

## Sulla durabilità dei laterizi in ambiente aggressivo

G. BARONIO, L. BINDA

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano, Italia

Sommario - Nella nota si indaga sull'alterazione di due tipi di mattoni pieni per effetto della cristallizzazione del solfato di sodio. In una prima fase vengono caratterizzati materiali mediante prove chimico-fisiche e si studia l'influenza del processo di produzione sul loro comportamento. Successivamente viene applicata una procedura di prova di cristallizzazione in condizioni termodinamiche controllate. Si ricorre all'uso di indagini soniche per controllare il procedimento di lavaggio dei provini trattati.

Abstract - The alteration of two different types of bricks due to the effects of sodium sulphate cristallization and gelivity is experimentally studied. In a first phase the materials have been characterized by chemical-physical tests; influences on the internal cohesion due to production processes have been relieved. In a second phase a procedure for cristallization of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tests in thermodynamical controlled conditions is applied. The use of non destructive tests (geophysical tests) both for the characterization of materials and the control of the cristallization procedure have been applied.

### 1. PREMESSA

L'alterazione delle caratteristiche meccaniche dei laterizi sottoposti all'aggressione chimico-fisica dell'ambiente circostante è stata studiata sperimentalmente in lavori precedenti [1][2].

L'importanza di queste ricerche ai fini della manutenzione e conservazione delle risorse edilizie e monumentali è stata più volte sottolineata; particolare interesse assume l'aggressione ambientale su murature in pietra e laterizio in aree marine. Nei lavori summenzionati sono stati presi in considerazione come agenti aggressivi il solfato di sodio, l'anidride solforosa, il cloruro di sodio e l'azione del gelo e disgelo. Le prove sono state eseguite su 4 tipi di mattoni pieni. Questa prima esperienza, pur condotta su campioni di bassa numerosità, ha permesso di osservare quanto segue. Non sempre è possibile trovare una correlazione tra durabilità e resistenza dei materiali; mattoni di buona resistenza meccanica possono avere caratteristiche di breve durabilità o viceversa. La conoscenza di parametri quali la porosità accessibile all'acqua, la distribuzione dei pori, la massa volumica reale ed apparente, ecc. permette di caratterizzare la struttura dei laterizi; queste caratteristiche fisiche sono legate alla scelta delle materie prime, al processo di formatura, di essiccazione e cottura. Da tale processo dipende un tipo di disomogeneità strutturale che può manifestarsi sotto forma di micro o macro-fessure.

Se l'aggressività dell'ambiente si manifesta con un'azione prevalentemente meccanica esercitata sulla struttura stessa del materiale (cristallizzazione dei sali, gelività), il fenomeno di alte-

razione viene esaltato dalla presenza di queste fessure, lungo le quali sono già avviate delle superfici di rottura. In tal caso le prove di resistenza meccanica a compressione o a trazione possono essere poco significative per definire la durabilità.

Nella prima fase della presente ricerca sono state studiate le possibili correlazioni tra le caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche di due tipi di mattoni, prodotti con tecniche diverse, allo scopo di spiegare il loro diverso comportamento alle prove di invecchiamento e la sua dipendenza dalla struttura del materiale.

Nella seconda parte della presente nota vengono messe a punto alcune modalità di prova relative al processo di invecchiamento. Infatti dal confronto tra i risultati già ottenuti è emersa la necessità di eseguire prove in condizioni rigorosamente controllate. Particolari attenzioni sono rivolte al procedimento di lavaggio dei provini trattati. Si è infine impiegato un tipo di indagine non distruttiva sia per la caratterizzazione dei materiali che per l'esame dell'entità dell'alterazione a seguito di trattamenti ciclici di cristallizzazione. A tale scopo si è eseguito sui materiali il rilievo della velocità di propagazione di onde soniche elastiche longitudinali a frequenza nel campo degli ultrasuoni.

## 2. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Sono stati presi in considerazione due tipi di mattoni pieni, denominati T1 e T3, di attuale produzione, ma ottenuti mediante differenti metodi di fabbricazione:

- il mattone T1 è stato prodotto con mattoniera ad elica;
- il mattone T3, sabbiato, detto "a mano", è stato prodotto con un impianto completamente meccanizzato, ad eccezione della pressatura dell'argilla nello stampo; tale accorgimento viene adottato per mantenere invariate nel mattone finito le caratteristiche della lavorazione a mano.

La diversa tecnologia di produzione influenza la struttura del materiale. Sul mattone T1 infatti, ad un esame macroscopico, si notano le caratteristiche "strutture difettive", dovute forse ad una diversa velocità di avanzamento dell'argilla all'uscita della trafila. Il mattone T3 appare compatto ed omogeneo.

Al fine di evidenziare l'influenza del ciclo produttivo sulla struttura del materiale sono state eseguite su entrambi i mattoni prove chimiche, fisiche, diffrattometriche e meccaniche.

