

1 Introduzione

Il presente rapporto descrive la prova di:

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

effettuata su una tipologia di protettivo idrofobico a solvente per materiali da costruzione di interesse storico denominato "ELIOSIL W 119" fatta pervenire al laboratorio CertiMaC di Faenza dal Committente in data 27/01/2020 (Rif. 2-a, 2-b). La prova è stata effettuata in accordo con le norme riportate nel Rif. 2-c, Rif. 2-d, Rif.2-e e Rif. 2-f.

2 Riferimenti

- Preventivo: prot. 19386/lab del 16/12/2019.
- Conferma d'ordine: e-mail del 20/01/2020.
- Norma UNI EN 998-1:2016. Specifiche per malte per opere murarie - Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni.
- UNI EN 1504-2:2005. Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo.
- 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 un protettivo idrofobico a solvente per materiali da costruzione di interesse storico fatto pervenire al laboratorio sotto forma di:

- N° 3 fustini da 5 litri cadauno;

In data 10/02/2020 sono stati confezionati dal laboratorio CertiMaC n. 3 campioni di sezione circolare con diametro pari a circa 94 mm e spessore del protettivo non misurabile direttamente in virtù dell'impregnazione del prodotto nel supporto. In particolare, la preparazione dei provini è avvenuta come da specifiche della scheda tecnica fornita dal Committente. Il prodotto è stato posato in due mani a distanza di 24 ore su opportuno substrato.

La stagionatura in camera climatica è stata effettuata in condizioni di aria a temperatura di 23°C e 60% di umidità.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 2 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

Al termine della stagionatura, si è dato inizio alle operazioni propedeutiche alla misura della permeabilità al vapore.

In Figura 1 è riportata la fotografia del prodotto trasparente "ELIOSIL W119", posato su opportuno substrato.



Figura 1. Riproduzione fotografica del prodotto "ELIOSIL W 119" posato in laboratorio su opportuno substrato.

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 e 2-f, 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.

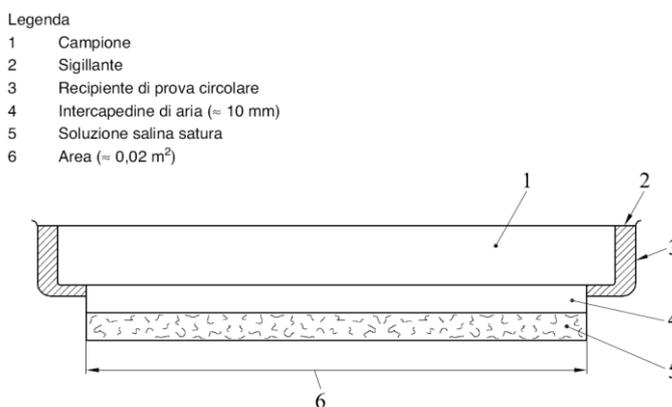


Figura 2. Schema dell'attrezzatura di prova (Rif. 2-d, 2-e).

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 3 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020



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-d e 2-e 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. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 4 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

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. 2d, la quale ha consentito di garantire un'umidità relativa costante a 20°C e pari a 11 % nominale (9,8 % 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).

Nel caso del sistema costituito dal protettivo idrofobico (coating) posato sul substrato, è possibile valutare il rateo di trasmissione del vapore acqueo del protettivo idrofobico, V , in g/m²d, con l'equazione (3):

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 5 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

$$V = 24 \times \frac{p}{p_0} \times \frac{G}{A} \quad (3)$$

In cui

- p/p_0 = Fattore correttivo per correggere il rateo di trasmissione del vapore alla pressione atmosferica;
- G = Flusso di vapore in g/h;
- A = Area del provino;
- 24 = Fattore che tiene conto della conversione delle ore in giorni;

Il rateo di trasmissione del vapore V è inoltre ricavato come combinazione del rateo di trasmissione del vapore nel sistema combinato substrato e coating V_{cs} e rateo di trasmissione nel solo substrato V_s , come indicato nell'equazione (4).

