

Paolo Morandi\*  
 Riccardo R. Milanese\*\*  
 Guido Magenes\*\*\*

# Sistema innovativo antisismico per tamponature in laterizio a giunti scorrevoli

L'Università di Pavia ha ideato e realizzato un sistema di tamponature in laterizio a danneggiamento controllato e ad interazione ridotta con il telaio attraverso l'uso combinato di giunti scorrevoli nel pannello e di giunti deformabili all'interfaccia

**KEYWORDS** Muratura di tamponamento in laterizio, Soluzione innovativa antisismica, Dettagli costruttivi, Giunti scorrevoli

Il comportamento sismico delle tamponature in muratura e l'interazione con la struttura in calcestruzzo armato sono stati al centro di numerosi studi, sia numerici sia sperimentali, da parte di molte unità di ricerca di tutto il mondo. Tuttavia, sebbene nel passato siano state avanzate varie proposte, non esiste ancora una soluzione tecnica e di dettaglio costruttivo giudicata economicamente sostenibile, in grado di ridurre le problematiche dei pannelli murari soggetti ad azioni sismiche, garantendo anche sufficienti prestazioni termo-acustiche e di durabilità. Per risolvere tali problematiche è stato avviato, nell'ottobre del 2013, un progetto di ricerca Europeo FP7, denominato INSYSME [1, 2], il cui scopo è lo studio

di soluzioni innovative di tamponatura antisismica ed il miglioramento degli attuali criteri progettuali; il progetto, coordinato dall'Università di Padova, vede l'Università di Pavia tra i partner scientifici ed ANDIL e Ruredil Spa tra i partner industriali italiani. In questo contesto, l'Università di Pavia ha ideato e realizzato una soluzione in laterizio che consente di controllare il danneggiamento della muratura e di ridurre l'interazione globale e locale tra il telaio ed il pannello attraverso l'uso combinato di opportuni giunti scorrevoli inseriti nel corpo murario e di giunti deformabili all'interfaccia tamponatura-telaio. Il sistema può essere impiegato sia nelle nuove costruzioni in c.a. che nella sostituzione (demolizione

## Innovative seismic resistant system for clay masonry infills with sliding joints

**KEYWORDS** Clay masonry infill, Innovative seismic resistant solution, Construction details, Sliding joints

Within the European FP7 Project "INSYSME", which mainly aims at the implementation of innovative seismic solutions for masonry infills, the research unit of the University of Pavia has conceived and realized an infill system with the purpose of controlling the damage in the masonry and of reducing the panel-frame interaction, through a combined use of proper sliding joints included in the clay masonry and deformable joints at the wall-frame interface. The idea behind the proposed solution stems from principles already implemented in the past.

The originality of this solution lies in the adoption of different and innovative materials for the implementation of the flexible and sliding joints and in the experimental campaign, carried out on full scale rein-

forced concrete infilled frames and on a two-storey building, resorting to dynamic shaking table tests. In this paper, the principles behind the proposed system are defined, along with the description of the characteristics of the main innovative construction details and materials; a complete mechanical characterization of the clay units, of the mortar and of the masonry specimens is reported.

In-plane cyclic tests on single bay-single storey RC frame infilled with the innovative solution will be carried out, followed by dynamic tests on shaking table for the application of out-of-plane action on the panels. In addition, a full scale two-storey RC building infilled with the proposed system will be tested dynamically on the shaking table. The specimens possess infills with and without openings.

e successiva ricostruzione) di tamponature in edifici esistenti che necessitino un miglioramento delle prestazioni sismiche. Sulla soluzione proposta è stata presentata domanda di brevetto dagli autori dell'articolo, in qualità di inventori, e da ANDIL, in qualità di beneficiaria.

La ricerca prevede una caratterizzazione meccanica completa dei materiali utilizzati, una serie di test su due telai in c.a. tamponati ad un piano e ad una campata (uno con apertura ed uno senza) ed una prova su un edificio tamponato in scala reale. I test di caratterizzazione consistono in prove su blocchi in laterizio, malte e muratura, sui telai sono in corso prove cicliche “nel piano” seguite da prove dinamiche “fuori piano” su tavola vibrante, infine l'edificio sarà sottoposto a prove dinamiche su tavola vibrante.

Nel presente articolo ci si sofferma principalmente sui principi cardine del sistema, con una descrizione dei dettagli e dei materiali utilizzati; inoltre, verranno anche trattati e discussi i primi risultati delle prove di caratterizzazione svolte sui materiali murari.

### Possibili soluzioni innovative per tamponature in muratura

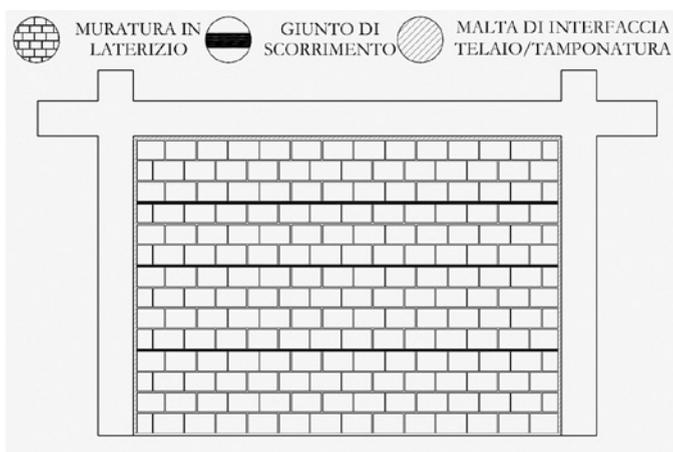
Durante i rilievi post-sismici ed in seguito alle risultanze sperimentali sulle soluzioni tradizionali, nel caso di tamponature in muratura realizzate in completa aderenza al telaio in c.a., si sono osservate alcune criticità nei confronti delle azioni sismiche, sia relativamente alla risposta sismica nel piano che a quella fuori piano [3]. Le cause di tali problemi sono da imputare a diversi aspetti, in parte legati alla cattiva realizzazione dei dettagli costruttivi ed all'utilizzo di materiali con scarse qualità meccaniche ma in parte anche legate ad una impropria progettazione delle tamponature; quest'ultimo aspetto è probabilmente riconducibile anche ai limiti delle attuali normative strutturali italiane (NTC 2008 [4]) ed europee (EC8 [5]), relativamente alla progettazione ed alla realizzazione delle tamponature.

Sulla base delle criticità sopra esposte, risulta necessario studiare e verificare soluzioni innovative di tamponamento che permettano, nel rispetto dei requisiti termo-acustici, un danneggiamento nel piano più controllato, una riduzione dell'interazione negativa locale e globale con la struttura in c.a. ed un'adeguata resistenza alle azioni dirette ortogonalmente al piano. Di seguito vengono brevemente presentate alcune possibili soluzioni innovative che sono state, o sono al momento, oggetto di ricerca.

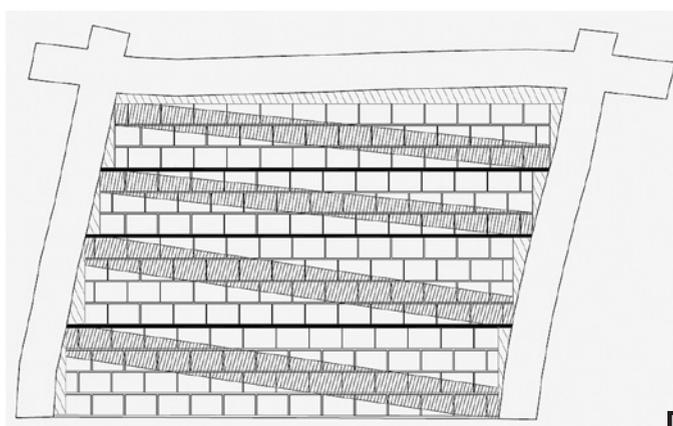
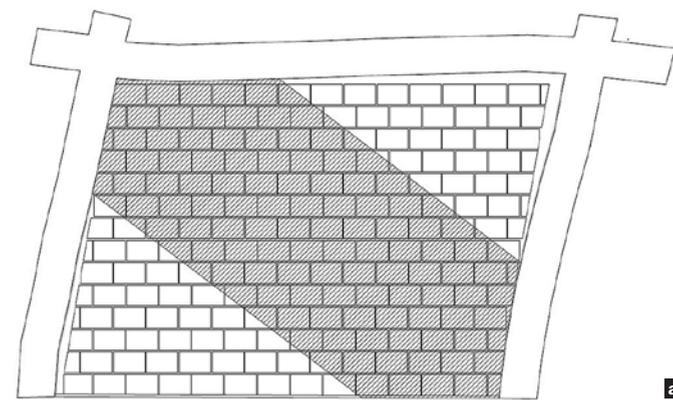
**Soluzione “con incremento di resistenza”.** Una delle soluzioni più ricorrenti è quella che prevede l'incremento della resistenza nel piano e fuori dal piano della tamponatura utilizzando vari elementi o materiali quali armature verticali e/o orizzontali nel pannello, reti metalliche [6], materiali compositi come il CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer” [7] o il FCRM (“Fiber Reinforced Cementitious Matrix”) [8]. Tuttavia, l'incremento della resistenza nel piano e fuori piano non limita l'interazione telaio/tamponatura che, in alcuni casi, può risultare dannosa nei confronti della risposta sismica della struttura in c.a..



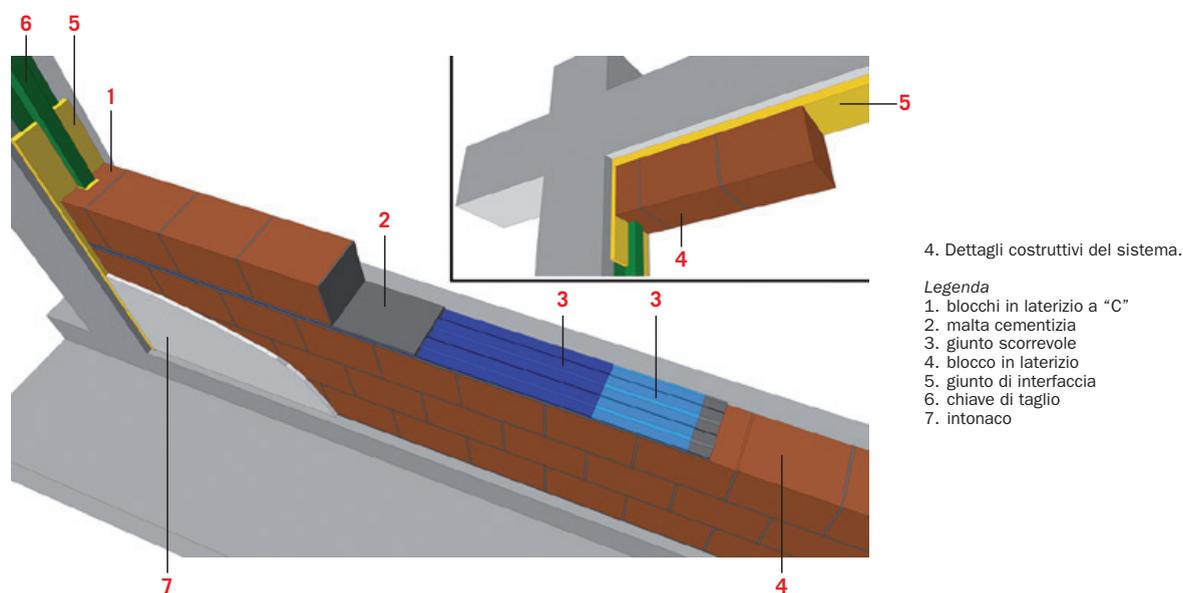
1. Soluzione svincolata con giunto e possibili dettagli costruttivi anti-ribaltamento.



2. Rappresentazione della soluzione innovativa.



3. Idealizzazione del puntone compresso nel caso di tamponatura “tradizionale” (a) ed a giunti scorrevoli (b).



**Soluzione "svincolata" dalla struttura.** La soluzione svincolata dal telaio mediante giunti o intercapedini riduce sensibilmente, in via teorica, l'interazione ed il danneggiamento nel piano del pannello. Il sistema svincolato può però presentare problematiche tecnologiche e progettuali che lo rendono complesso da realizzare. Per esempio, uno dei possibili problemi riguarda il dimensionamento della larghezza del giunto di separazione ed il materiale con cui realizzarlo, soprattutto nel caso di spessori significativi, dovendo garantire sufficienti prestazioni termo/acustiche; inoltre, risulta complesso il controllo del danneggiamento nel caso di chiusura repentina del giunto; infine, si possono presentare difficoltà tecnologiche nell'implementazione del dettaglio che sia in grado di garantire il libero movimento nel piano ma, al contempo, vincolare l'inflessione fuori piano (fig. 1).

**Soluzione "a giunti scorrevoli".** La terza soluzione prevede la suddivisione della tamponatura in strisce orizzontali mediante dei giunti scorrevoli in modo da concentrare la deformazione, e di conseguenza il danno, in alcuni piani "di sacrificio" preferenziali mantenendo però integre le restanti parti del pannello murario. Il contributo di rigidità e resistenza nel piano della tamponatura alla struttura risulta di conseguenza ridotto e la stabilità fuori piano garantita. La soluzione proposta dall'Università di Pavia rientra in questa categoria di sistemi e verrà descritta nei paragrafi successivi.

### Principi base del sistema innovativo a giunti scorrevoli

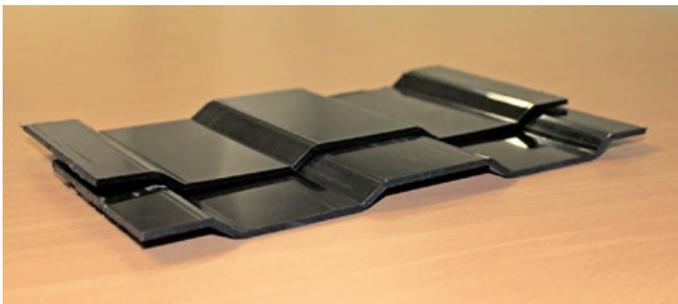
Il sistema innovativo di tamponatura proposto consente di controllare il danneggiamento all'interno della muratura e di ridurre l'interazione negativa tra il telaio ed il pannello attraverso l'attivazione di azioni aggiuntive di taglio sui pilastri in c.a.. L'inserimento di giunti orizzontali scorrevoli nel corpo murario permette la formazione di linee di frattura preferenziali, mentre la predisposizione di opportuni giunti deformabili all'interfaccia pannello/struttura riduce l'interazione ne-

gativa con gli elementi in c.a.. L'idea di base del sistema prende spunto da principi implementati nel passato con particolare riferimento a soluzioni proposte recentemente da Mohammadi [9] e da Preti [10]. Peraltro, già a partire da metà del XVIII secolo, anche in zone ad elevata sismicità, si sono viste soluzioni che prevedevano pareti murarie con piani di scorrimento preferenziali, normalmente realizzati in legno, per ottenere un comportamento sismico soddisfacente (es. "casa baraccata" in Calabria, "gaiola pombalina" in Portogallo, "colombage" in Francia, "half timber houses" in Inghilterra) [11]. Tuttavia, l'originalità della soluzione proposta risiede, da una parte nell'utilizzo di materiali differenti ed innovativi per gli elementi di scorrimento e per i giunti deformabili rispetto ai lavori sopracitati, e dall'altra nella verifica dell'efficacia del sistema tramite una sperimentazione completa che comprende anche test dinamici su tavola vibrante di provini in scala reale. La tamponatura innovativa (fig. 2) è pensata disaccoppiandola dalla struttura in c.a. attraverso la suddivisione del pannello in quattro fasce orizzontali per mezzo di giunti scorrevoli realizzati in materiale plastico ed annegati nei letti di malta. Un materiale deformabile con buone caratteristiche di isolamento termico ed acustico è stato appositamente ideato per essere posto all'interfaccia tamponatura/telaio al fine di ridurre la concentrazione di sforzi e le conseguenti rotture e danneggiamenti locali. L'utilizzo dei giunti orizzontali scorrevoli e dei giunti deformabili all'interfaccia garantisce una sufficiente capacità deformativa senza causare danneggiamento nelle strisce murarie e riduce l'interazione negativa pannello/struttura. La suddivisione in strisce murarie consente di evitare l'instaurarsi di un unico puntone diagonale nella tamponatura, forzando invece lo scorrimento lungo piani predefiniti a causa del basso coefficiente di attrito.

La fig. 3 mostra la differenza tra la tamponatura tradizionale in cui si crea un unico puntone compresso (a) e la tamponatura proposta (b). Grazie alla soluzione sviluppata si dovrebbe otte-



5. Prove di resistenza a "taglio locale" del blocco di estremità a "C".



6. Componente del sistema: giunti di scorrimento.

nere, sia per bassi che per alti livelli di spostamento, una maggiore capacità dissipativa da parte del singolo telaio tamponato, una riduzione della rigidità e della resistenza nel piano ed un controllo del danneggiamento con fessurazioni localizzate in corrispondenza dei piani di scorrimento.

Inoltre, si dovrebbe verificare una riduzione del taglio locale sulle colonne in c.a. del telaio per via della distribuzione più uniforme delle spinte dei puntoni compressi della muratura sugli elementi del telaio dovuta alla suddivisione su più strisce. A livello globale, l'implementazione del sistema consente anche di limitare la concentrazione di deformazioni/sollecitazioni in un unico piano dell'edificio riducendo il rischio di formazioni di meccanismi di "piano debole".

Il comportamento fuori piano è governato dalla resistenza flessionale orizzontale delle fasce murarie, a cui viene aggiunto il contributo di un intonaco fibro-rinforzato e dell'ingranamento meccanico trasversale dei giunti scorrevoli corrugati. La stabilità alle azioni fuori piano del tamponamento è inoltre garantita per mezzo di chiavi di taglio in acciaio opportunamente vincolate ai pilastri e da blocchi di estremità in laterizio sagomati con forma a "C".

### Dettagli costruttivi e materiali utilizzati nel sistema

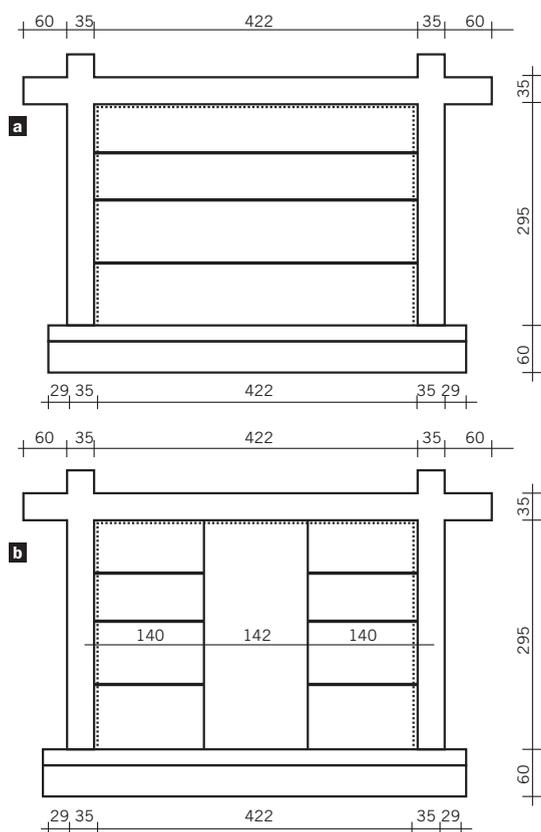
I componenti del sistema, mostrati schematicamente in figura 4, sono stati dimensionati per garantire spostamenti nel piano fino a valori di drift del 3% ed accelerazioni fuori piano agenti sul tamponamento di 3g senza rotture negli elementi. La muratura è costituita da blocchi in laterizio alleggerito in pasta a foratura verticale e da giunti di malta tradizionali, sia verticale sia orizzontali, di circa 1 cm di spessore. Il blocco presenta di-

mensioni nominali pari a 300x250x190 mm (rispettivamente lunghezza x spessore x altezza) con una percentuale di foratura del 45% ed è classificato come semipieno in accordo alle NTC2008 [4] ed appartenente al gruppo 2 in accordo all'Eurocodice 6 [12]. La resistenza nominale a compressione verticale e laterale è pari rispettivamente a 8 MPa e 2MPa. La malta utilizzata è di tipo M5. I blocchi di estremità di ogni corso sono stati realizzati con elementi in laterizio a "C" (fig. 5) in modo da potersi innestare nella chiave di taglio fissata ai pilastri.

Sulla tamponatura è stato posato uno strato di intonaco fibro-rinforzato di circa 20 mm di spessore col fine di aumentare la resistenza flessionale orizzontale fuori piano delle fasce murarie. Per non pregiudicare lo scorrimento reciproco delle fasce, si è provveduto a ridurre lo spessore dell'intonaco in corrispondenza dei giunti scorrevoli mediante degli inspessimenti. L'intonaco utilizzato presenta una resistenza a flessione ed a compressione nominale rispettivamente di 4 MPa e 24 MPa. Si sarebbero potute ottenere le prestazioni richieste anche con altre soluzioni, come per esempio l'utilizzo di una malta da intonaco meno performante o di minor spessore e l'inserimento di un'opportuna rete da intonaco. E' evidente che, per azioni sismiche di progetto basse/moderate, la resistenza flessionale fuori piano della sola muratura potrebbe risultare sufficiente, senza l'utilizzo di particolari intonaci o rinforzi.

Il giunto orizzontale scorrevole (fig. 6) è costituito da due elementi opportunamente sagomati maschio-femmina con spessore di 3 mm l'uno, realizzati con un materiale plastico a coefficiente d'attrito ridotto. Nominalmente, la resistenza a trazione ed a flessione è rispettivamente di 75 MPa e 110 MPa ed il coefficiente d'attrito dinamico è pari a 0.20.

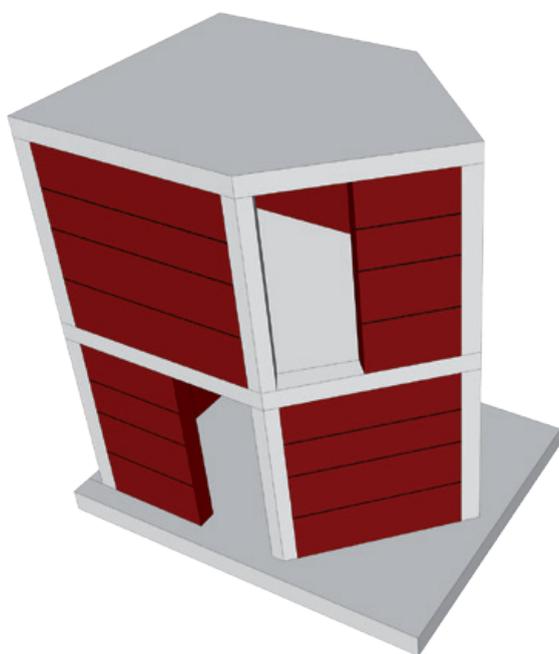
Per il giunto di interfaccia tamponatura/telaio è stata utilizzata una miscela studiata "ad hoc" a base di materiale cementizio, dalla quale si è ottenuto un modulo elastico compreso tra 100 e 150 MPa, pur mantenendo valori di resistenza a flessione e compressione simili a quelli di una malta tradizionale per murature portanti. Lo spessore del giunto varia dai 25 mm nell'interfaccia muratura/pilastro ai 30 mm all'intradosso della trave. Le chiavi di taglio sono invece realizzate con profili ad "omega" in acciaio S235 piegato a freddo e connessi ai pilastri in c.a. attraverso chiodi sparati nel calcestruzzo.



7. Prove cicliche su telai tamponati: (a) tamponamento pieno; (b) tamponamento con apertura.

	Resistenza a compressione verticale	Resistenza a compressione laterale
$f_b$ [MPa]	19.7	4.07
$f_{b,norm}$ [MPa]	21.2	4.69
$f_{bk}$ [MPa]	13.3	2.80

Tabella 1. Risultati delle prove di caratterizzazione sul blocco in laterizio. Resistenza a compressione verticale e laterale.



8. Modello dell'edificio in c.a. tamponato con la soluzione proposta soggetto a prova dinamica su tavola vibrante.

## Prove di caratterizzazione meccanica dei materiali

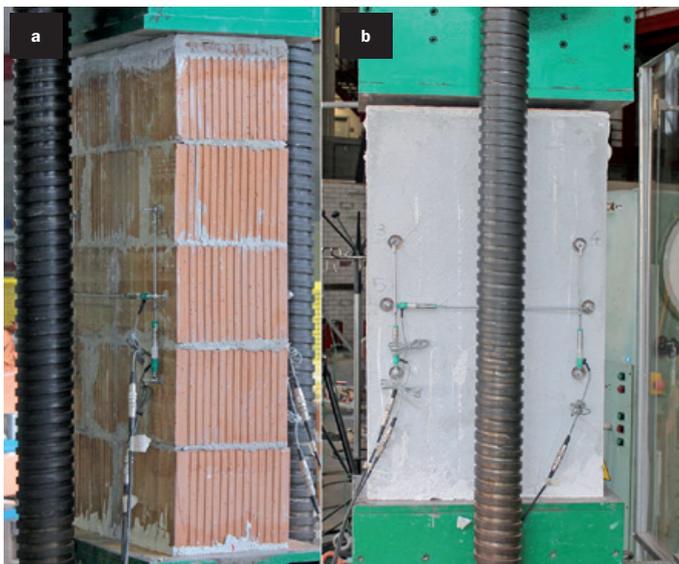
Nell'ambito della ricerca avviata per validare la soluzione proposta nel caso di azioni sismiche, è in corso una sperimentazione condotta su due telai in c.a. in scala reale ad un piano e ad una campata tamponati con il sistema innovativo ideato, uno pieno, l'altro con apertura, soggetti ad azioni cicliche nel piano e dinamiche fuori piano (fig. 7). La parte sperimentale si concluderà con un test su tavola vibrante di un edificio in c.a. a due piani in scala reale che presenta una pianta pentagonale (fig. 8) per permettere, all'interno della stessa prova, lo studio del comportamento sismico dei tamponamenti innovativi (con e senza aperture) nel piano, fuori piano, e contemporaneo nel piano/fuori piano, poiché la tavola vibrante applica l'azione solamente in una direzione.

Ad integrazione delle prove sismiche su provini e sull'edificio in scala reale, sono in corso di svolgimento prove di caratterizzazione sui materiali che costituiscono il corpo murario e che prevedono test di flessione e compressione della malta di muratura, della malta di interfaccia e dell'intonaco e test di compressione verticale e laterale sui blocchi in laterizio; sono inoltre previste prove a "taglio locale" dei blocchi in laterizio speciali a "C".

Per quanto riguarda invece la caratterizzazione della muratura in laterizio utilizzata per il tamponamento, sono previste prove a compressione verticale, laterale e diagonale e prove a flessione su muretti oltre a prove di resistenza iniziale a taglio su triplette. Per ogni tipo di prova, sono stati costruiti sia provini senza intonaco che provini con intonaco, al fine di poter valutare l'eventuale influenza dello stesso sulle caratteristiche meccaniche della muratura. Per quanto riguarda le prove su triplette, verranno caratterizzati entrambi i giunti (sia quello tradizionale sia quello con profilo di scorrimento). Nel presente paragrafo vengono mostrati e brevemente discussi i risultati ad oggi disponibili.

In primo luogo, è stata effettuata una caratterizzazione completa dei blocchi, in cui sono state svolte prove per la determinazione delle dimensioni del blocco (pari a 302x248x190 mm), degli spessori minimi delle cartelle esterne e dei setti interni (pari rispettivamente a 10.4 e 8.5 mm), dello spessore combinato (pari al 39% in direzione y/lunghezza ed al 30% in direzione x/spessore), della massa volumica a secco (pari a 841 kg/m<sup>3</sup>) e della percentuale di foratura (pari al 45%).

Successivamente, sono state effettuate prove di resistenza a compressione dei blocchi in direzione perpendicolare ai letti di malta (direzione verticale) e parallela ai letti di malta (direzione laterale). La resistenza a compressione media ( $f_b$ ) verticale, eseguita in accordo alla EN 772-1 [13] su trenta blocchi, è risultata pari a 19.7 MPa, mentre la resistenza a compressione orizzontale media, valutata su dieci blocchi, è risultata di 4.07 MPa (si veda tab. 1). I valori caratteristici, riportati in tabella ( $f_{bk}$ ) sono stati calcolati in accordo con Circolare Ministeriale delle NTC08 [14], mentre le resistenze normalizzate ( $f_{b,norm}$ ), in accordo con la EN 772-1 [13]. I blocchi di estremità a "C" sono stati caratterizzati tramite una prova di taglio locale il cui scopo è determinare la resistenza



9. Prove di resistenza a compressione verticale della muratura: (a) provino senza intonaco; (b) provino con intonaco fibro-rinforzato.



10. Prove di resistenza a compressione laterale della muratura: (a) provino senza intonaco; (b) provino con intonaco fibro-rinforzato.

	Prove a compressione verticale della muratura			Prove a compressione laterale della muratura		
	Senza intonaco [MPa]	Con intonaco fibrorinforzato [MPa]	□ intonaco [%]	Senza intonaco [MPa]	Con intonaco [MPa]	□ intonaco [%]
f	6.83	7.02	+2.8	1.89	2.41	+27.5
SQM	1.11	1.15	---	0.20	0.43	---
CdV	16%	16%	---	11%	18%	---
f <sub>k</sub>	5.69	5.85	---	1.58	2.01	---
E	9686	9920	+2.4	2863	4597	+37.7

Tabella 2. Risultati delle prove di caratterizzazione sulla muratura in laterizio con giunti di malta verticali e orizzontali completamente riempiti.

a taglio-trazione dell'ala del blocco sottoposta ad azioni fuori piano sul pannello, con il sistema di prova riportato in figura 5; i risultati ottenuti hanno mostrato una resistenza media laterale pari a 3.39 kN.

Per quanto riguarda la caratterizzazione della muratura, sono state svolte prove a compressione su provini di muratura, nello specifico sei prove di resistenza a compressione verticale e sei in compressione laterale (la metà di essi intonacati su entrambe le facce, figg. 9-10), applicando cicli crescenti di carico/scarico con tre ripetizioni per ogni ciclo. In queste prove, oltre alla resistenza in compressione, è stato misurato il modulo elastico della muratura, valutato in corrispondenza di un valore di resistenza pari ad un terzo della resistenza massima. Come riportato in tabella 2, il valore medio di resistenza verticale e di modulo elastico è risultato essere rispettivamente pari 6.83 MPa e 9686 MPa, mentre per i provini intonacati la resistenza media è stata pari a 7.02 MPa ed il modulo elastico pari a 9920 MPa.

Dalle prove in compressione laterale si è invece ottenuto, rispettivamente per la muratura non intonacata e per quella con intonaco, una resistenza media di 1.89 MPa e di 2.41 MPa ed un modulo elastico pari a 2863 MPa ed a 4597 MPa, come riportato in tabella 2. Sono state anche effettuate prove di compressione diagonale su sei pannelli (fig. 11), di cui la metà provvisti di intonaco. Il carico verticale è stato applicato ciclicamente

	Test a compressione diagonale sulla muratura		
	Senza intonaco [MPa]	Con intonaco [MPa]	□ intonaco [%]
f <sub>t</sub>	0.256	0.358	+39.9
SQM	0.044	0.060	---
CdV	17%	17%	---
f <sub>tk</sub>	0.207	0.298	---
G	795	892	+12.2

Tabella 3. Risultati delle prove di caratterizzazione sulla muratura in laterizio con giunti di malta verticali e orizzontali completamente riempiti.



11. Prove di resistenza a compressione diagonale della muratura: (a) provino senza intonaco; (b) provino con intonaco fibro-rinforzato.

agli angoli dei pannelli ed anche in questo test ogni ciclo di carico è stato ripetuto tre volte. La resistenza media a trazione per fessurazione diagonale dei provini senza intonaco è risultata pari a 0.256 MPa, mentre con il contributo dell'intonaco fibro-rinforzato la resistenza è risultata essere 0.358 MPa. La resistenza a trazione per fessurazione diagonale  $f_t$  è stata valutata pari a  $F_{max}/(t \cdot (H+L))$  dove  $F_{max}$  è la forza a rottura,  $t$  è lo spessore ed  $H$  e  $L$  sono l'altezza e la lunghezza del provino. Tale stima di resistenza correla il carico applicato alla tensione principale di trazione assumendo la muratura come un mezzo omogeneo elastico e lineare. Nelle tabb. 2 e 3 sono riportati, i valori medi ( $f$  e  $f_f$ ) ed i valori caratteristici ( $f_k$  e  $f_{tk}$ ), questi ultimi calcolati in accordo con la EN 1052-1 [15], oltre ai confronti sui valori dei parametri meccanici nel caso di muratura con o senza intonaco fibro-rinforzato. Da questa valutazione, risulta evidente come tale contributo influisca maggiormente al diminuire della resistenza della muratura. Il contributo dell'intonaco nelle prove di resistenza compressione verticale sembra essere trascurabile, mentre l'incremento di resistenza dei provini intonacati è risultato essere del 27.5% e del 39.9% nei confronti di quelli non intonacati, rispettivamente nel caso di resistenze in compressione laterale e diagonale. Sono attualmente in corso le prove sulle malte e sull'intonaco e le prove di resistenza a flessione su muretti e di resistenza iniziale a taglio su triplette.

## Conclusioni

Nel presente articolo sono stati trattati i principi ed i dettagli costruttivi di un sistema di tamponamento antisismico innovativo ideato e realizzato dall'Università di Pavia nell'ambito del progetto Europeo INSYSME. La soluzione trova il suo utilizzo sia nelle nuove costruzioni in c.a., che nella sostituzione di tamponature in edifici esistenti come possibile intervento di miglioramento del comportamento sismico dell'edificio. Il sistema permette, se soggetto ad azioni sismiche nel piano, un maggior controllo del danneggiamento della muratura grazie ad opportuni giunti scorrevoli inseriti nel pannello che lo suddividono in fasce orizzontali e la riduzione dell'interazione negativa tamponamento/telaio per mezzo di giunti deformabili di materiale cementizio all'interfaccia pannello/struttura.

I profili dei giunti scorrevoli sono stati realizzati in materiale plastico opportunamente sagomato per aumentare l'ingranamento meccanico fuori piano e ridurre l'attrito nel piano. La stabilità fuori piano è garantita attraverso chiavi di taglio ancorate ai pilastri, con blocchi di estremità sagomati a "C" e dalla resistenza flessionale orizzontale di ogni fascia orizzontale di muratura a cui si aggiunge il contributo di un intonaco fibro-rinforzato e l'ingranamento meccanico trasversale dei giunti di scorrimento. La soluzione, i cui principi si ispirano a ricerche del recente passato, si differenzia dai lavori precedenti per l'originalità dei dettagli, dei materiali utilizzati e della campagna sperimentale programmata. Infatti, oltre agli aspetti legati all'efficacia nei confronti della risposta strutturale, i materiali ed i dettagli sono stati pensati anche

per garantire buone prestazioni termiche, acustiche, di durabilità e di sostenibilità ambientale, prestando particolare attenzione al contenimento dei costi di fornitura e posa in opera degli elementi costruttivi. E' stata inoltre avviata una campagna sperimentale per studiare il comportamento nei confronti delle azioni sismiche nel piano e fuori piano su due telai semplici in c.a. tamponati, in scala reale e su una struttura in c.a. a due piani costituita da una assemblaggio tridimensionale di telai tamponati con e senza aperture. Ad integrazione delle prove sismiche, sono in corso di svolgimento prove di caratterizzazione meccanica dei materiali i cui risultati ad oggi disponibili sono stati presentati e discussi nel presente lavoro. I primi risultati scaturiti dalla prova ciclica nel piano recentemente svolta sul telaio completamente tamponato appaiono molto promettenti in quanto il pannello ha raggiunto un drift nel piano del 3% senza evidenti danneggiamenti nella muratura e con fessurazione concentrata principalmente nell'intonaco in corrispondenza dei giunti di scorrimento [16].

- \* *Paolo Morandi*  
*PhD - Assegnista di ricerca, Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Pavia / EUCENTRE Pavia*
- \*\* *Riccardo R. Milanese*  
*MsC - Dottorando, UMESchool, IUSS Pavia*
- \*\*\* *Guido Magenes*  
*PhD - Professore ordinario, Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Pavia / EUCENTRE Pavia*

Il lavoro presentato è in corso di svolgimento presso l'Università di Pavia e l'EUCENTRE di Pavia e si avvale del contributo finanziario della Commissione Europea nell'ambito del progetto di ricerca INSYSME "INnovative SYStems for earthquake resistant Masonry Enclosures in rc buildings". Si ringraziano inoltre i due partner industriali italiani del progetto: ANDIL e le sue aziende associate, produttrici di laterizi, per la fornitura dei blocchi e per il coinvolgimento della Capaccioli Srl nella lavorazione dei profili di scorrimento; Ruredil Spa per la fornitura della malta di interfaccia e dell'intonaco.

### Bibliografia

- [1] INSYSME: "INnovative SYStems for earthquake resistant Masonry Enclosures in rc buildings", progetto di ricerca Europeo finanziato dalla Commissione Europea, grant FP7-SME-2013-2-GA606229, 2013-2016. [www.insysme.eu](http://www.insysme.eu)
- [2] F. da Porto, C. Modena, G. Magenes, P. Morandi, A. Di Fusco, Progetto europeo sulle tamponature antisismiche - Costruire in Laterizio 163 (2015), 58-64, ISBN: 0394-1590.
- [3] P. Morandi, G. Magenes, "Criticità relative alla progettazione antisismica di edifici a telaio in c.a. con tamponamenti in laterizio", Atti Giornate AICAP 2014, 22-24 Maggio 2014, Bergamo, Italia (2014).
- [4] D.M. 14/01/2008: Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), G.U. n.29 del 14/02/2008 - S.O. n.30, Roma, Italia, 2008.
- [5] CEN. Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, EN 1998-1:2004, Brussels, Belgium (2004).
- [6] G.M. Calvi, D. Bolognini, Seismic response of RC frames infilled with weakly reinforced masonry panels, Journal of Earthquake Engineering, 5 (2001), 153-185.
- [7] E. Yuksel, H. Ozkaymak, O. Buyukozturk, C. Yalcin, A.A. Dindar, M. Surlmeli, D. Tastan, Performance of alternative CFRP retrofitting schemes used in infilled RC frames, Construction and Building Materials 24 (2010), 596-609.
- [8] F. De Caso, A. Nanni, AC434 final test report for Ruredil FRCM composite systems. Test Report, University of Miami, College of Engineering, Structures and Materials Laboratory Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2013.
- [9] M. Mohammadi, V. Akrami, R. Mohammadi-Ghazi, Methods to Improve Infilled Frame Ductility, Journal of Structural Engineering 137 (2011), 646-653.
- [10] M. Preti, L. Migliorati, E. Giuriani, Experimental testing of engineered masonry infill walls for post-earthquake structural damage control, Bulletin of Earthquake Engineering, 13(7), (2015), 2029-2049.
- [11] R. Langenbach, From "Opus Craticium" to the "Chicago Frame": Earthquake-Resistant Traditional Construction, International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis and Restoration 1 (2007), 29-59.
- [12] CEN, Eurocode 6 - Design of masonry structures, Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures, EN 1996-1-1:2005, Brussels, Belgium, 2004
- [13] EN 772-1, Methods of test for masonry units - Determination of compressive strength, 2011.
- [14] Circolare esplicativa n.617 C.S.LL.PP.02/02/2009: Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, G.U. n.47 del 26/02/2009, S.O. No. 27, Roma, Italia, 2008.
- [15] EN 1052-1, Methods of tests for masonry - Determination of compressive strength, 2001.
- [16] P. Morandi, R.R. Milanese, G. Magenes, Soluzione innovativa per tamponature antisismiche in laterizio a giunti scorrevoli, Atti del XVI Convegno ANIDIS - L'Ingegneria Sismica in Italia; 13 - 17 Settembre 2015, L'Aquila, Italy (2015).