



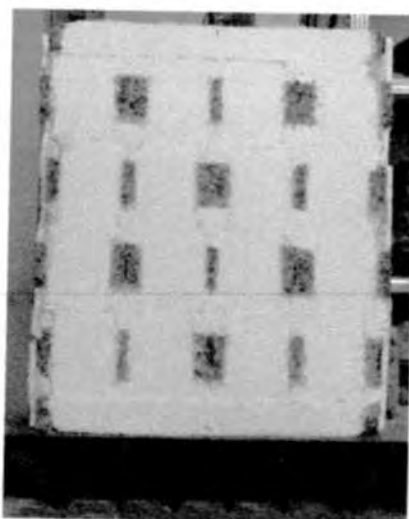
CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA INDUSTRIALE
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CONVENZIONE DI RICERCA CON

FIXOLITE-ISOBLOC

RAPPORTO DI PROVA

**Prove di compressione centrata su pannelli in calcestruzzo di
spessore di 14 cm, realizzati con blocchi cassero in legno
cemento ISOBLOC**



Collaboratore
Ing. Riccardo Neri

Direttore
Prof. Ing. Marco Savoia

Prot. 23 del 10/1/12

CIRI - EDILIZIA E COSTRUZIONI
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Via del Lazzaretto, 15/5 - 40131 - BOLOGNA - ITALIA
C.F. 80067010376 - P.I. 01131710376

Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Marco Savoia

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. PROGRAMMA DI PROVA E DETTAGLI COSTRUTTIVI DEI PROTOTIPI.....	3
3. PROPRIETÀ DEI MATERIALI UTILIZZATI.....	5
4. STRUMENTI UTILIZZATI	6
5. SET-UP DI PROVA E FASI DI CARICO	6
6. RISULTATI RELATIVI AL PANNELLO CC14_01	8
6.1. Accorciamenti verticali	8
6.2. Cicli di carico e scarico	10
7. RISULTATI RELATIVI AL PANNELLO CC14_02	11
7.1. Accorciamenti verticali	11
7.2. Cicli di carico e scarico	13
8. CONFRONTO DEI RISULTATI	14
9. GALLERIA FOTOGRAFICA	15

1. Premessa

La presente relazione è stata predisposta nell'ambito delle prestazioni commissionate al CIRI Edilizia e Costruzioni dell'Università di Bologna dalla ditta Fixolite - Isobloc, relative allo svolgimento di prove di laboratorio su pareti debolmente armate in c.c.a. realizzate con la tecnologia dei blocchi cassero. Le prove sono state svolte in accordo con le indicazioni riportate nelle *Linee Guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato in opera* emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Agosto 2011).

Il sistema costruttivo considerato prevede l'assemblaggio a secco dei blocchi cassero unitamente alla predisposizione delle necessarie armature all'interno dei fori; successivamente si completa la parete mediante getto di calcestruzzo. All'indurimento del calcestruzzo, si ottiene una parete costituita da elementi verticali (pilastrini) collegati da elementi orizzontali (travetti) che compongono un reticolo in c.c.a. con funzione resistente sia per i carichi verticali e orizzontali.

Come previsto dalle Linee Guida citate, la campagna di prove ha lo scopo di ottenere le grandezze necessarie a fornire le indicazioni progettuali e costruttive per la progettazione ed il calcolo di edifici realizzati con sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera.

Nel presente elaborato sono descritte le prove di compressione assiale centrata su porzioni di pannello di dimensione indicativamente di 1.0 x 1.0 m. Tali prove sono denominate "tipo 1-a" nell'ambito delle Linee Guida citate in precedenza. Le prove sono state svolte in regime pseudo-statico con applicazione monotona di un carico di compressione fino a rottura. Le prove sono finalizzate alla determinazione della capacità resistente e del rapporto tra la rigidezza secante valutata in corrispondenza del carico massimo e la rigidezza secante al 30% del carico massimo.

2. Programma di prova e dettagli costruttivi dei prototipi

Sono state effettuate n. 2 prove su porzioni di pannello di dimensione di 1.0 x 1.0 m con spessore di calcestruzzo resistente pari a $s = 14$ cm, in accordo con le indicazioni circa il numero minimo di prototipi riportato nelle Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici di cui al paragrafo 1. I due provini, identici, sono stati nominati nel seguente modo:

- CC14_01 = Provino di 1.0 x 1.0 m con spessore di calcestruzzo resistente pari a 14 cm
- CC14_02 = Provino di 1.0 x 1.0 m con spessore di calcestruzzo resistente pari a 14 cm

I blocchi cassero utilizzati per la realizzazione dei pannelli sono stati forniti da Fixolite-Isobloc e hanno le caratteristiche geometriche riportate in Figura 1.

Le dimensioni del blocco sono pari a $L \times B = 50 \times 25$ cm, lo spessore delle pareti interne ed esterne è pari a 3.5 - 4 cm. L'interno delle pareti del blocco è rivestito da uno strato di polistirene di spessore 2 cm; le cavità interne del blocco consentono la realizzazione di una parete in calcestruzzo di spessore pari a 14 cm (si vedano le Figure 1-2). I provini soggetti a prova di compressione sono realizzati mediante la sovrapposizione di blocchi cassero. Dal prospetto (Figura 2), si possono osservare gli intagli di profondità pari a circa 5.5 cm che permettono di realizzare, in fase di getto, maglie di travetti orizzontali ad interasse di circa 25 cm.

I pannelli sono stati realizzati con conglomerato cementizio di classe C25/30 (così come documentato al paragrafo 5 della presente relazione) e sono stati inseriti ferri d'armatura longitudinale e orizzontale secondo gli standard costruttivi indicati dalla stessa Fixolite-Isobloc. Le armature di rinforzo utilizzate sono le seguenti:

- Armature longitudinali = n. 2 barre ϕ 8 mm per ogni pilastro (interasse = 25 cm)
- Armature orizzontali = n. 2 barre ϕ 8 mm per ogni travetto

Tutte le barre d'armatura (orizzontali e verticali) sono state opportunamente piegate in modo da risultare ancorate alle estremità (Figura 3).

