

Connessioni dissipative per strutture prefabbricate esistenti: il sistema Sismocell

Ing. Andrea Vittorio Pollini

Reglass H.T. S.r.l.
Via Caduti di Cefalonia 4/a
40061 Minerbio (BO)



Data: 30-04-2015

Sommario. Nell'ambito della riduzione della vulnerabilità sismica di strutture prefabbricate esistenti dovuta alla presenza di connessioni basate sull'attrito, la soluzione proposta consente di realizzare connessioni dissipative attraverso l'introduzione di dispositivi in grado di concentrare il danneggiamento in punti prestabiliti e ridurre gli effetti dell'azione sismica sugli elementi strutturali esistenti. Lo scopo del presente lavoro è di descrivere il funzionamento dei dispositivi in acciaio e fibra di carbonio con un comportamento a fusibile dissipativo e di fornire alcuni criteri utili per il dimensionamento della connessione dissipativa tra elementi strutturali prefabbricati, in particolare in corrispondenza del nodo trave-pilastro. I risultati delle analisi numeriche effettuate durante la fase di sviluppo e messa a punto del sistema hanno confermato come la realizzazione di una connessione dissipativa permetta di coniugare l'esigenza di collegare tra loro gli elementi strutturali e quella di ridurre gli effetti dell'azione sismica sugli elementi strutturali esistenti.

Keywords. Dispositivo antisismico, fibra di carbonio, connessione dissipativa, strutture prefabbricate, miglioramento sismico.

1 Introduzione

I terremoti che hanno colpito Emilia, Lombardia e Veneto nel maggio 2012 hanno drammaticamente mostrato l'elevata vulnerabilità sismica di edifici prefabbricati mono piano progettati e costruiti senza criteri antisismici (Fig. 1). A partire dal maggio 2012 numerose sono state le attività di ricerca volte a comprendere il comportamento sismico delle strutture prefabbricate e a individuare soluzioni di intervento. La strategia d'intervento che prevede l'utilizzo di dispositivi antisismici si pone l'obiettivo di ridurre gli effetti dell'azione sismica sugli elementi strutturali e di concentrare il danneggiamento in punti predefiniti della struttura attraverso l'utilizzo di dispositivi antisismici. La riduzione del danno attraverso l'introduzione di dispositivi antisismici è di primaria importanza per strutture, quali stabilimenti ed edifici industriali, in cui danneggiamenti strutturali possono comportare elevate perdite economiche a causa dell'interruzione dell'attività produttiva.

Nell'ambito delle tecnologie di riduzione della vulnerabilità sismica di strutture prefabbricate esistenti, l'obiettivo di individuare un sistema che non si limitasse alla realizzazione di un semplice fissaggio tra elementi strutturali ha portato allo sviluppo del sistema *Sismocell*, realizzato grazie ad una collaborazione tra l'Università di Bologna, Dipartimento di ingegneria civile, chimica, ambientale e dei materiali (DICAM), il laboratorio CIRI - Edilizia e Costruzioni, e il gruppo Reglass di Minerbio (BO).



Figura 1- Collasso di elementi strutturali per perdita di equilibrio durante il sisma del maggio 2012 in Emilia

2 Descrizione del sistema

La principale causa della vulnerabilità sismica di strutture prefabbricate esistenti, largamente diffuse tra gli edifici industriali, è la mancanza di adeguate connessioni meccaniche tra gli elementi strutturali.

Il sistema prevede, nel caso di travi di copertura semplicemente appoggiate sui pilastri, la realizzazione di una connessione con un comportamento di vincolo a fusibile in grado di dissipare energia per effetto della deformazione plastica dei dispositivi (Fig.

2). Lo scopo del sistema è quello assicurare un collegamento tra gli elementi strutturali e allo stesso tempo limitare gli sforzi trasferiti alla struttura. Il sistema permette dunque di coniugare l'esigenza di collegare tra loro gli elementi strutturali per evitare collassi per perdita di equilibrio e quella di mantenere valori di sollecitazione contenuti sul pilastro, grazie all'effetto di fusibile del dispositivo in grado di tagliare l'effetto dei principali picchi dell'accelerazione sismica, riducendo gli effetti del sisma sulla struttura.



Figura 2- Sequenza di funzionamento dei dispositivi durante l'azione sismica

L'impiego dei dispositivi in corrispondenza di connessioni basate sull'attrito permette di limitare lo spostamento relativo trave-pilastro a valori tali da evitare fenomeni di perdita d'appoggio e assicura che tale spostamento avvenga in corrispondenza di un valore di forza controllato. Il vantaggio rispetto alla realizzazione di un collegamento rigido è di conseguenza quello di avere alla base del pilastro sollecitazioni di entità ben definita ed inferiore rispetto al valore che le sollecitazioni avrebbero qualora il collegamento trave-pilastro fosse semplicemente rigido e di concentrare il danneggiamento nei dispositivi prima di ricorrere alle risorse plastiche della struttura (Fig. 3).

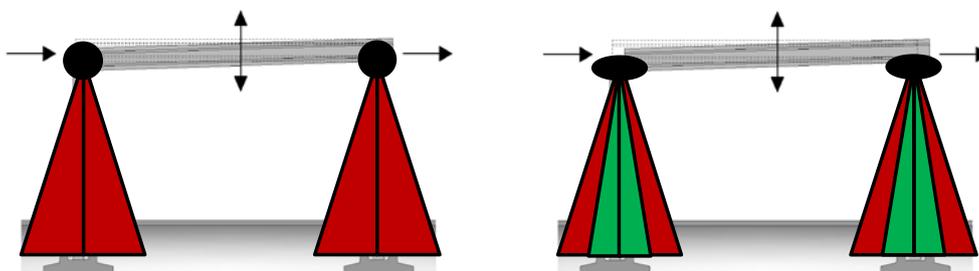


Figura 3- Riduzione delle sollecitazioni alla base del pilastro rispetto ad un collegamento rigido tra trave e pilastro

Le connessioni dissipative sono realizzate mediante l'utilizzo di dispositivi con una sezione composta acciaio-fibra di carbonio. La scelta di un elemento di questo tipo deriva dalla necessità di assorbire elevati valori di energia in dimensioni ridotte.

L'effetto di fusibile dissipativo, ottenuto grazie al legame costitutivo elasto-plastico dei dispositivi, permette di assicurare un collegamento, limitando allo stesso tempo il valore degli sforzi trasferiti al resto della struttura grazie all'assorbimento di energia assicurato dai dispositivi. Il sistema impedisce i movimenti relativi tra gli elementi collegati fino al raggiungimento di una determinata soglia di forza. Al superamento di

tale forza per effetto di un evento sismico, entrano in funzione i dispositivi, dissipando energia per effetto della loro deformazione plastica.

Il sistema prevede la presenza di una barra filettata passante che ha la funzione di guida durante la deformazione dei dispositivi e di sostegno per i dispositivi stessi e per gli elementi di ancoraggio a trave e pilastro. Gli elementi di ancoraggio alla trave e al pilastro possono essere realizzati mediante semplici elementi di carpenteria metallica, fissati agli elementi strutturali con sistemi tradizionali.

Entrando maggiormente nel dettaglio del funzionamento del dispositivo e dei suoi effetti sul comportamento della connessione si possono individuare le seguenti fasi (Fig. 4), nell'ipotesi di una forza orizzontale crescente:

Fase 1 - L'azione orizzontale cresce fino al raggiungimento della forza di plasticizzazione del dispositivo. Questo valore di forza viene interamente trasferito, come un vincolo a cerniera, al pilastro.

Fase 2 - Viene raggiunto il limite di forza di plasticizzazione dei dispositivi e questi iniziano a deformarsi progressivamente dissipando energia. L'azione trasferita agli elementi di collegamento e quindi al pilastro è pressoché costante intorno al valore di forza di plasticizzazione fino al valore limite di deformazione dei dispositivi.

Fase 3 - Il dispositivo raggiunge il limite massimo di deformazione e le sue capacità dissipative sono esaurite. Il sistema, nel caso vengano richiesti valori di spostamento relativo trave-pilastro superiori al valore limite di deformazione dei dispositivi, si comporta di nuovo come un vincolo a cerniera. Si ristabilisce la situazione della Fase 1 in cui la forza in corrispondenza della connessione si trasferisce totalmente al pilastro.

Fase 4 - Viene raggiunto il limite elastico della capacità resistente alla base del pilastro. Se la forza applicata in sommità del pilastro continua a crescere si raggiunge il momento di plasticizzazione alla base del pilastro e si genera una zona di cerniera plastica.

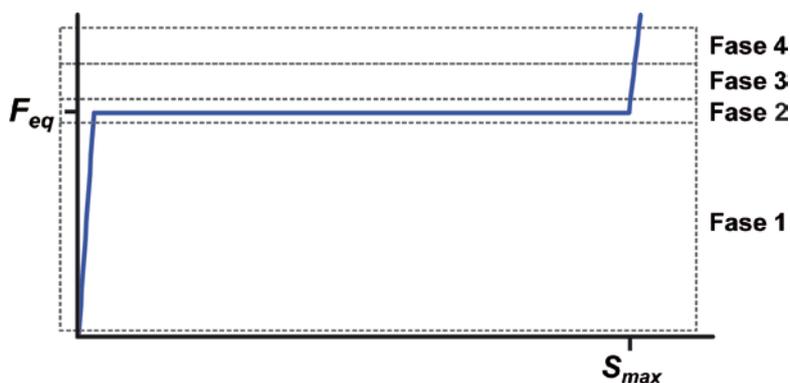


Figura 4- Grafico equivalente forza-deformazione del comportamento a compressione del dispositivo

Il progetto della connessione dissipativa deve essere eseguito verificando che i dispositivi non raggiungano la deformazione limite per effetto dell'azione sismica associata allo stato limite considerato. Le configurazioni previste nelle Fasi 3 e 4, in cui gli spostamenti relativi sono impediti, devono essere considerate una sicurezza aggiuntiva con l'obiettivo di evitare la perdita d'appoggio della trave.

3 Criteri di progetto

Di seguito sono indicati alcuni criteri che devono guidare la scelta dei principali parametri che caratterizzano i dispositivi, ovvero forza di plasticizzazione equivalente F_{eq} e deformazione massima S_{max} . Ricordando come gli eventi sismici siano fenomeni energetici, è opportuno effettuare valutazioni sia in termini di forze, sia in termini di spostamenti.

In termini di forze, la connessione deve essere progettata in modo che i dispositivi abbiano una forza di plasticizzazione inferiore alla sollecitazione di progetto in corrispondenza del nodo per lo stato limite considerato, in modo tale da permetterne la plasticizzazione e poterne sfruttare i benefici. Altra condizione da verificare è che la forza trasmessa dal dispositivo al resto della struttura attraverso la connessione sia supportabile dagli elementi strutturali esistenti e in particolare sia inferiore alla capacità resistente del pilastro.

In termini di spostamento, per verificare che il dispositivo non esaurisca la sua capacità dissipativa per l'azione sismica di progetto, occorre verificare che la domanda di spostamento sia inferiore alla capacità di deformazione massima del dispositivo. Dal momento che il valore massimo di spostamento relativo trave-pilastro consentito coincide con il valore di deformazione massimo dei dispositivi, tale valore deve essere inferiore alla effettiva disponibilità di appoggio della trave sul pilastro.

La forza nei confronti della quale progettare l'ancoraggio può essere determinata considerando un coefficiente di sovraresistenza nei confronti della forza che genera il momento di plasticizzazione alla base del pilastro. In questo modo si riesce ad assicurare una gerarchia delle resistenze che prevede che in una prima fase entrino in funzione i dispositivi e in seguito, grazie alla presenza di un collegamento efficace trave-pilastro, si attinga alle risorse, anche plastiche, degli elementi strutturali esistenti.

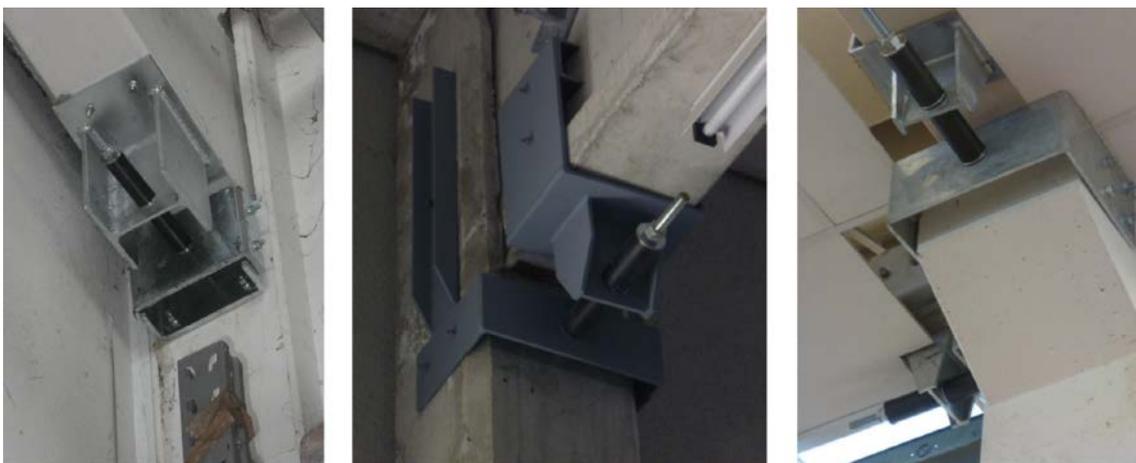


Figura 5- Applicazione dei dispositivi in corrispondenza del nodo trave-pilastro

Le indicazioni sopra illustrate costituiscono criteri generali utili per il dimensionamento dell'intervento e la scelta delle caratteristiche dei dispositivi, ma data la variabilità delle situazioni che si possono presentare al progettista, è opportuno approfondire volta per volta le particolarità del singolo caso (Fig. 5).

4 Analisi numeriche

Durante la fase di sviluppo e messa a punto dei dispositivi sono state effettuate analisi numeriche dinamiche non lineari con lo scopo di valutare e quantificare gli effettivi benefici dell'introduzione di un dispositivo dissipativo nelle connessioni ad attrito di strutture prefabbricate esistenti. Di seguito sono sintetizzate le principali conclusioni raggiunte mediante le analisi effettuate, con il solo scopo di descrivere qualitativamente il comportamento dinamico del dispositivo. Per un approfondimento esaustivo sui risultati delle analisi numeriche condotte si rimanda a specifiche pubblicazioni scientifiche sul tema.

L'obiettivo delle analisi numeriche è stato quello di valutare il ciclo d'isteresi del dispositivo durante la sequenza sismica e gli effetti in termini di riduzione di spostamento relativo trave-pilastro e di trasferimento di sforzi al pilastro (Fig. 6). Le analisi sono state effettuate su alcuni casi studio ritenuti rappresentativi delle tipologie più diffuse di strutture prefabbricate esistenti, schematizzate con semplici portali incastrati alla base e con diversi tipi di connessione nel nodo trave-pilastro. Le analisi sono state condotte al variare di parametri significativi quali larghezza e altezza della campata, geometria degli elementi strutturali, masse, capacità resistente degli elementi strutturali e forza di plasticizzazione dei dispositivi.

In tutte le analisi condotte il valore massimo del taglio alla base del modello con i dispositivi è inferiore rispetto al valore massimo del taglio alla base del modello elastico equivalente con vincoli a cerniera alle estremità delle travi. La riduzione delle sollecitazioni è in media dell'ordine del 30-40%.

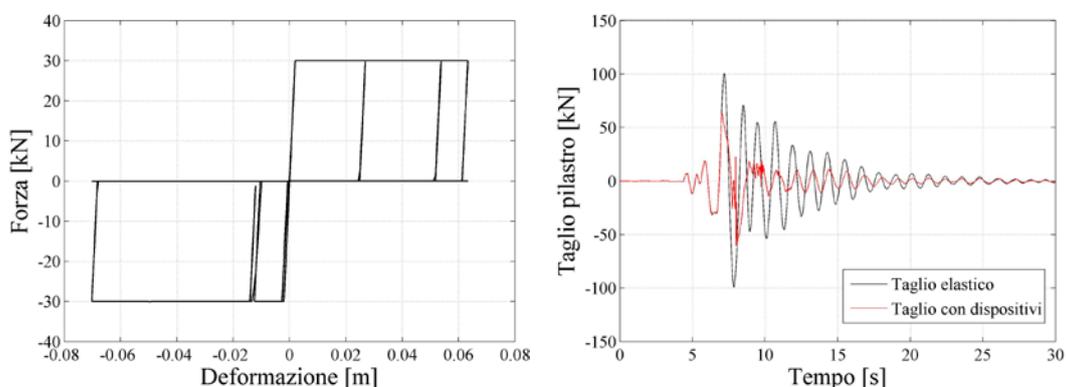


Figura 6- Ciclo d'isteresi dei dispositivi e riduzione del taglio alla base del pilastro rispetto ad un vincolo a cerniera relativi ad una delle analisi dinamiche non lineari effettuate

I risultati delle analisi effettuate hanno confermato come la realizzazione di una connessione dissipativa permetta una significativa riduzione degli sforzi trasferiti al pilastro per effetto dell'azione sismica rispetto ad uno schema di vincolo in corrispondenza del nodo trave-pilastro come semplice cerniera. Allo stesso tempo, i valori di spostamento relativo trave-pilastro sono ridotti e tali da evitare il fenomeno della perdita d'appoggio.

5 Conclusioni

L'efficacia dell'introduzione di dispositivi dissipativi in corrispondenza delle connessioni di strutture prefabbricate esistenti è stata valutata mediante analisi numeriche, effettuate con lo scopo di verificare l'effetto di fusibile dissipativo dei dispositivi costituiti da una sezione circolare in acciaio rivestita da fibre di carbonio. In sintesi, gli effetti dell'utilizzo di una connessione dissipativa rispetto ad una connessione rigida si traducono in un aumento dell'energia dissipata, a cui corrispondono il controllo degli spostamenti relativi trave-pilastro e la riduzione delle sollecitazioni indotte sui pilastri e in fondazione.

I risultati delle analisi numeriche effettuate durante la fase di sviluppo e messa a punto del sistema hanno confermato come la realizzazione di una connessione dissipativa permetta quindi di coniugare l'esigenza di collegare tra loro gli elementi strutturali e quella di ridurre gli effetti dell'azione sismica sugli elementi strutturali esistenti.

In molti casi, con interventi vantaggiosi anche sul piano dei costi e dell'invasività, si possono raggiungere livelli di sicurezza superiori a quelli imposti dalla normativa, garantendo un'operatività della struttura a seguito di un evento sismico che nel caso di capannoni industriali può essere determinante ai fini della salvaguardia anche del patrimonio aziendale.