

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PRATO

10 dicembre 2012

EDIFICI TOTALMENTE PREFABBRICATI **MODALITÀ DI INTERVENTO** **PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO**

PRATO ANTISISMA

PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI A DESTINAZIONE PRODUTTIVA DEL DISTRETTO PRATESE



Prof. Ing. Paolo Riva

Ing. Andrea Belleri

Ing. Mauro Torquati

Dipartimento di Ingegneria

Università degli Studi di Bergamo

paolo.riva@unibg.it

andrea.belleri@unibg.it

mauro.torquati@unibg.it



COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE ESISTENTI

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**

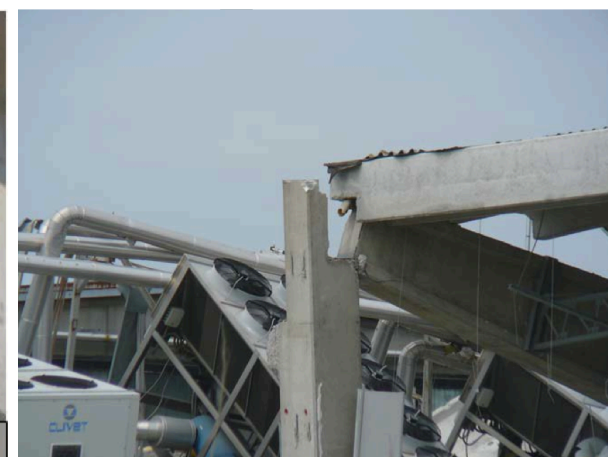
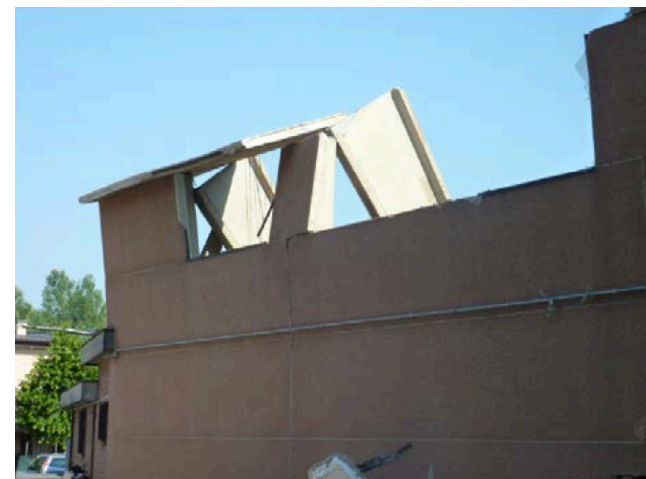
INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

PERDITA DI APPOGGIO



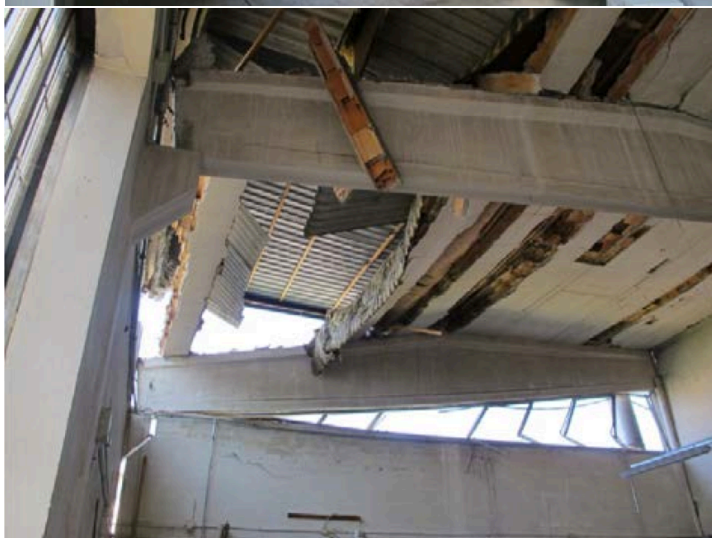
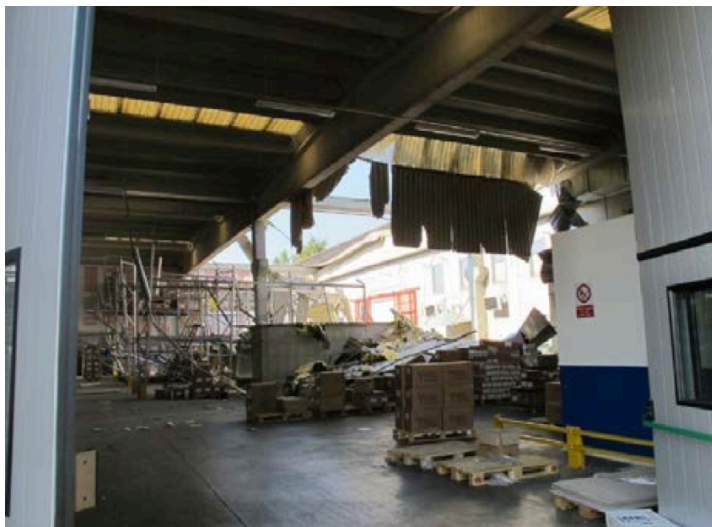
INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

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



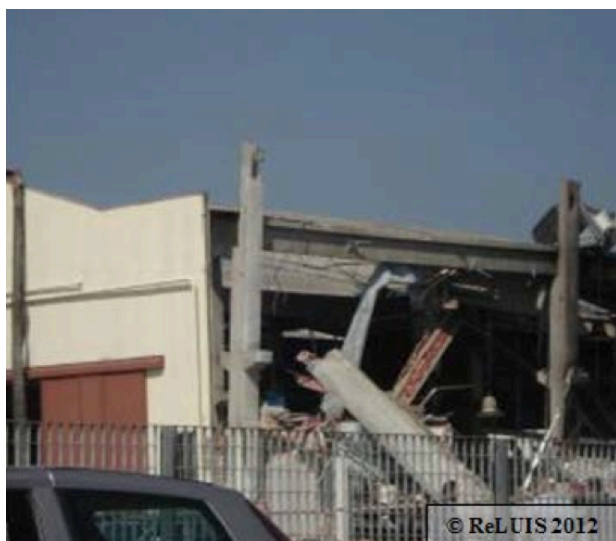
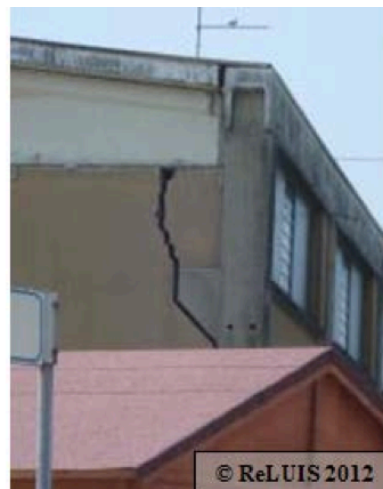
INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

COLLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA IN LATERIZIO



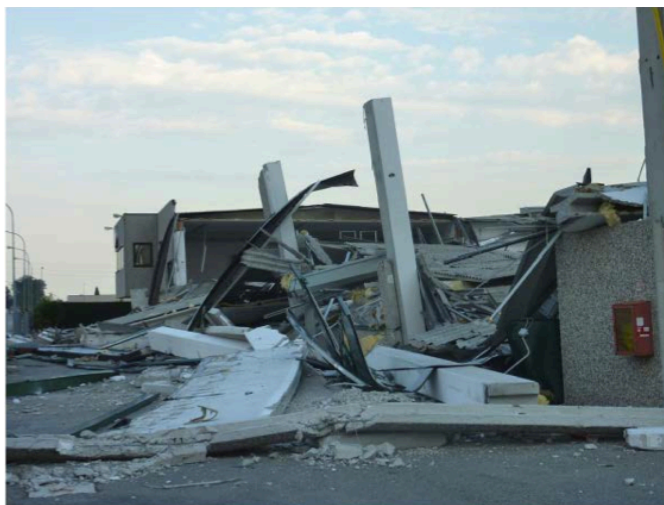
INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI



INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI AI PILASTRI

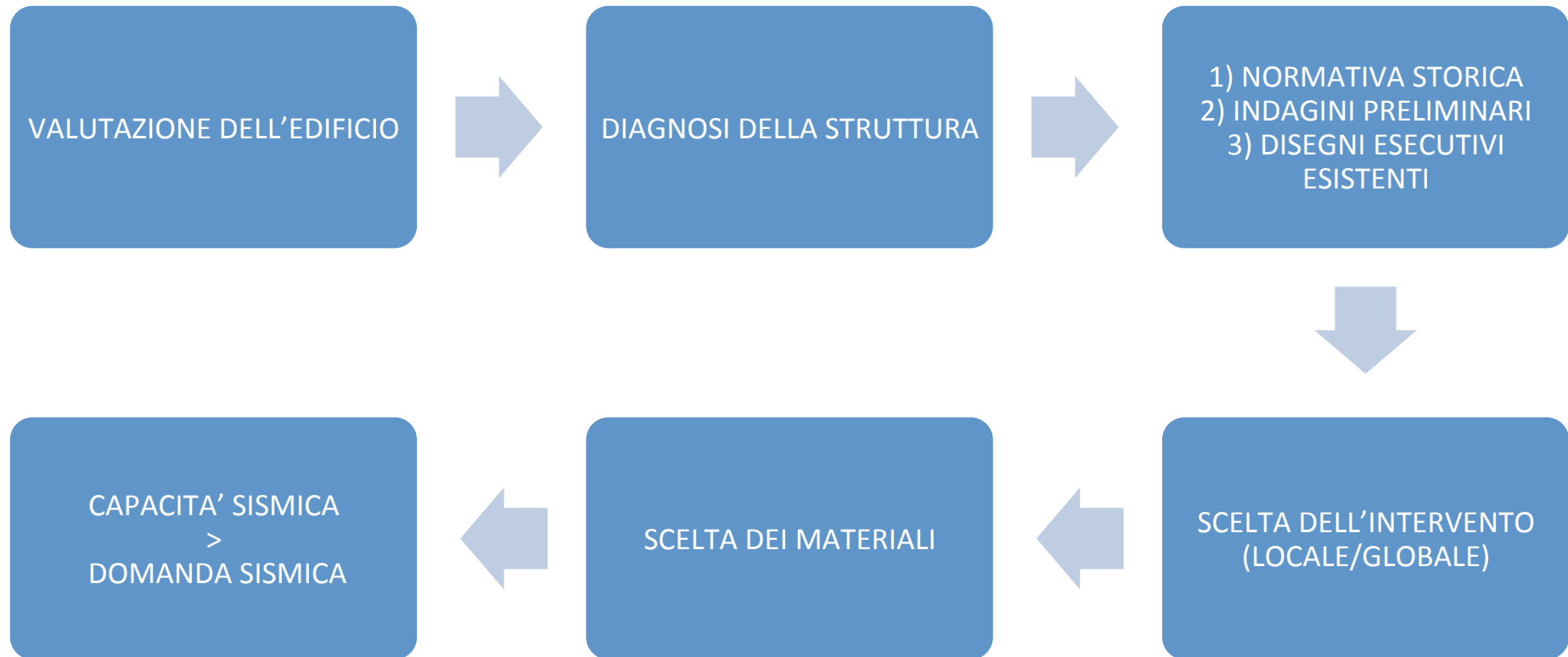


INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

DANNI ALLE SCAFFALATURE



INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

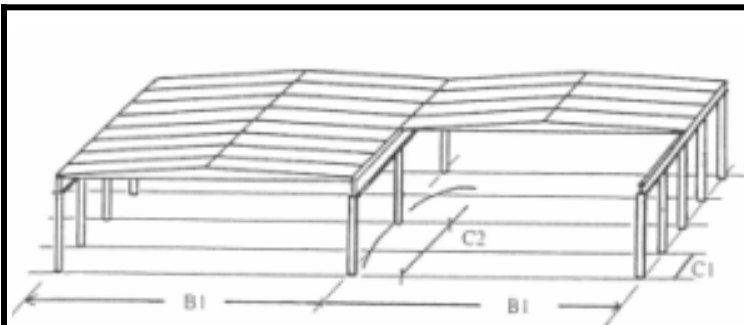


COMPORTAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE: LEZIONI DAL PASSATO

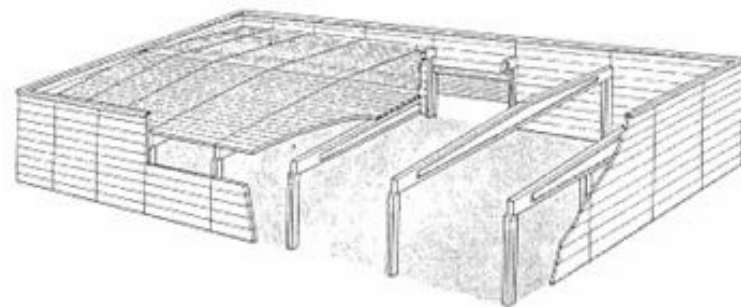
- Una struttura prefabbricata ben progettata può essere caratterizzata da **PRESTAZIONI SISMICHE POTENZIALMENTE ELEVATE**
- La principale causa di risposte sismiche inadeguate in edifici in c.a. gettati in opera è da ricercare nella **SCARSA CURA dei PARTICOLARI COSTRUTTIVI**:
 - carenza di armatura 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

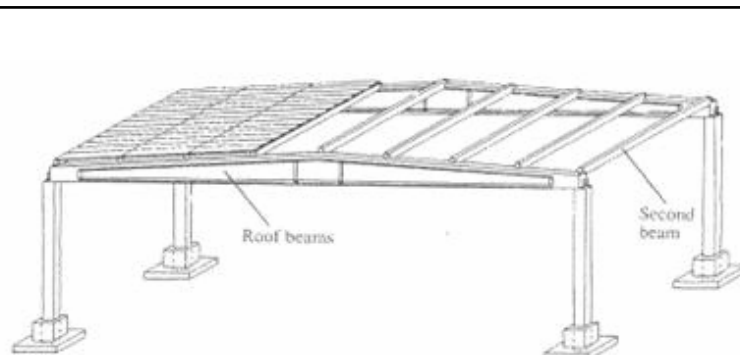
STRUTTURE MONOPIANO



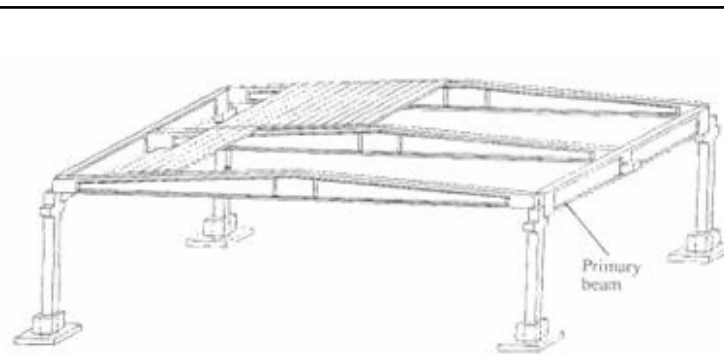
Schema di edificio monopiano con campate di grande luce e tegoli di copertura a doppia pendenza



Struttura monopiano con portali indipendenti supportanti copertura e facciata perimetrale



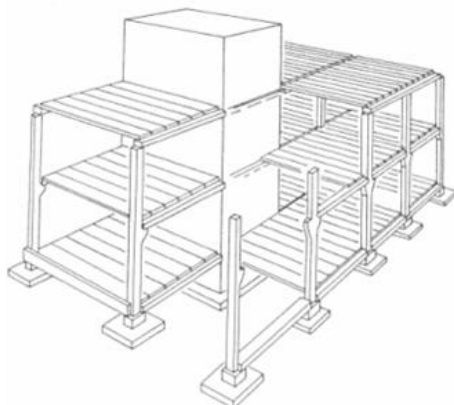
Schema alternativo per raggiungere una distanza tra i portali fino a 12 m



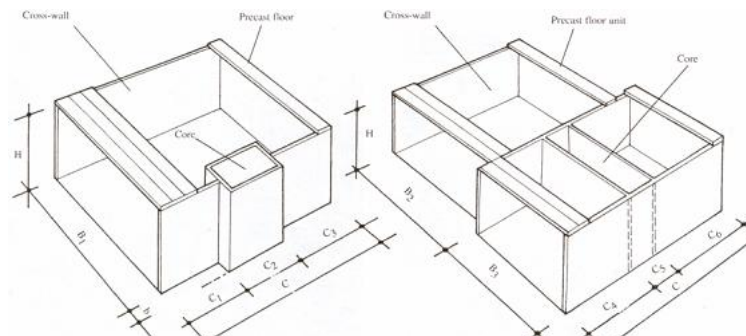
Schema alternativo per raggiungere una distanza tra i portali fino a 24 m

SCHEMI STRUTTURALI TIPICI

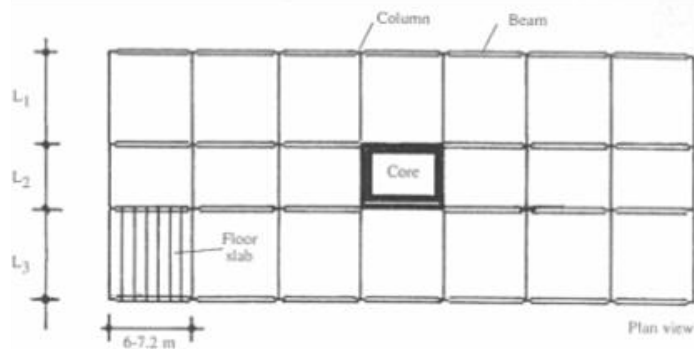
STRUTTURE PLURIPIANO



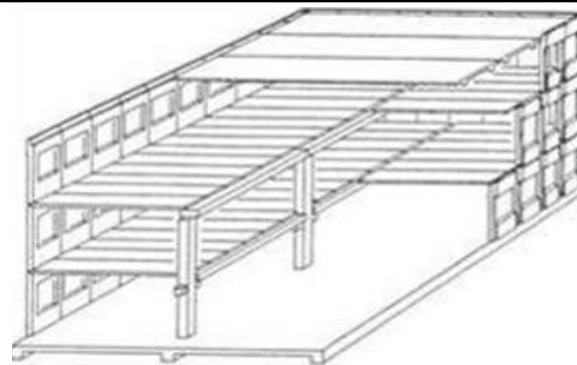
Schema strutturale con nucleo (scale – ascensore)



Sistema a Pannelli Portanti



Pianta dell'ossatura di una struttura prefabbricata



Struttura pluripiano a facciate portanti

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

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"

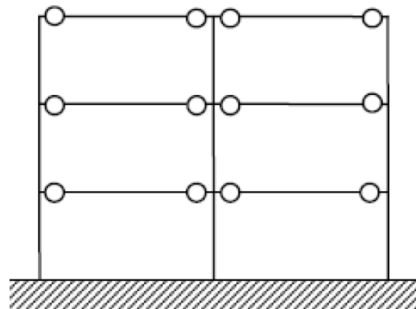
**IN OGNI CASO I COLLEGAMENTI DEVONO ESSERE IN GRADO DI TRASFERIRE LE FORZE
RISULTANTI DALL'ANALISI SENZA FAR AFFIDAMENTO SULL'ATTRITO**

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

CONNESSIONI

STRUTTURE INTELAIATE (NTC 2008)

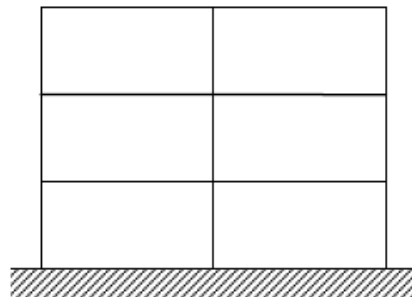
*Tipologia 1
(Riconducibile a
connessioni di tipo A e
connessioni di tipo B)*



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)*

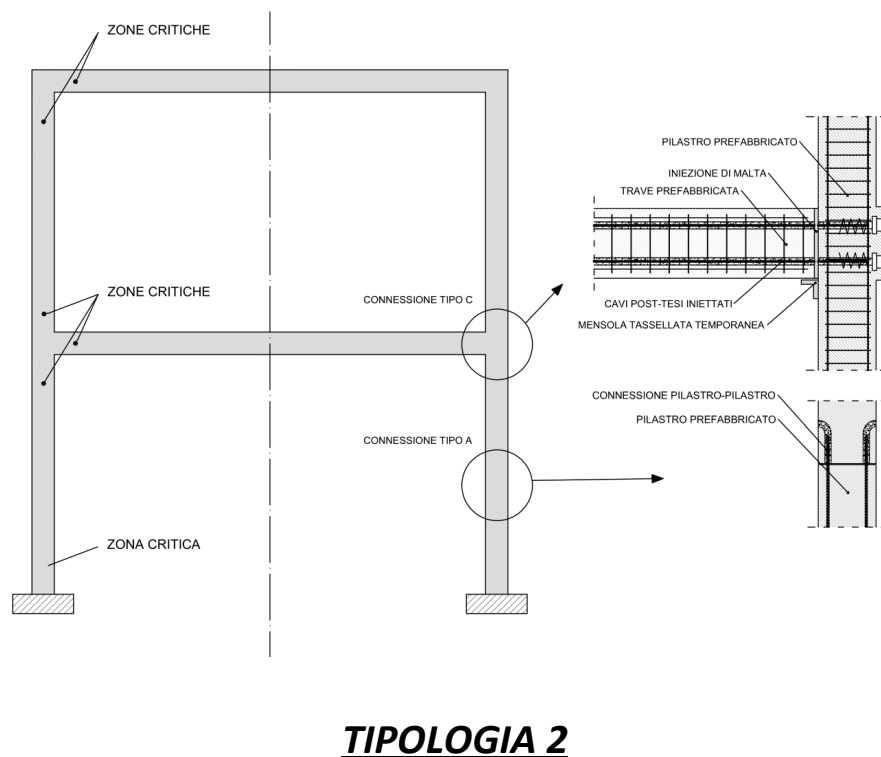
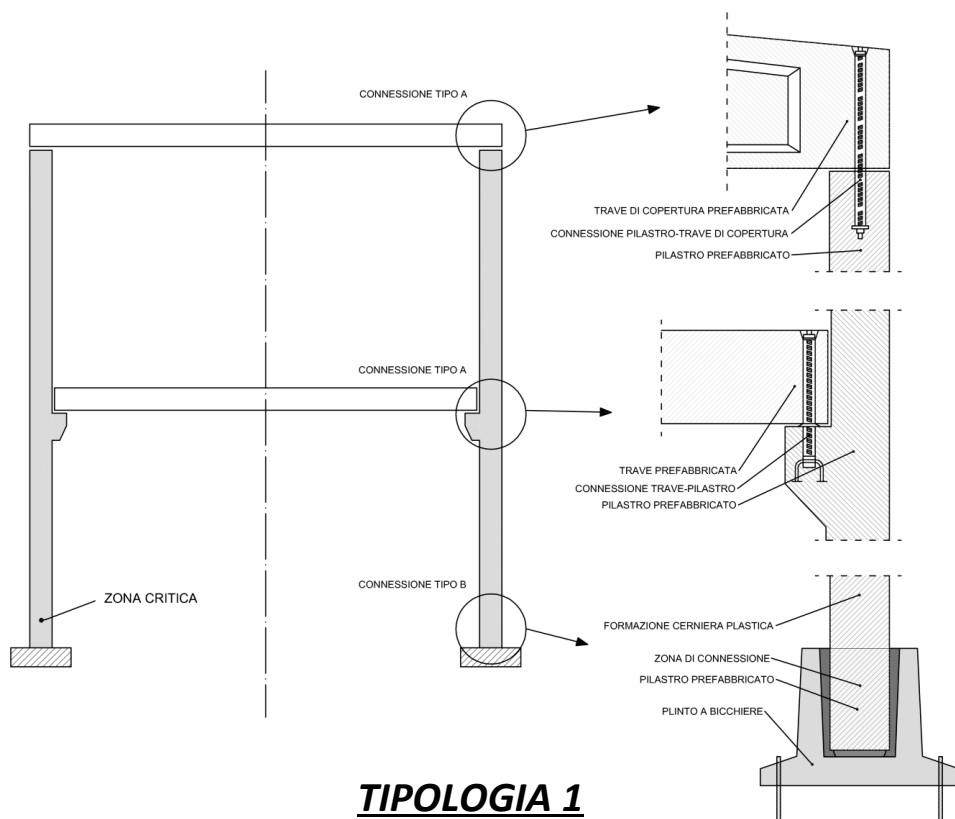


Collegamenti monolitici con getti integrativi ad emulazione delle strutture gettate in opera, con continuità di forze e momenti.

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.

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

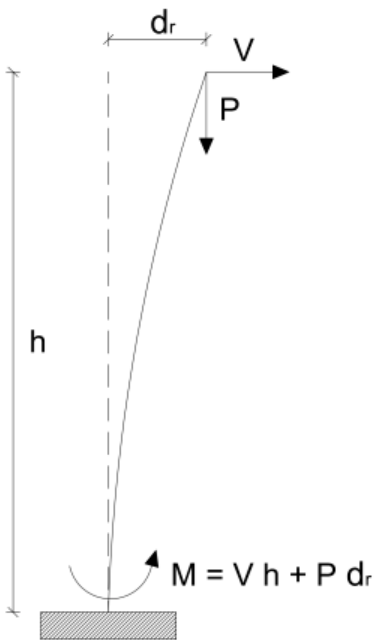
CONNESSIONI



DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

EFFETTI DEL SECONDO ORDINE

- Valutati verificando che lo stato deformativo e la distribuzione degli spostamenti siano compatibili con i requisiti dei livelli prestazionali di riferimento

	$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h}$ Dove: P è il carico verticale totale; d_r è lo spostamento orizzontale <u>medio</u> di interpiano valutato per lo SLV (prodotto dello spostamento elastico moltiplicato per il fattore di struttura); V è la forza orizzontale totale; h è la distanza tra l'orizzontamento preso in considerazione e quello immediatamente sottostante.
--	--

- | | |
|------------------------|--|
| • $\theta < 0.1$ | Effetti trascurabili |
| • $0.1 < \theta < 0.2$ | Amplificazione degli effetti del 1° Ordine di $1/(1-\theta)$ |
| • $0.2 < \theta < 0.3$ | Richiesta un'analisi non lineare |
| • $\theta > 0.3$ | Non consentito |

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

EFFETTI DEL SECONDO ORDINE

- $\theta > 0.1 \rightarrow$ *l'altezza della sezione del pilastro non dovrà essere inferiore ad 1/10 della maggiore fra le distanze tra il punto in cui si annulla il momento flettente e le estremità del pilastro (NTC 2008)*



PRESCRIZIONE LIMITATIVA PER TELAI MONOPIANO INCERNIERATI



SOLUZIONI:

1. Fornire un grado di incastro alla connessione trave-pilastro
 - Aumento di rigidezza
 - Diminuzione di θ
 - Diminuzione della lunghezza di libera inflessione
2. Valutare più correttamente le non linearità geometriche con analisi non lineari

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

EFFETTI DEL SECONDO ORDINE

- Esplicitando l'espressione di θ

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} = \frac{P \cdot q \cdot d_e}{V \cdot h} = \frac{P \cdot q \cdot \frac{V}{k}}{V \cdot h} = \frac{P \cdot q}{k \cdot h}$$

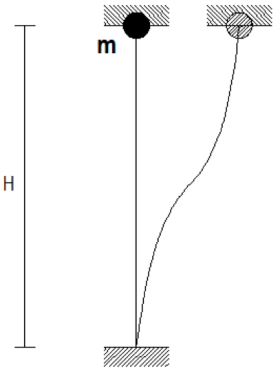
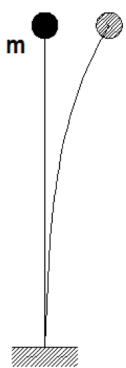
Si osserva che il fattore θ :

- E' direttamente proporzionale al fattore di struttura q
- E' inversamente proporzionale alla rigidezza del sistema k
- Non dipende dell'azione sismica e quindi è indipendente dalla zona sismica considerata
- A parità di rigidezza, un fattore di struttura q maggiore implica effetti del secondo ordine maggiori
- Un fattore di struttura q elevato diminuisce le sollecitazioni consentendo l'utilizzo di sezioni più contenute, con conseguente diminuzione della rigidezza e aumento degli effetti del secondo ordine

LA SCELTA DEL FATTORE DI STRUTTURA q NON PUO' ESSERE FATTA SOLO SULLA BASE DELLO SCHEMA STATICO

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

INFLUENZA DELLO SCHEMA STATICO SULLA RISPOSTA SISMICA

Trave infinitamente rigida	Trave incernierata
	
$K_{\text{incastro}} = \frac{12EJ}{H^3}$	$K_{\text{mensola}} = \frac{3EJ}{H^3}$

- Ipotizzando massa **m** identica fra i due sistemi:

$$T_{\text{incastro}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{4 \cdot K_{\text{mens.}}}} = \frac{1}{2} \cdot 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_{\text{mens.}}}} = \frac{1}{2} \cdot T_{\text{mensola}}$$

- Ipotizzando che entrambi i periodi si trovino nella regione dello spettro di risposta in cui S_d (accelerazione di progetto) è inversamente proporzionale al periodo T (velocità costante):

$$\frac{S_d(T_{\text{incastro}})}{S_d(T_{\text{mensola}})} = 2$$

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

INFLUENZA DELLO SCHEMA STATICO SULLA RISPOSTA SISMICA

- Azione sismica raddoppiata per la mensola ma momenti massimi uguali (lunghezza di libera inflessione con doppio incastro dimezzata)

VANTAGGIO



SPOSTAMENTI RIDOTTI

- Si evitano eventuali martellamenti fra parti di edificio
- Si scongiura la perdita di appoggio di elementi strutturali
- Interessano la compatibilità geometrica delle unioni fra elementi strutturali e/o non strutturali (coppelle di copertura, pannelli prefabbricati etc.)

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

VALUTAZIONE DELLO SPOSTAMENTO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

- La valutazione dello spostamento orizzontale secondo le NTC 2008 è fornito da:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

Essendo: d_{Ee} spostamento ottenuto dall'analisi lineare (statica o dinamica) della struttura;

$$\mu_d = q \quad \text{se } T_1 \text{ è minore o uguale a } T_c;$$

$$\mu_d = 1 + (q - 1) \cdot \frac{T_c}{T_1} \quad \text{se } T_1 \text{ è maggiore di } T_c;$$

In ogni caso μ_d deve essere non maggiore di $5q - 4$.

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 $q = 4$:

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

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**

DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LE STRUTTURE PREFABBRICATE

COLLEGAMENTO DELLE FONDAZIONI

EVITARE SOLLECITAZIONI AGGIUNTIVE (CONCENTRAZIONI DI TAGLIO)
DOVUTE A POSSIBILI SPOSTAMENTI RELATIVI DELLE FONDAZIONI



UTILIZZARE EFFICACI COLLEGAMENTI CON RIGIDEZZA TALE DA
POTERNE TRASCURARE LA DEFORMABILITÀ

PRESCRIZIONI
NTC 2008



- Collegamento in fondazione
- Travi o piastre di piano possono essere assimilate a elementi di collegamento se realizzate ad una distanza minore o uguale a 1 metro dall'intradosso degli elementi di fondazione superficiali o dalla testa dei pali

POSSIBILI
SOLUZIONI



- Collegamento in corrispondenza dell'estremità superiore del pozzetto
- Utilizzo del pavimento industriale come vincolo per i plinti (se possibile) – In questo caso, vi possono essere problemi di taglio nel moncone di pilastro sottostante il massetto

DEFORMABILITA' DELL'IMPALCATO

IMPALCATO RIGIDO: INDICAZIONI NORMATIVE

La normativa cogente italiana e straniera fornisce alcune indicazioni su come affrontare il tema della deformabilità degli impalcati

PRESCRIZIONI NTC 2008

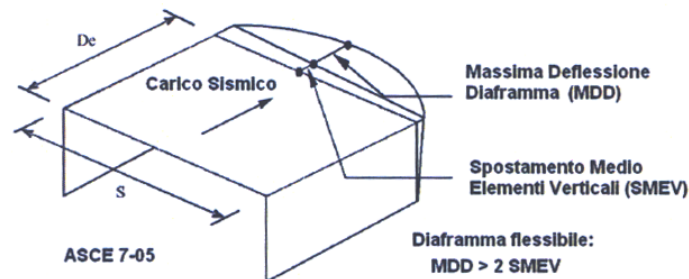
- Solaio realizzato in calcestruzzo armato
- Solaio in latero-cemento con cappa di almeno 40 mm
- Solai a struttura mista con soletta in calcestruzzo armato collegata con connettori a taglio agli elementi strutturali e non inferiore a 50 mm
- Le aperture non devono diminuirne eccessivamente la rigidezza

PRESCRIZIONI EC 2008

- Modellando la soletta con la sua flessibilità reale nel piano, gli spostamenti orizzontali non devono eccedere del 10% in nessun punto quelli ottenuti dall'ipotesi di membratura infinitamente rigida per l'azione sismica di progetto

PRESCRIZIONI ASCE 7-05

- la massima deflessione sotto carico laterale della porzione di diaframma compresa tra due elementi verticali sismo-resistenti adiacenti deve essere maggiore di due volte lo spostamento medio orizzontale di tali elementi verticali



DEFORMABILITA' DELL'IMPALCATO

INFLUENZA DELLA DEFORMABILITA' DELL'IMPALCATO SULLA RISPOSTA SISMICA

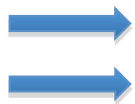
- VARIABILITÀ DELLA RISPOSTA STRUTTURALE DI EDIFICI SOGGETTI AD AZIONI SISMICHE
- NON È LECITO CONSIDERARE MASSE E MOMENTI D'INERZIA DI CIASCUN ORIZZONTAMENTO CONCENTRATI NEL CENTRO DI MASSA, RIDUCENDO I GRADI DI LIBERTÀ PER PIANO A TRE
- NON E' POSSIBILE UTILIZZARE UNA DISTRIBUZIONE DI FORZE SISMICHE PROPORZIONALE ALLE RIGIDENZE DEGLI ELEMENTI SISMO-RESISTENTI
- RISCHIO DI COLLASSO A CAUSA DELL'ELEVATA DEFORMAZIONE IMPRESSA AGLI ELEMENTI VERTICALI DA PARTE DEGLI IMPALCATI CHE SI TRADUCE IN ELEVATE DEFORMAZIONI DEI SUDDETTI ELEMENTI, IN GRADO DI GENERARE FENOMENI DI INSTABILITÀ PARTICOLARMENTE DANNOSI



ANALISI DI EDIFICI PREFABBRICATI

ANALISI LINEARE STATICA

REQUISITI



- **Regolarità in altezza**
- **Periodo del modo principale di vibrare (T_1) nella direzione in esame non superiore a $2,5 T_c$ o T_D**

Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 metri di altezza con massa approssimativamente distribuita uniformemente lungo l'altezza:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$



- Applicabile solo ad edifici con **RAPPORTI TRA DIMENSIONI IN PIANTA ED ALTEZZA ORDINARI**
- Fornisce **VALORI ASSOLUTAMENTE NON ATTENDIBILI** nel caso di edifici estesi ad 1 o 2 piani, quali frequentemente sono gli **EDIFICI PREFABBRICATI**

ANALISI LINEARE STATICA

PROCEDURA

- Applicazione una distribuzione di forze orizzontali statiche (F_i), equivalenti alle forze d'inerzia agenti sull'edificio in corrispondenza del primo modo di vibrare:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j \cdot W_j}$$

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \frac{\lambda}{g}$$

Con:

F_i forza da applicare alla massa i-esima;

W_i e W_j sono i pesi corrispondenti alle masse ai piani i e j;

z_i e z_j sono le quote, rispetto al piano di fondazione, delle masse i e j;

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto;

W è il peso complessivo della costruzione;

λ coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_1 < 2T_C$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

Rappresenta con buona approssimazione l'azione sismica nel caso in cui al primo modo di vibrare sia associata una **MASSA PARTECIPANTE PROSSIMA ALLA MASSA TOTALE** della struttura in esame

ANALISI LINEARE DINAMICA MODALE

PROCEDURA

- Scomposizione della risposta dinamica nei contributi dei singoli modi di vibrare della struttura

RISPOSTA SISMICA DI UNA
STRUTTURA A N GRADI DI LIBERTA'

=

SOMMA DI N MODI DI VIBRARE
DISACCOPPIATI

- 
- Si considerano tutti i modi con **MASSA PARTECIPANTE SUPERIORE AL 5%** della massa totale
 - La **SOMMA DELLE MASSE MODALI EFFICACI** per i modi considerati deve rappresentare quantomeno l'**85% DELLA MASSA TOTALE DELLA STRUTTURA**

ANALISI LINEARE DINAMICA MODALE

PROCEDURA

RISPOSTA GLOBALE

• SRSS

$$E = \sqrt{\sum_i E_i^2}$$

• CQC

$$E = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j}$$
$$\rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1 + \beta_{ij}) \cdot [(1 + \beta_{ij})^2 + 8 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij}]}$$

Con:

- $E_{i,j}$ sono i valori degli effetti relativi ai modi i e j ;
- ρ_{ij} rappresenta il coefficiente di correlazione tra il modo i -esimo e j -esimo ;
- ξ rappresenta lo smorzamento viscoso dei modi i e j ;
- β_{ij} è il rapporto tra l'inverso dei periodi di ciascuna coppia i - j di modi ($\beta_{ij} = T_j/T_i$).

LE NTC PREVEDONO IN REALTÀ SOLO LA COMBINAZIONE CQC

- Se le frequenze proprie del sistema sono tra loro distanti per più del 10% il coefficiente di correlazione ρ_{ij} tende a zero, e la combinazione CQC coincide con la combinazione SRSS

ANALISI LINEARE DINAMICA MODALE

OSSERVAZIONI

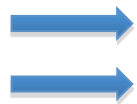
- Con modelli piuttosto complessi, dotati di un numero elevato di modi partecipanti, quelli con masse superiori al 5% possono divenire difficilmente individuabili
- E' opportuno per tale motivo creare un modello in grado di rendere facilmente individuabili i modi di interesse strutturale



- **SVILUPPO DI MODELLI SEMPLICI**
- **EVITARE LA COMPARSA DI UN NUMERO ELEVATO DI MODI LOCALI**
- **FARE RICORSO QUANDO POSSIBILE A ELEMENTI BEAM AL POSTO DI ELEMENTI PIU' COMPLESSI DI TIPO PIASTRA O MEMBRANA**

ANALISI NON LINEARE STATICA

REQUISITI

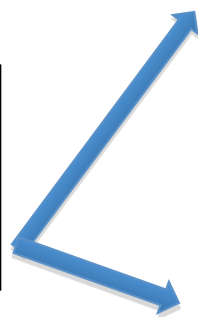


- **Regolarità in pianta e in altezza**
- **per edifici NON REGOLARI si deve tenere conto dell'evoluzione della rigidezza a seguito di deformazioni anelastiche**

Permette di individuare **IL RAPPORTO DI SOVRARESISTENZA α_u/α_1** e determinare l'effettiva distribuzione della domanda inelastica negli edifici progettati con un fattore di struttura q

APPLICAZIONE DEI CARICHI

CARICHI GRAVITAZIONALI
+
2 DISTRIBUZIONI DI FORZE



- **I° GRUPPO:** forze proporzionali al prodotto tra le masse e le accelerazioni dovute al primo modo di vibrare. Applicabile se il modo fondamentale di vibrare ha una massa partecipante maggiore o uguale al 75%. Con periodo fondamentale superiore a T_c , è possibile considerare la distribuzione dei tagli di piano calcolati in un'analisi dinamica lineare
- **II° GRUPPO:** forze pari al prodotto delle masse per una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione. Può essere sostituita da una distribuzione adattiva.

ANALISI NON LINEARE STATICA

PROCEDURA

Le forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente lo spostamento orizzontale di un punto di controllo



Definizione della Curva di capacità (Taglio alla base-Spostamento pto di controllo)



Confronto con lo spettro relativo agli stati limite di interesse



VERIFICHE GLOBALI E VERIFICHE LOCALI (DUTTILITA' E RESISTENZA)

VANTAGGI:

- Considera come **GRANDEZZA SIGNIFICATIVA PER IL CONTROLLO DEL DANNO LO SPOSTAMENTO**
- Consente di determinare quali siano le zone a maggiore richiesta di duttilità
- Consente di individuare le irregolarità in pianta o in altezza in termini di resistenza e monitorare a ogni passo di analisi deformazioni, sollecitazioni, snervamento e rottura dei singoli elementi
- Ideale per **EDIFICI ESISTENTI** che presentano un forte comportamento non lineare anche per deformazioni contenute

ANALISI NON LINEARE DINAMICA

E' IL METODO PIU' COMPLETO E ACCURATO DISPONIBILE

- Tratta il **PROBLEMA NEL DOMINIO DEL TEMPO**
- **CONSIDERA LE NON LINEARITÀ** legate al materiale (formazione di cerniere plastiche) e legate alla geometria



INTEGRAZIONE DELLE EQUAZIONI DEL MOTO NEL TEMPO

considerando come azione sollecitazione un'accelerazione al piede

PROBLEMATICHE



- Difficoltà nella definizione dell'input sismico
- Complessità, e spesso modesta affidabilità, dei modelli non-lineari utilizzati per descrivere la risposta degli elementi strutturali e dei materiali (comportamento isteretico)
- Elevato tempo richiesto per l'analisi
- Grandi quantità di dati da elaborare

MODELLAZIONE

- Definire gli obiettivi dell'analisi per la costruzione di un modello efficace
- Creare modelli in grado di cogliere correttamente il comportamento lineare e non lineare
- Evitare la creazione di modelli eccessivamente semplici e poco ragionevoli
- Evitare la creazione di modelli eccessivamente complessi



**MIGLIOR COMPROMESSO TRA COMPLESSITA' DEL
MODELLO E AFFIDABILITA' DEI RISULTATI**

**RAPPRESENTAZIONE DELLA
STRUTTURA**



- Modelli lineari
- Modelli non lineari

**RAPPRESENTAZIONE
DELL'AZIONE SISMICA**



- Forze statiche equivalenti o spettri di risposta
- Accelerogrammi

MODELLAZIONE

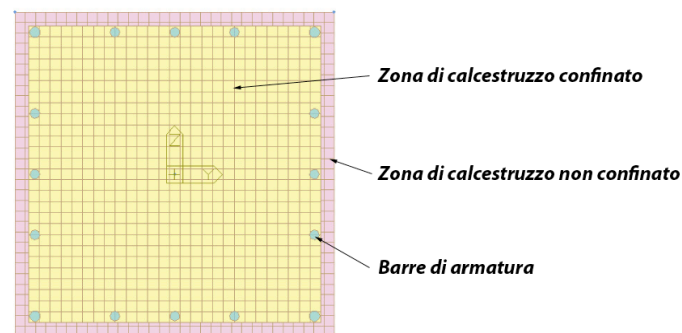
RAPPRESENTAZIONE DELLE NON LINEARITA'

ELEMENTI A PLASTICITÀ CONCENTRATA (Modello a cerniera plastica)

- Semplicità e efficienza computazionale
- Minore onere computazionale
- Il comportamento non-lineare si può manifestare solamente laddove sono state preventivamente inserite delle cerniere plastiche
- Non si può studiare la diffusione delle deformazioni anelastiche

ELEMENTI A PLASTICITÀ DIFFUSA (Elementi a fibre)

- Il comportamento non-lineare di ciascuna fibra viene descritto mediante legami sforzo normale-deformazione, diversi per ciascun materiale
- E' possibile considerare correttamente l'interazione tra azione assiale e flessione
- Non è possibile considerare non-linearità a taglio, a meno di non inserire opportune cerniere plastiche a taglio all'estremità
- Onere computazionale elevato



MODELLAZIONE

MODELLAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DELLE MASSE

- **CONCENTRAZIONE DI TUTTA LA MASSA DI PIANO NEL BARICENTRO DELLE MASSE**, concentrando in tale punto anche l'inerzia rotazionale del piano (momento di inerzia delle masse), considerando l'impalcato infinitamente rigido nel piano;
- **CALCOLO DELLA MASSA DI CIASCUN ELEMENTO E CONCENTRAZIONE DELLA STESSA NEI NODI** degli elementi. La distribuzione delle masse concentrate all'estremità degli elementi fa sì che l'inerzia rotazionale sia implicitamente modellata;
- **L'ATTRIBUZIONE A OGNI ELEMENTO DELLA MASSA PER UNITÀ DI LUNGHEZZA O DI SUPERFICIE** che gli compete; in questo caso, l'inerzia traslazionale e rotazionale sono implicitamente modellate.

Per sopperire alle incertezze relative alla reale distribuzione di massa è necessario considerare un' **ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE PARI AL 5%** della dimensione totale dell'edificio

MODELLAZIONE

MODELLAZIONE DEGLI ELEMENTI

TRAVI E PILASTRI



Elementi **beam** posti in corrispondenza dell'asse geometrico di ciascun elemento

Travi prefabbricate a L con eccentricità strutturale



Soluzione: utilizzare degli elementi rigidi all'estremità che consentano di modificare il punto di inserimento della specifica sezione (link rigidi o offset rigidi)

PARETI



Elementi **beam** o elementi **piastra bidimensionali**

Incertezze legate alla combinazione degli sforzi presenti all'interno dell'elemento

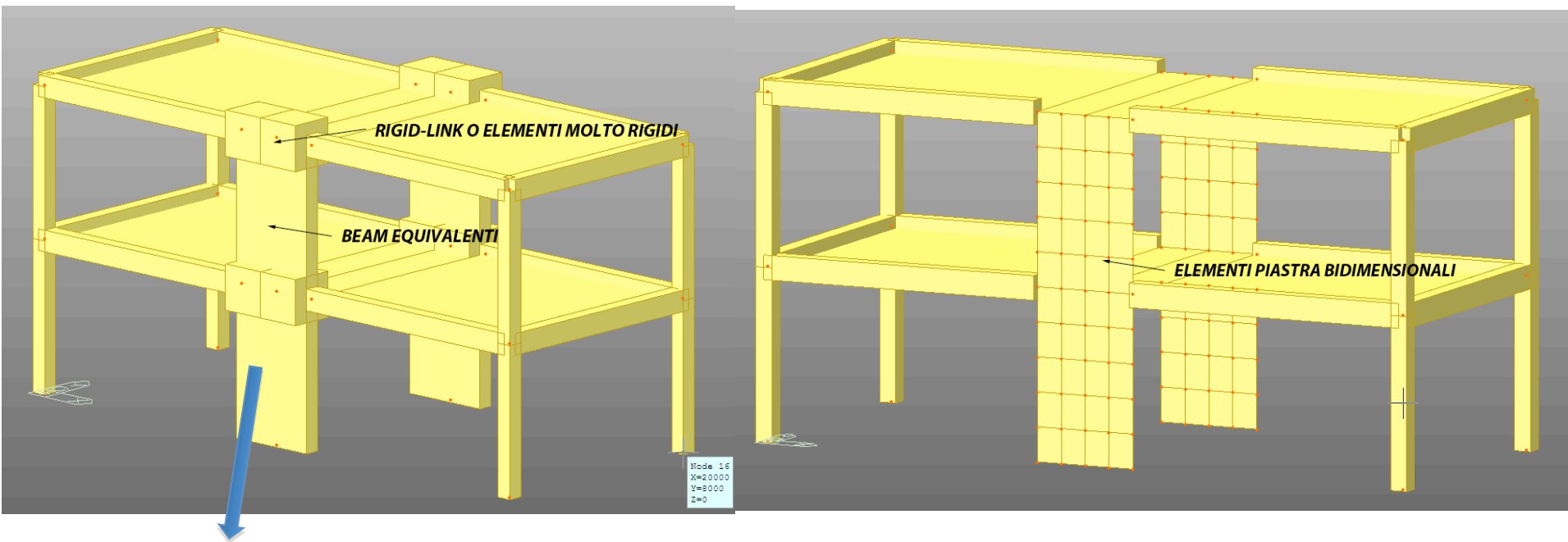


Necessaria una linearizzazione dell'andamento delle tensioni modo per modo sulle sezioni di verifica

IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE, PER ELEMENTI SOTTOPOSTI A CARICHI CICLICI, LA RIGIDEZZA FLESSIONALE DEGLI ELEMENTI IN C.A. O C.A.P. PUO' ESSERE RIDOTTA FINO A UN MASSIMO DEL 50% (NTC 2008)

MODELLAZIONE

MODELLAZIONE DEGLI ELEMENTI



Collegamento con la struttura mediante:

- Elementi molto più rigidi (3 o 4 ordini di grandezza superiore)
- Rigid Link (se il programma lo consente)

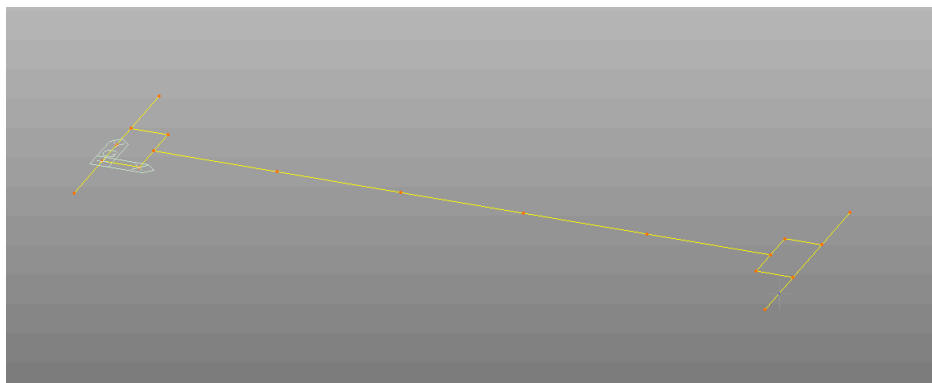
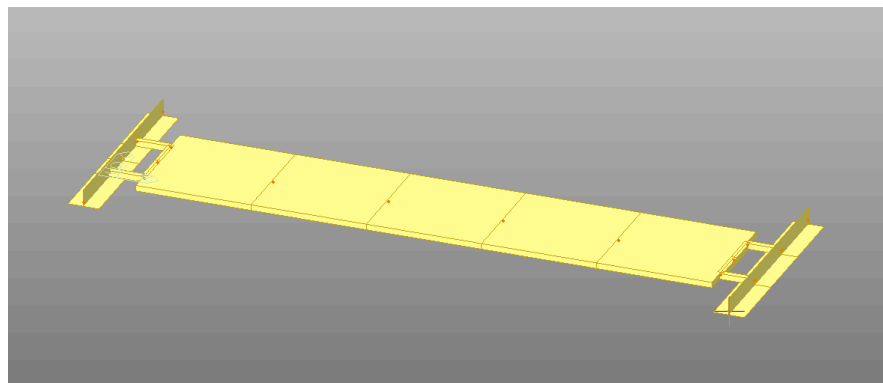
LA MODELLAZIONE MEDIANTE BEAM EQUIVALENTI RIDUCE SENSIBILMENTE L'ONERE COMPUTAZIONALE

MODELLAZIONE

MODELLAZIONE DEGLI IMPALCATI

- Modellazione dell'eccentricità longitudinale, spesso non trascurabile, data dalla distanza tra il punto di vincolo effettivo e l'asse della trave
- Possono essere considerati infinitamente rigidi, a condizione che la loro rigidezza sia tale da permettere ragionevolmente tale assunzione, generalmente vera quando questi siano dotati di getto integrativo collaborante

1° soluzione. Elementi **beam** caratterizzati dalle effettive caratteristiche di rigidezza dei singoli componenti, utilizzando elementi provvisti di estremi rigidi trasversali incernierati alla trave



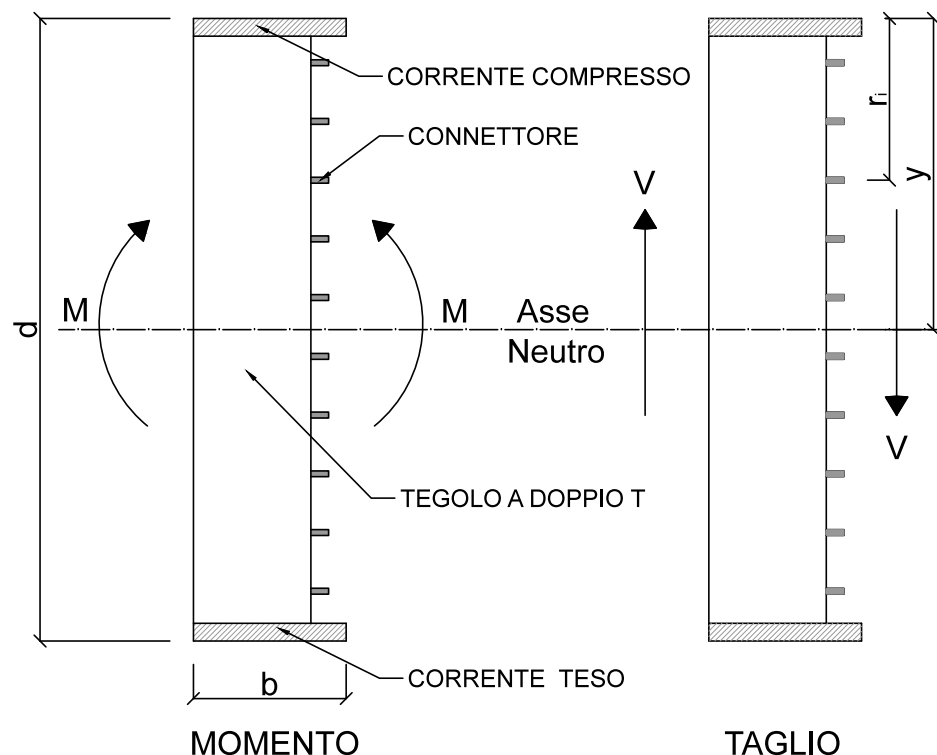
- Non tiene in considerazione la deformabilità delle connessioni dei tegoli

MODELLAZIONE

MODELLAZIONE DEGLI IMPALCATI

2° Soluzione. Sostituzione dei tegoli con elementi *beam* o *piastra* equivalenti caratterizzati da:

- Una lunghezza equivalente
- Una rigidezza flessionale equivalente
- Una rigidezza a taglio equivalente



E' possibile tenere in considerazione la deformabilità dell'impalcato e delle sue connessioni utilizzando **ELEMENTI RELATIVAMENTE SEMPLICI**

Per maggiori dettagli si rimanda all'articolo completo (Zheng W., Oliva M. G. 2005).

LINEE DI INDIRIZZO PER INTERVENTI LOCALI E GLOBALI SU EDIFICI INDUSTRIALI NON PROGETTATI CON CRITERI ANTISISMICI



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



Offrire stabilità' indipendente dalla struttura per le scaffalature

**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**

PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

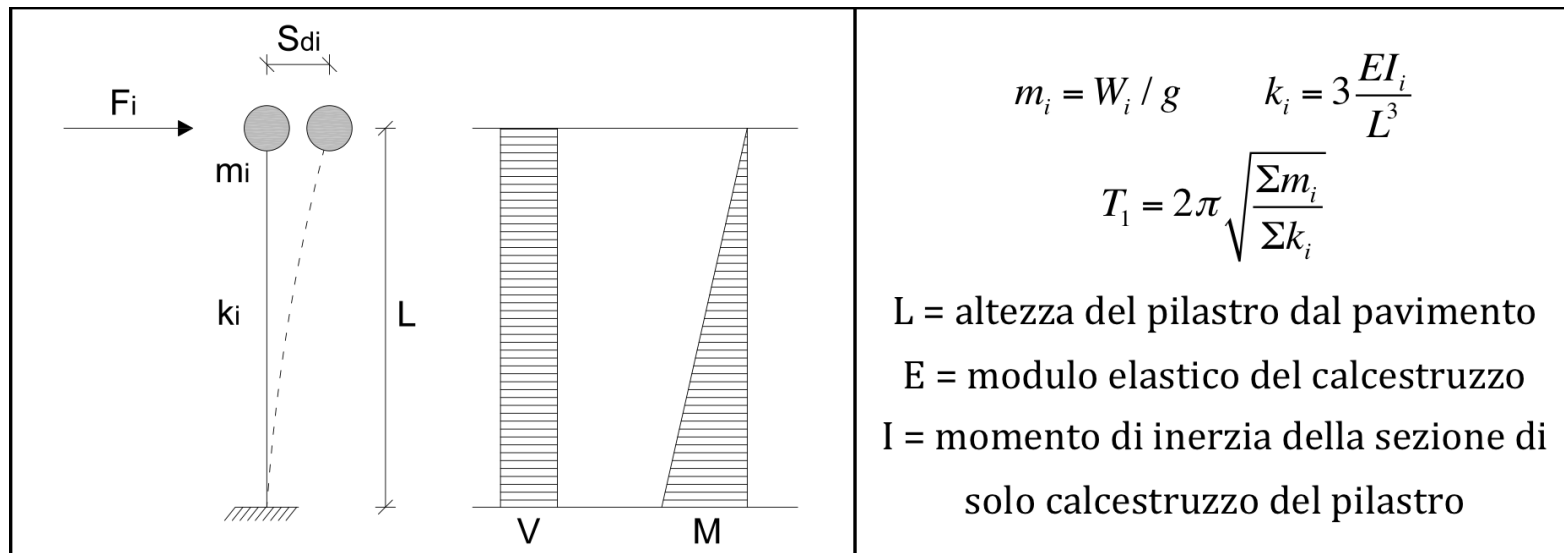
- STRUTTURE PREFABBRICATE MONOPIANO: costituite per la maggior parte da pilastri con plinto a bicchiere e trave superiore semplicemente appoggiata



Edificio associabile ad un OSCILLATORE SEMPLICE:

Σm_i = massa del sistema pari a quella della struttura di copertura più la quota parte di massa dei pannelli di facciata portata dai pilastri

Σk_i = rigidezza del sistema pari alla somma delle rigidezze di tutti i pilastri



TAGLIO ALLA BASE TOTALE: $F_{tot} = W_{tot} \cdot S_a(T_1) / g$

PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

- TAGLIO ALLA BASE DI CIASCUN PILASTRO

A) Impalcato infinitamente rigido:

$$F_i = F_{tot} \cdot \frac{k_i}{\sum k_i}$$

B) Impalcato flessibile:

$$F_i = F_{tot} \cdot \frac{W_i}{\sum W_i}$$

- SPOSTAMENTO IN SOMMITÀ DI CIASCUN PILASTRO

$$S_{di} = q \cdot F_i / k_i$$

- FORZA DI PROGETTO PER I SINGOLI COLLEGAMENTI

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

Con w_i corrispondente alla somma tra la massa dell'elemento e le masse corrispondenti ai carichi permanenti strutturali e non strutturali da esso portati

PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

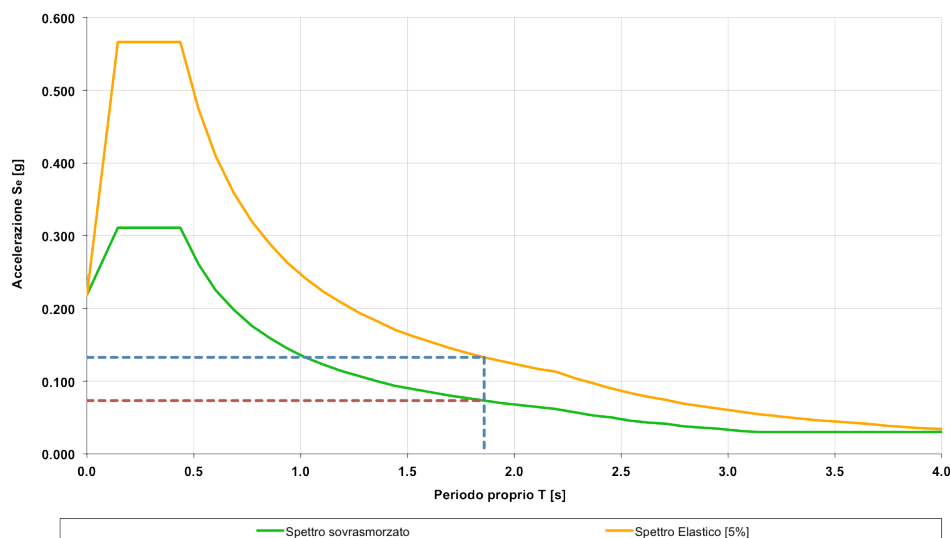
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: VANTAGGI

- Dispositivi compatibili con la tipologia strutturale tipica della prefabbricazione italiana;
- Il posizionamento dei dispositivi non crea disturbi all' utilizzo;
- Il degrado della resistenza e delle capacità dissipative non sono influenzate dal taglio e di conseguenza da fenomeni del tipo sliding shear e pinching;
- Travi e pilastri non dovrebbero danneggiarsi (ad eccezione della cerniera plastica alla base dei pilastri). Il dispositivo è la fonte principale di dissipazione energetica e pertanto a seguito di un terremoto è l' unico elemento che va sostituito;

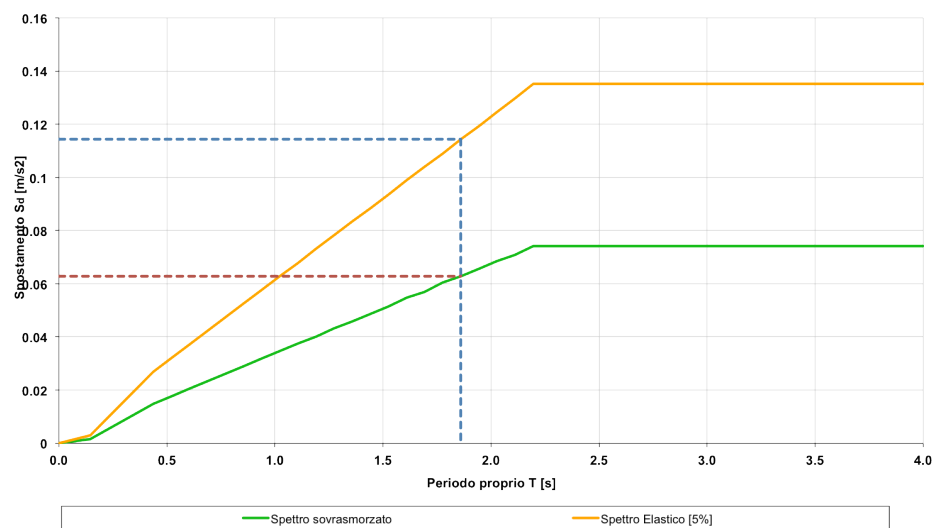
PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: VANTAGGI

Spettri di risposta in accelerazione (componente orizzontale)



Spettri di risposta in spostamento (componente orizzontale)



- DIMINUIZIONE DELLA PSEUDO ACCELERAZIONE



- DIMINUIZIONE DEL TAGLIO ALLA BASE

- DIMINUIZIONE DELLO SPOSTAMENTO SPETTRALE



- MINORE RICHIESTA DI CAPACITA' DI SPOSTAMENTO

PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

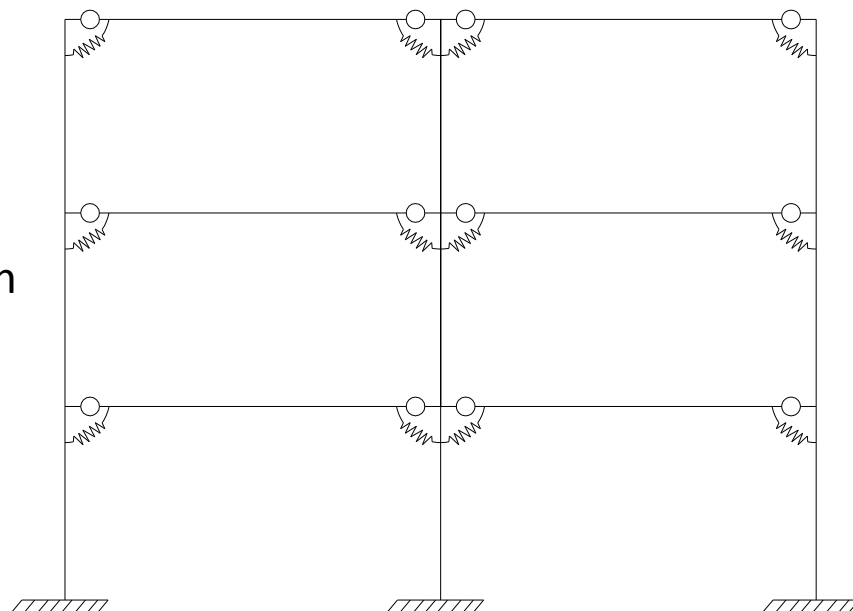
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE

I giunti ad emulazione del calcestruzzo gettato in opera non si prestano per l' utilizzo di questa tipologia di dissipatori:

- Prefabbricati a emulazione di telai monolitici poco diffusa in Italia;
- Danni causati dalla formazione di cerniere plastiche in alcuni elementi;
- Il dispositivo entra in funzione soltanto una volta raggiunte sufficienti deformazioni (con conseguenti danni) nelle estremità delle travi;



**PREFABBRICATI A TELAIO
INCERNIERATO**



PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: OSSERVAZIONI

MAGGIORE RIGIDEZZA

**INCREMENTO DI ENERGIA
DISSIPATA**



- Diminuzione dei valori di spostamento in testa del telaio
- Diminuzione delle sollecitazioni alla base del pilastro
- Soddisfacimento delle verifiche di θ



- Diminuzione del periodo proprio della struttura;
- Aumento delle sollecitazioni nella struttura compensato dal cambio di schema statico

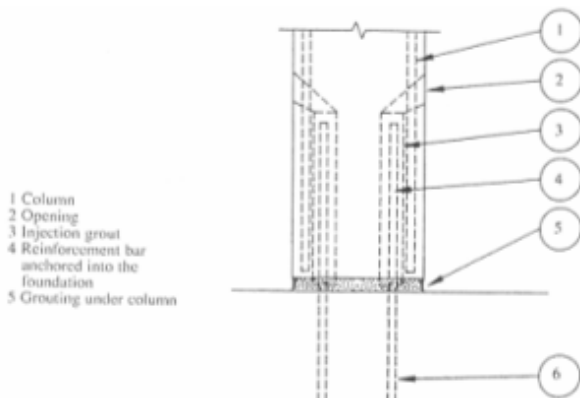
TIPOLOGIE DI COLLEGAMENTO

- ➡ • 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

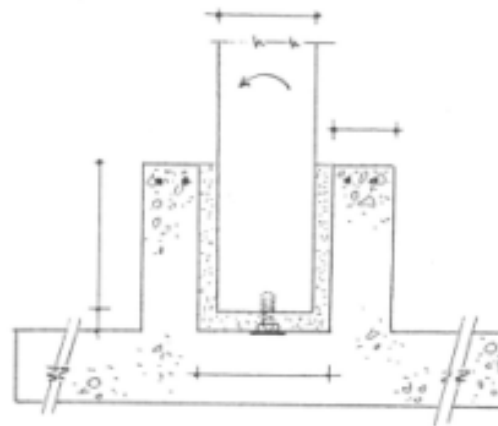


RINFORZO PILASTRO - FONDAZIONE

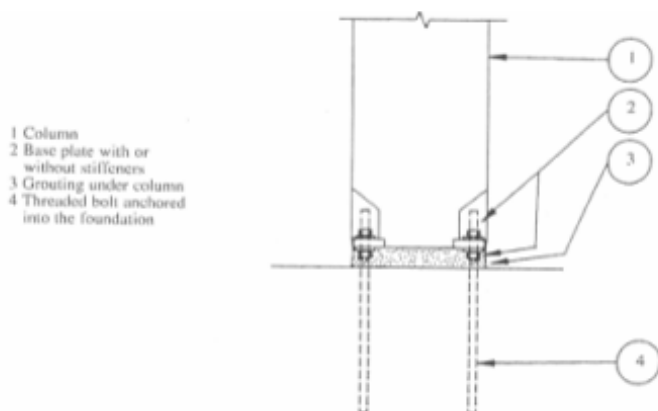
CONNESSIONI PLINTO PILASTRO (Fig. 1990)



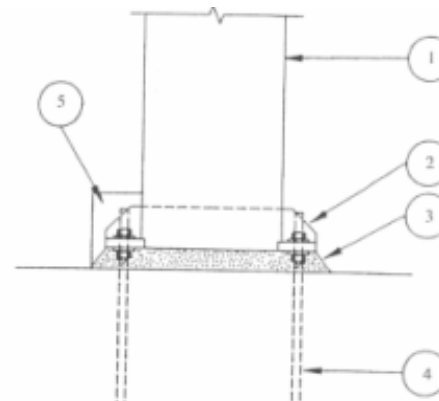
(a) connessione rigida mediante piastra di ancoraggio, tirafondi e barre sovrapposte



(b) fondazione su plinti a pozzetto



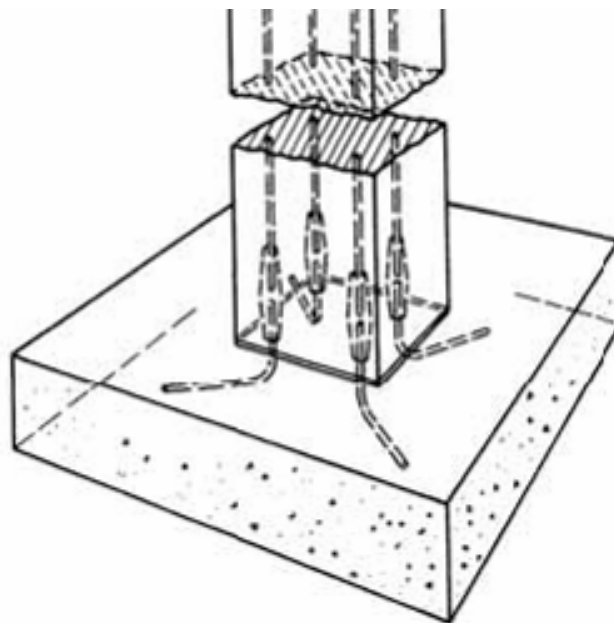
(c) Connessione con strato di base e chiusure d'angolo



(d) Connessione con strato di base e irrigidimenti

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 MONOLITICHE EQUIVALENTI - EMULAZIONE DEL C.A. GETTATO IN OPERA -

A DUTTILITA' LIMITATA



NODI TRAVE-COLONNA sovradimensionati a comportamento lineare e sezioni a risposta non lineare lontane dai nodi;

DUTTILI



NODI TRAVE-COLONNA duttili resistenti a flessione e collegamenti fra gli elementi lontani dalle zone a comportamento non lineare.

PROBLEMA



POSSIBILE CONGESTIONE DI ARMATURE NELLA REGIONE DEL COLLEGAMENTO

RINFORZO PILASTRO - FONDAZIONE

PROBLEMI:

CEDEVOLZZA ROTAZIONALE
ELEVATA PER I PLINTI A BICCHIERE

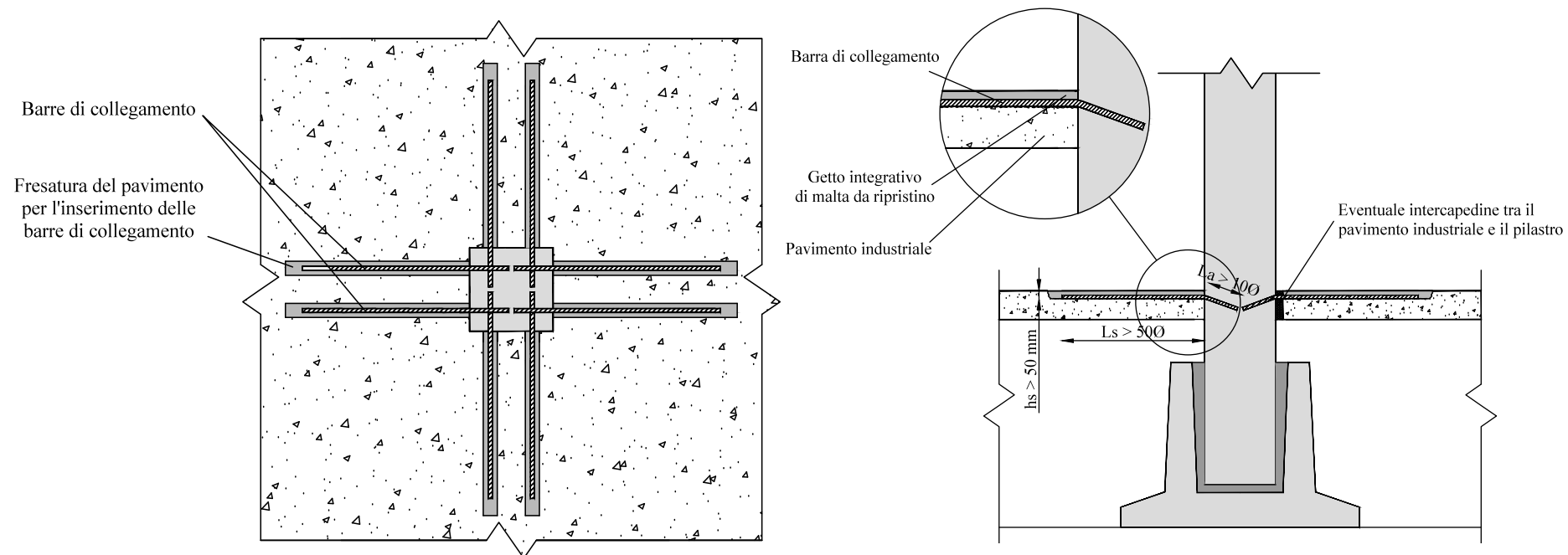


- Mancanza di collegamento fra i plinti
- Liquefazione del terreno

CASI DI APPLICAZIONE:

- Evidente rotazione rigida del pilastro
- Pavimentazione a contatto con il pilastro danneggiata
- Pavimentazione non in battuta contro il pilastro per la presenza di un giunto

COLLEGAMENTO TRA PILASTRO E PAVIMENTO INDUSTRIALE



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Utilizzabile per la sistemazione definitiva della struttura.

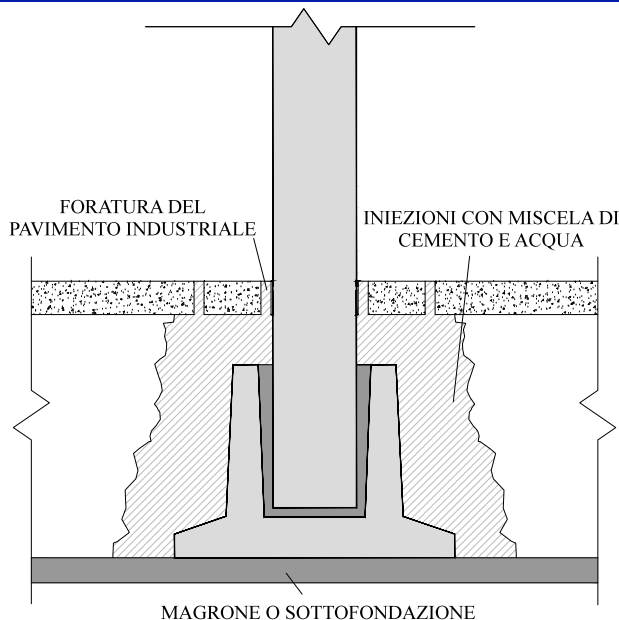
Svantaggi

- Discreta invasività.
- Non realizzabile in presenza di pavimenti con finiture di pregio.

Dimensionamento

- Trasferimento per trazione di una forza pari ad almeno il 15% dell'azione assiale agente sul pilastro per effetto dei carichi permanenti
- Nella verifica a taglio della parte di pilastro sottostante il pavimento considerare la presenza della spinta passiva della quota parte di terreno

CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO CIRCOSTANTE LA FONDAZIONE MEDIANTE INIEZIONE DI MALTA CEMENTIZIA A BASSA PRESSIONE



Svantaggi

- Costo elevato ed esecuzione complessa.
- Macchinari utilizzati generalmente ingombranti. Tale procedura risulta applicabile solo in zone ampie prive di ostacoli.
- Non realizzabile in presenza di pavimenti con finiture di pregio.
- Possibili problemi di intasamento (rete fognaria, pluviali etc.).
- Rischio di fuoriuscita della miscela di iniezione per la presenza di lesioni nella pavimentazione.
- Il bicchiere di fondazione non risulta efficacemente legato al volume iniettato.
- Se in sede di miglioramento/adeguamento si prevede un rinforzo della colonna, può essere difficoltoso realizzare un efficace collegamento con la miscela iniettata, tuttavia va valutata la reale efficacia di tale collegamento.

Vantaggi

- Utilizzabile per la sistemazione definitiva della struttura.
- Consente un incremento sensibile della resistenza del sistema di fondazione alle azioni orizzontali.

Dimensionamento

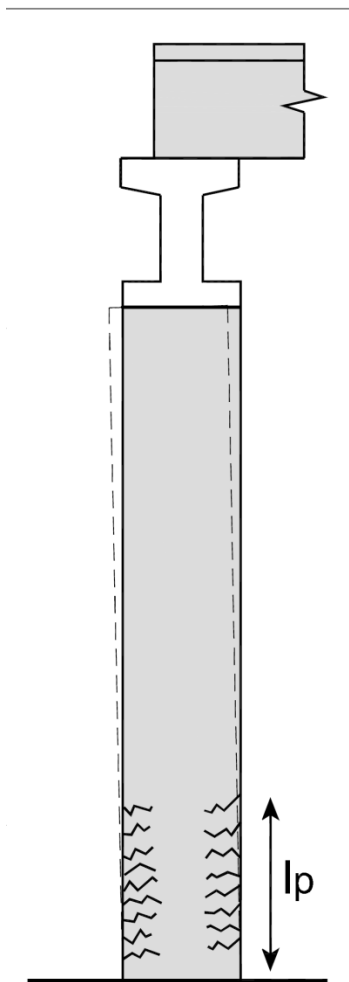
- Non sono richieste particolari verifiche.



RINFORZO DI PILASTRI

RINFORZO DI PILASTRO

POSSIBILI DANNI



- Strutture prefabbricate con dissipazione concentrata nei pilastri;
- Possibile formazione di una cerniera plastica alla base dopo un' azione sismica;
- Necessità di riparazione o di aumento di duttilità;

RINFORZO DI PILASTRO

TECNICHE PER L' ADEGUAMENTO E IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEI PILASTRI

- **STRISCE IN FRP:**

Problemi legati alla perdita di aderenza tra il substrato in calcestruzzo e il nuovo materiale

- **INCAMICIATURA IN HPFRC:**

Spessore della camicia di dimensioni contenute pari a 30-40 mm

- **INCAMICIATURA IN C.A:**

Spessore della camicia, governato dal copriferro, anche maggiore di 70-100 mm, con aumento della geometria delle sezioni

RINFORZO DEI PILASTRI

FASCIATURE IN FRP

FIBRE DI CARBONIO
FIBRE DI VETRO
FIBRE DI ARAMIDE



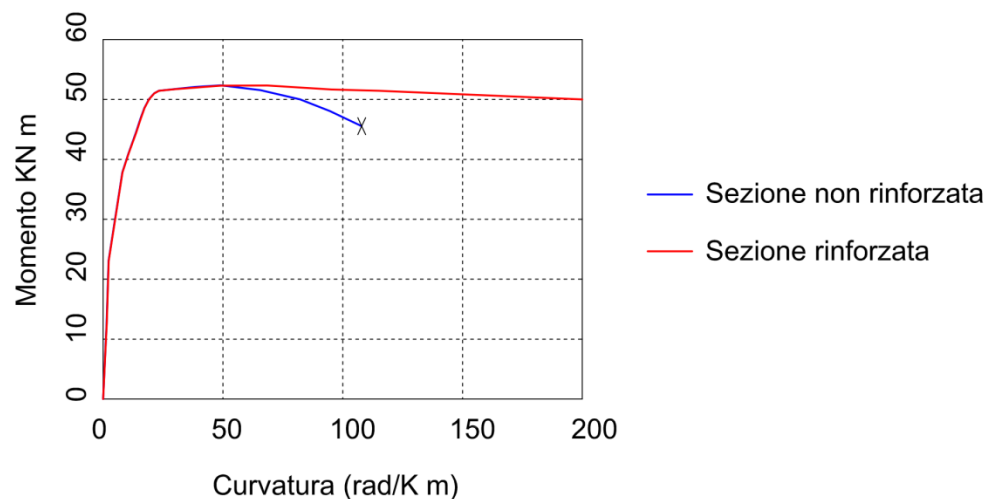
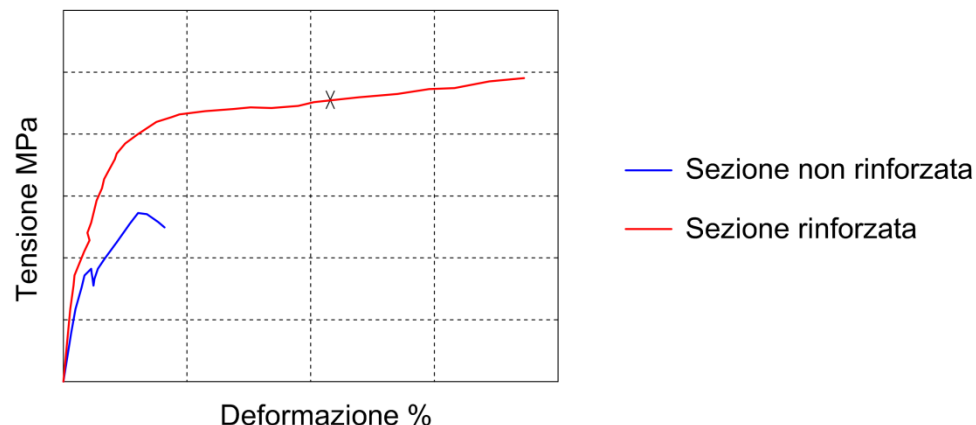
	Modulo elastico E	Resistenza	Deformazione a rottura	Densità
	[GPa]	[MPa]	[%]	[g/cm3]
Fibre di vetro E	72-80	3400	4,8	2,5-2,6
Fibre di vetro S	85	4500	5,4	2,46-2,49
Fibre di carbonio (alto modulo)	390-760	2400-3400	0,5-0,8	1,85-1,9
Fibre di carbonio (alta resistenza)	240-280	4100-5100	1,6-1,73	1,75
Fibre aramidiche	60-180	3600-3800	1,9-5,5	1,45-1,48



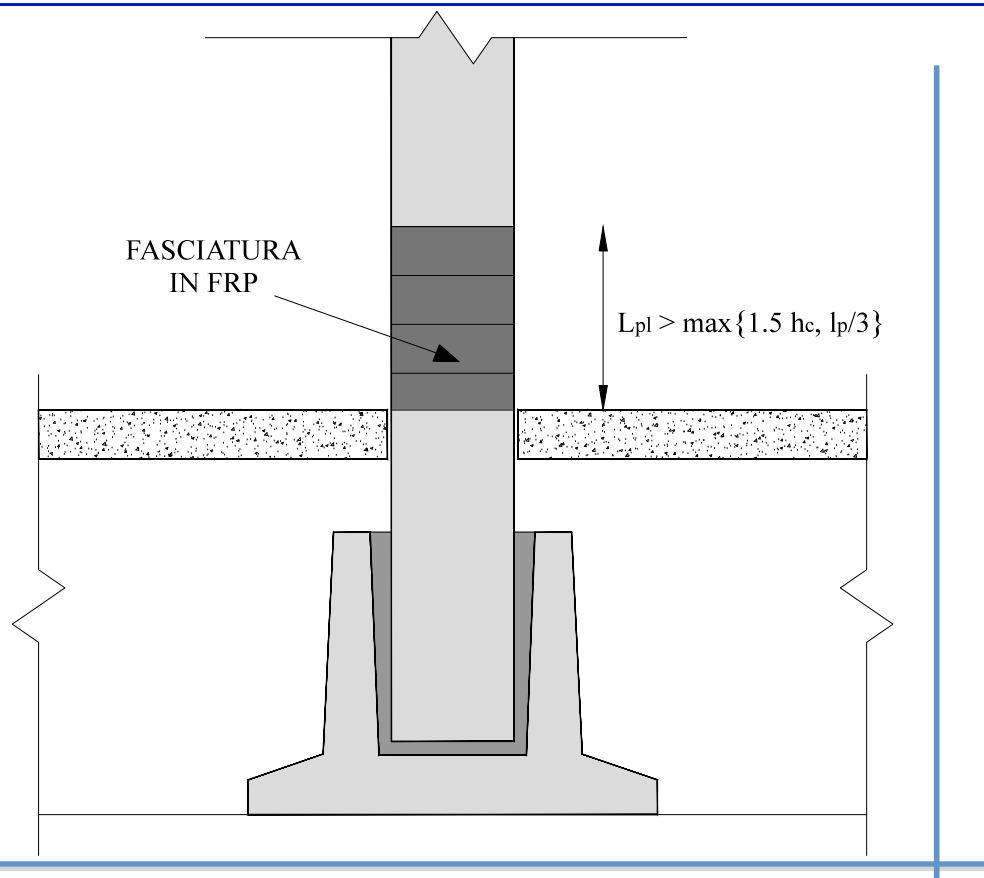
RINFORZO DEI PILASTRI

FASCIATURE IN FRP: EFFETTO DEL CONFINAMENTO

- **DURABILITÀ;**
- **LEGGEREZZA;**
- **CONFINAMENTO CLS;**
- **AUMENTO DI DUTTILITÀ
MANTENENDO LA POSIZIONE
DELLE CERNIERE PLASTICHE;**
- **INIBIZIONE MECCANISMI DI
ROTTURA FRAGILI;**



CONFINAMENTO ALLA BASE DEI PILASTRI MEDIANTE FASCIATURA IN FRP



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera (nel caso in cui non sia necessaria una preliminare riparazione del pilastro).
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Utilizzabile sia come soluzione di pronto intervento sia come soluzione per il definitivo adeguamento della struttura.

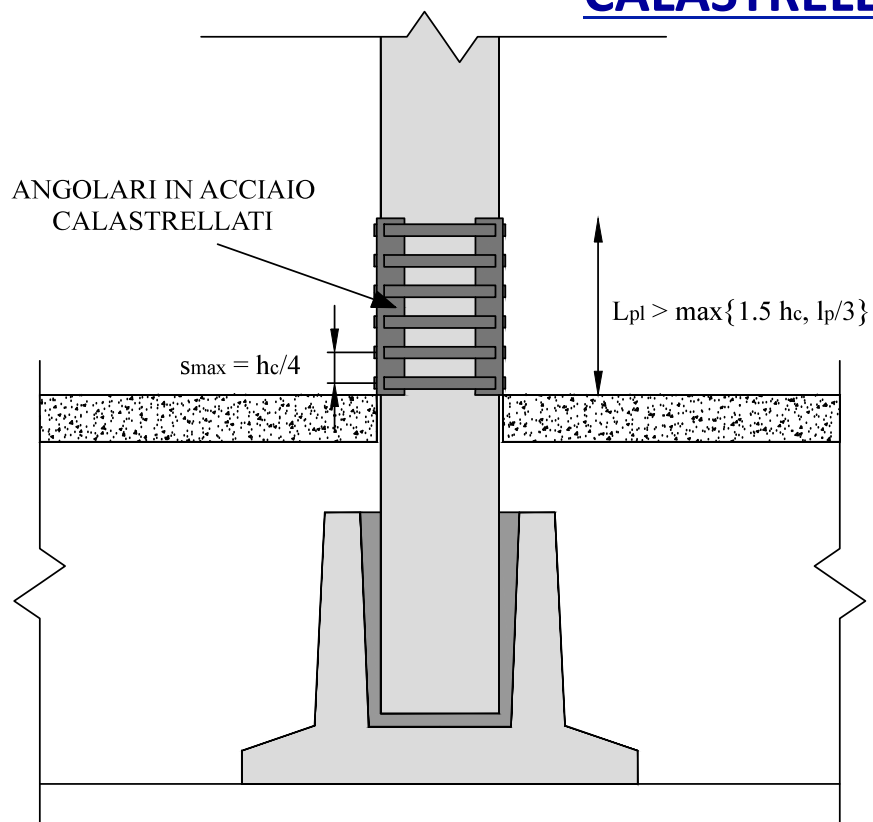
Svantaggi

- Non dà luogo a sensibili aumenti di resistenza né nei confronti dell'azione assiale, né del momento flettente.

Dimensionamento

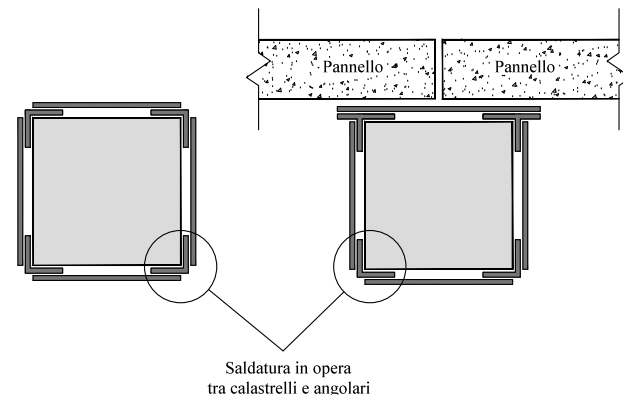
- Realizzare la fasciatura del pilastro per un'altezza dal pavimento (L_{pl}) almeno pari al massimo valore tra 1.5 volte la dimensione della sezione del pilastro (h_c) e $l_p/3$, dove l_p è l'altezza del pilastro.

CONFINAMENTO ALLA BASE DEI PILASTRI MEDIANTE ANGOLARI E CALASTRELLI METALLICI



PILASTRO INTERNO

PILASTRO DI FACCIATA



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera (nel caso in cui non sia necessaria una preliminare riparazione del pilastro).
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Utilizzabile come soluzione per l'adeguamento definitivo.

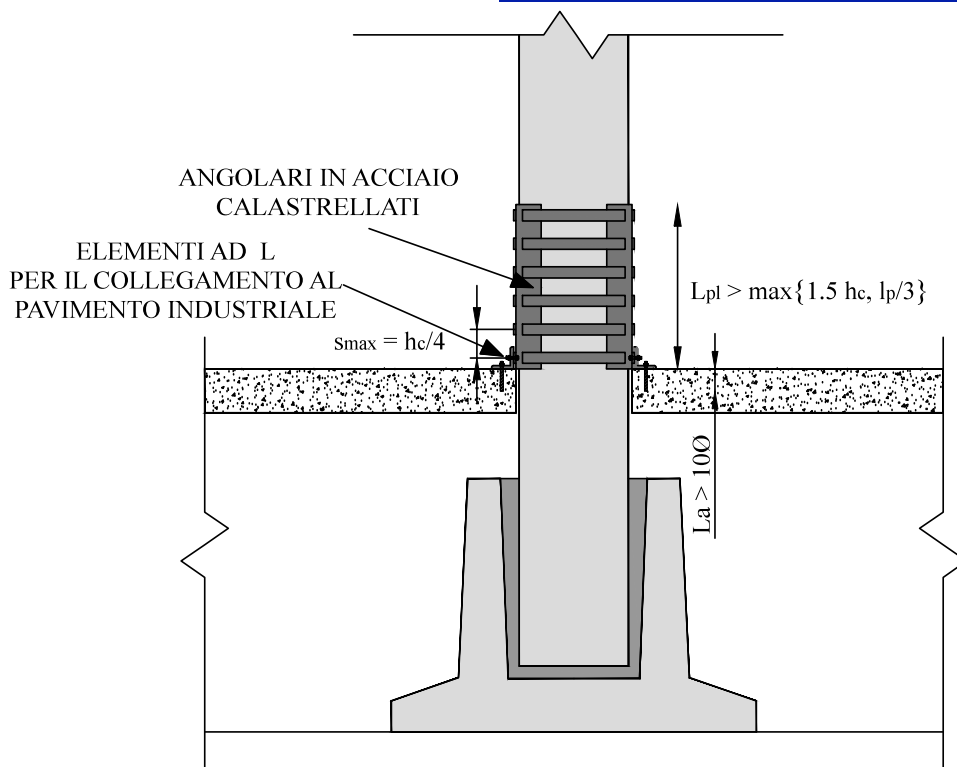
Svantaggi

- Non dà luogo a sensibili aumenti di resistenza né nei confronti dell'azione assiale, né del momento flettente.

Dimensionamento

- Saldare in opera i calastrelli per un'altezza (L_{pl}) pari almeno al massimo valore tra 1.5 volte la dimensione della sezione del pilastro (h_c) e $l_p/3$ (con l_p altezza del pilastro) e passo massimo (s_{max}) pari a $1/4$ della dimensione della sezione del pilastro (h_c).

CONFINAMENTO E RINFORZO ALLA BASE DEI PILASTRI MEDIANTE ANGOLARI E CALASTRELLI METALLICI

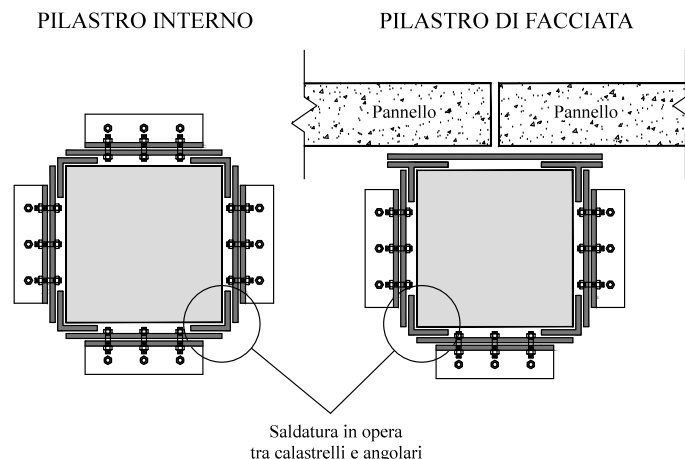


Svantaggi

- Realizzazione del vincolo alla base piuttosto complessa
- Non realizzabile in pavimenti con finiture di pregio.

Dimensionamento

- Saldare in opera i calastrelli per un'altezza (L_{pl}) pari almeno al massimo valore tra 1.5 volte la dimensione della sezione del pilastro (h_c) e $l_p/3$ (con l_p altezza del pilastro) e passo massimo (s_{max}) pari a $1/4$ della dimensione della sezione del pilastro (h_c).



Vantaggi

- Discreta velocità di messa in opera (nel caso in cui non sia necessaria una preliminare riparazione del pilastro).
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Utilizzabile come soluzione per l'adeguamento definitivo.

INCAMICIATURA IN HPFRC: IL MATERIALE

HPFRC: HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE

Calcestruzzo fibro-rinforzato ad elevate prestazioni

▪ **DM 14 GENNAIO 2008**

8.6 Materiali – Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali purchè nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap.12

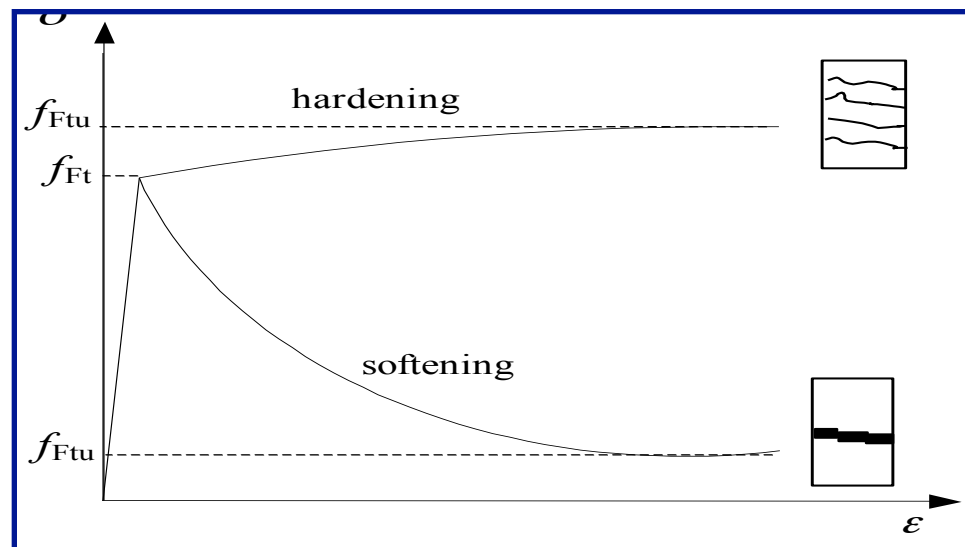
▪ **CNR DT204 2006**

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato

INCAMICIATURA IN HPFRC: IL MATERIALE

HPFRCC PER IL RINFORZO

- Fibre in acciaio
- Elevata resistenza a compressione
- Comportamento incrudente a trazione
- Autolivellante
- Autocompattante
- Possibilità di realizzare incamiciature senza l'aggiunta di armature tradizionali
- Incamiciature con spessori ridotti (30-40 mm)
- Limitate modifiche della geometria degli elementi
- Ridotti incrementi della massa degli elementi
- Possibilità di ottenere ottime superfici a vista, senza bisogno di intonacatura

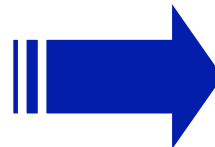
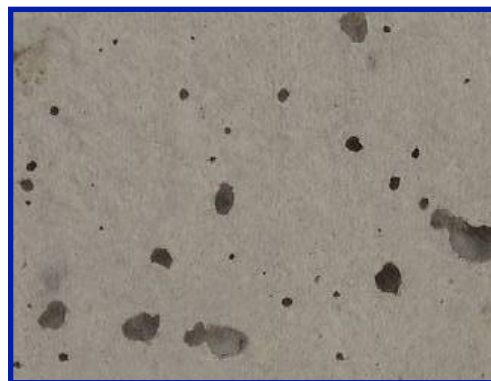


FASI REALIZZATIVE

PREPARAZIONE DEL SUPPORTO

SCARIFICA MECCANICA O SABBIATURA

- Scarifica meccanica/sabbiatura del supporto in calcestruzzo, per una profondità sufficiente a:
 - rimuovere tutte le parti degradate del calcestruzzo esistente
 - ottenere un buon grado di rugosità superficiale, necessario a garantire una corretta adesione del materiale di rinforzo
- Rimozione di tutto il materiale scarificato, incluso qualsiasi onere di smaltimento
- Idropulizia del supporto, avendo cura di rimuovere l'acqua in eccesso in superficie.



FASI REALIZZATIVE

PREPARAZIONE DEL SUPPORTO

- Scarifica e/o sabbiatura del supporto in calcestruzzo
- Aspirazione del supporto, al fine di rimuovere qualsiasi residuo della lavorazione
- Idropulizia del supporto

CASSERATURA

- Eventuale posa e fissaggio di rete in acciaio armonico maglia 20x20 mm diametro filo 2,2 mm
- Predisposizione di casseri a perfetta tenuta, essendo il materiale un microcalcestruzzo autolivellante

FASI REALIZZATIVE

GETTO DI MICROCALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO HPFRCC

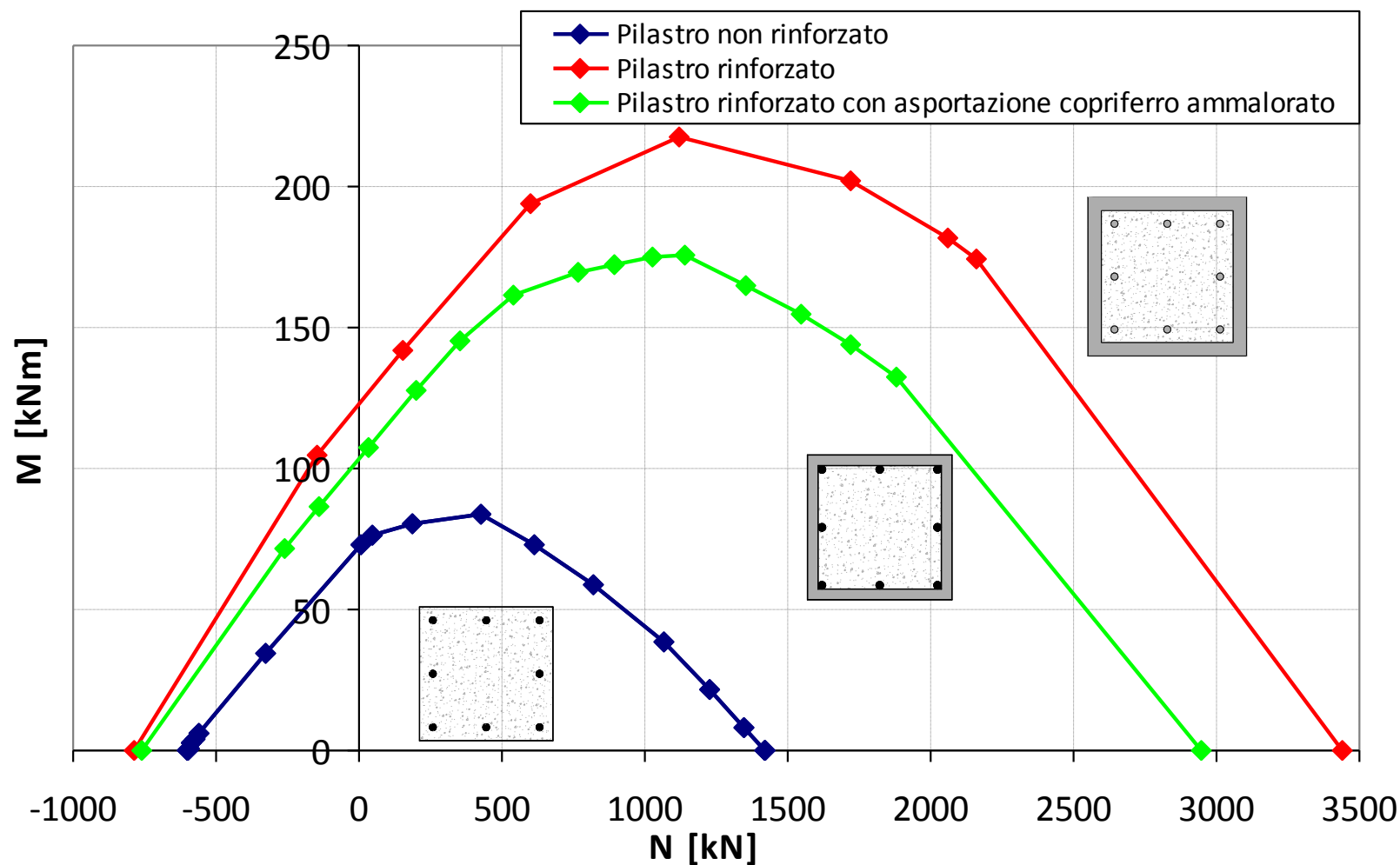
- Su supporto saturo a superficie asciutta
- Getto mediante semplice colata di microcalcestruzzo fibrorinforzato che consente nel contempo un rinforzo strutturale ed un elevato incremento di duttilità della struttura
- In corrispondenza delle riprese di getto è utile l'interposizione di una rete metallica per garantire la continuità strutturale del rinforzo



La stessa tecnologia di rinforzo può essere attuata mediante prodotti tixotropici con prestazioni meccaniche simili, al fine di evitare la posa dei casseri nei casi in cui non sia possibile utilizzarli

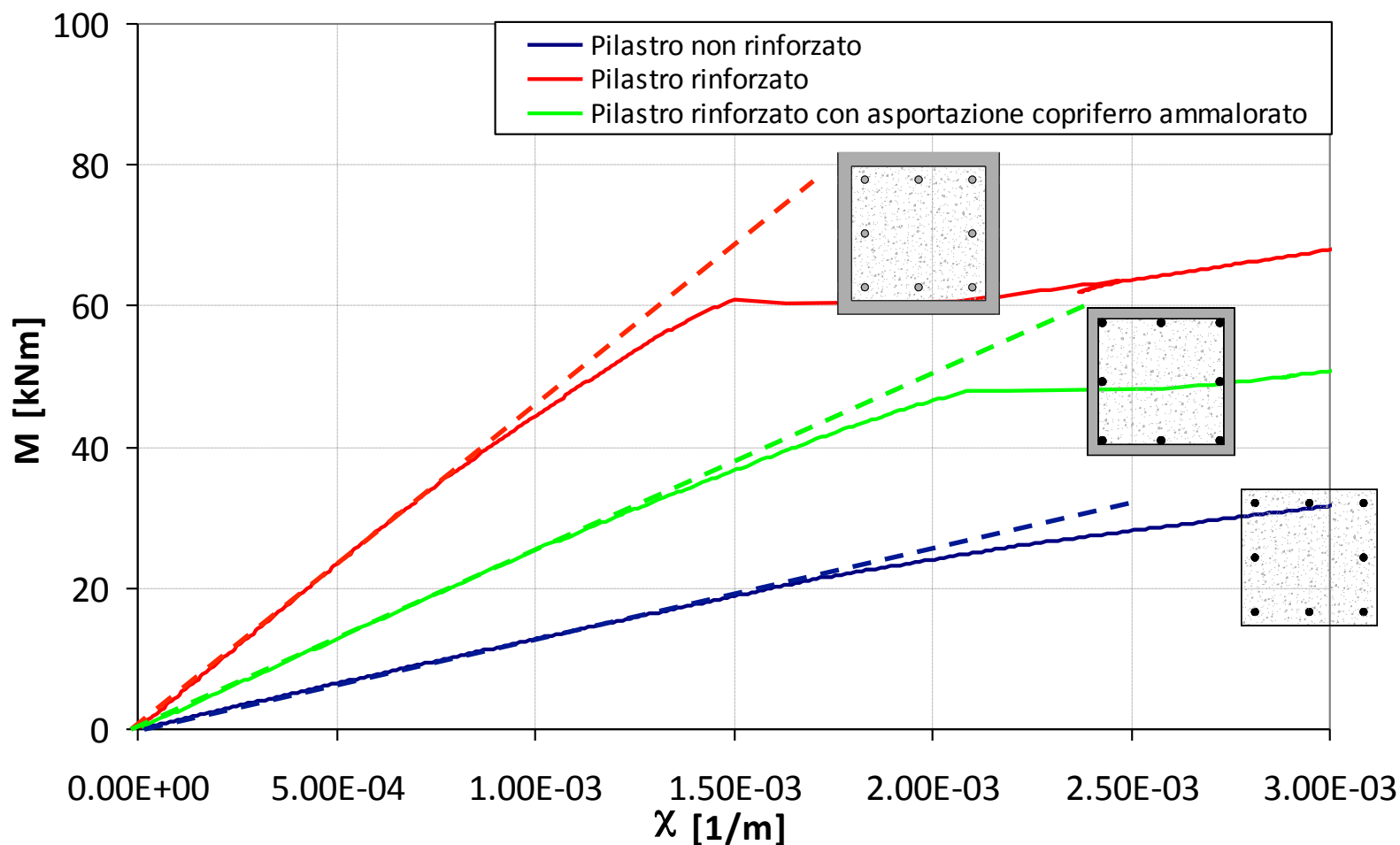
RINFORZO DI PILASTRI

CONFRONTO DOMINI M-N

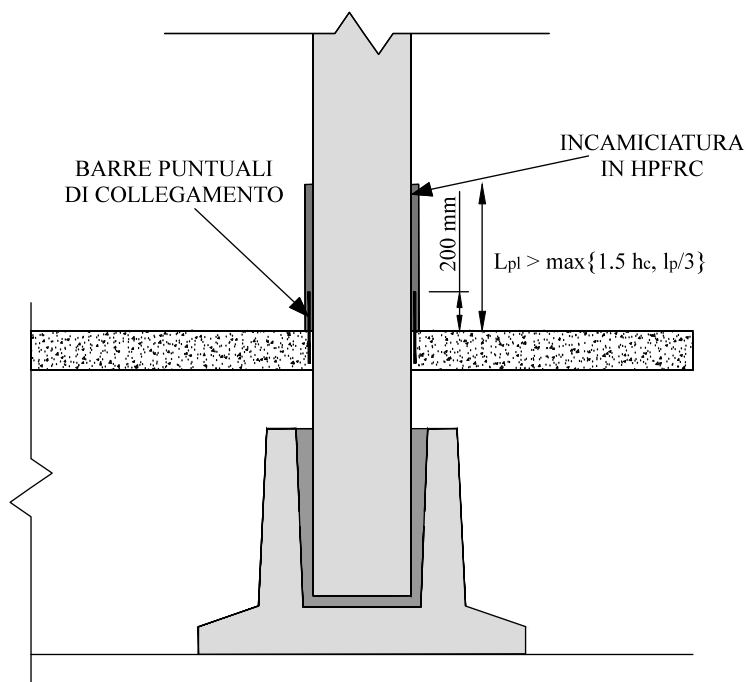


RINFORZO DI PILASTRI

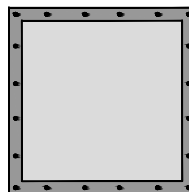
CONFRONTO RIGIDEZZE INIZIALI



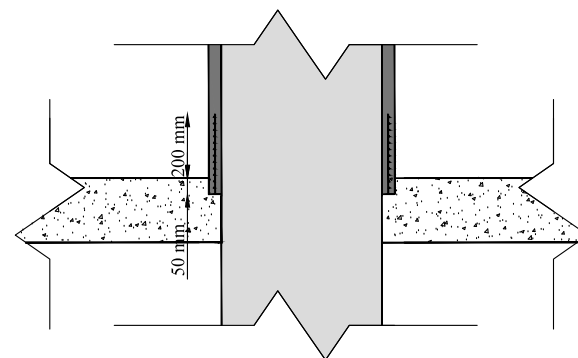
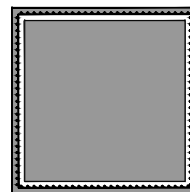
CONFINAMENTO E RINFORZO ALLA BASE DEI PILASTRI MEDIANTE INCAMICIATURA IN HPFRC



Collegamento con
connettori



Collegamento con
rete elettrosaldata



Svantaggi

- Necessita di casseratura a tenuta lungo tutto il perimetro, essendo il materiale utilizzato autocompatante.

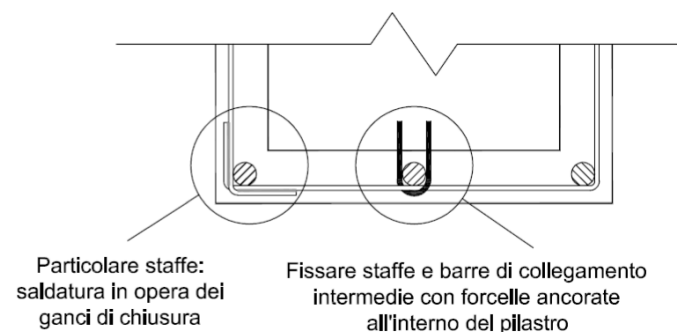
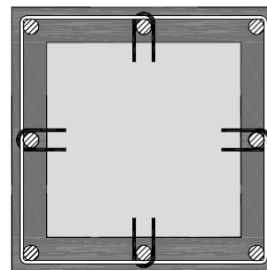
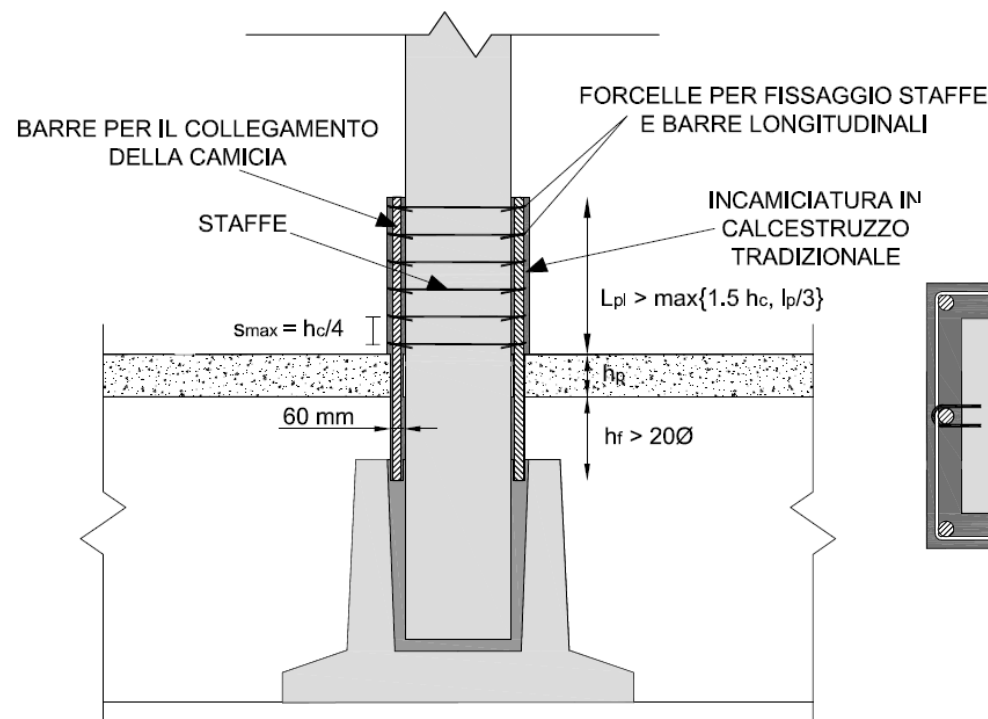
Vantaggi

- Incremento della resistenza flessionale della sezione di base del pilastro dovuto sia al collegamento con il pavimento industriale, sia all'aumento del braccio della coppia interna.
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Utilizzabile come soluzione per l'adeguamento definitivo.

Dimensionamento

- Utilizzare rete elettrosaldata di piccolo diametro e maglia orientativamente 30x30 mm
- Lo spessore suggerito per la camicia 40 mm

CONFINAMENTO E RINFORZO ALLA BASE DEI PILASTRI MEDIANTE INCAMICIATURA IN C.A.



Vantaggi

- Incremento della resistenza della sezione di base del pilastro.
- Basato sull'utilizzo di tecniche tradizionali ben consolidate.
- Utilizzabile come soluzione per l'adeguamento definitivo.

Svantaggi

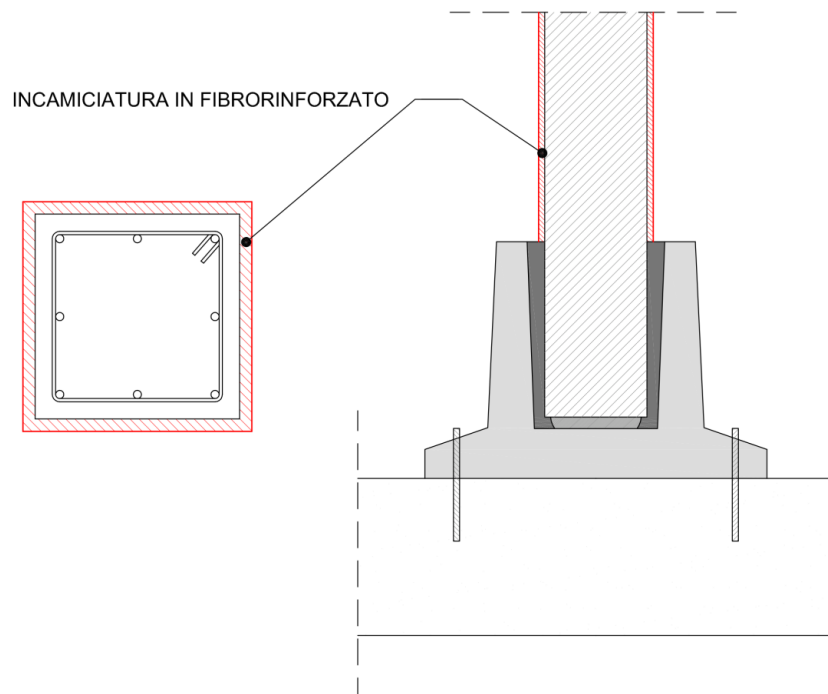
- Metodo di rinforzo invasivo e laborioso.

Dimensionamento

- Deve essere dimensionato per consentire alla sezione di base del pilastro di sostenere le azioni sismiche di progetto.

RINFORZO DEI PILASTRI

OSSERVAZIONI: COLLEGAMENTO PILASTRO-FONDAZIONE



IRRIGIDIMENTO ZONA CRITICA



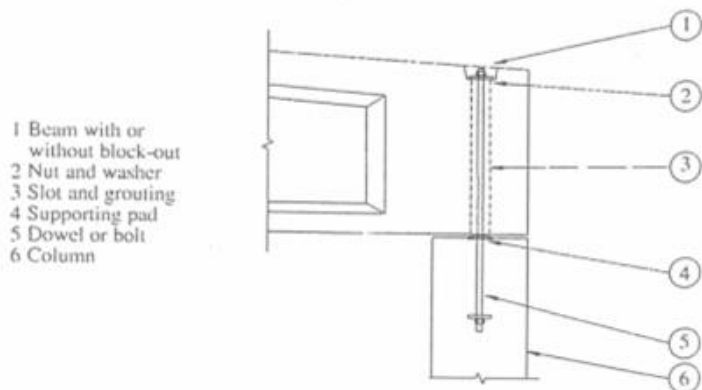
POSSIBILE CRISI NEL BICCHIERE

**COLLEGAMENTO DEI PLINTI DI FONDAZIONE PER EVITARE IL
COLLASSO DEI BICCHIERI**

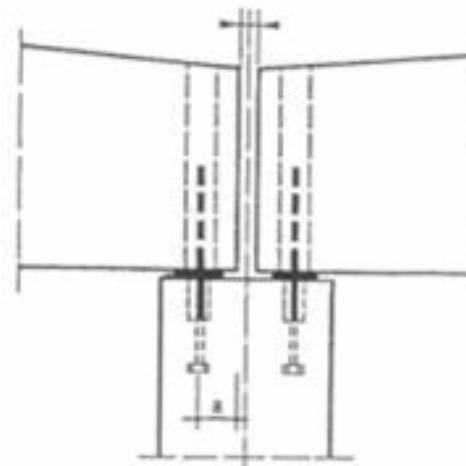


RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO

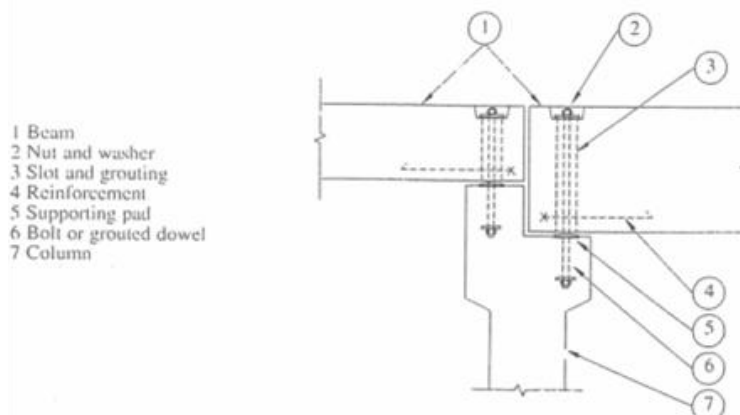
CONNESSIONI TRA PILASTRI E TRAVE DI COPERTURA



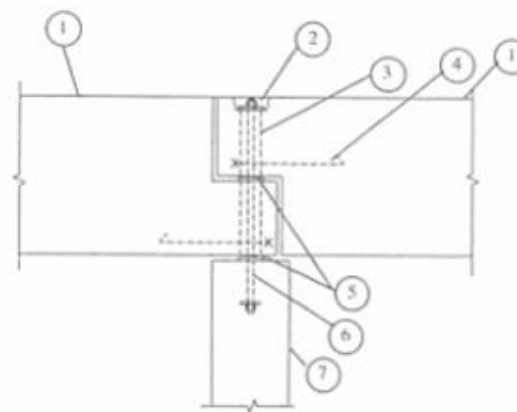
(a) Barre verticali – ancoraggio inferiore mediante boccola e serraggio all'estremo inferiore



(b) Barre verticali – effetto leva

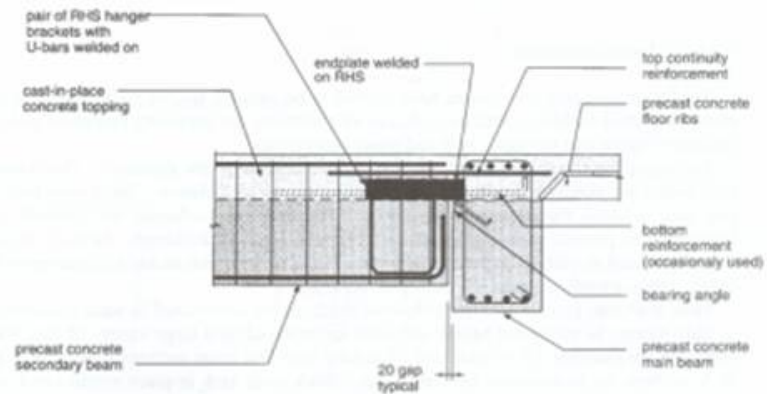
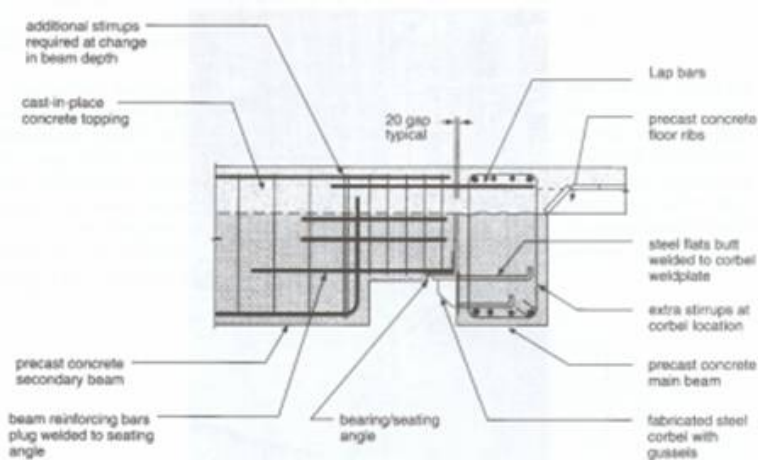


(c) Collegamenti di travi con differenti altezze

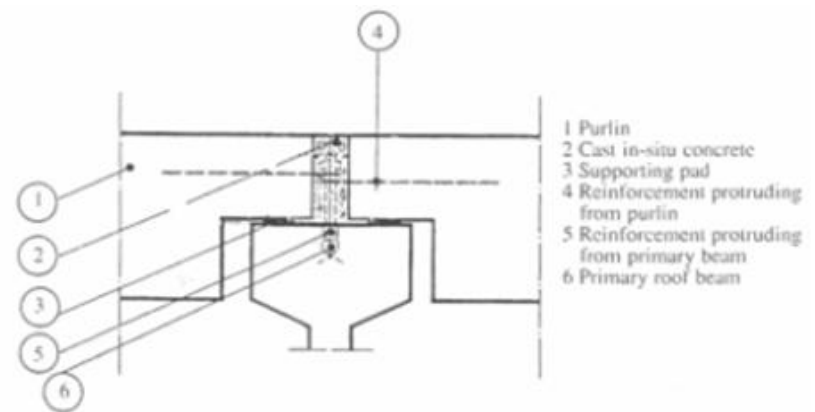
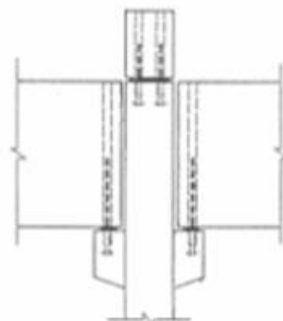
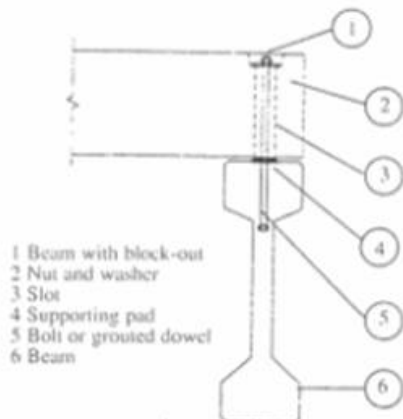


(d) Travi con appoggio Gerber

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*)

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

PROBLEMI IN COPERTURA



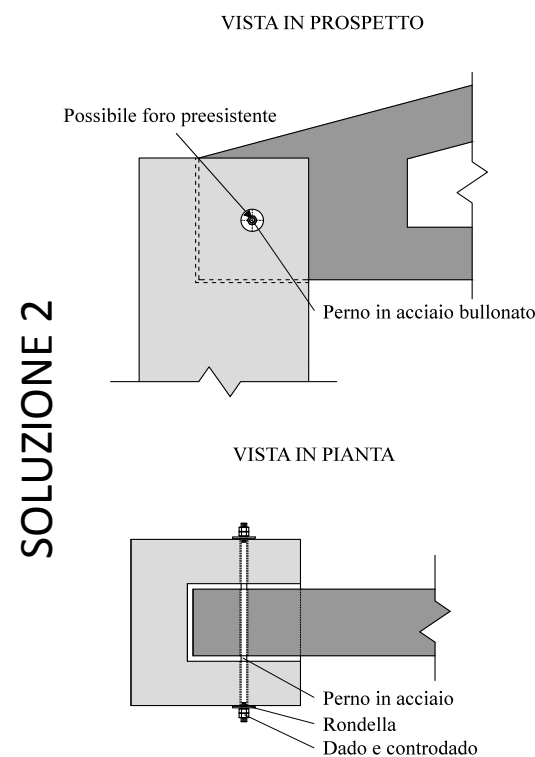
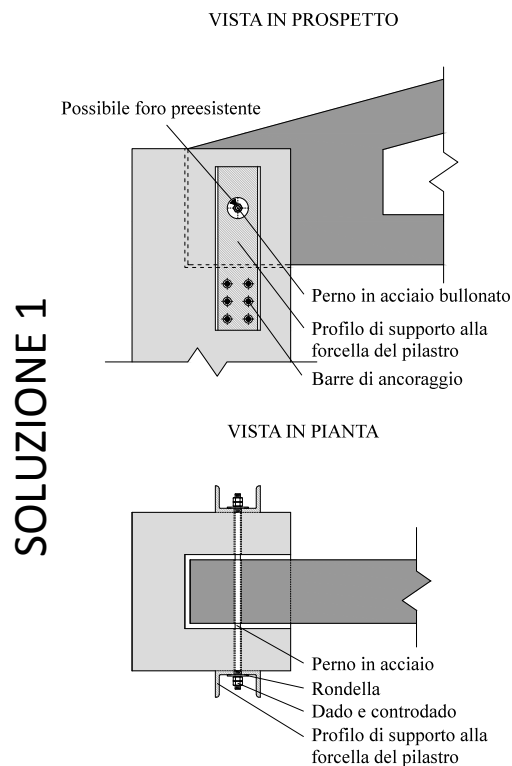
**MASSA PREVALEMENTEMENTE
CONCENTRATA IN COPERTURA**



**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

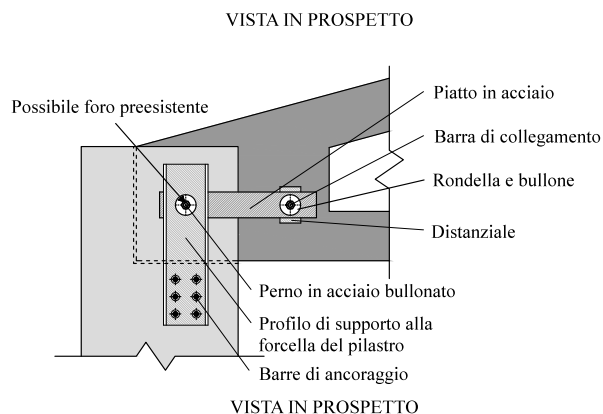
- Deve essere valutata con attenzione la resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave.

Dimensionamento

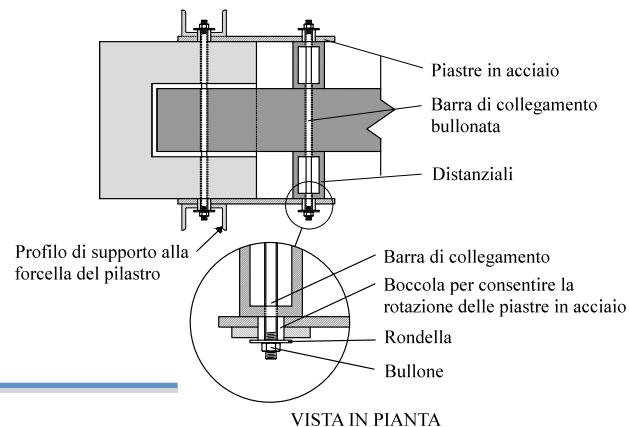
$$f_i = \frac{1}{2} w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO MEDIANTE PERNI E PIASTRE IN ACCIAIO

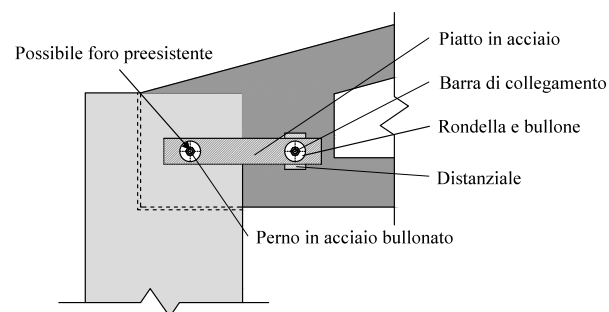
SOLUZIONE 1



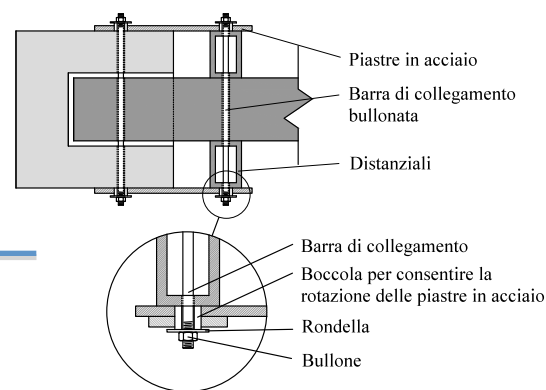
VISTA IN PIANTA



SOLUZIONE 2



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

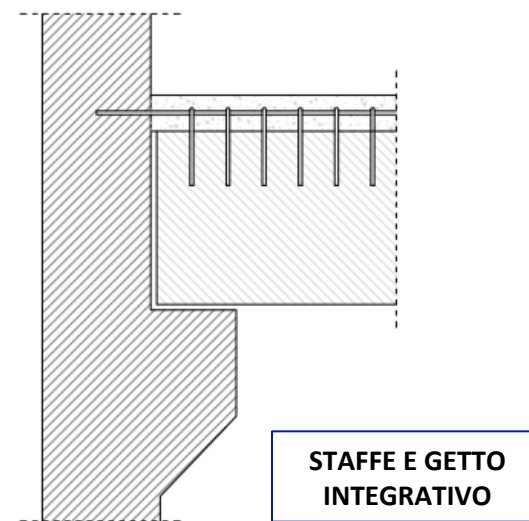
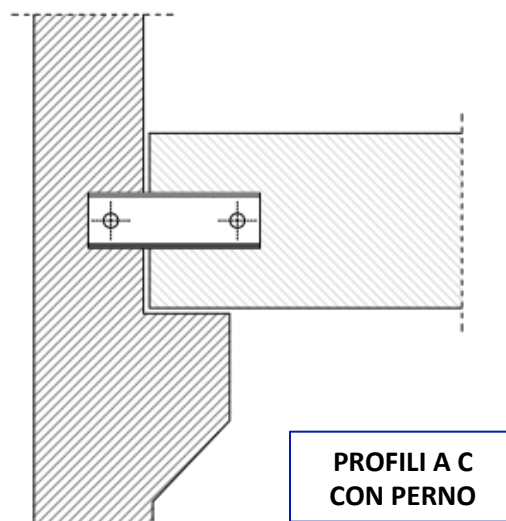
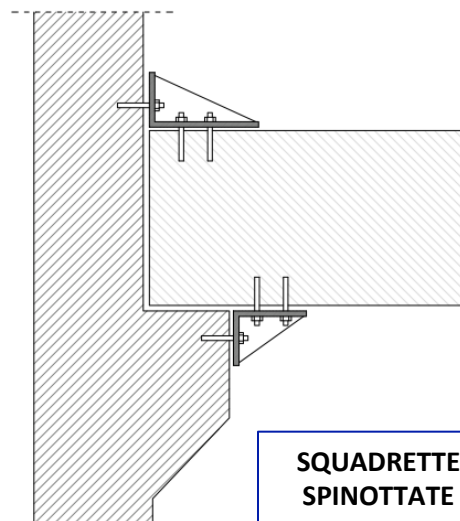
$$f_i = \frac{1}{2} w_i \cdot S_a(T_1) / g$$

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO

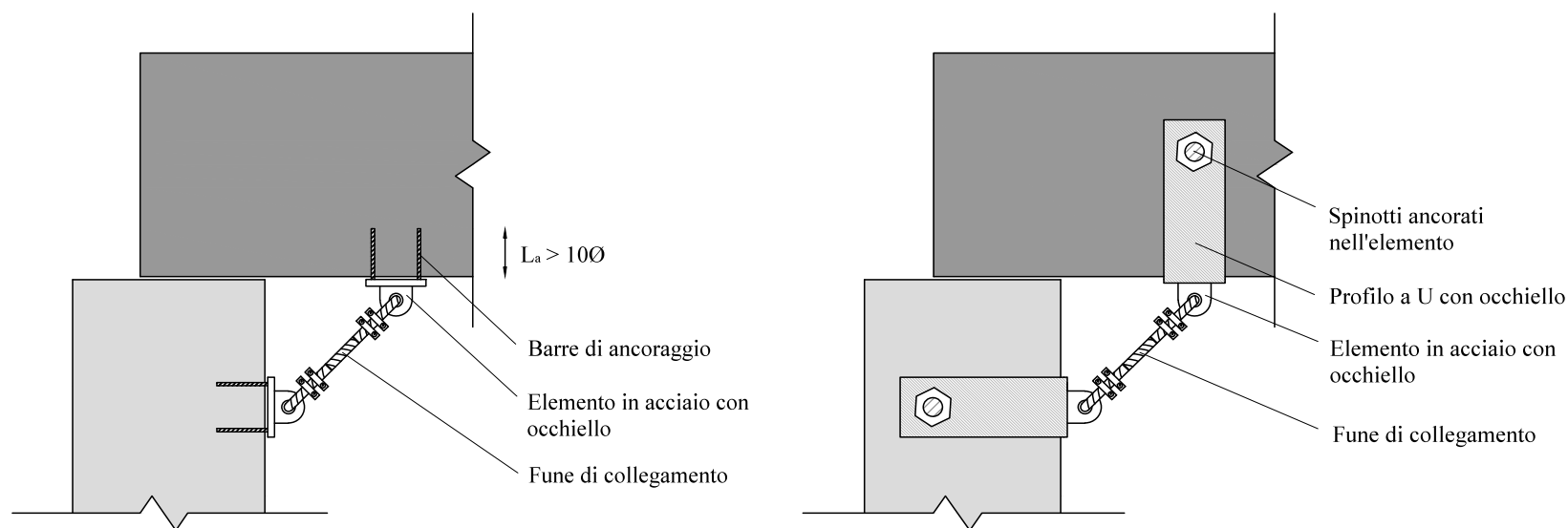


➡ COLLEGAMENTI NON PROGETTATI PER
SOPPORTARE LE AZIONI ORIZZONTALI

➡ APPOGGI AMMALORATI



COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO MEDIANTE FUNI



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.

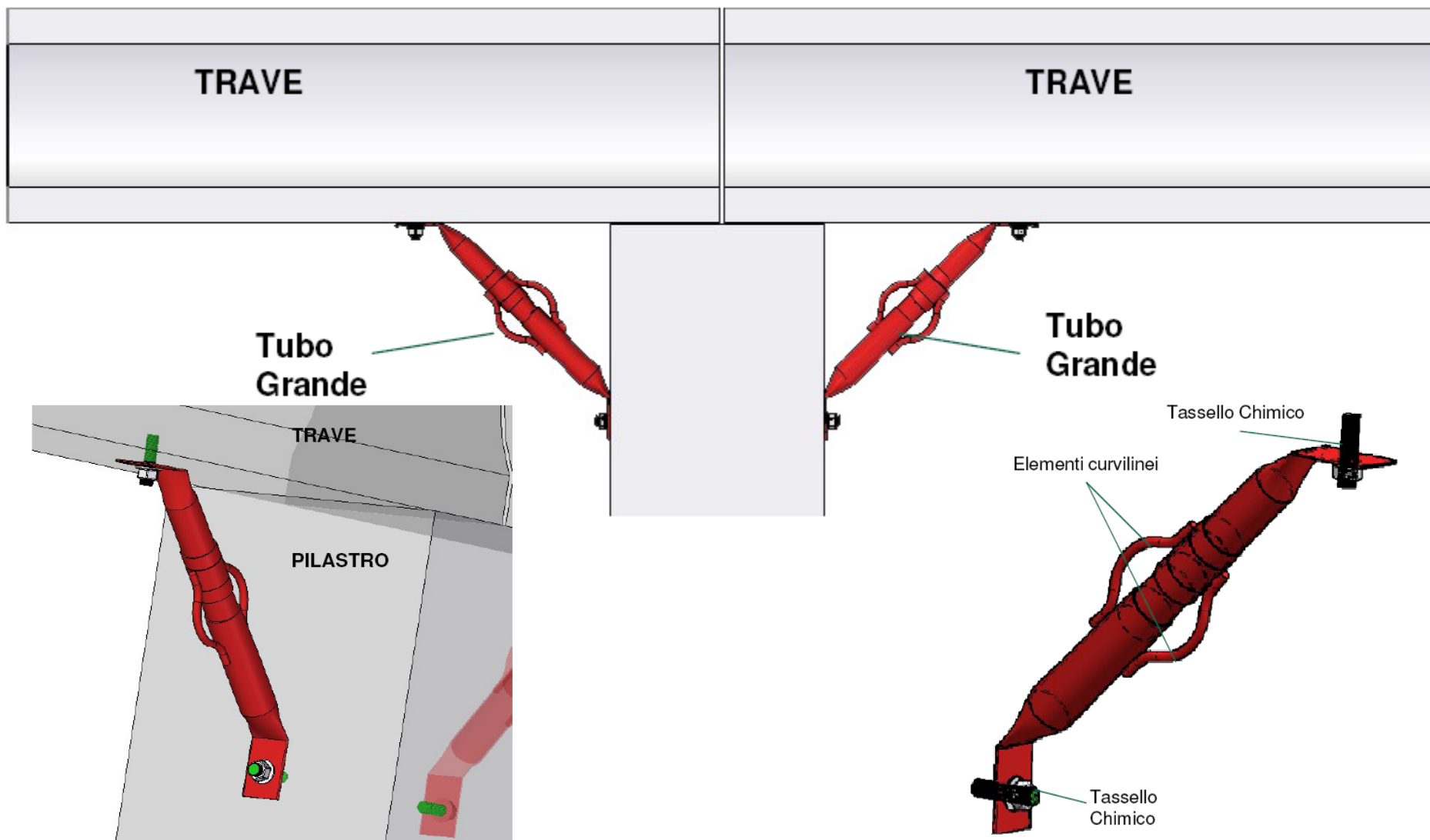
Dimensionamento

- 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 sovreresistenza pari a 1.25

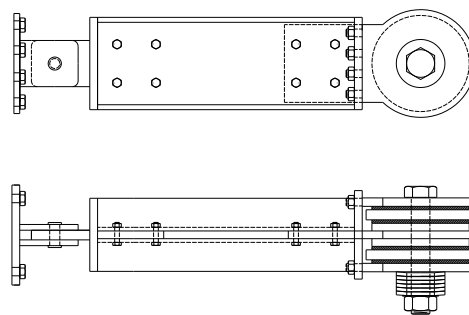
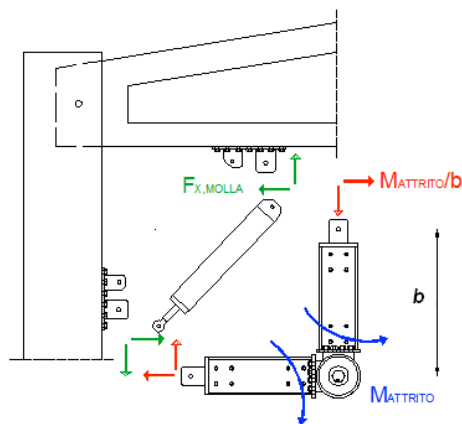
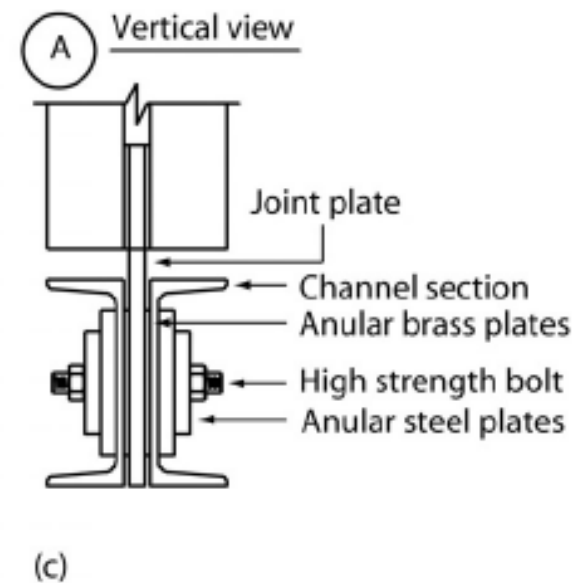
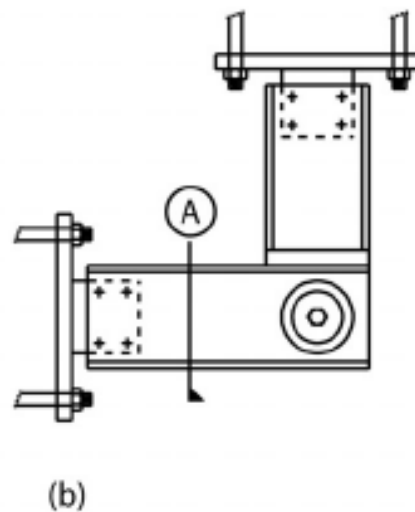
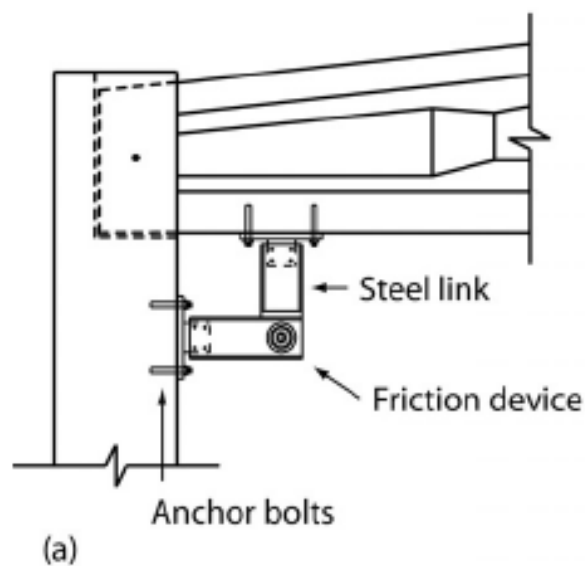
•

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

COLLEGAMENTO MEDIANTE ELEMENTI LINEARI DISSIPATIVI



AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: DISSIPATORE AD ATTRITO



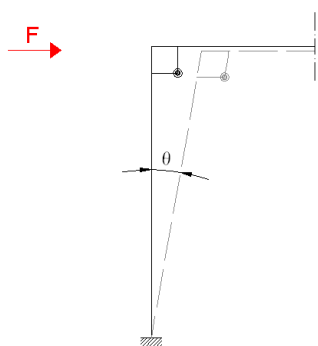
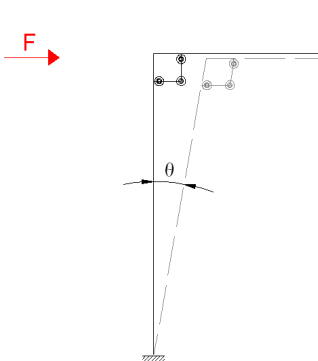
Belleri et. Al. (2010)

VANTAGGI

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

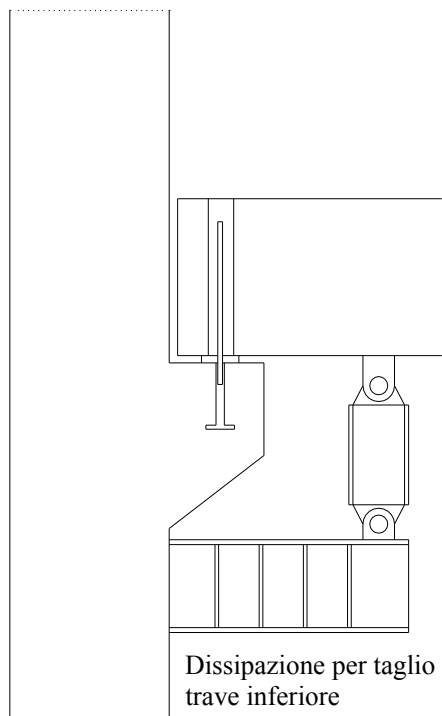
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: DISSIPATORE AD ATTRITO

POSSIBILI CONFIGURAZIONI

1. 	UN UNICO ELEMENTO AD ATTRITO L'elemento ad attrito posto sulla congiungente i due bracci determinerà un momento di connessione crescente fino al valore dettato dall'attrito statico. Una volta oltrepassato tale valore si potranno avere dei movimenti relativi mantenendo un momento di connessione associato al coefficiente di attrito dinamico.
2. 	DUE O TRE ELEMENTI AD ATTRITO

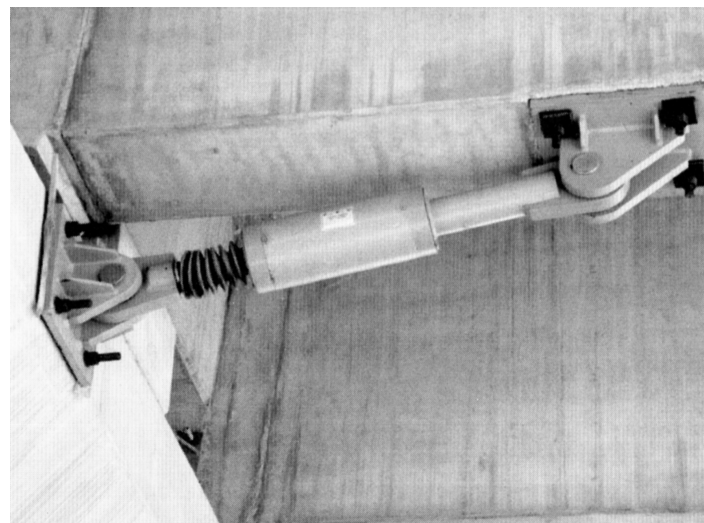
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: DISSIPATORE AD ATTRITO

SISTEMA DI DISSIPAZIONE A TAGLIO



- Dispositivi attivati dallo spostamento;

SISTEMA DI SMORZAMENTO VISCOSO

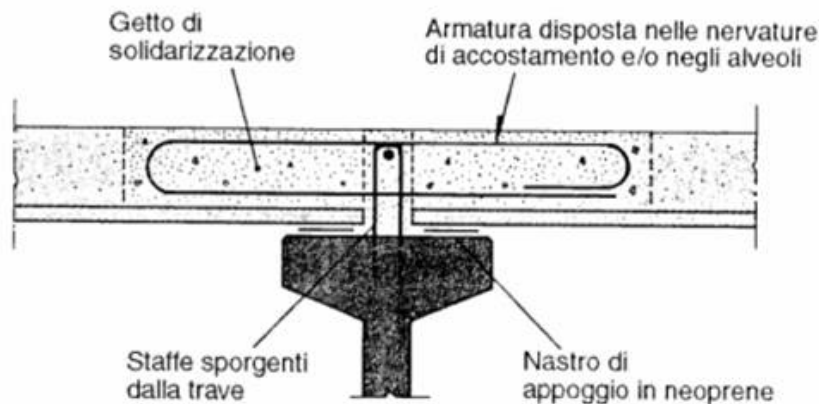


- Dispositivi attivati dalla velocità relativa tra due punti;
- La risposta forza-spostamento dipende solitamente dalla frequenza del moto;
- le forze generate nelle strutture che li ospitano sono usualmente fuori fase rispetto alle forze interne risultanti dall'azione dell'evento sismico;



RINFORZO CONNESSIONE TRAVE - TEGOLO

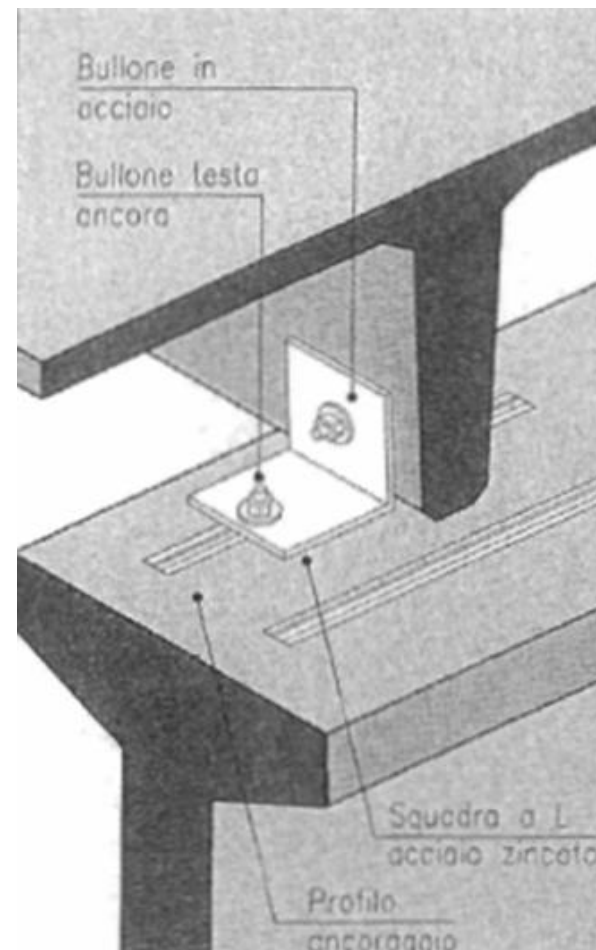
CONNESSIONE TRAVE-SOLAIO E TRAVE-TEGOLI



Esempio di collegamento trave – solaio di piano



Esempio di collegamento trave – solaio di piano



Connessione trave – tegolo mediante bulloni
(Dassori, 2001)

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

PROBLEMI DI PERDITA DELL'APPOGGIO

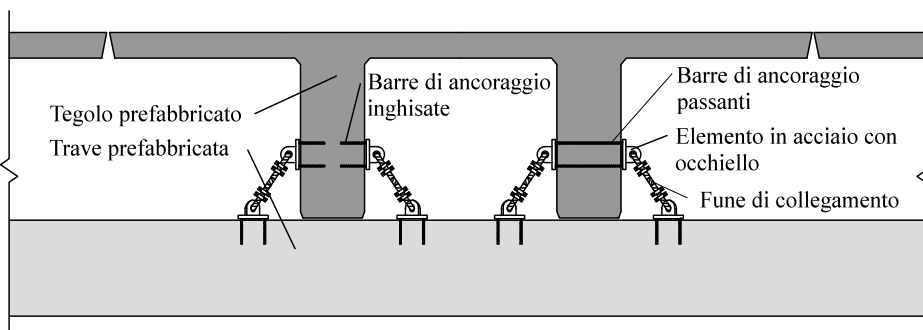


**GLI ELEMENTI NON SONO IN GRADO
DI SOSTENERE GLI SPOSTAMENTI
IMPOSTI DAL SISMA**

- 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 FUNI ANCORATE SUI LATI DELLE GAMBE DEI TEGOLI

VISTA IN PROSPETTO



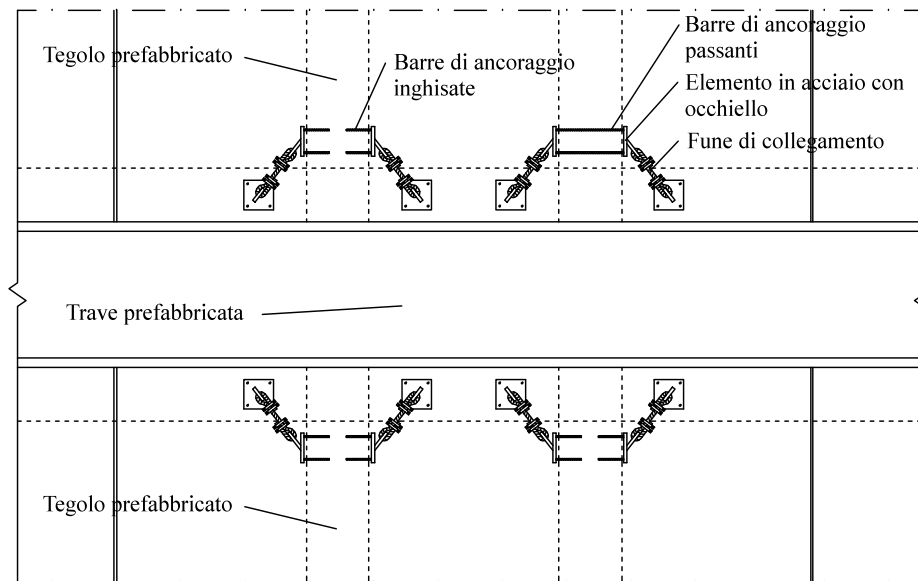
Vantaggi

- 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

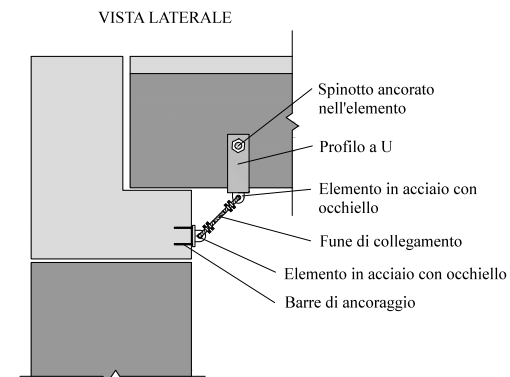
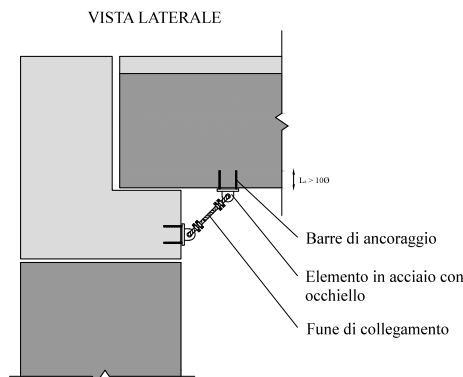
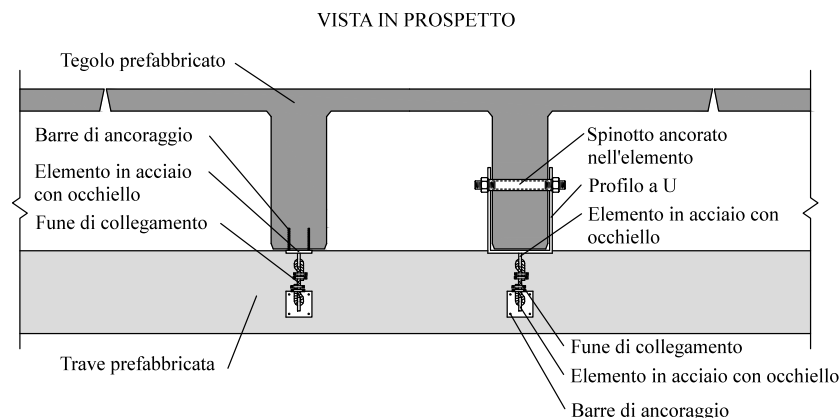


Dimensionamento

- 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 FUNI ANCORATE 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.

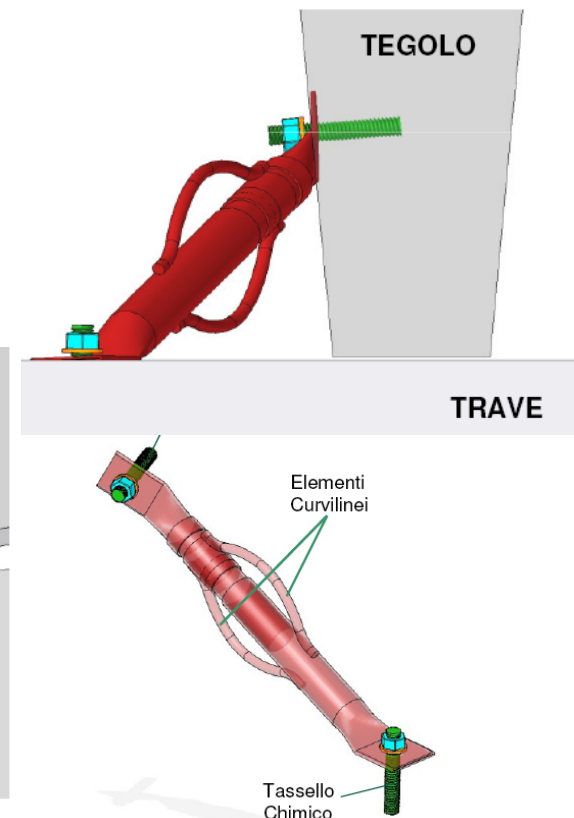
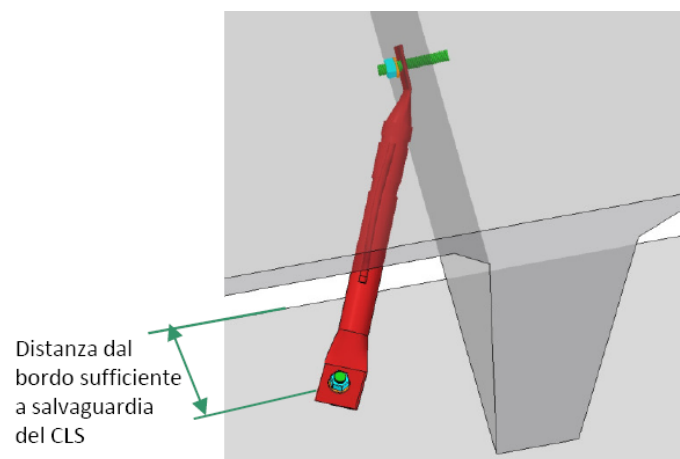
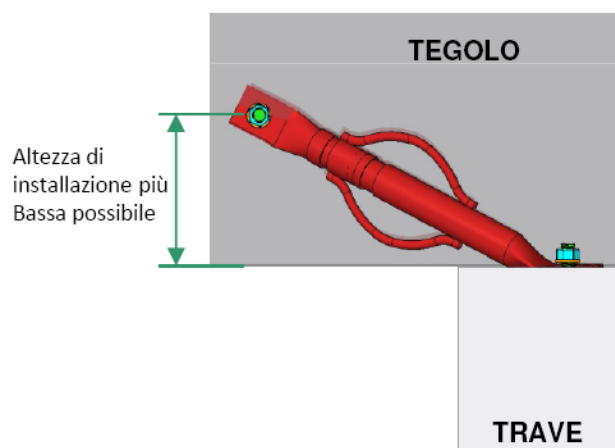
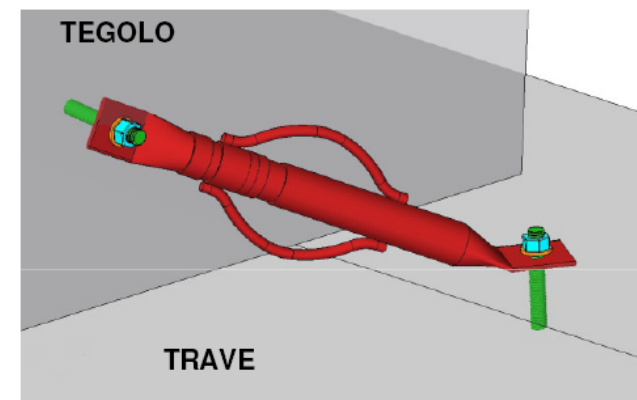
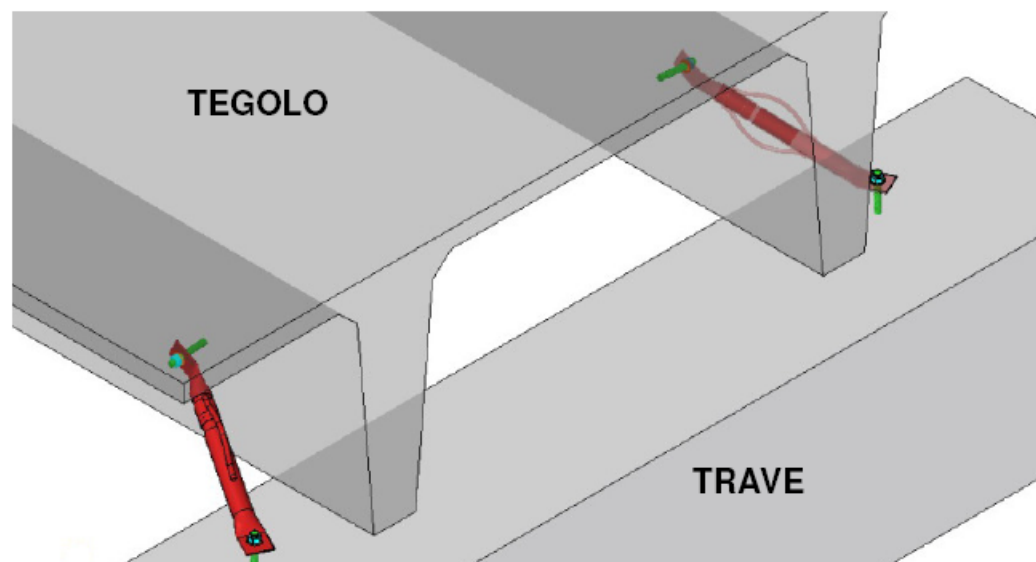
Dimensionamento

- 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 sovrarresistenza pari a 1.25

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

COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI



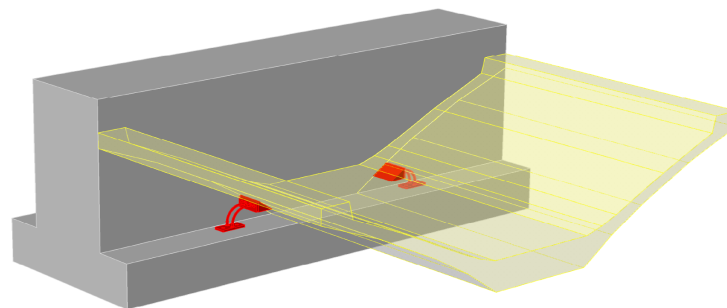
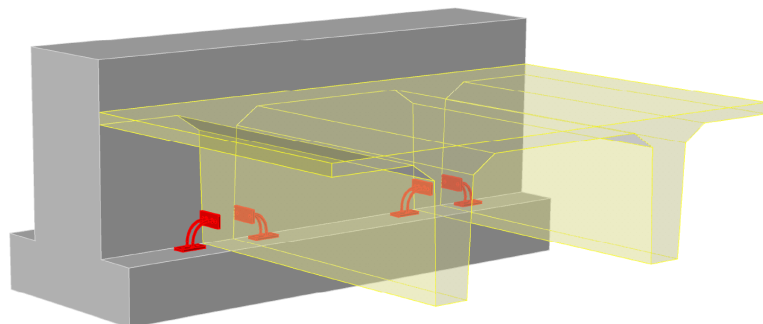
COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE

DISSIPATORE METALLICO

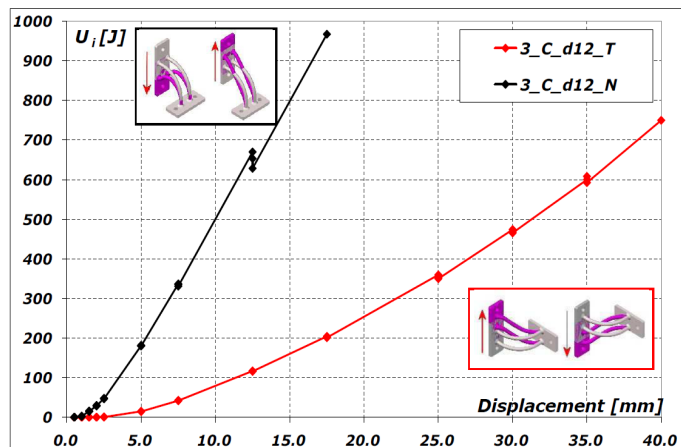
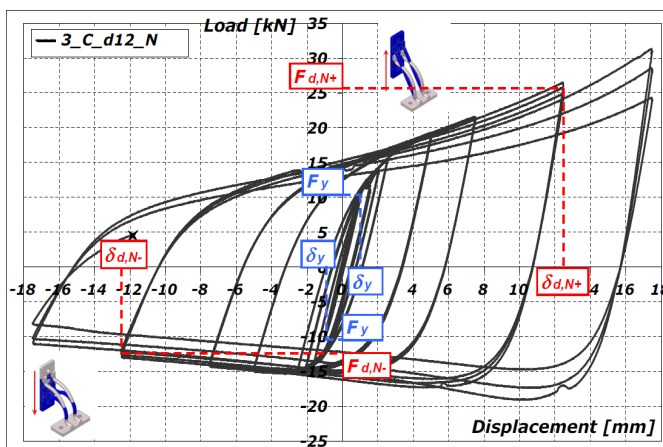
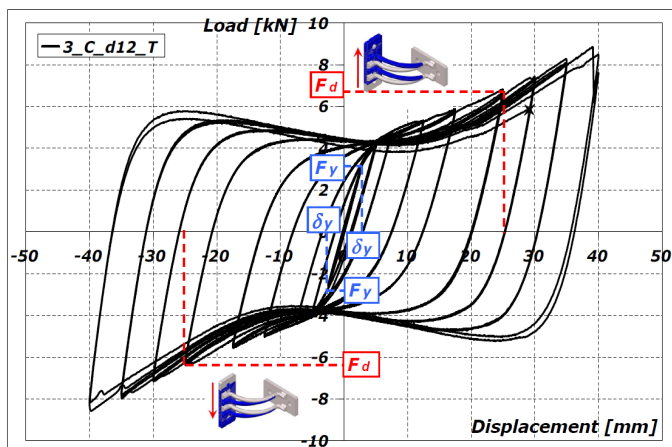


la plasticizzazione degli elementi curvilinei garantisce la possibilità di sviluppare elevate deformazioni tra gli elementi collegati, limitando allo stesso tempo l'azione trasmessa dal tegolo alla trave in caso di un evento sismico

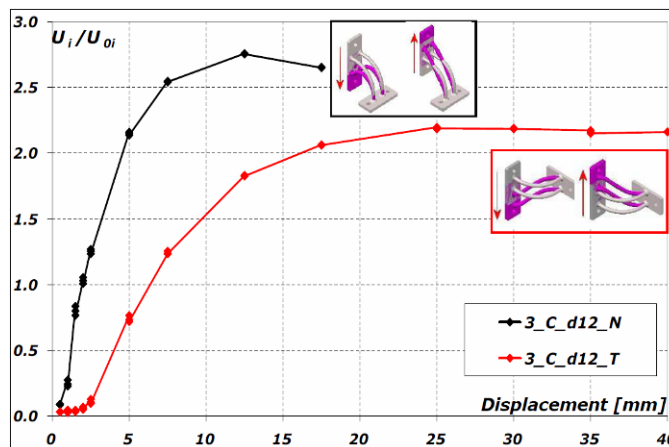


COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

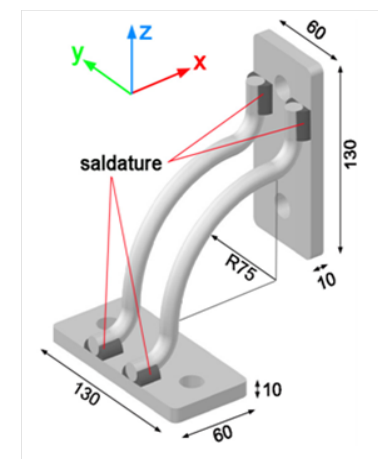
AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE



Energia dissipata assoluta

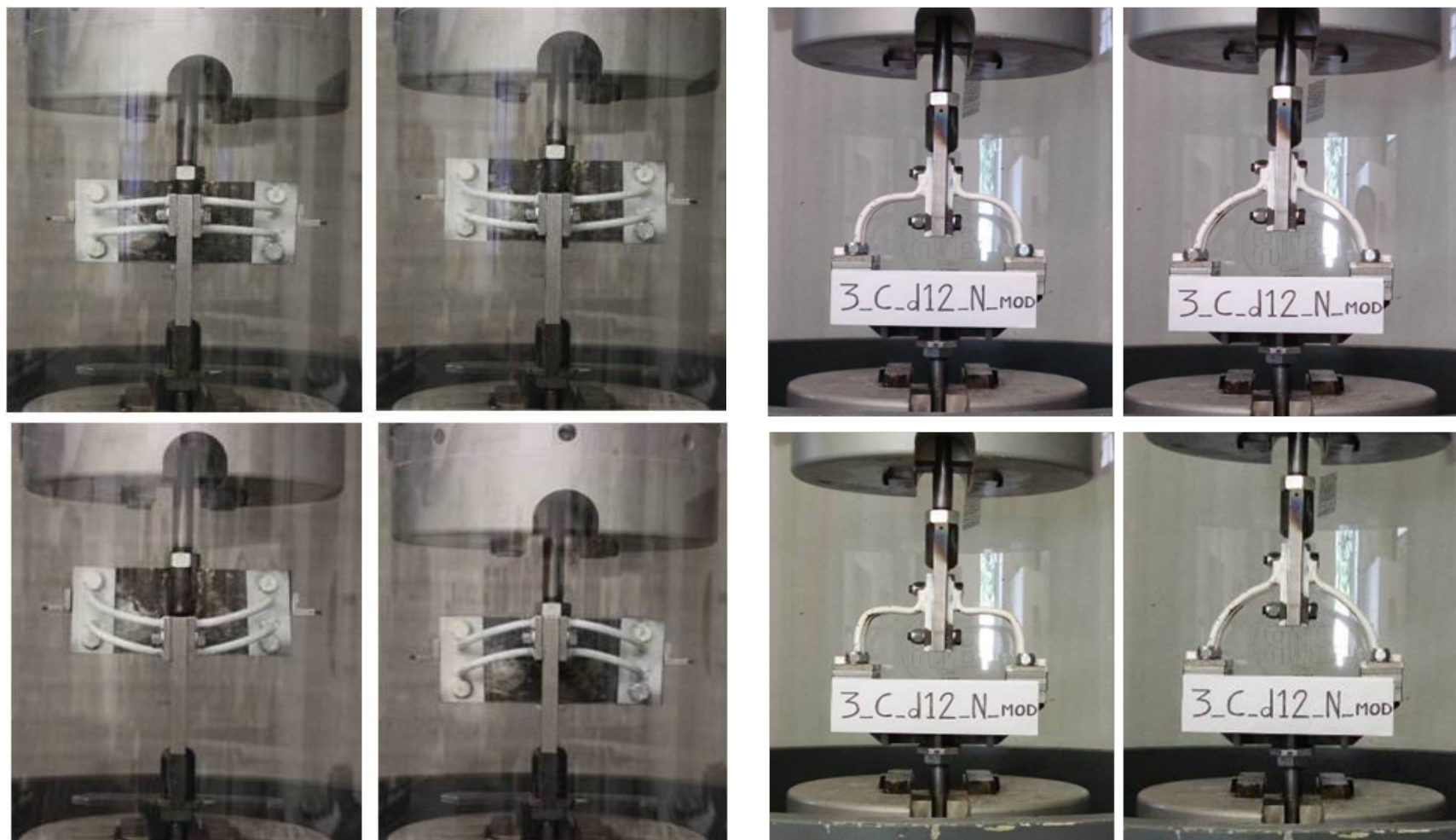


Energia dissipata adimensionalizzata



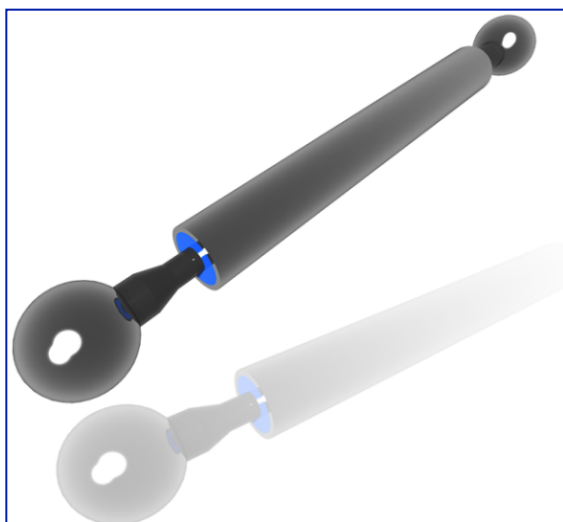
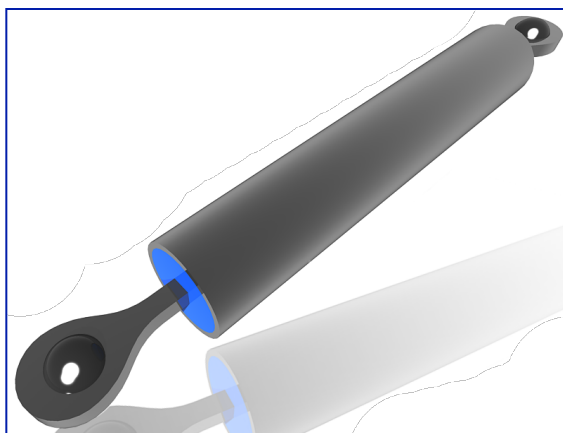
COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE



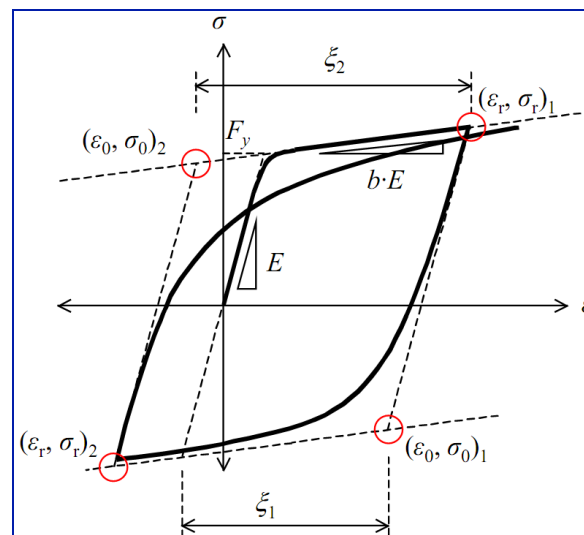
RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: MINIBIB



SMORZAMENTO ISTERETICO METALLICO

- Attivati dallo spostamento relativo fra i due elementi collegati;
- Tipici per il collegamento di elementi prefabbricati
- Sfruttano le proprietà isteretiche del metallo nella sua fase post-elastica per dissipare energia sotto forma di calore;
- Lavora in un regime di sforzo monoassiale;

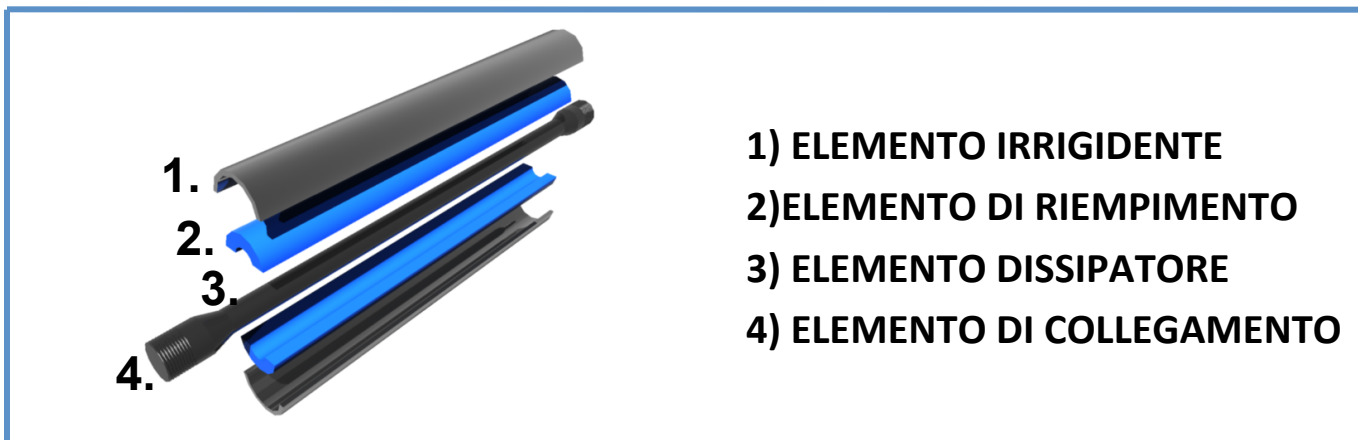


Comportamento di un materiale metallico (Midas GEN)

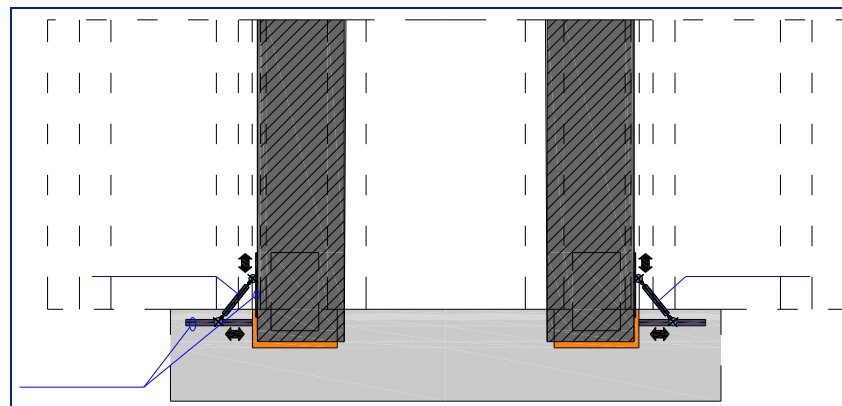
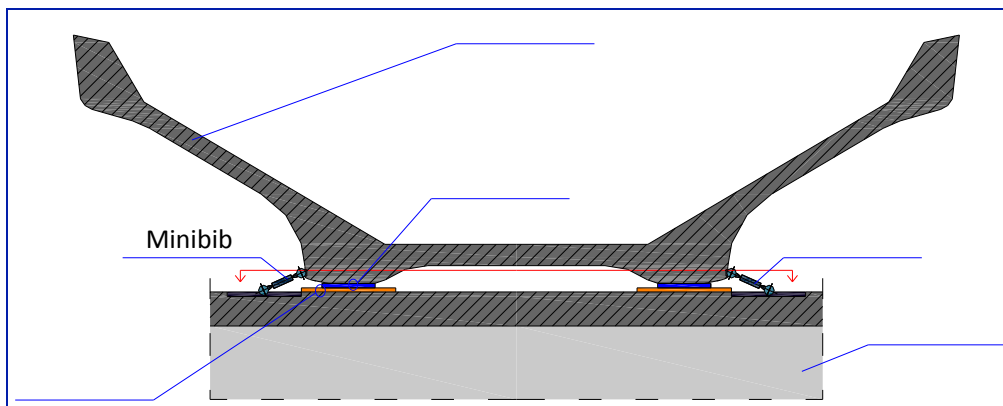
RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: MINIBIB

COMPOSIZIONE



POSIZIONAMENTO

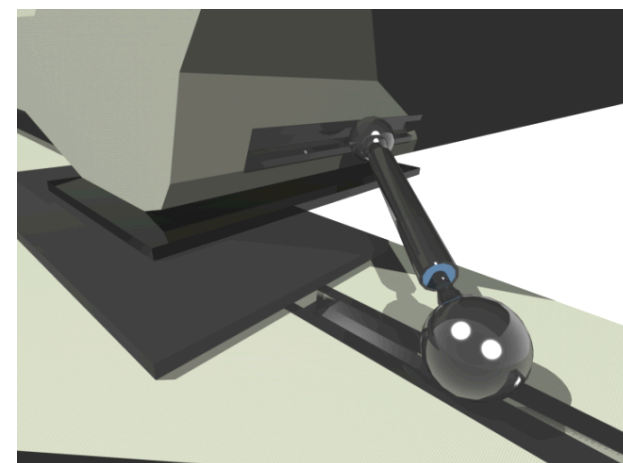
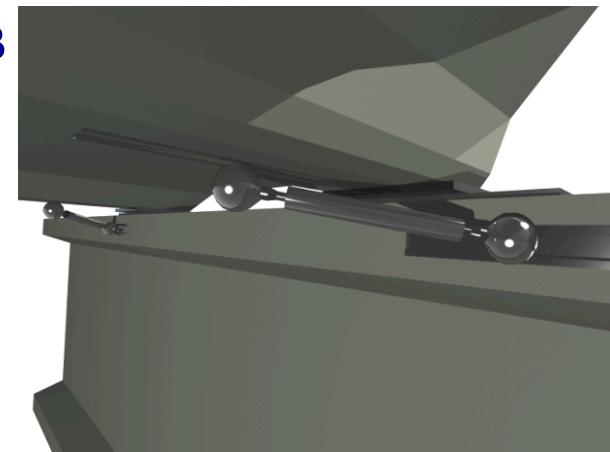


RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: MINIBIB

EFFETTI SULLA STRUTTURA

- Riduzione delle sollecitazioni all'interno della struttura;
- Conseguente riduzione del momento e del taglio sollecitanti;
- Conseguente riduzione del drift di piano e degli effetti del second'ordine;
- Danneggiamenti, a seguito di un evento sismico, localizzati nel MiniBIB e non nel piede del pilastro;



**GRAN PARTE DELLA MASSA È
CONCENTRATA IN SOMMITÀ**



DISSIPAZIONE EFFICIENTE

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: MINIBIB

ASPETTI POSITIVI

- Semplicità d' azione;
- Meccanismo di isteresi ben conosciuto;
- Dissipazione di energia sismica efficiente;
- Dimensioni ridotte;
- Processo di produzione semplice;
- Montaggio e sostituzione in caso di danneggiamento semplice;
- Scelta del dispositivo relativamente poco complicata

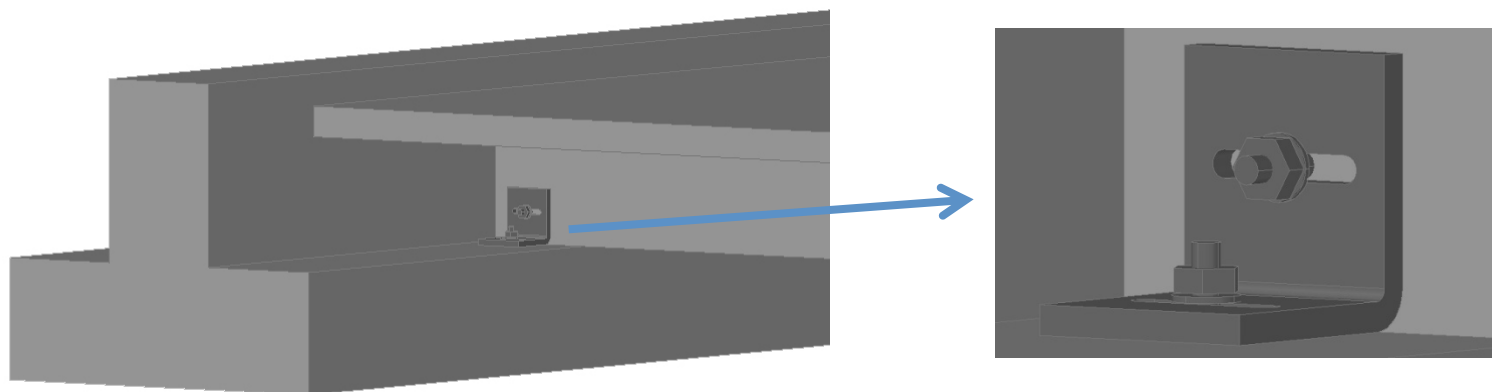
ASPETTI NEGATIVI

- Problemi di instabilità;
- Attrito tegolo-trave deleterio sulle prestazioni;
- Dilatazioni termiche degli elementi collegati non trascurabili;
- Necessità di passare attraverso analisi dinamiche non lineari per la scelta del dispositivo;

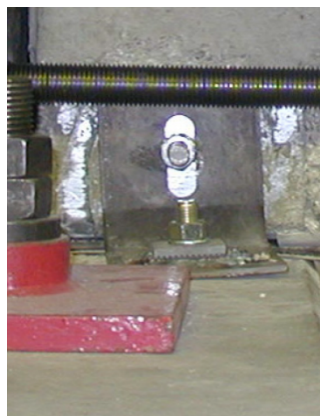
RINFORZO DEL COLLEGAMENTO IN COPERTURA

AGGIUNTA DI MECCANISMI DI DISSIPAZIONE: SQUADRETTE DEFORMABILI

DISSIPATORE METALLICO



SQUADRETTE DEFORMABILI/VITI DI CONNESSIONE RIGIDE



DANNO CONCENTRATO NELLE SQUADRETTE

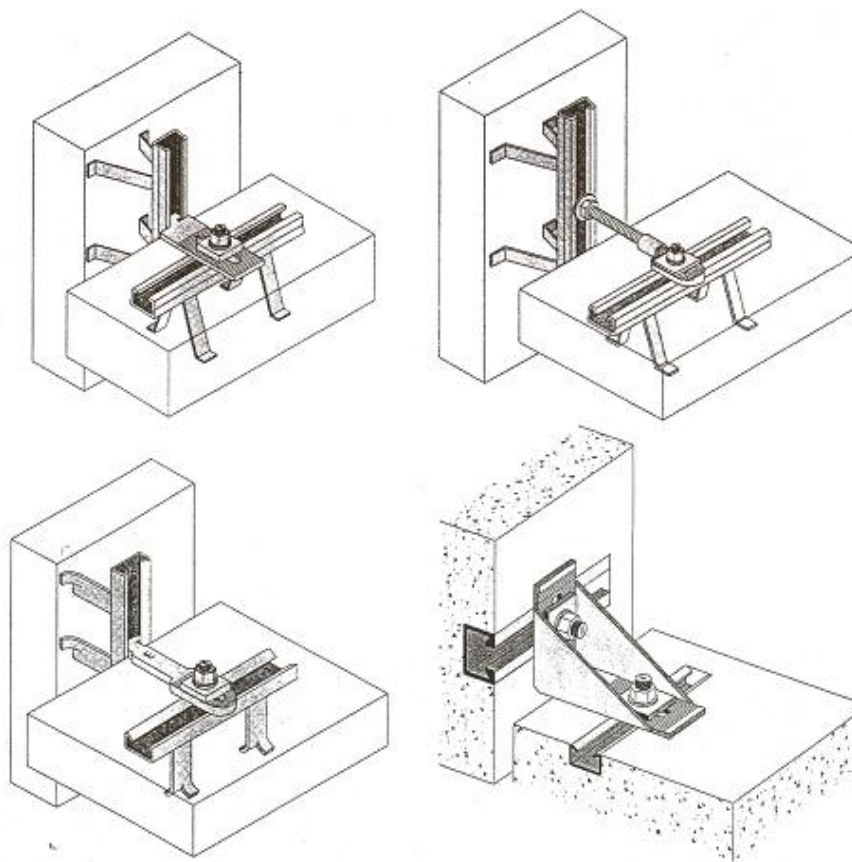


SOSTITUZIONE DELLE SOLE SQUADRETTE A
SEGUITO DI DANNEGGIAMENTI
PROVOCATI DAL SISMA



RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

CONNESSIONI PANNELLO STRUTTURA



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

CONNESSIONI PARTICOLARMENTE CRITICHE

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

**SOSTITUZIONE E/O
RINFORZO CONNESSIONI**



- Incremento di duttilità
- Incremento della capacità di spostamento



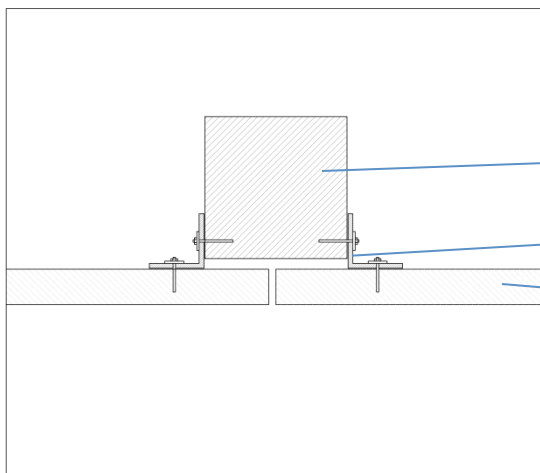
**ELEMENTI
“SECONDARI”**



- **RESISTENZA NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI**
- **CAPACITA' DI ASSORBIRE LE DEFORMAZIONI IMPOSTE DAL SISMA**

RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

RINFORZO MEDIANTE CONNESSIONI INTERNE



- **Pilastrò**
- **Connessione pannello-pilastrò**
- **Pannello**

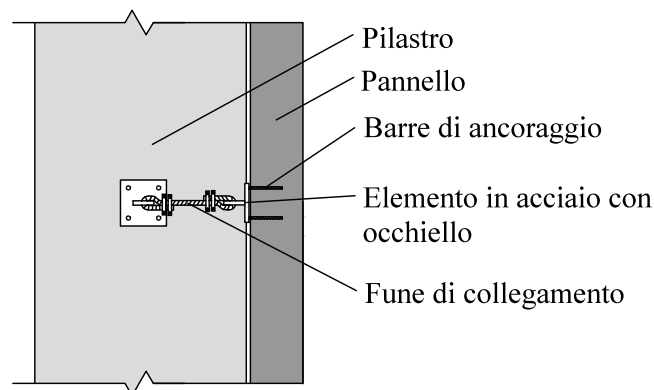
- **Coppia di serraggio controllata**
- **Adeguate lunghezza del foro asolato**



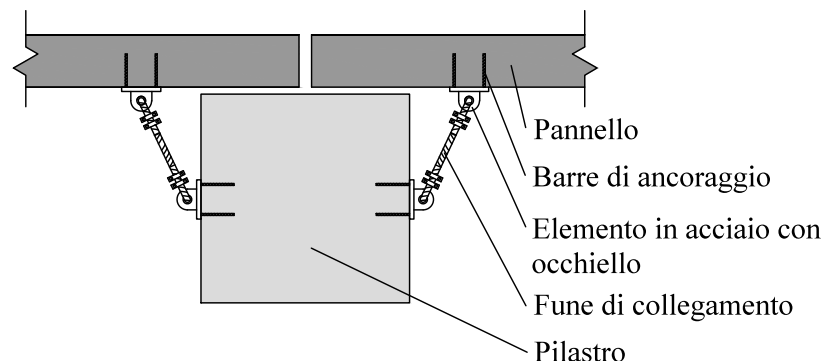
**MECCANISMO DUTTILE
CAPACITA' DI SPOSTAMENTO
RESISTENZA NEI CONFRONTI
DEI CARICHI VERTICALI**

COLLEGAMENTO DI PANNELLI ORIZZONTALI MEDIANTE FUNI

VISTA LATERALE



VISTA IN PIANTA



Vantaggi

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

Svantaggi

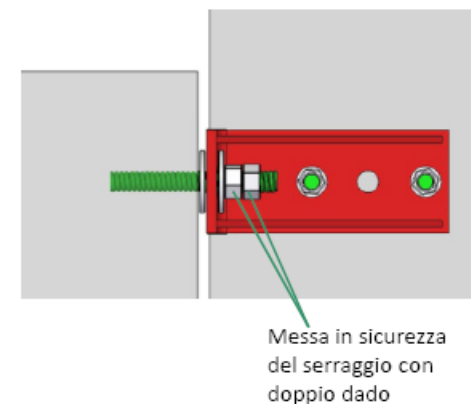
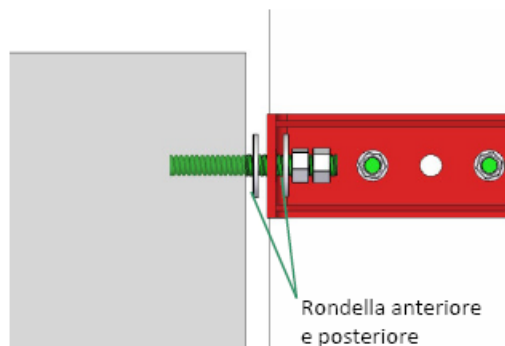
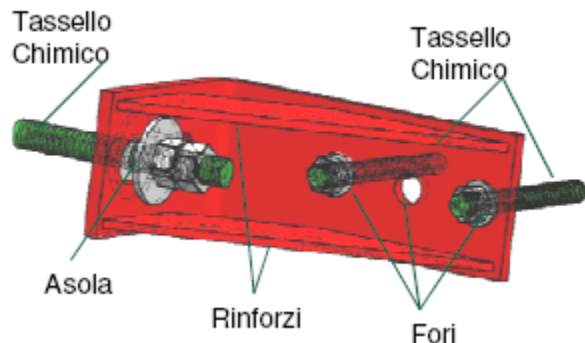
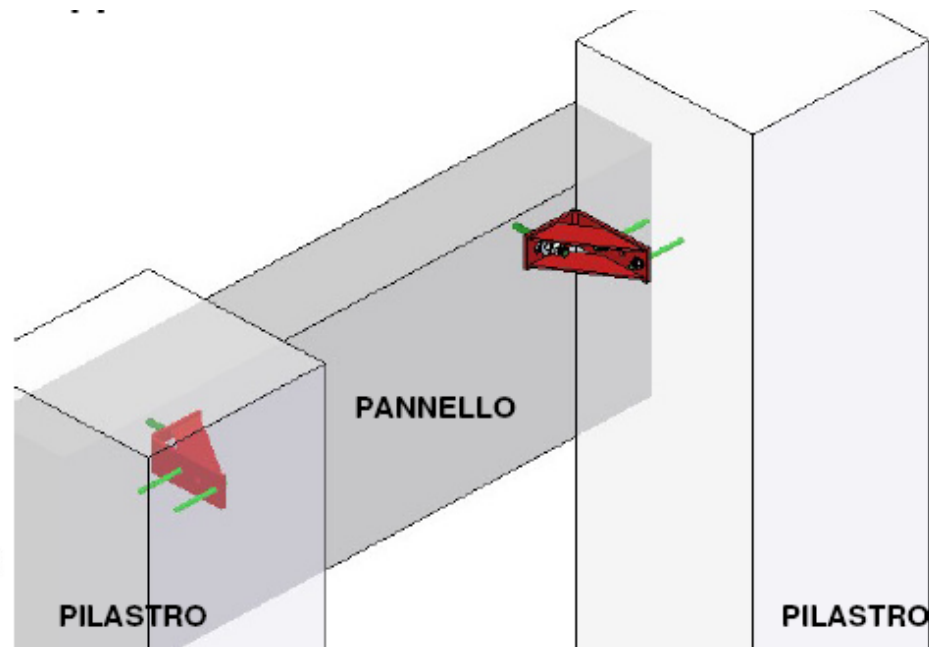
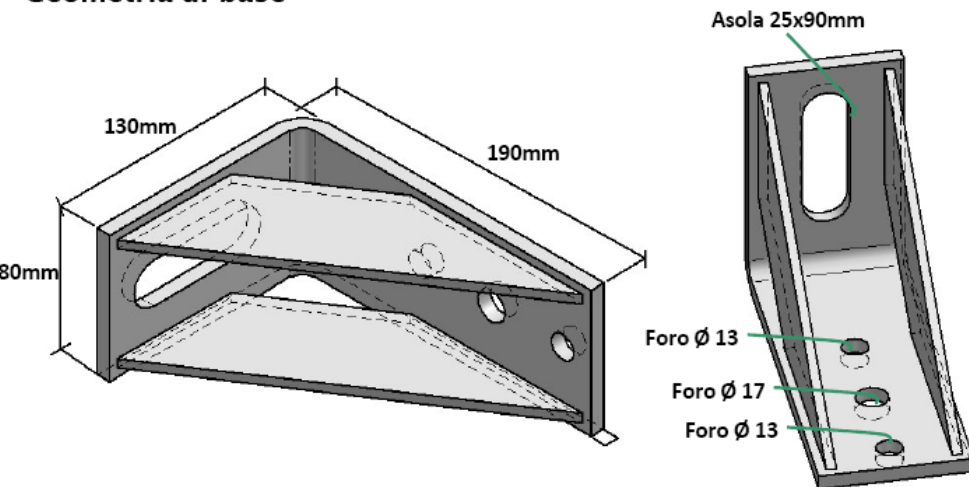
- Può essere effettuato solo se il supporto risulta integro. L'integrità del supporto può essere verificata controllando che le distanze verticali tra pannelli si siano mantenute invariate.
- Si deve prestare attenzione al posizionamento delle funi, per non introdurre un vincolo agli spostamenti nel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

Dimensionamento

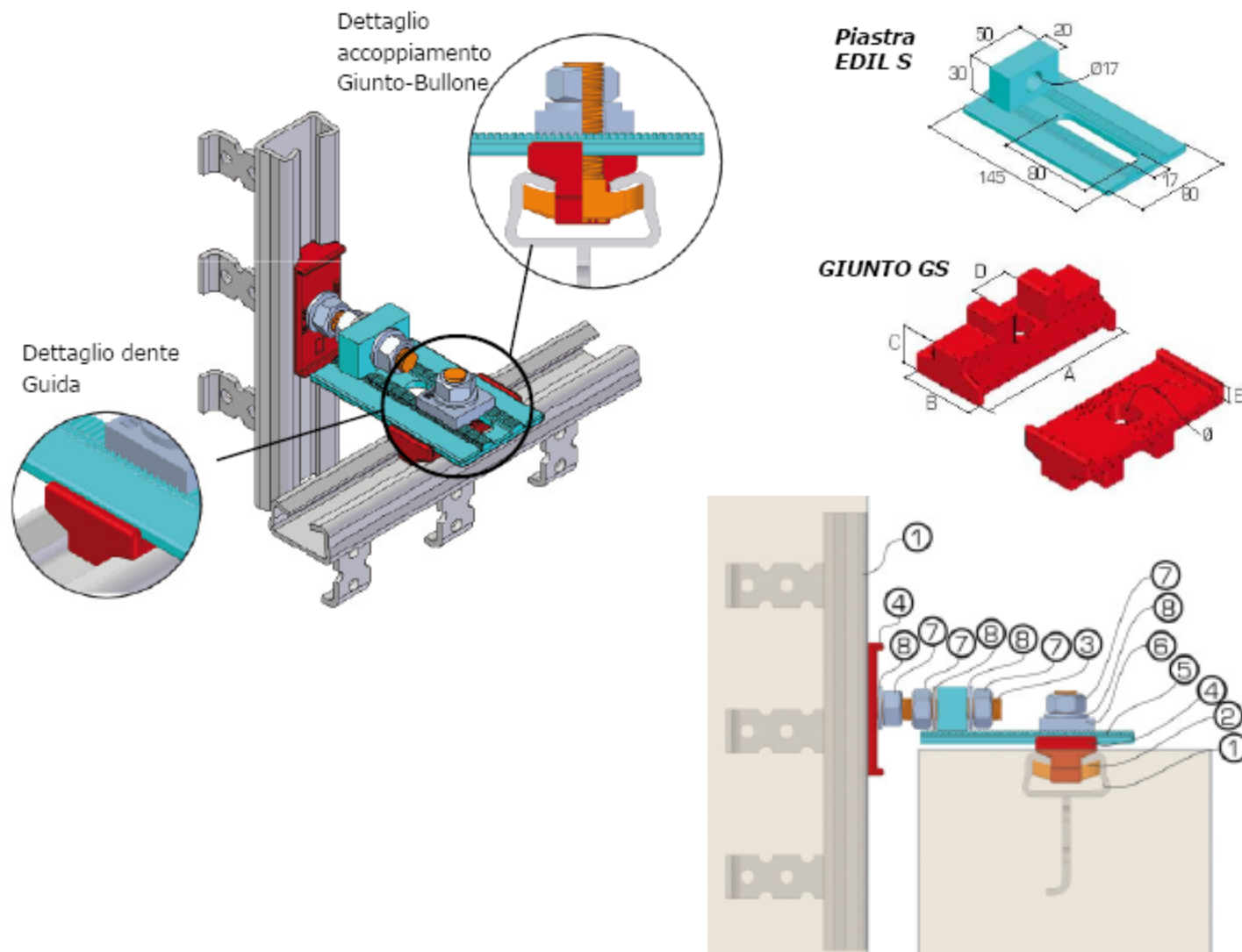
- $f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$ La forza f_i deve quindi essere suddivisa per il numero di elementi presenti sullo stesso pannello

COLLEGAMENTO DI PANNELLI ORIZZONTALI MEDIANTE SQUADRETTE IN ACCIAIO SCORREVOLI

Geometria di base

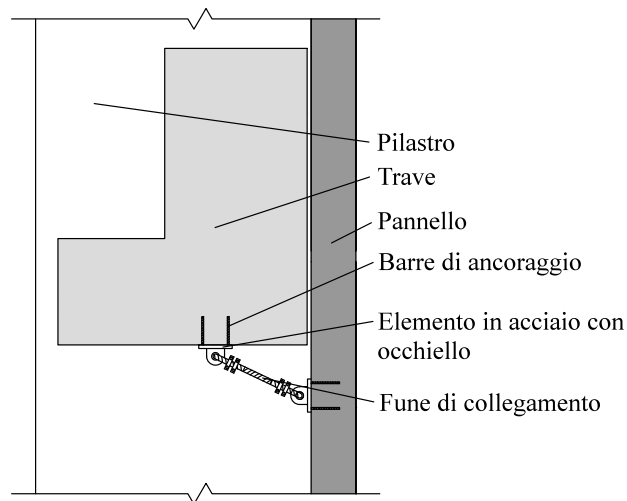


COLLEGAMENTO DI PANNELLI ORIZZONTALI O VERTICALI MEDIANTE VINCOLI IN ACCIAIO SCORREVOLI

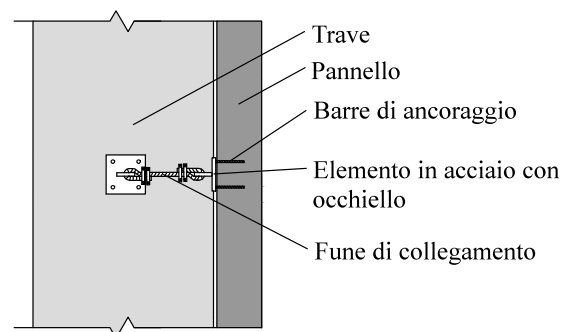


COLLEGAMENTO DI PANNELLI VERTICALI MEDIANTE FUNI

VISTA LATERALE



VISTA IN PIANTA



Vantaggi

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

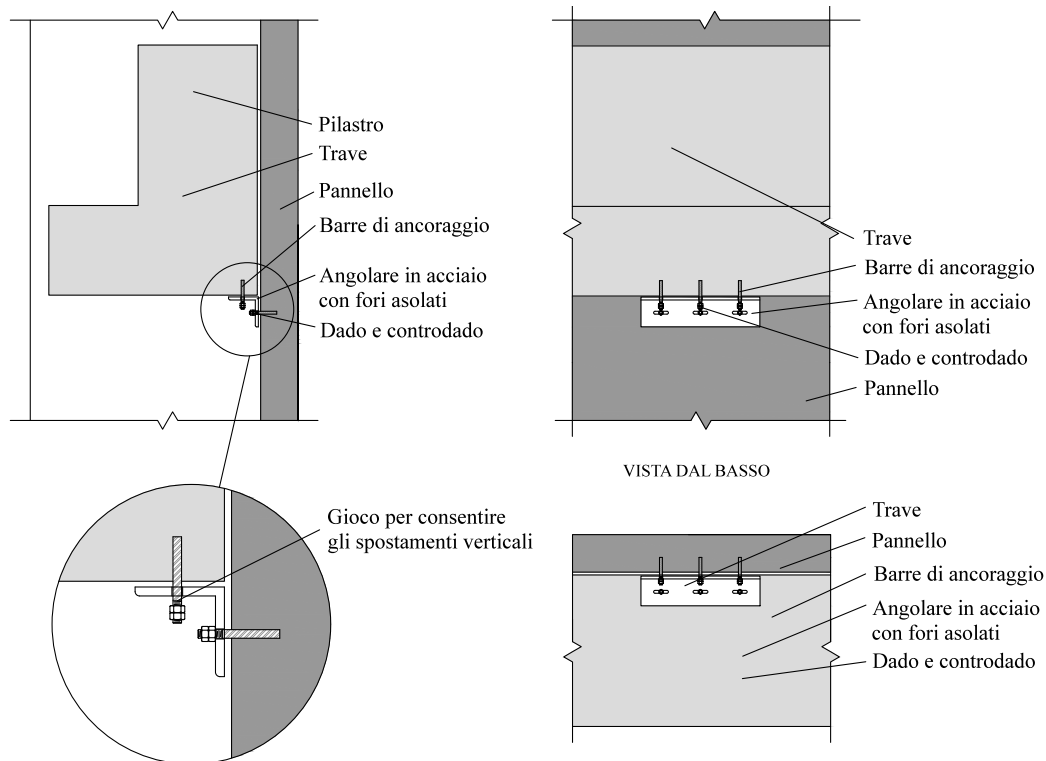
Svantaggi

- 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



Vantaggi

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

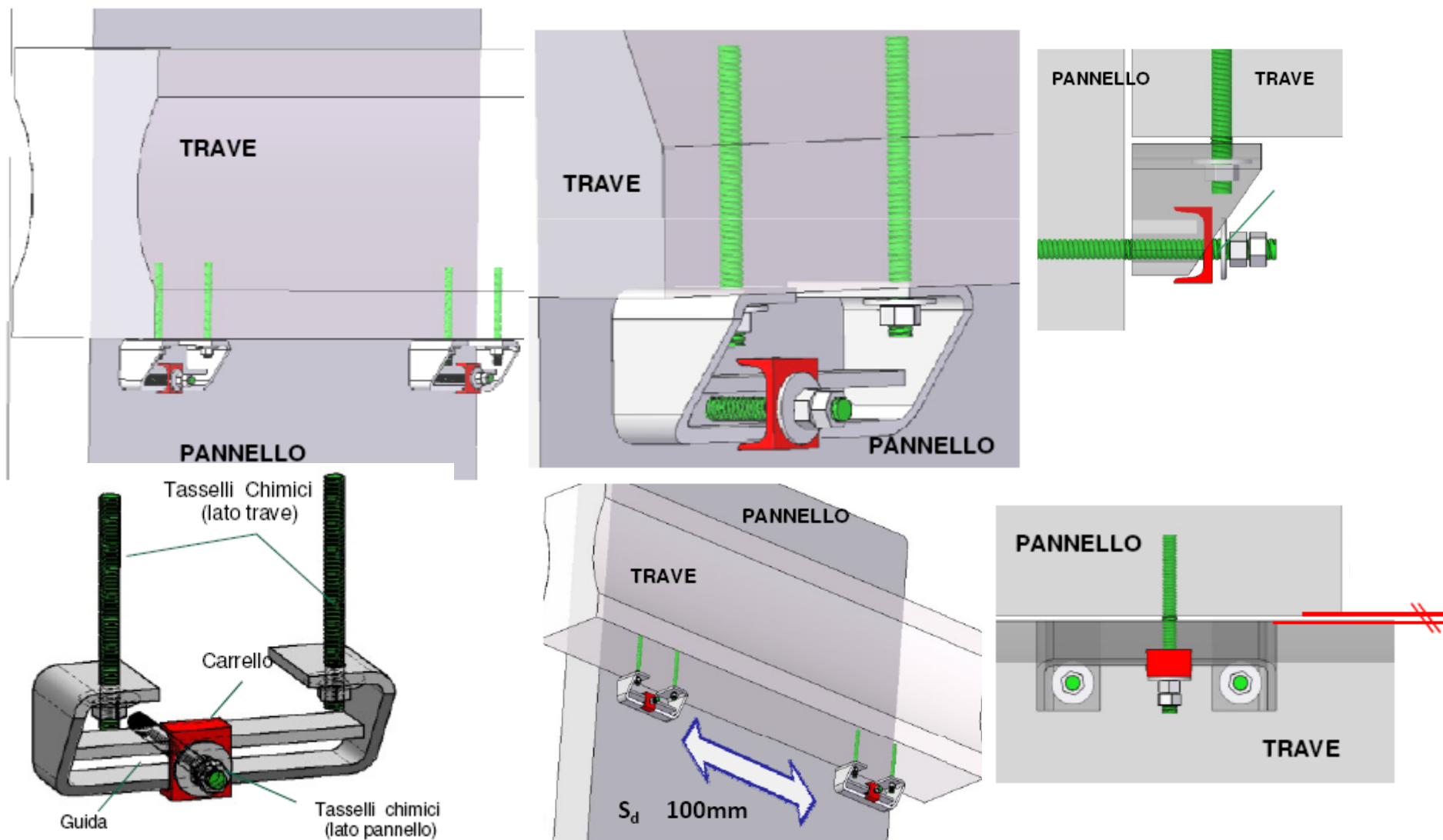
Svantaggi

- 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

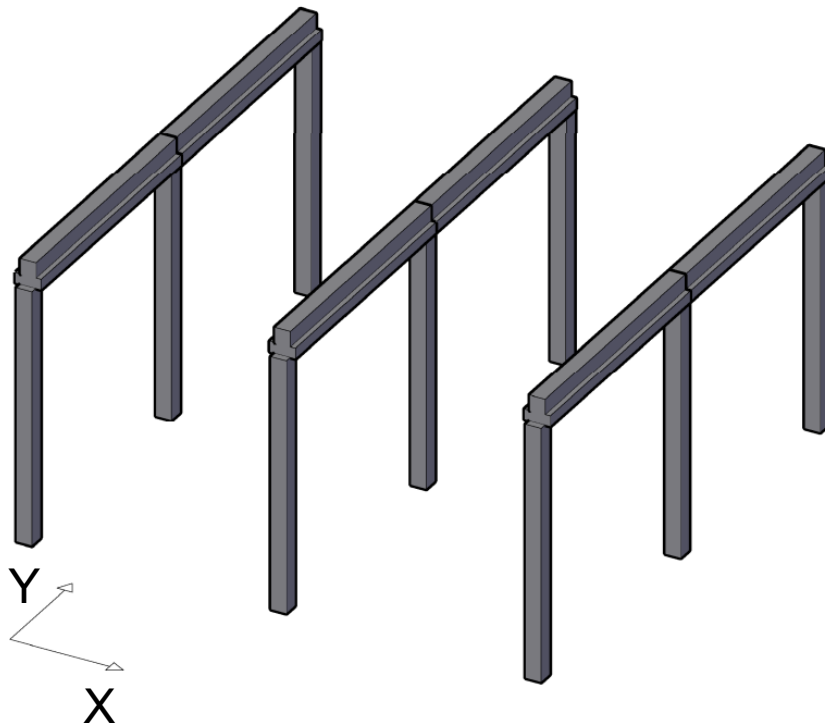
COLLEGAMENTO DI PANNELLI VERTICALI MEDIANTE ELEMENTI IN ACCIAIO SCORREVOLI





INTERVENTI GLOBALI

INTERVENTI GLOBALI



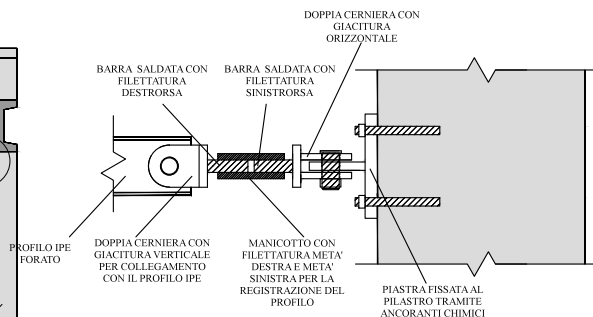
- Rinforzo globale dei collegamenti
- Collegamento dei pilastri
- Controventamento copertura
- Controventi dissipativi
- Nuove pareti



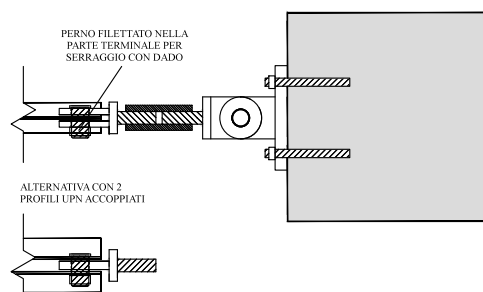
- **IMPEDIMENTO DI SPOSTAMENTI RELATIVI IN CONTROFASE**, che potrebbero comportare la perdita di appoggio degli elementi posti superiormente
- **INCREMENTO DI DUTTILITÀ E RESISTENZA DELLA STRUTTURA**
- **MIGLIORAMENTO DELLA RISPOSTA SISMICA**

COLLEGAMENTO TRA PILASTRO E PILASTRO TRAMITE PIATTI METALLICI ALLE ESTREMITÀ DEL PILASTRO

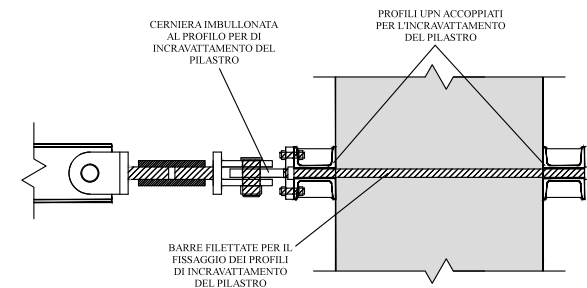
SOLUZIONE 1
VISTA LATERALE



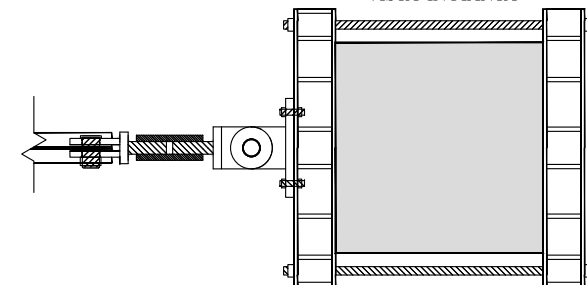
VISTA IN PIANTA



SOLUZIONE 1
VISTA LATERALE



VISTA IN PIANTA



Vantaggi

- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

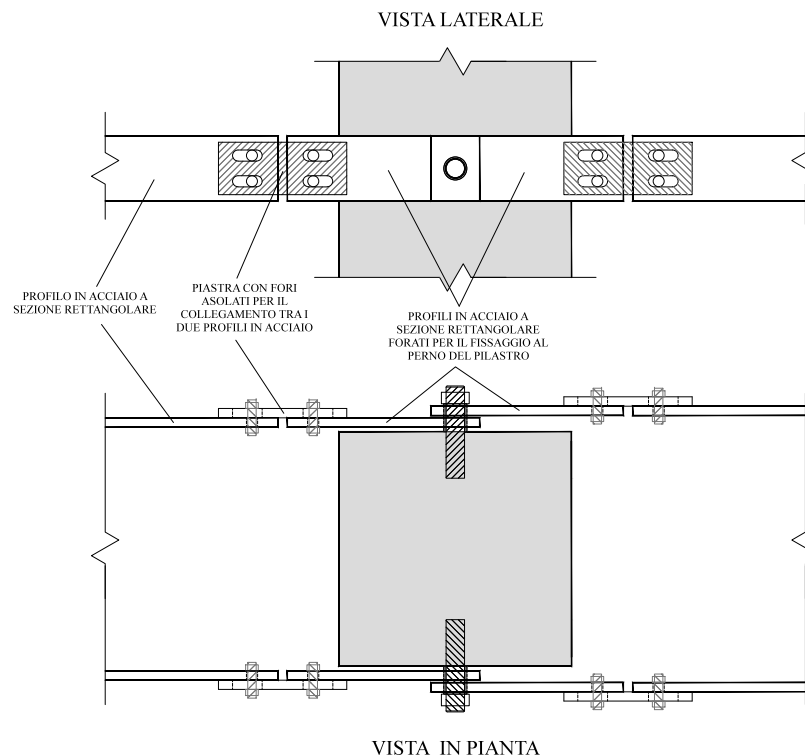
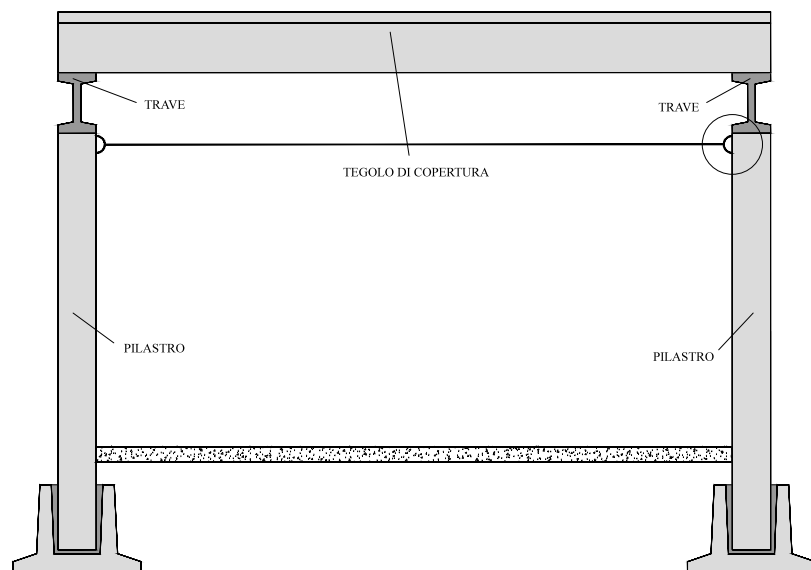
Dimensionamento

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

Svantaggi

- Non elimina la perdita di appoggio per scorrimento della trave
- Intervento costoso

COLLEGAMENTO TRA PILASTRO E PILASTRO TRAMITE PIATTI METALLICI ALLE ESTREMITÀ DEL PILASTRO



Vantaggi

- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

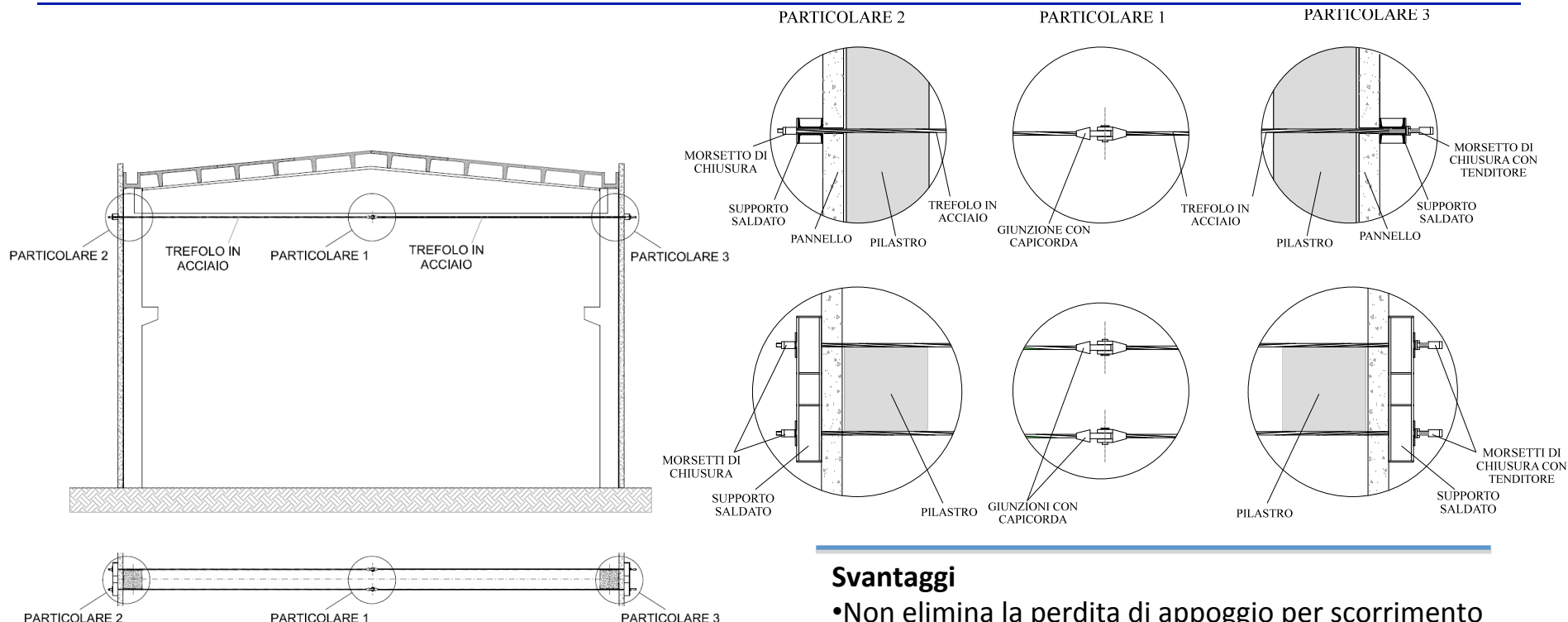
Dimensionamento

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

Svantaggi

- Non elimina la perdita di appoggio per scorrimento della trave
- Intervento costoso

COLLEGAMENTO TRA PILASTRO E PILASTRO TRAMITE TREFOLI IN ACCIAIO



Vantaggi

- E' impedita la perdita di appoggio della trave causata da eventuali spostamenti relativi dei due pilastri collegati dalla trave stessa.

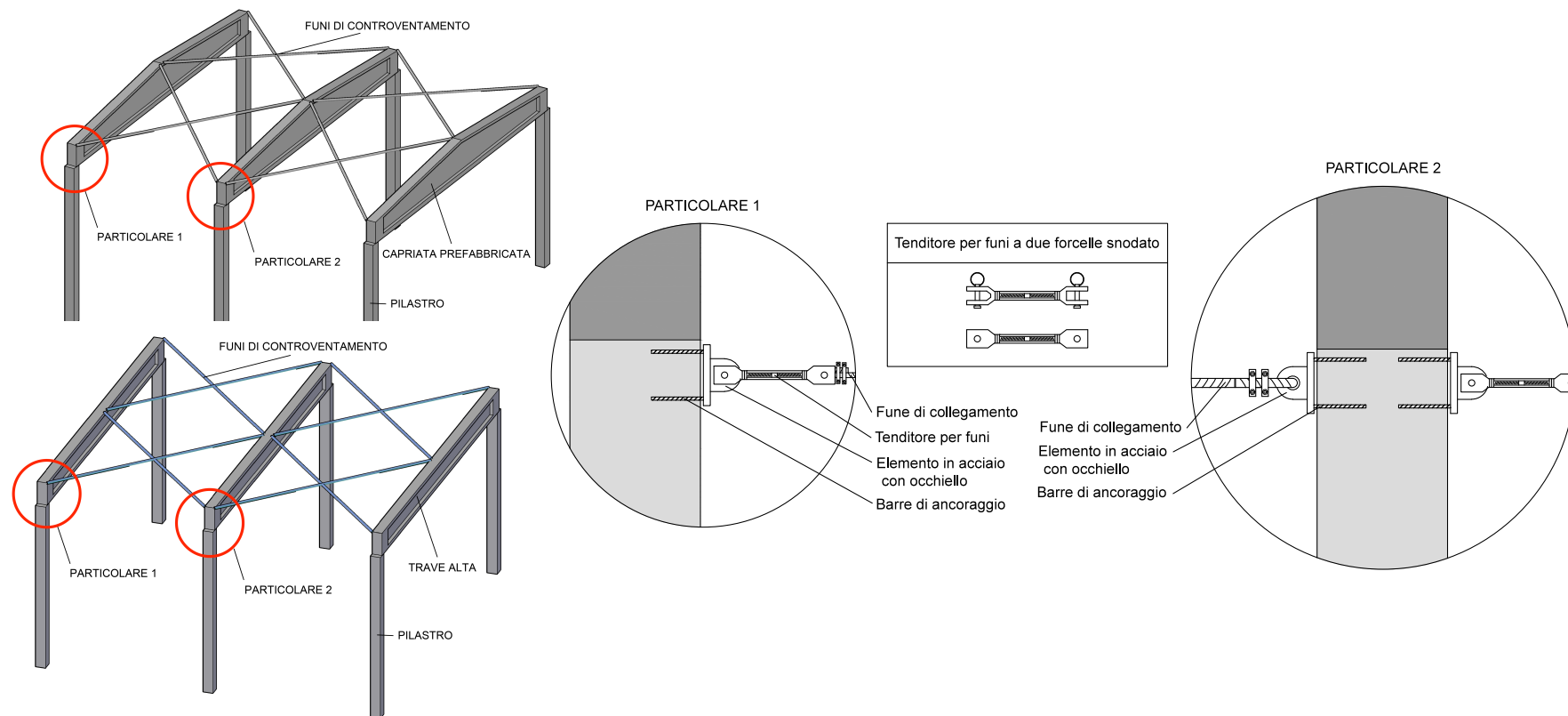
Dimensionamento

- Tesatura solo per il recupero dei fuori piombo
- $f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$

Svantaggi

- Non elimina la perdita di appoggio per scorrimento della trave
- Può aumentare la collaborazione pannelli-struttura
- Non è efficace per strutture con più di una campata nella direzione di sviluppo della catena
- Il pannello potrebbe subire azioni di punzonamento
- Non si assicura il ribaltamento di tutti i pannelli
- Induce un'azione orizzontale aggiuntiva al pilastro
- Si prefigura come un intervento temporaneo

REALIZZAZIONE DI CONTROVENTI DI FALDA CON FUNI D'ACCIAIO



Vantaggi

- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento

Dimensionamento

- Tesatura solo per il recupero dei fuori piombo
- $f_i = w_i \cdot S_a(T_1) / g$

Svantaggi

- Intervento di non rapida esecuzione.
- E' necessaria la presenza di elementi in grado di reagire a compressione in direzione perpendicolare all'orditura delle travi perché il sistema possa essere considerato equilibrato.

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.