



TECNO IN – GEOSOLUTIONS - CASE HISTORY

La valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera: dalla resistenza del campione cilindrico prelevato mediante carotaggio alla resistenza cubica

La classificazione del calcestruzzo in termini di resistenza a compressione, sino all'entrata in vigore delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2008), è stata basata esclusivamente sulla resistenza cubica, ossia la resistenza a compressione di un provino di forma cubica di lato 15 o 20 cm. Da ciò discende la definizione di *Resistenza caratteristica cubica* R_{ck} , ossia quel particolare valore della resistenza a compressione al di sotto del quale ricade solo il 5% dell'insieme di tutti i valori delle resistenze di prelievo (frattile inferiore al 5%).

Le nuove norme tecniche classificano il calcestruzzo con un doppio parametro, che indica sia la resistenza caratteristica cilindrica, sia la resistenza caratteristica cubica. Ad esempio un calcestruzzo di classe C25/30 ha una resistenza caratteristica cilindrica di 25 MPa ed una resistenza caratteristica cubica di 30 MPa. Parimenti alla resistenza cubica, la resistenza cilindrica f_{ck} viene determinata utilizzando provini cilindrici di 150 mm di diametro e 300 mm di altezza ($H/D = 2$). Tra i due valori esiste la seguente relazione:

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck} \text{ (per } H/D \geq 2)$$

La differenza tra questi due valori dipende fondamentalmente dal diverso stato tensionale che si genera nel provino a seguito delle prove di compressione, che dipende dal fatto che i provini cubici sono tozzi mentre quelli cilindrici sono snelli.

Tali definizioni sono pienamente applicabili nell'ambito dei controlli di accettazione del calcestruzzo confezionato, mentre mal si prestano all'accertamento della resistenza meccanica di un calcestruzzo in opera. Infatti la determinazione della resistenza di tale calcestruzzo, tralasciando le tecniche di stima per via non distruttiva (che in ogni caso non possono intendersi sostitutive dei controlli di accettazione), viene effettuata su campioni cilindrici di calcestruzzo estratti mediante carotaggio.

Le operazioni di prelievo sono regolamentate dalla norme UNI 6131:1987, UNI EN 12390-1:2002 e UNI EN 12504-1:2002, che forniscono chiare indicazioni sul diametro dei provini e sulla velocità di penetrazione del carotiere al fine di limitare il danneggiamento del campione, correntemente indicato come "disturbo". Una volta prelevati, i campioni vengono trasferiti in laboratorio per essere sottoposti a prova; si esegue preliminarmente il taglio per il ricavo di provini con un rapporto altezza/diametro univoco (1/1 o 1/2) onde rendere confrontabili, in termini di snellezza, i dati di resistenza alla pressa.

Riferimenti

Lucio Amato *Direzione Tecnica*
Alessandro Sorrentino
Luciano Ardito

Clienti

Ingegneri, architetti, geometri,
CTU

Contesto

Strutture in c.a. esistenti

Approccio e soluzioni

Determinazione della resistenza del calcestruzzo in opera in termini di resistenza cubica, a partire dalla resistenza a compressione su provini ricavati da operazioni di carotaggio e comparazione tra le varie formulazioni proposte

Successivamente vengono eseguite tutte le misurazioni geometriche per verificare che il campione da sottoporre a prova rientri nei limiti di tolleranza previsti dalle norme: diametro, altezza, perpendicolarità della generatrice del cilindro rispetto le basi, planarità e parallelismo delle superfici sottoposte a carico.

Nel caso in cui il provino non soddisfi gli ultimi due requisiti, si esegue la rettifica mediante molatura o la "cappatura". Al termine di tali fasi i provini vengono sottoposti alla prova a compressione mediante una pressa idraulica conformemente a quanto prescritto dalle norme

UNI EN 12390-3:2003, UNI EN 12390-4:2002 e UNI EN 12504-1:2002.

