



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

CONVENZIONE DI RICERCA CON
FIXOLITE-ISOBLOC

BLOCCHI CASSERO
TIPOLOGIA 25/16 H
PROT. 27 del 18/01/2018

CIRI - EDILIZIA E COSTRUZIONI
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Via dell'Industria, 13/5 - 40131 - BOLOGNA - ITALIA
CE: 008700076 - PI: 013371636

Direttore
Prof. Ing. Claudio Mazzotti

Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Marco Savoia

RESPONSABILE SCIENTIFICO
PROF. ING. MARCO SAVOIA

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI	4
3. ANALISI DEI RISULTATI	4
3.1. Risultati prove a compressione centrata (Tipo 1)	4
3.2. Risultati prove a compressione diagonale (Tipo 1)	6
3.3. Risultati prove a compressione centrata su pannelli di altezza pari all'altezza di interpiano (Tipo 2)	7

1. Premessa

La presente relazione riporta alcune considerazioni sui risultati della campagna sperimentale, svolta presso il laboratorio strutturale del CIRI Edilizia e Costruzioni dell'Università di Bologna e commissionata dalla Ditta Fixolite – Isobloc, riguardante elementi strutturali in calcestruzzo debolmente armato realizzati con una nuova tipologia di blocchi cassero Tipo 25/16 H. Per i dettagli si rimanda ai Rapporti di prova completi.

In precedenza, era stata condotta una campagna completa di indagine in accordo alle prescrizioni delle *"Linee Guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato in opera"* su blocchi cassero del tipo 25/18, corredata di una relazione interpretativa dei risultati che definiva i criteri di equivalenza e i parametri da utilizzare in fase di progetto e di verifica nel caso di utilizzo del sistema a blocchi cassero di cui all'oggetto.

Le indagini sperimentali condotte nella successiva campagna, di cui alla presente, hanno quindi il fine di verificare che i nuovi blocchi cassero del tipo 25/16 H conducano a realizzare una struttura in calcestruzzo debolmente armata con prestazioni analoghe a quelle delle strutture realizzate con i blocchi cassero 25/18.

A tal fine sono state eseguite le indagini sulle tipologie di comportamento per le quali la variazione del tipo di blocco potrebbero avere una influenza. Le prime due tipologie di prove sono state di tipo comparativo, cioè realizzando porzioni di pannello con i due tipi di blocchi (tipo 25/18 e 25/16H), con le stesse armature e stesso getto di calcestruzzo. La terza tipologia di prova invece è stata condotta su pannelli di altezza pari all'altezza di interpiano, solo blocchi tipo 26/16H, e diverse tipologie di armatura. Pertanto, in dettaglio la campagna sperimentale ha previsto:

- Prove di compressione centrata su porzioni di pannello di dimensioni 1 m x 1 m, realizzati con blocchi cassero in legno cemento ISOBLOC (Prove Tipo 1) con spessore di calcestruzzo resistente pari a 15 cm e armatura longitudinale (verticale) composta da 2 barre ϕ 8 mm disposte al centro di ogni pilastrino:
 - N° 2 prove con blocchi cassero del tipo 25/18 (pannelli CC-V_01 e CC-V_02);
 - N° 2 prove con blocchi cassero del tipo 25/16 H (pannelli CC-H_01 e CC-H_02).

- Prove di compressione diagonale su porzioni di pannello di dimensioni 1 m x 1 m, realizzati con blocchi cassero in legno cemento ISOBLOC (Prove Tipo 1) con spessore di calcestruzzo resistente pari a 15 cm e armatura longitudinale (verticale) composta da 2 barre ϕ 8 mm disposte al centro di ogni pilastrino:
 - N° 2 prove con blocchi cassero del tipo 25/18 (pannelli CD-V_01 e CD-V_02);
 - N° 2 prove con blocchi cassero del tipo 25/16 H (pannelli CD-H_01 e CD-H_02).

- Prove di compressione centrata su pannelli in calcestruzzo realizzati con blocchi cassero del tipo 25/16 H in legno cemento ISOBLOC (Prove Tipo 2), di altezza pari a quella di interpiano ($h=2.80$ m) e spessore pari a 15 cm:
 - N° 2 prove con armatura longitudinale (verticale) composta da 2 barre ϕ 8 mm disposte al centro di ogni pilastrino (pannelli CC-A_01 e CC-A_02);
 - N° 2 prove con armatura longitudinale (verticale) composta da 2 barre ϕ 8 mm disposte sui bordi esterni di ogni pilastrino (pannelli CC-B_01 e CC-B_02);
 - N° 2 prove con armatura longitudinale composta da 1 barra ϕ 12 mm disposta al centro di ogni pilastrino (pannelli CC-C_01 e CC-C_02).

Per ogni dettaglio sulle prove condotte e sui risultati si rimanda alle relazioni dettagliate di prova.

2. *Caratteristiche dei materiali utilizzati*

Per il getto dei pannelli, è stato utilizzato un calcestruzzo con consistenza S5, cemento 32.5R, diametro massimo aggregati 16 mm e classe di esposizione XC2.

La resistenza del calcestruzzo è stata valutata prelevando delle carote dai pannelli testati, in zone che potevano essere state considerate poco disturbate dalla prova condotta, seguendo l'Approccio B della Norma UNI EN 13791. La resistenza cubica caratteristica "in situ" ricavata è pari a 21.13 MPa.

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.

3. *Analisi dei risultati*

3.1. *Risultati prove a compressione centrata (Tipo 1)*

Nella seguente sezione si riassumono i risultati ottenuti dalle prove di compressione centrata eseguite su pannelli di dimensione 1 m x 1 m.

Con riferimento a quanto indicato nelle "*Linee guida per i sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera*", si riportano in Tabella 1 e in Tabella 2 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 e tutti i relativi valori medi di ogni gruppo.

Tabella 1. Pannelli con blocchi cassero del tipo 25/18 - Serie V: Valori di forza (F), spostamento verticale medio (δ) e rigidezza secante (K) corrispondenti al carico massimo e al 30% dello stesso. Rapporto tra le due rigidezze secanti (ΔK).

		CC-V_01		CC-V_02		Media	
		30%	Max	30%	Max	30%	Max
F	(kN)	603.3	2012.5	598.0	1994.3	600.7	2003.4
δ	(mm)	0.132	1.233	0.095	1.312	0.114	1.273
K	(kN/mm)	4555.7	1632.3	6313.4	1520.1	5434.6	1576.2
		ΔK	0.358	ΔK	0.241	ΔK	0.30

Tabella 2. Pannelli con blocchi cassero del tipo 25/16H - Serie H: Valori di forza (F), spostamento verticale medio (δ) e rigidezza secante (K) corrispondenti al carico massimo e al 30% dello stesso. Rapporto tra le due rigidezze secanti (ΔK).

		CC-H_01		CC-H_02		Media	
		30%	Max	30%	Max	30%	Max
F	(kN)	592.5	1975.2	589.8	1966.2	591.2	1970.7
δ	(mm)	0.107	1.043	0.102	0.978	0.105	1.011
K	(kN/mm)	5545.2	1894.0	5767.0	2010.0	5656.1	1952.0
		ΔK	0.342	ΔK	0.349	ΔK	0.35

Il confronto tra i risultati ottenuti indica che:

- Il carico massimo che porta a collasso i pannelli realizzati con le due tipologie di blocchi è del tutto analogo, essendo la differenza tra i risultati medi inferiore alla naturale variabilità dei risultati sperimentali (meno del 2%);
- I pannelli realizzati con i nuovi blocchi tipo 25/16H presentano una maggior rigidezza assiale rispetto a quelli tipo 25/18, essendo lo spostamento corrispondente al carico massimo il 21% inferiore, e la rigidezza assiale corrispondente ovviamente di conseguenza il 21% superiore.

I risultati confermano quindi che le due tipologie di blocchi consentono di ottenere pareti in calcestruzzo debolmente armato che, dal punto di vista del comportamento sotto carichi verticali, hanno prestazioni strutturali del tutto analoghe in termini di resistenza e migliori dal punto di vista della loro rigidezza.

3.2. Risultati prove a compressione diagonale (Tipo 1)

Nella seguente sezione si riassumono i risultati ottenuti dalle prove di compressione diagonale eseguite su pannelli di dimensione 1 m x 1 m.

Con riferimento a quanto indicato nelle "Linee guida per i sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera", si riportano in Tabella 3 e in Tabella 4 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 e tutti i relativi valori medi di ogni gruppo.

Tabella 3. Pannelli con blocchi cassero del tipo 25/18 - Serie V: Valori di forza (F), spostamento verticale medio (δ) e rigidezza secante (K) corrispondenti al carico massimo e al 30% dello stesso. Rapporto tra le due rigidezze secanti (ΔK).

		CD-V_01		CD-V_02		Media	
		30%	Max	30%	Max	30%	Max
F	(kN)	107.2	357.8	95.49	319.22	101.4	338.5
δ	(mm)	0.136	1.648	0.095	0.746	0.116	1.197
K	(kN/mm)	785.5	217.1	1005.7	427.7	895.6	322.4
		ΔK	0.276	ΔK	0.425	ΔK	0.35

Tabella 4. Pannelli con blocchi cassero del tipo 25/16H - Serie H: Valori di forza (F), spostamento verticale medio (δ) e rigidezza secante (K) corrispondenti al carico massimo e al 30% dello stesso. Rapporto tra le due rigidezze secanti (ΔK).

		CD-H_01		CD-H_02		Media	
		30%	Max	30%	Max	30%	Max
F	(kN)	107.97	360.33	119.67	399.98	113.8	380.2
δ	(mm)	0.119	0.676	0.151	1.106	0.135	0.891
K	(kN/mm)	903.9	532.7	793.0	361.8	848.5	447.2
		ΔK	0.589	ΔK	0.456	ΔK	0.52

Il confronto tra i risultati ottenuti indica che:

- I pannelli realizzati con i nuovi blocchi tipo 25/16H presentano un carico massimo a rottura diagonale del 12% superiore a quello dei pannelli tipo 25/18;

- I pannelli realizzati con i nuovi blocchi tipo 25/16H presentano uno spostamento a rottura 25% inferiore a quello dei pannelli realizzati con blocchi tipo 25/18;
- La rigidezza secante a rottura per compressione diagonale dei pannelli realizzati con i nuovi blocchi tipo 25/16H è pertanto il 45-50% superiore a quella dei pannelli realizzati con blocchi tipo 25/18.

I risultati indicano quindi che i nuovi blocchi tipo 25/16H consentono di ottenere pareti in calcestruzzo debolmente armato che, dal punto di vista del comportamento sotto carichi orizzontali, che comportano prevalentemente il coinvolgimento delle caratteristiche a taglio delle pareti, hanno prestazioni strutturali superiori a quelle dei pannelli realizzati con blocchi tipo 25/18.

L'aumento della resistenza a taglio è dovuta alla maggiore dimensione dei corsi orizzontali e al perfetto allineamento dei pilastrini.

3.3. Risultati prove a compressione centrata su pannelli di altezza pari all'altezza di interpiano (Tipo 2)

Nella seguente sezione si riassumono i risultati ottenuti dalle prove di compressione centrata eseguite su pannelli in calcestruzzo, di altezza pari a quella di interpiano ($h=2.80$ m), realizzati con blocchi cassero del tipo 25/16 H e due diverse disposizioni delle armature longitudinali.

Con riferimento a quanto indicato nelle "Linee guida per i sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera", si riportano in Tabella 5 i valori di forza massima ottenuti dalle due prove di ogni gruppo e il loro valore medio.

Si riportano altresì in Tabella i valori di carico ultimo teorico ricavato considerando un calcestruzzo di resistenza cilindrica pari a $f_c = 21.13 \times 0.83$ MPa (dove 21.13 è la resistenza caratteristica cubica, si veda la relazione di dettaglio) e, per ogni parete, 4 pilastrini di area 300 cm^2 ciascuno, per un'area totale di 1200 cm^2 .

