

Prove non distruttive su calcestruzzi autocompattanti ad alte prestazioni (HPSCC) realizzati con fini non convenzionali

I.Iacobini *, P.Frontera **, F.Crea*, G.Porco***

* Dipartimento di Ingegneria Chimica e dei Materiali, Università della Calabria, Arcavacata di Rende, (CS), Italy

** Dipartimento di Meccanica e Materiali, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria (RC), Italy

*** Dipartimento di Strutture, Università della Calabria, Arcavacata di Rende, (CS), Italy

SOMMARIO

Negli ultimi anni nel campo delle costruzioni civili, notevole è stata la diffusione delle prove non distruttive per valutare i parametri meccanici dei calcestruzzi in opera.

Molti sono i materiali che sono stati indagati con questi test di carattere prevalentemente fisico o fisico meccanico, in situ o in laboratorio, anche al fine di stabilire l'attendibilità delle prove stesse.

Tuttavia pochi sono gli studi che verificano l'affidabilità di questi test su calcestruzzi innovativi, quali sono, ad esempio, i calcestruzzi autocompattanti ad alte prestazioni (HPSCC, High Performance Self Compacting Concrete).

Questi materiali coniugano le proprietà dei calcestruzzi ad alte prestazioni (HPC) e dei calcestruzzi autocompattanti (SCC).

In particolare i calcestruzzi ad alte prestazioni sono caratterizzati non solo dall'esibire elevate resistenze meccaniche, ma dal possedere elevate resistenza agli agenti aggressivi, e quindi ottime caratteristiche di durabilità.

I calcestruzzi autocompattanti esibiscono peculiari caratteristiche allo stato fresco di elevata fluidità, di autocompattabilità sotto l'azione del peso proprio, di assenza di fenomeni di segregazione e bleeding. I materiali utilizzati per il confezionamento degli HPSCC sono gli stessi dei calcestruzzi ordinari, i quali devono essere necessariamente combinati con particolari aggiunte di fini e additivi.

Obiettivo del presente lavoro è la verifica circa l'attendibilità ed il controllo dei parametri meccanici del calcestruzzo HPSCC nonché le tecniche non distruttive utilizzate correntemente per i calcestruzzi ordinari.

La verifica è stata effettuata ricavando curve di correlazione con le tecniche sclerometrica, ultrasonora e combinata utilizzate successivamente come strumento di misura. Inoltre è stata proposta una nuova correlazione che introduce un parametro fisico del calcestruzzo.

Introduzione

Fra i nuovi calcestruzzi cosiddetti “innovativi” si collocano i calcestruzzi ad alte prestazioni HPC (high performance concrete) e i calcestruzzi autocompattanti SCC (self compacting concrete) [1]. La prima tipologia ossia gli HPC oltre ad esibire elevate resistenze a compressione esibiscono elevate resistenze agli agenti aggressivi e quindi ottime caratteristiche di durabilità [2,3]. Il calcestruzzo autocompattante (SCC, self-compacting concrete) è un materiale omogeneo che, una volta posto in opera, si autocompatta per effetto del peso proprio senza necessità di vibrazione. Tale proprietà rende questo calcestruzzo indipendente dalla qualità della manodopera, dalle fasi di getto e di messa in opera consentendo l’ottenimento di un materiale che esibisce ottime caratteristiche di durabilità [4,5]. Dalla coniugazione delle proprietà sia degli HPC che degli SCC nasce un’ulteriore tipologia dei calcestruzzi innovativi ossia gli HPSCC (High Performance Self Compacting Concrete) ossia calcestruzzi autocompattanti ad alte prestazioni. Questi conglomerati altamente funzionali sono destinati a strutture per le quali è prevista una lunga vita di servizio o per opere esposte ad ambienti molto aggressivi, come ponti con campate di grande luce o strutture off-shore situati in contesti ambientali severi. I materiali che si utilizzano per il loro confezionamento devono essere necessariamente combinati con particolari aggiunte di fini e additivi di ultima generazione. In particolare nel confezionamento dei calcestruzzi HPSCC è stata utilizzato un materiale fine non convenzionale quale un silicoalluminato cristallino ossia zeolite 5A di produzione industriale. In questo lavoro si è effettuata una campagna di indagine sperimentale per valutare l’applicabilità del metodo SonReb a questa tipologia di calcestruzzi innovativi. Il metodo SonReb che è il più diffuso, utilizza i risultati ottenuti con le prove ultrasoniche e sclerometriche. L’utilizzo di metodi combinati nasce dall’esigenza di ridurre le incertezze e gli errori di misura che si verificano dall’utilizzo di un singolo metodo [6]. I modelli matematici utilizzabili per la combinazione dei risultati dipendono da parametri che sono influenzati in modo diverso dalle caratteristiche fisiche del calcestruzzo impiegato. A tal proposito nella sperimentazione in esame al fine di ridurre l’errore che si commette nella stima della resistenza reale è stata inoltre considerata come nuovo parametro indipendente una grandezza funzione della porosità.

