



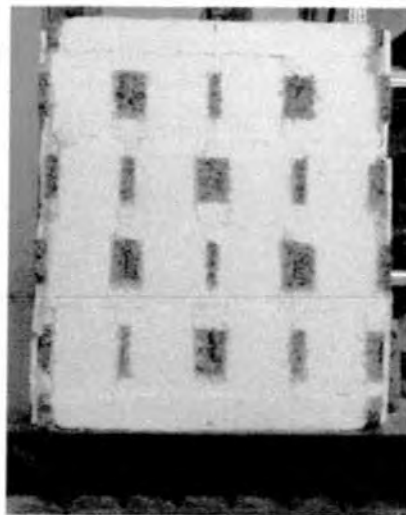
**CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA INDUSTRIALE  
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CONVENZIONE DI RICERCA CON

**FIXOLITE-ISOBLOC**

RAPPORTO DI PROVA

**Prove di compressione centrata su pannelli in calcestruzzo di  
spessore di 18 cm, realizzati con blocchi cassero in legno  
cemento ISOBLOC**



**Collaboratore**  
**Ing. Riccardo Neri**

**Direttore**  
**Prof. Ing. Marco Savoia**

*Prot. 24 del 10/1/12*

CIRI - EDILIZIA E COSTRUZIONI  
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
Via del Lazzaretto, 15/5 - 40131 - BOLOGNA - ITALIA  
C.F. 80007010376 - P.I. 01131710376

**Responsabile Scientifico**  
**Prof. Ing. Marco Savoia**

## INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. PROGRAMMA DI PROVA E DETTAGLI COSTRUTTIVI DEI PANNELLI.....	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 CC18_01 .....	8
6.1. Accorciamenti verticali .....	8
6.2. Cicli di carico e scarico .....	10
7. RISULTATI DI PROVA CC18_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 rigidità secante valutata in corrispondenza del carico massimo e la rigidità secante al 30% del carico massimo.

## 2. Programma di prova e dettagli costruttivi dei pannelli

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  $s = 18$  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 pannelli, identici, sono stati nominati nel seguente modo:

- CC18\_01 = Pannello di 1.0 x 1.0 m con spessore di calcestruzzo resistente pari a 18 cm
- CC18\_02 = Pannello di 1.0 x 1.0 m con spessore di calcestruzzo resistente pari a 18 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.

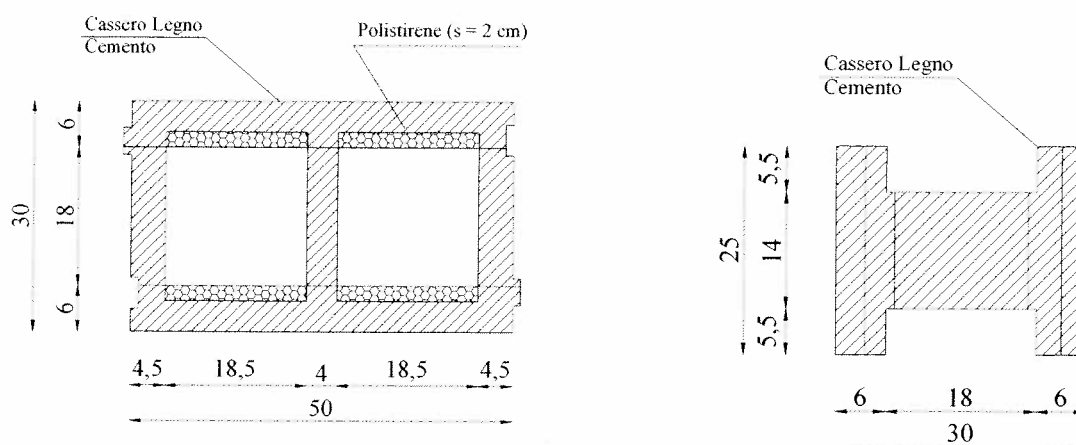
Le dimensioni del blocco sono pari a  $L \times B = 50 \times 25$  cm, lo spessore delle pareti interne ed esterne è pari a 4 - 4.5 cm. L'interno delle pareti del blocco è rivestito da uno strato di polistirene di spessore 2 cm; le cavità interne del blocco consentono la realizzazione di una parete in calcestruzzo di spessore pari a 18 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.

