

***VALUTAZIONE E MIGLIORAMENTO DELLA
SICUREZZA DI STRUTTURE ESISTENTI***

INTERVENTI SU STRUTTURE PREFABBRICATE IN C.A.P.

Proff. Flora Faleschini,
Mariano Angelo Zanini,
Lorenzo Hofer

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI

Edifici prefabbricati:

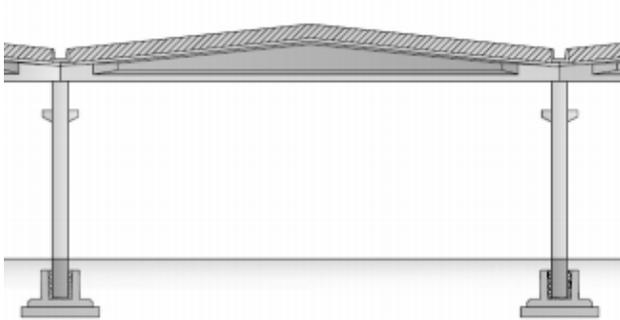
- **Edifici monopiano:** sono i più comuni;
- **Edifici pluripiano:** meno diffusi, tipicamente sono di 2 o 3 piani.



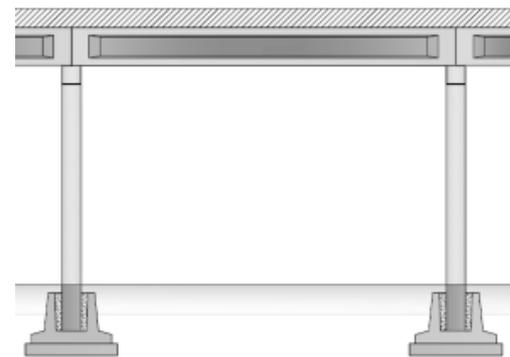
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MONOPIANO

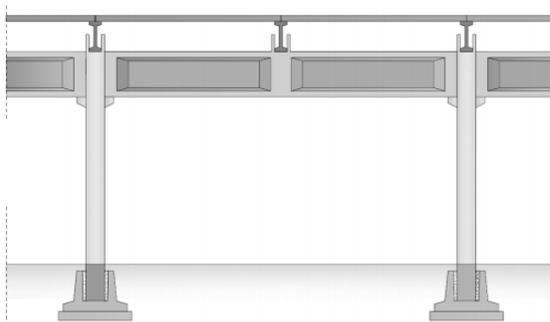
Principali tipi di coperture:



1. Copertura con travi a doppia pendenza



2. Copertura piana



3. Copertura piana a doppia orditura



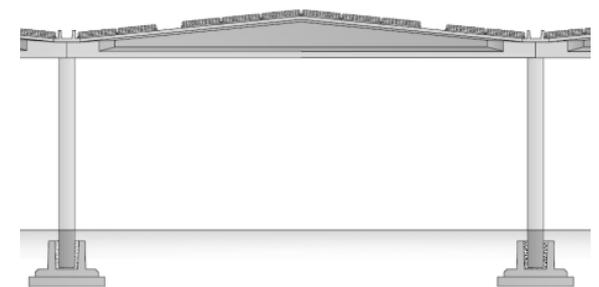
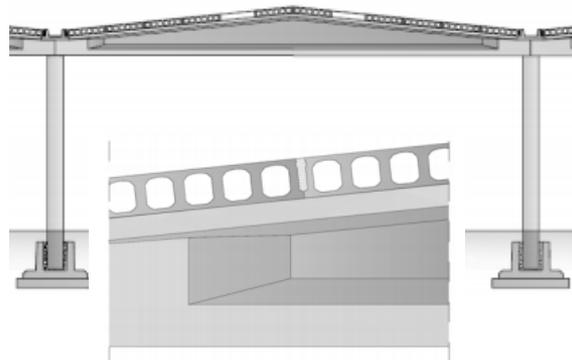
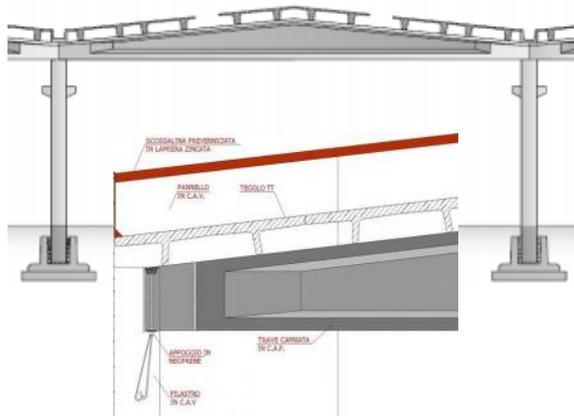
4. Copertura a shed

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MONOPIANO

1. Copertura con travi a doppia pendenza:

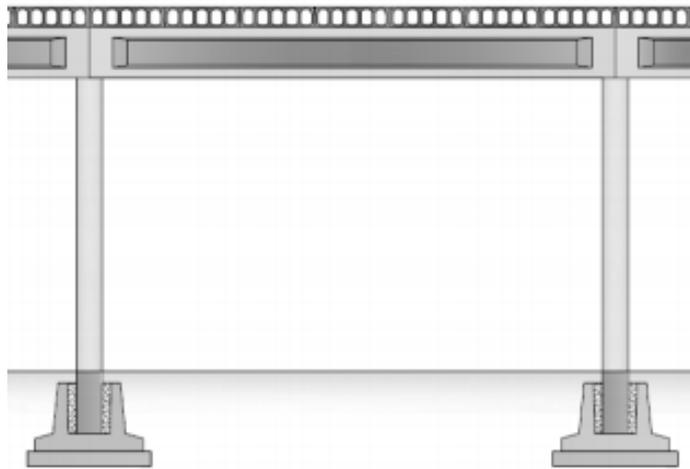
- con arcarecci;
- con pannelli nervati;
- con pannelli alveolari;
- con pannelli in laterocemento;
- ...



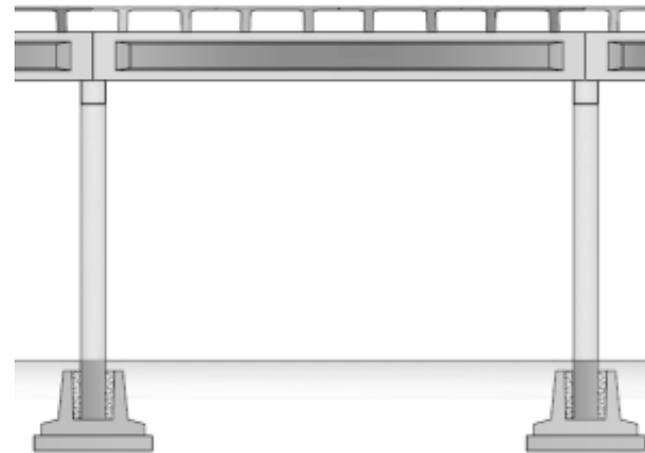
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MONOPIANO

2. Copertura piana



Con pannelli alveolari

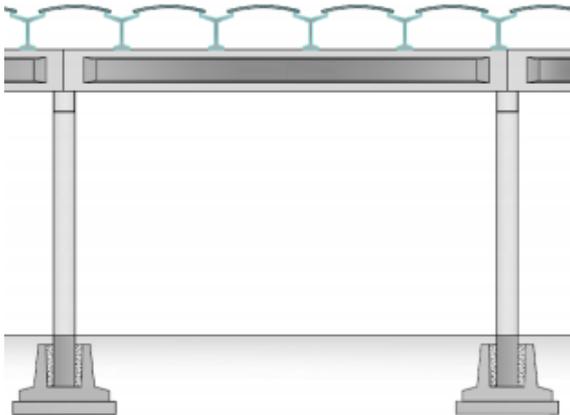


Con pannelli nervati

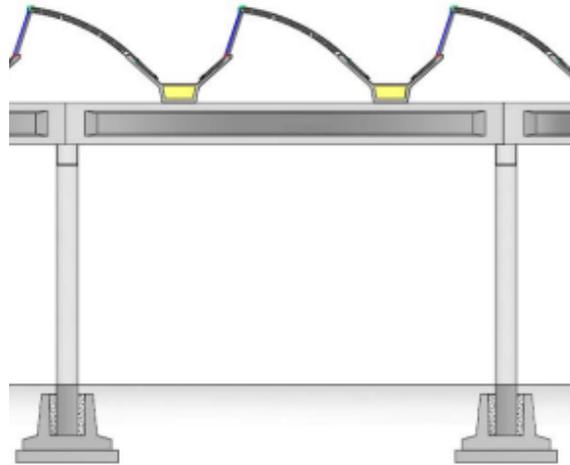
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MONOPIANO

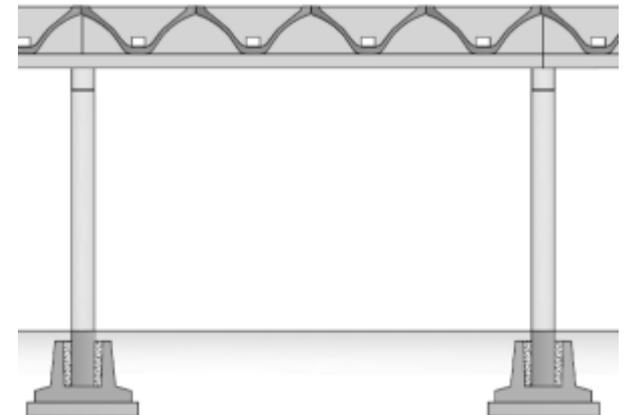
2. Copertura piana



Con travi a Ipsilon Y



Con elementi a shed

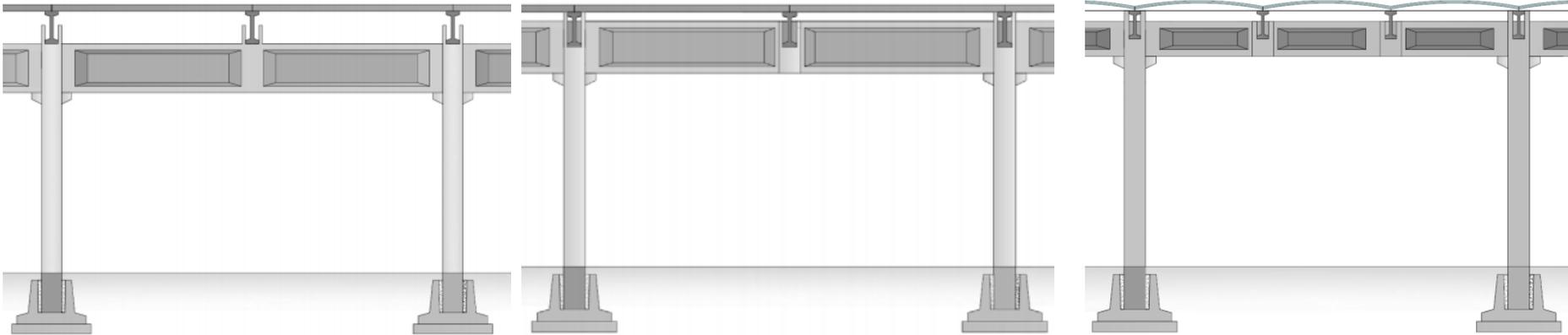


Con voltine

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MONOPIANO

3. Copertura piana a doppia orditura



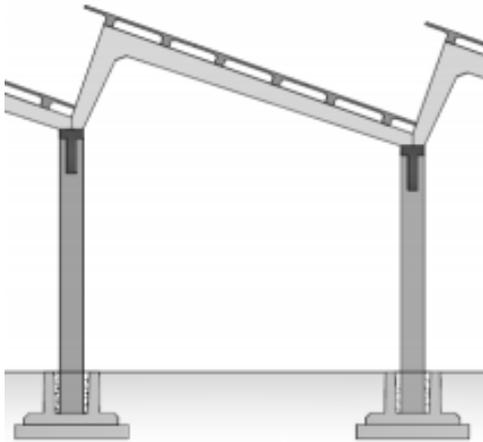
Elementi di completamento costituiti da arcarecci, solai in laterocemento, tegoli nervati, solai alveolari.

Con coppelle

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

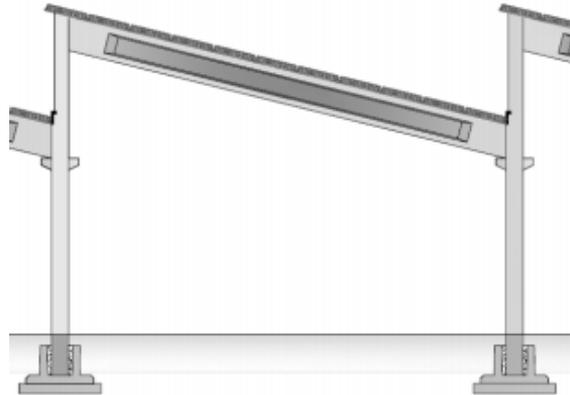
TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MONOPIANO

4. Copertura shed



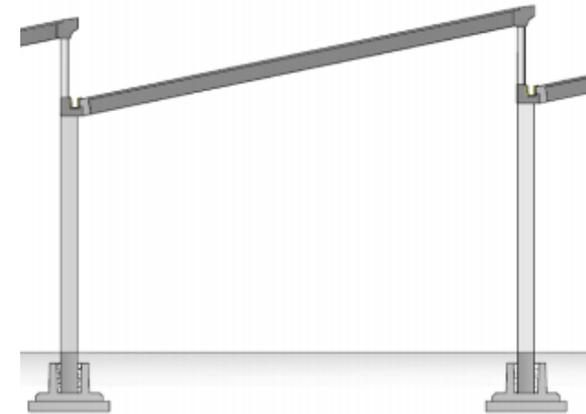
Con travi a ginocchio

Sull'estradosso delle travi vengono posizionati tegoli nervati ad estradosso ed intradosso piano, pannelli alveolari e pannelli in latero-cemento.



Con travi inclinate

Le falde sono realizzate con pannelli in latero-cemento, alveolari o tegoli nervati.



Con travi reticolari

Le travi principali tipo Vierendeel o reticolari hanno una luce di 16-20 m ove si realizzano aperture finestrate; la falda inclinata è realizzata con elementi nervati in cemento armato precompresso

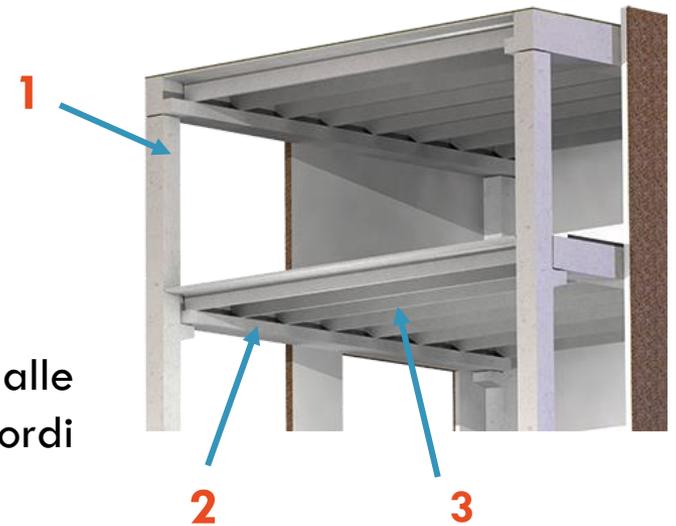
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

TIPOLOGIE STRUTTURALI - EDIFICI MULTIPIANO

Sono costituiti da:

1. Pilastri monolitici a tutta altezza;
2. Travi portanti;
3. Impalcati (solai intermedi e copertura).

- Le travi primarie utilizzate, appartengono alle diverse tipologie (sezione a T rovescio o ad L, bordi paralleli, trapezoidali ecc..).
- I tegoli sono completati in opera da getti di calcestruzzo armato, con spessori variabili fra 5 e 10 cm, che, oltre ad incrementare le caratteristiche meccaniche, adempiono alle funzioni di distribuzione dei carichi e di solidarizzazione dell'insieme strutturale.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

ELEMENTI DI TAMPONAMENTO

Le strutture sono completate da **elementi di tamponamento**, che possono essere realizzati in *luce di pilastro* o *esterni ai pilastri*. In entrambi i casi si può avere:



Tamponamento in luce di pilastro con ***muratura in laterizio***



Tamponamento esterno ai pilastri con ***pannelli prefabbricati verticali***



Tamponamento esterno ai pilastri con ***pannelli prefabbricati orizzontali***

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P. *PRINCIPALI CARENZE NEI CONFRONTI DEL SISMA*

In Italia grande **varietà di capannoni industriali**, sulla base di:

- anno di costruzione;
- zone di costruzione;
- evoluzione della normativa sismica vigente nelle diverse zone d'Italia;
- diverse abitudini costruttive.

Nonostante la varietà di capannoni prefabbricati presenti in Italia, i terremoti che recentemente hanno colpito il territorio nazionale hanno evidenziato delle **carenze comuni tra le diverse tipologie**.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPALI CARENZE NEI CONFRONTI DEL SISMA

1) Connessioni

In molte circostanze ***i collegamenti sono stati gli elementi critici*** sia in strutture di vecchia costruzione, sia di nuova costruzione. Le loro carenze prestazionali hanno determinato, infatti, ***la maggior parte dei crolli e dei danni gravi*** negli edifici prefabbricati colpiti dagli eventi sismici del 20 e del 29 maggio 2012 in Emilia Romagna.

La carenza più frequentemente riscontrata a livello delle connessioni è ***l'assenza di unione meccanica tra gli elementi strutturali***, tale da garantire il trasferimento degli sforzi in regime dinamico.

In assenza di connessioni si devono sfruttare le sole forze di attrito, introducendo un elemento di forte vulnerabilità nei confronti delle azioni sismiche.



Strutture molto sensibili alla perdita di appoggio

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPALI CARENZE NEI CONFRONTI DEL SISMA

2) Sistema di tamponatura esterna

Una seconda fonte di vulnerabilità è legata al **collasso del sistema di tamponatura esterna** degli edifici prefabbricati, comunemente costituita da pannelli prefabbricati in c.a. ed alleggeriti, collegati con inserti metallici ai pilastri o alle travi di gronda.

Anche in questo caso il collasso è legato alla **carenza insita nel sistema di connessione** dei pannelli alla struttura.

In molti casi infatti, il contributo irrigidente delle pareti non viene considerato in fase di progettazione e per tale motivo nascono delle **forze significative sui collegamenti dei pannelli** tali da causarne la rottura.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPALI CARENZE NEI CONFRONTI DEL SISMA

3) Sistemi di scaffalatura interni

In molti casi, le scaffalature industriali risultano **prive di controventamento** e il loro crollo ha provocato un danneggiamento anche della struttura esterna che le conteneva.

Le scaffalature sono delle vere «strutture nelle strutture».



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPALI CARENZE NEI CONFRONTI DEL SISMA

4) Elementi verticali

In molti casi i pilastri prefabbricati presentano delle **carenze in termini di resistenza alla sollecitazioni e duttilità** a causa di progettazione in accordo a norme obsolete o, comunque, non sismiche.

Talvolta, il **grado di vincolo alle azioni orizzontali fornito dal plinto a bicchiere può risultare limitato**, con conseguente accentuazione degli spostamenti della cima del pilastro.

Plinti esili con bicchiere molto basso e sottile. Limitata resistenza nei confronti delle azioni sismiche.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

DANNI RICORRENTI

- ASSENZA/INADEGUATEZZA DI VINCOLI DI TIPO MECCANICO E CONNESSIONI



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

DANNI RICORRENTI

- PROBLEMI IN FONDAZIONE (PLINTI A BICCHIERE) / CARENZA DI ARMATURA TRASVERSALE



Perdita di verticalità



Formazione di cerniere plastiche



Interazioni con elementi orizzontali



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

DANNI RICORRENTI

- ASSENZA DI ADEGUATI SISTEMI DI CONTROVENTAMENTO E DI ANCORAGGIO
- ECCESSIVE UNITÀ DI CARICO
- INTERAZIONE CON LA STRUTTURA PORTANTE

**Danni alle scaffalature con
conseguente perdita dei
contenuti portati**

**Danneggiamenti registrati negli edifici produttivi
in seguito all'evento sismico del 20-29 maggio 2012**



Danneggiamento – Ribaltamento - Collasso scaffalature

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPI GENERALI PER LA MESSA IN SICUREZZA

PRINCIPI GENERALI

- Collegamenti tra gli elementi;
- **preservare lo schema statico iniziale** (per quanto possibile) e intervenire sui collegamenti inadeguati in modo da rendere efficace il vincolo;
- **contrastare la rotazione torsionale** delle travi alte e delle capriate;
- **non introdurre significativi momenti flettenti all'estremità degli elementi** sui quali si interviene, per i quali la struttura esistente probabilmente non risulterebbe sufficientemente armata. I semplici appoggi dovrebbero essere trasformati in cerniere;
- provvedere alla sussistenza di una **gerarchia delle resistenze** tra il dispositivo di vincolo e le piastre e gli ancoranti di aggancio alle strutture in cemento armato;
- **limitare gli spostamenti relativi** tra le sommità dei pilastri.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPI GENERALI PER LA MESSA IN SICUREZZA

PILASTRI

- incrementare **duttilità/resistenza senza modificare lo schema statico** della struttura e senza creare irregolarità strutturali.

