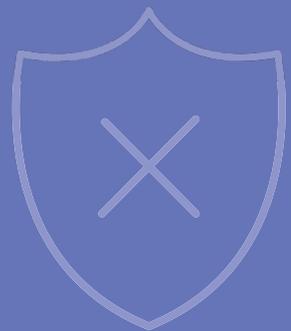




**IL CALCESTRUZZO AD ALTE
PRESTAZIONI MECCANICHE
(HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)**



COLABETON 



I conglomerati cementizi maggiormente impiegati per la realizzazione di strutture, mediante getti effettuati direttamente in cantiere sia in Italia che nell'area EU, sono contraddistinti da resistenze caratteristiche a compressione comprese nell'intervallo 30-45 MPa. Questi calcestruzzi definiti **ordinari o a normale resistenza**, tuttavia, non possono rispondere a qualsiasi esigenza costruttiva. Vi sono numerose situazioni, infatti, per motivi che possono essere legati alla durabilità e/o ad esigenze di tipo strutturale, in cui è necessario far ricorso a **conglomerati cementizi aventi classi di resistenza a compressione cubica superiore (High Strength Concrete: HSC) a quella dei conglomerati a normale resistenza**. E' il caso, ad esempio, delle **piattaforme off-shore** per l'estrazione del gas o del petrolio che operano in ambiente marino e, quindi, fortemente esposte al rischio di corrosione promosso dal cloruro, all'aggressione del solfato e del magnesio, all'azione ciclica esercitata dalle onde, all'abrasione dei solidi sospesi in acqua di mare, per le quali è necessario ricorrere per la loro realizzazione ad un calcestruzzo di alte prestazioni meccaniche (di bassa porosità). Allo stesso modo, **nei basamenti degli impianti eolici** le vibrazioni indotte dal continuo movimento delle pale producono fenomeni di fatica ciclica che possono portare al collasso della struttura, se realizzata con conglomerati cementizi di normale resistenza, per l'elevato rischio di superare il limite di fatica del calcestruzzo durante l'esercizio. Altri campi di applicazione dei calcestruzzi ad alta resistenza a compressione sono rappresentati dai **ponti di grande luce** e, in generale, da tutte le **infrastrutture di importanza strategica**, dagli **edifici multipiano** ed, in particolare, dai **grattacieli**, e da quegli **elementi strutturali che vengono sottoposti in cantiere a post-tensione**.



I calcestruzzi ad alta resistenza a compressione, presentano rispetto ai tradizionali conglomerati a normale resistenza:

- **una porosità capillare minore sia in termini di volume complessivo che di dimensione media dei pori.** Inoltre, il raggiungimento di elevati valori di resistenza meccanica a compressione è attribuibile ad una ridotta porosità e all'assenza di microfessure all'interfaccia pasta-aggregato (la zona di transizione) cui si associa l'impiego di aggregati di caratteristiche geo-meccaniche tali da garantire che il collasso per sforzi di compressione si manifesti comunque nella matrice legante. Il conseguimento di elevati valori della resistenza meccanica a compressione nei calcestruzzi HSC viene ottenuto ricorrendo:



- a rapporti acqua-cemento equivalente - $(a/c)_{eq}$ – **inferiori a 0,45;**

- a **cementi ricchi nella componente alitica (C_3S) e caratterizzati da una elevata finezza.** La maggiore superficie specifica di questi cementi – derivante proprio dall' elevata finezza di macinazione – consente di idratare una maggiore frazione di cemento, contribuendo ad una generale diminuzione del volume complessivo dei pori capillari;

- al fine di non eccedere nel contenuto di legante – onde non penalizzare il ritiro idraulico complessivo del conglomerato cementizio – **ad additivi riduttori di acqua ad alta efficacia dosati in percentuali superiori a quelli dei tradizionali calcestruzzi a normale resistenza.** Grazie alla dispersione dei granuli di cemento derivante dall'aggiunta di questi superfluidificanti, si contribuisce ulteriormente ad aumentare la frazione di cemento idratata riducendo ulteriormente la porosità capillare. La riduzione nel volume complessivo dell'acqua di impasto – unitamente all'utilizzo di cementi di elevata finezza e di particelle sub-microniche



di cui si accennerà al punto successivo – consente, inoltre, di **ridurre i fenomeni di bleeding interno contribuendo ad un generale miglioramento della zona di transizione** all'interfaccia pasta-aggregato che nei calcestruzzi a normale resistenza determina i modesti valori della resistenza a compressione del conglomerato cementizio;



- ad **additivi “nucleatori di C-S-H”** che consentono – unitamente agli additivi super-riduttori di acqua – di raggiungere le prestazioni meccaniche desiderate con un minor dosaggio di cemento riducendo il rischio di fessurazione legato a fenomeni di ritiro termo-igrometrico;

- ad una **densificazione della matrice legante mediante particelle sub-microniche ad altissima attività pozzolanica**. Questi conglomerati, infatti, vengono anche identificati con il termine **Densified Small Particles (DSP)**, ad evidenziare che le particelle sub-microniche – aventi dimensioni di uno-due ordini di grandezza rispetto al diametro medio delle particelle di cemento – possano svolgere **il ruolo di “filler” dei vuoti tra i granuli di cemento**. A questa azione “riempitiva”, le particelle sub-microniche di fumo di silice associano anche quelle derivante dalla altissima attività pozzolanica che le contraddistingue e che si rende responsabile di una riduzione del volume complessivo dei pori oltre che della dimensione media degli stessi (**refinement della porosità capillare**). Queste particelle, infatti, sono costituite, per la quasi totalità, da silice amorfa altamente reattiva anche per la dimensione sub-micronica dei granuli. **L'elevata finezza del fumo di silice contribuisce ad eliminare quasi totalmente il fenomeno del bleeding interno conferendo alla zona di transizione all'interfaccia pasta-aggregato elevate capacità di resistenza a compressione**. Al generale miglioramento della zona di transizione contribuisce anche l'altissima attività pozzolanica



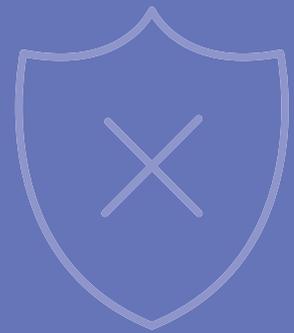
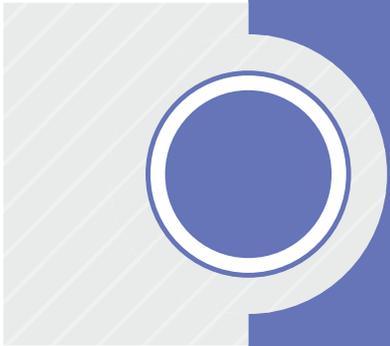
del fumo di silice che **riduce la quantità di cristalli di idrossido di calcio** responsabili della scadente qualità meccanica della zona di transizione nei calcestruzzi a normale resistenza;

- ad **aggregati selezionati** provenienti da rocce di resistenza a compressione maggiore delle matrici leganti a bassa porosità tipiche dei calcestruzzi ad alta resistenza.



I calcestruzzi ad alta resistenza a compressione presentano, rispetto ai conglomerati a normale resistenza, un differente comportamento sforzo-deformazione che può essere sintetizzato in:

- **una linearità del tratto ascendente che si estende fino a valori dello sforzo applicato pari all'80% circa della resistenza a compressione del materiale.** Nei calcestruzzi a normale resistenza questo tratto lineare si protrae all'incirca per valori dello sforzo pari al 40% della tensione di rottura a compressione. Questo **differente legame costitutivo del materiale è in massima parte ascrivibile negli HSC al generale miglioramento della qualità della zona di transizione** come diretta conseguenza della quasi totale eliminazione del bleeding interno. Inoltre, la linearità del tratto ascendente, per valori prossimi alla resistenza a compressione del materiale, negli HSC deriva dalla **minore differenza in termini di modulo di elasticità tra la matrice legante e l'aggregato che consente di evitare le concentrazioni di sforzo nella zona di transizione** tipiche dei calcestruzzi a normale resistenza a compressione;
- **un tratto discendente della curva sforzo-deformazione più ripido e una minore deformazione ultima rispetto ai calcestruzzi ordinari che evidenziano per i conglomerati ad alta resistenza meccanica una maggiore fragilità.**



Questo comportamento fragile è attribuibile proprio alla **più omogenea distribuzione degli sforzi di compressione tra matrice legante e aggregato** che determina una minore possibilità di microfessurazione della zona di transizione. Il risultato è rappresentato dal fatto che il reticolo fessurativo ha scarse ramificazioni nella matrice cementizia e, pertanto, **minore è la redistribuzione degli sforzi tra pasta e aggregato con conseguente collasso fragile del materiale**. La maggiore fragilità dei calcestruzzi ad alta resistenza a compressione impone nella progettazione delle strutture il ricorso ad un **coefficiente parziale di sicurezza del materiale maggiore rispetto a quello adottato nel design degli elementi costruttivi realizzati con calcestruzzo a normale resistenza**. **Minore, inoltre, risulta anche la deformazione ultima a rottura nel legame costitutivo alla base della progettazione degli elementi in c.a..**



I calcestruzzi ad alta resistenza a compressione sono caratterizzati da un **modulo di Poisson minore rispetto a quello dei calcestruzzi a normale resistenza**. In linea di massima il modulo di Poisson decresce all'aumentare della resistenza a compressione e si approssima a 0.15 (0.20-0.24 è il modulo di Poisson tipico dei calcestruzzi ordinari e di quelli a bassa resistenza a compressione, rispettivamente). **La minore deformazione laterale dei calcestruzzi ad alta resistenza rende meno efficaci tutti i provvedimenti finalizzati ad incrementare la capacità portante di pilastri e colonne attraverso azioni di confinamento** (armature e/o tessuti in materiale composito o in acciaio). Pertanto, di questo si deve tener conto nella progettazione degli elementi strutturali. Si tenga anche presente che **sia la resistenza a trazione che il modulo di elasticità crescono meno rispetto alla resistenza a compressione**. Ne consegue che **le correlazioni resistenza a trazione-resistenza a compressione e quelle modulo**



elastico-resistenza a compressione valide per i calcestruzzi a normale resistenza non possono essere estese ai conglomerati cementizi ad alta resistenza a compressione, ma occorre avvalersi di correlazioni specifiche basate su ricerche sperimentali condotte su questi conglomerati. Correlazioni disponibili si trovano sia nel D.M. 18.01.2018 che in documenti internazionali quali il CEB FIP Model Code 90.



Si tenga, infine, presente che nei calcestruzzi ad alta resistenza a compressione non è trascurabile **il ritiro autogeno** determinato dalle tensioni indotte dalla sottrazione di acqua esercitata dai pori di minore dimensione rispetto a quelli di diametro maggiore. Gli stati tensionali che insorgono – indipendenti dalle condizioni ambientali – possono determinare la **comparsa di quadri fessurativi anche se gli elementi in calcestruzzo vengono protetti dall'evaporazione di acqua** (ad esempio, mantenendoli nel cassero o proteggendoli con teli in plastica). Per evitare la comparsa delle soluzioni di continuità è indispensabile che le superfici del getto vengano irrorate con acqua in modo da saturare i pori di maggiori dimensioni soggetti alla disidratazione. Pertanto, **nelle strutture realizzate con calcestruzzi ad alta resistenza**, al fine di prevenire le fessurazioni determinate dal ritiro autogeno, occorre:

- **dopo l'inizio della presa ricoprire le superfici non cassate con geotessuto mantenuto costantemente bagnato per 7 giorni;**
- **rimuovere i casseri dopo 24 ore e ricoprire le superfici con geotessuto mantenuto costantemente bagnato per almeno 7 giorni.**



via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401
F +39 075 9273965

www.colabeton.it
info@colabeton.it