L'analisi mineralogica, eseguita con metodo diffrattometrico, evidenzia una leggera diversificazione delle fasi cristalline (Fig.1). La presenza di entrambi i feldspati sodico e potassico nella paragenesi dei due campioni permette di valutare orientativamente la temperatura di cottura (tra 850 e 950 °C).

I risultati dell'analisi chimica sono evidenziati nella Fig.2.

I risultati delle prove fisiche e meccaniche eseguite sui due campioni adottando, quando possibile, normative vigenti sono riepilogati nella tabella 1.

Dall'analisi dei dati riportati emerge una proporzionalità diretta fra resistenza meccanica a compressione e a flessione e massa volumica apparente. La porosità accessibile all'acqua (più eleva-

ta nel T1 che nel T3) fa ragionevolmente prevedere una durabilità maggiore per quest'ultimo tipo di mattone. Le prove per la determinazione del coefficiente di assorbimento condotte secondo le Raccomandazioni [3] sono sinteticamente riportate in Fig.3. La dispersione dei dati relativi ai provini T1, molto più ampia di quella dei provini T3, sottolinea la forte disomogeneità esistente nel mattone T1.

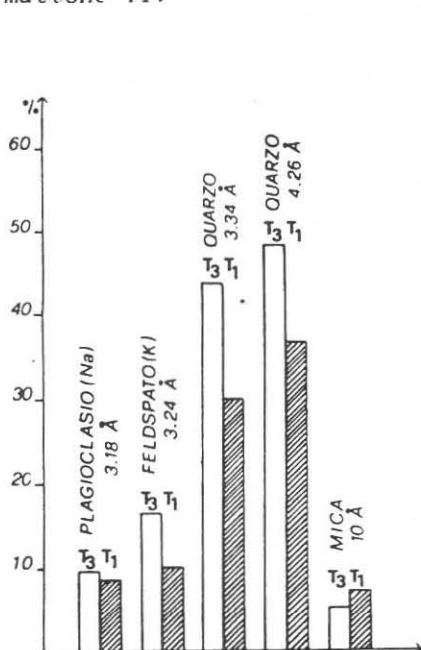


Fig.1 - Analisi mineralogica

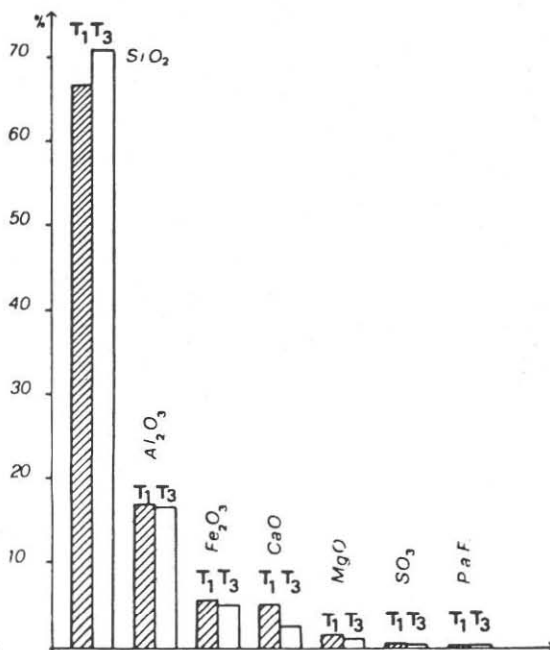


Fig.2 - Analisi Chimica

Proprietà		Campione	
		T1	T3
Massa volumica apparente	( $\text{kg/m}^3$ )	17,76	16,62
Porosità accessibile all'acqua	(%)	34.14	32.40
Assorbimento	(%)	18.16	17.71
Coefficiente di saturazione	(-)	0.81	0.78
Coefficiente di assorbimento, $A = m/t^{0.5}$	( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ )	0.332	0.428
Resistenza a compressione	(MPa)	40.65	18.09
Resistenza a flessione	(MPa)	5.0	2.6

Tabella 1 - Proprietà fisiche e meccaniche dei laterizi allo stato naturale (valori medi campionari).

L'analisi porosimetrica, eseguita con porosimetro a mercurio, è considerato un metodo diretto per valutare la resistenza di un materiale al gelo ed offre la possibilità di correlare ad essa la distribuzione volumetrica dei pori [4]

