

## PRESIDIO ANTISISMICO PER LA PROTEZIONE E LA MITIGAZIONE DEL DANNO DI ELEMENTI NON STRUTTURALI

**Balsamo Alberto<sup>1</sup>, Iovinella Ivano<sup>2</sup>, Morandini Giulio<sup>3</sup>**

1: DiST - Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura  
Università di Napoli Federico II  
e-mail: [albalsam@unina.it](mailto:albalsam@unina.it)

2: DiST - Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura  
Università di Napoli Federico II  
e-mail: [ivano.iovinella@unina.it](mailto:ivano.iovinella@unina.it)

3: Mapei S.p.A. Structural Strengthening Line  
Via Cafiero, 22 Milano  
e-mail: [composite@mapei.it](mailto:composite@mapei.it)

**PAROLE CHIAVE:** Rinforzo sismico, elementi non strutturali, laterizio, tramezzature, tamponature.

### SOMMARIO

Una parte significativa dei danni rilevati sugli edifici colpiti da sisma sono riferibili ad elementi non strutturali quali tamponature, tramezzature e controsoffittature.

Questi danni, oltre a contribuire in maniera cospicua alla determinazione del danno economico provocato dal sisma, possono comportare la perdita di vite umane.

Caso emblematico è il danneggiamento con conseguente crollo/ribaltamento di tramezzature in edifici scolastici laddove, a causa del particolare affollamento, possono verificarsi danni anche rilevanti in termini di danni fisici fino alla perdita di vite umane.

Non è da trascurare inoltre che il crollo delle tramezzature in corrispondenza delle zone utilizzate come vie di fuga, può creare notevoli impedimenti e ritardi condizionando negativamente il tempo di evacuazione, incrementando così significativamente la soglia di pericolo.

La mitigazione del rischio sismico di un edificio deve, pertanto, necessariamente contemplare la possibilità di intervenire in modo efficace anche sugli elementi non strutturali, ovviamente a completamento degli obbligatori interventi sugli elementi strutturali portanti.

La campagna di prove illustrata nel presente lavoro descrive i primi test eseguiti su un sistema innovativo di rinforzo antisismico per pareti in laterizio (partizioni) in grado di ridurre sensibilmente i danni derivanti dal sisma impedendone nel contempo il crollo e/o l'espulsione di parti di distacco.

Il sistema di rinforzo antisismico testato può essere utilizzato per la protezione sia per edifici nuovi che di edifici esistenti.

Il sistema di rinforzo testato è realizzato con l'applicazione di una rete in fibra di vetro del peso di 286 gr/mq e di un'adesivo poliuretano in grado di formare un "sistema" composito in grado di offrire ottime prestazioni anche nel caso di applicazione sull'intonaco esistente.

Nel corso della campagna sperimentale alcuni pannelli in laterizio, di spessore variabile, sono stati confezionati e testati nella configurazione rinforzata e non rinforzata.

Le prove condotte in controllo di spostamento hanno dimostrato l'efficacia di tale tipo di rinforzo sia in termini di resistenza che di deformazione.

## 1. INTRODUZIONE

La crescente attenzione verso le problematiche della mitigazione del rischio sismico, unitamente ad un crescente interesse per gli studi dei danni complessivi provocati dal sisma sulla costruzione, ha dato maggiore risalto al problema del rinforzo degli elementi non strutturali identificati come elementi il cui danneggiamento totale o parziale, pur non recando danni alla capacità portante della struttura, può tuttavia creare considerevoli problemi per la salvaguardia della vita e più generalmente per l'incolumità fisica delle persone [1],[2]. Si valuti ad esempio la pericolosità degli effetti del crollo delle controsoffittature [3] oppure del ribaltamento/crollo di pareti divisorie e di tamponatura negli edifici in cemento armato. Il crollo di tali elementi, che negli edifici scolastici possono raggiungere considerevoli dimensioni (aule, corridoi), può provocare danni agli occupanti dell'edificio indipendentemente dal danneggiamento dell'organismo strutturale (vedi figura 1). Infatti accade non di rado che in edifici con lievi danni strutturali tuttavia si verificano vittime a causa del danneggiamento degli elementi non strutturali [4].



