

calcestruzzo al mare^{2/2}: il calcestruzzo

2.A: premessa

Il paragrafo “**processi degenerativi in sintesi**” del documento *Calcestruzzo al mare parte 1 di 2*, di seguito schematizzato, fornisce un utile ausilio per indirizzare i possibili provvedimenti volti al miglioramento delle caratteristiche e delle prestazioni dei calcestruzzi comunque esposti in atmosfera marina.



- Il degrado delle opere in conglomerato cementizio armato, in atmosfera marina, è soprattutto ascrivibile a meccanismi, connessi con la permeabilità del conglomerato che consentono agli agenti aggressivi di determinare profonde modificazioni nella struttura fisico chimica del conglomerato e, in particolare, nella delicata interfaccia ferro-calcestruzzo.
- La corrosione delle armature assume, nel contesto esaminato, una particolare rilevanza per tutte le conseguenze in termini degenerativi e di perdita di sicurezza delle strutture. Nel contesto esaminato gli aggressivi più noti e pericolosi sono di seguito elencati.
- L'ACQUA di MARE per il contenuto salino, l'efficacia “solvente” e la sua specificità “elettrolitica” ($40.000-50.000 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$).
- I CLORURI che neutralizzano la “passivazione” dell'armatura consentendo ed accelerando i processi corrosivi.
- I SOLFATI che reagiscono con l'idrossido di calcio formando composti espansivi.
- L'ANIDRIDE CARBONICA che neutralizza l'alcalinità del conglomerato innescando i processi corrosivi delle armature.
- L'OSSIGENO che alimenta i processi di corrosione delle armature.
- La “CORROSIONE DELLE ARMATURE”, assume velocità e rilevanza trascurabili in assenza di umidità, di alimentazione di ossigeno, nonché in presenza di passivazione delle armature e/o di una elevata resistività elettrica del calcestruzzo, al contrario, assume velocità e rilevanza significative in presenza di umidità, di elevata conducibilità elettrica da parte del calcestruzzo ed in assenza di passivazione delle armature.

Su questa base è infatti possibile approntare una “*check-list*” dei parametri significativi sui quali è necessario intervenire per migliorare l'attitudine di un calcestruzzo di buona qualità (conforme a UNI EN 206-1) A fornire prestazioni durevoli in atmosfera marina.



- | | |
|--|---|
| ■ Incrementare la coesione a fresco. | ■ Eliminare bleeding e settling a fresco. |
| ■ Incrementare la densità a fresco. | ■ Ridurre la quantità di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reattiva. |
| ■ Ridurre drasticamente la solubilità dei leganti. | ■ Ridurre drasticamente la porosità. |
| ■ Incrementare l'impermeabilità intrinseca. | ■ Incrementare la resistività. |
| ■ Incrementare la resistenza a cloruri e solfati. | ■ Incrementare la resistenza all'abrasione. |
| ■ Incrementare la resistenza alla cavitazione. | ■ Incrementare la durabilità complessiva. |

2.B: contributi terotecnologici

Sono da tempo note e certificate le influenze, estremamente positive, delle “aggiunte pozzolaniche nel miglioramento delle caratteristiche e delle prestazioni dei conglomerati cementizi armati e non. In particolare, sono da tempo noti e certificati i significativi miglioramenti apportabili attraverso l'addizione, a conglomerati cementizi correttamente progettati e confezionati, degli speciali filler reattivi superpozzolanici, altrimenti noti con il termine “Silica Fume”, nonché di prodotti speciali, finalizzati, ulteriormente perfezionati, quali MICROPLUS, in grado di compendiare compendiano la tecnologia dei microsilicati con quella delle microfibre minerali.

La norma UNI EN 206-1: Calcestruzzo, specificazione, prestazioni, produzione e conformità" introduce, al punto 3.1.23, il concetto di "aggiunta", definita come materiale finemente suddiviso usato nel calcestruzzo allo scopo di migliorare certe proprietà o di ottenere proprietà speciali. La presente norma considera due tipi di aggiunte inorganiche: le aggiunte praticamente inerti (tipo I) e le aggiunte pozzolaniche o ad attività idraulica latente (tipo II).

Al punto 5.2.5.2.1, della stessa norma viene altresì inserito il concetto del valore K (da non confondersi con l'omonimo parametro di permeabilità. Il concetto K riferito alle aggiunte, consente che le aggiunte di tipo II vengano prese in considerazione sostituendo al termine "rapporto acqua/cemento" (definito in 3.1.31) con il termine "rapporto acqua/cemento + k aggiunta), nel requisito del dosaggio minimo di cemento (vedere 5.3.2). L'effettivo valore di k dipende dalla specifica aggiunta.

Per le "aggiunte pozzolaniche" (assimilabili a MICROPLUS), al punto 5.2.5.2.3, si precisa che la quantità massima di fumi di silice o di aggiunte assimilabili, che può essere considerata agli effetti della rivalutazione del rapporto acqua/cemento e del contenuto di cemento può essere desunta sulla base dei seguenti parametri.

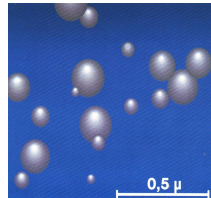
- per un rapporto acqua/cemento prescritto $\leq 0,45$ $k = 2,0$
- per un rapporto acqua/cemento prescritto $> 0,45$ $k = 2,0$ eccetto
- per le classi di esposizione XC e XF, per un rapporto acqua/cemento prescritto $> 0,45$. $k = 1,0$

La disponibilità di "specialità" ad elevato contenuto tecnologico, come le "aggiunte pozzolaniche", viene quindi riconosciuta come opportunità tecnologicamente e terotecnologicamente adeguata per costruire opere impermeabili attraverso l'uso combinato di "calcestruzzi intrinsecamente impermeabili", presidi specifici, e tecniche realizzative adeguate.

2.C: caratteristiche di Microplus & Microsilica

Una trattazione sufficientemente esauriente dell'apporto che Microplus ed i microsilicati come tali e/o in coazione ulteriori materiali terotecnologici, richiederebbe ben più ampio spazio. Ci si limita quindi ad accennare alle reazioni e modificazioni fondamentali comportate.

Una definizione concisa li può rappresentare come pozzolane superfini : il prefisso "super" apparentemente enfaticamente, trova completa giustificazione tanto nelle caratteristiche sopra riportate quanto nei livelli di efficienza effettivamente conseguibili.



tenore di SiO_2	> 92%
finezza (dimensione particelle)	0,1 μ
superficie specifica m^2/g	> 20
idrofilia specifica	elevatissima
reattività con calcio idrossido	elevatissima
forma	sferica

Caratteristica peculiare delle pozzolane è la capacità di consumare, fissandolo in nuovi composti stabili, l'idrossido di calcio, attraverso la reazione pozzolanica.

Caratteristica peculiare di Microplus e dei microsilicati è la **reazione superpozzolanica** : la capacità, significativamente incrementata in termini qualitativi e quantitativi di trasformare l'idrossido di calcio o calce libera ($\text{Ca}(\text{OH})_2$): in composti, gli idrosilicati di calcio, stabili, insolubili e resistenti chimicamente, meccanicamente ed al logoramento.

idrosilicati di calcio = (C-S-H)

Microplus ed i microsilicati selezionati svolgono inoltre una considerevole azione di filler reattivo, in grado di saturare le porosità della pasta cementizia e del conglomerato, fornendo strutture dense, stabili, impermeabili e resistenti. Una semplice indicazione dei termini quantitativi e qualitativi delle azioni sommariamente descritte è fornita dalle considerazioni di seguito accennate.

Si deve infatti considerare che in un calcestruzzo addizionato con Microplus o con microsilicati selezionati, in ragione del 10% in peso, rispetto al peso del cemento, ogni granulo di cemento è "circondato e coadiuvato" da circa 100.000 particelle di Microplus (o microsilicati).

2.D: miglioramenti indotti da Microplus & Microsilica

nel calcestruzzo fresco

assenza di segregazione

La pasta di cemento, legata dai microsilicati e dalla loro attitudine idrofila ed adsorbente, non si separa dagli aggregati nemmeno in impasti fluidi e/o soggetti ad azioni meccaniche (pompaggio).

elevatissima coesione di miscela

L'elevatissima coesione di miscela inibisce lo spandimento e le colature delle miscele "a riposo".

assenza di bleeding - settling

L'acqua in eccesso, rispetto a quella d'idratazione, è adsorbita e fissata dai microsilicati. Ne risultano quindi inibite motilità ed affioramento.

efficienza dell'azione vibrante

La forma sferica e la dimensione extrafine riducono drasticamente gli attriti interni ed amplificano l'azione vibrante facilitando la compattazione e la densificazione dei getti.

attitudine antilavante

L'elevatissima coesione di miscela, tenendo legati, in un insieme colloidale stabile, i componenti finissimi e gli aggregati, consente l'esecuzione di getti subacquei e/o in presenza d'acqua.

nel calcestruzzo indurito

drastica riduzione della porosità

La presenza di un elevatissimo numero di particelle sferiche, finissime, consente il riempimento attivo e reattivo degli interstizi, anche fra i granuli di cemento con significativi incrementi della densità, della compattezza e dell'impermeabilità.

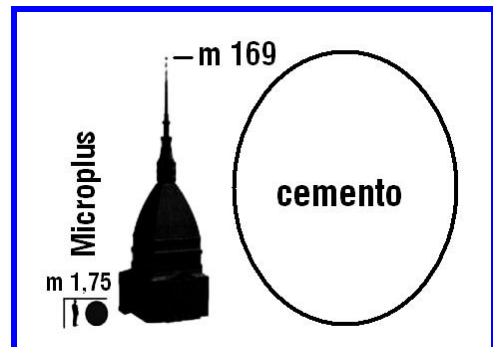
neutralizzazione della calce libera

La reazione "superpozzolanica" che si instaura fra i microsilicati e la calce libera determina la formazione di idrosilicati di calcio (C-S-H-) sotto forma di cristalli insolubili che contribuiscono attivamente e significativamente allo sviluppo delle resistenze meccaniche del conglomerato concorrendo alla drastica riduzione del volume e del diametro dei pori capillari ed all'instaurazione di elevati valori di stabilità chimica e fisica.

attivazione di resistenze specifiche

La trasformazione della calce libera in idrosilicati cristallini di calcio, insolubili, l'aumento dell'inerzia chimica l'insolubilizzazione dei composti comunque dilavabili determinano un quadro prestazionale particolarmente favorevole alla durabilità complessiva, anche nei confronti di azioni aggressive specifiche : abrasione, cavitazione, acque dilavanti, attacco solfatico, ecc.

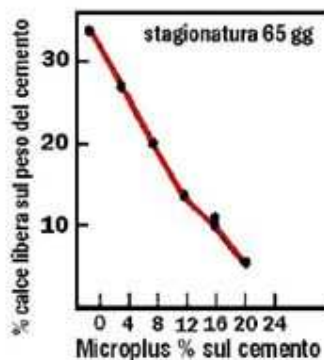
miglioramenti di caratteristiche & proprietà	
nel calcestruzzo fresco	nel calcestruzzo indurito
<ul style="list-style-type: none"> coesione della miscela omogeneità & stabilità dilavabilità segregazione bleeding & settling densità lavorabilità 	<ul style="list-style-type: none"> resistenze meccaniche resistenze a abrasione resistenza alla cavitazione resistività impermeabilità resistenza a cloruri e solfati reazione alcali/aggregati
 incremento significativo	 drastica riduzione / inibizione



Nella figura sopra riportata un granulo di Microplus (Microsilica) è rappresentato da un uomo di altezza media (m 1,75). Il granulo di cemento deve essere immaginato, proporzionalmente come la Mole Antonelliana (m 169).



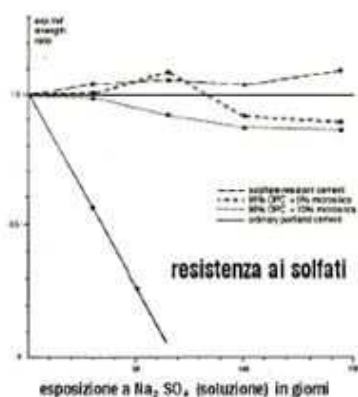
formula



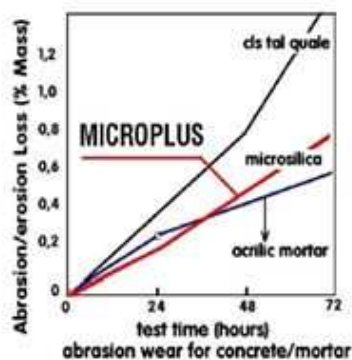
riduzione calce libera



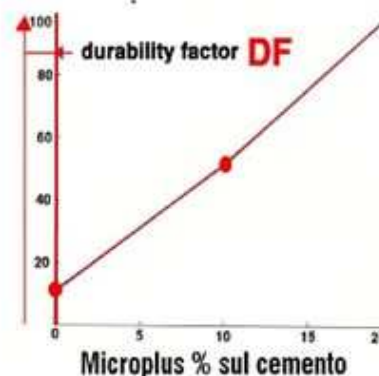
impermeabilità



resistenza ai solfati



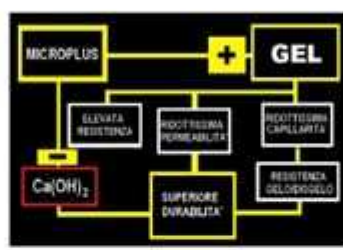
resistenza abrasione



fattore di durabilità

MICROPLUS

prodotto base del metodo BETONSAFE è una speciale aggiunta multifunzionale in grado di operare profonde trasformazioni nella matrice, nella struttura e nelle prestazioni del calcestruzzo



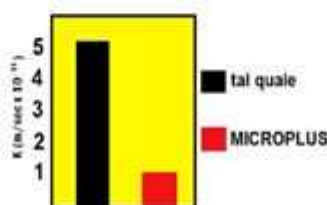
MICROPLUS opera secondo la "Grande Trasformazione" descritta da Marco Vitruvio Pollione nel 2° Volume, sesto capitolo, del trattato "De Architettura. (1° secolo a.C.)

deve essere aggiunto ad un calcestruzzo coerente con la norma UNI EN 206-1



la miscelazione corretta è fondamentale

PERMEABILITA'



incrementa tutti i valori di resistenza agli aggressivi - naturali o meno !



2.E: conclusioni

Dalle brevi note sopra accennate è possibile evincere l'indiscutibile importanza delle speciali aggiunte illustrate, e di Microplus in particolare, nel confezionamento di calcestruzzi durevoli in ambiente ed atmosfera marina. Per approfondire l'argomento impermeabilità vedere il documento "Calcestruzzo, impermeabilità intrinseca" nel sito www.betonsafe.it.

TECNOB-Srl - Via Cadorna, 6 - 21046 MALNATE (VA)

Tel. 0332.429830 - Fax 0332.429716 - www.tecnob-srl.it - info@tecnob-srl.it