*1.105*	*58 %*
8	*Depressurizzazione sottofondo*	*950*	*466*	*51 %*

**Errore strumentale associato ai monitori elettronici 10-15%*

*** Per il caso ID 5 non è presente la misura di breve periodo con impianto spento (OFF) in quanto si è subentrati ad intervento di depressurizzazione del vespaio già funzionante*

La stima dell'efficacia di abbattimento enunciata in tabella 2, sebbene per la maggior parte degli edifici riporti una percentuale significativa di riduzione della concentrazione radon indoor, non consegna un quadro sufficientemente confortante perché sia

garantito, nel lungo periodo, il rispetto del livello di riferimento pari a 300 Bq/mc. Inoltre, resta sempre valido l'auspicio di applicazione del principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) che, in questi esempi di risanamento, ha portato alla necessità di realizzare ulteriori azioni correttive indirizzate a raggiungere concentrazioni radon al livello più basso ragionevolmente ottenibile. Tanto premesso e nota l'esperienza internazionale su altri territori con caratteristiche simili[2,3,4] ad elevata permeabilità del sottosuolo, si è provveduto mediante la conversione dei rispettivi impianti pilota ad applicare la tecnica della sovrappressione. L'obiettivo di utilizzare la sovrappressione è stato di volta in volta declinato a seconda della specificità dell'attacco a terra: nel suolo, in un vano di sacrificio, nel vespaio, indoor, nel sottofondo. In tabella 3 si dà riscontro delle efficienze di abbattimento valutate con misure di breve periodo ed impiegando la tecnica della sovrappressione.

Tabella 3. *Esito delle misure di controllo a breve termine con impianto pilota in sovrappressione spento (OFF) e a seguire operativo (ON) e relativa percentuale di efficacia di abbattimento*

ID Edificio	Modalità di risanamento	Concentrazione media gas radon impianto OFF (breve termine) Bq/mc*	Concentrazione media gas radon impianto ON (breve termine) Bq/mc*	Efficacia di abbattimento % (breve termine)
1	*Sovrappressione vespaio*	*1.845*	*366*	*80%*
2	*Sovrappressione indoor*	*960*	*174*	*82%*
3	*Sovrappressione vespaio*	*506*	*218*	*57%*
4	*Sovrappressione indoor*	*441*	*80*	*82%*
5	*Sovrappressione suolo*	*1.039*	*17*	*98%*
6	*Sovrappressione vespaio*	*608*	*116*	*81%*
7	*Sovrappressione vespaio*	*1.218*	*244*	*80 %*
8	*Sovrappressione sottofondo*	*473*	*82*	*83 %*

**Errore strumentale associato - monitori elettronici 10-15%*

In tutti gli edifici si nota un netto miglioramento con l'applicazione della tecnica della sovrappressione rispetto a quanto ottenuto con la tecnica della depressurizzazione, con una forbice compresa tra Il 57% e 98%. L'esito positivo delle nuove misurazioni e con valori, anche se relativi ad un breve periodo di misura, al di sotto del livello di riferimento in quasi tutti i casi (ad eccezione dell'edificio ID 1), risulta particolarmente incoraggiante e definisce una linea di indirizzo per l'opportunità di scelta della tecnica di risanamento in questa tipologia di territori. Quando il sottosuolo presenta un'elevata permeabilità le concentrazioni radon indoor risultano particolarmente elevate e generalmente le efficienze di riduzione consegnano percentuali altrettanto elevate in fase di risanamento; tuttavia, spesso è necessario intervenire con ulteriori ottimizzazioni per ridurle al di sotto del livello di riferimento: nella casistica riportata in tabella 3 si riscontra che l'applicazione della tecnica della sovrappressione tende, da sola, a soddisfare tale necessità. È utile ribadire che, come richiesto dalla normativa vigente, solo le misurazioni annue consentono la validazione della bontà di un risanamento e in tabella 4 sono riportati i risultati delle misure annue a seguito dei rispettivi interventi di risanamento per gli edifici in tabella 1. Inoltre, si dà evidenza dell'efficacia di abbattimento della concentrazione radon su base annua solo relativamente ai casi nei quali il ciclo delle attività di risanamento, rappresentato in allegato 1, è stato completato: restano in sospeso i risultati per gli edifici ID 6 - ID 7- ID 8, nei quali sono attualmente in corso le misurazioni annue di verifica e per l'edificio ID 4, caso particolare in cui, a causa delle restrizioni pandemiche 2020/21, gli impianti di risanamento sono stati spenti ed è noto unicamente il dato semestrale.

Tabella 4. *Efficacia di abbattimento valutata utilizzando i valori medi annui pre- e post-risanamento*

ID Edificio	Modalità di risanamento	Concentrazione media gas radon annua PRE-RISANAMENTO (Bq/mc)	Concentrazione media gas radon annua POST-RISANAMENTO (Bq/mc)	Efficacia di abbattimento (%)	Rispetto del livello di riferimento 300 Bq/mc
1	*Sovrappressione nel vespaio*	*(1.512 ± 108)*	*(225 ± 52)*	*85%*	*SI*
2	*Sovrappressione indoor*	*(779 ± 86)*	*(250 ± 15)*	*68%*	*SI*
3	*Sovrappressione nel vespaio*	*(955 ± 204)*	*(245 ± 27)*	*74%*	*SI*

*4**	*Sovrappressione indoor*	*(645 ± 67)*	*(327 ± 85)*	*49%*	*NO*
5	*Sovrappressione suolo*	*(960 ± 144)*	*(110 ± 17)*	*88%*	*SI*
*6***	*Sovrappressione vespaio*	*Non presenti*	*Misure in corso*	-	-
*7***	*Sovrappressione vespaio*	*Non presenti*	*Misure in corso*	-	-
*8***	*Sovrappressione sottofondo*	*Non presenti*	*Misure in corso*	-	-

**ID 4 Calcolo dell'efficacia solo su dato di un semestre pre- e post- risanamento*

***ID 6 - ID 7- ID 8 Misure annue iniziali non disponibili: il risanamento è stato avviato su riscontro di misurazioni eseguite da organo di vigilanza e misura annua post risanamento in corso*

GRAFICI

Nei grafici seguenti si può apprezzare la riduzione della concentrazione riportata nella tabella 3, a breve termine, mediante la tecnica OFF-ON-OFF che visualizza l'andamento della concentrazione in periodi in cui l'impianto, che induce l'effetto della sovrappressione, risulta rispettivamente spento (OFF) e acceso (ON) in particolare per gli edifici:

- ID 1 (Fig.1), ID 6 (Fig.3) e ID 7 (Fig.4): sovrappressione vespaio
- ID 4 (Fig.2): sovrappressione indoor
- ID 8 (Fig.5): sovrappressione sottofondo

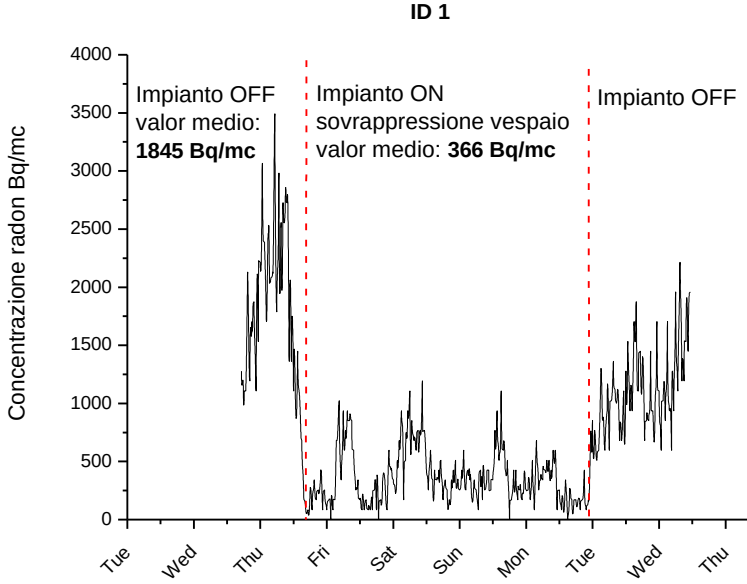


Fig.1 *Andamento della concentrazione radon di breve periodo nel locale dell'edificio ID 1 con l'impiego della sovrappressione nel vespaio in tre periodi di funzionalità dell'impianto (OFF-ON-OFF)*

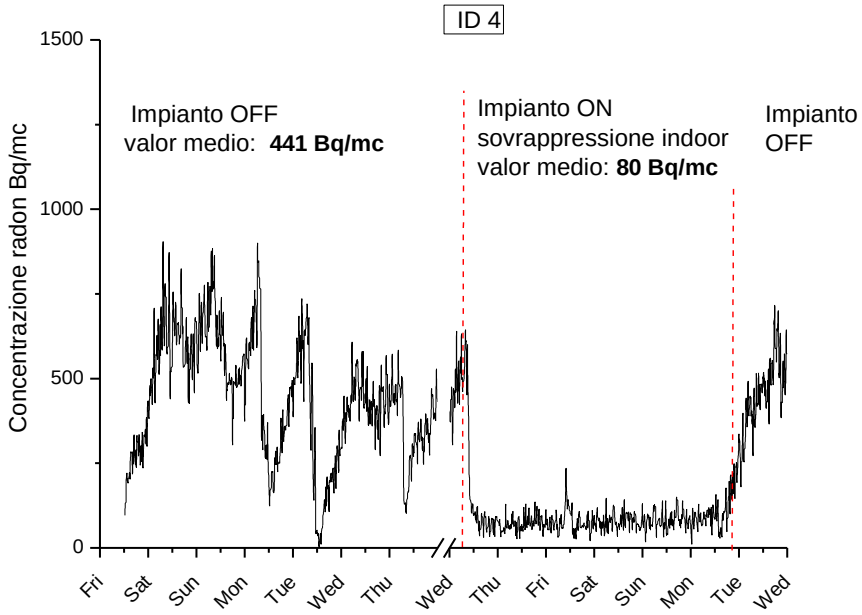


Fig.2 Andamento della concentrazione radon di breve periodo nel locale dell'edificio ID 4 con l'impiego della sovrappressione indoor in tre periodi di funzionalità dell'impianto OFF-ON-OFF

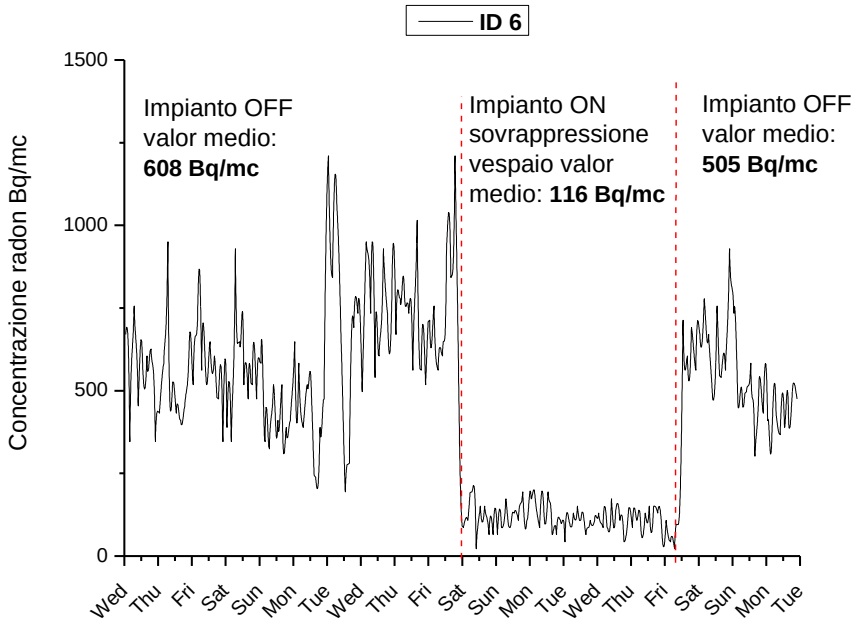


Fig.3 Andamento della concentrazione radon di breve periodo nel locale dell'edificio ID 6 con l'impiego della sovrappressione vespaio in tre periodi di funzionalità dell'impianto OFF-ON-OFF

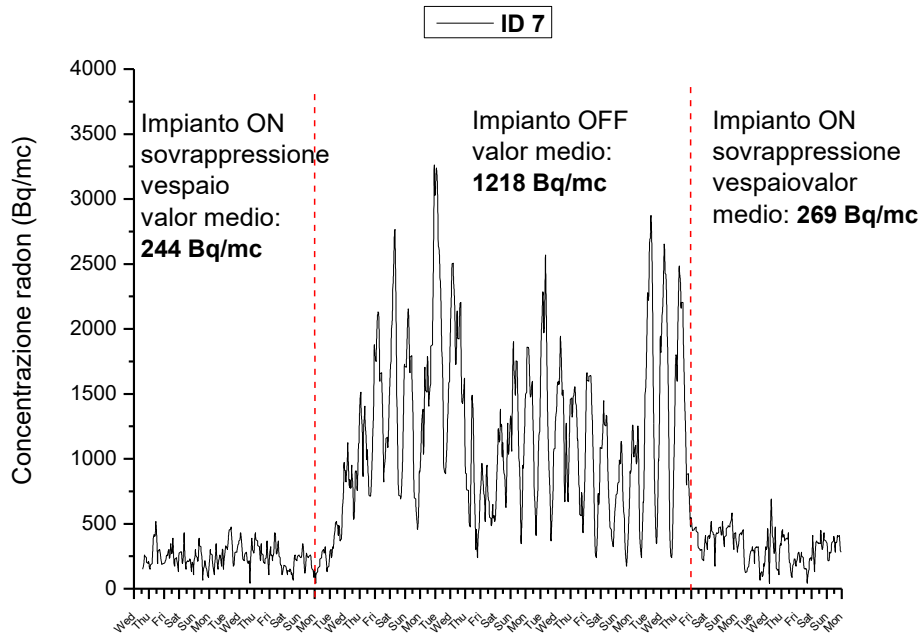


Fig.4 Andamento della concentrazione radon di breve periodo nel locale dell'edificio ID 7 con l'impiego della sovrappressione vespaio in tre periodi di funzionalità dell'impianto ON-OFF-ON

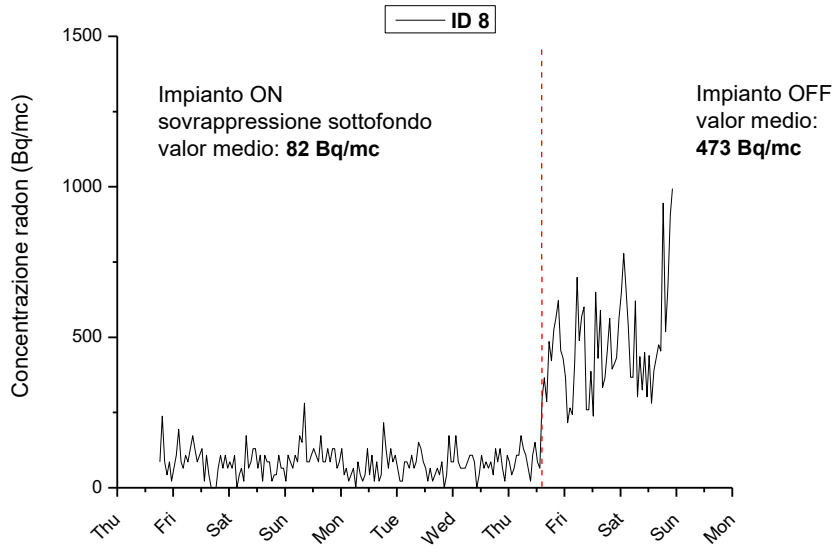


Fig.5 Andamento della concentrazione radon di breve periodo nel locale dell'edificio ID 8 con l'impiego della sovrappressione sottofondo in due periodi di funzionalità dell'impianto ON-OFF

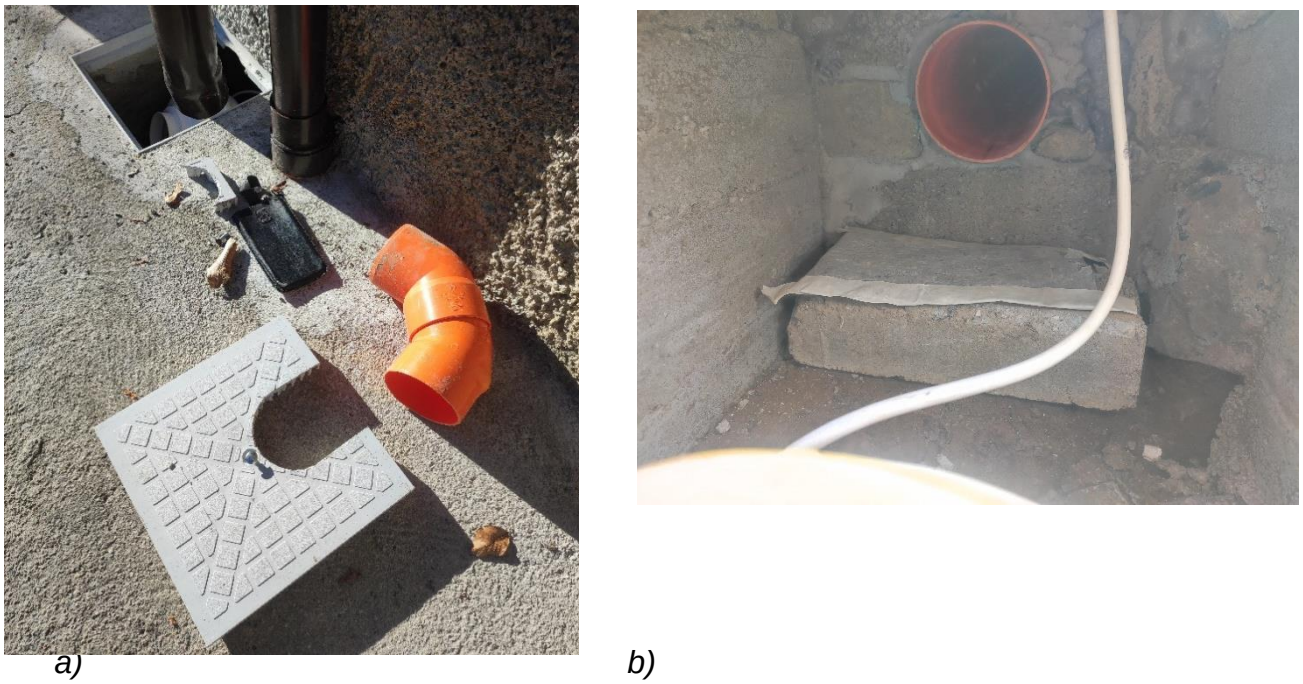
FOTOGRAFIE IMPIANTI

Nelle figure seguenti si mostrano alcuni particolari degli impianti installati nei diversi edifici con la finalità di implementare la tecnica della sovrappressione.



a) b)

Fig.6 a) Elemento soffiante nel vespaio posizionato ad una quota sottoposta rispetto al piano di calpestio esterno e operante nel vespaio b) copertura impianto (ID 3)



a) *b)*

Fig.7 a) Elemento soffiante posizionato ad una quota sottoposta rispetto al piano di calpestio esterno e operante nel sottofondo del fabbricato b) tubazione nel sottofondo (ID 8)



a)



b)

Fig.8 a) Foto della fase di ristrutturazione con in evidenza il volume vuoto sottopavimento b) alloggiamento elemento soffiante (ID 5)

CONSIDERAZIONI FINALI

Si può concludere che la tecnica della sovrappressione può garantire maggiore efficacia di abbattimento in termini percentuali rispetto a quanto offerto dalla depressurizzazione quando si interviene in edifici localizzati in territori ad elevata permeabilità del sottosuolo/carsici. La sovrappressione applicata anche in modalità differenti rispetto a vespaio, suolo, vano, sottofondo, indoor da sola può offrire la possibilità di riduzione per il rispetto del livello di riferimento, partendo da concentrazioni medie annue anche di rilievo. Tuttavia, è bene sottolineare che sono necessarie una serie di considerazioni perché la tecnica sia applicabile alla specifica situazione, di seguito dettagliate in un elenco non esaustivo.

Applicazione nel suolo/vespaio/sottofondo/vano:

- è necessario eseguire in fase di installazione degli impianti un controllo mirato, mediante misurazioni puntuali, per valutare possibili ripercussioni in ambienti confinanti a quelli oggetto di risanamento, nello stesso edificio, ed assicurarsi di non aver solo spostato il problema;
- è bene che ci sia indipendenza dell'edificio oggetto di risanamento rispetto ad altra proprietà per evitare che si convogli il flusso del radon verso aree confinanti.

Applicazione indoor:

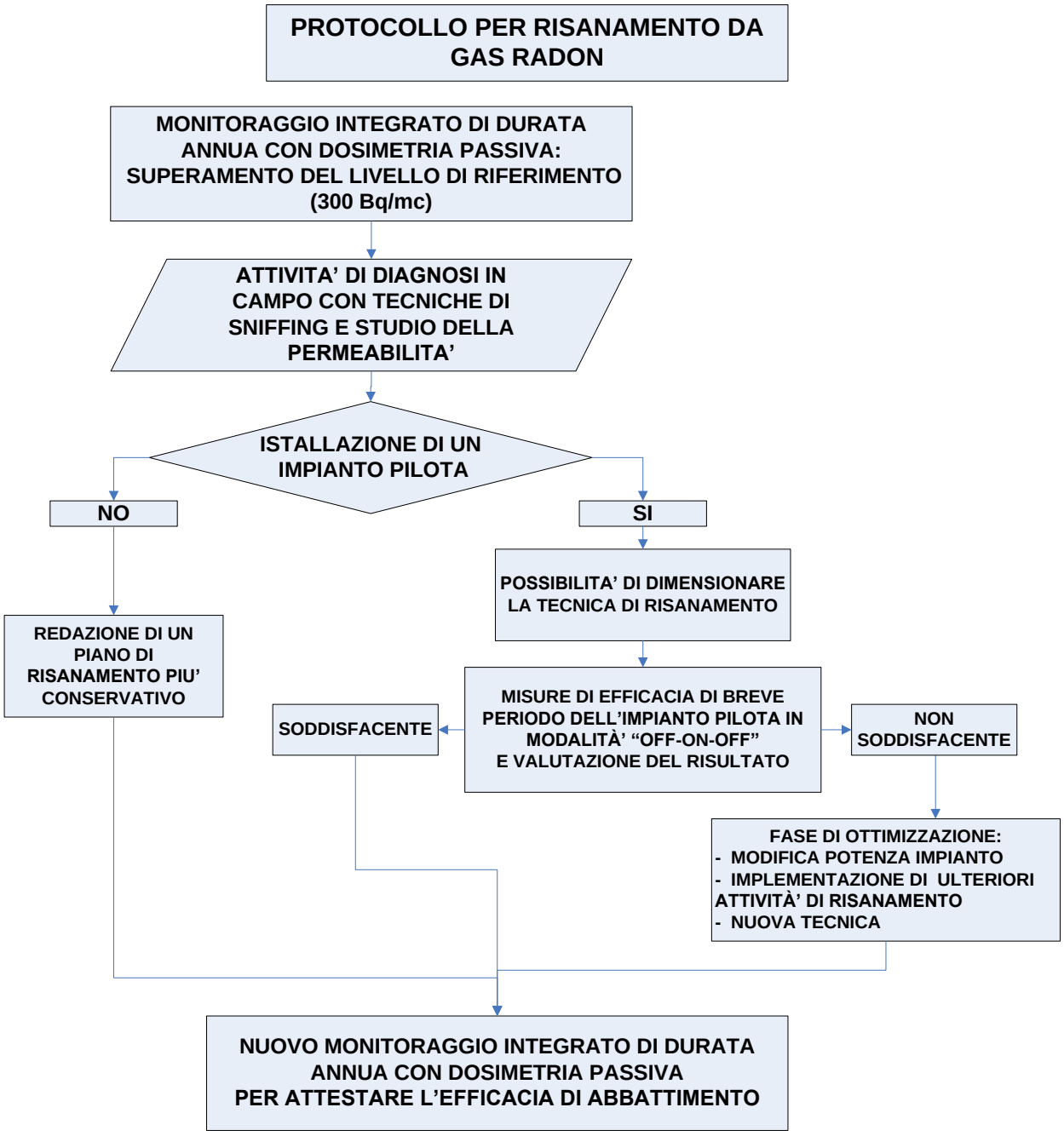
- è utile considerare l'ambiente da risanare come parte integrante dell'intero livello cui appartiene e conseguentemente tutti gli spazi saranno oggetto di interesse ai fini della progettazione dell'impianto per indurre l'effetto della sovrappressione;

- occorre valutare l'oggettiva criticità della persistenza dell'effetto di sovrappressione in un ambiente: attenzione all'ermeticità degli spazi e alla loro destinazione d'uso;
- è bene assicurare l'ermeticità degli ambienti almeno nei periodi di non utilizzo: porte e finestre chiuse, minimizzando i passaggi di aria.

BIBLIOGRAFIA

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective ISBN: 9789241547673
2.Stephanie C. Long, David Fenton, Chris Scivyer, Eugene Monahan "Factors underlying persistently high radon levels in a house located in a karst limestone region of Ireland– lessons learned about remediation" NUKLEONIKA 2016;61(3): 327-332 doi: 10.1515/nuka-2016-0054
3.Gammage, R., Dudney, C., Wilson, D., & Saultz, R. (1990). Transport studies of radon in limestone underlying houses. In Indoor air. 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 29 July – 3 August 1999, Toronto, Canada. Tennessee: ORNL.
4.Hughes, J., Turk, B., & Cardwell, R. (1998). Karst geology, radon fluctuations and implications for measurement and mitigation. In Radon in the Living Environment (5.1–5.30), Athens

ALLEGATO 1


PROTOCOLLO PER RISANAMENTO DA GAS RADON
MONITORAGGIO INTEGRATO DI DURATA ANNUA CON DOSIMETRIA PASSIVA: SUPERAMENTO DEL LIVELLO DI RIFERIMENTO (300 Bq/mc)
ATTIVITA' DI DIAGNOSI IN CAMPO CON TECNICHE DI SNIFFING E STUDIO DELLA PERMEABILITA'
ISTALLAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA
NO
SI
REDAZIONE DI UN PIANO DI RISANAMENTO PIU' CONSERVATIVO
POSSIBILITA' DI DIMENSIONARE LA TECNICA DI RISANAMENTO
MISURE DI EFFICACIA DI BREVE PERIODO DELL'IMPIANTO PILOTA IN MODALITÀ' "OFF-ON-OFF" E VALUTAZIONE DEL RISULTATO
SODDISFACENTE
NON SODDISFACENTE
FASE DI OTTIMIZZAZIONE:
- MODIFICA POTENZA IMPIANTO
- IMPLEMENTAZIONE DI ULTERIORI ATTIVITÀ' DI RISANAMENTO
- NUOVA TECNICA
NUOVO MONITORAGGIO INTEGRATO DI DURATA ANNUA CON DOSIMETRIA PASSIVA PER ATTESTARE L'EFFICACIA DI ABBATTIMENTO