

# Ricerca sperimentale sulla muratura armata portante Taurus

Michele Destro<sup>1</sup> ■



Ricerca sperimentale su:  
Sistema Brevettato Muratura Armata TAURUS

**Gruppo di Lavoro:**  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA) dell'Università degli Studi di Padova; Gruppo Stabila S.r.l.; Bampo S.r.l.

**Coordinamento:**  
Dr. Ing. Francesca Da Porto

## 1. Introduzione

Nel 2010 è stata avviata la produzione del sistema Taurus, brevettato per l'unicità della geometria radiale, pensato per garantire prestazioni, tempi e costi ottimali e rivalutando concetti come confinamento, prestazioni, sicurezza, precisione e qualità. Tale sistema è stato riconosciuto come migliore innovazione dell'anno 2010 presso il Saie (Iuav - Arketipo, Costruire, Modulo, Presenza Tecnica - The Plan), classificato in prima categoria e certificato in bioedilizia dall'Anab. Nel 2013 il sistema è stato testato presso l'ICEA, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova nell'ambito di un lavoro di ricerca coordinato dal Dr. Ing. Da Porto in collaborazione con Gruppo Stabila S.r.l. e Bampo S.r.l. La ricerca condotta ha previsto la realizzazione di un insieme di test sperimentali atti a costituire una gamma d'indagini sufficientemente completa per lo studio del comportamento a compressione e taglio, anche sotto azioni cicliche, di elementi portanti in muratura realizzati con blocchi in laterizio di tipo Taurus.

<sup>1</sup> Ingegnere, Gruppo Stabila S.r.l.  
Via Capiterlina, 141 - 36033 Isola Vicentina (Vi)  
✉ michele.destro@gruppostabila.it

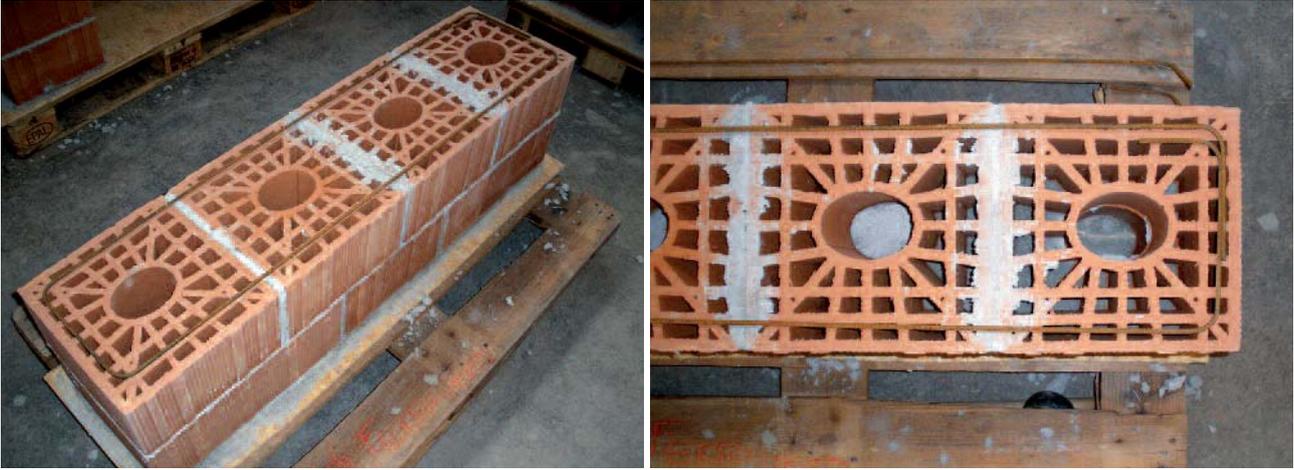


Figura 1  
Fasi della realizzazione dei campioni.

Al fine di ottenere informazioni sulla possibile interdipendenza tra i parametri in gioco, il programma ha previsto, oltre all'esecuzione di prove cicliche di compressione-taglio, prove di compressione monoassiale, triplette e prove di caratterizzazione dei materiali (malta e ferri). Ne è emerso un panorama di dati e considerazioni che hanno confermato una certa conservatività delle norme attuali.

Si riportano nel seguito alcuni dei risultati ottenuti allo scopo di divulgare il livello di prestazioni offerte dal sistema studiato.

## 2. Realizzazione dei campioni

Il programma sperimentale ha previsto l'esecuzione di n. 3 serie di muretti. Due serie sono state destinate a prove di compressione monoassiale e triplette, mentre la terza è stata finalizzata all'esecuzione di prove di compressione-taglio. La realizzazione dei 16 muretti e dei 12 campioni di piccole dimensioni ha avuto luogo presso gli stabilimenti della fornace di Gruppo Stabila a Isola Vicentina (VI), sotto la supervisione di personale dell'Università di Padova. I campioni sono stati costruiti all'interno di spazi coperti, in ambiente protetto dagli agenti atmosferici. Per una maggiore attendibilità dei risultati sperimentali e dell'intera ricerca, si sono pianificate e verificate le fasi di esecuzione, imballaggio e trasporto dei campioni. Di seguito lo schema che chiarisce, per ogni prova, il numero di campioni testati e le diverse prove eseguite.

## 3. Prove su triplette

Sono state eseguite su 12 campioni formati da blocchi di tre mattoni collegati con giunto di malta; le dimensioni nominali del provino sono pari a 29 cm, 50 cm e 44 cm rispettivamente di

altezza, larghezza e di profondità. Queste prove sono effettuate per caratterizzare le proprietà dell'interfaccia tra giunto di malta e blocco, ovvero lo scorrimento del giunto orizzontale e la resistenza a trazione del giunto. Le prove sono state eseguite su n. 12 campioni, utilizzando il setup descritto in normativa di cui viene riportata l'immagine (Figura 2), composto ognuno da 3 blocchi accoppiati.

La precompressione laterale è stata applicata attraverso un martinetto idraulico non a diretto contatto con le facce laterali del provino ma mediata con un elemento ligneo, in modo da non danneggiare preventivamente i blocchi alle estremità.

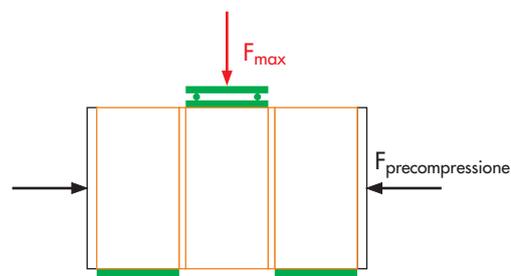
La vicinanza in asse tra i cuscinetti sferici superiori e quelli inferiori ha fatto sì che la forza applicata in sommità del blocco centrale si tramutasse principalmente in sforzo di taglio, riducendo al minimo il momento (più precisamente il braccio) che si viene a creare durante la prova. La prova di scorrimento lungo i giunti prevede un minimo di tre provini, per ogni sforzo di precompressione, identificati dalla normativa in base al valore di compressione ottenuto nei test sui singoli elementi resistenti; i valori ottenuti sono  $0.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $0.6 \text{ N/mm}^2$  e  $1.0 \text{ N/mm}^2$ . Successivamente all'applicazione del precarico, valore che è stato mantenuto costante durante tutto la prova ed in corrispondenza del quale sono stati azzerati gli strumenti si è proceduto quindi a caricare il provino monotonicamente sino a rottura del giunto di malta. Lo scorrimento è stato imposto nella medesima direzione in cui avviene nei muri, ossia simulando la presenza di un carico parallelo alla direzione dei letti di malta, distribuito lungo lo spessore.

## 4. Risultati ottenuti

In seguito si riportano i valori di precompressione  $\sigma_0$ , di tensione tangenziale sul giunto  $\tau_{\max}$  al

Tabella 1 - Schema del numero di provini preparati per ogni prova e della loro nomenclatura

Tipologia di prova	Descrizione campioni		N° campioni	Sigla campioni	N° campioni TOT					
Compressione monoassiale	Prova monotona	Carico esercitato perpendicolarmente alla direzione dei giunti di malta	URM	2	CV-URM-5 CV-URM-6	8				
		Carico esercitato parallelamente alla direzione dei giunti di malta	URM	1	CH-URM-8					
			RM	2	CV-RM-1 CV-RM-2					
			URM	1	CH-URM-8					
			RM	1	CH-RM-4					
Triplette	A taglio	Precompressione 0.2 N/mm <sup>2</sup>		3	T1_02 T2_02 T3_02	12				
			Precompressione 0.6 N/mm <sup>2</sup>		3		T1_06 T2_06 T3_06			
				Precompressione 1.0 N/mm <sup>2</sup>			3	T1_10 T2_10 T3_10		
		Taglio compressioni			Tozzi (h/l=1.10)		1φ16mm	Compressione 0.6 N/mm <sup>2</sup>	1	SQ-1B-06
			per lato				Compressione 0.8 N/mm <sup>2</sup>	1	SQ-1B-08	
			2φ16mm	Compressione 0.6 N/mm <sup>2</sup>			1	SQ-2B-06		
Snelli (h/l=1.65)	per lato		Compressione 0.8 N/mm <sup>2</sup>	1	SQ-2B-08					
	1φ16mm		Compressione 0.6 N/mm <sup>2</sup>	1	SL-1B-06					
	per lato		Compressione 0.8 N/mm <sup>2</sup>	1	SL-1B-08					
	2φ16mm	Compressione 0.6 N/mm <sup>2</sup>	1	SL-2B-06						
	per lato	Compressione 0.8 N/mm <sup>2</sup>	1	SL-2B-08						



carico massimo, ottenuta dividendo il carico per l'area della sezione trasversale del provino, ed i valori medi per ogni terna di provini.

Come si può notare dallo schema soprastante (Tabella 2) i valori del taglio massimo sono maggiori nei provini che hanno subito una precompressione maggiore.

L'immagine soprastante (Figura 3) riporta la resistenza taglio rispetto allo sforzo di precompressione per le prove eseguite, dai quali è possibile, per regressione, ricavare i valori di resistenza ini-

ziale a taglio  $f_{v0}$ , pari a 0.38 N/mm<sup>2</sup>, ed i valori di angolo di attrito interno  $\alpha$ , pari a 0.65.

Angolo d'attrito	0.65
Coesione	0.38 MPa

I relativi valori caratteristici di resistenza iniziale a taglio ( $f_{vk0}$ ) e di angolo di attrito interno ( $\alpha_k$ ) si ottengono da quelli sperimentali moltiplicando per 0.8, come indicato nel capitolo 10.1 della norma UNI EN 1052-3 (2007), e sono quindi

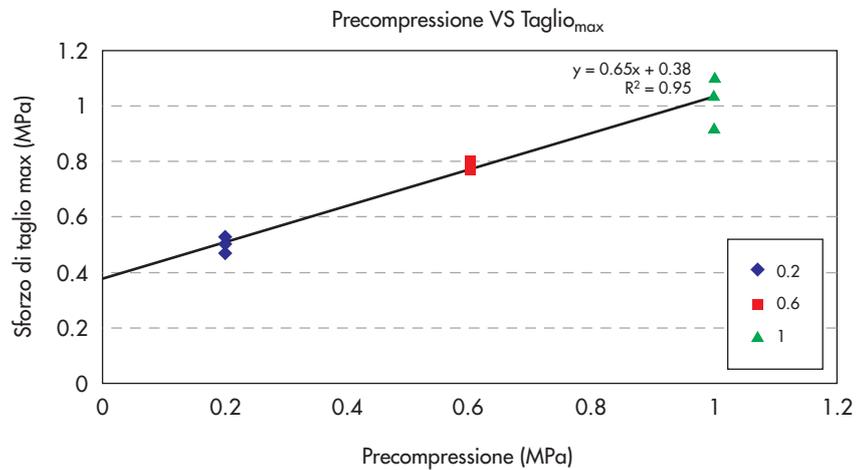
Figura 2  
Set up di prova dato dalla normativa (sinistra), schema delle forze in gioco (destra).

Tabella 2 - Risultati delle prove a scorrimento dei giunti di malta

Precompressione di progetto (N/mm <sup>2</sup> )	Campione	Forza di precompressione (N)	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Media $\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Modalità di rottura
0.2	T1-02		0.47		TF
	T2-02	176923	0.53	0.50	TF
	T3-02		0.50		T2F
0.6	T1-06		0.80		TF
	T2-06	53078	0.79	0.79	TF
	T3-06		0.77		TF
1.0	T1-10		1.11		TF
	T2-10	88464	1.04	1.02	RER
	T3-10		0.92		TF

Legenda: TF = Rottura da taglio nell'area di unione elemento/malta su una faccia.  
 T2F = Rottura da taglio nell'area di unione elemento/malta divisa tra due facce dell'elemento.  
 RER = Rottura negli elementi resistenti.

