



Calibrazione sperimentale del metodo SonReb per costruzioni della Provincia di Caserta degli anni '60÷'80

Giuseppe Faella, Mariateresa Guadagnuolo, Alfonso Donadio, Luca Ferri
Seconda Università di Napoli, Abbazia di S. Lorenzo ad Septimum, 81031, Aversa (CE)

Keywords: Prove non distruttive, Carotaggi, SonReb, Provincia di Caserta

ABSTRACT

La valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera richiede la disponibilità di metodi di indagine affidabili e non eccessivamente onerosi, non solo dal punto di vista economico. Questa finalità è da tempo conseguita attraverso l'uso combinato di indagini sclerometriche ed ultrasoniche (metodo SonReb), che possono essere facilmente impiegate in modo diffuso sulle costruzioni, in sostituzione di una percentuale di prove parzialmente distruttive, quali i carotaggi. Il metodo SonReb conduce tuttavia a valutazioni della resistenza del calcestruzzo inevitabilmente affette da diverse incertezze, dipendenti, tra l'altro, dall'affidabilità dei coefficienti utilizzati per correlare i risultati sperimentali delle due metodologie di base con la resistenza del calcestruzzo. Le numerose formulazioni disponibili in letteratura sono state per lo più sviluppate per calcestruzzi con caratteristiche ricorrenti di resistenza, mentre quelli delle costruzioni esistenti hanno frequentemente caratteristiche diverse e resistenze minori, che possono renderle non affidabili. In tale ottica in questo lavoro, utilizzando un esteso campione di dati sperimentali, sono tarati i coefficienti di correlazione di due formulazioni specifiche per le costruzioni in c.a. realizzate nella Provincia di Caserta tra gli anni '60 ed '80.

1 INTRODUZIONE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate nel 2008 (NTC 2008), prevedono che, preliminarmente alla fase di valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti in c.a., siano eseguite prove di caratterizzazione meccanica dei materiali strutturali.

Per il calcestruzzo, la stima della resistenza può essere effettuata attraverso diverse indagini parzialmente distruttive o di tipo non distruttivo. Per quanto riguarda le prime, la metodologia di indagine più diffusa è costituita dalla estrazione di carote, che forniscono risultati localmente affidabili ma talvolta poco rappresentativi, dato il numero limitato di provini che, sia per motivi tecnici che economici, è in genere possibile estrarre da pilastri e travi. I risultati ottenuti potrebbero infatti non essere indicativi delle caratteristiche globali della struttura ai fini della

stima della resistenza di calcolo, atteso che in alcuni casi anche i valori ottenuti all'interno di uno stesso elemento strutturale possono presentare una variabilità elevata. Le prove non distruttive sono più economiche e di più estesa applicabilità, ma stimando in modo indiretto la resistenza del calcestruzzo, sono condizionate da numerosi fattori, ed il loro utilizzo esclusivo può determinare risultati poco affidabili. Tra le prove non distruttive si è diffuso molto l'impiego del metodo combinato denominato SonReb (Menditto 2008), che, come noto, abbina la misura della velocità di propagazione degli ultrasuoni (UNI EN 12504-4, 2005) alla misura dell'indice di rimbalzo sclerometrico (UNI EN 12504-2, 2001). Alla luce di quanto premesso, è prassi alquanto consolidata sostituire una percentuale delle prove parzialmente distruttive, con un più ampio numero (circa il triplo) di prove non distruttive da tarare su quelle parzialmente distruttive.

La forte diffusione del metodo SonReb, rispetto ad altre metodologie di indagine, deriva, probabilmente, sia dalla semplicità e rapidità di esecuzione, sia dalla maggiore affidabilità rispetto alle singole metodologie ultrasonica e sclerometrica, essendo ridotta l'influenza di alcuni fattori (dimensione degli inerti, dosaggio dell'impasto, tipo di cemento, disomogeneità tra strato superficiale e strati profondi, grado di maturazione, umidità, ecc.). Infatti, il contenuto di umidità conduce a sottostime dell'indice sclerometrico e a sovrastime della velocità ultrasonica, mentre all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta e la velocità ultrasonica diminuisce, falsando i risultati. Inoltre, negli edifici in c.a. di oltre 20 anni, la carbonatazione del calcestruzzo comporta ulteriori incrementi dell'indice di rimbalzo, rendendolo meno rappresentativo della resistenza del conglomerato.

In entrambi i tipi di prova, anche se in misura nettamente diversa, il passaggio critico è quello di stabilire il rapporto tra i risultati delle indagini sperimentali ed i valori della resistenza del calcestruzzo. E a tal proposito deve essere considerato che anche il metodo SonReb conduce a valutazioni della resistenza del calcestruzzo inevitabilmente affette da incertezze, dipendenti, tra l'altro, dalla affidabilità dei coefficienti utilizzati per correlare i risultati sperimentali delle due metodologie di base con la resistenza del calcestruzzo. Allo stato, infatti, in letteratura e nei documenti normativi, sono disponibili numerose formulazioni, sviluppate, per lo più, per calcestruzzi aventi "caratteristiche ricorrenti". Ed è anche acclarato che nessuna delle espressioni disponibili ha una validità generale, fornendo valori di resistenza con differenze dell'ordine anche del 30÷40%, cui ne consegue una notevole difficoltà tecnica nella scelta del valore di resistenza da attribuire al calcestruzzo. Inoltre, molte formulazioni sono specificamente non valide per calcestruzzi di minore qualità. I calcestruzzi delle costruzioni esistenti hanno spesso caratteristiche diverse da quelli ordinari di nuova realizzazione e, soprattutto, resistenze basse, che potrebbero rendere non del tutto affidabili molte delle formulazioni disponibili in letteratura.

