

Report 25 Settembre 2012

Calcestruzzo per climi rigidi

01 - Premessa

Nella dizione "climi rigidi" possono essere comprese tanto le condizioni climatiche montane o invernali delle latitudini temperate quanto le condizioni climatiche estreme, in prossimità delle latitudini artiche ed antartiche. Nelle latitudini artiche ed antartiche, dove le temperature sono "estreme" per definizione, le alternanze gelo/disgelo possono avere frequenze quasi stagionali. Nelle temperature temperate, al contrario, queste alternanze possono verificarsi più frequentemente.



02 - Gelo, disgelo & calcestruzzo

L'acqua è un composto chimico (H₂O), in cui i due atomi di idrogeno sono legati ad un atomo di ossigeno attraverso un legame covalente. In condizioni di temperatura e pressione normali si presenta come liquido incolore ed insapore (l'acqua) ma può presentarsi anche come gas incolore (il vapore acqueo) che come solido (il ghiaccio) nel caso in cui la temperatura sia uguale o inferiore alla temperatura di congelamento.

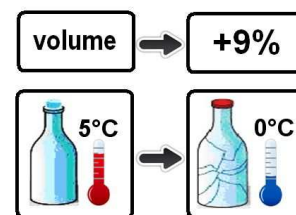


Figura A

La formazione di ghiaccio è un fenomeno caratterizzato da un aumento di volume del ghiaccio, pari al 9%, rispetto al volume iniziale dell'acqua. Questo aumento di volume rappresenta una delle cause più frequenti di degrado dei materiali edili porosi, ivi compreso il calcestruzzo.

Nel caso specifico del calcestruzzo il degrado, specie in presenza di cicli ripetuti, gelo/disgelo, (figura B), che comportano effetti cumulativi, si manifesta dapprima a livello superficiale, denominato "scaling", quindi più internamente alla struttura, come "spalling", sino alla progressiva disintegrazione delle strutture.

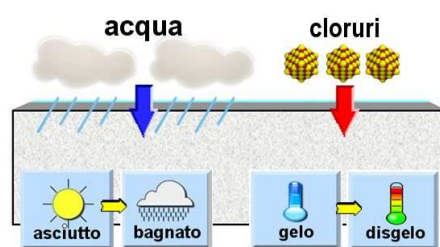


Figura B

D'altro canto, il calcestruzzo è un materiale poroso, con differenti e diffusi livelli di porosità, che spaziano dalle macroporosità interstiziali alle microporosità capillari e del gel (tabella a lato).

CALCESTRUZZO: POROSITA'		
TIPO	DIMENSIONI	EFFETTI DI DEGRADO
DEL GEL	1/100μ (circa)	nessuna motilità dei liquidi
CAPILLARI	qualche μ	degrado rapido con gelo
MICROFESSIONI	decimi di mm	degrado medio/veloce
INTERSTIZIALI	decimi di mm	degrado medio/veloce
MACROFESSIONI	millimetri	degrado rapido

Le microporosità capillari, generalmente localizzate nella pasta cementizia avvolgente gli aggregati, richiamate con le frecce blu, della figura C, altrimenti detta anche matrice cementizia, rappresentano la localizzazione più frequente nell'attivazione dei processi di degrado dei calcestruzzi esposti ai cicli gelo/disgelo.

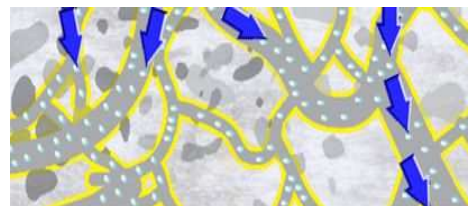


Figura C

Nei calcestruzzi esposti all'atmosfera ed alle intemperie, infatti, con particolare riferimento alle opere di viabilità ed alle pavimentazioni in calcestruzzo, i pori capillari, con dimensione di alcuni micron, possono riempirsi d'acqua, sino a raggiungere la saturazione critica (figura E) che, nella transizione acqua ghiaccio, porta all'aumento di volume già richiamato.

L'aumento di volume, che avviene sulla base del complesso processo schematizzato nel successivo paragrafo (03), è caratterizzato dal generarsi di pressioni idrauliche che si traducono in tensioni espansive in grado di prevalere sulla resistenza del calcestruzzo (figura D).

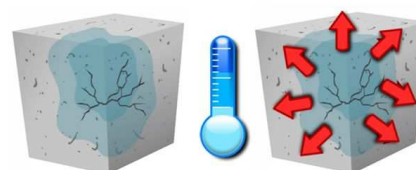


Figura D

03 - congelamento dell'acqua nel calcestruzzo

L'aumento di volume dell'acqua provoca l'espulsione dell'acqua stessa, non ancora congelata, dalle porosità nelle quali il congelamento si è attivato.

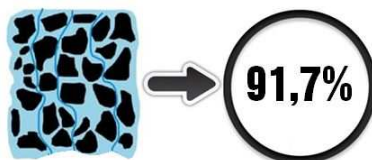


Figura E

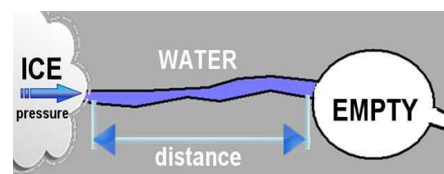


Figura F

Viene quindi a prodursi una pressione idraulica con entità dipendente dalla resistenza offerta al flusso d'acqua e, in buona sostanza, 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 (figura F).

Le "cavità vuote" in grado di farsi carico dell'acqua espulsa dal congelamento assumono una rilevanza significativa nella definizione dei possibili accorgimenti per progettare un calcestruzzo più resistente al congelamento ed ai cicli gelo disgelo.



04 - Sali disgelanti & calcestruzzo

Il conglomerato cementizio delle strutture in calcestruzzo destinate alla viabilità così quello costituente le pavimentazioni esterne, è frequentemente soggetto all'ulteriore ed indesiderabile azione aggressiva introdotta dai "sali disgelanti" che vengono sparsi sulle superfici per sciogliere neve e ghiaccio e per ostacolare e/o impedire la formazione del ghiaccio.

Il calcestruzzo posto a contatto con le soluzioni acquose, generate dai sali in questione, subisce danni di diversa natura, rappresentati, soprattutto, dalla depassivazione delle armature e dall'insorgere differenze di pressione osmotica che fanno diffondere l'acqua capillare verso la superficie, dove avviene il congelamento.



Figura G

L'impiego dei "sali disgelanti", esemplificato nella figura G, comporta pertanto un considerevole aggravamento di condizioni di esposizione già sufficientemente critiche.

I sali normalmente impiegati come “disgelanti” sono il cloruro di sodio (NaCl) ed il cloruro di calcio (CaCl₂), ad entrambi possono essere ascritti, oltre ai fenomeni di scagliatura superficiale del calcestruzzo le incidenze negative già richiamate in termini di pressione osmotica e di depassivazione delle armature d’acciaio.

05 - norme per il calcestruzzo esposto al gelo disgelo ed ai sali disgelanti

La norma UNI EN 206-1:2001 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità” si occupa dei problemi inerenti i cicli di gelo/disgelo nel paragrafo 4.1 :“Classi di esposizione riferite all’azione dell’ambiente” prevedendo una serie differente di classi di esposizione in funzione delle effettive condizioni di servizio dell’opera.

XF3 : Elevata saturazione d’acqua senza agente antigelo. (Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia ed al gelo).

XF4 : Elevata saturazione d’acqua con agente antigelo. (Pavimentazioni, strade ed impalcati esposti alla pioggia, al gelo ed agli agenti antigelo).

Mentre i parametri essenziali che dovranno caratterizzare il calcestruzzo sono rappresentati da :

classi di esposizione	rapporto A/C massimo	classe minima di resistenza	contenuto minimo cemento	contenuto di aria inclusa	altri requisiti
XF3	0,50	C 30/37	320 kg/m³	> 4%	prEN 12620*
XF4	0,45	C 30/37	340 kg/m³	> 4%	prEN 12620*
prEN 12620 = norma di conformità per gli aggregati					

NOTA BENE : La norma fa espresso riferimento al calcestruzzo come tale e contempla la prescrizione di includere aria, nel calcestruzzo, al fine di creare delle “camere di compensazione” con lo scopo di contenere gli aumenti di volume conseguenti al congelamento dell’acqua presente nel calcestruzzo.



