

# Calcestruzzo: messa in opera e controlli

Le opere in calcestruzzo (armato e non) hanno funzioni che esigono precise caratteristiche di resistenza, lavorabilità e durezza. È pertanto indispensabile che le miscele di calcestruzzo, così come le armature in acciaio, siano progettate e definite su elaborati specifici. Essi in genere comprendono:

- la **relazione di calcolo** della struttura;
- la **relazione tecnica**, con descrizione del complesso strutturale e delle sue parti, quantità e posizione delle armature, qualità delle superfici e altre prescrizioni;
- la descrizione dei materiali, con specifiche tecniche, controlli e normative di riferimento, da riportare in modo dettagliato nel **capitolato tecnico** e in forma sintetica negli **elaborati grafici** di progetto. La completezza delle informazioni riportate nel capitolato tecnico è un fattore decisivo per la qualità della lavorazione e dell'opera.



Tabella di progetto con le caratteristiche del calcestruzzo.

Il calcestruzzo definito dal progettista deve possedere requisiti che lo rendono idoneo all'opera; i requisiti minimi descritti nella documentazione di progetto sono:

- **classe di resistenza;**
- **classe di esposizione;**
- **classe di consistenza;**
- **diametro massimo degli aggregati.**

Oltre a questi parametri possono essere definiti altri elementi per la composizione della miscela, quali rapporto acqua/cemento e impiego di particolari additivi.

## CLASSIFICAZIONE DEI CALCESTRUZZI

Secondo la normativa (norme UNI EN 206:2006 e UNI 11104:2004, che sono state recepite dal D.M. 14 gennaio 2008) è obbligatorio definire la miscela di calcestruzzo in base alle classi di resistenza, esposizione, consistenza e al diametro massimo degli aggregati.

### ■ Classi di resistenza

In base alle prove di resistenza a compressione vengono espressi due diversi valori di resistenza caratteristica:

- $R_{ck}$  misurata su provini cubici di lato 150 mm;
- $f_{ck}$  misurata su provini cilindrici di diametro 150 mm e altezza 300 mm.

In base a questi due valori sono definite le seguenti classi di resistenza:

C8/10	C20/25	C30/37	C40/50	C55/67	C80/95
C12/15	C25/30	C32/40	C45/55	C60/75	C90/105
C16/20	C28/35	C35/45	C50/60	C70/85	C100/120

Per ogni classe di resistenza, il primo dei valori rappresenta  $f_{ck}$  e il secondo  $R_{ck}$ , ambedue espressi in N/mm<sup>2</sup>.

### glossario

**Calcestruzzo** o **conglomerato cementizio**: impasto costituito da inerte grosso (ghiaia o pietrisco), inerte fine (sabbia), legante (cemento), additivi e acqua, in opportune quantità.

Le diverse classi sono così raggruppate:

- **calcestruzzo non strutturale**: C8/10 - C12/15
- **calcestruzzo ordinario (NSC)**: C16/20 - C45/55
- **calcestruzzo ad alte prestazioni (HPC)**: C50/60 - C60/75
- **calcestruzzo ad alta resistenza (HSC)**: C70/85 - C100/120

### ■ Classi di esposizione

Il calcestruzzo esposto agli agenti ambientali (umidità, temperatura, ecc.) si può degradare nella sua resistenza e nella sua durezza.

La normativa vigente prevede 6 **classi di esposizione**, all'interno delle quali sono previste **sottoclassi** secondo il livello di degrado:

- Assenza di rischio di corrosione dell'armatura : X0
- Corrosione delle armature indotta da carbonatazione: XC1 - XC2 - XC3 - XC4;
- Corrosione delle armature indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare: XD1 - XD2 - XD3;
- Corrosione delle armature indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare: XS1 - XS2 - XS3;
- Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti: XF1 - XF2 - XF3 - XF4;
- Attacco chimico da parte di acque del terreno e acque fluenti: XA1 - XA2 - XA3.

Per ogni sottoclasse di esposizione vengono specificati il rapporto acqua/cemento, il dosaggio minimo di cemento per m<sup>3</sup> e la minima classe di resistenza.

### ■ Classi di consistenza

La **consistenza** indica la **lavorabilità** del calcestruzzo fresco ed è un indice delle proprietà e del comportamento del calcestruzzo nell'intervallo di tempo tra la produzione e la compattazione dell'impasto nella cassaforma.

La lavorabilità del cemento esprime la sua attitudine a essere trasportato, gettato e compattato in modo da eliminare sacche d'aria nelle superfici di contatto con le armature e con le casseforme.

