

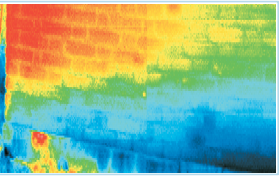
STUDIO DI FLUSSI EVAPORATIVI NELLE DINAMICHE DEL DEGRADO DI MATERIALI UMIDI

Istituto di Fisica Generale Applicata
Università degli Studi di Milano
Laboratorio di Archeometria

M. Milazzo, N. Ludwig, V. Redaelli

Introduzione

Il degrado dovuto all'umidità nelle murature è stato in generale affrontato come misura dell'acqua in esse contenuta. Questa influisce sulle proprietà termo-meccaniche dei materiali, ma, per quanto attiene al degrado delle superfici, è di maggiore importanza la valutazione del passaggio di acqua all'interfaccia muratura-ambiente e del trasporto di sali connesso. Questi, depositati al momento dell'evaporazione, cristallizzano nei pori del materiale causando la rottura. E' evidente che il degrado connesso a questo fenomeno sia imputabile più al flusso di evaporazione (Φ) alla superficie che al contenuto d'acqua (W), pur essendo le due variabili, evidentemente correlate. L'evaporazione è un fenomeno dipendente dalle condizioni della superficie del materiale, dalla porosità e dalle condizioni ambientali (temperatura, umidità relativa e ventilazione). L'importanza dell'evaporazione è ben nota a chi si occupa di antiche murature, macanto difficilmente quantificabile e, di conseguenza, controllabile. Si noti inoltre che interventi di risanamento ed isolamento idrico di murature non sempre e non subito riducono la quantità dei depositi salini in superficie. Il processo di evaporazione nelle murature umide è influenzato fondamentalmente dalla differenza di concentrazione di acqua fra muro e aria.



Un metodo efficace per la determinazione del flusso evaporativo è l'identificazione per via termografica delle zone caratterizzate dal raffreddamento causato dal processo di evaporazione: infatti l'energia associata all'evaporazione da una muratura imbibita è dell'ordine di 100 W/mq. In una ripresa termografica le zone soggette ad evaporazione sono in generale ben evidenti. L'entità del raffreddamento può variare da pochi decimi di grado a oltre dieci gradi a seconda delle caratteristiche del materiale. Il controllo della temperatura attraverso riprese termovisive garantisce la assoluta non invasività del metodo e può applicarsi ad ampie superfici con una elevata risoluzione spaziale e termica (+/- 0,05°C). Prove di laboratorio sono state effettuate su campioni di intonaco il cui flusso evaporativo è ricavato misurandone la variazione di peso.

Procedura sperimentale

Lo studio del comportamento del flusso evaporativo in funzione del contenuto d'acqua è stato effettuato su campioni di intonaco a base cocciopesto, polvere di marmo, sabbia del Ticino, con grassello di calce come legante e su "carote" di mattone in cotto e materiali lapidei. L'imbibizione avviene immergendo il campione in acqua distillata; una volta saturo, esso viene posto su una bilancia di precisione e lasciato evaporare in condizioni di umidità relativa e temperatura costanti. Dalla variazione di peso del campione si ottiene il flusso evaporativo attraverso la formula:

$$\Phi = \frac{\Delta \text{peso}}{\Delta \text{area} \cdot \Delta \text{tempo}}$$



Si è lavorato in condizioni di umidità relativa tra 30% e 80% e temperatura tra 10 °C e 25 °C. Non sono state utilizzate fonti di illuminazione o ventilazione artificiali. Durante l'evaporazione si pone accanto al campione imbibito un campione identico ma secco e si misura con un sistema termovisivo la differenza di temperatura tra le superfici di entrambi, che può così essere correlata al valore del flusso evaporativo.



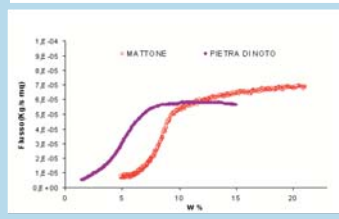
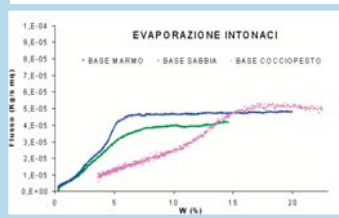
Sistema videoterigrafico e camera climatica.

Il flusso evaporativo

I risultati vengono rappresentati in funzione di W, definito come la massa d'acqua contenuta rispetto a quella del campione secco:

$$W (\%) = \frac{m - m_{\text{secca}} - \text{tara}}{m_{\text{secca}}} * 100$$

essendo m la massa del campione. Si nota un comportamento comune a tutti i campioni: i valori di flusso sono pressoché costanti per alti valori di W e decrescono bruscamente al di sotto di un valore di W caratteristico per ogni materiale.