Essendo il sistema costituito da pavimentazione e sottopavimentazione in grado di fornire un certo livello di confinamento passivo alla base del pilastro e alla fondazione, è possibile omettere interventi in fondazione (o quantomeno ridurne l'entità) non solo quando gli spostamenti relativi tra le basi delle colonne siano impediti, ma anche qualora siano contemporaneamente presenti tutte le condizioni seguenti:

- **non siano presenti importanti dissesti** attribuibili a cedimenti delle fondazioni;
- gli interventi progettati **non comportino sostanziali alterazioni dello schema strutturale**;
- gli stessi interventi **non comportino rilevanti modifiche alle sollecitazioni** trasmesse alle fondazioni;
- siano **esclusi fenomeni di ribaltamento** della costruzione per effetto delle azioni sismiche.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

PRINCIPI GENERALI PER LA MESSA IN SICUREZZA

SCAFFALATURE

- prevedere **opportuni sistemi di controvento** sia in elevazione che in pianta per le scaffalature interne;
- **evitare di vincolare le scaffalature alle strutture dell'edificio** oppure tenerne conto nel progetto strutturale;
- **verificare il franco libero tra sistemi di scaffalatura e struttura portante** per evitare fenomeni di martellamento;
- laddove sia difficoltoso, in questa fase, intervenire con provvedimenti di tipo strutturale, **ridurre l'effetto della massa oscillante** delle scaffalature riducendo complessivamente il carico portato ed abbassando il suo baricentro.

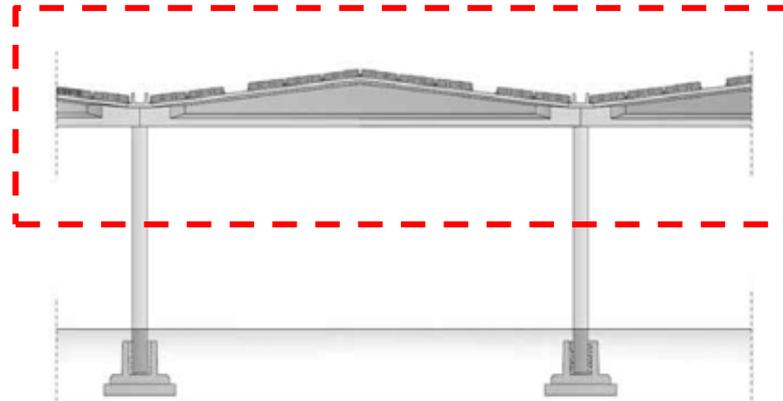
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI DI VERIFICA SISMICA

La maggior parte delle strutture industriali prefabbricate sulle quali è necessario intervenire è costituita da:

- ***pilastr*** con fondazione a bicchiere
- ***travi semplicemente appoggiate*** ai pilastri
- ***elementi di copertura a loro volta semplicemente appoggiati*** alle travi

La valutazione dell'azione sismica , per edifici monopiano, può essere effettuata considerando uno schema costituito da ***mensole incastrate alla base*** (i pilastri), con ***massa concentrata in sommità***.

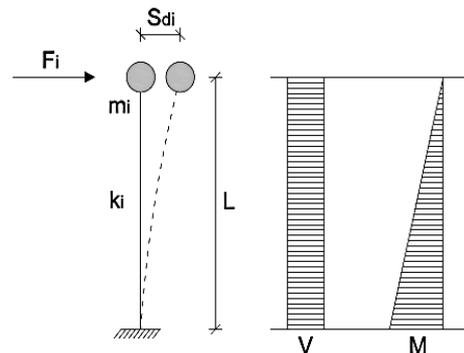
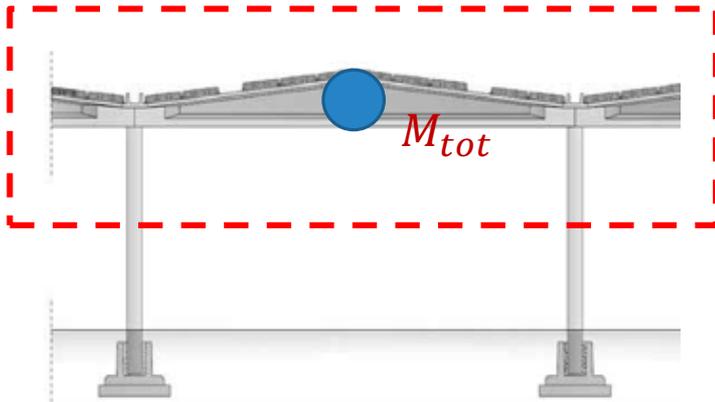


INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI DI VERIFICA SISMICA

Il pre-dimensionamento degli interventi di miglioramento, può quindi essere eseguito considerando l'edificio come un oscillatore semplice caratterizzato da:

- **Rigidezza:** somma della rigidezza dei pilastri
- **Massa:** struttura di copertura (peso delle travi + elementi di copertura + impianti + impermeabilizzazioni + ulteriori carichi portati), 50% della massa dei pilastri e dei pannelli di tamponatura



$$m_i = \frac{W_i}{g} \quad M_{tot} = \sum m_i$$

$$k_i = \frac{3EJ_i}{L^3} \quad K_{tot} = \sum k_i$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M_{tot}}{K_{tot}}}$$

T_1 = periodo proprio della struttura

Per il calcolo della rigidezza del pilastro si può far riferimento all'inerzia della sezione di solo calcestruzzo.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

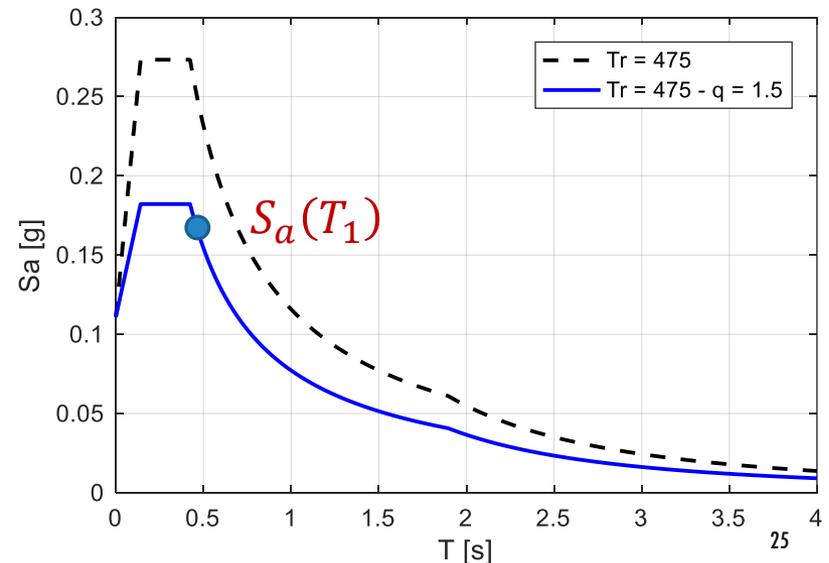
CRITERI DI VERIFICA SISMICA

Noto il periodo proprio della struttura, è possibile calcolare la **forza sismica totale** che agirà sulla struttura (taglio alla base di pilastri) come:

$$F_{tot} = W_{tot} \cdot \frac{S_a(T_1)}{g}$$

$S_a(T_1)$ = pseudo-accelerazione spettrale derivata dallo spettro di risposta di progetto per il sito in esame, calcolata in corrispondenza del primo periodo proprio T_1 .

L'assunzione del fattore di struttura dipende dalle caratteristiche specifiche della struttura in esame. In generale, si fa riferimento a valori contenuti di q (comunemente $q = 1.5$), non potendo fare affidamento su un comportamento particolarmente duttile degli elementi strutturali, soprattutto se progettati con normative obsolete e senza attenzione ai particolari costruttivi



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI DI VERIFICA SISMICA

Il **taglio su ogni pilastro** può essere determinato a partire dal taglio totale F_{tot} . La ripartizione delle forze avviene proporzionalmente alle rigidezze o alle masse (area di influenza), a seconda se l'impalcato possa essere considerato rigido o meno.

- 1) **Impalcato infinitamente rigido** => proporzionale alle rigidezze dei pilastri

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

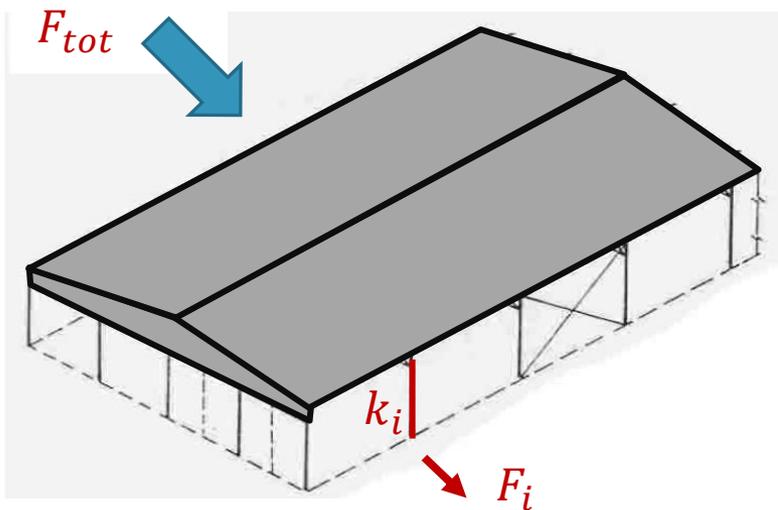
- 2) **Impalcato infinitamente deformabile** => proporzionale al peso sopportato/area di influenza

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

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

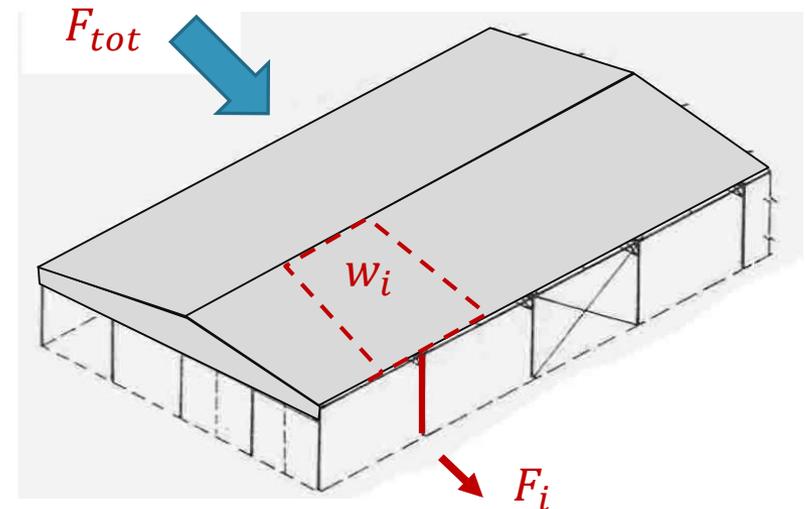
CRITERI DI VERIFICA SISMICA

1) Impalcato infinitamente rigido



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

2) Impalcato infinitamente deformabile

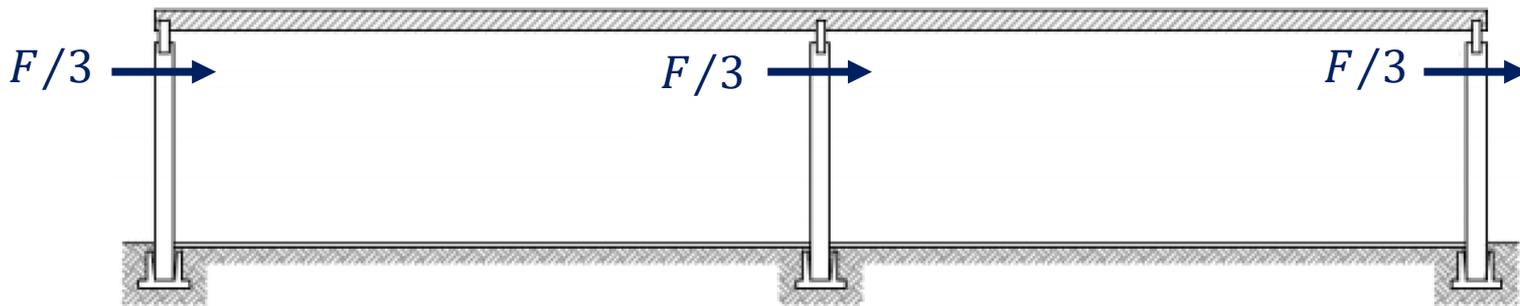


$$F_i = F_{tot} \cdot \frac{w_i}{\sum w_i}$$

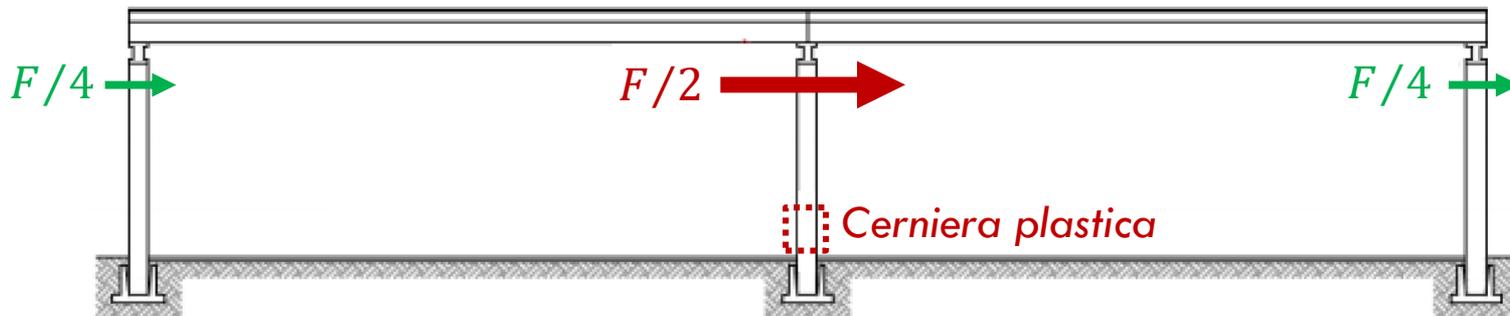
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI DI VERIFICA SISMICA

1) Impalcato infinitamente rigido



2) Impalcato infinitamente deformabile



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI DI VERIFICA SISMICA

Infine, lo spostamento in sommità di ciascun pilastro dovuto al terremoto può essere calcolato come:

$$S_{d,i} = q \cdot \frac{F_i}{k_i}$$

Dimensionamento dei singoli collegamenti

Le azioni da utilizzare per un pre-dimensionamento dei singoli collegamenti, sono pari alle forze di inerzia F_i relative a ciascun elemento da collegare:

$$F_i = w_i \cdot \frac{S_a(T_1)}{g}$$

w_i = massa del singolo elemento da collegare e degli eventuali elementi portati.

Per una valutazione più cautelativa, è generalmente opportuno considerare il comportamento globale della struttura. In particolare, nel caso di impalcato infinitamente rigido, il collegamento trave-pilastro va calcolato considerando il taglio alla base dello stesso pilastro.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

RIGIDEZZA DELLA COPERTURA

Impalcato rigido



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

RIGIDEZZA DELLA COPERTURA

Impalcato deformabile

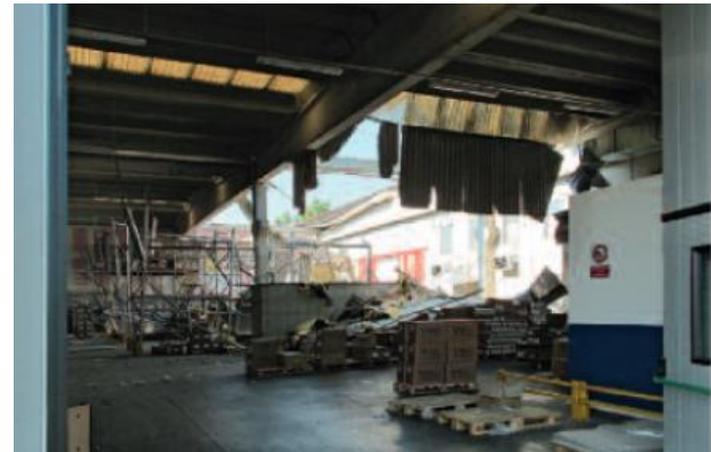


INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

RIGIDEZZA DELLA COPERTURA

Coperture realizzate con elementi prefabbricati alternati a lucernari.

Gli elevati spostamenti alla sommità dei pilastri, anche differenziali, e la deformabilità del piano della copertura hanno causato la perdita di appoggio degli elementi prefabbricati.



Savoia et al. *Terremoto dell'Emilia – danni ad edifici produttivi a struttura prefabbricata*, Progettazione sismica.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

RIGIDEZZA DELLA COPERTURA

Crisi dei pilastri interni, dimensionati per soli carichi verticali e quindi con momenti resistenti ultimi inferiori rispetto a quelli dei pilastri esterni dimensionati anche per l'azione orizzontale del vento.

A causa della **deformabilità della copertura** nel proprio piano, per l'alternanza di elementi di copertura e lucernari, la forza orizzontale nei pilastri centrali è risultata maggiore rispetto a quella nei pilastri esterni. I pilastri esterni non hanno riportati eccessivi danneggiamenti, avendo una maggiore resistenza ad azioni orizzontali ed essendo irrigiditi dai pannelli di tamponamento verticali.

Savoia et al. *Terremoto dell'Emilia – danni ad edifici produttivi a struttura prefabbricata*, Progettazione sismica.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI PER L'ADEGUAMENTO

In strutture a schema isostatico, come gran parte dei capannoni in oggetto, gli elementi più vulnerabili sono solitamente:

- Collegamenti tra i diversi elementi strutturali;
- Pilastri;
- Fondazioni.

Un intervento di adeguamento può prevedere **due linee di intervento principali**:

1. **Rinforzo dei singoli elementi strutturali** e dei collegamenti;
2. **Modifica dello schema strutturale** mediante l'inserimento di nuovi elementi (es. controventature).

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI PER L'ADEGUAMENTO

1. Rinforzo dei singoli elementi strutturali e dei collegamenti

Interventi tipici:

- Connessioni trave-pilastro
- Connessioni trave-copertura
- Collegamenti tamponature

NOTA BENE

Dato che le strutture isostatiche hanno una bassa capacità di redistribuzione delle azioni, può essere necessario un ***incremento di resistenza dei pilastri, affiancato da provvedimenti che assicurino una adeguata duttilità*** (fasciatura e cerchiatura alla base).

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

CRITERI PER L'ADEGUAMENTO

2. Sistemi di controventamento

In questo caso, **lo schema statico si modifica** profondamente e di conseguenza tutti gli elementi strutturali devono essere adeguatamente verificati.

Collegamenti: possono avere delle **sollecitazioni notevoli** se partecipano al sistema di controventamento della struttura.

Gli interventi di rinforzo vanno applicati in modo regolare ed uniforme. Un **controventamento alle sole estremità del fabbricato è efficace solo se l'impalcato ha una adeguata rigidità nel piano.**

Verifica delle fondazioni: devono essere sovraresistenti rispetto agli elementi verticali.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P. *INTERVENTI*

Tipologie di interventi su edifici industriali – LG Reluis



Gruppo di Lavoro Agibilità Sismica dei Capannoni Industriali

Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici

In collaborazione con:



Federazione Regionale Ordini Ingegneri dell'Emilia Romagna

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI

Tipologie di interventi su edifici industriali

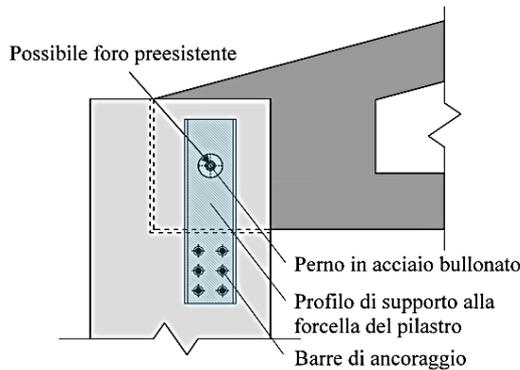
1. Interventi volti ad ***evitare la crisi per perdita di appoggio***
2. Interventi per ***evitare il collasso di elementi di tamponatura***
3. Interventi su ***elementi verticali*** danneggiati o carenti
4. Interventi su ***fondazioni***
5. Interventi su ***scaffalature***

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

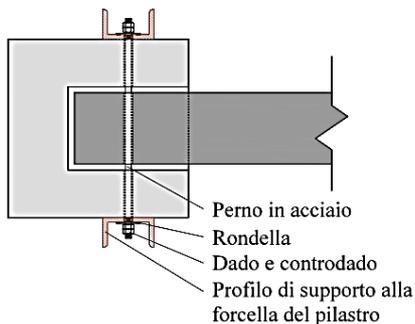
INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

a. Collegamento trave-pilastro mediante perno in acciaio

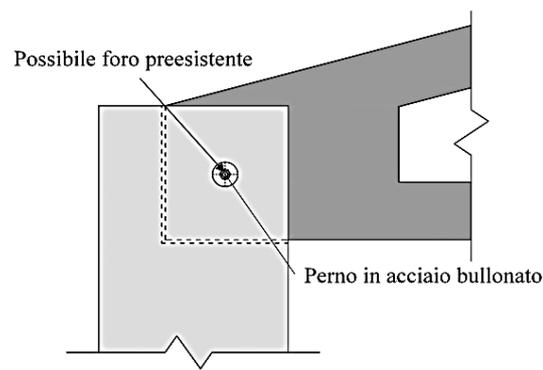
VISTA IN PROSPETTO



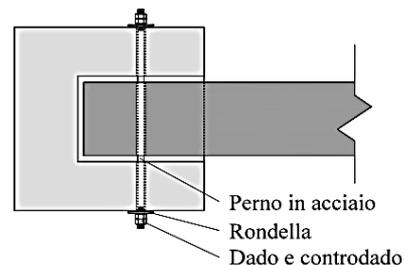
VISTA IN PIANTA



VISTA IN PROSPETTO



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 ed adeguata la resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave.

Dimensionamento

1/2 considera la presenza di un secondo collegamento dalla parte opposta

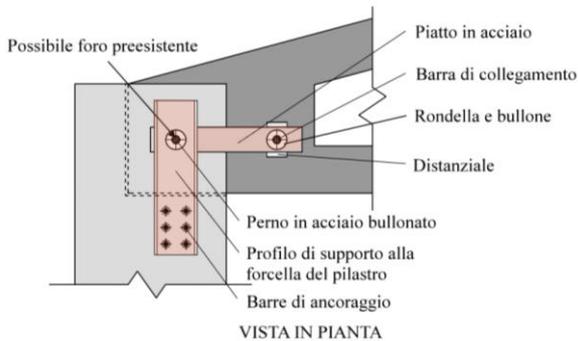
$$F_i = \frac{w_i}{2} \cdot \frac{S_a(T_1)}{g}$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

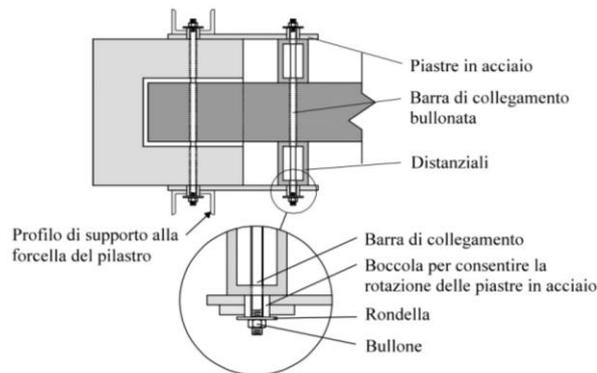
INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**

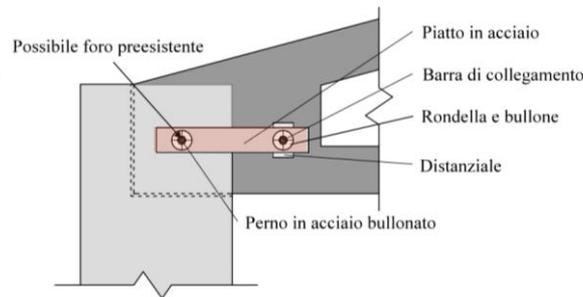
VISTA IN PROSPETTO



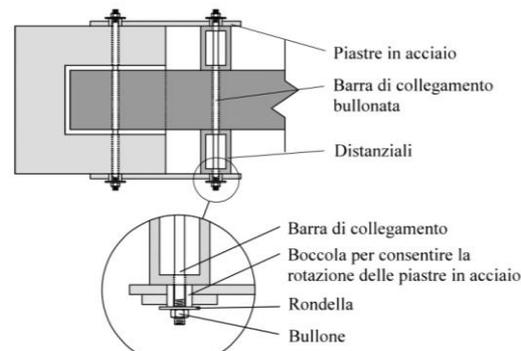
VISTA IN PIANTA



VISTA IN PROSPETTO



VISTA IN PIANTA



Vantaggi

- Semplicità esecutiva
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.
- Utile quando la testa della trave risulta danneggiata
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi

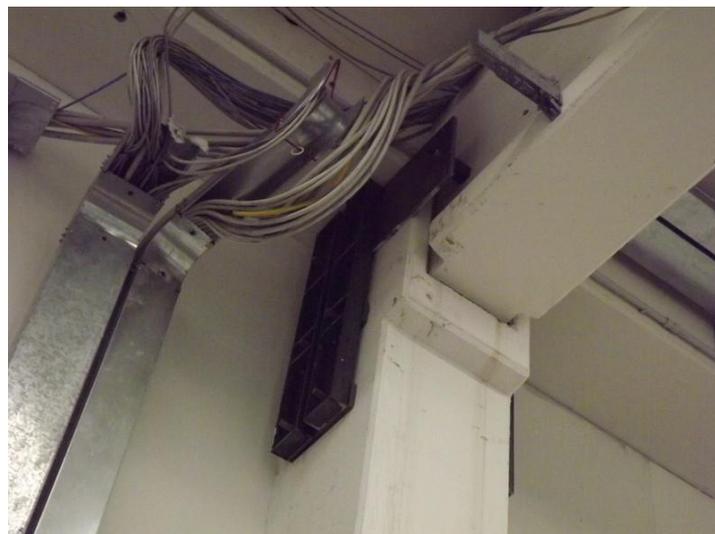
Deve essere valutata con attenzione la resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave.

Dimensionamento

$$F_i = \frac{w_i}{2} \cdot \frac{S_a(T_1)}{g}$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

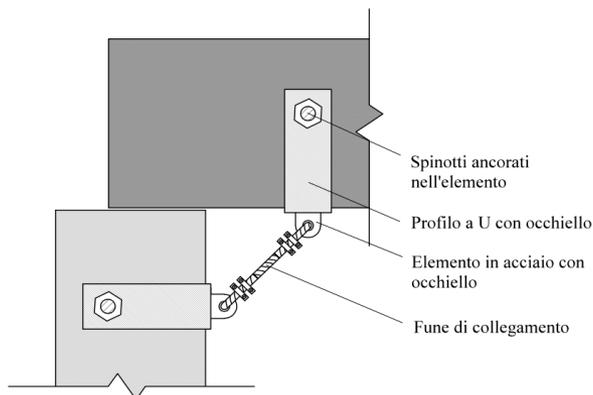
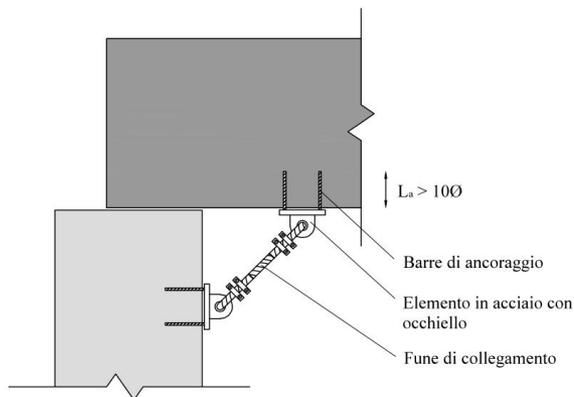
INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**



Vantaggi

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

Svantaggi

- I cavetti di acciaio rappresentano un **vincolo unilatero**, per cui la forza dovuta all'intera massa della trave viene applicata alternativamente solo ad uno o all'altro pilastro sovrasollecitando;
- Possono esserci **difficoltà di accesso al nodo**.
- **Bassa efficacia nel contenimento degli spostamenti trasversali** della trave.
- Necessità di combinazione con interventi mirati al **contrasto delle rotazioni torsionali della trave**.
- La **sollecitazione** nei cavetti di acciaio **può avere carattere impulsivo** il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

Dimensionamento

Vincolo unilatero

$$F_i = w_i \cdot \frac{S_a(T_1)}{g}$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

È possibile **aggiungere dispositivi di dissipazione energetica** in modo tale che a seguito del terremoto, pilastro e trave non si danneggino, ed il dispositivo sia l'unico elemento che va sostituito.

In questo caso si deve prestare attenzione a **non modificare la capacità rotazionale della connessione**, ad esempio con l'introduzione di squadrette metalliche all'intradosso della trave.

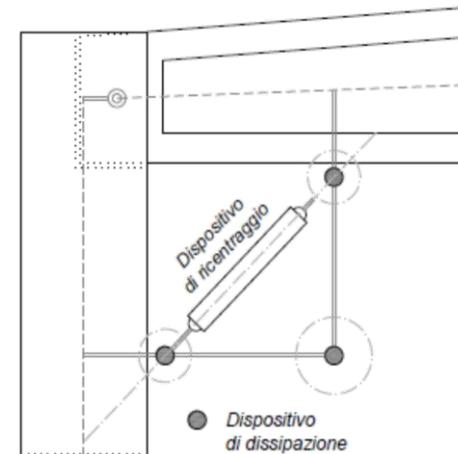


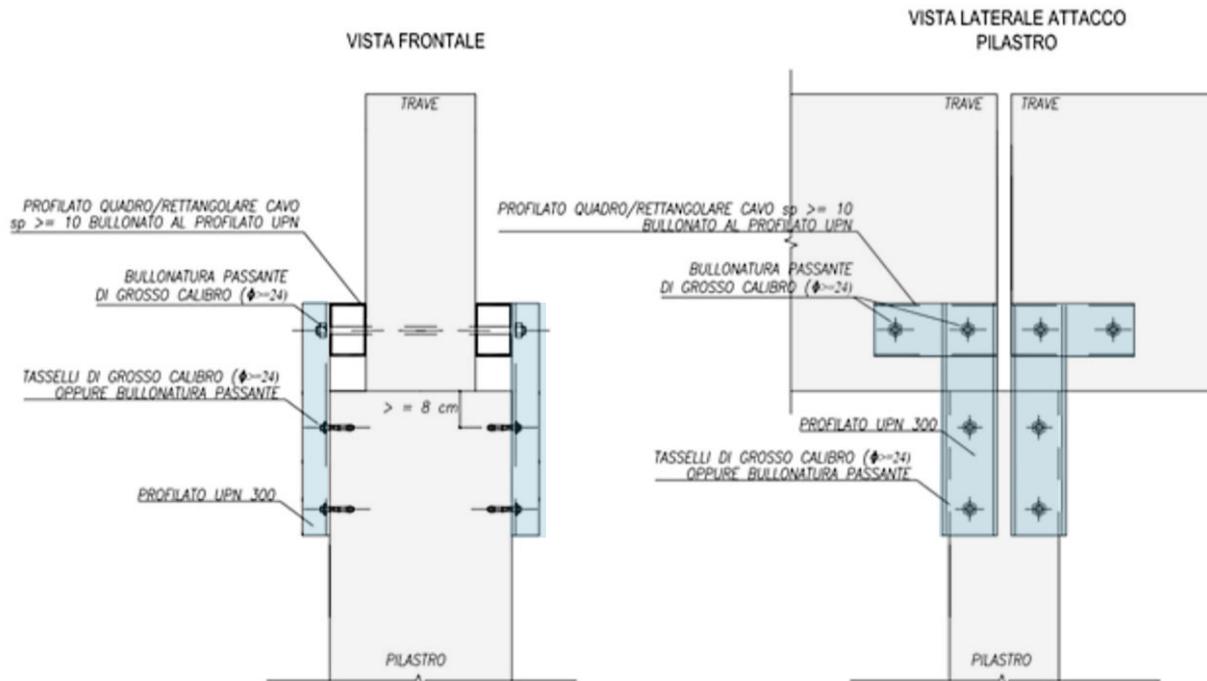
Figura 85 - Aggiunta di meccanismi di dissipazione: dissipatore ad attrito



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro** con eventuale confinamento

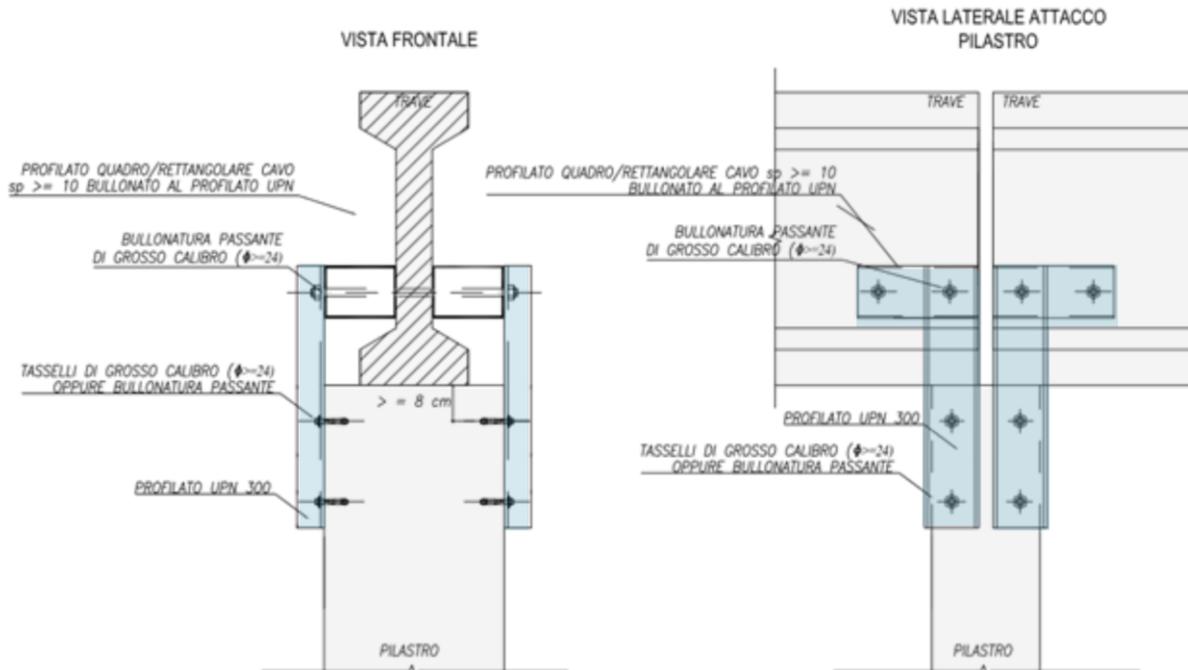


Trave rettangolare

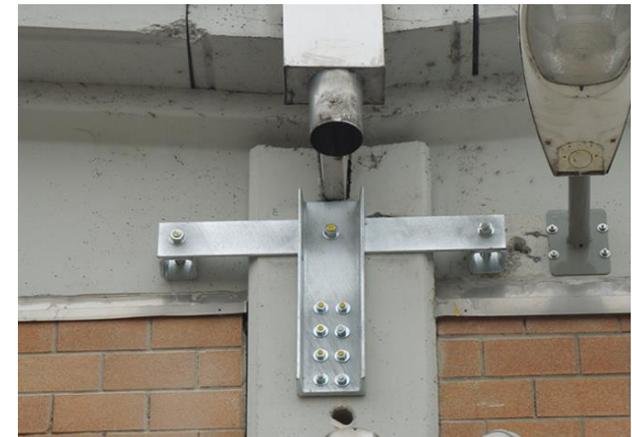
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro** con eventuale confinamento

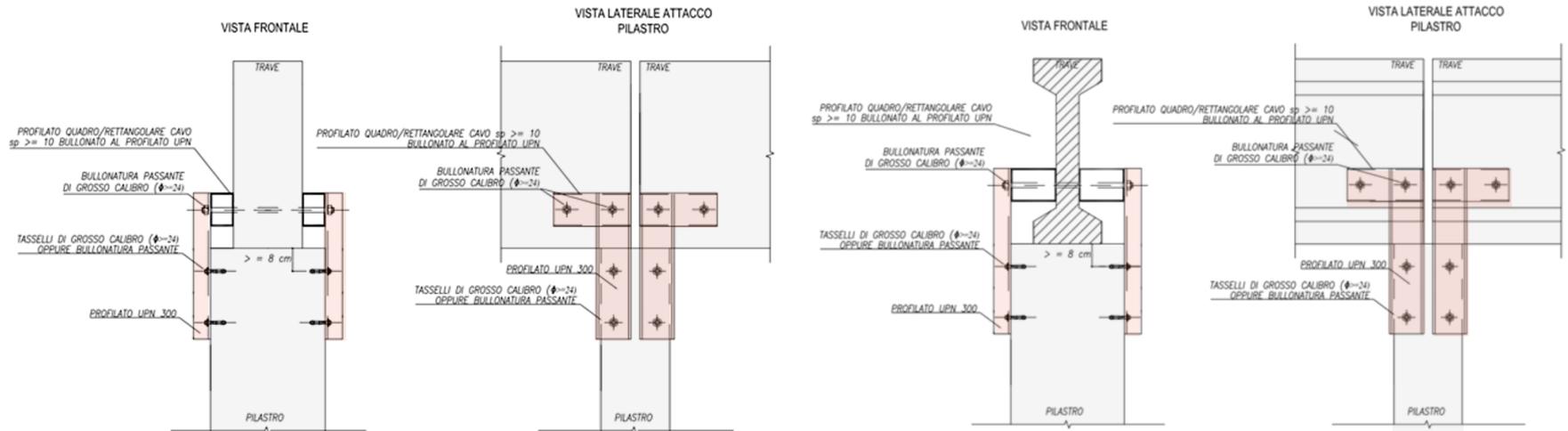


Trave tipo IPE



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO



Vantaggi

- La connessione proposta mira a garantire un **appoggio bilatero tra le estremità delle travi e la sommità dei pilastri**.
- La connessione **contrasta anche il fenomeno di rocking** della trave rispetto alla superficie superiore del pilastro. Eventuali asolature verticali sui profili UPN evitano l'insorgere di coazioni in presenza di rotazioni alle estremità, seppure consentendo parzialmente moti di rocking.
- L'assenza di giochi nella direzione orizzontale consente di **evitare fenomeni di martellamento** delle testate.

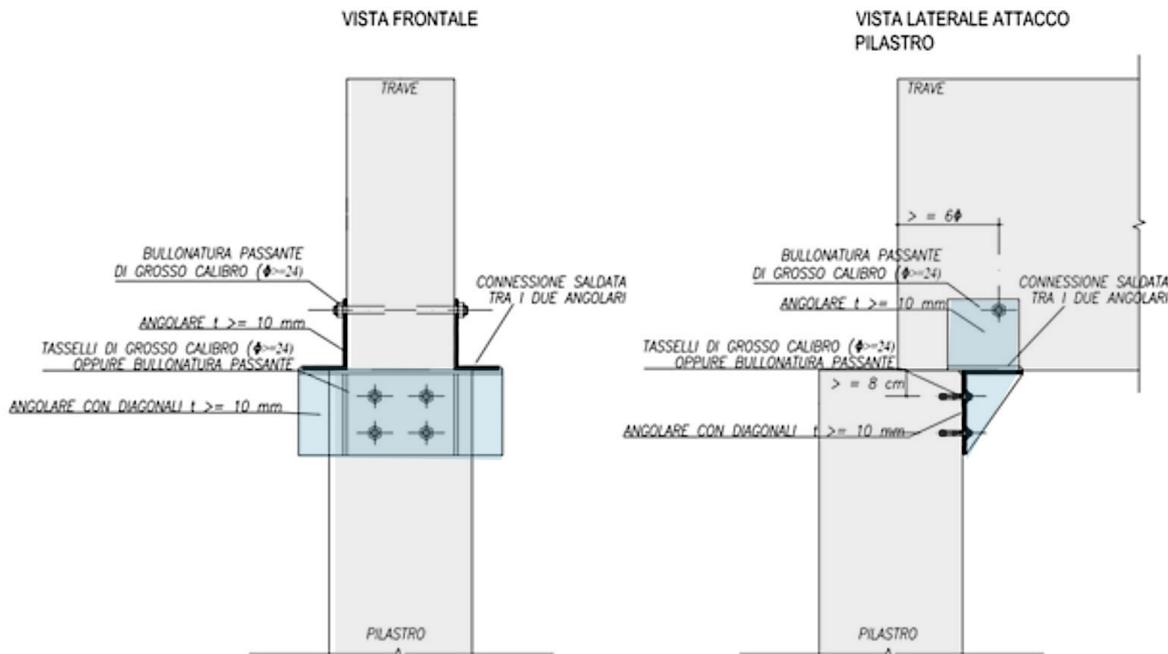
Svantaggi

- La **dilatazione termica assiale** per travi di lunghezza rilevante può comportare variazioni lungo l'asse di oltre 10 mm e pertanto ci si attende uno schiacciamento localizzato in corrispondenza della barra passante
- Le **estremità delle travi presenteranno inevitabilmente un piccolo momento** il cui valore massimo sarà fissato dalla capacità portante delle barre soggette in uno schema di doppio incastro a flessione e taglio all'interno degli scatolari o dalla capacità portante degli UPN a flessione e taglio.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro** con eventuale confinamento



In alternativa all'uso di fori calibrati è possibile utilizzare fori asolati con piastrine e contro-piastrina zigrinate

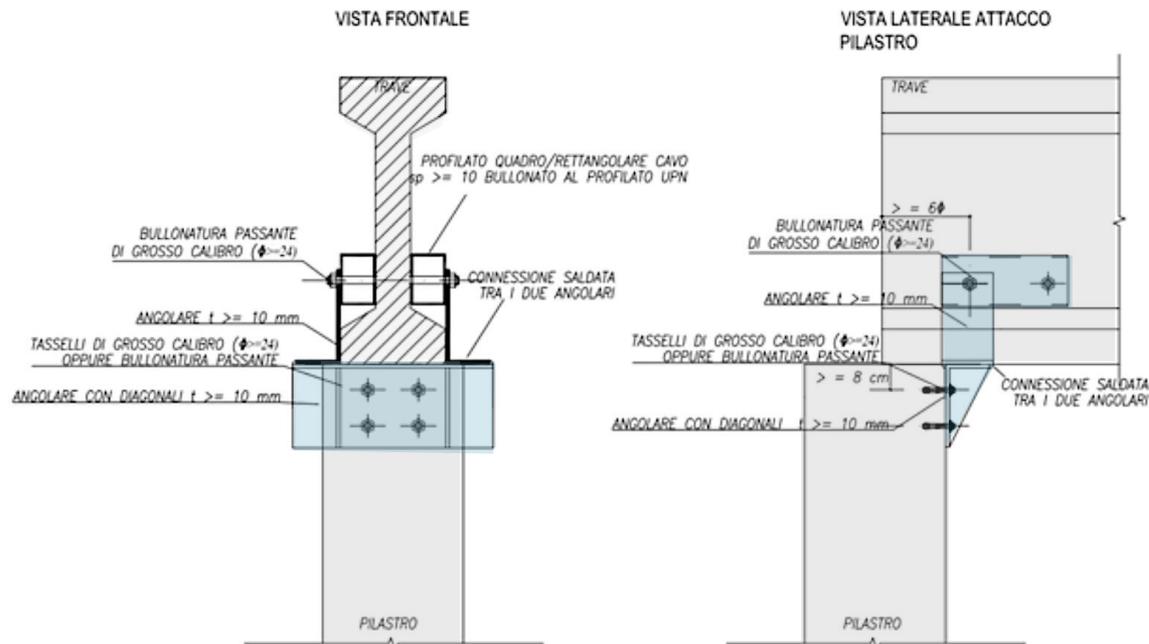
Trave rettangolare



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro** con eventuale confinamento

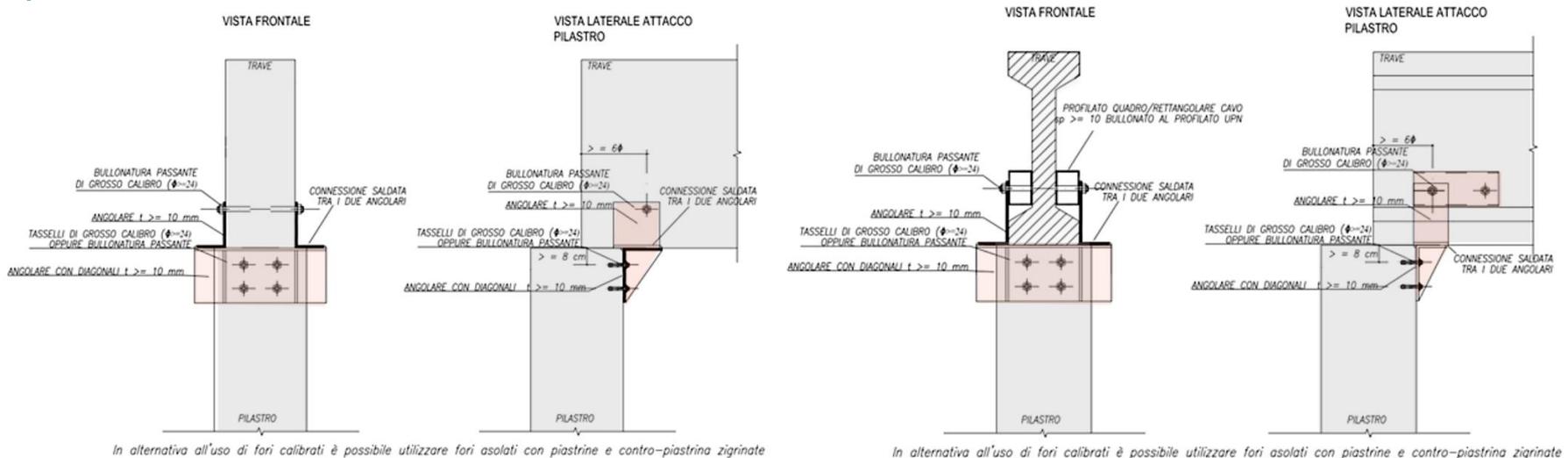


Trave IPE

In alternativa all'uso di fori calibrati è possibile utilizzare fori asolati con piastrine e contro-piastrina zigrinate

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APOGGIO



Vantaggi

- La connessione proposta mira a garantire un **appoggio bilatero** tra le estremità delle travi e la sommità dei pilastri;
- Aumenta la **dimensione dell'appoggio**;
- **Evita moti di rocking** della trave.

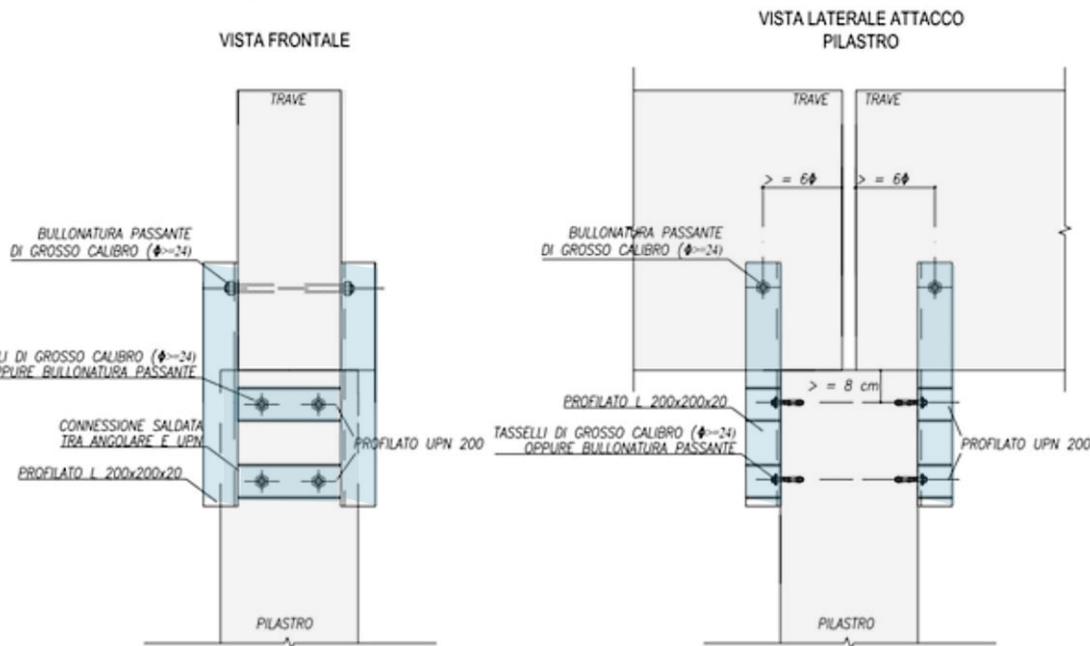
Svantaggi

- In presenza di rotazioni significative **l'angolare metallico rischia di doversi caricare anche dell'intero peso della trave** forzando il punto di rotazione della trave in corrispondenza dell'estremità dell'angolare;
- La **dilatazione termica assiale** per travi di lunghezza rilevante può comportare variazioni lungo l'asse di oltre 10 mm e pertanto ci si attende uno schiacciamento localizzato in corrispondenza della barra passante all'interno dell'anima della trave;
- Le estremità delle travi presenteranno inevitabilmente un **piccolo momento** il cui valore massimo sarà fissato dalla capacità portante delle barre soggette in uno schema di doppio incastro a flessione e taglio all'interno degli scatolari o dalla capacità portante degli UPN a flessione e taglio.
- **Difficoltà della esecuzione in opera di saldature** eseguite a regola d'arte.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro** con eventuale confinamento



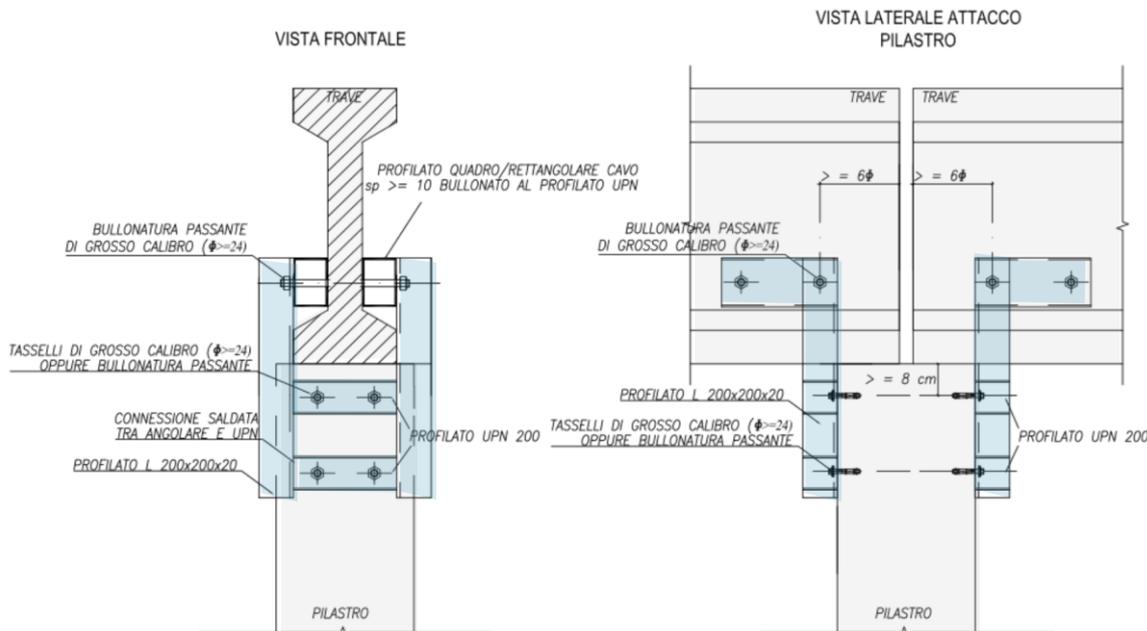
Trave rettangolare



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

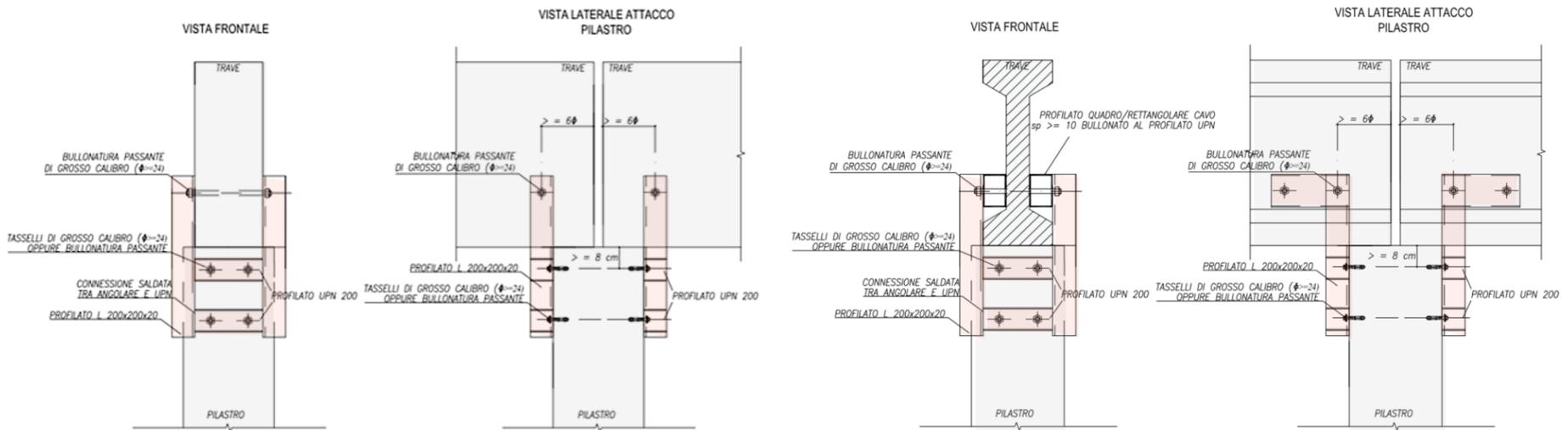
- Collegamento trave-pilastro mediante **perno in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **perni e piastre in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **cavetti in acciaio**
- Collegamento trave-pilastro mediante **connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro** con eventuale confinamento



Trave IPE

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO



Vantaggi

- La connessione proposta mira a garantire **un appoggio bilatero** tra le estremità delle travi e la sommità dei pilastri.
- La connessione **evita anche ogni fenomeno di rocking** della trave rispetto alla superficie superiore del pilastro.
- L'assenza di giochi nella direzione orizzontale consente di **evitare fenomeni di martellamento** delle testate.

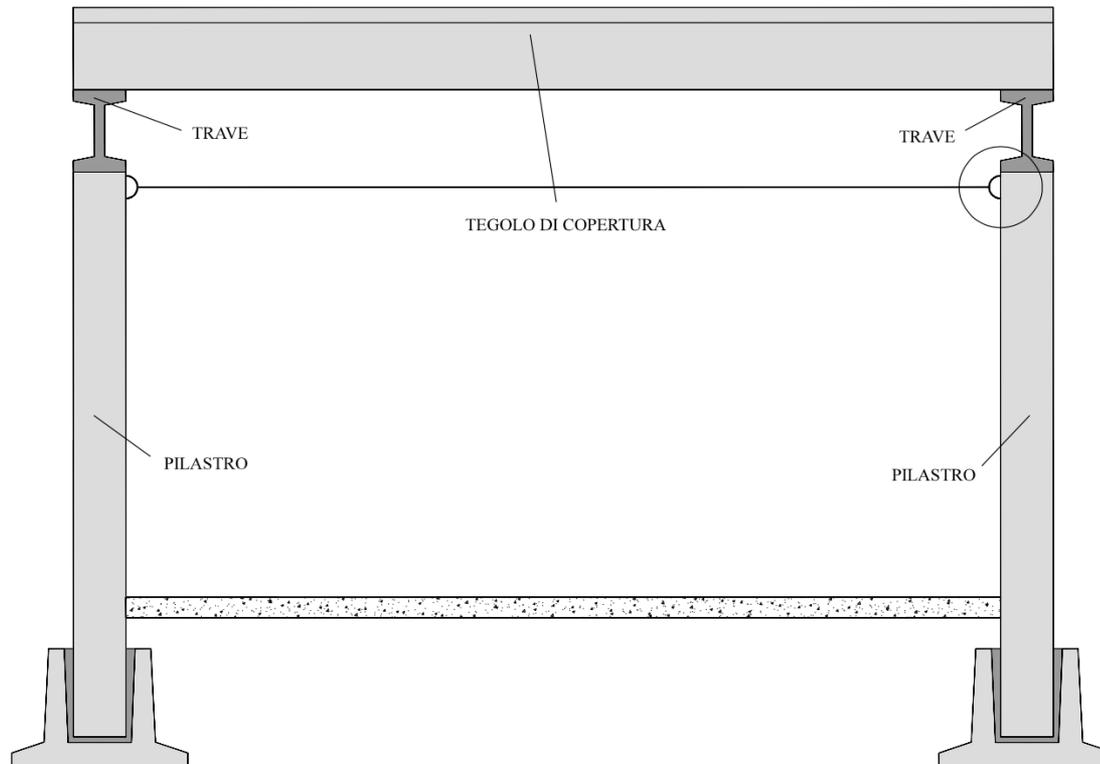
Svantaggi

- La **dilatazione termica assiale** per travi di lunghezza rilevante può comportare variazioni lungo l'asse di oltre 10 mm e pertanto ci si attende uno schiacciamento localizzato in corrispondenza della barra passante.
- Le **estremità delle travi presenteranno inevitabilmente un piccolo momento** il cui valore massimo sarà fissato dalla capacità portante delle barre soggette in uno schema di doppio incastro a flessione e taglio all'interno degli scatolari o dalla capacità portante degli UPN a flessione e taglio.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- e. Collegamento tra pilastro-pilastro tramite **profili metallici**



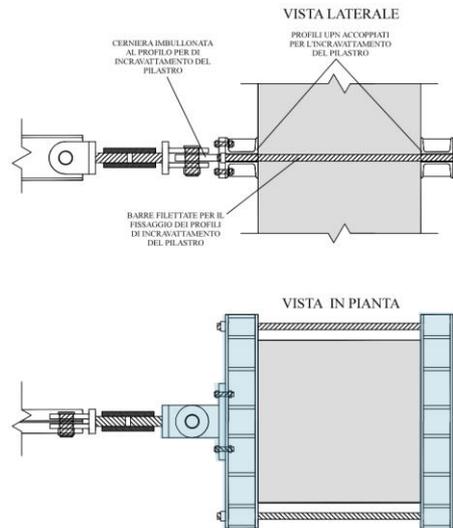
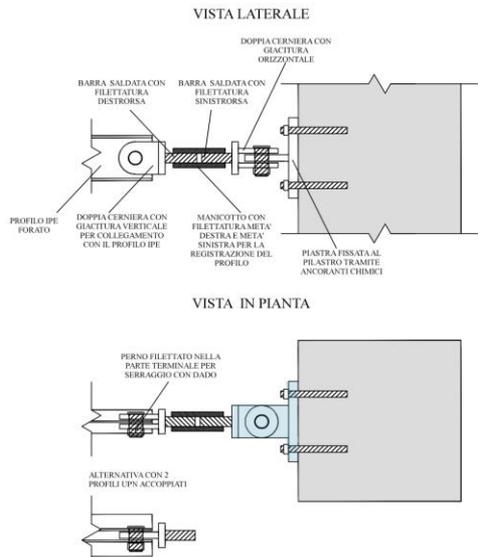
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

e. Collegamento tra pilastro-pilastro tramite profili metallici

Soluzione 1

Soluzione 2



Vantaggi

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

Svantaggi

- Tale intervento **non elimina la perdita di appoggio** dovuta allo scorrimento della trave rispetto al pilastro, né il possibile ribaltamento della trave. Per questo motivo è opportuno accompagnare questo intervento ad un collegamento meccanico tra elementi verticali e orizzontali.
- L'intervento prevede **l'utilizzo di profili in acciaio per coprire luci importanti** (tipiche delle strutture prefabbricate) e, quindi, si prospetta come un intervento costoso.
- L'intervento prevede **l'utilizzo di vincoli monolateri**, è quindi da limitare solo ed **esclusivamente ai casi in cui l'avvicinamento tra i due elementi strutturali è già inibito** da altri dispositivi o dalla geometria stessa degli elementi strutturali.

