

Mario Collepari
Luigi Coppola

INFLUENZA DELLE FIBRE POLIMERICHE SULLA DURABILITÀ DI INTONACI A BASE DI CALCE

Introduzione

Negli intonaci delle murature in pietra o mattone sono spesso impiegate malte a base di calce che, a seconda delle locali situazioni e tradizioni, possono essere costituite da calce idrata, calce-pozzolana, calce idraulica o anche calce e cemento (malta "bastarda").

In linea di massima, la resistenza a compressione delle malte a base di calce può variare da alcune unità fino a circa una decina di MPa per quelle più a lungo stagionate. In sostanza, le resistenze meccaniche a compressione delle malte cementizie sono di un ordine di grandezza superiori a quelle delle malte a base di calce. Inoltre lo sviluppo nel tempo della resistenza meccanica procede molto più speditamente nelle malte di cemento che non in quelle a base di calce:

Mortars based on lime, lime-pozzolan, hydraulic lime and lime-cement mixes are widely used for rendering of stone or brick masonry walls. Very often, because of the unfavourable climatic conditions (warm, dry and windy weather) rendering mortars appear to be cracked. This results in a reduction of the protective function of the rendering mortar and of the material durability besides an aesthetic damage of the building. The addition of polyacrylonitrilic fibers allows the lime based rendering mortars to become crack-free even when they are applied in hot dry and windy weather as often it occurs in summer time.

nel primo caso si assume che diventi trascurabile l'incremento di resistenza meccanica oltre un mese di stagionatura; nel secondo caso l'incremento procede lentamente anche per secoli ed è prevalentemente determinato dalla lenta reazione dell'idrossido di calcio con l'anidride carbonica dell'aria (carbonatazione). Da questo punto di vista, la carbonatazione, che nei conglome-

rati di cemento Portland è un processo patologico, giacché comporta un abbassamento del pH e quindi una minore protezione dei ferri di armatura, diventa invece un processo fisiologico positivo nelle malte stesse. D'altra parte, l'assenza di armature metalliche negli intonaci a calce esclude automaticamente il problema della minor protezione dei ferri a causa della neutralizzazione della calce.

Tutte le malte a base di calce sono soggette, ancor più di quelle cementizie, al grave inconveniente della fessurazione da ritiro plastico allorché non sono correttamente stagionate in ambiente umido. Infatti, in ambiente secco, a causa della rapida evaporazione dell'acqua dell'intonaco e del conseguente ritiro plastico, insorgono delle tensioni di trazione che molto facilmente superano la modestissima resistenza a trazione delle malte a base di calce provocandone una diffusa fessurazione in climi caldi, asciutti e ventilati.

Per eliminare il rischio di fessurazione da ritiro plastico negli intonaci cementizi è da tempo in uso l'impiego di fibre polimeriche per rinforzare le malte di quel tanto da renderle capaci di resistere alle suddette tensioni e di risultare pertanto

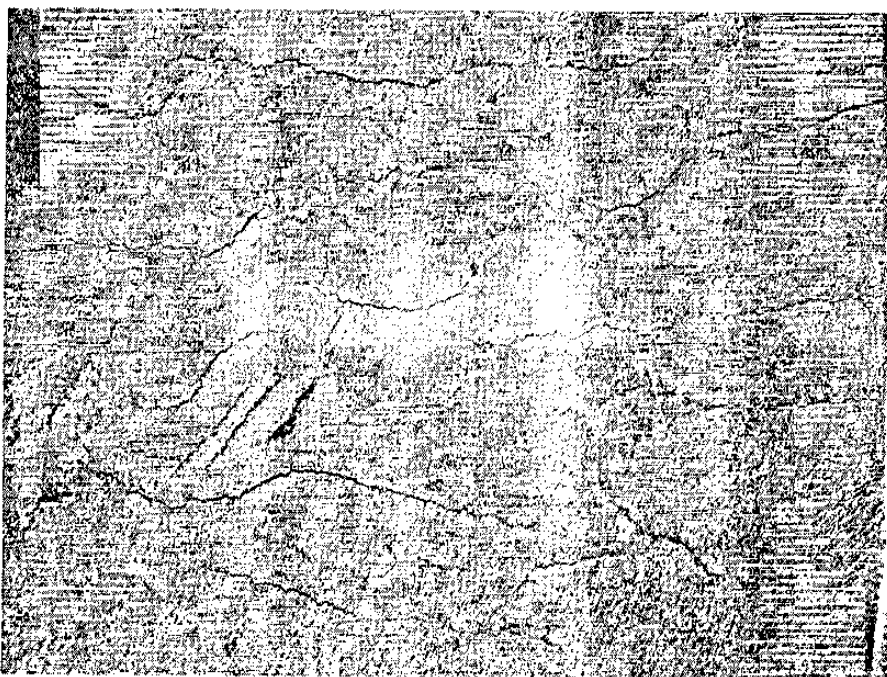


FIG. 1 Intonaco cementizio senza fibre stagionato in clima asciutto: si noti la presenza delle fessure dovute al ritiro plastico.