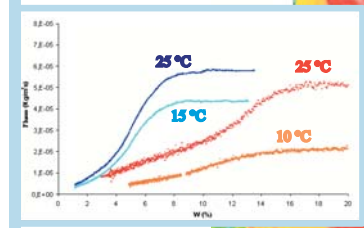
La spiegazione di tale fenomeno è da ricercarsi nei meccanismi di trasporto e di evaporazione all'interno dei pori del materiale: al progressivo asciugarsi del campione l'acqua si ritira nelle cavità più piccole, assimilabili a pori cilindrici con raggio inferiore al micron, e si fa quindi sentire l'effetto dovuto al menisco sul valore della tensione di vapore.

In particolare, per menischi concavi (legge di Kelvin) l'umidità relativa all'equilibrio liquido-vapore si abbassa, ne segue che il gradiente con l'umidità relativa ambientale diminuisce provocando una diminuzione del flusso evaporativo.

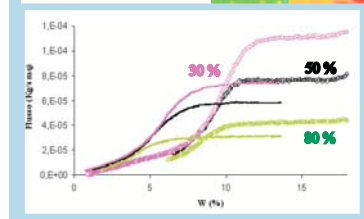
I comportamenti caratteristici riscontrabili per i diversi materiali sono quindi imputabili alla diversa distribuzione di pori e micropori all'interno dei campioni.

Influenza delle variabili ambientali

Misure in differenti condizioni ambientali sono state effettuate per verificare la dipendenza del flusso dall'umidità relativa ambientale e dalla temperatura: i risultati ottenuti rispecchiano l'andamento atteso.



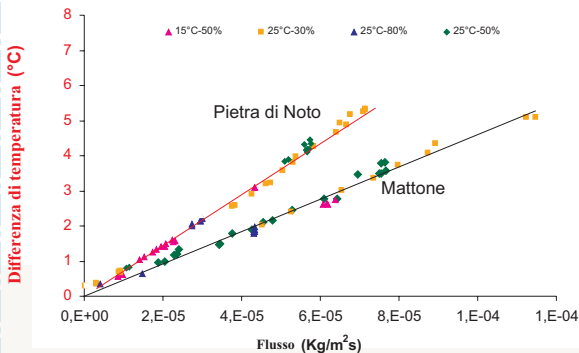
Valori del flusso evaporativo ad umidità relativa del 50% e differenti temperature. Sulla destra intonaco a base cocciopesto, sulla sinistra pietra di Noto.



Valori del flusso evaporativo a 25°C. Sulla destra le tre curve per diversa umidità relativa riguardano il mattone, sulla sinistra quelle relative alla pietra di Noto.

Le immagini termografiche riportate si riferiscono a una campagna di diagnostica dell'umidità svolta nel 1998 presso il cimitero monumentale di Darfo - Boario Terme (Bs).

Differenza di temperatura - Flusso evaporativo



Flussi e termografia

Indicando con ΔT la differenza di temperatura superficiale tra i campioni, umido e secco, ripresi con la termocamera, si può riscrivere l'equazione del bilancio energetico per una superficie evaporante all'equilibrio nella forma:

$$\Phi = \frac{\sigma (-T_a^4 + T_s^4)}{\Delta \text{lev}} + \frac{h + k^*}{\Delta \text{lev}} (T_a - T_s)$$

Da cui, per temperature ambientali comprese tra 10°C e 30°C, raccogliendo tutti i fattori di scambio in un unico termine, si ottiene una relazione lineare:

$$\Delta T = 4,2 \cdot 10^{-5} (h + k^*)^{-1} \Phi$$

Misurando il flusso evaporativo con la bilancia analitica e, simultaneamente, la differenza di temperatura con la termocamera, si è ottenuto l'andamento sperimentale riportato nel grafico. Eseguendo le misure per diversi materiali e in differenti condizioni, il termine $h+k^*$ (che tiene conto delle caratteristiche conduttive e convettive del campione) viene ricavato come miglior fit delle misure sperimentali, realizzando in tale modo delle curve di taratura da utilizzare per le analisi sul campo.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE:

- [1] G. e I. Massari, Risanamento igienico dei locali umidi, Hoepli, 1985
- [2] D. Camuffo, Microclimate for Cultural Heritage, Elsevier, 1998
- [3] G.Poldi, Misure di flusso evaporativo e di umidità superficiale nelle murature mediante termografia, Tesi di laurea in Fisica, 1996
- [4] V.Reddaelli, Misure quantitative di flussi evaporativi da materiali edili di interesse archeometrico mediante tecniche di termografia, Tesi di laurea in Fisica, 2001
- [5] Fattori di deterioramento, Dispense del corso sulla manutenzione di dipinti murali-mosaici-stucchi, Istituto Centrale del Restauro, 1979

