




RAPPORTO DI PROVA

| SQM_414_2017 |

DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DELLE PROPRIETA' DI TRASMISSIONE DEL VAPORE ACQUEO (NORMA UNI EN ISO 7783) DI UN CICLO TERMICO PER INTERNI PRODOTTO DALLA DITTA "TECNOSTUK S.r.l", BELLUSCO (MB).

LUOGO E DATA DI EMISSIONE:	Faenza, 31/01/2018
COMMITTENTE:	Tecnostuk S.r.l.
STABILIMENTO:	Via dell' Artigianato, 17/21-20882 BELLUSCO (MB)
SEDE LEGALE:	Via Mazzini 16 - 24121 BERGAMO
TIPO DI PRODOTTO:	Ciclo termico per interni
NORMATIVE APPLICATE:	UNI EN ISO 7783:2012
DATA RICEVIMENTO CAMPIONI:	13/12/2017
DATA ESECUZIONE PROVE:	Dicembre 2017 - Gennaio 2018
PROVE ESEGUITE PRESSO:	CertiMaC, Faenza

NOTA: I risultati contenuti nel presente rapporto di prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove di seguito descritte. E' inoltre ad uso esclusivo del Committente nell'ambito dei limiti previsti dalla normativa cogente e non può essere riprodotto (in forma cartacea o digitale) parzialmente, senza l'approvazione scritta del laboratorio.

Esecuzione	Redazione	Approvazione
<u>_P.I. Germano Pederzoli_</u> 	<u>_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _</u> 	<u>_Ing. Luca Laghi_</u> 
Revisione -		Pagina 1 di 10

1 Introduzione

Il presente rapporto descrive la prova di:

- *determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo,*

effettuata su un ciclo termico per interni inviato al laboratorio CertiMaC dal Committente (Rif. 2-a, 2-b) ed ivi pervenuto in data 13/12/2017. La prova è stata effettuata in accordo con le norme riportate nel Rif. 2-c, Rif. 2-d.

2 Riferimenti

- Preventivo: prot. 17275/lab del 24/10/2017.
- Conferma d'ordine: mail del 27/11/2017.
- Norma UNI EN ISO 7783:2012. Pitture e Vernici. Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo.
- 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 provini realizzati in laboratorio partendo da materiale fatto pervenire in data 13/12/2017 sotto forma di:

- *N 1 contenitore da 3 l di "MUFFA KO";*
- *N 1 contenitore da 5 l di "KALORFIX";*
- *N 1 contenitore da 5 l di "FREDDO STOP";*
- *N 1 contenitore da 4 l di "TERMIKA MIX";*

Il materiale è stato colato come da specifiche fornite dal Committente in quantità tale da poter confezionare, in laboratorio, in data 22/12/2017, 3 campioni discoidali di diametro approssimativamente 95 mm e spessore di circa 1.4 mm. In particolare l'ordine di posa è stato il

- *"MUFFA KO": due mani a pennello*
- *"KALORFIX": due mani a pennello;*
- *"FREDDO STOP": due mani a pennello;*
- *"TERMIKA MIX: due mani a pennello";*

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 2 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017

I campioni sono stati fatti maturare per almeno 7 giorni in condizioni controllate di temperatura ed umidità rispettivamente pari a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $60\pm 10\%$, dopodiché sono stati sottoposti alla prova.

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

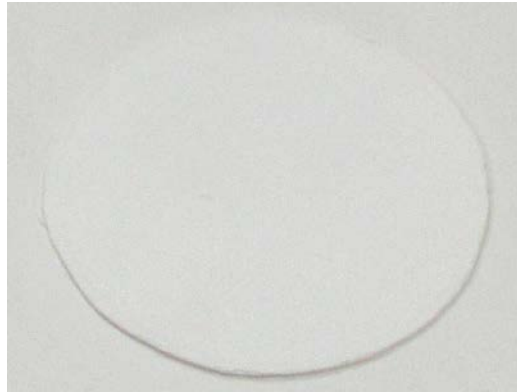


Figura 1. Esempio di campione testato del prodotto ciclo termico per interni (diametro 95 mm, spessore 1.4 mm).

4 Apparato di prova

Le prove di determinazione della permeabilità al vapore d'acqua, realizzate ai sensi delle norme di Rif. 2-c, 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.

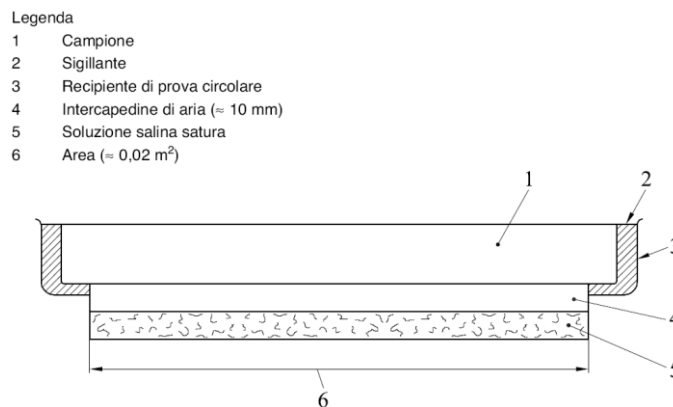


Figura 2. Schema dell'attrezzatura di prova (Rif. 2-c, 2-d).

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 3 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017



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: $\approx 0.005 \text{ m}^2$, da cui segue un diametro di circa 80 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 isolanti termici per edilizia 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 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ 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.

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

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 4 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_414_2017

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, la quale ha consentito di garantire un'umidità relativa costante a 20°C e pari a 11% nominale (31.5 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 ≈ 0.005 m²;
- 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. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 5 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017



Figura 4. Attrezzatura di prova + campione del prodotto ciclo termico per interni.



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

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 6 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017

La configurazione di prova costituita dal solo ciclo è autoportante e non si è resa necessaria la misura dello spessore del coating in via meccanica mediante sistema a tastatore con risoluzione di lettura pari a $\pm 5 \mu\text{m}$

Dalle rilevazioni fatte sui tre campioni risultano gli spessori riportati in Tabella 1.

Da questi si andrà poi a determinare il valore V (rateo di trasmissione di Vapore - $(\text{g}/\text{m}^2 \text{d})$). Tale parametro è alla base della determinazione dello spessore d'aria equivalente s_a (m) e del fattore di resistenza al vapore acqueo μ (adimensionale).

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	0.145635	1.39
2	0.146016	1.39
3	0.145694	1.39

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 - Figura 5): **23.0 °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): **15.2%** - 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. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 7 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017

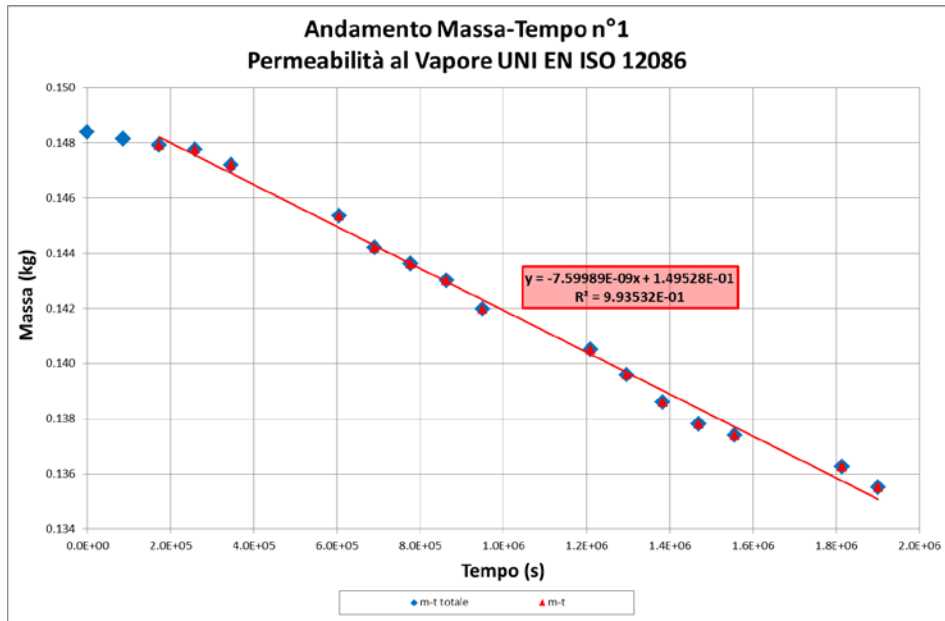


Figura 6. Correlazione Massa-Tempo al termine del test (provino n.1 del prodotto ciclo termico per interni).

Dai risultati ottenuti si può constatare come il transitorio iniziale presenti una variazione non lineare della massa e perciò non venga considerato ai fini della determinazione empirica del parametro G.

Provino n.1 - Ciclo termico per interni		
Tempo (h)	Tempo (s)	Massa campione (kg)
0	0	0.1484
24	86400	0.1481
48	172800	0.1479
72	259200	0.1478
96	345600	0.1472
168	604800	0.1454
192	691200	0.1442
216	777600	0.1436
240	864000	0.1430
264	950400	0.1420
336	1209600	0.1405
360	1296000	0.1396
384	1382400	0.1386
408	1468800	0.1378
432	1555200	0.1374
504	1814400	0.1363
528	1900800	0.1355

Tabella 2. Dati di perdita di massa relativi al provino n.1 del prodotto "ciclo termico per interni".

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 8 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017

Dai 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):

Sigla provino	S_d (m)	μ	V (g/m ² d)
1	0.23	168	131
2	0.25	179	123
3	0.24	174	127
Valori Medi	0.24	174	127

Tabella 3. Valori di Permeabilità al Vapore del prodotto ciclo termico per interni.

I valori presenti in Tabella 3 sono stati preventivamente corretti, così come riportato nella norma al Rif. 2-c, per tenere conto di alcuni aspetti, descritti nella successiva appendice A e legati alla presenza del bordo schermato Si riporta inoltre il rateo di trasmissione del vapore acqueo V (g/m²d).

6 Conclusioni

Dalla sperimentazione fatta si dichiara che, per il prodotto ciclo termico per interni il valore del coefficiente di permeabilità al vapore d'acqua medio μ risulta pari a **174**, mentre lo spessore equivalente d'aria S_d risulta pari a **0.24 m** e **V** risulta **127 g/m²d**.

7 Lista di distribuzione

ENEA	Archivio	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Tecnostuk S.r.l	1 copia

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 9 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017

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).

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

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

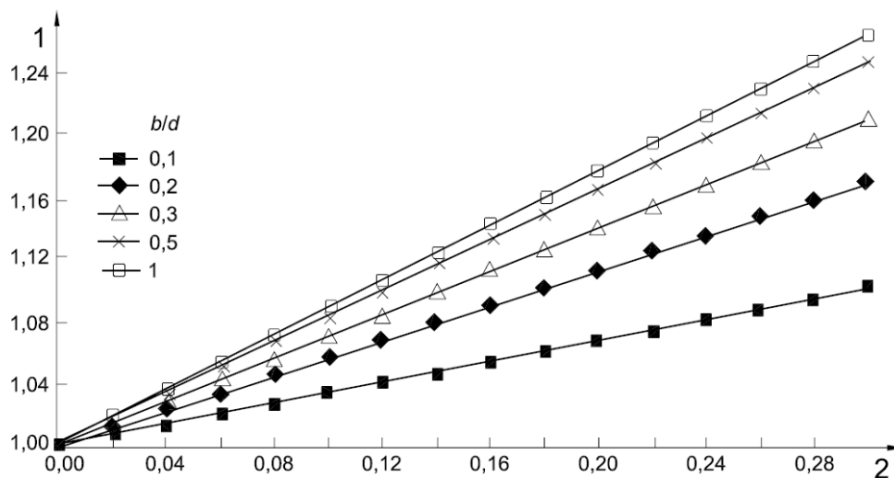


Figura 7. Determinazione del Coefficiente correttivo - effetto del bordo schermato.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 10 di 10
	P.I. Germano Pederzoli	_Ing. Giulia De Aloisio, PhD_	_Ing. Luca Laghi_	SOM_414_2017