



Sperimentazione sul comportamento fuori piano di tamponamenti in muratura di laterizio

Seconda parte: considerazioni e confronti sui risultati sperimentali

F. da Porto, E. Barbiero, M. Dalla Benetta, C. Modena (*)

(*) Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università degli Studi di Padova

La ricerca sperimentale qui illustrata trae origine dall'entrata in vigore in Italia della nuova Ordinanza antisismica n. 3431 del 03/05/05, recante nuove disposizioni in merito alla verifica degli elementi non strutturali. In tale categoria rientrano anche i tamponamenti di muratura per strutture intelaiate.

In questa seconda parte, i risultati ottenuti da una campagna di prove sperimentali (illustrata nella prima parte del lavoro) sono confrontati con la domanda sismica di progetto secondo la nuova Ordinanza antisismica. Si riscontra l'ottimo comportamento delle murature di tamponamento in blocchi POROTON® a fori verticali.

Introduzione

Nel testo integrato dell'allegato 2 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03/05/05 [1] è stato introdotto, in modo più chiaro rispetto alle precedenti normative nazionali, il problema della verifica per azioni fuori piano di elementi non strutturali, quali i tamponamenti in muratura.

Per quanto attiene a questo particolare tema, nel caso degli edifici di nuova progettazione, l'Ordinanza sismica ha sostanzialmente recepito, modificandone solo alcuni aspetti, le direttive in merito contenute nell'Eurocodice 8 [2].

Esso, a sua volta, si ispira alle normative emanate dalla Federal Emergency Management Agency [3, 4], ente statunitense che per primo, e da tempo, ha trattato il problema della sicurezza connesso alla risposta sismica degli elementi non strutturali.

In generale, nell'Ordinanza si impone, per la prima volta in modo esplicito all'interno del panorama normativo nazionale, che tutti gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, siano verificati all'azione sismica insieme alle loro connessioni alla struttura.

In particolare, per i tamponamenti, oltre alla considerazione delle conseguenze della loro possibile disposizione irregolare in pianta od in altezza, e degli effetti locali dovuti all'interazione tra telai e tamponamenti, che non sono oggetto della presente ricerca, l'Ordinanza prescrive che nelle zone sismiche di categoria 1, 2 e 3 siano adottate misure atte ad evitare collassi fragili e prematuri dei pannelli di tamponamento esterno e la possibile espulsione di elementi di muratura in direzione ortogonale al piano del pannello stesso.

Nel caso dei tamponamenti, inoltre, le verifiche prescritte per gli elementi non strutturali si possono ritenere soddisfatte, senza eseguire alcun calcolo, con l'inserimento di leggere reti da intonaco sui due lati della muratura, collegate tra loro a distanza non superiore a 500 mm, sia in direzione orizzontale che in direzione verticale.

Una soluzione alternativa è rappresentata dall'inserimento di elementi di armatura orizzontale nei letti di malta, ad una distanza non superiore ai 500 mm [1].

Non viene però fatto cenno, all'interno dell'Ordinanza, né della possibilità che una limitazione di tali danni e la riduzione del rischio di espulsione fuori piano di porzioni di tamponamento possano venire anche dalla semplice adozione di tamponamenti caratterizzati da basse snellezze (grandi spessori degli elementi di laterizio), né a quale modello di calcolo fare riferimento per la valutazione della capacità portante dei tamponamenti, da confrontare con la domanda sismica di progetto. In questo senso, il confronto con le disposizioni date dall'Eurocodice 8 risulta significativo.

Nell'Eurocodice 8, infatti, il problema della risposta nel piano e fuori piano dei pannelli di tamponamenti è trattato in modo sostanzialmente analogo all'Ordinanza e, benché gli accorgimenti costruttivi suggeriti al fine di limitare i danni ai tamponamenti siano simili a quelli riportati nell'Ordinanza, in esso si afferma che particolare attenzione va rivolta ai pannelli con un rapporto tra l'altezza e la minore dimensione tra la larghezza e/o lo spessore maggiore di 15 [2], definendo quindi, implicitamente, dei livelli di snellezza sotto ai quali la risposta del tamponamento può essere valutata come più affidabile.

Date le novità introdotte dall'Ordinanza, si è quindi approntato un programma di ricerca sperimentale presso il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova in collaborazione con ANDIL Assolaterizi, volto a verificare meccanismi di rottura e capacità ultime per carichi fuori piano di tamponamenti in muratura, confezionati in blocchi di laterizio porizzato di spessore pari a 30 cm, assemblati con differenti tipologie di blocco e di giunto orizzontale e verticale, di uso comune nella pratica costruttiva in Italia.

Nella prima parte si sono presentate le differenti tipologie di tamponamento testate ed i risultati sperimentali ottenuti.

In questa seconda parte si illustra invece il confronto diretto tra resistenza fuori piano misurata sperimentalmente e richiesta sismica di progetto secondo la nuova Ordinanza antisismica.

Parte Seconda: confronto tra resistenza fuori piano misurata sperimentalmente e richiesta sismica di progetto secondo l'Ordinanza antisismica

1. Confronto tra capacità sperimentale e domanda del sisma di progetto

Secondo l'OPCM n. 3431, l'effetto dell'azione sismica sugli elementi non strutturali può essere valutato, in assenza di più accurate determinazioni, considerando un sistema di forze proporzionali alle masse (concentrate o distribuite) degli elementi stessi, la cui risultante F_a , valutata in corrispondenza al baricentro, è calcolata secondo la seguente relazione:

$$F_a = W_a S_a \gamma_1 / q_a \quad (1)$$

dove:

W_a peso dell'elemento;

γ_1 fattore di importanza della costruzione;

q_a fattore di struttura dell'elemento, da considerare pari ad 1 per elementi aggettanti a mensola (quali ad esempio camini e parapetti collegati alla struttura solamente alla base) e pari a 2 negli altri casi (ad esempio per pannelli di tamponamento e controsoffitti);

S_a coefficiente sismico da applicare agli elementi non strutturali, funzione di diversi fattori tra cui la zona sismica considerata, il tipo di terreno su cui si erge la costruzione mediante l'accelerazione di progetto al suolo $S \cdot a_g$, l'altezza dell'edificio H , l'altezza dell'interpiano ed il piano in considerazione in relazione alle quali si fissa la quota del baricentro dell'elemento da verificare Z , il primo periodo di vibrazione dell'elemento non strutturale T_a e dell'intera struttura T_1 :

$$S_a = \frac{a_g S}{g} \left[\frac{3 \left(1 + \frac{Z}{H}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right] \geq \frac{a_g S}{g} \quad (2)$$

Sulla base di quanto prescritto nell'OPCM n. 3431, si è quindi effettuato un confronto fra i valori sperimentalmente ottenuti di resistenza fuori piano dei tamponamenti e la domanda del sisma di progetto per gli elementi non strutturali, prendendo in esame per l'analisi due edifici intelaiati ordinari e regolari in c.a. di 5 piani e di 10 piani, di altezza totale quindi pari rispettivamente a 15 e 30 m, rappresentativi della prassi costruttiva usuale.

Si è supposto che tali strutture siano tamponate con pannelli in muratura di laterizio di caratteristiche del tutto analoghe a quelle delle tipologie di pannelli testate e provvisti di intonaco.

Per il calcolo della domanda del sisma di progetto si è quindi assunto:

- fattore di importanza dell'edificio $\gamma_1 = 1$ (edificio ordinario)
- altezza tamponamento: 270 cm
- larghezza del tamponamento: 100 cm
- spessore del tamponamento: 30 cm
- altezza di interpiano: 300 cm
- tamponamenti provvisti di intonaco sui due lati (1,5+1,5 cm, peso specifico $\gamma_{intonaco}=1800 \text{ kg/m}^3$)
- confezionati con blocchi tipo FO o FV (peso specifico muratura $\gamma_{FO}=660 \text{ kg/m}^3$, $\gamma_{FV}=780 \text{ kg/m}^3$)

Considerando nel calcolo la presenza dell'intonaco, si è operato a favore della sicurezza, essendo la forza sismica di calcolo proporzionale alla massa del tamponamento e la prova condotta senza l'effetto favorevole dell'intonaco. Ipotizzando, inoltre, un'altezza dei tamponamenti pari a 270 cm (contro i 252 cm di altezza dei campioni testati) si opera un'ulteriore sovrastima del valore dell'azione sismica a favore della sicurezza, per il valore più elevato che si ottiene dei primi periodi di vibrazione della struttura e dell'elemento, che compensa ampiamente l'eventuale minore capacità di un elemento di tamponamento di soli 18 cm più alto rispetto a quelli testati sperimentalmente.

In ogni caso, i risultati esposti nel seguito per due edifici di 5 e 10 piani, in termini di confronto tra valori sperimentali di capacità dei tamponamenti per azioni fuori piano e valori di azioni del sisma di progetto, sono stati verificati essere assolutamente analoghi conducendo il calcolo per costruzioni con interpiani ridotti atti a simulare la presenza di tamponamenti alti 252 cm.

Naturalmente, i valori maggiori di azione sismica fuori piano si ottengono in corrispondenza dell'ultimo piano di un edificio in zona sismica 1 ($a_g = 0,35 g$), le cui fondazioni insistano su un terreno classificato di tipo D ($S = 1,35$) secondo l'OPCM n. 3431/05.

Nelle figg. 10 e 11 sono riportati i valori della forza sismica di progetto, al variare delle zone sismiche su terreni di tipo D, per un edificio di 5 e 10 piani, i cui tamponamenti siano confezionati con blocchi in laterizio a fori orizzontali (tipo FO) e a fori verticali (tipo FV), rispettivamente.

Le differenze modeste nei valori di azione sismica massima al piano più alto dell'edificio di 5 o 10 piani sono dovute alla riduzione del periodo fondamentale di vibrazione dell'edificio al crescere della sua altezza totale ed alla conseguente diminuzione della risposta della struttura.

Le differenze nei valori di azione su pannelli di differente fattura, a parità di altre condizioni, sono invece dovute semplicemente al diverso peso specifico dei tamponamenti in esame. Per tale motivo non è significativa la distinzione, in questa sede, tra campioni di tipo FOA ed FOB, dato che tale parametro non si modifica significativamente sulla base della modalità di fattura del giunto orizzontale.

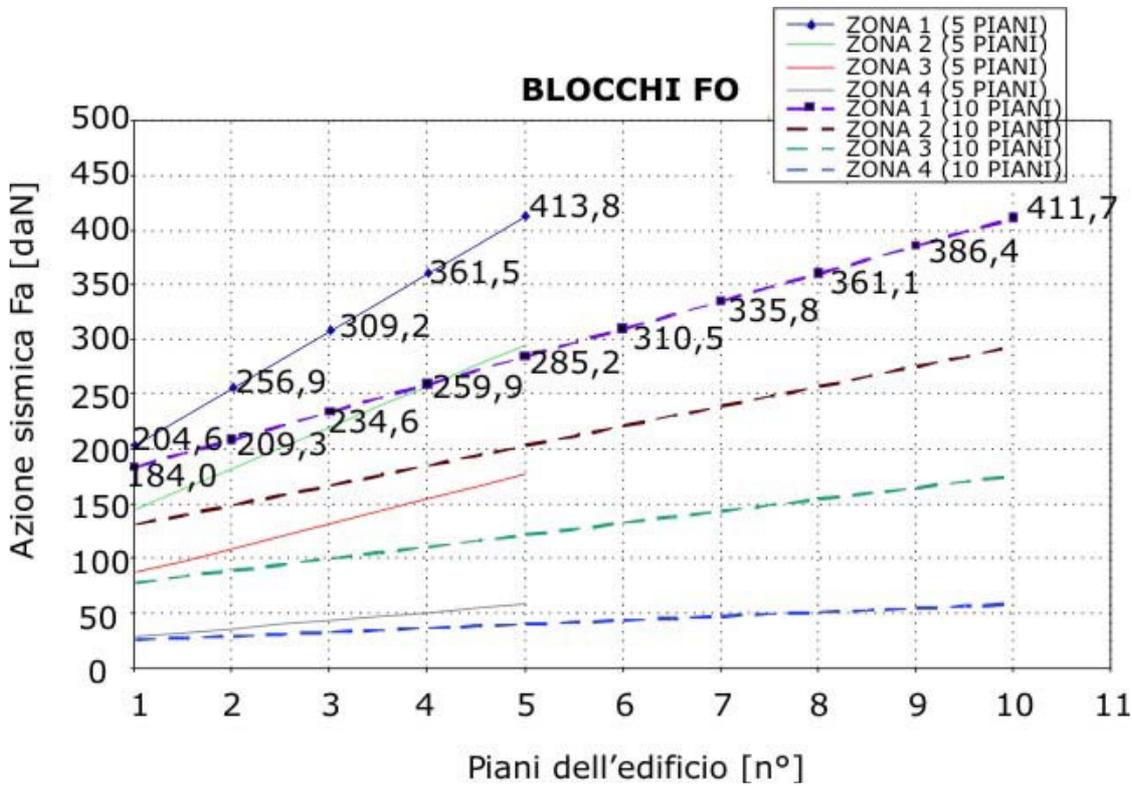


Fig. 10 - Azione sismica su tamponamenti di tipo FO ai diversi piani di un edificio a 5 e 10 piani, nelle diverse zone sismiche.

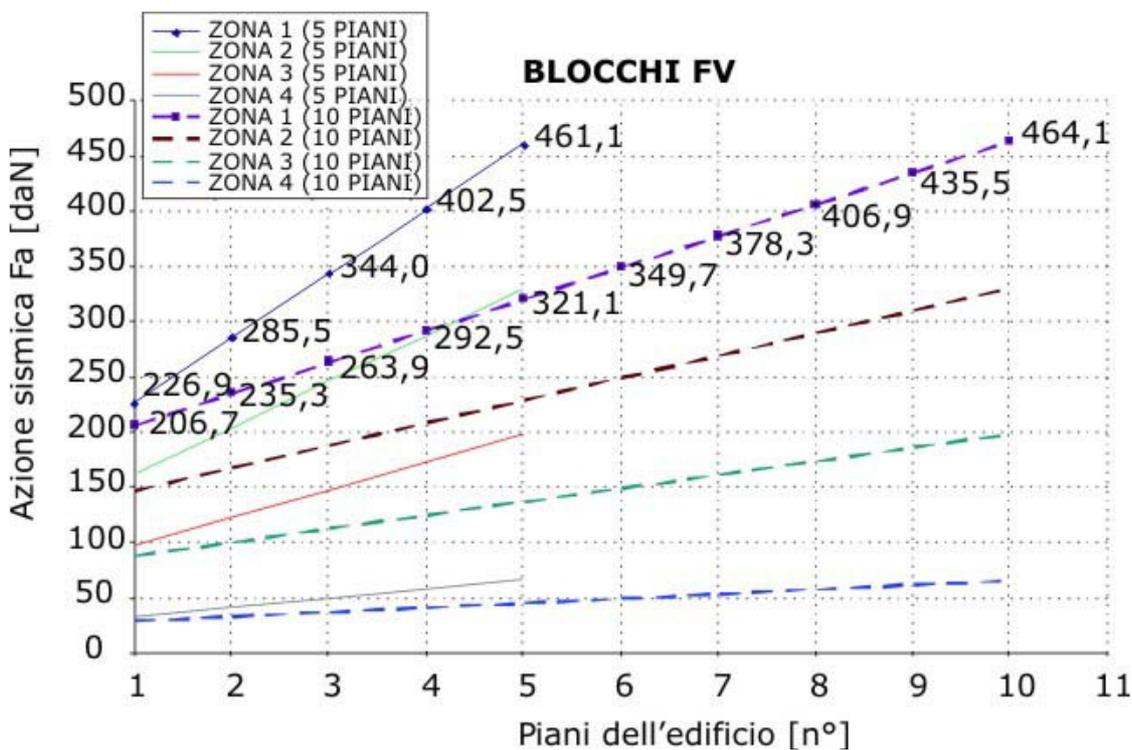


Fig. 11 - Azione sismica su tamponamenti di tipo FV ai diversi piani di un edificio a 5 e 10 piani, nelle diverse zone sismiche.

Se si considera il carico a rottura medio ottenuto sperimentalmente sui sei campioni di tipo FOA ed FOB, pari a 50,5 kN, e sui tre campioni di tipo FOV, pari a 182 kN, e lo si confronta con la domanda sismica massima ottenuta per campioni di tipo FO, pari a 4,12 kN, e per campioni di tipo FV, pari a 4,64 kN, si evincono dei fattori di sicurezza, in termini di rapporto tra valori sperimentalmente ottenuti e azioni di progetto secondo la normativa corrente, molto elevati, pari rispettivamente a 12 e 39.

Nelle figg. 12 e 13 si mostra il confronto tra azione sismica fuori piano di progetto per i due edifici analizzati di cinque e dieci piani, posti in zona sismica 1 e su terreno di tipo D, con i valori di capacità sperimentali ottenuti su campioni di tipo FO (blu) ed FV (verde) ridotti per un fattore di sicurezza pari a 2, valore ipotizzabile nel caso di progettazione assistita dalla sperimentazione [8].

Anche da tale confronto è evidente come, per i pannelli di tamponamento delle due tipologie testate e nelle ipotesi sopra

esposte, la domanda del sisma di progetto, valutata sulla base del valore dell'azione sismica agente nel centro di massa dell'elemento, è notevolmente inferiore al carico ultimo sperimentale rilevato, ridotto per un fattore di sicurezza pari a 2. È comunque necessario ricordare che le prove sono state eseguite in modalità di carico monotona e quasi statica, e su pannelli integri. Una più dettagliata analisi del comportamento fuori piano, che porti a valori dei fattori di sicurezza più realistici, richiederebbe l'esecuzione di prove in modalità dinamica e la valutazione dell'effetto del danneggiamento nel piano sul comportamento fuori piano.

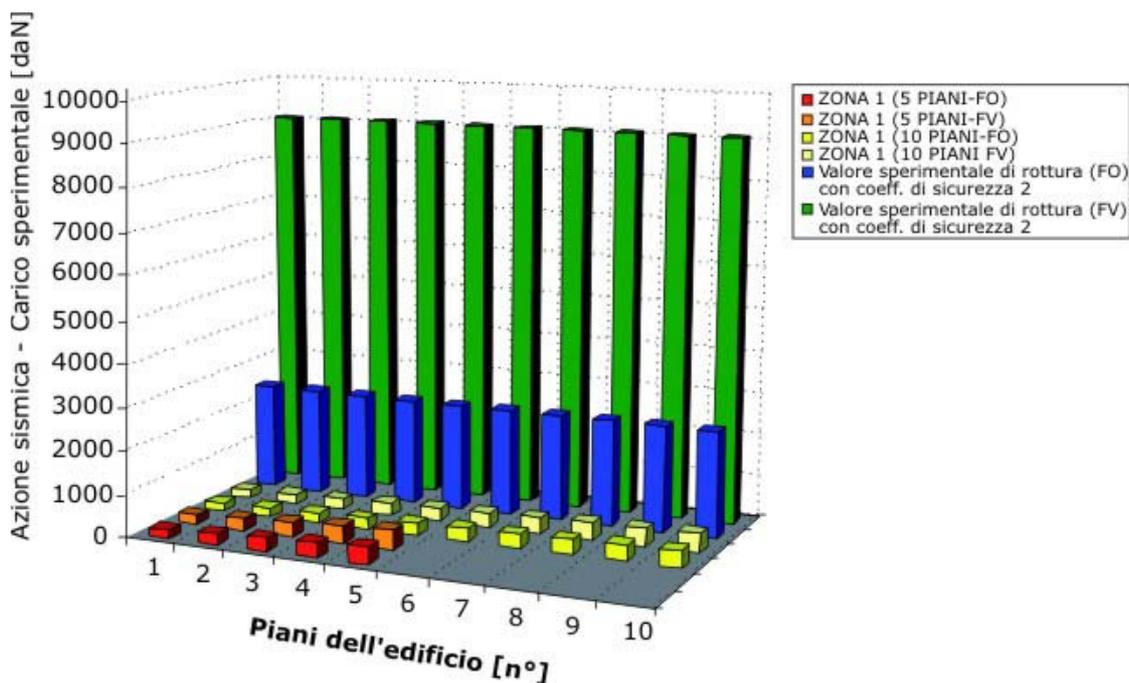


Fig. 12 - Confronto tra domanda ad ogni piano (zona sismica 1) e capacità sperimentale ridotta.

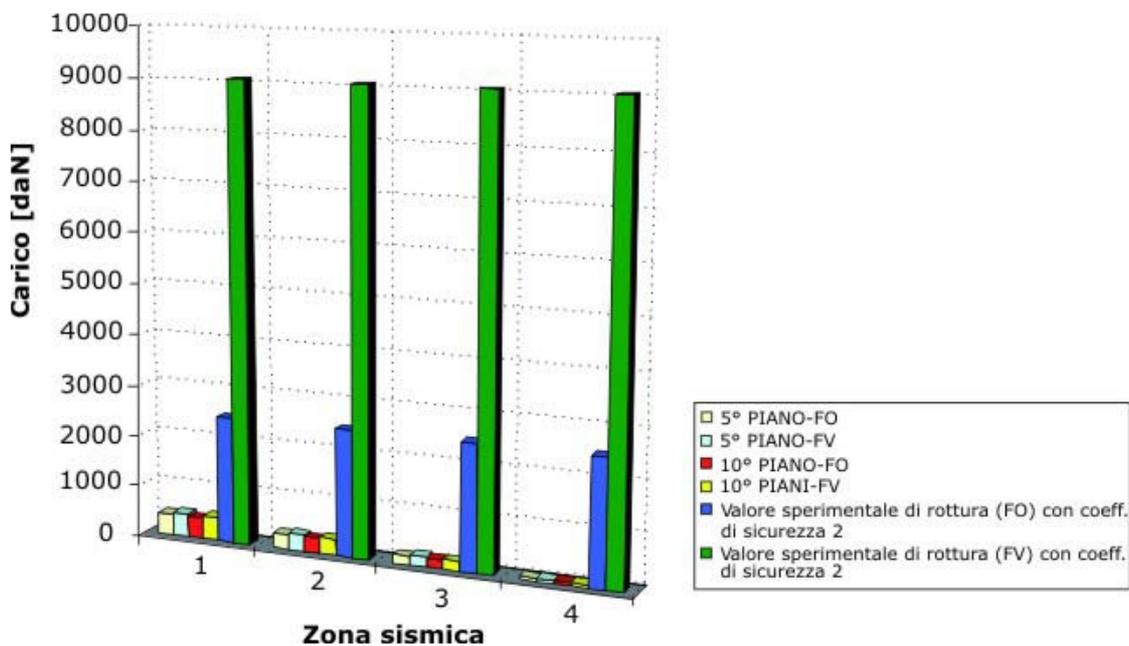


Fig. 13 - Confronto tra domanda massima (ultimo piano, zona sismica da 1 a 4) e capacità sperimentale ridotta.

2. Considerazioni conclusive

Nella presente ricerca sperimentale sono state eseguite prove fuori piano su tre tipologie di pannelli di tamponamento, differenziate l'una dall'altra per il tipo di blocco utilizzato e per la modalità di esecuzione dei giunti orizzontali e verticali.

I risultati sperimentali indicano che la variabile maggiormente influente, sul comportamento di tamponamenti di tali tipologie, risulta essere il tipo di blocco utilizzato in relazione alla sua resistenza a compressione ed alla sua robustezza in generale. Infatti, pannelli confezionati con blocchi per muratura portante a fori verticali (FV) (per esempio blocchi POROTON®) hanno dimostrato di arrivare al collasso sviluppando dei meccanismi resistenti di tipo globale, anziché locale, raggiungendo una resistenza, per azioni fuori piano, superiore da tre a quattro volte rispetto agli omologhi campioni confezionati con blocchi forati e fori disposti in orizzontale (FO).

Di fondamentale importanza, a tale riguardo, è l'esecuzione a regola d'arte del giunto terminale superiore del tamponamento, a contatto con l'intradosso del solaio superiore, che permette l'effettivo innesco dei meccanismi resistenti che coinvolgono la formazione di un arco resistente nello spessore del tamponamento.

Per contro, l'influenza della variabilità della fattura dei giunti di malta sembra nel complesso essere più contenuta, anche se i pannelli realizzati con blocchi a fori orizzontali e con giunto orizzontale continuo hanno mostrato un valore di carico ultimo superiore del 30% circa rispetto ai pannelli confezionati con lo stesso tipo di blocco, ma con giunto orizzontale interrotto.

In ogni caso, è da valutare il rapporto costi-benefici tra il miglioramento delle caratteristiche meccaniche apportato dall'utilizzo del giunto continuo e la maggiore onerosità rispetto ad un giunto orizzontale interrotto, in termini sia di materiali e tempo di esecuzione, sia di eventuali ridotte capacità di isolamento termo-acustico.

È inoltre da evidenziare che, per la tipologia di prova che non prevede la realizzazione di vincoli sui bordi laterali dei pannelli, l'eventuale influenza della variabilità nel confezionamento del giunto verticale è chiamata in causa in maniera ridotta, dato che non possono instaurarsi meccanismi resistenti anche nella larghezza del campione in prova, come invece potrebbe avvenire in tamponamenti reali collegati anche lateralmente alla struttura portante.

Dal punto di vista del confronto con la domanda del sisma di progetto, calcolata secondo le disposizioni dell'OPCM n. 3431 [1] per edifici di diversa altezza collocati in zone sismiche caratterizzate dai più alti valori di accelerazione al suolo, si è dimostrato che le tipologie di tamponamento testate presentano delle resistenze sperimentali superiori da 12 a 39 volte rispetto alle richieste di normativa.

Nonostante tali rapporti non includano l'utilizzo di fattori di sicurezza e le prove non siano state condotte in modalità dinamica o previo danneggiamento del pannello nel proprio piano, si può comunque affermare che il comportamento di tamponamenti caratterizzati da basse snellezze e da un buon grado di vincolo con i telai portanti sembra essere soddisfacente.

La sperimentazione descritta nel presente articolo è stata condotta nell'ambito di una convenzione di ricerca tra ANDIL, Associazione Nazionale dei Produttori di Laterizio, e Università di Padova.

Le prove sperimentali sono state effettuate presso il Laboratorio Prove su Materiali Strutturali del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova.

Bibliografia

[1] OPCM n. 3431, 03/05/05, Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.

[2] UNI EN 1998-1, Eurocodice 8, Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici, 2005.

[3] Federal Emergency Management Agency, FEMA 74/1994, Reducing Risk of Nonstructural Earthquake Damage: A practical guide, Washington D.C.

[4] Federal Emergency Management Agency, FEMA ASCE 356/2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building, Washington D.C.

[5] D.M. 20/11/1987, Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento, Ministero dei Lavori Pubblici, 1987.

[6] Calvi G.M., Bolognini D., Risposta sismica di telai in c.a. tamponati con pannelli in muratura debolmente armati, Costruire in Laterizio 80, 2001, pp. 64-71.

[7] Beconcini M.L., Sulla resistenza a forze orizzontali di pareti in elementi forati in laterizio, Costruire in laterizio 55, 1997, pp. 60-69.

[8] EN1990, Eurocode 1, Basis of Structural Design, aprile 2002.