

MARIO COLLEPARDI*

Ricordate lo slogan "Bevete più latte. Il latte fa bene"?

L'aria che appare nel titolo che ho parafrasato per quest'articolo è, ovviamente, quella contenuta nel calcestruzzo.

Il ruolo dell'aria è quello di allentare le tensioni che insorgono all'interno di un materiale poroso quando l'acqua liquida, trasformandosi in ghiaccio, aumenta il suo volume di circa il 9%. La parte più vulnerabile alla formazione di ghiaccio è la matrice cementizia nella quale sono distribuiti gli elementi lapidei (aggregati o inerti) solitamente meno sensibili all'azione dirompente che accompagna la formazione del ghiaccio (1).

In teoria, ci sarebbero due strade per rendere la matrice cementizia invulnerabile dalla formazione di ghiaccio: annullare completamente la porosità capillare (0,01-10 µm) di questo sistema, cosicché non possa verificarsi assorbimento di acqua dall'ambiente e quindi neppure formazione di ghiaccio; o, paradossalmente, aumentare la porosità della matrice cementizia introducendo un numero elevato e programmato di microbolle d'aria con diametro di 100-200 µm.

L'aumento intenzionale (e programmato) di aria nel calcestruzzo destinato alle strutture esposte ai climi umidi e freddi ha rappresentato negli USA ed in Canada una sorta di rivoluzione tecnologica a partire dagli anni '30. In quei Paesi, sia per la rigidità delle stagioni invernali, sia per l'estensivo impiego di calcestruzzo nelle pavimentazioni stradali, si è sempre stati particolarmente sensibili al problema del degrado delle strutture in calcestruzzo per effetto dei cicli di gelo-disgelo.

L'inglobamento nel calcestruzzo di un 4-6% di aria, quale misura preventiva del degrado di questo materiale per la formazione di ghiaccio, è entrata così a far parte della mentalità dei tecnici americani, che molto spesso - "per non sbagliarsi" - prescrivono calcestruzzo con aria inglobata anche in regioni, come la California o la Florida, dove certamente la formazione di ghiaccio è un evento straordinario.

In tempi successivi, l'impiego di aria inglobata nei calcestruzzi destinati alle strutture all'aperto è diventato pratica comune anche nei Paesi del Nord Europa, che pure sono esposti ad inverni lunghi e rigidi come quelli del Nord America. In Italia, invece, salvo alcune straordinarie eccezioni (per esempio: l'Autostrada Roma-L'Aquila), la maggior parte delle opere in calcestruzzo all'aperto sono state costruite senza alcun particolare accorgimento per quanto attiene al volume di aria inglobata.

Eppure, non sono trascurabili le estensioni territoriali nel nostro Paese dove si verificano le alternanze termiche naturali intorno a 0°C.

Ciò non di meno la misura di inglobare aria nel calcestruzzo è stata quasi sempre ignorata e, quindi, il problema di tener conto del degrado del calcestruzzo per i cicli di gelo-disgelo anche nelle grandi opere infrastrutturali è stato in gran parte disatteso in Italia.

LE NORMATIVE SULL'ARIA INGLOBATA

Oggi, però, la situazione dovrebbe iniziare a cambiare (così almeno è augurabile) giacché l'impiego di calcestruzzo con aria inglobata è diventato un obbligo da quando la normativa vigente nel nostro Paese si è dovuta adeguare alle direttive europee. Già nel D.M. del 14 febbraio 1992 relativo alla legge N° 1086 si fa riferimento alla norma UNI 9858 (ispirata alla prENORMA ENV 206 della Comunità Europea) che prescrive l'impiego

(*) Enco, Spresiano (TV).

(1) Fanno ovviamente eccezione a questa affermazione gli elementi lapidei gelivi che, proprio per questo, non possono essere impiegati per confezionare un calcestruzzo resistente al ghiaccio.

di calcestruzzo con aria inglobata (4-6% in volume) in tutte le strutture in calcestruzzo all'aperto in climi freddi (classe di esposizione 2b), ed ovviamente anche nelle strutture esposte al trattamento dei sali disgelanti (classe di esposizione 3) (2).

Il problema di prescrivere calcestruzzi con aria inglobata non dovrebbe assolutamente preoccupare i progettisti italiani, neppure quelli che non hanno alcuna dimestichezza con le nuove norme sui calcestruzzi. Infatti, ciò che si richiede da parte del progettista, in aggiunta alla prescrizione della resistenza caratteristica desunta dal calcolo strutturale, è semplicemente la precisazione dell'ambiente laddove si riconosca, per esempio, che le opere da costruire sono esposte all'aperto in climi freddi (classe di esposizione 2b) o al trattamento con sali disgelanti (classe di esposizione 3).

Saranno poi i produttori di calcestruzzo a "progettare" adeguatamente il conglomerato in relazione alla classe di esposizione ambientale. È importante segnalare che la produzione del calcestruzzo aerato necessita di una accurata sperimentazione da effettuarsi attraverso prove preliminari tese a stabilire l'esatto quantitativo di additivo aerante necessario a sviluppare il volume di aria richiesta. Inoltre, sarà necessario verificare che l'aria inglobata si presenti in forma di microbolle (diam. 100-300 µm) tra loro spaziate adeguatamente (200-400 µm) per garantire la resistenza ai cicli di gelo-disgelo (UNI 7087). Tuttavia val subito la pena di precisare che, soprattutto tra i grandi produttori di calcestruzzo, vi sono tecnici che hanno già recepito le nuove norme sul calcestruzzo e che sono pronti e preparati per offrire un materiale adeguato alla classe di esposizione ambientale.

Per chiudere il cerchio è necessario, ovviamente, che tra i progettisti che prescrivono ed i produttori che forniscono il calcestruzzo, si inseriscano le imprese costruttrici chiamate a controllare le specifiche tecniche del materiale.

In particolare, per verificare se il volume di aria inglobato è conforme o meno alla specifica, esiste già un metodo rapido ed affidabile, basato su un semplice strumento da cantiere chiamato porosimetro, che consente di controllare il volume di aria nel calcestruzzo prima della sua messa in opera.

PERCHÉ L'ARIA FA BENE

Non è necessariamente vero che qualsiasi forma di aria renda il calcestruzzo resistente alla formazione di ghiaccio. Esistono due tipi di aria: quella "intrappolata" per difetto di costipazione meccanica, e quella "inglobata" o "stabilizzata" con l'ausilio di agenti tensioattivi che posseggono schiumogeni simili a quelli dei comuni detergenti.

In un calcestruzzo normale esiste sempre un volume d'aria, quale residuo di quella che è rimasta intrappolata nel calcestruzzo durante la sua miscelazione in betoniera per effetto dei vortici o durante la caduta del getto all'interno delle casseforme. Nella successiva compattazione, l'aria intrappolata affiora visibilmente in superficie e viene in gran parte espulsa. Anche prolungando la vibrazione con mezzi meccanici molto efficienti, un minimo volume d'aria (1-2%) rimane però sempre "fisiologicamente" intrappolato all'interno del conglomerato sotto forma di vuoti di qualche mm dal contorno irregolare e per lo più posizionati in prossimità dell'interfaccia tra gli elementi lapidei più grossi e la matrice cementizia. Se la compattazione del calcestruzzo fosse incompleta aumenterebbe il volume d'aria intrappolata con penalizzazione della resistenza meccanica del calcestruzzo in opera, ma senza alcun beneficio per la durabilità del materiale in climi freddi.

(2) A dire il vero, anche le opere marittime esposte ai cicli di gelo-disgelo (classe di esposizione 4b) richiedono l'impiego di un calcestruzzo con aria inglobata. Ma questa specifica, necessaria per le opere nei mari del Nord Europa, non sembra francamente doversi estendere alle coste marittime italiane solitamente in climi temperati sia al Sud che al Nord.

Se, invece, l'aria viene artificialmente inglobata, con l'aiuto di additivi aeranti (circa 30-150 g per m^3 di calcestruzzo) che modificano la tensione superficiale dell'acqua, al momento della miscelazione del calcestruzzo si sviluppa un sistema di microbolle sferiche di dimensione ridotte (100-200 μm) omogeneamente distribuite nella matrice cementizia fino a raggiungere un volume di circa 50 litri per m^3 di calcestruzzo (5%). Assumendo un diametro medio di 200 μm , il volume di una singola microbolla è di circa 0.034 mm^3 . Pertanto, se il volume totale dell'aria inglobata è mediamente di 50 litri/ m^3 , il numero delle microbolle è pari a circa 1.5 miliardi per 1 m^3 di calcestruzzo. In realtà, poiché le microbolle si sviluppano al momento della miscelazione solo dove è presente l'acqua, esse sono ovviamente distribuite solo nella porzione di calcestruzzo occupata dalla matrice cementizia (che rappresenta grosso modo 1/3 di tutto il conglomerato). Per effetto di questo numero rilevantisimo, la distanza tra le microbolle (*spacing*) distribuite nella matrice cementizia è di circa 200-400 μm . Quando nei pori capillari della matrice cementizia più o meno saturi d'acqua cominciano a formarsi i primi germi cristallini di ghiaccio, l'acqua non ancora congelata viene sospinta verso le microbolle d'aria adiacenti dopo aver percorso un cammino più o meno tortuoso che non supera i 100-200 μm . In assenza delle microbolle d'aria, invece, il cammino dell'acqua non ancora congelata fino a trovare un vuoto (aria intrappolata o ambiente esterno) aumenta notevolmente e la pressione idraulica raggiunge valori così grandi da provocare la rottura a fatica del materiale per il ripetersi ciclico delle tensioni generate dalle alternanze termiche (gelo-disgelo).

QUANTO COSTA L'INGLOBAMENTO DELL'ARIA

Il costo unitario di un additivo aerante si aggira mediamente sulle 1000 lire/kg, e poiché occorrono mediamente circa 30-150 g di questo additivo per 1 m^3 di calcestruzzo, la maggiore incidenza economica derivante dall'impiego di questo additivo è di circa 30-150 lire per 1 m^3 di calcestruzzo.

La benefica azione dell'aria inglobata (4-6%) in forma di microbolle sferiche sulla resistenza al ghiaccio del calcestruzzo è, purtroppo, accompagnata da un indebolimento meccanico che può essere valutato in una penalizzazione della resistenza meccanica a compressione di circa il 20%. Pertanto, se nel garantire la durabilità del calcestruzzo in climi umidi e freddi, si vuole anche rinunciare alla penalizzazione della resistenza meccanica, diventa indispensabile per il produttore di calcestruzzo accompagnare l'inglobamento dell'aria con un rafforzamento della matrice cementizia. In termini pratici, il costo di questo rafforzamento per controbilanciare l'effetto dell'aria inglobata sulla resistenza meccanica è quantificabile, per esempio, in un dosaggio di cemento leggermente maggiore (di circa 20-40 kg/m^3).

Ne consegue che, per produrre strutture in calcestruzzo esposte ai climi umidi e freddi resistenti ai cicli di gelo-disgelo e dotate anche della resistenza caratteristica richiesta dal progetto, occorre mettere in conto due costi: il primo per l'impiego di un additivo aerante, il secondo per l'impiego di un maggior dosaggio di cemento.

In conclusione tra un calcestruzzo normale con R_{ck} di 30 MPa inevitabilmente destinato al degrado in climi umidi e freddi, ed il corrispondente calcestruzzo di pari R_{ck} , ma capace di resistere alle aggressioni ambientali legate alla formazione di ghiaccio, c'è un costo in più valutabile intorno alle 3000 lire/ m^3 . Ci si potrebbe chiedere, al di là dei recenti obblighi normativi sopra menzionati (UNI, ENV), se un tale extra costo non sia abbondantemente ripagato dall'assenza di degrado e quindi dei relativi costi di manutenzione e restauro.