Materiali e metodi

I materiali utilizzati nella campagna di indagine sono stati:

- Cementi: CEM I 52,5 R e CEM II/A-LL 42,5 R in accordo con la UNI EN 197/1;
- Filler conformi alla norma UNI EN 12620: calcare e zeolite 5A di produzione industriale e composizione mista 50% calcare, 50% zeolite 5A;
- Additivi superfluidificanti in accordo con la UNI EN 934/2: Dynamon SR3 Mapei e Fluid Premia Chryso.
- Aggregati alluvionali con diametro massimo di 16 mm in accordo con la UNI EN 12620.

Prima di condurre le prove sperimentali è stata compiuta un’indagine di laboratorio di carattere fisico, chimico e meccanico dei materiali da utilizzare negli impasti di calcestruzzo, al fine di poter attestare la qualità degli stessi. Quindi è stato eseguito uno studio per la determinazione del corretto mix-design delle componenti di impasto che ha previsto l’esecuzione di una serie di impasti di prova. Dopo questa fase sono state realizzate le miscele

di calcestruzzo HPSCC. Nella tabella 1 è riportata la composizione tipica di una miscela confezionata utilizzando la zeolite 5A di produzione industriale e cemento CEM II/A-LL 42,5 R come legante idraulico, mentre nella tabella 2 sono indicate le differenze tra le miscele realizzate utilizzando in tutte un dosaggio di cemento di 470 kg/m³ e un rapporto acqua/cemento 0,45.

Miscela			
Componente	Peso specifico (kg/l)	Peso (kg/m ³)	Volume (l/m ³)
Cemento CEM II/A-LL 42,5R	3,1	470	151,61
Acqua	1	211,5	211,5
Zeolite 5 A	2,4	130	54,17
Additivo superfluidificante	1,0	5,64	5,64
Aria	-	-	10
Aggregati totali		1505,2	568,0
Φ 10 mm	2,65	193,9	73,1
Φ 7,1 mm		250,3	94,4
Φ 4 mm		308,3	116,3
Sabbia		752,6	284,0
Volume Pasta		431,9	
Rapporto a/c		0,45	
Rapporto acqua/finissimi		0,35	
Filler totale		600 kg/m ³	
Volume totale		≈1000 l	

Tabella 1- Esempio di miscela di HPSCC

Miscela	Tipo di Cemento	Additivo (% in peso sul cemento)	Calcare (%)	Zeolite 5A (%)
1	CEM II A-LL 42,5 R	1,5% Dynamon SR3	100	-
2	CEM I 52,5 R	1,5% Dynamon SR3	100	-
3	CEM II A-LL 42,5 R	1,5% Dynamon SR3	-	100
4	CEM I 52,5 R	1,6% Dynamon SR3	-	100
5	CEM II A-LL 42,5 R	0,6% Premia 150	100	-
6	CEM I 52,5 R	0,8% Premia 150	100	-
7	CEM II A-LL 42,5 R	1,0% Premia 150	-	100
8	CEM I 52,5 R	1,1% Premia 150	-	100
9	CEM II A-LL 42,5 R	1,0% Premia 150	50	50
10	CEM I 52,5 R	1,0% Premia 150	50	50
11	CEM I 52,5 R	1,6% Dynamon SR3	50	50
12	CEM II A-LL 42,5 R	1,6% Dynamon SR3	50	50