06 - parametri di intervento

La tabella che segue riporta i parametri più significativi sui quali è indispensabile intervenire efficacemente per progettare un calcestruzzo adeguatamente resistente ai cicli gelo/disgelo ed ai sali disgelanti.

densità	porosità	permeabilità	resistività	resistenza ai cloruri
da incrementare	da ridurre	da ridurre	da incrementare	da incrementare

07 - calcestruzzo resistente al gelo disgelo ed ai sali disgelanti

Le più aggiornate acquisizioni in termini di tecnologia e terotecnologia forniscono le indicazioni per progettare e confezionare calcestruzzi “specializzati”, resistenti ai cicli gelo/disgelo, in grado di assicurare le “attese” prestazioni meccaniche e, nelle strutture viabilistiche, così come nelle pavimentazioni, di resistenza all’usura, al traffico, al logoramento.

La tecnologia dei microsilicati, (schematizzata nella figura H), ulteriormente precisata nei paragrafi che seguono, ove possibile coadiuvati da fibre e/o microfibre, tridimensionalmente diffuse, in calcestruzzi coerentemente areati, fornisce infatti le risposte più convincenti e sperimentate alle criticità che rendono il calcestruzzo vulnerabile alla coazione rappresentata dalle sollecitazioni meccaniche e dalla severità di esposizione.

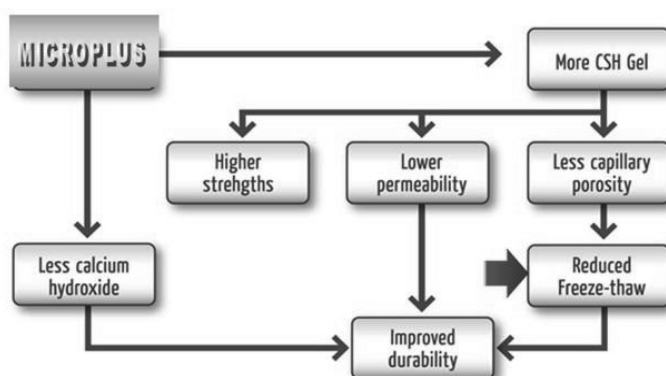


Figura H

L'efficacia dei microsilicati Elkem, componenti essenziali di MICROPLUS, è certificata dal British Board of Agrément, sin dal 1994, con particolare riferimento all'elevatissima impermeabilità ed alla resistenza al gelo disgelo, così come riportato nella figura I. Le peculiari resistenze al gelo disgelo e la resistenza allo "scaling", sulla scorta della norma Swedish standard SS 137244, sono ulteriormente confermate nelle figure J e K.



Agrement Certificate 85/1568
ELKEM MICROSILICA
 Poudre de silice à usage en beton
 Kieselcorde Zusatzmittel
 23rd December 1994

Prestazioni meccaniche
Permeabilità
Resistenza al gelo disgelo
Resistenza ai Sali disgelanti
Resistenza a cloruri e solfati

Figura I

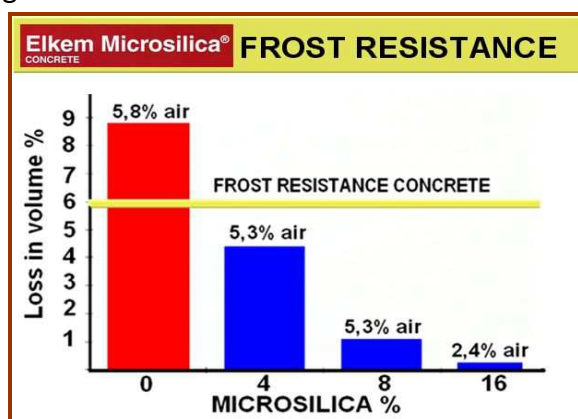


Figura J

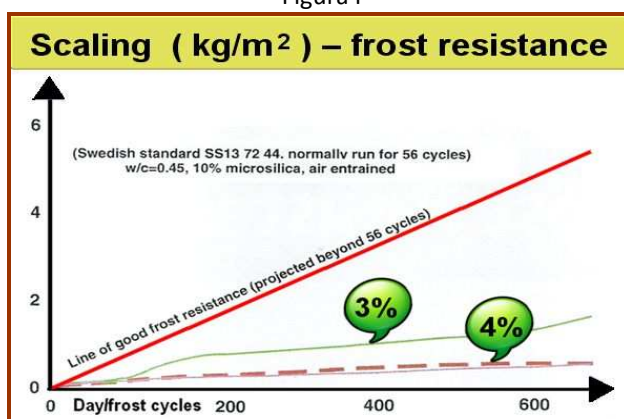


Figura K

08 - MICROSILICATI + ARIA INCLUSA

Le prestazioni fornite dai calcestruzzi proposti nelle figure J e K, sono basati sull'aggiunta dei microsilicati e sull'inclusione, predeterminata, di aria, in misura variabile in funzione della ricetta effettiva e del contenuto di microsilicati.