Tabella 5. Serie A: Confronto dei valori di forza massima sperimentale (F_{max}) con quelli di calcolo, e determinazione del coefficiente ψ di riduzione della resistenza.

		CC-A_01	CC-A_02	CC-C_01	CC-C_02
Armatura		2 barre $\phi 8$ mm		1 barra $\phi 12$ mm	
area	(mm²)	10.05		11.30	
F_{max}	(kN)	1612.4	1503.0	1639.3	1782.5
	(kN)	1558		1711	
f_{cm}	(MPa)	17.54		17.54	
σ_{sper}	(MPa)	12.98		14.26	
$\psi = \sigma_{sper} / f_{cm}$		0.74		0.81	

Nelle prove condotte in precedenza su pareti realizzate con blocchi cassero 25/18 ed armate con 2 barre $\phi 8$ mm, il coefficiente di riduzione della resistenza per pannelli di spessore 14 cm era risultato $\psi = 0.795$. I risultati riguardanti i pannelli realizzati con blocchi 25/16 H ed armati con 2 barre $\phi 8$ mm confermano pertanto gli stessi risultati di cui alle precedenti prove.

I pannelli con 1 barra $\phi 12$ mm, e quindi armatura con area leggermente superiore, presentano carichi di rottura 10% superiori e quindi un coefficiente di riduzione della resistenza dei pannelli un poco superiore ($\psi = 0.81$).

Si segnala a questo proposito infatti che, per pannelli debolmente armati, i criteri di calcolo della resistenza a compressione prevedono di considerare la sola area di calcestruzzo, ma chiaramente la presenza di un'armatura superiore porta in genere un beneficio in termini di resistenza a compressione, confermato dalle prove relative a questa indagine.

4. Conclusioni

Il confronto tra i risultati delle prove relative all'indagine in oggetto, e sintetizzate nella presente relazione, consentono di affermare che:

- **Prove di compressione assiale:** Dal punto di vista del comportamento sotto carichi verticali, pareti in calcestruzzo debolmente armate realizzate con blocchi 25/16H hanno prestazioni strutturali del tutto analoghe in termini di resistenza a quelle realizzate con blocchi 25/18, e migliori dal punto di vista della loro rigidità.
- **Prove di compressione diagonale:** Dal punto di vista delle caratteristiche a taglio delle pareti, i blocchi tipo 25/16H consentono di ottenere pareti in calcestruzzo debolmente armate con prestazioni strutturali superiori a quelle dei pannelli realizzati con blocchi tipo 25/18 a causa della maggiore dimensione dei corsi orizzontali e al perfetto allineamento dei pilastri.
- **Prove di compressione su pannelli di vera altezza:** Il confronto di prove condotte su pannelli realizzati con blocchi tipo 25/16H e due ferri di armatura (2 barre $\phi 8$ mm) o 1 ferro di armatura (1 barra $\phi 12$ mm), conferma il coefficiente di riduzione della resistenza già determinato in precedente campagna di prova ($\psi = 0.795$), e che la resistenza del pannello è influenzata dall'area complessiva di acciaio longitudinale e non dal numero di barre utilizzate.

Stanti i risultati delle prove condotte, si ritiene superfluo condurre altre prove in quanto i risultati condotti nella precedente campagna sperimentali con uso di blocchi 25/18 possono rappresentare un limite inferiore per le prestazioni dei pannelli realizzati con blocchi 25/16H.

Bologna, Gennaio 2018

Responsabile scientifico
Prof. Ing. Marco Savoia
DICAM

Scuola di Ingegneria e Architettura
Università di Bologna



Direttore del CIRI Edilizia e Costruzioni
Prof. Ing. Claudio Mazzotti
DICAM

Scuola di Ingegneria e Architettura
Università di Bologna



CIRI - EDILIZIA E COSTRUZIONI
MA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Via dell'Industria, 11/5 - 40131 - BOLOGNA - ITALIA
C.F. 0487000756 - P.I. 0143716076