

SCLEROMETRO: CALIBRAZIONE DI LABORATORIO E VERIFICA SUL CAMPO

F. Bovio, G. Bovio

BOVIAR s.r.l.- Milano

A. Brencich¹, G. Cassini², G. Riotta², D. Pera²

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale – DICCA, Univ. di Genova

¹*Direttore Tecnico dei Laboratori DICCA*

²*Laboratori DICCA, Ingegnere, Ph.D.*

P. Redaelli

Calcestruzzi Ezio Farina s.r.l.- Desio (MB)

Abstract

Una delle tecniche più diffuse per stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo è la prova di durezza superficiale effettuata con lo sclerometro noto anche come Schmidt Hammer. I produttori, a dispetto di un gran numero di lavori scientifici volti alla calibrazione della prova ed all'identificazione dei parametri che ne influenzano i risultati, forniscono, insieme allo strumento, ancora oggi la curva originale di Schmidt per le applicazioni di ingegneria strutturale. In questo documento viene presentata campagna di ricerca su larga scala svolta dal Laboratorio di Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Genova, in Italia. Lo scopo dell'indagine è studiare i numerosi parametri che influenzano la prova come: contenuto di umidità, maturazione, stato di sollecitazione del provino e piccole disomogeneità locali. Grazie ai risultati ottenuti si è potuto constatare che, trascurare l'influenza di questi parametri, porta a variazioni fino al 70% nella stima della resistenza del calcestruzzo. Inoltre, le numerose indagini effettuate in situ, su edifici esistenti, hanno mostrato una grande dispersione dei dati, questo a sostegno del fatto che la prova sclerometrica non è in grado di dare una stima attendibile della resistenza del calcestruzzo, ma sembra utile unicamente come strumento per la valutazione grossolana dell'omogeneità del materiale.

Parole chiave: Calcestruzzo, Resistenza a compressione, Prove Non Distruttive, Sclerometro, Schmidt, Affidabilità.

1. Introduzione

Nella pratica dell'Ingegneria Civile, la stima della qualità del calcestruzzo è necessaria, sia per i controlli di qualità dei nuovi edifici che per indagini di strutture esistenti. Tra le procedure NDT e MDT, la prova sclerometrica, è tra le più comunemente usate in tutto il mondo. La ragione di tale successo non è l'affidabilità del test, abitualmente inferiore al 30%, ma la semplicità della procedura, il basso costo delle apparecchiature e la sua facilità di utilizzo.

I metodi per la stima di resistenza del calcestruzzo basati sulla durezza superficiale risalgono a più di 100 anni fa [1], tuttavia, una procedura semplice e a basso costo è stata proposta solo all'inizio degli anni 50 [2 e 3] guadagnando attenzione sia dalla comunità scientifica [4 e 5] che del mondo professionale. L'uso mondiale della procedura [6] ha presto sollevato qualche dubbio sull'affidabilità del test, questo ha indotto lo sviluppo di un gran numero di progetti di ricerca, dagli anni '60 fino ad oggi, mirati ad ottenere una taratura più accurata [7]. Le prime tarature furono eseguite su campioni maturati in condizioni standard e solo lavori recenti, svolti negli ultimi due decenni [8-10], hanno separato gli effetti dei diversi parametri d'influenza con risultati che, talvolta, si discostano significativamente dalla curva di Schmidt, come ad esempio le modalità di realizzazione e la forma degli elementi. La dimensione ridotta della zona d'impatto dello strumento (diametro dell'ago di circa 20 mm), provoca una forte dipendenza del risultato dalla presenza di disomogeneità locali (fig. 1).