Per determinare la **classe di consistenza** si impiegano prove di diverso tipo eseguite su calcestruzzo prelevato dopo lo scarico dalla betoniera di almeno 0,3 m<sup>3</sup>. Tra le diverse prove previste dalla normativa europea, in Italia si ricorre ai due tipi seguenti:

#### ● abbassamento al cono di Abrams:

Classe di consistenza	Tipo di consistenza	Abbassamento (slump)
S1	umida	da 10 a 40 mm
S2	plastica	da 50 a 90 mm
S3	semifluida	da 100 a 150 mm
S4	fluida	da 160 a 210 mm
S5	superfluida	≥ 220 mm

#### ● misura dello spandimento:

Classe di consistenza	Diametro di spandimento
F1	≤ 340 mm
F2	da 350 a 410 mm
F3	da 420 a 480 mm
F4	da 490 a 550 mm
F5	da 560 a 620 mm
F6	≥ 630 mm

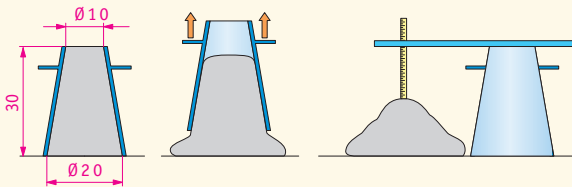
## CONTROLLI SULLA CONSISTENZA

### Abbassamento al cono di Abrams

Il cono di Abrams è un cono di lamiera senza le basi e con maniglie; le sue dimensioni standard sono: altezza 30 cm, diametro minore 10 cm, diametro maggiore 20 cm.

La prova si sviluppa nelle seguenti fasi:

- il cono ben pulito e inumidito viene poggiato con la base maggiore su un piano liscio e pulito;
- si riempie per circa un terzo con calcestruzzo prelevato con un cazzuola;
- si costipa il calcestruzzo con numerosi (circa 25) colpi di tondino (diametro 16 mm);
- si procede analogamente per altri due carichi e costipazioni fino al riempimento;
- si solleva il cono impugnandolo attraverso le maniglie e facendo versare il calcestruzzo sul piano;
- si poggia il cono sul piano in prossimità del calcestruzzo;
- si misura lo **slump**, abbassamento del calcestruzzo rispetto all'altezza del cono.



### Misura dello spandimento

L'attrezzatura necessaria per la prova è la stessa dell'abbassamento al cono di Abrams, ma il piano di appoggio è una specifica *tavola a scosse*. Essa ha dimensioni di 700 x 700 mm ed è costituita da un supporto su cui è incernierata una piastra di spessore 2 mm; sulla piastra sono disegnati il centro e una circonferenza di diametro 200 mm, corrispondente alla base inferiore del cono di Abrams. La piastra può essere sollevata fino a un'altezza di 40 mm, limitata da un fermo di battuta.

La procedura prevede:

- disposizione del cono di Abrams al centro della piastra;
- riempimento e costipazione del cono in due fasi successive;
- sollevamento graduale del cono fino a spargimento del calcestruzzo sulla piastra;
- sollevamento della tavola fino al fermo e sua caduta libera sul supporto, ripetendo l'operazione per 15 volte in 15 secondi;
- misurazione del diametro di spandimento in mm; il valore da registrare è il diametro medio tra due diametri misurati perpendicolarmente.



## ■ Classi di calcestruzzo riferite alle dimensioni massime dell'aggregato

Per **aggregato** s'intende l'inerte (ghiaia, sabbia, argilla espansa, vermiculite, perlite) inglobato nel calcestruzzo.

Nella classificazione si fa riferimento alla dimensione nominale più elevata della frazione di aggregato più grossa (indicata con  $D_{max}$ ).

Le dimensioni massime dell'aggregato sono in relazione con lo spessore del **copriferro** e con l'**interferro** minimo delle armature metalliche. La scelta viene fatta in modo che il calcestruzzo possa essere gettato e compattato attorno alle barre d'armatura senza pericolo di **segregazione** (eterogeneità del calcestruzzo).

Secondo le norme il diametro massimo dell'inerte deve essere tale che:

- $D_{max} < 1/4$  della dimensione minima dell'elemento strutturale;
- $D_{max} < \text{interferro}$  (in mm) diminuito di 5 mm;
- $D_{max} < 1,3$  volte lo spessore del copriferro.

### glossario

**Copriferro:** distanza minima tra la superficie del ferro di armatura e la superficie esterna del calcestruzzo.

**Interferro:** distanza minima tra le superfici esterne di due ferri inglobati in una struttura di calcestruzzo.

**Boiaccia:** miscela fluida di cemento ed acqua.

## OPERAZIONI PRELIMINARI AL TRASPORTO E ALLA MESSA IN OPERA

La messa in opera del calcestruzzo avviene con operazioni di getto che necessitano di un'accurata pianificazione.

Prima di ordinare il calcestruzzo fresco, normalmente fornito da produttori esterni al cantiere, bisogna aver realizzato le **opere di carpenteria** necessarie al getto (strutture di supporto, casseforme, armature).

Al fornitore di calcestruzzo si dovranno fornire informazioni precise sulle quantità e qualità di calcestruzzo previste dal **capitolato**, sulla durata delle operazioni di getto, nonché sulle condizioni ambientali (temperatura, umidità, soleggiamento) in cui si eseguirà il getto stesso.

È bene notare che le condizioni atmosferiche condizionano notevolmente la qualità del calcestruzzo messo in opera; un ambiente molto caldo ( $> 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e secco, così come temperature rigide ( $< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), possono influire negativamente sulla qualità del manufatto.

Poco prima del getto è necessario eseguire un accurato controllo sulle **casseforme**. Esse dovranno:

- possedere le geometrie previste dal progetto;
- essere pulite di detriti e incrostazioni, nonché cosparse di sostanza disarmante, che facilita il distacco della cassaforma al momento del disarmo;
- garantire giunti a tenuta tra i diversi elementi in modo da evitare la fuoriuscita di **boiaccia** (parte liquida della miscela cementizia), che creerebbe irregolarità superficiali del calcestruzzo;

- presentare le dovute distanze dall'armatura di acciaio, in modo da ottenere uno spessore di *copriferro* adeguato alle prescrizioni di progetto.

## CONTROLLI SULLA RESISTENZA IN CANTIERE

### Prelievo di campioni di calcestruzzo fresco

Il calcestruzzo fornito in cantiere deve essere sottoposto a prove di resistenza che ne accertino l'idoneità. A tal fine, dalla normativa vigente, sono prescritti due tipi di controlli, a seconda delle dimensioni delle opere di miscela omogenea:

- controllo di tipo A, per opere < 1500 m<sup>3</sup>;
- controllo di tipo B, per opere > 1500 m<sup>3</sup>.

Nel primo caso (A) si devono operare giornalmente 3 prelievi ogni 300 m<sup>3</sup> di getto; ogni prelievo consiste di due provini di miscela cementizia. Nel secondo caso (B) si operano giornalmente 15 prelievi (30 provini) ogni 1500 m<sup>3</sup> di getto.

Il prelievo dei provini deve essere eseguito alla presenza del Direttore dei lavori o di un suo tecnico di fiducia, che redige un apposito verbale di prelievo e dispone l'identificazione e l'etichettatura dei provini. I provini sono quindi inviati al laboratorio che esegue le prove di resistenza e rilascia la certificazione relativa.

La miscela viene versata in casseforme cubiche dette *cubiere* (di lato 100-300 mm, a seconda della dimensione massima dell'aggregato) con almeno due strati, per ognuno dei quali si esegue una compattazione manuale (almeno 25 colpi di pestello per ogni strato) oppure con vibratore.



Riempimento delle cubiere. Compattazione con vibratore nelle cubiere.

### Prove di laboratorio

Pervenuti in laboratorio, i provini sono conservati per almeno 16 ore (fino a un massimo di 3 giorni) a temperatura di (20±5)°C, proteggendoli da urti, vibrazioni e disidratazione. Vengono quindi rimossi dalla cassaforma e mantenuti in acqua alla temperatura di 20 °C fino al momento della prova di resistenza.

La prova di resistenza a compressione deve essere eseguita su provini con tolleranza di planarità delle facce definita dalle norme; per essere accettabile la prova di rottura deve creare superfici approssimativamente piramidali (per i cubi) e coniche (per i cilindri).



Rottura del cubo con forme piramidali.

La resistenza viene calcolata in base alla media dei valori del carico di rottura verificato sui due provini dello stesso prelievo. Il risultato della prova è positivo quando il valore della resistenza di prelievo soddisfa le relazioni previste dalle norme rispetto al valore di progetto.

In caso contrario si declassa il valore di resistenza prevista dal progettista ( $R_{ck}$ ) al valore verificato nelle prove.

## MESSA IN OPERA

Dopo l'arrivo in cantiere della betoniera che trasporta il calcestruzzo fresco, bisogna eseguire i **controlli di accettazione**, cioè controlli di conformità alle specifiche dell'ordine, in particolare il *controllo della consistenza* (vedi riquadro alla pag. precedente) e il prelievo di campioni per le *prove di resistenza* (vedi riquadro a fianco). Questi controlli devono essere eseguiti dal *Direttore dei lavori* o da un suo incaricato, che opera anche una ispezione visiva sul calcestruzzo. Da questi controlli dipende l'accettazione o il rifiuto della fornitura. In ogni caso al termine dei controlli di accettazione il Direttore dei lavori redige un verbale.

Durante le operazioni di getto il calcestruzzo giunto in cantiere su *betoniera* viene movimentato mediante canalette oppure pompe e tubazioni con terminale flessibile. È importante che l'altezza di caduta libera della malta cementizia nelle casseforme sia contenuta (50-80 cm) al fine di evitare la *segregazione* (separazione degli aggregati dalla malta cementizia), con formazione dei cosiddetti *nidi di ghiaia*, che indeboliscono la struttura.

Bisogna peraltro evitare di gettare il calcestruzzo in cumuli, per poi distenderli. In caso di strutture con spessore superiore ai 30 cm, si dovranno stendere strati uniformi in successione, dopo apposita vibrazione del calcestruzzo.

Infatti dopo la fase di posa di uno strato di calcestruzzo si passa alla *vibrazione* mediante dispositivi (*vibratori*) che eliminano sacche d'aria e segregazione dei componenti. Il terminale del vibratore (*ago*) viene inserito in posizione verticale, evitando di metterlo in contatto con casseforme e armature. La vibrazione deve interessare l'intera massa di conglomerato, spostando l'ago a distanze ravvicinate (7-8 volte il diametro dell'ago). Il tempo di permanenza dell'ago nel conglomerato dipende dalla sua consistenza: a minore consistenza corrisponde un tempo maggiore.



Getto di calcestruzzo.



Compattazione del calcestruzzo mediante vibratore.

## STAGIONATURA

Per **stagionatura** s'intende l'insieme delle azioni messe in opera per consentire la corretta *maturazione* del calcestruzzo, cioè il processo che conduce al suo indurimento.

Dopo il getto bisogna proteggere il calcestruzzo da una rapida disidratazione per evaporazione; a seconda delle condizioni ambientali si può:

- procedere a bagnatura continua delle superfici esterne del manufatto;



## CONTROLLI SULLA RESISTENZA A PIÈ D'OPERA

### Carotaggio

Oltre ai prelievi di calcestruzzo fresco si possono operare dei prelievi di calcestruzzo già indurito.

Questi prelievi vengono eseguiti mediante una *carotatrice*, strumento di perforazione munito di punta a corona diamantata.

I provini cilindrici vengono quindi sottoposti a prove distruttive di compressione.

Il diametro delle carote deve essere almeno 3 volte il diametro massimo degli aggregati. I valori consigliati sono compresi tra 75 e 150 mm.

Il rapporto tra altezza e diametro della carota deve essere compreso tra 1 e 2.

Prima di eseguire la prova su carote bisogna verificare la planarità delle basi e la loro perpendicolarità rispetto all'altezza.

I provini devono essere protetti dall'essiccazione e le prove devono comunque essere eseguite su campioni umidi.



### Prove non distruttive con sclerometro

Per prove di resistenza su calcestruzzo indurito si può utilizzare una tecnica non distruttiva mediante *sclerometro*.

Esso è uno strumento di forma cilindrica, all'interno del quale si trova una molla che aziona un percussore con punta sferica. Poggiando lo strumento perpendicolarmente alla superficie di calcestruzzo, al rilascio della molla il percussore colpisce la superficie e rimbalza. Il rimbalzo viene misurato dalla strumento.

La prova si basa sul fatto che il rimbalzo del percussore è proporzionale alla resistenza a compressione del calcestruzzo; tanto maggiore è il rimbalzo, maggiore è la resistenza a compressione.

Nella zona da controllare si devono eseguire almeno 10 saggi, cercando di evitare i punti con grossi inerti.

Il valore della resistenza si ottiene dalla media delle misurazioni, scartando i valori che si discostano molto dagli altri.

Semplice e veloce, la misurazione sclerometrica è molto adatta a controlli di collaudo, ma non ha valore giuridico; quindi in caso di contestazioni si deve procedere con prove su prelievi mediante carotaggio.



- proteggere il getto con teli di plastica o altro materiale impermeabile;
- mantenere il getto nelle casseforme per il tempo più lungo possibile, evitando periodi prolungati di esposizione a soleggiamento o freddo intenso.



Con il termine *durata della stagionatura* si intende il tempo che intercorre tra il momento della posa in opera e quello del raggiungimento delle

Bagnatura del calcestruzzo in fase di maturazione.

proprietà richieste dal progettista. A titolo esemplificativo, per calcestruzzi con classe di esposizione X0 oppure XC1 (molto favorevoli), a temperatura di 15 - 25 °C sulla superficie, la durata di maturazione può variare da 1 a 5 giorni.

### DISARMO

Il disarmo comprende le operazioni di rimozione delle casseforme e delle strutture di supporto.

Durante queste operazioni, autorizzate dal Direttore dei lavori, bisogna assicurarsi che il calcestruzzo abbia acquisito le proprietà richieste per sopportare i carichi, per evitare deformazioni strutturali e perché non siano danneggiate le superfici durante il disarmo.

È indispensabile che il disarmo proceda gradualmente al fine di evitare bruschi sovraccarichi sugli elementi di supporto contigui a quelli rimossi.



Disarmo di cassaforma di un muro.



Disarmo di cassaforma di un solaio.