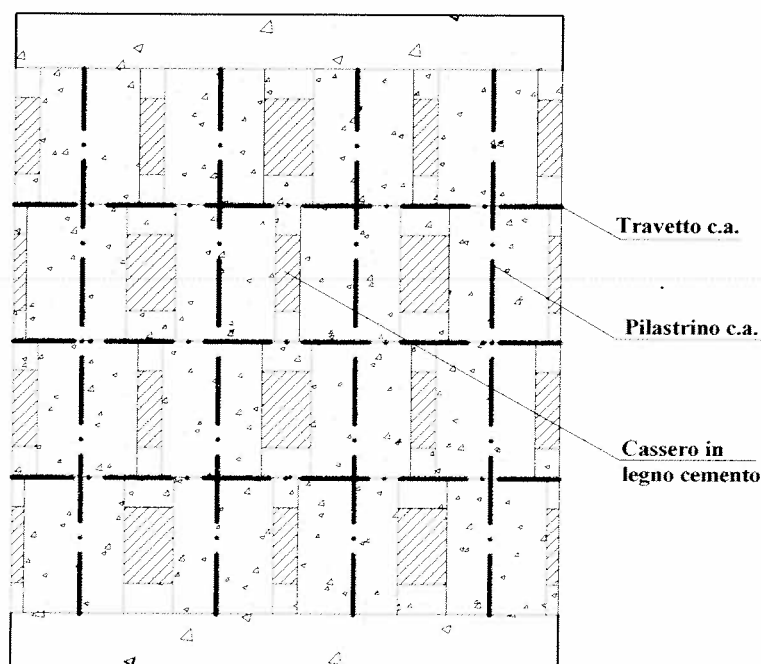
Le armature di rinforzo utilizzate sono le seguenti:

- Armature longitudinali = n. 2 barre  $\phi$  8 mm per ogni pilastrino (interasse = 25 cm)
- Armature orizzontali = n. 2 barre  $\phi$  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 corteccia 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.

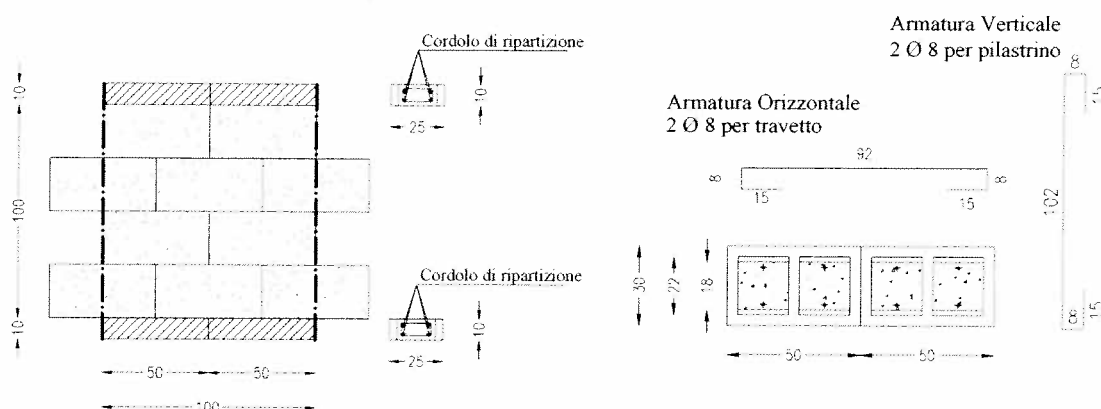


Figura 3. Dettagli costruttivi della realizzazione dei pannelli testati.

### 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  $15 \times 15 \times 15$  cm<sup>3</sup> 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  $(20 \pm 2)$  °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
<b>MEDIA</b>			<b>37.7</b>

**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 pannello.

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 pannello, 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 la 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 stimato. Tutte le prove sono state condotte fino al collasso del pannello. Il collasso è 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, 1000 kN, 1500 kN.

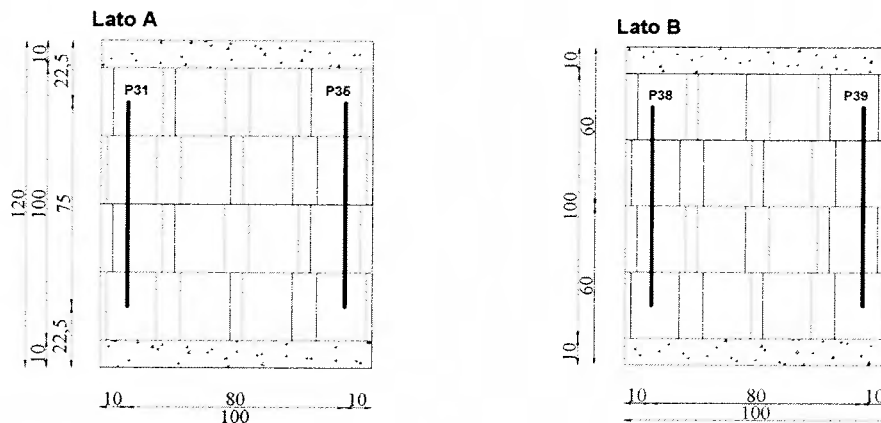


Figura 4. Posizioni degli strumenti sulle due superfici del pannello oggetto di prova.