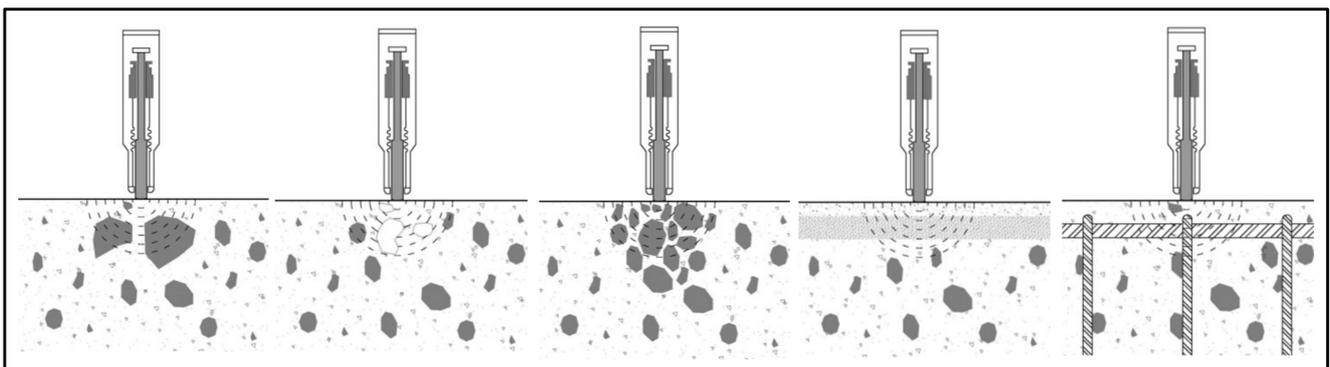


Figura 1 – Disomogeneità locali che influenzano la prova

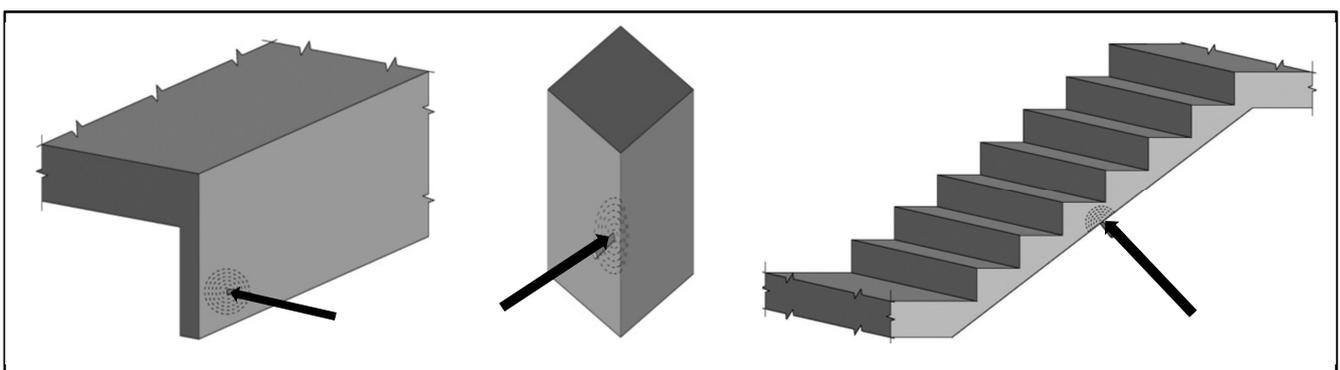


Figura 2 – Parametri strutturali e posizione di impatto che influenzano la prova

La forma degli elementi, strutture sottili o di dimensioni ridotte (fig. 2), può modificare il risultato della prova poiché le vibrazioni indotte dall'urto o l'esigua distanza dai bordi liberi alterano il rimbalzo della massa.

I più recenti risultati della ricerca scientifica mostrano che, lo sclerometro, può fornire qualche informazione utile sulla qualità del calcestruzzo a condizione che sia calibrato di volta in volta sul tipo specifico di miscela [11 e 12].

In questo articolo viene presentato uno studio sull'influenza, sul risultato della prova, di vari parametri come: finitura delle superfici, contenuto di umidità, maturazione del calcestruzzo, distanza dai bordi liberi, dimensione e massa dell'elemento, stato di sollecitazione del provino.

2. La campagna sperimentale

La ricerca è stata condotta utilizzando provini di calcestruzzo costruiti appositamente (condizioni ideali), cubi standard consegnati al laboratorio per i controlli di qualità (produzione commerciale effettiva), e dati raccolti dal Laboratorio dei Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Genova, in diverse campagne di monitoraggio su strutture esistenti.

Sono stati prodotti una serie di campioni in cinque miscele di calcestruzzo, con diverse caratteristiche di resistenza e rapporto acqua / cemento, ma con densità circa costante, tabella 1. Ogni miscela è stata inoltre caratterizzata con prove granulometriche e curve di maturazione ottenute dalla compressione di cubi e cilindri in condizioni standard confrontate con le curve ottenute dalle formule fornite da EC2[13].

Miscela	Inerti [% in peso]				Pl. [l]	Acqua [l]	Cement tipo II 32.5[kN]	A/C	$f_{c,28}$	$R_{c,28}$	$(f/R)_{28}$	Dens [kN/m ³]	s
	C 0/4	C 3/6	Nat 6/12	C 11-22									
C10	40.2	26.9	32.9	/	1.9	2.55	1.93	1.32	7.7	8.3	0.93	22.70	296
C25	43.2	21.9	34.9	/	3.6	2.04	3.06	0.67	23.0	26.0	0.88	22.50	277
C40	40.2	24.9	34.9	/	4.5	1.93	3.73	0.52	28.7	32.2	0.89	22.50	220
C55	38.2	36.9	24.9	/	5.3	1.78	4.41	0.40	47.5	51.2	0.93	22.70	150
C70	38.1	26.9	/	34.9	10.1	1.77	5.07	0.35	62.6	74.8	0.84	24.20	090

Legenda: C: frantumati - Nat.: naturale - Pl: fluidificante / Superfluidificante

Tabella 1. Caratteristiche delle miscele di calcestruzzo.

Le caratteristiche dei campioni utilizzati nella campagna sperimentale sono:

- Cilindri 100x200 mm e cubi 150x150x150 mm, utilizzati per identificare la classe di resistenza del calcestruzzo e per la taratura;
- Prismi 250x250x500 mm creati per simulare la condizione di un pilastro, Figura 3.a.;
- Piastre 320x800x1200 mm, campioni con massa significativa, utilizzati senza sollecitazioni aggiunte, Figura 3.b.;
- Solette di luce libera 6000 mm, larghezza 1000 mm e spessore di 200 mm che realizzano, sotto la sola azione del peso proprio, lo stato di elementi inflessi, Figura 3.c.



