



**PROGETTERE IL CALCESTRUZZO
PER GETTI IN CLIMA
INVERNALI ED ESTIVI**





E' ben noto che tutte le proprietà del calcestruzzo vengono determinate convenzionalmente alla canonica temperatura di 20°C. A questa temperatura, ad esempio, sono maturati i provini destinati alla valutazione della resistenza caratteristica a compressione. In realtà, però, il confezionamento, il trasporto, la posa in opera e la maturazione del calcestruzzo avvengono sovente a temperature diverse da quella convenzionale di 20°C. Nei nostri climi e nelle diverse regioni del Paese, infatti, durante il periodo tardo-primaverile/estivo le temperature si attestano ben al di sopra dei 20°C, mentre in quello invernale le stesse sono spesso vicine a 0°C. Quando le temperature si discostano dai canonici 20°C tutte le proprietà del calcestruzzo subiscono delle inevitabili variazioni se confrontate con le stesse proprietà valutate alla temperatura canonica (di laboratorio) di 20°C. Le motivazioni alla base di questa affermazione sono sostanzialmente riconducibili al fatto che le reazioni di idratazione del cemento con l'acqua – responsabili sia delle proprietà del calcestruzzo allo stato fresco che indurito – vengono fortemente influenzate dalla temperatura del calcestruzzo. In particolare, le basse temperature rallentano la cinetica dell'idratazione del cemento; per contro, le alte temperature accelerano questo processo. Potremmo riassumere questa influenza della temperatura e le conseguenti implicazioni sulle lavorazioni di cantiere affermando che:

- le elevate temperature influenzano in maniera pesante tutte le fasi della lavorazione del conglomerato (trasporto, posa in opera, compattazione e maturazione dei getti) che risultano, pertanto, più complicate per il minor tempo a disposizione;
- le basse temperature, per contro, pongono una serie di problematiche, dopo aver completato la posa in opera e la

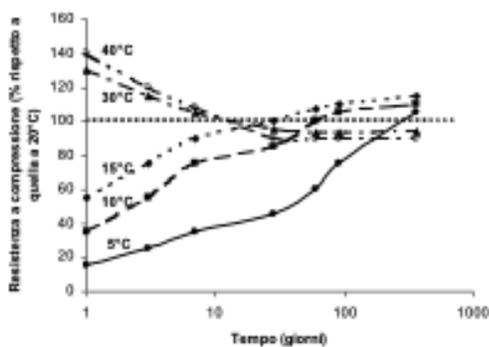


Figura 1 - Resistenza meccanica a compressione in funzione del tempo di calcestruzzi maturati a temperature comprese tra 5°C e 40°C



vibrazione, e che riguardano le fasi di maturazione e di successiva presa e indurimento dei getti in quanto esposti a possibili gelate nella notte immediatamente successiva a quella di getto.

LE LAVORAZIONI IN CLIMA CALDO

La realizzazione delle strutture nel periodo estivo richiede il ricorso di calcestruzzi specificatamente progettati per poter essere utilizzati quando le temperature ambientali superano abbondantemente i 20°C. I conglomerati cementizi, per le lavorazioni in clima caldo, differiscono da quelli, di pari prestazione meccanica, che debbono essere posti in opera quando il clima è più mite o allorquando le temperature ambientali si attestano in prossimità dello zero termico. Un calcestruzzo da utilizzare durante il periodo estivo, in particolare, sarà progettato e confezionato con ingredienti diversi rispetto a quelli utilizzati nel periodo invernale. Diversi saranno i tipi/classe di cemento e il tipo/dosaggio di additivi nelle diverse stagioni.



A seguito dell'elevata temperatura e della conseguente accelerazione dei processi di idratazione del cemento con l'acqua, nelle stagioni calde, il conglomerato cementizio evidenzia una rapida perdita di lavorabilità durante le fasi di trasporto e di scarico del calcestruzzo in cantiere. Questa perdita di lavorabilità sarà tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura ambientale e più lungo è il tempo di trasporto. Se non si adottassero opportuni provvedimenti in termini di mix-design, questa perdita di lavorabilità potrebbe rendere molto difficoltosa la posa e la compattazione dei getti soprattutto per quegli elementi strutturali che presentano sezioni di geometria complicata e/o fortemente congestionati di armature. Le conseguenze pratiche (negative) di questa ridotta fluidità del calcestruzzo



sono rappresentate da elementi che presentano zone con mancanze di calcestruzzo (lacune) o non efficacemente vibrato, con inevitabili ripercussioni negative sulla qualità del calcestruzzo in opera sia in termini di ridotte prestazioni meccaniche che di minore durabilità dei manufatti. Una ridotta lavorabilità al getto, inoltre, potrebbe indurre le maestranze addette alle operazioni di betonaggio a richiedere dannose riaggiunte di acqua per ripristinare la fluidità necessaria ad effettuare agevolmente le operazioni di posa o di compattazione, con conseguente incremento del rapporto acqua/cemento che – pur garantendo un completo riempimento dei casseri ed una efficace espulsione dell'aria per effetto della vibrazione – finirebbe per pregiudicare irrimediabilmente le prestazioni meccaniche del calcestruzzo in opera. Si tenga conto che, relativamente a questo aspetto, un'aggiunta di acqua di appena 10 kg/m^3 determinerebbe un abbattimento della prestazione meccanica di circa il 6-7,5%.

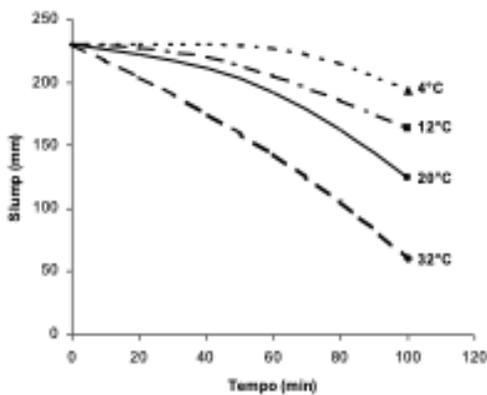


Figura 2 - Lavorabilità del calcestruzzo (CEM II/B-LL 32.5, a/c=0.60) in funzione del tempo e della temperatura del conglomerato

Unitamente alla precoce perdita di lavorabilità, le alte temperature producono un accorciamento dei tempi di inizio e fine presa del conglomerato cementizio. E' opportuno ricordare come il tempo di inizio presa rappresenta il limite ultimo per completare la vibrazione dei getti, oltre il quale il calcestruzzo non può più essere compattato. Si intuisce, quindi, come in clima caldo si riduca il tempo a disposizione per effettuare queste operazioni. Pertanto, il calcestruzzo dovrà essere progettato tenendo conto dell'effettivo tempo che trascorre tra il mescolamento e la fine delle operazioni di betonaggio (posa e vibrazione). Si tenga anche conto, che nelle strutture che richiedono per la loro realizzazione volumi di calcestruzzo che debbono essere forniti con più autobetoniere, l'accorciamento dei tempi di presa,



determinato dall'alta temperatura, potrebbe determinare la formazione di pericolosi giunti freddi se tra uno scarico e l'altro i tempi dovessero essere superiori al tempo di fine presa del conglomerato.

Per ovviare a questi inconvenienti e far sì che le operazioni di posa in opera e compattazione avvengano senza pregiudizio alcuno per la qualità degli elementi strutturali è necessario progettare e confezionare l'impasto per:

- ridurre al minimo la perdita di lavorabilità durante il trasporto e lo scarico dall'autobetoniera;
- allungare i tempi di presa al fine di permettere un agevole posa in opera e compattazione evitando la formazione di indesiderati giunti freddi che pregiudicherebbero la monoliticità degli elementi strutturali.

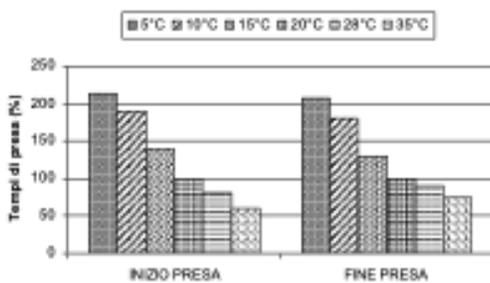


Figura 3 - Tempi di inizio e fine presa del calcestruzzo (CEM II/B-LL 32.5, a/c=0.60) in funzione della temperatura

Per conseguire questi obiettivi occorre adottare nel confezionamento dell'impasto:

- cementi con ridotto tenore di clinker, preferibilmente d'altoforno, pozzolanici o di miscela di tipo II/B di classe 32.5N o R;
- sostituire - compatibilmente con i requisiti richiesti per il rapporto $(a/c)_{eq}$ per esigenze di durabilità - parte del cemento con materie prime di natura pozzolanica ed, in particolare, con cenere volante;
- utilizzare additivi riduttori di acqua ad alta efficacia con caratteristiche collaterali ritardanti conformi ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI EN 934-2;
- per tempi di trasporto e scarico molto lunghi e/o per condizioni climatiche particolarmente avverse (temperature superiori a 30-35°C) far ricorso ad additivi ritardanti conformi al prospetto 8 della norma UNI EN 934-2.