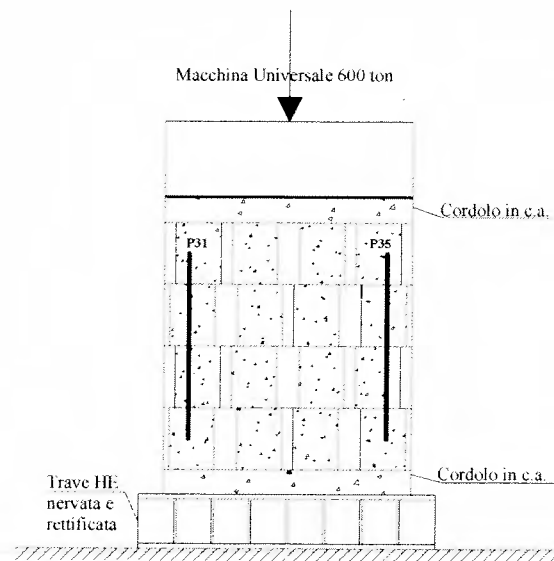


Figura 5. Set-up delle prove di compressione centrata.

	CC18_01	CC18_02
	(cm)	(cm)
P31	74.0	73.9
P39	71.1	71.2
P38	73.4	73.5
P35	74.3	74.5

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

## 6. Risultati relativi al pannello CC18\_01

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi della prova condotta sul pannello denominato CC18\_01, con spessore di calcestruzzo pari a 18 cm, effettuata in data 7/12/2011, dopo circa 75 giorni di maturazione del calcestruzzo.

### 6.1. Accorciamenti verticali

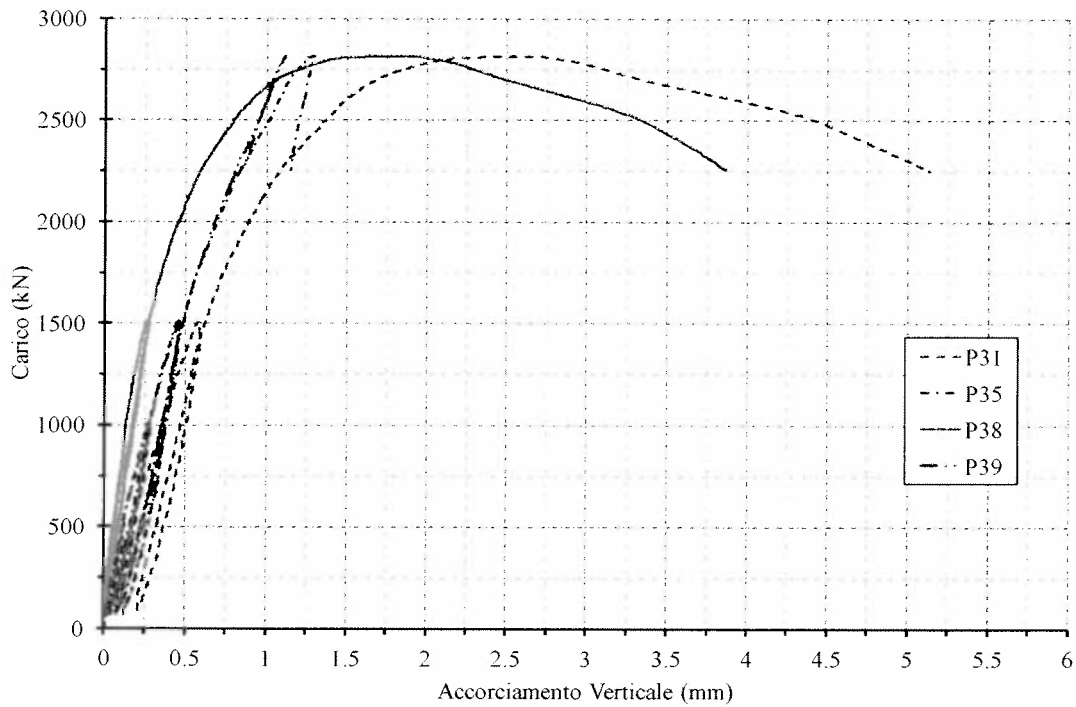
In Figura 6 sono riportati gli accorciamenti verticali registrati dai singoli trasduttori durante la prova, in funzione del carico applicato, mentre in Figura 7 è riportato il diagramma forza-accorciamento verticale medio (media dei 4 accorciamenti).

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 2818 kN e l'accorciamento verticale corrispondente è pari a 1.704 mm da cui si desume una deformazione media al picco pari a 2302  $\mu\epsilon$ .

