



CONTROLLI DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DEL CLS IN OPERA IN ACCORDO ALLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Contestazioni legali

di Luigi Coppola
Facoltà di Ingegneria
Università di Bergamo
Docente di Tecnologia:
University of Applied Sciences
Lugano - Svizzera
luigi.coppola@unibg.it

Con Decreto Ministeriale del 14 settembre 2005, pubblicato sul Supplemento Ordinario n.159 della G.U. del 23 Settembre 2005 sono state approvate le "Norme Tecniche per le Costruzioni" emanate ai sensi della Legge 5 novembre 1086 e della Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974. Rilevanti sono le novità introdotte dal nuovo testo in materia di valutazione delle azioni, di interazione delle opere con il terreno e di sicurezza generale delle costruzioni. Importanti sono anche i cambiamenti apportati alle specifiche prestazionali e alle modalità per il relativo controllo per i materiali e i prodotti da costruzione per uso strutturale cui le nuove Norme Tecniche dedicano l'intero Capitolo 11. In particolare, una rilevante novità relativa al calcestruzzo è quella che concerne (paragrafo 11.1.6) *il valore medio della resistenza meccanica a compressione del conglomerato cementizio valutata direttamente sulle strutture già realizzate (controllo della qualità del calcestruzzo in opera) che deve risultare non inferiore all'85% di R_{ck}* . Il presente capitolo è dedicato ad un approfondimento di questa novità significativa introdotta dal testo, la quale ha implicazioni sia sulla sicurezza strutturale delle opere che sulle responsabilità delle figure coinvolte (direttore lavori, impresa di costruzione e produttore del calcestruzzo).

LA RESISTENZA CONVENZIONALE A COMPRESSIONE UNIASSIALE CARATTERISTICA

Per il progetto delle opere in conglomerato cementizio armato, il calcestruzzo, in accordo anche con quanto già stabilito nei precedenti D.M., viene identificato mediante la **resistenza convenzionale caratteristica a compressione** misurata su provini cubici (lato 150 mm), R_{ck} , definita come *quel particolare valore della resistenza a compressione al di sotto del quale ci si può attendere di trovare al massimo il 5% della popolazione di tutti i valori delle resistenze di prelievo*. La simbologia utilizzata per esprimere la classe di resistenza caratteristica del calcestruzzo in accordo alla EN 206 ed UNI 11104 è $C\ x/y$ dove x ed y rappresentano rispettivamente il valore della resistenza a compressione su cilindri (diametro, $d=150$ mm e altezza, $h=300$ mm), f_{ck} , e quello ottenuto su provini cubici, R_{ck} , in N/mm^2 . La Tabella 1 riporta le classi di resistenza caratteristica previste per il calcestruzzo dalle due normative sopramenzionate unitamente al tipo di struttura cui sono destinate (opere in conglomerato cementizio non armato, a bassa percentuale di armatura¹, armato e precompresso) e alla classificazione del conglomerato in accordo al Capitolo 5 delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Come si può notare, il valore della resistenza meccanica a compressione misurata sui provini cilindrici con rapporto altezza/diametro pari a 2 risulta minore di quello che lo stesso calcestruzzo possiede se nelle prove di schiacciamento vengono utilizzati provini cubici. Per i provini cilindrici ($h/d=2$), infatti, la maggiore snellezza rispetto a quelli cubici, determina durante le prove di schiacciamento un minor confinamento esercitato dalle piastre di acciaio della pressa (per i diversi moduli di elasticità e di poisson calcestruzzo-acciaio) nelle zone centrali che, pertanto, collassano per valori dello sforzo prossimi a quelli ottenibili in prove a regime uniaxiale in assenza di confinamento. Rispetto ai provini cubici, quindi, quelli cilindrici forniscono, per un dato calcestruzzo, valori della resistenza meccanica a compressione più bassi. In linea di massima, si ammette che la resistenza a compressione su cilindri (f_c) risulta all'incirca l'80% (l'83% in accordo alle Norme Tecniche sulle Costruzioni) di quella determinata impiegando provini cubici (R_c): $f_c = 0.83 R_c$

Anche se non esplicitamente ammesso, quindi, il calcestruzzo potrebbe essere specificato dal progettista sulla base della resistenza convenzionale caratteristica a compressione valutata su provini cilindrici con rapporto $h/d=2$ tenendo presente la riduzione che tale resistenza subisce per effetto della geometria del provino cilindrico rispetto a quello cubico.

I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE DEL CALCESTRUZZO "A BOCCA DI BETONIERA" O A PIE' D'OPERA

Prima dell'inizio dei lavori, come già specificato nel precedente D.M. 9.1.96, l'impresa e la direzione lavori debbono accertare che il produttore del calcestruzzo sia in grado di produrre e fornire il conglomerato in accordo alle specifiche di capitolato del progettista (figura 1). Dopo aver accertato che il fornitore del calcestruzzo effettua in produzione i controlli di conformità del conglomerato cementizio la direzione lavori è obbligata ad esercitare un ulteriore controllo di "accettazione" prima dell'inizio dei getti mediante prelievi di calcestruzzo da effettuarsi "a bocca di betoniera" in accordo con una delle due procedure previste dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (G.U. 23.9.05).

La prima, **controllo di accettazione di tipo A**, non ha subito sostanziali modifiche rispetto al precedente D.M. 9.1.96 e stabilisce che un controllo consiste di tre prelievi (ognuno costituito da una coppia di provini) effettuati ogni 100 m³ e ogni giorno in cui è previsto un getto ². Il controllo ha esito positivo se:

$$R_m \geq R_{ck} + 3.5 \quad (\text{N/mm}^2) \quad [1]$$

$$R_1 \geq R_{ck} - 3.5 \quad (\text{N/mm}^2) \quad [2]$$

dove: R_{ck} è il valore caratteristico prescritto dal progettista delle opera (o dal direttore lavori);

R_m e R_1 sono rispettivamente il valore medio e quello minimo delle resistenze di prelievo.

Il controllo di accettazione di tipo B è ammesso nelle co-

Classe di resistenza caratteristica	f_{ck}	R_{ck}	TIPO DI STRUTTURA/(Classe di resistenza qualitativa del calcestruzzo)
C 8/10	8	10	NON ARMATE o A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA/ (Molto bassa)
C 12/15	12	15	
C 16/20	16	20	SEMPLICEMENTE ARMATE/ (Bassa)
C 20/25	20	25	
C 25/30	25	30	SEMPLICEMENTE ARMATE o PRECOMPRESSE/ (Media)
C 28/35	28	35	
C 30/37	30	37	
C 32/40	32	40	
C 35/45	35	45	
C 40/50	40	50	
C 45/55	45	55	SEMPLICEMENTE ARMATE o PRECOMPRESSE/ (Alta)
C 50/60	50	60	
C 55/67	55	67	
C 60/75	60	75	
C 70/85	70	85	ALTISSIMA RESISTENZA
C 80/95	80	95	
C 90/105	90	105	
C 100/115	100	115	

Tabella 1. Classi di resistenza caratteristica previste dalla EN 206, UNI 11104 e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni



1. Struttura del controllo di accettazione del conglomerato cementizio

struzioni con più di 1500 m³ di getto. Il controllo consiste di un prelievo per ogni giorno di getto e di almeno 15 prelievi per ogni 1500 m³. Il controllo è positivo se sono soddisfatte entrambe le disuguaglianze seguenti:

$$R_m \geq R_{ck} + 1.48 \cdot s \quad (\text{N/mm}^2) \quad [3]$$

$$R_1 \geq R_{ck} - 3.5 \quad (\text{N/mm}^2) \quad [4]$$

dove s è lo scarto quadratico medio. E' da notare come, rispetto al precedente D.M. del 9.01.96, nella disequazione [1] il fattore di probabilità (1.48) valeva 1.4. Questa modifica si è resa necessaria per rendere congruente questo valore con quello riportato nelle norme europee per un numero di prelievi pari a 15 coincidente con quello minimo previsto per il controllo di accettazione di tipo B.

MODALITA' DI EFFETTUAZIONE DEI CONTROLLI DI ACCETTAZIONE DEL CONGLOMERATO A "BOCCA DI AUTOBETONIERA" O A PIE' D'OPERA.

Il controllo della resistenza a compressione viene effettuato prelevando in cantiere al momento del getto un volume di calcestruzzo sufficiente a confezionare due provini utilizzando stampi di dimensioni e tolleranze specificate dalla UNI-EN 12390-1. L'impasto introdotto nella cassaforma verrà compattato "a rifiuto", per l'eliminazione dell'aria nell'impasto, e i provini successivamente mantenuti in ambiente a temperatura e umidità controllata ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; U.R. $\geq 95 \%$ oppure in acqua) per 28 giorni (in accordo alla UNI-EN 12390-2), alla scadenza dei quali verranno sottoposti ad una

NOTA ALLE TABELLA

1. Per le opere in calcestruzzo armato non è ammesso l'impiego di calcestruzzi con classe di resistenza inferiore a C12/15. 2. Per le opere in calcestruzzo armato precompresso non è previsto l'impiego di calcestruzzo con classe di resistenza inferiore a C25/30. 3. Ai fini del calcolo statico non potrà essere presa in conto una classe di resistenza superiore a C70/85. Pertanto, l'impiego di calcestruzzi con classi di resistenza superiori è ammesso previo esame e valutazione delle documentazioni di progetto da presentare caso per caso al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

MODALITA' DI PROVA	MOTIVAZIONE
PLANARITA' DELLE FACCE DEI PROVINI E PERPENDICULARITA'	EVITARE ROTTURE DEL PROVINO PER CONCENTRAZIONI DI SFORZO O PER SFORZI DI TRAZIONE GENERATI DA ECCENTRICITA' DEL CARICO
COMPATTAZIONE A RIFIUTO DEL CALCESTRUZZO	ESPULSIONE DELL'ARIA DALL'IMPASTO E RAGGIUNGIMENTO DELLA MASSA VOLUMICA MASSIMA
TRASPORTO DOPO ALMENO 16 h DAL CONFEZIONAMENTO	EVITARE CHE SI FORMINO MICROFESSURAZIONI NEL CALCESTRUZZO FRESCO PER EFFETTO DEGLI URTI DOVUTI AL TRASPORTO SU STRADE ACCIDENTATE
MATURAZIONE A 20 °C	EVITARE CHE TEMPERATURE COSTANTEMENTE FREDE O TEMPERATURE ELEVATE DURANTE I PRIMI GIORNI DAL GETTO PENALIZZINO LA RESISTENZA A 28 GG.
MATURAZIONE IN ACQUA O IN AMBIENTE CON U.R. > 95%	EVITARE LA COMPARSA DI FESSURAZIONI E GARANTIRE UNA CORRETTA IDRATAZIONE DEL CEMENTO

2. Modalità di esecuzione delle prove di schiacciamento per la determinazione della resistenza caratteristica del conglomerato a "bocca di betoniera"

prova di schiacciamento in accordo alla UNI-EN 12390-3 e 4. Il valore medio della resistenza a compressione ottenuto su due provini derivanti da un dato prelievo viene indicato come "resistenza di prelievo, R_{cp} "³.

Se non diversamente specificato, la maturazione dei provini di calcestruzzo da sottoporre a schiacciamento si intende che venga protratta per 28 giorni. In casi specifici il progettista o il direttore lavori potrà definire, in aggiunta al valore convenzionale caratteristico a 28 giorni, una resistenza convenzionale a tempi diversi e con modalità di maturazione del conglomerato differenti da quelle specificate nella norma UNI-EN 12390-2. Ad esempio, è il caso di calcestruzzi destinati a strutture che debbono, per esigenze di cantiere, essere disarmate in tempi brevi. In questo contesto una prescrizione di resistenza convenzionale caratteristica a 7 giorni, ad esempio, in aggiunta a quella richiesta ai 28 è auspicabile per poter effettuare le operazioni di disarmo in totale sicurezza.

Relativamente alla temperatura di maturazione dei provini sui quali effettuare la determinazione del valore convenzionale caratteristico a compressione, se non diversamente specificato, deve intendersi compresa nell'intervallo 20 ± 2 °C. In particolari contesti quali, ad esempio, getti da realizzarsi nel periodo freddo, quando le cinetiche del processo di idratazione vengono rallentate e, conseguentemente, lo sviluppo delle resistenze è più lento, può essere opportuno per esigenze di cantiere specificare anche un valore caratteristico a compressione da determinarsi su provini maturati a temperatura diversa da quella canonica di 20 °C.

OBIETTIVI DEL CONTROLLO DI ACCETTAZIONE E RESPONSABILITÀ DELLE FIGURE COINVOLTE

In assenza di prescrizioni specifiche, quindi, i controlli di accettazione (figura 2) vengono effettuati su provini cubici (oppure cilindrici):

A) **confezionati compattando l'impasto introdotto nelle casseforme "a rifiuto"**. Questa modalità di confezionamento è finalizzata ad eliminare completamente l'aria presente nell'impasto con l'intento di conseguire per il calcestruzzo la massima densità possibile. Ogni riduzione del valore della massa volumica del conglomerato rispetto a quello che corrisponde alla compattazione a rifiuto, infatti, finirebbe per produrre una riduzione della resistenza a compressione di circa il 6-7 % rispetto a quella conseguibile dal conglomerato contraddistinto dalla massima densità.

B) **maturati alla temperatura di 20 ± 2 °C**. Il soddisfacimento di questa condizione è finalizzata ad eliminare l'effetto della temperatura sul valore della resistenza meccanica a compressione. In particolare, con questa prescrizione sulla temperatura di maturazione la normativa vuole evitare che, ad esempio, maturando il calcestruzzo a temperature costantemente troppo basse (ad esempio quella di provini lasciati maturare in cantiere durante i periodi invernali con una temperatura media di 10°C) il valore della resistenza a 28 giorni risulti penalizzato per il ridotto grado di idratazione del cemento. Non meno critica è la situazione di provini di calcestruzzo maturati ad una temperatura troppo elevata (ad esempio, perché lasciati in cantiere d'estate in spiazzi non protetti a temperature di 35°C). Per questi provini, infatti, l'elevata temperatura se, da una parte produrrebbe un'accelerazione del processo di idratazione a breve termine, dall'altra finirebbe per penalizzare la resistenza meccanica a lungo termine, proprio cioè nel momento in cui il provino dovrebbe essere sottoposto alle prove di schiacciamento per la verifica della conformità al valore caratteristico prescritto;

C) **maturati in ambiente con U.R. > 95 % oppure in acqua**. Questa condizione serve a creare l'ambiente ottimale per il processo di idratazione del cemento evitando che l'esposizione ad atmosfere insature di vapore possa, per effetto dell'evaporazione di acqua dal calcestruzzo verso l'ambiente esterno, determinare sia una riduzione del grado di idratazione che la comparsa di eventuale fessurazioni nel provino. Entrambe queste evenienze, infatti, finirebbero per determinare una penalizzazione del valore della resistenza meccanica a compressione del conglomerato.

In definitiva, quindi, il rispetto delle tre condizioni sopramenzionate nel confezionamento e nella maturazione dei provini ha come obiettivo quello di far sì che la resistenza meccanica a compressione di prelievo desunta dalle prove di schiacciamento dipenda esclusivamente dai parametri composizionali dell'impasto quali il rapporto a/c , il tipo e la classe di cemento, tipo e dosaggio di eventuali aggiunte pozzolaniche o idrauliche di cui è responsabile il produttore del calcestruzzo.

Il controllo di accettazione così concepito ha una duplice valenza:

> da una parte serve a stabilire se il calcestruzzo fornito è conforme alla resistenza caratteristica prescritta dal progettista utilizzata nei calcoli strutturali, per il rispetto della durabilità dell'opera ed, in generale, per il rispetto dei livelli di sicurezza prefissati per una determinata opera/elemento strutturale (**VALENZA DI SICUREZZA STRUTTURALE**);

> dall'altra il controllo di accettazione ha anche una **VALENZA CONTRATTUALE** per stabilire se il calcestruzzo fornito dal produttore corrisponde a quello concordato con la stipula del contratto di acquisto/fornitura (generalmente tra impresa esecutrice e fornitore del conglomerato).

Al direttore lavori è fatto obbligo di effettuare i prelievi per il controllo di accettazione del calcestruzzo secondo le procedure definite dalle Norme Tecniche e precedentemente menzionate per il controllo di tipo A e B. Val la pena di sottolineare che tali controlli possono essere eseguiti dalla Direzione Lavori senza necessitare di alcun contraddittorio con il fornitore del calcestruzzo. Se, invece, l'impresa volesse eseguire degli ulteriori prelievi con l'intento di verificare la rispondenza del calcestruzzo al contratto di acquisto stipulato (verifica del patto contrattuale) è tenuta ad effettuarli in presenza e, quindi, in contraddittorio con il fornitore del conglomerato che potrà decidere se prelevare anch'egli dei provini da sottoporre alle prove di schiacciamento.

Resta inteso che i prelievi effettuati dalla Direzione Lavori hanno un duplice valore in quanto:

> la Direzione lavori li utilizzerà per controllare che la resistenza meccanica del calcestruzzo fornito sia conforme al valore prescritto dal progettista per il rispetto dei livelli di sicurezza generale delle strutture;

> l'acquirente (generalmente l'impresa) potrà utilizzarli per valutare se il calcestruzzo fornito è congruente con quello pattuito commercialmente con il produttore.

Eventuali non conformità evidenziate dai valori di resistenza a compressione, misurati con le modalità sopra descritte, su provini prelevati a "bocca di betoniera" o a piè d'opera, rispetto alla resistenza caratteristica a compressione prescritta dal progettista e pattuita tra acquirente e fornitore, ricadono senza alcuna ombra di dubbio sotto l'esclusiva responsabilità del produttore di calcestruzzo. In questa situazione, quindi, al calcestruzzo fornito:

> si applicherà con certezza una penale corrispondente al minor valore per la più bassa resistenza caratteristica posseduta dall'impasto fornito rispetto a quello prescritto;

> verranno accollati al produttore del calcestruzzo anche tutti gli altri oneri eventuali derivanti dalla minore resistenza caratteristica fornita e configurabili in eventuali interventi di consolidamento delle strutture oppure nella loro demolizione.

LA DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA A COMPRESSIONE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Al fine di stabilire quali provvedimenti adottare per le strutture nell'eventualità che il controllo di accettazione abbia dato

esito negativo, ma anche in quei casi in cui il Direttore Lavori ritiene necessario valutare le prestazioni del calcestruzzo in opera ancorché i controlli eseguiti sui provini prelevati a "bocca di betoniera" abbiano dato esito positivo (figura 1), le Norme Tecniche per le Costruzioni indicano che si "... potrà procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso delle prove non distruttive" come, peraltro, veniva già prescritto nel precedente D.M. del 9 Gennaio 1996. La novità sostanziale introdotta dalle recenti Norme Tecniche consiste, invece, nel fatto che **Il valore medio della resistenza del calcestruzzo in opera, determinato mediante le procedure descritte dalla norma EN 12504 parte 1 e 2, debitamente trasformato in resistenza cubica, non deve essere inferiore all'85% della R_{ck} prescritta misurata sui provini cubici prelevati a bocca di betoniera.**

Prima di spiegare in dettaglio il significato di questa prescrizione è opportuno chiarire con quali modalità si può procedere alla misura della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera (definito dalle norme come "**valore attuale**"). Le norme indicano sostanzialmente due possibilità:

> il prelievo e successivo schiacciamento di "carote" di calcestruzzo prelevate dalle strutture con utensile (figura 3) a corona diamantata (norma EN 12504-1);

> la determinazione della resistenza attraverso correlazioni tra la stessa e l'indice di rimbalzo misurato sulle strutture mediante il martello di Schmidt (*sclerometro*) in accordo a quanto indicato dalla norma EN 12504-2.

Alla luce delle notevoli incertezze segnalate in numerosi lavori sperimentali nel correlare l'indice di rimbalzo misurato con lo sclerometro con la resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo⁴, qui di seguito si parlerà esclusivamente dei controlli in opera basati sulla determinazione della resistenza a compressione su carote prelevate dalle strutture in accordo alla EN 12504-1. Secondo questa normativa:

> se la resistenza caratteristica prescritta dal progettista fosse stata riferita a provini cilindrici ($h/d=2$), come potrebbe avvenire in altri paesi dove questi provini sono generalmente impiegati, le carote da estrarre dalle strutture in opera debbono essere omogenee dal punto di vista geometrico con i provini cilindrici ($d=150$ mm e $h=300$ mm) confezionati a bocca di



3. Prelievo di carote da un plinto di fondazione