

## Degradazione del calcestruzzo provocata da cicli gelo-disgelo

Comunicazione di:

Prof. Dott. Mario Collepardi (\*)

Dott. Ing. Silvio Mauro Guella (\*\*)

Dott. Ing. Michele Valente (\*\*)

La formazione di ghiaccio all'interno di un materiale poroso, è una delle cause più frequenti di degradazione del materiale stesso. L'aumento di volume (circa il 9%) che accompagna la solidificazione dell'acqua provoca l'espulsione del liquido non ancora congelato dalle cavità nelle quali inizia la formazione del ghiaccio. A causa di ciò si genera una pressione idraulica che dipende dalla resistenza offerta al flusso dell'acqua, e cioè dalla permeabilità del materiale e dalla lunghezza del cammino percorso dall'acqua dalla cavità dove avviene la solidificazione alla superficie libera del materiale o ad un'altra cavità vuota che possa ospitare l'acqua espulsa. Se questo cammino è relativamente lungo, il valore della pressione idraulica supera quello della resistenza meccanica a trazione ed inizia la degradazione del materiale. Cicli ripetuti di gelo e disgelo provocano ovviamente effetti cumulativi che si manifestano prima attraverso uno sfaldamento superficiale (scaling) e quindi attraverso la disintegrazione di tutto il materiale.

Il calcestruzzo è un materiale poroso e quindi anche esso soggetto a degradazione se sottoposto a cicli di gelo-disgelo. La maggior parte dei pori del calcestruzzo sono generalmente localizzati nella pasta di cemento che avvolge gli inerti. È noto [1] che nella pasta cementizia esistono sostanzialmente due categorie di pori: quelli del gel (diametro 10 - 100 Å) e quelli capillari (100 Å - 10 μ). A causa

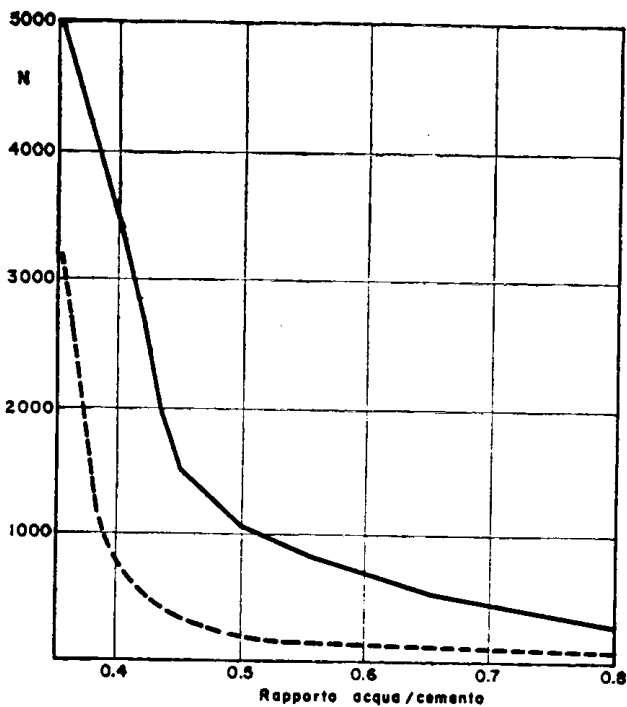
della dimensione relativamente piccola la formazione dei cristalli di ghiaccio nei pori del gel può avvenire solo a temperature inferiori a  $-78^{\circ}\text{C}$  [2], ciò significa che in pratica l'acqua solidifica solo nei pori capillari. Pertanto una diminuzione della porosità capillare, provocata da una diminuzione del rapporto acqua/cemento (a/c) e da un maggior grado di idratazione del cemento [3], ha come effetto quello di migliorare la resistenza del calcestruzzo ai cicli di gelo - disgelo.

La curva continua della fig. 1 illustra l'effetto del rapporto a/c sulla durabilità del calcestruzzo, cioè sulla resistenza al gelo, quest'ultima valutata attraverso il numero di cicli di gelo - disgelo necessari per provocare una perdita del 25% rispetto al peso di materiale iniziale. Si può osservare che solo diminuendo il rapporto a/c al di sotto di 0,45 si può migliorare sensibilmente la durezza del conglomerato. Sfortunatamente la diminuzione del rapporto a/c al di sotto di questi valori comporta una lavorabilità così bassa (slump 0 - 3 cm) da rendere estremamente difficile la messa in opera del calcestruzzo. Tuttavia, mediante l'impiego di un particolare additivo (Reomac) è possibile confezionare [3] un nuovo tipo di conglomerato cementizio (il calcestruzzo «reoplastico») radicalmente diverso da quelli tradizionali per le particolari proprietà reologiche e plastiche allo stato fresco. Per esempio è possibile preparare calcestruzzi di elevata lavorabilità (slump 10 - 20 cm) con rapporti a/c relativamente bassi (0,40 - 0,45), e quindi molto resistenti ai cicli di gelo - disgelo.

La curva tratteggiata della fig. 1 mostra l'effetto del rapporto a/c sulla resistenza ai cicli di gelo - disgelo per

(\*) Istituto di Chimica Applicata ed Industriale, Facoltà di Ingegneria, Università di Roma.

(\*\*) Centro Ricerche Mac Master Builders - Treviso.



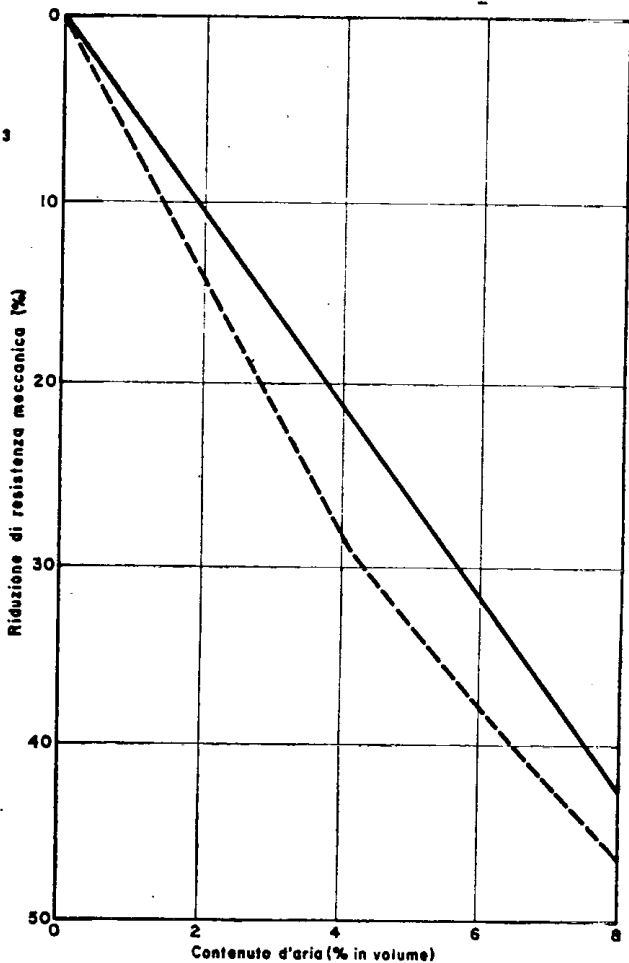
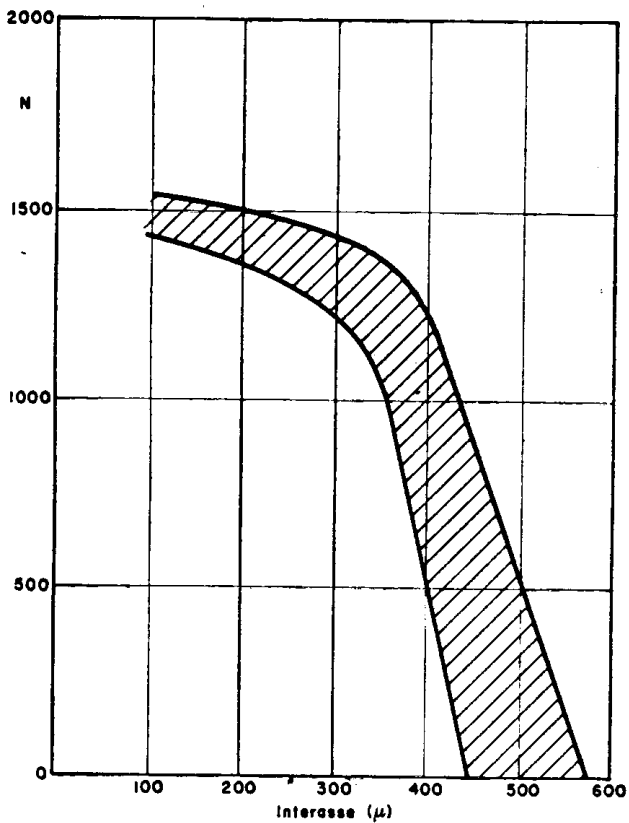
1 - Influenza del rapporto a/c sul numero (N) di cicli gelo-disgelo necessari a provocare una perdita del 25% rispetto al peso iniziale.

— calcestruzzi aerati  
 - - - calcestruzzi non aerati

2 - Influenza dello spacing sul numero (N) di cicli gelo-disgelo necessari a provocare una perdita di peso del 25% del calcestruzzo.

3 - Influenza del contenuto d'aria sulla resistenza meccanica del calcestruzzo (3).

— aria introdotta con additivi aerati  
 - - - aria dovuta a incompleta compattazione



un calcestruzzo aerato, nel quale cioè si sia intenzionalmente inglobata dell'aria (3-5% in volume) sotto forma di microbolle sferiche (diametro 50 - 400  $\mu$ ) omogeneamente distribuite in tutto il calcestruzzo e distanti non più di 200 - 300  $\mu$  l'una dall'altra. L'introduzione d'aria provoca sostanzialmente un benefico effetto sulla pasta di cemento che si trova nel raggio di 200 - 300  $\mu$  di ciascuna microbolla. In queste condizioni, infatti, l'acqua espulsa dai pori capillari, in seguito alla formazione di ghiaccio, può essere ospitata nelle microbolle d'aria dopo un cammino inferiore ai 200 - 300  $\mu$  e quindi senza che si generi una pressione idraulica distruttiva.

Perché l'introduzione di aria risulti realmente efficace è necessario che le microbolle siano stabili e ben disperse, e che non si verificano, quindi, fenomeni di coalescenza o di espulsione per eccessiva vibrazione o agitazione del calcestruzzo fresco. La dispersione delle microbolle si rende necessaria sia per garantire la benefica azione in ogni parte del calcestruzzo, sia per evitare che si formino dei canali continui che possano pregiudicare l'impermeabilità del manufatto. In pratica cioè viene realizzato mediante l'aggiunta di additivi aeranti costituiti da tensioattivi, come per esempio l'MBVR, impiegati nella misura dello 0,05 - 0,5% in peso rispetto al cemento. L'osservazione al microscopio ottico di una sezione del materiale, consente di correlare lo « spacing » (distanza media fra le microbolle) con la resistenza al gelo del calcestruzzo come è mostrato in fig. 2. Si può osservare che l'effetto dell'aria inglobata diminuisce fortemente se lo « spacing » supera il valore di circa 300  $\mu$ .

I dati della fig. 1 mostrano anche che l'effetto dell'aria inglobata sulla resistenza ai cicli di gelo - disgelo è tanto maggiore quanto minore è il rapporto a/c. Ciò dipende dal fatto che oltre all'introduzione di aria, anche la riduzione dell'acqua libera potenzialmente congelabile, provoca, come si è detto, un miglioramento nella durabilità del calcestruzzo. Ciò significa in pratica che i migliori risultati

possono essere ottenuti accoppiando all'additivo aerante un riduttore di acqua libera (Pozzolite) per conglomerati con rapporti a/c compresi tra 0,7 e 0,5 e un additivo reoplastico per calcestruzzi molto lavorabili e particolarmente resistenti nei quali il rapporto a/c debba scendere a valori di 0,50 - 0,35.

Esiste, inoltre, un altro motivo per il quale è consigliabile l'accoppiamento degli additivi sopra menzionati; l'introduzione di microbolle d'aria se da una parte fa aumentare notevolmente la resistenza del calcestruzzo ai cicli di gelo - disgelo, dall'altra provoca ovviamente una diminuzione di resistenza meccanica (fig. 3) sia pure inferiore a quella che si registra per una incompleta compattazione del calcestruzzo [4]. Se, quindi, si vuole migliorare la resistenza ai cicli di gelo - disgelo senza sacrificare o addirittura migliorando le caratteristiche meccaniche del materiale è necessario aggiungere al calcestruzzo, oltre all'additivo aerante, un riduttore d'acqua libero o un reoplastico.

#### CONCLUSIONI

La formazione di ghiaccio è una delle cause più frequenti di deterioramento delle strutture in calcestruzzo. Il fenomeno diventa ancora più grave se si debbono usare, come per esempio avviene nelle autostrade, sali disgelanti per rendere utilizzabili le strutture stesse anche nella stagione invernale. In tal caso lo sfaldamento del calcestruzzo dovuto alla formazione di ghiaccio è reso più severo dalla presenza dei sali disgelanti. Calcestruzzi più resistenti ai cicli di gelo - disgelo possono essere preparati introducendo microbolle di aria (3 - 5% in volume) mediante l'impiego di particolari tensioattivi e riducendo l'acqua potenzialmente congelabile mediante l'aggiunta di un additivo riduttore di acqua libera o reoplastico, quest'ultimo particolarmente indicato per calcestruzzi molto lavorabili (slump 10 - 20 cm) pur con bassi rapporti acqua/cemento (0,35 - 0,45).

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] T.C. POWERS: « Physical Properties of Cement Paste » Proceedings of the IV International Symposium on the Chemistry of Cement, vol. II, 577-609, Wasturghon (1960).
- [2] T.C. POWERS: « Resistance to weathering - freezing and thawing », A.S.T.M. Special Technical Publication n. 169, 182-187 (1956).
- [3] M. COLLEPARDI, S.M. GUELLA e M. VALENTE: « Porosità, permeabilità e durabilità del calcestruzzo », memoria presentata a questo Congresso.
- [4] P.J.F. WRIGHT: « Entrained air concrete » Proc. Inst. C.E. Part. 1, 2, n. 3, 337-58, London, (1953).