

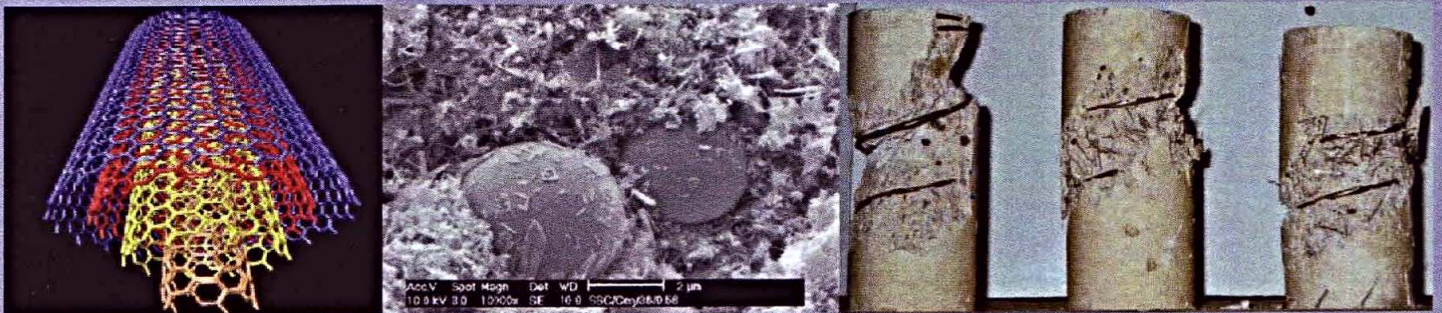


1st Workshop on

# THE NEW BOUNDARIES OF STRUCTURAL CONCRETE

editors

A. Grimaldi, G. Plizzari, R. Realfonzo





# La resistenza in opera del calcestruzzo: criteri per la collaudabilità e l'accertamento delle responsabilità in caso di contenzioso legale

L. Coppola<sup>1</sup> e A. Buoso<sup>2</sup>

**ABSTRACT:** Assessment of concrete in-situ compressive strength is fundamental in order to confirm the attainment of the required safety levels of reinforced concrete structures. The paper present and holistic procedure ("holos method") to estimate the concrete in-situ compressive strength taking account size and geometry of the core, water content, presence of rebars, effect of drilling, age of the concrete and temperature existing in the job-site. When the in-situ compressive strength is lower than the minimum value permitted by Italian and European standard it is interesting to ascertain responsibility of the ready-mix concrete producer by estimating the "potential" concrete strength. This value is influenced by factors such as retempering of the concrete on the job-site, compaction and curing. "Holos" define a procedure taking into account these parameters. A comparison of the proposed method with those available in the technical literature is also presented in the paper.

## 1 INTRODUZIONE

Una delle novità salienti introdotte dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" concerne la possibilità di valutare la resistenza del conglomerato nelle strutture già realizzate. In accordo con queste norme il valore medio della resistenza strutturale ( $R_{cm-opera}$ ) non deve essere inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto ( $R_{cm}$ ). In maniera analoga, anche la normativa Europea (EN 13791) prevede che una struttura sia collaudabile se il valore caratteristico della resistenza strutturale ( $R_{ck-opera}$ ) è almeno l'85% del valore caratteristico di progetto ( $R_{ck}$ ). La valutazione della resistenza in opera può essere eseguita con indagini non distruttive (sclerometro, ultrasuoni, etc.) o semidistruttive (carotaggi). Le prove non distruttive sono di agevole realizzazione e perciò maggiormente diffuse. Tuttavia, i risultati ottenuti sono affetti da bassi gradi di precisione, presentando perciò una minore affidabilità. I metodi distruttivi e, in particolare, il prelievo di campioni direttamente dalla struttura, sono più invasivi, ma sicuramente più affidabili. Tuttavia, anche l'interpretazione dei risultati delle prove di schiacciamento presenta non poche difficoltà per la dipendenza del risultato sperimentale da una serie di parametri non sempre di facile quantificazione.

Nella presente memoria si riporta una metodologia per valutare sia la resistenza in opera del calcestruzzo al fine di accertare la collaudabilità delle strutture, che per stabilire le responsabilità dei soggetti coinvolti se a seguito dell'estrazione di carote, l'opera dovesse risultare non collaudabile. Il metodo proposto è stato, quindi, messo a confronto con le altre metodologie esistenti in letteratura e maggiormente utilizzate per la valutazione della resistenza in opera.

