

ALLEGATO WP6 – Task 6.2

REPORT SCIENTIFICO SAL 3 - 14/07/2019

Progetto ADAMO - Tecnologie di Analisi, DiAgnostica e MOnitoraggio per la conservazione e il restauro di beni culturali

Istituto per le Applicazioni del Calcolo “M. Picone” IAC – CNR

Dipartimento di Fisica, Università di Roma Sapienza

Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, Università di Roma Sapienza, Università di Roma Sapienza

Dipartimento di Chimica e Tecnologie Farmaceutiche, Università di Roma Sapienza

CISTeC – Centro di Ricerca in Scienza e Tecnica per la Conservazione del Patrimonio Storico-Architettonico, Università di Roma Sapienza

Dipartimento di Biologia e Biotecnologie “Charles Darwin, Università di Roma Sapienza

Dott. Roberto Natalini, Dott.ssa Barbara De Filippo, Dott.ssa Gabriella Bretti, Dott. Maurizio Ceseri, Dott.ssa Maria Concetta Palumbo, Ing. Claudia Del Bianco, Dott. Mohammad Sharbaf, Prof. Gabriele Favero, Prof. Annamaria Siani, Prof. Maria Laura Santarelli, Prof. Daniela Uccelletti

INDICE

TASK 6.2 Sviluppo di un sistema di monitoraggio e previsione della dinamica della cristallizzazione di sali all'interno dei mezzi porosi soggetti a risalita capillare per il controllo del degrado chimico-fisico delle murature in ambienti ipogei o semi-confinati.

- 1 Introduzione***
- 2 Il modello matematico***
- 3 Risultati e conclusioni***

TASK 6.2 Sviluppo di un sistema di monitoraggio e previsione della dinamica della cristallizzazione di sali all'interno dei mezzi porosi soggetti a risalita capillare per il controllo del degrado chimico-fisico delle murature in ambienti ipogei o semi-confinati.

1. Introduzione

La cristallizzazione di sali all'interno di mezzi porosi è legata al degrado di opere murarie, sia per le normali abitazioni per uso civile sia per opere sottoposte a vincoli storici e architettonici. I sali penetrano nelle murature per effetto della risalita capillare di acqua (in cui sono disciolti i sali).

Il presente lavoro riguarda lo sviluppo di un modello matematico che descrive il processo di cristallizzazione di sali disciolti in acqua all'interno di un mezzo poroso, in questo caso il mattone.

La cristallizzazione di sali nei mattoni è una delle cause del deterioramento degli edifici. Il cristallo che si forma all'interno della matrice porosa può da un lato provocare delle microfessure che indeboliscono la struttura, dall'altro possono ridurre la porosità del materiale rallentando il passaggio di aria nella roccia.

I sali possono diffondersi nel mattone disciolti nell'acqua che penetra per capillarità nei pori. Quando la concentrazione dei sali nell'acqua supera una certa soglia di saturazione, gli ioni di sale precipitano e formano i cristalli.

Il solfato di sodio è uno dei sali più dannosi per la salvaguardia degli edifici.

Una delle tecniche più usate dagli specialisti per ridurre gli effetti della cristallizzazione è il trattamento dei mattoni con inibitori della cristallizzazione. L'inibitore riduce la pressione associata alla crescita del cristallo mantenendola sotto il modulo di rottura del mattone.

2. Il modello matematico

Il modello sviluppato descrive:

- il trasporto di acqua nel mattone,
- la diffusione e il trasporto dei sali di solfato di sodio disciolti,
- la formazione di cristalli per effetto dell'aumento di concentrazione.

Le equazioni del modello sono le seguenti:

$$\partial_t \theta = \partial_z \left(\left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \partial_z B \left(\frac{\theta}{n} \right) \right) - K_T \theta \mathcal{H}_\epsilon(\theta)$$

che descrive il trasporto di acqua nel mattone,

$$\partial_t(\theta c) = \partial_z \left(c \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \partial_z B \left(\frac{\theta}{n} \right) + \theta D \partial_z c \right) - \partial_t(c_s)$$

che descrive il trasporto e diffusione dei sali disciolti in acqua con un termine di reazione per descrivere la formazione di cristalli,

$$\partial_t(c_s) = K_S c (n - \theta)^2 + \bar{K} (c - \bar{c})_+ \theta$$

che descrive la formazione di cristalli come aumento della concentrazione dovuta sia alla riduzione del contenuto di acqua (primo termine a destra) sia per superamento della soglia di super-saturazione nella concentrazione dei sali in acqua.

Nelle equazioni sopra la funzione B descrive il trasporto di acqua per capillarità nel mezzo poroso. La B sarà una funzione polinomiale (di terzo grado) della variabile $\frac{z}{n}$; la sua derivata prima, B', è zero sotto un certo valore $a > 0$ (che rappresenta la quantità minima di acqua nel mezzo poroso che permette il trasporto di liquido), è nulla per valori $\frac{z}{n} > 1$ ed assume un massimo, $B' = c$, nel punto medio dell'intervallo $[a, 1]$. Le costanti a e c definiscono univocamente la funzione B per il materiale sotto esame e sono determinate per calibrazione dei dati di imbibimento del mattone.

Si assume che la formazione dei cristalli porti ad una riduzione della porosità, ovvero:

$$n = n_0 - \gamma c_s$$

Usando dati sperimentali abbiamo determinato tramite calibrazione i coefficienti del modello. In particolare, le costanti fisiche importanti sono:

- K_s , la velocità di cristallizzazione,
- γ , il volume specifico dei cristalli.

Le due costanti sopra danno indicazioni sull'effetto dell'inibitore sulla formazione di cristalli nel mattone: la prima sulla velocità di formazione dei cristalli; la seconda sulla dimensione dei cristalli che si sono formati.

Tali costanti vengono determinate per calibrazione del modello con dati sperimentali ottenuti per uno specifico inibitore, nel nostro caso il fosfocitrato, ed un mezzo poroso specifico, il mattone comune. Infatti un inibitore può avere effetti diversi a seconda sia del sale considerato sia del tipo di roccia sotto esame.

3. Risultati e conclusioni

Le costanti sono state determinate sia per il mattone non trattato che per quello trattato con l'inibitore. I risultati della calibrazione hanno dato i seguenti risultati riportati in tabella.

	Non trattato	Trattato
K_s	$4.1 \cdot 10^{-5} s^{-1}$	$6 \cdot 10^{-5} s^{-1}$
γ	$0.6 \text{ cm}^3 g^{-1}$	$0.53 \text{ cm}^3 g^{-1}$

Questo significa che l'effetto dell'inibitore per questa tipologia di sale nel mattone comune è di aumentare la velocità di cristallizzazione e di ridurre la dimensione dei cristalli che occupano quindi meno spazio.

I risultati riportati dimostrano come l'utilizzo di inibitori di cristallizzazione sia utile per migliorare la qualità del materiale da costruzione che, in questo caso, è costituito da laterizio. È verosimile supporre che, di tali effetti, possano beneficiare anche altri materiali, sia da costruzione che storici. Sicuramente questo studio costituisce un solido punto di partenza per future ricerche. Vedi il lavoro Bracciale, Bretti, Broggi, Ceseri, Marrocchi, Natalini e Russo, "Mathematical Modelling of experimental data for crystallization inhibitors", 2017, Applied Mathematical Modelling, 48, 21-38, per un'estesa trattazione e bibliografia sul problema.