Figura 1. Esempio di crollo di tramezzature in una scuola in seguito al sisma dell'Aquila, (a) Aula (b) via di fuga

Le considerazioni svolte comportano la necessità che un completo e corretto progetto di rinforzo sismico delle costruzioni deve prevedere un approccio globale con interventi mirati al rinforzo sia degli elementi strutturali che non strutturali [5].

La campagna sperimentale di seguito illustrata e condotta presso il Laboratorio del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università di Napoli "Federico II", ha testato l'efficacia di un nuovo tipo di presidio antisismico finalizzato alla mitigazione dei danni prodotti dal sisma sugli elementi non strutturali con riferimento alle pareti in laterizio (partizioni).

L'efficacia di tale tipo di intervento è stata valutata in relazione a pannelli di laterizio di 80 mm e 120 mm di spessore di dimensioni 1280x1280 mm testati con prove di flessione.

Il confronto tra il comportamento dei pannelli rinforzati e non, esposto nel presente lavoro, è utile per determinare l'efficacia dell'intervento proposto.

## 2. PROGRAMMA SPERIMENTALE

Per i test sono stati confezionati 6 pannelli di laterizio di dimensione 1280x1280 mm, ciascuno con 25 blocchi di laterizio di dimensione 250x250mm. Per il confezionamento di 4 pannelli sono stati utilizzati blocchi di spessore 80 mm, mentre per i restanti 2 pannelli sono stati utilizzati blocchi di spessore 120 mm. Il laterizio utilizzato per il confezionamento ha un peso per unità di volume di 6.50 kN/m<sup>3</sup> ed una resistenza a compressione pari a 5.6 Mpa. Per l'allettamento è stata utilizzata una malta a base di cemento, inerti e resine speciali con un peso per unità di volume pari a 18.30 kN/m<sup>3</sup> in grado di raggiungere a 28 gg una resistenza a compressione di 8.5 Mpa ed una resistenza a flessione di 3.00 MPa [6],[7].

Poichè il sistema di rinforzo testato ha il significativo vantaggio strategico di essere applicabile senza rimuovere preventivamente l'intonaco esistente (si pensi alla semplicità applicativa ed al ridotto costo nel caso di applicazione per edifici esistenti), i pannelli sono stati intonacati su entrambi i lati con uno spessore di circa 15 mm della stessa malta usata per l'allettamento.

I pannelli hanno stagionato per 46 gg alla temperatura di circa 26° C prima dell'applicazione del rinforzo avvenuta successivamente alla temperatura di 23° C.

Il sistema di rinforzo è realizzato con rete in fibra di vetro<sup>1</sup> tipo E, pre-aprettata del peso di 286 gr/mq e resistenza a trazione non inferiore a 1600 MPa applicata con adesivo poliuretano<sup>2</sup> di viscosità Brookfield pari a 200000 MPa · s e resistenza a trazione pari a 5.25 Mpa [8]. L'intero sistema, composto da rete più adesivo, ha un peso non superiore a 900 gr/m<sup>2</sup> ed un'aderenza superficiale sul laterizio, conferitogli dall'adesivo, pari a 1.1 N/mm [9].

### 2.1 Setup di Prova

Le prove sono state condotte in controllo di spostamento alla velocità di 0.001 mm/sec. con la configurazione del three point bending utilizzando un telaio di prova universale ed un martinetto idraulico con capacità di carico massimo pari a 3000 kN. La configurazione di prova, riportata in Figura 2, prevede l'applicazione del carico attraverso una cerniera cilindrica collegata inferiormente ad una traversa in acciaio in grado di applicare il carico lungo una striscia continua nella mezzieria del pannello. Quest'ultimo è appoggiato su due blocchi rigidi di calcestruzzo su quali è a contatto attraverso una coppia di cerniere cilindriche poste ad una distanza mutua di 1150 mm.

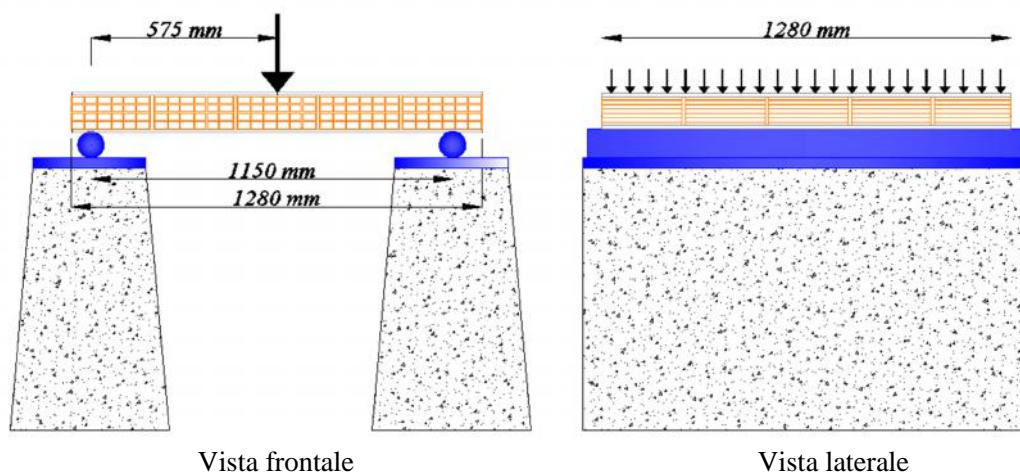


Figura 2 Dimensioni del Setup di Prova

<sup>1</sup> commercializzata da Mapei S.p.A. con il nome commerciale di MapeWrap Eq Net

<sup>2</sup> commercializzato da Mapei S.p.A. con il nome commerciale di MapeWrap Eq Adhesive

Durante la prova è stato monitorato il valore del carico applicato, attraverso una cella di carico nonché l'abbassamento in mezzzeria attraverso un trasduttore di spostamento.



Figura 3 Setup di Prova

## 2.2 Risultati delle prove

I risultati dei test in relazione al carico di rottura e all'abbassamento in mezzzeria sono stati confrontati mostrando come l'applicazione del sistema di rinforzo in oggetto abbia influenzato positivamente il comportamento dei campioni.

In particolar modo, come si evince dalla Tabella 1, in relazione ai pannelli con spessore pari ad 80 mm, il carico di rottura dei pannelli rinforzati può raggiungere un valore 5 volte maggiore ( P) rispetto l'omologo dei pannelli non rinforzati così come l'abbassamento in mezzzeria che i pannelli rinforzati raggiungono ( $\delta_{max}$ ) in corrispondenza del carico ultimo è circa 300 volte maggiore.

Tabella 1. Risultati delle prove per campioni di spessore 80 mm

Campione	$P_{max}$	$\delta_{max}$	P
P8.1	4.85	0.48	-
P8.2	3.94	0.55	-
P8.R1	21.97	15.38	4.00
P8.R2	27.00	16.82	5.14

Incrementi più contenuti si verificano nel caso delle prove su campioni di spessore 120 mm per i quali l'incremento di resistenza dei campioni rinforzati rispetto quelli non rinforzati raggiunge il 76% e l'abbassamento massimo in mezzzeria del campione rinforzato è circa 8 volte maggiore rispetto quello del campione non rinforzato.

Tabella 2. Risultati delle prove per campioni di spessore 120 mm

Campione	$P_{max}$	$\delta_{max}$	$\Delta P$
P12.1	10.20	1.06	-
P12.R1	28.18	10.04	1.76

Nelle immagini di Figura 4 è mostrato il valore dell'abbassamento in mezzzeria in corrispondenza della resistenza del pannello. Dal confronto fra i campioni rinforzati e non, eseguito sia in termini di spostamento che di resistenza, è evidente il miglioramento della stabilità dei pannelli. Si noti in particolare come il pannello con spessore da 80 mm possiede una resistenza molto ridotta ed un altrettanto ridotta

capacità di spostamento, a differenza di quanto si verifica per i pannelli rinforzati che possiedono una significativamente ampia capacità deformativa.

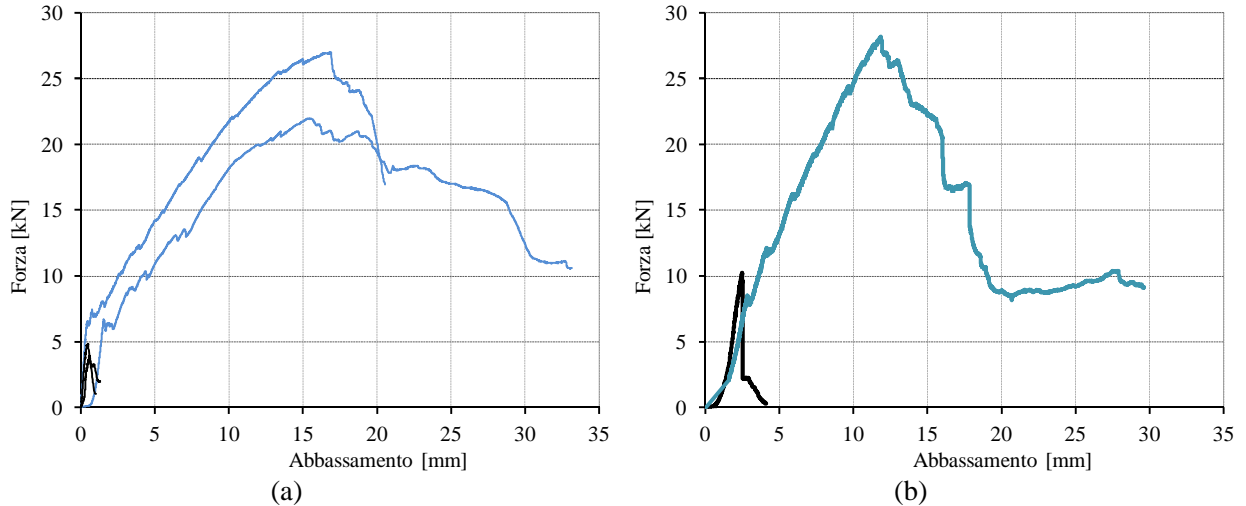


Figura 4 Diagramma Forza – Spostamento per le prove relative ai campioni da 80 mm (a) e 120 mm (b)

Confrontando i campioni dopo i test si nota come quelli non rinforzati hanno subito una rottura di tipo fragile e soprattutto una rottura totale (Figura 5), contrariamente a quanto avvenuto per i pannelli rinforzati per i quali non si è avuta alcuna rottura pur avendo interrotto la prova solo quando i pannelli avevano perso almeno il 70% della loro capacità resistente originaria (Figura 6).



Figura 5. Campioni non Rinforzati dopo la prova

Come è evidente anche dai grafici di Figura 4, il cedimento dei pannelli non rinforzati è avvenuto subito dopo aver raggiunto il picco massimo di resistenza ovvero quando si è persa appena il 10% della resistenza originaria.





Figura 6. Campioni Rinforzati dopo la prova

I pannelli rinforzati oltre ad aver mostrato una forte capacità deformativa, non hanno perso la forma originaria nonostante la perdita di capacità resistente e le forti lesioni insorte. In caso di sisma dunque, i pannelli, pur subendo un forte danneggiamento, non perdono la loro forma originaria nè la loro monoliticità e, se ne viene impedito anche il ribaltamento [5], la pericolosità di tali elementi viene ulteriormente ridotta.

Dalla Figura 7, che riporta una vista laterale del pannello durante la prova, è possibile individuarne qualitativamente l'abbassamento in mezzeria rilevando come i pannelli pur raggiungendo un abbassamento rilevante non perdono la loro capacità portante.

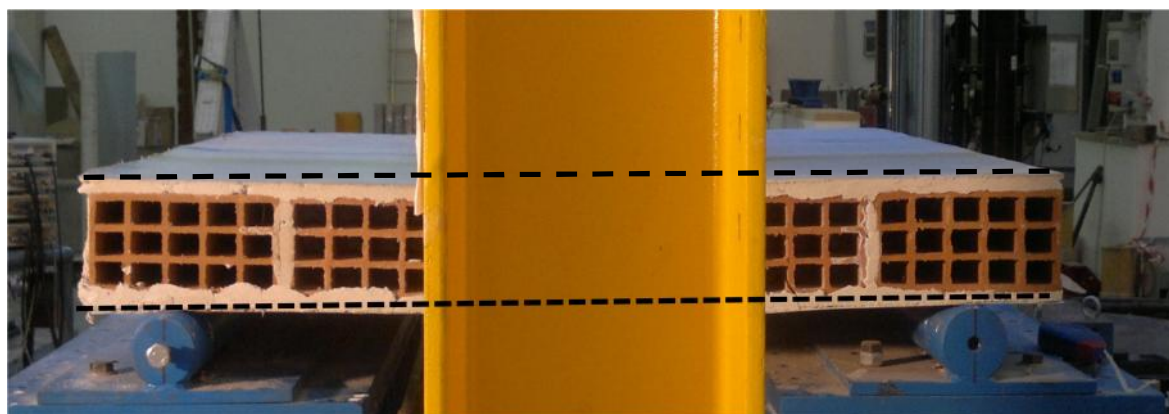


Figura 7. Abbassamento raggiunto in mezzeria dal pannello P12.R1

Si osservi inoltre che durante l'esecuzione dei test sui campioni non rinforzati si manifesta un quadro fessurativo di rilevante entità per carichi inferiori al 30% di quello ultimo, al contrario per i campioni non rinforzati le prime lesioni sono evidenti solo per valori del carico prossimi al 70% di quello ultimo. Tale considerazione assume importanza non trascurabile in caso di sollecitazione sismica di lieve entità per la quale, pur non rilevandosi lesioni gravi, si determinano danni economici a causa di lesioni diffuse e di lieve entità sugli elementi non strutturali [10].

### 3. CONCLUSIONI

I test eseguiti su 6 pannelli in laterizio hanno dimostrato l'efficacia del sistema di rinforzo testato. In particolare si rileva come la resistenza dei pannelli rinforzati, sia nella configurazione di spessore da 80 mm che nella configurazione di spessore da 120 mm, sia fortemente aumentata raggiungendo percentuali di incremento anche del 500%.

Il forte incremento di resistenza così come la possibilità di subire maggiori deformazioni senza perdere totalmente la propria capacità autoportante permette al pannello rinforzato di sopportare una sollecitazione sismica maggiore, aumentandone in tal modo la stabilità.

La possibilità di applicare il rinforzo, rete in fibra di vetro con adesivo poliuretano, anche sull'intonaco esistente qualora questo sia ben adeso alla superficie, rende tale sistema poco invasivo e di rapida e semplice applicazione.

Con l'esecuzione di tale intervento di rinforzo, anche in combinazione con sistemi di antiribaltamento, è possibile mitigare significativamente i danni provocati dal sisma sugli elementi non strutturali nel caso di tramezzature e partizioni in laterizio.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] FEMA E-74 *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damages*
- [2] G. Magliulo, C. Petrone, G. Maddaloni, P. Lopez, G. Manfredi. *Evaluation of the seismic capacity of nonstructural components*. Reinhorn Symposium, Buffalo, New York, 30 September 2013.
- [3] R. P. Dhakal, G. A. MacRae<sup>1</sup>, K. Hogg. *Performance of Ceilings in the February 2011 Christchurch Earthquake*. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering Vol. 44 No 4, December 2011
- [4] G. Magliulo, C. Petrone, V. Capozzi, G. Maddaloni, P. Lopez, G. Manfredi. *Seismic performance evaluation of plasterboard partitions via shake table tests*. Bulletin of Earthquake Engineering (Online First). DOI: 10.1007/s10518-013-9567-8.
- [5] A. Balsamo, G. Di Pasquale, M. Dolce, G. Manfredi, C. Moroni, A. Prota *Linee Guida per Riparazione e Rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni, Cap. 4 Interventi non strutturali, M. Dolce, G. Manfredi ISBN 978-88-89972-29-8*
- [6] UNI EN 772-1: (2002). “*Metodi di prova per elementi in muratura – Resistenza a compressione*”.
- [7] UNI EN 998-2 (2004). “*Specifiche per malte per opere murarie – Malte da muratura*”.
- [8] DIN 53504 *Testing of rubber; determination of tensile strength at break, tensile stress at yield, elongation at break and stress values in a tensile test*
- [9] EN 1348 *Adesivi per piastrelle - Determinazione dell'adesione mediante trazione su adesivi cementizi*
- [10] H. Sucuo lu, M. Eeri *Implications of Masonry Infill and Partition Damage in Performance Perception in Residential Buildings after a Moderate Earthquake*. Earthquake Spectra May 2013, Vol. 29, No. 2, pp. 661-667.