La rappresentatività di tali formulazioni può tuttavia essere incrementata, come è prassi, tarando i coefficienti di correlazione sui valori di resistenza forniti da prove di compressione su carote, sebbene anche tali valori debbano essere oggetto di correzioni che tengano conto delle caratteristiche del carotaggio.

In tale ambito, in questo lavoro sono messe a

Tabella 1. Parametri statistici del campione di dati

	$f_{c,carota}$ [MPa]	I_S	V_U [m/sec]
Media	17.20	34.80	3243
Deviazione standard	6.99	4.84	637
Coefficiente di variazione [%]	40.66	13.91	19.64

punto due formulazioni specifiche per il patrimonio di costruzioni in c.a. realizzate tra gli anni '60 ed '80 nella Provincia di Caserta, calibrate tarando i coefficienti di correlazione su un esteso campione di resistenze ottenute da prove di compressione su carote. Sono state, in particolare, selezionate ed analizzate numerose formulazioni presenti in letteratura per la correlazione tra i risultati delle indagini sperimentali in sito (prove sclerometriche ed ultrasoniche) e le caratteristiche di resistenza del calcestruzzo. Utilizzando lo specifico patrimonio di dati sperimentali in possesso degli autori (resistenza di carote, valori ultrasonici e sclerometrici relativi allo stesso elemento strutturale delle costruzioni oggetto del lavoro), è stata valutata la loro rappresentatività per le specifiche costruzioni in esame, che ha mostrato la opportunità di pervenire alla calibrazione di nuove relazioni specifiche, percorrendo un procedimento già tracciato in altri lavori, quali (Cristofaro et al. 2009).

2 IL CAMPIONE DI DATI

I dati elaborati sono relativi ad edifici esistenti con destinazione scolastica ubicati nella provincia di Caserta e realizzati nel ventennio 1960÷80, e per i quali si dispone sia dei risultati di indagini distruttive che di indagini non distruttive. Sono stati, ovviamente, utilizzati i soli dati relativi ad elementi strutturali per i quali si dispone sia dei risultati dei carotaggi sia delle indagini sclerometriche ed ultrasoniche, indistintamente se si tratti di un pilastro o di una trave. La Tabella 1 contiene il valore medio delle resistenze $f_{c,carota}$ delle carote, dell'indice di rimbalzo I_S e della velocità di propagazione del segnale ultrasonico V_U del campione di dati utilizzato, nonché il valore della deviazione standard σ e del coefficiente di variazione C_v .

Il valore del coefficiente di variazione delle resistenze delle carote, pari al 40.66 %, mostra che il campione di dati è sufficientemente rappresentativo poiché contiene dati di resistenza alquanto dispersi, ossia relativi a calcestruzzi di

differente qualità. I dati utilizzati riguardano, in particolare, carote con resistenze comprese tra 6.97 MPa e 39.80 MPa.

La calibratura di una formulazione per il metodo SonReb, come è prassi in letteratura, richiede di fare riferimento ad una resistenza cubica del calcestruzzo $f_{c,cub}$. Ciò è abitualmente effettuato convertendo la resistenza $f_{c,carota}$ in un valore di resistenza cubica, mediante relazioni che portano in conto, attraverso coefficienti correttivi, la direzione di prelievo rispetto al getto, le dimensioni e il rapporto diametro/altezza della carota, il disturbo arrecato alla carota durante l'estrazione, l'eventuale presenza di armatura all'interno della carota, le condizioni di umidità della carota.

A tal fine, diventando il valore della resistenza cubica il valore di riferimento per le successive analisi numeriche, sono state inizialmente considerate numerose relazioni disponibili in letteratura, ed in particolare:

$$Cestelli Guidi, Morelli (1981) \quad f_{c,cub} = \frac{k_2 \cdot R}{1.5 + d/h}$$

$$Cestelli Guidi (1981) \quad f_{c,cub} = 1.5 \cdot \frac{1.25 \cdot k_2 \cdot R}{(1.5 + d/h)}$$

$$British Standard (1983) \quad f_{c,cub} = \frac{k_1 \cdot R}{1.5 + d/h}$$

$$Barbarito (1983) \quad f_{c,cub} = R \cdot \frac{k_a \cdot \phi \cdot \psi}{(1.5 + d/h)}$$

$$Concrete Society (1987) \quad f_{c,cub} = \frac{1.25 \cdot k_2 \cdot R}{1.5 + d/h}$$

$$Circolare ANAS 14/88 \quad f_{c,cub} = \frac{1.5 \cdot k_2 \cdot R}{0.83(1.5 + d/h)}$$

$$Braga et al. (1992) \quad f_{c,cub} = \frac{k_2 \cdot R}{1.5 + d/h} \varphi$$

$$Fema 274 (1997) \quad f_{c,cub} = R \cdot F_h F_d F_r F_m F_d / 0.83$$

$$ACI 214.4R-03 \quad f_{c,cub} = R \cdot F_h F_d F_m F_d / 0.83$$

$$Augenti, Puccinotti (2003) \quad f_{c,cub} = R \cdot \frac{1.1 \cdot k_2}{1.5 + d/h}$$

$$Augenti (2003) \quad f_{c,cub} = 0.83 \cdot R^{1.1} / c$$

$$Masi, Collepari (2005) \quad f_{c,cub} = R \cdot C_h C_d C_a F_d / 0.83$$

$$OPCM 3431 (2005) \quad f_{c,cub} = R \cdot C_h C_d C_a F_d / 0.83$$

$$Puccinotti (2007) \quad f_{c,cub} = \alpha_1 \alpha_2 C_{dia} C_d \left(\sum_{i=1}^n c_h^i R \right) / n$$

$$L.Guida LP.2008 \quad f_{c,cub} = R \cdot [1 + 0.25(h/d - 1)] / 0.85$$

$$NTC 2008 \quad f_{c,cub} = \frac{R}{0.83 \cdot (d/h - 1) - (d/h - 2)}$$

Tabella 2. Valori medi di $f_{c,cub}$ e deviazione standard

	$f_{c,cub}$ [MPa]	σ [MPa]
<i>Cestelli Guidi, Morelli (1981)</i>	17.20	6.99
<i>Cestelli Guidi (1981)</i>	32.26	13.12
<i>British Standard (1983)</i>	21.51	8.74
<i>Barbarito (1983)</i>	32.65	13.27
<i>Concrete Society (1987)</i>	21.51	8.74
<i>Circolare ANAS 14/88</i>	31.09	12.64
<i>Braga et al. (1992)</i>	22.80	9.27
<i>Fema 274 (1997)</i>	21.09	8.58
<i>ACI 214.4R-03</i>	21.97	8.93
<i>Augenti, Puccinotti (2003)</i>	18.93	7.69
<i>Augenti (2003)</i>	19.13	8.65
<i>Masi, Collepari (2005)</i>	24.87	10.11
<i>OPCM 3431 (2005)</i>	22.80	9.27
<i>Puccinotti (2007)</i>	23.74	9.65
<i>Linee Guida C.Sup. LP 2008</i>	25.30	10.29
<i>NTC 2008</i>	20.73	8.43
Valore medio	23.60	9.65
Valore medio utilizzato	22.60	9.54

Per i valori dei singoli coefficienti che compaiono nelle precedenti espressioni si rinvia ai rispettivi lavori o documenti normativi (British Standard 1983, Concrete Society 1987, Braga et al. 1992, American Concrete Institute 2003, Faella et al. 2004, Masi 2005, D'Amato et al. 2007, D'Ambrisi et al. 2007, Ferrini et al. 2007, Faella et al. 2008).

Nella Tabella 2 sono riportati il valore medio della resistenza cubica fornito dalle precedenti espressioni, nonché la corrispondente deviazione standard. Dall'esame della tabella si rileva che le espressioni contemplate presentano una certa dispersione, conducendo a valori di $f_{c,cub}$ che in taluni casi sono il doppio di altri. Il valore medio di $f_{c,cub}$ fornito da tutte le formulazioni considerate è pari a 23.60 MPa. La Figura 1 riporta i valori medi di $f_{c,cub}$ fornito dalle espressioni considerate, il relativo valore medio (con linea continua di colore rosso) e la corrispondente dispersione individuata dalla deviazione standard σ_m (indicata con linea tratteggiata).

Al fine di utilizzare un campione di dati rappresentativo, nelle elaborazioni sono state inizialmente eliminate le terne di valori $f_{c,cub}$, I_s e V_U non caratterizzate da un legame congruente tra l'indice di rimbalzo e la velocità di propagazione del segnale ultrasonico con la corrispondente resistenza della carota $f_{c,carota}$. Ciò per non inficiare i risultati delle successive analisi

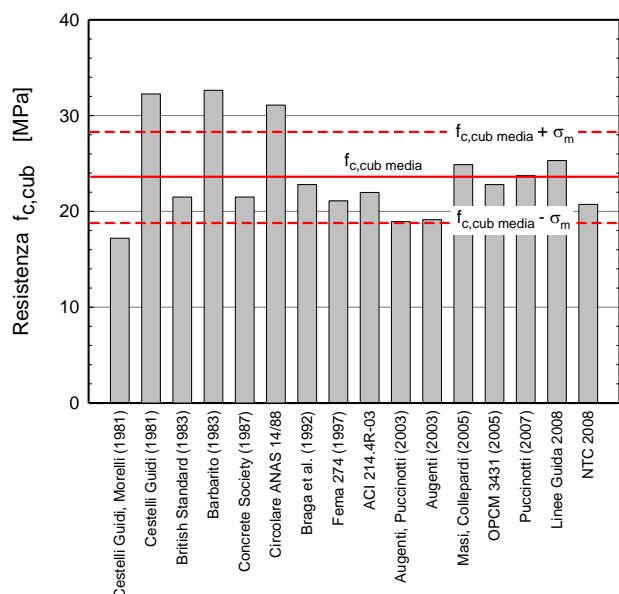


Figura 1. Confronto tra i valori medi della resistenza $f_{c,cub}$ forniti dalle formulazioni considerate

numeriche relative al metodo SonReb. La determinazione del valore medio di riferimento della resistenza $f_{c,cub}$ è stata, inoltre, effettuata, eliminando le formulazioni che, nella correzione della resistenza della carota, conducono a valori di $f_{c,cub}$ esterni all'intervallo individuato dalla deviazione standard (Figura 1). Le suddette esclusioni hanno condotto ad una resistenza media di riferimento del campione di dati $f_{c,cub}$ pari a 22.60 MPa.