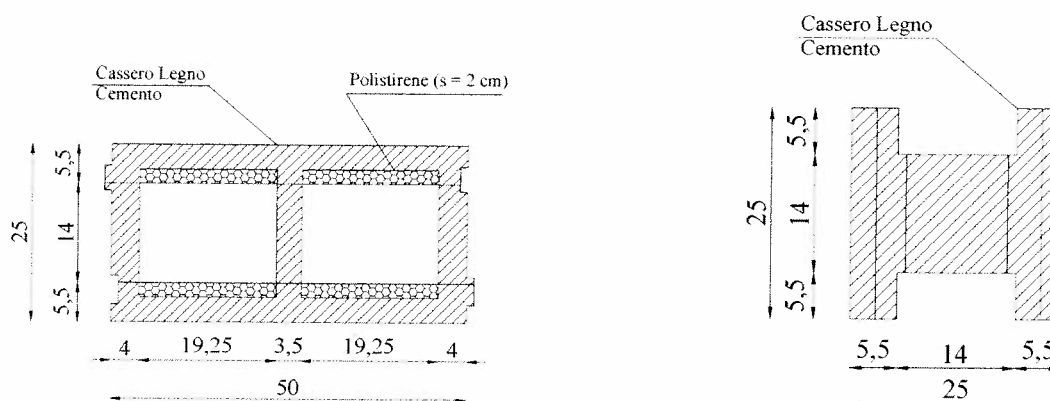


Figura 1. Rilievo dettagliato del blocco cassero utilizzato per la realizzazione dei pannelli.

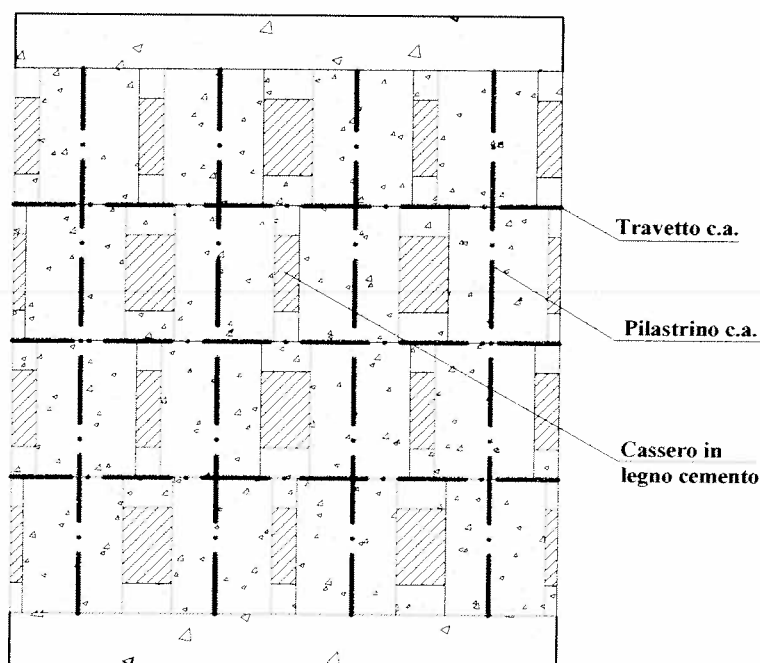


Figura 2. Elementi portanti verticali (pilastrini) ed orizzontali (travetti) all'interno del pannello soggetto a prove di compressione.

Alle due estremità superiore ed inferiore del pannello sono stati realizzati cordoli in calcestruzzo di altezza $h=10$ cm rinforzati con barre d'armatura al fine di distribuire il carico di prova in modo uniforme su tutto il pannello.

I pannelli Fixolite-Isobloc oggetto di prova sono stati realizzati nella sede del CIRI Edilizia e Costruzioni presso il Laboratorio LISG della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Bologna – Alma Mater Studiorum da una ditta incaricata da Fixolite-Isobloc.

Dopo circa 10 giorni dal getto, necessari per la maturazione del calcestruzzo, si è proceduto con la demolizione della cortecchia esterna in legno-cemento, al fine di rendere visibile la sola parte strutturale del sistema costruttivo. In questo modo è stato possibile controllare l'uniformità del getto, applicare gli strumenti di misura e controllare il quadro fessurativo durante la prova.

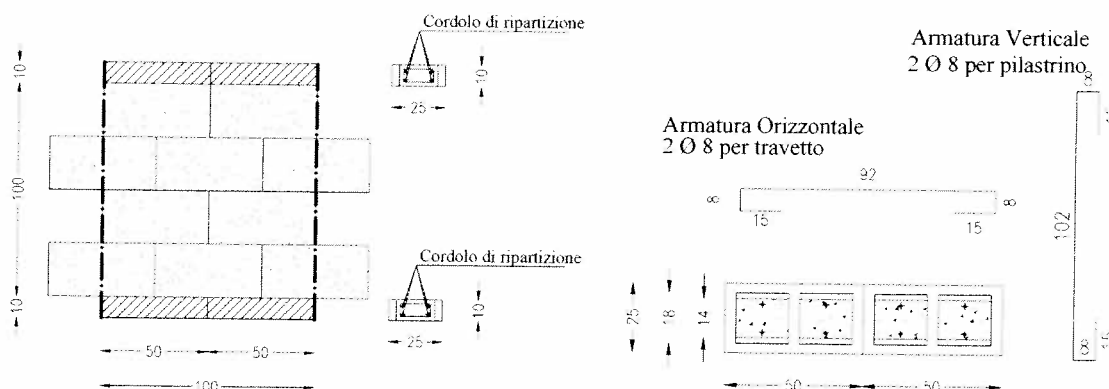


Figura 3. Dettagli costruttivi della realizzazione dei pannelli testati.

3. Proprietà dei materiali utilizzati

Per il getto dei pannelli, è stato utilizzato un calcestruzzo di classe C25/30, consistenza S5, cemento 32,5R, diametro massimo aggregati 15 mm, classe di esposizione X0.

Al fine di verificare la rispondenza delle caratteristiche meccaniche del materiale utilizzato con quelle previste per la relativa classe di resistenza, sono state eseguite apposite prove di rottura a compressione su provini cubici di dimensioni nominali $15 \times 15 \times 15$ cm³ di calcestruzzo indurito, secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 12390-3. Al momento del getto per la realizzazione dei pannelli per le prove statiche, sono stati quindi confezionati 4 provini cubici, gettando il calcestruzzo fresco all'interno di casseforme in acciaio rispondenti ai requisiti della norma UNI EN 12390-1 e quindi compattando opportunamente il calcestruzzo come previsto dalla norma UNI EN 12390-2. I provini sono poi stati fatti stagionare in camera climatica a temperatura di (20 ± 2) °C ed umidità relativa $\geq 95\%$ fino al momento della prova. Quest'ultima è stata effettuata lo stesso giorno della prova di compressione sui pannelli, al fine di valutare la resistenza a compressione del calcestruzzo allo stesso grado di maturazione. La prova di schiacciamento dei cubetti è stata effettuata utilizzando una pressa METROCOM da 400 ton (Cavazzi Oscar, Novara, Italia). I risultati delle prove di resistenza a compressione del calcestruzzo sono riportati nella Tabella 1.

Considerando che il valore di resistenza medio $R_m = 37.7$ MPa $\geq R_{ck} + 3.5 = 30 + 3.5 = 33.5$ MPa, il calcestruzzo utilizzato per il getto dei pannelli può considerarsi pienamente rispondente ai requisiti previsti dal D.M. 14/01/2008 per accertare la conformità del calcestruzzo utilizzato alla classe di resistenza prevista (C 25/30).

Per quanto riguarda l'acciaio utilizzato per le armature, è stato utilizzato un acciaio B450C laminato a caldo. La rispondenza delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio utilizzato alla relativa classe è attestata da appositi certificati, forniti dal produttore.

PROVINO	MATURAZIONE (gg)	CARICO (kN)	RESISTENZA R_{cm} (MPa)
P1	63	835.8	37.6
P2	63	839.7	37.3
P3	75	848.6	37.7
P4	75	859.4	38.2
MEDIA			37.7

Tabella 1. Risultati delle prove di rottura a compressione dei campioni cubici $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ di calcestruzzo.

4. Strumenti utilizzati

Per la misura degli accorciamenti verticali dei pannelli durante le prove di compressione sono stati utilizzati quattro trasduttori di spostamento potenziometrici con corsa massima di 50 mm. Sono stati applicati a coppie sulle due superfici del pannello per mezzo di tasselli ad espansione, utilizzando delle prolunghie realizzate con barre in alluminio di diametro 12 mm, forate e filettate all'estremità. Tali strumenti sono stati collegati ad un sistema di acquisizione con il quale è stato possibile registrare i dati della prova in continuo. In Tabella 2 si riportano le lunghezze delle basi di misura degli spostamenti. Tali valori sono utilizzati per calcolare le deformazioni verticali subite dal provino.

In Figura 4 sono indicate le posizioni degli strumenti di misura, con la relativa sigla identificativa.

5. Set-up di prova e fasi di carico

Le prove di compressione centrata sui pannelli oggetto della relazione prevedono l'applicazione del carico mediante una macchina universale, con portata massima di 6000 kN. Al fine di garantire la migliore distribuzione del carico sull'intera larghezza del provino, al di sotto dello stesso è stata posizionata una traversa metallica di ripartizione, mentre superiormente la testa di carico presenta una cerniera sferica (Figura 5).

Le prove sono state condotte in controllo di forza rispettando le specifiche riportate nelle *Linee Guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera* in termini di velocità di carico, al fine di ridurre eventuali effetti dinamici sul pannello di prova. Il limite consigliato, identificato nelle Linee Guida, risulta essere di $(N_u/500)/\text{sec}$, dove N_u rappresenta il valore massimo di carico ipotizzato. Tutte le prove sono state condotte fino al collasso del pannello. Il collasso identificato con una diminuzione del carico pari al 20% del valore massimo registrato nel corso della prova.

Durante le prove sono stati effettuati cicli iniziali di carico e scarico, prima di aumentare il carico fino al collasso del pannello: tali cicli sono stati condotti fino a 500 kN e 1000 kN.

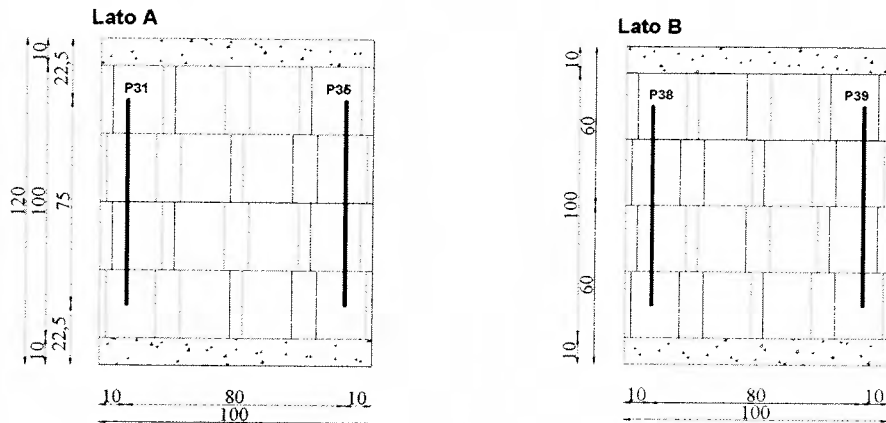


Figura 4. Posizione degli strumenti sulle due superfici del pannello oggetto di prova.

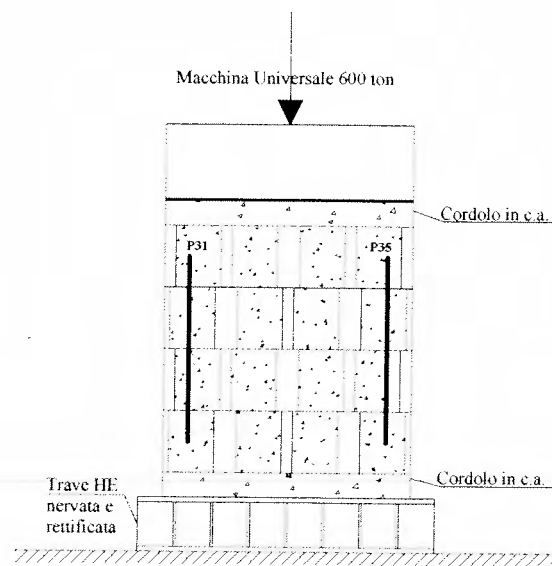


Figura 5. Set-up delle prove di compressione centrata.

	CC14_01	CC14_02
	(cm)	(cm)
P31	74.9	74.6
P39	71.9	71.0
P38	73.0	73.5
P35	74.7	75.1

Tabella 2. Basi di misura dei trasduttori di spostamento impiegati nelle 2 prove di compressione centrata.

6. Risultati relativi al pannello CC14_01

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi della prova condotta sul pannello denominato CC14_01, con spessore di calcestruzzo pari a 14 cm, effettuata in data 29/11/2011, dopo 67 giorni di maturazione del calcestruzzo.

6.1. Accorciamenti verticali

In Figura 6 sono riportati gli accorciamenti verticali registrati dai singoli trasduttori durante la prova, in funzione del carico applicato, mentre in Figura 7 è riportato il diagramma forza-accorciamento verticale medio (media dei 4 accorciamenti).

Il secondo grafico è stato utilizzato per determinare i valori di carico massimo, di rigidezza assiale e di accorciamento del pannello in oggetto. Il carico massimo raggiunto è pari a 2372 kN e l'accorciamento verticale corrispondente è pari a 0.75 mm, da cui si desume una deformazione media al picco pari a 1010 $\mu\epsilon$.

Dal grafico si evince che il pannello ha presentato un comportamento lineare nella prima parte della prova in cui sono stati eseguiti cicli di carico-scarico fino a un carico massimo di 500 kN e 1000 kN; in prossimità di un valore di carico compreso fra 1500 e 1700 kN si sono verificate le prime fessure sul pannello, evidenziate anche da una progressiva perdita di rigidezza assiale del pannello.

Nella Tabella 3 sono riportati il valore di forza (F) e di accorciamento verticale (δ) corrispondenti al carico massimo (F_{max}) e al 30% dello stesso ($F_{30\%}$). Tali dati sono stati utilizzati per valutare la rigidezza secante (K) del pannello corrispondente ai due livelli di carico. È stato inoltre riportato il rapporto (ΔK) tra la rigidezza secante valutata in corrispondenza del carico massimo e la rigidezza secante al 30% dello stesso, in accordo con le "Linee guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera".

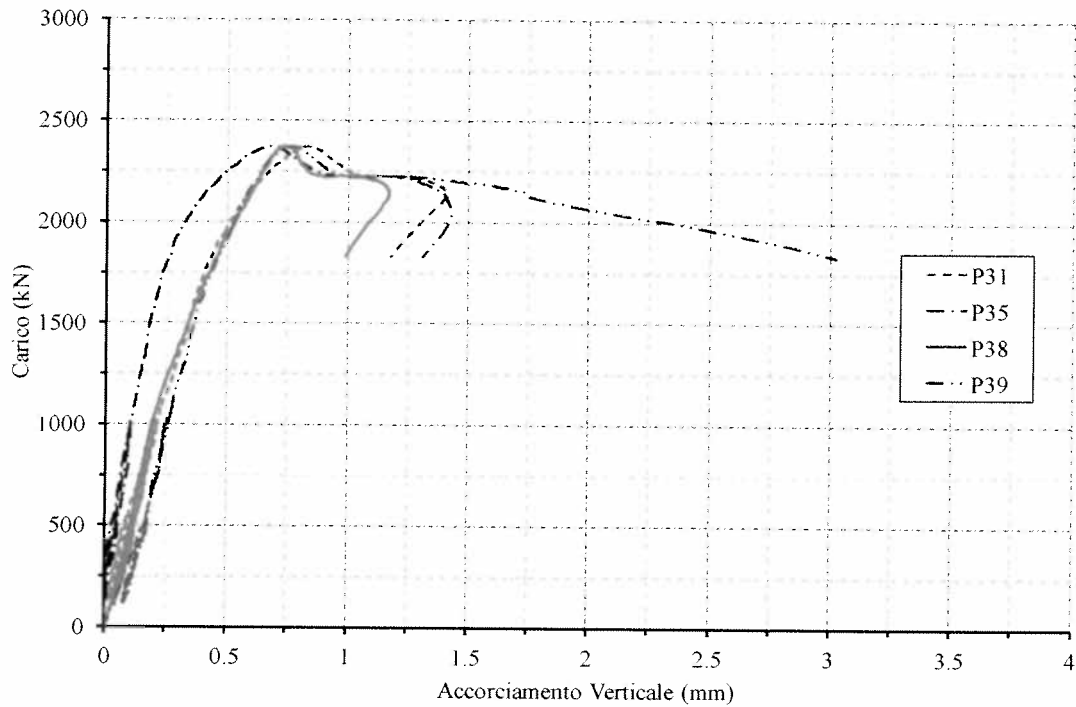


Figura 6. Pannello CC14_01: Accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

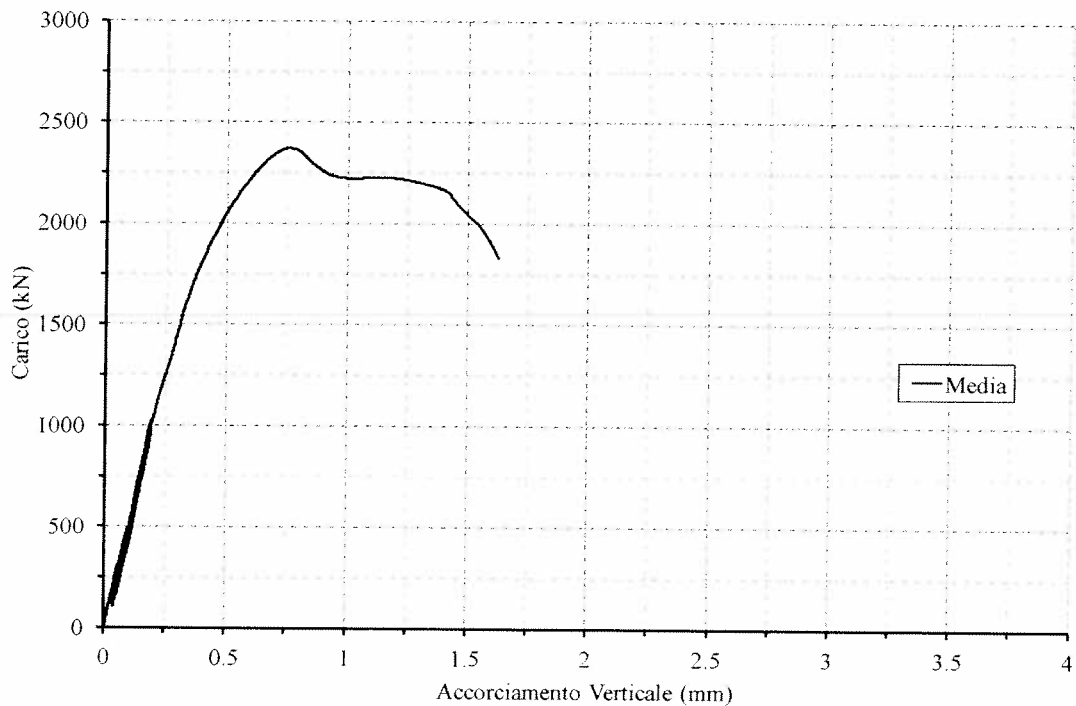


Figura 7. Pannello CC14_01: Valor medio degli accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento al variare del carico.

		$F_{30\%}$	F_{Max}
F	(kN)	712	2373
δ	(mm)	0.144	0.755
K	(kN/mm)	4934	3143

ΔK	0.64
------------	------

Tabella 3. Risultati ottenuti dalla prova di compressione centrata sul pannello CC14_01.

6.2. Cicli di carico e scarico

Nella Figura 8 è riportato un dettaglio dei cicli di carico-scarico eseguiti prima di portare il pannello a rottura. È stato rappresentato, in particolare, il valore medio dell'accorciamento verticale in funzione del carico. Sono stati eseguiti 2 cicli fino a valori di carico pari a 500 kN e 1000 kN. Dal grafico si evince che il comportamento del pannello per questi livelli di carico si mantiene in campo sostanzialmente elastico lineare.

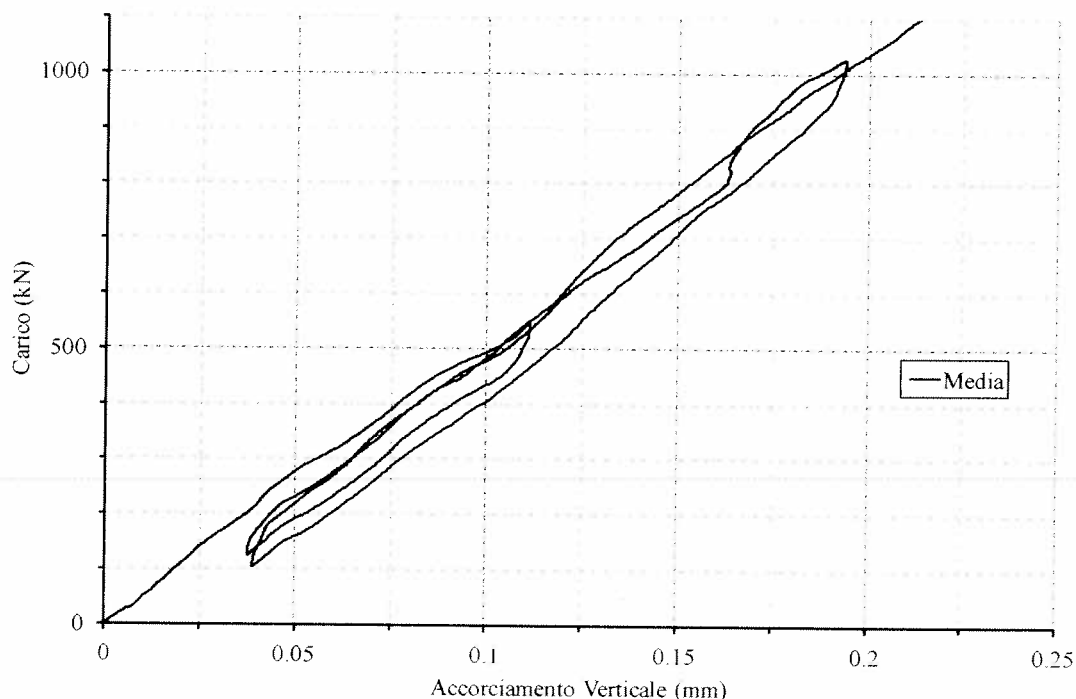


Figura 8. Pannello CC14_01: Dettaglio dei cicli di carico-scarico della prova a compressione centrata.

7. Risultati relativi al pannello CC14_02

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi delle prove condotte sul secondo pannello, denominato CC14_02, di spessore di calcestruzzo portante pari a 14 cm, effettuata in data 01/12/2011, dopo 69 giorni di maturazione del calcestruzzo.

7.1. Accorciamenti verticali

In Figura 9 sono riportati gli accorciamenti verticali registrati dai singoli trasduttori durante la prova, in funzione del carico applicato, mentre in Figura 10 è riportato il diagramma forza-accorciamento verticale medio (media dei 4 accorciamenti).

Il secondo grafico è stato utilizzato per determinare i valori di carico massimo, di rigidezza assiale e di accorciamento del pannello in oggetto. Il carico massimo raggiunto è pari a 2497 kN e l'accorciamento verticale corrispondente è pari a 1.20 mm da cui si desume una deformazione media al picco pari a 1620 $\mu\epsilon$.

Dal grafico si evince che il pannello ha presentato un comportamento lineare nella prima parte della prova in cui sono stati eseguiti cicli di carico-scarico fino ad un carico massimo di per valori di 500 kN e 1000 kN; in prossimità di un valore di carico compreso fra 1500 e 1700 kN si sono verificate le prime fessure sul pannello evidenziate anche da una progressiva perdita di rigidezza assiale del pannello.

Nella Tabella 4 sono riportati il valore di forza (F) e di accorciamento verticale (δ) corrispondenti al carico massimo (F_{max}) e al 30% dello stesso ($F_{30\%}$). Tali dati sono stati utilizzati per valutare la rigidezza secante (K) del pannello corrispondente ai due livelli di carico. È stato inoltre riportato il rapporto (ΔK) tra la rigidezza secante valutata in corrispondenza del carico massimo e la rigidezza secante al 30% dello stesso, in accordo con le "Linee guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera".

		$F_{30\%}$	F_{Max}
F	(kN)	749	2497
δ	(mm)	0.189	1.170
K	(kN/mm)	3969	2135

ΔK	0.54
------------	------

Tabella 4. Risultati ottenuti dalla prova di compressione centrata sul pannello CC14_02.

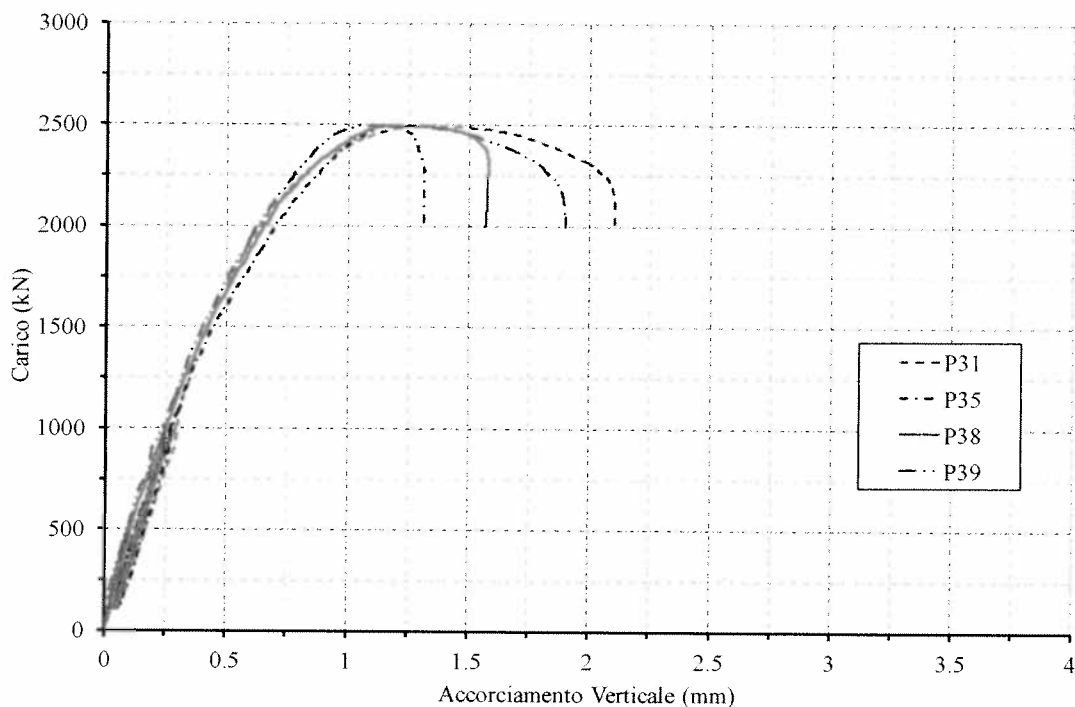


Figura 9. Pannello CC14_02: Accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

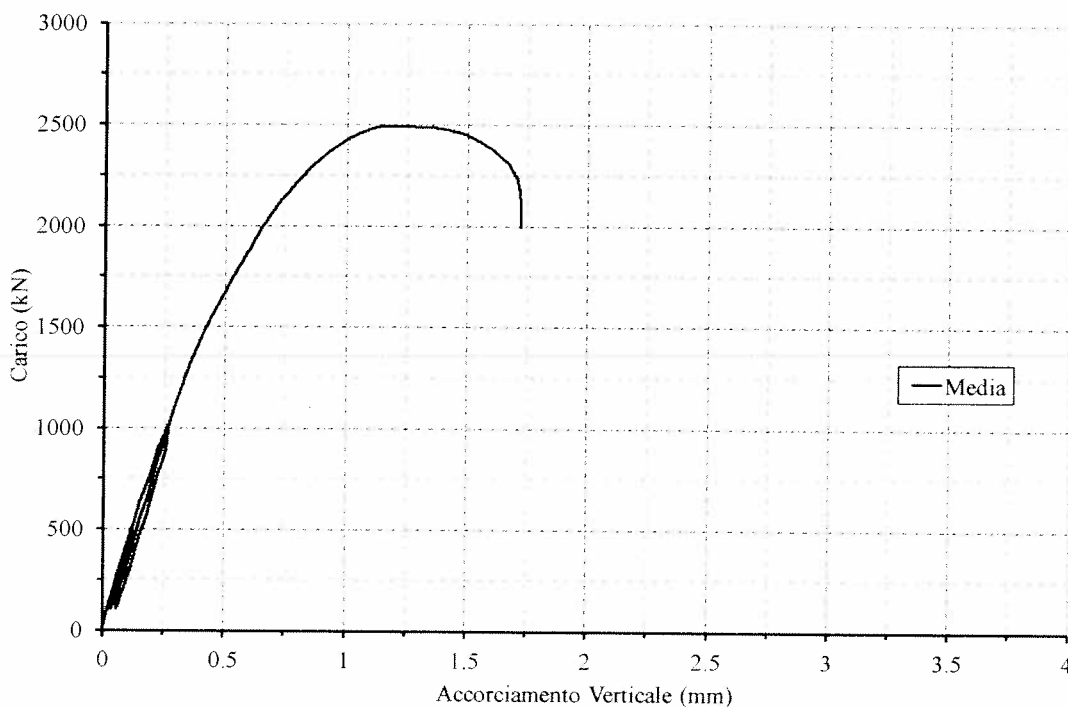


Figura 10. Pannello CC14_02: Valor medio degli accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

7.2. Cicli di carico e scarico

Nella Figura 11 è riportato un dettaglio dei cicli di carico-scarico eseguiti prima di portare il pannello a rottura. È stato rappresentato, in particolare, il valore medio dello spostamento verticale in funzione del carico. Sono stati eseguiti 2 cicli fino a valori di carico pari a 500 kN e 1000 kN. Dal grafico si evince che il comportamento del pannello per questi livelli di carico si mantiene in campo sostanzialmente elastico lineare.

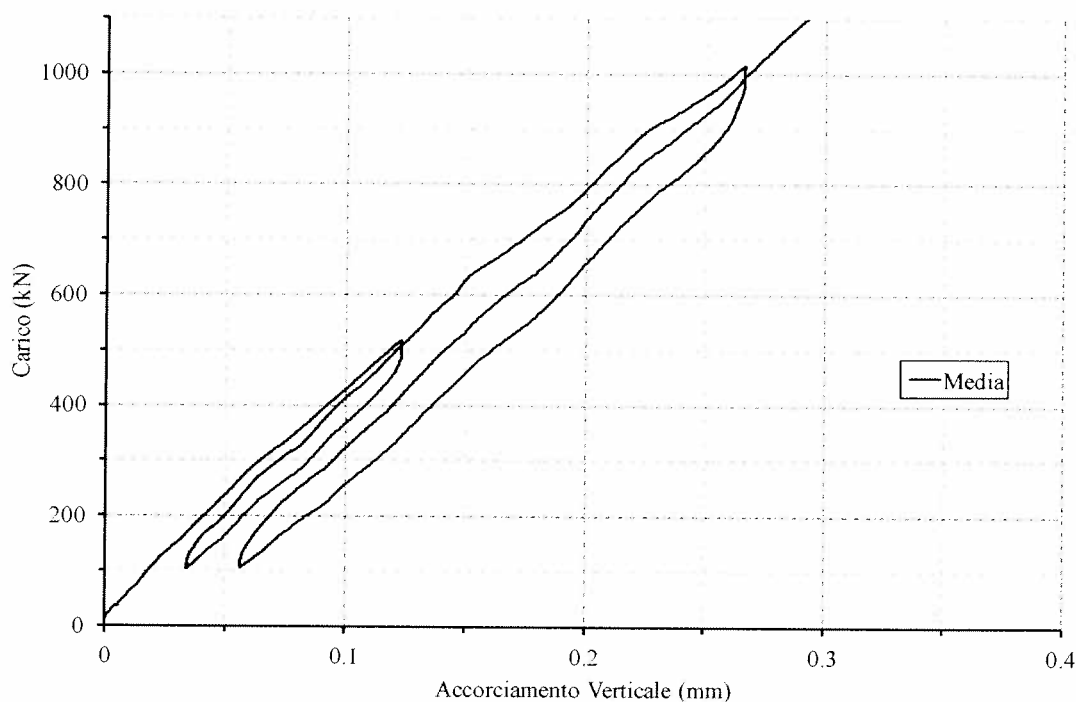


Figura 11. Pannello CC14_02: Dettaglio dei cicli di carico-scarico della prova a compressione centrata.

8. Confronto dei risultati

In Figura 12 si riporta il confronto tra le curve carico-accorciamento verticale medio ottenute dalle due prove descritte precedentemente. In Tabella 5 sono riportati i valori significativi ottenuti dalle due prove.

Il valore medio del carico massimo raggiunto nelle due prove è pari a 2435 kN. Il valore medio della rigidezza è pari a 4451 kN/mm per valori di carico fino a $F_1 \sim 700-750$ kN e 2639 kN/mm a rottura. Il valore medio della riduzione di rigidezza è pari a 0.59.

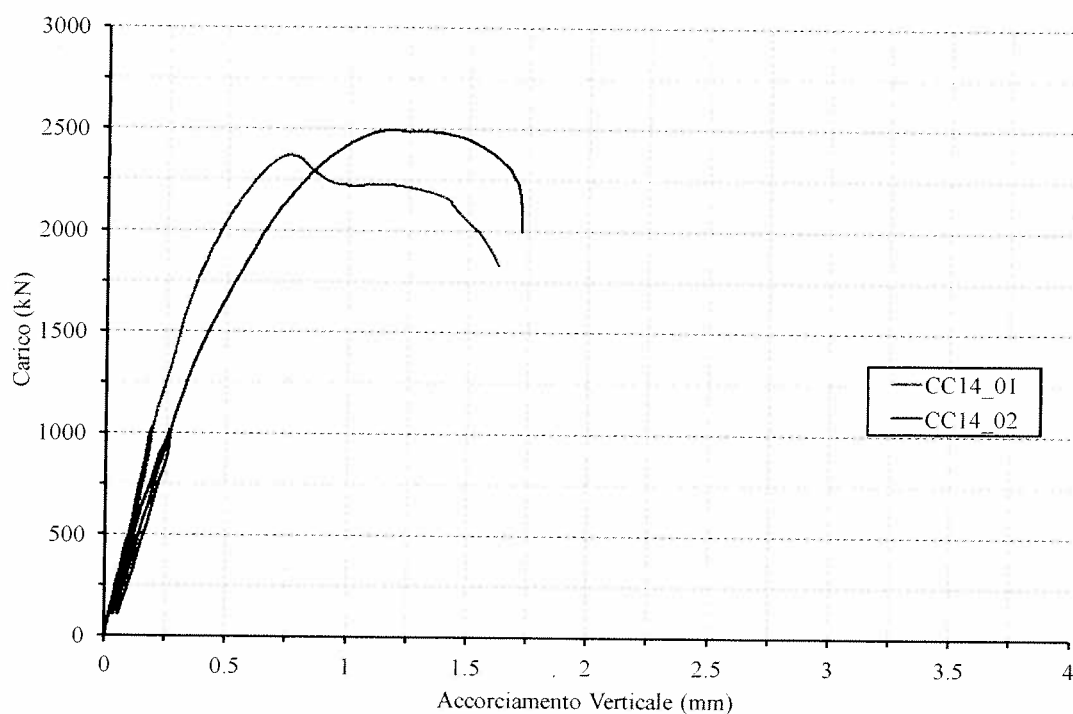


Figura 12. Confronto in termini di carico – accorciamento verticale medio delle prove di compressione centrata condotte sui pannelli CC14_01 e CC14_02.

		CC14_01		CC14_02	
		$F_{30\%}$	F_{Max}	$F_{30\%}$	F_{Max}
F	(kN)	712	2373	749	2497
δ	(mm)	0.144	0.755	0.189	1.170
K	(kN/mm)	4934	3143	3969	2135
		ΔK	0.64	ΔK	0.54

Tabella 5. Forza massima, accorciamento verticale al carico massimo e rigidezze secanti corrispondenti al 30% del carico massimo e al picco, nelle due prove a compressione centrata.

9. Galleria fotografica

Di seguito si riportano alcune fotografie effettuate prima, durante e dopo le prove di compressione centrata.