Tabella 2- Tipologie di miscele di HPSCC realizzate

Metodo sclerometrico

Le prove sclerometriche sono state eseguite nel rispetto della norma UNI EN 12504-2. Per ogni provino sono stati individuati 27 punti di battuta disposti su 3 facce. Il valore di resistenza a compressione del calcestruzzo in esame è stato ricavato costruendo delle idonee curve di taratura tramite l'utilizzo del metodo dei minimi quadrati assumendo una correlazione del tipo:

$$R = a \cdot Im^b$$

dove a, b sono parametri da tarare di volta in volta, R la resistenza a compressione e Im l'indice di rimbalzo medio relativo al provino in esame.

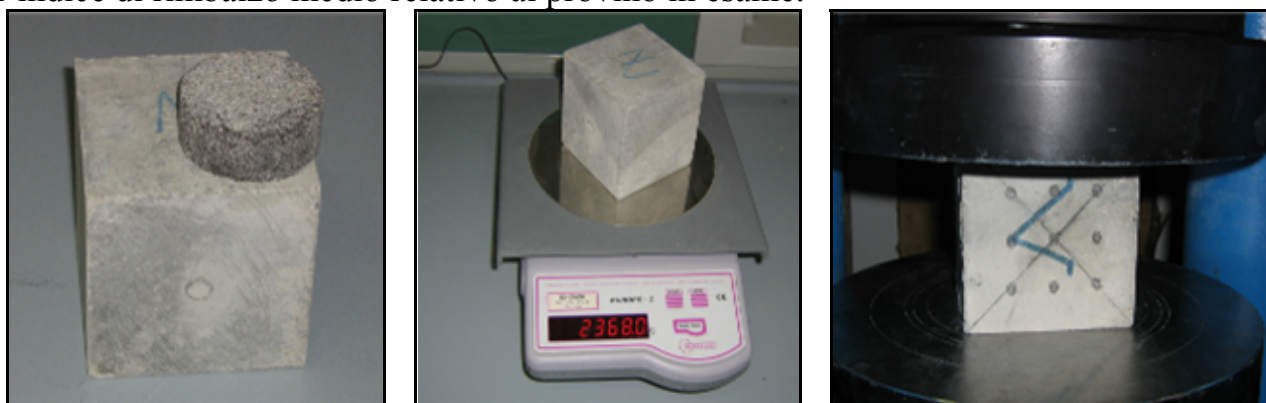


Figura 1 - Preparazione dei provini per la prova sclerometrica

Tarate le curve di regressione, si può condurre una verifica dell'attendibilità del metodo confrontando la resistenza meccanica a compressione effettiva dei provini confezionati in una seconda fase rispetto a quelli utilizzati per la taratura delle curve, con la resistenza a compressione stimata in funzione dell'indice di rimbalzo.

Metodo ultrasonoro

L'indagine ultrasonora è stata effettuata misurando il tempo di transito del fascio ultrasonoro attraverso il provino utilizzando un generatore d'impulsi. Le misurazioni delle velocità ultrasonica sono state eseguite seguendo le prescrizioni stabilite dalla norma UNI EN 12504-4. Ogni campione, prima della prova è stato soggetto ad un accurato controllo dimensionale, di preparazione delle facce (rimozione dei sali accumulati nel tempo) e relativa pesatura. Quindi sono stati individuati i punti di posizionamento dei trasduttori per l'esecuzione del test (centro della faccia). Sui trasduttori è stato disposto un gel per ottenere una perfetta aderenza degli elettrodi al materiale cementizio. La prova si effettua sulle due direzioni ortogonali alla direzione del getto di calcestruzzo. Anche in questo caso sono state tarate idonee curve di taratura mediante l'utilizzo del metodo dei minimi quadrati assumendo una correlazione del tipo:

$$R = a \cdot Vm^b$$

con a, b parametri da tarare di volta in volta, R la resistenza a compressione calcolata con il metodo e Vm l'indice ultrasonico medio. Alla taratura delle curve di regressione, è seguita una verifica dell'attendibilità del metodo confrontando la resistenza a compressione effettiva dei provini, confezionati successivamente rispetto a quelli utilizzati per la stima dei parametri della curva, con la resistenza a compressione stimata in funzione dell'indice di rimbalzo.

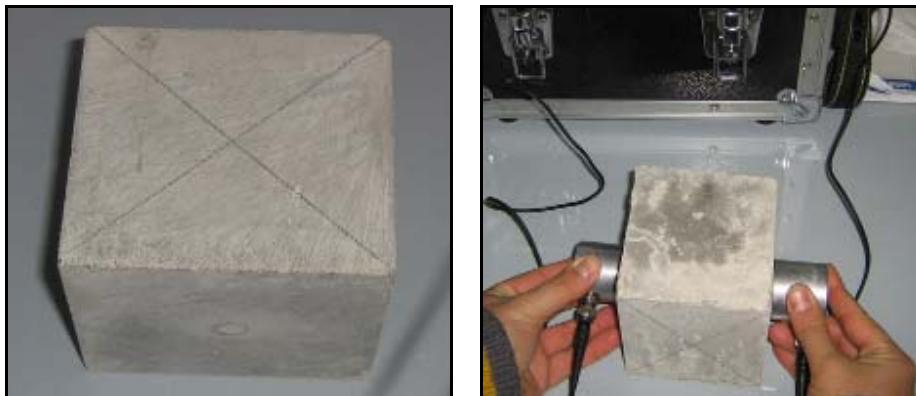


Figura 2 – Prova ultrasonica

Metodi combinati

L'utilizzo combinato di più tecniche non distruttive conduce a risultati più affidabili e meno dipendenti da problemi legati all'applicazione delle singole metodologie. Il metodo SonReb, combinazione del metodo ultrasonico e sclerometrico, offre notevoli

vantaggi in questa direzione. Il principio del metodo consiste nel fatto che i valori dell'indice di rimbalzo, I_m , e quelli di velocità di trasmissione delle onde ultrasonore nel calcestruzzo, V_m , opportunamente tarati con valori rappresentativi del calcestruzzo, consentono di ottenere più affidabili riferimenti di resistenza a compressione. Per fare ciò occorre assumere una più articolata legge di correlazione dipendente dai parametri con i quali si intende svolgere l'indagine. La correlazione assunta dal metodo è del tipo:

$$R = b_0 \cdot V_m^m \cdot I_m^n$$

dove le costanti b_0 , m e n sono determinate con il principio dei minimi quadrati. Come nel caso delle prove sclerometriche e ultrasoniche, si è deciso di utilizzare dei provini per tarare le superfici di correlazione e altri, confezionati in tempi diversi, per compiere delle verifiche di affidabilità.

Campagna di indagine

Le curve di regressione sono stimate considerando varie serie di provini. In particolare, si sono associate serie di provini che presentassero lo stesso tipo di cemento, la stessa aggiunta di finissimo e che variassero per la sola componente relativa all'additivo. Nella tabella 4 sono indicate le associazioni di miscele adottate per la formulazione delle curve di regressione relative alle prove sclerometriche ed ultrasoniche.

Nome Curva (Campionamento)	Miscela associate
1	1 e 5
2	2 e 6
3	3 e 7
4	4 e 8
5	10 e 11
6	9 e 12

Tabella 3 – Curve di regressione stimate

- **Indagine con metodo sclerometrico**

Per le prove sclerometriche sono riportati, nelle tabelle 4, 5, 6, 7, 8 e 9, i parametri statistici delle curve stimate. In particolare, si indica con \bar{I}_m , la media dei valori dell'indice di rimbalzo I_m di tutti i provini utilizzati per la stima della curva di regressione, con σ^2 e σ rispettivamente la varianza e lo scarto quadratico medio dei valori I_m e con cv , coefficiente di variazione, un indice di dispersione dei dati attorno al valore medio \bar{I}_m , calcolato come rapporto percentuale tra lo scarto quadratico medio σ ed il valore medio \bar{I}_m . Le costanti m (coefficiente angolare) e b_0 (intercetta) sono i parametri della retta di interpolazione ottenuta con principio dei minimi quadrati. In funzione del coefficiente di variazione cv è possibile effettuare una classificazione della stima. Nella tabella 10 è riportata la classifica delle correlazioni proposta dall'ACI, American Concrete Institute [6]. Dai risultati del coefficiente di variazione ottenuti si evince che per tutte le curve di regressione stimate si è avuto una "eccellente" correlazione.

Med.valori Im	\tilde{m}	50,67
Varianza	σ^2	2,06
Dev.standard	σ	1,44
Coeff.variazione	cv	3
Parametri retta di regressione	m	0,14
	bo	1,52

Tabella 4- Parametri statistici (campionamento 1).

Med.valori Im	\tilde{m}	49,92
Varianza	σ^2	1,86
Dev.standard	σ	1,36
Coeff.variazione	cv	3
Parametri retta di regressione	m	0,99
	bo	0,11

Tabella 5- Parametri statistici (campionamento 2).

Med.valori Im	\tilde{m}	50,78
Varianza	σ^2	3,74
Dev.standard	σ	1,93
Coeff.variazione	cv	4
Parametri retta di regressione	m	0,03
	bo	1,77

Tabella 6- Parametri statistici (campionamento 3).

Med.valori Im	\tilde{m}	51,55
Varianza	σ^2	1,00
Dev.standard	σ	1,00
Coeff.variazione	cv	2
Parametri retta di regressione	m	1,42
	bo	-0,62

Tabella 7- Parametri statistici (campionamento 4).

Med.valori Im	\tilde{m}	53,33
Varianza	σ^2	1,87
Dev.standard	σ	1,37
Coeff.variazione	cv	3
Parametri retta di regressione	m	0,83
	bo	0,42

Tabella 8- Parametri statistici (campionamento 5).

Med.valori Im	\tilde{m}	52,13
Varianza	σ^2	1,81
Dev.standard	σ	1,34
Coeff.variazione	cv	3
Parametri retta di regressione	m	0,26
	bo	1,37

Tabella 9- Parametri statistici (campionamento 6).

Tarate le curve di regressione, si è condotta una verifica dell'attendibilità del metodo confrontando la resistenza a compressione effettiva dei provini confezionati in una seconda fase rispetto a quelli utilizzati per la taratura delle curve, con la resistenza a compressione stimata in funzione dell'indice di rimbalzo.

Classificazione	Coefficiente di variazione
Eccellente	$0 < Cv < 10$
Buona	$10 < Cv < 15$
Discreta	$15 < Cv < 20$
Scadente	$20 < Cv$

Tabella 10- Classifica della correlazione proposta dall'ACI

E' stato possibile calcolare per ogni curva l'errore standard definito come:

$$E = \sqrt{\frac{(R_{eff} - R_{stim})^2}{N}}$$

L'errore standard ha fornito, in tutti i casi esaminati, valori molto bassi, dell'ordine di 5 MPa, a testimonianza dell'elevata attendibilità del metodo.

- **Indagine con metodo ultrasonico**

Anche per le prove ultrasoniche si riportano, nelle tabelle 11, 12, 13, 14, 15 e 16, i parametri statistici delle varie curve stimate. In particolare, si indica con V_m^* , la media dei valori dell'indice ultrasonico V_m di tutti i provini utilizzati per la stima della curva di regressione, con σ^2 e σ rispettivamente la varianza e lo scarto quadratico medio dei valori V_m , con cv il coefficiente di variazione. Il coefficiente angolare m e l'intercetta bo sono i parametri della retta di interpolazione costruita con principio dei minimi quadrati. Come per le prove sclerometriche, i valori del coefficiente cv ottenuti mostrano che per tutte le curve di regressione stimate si è avuto una "eccellente" correlazione e dai valori dell'errore standard stimato in funzione dei provini non utilizzati per il calcolo dei parametri delle curve, si verifica che il metodo è molto accurato (l'errore standard non supera in nessun caso il valore di 5 MPa).

Med.valori I_m	V_m^*	4365,89
Varianza	σ^2	22218,40
Dev.standard	σ	149,06
Coeff.variazione	cv	3
Parametri retta di regressione	m	0,14
	bo	1,52

Tabella 11- Parametri statistici (campionamento 1).

Med.valori I_m	V_m^*	4520,01
Varianza	σ^2	30013,22
Dev.standard	σ	173,24
Coeff.variazione	cv	4
Parametri retta di regressione	m	0,99
	bo	0,11

Tabella 12- Parametri statistici (campionamento 2).

Med.valori I_m	V_m^*	4428,91
Varianza	σ^2	12184,38
Dev.standard	σ	110,38
Coeff.variazione	cv	2
Parametri retta di regressione	m	0,03
	bo	1,77

Tabella 13- Parametri statistici (campionamento 3).

Med.valori I_m	V_m^*	4312,49
Varianza	σ^2	13197,93
Dev.standard	σ	114,88
Coeff.variazione	cv	3
Parametri retta di regressione	m	1,42
	bo	-0,62

Tabella 14- Parametri statistici (campionamento 4).

Med.valori I_m	V_m^*	4611,99
Varianza	σ^2	10410,33
Dev.standard	σ	102,03
Coeff.variazione	cv	2
Parametri retta di regressione	m	0,83
	bo	0,42

Tabella 15- Parametri statistici (campionamento 5).

Med.valori I_m	V_m^*	4623,59
Varianza	σ^2	11112,96
Dev.standard	σ	105,42
Coeff.variazione	cv	2
Parametri retta di regressione	m	0,26
	bo	1,37

Tabella 16- Parametri statistici (campionamento 6).

- **Analisi con metodo SonReb**

Condotte le indagini sclerometriche ed ultrasoniche è possibile utilizzare la metodologia SonReb combinando tra loro i risultati ottenuti con le singole metodologie. In questo caso i parametri del modello da stimare sono 3: bo , b_1 , b_2 .

Parametri superficie di regressione	bo	7,6231
	b1	0,2603
	b2	-0,0444

Tabella 17- Parametri statistici (campionamento 1).

Parametri superficie di regressione	bo	0,0063
	b1	0,9067
	b2	0,4032

Tabella 18- Parametri statistici (campionamento 2).

Parametri superficie di regressione	bo	3,1904
	b1	0,1172
	b2	0,5222

Tabella 19- Parametri statistici (campionamento 3).

Parametri superficie di regressione	bo	0,0587
	b1	0,2888
	b2	1,1708

Tabella 20- Parametri statistici (campionamento 4).

Parametri superficie di regressione	bo	0,3366
	b1	0,3426
	b2	0,6176

Tabella 21- Parametri statistici (campionamento 5).

Parametri superficie di regressione	bo	86,9060
	b1	-0,1535
	b2	0,2552

Tabella 22- Parametri statistici (campionamento 5).

Per il metodo SonReb è stato verificato che l'errore che si commette è risultato ancora più basso. Come esempio si sono riportate, nella figura 3, alcune differenze di valori relativi al campionamento 2 tra resistenza reale misurata con prova a compressione e resistenza stimata con il metodo statistico SonReb.

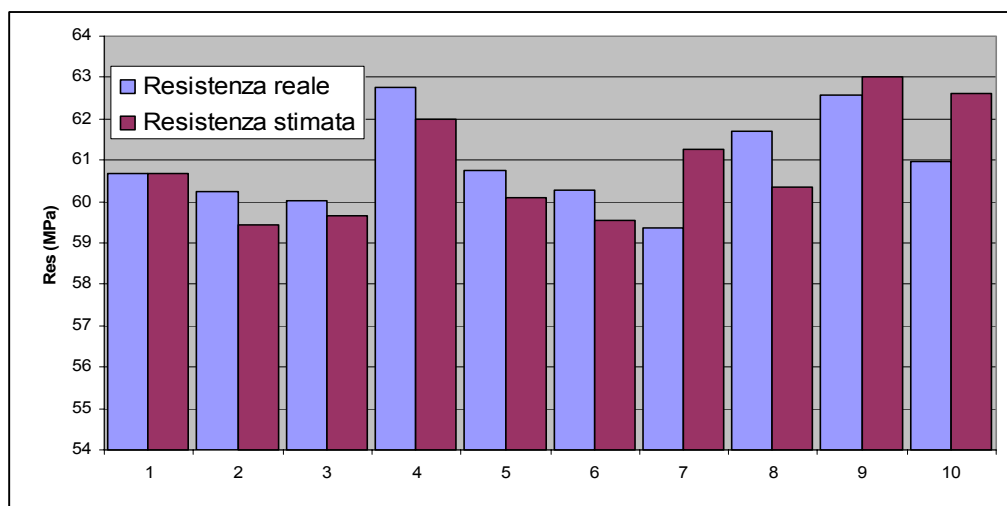


Figura 3- Confronto tra resistenza reale e stimata per il campionamento 2.

In base ai risultati ottenuti, si può affermare che il metodo SonReb funziona ottimamente sui provini di HPSCC; infatti le differenze di resistenza meccanica a compressione tra quella stimata e quella reale, calcolate con il metodo combinato, sono sicuramente inferiori rispetto a quelle stimate con l'uso dei metodi sclerometrici e ultrasonici usati singolarmente (2-3 MPa). Per cui all'aumentare del numero di variabili indipendenti che si considerano per la costruzione del modello diminuisce l'errore che si commette nella stima della resistenza reale. Si sono condotti ulteriori studi sulle altre possibili grandezze che possono essere integrate nella costruzione di modelli ancora più precisi. Nella sperimentazione in esame è stata considerata come nuova variabile indipendente una grandezza funzione della porosità. In particolare, per determinare tale grandezza, dopo

l'esecuzione delle prove ultrasonore, i provini sono stati pesati allo stato secco, determinando il peso P, e immersi in un recipiente pieno d'acqua che viene portato per 2 ore ad ebollizione. Così facendo tutti i pori in comunicazione con l'esterno vengono riempiti d'acqua. A questo punto i provini vengono raffreddati fino a temperatura ambiente e si misura nuovamente il peso, Pa. Si pesa infine lo stesso provino mentre è immerso in acqua, Pi, e la differenza tra queste ultime 2 pesate è pari alla spinta che il provino subisce per la spinta di Archimede; spinta pari al peso dell'acqua spostata, il cui valore numerico in grammi corrisponde al volume in centimetri cubici. La porosità aperta, o apparente, si può calcolare come:

$$P.A. = \frac{Pa - P}{Pa - Pi} \cdot 100$$

La porosità totale è data invece dalla formula:

$$P.T. = \frac{Ps - Pv}{Ps} \cdot 100$$

dove Ps e Pv sono rispettivamente la densità vera e la densità apparente. Ps è pari al rapporto fra la massa del provino in esame ed il volume della parte piena, mentre la densità apparente, Pv, è pari al rapporto fra la massa ed il volume complessivo che comprende anche la totalità dei pori. Il parametro utilizzato nel modello, indicato con G, si ottiene dalla differenza fra il volume percentuale totale (100%) e la porosità P.T.:

$$G = 100\% - P.T.$$

Considerando questo parametro e quello relativo all'indice sclerometrico, la legge di correlazione assunta è stata del tipo:

$$R = bo \cdot Im^n \cdot G^p$$

in cui le costanti bo, n e p vengono stimati con il principio dei minimi quadrati. La riduzione di errore complessivo medio, verificato nel corso della sperimentazione condotta è dell'ordine di circa il 10% rispetto al metodo SonReb. Nella figura 4 sono riportati alcune delle differenze di resistenza stimate in funzione del nuovo modello proposto relative al campionamento 2.

