

LE CONNESSIONI NELLE STRUTTURE **PREFABBRICATE IN ZONA SISMICA**

Mantova – 11/10/2013



Prof. Ing. Paolo Riva
Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Bergamo
paolo.riva@unibg.it



Le connessioni nelle strutture prefabbricate in zona sismica

2/95

DISPOSIZIONI NORMATIVE **PER STRUTTURE PREFABBRICATE**

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

Il collegamento fra elementi influenza in modo sostanziale la risposta sismica della struttura

- PILASTRO-FONDAZIONE
- PILASTRO-PILASTRO
- PILASTRO-TRAVE
- TRAVE-TRAVE
- TRAVE-SOLAIO
- PANNELLO-STRUTTURA



Devono garantire un adeguato livello di monolicità in termini di:

RESISTENZA
RIGIDEZZA
DUTTILITÀ

LIMITAZIONI SPECIFICHE PER EDIFICI PREFABBRICATI



- **POSIZIONE** della connessione
- **PROPRIETA'** della connessione

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

CONNESSIONI FUORI DALLE ZONE CRITICHE (Tipo A)

- Non influiscono sulla capacità dissipativa della struttura
- La connessione va posta ad una distanza minima rispetto alla zona critica pari a $2d$ per CD "B", pari a $2,5d$ per CD "A" (d altezza utile della sezione)
- 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 (per CD "B" = 1,10, per CD "A" = 1,20)
- Taglio ottenuto dalla gerarchia delle resistenze

CONNESSIONI IN ZONE CRITICHE (Tipo B e C)

- Sovradimensionati: si sposta la plasticizzazione nelle zone adiacenti tramite un fattore di sovraresistenza (Tipo B) (per CD "B" = 1.20, per CD "A" = 1.35)
- Dotate delle necessarie caratteristiche in termini di duttilità e di quantità di energia dissipabile (Tipo C)
- La connessione pilastro-pilastro è consentita soltanto per CD "B"

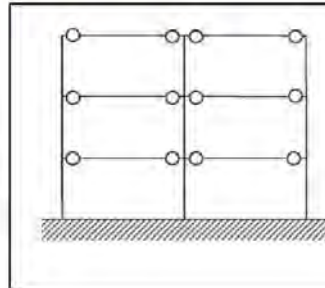
**IN OGNI CASO I COLLEGAMENTI DEVONO ESSERE IN GRADO DI TRASFERIRE LE FORZE
RISULTANTI DALL'ANALISI SENZA FAR AFFIDAMENTO SULL'ATTRITO**

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

STRUTTURE INTELAIATE (NTC 2008)

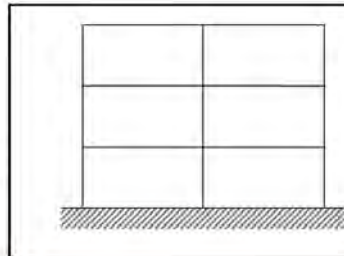
*Tipologia 1
(Riconducibile a
connessioni di tipo A e
connessioni di tipo B)*



Strutture con collegamenti a cerniera fra travi e pilastri che danno continuità di forze. In questo caso le zone di dissipazione energetica sono le cerniere plastiche alla base dei pilastri che devono realizzare un incastro totale con la fondazione.

Le connessioni trave-pilastro di tipo a cerniera sono riconducibili a collegamenti di tipo *a*, mentre il vincolo alla base va dimensionato con le regole relative a connessioni di tipo *b*.

*Tipologia 2
(Riconducibile a
connessioni di tipo C)*



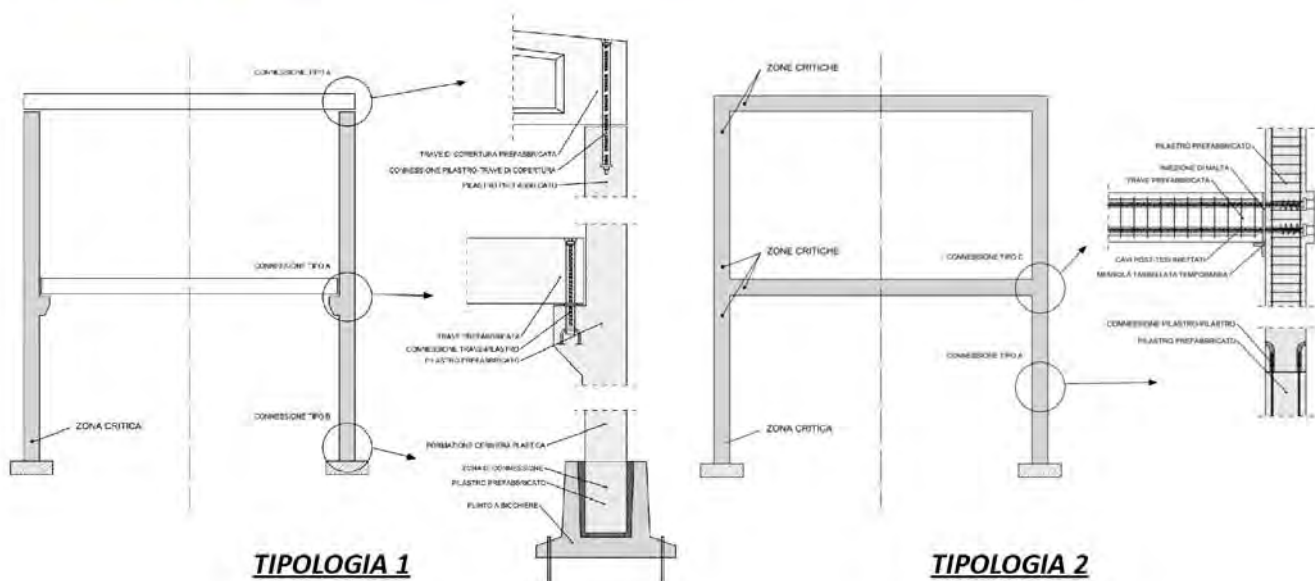
Collegamenti monolitici con getti integrativi ad emulazione delle strutture gettate in opera, con continuità di forze e momenti.

Deve essere assimilabile ad una connessione monolitica attraverso una dimostrazione analitica. L' idoneità può essere desunta da normative di comprovata validità, oppure da prove sperimentali in scala reale.

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI



DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

VALUTAZIONE DELLO SPOSTAMENTO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA PER UN GENERICO EDIFICIO MONOPIANO CON TRAVI INCERNIERATE

- Si calcola lo spostamento associato al raggiungimento dello snervamento alla base del pilastro:

$$\Delta_y = \phi_y \cdot \frac{H}{2} \cdot \frac{2}{3} H = \phi_y \cdot \frac{H^2}{3}$$

- Considerando la relazione proposta da Priestley per sezioni rettangolari tra f_y , D e ϵ_y :

$$\Delta_y = 2,1 \cdot \frac{\epsilon_y}{D} \cdot \frac{H^2}{3}$$

Con: D dimensione della sezione del pilastro nella direzione in esame, ϵ_y deformazione a snervamento dell'armatura ed H altezza del pilastro

- Da cui il drift elastico:

$$drift_{el} = 2,1 \cdot \frac{\epsilon_y}{D} \cdot \frac{H}{3}$$

- Nell'ipotesi che θ sia maggiore di 0,1, D sarebbe quantomeno pari a $1/10$ di H , da cui si ottiene:

$$drift_{el} = 2,1 \cdot \frac{\epsilon_y}{\frac{1}{10}H} \cdot \frac{H}{3} = 7 \cdot \epsilon_y \approx 1,4\%$$

- Ipotizzando che valga il criterio di uguaglianza degli spostamenti e considerando un fattore di struttura $q = 4$:

$$drift = q \cdot drift_{el} = 5,6\%$$

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

VALUTAZIONE DELLO SPOSTAMENTO ALLO STATO LIMITE DI DANNO

GLI SPOSTAMENTI STRUTTURALI NON DEVONO PRODURRE DANNI TALI DA DANNEGGIARE GLI ELEMENTI NON STRUTTURALI, COME AD ESEMPIO TAMPONAMENTI ESTERNI E INTERNI

I limiti dello spostamento orizzontale di interpiano d_r sono definiti come segue:

- $d_r < 0,005 h$ Per tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa;

- $d_r < d_{rp} < 0,01 h$ Per tamponamenti progettati in modo tale da non subire danni in seguito a spostamenti di interpiano d_{rp} , associati alla deformabilità intrinseca dei pannelli, o alla deformazione dei collegamenti tra pannelli e struttura.

- **Generalmente in zone ad elevata sismicità la progettazione è governata dallo SLD, piuttosto che dalla resistenza degli elementi strutturali**
- **in zone a bassa sismicità le verifiche allo SLD generalmente non governano la progettazione, mentre diventa maggiormente rilevante il fattore θ precedentemente discusso**

COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE ESISTENTI

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

Indagini diagnostiche su numerosi edifici esistenti sull'intero territorio nazionale:

- Progettazione ai soli carichi verticali;
- Scarsa resistenza e duttilità della struttura e dei collegamenti;
- Collasso collegamenti pannello-struttura;
- Martellamento fra elementi adiacenti;
- Mancanza di confinamento e instabilità delle barre d'armatura;



**NECESSITÀ DI INTERVENTI DI
ADEGUAMENTO SISMICO E MIGLIORAMENTO SISMICO**

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI PERDITA DI APPOGGIO



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI PERDITA DI APPOGGIO



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI PERDITA DI APPOGGIO



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA ORIZZONTALI



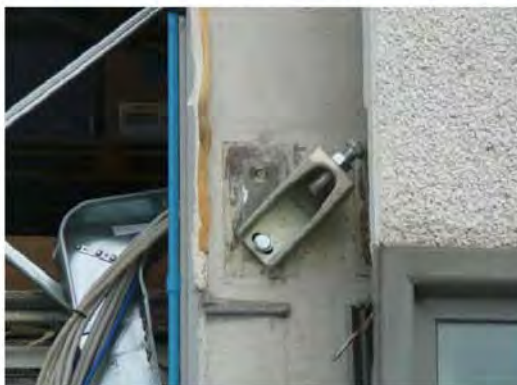
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA ORIZZONTALI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA ORIZZONTALI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA VERTICALI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA IN LATERIZIO



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI ALLE SCAFFALATURE



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA



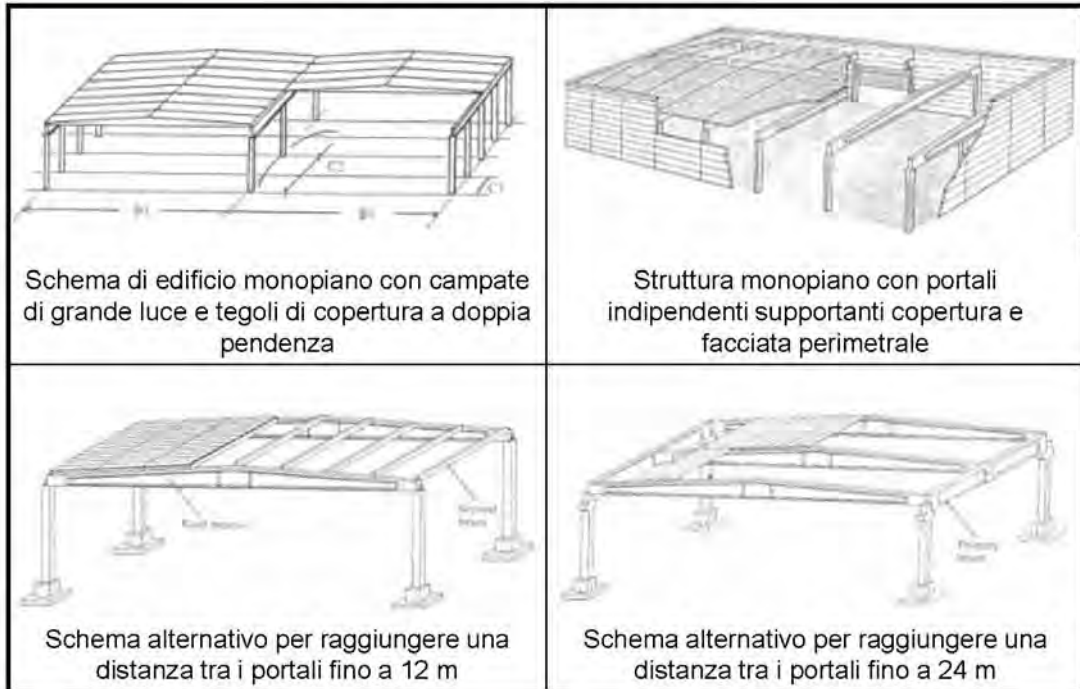
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COMPORTAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE: LEZIONI DAL PASSATO

- Una struttura prefabbricata ben progettata può essere caratterizzata da **PRESTAZIONI SISMICHE POTENZIALMENTE ELEVATE**
- La principale causa di risposte sismiche inadeguate in edifici in c.a. gettati in opera è da ricercare nella **SCARSA CURA dei PARTICOLARI COSTRUTTIVI**:
 - carenza di armatura di confinamento
 - insufficiente lunghezza di sovrapposizione o interruzione delle barre longitudinali
 - scorrimento delle barre di armatura
 - inadeguata resistenza e capacità di spostamento delle connessioni
- Nella prefabbricazione una progettazione efficace consente di evitare il problema di realizzare **NODI COMPLICATI IN OPERA CON CONGESTIONE DI ARMATURE**, grazie a una produzione in ambiente controllato
- Alcuni problemi delle strutture gettate in opera, quindi, possono essere risolti ricorrendo alla prefabbricazione e all'uso di connessioni prefabbricate
- La principale causa di risposte sismiche inadeguate in edifici prefabbricati è da ricercare nella **MANCANZA O INADEGUATEZZA DEI COLLEGAMENTI**:
 - Mancanza di collegamento tra travi e pilastri ed elementi di copertura
 - Mancanza di collegamento tra i plinti di fondazione
 - Vincoli privi di duttilità oppure che non consentono spostamenti relativi
 - Vincoli dotati di eccessiva rigidità, non compatibili con le richieste di spostamento

SCHEMI STRUTTURALI TIPICI

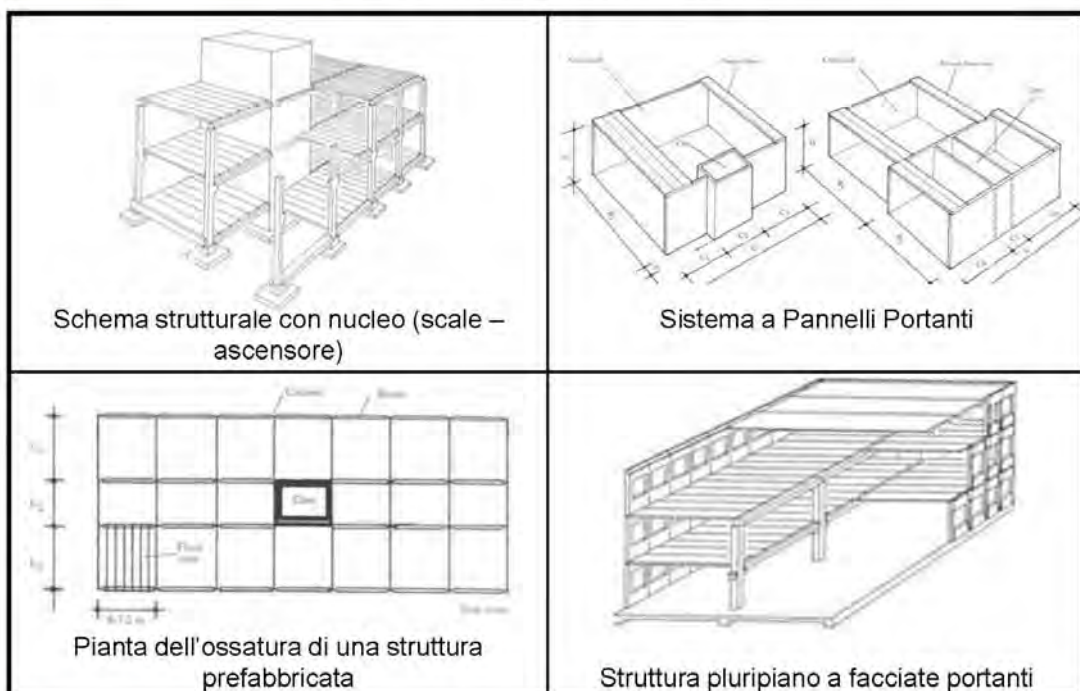
STRUTTURE MONOPIANO



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

SCHEMI STRUTTURALI TIPICI

STRUTTURE PLURIPIANO



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



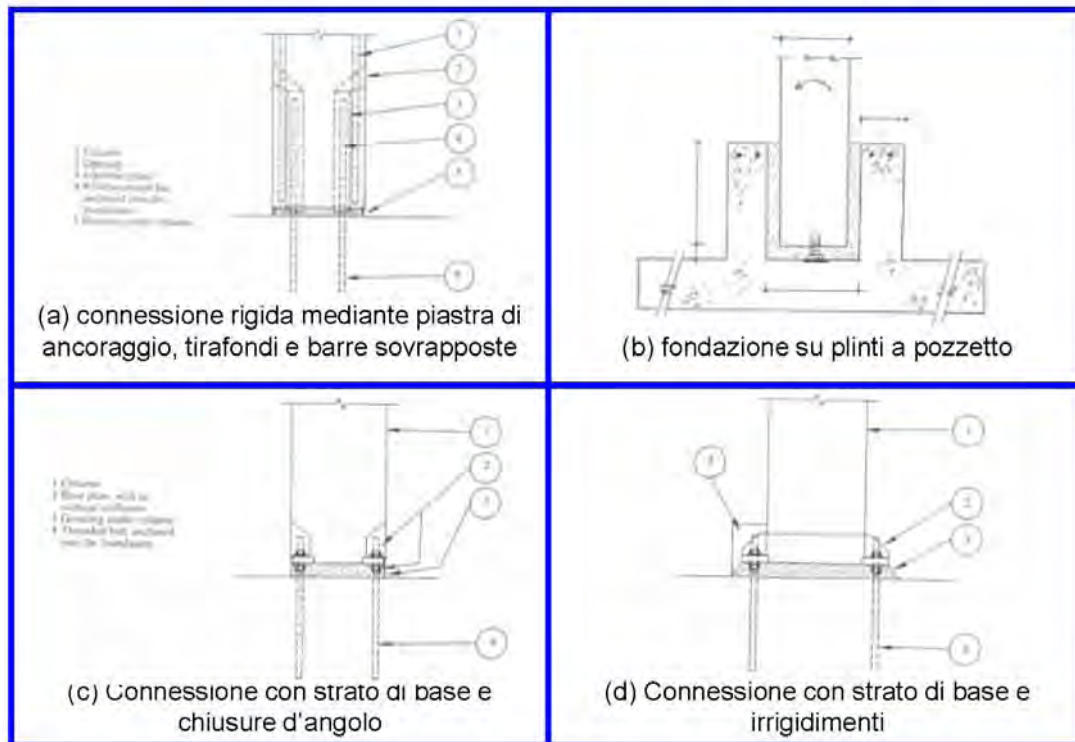
CONNESSIONI FRA ELEMENTI

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



CONNESSIONI PLINTO-PILASTRO

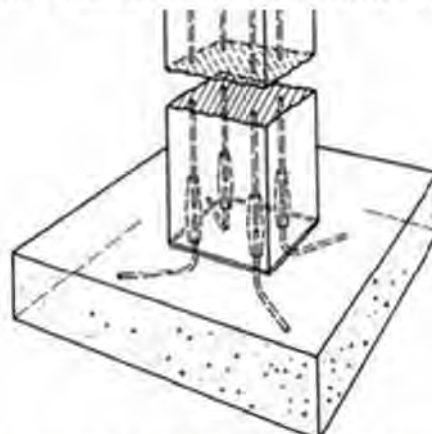
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Fig. 1990)



