

# Vulnerabilità riscontrate negli edifici industriali colpiti dal sisma del maggio 2012

*Andrea Belleri - Università degli Studi di Bergamo*

*Davide Bellotti - Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, Pavia*

*Roberto Nascimbene - Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, Pavia*

*Paolo Riva - Università degli Studi di Bergamo*

## INTRODUZIONE

La tecnica della prefabbricazione applicata alla realizzazione di strutture in c.a. ha avuto in Italia un repentino sviluppo a partire dagli anni '50 in quanto metteva in atto un vero e proprio processo industrializzato applicato all'edilizia, ovvero: miglioramento delle prestazioni dei materiali, sviluppo della tecnica di precompressione, sviluppo della rete di trasporto, velocità di produzione e montaggio, costi contenuti.

La tipologia strutturale tipica è costituita principalmente da pilastri isostatici a tutta altezza inseriti in plinti a pozzetto o connessi alla fondazione tramite connettori metallici. Le connessioni delle strutture prefabbricate tradizionali Italiane sono realizzate prevalentemente a secco mediante l'utilizzo di elementi metallici (barre annegate, barre ancorate con boccole, barre serrate, profili a C e bulloni a testa d'ancora, squadrette metalliche imbullonate, scatolari ancorati con zanche e spinotto saldato) che, in ogni caso, basano il loro comportamento sulla capacità resistente a taglio. Lo schema caratteristico di una struttura prefabbricata è quindi costituito da telaio con incastro alla base del pilastro e collegamenti incernierati tra i restanti elementi strutturali.

Tuttavia, nonostante le attuali norme tecniche per le costruzioni (D.M. 2008) prevedano l'utilizzo di connessioni meccaniche fra gli elementi strutturali prefabbricati, tale obbligo sussiste solamente per gli edifici posti in zona sismica in base al D.M. 1987: l'ultimo aggiornamento della zonazione sismica del territorio italiano risale all'O.P.C.M. 2004. Sono pertanto presenti numerosi edifici industriali sul territorio italiano in cui le connessioni trave-pilastro e trave-elementi di solaio sono affidate al solo attrito, sia perché costruiti prima del 1987 sia perché progettati senza considerare l'azione sismica.

Nel seguito dell'articolo sono riportate le principali vulnerabilità sismiche registrate negli edifici industriali e i danni rilevati più frequentemente dalle ispezioni condotte su edifici prefabbricati industriali a seguito del terremoto dello scorso Maggio.

Nella parte conclusiva dell'articolo sono introdotte alcune ipotesi di interventi locali e globali per la messa in sicurezza e l'adeguamento sismico. Le considerazioni riportate derivano da quanto discusso durante la redazione delle linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici (AA.VV. 2012).

## VULNERABILITÀ DELLE CONNESSIONI

Le connessioni presenti negli edifici industriali esistenti non garantiscono alcuna duttilità alla struttura, in quanto è un dato di fatto che la capacità dissipativa è demandata interamente alle cerniere plastiche alla base della struttura, senza la possibilità di imporre, in fase di progetto, un vero e proprio meccanismo a colonna forte e trave debole.

È stata proprio l'assenza di connessioni vere e proprie tra gli elementi strutturali a provocare i danni maggiori agli edifici industriali nella sequenza sismica del maggio 2012, poiché l'incapacità di trasferire le sollecitazioni orizzontali tra gli elementi strutturali ha causato la perdita dell'appoggio degli stessi e - di conseguenza - il loro crollo. Inoltre, a tale perdita d'appoggio può avere contribuito anche la spazialità del moto sismico che può provocare spostamenti differenziali alla base dei pilastri se privi di collegamenti tra le fondazioni.

Come anticipato, i danni principalmente riscontrati sono associati alla caduta di elementi strutturali di piano a seguito della perdita dell'appoggio conseguente la mancanza o la ridotta capacità di connessioni meccaniche tra tali elementi: nella Figura 1 è riportata la perdita di appoggio di una trave a doppia pendenza facente parte di un ampliamento realizzato alla fine degli anni '70.



**Figura 1.** Caduta di travi per perdita dell'appoggio.

Sono state rilevate inoltre diverse rotture in corrispondenza delle forcelle di alloggiamento delle travi (Figura 2): tali rotture si sono verificate per raggiunta capacità flessionale o a taglio delle forcelle stesse, con un possibile rischio di ribaltamento fuori-piano. Inoltre la rotazione relativa nel piano tra trave e pilastro ha causato danni in corrispondenza dell'appoggio con una diminuzione della superficie utile ed un conseguente aumento della possibilità di caduta della trave.



**Figura 2** – Danneggiamenti del collegamento trave pilastro

## VULNERABILITÀ DEI PILASTRI

Per quanto concerne i pilastri, sono state riscontrate diverse tipologie di danno dovute a vari fenomeni. La principale tipologia di danno è legata alla perdita di verticalità dei pilastri a causa di una rotazione rigida al piede (Figura 3). Questo tipo di danno può essere dovuto alla rotazione dell'intero elemento di fondazione, oppure al danneggiamento dei componenti in cemento armato (bicchiere, plinto, ecc.). L'attribuzione ad una categoria o all'altra di danno è difficilmente accertabile in fase di ispezione visiva post-sisma e richiederebbe in generale un'accurata analisi del complesso terreno-fondazione con indagini invasive.



**Figura 3.** Rotazione dei pilastri alla base per problema in fondazione

Si sono inoltre osservate diverse rotture a taglio nei pilastri dovute al pilastro corto in presenza di tamponamenti in laterizio perimetrali e finestrate a nastro (Figura 4).



**Figura 4.-** Danneggiamento del pilastro corto per presenza di tamponatura e finestratura a nastro.

## VULNERABILITÀ DEI PANNELLI DI TAMPONAMENTO

Un'altra tipologia di danno ricorrente è il collasso degli elementi di chiusura perimetrali, sia muratura in laterizio sia pannelli prefabbricati in cemento armato. Per quanto riguarda i tamponamenti in laterizio, il collasso (Figura 5) è associato all'elevata snellezza e flessibilità fuori piano di tali pareti spesso prive di ammassamenti laterali in prossimità dei pilastri e di cordoli in cemento armato; inoltre la sommità di tali pareti è spesso sormontata da finestrate a nastro. Questo comporta che il meccanismo di collasso sia molto prossimo al ribaltamento della parete come corpo rigido con un conseguente basso moltiplicatore orizzontale dei carichi.



**Figura 5** Collasso di tamponamenti perimetrali in laterizio.

In merito alla caduta di pannelli prefabbricati di chiusura orizzontali (Figura 6) o verticali (Figura 7), questa è da attribuirsi alla rottura delle connessioni meccaniche di collegamento agli elementi principali quali travi o pilastri. Infatti, tali connessioni, sono state progettate per sostenere i carichi gravitazionali dei pannelli ed evitarne il ribaltamento per sollecitazioni orizzontali quali ad esempio il vento. Tuttavia, l'elevata flessibilità degli edifici industriali considerati, fa sì che gli spostamenti laterali dell'edificio in caso di sisma provochino elevate sollecitazioni nelle connessioni, dove si concentrano le relative domande di spostamento e di rotazione, data l'elevata rigidità degli elementi prefabbricati che collegano.



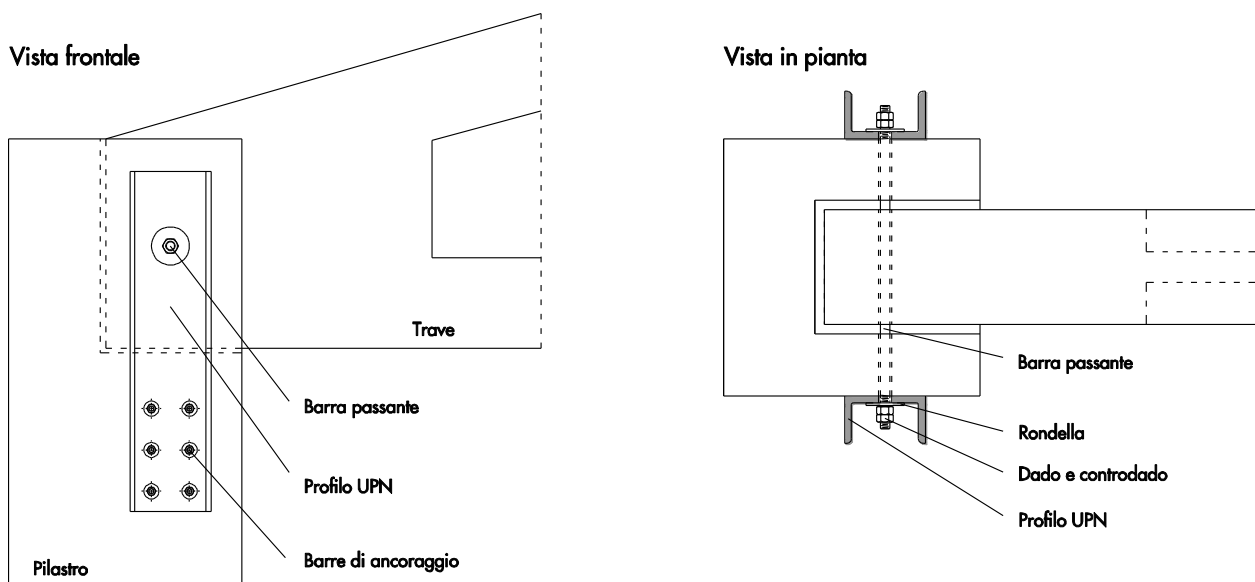
**Figura 6.** Caduta di pannelli prefabbricati orizzontali.



**Figura 7.** Caduta di pannelli prefabbricati verticali.

## TECNICHE DI INTERVENTO PER LA MESSA IN SICUREZZA E L'ADEGUAMENTO SISMICO

Gli interventi per la messa in sicurezza degli edifici prefabbricati industriali devono innanzi tutto risolvere le carenze legate all'assenza o all'insufficienza di connessioni tra travi e pilastri e tra travi ed elementi di piano prefabbricati ed impedire il collasso degli elementi di tamponatura o dei pannelli prefabbricati di chiusura. Tali interventi devono essere compatibili con lo schema statico scelto in fase di progettazione (solitamente telaio incernierato) oppure tenere in considerazione l'effettivo grado d'incastro realizzato valutando la domanda derivante sia sugli elementi strutturali che sulle connessioni. Devono essere progettati in modo che il collasso del singolo collegamento sia duttile anziché fragile date le incertezze insite nella valutazione sia delle forze sia della domanda di spostamento nelle connessioni. È inoltre importante valutare la compatibilità in termini di spostamento tra gli interventi di messa in sicurezza ed adeguamento sismico e gli elementi strutturali e non strutturali che collegano.



**Figura 8.** Collegamento trave-pilastro con vincolo a cerniera.

I principali interventi riguardano, come già anticipato, il ripristino del trasferimento delle sollecitazioni sismiche tra elementi strutturali e prevedono il collegamento trave-pilastro e tegolo-

trave. In riferimento al collegamento della trave al pilastro, la soluzione più opportuna risulta l'aggiunta di profili in acciaio laterali (Figura 8) collegati alla trave con un unico perno in modo da mantenere il vincolo di cerniera; a tal fine il foro nella carpenteria metallica in corrispondenza del perno dovrebbe presentare un'asolatura verticale per non ostacolare le rotazioni relative tra gli elementi strutturali. Inoltre, la posizione laterale di tali profili consente di trasferire al pilastro anche le sollecitazioni trasversali della trave. In modo del tutto analogo si può procedere per il collegamento tegolo-trave utilizzando: squadrette metalliche (vincolo bilatero in figura 9), oppure utilizzando dei cavetti in acciaio (vincolo monolatero in Figura 10).

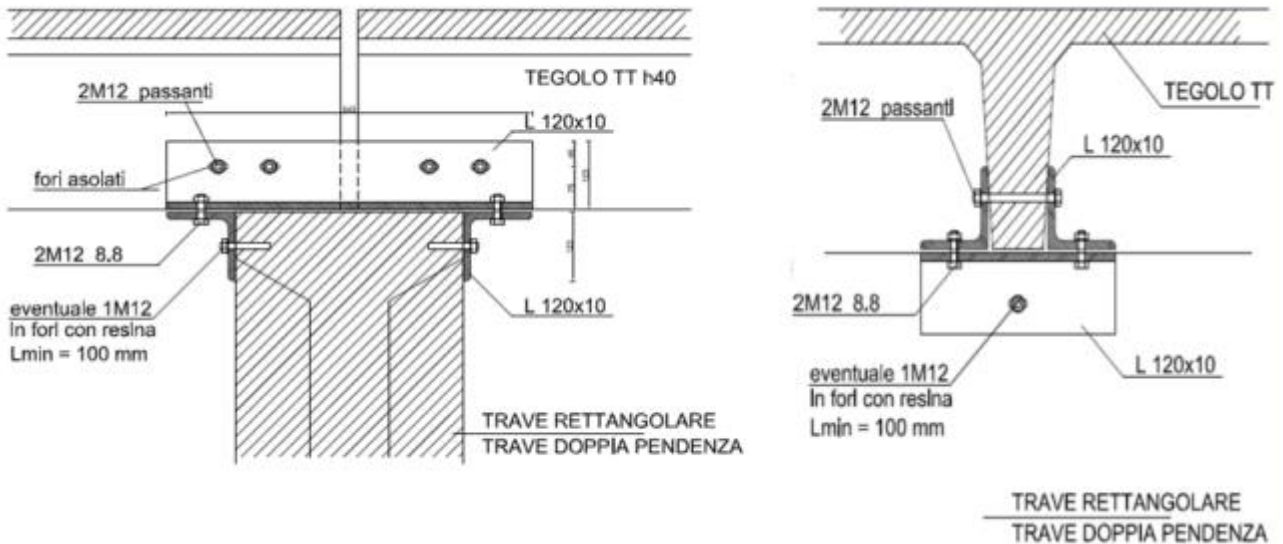


Figura 9 - Collegamento tegolo-trave con vincolo bilatero (Fonte Prof. Marco Savoia)

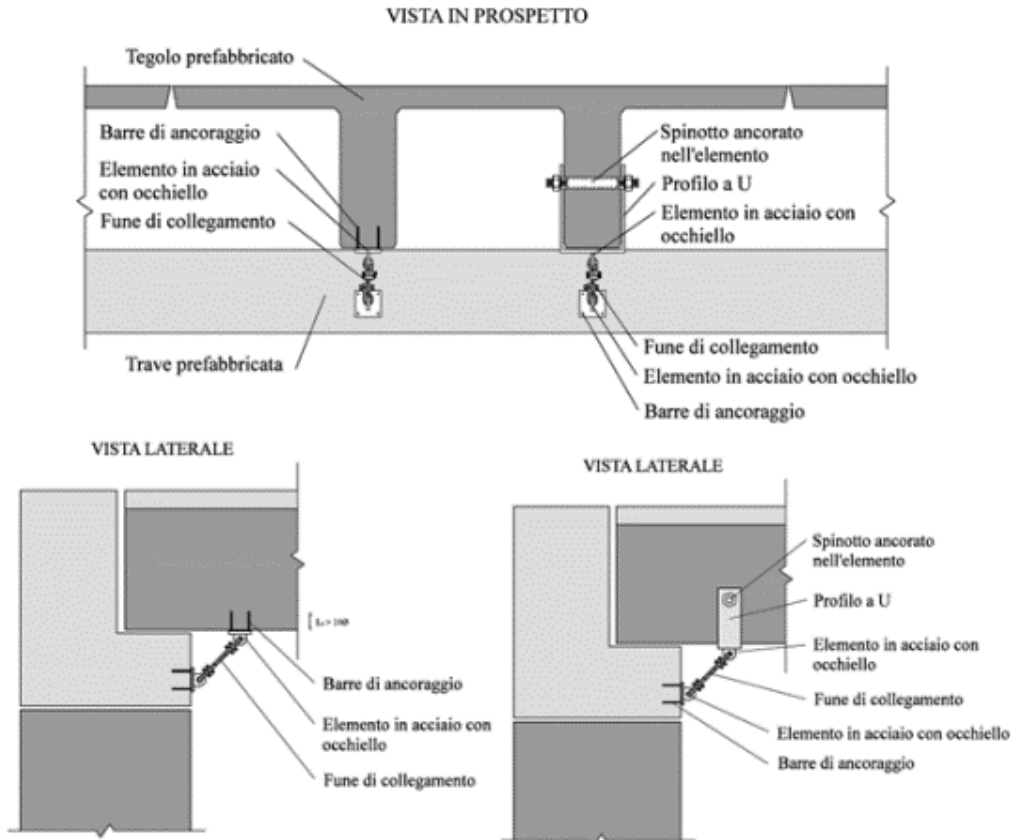
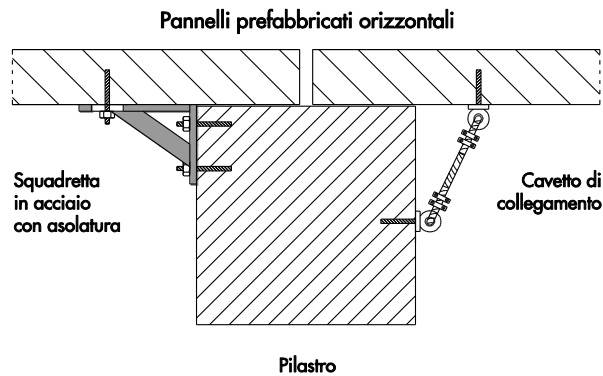
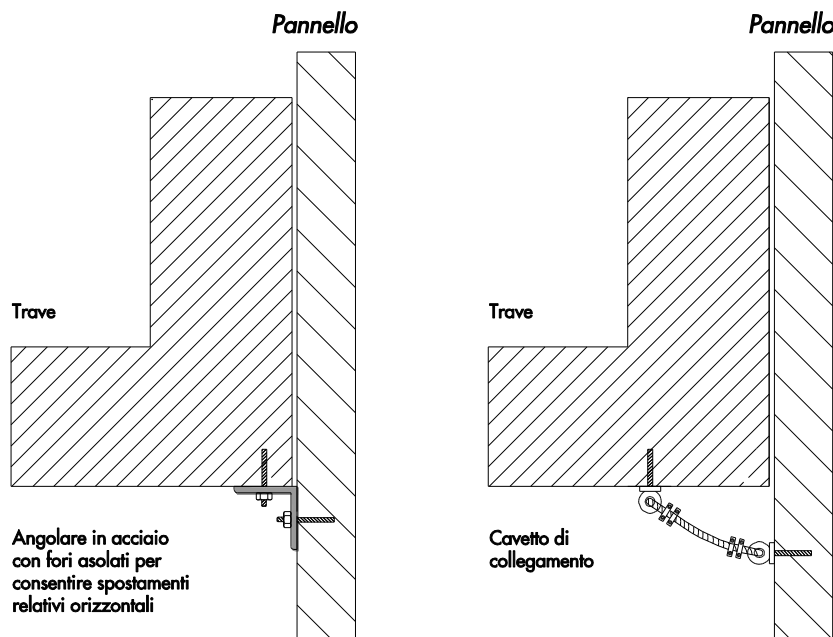


Figura 10. Collegamento tegolo-trave con vincolo monolatero.

Per evitare la caduta dei pannelli prefabbricati di chiusura orizzontali e verticali si possono aggiungere delle connessioni che entrano in funzione alla rottura dei collegamenti esistenti (Figura 11 e Figura 12). Tali connessioni devono essere in grado di incassare gli spostamenti relativi, indotti dal sisma, tra i pannelli e gli elementi strutturali. In particolare, nel caso si utilizzino squadrette metalliche, queste dovranno presentare dei fori con asolatura orizzontale; nel caso invece di cavetti in acciaio, gli stessi dovranno essere disposti in posizione più ortogonale possibile alle pareti e non essere pretesi.



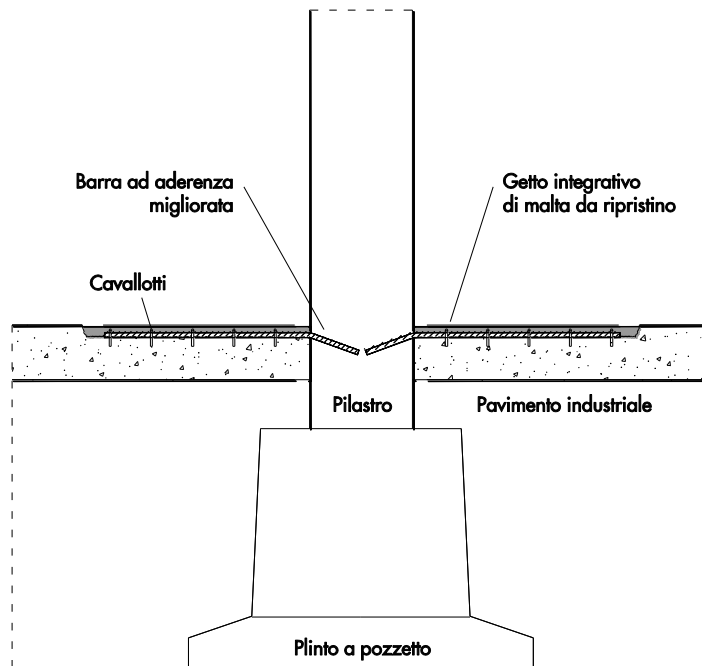
**Figura 11** - Collegamento pilastro – pannelli prefabbricati orizzontali con squadrette in acciaio con asolatura orizzontale (sinistra) o cavetti in acciaio (destra).



**Figura 12.** Collegamento trave – pannelli prefabbricati verticali con angolari con fori asolati (sinistra) o cavetti in acciaio (destra).

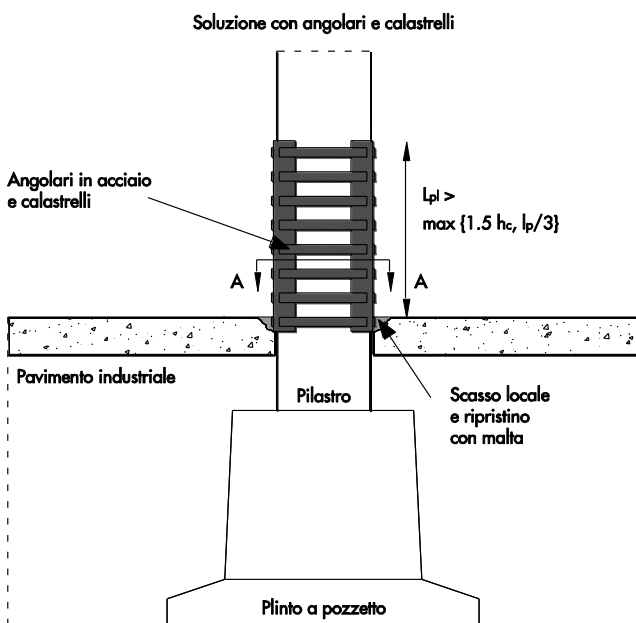
Gli interventi di miglioramento ed adeguamento sismico dei pilastri si distinguono in:

- collegamento della base dei pilastri al pavimento industriale per ridurre gli spostamenti relativi delle fondazioni (Figura 13);
- ripristino della resistenza a flessione e/o a taglio alla base dei pilastri (Figura 14) attraverso: 1.fasciatura con materiale polimerico fibro-rinforzato (FRP), 2.inserimento di angolari e calastrelli in acciaio, 3.incamicatura con calcestruzzo armato tradizionale o con calcestruzzo fibro-rinforzato ad alte prestazioni (HPFRC).
- rinforzo in corrispondenza di aperture che possono provocare la rottura a taglio del pilastro (pilastro corto);

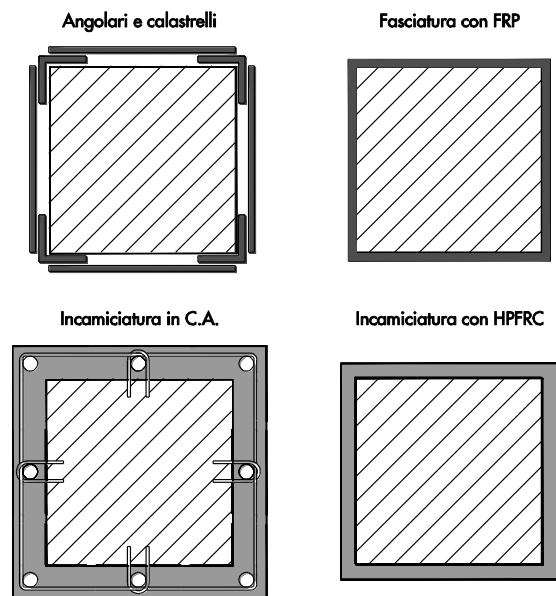


**Figura 13** - Collegamento pilastro con pavimento industriale

Vista laterale



Sezione AA: Tipologia di intervento



**Figura 14.** Interventi di confinamento e rinforzo della base del pilastro.

## CONCLUSIONI

In questo articolo si è analizzata la vulnerabilità degli edifici industriali tipici del panorama italiano analizzando il danno che essi hanno subito in seguito agli eventi sismici che hanno colpito l'Emilia nel maggio del 2012.

In particolare è emerso come i crolli siano conseguiti alla perdita dell'appoggio degli elementi strutturali dovuta alla mancanza di connessioni efficaci nei confronti dell'azione sismica.



Inoltre, l'incapacità delle connessioni di assecondare gli spostamenti indotti dall'evento sismico ha generato un distacco dei pannelli perimetrali di chiusura, andando in questo modo ad incrementare in maniera rilevante il computo dei danni.

Infine sono stati elencati ed illustrati possibili interventi di messa in sicurezza ed adeguamento sismico per le strutture esistenti mirando all'eliminazione delle vulnerabilità legate:

- all'assenza o all'insufficienza delle connessioni tra gli elementi strutturali;
- al possibile collasso fuori piano – per raggiunta capacità flessionale o a taglio - delle travi;
- al ribaltamento associato alle sollecitazioni trasmesse dagli elementi di piano;
- alla ridotta capacità flessionale e a taglio dei pilastri;
- alla possibile caduta di elementi non strutturali (ad es. pannelli prefabbricati di chiusura).

## Bibliografia

- AA.VV. (2012) - Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici
- Belleri A., Riva P. (2012) - Seismic performance and retrofit of precast grouted sleeve connections. PCI Journal, Vol. 57:1, pp. 97-109.
- Belleri A., Riva P., Bolognini D., Nascimbene R. (2010) - Metodi di protezione sismica di strutture prefabbricate mediante dispositivi di dissipazione, 18° Congresso CTE, Brescia.
- Bellotti D., Bolognini D., Nascimbene R., (2009) - Seismic response of traditional RC precast structures, Environmental Semeiotics, vol. 2, no. 2, pp. 63-119
- Bellotti D., Bolognini D., Brunesi E., Nascimbene R., Santagati S., (2012) - Tecniche avanzate di protezione sismica di strutture prefabbricate in c.a, ACI Italy Chapter, Workshop su 'I collegamenti nelle strutture prefabbricate – Connections in precast structures', Bergamo, Italia
- D.M. 3/12/1987 (1987) - Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
- D.M. 14/01/2008 (2008) - Norme tecniche per le costruzioni.
- Magliulo G., Fabbrocino G., Manfredi G. (2008) - Seismic assessment of existing precast industrial buildings using static and dynamic nonlinear analyses, Engineering Structures, Vol. 30:9, pp. 2580-2588.
- Negro P., Toniolo G. (2012) - Design guidelines for connections of precast structures under seismic actions, JRC scientific and policy reports, European Commission.
- O.P.C.M. 3274 23/03/2003 (2003) - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Priestley M.J.N., Calvi G.M., Kowalsky M.J. (2007) - Displacement-Based Seismic Design of Structures, IUSS Press, Pavia.
- Riva P., Belleri A., Torquati M. (2011) - Problematiche progettuali legate al comportamento sismico di alcune tipologie di connessioni di strutture prefabbricate, Industrie manufatti cementizi, Vol. 18, pp. 26-34.
- Schoettler M.J., Belleri A., Zhang D., Restrepo J.I., Fleishman R.B. (2009) - Preliminary results of the shake-table testing for the development of a diaphragm seismic design methodology, PCI Journal, Vol. 54:1, pp. 100-124.