

1 Introduzione

Il presente rapporto descrive la prova di:

- *determinazione della permeabilità al vapore d'acqua,*

effettuata su una tipologia di pacchetto multistrato denominato "Sanawall" fatto pervenire al laboratorio CertiMaC di Faenza dal Committente in data 13/09/2019 (Rif. 2-a, 2-b). La prova è stata effettuata in accordo con le norme riportate nel Rif. 2-c, Rif. 2-d.

Il pacchetto SANAWALL è così composto:

- UNTERSANA = 4 mm (rinzaffo);
- SANAWARME = 35 mm (intonaco);
- SANASTOF = 2 mm (rasatura);
- SANAFIX = 0,1 mm (primer);
- RASOSANA = 1,0 mm (finitura).

2 Riferimenti

- Preventivo: prot. 19358/lab del 02/12/2019.
- Conferma d'ordine: e-mail del 03/12/2019.
- Norma UNI EN ISO 7783:2019. Pitture e Vernici. Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo- Metodo della capsula
- Norma UNI EN ISO 12572:2016. Prestazione igrometrica dei materiali e dei prodotti per edilizia. Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore d'acqua.

3 Oggetto della prova

La prova è stata eseguita su campioni realizzati in laboratorio partendo da materiale consegnato in laboratorio in data 13/09/2019 sotto forma di:

- *N° 3 campioni di dimensioni approssimativamente pari a 500 mm x 500 mm x 42 mm;*

In data 06/12/2019 sono stati carotati dal laboratorio CertiMaC n. 3 provini di sezione circolare con diametro pari a circa 157 mm e spessore di circa 43 mm.

Si è successivamente dato inizio alle operazioni propedeutiche alla misura della permeabilità al vapore.

In Figura 1 è riportata la fotografia di uno dei campioni testati.

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 2 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019



Figura 1. Riproduzione fotografica di campione del prodotto "Sanawall" realizzato in laboratorio.

4 Apparato di prova

Le prove di determinazione della permeabilità al vapore d'acqua, realizzate ai sensi delle norme di Rif. 2-c e 2-d, sono state realizzate tramite un'attrezzatura opportunamente costruita secondo le indicazioni della stessa norma ed il cui schema è riportato in Figura 2.

In Figura 3 si riporta invece l'attrezzatura realmente utilizzata.

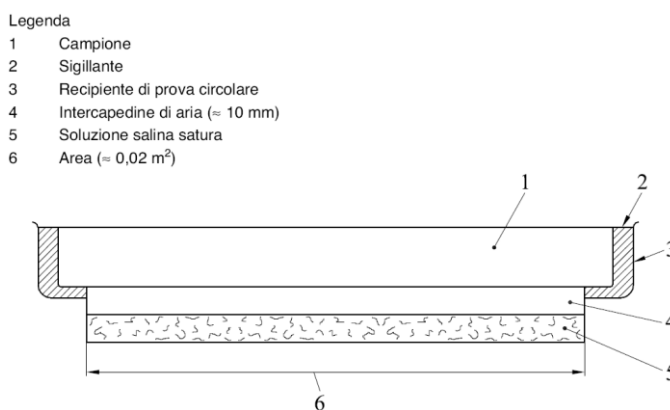


Figura 2. Schema dell'attrezzatura di prova (Rif. 2-d).

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 3 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019



Figura 3. Attrezzatura di prova in dotazione al laboratorio, realizzata in PVC.

L'attrezzatura così realizzata rispetta i requisiti richiesti e presenta le seguenti caratteristiche:

- Superficie di scambio: $\approx 0.018 \text{ m}^2$, da cui segue un diametro di circa 150 mm;
- Vano inferiore per l'alloggiamento della soluzione satura salina di KNO_3 necessaria, come si vedrà, per garantire le condizioni di umidità relativa all'interno;
- Intercapedine di $15 \pm 5 \text{ mm}$ tra la superficie inferiore del campione e il pelo libero della soluzione;
- Vano superiore porta campione con dimensione tale da ospitare provini di sezione circolare e spessore rappresentativo del prodotto da analizzare.

5 Esecuzione della prova e descrizione dei risultati

5.1 Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo

La prova è stata eseguita nel pieno rispetto delle norme di Rif. 2-c e 2-d che fissano i metodi per determinare la permeabilità al vapore d'acqua di prodotti edilizi in condizioni di flusso stazionario per condizioni di umidità relativa fissata e costante. Quest'ultima condizione viene garantita grazie all'utilizzo di una soluzione salina satura di KNO_3 (Nitrato di Potassio) che alla temperatura di 20°C garantisce un livello di umidità relativa pari al 93.2%.