Figura 3 – Campioni usati per la taratura

I risultati ottenuti dalla campagna sperimentale, riportati nei grafici seguenti, sono distinti in base all'effetto dei seguenti parametri:

- finitura superficiale e distanza dai bordi liberi su prismi di massa significativa - Figure 4 e 5;
- contenuto di umidità (su cubi standard asciutti e saturi) - Figura 5;
- stato di compressione uniforme su prismi confinati (staffati) simulando le condizioni dei pilastri - Figura 7;
- effetto del diverso confinamento su provini di massa differente, liberi o vincolati utilizzando una pressa a diversi livelli di carico - Figura 8;

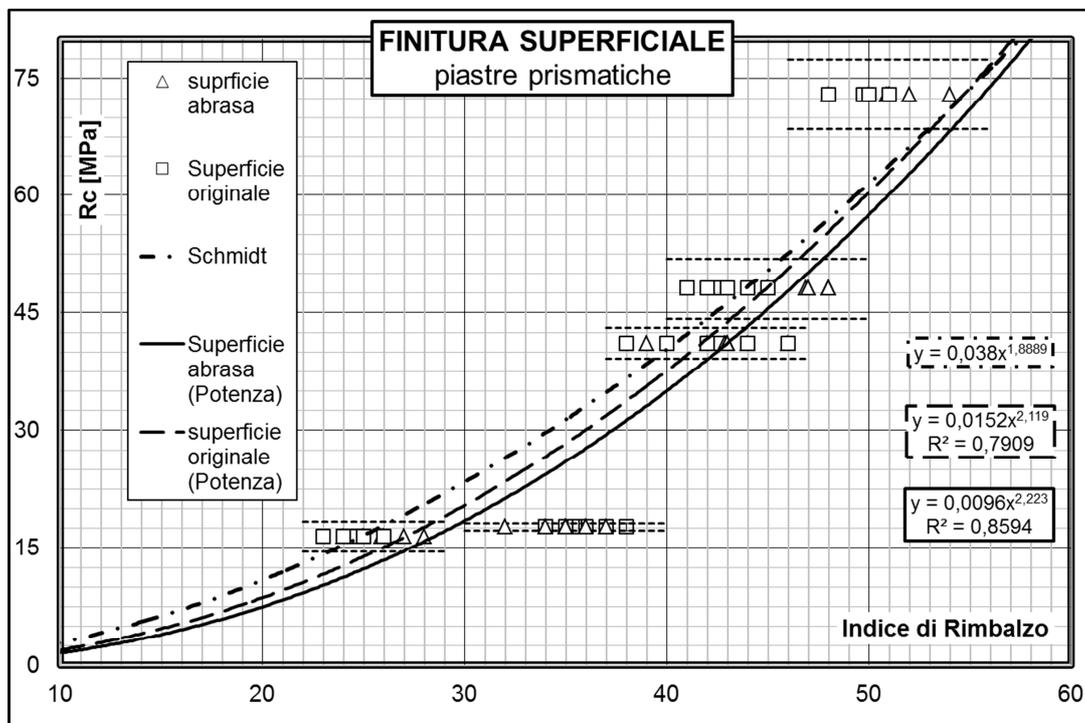


Figura 4 – Influenza delle condizioni di finitura superficiale e confronto con Schmidt

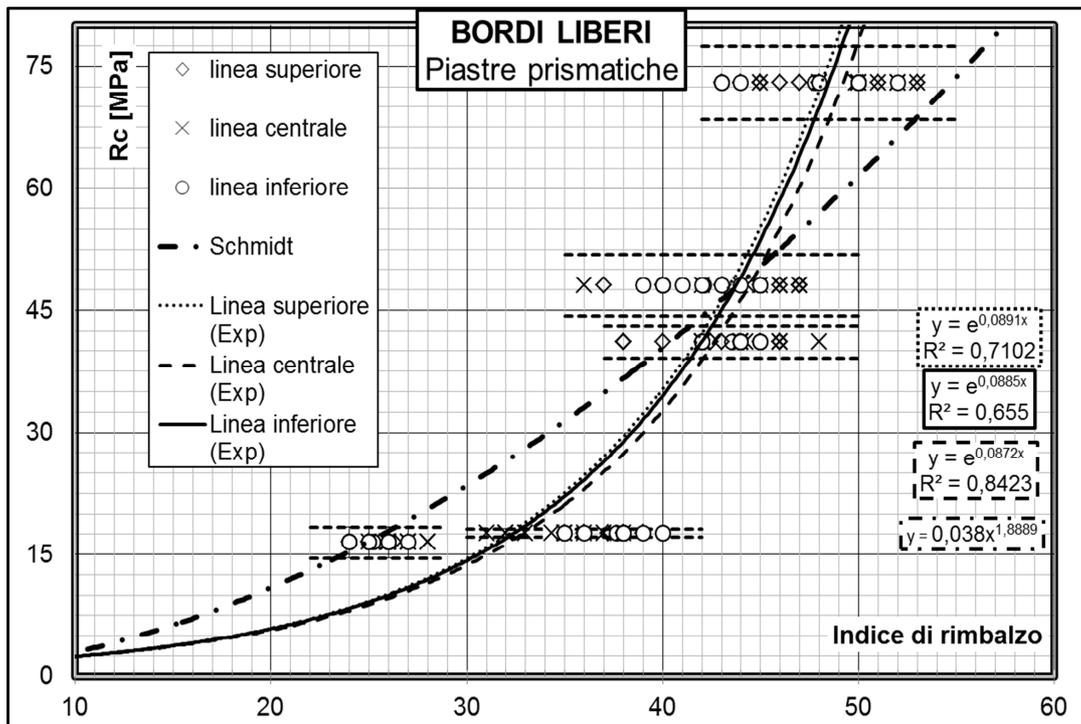


Figura 5 – Influenza della distanza dai bordi liberi e confronto con la curva di Schmidt

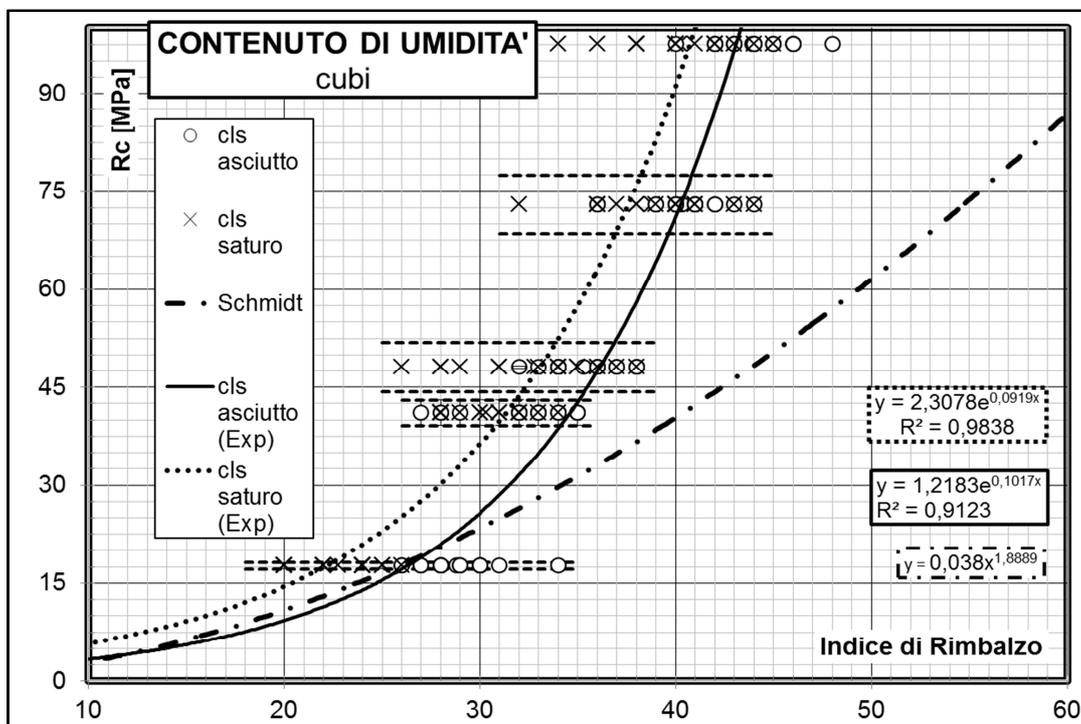


Figura 6 – Influenza del contenuto di umidità: cubi saturi ed asciutti

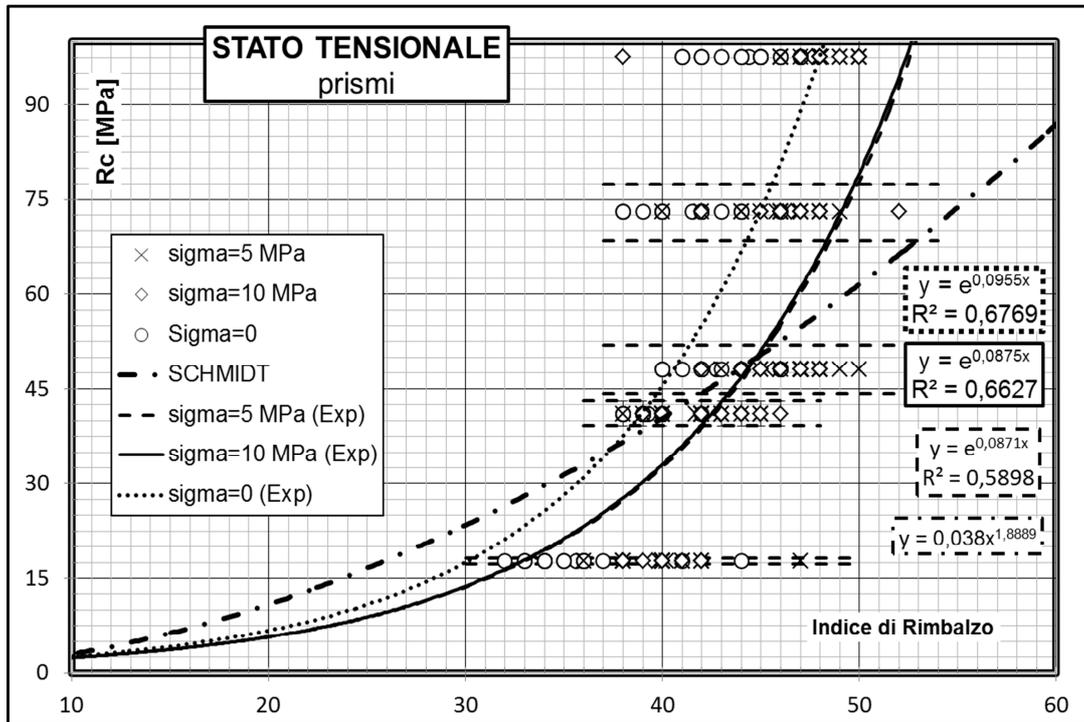


Figura 7 - Influenza di diversi stati tensionali e confronto con la curva di Schmidt

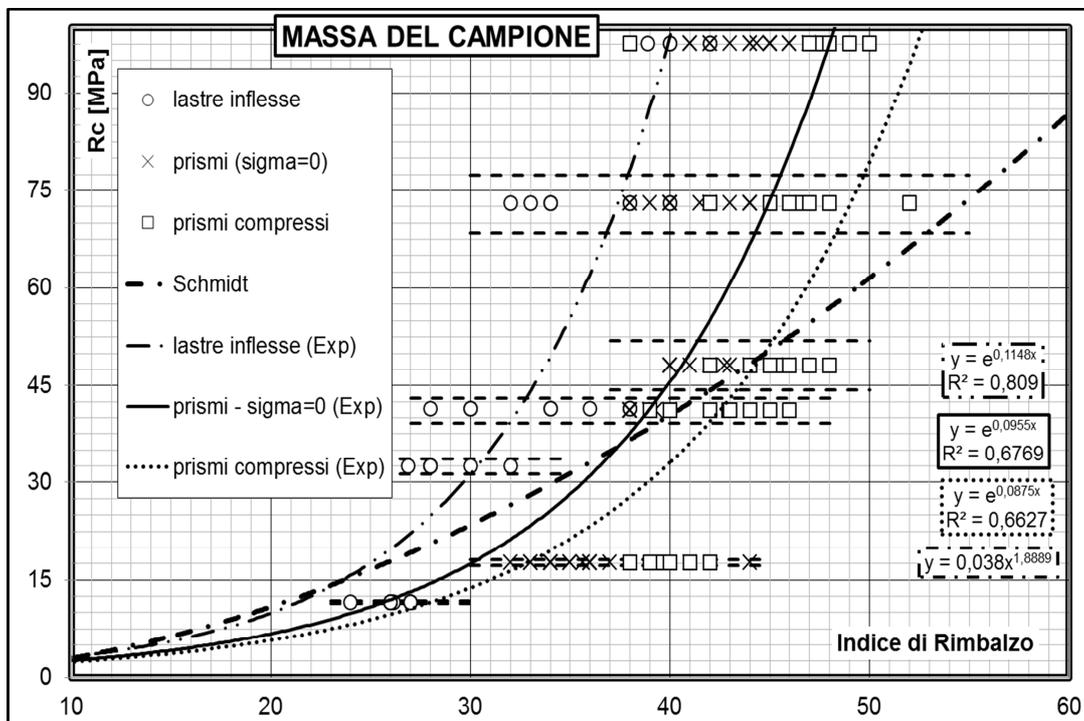


Figura 8 - Influenza di massa e stato tensionale

In tutte le figure, la fascia tratteggiata contenente i dati sperimentali rappresenta la variabilità della resistenza a compressione misurata su cubi di riferimento e le curve, passanti per l'origine, rappresentano la miglior approssimazione della tendenza dei dati di

prova. In generale, si può osservare che, la forte dispersione dei dati sperimentali impone un valore del R^2 sempre piuttosto basso.

Tenendo conto di tutti i dati ottenuti si può osservare che l'effetto di:

- finitura superficiale è quasi impercettibile, nel caso particolare può essere spiegato dal fatto che i campioni sono stati gettati in casseforme lisce producendo una superficie originale sostanzialmente priva di irregolarità;
- distanza dai bordi liberi, fino a 70 mm, non ha un effetto apprezzabile in quanto la distanza è grande rispetto al diametro massimo degli inerti ed alla dimensione della superficie di impatto;
- contenuti di umidità diversi portano ad una differenza di stima della resistenza anche maggiore del 50%, questo elemento è ben noto e deve essere considerato nel caso di prove su strutture bagnate;
- confinamento, stato tensionale, forma e massa del provino producono un effetto rilevante nella stima della resistenza, talvolta anche superiore rispetto al contenuto di umidità.

Quest'ultimo risultato non è mai stato osservato, coinvolge geometria (bordi liberi, forma provino), caratteristiche meccaniche della struttura (stato di stress) e pone interrogativi sulle calibrazioni eseguite su provini di dimensioni ridotte. Se si utilizzano provini standard, cubi con lato 150 mm, l'effetto di un diverso carico di confinamento, ottenuto con una pressa, porta ad indici di rimbalzo notevolmente diversi sul medesimo campione. E' evidente come questo tipo di taratura non sia rappresentativa della reale condizione degli elementi di una struttura. Oltre a questi aspetti, la forte dispersione dei dati raccolti mostra che l'incertezza delle prove sclerometriche è incredibilmente alta, e verrà approfondita nelle prossime sezioni.

3. Altri dati sperimentali

Le procedure tipiche di calibrazione condotte su provini prodotti appositamente per questo scopo, portano ad una polarizzazione dei risultati in quanto i campioni, anche se di resistenza diversa, sono prodotti con lo stesso tipo di calcestruzzo (inerti con medesima distribuzione granulometrica e tipologia). Inoltre, l'età calcestruzzo e le sue condizioni di maturazione sono altamente controllate fino al giorno del test, questo non è esattamente quello che succede nella pratica dell'Ingegneria Strutturale.

In questa sezione vengono presentati i risultati di un'indagine sull'effetto della maturazione del getto sull'indice di rimbalzo, Figura 10, effettuata su una grande quantità di dati raccolti negli ultimi due anni dal Laboratorio dei Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Genova.

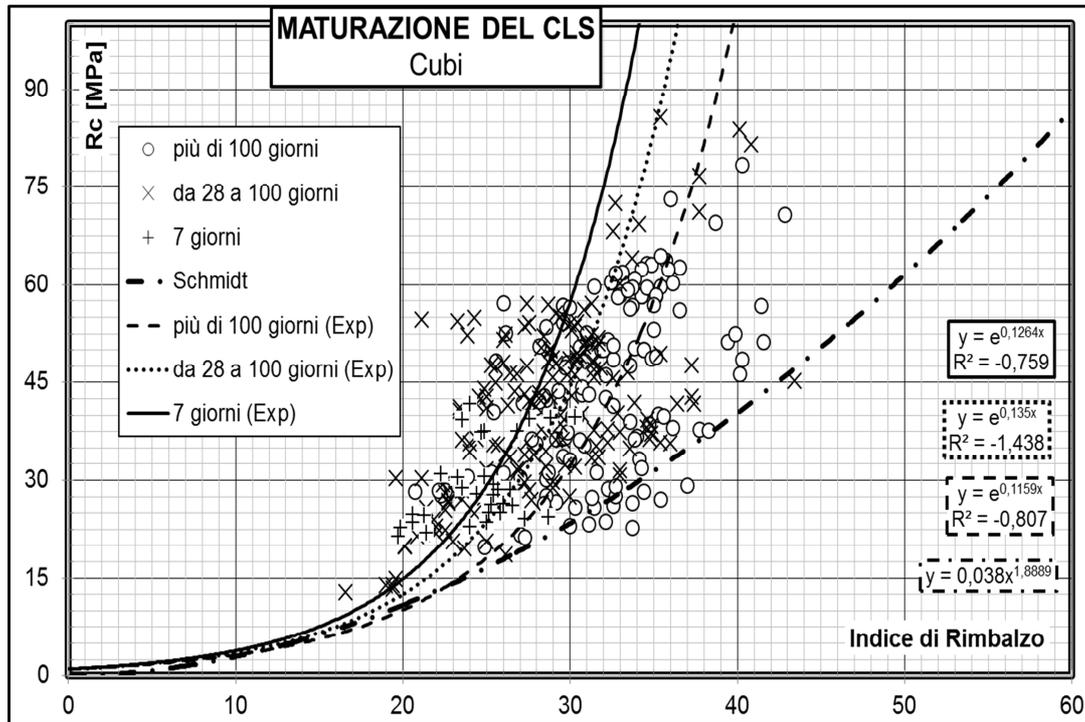


Figura 8 – Influenza dell'età del calcestruzzo

I campioni sono tutti cubi 150x150x150 mm consegnati al laboratorio per le prove standard di qualità o prodotti dal laboratorio durante le sue abituali attività di controllo nei cantieri. In questi ultimi casi, i dati a 7 e 28 giorni sono ottenuti con buona precisione, mentre i campioni di terze parti sono spesso più vecchi di 100 giorni in quanto il limite di 28 giorni è rispettato raramente. Si può notare che la maturazione del calcestruzzo è uno dei principali parametri che influenzano la prova sclerometrica.