Dalle curve porosimetriche di Fig.4 emerge che i pori aventi dia-

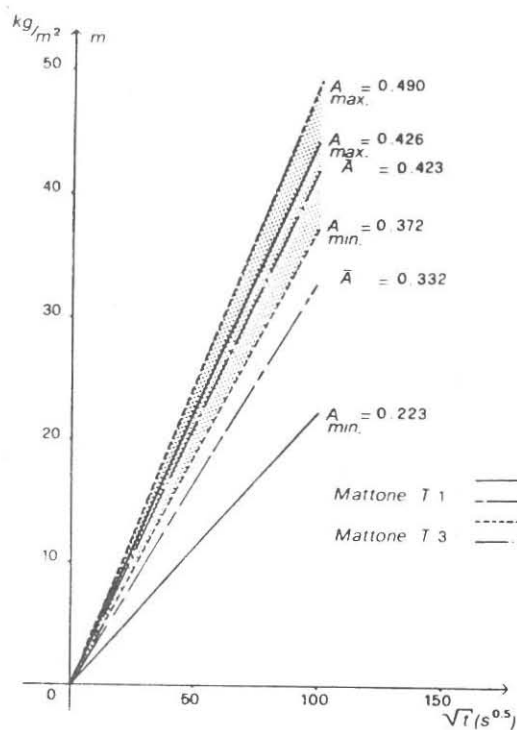


Fig. 3 - Coefficiente di assorbimento di acqua per risalita capillare.

metro compreso tra  $0.25$  e  $1.4 \mu\text{m}$  corrispondono all'incirca al 52 e al 79% del totale, rispettivamente per il T1 ed il T3. Per la legge di Jourin, i pori compresi tra tali diametri sono facilmente sa

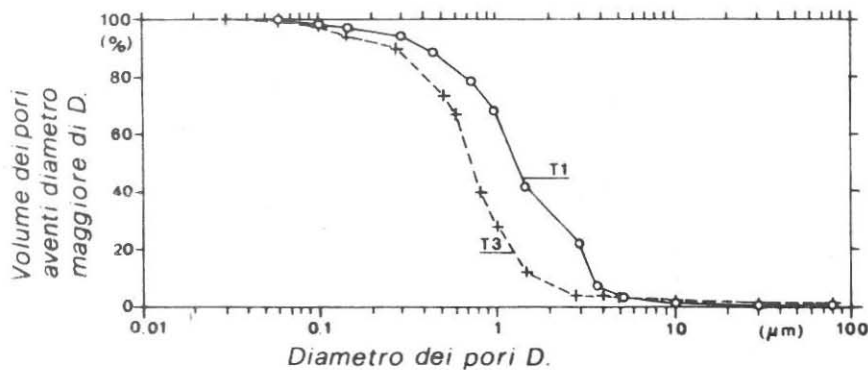


Fig. 4 - Distribuzione dimensionale dei pori.

turabili dall'acqua, che si trasforma in ghiaccio alle basse temperature; i campioni esaminati possiedono quindi una scarsa attitudine a resistere ai climi invernali. Le prove di resistenza a flessione e compressione sono state eseguite su provini prismatici (4x4x16cm). Le dimensioni sono state scelte in modo da poter confrontare le resistenze dei laterizi con quelle delle malte che si stanno studiando per una ricerca parallela e per le quali la normativa [5] prevede tali dimensioni.

I risultati delle prove eseguite prima a flessione sul provino intero, poi a compressione sui due semiprismi, in direzione dello spessore e in direzione della larghezza del mattone, hanno mostrato una resistenza notevolmente superiore per il T1. Si è potuta notare anche l'anisotropia dei due tipi di laterizio: le resistenze a compressione minori sono state misurate nella direzione dello spessore per il tipo T3 e nel senso della larghezza per il tipo T1 (si sottolinea che in questa direzione s'incontra il maggior numero di fessure). Quanto detto appare chiaro osservando la Fig.5, riferita ad un campione di 21 provini: si può osservare ancora una volta una maggiore dispersione dei risultati per il mattone T1.

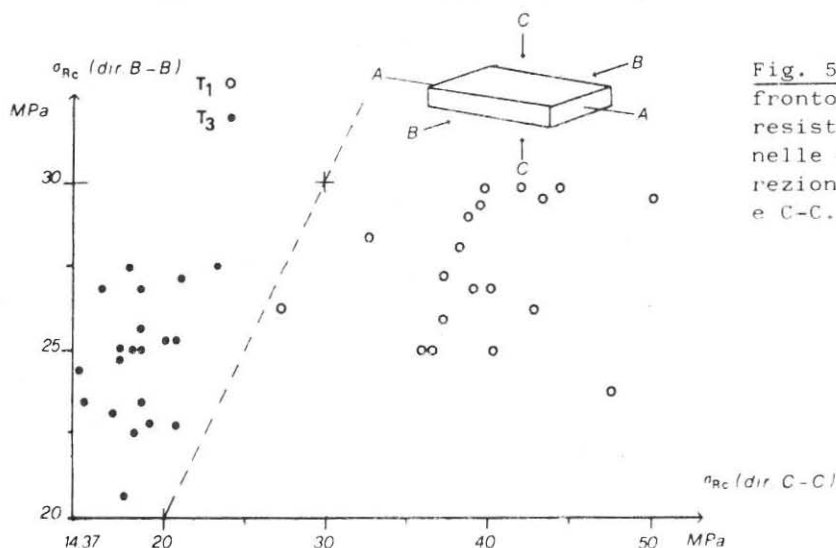


Fig. 5 - Confronto tra le resistenze nelle due direzioni B-B e C-C.