Il valore di resistenza a compressione così ottenuto, non va quindi confuso con la resistenza cilindrica. La carota di calcestruzzo, infatti, a differenza di un provino confezionato in uno stampo di forma cilindrica, all'atto della prova a compressione risente principalmente dell'azione di disturbo provocata dal sezionamento degli aggregati disposti in corrispondenza della superficie cilindrica, i quali vengono privati dell'azione di confinamento dell'impasto cementizio.

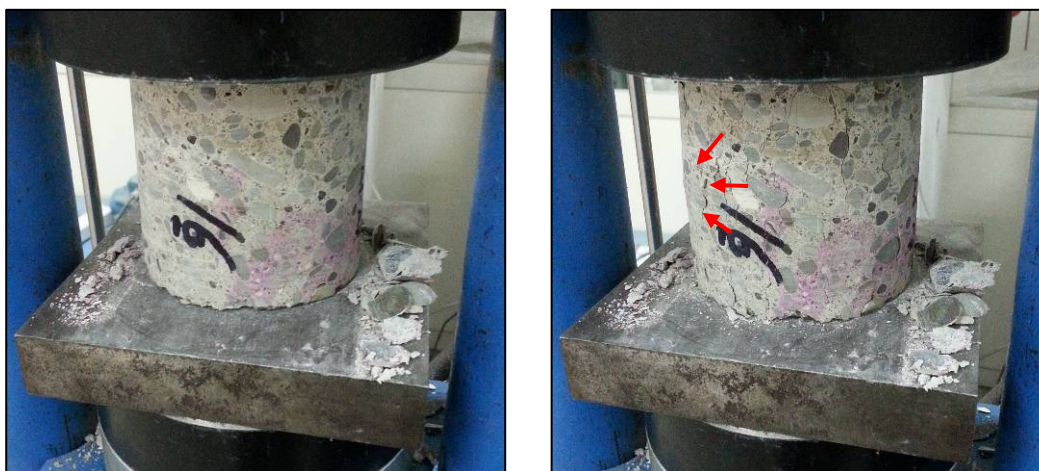


Fig. 1. Effetti del sezionamento degli aggregati nel corso della prova a compressione

Si comprende quindi che, per ottenere un valore della resistenza cubica a partire dalla tensione di rottura della carota, bisogna passare per una formulazione più o meno empirica, derivante da uno studio condotto su base sperimentale. A tal fine esistono varie formulazioni per operare tale corrispondenza che, con modalità differenti, tengono in conto i vari fattori che possono condizionare la conversione. Tra i fattori più richiamati si ricordano:

- la snellezza del provino;
- il verso di prelievo rispetto alla direzione del getto;
- le dimensioni della carota;
- il disturbo operato dal carotaggio sul materiale campionato durante la fase di prelievo.

Confrontando le varie formule desumibili da testi tecnici, circolari e normative varie, appare evidente l'eterogeneità con cui tali metodi di conversione tengano in conto tali fattori utilizzando coefficienti di differente natura e

peso. A ciò va aggiunto che le formule considerano tali elementi in diversa misura, trascurandone alcuni e considerandone altri, traducendo il tutto in una disparità di trattamento del dato originario (R_{carota}) ed una più articolata confrontabilità con il dato progettuale (R_{ck}).

Premesso ciò, si pone ora il problema di come confrontare il dato convertito alla resistenza cubica di progetto (R_{ck}); la normativa prevede che le resistenze desunte con le predette formulazioni possano risultare inferiori alla resistenza cubica di progetto; infatti le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14 Gennaio 2008), al paragrafo 11.2.6 *Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera*, citano testualmente: "Il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in condizioni di laboratorio (definita come resistenza potenziale). È

accettabile un valore medio della resistenza strutturale, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive) e debitamente trasformata in resistenza cilindrica o cubica, non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto. Per la modalità di determinazione della resistenza strutturale si potrà fare utile riferimento alle norme UNI EN 12504-1:2002, UNI EN 12504-2:2001, UNI EN 12504-3:2005,

UNI EN 12504- 4:2005 nonché alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici".