Si deve rilevare che i dati a disposizione presentano, oltre alla variabilità dipendente dalla differente qualità dei calcestruzzi, anche la tipica dispersione caratteristica delle diverse tipologie di indagine (Dolce et al. 2006). Una certa dispersione nelle misure è, infatti, fisiologica in considerazione dell'intrinseca variabilità delle proprietà meccaniche e delle condizioni del calcestruzzo, nonché delle caratteristiche dei diversi metodi di prova.

3 FORMULAZIONI SONREB DISPONIBILI IN LETTERATURA

In letteratura sono disponibili numerose formulazioni di natura empirica che consentono di stimare la resistenza del calcestruzzo con il metodo combinato SonReb. In quanto segue sono state inizialmente prese in considerazione le seguenti formulazioni:

$$\text{Giacchetti, Lacquaniti (1980)} \quad R_c = 7.695 \cdot 10^{-11} I_s^{1.4} V_u^{2.6}$$

$$\text{Bocca, Cianfrone (1983)} \quad R_c = 2.756 \cdot 10^{-10} I_s^{1.311} V_u^{2.487}$$

$$\text{Gasparik (1992)} \quad R_c = 8.06 \cdot 10^{-8} I_s^{1.246} V_u^{1.85}$$

$$\text{Di Leo, Pascale (1994)} \quad R_c = 1.2 \cdot 10^{-9} I_s^{1.058} V_u^{2.446}$$

$$\text{Tanigawa et al. (1994)} \quad R_c = 0.9 \cdot I_s + 0.022 \cdot V_u - 94$$

$$\text{Kheder et al. (1998)} \quad R_c = 0.0158 \cdot I_s^{1.117} V_u^{0.4254}$$

$$\text{Del Monte et al. (2004)} \quad R_c = 4.40 \cdot 10^{-7} (I_s^2 V_u^3)^{0.5634}$$

$$\text{Masi et al. (2007)} \quad R_c = 1.88 \cdot 10^{-12} I_s^{2.256} V_u^{2.737}$$

$$\text{Cristofaro et al. (2009)} \quad R_c = 10^{-4.251} I_s^{0.686} V_u^{1.281}$$

$$\text{Bufarini et al. (2010)} \quad R_c = 0.00004 \cdot I_s^{1.88148} V_u^{0.8084}$$

$$\text{Lenzi et al. (2010)} \quad R_c = 7.876 \cdot 10^{-19} I_s^{1.747} V_u^{4.636}$$

in cui la velocità di propagazione del segnale ultrasonico V_U è da inserire in m/sec (Bocca and Cianfrone 1983, Gasparik 1992, Di Leo and Pascale 1994, Del Monte et al. 2004, Masi et al. 2007, Cristofaro et al. 2009, Bufarini et al. 2010), le formulazioni:

$$\text{Bellander (1979)} \quad R_c = -25.568 + 0.000635 I_s^3 + 8.397 V_u$$

$$\text{Meynink et al. (1979)} \quad R_c = -24.668 + 1.427 I_s + 0.0294 V_u^4$$

$$\text{Gasparik (1984)} \quad R_c = 0.0286 \cdot I_s^{1.246} V_u^{1.85}$$

$$\text{Tanigawa et al. (1984)} \quad R_c = 0.745 I_s + 0.951 V_u - 0.544$$

$$\text{Arioglu et al. (1996)} \quad R_c = 0.00153 \cdot (I_s^3 V_u^4)^{0.611}$$

$$\text{Ramyar et al. (1996)} \quad R_c = -39.57 + 1.532 I_s + 5.0614 V_u$$

in cui la velocità V_U deve essere espressa in km/sec (D'Ambrisi et al. 2007, Erdal 2009), nonché le seguenti espressioni proposte in documenti normativi (RILEM 1993, D'Amato et al. 2007):

$$\text{RILEM NDT4} \quad R_c = 7.695 \cdot 10^{-11} I_s^{1.4} V_u^{2.6} \text{ [m/sec]}$$

$$\text{Australia} \quad R_c = 0.76 I_s + 0.1 V_u^4 - 12 \text{ [km/sec]}$$

$$\text{Giappone} \quad R_c = c_t I_s + 22 V_u - 94 \text{ [km/sec]}$$

$$\text{Basilicata} \quad R_c = 1.453 \cdot I_s^{0.5282} V_u^{2.6237} \text{ [m/sec]}$$

Le Figure 2 e 3 riportano il valore stimato della resistenza cubica R_c da ciascuna delle suddette espressioni, calcolato come media dei valori calcolati utilizzando il campione di dati selezionato. Nelle figure è anche riportato il valore medio $f_{c,cub}$ assunto come riferimento (valore obiettivo). I valori forniti dalla espressione proposta da Tanigawa et al. del 1994 e quella contenuta nella norma giapponese non sono riportate nelle suddette figure in quanto, nel caso in esame, conducono a valori decisamente differenti dalla resistenza $f_{c,cub}$. Le figure mostrano che le espressioni prese in

