



PROVINCIA DI
BOLOGNA

SETTORE LAVORI PUBBLICI
Servizio Edilizia Istituzionale
U.O. Progettazione e D.L. Strutture-Sismica



CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI
Centro Interdipartimentale di Ricerca
Industriale Edilizia e Costruzioni

ESEMPI DI PROGETTI DI MESSA IN SICUREZZA DI STRUTTURE PREFABBRICATE AD USO SCOLASTICO

Prof. Ing. Claudio Mazzotti, Università di Bologna

**Gruppo di Lavoro: Prof. Ing. Marco Savoia,
Ingg. Lorenzo Bacci, Alessandro Bellini, Ciriaco Chinni, Andrea Incerti,
Valentina Ligi, Luca Minnai, Annalisa Tilocca, Annalisa Vinciguerra
(CIRI Edilizia e Costruzioni)**

Bologna, 11 settembre 2012

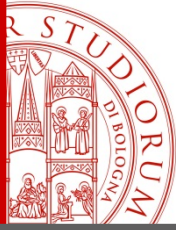


Introduzione

Strutture prefabbricate ad uso scolastico:

Sebbene ci sia, in generale, un livello di collegamento tra elementi superiore ai capannoni industriali si riscontrano analoghe criticità nei collegamenti

- Rilievo dello stato di fatto
- Progetto per l'eliminazione delle carenze strutturali
- Test sperimentali
- Realizzazione degli interventi



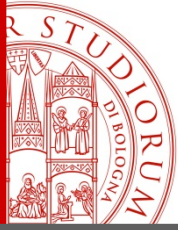
CRITICITÀ DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

Elevata vulnerabilità delle strutture prefabbricate a grandi luci progettate per soli carichi verticali dovuta a:

- Perdita di appoggio per mancanza di connessione tra elementi strutturali principali (travi – tegoli, trave – pilastro);
- Collasso/ribaltamento di elementi di tamponatura o pannelli esterni;
- Danni dovuti al crollo di elementi interni (scaffalature, etc.).



NECESSARIO INTERVENIRE SULLE STRUTTURE PREFABBRICATE AD USO SCOLASTICO PER ELIMINARE LE CARENZE STRUTTURALI PIÙ RILEVANTI



PROGETTO DEGLI INTERVENTI

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

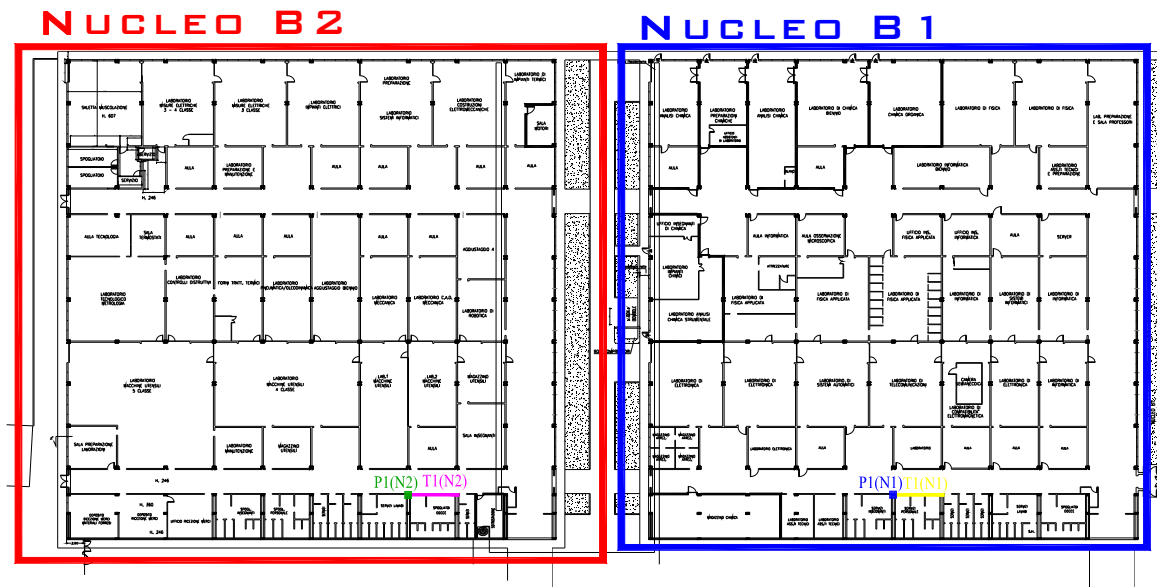
- 8 scuole già analizzate
- 29 scuole da analizzare

Attività effettuate da CIRI Edilizia e Costruzioni (UNIBO)

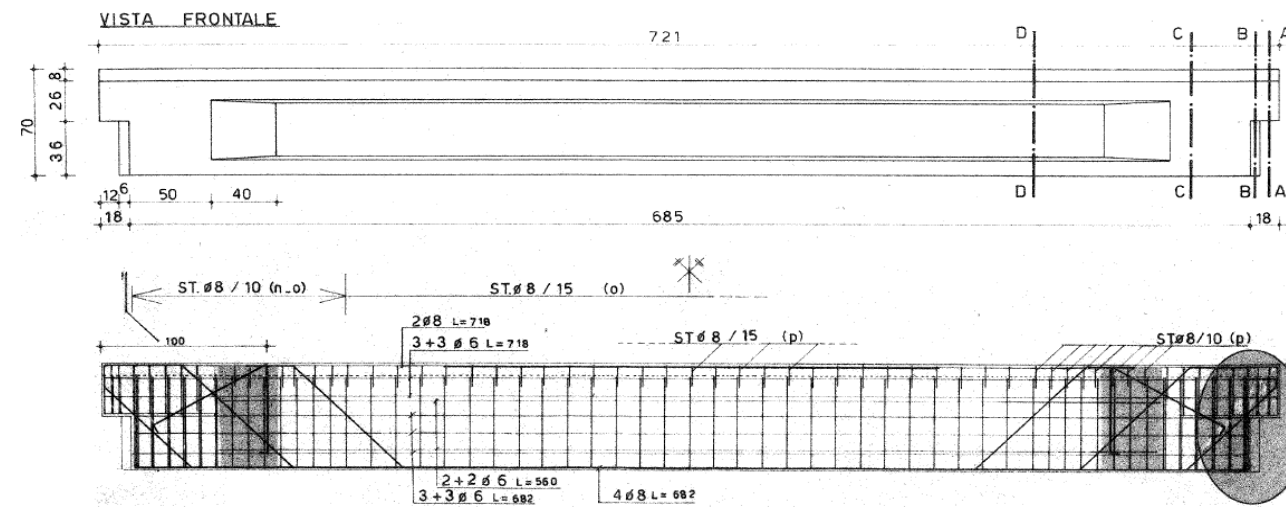
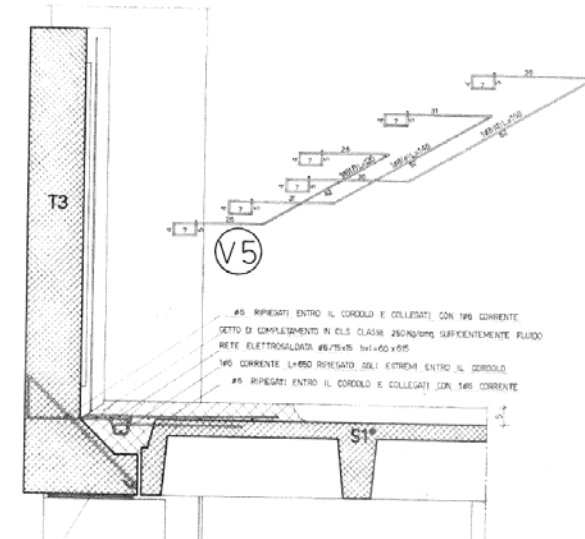
- Valutazione dello stato di fatto delle costruzioni
- Verifica in-situ dei dettagli costruttivi e armature
- Identificazione delle criticità nei collegamenti a secco
- Proposta di soluzioni tipologiche
- ...Progetto esecutivo di professionisti
- Controllo della coerenza degli interventi

FASE 1 SOPRALLUOGHI – Archivio documenti

Piante e disegni architettonici



Dettagli strutturali ed armature



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

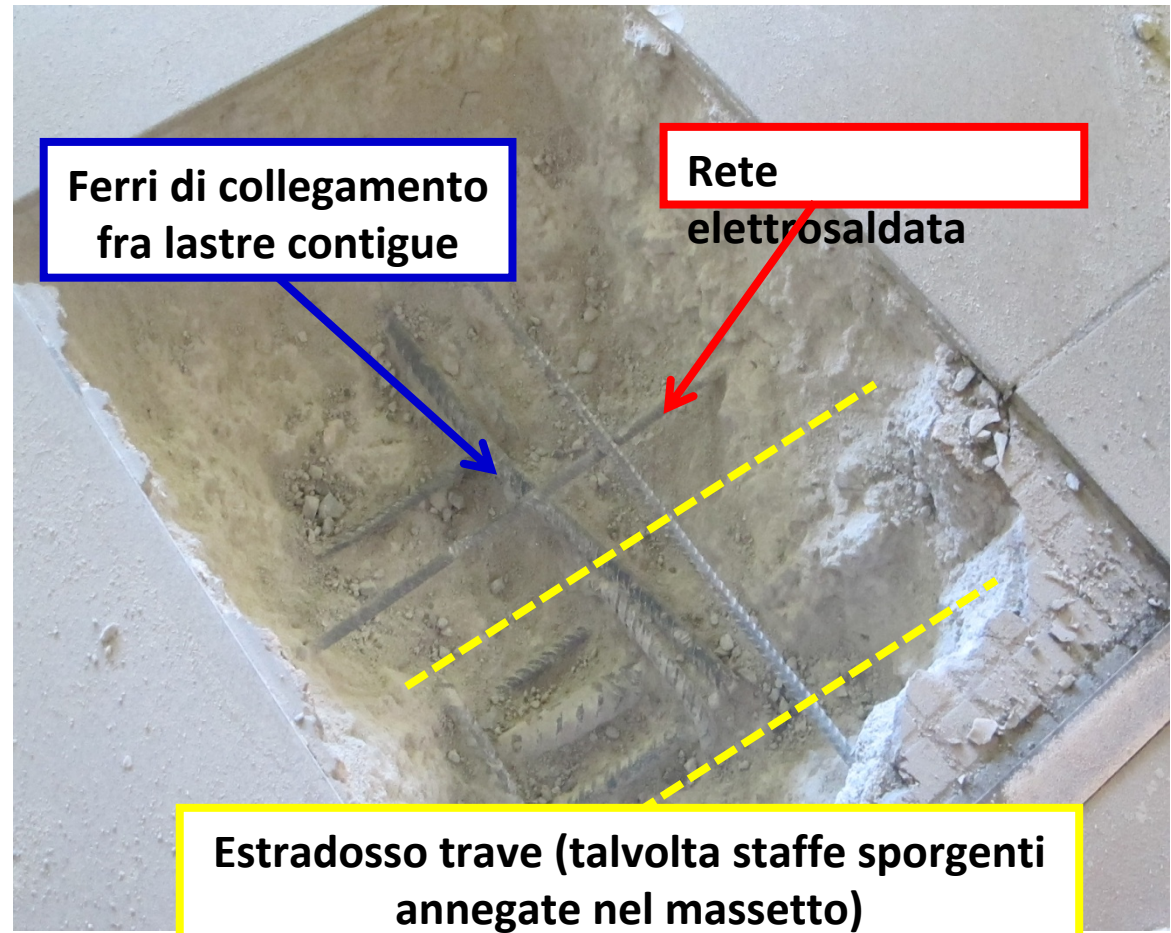


Zona di appoggio con
piastrina di appoggio in
neoprene



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

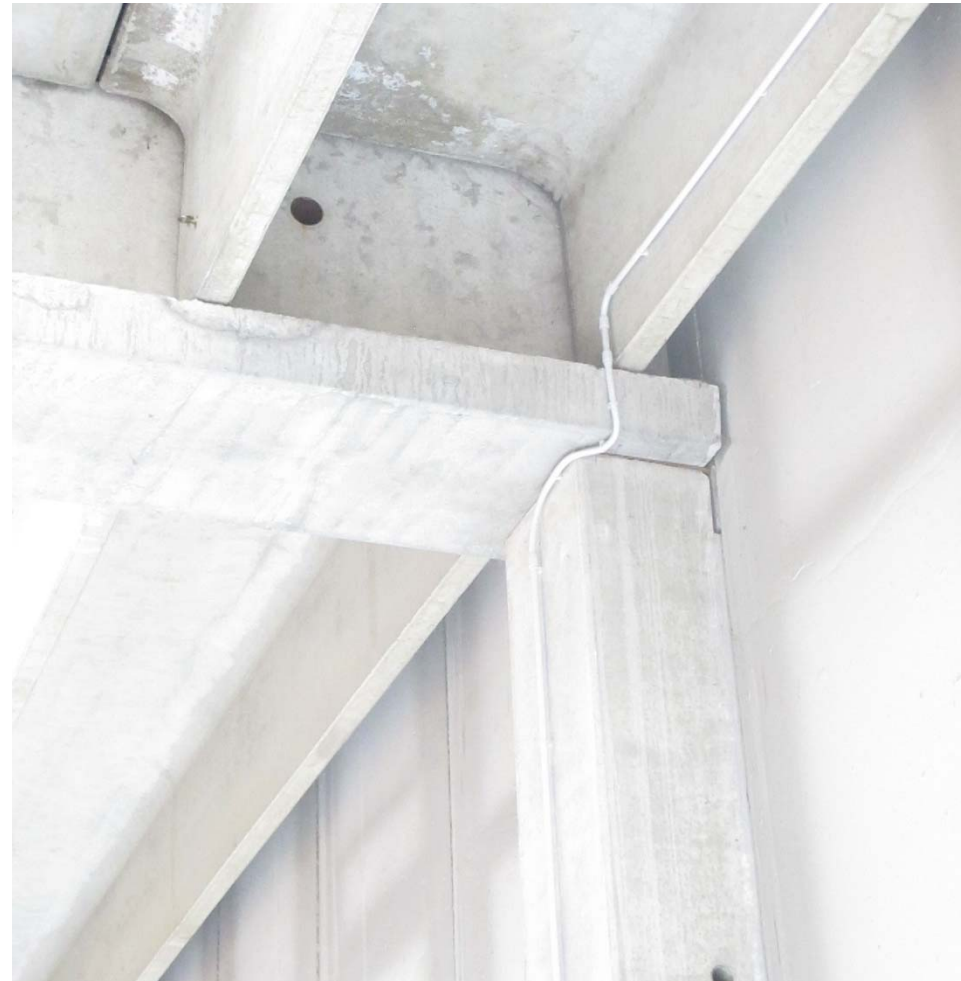
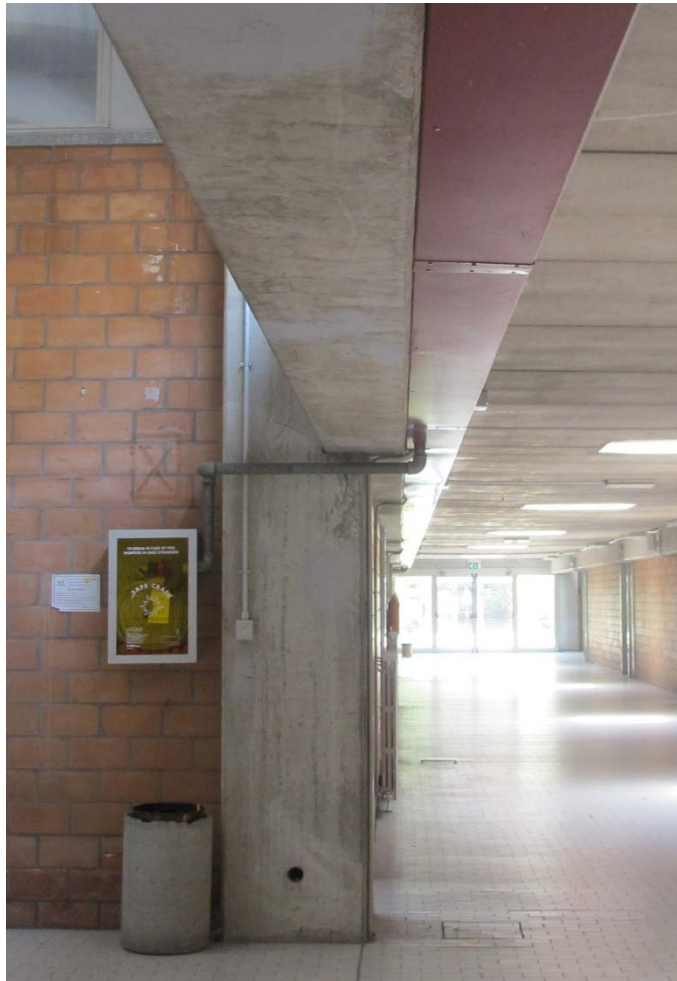
Collegamenti trave pilastro : per i pilastri esterni necessario evitare perdita di appoggio della trave



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

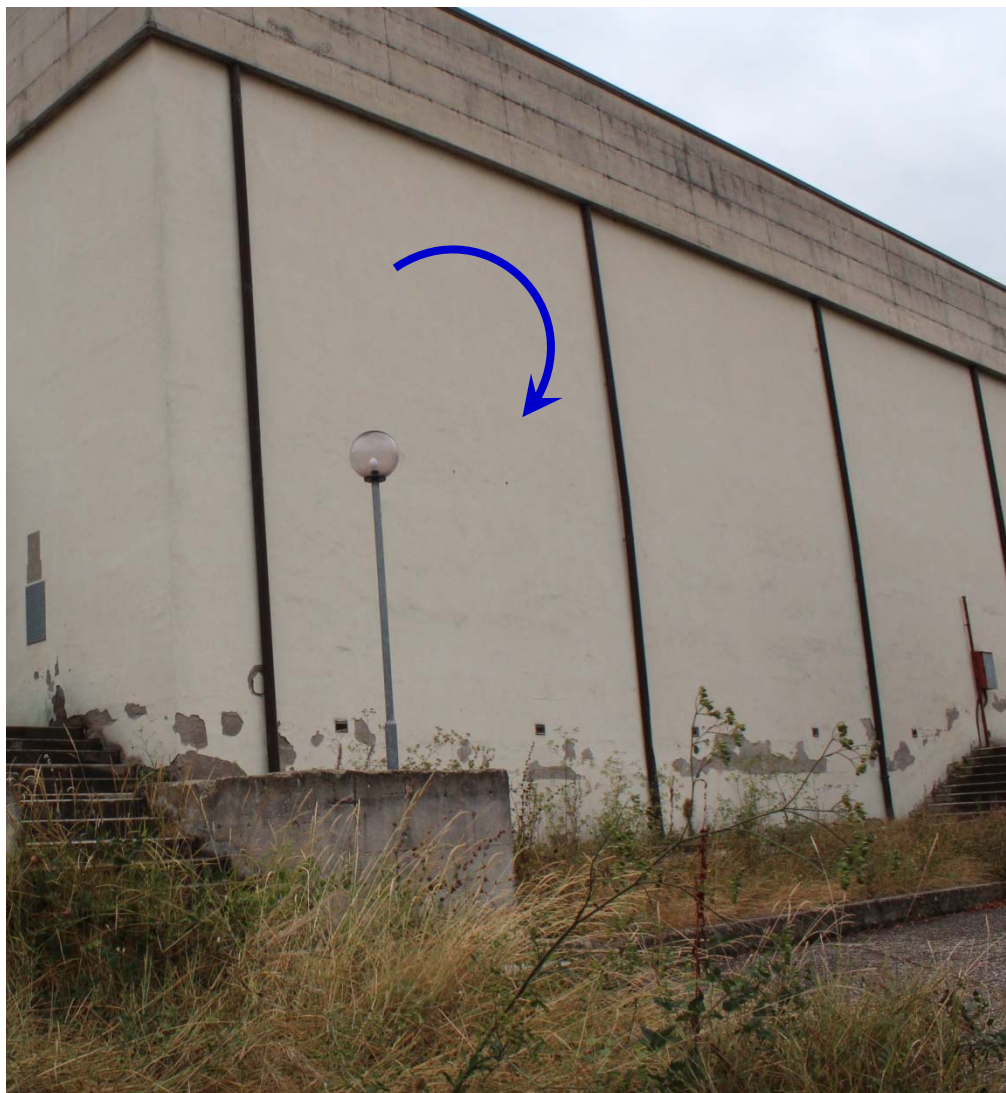
FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Pannelli esterni : ancoraggi realizzati con barre e guide a C



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Pannelli esterni



FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Pannelli esterni



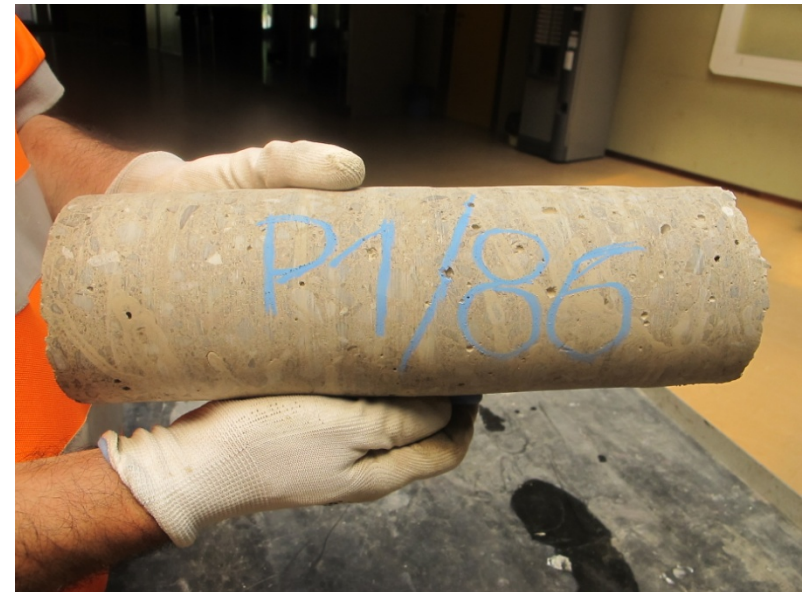
FASE 1 SOPRALLUOGHI – Criticità rilevate

Tamponamenti Interni



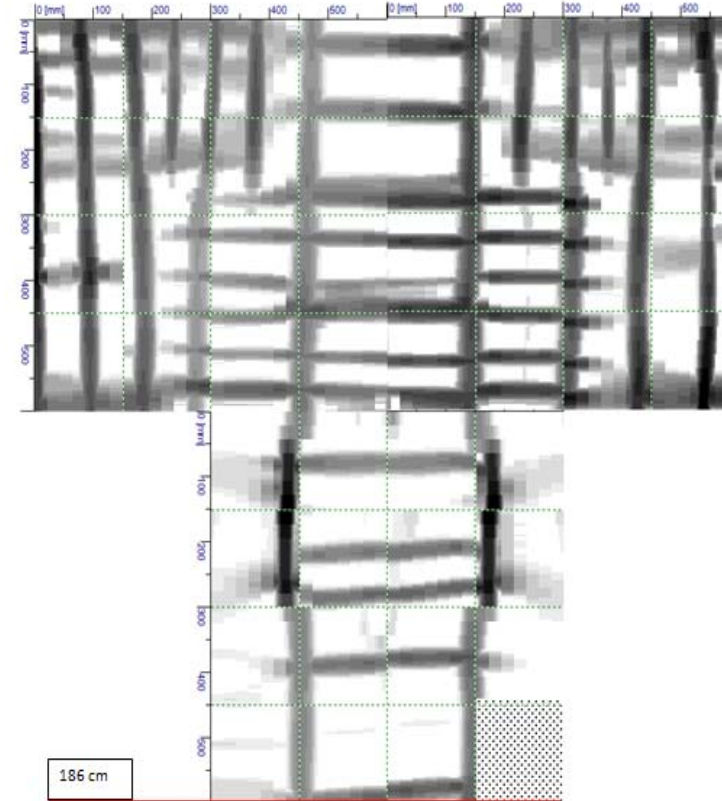
FASE 1 SOPRALLUOGHI – Prove in situ

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

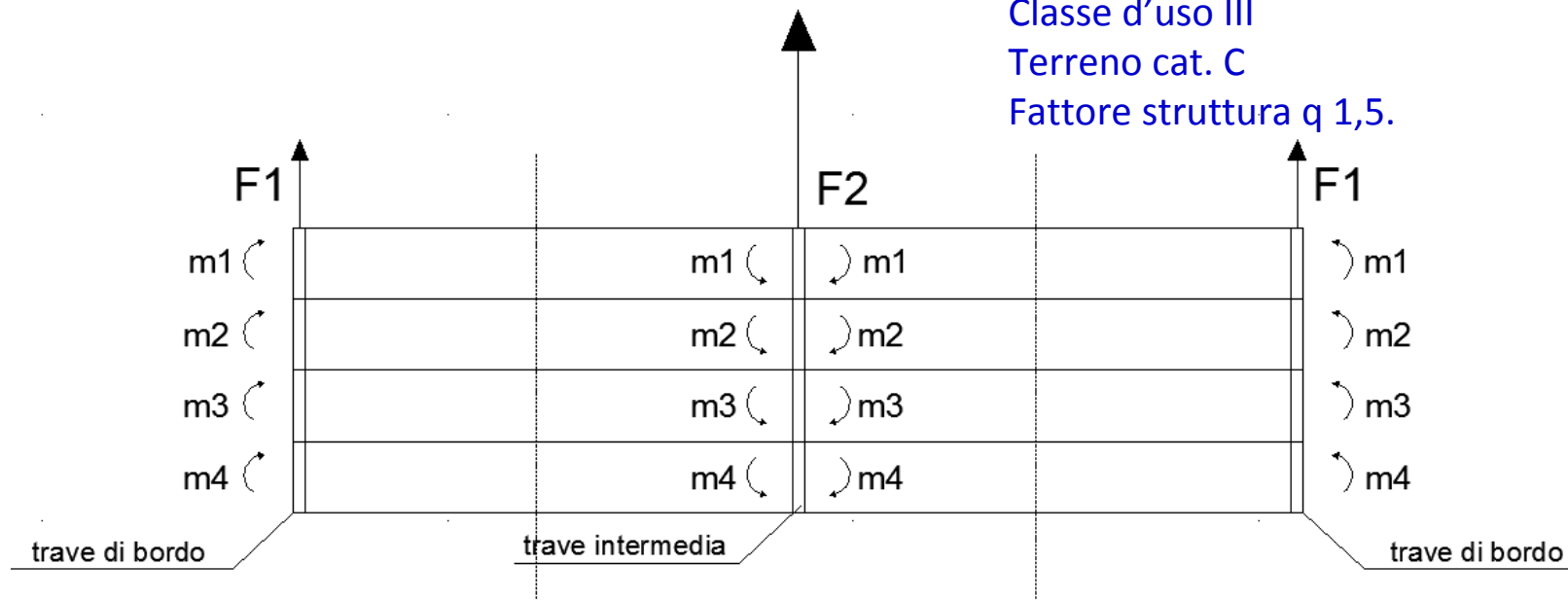
COLLEGAMENTI TRAVE - TEGOLO:

- 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:

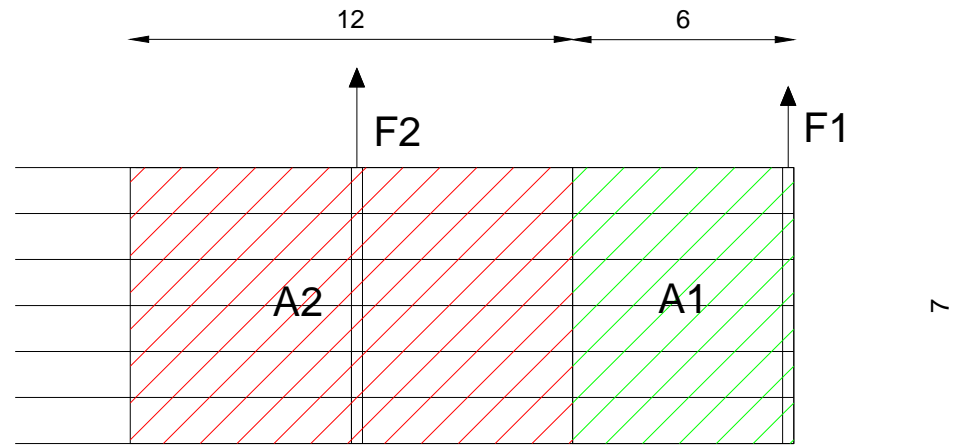
Vita nominale 50 anni;
Classe d'uso III
Terreno cat. C
Fattore struttura q 1,5.



- 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

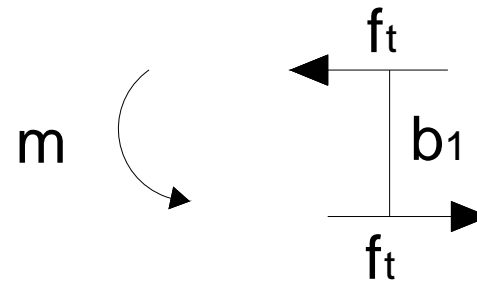
Note F1 ed F2 si calcola la coppia che nasce sui tegoli per equilibrio alla rotazione :

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

$$m = 6562,5kg$$

La forza che agisce sul tegolo sarà:

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

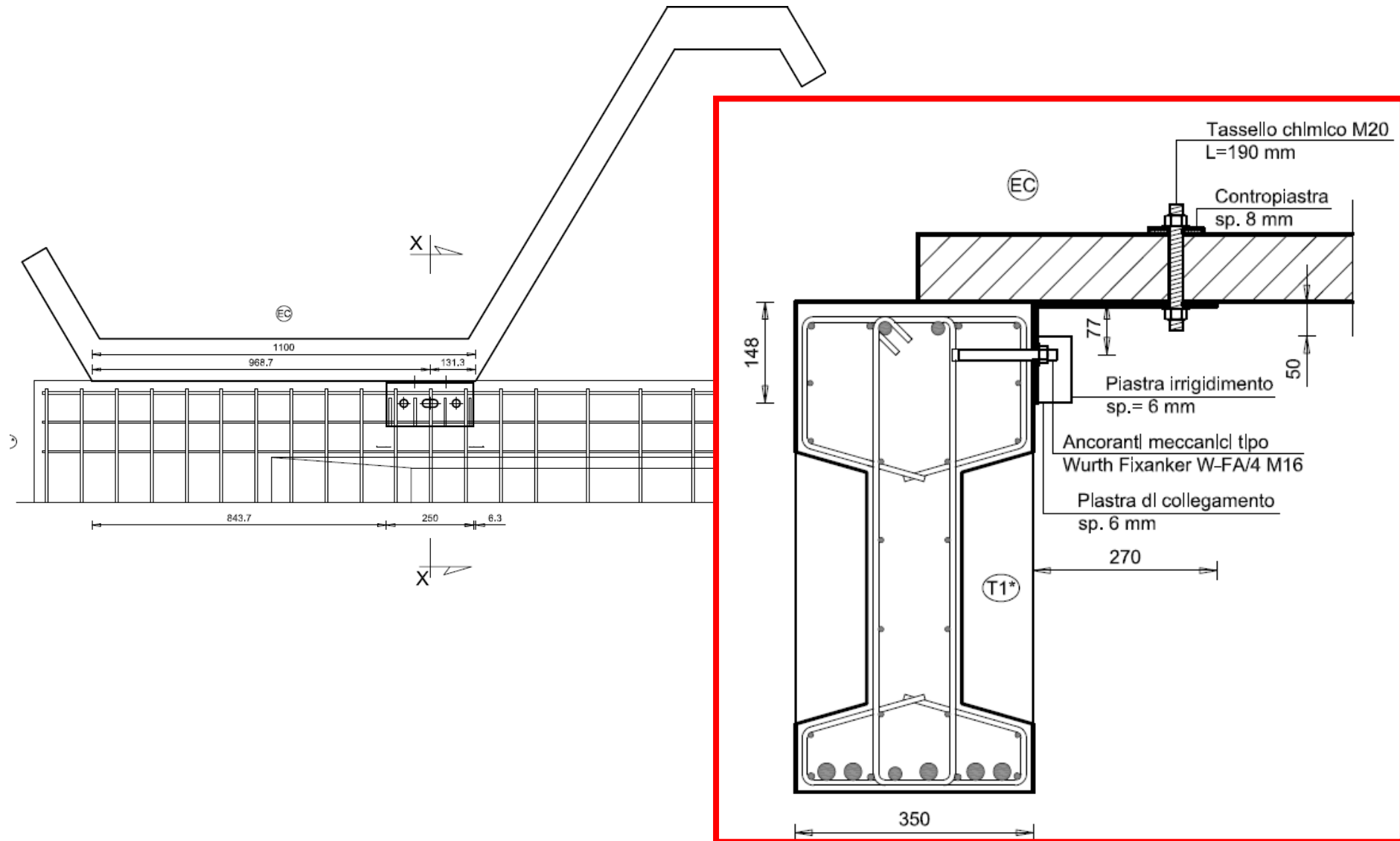


Considerando una riduzione del 60 %:

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

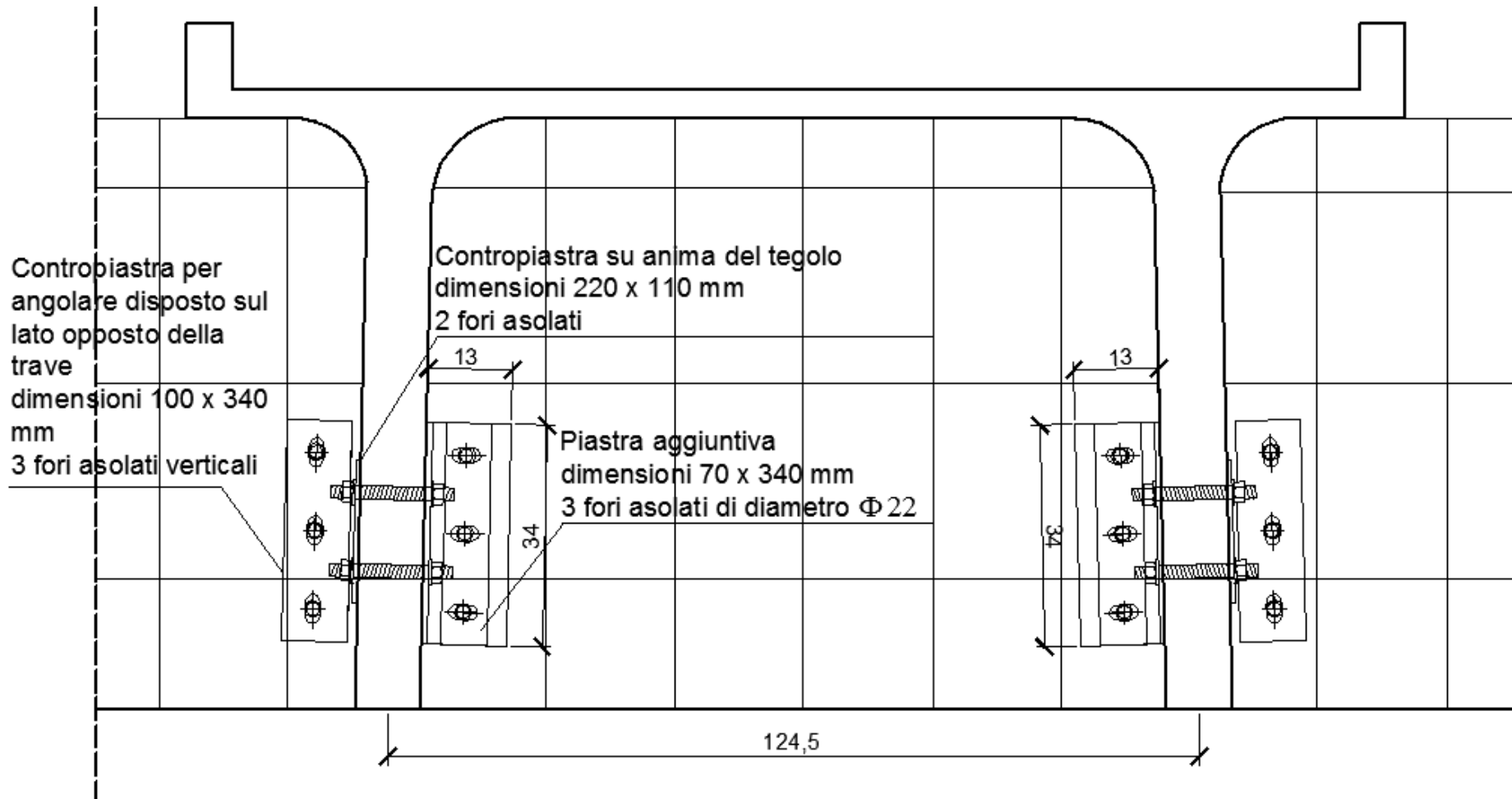
COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

Angolare di collegamento trave tegolo (Istituti Keynes e Mattei)



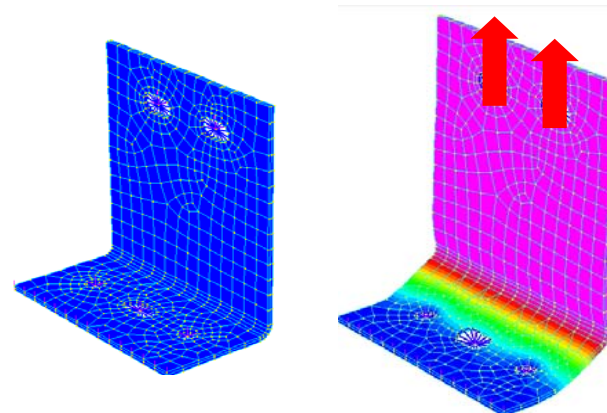
COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

Angolare di collegamento trave tegolo (ITIS Belluzzi)



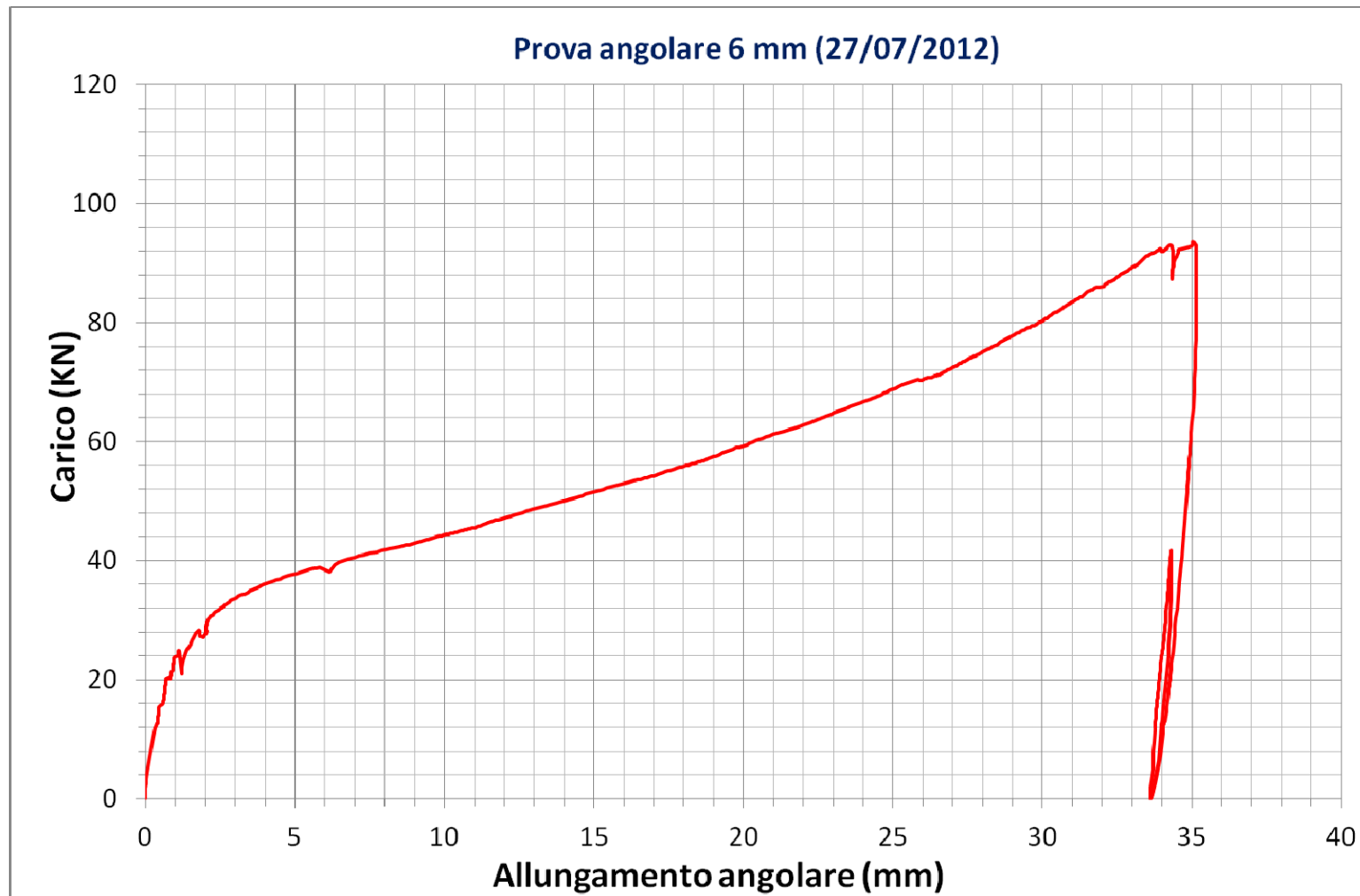
ANGOLARI DI COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

TEST SPERIMENTALI E MODELLI NUMERICI PER VALIDARE LE IPOTESI PROGETTUAL



ANGOLARI DI COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

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

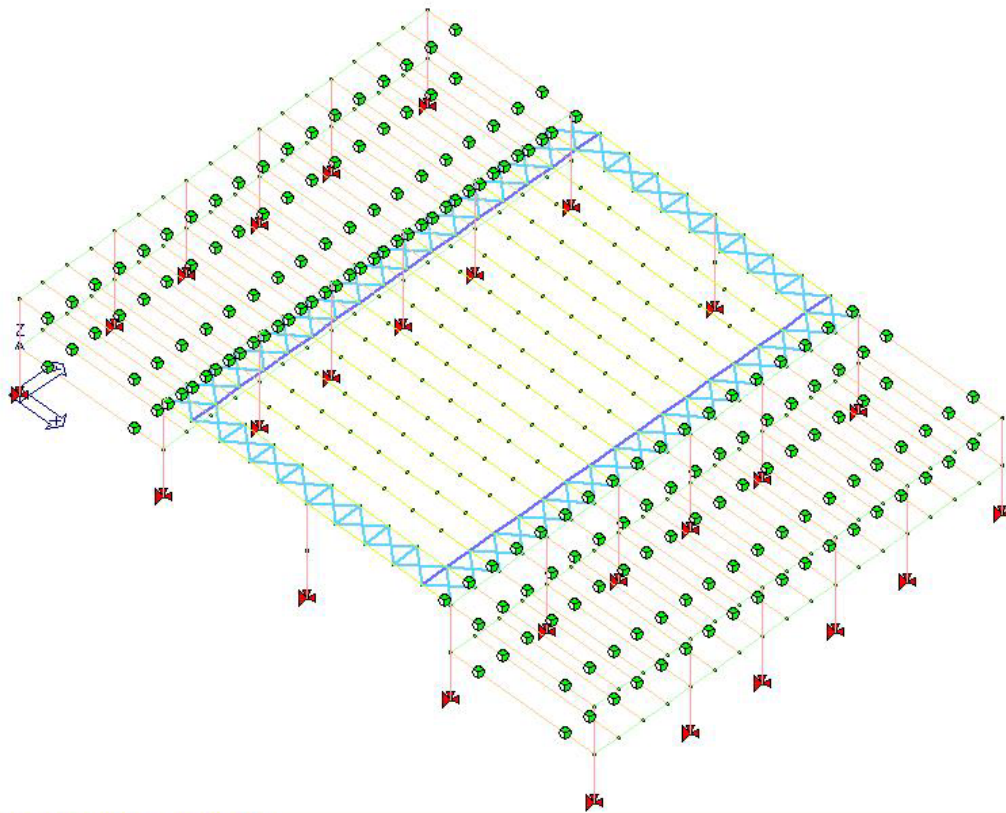


ANGOLARI DI COLLEGAMENTO TRAVE TEGOLO

MODALITA' DI ROTTURA E DUTTILITA'

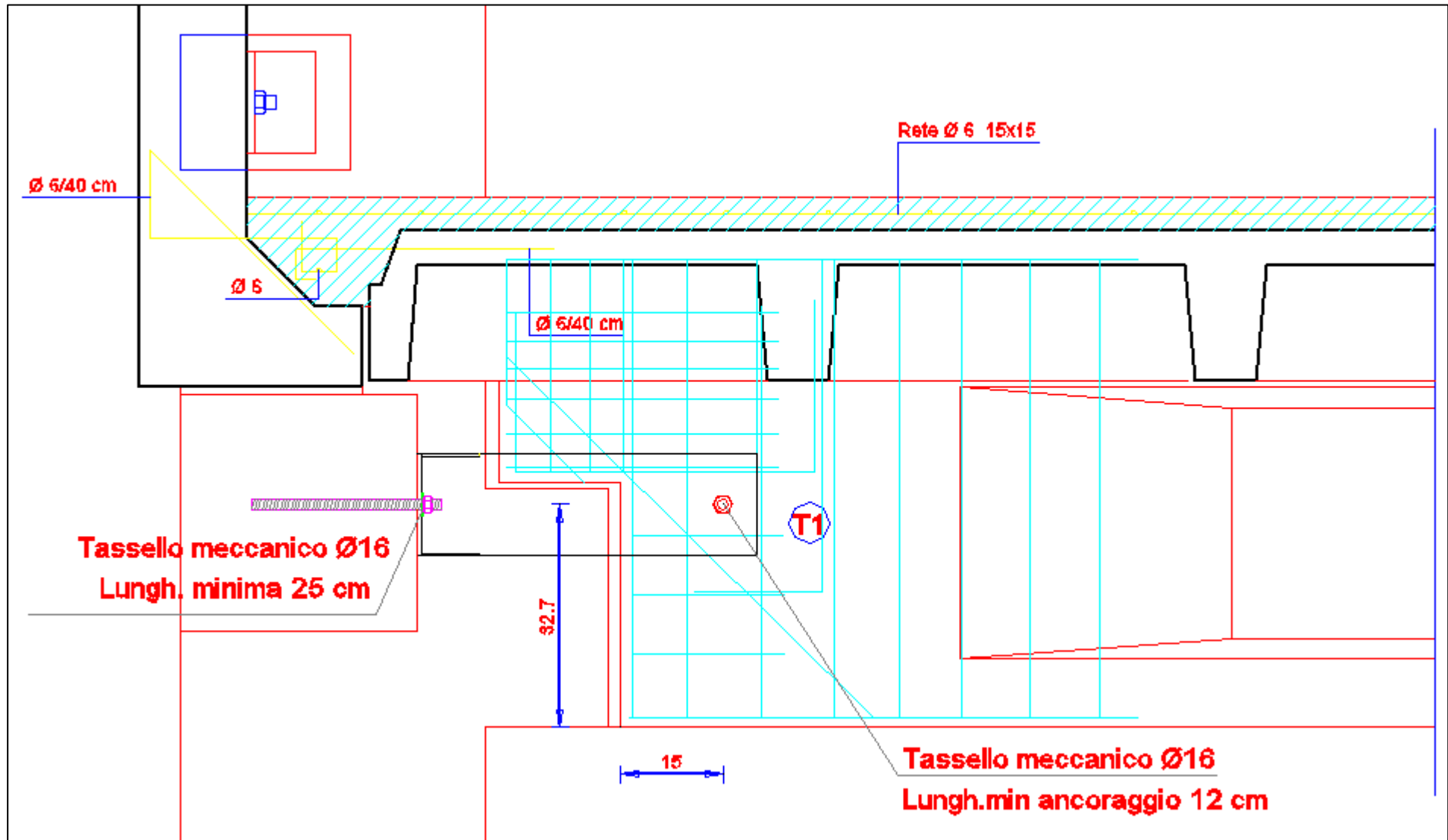


COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO



COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

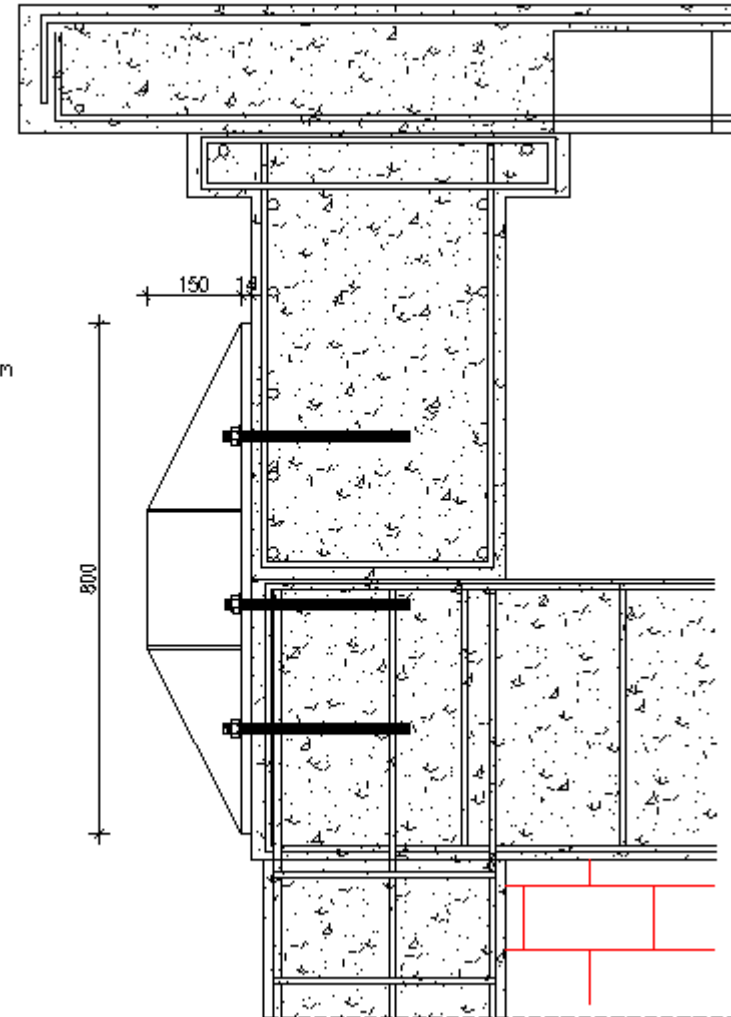
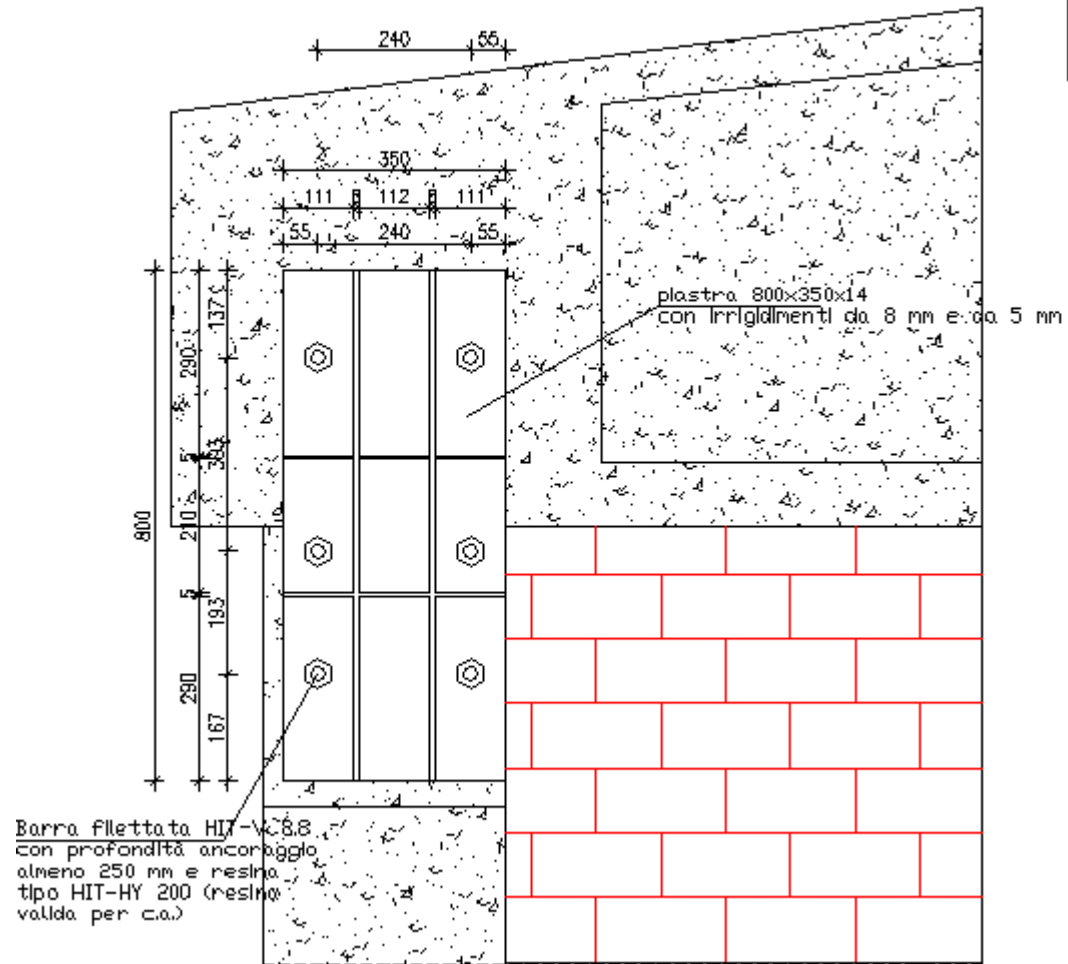
DIMENSIONATI PER RIMANERE IN CAMPO ELASTICO



COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

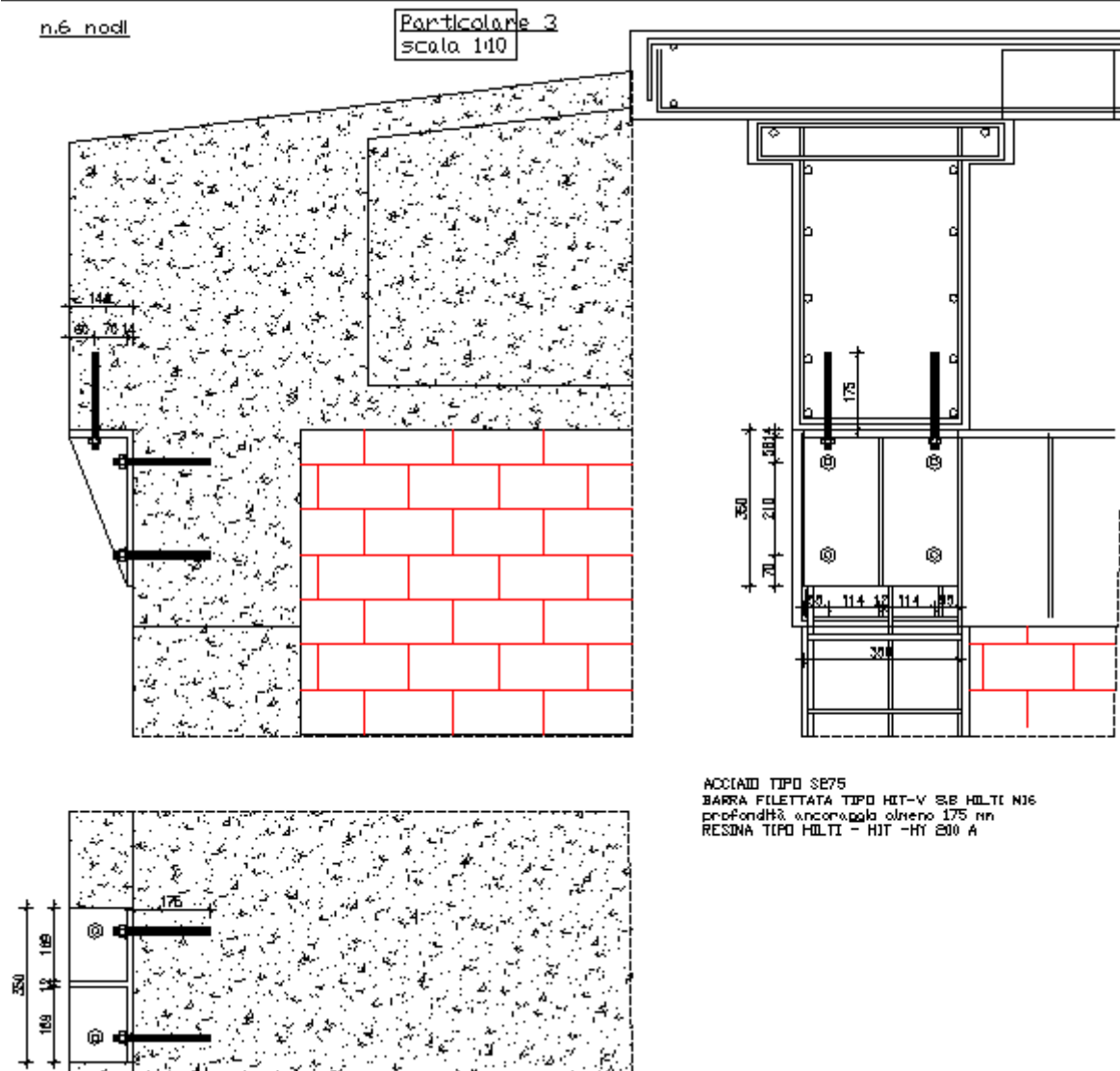
Istituto Pacinotti: Ritegni anti ribaltamento trave

n.8 nodi Particolare 2
scala 1:10



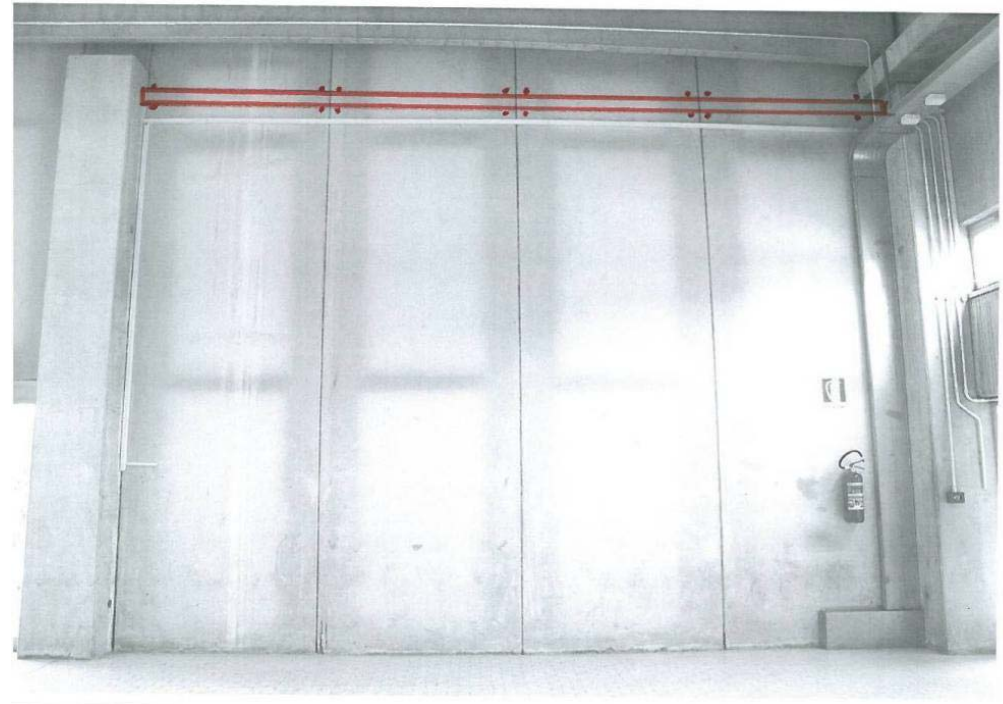
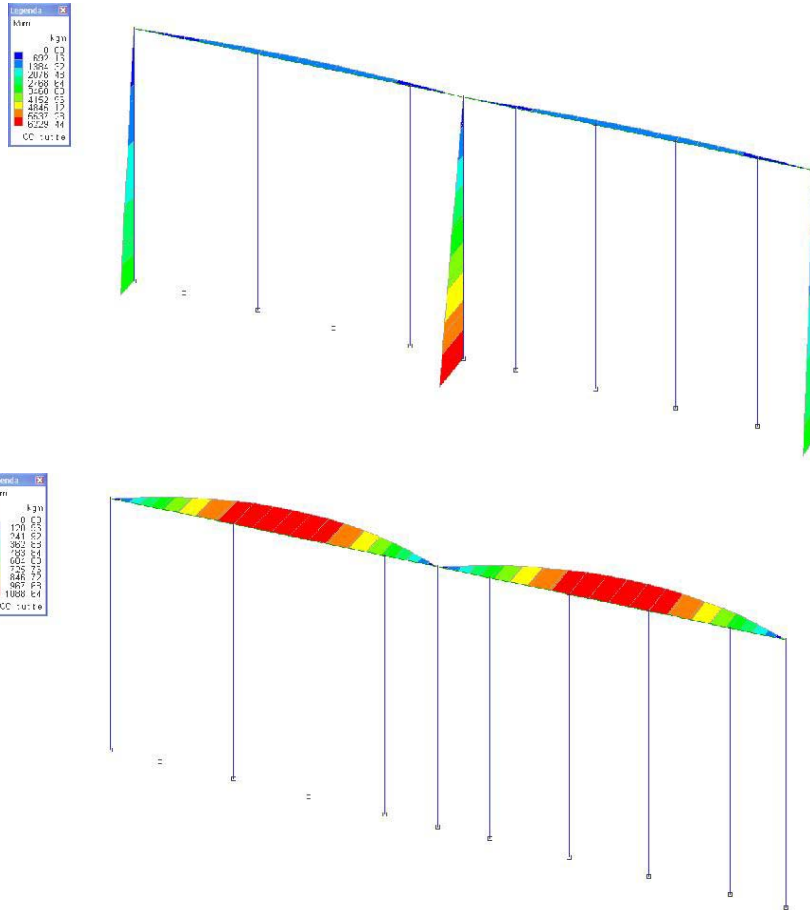
COLLEGAMENTI TRAVE PILASTRO

Istituto Pacinotti: Intervento per evitare lo sfilamento della trave

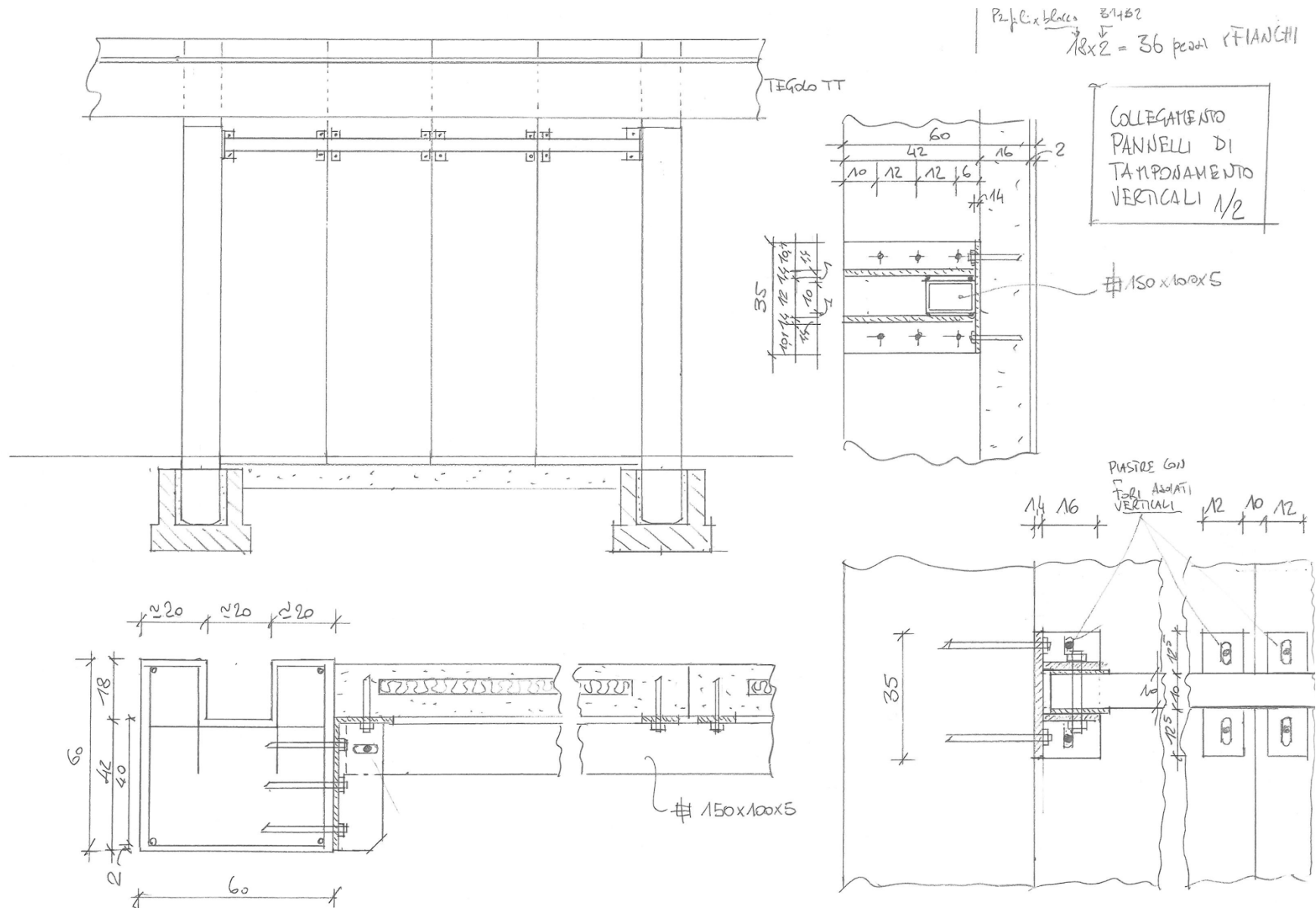


COLLEGAMENTI PANNELLI ESTERNI

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



COLLEGAMENTI PANNELLI ESTERNI

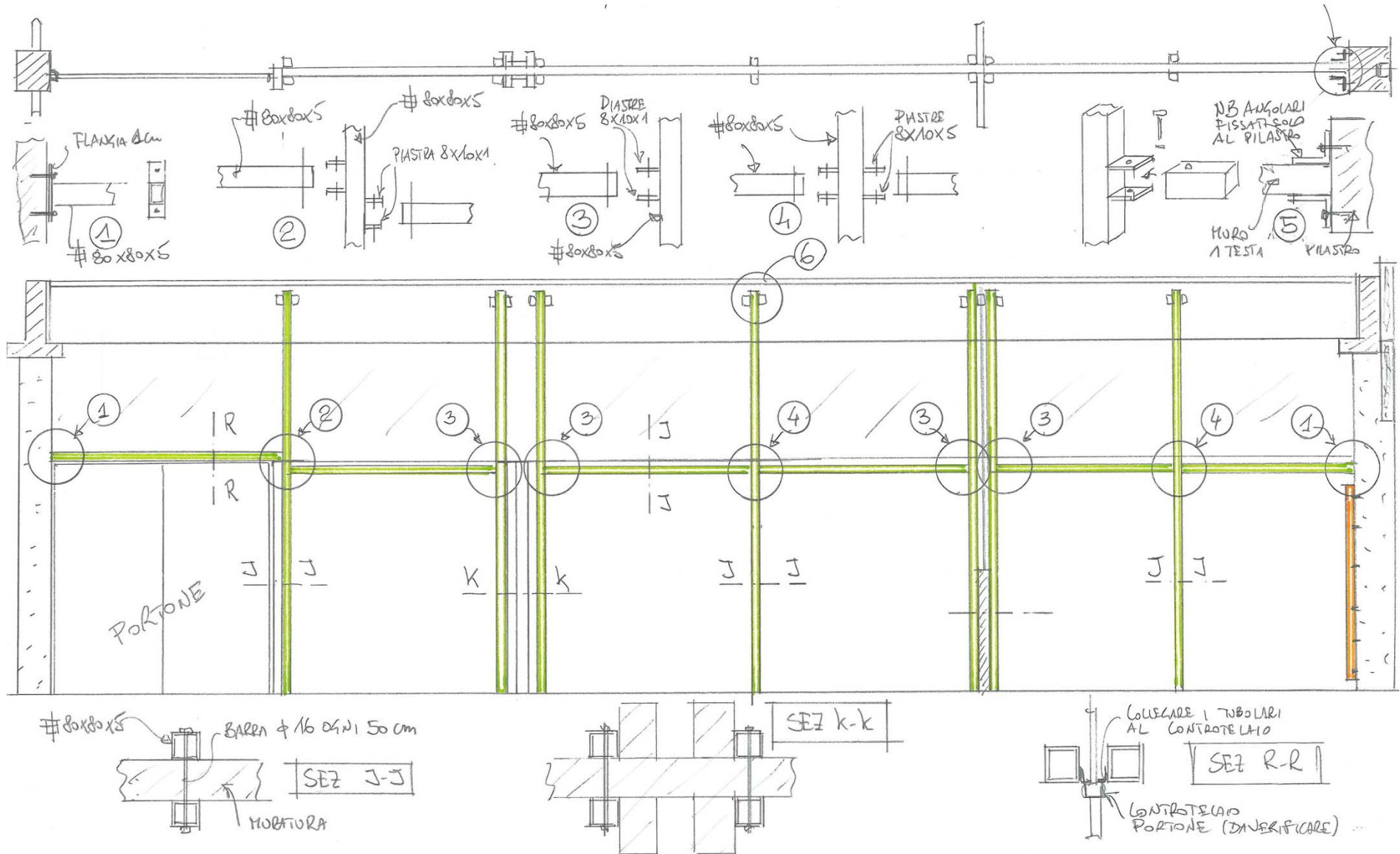


COLLEGAMENTI TAMPONAMENTI INTERNI

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

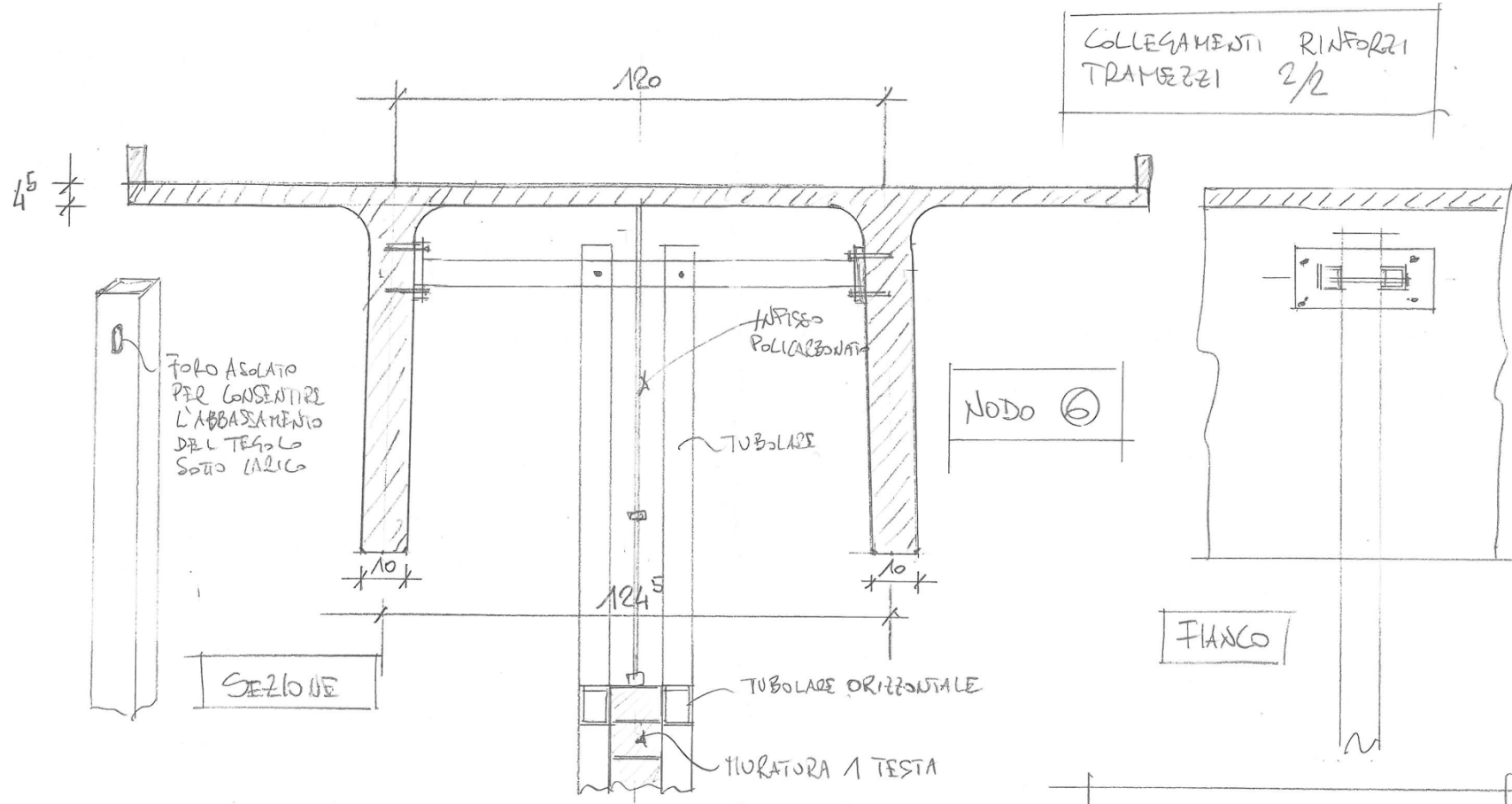


COLLEGAMENTI TAMPONAMENTI INTERNI



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



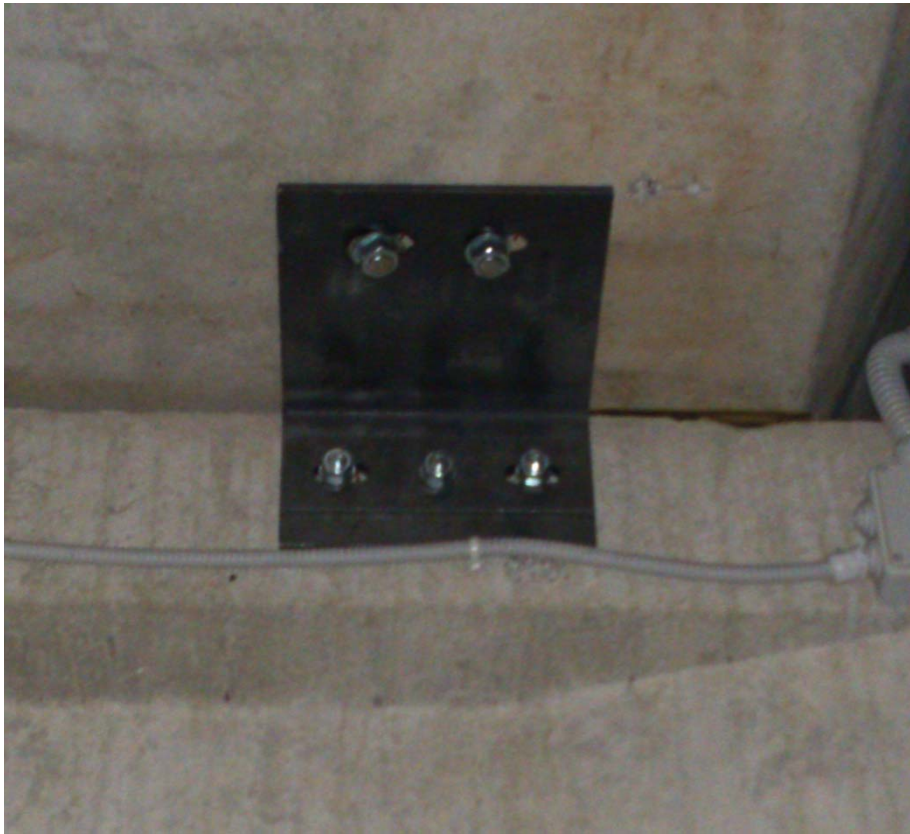
INTERVENTI REALIZZATI

- 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 REALIZZATI

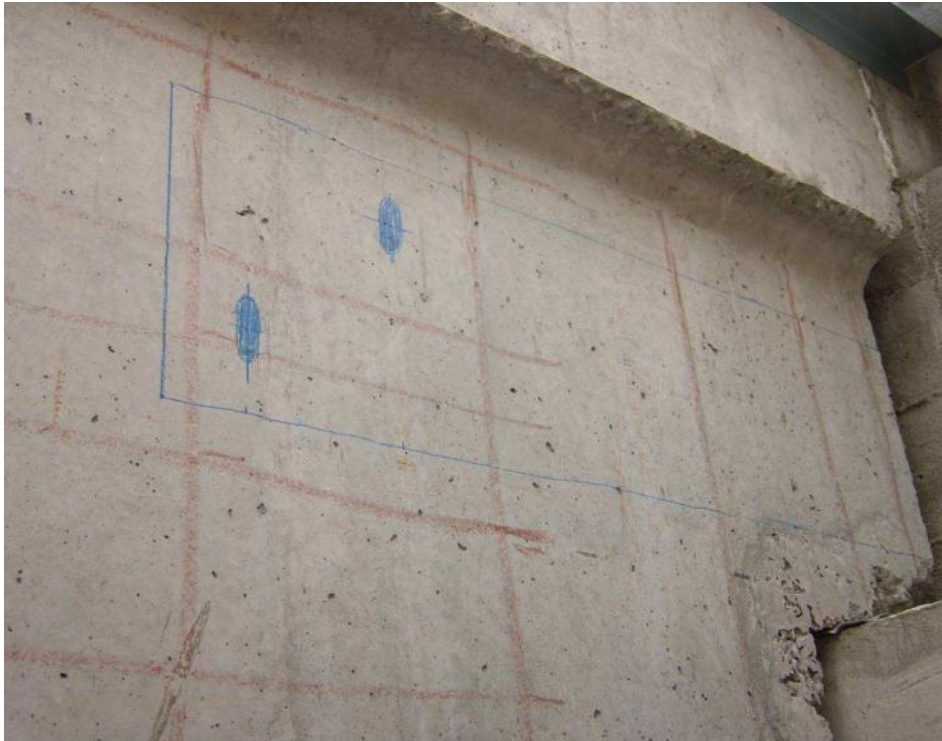
• Scuole Guercino: collegamento tegoli di copertura trave



- 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

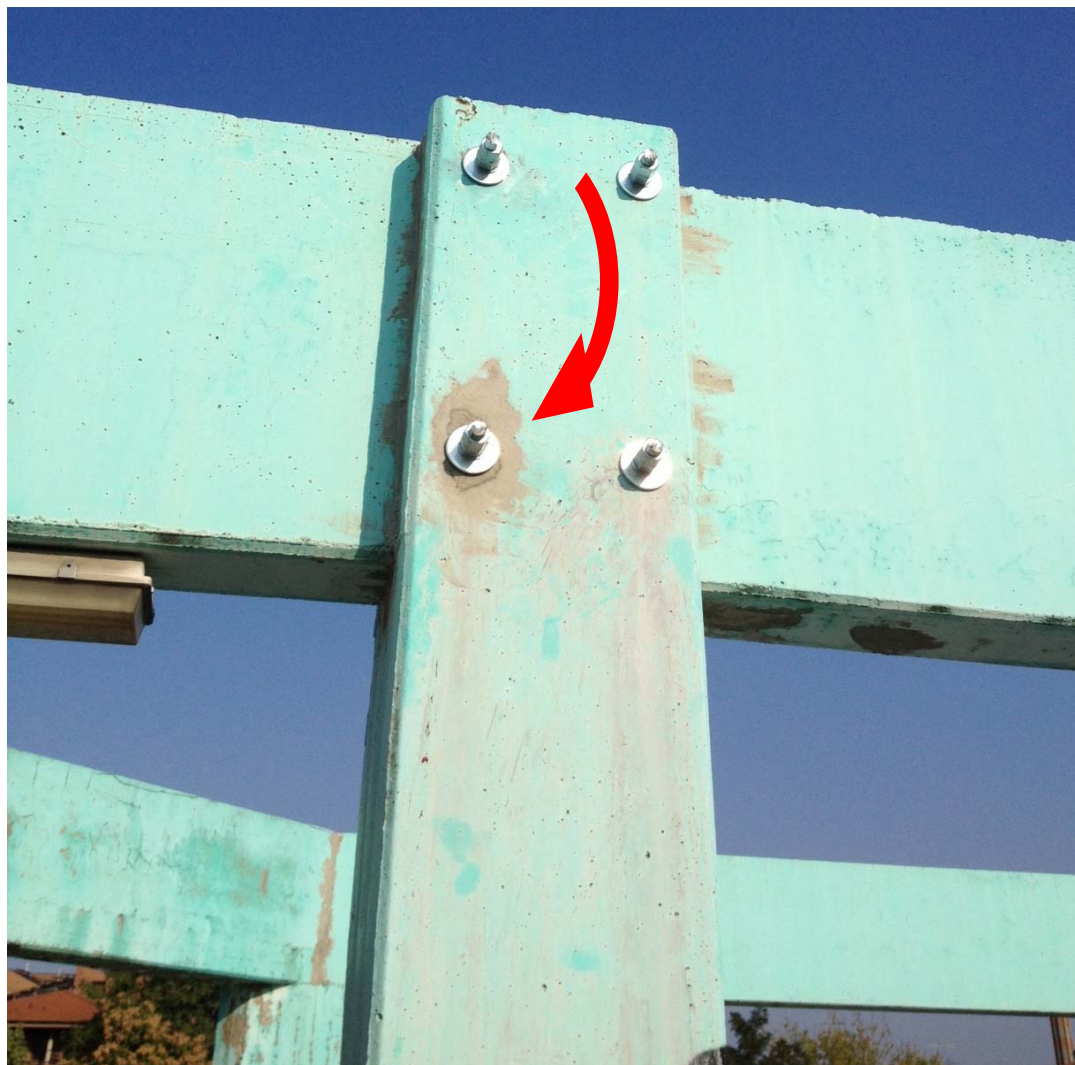
INTERVENTI REALIZZATI

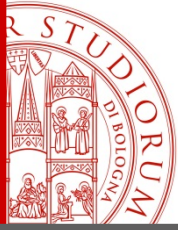
Scuole Carracci: Intervento di collegamento trave-pilastro



INTERVENTI REALIZZATI

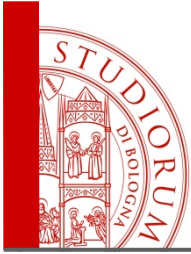
Scuole Carracci: Intervento di collegamento trave-pilastro





CONCLUSIONI

- Richiesta di risorse e tempi «limitati» per l'applicazione della procedura. Minima invasività delle indagini.
- Capacità di accoppiare aspetti prettamente meccanici a valutazioni «esperte» di carattere geometrico-qualitativo.
- Grande attenzione ai reali dettagli costruttivi per dedurne il comportamento meccanico più realistico
- Rispetto delle condizioni al contorno dettate dalla presenza di armature e vincoli geometrici
- Interferenza con gli impianti
- Scrupolosa attenzione in fase di realizzazione



Grazie

Claudio Mazzotti
DICAM – Università di Bologna
claudio.mazzotti@unibo.it

www.unibo.it

CIRI Edilizia e Costruzioni



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA