

IL CONTROLLO DI ACCETTAZIONE SUL CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO

Parte II – Calcestruzzo a prestazione

M. Collepari – Politecnico di Milano

E-mail: mario.collepari@polimi.it

In un precedente articolo (Parte I) sono stati discussi e criticati i controlli di accettazione sul calcestruzzo a composizione, previsti in realtà dalla UNI 9858 solo per i calcestruzzi normali, ma spesso abusivamente estesi anche al calcestruzzo armato e armato-precompresso.

In questo articolo (Parte II) vengono esaminati i controlli di accettazione sul calcestruzzo a prestazione e l'importanza che giuoca il ruolo dell'impresa nella messa in opera ed in particolare nella costipazione del conglomerato fresco all'interno delle casseforme.

Le più importanti prestazioni prese in considerazione per il controllo di accettazione sono:

- **classe di resistenza** (alias R_{ck})
- **classe di esposizione** (alias durabilità)
- **classe di consistenza** (alias lavorabilità)

Se chi prescrive il calcestruzzo, in relazione allo spessore di copriferro, potesse aggiungere anche l'indicazione del diametro massimo (D_{max}) dell'aggregato e la classe di cemento, oltre alla indicazione delle tre *classi* di prestazione, il produttore di calcestruzzo avrebbe a disposizione tutti gli elementi necessari per elaborare il *mix-design* più adeguato alla produzione del conglomerato cementizio (Fig. 1): in sostanza dalle tre classi prestazionali del calcestruzzo, dal D_{max} dell'aggregato e dalla classe di resistenza del cemento si arriva alla composizione in termini di dosaggio di acqua (**a**), di cemento (**c**) e di inerte (**i**).

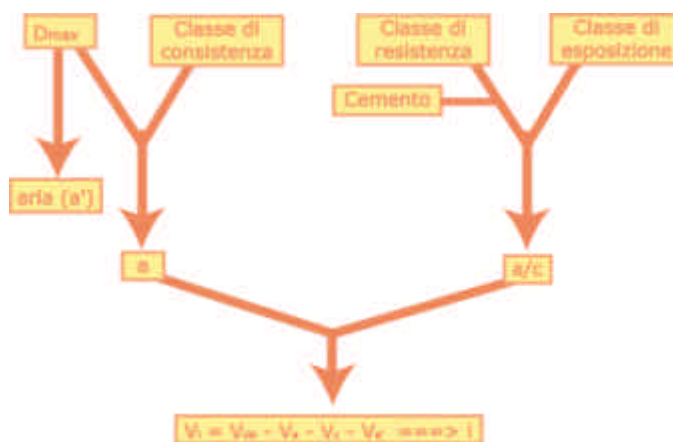


Fig. 1 – Elaborazione del mix-design: dalle classi prestazionali, dal D_{max} e dalla classe di resistenza del cemento per arrivare alla composizione (a, c, i).

Occorre subito precisare che il fatto di produrre un calcestruzzo in conformità ai criteri di accettazione sopra menzionati (tre classi + D_{max} + cemento) **non necessariamente** significa che nella struttura reale (trave, muro, pilastro, pavimento, ecc.) sia presente il calcestruzzo prescritto. Infatti, esistono altre due operazioni che seguono il getto del calcestruzzo – la compattazione e la stagionatura – le cui esecuzioni ricadono sotto la responsabilità dell'impresa e che possono influenzare in modo determinante il comportamento in servizio della struttura.

In sostanza, il controllo di accettazione del calcestruzzo attraverso la misura delle prestazioni (R_{ck} , classe di consistenza, ecc.) può solo verificare se il conglomerato fornito è conforme o meno alle prestazioni concordate tra preconfezionatore ed impresa ma non può garantire che anche il calcestruzzo in opera sia altrettanto prestazionale.

In altre parole la verifica, per esempio, che il calcestruzzo fornito dal preconfezionatore presenti la classe di resistenza prescritta (misurata attraverso la R_{ck} dei provini) è **condizione necessaria ma non sufficiente** perché anche la struttura presenti la stessa resistenza meccanica. Infatti, la misura della R_{ck} si riferisce solo alla determinazione della resistenza meccanica dei provini (cubetti o cilindri) prelevati al momento del getto, compattati a rifiuto, stagionati a umido a 20°C con U.R. $\geq 95\%$. La R_{ck} non può pertanto essere assolutamente determinata dalla resistenza meccanica delle carote estratte dalla struttura (1).

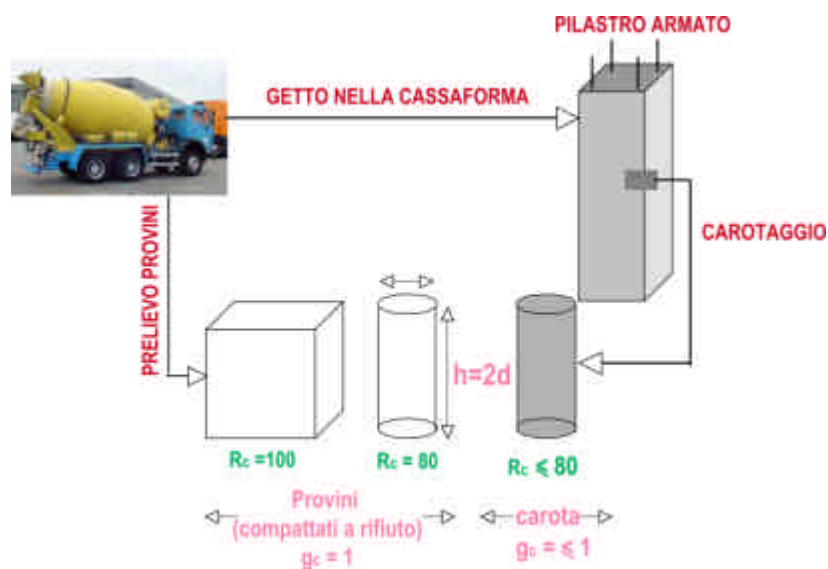


Fig. 2 – Correlazione tra resistenza meccanica (R_c) dei provini (cubici e cilindrici) e quella della carota estratta dalle strutture.

L'esempio mostrato in Fig. 2 indica che la resistenza meccanica della carota (R_{ca}) estratta dalla struttura reale (pilastro) è al massimo eguale a quella del provino cilindrico (R_{ci}) che, a sua volta, equivale all'80% circa della resistenza meccanica del provino cubico (R_{cu}):

$$R_{ca} \leq R_{ci} \approx 0.80 R_{cu} \quad [1]$$

Tra R_{ca} ed R_{ci} nella [1] ci sarà un segno di eguaglianza o di disuguaglianza a seconda che il calcestruzzo della struttura rispettivamente abbia o meno subito lo stesso trattamento di costipazione a rifiuto e di stagionatura umida. Per analizzare l'influenza della sola costipazione nella Tabella 1 sono mostrati i valori di resistenza meccanica della

struttura (R_{ca}), e dei provini (R_{cu} ed R_{ci}) in relazione ad un diverso **grado di compattazione**, ma stagionati nelle stesse condizioni (20°C ; U.R. = 95%).

Il grado di compattazione (g_c) cioè, in pratica, l'efficienza dell'impresa nel costipare la struttura reale, può essere oggettivamente determinato dal rapporto tra la massa volumica M_v del calcestruzzo della carota estratta dalla struttura e quella M_{v0} del calcestruzzo nel provino costipato a rifiuto.

Tabella 1 – Influenza del grado di compattazione (g_c) sulla resistenza meccanica del calcestruzzo.

Determinazione effettuata su:	Massa volumica (kg/m ³)	$g_c = M_v/M_{v0}$	Resistenza a compressione (N/mm ²)
Provino cubico confezionato al momento del getto e compattato a rifiuto	$M_{v0} = 2400$	1.00	30
Provino cilindrico confezionato al momento del getto e compattato a rifiuto	$M_{v0} = 2400$	1.00	24
Carota n° 1 estratta dalla struttura	$M_v = 2330$	0.97	19 (-20%)
Carota n° 2 estratta dalla struttura	$M_v = 2280$	0.95	17 (-30%)
Carota n° 3 estratta dalla struttura	$M_v = 2160$	0.90	12 (-50%)

I dati della Tabella 1 indicano che, i valori di resistenza della carota (cioè della struttura) risultano tanto più bassi di quelli del provino cilindrico (equivalenti a quelli del "cubetto" moltiplicati per 0.80) quanto minore è il grado di compattazione della struttura (2). Il calo della resistenza meccanica della carota, rispetto al corrispondente valore sul provino cilindrico, è del 20% già con un lieve difetto di compattazione in opera ($g_c = 0.97$) e raggiunge il 50% con un difetto di compattazione piuttosto elevato ($g_c = 0.90$) come è testimoniato dalla bassa massa volumica della carota (2160 kg/m³) rispetto al provino compattato a rifiuto (2400 kg/m³).

Il grado di compattazione, a sua volta, è funzione dell'efficacia della vibrazione esercitata dalla manodopera sul cantiere ma anche della capacità del calcestruzzo a farsi "docilmente" compattare (cioè della lavorabilità del calcestruzzo fresco).

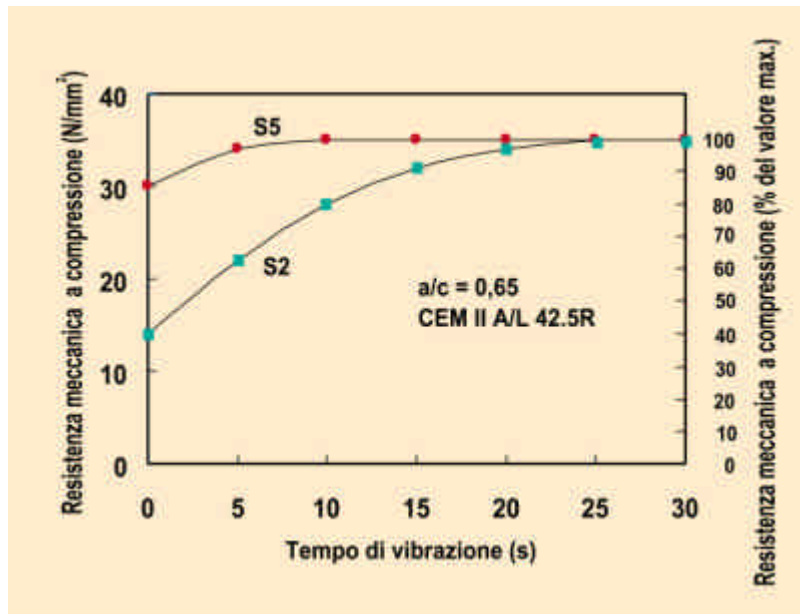


Fig. 3 – Resistenza meccanica a compressione a 28 giorni per calcestruzzi con classe di consistenza S2 (senza additivo) ed S5 (con 0.8% di additivo superfluidificante) in funzione del tempo di vibrazione.

La Fig. 3 mostra come varia la resistenza meccanica del calcestruzzo in funzione del tempo di vibrazione del calcestruzzo fresco, che è un aspetto della efficienza dell'impresa nel compattare, e della classe di consistenza (S2 ed S5) che è un aspetto della capacità del calcestruzzo a farsi compattare. Si può notare che la scelta di un calcestruzzo superfluidificante (S5) è tanto più importante quanto più scadente è l'efficienza della manodopera esercitata nel vibrare il calcestruzzo: per esempio, con una vibrazione di soli 5 secondi; si raggiunge il 100% della resistenza meccanica possibile (35 MPa) se si adotta una classe di consistenza S5, e solo il 62% di questo valore (22 MPa) se si adotta un calcestruzzo di consistenza S2.

D'altra parte, se la manodopera sul cantiere fosse molto efficiente, se per esempio la vibrazione fosse molto prolungata (> 25 sec. in Fig. 3), il risultato prestazionale in termini di resistenza meccanica non dipenderebbe dalla lavorabilità del calcestruzzo (S2 oppure S5) e raggiungerebbe in entrambi i casi il 100% del massimo valore ottenibile (35 MPa).

L'importanza della lavorabilità del calcestruzzo fresco nel condizionare il risultato prestazionale del calcestruzzo in opera (carota estratta dalla struttura), rispetto a quello misurato sui provini ("cubetti" o "cilindri"), è testimoniato (3) dalla crescente attenzione prestata allo sviluppo dei calcestruzzi auto-compattanti (SCC). Infatti, la lavorabilità di questi calcestruzzi è così elevata che, anche in assenza di una qualsiasi compattazione, la resistenza meccanica della struttura (misurata attraverso R_{ca}) coinciderebbe con la resistenza meccanica dei provini (R_{ci}).

Oltre alla compattazione del calcestruzzo in opera, c'è un altro aspetto che riguarda la responsabilità dell'impresa: la stagionatura del calcestruzzo subito dopo la rimozione dalle casseforme. In questo articolo è stata presa in esame solo l'influenza della compattazione, avendo ipotizzato in Tabella 1 una stagionatura della struttura tanto accurata (U.R. ³ 95%) quanto quella dei provini.

In un prossimo articolo esamineremo l'influenza della stagionatura sulle prestazioni della struttura ed in particolare sulla durabilità delle opere in c.a. e c.a.p.

BIBLIOGRAFIA

- (1) M. Collepari, *Cubetti o Carote?*, L'Industria Italiana del Cemento, n° 685, pp. 131-132, Febbraio, 1994.
- (2) M. Collepari, "*L ... come Lavorabilità*", Enco Journal, N. 10, 1999.
- (3) L. Coppola, "*La reologia ed il proporzionamento dei calcestruzzi autocompattanti / rheology and mix proportioning of self-compacting. Concretes*", L'Industria Italiana del Cemento, n° 762, pp. 152-163, Febbraio, 2001