

## **Calcestruzzo impermeabile e reattivo ad effetto “self healing” per strutture soggette a cicli gelo/disgelo e trattamento dei sali disgelanti.**

La tematica della durabilità del calcestruzzo nelle varie classi ambientali di esposizione è sempre di interesse primario, soprattutto in fase di gara in miglioramento quando progettisti e imprese sono alla ricerca di soluzioni tecnologiche innovative che possano assicurare un miglior punteggio tecnico, in relazione ad una migliore prestazione del mix design di riferimento, che superi le indicazioni minime di classe di resistenza, contenuto di cemento, rapporto acqua/cemento, contenuto di aria aggiunta e spessore del copriferro, definite dalla Norma Europea UNI EN 206 e dalla norma UNI 11104.

Il degrado delle strutture in esercizio dipende anche dalle variazioni termiche che possono causare dilatazione o contrazione del conglomerato cementizio e in una struttura iperstatica l'impedimento a libera contrazione provoca la comparsa di stati tensionali di trazione e pertanto la comparsa di fessurazioni. Le oscillazioni della temperatura intorno a 0°C causa l'incremento della pressione dell'acqua presente nei pori capillari della matrice in calcestruzzo provocando tensioni, sia nella pasta cementizia che negli aggregati, e inoltre l'abbassamento al di sotto degli 0°C trasforma l'acqua liquida in cristalli di ghiaccio con un aumento del volume di circa il 9%, questo fenomeno noto come “adsorbimento” dipende da legami di tipo solido-vapore, ed è in funzione della porosità residua presente nel calcestruzzo e dei macrovoti prodotti dalla posa in opera e compattazione del getto. Quando inizia a formarsi il ghiaccio all'interno dei pori capillari l'acqua super-raffreddata (termodinamicamente instabile) tende a muoversi verso altri pori capillari al fine di ristabilire l'equilibrio, provocando una contrazione della matrice cementizia e l'insorgere di pressioni idrauliche che dipendono dalle diverse concentrazioni di ioni alcalini. La presenza di clima rigido caratterizzato da cicli di gelo disgelo (classe di esposizione XF) può causare un degrado importante alle strutture in calcestruzzo esaltato dall'utilizzo di agenti disgelanti.

La soluzione più classica alla problematica della gelività è costituita dall'inserimento nel mix design del CLS di additivi aeranti, per “stabilizzare” il contenuto d'aria presente nell'impasto, tramite la formazione di un sistema omogeneo di microbolle che consenta alla pressione dell'acqua liquida, generata dalla formazione del ghiaccio nella porosità residua, di scaricarsi prima di superare la resistenza del materiale, innalzando la soglia di saturazione critica. L'utilizzo di un calcestruzzo “aerato” tuttavia, in base all'esperienza comune emersa negli anni, causa una notevole oscillazione delle resistenze, per mancanza di costanza e stabilità del sistema di microbolle, amplificata dalle usuali pratiche di mescolazione, trasporto e messa in opera dei calcestruzzi. Il test di misurazione precisa dell'aria alla consegna inoltre, il porosimetro (prova conforme alla UNI EN 12350-7), non fornisce una misura della corretta o non corretta distribuzione dell'aria stessa (come ad esempio l'AVA, air void analyzer, secondo ASTM C457) ma una generica misura totale dell'aria presente.

La Norma UNI 11104 (Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206” – “Nota a) - prospetto 5”)

consente comunque una alternativa nell'approccio progettuale, utilizzando prodotti nuovi ed evoluti: *“Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12390-9\*, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.”*

Gli additivi “idrofilici” come il PENETRON® ADMIX, anche noti come cristallizzanti, a provata efficacia del fenomeno di cicatrizzazione noto come “self healing”, sono una alternativa valida per garantire un calcestruzzo resistente all'entrata dell'acqua (PRAH, permeability-reducing admixture for hydrostatic conditions) e ai cicli di gelo disgelo nella vita utile di esercizio dell'opera. In presenza d'acqua, nel calcestruzzo indurito, l'additivo PENETRON® ADMIX promuove in maniera sistematica la formazione di silicati di calcio idrati (CSH - catalizzazione dell'elemento solubile della matrice in calcestruzzo), tramite un meccanismo simile a quello che governa la formazione degli idrosilicati durante l'idratazione del cemento Portland nella miscela fresca, ma differito nel tempo che favorisce la chiusura “irreversibile” di fessurazioni e porosità residua.

Il silicato tricalcico presente nella pasta di cemento reagisce quindi con l'acqua e con il “promotore cristallino” (miscela proprietaria di aggiunte minerali inorganiche che nel caso di PENETRON® vanta una esperienza trentennale) a fornire ulteriori fasi minerali sigillanti che promuovono legami “self healing” stabili, con accertato ripristino della prestazione meccanica.

Un “self sealing” autogeno, cosiddetto naturale, lo possiede qualsiasi calcestruzzo, anche la Portlandite ( $\text{CaOH}_2$ ), che può essere presente in ragione anche del 20%-30% nella pasta di cemento idratata, reagisce con l'anidride carbonica disciolta nelle acque minerali (quindi in tutte le acque naturali) a sviluppare carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), a sua volta un minerale sigillante, ma la cui stabilità dipende molto di più dalla temperatura, pH e concentrazione di  $\text{CO}_2$  dell'acqua, con limiti di apertura della fessura e limiti di gradienti idraulici, che molteplici studi negli ultimi venti anni, hanno catalogato come una mera sigillatura ad intasamento ovvero “self sealing”, piuttosto che una verificata guarigione “self healing” con rinnovamento della prestazione meccanica.

Vi riportiamo quindi le “prove di comparazione” eseguite con il severo test di Resistenza ai cicli gelo e disgelo in presenza agenti disgelanti, secondo la Norma Svizzera SIA 262/1 allegato C, condotte dal laboratorio IMM SA (Istituto Meccanica dei Materiali SA di Grancia) accreditato secondo Norma ISO 17025 per la verifica di miscele con requisiti di “elevata resistenza”:

- Miscela di calcestruzzo per soddisfare i requisiti composizionali CPN G secondo SN EN 206-1 (combinazione delle classe di esposizione: XC4, XD3, XF4), areata e senza additivo.
- Miscela di calcestruzzo per soddisfare i requisiti composizionali CPN D secondo SN EN 206-1 (combinazione delle classe di esposizione: XC4, XD1, XF2), non aerata e additivata con Penetron® Admix (1% in massa di cemento)

La comparazione nei due mix design della perdita della massa totale, in seguito ai diversi cicli 0-6, 7-14, 15-28, consente di valutare entrambi i calcestruzzi come ALTA RESISTENZA AL GELO.

Precisiamo che il calcestruzzo additivato con PENETRON® ADMIX, proprio per le caratteristiche “reattive nel tempo” dell’additivo idrofilico in presenza d’acqua anche in pressione, è stato maturato 28 giorni in acqua in condizioni standard, a cicli di asciutto - bagnato con acqua in pressione a 5 bar, al termine di tali cicli, le superfici dei campioni da esporre alla soluzione salina sono state idropulite con getti d’acqua in pressione a 100 bar, come meglio descritto nel [relativo rapporto di prova che riportiamo integralmente nel link sottostante](#).

#### Bibliografia

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17/01/2018;

UNI EN 206 - Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità;

UNI 11104 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206;

UNI EN 12390-9 - “Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti - Scagliatura”;

UNI EN 12620 - Aggregati per calcestruzzo;

BS 8500-1 - Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206;

Gianluca Pagazzi, “La corretta prescrizione del calcestruzzo”, Pubblicato dall’ATECAP (Associazione Tecnico Economica del Calcestruzzo – Roma) – Roma, 2020

Calcestruzzo – secondo le norme SN EN 206:2013 (2. edizione) e SIA 262:2013