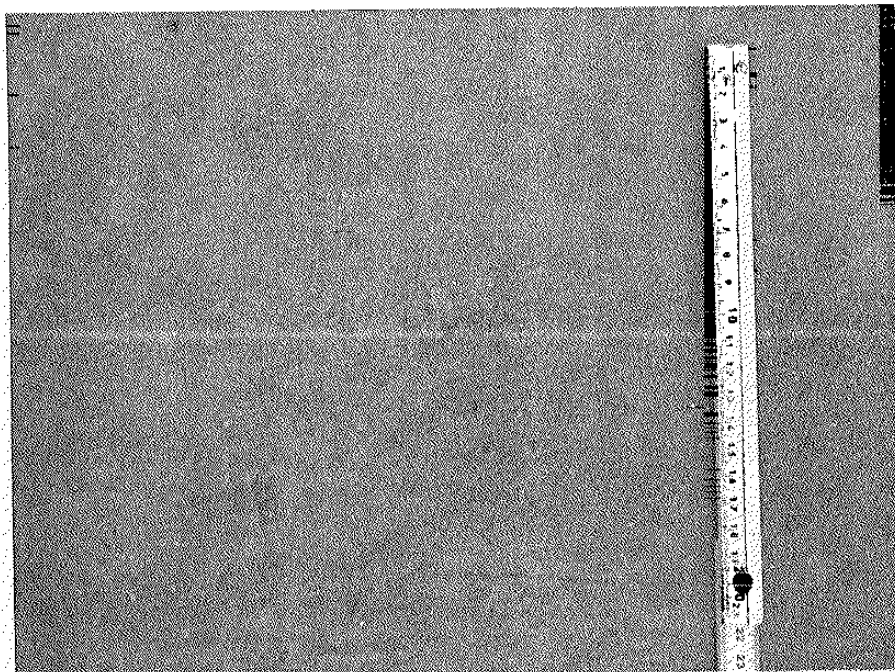


FIG. 2 Intonaco cementizio microrinforzato con fibre poliacrilonitriliche stagionato in clima asciutto: l'intonaco si presenta perfettamente integro e privo di fessure.

prive di fessurazioni anche se applicate in climi caldi, asciutti e ventilati [1, 2]. Le Figure 1 e 2 mostrano l'eccellente effetto anti-fessura delle fibre polimeriche per un intonaco in cemento applicato in condizioni climatiche avverse. Lo scopo del pre-

sente lavoro è quello di verificare se anche per le malte a base di calce (calce aerea, calce-pozzolana, calce idraulica, calce-cemento) siano vantaggiosamente utilizzabili le fibre polimeriche per la produzione di intonaci durevoli e prive di fessu-

re, ancorché applicati in climi termigrometricamente sfavorevoli.

Val la pena di precisare che la formazione di fessure, oltre che da un punto di vista estetico, sono quanto mai indesiderabili anche da un punto di vista tecnico: infatti, l'acqua piovana che si infiltra attraverso le fessure comporta di per sé una diminuzione funzionale nella protezione della muratura da parte dell'intonaco; inoltre, nei climi invernali l'acqua penetrata attraverso le fessure diventa un veicolo di degrado per la formazione di ghiaccio con conseguente azione dirompente del materiale per l'aumento di volume che accompagna la solidificazione dell'acqua [3].

Materiali e metodologia di prova

Sono state confezionate ottanta lastre di dimensioni $60 \times 60 \times 4$ cm. non armate impiegando le seguenti malte aventi rapporto inerte/legante pari a 3 e consistenza plastica (spandimento alla tavola a scosse = 90 - 100%):

- malta di calce aerea;
- malta di calce aerea (50%) e pozzolana (50%);
- malta "bastarda" di calce aerea (50%) e cemento 325 Portland (50%);
- malta di calce idraulica.

Dieci delle venti lastre realizzate per ogni tipo di malta sono state rinforzate con fibre poliacrilonitriliche Ricem della Montefibre (lunghezza = 8 mm; dosaggio = 2 kg/m^3).

Inoltre, tutte le malte sono state confezionate aggiungendo all'impasto un additivo aerante a base di resina Vinsol capace di inglobare un volume di aria (circa 10%) sufficiente a rendere le malte resistenti ai cicli di gelo-disgelo [4].

Subito dopo il confezionamento

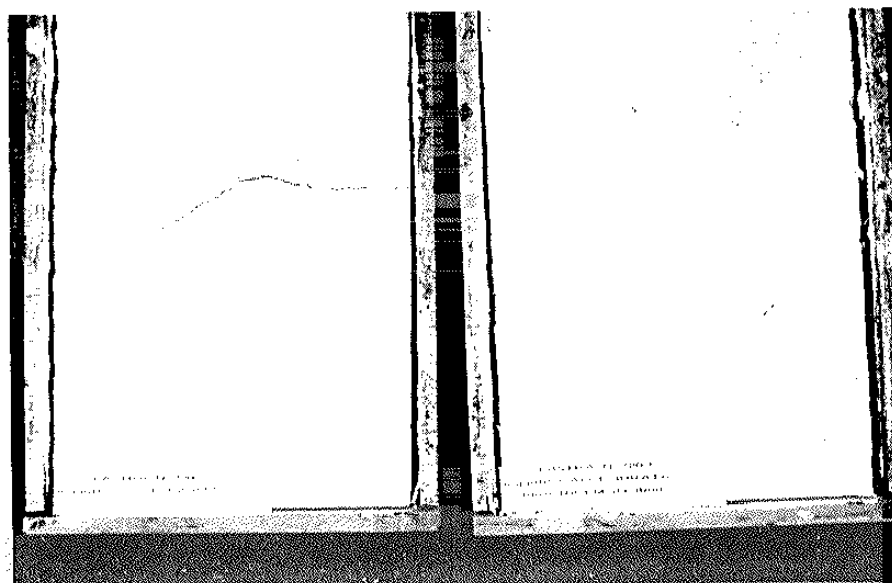


FIG. 3 Lastre confezionate con malta di calce con e senza fibre: la lastra non microrinforzata si presenta fessurata, quella con fibre è priva di fessure.

tutte le lastre sono state sottoposte ad un ciclo di ventilazione forzata (velocità del vento 20 km/h) in un ambiente alla temperatura di 40°C e UR di 55% onde creare le condizioni favorevoli al manifestarsi delle fessure da ritiro plastico. La durata del ciclo di ventilazione forzata è stata volutamente ridotta a 8 ore per evitare che le fessure interessassero le lastre non fibrorinforzate per tutto lo spessore rendendole inutilizzabili per il prosieguo della sperimentazione.

