

# Il grado di compattazione



di Mario Collepardi

## Un metodo semplice e rapido per controllare e prescrivere la qualità della messa in opera: il grado di compattazione nel capitolato

Il grado di compattazione ( $g_c$ ) può essere definito come il rapporto tra la densità (o massa volumica,  $m_v$ ) della carota estratta dalla struttura e il peso specifico  $m_{vo}$  del provino cubico (o cilindrico) confezionato al momento del getto per determinare la  $R_{ck}$  (o  $f_{ck}$ ) del calcestruzzo.

$$g_c = \frac{m_v}{m_{vo}} \quad [1]$$

E' noto che il classico "cubetto" deve essere confezionato, come descrive la UNI 6127 in ottemperanza al DM del 9 Gennaio 1996, dopo aver compattato il calce-

struzzo all'interno della cassaforma "alla massima densità possibile". La ragione di questa precisazione della norma risiede nel fatto che, se si confezionano con lo stesso conglomerato diversi provini che differiscono per la differente cura posta nel compattarli, il risultato ottenuto, in termini di resistenza meccanica a compressione e quindi di  $R_{ck}$  è diverso. Infatti, la resistenza meccanica sarà tanto minore quanto maggiore è il volume dei vuoti (aria intrappolata) all'interno dei provini per difetto di compattazione. Poiché sul valore della  $R_{ck}$  si basa il valore commerciale, oltre che tecnico, del calcestruzzo fornito da un confezionatore a un'impresa, è evidente come le regole del giuoco debbano essere chiare e precise: pertanto la norma UNI 6127 precisa tutti i fattori al contorno (temperatura, umidità relativa, tempo di stagionatura e anche il modo di compattare i provini) che possono condizionare il risultato ottenuto per valutare correttamente la resistenza meccanica del materiale fornito. Poiché il valore della  $R_{ck}$  così determinato si riferisce al calcestruzzo fornito "alla bocca dell'autobetoniera", e successivamente trattato come la summenzionata norma UNI descrive, è evidente che la resistenza meccanica determinata sulla carota estratta dalla struttura non necessariamente equivale a quella del cubetto ( $R_{ck}$ ) o del cilindro ( $f_{ck}$ ) se anche il calcestruzzo gettato in opera non ha subito lo stesso trattamento.

La deviazione ( $\Delta R$ ) tra la resistenza del

provino e quella della carota (Fig. 1) può essere dovuta a una differenza nella stagionatura umida, nella temperatura e appunto nel grado di compattazione.

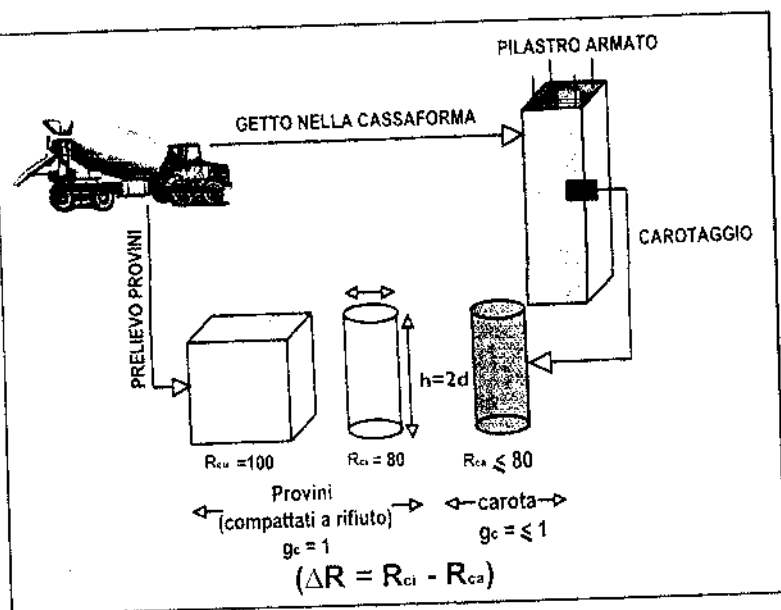


Fig. 1 - Confronto della resistenza meccanica dei provini (cubico o cilindrico) compattati a rifiuto e della carota estratta dalla struttura (da "Il Nuovo Calcestruzzo", M. Collepari, Ed. Tintoretto, 2001)

I primi due parametri non influenzano significativamente questa deviazione se la carota viene privata, durante l'operazione di rettifica, delle due facce circolari da sottoporre a schiacciamento sotto la pressa, di un certo spessore (1-2 cm) dalla parte della faccia esposta all'ambiente e quindi presumibilmente non stagionata a umido come l'interno della carota. D'altra parte, la temperatura, mentre influenza moltissimo la resistenza meccanica alle brevi stagionature (1-3 giorni) non influisce significativamente sulla stagionatura a 28 giorni e a quelle ancor più lunghe. Pertanto, confrontando la resistenza meccanica del provino con quella della carota, la deviazione  $\Delta R$  è sostanzialmente, se non esclusivamente, correlata con il diverso modo di compattare il calcestruzzo del provino e quello della struttura cioè con quello che si è sopra definito come grado di compattazione ( $g_c$ ) attraverso la [1].

Dai dati della letteratura tecnica è stato possibile correlare la deviazione nella re-

sistenza meccanica  $\Delta R$  con il grado di compattazione  $g_c$  e questa correlazione può essere espressa in tre modi:

a) attraverso una funzione matematica come la [2];

$$\Delta R = (1 - g_c) 500 \quad [2]$$

dove  $\Delta R$  è la differenza tra la resistenza meccanica del provino cilindrico ( $R_{ci}$ )\* o cubico ( $0.80 R_{cu}$ ) e quella della carota ( $R_{ca}$ )

b) attraverso una rappresentazione grafica come quella mostrata in Fig. 2;

c) attraverso una frase semplicissima che dice: "per ogni punto percentuale in meno nella massa volumica (densità) della carota rispetto al provino compattato "alla massima densità possibile" sul quale si determina la  $R_{ck}$ , si registra una resistenza meccanica in meno del 5% nella carota rispetto al provino".

Questa constatazione, che è di una semplicità sconvolgente se solo si riflette sull'importanza di compattare bene il conglomerato, presenta alcune straordinarie conseguenze per gli aspetti legali e prescrizionali che essa sottende.

## Gli aspetti legali

La maggior parte delle contestazioni sulle strutture in calcestruzzo riguardano la resistenza meccanica delle carote estratte molto spesso nella fase di collaudo o anche in corso d'opera.

Non poche volte ho trovato CTU - anche accademici di grande fama - che pretendevano di verificare la effettiva  $R_{ck}$ , prescritta in capitolato attraverso la rottura delle carote, ignorando che la  $R_{ck}$  si riferisce solo alla resistenza meccanica del calcestruzzo dei provini compattati a rifiuto. La resistenza meccanica delle carote è il risultato di due azioni:

\* La resistenza del provino cubico  $R_{cu}$  va moltiplicata per 0.80 per essere confrontata con quella di un provino cilindrico o di una carota anch'essa cilindrica avente un'altezza pari al doppio del diametro.

• quella di chi produce calcestruzzo le cui responsabilità vanno determinate attraverso il prelievo del materiale alla consegna attraverso la misura della  $R_{ck}$ , e della lavorabilità (classe di consistenza) oltre che del diametro massimo dell'inerte se è stato precisato;

• quella dell'impresa che deve compattare e stagionare il calcestruzzo gettato nei casseri.

Come si può dedurre dalla [2] la resistenza meccanica della carota coincide con quella del provino, cioè  $\Delta R$  è nulla solo se  $g_c$  è uguale a 1, cioè se la massa volumica della carota ( $m_v$ ) eguaglia quella del provino ( $m_{vo}$ ) come è mostrato nella [1].

Nel caso in cui  $m_v$  risultasse pari al 95% di  $m_{vo}$ , cioè se  $g_c = 0.95$ , la riduzione di resistenza meccanica della carota rispetto a quella del provino è del 25% come risulta dall'applicazione della [2]:

$$\Delta R = (1-0.95)500 = 25\%$$

Pertanto la resistenza meccanica della carota può essere in qualche modo correlata con quella del provino solo a patto che risultino eguali le masse volumiche,  $m_v$  ed  $m_{vo}$  rispettivamente.

### Come prescrivere correttamente il calcestruzzo

E' noto che in ottemperanza alla nuova norma UNI - EN 206 ed alle Linee Guida Ministeriali, una corretta prescrizione di capitolato del calcestruzzo deve contenere i seguenti elementi:

• classe di resistenza: C A/B, dove A e B sono la resistenza caratteristica misurata su provini cilindrici ( $f_{ck}$ ) e cubici ( $R_{ck}$ ) rispettivamente;

• classi di esposizione: XYZ, dove Y è Z vanno scelti in relazione alla categoria ambientale (opere fuori terra, interrato, marittime, ecc.);

• classe di consistenza: SN, dove N da 1 a 5, va scelto in relazione alla lavorabilità richiesta;

• diametro massimo dell'inerte ( $D_{max}$ )

in relazione alla dimensione della struttura e dello spessore del copriferro (cf).

Tutte queste prescrizioni riguardano la fornitura di **calcestruzzo** ma non necessariamente garantiscono la qualità della **struttura in servizio** se non si aggiungono le seguenti tre prescrizioni che riguardano l'attività dell'impresa:

• adottare un'adeguato spessore del copriferro (cf) in relazione alla vulnerabilità (corrosione) delle armature metalliche, dove cf, compreso tra 15 e 50 mm, è indicato dall'Eurocode 2 in base al livello di

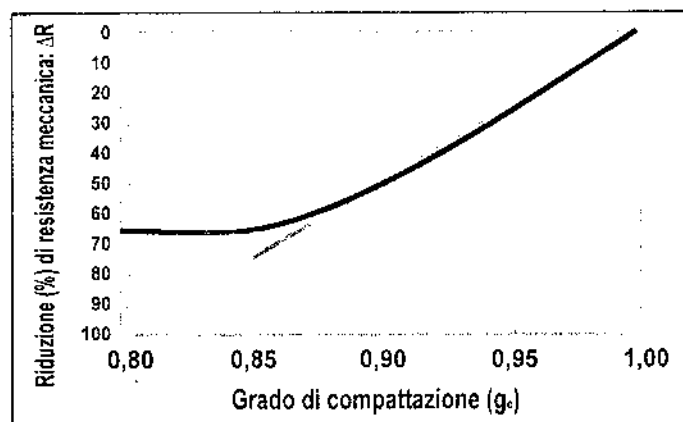


Fig. 2 - Influenza del grado di compattazione del calcestruzzo sulla riduzione di resistenza meccanica (da "Il Nuovo Calcestruzzo", M. Collepardi, Ed. Tintoretto, 2001)

aggressione ambientale (classe di esposizione) ed al tipo di struttura c.a. o c.a.p.;

• stagionatura umida della superficie esposta all'aria con acqua nebulizzata (per almeno 3 giorni) o, più semplicemente mediante applicazione di membrana anti-evaporante ("curing compound");

• e, infine, da ultimo, ma non ultimo per importanza, compattare il calcestruzzo messo in opera in modo tale che il ( $g_c$ ) - determinato dalla misura della massa volumica del provino compattato a rifiuto e di una carota - estratta anche a 1 giorno soltanto dal getto - sia non inferiore a x dove x rappresenta un numero al massimo eguale a 1 nel caso si esegue la messa in opera a regola d'arte, ed un numero tanto più basso quanto più si tollera una

messa in opera "imperfetta".

Val la pena di precisare che, se realisticamente si accetta una messa in opera con compattazione non coincidente con quella del provino compattato a rifiuto (per esempio  $g_c > 0.97$ ) è possibile non solo stabilire i criteri per verificare l'adeguatezza della messa in opera considerata accettabile, ma anche prevedere la resistenza meccanica della struttura ( $R_{ca}$ ) rispetto a quella teorica del provino cubico ( $R_{cu}$ ) o cilindrico ( $R_{ci}$ ).

## Conclusioni

Il ruolo giocato dalla compattazione

del calcestruzzo in opera è di fondamentale importanza per assicurare **resistenza meccanica e durabilità della struttura**.

Esiste un metodo semplice e rapido per **prescrivere e controllare** la qualità della messa in opera attraverso l'indicazione nel capitolato del **grado di compattazione** ( $g_c$ ) il cui valore può essere misurato - anche a meno di 1 giorno dal getto - pesando semplicemente il provino compattato "alla massima densità possibile" e la carota estratta dalla struttura indurita, e calcolando le masse volumiche del provino ( $m_{vo}$ ) e della carota ( $m_v$ ) con  $g_c = m_v/m_{vo}$ . ■