

## Conessioni prefabbricate trave-pilastro

### Confronto tra soluzioni tradizionali a secco, emulative del C.A. gettato in opera e di nuova concezione

*Andrea Belleri – assegnista di ricerca, Università di Bergamo*

*Mauro Torquati – assegnista di ricerca, Università di Bergamo*

*Paolo Riva – professore ordinario, Università di Bergamo*

#### INTRODUZIONE

Gli edifici prefabbricati presenti sul territorio italiano sono costituiti da una struttura il cui schema statico può variare sensibilmente secondo le tipologie di connessione adottate fra gli elementi strutturali. Il grado di vincolo offerto dai collegamenti stabilisce i criteri e lo schema progettuale su cui è definita la distribuzione di forze sismiche associate al terremoto di progetto.

Le connessioni trave-pilastro in particolar modo influenzano la risposta globale della struttura, modificandone sostanzialmente il comportamento (in termini di deformabilità) e conseguentemente il progetto degli elementi strutturali.

La normativa italiana (D.M. 14/01/2008), coerentemente con l'Eurocodice 8 (2005), pone limitazioni specifiche alle connessioni prefabbricate in funzione della loro posizione e delle loro proprietà distinguendo tra (a) connessioni fuori dalle zone critiche, (b) connessioni nelle zone critiche ma sovradimensionate in modo da spostare la plasticizzazione in altre zone e (c) connessioni in zone critiche dotate di adeguate caratteristiche in termini di duttilità e di energia dissipabile.

La prima tipologia di connessione, ossia fuori dalle zone critiche (a), non influisce sulla capacità dissipativa della struttura. La connessione va posta a una distanza minima rispetto alla zona critica pari a 2 d per classe di duttilità bassa (CD B) e pari a 2.5 d per classe di duttilità alta (CD A), dove d è l'altezza utile della sezione. Si assume un momento pari al maggiore tra quello ricavato dall'analisi e quello ottenuto con la gerarchia delle resistenze dai momenti resistenti delle zone critiche adiacenti, moltiplicati per il fattore di sovra-resistenza  $\gamma_{Rd}$  (1.10 per CD B e 1.20 per CD A), mentre il taglio è ricavato dalla gerarchia delle resistenze. Per la seconda tipologia di connessione (b) si assume un fattore di sovra-resistenza  $\gamma_{Rd}$  pari a 1.20 per CD B e 1.35 per CD A. Nella terza tipologia di connessione (c) i collegamenti devono essere dotati di una significativa capacità deformativa e sono progettati in modo da incassare le deformazioni plastiche. Queste connessioni fanno parte a tutti gli effetti del sistema sismo-resistente e sono progettate per snervare e mostrare cicli isteretici stabili in termini di legami forza-deformazione o momento-rotazione quando soggette ad azioni cicliche. La capacità di vincolo delle connessioni agli elementi prefabbricati deve essere maggiore della capacità dell'elemento di collegamento, infatti la rottura del vincolo non è auspicabile data la difficoltà di riparazione.

Questa classificazione è simile alla distinzione tra connessioni prefabbricate della normativa statunitense (ACI 550.2R-13) con l'aggiunta di connessioni deformabili, ossia connessioni in grado di mostrare un'elevata flessibilità, senza perdita di resistenza, come ad esempio gli appoggi in neoprene delle travi.

Nel presente articolo sono presentate le tipologie di connessione trave-pilastro sismo-resistenti maggiormente adottate nella prefabbricazione, sia in ambito italiano sia internazionale, distinte in soluzioni a secco, a emulazione del C.A. gettato in opera e ibride.

#### CONNESSIONI TRADIZIONALI A SECCO

In Italia, lo schema statico di riferimento per il calcolo delle azioni per edifici prefabbricati corrisponde generalmente a un telaio con pilastri incastrati alla base e nodi trave-pilastro rappresentati da vincoli a cerniera. L'utilizzo di uno schema statico di questo tipo, associato ad altezze d'interpiano solitamente elevate, presuppone la realizzazione di strutture molto deformabili rispetto alle strutture tradizionali realizzate con C.A. gettato in opera, vincolando la progettazione al

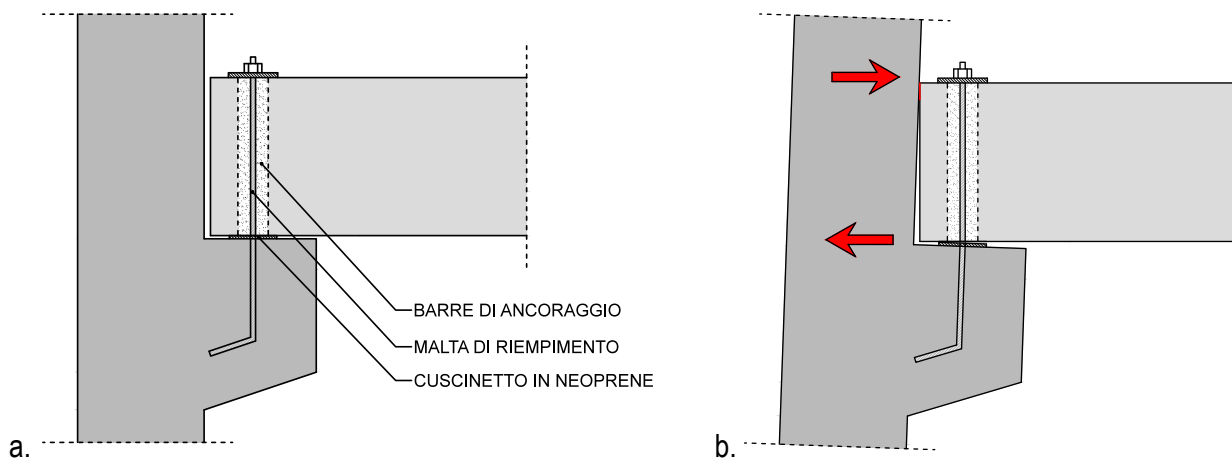
controllo degli spostamenti d'interpiano e agli effetti del secondo ordine più che alla resistenza delle sezioni e limitando la richiesta in termini di duttilità.

I collegamenti a secco, generalmente costituiti da spinotti annegati all'interno della mensola d'appoggio del pilastro e inseriti poi in fori posti all'estremità della trave (Figura 1.a), sono riconducibili a vincoli a cerniera: consentono il trasferimento delle forze orizzontali derivanti dal sisma e considerano implicitamente la libera rotazione della trave rispetto al pilastro: la rigidità a flessione del collegamento, se raffrontata a quella degli elementi strutturali che unisce, è molto ridotta e la richiesta di rotazione si concentra all'interfaccia trave-pilastro, da cui la schematizzazione della connessione a un vincolo a cerniera.

Questo schema statico può però essere in contrasto con il comportamento effettivo della connessione, infatti la rotazione è spesso impedita dall'incompatibilità di spostamento fra gli elementi strutturali, quale il contatto trave-pilastro (Figura 1.b). A contatto avvenuto il collegamento trave-pilastro subisce un aumento di rigidità con conseguente incremento di taglio negli spinotti. Ciò può portare a un prematuro collasso della connessione con conseguente perdita del meccanismo di trasferimento delle sollecitazioni sismiche.

L'effettiva richiesta di rotazione delle connessioni, associata all'azione sismica di progetto, deve essere dunque espressamente considerata nella realizzazione dei dettagli costruttivi del nodo trave-pilastro, garantendo la compatibilità di spostamento degli elementi strutturali per evitare meccanismi di collasso indesiderati. In caso contrario si deve prendere in considerazione l'effettivo comportamento delle connessioni in termini di legame forza-spostamento e momento-rotazione (Belleri e al. 2012a).

In riferimento ai risultati ottenuti dall'analisi di vulnerabilità di un edificio prefabbricato tipo (Belleri e al. 2012b), si è mostrato come la non corretta definizione dello schema statico, in particolare delle caratteristiche meccaniche delle connessioni trave-pilastro e della loro schematizzazione con vincoli a cerniera, può portare a risultati non conservativi nel caso in cui gli aspetti sopraccitati non siano espressamente considerati.



**Figura 1.** Connessione trave-pilastro tipica della prefabbricazione italiana.

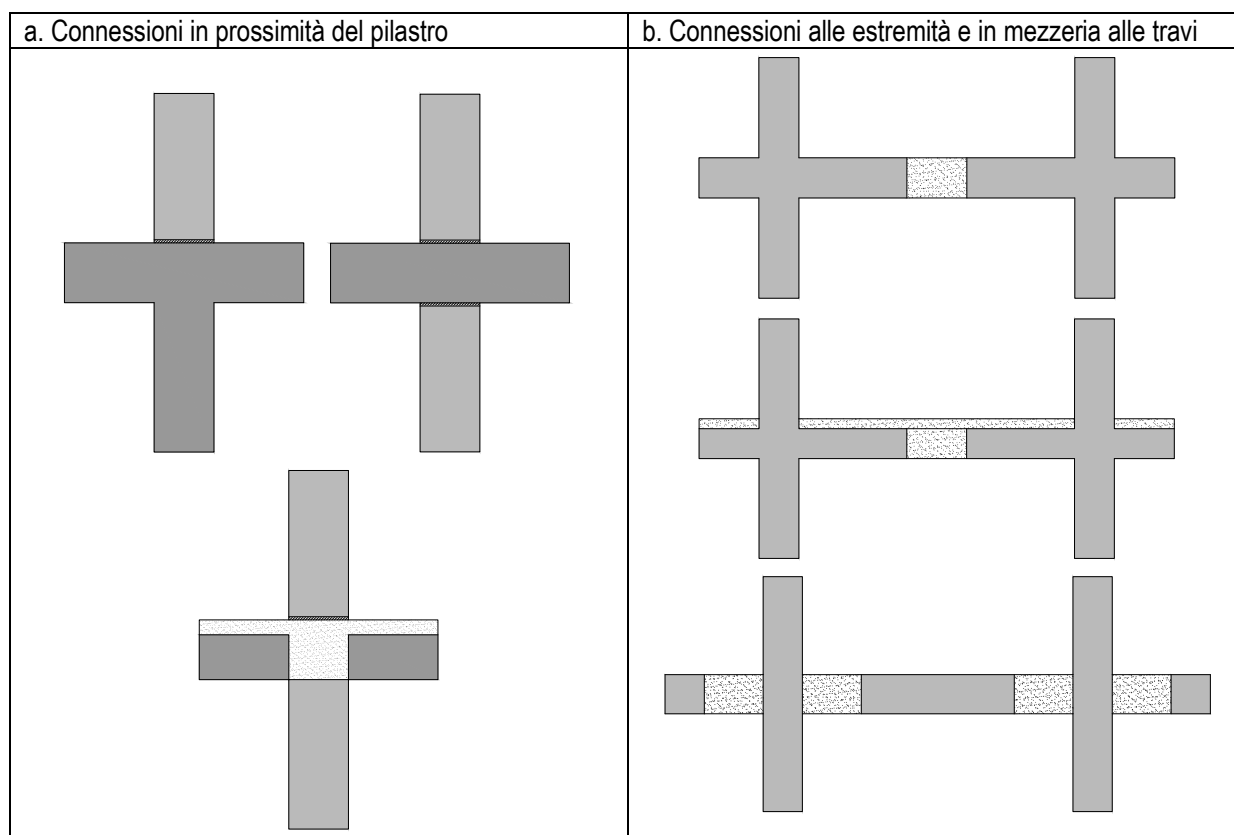
## CONNESSIONI A EMULAZIONE DEL C.A. GETTATO IN OPERA

Un'ulteriore tipologia di telaio prefabbricato, ampiamente adottato negli Stati Uniti e in Nuova Zelanda, prevede l'utilizzo di getti integrativi di completamento in modo da garantire una continuità strutturale e performance sismica assimilabile a quella di una struttura gettata in opera (Park e Bull 1986, Park 1995, Restrepo et al. 1995a 1995b). Questo è previsto anche dall'attuale normativa italiana (D.M. 14/01/2008) in particolare con collegamenti tra elementi prefabbricati di tipo "c" ossia collegamenti situati nelle zone critiche alle estremità degli elementi prefabbricati, dotati delle necessarie caratteristiche in termini di duttilità e di quantità di energia dissipabile. Previa dimostrazione analitica che il funzionamento del collegamento è equivalente a quello di uno

interamente realizzato in opera e che soddisfa le prescrizioni di strutture in calcestruzzo armato, la struttura è assimilabile a una di tipo monolitico.

Si possono realizzare telai che emulano il C.A. gettato in opera anche con collegamenti al di fuori delle zone critiche. In tali casi il collegamento va posto a una distanza dall'estremità dell'elemento, trave o pilastro, dove si ha la zona critica, pari almeno alla lunghezza del tratto ove è prevista armatura trasversale di contenimento aumentata di una volta l'altezza utile della sezione. Per CD B la distanza minima è pari a  $2d$ , con  $d$  pari all'altezza utile della sezione, mentre per CD A la distanza minima è  $2.5d$ . La resistenza del collegamento non deve essere inferiore alla sollecitazione locale di calcolo: il momento flettente è il maggiore tra il valore derivante dall'analisi e il valore ricavato, tramite gerarchia delle resistenze, dai momenti resistenti delle zone critiche adiacenti, moltiplicati per il fattore di sovra-resistenza  $\gamma_{Rd}$  (1.10 per CD B e 1.20 per CD A); il taglio è determinato con le regole della gerarchia delle resistenze.

Le giunzioni tra gli elementi prefabbricati possono essere realizzate sia lato pilastro (Figura 2.a), in corrispondenza del nodo trave-pilastro, sia lato trave, in mezzeria o alle estremità (Figura 2.b).



**Figura 2.** Connessioni a emulazione del C.A. gettato in opera: connessioni lato pilastro e connessioni lato trave.

Queste soluzioni consentono, come ovvio, una significativa riduzione del quantitativo di casseri rispetto a soluzioni integralmente gettate in opera. Nel caso di connessioni lato trave si segnala una possibile difficoltà d'ancoraggio delle barre longitudinali inferiori nel caso in cui il pilastro non sia sufficientemente largo. Inoltre, per trasferire il taglio verticale in corrispondenza del giunto trave pilastro è opportuno irruvidire l'estremità della trave (rugosità maggiore di 5 mm). È infine fondamentale assicurare, tramite opportuni dettagli costruttivi, che la fessura principale, nel caso di collegamenti in prossimità del nodo trave pilastro, si formi all'interno della trave e non all'interfaccia trave – giunto gettato in opera, onde evitare concentrazioni di deformazione che causerebbero la prematura rottura delle barre d'armatura.

Per quanto riguarda le connessioni lato pilastro, una possibile tipologia di collegamento è costituita da armature del pilastro passanti attraverso travi prefabbricate (Figura 3.a). Tali armature sono posizionate in tubi corrugati d'acciaio nel nodo trave-pilastro, in seguito riempiti da malte a basso

ritiro. Il diametro delle camicie corrugate d'acciaio deve permettere le tolleranze costruttive più almeno 10 mm di luce libera tra barra d'armatura e parete interna del tubo per permettere il fluire della malta di riempimento. Tipicamente il diametro del tubo varia tra 2 a 3 volte il diametro nominale della barra d'armatura. È importante la modalità di riempimento del tubo corrugato in modo da evitare la formazione di sacche d'aria che possa comprometterne l'aderenza.

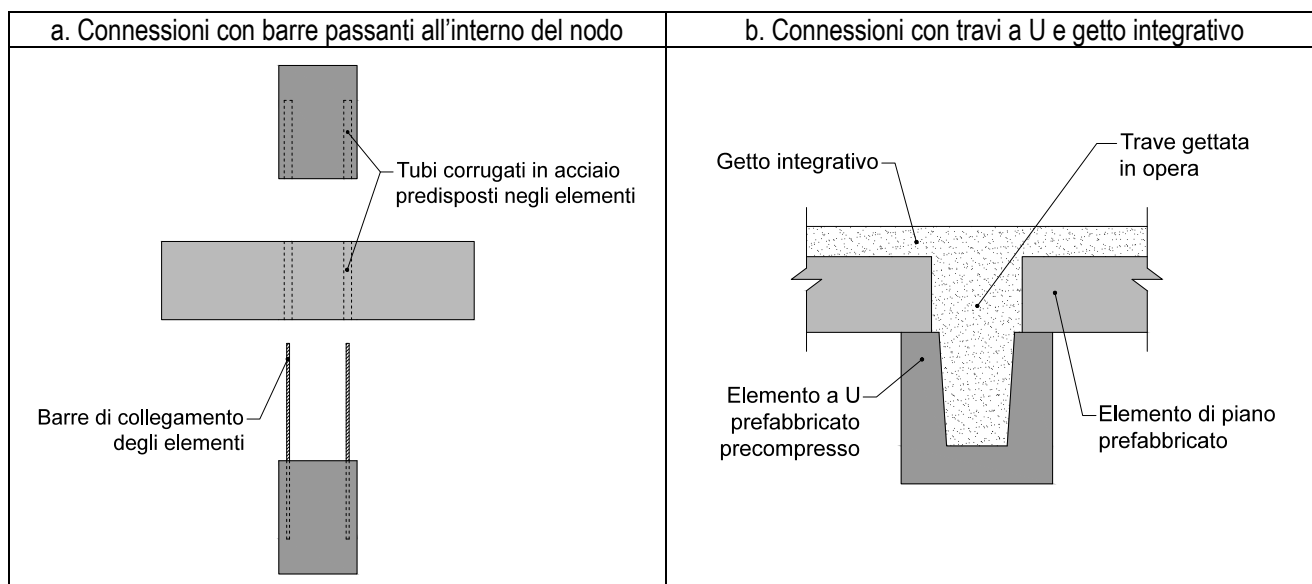
I risultati sperimentali condotti su collegamenti di questo tipo (Figura 3.a) non hanno mostrato effetti negativi dovuti all'utilizzo dei tubi in acciaio e del letto di malta tra trave e pilastro. Il comportamento è del tutto analogo a quello di strutture in calcestruzzo armato gettato in opera.

Per quanto riguarda le connessioni lato trave, i collegamenti di elementi prefabbricati nella mezzeria della trave fanno sì che le cerniere plastiche nella trave si trovino distanti dai collegamenti e che non siano pertanto necessari complicati dettagli strutturali durante la costruzione, dato che le zone critiche vengono armate in stabilimento. Uno svantaggio di queste connessioni è la possibile riduzione dei margini di tolleranza. La connessione in mezzeria delle travi può essere realizzata mediante saldatura delle barre sporgenti, accoppiatori meccanici o sovrapposizione delle barre, diretta o a uncini. Prima del riempimento del giunto è buona norma saturare con acqua le superfici per almeno 6 ore.

I risultati sperimentali hanno mostrato un comportamento molto soddisfacente senza degradazione di resistenza apprezzabile per drift del 2.5%, una buona emulazione del C.A. gettato in opera e un'efficacia della sovrapposizione già a una distanza pari a una volta l'altezza utile della trave misurata a partire dall'interfaccia trave-pilastro; il D.M. 14/01/2008 fissa invece la distanza minima di sovrapposizione a  $2d$  (CD B) e  $2.5d$  (CD A).

Un ulteriore sistema a emulazione del C.A. gettato in opera è costituito dall'utilizzo di travi a U precomprese, nel cui interno viene posizionato un nucleo di C.A. gettato in opera (Figura 3.b).

Queste travi sorreggono il peso proprio e i carichi durante la costruzione e agiscono in modo composito a struttura completata. Le pareti interne sono solitamente rastremate in modo da facilitare la rimozione della cassetta interna al termine della loro costruzione. La superficie interna è resa ruvida con un ritardante chimico per facilitare il trasferimento delle azioni tra trave a U e nucleo interno. Come nel caso di connessioni lato trave, i dettagli costruttivi devono essere tali da evitare la formazione di una fessura all'interfaccia della giunzione fra trave a U e pilastro.



**Figura 3.** Connessioni a emulazione del C.A. gettato in opera: travi a U.

Il comportamento sperimentale di questa tipologia di trave ha mostrato come con opportuni dettagli costruttivi la fessura flessionale principale si formi all'interfaccia trave-pilastro e non all'estremità della trave a U, evitando così una domanda di curvatura localizzata. Inoltre si è osservato come la capacità flessionale vada valutata considerando la sola resistenza del nucleo interno di C.A.

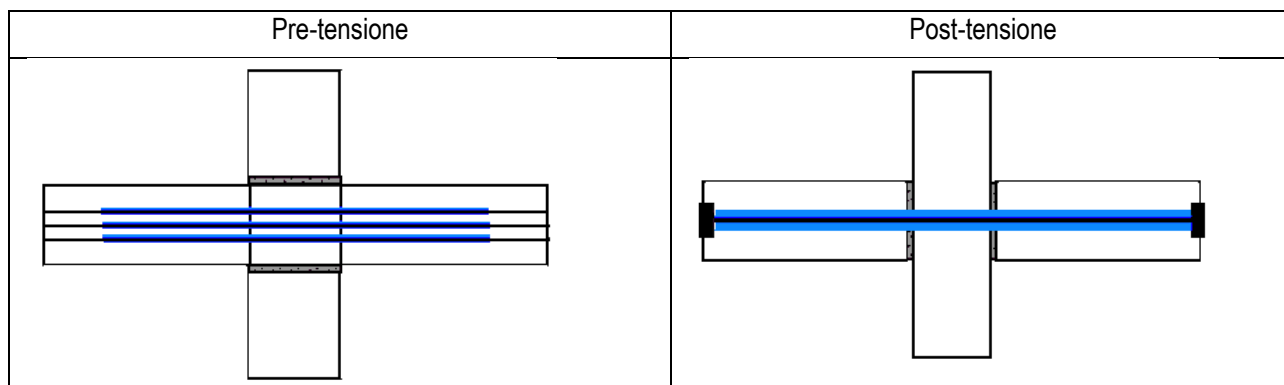
gettato in opera. I cicli di isteresi mostrano un'energia dissipata comparabile con strutture in C.A. gettate in opera.

## CONNESSIONI DI NUOVA CONCEZIONE

L'evoluzione delle tecniche costruttive nel campo della prefabbricazione ha recentemente introdotto connessioni duttili a secco di nuova concezione, la cui progettazione sfrutta un approccio basato prevalentemente sul controllo del danno degli elementi strutturali principali. Attualmente i costi di riparazione post-sisma di una struttura, la cui duttilità è direttamente associata al danneggiamento degli elementi nelle zone critiche (cerniere plastiche alle estremità degli elementi), non sono più economicamente sostenibili.

Tali tipologie di connessione, in grado di raggiungere alte prestazioni a costi relativamente contenuti, sono state introdotte negli anni '90 come principale risultato del programma PRESSS (PREcast Seismic Structural System), coordinato dall'università della California a San Diego (Priestley 1991, Priestley 1996, Priestley et al. 1999). A conclusione del lavoro svolto, il programma ha portato a termine un'importante campagna sperimentale con test pseudo-dinamici in grande scala su un edificio prefabbricato di cinque piani. Il nuovo sistema costruttivo offre una valida alternativa alle connessioni tradizionali a emulazione del C.A. gettato in opera.

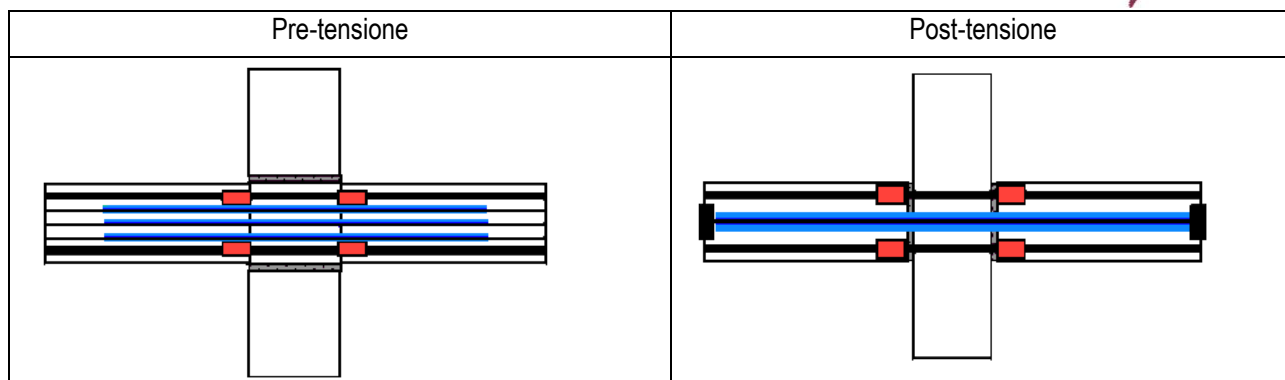
Il sistema di connessione prevede il collegamento degli elementi prefabbricati attraverso barre o cavi non aderenti pre o post-tesi, predisposti in appositi tubi posizionati all'interno del getto dell'elemento stesso. Il precarico dato agli elementi strutturali genera delle forze elastiche di richiamo nei cavi con effetto ricentrante per il sistema strutturale (Figura 4).



**Figura 4.** Sistema di connessione di nuova concezione con cavi non aderenti pre o post tesi.

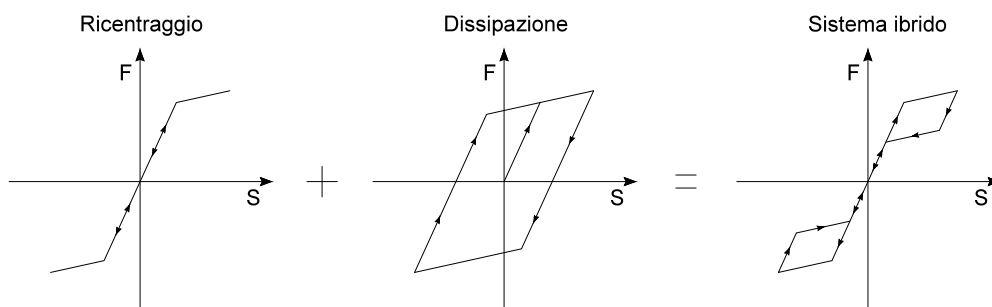
Il principio di funzionamento della connessione prevede l'apertura e la chiusura del gap esistente fra la testa della trave e il lato del pilastro (meccanismo di rocking). Tale meccanismo funge da sistema di isolamento interno: gli elementi strutturali sono mantenuti sostanzialmente in campo elastico limitando i danni alla zona di interfaccia fra trave-pilastro, danni tuttavia trascurabili se paragonati a quelli associati alla formazione delle cerniere plastiche nei telai tradizionali. L'effetto ricentrante consente di riportare gli elementi strutturali nella loro posizione originale, con deformazioni residue trascurabili. Tali deformazioni sono recentemente riconosciute come indicatore fondamentale del danno in una progettazione basata sulle prestazioni, come indicato da recenti studi in materia (Christopoulos et al. 2003, Pampanin et al. 2003, Garcia e Miranda 2006).

Una soluzione particolarmente efficiente prevede l'aggiunta di un sistema di dissipazione all'effetto ricentrante dei cavi (Priestley et al. 1996, Stanton et al. 1997). I cavi di pre- o post-tensione, progettati per restare in campo elastico durante l'evento sismico, sono caratterizzati da dissipazione energetica e smorzamento esigui, che per eventi di forte intensità si traducono in spostamenti elevati della struttura. In quest'ottica è stata proposta l'aggiunta di dispositivi in grado di incrementare la quantità di energia dissipata e ridurre le deformazioni dell'edificio (Figura 5).



**Figura 5.** Aggiunta di meccanismi di dissipazione alla connessione trave-pilastro.

La combinazione del meccanismo di ricentraggio e del meccanismo dissipativo delle connessioni ibride può essere descritto in termini di legami forza-spostamento da una particolare forma isteretica di tipo “a bandiera” (“flag shaped”): il comportamento elastico dei cavi è sommato al contributo dissipativo dei dispositivi (Figura 6). Il comportamento complessivo del sistema può essere definito in fase preliminare secondo le esigenze di progetto, agendo sui contributi dati dal ricentraggio e dalla dissipazione.

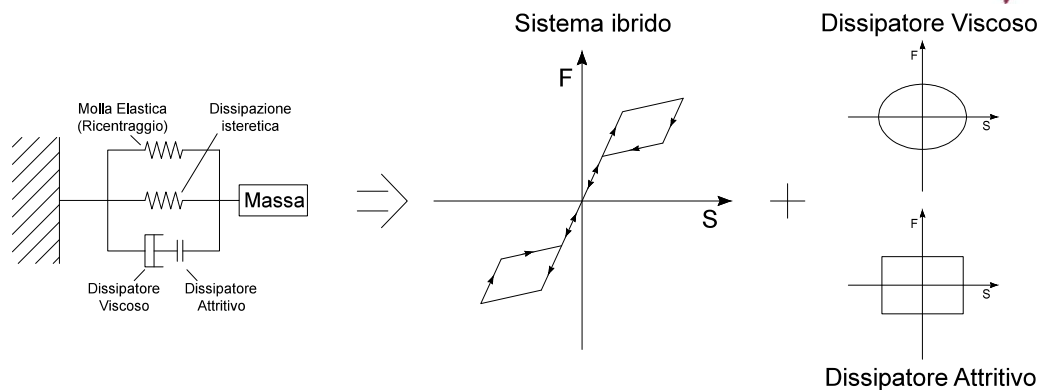


**Figura 6.** Comportamento delle connessioni ibride in termini di legame forza-spostamento.

È possibile utilizzare sia un sistema di dissipazione aggiuntiva interna, costituito da barre in acciaio ancorate all’interno dell’elemento strutturale, sia un sistema di dissipazione esterna, costituito da altre tipologie di dissipatori.

Il vantaggio offerto dall’utilizzo di dispositivi esterni è rappresentato dalla possibilità di essere sostituiti in maniera piuttosto semplice una volta danneggiati dal terremoto. La soluzione con barre in acciaio interne agli elementi strutturali, essendo sottoposta ad azioni cicliche, presenta altresì lo svantaggio derivante dalla possibile perdita di aderenza fra calcestruzzo e acciaio nel momento in cui si ha l’inversione della direzione della forzante sismica. La perdita di aderenza si traduce in una riduzione della rigidità iniziale del sistema con conseguente aumento delle deformazioni della struttura.

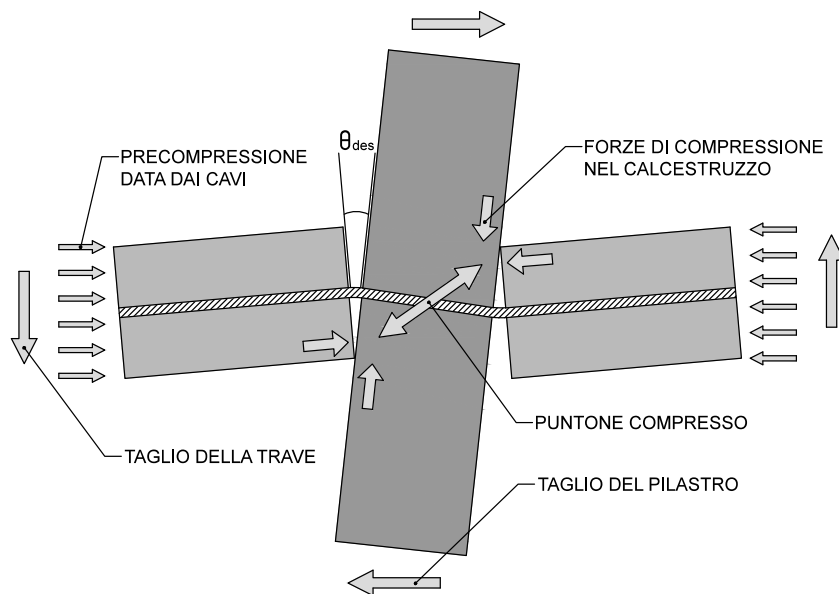
Recentemente è stata proposta (Kam et al., 2010a) una seconda generazione di connessioni ibride, in cui al meccanismo di ricentraggio sono associati in serie o in parallelo dispositivi di dissipazione basati su spostamenti o velocità, quali dispositivi ad attrito o dissipatori viscosi (Figura 7). Oltre all’incremento di rigidità flessionale della sezione, è possibile aumentare anche lo smorzamento del sistema in modo sostanziale. I risultati di test sperimentali su tavola vibrante (Marriot et al., 2008) e di analisi numeriche (Kam et al., 2010b) hanno mostrato un notevole miglioramento delle prestazioni sismiche dei sistemi dotati di tale tipologia di connessioni.



**Figura 7.** Comportamento delle connessioni ibride di seconda generazione.

### Procedura di progettazione per gli elementi critici

La progettazione di connessione ibride è basata sulla valutazione delle forze sismiche agenti sulla struttura e dei relativi spostamenti indotti. Tramite un approccio alle forze o agli spostamenti è possibile ricavare conseguentemente deformazioni e sollecitazioni agenti nel nodo trave-pilastro. In particolare, lo spostamento laterale del nodo è associato all'apertura di una fessura concentrata all'interfaccia trave-pilastro, come mostrato in Figura 8.



**Figura 8.** Forze agenti nel nodo trave-pilastro.

Il primo stato limite da considerare è associato all'incipiente snervamento dei cavi pretesi in corrispondenza del momento di progetto  $M_{des}$  e della rotazione di progetto  $\theta_{des}$ .

Si parte da una prima stima delle dimensioni degli elementi strutturali sulla base dei carichi gravitazionali e sul peso dell'elemento: ad altezze delle travi maggiori corrisponde una minore richiesta di area resistente dei cavi pretesi, tuttavia sarà maggiore la deformazione imposta ai cavi stessi dovuta all'allungamento associato al drift di progetto. Poiché queste travi solitamente si estendono per almeno due campate, l'altezza della trave influisce sul peso con possibili problemi di trasporto e montaggio.

Il passo successivo è la determinazione dello sforzo associato all'allungamento dei cavi pretesi non aderenti. L'area dei cavi pretesi  $A_p$  e il valore iniziale di pretensione  $f_{p0}$  sono calcolate

iterativamente. Si calcola l'asse neutro corrispondente associato alla rotazione di progetto e da questo l'allungamento e lo sforzo nei cavi pretesi.

Lo sforzo nei cavi pretesi in corrispondenza di  $\theta_{des}$  deve essere inferiore allo sforzo di snervamento, mentre in corrispondenza di rotazione nulla non deve essere superiore allo sforzo iniziale ammissibile  $f_{pi}$ .

Dallo sforzo nei cavi si ricava la forza di trazione cui sono soggetti e da questa, per equilibrio in direzione assiale, la forza di compressione sul calcestruzzo. Da qui si procede a una nuova stima dell'asse neutro e si prosegue iterando fino a convergenza.

Una volta ricavati i valori si calcola il momento resistente della connessione facendo l'equilibrio rispetto al centro delle compressioni. Tale momento deve essere superiore al momento di progetto  $M_{des}$ , se inferiore è necessario aumentare l'area dei cavi  $A_p$ .

Terminata questa fase di progettazione, è necessario controllare che il momento di progetto sia superiore a  $1.2 \times M_{cr}$  per evitare rotture fragili.

La resistenza a taglio della connessione è fornita dall'attrito all'interfaccia trave-pilastro, il coefficiente d'attrito può essere preso pari a 0.7, e va valutata sia nella condizione iniziale, in assenza di apertura di fessura all'interfaccia trave-pilastro, sia in corrispondenza dello spostamento di progetto.

Infine la resistenza del nodo trave-pilastro deve essere determinata a partire dalla gerarchia delle resistenze. La distribuzione di forze è diversa nel caso di nodo interno o esterno.

## BIBLIOGRAFIA

ACI 550.2R-13. "Design Guide for Connections in Precast Jointed Systems".

Belleri A., Torquati M., Riva P., 2012a. "Displacement Based Assessment for Precast Concrete Structures: Application to a three story plane frame". 15° World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Lisbon, 24-28 September.

Belleri A., Torquati M., Riva P., 2012b. "Valutazione dell'influenza delle connessioni a cerniera di nodi trave-pilastro nell'analisi di vulnerabilità di struttura prefabbricate". 19° Congresso C.T.E., Bologna, 8-10 novembre 2012.

Christopoulos C., Pampanin S., and Priestley M.J.N., 2003, "Performance-Based Seismic Response of Frame Structures Including Residual Deformations". Part I: Single-Degree-of-Freedom Systems, Journal of Earthquake Engineering (JEE), Vol. 7, No. 1, pp. 97-118.

D.M. 14/01/2008. Norme Tecniche per le Costruzioni. Consiglio Superiore Lavori Pubblici.

Garcia, J.R., Miranda, E., 2006. "Residual Displacement Ratios for Assessment of Existing Structures", Earthquake Engineering & Structural Dynamics Volume 35, Issue 3, pages 315-336, March 2006.

Kam W.Y., Pampanin S., Palermo A., Carr A., 2010a. "Self-centering structural systems with combination of hysteretic and viscous energy dissipations", Earthquake Eng & Struct Dyn. Aug 2010; 39:10, 1083-1108.

Kam, W. Y., Pampanin, S., Dhakal, R. P., Gavin, H., and Roeder, C. W., 2010b. "Seismic performance of reinforced concrete buildings in the September 2010 Darfield (Canterbury) earthquakes", Bull of New Zealand Soc. of Earthquake Eng., 43:4, 340-350.

Marriott, D., Pampanin, S., Bull, D., Palermo A., (2008) "Dynamic Testing of Precast, Post-Tensioned Rocking Wall Systems with Alternative Dissipating Solutions", Bulletin of NZ Society for Earthq. Engineering, Vol. 41(2), 90-103.

Pampanin, S., Christopoulos, C., and Priestley M.J.N., 2003, "Performance-Based Seismic



Response of Frame Structures Including Residual Deformations". Part II: Multi-Degree-of-Freedom Systems, Journal of Earthquake Engineering (JEE), Vol. 7, No. 1, pp. 119-147.

Park R., Bull D.K., 1986. "Seismic resistance of frames incorporating precast prestressed concrete beam shells", PCI Journal – July-August

Park R., 1995. "A Perspective on the seismic design of precast concrete structures in New Zealand", PCI Journal – May-June

Priestley, M.J.N., 1991. "Overview of the PRESSS Research Programme", PCI Journal, Vol.36, No.4, pp.50-57.

Priestley, 1996. "The PRESSS Program Current Status and Proposed Plans for Phase III", PCI Journal, Vol. 41, No. 2, pp. 22-40.

Priestley, M. J. N., Sriharan, S., Conley, J. R. and Pampanin, S., 1999. "Preliminary results and conclusions from the PRESSS five-story precast concrete test building." PCI Journal, 44(6), 42-67.

Restrepo J I, Park R., Buchanan A.H., 1995a. Tests on connections of earthquake resisting precast reinforced concrete perimeter frames of buildings, PCI Journal – July-August

Restrepo J.I., Park R., Buchanan A. H., 1995b. Design of Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete Perimeter Frames, PCI Journal – September-October

Stanton, J. F., Stone, W. C., Cheok, G. S., 1997. "A Hybrid Reinforced Precast Frame for Seismic Regions", PCI Journal, Vol. 42, No. 2, pp. 20-32.

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