

COMPORTAMENTO SISMICO DEI PANNELLI DI FASCIA IN MURATURA: PROVE SPERIMENTALI

Barbara Ortolani^a, Andrea Vignoli^a

^aDipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Firenze

SOMMARIO

La risposta all'azione sismica di un edificio in muratura il cui comportamento possa essere considerato "scatolare", ovvero non soggetto a meccanismi locali di collasso fuori piano, dipende dalle capacità di resistenza e deformabilità dei pannelli di maschio e dei pannelli di fascia costituenti ciascuna parete muraria. Al variare della morfologia dei pannelli di fascia, in particolare, si hanno differenti gradi di accoppiamento tra i pannelli di maschio e differenti schemi statici per la parete muraria. In sostanza il comportamento sismico dei pannelli di fascia dipende dalle caratteristiche meccaniche della muratura, dalle dimensioni geometriche (rapporto di snellezza), dalla presenza o meno di elementi resistenti a trazione (configurazione della fascia).

L'esame dello stato dell'arte mostra una carenza di dati sperimentali in merito al comportamento sismico dei pannelli di fascia, essenzialmente dovuta al fatto che mentre esistono ormai set-up di prova consolidati per simulare il comportamento sismico dei pannelli di maschio, nel caso dei pannelli di fascia l'esecuzione di prove sperimentali richiede una preliminare fase di progettazione, che è essa stessa argomento di dibattito. Alla luce di ciò è stato messo a punto un programma sperimentale volto a determinare l'influenza, sui meccanismi di rottura dei pannelli di fascia, delle dimensioni geometriche e della presenza o meno di uno o più elementi resistenti a trazione, fissata la tipologia di muratura.

Nel presente lavoro il suddetto programma sperimentale viene descritto e vengono espresse alcune considerazioni preliminari sui risultati delle prove sperimentali, secondo una duplice chiave di lettura, cioè distinguendo per rapporto di snellezza e per configurazione della fascia.

ABSTRACT

The spandrels play an essential role in walls, in fact they guarantee the coupling between adjacent piers. In the macro-element models, suggested by the current national and international Codes, various failure mechanisms are provided for each macro-element. The failure mechanisms have been developed on the basis of both theoretical and experimental results. But, while many experimental results are available for vertical elements, not specific experimental tests have been carried out to study seismic behavior of spandrels (under seismic action, the spandrels are subjected to shear and bending with negligible axial force).

The paper presents the experimental program carried out to analyze the seismic behavior of masonry spandrels at the Laboratory for Testing Structures and Materials of the Department of Civil and Environmental Engineering (University of Florence, Italy).

The experimental results have been analyzed in terms of failure mechanisms, strength (maximum shear) and deformability (maximum drift) capacity. The specimens showed different collapse behavior depending on slenderness ratio and layouts.

PAROLE CHIAVE: pannelli di fascia, rapporto di snellezza, elementi resistenti a trazione, prove sperimentali.

1. INTRODUZIONE

Se nel piano longitudinale di una parete muraria, più o meno regolare, si prolungano idealmente le linee di contorno delle aperture, è possibile individuare maschi e fasce (Augenti, 2004; Fig. 1a). I maschi sono strisce verticali di muratura, comprese tra due file verticali di aperture (tranne ai margini), che hanno larghezza costante e costituiscono gli elementi portanti verticali della parete muraria, con funzione di trasmissione dei carichi. Le fasce sono strisce orizzontali di muratura, comprese tra due file orizzontali di aperture (tranne al primo e ultimo livello), che hanno altezza costante e costituiscono gli elementi portanti orizzontali della parete muraria, con funzione di ripartizione e trasmissione dei carichi. Operando l'intersezione tra maschi e fasce è possibile individuare pannelli di maschio, pannelli di fascia e pannelli di nodo (Fig. 1b).

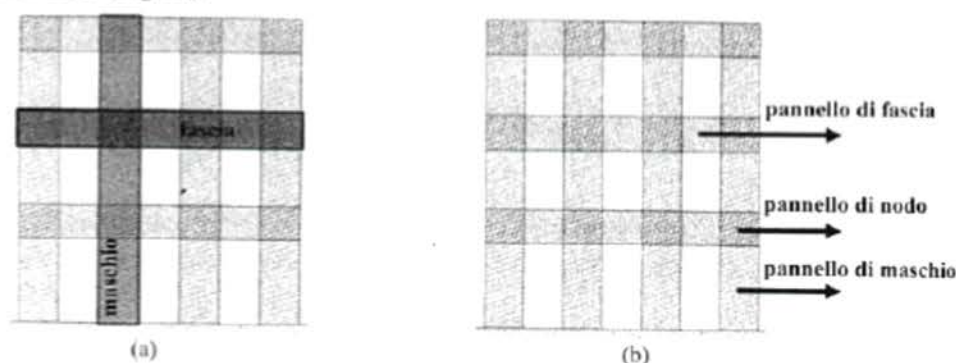


Figura 1. Schematizzazione di una parete muraria

Nello studio della risposta strutturale di un edificio in muratura sottoposto ad azione sismica, i metodi di calcolo che fanno riferimento a questa schematizzazione di una parete muraria, denominati metodi ai macroelementi, risultano, al momento, quelli con maggior respiro applicativo, in quanto vicini all'approccio a telaio equivalente (Calderoni *et al.*, 1987; Calderoni *et al.*, 1989; Magenes & Calvi, 1996; Magenes, 2000), abbinato all'analisi statica non lineare, previsto dalle attuali Norme nazionali (NTC 2008; CM n. 617 del 02/02/2009) e internazionali (Eurocode 8 UNI EN 1998-3; FEMA 306).

Il tutto presuppone che ogni parete muraria sia sollecitata solo nel proprio piano, quindi che, sia nel caso di un edificio in muratura di nuova progettazione sia nel caso di un edificio in muratura esistente, siano stati messi in atto quegli accorgimenti tecnologici necessari a evitare l'innescarsi di meccanismi locali di collasso fuori dal piano. Quando questo accade, ovvero quando la risposta strutturale di un edificio in muratura è corretta o, come si è soliti dire, è scatolare, la risposta strutturale di ciascuna parete muraria viene a dipendere dalle capacità di resistenza e deformabilità dei pannelli di maschio e dei pannelli di fascia.

Nel contesto dei metodi ai macroelementi il comportamento sismico dei pannelli di fascia solo di recente è stato oggetto di studi sistematici, teorici e sperimentali (Augenti, 2007; Calderoni *et al.*, 2007; Rizzano *et al.*, 2009; Dazio & Beyer, 2010), ma non al pari dei pannelli di maschio, nonostante sia ormai evidente che essi hanno un ruolo non marginale. Ne sono testimonianza i criteri di resistenza ed i limiti di deformabilità adottati dalle Norme nazionali (semplicemente mutuati da quelli considerati per i pannelli di maschio), che pure rappresentano un passo avanti rispetto alla Norme europee e statunitensi. Uno dei motivi può essere rintracciato nel fatto che il danneggiamento delle fasce di per sé non corrisponde, di solito, al raggiungimento dello stato limite ultimo della parete muraria (le fasce sono quindi viste come elementi "secondari"). Fino all'avvento dei metodi ai macroelementi, poi, l'unico metodo di calcolo per gli edifici in muratura ampiamente diffuso in ambito professionale era il metodo POR, che ipotizza fasce indeformabili e di resistenza infinita, senza fornire un criterio di verifica di tale assunto.

Al variare della morfologia dei pannelli di fascia, invece, si hanno differenti gradi di accoppiamento tra i pannelli di maschio e differenti schemi statici per la parete muraria (Fig.2). Le relative capacità di resistenza e deformabilità incidono sulla vulnerabilità sismica di un edificio in muratura.

Il comportamento sismico dei pannelli di fascia dipende, in sostanza, dalle caratteristiche meccaniche della muratura, dalle dimensioni geometriche, dalla presenza o meno di uno o più elementi resistenti a trazione. In termini di caratteristiche meccaniche della muratura i parametri fondamentali sono la resistenza a compressione in direzione orizzontale e la resistenza a taglio, intesa come resistenza a taglio per scorrimento e resistenza a taglio per fessurazione diagonale. In termini di dimensioni geometriche è prassi fare riferimento a tre rapporti di snellezza (lunghezza/altezza): fascia snella ($l/h \approx 1.50$), fascia intermedia ($l/h \approx 1.35$), fascia tozza ($l/h \approx 1.00$). In termini di presenza o meno di uno o più elementi resistenti a trazione sono state individuate tre possibili configurazioni (Calderoni *et al.*, 2007): fascia semplice o fascia architrave (assenza elemento resistente a trazione Fig.2a), fascia puntone o fascia moncatena (presenza di un elemento resistente a trazione Fig.2b), fascia trave o fascia bicatena (presenza di due elementi resistenti a trazione Fig.2c).

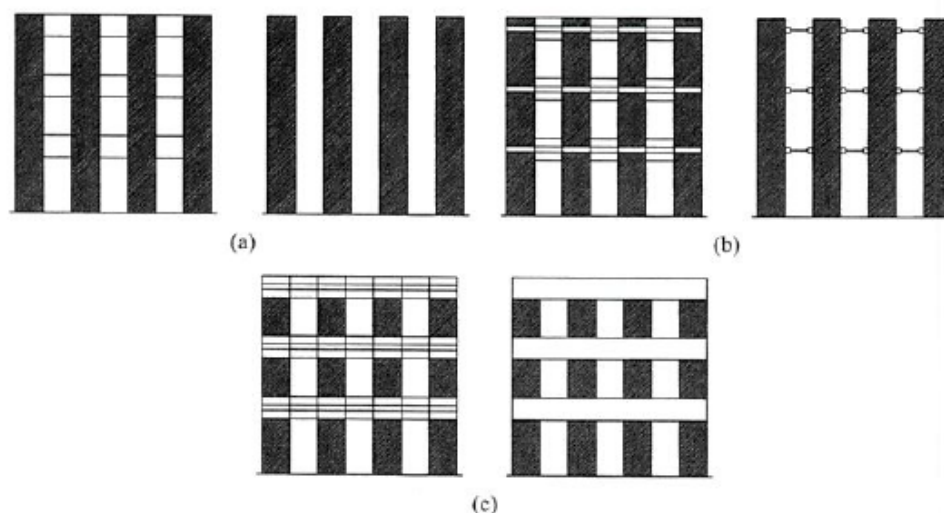


Figura 2. Configurazioni di fascia

Obiiettivo della ricerca negli ultimi anni, soprattutto in Italia, è stato comprendere come questi tre aspetti influenzino i meccanismi di rottura dei pannelli di fascia, al fine di suggerire appropriate relazioni da introdurre nelle Norme nazionali, per il progetto o la verifica di sicurezza di un edificio in muratura, che non siano semplicemente mutate da quelle valide per i pannelli di maschio.

