



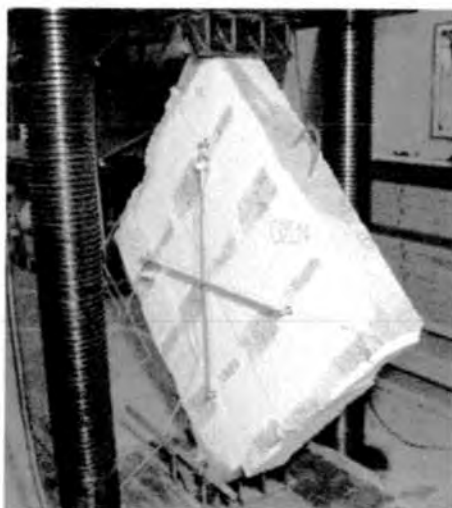
CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA INDUSTRIALE
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

CONVENZIONE DI RICERCA CON

FIXOLITE-ISOBLOC

RAPPORTO DI PROVA

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




Prot. 26 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

Collaboratore
Ing. Riccardo Neri

Direttore
Prof. Ing. Marco Savoia


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	7
6. RISULTATI RELATIVI AL PANNELLO CD18_01	8
6.1 Accorciamenti verticali.....	9
6.2 Cicli di carico-scarico	10
6.3 Allungamenti in direzione trasversale	11
7. RISULTATI RELATIVI AL PANNELLO CD18_02	12
7.1 Accorciamenti verticali.....	13
7.2 Cicli di carico-scarico	14
7.3 Allungamenti in direzione trasversale	15
8. CONFRONTO DEI RISULTATI	17
9. GALLERIA FOTOGRAFICA	19

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 diagonale su porzioni di pannello di dimensione indicativamente di 1.0 x 1.0 m. Tali prove sono denominate "tipo 1-b" 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.

Le prove di compressione diagonale sono state effettuate seguendo i dettami della normativa americana ASTM E519 - "*Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*", che regola le prove di questo tipo su strutture in muratura portante.

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:

- CD14_01 = Provino di 1.0 x 1.0 m con spessore di calcestruzzo resistente pari a 14 cm
- CD14_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 $L \times B = 50 \times 30$ 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 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 3 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).

In questo caso non sono stati realizzati cordoli in calcestruzzo di ripartizione perché il carico è stato applicato lungo la diagonale del pannello per mezzo di opportune culle metalliche.

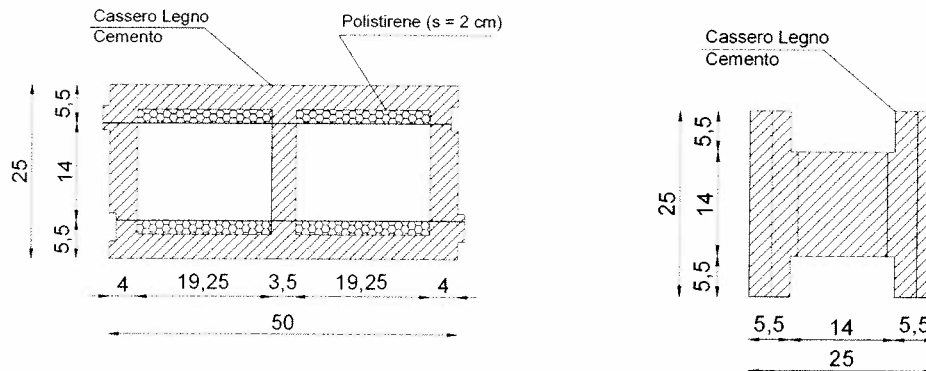


Figura 1. Rilievo dettagliato del blocco cassero utilizzato nelle prove di laboratorio.

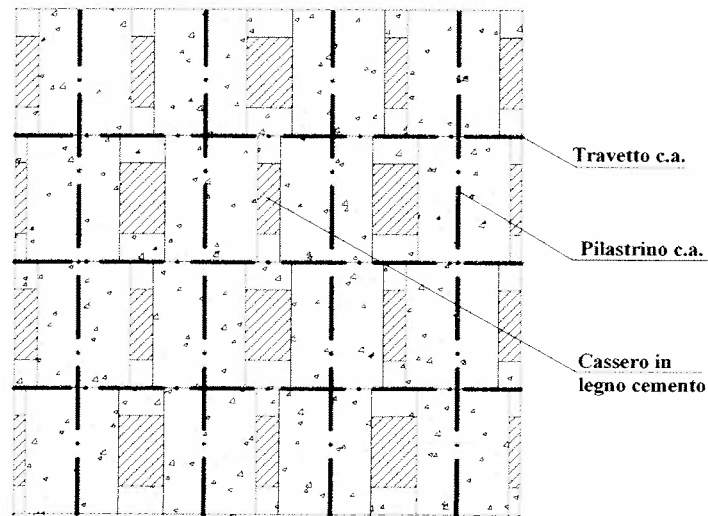


Figura 2. Elementi portanti verticali (pilastrini) ed orizzontali (travetti) all'interno del pannello soggetto a prova diagonale.

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.

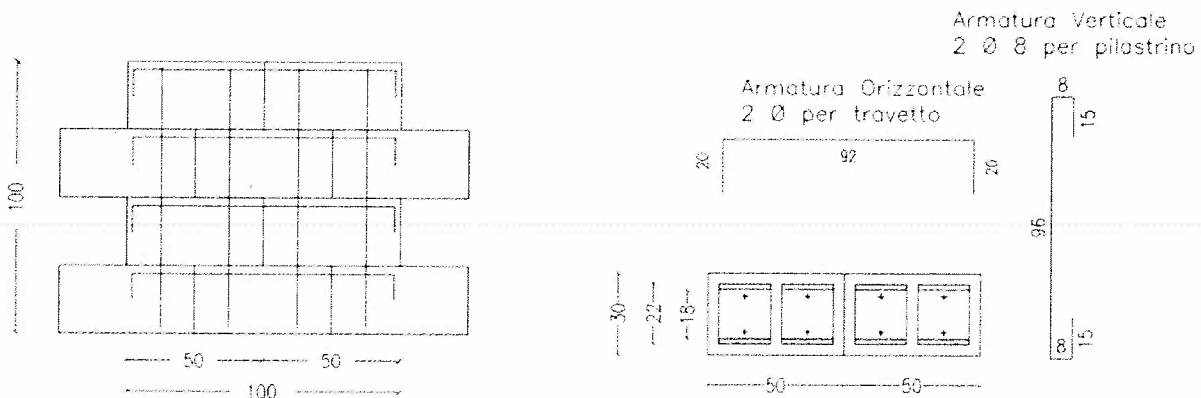


Figura 3. Dettagli costruttivi della realizzazione dei pannelli testati.

