

RICERCA DI SISTEMI DI PROTEZIONE APPROPRIATI PER SCHEMI PREFABBRICATI RICORRENTI

Fabrizio Comodini

Università e-Campus, Facoltà di Ingegneria, Novedrate, Como

Marco Mezzi

Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Perugia

ABSTRACT: The paper presents the layout and the first development of a research targeted on the study of seismic protection devices at low cost to be inserted in the joints of precast concrete building systems. The first part of the work is targeted to the classification of devices, with particular attention to construction details, the compatibility of seismic code and the costs of production. The second part of the work is targeted to the identification of technological strategies that can improve the expected seismic performance to prefabricated systems. With reference to a case study, was established the increase of the seismic capacity of structural precast systems and the reduction of cost construction of the elements in order to offset the cost of the devices.

Keywords : precast building, joints beam –column , seismic capacity.

INTRODUZIONE

Il presente lavoro illustra una ricerca avente come obiettivo quello di studiare l'efficacia dell'inserimento di dispositivi dissipativi a basso costo nei nodi trave-pilastro di strutture prefabbricate in c.a., valutando quindi il miglioramento della risposta sismica in termini di riduzione delle sezioni resistenti degli elementi controventanti. L'inadeguata capacità dissipativa dei sistemi costruttivi prefabbricati in c.a., nei riguardi delle azioni sismiche, ha contribuito alla diffusione di sistemi prefabbricati "anomali", per esempio di sistemi misti risultanti dall'accoppiamento di configurazioni classiche per strutture prefabbricate con nuclei e/o setti in c.a. realizzati in opera, affidando peraltro a quest'ultimi la totale capacità sismoresistente dell'intero organismo strutturale. Il comportamento non ottimale in zona sismica dei sistemi costruttivi prefabbricati è legato prevalentemente all'inadeguatezza dei collegamenti tra gli elementi strutturali, infatti i danneggiamenti severi ed i crolli più eclatanti si sono verificati a seguito della perdita di appoggio dell'impalcato e delle travi a seguito di spostamenti differenziali eccessivi. Ciò è una naturale conseguenza dell'elevata deformabilità di quegli schemi statici, tipici anche della produzione prefabbricata italiana, in cui gli elementi trave sono semplicemente appoggiati, o incernierati, alla sommità di pilastri incastrati a terra con schema a mensola. È evidente che tali schemi risultano idonei per le condizioni statiche, ma non sono adeguati a garantire una risposta sismica prestazionale rispondente alle prescrizioni delle normative di nuova generazione.

Con l'assunzione di schemi statici a mensole isostatiche, il rispetto dei requisiti capacitivi, contenuti nelle nuove norme tecniche, si ottiene a discapito di un incremento delle sezioni resistenti dei pilastri con un conseguente incremento dei costi di costruzione tale da abbattere la competitività commerciale di questi sistemi costruttivi.

Nel corso di questi ultimi anni sono stati sviluppati numerosi dispositivi dissipativi o di isolamento il cui inserimento nella compagine strutturale è stato finalizzato all'incremento di energia dissipata del sistema strutturale ed alla limitazione del danno a carico degli elementi strutturali. Questo approccio consente di incrementare il livello prestazionale delle strutture prefabbricate mantenendo il costo di costruzione a livelli accettabili.

I dispositivi di protezione sismica possono essere peraltro installati anche su strutture esistenti, consentendone un miglioramento o un adeguamento sismico. Nel seguito si riportano, per categoria di appartenenza, alcuni esempi di connessione tra elementi prefabbricati: alcuni di essi sono ancora oggetto di studio mentre altri sono già adottati dai costruttori.

TIPI DI COLLEGAMENTO

Premessa

Il principio della gerarchia delle resistenze è uno dei concetti fondamentali della corrente progettazione sismica ed è stato pienamente recepito anche dalle recenti normative italiane. Esso è finalizzato a garantire la prioritaria formazione nelle strutture di meccanismi duttili, responsabili della dissipazione energetica e della protezione sismica, rispetto a meccanismi fragili che possono compromettere la capacità di risposta al verificarsi di un terremoto intenso. Differente è il caso delle strutture prefabbricate in cemento armato realizzate mediante l'assemblaggio di componenti distinti, uniti in corrispondenza dei nodi trave-pilastro. In effetti, con i nuovi codici di progettazione è aumentata l'esigenza di conoscere le caratteristiche meccaniche delle unioni; esse giocano, infatti, un ruolo fondamentale nel progetto sismico. Sono previste due tipologie di connessione: collegamenti posti lontano dalle zone dove si attende la richiesta plastica, oppure collegamenti posti in corrispondenza delle stesse. In quest'ultimo caso al collegamento è assegnata una determinata sovra-resistenza rispetto agli elementi adiacenti, oppure una maggiore duttilità. Poiché la risposta sismica di una struttura prefabbricata dipende fortemente dal comportamento dei collegamenti, è chiaro che l'applicazione della gerarchia delle resistenze a tale tipologia strutturale non può prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche prestazionali della connessione trave-pilastro.