Qualsiasi formulazione necessita di un riscontro con i risultati di prove sperimentali che, a tutt'oggi, sono pochi e riferiti ad una casistica ristretta. In questo contributo viene presentato il programma sperimentale messo a punto ed eseguito presso il Laboratorio Prove Strutture e Materiali del DICeA, volto a indagare l'influenza, sui meccanismi di rottura dei pannelli di fascia, delle dimensioni geometriche (rapporto di snellezza) e della presenza o meno di uno o più elementi resistenti a trazione (configurazione di fascia), assegnata la tipologia di muratura.

2. SET-UP DI PROVA

La messa a punto del set-up di prova è stata preceduta da una preliminare attenta fase di progetto, necessaria per dare soluzione ad alcune difficoltà tecniche oggettive, oltre che per individuare l'assetto più corretto, compatibilmente con i mezzi a disposizione. In tale fase

preliminare è stato condotto un excursus critico dei set-up di prova documentati in letteratura (Genovese, 2001; Augenti & Parisi, 2008; Gattesco *et al.*, 2008; Calderoni *et al.*, 2009; Graziotti *et al.*, 2009), dal quale è emersa l'alternanza di vari ordini di problemi. Partendo dall'osservazione di questi problemi si è giunti alla definizione di un set-up di prova che cercasse di superare alcuni dei limiti riscontrati, conciliando esigenze tecniche del test e logistiche del laboratorio.

I vincoli di progetto sono stati i seguenti.

- 1) La forma dei provini doveva essere in grado di riprodurre le reali condizioni al contorno di ammorsamento tra pannello di fascia e pannelli di nodo, in un fattore di scala significativo, con dimensioni geometriche variabili (diversi rapporti di snellezza), presenza di elementi resistenti a trazione (diverse configurazioni di fascia), assegnata la tipologia di muratura.
- 2) L'apparato di prova doveva: essere staticamente determinato, con controllo indipendente delle risultanti delle forze applicate; lasciare libero lo spostamento orizzontale per evitare sovracompressioni nel pannello di fascia, non indotte da un eventuale elemento resistente a trazione; essere versatile, permettendo test monotoni e ciclici, in modo da poterlo sfruttare in eventuali test aggiuntivi.
- 3) Per non bloccare l'attività del laboratorio, i provini dovevano essere costruiti all'esterno e trasportati all'interno, terminato il periodo di maturazione della malta, con ovvie complicazioni di movimentazione.
- 4) Al fine di ridurre i costi dovevano essere adoperate, per quanto possibile, carpenteria metallica e strumentazione già fruibile in laboratorio.

Proprio in ragione di quest'ultimo punto, è stato deciso di riadattare la carpenteria metallica servita per una precedente sperimentazione su traversi di accoppiamento in c.a. (Galano & Vignoli, 2000).

Al fine di riprodurre le reali condizioni al contorno di ammorsamento tra pannello di fascia e pannelli di nodo per i provini è stata scelta una forma ad H (fattore di scala 1:2 e spessore 12 cm), con pannelli di nodo laterali di dimensioni geometriche (110.0×99.5) cm, pannello di fascia centrale di lunghezza fissa (60 cm) e altezza variabile. Sulle facce superiori e inferiori dei pannelli di nodo è stato realizzato un cordolo di ripartizione in calcestruzzo, di altezza 5 cm.

Dovendo costruire i provini all'esterno del laboratorio si è posta la questione della loro movimentazione, per risolvere la quale si è fatto ricorso ad un opportuno sistema provvisorio di "impacchettamento". Ciascun provino è stato costruito e mantenuto, durante tutto il periodo di maturazione della malta, su di un profilato HEA140, di lunghezza 2.20 m.

L'apparato di prova è costituito da un telaio in acciaio verticale di contrasto, collegato alle traverse del banco di prova mediante piastre bullonate (Fig.3, Fig.5a), a cui sono agganciati due martinetti idraulici MTS, ciascuno con portata massima 350 kN e corsa 100 mm. Il telaio è composto da due travi UPN160 e due colonne HEB240, collegate tra loro mediante bulloni $\phi 19$.

Il provino è vincolato in direzione verticale per mezzo di quattro rulli di acciaio (due inferiori e due superiori) collocati in corrispondenza delle cravatte sagomate (Fig.3), a distanza $a_1 \approx 30$ cm dal margine esterno del provino, mentre è libero di spostarsi in direzione orizzontale, per evitare sovracompressioni nel pannello di fascia, non indotte da un eventuale elemento resistente a trazione. Il carico è applicato, in controllo di spostamento, in prossimità delle due sezioni di estremità del pannello di fascia, mediante due attuatori invertiti, ciascuno agganciato a due piastre, accostate una sul cordolo di ripartizione inferiore una sul cordolo di ripartizione superiore, collegate mediante quattro barre filettate $\phi 16$. Il provino è dunque soggetto a taglio costante e momento flettente emisimmetrico, secondo lo schema statico di Fig.4.

Il set-up di prova è tale per cui il test potrebbe essere sia monotono che ciclico. In questo caso si è optato per un test monotono fino a rottura.

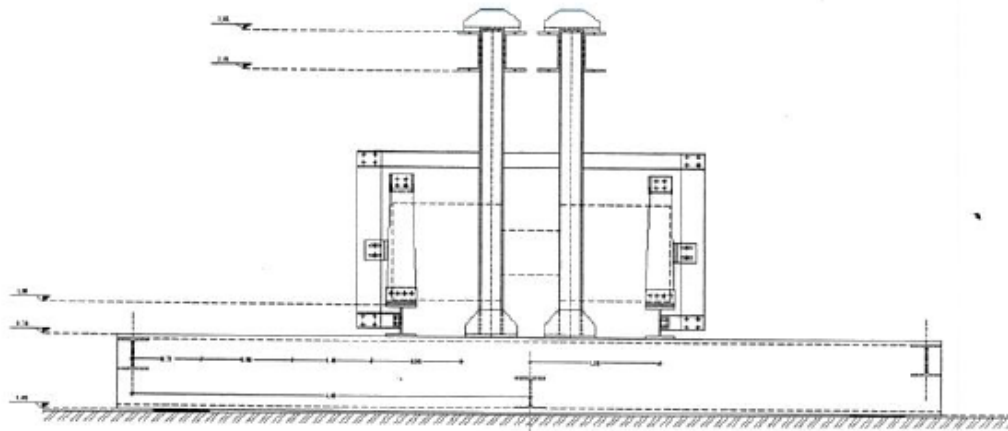


Figura 3. Set-up di prova DICEA: prospetto

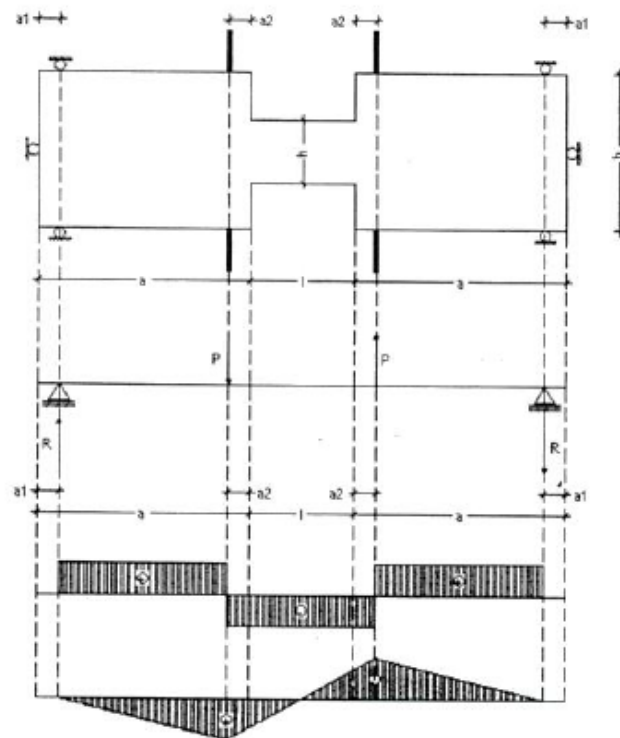


Figura 4. Set up di prova DICEA: schema statico

La strumentazione di prova (Fig.5b e Fig.6) consente l'acquisizione continua nel tempo delle seguenti grandezze:

- carico (P_1 , P_2) dei due martinetti idraulici MTS;
- spostamento verticale di due punti all'intradosso del provino, in prossimità delle due sezioni di estremità del pannello di fascia (S_{v1} , S_{v2});
- spostamenti delle quattro diagonali (d_1 , d_2 , d_3 , d_4);

- spostamento verticale di due punti in prossimità degli appoggi (f_1 , f_2);
 - spostamento orizzontale di due punti in prossimità degli appoggi (S_{o1} , S_{o2}).
- Tutti gli spostamenti sono registrati tramite trasduttori induttivi di spostamento.



Figura 5. Set-up di prova DICeA: (a) telaio di contrasto (b) strumentazione

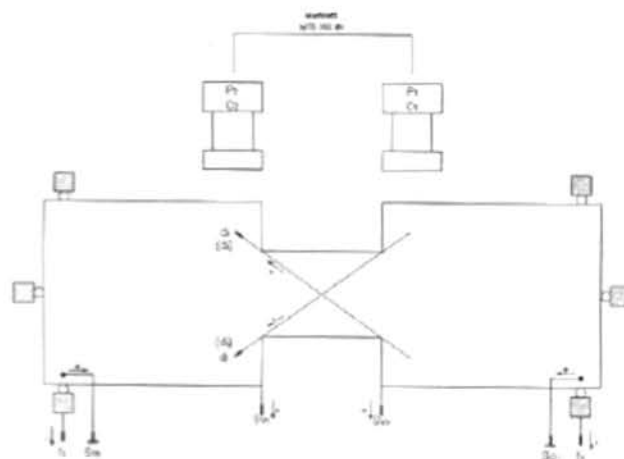


Figura 6. Set up di prova DICeA: strumentazione

3. PROGRAMMA SPERIMENTALE

Il programma sperimentale ha previsto la realizzazione di 15 provini, con forma ad H, in scala 1:2, in muratura di mattoni pieni ad una testa (spessore 12 cm) e malta idraulica. Gli elementi artificiali utilizzati hanno resistenza media a compressione f_{bm} e resistenza media iniziale a taglio per scorrimento f_{vm0} dichiarate dal produttore pari, rispettivamente, a 25.0 N/mm² e 0.29 N/mm². La malta è stata confezionata con calce idraulica naturale NHL5 e aggregato sabbia di fiume a granulometria 04, in rapporto 1/2, riconducibile alla Classe M5 (NTC 2008, § 11.10.2, Tabella 11.10.III) con un tempo di maturazione superiore a 120 gg. Questo dato è stato tratto dagli esiti di una precedente sperimentazione (Del Monte & Vignoli, 2008) condotta presso il Laboratorio Prove Strutture e Materiali del DICeA su malte storiche.

L'altezza del pannello di fascia è stata variata in modo da avere 3 rapporti di snellezza, fascia snella $l/h \approx 1.50$ Fig.7a, fascia intermedia $l/h \approx 1.35$ Fig.7c, fascia tozza $l/h \approx 1.00$ Fig.7b, per ciascuno dei quali sono stati confezionati 5 provini, di cui:

- 2 in sola muratura (Fig.8) – fascia semplice;

- 1 con architrave in legno sull'intero spessore (Fig.9), lunghezza 1.27 m, altezza 5.5 cm (un ricorso), appoggiato alle spalle dell'apertura e confinato mediante getto di malta – fascia semplice;
- 1 con cordolo in c.a. sull'intero spessore (Fig.10), sull'intera lunghezza del provino (2.80 m), alla quota dell'apertura superiore (quota impalcato), di sezione (12×12) cm, armato con 4 ϕ 8 e staffe ϕ 6/10" – fascia puntone;
- 1 con catena in acciaio (Fig.11), messa in opera accostando 2 barre filettate ϕ 16, parallele all'asse principale del pannello di fascia, simmetriche rispetto allo spessore, chiuse sulle testate mediante piastra bullonata – fascia puntone.

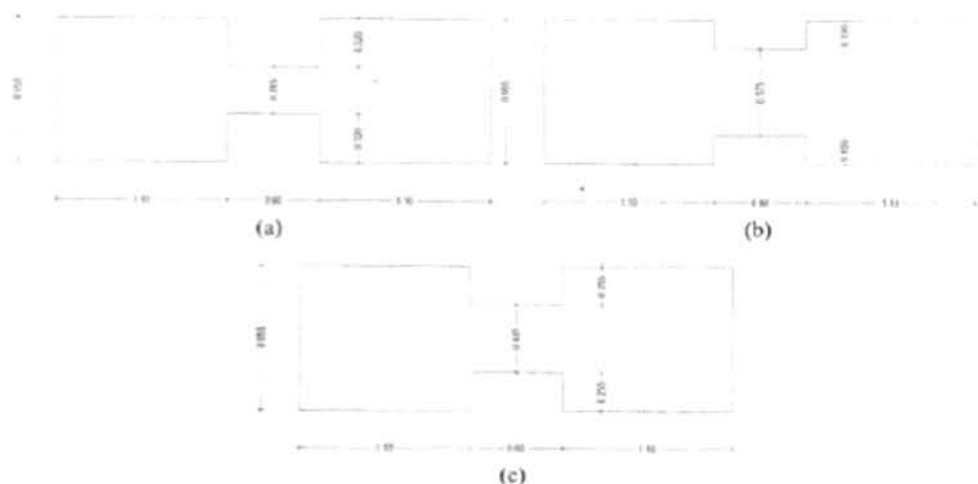


Figura 7. Dimensioni geometriche provini: (a) fascia snella (b) fascia tozza (c) fascia intermedia

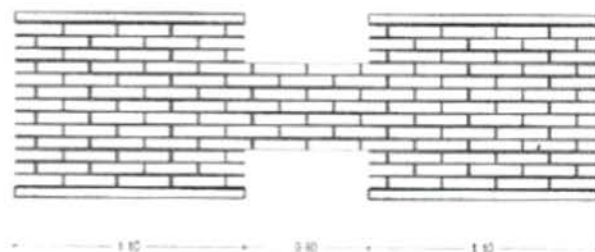


Figura 8. Fascia semplice

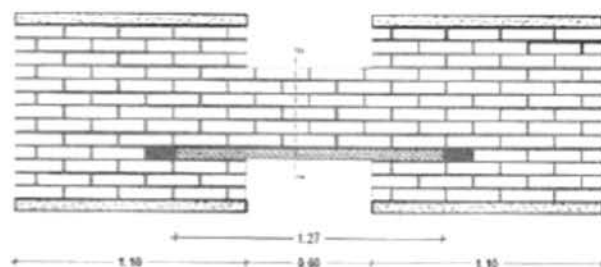


Figura 9. Fascia con architrave in legno

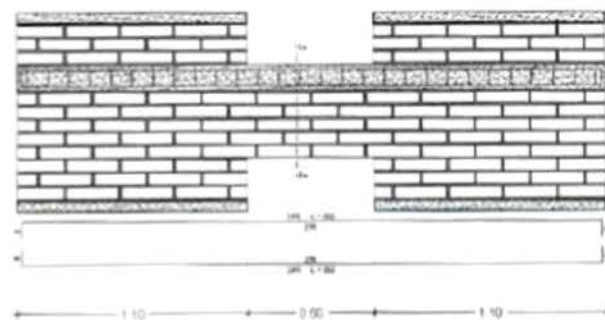


Figura 10. Fascia con cordolo in c.a.

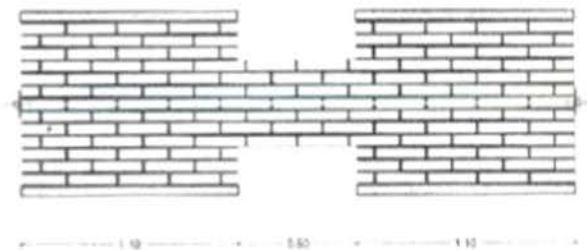


Figura 11. Fascia con catena in acciaio

Il programma sperimentale ha compreso anche le prove per la caratterizzazione meccanica della muratura e dei suoi elementi componenti:

- compression test (resistenza caratteristica a compressione f_k , modulo di elasticità E), Norma di riferimento UNI EN 1052-1:2001, 6 provini di dimensioni geometriche (50×50×12) cm;
- slip test (resistenza caratteristica iniziale a taglio per scorrimento f_{vk0} , angolo caratteristico di attrito interno ϕ_k), Norma di riferimento UNI EN 1052-3:2007, 9 provini di dimensioni geometriche (25×12×5.5) cm;
- diagonal test (resistenza caratteristica a taglio per fessurazione diagonale τ_k , modulo di elasticità tangenziale G), Norma di riferimento ASTM E 519-07, 3 provini di dimensioni geometriche (120×120×12) cm;
- prova di compressione sugli elementi artificiali (resistenza caratteristica a compressione f_{bk}), Norma di riferimento UNI EN 772-1:2002, 10 mattoni;
- prova di compressione su provini di malta (resistenza media a compressione f_{mm}), Norma di riferimento UNI EN 1015-11:2007, 40 prismi di dimensioni geometriche (40×40×160) mm; per la realizzazione dei provini sono stati impastati complessivamente 22 getti di malta e prelevati 40 prismi, secondo le indicazioni di Norma (UNI EN 1015-11:2007) per quanto attiene dimensioni geometriche, tempo e modalità di maturazione; la resistenza a compressione media della malta f_{mm} è stata progressivamente monitorata a partire dal 28° giorno, al fine di appurare che, alla data di esecuzione dei test (tempo di maturazione superiore a 120 gg), avesse raggiunto il valore atteso, maggiore di 5 N/mm².

4. RISULTATI PRELIMINARI

Per ogni provino le informazioni raccolte sono:

- schema descrittivo della geometria e della tessitura muraria;
- dimensioni geometriche;
- informazioni sul tempo di maturazione;
- lunghezza delle basi deformometriche lungo le diagonali;

- acquisizioni e risultati fondamentali:
 - P_{fes} carico in corrispondenza del quale appaiono le prime lesioni visibili
 - P_{max} carico massimo
 - $P_{max,mur}$ carico massimo lato muratura nei provini con cordolo in cemento armato;
- spostamento verticale medio (depurato della freccia agli appoggi) associato al carico P ;
- taglio T associato al carico P ;
- scorrimento associato al carico P secondo l'espressione di Eq.1, con δ_1 e δ_2 spostamenti verticali in corrispondenza delle due sezioni di estremità del pannello di fascia;
- drift definito secondo l'espressione di Eq.2;
- duttilità definita secondo l'espressione di Eq.3;

$$\gamma = \frac{|\delta_1| + |\delta_2|}{l} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\delta_{mov}}{l} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\gamma_{mov}}{\gamma_{fes}} \quad (3)$$

- immagini del quadro fessurativo;
- schema grafico del quadro fessurativo a rottura;
- diagramma carico – tempo;
- diagramma spostamento verticale – tempo;
- diagramma taglio – scorrimento.

Nella valutazione dei risultati è stato scelto di considerare come condizione di passaggio dal campo lineare al campo non lineare quella per cui appaiono le prime lesioni visibili (fes), come condizione ultima quella per cui si ha un abbattimento del carico massimo pari all'85%. Quanto sopra esposto viene esemplificato per il provino di fascia intermedia con architrave in legno (SINLI).

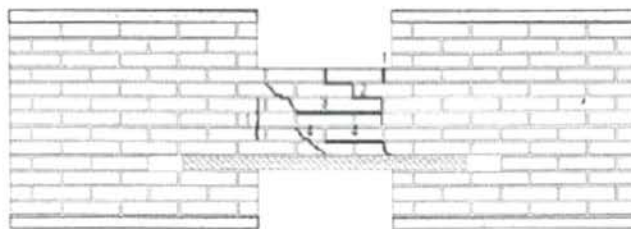


Figura 12. Provino SINLI: quadro fessurativo a rottura



(a)



(b)

Figura 13. Provino SINLI: (a) prima fessurazione (b) rottura

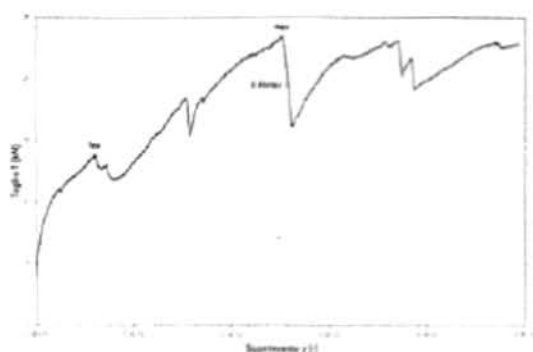


Figura 14. Provino SINLI: diagramma ($T - \gamma$)

I risultati, in corso di approfondimento, consentono alcune considerazioni qualitative. Se si distingue per rapporto di snellezza il meccanismo di rottura prevalente è di scorrimento orizzontale per la fascia snella (Fig.15a), di fessurazione diagonale per la fascia tozza (Fig.15c), misto (flessionale, scorrimento orizzontale, fessurazione diagonale) per la fascia intermedia (Fig.15b), il cui quadro fessurativo è sempre di più difficile interpretazione poiché non univoco e variabile con la configurazione di fascia. Se si distingue per configurazione di fascia il meccanismo di rottura è "puro" nel caso di fascia in sola muratura, intendendo con ciò l'attivazione di un unico meccanismo di rottura, senza attivazione del meccanismo a puntone inclinato. Nel caso di fascia con architrave in legno, si osserva prima l'instaurarsi di un meccanismo di rottura flessionale, seguito da scorrimento orizzontale nella fascia snella, fessurazione diagonale nella fascia tozza, misto fessurazione diagonale - scorrimento orizzontale nella fascia intermedia (Fig.16a). Nel caso di fascia con cordolo in c.a. e catena in acciaio si osserva prima l'instaurarsi di un meccanismo a puntone inclinato, seguito da scorrimento orizzontale nella fascia snella, fessurazione diagonale nella fascia tozza, misto nella fascia intermedia (flessionale affiancato da scorrimento orizzontale nella fascia con cordolo in c.a., scorrimento orizzontale affiancato da flessionale nella fascia con catena in acciaio, Fig.16b e Fig.16c).

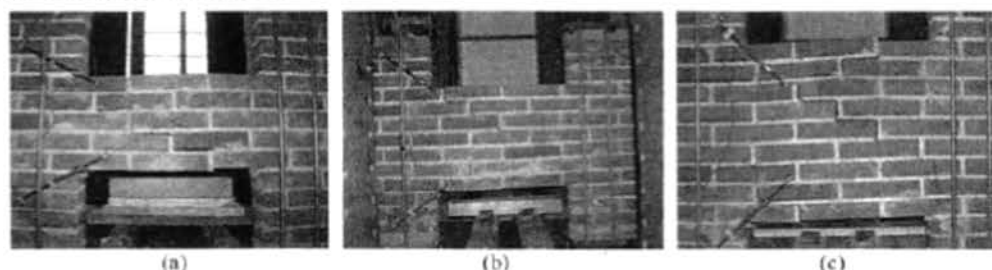


Figura 15. Meccanismi di rottura in funzione del rapporto di snellezza

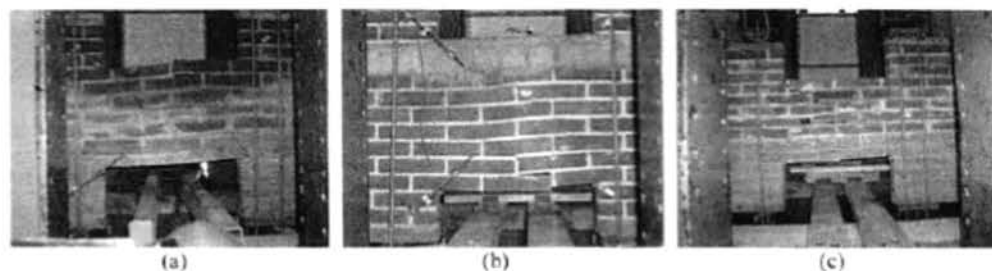


Figura 16. Meccanismi di rottura in funzione della configurazione

Il meccanismo di rottura per scorrimento orizzontale si manifesta al centro del provino, su di una superficie orizzontale di interfaccia tra elementi artificiali e malta prossima all'asse principale del provino e si propaga verso gli spigoli della diagonale compressa lungo i giunti di malta orizzontali e verticali. Il meccanismo di rottura per fessurazione diagonale si manifesta al centro del provino e si propaga verso gli spigoli della diagonale compressa andando a interessare elementi artificiali e giunti di malta sia orizzontali che verticali. Il meccanismo di rottura flessionale si innesca nelle sezioni verticali di estremità del provino, andando a interessare giunti di malta verticali ed elementi artificiali. È confermata la necessità di un elemento resistente a trazione perché si instauri il meccanismo a puntone inclinato, che non può essere affidato ai soli effetti di ingranamento delle sezioni di interfaccia tra pannello di fascia e pannelli di nodo. Il meccanismo a puntone inclinato si manifesta con distacco del cuneo compresso lungo i giunti di malta orizzontali e verticali.

5. CONCLUSIONI

Il programma sperimentale condotto è stato volto a indagare l'influenza, sui meccanismi di rottura dei pannelli di fascia, delle dimensioni geometriche (rapporto di snellezza) e della presenza o meno di uno o più elementi resistenti a trazione (configurazione di fascia), assegnata la tipologia di muratura. La messa a punto del set-up di prova è stata preceduta da una preliminare attenta fase di progetto, necessaria per dare soluzione ad alcune difficoltà tecniche oggettive, quali movimentazione dei provini e assemblaggio del sistema di prova, oltre che per individuare l'assetto più corretto, compatibilmente con i mezzi a disposizione. Si è giunti alla definizione di un set-up di prova che riesce a superare alcuni dei limiti manifestati da altri set-up di prova documentati in letteratura, conciliando esigenze tecniche del test e logistiche del laboratorio. In particolare:

- l'apparato di prova è in grado di riprodurre le reali condizioni al contorno di ammortamento tra pannello di fascia e pannelli di nodo;
- l'apparato di prova è staticamente determinato, con controllo indipendente delle risultanti delle forze applicate, spostamento orizzontale libero, per evitare sovracompressioni nel pannello di fascia, non indotte da un eventuale elemento resistente a trazione;
- l'assetto di prova è versatile (permette test monotoni e ciclici) e può essere sfruttato per eventuali test aggiuntivi, a parametri variati;
- il programma sperimentale comprende un campione di provini sufficientemente rappresentativo, in un fattore di scala significativo, con dimensioni geometriche variabili (diversi rapporti di snellezza), presenza di elementi resistenti a trazione (diverse configurazioni di fascia), assegnata la tipologia di muratura; in particolare il programma sperimentale ha previsto la realizzazione di quindici provini, con forma ad H, in scala 1:2, in muratura di mattoni pieni ad una testa (spessore 12 cm) e malta idraulica riconducibile alla Classe M5 con un tempo di maturazione superiore a 120 gg; l'altezza del pannello di fascia è stata variata in modo da avere tre rapporti di snellezza, fascia snella $l/h \approx 1.50$, fascia intermedia $l/h \approx 1.35$, fascia tozza $l/h \approx 1.00$, per ciascuno dei quali sono stati confezionati cinque provini, di cui: due in sola muratura (fascia semplice), uno con architrave in legno (fascia semplice), uno con cordolo in c.a. (fascia puntone); uno con catena in acciaio (fascia puntone);
- il programma sperimentale ha compreso anche le prove per la caratterizzazione meccanica della muratura e dei suoi elementi componenti.

È stata compiuta una serie di confronti incrociati tra prove sperimentali al fine di avere conferme e indicazioni aggiuntive sul comportamento sismico dei pannelli di fascia in muratura. Dal confronto dei dati sperimentali con le relazioni contenute nelle Norme nazionali potranno essere date indicazioni aggiuntive sui criteri di resistenza ed i limiti di deformabilità in funzione della tipologia di muratura e delle dimensioni geometriche del pannello di fascia.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Laboratorio Prove Strutture e Materiali del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (UNIFI) per il supporto tecnico.

BIBLIOGRAFIA

- NTC 2008, DM Infrastrutture e Trasporti del 14/01/2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, GU n. 29 del 04/02/2008.
- CM 2009, CM Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 02/02/2009, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"*, GU n. 47 del 26/02/2009.
- European Committee for Standardization (CEN), UNI EN 1998-1, (2005). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA 306, (1998). *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. Basic procedures manual*, Washington DC (USA).
- Augenti N., (2004). *Il calcolo sismico degli edifici in muratura*, UTET, Torino.
- Augenti N., (2007). "Resistenza delle fasce di piano di edifici in muratura sollecitati da azioni sismiche", *XII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, Pisa, Italia.
- Augenti N., Paris F., (2008), *Rapporto sulla prova monotona condotta su una parete forata elementare in muratura di tufo*, Progetto ReLUIS, Rendicontazione Scientifica 3° Anno, Allegato 4.3 – UR03-4.
- Calderoni B., Marone P., Pagano M., (1987). "Modelli per la verifica statica degli edifici in muratura in zona sismica", *Ingegneria Sismica*, Anno IV, n. 3, pp. 19-27.
- Calderoni B., Lenza P., Pagano M., (1989). "Attuali prospettive per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura", *Atti del IV Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, Milano, Italia.
- Calderoni B., Cordasco E. A., Lenza P., (2007). "Il ruolo della fascia di piano nel comportamento sismico degli edifici in muratura", *Ingegneria Sismica*, Anno XXIV, n. 1, pp. 26-40.
- Calderoni B., Cordasco E. A., Lenza P., Pacella G., (2009). "Analisi numerica su base sperimentale del comportamento strutturale delle fasce murarie di piano", *Atti del XIII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, Bologna, Italia.
- Dazio A., Beyer K., (2010). "Seismic behaviour of different types of masonry spandrels", *Proceedings of the 14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Macedonia.
- Del Monte E., Vignoli A., (2008). "In situ mechanical characterization of the mortar in masonry buildings with DRMS", *Proceedings of the SaCoMatis Conference*, Varenna, Italy.
- Galano L., Vignoli A., (2000). "Seismic behaviour of short coupling beams with different reinforcement layouts", *ACI Structural Journal*, Vol. 97, n. 6, pp. 876-885.
- Gattesco N., Clemente I., Marcorini L., Noè S., (2008). "Experimental investigation on the behaviour of spandrel in ancient masonry buildings", *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.
- Genovese C., (2001). *Analisi di comportamento sotto sisma di strutture murarie con modelli funzionali*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino.
- Graziotti F., Magenes G., Penna A., Galasco A., (2009). "Comportamento ciclico sperimentale nel piano di fasce in muratura di pietra", *Atti del XIV Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, Bari, Italia.
- Magenes G., Calvi G. M., (1996). "Prospettive per la calibrazione di metodi semplificati per l'analisi sismica di pareti murarie", *Atti del Convegno "La Meccanica della Muratura tra Teoria e Progetto"*, Messina, Italia.
- Magenes G., (2000). "A method for pushover analysis in seismic assessment of masonry buildings", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM, Auckland, New Zealand.
- Rizzano G., Sabatino R., Zambrano M., (2009). "L'influenza delle fasce di piano sulla resistenza di pareti in muratura", *Atti del XIII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, Bologna, Italia.