

PROT. n. 255 del 30/07/2012

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

CONVENZIONE DI RICERCA CON

FIXOLITE-ISOBLOC

RAPPORTO DI PROVA

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

TIPOLOGIA PROVA 2_1A



Direttore
Prof. Ing. Marco Savoia

M. Leni

Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Marco Savoia

M. Leni

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. PROGRAMMA DI PROVA E DETTAGLI COSTRUTTIVI DEI PANNELLI.....	3
3. PROPRIETÀ DEI MATERIALI UTILIZZATI.....	6
4. STRUMENTI DI MISURA.....	7
5. SET-UP DI PROVA	9
6. RISULTATI RELATIVI AL PANNELLO 2-CC14_01	10
6.1. Spostamenti orizzontali	10
6.2. Deformazioni.....	11
7. RISULTATI RELATIVI AL PANNELLO 2-CC14_02	12
7.1. Spostamenti orizzontali	12
7.2. Deformazioni.....	14
8. CONFRONTO DEI RISULTATI.....	15
9. GALLERIA FOTOGRAFICA	17

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; 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 che orizzontali.

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 $1.0 \times 3.0 \text{ m}^2$ tali prove sono denominate "tipo 2" nell'ambito delle Linee Guida citate in precedenza. L'altezza della porzione è stata assunta pari all'altezza dell'interpiano tipo. 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 del carico di collasso per eventuale instabilità del pannello.

2. Programma di prova e dettagli costruttivi dei pannelli

Sono state effettuate n. 2 prove su porzioni di pannello di dimensione di $1.0 \times 2.8 \text{ m}^2$ con spessore di calcestruzzo resistente pari a $s = 14 \text{ cm}$, 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:

- 2-CC14_01 = Pannello di $1.0 \times 2.8 \text{ m}^2$ con spessore di calcestruzzo resistente pari a 14 cm
- 2-CC14_02 = Pannello di $1.0 \times 2.8 \text{ m}^2$ 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 $L \times B = 50 \times 25 \text{ cm}^2$, lo spessore delle pareti interne ed esterne è pari a $3.5\text{-}4 \text{ cm}$. 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 veda la Figura 2). I provini soggetti a prova di compressione sono realizzati mediante la sovrapposizione di blocchi cassero. Dal prospetto (Figura 1), 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 (Figura 2).

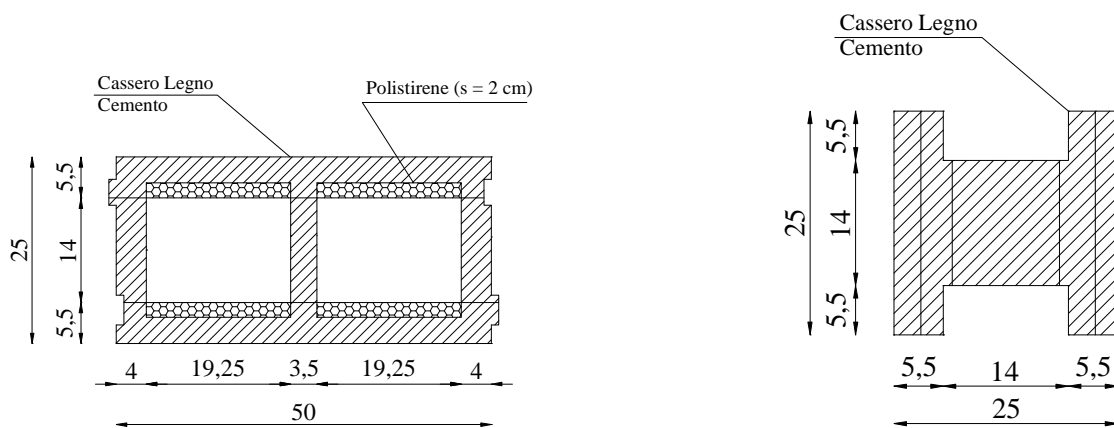


Figura 1. Blocco cassero utilizzato per la realizzazione dei pannelli.

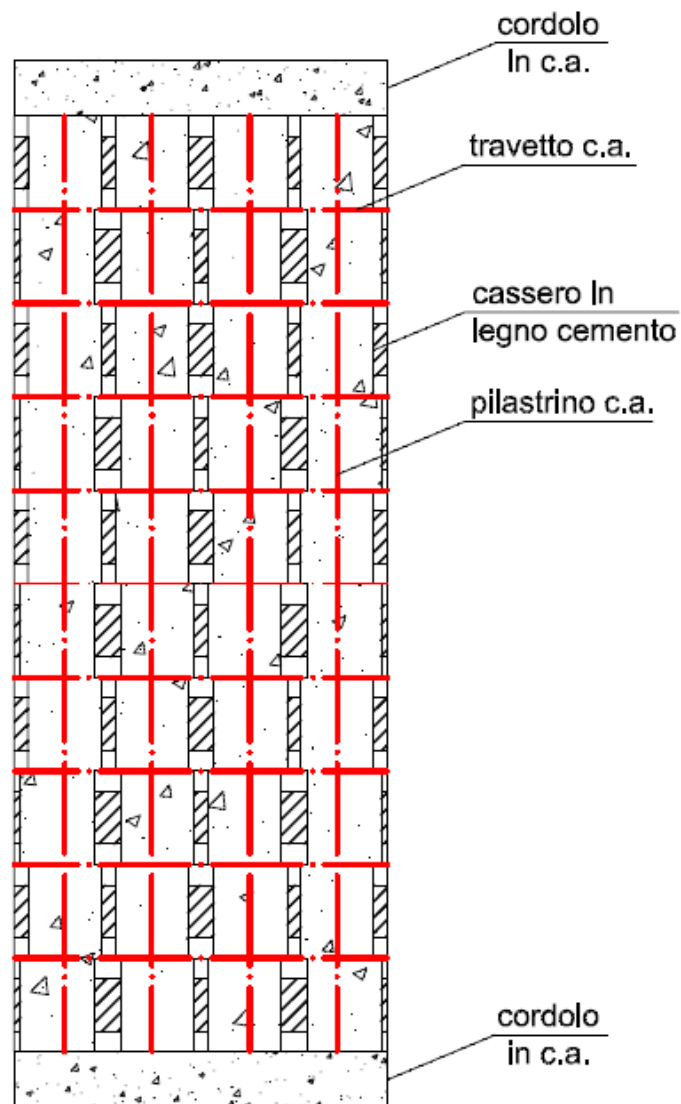


Figura 2. Elementi portanti verticali (pilastrini) ed orizzontali (travetti) all'interno del pannello soggetto a prove di compressione.

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:

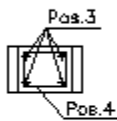
- Armature verticali = n. 2 barre ϕ 8 mm per ogni pilastro (interasse ferri = 25 cm)
- Armature orizzontali = n. 2 barre ϕ 8 mm per ogni travetto

Tutte le barre d'armatura (orizzontali e verticali) sono state opportunamente piegate alle estremità orizzontali e verticali in modo da risultare efficacemente ancorate (Figura 3). Inoltre i ferri verticali sono stati sovrapposti a metà altezza del pannello, come da modalità costruttiva standard che permette due fasi di getto (Figura 3).

cordolo in c.a.



cordolo in c.a.



Pos.4: staffe ϕ 6/20 L=62

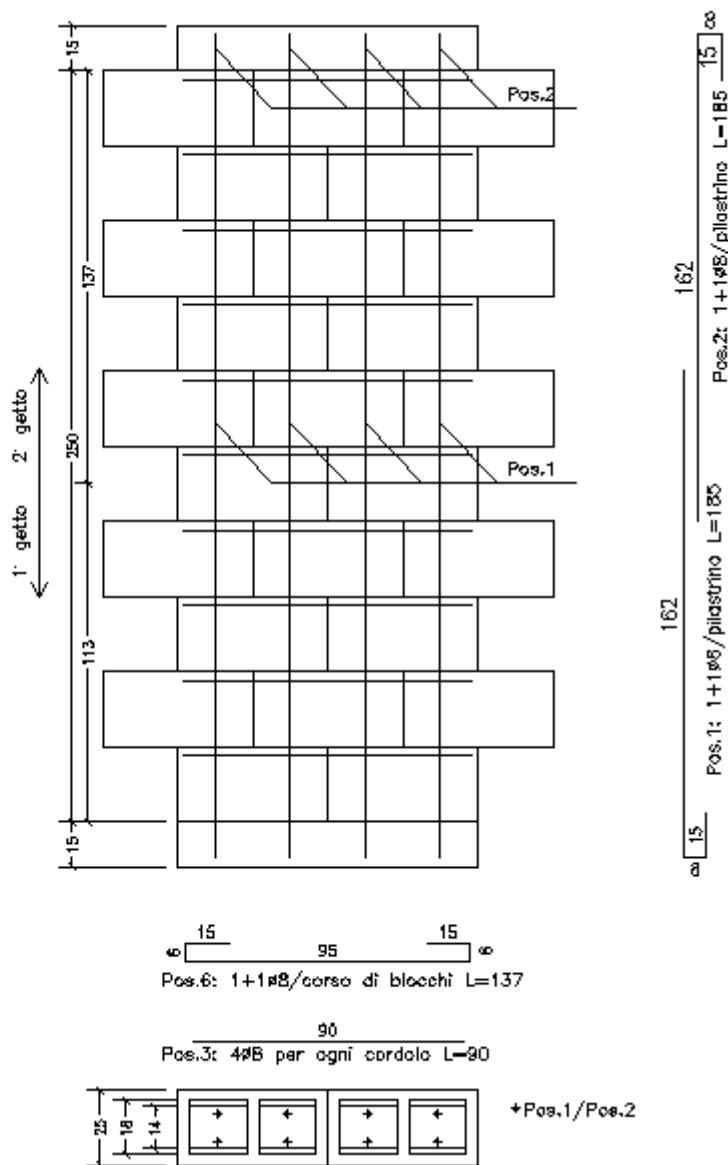


Figura 3. Dettagli costruttivi dei pannelli testati.

Alle due estremità superiore ed inferiore del pannello sono stati realizzati cordoli in calcestruzzo di altezza $h=15$ cm rinforzati con barre d'armatura al fine di distribuire il carico verticale di prova in modo uniforme su tutto il pannello. L'altezza effettiva del pannello, inclusi i cordoli, è risultata di 2.80 m; questo ha consentito di ottenere, una volta inserito il pannello all'interno dei sistemi di aggancio metallici, una distanza tra le cerniere poste alle estremità dello stesso di 3.0 m pari circa ad un interpiano tipico.

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 una prima 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.

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. Tali provini (nel n° di 4 per pannello) sono stati confezionati al momento del getto per la realizzazione dei pannelli per le prove statiche, 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. La prova di schiacciamento dei cubi è stata effettuata lo stesso giorno della prova 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).

Il getto di ogni pannello è avvenuto in due fasi:

- 2-CC14_01: primo getto della parte inferiore del 24/10/2011
secondo getto della parte superiore del 08/11/2011
Prova del pannello in data 17/02/2012
- 2-CC14_02 : primo getto della parte inferiore del 24/10/2011
secondo getto della parte superiore del 08/11/2011
Prova del pannello in data 23/02/2012

I risultati delle prove di resistenza a compressione del calcestruzzo sono riportati in Tabella 1.

2-CC14_01				
GETTO	PROVINO	MATURAZIONE (gg)	CARICO (kN)	RESISTENZA R_{cm} (MPa)
24/10/2011	P1	116	992.0	44.1
24/10/2011	P2	116	1011.0	44.9
	MEDIA			44.5
08/11/2011	P1	101	983.0	43.7
08/11/2011	P2	101	949.0	42.2
	MEDIA			42.95

2-CC14_02				
GETTO	PROVINO	MATURAZIONE (gg)	CARICO (kN)	RESISTENZA R_{cm} (MPa)
24/10/2011	P7	165	991.0	44.0
24/10/2011	P8	165	982.0	43.6
	MEDIA			43.8
08/11/2011	P3	150	962.0	42.8
08/11/2011	P4	150	965.0	42.9
	MEDIA			42.85

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

Considerando che il valore di resistenza medio $R_m \geq R_{ck} + 3.5 = 30 + 3.5 = 33.5 \text{ MPa}$ in tutti i casi, 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); in particolare è risultato ampiamente superiore.

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.

4. Strumenti di misura

La strumentazione impiegata per la misura degli spostamenti è costituita da quattro trasduttori di spostamento induttivi (LVDT) W20 (corsa 20 mm) e due trasduttori W50 (corsa 50 mm); per la misura delle deformazioni sono stati utilizzati due estensimetri con base di misura pari a 60 mm.

I trasduttori di spostamento sono stati utilizzati per misurare gli spostamenti orizzontali in corrispondenza delle due zone di estremità e nella mezzeria del pannello. Tali strumenti sono stati fissati ad una faccia del pannello (lato "fronte") ed in particolare: sono stati posizionati due trasduttori in prossimità dell'estremità superiore del pannello vicino ai bordi laterali (LVDT 1 e 2 di Figura 4), altri due in corrispondenza della mezzeria (LVDT 5 e 6 di Figura 4) e gli ultimi due in prossimità dell'estremità inferiore, sempre vicino ai bordi laterali (LVDT 3 e 4 di Figura 4).

I due estensimetri, incollati sulle due facce del pannello (lato "fronte" e "retro") in corrispondenza della mezzeria (EXT 1 e 2 di Figura 4), sono stati utilizzati per misurare le deformazioni in direzione verticale.