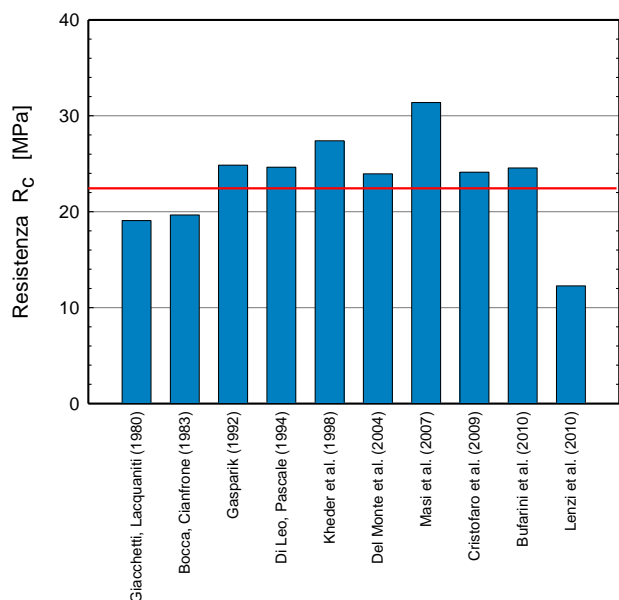


Figura 2. Confronto tra i valori medi della resistenza R_c stimati dalle correlazioni SonReb considerate

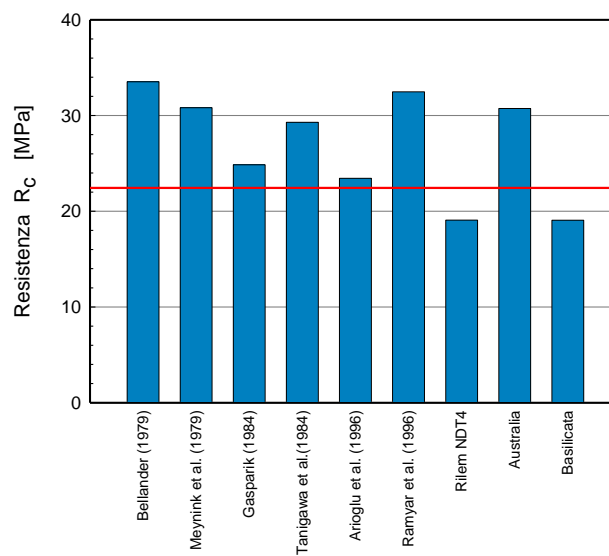


Figura 3. Confronto tra i valori medi della resistenza R_c stimati dalle correlazioni SonReb considerate

considerazione hanno differenti capacità previsionali, e, quindi, non tutte colgono con sufficiente approssimazione la resistenza media dei calcestruzzi presi in esame.

Le Figure 4 e 5 contengono i corrispondenti valori del coefficiente di variazione, e mostrano che i modelli previsionali esaminati hanno coefficienti variabili tra il 12.31% (Tanigawa et al. 1984) ed il 72.71% (Lenzi et al.).

Tra le espressioni considerate, le sei proposte da Gasparik, Di Leo e Pascale, Del Monte et al., Cristofaro et al., Bufarini et al. ed Arioglu et al. forniscono, nel caso in esame, una previsione più vicina al valore obiettivo della resistenza $f_{c,cub}$ di 22.60 MPa, seppure con una sovrastima e con coefficienti di variazione compresi tra il 21.82% (Cristofaro et al.) ed il 45.05% (Arioglu et al.). Si è quindi ritenuto opportuno mettere a punto un modello numerico specifico per i calcestruzzi in esame e confrontarlo con i risultati forniti dalle suddette sei relazioni che sembrano essere maggiormente rappresentative per le costruzioni considerate in questo lavoro.

4 FORMULAZIONE SONREB PROPOSTA PER LE COSTRUZIONI IN ESAME

La resistenza del calcestruzzo viene usualmente stimata correlando, come proposto nella maggior parte dei modelli previsionali disponibili in letteratura, l'indice di rimbalzo I_s e la velocità di propagazione degli ultrasuoni V_U alla resistenza cubica del calcestruzzo ottenuta dalle prove su carote. Tale correlazione viene dedotta mediante un'analisi multi-regressiva,

utilizzando come variabile dipendente la resistenza cubica e come variabili indipendenti i parametri I_s e V_U , usualmente adottando le seguenti due tipologie di funzione:

$$R_c = a \cdot I_s^b \cdot V_u^c \quad (1)$$

$$R_c = a + b \cdot I_s + c \cdot V_u \quad (2)$$

Considerando il solo campione di dati sperimentali selezionato, sono stati calibrati i coefficienti a , b e c di entrambe le funzioni (1) e (2) attraverso il classico procedimento dei minimi quadrati.

L'analisi di regressione relativa alla funzione di potenza (1) ha condotto alla seguente espressione:

$$R_c = 2.6199 \cdot 10^{-8} \cdot I_s^{0.5341} \cdot V_u^{2.2878} \quad (3)$$

L'analisi di regressione relativa alla espressione di tipo lineare (2) ha condotto a:

$$R_c = 0.26511 \cdot I_s + 0.01385 \cdot V_u - 34.51583 \quad (4)$$

Le suddette espressioni, da assumere valide specificamente per le strutture in esame, dovrebbero quindi consentire di stimare le resistenze del calcestruzzo anche in elementi strutturali su cui siano effettuate solo prove non distruttive, utilizzando comunque i risultati del numero minimo di carote previsto dalle norme per tarare la formulazione numerica attraverso un coefficiente premoltiplicativo di normalizzazione. Si deve, infatti, ricordare che il metodo combinato SonReb permette di ricavare il carico di rottura con approssimazioni che Facaoaru

(1970) ritiene del 15% se sono estratte di taratura e del 30% nel caso contrario.