---

<sup>1</sup> Professore Associato, Dipartimento di Tecnologie e Progettazione, Università di Bergamo

<sup>2</sup> Assegnista di ricerca, Dipartimento di Tecnologie e Progettazione, Università di Bergamo

## 2 METODO HOLOS

Nella presente sezione si riportano i coefficienti correttivi, proposti dal metodo Holos, da applicare al valore "grezzo" di resistenza ottenuto dallo schiacciamento delle carote e fornito dal laboratorio ( $R_{C-carota}$ ). Sono previste due diverse procedure: una per valutare la resistenza effettiva del calcestruzzo in opera ( $R_{C-IN\ SITU}$ ) e stabilire se la struttura è collaudabile o meno, l'altra per stimare la resistenza potenziale ( $R_{C-POTENZIALE}$ ), per accertare le responsabilità del produttore circa eventuali non conformità del calcestruzzo fornito e messo in opera.

### 2.1 Collaudabilità delle strutture

Di seguito saranno analizzati i coefficienti correttivi, dedotti da studi sperimentali e normative, che influenzano la misura della resistenza del conglomerato ottenuta dallo schiacciamento delle carote per valutare la collaudabilità della struttura ( $R_{C-IN\ SITU}$ ).

#### 2.1.1 Geometria delle carote: diametro e snellezza

Il valore della resistenza a compressione del calcestruzzo è influenzato dal diametro, dall'altezza della carota e dalla dimensione massima dell'aggregato. Innanzitutto, il rapporto tra il diametro della carota ( $d$ ) e la dimensione massima dell'inerte ( $D_{max}$ ) deve essere almeno pari a 3. Ad esempio, sapendo che i calcestruzzi solitamente sono confezionati con aggregati aventi  $D_{max} = 32\text{mm}$  sarebbe opportuno estrarre carote aventi  $d = 100\text{mm}$ . Nel caso in cui, invece, si renda necessaria l'estrazione di carote aventi diametri diversi da 100mm, ma comunque mai inferiori a 50mm, la resistenza a compressione ottenuta dovrà inevitabilmente essere corretta. A seguito di studi sperimentali (Bartlett & MacGregor 1994) è stato quantificato il coefficiente correttivo ( $F_{dia}$ ) (Tabella 1).

Tabella 1 – Coefficiente correttivo per ( $F_{dia}$ ) in funzione del diametro della carota.

DIAMETRO CAROTA d (mm)	50	100	150
$F_{dia}$	1.06	1.00	0.98

Inoltre, la resistenza a compressione è influenzata dalla snellezza della carota ( $h/d$ ), ossia dal rapporto tra altezza ( $h$ ) e diametro ( $d$ ). Infatti, a causa dell'azione di contenimento (effetto di confinamento) esercitata dalle piastre della macchina di prova, si generano stati tensionali che portano provini più tozzi a resistere a carichi maggiori rispetto a provini snelli. In accordo con la norma EN 13791 la resistenza a compressione misurata su carote con diametro 100mm e rapporto  $h/d=1$  è assimilabile a quella misurata proprio sul provino cubico di lato 150mm (nelle stesse condizioni di compattazione e con le stesse modalità di stagionatura). Perciò, al valore della resistenza a compressione sarà applicato un coefficiente correttivo  $F_{h/d}$  funzione sia dalla snellezza che dalla resistenza a compressione del calcestruzzo stesso (Tabella 2).

Salvo che non esistano particolari esigenze, sarebbe consigliato utilizzare carote con diametro pari a 100mm e rapporto  $h/d=1$ .

Tabella 2 – Coefficiente correttivo ( $F_{h/d}$ ) in funzione della snellezza della carota

$h/d$	0.5	0.75	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00
$R_{C-carota}$							
15 ÷ 20	0.66	0.83	1.00	1.10	1.20	1.27	1.32
21 ÷ 35	0.70	0.84	1.00	1.06	1.16	1.18	1.22
36 ÷ 50	0.75	0.89	1.00	1.04	1.08	1.10	1.12

#### 2.1.2 Localizzazione dei carotaggi e preparazione dei campioni

I valori della resistenza del conglomerato sono influenzati dalla posizione nell'elemento in cui vengono eseguiti a causa della diversa pressione esercitata dallo spessore sovrastante. Pertanto, al fine di eliminare tale effetto, si ritiene che i carotaggi debbano essere effettuati ad una distanza dai bordi dell'elemento almeno pari a 1.5 volte il diame-

tro della carota. Nell'esecuzione delle operazioni di estrazione, il carotiere deve essere fissato rigidamente alla struttura in calcestruzzo mediante opportuni tasselli al fine di garantire che l'asse della carota risulti perfettamente verticale. Dopo il taglio meccanico, per ottenere, se possibile, una carota di snellezza  $h/d=1$ , si procederà all'operazione di spianatura e rettifica delle basi del provino con macchina provvista di mole abrasive. Questa operazione si rende necessaria per riprodurre le stesse condizioni di prova esistenti nella rottura a compressione dei cubetti i quali vengono posti con le basi direttamente a contatto con la superficie dei piatti della pressa.

### 2.1.3 Conservazione delle carote dal prelievo all'esecuzione della prova

La variazione percentuale della resistenza in funzione delle condizioni di conservazione delle carote, dal momento dell'estrazione all'esecuzione della prova, dipende da molti fattori. In linea generale è possibile affermare che le carote lasciate all'aria ( $\approx 48h$ ) hanno una resistenza superiore rispetto a quelle sottoposte a prova così come ricevute. Invece, le carote conservate in acqua hanno una resistenza inferiore. Quindi, per tener conto di questo effetto si definisce un coefficiente correttivo,  $F_{mc}$ , funzione dell'umidità del calcestruzzo al momento dell'esecuzione della prova i cui valori sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3 – Coefficiente correttivo ( $F_{mc}$ ) in funzione delle condizioni di conservazione delle carote

TIPO DI CONSERVAZIONE	$F_{mc}$
come ricevute	1.00
in acqua	1.09
essiccate all'aria	0.96

### 2.1.4 Effetto derivante dall'azione del carotiere: il tormento

Durante l'esecuzione del carotaggio occorre ridurre al minimo gli effetti torsionali che l'utensile provoca sulla struttura in calcestruzzo. Tuttavia, pur fissando saldamente l'utensile, l'operazione di carotaggio non è "indolore" per il calcestruzzo in quanto può determinare la comparsa di microlesioni interne tanto più accentuate quanto più scadente è la qualità del calcestruzzo in opera (Barbarito, 1969). Pertanto, di questo effetto (definito di "tormento") se ne deve tener conto attraverso un coefficiente correttivo ( $F_{tor}$ ) che varia in funzione della qualità del calcestruzzo in esame. (Tabella 4).

Tabella 4 – Coefficiente correttivo ( $F_{tor}$ ) derivante dall'effetto "tormento".

$R_{c-carota}$	10 ÷ 15	16 ÷ 20	21 ÷ 25	26 ÷ 30	31 ÷ 35	36 ÷ 40	> 40
$F_{tor}$	1.15	1.12	1.10	1.07	1.05	1.02	1.00

### 2.1.5 Effetto dovuto alla direzione del carotaggio rispetto a quella di getto

Il carotaggio effettuato in direzione perpendicolare a quella di getto intercetta microfessurazioni che durante la prova di schiacciamento si dispongono parallelamente alle isostatiche di compressione favorendo la rottura per valori dello sforzo inferiori a quelle che si registrano per la stessa carota prelevata parallelamente alla direzione di getto. La penalizzazione della resistenza per effetto di un carotaggio perpendicolare alla direzione di getto è tanto più marcata quanto più il prelievo viene effettuato verso le zone sommitali del getto che sono maggiormente interessate dal fenomeno di bleeding e quindi presentano un livello di micro fessurazione interna più accentuato rispetto a quello che interessa le zone basali della struttura. In accordo con la EN 13791, pertanto, il valore della resistenza a compressione misurato sulle carote estratte dalla struttura deve tener conto della direzione del carotaggio. Quindi, la resistenza a compressione misurata sulle carote deve essere opportunamente modificata mediante un coefficiente di correzione ( $F_{Dir}$ ) che tenga conto sia della direzione di estrazione che della posizione nella struttura del prelievo (Tabella 5).