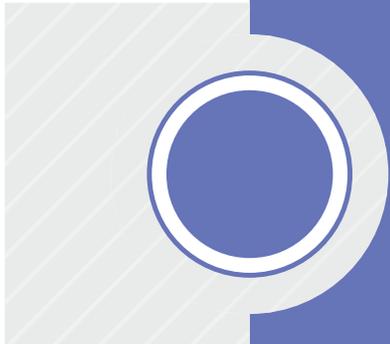


Adottando i provvedimenti sopra riportati è possibile confezionare calcestruzzi utilizzabili in qualsiasi contesto climatico anche quando i tempi che intercorrono tra confezionamento dell'impasto e fine scarico risultano superiori a 90-120 minuti. Resta inteso che dopo la posa e la vibrazione dei getti sarà necessario provvedere ad un'accurata maturazione delle superfici del calcestruzzo non casserate per evitare la precoce evaporazione di acqua dal conglomerato che finirebbe per favorire la formazione di antiestetici e dannosi quadri fessurativi. Quest'ultima operazione, tuttavia, non differisce nelle modalità rispetto a quelle da adottare allorquando il getto avvenga in clima mite o freddo.

LE LAVORAZIONI IN CLIMA FREDDO

Le problematiche relative alla realizzazione delle strutture in clima freddo sono completamente diverse da quelle sopra discusse per le lavorazioni in clima caldo. Infatti, quando la temperatura ambientale si attesta al di sotto di 10°C, tutte le reazioni di idratazione del cemento vengono fortemente rallentate in misura tanto maggiore quanto più rigido è il clima. Come conseguenza di questo rallentamento della cinetica di reazione del cemento con l'acqua, si registra una trascurabile perdita di lavorabilità del calcestruzzo durante il trasporto e lo scarico del conglomerato cementizio in cantiere. Inoltre, i tempi di inizio e fine presa subiscono un notevole allungamento se confrontati con quelli tipici dei climi miti o ancor più delle stagioni calde. Conseguentemente, possiamo concludere che il clima freddo agevola (favorisce), rendendole più semplici tutte le operazioni di scarico, di getto e stesa del conglomerato e di compattazione dei getti. La trascurabile perdita di lavorabilità durante le fasi di trasporto





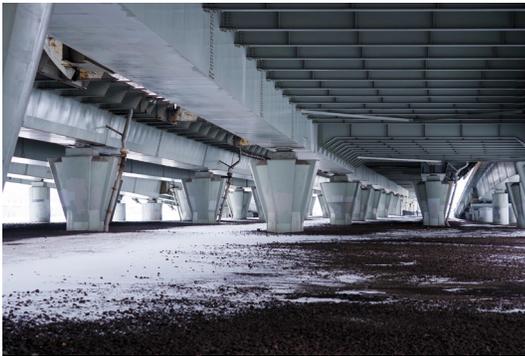
e scarico non espone il getto alle pericolose riaggiate di acqua. Inoltre, l'allungamento dei tempi di inizio e fine presa consente agli operatori di cantiere di avere a disposizione un maggior lasso di tempo per completare la vibrazione. Per gli stessi motivi, è improbabile che durante il periodo invernale possano formarsi giunti freddi tra due getti contigui anche se tra lo scarico di due autobotti dovesse intercorrere un tempo relativamente lungo (superiore alle due ore). In definitiva, nella stagione invernale se il progettista ha definito correttamente la classe di consistenza dell'impasto (in relazione all'elemento da realizzare, alla sua geometria e alla percentuale di armatura presente) è improbabile che al disarmo possano presentarsi zone del cassero non perfettamente riempite e/o non accuratamente vibrato.



In clima freddo i problemi insorgono dopo che le operazioni di posa e compattazione sono state completate. Innanzitutto occorre evidenziare che, a causa della bassa temperatura, la durata della maturazione umida delle superfici non caserate deve essere molto più lunga rispetto ad un'analogo struttura che dovesse essere realizzata nel periodo caldo. Infatti, essendo i processi di idratazione e, quindi, l'indurimento del calcestruzzo più lenti, è necessario proteggere le superfici per un tempo maggiore. A parità di numero di giorni trascorsi dal getto un calcestruzzo maturato in clima freddo, infatti, ha consumato un minor quantitativo di acqua nell'idratazione del cemento rispetto allo stesso getto effettuato nella stagione calda. Conseguentemente, l'impasto contiene una maggiore quantità di acqua libera che può evaporare dalle superfici non protette. Sarà, quindi, necessario proteggere più a lungo per far sì che il getto contenga ridotte quantità di acqua esposte al fenomeno dell'evaporazione. Alle basse temperature, inoltre, ridurre la cinetica di



idratazione significa anche che, a parità di tempo trascorso dal getto, la resistenza a compressione è più bassa (la porosità è maggiore). Tenendo presente che la durata della maturazione umida deve cessare quando è stato raggiunto un livello minimo per la resistenza a compressione del materiale, in clima freddo questa soglia si raggiunge dopo un tempo più lungo e questo spiega perché la maturazione dei getti in clima freddo deve essere protratta per un maggior tempo rispetto ad un analogo getto effettuato nel periodo estivo.



Fermo restando quanto espresso in merito alla maturazione, i problemi maggiori per un getto effettuato in clima rigido sono rappresentati dal fatto che se la temperatura ambientale nelle ore notturne immediatamente successive scende al di sotto di 0°C e il calcestruzzo non ha raggiunto una sufficiente resistenza a compressione, il conglomerato cementizio potrebbe essere disgregato per effetto delle pressioni che insorgono a causa del congelamento dell'acqua liquida presente nell'impasto. Ovviamente, sono maggiormente esposte a questo rischio le strutture di elevato rapporto superficie/volume (le strutture, come le solette, di modesto spessore), mentre quelle massive possono beneficiare del naturale riscaldamento dovuto allo sviluppo di calore derivante dal sia pur lento processo di idratazione del cemento.

Una regola pratica è quella di conseguire – al fine di evitare la distruzione della matrice di cemento – una resistenza a compressione di circa 3.5 MPa nel momento in cui la temperatura ambientale scende al di sotto di 0°C. Questo obiettivo apparentemente facile è in realtà molto difficile da conseguire e il suo raggiungimento è strettamente dipendente da una scelta stringente delle materie prime e da un oculato procedimento di mix design. I provvedimenti da adottare nel confezionamento del calcestruzzo per getti in climi freddi possono essere così riassunti:



- impiego di cementi ricchi in clinker aventi classe di resistenza non inferiore alla 42.5R. Sono da escludere per queste applicazioni i cementi di tipo II/B e tutti i cementi pozzolanici, d’altoforno e compositi;
- impiego di rapporti acqua/cemento relativamente bassi;
- utilizzo di additivi riduttori di acqua con caratteristiche collaterali neutre o acceleranti conformi ai prospetti 3.1 e 3.2 della UNI EN 934-2;
- utilizzo di materiali ad altissima attività pozzolanica come il fumo di silice;
- per getti con temperature molto basse e prossime a 0°C far ricorso ad additivi acceleranti di indurimento privi di cloruro.

Tabella 1 - Tempo necessario per raggiungere la resistenza a compressione di 3.5 MPa al variare di a/c e T per calcestruzzi confezionati con cemento CEM II/A-LL 42.5R con e senza additivo accelerante di indurimento

a/c	Accelerante di indurimento (UNI EN 934-2/7)	t [ore] per raggiungere Rc=3.5 MPa con T=5°C	t [ore] per raggiungere Rc=3.5 MPa con T=10°C	Rck (T=20°C)
0.40	-	20 ÷ 22	9 ÷ 10	50
0.40	1.5% vs massa cemento	10 ÷ 12	4 ÷ 5	50
0.50	-	28 ÷ 30	14 ÷ 15	40
0.50	1.5% vs massa cemento	16 ÷ 18	8 ÷ 9	40
0.60	-	44 ÷ 46	20 ÷ 21	30
0.60	1.5% vs massa cemento	24 ÷ 26	12 ÷ 13	30

Resta inteso che ove questi provvedimenti non fossero sufficienti, in particolar modo per quelle strutture che necessitano di essere immediatamente caricate, un’ulteriore possibilità, unitamente agli accorgimenti sopramenzionati è rappresentata dal ricorso a casseri isolati termicamente (a materassini coibenti per le superfici non casserate) che impedendo al calore di idratazione del cemento di essere dissipato all’esterno determinano un incremento della temperatura del calcestruzzo impedendo, quindi, all’acqua contenuta nell’impasto di poter congelare anche se la temperatura ambientale si attesta al di sotto di 0°C.



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

www.colabeton.it
info@colabeton.it