In termini pratici l'atmosfera critica, rappresentata dai cicli gelo disgelo e dall'eventuale utilizzo di sali disgelanti rende necessari un nuovo concetto di calcestruzzo ed un nuovo tipo di porosità, benefica, del conglomerato (figura L).



Figura L

Nelle condizioni di criticità espositiva descritte, il calcestruzzo ordinario è soggetto ai danni del congelamento (1 di figura M), mentre il calcestruzzo progettato e confezionato sulla base delle oculate addizioni di microsilicati ed aria, fornisce adeguate resistenze (2 di figura M).

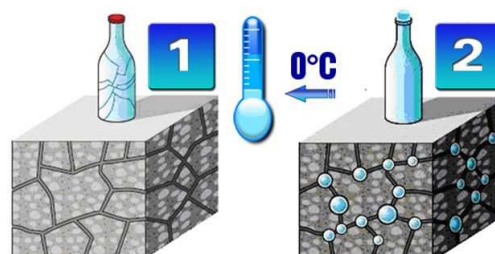


Figura M

09 - ARIA : come, quale, quanta

L'aria inclusa non deve essere un'aria qualunque e comunque ma deve possedere precise caratteristiche dimensionali, quantitative e di distribuzione (figura N). L'inclusione di aria, inoltre, è sempre accompagnata da sensibili decrementi delle prestazioni meccaniche, salvo la contemporanea addizione dei microsilicati (figura O).

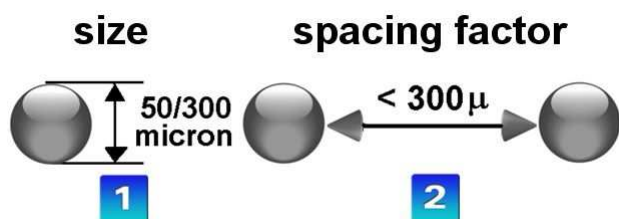


Figura N

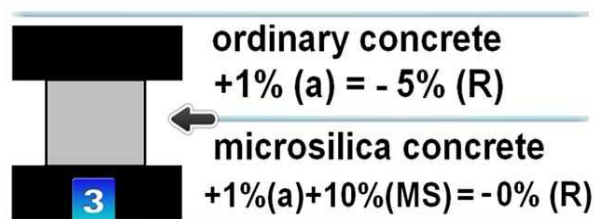


Figura O

Le bolle debbono avere una dimensione compresa in un intervallo dimensionale compreso fra 50 e 300 micron, in un contesto di regolare distribuzione. La quantità di aria da includere è subordinata al conseguimento del corretto “spacing factor” che presuppone distanze fra le bolle stesse, non superiori ai 300 micron.

Numerose risultanze sperimentali, così come la pratica esperienza, hanno evidenziato che ad ogni 1% di aria inclusa si accompagnano decrementi delle prestazioni meccaniche dell’ordine del 5%.

L’aggiunta dei composti a base di microsilicati acquisisce quindi un’importanza fondamentale anche sotto questo profilo.

10 - una ricetta indicativa

La definizione del corretto “Mix Design” di un calcestruzzo, ordinario e/o finalizzato, deve sempre risultare da accurate ed adeguate prove preliminari. La regola vale, a maggior misura, nel caso dei calcestruzzi ad aria inclusa, proprio per la necessità di precise e puntuali verifiche. A solo titolo indicativo e per orientare le sperimentazioni è possibile fare riferimento alla tabella che segue.

componenti	Kg/m ³	litri	note
cemento Ptl R 42,5	360,00	115,00	
MICROPLUS (microsilica admixture)	40,00	19,00	11,11%
acqua	170,00	170,00	A/C = 0,47
additivo fluidificante aerante	5,00	5,00	aria = 5%
Aggregati selezionati mm 0 – 20	1625,00	691,00	non gelivi
totale	2200,00	1000,00	

11 - Microsilicati : note essenziali

Definiti anche come “silica fume” o fumi di silicio condensati, i microsilicati derivano dalla riduzione delle quarziti, in forni elettrici e/o ad arco, nella produzione di leghe ferro silicio o di silicio metallico. Durante il processo, che avviene alla temperatura di 2000° C, si sviluppa monossido di silicio (SiO), in forma gassosa che, a contatto con l’aria, si ossida, trasformandosi in **biossido di silicio amorfo (SiO₂)**.

