

Prove di compressione diagonale su murature a due paramenti: l'influenza dei diatoni.



Christian Bozzano, Stefano Podestà, Lorenzo Scandolo
Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica ed Ambientale. Via Montallegro 1, 16145 Genova.

Anna Brignola
Yellow Room Engineering, Via Luccoli 21/2, 16123 Genova.

Keywords: masonry, diagonal compression test, experimental test, diatoni

ABSTRACT

La muratura è spesso caratterizzata da differenti paramenti che devono essere collegati trasversalmente per poter manifestare un comportamento monolitico. La presenza di questi elementi di collegamento (diatoni) gioca un ruolo fondamentale nella modalità di risposta della muratura nei confronti delle sollecitazioni. La Circolare applicativa 617/09 delle NTC consiglia un coefficiente correttivo da applicare ai valori riportati in Tab.C8A.2.1 per tenere conto del miglioramento delle caratteristiche meccaniche dovute alla presenza di collegamenti trasversali, in relazione a differenti tipologie di muratura.

Prendendo in considerazione le murature in mattoni, sono stati realizzati 8 pannelli a due paramenti da sottoporre a prove di compressione diagonale, al fine di verificare il coefficiente indicato dalla Circolare (Tab.C8A.2.2).

Nella campagna sperimentale è stata prevista anche la realizzazione di pannelli aventi caratteristiche differenti tra i paramenti, in modo tale che la difformità di rigidità degli stessi potesse essere introdotta come parametro analizzabile nell'influenza dei diatoni nei riguardi della risposta nel piano del pannello.

1 INTRODUZIONE

La muratura è uno dei più antichi materiali da costruzione che è stata per lungo tempo realizzata su proporzionamenti dettati da semplici regole dell'arte, tenendo conto in maniera omnicomprensiva di un criterio generale di sicurezza che prescinde da un'analisi in termini di resistenza del materiale. Al tecnico, che oggi si trova ad operare con questo particolare materiale, si attribuisce il compito ed il dovere di investigare ed approfondire la conoscenza della struttura, quindi, sotto più punti di vista. L'importanza della fase conoscitiva del manufatto, al fine di operare una corretta modellazione della struttura, diventa ancora più importante in relazione della risposta in occasione di azioni sismiche. L'osservazione dei danni che si sono manifestati a seguito degli eventi sismici del passato hanno

mostrato come le modalità di danneggiamento degli edifici in muratura siano caratterizzate da ricorrenti meccanismi, in cui la variabilità è spesso connessa alla geometria o alla qualità dei materiali, risultando invece sostanzialmente uguali sotto il punto di vista della loro attivazione ed evoluzione. In particolare la mancanza di dettagli costruttivi che permettano alla struttura di sviluppare un comportamento sismico d'insieme (mancanza di collegamenti fra le pareti e fra le pareti e gli orizzontamenti) conduce alla nascita di meccanismi di danno che possono interessare porzioni localizzate della struttura, dando luogo a pericolose tipologie di danneggiamento locale. L'analisi sismica globale, prevista dalle norme (NTC 2008), va quindi intesa considerando che la totale globalità dell'edificio debba essere analizzata per valutare la vulnerabilità di possibili meccanismi di dissesto: in tale ottica è necessario capire se le pareti in muratura possono arrivare al

collasso possibilmente senza disgregarsi. A tal fine si deve sottolineare l'importanza di tutti i possibili dettagli costruttivi, finalizzati a conferire una maggiore compattezza della murature e raggiungere quanto più possibile un comportamento monolitico trasversale. Un comportamento monolitico lo si può ottenere considerando le modalità di costruzione secondo la "regola d'arte", quindi ponendo particolare attenzione all'ammorsamento non solo tra le pareti e i macroelementi del sistema, ma anche tra i paramenti di ogni pannello murario attraverso l'impiego di elementi passanti di collegamento (diatoni) e un buon ingranaggio tra gli elementi costituenti la muratura stessa.

Si intende quindi porre l'attenzione sul ruolo dei "diatoni", un particolare costruttivo che sicuramente non può essere tralasciato in fase conoscitiva. Il riconoscimento della presenza di un buon ammorsamento attraverso collegamenti trasversali, è uno degli aspetti che, seguendo le indicazioni previste nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M.14/01/2008), consente di poter incrementare i valori di riferimento dei parametri meccanici di resistenza della muratura tramite l'applicazione di coefficienti correttivi.

Proprio in virtù della possibilità di adottare un coefficiente correttivo si è progettata e realizzata una campagna sperimentale avente lo scopo di poterlo motivare quantitativamente (Tab. C8A.2.2, Circolare n°617/09).

2 RISPOSTA DELLA MURATURA ALLA SOLLECITAZIONE SISMICA

2.1 Modalità di danneggiamento

Il comportamento di un edificio in muratura nei confronti di un evento sismico va esaminato avendo ben presente le principali modalità di risposta che si possono verificare. Queste tipiche modalità di danneggiamento vengono comprovate a seguito dell'osservazione dei danni riscontrati sul costruito in muratura e possono essere identificate secondo due fondamentali modalità di collasso (Giuffrè, 1993) definite come meccanismi di primo e secondo modo, rispettivamente collasso al di fuori del proprio piano e collasso nel piano stesso. Con l'intenzione di avere un quadro più completo, non è possibile pensare di trascurare la modalità di danneggiamento che si manifesta per disgregazione della tessitura muraria, avendo però presente che questo comportamento risulta dipendente esclusivamente dalla qualità e tecnica costruttiva di accoppiamento dei materiali

costituenti la muratura più che dalle sollecitazioni agenti su di essa. Allo stesso tempo, viene sottolineato che l'eventuale attivazione di meccanismi di collasso è fortemente correlato al comportamento globale dell'edificio, che a sua volta è legato alle caratteristiche tipologiche e tecnologiche di realizzazione dello stesso.

2.2 Disgregazione della parete muraria

Focalizzando l'attenzione ad analizzare le modalità di collasso a seguito della disgregazione della muratura (Figura 1) è necessario mettere in evidenza che questo risulta essere un comportamento tipico di pareti murarie costituite da più paramenti, mal collegati trasversalmente.

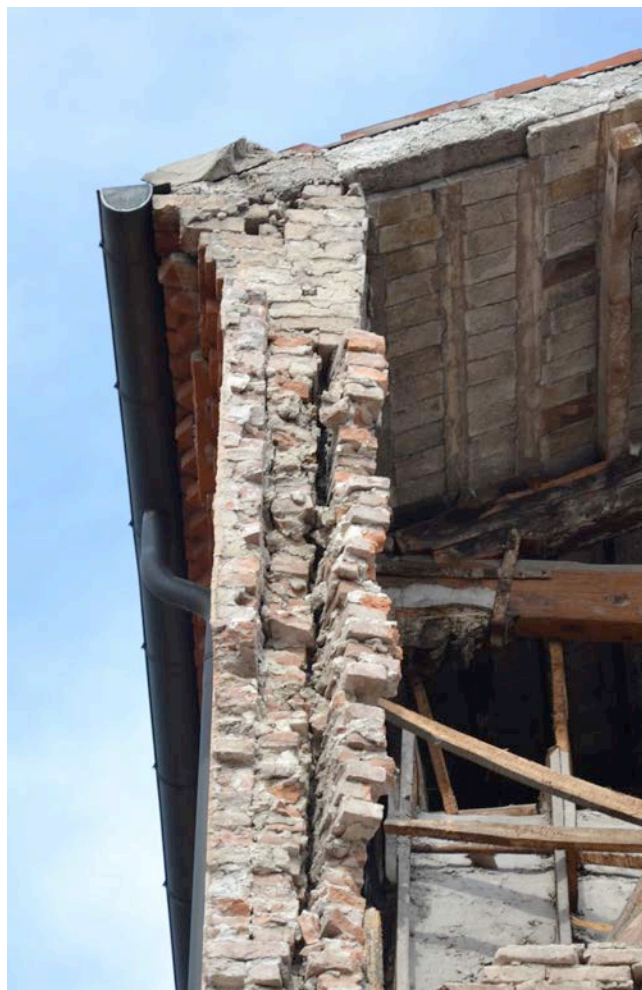


Figura 1. Distacco tra i paramenti murari e successiva perdita di funzionalità a seguito dell'assenza di ammorsamento trasversale (Emilia 2012).

Il fenomeno della disgregazione consiste nel distacco di un paramento dall'insieme della muratura, provocando successivamente la perdita di contatto e lo sfaldamento della tessitura.

In generale, si verifica che il trasferimento delle forze attraverso lo spessore della parete avviene tramite il contatto degli elementi che la costituiscono. Considerando la possibilità di aumentare questo ingranamento tra gli elementi,

crece anche la capacità del muro di seguire, quanto più possibile, un comportamento monolitico se sottoposto all'azione di forze orizzontali. In particolare, affinché ciò avvenga, risulta di fondamentale importanza l'omogeneità della tessitura e la regolarità della disposizione dei blocchi. Ovviamente non sempre un paramento che a vista risulta essere ben organizzato è, di conseguenza, anche rappresentativo di una buona tipologia muraria: la sola conoscenza della sezione trasversale consente infatti di cautelarsi rispetto a meccanismi di disgregazione.

La presenza di elementi di connessione trasversale (legati ad una buona tessitura trasversale o alla presenza di diatoni) permette quella monoliticità che solo una muratura ad un paramento può teoricamente garantire. La notevole importanza della presenza di questi elementi è messa in luce se si portano al confronto due casi estremi di muratura (Figura 2): una muratura a due paramenti con grado di monoliticità trasversale conferito da una tecnica costruttiva corretta utilizzando l'impiego di diatoni e una seconda muratura eseguita con il semplice affiancamento di due distinti paramenti murari. Risulta evidente che, in caso di un'azione orizzontale, la presenza dei collegamenti trasversali impedisce o limita lo scorrimento tra le superfici interne dei due paramenti andando ad attivare un meccanismo di ribaltamento che coinvolge la totalità della parete.

2.3 Connessione trasversale: aspetto normativo

Fino ad ora è stato messo in evidenza come la presenza di buona tecnica costruttiva, che preveda la realizzazione di adeguata connessione trasversale tra i paramenti, è recepita dalla Normativa Italiana, che mette in relazione alcuni aspetti costruttivi con la valutazione dei parametri meccanici della muratura.

Nella Circolare applicativa n°617/2009, è sottolineato il fondamentale riconoscimento della tipologia muraria attraverso un dettagliato rilievo delle regole costruttive. Questo è dovuto a seguito della presenza di una notevole varietà di muratura che, diversificata sia per tecniche costruttive che per materiali impiegati, rende problematica la determinazione di un solo inquadramento di riferimento.

Una volta indagata la muratura e valutata la tipologia costruttiva, le norme riportano ed indicano in forma tabellare (Tabella C8A.2.1, Circolare n°617/09) i valori di riferimento, massimi e minimi, dei parametri meccanici della stessa per condurre l'analisi strutturale. In

funzione di determinate caratteristiche costruttive, viene data la possibilità di utilizzare coefficienti correttivi migliorativi dei parametri meccanici (Tabella C8A.2.2, Circolare n°617/09).

Nel caso specifico di nostro interesse, viene presa in considerazione, come caratteristica costruttiva di realizzazione della muratura, la presenza di connessioni trasversali tra i paramenti della muratura che consente di conseguenza la possibilità di avvalersi, in fase di calcolo, dei coefficienti migliorativi previsti dalle norme.

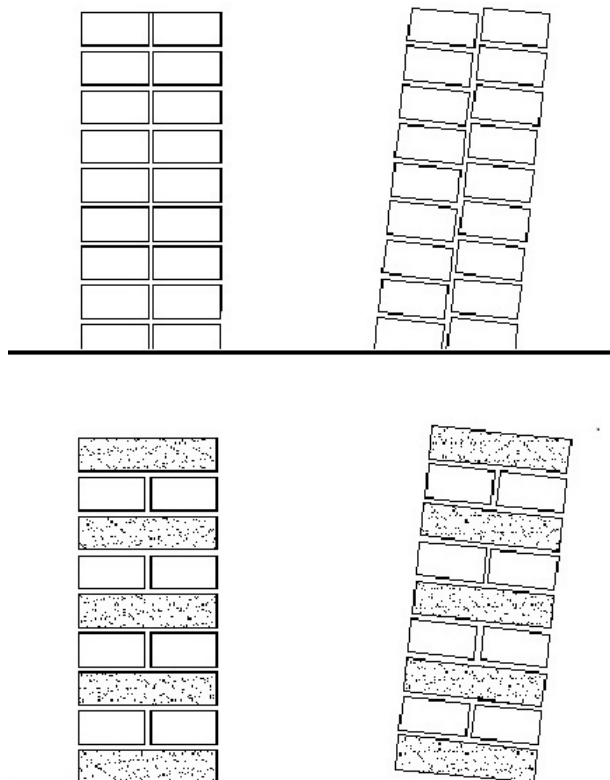


Figura 2. Differenti modalità di comportamento della muratura a doppio paramento in presenza, o meno, della connessione trasversale.

3 CAMPAGNA SPERIMENTALE

La campagna sperimentale, che di seguito verrà illustrata, ha la finalità come in parte già detto di poter motivare ed avvalorare le indicazioni proposte nella Circolare. Nello specifico si analizzerà l'influenza sui parametri meccanici della muratura a seguito della presenza o meno di connessione trasversale tra paramenti. Come riportato precedentemente, questi elementi intervengono positivamente nelle modalità di danneggiamento della muratura conferendo un comportamento monolitico di insieme della stessa, invece per quanto riguarda il contributo migliorativo apportato ai parametri meccanici in presenza di diatoni, non sono note in letteratura sperimentazioni tali da giustificare l'impiego di coefficienti migliorativi.

Da queste considerazioni si è proceduto all'organizzazione ed alla definizione di una campagna sperimentale che possa fornire elementi di riflessione in merito alle circostanze evidenziate fino ad ora.

3.1 Definizione della campagna sperimentale

La sperimentazione ha previsto la realizzazione di otto pannelli in muratura a doppio paramento da sottoporre a prove di compressione diagonale in modo tale da valutare la resistenza caratteristica a taglio degli stessi. Si è stabilito di costruire coppie di pannelli geometricamente identici e costituiti da stessi materiali, diversificati però dalla presenza o meno di elementi di connessione trasversale tra i paramenti. Questo, è stato pensato per poter confrontare a coppie i risultati ottenuti dalle prove e constatare se esiste un effettivo aumento della resistenza dei pannelli in muratura come conseguenza della presenza dei diatoni. Inoltre, è stato previsto di caratterizzare anche i materiali impiegati nella costruzione dei pannelli attraverso l'esecuzione di prove a flessione su tre punti e prove di compressione (UNI EN 1015-1:2007, UNI EN 772-1:2011).

3.2 Realizzazione dei pannelli murari

I pannelli realizzati rappresentano porzioni di muratura con caratteristiche fisiche e geometriche preventivamente definite. Si è pensato di impiegare come materiale principale il mattone pieno. Questo consente una facile messa in posa permettendo di avere una geometria regolare e controllabile. Si è considerata la possibilità di impiegare due differenti tipologie di elementi in laterizio per poter simulare anche rigidità diverse tra i paramenti costituenti lo stesso pannello: mattone pieno da sottofondazione (chiamato in seguito mattone A) e mattone pieno sabbiato da rivestimento (chiamato in seguito mattone B). L'assemblaggio degli elementi principali è stato effettuato con l'impiego di malta idraulica (INTONACO 700, Fassa Bortolo) o con malta cementizia (MV40, Fassa Bortolo). Anche in questo caso è stato considerato l'utilizzo di due diverse tipologie di leganti che, combinati con gli elementi, contribuiscano a differenziare le rigidità dei paramenti.

I pannelli presentano uguale prospetto, dimensione 120x120 cm (Figura 3) e identica tessitura degli elementi, mentre hanno spessori variabili (24, 36, 48 cm) ottenuti affiancando più paramenti. Inoltre, vengono realizzati a coppie distinguendoli per la presenza, o meno, di ammorsamento trasversale dei paramenti. I

diatoni sono stati realizzati ponendo il mattone trasversalmente ai paramenti e sono stati collocati negli stessi punti per ogni pannello ammorsato (Figura 4). Per porre in risalto la resistenza dei diatoni durante la prova, escludendo quindi il contributo per contatto diretto tra i paramenti, si è pensato di realizzare un sottile "sacco interno" di sabbia tra i paramenti stessi, sia in presenza di ammorsamento che in assenza (Figura 5).

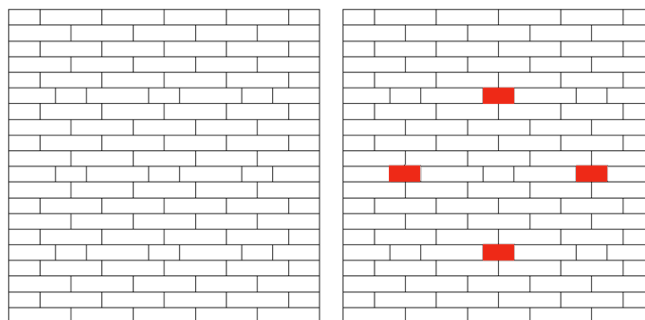


Figura 3. Prospetto dei pannelli murari (120x120cm), tessitura degli elementi e localizzazione dei diatoni (in rosso) per i pannelli ammorsati.



Figura 4. Dettaglio costruttivo di realizzazione del diatono.



Figura 5. Sottile imbottitura di sabbia tra i paramenti del pannello sia nel caso di collegamento trasversale tra gli stessi che in assenza.

Eseguendo le prove di compressione diagonale sui pannelli così realizzati, sarà possibile valutare la resistenza meccanica degli stessi ed indagare l'effettivo ruolo che ricoprono i diatoni nei confronti dei parametri meccanici della muratura così costruita.

Di seguito viene riportata la descrizione dettagliata delle caratteristiche dei singoli pannelli realizzati (Tabella 1) e immagini rappresentative della muratura (Figura 6).

Per semplicità, nel seguito, i pannelli verranno identificati da una sigla composta dalla lettera

“P” (Pannello) seguita da un numero di riconoscimento.

Tabella 1. Descrizione dei pannelli riportandone l’identificativo (ID), il dettaglio dei materiali impiegati per la realizzazione dei singoli paramenti, la tipologia di legante (con “i” malta idraulica, con “c” malta cementizia), gli spessori s dei paramenti e S del pannello e se il pannello è ammortato (a.) o non ammortato (n.a.).

ID	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Paramento Lato A								
Mattone	A	A	A	A	A	A	A	A
Malta	i	i	i	i	i	i	c	c
s [cm]	12	12	24	24	12	12	12	12
Paramento Lato B								
Mattone	A	A	A	A	A	A	B	B
Malta	i	i	i	i	i	i	i	i
s [cm]	12	12	24	24	24	24	12	12
Pannello								
S [cm]	24	24	48	48	36	36	24	24
Tipo	n.a.	a.	n.a.	a.	n.a.	a.	n.a.	a.



Figura 6. Pannello in muratura a due paramenti (spessore 24 cm).

3.3 Prova di compressione diagonale standard

La prova di compressione diagonale è diffusamente utilizzata sia come prova in laboratorio sia direttamente in situ. Tale tipologia di prova è suggerita dalla Normativa Italiana e viene eseguita al fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche delle murature. La procedura prevede di isolare adeguatamente una porzione di muratura (pannello) da sottoporre a prova avente dimensioni 120x120 cm. Inoltre, deve essere prevista l’esecuzione di uno scasso

della muratura intorno al pannello per alloggiare la strumentazione utile allo svolgimento, senza alterare la parte in prova (Figura 7). Al fine di trasmettere un’azione diagonale al pannello, deve essere prevista l’applicazione di una serie di elementi metallici ai vertici opposti della diagonale libera, atti a trasferire e diffondere la sollecitazione. Nello spigolo superiore è posizionato un martino idraulico che lavora tra due profili metallici di cui, quello più interno è appoggiato allo spigolo del pannello, mentre quello più esterno è collegato tramite barre in acciaio all’elemento metallico di contrasto collocato nello spigolo opposto del pannello stesso. Una volta installato il sistema metallico, il pannello viene strumentato con quattro trasduttori di spostamento (LVDT), disposti lungo le diagonali dei lati del pannello, in modo tale da misurare le deformazioni sotto l’azione di carico (Figura 8). Le prove vengono eseguite ciclicamente, si assiste a una fase di carico ed una successiva di scarico. Al termine di ogni ciclo viene incrementato gradualmente il carico. Si procede in questo modo fino al raggiungimento della rottura del pannello, in modo tale da individuare la resistenza ultima a taglio (τ_u) e definire il valore della rigidità tangenziale (modulo G) in funzione dell’avanzamento della fessurazione (Brignola A. et al., 2006).

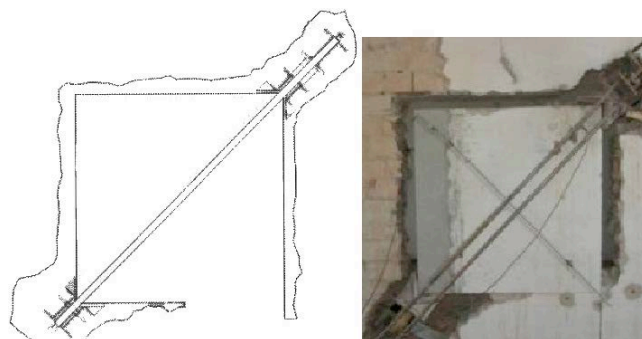


Figura 7. Isolamento del pannello murario da investigare e scasso per l’inserimento dell’apparecchiatura di prova.

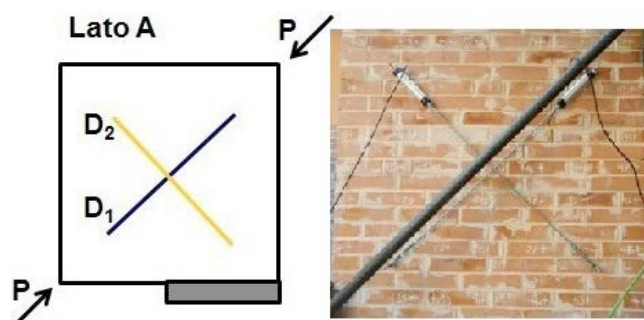


Figura 8. Disposizione lungo le diagonali del pannello, sia nel lato A che nel lato B, dei trasduttori di spostamento.

3.4 Prova di compressione diagonale modificata

Per raggiungere l'obiettivo preposto, ovvero valutare l'influenza dei diaconi sui parametri meccanici della muratura, è stato necessario, oltre a realizzare pannelli che possano mettere in risalto quanto ricercato, apportare alcune modifiche al setup classico della prova di compressione diagonale.

Il concetto fondamentale delle prove che sono state eseguite, è quello di riuscire a trasferire il carico in modo indipendente su un paramento e sull'altro del pannello, oltre che indurlo lungo la diagonale del pannello stesso. Questo aspetto si discosta notevolmente dalla prova di compressione diagonale classica, infatti questa è basata sulla composizione di elementi metallici atti a trasferire il carico in modo uniforme al pannello in muratura, senza porre particolare attenzione alla presenza di più paramenti o alla sua composizione nello spessore.

Per quanto riguarda lo studio condotto, si è pensato di modificare il contatto dei profili metallici con la muratura, in maniera tale da conseguire, come ipotizzato, l'intento di trasferire la sollecitazione sui paramenti in modo indipendente. A livello pratico, si è eliminato il profilo standard che è posto a contatto con la muratura per l'intero spessore. Quindi, vengono introdotti due profili metallici distinti. Questi, andranno posizionati rispettivamente sullo spessore del primo e del secondo paramento costituenti la muratura, risultando svincolati uno dall'altro e non a contatto tra loro. In previsione di eseguire un certo numero di prove su paramenti realizzati con spessore variabile (da 24 a 75 cm), è stata considerata anche la necessità di definire un sistema di profili metallici adattabili su ogni tipo di campione. In successione a questi profili, si è previsto l'inserimento di due elementi pieni circolari ($\phi 50$ mm, l 240 mm) in acciaio che assumono il compito di ricevere il carico trasferito dal martinetto idraulico e trasmetterlo direttamente ai paramenti del pannello (Figura 9).

La prova viene eseguita dopo aver allestito insieme i profili metalli necessari a definire un sistema chiuso di contrasto che sia in grado di diffondere la sollecitazione lungo la diagonale dei paramenti, quindi del pannello (Figura 10).

Il setup di prova prevede, come nel caso della prova standard, la strumentazione del pannello attraverso l'impiego di quattro LVDT (due per lato) posizionati lungo le diagonali e collegati in fase di prova ad un sistema di acquisizione (Figura 11).

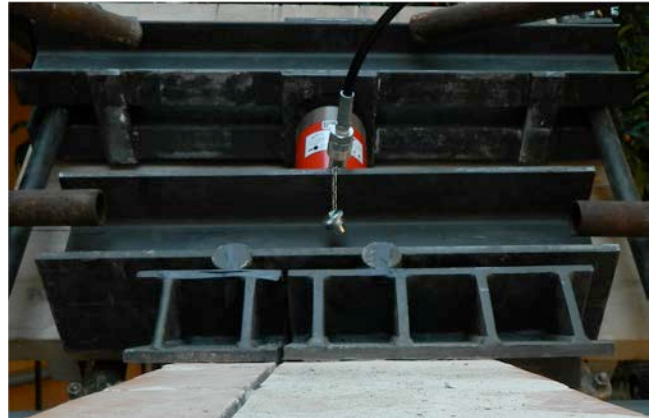


Figura 9. Dettaglio dei profili metallici in appoggio alla muratura e composizione del setup di prova.

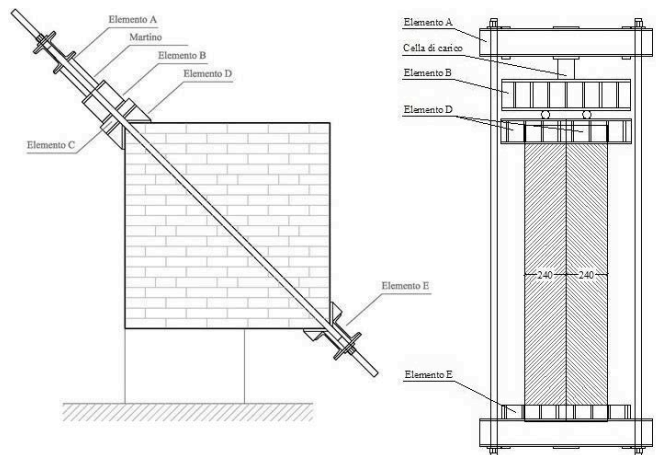


Figura 10. Disposizione dei profili metallici costituenti il sistema di contrasto necessario all'esecuzione della prova di compressione diagonale.



Figura 11. Sistema metallico allestito e pannello strumentato per l'esecuzione della prova.

4 RISULTATI SPERIMENTALI

La prova di compressione diagonale è stata eseguita su tutti gli otto pannelli realizzati e descritti in precedenza. Queste sono state condotte seguendo la procedura e le indicazioni delle NTC 2008 in riferimento all'ambito delle

indagini in situ di tipologia esaustiva e codificate secondo le raccomandazioni previste dalle norme ASTM E 519-02 e RILEM TC-76-LUM.

4.1 Esecuzione della prova e acquisizione dati

In fase di prova è stato possibile tenere sotto controllo l'andamento della stessa attraverso la strumentazione definita in precedenza.

La sollecitazione è stata indotta con l'impiego di una pompa collegata al martino e strumentata con un sensore di pressione che ha permesso la valutazione in tempo reale del carico applicato e coordinare di conseguenza i cicli di carico e scarico previsti. Il riscontro si è ottenuto con l'osservazione dei grafici che descrivono il carico in funzione del tempo (Figura 12). Inoltre, avendo disposto gli LVDT sia sulle diagonali tese che compresse, è stato possibile seguire l'andamento delle deformazioni del pannello manifestate durante i cicli di carico e scarico fino al raggiungimento della rottura (Figura 13).

Allo stesso tempo è stato possibile graficare l'andamento della resistenza a taglio in funzione delle deformazioni (τ - ϵ) (Figura 14) e l'andamento della resistenza a taglio in funzione dello scorrimento angolare (τ - γ) (Figura 15).

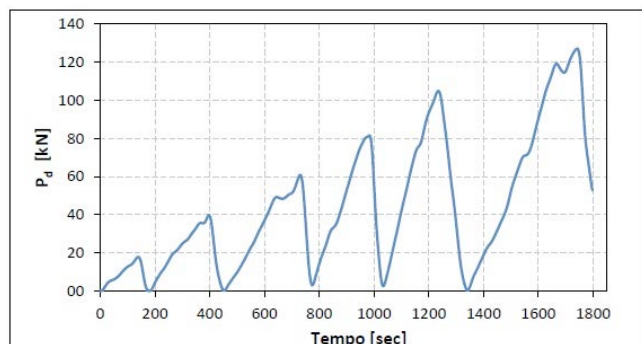


Figura 12. Rappresentazione dell'andamento ciclico del carico (P_d) in funzione del tempo.

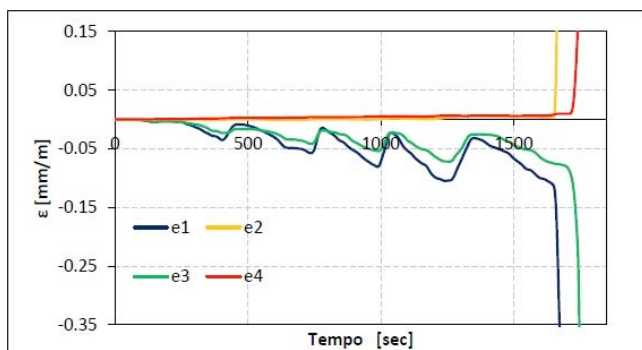


Figura 13. Rappresentazione, in funzione del tempo, dell'andamento delle deformazioni sia a compressione (e1-e3) che a trazione (e2-e4).

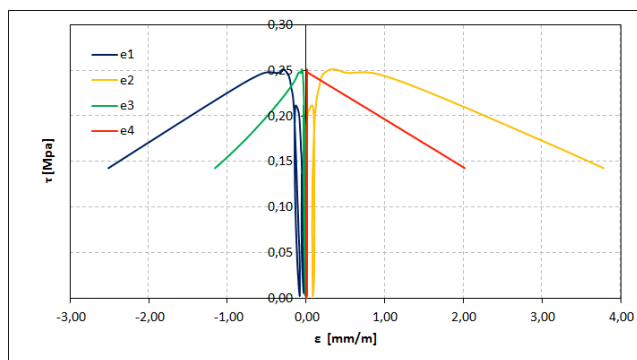


Figura 14. Grafico della resistenza a taglio (τ) in funzione delle deformazioni (ϵ).

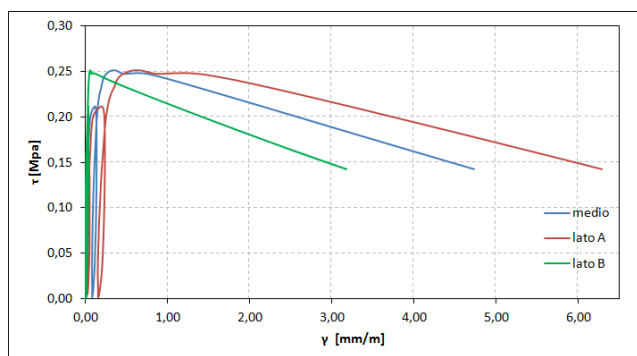


Figura 15. Grafico della resistenza a taglio (τ) in funzione dello scorrimento angolare (γ) sia dei singoli paramenti (lato A, lato B) che del valore medio.

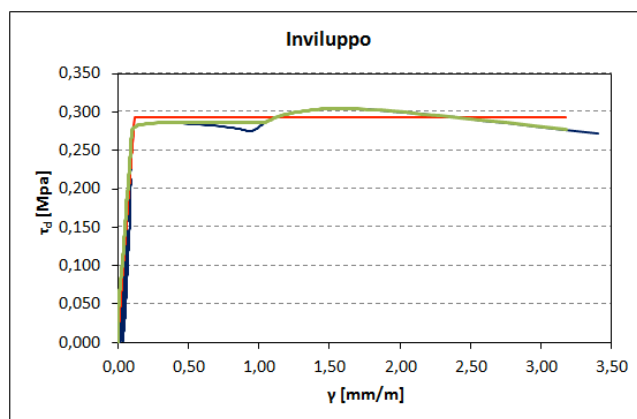


Figura 16. Rappresentazione (τ - γ) dei cicli di carico e scarico sottoposti al pannello (blu), inviluppo degli stessi (verde) e determinazione della bilineare (rosso) dalla quale ricavare il modulo elastico di taglio in condizioni fessurate (G_f).

In seguito è stato possibile definire l'inviluppo dei cicli di carico e scarico a cui è stato soggetto il pannello e valutare la bilineare associata in modo da determinare il valore del modulo elastico di taglio in condizioni fessurate (G_f) (Figura 16).

Alla fine di ogni prova, dopo aver determinato la resistenza offerta dal pannello, si è condotta la prova fino a completa rottura della muratura potendo così apprezzare ed osservare le lesioni manifestate. Si è proceduto di conseguenza a

tracciare l'andamento delle lesioni di ogni paramento costituente il pannello (Figura 17).

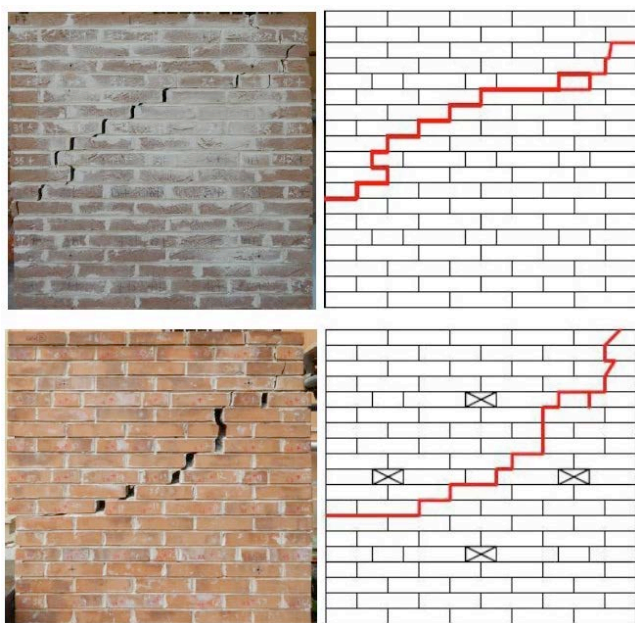


Figura 17. Tracciamento delle lesioni manifestate dal pannello a rottura (i.e. di un pannello non ammortato (sopra) e di un ammortato (sotto)).

4.2 Risultati delle prove di compressione diagonale

A seguito dello svolgimento delle prove di compressione diagonale, dell'acquisizione e della rielaborazione dei dati ricavati, è stato possibile definire le caratteristiche meccaniche degli otto pannelli. Queste vengono riportate di seguito sottoforma di tabella (Tabella 2), in modo tale da potere effettuare alcune valutazioni generali.

Tabella 2. Descrizione dei pannelli identificandone, lo spessore S [cm], la tipologia di muratura (ammorsata o non ammortata), il valori del carico massimo (P_d [kN]), la resistenza a trazione (f_{td} [Mpa]), la resistenza a taglio (τ_d [Mpa]) e il modulo elastico di taglio in condizioni fessurate (G_f [Mpa]).

ID	S	Tipo	P_d	f_{td}	τ_d	G_f
P1	24	n.a.	98.8	0.15	0.31	2239
P2	24	a.	116.4	0.19	0.40	4715
P3	48	n.a.	270.7	0.21	0.45	2708
P4	48	a.	318.1	0.26	0.55	2289
P5	36	n.a.	127.0	0.15	0.30	2448
P6	36	a.	116.6	0.13	0.17	2506
P7	24	n.a.	83.2	0.14	0.30	2470
P8	24	a.	70.4	0.12	0.25	2846

Durante l'esecuzione delle prove, i pannelli P3 e P7 hanno raggiunto la rottura esclusivamente di un solo paramento. Questo ha permesso di poter definire ed eseguire altre due distinte prove di

compressione diagonale. Si è, quindi, individuato un ulteriore pannello in muratura ($P3_{singolo}$) con caratteristiche riconducibili, per modalità di realizzazione, ad una muratura a due paramenti infinitamente ammortata e un secondo pannello ($P7_{singolo}$) riconducibile ad una muratura semplice costituita esclusivamente da un solo paramento (Tabella 3).

Tabella 3. Descrizione dei pannelli identificandone l'ID, lo spessore S [cm], il carico massimo raggiunto (P_d [kN]), la resistenza a trazione (f_t [Mpa]), la resistenza a taglio (τ_d [Mpa]) e il modulo elastico di taglio in condizioni fessurate (G_f [Mpa]).

ID	S	P_d	f_{td}	τ_d	G_f
$P3_{sing.}$	24	270.70	0.21	0.45	2708.02
$P7_{sing.}$	12	81.70	0.14	0.57	7298.97

5 CONCLUSIONI

La presente sperimentazione nasce dalla necessità di chiarire e approfondire alcune considerazioni presenti all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (D.M. 14 febbraio 2008) e nella relativa circolare applicativa n° 617/2009. In riferimento a queste, si pone l'attenzione sull'indicazione della possibile applicazione di coefficienti maggiorativi (30% per murature in laterizio) nei confronti dei valori delle resistenze caratteristiche delle murature a seguito del riscontro, durante la fase conoscitiva dell'edificio, dell'esistenza di eventuali elementi trasversali disposti tra i paramenti costituenti la muratura stessa.

A seguito di ciò, si è determinata l'intenzione di approfondire e chiarire il reale ruolo da attribuire a tali elementi di collegamento, presenti o meno a seconda delle modalità e tecniche di costruzione. Per finalizzare lo scopo preposto, si è definita la campagna sperimentale che permette di cogliere e mettere in risalto un'effettiva valutazione del possibile incremento delle resistenze meccaniche in relazione alla presenza di diatoni.

A conseguenza della campagna sperimentale descritta e condotta, è possibile avanzare alcune valutazioni coerentemente ai risultati ottenuti.

Confrontando un pannello a doppio paramento non ammortato (P1) e un pannello a doppio paramento realizzato con la presenza di quattro diatoni (P2), è possibile valutare un incremento in termini di resistenze compreso tra il 20-25%. Invece, effettuando il confronto tra un pannello a doppio paramento non ammortato (P1) ed uno monolitico ($P3_{singolo}$), quindi ipoteticamente assimilabile alla presenza di infiniti collegamenti trasversali, è possibile riscontrare un incremento

della resistenza dell'ordine del 30%, come viene suggerito dalla norma. Questo permette, in prima battuta, di affermare che il coefficiente proposto dalla normativa, pari ad 1.3, prevede un incremento di poco maggiore rispetto a quello riscontrato. Inoltre, va sottolineato un ulteriore aspetto di incertezza da parte della norma, ovvero non vengono fornite utili indicazioni in merito alla quantità di diatoni a metro quadro da dover riscontrare per poter affermare di essere in presenza di un buon ammorsamento, lascia quindi libera interpretazione al professionista per la definizione della bontà di ammorsamento. Nella pratica, già l'individuazione della presenza di un solo elemento trasversale a metro quadro, può indurre il professionista ad utilizzare il coefficiente correttivo. In virtù di questa assunzione il valore proposto dalla normativa può risultare non cautelativo.

Valutando l'andamento delle deformazioni per i pannelli P5 e P6 (paramenti di ugual materiale ma diverso spessore) e P7 e P8 (paramenti di ugual spessore e differente materiale) si riscontra un comportamento non preventivabile, in relazione alla presenza o meno di ammorsamento.

Per la differente rigidità, pannelli costituiti da materiali differenti (P7-P8), si assiste prima alla rottura del paramento più debole che poi, all'aumentare della deformazione, chiama in causa il paramento più rigido. Questo comportamento mette il paramento rigido nella condizione di dover portare, oltre il suo carico, anche quello trasferito dal paramento più debole. Come diretta conseguenza dell'impulsivo trasferimento del carico, si assiste alla rottura quasi contemporanea anche del paramento più rigido. Tale condizione porta ad affermare che, in caso di murature costituite da paramenti differenti ed ammorsati tra loro, il paramento più debole è in grado di condurre al collasso l'intera muratura. Inoltre, viene supposta la possibilità che in presenza di paramenti accoppiati e fortemente differenti uno dall'altro, questo comportamento possa risultare anche amplificato. Infatti, è stato osservato che il comportamento risulta essere sicuramente influenzato dai rapporti di rigidità presente tra i paramenti costituenti la muratura.

Il verificarsi di questa circostanza risulta in contrapposizione con il concetto di base ipotizzato, ovvero quello di ottenere, in tutte le condizioni, un possibile miglioramento nella risposta nel piano per la presenza di diatoni o per l'inserimento degli stessi attraverso un intervento di miglioramento strutturale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Consorzio ReLUIIS per aver promosso e supportato la presente ricerca nell'ambito del progetto "ReLUIIS-DPC 2010-2013".

BIBLIOGRAFIA

- Borri A., Corradi M., Vignoli A., 2001. "Il problema della valutazione della resistenza a taglio della muratura mediante prove sperimentali", X Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Potenza-Matera.
- Brignola A., Ferrini M., Lagomarsino S., Mangone F., Podestà S., 2006. "Valutazione sperimentale dei parametri di deformabilità e di resistenza a taglio della muratura", Ingegneria Sismica, Settembre-Dicembre 2006.
- Circolare n°617/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Decreto Ministeriale, 14 gennaio 2008. Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Fruento S., 2007, "Identificazione dei parametri di risposta a taglio di pannelli murari attraverso la prova di compressione diagonale", dottorato in ingegneria civile e ambientale, DICAT, Università di Genova.
- Giuffrè A., 1993. Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia. Bari, Laterza.
- Giuffrè A., 1990. Letture sulla meccanica delle murature storiche. Roma.
- Turnsek V., Cacovic F., 1971. Some experimental result on the strength of brick masonry walls, Proc. Of the 2nd Intern. Brick Masonry Conference, Stoke-on-Trent.