 2

Collegamenti con spinotti

La connessione trave-pilastro correntemente impiegata nelle strutture prefabbricate è riconducibile ad una unione caratterizzata da un appoggio in gomma e da un perno in acciaio (*Figura 1*) (Rahman, Leong, Saim, Osman et al 2006). In particolare la connessione è ottenuta tramite uno spinotto che emerge dalla mensola della colonna prefabbricata e che si inserisce in appositi fori previsti nelle travi. Inoltre è presente un'ulteriore vincolo tra i due elementi strutturali che è rappresentato dalla squadretta che conferisce maggiore stabilità al collegamento. Lo spinotto ha la principale funzione di resistere alle forze orizzontali, impedendo la traslazione relativa fra gli elementi, quindi la perdita d'appoggio della trave.

Collegamenti rigidi

Un collegamento rigido trave-pilastro può essere realizzato attraverso giunti saldati oppure mediante giunti ad "umido" con getto integrativo per il completamento del nodo e dell'armatura metallica.

Entrambi i sistemi presentano notevoli difficoltà durante la fase di montaggio e possono rivelarsi molto costosi, pertanto una soluzione alternativa può essere quella di un'unione bullonata. Il collegamento bullonato (Peikko[®], Figura 2) è costituito dai seguenti elementi: tirafondi (con o senza manicotti filettati) inseriti nel getto del pilastro, angolari di acciaio inseriti all'estremità della trave, sigillatura con malta ad alta resistenza ed antiritiro che, dopo aver montato la trave ed aver serrato i dadi, viene effettuata nello spazio tra la trave ed il pilastro. Con questo tipo di collegamento si possono realizzare nodi rigidi per le unioni pilastro-fondazione e trave-pilastro. I vantaggi in fase di montaggio, propri delle strutture in acciaio, possono essere così applicati alle strutture prefabbricate in c.a..

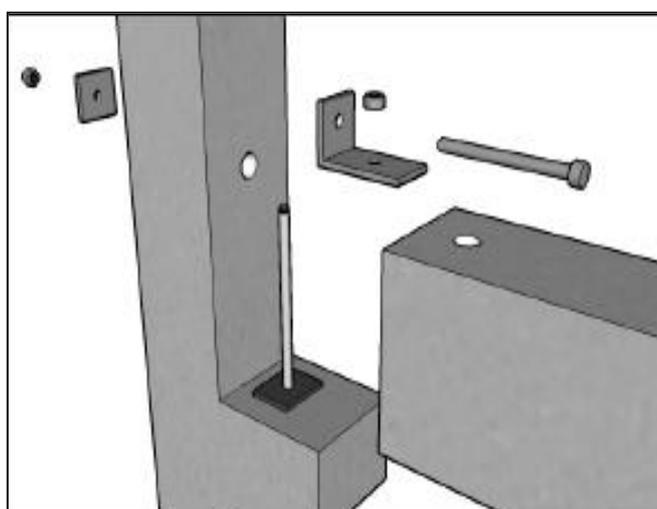


Figura 1- Schema connessione con spinotti.

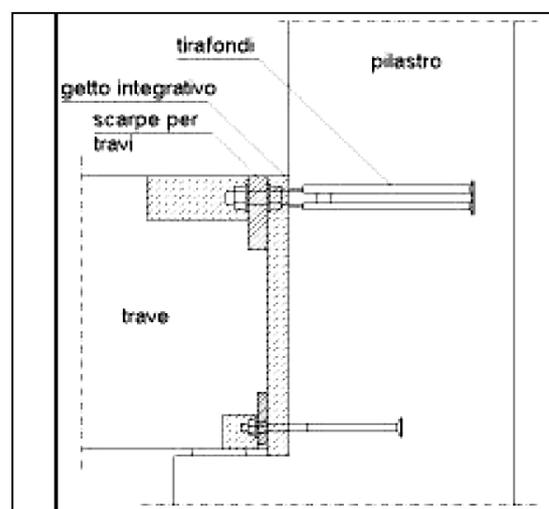


Figura 2- Schema connessione rigida.

