

Alcune considerazioni nell'utilizzo del metodo *SonReb* per la stima della resistenza a compressione di elementi in calcestruzzo

1. INTRODUZIONE

Tra le metodologie di indagini indirette per la stima della resistenza a compressione in situ del calcestruzzo, quella denominata “SonReb” (acronimo di *Sonic* and *Rebound*) ha trovato una notevole diffusione in quanto presenta una serie di vantaggi che elenchiamo brevemente:

- Rapidità di esecuzione;
- Possibilità di eseguire indagini diffuse;
- Costi ridotti.

Tale metodologia viene però molto spesso utilizzata senza le dovute attenzioni, in quanto le misure ottenute possono portare a risultati fuorvianti se non opportunamente correlate a prove dirette. In letteratura è infatti possibile trovare numerose relazioni che legano l'indice di rimbalzo sclerometrico alla velocità di propagazione del segnale, fornendo come risultato una resistenza; il tecnico che si trovasse nelle condizioni di dover scegliere una formula, non saprebbe quale adottare dato che i valori di resistenza che si ottengono sono sensibilmente diversi uno dall'altro.

$$R_c = 7,695 \cdot 10^{-11} S^{1,4} V^{2,6} \text{ - Giacchetti - Lacquaniti (1980)}$$

$$R_c = 2,756 \cdot 10^{-10} S^{1,311} V^{2,487} \text{ - Bocca - Cianfrone (1983)}$$

$$R_c = 8,06 \cdot 10^{-8} S^{1,246} V^{1,85} \text{ - Gasparik (1992)}$$

$$R_c = 1,20 \cdot 10^{-9} S^{1,058} V^{2,446} \text{ - Deleo - Pascale (1994)}$$



Fig.1. Alcune delle formule reperibili in letteratura.

Per dare significatività al metodo occorre quindi calibrarlo sulla base di indagini dirette, come ad esempio prove a rottura per compressione su campioni cilindrici prelevati dalla struttura mediante carotaggio.

2. CONSIDERAZIONI SUL METODO

Ciò che rende interessante la metodologia combinata (sclerometro e ultrasuoni) sono la semplicità e la rapidità di esecuzione, consentendo di analizzare in poco tempo e a costi ridotti estese porzioni di strutture; inoltre l'affidabilità delle singole prove è migliorata significativamente attraverso la loro combinazione.

Con l'esperienza si è notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce. L'uso combinato delle due prove consente quindi di compensare gli errori commessi usando singolarmente le due metodologie.



Fig.2. La strumentazione utilizzata per le prove SonReb: sclerometro e centralina per ultrasuoni (con le relative sonde).

La possibilità di compensare gli errori delle due tecniche deriva inoltre dalle loro caratteristiche intrinseche: mentre il rimbalzo dello sclerometro è influenzato dalle proprietà dello strato superficiale, la velocità degli ultrasuoni è influenzata prevalentemente dalle proprietà interne del materiale.

Infine, come già accennato, è indispensabile eseguire delle prove dirette su campioni prelevati dalle strutture per definire i coefficienti più appropriati della formula di correlazione; verranno quindi eseguite le prove SonReb anche nelle aree di prelievo dei campioni.

3. DESCRIZIONE DELLE FASI OPERATIVE DEL METODO

Anche se l'esecuzione delle indagini SonReb risulta abbastanza rapida, essa richiede comunque alcune fasi di preparazione che verranno illustrate qui di seguito.

A. Indagine pacometrica

BS 1881:204 [1988]

Nei punti di indagine viene eseguito preliminarmente un rilievo con pacometro per verificare la presenza o meno di ferri d'armatura che possono falsare la stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo misurate con lo sclerometro o con gli ultrasuoni; inoltre, nell'esecuzione dei carotaggi si deve evitare di tagliare i ferri d'armatura per non indebolire la struttura.

B. Rimozione dell'intonaco

Individuate le aree libere dalla presenza di ferri d'armatura, si procede all'eventuale rimozione dell'intonaco, se presente, per permettere l'esecuzione delle prove indirette; è fondamentale poter avere accesso diretto al calcestruzzo della struttura.

C. Carotaggi

UNI EN 12504-1 [2009]

I carotaggi per l'ottenimento dei campioni di calcestruzzo devono essere in numero adeguato per conferire significatività al metodo. Purtroppo, molto spesso, anche se in termini statistici è possibile valutare il numero minimo di campioni, il numero di prove è deciso dal committente in base alle disponibilità economiche.

L'apparecchiatura da utilizzarsi deve essere costituita da una carotatrice, con corona diamantata dotata di telaio di sostegno e serbatoio d'acqua per il raffreddamento continuo, al fine di arrecare il minor disturbo al campione prelevato. Subito dopo l'estrazione viene eseguita la prova alla fenoltaleina per evidenziare l'eventuale profondità di carbonatazione.

D. Indagine sclerometrica

UNI EN 12504-2 [2012]

Dopo aver liberato la superficie del calcestruzzo dalla presenza dell'intonaco ed averla adeguatamente levigata con una pietra abrasiva, viene individuata una griglia di 12 punti equi spazati, distanti tra loro almeno 25 mm, sui quali eseguire le battute sclerometriche, registrando gli indici di rimbalzo corrispondenti letti sulla scala dello strumento. L'indice di rimbalzo finale ottenuto è dato dalla media delle misure, avendo scartato precedentemente il valore più alto e il valore più basso.

Le prove da farsi per la calibrazione possono essere eseguite nel punto di estrazione prescelto della carota, prima di essa.

E. Indagine ultrasonica

UNI EN 12504-4 [2005]

Le prove ultrasoniche vengono effettuate per trasparenza allineando accuratamente la sonda emittente e la sonda ricevente sulle due facce opposte, interponendo tra la sonda e la superficie un gel aggrappante in modo da garantire una perfetta aderenza. L'impulso viene quindi emesso, misurando il tempo che intercorre tra l'istante di emissione e l'istante di ricezione. Noto lo spessore dell'elemento si ottiene il valore della velocità di propagazione del segnale come semplice rapporto tra le due grandezze.

Le velocità ultrasoniche utilizzate nella calibrazione possono essere eseguite sulle carote, una volta rettificate, prima della prova a rottura per compressione.

4. CALIBRAZIONE DEL METODO SONREB

Per stimare la resistenza del calcestruzzo con il metodo SonReb occorre calibrarlo con i dati sperimentali, utilizzando una correlazione del tipo:

$$R = a \cdot V^b \cdot I^c$$

dove

- R : resistenza a compressione del calcestruzzo (MPa);
- V : velocità di propagazione degli ultrasuoni (m/s);
- I : indice di rimbalzo sclerometrico (ad);
- a, b, c : costanti da determinare dai dati sperimentali.

L'equazione precedente può essere riscritta in forma logaritmica

$$\ln(R) = a' + b \cdot \ln(V) + c \cdot \ln(I)$$

con $a' = \ln(a)$ che resta una costante. Avendo definito pertanto come residuo i -esimo il seguente termine

$$\varepsilon_i = \ln(R_i) - [a' + b \cdot \ln(V_i) + c \cdot \ln(I_i)]$$

e l'errore quadratico medio

$$\bar{\varepsilon}^2 = \frac{1}{n} \sum \{ \ln(R_i) - [a' + b \cdot \ln(V_i) + c \cdot \ln(I_i)] \}^2$$

si determinano le costanti di calibrazione imponendo la condizione che esse rendano minimo l'errore quadratico medio; tale condizione si può ottenere annullando le derivate prime della funzione $\bar{\varepsilon}^2$ rispetto ai parametri incogniti

$$\frac{\partial \bar{\varepsilon}^2}{\partial a'} = \frac{\partial \bar{\varepsilon}^2}{\partial b} = \frac{\partial \bar{\varepsilon}^2}{\partial c} = 0$$

ottenendo un sistema di tre equazioni, risolvendo il quale si ricavano i valori cercati di a, b, c .

4. ESEMPIO DI CALIBRAZIONE

A seguire viene proposto un caso reale di indagini eseguite su un fabbricato la cui realizzazione risale a più di settanta anni fa.

Nelle tabelle seguenti vengono riassunti i valori di resistenza ottenuti in laboratorio dalla rottura delle carote estratte e i risultati indagini SonReb eseguite in maniera diffusa sull'intera struttura.

ID carota	Dimensioni Ø x h [mm]	Rottura [kN]	Resistenza Unitaria [N/mm ²]
C.01	94 x 94	108,7	15,7
C.02	94 x 94	70,8	10,2
C.03	94 x 94	107,6	15,5
C.04	84 x 84	113,8	20,5

Tab.1. Risultati delle rotture eseguite in laboratorio.

ID SonReb	Indice di rimbalzo	Spessore [cm]	Ritardo [μs]	Velocità [m/s]
SR.01 (C.01)	38	9,5	28	3.392
SR.02	40	30,0	95	3.158
SR.03	40	30,0	94	3.191
SR.04 (C.02)	44	9,5	30	3.167
SR.05	46	30,0	93	3.226
SR.06	44	30,0	99	3.030
SR.07	40	30,0	109	2.752
SR.08 (C.03)	44	9,5	29	3.276
SR.09	37	30,0	124	2.419
SR.10 (C.04)	46	8,5	24	3.542
SR.11	43	30,0	97	3.093
SR.12	39	30,0	100	3.000

Tab.2. Risultati delle indagini SonReb eseguite sulla struttura; i dati evidenziati in blu, insieme alle rotture, rappresentano i dati utilizzati nella calibrazione del metodo.

Nello specifico per la calibrazione, le misure della velocità di propagazione sono state eseguite sulle carote rettificate in laboratorio e le misure sclerometriche nei punti di prelievo delle carote, prima del carotaggio.

La formula di correlazione sperimentale risultante per il caso proposto è la seguente:

$$R = 3,2626 \cdot 10^{-11} \cdot V^{2,204} \cdot I^{2,386} \quad (MPa)$$

Ai fini della valutazione indiretta della resistenza a compressione del calcestruzzo in altri punti della struttura con il metodo SonReb, si può utilizzare quindi la relazione così ottenuta. Nel grafico di Figura 3 sono riportate le curve di iso-resistenza con l'ubicazione delle indagini effettuate. Sebbene il campione sia poco significativo a motivo del numero ridotto di prove dirette per la misura della resistenza a compressione, il grafico può fornire comunque una indicazione migliore sulle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo rispetto all'utilizzo di una qualsiasi formula ricavata dalla letteratura.

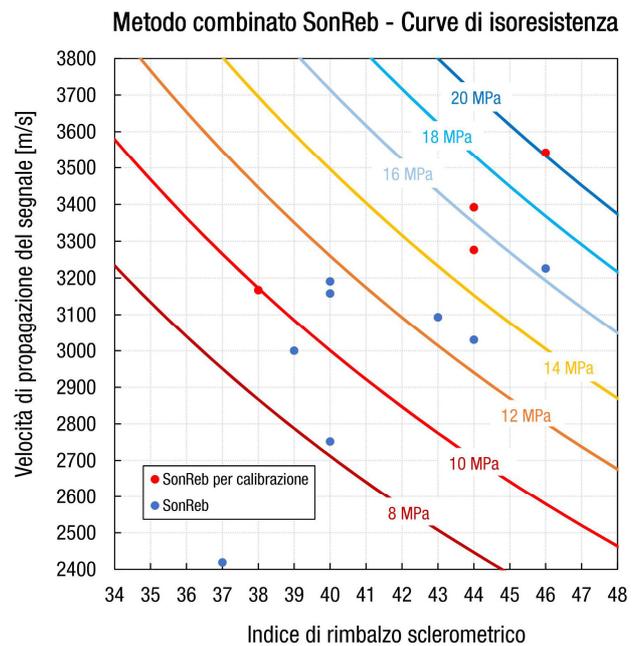


Fig.3. Il grafico riporta le curve di iso-resistenza che si ottengono dalla relazione ottenuta dalla calibrazione. I punti in rosso rappresentano le indagini SonReb effettuate nel punto di estrazione dei campioni sui quali sono state eseguite le prove a rottura per compressione, i punti in blu rappresentano le indagini SonReb eseguite su altri punti della struttura.

5. CONCLUSIONI

Concludendo si vogliono evidenziare alcuni aspetti fondamentali per una corretta pianificazione ed esecuzione delle indagini:

- Per definire al meglio i punti della struttura su cui svolgere le indagini, si rende necessario un sopralluogo in modo da verificare di persona l'effettiva fattibilità;
- Per l'esecuzione delle prove SonReb è fondamentale preparare adeguatamente le superfici avendo cura di rimuovere l'eventuale intonaco presente in modo da avere contatto diretto con il calcestruzzo;
- Risulta indispensabile prevedere anche un numero minimo di prove dirette per la misura della resistenza a compressione, in modo da calibrare e conferire validità al metodo.