

Il calcestruzzo: normativa e nozioni

giorni. Franco Garbarrini

La parola calcestruzzo deriva dal greco "calcis structio" ossia struttura a base di calce e come tutti i prodotti, anche il calcestruzzo è regolamentato da norme UNI, più precisamente la UNI EN 206-1 e la UNI 11104 206-1-2004. La prima ne regola le proprietà e la composizione, la seconda tratta le specifiche tecniche per l'applicazione della prima.

In sintesi, il calcestruzzo è un composto derivato dalla miscelazione di cemento, inerti di grossa e fine pezzatura ed acqua, il tutto in giuste proporzioni, con o senza aggiunte specifiche, il quale sviluppa le sue caratteristiche proprietà specifiche a seguito dell'idratazione con l'acqua.

Specificatamente, la norma UNI EN 206-1, classifica il calcestruzzo per le caratteristiche tecniche e più precisamente:

- **Calcestruzzo a prestazione garantita:** calcestruzzo avente specifiche proprietà come da richiesta del committente ed il produttore è responsabile della fornitura conforme alla richiesta medesima;
- **Calcestruzzo a Composizione richiesta:** trattasi di calcestruzzo avente composizione e materiali come da richiesta del committente, ed il produttore è responsabile della fornitura conforme alla richiesta medesima.

Ad aggiungersi alle summenzionate norme, le Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici vanno a trattare il calcestruzzo strutturale (prescrizioni), il calcestruzzo pre-confezionato (specifiche per i produttori) e la relativa posa in opera (istruzioni).

I principali componenti del calcestruzzo sono:

- il cemento;
- gli aggregati (inerti) quali sabbia e ghiaia;
- l'acqua

a cui possono aggiungersi, in funzioni specifiche e puntuali necessità, gli additivi.

Il cemento:

In edilizia con il termine cemento, o più propriamente cemento idraulico, si intende un insieme di materiali da costruzione, noti come leganti idraulici che, miscelati con acqua sviluppano proprietà adesive. L'Italia è il primo produttore in Europa (la seconda è la Spagna), e tredicesimo nel mondo: si stima infatti che solo nel 2009 nel nostro paese si siano prodotti 36 milioni di tonnellate di cemento, contro una produzione mondiale di 2,83 miliardi di tonnellate.

Fino al 1993 in Italia era in vigore il decreto ministeriale 3 giugno 1968 e s.m.i. recante le norme sui requisiti e sulle modalità di prova dei cementi, ma con l'avvento delle regole comunitarie è entrata in vigore la UNI EN 197-1, che raccoglie in un'unica classificazione tutte le tipologie di cemento prodotte fino ad allora nei vari Paesi membri, distinguendo in modo univoco i cementi in funzione dei requisiti fondamentali, quali:

- la composizione;
- la classe di resistenza normalizzata (a 28 gg) espressa in Mpa (resistenza meccanica a compressione) con riferimento alla resistenza a compressione iniziale (a 7 giorni per il 32,5N e a 2 giorni per le altre classi).

In definitiva, mediante la UNI EN 197-1 vengono a classificarsi 5 tipi di cemento, 27

sottotipi e 6 classi di resistenza per un totale di 162 (27 x 6) cementi.

La norma però non si limita solamente a distinguere e classificare, ma interviene complicando la nomenclatura, imponendo sulla confezione l'identificazione costituita da: sigla «CEM», tipo, sottotipo, classe di resistenza normalizzata e tipo di indurimento iniziale (se rapido riportando la lettera R e se ordinario riportando la lettera N), solo nel caso di cementi a basso calore di idratazione deve invece essere riportata anche la sigla LH.

Pertanto, il codice del cemento Portland 325 a resistenza iniziale ordinaria viene identificato con la sigla CEM I 32,5 N.

Da un punto di vista prettamente chimico si tratta in generale di una miscela di silicati di calcio e alluminio di calcio, ottenuti dalla cottura ad alta temperatura di calcare e argilla oppure di marna (in questo caso si parla di cementi naturali). Il materiale così ottenuto viene quindi denominato clinker, il quale finemente macina-

to e addizionato con gesso nella misura del 4-6% (ritardante di presa) prende il nome commerciale di cemento Portland.