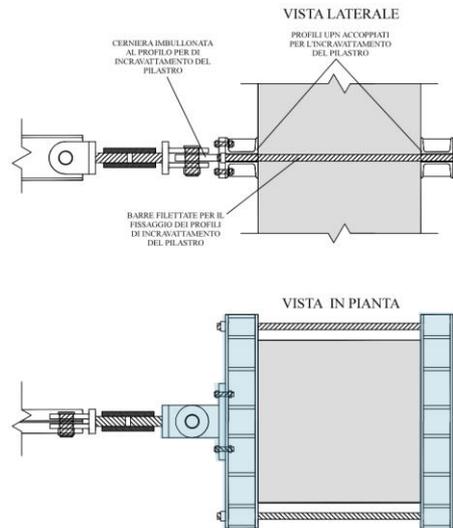
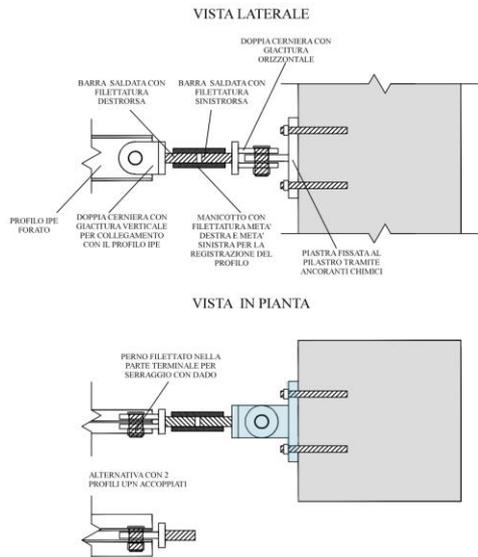
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

e. Collegamento tra pilastro-pilastro tramite profili metallici

Soluzione 1

Soluzione 2



Dimensionamento

Garantire almeno il trasferimento di una forza orizzontale di trazione f_i pari al prodotto tra la massa di competenza del pilastro, moltiplicato per la pseudo-accelerazione spettrale $S_a(T_1)$ corrispondente al periodo fondamentale T_1 della struttura.

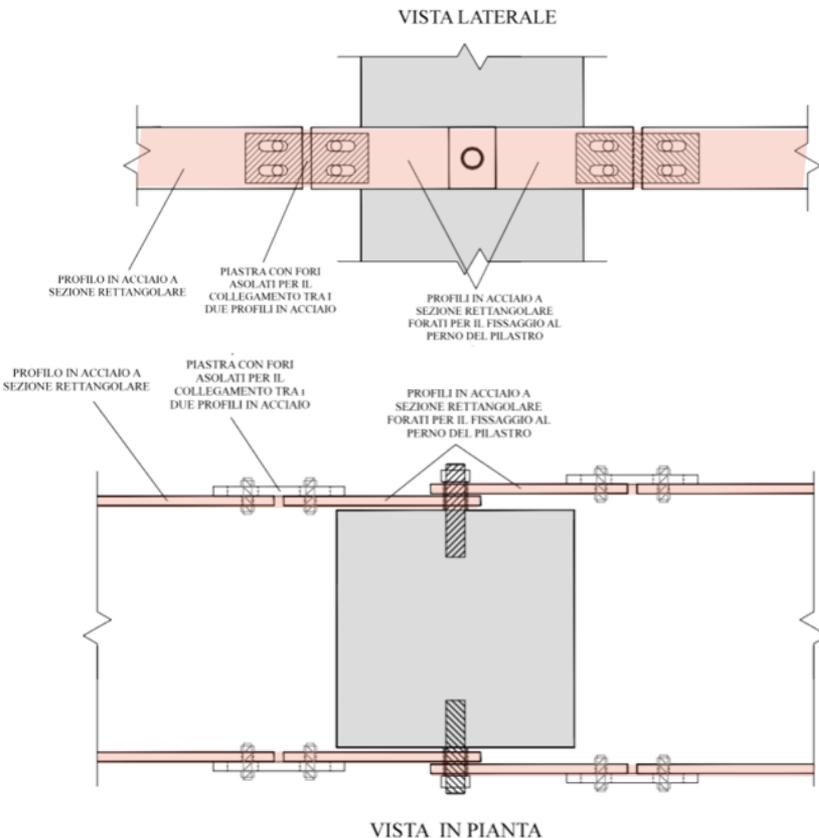
$$f_i = w_i \cdot \frac{S_a(T_1)}{g}$$

Utilizzare una lunghezza di ancoraggio l_a delle barre inghisate maggiore di 10ϕ

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

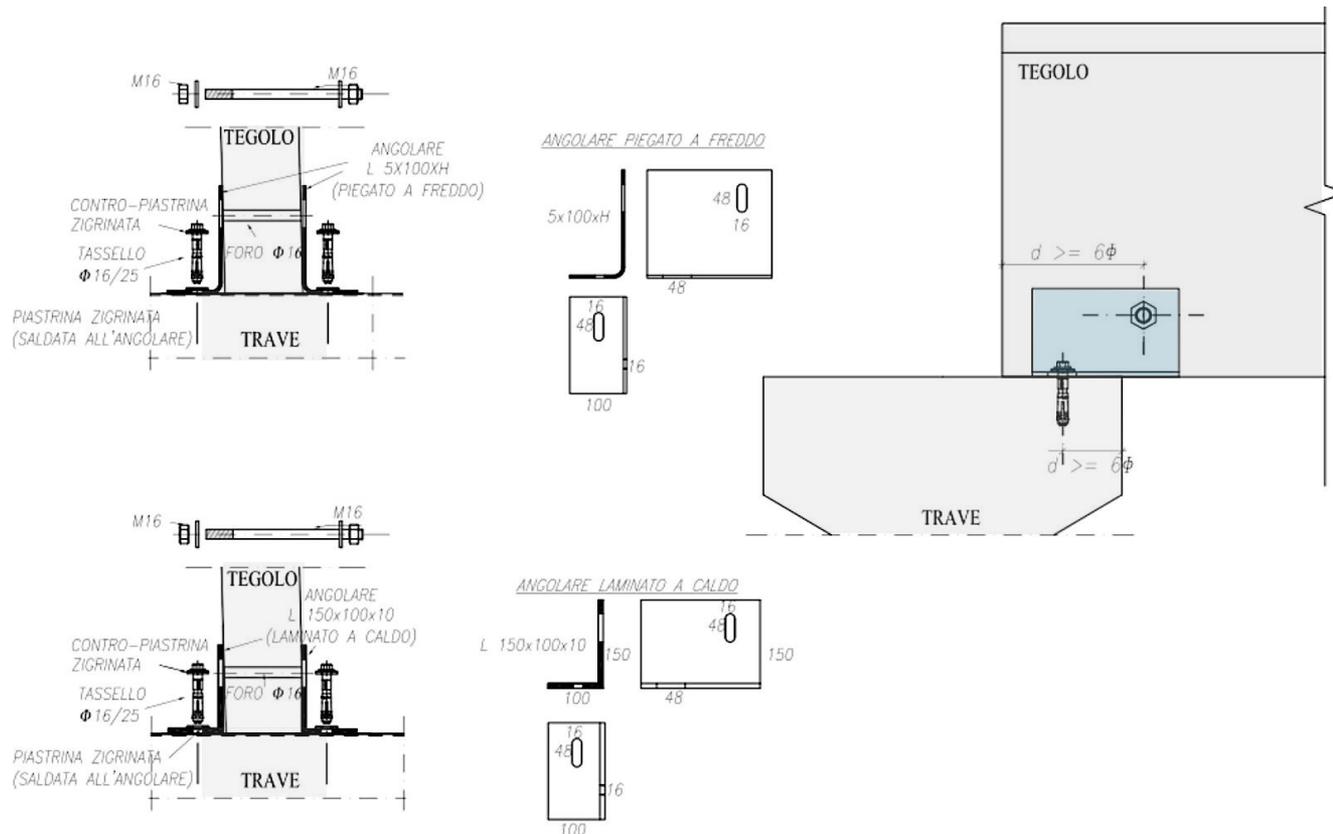
- e. Collegamento tra pilastro-pilastro tramite **profili metallici**
- f. Collegamento tra pilastro-pilastro tramite **piatti metallici**



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

h. Collegamento copertura-trave con **connettori bullonati** (1/2)



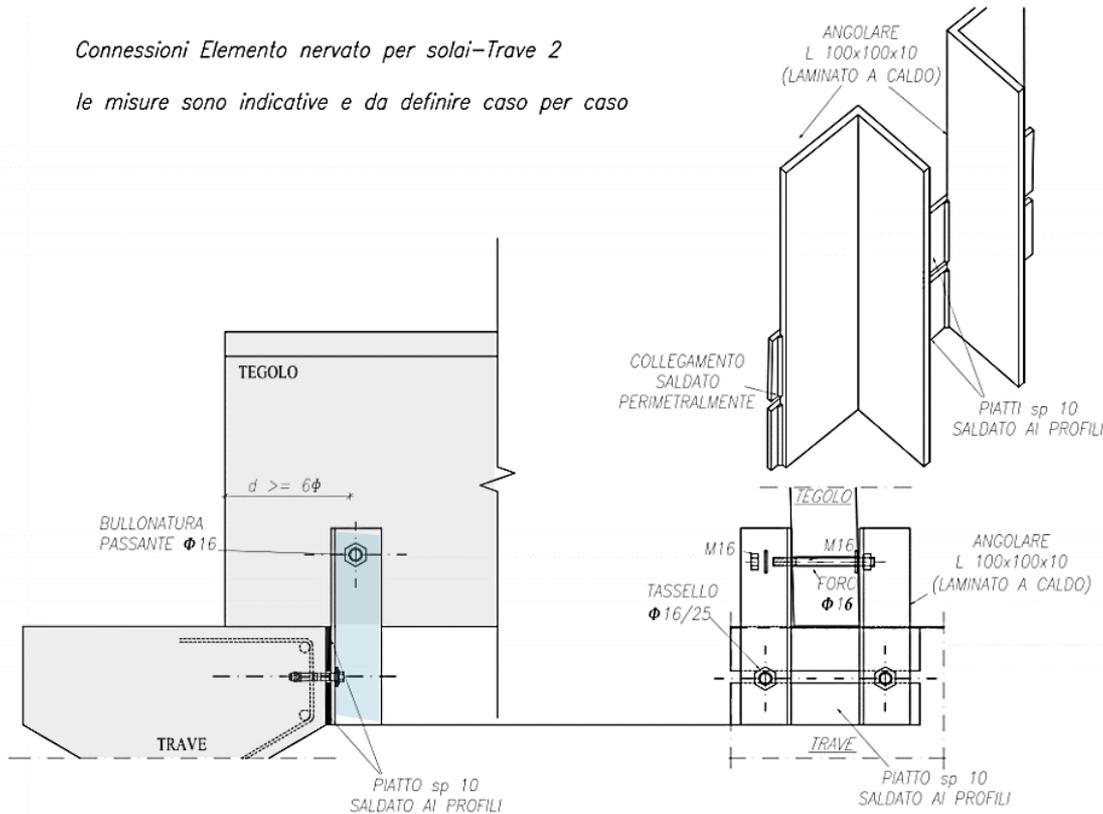
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

h. Collegamento copertura-trave con **connettori bullonati** (2/2)

Connessioni Elemento nervato per solai-Trave 2

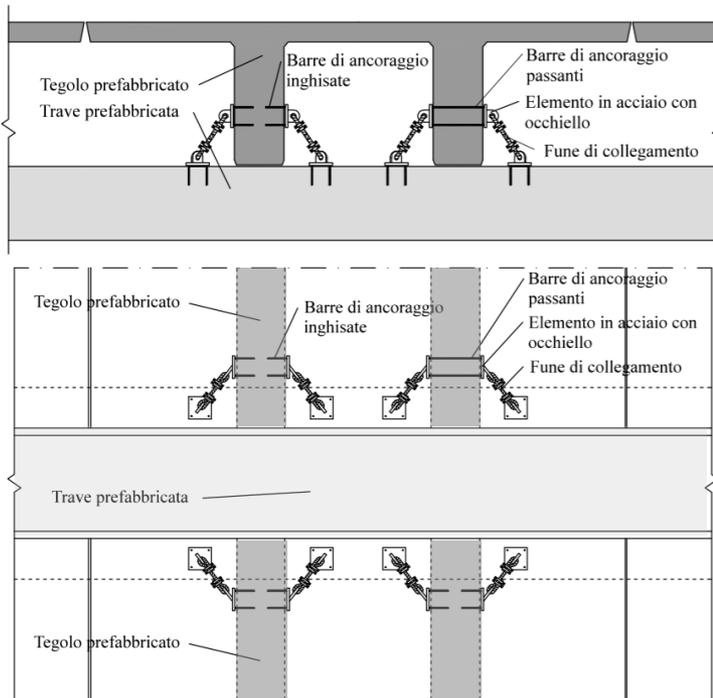
le misure sono indicative e da definire caso per caso



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- h. Collegamento copertura-trave con **connettori bullonati**
- i. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (lati delle gambe dei tegoli)



Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.

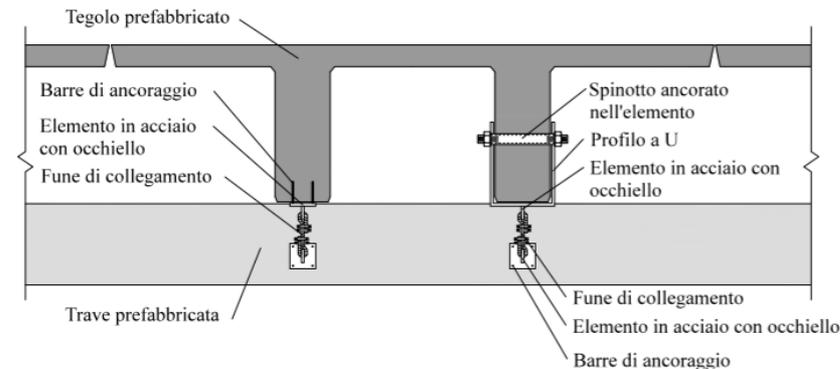
Svantaggi

- Le funi rappresentano un **vincolo unilatero**, per cui la **forza dovuta all'intera massa del tegolo viene applicata alternativamente solo ad una o all'altra trave**, sovrasollecitando, rispetto ad una condizione a vincoli bilateri, la trave e i pilastri ad essa collegati.
- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo. L'operatività va valutata con attenzione. Prima dell'installazione, va eseguito un accurato rilievo degli elementi.
- Bisogna **assicurare un opportuno copriferro rispetto al lato della trave**, onde evitare la rottura del calcestruzzo.
- La **sollecitazione nelle funi può avere carattere impulsivo** il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- h. Collegamento copertura-trave con **connettori bullonati**
- i. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (lati delle gambe dei tegoli)
- j. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (sotto le gambe dei tegoli)

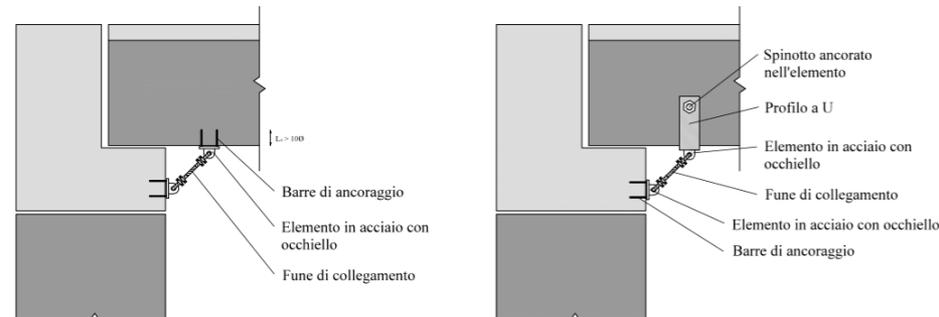


Vantaggi

- Semplicità esecutiva.
- Velocità di messa in opera.
- Mantenimento dello schema statico originale.

Svantaggi

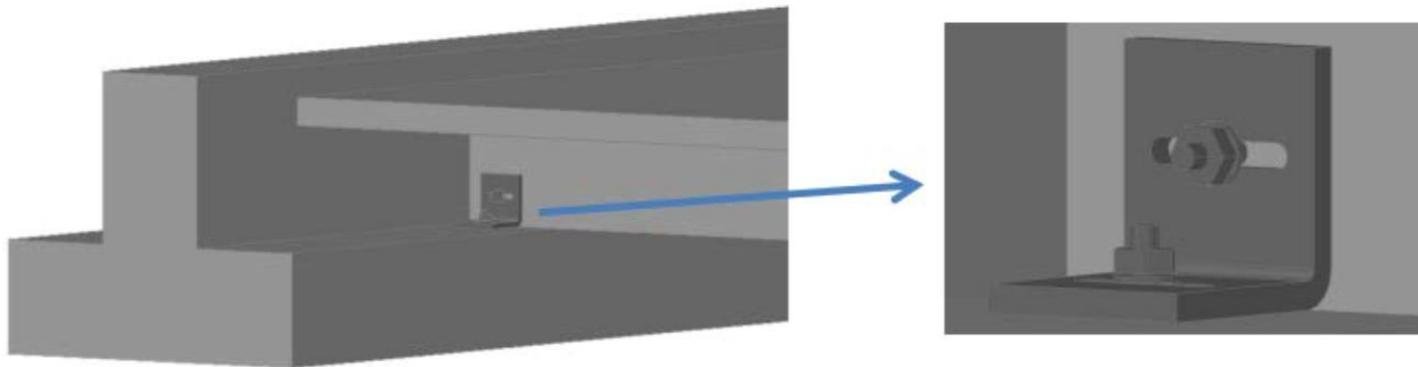
- Le funi rappresentano un **vincolo unilatero**, per cui la forza dovuta all'intera massa del tegolo viene applicata alternativamente solo ad una o all'altra trave, sovrasollecitando la trave e i pilastri ad essa collegati.
- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo.
- Al **lembo inferiore il tegolo potrebbe essere molto armato** (trefoli, armatura dolce), causando grande difficoltà per la realizzazione dei fori.
- La sollecitazione nelle funi può avere carattere impulsivo il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

- h. Collegamento copertura-trave con **connettori bullonati**
- i. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (lati delle gambe dei tegoli)
- j. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (sotto le gambe dei tegoli)
- k. Collegamento copertura-trave con **squadrette in acciaio**



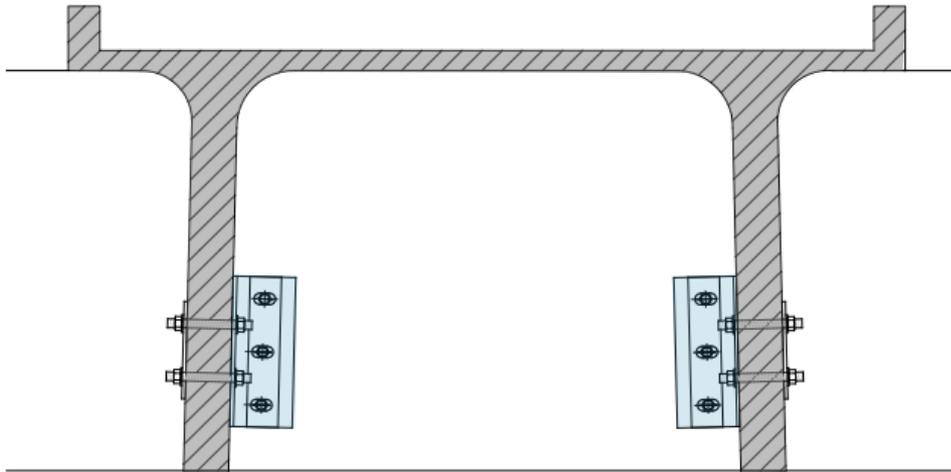
Rinforzo connessione tegolo-trave:

aggiunta di meccanismi di dissipazione con squadrette deformabili

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

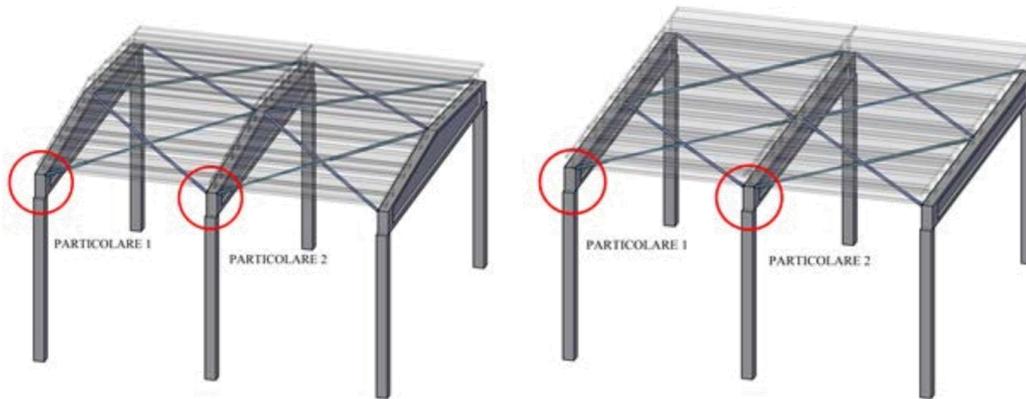
- h. Collegamento copertura-trave con **connettori bullonati**
- i. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (lati delle gambe dei tegoli)
- j. Collegamento copertura-trave con **cavetti in acciaio** (sotto le gambe dei tegoli)
- k. Collegamento copertura-trave con **squadrette in acciaio**



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 1. PERDITA DI APPOGGIO

k. controventi di falda con funi d'acciaio

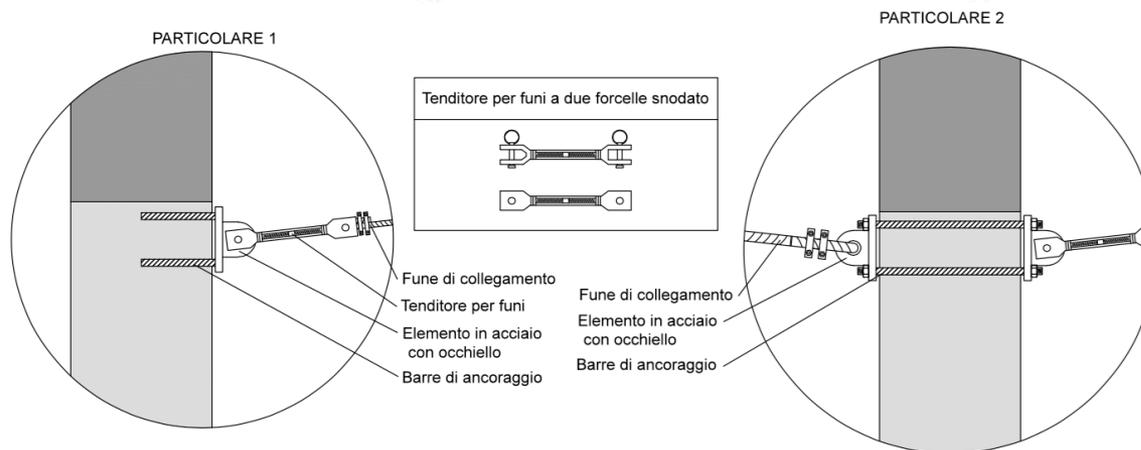


Vantaggi

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

Svantaggi

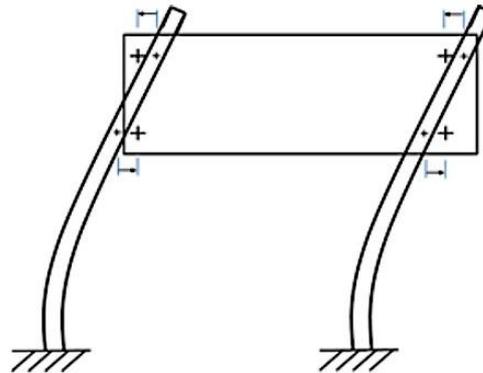
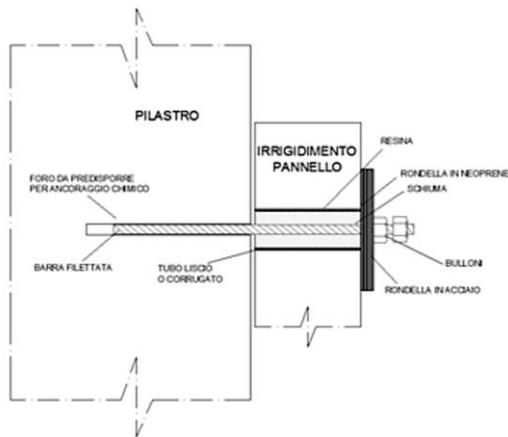
- Intervento di non rapida esecuzione;
- E' necessaria la presenza di elementi in grado di reagire a compressione in direzione perpendicolare all'orditura delle travi perchè il sistema possa essere considerato equilibrato.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 2. COLLASSO ELEMENTI TAMPONATURA

a. Collegamento di *pannelli di tamponamento ai pilastri*

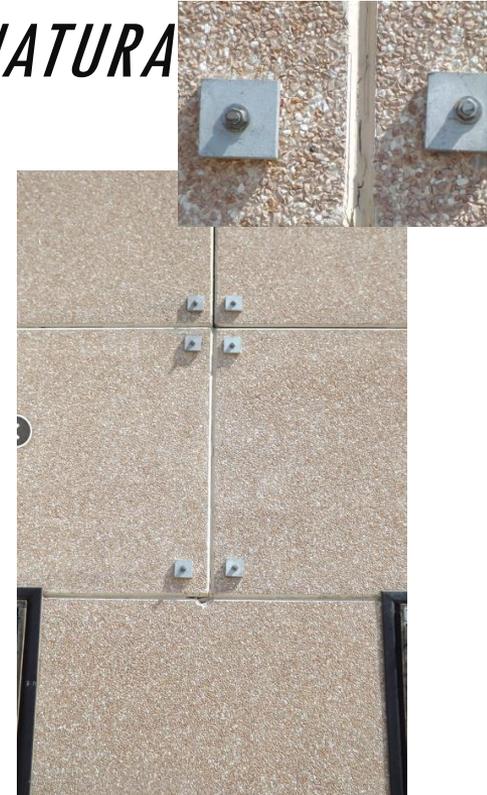


Vantaggi

- **Semplicità** esecutiva.
- **Velocità** di messa in opera.
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento, ma progettabile nei riguardi degli spostamenti attesi dopo l'adeguamento sismico.
- Il **collegamento consente i movimenti nel piano orizzontale del pannello**, e quindi di non irrigidire la struttura. Esso viene impegnato solo dopo che sono andati in crisi i collegamenti originari tra pannelli e pilastri.
- Il collegamento consente anche di **trattenere il pannello di tamponamento nei riguardi delle azioni fuori dal piano**.
- L'interposizione del tubo metallico nel pannello consente di irrobustire il pannello stesso in corrispondenza del foro.

Svantaggi

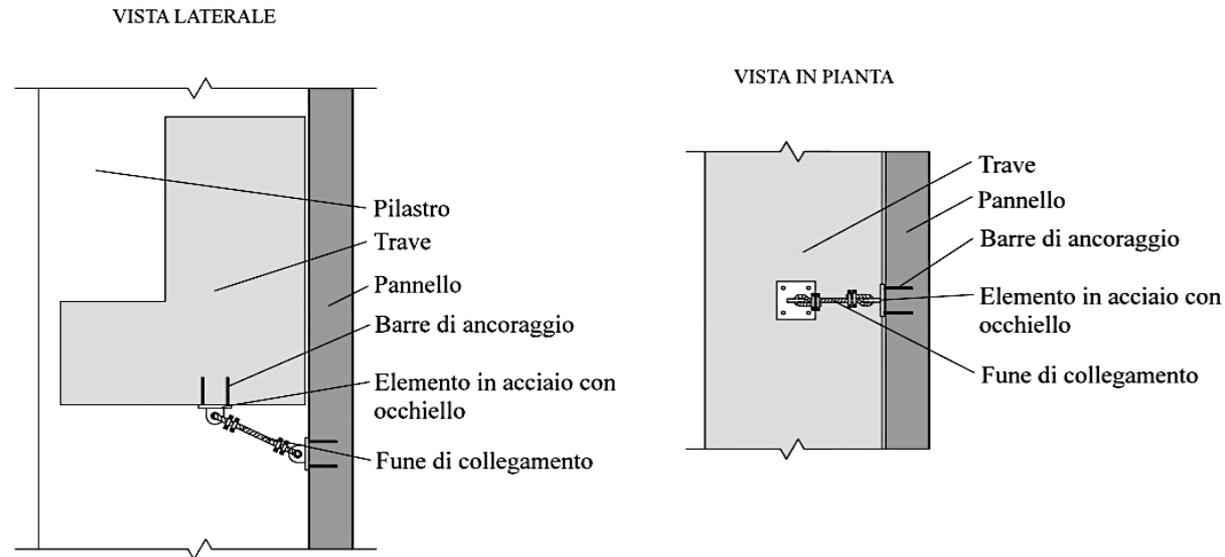
- Verificare la posizione delle **armature longitudinali nel pilastro**, nonché la presenza di armature nei cordoli di irrigidimento dei pannelli.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 2. COLLASSO ELEMENTI TAMPONATURA

- a. Collegamento di **pannelli di tamponamento ai pilastri**
- b. Collegamento di pannelli verticali mediante **cavetti in acciaio**



Vantaggi

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

Svantaggi

- Se il cavetto in acciaio di collegamento dovesse risultare troppo corto, potrebbe limitare gli spostamenti relativi tra pannello e trave o tegolo di supporto.
- Può causare **martellamenti** fra il pannello e gli altri pannelli, e fra il pannello e le strutture retrostanti.
- La **sollecitazione nelle funi può avere carattere impulsivo** il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 2. COLLASSO ELEMENTI TAMPONATURA

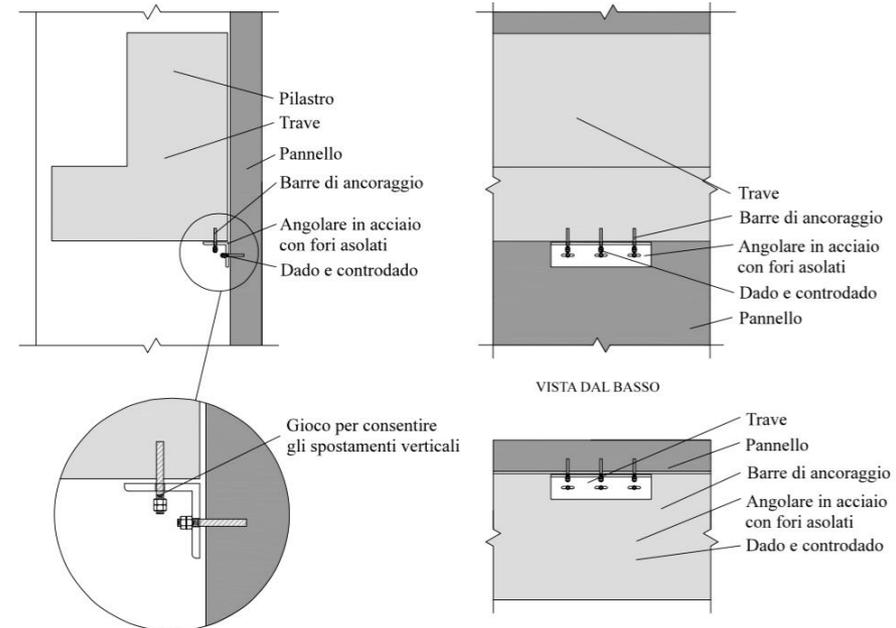
- a. Collegamento di **pannelli di tamponamento ai pilastri**
- b. Collegamento di pannelli verticali mediante **cavetti in acciaio**
- c. Collegamento di pannelli verticali mediante **squadrette in acciaio**

Vantaggi

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

Svantaggi

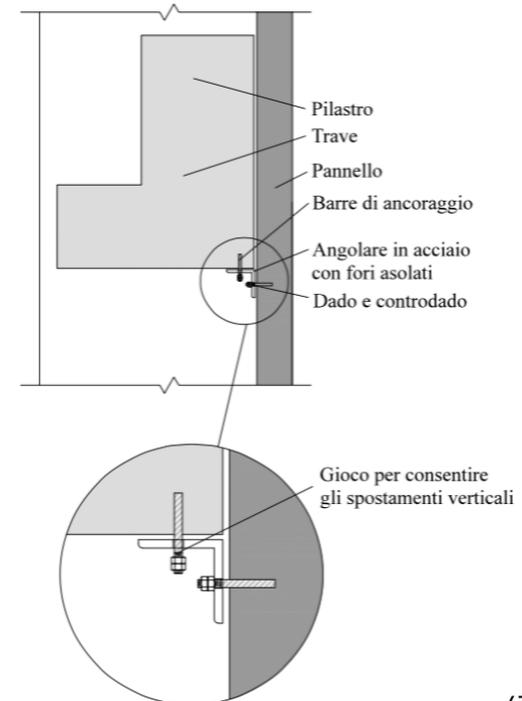
- Data la presenza di fori asolati, le squadrette risultano piuttosto ampie, e di costo relativamente elevato.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 2. COLLASSO ELEMENTI TAMPONATURA

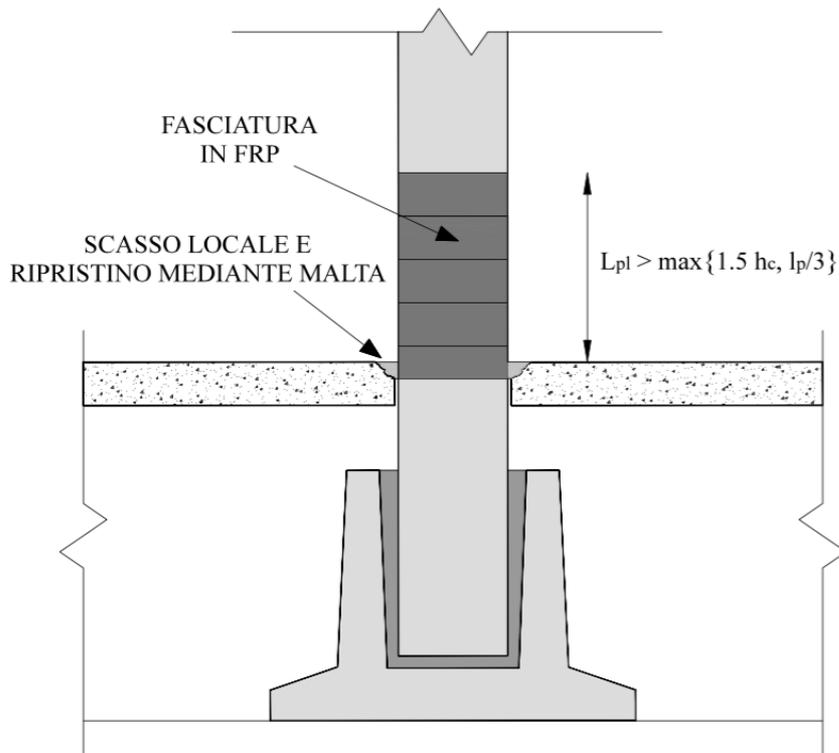
- a. Collegamento di **pannelli di tamponamento ai pilastri**
- b. Collegamento di pannelli verticali mediante **cavetti in acciaio**
- c. Collegamento di pannelli verticali mediante **squadrette in acciaio**



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

a. Confinamento alla base dei pilastri mediante *fasciatura in frp*



Vantaggi

- Semplicità esecutiva e velocità di messa in opera
- **Incremento del confinamento del calcestruzzo** nella zona critica alla base del pilastro con conseguente aumento della **duttilità della sezione** di base.
- Effetto benefico nei riguardi della **potenziale instabilità** delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Aumento della **resistenza a taglio** della sezione originaria.
- Utilizzabile sia come soluzione di pronto intervento sia come soluzione per il definitivo adeguamento della struttura.
- Possibilità di saltare con la fasciatura anche le parti localmente interessate dalla presenza di squadrette di bloccaggio delle pannellature ai pilastri.
- Possibilità di **continuare il rinforzo lungo l'intera colonna** senza armature di attesa o problemi legati alla ripresa dei getti.

Svantaggi

- **Non dà luogo a sensibili aumenti di resistenza** né nei confronti dell'azione assiale, né del momento flettente.
- Introduce una **discontinuità delle caratteristiche deformative in campo anelastico lungo il fusto del pilastro**, tenendo conto della zona inferiore alla pavimentazione.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

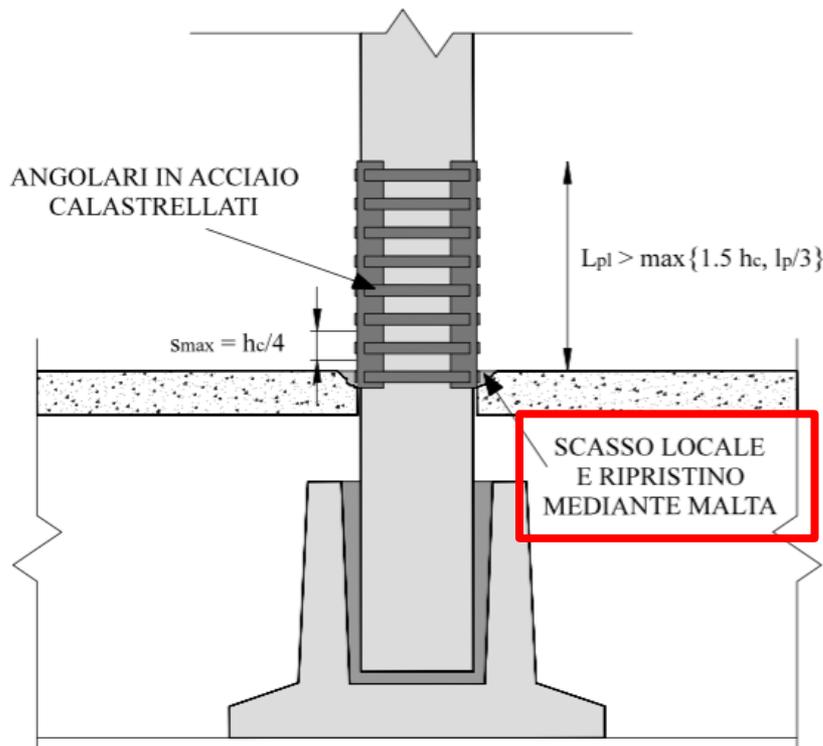
- a. Confinamento alla base dei pilastri mediante *fasciatura in frp*



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

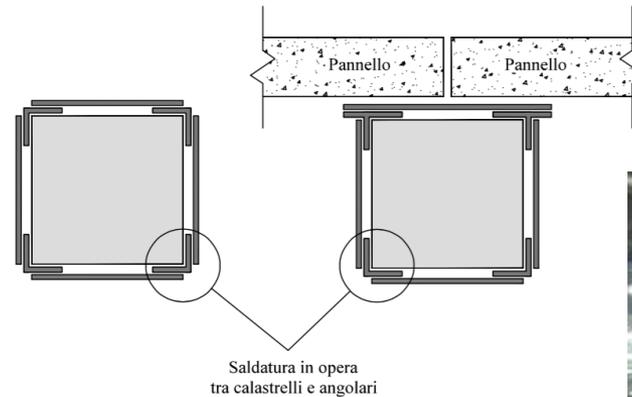
INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

- a. Confinamento alla base dei pilastri mediante **fasciatura in frp**
- b. Confinamento alla base dei pilastri mediante **angolari e calastrelli metallici**



PILASTRO INTERNO

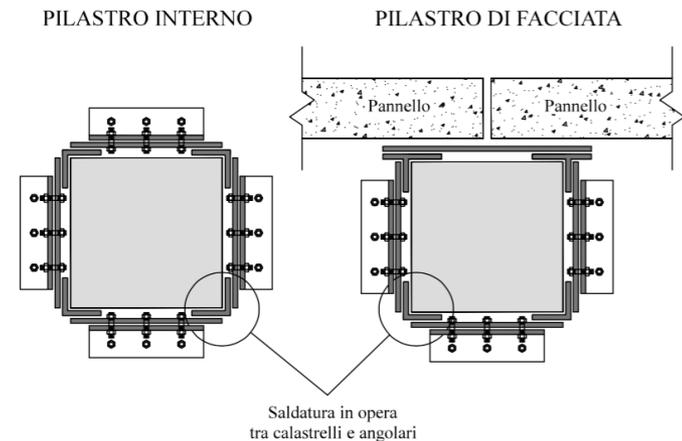
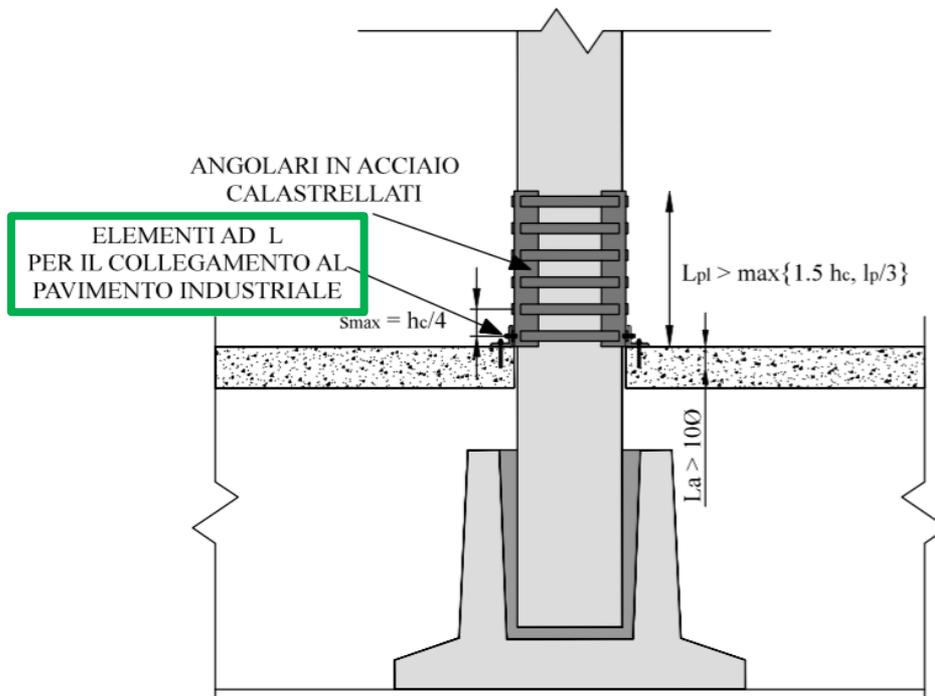
PILASTRO DI FACCIATA



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

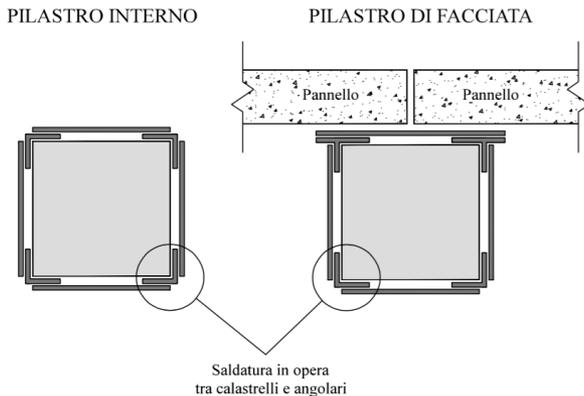
3. Interventi su **elementi verticali** danneggiati o carenti
 - a. Confinamento alla base dei pilastri mediante **fasciatura in frp**
 - b. Confinamento alla base dei pilastri mediante **angolari e calastrelli metallici**



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

Scasso locale e ripristino con malta



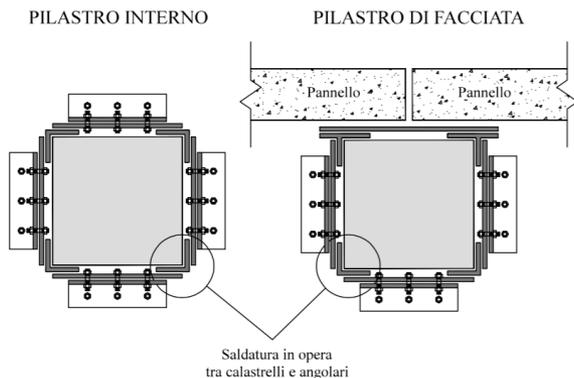
Vantaggi

- Semplicità esecutiva e velocità di messa in opera.
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Aumento della resistenza a taglio della sezione originaria della colonna.
- Utilizzabile come soluzione per l'adeguamento definitivo.

Svantaggi

- Non dà luogo a sensibili aumenti di resistenza né nei confronti dell'azione assiale né di momento flettente.
- Introduce una discontinuità delle caratteristiche deformative in campo anelastico lungo il fusto del pilastro, tenendo conto della zona inferiore alla pavimentazione.

Elementi ad L per il collegamento



Vantaggi

- Discreta velocità di messa in opera.
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado.
- Aumento della resistenza a taglio e a flessione della sezione originaria.
- Utilizzabile come soluzione per l'adeguamento definitivo.

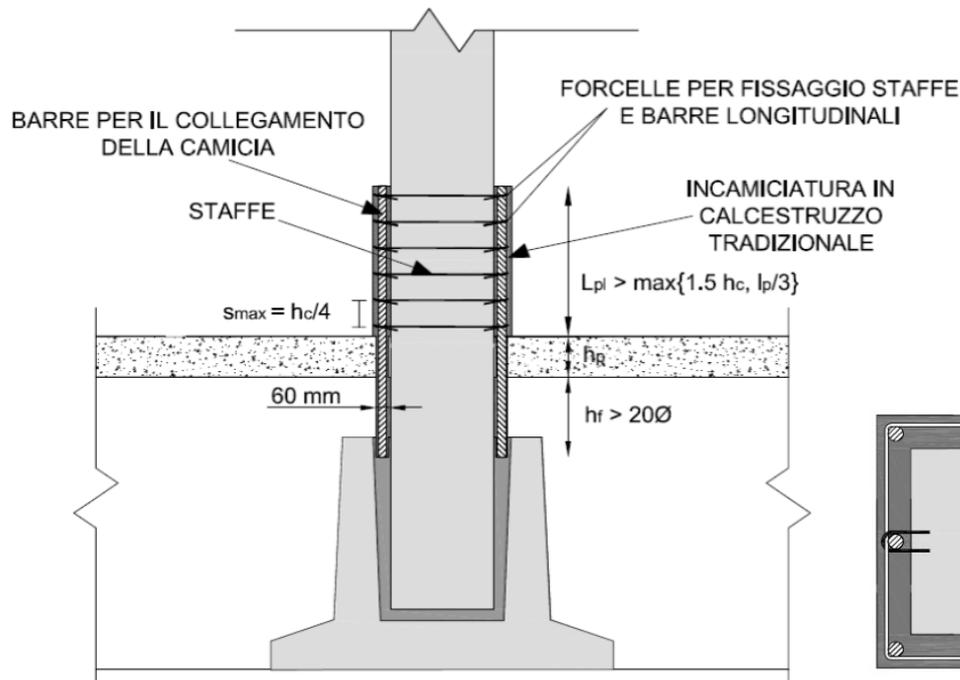
Svantaggi

- **Realizzazione del vincolo** alla base piuttosto **complessa**.
- **Non realizzabile** in pavimenti con **finiture di pregio**.
- Introduce una discontinuità delle caratteristiche deformative in campo anelastico lungo il fusto del pilastro, tenendo conto della zona inferiore alla pavimentazione.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

- Confinamento alla base dei pilastri mediante **fasciatura in frp**
- Confinamento alla base dei pilastri mediante **angolari e calastrelli metallici**
- Confinamento e rinforzo alla base dei pilastri **mediante incamiciatura in c.a.**

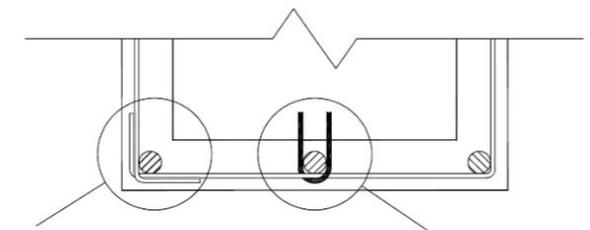
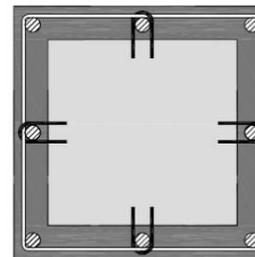


Vantaggi

- Incremento della resistenza della sezione di base del pilastro.
- **Incremento della capacità portante (azione assiale, momento flettente e taglio) 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.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

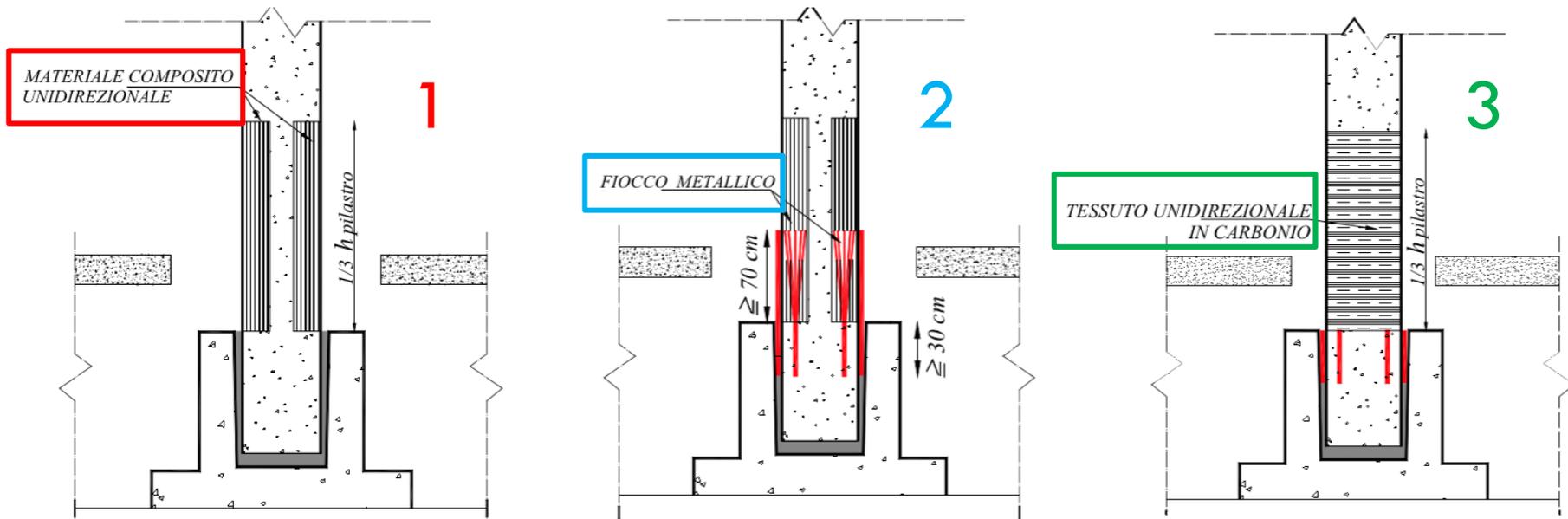
- a. Confinamento alla base dei pilastri mediante **fasciatura in frp**
- b. Confinamento alla base dei pilastri mediante **angolari e calastrelli metallici**
- c. Confinamento e rinforzo alla base dei pilastri **mediante incamiciatura in c.a.**



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

- Confinamento alla base dei pilastri mediante **fasciatura in frp**
- Confinamento alla base dei pilastri mediante **angolari e calastrelli metallici**
- Confinamento e rinforzo alla base dei pilastri **mediante incamiciatura in c.a.**
- Confinamento e rinforzo a pressoflessione della base del pilastro con **materiale composito fibrorinforzato con "fiocchi" di ancoraggio al piede.**

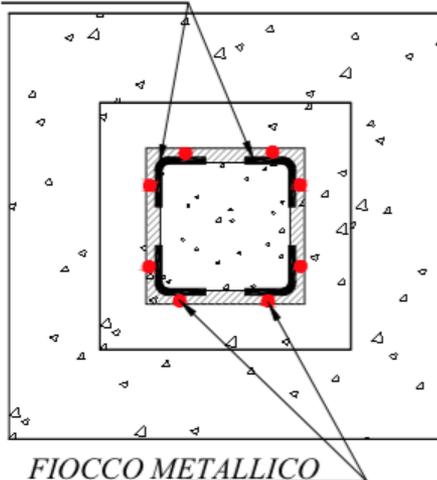


INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 3. ELEMENTI VERTICALI

- a. Confinamento alla base dei pilastri mediante **fasciatura in frp**
- b. Confinamento alla base dei pilastri mediante **angolari e calastrelli metallici**
- c. Confinamento e rinforzo alla base dei pilastri **mediante incamiciatura in c.a.**
- d. Confinamento e rinforzo a pressoflessione della base del pilastro con **materiale composito fibrorinforzato con “fiocchi” di ancoraggio** al piede.

MATERIALE COMPOSITO
UNIDIREZIONALE



Vantaggi

- Semplicità e rapidità di operazione
- Ridotta superficie di scavo intorno al pilastro
- Nessuna variazione significativa nelle rigidzze degli elementi rinforzati
- Nelle zone confinate con tessuto unidirezionale può verificarsi un incremento della resistenza a taglio

Svantaggi

- Ridotto incremento di resistenza a compressione nel pilastro

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 4. FONDAZIONI

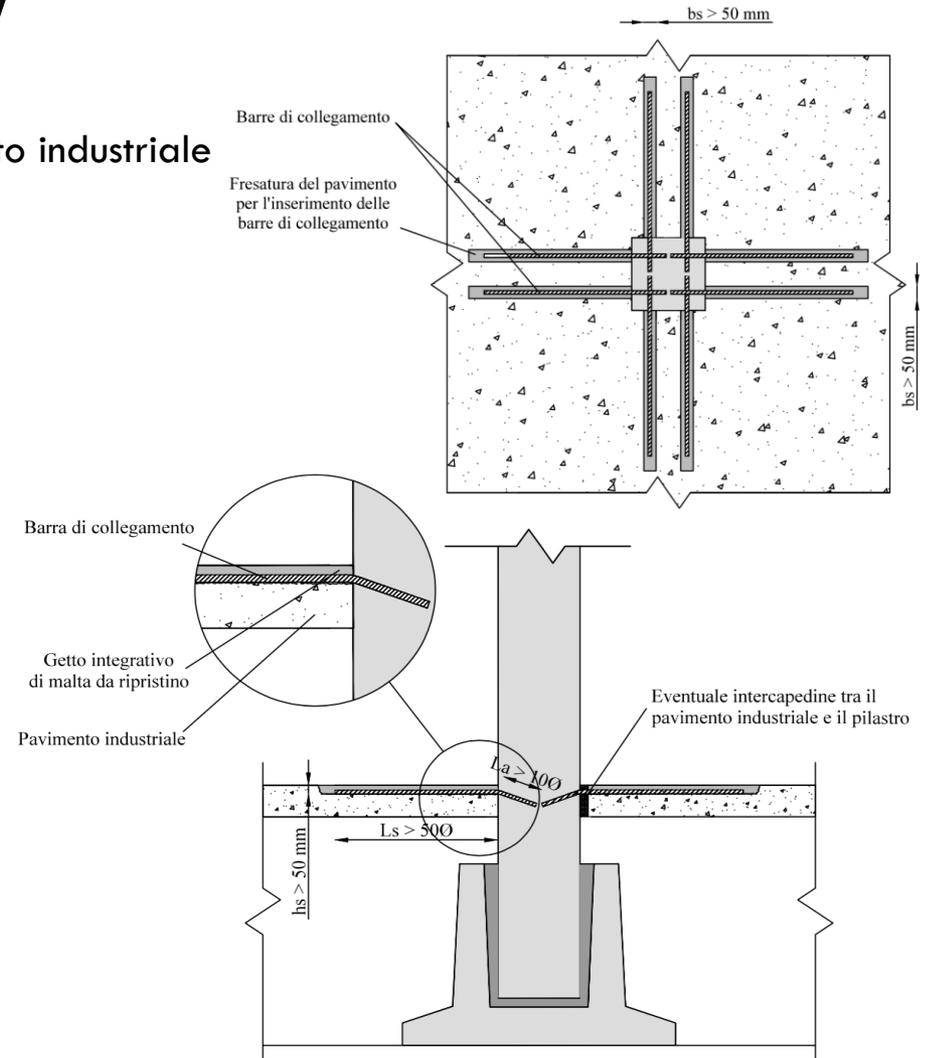
a. Collegamento tra pilastro e pavimento industriale

Vantaggi

- **Miglioramento del vincolo a terra del pilastro: permette di ovviare alla cedevolezza rotazionale tipica del plinto a bicchiere.**
- Semplicità esecutiva.
- **Collegamento orizzontale** tra i pilastri a livello di fondazione.
- Utilizzabile per la sistemazione definitiva della struttura.
- **Miglioramento vincolo a terra del pilastro:** l'intervento permette di ovviare alla cedevolezza rotazionale tipica del plinto a bicchiere isolato fornendo un grado di vincolo aggiuntivo.
- realizza un **diaframma continuo che collega tutti i plinti**, limitando quindi eventuali spostamenti differenziali alla base dei pilastri.

Svantaggi

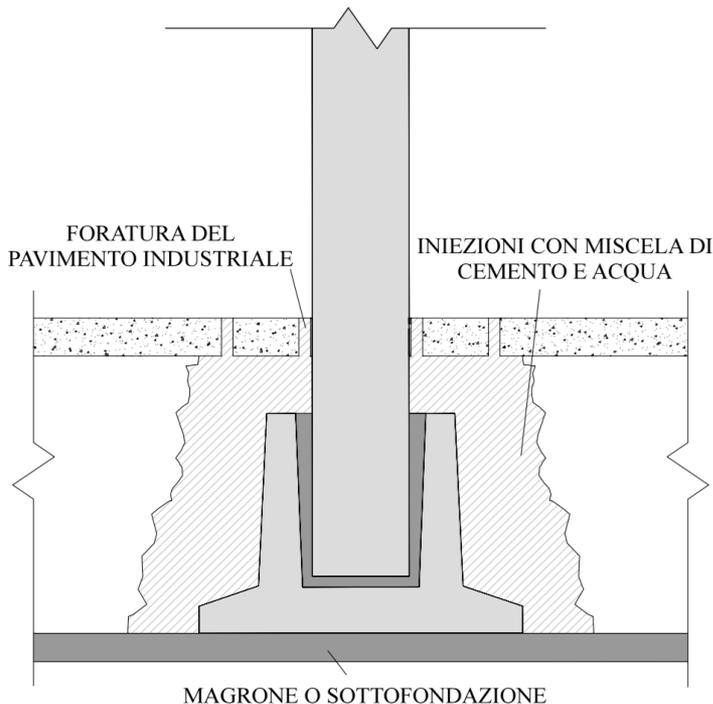
- Discreta invasività.
- Non realizzabile in presenza di pavimenti con finiture di pregio.
- Bisogna **verificare che nella sottopavimentazione sia presente il misto stabilizzato compatto**, il quale garantisca un confinamento passivo al pilastro ed eviti concentrazioni di sollecitazioni di taglio e momento nella zona della sottopavimentazione e in fondazione.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 4. FONDAZIONI

- a. Collegamento tra pilastro e pavimento industriale
- b. Consolidamento del terreno circostante la fondazione mediante **iniezioni con miscele cementizie a bassa pressione**



Vantaggi

- Utilizzabile per la sistemazione definitiva della struttura.
- Consente un **incremento sensibile della resistenza del sistema di fondazione** alle azioni orizzontali.
- Consolidamento del terreno nei pressi del plinto a bicchiere per **ovviare alla cedevolezza rotazionale** tipica di questa tipologia di fondazione e per **migliorare la resistenza a taglio** del pilastro al di sotto del masseto.
- Irrigidimento del collegamento pilastro-fondazione

Svantaggi

- Costo elevato ed esecuzione complessa.
- Macchinari utilizzati generalmente ingombranti.
- Non realizzabile in presenza di pavimenti con finiture di pregio.
- 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/adequamento si prevede un rinforzo della colonna, può essere difficoltoso realizzare un efficace collegamento con la miscela iniettata.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 4. FONDAZIONI

- a. Collegamento tra pilastro e pavimento industriale
- b. Consolidamento del terreno circostante la fondazione mediante iniezioni con miscele cementizie a bassa pressione
- c. Rinforzo/ringrosso fondazioni



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 5. SCAFFALATURE

Costituite da un insieme di spalle, collegate da correnti orizzontali, che consente lo stoccaggio su livelli di carico spostabili verticalmente. Le batterie di scaffalature sono separate da corridoi di dimensioni variabili secondo le specifiche esigenze.

Scaffalature leggere

Stoccaggio a mano di piccole unità



Magazzini autoportanti

La struttura costituisce anche il supporto dell' edificio stesso.



Scaffali a gravità o assimilabili



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

INTERVENTI: 5. SCAFFALATURE

- Le scaffalature, tranne che nel caso dei “magazzini autoportanti”, devono essere **scollegate dagli elementi portanti** a meno che non vi sia una idonea certificazione per il collegamento, che comprovi l'idoneità dell'edificio stesso ad assorbire le azioni trasmesse dallo scaffale.
- I **collegamenti** con gli impianti del magazzino (ad esempio tubazioni) devono essere di **tipo flessibile** e non costituire alcun tipo di vincolo o collegamento per nessuna parte della scaffalatura.
- Deve essere garantita la **stabilità delle scaffalature interne con opportuni sistemi di controvento sia in elevazione che in pianta**, ma evitando di vincolarle alle strutture dell'edificio.
- Va **verificato il franco libero tra sistemi di scaffalatura e struttura portante** per evitare fenomeni di martellamento. Laddove sia difficoltoso, in questa fase, intervenire con provvedimenti di tipo strutturale, va **ridotto l'effetto della massa oscillante** delle scaffalature riducendo complessivamente il carico portato ed **abbassando il suo baricentro**.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Gli edifici industriali realizzati con elementi prefabbricati in assenza di progettazione sismica presentano generalmente **connessioni tra gli elementi prive di dispositivi meccanici capaci di garantire il trasferimento degli sforzi in regime dinamico**. Tale circostanza rende tali strutture assai sensibili ai fenomeni di **perdita di appoggio**.

⇒ Metodologia semplificata per il **calcolo degli spostamenti relativi indotti dall'azione sismica tra le sommità dei pilastri**.

Questa metodologia considera due contributi:

1) $\delta_{rel,g}(T_R)$ = **spostamento (trasversale/longitudinale) relativo del suolo alla base degli elementi verticali adiacenti**. Considera lo spostamento differenziale che il suolo può indurre alla base delle colonne per effetto dell'asincronia del moto generata dal fenomeno di propagazione delle azioni e disomogeneità/discontinuità del terreno.

2) $\delta_{rel,s}(T_R)$ = **spostamento (trasversale/longitudinale) relativo tra gli elementi verticali adiacenti**. E' associato alla domanda sismica cui le colonne sono soggette e quindi agli spostamenti di natura elastica e anelastica che si sviluppano in cima alle colonne.

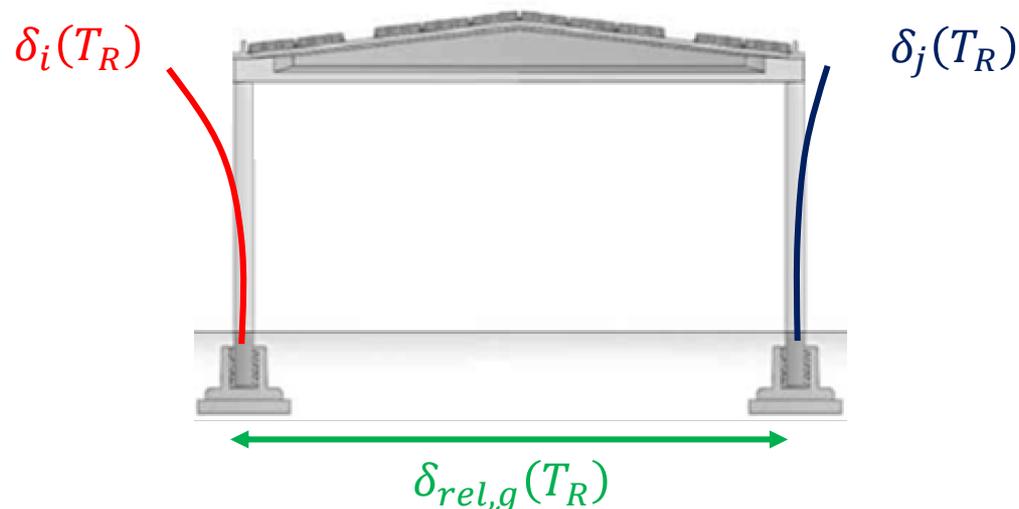
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

$$\delta(T_R) = \delta_{rel,g}(T_R) + \delta_{rel,s}(T_R)$$

Dove $\delta_{rel,s}(T_R)$ è dato dalla somma degli spostamenti massimi (trasversali/longitudinali) dei due elementi verticali adiacenti i e j

$$\delta_{rel,s}(T_R) = \delta_i(T_R) + \delta_j(T_R)$$



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

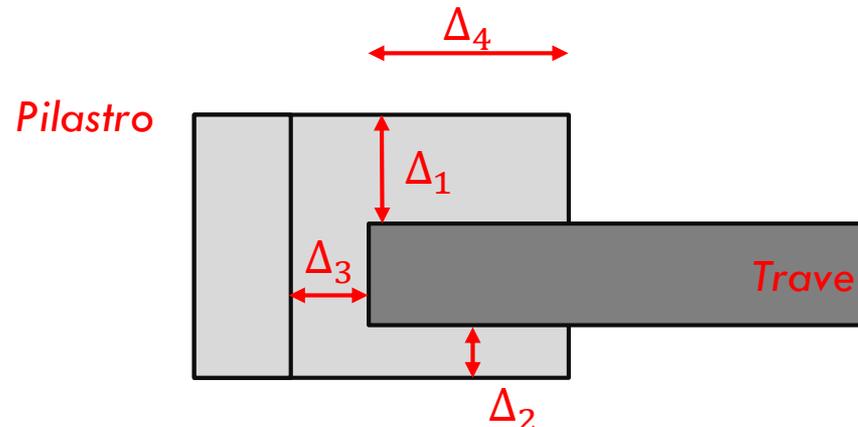
VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Affinchè l'appoggio sia verificato, lo spostamento $\delta(T_R)$ deve risultare minore del franco minimo disponibile nelle due direzioni

$$\delta(T_R) \leq \Delta_{min}$$

dove $\Delta_{min} = \min\{\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4\}$

Il valore Δ_3 non è strettamente necessario ai fini della verifica dello stato limite di appoggio. Può essere considerato qualora si vogliano **evitare anche fenomeni di martellamento** tra trave e pilastro.



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

ATTENZIONE

Tale procedura, però, può essere **applicata solo in presenza di schema isostatico della trave**; in altre parole, essa è riferita al caso in cui si **predisponga ad un'estremità della trave un vincolo meccanico di tipo “cerniera” tra la trave ed il pilastro, lasciando l'altra estremità libera di scorrere orizzontalmente**

Tale avvertenza vuole sottolineare che **lo spostamento di quegli elementi che sono completamente liberi di scorrere**, come può accadere per elementi prefabbricati per nulla vincolati, **può essere anche decisamente più grande** a causa dell'innescarsi del moto rigido.

Si sottolinea come $\delta(T_R)$ sia **funzione del tempo di ritorno dell'azione sismica**. Al variare di T_R varia sia lo spostamento relativo tra due punti del terreno, sia lo spostamento in sommità delle colonne.

- ⇒ Verifica dello stato limite per un certo tempo di ritorno;
- ⇒ Valutazione del T_R che causa il superamento dello stato limite.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra i punti al suolo in corrispondenza delle fondazioni delle colonne

Lo spostamento relativo tra due punti al suolo, può essere effettuato in accordo ai punti 3.2.3.3 e 3.2.4.2 delle NTC 2018.

Lo spostamento orizzontale δ_{gi} massimo del terreno è dato dalla seguente relazione:

$$\delta_{gi} = 0.025 \cdot a_g \cdot S_S \cdot S_T \cdot T_C \cdot T_D$$

Il valore dello spostamento relativo massimo tra due punti i e j caratterizzati da proprietà stratigrafiche del rispettivo sottosuolo ed il cui moto possa considerarsi indipendente, può essere calcolato come:

$$\delta_{ij,max} = 1.25 \sqrt{\delta_{gi}^2 + \delta_{gj}^2}$$

A partire da questi dati, il calcolo dello spostamento relativo $\delta_{ij}(x)$ tra due punti i e j posti ad una distanza x , viene effettuato con due procedure differenziate in base alla distanza tra i due punti i e j , se maggiore o minore di 20 metri.

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra i punti al suolo in corrispondenza delle fondazioni delle colonne

- $x > 20 \text{ m}$

In assenza di forti discontinuità orografiche, lo spostamento relativo tra due punti a distanza x , può essere valutato come

$$\delta_{ij}(x) = \delta_{ij0} + (\delta_{ij,max} - \delta_{ij0}) \cdot \left[1 - e^{-1.25 \cdot \left(\frac{x}{v_s}\right)^{0.7}} \right]$$

dove v_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s e δ_{ij0} è dato da

$$\delta_{ij0} = 1.25 |\delta_{gi} - \delta_{gj}|$$

δ_{ij0} rappresenta lo spostamento relativo tra due punti a piccola distanza

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra i punti al suolo in corrispondenza delle fondazioni delle colonne

- $x \leq 20$ m

Se la distanza tra i due punti è inferiore a 20 metri, il calcolo si semplifica come segue.

1. Punti i e j che ricadono su **sottosuoli differenti**

$$\delta_{ij}(x) = \text{cost} = \delta_{ij0}$$

2. Punti i e j che ricadono su **sottosuolo dello stesso tipo**

Categoria di sottosuolo A, B, C, E

$$\delta_{ij}(x) = \frac{\delta_{ij,max}}{v_s} \cdot 3 \cdot x$$

Categoria di sottosuolo D

$$\delta_{ij}(x) = \frac{\delta_{ij,max}}{v_s} \cdot 2,3 \cdot x$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

ESEMPIO

Località: Mirandola

Suolo: D e pianeggiante

$v_s = 150$ m/s

$a_g = 0,14$ g

$F_0 = 2,571$

$T_R = 475$ anni

$T_C^* = 0,269$ s.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

$$S_s = 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} = 2,4 - 1,5 \cdot 2,571 \cdot \frac{0,14g}{g} = 1,86 > 1,8 \Rightarrow S_s = 1,8$$

$$S = S_s \cdot S_s = 1,8 \cdot 1 = 1,8$$

$$C_c = 1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,5} = 1,25 \cdot 0,269^{-0,5} = 2,41 \text{ s}$$

$$T_c = C_c \cdot T_C^* = 2,41 \cdot 0,269 = 0,648 \text{ s}$$

$$T_D = 4 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6 = 4 \cdot \frac{0,14g}{g} + 1,6 = 2,16 \text{ s}$$

$$\delta_{gi} = \delta_{gj} = 0,025 \cdot a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot T_c \cdot T_D = 0,025 \cdot 0,14 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,648 \cdot 2,16 = 0,0865 \text{ m}$$

$$\delta_{ij,max} = 1,25 \sqrt{\delta_{gi}^2 + \delta_{gj}^2} = 1,25 \cdot \sqrt{0,0865^2 + 0,0865^2} = 0,153 \text{ m}$$

$$\delta_{ij}(x = 16 \text{ m}) = \frac{\delta_{ij,max}}{v_s} \cdot 2,3 \cdot x = \frac{0,153}{150} \cdot 3 \cdot 16 = 0,038 \text{ m}$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

ESEMPIO

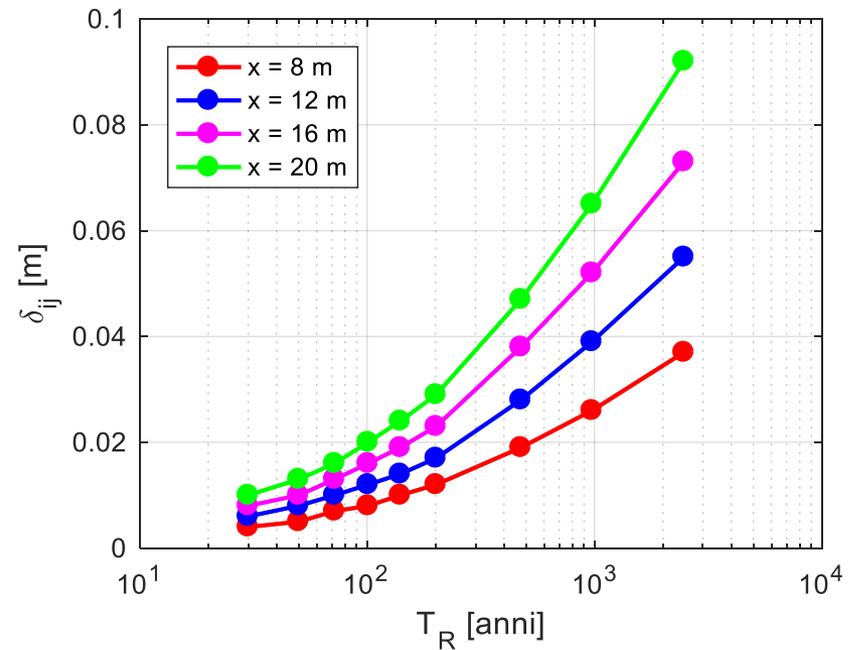
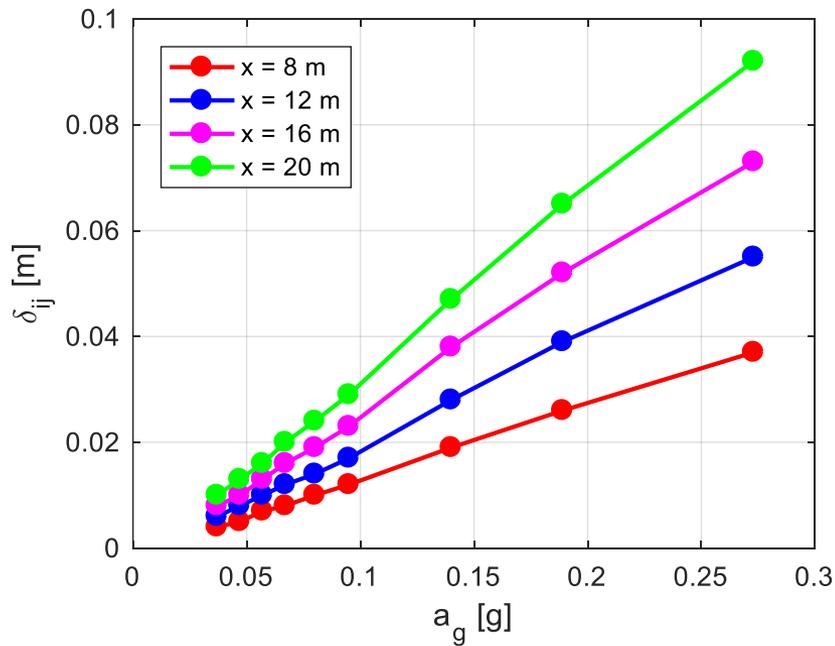
T_R	α_g	F_0	T_C^*	S_S	S_T	S	$\alpha_g * S$	C_c	T_B	T_C	T_D
[anni]	[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[g]	[-]	[s]	[s]	[s]
30	0,037	2,577	0,247	1,80	1	1,80	0,067	2,515	0,207	0,621	1,748
50	0,047	2,517	0,270	1,80	1	1,80	0,085	2,406	0,217	0,650	1,788
72	0,057	2,490	0,274	1,80	1	1,80	0,103	2,388	0,218	0,654	1,828
101	0,067	2,514	0,277	1,80	1	1,80	0,121	2,375	0,219	0,658	1,868
140	0,080	2,571	0,268	1,80	1	1,80	0,144	2,415	0,216	0,647	1,920
201	0,095	2,590	0,268	1,80	1	1,80	0,171	2,415	0,216	0,647	1,980
475	0,140	2,588	0,269	1,80	1	1,80	0,252	2,410	0,216	0,648	2,160
975	0,189	2,540	0,276	1,68	1	1,68	0,318	2,379	0,219	0,657	2,356
2475	0,273	2,445	0,289	1,40	1	1,40	0,382	2,325	0,224	0,672	2,692

T_R	δ_{gi}	δ_{gj}	δ_{ijmax}	$\delta_{ij} (x = 8 m)$	$\delta_{ij} (x = 12 m)$	$\delta_{ij} (x = 16 m)$	$\delta_{ij} (x = 20 m)$
[anni]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
30	0,018	0,018	0,031	0,004	0,006	0,008	0,010
50	0,024	0,024	0,043	0,005	0,008	0,010	0,013
72	0,030	0,030	0,053	0,007	0,010	0,013	0,016
101	0,036	0,036	0,064	0,008	0,012	0,016	0,020
140	0,044	0,044	0,078	0,010	0,014	0,019	0,024
201	0,054	0,054	0,095	0,012	0,017	0,023	0,029
475	0,087	0,087	0,153	0,019	0,028	0,038	0,047
975	0,120	0,120	0,213	0,026	0,039	0,052	0,065
2475	0,169	0,169	0,299	0,037	0,055	0,073	0,092

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

ESEMPIO



INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra le teste dei pilastri

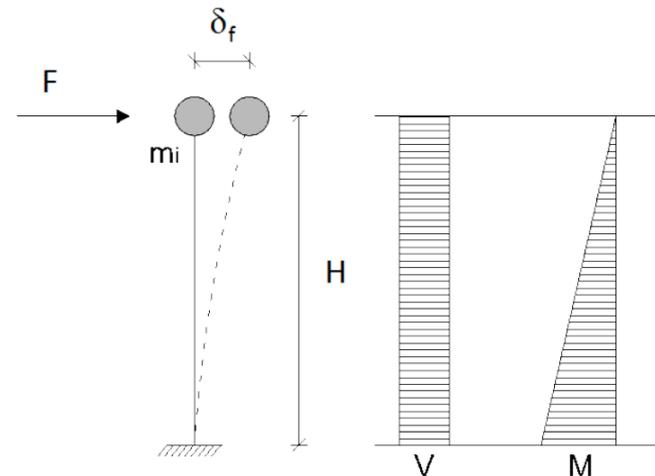
Per il calcolo dello spostamento relativo tra le teste dei pilastri è necessario ricavare la curva di capacità del sistema. Si può partire dal calcolo della curva di capacità del singolo pilastro identificando il punto di snervamento e ultimo in maniera semplificata.

Lo spostamento della testa del pilastro a cui corrisponde il raggiungimento del momento di snervamento si può calcolare come

$$\delta_{fy} = \theta_y H \text{ con } \theta_y = \frac{H\phi_y}{3u}$$

ϕ_y = curvatura di snervamento

$u = 1.2$ fattore correttivo che considera la maggiore rigidità della parte di pila non fessurata.



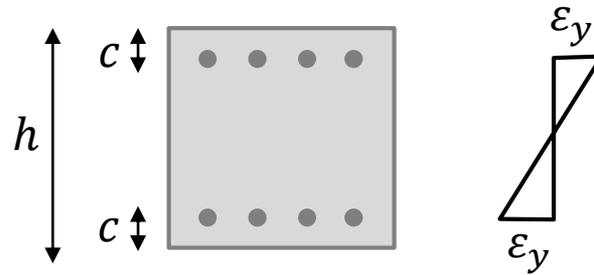
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra le teste dei pilastri

Il calcolo della **curvatura a snervamento** può essere effettuato in maniera semplificata ipotizzando che sia l'armatura tesa sia quella compressa siano caratterizzate da un livello di deformazione pari a quello di snervamento

$$\phi_y = \frac{2\varepsilon_y}{h - 2c}$$



Nell'ipotesi che $c/h = 0.1$, la precedente relazione si semplifica ulteriormente

$$\phi_y = \frac{2\varepsilon_y}{h - 2c} = \frac{2\varepsilon_y}{h(1 - 2 \cdot 0,1)} = 2,5 \frac{\varepsilon_y}{h}$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra le teste dei pilastri

Lo **spostamento ultimo** può essere ricavato dalla seguente relazione

$$\delta_{fu} = \theta_u H$$

dove la **rotazione ultima** della sezione θ_u può essere calcolata in accordo della Eq. [C8.7.2.6] della Circolare Esplicativa 2019

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_V} \right) \right] \text{ con } \gamma_{el} = 1.5$$

dove L_{pl} è la lunghezza della cerniera plastica, che può essere calcolata come (C8.7.2.6)

$$L_{pl} = 0.1L_V + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL} \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$$

d_{bL} = diametro medio barre longitudinali

L_V = luce di taglio (in questo caso pari a H)

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra le teste dei pilastri

Per il calcolo della curvatura ultima, occorre calcolare la profondità dell'asse neutro a rottura. Esso dipende dal livello di sforzo normale e nell'ipotesi di adozione di un diagramma *stress-block* sul CLS, può essere calcolato come

$$x_u = 1,25 \cdot h \cdot \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 1.25 \cdot h \cdot v$$

da cui, assumendo la deformazione ultima del calcestruzzo pari a $\varepsilon_{cu} = 0.0035$, si ottiene la curvatura ultima come

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{x_u} = \frac{0.0028}{h \cdot v}$$

Il momento ultimo può essere calcolato come

$$M_{Rd} = A_s \cdot (h - 2 \cdot c) \cdot f_{yd} + N_{Ed} \cdot \frac{h}{2} \cdot (1 - v)$$

INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.P.

VERIFICA SEMPLIFICATA PERDITA APPOGGIO

Calcolo dello spostamento relativo tra le teste dei pilastri

E' quindi possibile caratterizzare l'oscillatore semplice rappresentativo del fabbricato, considerando

$$k = \frac{V_y}{\delta_y} \quad T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m_{tot}}{k}}$$

E procedere al calcolo della risposta massima del sistema equivalente (C7.3.4.2)

$$T^* \geq T_C$$

$$d_{max}^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*)$$

$$T^* < T_C$$

$$d_{max}^* = \frac{d_{e,max}^*}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \geq d_{e,max}^*$$

$$q^* = S_e(T^*) \frac{m_{tot}}{V_y}$$

Se $q^* \leq 1$ allora $d_{max}^* = d_{e,max}^*$