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Fig. 1990)

- L'applicazione del CRITERIO DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE porta spesso alla realizzazione di FONDAZIONI DI ELEVATE DIMENSIONI
- In tal caso, fondazioni a bicchiere possono risultare non più economicamente convenienti, se non addirittura irrealizzabili.
- Può quindi risultare conveniente l'adozione di PLATEE DI FONDAZIONE con pilastri collegati alla fondazione mediante BARRE DI RIPRESA opportunamente collegate.

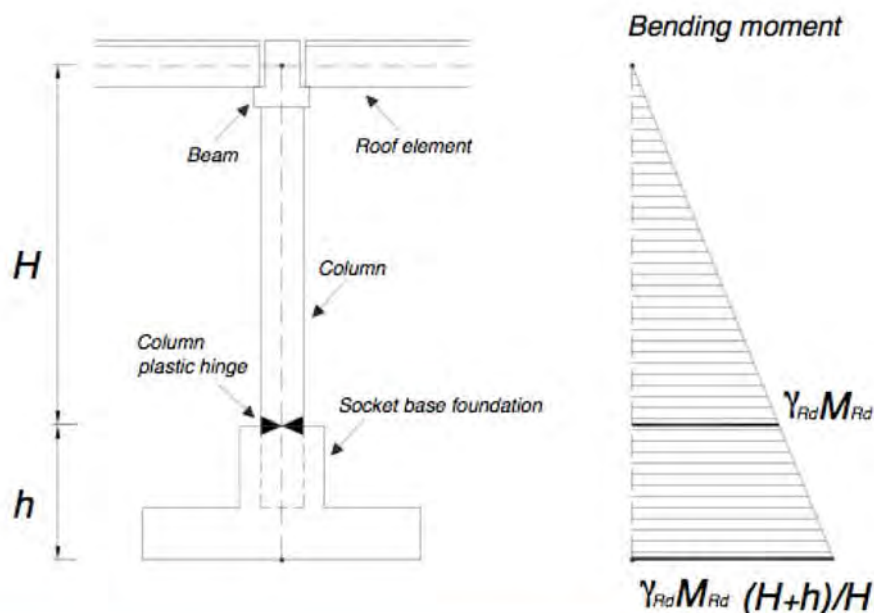


Nodo pilastro-fondazione con collegamento delle barre di ripresa

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

CONNESSIONI PILASTRO-FONDAZIONE

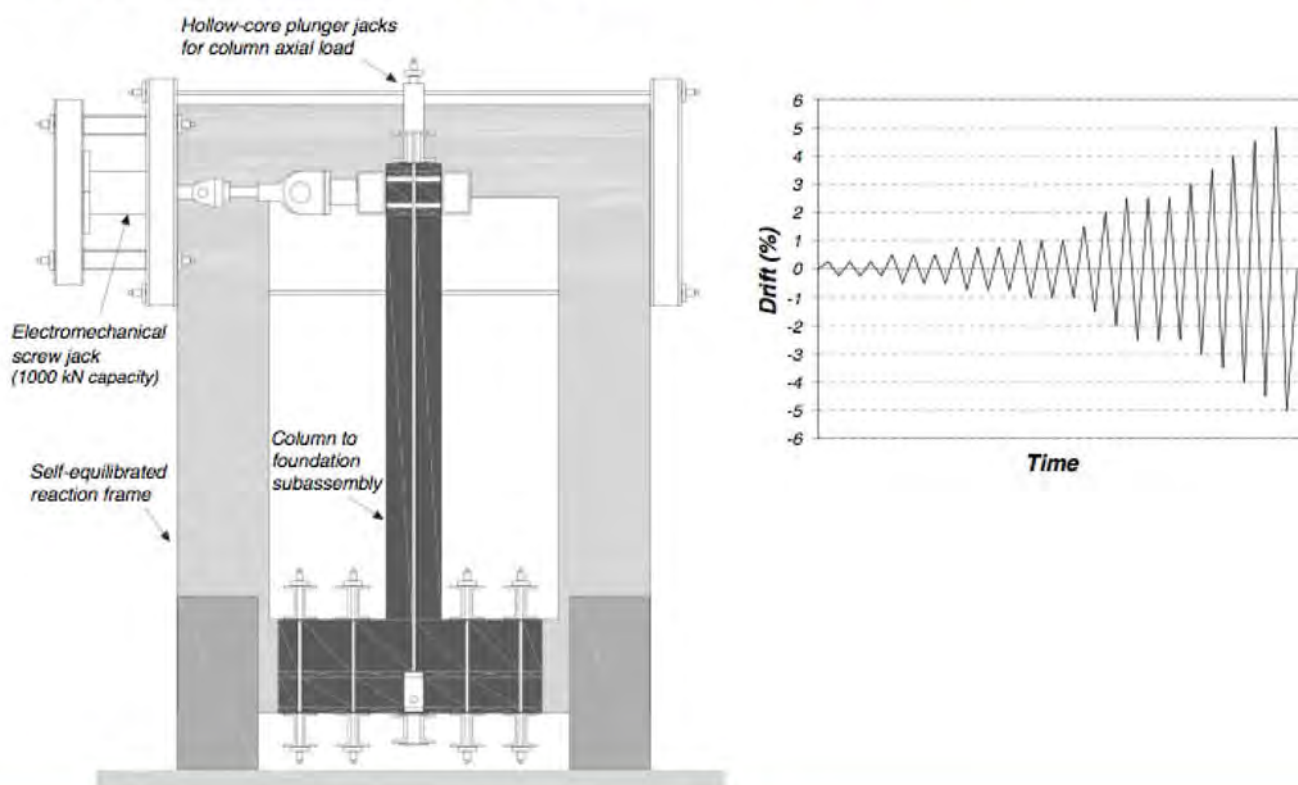
La progettazione delle fondazioni è effettuata considerando che una cerniera plastica si sviluppa alla base del pilastro durante un evento sismico, mentre il criterio di gerarchia delle resistenze è applicato per evitare la formazione di un meccanismo inelastico nella fondazione.



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

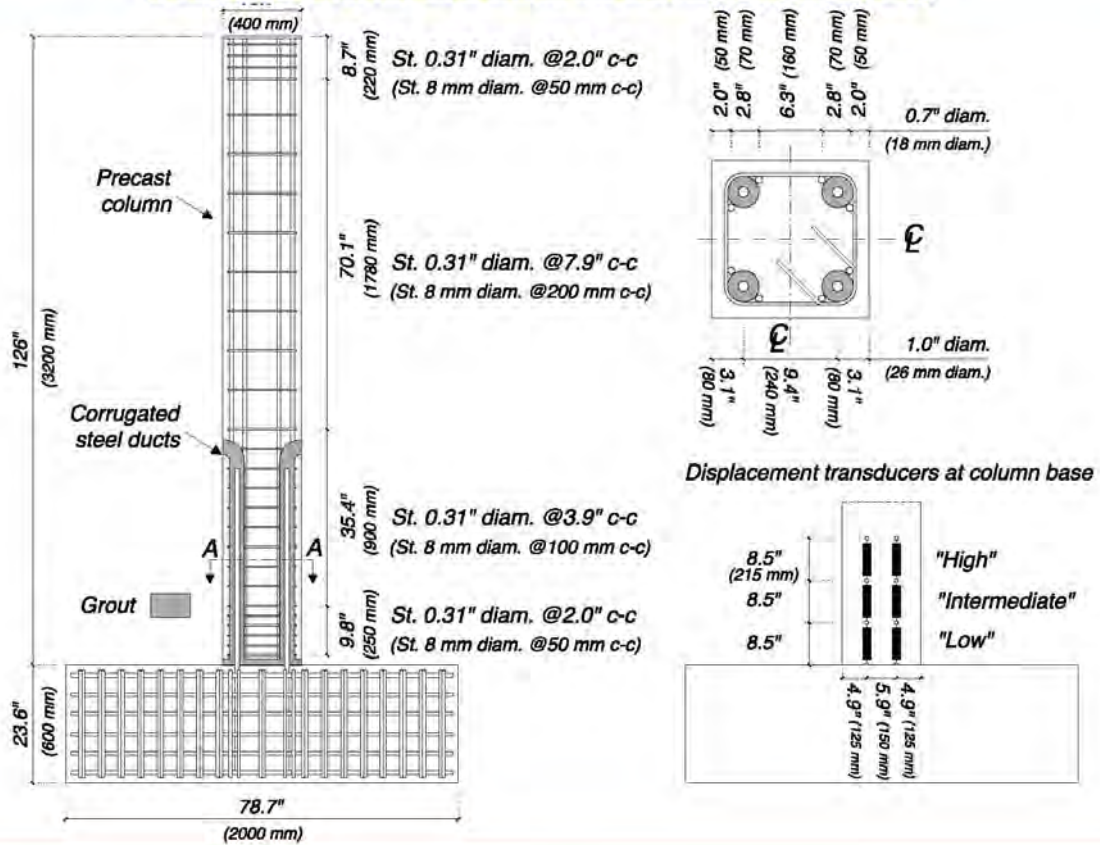
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

PROVE SPERIMENTALI DI LABORATORIO



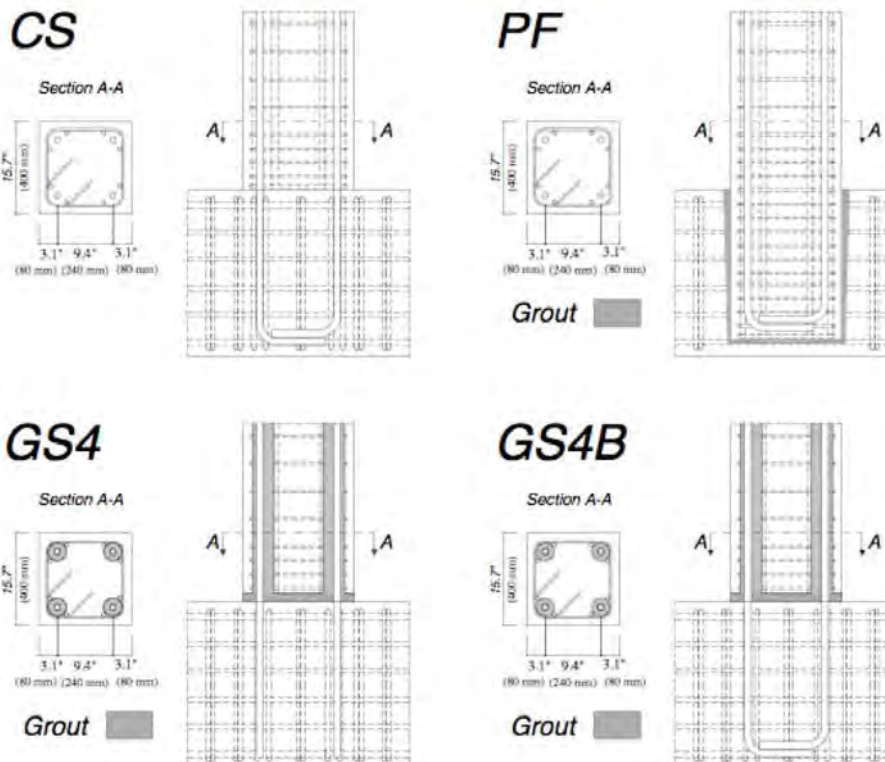
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

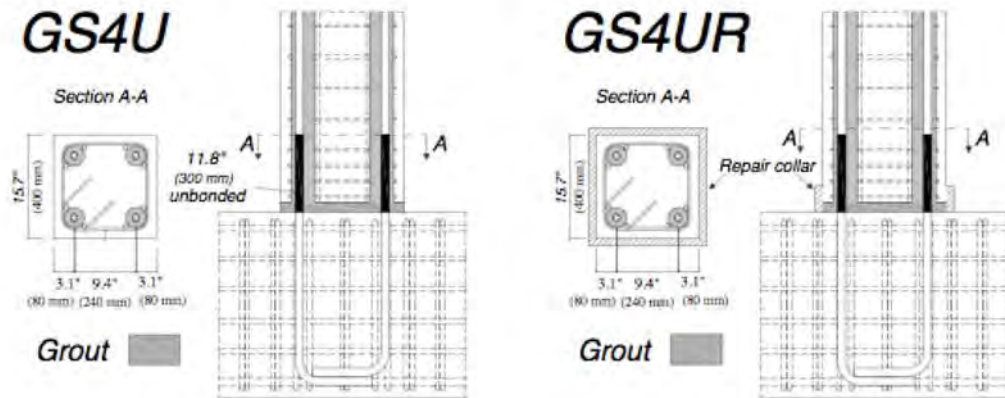
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

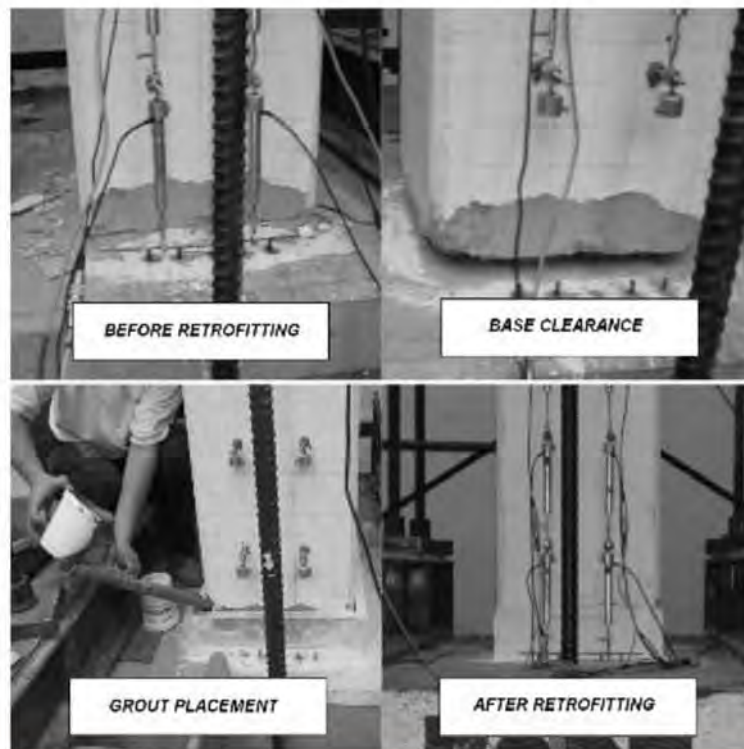
Utilizzo di soluzioni con porzioni d'armatura rese non-aderenti e successiva riparazione