Per quanto riguarda le strutture esistenti, il discorso è più delicato poiché molti edifici, soprattutto in Italia, sono stati realizzati in periodi in cui era difficile reperire materie prima di qualità, il risultato è che questi calcestruzzi non possono essere caratterizzati con tarature eseguite su miscele moderne. Di seguito vengono esposti i dati raccolti negli ultimi cinque anni, dal Laboratorio per i Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Genova, su edifici esistenti. In queste campagne di indagine (più di 30) si è avuta la necessità di ottenere un valore di "resistenza effettiva" ricorrendo a prove su carote estratte dalle strutture. Il disturbo prodotto dall'estrazione rende questi esemplari diversi dai cilindri standard e, in questi casi, il rapporto tra resistenza cilindrica e cubica potrebbe non essere costante e pari a 0,83, nella trattazione seguente viene assunto un fattore di correzione che varia linearmente. La Figura 11 confronta la curva di taratura ottenuta dai dati in sito e la curva Schmidt classica. Si può notare che le previsioni che si ottengono con il grafico di Schmidt sono quasi inutili se comparata con i dati "reali".

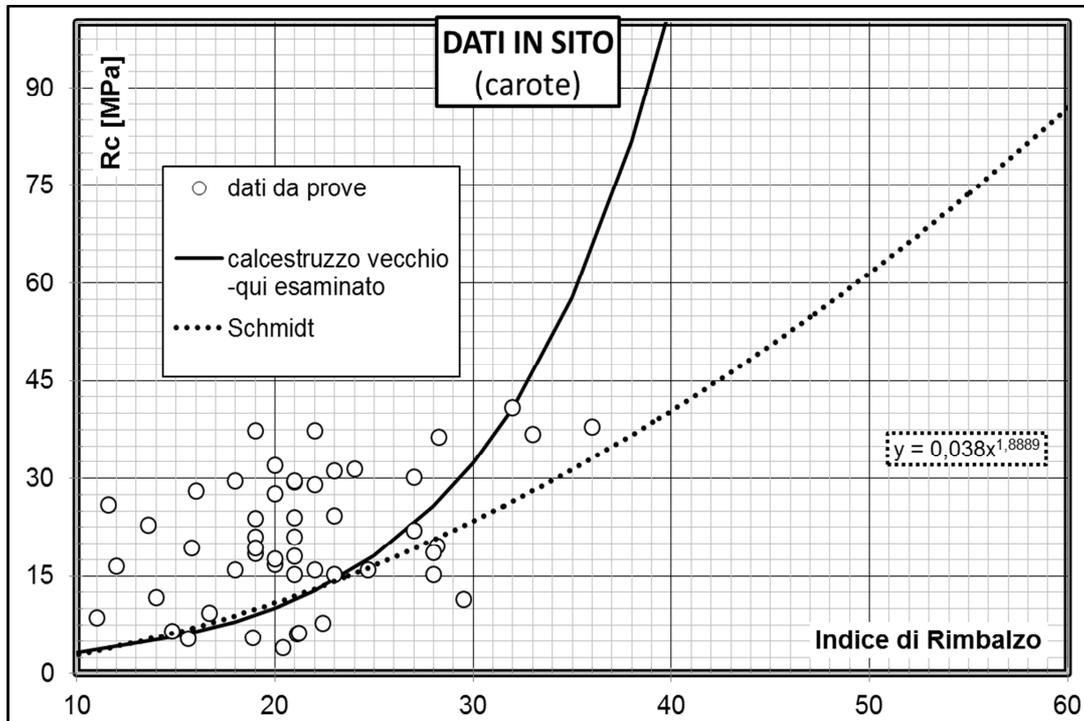


Figura 9- Confronto tra dati ottenuti su calcestruzzi datati e curva di Schmidt

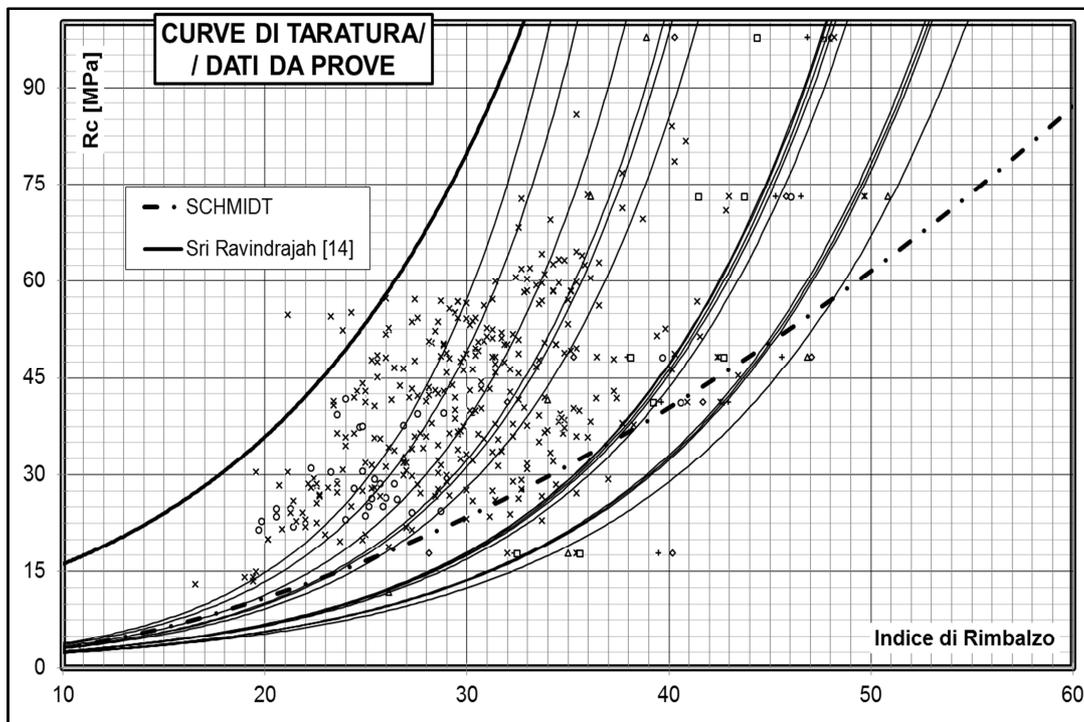


Figura 10 – Intero insieme dei dati sperimentali con le rispettive curve di taratura

4. Discussione e conclusioni

L'intero insieme dei dati sperimentali presentati in questo documento è riassunto in Figura 12, questo diagramma mostra tutti i risultati e le relative curve di calibrazione ricordando che, la forte dispersione dei punti, causa un coefficiente R^2 molto basso.

Osservando la nuvola di punti ottenuti nella campagna sperimentale e le grandi differenze tra le curve di taratura presenti in letteratura, si pone un interrogativo sulla reale affidabilità della prova sclerometrica per valutazione della resistenza del calcestruzzo. Si può affermare che questo tipo di test è molto approssimativo e non adatto alla stima diretta della resistenza del calcestruzzo. Questo tipo di prova, tuttavia, può migliorare la sua affidabilità e fornire buone indicazioni sulla qualità della superficie del calcestruzzo quando viene utilizzato in combinazione con altri metodi.

Bibliografia

- [1] Hertz H. On the contact of elastic solid bodies (Über die Berührung fester elastischer Körper). *J Reine Angew Math* 1881; 5: 12–23 [in German]
- [2] Schmidt E. Rebound hammer for concrete testing, *Schweiz Bau.ztg* 1950; 68 (28): 378–379 [in German]
- [3] Schmidt E. Quality control of concrete by rebound hammer testing (Versuche mit dem neuen Beton-Prüfhammer zur Qualitätsbestimmung des Betons). *Schweiz Arch angew Wiss Tech* 1951; 17 (May 1951): 139–143 [in German].
- [4] Greene GW. Test hammer provides new method of evaluating hardened concrete. *J Am Concr. Inst* 1954;26(3):249–56 [Title No. 51–11].
- [5] Kolek J. An appreciation of the Schmidt rebound hammer. *Mag Concr Res* 1958;10(28): 27–36.
- [6] Kolek J. Analysis of answers to Rilem questionnaire on the Schmidt Rebound Hammer. *Matériaux et Construction* 1969; 2 (4): 285-291.
- [7] Szilágyi K., Borosnyói A., Zsigovics I. Rebound surface hardness of concrete: Introduction to an empirical constitutive model. *Constr. & Build. Mat.s* 2011; 25: 2480-2487.
- [8] Kheder G.F. A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing. *Mat. & Str.* 1999; 32: 410-417.
- [9] Zhu W., Gibbs J.C., Bartos P.J.M. Uniformity of in situ properties of self-compacting concrete in full-scale structural elements. *Cem. & Concr. Comp.* 2001; 23: 57-64.
- [10] Kim J.-K., Kim C.-Y., Yi S.-T., Lee Y. Effect of carbonation on the rebound number and compressive strength of concrete. *Cem. & Concr. Comp.* 2009; 31: 139-144.
- [11] Qasrawi H.Y. Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. *Cem. & Concr. Res.* 2000; 30: 739-746.
- [12] Hobbs B., Kebir M.T. Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings. *Forensic Sc. Int.* 2007; 167: 167-172.
- [13] EN 1992-1-1:2004 Design of concrete structures. General rules and rules for buildings.



AIPnD

Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica

CONFERENZA NAZIONALE
SULLE PROVE NON DISTRUTTIVE
MONITORAGGIO DIAGNOSTICA

- [14] G. Menditto, S. Bufarini, V. Daria, M. Massaccesi, “Modifiche all’attuale sclerometro tipo N e realizzazione di nuove curve di correlazione tra indici sclerometrici e la resistenza meccanica a compressione dei conglomerati non strutturali, ordinari, ad alte prestazioni ed alte resistenze e nuova formulazione del metodo combinato”, 10° Congresso Nazionale dall’AIPnD, Ravenna ’03,02-04 Aprile.
- [15] G. Menditto, N. Nardone, “Considerazioni sulla valutazione sperimentale della resistenza meccanica del calcestruzzo”, Conferenza Nazionale sulle prove non distruttive monitoraggio diagnostica, Milano 11-12-13 Ottobre 2007.
- [16] A. Masi, “La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive”, Il Giornale delle prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica,1/2005.
- [17] UNI EN 12504-2-2012, “Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte2: Prove non distruttive – Determinazione dell’indice sclerometrico”.