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{cs}} + \frac{1}{V_s} \quad (5)$$

Infine, lo spessore dello strato di aria equivalente s_d del protettivo (coating) viene calcolato come indicato nell'equazione (5).

$$s_d = \frac{20,4}{V} \quad (5)$$



Figura 4. Attrezzatura di prova + campione del prodotto "ELIOSIL W 119".

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 6 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

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): **23,8 °C**;
- Temperatura media esterna (Rif. Laboratorio): **20 ± 2 °C**;
- Umidità relativa interna: **93.2%** - assunta pari al valor nominale garantito dalla soluzione satura di KNO₃ 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: **9,8%** - 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):

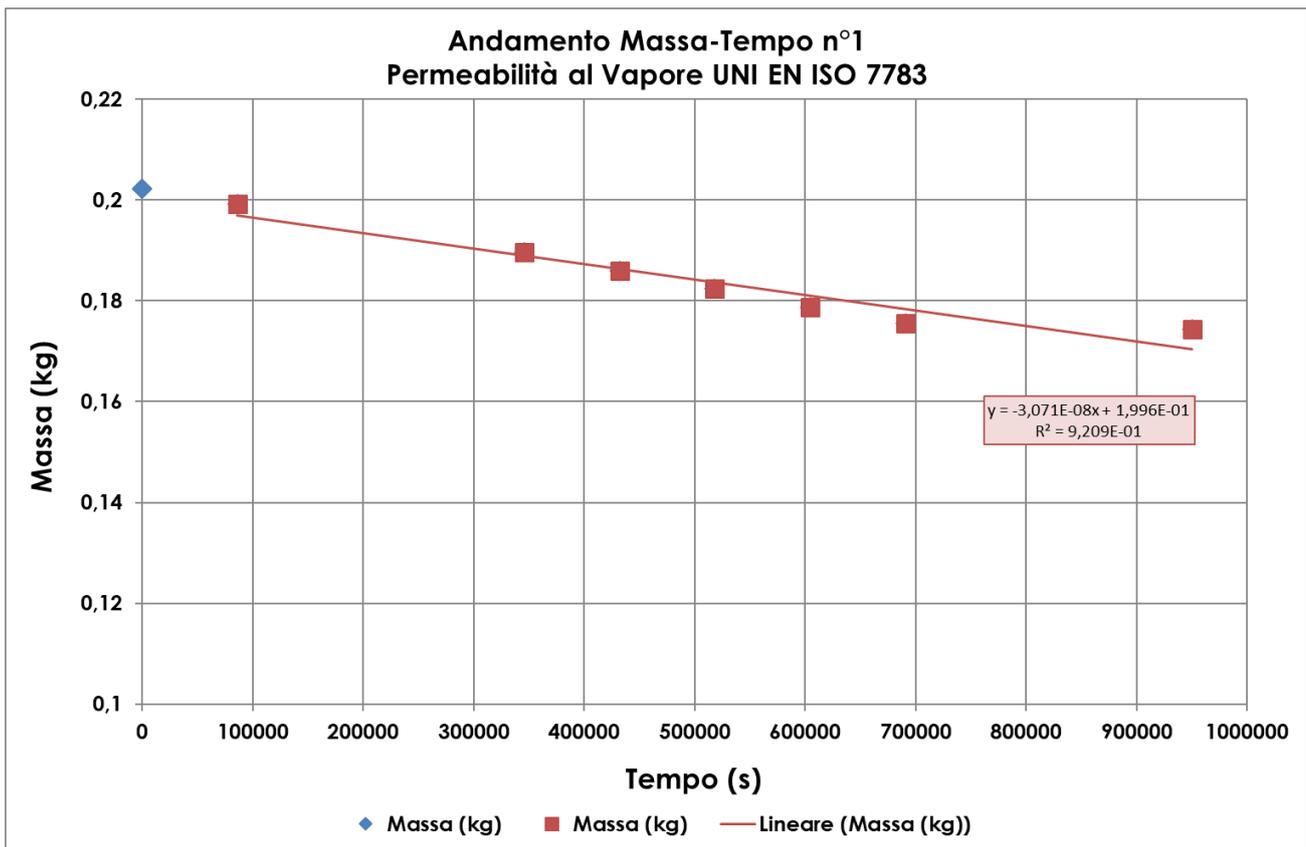


Figura 6. Correlazione Massa-Tempo al termine del test (provino n.1- Sistema substrato e protettivo idrofobico)

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 8 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

Campione n° 1		
Tempo (h)	Tempo (s)	Massa campione (kg)
0	0	0,2023
24	86400	0,1992
96	345600	0,1896
120	432000	0,1859
144	518400	0,1824
168	604800	0,1787
192	691200	0,1756
264	950400	0,1744

Tabella 2. Dati di perdita di massa relativi al provino n.1 costituito dal sistema substrato e protettivo idrofobico "ELIOSIL W 119".

Sulla base dei valori misurati (Tabella 2 e Figura 6) e dei ratei di trasmissione del vapore di acqua determinati per il sistema complessivo (substrato e protettivo idrofobico) e del solo substrato, sono stati elaborati i dati ai sensi delle relazioni (3), (4) e (5) al fine di determinare il rateo di trasmissione V e lo spessore d'aria equivalente S_d (Tabella 3), del solo protettivo idrofobico

ELIOSIL W 119	Campione			Valore Medio
	1	2	3	
S_d (m)	0,0063	0,0064	0,0061	0,0063
V (g/m ² d)	3,248E+03	3,188E+03	3,333E+03	3,256E+03

Tabella 3. Valori di Permeabilità al vapore del prodotto "ELIOSIL W 119".

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

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 9 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

6 Conclusioni

Dalla sperimentazione fatta si dichiara che, per il prodotto "ELIOSIL W 119", lo spessore equivalente d'aria S_d risulta pari a **0.0063 m** e il rateo di trasmissione γ risulta **3256 g/m²d.**

7 Lista di distribuzione

ENEA	Archivio	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Giuseppe Di Maria S.p.A.	1 copia

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 10 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020

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

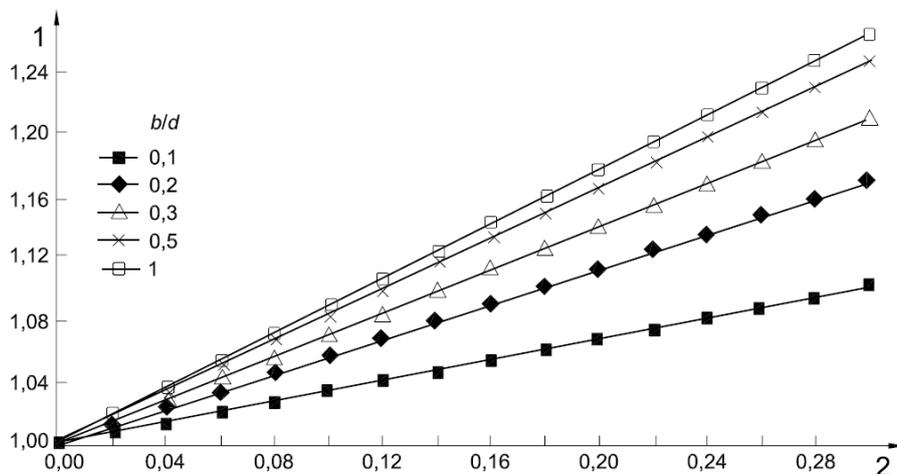


Figura 7. Determinazione del Coefficiente correttivo – effetto del bordo schermato.

Rev. --	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 11 di 11
	P.I. Germano Pederzoli	_ Ing. Giulia De Aloysio, PhD _	_Ing. Luca Laghi_	SQM_068_2020