Tali strumenti sono stati collegati ad un sistema di acquisizione con il quale è stato possibile registrare i risultati della prova in continuo.

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

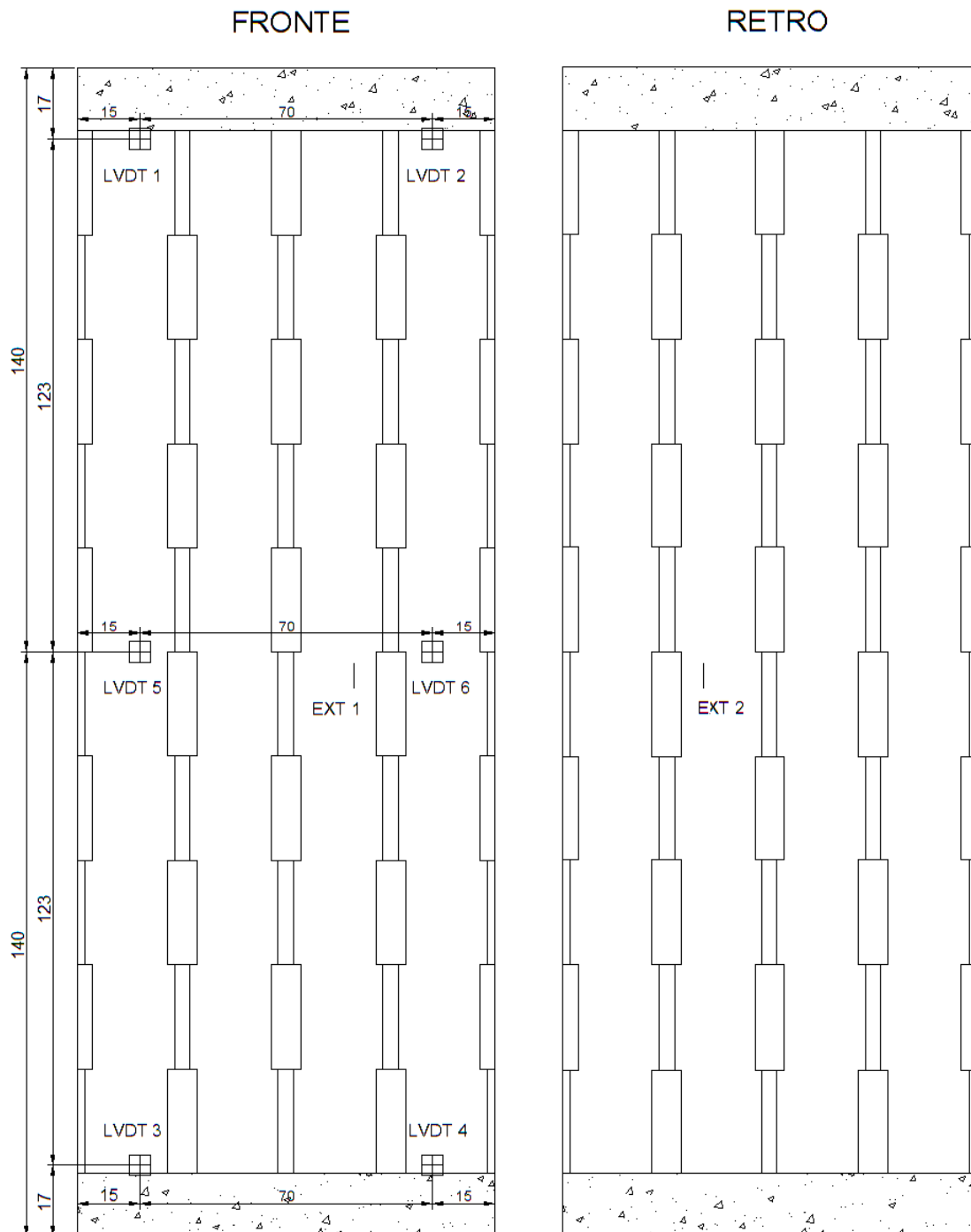


Figura 4. Posizioni degli strumenti sulle due superfici del pannello oggetto di prova con LVDT trasduttori di spostamento induttivi, EXT estensimetri.

5. Set-up di prova

Le prove di compressione centrata sui pannelli oggetto della relazione sono state effettuate mediante l'applicazione del carico verticale generato da una macchina universale a controllo di carico, con una portata massima di 6000 kN (Figura 5). Al fine di garantire la migliore distribuzione di carico sull'intera lunghezza del provino, in un opportuno schema di vincolo, al di sotto e al di sopra dello stesso sono state posizionate due culle metalliche adeguatamente sagomate per creare altrettante cerniere cilindriche alle estremità del pannello (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 sulle 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, 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.

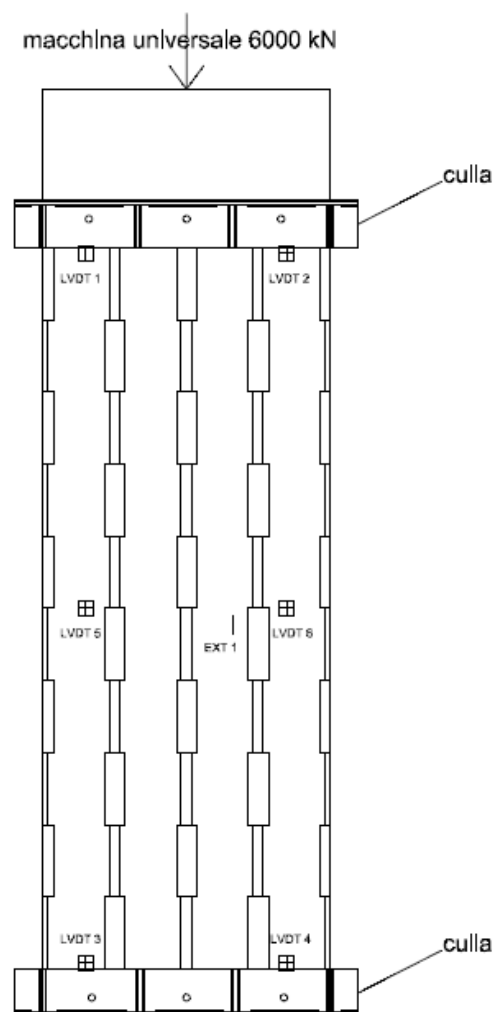


Figura 5. Set-up della prova con indicazione della posizione degli strumenti.

6. Risultati relativi al pannello 2-CC14_01

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi della prova condotta sul pannello denominato 2-CC14_01, con spessore di calcestruzzo pari a 14 cm, effettuata in data 17/02/2012, dopo 101 giorni di maturazione del calcestruzzo.

Durante la prova sono stati eseguiti due cicli di carico, il primo in corrispondenza di $N=200$ kN e il secondo in corrispondenza di $N=400$ kN. Successivamente si è incrementato il carico fino al raggiungimento del valore massimo, pari a 2900 kN.

6.1. Spostamenti orizzontali

Per misurare lo spostamento massimo fuori dal piano del pannello rispetto alla sua configurazione indeformata sono stati registrati gli spostamenti orizzontali della sezione di mezzeria ed ai vincoli. Per valutare la freccia effettiva gli spostamenti della sezione di mezzeria sono stati depurati degli spostamenti registrati nelle due estremità del pannello (si veda la Figura 6). La massima freccia registrata è pari a 1.2 mm.

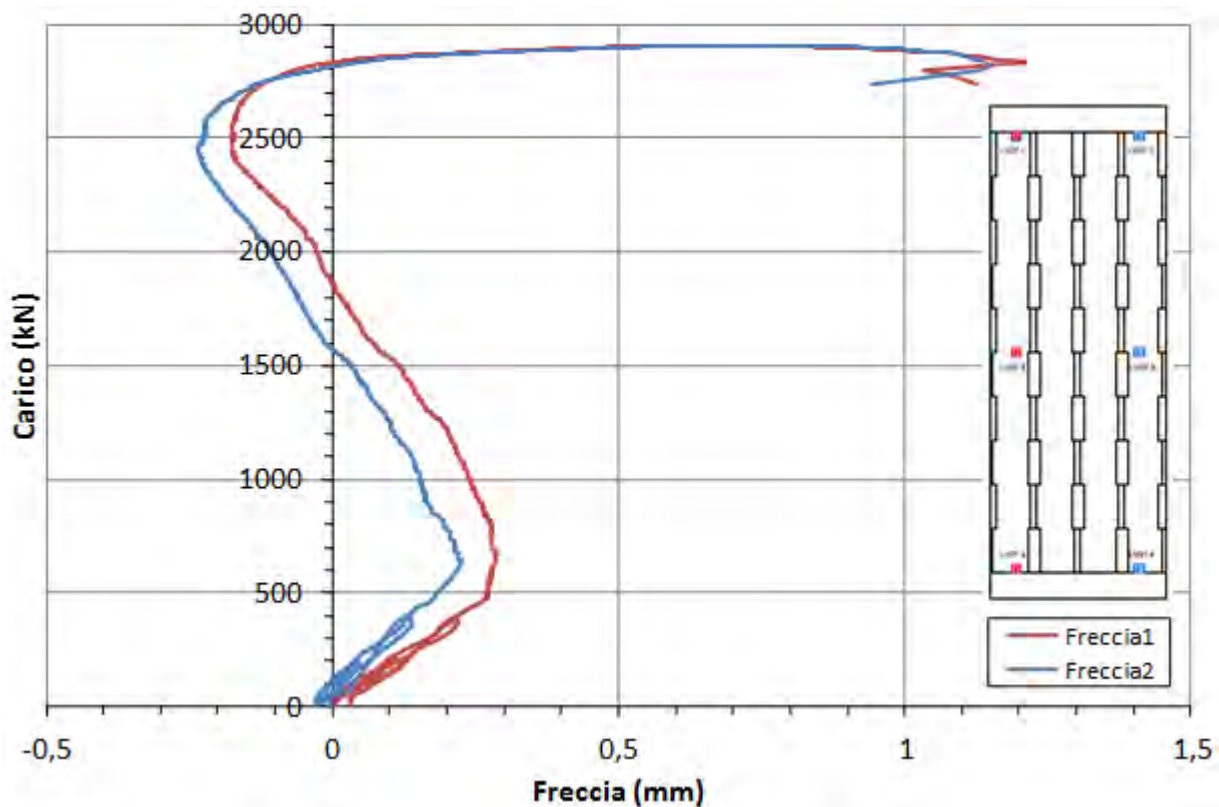


Figura 6. Pannello 2-CC14_01: Freccie rilevate in funzione del carico applicato con indicati gli LVDT presi a riferimento.

In Figura 7 è riportata la freccia media del pannello in funzione del carico applicato.

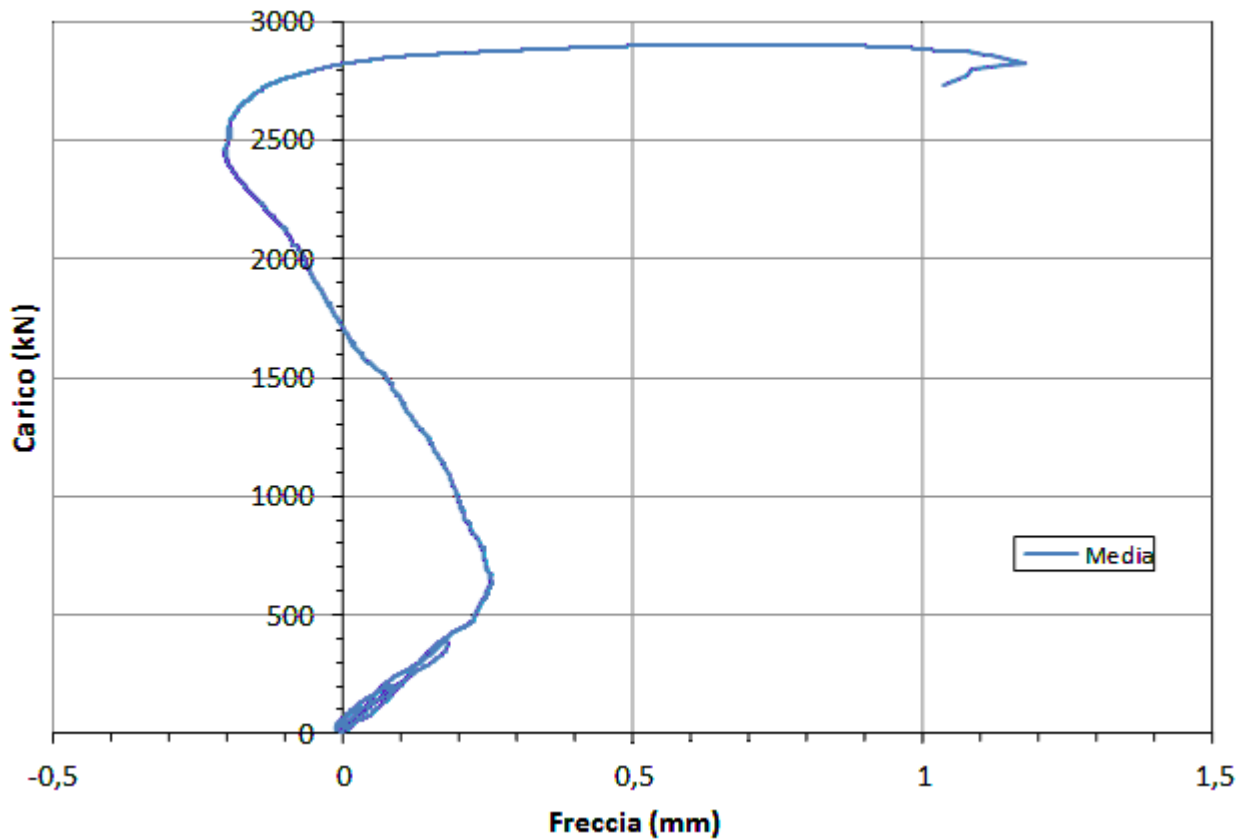


Figura 7. Pannello 2-CC14_01: Freccia media rilevata in funzione del carico applicato.

6.2. Deformazioni

Per valutare la deformazione verticale e gli eventuali fenomeni di instabilità sono state misurate le deformazioni in direzione verticale attraverso due estensimetri posizionati in maniera speculare sui due lati del pannello in mezzera.

In Figura 8 si riportano le deformazioni registrate da tali estensimetri in funzione del carico applicato.

Dal grafico si può osservare che le deformazioni registrate siano da entrambi i lati deformazioni di accorciamento, evidenziando come il comportamento flessionale del pannello durante la prova sia stato estremamente modesto, fino alla crisi finale.

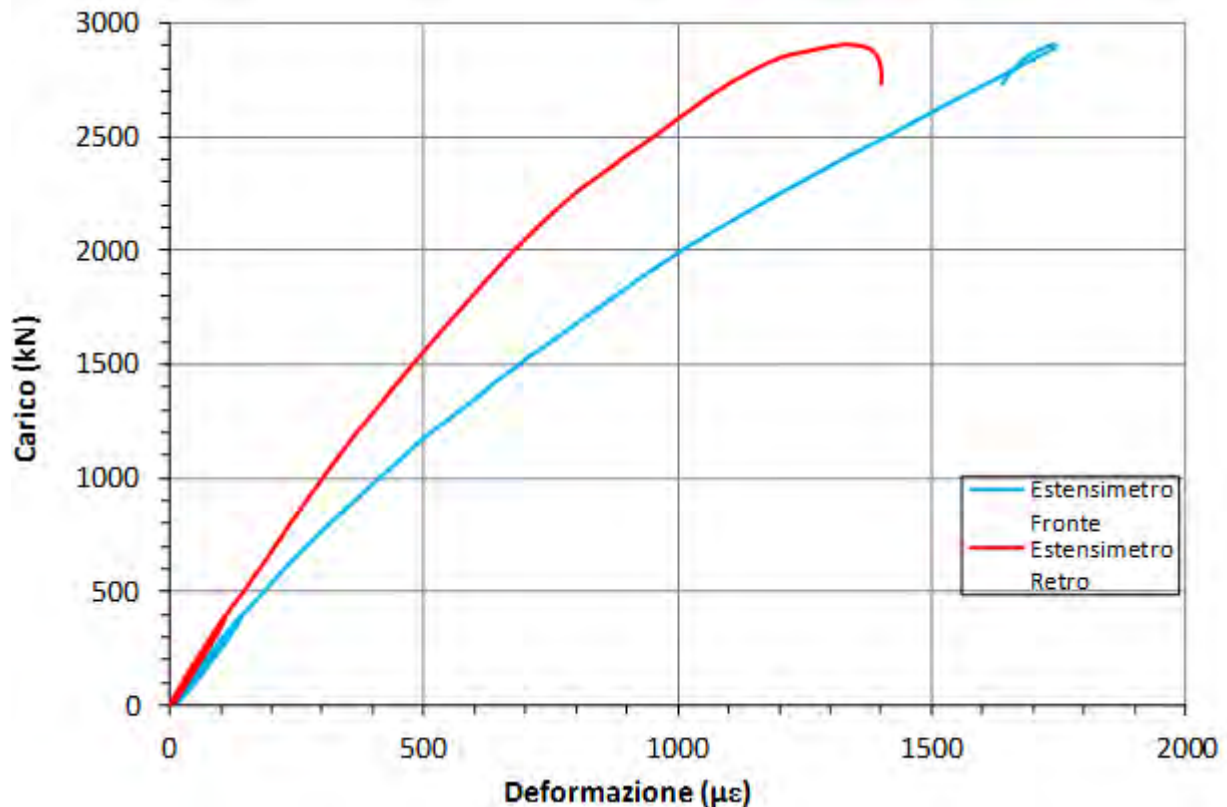


Figura 8. Pannello 2-CC14_01: Deformazioni misurate dai due estensimetri in funzione del carico applicato.

7. Risultati relativi al pannello 2-CC14_02

Di seguito si riportano i grafici riassuntivi della prova condotta sul pannello denominato 2-CC14_02, con spessore di calcestruzzo pari a 14 cm, effettuata in data 23/02/2012, dopo 107 giorni di maturazione del calcestruzzo.

Durante la prova sono stati eseguiti due cicli di carico, il primo in corrispondenza di $N=400$ kN e il secondo in corrispondenza di $N=1000$ kN. Successivamente si è incrementato il carico fino al raggiungimento del valore massimo, corrispondente ad un valore massimo di 2800 kN.

7.1. Spostamenti orizzontali

Per misurare lo spostamento massimo fuori dal piano del pannello rispetto alla sua configurazione indeformata sono stati registrati gli spostamenti orizzontali della sezione di mezzeria ed ai vincoli. Per valutare la freccia effettiva gli spostamenti della sezione di mezzeria sono stati depurati degli spostamenti registrati nelle due estremità del pannello (si veda la Figura 9). La massima freccia registrata è pari a 4.8 mm.

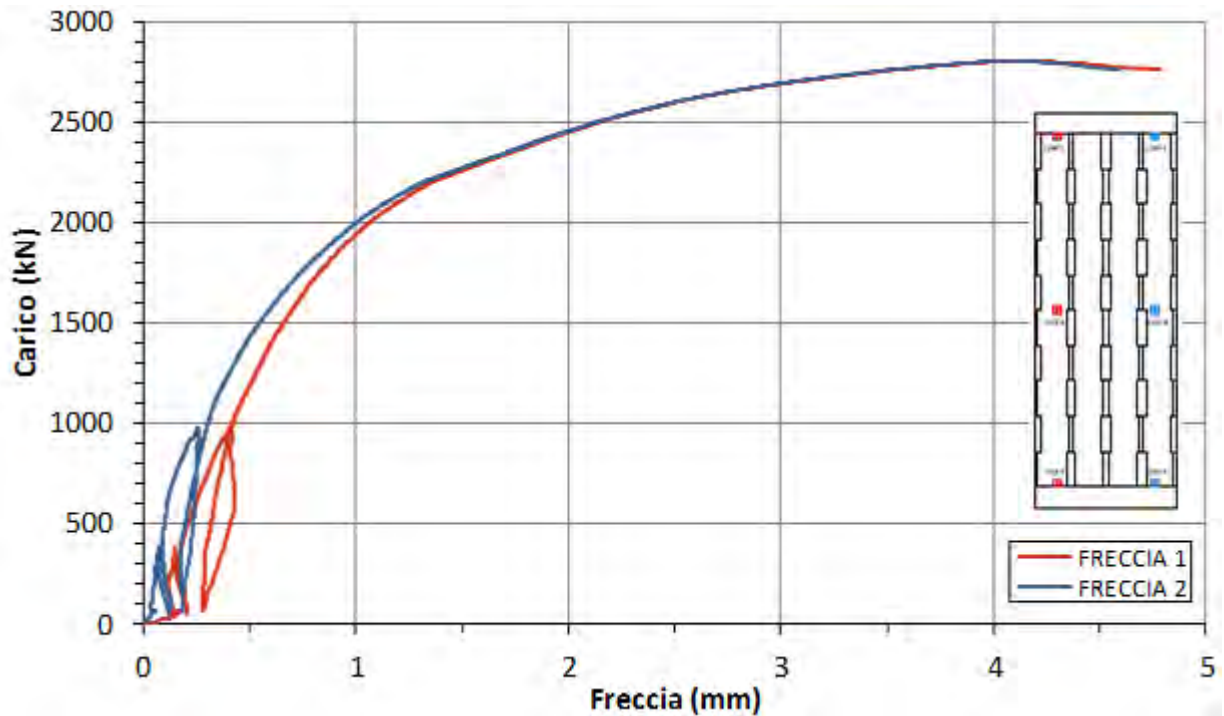


Figura 9. Pannello 2-CC14_02: Freccie rilevate in funzione del carico applicato con indicati gli LVDT presi a riferimento.

In Figura 10 è riportata la freccia media del pannello in funzione del carico applicato.

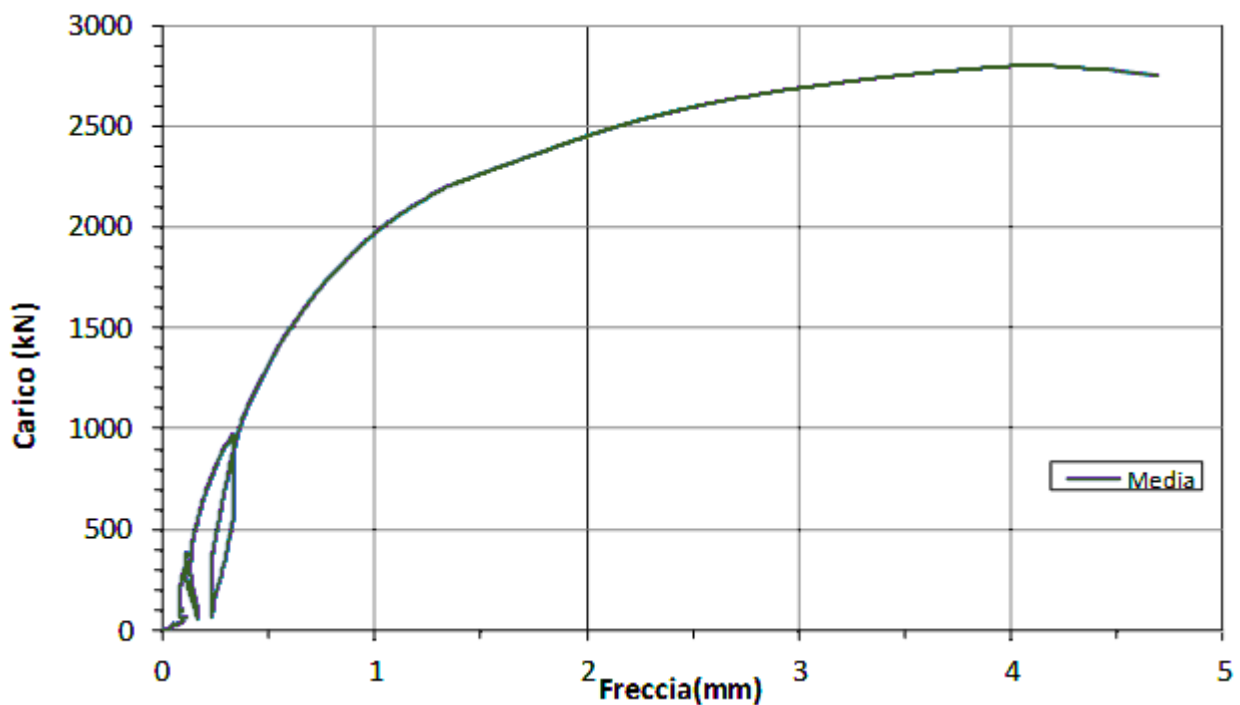


Figura 10. Pannello 2-CC14_02: Freccia media rilevata in funzione del carico applicato.

7.2. Deformazioni

Per valutare l'abbassamento verticale e gli eventuali fenomeni di instabilità sono state misurate le deformazioni in direzione verticale attraverso due estensimetri posizionati in maniera speculare sui due lati del pannello in mezzzeria.

In Figura 11 si riportano le deformazioni registrate da tali estensimetri in funzione del carico applicato.

Dal grafico si può osservare che le deformazioni registrate siano da entrambi i lati deformazioni di accorciamento, evidenziando come il comportamento flessionale del pannello durante la prova sia stato estremamente modesto, fino alla crisi finale.

Solo per un carico superiore a 2000 kN si nota una riduzione delle deformazioni di compressione sul lato denominato "fronte". Si deduce che la modalità di rottura del pannello è dovuta ad una crisi di resistenza per compressione centrata in cui non è stato evidenziato un effetto di instabilità dovuto alla snellezza del pannello.

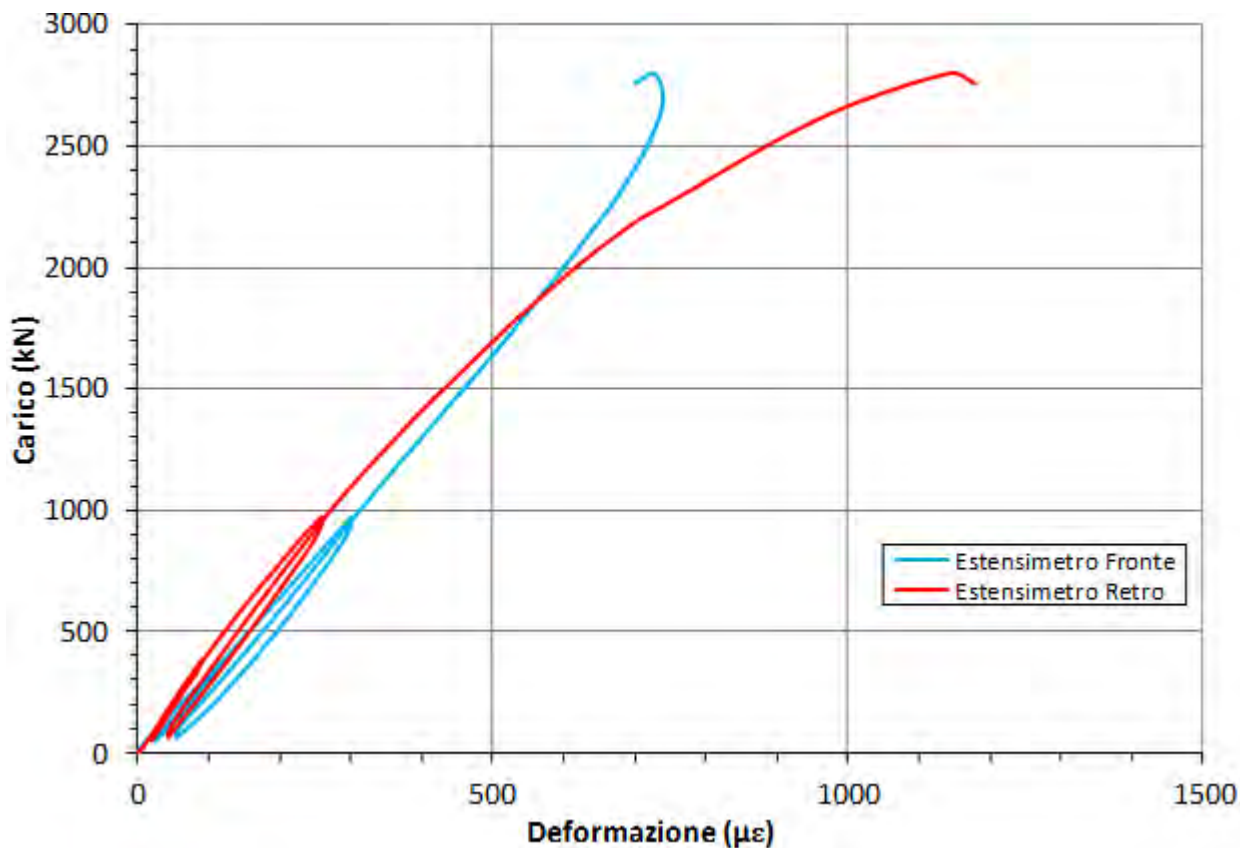


Figura 11. Pannello 2-CC14_02: Deformazioni misurate dai due estensimetri in funzione del carico applicato.

8. Confronto dei risultati

In Figura 12 e Figura 13 si riportano rispettivamente il confronto tra le curve carico-freccia media e le curve carico-deformazione media ottenute dalle due prove descritte precedentemente.

Sebbene i due pannelli abbiano manifestato comportamenti deformativi un po' diversi, la loro capacità resistente è risultata molto simile.

Il diverso valore di deformazione media alla crisi si giustifica con il diverso quadro fessurativo che ha interessato i pannelli.

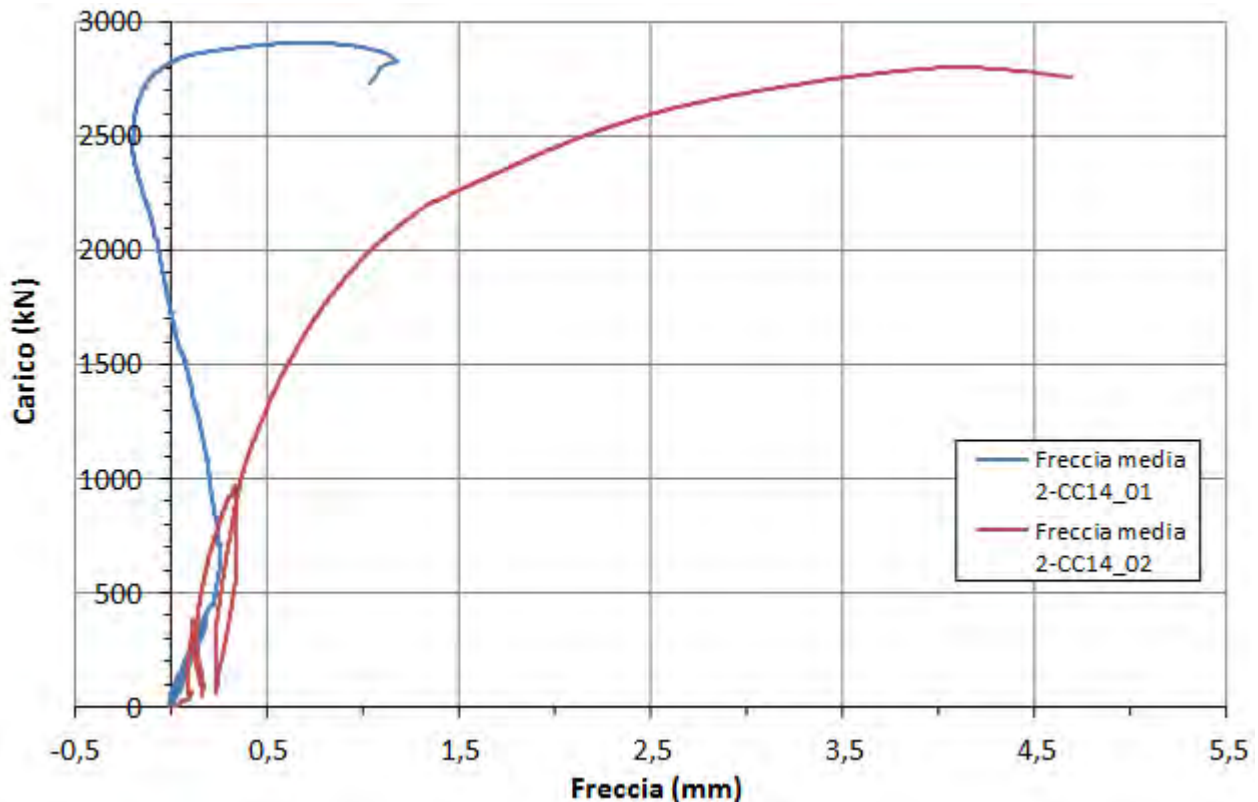


Figura 12. Confronto in termini di carico-freccia media delle prove di compressione centrata condotte sui pannelli 2-CC14_01 e 2-CC14_02.

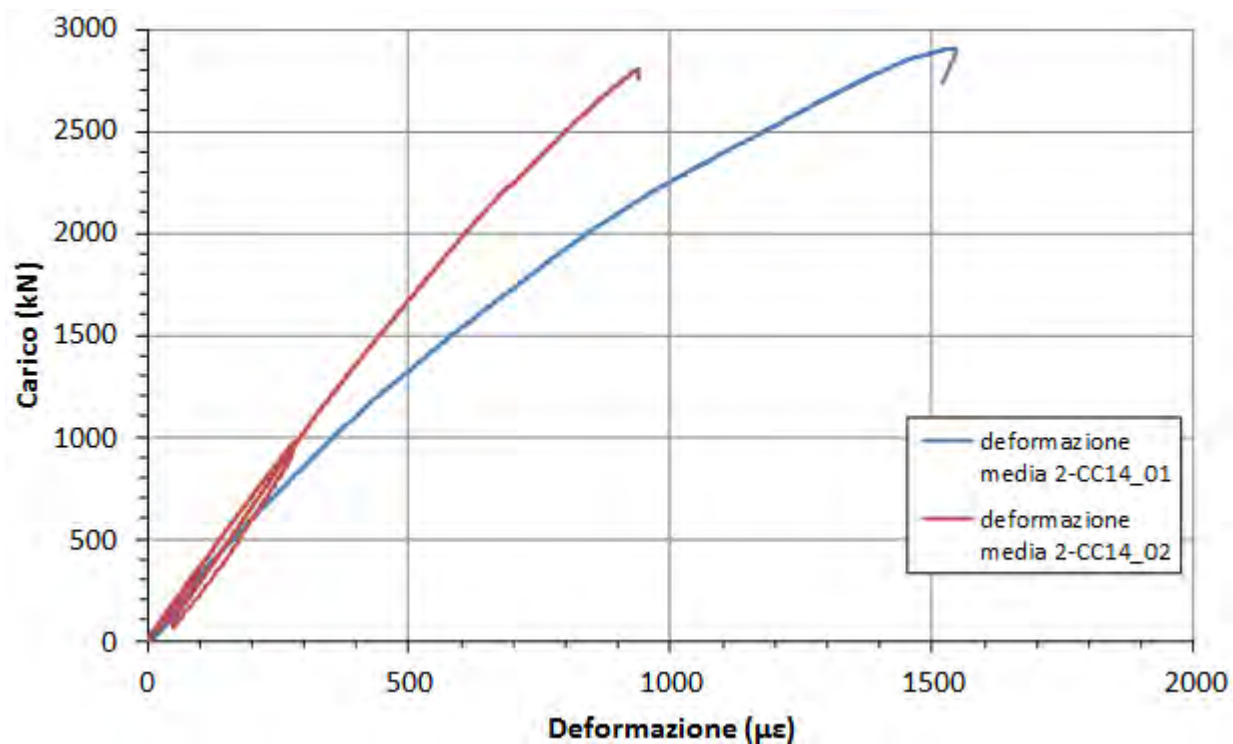


Figura 13. Confronto in termini di carico-deformazione media delle prove di compressione centrata condotte sui pannelli 2-CC14_01 e 2-CC14_02.

9. Galleria fotografica



Figura 14. Preparazione della prova.

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



Figura 15. Pannello 2-CC14_01: Il pannello prima della prova a compressione centrata.

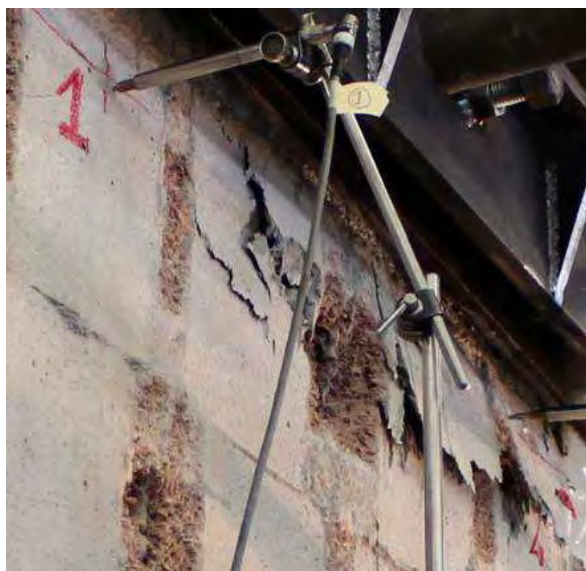


Figura 16. Pannello 2-CC14_01: Il pannello dopo la prova di compressione centrata.



Figura 17. Pannello 2-CC14_02: Il pannello prima della prova a compressione centrata.

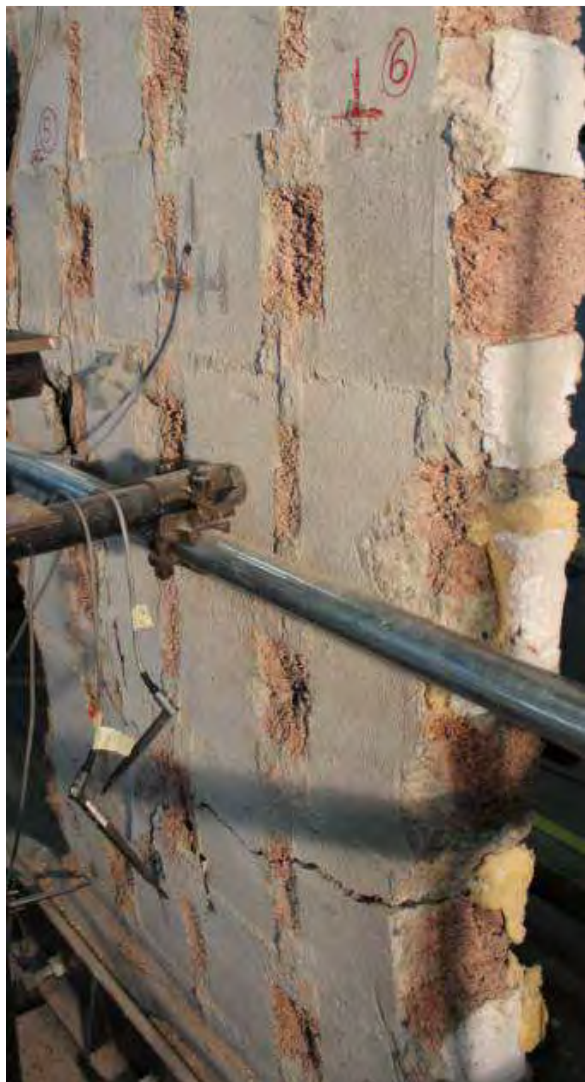


Figura 18. Pannello 2-CC14_02: Il pannello dopo la prova a compressione centrata.

Bologna, 30 Luglio 2012

Relatore

Ing. Ligi Valentina

Collaboratori

Ing. Bellini Alessandro

Ing. Minnai Luca

Ing. Rinaldini Valentina

Responsabile scientifico

Prof. Ing. Marco Savoia

Facoltà di Ingegneria

Università di Bologna

Direttore del CIRI Edilizia e Costruzioni

Prof. Ing. Marco Savoia