Opportunamente captato, mediante filtri specifici, il biossido di silicio amorfo viene sottoposto a trattamenti di selezione, depurazione e condensazione, sino a raggiungere livelli qualitativi adeguati al suo impiego come elemento essenziale e prevalente nella produzione di composti specializzati per il calcestruzzo, del tipo MICROPLUS.

In termini pratici la definizione tecnologicamente concisa, attribuita ai microsilicati, con il termine superpuzzolane superfini. I prefissi, apparentemente enfaticanti, posti a precedere la dimensione ed il termine pozzolanico trovano completa giustificazione nelle considerazioni che seguono.

MICROSILICATI (MICROPLUS) : CARATTERISTICHE	
elevata purezza in SiO ₂ : oltre il 92%	elevatissima finezza : dimensione media 0,1 micron
elevatissima superficie specifica : 20 m ² /grammo	elevata idrofilia specifica
elevata reattività con l'idrossido di calcio	Forma sferica

Caratteristica peculiare delle pozzolane in genere, è la capacità di consumare, fissandolo in nuovi composti stabili, l'idrossido di calcio. Caratteristica peculiare dei reattivi in esame è la reazione superpozzolanica : la capacità, significativamente incrementata in termini qualitativi e quantitativi di trasformare l'idrossido di calcio in composti, i silicati di calcio idrati, stabili, insolubili, resistenti.

I microsilicati, componenti essenziali di MICROPLUS, svolgono inoltre un'azione peculiare dei filler reattivi : saturano le porosità della pasta cementizia e del conglomerato, forniscono strutture dense, stabili, impermeabili, chimicamente, meccanicamente ed elettricamente resistenti.

Una indicazione dei termini qualitativi delle azioni descritte è rappresentata dalla tabella "Microsilica prestazioni fondamentali", riferita alle prestazioni conseguibili con l'aggiunta di MICROPLUS, ad un conglomerato cementizio conforme a UNI EN 206 - 1 , in ragione del 10%, in peso, rispetto al peso del cemento, rispetto alle prestazioni del calcestruzzo tal quale.

MICROSILICATI (MICROPLUS) : PRESTAZIONI FONDAMENTALI	
Resistenze meccaniche	incrementi 50/100 %
Resistenza all'abrasione	incrementi 80/100 %
Resistenza alla cavitazione	incrementi 80/100 %
Resistenza al logoramento	incrementi 50/100 %
Resistenza ai cloruri	incrementi 50/100 %
Resistenza ai solfati	COME CEMENTI S.C.R.
Resistenza alle acque dilavanti	incrementi 300 %
Resistenza elettrica specifica (Resistività)	incrementi 500 %
Efficacia anticorrosiva	incrementi 500 %
Riduzione della velocità di carbonatazione	riduzioni 70/100 %
Riduzione della reazione alcali/aggregati	PRATICA INIBIZIONE
Impermeabilità intrinseca	incrementi 500/800 %
Lavorabilità e pompabilità	incrementi 80/100 %
Attitudine alla segregazione	PRATICA INIBIZIONE
Granuli reattivi per granulo di legante	100.000

MICROSILICATI (MICROPLUS) : NORMATIVE INTERNAZIONALI	
European Standard, EN 13263	American Standard, ASTM C1240
Canadian Standard, CAN/CSA A23.5	Norwegian Standard, NS3045 :1992
Japanese Standard, JIS A 6207 : 2000	Brazilian Standard, NBR 13956 - 1997
Chinese Standard, GB/T18736 - 2002	Australian Standard, AS NZS 3582.3:2002

Tecno-B S.r.l.

TECNOB

TECNO B srl - Via Cadorna, 6 - 21046 Malnate (VA) - ITALY - Phone +39 0332.429830 - Fax +39 0332.429716
E-mail: info@tecnob-srl.it - www.tecnob-srl.it - www.betonsafe.it