Di seguito si riportano alcune formulazioni proposte da vari enti normativi e da vari autori.

(1) British Standard 1881 (1983):

$$R_{ck} = K_1 \frac{R_{carota}}{0,83 \cdot \left(1,5 + \frac{d}{h}\right)}$$

dove:

$K_1 = 2,5$ per perforazione eseguita in orizzontale o $2,3$ per perforazione eseguita in verticale;

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

(2) Circolare ANAS 14/88:

$$R_{ck} = 1,5 \cdot K_2 \frac{R_{carota}}{0,83 \cdot \left(1,5 + \frac{d}{h}\right)}$$

dove:

$K_2 = 2,00$ per perforazione eseguita in orizzontale o $1,84$ per perforazione eseguita in verticale;

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

(3) B. Barbarito:

$$R_{ck} = \frac{K_2 \cdot \Phi \cdot \Psi}{\left(1,5 + \frac{d}{h}\right)} R_{carota}$$

dove:

$K_2 = 2,00$ per perforazione eseguita in orizzontale o $1,84$ per perforazione eseguita in verticale;

Φ = coefficiente di passaggio tra resistenza cilindrica e cubica (effetto forma);

Ψ = coefficiente di compattazione, pari a $1,5$;

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

(4) NTC 2008, par. 11.2.6 - Circolare par. C11.2.6:

$$R_{ck} = \frac{R_{carota}}{\left(\frac{h}{d} - 1\right) \cdot 0,83 - \left(\frac{h}{d} - 2\right)}$$

dove:

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

(5) A.C.I. 214.4R-03 (2003):

$$R_{ck} = \frac{F_{l/d} \cdot F_{dia} \cdot F_{mc} \cdot F_d}{0,83} R_{carota}$$

dove:

$F_{l/d}$ = correzione per forma e umidità del provino, pari a:

$$1 - (0,130 - \alpha \cdot R_{carota}) \cdot \left(2 - \frac{h}{d}\right)^2 \text{ per umidità del provino come prelevato, con } \alpha = 4,3 \cdot 10^{-4};$$

F_{dia} = correzione per diametro della carota, pari a 1,00 per diametro pari a 100 mm;

F_{mc} = correzione per umidità, pari a 1,00 per umidità analoga alla condizione di prelievo;

F_d = correzione per disturbo dovuto al prelievo, pari a 1,06;

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

(6) N. Augenti (2003):

$$R_{ck} = \frac{0,83 \cdot (R_{carota})^{1,10}}{c}$$

dove:

c = coefficiente che tiene conto dell'influenza esercitata dalle dimensioni del provino, che varia nell'intervallo $[0,92 \div 1,00]$ per h/d compreso nell'intervallo $[1,00 \div 2,00]$.

(7) N. Augenti - R. Pucinotti (2003):

$$R_{ck} = 1,10 \cdot K_2 \frac{R_{carota}}{0,83 \cdot \left(1,5 + \frac{d}{h}\right)}$$

dove:

$K_2 = 2,00$ per perforazione eseguita in orizzontale o $1,84$ per perforazione eseguita in verticale;

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

(8) Concrete Society (1987):

$$R_{ck} = 1,25 \cdot K_2 \frac{R_{carota}}{0,83 \cdot \left(1,5 + \frac{d}{h}\right)}$$

dove:

$K_2 = 2,00$ per perforazione eseguita in orizzontale o $1,84$ per perforazione eseguita in verticale;

d = diametro del provino;

h = altezza del provino.

Questa formula è equivalente a quella proposta dalla British Standard (1).

Analisi e confronto delle formule

Di seguito si riportano quattro grafici esemplificativi indicanti i valori di resistenza cubica determinati utilizzando tali formulazioni. Il primo grafico si riferisce a prove eseguite su campioni cilindrici prelevati in orizzontale aventi rapporto altezza/diametro pari a 2; il secondo grafico si riferisce a prove eseguite su campioni cilindrici prelevati in orizzontale ma aventi rapporto altezza/diametro pari a 1; il terzo grafico si riferisce a prove eseguite su campioni cilindrici prelevati in verticale aventi rapporto altezza/diametro pari a 2; il quarto grafico si riferisce a prove eseguite su campioni cilindrici

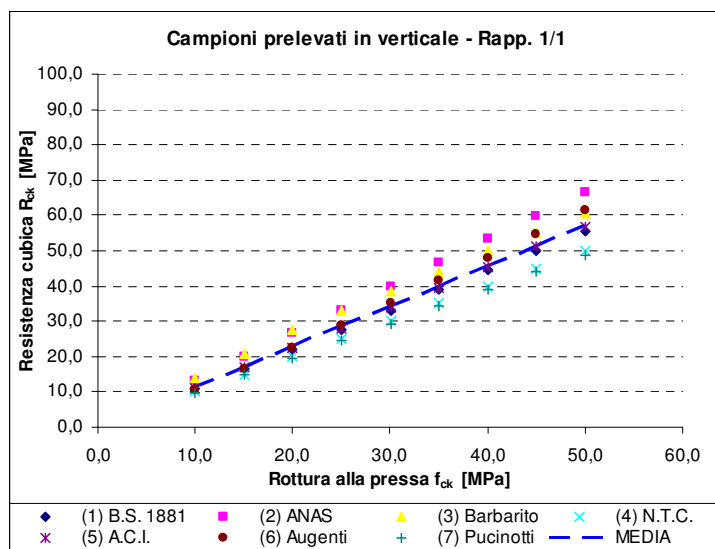
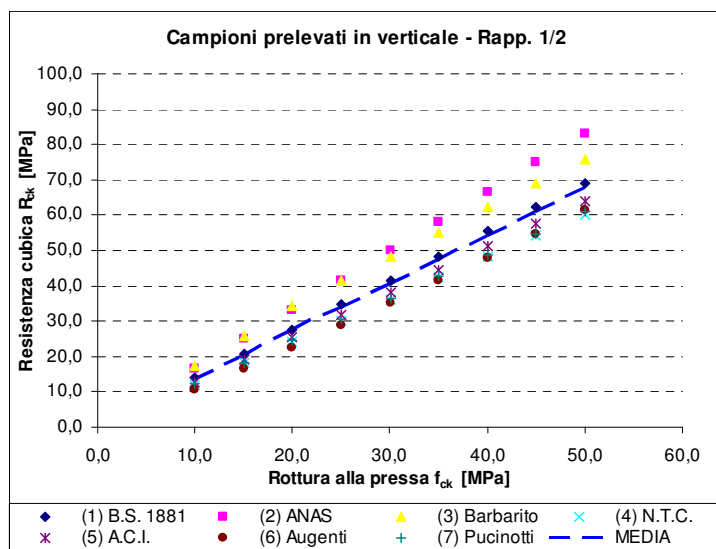
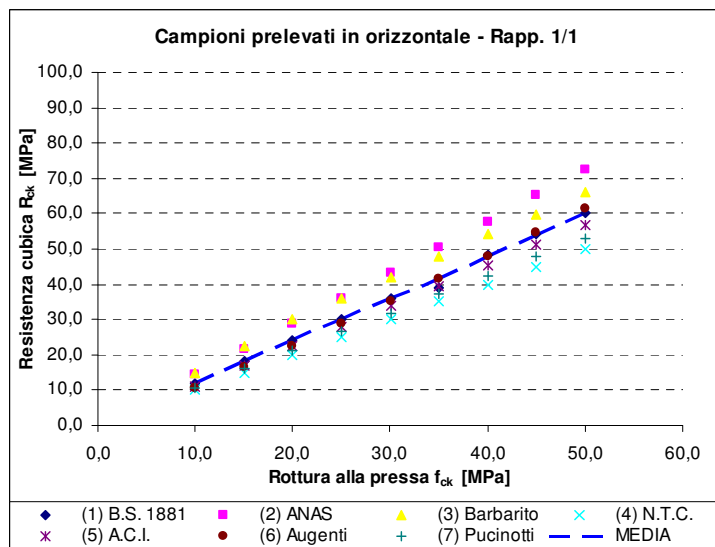
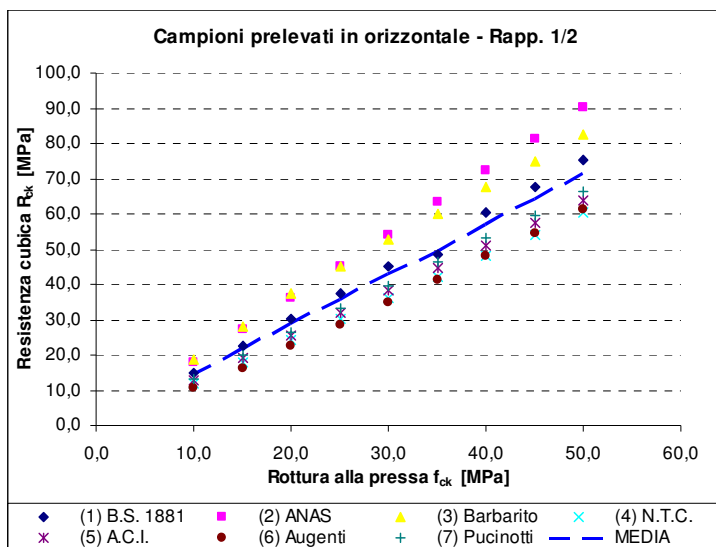
prelevati in verticale ma aventi rapporto altezza/diametro pari a 1.

Dalla comparazione dei valori di R_{ck} ottenuti partendo da valori di rottura alla pressa R_{carota} che vanno da 10 a 50 MPa, si evince che i valori di resistenza cubica ricavati dalle varie formulazioni subiscono degli incrementi medi percentuali, rispetto alla resistenza rilevata alla pressa, che variano da un minimo del 15% ad un massimo del 81% per i campioni aventi rapporto altezza/diametro pari a 2 estratti orizzontalmente; da un minimo dello 0% (eguaglianza dei valori) ad un massimo del 45%

per i campioni aventi rapporto altezza/diametro pari a 1 estratti in orizzontale; da un minimo del 15% ad un massimo del 66% per i campioni aventi rapporto altezza/diametro pari a 2 estratti verticalmente; da un minimo di -2% (lieve riduzione) ad un massimo del 33% per i

campioni aventi rapporto altezza/diametro pari a 1 estratti in verticale.

In tutti i casi quella che maggiormente si avvicina al valor medio tra le varie formulazioni è quella proposta dalla British Standard, non a caso una tra quelle maggiormente adoperate.





COMPANY PROFILE



www.tecnoin.it tecnoin@tecnoin.it



TECNO IN S.p.A. Geosolutions

- **SAN DONATO MILANESE (MI)**
Via Marcora 52 – 20097
Tel. 02.49680501 - Fax. 02.49680502
- **NAPOLI**
Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi 11 - 80142
Tel. 081.5634520 - Fax. 081.5633970
- **PORTO TORRES (SS)**
P.zza Garibaldi 14 – 07046
Tel. 346.0363883

TECNO IN Mozambique Lda
Rua Brado Africano, 41, Maputo, Mozambique

Direzione Tecnica Lucio Amato ✉ amato@tecnoin.it



www.tecnoin.it

San Donato Milanese (MI)
20097 - Via Marcora, 52
Tel. +39 02.496.80.3501

Napoli
80142 - II Trav. S. Anna alle
Paludi, 11
Tel. +39 081.563.45.20