Appena terminato il ciclo di ventilazione forzata le lastre sono state sistemate nei seguenti ambienti di prova:

- 1) costantemente all'aria ($T=20^{\circ}\text{C}$; $UR=85\%$);
- 2) costantemente in camera di carbonatazione ($T=20^{\circ}\text{C}$; $UR=70\%$, $\text{CO}_2=30\%$ in volume);
- 3) ventotto giorni all'aria e successivamente (fino al novantesimo giorno) in vasca per cicli di gelo-disgelo (8 ore in acqua a 5°C e 16 ore a -20°C); ventotto giorni in camera di carbonatazione e successivamente (fino al novantesimo giorno) in vasca per cicli di gelo-disgelo.

Come si è già accennato nella introduzione, lo scopo della carbonatazione accelerata è quello di produrre, in un tempo ragionevolmente breve una malta indurita quale quella che potrebbe essere ottenuta dopo molti anni di carbonatazione naturale all'aria.

Per le lastre costantemente all'aria e in camera di carbonatazione, dopo 1, 7, 28 e 90 giorni di esposizione sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- misura del modulo elastico dinamico con la tecnica degli ultrasuoni;
- misura della resistenza meccanica a flessione su provini $4 \times 4 \times 16$ cm

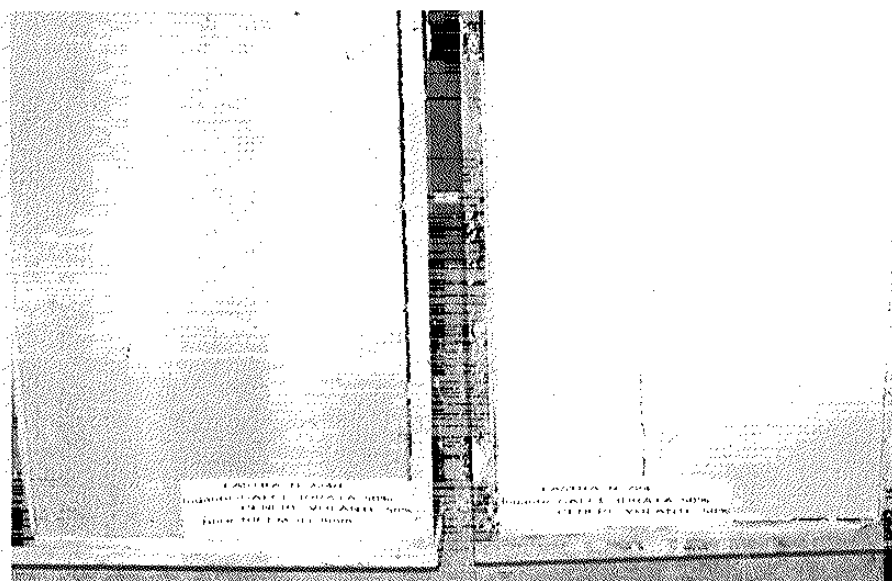


FIG. 4 Lastre confezionate con malta di calce e pozzolana con e senza fibre: la lastra non microrinforzata si presenta fessurata, quella con le fibre è priva di fessure.

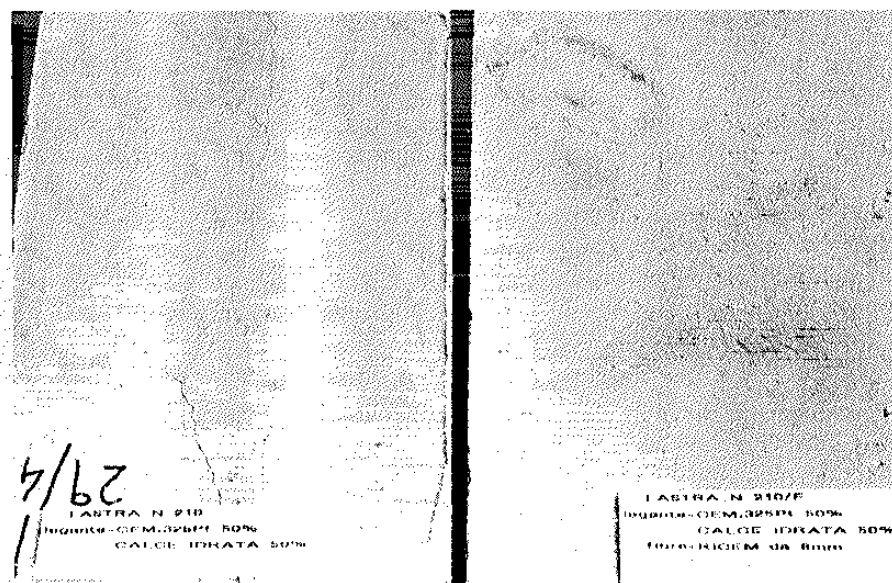


FIG. 5 Lastre confezionate con malta di calce Portland con e senza fibre: la lastra non microrinforzata si presenta fessurata, quella con fibre è priva di fessure.

ottenuti per taglio delle lastre confezionate;

- misura della resistenza meccanica a compressione sui due semiprismi residui dopo la prova di rottura per flessione.

Per le lastre sottoposte ai cicli di gelo-disgelo (sia quelle stagionate

all'aria che quelle maturate in CO_2) è stato misurato il modulo elastico dinamico, la resistenza meccanica a compressione e quella a flessione dopo 1, 7, 28 giorni di esposizione e successivamente, dopo l'introduzione nella vasca per cicli di gelo-disgelo, le stesse misure sono state effettuate dopo 15, 30 e 60 cicli termici (1 ciclo = 1 giorno).

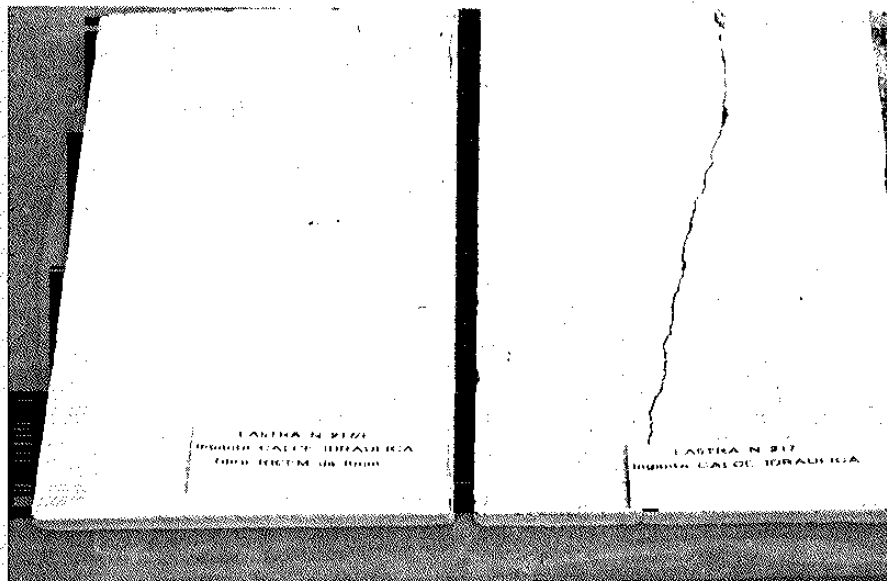


FIG. 6 Lastre confezionate con malta di calce idraulica con e senza fibre: la lastra non microrinforzata si presenta fessurata, quella con le fibre è priva di fessure.

Risultati e discussione

Nel seguito vengono analizzati e discussi i risultati ottenuti per le diverse malte realizzate. L'esame è limitato, per ragioni di brevità, ai risultati delle prove a compressione, poiché i dati relativi alle prove di flessione e modulo elastico presentano lo stesso andamento delle prove a compressione.

Ritiro plastico

Indipendentemente dal tipo di malta impiegata, al termine del ciclo di ventilazione forzata le lastre non fibrorinforzate si presentano estesamente fessurate. Le fessure di notevole ampiezza in moltissimi casi interessano la lastra per tutta la sua lunghezza (fig. 3-6).

Le lastre confezionate con fibre-

poliacrilonitriliche, invece, sono prive di fessure da ritiro plastico e si presentano, quindi, integre.

Malte di calce aerea

Nei due paragrafi che seguono sono riportati i risultati e le conclusioni sulla sperimentazione della malta a base di calce aerea.

Proprietà meccaniche delle malte di calce

Nelle figure 7 e 8 sono riportati i valori delle resistenze meccaniche a compressione (R_{cm}) delle malte esposte all'aria, in camera di carbonatazione ed in vasca per cicli di gelo-disgelo, dopo prestagionatura all'aria o in camera di CO_2 .

Si può notare come le malte con e senza fibre, esposte costantemente in camera di carbonatazione, posseggano proprietà meccaniche superiori rispetto a quelle esposte costantemente all'aria. Infatti, poiché l'indurimento della malta di calce aerea avviene per trasformazione della calce - $Ca(OH)_2$ in carbonato - $CaCO_3$ - per reazione con l'anidride carbonica, la quantità di calce trasformata in carbonato nella camera di carbonatazione è molto maggiore rispetto a quella della malte esposte all'aria. In sostanza, le malte esposte in camera di carbonatazione equivalgono a malte stagionate per diversi anni all'aria naturale.

Inoltre, solo le malte di calce aerea rinforzate con fibre e stagionate in camera di carbonatazione (cioè sufficientemente indurite, con R_{cm} 5 MPa) sono in grado di resistere alle tensioni generate dalla formazione di ghiaccio (fig. 7). Ovviamente queste malte esposte ai cicli di gelo-disgelo, pur non sottoposte ad alcun deterioramento provocato dalla formazione di ghiaccio, non presentano alcun ulteriore significativo progresso nel

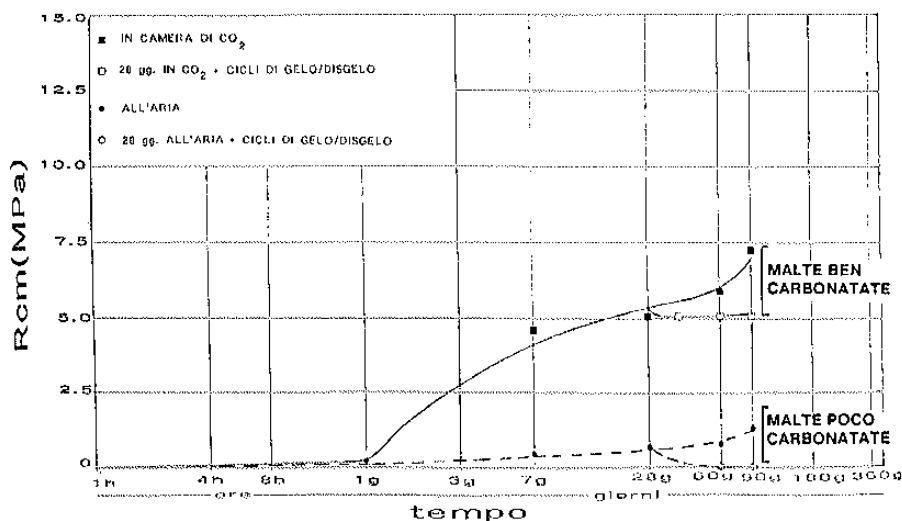


FIG. 7 Resistenza meccanica a compressione di malta di calce aerea con fibre in poliacrilonitrile.

proprietà meccaniche (R_{cm}) a causa della bassa temperatura (da -20°C a $+5^{\circ}\text{C}$) durante le prove di gelo-disgelo.

Le altre malte a base di calce (anche se rinforzate con fibre e stagionate a 28 giorni all'aria) subiscono un forte degrado evidenziato da una diminuzione delle caratteristiche meccaniche (fig. 8). Il degrado nelle malte con fibre, esposte per 28 giorni all'aria prima dell'introduzione nella vasca di gelo-disgelo si manifesta in quanto la matrice legante, pur contenendo un sistema di microbolle d'aria e pur essendo perfettamente integra e priva di fessure per la presenza di fibre, risulta meccanicamente troppo debole ($R_{cm}=0.65$ MPa) ed incapace di sopportare le tensioni indotte dai cicli di gelo-disgelo. Nelle lastre di malta senza fibre, alla debolezza della matrice legante si aggiungono le ulteriori tensioni indotte per effetto dell'aumento di volume dell'acqua all'interno delle fessure causate dal ritiro plastico.

Conclusioni sulle malte di calce

Il presente studio ha mostrato che:

- rinforzando una malta a base di calce aerea con fibre poliacrilonitriliche si evita l'insorgere delle fessure da ritiro plastico conseguenti ad una non corretta stagionatura umida della malta;
- l'impiego congiunto di un agente aerante e di fibre Ricem consente di ottenere delle malte di calce aerea resistenti ai cicli di gelo-disgelo anche in assenza di stagionatura umida, purché la matrice legante possieda una sufficiente resistenza meccanica ($R_{cm} > 5\text{MPa}$) nel momento in cui è interessata dalla formazione del ghiaccio: ciò significa che le malte di calce aerea, ancorché rinforzate con fibre, non sono consigliabili in ambienti esterni con climi rigidi

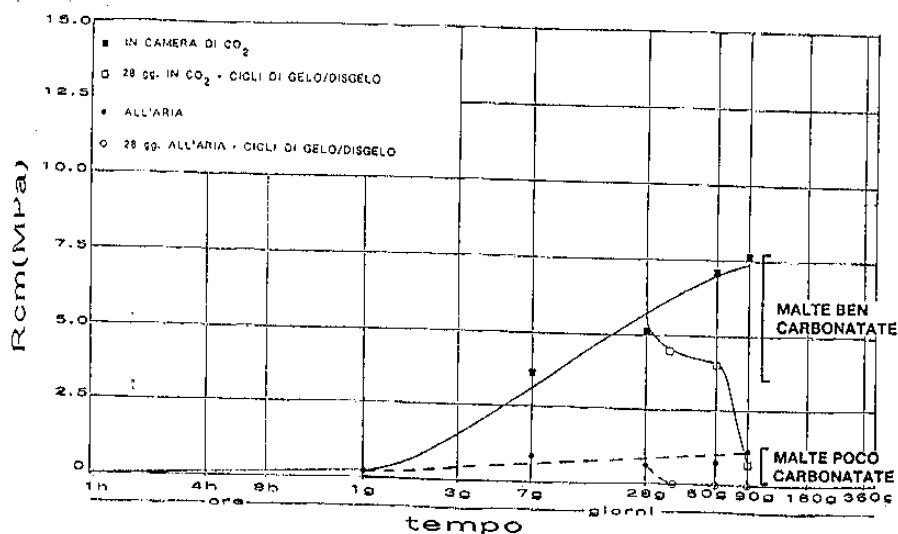


FIG. 8 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce aerea senza fibre.

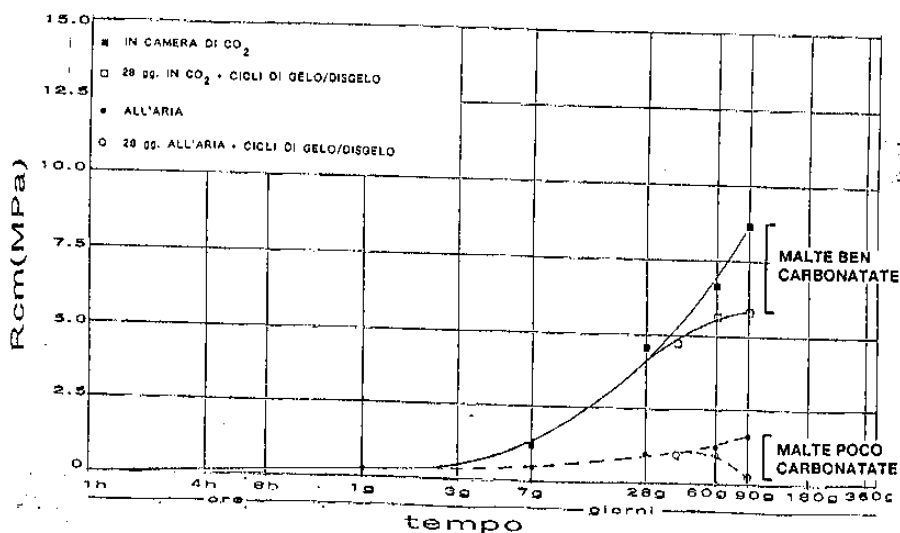


FIG. 9 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce aerea e pozzolana con fibre.

se la stagionatura che precede la formazione di ghiaccio non è stata sufficientemente lunga da provocare un adeguato indurimento ($R_{cm} = 5$ MPa).

Malte di calce-pozzolana

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati e le discussioni sulla sperimentazione delle malte a base di calce-pozzolana.

Proprietà meccaniche delle malte di calce-pozzolana

Nelle fig. 9 e 10 sono riportate le proprietà meccaniche delle malte con calce-pozzolana. Rispetto a quelle riguardanti le malte con sola calce (fig. 7-8), la resistenza meccanica a compressione delle malte con calce-pozzolana cresce maggiormente alle lunghe stagionature (28 - 90 giorni) per effetto della lenta reazione tra calce e pozzolana.

Conclusioni sulle malte calce-pozzolana

Il presente studio ha mostrato che:

- rinforzando una malta a base di calce-pozzolana con fibre poliacrilonitriliche si evita l'insorgere delle fessure da ritiro plastico conseguenti ad una non corretta stagionatura umida della malta;
- l'impiego congiunto di un agente aerante e di fibre Ricem consente di ottenere delle malte di calce-pozzolana resistenti ai cicli di gelo-disgelo anche in assenza di stagionatura umida, purché la matrice legante possieda una sufficiente resistenza meccanica ($R_{cm} = 5$ MPa) nel momento in cui è interessata dalla formazione del ghiaccio: ciò significa che le malte di calce aerea, ancorché rinforzate con fibre, non sono consigliabili in ambienti esterni con climi rigidi se la stagionatura che precede la formazione di ghiaccio non è stata sufficientemente lunga da provocare un adeguato indurimento ($R_{cm} = 4.5$ MPa).

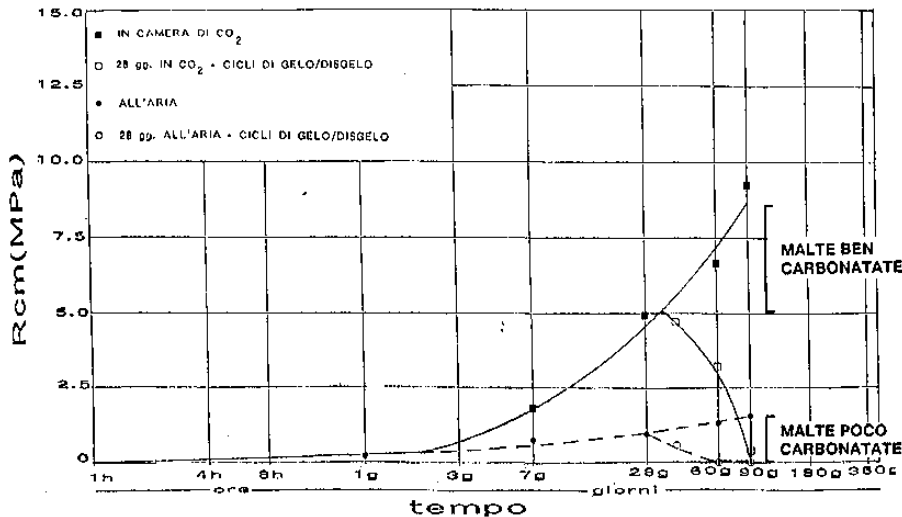


FIG. 10 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce aerea e pozzolana senza fibre.

Per quanto concerne il degrado provocato dai cicli di gelo-disgelo, si conferma che solo le malte rinforzate con fibre e stagionate in camera di carbonatazione (cioè sufficientemente indurite fino a raggiungere un valore di R_{cm} pari a circa 5 MPa) sono in grado di sopportare senza danni gli effetti della formazione del ghiaccio (fig. 9). Le malte stagiona-

te all'aria naturale per solo 28 giorni (fig. 10), anche se rinforzate con fibre, sono troppo deboli meccanicamente ($R_{cm} = 1$ MPa) per poter resistere all'azione del ghiaccio. Ovviamente le malte di calce-pozzolana fessurate, in quanto non fibrorinforzate, presentano un decadimento delle proprietà meccaniche molto più rapido.

Malte di calce-cemento

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati e le conclusioni riguardanti le malte "bastarde" confezionate con leganti a base di calce e cemento.

Proprietà meccaniche delle malte di calce-cemento

Le proprietà meccaniche delle malte di calce-cemento (figg. 11-12) appaiono decisamente superiori a quelle ottenibili con sola calce (figg. 7-8) o con calce-pozzolana (figg. 9-10): tuttavia esse rimangono ad un livello tale da rendere queste malte compatibili con le murature in pietra

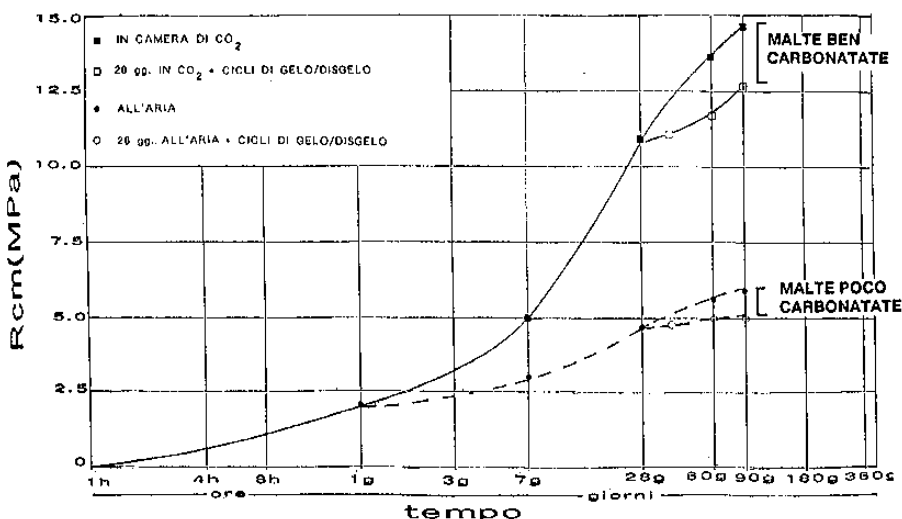


FIG. 11 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce e cemento con fibre.

o mattone: il valore di R_{cm} è di circa 11 MPa dopo 8 giorni di stagionatura in camera di carbonatazione (equivalente alla resistenza ultima conseguibile dopo alcune decine di anni all'aria).

Dal confronto delle fig. 11 e 12 emerge chiaramente il benefico effetto delle fibre in poliacrilonitrile. L'esposizione ai cicli di gelo-disgelo determina, infatti, un significativo decadimento della resistenza meccanica a compressione nelle lastre confezionate con malta di calce-cemento priva di fibre (fig. 12) per l'ingresso dell'acqua nelle fessure provocate dalla mancata stagionatura umida. La presenza di fibre Ricem, invece, assicura l'assenza di fessure e quindi il buon comportamento dell'intonaco anche in climi rigidi (fig. 11).

Si può notare, inoltre, che il livello di resistenza meccanica ($R_{cm}=5$ MPa) conseguito dalle malte "bastarde" dopo 28 giorni di stagionatura all'aria naturale consente di poter esporre queste malte all'intemperie atmosferiche senza che si registri alcun decadimento: ovviamente la resistenza meccanica della malta esposta dopo 28 giorni di stagionatura all'aria naturale consente di poter esporre queste malte all'intemperie atmosferiche senza che si registri alcun decadimento: ovviamente la resistenza meccanica della malta esposta dopo 28 giorni ai cicli di gelo-disgelo aumenta più lentamente che non quella conservata a 20°C (fig. 11).

Conclusioni sulle malte di calce-cemento

Il presente studio ha dimostrato che:

- rinforzando una malta a base di calce-cemento con fibre poliacrilonitriliche si evita l'insorgere delle fessure da ritiro plastico

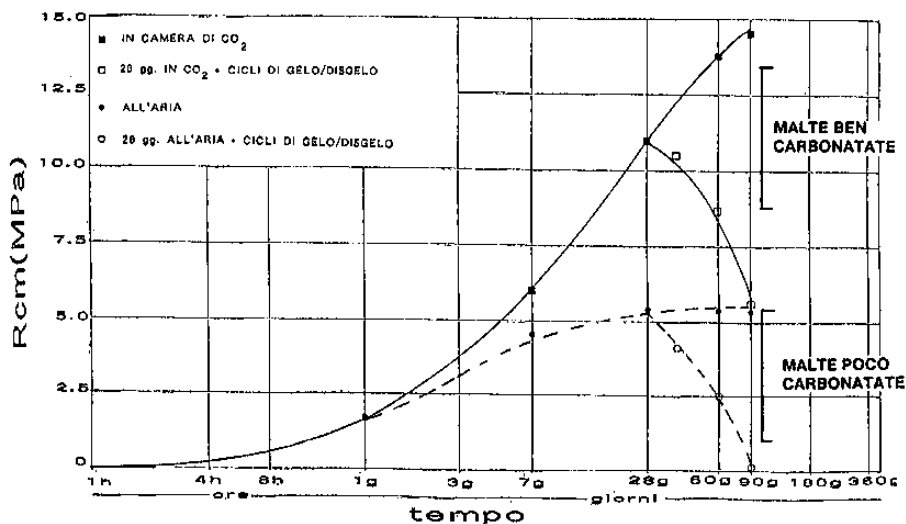


FIG. 12 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce e cemento senza fibre.

conseguenti ad una non corretta stagionatura umida della malta;

- l'impiego congiunto di un agente aerante e di fibre Ricem consente di ottenere delle malte di calce-cemento resistenti ai cicli di gelo-disgelo anche in assenza di stagionatura umida; per queste malte, anche una naturale stagionatura all'aria per 28 giorni assicura una sufficiente resistenza meccanica ($R_{cm}=4.5$ MPa).

Malte di calce idraulica

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati e le conclusioni riguardanti le malte di calce idraulica.

Proprietà meccaniche nelle malte di calce idraulica

Nelle fig. 13 e 14 sono riportate le proprietà meccaniche delle malte a base di calce idraulica. Esse sono sostanzialmente intermedie tra quelle ottenibili con malte di calce o calce-pozzolana da una parte, e quelle ottenibili con le malte di calce-cemento dall'altra.

Per quanto concerne la resistenza meccanica a compressione una malta di calce-idraulica va da 2 a 2.5 MPa, con stagionatura all'aria naturale, a 7-10 MPa con stagionatura accelerata in camera di carbonatazione (equivalente alla resistenza meccanica ultima conseguibile dopo una decina di anni). La malta di calce idraulica, purché rinforzata con fibre è in grado di sopportare l'esposizione ai cicli di gelo-disgelo anche se stagionata all'aria naturale per soli 28 giorni (fig. 13): la resistenza meccanica di 2 MPa è sufficiente, infatti, per resistere all'azione del ghiaccio. La stessa malta, se priva di fibre, presenta fessure con stagionatura all'aria secca: conseguentemente l'esposizione ai cicli di gelo-disgelo provoca un significativo decadimento della resistenza meccanica (fig. 14).

Conclusioni sulle malte di calce idraulica

- l'impiego di fibre poliacrilonitriliche nelle malte di calce idraulica consente di preparare intonaci

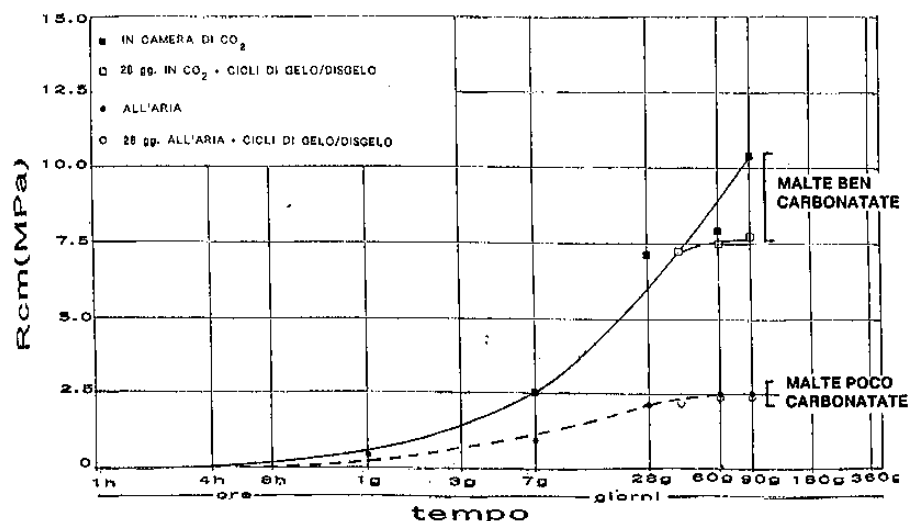


FIG. 13 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce idraulica con fibre.

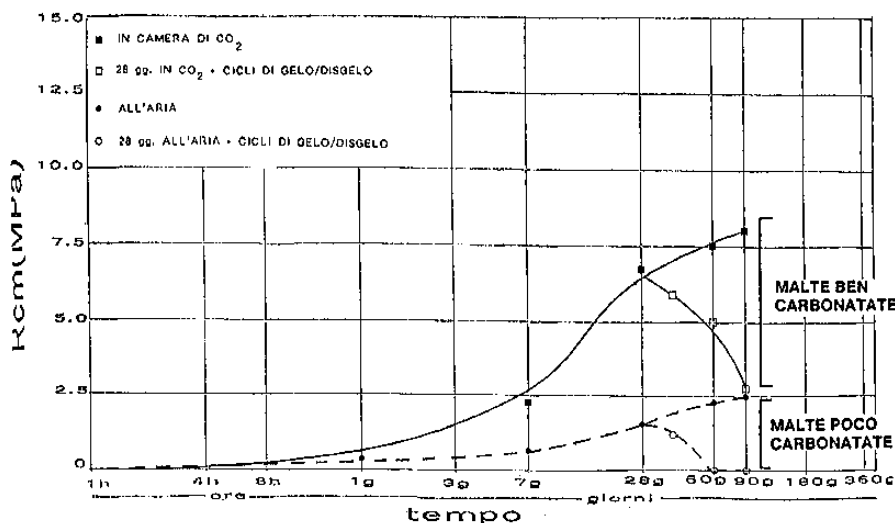


FIG. 14 Resistenza meccanica a compressione di malte di calce idraulica senza fibre.

- 1) calce aerea;
- 2) calce-pozzolana.
- 3) calce idraulica;
- 4) calce-cemento.

Si registra un progressivo incremento delle proprietà meccaniche seguendo l'ordine crescente sopra riportato rimanendo tuttavia in un intervallo di caratteristiche elastico-meccaniche accettabili per le malte da intonaco per le murature in pietra o mattone.

L'impiego di fibre poliacrilonitriliche consente di produrre malte prive di fessurazioni da ritiro plastico, provocate dalle inadeguate stagionature correntemente adottate nei cantieri.

L'impiego congiunto di un agente aerante e fibre poliacrilonitriliche Ricem consente di produrre malte resistenti agli agenti atmosferici ed in particolare ai cicli di gelo-disgelo, purché prima dell'esposizione alle intemperie le malte abbiano raggiunto una resistenza meccanica a compressione di almeno 2 MPa. Ciò è facilmente conseguibile con una stagionatura naturale di 28 giorni con le malte a base di calce idraulica o di calce-cemento (malta "bastarda"). Qualora si impieghino, invece, malte di calce aerea o di calce-pozzolana, questa resistenza meccanica viene conseguita dopo una stagionatura molto più prolungata. Pertanto non è consigliabile l'impiego di queste malte per intonaci esterni se si presume che l'esposizione al clima freddo avvenga quando le malte non saranno ancora sufficientemente indurite.

esenti da fessurazione anche se non correttamente stagionati;

- l'aggiunta combinata di un agente aerante e di fibre poliacrilonitriliche consente di produrre malte per intonaci resistenti all'azione del ghiaccio anche se le malte sono stagionate all'aria per soli 28 giorni: si raggiunge, infatti, una resistenza meccanica di 2 MPa sufficiente a pro-

durare una matrice legante capace di resistere all'azione del ghiaccio.

Conclusioni

Le malte per intonaci delle murature in pietra o mattone possono essere prodotte con uno dei seguenti leganti:

Bibliografia

- [1] M. Collepari, L. Coppola e G. Moriconi, "Durabilità di calcestruzzi rinforzati con fibre di poliacrilonitrile". *L'industria italiana del Cemento*, 657, luglio-agosto 1991.

[2] C. Schumm, *Indagini sperimentali su compositi rinforzati con fibre PAN, soggetti ad azioni statistiche e fisico-chimiche*, Atti del Congresso "Omaggio scientifico a Renato Turriziani", Vol. 11, pag. 203, Roma 23-24 aprile 1992.

[3] M. Collepari, *"Scienza e tecnologia del calcestruzzo"*, pag. 154, 3^a Ed. Hoepli, Milano, 1992.

[4] W.L. Dolch, *Concrete Admixtures Handbook*, pag. 269-300, Ed. V.S. Ramachandran, Noyes Publication, Park Ridge, New Jersey.



Mario Collepari

Dipartimento di Scienza dei materiali e della Terra, Università di Ancona.



Luigi Coppola

Enco, Engineering Concrete, Spresiano (TV).