Applicando l'espressione (3) al campione di dati utilizzato si perviene ad un valore medio della resistenza cubica R_c pari a 22.49 MPa, con un coefficiente di variazione del 33.86%. L'espressione (4) conduce ad una resistenza cubica media pari a 22.59 MPa con un coefficiente di variazione pari al 31.04%. Entrambe le espressioni conducono quindi a valori medi più prossimi a $f_{c,cub}$ rispetto ai sei modelli predittivi selezionati come riferimento, con valori dei coefficienti di variazione accettabili.

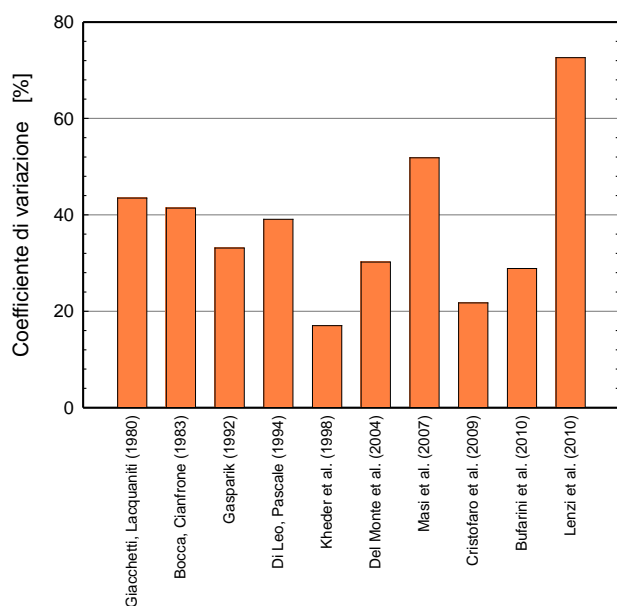


Figura 4. Coefficiente di variazione della resistenza stimata R_c ottenuti con le correlazioni considerate

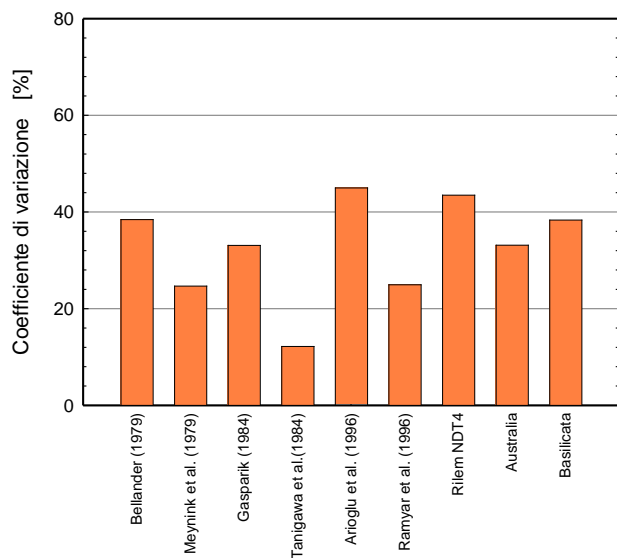


Figura 5. Coefficiente di variazione della resistenza stimata R_c ottenuti con le correlazioni considerate

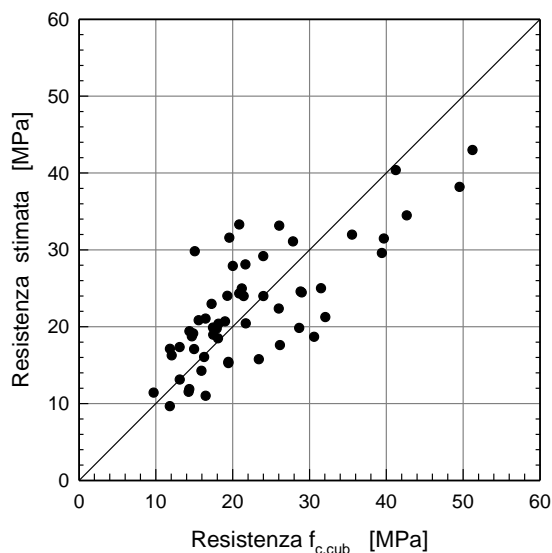


Figura 6. Resistenze stimate con l'espressione (3)

La Figura 6 contiene la relazione tra i valori di $f_{c,cub}$ e quelli stimati attraverso la (3). La bisettrice del quadrante rappresenta ovviamente la correlazione diretta, e quindi quanto più i dati sono prossimi a tale retta, tanto più la previsione risulta essere ritenuta rappresentativa. Nel caso in esame i dati sono alquanto addensati sulla bisettrice del quadrante, ad eccezione di alcuni valori che si discostano in misura maggiore. La Figura 7 mostra la stessa relazione ottenuta utilizzando l'espressione 4.

In conclusione la Figura 8 e la Figura 9 contengono la rappresentazione grafica dell'espressione (3), in confronto con tre delle relazioni maggiormente utilizzate nella pratica,

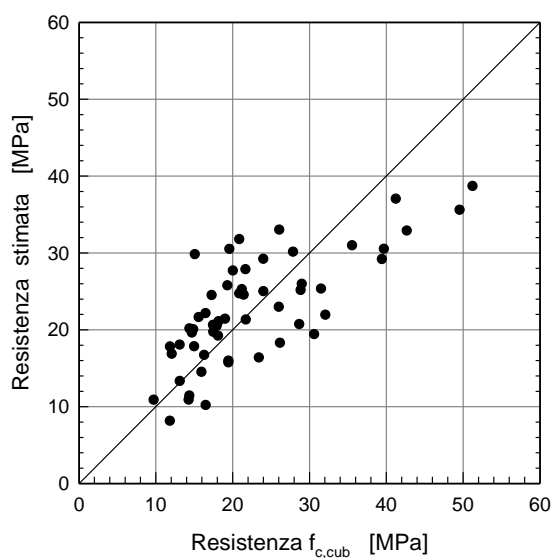


Figura 7. Resistenze stimate con l'espressione (4)

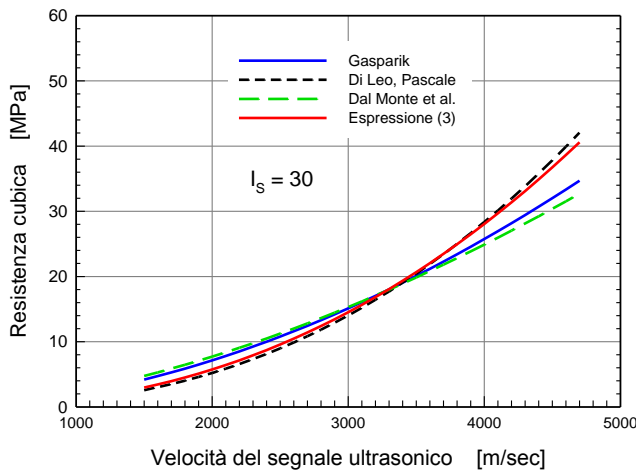


Figura 8. Rappresentazione grafica di formulazioni SonReb per $I_s = 30$

professionale ossia quelle proposte da Gasparik, Di Leo e Pascale, e Dal Monte et al. Le curve sono state tracciate al variare della velocità di propagazione del segnale ultrasonico, prefissando due valori dell'indice di rimbalzo sclerometrico, assunti rispettivamente pari a 30 (Figura 8) e 40 (figura 9), ritenuti rappresentativi dell'intervallo all'interno del quale ricadono il maggior numero di valori ricorrenti. Le figure mostrano che per valori bassi dell'indice di rimbalzo I_s l'espressione (3) è molto prossima a quella proposta da Di Leo e Pascale, mentre per valori maggiori di I_s la (3) si discosta e conduce a valori sempre minori al crescere della velocità V_U .

5 CONCLUSIONI

Le numerose formulazioni disponibili in letteratura per stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in sito utilizzando il metodo combinato SonReb sono state per lo più messe a punto per calcestruzzi che hanno caratteristiche diverse e resistenze superiori rispetto a quelle generalmente caratterizzanti le strutture esistenti. In questo lavoro, utilizzando la disponibilità di numerose misure sclerometriche ed ultrasoniche eseguite su pilastri e travi da cui sono state estratte anche carote, ha consentito di definire due relazioni valide specificamente per i calcestruzzi delle costruzioni dell'area casertana realizzate tra il 1960 ed il 1980. Le analisi sono state, in particolare, svolte utilizzando un campione di dati, appartenenti a costruzioni con destinazione scolastica, sufficientemente significativo dal punto di vista statistico, in quanto costituito da un ampio numero di dati relativi a calcestruzzi con resistenze differenti.

Le analisi effettuate hanno innanzitutto

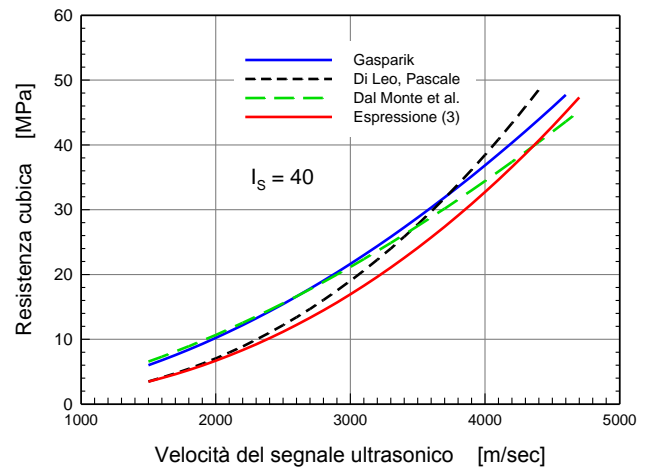


Figura 9. Rappresentazione grafica di formulazioni SonReb per $I_s = 40$

confermato che alcune delle formulazioni relative al metodo SonReb presenti in letteratura non sono affidabili per le caratteristiche dei calcestruzzi presi in considerazione, sovrastimando spesso la resistenza del calcestruzzo, ed essendo caratterizzate da elevati coefficienti di variazione.

Sono state quindi messe a punto due formulazioni, una di potenza ed una di tipo lineare, i cui coefficienti sono stati calibrati sui dati disponibili. Entrambe le relazioni sembrano stimare nettamente meglio la resistenza a compressione del calcestruzzo delle costruzioni prese in considerazione, la cui rappresentatività è stata controllata sia con riferimento all'intero campione di dati considerato sia con riferimento ai dati relativi a singole costruzioni.

I risultati ottenuti hanno ovviamente validità solo in riferimento al campione di dati analizzato, mentre la generalizzazione dell'espressione di correlazione richiede ulteriori elaborazioni per la validazione su altri campioni di dati di dimensioni significative e relativi ad altre costruzioni esistenti in c.a., realizzate in epoche diverse.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato in parte svolto nell'ambito di una convenzione stipulata tra la Provincia di Caserta e la Facoltà di Architettura della Seconda Università degli Studi di Napoli. Si ringrazia pertanto il dott. arch. Giovanni Tuzio per aver fornito parte dei dati relativi alle costruzioni scolastiche. Si ringraziano inoltre la Benecon S.C.aR.L. ed il suo presidente, prof. arch. Carmine Gambardella, per aver fornito le attrezzature con le quali sono state eseguite parte delle indagini strumentali in sito.

BIBLIOGRAFIA

- American Concrete Institute 214.4R-03, 2003. *Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results*.
- Bocca P., Cianfrone S., 1983. Le prove non distruttive sulle costruzioni: una metodologia combinata. *L'Industria Italiana del Cemento*, 6, 429-436.
- Braga F., Dolce M., Masi A., Nigro D., 1992. Valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi di bassa resistenza mediante prove non distruttive. *L'Industria Italiana del Cemento*, 3, 201-208.
- British Standard 1881, 1983. *Testing Concrete, part 120 – Methods for determination of the compressive strength of concrete cores*.
- Bufarini S., D'Aria V., Giacchetti, R., 2010. *Il Controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura*. EPC Libri s.r.l.
- Concrete Society 1987. Concrete core Testing for Strength", *Technical Report No. 11*. The Concrete Society, London, 44.
- Cristofaro M. T., D'Ambrisi A., De Stefano M., 2009. Nuovi modelli previsionali per la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo con il metodo Sonreb. *ANIDIS 2009*, Bologna.
- NTC 2008, *Norme Tecniche per le costruzioni*. G.U. n. 29 del 04.02.2008.
- D'Amato M., Laterza M., Gigliotti R., 2007. Indagini distruttive e non distruttive su edifici in c.a. esistenti secondo l'OPCM 3274/3431: evidenze sperimentali e significatività dei risultati. *ANIDIS 2007*, Pisa.
- D'Ambrisi A., Cristofaro M. T., De Stefano M., Ferrini M., Pelliccia P., Signorini N., 2007. Resistenza a compressione del calcestruzzo di strutture in c.a. esistenti. *ANIDIS 2007*, Pisa.
- Del Monte E., Lavacchini G., Vignoli A., 2004. Modelli per la previsione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, *Ingegneria Sismica*, N. 3, settembre-dicembre 2004
- Di Leo A., Pascale G., 1994. Prove non distruttive nelle costruzioni in c.a.. *Il giornale delle prove non distruttive*, n. 4.
- Dolce M., Masi A., Ferrini, M., 2006. Estimation of the actual in-place concrete strength in assessing existing RC structures, *The Second International FIB Congress*, June 5-8, 2006, Naples, Italy
- Erdal M., 2009. Prediction of the compressive strength of vacuum processed concretes using artificial neural network and regression technique, *Scientific Research and Essay*, 4 (10), 1057-1065, October.
- Facaoaru I., 1970. Non-destructive testing of concrete in Romania. *Proc. Symposium on Non-destructive Testing of Concrete and Timber*, June 11-12 1969, Institution of Civil Engineers, pp 39-49
- Faella C., De Santo D., Martinelli E., Candela M., Nigro M., 2004. Indagini conoscitive su alcuni edifici scolastici con struttura portante in c.a. per la valutazione della vulnerabilità sismica. *15° Congresso C.T.E.*, 4-6 novembre 2004, Bari.
- Faella C., Martinelli E., Salerno N., 2008. Alcune considerazioni sui metodi non distruttivi per la determinazione delle proprietà meccaniche del calcestruzzo. *17° Congresso C.T.E.*, 5-8 novembre 2008, Roma.
- Ferrini M., Signorini N., Pelliccia P., Pistola F., Prestifilippo V., Sabia G., Tovazzi L., 2007. Valutazione delle caratteristiche meccaniche delle strutture di edifici esistenti in cemento armato: la ventennale esperienza della Regione Toscana per la codifica di una metodologia standardizzata di raccolta e interpretazione dei dati. *ANIDIS 2007*, Pisa.
- Gasparik J., 1992. Prove non distruttive in edilizia. *Quaderno didattico AIPND*, Brescia;
- Masi A., 2005. La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive, *Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica*, 1/2005. DiSGG, Università degli Studi di Basilicata, Potenza
- Masi A., Dolce M., Vona M., Nigro D., Pace G., Ferrini M., 2007. Indagini sperimentali su elementi strutturali estratti da una scuola esistente in c.a.. *ANIDIS 2007*, Italia, Pisa.
- Menditto G., 2008. *Indagini semidistruttive e non distruttive nell'ingegneria civile: disciplina tecnica, applicativa e normativa*, Cap. 12, 375-385, Ed. Pitagora, Bologna.,
- RILEM Recommendation, 1993. *NDT 4 Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods*, Compendium of RILEM Technical Recommendations, E&FN Spon, London.
- UNI EN 12504-2:2001. *Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico*
- UNI EN 12504-4:2005. *Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici*