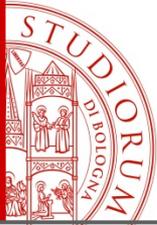


Parte 2 - Criteri e tecniche di messa in sicurezza di prefabbricati

Prof Ing Marco Savoia
DICAM – Università di Bologna





QUADRO NORMATIVO (post-sisma)

Decreto Legge 6 giugno 2012. n. 74

Disciplina gli interventi per gli interventi di ricostruzione, assistenza alle popolazioni e ripresa economica dei territori interessati dal sisma del 20 e del 29 maggio 2012

Art. 3 : Ricostruzione e riparazione delle abitazioni private e di **immobili ad uso non abitativo**; contributi a favore delle imprese; disposizioni di semplificazione procedimentale

Comma 8: “**In via provvisoria**” il certificato di agibilità sismica potrà essere rilasciato “**in assenza delle carenze strutturali**” di seguito precisate:

- 1) mancanza di idonei collegamenti tra elementi strutturali verticali e elementi orizzontali e tra questi ultimi;
- 2) presenza di elementi di tamponatura prefabbricati non adeguatamente ancorati alle strutture principali;
- 3) presenza di scaffalature non controventate portanti materiali pesanti.



QUADRO NORMATIVO (post-sisma)

Decreto Legge 6 giugno 2012. n. 74 - Art. 3

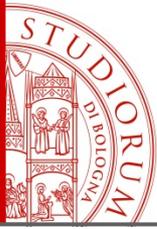
Comma 9: *verifica di sicurezza di cui al comma 7 da fare entro sei mesi*

Comma 10: *“il livello di sicurezza dovrà essere almeno pari al **60%** della sicurezza richiesta ad un **edificio nuovo**”*

CLASSIFICAZIONE INTERVENTI (secondo D.L. 6/6/2012 n. 74)

Interventi fase 1 *eliminare le 3 carenze strutturali gravi*

Interventi fase 2 *raggiungere il 60% della capacità resistente richiesta per nuovi edifici.*



MESSA IN SICUREZZA EDIFICI PREFABBRICATI

FASE 1 => ELIMINARE CARENZE STRUTTURALI PIU' RILEVANTI

Il progetto degli interventi di messa in sicurezza si articola a sua volta in due fasi fondamentali.

FASE 1.1) FASE CONOSCITIVA:

- ✓ Ricerca archivi storici dei documenti di progetto (tavole, relaz. di calcolo, etc.);
- ✓ rilievo dello stato di fatto => sopralluogo;
- ✓ prove in situ per rilevare le principali criticità strutturali.

FASE 1.2) FASE PROGETTUALE:

- ✓ Progetto degli interventi;
- ✓ test sperimentali per la validazione delle scelte progettuali effettuate;
- ✓ Controllo modalità di esecuzione degli interventi

PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Tegoli di copertura semplicemente appoggiati alle travi



TEGOLI DI LUCE 22 m

Zona di appoggio con
piastrina di appoggio in
neoprene



PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Tegoli di copertura semplicemente appoggiati alle travi



Esempio di crisi per perdita di appoggio della copertura.

PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Collegamenti trave pilastro : appoggi insufficienti o parziali



Travi semplicemente appoggiate per attrito o connessione spinottata inadeguata.

Esempio di crisi per perdita di appoggio:



PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Pannelli esterni : mancanza o inadeguatezza degli ancoraggi alle strutture principali (a travi e pilastri)



PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Pannelli esterni : mancanza o inadeguatezza degli ancoraggi alle strutture principali



Rottura attacco mensola di supporto pannello e conseguente crollo del pannello .

PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Collegamento dei tamponamenti interni



PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Scaffalature non controventate



Danneggiamento scaffalatura con conseguente perdita del materiale contenuto

PRINCIPALI CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

- Danni ai pilastri :

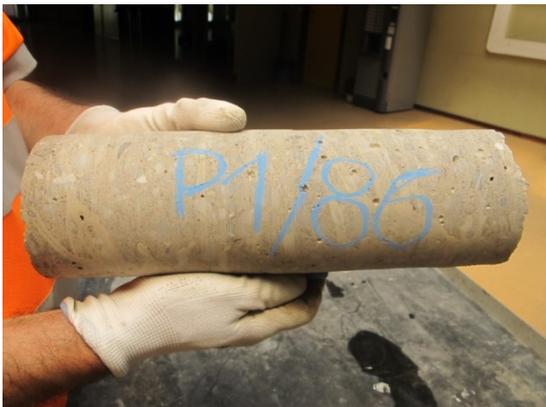
- Perdita di verticalità a causa rotazione rigida al piede;
- Fessurazione alla base del pilastro;
- Espulsione del copriferro ed instabilità delle barre.

} *Con eventuale formazione di cerniera plastica alla base*

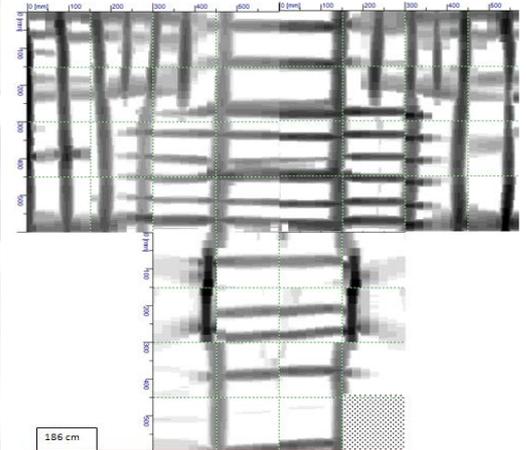


PRIMA DI PROGETTARE INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO => PROVE IN SITU

CAROTAGGI



PACOMETRO



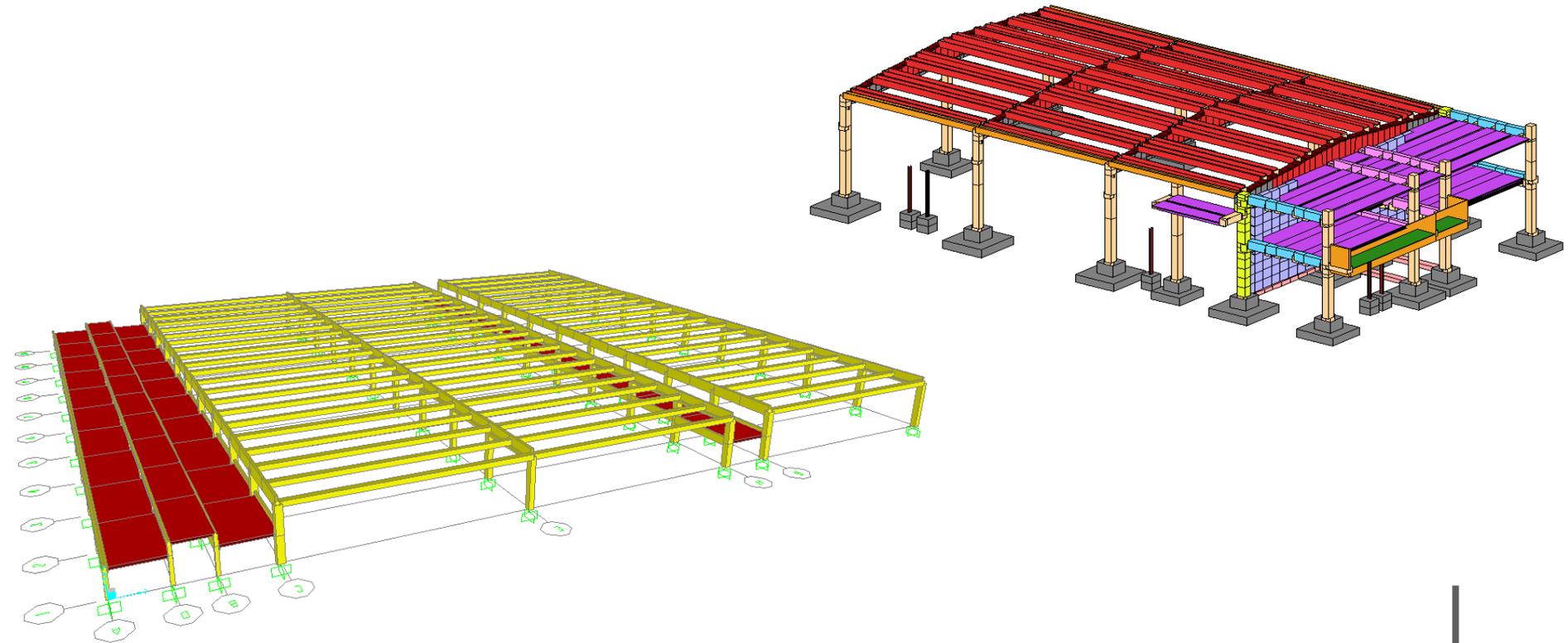
Necessarie se informazioni pervenute da documenti di progetto sono insufficienti.

MESSA IN SICUREZZA EDIFICI PREFABBRICATI

Progetto degli interventi

Progetto degli interventi, test sperimentali per la validazione delle scelte progettuali effettuate .

=> MODELLI FEM TRIDIMENSIONALI PER IL CALCOLO DELLE AZIONI.



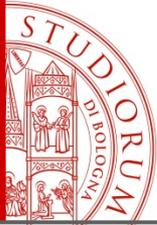


PROGETTO DEGLI INTERVENTI IN FASE 1

-COLLEGAMENTO TRAVE –TEGOLO

-COLLEGAMENTO TRAVE -PILASTRO

-COLLEGAMENTO PANNELLATURE ESTERNE



INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

REQUISITI DELLA CONNESSIONE :

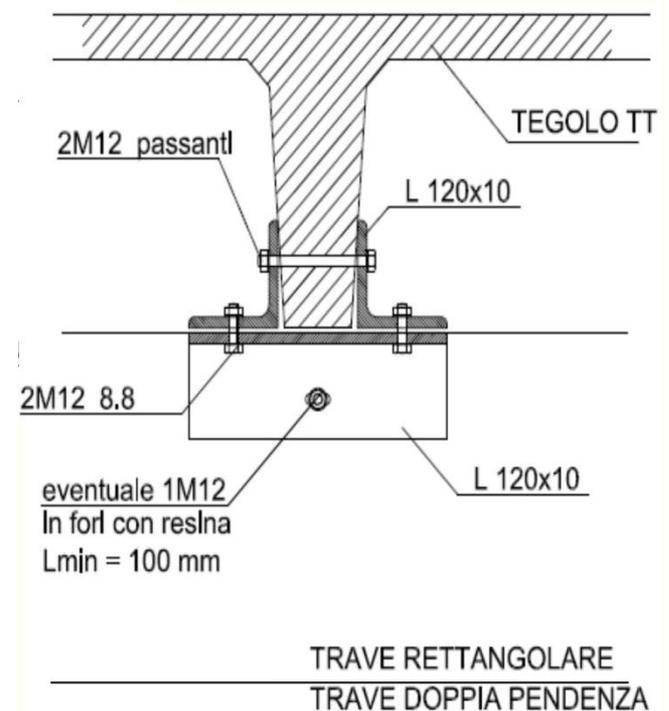
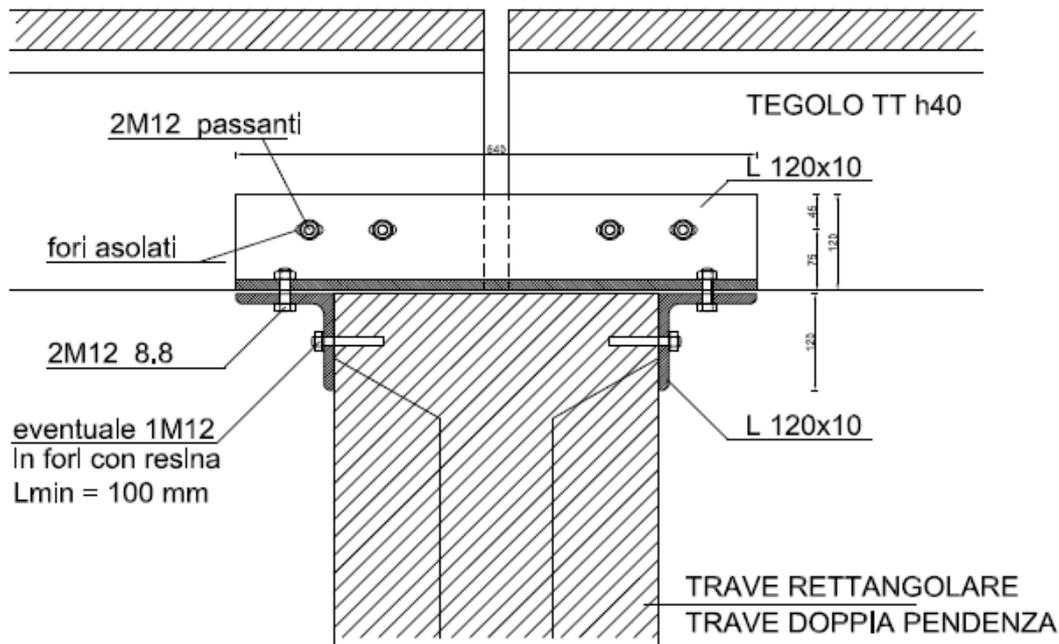
- Non consentire la perdita di appoggio della copertura dalla trave;
- Non modificare lo schema statico preesistente;
- Bloccare, oltre un limite prefissato, tutte le traslazioni relative tra gli elementi attraverso meccanismi di trasmissione degli sforzi possibilmente di natura isostatica.
- Ancoraggio dei dispositivi di connessione lontano dai lembi esterni degli elementi (elevati copriferri).

INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

=> PER EVITARE LA PERDITA DI APPOGGIO SI INSERISCONO DEI DISPOSITIVI MECCANICI DI CONNESSIONE TRA I DUE ELEMENTI

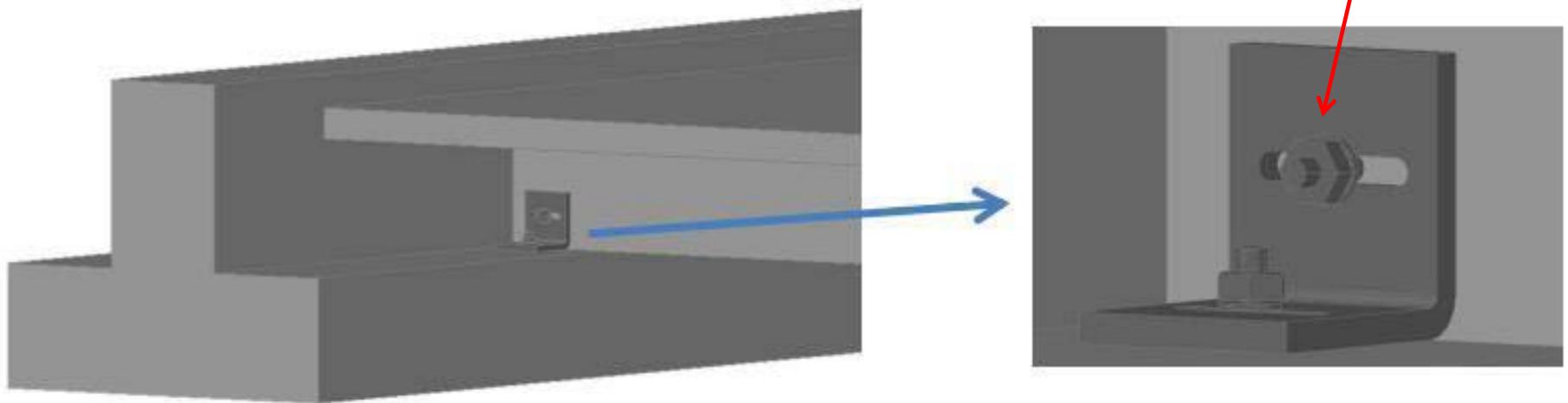
Es.: squadrette metalliche deformabili e viti di connessione rigide

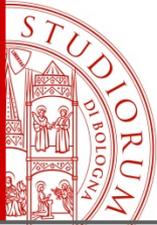


INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

Il gioco del bullone con foro asolato permette la dissipazione, ma deve essere previsto un fine corsa per evitare la caduta del tegolo



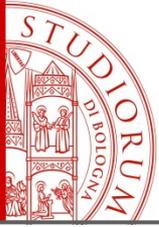


INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

REQUISITI DELLA CONNESSIONE TRAVE-PILASTRO:

- Non consentire la perdita di appoggio della trave dal pilastro;
- Non modificare lo schema statico preesistente: **CERNIERA** e, quindi, pilastro isostatico
- Contrastare la rotazione torsionale delle travi alte e delle capriate.
- Bloccare, oltre un limite prefissato, tutte le traslazioni relative tra gli elementi attraverso meccanismi di trasmissione degli sforzi possibilmente di natura isostatica.
- Ancoraggio dei dispositivi di connessione lontano dai lembi esterni degli elementi (elevati copriferrì).



INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

=> PER EVITARE LA PERDITA DI APPOGGIO DELLE TRAVI CI SONO 3 POSSIBILITA' DI INTERVENTO:

SOLUZIONE 1 => ALLARGAMENTO DELL'APPOGGIO DELLA TRAVE SUL PILASTRO

Questo intervento deve prevedere una non facile stima degli spostamenti orizzontali, facendo attenzione alla componente verticale del sisma.

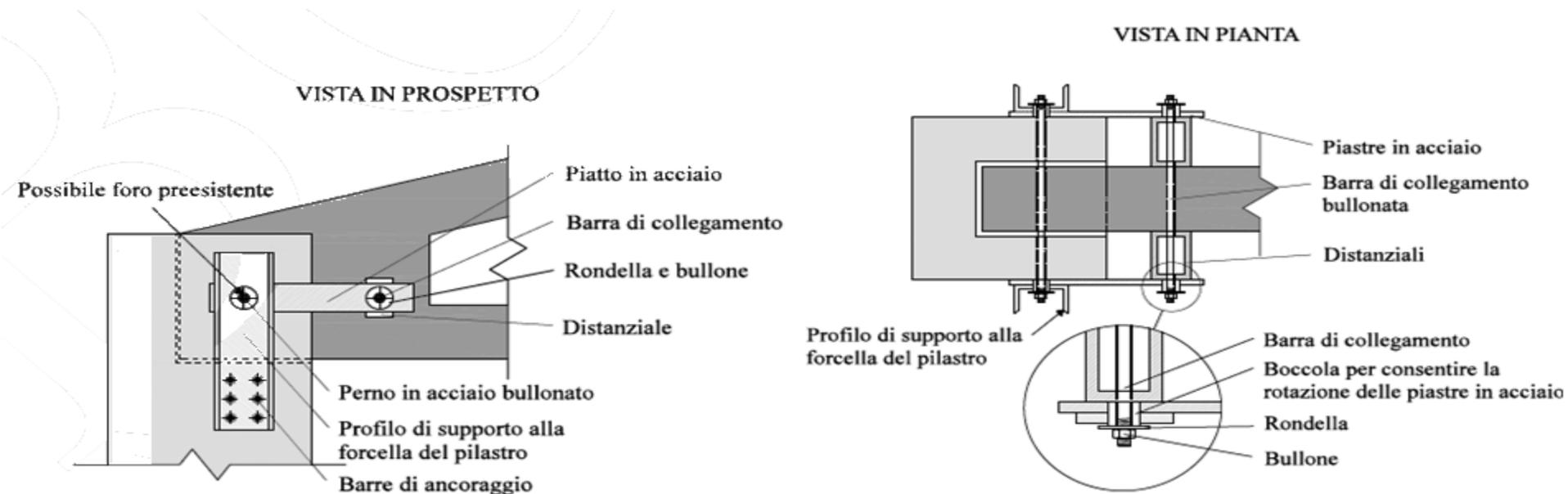
!!! (NON RACCOMANDABILE AI SENSI DELL'ORDINANZA)

INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

SOLUZIONE 2 => SI INSERISCONO DEI DISPOSITIVI MECCANICI DI CONNESSIONE TRA LA TRAVE E LA TESTA DEL PILASTRO

SOLUZIONE (2A): CON PROFILI METALLICI E PIASTRE



!!! Ancorarsi ove vi sia adeguata armatura (ma evitando di intercettarla)

INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

SOLUZIONE (2A): CON PROFILI METALLICI E PIASTRE



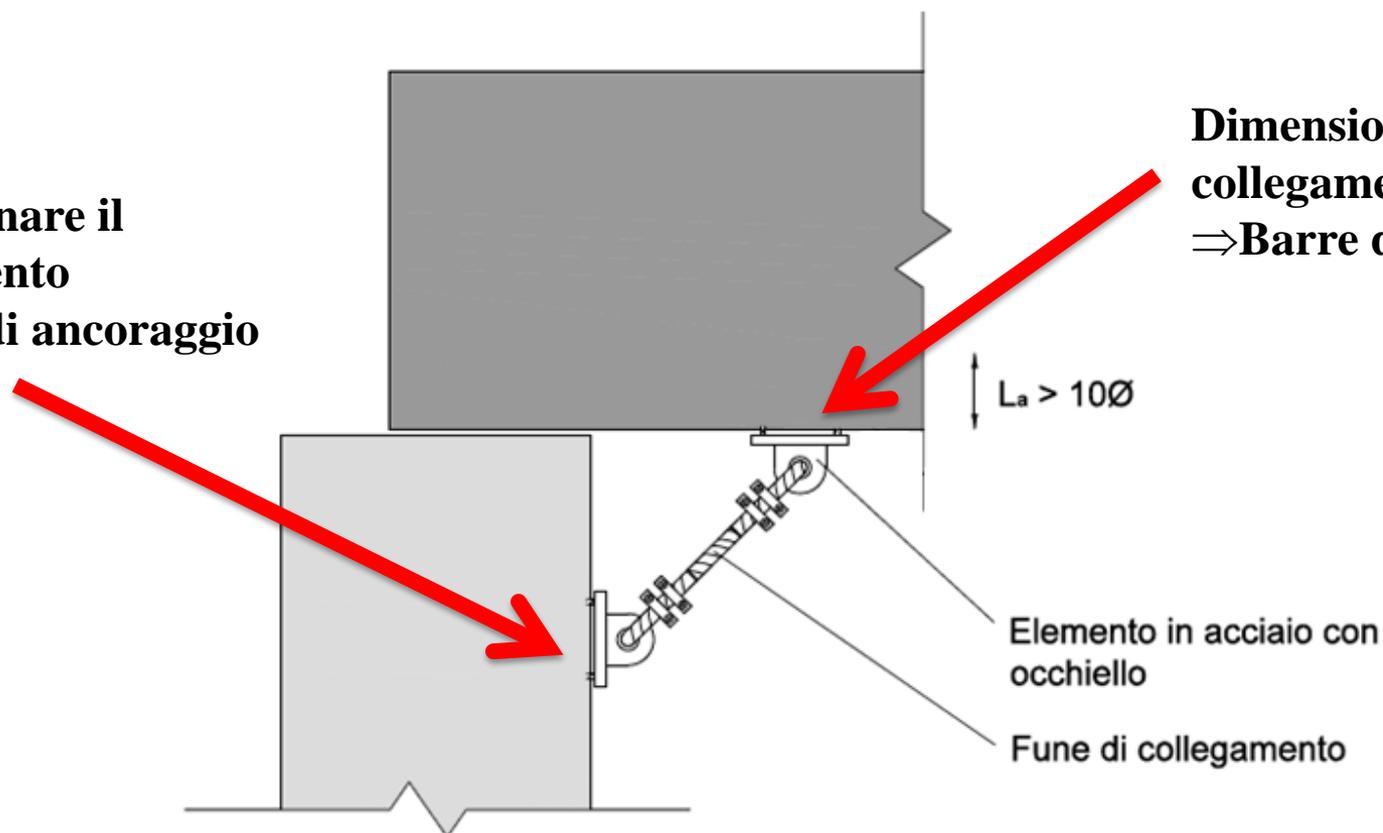
INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

SOLUZIONE (2B): CON FUNE DI COLLEGAMENTO

Dimensionare il collegamento
⇒ **Barre di ancoraggio**

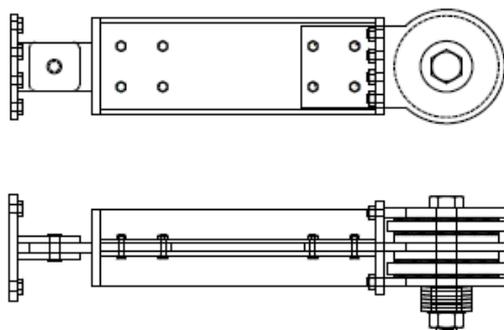
Dimensionare il collegamento
⇒ **Barre di ancoraggio**



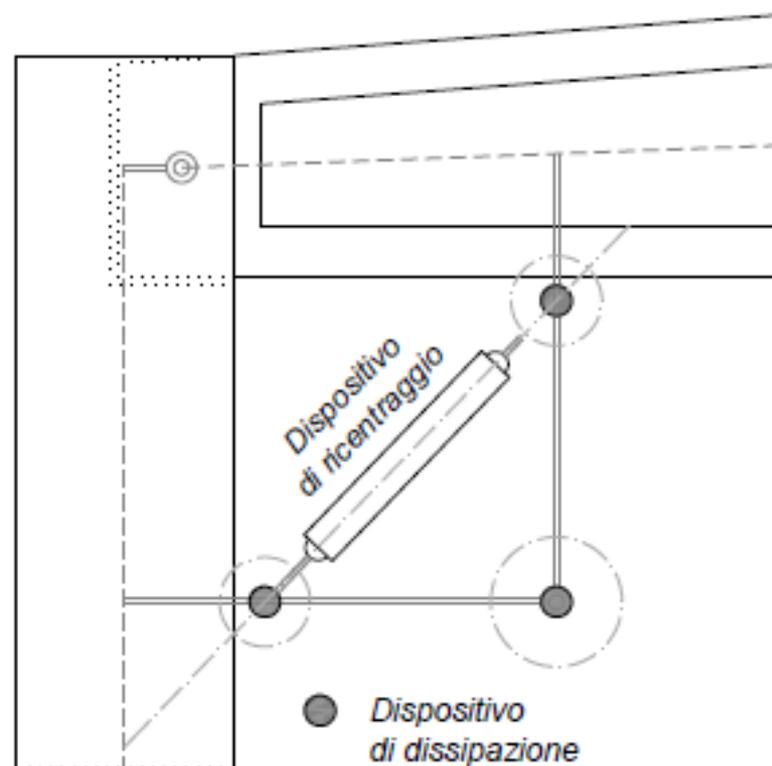
!!! Ancorarsi ove vi sia adeguata armatura (ma evitando di intercettarla)

SOLUZIONE (2C): INSERIMENTO DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE ENERGETICA

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

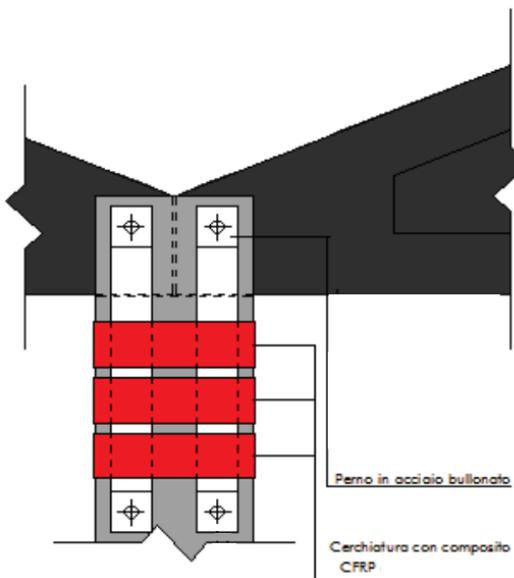


Particolari dispositivo ad attrito
Martinelli-Mulas (2009)

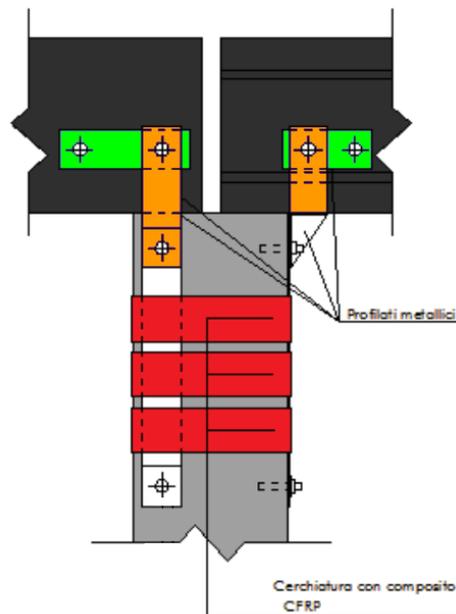


COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

Connessione Trave - Pilastro a forcella
+ confinamento del pilastro



Connessione Trave - Pilastro
+ ringrosso appoggio e confinamento



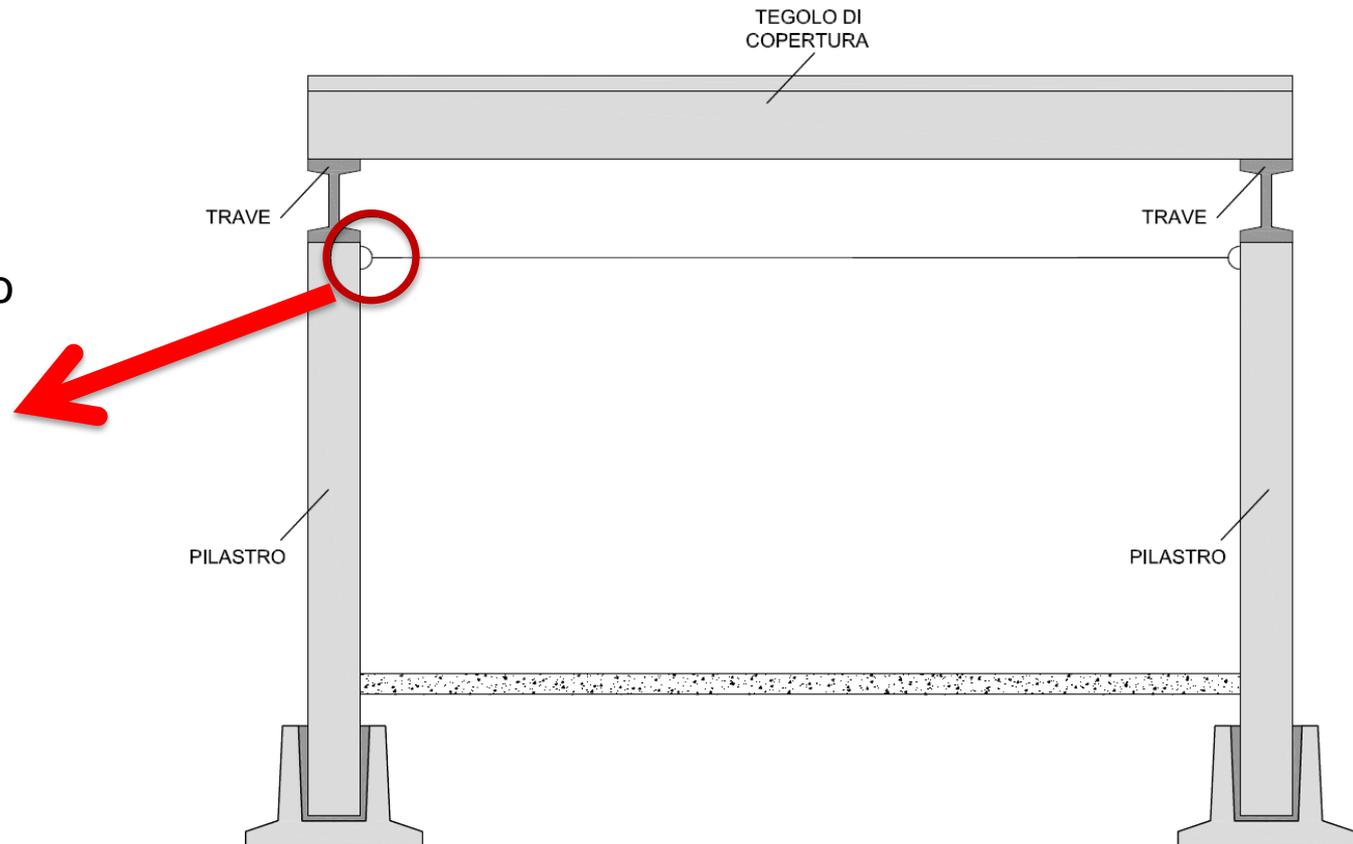
Con l'inserimento di nuovi connettori è necessario prevedere, un possibile **confinamento locale del pilastro con incravattatura metallica o fasciatura con guaina in fibre di carbonio.**

INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

SOLUZIONE 3 => COLLEGAMENTO DEI PILASTRI IN TESTA

Tenere il collegamento
alla stessa altezza
della trave
**(MA NON SULLA
FORCELLA)**

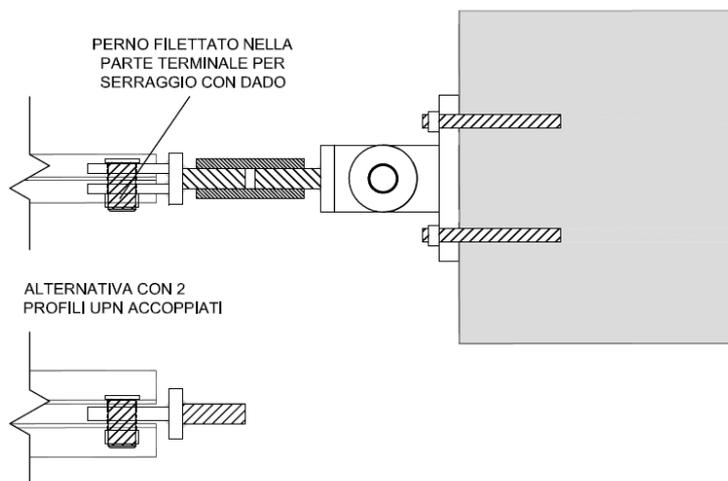


INTERVENTI

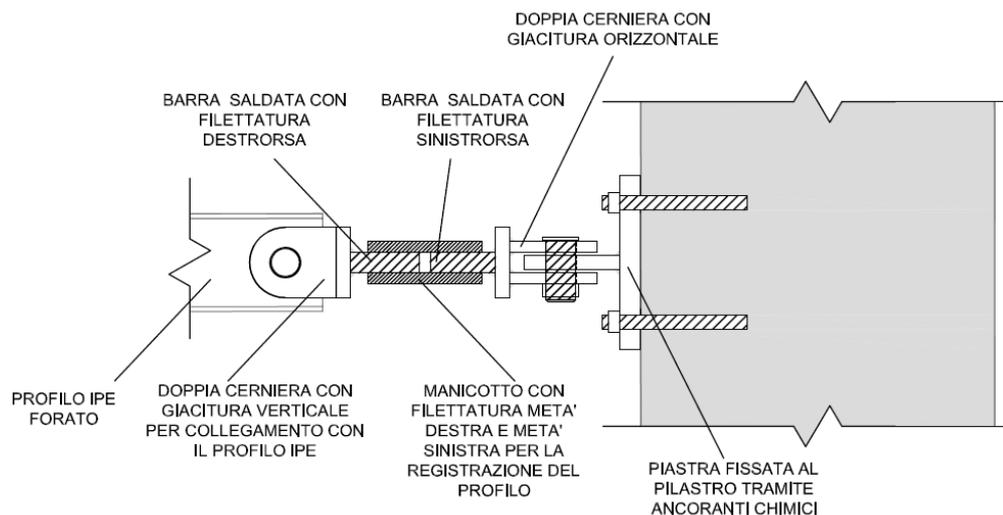
COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

SOLUZIONE (3A): COLLEGAMENTO CON PROFILI METALLICI IN ASSE AL PILASTRO (UN PROFILO IPE O DUE PROFILI UPN ACCOPPIATI CENTRALI)

VISTA DALL'ALTO



VISTA LATERALE

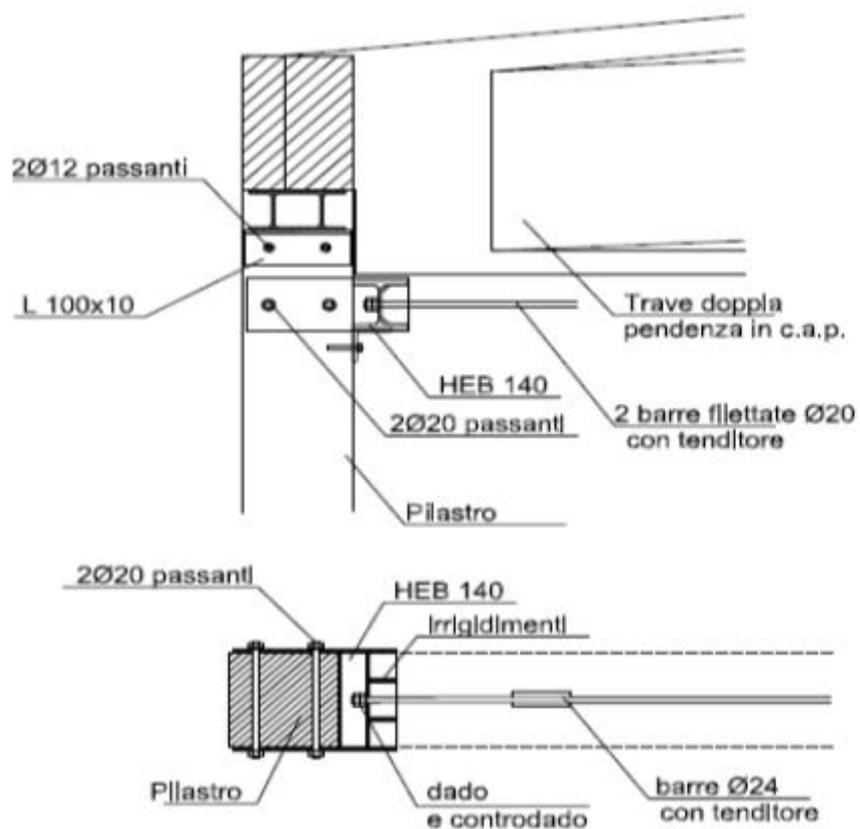


INTERVENTI

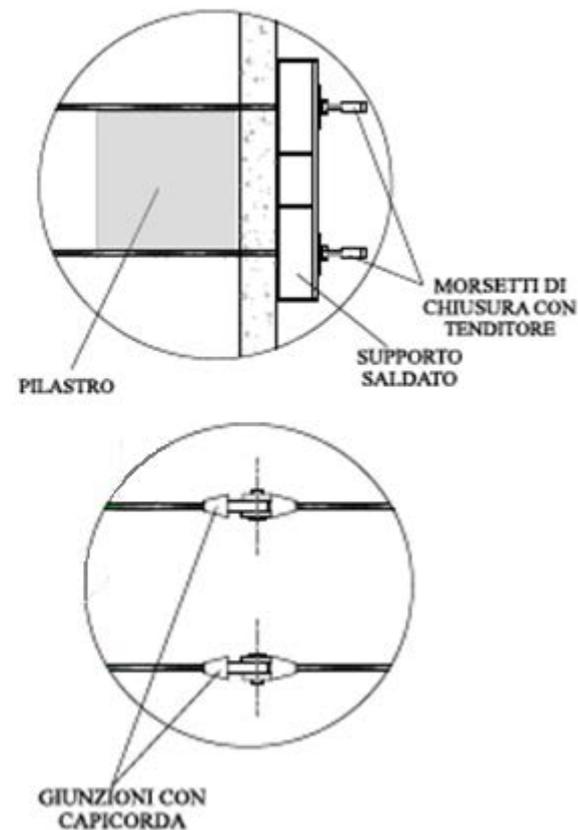
COLLEGAMENTO TRAVE PILASTRO

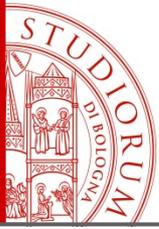
SOLUZIONE (3B): COLLEGAMENTO TRAMITE TREFOLI

TREFOLO IN ASSE AL PILASTRO



2 TREFOLI DISASSATI



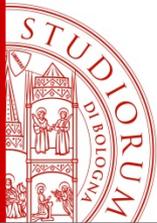


INTERVENTI

COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI

REQUISITI DELLA CONNESSIONE :

- Impedire il ribaltamento dei pannelli;
- Consentire gli spostamenti relativi tra struttura e pannello



INTERVENTI

COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI

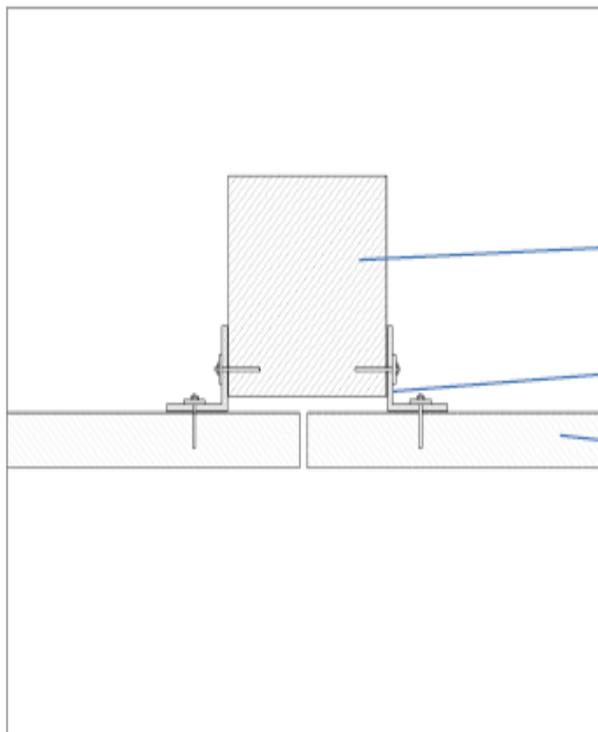
Il ribaltamento può essere impedito attraverso l'utilizzo di:

- squadrette in acciaio provviste di fori asolati su cui vengono inserite barre in acciaio;
- sistema di staffe in acciaio e cavi anti-caduta.

INTERVENTI

COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI

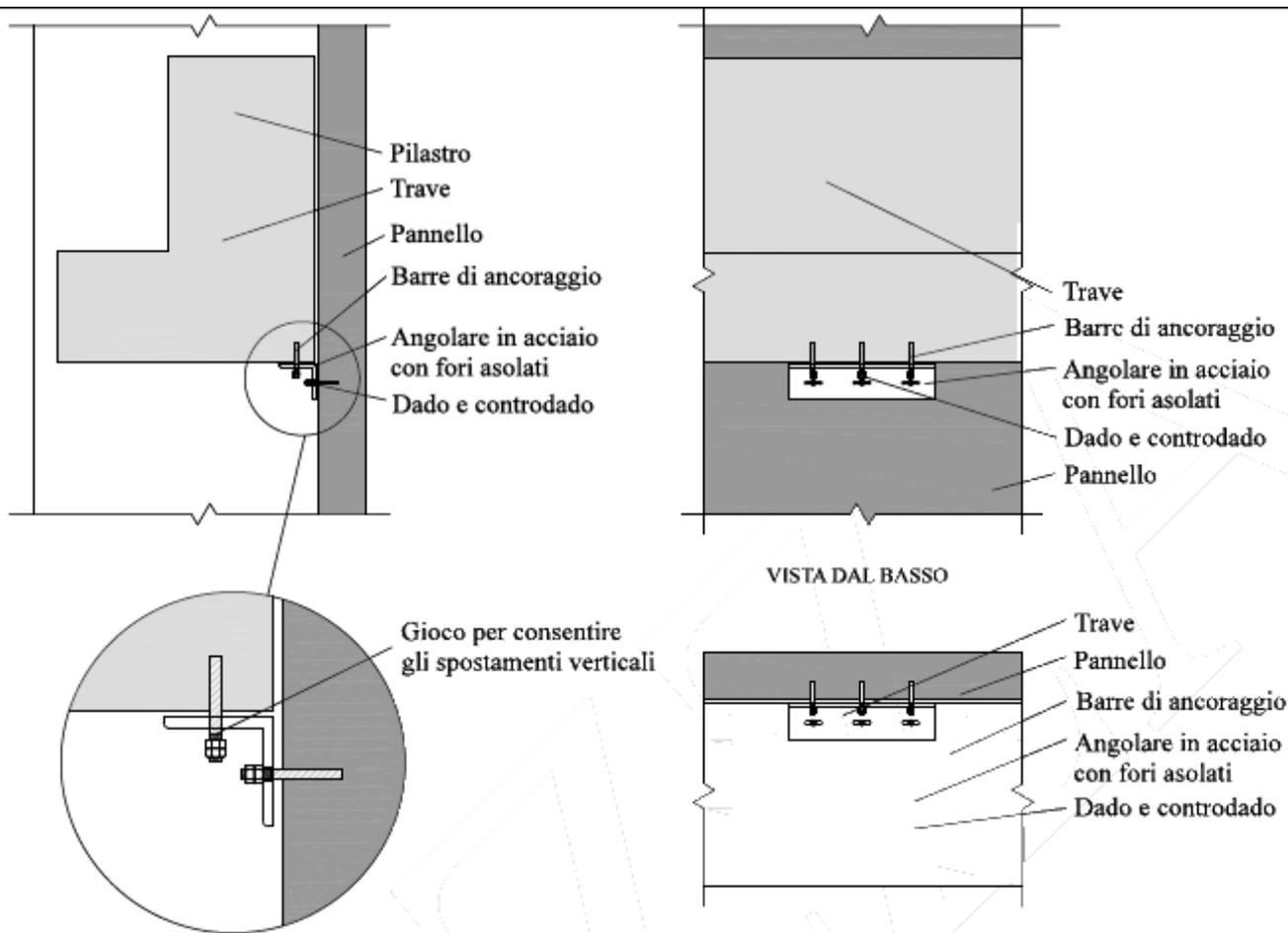
SOLUZIONE 1: COLLEGAMENTO MEDIANTE ANGOLARI IN ACCIAIO



- Pilastro
- Connessione pannello-pilastro
- Pannello

INTERVENTI

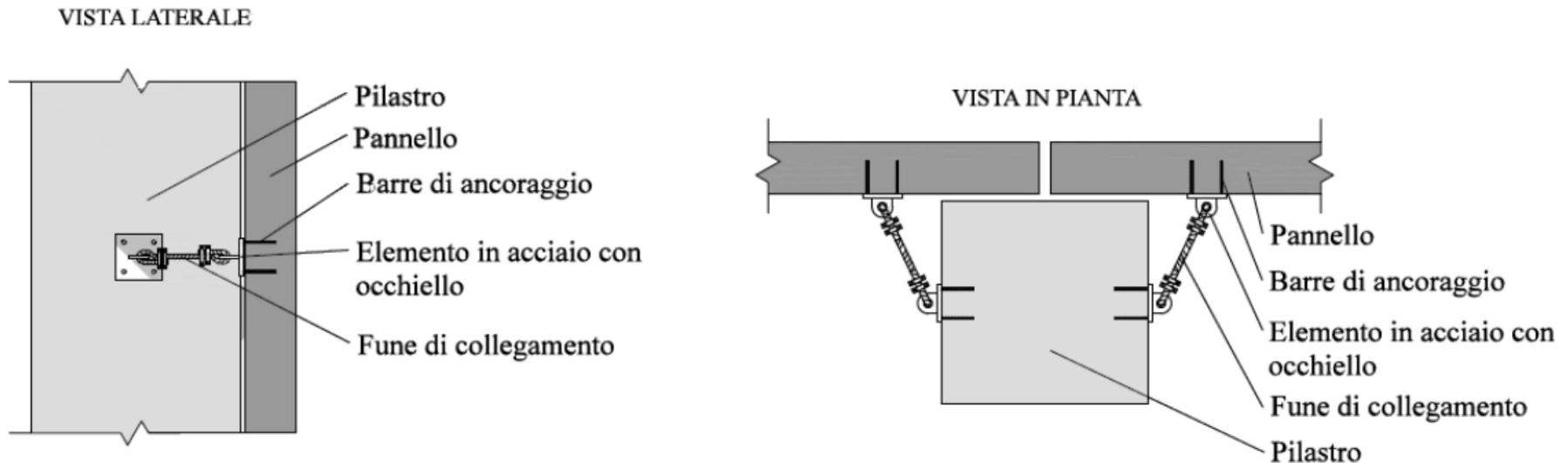
COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI



FORI ASOLATI PER PERMETTERE SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI

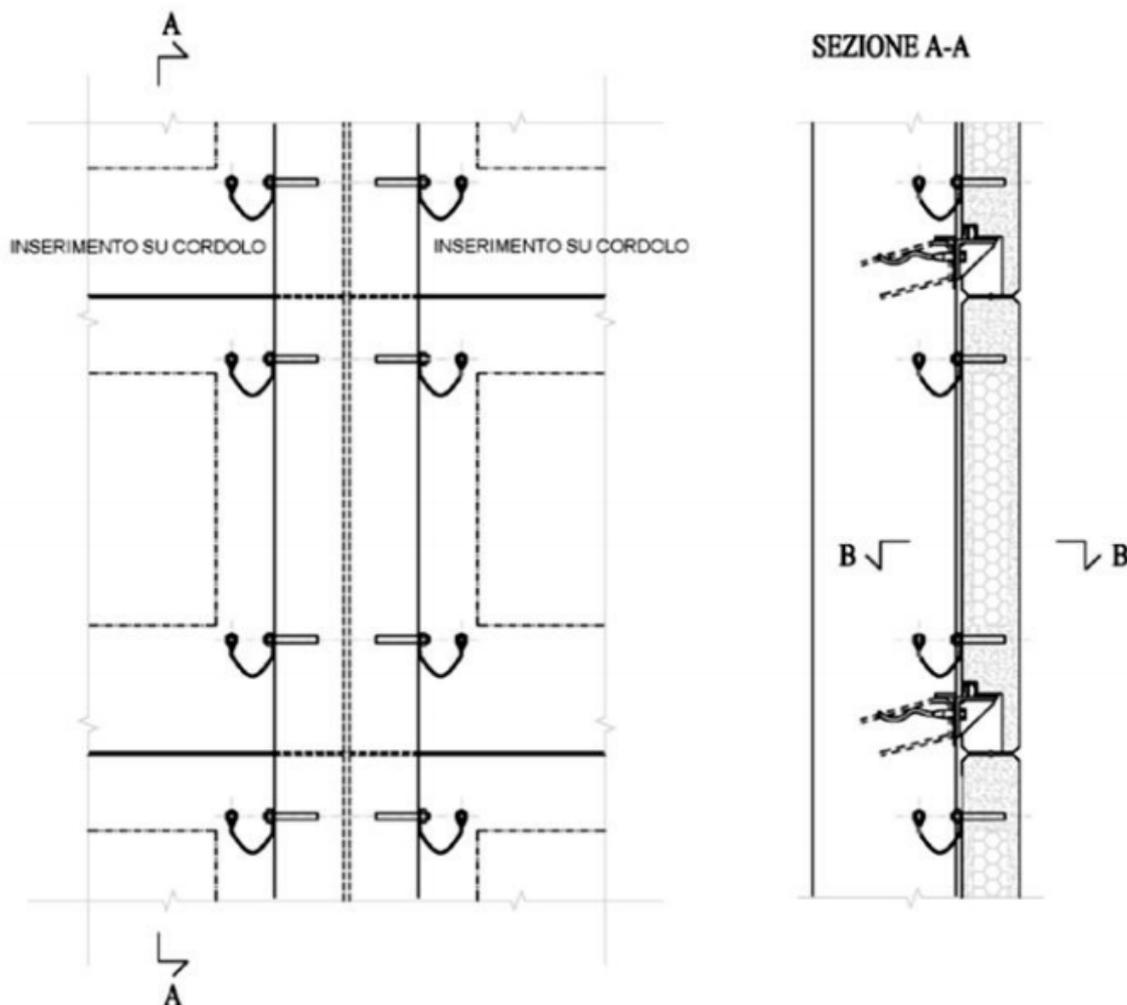
SOLUZIONE 2: COLLEGAMENTO MEDIANTE STAFFE E CAVETTI ANTICADUTA IN ACCIAIO.



questo intervento ha il vantaggio di mantenere inalterato lo schema statico e consentire le deformazioni, mantenendo così inalterata la rigidezza del sistema.

INTERVENTI

COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI



Pannello collegato a pilastri e travi mediante l'utilizzo di cavi d'acciaio, ancorati con l'ausilio di tasselli.

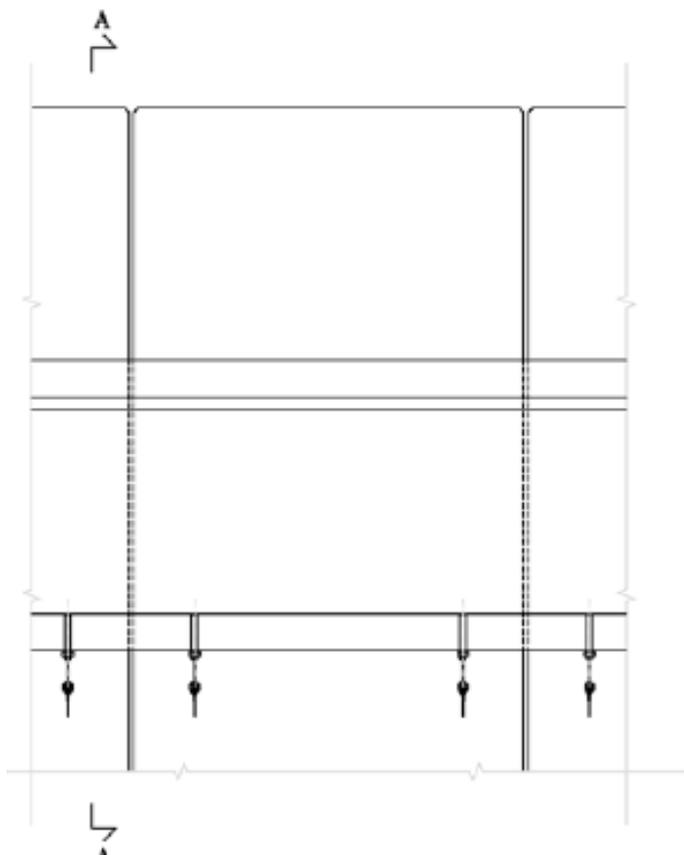
Attenzione :
disporre i cavi in maniera che non risultino già tesi, per evitare che entrino in tiro prima della rottura dei collegamenti, per non modificare lo schema statico esistente.

INTERVENTI

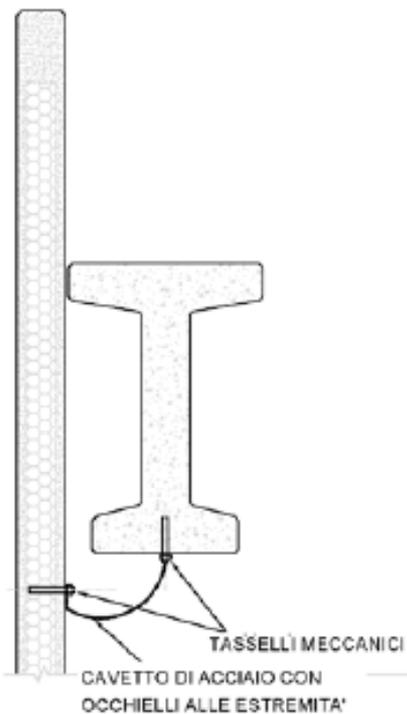
COLLEGAMENTO PANNELLI ESTERNI

PRESCRIZIONI:

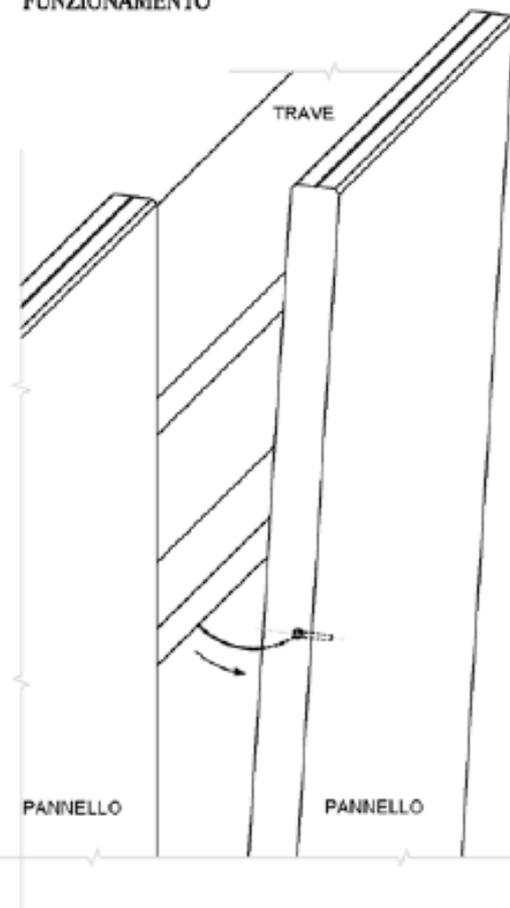
- DUE TASSELLI PER OGNI PANNELLO
- UN TASSELLO PER OGNI OCCHIELLO

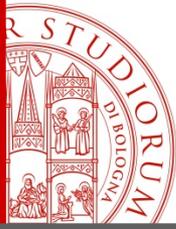


SEZIONE A-A



MECCANISMO DI FUNZIONAMENTO





L'ESEMPIO DELLE SCUOLE PREF. DI BOLOGNA

Si è articolato nelle seguenti fasi fondamentali:

1. Ricerca archivi storici dei documenti di progetto (tavole, relazioni di calcolo, etc.) - GESTORE
2. Rilievo dello stato di fatto e prove in situ
3. Individuazione delle criticità
4. Progetto degli interventi
5. Test sperimentali per la validazione delle scelte progettuali effettuate
6. Controllo modalità di esecuzione interventi

1

2

ISTITUTI gestiti da PROVINCIA E COMUNE DI BOLOGNA realizzati con STRUTTURE PREFABBRICATE :

Provincia di Bologna

- 4 scuole
- 3 palestre

Comune di Bologna

- 8 scuole già analizzate
- 29 scuole da analizzare

Attività effettuate da CIRI Edilizia e Costruzioni (UNIBO)

- Valutazione dello stato di fatto delle costruzioni
- Verifica in-situ dei dettagli costruttivi e armature
- Identificazione delle criticità nei collegamenti a secco
- Proposta di soluzioni tipologiche
- ...Progetto esecutivo di professionisti
- Controllo della coerenza degli interventi

FASE 1 SOPRALLUOGHI – Archivio documenti

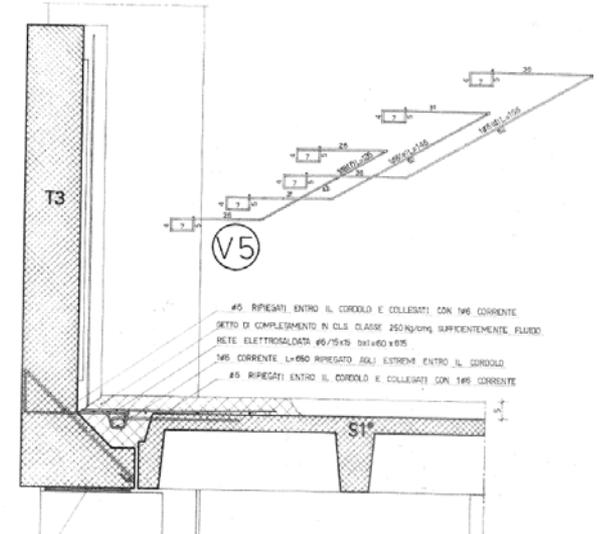
Piante e disegni architettonici

Nucl eo B2

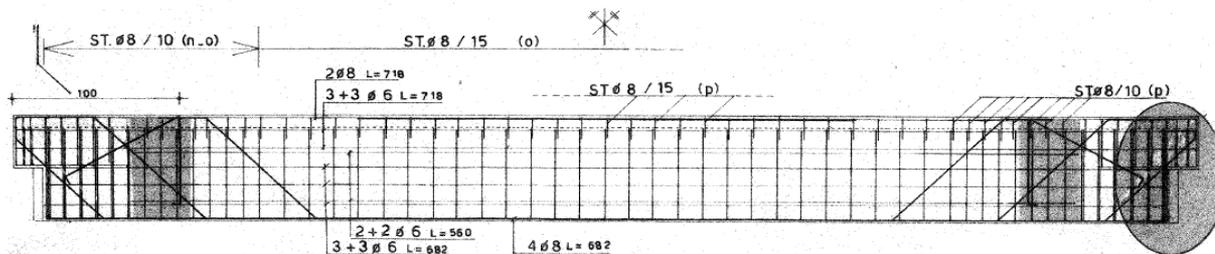
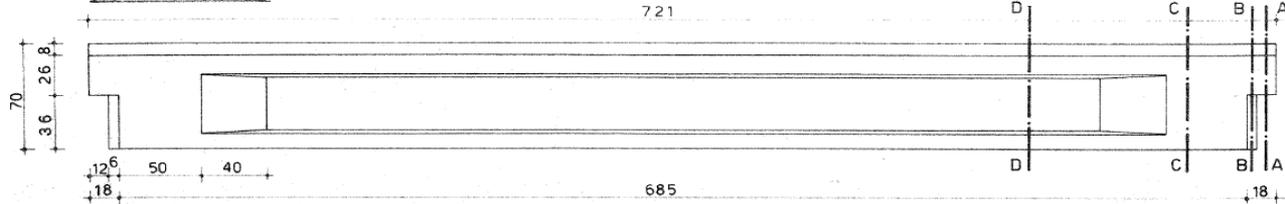
Nucl eo B1



Dettagli strutturali ed armature



VISTA FRONTALE



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Istituti Keynes e Mattei - Tegoli di copertura semplicemente appoggiati



Indagini in situ per confermare la mancanza di collegamento con lastre di solaio adiacenti

Interfaccia del tegolo



Solaio adiacente con massetto e rete che si fermano all'interfaccia con il tegolo

FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

ITIS Belluzzi - Tegoli di copertura luce 22 m, semplicemente appoggiati

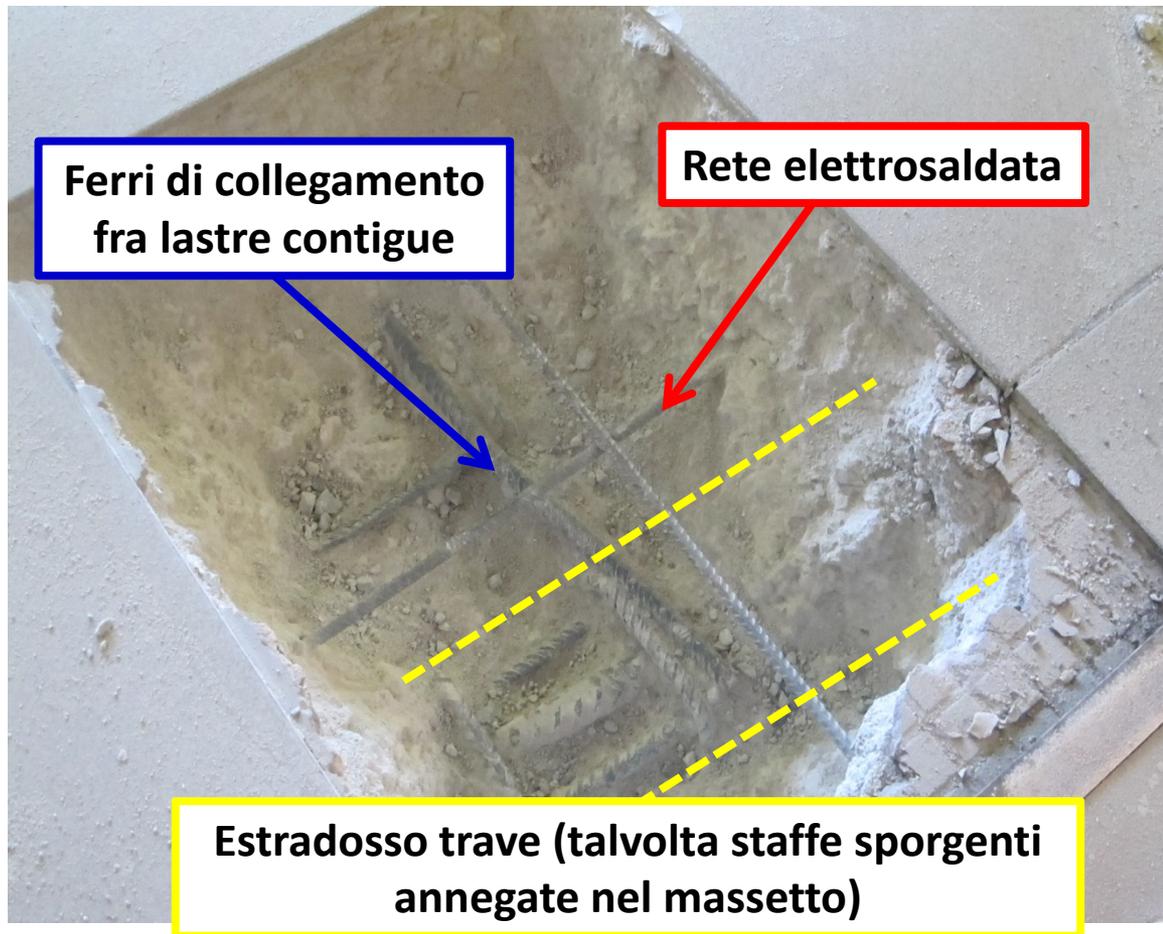


Zona di appoggio con
piastrina di appoggio in
neoprene



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Collegamenti trave pilastro: per i pilastri interni la presenza di collegamenti a livello del solaio evita lo sfilamento delle travi dagli appoggi



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

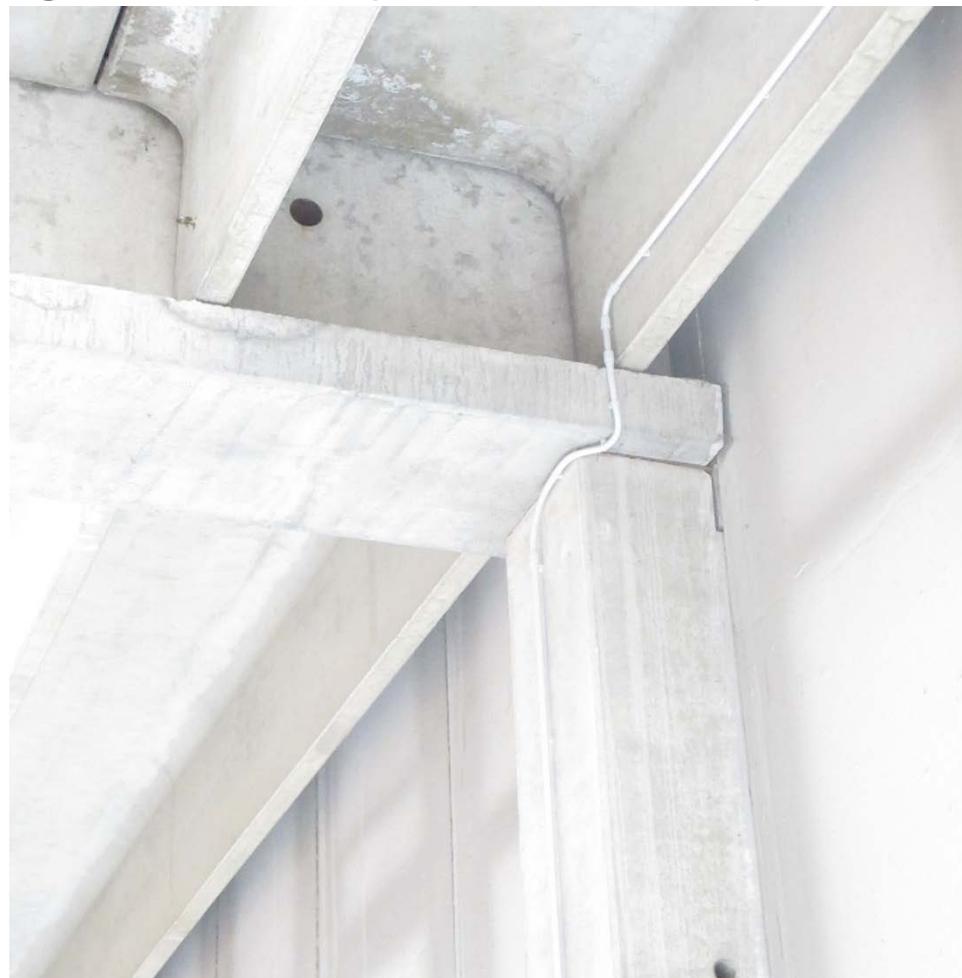
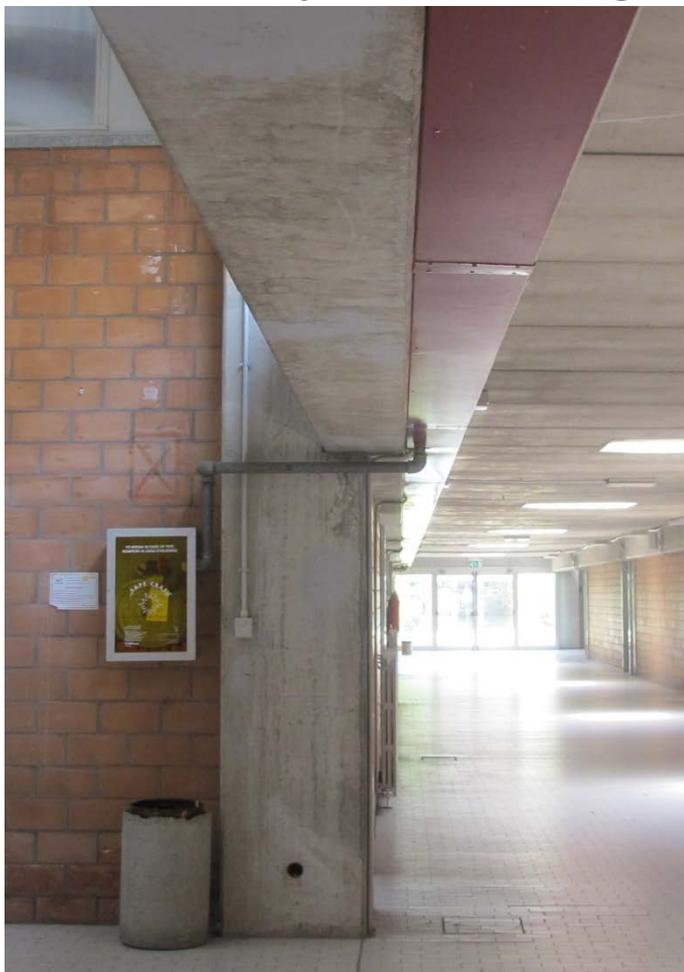
Collegamenti trave pilastro : per i pilastri esterni necessario evitare perdita di appoggio della trave



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Collegamenti trave pilastro : appoggi insufficienti o parziali

È necessario intervenire in ragione delle maggiori forze trasmesse al nodo dopo aver collegato i tegoli alle travi (es. ITIS Belluzzi)



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Collegamenti trave pilastro Istituto Pacinotti: rischio sfilamento appoggi e ribaltamento fuori dal piano

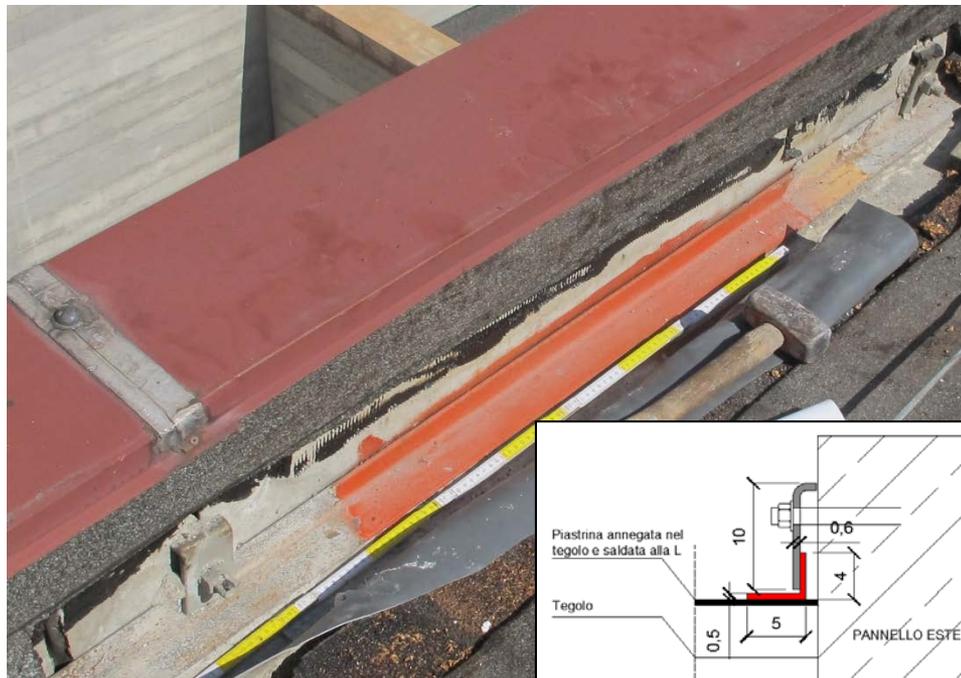


FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

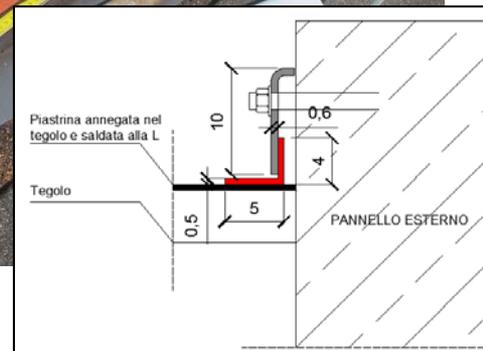
Pannelli esterni : mancanza o inadeguatezza degli ancoraggi alle strutture principali



In alto: "appesi" al tegolo di copertura



In basso: appoggiati su profilo metallico (caso finestra) o su trave di fondazione



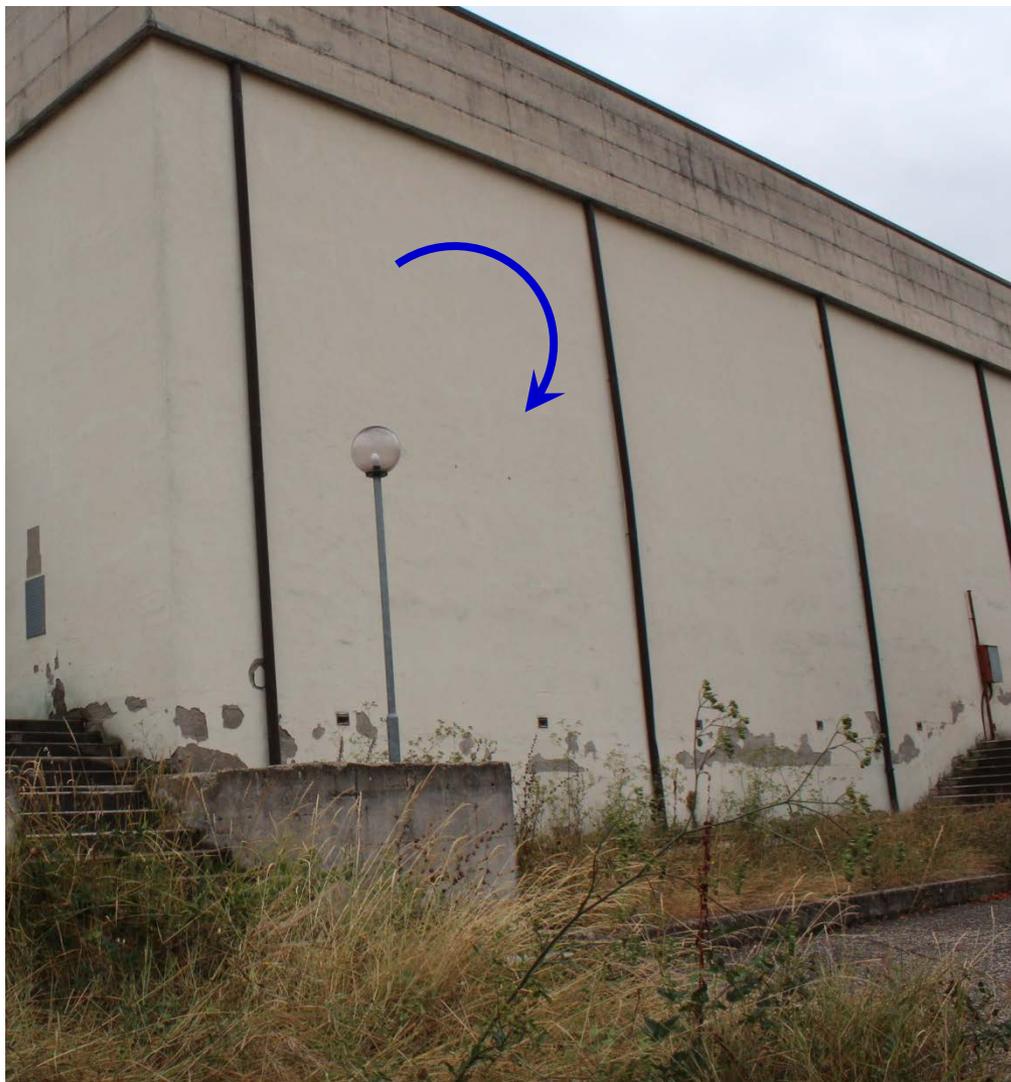
FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Pannelli esterni : ancoraggi realizzati con barre e guide a C



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Pannelli esterni



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Pannelli esterni



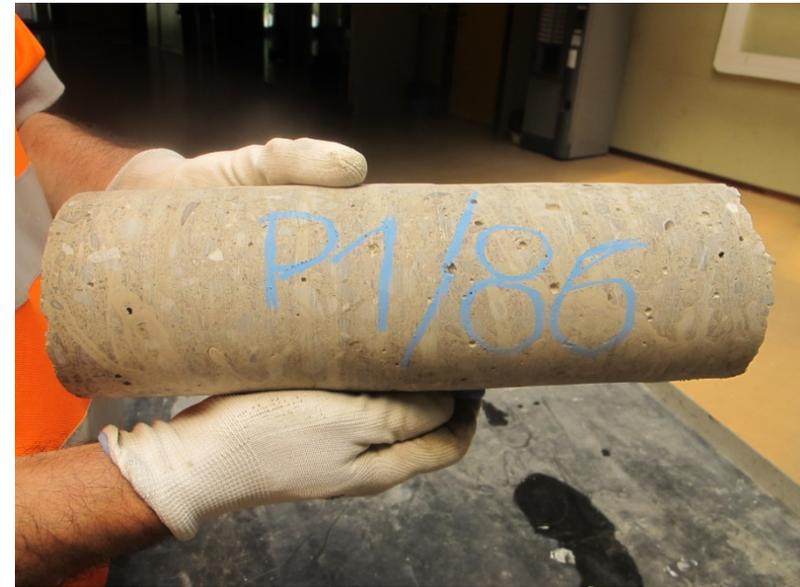
FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Tamponamenti Interni



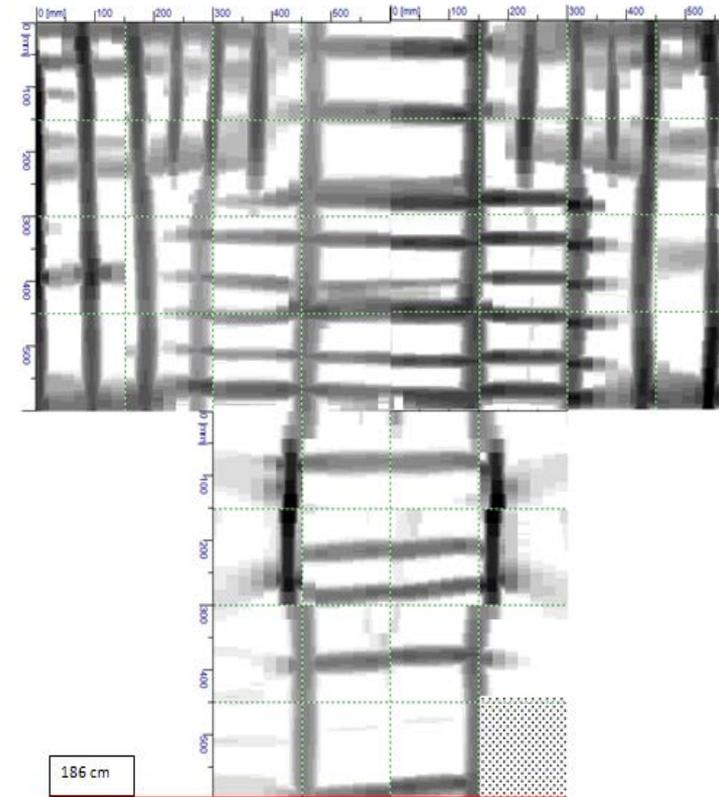
FASE 1 SOPRALLUOGHI – Prove in situ

Determinazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo mediante carotaggi



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Prove in situ

Determinazione della disposizione delle armature: Pacometro e Ferroskan



FASE 2 - PROGETTO DEGLI INTERVENTI

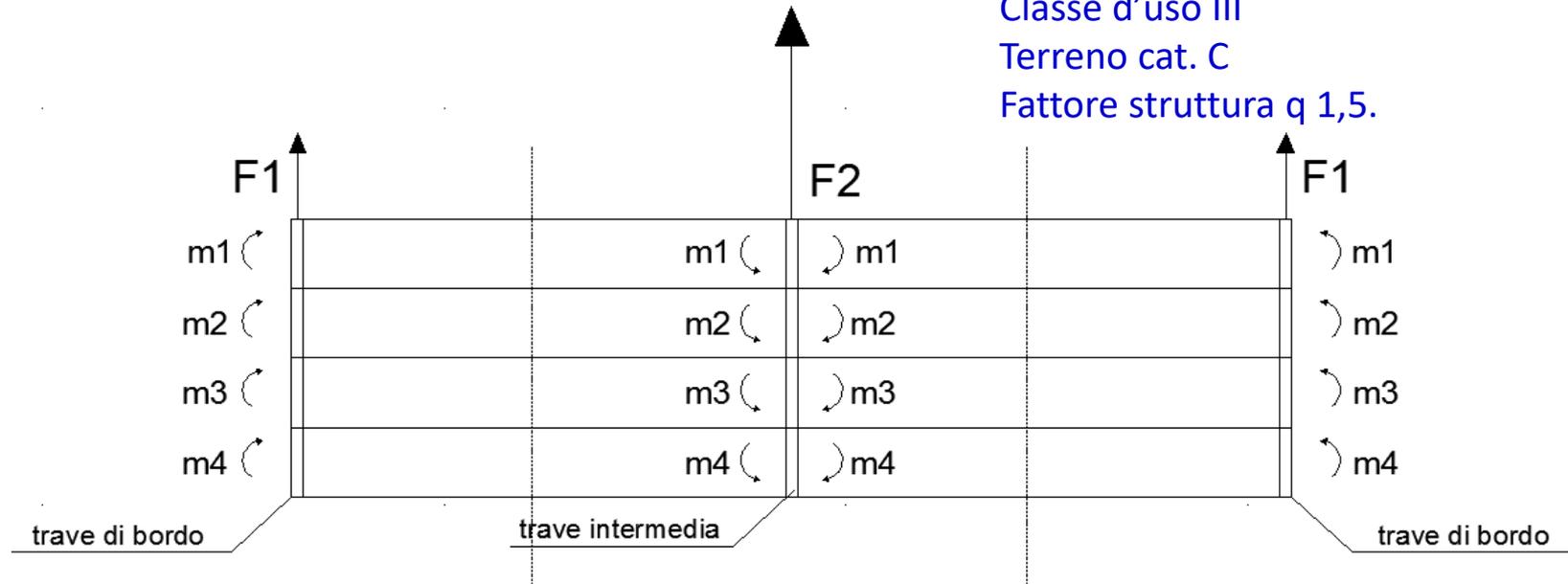
COLLEGAMENTI TRAVE - TEGOLO:

- Dimensionati in funzione della massima forza prevista

- ✓ Calcolo semplificato $F_{\max} = m \cdot S_a$
- ✓ Considerando equilibrio complessivo
- ✓ Analisi FEM

Determinazione dell'accelerazione di progetto:

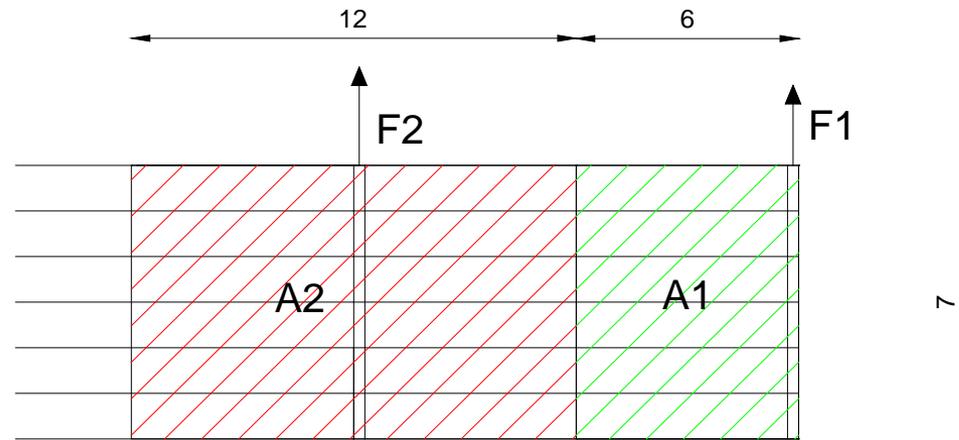
Vita nominale 50 anni;
Classe d'uso III
Terreno cat. C
Fattore struttura q 1,5.



- Capaci di consentire spostamenti relativi fino ad una soglia di sicurezza.

COLLEGAMENTI TRAVE - TEGOLO: ESEMPIO

Le forze vengono valutate con le aree di influenza:



$$F1 = q \cdot A1 \cdot S_d = \left(500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 42\text{m}^2\right) \cdot 0,5 + (3150 \cdot 0,5) = 12075\text{kg} \approx 12\text{t}$$

$$F2 = q \cdot A2 \cdot S_d = \left(500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 84\text{m}^2\right) \cdot 0,5 + (3150 \cdot 0,5) = 22575\text{kg} \approx 23\text{t}$$

Per la valutazione dell'azione si assume :

$$a_g = 0,25g$$

$$q = 1,5$$

$$S_d(T) = \frac{a_g \cdot F_0}{q} = 0,5g$$

COLLEGAMENTI TRAVE - TEGOLO: ESEMPIO

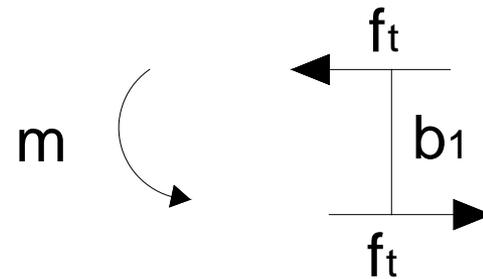
Note $F1$ ed $F2$ si calcola la coppia che nasce sui tegoli per equilibrio alla rotazione :

$$2 \cdot (m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6) = F2 \cdot b - F1 \cdot b$$

$$m = 6562,5kg$$

La forza che agisce sul tegolo sarà:

$$f_t = \frac{m}{b_1} = \frac{5250}{1} = 5250kg \approx 5,2t$$



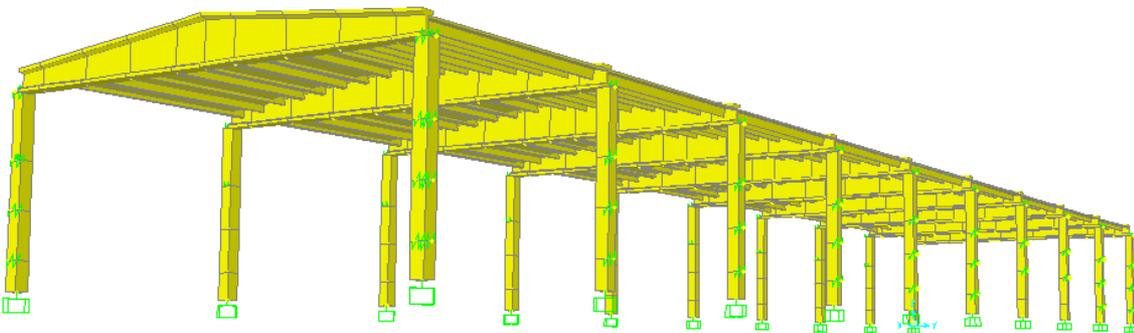
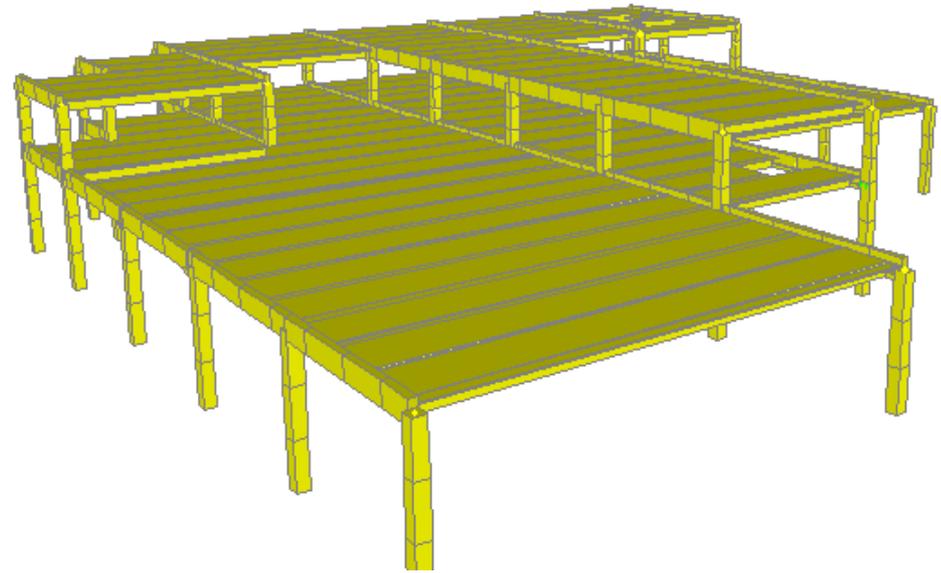
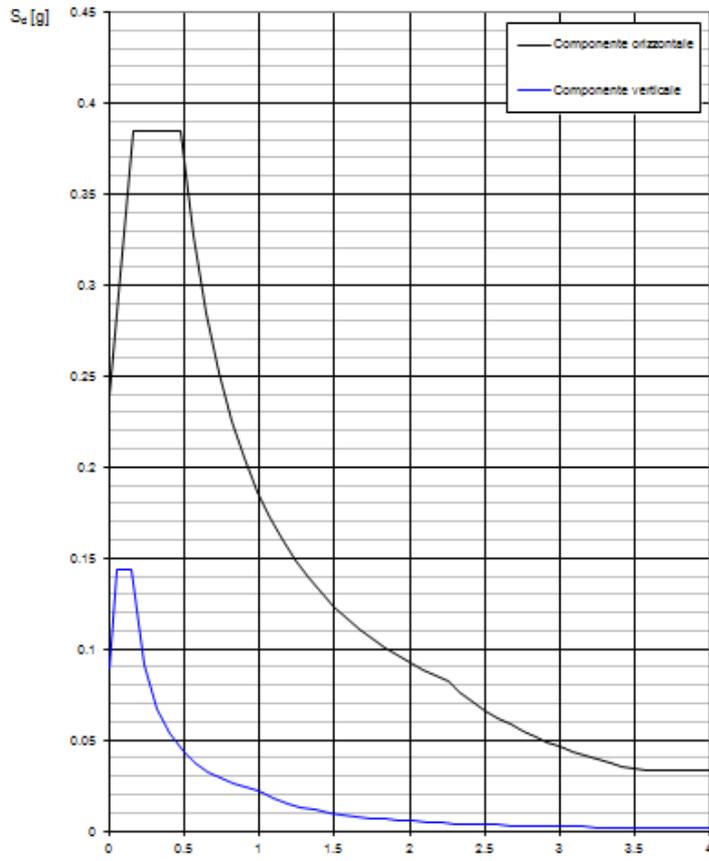
Considerando una riduzione del 60 %:

$$f_{tr} = 0,6 \cdot f_t = 0,6 \cdot 5250kg = 3150kg \approx 3t$$

ANALISI DI VULNERABILITA': MODELLAZIONE ED ANALISI

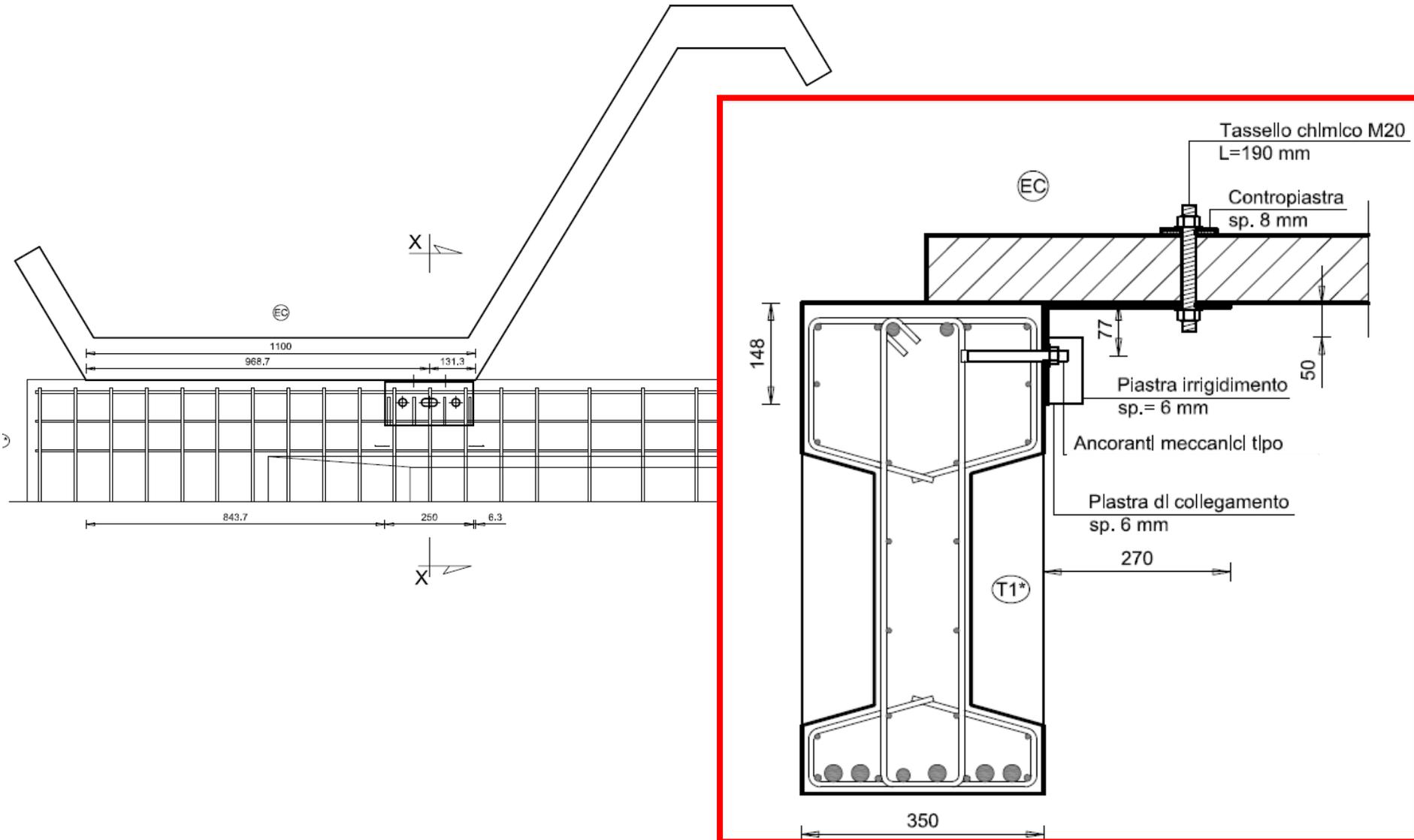
ANALISI DINAMICA CON SPETTRO DI RISPOSTA

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV



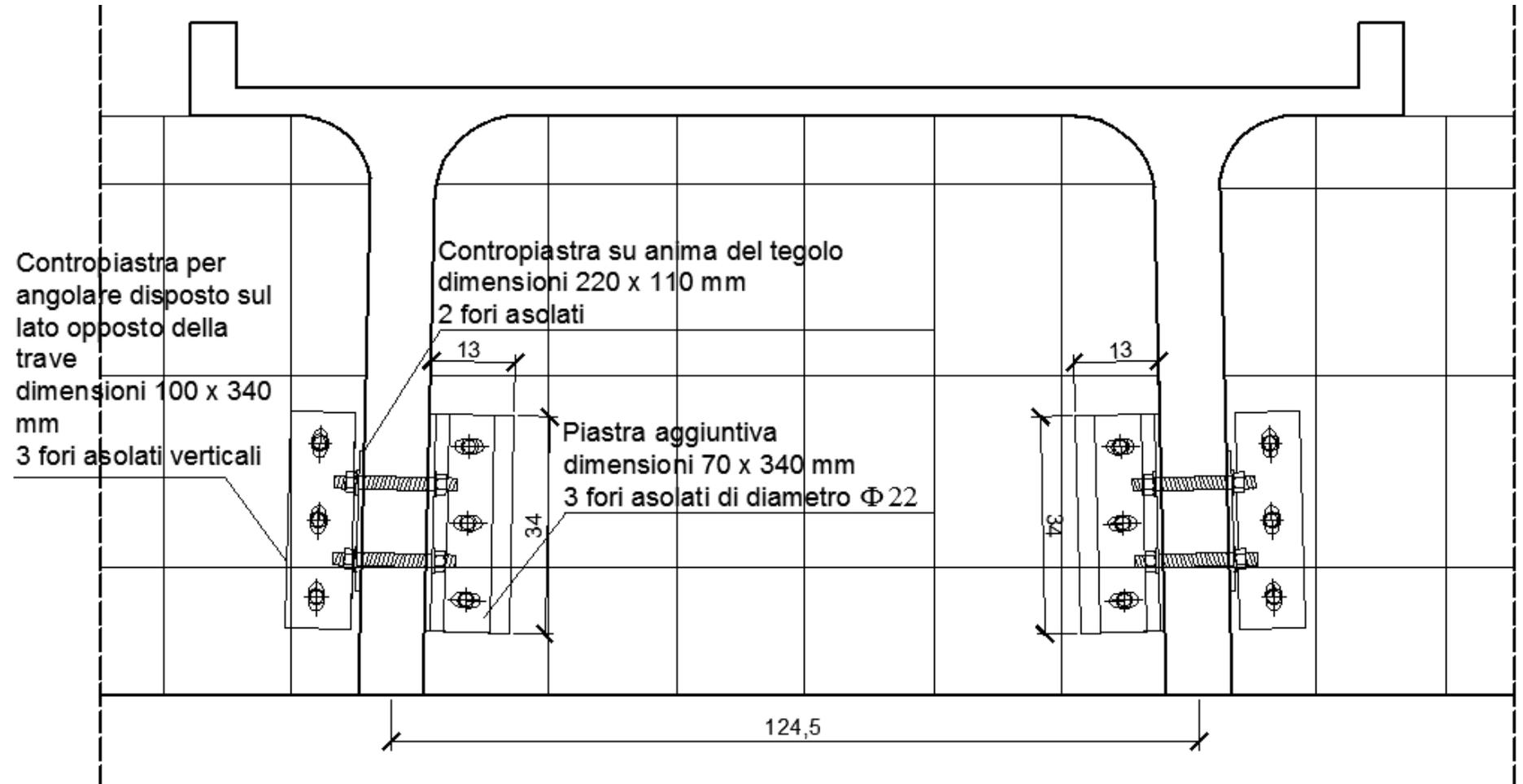
COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

Angolare di collegamento trave tegolo (Istituti Keynes e Mattei)



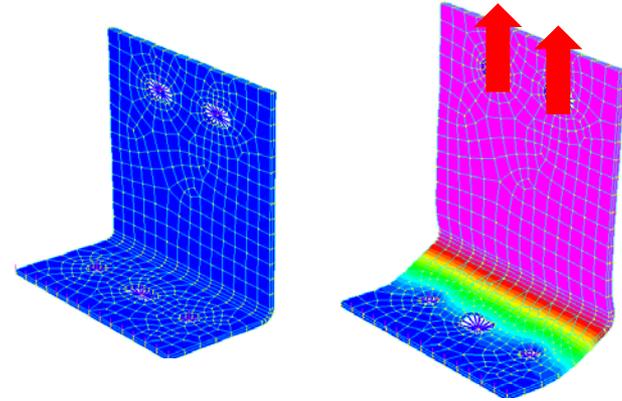
COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

Angolare di collegamento trave tegolo (ITIS Belluzzi)



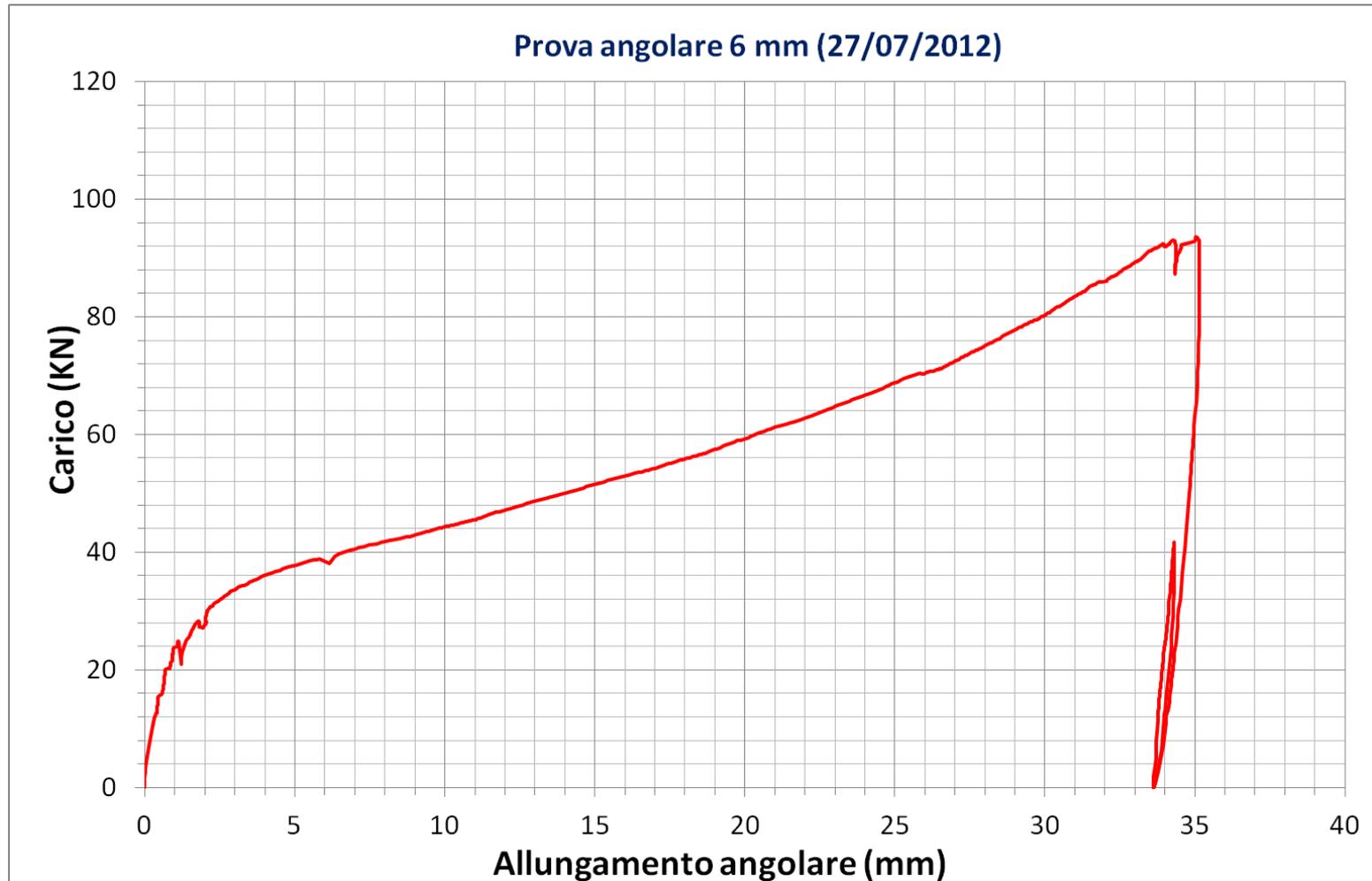
ANGOLARI DI COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

TEST SPERIMENTALI E MODELLI NUMERICI PER VALIDARE LE IPOTESI PROGETTUALI



ANGOLARI DI COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

IL LEGAME FORZA SPOSTAMENTO DELL'ANGOLARE DIPENDE DA SPESSORE E POSIZIONE DEI FORI RISPETTO ANGOLO

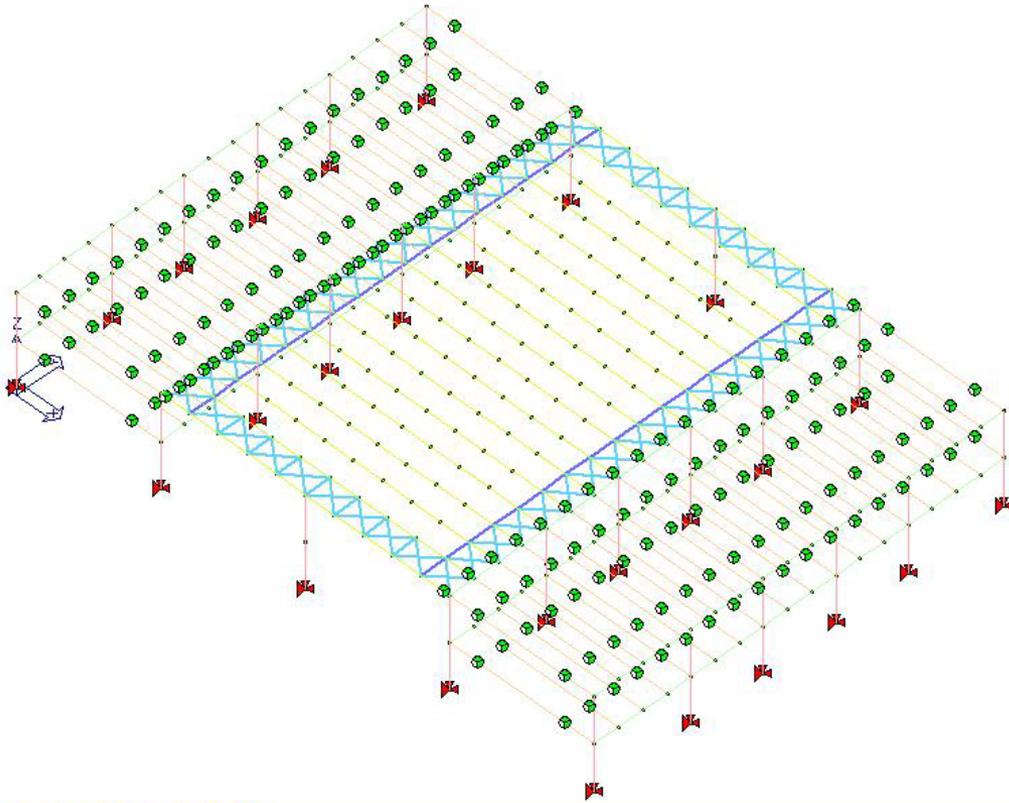


ANGOLARI DI COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

MODALITA' DI ROTTURA E DUTTILITA'



COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

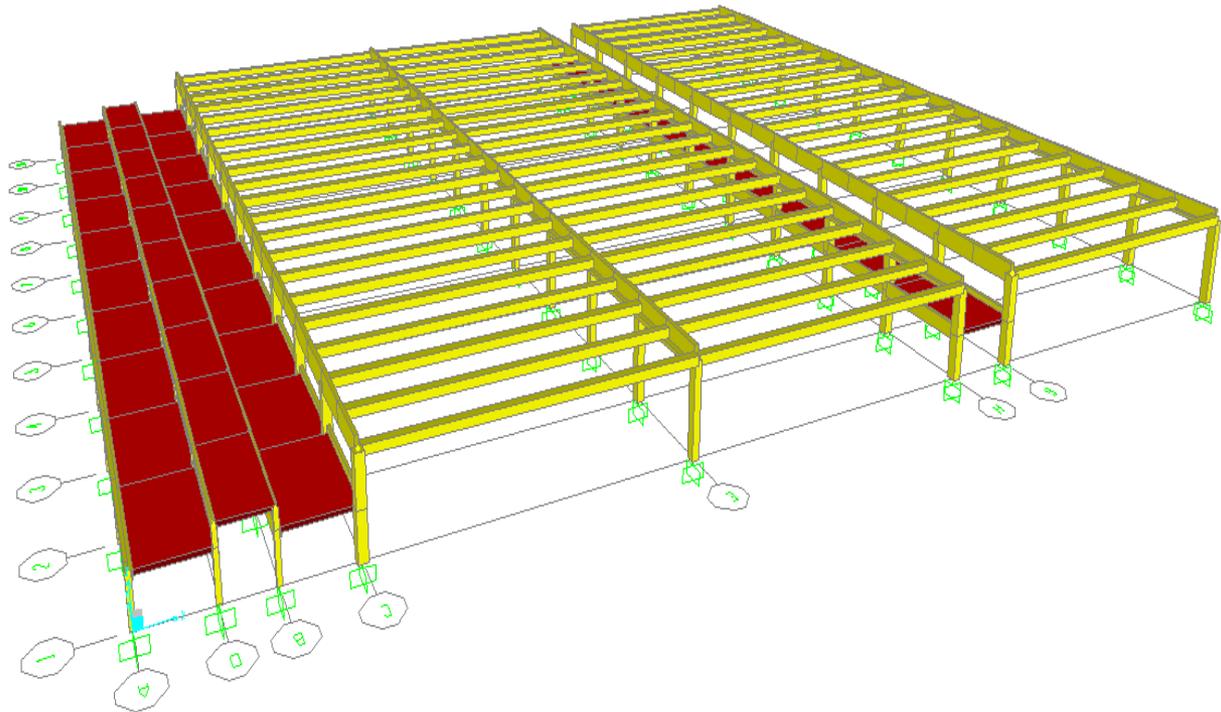
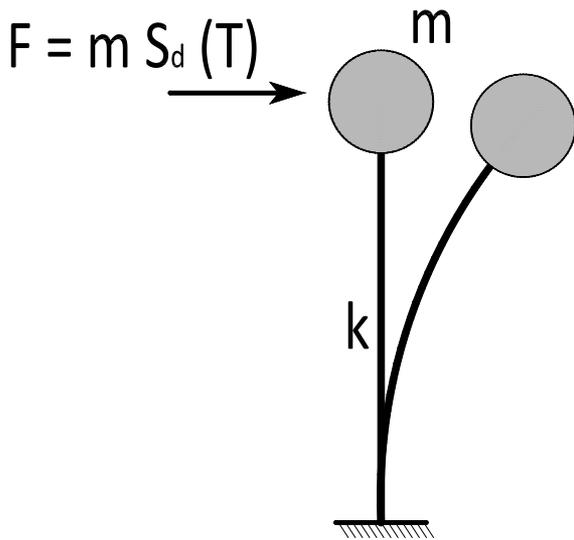


COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

Calcolo delle sollecitazioni:

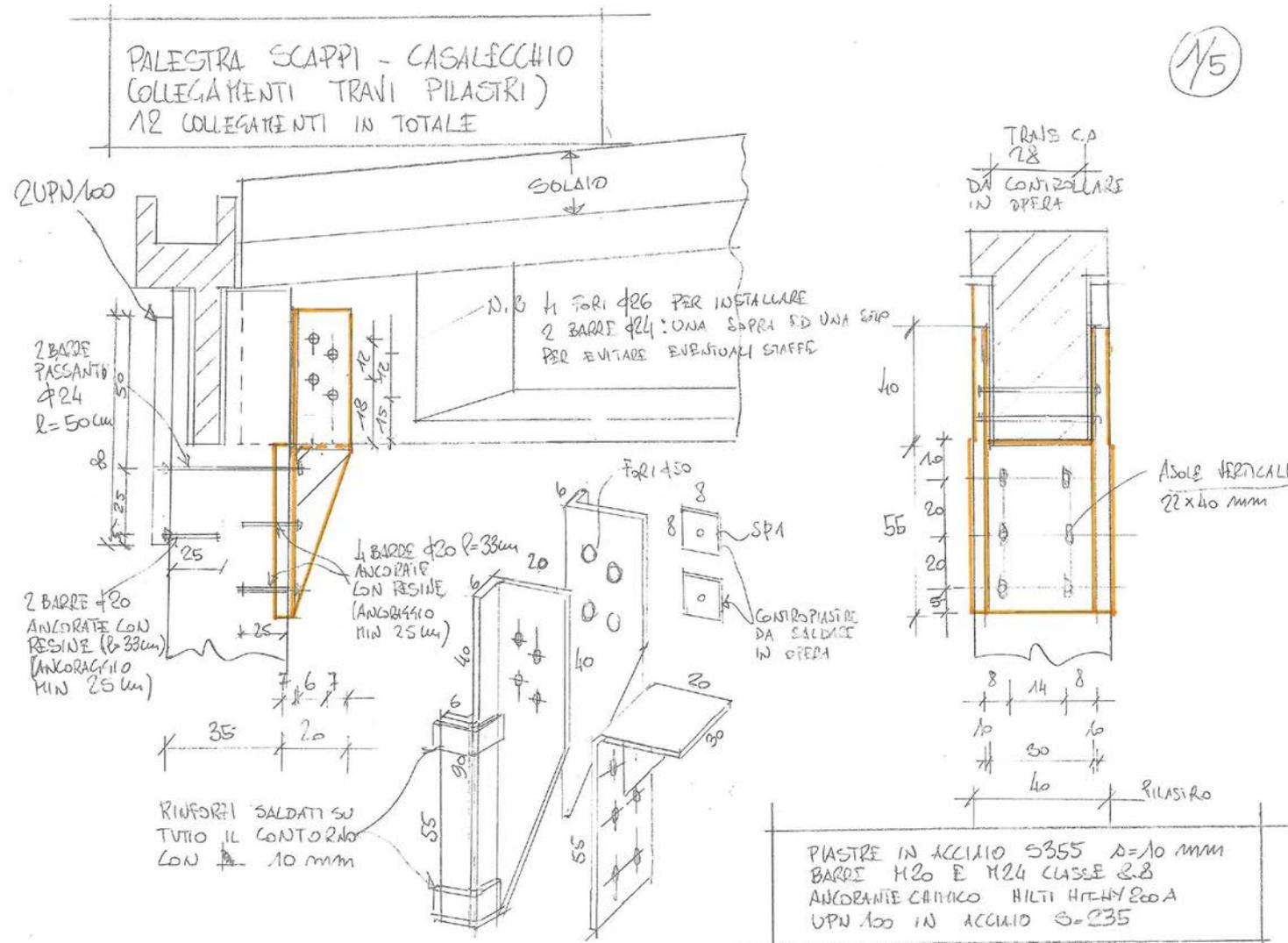
- Modello semplificato “oscillatore semplice”
- Modello tridimensionale della struttura

I collegamenti sono dimensionati per rimanere in campo elastico



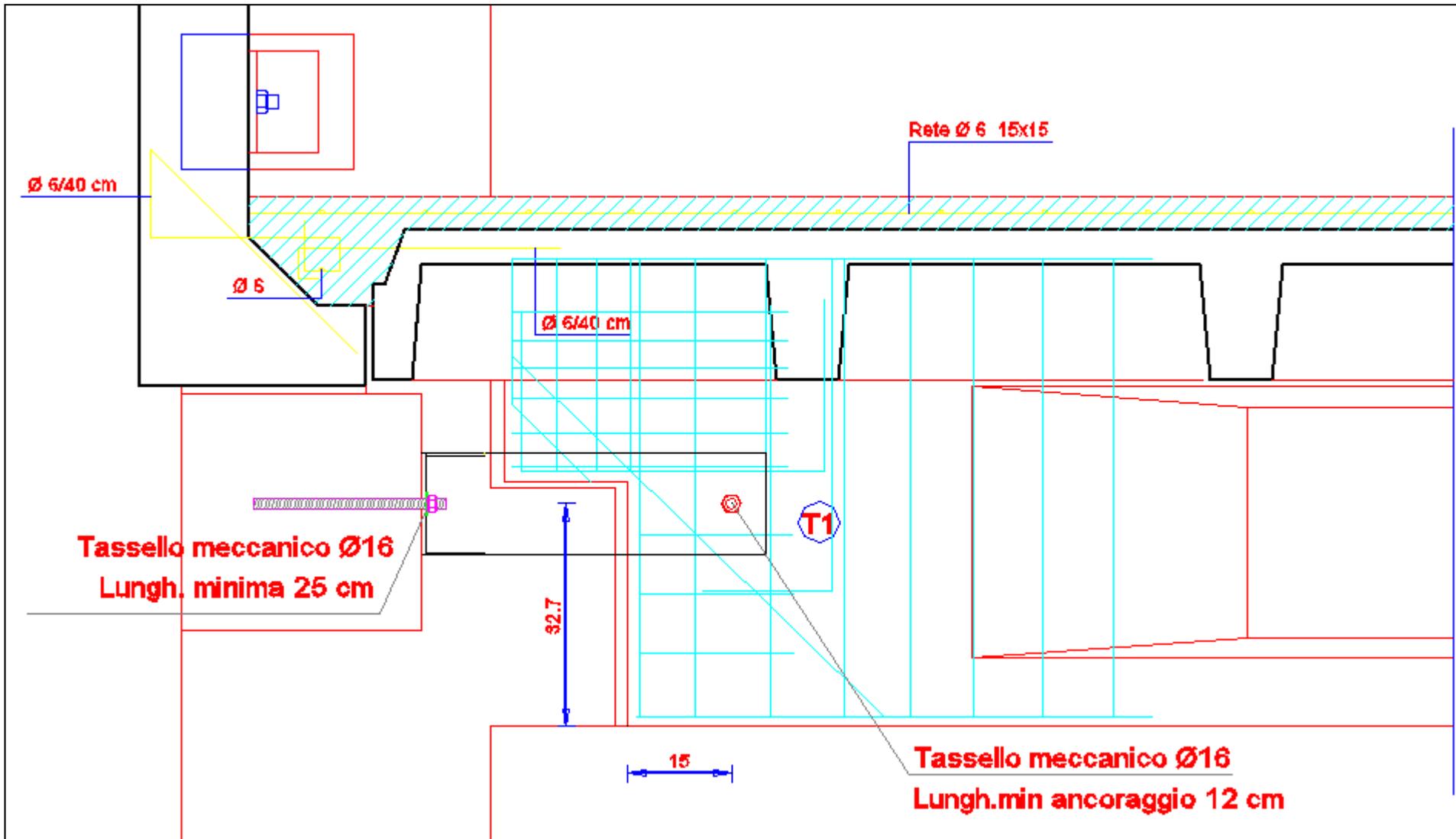
COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

Necessario prevedere anche ritegni anti ribaltamento rinforzando le forcelle dei pilastri



COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

DIMENSIONATI PER RIMANERE IN CAMPO ELASTICO

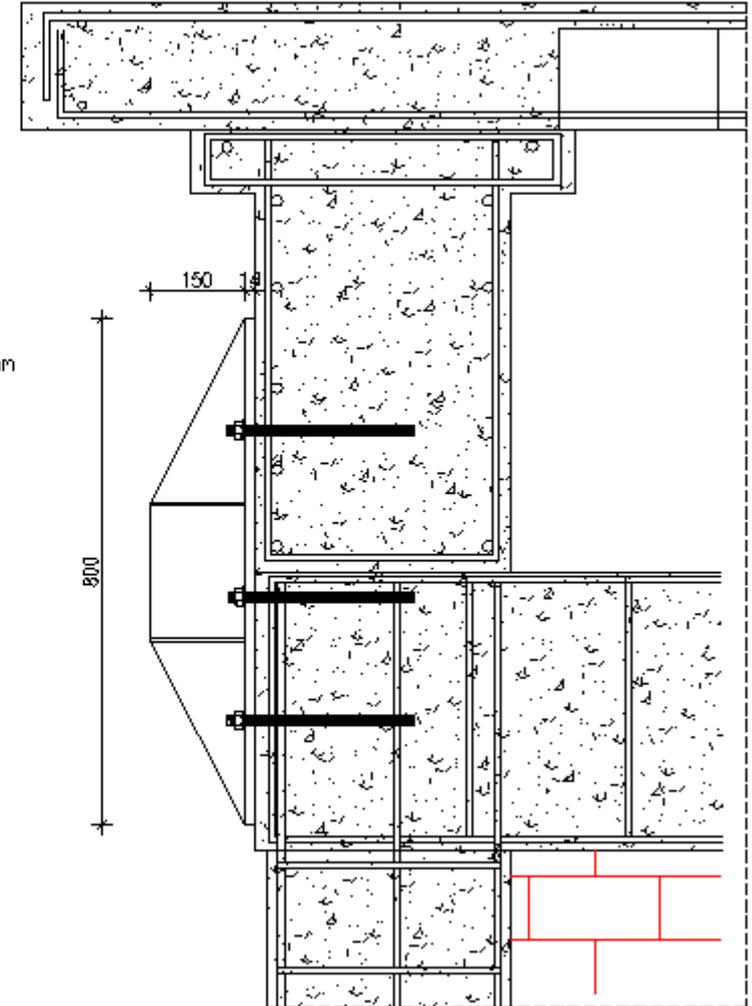
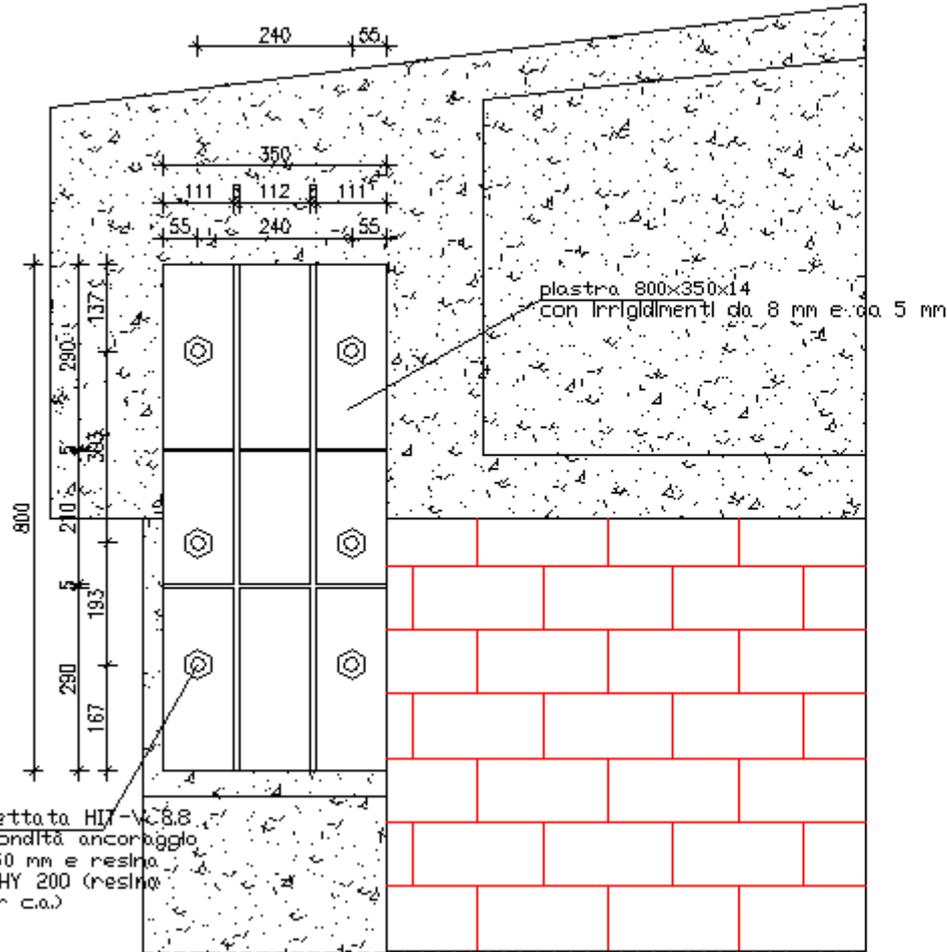


COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

Istituto Pacinotti: Ritegni anti ribaltamento trave

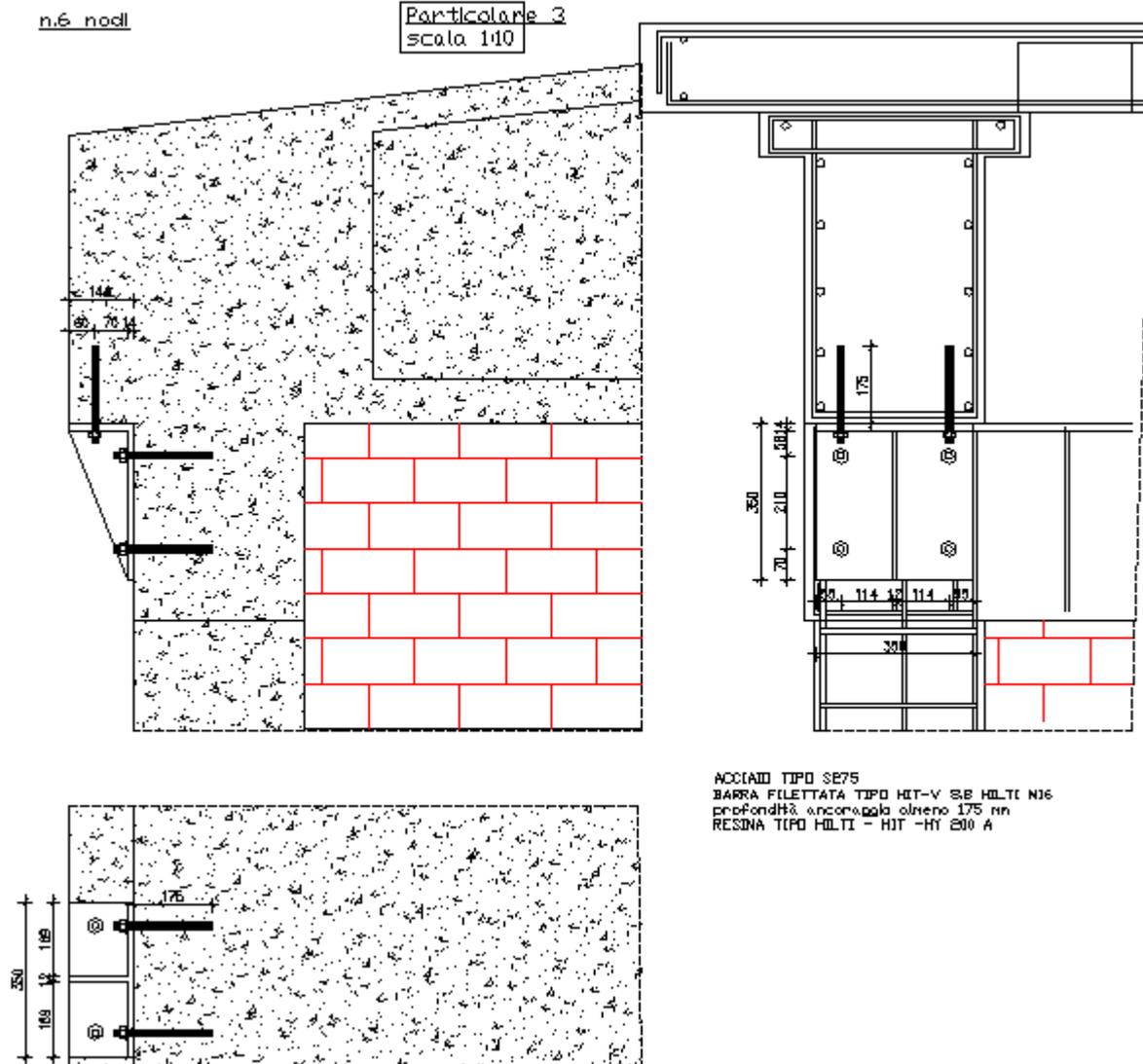
n.8 nodi

Particolare 2
scala 1:10



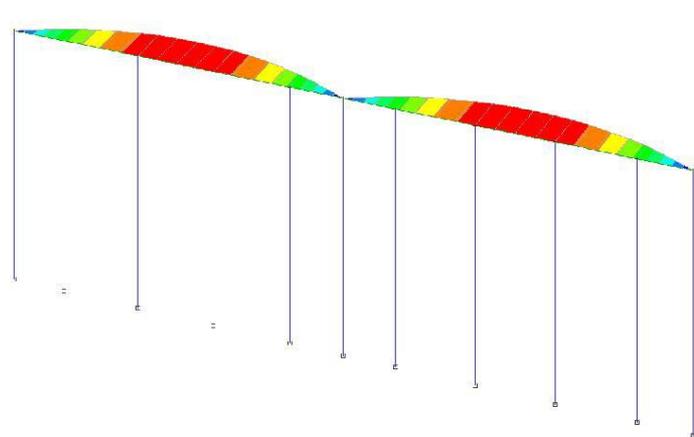
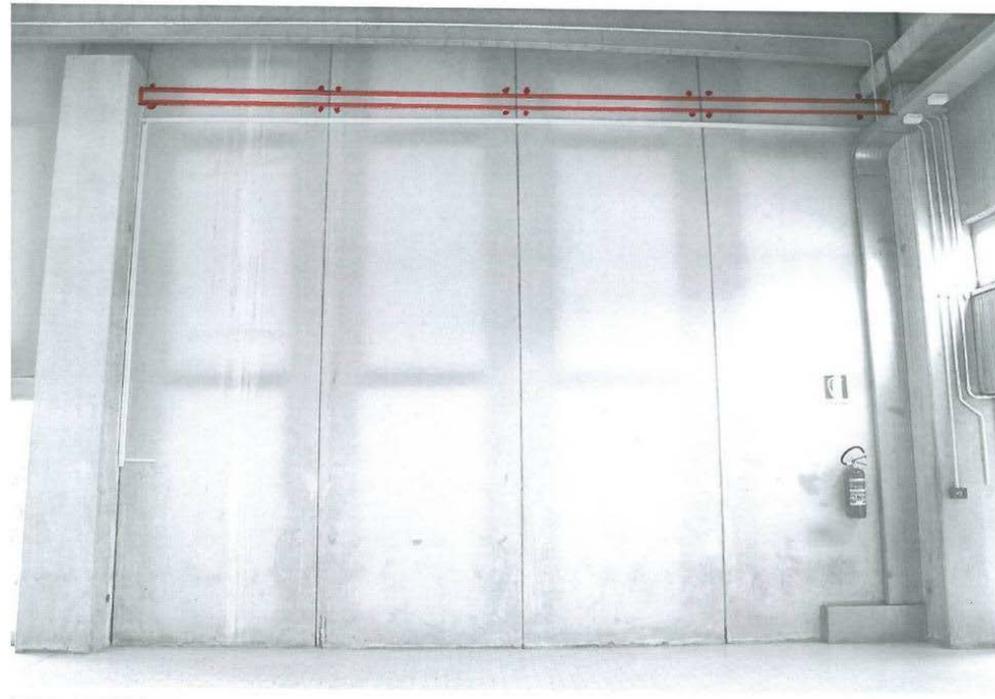
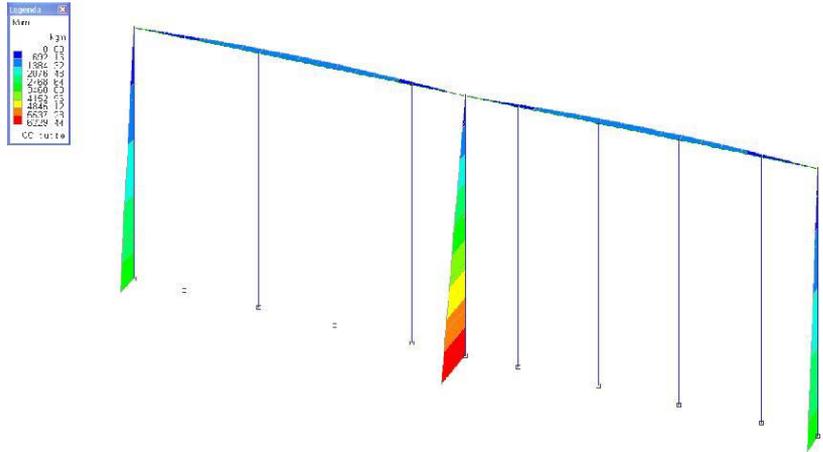
COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

Istituto Pacinotti: Intervento per evitare lo sfilamento della trave



COLLEGAMENTI PANNELLI ESTERNI

ITIS Belluzzi: Pannelli verticali collegati ai pilastri diacenti mediante profili metallici, verificare che i pilastri sostengano l'incremento di sollecitazioni



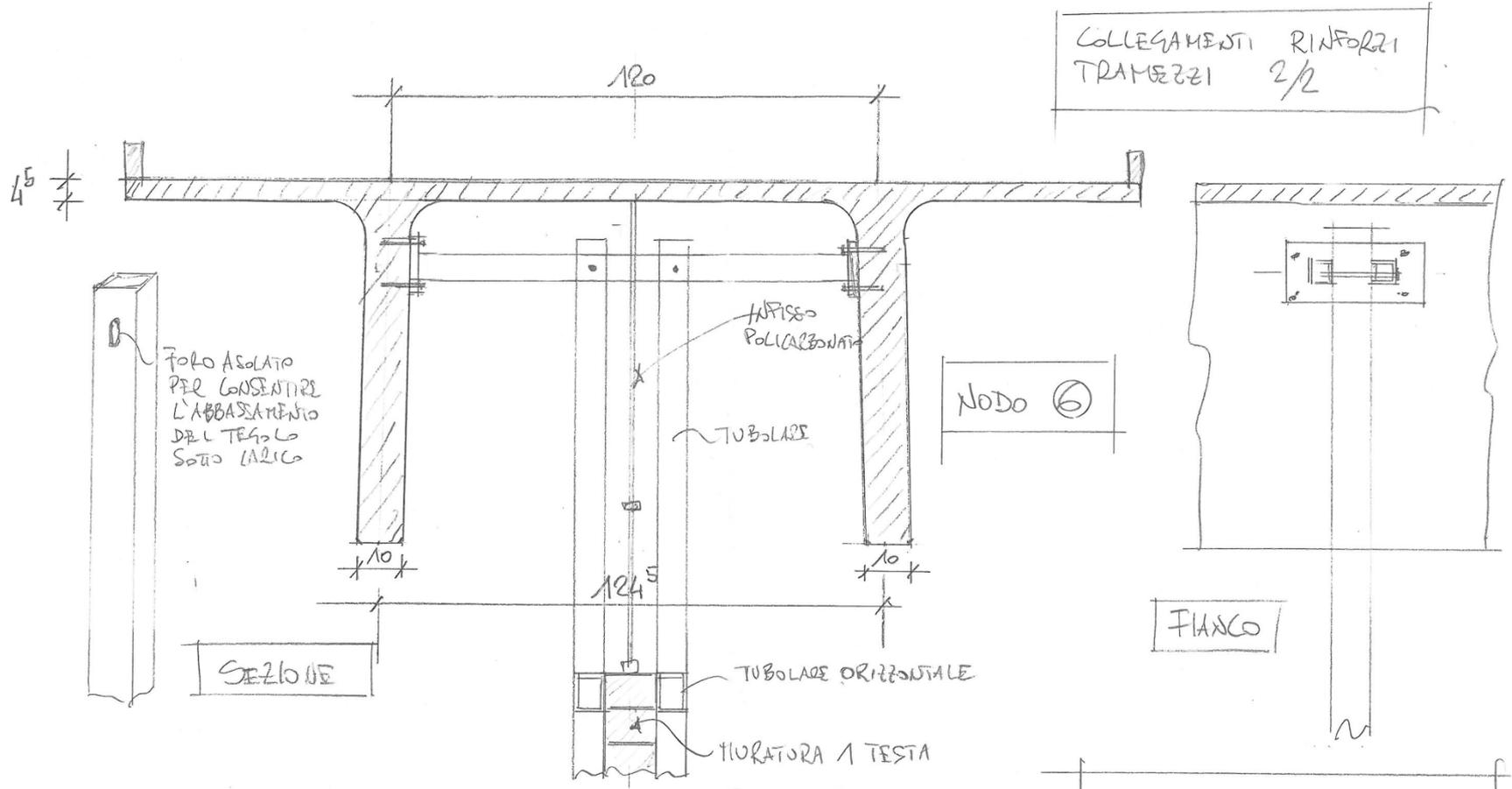
COLLEGAMENTI TAMPONAMENTI INTERNI

- ITIS Belluzzi: necessario creare telai di contrasto collegati ai tegoli di copertura ed alla soletta di fondazione (collegamenti cerniera).



COLLEGAMENTI TAMPONAMENTI INTERNI

- ITIS Belluzzi: collegamento ai tegoli di copertura, necessario garantire inflessione verticale del tegolo (carico neve)



INTERVENTI REALIZZATI

- Istituto Keynes: Struttura prefabbricata con tegole e impalcati più piccoli



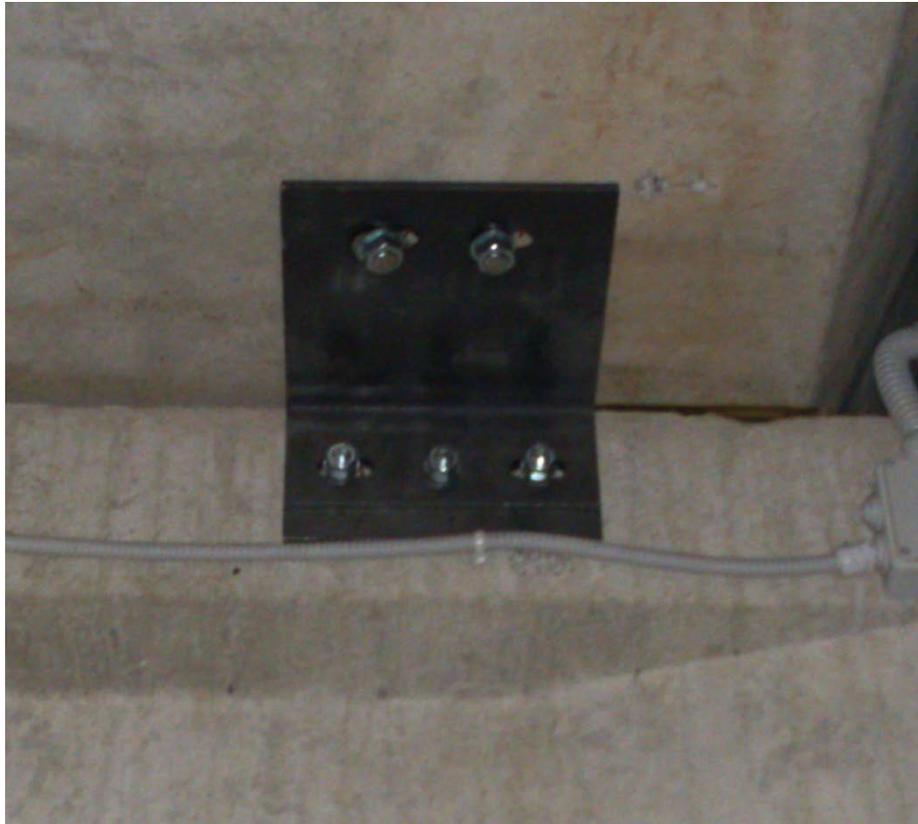
INTERVENTI REALIZZATI

- Istituto Keynes: collegamento tegoli di copertura trave



INTERVENTI REALIZZATI

• Istituto Keynes: collegamento tegoli di copertura trave



- Posizionamento dei bulloni ad altezze diverse per tipologia di travi
- Uso necessario di asolature per seguire differenze nelle armature



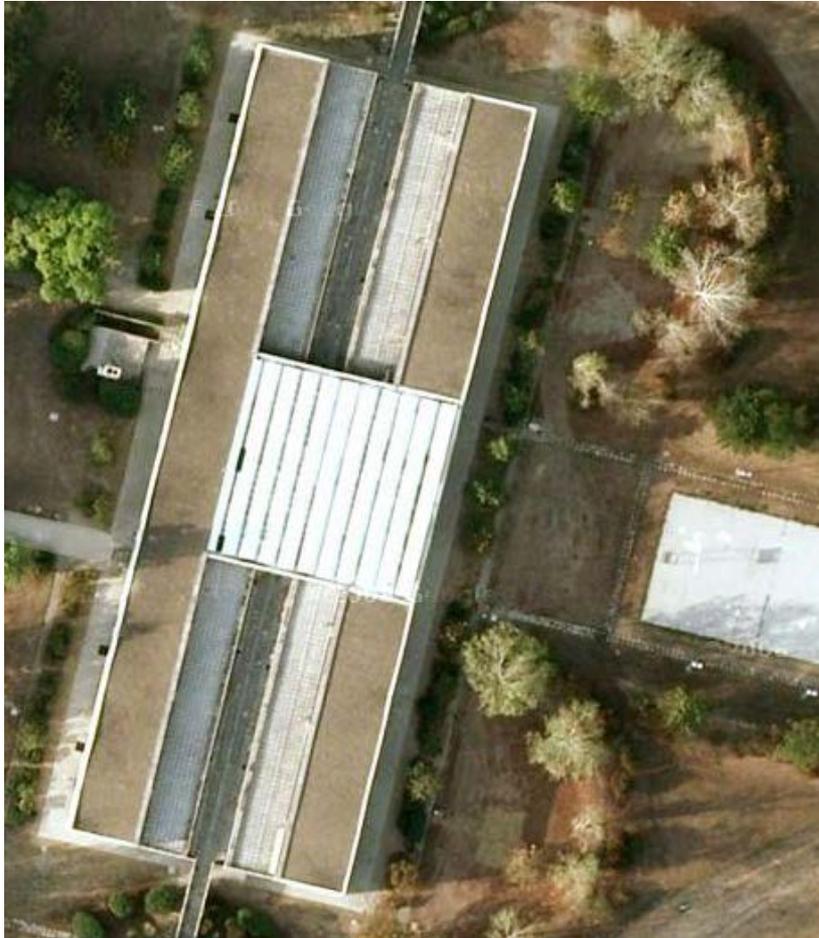
INTERVENTI

COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO



INTERVENTI REALIZZATI

• Scuole Guercino: collegamento tegoli di copertura trave



- Tegoli da 12 m su travi e pilastri a secco
- Schema comune a Bologna

INTERVENTI REALIZZATI

• Scuole Guercino: collegamento tegoli di copertura-trave



- Analisi in cantiere prima del montaggio della posizione armature
- Molte varianti costruttive

INTERVENTI REALIZZATI

• Scuole Guercino: collegamento tegoli di copertura-trave



- Geometria dell'angolare dettata anche dalla geometria tegolo
- Uso di piastre per consentire elasticità di montaggio

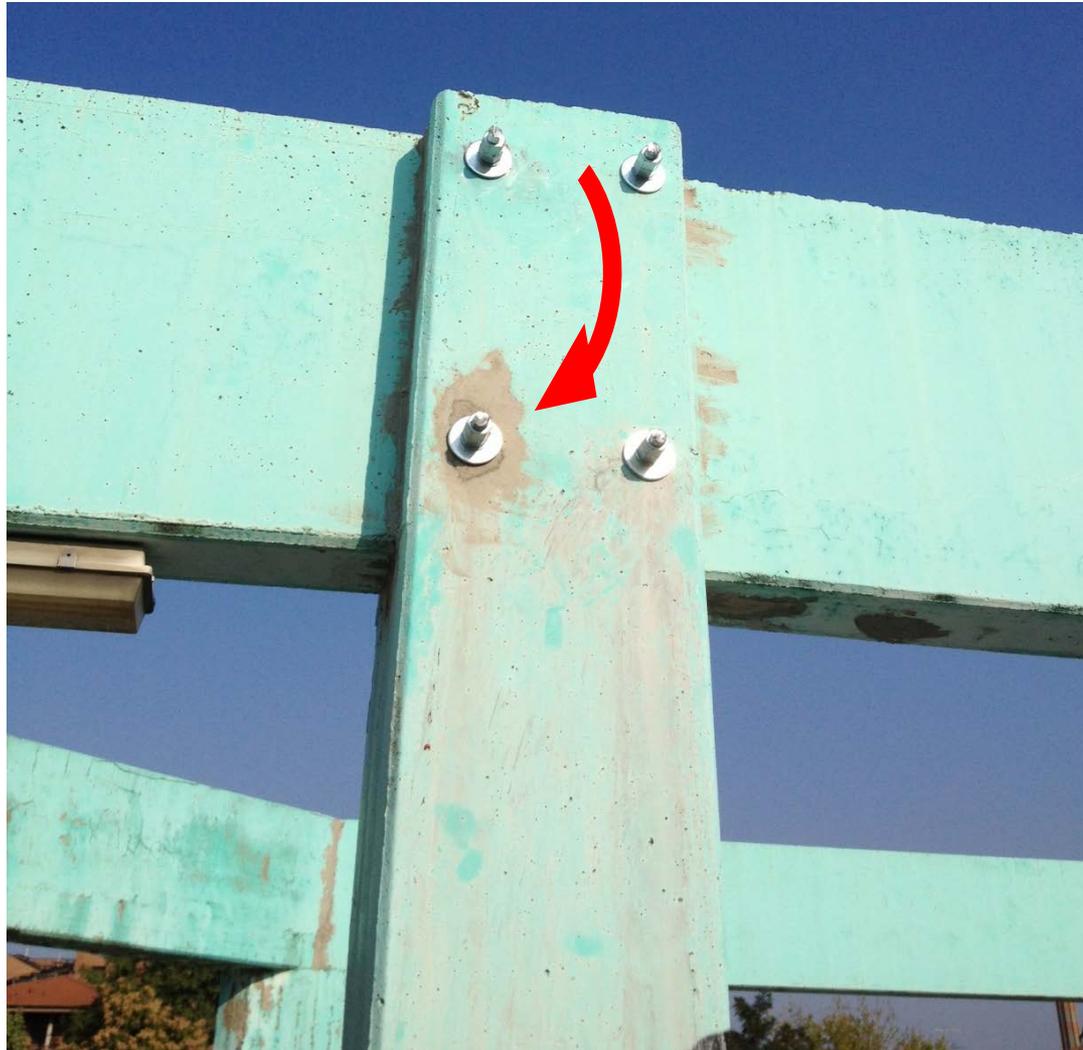
INTERVENTI REALIZZATI

Scuole Carracci: Intervento di collegamento trave-pilastro



INTERVENTI REALIZZATI

Scuole Carracci: Intervento di collegamento trave-pilastro



COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO





CONCLUSIONI

- Richiesta di risorse e tempi «limitati» per l'applicazione della procedura. Minima invasività delle indagini.
- Grande attenzione ai reali dettagli costruttivi per dedurre il comportamento meccanico più realistico
- Rispetto delle condizioni al contorno dettate dalla presenza di armature e vincoli geometrici
- Verificare le interferenze con gli impianti
- Scrupolosa attenzione in fase di realizzazione