Figura 3  
 Linea di tendenza usata per trovare angolo d'attrito e valore di coesione.



rispettivamente pari a 0.30 N/mm<sup>2</sup> ( $f_{vk0}$ ) e 0.52 ( $\alpha_k$ ).

Trovando invece i valori caratteristici attraverso l'Allegato 1, considerando la differenza tra il valore ottenuto sperimentalmente ed il valore del punto della retta, nel rispettivo livello di precompressione, otteniamo l'angolo d'attrito pari a 0.56 ( $\alpha_k$ ) ed una coesione pari a 0.33 MPa ( $f_{vk0}$ ). Per quanto riguarda il confronto con la norma

vigente, l'NTC del 2008 fornisce i valori di resistenza caratteristica a taglio, in assenza di carichi verticali, attraverso una tabella che riporta però poche combinazioni possibili tra elementi resistenti e malta.

Diversa è la formulazione prescritta dall'EC6 che, rifacendosi alla tabella riportata a pagina seguente (Tabella 4), considera la resistenza a taglio dovuta principalmente al contributo della

Tabella 3 - Valori per il calcolo della resistenza a taglio della muratura data la resistenza caratteristica dell'elemento resistente e la classe della malta (cap 11.10.3 delle NTC2008) - modificata Tabella 11.10.VII

Tipo di elemento resistente	Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento	Classe di malta	$f_{vk0}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Laterizio pieno e semipieno	$f_{bk} > 15$	M10 ≤ M ≤ M20	0.30
	$7.5 < f_{bk} \leq 15$	M5 ≤ M < M10	0.20
	$f_{bk} \leq 7.5$	M2.5 ≤ M < M5	0.10
Calcestruzzo; Silicato di calcio;	$f_{bk} > 15$	M10 ≤ M ≤ M20	0.20
	$7.5 < f_{bk} \leq 15$	M5 ≤ M < M10	0.15
Cemento autoclavato;			
Pietra naturale squadrata.	$f_{bk} \leq 7.5$	M2.5 ≤ M < M5	0.10

Tabella 4 - Valori per il calcolo della resistenza a taglio della muratura data la classe della malta.  
Modificato da Prospetto 3.4, cap 3.6.2 dell'EC6

Elementi per muratura	Malta ordinaria di classe di resistenza data		Malta per strati sottili (giunto orizzontale $\geq 0.5$ mm e $\leq 3$ mm)	Malta alleggerita
Laterizio	M10-M20	0.30	0.30	0.15
	M2.5-M9	0.20	0.30	0.15
	M1-M2	0.10	0.30	0.15
Silicato di calcio	M10-M20	0.20	0.40	0.15
	M2.5-M9	0.15	0.40	0.15
	M1-M2	0.10	0.40	0.15
Calcestruzzo vibrocompresso	M10-M20	0.20	0.30	0.15
Calcestruzzo aerato autoclavato	M2.5-M9	0.15	0.30	0.15
Pietra artificiale e pietra naturale a massello	M1-M2	0.10	0.30	0.15

malta, e non all'elemento resistente. Successivamente si è considerato quindi il valore tabellare maggiormente cautelativo per la formulazione dell'NTC (pari a  $f_{vk0} = 0.2$  N/mm<sup>2</sup>), e quello espresso nella tabella (Tabella 4) per l'EC6 (pari a  $f_{vk0} = 0.3$  N/mm<sup>2</sup>). L'NTC del 2008 e l'EC6 prescrivono di calcolarsi la resistenza caratteristica a taglio attraverso la seguente formula:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4\sigma \quad (1)$$

$f_{vk0}$	Pari a 0.2 N/mm <sup>2</sup> come da tabella NTC Pari a 0.3 N/mm <sup>2</sup> come da tabella EC 6 (Tabella 5)
0.4	Valore dell'angolo di attrito imposto dall'NTC ed EC6
$\sigma_n$	Valore di precompressione

Calcolandosi invece la resistenza iniziale a taglio in assenza di precompressione, dai dati sperimentali invece che da tabella, seguendo l'NTC 2008 otteniamo  $f_{vk0} = 0.7 \cdot 0.38 = 0.266$  N/mm<sup>2</sup> mentre seguendo la UNI EN 1052-3 risulta  $f_{vk0} = 0.8 \cdot 0.38 = 0.3$  N/mm<sup>2</sup>. La formulazione per la resistenza caratteristica a taglio calcolata sperimentalmente diventa quindi:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.52\sigma \quad (2)$$

NTC 2008	
$f_{vk0}$	Pari a 0.266 N/mm <sup>2</sup> (NTC 2008) Pari a 0.3 N/mm <sup>2</sup> (UNI EN 1052-3)
0.52	Valore dell'angolo di attrito imposto dall'NTC
$\sigma_n$	Valore di precompressione

Delle tre diverse formulazioni si può notare come la formulazione per calcolarsi la resistenza iniziale a taglio in assenza di precompressione, partendo dal dato sperimentale e seguendo l'NTC 2008, sia la più restrittiva. Si può anche notare che il valore di  $f_{vk0}$  calcolato seguendo la UNI EN 1052-3 risulta essere uguale, e quindi confermare, la scelta di considerare valida la tabella dell'EC6 per l'attribuzione del valore della resistenza iniziale a taglio in assenza di attrito in assenza di prove sperimentali.

I risultati delle tre diverse formulazioni, confrontate con i valori caratteristici (calcolati secondo l'Allegato 1) di resistenza a taglio ottenuti, sono di seguito esposti (Tabella 5).

Come si può evincere dalla tabella sotto riportata, i valori ottenuti dalla UNI EN 1052-3 sono quelli che più si avvicinano a quelli ottenuti sperimentalmente; si può notare inoltre che i valori tabellari delle NTC e EC6 sono nettamente a favore di sicurezza rispetto a quelli sperimentali.

Tabella 5 - Riassume le diverse formulazioni ottenute ed i risultati ottenuti

Formulazione	Formula	Precompressione (N/mm <sup>2</sup> )		
		0.2	0.6	1.0
Valore tabellare da NTC2008	$f_{vk} = 0.20 + 0.40 \cdot \sigma_n$	0.36	0.44	0.60
Valore tabellare da EC6	$f_{vk} = 0.30 + 0.40 \cdot \sigma_n$	0.38	0.54	0.70
Valore caratteristico da NTC	$f_{vk} = 0.27 + 0.52 \cdot \sigma_n$	0.37	0.58	0.79
Valore caratteristico da UNI EN 1052-3	$f_{vk} = 0.30 + 0.52 \cdot \sigma_n$	0.40	0.61	0.82
<b>Valore caratteristico sperimentale <math>f_{vk}</math></b>	<b><math>f_{vk} = 0.33 + 0.56 \cdot \sigma_n</math></b>	<b>0.44</b>	<b>0.67</b>	<b>0.89</b>

### 5. Prove di compressione monoassiale monotona

La prova di compressione monoassiale è stata eseguita su n. 8 campioni. La normativa di riferimento per le modalità di prova è la UNI EN 1052-1 (2001).

Per ogni test è stato registrato il carico e gli spostamenti verticali ed orizzontali sulle due facce principali e su quelle laterali, con lo scopo di ottenere, in fase di analisi, i valori medi di resistenza e del modulo elastico a compressione. Le serie di muri per prove di compressione (cicliche e monotone) è stata realizzata nel periodo compreso tra il 08/04 e 12/04/2013 utilizzando per tutti i campioni le medesime modalità costruttive e gli stessi materiali. I campioni sono costituiti in tutto da sette corsi di blocchi, per un totale di 24 blocchi, ed assumono le dimensioni nominali di 1191 mm di larghezza, 1122 mm di altezza e 304 mm di spessore. Si distinguono due tipologie di muretti in base all'armatura inserita: la prima presenta

2 barre  $\phi 16$  con interasse 900 mm come armatura verticale e due staffe  $\phi 6$  poste a distanza di tre blocchi (486 mm); la seconda ha solo le due staffe. (Figura 5).

#### 5.1 Setup up e metodologie di prova

Le prove sono state eseguite su n. 8 pannelli, utilizzando una pressa idraulica Amsler da 10 MN, dotata di piatto superiore articolato (Figura 5). I test meccanici sono stati eseguiti in controllo di spostamento, applicando un precarico generalmente pari a pochi kN, valore in corrispondenza del quale sono stati azzerati gli strumenti (tale fase consente un adeguato assetto degli strumenti per la misurazione delle deformazioni impiegati nella prova), e procedendo quindi a caricare il provino monotonicamente sino a rottura. Al raggiungimento del carico massimo si è lasciato agire il carico fino a circa l'70-80% del valore di picco (compatibilmente con lo stato di danneggiamento conseguito), al fine di registrare l'effettiva ridu-

Figura 4  
Tipologie dei campioni testati a compressione.

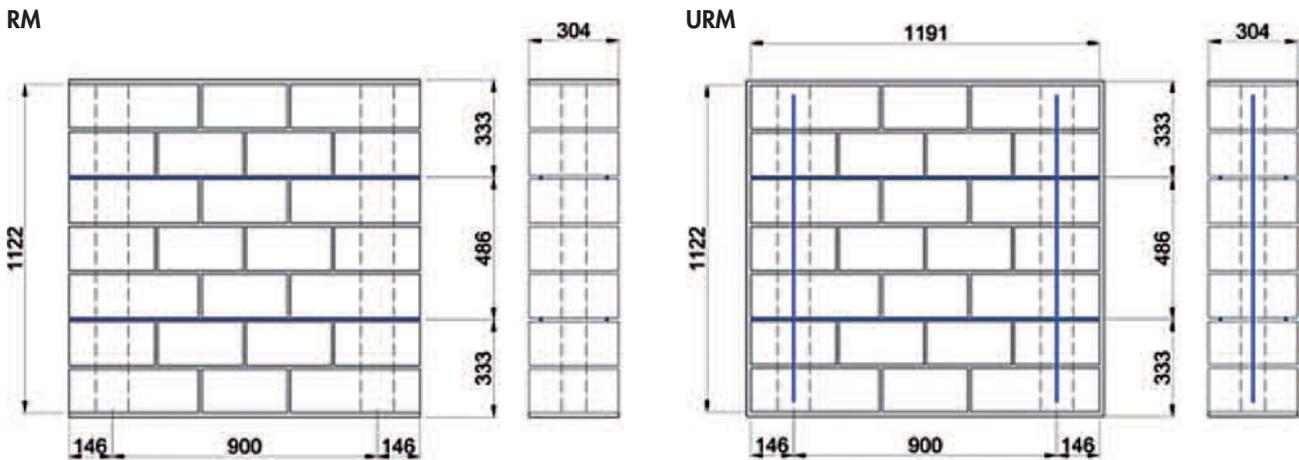
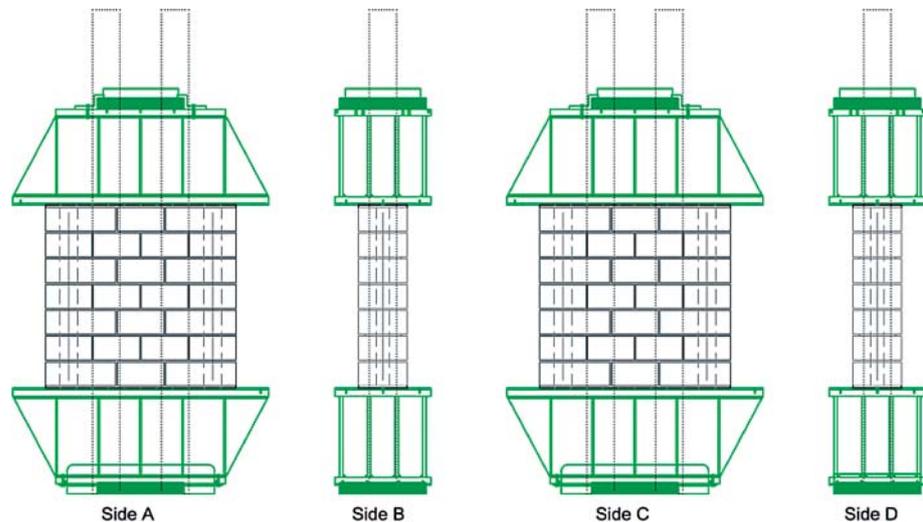


Figura 5  
Pressa Amsler per l'esecuzione delle Compressioni monotone in direzione perpendicolare ai giunti di malta.



zione di carico per danneggiamento proprio del pannello. Solo allora si è operato manualmente sulla mandata idraulica per allontanare le piastre di carico e scaricare del tutto il pannello.

### 5.2 Strumentazione applicata

I campioni sono stati strumentati con dieci trasduttori induttivi di spostamento cinque posizionati orizzontalmente, altrettanti verticalmente. Di seguito la loro posizione sui provini.

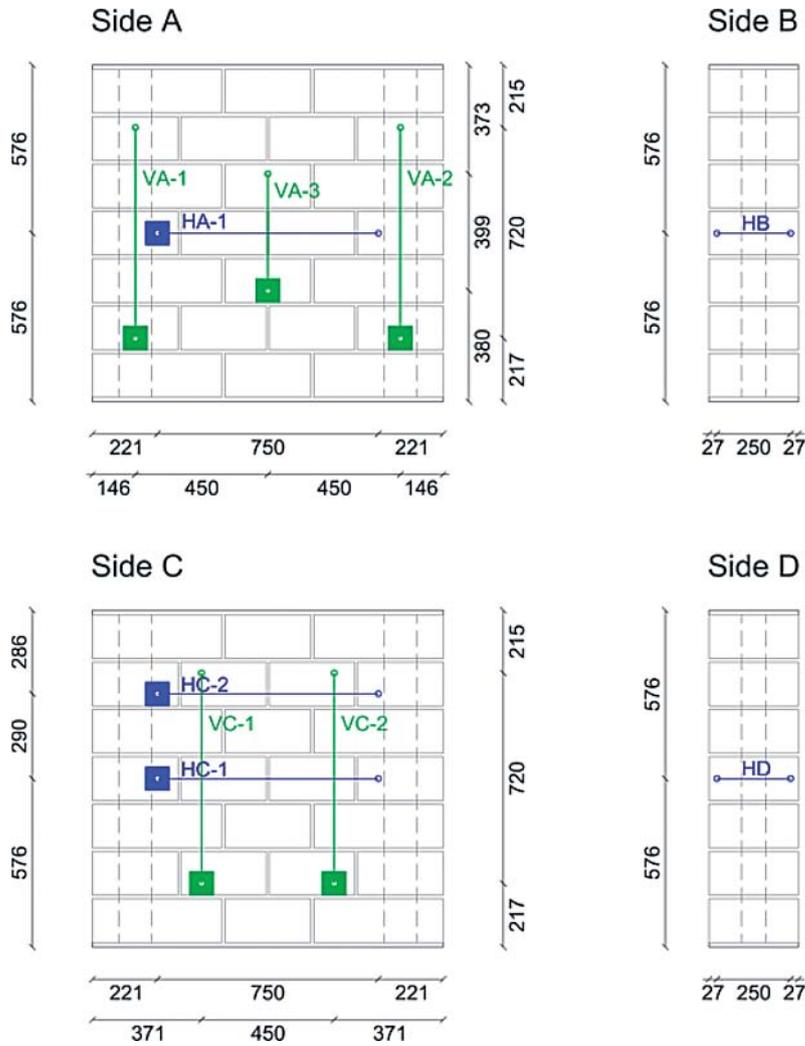


Figura 6  
Set-up della strumentazione per le prove di compressione monoassiale in direzione perpendicolare ai giunti di malta.



**5.3 Risultati ottenuti**

Successivamente vengono riportati alcuni grafici

Tensione-Deformazione dei campioni studiati, con la seguente legenda:

Strumenti sul lato A: linea continua	VA_1	VA-2	VA-3	HA-1	
Strumenti sul lato B: linea tratteggiata	VC_1	VC_2	HA-1	HC-1	HC-2
Strumenti sul lato C e D	HB	HD			

Figura 7  
Grafici tensione-deformazione delle prove di compressione. Con deformazioni positive gli strumenti in orizzontale; con deformazioni negative in verticale.

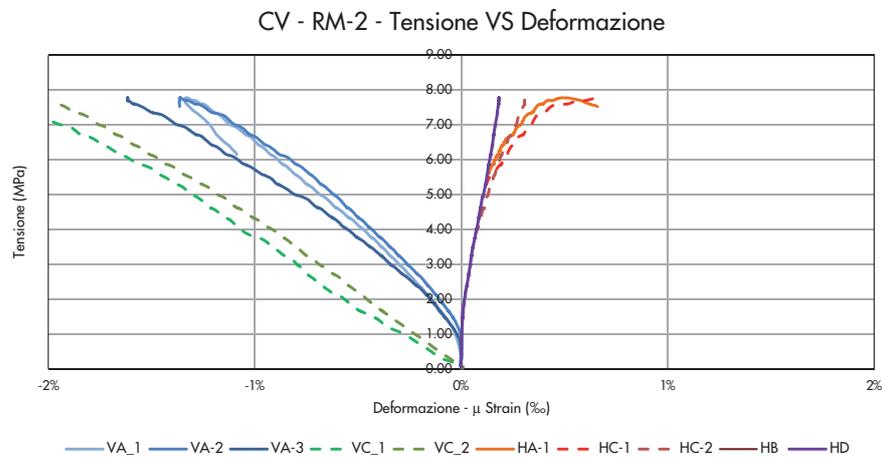
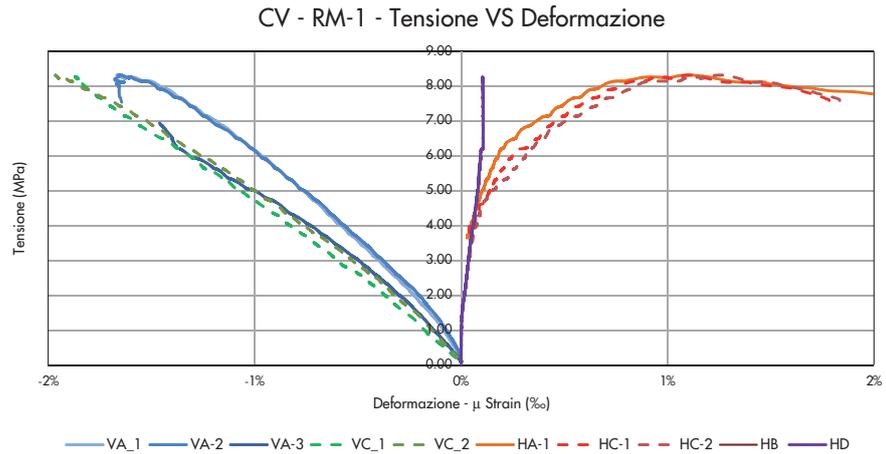
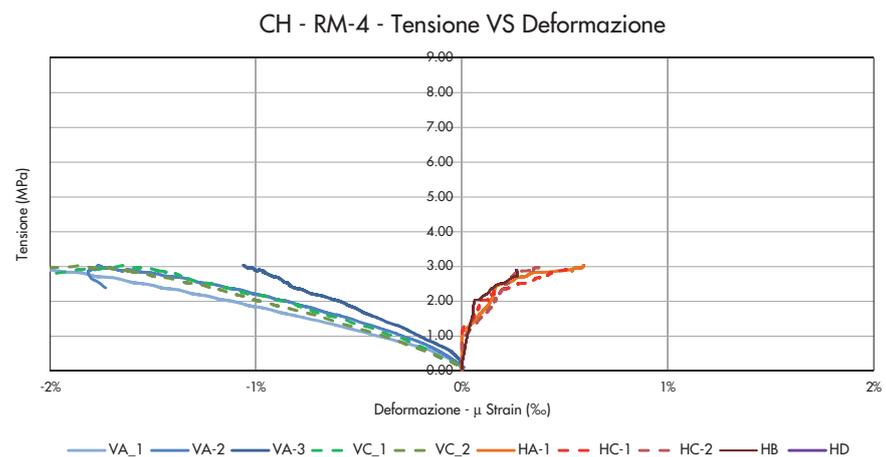


Figura 8  
Grafici tensione-deformazione delle prove di compressione. Con deformazioni positive gli strumenti in orizzontale; con deformazioni negative in verticale.



Come si può vedere dai grafici da Figura 8 a Figura 11 è evidente la differenza di tensione massima che hanno avuto i provini caricati perpendicolarmente ai giunti di malta e quelli invece parallelamente ad essi, raggiungendo, i primi, una tensione più che doppia. Come ci si aspettava l'elemento resistente reagisce meglio quando il carico è applicato parallelamente ai

fori del blocco, diversamente da quando si ha il carico perpendicolarmente alle facce laterali per il quale si ottiene uno schiacciamento veloce delle cartelle.

Di seguito sono riportati i quadri fessurativi a collasso dei vari campioni (Figura 11) con alcune foto del danneggiamento subito (Figura 12).

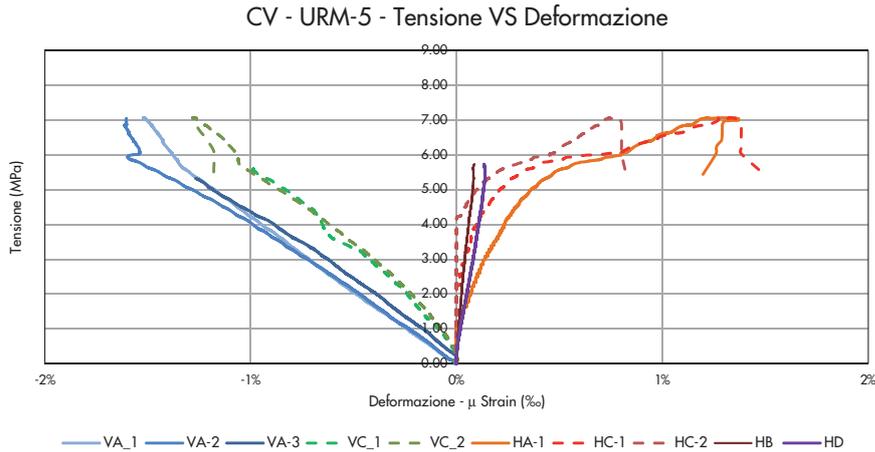


Figura 9  
Grafici tensione-deformazione delle prove di compressione. Con deformazioni positive gli strumenti in orizzontale; con deformazioni negative in verticale.

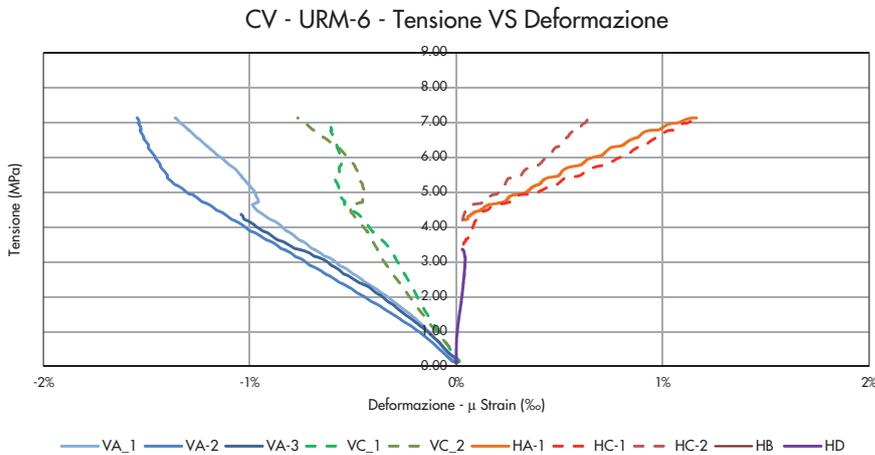


Figura 10  
Grafici tensione-deformazione delle prove di compressione. Con deformazioni positive gli strumenti in orizzontale; con deformazioni negative in verticale.

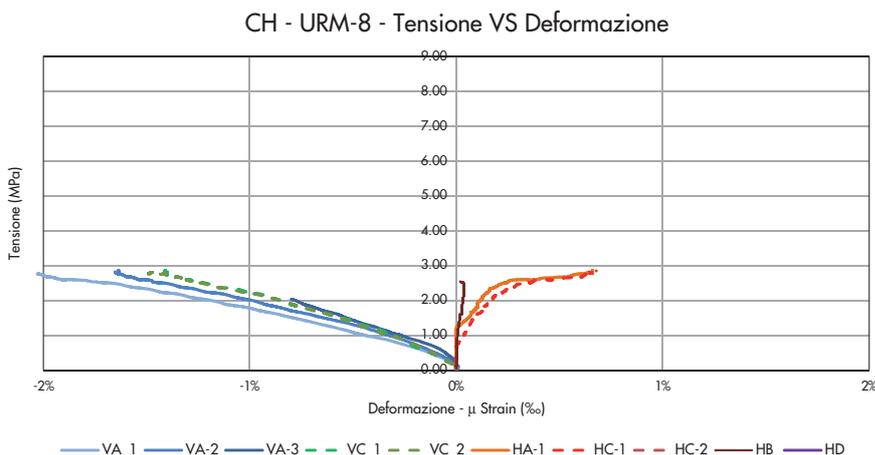


Figura 12  
 Quadro fessurativo a  
 collasso di tutti i campioni  
 RM testati a compressione.