Collegamenti semi-rigidi

La connessione semirigida trave-colonna (Figura 3) (El Debs & Miotto et al. 2006) nelle strutture prefabbricate in calcestruzzo è costituita da un appoggio elastomerico e da tasselli di ancoraggio. Il comportamento statico di questa connessione può essere classificato come "semincastro", con parziale trasferimento del momento flettente.

L'appoggio può essere realizzato anche con malta di cemento e sabbia con l'aggiunta di aggregati, di lattice e di fibre corte, in modo da ottenere un materiale ad alta deformabilità e ad alta tenacità, in grado di evitare l'effetto di concentrazione delle tensioni di compressione ed allo stesso tempo di consentire piccole rotazioni. Questo tipo di vincolo, semi-rigido, consente una riduzione del momento flettente nelle colonne, a discapito delle travi.

Connessioni ibride

Una soluzione di tipo ibrido (Figura 4) (Pampanin et al. 2003, Pampanin et al. 2005) è in grado di garantire una estrema flessibilità in fase di progettazione con possibilità di ottimizzare le prestazioni del sistema durante la risposta sismica.

Caratterizzata dalla contemporanea presenza di cavi non aderenti post-tesi e armatura ordinaria, tale connessione è stata studiata per ridurre il livello di danneggiamento negli elementi di tipo prefabbricato garantendo l'apertura e la chiusura di una fessura all'interfaccia trave-colonna ed un'adeguata dissipazione energetica tramite lo snervamento dell'armatura ordinaria.

Vengono dunque a combinarsi, in un'unica soluzione di tipo ibrido, i vantaggi di un comportamento di tipo elastico non lineare (riduzione delle deformazioni residue con chiusura delle fessure) con quelli tipici di una soluzione monolitica in c.a. gettato in opera (alta dissipazione energetica). La presenza di cavi non aderenti post-tesi, consente di ridurre in modo significativo le deformazioni e gli spostamenti residui.

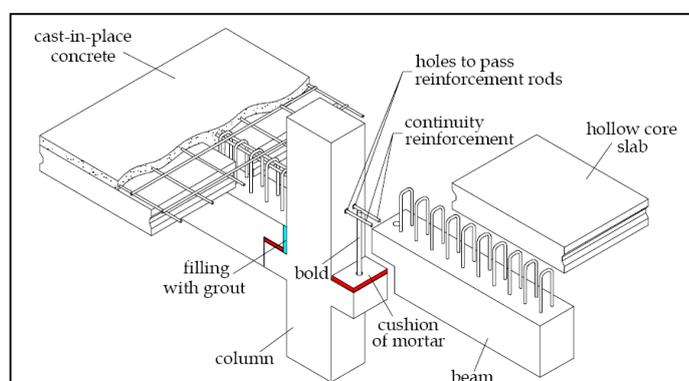


Figura 3- Schema connessione semi-rigida.

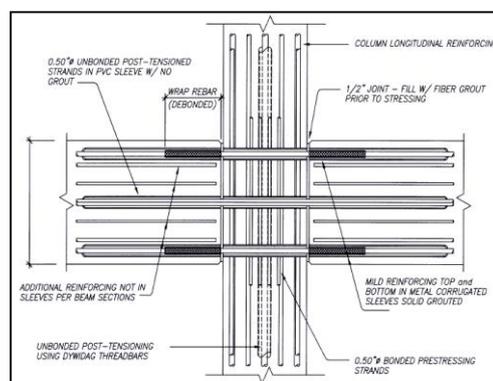


Figura 4- Schema connessione ibrida.

Connessioni ad “umido”

Questo tipo di connessione offre un comportamento strutturale del tutto analogo a quello di una equivalente struttura in c.a. gettata in opera. Tale approccio, noto come “emulazione” del cemento armato gettato in opera, prevede l'utilizzo di elementi strutturali prefabbricati con getto in opera, anche solo parziale, dei relativi giunti (connessioni “umide”). È evidente come i vantaggi tipicamente riconosciuti del prefabbricato rispetto al c.a. gettato in opera (controllo di qualità, velocità di costruzione, riduzione dei costi) risultino fortemente limitati.

Connessioni dissipative ad attrito

Dispositivi ad attrito (Figura 5) (Morgen & Kurama et al. 2004) possono essere disposti nei nodi trave-colonna per dissipare energia a seguito delle rotazioni relative che si generano fra gli elementi prefabbricati orizzontali e verticali. Il dispositivo illustrato è costituito da cinque componenti in acciaio colato, con quattro interfacce ad attrito inserite nel mezzo. Due delle parti in acciaio sono collegati alla trave mentre i restanti tre sono connessi alla colonna. Le interfacce di attrito sono precomprese tramite serraggio a molla.

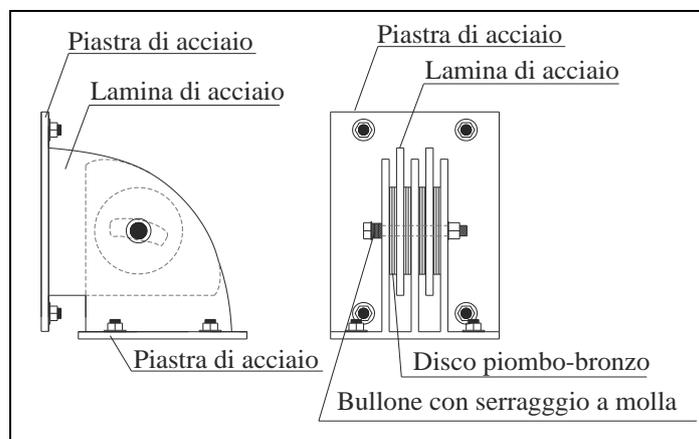


Figura 5-Schema dispositivo ad attrito

CASO DI STUDIO

Il caso di studio analizzato riguarda un edificio originariamente progettato con un sistema costruttivo misto costituito da elementi in c.a. prefabbricati e da un nucleo in c.a. ordinario con funzione controventante, posto in posizione centrale. Nel dettaglio le analisi comparative sono state eseguite su due varianti dell'edificio senza nucleo irrigidente: una soluzione convenzionale a nodi incernierati ed una soluzione con dispositivi dissipativi ad attrito. Il parametro di risposta preso in considerazione per questo primo set di analisi numeriche è stata la sollecitazione massima agente nei pilastri in condizioni sismiche. L'edificio è stato progettato secondo la normativa italiana NTC2008, in zona sismica con PGA 0.25 g e suolo tipo C. I materiali assunti sono: calcestruzzo C35/40 ed acciaio B450C.

5

Struttura originale

L'edificio prefabbricato oggetto di studio presenta una pianta trapezoidale con dimensioni massime (a filo esterno pilastri) di 50.08 m per 30.44 m. L'edificio presenta in elevazione tre livelli di cui uno interrato non interagente con il terreno. Tutti gli impalcati sono realizzati mediante solai alveolari prefabbricati di uguale spessore, poggianti su travi a T rovescia o ad L. I pilastri sono isostatici, di dimensioni 600 x 600 mm. In posizione centrale è presente un nucleo in c.a. adibito a vano scala-ascensore con funzione di controventamento.

La fondazione è costituita da una platea in c.a., sulla quale sono vincolati i pilastri. La struttura è classificabile come torsionalmente deformabile. Dai risultati dell'analisi lineare si ricava che il taglio alla base viene assorbito per oltre il 95% dalle pareti del nucleo e quindi i pilastri possono essere considerati "elementi secondari". Nelle seguenti immagini,(Figura 6) e (Figura 7), sono riportate la pianta dell'edificio e la sezione trasversale, rispettivamente.

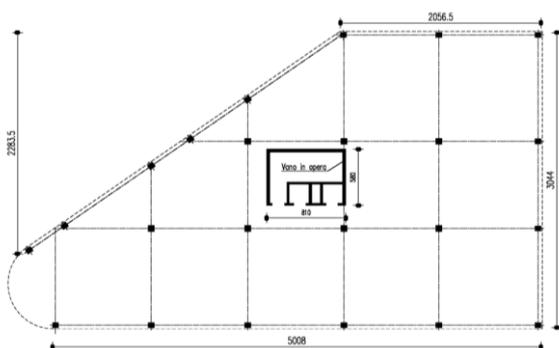


Figura 6 – Pianta edificio

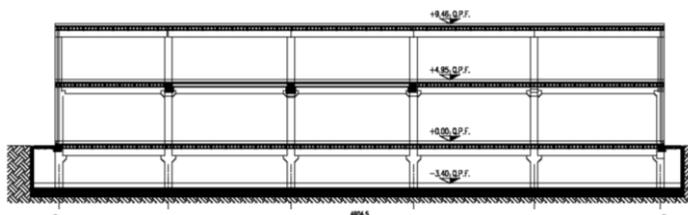


Figura 7 - Sezione

Lo schema statico dei solai e delle travi è quello di trave ad unica campata semplicemente appoggiata, perché il vincolo ottenuto con i collegamenti tra gli elementi non assicura la completa trasmissione dell'azione flettente. Lo schema statico utilizzato per la ripartizione delle forze orizzontali è quello di struttura mista telaio-pareti. I nodi trave-pilastro, trave-parete e pilastro-fondazione sono stati schematizzati come cerniere, in modo da convogliare attraverso l'impalcato tutte le forze orizzontali al nucleo centrale. La dissipazione dell'energia viene quindi affidata unicamente alle pareti del nucleo in c.a. ordinario.