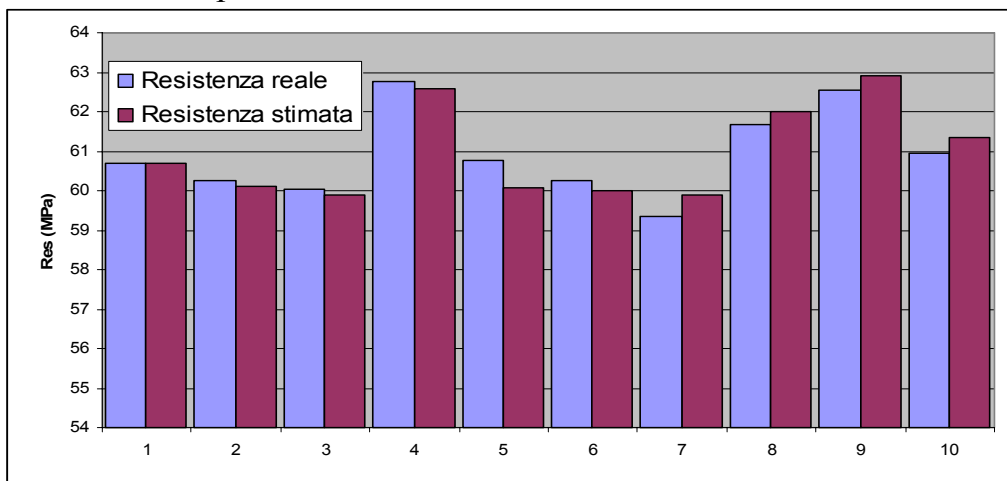


Figura 4- Confronto tra resistenza reale e stimata per il campionamento 2.

Conclusioni

Dalle prove condotte in laboratorio sui provini di HPSCC realizzati è emerso che il metodo sclerometrico ed ultrasonoro si possono applicare con ottimi risultati anche su questa tipologia di calcestruzzo. Come per i calcestruzzi tradizionali è opportuno stimare idonee curve di correlazione che meglio rappresentano il caso reale in esame. L'errore standard che si ottiene in questi test non distruttivi è dell'ordine dei 5 MPa, dunque molto basso. Per diminuire ancora gli errori è possibile utilizzare con risultati molto positivi il metodo combinato SonReb, in quanto si è dimostrato applicabile anche a questa categoria di calcestruzzo. Nella sperimentazione condotta si è introdotta la variabile G, funzione della porosità, che ha fornito apprezzabili miglioramenti nella stima della resistenza reale. La stima del parametro G, in un caso pratico di investigazione su una struttura esistente presuppone l'estrazione di carote di calcestruzzo per valutare il volume dei vuoti presenti. E' comunque sufficiente estrarre piccoli campioni, dell'ordine dei 18-20 cm³, dalla struttura da esaminare in modo tale che, rispetto agli usuali carotaggi, risultino molto più ridotti i costi di esecuzione delle prove stesse e i danni subiti dalla struttura.

Bibliografia

1. M.Collepari et al.-"Il nuovo calcestruzzo", Tintoretto Editore, 2003.
2. P.C. Aïtcin -"The durability characteristics of high performance concrete: a review, Cement and Concrete Composites", vol. 25, p.p. 409-420, 2003.
3. E. G. Nawy - "Fundamentals of high strength high performance concrete", Ed. Longman Group, England, 1996.
4. L. Coppola -"Proprietà reologiche e durabilità dei calcestruzzi autocompattanti", Atti del convegno Calcestruzzi Autocompattanti e Calcestruzzi Ordinari; progettazione, produzione e controlli sperimentali, Centro studi e ricerca Sposato P&P, srl Villapiana Lido (CS), 2003.
- 5 M. Collepari, "Self Compacting Concrete: What is New?", Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik Iceland, 17-20 August 2003.
6. R.Pucinotti-"Patologia e Diagnostica del cemento armato", Flaccovio Editore, 2006.