

VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ ED INTERVENTI
PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI AD USO PRODUTTIVO IN ZONA SISMICA

LE CONNESSIONI
NEGLI EDIFICI PREFABBRICATI
IN ZONA SISMICA

PISA – 23/07/2012



Prof. Ing. Paolo Riva
Ing. Mauro Torquati
Dipartimento di Progettazione e Tecnologie
Università degli Studi di Bergamo
paolo.riva@unibg.it
mauro.torquati@unibg.it

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;



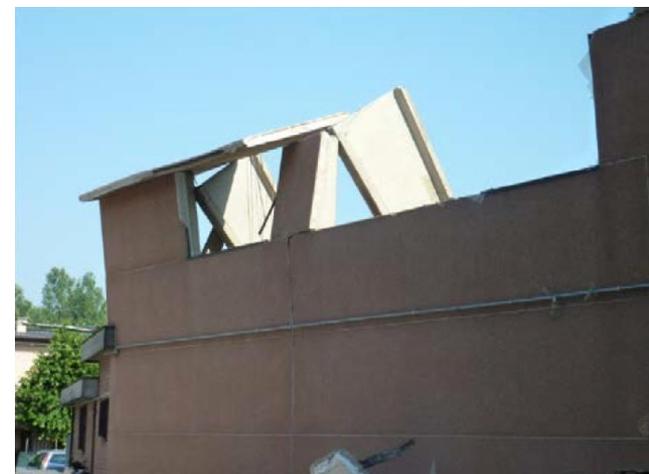
**NECESSITÀ DI INTERVENTI DI
ADEGUAMENTO SISMICO E MIGLIORAMENTO SISMICO**

INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI PERDITA DI APPOGGIO



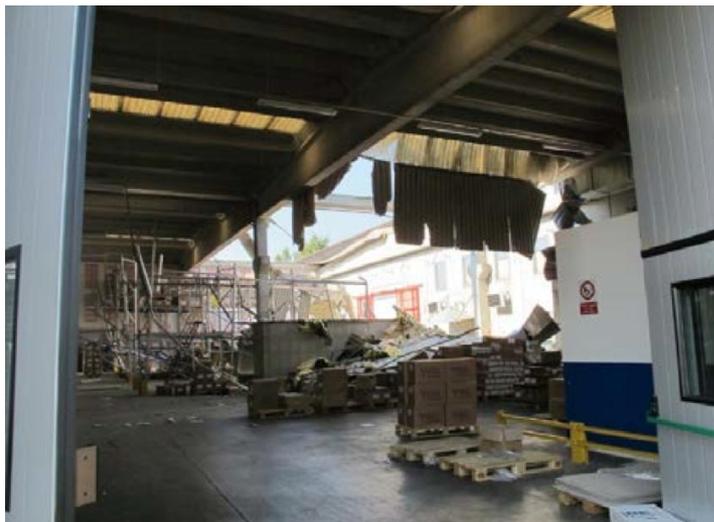
INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

PERDITA DI APPOGGIO



INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

PERDITA DI APPOGGIO



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



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



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



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

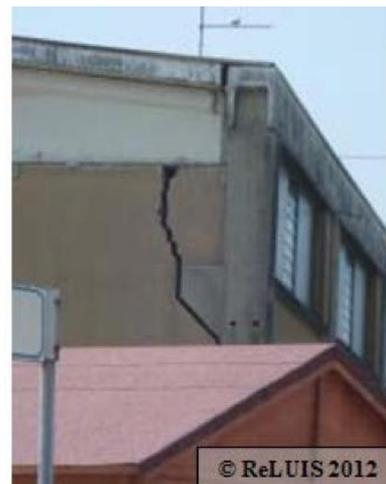


INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA IN LATERIZIO



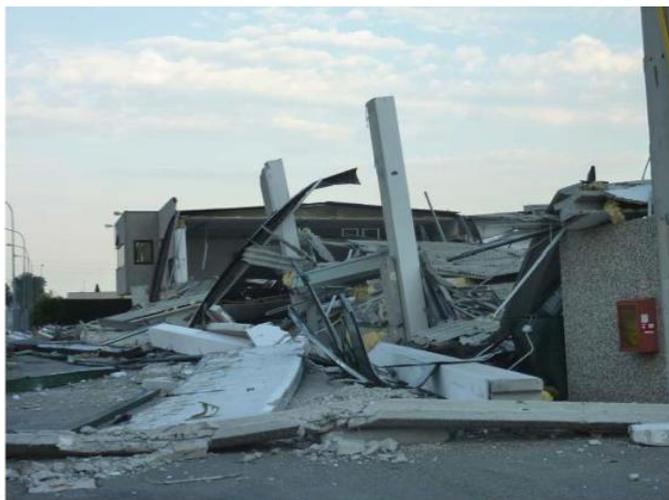
INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI

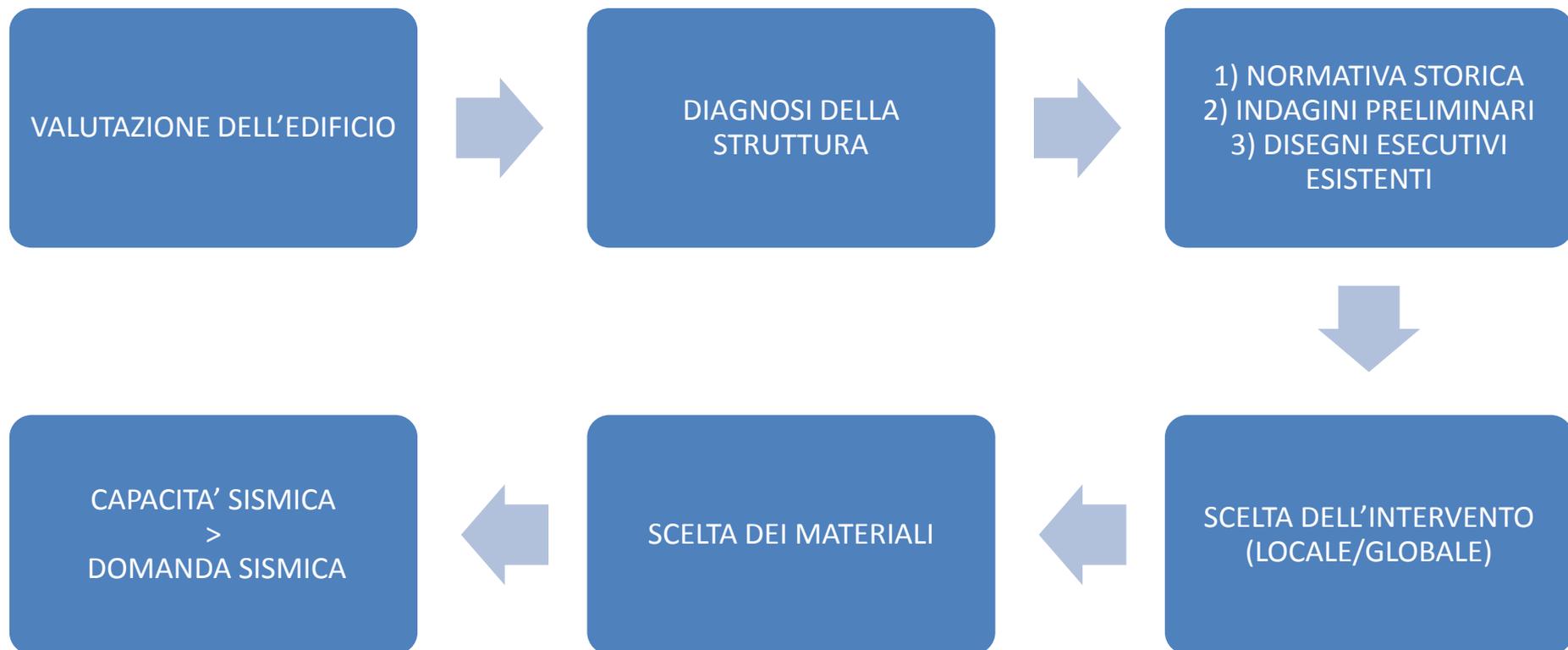


INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI ALLE SCAFFALATURE



INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

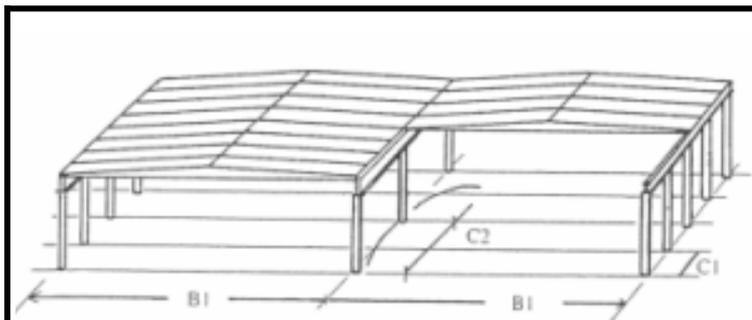


COMPORAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE: LEZIONI DAL PASSATO

- 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

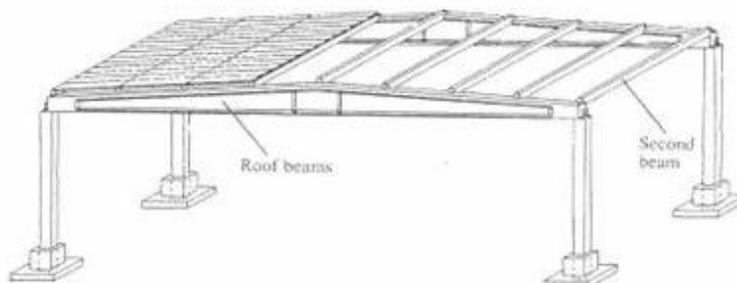
STRUTTURE MONOPIANO



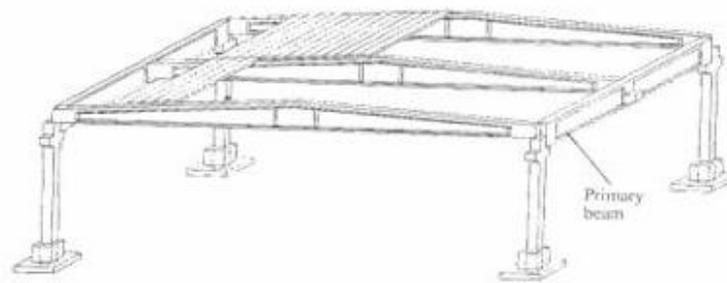
Schema di edificio monopiano con campate di grande luce e tegole di copertura a doppia pendenza



Struttura monopiano con portali indipendenti supportanti copertura e facciata perimetrale



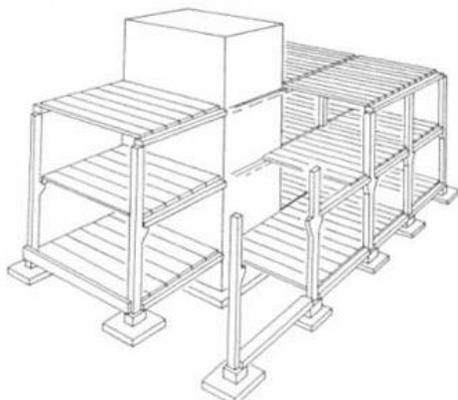
Schema alternativo per raggiungere una distanza tra i portali fino a 12 m



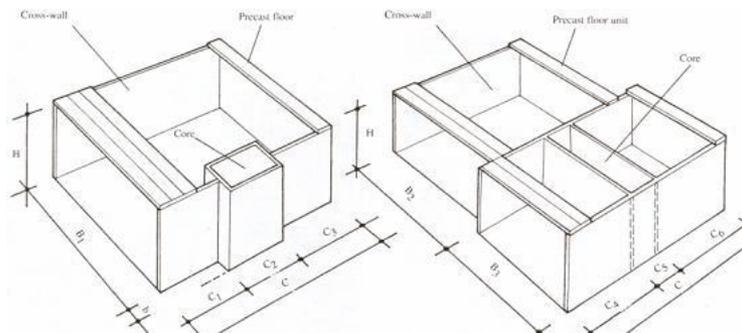
Schema alternativo per raggiungere una distanza tra i portali fino a 24 m

SCHEMI STRUTTURALI TIPICI

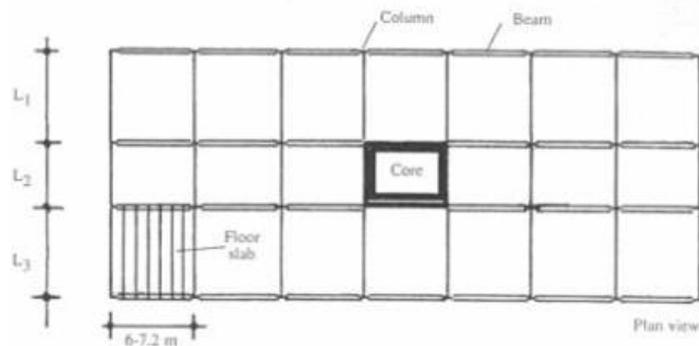
STRUTTURE PLURIPIANO



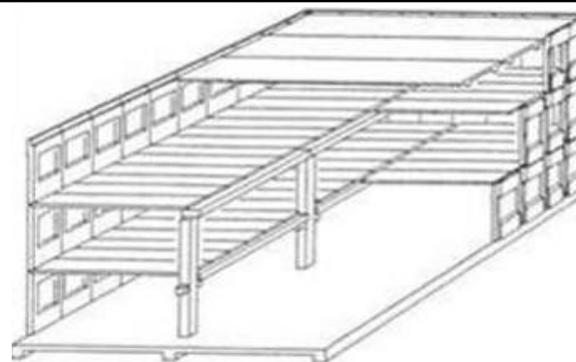
Schema strutturale con nucleo (scale – ascensore)



Sistema a Pannelli Portanti



Pianta dell'ossatura di una struttura prefabbricata



Struttura pluripiano a facciate portanti

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

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

- 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 sovraresistenza (per CD "B" = 1,10, per CD "A" = 1,20)
- Taglio ottenuto dalla gerarchia delle resistenze

CONNESSIONI FUORI DALLE ZONE CRITICHE (Tipo A)

-
- 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"

CONNESSIONI IN ZONE CRITICHE (Tipo B e C)

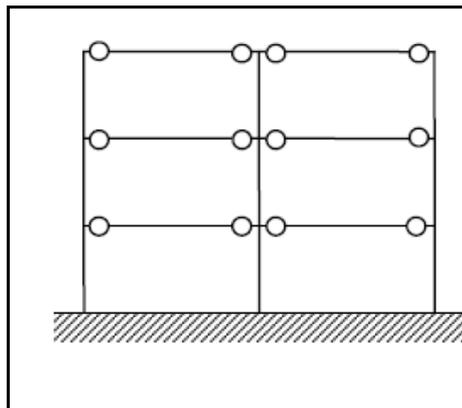
**IN OGNI CASO I COLLEGAMENTI DEVONO ESSERE IN GRADO DI TRASFERIRE LE FORZE
RISULTANTI DALL'ANALISI SENZA FAR AFFIDAMENTO SULL'ATTRITO**

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

STRUTTURE INTELAIATE (NTC 2008)

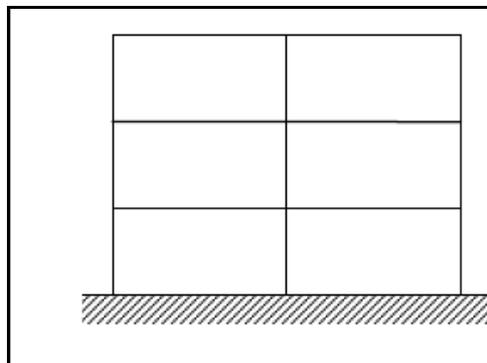
*Tipologia 1
(Riconducibile a
connessioni di tipo A e
connessioni di tipo B)*



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)*

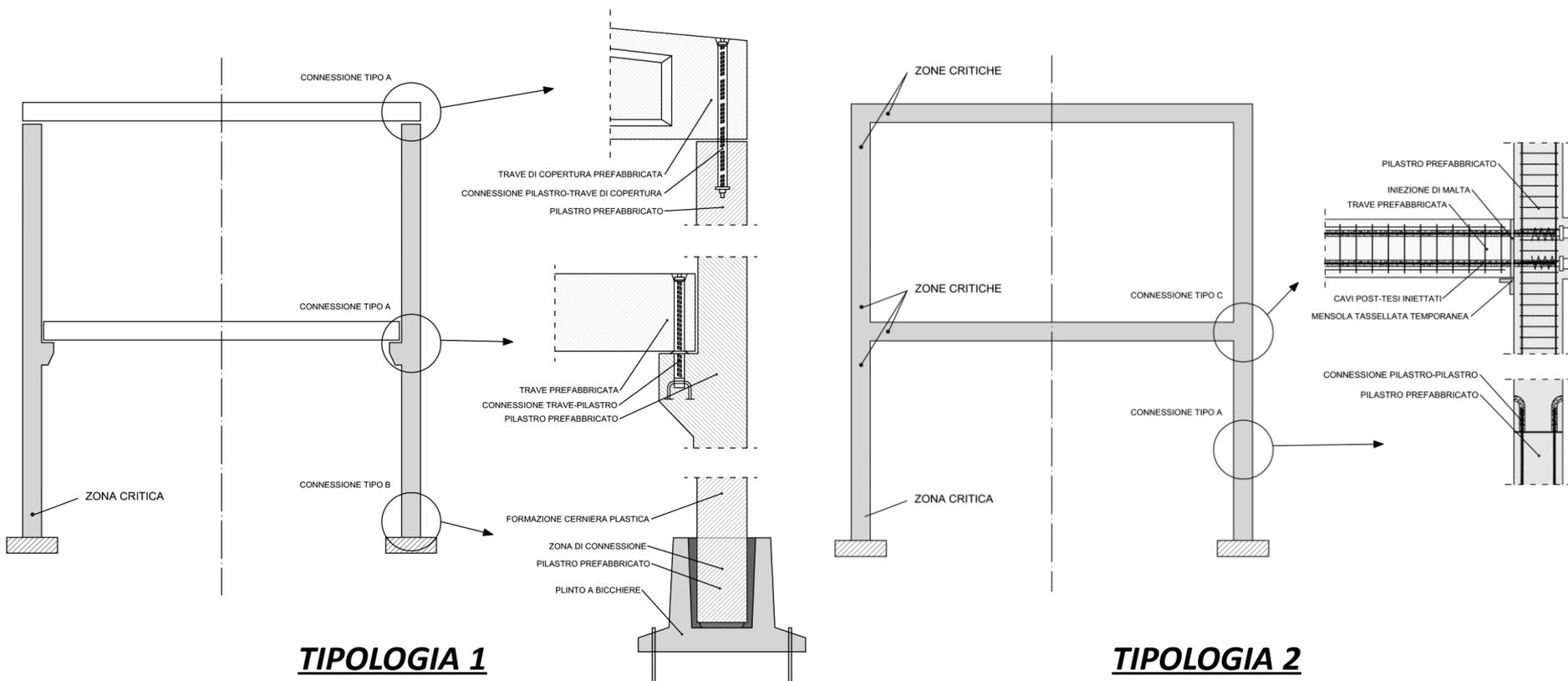


Collegamenti monolitici con getti integrativi ad emulazione delle strutture gettate in opera, con continuità di forze e momenti.

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.

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI



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:

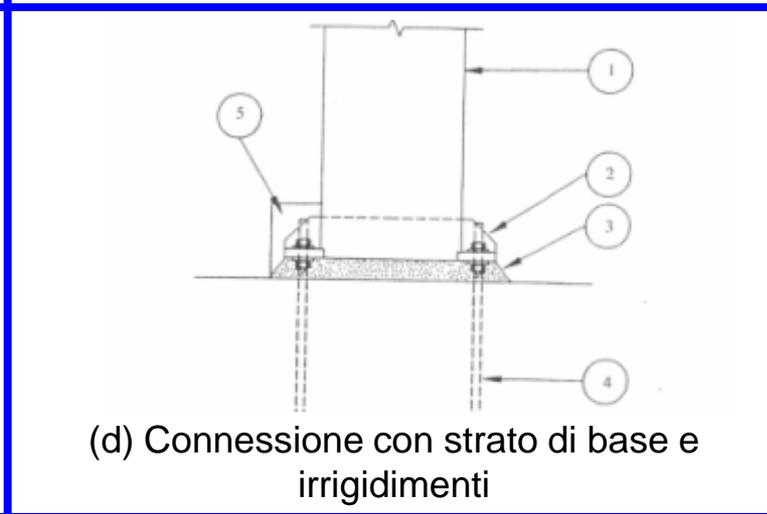
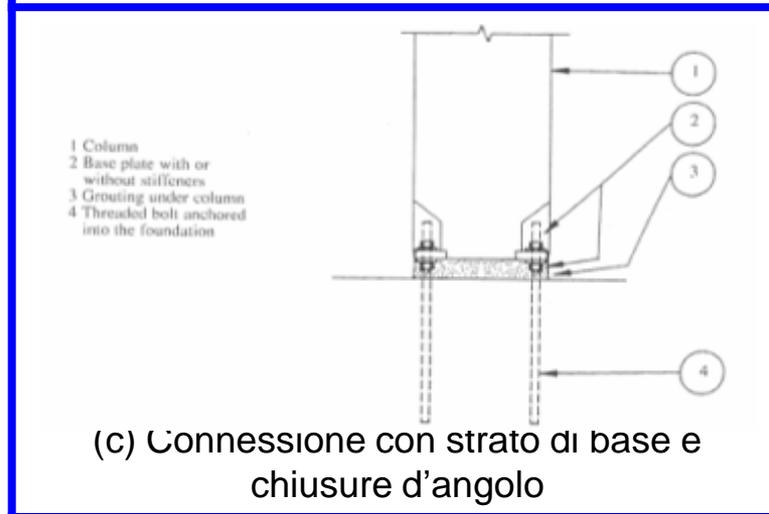
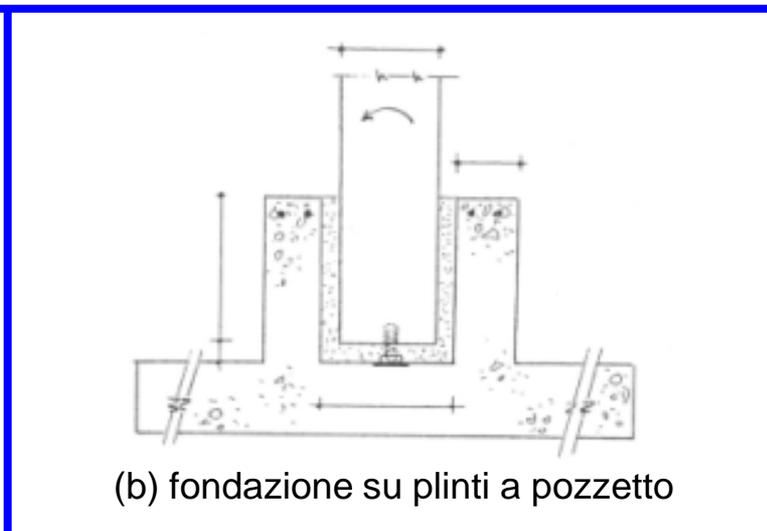
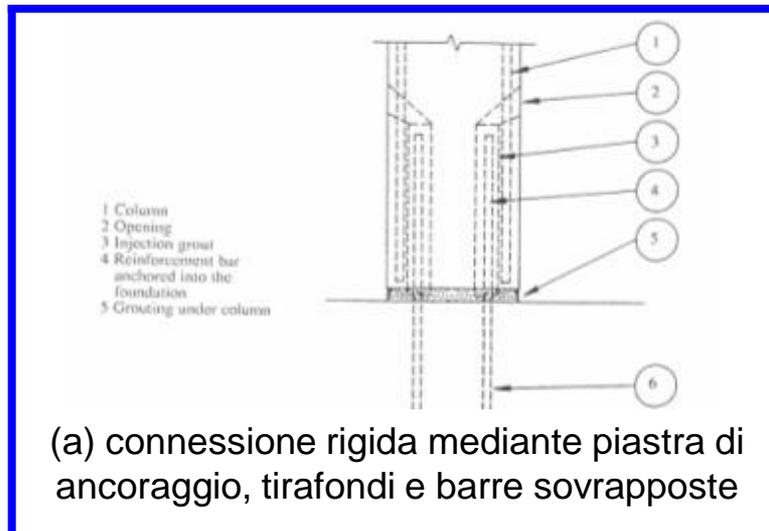
- $d_r < 0,005 h$ Per tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa;
- $d_r < d_{rp} < 0,01 h$ Per tamponamenti progettati in modo tale da non subire danni in seguito a spostamenti di interpiano d_{rp} , associati alla deformabilità intrinseca 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**



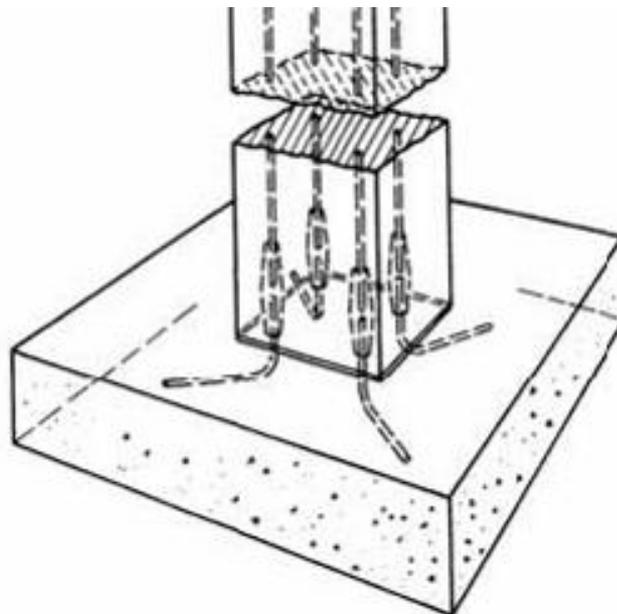
CONNESSIONI FRA ELEMENTI

CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Fig. 1990)



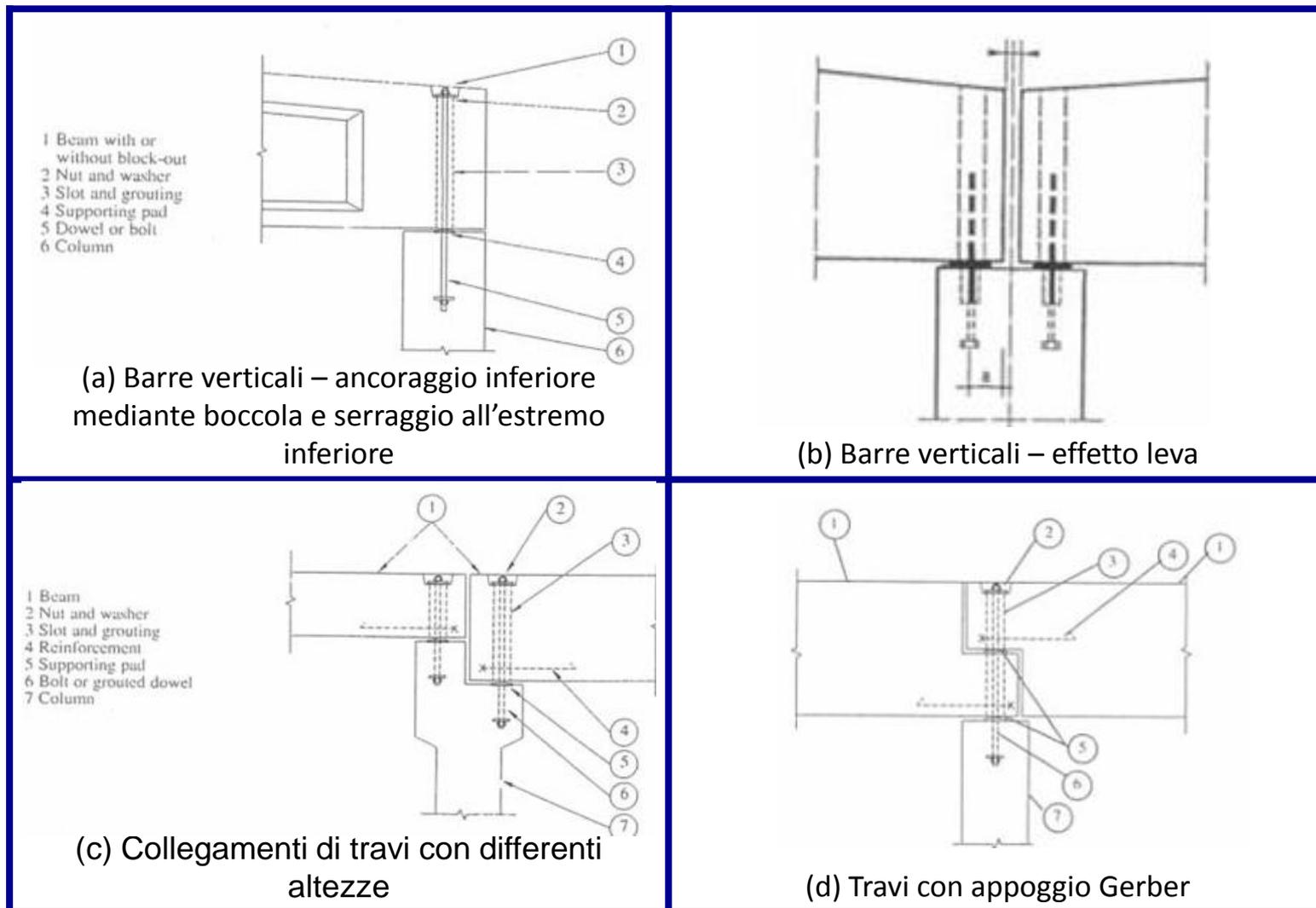
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Fig. 1990)

- 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.

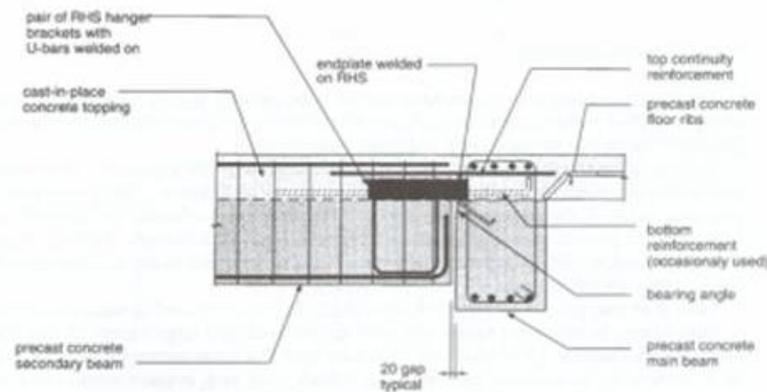
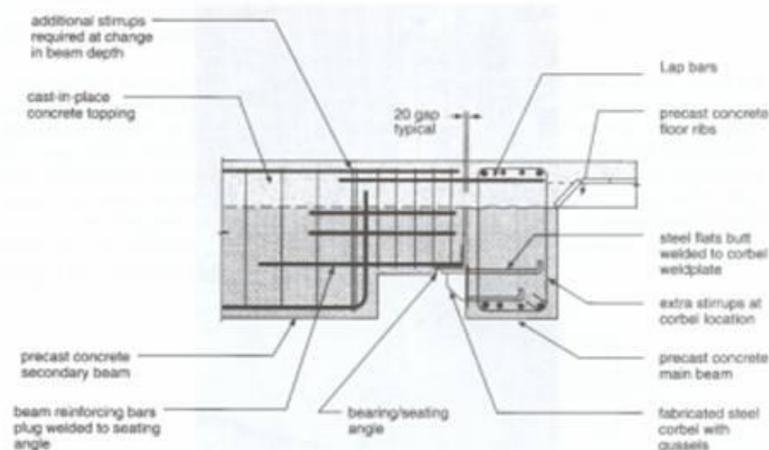


Nodo pilastro-fondazione con collegamento delle barre di ripresa

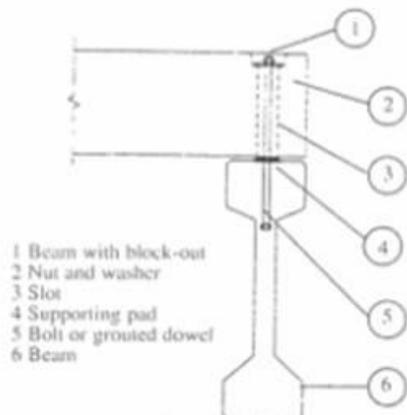
CONNESSIONI TRA PILASTRI E TRAVE DI COPERTURA



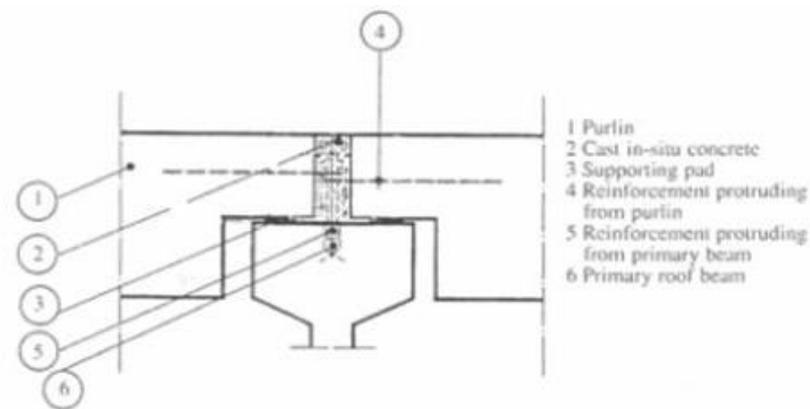
CONNESSIONI TRAVE PRINCIPALE E TRAVE SECONDARIA



Esempio di collegamenti a cerniera di travi secondarie a travi principali (*Centre for advanced Engineering, 1999*)

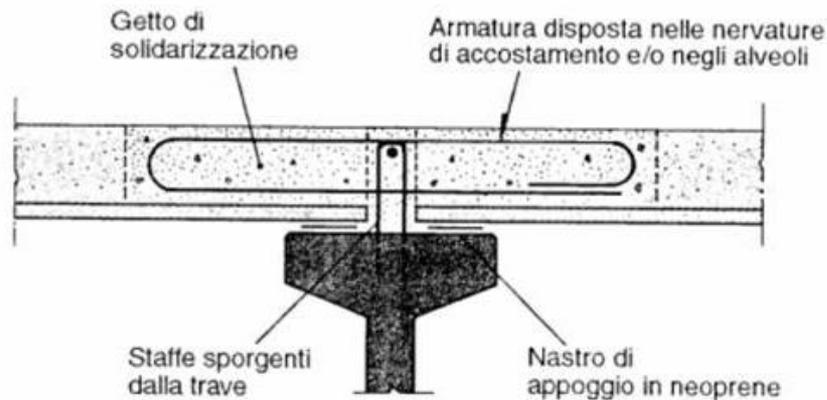


Collegamento tra trave principale e trave secondaria (*Fip, 1990*)



Collegamento tra trave principale e trave secondaria mediante sovrapposizione delle barre di armatura (*Fip, 1990*)

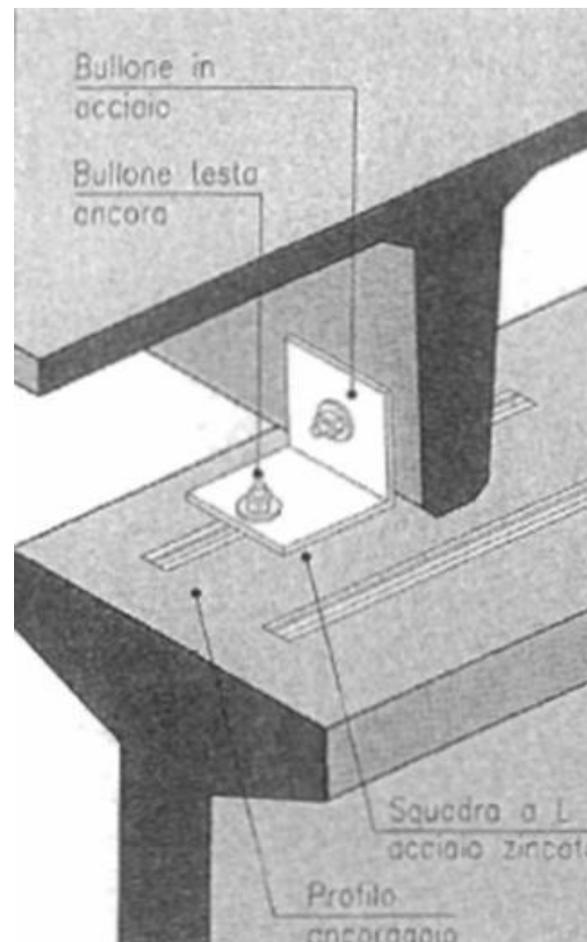
CONNESSIONE TRAVE-SOLAIO E TRAVE-TEGOLI



Esempio di collegamento trave – solaio di piano

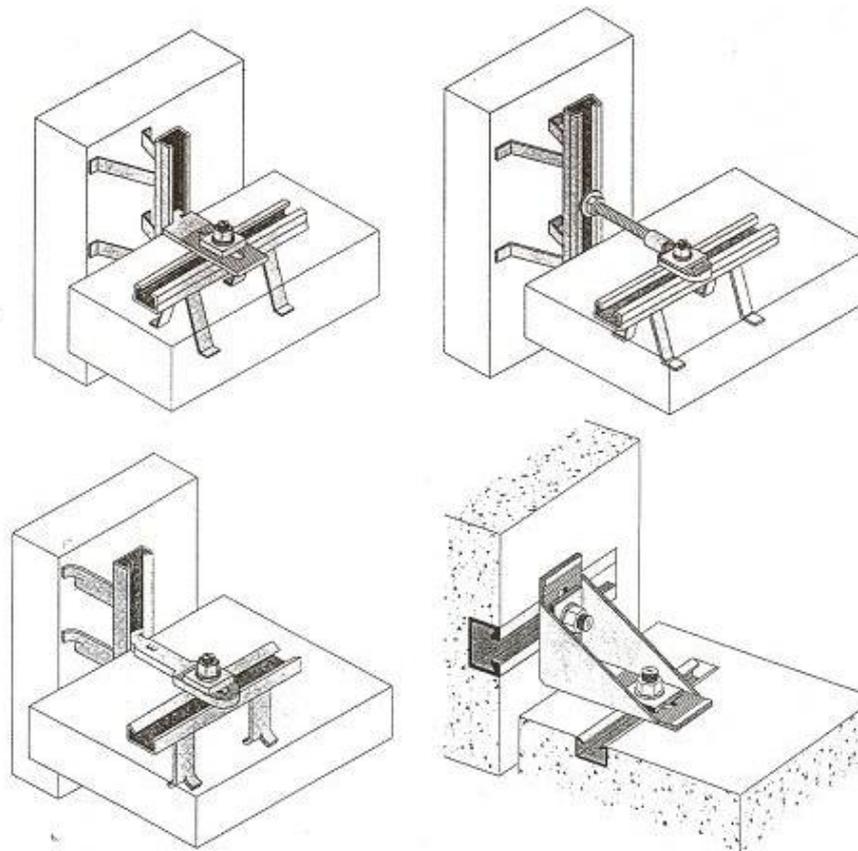


Esempio di collegamento trave – solaio di piano



Connessione trave – tegolo mediante bulloni
(Dassori, 2001)

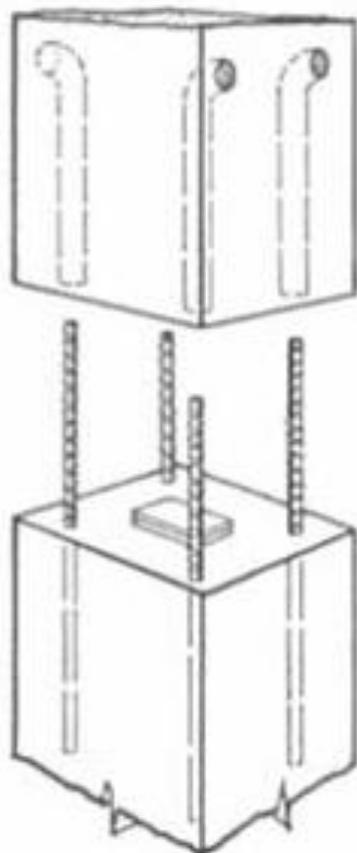
CONNESSIONI PANNELLO STRUTTURA



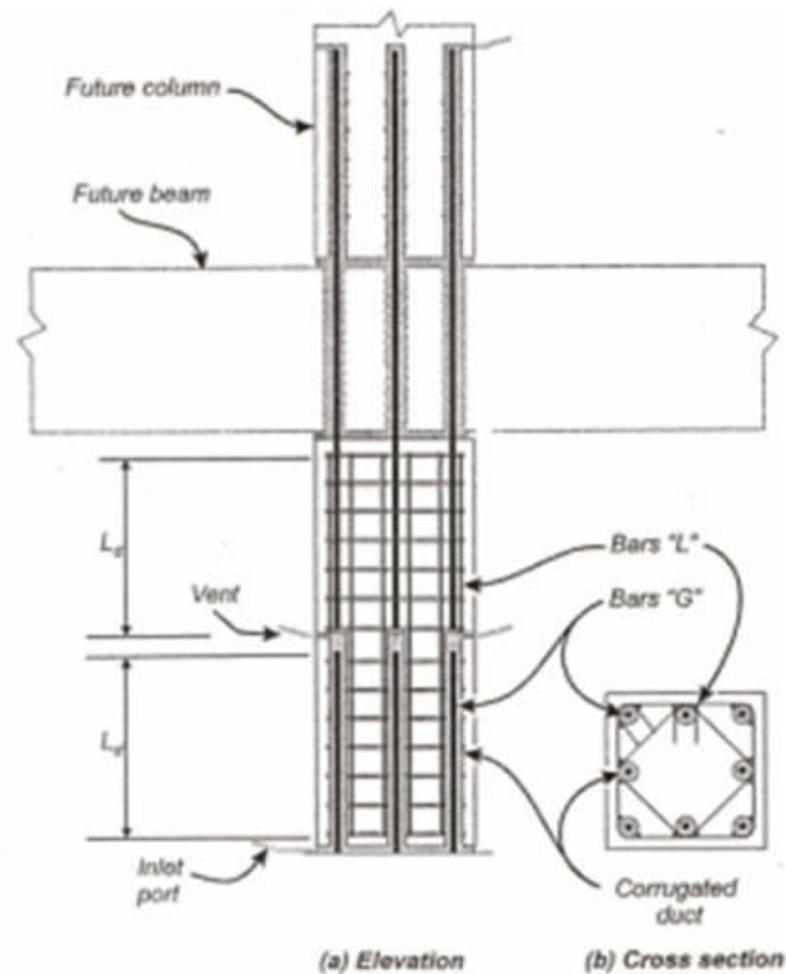
Esempio di collegamento pannello – struttura
mediante “anchor channel” (Dassori, 2001)

CONNESSIONI PARTICOLARMENTE CRITICHE

CONNESSIONI PILASTRO-PILASTRO MEDIANTE INIEZIONI DI MALTA



Connessione pilastro – pilastro resistente a momento flettente (Fig.1990)



Connessione pilastro – pilastro mediante sovrapposizione senza contatto



TECNICHE DI RINFORZO: PRINCIPI

PRINCIPI E OBIETTIVI

La messa in sicurezza è possibile solo quando il danno sui principali elementi strutturali sia di modesta entità



Confinare la sezione di base dei pilastri



Limitare gli spostamenti in sommità' per evitare la perdita di appoggio



Creare nuovi vincoli efficaci



Impedire la rotazione fuori piano di travi alte e capriate di copertura



Inserire sistemi di ritenuta antiribaltamento per i pannelli di facciata

FATTE SALVE ANALISI SPECIFICHE, GLI INTERVENTI DEVONO MANTENERE LO SCHEMA STATICO E LA RIGIDEZZA DEL SISTEMA ORIGINALE PER EVITARE L'INCREMENTO DI SOLLECITAZIONI E IL RISCHIO DI COLLASSO DELLA STRUTTURA

TIPOLOGIE DI COLLEGAMENTO

- ➔ • Collegamento tra pilastro e pavimento industriale
- ➔ • Rinforzo dei pilastri alla base
- ➔ • Collegamento orizzontale in sommità' dei pilastri
- ➔ • Collegamento tra pilastri e travi
- ➔ • Collegamento di elementi in copertura
- ➔ • Ritenute dei pannelli di facciata
- ➔ • Controventamento nel piano di copertura

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

PROBLEMI IN COPERTURA



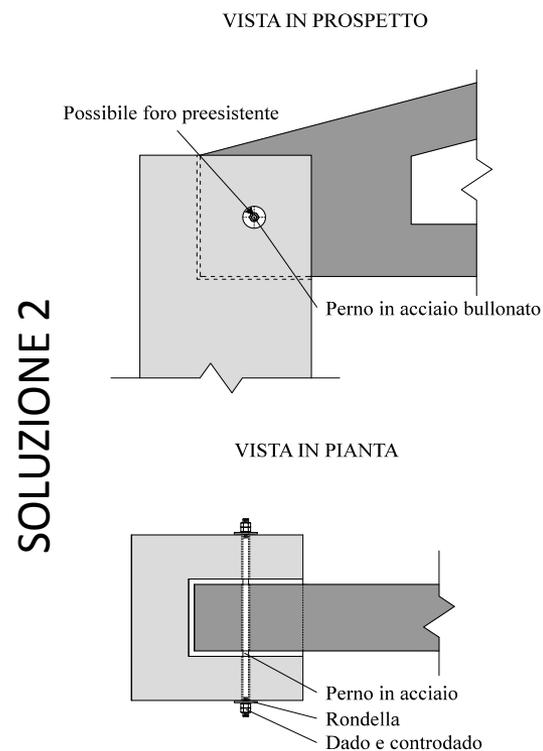
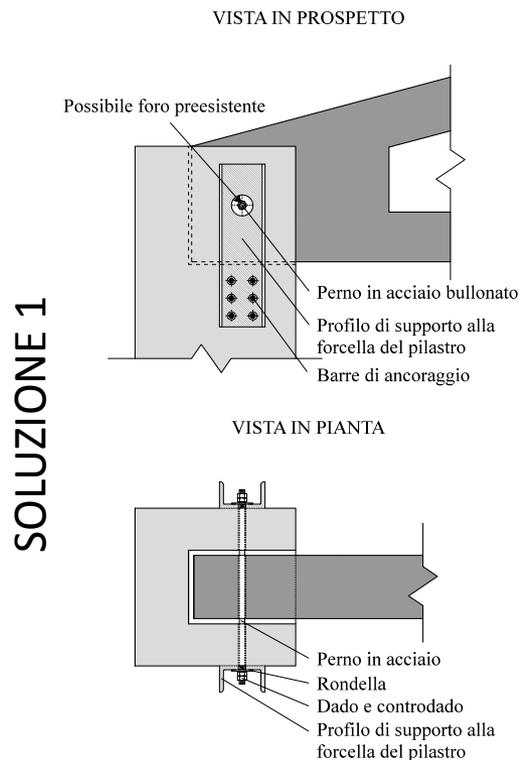
**MASSA PREVALENTEMENTE
CONCENTRATA IN COPERTURA**



**COLLEGAMENTI NON PROGETTATI
PER SOPPORTARE LE AZIONI
ORIZZONTALI**

- Miglioramento del vincolo trave-pilastro per impedire la caduta della trave dal pilastro
- Sostituzione del perno esistente nel caso in cui esso non sia sufficiente
- Inserimento di un vincolo nel caso in cui la trave fosse semplicemente appoggiata

COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO MEDIANTE PERNO IN ACCIAIO



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi

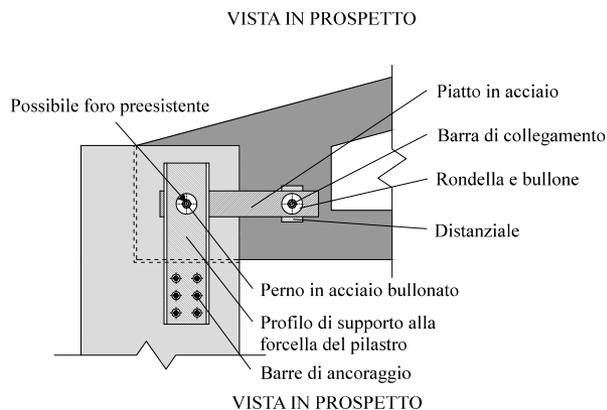
- Deve essere valutata con attenzione la resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave.

Dimensionamento

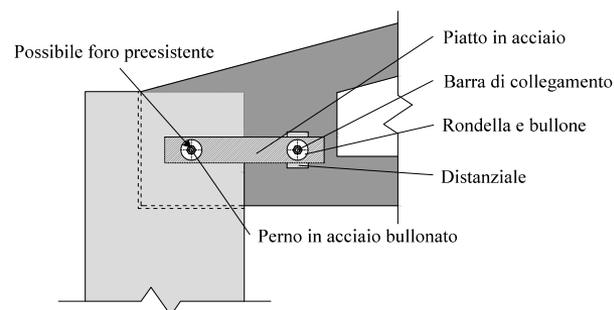
$$f_i = \frac{1}{2} w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO MEDIANTE PERNI E PIASTRE IN ACCIAIO

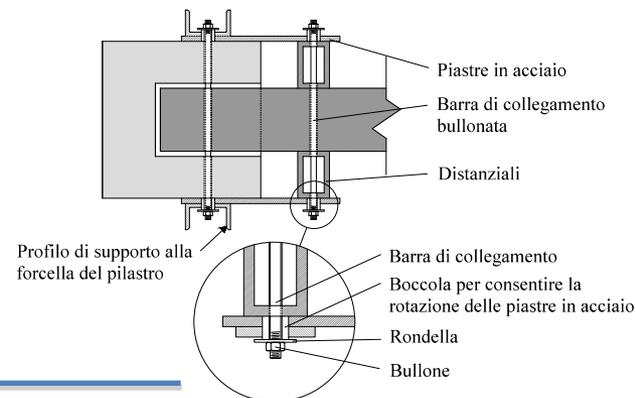
SOLUZIONE 1



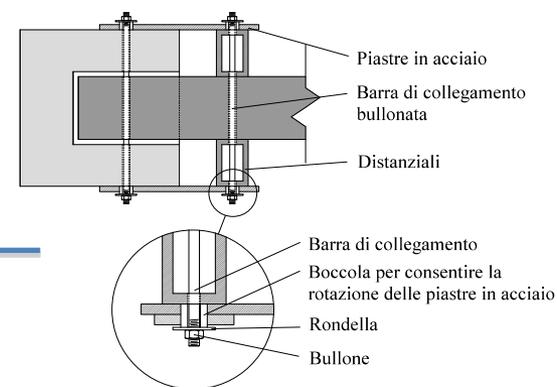
SOLUZIONE 2



VISTA IN PIANTA



VISTA IN PIANTA



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento

Svantaggi

- Deve essere valutata con attenzione la resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave.

Dimensionamento

$$f_i = \frac{1}{2} w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

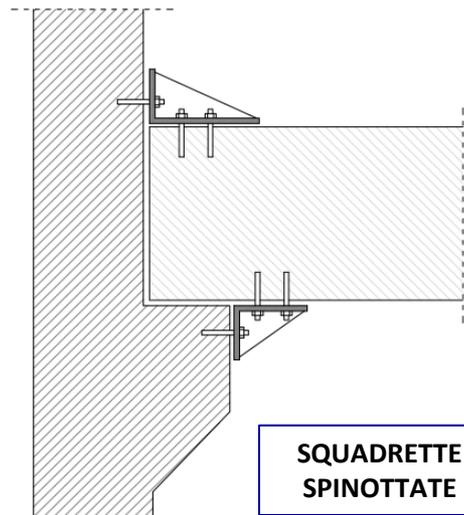
RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO



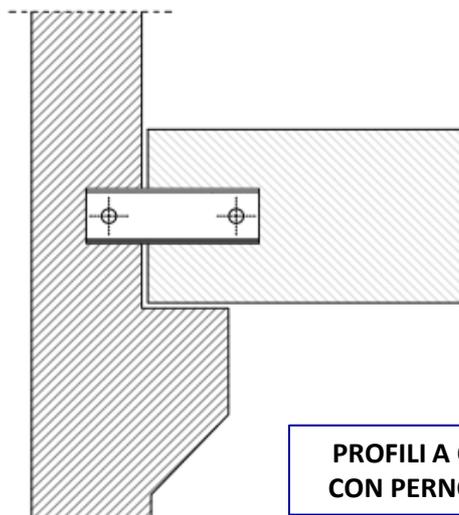
**COLLEGAMENTI NON PROGETTATI PER
SOPPORTARE LE AZIONI ORIZZONTALI**



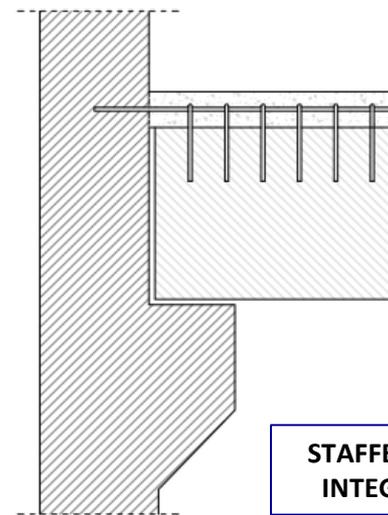
APPOGGI AMMALORATI



**SQUADRETTE
SPINOTTATE**

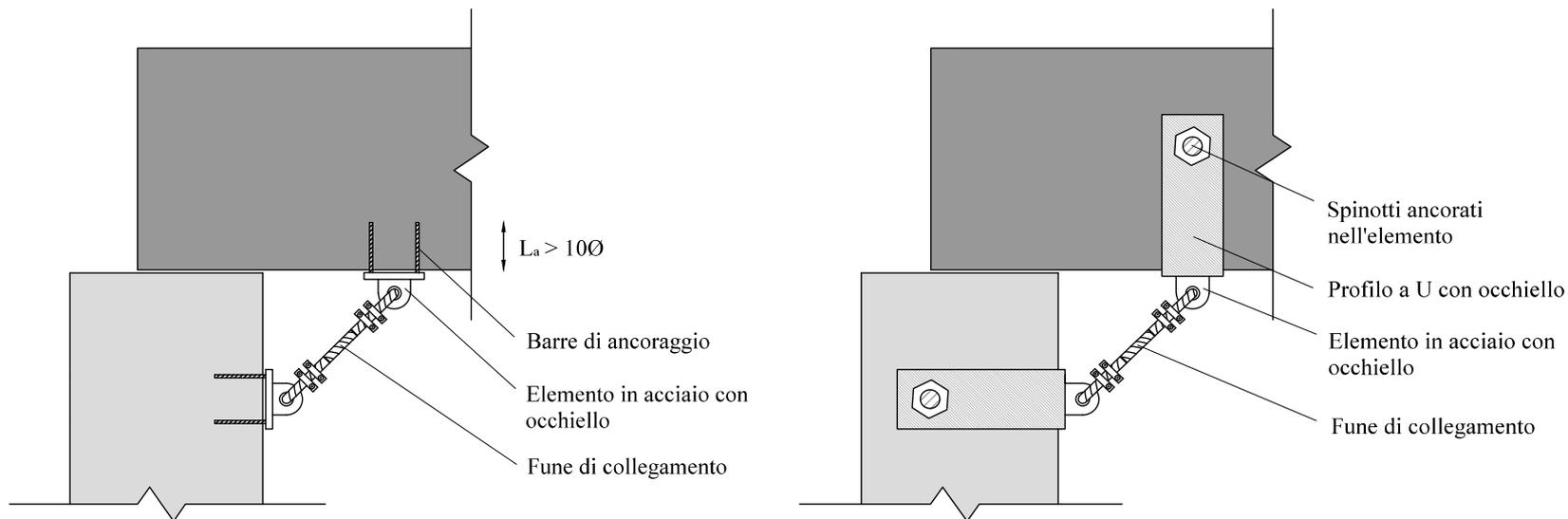


**PROFILI A C
CON PERNO**



**STAFFE E GETTO
INTEGRATIVO**

COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO MEDIANTE CAVI



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi

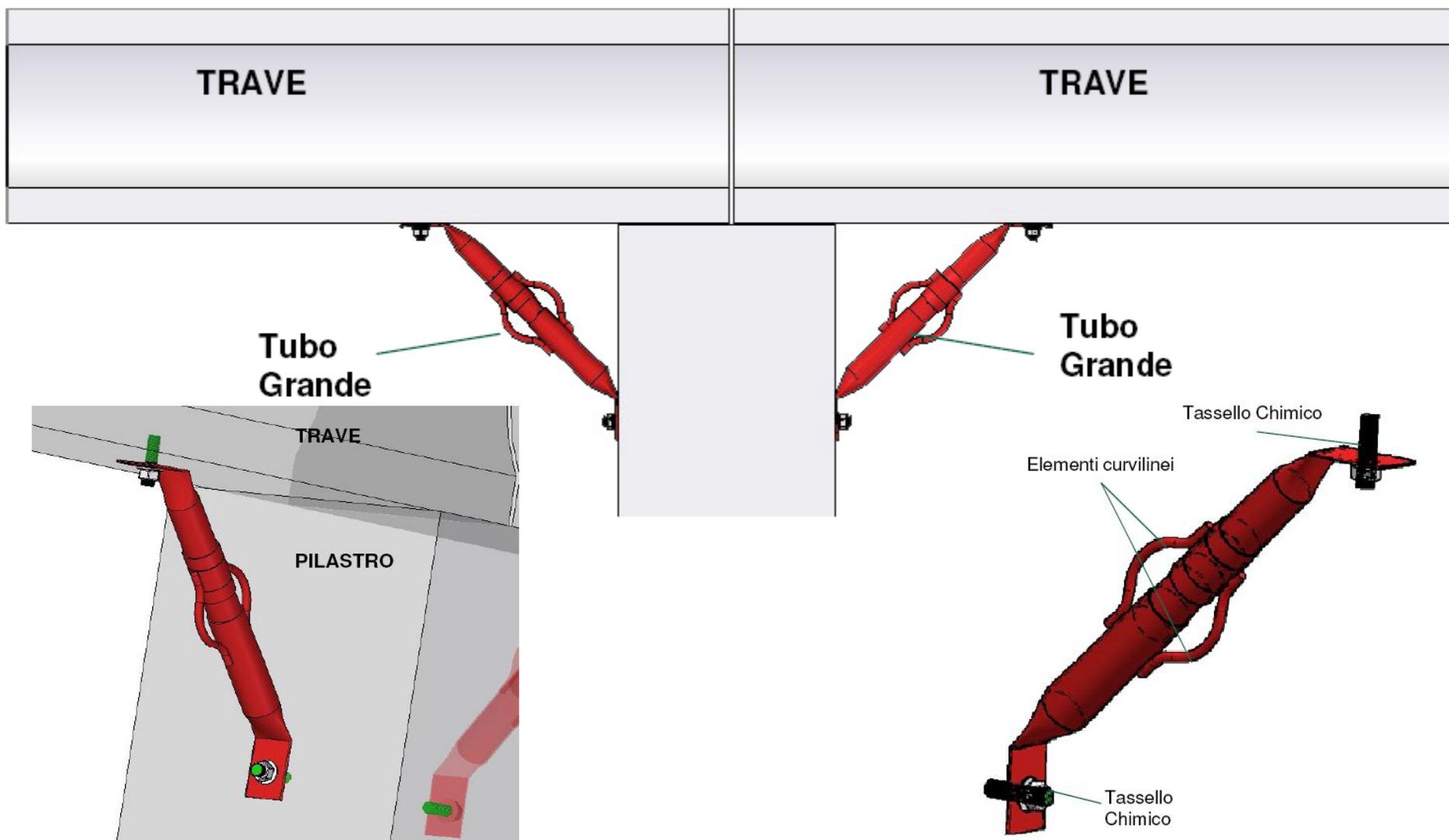
- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo. L'operatività va valutata con attenzione. Prima dell'installazione, va eseguito un accurato rilievo degli elementi.

Dimensionamento

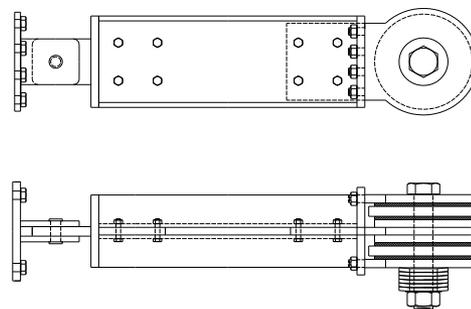
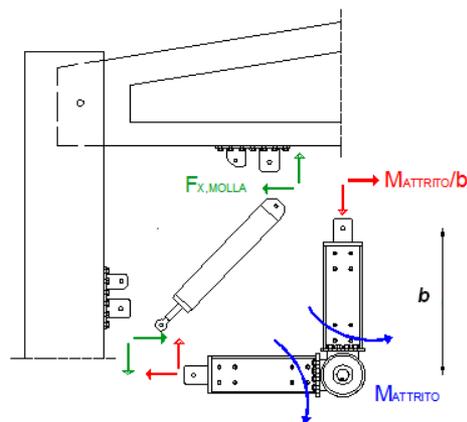
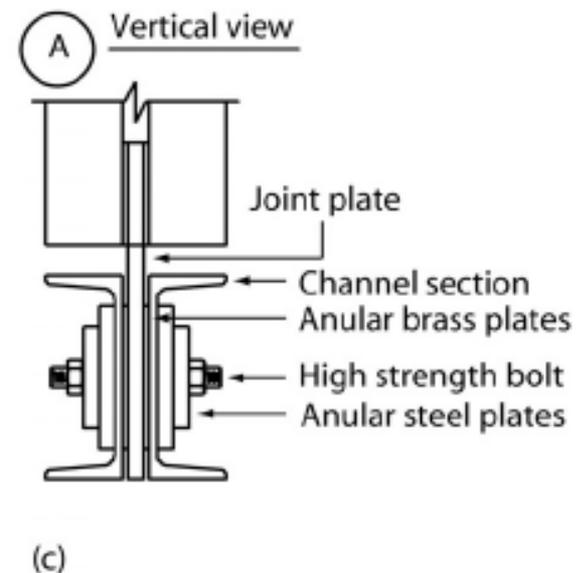
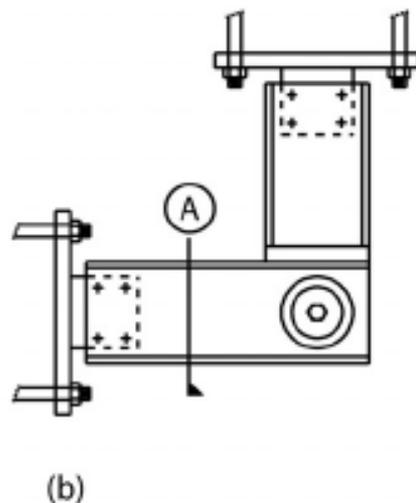
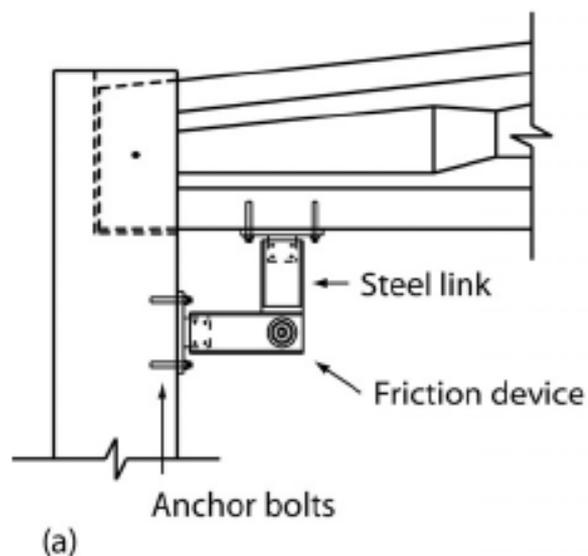
- Dimensionare la lunghezza della fune considerandone una capacità deformativa totale pari al 2% della sua lunghezza
- Dimensionare gli elementi dotati di occhiello con un fattore di sovraresistenza pari a 1.25

$$f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

COLLEGAMENTO MEDIANTE ELEMENTI LINEARI DISSIPATIVI



AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: DISSIPATORE AD ATTRITO



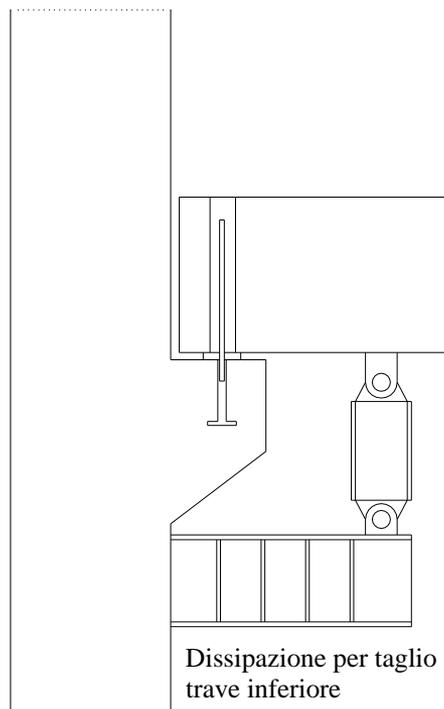
Belleri et. Al. (2010)

VANTAGGI

- Semplicità;
- Sostituibilità;
- Possibilità di aggiungere un elemento di ricentraggio nella diagonale;

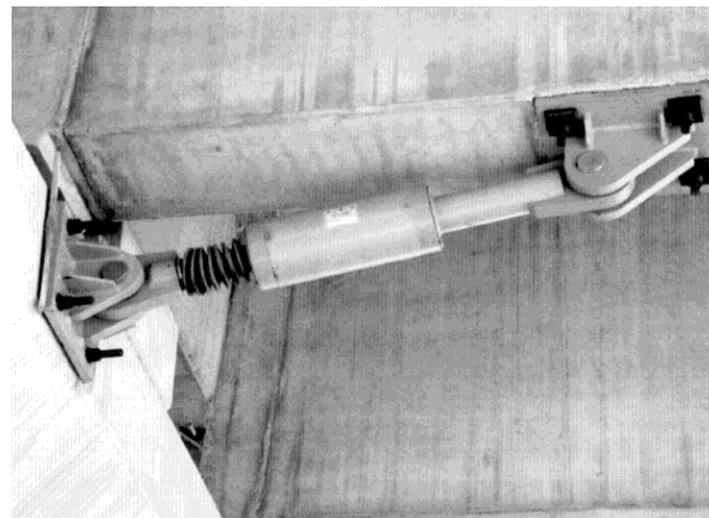
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: DISSIPATORE AD ATTRITO

SISTEMA DI DISSIPAZIONE A TAGLIO



- Dispositivi attivati dallo spostamento;

SISTEMA DI SMORZAMENTO VISCOSO



- Dispositivi attivati dalla velocità relativa tra due punti;
- La risposta forza-spostamento dipende solitamente dalla frequenza del moto;
- le forze generate nelle strutture che li ospitano sono usualmente fuori fase rispetto alle forze interne risultanti dall'azione dell'evento sismico;



RINFORZO CONNESSIONE TRAVE - TEGOLO

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

PROBLEMI DI PERDITA DELL'APPOGGIO

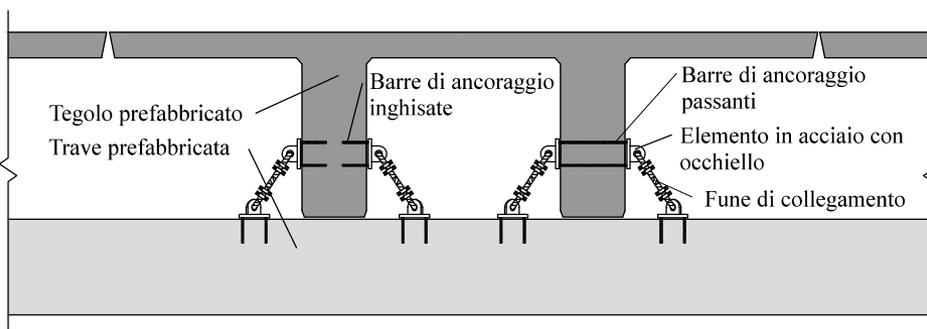


**GLI ELEMENTI NON SONO IN
GRADO DI SOSTENERE GLI
SPOSTAMENTI IMPOSTI DAL SISMA**

- 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

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO MEDIANTE CAVETTI ANCORATI SUI LATI DELLE GAMBE DEI TEGOLI

VISTA IN PROSPETTO



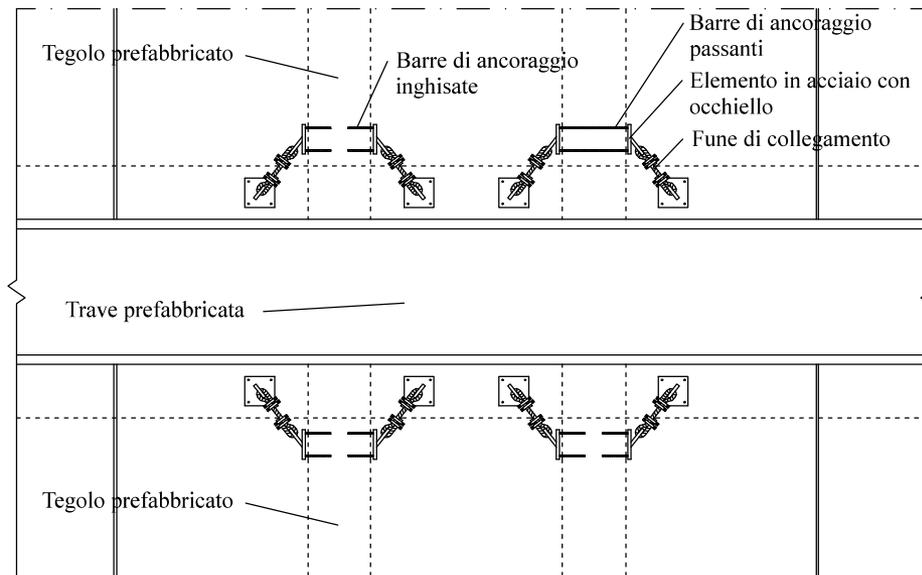
Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi

- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo.
- L'operatività va valutata con attenzione. Prima dell'installazione, va eseguito un accurato rilievo degli elementi.

VISTA IN PIANTA

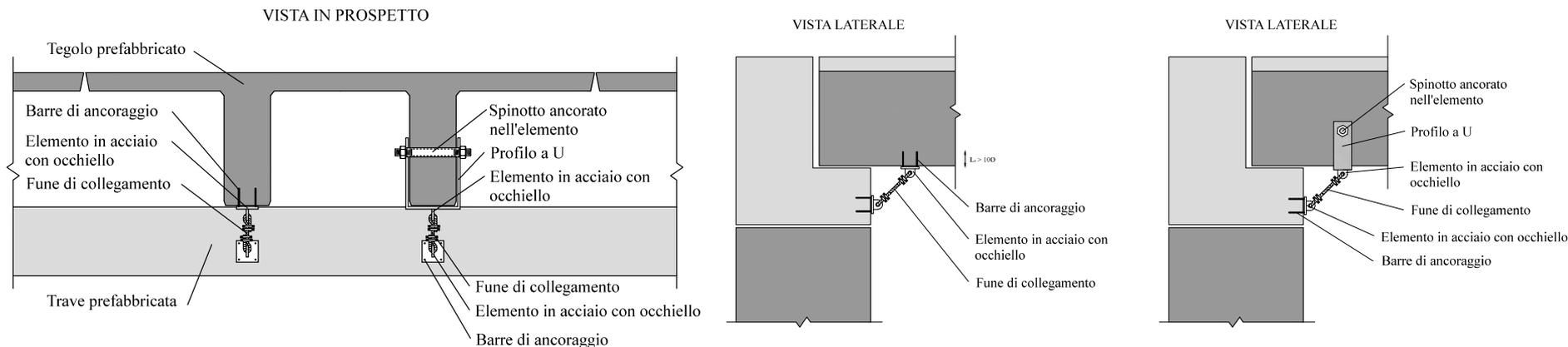


Dimensionamento

- Dimensionare la lunghezza della fune considerandone una capacità deformativa totale pari al 2% della sua lunghezza
- Dimensionare gli elementi dotati di occhiello con un fattore di sovraresistenza pari a 1.25

$$f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO MEDIANTE CAVETTI ANCORATI AL DI SOTTO DELLE GAMBE DEI TEGOLI



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi

- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo. L'operatività va valutata con attenzione. Prima dell'installazione, va eseguito un accurato rilievo degli elementi.

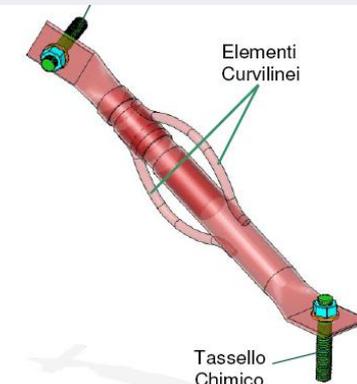
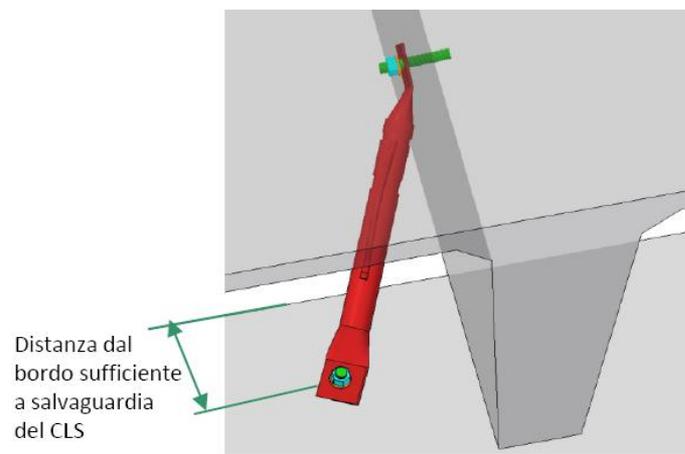
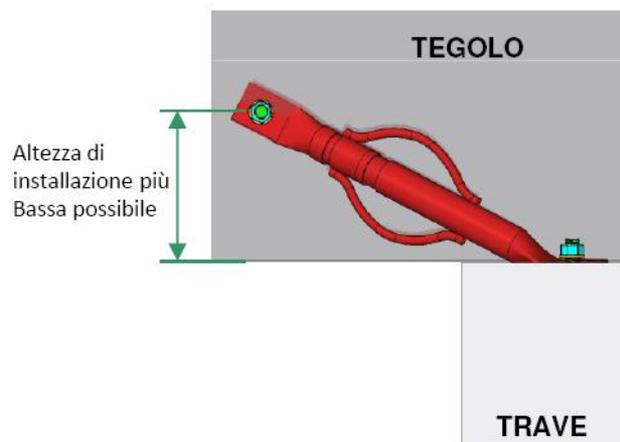
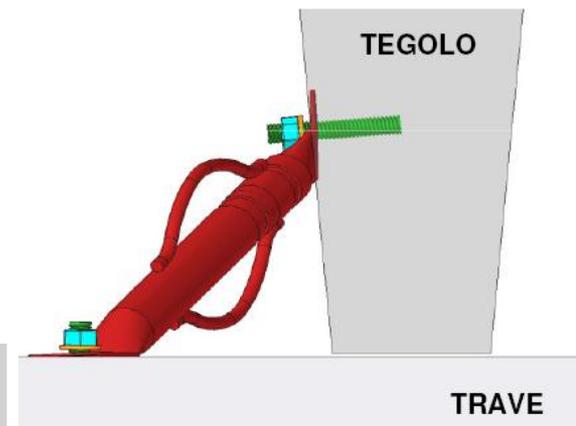
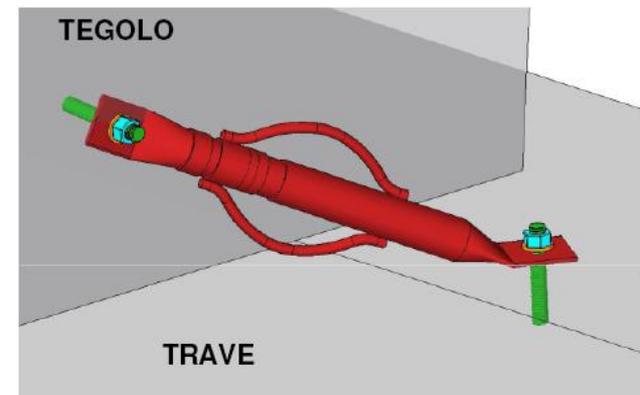
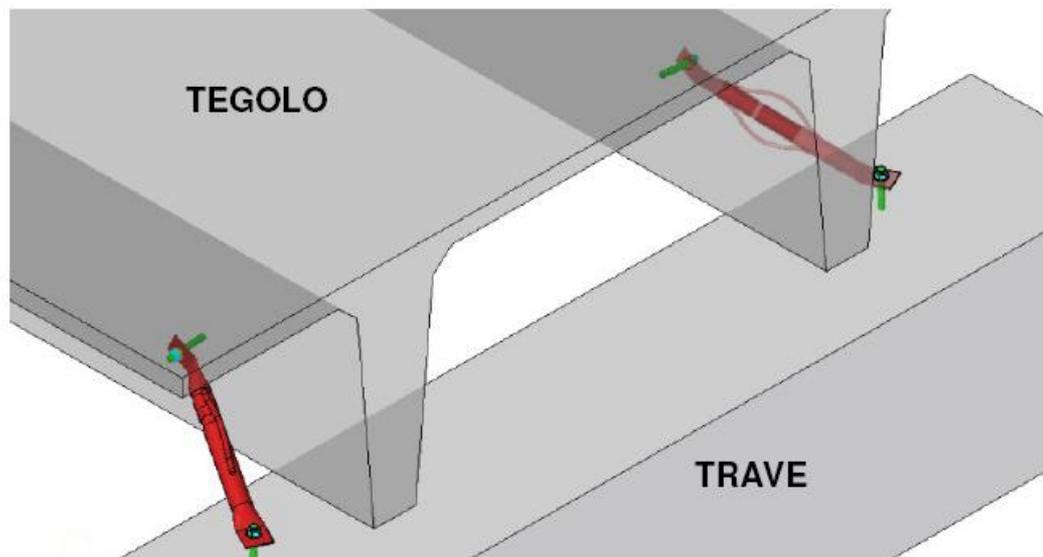
Dimensionamento

- Dimensionare la lunghezza della fune considerandone una capacità deformativa totale pari al 2% della sua lunghezza
- Dimensionare gli elementi dotati di occhiello con un fattore di sovraresistenza pari a 1.25

$$f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI



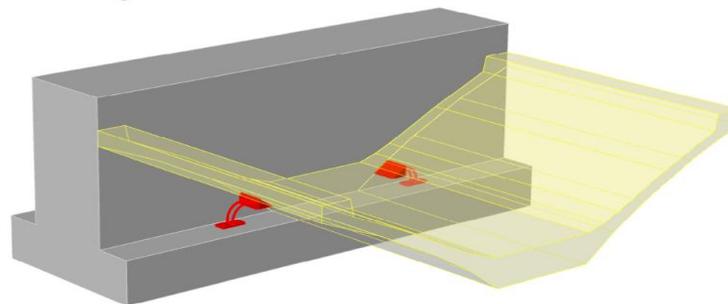
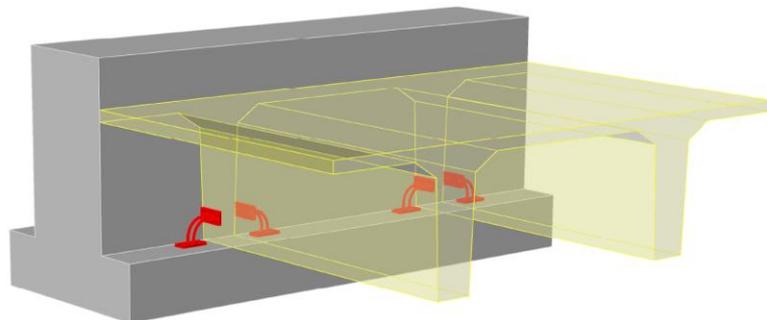
COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE

DISSIPATORE METALLICO

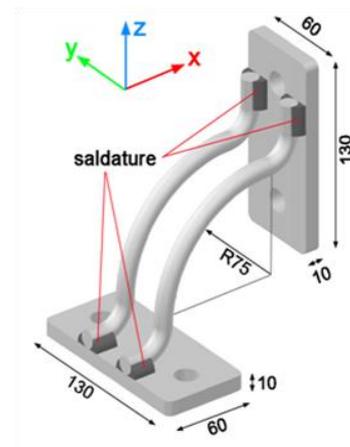
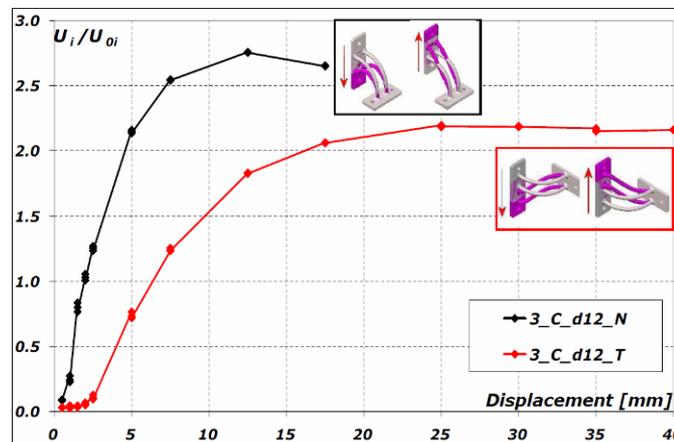
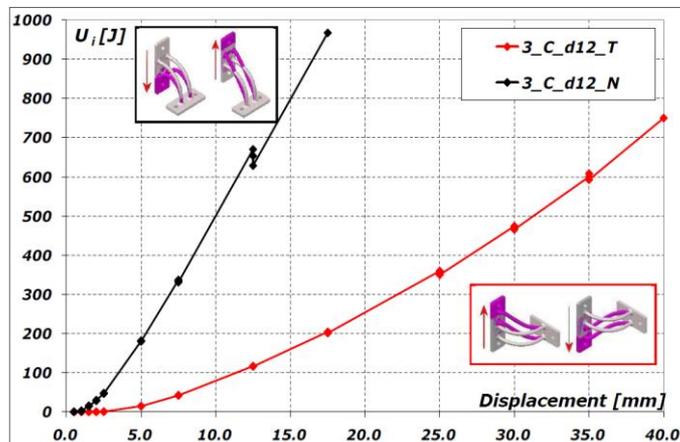
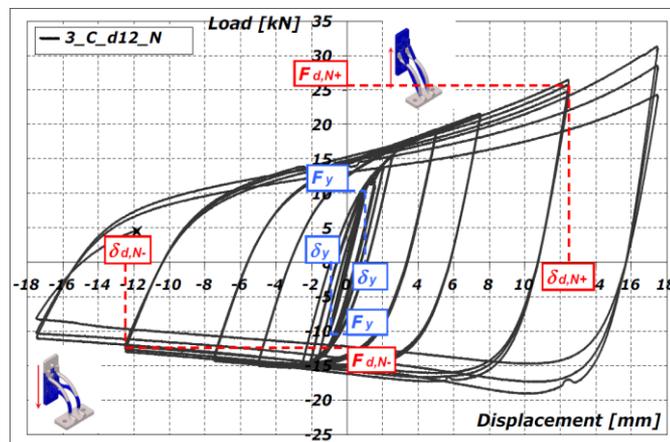
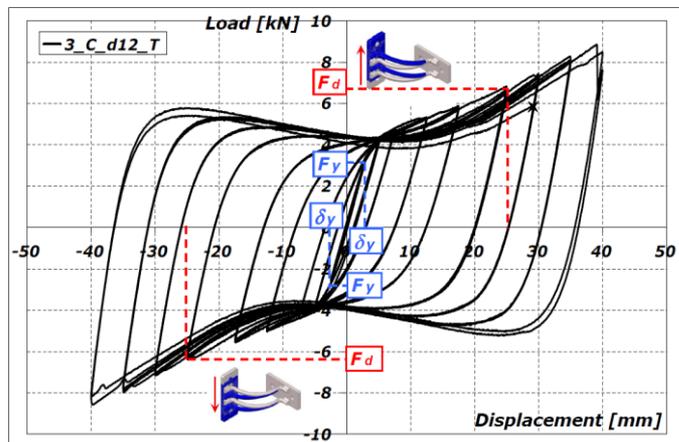


la plasticizzazione degli elementi curvilinei garantisce la possibilità di sviluppare elevate deformazioni tra gli elementi collegati, limitando allo stesso tempo l'azione trasmessa dal tegolo alla trave in caso di un evento sismico



COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE

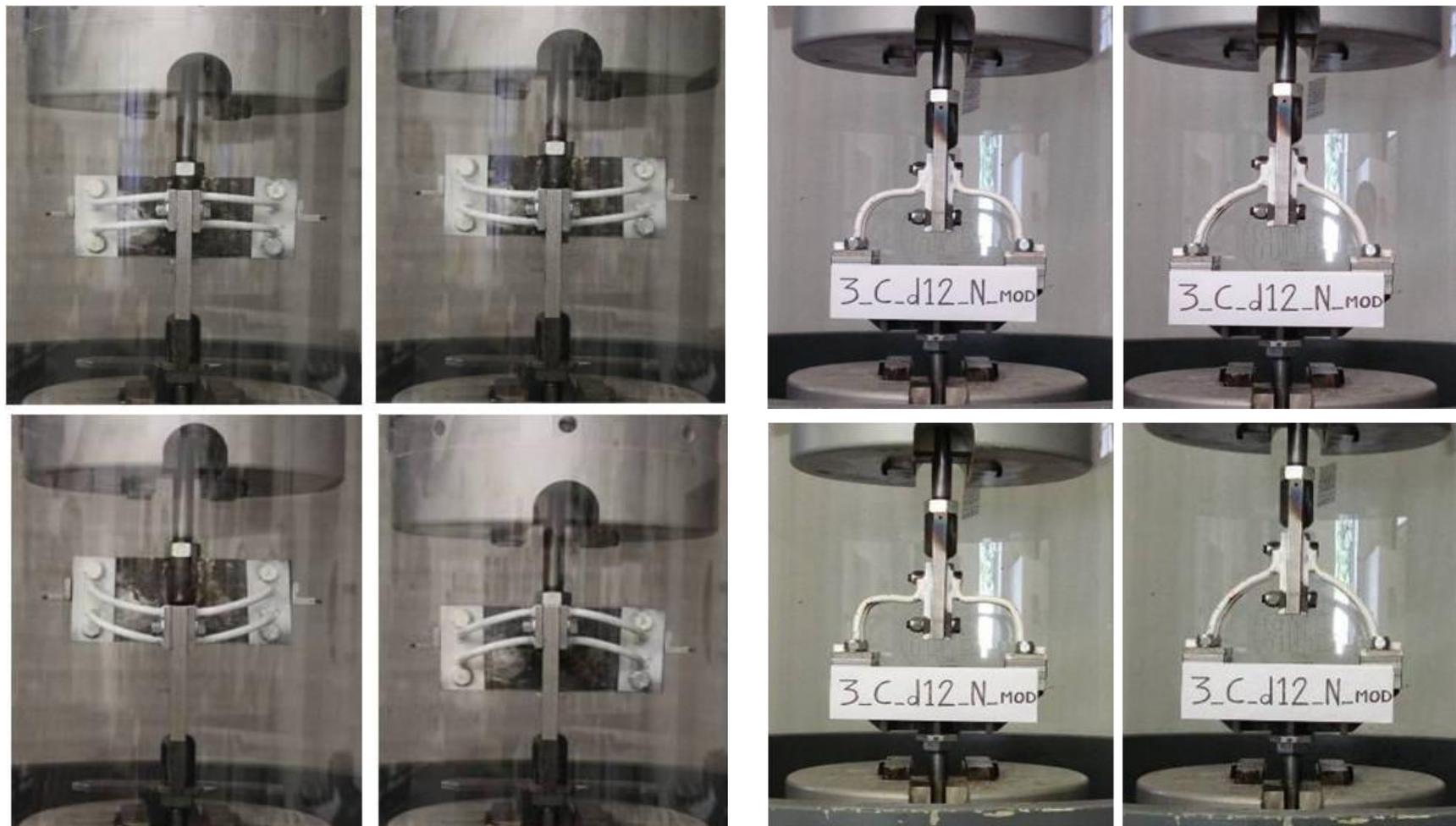


Energia dissipata assoluta

Energia dissipata adimensionalizzata

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

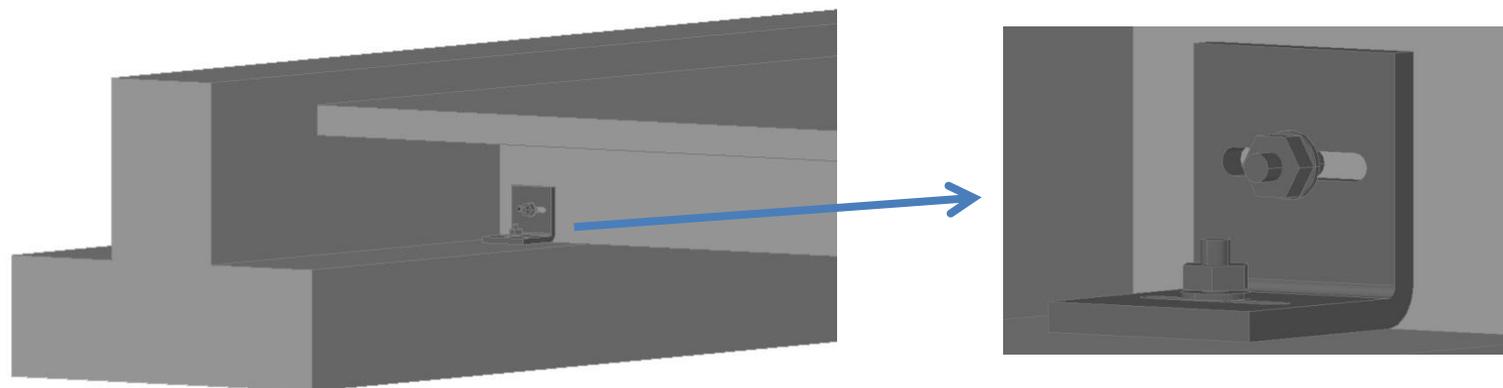
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: SQUADRETTE DEFORMABILI

DISSIPATORE METALLICO



SQUADRETTE DEFORMABILI/VITI DI CONNESSIONE RIGIDE



DANNO CONCENTRATO NELLE SQUADRETTE



SOSTITUZIONE DELLE SOLE SQUADRETTE A
SEGUITO DI DANNEGGIAMENTI
PROVOCATI DAL SISMA



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

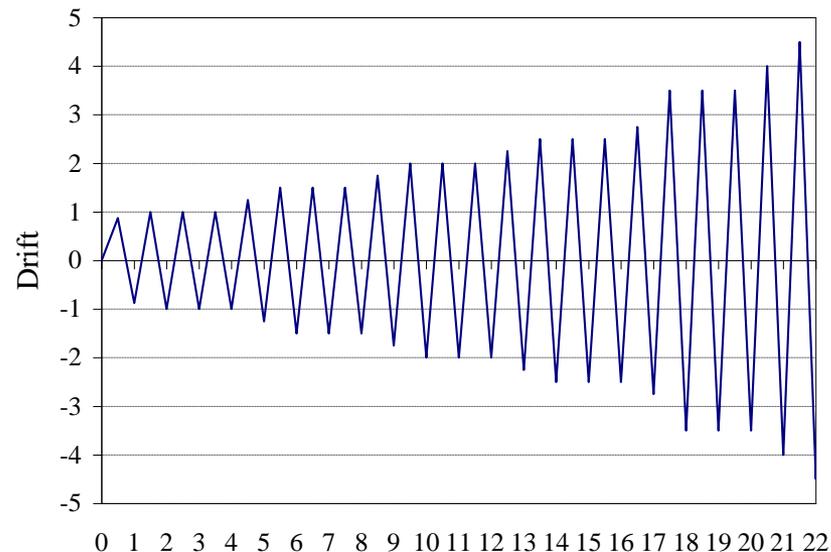
PROVE SPERIMENTALI: COMPORTAMENTO DELLE CONNESSIONI

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



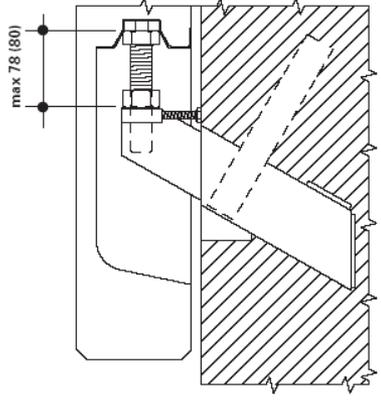
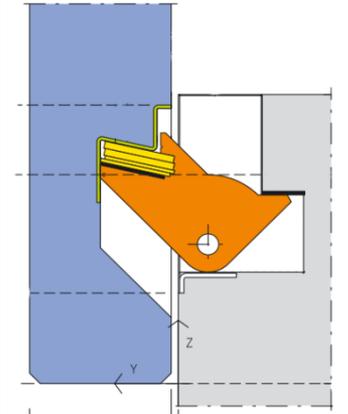
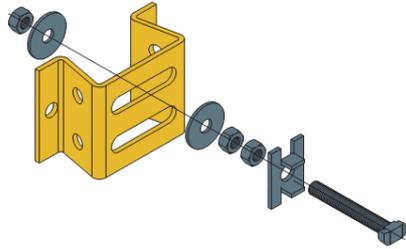
Storia di carico

RINFORZO DEL 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);

Connessione inferiore – Tip. 1	Connessione inferiore – Tip. 2
	
Connessione superiore – Lato colonna	Connessione superiore – Lato pannello
	

Elementi costituenti la connessione pilastro-pannello orizzontale

RINFORZO DEL 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

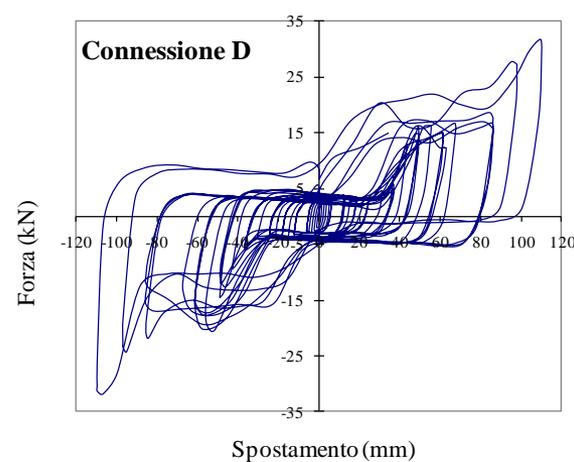
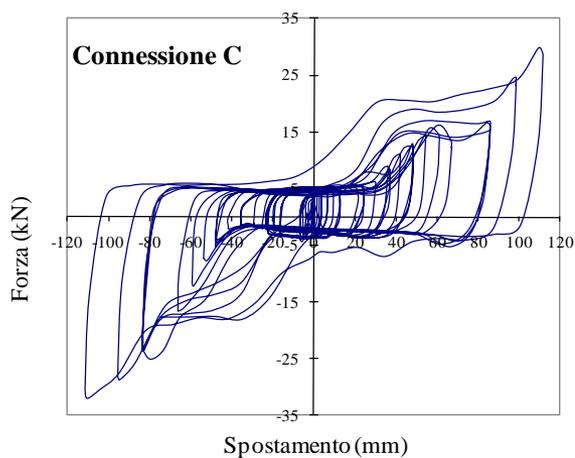
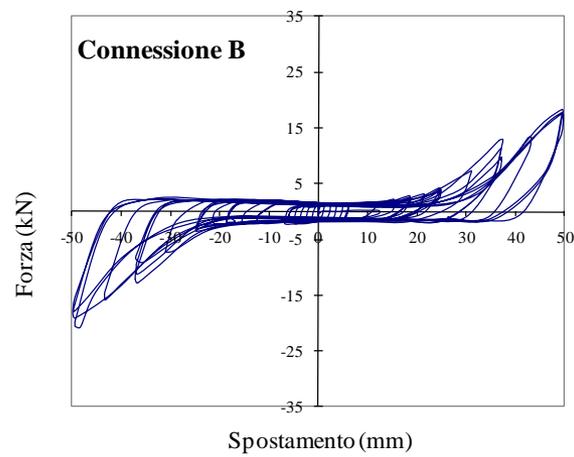
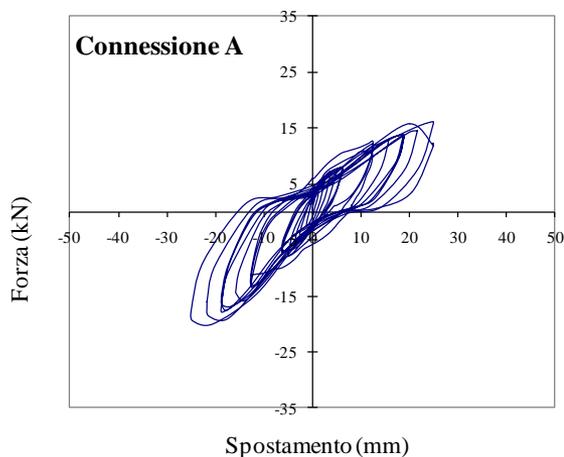


Tipologia 2: Connessioni C e D



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE

Connessione A



Connessione B



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PROVA SPERIMENTALE: RISULTATI DELLE PROVE

Connessione C



Connessione D



RINFORZO DEL 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;

RINFORZO DEL 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**

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

PRINCIPALI DANNI

- INSUFFICIENTE CAPACITA' DI SPOSTAMENTO E DI DUTTILITA'
- INSUFFICIENTE RESISTENZA DELL' ANCORAGGIO
- ELEMENTI NON INTERFERENTI CON LA STRUTTURA



COLLASSO DELLE CONNESSIONI
PANNELLO-STRUTTURA



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

**SOSTITUZIONE E/O
RINFORZO CONNESSIONI**



- Incremento di duttilità
- Incremento della capacità di spostamento



**ELEMENTI
"SECONDARI"**



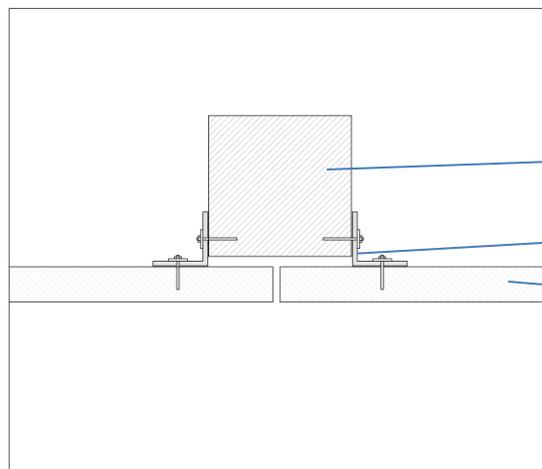
- RESISTENZA NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI



- CAPACITA' DI ASSORBIRE LE DEFORMAZIONI IMPOSTE DAL SISMA

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

RINFORZO MEDIANTE CONNESSIONI INTERNE



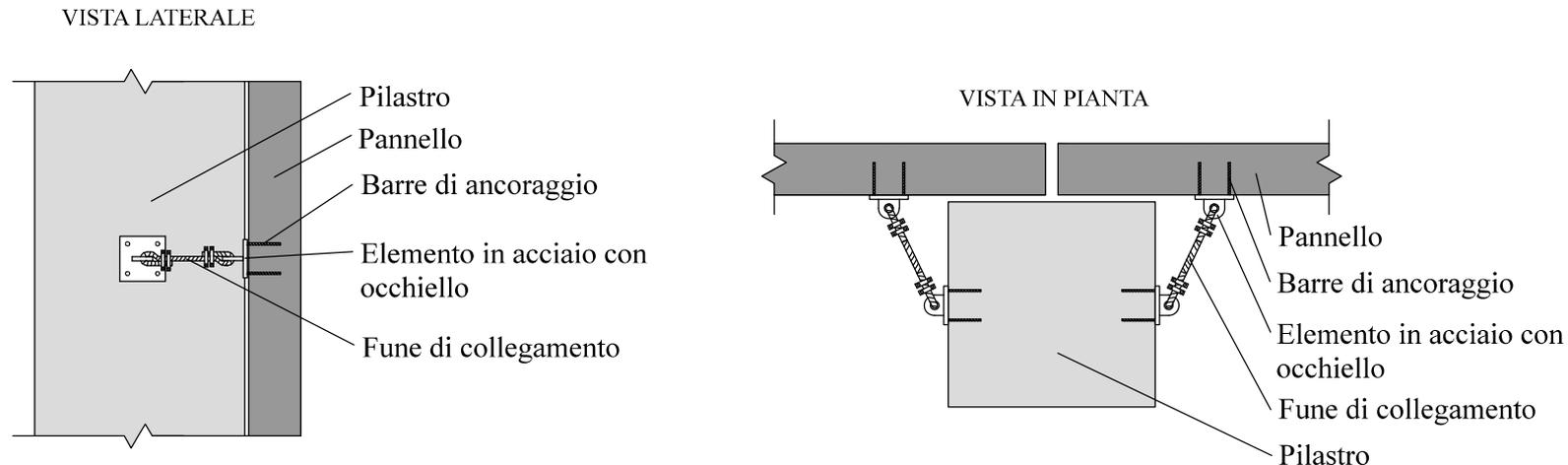
- Pilastro
- Connessione pannello-pilastro
- Pannello

- Coppia di serraggio controllata
- Adeguata lunghezza del foro asolato



**MECCANISMO DUTTILE
CAPACITA' DI SPOSTAMENTO
RESISTENZA NEI CONFRONTI
DEI CARICHI VERTICALI**

COLLEGAMENTO DI PANNELLI ORIZZONTALI MEDIANTE CAVETTI



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi

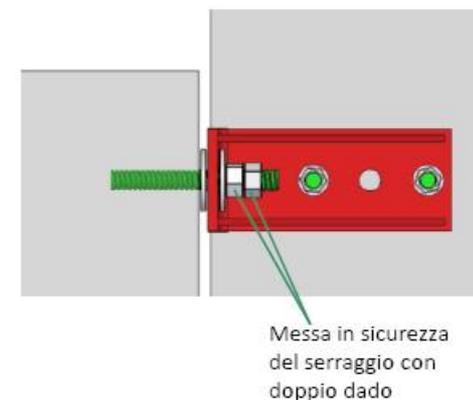
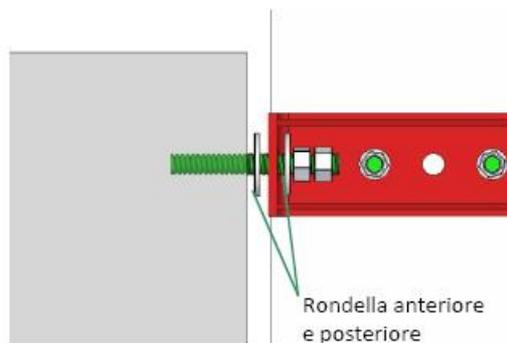
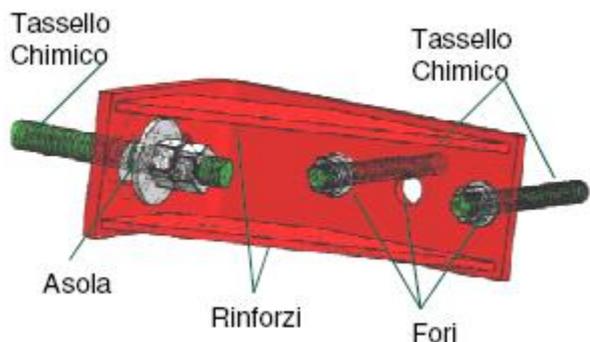
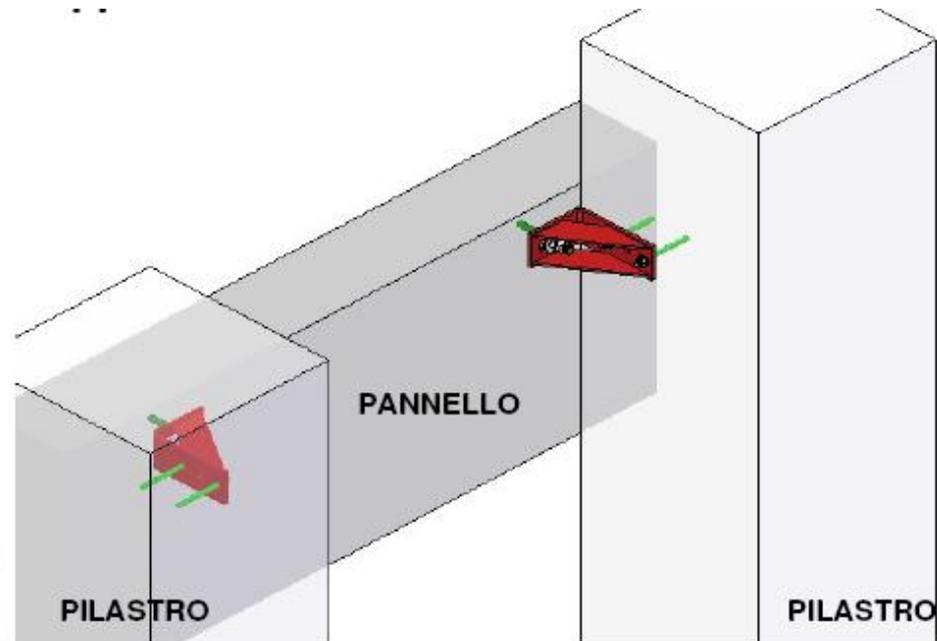
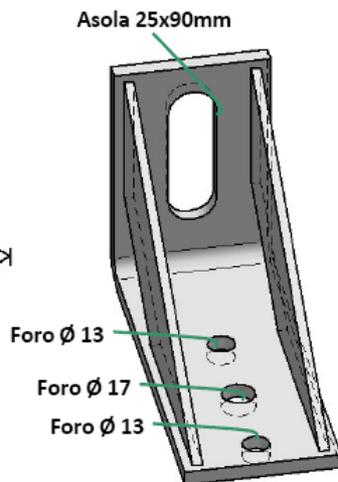
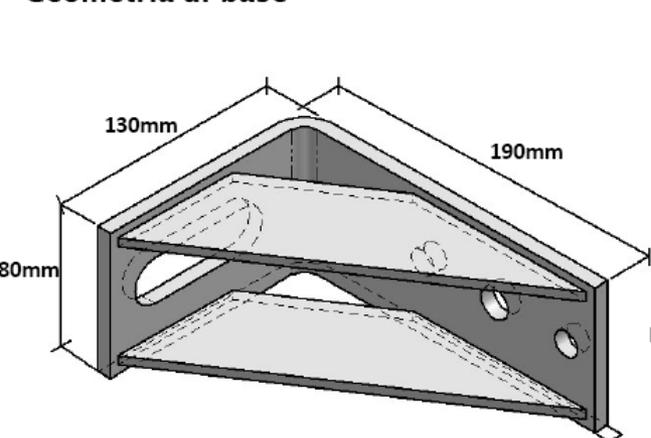
- Può essere effettuato solo se il supporto risulta integro. L'integrità del supporto può essere verificata controllando che le distanze verticali tra pannelli si siano mantenute invariate.
- Si deve prestare attenzione al posizionamento delle funi, per non introdurre un vincolo agli spostamenti nel piano del pannello

Dimensionamento

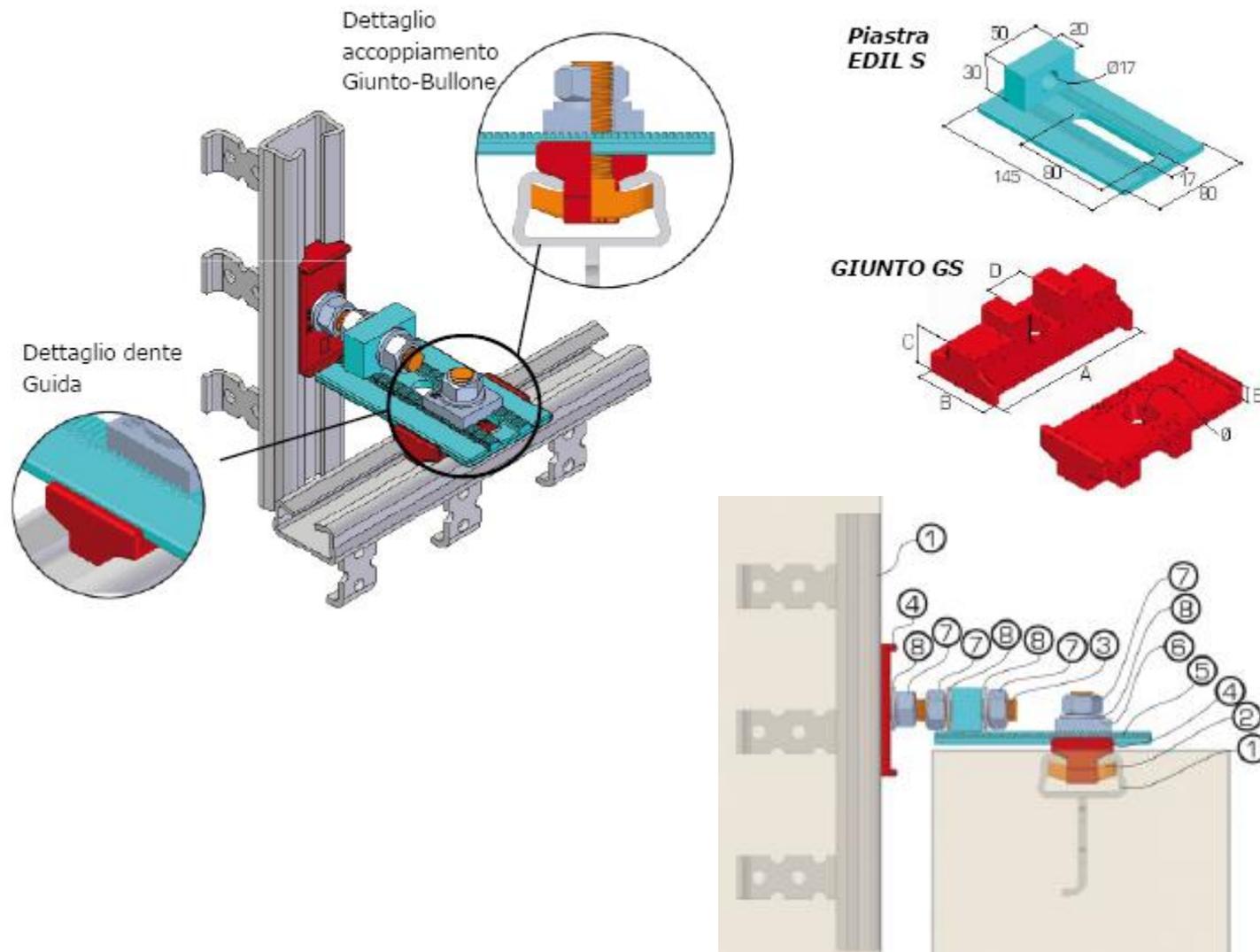
- $f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$ La forza f_i deve quindi essere suddivisa per il numero di elementi presenti sullo stesso pannello

COLLEGAMENTO DI PANNELLI ORIZZONTALI MEDIANTE SQUADRETTE IN ACCIAIO SCORREVOLI

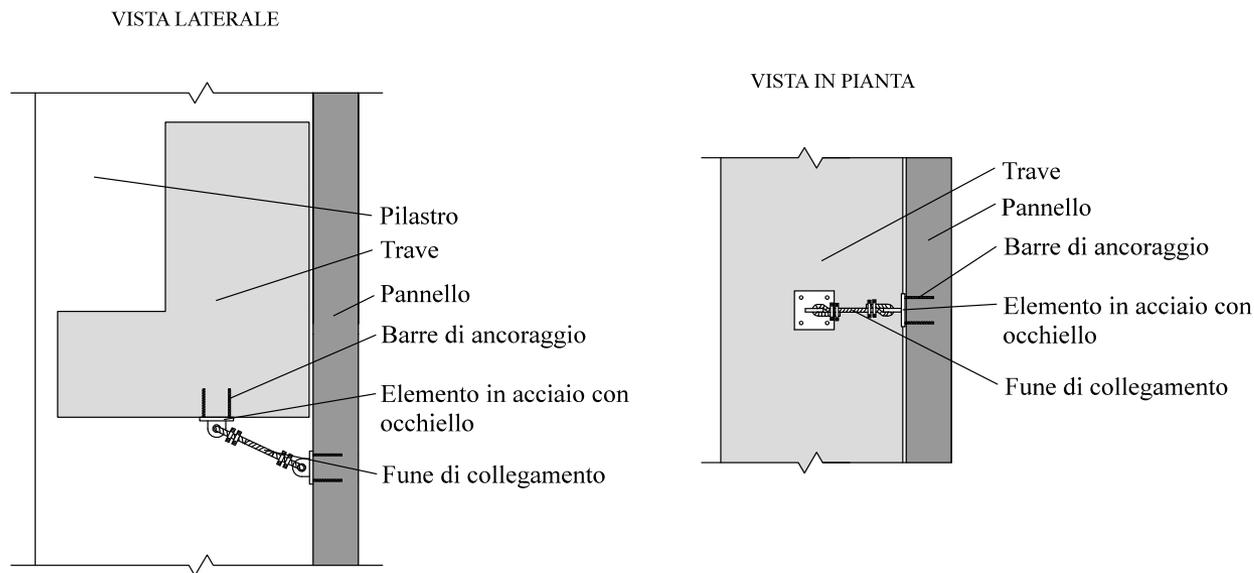
Geometria di base



COLLEGAMENTO DI PANNELLI ORIZZONTALI O VERTICALI MEDIANTE VINCOLI IN ACCIAIO SCORREVOLI



COLLEGAMENTO DI PANNELLI VERTICALI MEDIANTE CAVETTI



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

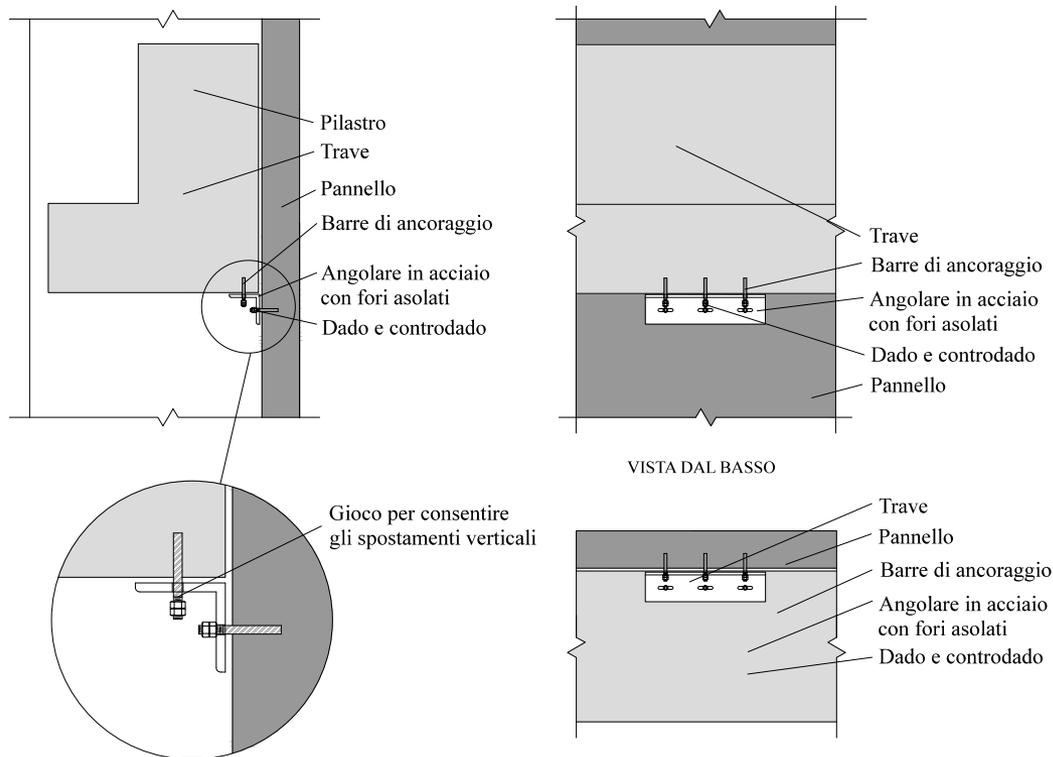
Svantaggi

- Se la fune di collegamento dovesse risultare troppo corta, potrebbe limitare gli spostamenti relativi tra pannello e trave o tegolo di supporto

Dimensionamento

- Si utilizza metà della massa del pannello per il dimensionamento della forza di progetto
- $f_i = w_i / 2 \cdot S_a(T_1) / g$ La forza f_i deve quindi essere suddivisa per il numero di elementi presenti sullo stesso pannello

COLLEGAMENTO DI PANNELLI VERTICALI MEDIANTE SQUADRETTE IN ACCIAIO SCORREVOLI



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

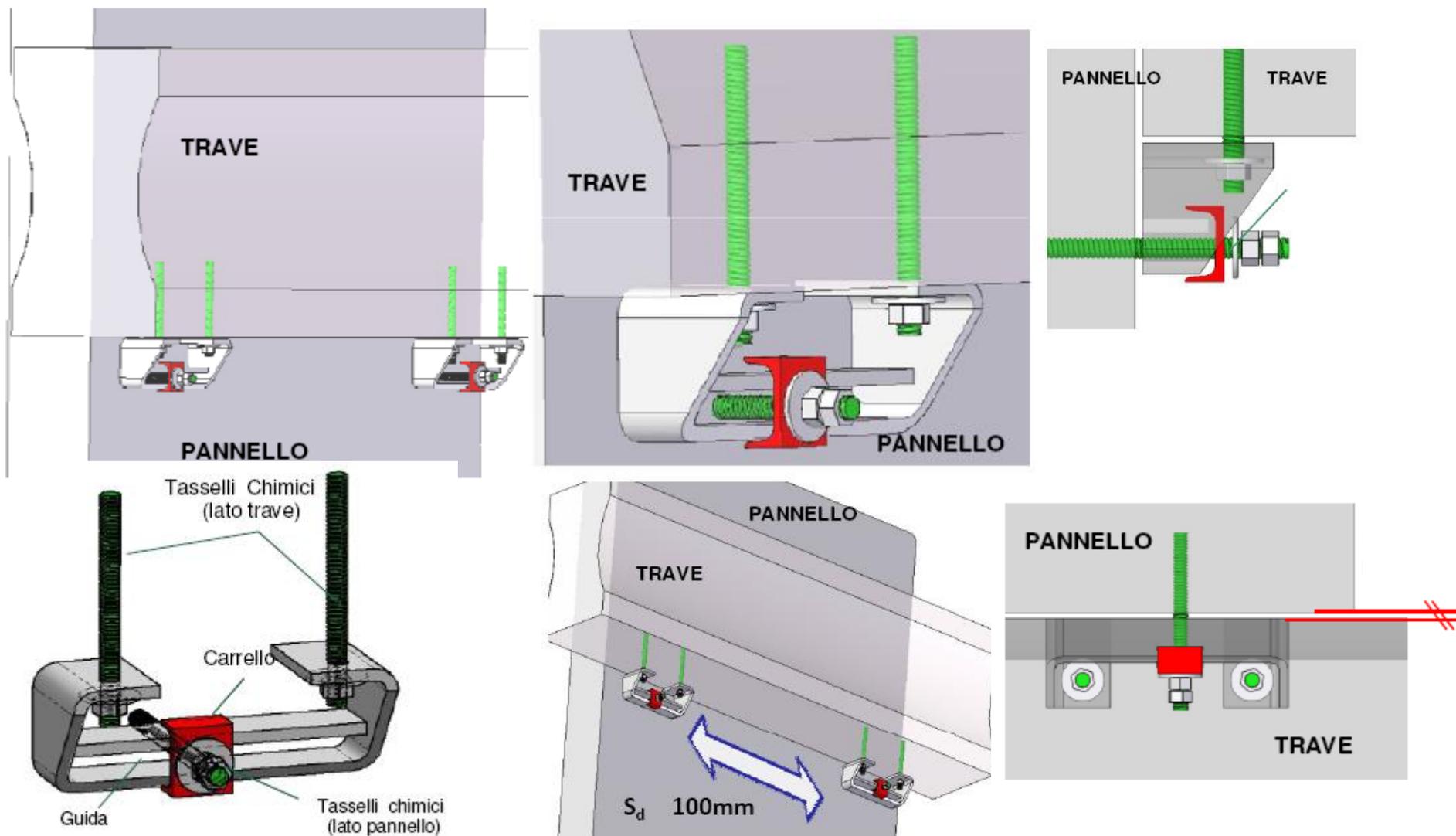
Svantaggi

- Data la presenza di fori asolati, le squadrette risultano piuttosto ampie, e di costo relativamente elevato

Dimensionamento

- Le asole dovrebbero avere lunghezza pari al doppio dello spostamento relativo previsto tra pannelli e elemento di supporto
- Si utilizza metà della massa del pannello per il dimensionamento della forza di progetto
- $f_i = w_i / 2 \cdot S_a(T_1) / g$ La forza f_i deve quindi essere suddivisa per il numero di elementi presenti sullo stesso pannello

COLLEGAMENTO DI PANNELLI VERTICALI MEDIANTE ELEMENTI IN ACCIAIO SCORREVOLI



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.
- **Zheng W., Oliva M. G. 2005.** *“A Practical Method to Estimate Elastic Deformation of Precast Pretopped Double-Tee Diaphragms”*, PCI Journal, March-April 2005, pp. 1-12.