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 $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ 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 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 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 $R_m = 42.6 \text{ MPa} \geq R_{ck} + 3.5 = 30 + 3.5 = 33.5 \text{ MPa}$, 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	46	892.7	39.7
P2	46	898.6	39.9
P3	106	1022.2	45.4
P4	106	1024.2	45.5
MEDIA			42.6

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 e dell'allungamento trasversale dei pannelli sono stati utilizzati quattro trasduttori di spostamento potenziometrici con corsa massima di 50 mm. Sono stati applicati a coppie lungo le due diagonali delle due superfici del prototipo per mezzo di tasselli ad espansione ed utilizzando delle prolunghie realizzate con barre in alluminio di diametro 12 mm, forate e filettate all'estremità. In particolare, sono stati utilizzati n. 4 trasduttori, n.2 in direzione verticale (P35 e P39), n.2 in direzione trasversale (P38 e P31) a quella di applicazione del carico. 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 dei trasduttori. Tali valori sono stati utilizzati per valutare le deformazioni subite dal provino lungo le due diagonali.

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

Il test a compressione diagonale sui pannelli oggetto della relazione prevede l'applicazione di una forza crescente lungo una delle due diagonali del provino, effettuando cicli di carico - scarico, fino alla rottura del pannello.

Il sistema di prova prevede l'utilizzo di due culle in acciaio nervate per applicare la forza di compressione lungo una delle diagonali del provino. Il carico è stato applicato attraverso una macchina universale con capacità massima di 6000 kN (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 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 50 kN, 100 kN e 200 kN.

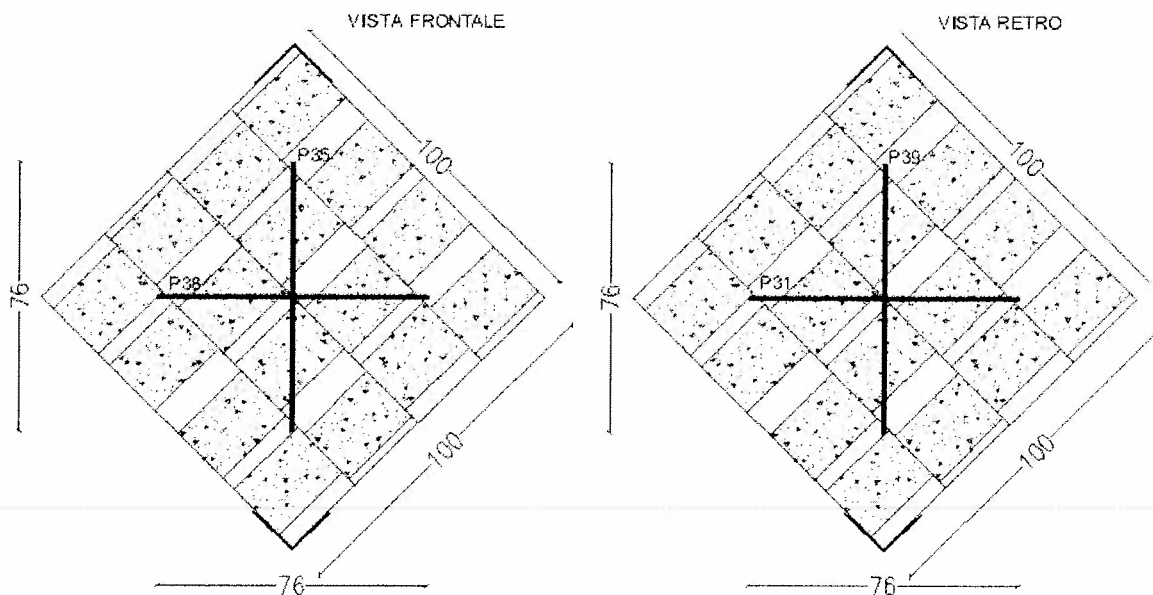


Figura 4. Posizioni degli strumenti sulle due superfici del pannello oggetto di prova.

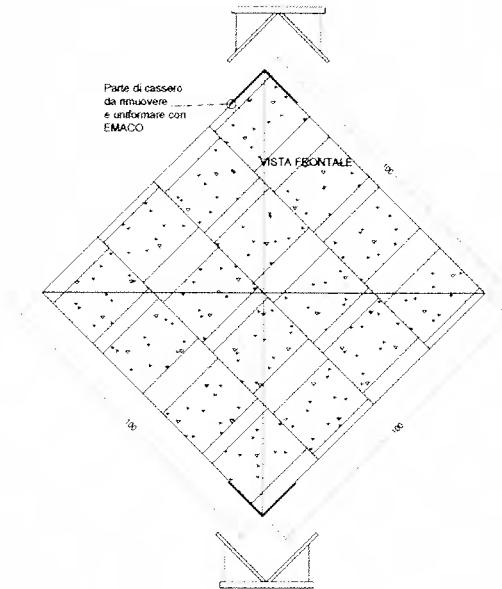
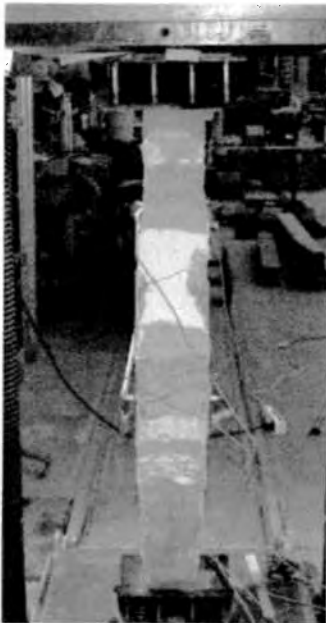


Figura 5. Set-up delle prove di compressione diagonale.

	CD18_01	CD18_02
	(cm)	(cm)
P35	74.0	76.4
P38	74.0	76.4
P39	74.0	76.6
P31	74.0	76.6

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

6. Risultati relativi al pannello CD18_01

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi delle prove condotte sul pannello denominato CD18_01, con spessore di calcestruzzo pari a 18 cm effettuata in data 19/09/2011, dopo 46 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). L'ultimo 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 443 kN e l'accorciamento verticale corrispondente è pari a 0.808 mm da cui si desume una deformazione media al picco di circa 1090 $\mu\epsilon$.

Dal grafico si evince che il pannello ha presentato un comportamento lineare nella prima parte della prova in cui è stato eseguito un ciclo di carico-scarico fino a un carico massimo di 50 kN; in prossimità di un valore di carico compreso fra 300 e 330 kN si sono verificate le prime fessure sul pannello evidenziate anche da una progressiva perdita di rigidità 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 rigidità secante (K) del pannello corrispondente ai due livelli di carico. È stato inoltre riportato il rapporto (ΔK) 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".