Tabella 5 – Coefficiente correttivo relativo alla direzione del carotaggio rispetto a quella di posa in opera del conglomerato ( $F_{Dir}$ ). ( $h$  è l'altezza dell'elemento verticale).

POSIZIONE DEL CAROTAGGIO	$F_{Dir}$	
	DIREZIONE DI PRELIEVO	
	PARALLELA	PERPENDICOLARE
$0 \div \frac{1}{4}h$	1.00	1.05
$\frac{1}{4}h \div \frac{3}{4}h$		1.075
$\frac{3}{4}h \div h$		1.10

### 2.1.6 Presenza di ferri d'armatura

Prima di eseguire il carotaggio è opportuno dotarsi di un magnetometro (pacometro o profometro) per individuare le zone della struttura prive delle barre di armatura. Innanzitutto occorre evidenziare che non è possibile utilizzare carote che presentino ferri paralleli all'asse longitudinale delle stesse in quanto il valore misurato della resistenza a compressione sarebbe fortemente influenzato dalla presenza del tondino. Carote con ferri disposti perpendicolarmente all'asse longitudinale possono essere impiegate nella prova di schiacciamento, ma il valore misurato deve essere opportunamente incrementato per tener conto dell'effetto di disturbo dovuto alla presenza del ferro. In linea di massima l'incremento deve essere tanto maggiore quanto maggiore è il rapporto tra diametro del tondino e quello della carota e quanto più esso dista dalle basi della carota stessa. Il coefficiente correttivo ( $F_{Fe}$ ) può essere desunto dall'espressione (C.S.T.R 11, 1976):

$$F_{Fe} = 1 + 1.5 \cdot \frac{\phi_r}{d} \cdot \frac{l}{h} \quad (1)$$

dove  $\phi_r$  = diametro del tondino (mm);  $d$  = diametro della carota (mm);  $l$  = distanza della barra dalla base più vicina della carota (mm);  $h$  = altezza della carota (mm).

### 2.1.7 Effetto dell'età della carota e della temperatura di maturazione in cantiere

Sapendo che la resistenza a compressione del calcestruzzo cresce nel tempo in funzione anche della temperatura ambientale, se le prove di schiacciamento avvenissero su carote di età "giovane" (< 28 giorni), il valore misurato sarebbe sottostimato rispetto a quello che il calcestruzzo potrebbe attingere all'età di 28 giorni. Pertanto, nel caso in cui vengano estratte carote da una struttura prima che siano trascorsi 28 giorni dalle operazioni di getto, al valore misurato della resistenza occorrerà apportare una correzione, per tener conto del fatto che il conglomerato ha un'ulteriore riserva di resistenza da sviluppare, mediante il coefficiente,  $F_t$ , (UNI EN 1992-1-1):

$$F_t = \frac{1}{e^{s \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right)}} \quad (2)$$

dove  $t$  = tempo trascorso dal getto al momento dell'estrazione delle carote (gg);  $s$  = coefficiente funzione della classe di resistenza del cemento utilizzato pari a 0.20 (CEM 42.5R, 52.5N-R), 0.25 (CEM 42.5N e 32.5R), 0.38 (CEM 32.5N).

Sempre nel caso in cui vengano estratte carote prima che siano trascorsi 28 giorni dal getto, oltre all'età si deve tener conto anche della temperatura cui è maturato il calcestruzzo della struttura in opera. Infatti, se la determinazione della resistenza avviene su una carota estratta da una struttura realizzata durante il periodo invernale che in cantiere è maturata a temperature inferiori a 20°C è evidente che il valore della resistenza a compressione è sottostimato rispetto a quella che lo stesso calcestruzzo avrebbe evidenziato a 20°C. Per contro, nelle strutture realizzate nel periodo estivo, la maturazione del calcestruzzo a temperature più elevate favorisce un più rapido sviluppo di resistenza. Potendo recuperare i valori della temperatura consultando le pagine web dell'aeroporto più vicino al cantiere oppure quelle dell'ARPA, si può applicare la

correzione al valore della resistenza determinata sulla carota estratta dalla struttura prima che siano trascorsi 28 giorni mediante il coefficiente correttivo  $F_T$  desunto dalla Tabella 6. Si evidenzia che nel caso in cui le carote siano estratte dalla struttura dopo 28 o più giorni dal momento del getto, non dovranno essere applicati i coefficienti correttivi relativi al tempo e alla temperatura, in quanto è poco importante conoscere se al 28-esimo giorno la carota avesse sviluppato un valore di resistenza più basso o più alto di quello attinto al momento dell'esecuzione della prova di schiacciamento.

Tabella 6 – Coefficiente correttivo ( $F_T$ ) funzione della temperatura di maturazione delle strutture

TEMPO (gg)	1	3	7	21	28	60	90
33÷37	0.74	0.83	0.91	1.00	1.11	1.11	1.11
28÷32	0.77	0.87	0.95	1.02	1.05	1.05	1.05
23÷27	0.83	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18÷22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13÷17	1.82	1.33	1.11	1.05	1.00	0.95	0.91
8÷12	2.86	1.82	1.33	1.25	1.18	1.00	0.95
3÷7	6.67	4.00	2.86	2.50	2.22	1.67	1.33

Chiarito, quindi, come eseguire il calcolo della resistenza cubica in opera ( $R_{C-IN\ SITE}$ ) e definito il criterio da adottare (D.M. 14/01/2008 o EN 13791), si può stabilire la collaudabilità degli elementi sottoposti a indagine. A questo punto il procedimento per l'accertamento della collaudabilità della struttura può ritenersi concluso. È opportuno sin d'ora ribadire come il procedimento sopra illustrato può essere utilizzato esclusivamente per stabilire se la struttura è collaudabile o meno e, quindi, per stabilire se occorre eventualmente sottoporre gli elementi strutturali a interventi di consolidamento oppure se gli stessi devono essere demoliti e ricostruiti ex-novo. Per nessun motivo, di fronte ad un'eventuale non conformità del valore della resistenza cubica in opera, indipendentemente dal tipo di criterio che si adotti, questa potrà essere attribuita al produttore del conglomerato. Circa la valutazione di eventuali responsabilità del fornitore di calcestruzzo occorrerà operare in accordo a quanto riportato nei paragrafi che seguono.

## 2.2 Accertamento delle responsabilità dei soggetti coinvolti in caso di non collaudabilità della struttura.

Nel caso in cui la struttura sia non collaudabile e non siano a disposizione i risultati ottenuti dallo schiacciamento dei cubetti per il controllo di accettazione, esiste la necessità di stabilire se vi sono responsabilità da parte dei soggetti coinvolti. In particolare, sarà indispensabile stimare la resistenza effettiva del calcestruzzo fornito in cantiere dal produttore di calcestruzzo, ossia quel particolare valore di resistenza caratteristica determinata su provini cubici di calcestruzzo confezionati a "bocca di betoniera" compattati a rifiuto e maturati per 28 giorni alla temperatura di 20°C e U.R. 95% ( $R_{C-POTENZIALE}$ ). I fattori relativi alla geometria ( $F_{dia}$ ,  $F_{h/d}$ ), alle condizioni di conservazione dall'estrazione al momento dell'esecuzione della prova ( $F_{mc}$ ), all'effetto tormento ( $F_{Tor}$ ), alla direzione di estrazione in funzione della direzione di getto ( $F_{Dir}$ ) e alla presenza o meno di barre di armatura ( $F_{Fe}$ ), non variano rispetto alla valutazione della resistenza in opera ai fini della collaudabilità ( $R_{C-IN\ SITE}$ ). Per quanto concerne i coefficienti correttivi funzione del tempo di estrazione ( $F_t$ ) e della temperatura di maturazione della struttura ( $F_T$ ), ai fini dell'accertamento delle responsabilità sono necessarie ulteriori considerazioni riportate nel seguito. Infine, tre nuovi fattori sono introdotti nel seguito relativamente alle eventuali riaggiate d'acqua in betoniera, alle procedure e alla durata della maturazione umida delle strutture e alle modalità di posa in opera e compattazione del calcestruzzo.

### 2.2.1 Effetto dell'età della carota e della temperatura di maturazione in cantiere

Nel caso di accertamento della responsabilità del produttore, indipendentemente se la prova di schiacciamento viene effettuata su carote con età inferiore o superiore a

28 giorni, il valore sperimentale della resistenza a compressione sarà corretto mediante il coefficiente  $F_r$  desunto dall'equazione (2) per ottenere la resistenza a compressione del calcestruzzo all'età di 28 giorni, stagionatura alla quale vengono sottoposti a compressione i provini confezionati a bocca di betoniera. Analogamente, per quanto riguarda la temperatura di maturazione della struttura, sapendo che i provini di calcestruzzo confezionati a bocca di betoniera ai fini del controllo di accettazione vengono sottoposti alla prova di schiacciamento dopo 28 giorni di maturazione alla temperatura di 20°C, il valore della resistenza dovrà essere corretto se la temperatura di maturazione del calcestruzzo in cantiere è diversa da 20°C. Rispetto a quanto stabilito per la collaudabilità della struttura, in questo caso la correzione deve essere effettuata con i coefficienti ( $F_r$ ) desunti dalla Tabella 6 indipendentemente dalla temperatura di maturazione e dall'età della carota al momento dell'esecuzione della prova.

### 2.2.2 Le aggiunte di acqua in autobetoniera

Ai fini dell'accertamento delle responsabilità, solo nel caso in cui le riaggiunte di acqua in autobetoniera siano effettuate su richiesta dell'impresa esecutrice, che se ne assume la completa responsabilità, il valore sperimentale della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera dovrà essere corretto. A seguito di studi sperimentali, è possibile stimare che la perdita di resistenza derivante dalle riaggiunte è stimabile all'incirca in un 7% per ogni 10 kg/m<sup>3</sup> di acqua introdotti nella botte. Quindi il fattore correttivo  $F_{H_2O}$  potrà essere calcolato secondo l'equazione:

$$F_{H_2O} = 1 - \frac{H_2O}{10} \cdot 0.07 \quad (4)$$

dove  $H_2O$  = quantitativo di acqua (kg) per m<sup>3</sup> aggiunto in betoniera.

### 2.2.3 Le modalità e la durata della maturazione umida delle strutture

I provini confezionati a bocca di betoniera per il controllo di accettazione del calcestruzzo vengono maturati in ambiente con U.R. del 95%. Una minore durata della maturazione umida determina per il calcestruzzo in opera un minor grado d'idratazione e, conseguentemente, un minor valore della resistenza a compressione soltanto nei primi 2.5 ÷ 3cm di calcestruzzo più corticale. Pertanto, per eliminare l'influenza della mancata maturazione umida sul valore della resistenza a compressione della carota estratta dalla struttura, basta rimuovere, mediante taglio meccanico, i primi 3cm di calcestruzzo corticale.

### 2.2.4 La compattazione del calcestruzzo delle strutture già realizzate

Il controllo di accettazione del calcestruzzo viene effettuato su provini compattati a "rifiuto" contraddistinti dall'assenza di aria in eccesso rispetto a quella "fisiologica" e, pertanto, contraddistinti dalla massima massa volumica. L'estrazione delle carote, invece, avviene da strutture in opera che la cui massa volumica dipende strettamente dalle modalità di effettuazione e dalla durata della vibrazione. In particolare, la perdita di resistenza è all'incirca il 7.5% per ogni 1% di diminuzione della massa volumica rispetto al valore massimo atteso (corrispondente a quella del cubetto compattato a rifiuto). Purtroppo, quando si procede al calcolo della resistenza potenziale non sono disponibili i valori di massa volumica dei cubetti; pertanto, sarà necessario fare riferimento al valore caratteristico della massa volumica desunto dai controlli di produzione ( $m_{vk\text{-produzione}}$ ). Inoltre, vista la variabilità dei valori di massa volumica su carote estratte da una stessa struttura, per il calcolo della resistenza potenziale ai fini dell'accertamento delle responsabilità del produttore, relativamente all'influenza della compattazione è opportuno far riferimento al valore caratteristico della massa volumica dell'intero lotto di carote prelevato ( $m_{vk\text{-carote lotto}}$ ) confrontato con quello dei cubetti compattati a rifiuto desunto dai dati di produzione del calcestruzzo ( $m_{vk\text{-produzione}}$ ). In accordo con quanto

affermato, il coefficiente di correzione relativo alla compattazione del calcestruzzo in opera, riferito all'intero lotto di carote,  $F_{Com-lotto}$ , sarà determinato come segue:

$$F_{Com} = \frac{1}{1 - \left[ \left( 1 - \frac{m_{v-car}}{m_{v-cub}} \right) \cdot 7.5 \right]} \quad (5)$$

Alla luce di quanto sopra riportato, è evidente che quando s'intende accertare la responsabilità del produttore attraverso il calcolo della resistenza cubica potenziale occorre sottoporre a prova un lotto di carote che sia rappresentativo, in termini di massa volumica del conglomerato, delle strutture che si stanno indagando. Questo significa che il numero di carote minimo da utilizzare deve essere anche per volumi di calcestruzzo inferiori a  $50m^3$  almeno pari a 7. Questo lotto minimo sarà incrementato di 3 carote per ogni ulteriori  $50m^3$  di conglomerato gettato.

### 2.2.5 Calcolo della resistenza potenziale

Secondo il metodo HOLOS si ritiene necessario, per il calcolo della resistenza potenziale, procedere per diversi stadi, per valutare le responsabilità dei vari soggetti coinvolti. Il primo stadio del metodo HOLOS è finalizzato alla trasformazione del valore sperimentale della resistenza a compressione di ogni singola carota in quello potenziale escludendo in questa prima fase di quantificare l'effetto derivante da un'incompleta compattazione:

$$R_{C-POTENZIALE} = F_{dia} \cdot F_{h/d} \cdot F_{mc} \cdot F_{Fe} \cdot F_{Tor} \cdot F_{Dir} \cdot F_t \cdot F_T \cdot F_{H_2O} \cdot F_{U,R} \cdot R_{C-carote} \quad (6)$$

Calcolati i singoli valori della resistenza cubica potenziale derivanti da quelli sperimentali ottenuti sulle carote estratte dalla struttura, si calcolerà prima il coefficiente correttivo per la compattazione ( $F_{Com-lotto}$ ) e successivamente i valori di  $R_{cm,pot-lotto}$ , di  $R_{ck,pot-min lotto}$ . Infine, noto il tipo di controllo di accettazione (A o B) fissato dal capitolato e della resistenza caratteristica a compressione di progetto ( $R_{ckprogetto}$ ) si potrà verificare se sono soddisfatte o no le disequazioni previste dal D.M. 14/01/2008 e quindi stabilire se il calcestruzzo fornito in cantiere è conforme o meno a quanto richiesto nelle specifiche e se il fornitore di calcestruzzo ha responsabilità o meno sulla non collaudabilità della struttura.

## 3 CONFRONTO TRA DIVERSI METODI PER IL CALCOLO DELLA RESISTENZA IN OPERA.

La metodologia proposta (METODO HOLOS) è stata comparata con quelle riportate in letteratura, per fornire un quadro completo sulle modalità di stima della resistenza in opera del calcestruzzo. Le metodologie comparate e analizzate sono:

- CONCRETE SOCIETY TECHNICAL REPORT n.11 (1976) (in seguito CSTR);
- BRITISH STANDARD 1881-120:1983 (in seguito BS);
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 214.4R-03 (2003), in seguito (ACI)
- METODO HOLOS (2010).

Nel calcolo della resistenza in opera, le metodologie a confronto applicano tutte dei coefficienti correttivi al valore "grezzo" ottenuto dallo schiacciamento delle carote. Ciò che le diversifica è il tipo di fattori presi in considerazione. Mantenendo invariata la simbologia adottata nella descrizione del metodo Holos, si riportano in Tabella 7 i coefficienti correttivi per ogni metodologia.

Come si può notare l'unico parametro considerato da tutti è legato alla snellezza della carota, mentre gli altri variano secondo la metodologia utilizzata. Ad esempio, se si prelevano carote contenenti dei ferri di armatura non sarà possibile usare il metodo ACI che ne vieta l'impiego, oppure estraendo carote "giovani", ossia prima che siano trascorsi 28 giorni dal momento del getto l'unico metodo utilizzabile è HOLOS che con i fattori legati a tempo e temperatura fornirà un risultato attendibile. Il calcolo della resistenza potenziale ( $R_{C-POTENZIALE}$ ) non è previsto né nella British Standard né nel report dell'AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Confrontando il metodo Holos con il C.S.T.R n.11 -



si riportano in Tabella 8 i coefficienti correttivi considerati – si può notare come il tempo e la temperatura di maturazione della struttura vengono presi in esame solo dal Metodo Holos, il quale è il solo metodo che tiene conto anche delle riaggiate d'acqua. Il Technical Report, mediante una metodologia grafica e di confronto visivo, considera gli effetti del grado di compattazione e della maturazione umida del calcestruzzo ai fini della stima del valore della resistenza potenziale.

Tabella 7 – Coefficienti correttivi utilizzati nel calcolo della resistenza in opera ( $R_{C-IN\ SITU}$ )

METODO	COEFFICIENTI							
	$F_{dia}$	$F_{h/d}$	$F_{mc}$	$F_{Tor}$	$F_{Dir}$	$F_{Fe}$	$F_t$	$F_T$
	Diametro	Snellezza	Condizioni di conservazione	Tormento	Direzione di prelievo	Presenza ferri di armatura	Tempo	Temperatura
CSTR		x			x	x		
BS		x			x	x		
ACI	x	x	x	x				
HOLOS	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 8 – Coefficienti correttivi utilizzati nel calcolo della resistenza potenziale ( $R_{C-POTENZIALE}$ )

METODO	COEFFICIENTI										
	$F_{dia}$	$F_{h/d}$	$F_{mc}$	$F_{Tor}$	$F_{Dir}$	$F_{Fe}$	$F_t$	$F_T$	$F_{H_2O}$	$F_{UR}$	$F_{Com}$
							Tempo	Temperatura	Aggiunte d'acqua	Umidità relativa	Grado di compattazione
CSTR		x			x	x				x	x
HOLOS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

#### 4 CONCLUSIONI

Nell'ingegneria forense, spesso si pone il problema di valutare la resistenza in opera del calcestruzzo ai fini della collaudabilità delle strutture o per stabilire le responsabilità del produttore di calcestruzzo e dell'impresa. Il metodo Holos, qui illustrato, consente di valutare la resistenza in opera del calcestruzzo sia per accertare la collaudabilità che per stabilire le responsabilità dei soggetti coinvolti, prendendo in esame tutti i fattori influenzanti il valore finale della resistenza. Infatti, a seguito di un confronto con la letteratura a disposizione, si evidenzia come alcune metodologie tralascino degli aspetti che a volte possono, invece, essere basilari. Quindi, diventa di fondamentale importanza valutare caso per caso la strada da intraprendere al fine di conseguire un giudizio affidabile sulle prestazioni del materiale. Utilizzando il Metodo Holos sia per il calcolo della resistenza in opera che per la stima della resistenza potenziale del calcestruzzo, avendo a disposizione tutti i fattori influenzanti, sarà possibile minimizzare i rischi di non stimare correttamente le effettive proprietà del materiale.

#### 5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACI Committee 214, "Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results", ACI 214.4R-03.

Barbarito, B. "Sulla determinazione della resistenza del conglomerato cementizio in opera" - IIC n. 4 (1969), pp 315-324.

Bartlett, F. M., and MacGregor, J. G., 1994d, "Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths," ACI Materials Journal, V. 91, No. 5, Sept.-Oct., pp. 460-470.

British Standard, "Testing Concrete – part 120: Method for determination of the compressive strength of concrete cores", BS 1881-120:1983

Concrete Society, 1987, "Concrete Core Testing for Strength," Technical Report No. 11, The Concrete Society, London, 44 pp.

Coppola, L., "Concretum", pp.660, McGraw-Hill, Milano, Italia (2007)

The Workshop "The New Boundaries of Structural Concrete", organized at the University of Salerno (Italy) in April 2010, arises from a joined initiative between this University and the American Concrete Institute (ACI) Italy Chapter.

The workshop has been articulated by organizing the over 40 lectures in four different sessions. These sessions are listed below by following the chronological order scheduled by the workshop program:

Session A – Performance and life-cycle costs of new concrete structures

Session B – Controlled-performance concrete

Session C - New Scenarios for concrete

Session D – Concrete quality control on site

The Proceedings volume collects the latest advances of the research in the above mentioned topics and so, is addressed not only to members of the scientific community but also to representatives of the industry and to professionals directly involved in the design and construction of new structures and in the retrofitting of existing ones.

The workshop has been sponsored by General Admixtures, Irpinia Calcestruzzi and OICE