Il cemento Portland è, infatti, alla base di quasi tutti i tipi di cemento attualmente utilizzabili in edilizia, fatta eccezione per il cemento alluminoso che diversamente non viene preso nemmeno in considerazione dalla UNI EN 197-1.



Particolare acciaio con distanziatori



Particolare getto calcestruzzo con autopompa

Come anzidetto la UNI EN 197-1 suddivide in cinque principali tipi di cemento:

- I^A - Cemento Portland con una percentuale di clinker pari ad almeno il 95%; sigla sottotipo: nessuna;
- II^A - Cemento Portland composito (previsti 19 sottotipi) con una percentuale di clinker di almeno il 65%, il cemento Portland composito che ha le seguenti denominazioni in funzione della tipologia delle aggiunte:
 - 1. Cemento Portland alla loppa (S): sigla sottotipi: II A/S, II B/S;
 - 2. Cemento Portland ai fumi di silice (D): sigla sottotipi: II A/D;
 - 3. Cemento Portland alla pozzolana: sigla sottotipi (P=naturale Q=calcinata): II A/P, II B/P, II A/Q, II B/Q;
 - 4. Cemento Portland alle ceneri volanti (V=silicee; W=calcaree): sigla sottotipi: II A/V, II B/V, II A/W, II B/W;
- Cemento Portland allo scio calcinato (T): sigla sottotipi: II A/T, II B/T;
- Cemento Portland al calcare (L e LL): sigla sottotipi: II A/L, II B/L, II A/LL, II B/LL;
- Cemento Portland composito: sigla sottotipi: II A/M, II B/M;
- III^A - Cemento d'altoforno con una percentuale di loppa d'altoforno (S) dal 36 al 95% (previsti 3 sottotipi): sigla sottotipi: III A, III B, III C;
- IV^A - Cemento pozzolanico con materiale pozzolanico (P e Q) dall'11 al 55% (previsti 2 sottotipi): sigla sottotipi: IV A, IV B;
- V^A - Cemento composito ottenuto per simultanea aggiunta di clinker di cemento Portland (dal 20 al 64%), di loppa d'altoforno (dal 18 al 50%) e di materiale pozzolanico (dal 18% al 50%) (previsti 2 sottotipi): sigla sottotipi: V A, V B.

Nei diversi cementi è quindi ammesso un contenuto di costituenti secondari non superiore al 5%.

Circa invece la classe di resistenza del cemento, quest'ultima dipende dalla finezza di macinazione dello stesso e dalla percentuale di silicato tricalcico rispetto a quello bicalcico; maggiore è la finezza di macinazione del cemento, maggiore è il tenore di silicato tricalcico rispetto a quello bicalcico e più rapido lo sviluppo della resistenza meccanica.

Ogni tipo di cemento è potenzialmente disponibile in sei diverse classi di resistenza normalizzata (a 28 gg).

Per ogni classe di resistenza normalizzata si definiscono due classi di resistenza iniziale (2-7 gg):

- la prima con resistenza iniziale ordinaria contrassegnata con la lettera N;
- la seconda con resistenza iniziale elevata contrassegnata con la lettera R.

Pertanto secondo le UNI EN 197/1 esistono le seguenti classi di resistenza del cemento:

- Classe 32,5N: resistenza a compressione iniziale a 7 giorni ≥ 16 ; resistenza a compressione standard a 28 giorni $\geq 32,5$ $\leq 52,5$
- Classe 32,5R: resistenza a compressione iniziale a 2 giorni ≥ 10 ; resistenza a compressione standard a 28 giorni $\geq 32,5$ $\leq 52,5$
- Classe 42,5N: resistenza a compressione iniziale a 2 giorni ≥ 10 ; resistenza a compressione standard a 28 giorni $\geq 42,5$ $\leq 62,5$
- Classe 42,5R: resistenza a compressione iniziale a 2 giorni ≥ 20 ; resistenza a compressione standard a 28 giorni $\geq 42,5$ $\leq 62,5$
- Classe 52,5N: resistenza a compressione iniziale a 2 giorni ≥ 20 ; resistenza a compressione standard a 28 giorni $\geq 52,5$



Getto calcestruzzo con ausilio autopompa

- Classe 52,5R: resistenza a compressione iniziale a 2 giorni ≥ 30 ; resistenza a compressione standard a 28 giorni $\geq 52,5$.