I contenitori con all'interno i provini opportunamente sigillati lungo il perimetro circonferenziale, vengono posti in un ambiente a temperatura controllata ($20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ U.R.) ove la tensione di vapore dell'acqua è mantenuta ad un valore diverso da quella all'interno dei contenitori, in modo da garantire la presenza di un gradiente di pressione di vapore tale da innescare i fenomeni di diffusione secondo i criteri dettati dalle *Leggi di Fick*.

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 4 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019

Il flusso di vapore, indicato con $\Delta m'$ (kg/s), viene valutato in condizioni di stazionarietà e monodimensionalità a partire dalla variazione di massa dell'insieme contenitore-campione-soluzione. Nello specifico, per incrementare il flusso di vapore e facilitare così il fenomeno di diffusione, si è scelto di fissare le condizioni di umidità esterne al campione con una soluzione satura di LiCl, come esposto al Rif. 2-d, la quale ha consentito di garantire un'umidità relativa costante a 20°C e pari a 11 % nominale (10,4 % circa all'equilibrio termico).

Questo processo ripetuto nel tempo ad intervalli di tempo opportuni consente di determinare il raggiungimento della condizione di variazione lineare della massa, visualizzabile graficamente mettendo in relazione la massa e il tempo, quando i punti successivi si dispongono appunto su di una linea retta (Figura 6). Da tale correlazione è possibile pervenire al valore di G , pendenza della retta valutata trascurando la fase iniziale relativa al transitorio.

Il valore di flusso è propedeutico per la determinazione della Permeanza Igroscopica al Vapore acqueo W (1) e del coefficiente di permeabilità al vapore μ (2):

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p_v} \quad (1)$$

dove:

- W = Permeanza Igroscopica (kg/m² Pa s);
- G = Flusso di Vapore acqueo (kg/s);
- A = Superficie di scambio effettiva legata al diametro dell'attrezzatura e $\approx 0.005\text{m}^2$;
- Δp_v = Differenza di tensione di vapore dell'acqua tra l'aria nell'ambiente controllato e la soluzione salina interna (Pa);

Da cui:

$$\mu = \frac{\delta_a}{W \cdot d} \quad (2)$$

dove:

- μ = Coefficiente di permeabilità al vapore (-);
- δ_a = Permeabilità Igroscopica dell'aria valutata con la relazione di Schirmer (kg/m s Pa);
- d = Spessore medio del provino (m).

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 5 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019



Figura 4. Attrezzatura di prova + campione del prodotto "Sanawall".



Figura 5. Ambiente di prova condizionato (armadio climatico).

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 6 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019

5.2 Dati di input e condizioni al contorno

In Tabella 1 si riportano le masse iniziali registrate al tempo 0 in assenza di sigillante per i tre provini analizzati e inseriti nell'attrezzatura (Figura 4), evidenziando il provino n.1 per il quale sono in seguito riportati, a titolo di esempio, i risultati ottenuti e le successive elaborazioni:

Sigla provino	Massa Sistema M_0 (kg)	Spessore medio del campione (mm)
1	1,376	41,92
2	1,441	43,58
3	1,449	44,34

Tabella 1. Misura della massa iniziale M_0 del sistema (kg) per i tre provini analizzati.

Si riportano inoltre le condizioni medie ambientali al contorno durante il corso di tutta la prova in termini di temperatura ed umidità relativa:

- Temperatura media interna (Rif. Armadio climatico): **24,0 °C**;
- Temperatura media esterna (Rif. Laboratorio): **20 ± 2 °C**;
- Umidità relativa interna: **93.2%** - assunta pari al valor nominale garantito dalla soluzione satura di KNO_3 poiché lo spazio interno al campione è di dimensioni ridottissime rispetto alla quantità di soluzione presente e tale quindi da garantire il livello di umidità previsto;
- Umidità relativa esterna al campione (Rif. Armadio climatico Figura 5: **10,4%** - valore medio rilevato lungo la prova).

Le prove realizzate sui campioni di Figura 1 hanno restituito i seguenti risultati (Tabella 2 e Figura 6 relativi, a titolo di esempio, al solo provino n.1):

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 7 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019

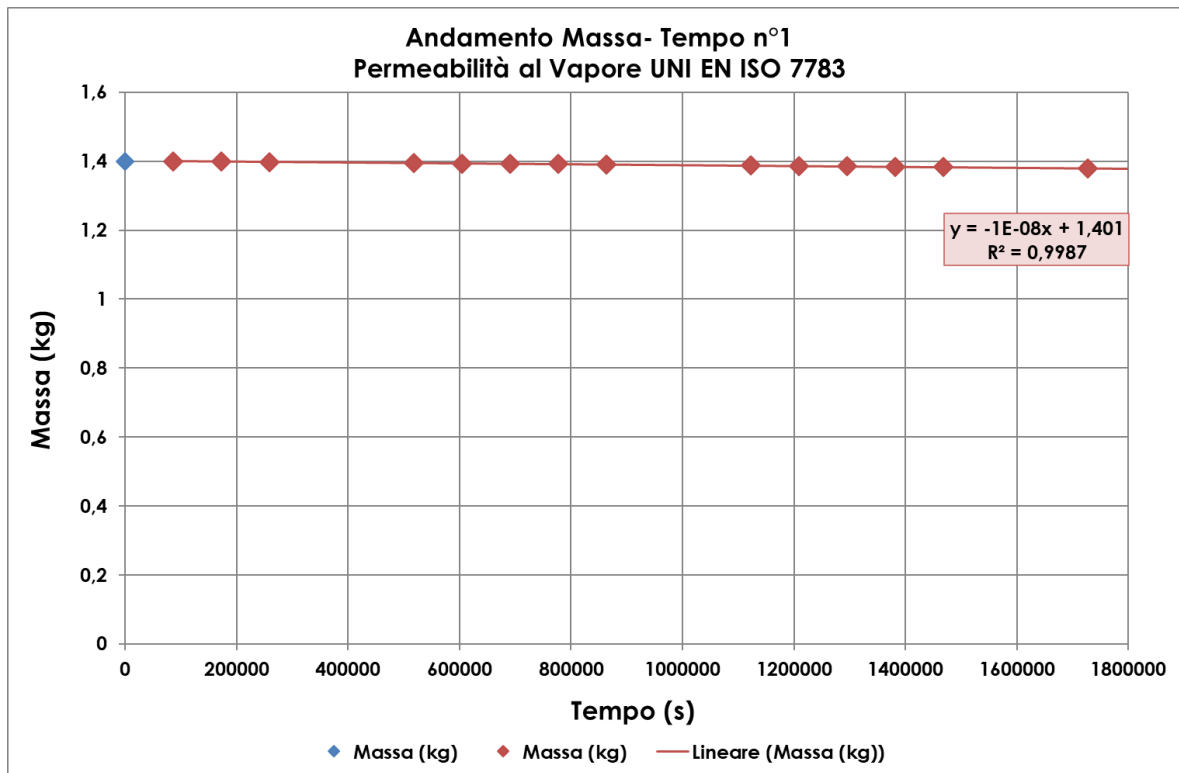


Figura 6. Correlazione Massa-Tempo al termine del test (provino n.1 del prodotto “Sanawall”)

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 8 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019

Campione n° 1		
Tempo (h)	Tempo (s)	Massa campione (kg)
0	0	1,400
24	86400	1,399
48	172800	1,399
72	259200	1,398
144	518400	1,395
168	604800	1,394
192	691200	1,393
216	777600	1,392
240	864000	1,391
312	1123200	1,387
336	1209600	1,386
360	1296000	1,385
384	1382400	1,384
408	1468800	1,383
480	1728000	1,379
504	1814400	1,378

Tabella 2. Dati di perdita di massa relativi al provino n.1 del prodotto "Sanawall".

Sulla base dei valori misurati (Tabella 2 e Figura 6) sono stati elaborati i dati ai sensi delle relazioni (1) e (2), al fine di determinare il coefficiente di permeabilità al vapore d'acqua μ e lo spessore d'aria equivalente S_d (Tabella 3):

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 9 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019

Sanawall	Campioni			Valore Medio
	1	2	3	
G (kg/s)	1,24E-08	1,15E-08	1,28E-08	
W (kg/m ² Pa s)	2,94E-10	2,72E-10	2,99E-10	
S _d (m)	0,67	0,72	0,66	
V (g/m ² d)	59	55	61	
μ	16	17	15	16±1

Tabella 3. Valori di Permeabilità al Vapore del prodotto "Sanawall".

I valori presenti in Tabella 3 sono stati preventivamente corretti, così come riportato nella norma al Rif. 2-d per tenere conto di alcuni aspetti, descritti nella successiva appendice A e legati alla presenza del bordo schermato.

6 Conclusioni

Dalla sperimentazione fatta si dichiara che, per il prodotto "Sanawall", il valore del coefficiente di permeabilità al vapore d'acqua medio **μ** risulta pari a **16**, mentre lo spessore equivalente d'aria **S_d** risulta pari a **0,68 m** e **V** risulta **58 g/m²d**.

7 Lista di distribuzione

ENEA	Archivio	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Azichem S.r.L.	1 copia

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 10 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019

APPENDICE A

All'Appendice F della norma di cui al Rif. 2-d, viene presentata una correzione da apportare al parametro g , densità di flusso di vapore ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$), per tener conto dell'effetto del *bordo schermato del provino*, ossia della situazione tale per cui il diametro del provino è maggiore del diametro dell'attrezzatura di prova.

In tal caso, il bordo schermato funge da percorso preferenziale per il vapore nel caso di flusso bidimensionale. Considerando di operare in condizioni, per ipotesi, monodimensionali, l'obiettivo è pertanto di incrementare, correggendolo, il flusso di vapore che attraversa il campione in modo da tener conto anche della quota parte che attraversa il bordo schermato.

Di seguito si riporta, a titolo di esempio, la relazione utilizzata per determinare g_{me} , flusso di vapore corretto (cfr. F.1) e la correlazione grafica fornita dalla norma per pervenire allo stesso parametro (Figura 7).

$$\frac{g_{me}}{g} = 1 + \frac{4 \cdot d}{\pi \cdot S} \ln\left(\frac{2}{1 + \exp(-2 \cdot \pi \cdot b/d)}\right) \quad (F.1)$$

dove:

g_{me} è la portata di vapore misurata in presenza di un bordo schermato, in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{-s})$;

g è la portata di vapore trascurando il bordo schermato, in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{-s})$;

d è lo spessore del provino, in m;

b è la larghezza del bordo schermato, in m (vedere figura A.1);

S è il diametro idraulico, in m, (quattro volte l'area di prova diviso per il perimetro).

I valori del rapporto g_{me}/g calcolati mediante l'equazione (F.1) dipendono da due rapporti: b/d , la dimensione del bordo schermato diviso per lo spessore del provino e d/S , lo spessore diviso la dimensione caratteristica del provino. La figura F.1 indica i valori di g_{me}/g in funzione di questi due rapporti. I valori di g_{me} misurati utilizzando un recipiente con un bordo schermato devono essere corretti dividendoli per il valore appropriato di g_{me}/g , calcolato dall'equazione (F.1) o ricavato dalla figura F.1, prima di calcolare la permeanza.

Entità della correzione per bordo schermato

Legenda

- 1 g_{me}/g
- 2 Spessore del provino diviso per il diametro idraulico, d/S

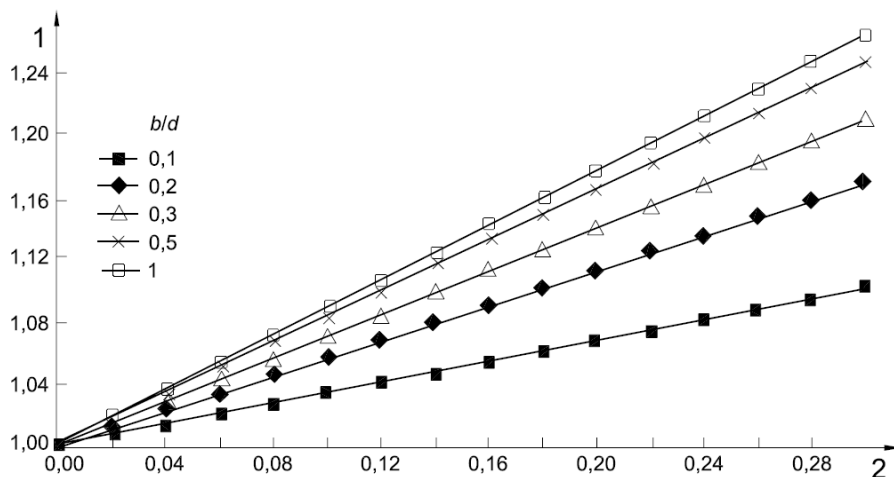


Figura 7. Determinazione del Coefficiente correttivo - effetto del bordo schermato.

Rev. 01	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 11 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_520_2019