Figura 13. Pannello CC14_01: Il pannello prima della prova a compressione centrata.



Figura 14. Pannello CC14_01: Il pannello al termine della prova di compressione centrata.



Figura 15. Pannello CC14_02: Il pannello prima della prova a compressione centrata.

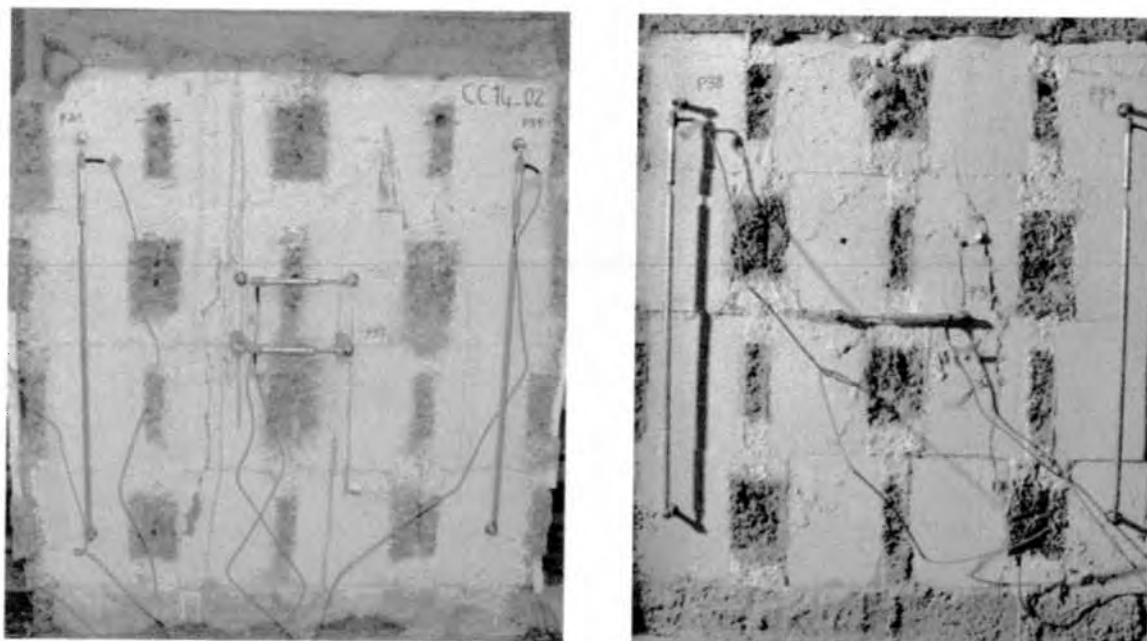


Figura 16. Pannello CC14_02: Fessurazione del pannello durante e al termine della prova di compressione centrata.

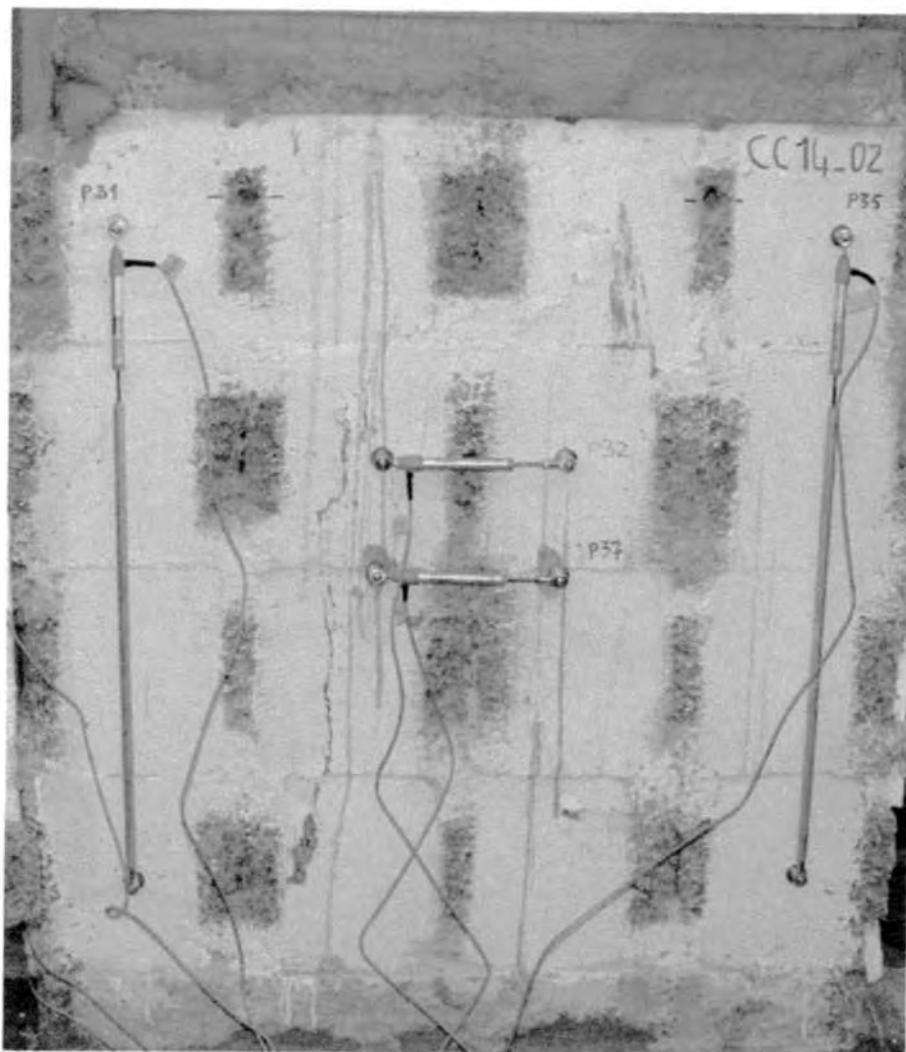




Figura 17. Pannello CC14_02: Quadro fessurativo al termine della prova di compressione centrata.

Bologna, 15 Dicembre 2011


Responsabile scientifico
Prof. Ing. Marco Savoia
Facoltà di Ingegneria
Università di Bologna


Direttore del CIRI Edilizia e Costruzioni
Prof. Ing. Marco Savoia