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

Riparazione a seguito danno locale

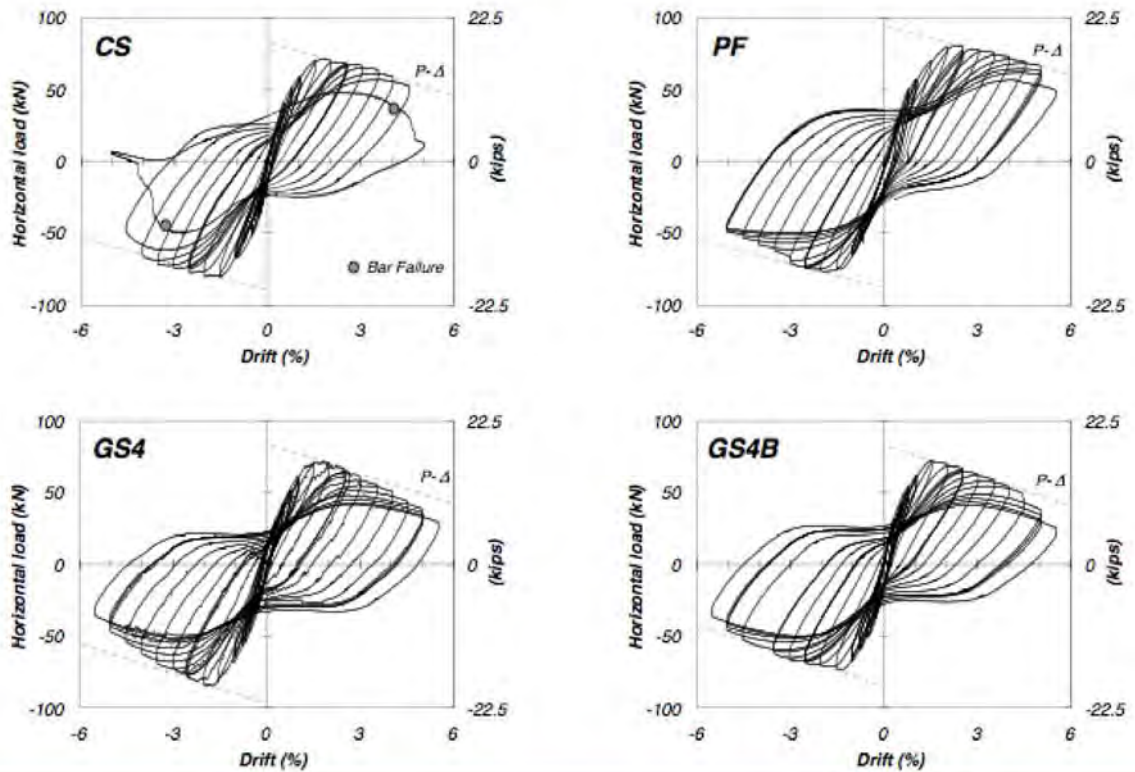


Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

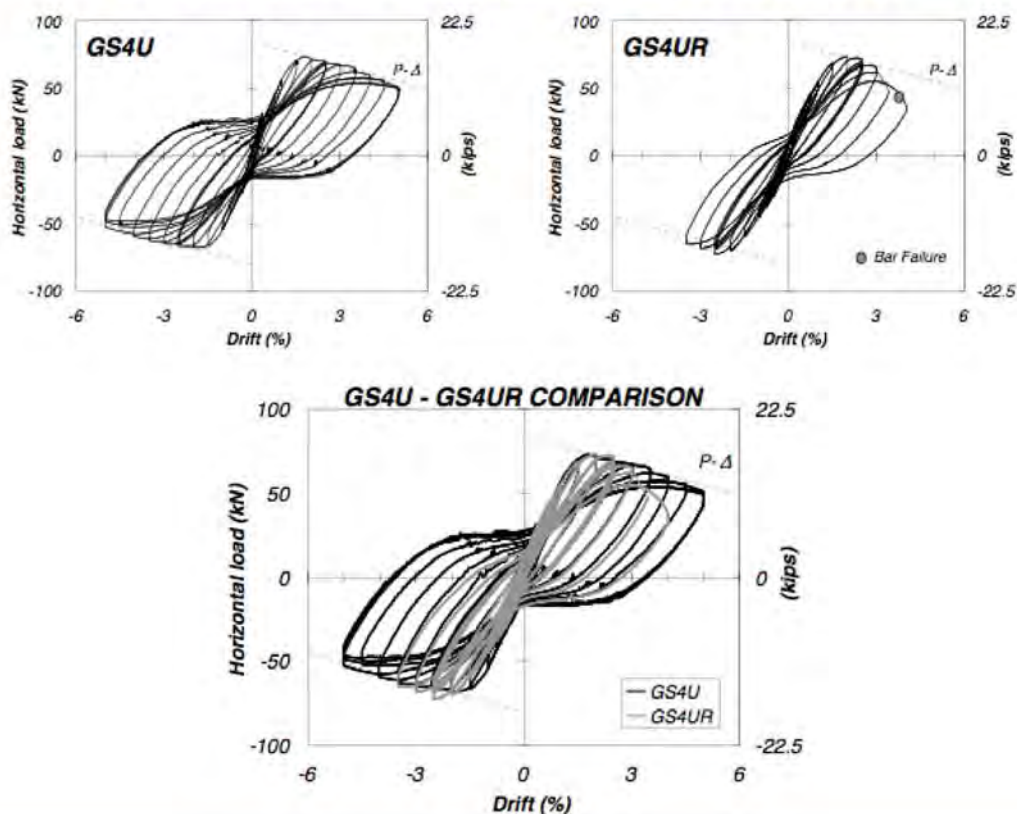
Risposta in termini di Taglio alla base – drift di interpiano



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



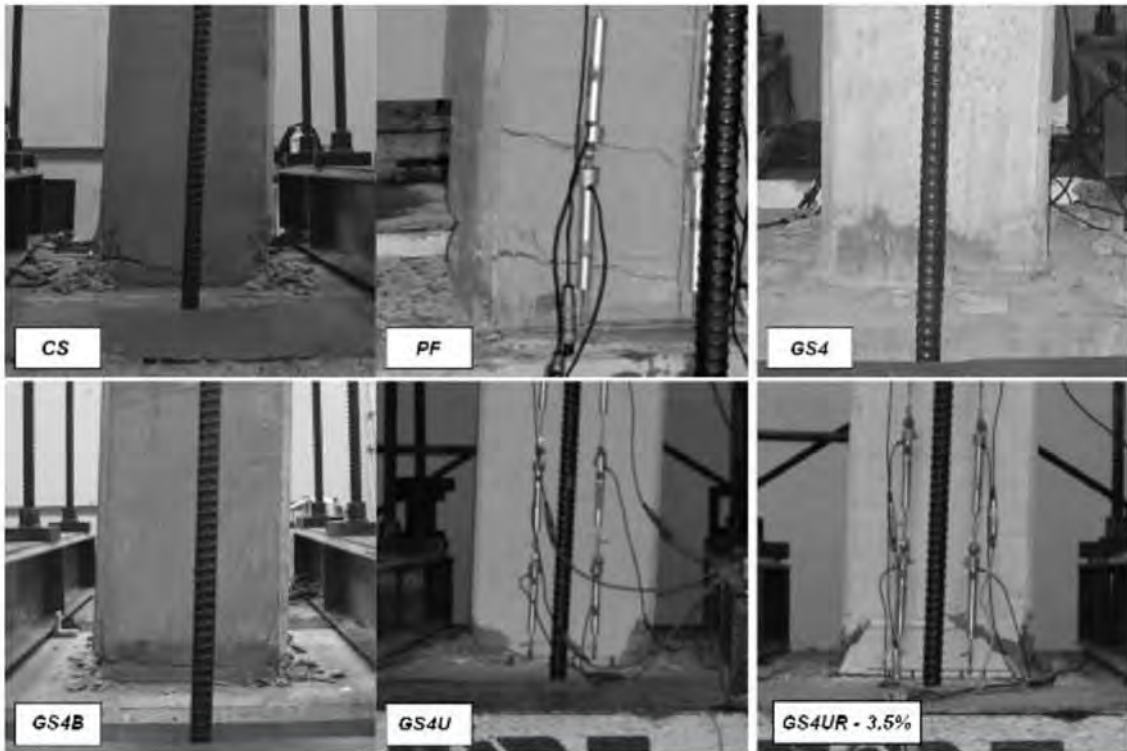
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

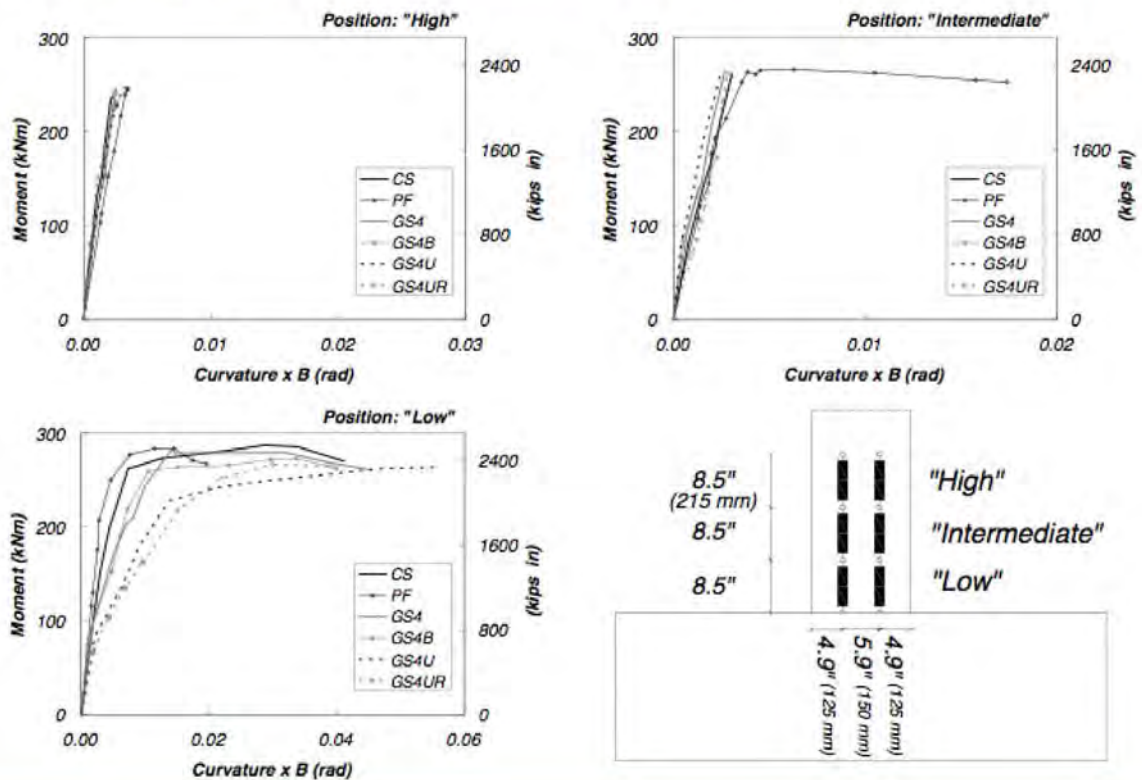
Danno alla base dei pilastri per uno spostamento di piano (drift) del 5%



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

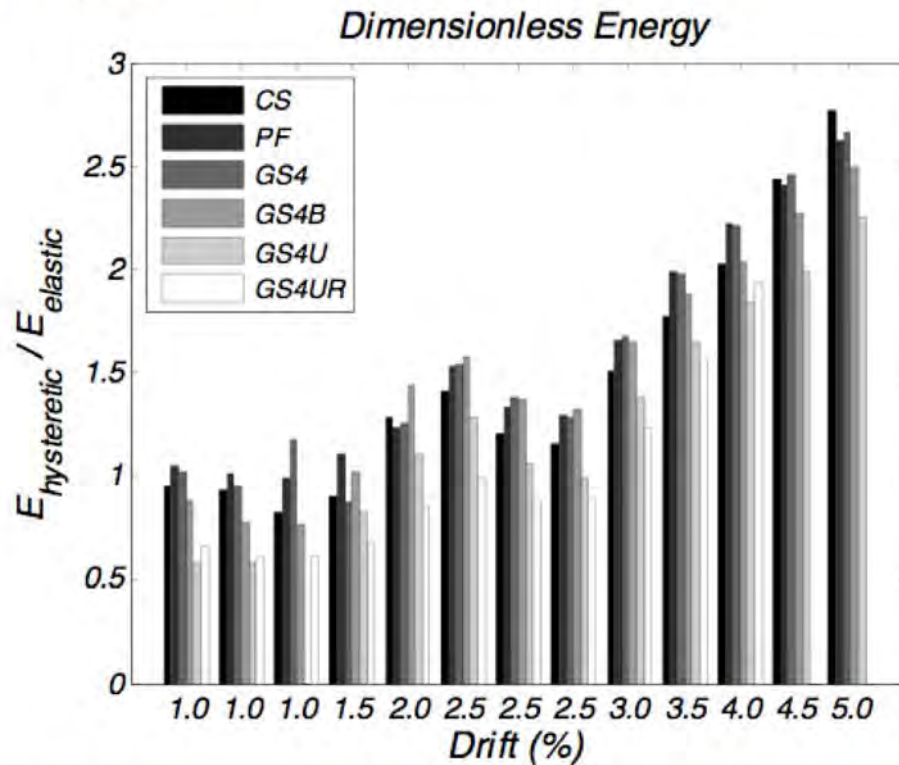
Diagramma Momento-Curvatura



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

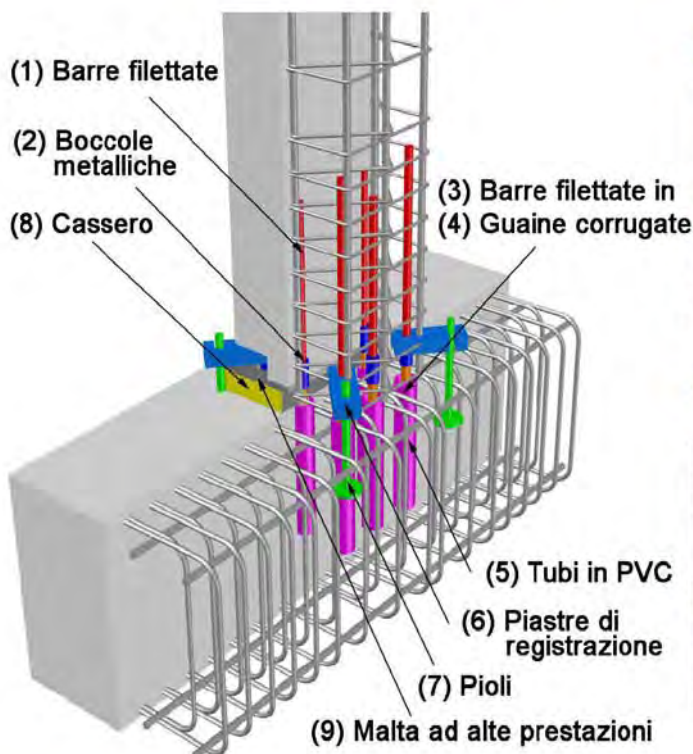
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Belleri, Riva)

Dissipazione energetica



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Beschi, Metelli, Riva)



Getto del pilastro

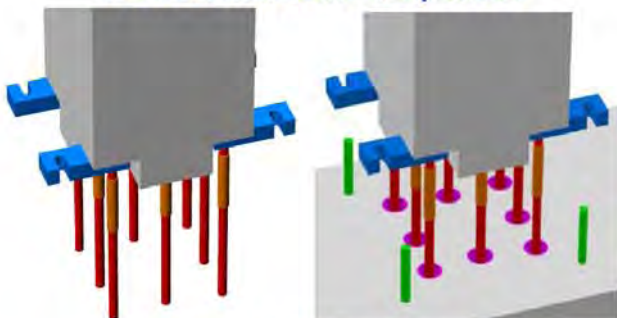


Getto del plinto

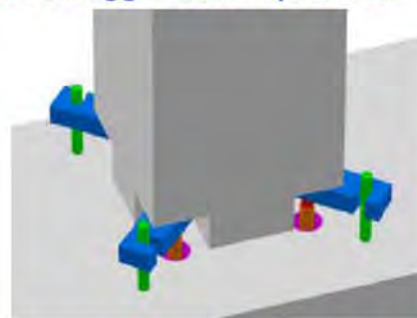


IL SISTEMA DI CONNESSIONE

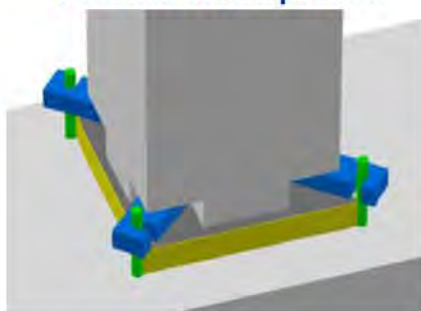
1. Posizionamento del pilastro



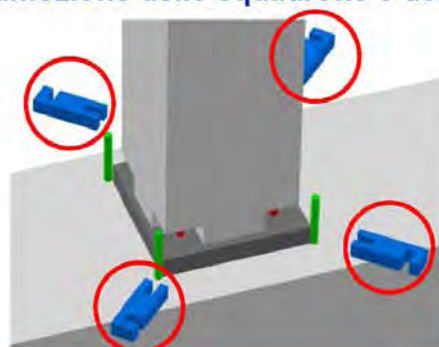
2. Fissaggio delle squadrette



3. Iniezione della malta nelle guaine e nel cassero a perdere

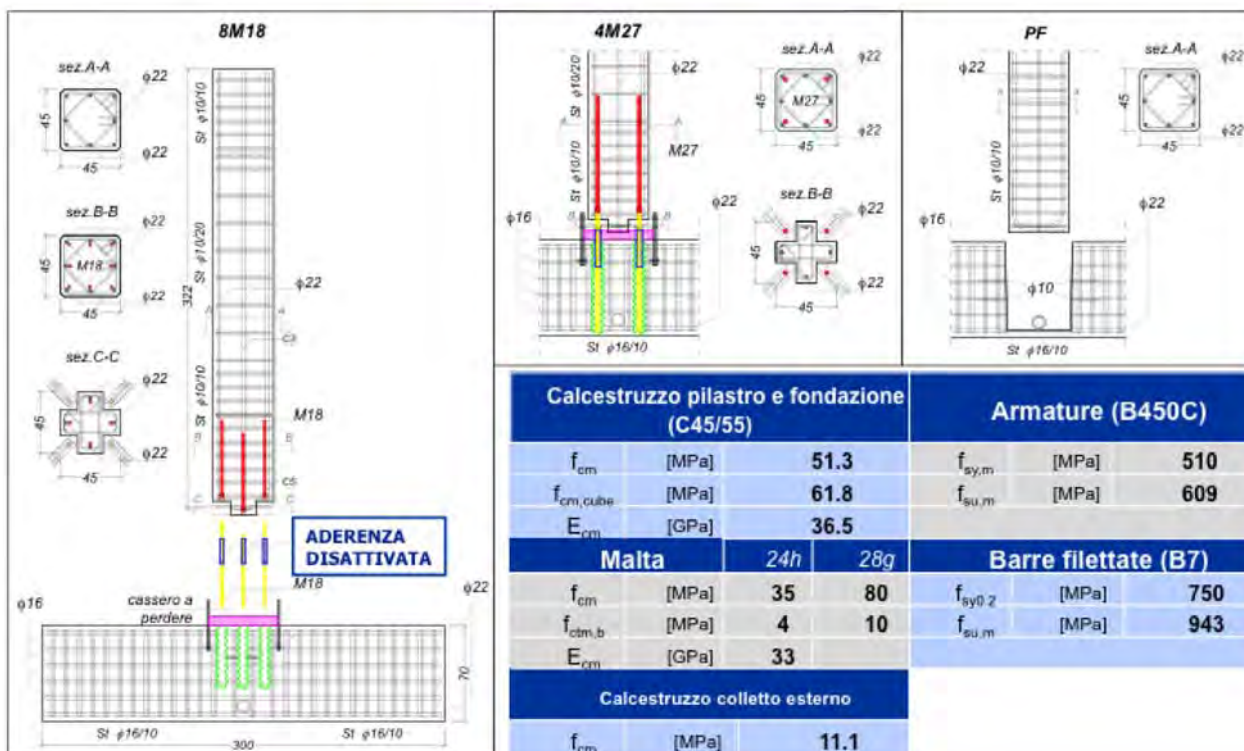


4. Rimozione delle squadrette e dei pioli



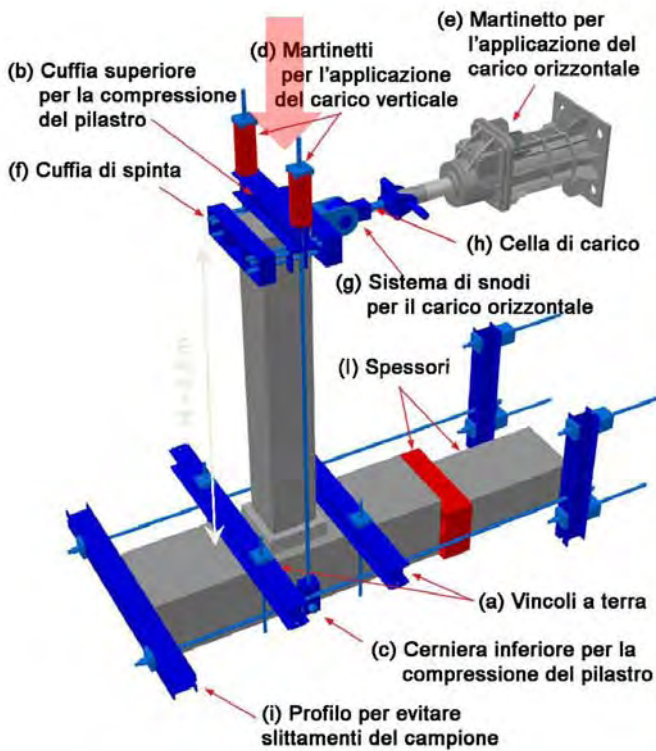
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

I CAMPIONI DI PROVA



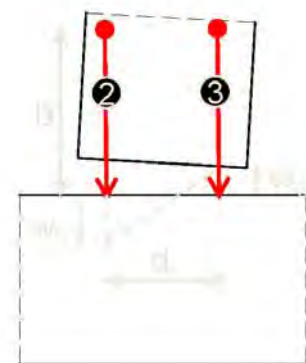
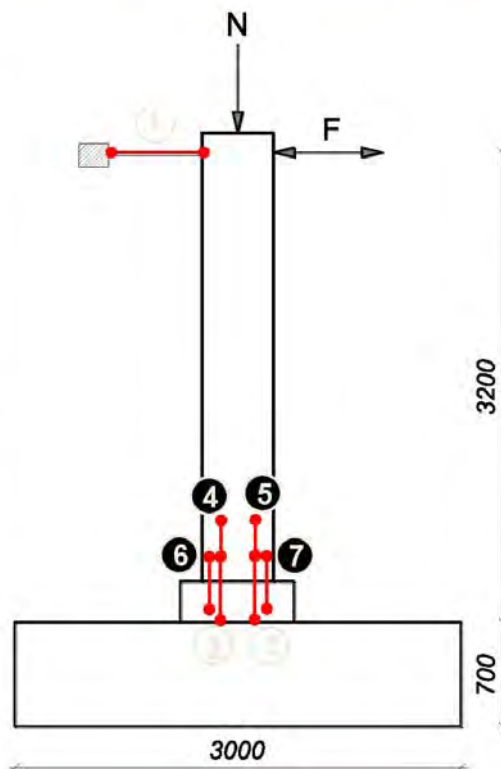
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

IL BANCO DI PROVA



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

STRUMENTAZIONE

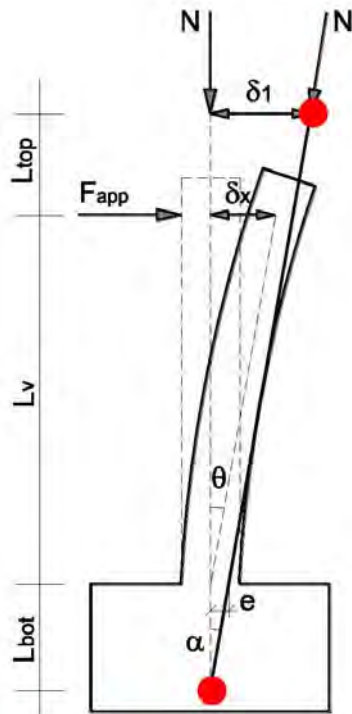


$$\phi = \frac{w_2 - w_3}{d}$$

w = apertura di fessura
 d = distanza tra gli strumenti

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

STRUMENTAZIONE



$$M = F_{app} \cdot L_v + N \cdot \delta_1 - N \cdot \frac{\delta_1}{(L_{top} + L_v + L_{bot})} \cdot (L_v + L_{top})$$

Spostamento orizzontale della cerniera superiore:

$$\delta_1 \cong \frac{\delta_x}{L_v} (L_{top} + L_v)$$

$$V = F_{app} - N \cdot \sin \alpha = F_{app} - N \cdot \frac{\delta_1}{(L_{top} + L_v + L_{bot})}$$

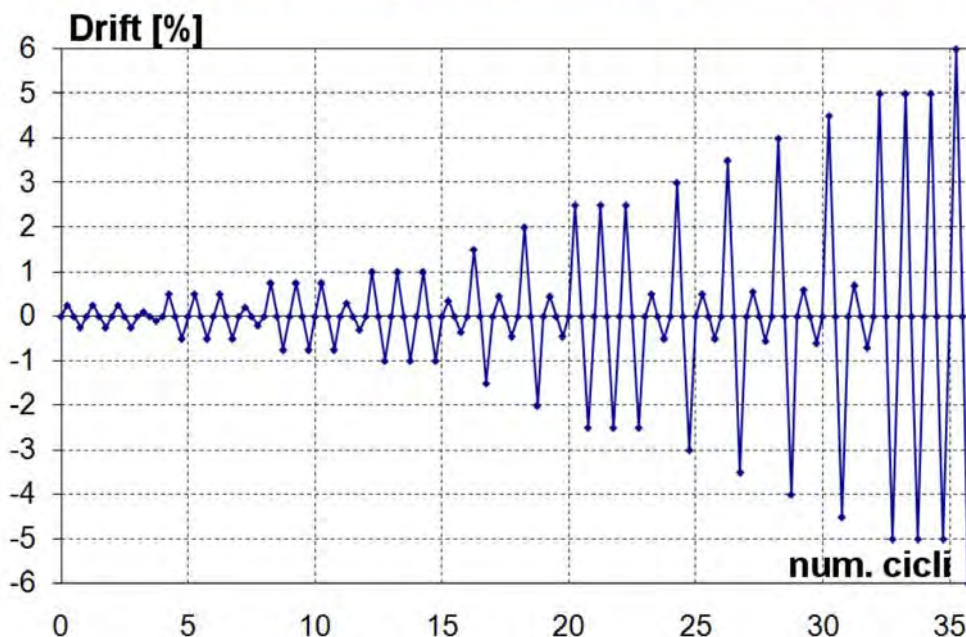
$$F_{eff} = \frac{M_{base}}{L_v}$$

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

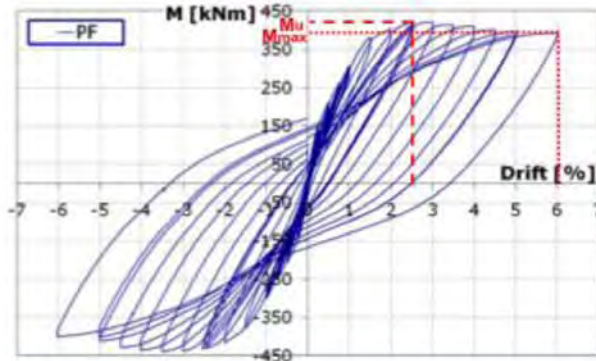
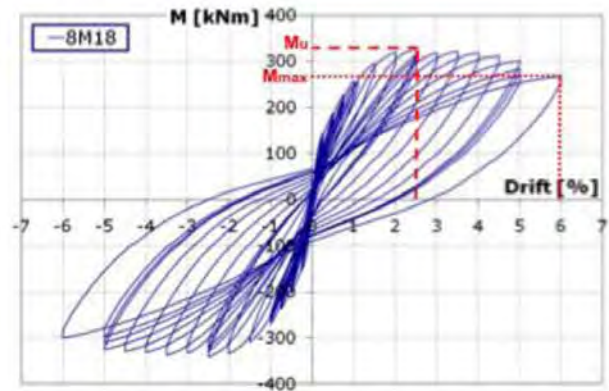
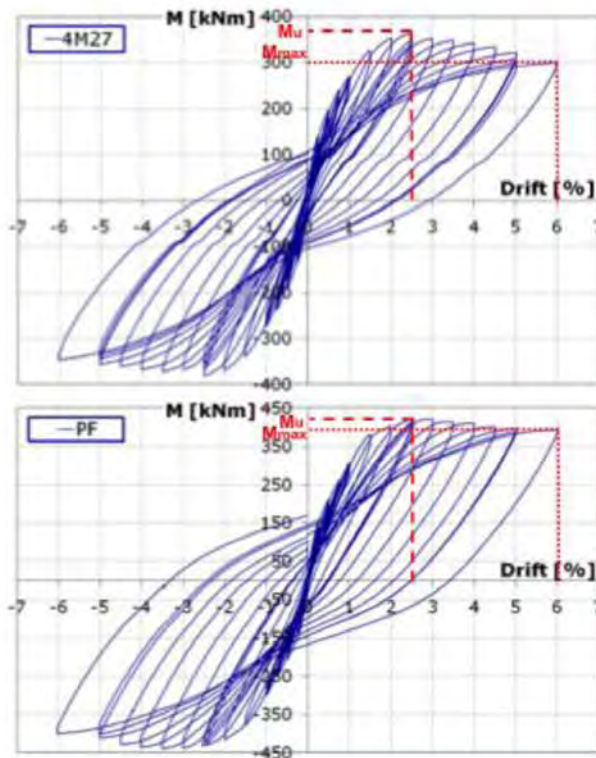
STORIA DI CARICO

CICLI DI SPOSTAMENTO DI AMPIEZZA CRESCENTE



Drift [%]	δ_x [mm]	n.° cicli
0.25	8	3
0.1	3.2	1
0.5	16	3
0.2	6.4	1
0.75	24	3
0.3	9.6	1
1	32	3
0.35	11.2	1
1.5	48	1
0.45	14.4	1
2	64	1
0.45	14.4	1
2.5	80	3
0.5	16	1
3	96	1
0.5	16	1
3.5	112	1
0.55	17.6	1
4	128	1
0.6	19.2	1
4.5	144	1
0.7	22.4	1
5	160	3
5	160	1

RISULTATI SPERIMENTALI

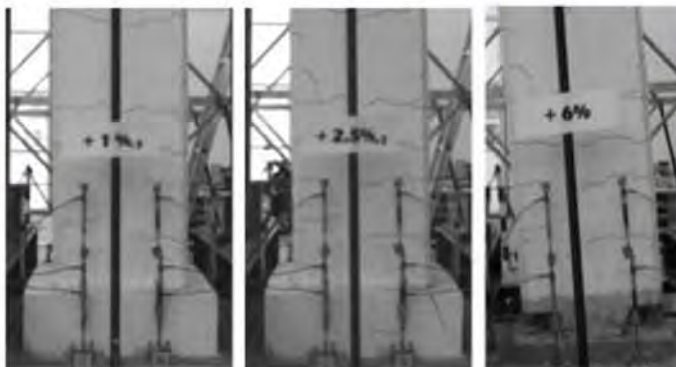


	M_{max} [kNm]	M_{Ru} [kNm]	ΔM	M_{Ru} [kNm]	M_u / M_{max}
4 M27	364	350	+4%	300	82
8 M18	327	306	+7%	264	81
PF	421	412	+2%	391	93

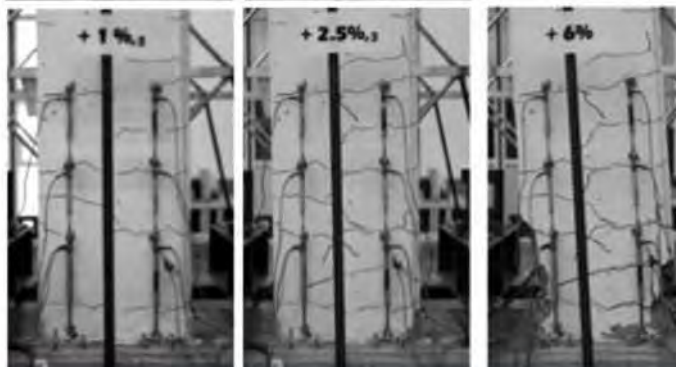
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