I numeri rappresentano la resistenza a compressione, espressa in MPa, che deve risultare dai provini cubici preparati in modo standardizzato con rapporto a/c pari a 0,5 e rapporto sabbia/cemento pari a 3.

Si rammenta, a conclusione di questa prima parte, che la summenzionata resistenza è da intendersi a rottura!

Gli aggregati

Gli aggregati, detti anche inerti, costituiscono un componente del calcestruzzo di fondamentale importanza. Si tratta di elementi che non partecipano ai processi chimici di presa ed indurimento e sono aggiunti alla miscela allo stato sciolto con pezzatura e dimensioni

variabili, ma contribuiscono alla resistenza ed alla consistenza volumetrica.

Gli inerti ordinari possono essere naturali o di frantumazione (sabbia e ghiaia), o anche artificiali (per esempio l'argilla espansa).

Essi costituiscono lo scheletro del calcestruzzo allo stato indurito, arrivando ad occupare sino al 70% del suo volume totale e rappresentano un componente essenziale nei confronti della resistenza, della deformabilità e della durabilità del prodotto finito.

In relazione al loro diametro medio, un aggregato è indicato come fine (sabbia, con diametro inferiore a 4 mm) o grosso (ghiaietto e ghiaia).

Generalmente la produzione di inerti prevede una vagliatura degli stessi e la loro raccolta in classi granulometriche omogenee, ossia dotate di diametri massimi compresi tra due valori limite.

Non si realizzano mai calcestruzzi con una



Particolare getto in corrispondenza di armatura (cospirero)

sola classe di inerti: l'obiettivo principale, infatti, è di ottenere un volume minimo di vuoti tra i granuli dell'aggregato, volume che dovrà essere riempito successivamente dalla pasta di cemento.

Gli inerti devono comunque avere, oltre ad una corretta distribuzione granulometrica, anche buone resistenza meccaniche, bassa porosità, forma possibilmente tondeggianti; in essi non devono essere presenti argilla o sostanze organiche che comprometterebbero le reazioni di idratazione.

In genere, il diametro massimo degli aggregati, viene definito in sede progettuale dallo strutturista, in funzione del copriferro; altrimenti il calcestruzzo non si distribuisce correttamente nel copriferro medesimo.

Considerando che il calcestruzzo non è un prodotto impermeabile, lo spessore del copriferro deve essere progettato in funzione della vita prevista dell'opera, in analogia alla classe di esposizione ambientale.

Per le dimensioni degli inerti occorre riferirsi alle norme UNI 9858 e alla ENV 206.

L'acqua

L'acqua d'impasto deve essere limpida, priva di sali (particolarmente solfati e cloruri) e non essere aggressiva; la norma UNI 9858 prescrive inoltre che l'acqua d'impasto deve essere temperata alle prescrizioni UNI 8981/7. In generale l'acqua potabile è adatta.

L'acqua svolge la funzione fondamentale di permettere l'idratazione del cemento; per un calcestruzzo normale sono sufficienti circa 30 litri per 100 kg di cemento (rapporto Acqua/Cemento=0,3). Con tale rapporto a/c il calcestruzzo non è però lavorabile; per aumentarne la fluidità occorre aumentare opportunamente il quantitativo di acqua.

È comunque da sottolineare che l'aumento del rapporto A/C provoca una notevole riduzione della resistenza finale ed aumento del ritiro del calcestruzzo medesimo. Generalmente il rapporto A/C di un normale calcestruzzo è compreso tra 0,40 e 0,60.

Per quanto riguarda i calcestruzzi che arrivano in cantiere già impastati (autobotti),

l'eventuale aggiunta di acqua per rendere una migliore lavorabilità crea moltissimi inconvenienti determinando problemi, con conseguente minor resistenza alla struttura.

Il principali inconvenienti che possono determinare una riduzione delle capacità tecnico-meccaniche legate alla capacità del calcestruzzo, sono l'allungamento dei tempi di presa e primo indurimento, il rischio di segregazione dell'impasto, l'aumento del ritiro in fase di presa, l'accentuamento delle fessurazioni dovute all'assettamento plastico, la diminuzione della resistenza a compressione e le conseguenti altre proprietà collegate.

Non per ultimo, decadono le caratteristiche tipologiche del calcestruzzo fornito e le garanzie da parte del produttore, indicate nel documento di accompagnamento.

Gli additivi

Si tratta di composti chimici allo stato liquido o di polvere con cui vengono additivate le miscele. Queste sostanze sono in grado di modificare una o più caratteristiche prestazionali del calcestruzzo, sia allo stato fresco come anche allo stato indurito.

I principali additivi in commercio riguardano:

Riduttori di acqua:

Trattasi di composti fluidificanti, che a parità di contenuto di acqua si ottengono impasti di calcestruzzo più fluidi, e di conseguente avente maggiore lavorabilità. La principale conseguenza con utilizzo di tali prodotti, è che si ha un minor rapporto A/C con relativa maggiore resistenza.

Acceleranti di presa/indurimento:

Con l'utilizzo di tali composti, viene incrementata la resistenza in breve periodo. Tali prodotti vengono prevalentemente utilizzati quando la fase di getto viene effettuata in periodo particolarmente freddo. Vengono altresì utilizzate nei cantieri ove vi è pericolo di gelate notturne, o dove occorre ridurre i tempi di lavorazione.

Ritardanti di presa/indurimento:

Vengono utilizzati per prolungare la fase di lavorabilità, permettendo maggior tempo per la posa, evitando l'annesto della presa, oppure per la realizzazione di getti in stagioni con alte temperature ambientali, evitando veloce indurimento che causerebbe aumento del ritiro.

Aeranti:

Si utilizzano per ottenere calcestruzzi impiegati in ambienti sottoposti a cicli di gelo/disgelo. Con l'utilizzo di tali prodotti, vengono a formarsi all'interno della miscela bolle di aria, che nella fase di gelo vengono riempite dall'acqua che successivamente si trasforma in ghiaccio, evitando aumento del volume del composto.

L'acciaio:

La risposta di una struttura in cemento armato è fortemente condizionata dalla sua armatura. Questa, infatti, sia attraverso la distribuzione geometrica delle barre all'interno del conglomerato, sia attraverso le caratteristiche costitutive del materiale, influenza lo stato tensionale e deformativo del complesso, vincolandone le modalità di rottura e condizionando in definitiva la stessa sicurezza strutturale dell'opera.

In pratica, l'entità delle resistenze strutturali, la duttilità di elementi e giunzioni, le modalità di discesa del carico ai vincoli, sono tutte caratteristiche dettate dall'acciaio di armatura, che, come "un fascio di nervi destinato a dar vita alla più inerte massa del conglomerato" (P.L. Nervi: *Scienza o Arte del costruire*), rende efficace la costruzione.

La normativa, in riferimento al cemento armato, prevede la possibilità di utilizzare due tipi di acciaio:

- acciaio ordinario
- acciaio laminato a caldo e trafilato a freddo.

Acciai da cemento armato ordinario

È ammesso esclusivamente l'impiego di ac-

ciati saldabili qualificati secondo le procedure riportate nell'art. 11.3.1 del DM 14/01/08 e controllati secondo le modalità riportate nei punti 11.3.2.10 e 11.3.3.5 dello stesso DM.

Acciai laminati a caldo e trafilati a freddo

Gli acciai per cemento armato laminati a caldo, individuati con la simbologia B450C, e trafilati a freddo, individuati con la simbologia B450A, sono caratterizzati da specifici valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura.

L'acciaio per cemento armato è generalmente prodotto in stabilimento sotto forma di barre o rotoli, reti o tralicci, per utilizzo diretto o come elementi di base per successive trasformazioni.

Tutti i tondini di acciaio per cemento armato devono essere ad adherenza migliorata (a.m.), cioè dotati di nervature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte ad aumentare l'aderenza al conglomerato cementizio.

Le barre sono reperibili sul mercato con diametro pari variabile di 2 mm in 2 mm e lunghezza commerciale di 12 metri. Esse sono caratterizzate dal diametro della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia 3 pari a 7,85 Kg/dmc. Il loro diametro deve essere compreso tra 6 e 50 mm.

Sul mercato vengono altresì prodotti altri formati quali:

- **reti elettrosaldate** (e.s.) le cui armature costituite da due sistemi di barre ortogonali equidistanziate (max 330 mm), assemblate per saldatura negli incroci chiamati nodi.
- **tralicci** invece sono dei componenti reticolari composti con barre ed assemblati mediante saldatura.

Le reti e i tralicci sono realizzati con acciaio B450A ed hanno diametro compreso tra 5 e 12 mm.

Come per il conglomerato cementizio, anche per le barre di armatura il D.M. 14/01/08



Particolare lavorazione calcestruzzo dopo il getto

prescrive controlli di accettazione da effettuarsi sia in stabilimento di produzione che in cantiere.

In particolare i controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati su 3 spezzoni, marcati, di uno stesso diametro, per ciascun gruppo di diametri, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del materiale da uno stesso stabilimento. In caso contrario i controlli devono essere estesi agli altri diametri della partita.

Le prove devono essere effettuate presso un Laboratorio Ufficiale e riguardano la resistenza e la duttilità. Possono essere richieste altre prove quali quella di piegamento e raddrizzamento e la prova di aderenza.

RESPONSABILITÀ E CONSIGLI AL DIRETTORE DEI LAVORI

Nell'ambito di un cantiere edile, il getto

del conglomerato cementizio risulta essere una delle principali fasi operative per la realizzazione di una qualsiasi opera.

È per tale motivo si ritiene che la presenza della figura del direttore dei lavori in detta fase sia prioritaria, rispetto a qualsiasi altro momento.

Infatti il Direttore dei Lavori ha il compito e la responsabilità di accertare, qualora il conglomerato cementizio venga fornito in cantiere da un impianto di betonaggio esterno, che tale impianto sia dotato di sistema permanente di controllo interno della produzione (FFC) ed abbia ottenuto la dovuta certificazione da organismo autocezzato dal Sistema Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.

Al momento dell'approvvigionamento del calcestruzzo, prima della sua accettazione, occorre effettuare i prelievi di rito necessari successivamente per le fasi di collaudo dell'o-

pera, mediante la confezione dei cubetti, la loro stagionatura dovranno essere eseguiti nel rispetto delle relative norme UNI in vigore. Per ogni prelievo deve essere redatto un verbale sottoscritto anche dal personale delegato dal produttore ai controlli al momento della consegna del calcestruzzo chiamato ad assistere al prelievo.

Inoltre, chi riceve il calcestruzzo deve:

- verificare, dal documento di consegna, l'ora di carico e di prevista consegna del calcestruzzo ed accertarsi che l'organizzazione data allo scarico e alla messa in opera consenta il rispetto dei tempi previsti (Durante il trasporto e successivamente, in caso di attesa dello scarico, la betoniera deve rimanere costantemente in movimento. In linea di massima, in relazione alle condizioni ambientali, salvo che non vengano previste idonee misure quali l'aggiunta di additivi ritardanti, il calcestruzzo dovrà essere messo in opera entro 2 ore dal momento in cui stata introdotta l'acqua nella miscela che normalmente corrisponde all'ora di carico della autobetoniera. A tal fine il Documento di Trasporto -DDT- dovrà riportare l'ora di consegna convenuta e la durata prevista delle operazioni di getto. Tipo e quantità di ogni eventuale aggiunta di acqua e/o additivi che dovesse essere effettuata in fase preliminare alla consegna, sotto la responsabilità del produttore, deve essere prevista in produzione, non alterare le prestazioni prescritte ed, essere registrata sul documento di trasporto. Non sono ammesse aggiunte di acqua o additivi alla consegna);
- verificare che gli elementi contenuti nel documento di consegna corrispondano alle prescrizioni richieste e respingere il carico in caso di loro mancata corrispondenza;
- controllare che tipo e diametro massimo dell'aggregato corrispondano a quanto richiesto e in caso di difformità, respingere il carico;

- controllare che la consistenza del calcestruzzo consegnato sia corrispondente a quanto richiesto e specificato sul documento di consegna, ovvero respingere il carico ove essa risultasse di classe diversa;
- astenersi da qualsiasi aggiunta di acqua, additivi od altro

Inoltre la Direzione Lavori, in sede di getto, deve accertare la consistenza del calcestruzzo al momento della consegna in cantiere, che viene comunemente effettuata mediante il cono di Abrams.

Le principali fasi per procedere alla verifica sono le seguenti:

- 1) appoggiare il cono su una superficie piana;
- 2) riempire il cono per una altezza pari a 1/3 e costipare con tondino di ferro del diametro 16 mm., ripetere l'operazione fino a riempire il cono;
- 3) estrarre il cono verticalmente;
- 4) misurare l'abbassamento del calcestruzzo rispetto all'altezza del cono e si stabilisce la classe di consistenza.

Classe di consistenza	S1	S2	S3	S4	S5
Abbassamento (mm)	0-40	40-90	90-150	150-200	> 210

Inoltre, per **calcestruzzo a prestazione garantita** occorre accertare:

- Classe di resistenza caratteristica;
- Classe di esposizione ambientale;
- Classe di consistenza, indicando il relativo metodo di misura;
- Diametro massimo nominale dell'aggregato in mm.
- Eventuali prescrizioni particolari richieste dal Progettista o dal Committente quali, ad esempio: la resistenza a breve termine, la resistenza a trazione o a flessione, il modulo elastico, il ritiro e, per il

calcestruzzo autocompattante (SCC), le relative pertinenti specifiche integrative.

- Ulteriori prescrizioni che possono essere espressamente richieste contrattualmente

Invece, per il **Calcestruzzo a composizione richiesta** occorre accertare:

- dosaggio del cemento (in Kg/m³);
- tipo e classe di resistenza del cemento;
- diametro massimo nominale degli aggregati (in mm);
- composizione granulometrica della miscela degli aggregati;
- tipo e dosaggio dell'eventuale additivo e/o aggiunta;
- classe di consistenza o rapporto acqua/cemento;
- Ulteriori prescrizioni che possono essere espressamente richieste contrattualmente.

Fase precedente al getto:

- Effettuare accurata verifica dei casseri, che non si siano mossi, che siano opportunamente puntellati, e che le volumetrie da riempire siano libere e sgombrare da detriti, acqua, ghiaccio, ecc.
- Accertare che l'acciaio sia opportunamente legato e sia stati posti gli spessorimetri, affinché i ferri non siano a contatto con i casseri.

Fase di getto:

Nel periodo invernale occorre avere la cortezza di non effettuare operazioni di getto quando la temperatura esterna scende sotto i 3°C.

Qualora le condizioni non potessero evitare quanto sopra, si consiglia di:

- utilizzare calcestruzzo con $R_{ck} > 35$ N/mm². E con classe di consistenza S5;
- utilizzare cemento 42,5 R;
- conservare i casseri per almeno 3 giorni;
- nell'ambito della miscela di calcestruzzo utilizzare specifici additivi.

Nel periodo estivo, o comunque quando le temperature esterne sono elevate, al fine di non danneggiare o quantomeno diminuire drasticamente le caratteristiche del conglomerato, è opportuno:

- utilizzare autopompa per scarico betoniera;
- effettuare lo scarico entro 3 minuti;
- tenere l'opera umida mediante abbondanti bagnature per almeno 3/5 giorni dalla fase di getto.

Verificare che sia opportunamente compatto, in particolare negli angoli, in prossimità di guaine o tubazioni, e attorno alle basi di armatura.

Durante la fase di getto, procedere alla fase di vibrazione, prestando attenzione che l'ago vibrante sia sempre mantenuto in posizione verticale, e che la fase di vibrazione vada ad interessare altresì eventuale strato di conglomerato precedentemente gettato non ancora indurito.

Fase successiva al getto:

Adottare dovuti accorgimenti al fine di proteggere il getto di calcestruzzo da fenomeni di dilavamento da pioggia, mediante posa in opera appositi teli impermeabili protettivi. L'eventuale acqua che dovesse cadere sul calcestruzzo da poco gettato in opera comprometterebbe di gran lunga le caratteristiche di resistenza.