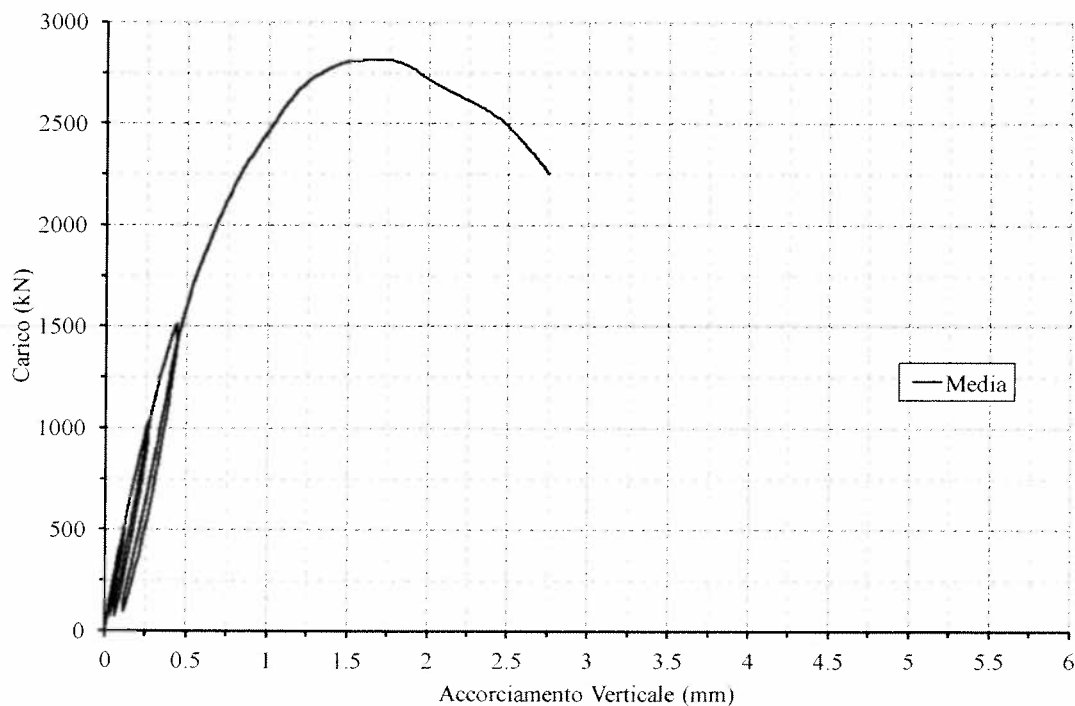
Dal grafico si evince che il pannello ha presentato un comportamento lineare nella prima parte della prova in cui sono stati eseguiti cicli di carico-scarico fino a un carico massimo di 500 kN, 1000 kN e 1500 kN; in prossimità di un valore di carico compreso fra 1500 e 1700 kN si sono verificate le prime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

Nella Tabella 3 sono riportati il valore di forza ( $F$ ) e di accorciamento verticale ( $\delta$ ) 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 ( $\Delta K$ ) 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 cassetto e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera".





**Figura 6.** Pannello CC18\_01: Accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.



**Figura 7.** Pannello CC18\_01: Valor medio degli accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento al variare del carico.

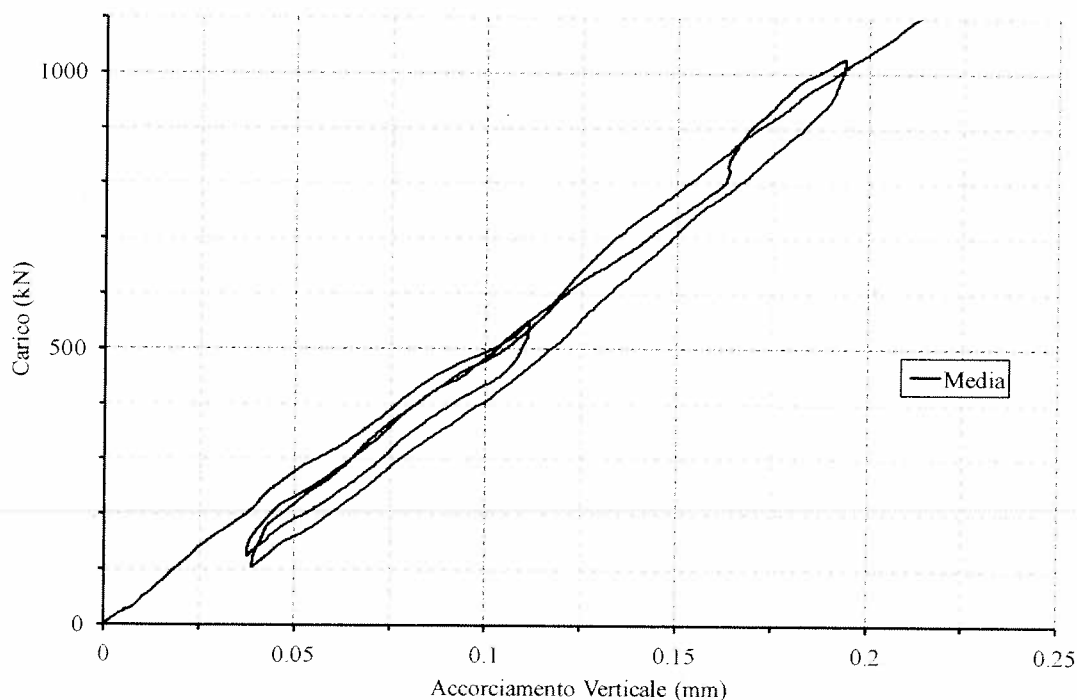
		$F_{30\%}$	$F_{Max}$
<b>F</b>	(kN)	845	2818
<b><math>\delta</math></b>	(mm)	0.209	1.704
<b>K</b>	(kN/mm)	4044	1654

$\Delta K$	0.41
------------	------

**Tabella 3.** Risultati ottenuti dalla prova di compressione centrata sul pannello CC18\_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 3 cicli fino a valori di carico pari a 500 kN, 1000 kN 1500 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 CC18\_01: Dettaglio dei cicli di carico-scarico della prova a compressione centrata.

