

SUPSI

RAPPORTO RAP 10906 01

INCARTO No. 10906

OGGETTO

**DETERMINAZIONE DELL'IMPERMEABILITÀ
AL GAS RADON DI:**

**CALCESTRUZZO PER VASCHE BIANCHE DRYTECH®
RESINA ELASTICA ED ESPANSIVA DRYFLEX
SISTEMI DI CHIUSURA DI FORI CASSERI DRYSET**

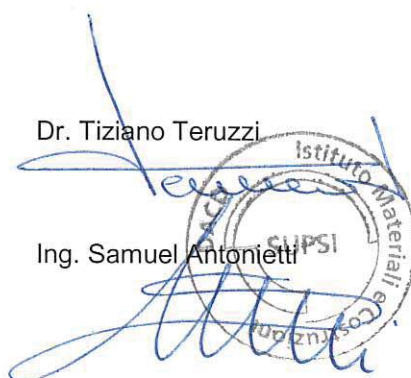
COMMITTENTE

Drytech SA
Impermeabilizzazioni
Via Industrie 12
CH-6930 Bedano TI

AUTORI DEL RAPPORTO

Dr. Tiziano Teruzzi

Ing. Samuel Antonietti



Incarico del

12 marzo 2018

Rapporto del

27 giugno 2019

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	METODO DI DETERMINAZIONE DELL'IMPERMEABILITÀ AL GAS RADON	3
3	RISULTATI	4
3.1	CALCESTRUZZO PER VASCHE BIANCHE DRYTECH®	4
3.2	RESINA ELASTICA ED ESPANSIVA DRYFLEX	4
3.3	SISTEMI DI CHIUSURA DI FORI CASSERI DRYSET	5
4	CONCLUSIONI.....	6
ALLEGATO A1	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	7

1 INTRODUZIONE

In data 12 marzo 2019 la rispettabile Drytech SA Impermeabilizzazioni di Bedano, incaricava l'Istituto Materiali e Costruzioni (IMC) della SUPSI di determinare sperimentalmente l'impermeabilità al gas radon delle componenti del sistema vasca Drytech[®], ossia del calcestruzzo impermeabile Drytech[®], della resina elastica ed espandente DRYflex e dei dispositivi di sigillatura dei fori casseri DRYset.

L'obiettivo del mandato era quello di verificare che, oltre al calcestruzzo impermeabile Drytech, il quale secondo quanto indicato nella pubblicazione "Radon: Praxishandbuch Bau" (Radon: Praxishandbuch Bau, 1^a edizione, gennaio 2018, Faktor Verlag, Zurigo; pagina 19) se di classe di impermeabilità 1 secondo Norma SIA 272 è da considerarsi a priori un'efficace barriera contro la penetrazione del radon per spessori maggiori o uguali a 25 cm, anche le altre componenti del sistema vasca Drytech[®] fossero impermeabili a tale gas.

Le prove di cui riferisce questo rapporto sono state effettuate nel periodo compreso tra il 01.10.2018 e il 31.05.2019 con l'ausilio di un'apposita camera di diffusione progettata da IMC su provini confezionati da Drytech SA. In assenza di metodi normalizzati, le proprietà di trasporto del gas radon delle componenti del sistema vasca Drytech[®] sono state determinate secondo una procedura messa a punto e validata da IMC.

I risultati presentati in questo rapporto si riferiscono esclusivamente ai provini sottoposti a verifica.

2 METODO DI DETERMINAZIONE DELL'IMPERMEABILITÀ AL GAS RADON

La camera di diffusione utilizzata per gli esperimenti si compone di due celle (cfr. fotografia 1 dell'allegato A1): una *cella sorgente*, la cui aria interna viene arricchita di gas radon grazie a una sorgente specifica (flow-through radon source model RN-1025; fabbricante: Pylon Electronics Inc., Ottawa, Canada) e una *cella ricettrice*, in cui viene raccolto il gas radon che attraversa il provino interposto tra le due celle. Ciascuna delle due celle è collegata ad un apparecchio di misurazione della concentrazione di attività del gas radon (radon and thoron measurement system model RTM 2200; fabbricante: SARAD GmbH, Dresda, Germania).

I valori della concentrazione di attività del gas radon nelle due celle, che vengono utilizzati per il calcolo della lunghezza di diffusione R e del coefficiente di diffusione D di tale gas, sono quelli misurati allo stato stazionario, stato che viene raggiunto tipicamente 7 – 10 giorni dopo l'inizio della prova. Nella cella sorgente il valore di equilibrio della concentrazione di attività è tipicamente $C_{SC} = 100'000 \text{ Bq/m}^3$. Nella cella ricettrice il valore di equilibrio C_{RC} varia a dipendenza della permeabilità del provino in esame, ma è direttamente proporzionale al tasso di emanazione E del gas radon dalla superficie del provino che si affaccia sulla stessa. La costante di proporzionalità è stata determinata nell'ambito delle misurazioni di calibrazione della camera di diffusione.

Il metodo di calcolo della lunghezza e del coefficiente di diffusione del gas radon si basa sull'ipotesi che il processo diffusivo venga descritto dalla legge di Fick. L'equazione differenziale alle derivate parziali per la concentrazione di attività del gas radon all'interno del provino corrispondente a questa ipotesi, opportunamente provvista di un termine che permette di considerare il decadimento del radon, è stata risolta per lo stato stazionario assumendo condizioni al contorno del terzo tipo (condizioni di Robin). Sulla base della soluzione ottenuta si è provveduto a derivare la formula per il tasso di emanazione del gas radon dalla superficie del provino affacciata verso la cella ricettrice. Ne risulta un'equazione non risolvibile algebricamente per le proprietà di trasporto (R o D) in cui, nel caso di provini omogenei, come lo sono ad esempio quelli di calcestruzzo, lo spessore del provino d , il tasso di emanazione E del gas radon verso la cella ricettrice e i valori di equilibrio C_{SC} e C_{RC} delle concentrazioni di attività appaiono come parametri di calcolo.

Per i materiali omogenei e secondo quanto generalmente accettato nella comunità scientifica, il criterio per l'impermeabilità al radon è soddisfatto quando lo spessore dell'elemento costruttivo supera di almeno un fattore 3 la lunghezza di diffusione del gas radon nel materiale di cui esso è costituito (cfr. "Radon: Praxis-Handbuch Bau", 1^a edizione, gennaio 2018, Faktor Verlag, Zurigo; pagina 32).

3 RISULTATI

3.1 CALCESTRUZZO PER VASCHE BIANCHE DRYTECH®

Il calcestruzzo per vasche bianche Drytech® sottoposto a prova è un calcestruzzo confezionato con un cemento CEM IV/A-V 32.5N. Complessivamente sono stati sottoposti a prova 3 provini (ID: 182551, 182590 e 182591) confezionati a partire da due diversi impasti presso la centrale di produzione di Manno della società HOLCIM SA. Nella tabella 1 seguente sono presentate la specifica e le caratteristiche allo stato fresco del calcestruzzo utilizzato per il confezionamento dei provini sottoposti a prova.

Tabella 1

Provino	Specifica del calcestruzzo secondo SN EN 206:2013	MV [kg/m ³]	F [mm]	a _{eff} /c [-]	LP [%]	Bollettino no.
182551	C30/37, XC3, D _{max} 32, CI 0.10, S4/F4	2'394	610	0.49	0.9	4730080694
182590	C25/30, XC3, D _{max} 32, CI 0.10, S4/F4	2'372	540	0.52	0.6	4730081216
182591						
Legenda: MV massa volumica apparente F diametro di spandimento a _{eff} /c rapporto acqua efficace/cemento LP contenuto d'aria						

Per la prova di diffusione sono stati utilizzati provini cilindrici aventi diametro Ø = 150 mm e spessore nominale d = 60 mm resi impermeabili sul mantello del cilindro mediante l'applicazione di una resina epossidica di spessore adeguato, allo scopo di indurre un flusso di radon unidimensionale e di evitare dispersioni (cfr. fotografia 2).

I risultati delle prove di diffusione sono presentati nella tabella 2 seguente.

Tabella 2

Provino	Età [giorni]	E [10 ⁻³ x Bq/s·m ²]	D [10 ⁻⁹ x m ² /s]	R [mm]	3·R [mm]
182551	56	2.58	2.80	36.5	109.5
182590	56	2.65	2.82	36.7	110.1
182591	127	1.16	1.65	28.0	84.0
Legenda: E tasso di emanazione del gas radon D coefficiente di diffusione del gas radon R lunghezza di diffusione del gas radon					

I risultati dimostrano che i due calcestruzzi sottoposti a prova si caratterizzano per un coefficiente di diffusione del gas radon inferiore o uguale a $2.82 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ e per una lunghezza di diffusione inferiore o uguale a 36.7 mm a circa 60 giorni di età e di 28.0 mm a 127 giorni d'età.

Pertanto, i due calcestruzzi sottoposti a prova sono da considerarsi impermeabili al gas radon per spessori superiori a circa 110 mm.

3.2 RESINA ELASTICA ED ESPANSIVA DRYFLEX

Il campione di resina elastica ed espansiva DRYflex è stato preparato da Drytech SA versando la stessa allo stato liquido in uno stampo di diametro interno Ø = 150 mm e profondità d_{DRYflex} = 3.5 mm (cfr. fotografia 3). Dopo la sua reazione di polimerizzazione, il campione di resina è stato interposto tra due dischi di una malta cementizia confezionata in laboratorio, di cui si è provveduto in precedenza a determinare le proprietà di trasporto del gas radon (D = $37.6 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$; R = 133.8 mm) aventi ciascuno uno spessore d_{malta} = 29 mm (cfr. fotografia 4).

Il sistema a tre strati è stato successivamente impermeabilizzato sulla superficie laterale allo scopo di indurre un flusso di radon unidimensionale e di evitare dispersioni. La configurazione multistrato è stata adottata per poter serrare la resina nella camera a diffusione senza danneggiarla: le caratteristiche meccaniche della resina, infatti, sono tali da non permetterle di sostenere carichi concentrati senza che la stessa si danneggi.

Per il calcolo della lunghezza e del coefficiente di diffusione del gas radon, si è provveduto, in questo caso, a risolvere un sistema di tre equazioni differenziali alle derivate parziali (un'equazione per ciascuna componente del sistema) per la concentrazione di attività del gas radon all'interno del provino imponendo le medesime condizioni al contorno di quelle adottate per i campioni di calcestruzzo (condizioni di Robin) e imponendo delle condizioni di continuità per la concentrazione di radon in corrispondenza delle due superficie di contatto tra le componenti del sistema. Anche in questo caso, ne risulta un'equazione non risolvibile algebricamente per le proprietà di trasporto della resina (R o D), in cui come parametri, oltre a quelli citati precedentemente (cfr. capitolo 3.1), appaiono pure lo spessore e il coefficiente di diffusione del gas radon dei due dischi di malta fra i quali la resina è stata interposta.

I risultati della prova di diffusione sono presentati nella tabella 3 seguente.

Tabella 3

Provino	Età [giorni]	$E [10^{-3} \times \text{Bq/s} \cdot \text{m}^2]$	$D [10^{-9} \times \text{m}^2/\text{s}]$	$R [\text{mm}]$	$3 \cdot R [\text{mm}]$
Resina DRYflex	7	6.9	0.35	13.0	39.0
Legenda:					
E	tasso di emanazione del gas radon				
D	coefficiente di diffusione del gas radon				
R	lunghezza di diffusione del gas radon				

I risultati dimostrano che, con un valore del coefficiente di diffusione di $0.35 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, la resina si caratterizza per una permeabilità al gas radon **inferiore** a quella del calcestruzzo in cui la stessa viene iniettata. La resina DRYflex è da considerarsi impermeabile al gas radon per uno spessore superiore a 39.0 mm.

3.3 SISTEMI DI CHIUSURA DI FORI CASSERI DRYSET

Complessivamente sono stati sottoposti a prova tre diversi tipi di sistemi di chiusura dei fori nelle strutture in calcestruzzo armato causati dai distanziatori della cassetta. Questi sono stati realizzati in un provino cilindrico di calcestruzzo forato assialmente avente uno spessore $d = 100 \text{ mm}$ e un diametro $\varnothing = 150 \text{ mm}$. La specifica del calcestruzzo utilizzato per la confezione dei provini è SN EN 206:2013 C30/37, XC3, $D_{\text{max}} 32$, Cl 0.10, S4/F4. Il calcestruzzo è stato confezionato con un cemento CEM IV/A-V 32.5N presso la centrale di produzione di Manno della società HOLCIM SA (bollettino di confezionamento no. 47300840484). Esso si caratterizza per le proprietà allo stato fresco seguenti: massa volumica apparente: $2'375 \text{ kg/m}^3$, diametro di spandimento: 600 mm, rapporto acqua efficace/cemento: 0.56, contenuto d'aria: 1.3%.

Le tre tipologie di sistemi di chiusura sottoposti a prova sono descritte nella tabella 4 seguente e sono raffigurati nelle fotografie 5, 6 e 7.

Tabella 4

Sistema	Descrizione
Tipo 1	Foro di diametro $\varnothing = 25 \text{ mm}$, tappo elastico ad espansione RIVESTOP modello D24 x 50 PS
Tipo 2	Foro di diametro $\varnothing = 20 \text{ mm}$, doppio tappo di gomma (lunghezza totale: $2 \times 21 \text{ mm}$), nastro e resina DRYpox sull'estradosso (superficie $11 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$)
Tipo 3	Foro di diametro $\varnothing = 20 \text{ mm}$, doppio tappo di gomma (lunghezza totale: $2 \times 21 \text{ mm}$)

I provini sono stati installati nella camera di diffusione in modo tale da esporre alla cella sorgente la superficie corrispondente all'estradosso. Nella cella ricettrice si è provveduto a monitorare l'aumento della

concentrazione di attività del gas radon sino al raggiungimento del valore di equilibrio. Questo è stato utilizzato per calcolare il tasso di emanazione equivalente di radon. La valutazione della tenuta al radon dei sistemi di chiusura dei fori cassero è stata fatta per confronto con il tasso di emanazione misurato su un provino di calcestruzzo monolitico di spessore uguale a quello dei provini sottoposti a prova (il calcestruzzo è il medesimo di quello utilizzato per la confezione dei tre sistemi di chiusura).

I risultati delle prove sono presentati nella tabella 5 seguente.

Tabella 5

Sistema	$C_{SC,eq}$ [Bq/m ³]	E [10^{-3} x Bq/s·m ²]
Tipo 1	97'936	0.74
Tipo 2	118'879	0.75
Tipo 3	101'663	0.98
Calcestruzzo	100'049	0.83
Legenda: $C_{SC,eq}$ valore di equilibrio della concentrazione di attività del radon nella cella sorgente E tasso di emanazione del gas radon		

I risultati dimostrano che per i sistemi di tipo 1 e 2 il tasso di emanazione equivalente è **inferiore** a quello misurato per il calcestruzzo monolitico. Pertanto, **tali sistemi sono da considerarsi impermeabili al gas radon**.

Il sistema di tipo 3, dal canto suo, è risultato essere leggermente permeabile al radon. In questo caso, il tasso di emanazione equivalente è superiore a quello registrato per il calcestruzzo monolitico.

4 CONCLUSIONI

I risultati delle prove di permeabilità al gas radon effettuate sul calcestruzzo per vasche bianche Drytech®, sulla resina elastica ed espansiva DRYflex e sui sistemi di chiusura dei fori casseri realizzati da Drytech SA permettono di trarre le conclusioni seguenti:

- i due calcestruzzi per vasche bianche Drytech® sottoposti a prova a 60 giorni di età si caratterizzano per un coefficiente di diffusione del gas radon inferiore o uguale a 2.82×10^{-9} m²/s e per una lunghezza di diffusione inferiore o uguale a 36.7 mm; **essi sono da considerarsi impermeabili al radon per spessori superiori a 110 mm**;
- a 7 giorni di età la resina DRYflex si caratterizza per un coefficiente di diffusione del gas radon di 0.35×10^{-9} m²/s; la sua permeabilità al gas radon è **inferiore** a quella del calcestruzzo per vasche bianche Drytech® in cui la stessa viene iniettata; essa è da considerarsi impermeabile al gas radon per spessori superiori a 39.0 mm.
- i sistemi di chiusura dei fori casseri DRYset di tipo 1 e 2 (per una descrizione delle tipologie si rimanda alla tabella 4 del capitolo 3.3) sono da considerarsi **impermeabili** al gas radon. Il sistema di tipo 3, invece, è da considerarsi leggermente permeabile.