QUADRO FESSURATIVO

4 M27



PF

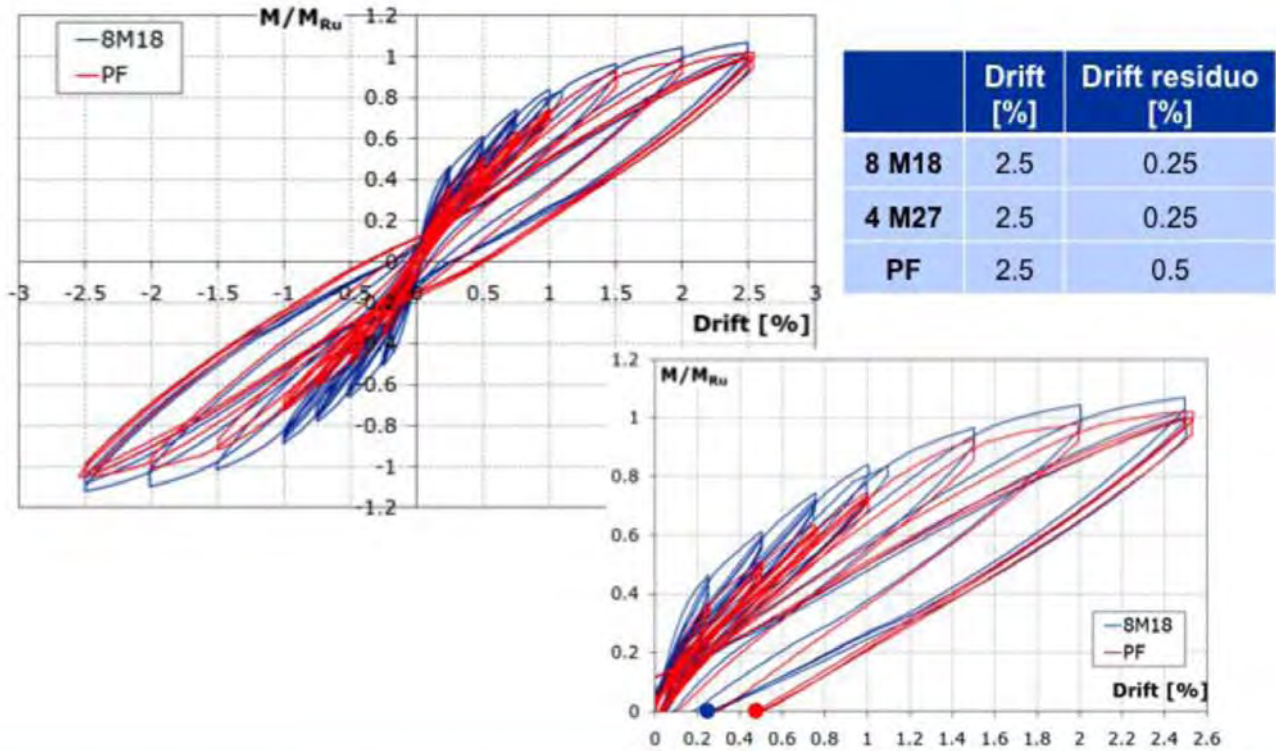


Drift [%]	δ_x [mm]
1	32
2.5	80
6	192



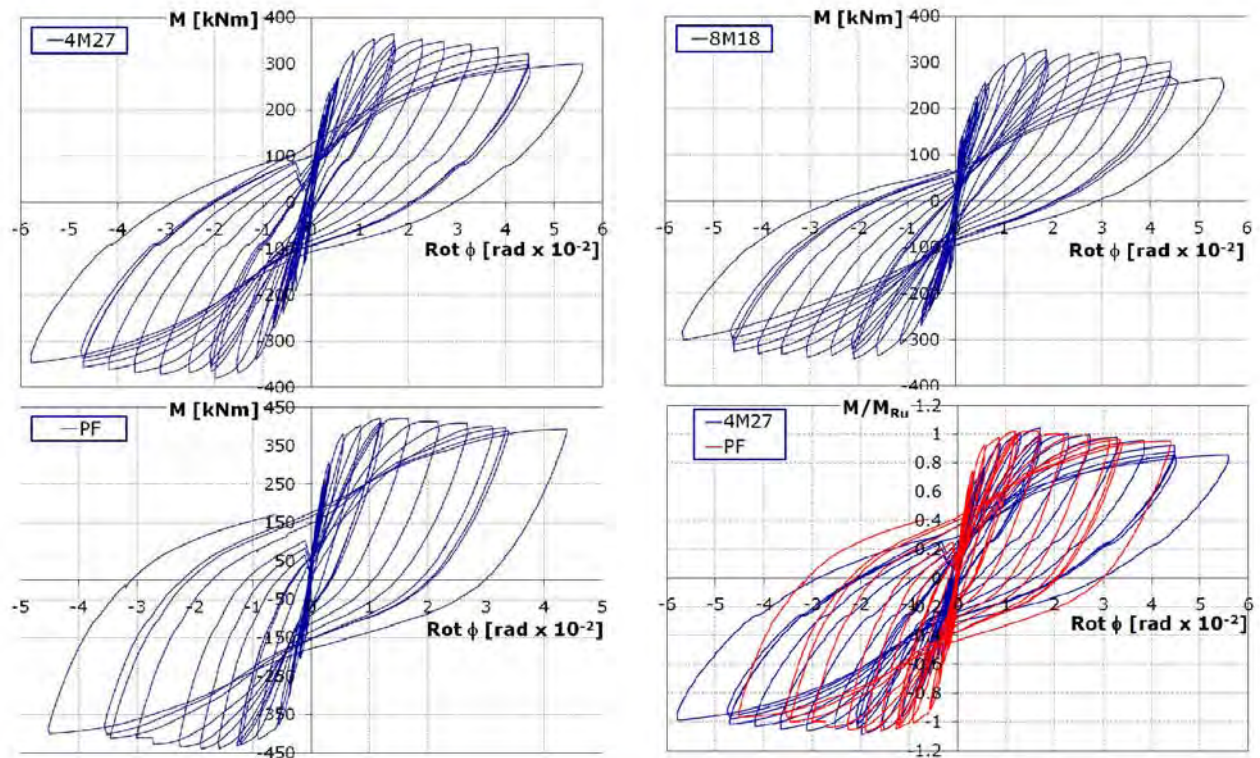
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

RISULTATI SPERIMENTALI



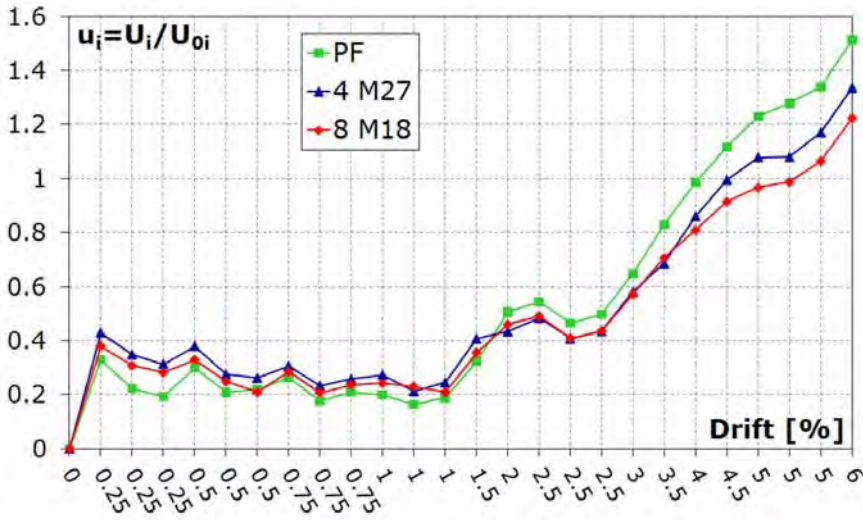
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

RISULTATI SPERIMENTALI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

RISULTATI SPERIMENTALI



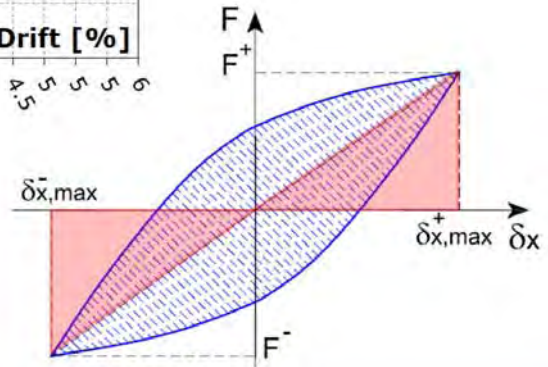
Energia dissipata adimensionalizzata:

$$u_i = \frac{U_i}{U_{oi}}$$

U_i energia dissipata ciclo i-esimo

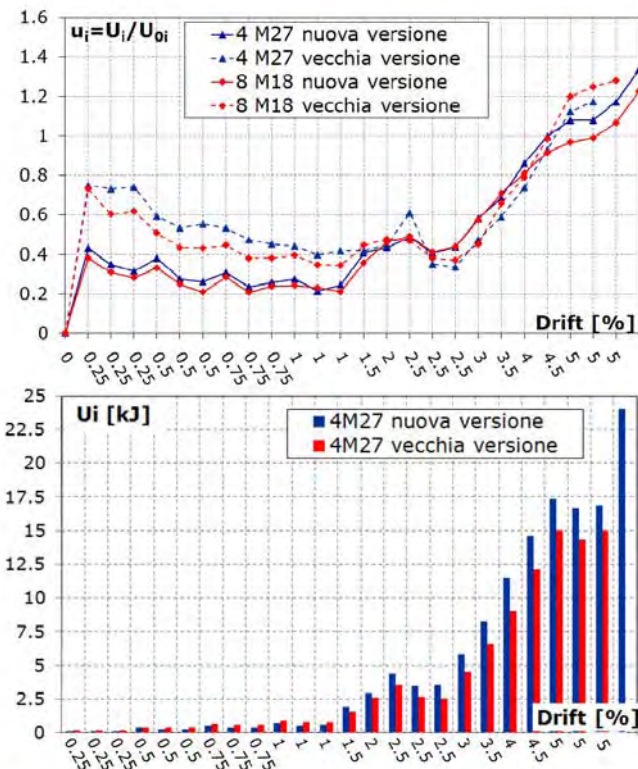
U_{oi}

$$U_{oi} = \frac{\delta_{x,max}^+ \cdot F_i^+}{2} + \frac{\delta_{x,max}^- \cdot F_i^-}{2}$$



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONFRONTO SOLUZIONE PRECEDENTE



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



CONCLUSIONI

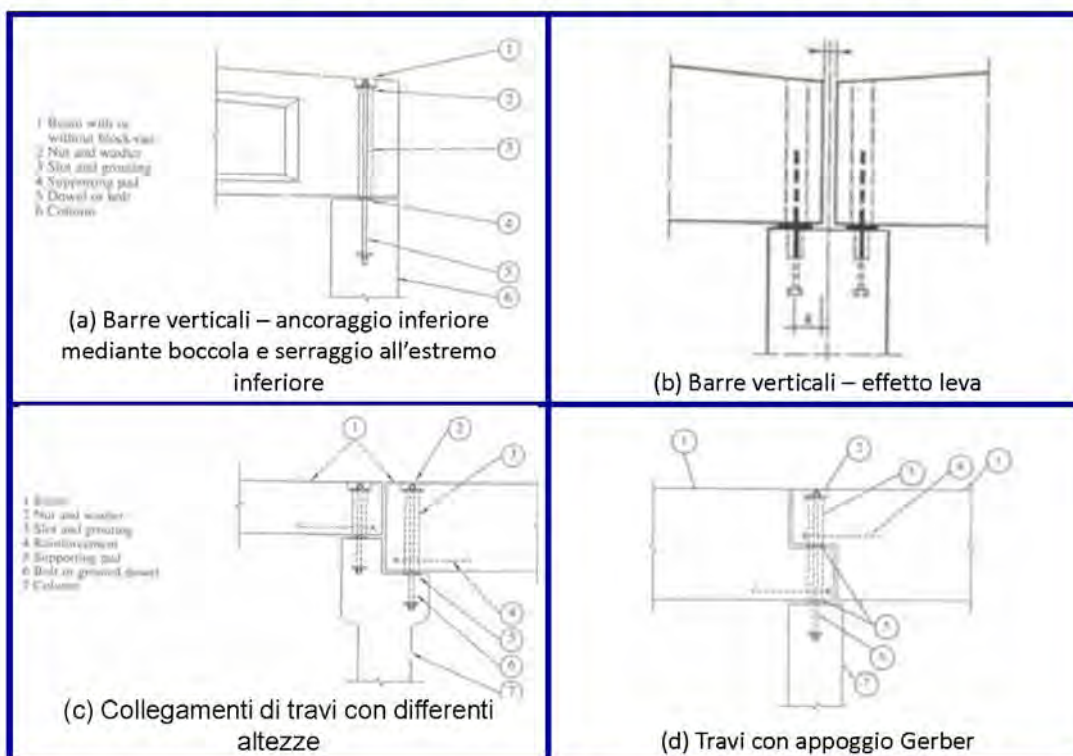
- Buon comportamento del giunto in termini di resistenza, duttilità ed energia dissipata.
- Duttilità simile a quella delle fondazioni a plinto a bicchiere, sebbene si osservi una minore dissipazione di energia.
- Danneggiamento limitato ai primi 20 cm alla base del pilastro, con deformazioni anelastiche residue contenute, rispetto alla soluzione classica a plinto a bicchiere.

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



CONNESSIONI TRAVE-PILASTRO

CONNESSIONI TRA PILASTRI E TRAVE DI COPERTURA



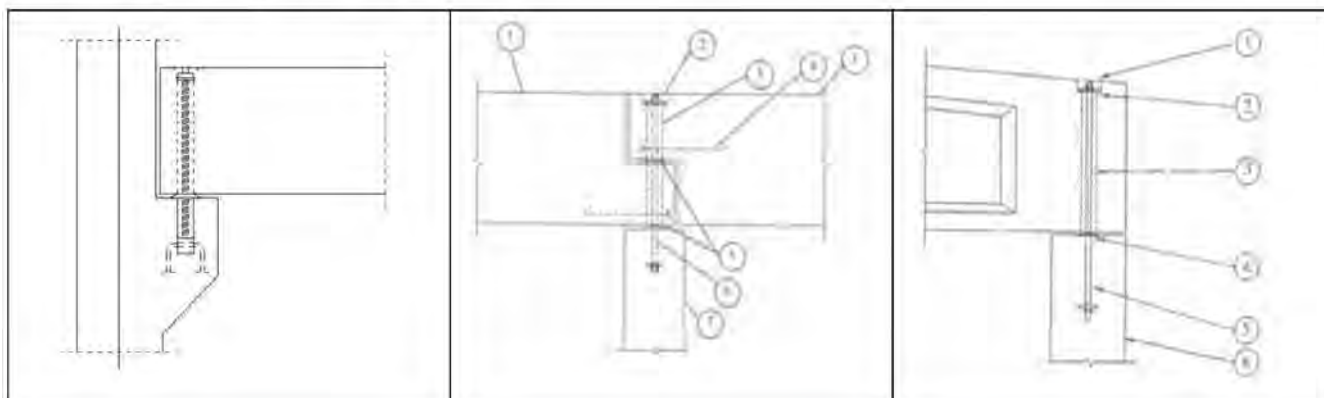
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI TRAVE-PILASTRO

L'analisi delle connessioni trave-pilastro è fondamentale per la corretta valutazione del comportamento della struttura. La connessione è generalmente una zona di **concentrazione di sforzi e deformazioni** che possono compromettere globalmente la stabilità dell'edificio.

Il comportamento delle connessioni può essere descritto mediante legami **forza-spostamento** e **momento-rotazione**.

La corretta definizione di tali legami consente una **modellazione più accurata** della struttura esaminata (analisi più affidabili).



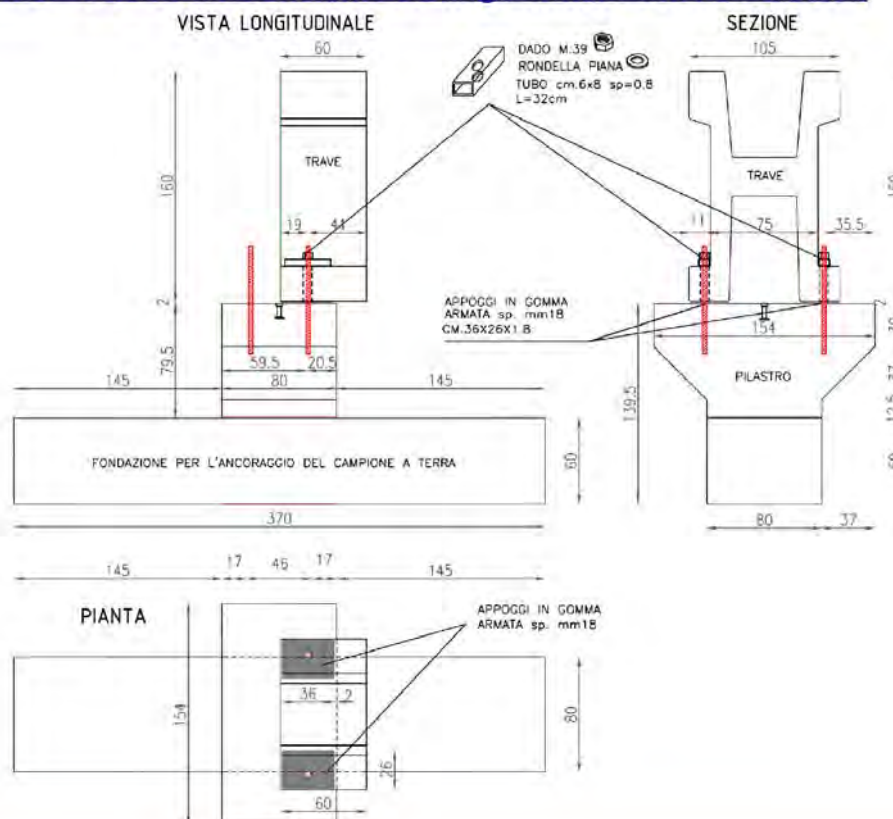
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



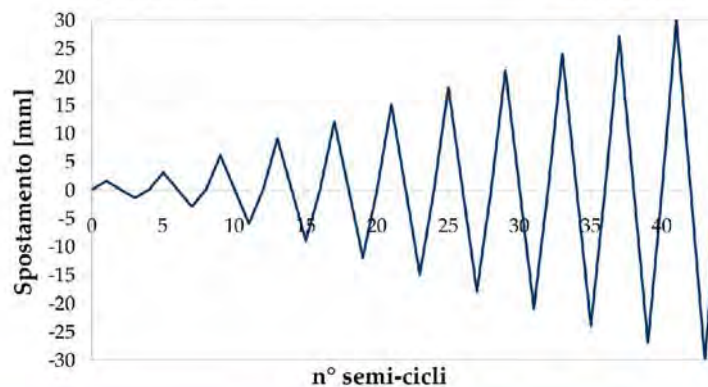
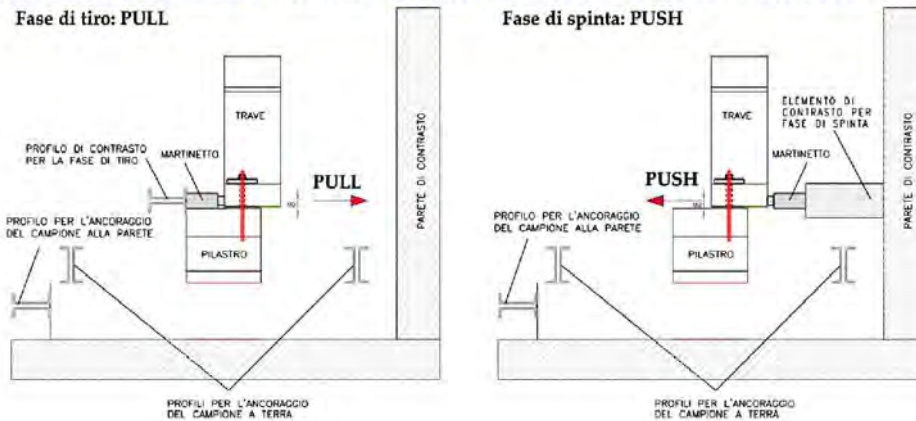
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