## 7. Risultati relativi al pannello CC18\_02

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi delle prove condotte sul secondo pannello, denominato CC18\_02, di spessore di calcestruzzo portante pari a 18 cm, effettuata in data 25/11/2011, dopo 63 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 rigidità assiale e di accorciamento del pannello in oggetto. Il carico massimo raggiunto è pari a 2515 kN e l'accorciamento verticale corrispondente è pari a 0.721 mm da cui si desume una deformazione media al picco pari a 974  $\mu\epsilon$ .

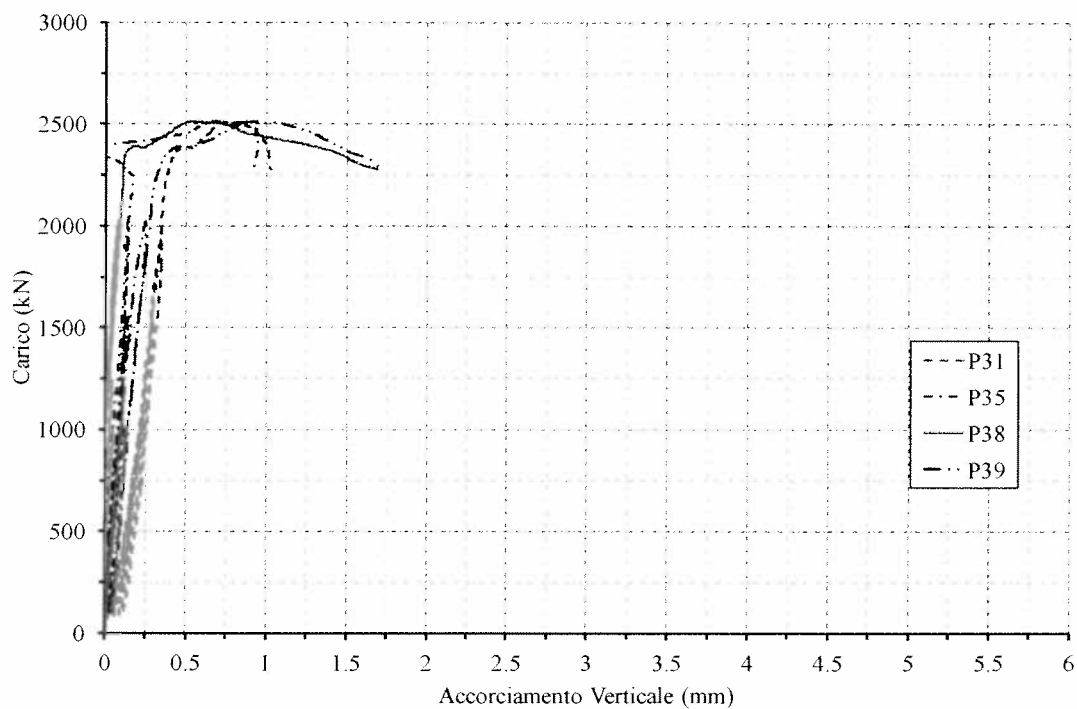
Dal grafico si evince che il pannello ha presentato un comportamento lineare nella prima parte della prova in cui sono stati eseguiti cicli di carico-scarico fino ad un carico massimo di 500 kN, 1000 kN, 1500 kN e 2000 kN; in prossimità di un valore di carico compreso fra 2000 e 2200 kN si sono verificate le prime fessure sul pannello, evidenziate anche da una progressiva perdita di rigidità assiale del pannello.

Nella Tabella 4 riportati il valore di forza ( $F$ ) e di accorciamento verticale ( $\delta$ ) corrispondenti al carico massimo ( $F_{max}$ ) e al 30% dello stesso ( $F_{30\%}$ ). Tali dati sono stati utilizzati per valutare la rigidità secante ( $K$ ) del pannello corrispondente ai due livelli di carico. È stato inoltre riportato il rapporto ( $\Delta K$ ) tra la rigidità secante valutata in corrispondenza del carico massimo e la rigidità 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".