6

Struttura senza nucleo centrale

La prima variante del modello originale analizzata è quella costituita da soli elementi prefabbricati senza il nucleo di irrigidimento. Anche in questo caso lo schema statico delle travi è di semplice appoggio, per la ricordata configurazione delle connessioni. Lo schema statico utilizzato per la ripartizione delle forze orizzontali è quello di struttura ad elementi prefabbricati a pilastri isostatici: i nodi pilastro-fondazione sono considerati "incastri", i nodi trave-pilastro e trave-parete sono stati schematizzati come cerniere, in modo da convogliare, attraverso gli impalcato rigidi, tutte le forze orizzontali verso gli elementi verticali prefabbricati. La dissipazione dell'energia viene quindi concentrata esclusivamente nelle zone alla base dei pilastri.

Struttura con dispositivi ad attrito

Il modello con dispositivi di protezione prevede, rispetto alla struttura originaria, le stesse caratteristiche strutturali del caso precedente, in particolare l'eliminazione del nucleo centrale in c.a. e l'inserimento del vincolo di incastro tra i pilastri e la fondazione. In questo caso sono stati inseriti i dispositivi dissipativi ad attrito in corrispondenza dei nodi trave-pilastro (Figura 9). Le differenze principali tra il modello originale e le due varianti analizzate sono riassunte nella Tabella 1 e riguardano sostanzialmente lo schema statico e la tipologia costruttiva.

Tabella 1 - Principali differenze tra il modello originale ed i modelli analizzati

	Modello originale	Modelli caso di studio
Tipologia costruttiva	Misto equivalente a pareti	Prefabbricato a pilastri isostatici
Nucleo di irrigidimento	Presente	Assente
Vincolo alla base dei pilastri	Cerniera	Incastro
Fattore di struttura	1.2	2.0

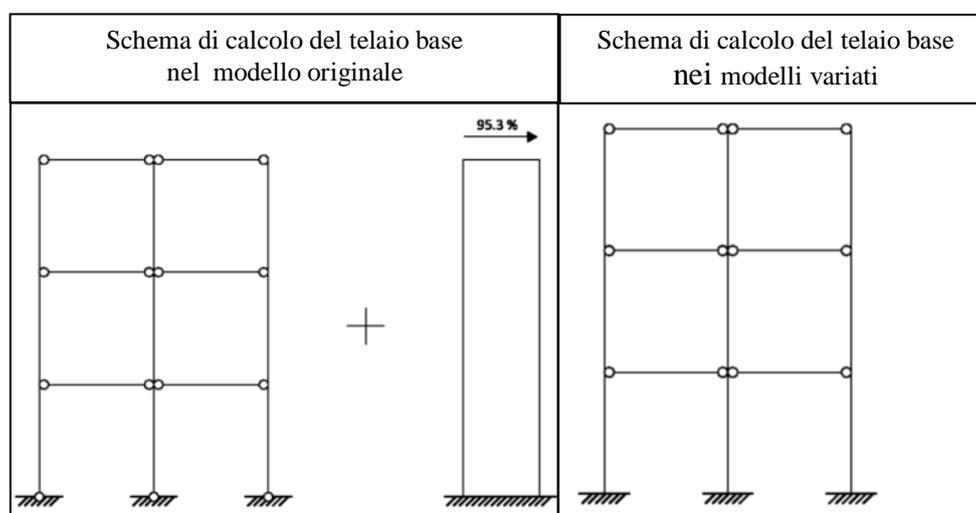


Figura 8- Schema di calcolo delle varianti senza e con dispositivi ad attrito.

ANALISI NON LINEARI

La struttura è stata modellata agli elementi finiti utilizzando il codice di calcolo SAP2000NL, sono state quindi condotte analisi dinamiche non lineari con il metodo modale *FNA* (Fast Nonlinear Analysis) sufficiente in questa fase per analizzare la risposta in termini di riduzione delle sollecitazioni sui pilastri. L'input sismico utilizzato è costituito da sette accelerogrammi artificiali spettro compatibili generati per ciascuna direzione d'ingresso del sisma. I segnali artificiali utilizzati sono stati generati con il codice *Simqke*.

Modellazione dei dispositivi ad attrito

Il tipo di dispositivo adottato nel modello corrisponde ad un dissipatore rotazionale ad attrito (Figura 9) (Morgen & Kurama et al. 2004), in grado di fornire un vincolo di semincastro e di dissipare energia per attrito. I dispositivi vengono installati localmente a cornice all'estradosso delle travi in corrispondenza del giunto trave-colonna. I dispositivi si attivano per le rotazioni relative che si generano fra i pilastri e le travi a seguito della deformazione laterale del sistema.

L'entità dell'energia dissipata è pertanto strettamente correlata ai drift di piano: questo comporta che quanto più è deformabile la struttura, tanto più lavorano i dissipatori.

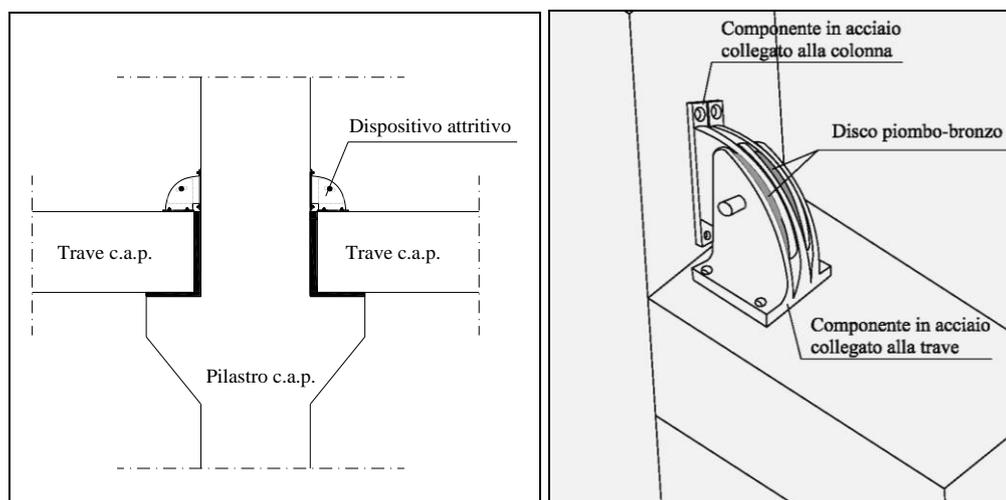


Figura 9- Schemi grafici della posa in opera del dispositivo ad attrito

In definitiva, l'obiettivo di migliorare il comportamento sismico della struttura prefabbricata viene perseguito utilizzando una dissipazione passiva supplementare di energia. In questo senso, il dispositivo ipotizzato utilizza l'attrito che si sviluppa tra adiacenti superfici di metallo e leghe piombo-bronzo che lo compongono. Ogni dispositivo rotazionale è costituito da 5 lamelle in acciaio e 4 interfacce ad attrito ottenute con dischi di piombo-bronzo. Il collegamento tra il dispositivo e gli elementi strutturali prefabbricati si ottiene attraverso flange di acciaio connesse tramite perni filettati. Test sperimentali effettuati sul singolo dispositivo hanno determinato i risultati riportati nella Figura 10 la quale mostra il ciclo isteretico in termini di momento-rotazione. Il ciclo isteretico del dispositivo adottato è stato modellato con un elemento NLink di tipo "Plastic Wen". I parametri che caratterizzano meccanicamente l'elemento non lineare sono i seguenti: $M_y = 120$ kNm (momento di snervamento); $M_u = 120$ kNm (momento ultimo); $\Theta_y = 0.1\%$ (rotazione di snervamento); $\Theta_u = 9\%$ (rotazione ultima); $K = 115166$ N/m (rigidezza secante)(Figura 11).

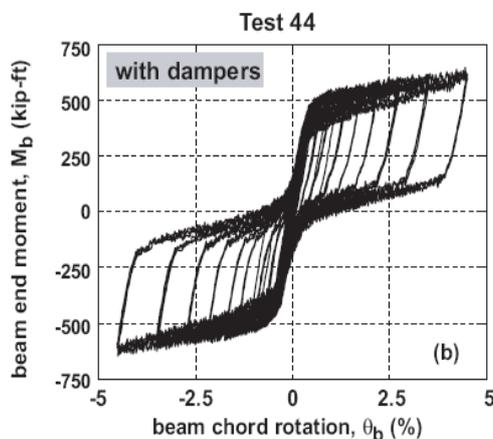


Figura 10 – Ciclo di isteresi sperimentale del dispositivo dissipativo

La seguente Figura 11 mostra il ciclo di isteresi del dispositivo adottato nelle valutazioni condotte ed illustrate nel presente lavoro.

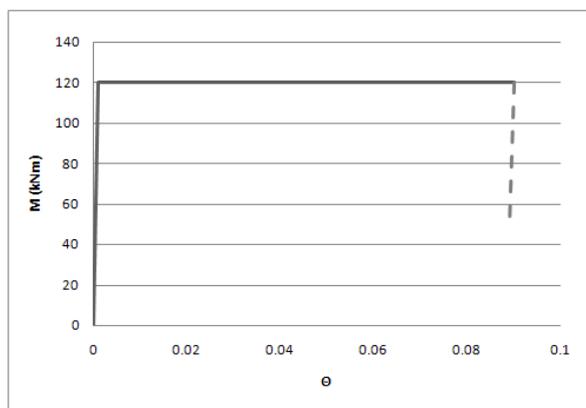


Figura 11- Legame momento-rotazione del dispositivo adottato nel modello numerico

La scelta di attribuire al dispositivo una soglia di attivazione bassa è motivata dall'opportunità di assicurare una loro precoce attivazione impedendo il trasferimento di elevate sollecitazioni flessionali ai pilastri. L'incremento di smorzamento viscoso equivalente associato al comportamento del dispositivo adottato è pari al 31.6 % del valore critico. Tale incremento di smorzamento rappresenta il contributo dissipativo dei cicli di isteresi associati al comportamento attritivo dei dispositivi.

RISULTATI

La dissipazione di energia passiva introdotta dai dispositivi si aggiunge a quella dovuta alla duttilità della struttura legata alla tipologia strutturale, che corrisponde ad un fattore di struttura q pari a 2. Le analisi non lineari di tipo FNA non consentono di tenere conto della plasticizzazione degli elementi strutturali in c.a., ovvero non contemplano la possibile formazione delle cerniere plastiche simultaneamente al lavoro dei dispositivi ad attrito. L'unico contributo dissipativo preso in considerazione nelle elaborazioni, oltre allo smorzamento del 5% convenzionale, è quello riguardante gli elementi NLink.

I risultati ottenuti sono stati pertanto successivamente divisi per un fattore pari a 2, corrispondente al contributo offerto dalla duttilità globale della struttura. Le sollecitazioni così ricavate hanno condotto al dimensionamento delle sezioni e delle armature per la variante senza dispositivi e per quella con dispositivi, rispettivamente (Figura 12).

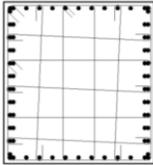
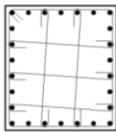
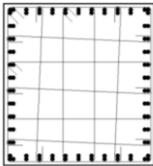
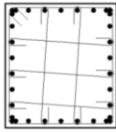
PILASTRO TIPO	
Modello senza nucleo e senza dispositivi di protezione	Modello senza nucleo e con dispositivi di protezione
<p>Armatura Pilastro 120x130 (2.38%)</p> 	<p>Armatura Pilastro 80x90 (1.92%)</p> 
<p>Armatura Pilastro 120x130 (2.99%)</p> 	<p>Armatura Pilastro 80x90 (2.51%)</p> 

Figura 12- Confronto delle sezioni resistenti per le varianti senza e con dispositivi.

CONCLUSIONI

Il duplice obiettivo di questo primo lavoro è stato quello di classificare dispositivi di protezione sismica a basso costo, già in uso o in fase di studio, e di valutarne la potenziale efficacia ai fini del loro inserimento all'interno di un sistema strutturale prefabbricato, non ottimale per zone di elevata sismicità. Lo schema strutturale reale è stato modificato tenendo in conto non solo gli aspetti dissipativi ed energetici, ma anche quelli economici. Si è fatto riferimento ad una configurazione di sistema strutturale composta da soli elementi prefabbricati e dove l'introduzione di dispositivi dissipativi ad attrito permetta il mantenimento delle sezioni degli elementi strutturali entro dimensioni economicamente accettabili. In particolare, considerando la struttura a pilastri isostatici, si è cercato di ridurre le dimensioni dei pilastri abbattendo gli effetti dell'azione sismica attraverso una dissipazione supplementare di energia, fornita dai cicli isteretici compiuti da particolari dispositivi rotazionali inseriti in corrispondenza dei nodi trave-pilastro. Le analisi dinamiche non lineari eseguite sulla struttura hanno mostrato in prima analisi che è possibile ridurre le sollecitazioni nei pilastri senza la necessità di realizzare organismi strutturali misti, senza cioè l'introduzione nel complesso strutturale di elementi controventanti da realizzare in c.a. ordinario.

Per quanto riguarda la diminuzione delle dimensioni dei pilastri si è passati da elementi con sezioni pari 1200 x 1300 mm e 1300 x 1300 mm, del sistema senza nucleo centrale e senza dispositivi, a sezioni di dimensioni pari a 800 x 900 mm e 900 x 900 mm per la configurazione con dispositivi dissipativi, ciò implica una riduzione pari al 33% della sezione di calcestruzzo, con un conseguente risparmio anche in termini di armature.

L'applicazione dei dispositivi nell'organismo strutturale comporta una riduzione degli spostamenti in fase sismica e sebbene la naturale conseguenza di questo effetto sia la riduzione del periodo, l'energia dissipata dai dispositivi compensa con ampi margini l'incremento dell'energia in ingresso.

Per quanto riguarda l'aspetto economico, i dispositivi ipotizzati sono a basso costo, il loro funzionamento è di tipo meccanico e la loro installazione e manutenzione non richiede particolari accorgimenti. È da notare, inoltre, che l'inserimento di questi dissipatori rotazionali produce un altro beneficio, in accordo agli obiettivi della progettazione basata sulle prestazioni (*Performance Based Seismic Design*): quello di contenere i costi di riparazione ed i costi di inutilizzazione della costruzione successivi ad un evento sismico. Sono stati effettuati dei calcoli speditivi di raffronto per valutare la riduzione del costo della costruzione a seguito dell'inserimento dei dispositivi. La comparazione dei costi di costruzione, relativa ai soli pilastri, ha evidenziato un risparmio di circa il 25%.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, Washington D.C., USA.
- Iervolino I., Maddaloni G., Cosenza E., 2006, *Accelerogrammi Naturali Compatibili con le Specifiche dell'OPCM 3274 per l'Analisi Non Lineare delle Strutture*. RELUIS Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica
- Parducci A., 2007, *Progetto delle costruzioni in zona sismica*, Liguori editore
- CSI, Computers and Structures Inc., 2005, *Analysis Reference Manual*, Berkeley, California, USA
- NTC2008, *Norme tecniche per le costruzioni*, D.M. 14 gennaio 2008;
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*
- Pampanin S. 2003, *Alternative design philosophies and seismic response of precast concrete buildings*, FIB News, University of Canterbury, New Zealand
- Morgen B.G. and Kurama Y.C, *A friction damper for post-tensioned precast concrete beam-to-column joints*, 23th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004
- Dasgupta P., Parra-Montesinos G., and Goel S.C., *Hybrid frc-encased steel truss beams for precast seismic-resistant framed construction*, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004
- Marinini L., Spatti P., Riva P., Nascimbene R., Izzo L., Spadavecchia A. e Maffioletti M., *Sviluppo di una Connessione Dissipativa per strutture Prefabbricate*, Rose School, Pavia
- Bianco L., *Collegamenti rigidi per telai costituiti da elementi prefabbricati in c.a.*, Peikko, Via Bitti Milano
- Tuleasca L. e Cuciureanu, A., *Precast Beams and Column Connected with Cast-in-Place Steel Fibre Concrete*, FIB Fédération Internationale du Béton Proceedings of the 2nd International Congress June 5-8, 2006 – Naples, Italy
- El Debs, M.K., El Debs, A.L.H.C. e Miotto, A.M., *Experimental Analysis of Beam-to-Column Connection with Semi-Rigid Behaviour of Precast Concrete Structures*, FIB Fédération Internationale du Béton Proceedings of the 2nd International Congress June 5-8, 2006 – Naples, Italy.
- Ma H., Li, Z., Dong T., Zhou, X., *Experimental Study on Earthquake-Proof Performance of Precast-Prestressed Beam-to-Column Concrete Connections*, FIB Fédération Internationale du Béton Proceedings of the 2nd International Congress June 5-8, 2006 – Naples, Italy
- Ahmad Baharuddin Abd. Rahman, Dennis Chan Paul Leong, A. Aziz Saim, Mohd. Hanim Osman., *Hybrid Beam-To-Column Connections for Precast Concrete Frames*, APSEC 5 – 6 September 2006, Kuala Lumpur, Malaysia
- Biondini F., Ferrara L. and Toniolo G., *Capacity design criteria for connections in precast structures*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Capozzi V., Magliulo G., Manfredi G. e Fabbrocino G., *Caratterizzazione meccanica delle connessioni trave – pilastro spinottate nelle strutture prefabbricate*, ANIDIS 2009, Bologna.