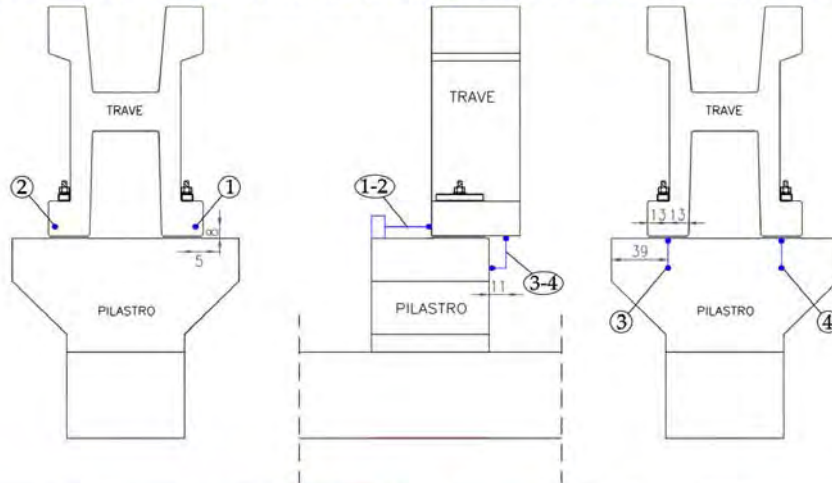
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



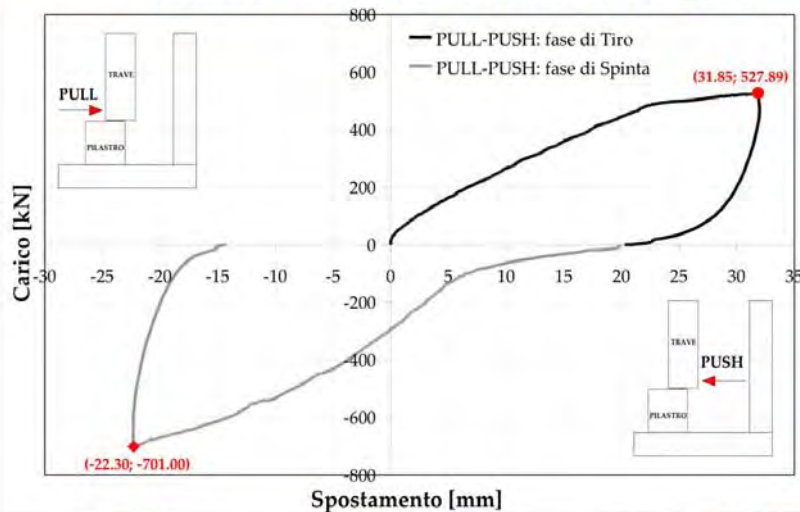
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



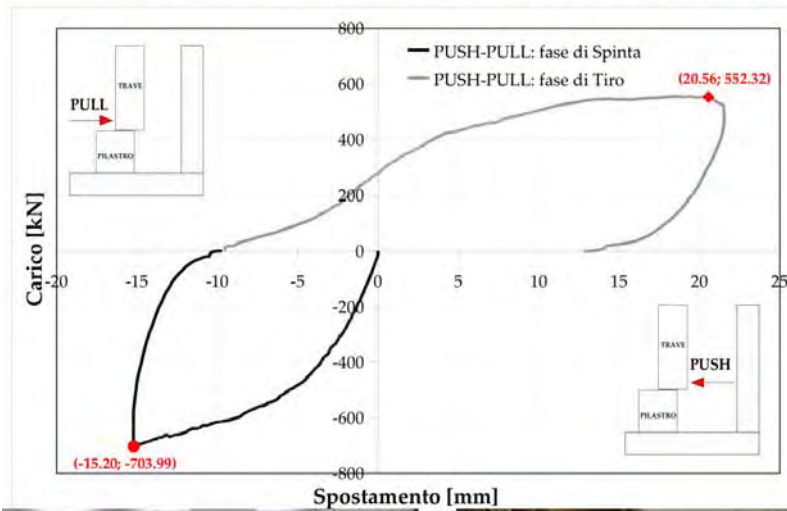
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



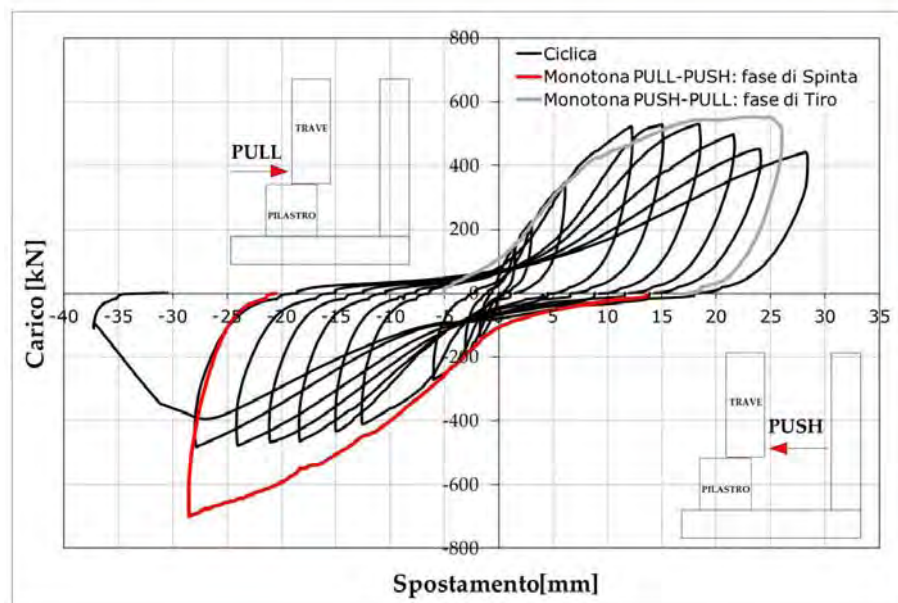
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



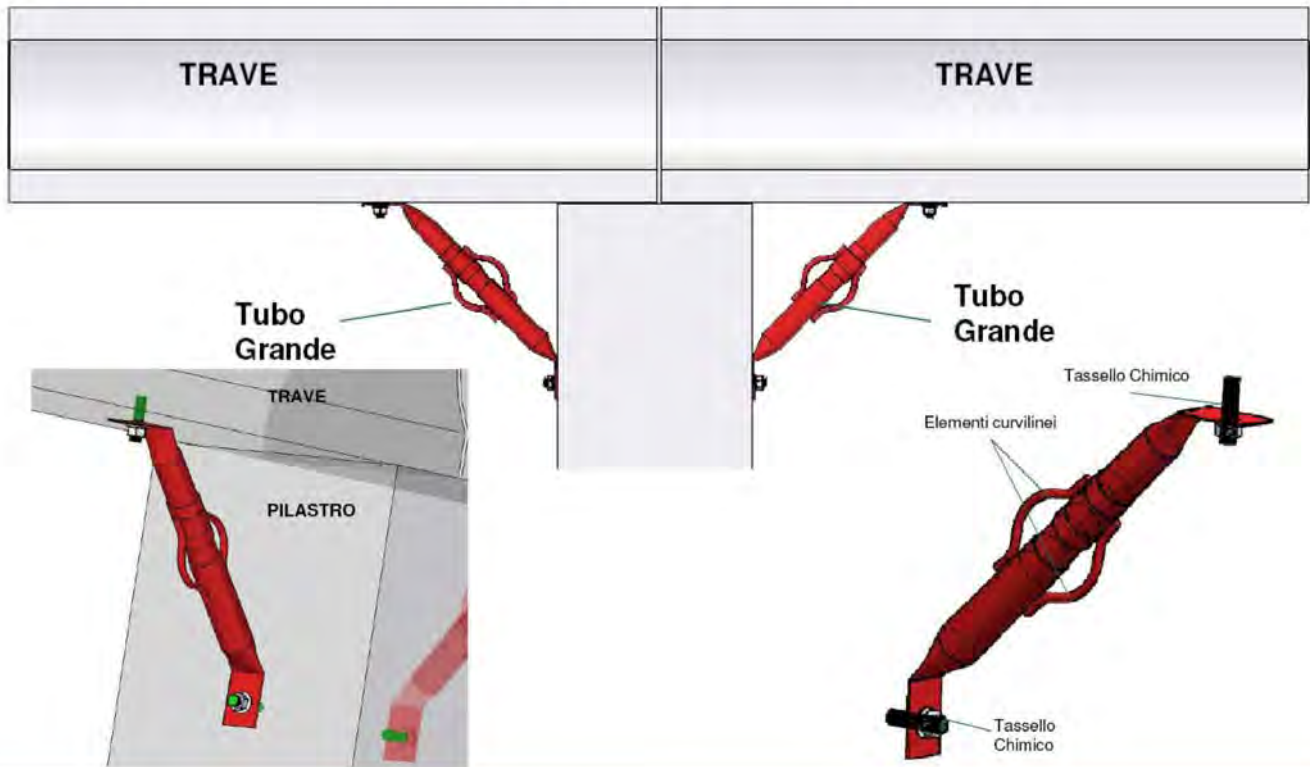
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Trave Pilastro



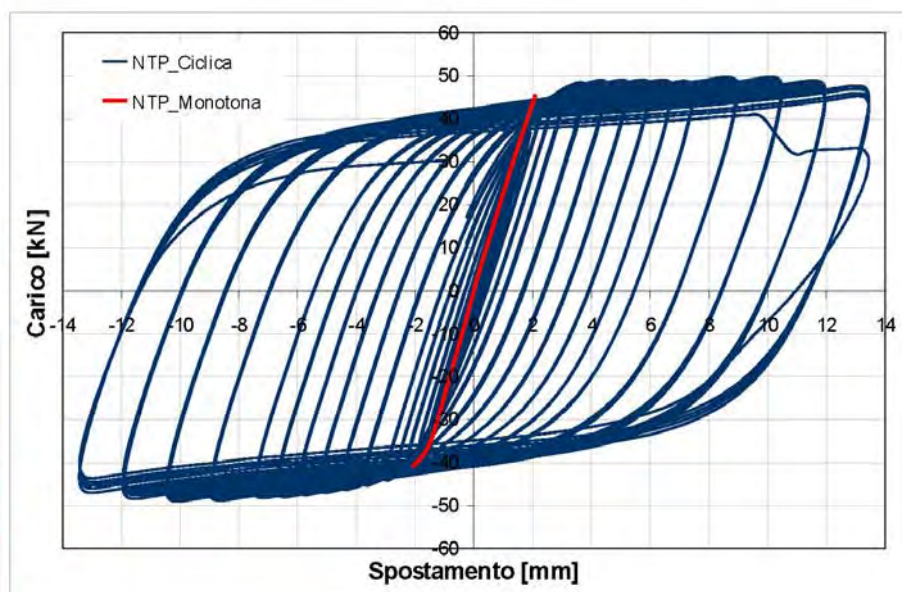
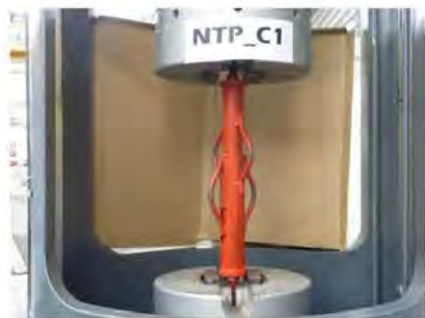
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO MEDIANTE ELEMENTI LINEARI DISSIPATIVI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO MEDIANTE ELEMENTI LINEARI DISSIPATIVI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI TRAVE-SOLAIO E TEGOLO-TRAVE

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo



Le connessioni nelle strutture prefabbricate in zona sismica

70/95

COLLEGAMENTI TRAVE-TEGOLO

PROBLEMI DI PERDITA DELL'APPOGGIO



GLI ELEMENTI NON SONO IN GRADO DI SOSTENERE GLI SPOSTAMENTI IMPOSTI DAL SISMA

- Miglioramento del vincolo trave-pilastro per impedire la caduta del tegolo dalla trave
- Sostituzione del perno esistente nel caso in cui esso non sia sufficiente
- Inserimento di un vincolo nel caso in cui il tegolo fosse semplicemente appoggiato

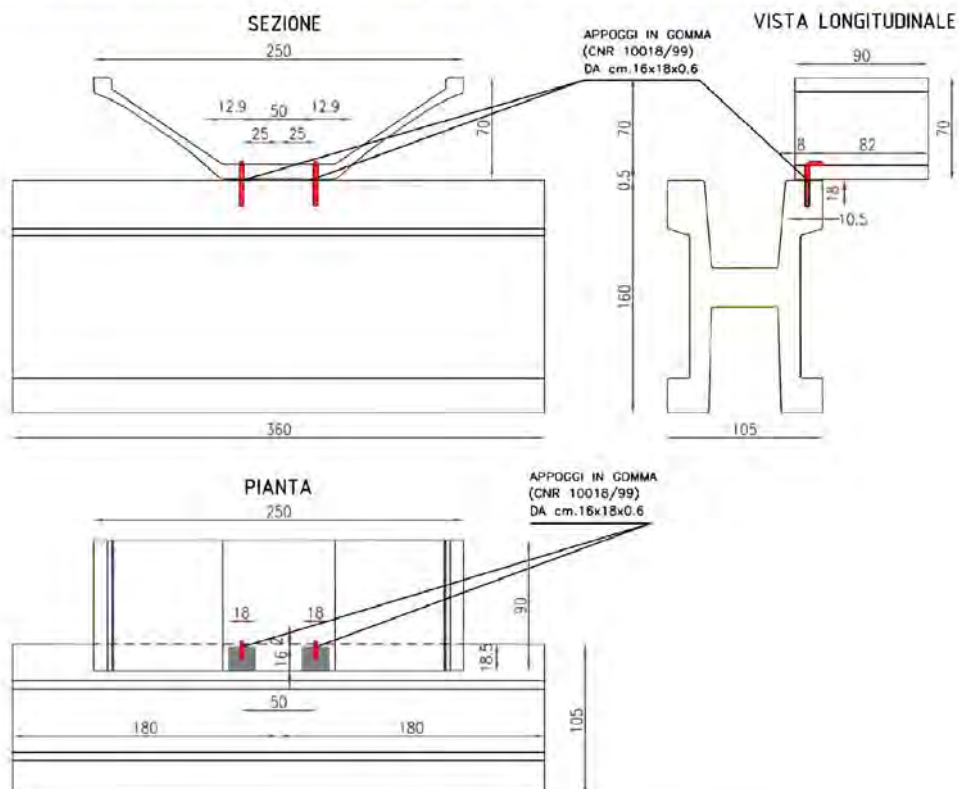
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



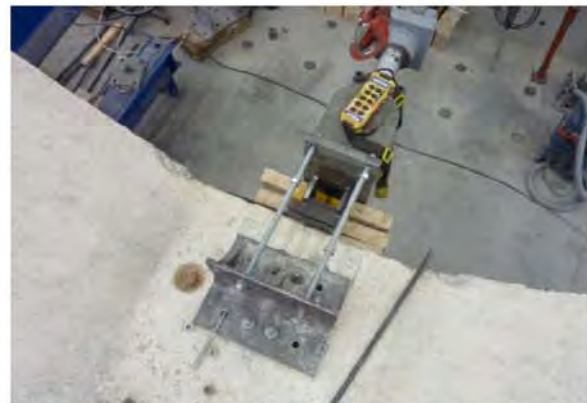
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



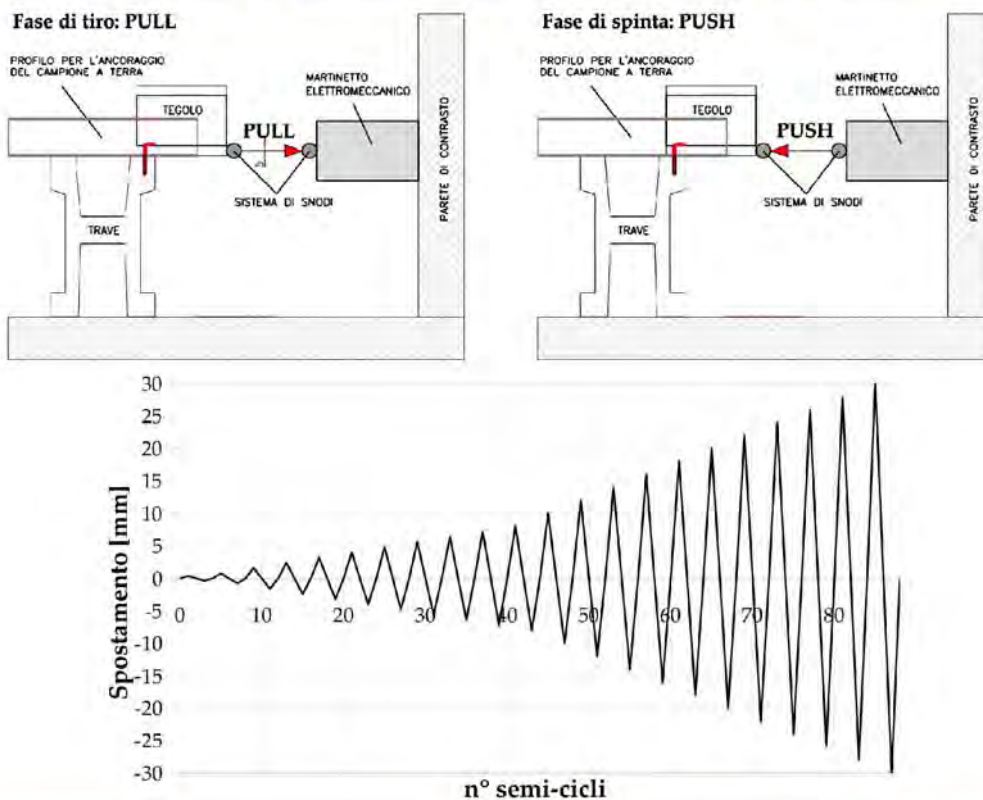
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



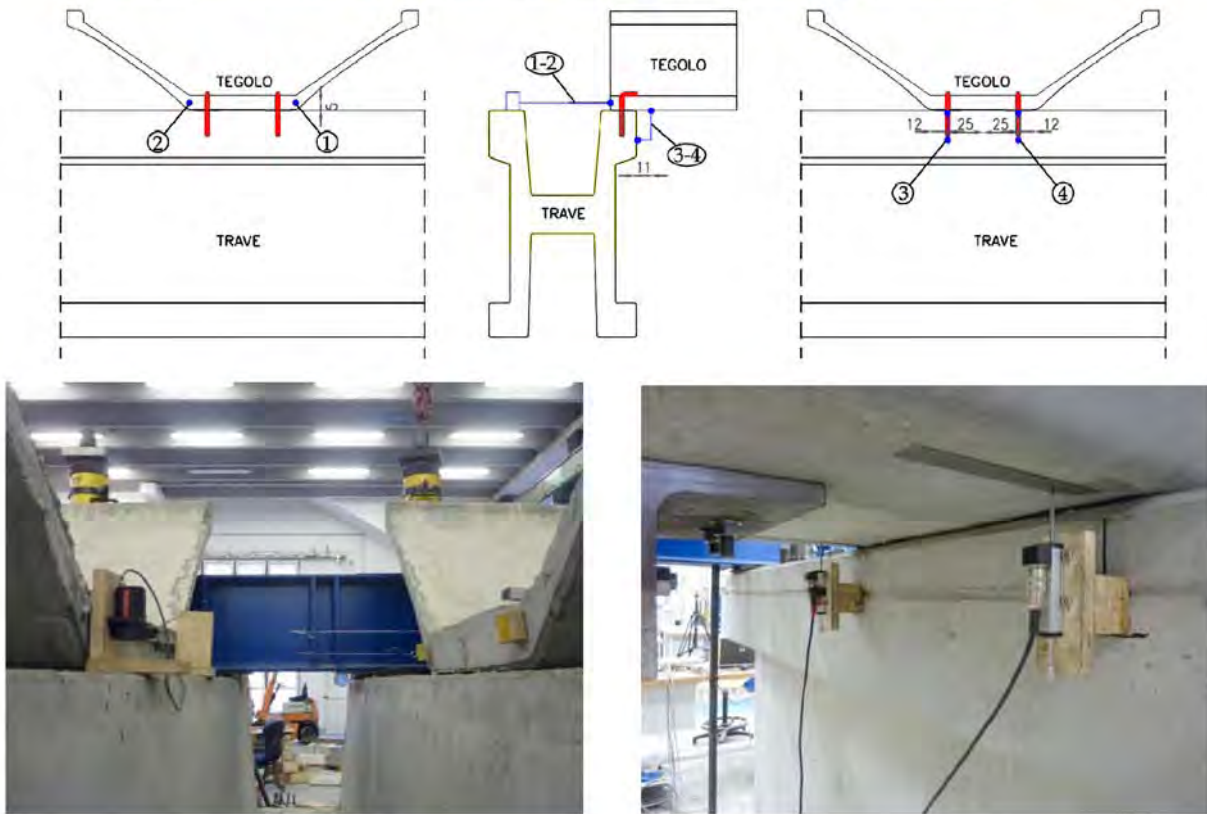
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



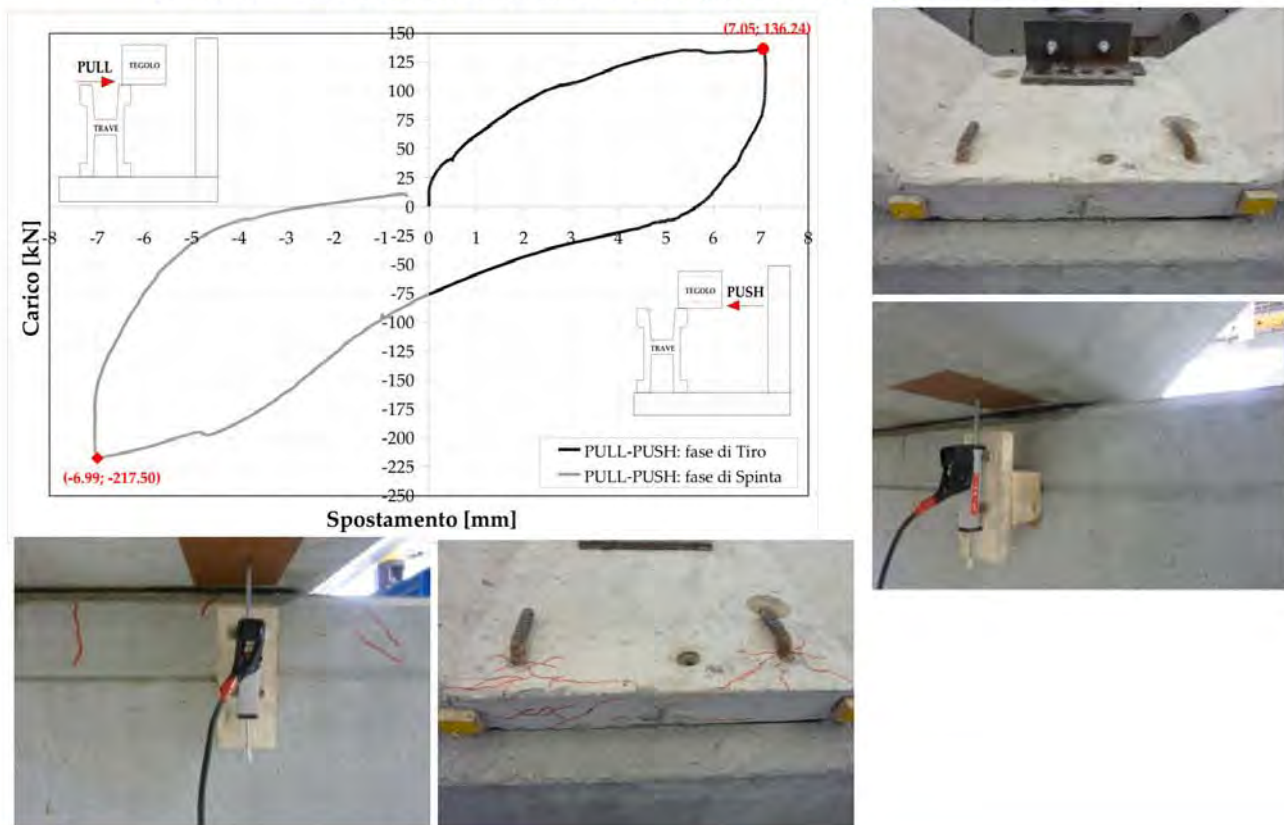
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



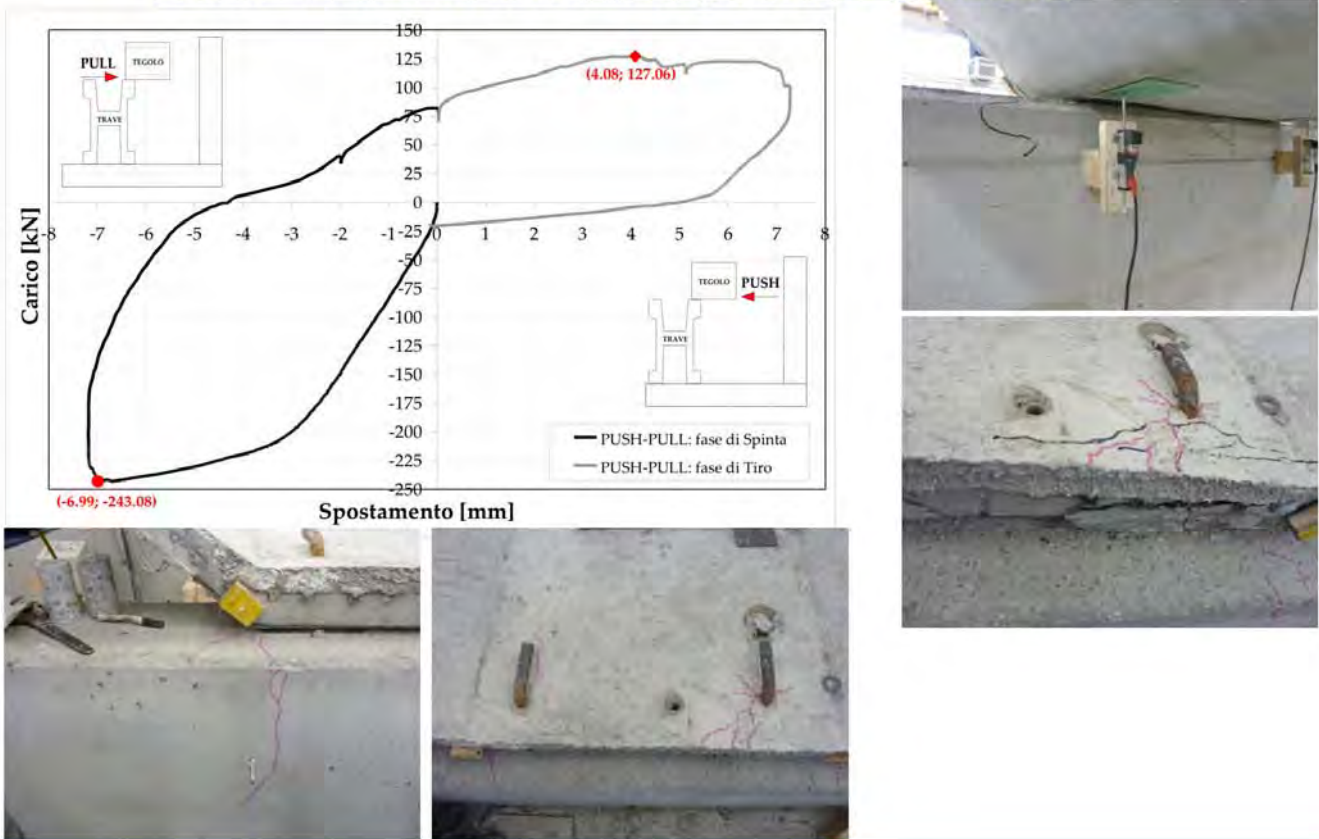
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



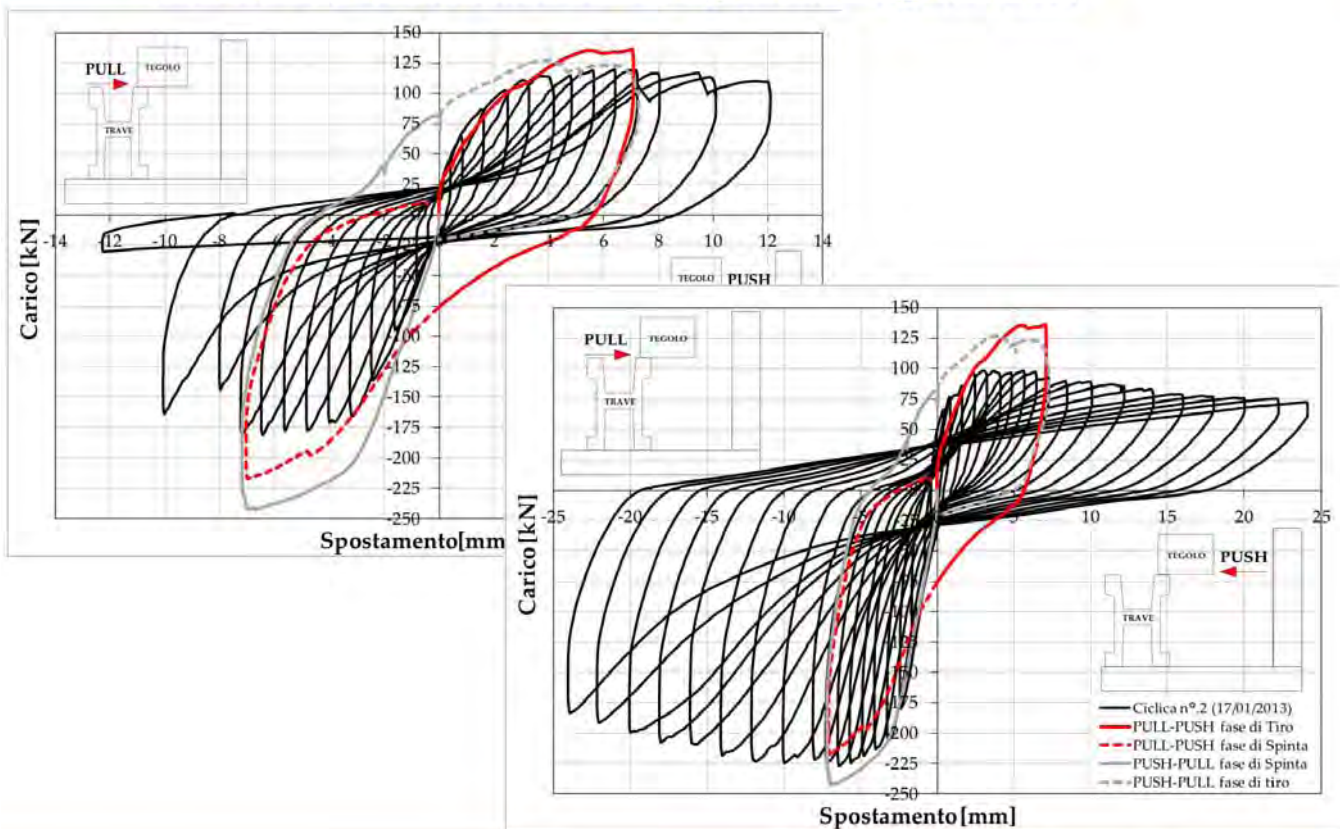
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

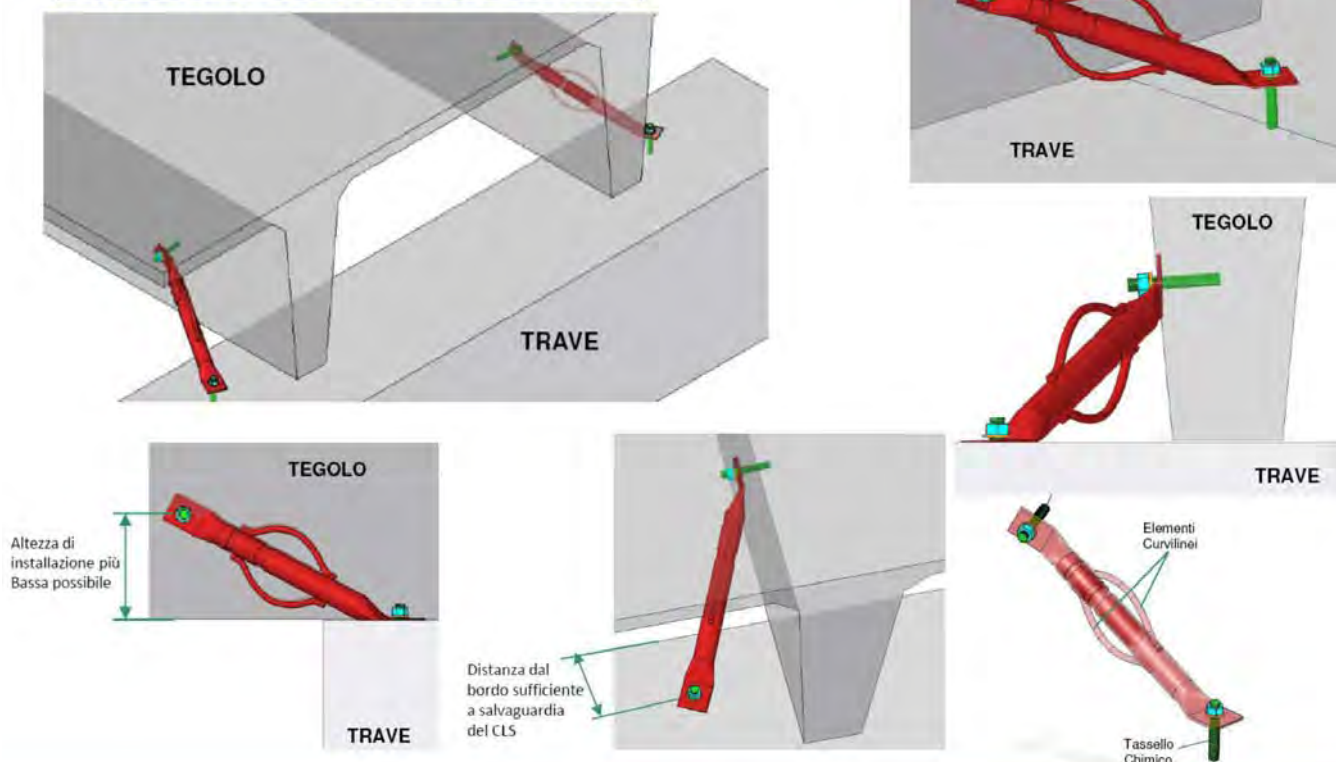
UniBG – Prove di Collaudo Collegamento Tegolo-Trave



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

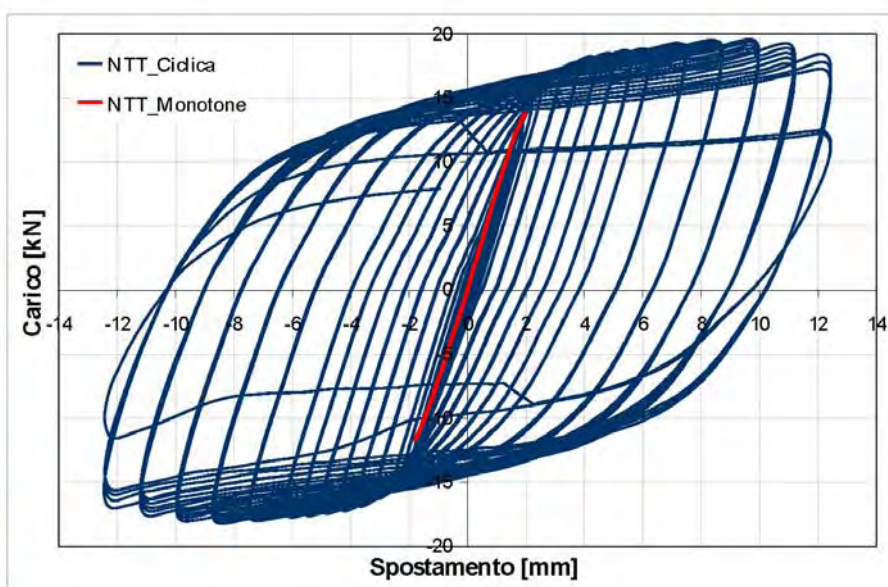
UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE

DISSIPATORE METALLICO



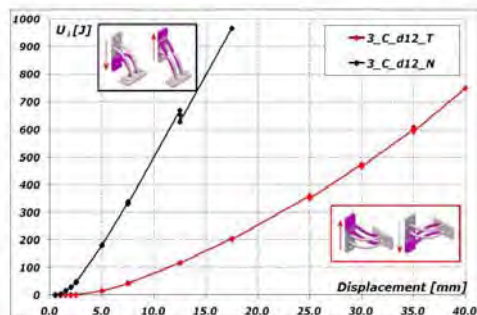
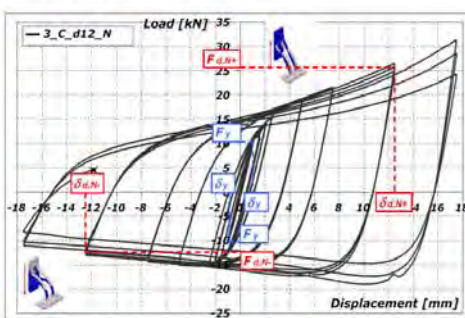
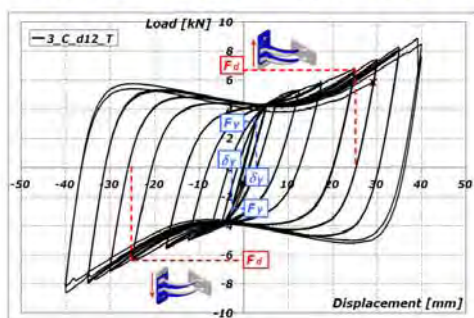
la plasticizzazione degli elementi curvilinei garantisce la possibilità di sviluppare elevate deformazioni tra gli elementi collegati, limitando allo stesso tempo l'azione trasmessa dal tegolo alla trave in caso di un evento sismico



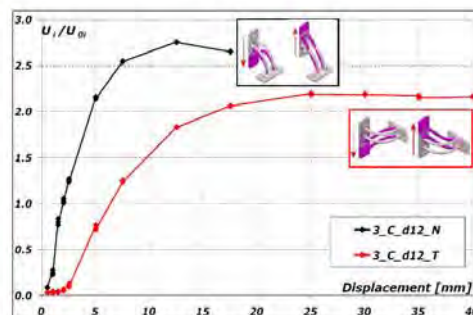
Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE



Energia dissipata assoluta

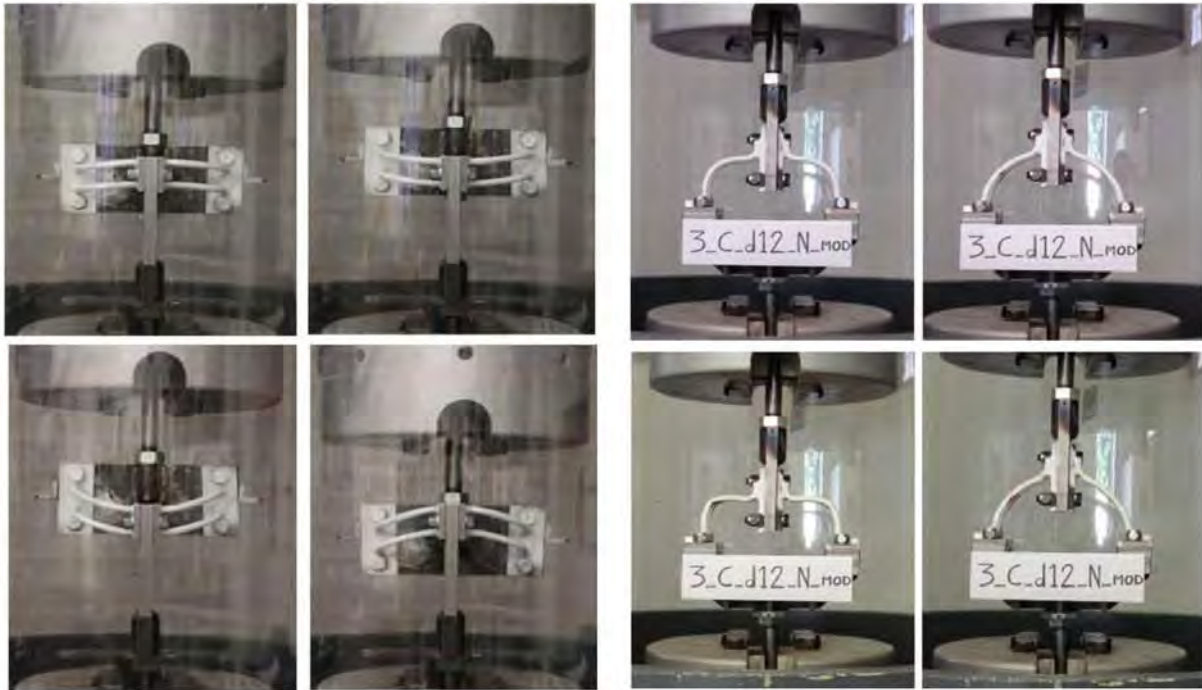


Energia dissipata adimensionalizzata

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

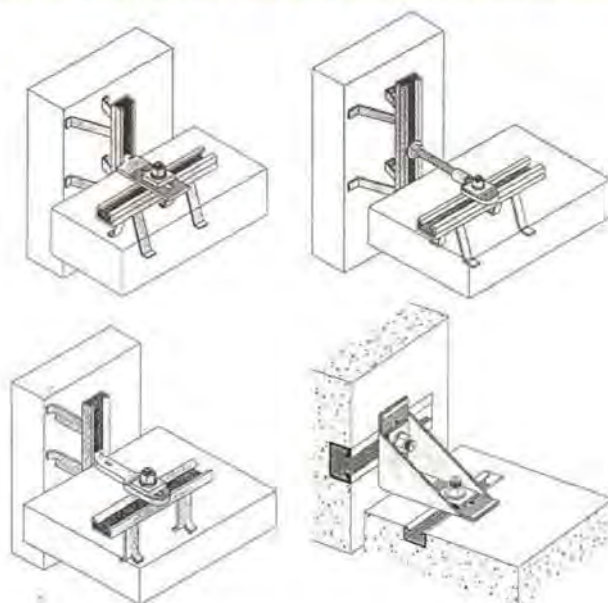
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

CONNESSIONI PANNELLO-STRUTTURA

CONNESSIONI PANNELLO STRUTTURA



Esempio di collegamento pannello – struttura mediante “anchor channel” (Dassori, 2001)

CONNESSIONI PARTICOLARMENTE CRITICHE

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

PROVE ASSOBTON-UNIBG

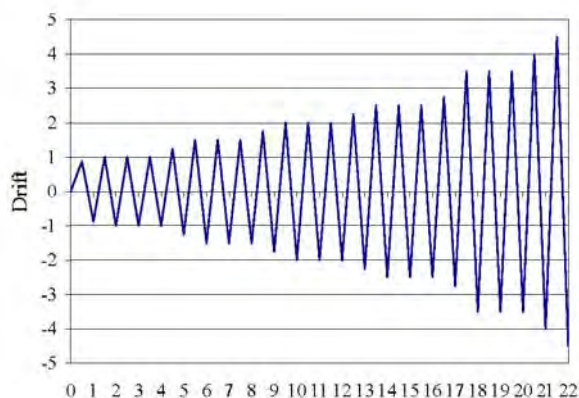
PROVE SPERIMENTALI: COMPORTAMENTO DELLE CONNESSIONI

SETUP DELLA PROVA

- Due pilastri in C.A. collegati con un pannello prefabbricato in calcestruzzo;
- Applicazione di uno spostamento ciclico orizzontale alla quota di 3 metri;
- Valutazione dello spostamento relativo tra le connessioni del pannello ed i pilastri;



Setup della prova

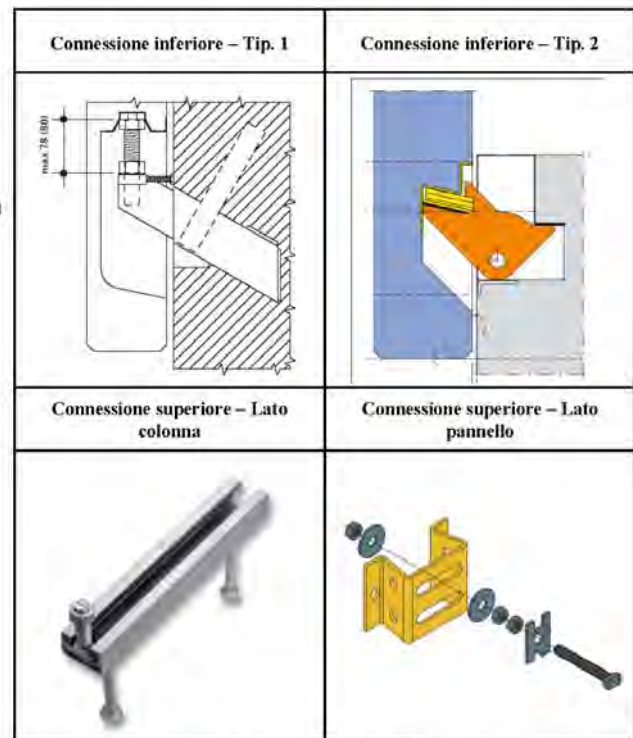


Storia di carico

COLLEGAMENTO DI PANNELLI PROVA SPERIMENTALE

CARATTERISTICHE DELLE CONNESSIONI

- Connessioni tipiche del panorama italiano;
- Carichi verticali contenuti da elementi in acciaio nella parte inferiore del pannello;
- Carichi orizzontali contenuti da anchor channel;
- Carichi fuori piano contenuti da entrambe le connessioni superiori e inferiori;
- Test mediante due tipologie di connessioni: connessioni effettivamente utilizzate nella pratica e connessioni modificate per migliorarne il comportamento (Tip. 2);



Elementi costituenti la connessione pilastro-pannello orizzontale

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO DI PANNELLI PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE

- **Connessione A**
 - Simula le difficoltà tipiche della pratica di cantiere
 - Bulloni della connessione serrati con un' imprecisata coppia di serraggio (superiore a quella prescritta)
 - Posizionamento del pannello decentrato;
- **Connessione B**
 - Modificata per ottimizzarne le performance
 - Lo scorrimento è migliorato attraverso un film adesivo in PTFE
 - Due controdadi evitano l' uso di una coppia di serraggio
 - Pannello centrato
 - Rondelle più grosse;
- **Connessione C:**
 - Mensola di appoggio meno rigida flessionalmente
 - Dimensione del bullone e delle rondelle diminuite
 - Spessore degli anchor channel maggiore
 - Pannello centrato
 - Serraggio minimo consentito dal produttore
- **Connessione D (analogo alla C)**
 - Distanziale frapposto ai dadi di serraggio che consenta un possibile scorrimento relativo tra pannello e pilastro anche in presenza di coppie di serraggio dei dadi non controllate;

Tipologia 1: Connessione B



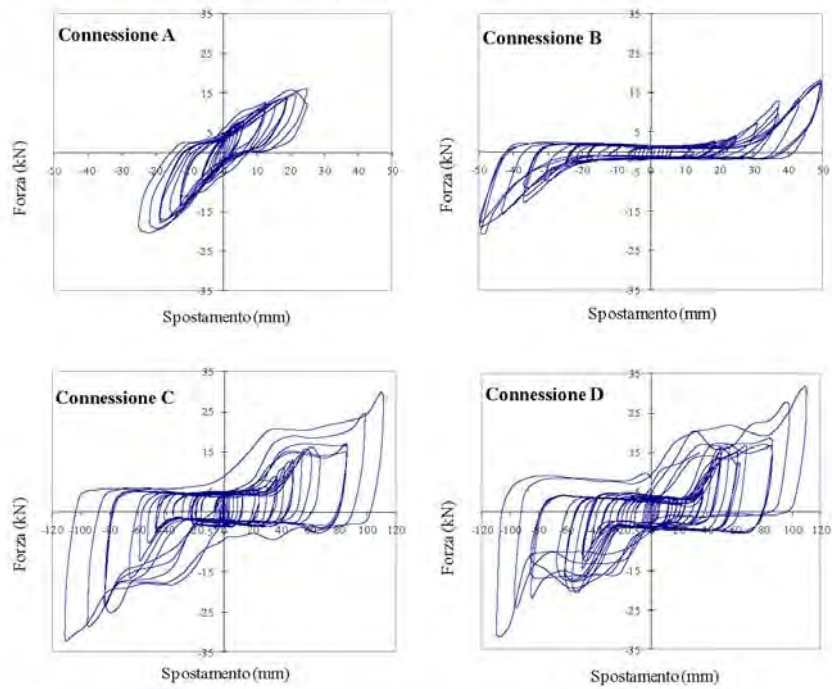
Tipologia 2: Connessioni C e D



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE

Connessione C



Connessione D



Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: CONSIDERAZIONI

CONNESSIONE A



- Rottura fragile della connessione A;

CONNESSIONE B



- Le misure correttive hanno portato quantomeno al raggiungimento di soddisfare il limite per lo SLD (1% dalle NTC);

CONNESSIONE C

CONNESSIONE D



- Connessioni C e D migliori, sia in termini di spostamento raggiunto sia di modalità di collasso;

COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: CONSIDERAZIONI

- Coppia di serraggio controllata;
- Lunghezza maggiore del foro asolato del ritegno superiore;
- Dimensioni delle rondelle contenute;
- Diametro del bullone progettato con capacity design in modo da precedere la rottura del labbro dell'anchor channel (formazione di una cerniera plastica nel bullone);



**CAPACITÀ DI SVILUPPARE LE
DEFORMAZIONI IMPOSTE DA SLD E SLV**



**MIGLIORAMENTO DELLE
PRESTAZIONI**

Paolo Riva, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Bergamo

REFERENZE

- **Belleri A., Riva P., Bolognini D., Nascimbene R. 2010.** *“Metodi di protezione sismica di strutture prefabbricate mediante dispositivi di dissipazione”*, 18° Congresso C.T.E. Brescia 11–13 Novembre 2010.
- **Paolo Riva, Andrea Belleri, Mauro Torquati, 2010.** *“Progettazione di strutture prefabbricate monopiano”*, Industrie manufatti cementizi, Vol. 16, pp. 10-16.
- **Paolo Riva, Andrea Belleri, Mauro Torquati, 2011.** *“Problematiche progettuali legate al comportamento sismico di alcune tipologie di connessioni di strutture prefabbricate”*, Industrie manufatti cementizi, Vol. 18, pp. 26-34.
- **Paolo Riva, Andrea Belleri, Mauro Torquati, 2011.** *“Analisi sismica di strutture prefabbricate”*, Industrie manufatti cementizi, Vol. 20, pp. 28-37.
- **Mauro Torquati, Andrea Belleri, Paolo Riva, 2012.** *“Progettazione degli impalcati prefabbricati per il trasferimento di forze orizzontali”*, Industrie manufatti cementizi, Vol. 23, pp. 20-29. ISSN 2225-6040.
- **P. Negro, G. Toniolo, Editors.** *“Design Guidelines for Connections of Precast Structures under Seismic Actionss”*, JRC Scientific and Policy Reports, 2012 (rapporto tecnico da progetto Safecast).



RINGRAZIAMENTI

Andrea Belleri

Consuelo Beschi

Daniele Di Marco

Giovanni Metelli

Dario Piras

Cristian Ratti

Mauro Torquati

... e molti altri studenti, tesisti, collaboratori