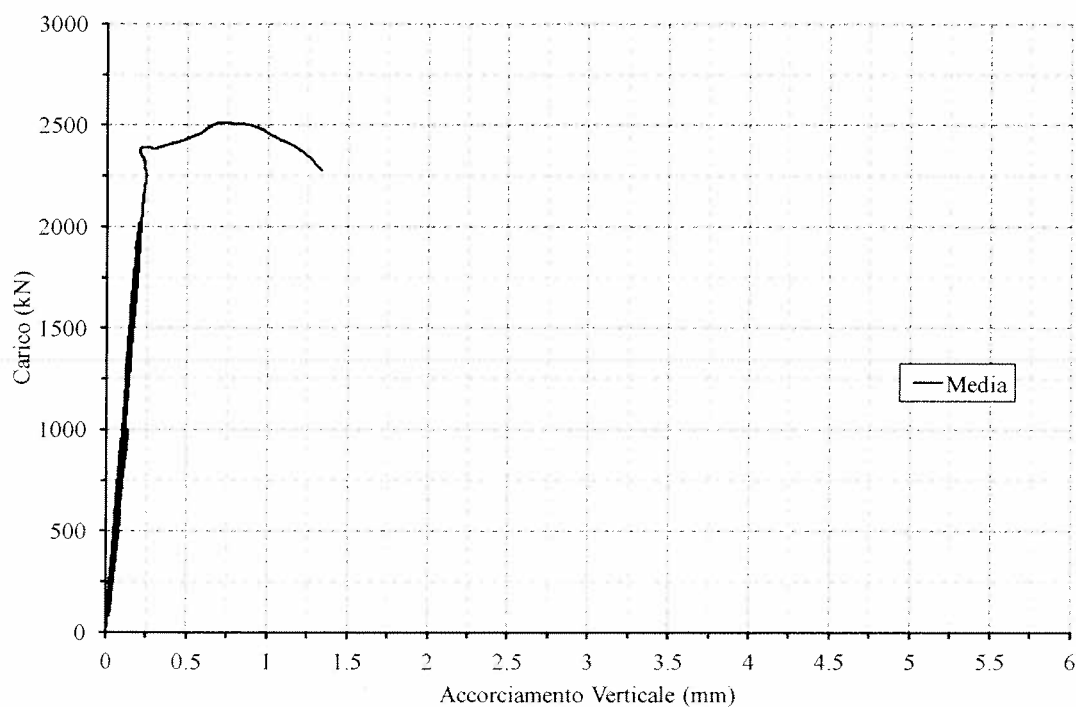
		$F_{30\%}$	$F_{Max}$
<b>F</b>	(kN)	754	2515
<b><math>\delta</math></b>	(mm)	0.101	0.721
<b>K</b>	(kN/mm)	7497	3486

$\Delta K$	0.47
------------	------

**Tabella 4.** Risultati ottenuti dalla prova di compressione centrata sul pannello CC18\_02.



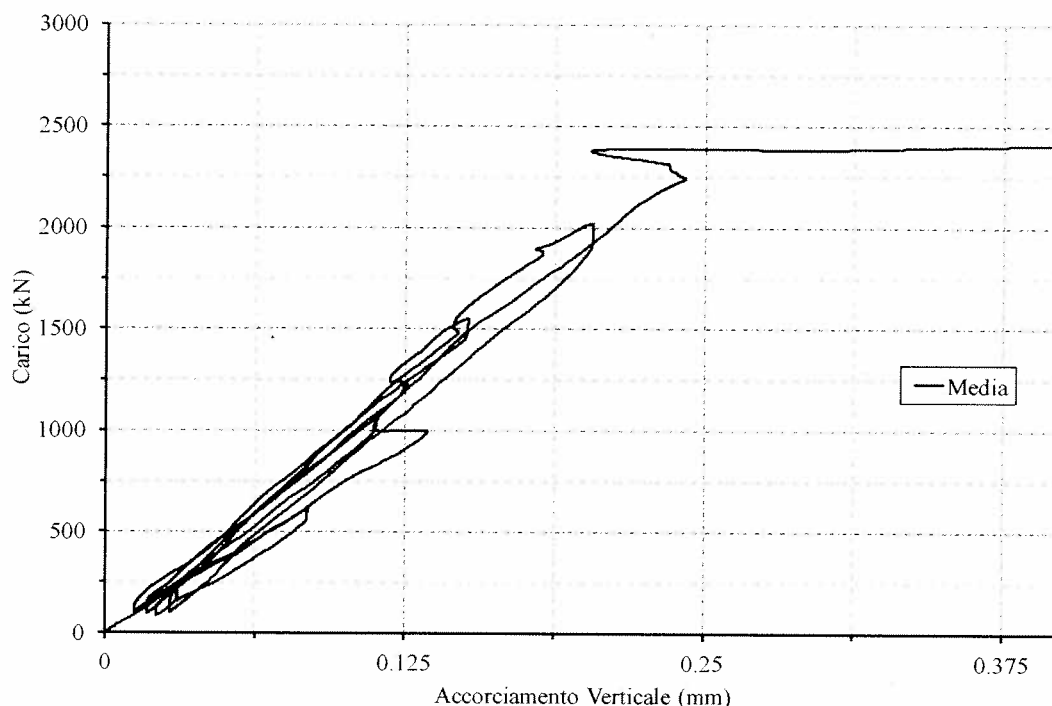
**Figura 9.** Pannello CC18\_02: Accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.



**Figura 10.** Pannello CC18\_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, 1000 kN, 1500 kN e 2000 kN. Dal grafico si evince che il comportamento del pannello per questi livelli di carico si mantiene in campo sostanzialmente elastico lineare.

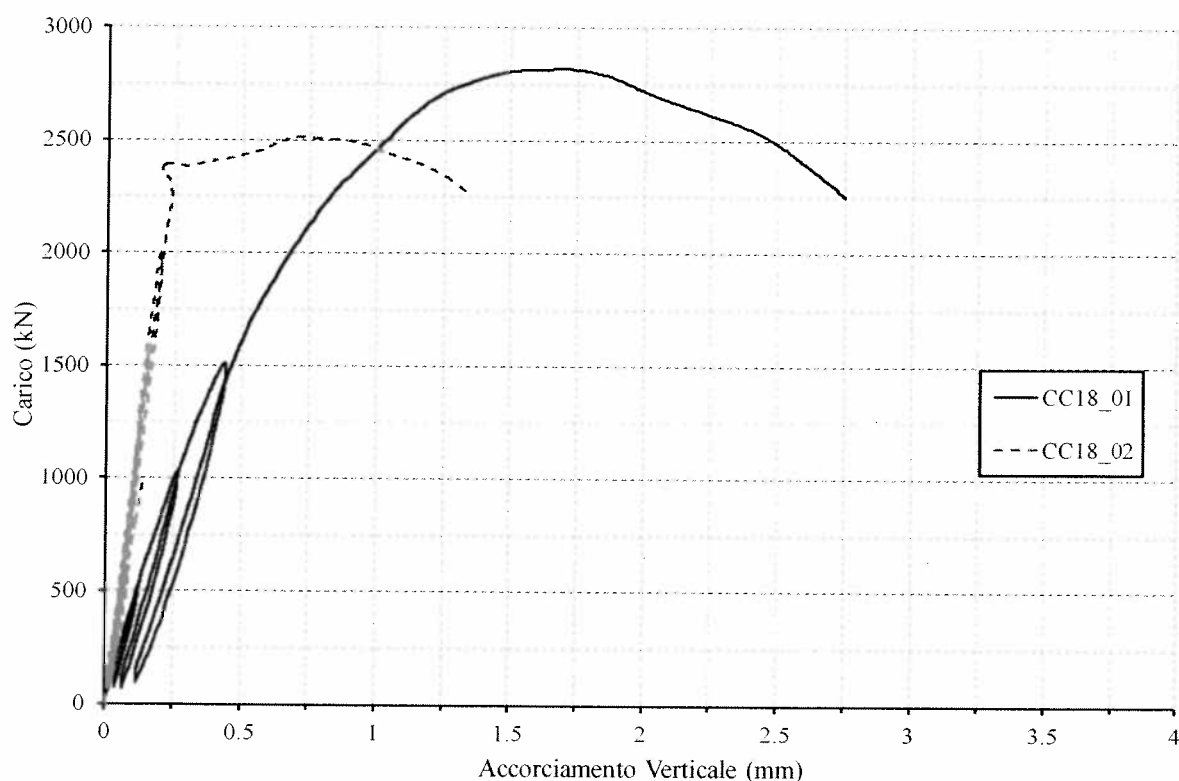


**Figura 11.** Pannello CC18\_02: Dettaglio dei cicli di carico-scarico della prova a compressione centrata.

### 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 stati riportati i valori significativi delle due prove.

Il valore medio del carico massimo raggiunto nelle due prove è pari a 2666 kN. Il valore medio della rigidezza è pari a 5770 kN/mm per valori di carico fino a  $F_1 \sim 750-800$  kN e 2570 kN/mm a rottura. Il valore medio della riduzione di rigidezza è pari a 0.44.



**Figura 12.** Confronto in termini di carico – accorciamento verticale medio delle prove condotte sui pannelli CC18\_01 e CC18\_02.

		CC18_01		CC18_02	
		$F_{30\%}$	$F_{Max}$	$F_{30\%}$	$F_{Max}$
<b>F</b>	(kN)	845	2818	754	2515
<b><math>\delta</math></b>	(mm)	0.209	1.704	0.101	0.721
<b>K</b>	(kN/mm)	4044	1654	7497	3486
		$\Delta K$	0.41	$\Delta K$	0.47

