

**IL RETROFITTING SISMICO DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI E COMMERCIALI**  
**ANCE Veneto – 5 aprile 2017**

# L'adeguamento sismico degli edifici industriali



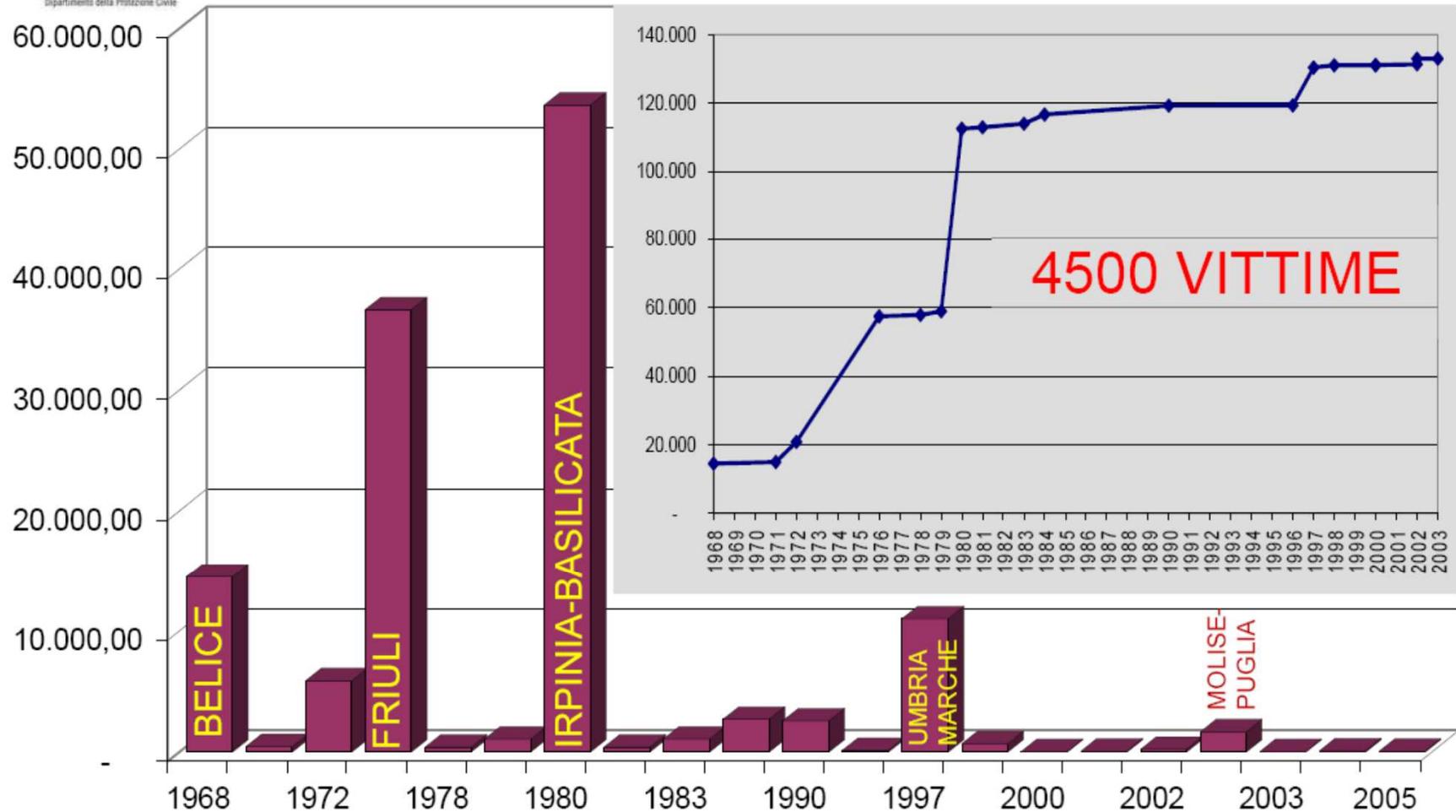
**Prof. Ing. Paolo Riva**  
**Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate (DISA)**  
**Università degli Studi di Bergamo**  
[paolo.riva@unibg.it](mailto:paolo.riva@unibg.it)



# RISCHIO SISMICO



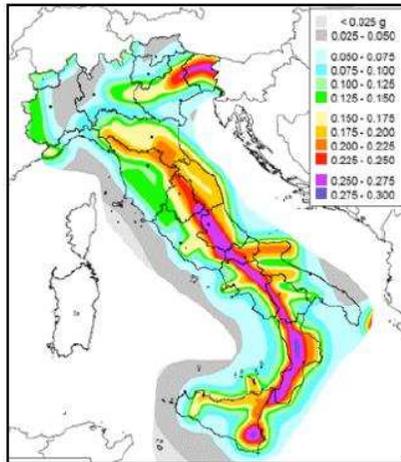
### COSTO TERREMOTI ITALIANI - ULTIMI 45 ANNI (M€-2005)



+ ABRUZZO'09 + EMILIA'12 ~ € 160 Mld → 3-3,5 Mld €/an.

Fonte: Prof. Mauro Dolce – Protezione Civile

E' un concetto generale che comprende sia la probabilità dell'evento, sia le conseguenze che l'evento stesso potrebbe produrre. E' la misura dei danni che, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), ci si può attendere in un dato intervallo di tempo.



**PERICOLOSITA' P**



**VULNERABILITA' V**



**ESPOSIZIONE E**

La pericolosità sismica misura la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una certa soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (PGA). Dipende dal tipo di terremoto, dalla distanza dall'epicentro nonché dalle condizioni geomorfologiche. E' indipendente da ciò che l'uomo ha costruito.

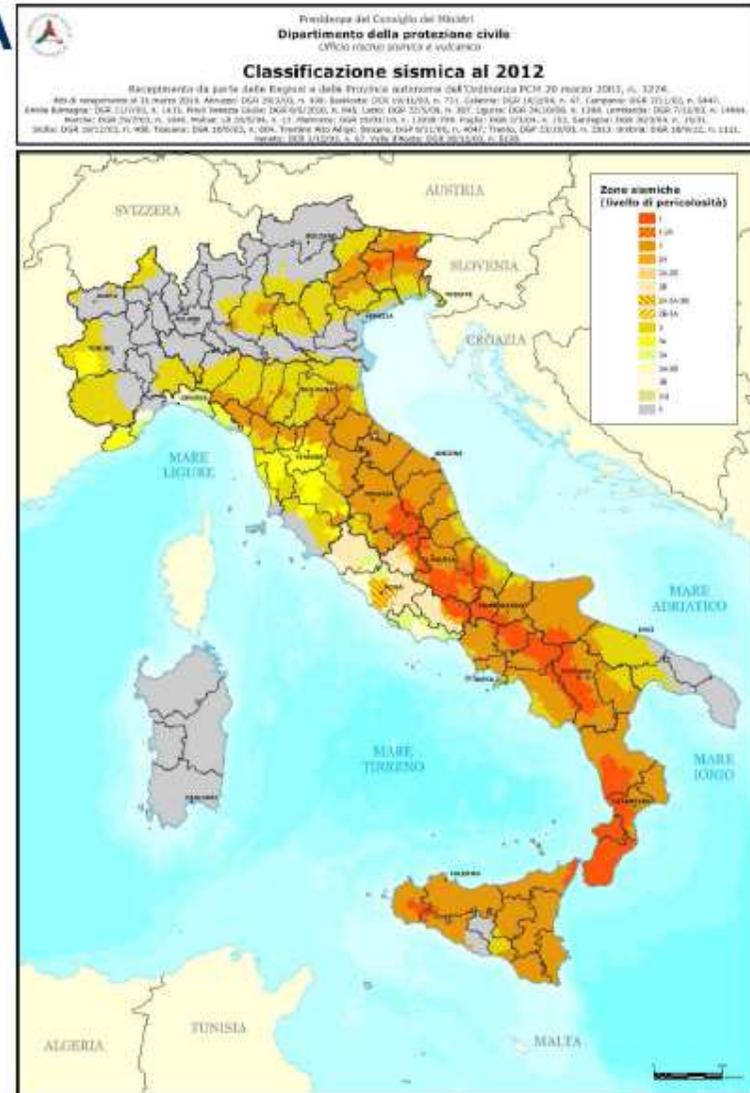
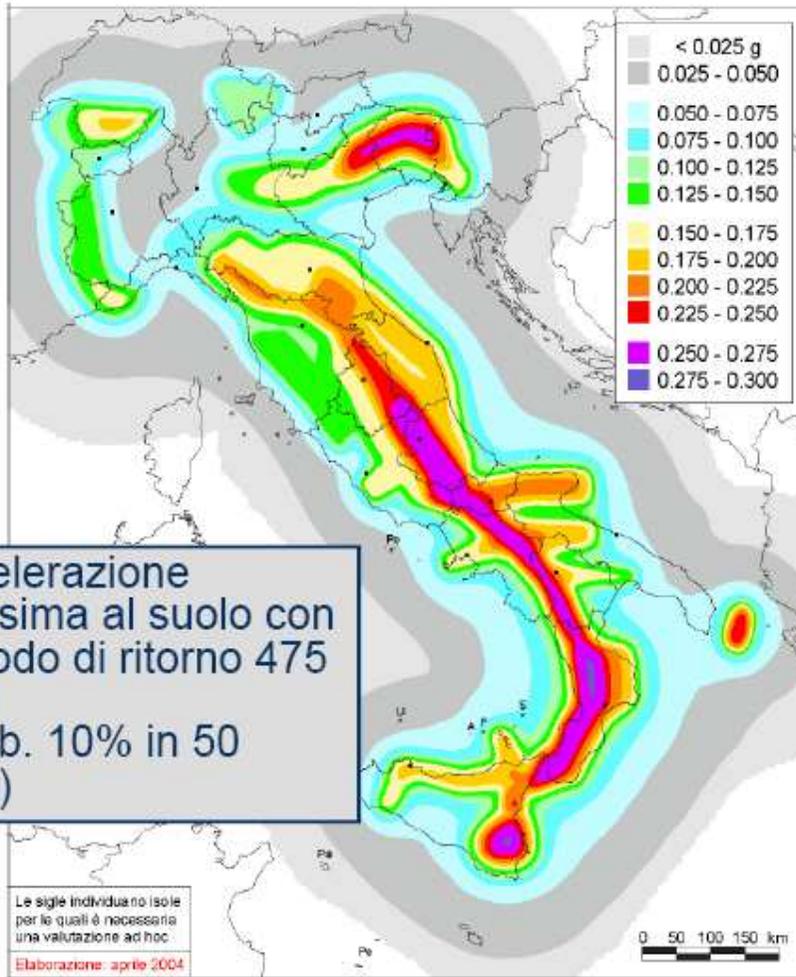
La vulnerabilità esprime la probabilità che una struttura di un certo tipo possa subire un certo livello di danneggiamento a seguito di un terremoto di una determinata intensità. La misura è legata alla definizione e valutazione del danno, che a sua volta è legato alla perdita o riduzione di funzionalità dell'opera.

Misura la presenza di beni a rischio e, dunque, la conseguente possibilità di subire un danno (economico, in vite umane, ai beni culturali, ecc...).

- Prima dell'evento: quantità e qualità dei beni esposti
- Dopo l'evento: valore delle perdite causate dal terremoto: economiche, artistiche, culturali, morti, feriti, senzatetto...



# PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA



Fonte: Prof. Mauro Dolce – Protezione Civile



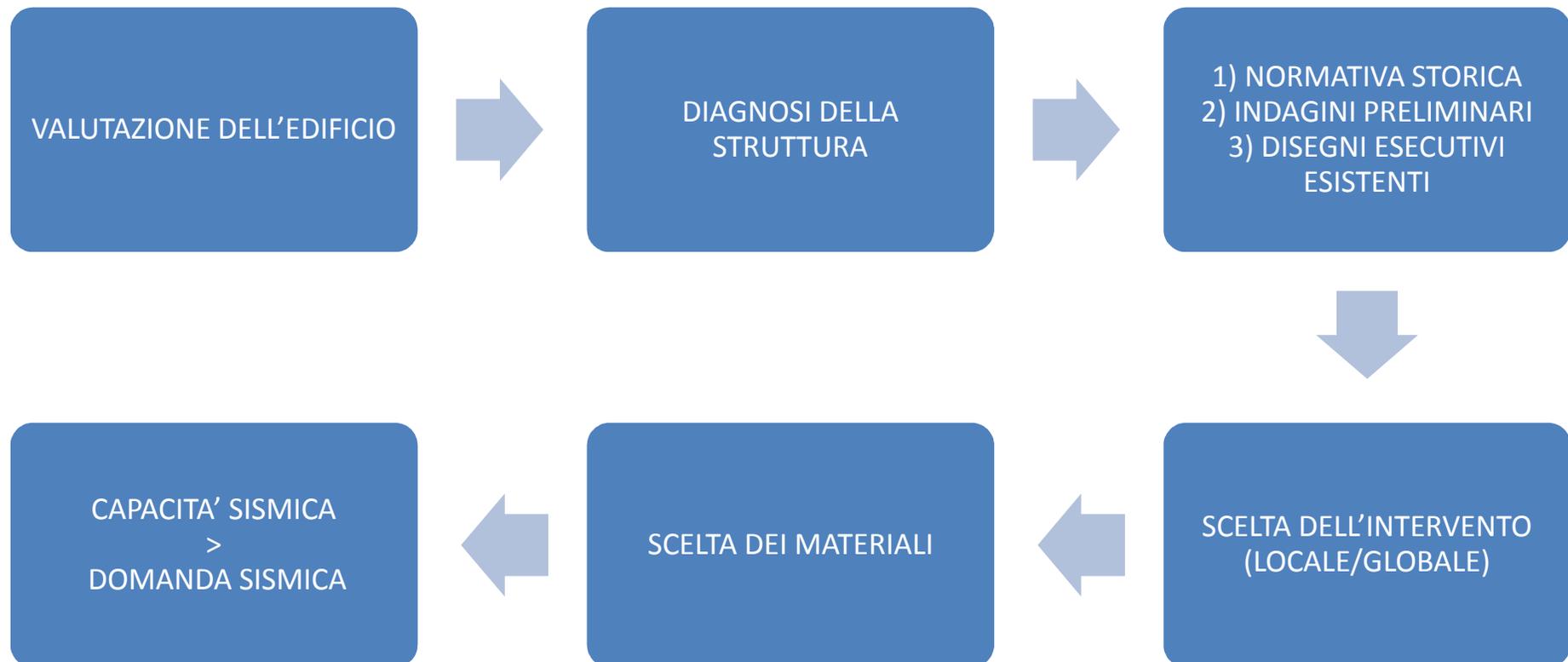
## AZIONI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

- 1. MIGLIORAMENTO DELLE CONOSCENZE**
- 2. RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ E DELL' ESPOSIZIONE**
- 3. MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI**



# VULNERABILITÀ SISMICA DI EDIFICI PREFABBRICATI

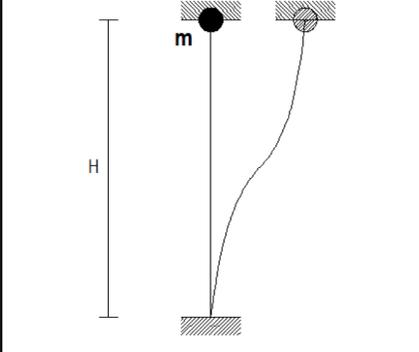
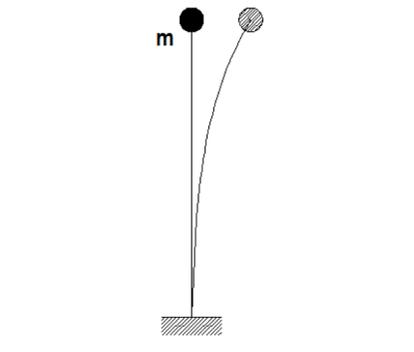
## INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA



## COMPORTAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE: LEZIONI DAL PASSATO

- Una struttura prefabbricata ben progettata può essere caratterizzata da  
PRESTAZIONI SISMICHE POTENZIALMENTE ELEVATE
- La principale causa di risposte sismiche inadeguate in edifici in c.a. gettati in opera è da ricercare nella SCARSA CURA dei PARTICOLARI COSTRUTTIVI:
  - carenza di armatura di confinamento
  - insufficiente lunghezza di sovrapposizione o interruzione delle barre longitudinali
  - scorrimento delle barre di armatura
  - inadeguata resistenza e capacità di spostamento delle connessioni
- Nella prefabbricazione una progettazione efficace consente di evitare il problema di realizzare NODI COMPLICATI IN OPERA CON CONGESTIONE DI ARMATURE, grazie a una produzione in ambiente controllato
- Alcuni problemi delle strutture gettate in opera, quindi, possono essere risolti ricorrendo alla prefabbricazione e all'uso di connessioni prefabbricate
- La principale causa di risposte sismiche inadeguate in edifici prefabbricati è da ricercare nella MANCANZA O INADEGUATEZZA DEI COLLEGAMENTI:
  - Mancanza di collegamento tra travi e pilastri ed elementi di copertura
  - Mancanza di collegamento tra i plinti di fondazione
  - Vincoli privi di duttilità oppure che non consentono spostamenti relativi
  - Vincoli dotati di eccessiva rigidità, non compatibili con le richieste di spostamento

## INFLUENZA DELLO SCHEMA STATICO SULLA RISPOSTA SISMICA

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

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

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

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

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

## INFLUENZA DELLO SCHEMA STATICO SULLA RISPOSTA SISMICA

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

VANTAGGIO INDOTTO DA MODIFICA SCHEMA STRUTTURALE



SPOSTAMENTI RIDOTTI

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

## VALUTAZIONE DELLO SPOSTAMENTO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA PER UN GENERICO EDIFICIO MONOPIANO CON TRAVI INCERNIERATE

- Si calcola lo spostamento associato al raggiungimento dello snervamento alla base del pilastro:

$$\Delta_y = \phi_y \cdot \frac{H}{2} \cdot \frac{2}{3} H = \phi_y \cdot \frac{H^2}{3}$$

- Considerando la relazione proposta da Priestley per sezioni rettangolari tra  $f_y$ ,  $D$  e  $\varepsilon_y$ :

$$\Delta_y = 2,1 \cdot \frac{\varepsilon_y}{D} \cdot \frac{H^2}{3}$$

Con:  $D$  dimensione della sezione del pilastro nella direzione in esame,  $\varepsilon_y$  deformazione a snervamento dell'armatura ed  $H$  altezza del pilastro

- Da cui il drift elastico:

$$drift_{el} = 2,1 \cdot \frac{\varepsilon_y}{D} \cdot \frac{H}{3}$$

- Nell'ipotesi che  $\theta$  sia maggiore di 0.1,  $D$  sarebbe quantomeno pari a 1/10 di  $H$ , da cui si ottiene:

$$drift_{el} = 2,1 \cdot \frac{\varepsilon_y}{\frac{1}{10} H} \cdot \frac{H}{3} = 7 \cdot \varepsilon_y \approx 1,4\%$$

## **INTRODUZIONE: DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI**

Indagini diagnostiche su numerosi edifici esistenti sull'intero territorio nazionale:

- Progettazione ai carichi verticali, con considerazione di azioni orizzontali convenzionali e di modesta entità;
- Mancanza di collegamenti efficaci tra elementi verticali e orizzontali;
- Collasso collegamenti pannello-struttura;
- Martellamento fra elementi adiacenti;
- Mancanza di confinamento e instabilità delle barre d'armatura



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



# COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE

## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

### PERDITA DI APPOGGIO



## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI PERDITA DI APPOGGIO



## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA ORIZZONTALI





## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI COLLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA VERTICALI





## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI DANNI AI PILASTRI



## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI DANNI AI PILASTRI



## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI DANNI ALLE FORCELLE



## DIAGNOSI SUGLI EDIFICI ESISTENTI DANNI ALLE FORCELLE





# INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO: PRINCIPI

## **PRINCIPI E OBIETTIVI**

La messa in sicurezza di edifici prefabbricati si base sui seguenti interventi strategici

- ➔ **Confinare la sezione di base dei pilastri – solo se strettamente indispensabile**
- ➔ **Limitare gli spostamenti in sommità per evitare la perdita di appoggio**
- ➔ **Creare nuovi vincoli efficaci**
- ➔ **Impedire la rotazione fuori piano di travi alte e capriate di copertura**
- ➔ **Inserire sistemi di ritenuta antiribaltamento per i pannelli di facciata**
- ➔ **Offrire stabilita' indipendente dalla struttura per le scaffalature**

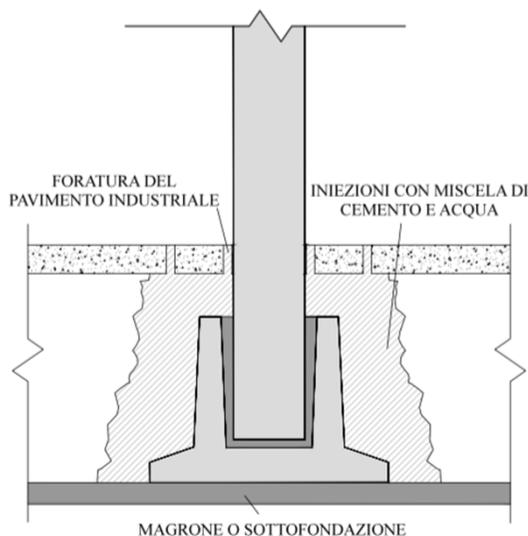
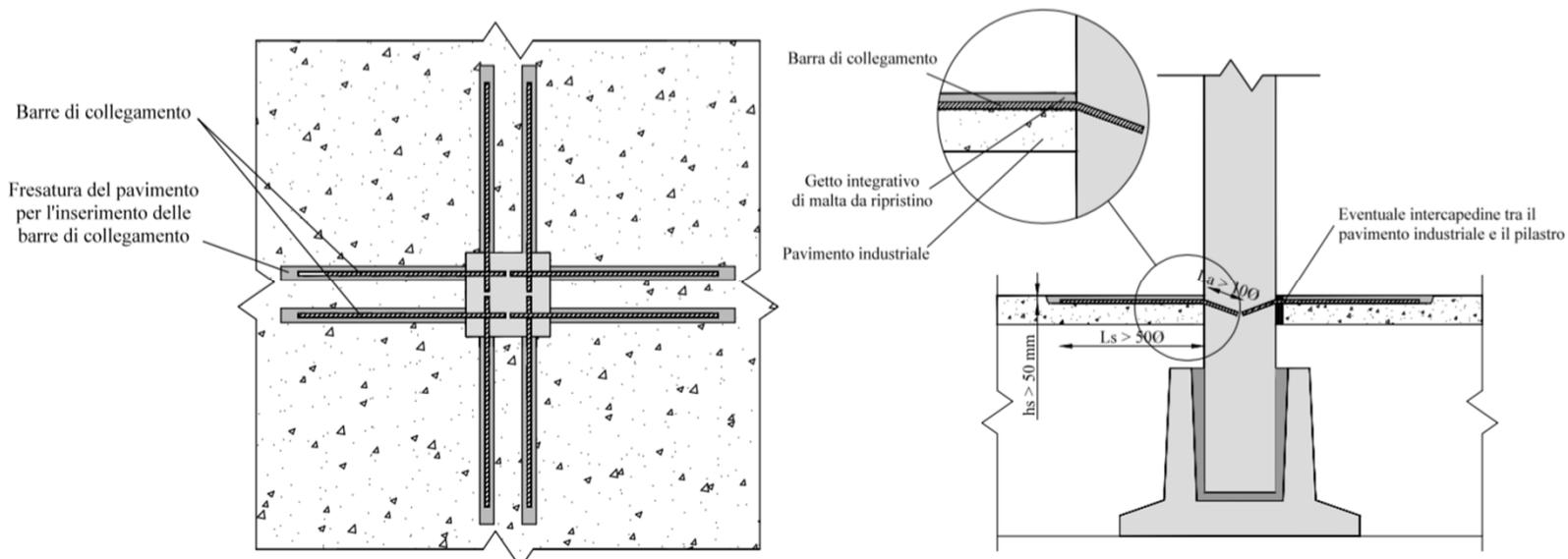
**SOLO PER EDIFICI DANNEGGIATI DA SISMA ED IN ASSENZA DI VALUTAZIONI APPROFONDITE,  
Gli Interventi Devono Manternere lo Schema Statico e la Rigidezza del Sistema Originale per  
Evitare l'Incremento di Sollecitazioni e il Rischio di Collasso della Struttura**



## TIPOLOGIE DI COLLEGAMENTO

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

## RINFORZO PILASTRO-FONDAZIONE



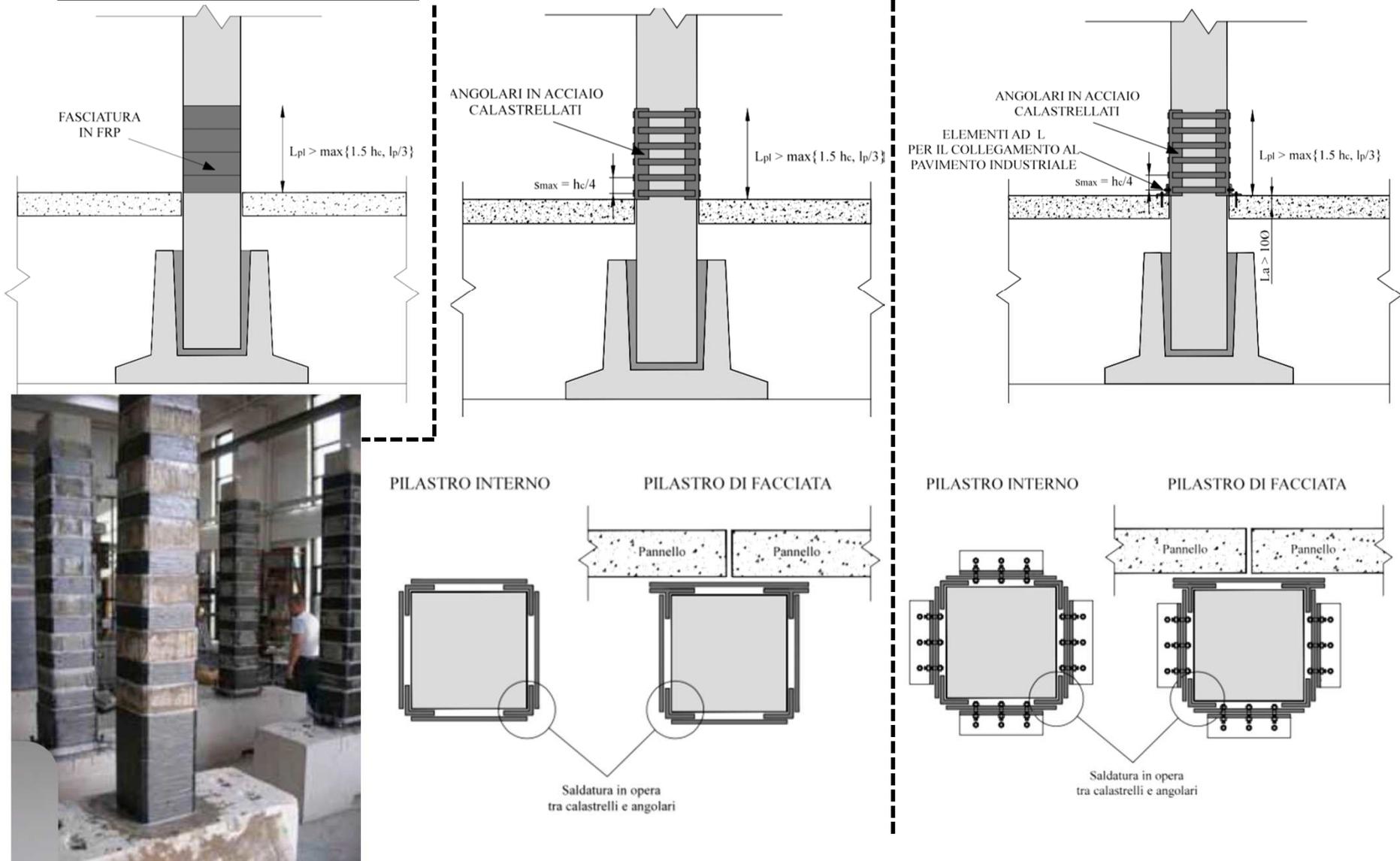
### Vantaggi:

- Incremento sensibile della resistenza del sistema di fondazione al sisma

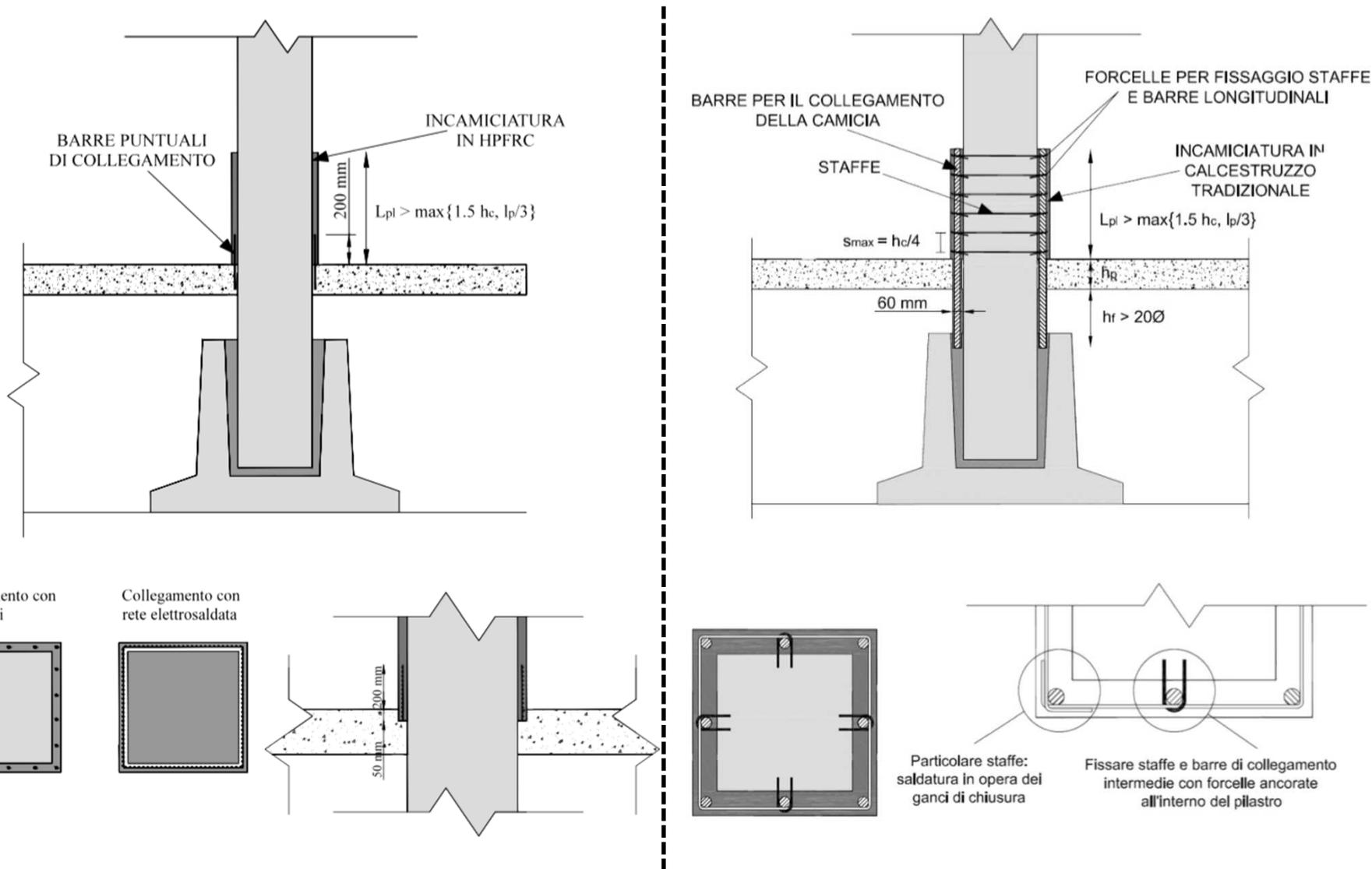
### Svantaggi:

- Costo elevato ed esecuzione complessa
- Non realizzabili in presenza di pavimenti con finiture di pregio

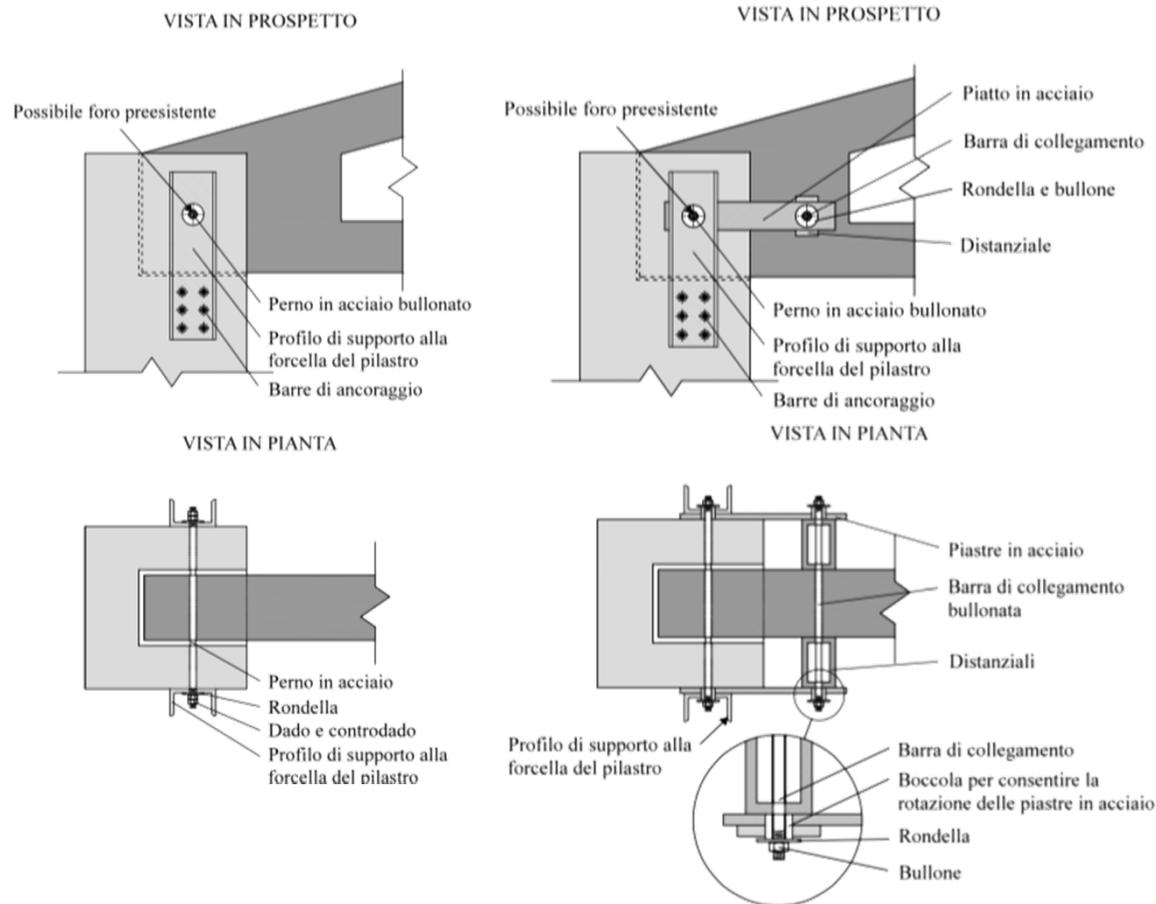
## RINFORZO DI PILASTRI



## RINFORZO DI PILASTRI



## RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO



- *Semplicità esecutiva e velocità della messa in opera*
- *Necessaria la valutazione della resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave*
  - ▣ *Possibilità di installazione di dissipatori sismici*

## RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

### PRINCIPALI DANNI:

- Insufficiente capacità di spostamento e di deformazione
- Insufficiente resistenza dell'ancoraggio
- Elementi non interferenti con la struttura



COLLASSO delle  
CONNESSIONI  
PANNELLO-STRUTTURA

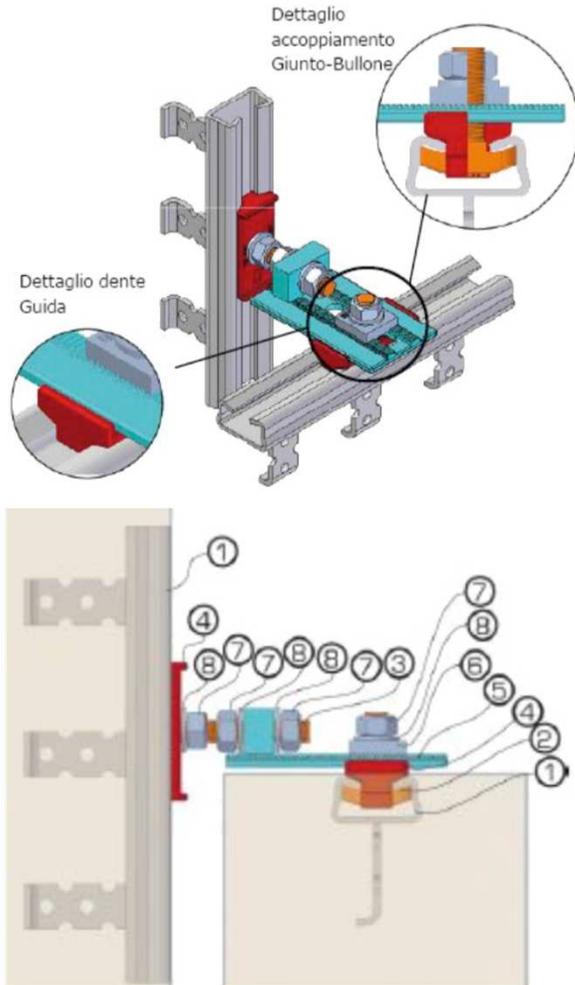


SOSTITUZIONE E/O RINFORZO delle CONNESSIONI

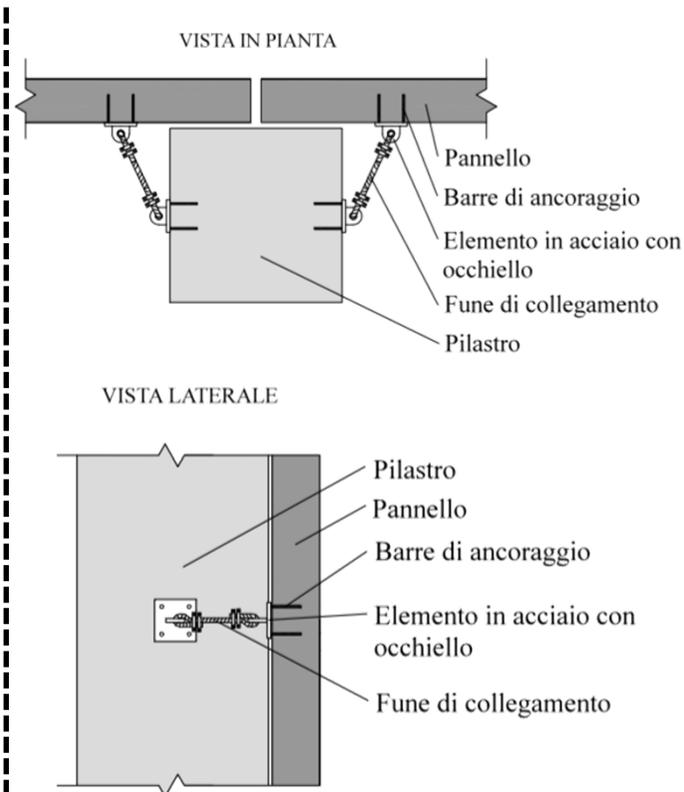


- Per consentire maggiore capacità di deformazione
- Per consentire maggiore capacità di spostamento

## RINFORZO DEL COLLEGAMENTO DI PANNELLI

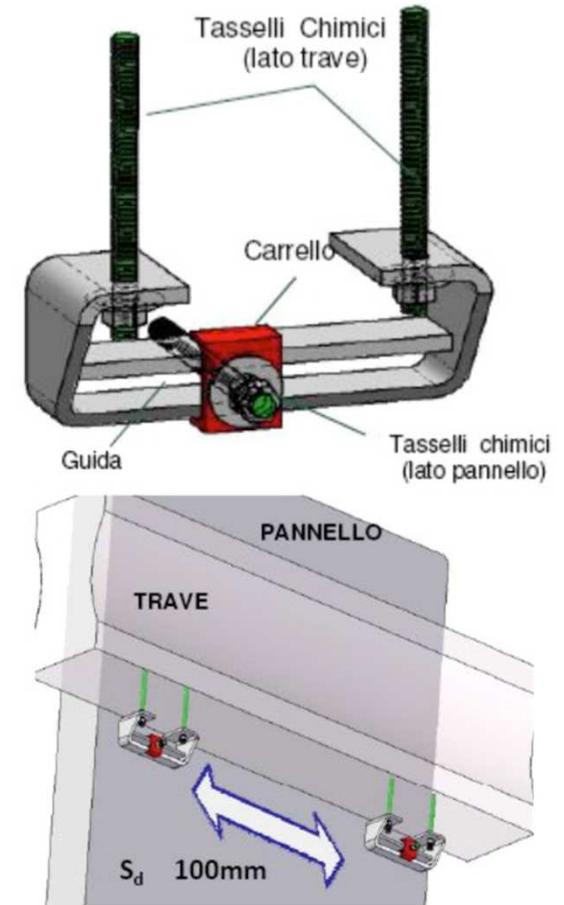


**Vincoli in acciaio scorrevoli  
(pannelli orizzontali)**



### Cavetti

*Semplicità esecutiva  
Velocità messa in opera*

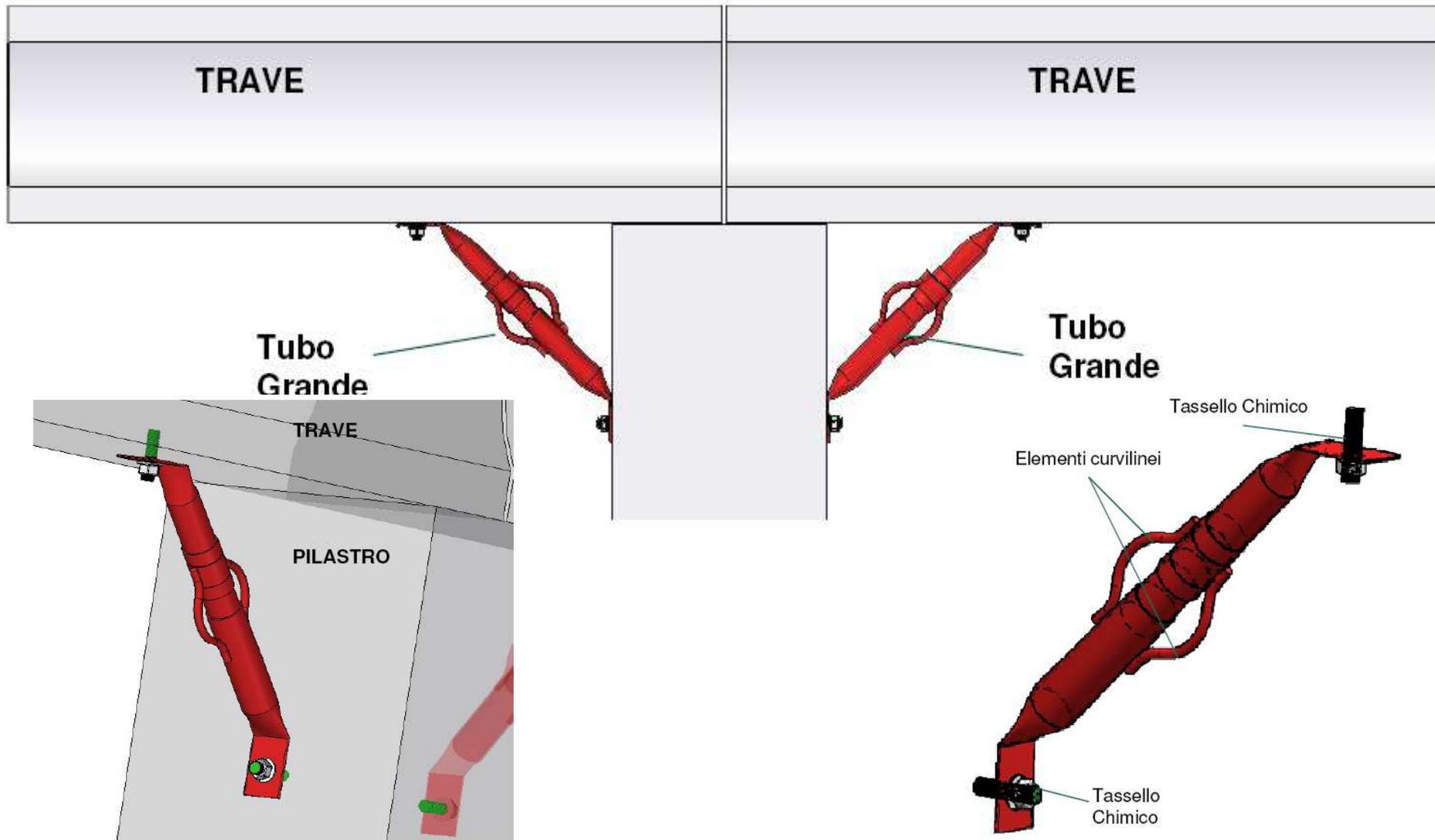


**Elementi in acciaio  
scorrevoli  
(pannelli verticali)**

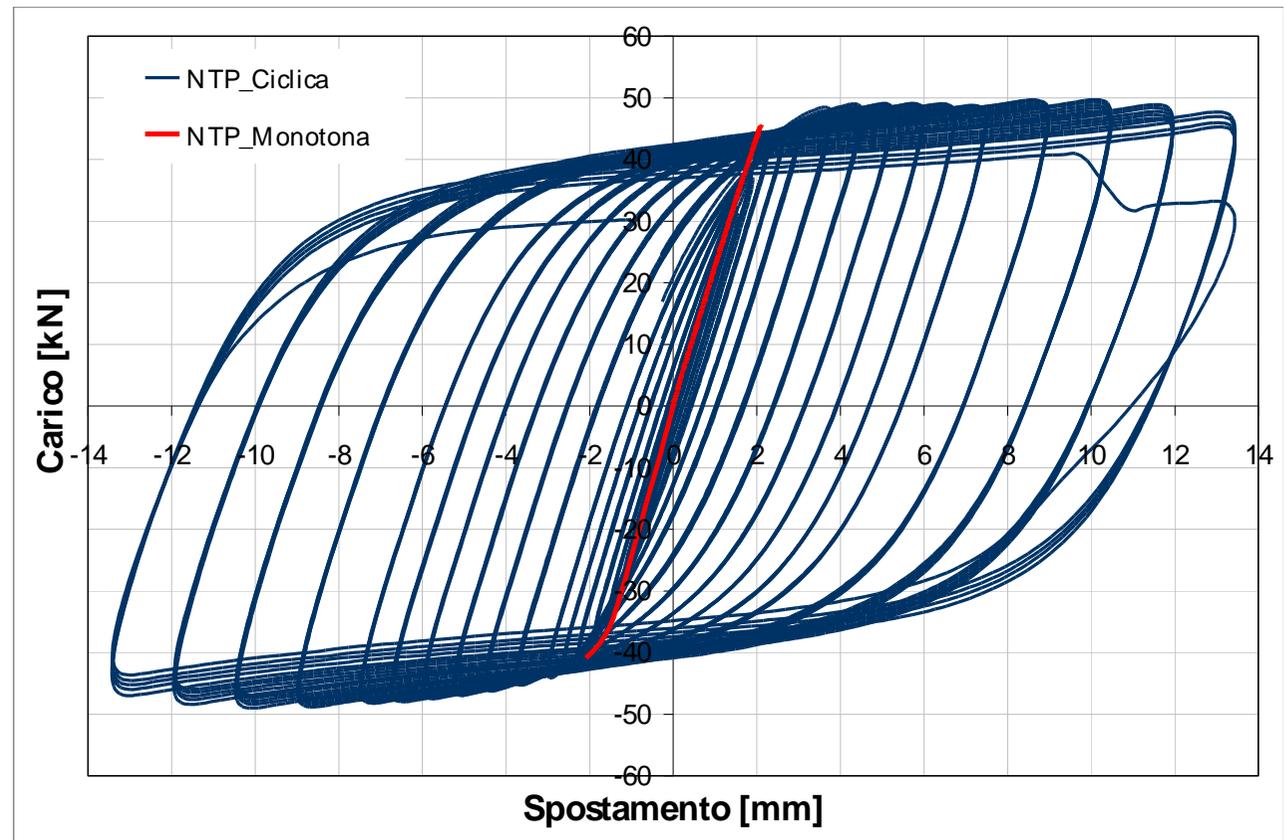


# **RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO**

## COLLEGAMENTO MEDIANTE ELEMENTI LINEARI DISSIPATIVI



## COLLEGAMENTO MEDIANTE ELEMENTI LINEARI DISSIPATIVI





# RINFORZO CONNESSIONE TRAVE - TEGOLO

## RINFORZO DEL COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

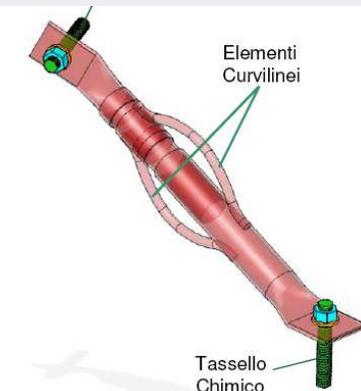
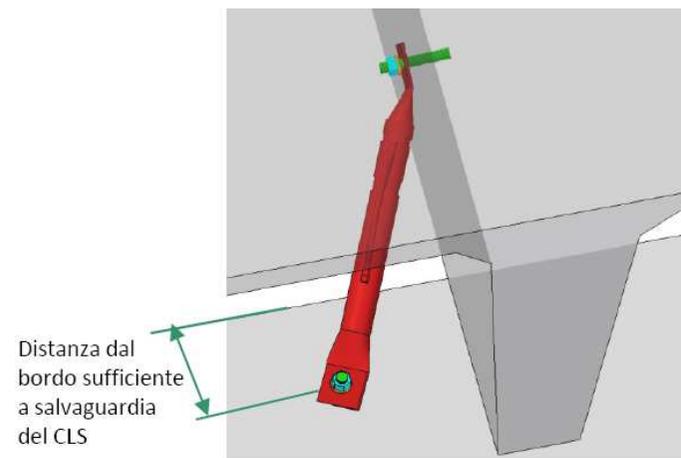
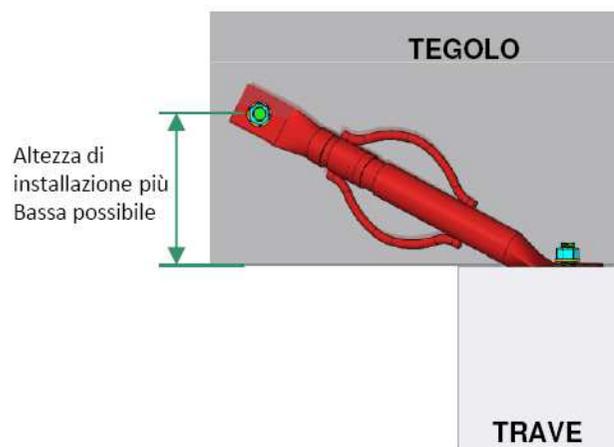
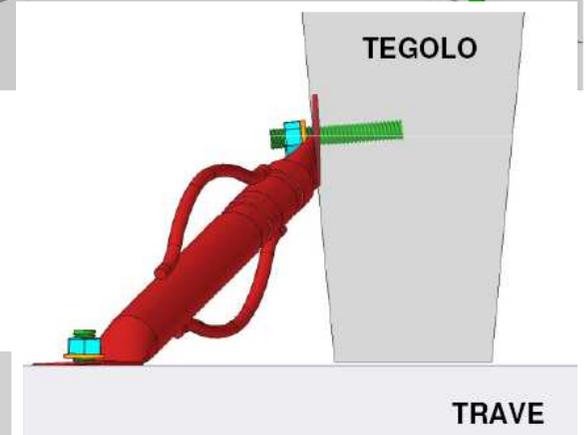
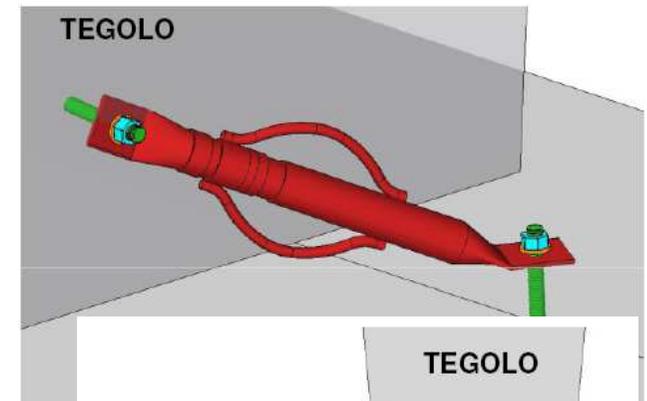
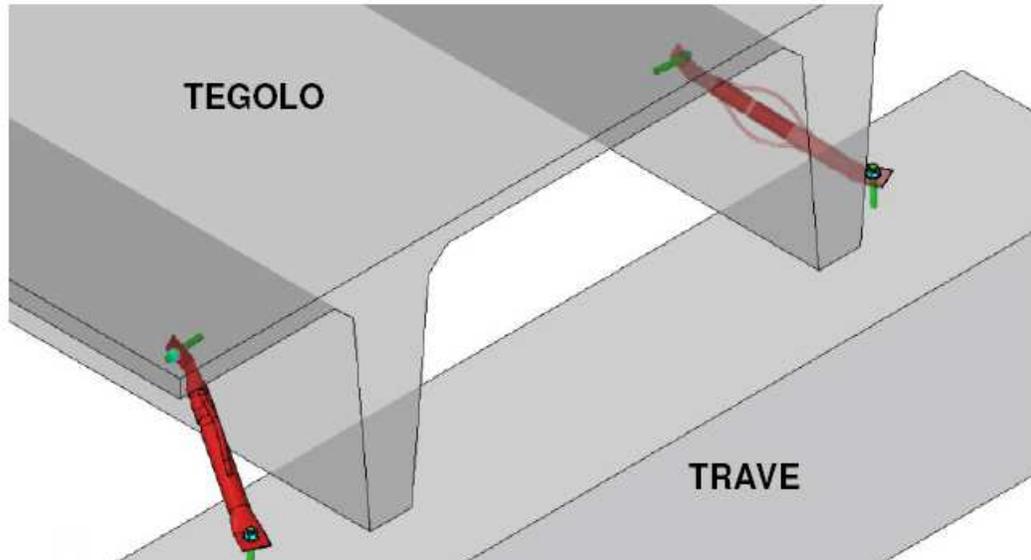
- PROBLEMI DI PERDITA DELL'APPOGGIO



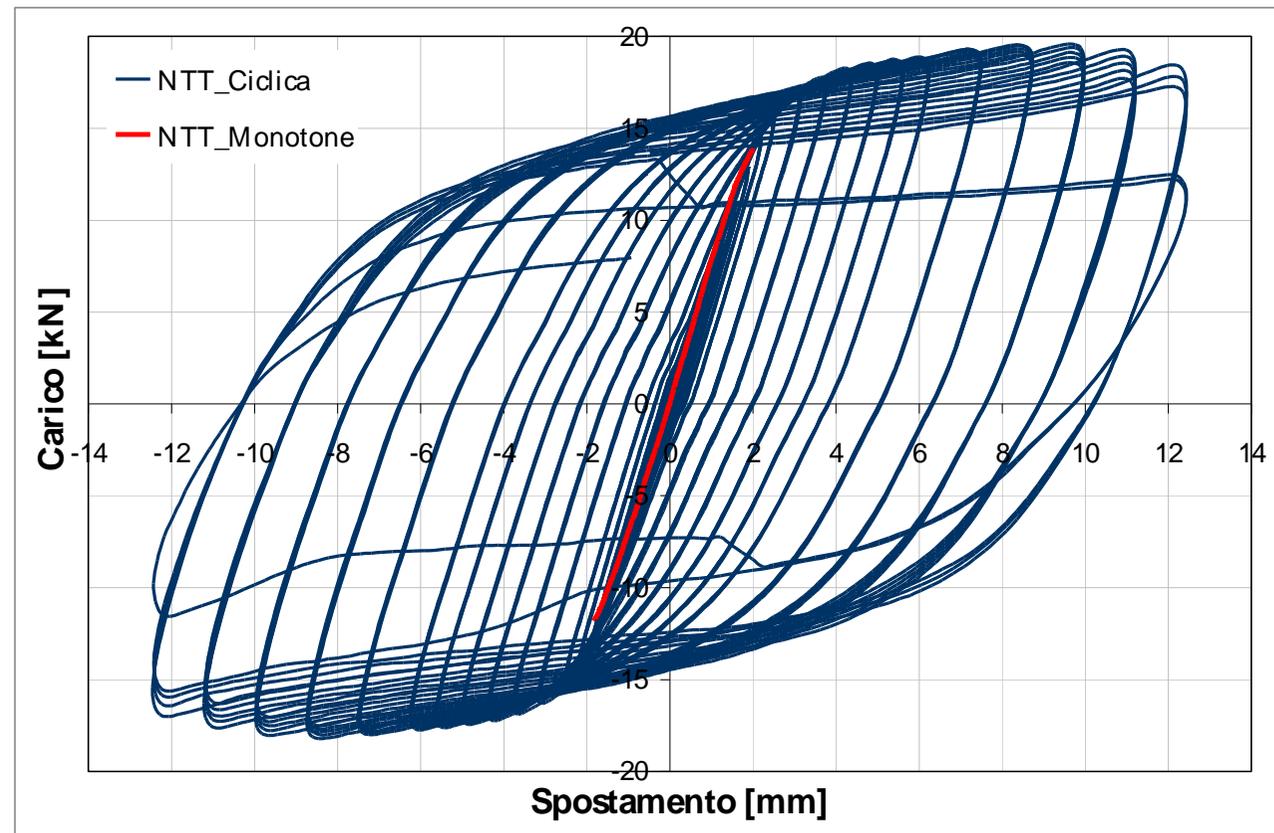
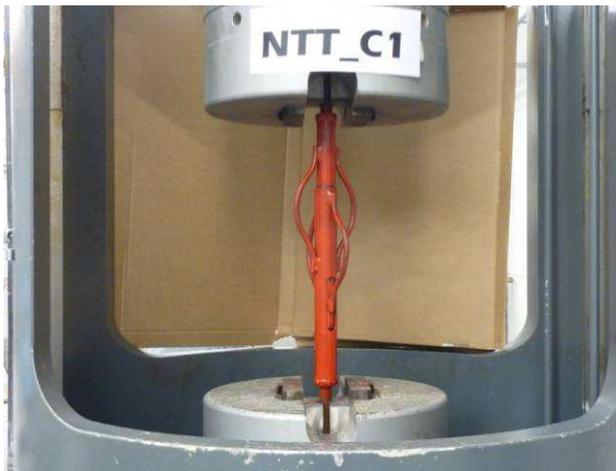
**GLI ELEMENTI NON SONO IN  
GRADO DI SOSTENERE GLI  
SPOSTAMENTI IMPOSTI DAL SISMA**

- Miglioramento del vincolo trave-pilastro per impedire la caduta del tegolo dalla trave
- Sostituzione del perno esistente nel caso in cui esso non sia sufficiente
- Inserimento di un vincolo nel caso in cui il tegolo fosse semplicemente appoggiato

## COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI



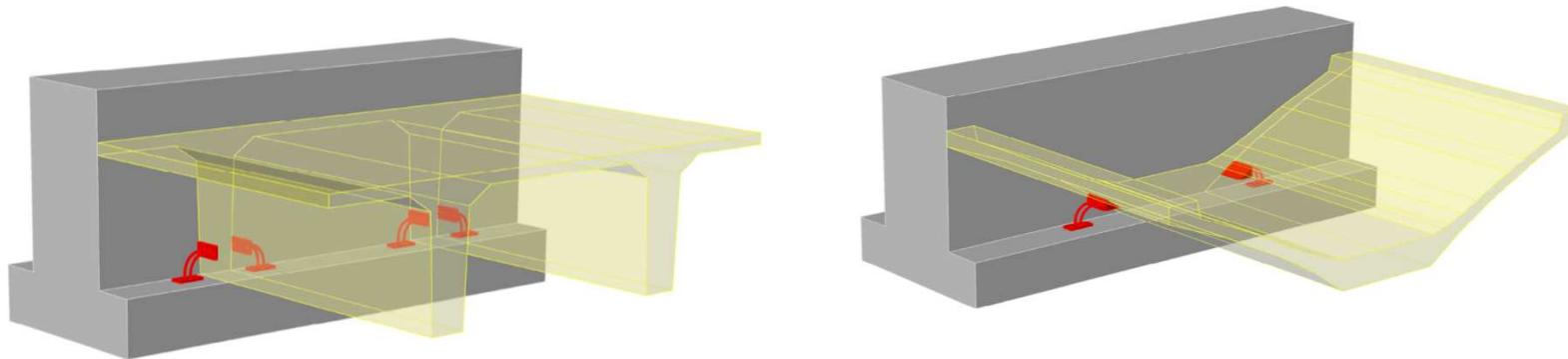
## COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI



## COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI DISSIPATORE METALLICO

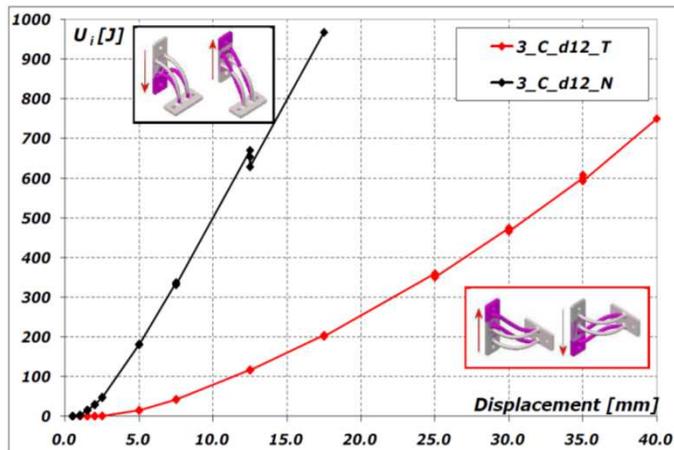
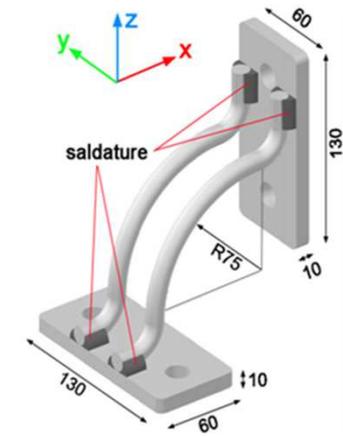
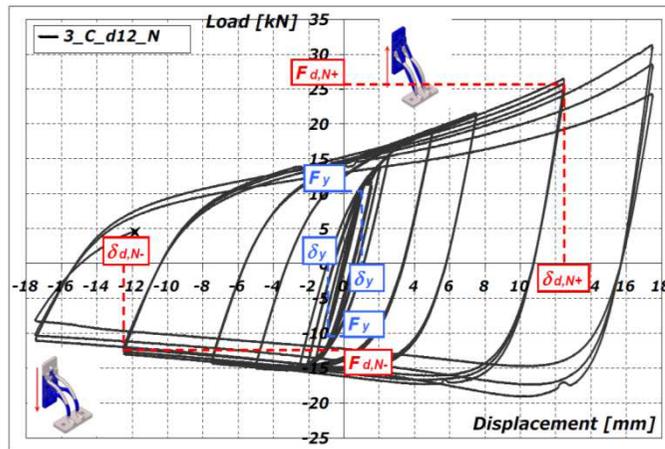
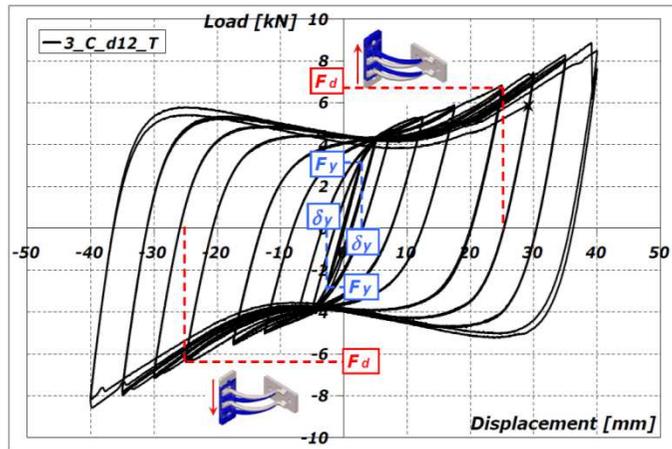


la plasticizzazione degli elementi curvilinei garantisce la possibilità di sviluppare elevate deformazioni tra gli elementi collegati, limitando allo stesso tempo l'azione trasmessa dal tegolo alla trave in caso di un evento sismico

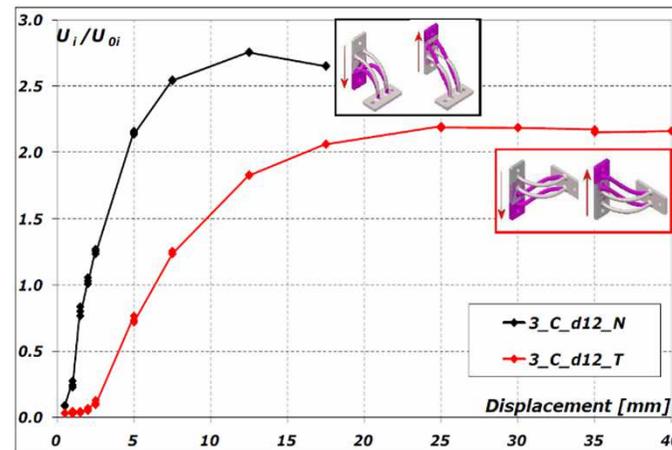


# COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO

## UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI

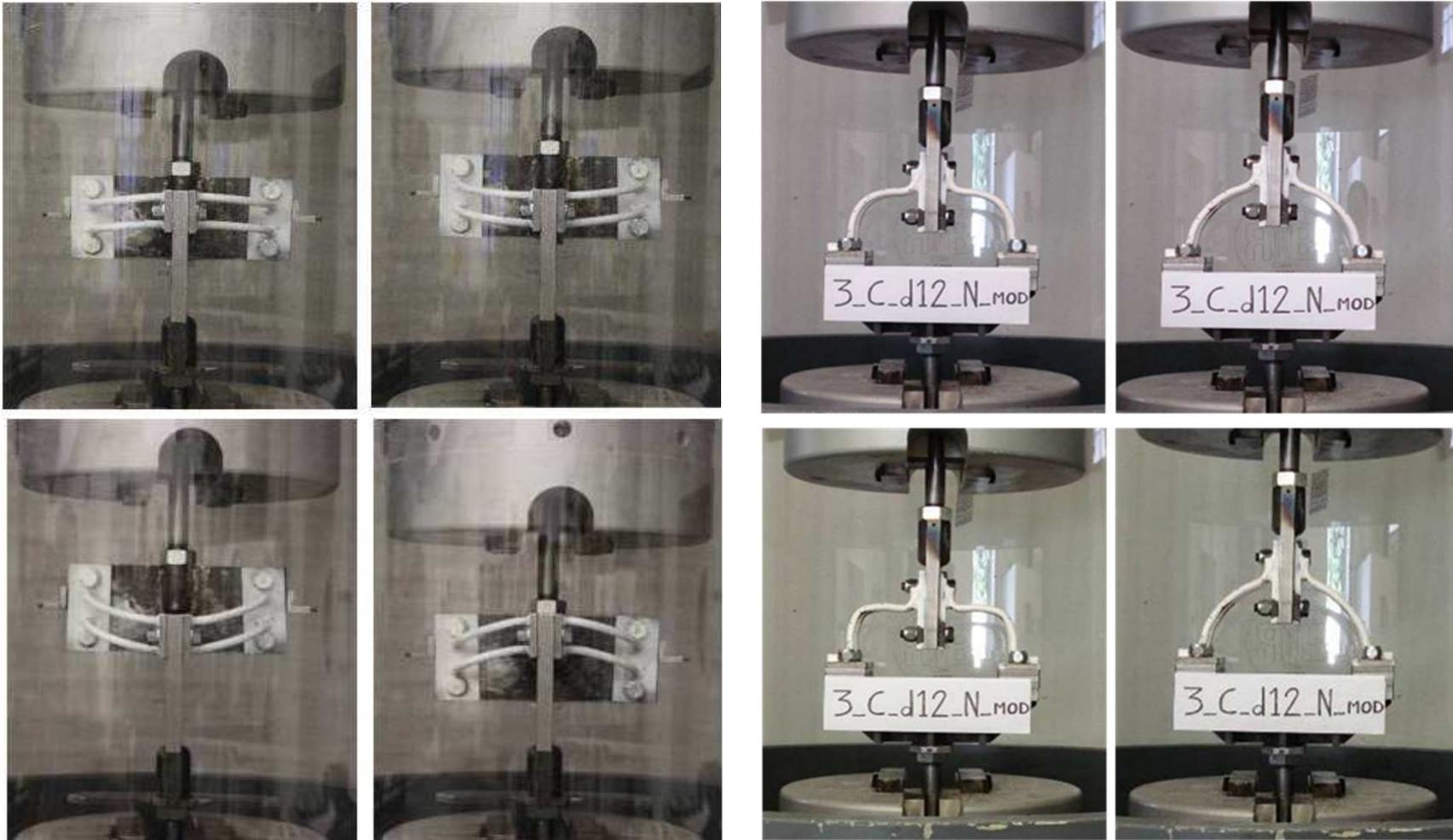


Energia dissipata assoluta



Energia dissipata adimensionalizzata

## COLLEGAMENTO TRAVE-TEGOLO UTILIZZO DI ELEMENTI DISSIPATIVI





# **ESEMPI DI INTERVENTO con Valutazione Costi**

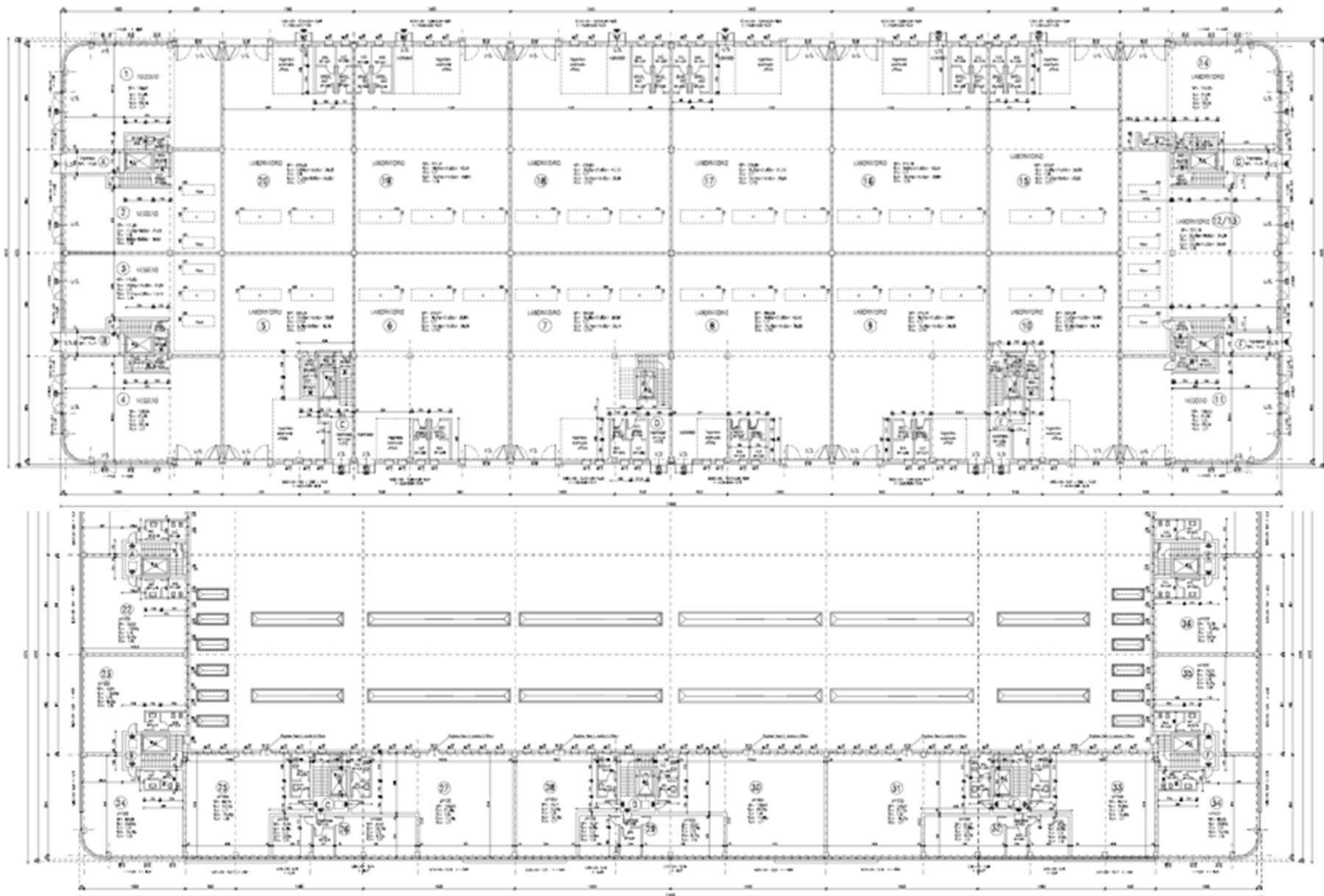


**Edificio di 6400mq – 2 piani  
secondo piano a U  
Danneggiato da Terremoto Emilia**

**COSTO INTERVENTO - € 230 000,00 – circa € 36/mq  
Quota inerente solo miglioramento sismico - € 124 000,00 – circa €20/mq**

**MIGLIORAMENTO OTTENUTO – circa 70% terremoto SLV**

**Intervento eseguito in 2mesi  
SENZA interruzione di utilizzo da parte dei condomini**



## Utilizzo di pareti in blocchi come controventi



Costo Totale € 75.000

## Riparazione Appoggi Travi



Costo Totale € 10,000





**Connessione tegolo-pannello**



**Connessione tegolo-tegolo  
(dalla copertura)**



## Connessione Tegolo-Trave



Costo Totale € 19.000



## Connessione Trave-Pilastro ed utilizzo di Trefoli

Costo Totale € 30.000



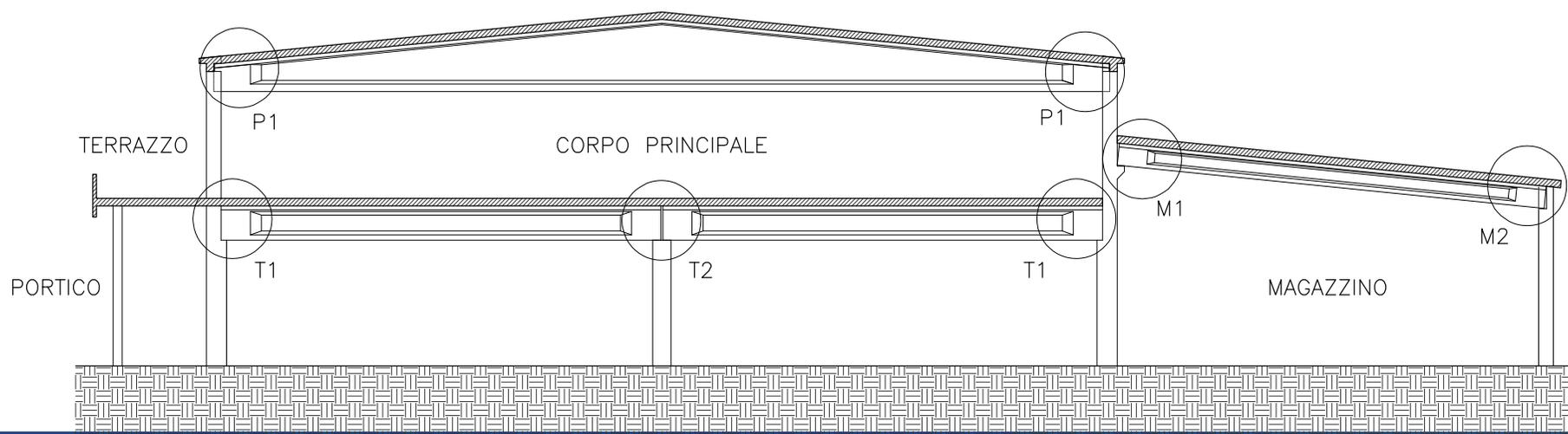
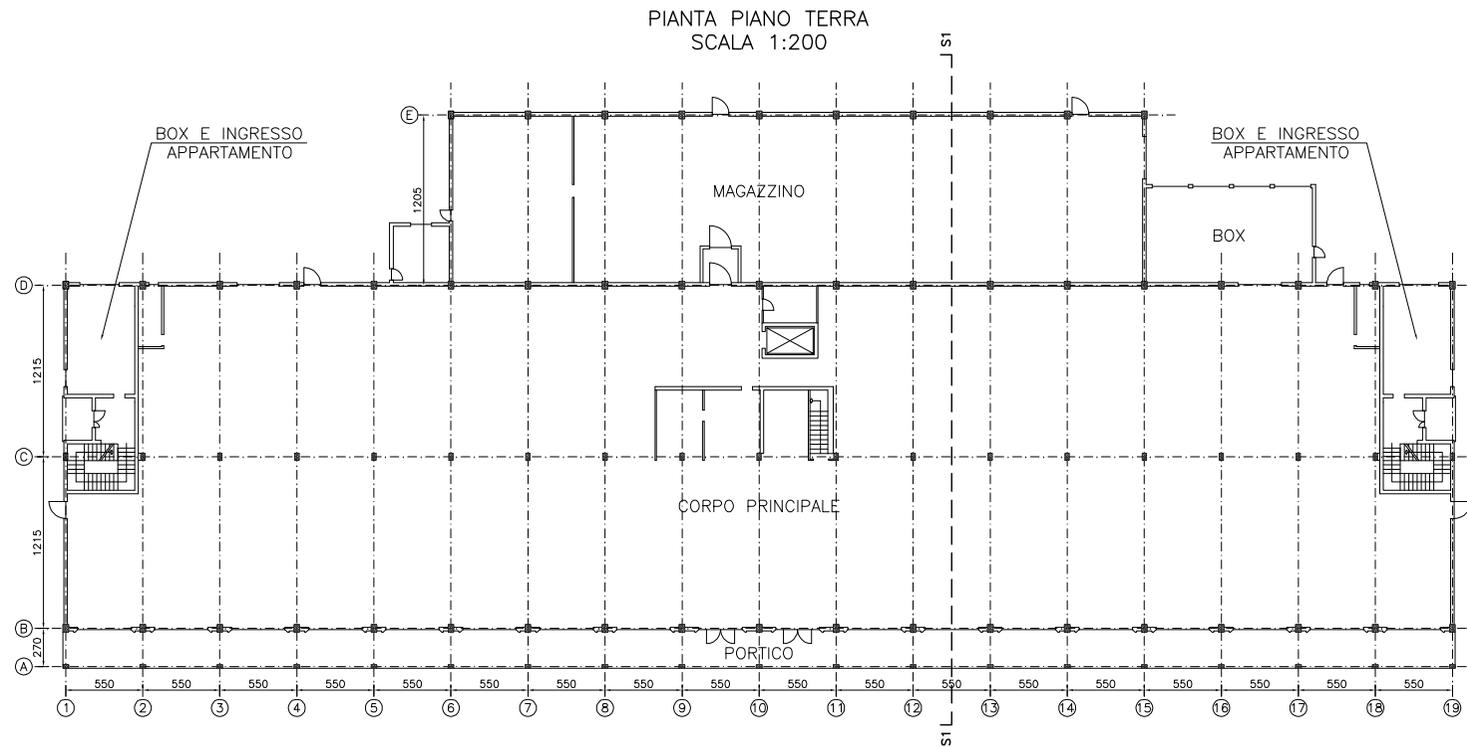


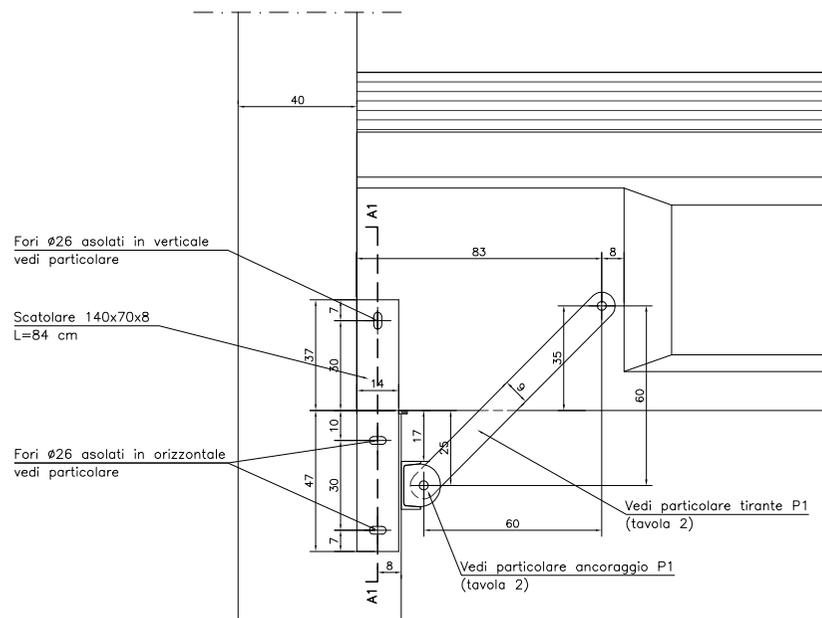
**Edificio di 5200mq circa – 2 piani + magazzino  
Lievemente Danneggiato  
da Terremoto Emilia**

**COSTO INTERVENTO - € 80 000,00 – circa € 15/mq**

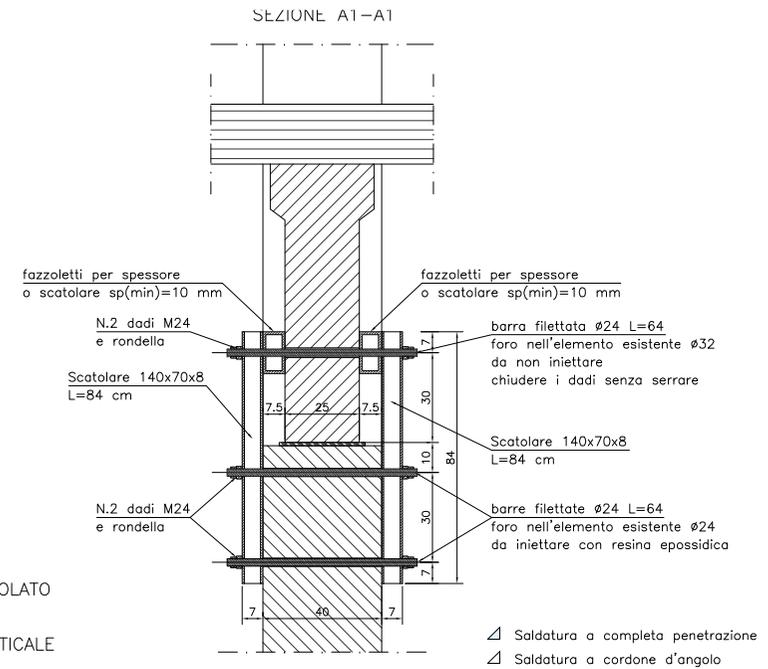
**MIGLIORAMENTO OTTENUTO – circa 70% terremoto SLV**