### 3. PROVE DI INVECCHIAMENTO ACCELERATO

Parallelamente alle prove di cristallizzazione del solfato sodico presente nei terreni selenitosi e nelle zone marine, sono state condotte prove di resistenza all'azione meccanica del gelo e di sgelo, fenomeno frequente nel Nord Italia.

#### 3.1. Gelività

La prova è stata eseguita secondo la normativa vigente [6]. I provini relativi al campione T<sub>1</sub>, che già allo stato naturale presentavano disomogeneità di tessitura, si sono rotti dopo 7 cicli mentre i provini del campione T<sub>3</sub> hanno superato senza fessurarsi i venti cicli previsti dalla normativa, conservando mediamente una resi-

stenza meccanica pari al 73,1% di quella iniziale. I risultati della prova sottolineano la maggior attitudine del mattone T3 a sopportare l'azione geliva (Fig.6).

Tali risultati differiscono dalle previsioni formulate a seguito dell'analisi porosimetrica, nelle quali si prevedeva per entrambi i campioni una scarsa resistenza al gelo.

Anche in questo caso la divergenza potrebbe essere imputabile alla disomogeneità strutturale dei campioni analizzati.

### 3.2. Prove di cristallizzazione

Sono state scelte due procedure di prova, non esistendo ancora sull'argomento un accordo fra le normative.

I risultati di una prima serie di prove eseguite su campioni di cinque mattoni sono riportati in [1]. I cicli di cristallizzazione erano stati programmati secondo due seguenti schemi:

- a) i provini sono stati posti per due ore in una soluzione al 7% di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e sono stati essiccati in una stufa a  $105^\circ\text{C}$  per 22 ore [3]; la prova è stata eseguita anche usando una soluzione al 14%.
- b) i provini sono stati posti per due ore in una soluzione satura di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ed essiccati a temperatura ambiente ( $28-30^\circ\text{C}$ ).

I risultati delle successive prove di resistenza a compressione sono riportati in Fig.7; si può notare che la resistenza meccanica diminuisce man mano che l'alterazione aumenta.

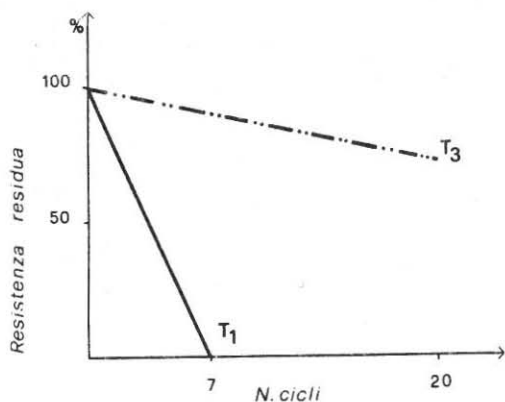


Fig.6- Perdite di resistenza a compressione dopo trattamento di gelività

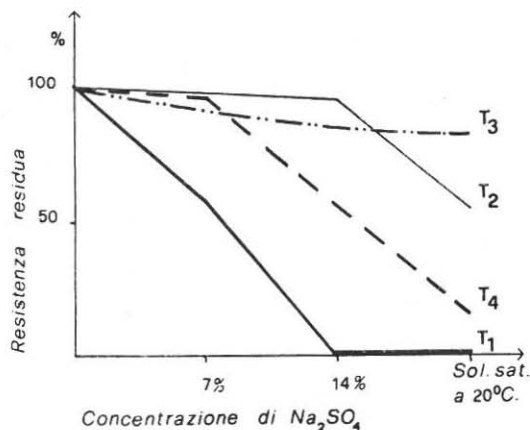


Fig.7 - Perdite di resistenza in % in funzione della concentrazione di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (prove a e b)

Successivamente, altri 2 campioni, ciascuno formato da 21 provini, sono stati sottoposti ai cicli di cristallizzazione secondo le metodi che a) e b). Le prove di compressione sono state effettuate in due direzioni ortogonali per controllare il comportamento anisotropo dei materiali. I risultati ottenuti sulla seconda serie di provini sono contrastanti con quanto riportato in fig.7. In alcuni casi in fatti la resistenza a compressione e a flessione ed il peso dei provini alterati risultano addirittura maggiori di quelli non sotto-

posti ad alcun trattamento. I risultati ottenuti evidenziano la necessità di condurre i cicli di cristallizzazione in condizioni fissate di temperatura e umidità. Per lo studio del comportamento di un sistema salino costituito da solfato sodico+acqua è necessario prendere in considerazione tre variabili: pressione, temperatura e concentrazione. Per evitare le difficoltà di rappresentare graficamente tre variabili, si considera unicamente la variazione della tensione di vapore con la temperatura per tutti gli stati possibili con tre fasi in equilibrio termodinamico. Il solfato sodico decaidrato cristallizza facilmente da una soluzione acquosa sotto forma di prismi monoclini in un intervallo di temperatura compreso fra -1,42 e 32,4°C circa. Al disopra di tale temperatura chiamata anche "punto di transizione", non si ottiene più il decaidrato ma il solfato anidro (Fig.8) [6]. In certe circostanze il solfato anidro può cristallizzare al disotto di 24,4°C come  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  instabile, che in aria umida si trasforma in  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . La tensione di vapore relativa all'equilibrio secondo [7]:



assume i seguenti valori a seconda della temperatura:

Temp. in °C	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	32,4°
p(mmHg)	3,8	5,2	7,0	9,7	13,9	19,0	26,1	30,8

La tensione di vapore dell'acqua in condizioni di umidità relativa pari al 100%, risulta essere invece [7]:

Temp. in °C	20°	21°	22°	23°	25°	27°	29°	30°	32°	32,4°
p(mmHg)	17,5	18,7	19,8	21,1	23,8	26,7	30,0	31,8	33,7	36,4

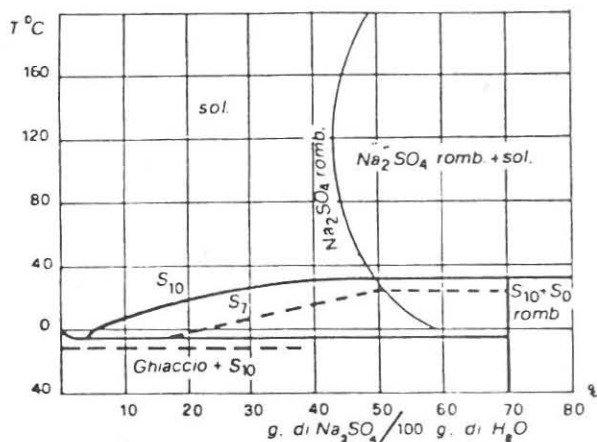


Fig.8 - Grafico parziale del  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$  - Campo di stabilità delle varie forme cristalline. [6]

Se l'umidità relativa dell'ambiente è prossima al 100% il composto  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  non si disidrata. Perché questa avvenga occorre che la tensione di vapore nell'atmosfera (deducibile dall'umidità relativa) risulti minore della tensione di vapore del sale idrato. In questa condizione si ottiene  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  che a sua volta può assorbire nuovamente acqua allo stato liquido o gassoso e ritrasfermarsi in  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Questa capacità posseduta dal solfato sodico di cristal-

lizzare secondo forme e volumi diversi a seguito di variazioni della temperatura e dell'umidità relativa induce nel laterizio fenomeni di affaticamento tali da portare il materiale a rottura [8]. Il tempo necessario perchè questa si realizzi dipenderà dalla struttura del materiale e dal numero di volte che nel suo interno si realizzano trasformazioni da sale decaidrato a sale anidro e viceversa (equaz.1). Per ottenere dei risultati ripetibili e comparabili un campione di cinque provini è stato sottoposto alla prova di cristallizzazione secondo una terza modalità:

c) i provini sono stati immersi per due ore in una soluzione saturata di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  quindi lasciati essiccare per 24 ore a  $20^\circ\text{C}$  e 80% di umidità relativa e successivamente per 24 ore a  $20^\circ\text{C}$  e 50% di umidità relativa per un numero opportuno di cicli. Dopo tale trattamento e prima delle prove meccaniche si potevano fare le seguenti osservazioni:

prova a) - mattone T1: i provini si sono distrutti dopo 13 cicli e le fratture si sono realizzate secondo le superfici caratteristiche dovute al metodo di fabbricazione (Fig.9);

Mattone T3: i provini dopo 14 cicli non presentano alcuna alterazione apparente (Fig.9).

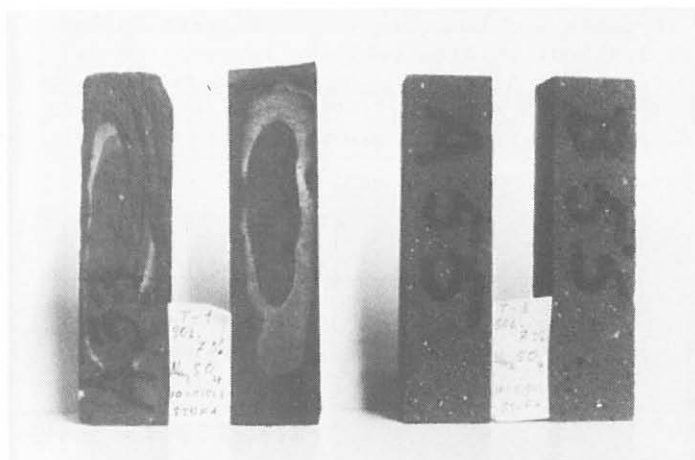


Fig.9 - Provini T1 e T3 dopo 10 cicli di prova tipo a)

Prova c) - mattone T1: i provini al quinto ciclo si sono fessurati secondo le "strutture difettive" come risulta dalla Fig.10 a sinistra che riproduce il fenomeno su un mezzo mattone.

Mattone T3: sui provini dopo 7-8 cicli si instaura un tipo di alterazione che procede dall'esterno verso l'interno, con sfogliazione della superficie esterna, specie sulle faccie sabbiate. La prova è stata interrotta al decimo ciclo per evitare la completa rottura dei provini (Fig.10 a destra).

A commento dei risultati ottenuti, si può osservare che dopo la prova a) sulla superficie dei provini non si notano efflorescenze oppure se ne intravede qualche traccia (Fig.8).



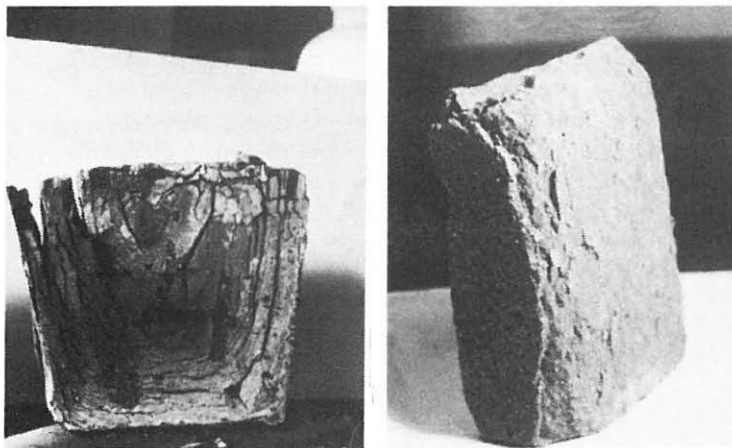


Fig.10 - Alterazione dei mattoni T1 e T3 dopo la prova tipo c)

Nella prova c) si ottiene, in una prima fase, la formazione del solfato sodico decaidrato in forma stabile (Fig.11 a sinistra) perchè operando in ambiente con l'85% di umidità relativa la tensione di vapore del sale è minore di quella dell'aria, in un secondo tempo, invece, quando si riduce l'umidità relativa dell'ambiente al 50% il sale decaidrato "sfiorisce" per motivi di equilibrio termodinamico.

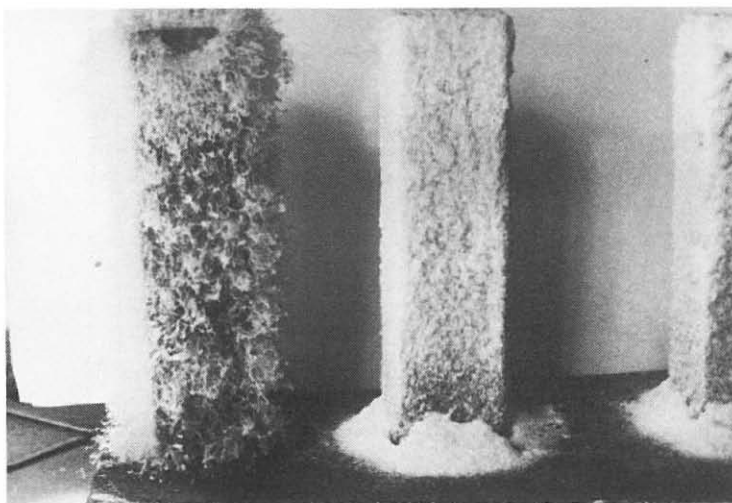


Fig.11 - Cristallizzazione del  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a varie percentuali di umidità (85% e 50%)

Il tipo di alterazione che si ottiene a seguito di questo ciclo è molto appariscente. Per evidenziare che al variare delle condizioni termodinamiche variano anche le fasi cristalline e quindi il contenuto d'acqua del solfato sodico sono stati eseguiti prelievi di efflorescenze sia all'85% sia al 50% di umidità relativa. La perdita al fuoco eseguita a 100°C sulle efflorescenze al 50% di umidità relativa

ha fornito una diminuzione di peso pari alle 0,18% segno palese che il sale era anidro; quella invece eseguita sulle efflorescenze prelevate all'85% di umidità relativa ha fornito una diminuzione di peso pari a 55,42% dovuta all'acqua di cristallizzazione. Al variare delle condizioni termodinamiche varia quindi il contenuto di acqua di cristallizzazione nel solfato sodico. Dopo i trattamenti di cristallizzazione e prima delle prove meccaniche è necessario eliminare il sale contenuto nei provini mediante lavaggio in acqua corrente; in caso contrario si ottengono resistenze meccaniche più elevate di quelle del materiale non trattato. Provini siffatti sottoposti ad analisi chimica hanno evidenziato la presenza di forti quantità di solfati dovuti a lavaggio insufficiente. Questa operazione, che richiama alla mente anche il problema di dissalazione di murature impregnate di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , prima di eventuali interventi di restauro, è assai lunga. Per accelerare questa procedura si è impiegata acqua corrente alla temperatura di 30°C scelta secondo l'andamento della curva di solubilità del sale; essa infatti è più elevata intorno ai 32,5°C e pari a 33,2%.

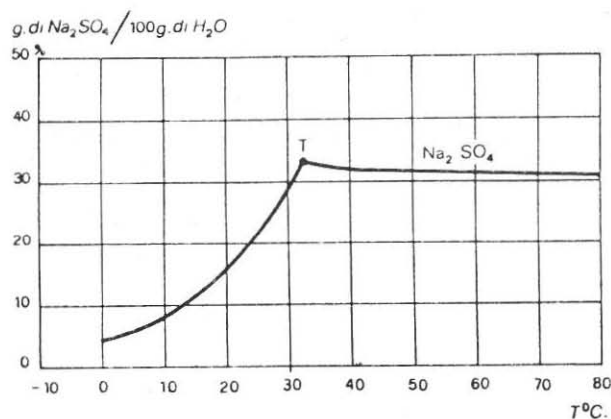


Fig. 12 - Solubilità del solfato anidro

I campioni sottoposti alla prova c) sono stati lavati per un periodo di 27 giorni; la determinazione chimica dei solfati ha evidenziato quanto segue:

Mattone	Allo stato naturale	Dopo trattamento e lavaggio per 27 gg	
		esterno (%)	interno (%)
T1	0.19	0.10	0.05
T3	0.07	0.14	0.03

Tabella N.2 - Contenuto di solfati ( $\text{SO}_3$ ).

Le prove meccaniche eseguite sui materiali sottoposti a lavaggio hanno permesso di confrontare la diminuzione di resistenza nella prova di tipo a) con quella della prova di tipo c) (Fig.13).

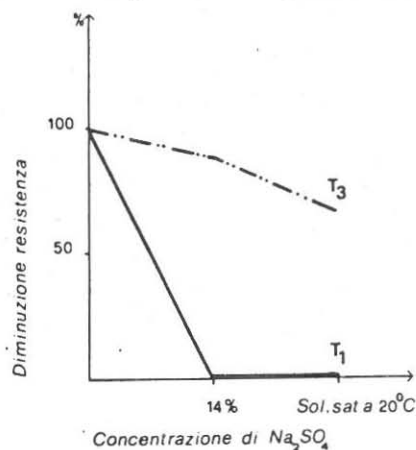


Fig.13 - Perdita di resistenza in % in funzione della concentrazione di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (prove b e c)

Quest'ultima sembra riprodurre più verosimilmente, in condizioni strettamente controllate, il fenomeno di cristallizzazione del solfato sodico.

#### 4. PROVE NON DISTRUTTIVE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI ED IL CONTROLLO DELLE PROCEDURE DI PROVA

Nell'intento di adottare metodi rapidi, di facile impiego e di tipo non distruttivo, sia per la caratterizzazione dei materiali che per il controllo delle prove di cristallizzazione, sono state effettuate misure di carattere sonico.

Tali indagini, basate sulle relazioni che legano la velocità di propagazione delle onde elastiche con le proprietà fisiche di un materiale (in particolare se a comportamento isotropo, omogeneo, ed elastico), avevano già permesso in [9], dove sono riportate in dettaglio le modalità e la strumentazione, di rilevare l'anisotropia dei laterizi, come risulta dalla tabella.

Mattone tipo	Peso di volume ( $\text{kN/m}^3$ )	Velocità sonica			Resistenza a compr. ne	
		A-A	B-B	C-C	B-B	C-C
		(km/s)	(km/s)	(km/s)	(MPa)	(MPa)
T1	17.3	1.9	1.6	2.3	27.6	40.65
T3	18.5	1.7	1.5	1.1	24.8	18.09

Tabella N.3 - Valori medi di pesi, velocità soniche e resistenze a compressione eseguite su mattoni allo stato naturale.

I dati si riferiscono a velocità medie nelle tre direzioni. Durante l'esecuzione delle prove di cristallizzazione si è rilevata la opportunità di conoscere le variazioni delle caratteristiche dei materiali dopo il trattamento e dopo il lavaggio, e soprattutto di accertare se il lavaggio era completo. I rilievi sono stati

ti condotti su un reticolo di punti nella direzione C-C, su tre punti nella direzione B-B e due punti nella direzione A-A. Il diagramma di Fig.14 mostra chiaramente un aumento notevole di velocità per il mattone T1 dopo il trattamento. Le velocità, come d'altra parte i pesi, aumentano quando il sale è cristallizzato nei pori; tenuto conto della relazione tra velocità sonica e resistenza a compressione è lecito aspettarsi anche un aumento di resistenza, benché il mattone risulti alterato.

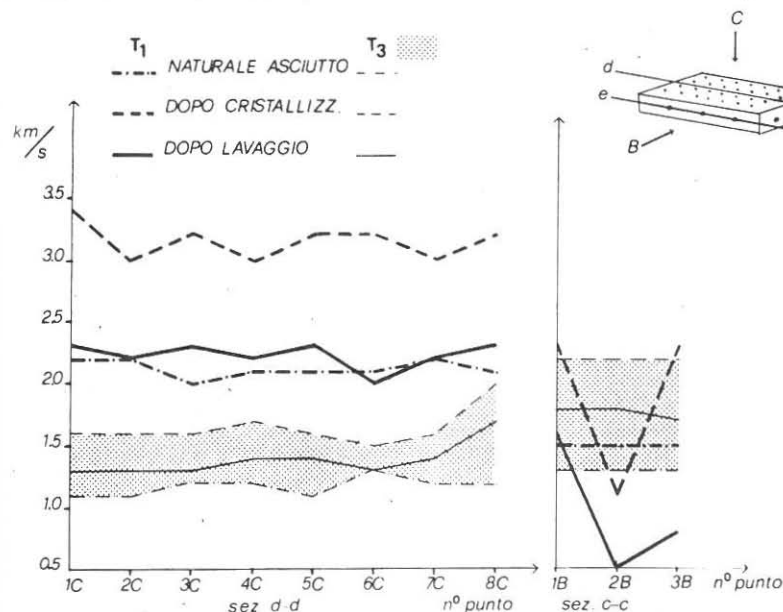


Fig.14-Velocità soniche prima e dopo il trattamento.

Dopo 96h di lavaggio le velocità ed i pesi sono notevolmente diminuiti, ma evidentemente questa operazione è ancora incompleta. Localmente s'incontrano anche picchi negativi (Fig.13b), dovuti a forte alterazione locale del materiale. Questo metodo, insieme all'analisi chimica del contenuto in solfati, sembra essere molto utile per controllare il processo di lavaggio.

## 5. CONCLUSIONI

L'influenza del ciclo produttivo sulla durabilità del materiale è stata evidenziata da diverse procedure di prova. Laterizi (tipo T3) ottenuti con processi tecnologici tesi ad eliminare le "strutture difettive" nel materiale resistono più a lungo all'azione ciclica di tipo meccanico esercitata dal gelo e disgelo e dalla cristallizzazione salina. La presenza di tali strutture non permette la formulazione di valide correlazioni fra le caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche dei materiali stessi. Ad esempio mattoni di buona resistenza meccanica possono offrire una scarsa durabilità e viceversa. La procedura di cristallizzazione che sembra offrire risultati più ripetibili, nonostante la naturale disomogeneità

del materiale studiato, è quella denominata c), in quanto viene condotta in condizioni termodinamiche ben definite (temperatura ed umidità relativa). Per misurare l'entità dell'alterazione prodotta nei materiali da cristallizzazioni cicliche di solfato sodico, sembra utile scegliere come criteri di misura la diminuzione di peso del provino, la diminuzione di resistenza meccanica e la variezione della velocità di propagazione di onde elastiche longitudinali, purchè a seguito di prolungato lavaggio dei provini esaminati in acqua corrente.

#### RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata finanziata dal C.N.R. e dalla Sezione Murature dell'A.N.D.I.L.

Si ringraziano per la collaborazione il Sig. Paolo Perolari e il Geom. Franco Rizzieri del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Milano.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] G. BARONIO, L. BINDA, R. CONTRO, F. SCIROCCO: comportamento del laterizio in condizioni ambientali aggressive, Nota 1, 15° Congr. Naz. ANDIL, Venezia, Corfù, ott. 1980.
- [2] G. BARONIC, L. BINDA, Essais de cristallisation du sulphate de sodium dans des conditions de température et d'humidité relatives connues, pres. oralm. al Séminaire "Altération et durabilité des bétons et des pierres" CISCO, Paris, 17-19 nov. 1981.
- [3] Commission 25<sup>a</sup> PEM-RILEM-Recommandations provisoires, Matériaux et Constructions, vol. 13, V, 75, 1980.
- [4] A. RAVAGLIOLI, G. VECCHI, Valutazione del comportamento al gelo dei materiali ceramici mediante prove porosimetriche, Ceramurgia Anno IV, n°2, 1974.
- [5] Norme per l'accettazione dei materiali laterizi, R.D., 16/12/39 n. 2233.
- [6] Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie, Natrium, n. 21, Verlag Chemie, GMBH, Weinheim, Bergstr., Berlin, 1966.
- [7] P. PASCAL, Nouveau Traité de Chimie Minérale, Tome II, Prem. Fasc., Masson et C. Ed., Paris, 1966.
- [8] J. I. HERRERO, Altération des calcaire et des grès utilisés dans la construction, Ed. Eyrolles, Paris, 1967.
- [9] G. BARONIO, L. BINDA, F. SCIROCCO, Comportamento del laterizio in condizioni ambientali aggressive, NOTA 2, 15° Congr. Naz. ANDIL Venezia, Corfù, ott. 1980.