**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 CC18\_01: Il pannello prima della prova a compressione centrata.



**Figura 14.** Pannello CC18\_01: Il pannello durante la prova di compressione centrata.

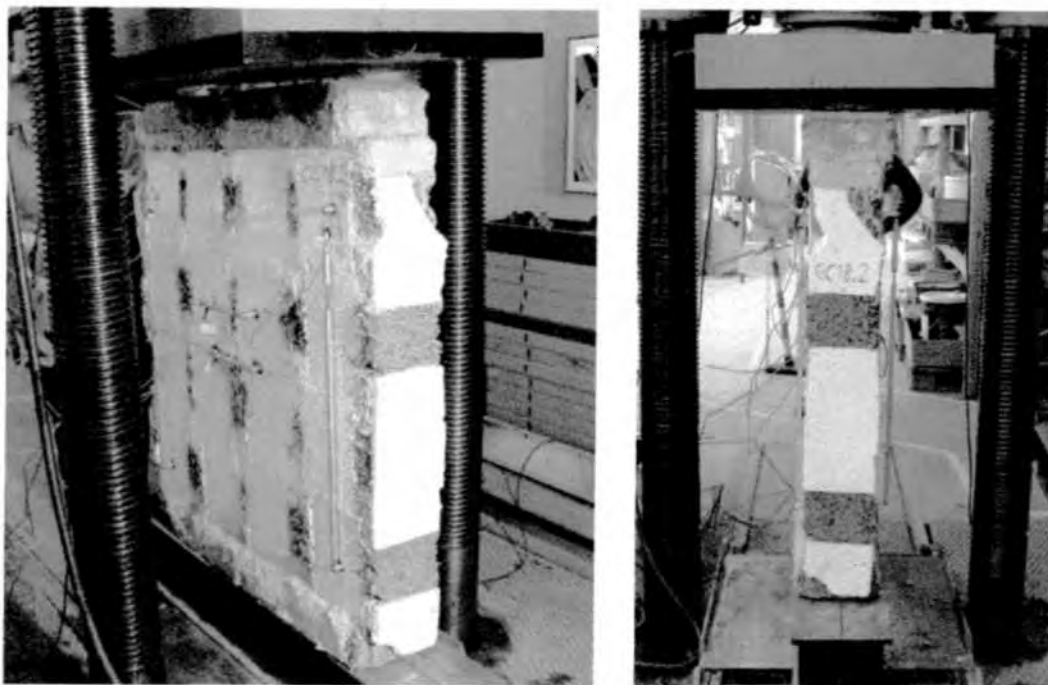


Figura 15. Pannello CC18\_02: Preparazione e fasi iniziali della prova a compressione centrata.

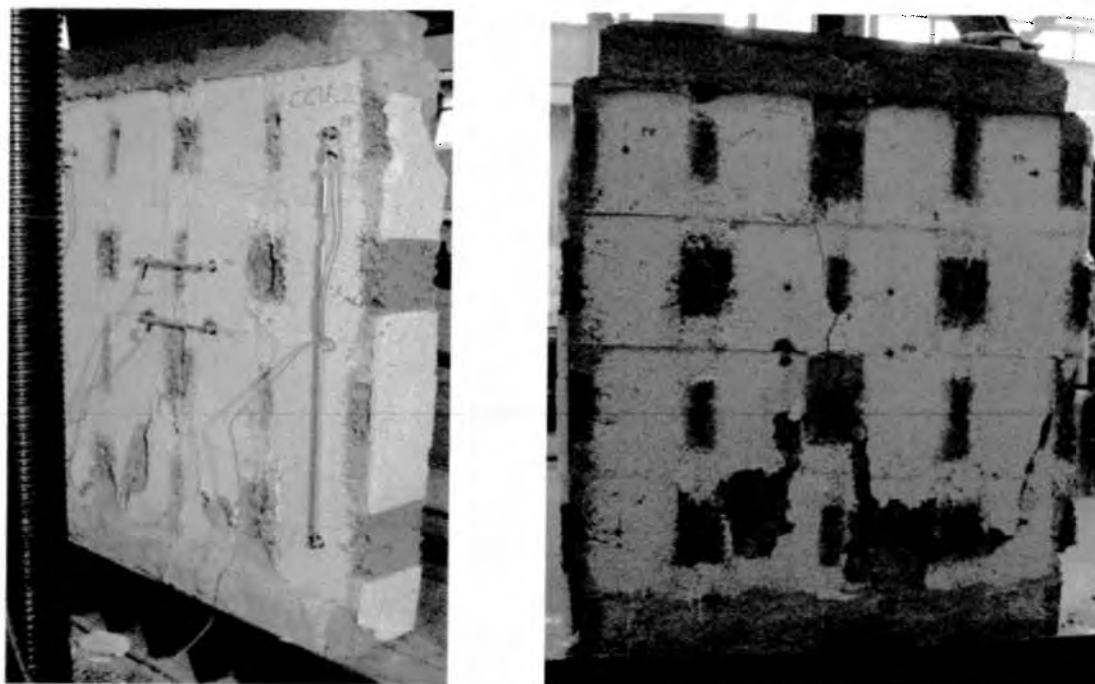


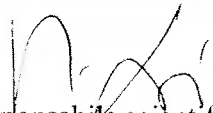
Figura 16. Pannello CC18\_02: Il pannello prima della prova di compressione assiale.






**Figura 17.** Pannello CC18\_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