



5.04

E. Chiaberto, A. Prandstatter, E. Serena, R. Tripodi, M. Magnoni,
M. Faure Ragani, F. Berlier, A. Colombo, T. Monterisi

La concentrazione di radon negli edifici passivi: misurazioni e rimedi

CONVEGNO
NAZIONALE AIRP
DI RADIOPROTEZIONE
Sorgenti di radiazioni:
dai modelli alle misure

La concentrazione di radon negli edifici passivi: misurazioni e rimedi

E. Chiaberto¹, A. Prandstatter¹, E. Serena¹, R. Tripodi¹, M. Magnoni¹,
M. Faure Ragani², F. Berlier², A. Colombo³, T. Monterisi⁴

¹ARPA Piemonte – Dipartimento Radiazioni

Via Jervis, 30, 10015 Ivrea (TO)

²ARPA Valle d'Aosta

Loc. Grande Charrière 44, 11020 Saint Christophe (AO)

³ARPA Piemonte - Monitoraggio e studi geologici

Via Felice Piacenza, 11, 13900 Biella (BI)

⁴Studio Tiziana Monterisi Architetto, Andorno Micca (BI)

RIASSUNTO

Il radon nelle “case passive” può rappresentare un serio problema ogni qual volta non se ne sia tenuto conto in fase di progettazione e ristrutturazione di un edificio. Infatti, i sistemi di contenimento della dispersione energetica e il ridotto ricambio d'aria, nonché la sperimentazione di nuovi materiali e tecniche costruttive favoriscono spesso l'accumulo del pericoloso gas all'interno degli edifici passivi. Anche lo stesso approccio verso la misurazione del radon e le valutazioni che ne conseguono possono differire rispetto ai consueti metodi di monitoraggio e di stima dell'esposizione al radon di chi vi abita o lavora. Non a caso la stessa Direttiva Europea 2013/59/EURATOM, di imminente recepimento anche in Italia, pone l'attenzione su tale problematica.

L'argomento discusso in questo studio riguarda alcune abitazioni passive, sia di nuova costruzione che di ristrutturazione di edificio esistente in cui sono state effettuate misurazioni di radon nei diversi ambienti interni.

I dati raccolti sono stati analizzati cercando di identificare i principali fattori che, nei diversi contesti, influenzano la variazione temporale delle concentrazioni. Si è quindi cercato di identificare e distinguere, in particolare, gli effetti naturali da quelli più propriamente “antropici” (abitudini) oltre ad identificare quelli associati ad impianti per il trattamento e il ricambio dell'aria, ai materiali da costruzione e alla struttura edilizia. Tali analisi sono state effettuate impiegando anche modelli descrittivi, utili per valutare gli interventi idonei a ridurre le concentrazioni presenti negli ambienti.

INTRODUZIONE

Con il crescere dell'attenzione verso gli edifici ad elevato risparmio energetico sono sempre più frequenti gli interventi di ristrutturazione volti a isolare le abitazioni dal punto di vista delle dispersioni di calore. Per tale ragione vengono realizzati “cappotti” che rivestono le pareti degli edifici esistenti, si posano tetti coibentati, si evitano i ponti termici nelle strutture e si sostituiscono gli infissi in modo che siano a tenuta per quanto riguarda il passaggio dell'aria.

Tra gli interventi più radicali ed efficaci in termini energetici vi è poi l'intera passivazione dell'edificio secondo un approccio progettuale bioclimatico. In tali casi l'idea guida è quella di realizzare edifici il più possibile isolati rispetto all'ambiente esterno e separati dal suolo. La temperatura interna, sia invernale che estiva è mantenuta pressoché costante, tipicamente intorno a 20°C con soli metodi naturali che non prevedono impianti di condizionamento termici. Per il riscaldamento ad esempio si progettano ampie vetrate orientate a sud mentre per il raffreddamento si sfruttano camini d'aria dai piani bassi verso i piani alti. Spesso sono le nuove abitazioni ad essere realizzate con queste nuove tecniche costruttive in cui, generalmente, le finestre non sono apribili e il ricambio d'aria nel periodo invernale avviene solo per traspirazione naturale dei materiali utilizzati (paglia, legno, intonaci traspiranti...) dalle pareti verticali e con l'apertura delle porte verso l'esterno durante l'utilizzo quotidiano.

Rispetto ad un'abitazione normale la casa passiva è caratterizzata da un ridotto ricambio d'aria e per tale ragione è intrinsecamente soggetta a un maggior rischio di accumulo del radon, tanto che la Direttiva Europea 2013/59/EURATOM^[1] segnala esplicitamente tale categoria costruttiva come potenzialmente critica.

In questo studio sono state esaminate in dettaglio due case passive. Nel primo caso si tratta di una ristrutturazione di un edificio esistente, mentre nel secondo caso di un edificio di nuova costruzione. In questo lavoro sono stati studiati i livelli di radon interni alle abitazioni, le sue dinamiche nonché l'efficacia delle azioni di prevenzione e rimedio intraprese.

MATERIALI E METODI

La prima abitazione esaminata in tale studio è sita nel Comune di Andorno Micca, allo sbocco della Valle Cervo, in provincia di Biella, un'area caratterizzata dalla presenza della sienite della Balma, roccia magmatico intrusiva che compone il plutone della Valle Cervo, un'area litologica che copre buona parte della vallata centrale, con concentrazioni di uranio e torio elevate ($^{238}\text{U}=336$ Bq/kg, $^{232}\text{Th}=369$ Bq/kg). Andorno Micca sorge su una zona detritico alluvionale con una componente di sienite della Balma dovuta ad erosione e successivo trasporto del torrente Cervo e, per questo motivo, non è raro misurare in tale comune concentrazioni di radon superiori alla media regionale.

Nell'edificio esaminato lo sforzo progettuale ha voluto intervenire sulla rigenerazione energetica complessiva attraverso l'utilizzo di materiali naturali valorizzando gli spazi e le forme. L'edificio sfrutta l'apporto passivo del sole, la ventilazione naturale grazie all'utilizzo dei camini preesistenti che agiscono come torri del vento, l'illuminazione naturale delle numerose bucatore, la produzione di energia elettrica primaria tramite sistema fotovoltaico, il verde verticale come frangisole, un sistema di isolamento a cappotto come rivestimento di tutto l'involucro.

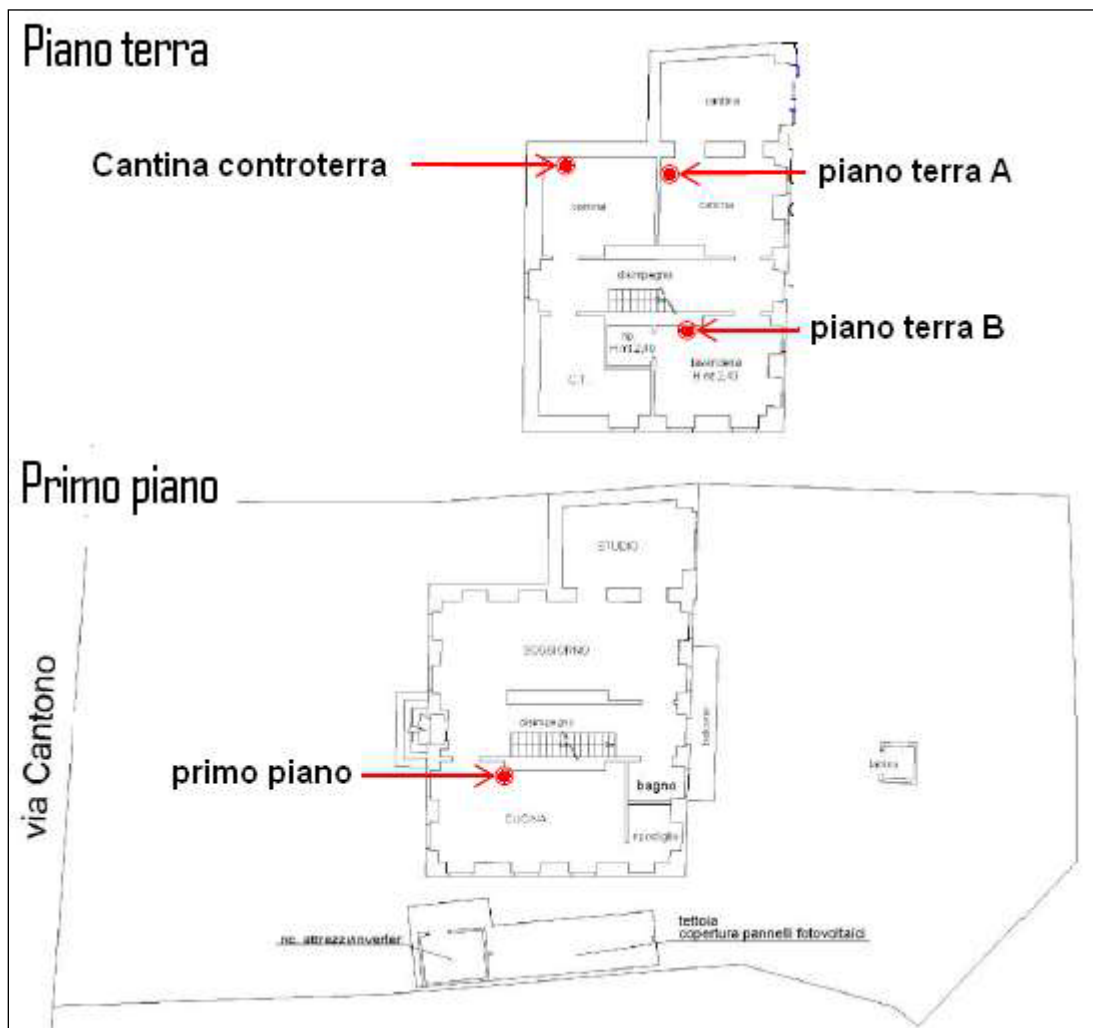
Secondo i dettami della bioarchitettura l'intervento di riqualificazione ha permesso di rigenerare, in chiave contemporanea, le peculiarità dominanti dell'edificio esistente senza snaturarne la forma e i materiali tipici della sua costruzione, risalente al 1909 e sottoposta a vincolo paesaggistico.

Il fabbisogno energetico è stato ridotto al minimo (29 kWh/m²/a) compatibilmente ai vincoli del paesaggio ed è completamente supportato dall'impianto di produzione fotovoltaica di 4,7 Kw_p necessari per soddisfare sia le esigenze elettriche che idro-termosanitarie attraverso l'utilizzo di un boiler in fibra di carbonio ad alta efficienza energetica. Una piccola stufa a biomassa è stata posta a supporto delle rigide condizioni invernali tipiche della zona climatica F. Il verde verticale stagionale all'esterno isola la struttura dall'irraggiamento estivo; un sistema a cappotto in paglia di riso intonacata con calce naturale sulle facciate nord ed est ed in sughero e calce su quelle sud ed ovest isolano l'involucro dalle variazioni climatiche sia invernali che estive, mentre l'argilla degli intonaci interni regola il grado di umidità interna degli ambienti.

L'aspetto critico dal punto di vista del radon per questo edificio passivo è però il ricambio d'aria che è ridotto rispetto alla situazione originale (la maggior parte delle finestre non sono più apribili), in aggiunta al fatto che sull'interfaccia suolo edificio non sono stati posti accorgimenti e barriere per limitare l'ingresso del radon. La misura di radon effettuata dopo i lavori di ristrutturazione energetica, mostra infatti un valore al primo piano pari a 659 Bq/m³, decisamente più elevato rispetto al valore misurato prima degli interventi, pari a 225 Bq/m³.

Si è quindi approfondito lo studio ponendo nei locali più significativi 4 monitori radon in continuo, dal 19/8/2016 al 10/10/2016: 2 posizionati al piano terra, 1 sempre al piano terra ma nel locale contro terra e un ultimo monitor al primo piano. Le misure sono state ripetute a seguito dell'introduzione di un'aerazione forzata con l'impiego di ventilazione monostanza con recupero di calore (principio a recupero del calore rigenerativo con efficienza intorno al 90%) nel periodo dal 27/12/2016 al 20/02/2017. In figura 1 in rosso è riportata una piantina dell'abitazione con i punti esatti in cui sono stati posizionati i monitori.

Figura 1



Piantina casa passiva in Andorno Andorno Micca - ubicazione monitori radon in continuo

La seconda abitazione passiva considerata si trova nel Comune di Chamois, in Valle d'Aosta.

Il progetto riguarda la realizzazione di una casa a energia quasi zero sui resti di un vecchio rustico del 1834 in pietra a secco. Le vetrate, a Sud, in parte fisse e in parte apribili, contribuiscono al dialogo tra l'interno e la valle, ma soprattutto forniscono alla casa l'energia solare necessaria per renderla una casa passiva. La struttura portante del tetto, delle pareti e dei solai in telai prefabbricati in legno e paglia di riso, è stata realizzata in carpenteria. Gli elementi a telaio, di 41 cm di spessore risolvono strutturalmente ed energeticamente la totalità della costruzione.

Tramite questa tecnica costruttiva, l'impatto ambientale si è ridotto al minimo in quanto sono stati utilizzati esclusivamente materiali di origine naturale a bassa energia grigia. Il rivestimento esterno è stato realizzato con la pietra locale a spacco, recuperata dalla demolizione dello scheletro precedente lavorata e posata a secco per integrare l'edificio al borgo esistente. Il ballatoio e gli inserti nella facciata Est sono in legno di larice a ricordare parte dell'architettura tradizionale della media fascia alpina. La casa è disposta su tre livelli: il piano terra ospita cucina, zona pranzo e relax, il primo piano la camera matrimoniale e il bagno, l'ultimo piano due camere con soppalco. La stratigrafia delle pareti risolve le variazioni climatiche esterne sia invernali che estive; la finitura in argilla sul lato interno regola in maniera naturale la concentrazione di umidità nei vari ambienti. Una scala unisce i tre livelli nel lato nord dell'edificio.

Il fabbisogno energetico è stato ridotto al minimo (7 kWh/m²/a) grazie all'elevato isolamento in legno e paglia della struttura a telaio e il vetro cellulare del pavimento contro terra. Non necessita

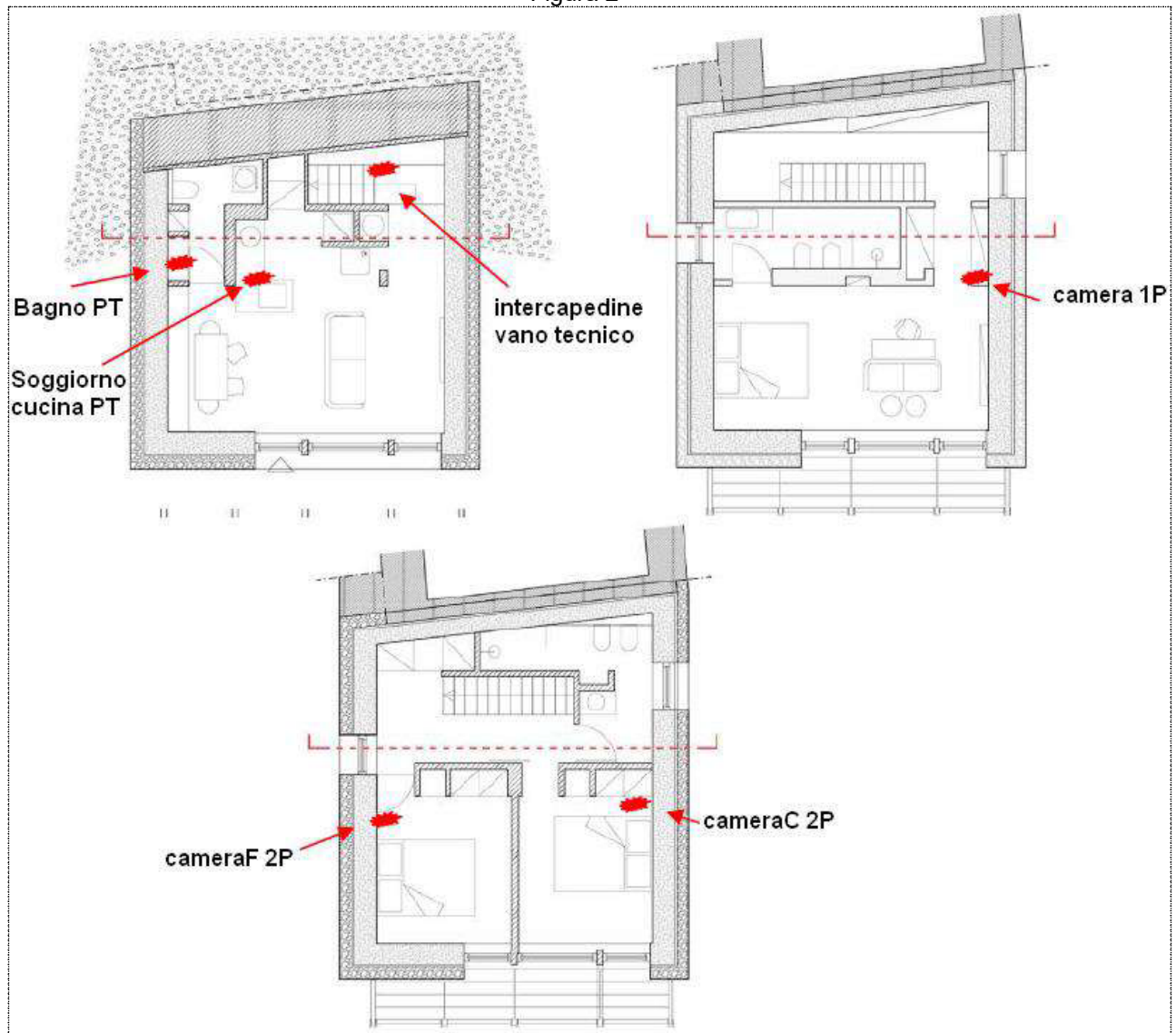
dell'impianto di riscaldamento in quanto sfrutta l'apporto passivo del sole, la ventilazione e l'illuminazione naturale. Tramite un impianto fotovoltaico da 2 Kw_p, integrato ad un impianto di accumulazione, vengono soddisfatte le esigenze di energia primaria e il fabbisogno idrotermosanitario.

L'abitazione in questione può considerarsi in linea teorica isolata dal terreno per l'utilizzo di una barriera particolare in vetro cellulare che, in base alle schede tecniche, dovrebbe risultare stagna all'umidità e al gas radon. Inoltre la creazione di intercapedini verticali aerate separano la struttura portante in legno dal rivestimento in pietra locale.

La rete impiantistica (acqua sanitaria e scarichi) attraversa le pareti esterne da un unico punto nell'abitazione e, da un vano tecnico, si dirama nell'abitazione.

L'approccio adottato in questo caso è stato quello di misurare il radon in ogni locale dell'abitazione nell'intervallo di tempo dal 27/8/17 al 12/10/2017. In tale periodo la casa è stata abitata in un primo momento e poi frequentata di rado nel periodo successivo (ricambio d'aria esclusivamente per traspirazione dai materiali naturali impiegati e accessi saltuari). In figura 2 sono riportati i punti esatti monitorati.

Figura 2



Chamois - ubicazione monitori radon in continuo

Oltre alle misure del radon nelle abitazioni, è stata testata l'effettiva capacità del vetro cellulare utilizzato per isolare l'abitazione dal terreno di bloccare il passaggio del radon. A tale scopo ad una cella di Lucas con testa di campionamento a diffusione è stato applicato un blocco di vetro cellulare di spessore 3,4 cm ricoperto lateralmente di alluminio in modo che l'eventuale passaggio di radon avvenisse unicamente attraverso la faccia frontale (fig.3a). Una seconda cella a diffusione è invece, stata usata normalmente. La capacità della barriera di fermare il passaggio di radon è stata quindi valutata confrontando la risposta dei 2 strumenti, esposti ad un'atmosfera con elevate concentrazioni di radon. Una seconda prova, sempre per valutare l'impermeabilità al radon di tale materiale, è stata effettuata chiudendo con un coperchio costituito da vetro cellulare un vaso di vetro al cui interno era stata inserita una sorgente di radon (fig.3b): si è quindi monitorata l'eventuale fuoriuscita del radon dal vaso di vetro attraverso il materiale vetroso.

Figura 3a

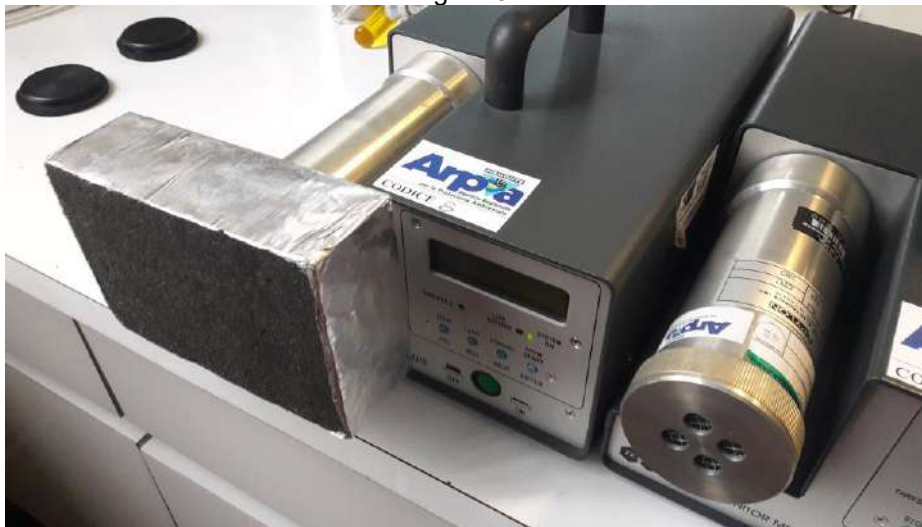


Figura 3b



Allestimenti sperimentali per la valutazione della permeabilità del vetro cellulare

Oltre alla misura del radon, la caratterizzazione radiometrica dell'abitazione è stata completata valutando il contenuto di radioattività naturale della litologia su cui essa è costruita, nonché i livelli di radioattività dei materiali da costruzioni impiegati (intonaci, lastra di argilla, pietre e rivestimenti interni in pietra ornamentale (Luserna).

RISULTATI

MISURE NELLA CASA PASSIVA AD ANDORNO MICCA

L'abitazione mostrava al primo piano, prima della "passivazione" dell'edificio un valore medio di concentrazione di 225 Bq/m³. Successivamente ai lavori di ristrutturazione si è ottenuto nello stesso locale un valore circa 3 volte maggiore (659 Bq/m³).

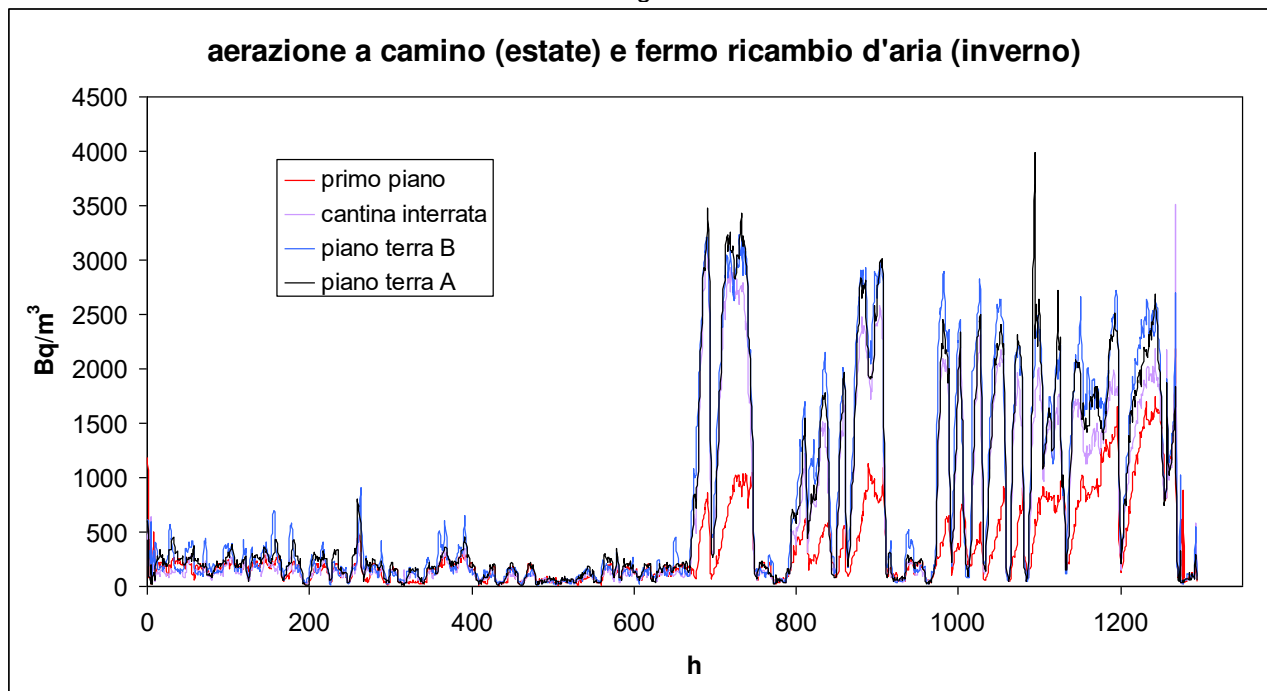
Nel periodo dal 19/8/2016 al 10/10/2016 la strumentazione in continuo ha fornito i grafici di figura 4 in cui è ben visibile la differenza di comportamento del radon tra estate e inverno.

Nella prima parte del grafico, corrispondente ad un periodo estivo, è attivo il sistema di ventilazione a camino naturale che rinfresca i locali. La concentrazione di radon non risulta elevatissima, anche se il valore medio del radon complessivo dell'edificio si attesta comunque a valori superiori alla media regionale, pari a 153 Bq/m³. Nella seconda parte del grafico, corrispondente ad un periodo più invernale, le concentrazioni salgono a valori elevati per effetto dell'interruzione del ricambio d'aria naturale a camino. I valori di concentrazione di attività radon medi nei singoli locali monitorati sono riportati in tabella 1. Per questo motivo sono stati applicati in due locali al piano terra dei ventilatori a recupero di calore in cui nello stesso tubo alternativamente l'aria entra e esce. L'effetto dell'introduzione del ricambio d'aria è visualizzato in figura 5 e determina una riduzione delle concentrazioni medie come mostrato in tabella 2.

Tabella 1

	primo piano	piano terra A	piano terra B	cantina interrata
MEDIA estiva camino forzato Bq/m ³	137	176	177	126
MEDIA inverno fermo ricambio d'aria Bq/m ³	539	1285	1391	1122

Figura 4

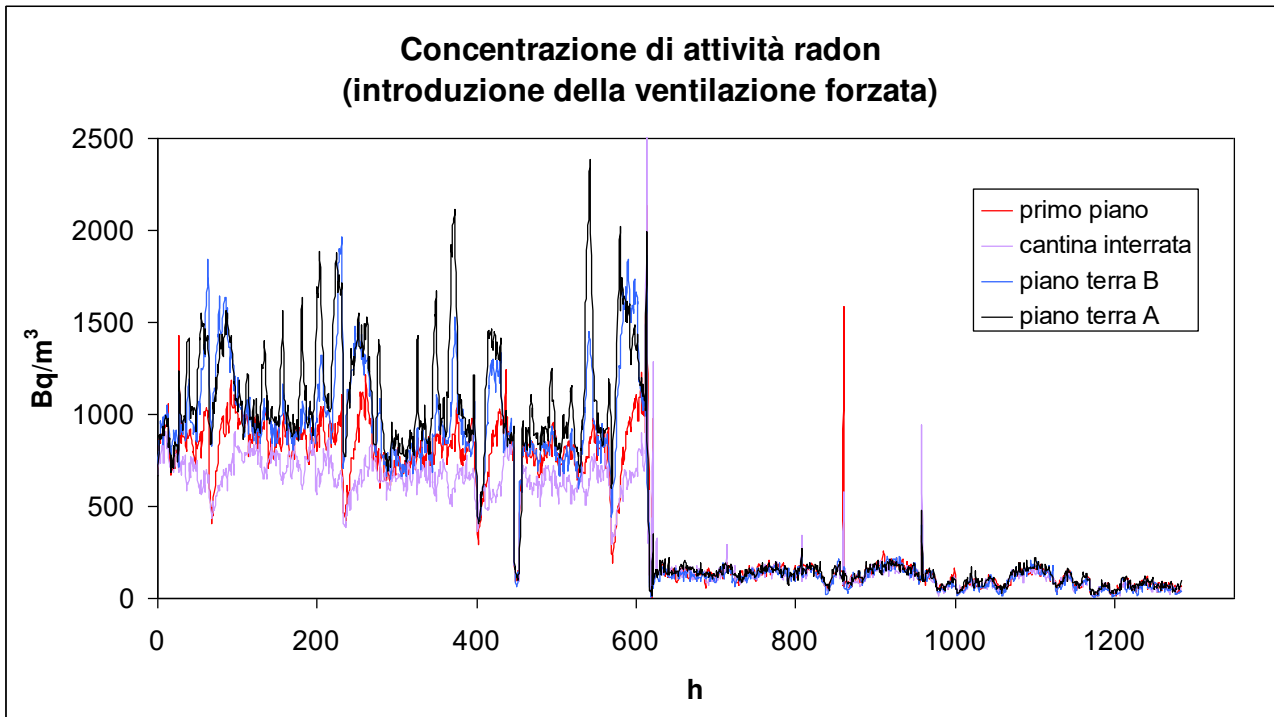


Casa passiva Andorno Micca: dinamiche del radon nei locali monitorati

Tabella 2

	primo piano	piano terra A	piano terra B	Cantina interrata
MEDIA senza ventilazione forzata Bq/m ³	821	1096	986	669
MEDIA con ventilazione forzata Bq/m ³	116	121	107	109

Figura 5



Casa passiva Andorno Micca: misure radon prima e dopo l'introduzione del sistema di aerazione forzato

MISURE NELLA CASA PASSIVA A CHAMOIS

Le misure nell'abitazione a Chamois sono state effettuate nel periodo dal 10/8/2017 al 12/10/2017 in tutti i locali dell'abitazione (fig.6; tab.3). Successivamente dal 27/9/2016 al 12/10/2017 è stato monitorato anche il vano tecnico (tab.4).

Il vano tecnico è stato monitorato dato che tutte le tubazioni degli impianti tecnici convergono in tale punto per uscire nel suolo esterno. Le concentrazioni misurate sono, però, inferiori a quelle del locale bagno al piano terra e pertanto non si può concludere che tutto il radon presente nei vari ambienti risalga in corrispondenza del passaggio delle tubazioni.

Un'altra ipotesi, più plausibile, sulla provenienza del radon interno alla casa è, perciò, che la barriera al radon offerta dal vetro cellulare non sia ottimale. Va comunque tenuto presente che, essendo il ricambio d'aria in un'abitazione passiva minimo, è sufficiente anche un basso tasso di ingresso di radon per ottenere concentrazioni relativamente elevate.

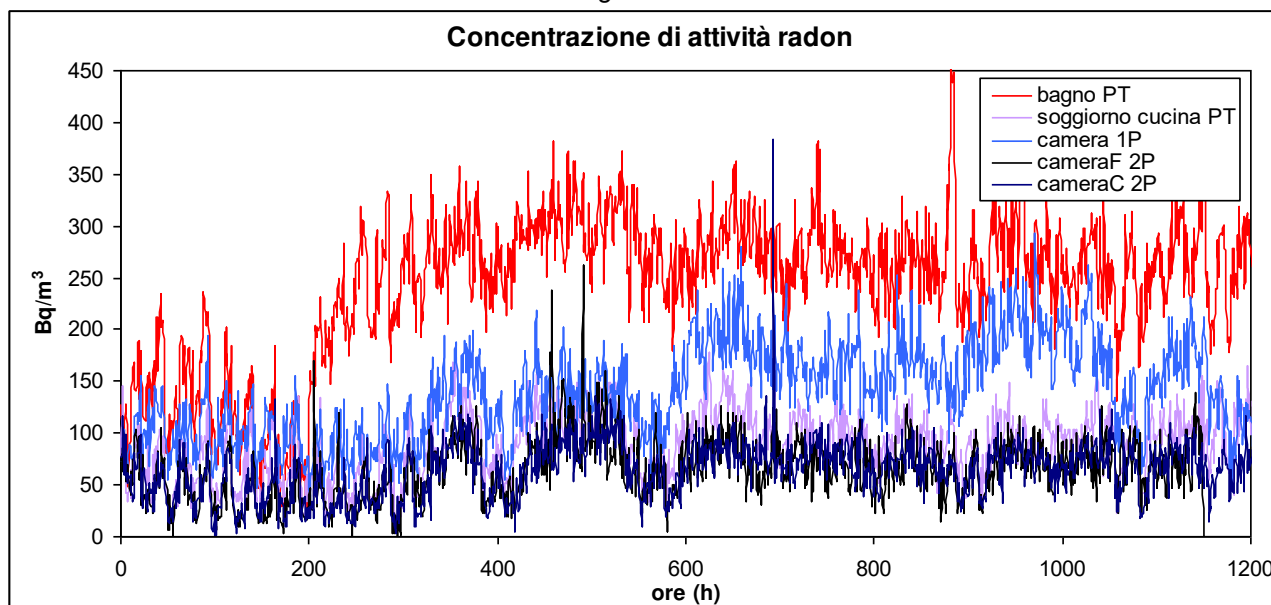
Tabella 3

Locale	bagno PT	soggiorno cucina PT	camera 1P	cameraF 2P	cameraC 2P
MEDIA Bq/m ³ (abitazione occupata)	123	64	99	44	45
MEDIA Bq/m ³ (abitazione non occupata)	269	93	151	69	68

Tabella 4

Locale	bagno PT	soggiorno cucina PT	camera 1P	cameraC 2P	vano tecnico
Media Bq/m ³	250	103	104	75	189

Figura 6



Casa passiva Chamois: dinamiche del radon nei locali monitorati

Analizzando il grafico del radon nel locale bagno al piano terra nel periodo di transizione dalla situazione di abitazione frequentata durante le ferie estive al periodo successivo di minima occupazione (fig.7), è possibile valutare l'emanazione dalle superfici^[2] controterra isolate col vetro cellulare, nonché il ricambio d'aria (tab.5). L'espressione che regola, infatti, la concentrazione in una stanza in funzione del tasso di ingresso è la seguente:

$$C_{Rn(t)} = \frac{E_{CRn}}{\lambda + \lambda^*} \left[1 - e^{-(\lambda + \lambda^*)t} \right] \quad (1)$$

dove E_{CRn} è il tasso d'ingresso in concentrazione radon ($Bq/m^3/s$) e λ^* il ricambio. Da cui si ricava a partire dal grafico sperimentale

$$E_{CRn} = \left. \frac{dC_{Rn(t)}}{dt} \right|_0 \quad (2)$$

Il ricambio d'aria λ^* si ottiene invece dall'asintoto orizzontale:

$$\lambda^* = \frac{E_{CRn}}{C_{Rn(\infty)}} - \lambda \quad (3)$$

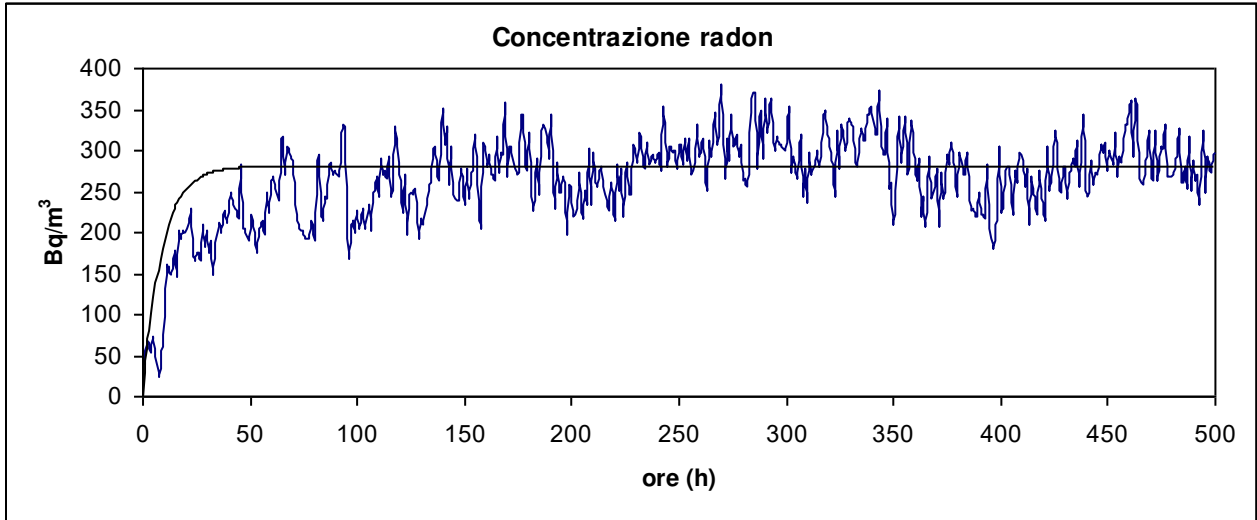
Tabella 5

Superficie contro terra isolata col vetro cellulare	8,55	m ²
Valore asintotico radon	281	Bq/m ³
Volume locale bagno al piano terra	7,8	m ³
Tasso di ingresso specifico (entry rate) ($E = dC/dt _0$, $\Delta=3h$)	0,0089	(Bq/m ³)/s
Ricambio d'aria (λ^*)	0,11	1/h
Emanazione dalle superfici contro terra isolate (<i>exhalation rate</i>) (E_s)	0,0081	(Bq/m ²)/s
Tasso di ingresso totale (<i>total entry rate</i>)	0,0695	Bq/s

Come riportato in tabella 5 si è ottenuto un valore di emanazione in concentrazione dalle superfici controterra (*exhalation rate*) pari a 8,1 (mBq/m²)/s, nell'ipotesi che il radon provenga esclusivamente dal suolo; i materiali da costruzione utilizzati sono stati, infatti, analizzati in spettrometria gamma HPGe e non risultano contenenti valori elevati di radioattività naturale. Questo valore di emanazione dal suolo è tipico di aree non a rischio di elevate concentrazioni radon, ma sufficiente, come nel caso in questione, a far salire le concentrazioni a valori superiori

alla media, in un locale poco aerato (con ricambio d'aria stimato in 0,11 vol/h). Considerando, invece, la media complessiva in tutto il volume dell'abitazione pari a 83 Bq/m^3 e misurata in un periodo in cui la casa risultava abitata, si ricava dall'equazione (3) un tasso di ricambio d'aria di 0,38 vol/h.

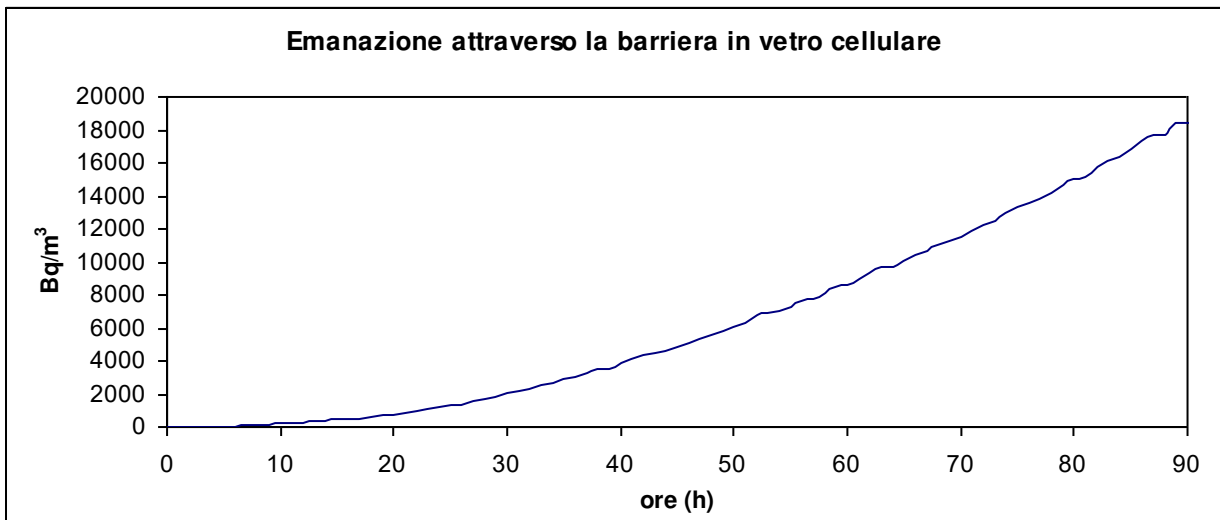
Figura 7



Salita del radon e curva teorica riprodotta con il tasso d'ingresso radon e il ricambio d'aria stimati.

Dalle prove sperimentali sul vetro cellulare si evidenzia, inoltre, la sua non totale impermeabilità come mostrato in figura 8: il materiale preso in esame modifica, con risposta diffusiva, la salita della concentrazione dovuta all'emanazione della sorgente di radon.

Figura 8



CONCLUSIONI

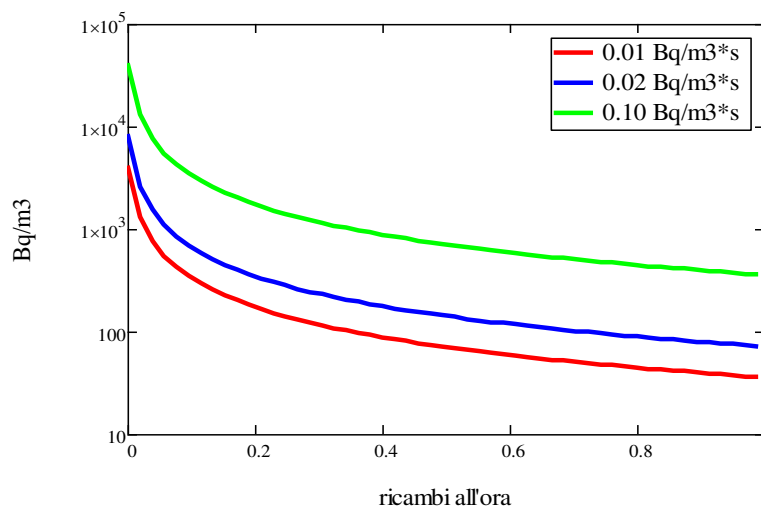
Il presente studio ha analizzato la problematica del radon in due case passive: un edificio ristrutturato e uno di nuova realizzazione in bioarchitettura. In entrambi i casi si è evidenziata la presenza del radon condizionata principalmente dalla scarsa aerazione degli ambienti, volutamente ricercata per evitare le dispersioni di calore.

Nel primo caso le concentrazioni di radon sono aumentate del 300% rispetto alla situazione prima delle opere di passivazione. Introducendo un sistema di aerazione forzato a recupero di calore si è ottenuto però un ricambio d'aria sufficiente a portare alla normalità la concentrazione di radon, a discapito di una perdita energetica del 5% che può tuttavia essere considerata accettabile.

La casa di nuova realizzazione presenta invece valori non trascurabili di radon pur essendo separata dal suolo mediante l'impiego di un isolante in vetro cellulare che, in base alla scheda commerciale, avrebbe dovuto essere completamente impermeabile al radon. Ciò è dovuto sia al ridotto ricambio d'aria, valutato per il locale non occupato pari a 0,1 vol/h, che all'emanazione superficiale attraverso il vetro cellulare che, pur essendo piuttosto bassa, non risulta completamente azzerata, essendo stata stimata sperimentalmente in $8,1 \text{ (mBq/m}^2\text{)/s}$, un valore che non sembra tuttavia molto diverso da quello tipico della zona in questione.

A questo proposito si possono fare alcune considerazioni tenendo presente il modello che fornisce la concentrazione di radon in funzione del tasso di ingresso del radon e del ricambio aria (equazione (1)). Prendendo, infatti, il valore asintotico dell'espressione, si possono considerare diversi valori di tasso d'ingresso del radon. In figura 9 sono riportati i calcoli effettuati per tassi di ingresso totali variabili da 0,01 a 0,1 $\text{Bq/[m}^3\cdot\text{s]}$. La curva in rosso rappresenta la situazione incontrata ad esempio nel locale da cui si è stimata l'emanazione radon dal suolo, mentre quelle blu e verdi sono riferite a tassi di ingresso radon rispettivamente "normali" e molto elevati. Come si vede, in caso di tassi di ingresso "normali", con un ricambio d'aria bassissimo (0,1-0,2 vol/h), si avrebbero livelli di radon vicini a 1000 Bq/m^3 , che diventerebbero elevatissimi (prossimi a 10000 Bq/m^3) in una zona invece ad elevato tasso di ingresso del radon. La situazione si normalizzerebbe con ricambi d'aria più vicini a quelli di un'abitazione tradizionale (1 ricambio ora): avremmo, infatti, valori molto bassi ($40\text{-}50 \text{ Bq/m}^3$) per tassi di ingresso radon tipici della casa di Chamois e comunque sotto i 100 Bq/m^3 anche per tassi di ingresso "normali".

Figura 9



Concentrazioni di radon in funzione dei ricambi d'aria per diversi valori del tasso di ingresso del radon

In conclusione, in fase di progettazione di una casa passiva non si può non tenere in conto che il ridotto ricambio d'aria, può determinare situazioni di accumulo del radon all'interno all'abitazione, potenzialmente gravi in aree ad elevati tassi di ingresso. Si sottolinea, inoltre, come criticità il problema della certificazione sulla impermeabilità rispetto al radon dei materiali isolanti presenti sul mercato. Si deve d'altra parte considerare che, anche disponendo di un materiale effettivamente impermeabile al radon, resta pur sempre assai difficile assicurare una completa sigillatura rispetto

al flusso di radon proveniente dal suolo. A ciò si deve aggiungere la problematica stabilità nel tempo di questo tipo di soluzione, in considerazione dell'inevitabile assestamento dei componenti utilizzati.

Bibliografia

- 1- Direttiva 2013/59 EURATOM; Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 17/01/2014 L13/1
- 2- Jonassen N, The determination of radon exhalation rates, Health Physics 45 (1983), 369-376
- 3- La casa passiva: standard energetici per un abitare ecologico, Barbara Bartoli, Napoli: Sistemi editoriali 2010
- 4- Guida agli isolanti naturali: prodotti, caratteristiche, tipologie di impiego, E. Oleotto L.Bassi: Sistemi editoriali, 2010