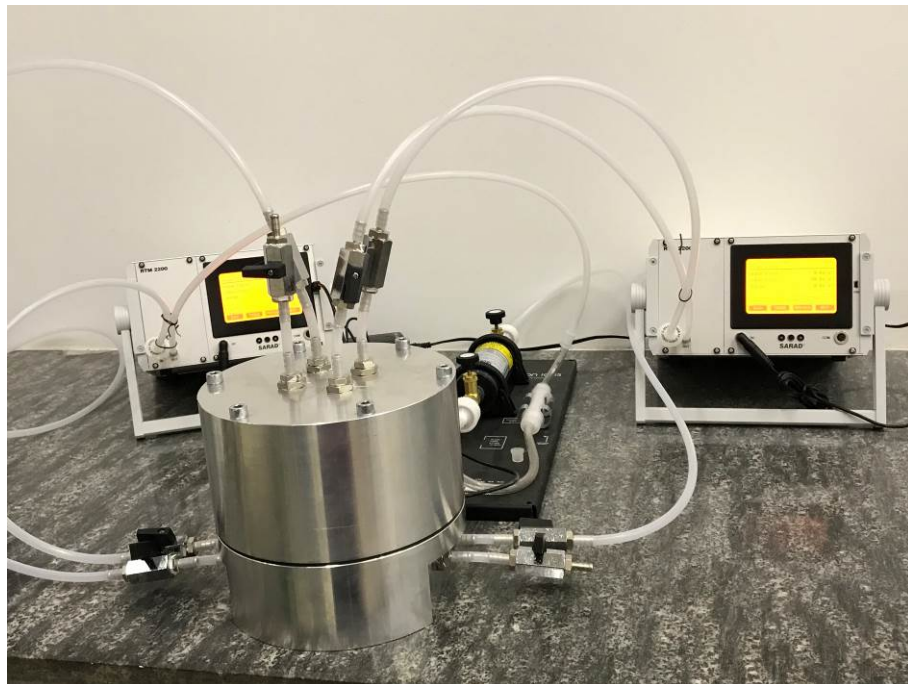
In base ai risultati ottenuti sulle componenti del sistema vasca Drytech® sottoposte a prova, **è ragionevole attendersi che**, nei locali interrati delimitati da pareti perimetrali di spessore 25 cm realizzate con tale sistema, nel caso lo stesso sia privo di difetti e considerando un tasso di ricambio d'aria conforme alle normative vigenti, il livello di riferimento del radon di 300 Bq/m³ definito dall'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP) del 26 aprile 2017 (stato 1° febbraio 2019) per locali in cui si trattengono regolarmente persone per più ore al giorno o il valore di riferimento di 100 (- 300) Bq/m³ definito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità o dal label Minergie-Eco, **non siano superati**.

ALLEGATO A1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Fotografia 1

Camera di diffusione, unitamente ai due apparecchi utilizzati per la misurazione della concentrazione di attività nelle celle sorgente e riceptrice e alla sorgente di gas radon.



Fotografia 2

Campione di calcestruzzo (diametro $\varnothing = 150$ mm; spessore nominale $d = 60$ mm; impermeabilizzato lateralmente).

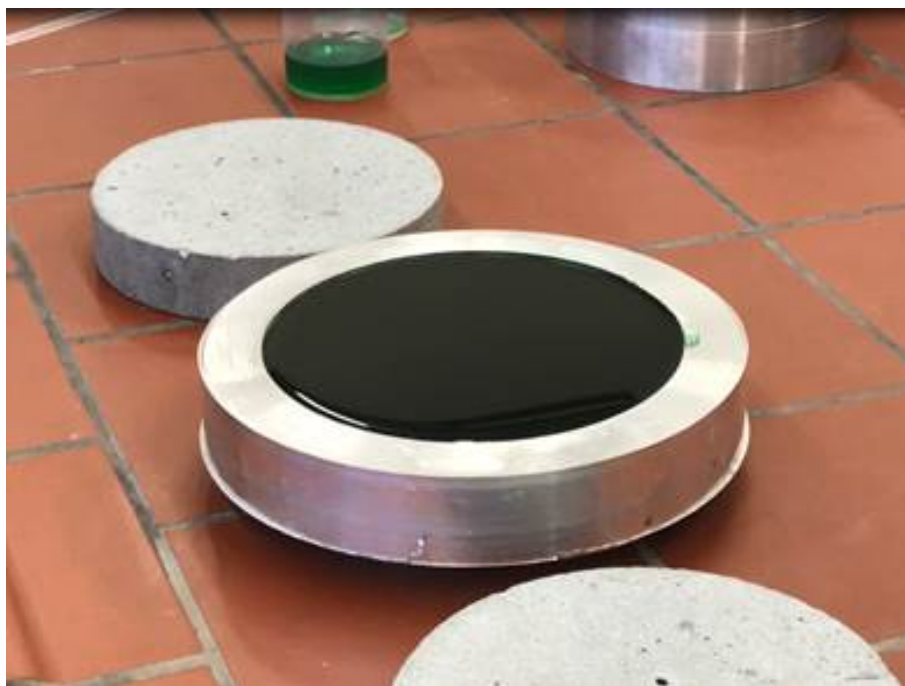


ALLEGATO A1

CONTINUAZIONE

Fotografia 3

Stampo con la resina DRYflex ancora liquida e i due dischi di malta fra i quali la stessa è stata interposta.



Fotografia 4

Provino completo utilizzato per la misurazione delle proprietà di trasporto della resina DRYflex (prima dell'applicazione dell'impermeabilizzazione laterale).



ALLEGATO A1

CONTINUAZIONE

Fotografia 5

Dispositivo di chiusura
di fori casseri di tipo 1.



Fotografia 6

Dispositivo di chiusura
di fori casseri di tipo 2.



ALLEGATO A1

CONTINUAZIONE

Fotografia 7

Dispositivo di chiusura
di fori casseri di tipo 3.