**Intervento eseguito in 1mese circa  
SENZA interruzione di utilizzo da parte del conduttore**





PARTICOLARE FORO ASOLATO  
SCALA 1:5  
ORIZZONTALE      VERTICALE

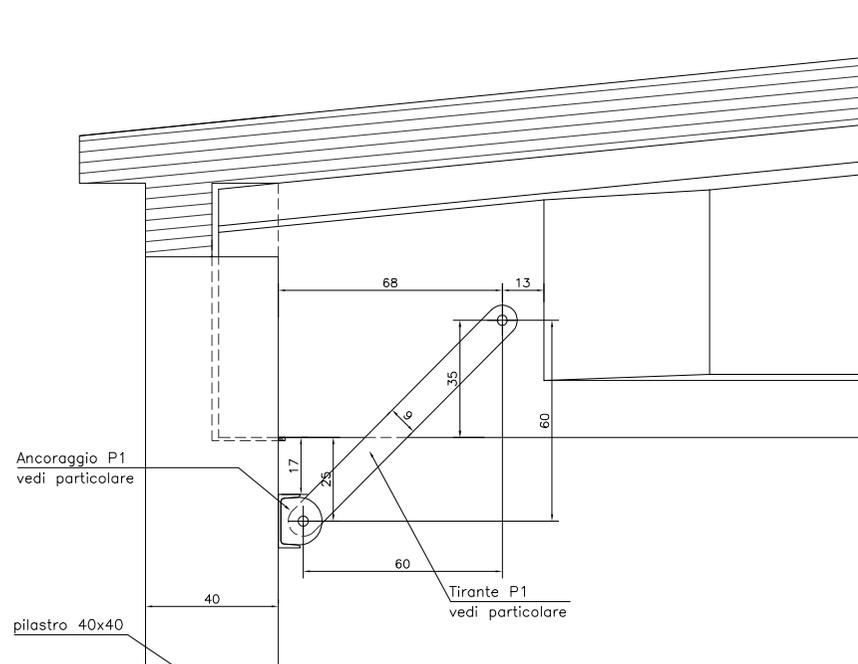


Costo € 588

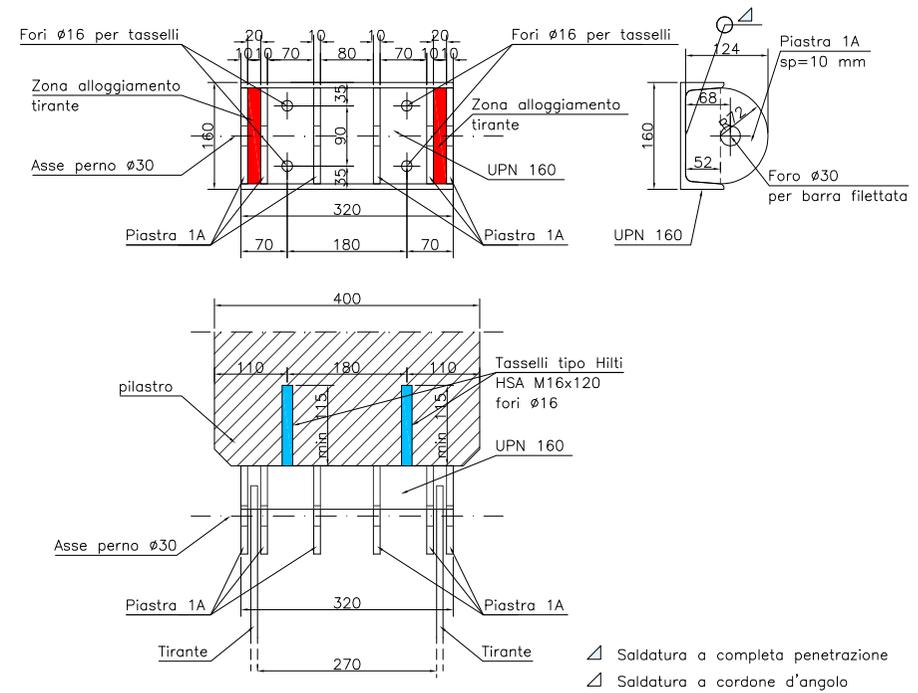




CONNESSIONI PRIMO PIANO TIPO P1  
SCALA 1:10

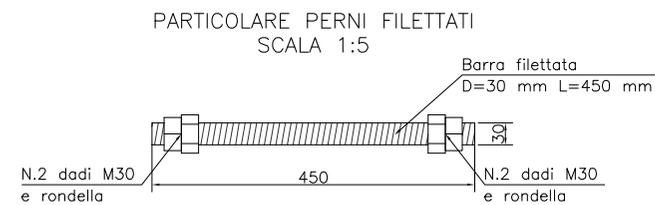
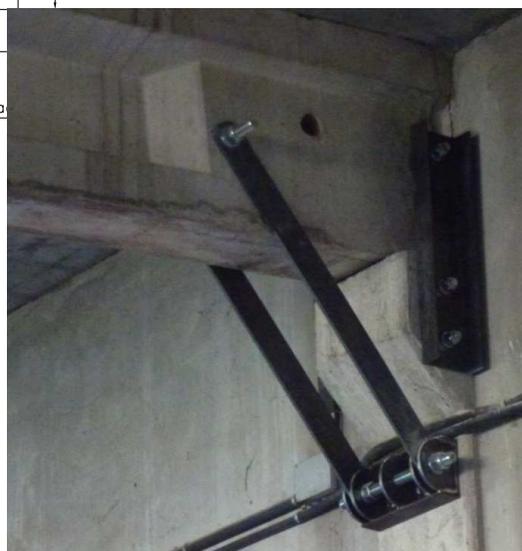
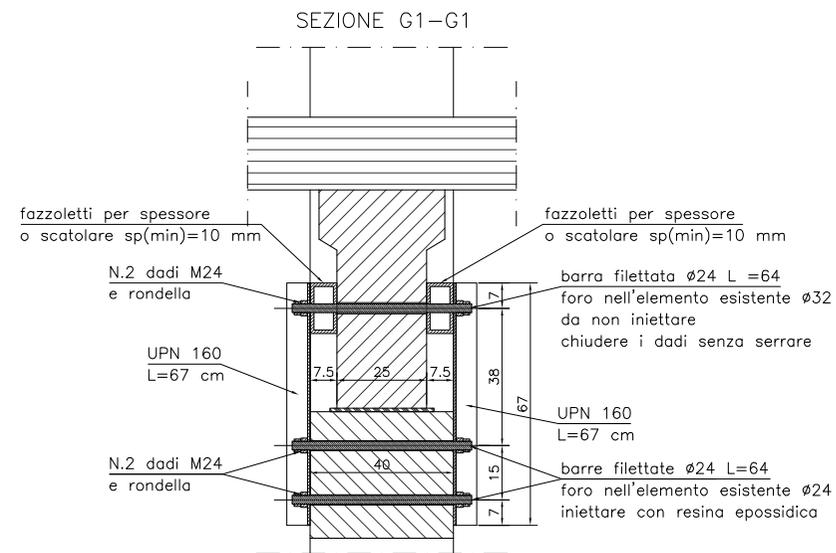
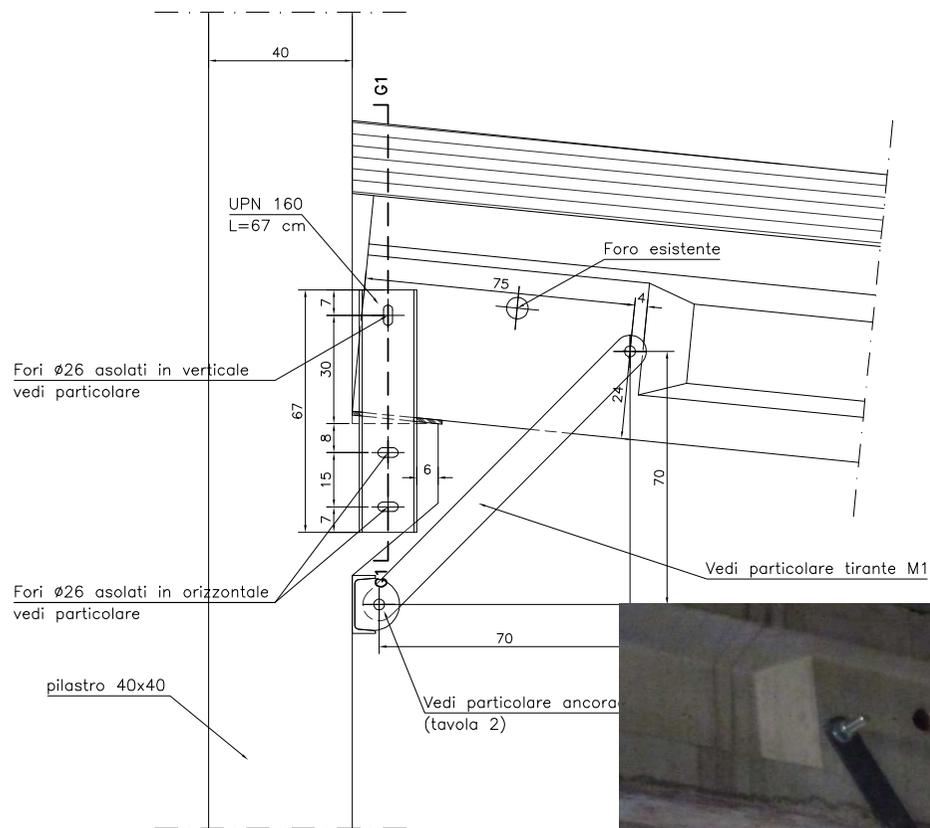


PARTICOLARE ANCORAGGIO P1  
(VALIDO ANCHE PER T1 E M1)  
SCALA 1:5



Costo € 199

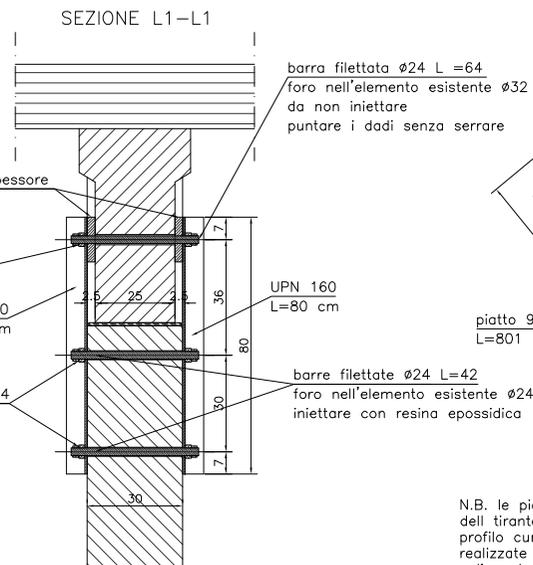
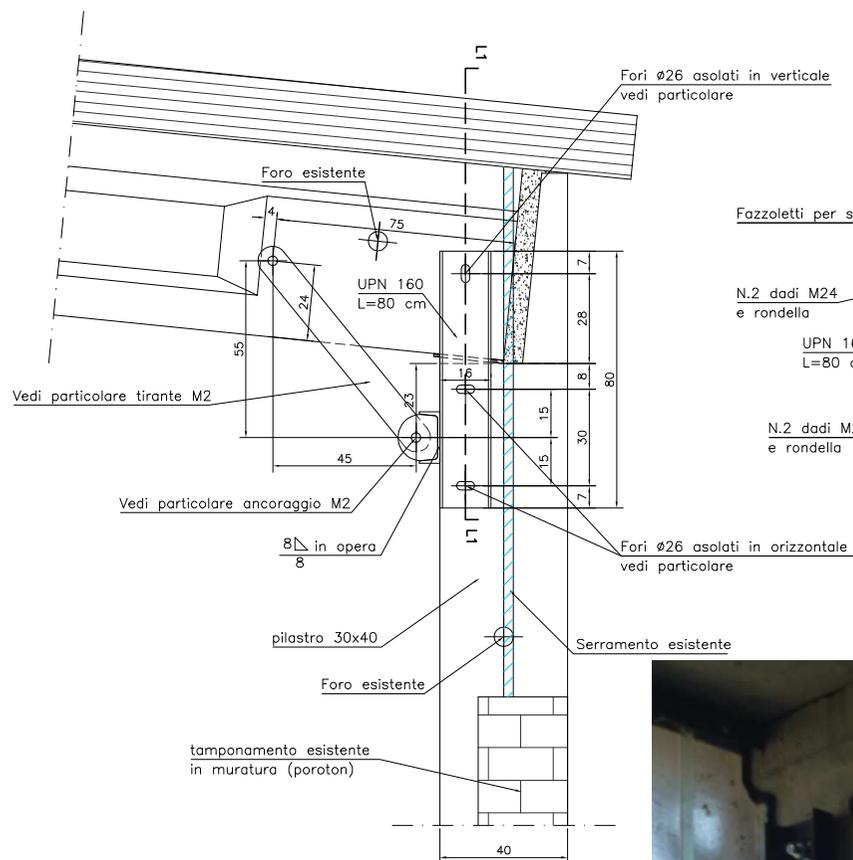
CONNESSIONI MAGAZZINO TIPO M1  
SCALA 1:10



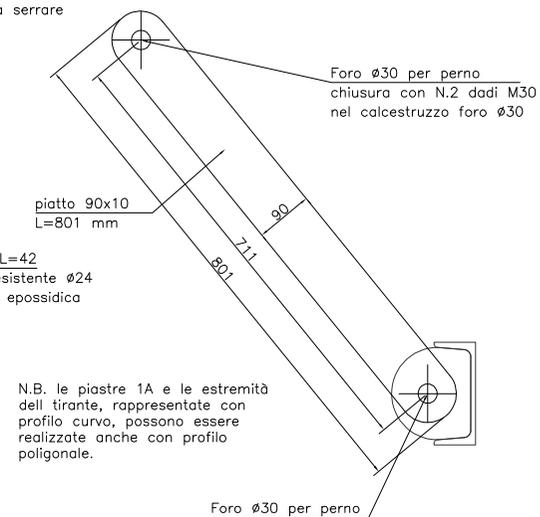
NOTA:  
I dadi avvitati sul perno sono da chiudere senza serrare.

Costo € 518

CONNESSIONI MAGAZZINO TIPO M2  
SCALA 1:10



PARTICOLARE TIRANTE M2  
SCALA 1:5



- △ Saldatura a completa penetrazione
- △ Saldatura a cordone d'angolo

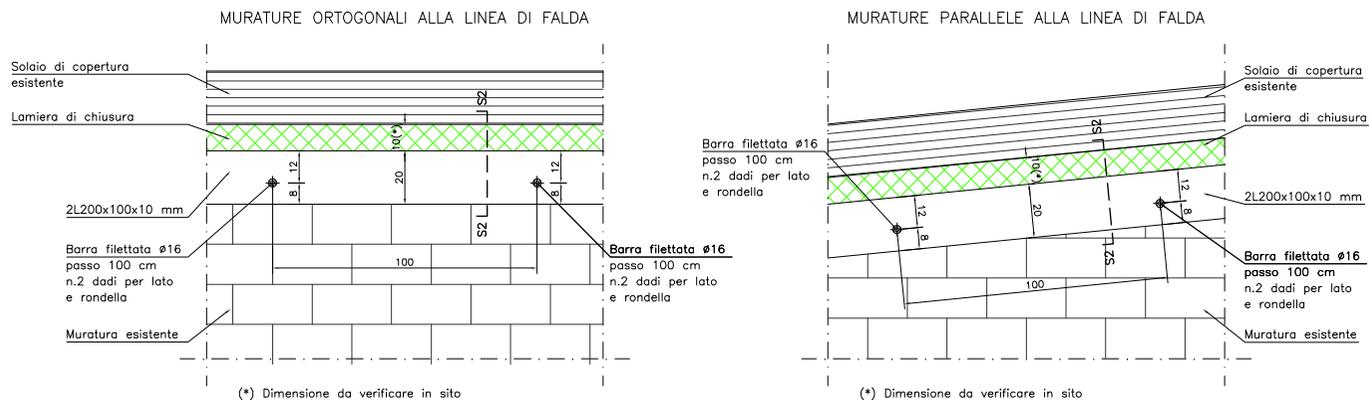
NOTE

- Prima di forare qualsiasi elemento, individuare mediante pacometro e, ove necessario, locali rimozioni del copriferro, le zone prive di armatura.
- Tutte le quote, in particolare quelle riguardanti il posizionamento dei rinforzi, devono essere verificate in cantiere.

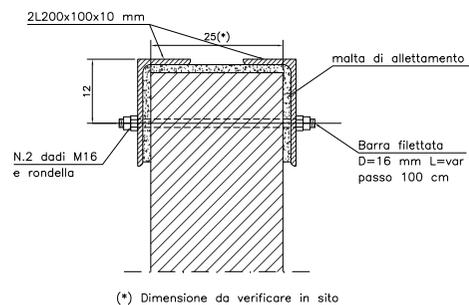


Costo € 461

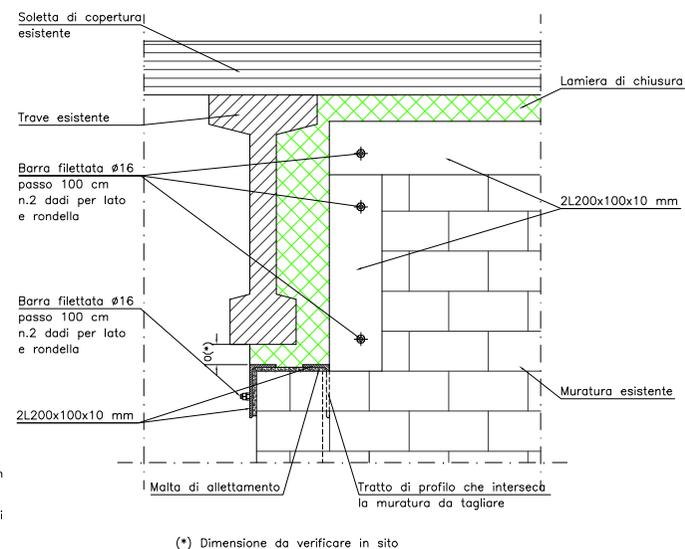
PARTICOLARE R1  
DETTAGLI TIPICI – SCALA 1:10



SEZIONE S2-S2  
CORDOLO – SCALA 1:5



PARTICOLARE R2  
DETTAGLI TIPICI – SCALA 1:10



FASI REALIZZATIVE

- Rimozione del corso sommitale della muratura.
- Rimozione delle zone di muratura fortemente lesionate e sostituzione con metodologia "scuci-cuci".
- Realizzazione dello strato di malta di allettamento, applicazione dei profili metallici e foratura degli elementi murari.
- Inserimento delle barre filettate e serraggio.
- Chiusura dell'intercapedine con lamiere metalliche di piccolo spessore.

*“Strategie di prevenzione più efficaci farebbero non solo risparmiare decine di miliardi di dollari ma salverebbero decine di migliaia di vite.*

*Costruire una cultura di prevenzione non è facile. Mentre i costi della prevenzione debbono essere pagati nel presente, i suoi benefici si avvertono in un futuro distante.*

*Per di più, i benefici non sono tangibili:*

*SONO I DISASTRI NON AVVENUTI ”*

(Kofi Annan, WSSD 2002)