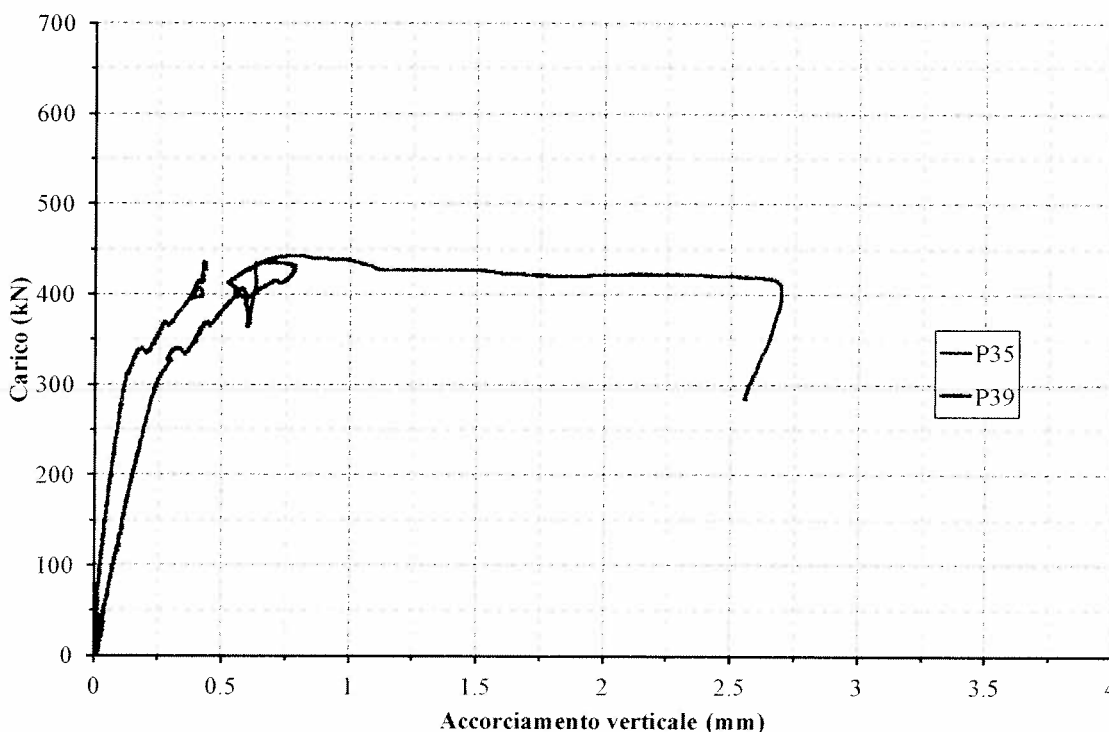


Figura 6. Pannello CD18_01: Accorciamenti verticali misurati dai 2 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

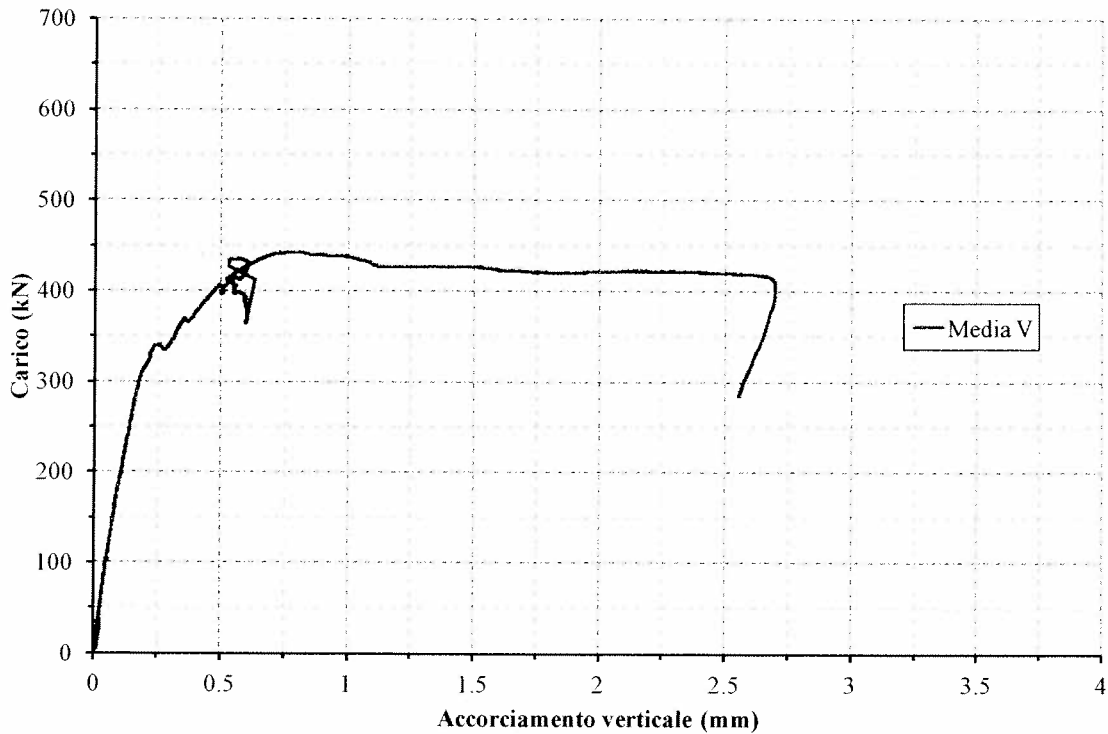


Figura 7. Pannello CD18_01: Valor medio degli accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

		$F_{30\%}$	F_{Max}
F	(kN)	133	443
δ	(mm)	0.068	0.808
K	(kN/mm)	1963	548

ΔK	0.28
------------	------

Tabella 3. Risultati della prova di compressione diagonale sul pannello CD18_01.

6.2 Cicli di carico-scarico

Nella Figura 8 è riportato un dettaglio del ciclo di carico-scarico eseguito prima di portare il pannello a rottura. È rappresentato il valore medio dell'accorciamento verticale del pannello in funzione del carico. È stato eseguito un ciclo ad un valore di carico pari a 50 kN. Dal grafico si evince che il comportamento del pannello per questo livello di carico si mantiene in campo sostanzialmente elastico lineare.

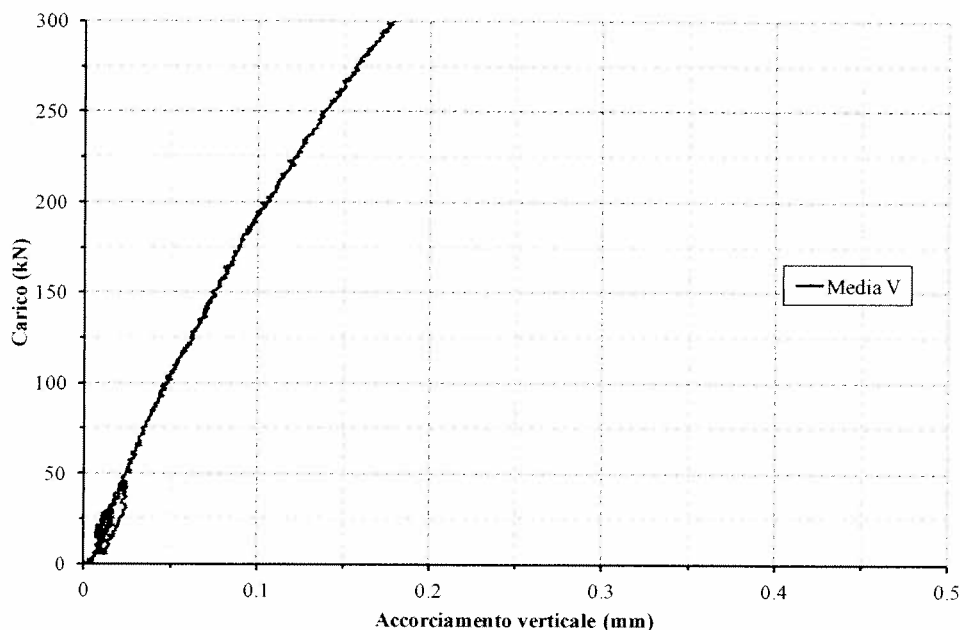


Figura 8. Pannello CD18_01: Dettaglio del ciclo di carico-scarico della prova a compressione diagonale.

6.3 Allungamenti in direzione trasversale

Il grafico di Figura 9 rappresenta i valori di allungamento orizzontale, in funzione del carico impresso durante la prova. Le misure fornite dai due strumenti (P38 e P31) sono servite per verificare la simmetria del comportamento del pannello. Dai risultati è emerso che fino a valori prossimi al carico massimo il comportamento è pressoché identico con valori di spostamento ultimo paragonabili. Il provino ha subito allungamenti orizzontali superiori (in valore assoluto) rispetto agli accorciamenti verticali di quasi 2 mm.

Nella Figura 10 è riportato l'andamento dell'allungamento orizzontale medio in funzione del carico applicato. L'allungamento orizzontale corrispondente al carico massimo è pari a 2.988 mm, corrispondente a circa 4040 $\mu\epsilon$.

Dal grafico si evince che fino a valori prossimi a 300 kN il pannello ha un comportamento non fessurato, successivamente compaiono le prime fessure.

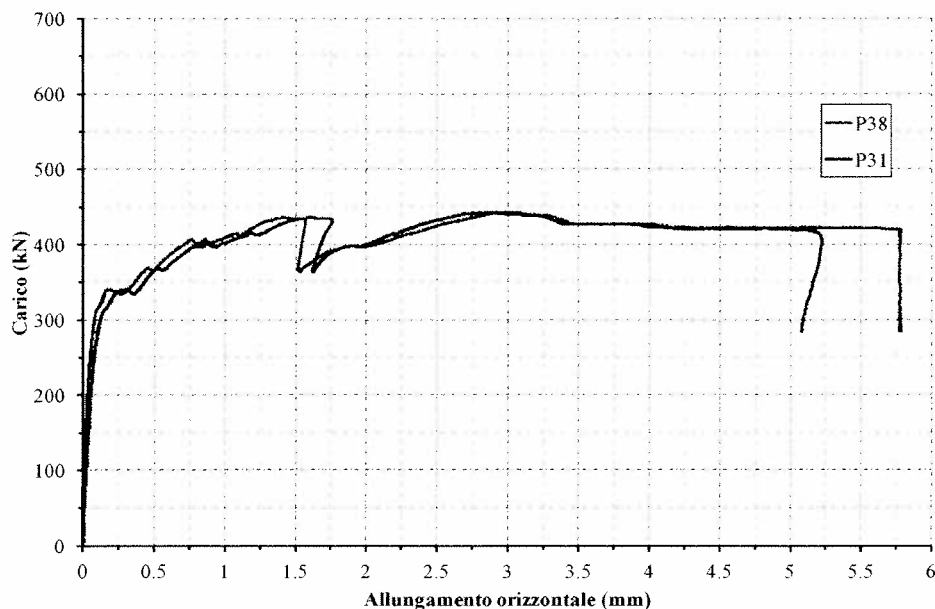


Figura 9. Pannello CD18_01: Allungamenti orizzontali misurati dai 2 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

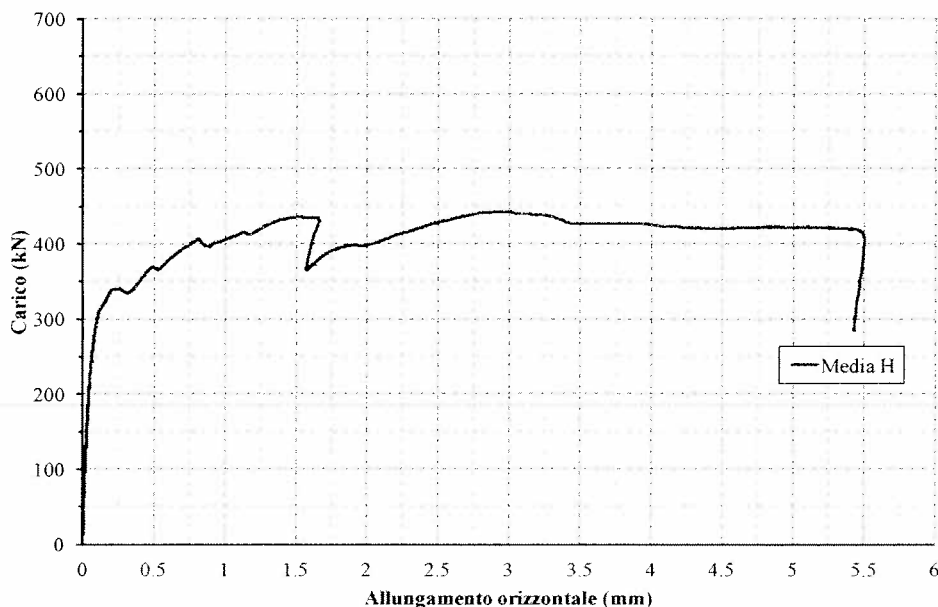


Figura 10. Pannello CD18_01: Allungamento orizzontale medio in funzione del carico.

7. Risultati relativi al pannello CD18_02

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi della prova condotta sul secondo pannello, denominato CD18_02, di spessore di calcestruzzo pari a 18 cm, eseguita in data 18/11/2011, dopo 106 giorni di maturazione del calcestruzzo.

7.1 Accorciamenti verticali

In Figura 11 sono riportati gli accorciamenti verticali registrati dai singoli trasduttori durante la prova, in funzione del carico applicato, mentre in Figura 12 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 560 kN e l'accorciamento verticale corrispondente è pari a 1.010 mm, da cui si desume una deformazione media al picco di circa 1320 $\mu\epsilon$.

Dal grafico si evince che il pannello ha presentato un comportamento lineare nella prima parte della prova in cui è stato eseguito un ciclo di carico-scarico fino ad un carico massimo di 50 kN; in prossimità di un valore di carico compreso fra 350 e 380 kN si sono verificate le prime fessure sul pannello evidenziate anche da una progressiva perdita di rigidità 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 rigidità secante (K) del pannello corrispondente ai due livelli di carico. È stato inoltre riportato il rapporto (ΔK) 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".

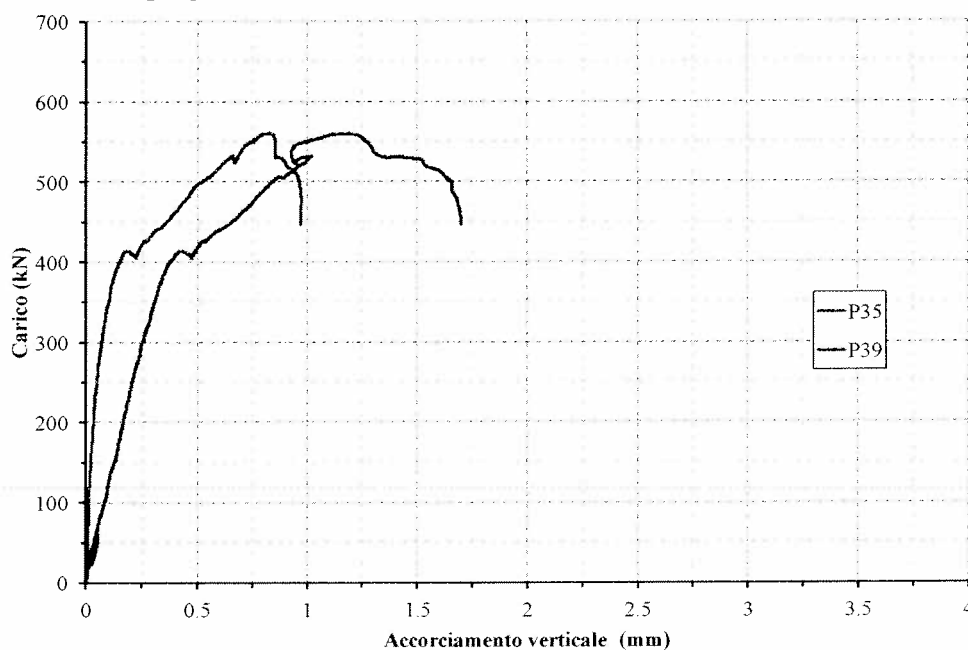


Figura 11. Pannello D18_02: Accorciamenti verticali misurati dai 2 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

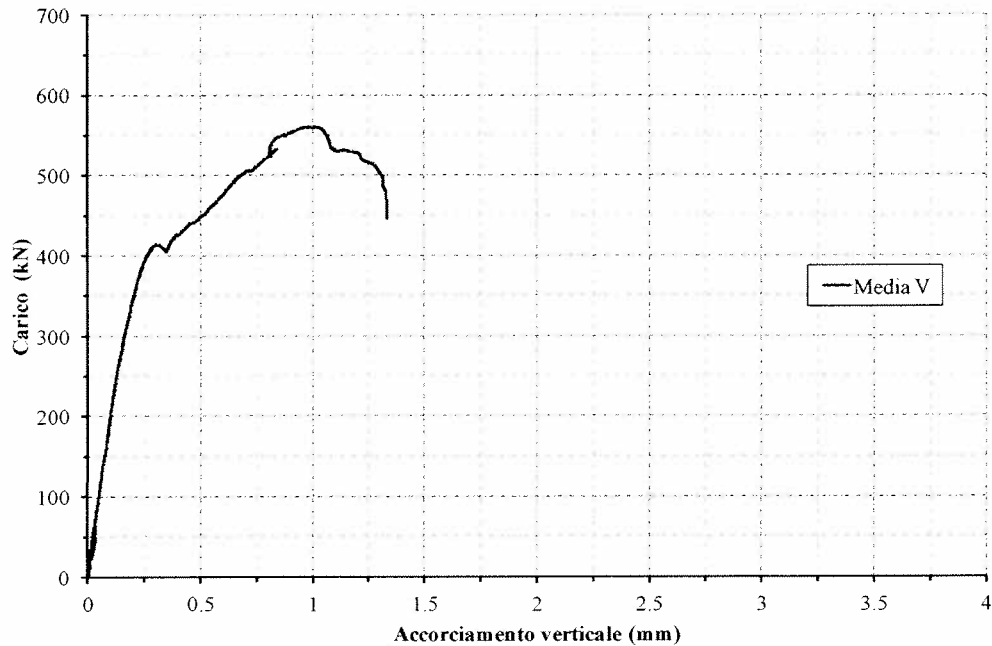


Figura 12. Pannello CD18_02: Valor medio degli accorciamenti verticali misurati dai 4 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

		$F_{30\%}$	F_{Max}
F	(kN)	168	560
δ	(mm)	0.086	1.010
K	(kN/mm)	1951	555

ΔK	0.28
------------	------

Tabella 4. Risultati di prova del campione CD18_02.

7.2 Cicli di carico-scarico

Nella Figura 13 è rappresentato un dettaglio del ciclo di carico-scarico eseguito prima di portare il pannello a rottura. È stato rappresentato il valore medio dell'accorciamento verticale del pannello in funzione del carico e si nota che è stato eseguito un ciclo ad un valore di carico pari a 50 kN. Dal grafico si evince che il comportamento del pannello per questo livello di carico si mantiene in campo sostanzialmente elastico lineare.

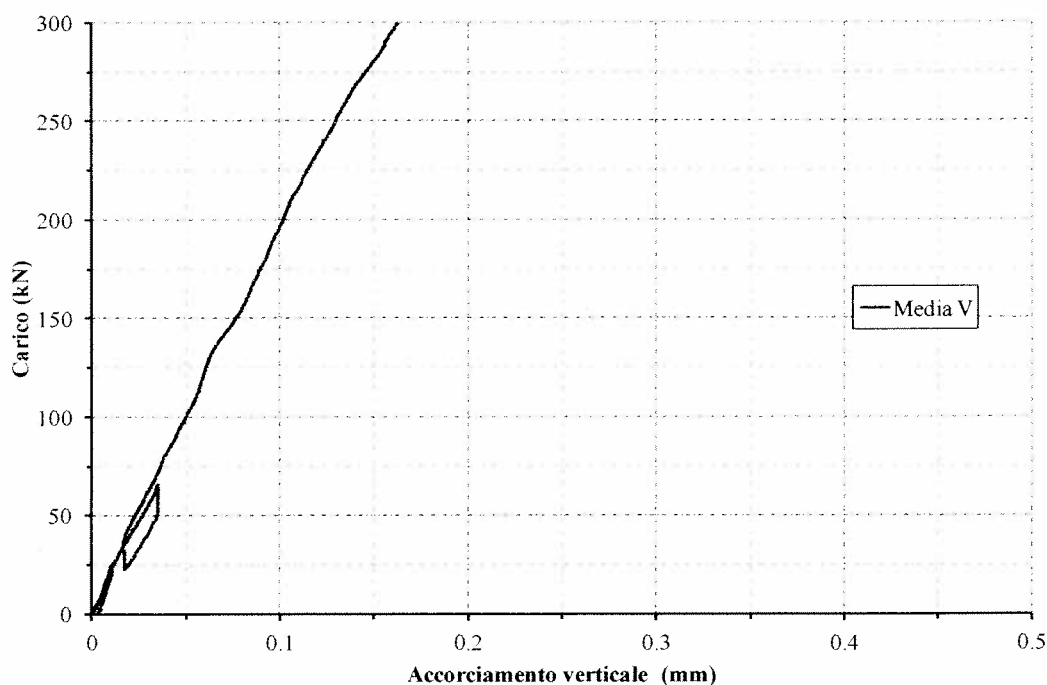


Figura 13. Pannello CD18_02: Dettaglio del ciclo di carico-scarico della prova a compressione diagonale.

7.3 Allungamenti in direzione trasversale

Il grafico di Figura 14 riporta i valori di allungamento orizzontale, in funzione del carico impresso durante la prova. Le misure fornite dai due strumenti (P38 e P31) sono servite per verificare la simmetria del comportamento del pannello. Dai risultati è emerso che fino a valori prossimi al carico massimo il comportamento è pressoché identico con valori di spostamento ultimo paragonabile. Il provino ha subito allungamenti orizzontali superiori (in valore assoluto) rispetto agli accorciamenti verticali di circa 1.8 mm.

Nella Figura 15 è riportato l'andamento dell'allungamento orizzontale medio in funzione del carico applicato. L'allungamento orizzontale corrispondente al carico massimo è pari a 1.964 mm, corrispondente a circa 2570 $\mu\epsilon$.

Dal grafico si evince che fino a valori prossimi a 300 kN il pannello ha un comportamento non fessurato, successivamente compaiono le prime fessure.

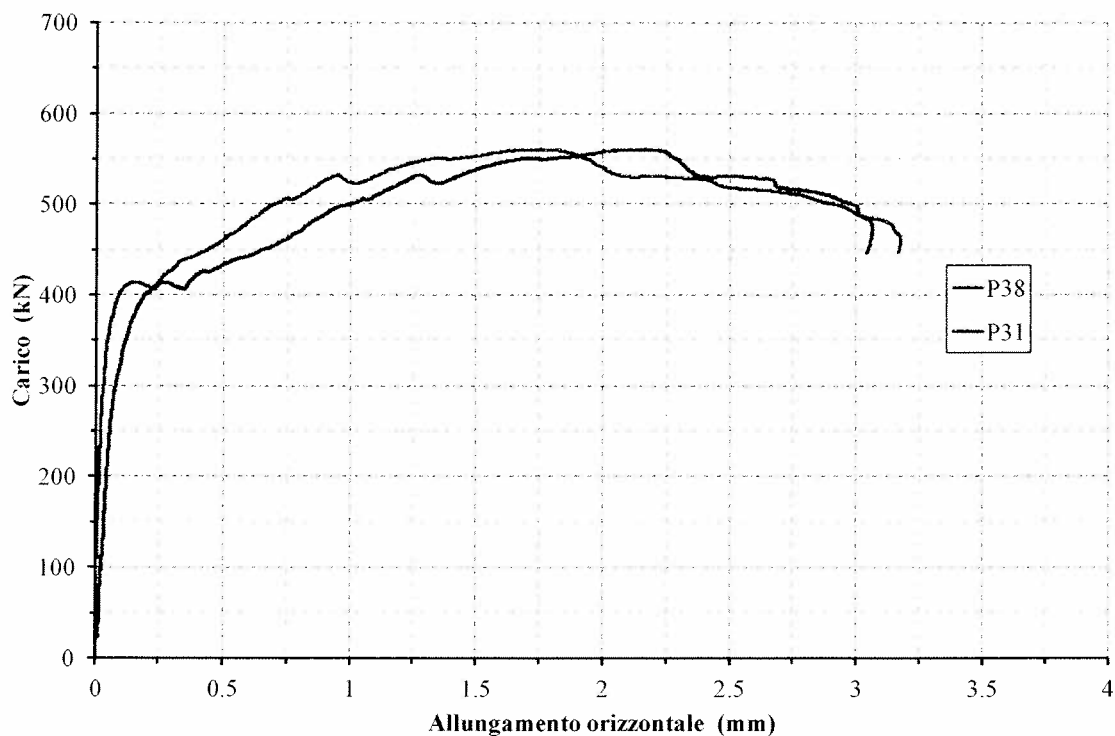


Figura 14. Pannello CD18_02: Allungamenti in direzione trasversale misurati dai 2 trasduttori di spostamento in funzione del carico.

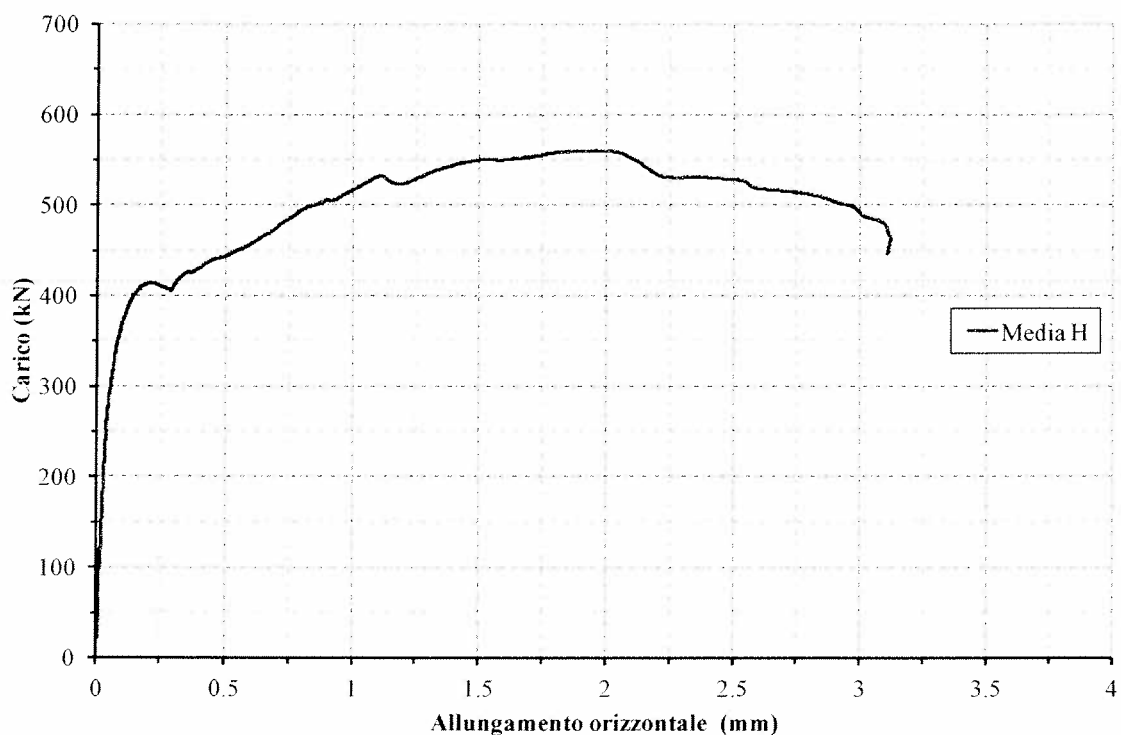


Figura 15. Pannello CD18_02: Allungamento medio in direzione trasversale in funzione del carico.

8. Confronto dei risultati

In Figura 16 e Figura 17 si riportano i grafici di confronto in termini di carico-accorciamento verticale ed allungamento in direzione trasversale medi ottenuti nelle due prove descritte precedentemente. In Tabella 5 sono riportati i dati significativi ottenuti dalle due prove, inclusi i valori di rigidezza.

Il valore medio del carico massimo raggiunto nelle due prove è pari a 501 kN. Il valore medio della rigidezza è pari a 551 kN/mm in corrispondenza del carico di rottura. Il valore medio della riduzione di rigidezza è risultato pari a 0.28.

Come era lecito attendersi, il meccanismo di collasso è caratterizzato in entrambi i casi da un quadro fessurativo sub-verticale che interessa la parte centrale del pannello (diagonale compressa). Per maggiori dettagli si veda il paragrafo 9.

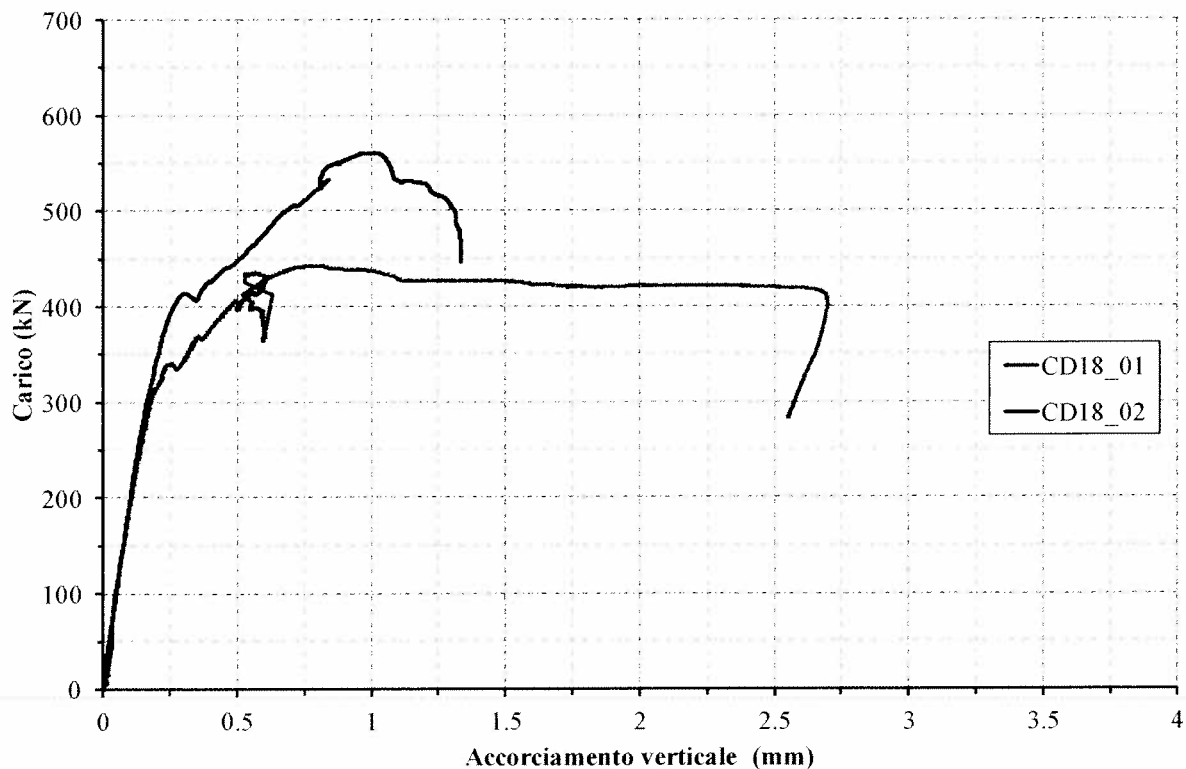


Figura 16. Confronto in termini di carico-accorciamento verticale medio dei risultati ottenuti dalle prove condotte sui campioni CD18_01 e CD18_02 soggetti a prova di compressione diagonale.

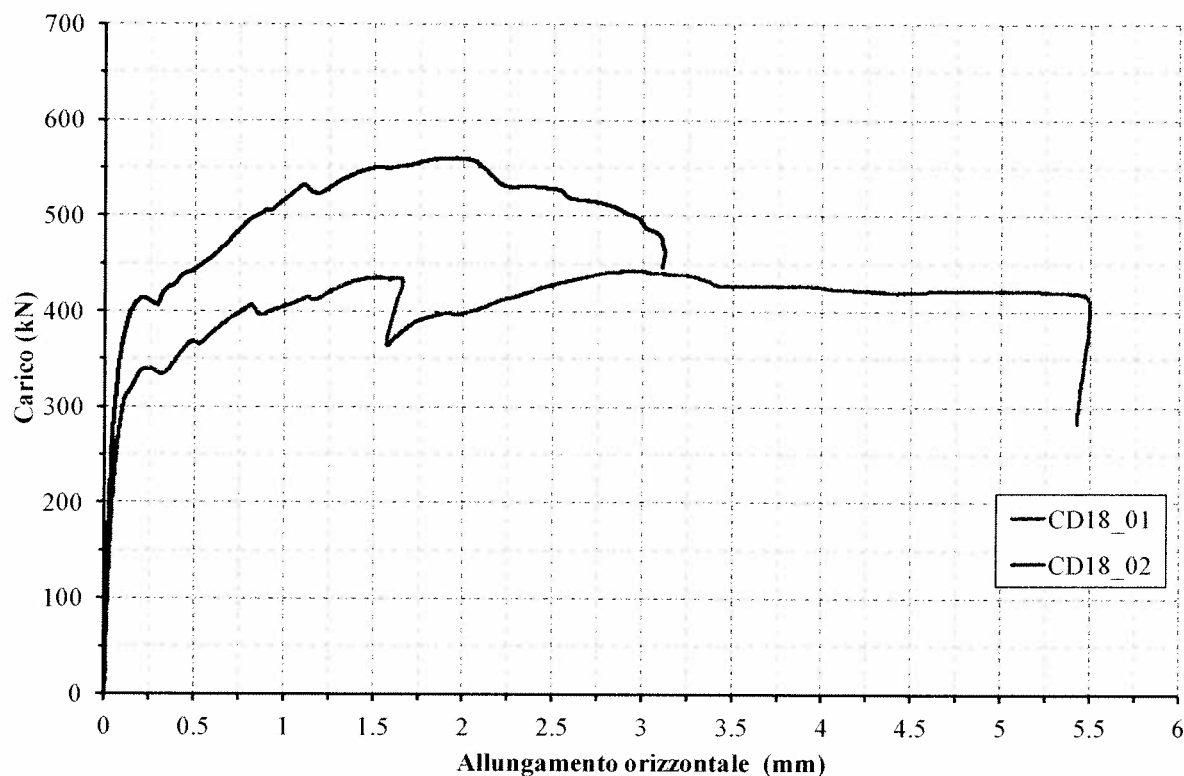


Figura 17. Confronto in termini di carico-allungamento medio in direzione trasversale dei risultati ottenuti dalle prove condotte sui campioni CD18_01 e CD18_02 soggetti a prova di compressione diagonale.

		CD18_01		CD18_02	
		$F_{30\%}$	F_{Max}	$F_{30\%}$	F_{Max}
F	(kN)	133	443	168	560
δ	(mm)	0.068	0.808	0.086	1.010
K	(kN/mm)	1963	548	1951	555
		ΔK	0.28	ΔK	0.28

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

9. Galleria fotografica

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

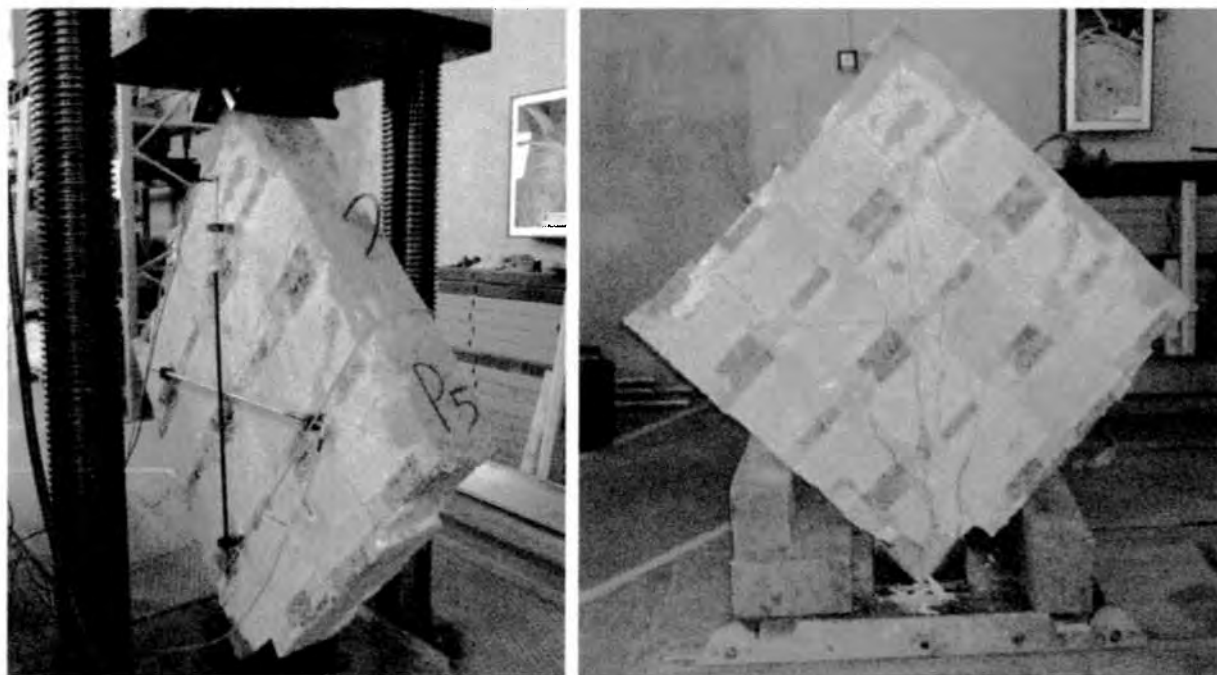


Figura 18: CD18_01: Il pannello prima e dopo la prova di compressione diagonale.

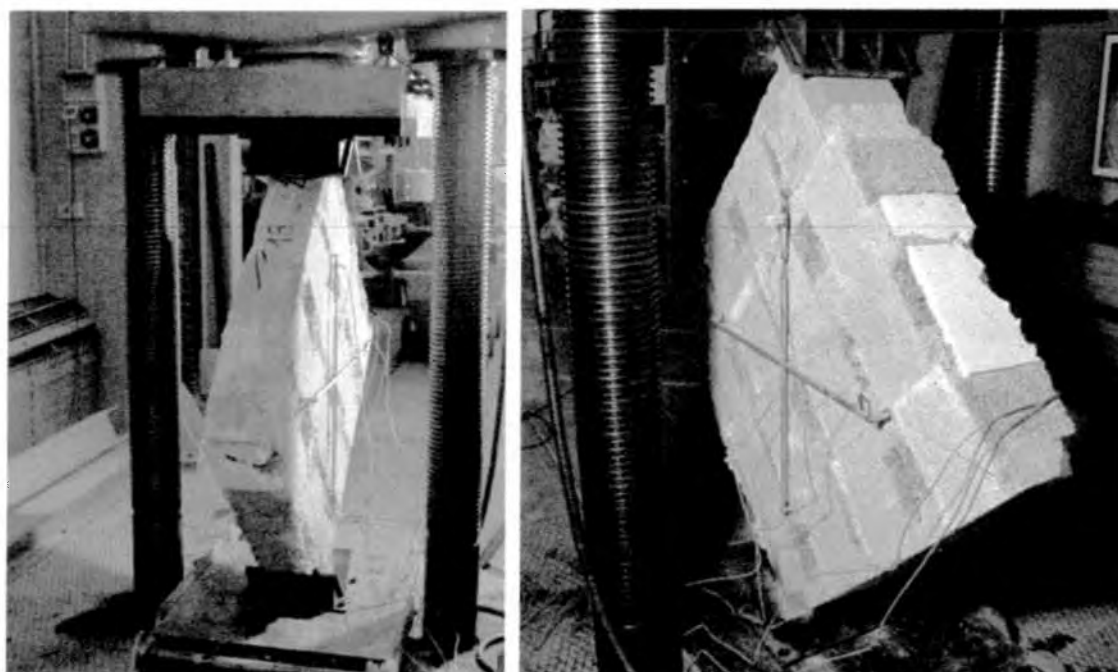
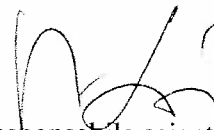


Figura 19: CD18_02: Il pannello prima e durante la prova di compressione diagonale.

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