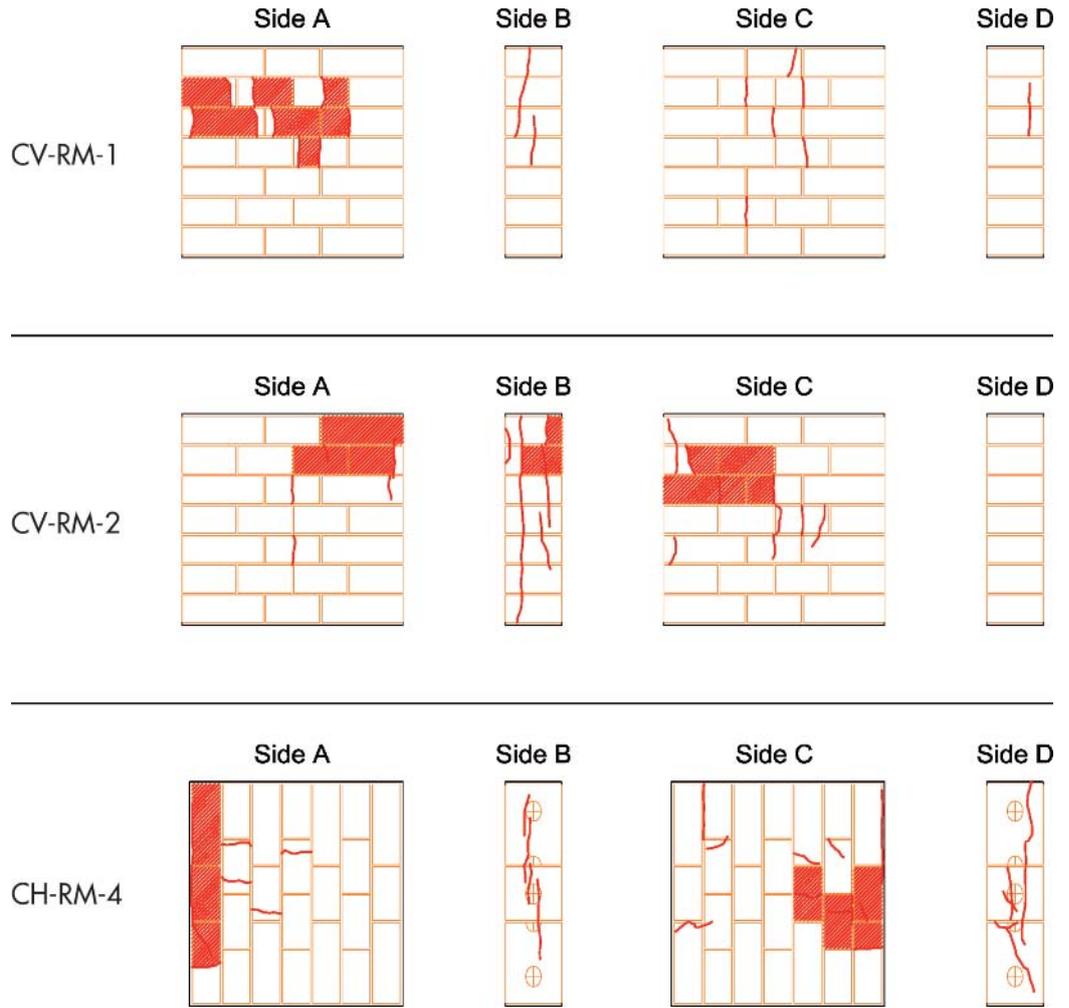


Figura 13  
 Foto del danneggiamento di  
 tutti i campioni RM testati a  
 compressione.



Come da normativa si è calcolato il modulo elastico di Young (E) come valore della pendenza della retta secante al terzo della tensione massima subita dal provino. Per una maggiore accuratezza sono stati anche calcolati i valori di E alla secante a 2/3 della tensione massima e tra 1/3 ed i 2/3 della tensione massima. Viene riportato graficamente la metodologia impiegata, precedentemente descritta (Figura 13).

$$\nu = \frac{\epsilon_{orizzontale}}{\epsilon_{verticale}} \quad (3)$$

Di seguito viene riportato uno schema che mette a confronto i risultati ottenuti con quelli prescritti dall'NTC 2008 (Tabella 6). Dopo essere stata calcolata la media della resi-

stenza ottenuta sperimentalmente dei campioni testati in uguali condizioni di carico, è stata ricavata la resistenza caratteristica come da UNI EN 1052-1 (2001) che prescrive la determinazione di tale valore come il minore tra la resistenza a compressione media sperimentale divisa per 1.2, ed il valore più basso a compressione dei provini testati (Figura 13) messa poi a confronto con il valore dalla tabella presente nell'NTC2008 al capitolo 11.10.3.; per il valore della resistenza a compressione degli elementi resistenti è stata calcolata la media dei valori indicati nelle schede tecniche.

Nell'Eurocodice 6 invece, viene data la seguente formula per il calcolo della resistenza caratteristica a compressione della muratura partendo dai valori di resistenza dell'elemento resistente e della malta:

$$f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3} \quad (4)$$

dove:

$f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione; espressa in Newton al millimetro quadrato;

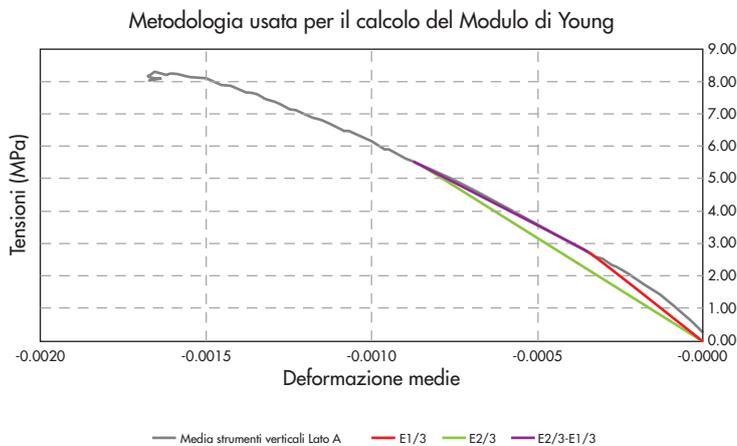


Figura 13  
Modalità di calcolo di E.

Tabella 6 - Valori per il calcolo della resistenza a compressione della muratura data la resistenza caratteristica dell'elemento resistente e della malta (cap 11.10.3 dell'NTC2008. Viene concessa l'interpolazione lineare per trovare eventuali valori non presenti in tabella - modificata Tabella 11.10.V

Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento N/mm <sup>2</sup>	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2.5
2.0	1.2	1.2	1.2	1.2
3.0	2.2	2.2	2.2	2.0
5.0	3.5	3.4	3.3	3.0
7.5	5.0	4.5	4.1	3.5
10.0	6.2	5.3	4.7	4.1
15.0	8.2	6.7	6.0	5.1
20.0	9.7	8.0	7.0	6.1
30.0	12.0	10.0	8.6	7.2
40.0	14.3	12.0	10.4	--

- $K$  è una costante che si può ricavare dalla tabella del prospetto 3.3: questa viene scelta in base alla tipologia dell'elemento resistente e dal gruppo di appartenenza dello stesso (il gruppo è identificabile dalla tabella del prospetto 3.1 in base alle caratteristiche geometriche del blocco);
- $f_b$  è la resistenza media a compressione normalizzata degli elementi, nella direzione dei carichi applicati, espressa in Newton al millimetro quadrato;
- $f_m$  è la resistenza a compressione della malta, espressa in Newton al millimetro quadrato.

Come si può evincere dalla Tabella 7, le resistenze caratteristiche calcolate secondo la UNI EN 1052-1 sono superiori rispetto ai metodi di calcolo della resistenza caratteristica a partire dalle resistenze dei componenti, sia utilizzando il metodo proposto dalle NTC sia con la formulazione contenuta nell'EC6.

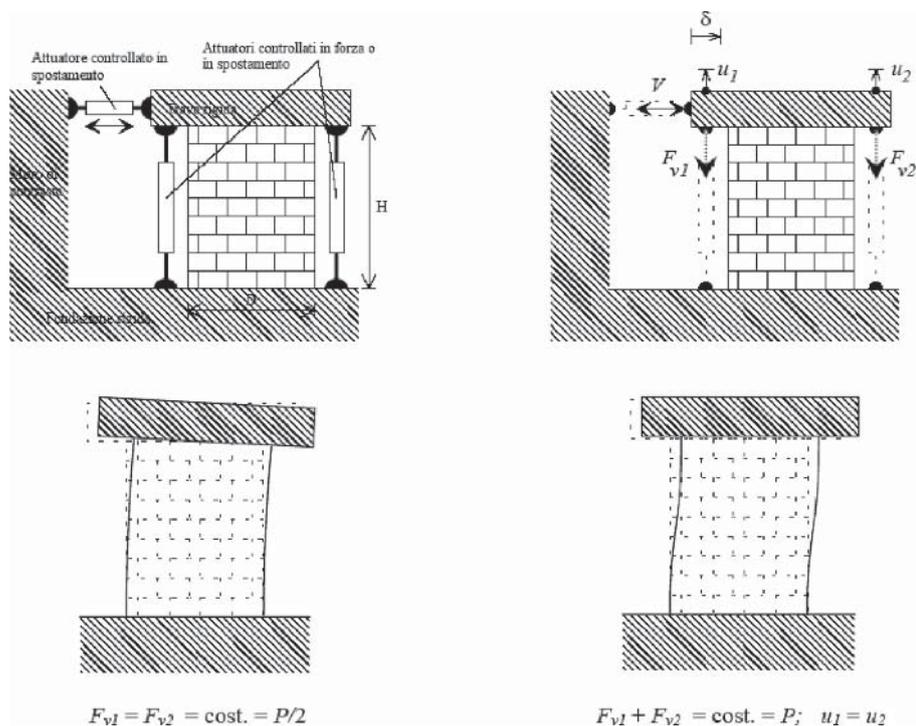
### 6. Prove di taglio-compressione

Sono state eseguite su 8 campioni di cui quattro tozzi, di dimensione media di altezza nominale pari a 1470 mm, larghezza 1340 mm e profondità 300 mm, e 4 snelli di dimensioni 1470 m di altezza, 890 m larghezza e profondità 300 mm. La prova consiste nell'applicazione di step di spostamenti ciclici nel piano per ogni livello di drift, successivamente all'applicazione di una forza di compressione prestabilita, in direzione perpendicolare al campione. Al fine di caratterizzare la risposta di elementi strutturali in muratura sotto azioni cicliche (sismiche) è necessario eseguire, come recentemente confermato anche da un parere tecnico del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (DPC SSN 0034852, 2003), prove cicliche di compressione e taglio. Per questo tipo di prova è presente solo una raccomandazione RILEM (RILEM TC 76-LUM, 1991) a livello prenormativo, che riporta sinteticamente le due procedure di prova più comunemente ese-

Tabella 7 - Confronto dei risultati ottenuti con le prescrizioni dell'NTC2008

Campioni	$\sigma_{max}$ media sperimentale (MPa)	Resistenza caratteristica dei blocchi	Caratteristiche malta	NTC2008		EC6		Resistenza caratteristica sperimentale
Soggetti a carico monotono fino a rottura in direzione $\perp$ ai giunti di malta	7.57	Dir // ai fori 10.87	M10	5.54	✓	4.60	✓	6.31
Soggetti a carico monotono fino a rottura in direzione // ai giunti di malta	2.95	Dir $\perp$ ai fori 2.52	M10	1.7	✓	1.65	✓	2.28

Figura 14 Schematizzazione delle due tipiche configurazioni per l'esecuzione di prove di compressione e taglio (da Magenes, 2000).



guide e accettate universalmente, nelle quali i campioni di muratura vengono testati come mensole con una estremità libera di ruotare oppure come travi a doppio incastro (Figura 14).

I campioni sono costituiti in tutto da nove corsi di blocchi, per un totale di 32 blocchi. Si distinguono due tipologie di muretti in base all'armatura inserita: la prima è caratterizzata dalla presenza di due barre  $\phi 16$  di armatura verticale (con interasse 1050 mm per i campioni tozzi e 600 mm per quelli snelli) e da quattro staffe  $\phi 6$  poste a distanza reciproca come da Figura 16; la seconda è uguale alla prima distinguendosi per la presenza di una sola barra d'armatura verticale  $\phi 16$  per lato, mentre rimane invariata la quantità delle staffe. Successivamente vengono riportate le differenze tra i campioni testati per caratteristiche geometriche e disposizione dell'armatura, presente in entrambe le tipologie (Figura 15).

### 6.1 Setup up e metodologia di prova

L'apparato di prova è stato interamente montato sul solaio reagente del laboratorio di spessore 1000 mm, assunto come infinitamente rigido. La soletta di base è stata fissata al solaio rigido del

laboratorio mediante 4 tiranti di diametro 42 mm e due da 52 mm, tensionati mediante l'utilizzo di martinetti idraulici dall'intradosso. L'esatta esecuzione del fissaggio del campione a terra è risultata di fondamentale importanza per la corretta esecuzione del test.

Il precarico verticale è applicato al campione per mezzo di due martinetti dalla capacità di 600 kN, accoppiati con il cordolo superiore attraverso una trave HE 300 collegata a sua volta all'apparato di spinta, appena citato, con delle guide a rulli così da permettere la rotazione libera della parte superiore del campione. Lo spostamento orizzontale viene trasmesso dall'attuatore orizzontale, contrastato da un puntone in acciaio direttamente connesso con il solaio rigido del laboratorio, mediante una trave tozza a forcina collegata a due bielle di carico (Figura 17), collegate a loro volta ad un perno di acciaio di diametro di 60 mm collocato in un foro al centro della trave di ripartizione del carico di cemento armato.

Dopo aver posizionato il campione sotto l'apparato di prova ed averlo fissato al solaio, è stato caricato sino a raggiungere il livello di compres-

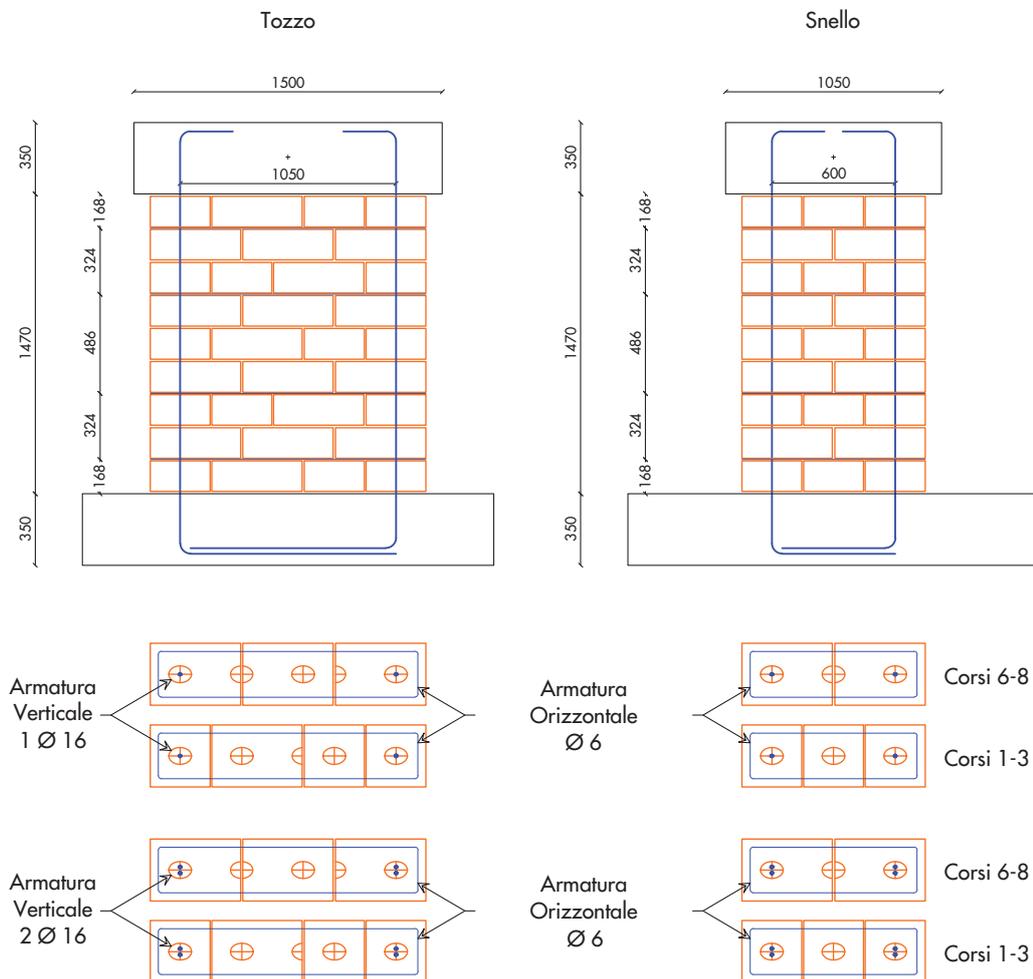


Figura 15  
Posizione dell'armatura in entrambe le tipologie di campioni.

Figura 16  
Foto del set up di prova  
(a sinistra).

Figura 17  
Sistema di spinta  
orizzontale (a destra).



sione assiale stabilita. Successivamente è stato collegato il sistema di spinta orizzontale con la trave tozza a forcella di ripartizione del carico. La prova continua con l'applicazione di spostamenti ciclici di ampiezza crescente e con picchi ripetuti tre volte per ogni ampiezza di spostamento (Figura 18) fino a rottura. Si sono scelti due livelli di compressione pari a  $0.6 \text{ N/mm}^2$  e  $0.8 \text{ N/mm}^2$  per ognuno dei quali sono stati testati tutte le possibili configurazioni di armatura e grandezza di paramento murario (Figura 19).

Tabella 8 - Schema riassuntivo delle prove a taglio-compressione

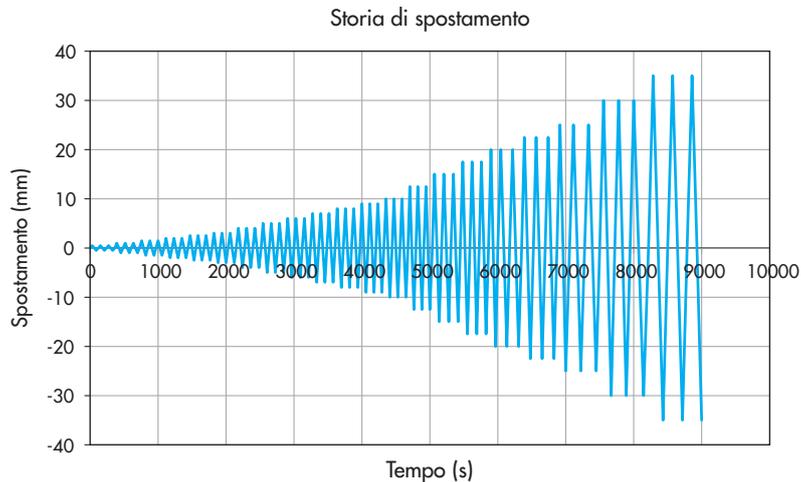
Tozzi	Compressione $0.6 \text{ N/mm}^2$	1 $\phi 16 \text{ mm}$
		2 $\phi 16 \text{ mm}$
	Compressione $0.8 \text{ N/mm}^2$	1 $\phi 16 \text{ mm}$
		2 $\phi 16 \text{ mm}$
Snelli	Compressione $0.6 \text{ N/mm}^2$	1 $\phi 16 \text{ mm}$
		2 $\phi 16 \text{ mm}$
	Compressione $0.8 \text{ N/mm}^2$	1 $\phi 16 \text{ mm}$
		2 $\phi 16 \text{ mm}$

## 6.2 Strumentazione applicata

Parte della strumentazione prevista prevede il posizionamento dei potenziometri a filo (HE1, HE2, HE3, HE4), dove è stata necessaria la costruzione di strutture di supporto, completamente isolate dal campione in esame, in modo tale da poter rilevare gli spostamenti secondo un sistema di riferimento esterno.

Al telaio è stata applicato un trasduttore magnetostrittivo MTS da 20 mm per il controllo di spostamento dell'attuatore orizzontale agente nel piano. Il controllo deformativo dei pannelli murari sottoposti a prova nel piano è stato possibile grazie all'utilizzo di otto trasduttori potenziometrici a stelo, posizionati direttamente sulla superficie del muro a quadrilatero rettangolo (Figura 19). Ai sistemi murari armati sono stati inseriti trasduttori di deformazione di tipo Strain Gauges atti al rilievo delle deformazioni delle barre d'armatura inserite al suo interno. Due di tali strumenti sono state montate alle barre verticali e alle due staffe centrali di armatura orizzontale (Figura 20).

Figura 18  
Grafico di progetto della storia di spostamento impressa dal martinetto orizzontale.



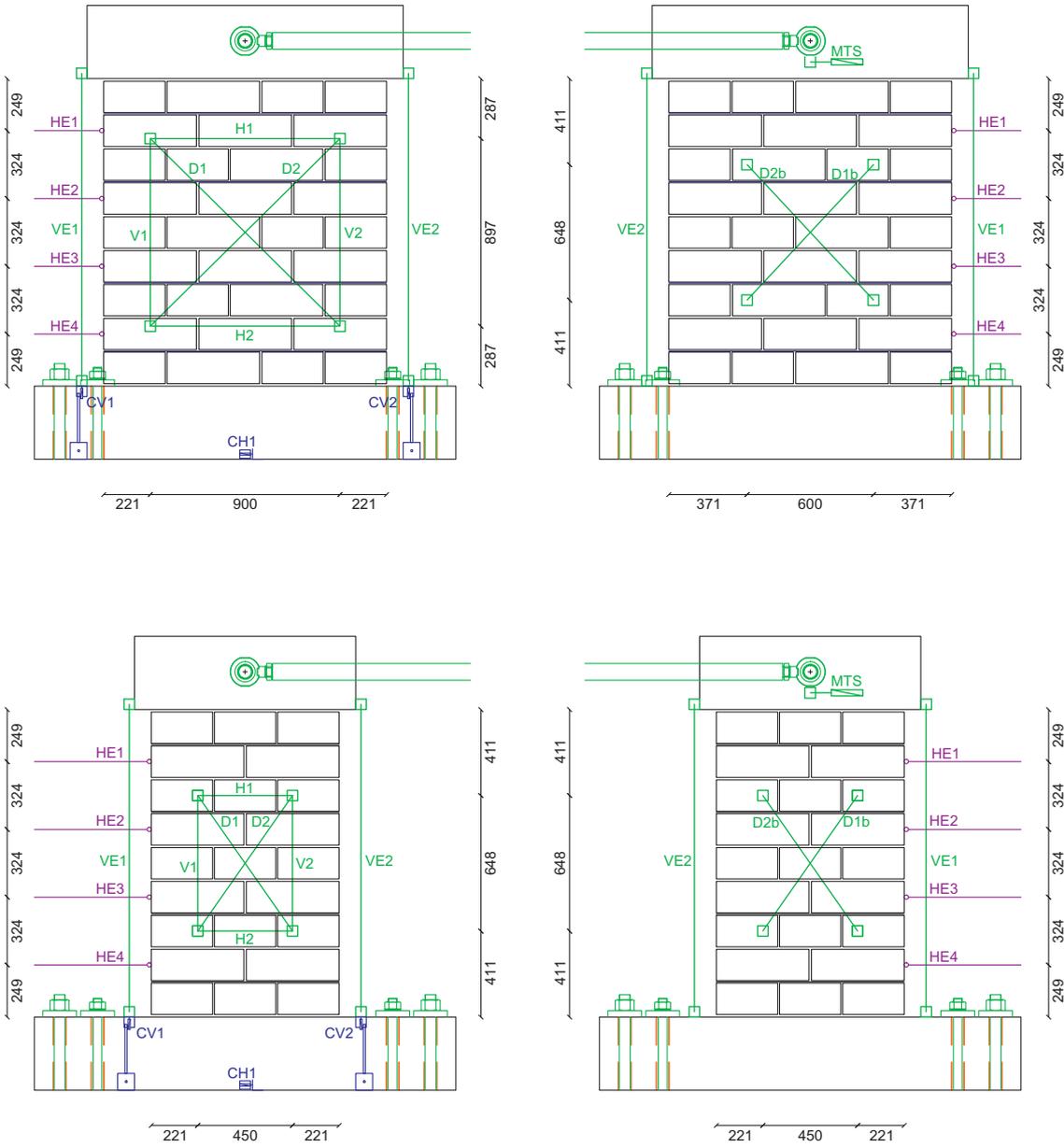


Figura 19  
Schema degli strumenti  
adottato per le prove  
di taglio-compressione.

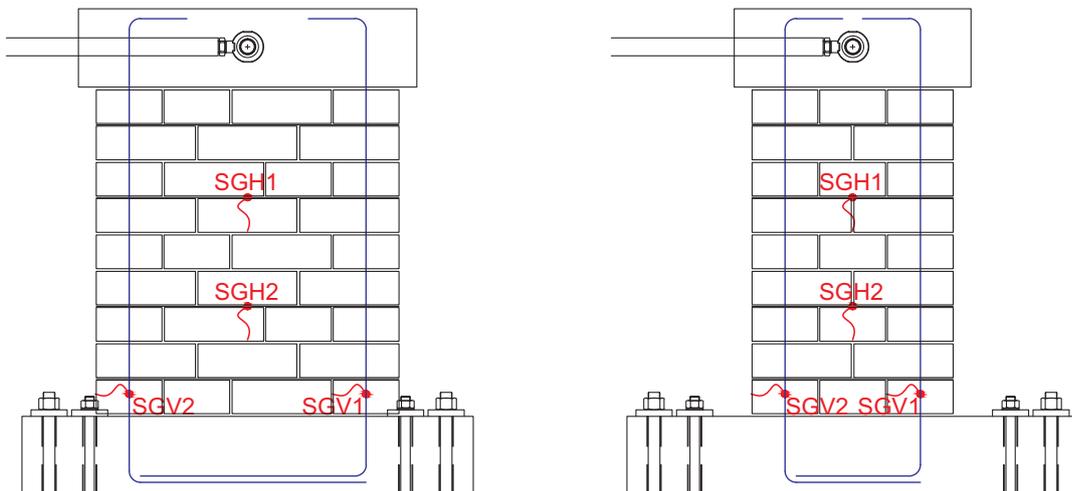


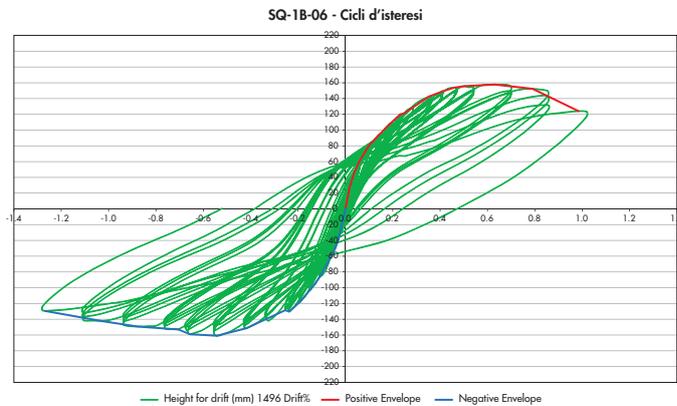
Figura 20  
Schema degli SG.

### 6.3 Risultati ottenuti

Per una migliore comprensione dei risultati riportati in seguito, viene spiegata la nomenclatura usata per distinguere i vari campioni testati:



Figura 21  
 Elaborazioni grafiche del  
 comportamento del  
 campione SQ-1B-06.



#### 6.3.1 SQ-1B-06

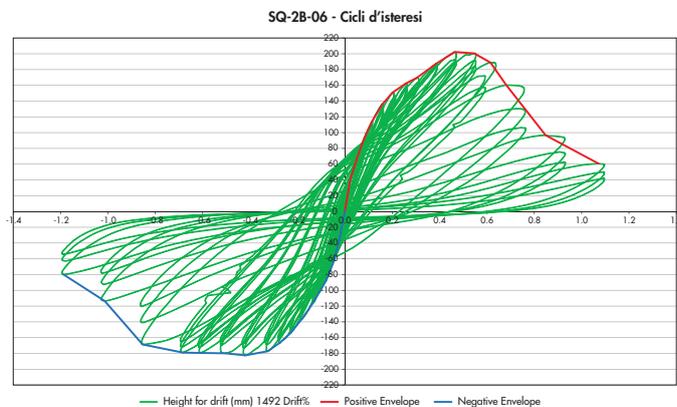
Il campione manifesta da subito le prime lesioni ai giunti di malta inferiori che successivamente si propagano fino al terzo corso; da  $6.2 \text{ mm}$  di spostamento si vengono a formare le prime leggere lesioni oblique. Infatti come è già stato precedentemente fatto notare, soprattutto nei campioni tozzi, si è instaurato nei muri con una sola barra di armatura verticale, oltre che un meccanismo a flessione, uno di leggero taglio. Resistenza e spostamento max:

Tipologia	Tozzo
Quantità armatura verticale	$1 \times \phi 16 \text{ mm}$
Carico di compressione	$0.6 \text{ N/mm}^2$
Meccanismo di rottura	Flessione-taglio

Tabella 9 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	158	-161
Spostamento alla $F_{\max}$ (mm)	9.43	-8.11
Drift alla $F_{\max}$ (%)	0.63	-0.54

Figura 22  
 Elaborazioni grafiche del  
 comportamento del  
 campione SQ-2B-06.



#### 6.3.2 SQ-2B-06

Il campione manifesta fin dal primo livello di drift, lesioni ai giunti di malta tra il cordolo inferiore ed il paramento murario. Si innesca un meccanismo di rottura a taglio, le cui lesioni a "X" sono ben visibili a partire dal ciclo da  $6.5 \text{ mm}$  e proseguono ad estendersi ed aggravarsi fino al valore di spostamento di  $12.5 \text{ mm}$  per cui abbiamo l'espulsione delle cartelle centrali del paramento, nella zona d'incontro delle due lesioni principali diagonali. Resistenza e spostamento max:

Tipologia	Tozzo
Quantità armatura verticale	$2 \times \phi 16 \text{ mm}$
Carico di compressione	$0.6 \text{ N/mm}^2$
Meccanismo di rottura	Taglio

Tabella 10 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	202	-182
Spostamento alla $F_{\max}$ (mm)	6.94	-6.28
Drift alla $F_{\max}$ (%)	0.47	-0.42

6.3.3 SQ-1B-08

Il campione manifesta fin dai primi livelli di drift piccole lesioni dei giunti di malta inferiori ai lati del paramento, fino al valore di 2.75 mm di spostamento per il quale si estendono interessando l'intera lunghezza dei primi 2 giunti di malta. Per i successivi step di spostamento assistiamo alla lesione dei giunti verticali per arrivare poi alle prime lesioni degli elementi resistenti nei drift successivi.

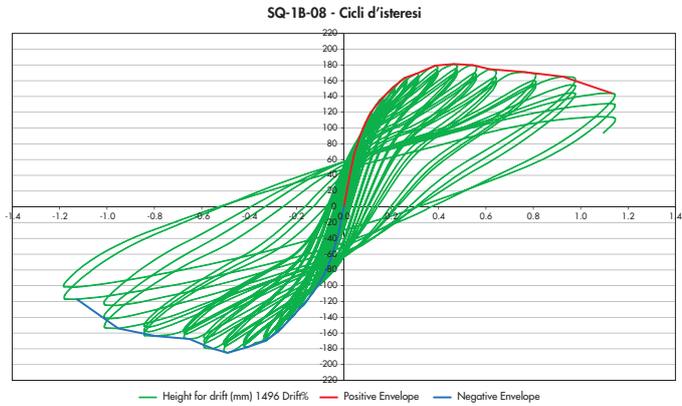
Come è già stato precedentemente fatto notare, soprattutto nei campioni tozzi, si instaura, oltre che un meccanismo a flessione, uno di leggero taglio.

Tipologia	Tozzo
Quantità armatura verticale	1 x $\phi$ 16 mm
Carico di compressione	0.8 N/mm <sup>2</sup>
Meccanismo di rottura	Flessione-taglio

Tabella 11 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	181	-185
Spostamento alla F <sub>max</sub> (mm)	6.95	-7.34
Drift alla F <sub>max</sub> (%)	0.46	-0.49

Figura 23  
Elaborazioni grafiche del comportamento del campione SQ-1B-08.



6.3.4 SQ-2B-08

Nel campione si è manifestata inizialmente una lesione principale del giunto inferiore di collegamento con il cordolo che si è estesa fino a coprire l'intera larghezza del paramento al finire del ciclo da 2 mm.

Dal ciclo di spostamento pari al 2.75 mm, si vengono ad aprire anche i giunti del primo e secondo corso di mattoni, mentre da quello successivo, si cominciano a lesionare gli elementi resistenti posti al centro del pannello. Le fessure dalla zona centrale cominciano a propagarsi verso gli spigoli formando le lesioni diagonali tipiche dell'instaurarsi di un meccanismo a taglio.

Tipologia	Tozzo
Quantità armatura verticale	2 x $\phi$ 16 mm
Carico di compressione	0.8 N/mm <sup>2</sup>
Meccanismo di rottura	Taglio

Tabella 12 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	215	-208
Spostamento alla F <sub>max</sub> (mm)	8.72	-8.00
Drift alla F <sub>max</sub> (%)	0.59	-0.54

Figura 24  
Elaborazioni grafiche del comportamento del campione SQ-2B-08.

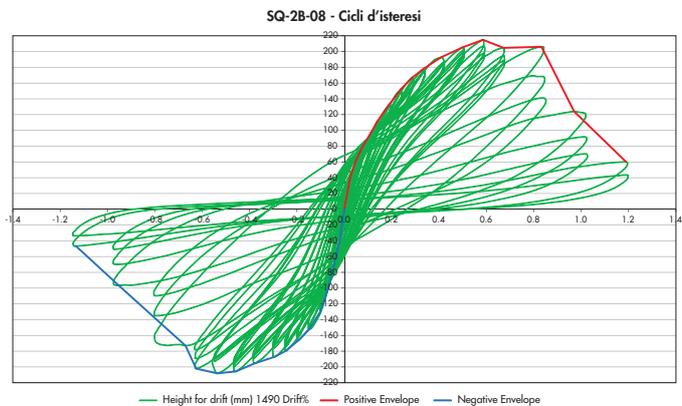
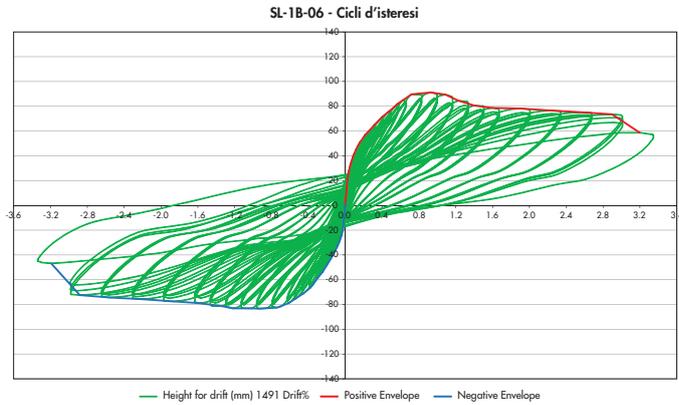


Figura 25  
Elaborazioni grafiche del  
comportamento del  
campione SL-1B-06.



### 6.3.5 SL-1B-06

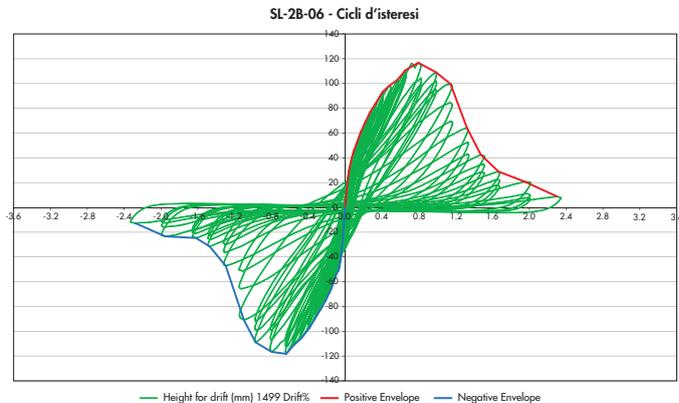
Nel campione possiamo assistere alla progressiva apertura totale dei giunti di malta, partendo da quello a contatto con il cordolo inferiore per poi salire fino ad arrivare al sesto corso con la contemporanea apertura di quelli verticali nella parte bassa del paramento (6.25 mm di spostamento). Al valore di drift successivo si aprono anche i giunti verticali più alti del quinto e sesto corso, assieme a poche lesioni del materiale resistente nella parte centrale del pannello. Al ciclo da 10 mm di spostamento assistiamo alla formazione delle prime profonde lesioni alla base del pannello, che interessano le prime due file di mattoni. Resistenza e spostamento max:

Tipologia	Snello
Quantità armatura verticale	1 x $\phi$ 16 mm
Carico di compressione	0.6 N/mm <sup>2</sup>
Meccanismo di rottura	Flessione

Tabella 13 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	91.1	-83.3
Spostamento alla $F_{max}$ (mm)	13.9	-14
Drift alla $F_{max}$ (%)	0.93	-0.94

Figura 26  
Elaborazioni grafiche del  
comportamento del  
campione SL-2B-06.



### 6.3.6 SL-2B-06

Il campione manifesta inizialmente delle sole lesioni che interessano i giunti di malta, sia orizzontali sia verticali, a salire dal primo corso fino al quinto per poi presentare le prime lesioni a taglio che hanno raggiunto gli angoli del muro. Al ciclo dei 15mm abbiamo l'espulsione di materiale sia agli angoli del paramento che nella parte centrale dello stesso. Resistenza e spostamento max:

Tipologia	Snello
Quantità armatura verticale	2 x $\phi$ 16 mm
Carico di compressione	0.6 N/mm <sup>2</sup>
Meccanismo di rottura	Taglio

Tabella 14 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	116.7	-118.2
Spostamento alla $F_{max}$ (mm)	11.9	-9.6
Drift alla $F_{max}$ (%)	0.79	-0.64

6.3.7 SL-1B-08

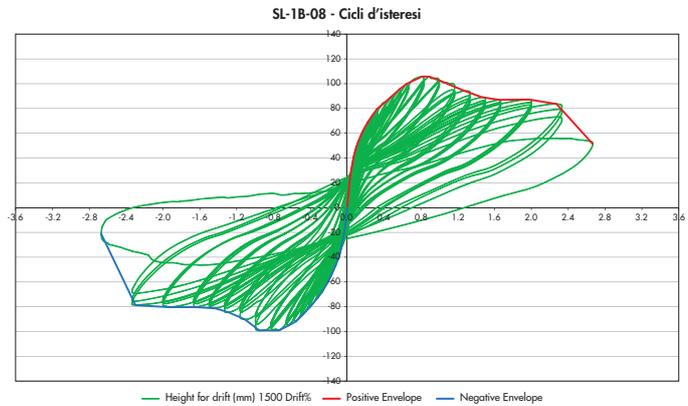
Il campione manifesta lesioni che interessano solo i giunti di malta orizzontali (fino al quinto corso) che poi si estendono anche a quelli verticali. Le prime fessure degli elementi resistenti le abbiamo dal ciclo di 10mm di spostamento, concentrandosi soprattutto nei primi due corsi, andando a danneggiare gli elementi resistenti alla base, negli angoli del pannello; quest'ultime lesioni hanno portato successivamente all'espulsione di materiale resistente del primo corso di mattoni. Resistenza e spostamento max:

Tipologia	Snello
Quantità armatura verticale	1 x $\phi$ 16 mm
Carico di compressione	0.8 N/mm <sup>2</sup>
Meccanismo di rottura	Flessione

Tabella 15 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	105.8	-99.1
Spostamento alla F <sub>max</sub> (mm)	12.22	-11.1
Drift alla F <sub>max</sub> (%)	0.81	-0.74

Figura 27  
Elaborazioni grafiche del comportamento del campione SL-1B-08.



6.3.8 SL-2B-08

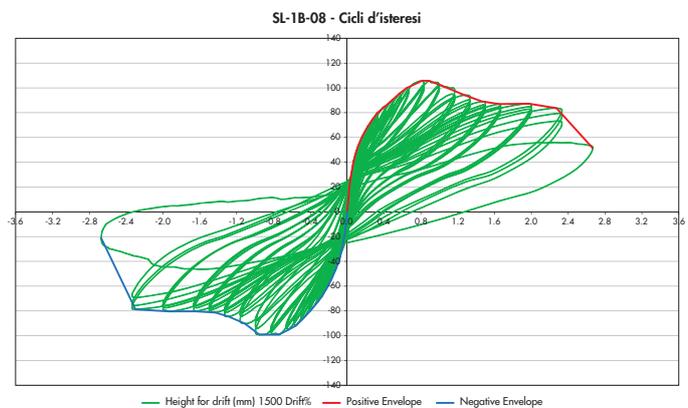
Nel campione assistiamo, all'inizio, solo all'apertura dei giunti orizzontali di malta fino al sesto corso; solo nei successivi step si vengono a formare lesioni degli elementi resistenti, inizialmente centrali rispetto al pannello, che poi si sviluppano estendendosi verso gli spigoli del paramento, inferiormente, mentre superiormente vanno a fermarsi nello spigolo del settimo corso. Questo è causato dal maggiore livello di compressione della prova, che ha fatto instaurare il meccanismo di rottura a taglio più nella parte inferiore del campione. Resistenza e spostamento max:

Tipologia	Snello
Quantità armatura verticale	2 x $\phi$ 16 mm
Carico di compressione	0.8 N/mm <sup>2</sup>
Meccanismo di rottura	Taglio

Tabella 16 - Comportamento del campione

	Ciclo positivo	Ciclo negativo
Forza max (kN)	126	-132
Spostamento alla F <sub>max</sub> (mm)	12.41	-11.71
Drift alla F <sub>max</sub> (%)	0.83	-0.78

Figura 28  
Elaborazioni grafiche del comportamento del campione SL-2B-08.



### 7. Conclusioni: confronto taglio compressioni

In seguito viene riportato il confronto tra i quadri fessurativi dei campioni testati al 0.6% e ultimo drift (Figura 29 e Figura 30).

Il primo fenomeno a cui si assiste fino ad un livello di drift pari al 0.18% ( $\pm 2.75$  mm), come risultato dell'effetto di "rocking", ovvero sia di rotazione come corpo rigido del pannello, è stata l'apertura di molteplici lesioni orizzontali nei primi giunti di malta, in particolar modo in quello di collegamento tra campione e cordolo inferiore. Queste lesioni hanno interessato però solo i giunti, non andando ad intaccare gli elementi resistenti che hanno cominciato a danneggiarsi per livelli di drift superiori.

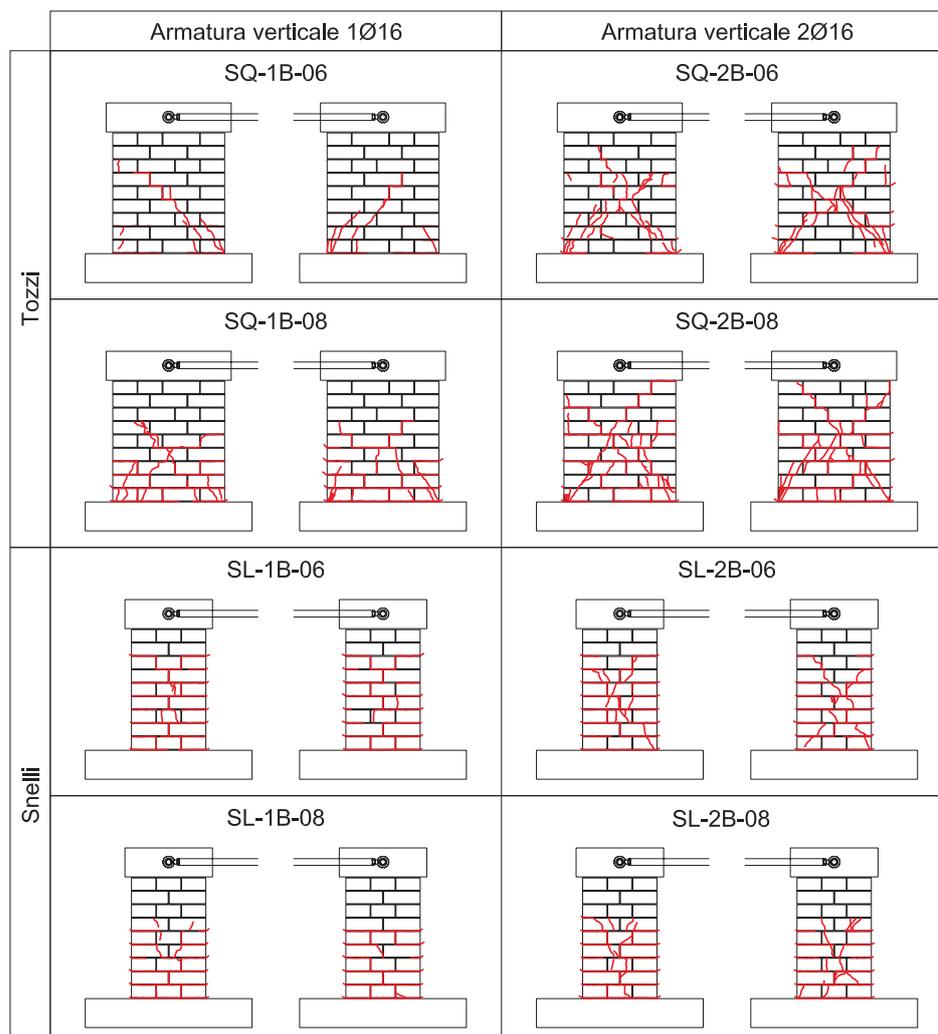
A livelli successivi di spostamento, il comportamento dei campioni si differenzia molto in base alla quantità di armatura usata per la loro realizzazione: in quelli aventi una sola barra  $\phi 16$  mm per lato assistiamo all'ulteriore apertura dei giunti di malta concentrandosi tra il secondo e terzo corso, fino al ciclo da 0.4% di drift ( $\pm 6.25$

mm) in cui comincia ad instaurarsi il meccanismo di tipo flessionale, con il danneggiamento dei primi elementi resistenti alla base dei muretti. Nei campioni caratterizzati da una maggiore quantità d'armatura invece, si sono registrate le prime fessure a taglio con lesioni degli elementi resistenti lungo le diagonali dei pannelli: queste si propagano, nei campioni con compressione 0.6 N/mm<sup>2</sup>, per tutta l'altezza del provino, restando invece più bassa nei campioni con compressione maggiore (0.8 N/mm<sup>2</sup>).

Dal ciclo corrispondente a 6.25 mm a quello da 10mm di spostamento (0.65% di drift) assistiamo sia al propagarsi delle fessure che partono dalla base in direzione diagonale, già esistenti nei campioni con maggiore sezione resistente d'acciaio, sia all'apertura di lesioni ad "X", tipiche di una rottura a taglio, anche nei provini che prima si erano danneggiati solamente a flessione (fenomeno particolarmente evidente nei campioni tozzi).

Nei livelli di drift successivi i meccanismi di rottura vengono evidenziati sempre di più, diffe-

Figura 29  
Quadro fessurativo al 0.6%  
livello di drift: nel grafico i  
campioni sono divisi in  
base alle loro caratteristiche  
geometriche; le colonne  
riuniscono i provini con  
armatura verticale uguale.



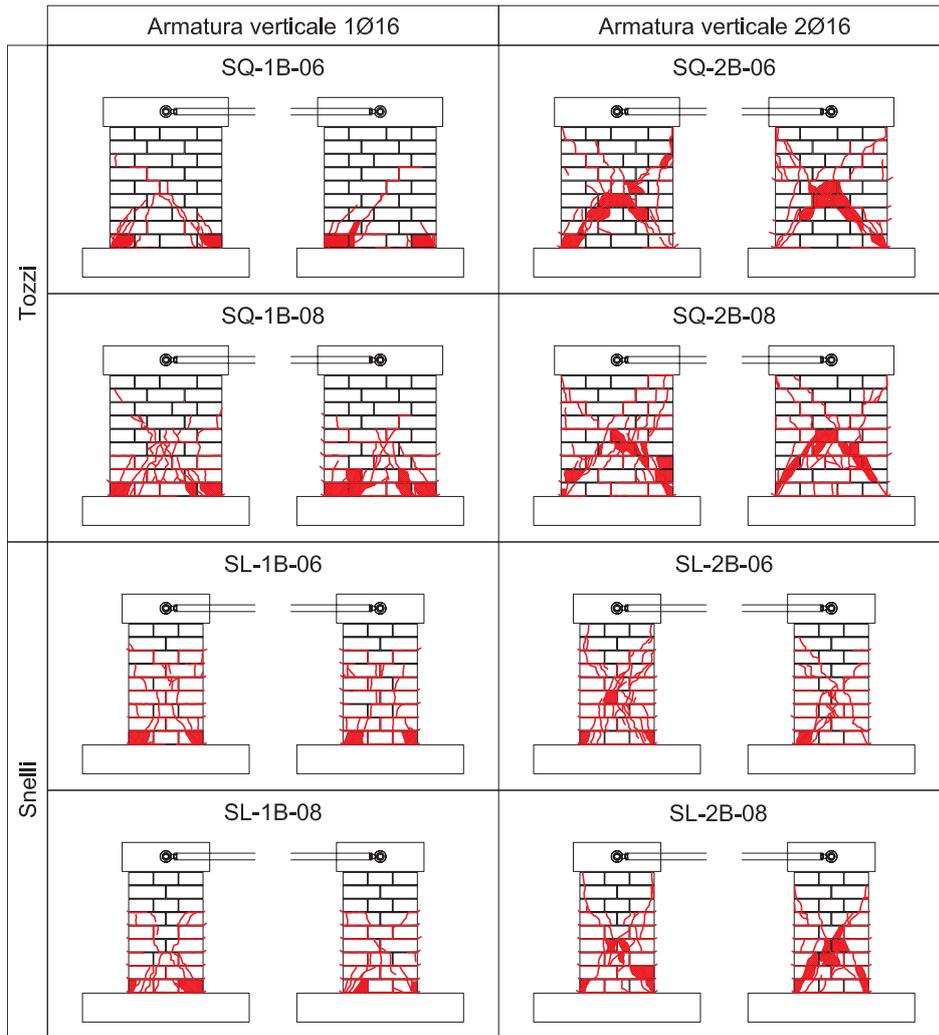


Figura 30  
 Quadro fessurativo al drift  
 ultimo: nel grafico i  
 campioni sono divisi in  
 base alle loro caratteristiche  
 geometriche; le colonne  
 riuniscono i provini con  
 armatura verticale uguale.

renziandosi tra le due tipologie di provini, con successiva espulsione di materiale resistente nei blocchi del primo corso per i campioni che hanno subito una rottura principalmente a flessione (con una minore percentuale di armatura), mentre al centro del pannello murario (all'incrocio delle due lesioni diagonali) per quelli in cui si è instaurato un meccanismo a taglio (con una maggiore percentuale di armatura).

Si può concludere che la quantità di sezione d'acciaio resistente (barre verticali) oltre alla geometria siano due elementi fondamentali che hanno influenzato il tipo di meccanismo di rottura instauratosi. Nei pannelli con solo una barra d'armatura verticale, ma con snellezza minore, assistiamo ad un comportamento misto, con la formazione dapprima di lesioni riconducibili ad un meccanismo a flessione e successivamente un leggero taglio durante la parte centrale della prova. La maggiore e minore compressione ha influito sulla posizione nella quale si sono formate le lesioni: infatti nei campioni a cui è stato applicato  $0.8 \text{ N/mm}^2$  si è assistito

all'apertura di fessure soprattutto nella parte inferiore del campione, interessando invece tutto il pannello per i test a  $0.6 \text{ N/mm}^2$ .

Si è poi constatato, alla fine di ogni test, il mantenimento del precarico che non ha mai richiesto l'intervento delle braghe di sicurezza a riprova dell'assoluta capacità, a fine vita del pannello, di evacuazione delle vite umane.

Si riporta anche una tabella che riassume a quale livello di drift si sono innescati i vari meccanismi di rottura visti precedentemente (Tabella 17, a pagina successiva). Come si può notare dalla tabella, tra i due meccanismi, è quello a taglio che si instaura prima. Per i campioni tozzi abbiamo la formazione delle prime lesioni diagonali a livelli di drift pari a  $0.4\%$  che, nei campioni con meno armatura verticale si trasforma in flessione con l'inizio di espulsione di materiale dagli angoli del pannello murario per valori che si aggirano al  $0.65\%$  di drift; nei campioni con due barre longitudinali invece, si è visto il progredire del meccanismo a taglio con l'intensificazione di lesioni lungo la diagonale. Nei campioni snelli invece

Tabella 17 - Livelli a cui si sono instaurati i meccanismi di rottura a flessione e taglio nei diversi campioni

Campione	Drift alla $F_{max}$ (%)		Drift innesco meccanismo (%)		Rottura
	Ciclo positivo	Ciclo negativo	Taglio	Flessione	
SQ-1B-06	0.63	-0.54	0.40	0.65	F+T
SQ-2B-06	0.47	-0.42	0.40	-	T
SQ-1B-08	0.46	-0.49	0.40	0.65	F+T
SQ-2B-08	0.59	-0.54	0.40	-	T
<b>MEDIA</b>	<b>0.54</b>	<b>-0.50</b>	<b>0.40</b>	<b>0.65</b>	
SL-1B-06	0.93	-0.94	-	0.81	F
SL-2B-06	0.79	-0.64	0.57	-	T
SL-1B-08	0.81	-0.74	-	0.81	F
SL-2B-08	0.83	-0.78	0.57	-	T
<b>MEDIA</b>	<b>0.84</b>	<b>-0.78</b>	<b>0.57</b>	<b>0.81</b>	

notiamo che i meccanismi di rottura, sia di taglio che di flessione, si innescano a livelli di drift maggiori; questo è imputabile alle diverse caratteristiche geometriche dei paramenti. Come si può vedere dai grafici sottostanti (Figura 32 e 33) i provini che hanno avuto maggiore resistenza sono stati i campioni tozzi che hanno raggiunto carichi massimi con valori pari a circa 1.5 volte quelli snelli (il rapporto tra le aree lorde delle sezioni è di 1.5). Lo sposta-

mento ultimo è notevolmente più alto nei campioni snelli poco armati, gli unici ad esibire un meccanismo di rottura puramente flessionale. Come si può evincere dai grafici di Figura 34 e Figura 35 (e come era lecito aspettarsi) si ha una rigidezza doppia nei campioni tozzi rispetto a quelli snelli, mentre non è molta la differenza data dalla diversa quantità di sezione d'armatura. In Figura 36 viene riportato un riassunto del comportamento di tutti i campioni precedente-

Figura 32  
Confronto tra gli involucri medi dei cicli di isteresi dei campioni snelli.

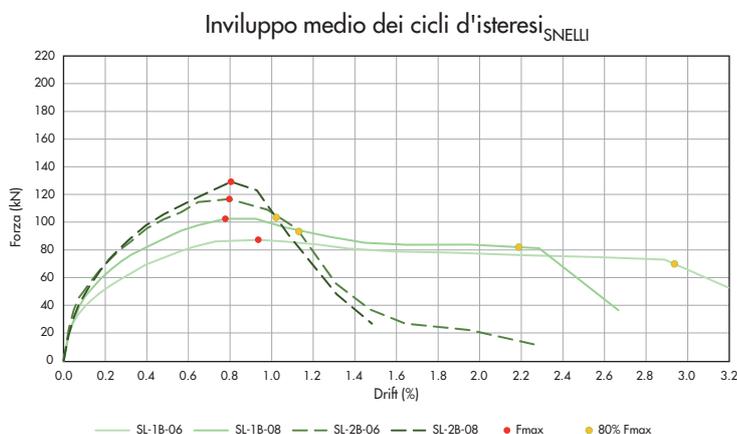


Figura 33  
Confronto tra gli involucri medi dei cicli di isteresi dei campioni tozzi.

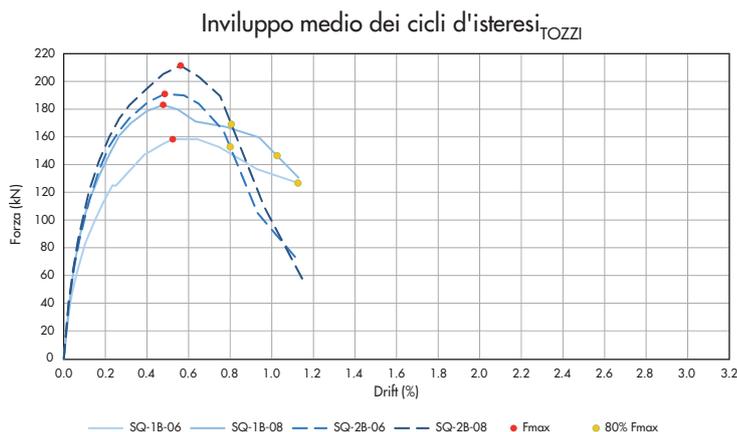




Figura 34  
Confronto tra i campioni snelli del degrado della rigidità all'aumentare del livello di Drift.

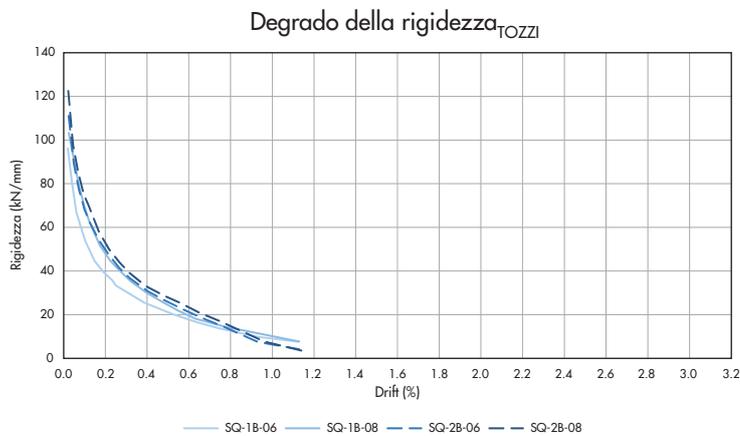


Figura 35  
Confronto tra i campioni tozzi del degrado della rigidità all'aumentare del livello di Drift.

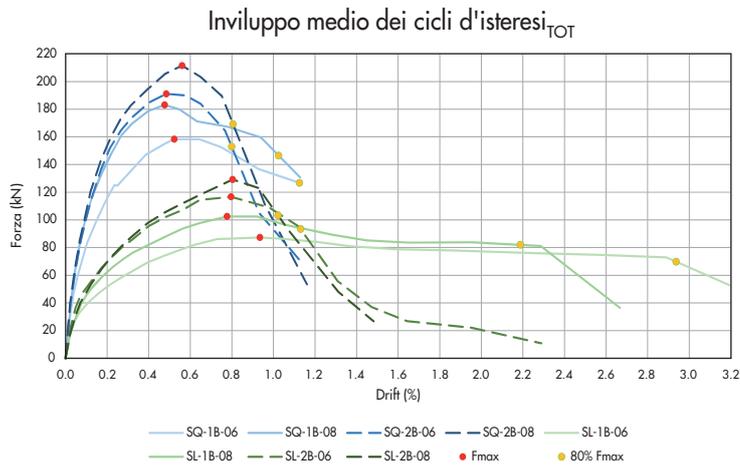


Figura 36  
Grafico riassuntivo di tutti i campioni.

mente illustrati i valori di forza e drift nei punti notevoli quali la  $F_{max}$  ed allo spostamento ultimo (limite oltre il quale il muro viene considerato non più in grado di svolgere la sua funzione portante) considerato pari all' $80\%F_{max}$ ; oltre che il rapporto tra drift alla  $F_{max}$  e quello all' $80\%$  della  $F_{max}$  e la tipologia di meccanismo instauratosi.

Come si può evincere dal grafico di Figura 36, i campioni tozzi hanno raggiunto la loro  $F_{max}$  (184

kN di media contro i 108.88 kN degli snelli) a livelli di drift minori rispetto ai campioni snelli (circa 0.5% contro circa 0.8%). Considerando invece le armature notiamo come i campioni con le due barre abbiano registrato una maggiore  $F_{max}$  sia nei campioni tozzi che in quelli snelli: infatti a parità di precompressione, la presenza di una maggiore sezione d'armatura ha comportato l'aumento medio di 29.4 kN di  $F_{max}$ . Un altro fenomeno a cui si è assistito nei campioni aventi 2

$\phi 16\text{mm}$  è stato il repentino raggiungimento, dopo la  $F_{\text{max}}$ , dello spostamento ultimo (cioè all'80% della  $F_{\text{max}}$ ); infatti come si può notare dalla tabella,

il rapporto tra il livello di drift registrato all' $F_{\text{max}}$  e ultimo, non supera l'1.6 mentre nei campioni meno armati abbiamo valori minimi migliori pari al 2.1.

### Bibliografia

UNI EN 771-1-2005 (2005) - Specifica per elementi per muratura - Parte 1: Elementi per muratura di laterizio.

UNI EN 772-1-2011 (2011) - Metodi di prova per elementi per muratura - Determinazione della resistenza a compressione.

UNI EN 772-16-2011 (2011) - Metodi di prova per elementi per muratura - Parte 16: Determinazione delle dimensioni.

UNI EN 998-2-2010 (2010) - Specifiche per malte per opere murarie - Parte 2: Malte da muratura.

UNI EN 1015-11-2007 (2007) - Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita.

UNI EN 1052-1-2001 (2001) - Metodi di prova per muratura - Determinazione della resistenza a compressione.

UNI EN 1052-2-2001 (2001) - Metodi di prova per muratura - Determinazione della resistenza a flessione.

UNI EN 1052-3 2007 (2007) - Metodi di prova per muratura - Parte 3: Determinazione della resistenza iniziale a taglio.

UNI EN ISO 6892-1-2009 (2009) - Materiali metallici.

Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente.

UNI EN ISO 15630-1-2010 (2010) - Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato. Precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato.

RILEM TC 76-LUM (1991) - Tests for masonry materials and structures - LUM C3 - Cyclic shear test for masonry panels designed to resist seismic forces

DPC SSN 0034852, 08/08/03 (2003) - Ordinanza PCM n. 3274, 20/03/03: commenti e risposte ai quesiti posti dalla 'Federazione Industrie Prodotti Impianti e Servizi per le Costruzioni', Nota del 09/06/03.

D.M.14-01-2008 (2008) - Norme tecniche per le costruzioni - NTC 2008.

UNI EN 1996-1-1-2006 (2006) - Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata.

UNI EN 1996-3-2006 (2006) - Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata.