

***VALUTAZIONE E MIGLIORAMENTO DELLA
SICUREZZA DI STRUTTURE ESISTENTI***
INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.

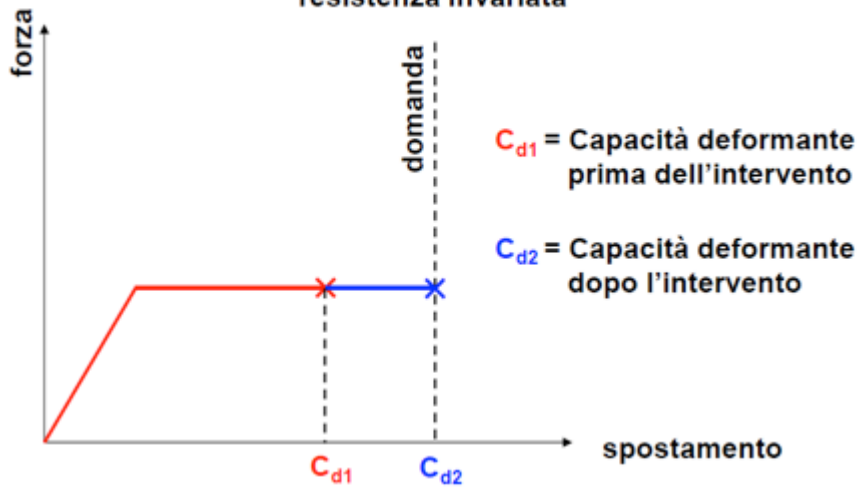
Proff. Mariano Angelo
Zanini, Flora Faleschini

TIPOLOGIE DI INTERVENTO

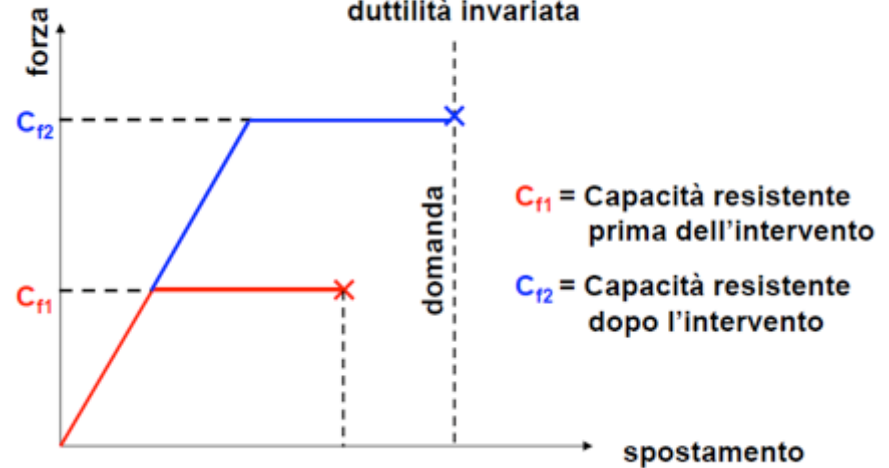
Le tipologie di intervento sono:

- **Interventi di riparazione locale (su elementi isolati);**
- **miglioramento (incremento del grado di sicurezza);**
- **adeguamento (raggiungimento del livello di sicurezza individuato dalle normative).**

AUMENTO DELLA DUTTILITA'
resistenza invariata

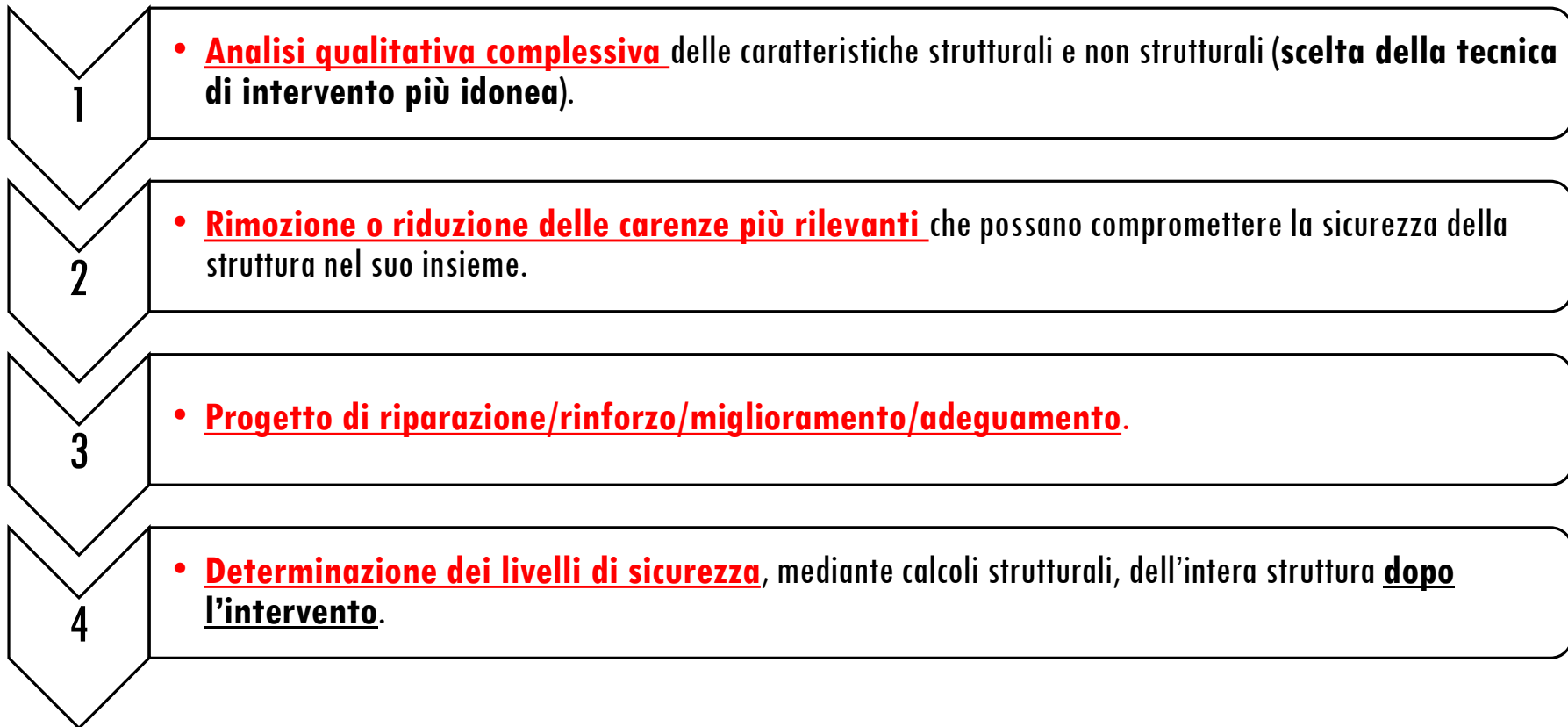


AUMENTO DELLA RESISTENZA
duttilità invariata

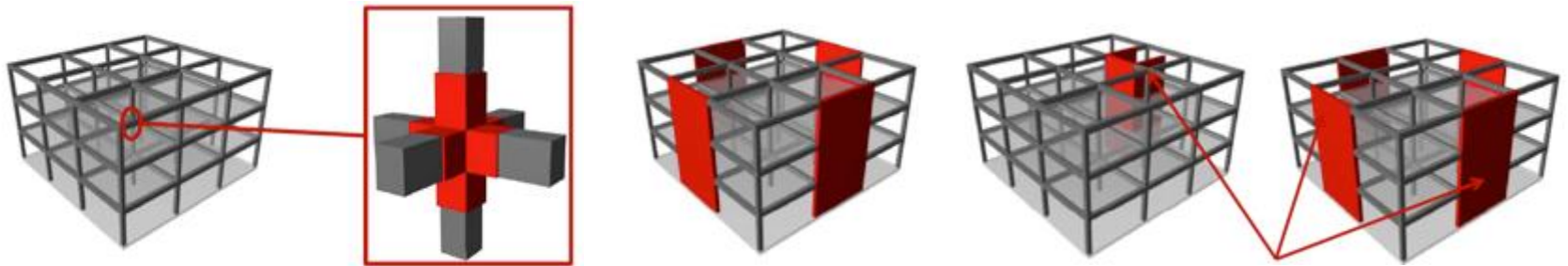
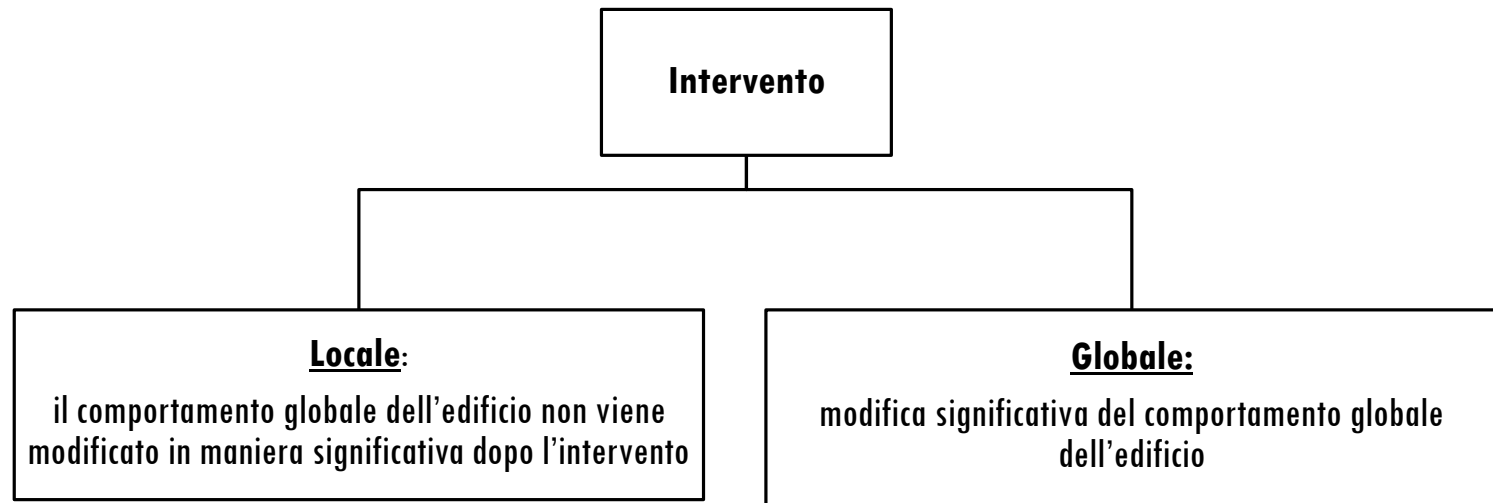


TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Le fasi dell'intervento sono:



TIPOLOGIE DI INTERVENTO



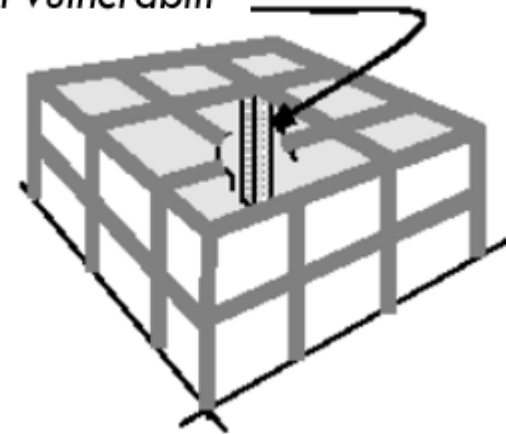
TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Gli interventi di adeguamento sismico possono essere suddivisi in *due macro-categorie*:

1) Tecniche di intervento LOCALE: migliorano localmente il comportamento dei diversi elementi strutturali (**resistenza, duttilità ecc.**) e conseguentemente la performance strutturale totale. La capacità di deformazione degli elementi strutturali può essere incrementata **passando da modalità di rottura fragili a modalità di rottura duttili**.



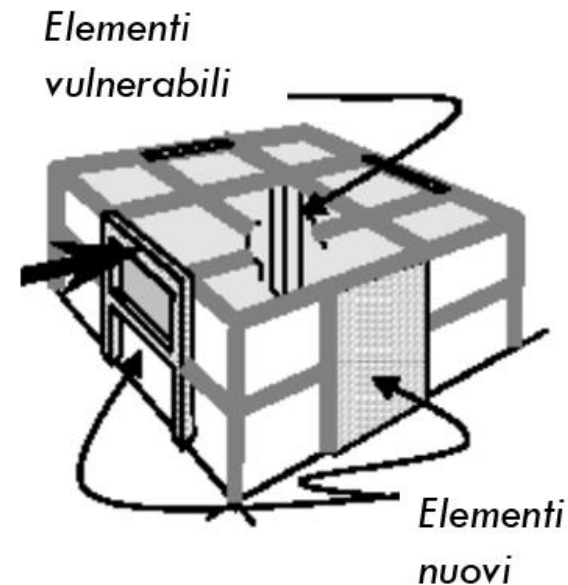
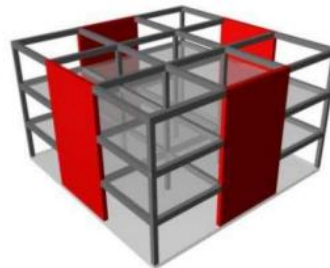
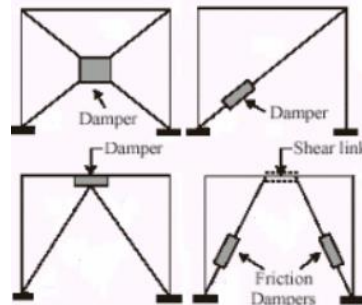
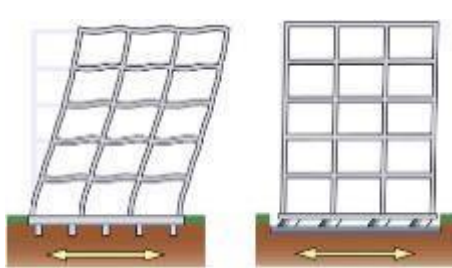
*Intervento locale su
elementi vulnerabili*



TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Gli interventi di adeguamento sismico possono essere suddivisi in *due macro-categorie*:

2) Tecniche di intervento GLOBALE: influenzano il comportamento globale dell'edificio, modificando significativamente la risposta strutturale (**riduzione domanda su elementi più vulnerabili, modifica periodo della struttura, dissipazione energetica ecc**)



INTERVENTI LOCALI



Gli interventi di tipo locale sono volti al miglioramento del comportamento sismico della struttura, nel senso di **prevenire meccanismi di tipo fragile, ed agire localmente su singoli elementi.**

Riduzione del rischio d'innescio di meccanismi fragili



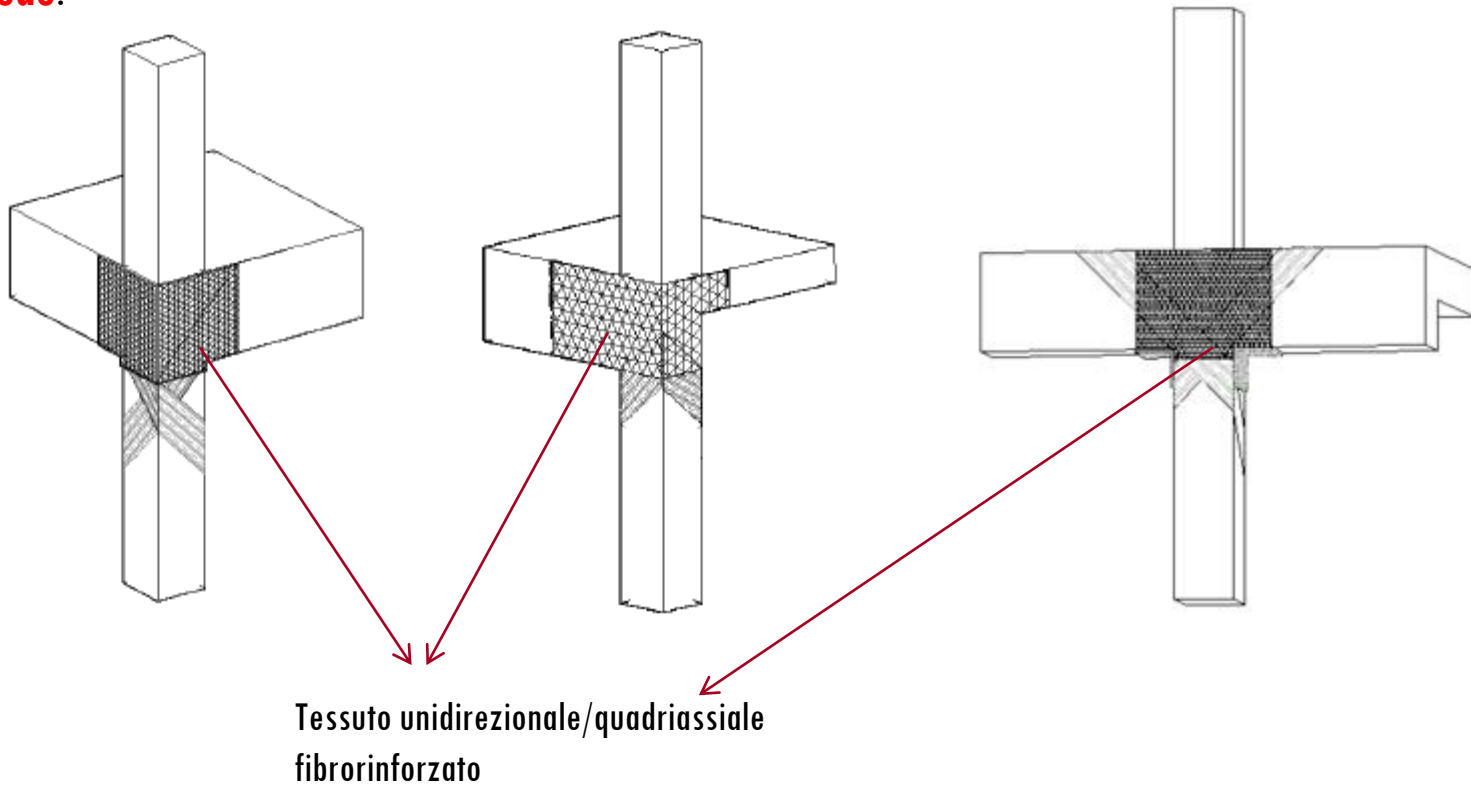
- Rottura **nodi** trave/pilastro (prevalente sollecitazione tagliante nel pannello di nodo, staffatura ridotta)
- Rottura per **taglio** alle estremità delle travi
- Rottura per **taglio** dei pilastri corti (finestrature a nastro con muratura di tamponamento interrotta)

INTERVENTI LOCALI



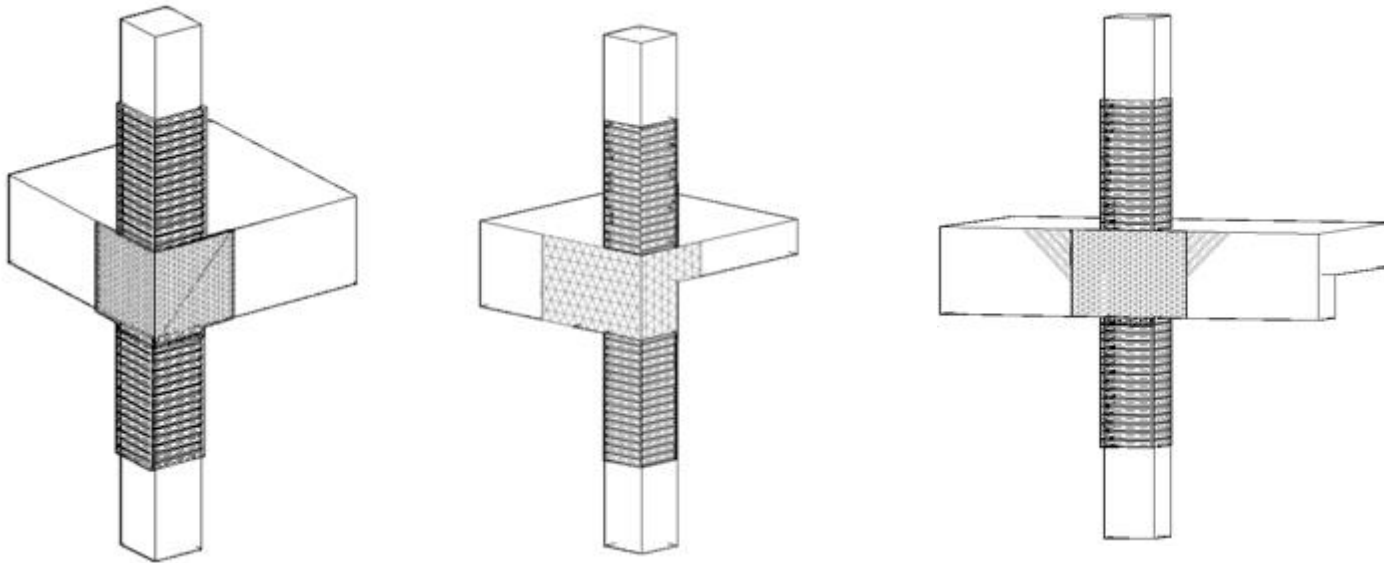
INTERVENTI LOCALI

Tessuti FRP (rif. CNR DT 200): **incremento della resistenza a taglio e confinamento del pannello di nodo.**



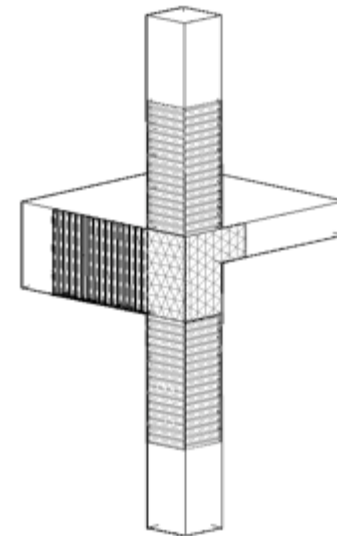
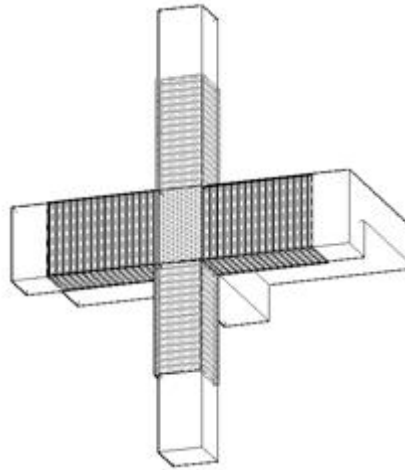
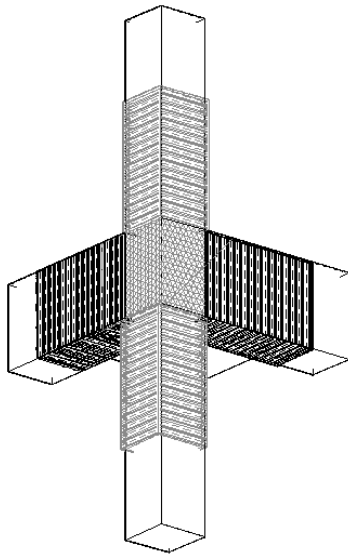
INTERVENTI LOCALI

Tessuti FRP (rif. CNR DT 200): confinamento dell'estremità dei pilastri con tessuti unidirezionali; significativo **incremento della resistenza a taglio e della capacità deformativa**, parziale **impedimento all'instabilità delle barre longitudinali** laddove il passo staffe sia eccessivo.



INTERVENTI LOCALI

Tessuti FRP (rif. CNR DT 200): incremento di **resistenza a taglio delle estremità delle travi** (prevenzione meccanismo fragile di rottura a taglio) con tessuti unidirezionali.



INTERVENTI LOCALI

Fasi lavorazione

1. Rimozione dell'intonaco
2. Pulizia per la rimozione di ogni residuo di lavorazione
3. Riprofilatura degli spigoli vivi
4. Trattamento (ove necessario) delle armature originarie degli elementi strutturali in c.a.,
5. Riparazione di fessure strutturali in elementi in calcestruzzo armato con utilizzo di resine epossidiche
6. Ripristino del c.a. con malta a ritiro controllato tixotropica
7. Preparazione substrato e successiva imprimitura del sottofondo (primerizzazione)
8. Rasatura di livellamento mediante riporto diretto di stucco epossidico
9. Taglio delle fasce di tessuto
10. Posizionamento delle fasce di tessuto
11. Posa in opera di connettori metallici per il fissaggio del tessuto in aderenza alla superficie in c.a.
12. Impregnazione con rullo metallico e stucco epossidico
13. Applicazione strati successivi
14. Eliminazione bolle aria

INTERVENTI LOCALI

Fasi lavorazione

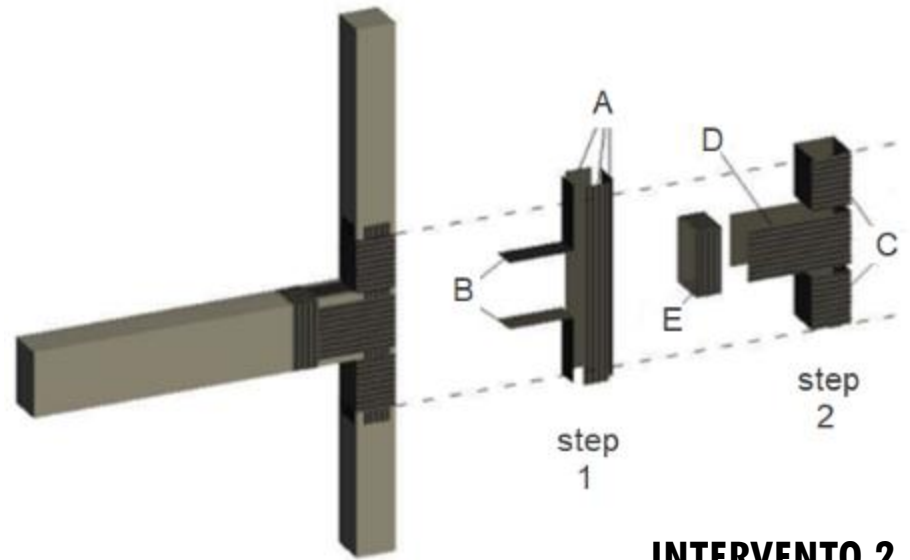
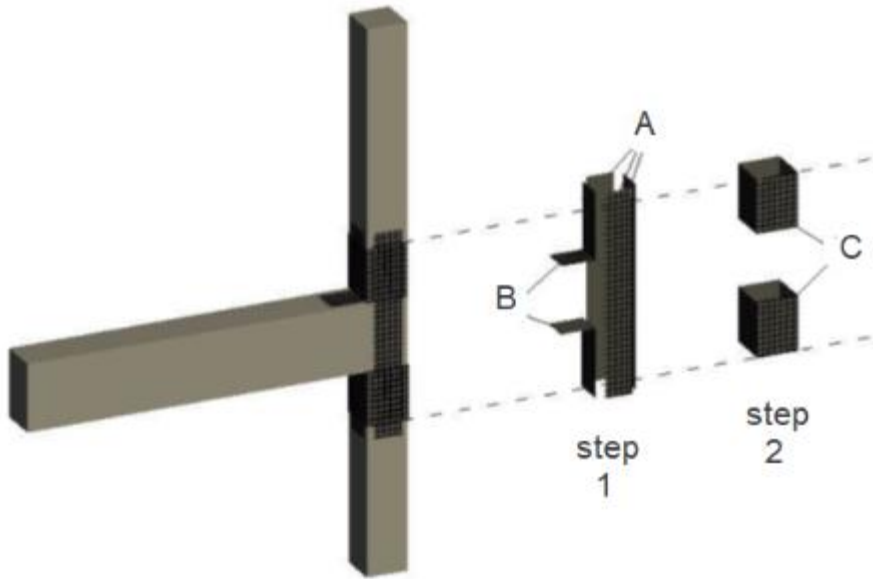


INTERVENTI LOCALI

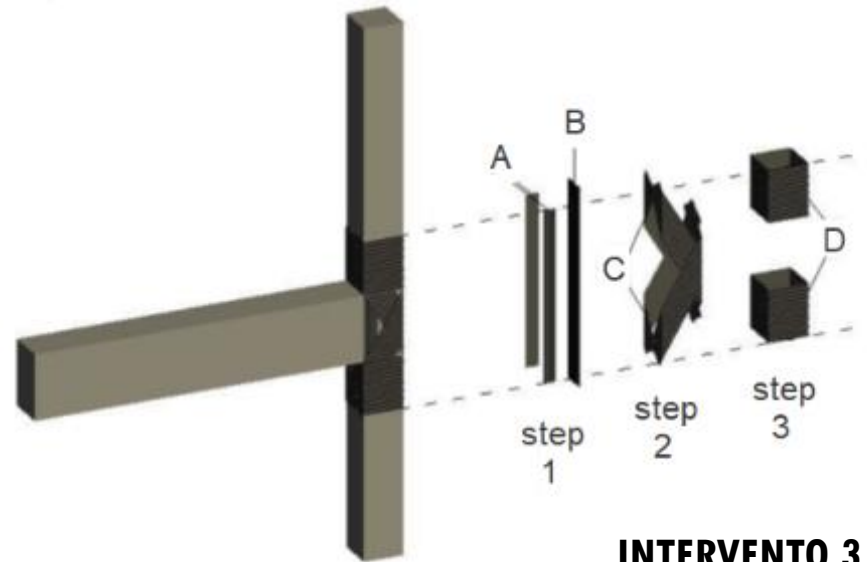


INTERVENTI LOCALI

INTERVENTO 1



INTERVENTO 2

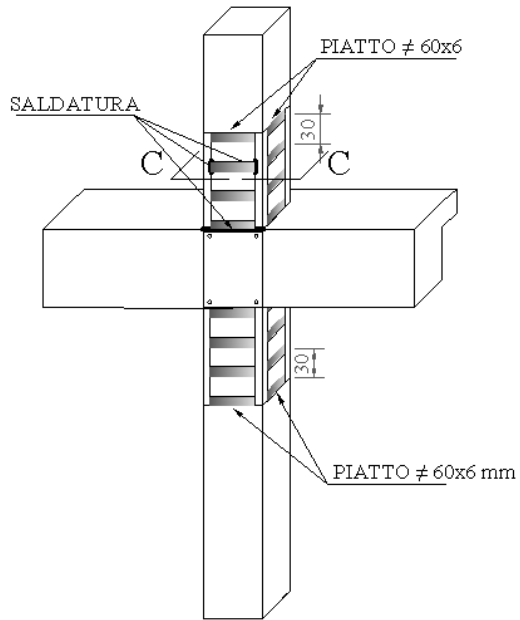


INTERVENTO 3

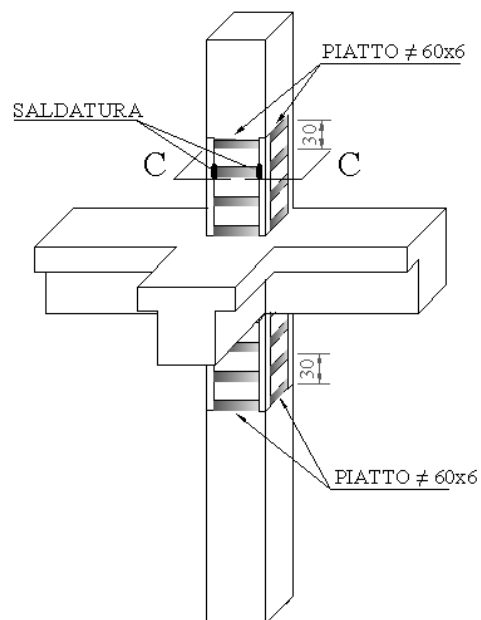
INTERVENTI LOCALI

Applicazione di calastrelli ed angolari metallici

VISTA PROSPETTICA ANTERIORE

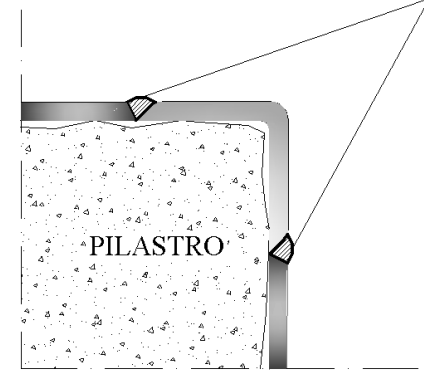


VISTA PROSPETTICA POSTERIORE

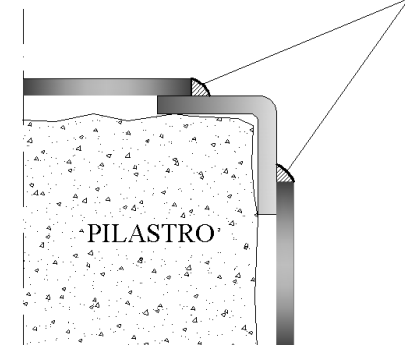


Calastrelli saldati ad angolari metallici

GIUNTO SALDATO "TESTA A TESTA A COMPLETA PENETRAZIONE"



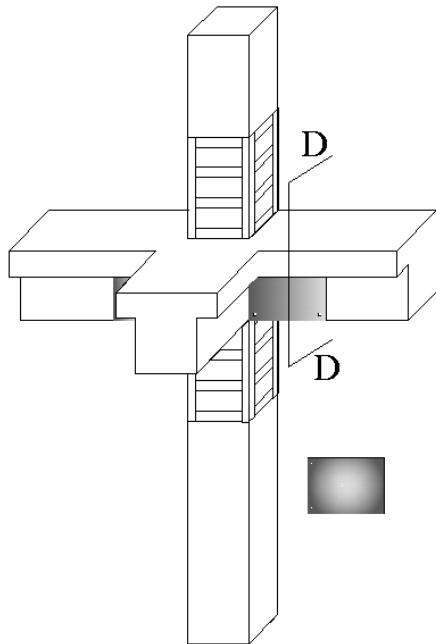
GIUNTO SALDATO CON CORDONE D'ANGOLO



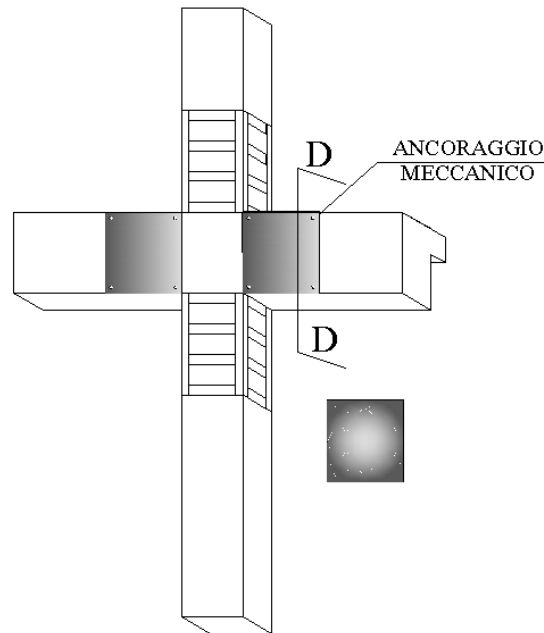
INTERVENTI LOCALI

Applicazione di piastre metalliche

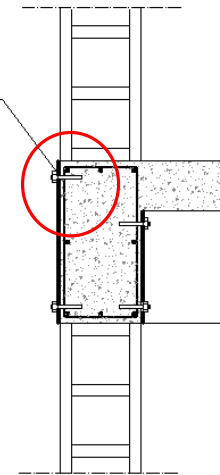
VISTA PROSPETTICA POSTERIORE



VISTA PROSPETTICA ANTERIORE



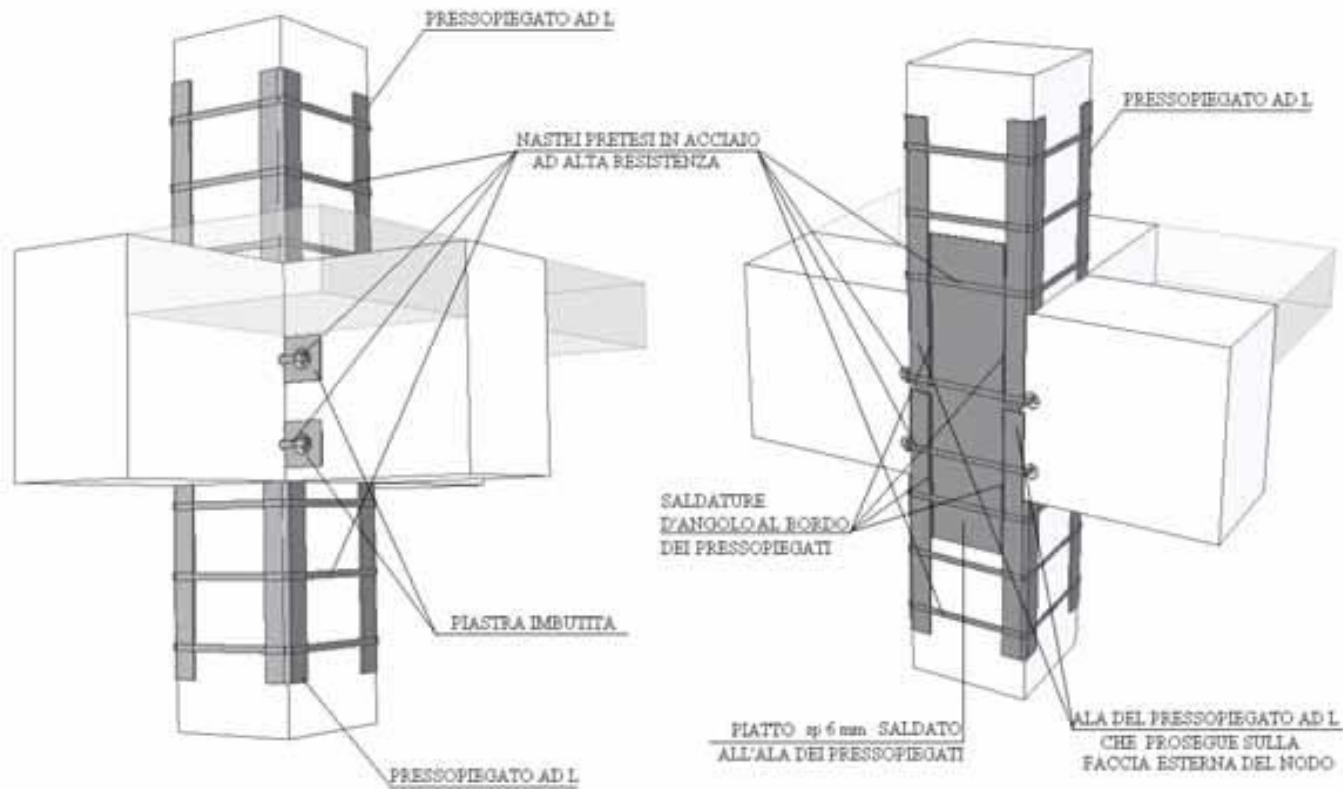
SEZIONE D-D



Piastre in acciaio sagomate sulle superfici laterali delle travi per incrementare la resistenza a taglio

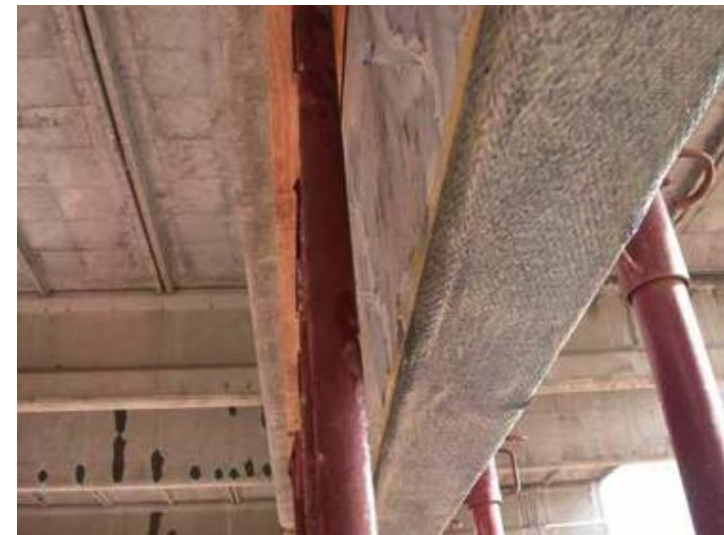
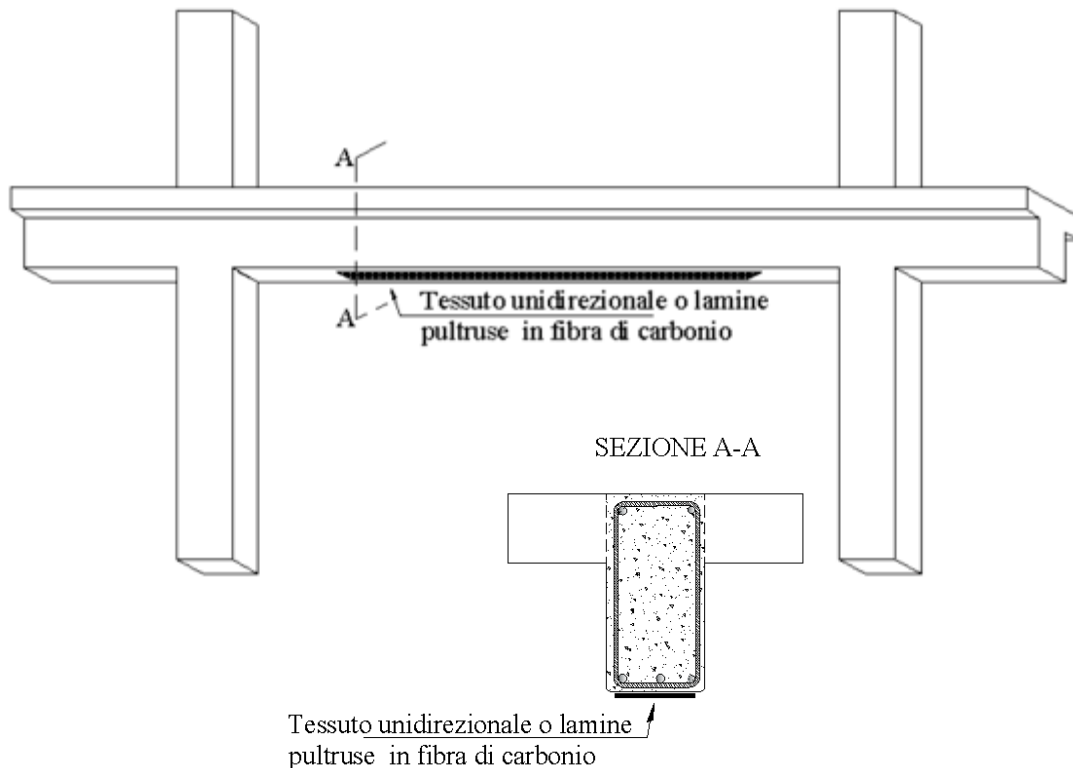
INTERVENTI LOCALI

Applicazione di piastre metalliche



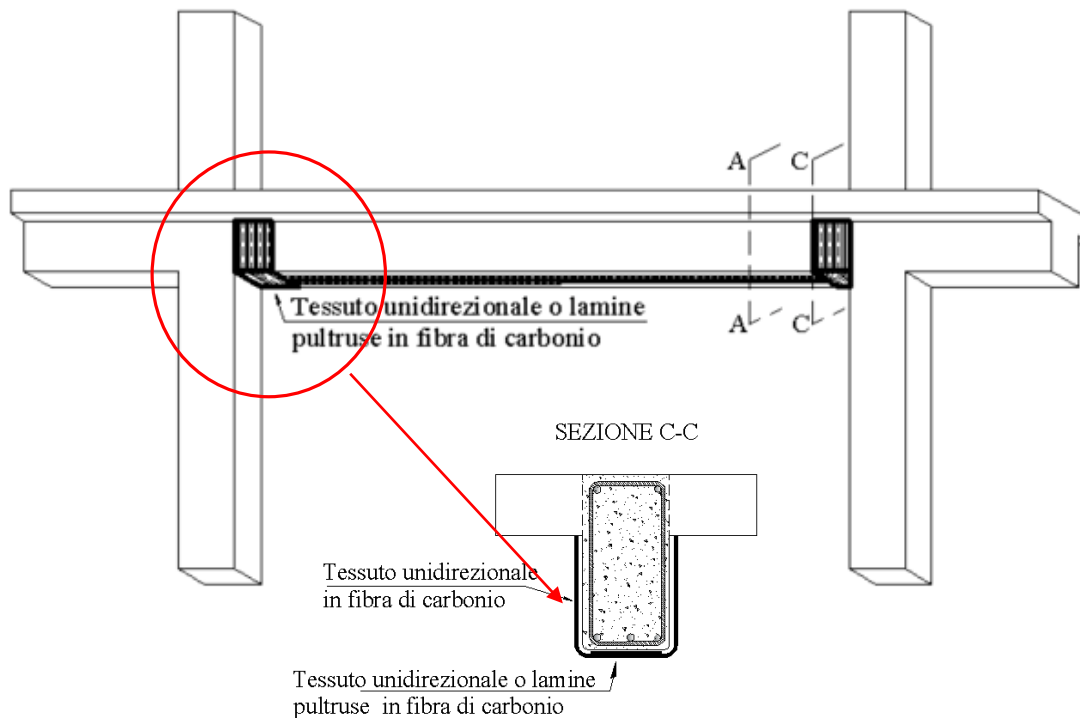
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a flessione di travi in c.a. con materiali compositi (FRP), tessuti unidirezionali o lamine pultruse in fibra di carbonio applicati all'intradosso dell'elemento strutturale.



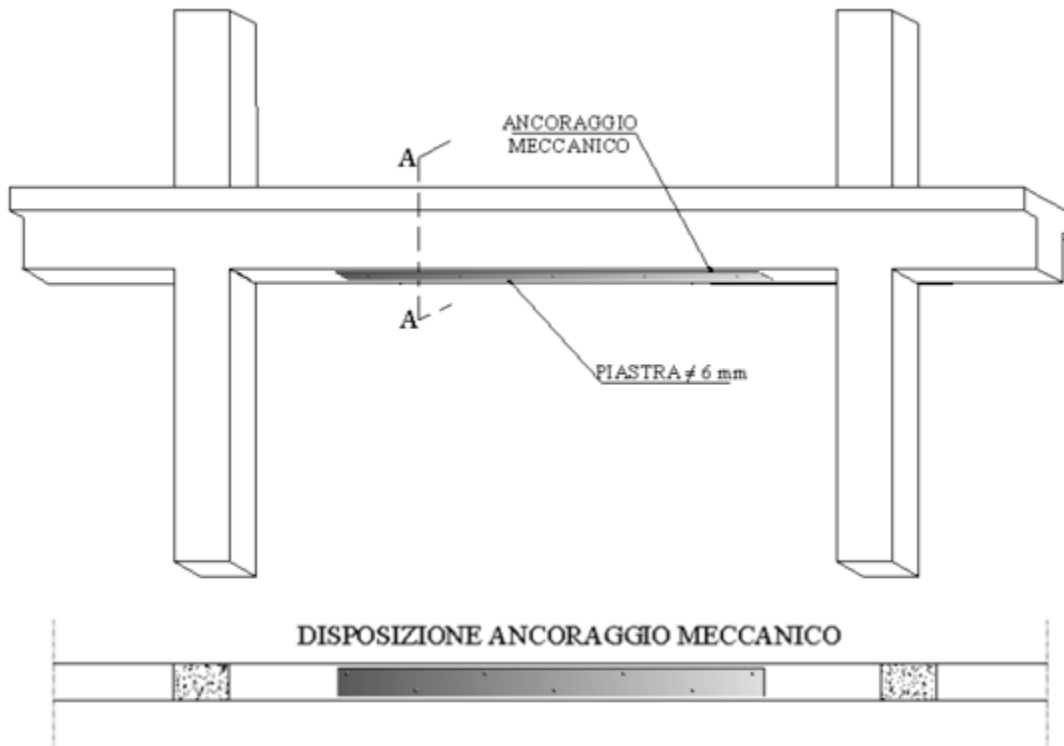
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a flessione di travi in c.a. con **materiali compositi (FRP)**: se sulla stessa trave è previsto anche un **rinforzo a taglio**, esso potrà essere utilizzato anche come **ancoraggio d'estremità del rinforzo a flessione**.



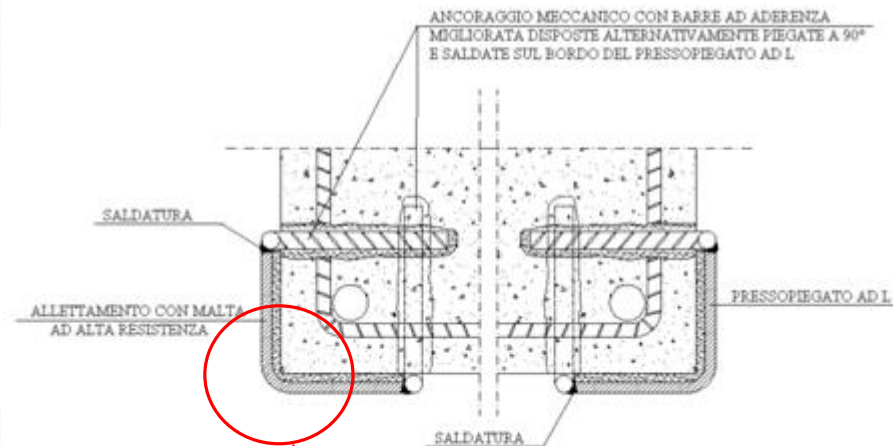
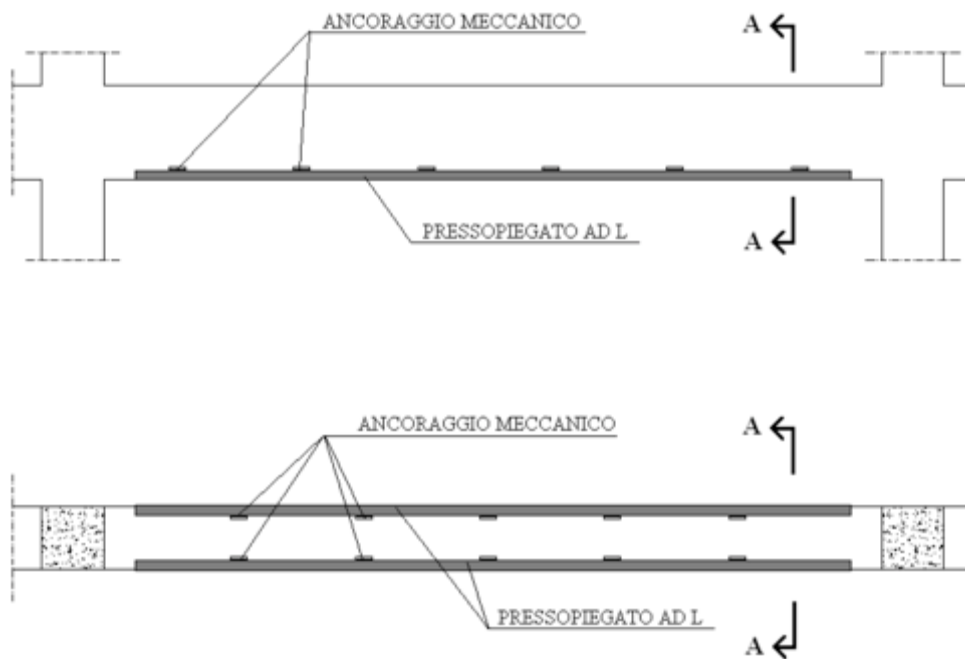
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a flessione di travi in c.a.: si può disporre all'intradosso dell'elemento **una lastra metallica di opportuno spessore**, fissata al supporto in c.a. con ancoraggi meccanici.



INTERVENTI LOCALI

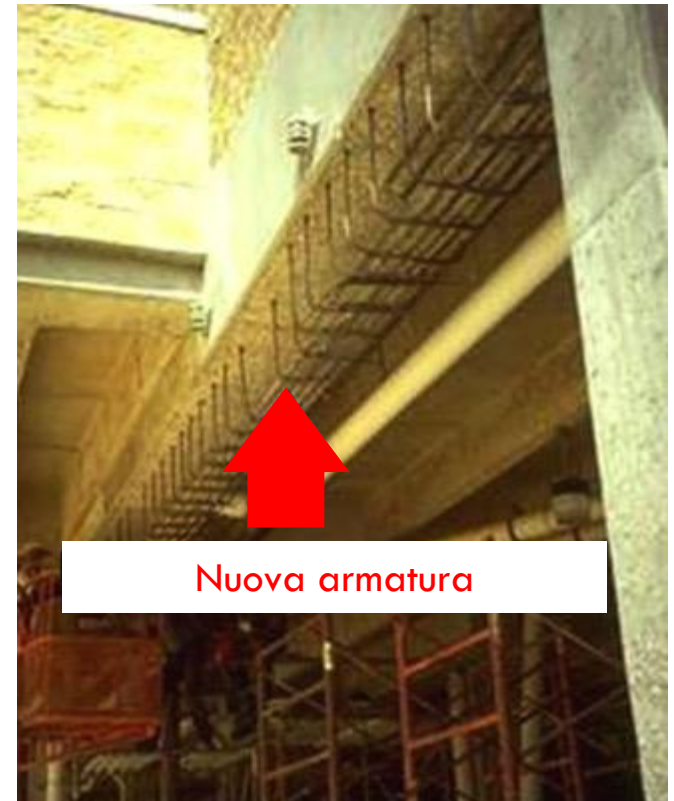
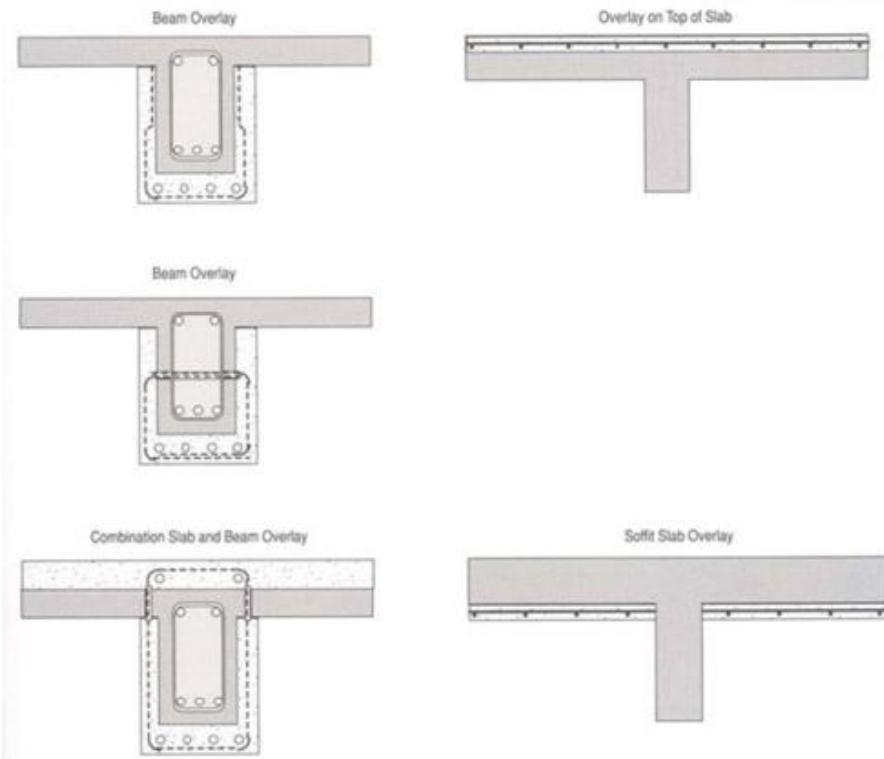
Rinforzo a flessione di travi in c.a.: è possibile anche disporre **profili ad L di opportuno spessore all'intradosso** dell'elemento, fissati al supporto in c.a. con ancoraggi meccanici.



$R \text{ curvatura} \neq 0$

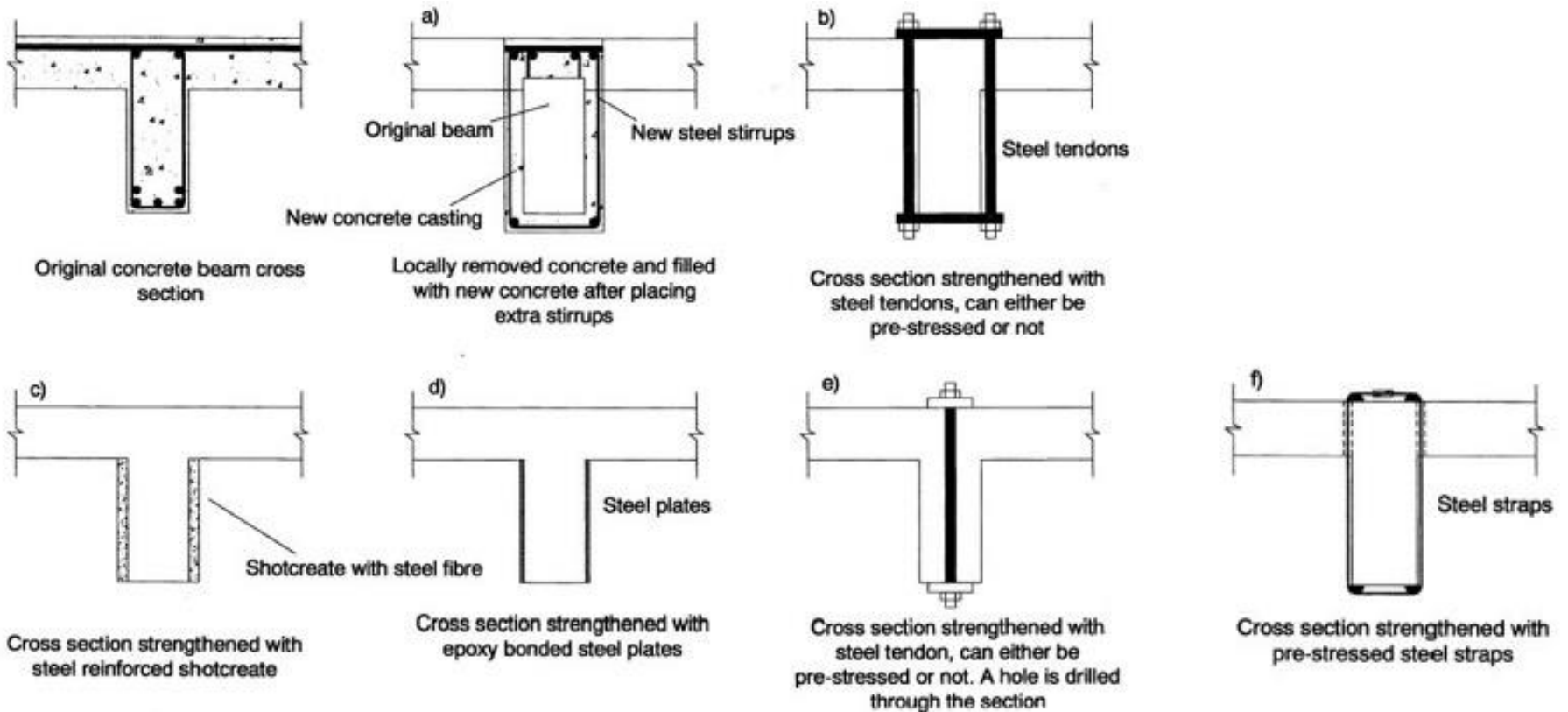
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a flessione di travi in c.a.: **Incamicatura in calcestruzzo con incremento/sostituzione dell'armatura**



INTERVENTI LOCALI

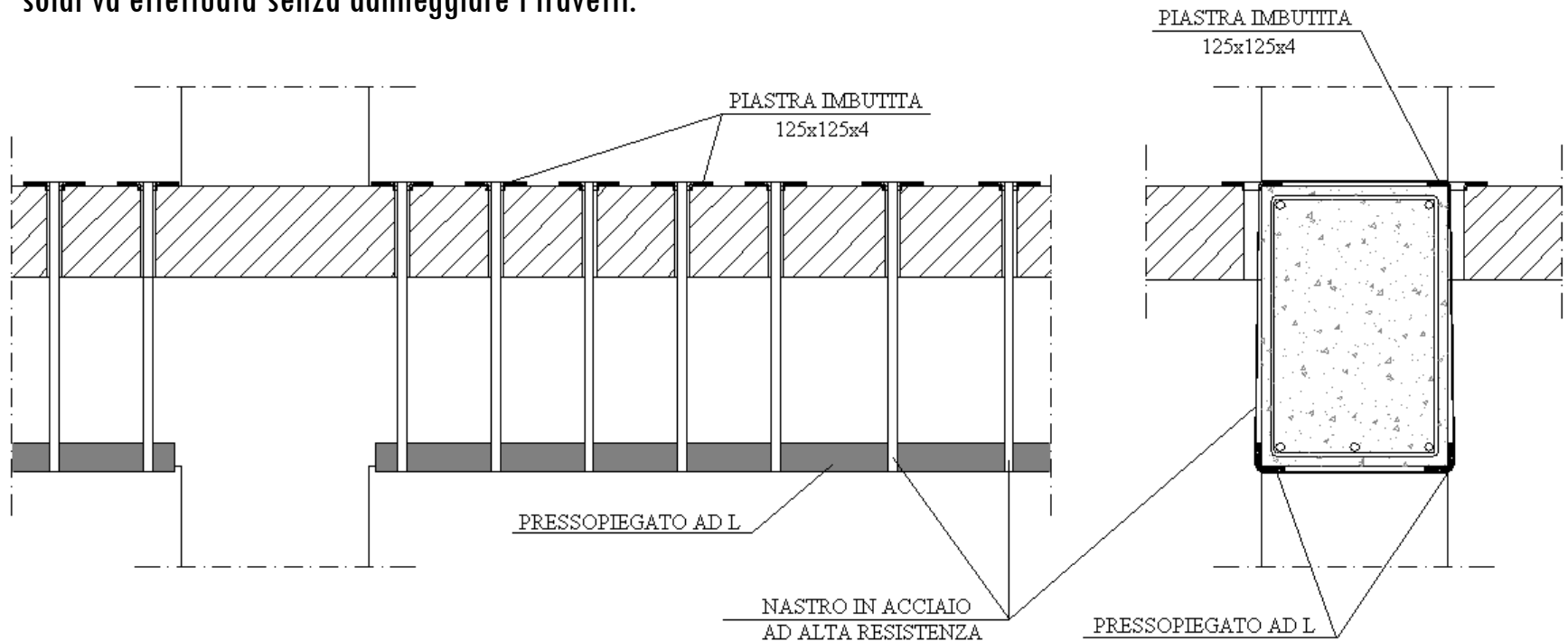
Rinforzo a taglio di travi in c.a.: tecniche/materiali “tradizionali”



INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **Nastri (o barre) in acciaio**

Cerchiaggio di tutta la trave, contrastando su delle piastre poste all'estradosso della stessa, la relativa foratura dei solai va effettuata senza danneggiare i travetti.



INTERVENTI LOCALI

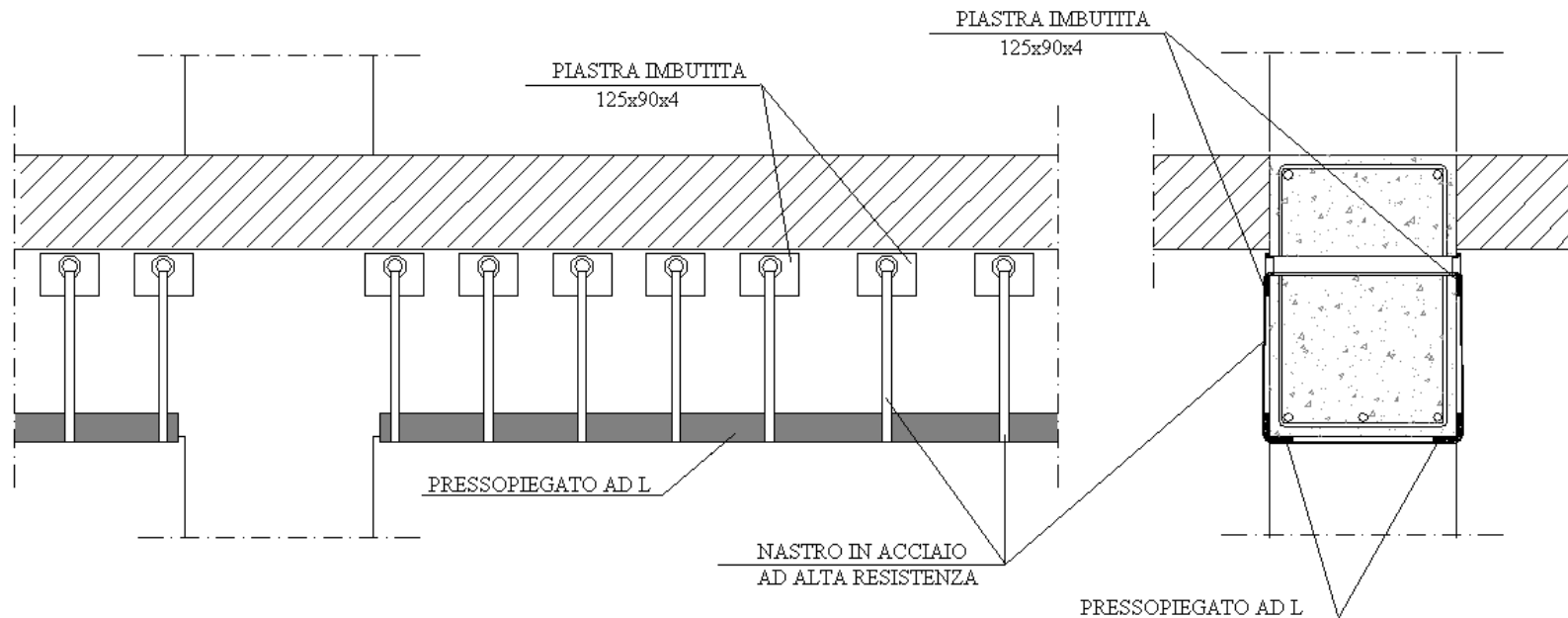
Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **Nastri (o barre) in acciaio**



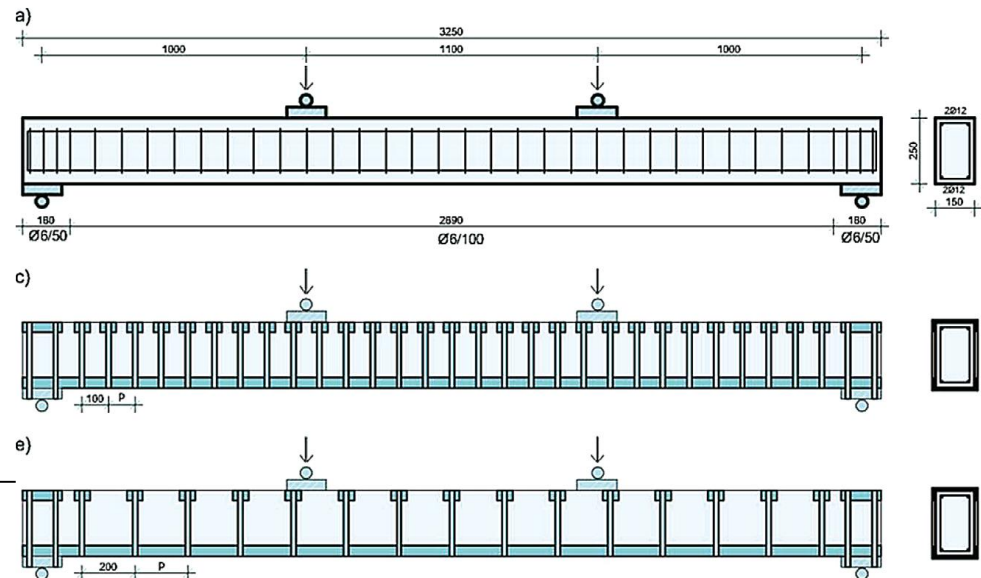
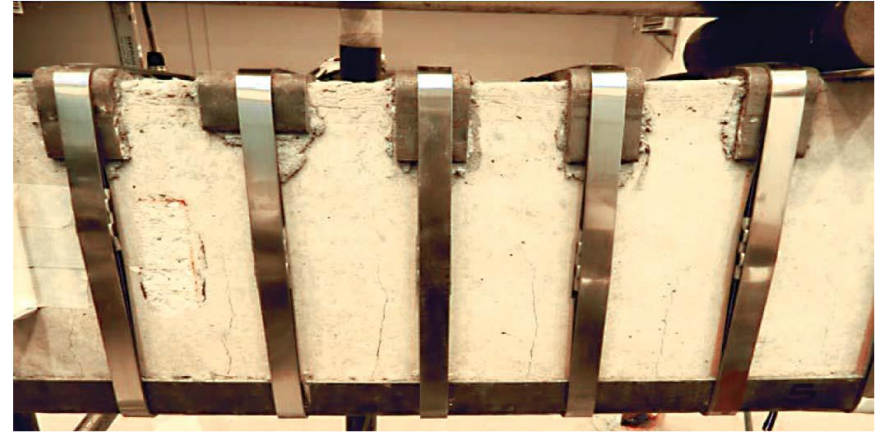
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **Nastri in acciaio**

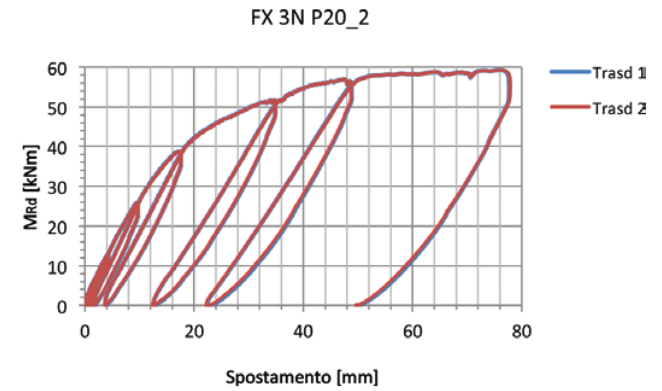
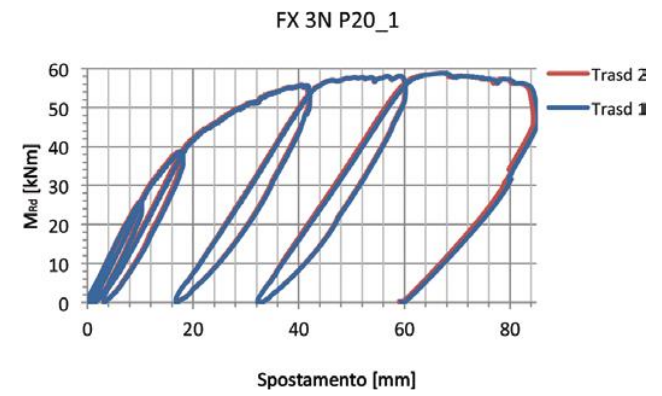
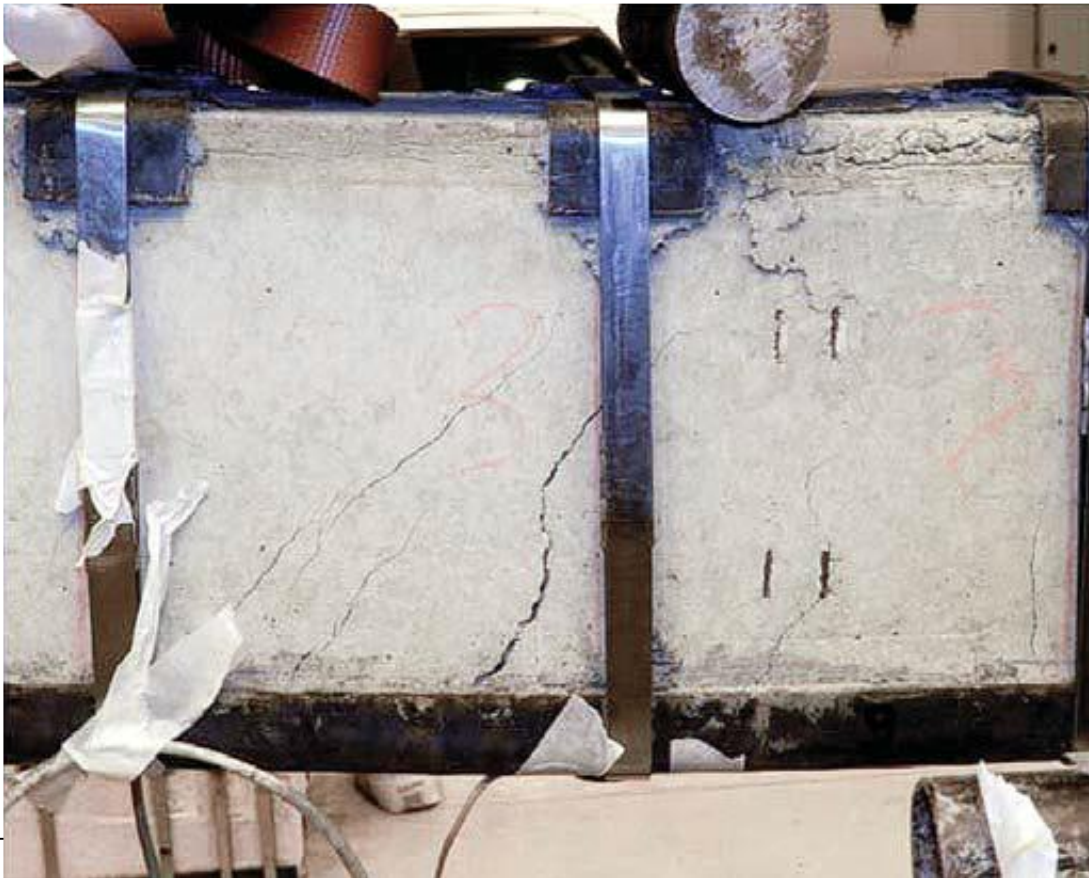
Cerchiaggio della sola parte intradossale, forando in orizzontale la trave all'intradosso del solaio senza danneggiare le staffe esistenti. Le piastre disposte all'estremità del foro vanno tagliate per adattarsi alla posizione del foro da realizzarsi quanto più in alto possibile.



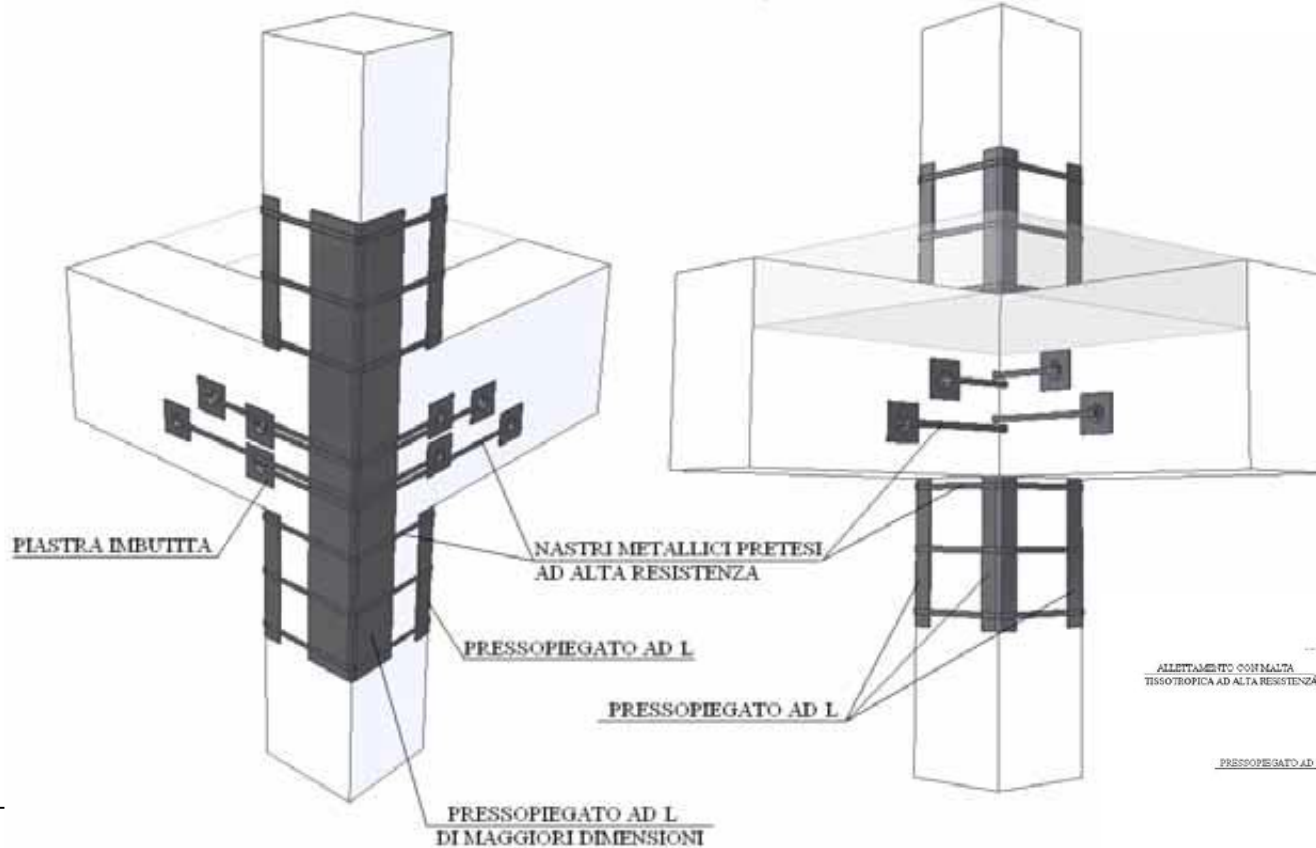
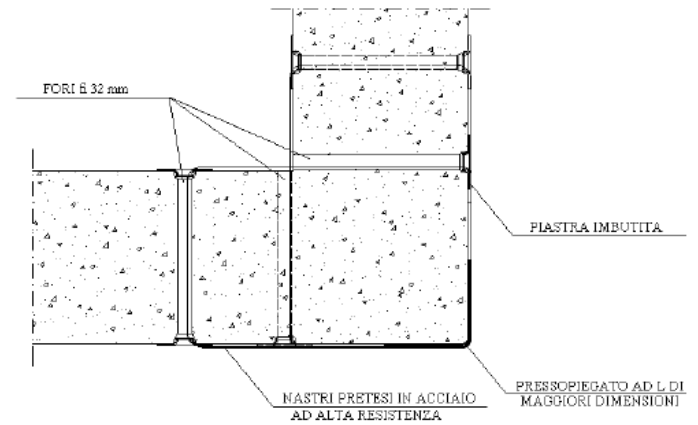
INTERVENTI LOCALI



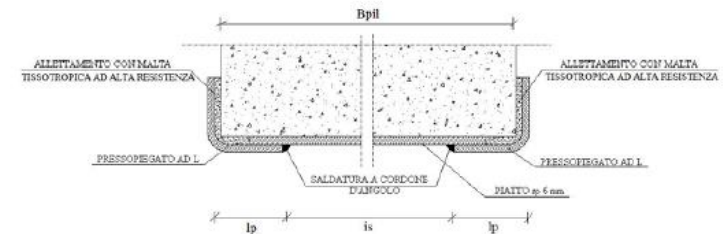
INTERVENTI LOCALI



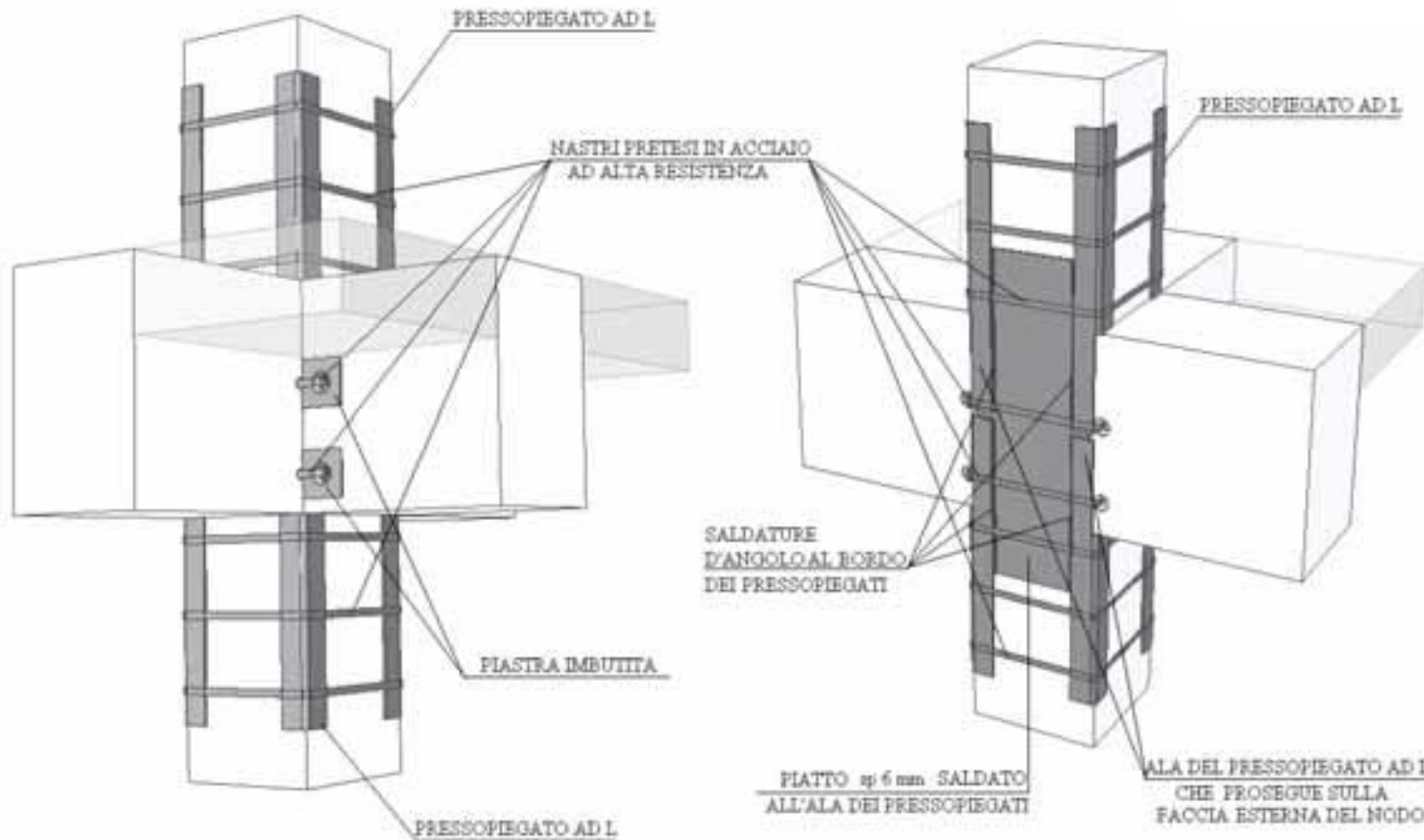
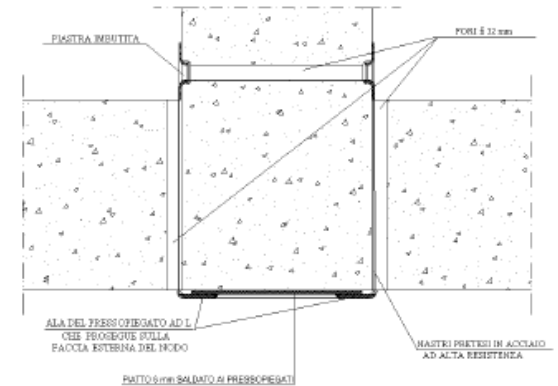
INTERVENTI LOCALI



Pressopiegati ad L e nastri pretesi in un nodo d'angolo

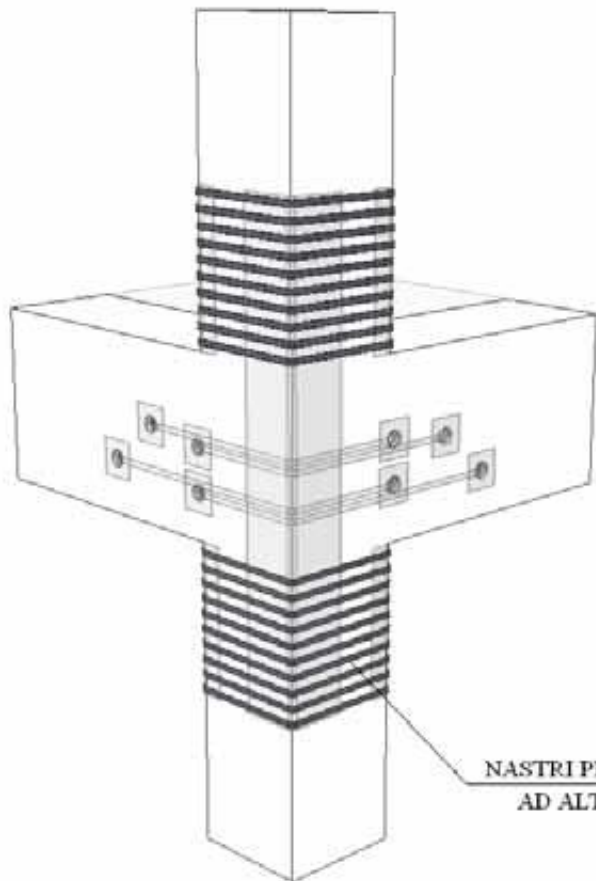


INTERVENTI LOCALI

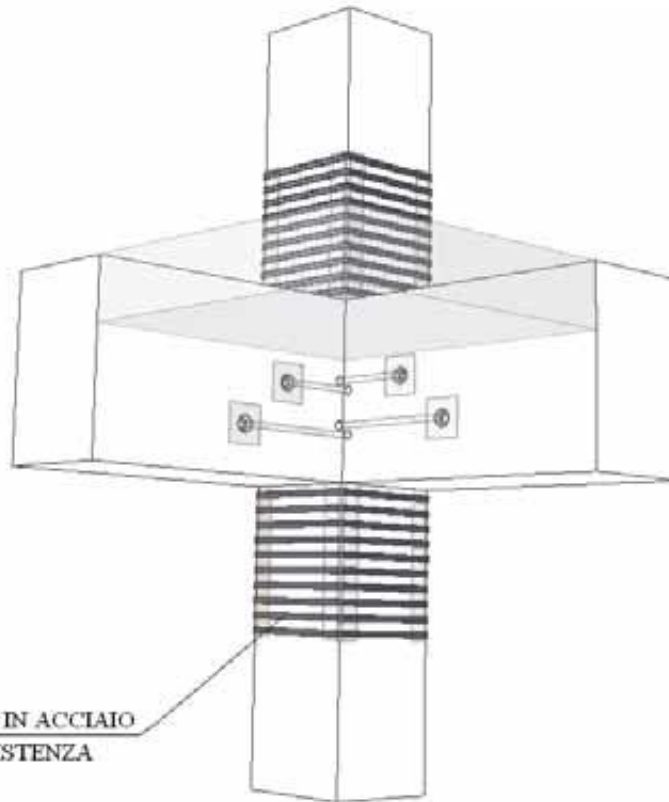


Pressopiegati ad L,
piastra e nastri pretesi
in un nodo intermedio

INTERVENTI LOCALI

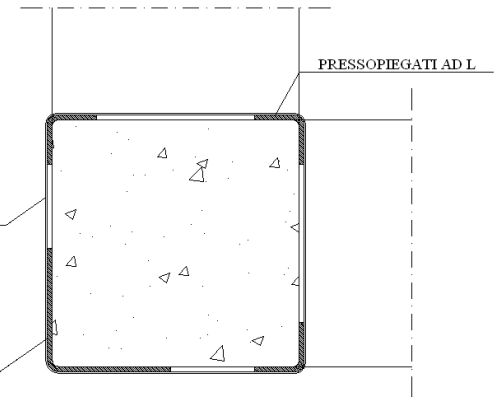


NASTRI PRETESI IN ACCIAIO
AD ALTA RESISTENZA



NASTRI PRETESI IN ACCIAIO
AD ALTA RESISTENZA

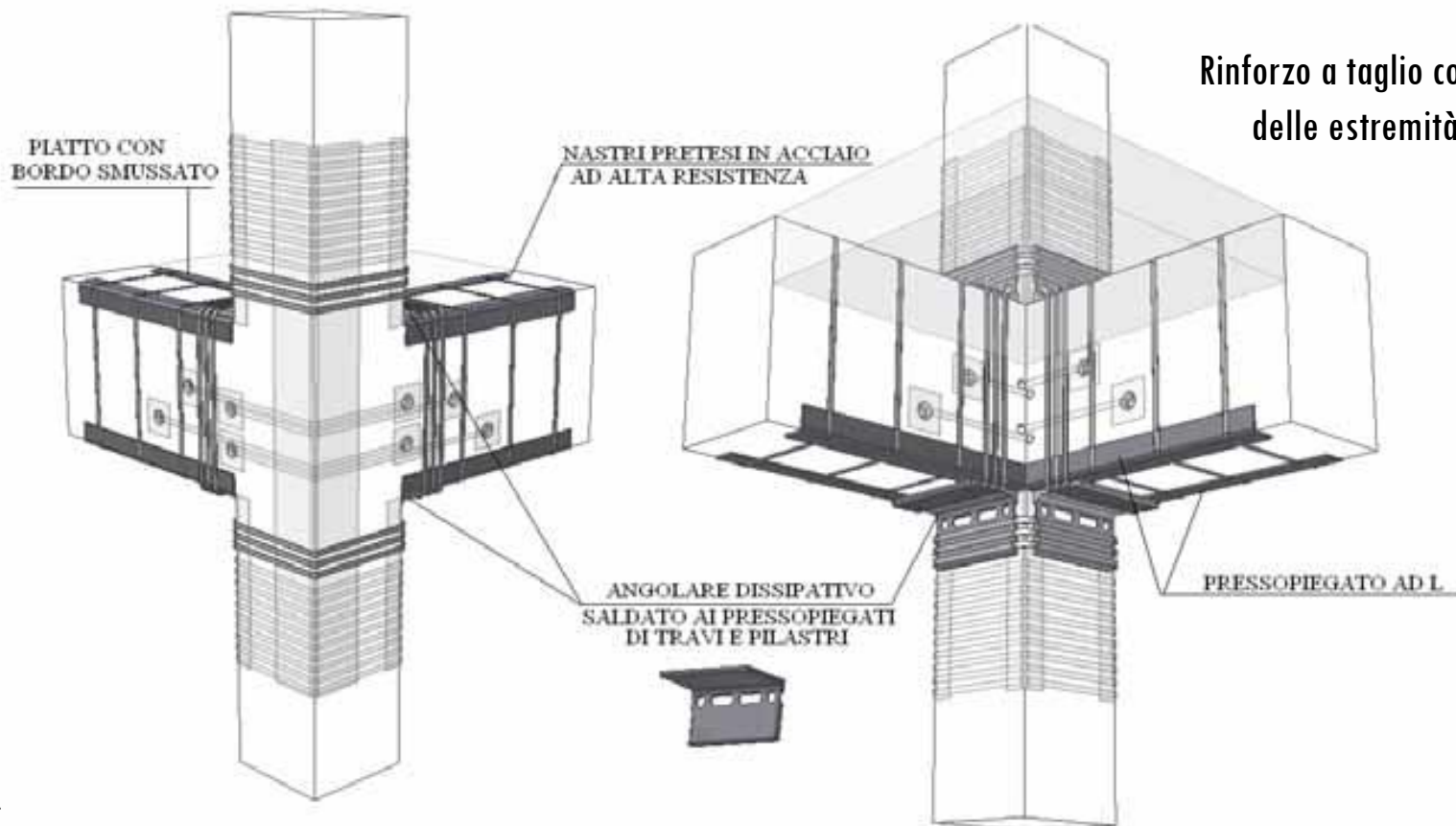
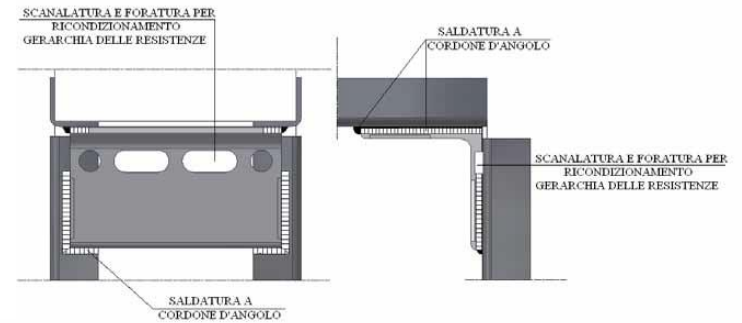
PRESSOPIEGATO AD L DI
MAGGIORI DIMENSIONI



PRESSOPIEGATI AD L

Confinamento delle estremità
dei pilastri in un nodo
d'angolo

INTERVENTI LOCALI



Rinforzo a taglio con configurazione ad U delle estremità delle travi di un nodo d'angolo

INTERVENTI LOCALI

Fasi lavorazione

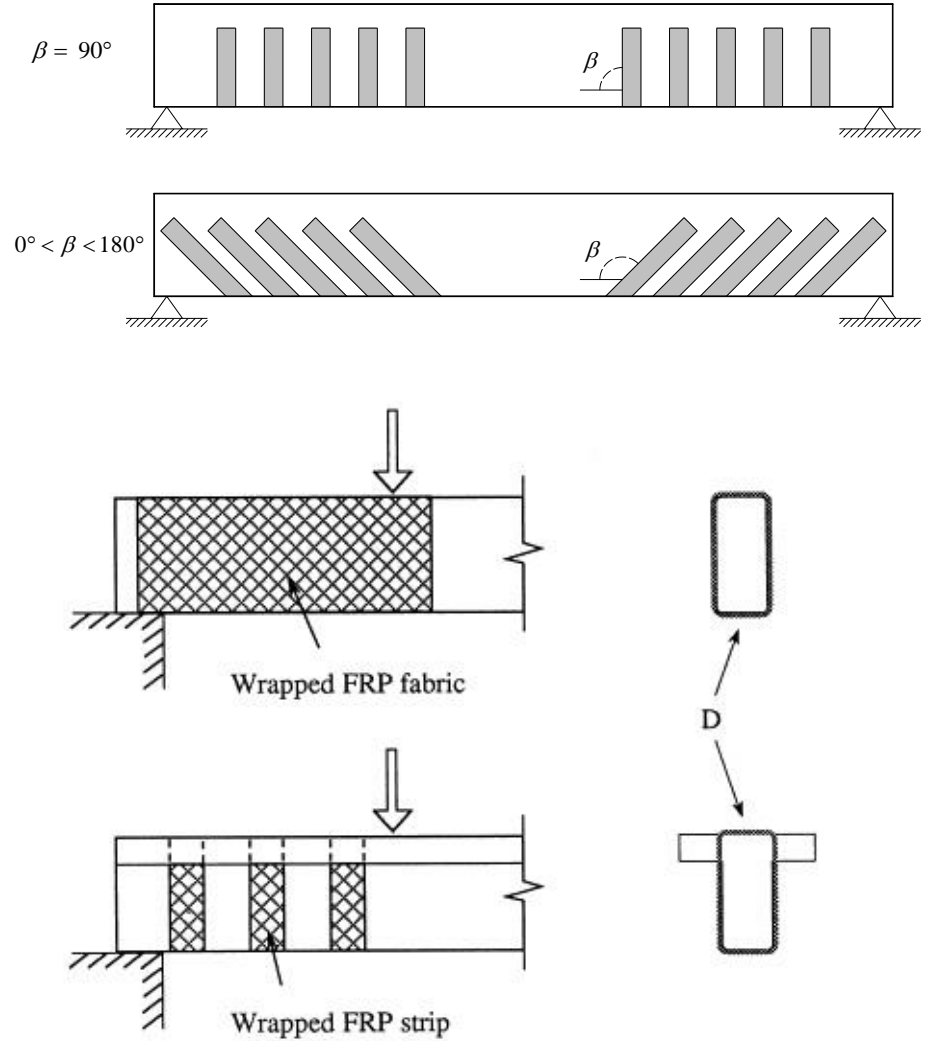
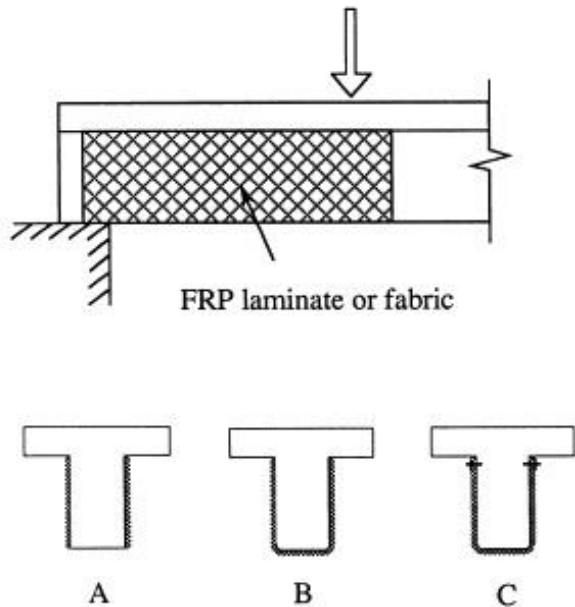
1. Rimozione dell'intonaco
2. Pulizia per la rimozione di ogni residuo di lavorazione
3. Riprofilatura degli spigoli vivi
4. Trattamento (ove necessario) delle armature originarie degli elementi strutturali in c.a.,
5. Riparazione di fessure strutturali in elementi in calcestruzzo armato con utilizzo di resine epossidiche
6. Ripristino del c.a. con malta a ritiro controllato tixotropica
7. Posizionamento in opera e realizzazione dei fori per l'inserimento dei nastri metallici
8. Posizionamento dei pressopiegati ad L in acciaio
9. Nel caso di nodi intermedi, esecuzione delle saldature per il collegamento del piatto ai pressopiegati ad L e zincatura a freddo delle stesse
10. Inserimento e tesatura dei nastri metallici in acciaio zincato
11. Chiusura dei fori secondo il giudizio del progettista con malta colabile a ritiro compensato
12. Sbruffata con malta cementizia di protezione ed aggrappaggio e successiva applicazione dell'intonaco di finitura

INTERVENTI LOCALI



INTERVENTI LOCALI

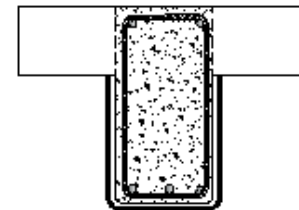
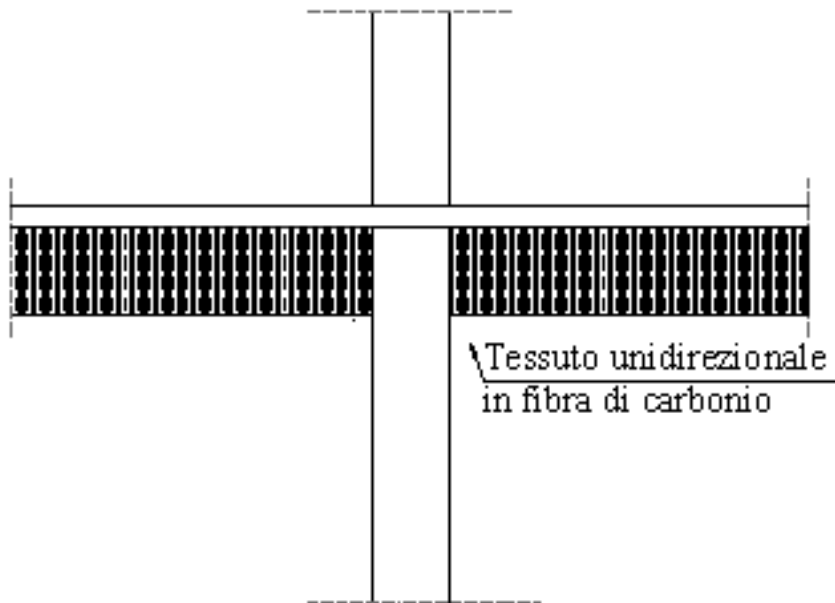
Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **FRP/FRCM**



INTERVENTI LOCALI

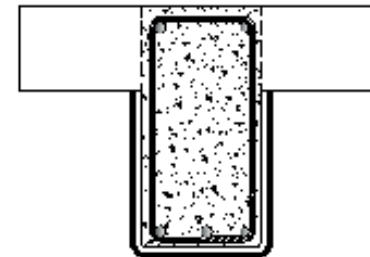
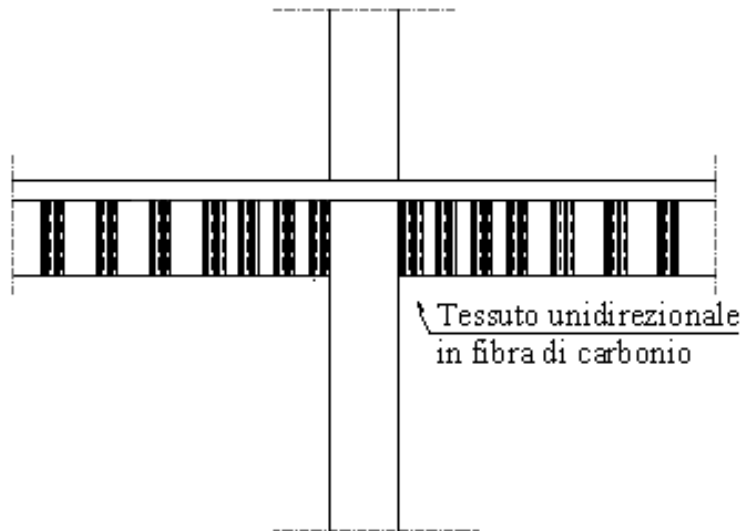
Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **FRP/FRCM**

Rinforzo continuo



INTERVENTI LOCALI

Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **FRP/FRCM**
Rinforzo discontinuo



INTERVENTI LOCALI

Fasi di lavorazione: FRP/FRCM

Rimozione dell'intonaco



Riprofilatura degli spigoli vivi



Passivazione armature e riparazione fessure



Ricostruzione sezione ove necessario



Preparazione substrato



Applicazione primo strato epossidico



INTERVENTI LOCALI

Fasi di lavorazione: FRP/FRCM

Taglio fasce tessuto e



Applicazione secondo strato epossidico



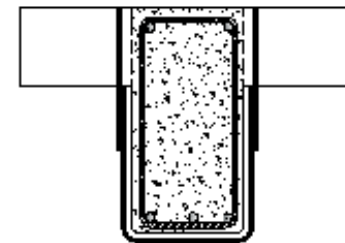
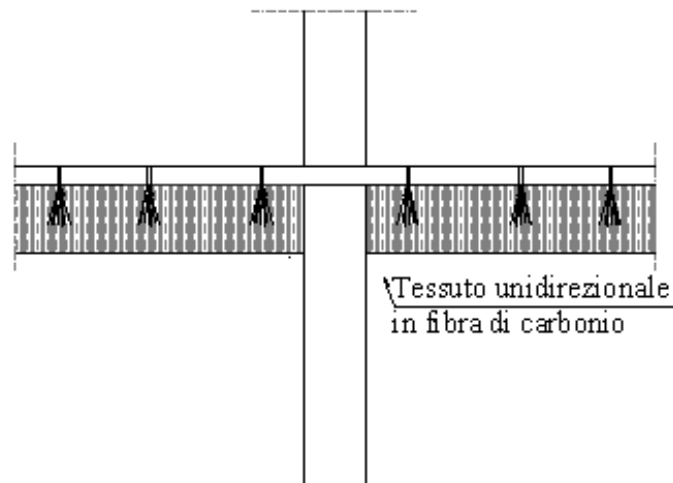
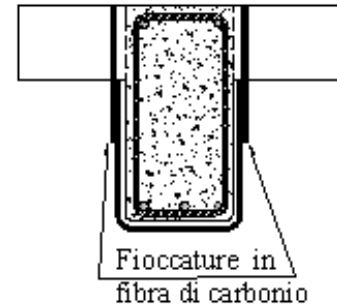
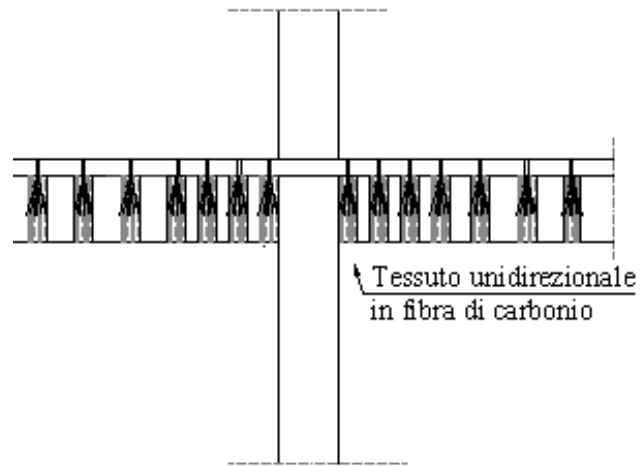
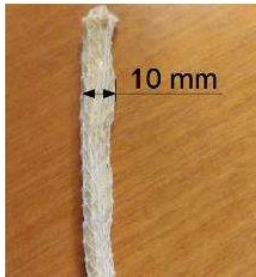
Ripasso tessuto impregnato (elim. bolle)



Ulteriori fasciature e sovrapposizione finale di almeno 20 cm

INTERVENTI LOCALI

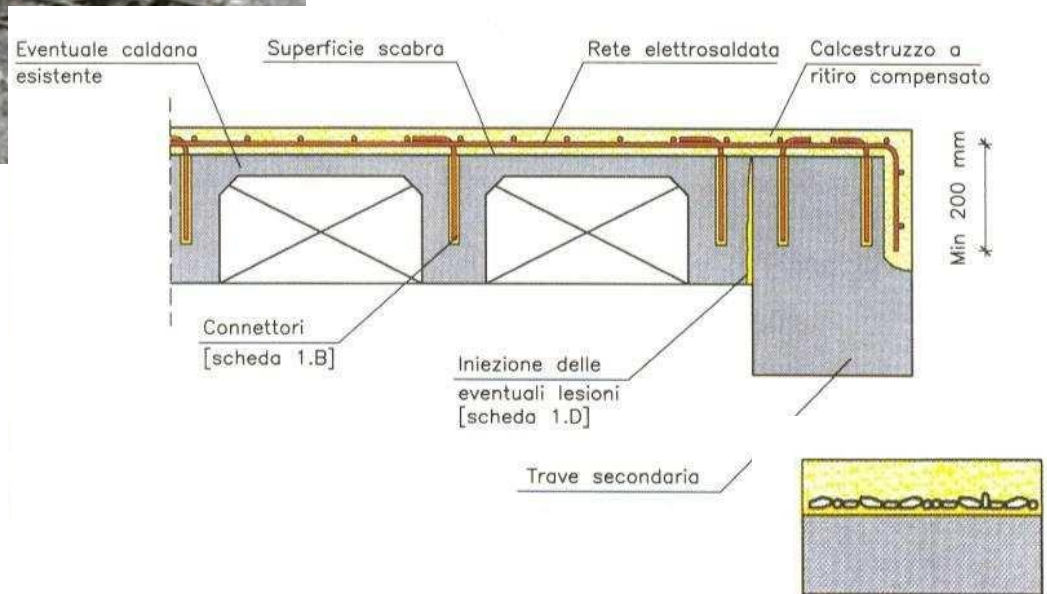
Rinforzo a taglio di travi in c.a.: **FRP/FRCM**
Ancoraggi per rinforzo a taglio



INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei solai:

Getto integrativo all'estradosso (integrazione della soletta originaria ma incremento di peso).



INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei solai:

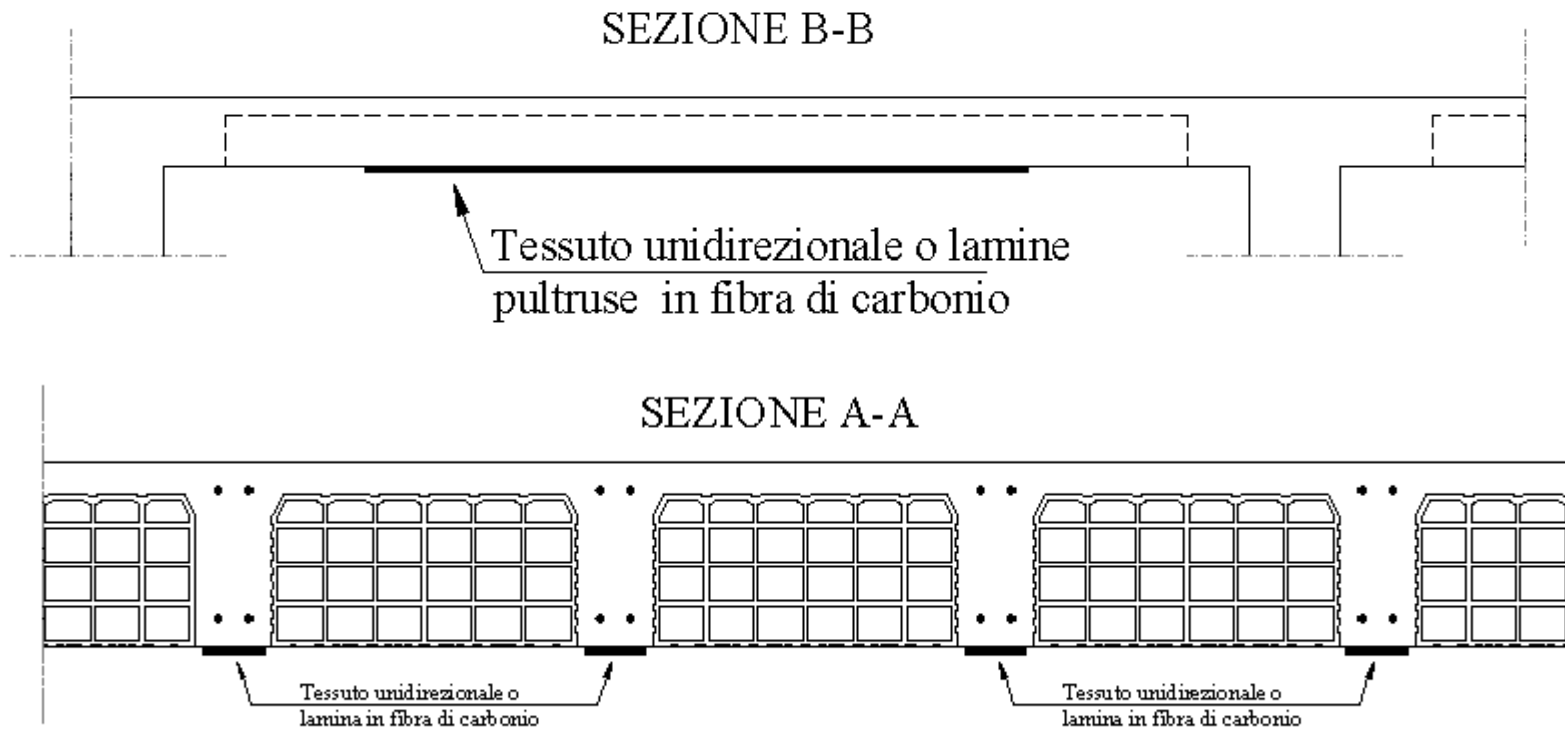
applicazione di lastre metalliche all'intradosso

Si può disporre all'intradosso dell'elemento (travetto) una lastra metallica di opportuno spessore, fissata al supporto in c.a. anche con ancoraggi meccanici, avendo cura di posizionare gli ancoraggi in modo da non interferire con i ferri di armatura ovvero i trefoli nel caso di solai con travetti prefabbricati precompressi.



INTERVENTI LOCALI

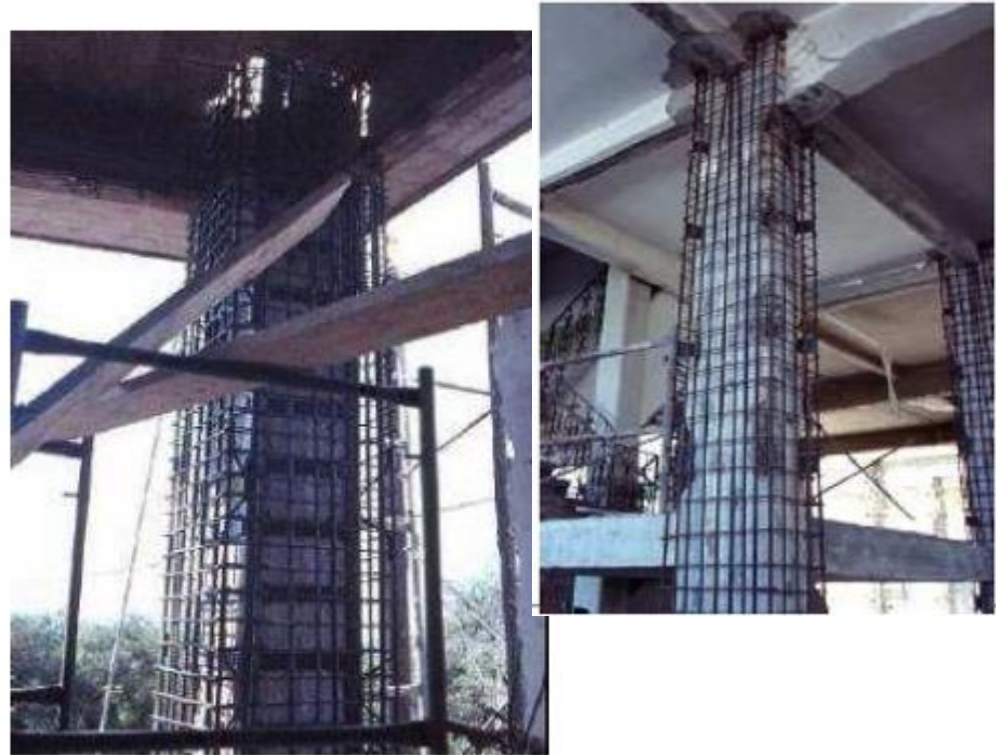
Rinforzo dei solai: **applicazione di FRP/FRCM**



INTERVENTI LOCALI

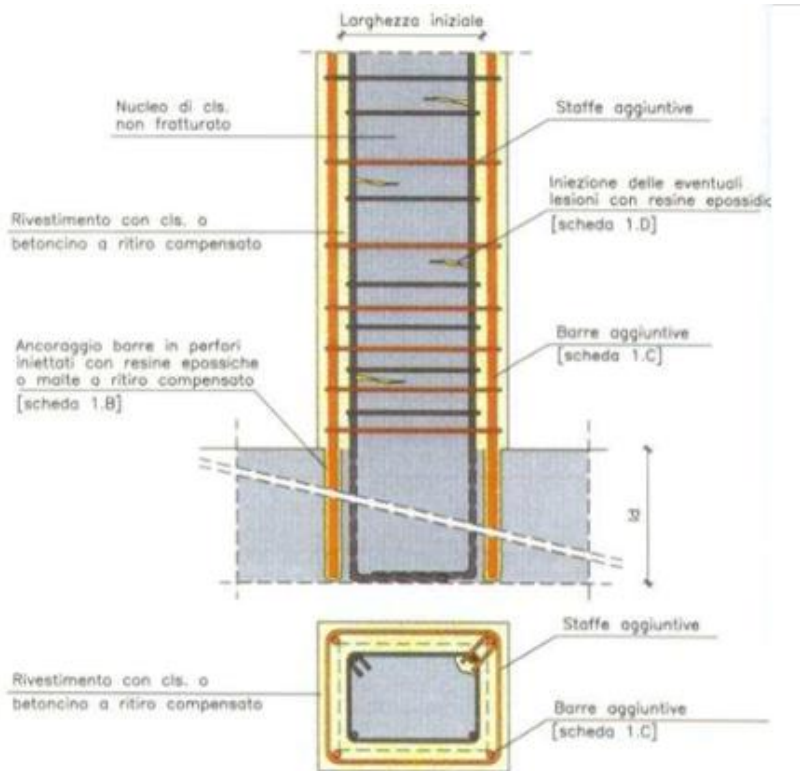
Rinforzo dei pilastri: Incamiciatura pilastri con sostituzione del calcestruzzo degradato e sostituzione / integrazione dell'armatura.

Sono possibili anche incrementi della sezione resistente (variazione di rigidezza) ma vanno tenuti in conto in relazione alla loro **influenza sulla distribuzione delle forze sugli elementi strutturali** (influenza sul comportamento globale).



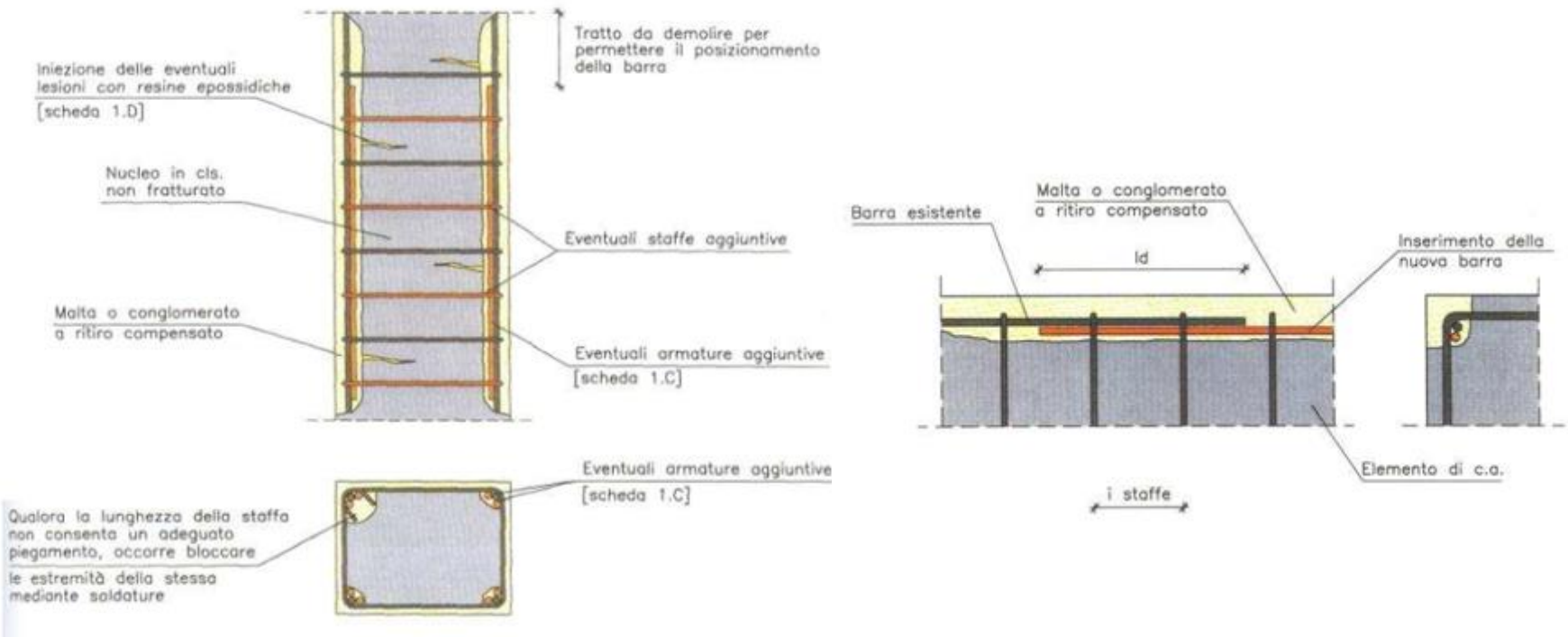
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei pilastri: **Incamicatura pilastri con incremento armatura e area della sezione resistente**



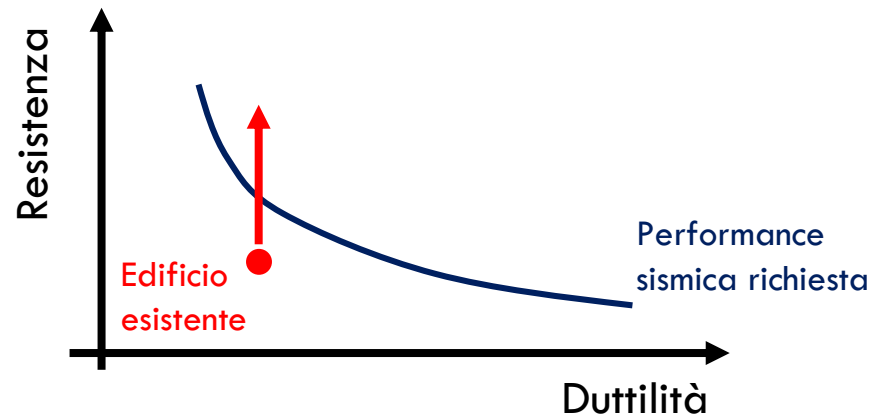
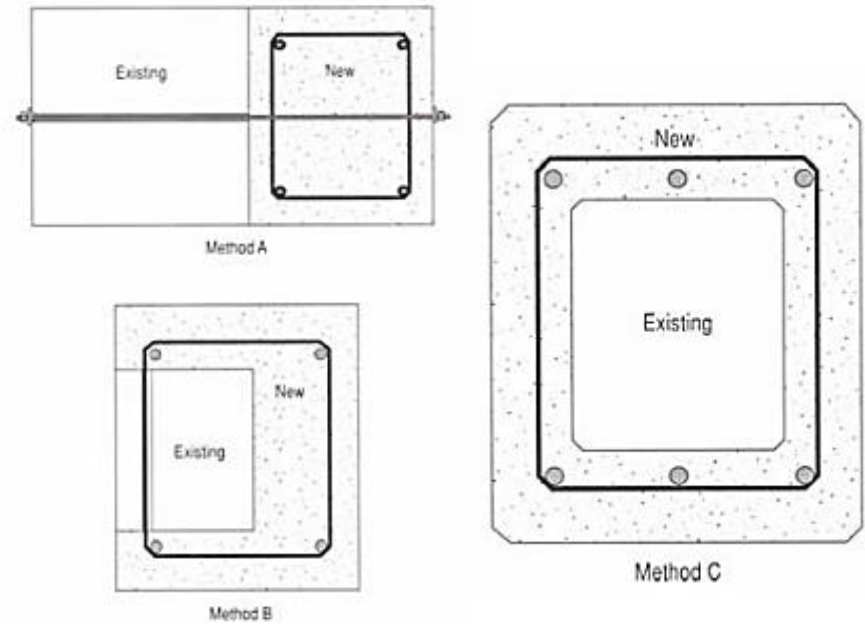
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei pilastri: Sostituzione del calcestruzzo ammalorato, incremento armatura e mantenimento della stessa area della sezione resistente



INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei pilastri: incremento sezione e armature



INTERVENTI LOCALI



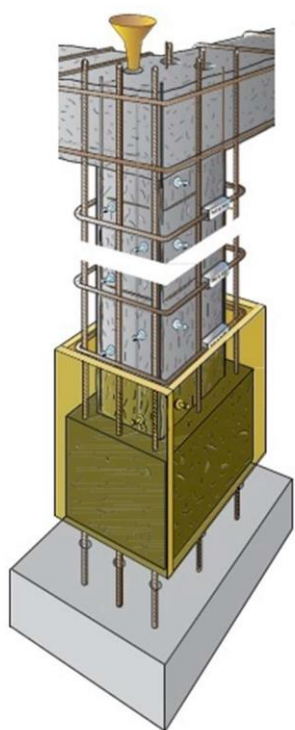
fonte: Ing. Antonio Trimboli

INTERVENTI LOCALI



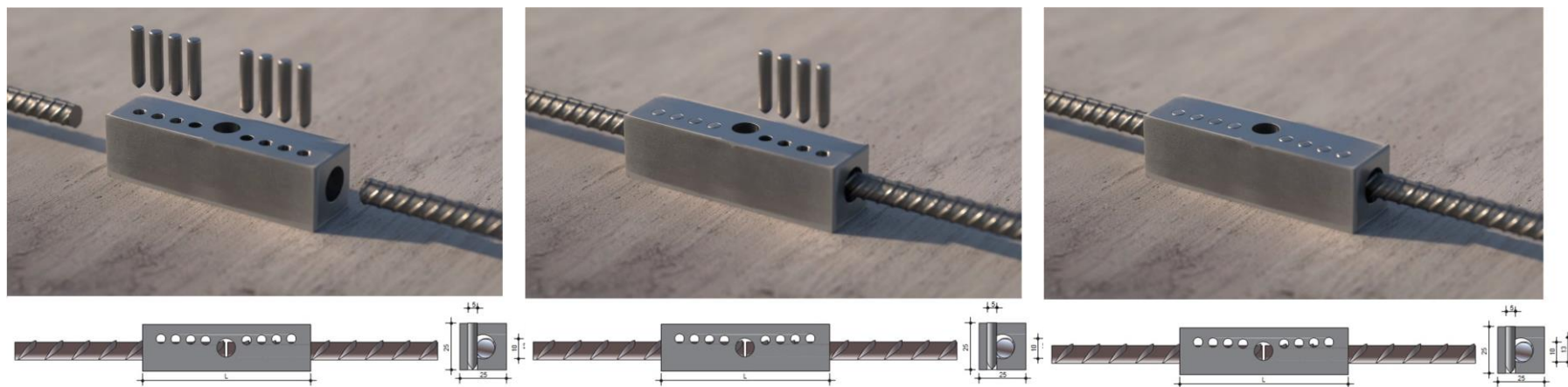
fonte: Ing. Antonio Trimboli

INTERVENTI LOCALI



fonte: Ing. Antonio Trimboli

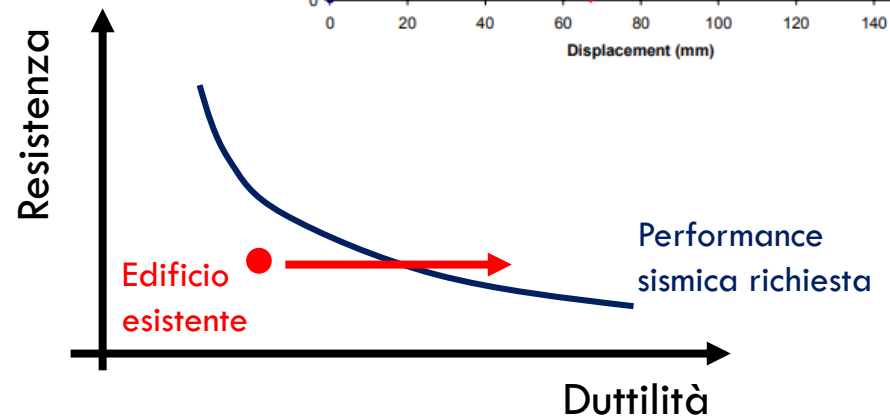
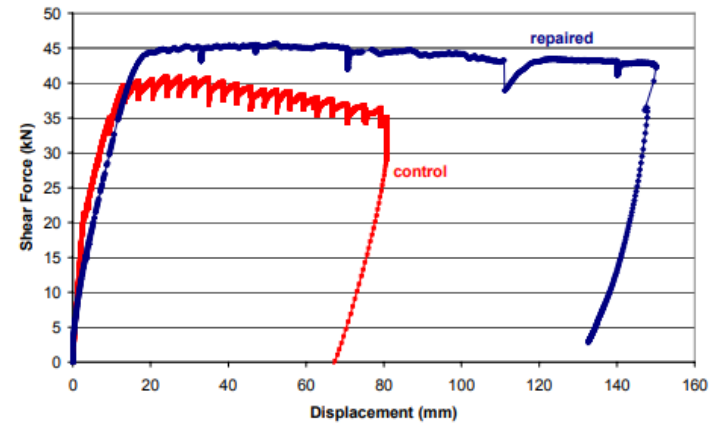
INTERVENTI LOCALI



fonte: Ing. Antonio Trimboli

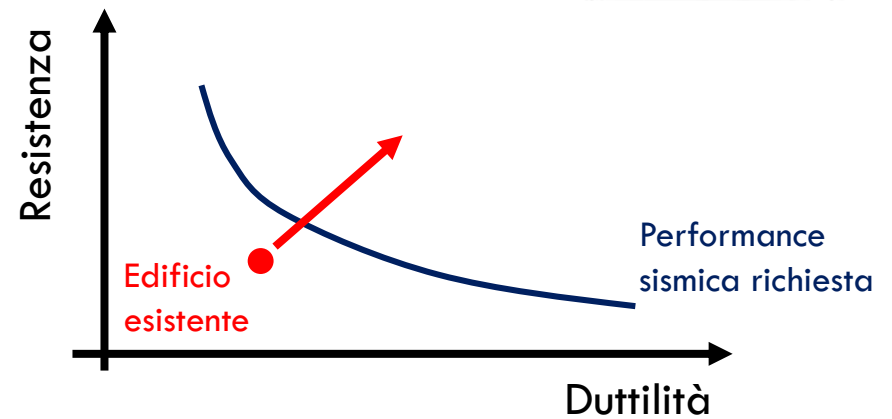
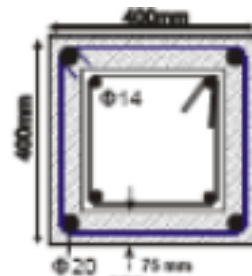
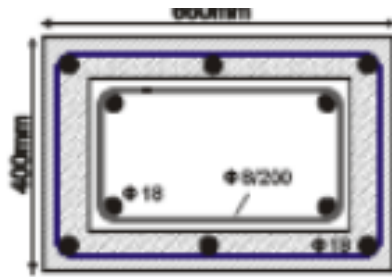
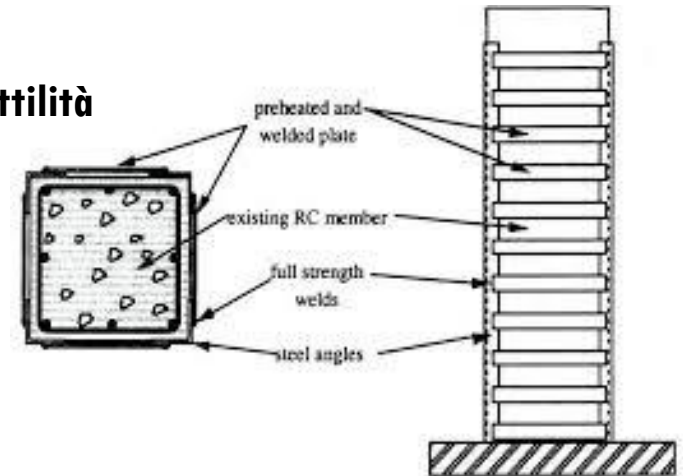
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei pilastri: intervento FRP/FRCM



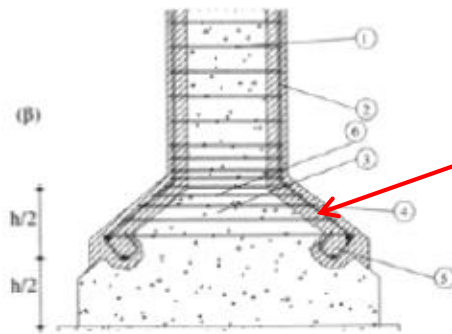
INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei pilastri: Incremento combinato di resistenza e duttilità

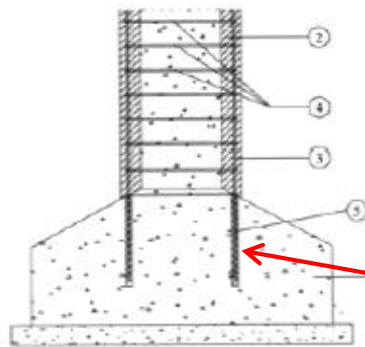


INTERVENTI LOCALI

Rinforzo dei pilastri: Ancoraggio in fondazione



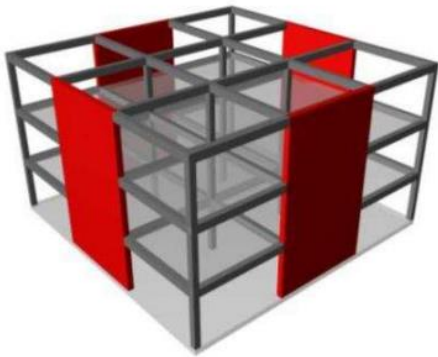
Aumento larghezza



Fissaggio in fori verticali

INTERVENTI GLOBALI

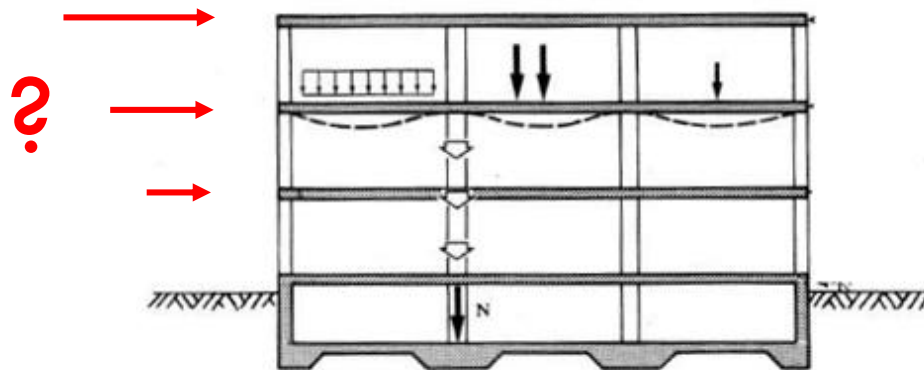
Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica



- possibilità di ***regolarizzare/modificare il comportamento strutturale***;
- molto efficienti per il ***controllo degli spostamenti*** globali laterali => riduzione del danneggiamento dell'edificio;
- ***sezione trasversale*** «importante»;
- capacità deformativa minore di quella degli elementi snelli (colonne);
- vengono inseriti incorporando travi e colonne esistenti;
- le ***fondazioni*** devono essere in grado di sopportare le sollecitazioni agenti sul setto in c.a. (spesso è necessario intervenire nelle fondazioni).

INTERVENTI GLOBALI

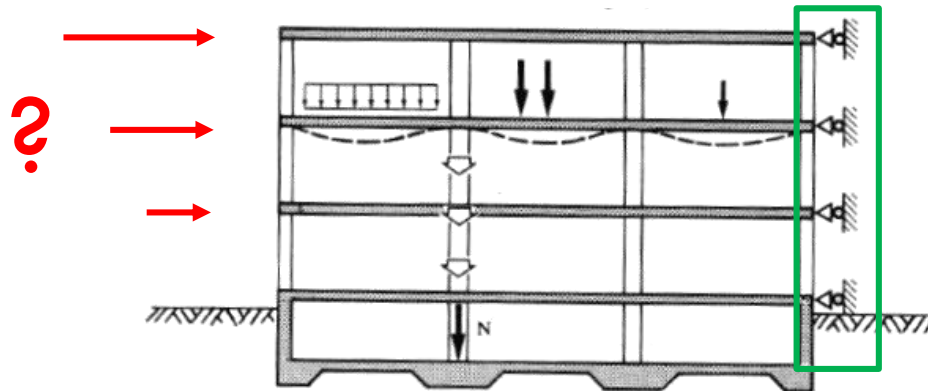
Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica



- La struttura **non è progettata per resistere a dei carichi orizzontali**, ma solo a trasferire i carichi verticali;
- I **telai** spesso sono solo **bidimensionali**;
- Mancanza di attenzione alla progettazione dei nodi;
- **No capacity-design** (gerarchia delle resistenze);

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica

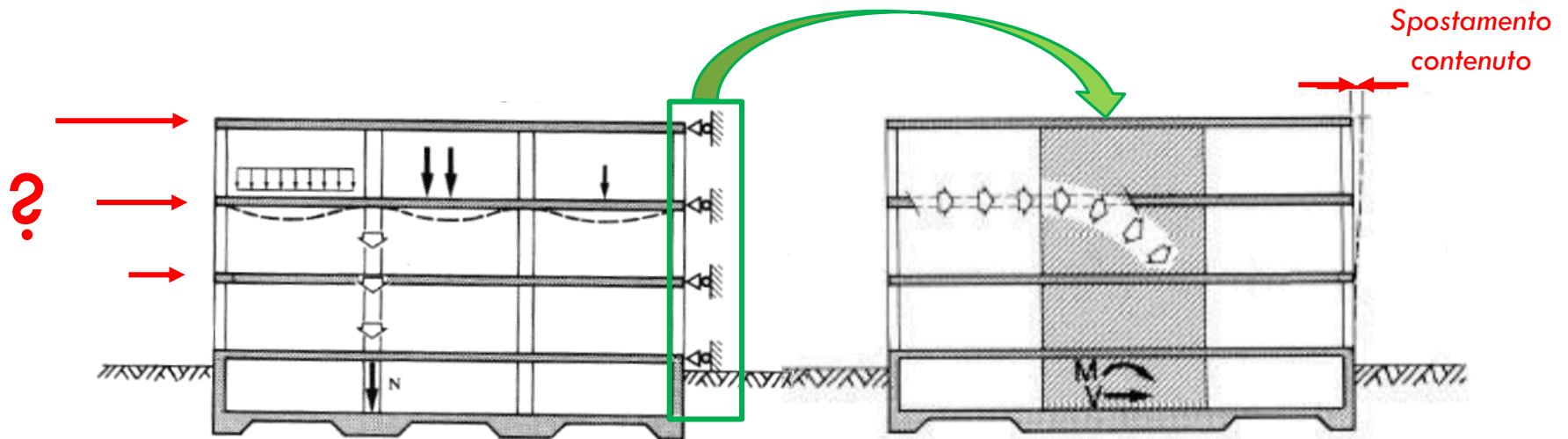


- Necessità di introdurre **dei vincoli per gli spostamenti orizzontali**;
- Una volta bloccati gli spostamenti orizzontali, al telaio sono affidati i soli carichi verticali;

Inserimento di elementi strutturali specifici (adeguatamente dimensionati) in grado di sopportare l'azione sismica

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica



Questo vincolo viene ottenuto con *l'inserimento di elementi più rigidi*, comunemente setti in c.a. e controventi in acciaio.

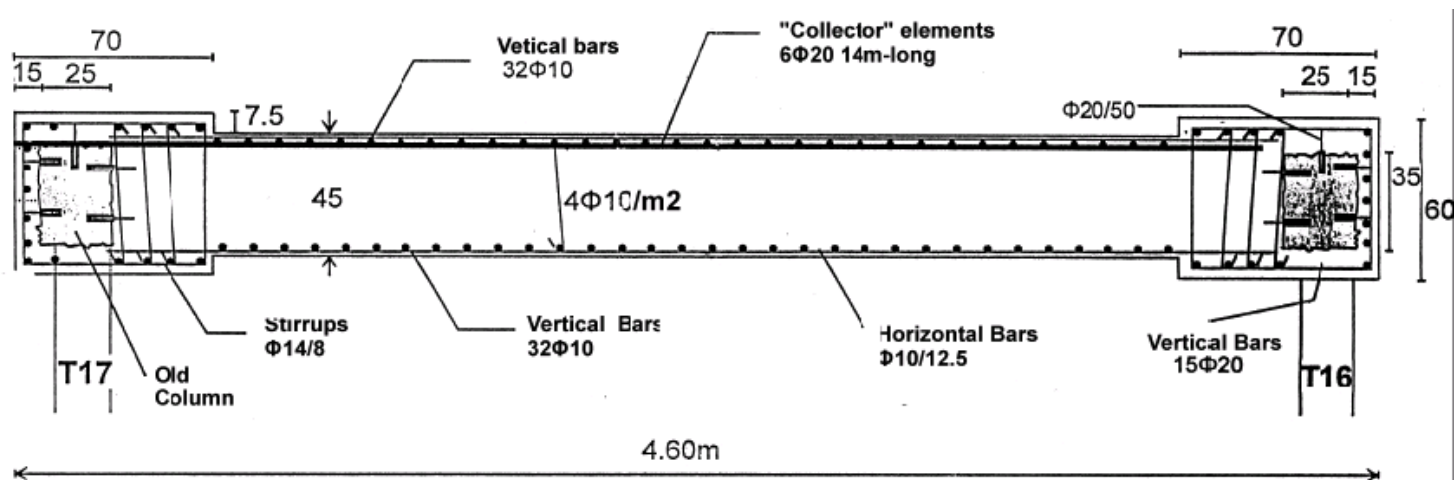
INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica



INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica



- **Redistribuzione delle sollecitazioni negli elementi strutturali**
- **Riduzione delle sollecitazioni nei pilastri esistenti**
- **Irrigidimento globale dell'edificio**
- **Riduzione del periodo proprio di vibrazione**
- **Possibile incremento dell'accelerazione corrispondente**
- **Riduzione della deformazione in tutti gli elementi**

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica

- Controllo della **distribuzione delle pareti in pianta e in elevazione per ottenere una configurazione regolare delle rigidzze degli elementi resistenti** e ridurre la distanza fra centro delle masse e centro delle rigidzze.
- Particolare attenzione **alla connessione tra parete e struttura esistente** ed al trasferimento dei carichi in fondazione.



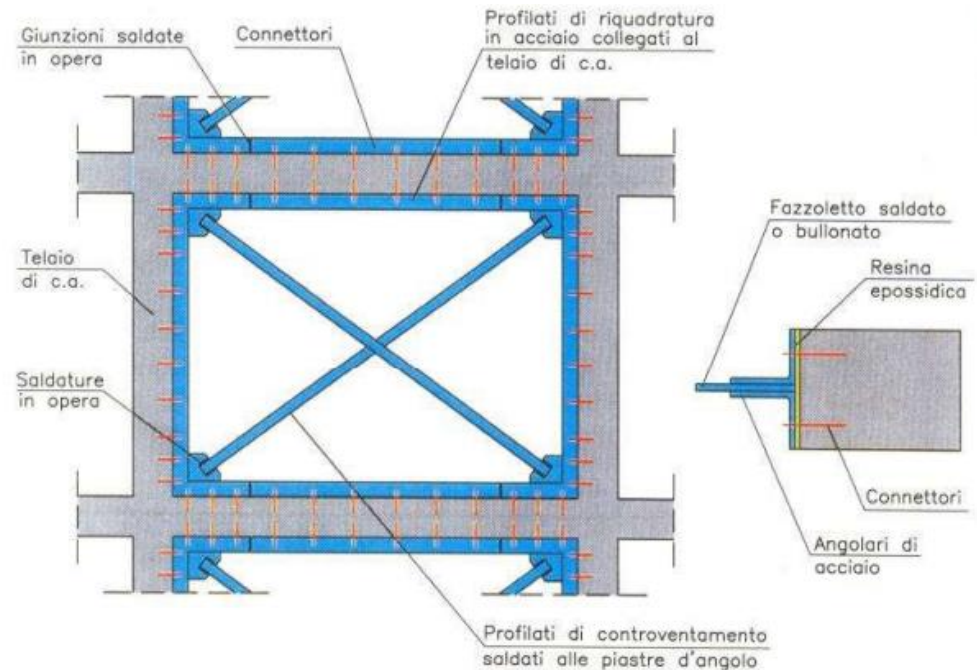
INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica: controventi in acciaio

- Rispetto alle pareti, comportano un inserimento **meno invasivo e distruttivo**;
- Problemi in fondazione minori;

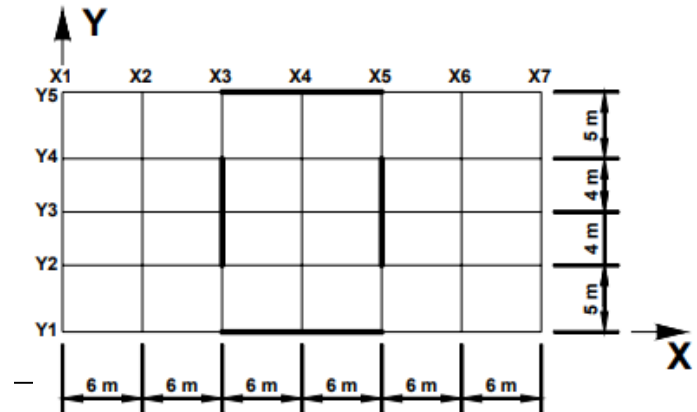
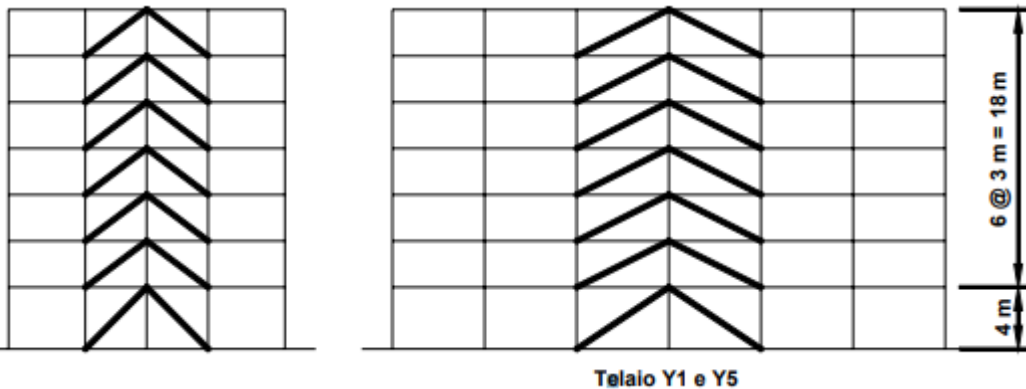
La disposizione in pianta ed in elevazione di setti e controventi deve **garantire le proprietà di regolarità in elevazione** e deve garantire **un'adeguata rigidezza a torsione**.

Generalmente essa deve sottostare a **vincoli di carattere architettonico**.



INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica: controventi in acciaio



INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di nuovi elementi strutturali in grado di resistere all'azione sismica: controventi in acciaio

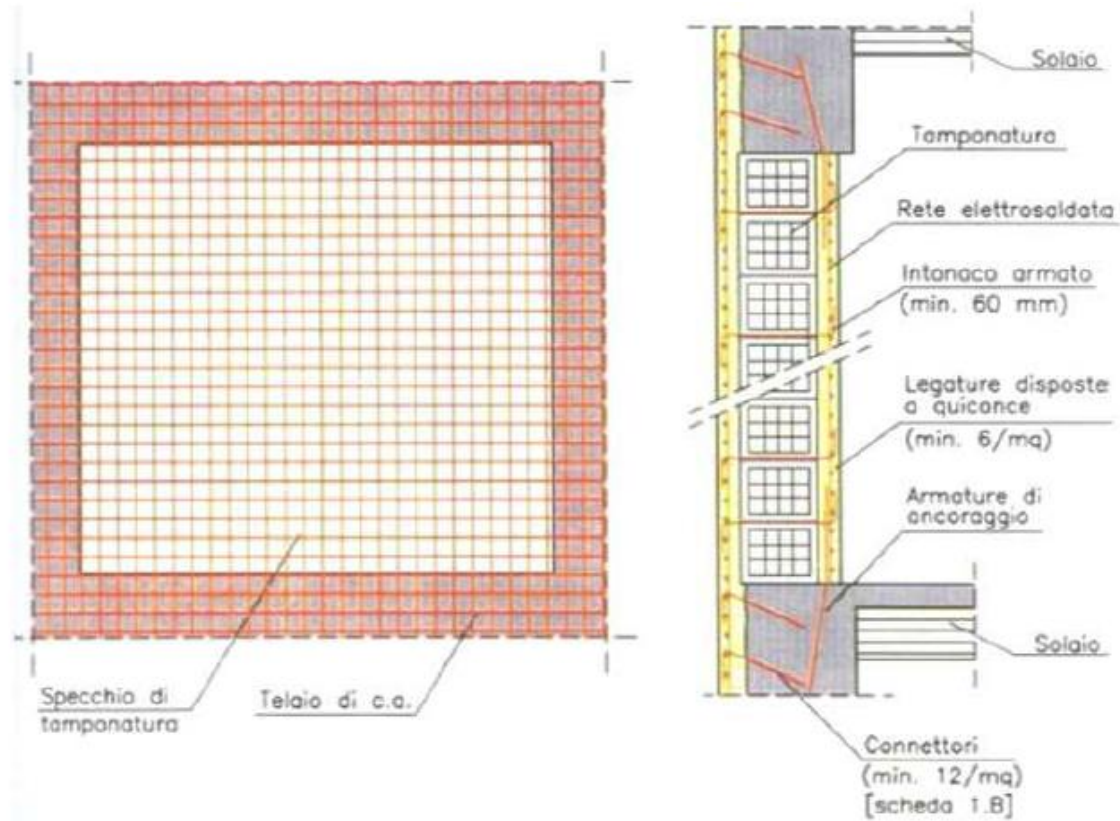


I controventi possono essere inseriti nella struttura esistente o fare parte di un telaio esterno connesso alla struttura esistente.



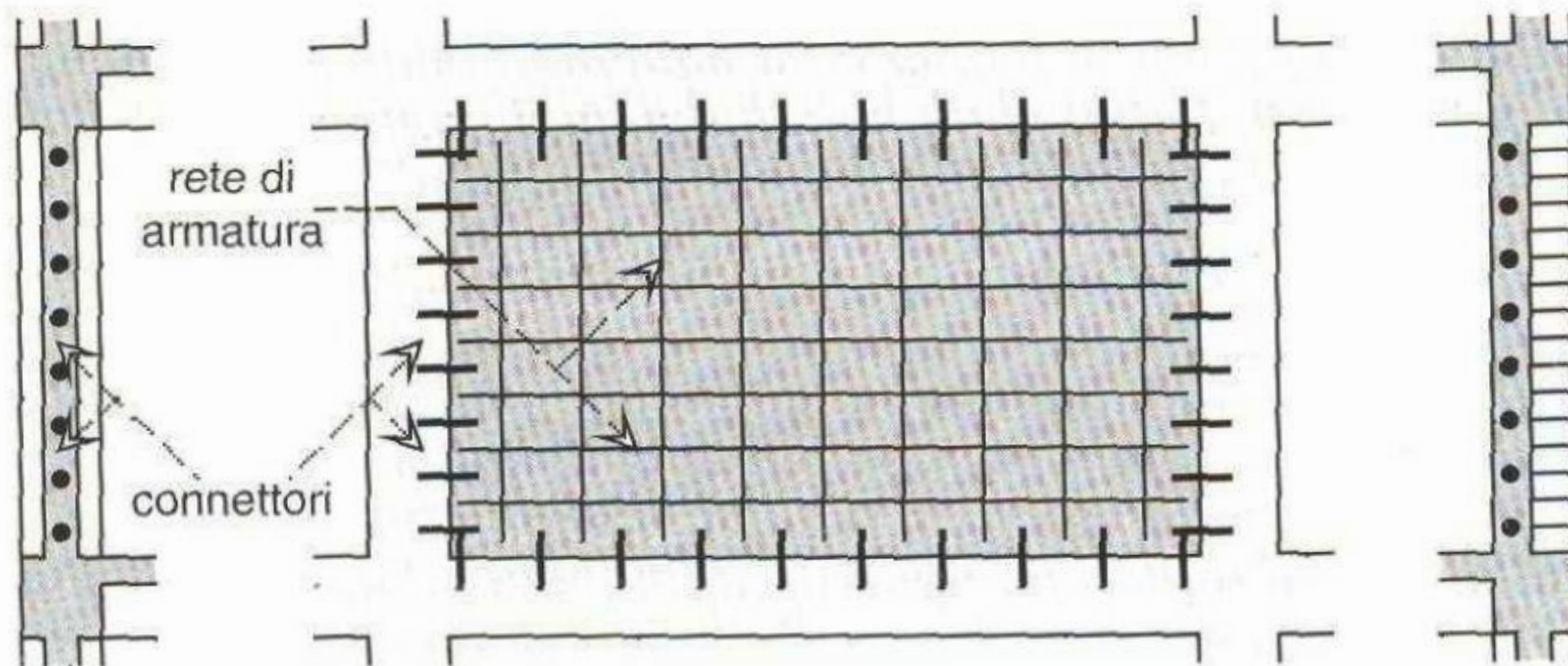
INTERVENTI GLOBALI

Incamiciatura tamponature



INTERVENTI GLOBALI

Incamiciatura tamponature



INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

L'isolamento alla base dell'edificio consiste principalmente nell'introduzione, solitamente tra le fondazioni ed il primo solaio, di particolari apparecchi denominati isolatori che, grazie alla loro modesta rigidezza orizzontale, ***disaccoppiano il moto della struttura da quello del terreno.***

Sovrastruttura e sottostruttura in caso di sisma devono ***rimane in campo sostanzialmente elastico.***

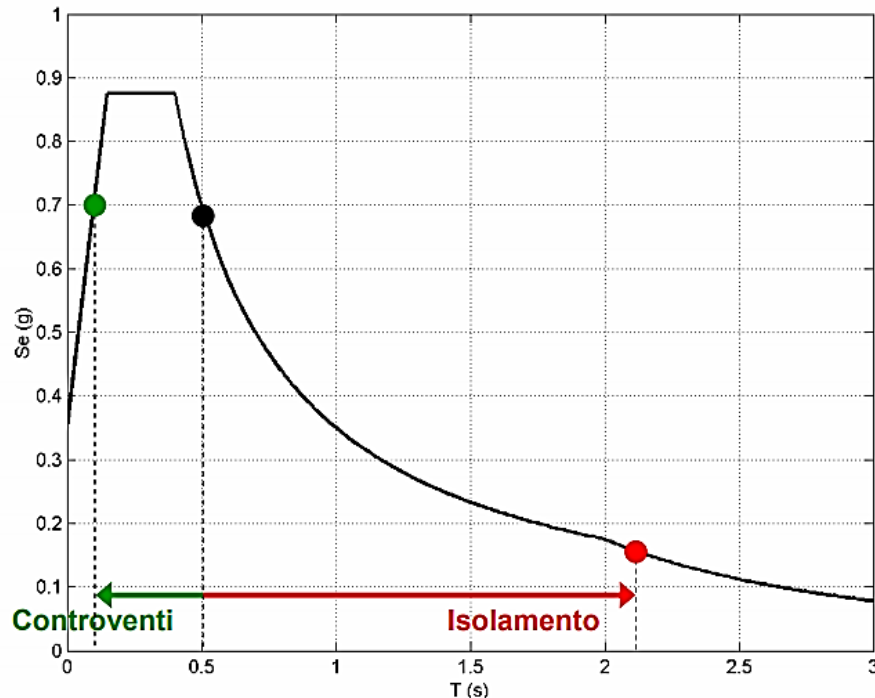
=> ridurre la vulnerabilità sismica di una struttura ***anche nei confronti di sismi severi incrementandone il periodo fondamentale (T) o limitando la massima forza orizzontale trasmessa.***

La capacità di ridurre l'energia sismica che dal terreno investe la struttura impone una conseguente ***semplificazione del progetto strutturale.***

INTERVENTI GLOBALI

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \quad K_t = M \frac{4\pi^2}{T^2}$$

Isolamento alla base della struttura



L'obiettivo progettuale è la riduzione, o addirittura l'eliminazione, del danno strutturale, facendo in modo che la struttura **non attinga alle proprie risorse di duttilità e limitando le sue escursioni in campo plastico**, anche in occasione di terremoti di notevole intensità.

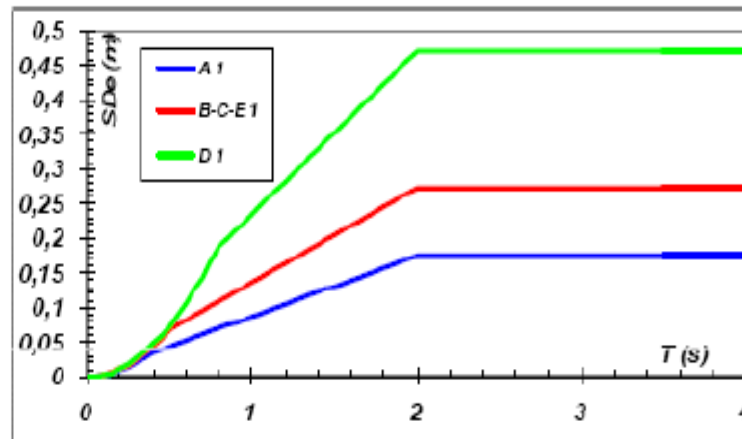
Ciò determina da una parte una **riduzione degli spostamenti subiti dai nodi della struttura**, dall'altra una significativa **riduzione delle forze sperimentate dalla struttura** le cui **caratteristiche dinamiche si spostano nella zona dello spettro a contenuto energetico inferiore**, a fronte di un incremento degli spostamenti totali.

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

Le risposte in termini di spostamento, che approssimativamente si ottengono dividendo le accelerazioni per ω^2 , aumentano in maniera praticamente proporzionale allo stesso periodo T .

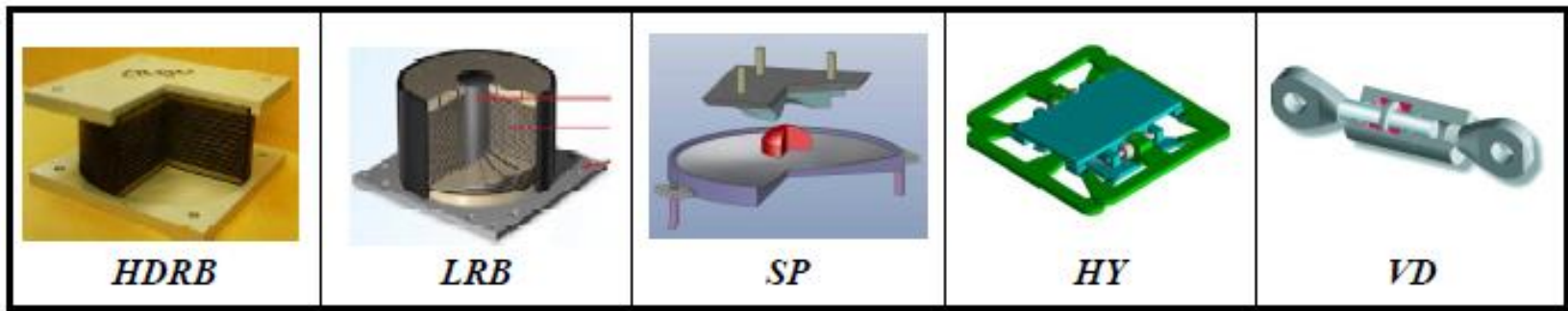
$$S_{De}(T) = S_e(T) \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$



INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

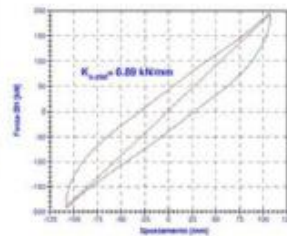
- Isolatori in gomma ad elevata dissipazione di energia [*HDRB*]
- Isolatori in gomma – piombo [*LRB*]
- Isolatori a pendolo scorrevole [*SP*]
- Dispositivi non lineari isteretici, combinati con appoggi scorrevoli [*HY*]
- Ammortizzatori viscosi, combinati con appoggi scorrevoli e sistemi elastici per il ricentraggio [*VD*]



INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

ISOLATORI ELASTOMERICI

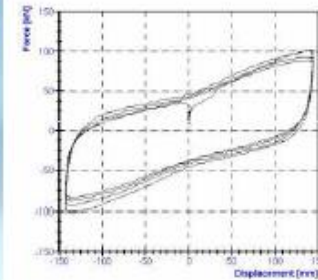
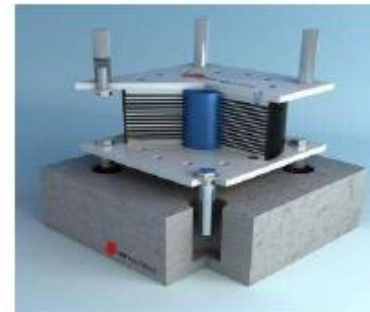


Dispositivo tipo HDRB: strati alternati di gomma e lamierini di acciaio, vulcanizzati.

Realizzati con mescole elastomeriche ad alto smorzamento, cioè con un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente $\xi = 10 + 15\%$ (ad una deformazione di taglio del 100%).

Normalmente il loro comportamento può essere modellato come lineare.

ISOLATORI ELASTOMERICI CON NUCLEO IN PIOMBO



Dispositivo tipo LRB: strati alternati di gomma e lamierini di acciaio, vulcanizzati, con nucleo centrale in piombo.

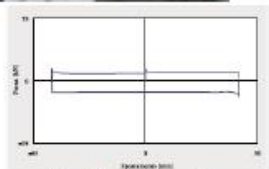
La plasticizzazione del piombo consente di ottenere un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ fino al 30%.

Legame costitutivo bilineare; nella progettazione si possono usare modellazioni lineari o non lineari a seconda delle prescrizioni normative.

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE PIANA

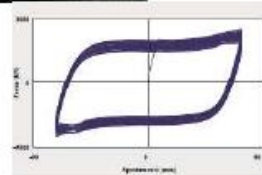


Sono apparecchi di appoggio multi direzionali con superfici di scorrimento a basso attrito.

Sono sempre utilizzati in combinazione con altri dispositivi antisismici (isolatori e/o dissipatori).

Il coefficiente di attrito dinamico è circa dell'1%, quindi il loro contributo alle forze orizzontali è quasi sempre trascurabile.

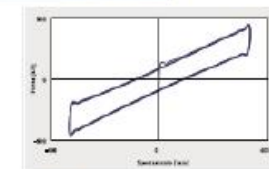
ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE PIANA CON DISSIPATORI



Sono la combinazione in un unico dispositivo di un apparecchio di appoggio e di dissipatori. I dissipatori sono normalmente dissipatori isteretici in acciaio o dissipatori viscosi.

Sono caratterizzati da un'elevata capacità dissipativa.

ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA



Il principio di funzionamento è quello del pendolo.

La dissipazione di energia è fornita dall'attrito della superficie di scorrimento principale.

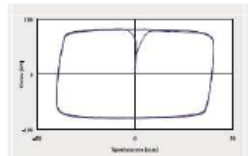
I parametri del legame costitutivo bilineare dipendono dal raggio di curvatura e dal coefficiente di attrito.

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITA'

DISSIPATORI VISCOSI



Sono dispositivi cilindro/pistone in cui la laminazione di un fluido silconico attraverso un idoneo circuito idraulico permette la dissipazione di energia.

Il legame costitutivo forza-velocità che ne risulta è non lineare:

$$F = C \cdot v^\alpha$$

dove: F = forza
C = costante di smorzamento
v = velocità



DISSIPATORI VISCOSI RICENTRANTI



Sono dispositivi cilindro/pistone caratterizzati da un legame costitutivo in cui la forza di reazione **F** dipende sia dalla velocità **v** sia dallo spostamento **d**, secondo una legge del tipo:

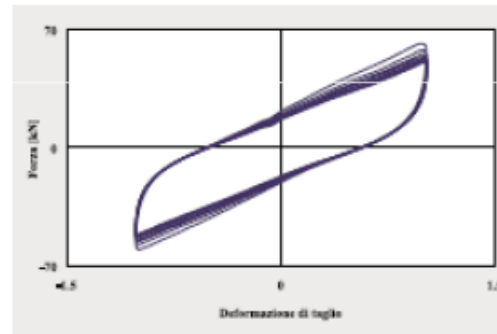
$$F = F_0 + K \cdot d \cdot C \cdot v^\alpha$$

dove: F_0 = forza di precarico
K = rigidezza
C = costante di smorzamento
v = velocità

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

DISSIPATORI VISCOELASTICI
ELASTOMERICI



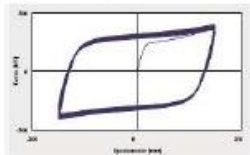
I dispositivi viscoelastici elastomerici sono costituiti da uno o più strati di elastomero con mescola ad alto smorzamento (un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente $\xi = 10 + 15\%$).

Normalmente sono utilizzati come componenti di controventi dissipativi in edifici intelaiati.

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

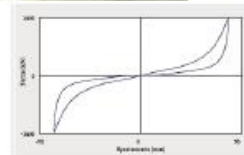
DISPOSITIVI ISTERETICI IN ACCIAIO



Questi dispositivi sfruttano la plasticizzazione di elementi in acciaio di forma opportuna, progettati per garantire un comportamento ciclico stabile.

Gli elementi a falce di luna o a piolo, in genere, sono più usati per i ponti, mentre i dissipatori isteretici assiali a instabilità impedita sono più usati come controventi dissipativi negli edifici.

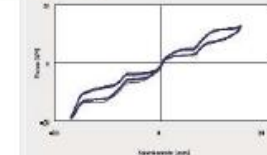
DISPOSITIVI ELASTICI



I dispositivi elastici sono dispositivi assiali a doppio effetto costituiti da una serie di dischi in elastomero interposti tra piastre di acciaio.

I dispositivi elastici sono solitamente usati nei ponti in corrispondenza di una spalla e/o tra impalcati adiacenti, a cavallo dei giunti.

DISPOSITIVI IN LEGA A MEMORIA DI FORMA



I dispositivi in lega a memoria di forma sono dispositivi assiali di vincolo che sfruttano le proprietà super-elastiche delle leghe a memoria di forma.

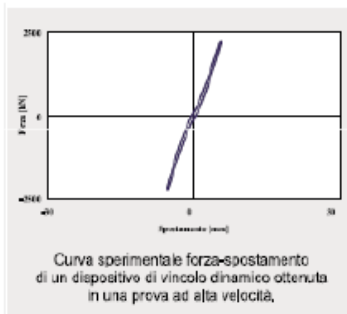
La curva forza-spostamento è caratterizzata da uno o più "plateaux"; in tal modo tali dispositivi consentono di limitare la forza massima che viene trasmessa alla struttura a cui sono connessi.

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

TEMPORANEO

DISPOSITIVI DI VINCOLO DINAMICO

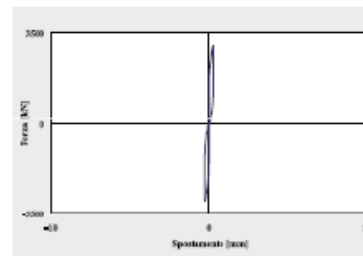


I dispositivi di vincolo dinamico ("shock transmitter") costituiscono un vincolo molto rigido a fronte di un'azione dinamica, mentre consentono i movimenti lenti della struttura (ad es. variazioni termiche) senza offrire un'apprezzabile resistenza.

Si usano in quei casi in cui è opportuno che il comportamento strutturale sia diverso per le azioni di servizio e per quelle sismiche.

PERMANENTE

GUIDE E RITEGNI

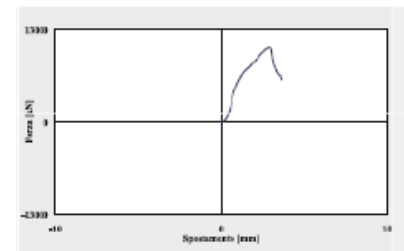


Le guide sono dispositivi meccanici che consentono lo scorrimento in una direzione del piano, trasmettendo la forza nella direzione ortogonale.

I ritegni sono dispositivi meccanici fissi che bloccano gli spostamenti nel piano trasmettendo la forza orizzontale in ogni direzione.

Le guide e i ritegni non trasferiscono carichi verticali.

DISPOSITIVI DI VINCOLO A FUSIBILE MECCANICO



I dispositivi di vincolo a fusibile meccanico impediscono i movimenti relativi fra le parti collegate sino al raggiungimento di una soglia di forza. Al superamento di tale forza, grazie alla rottura di un elemento sacrificiale, consentono tali movimenti.

Sono utilizzati per escludere il sistema di protezione sismica nelle condizioni di servizio, consentendone invece il libero funzionamento durante il terremoto di progetto.

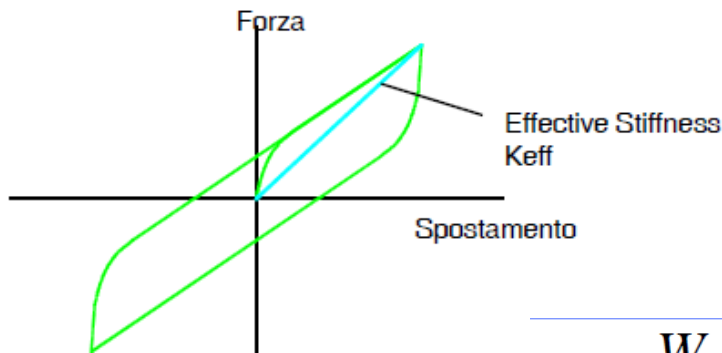
9

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

ISOLATORI ELASTOMERICI

In genere comportamento degli HDRB può essere modellato come lineare mediante la rigidità equivalente ed il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente.



$$K = \frac{GA_r}{h_g}$$

G = modulo dinamico equivalente a taglio (0.4 +1.4 MPa)
 A = area in pianta dello strato di elastomero
 h_g = spessore totale della gomma (Σ altezze strati di gomma)

$$\xi = \frac{W_d}{2\pi F d}$$

d = spostamento massimo raggiunto dal dispositivo in un ciclo di carico;
 F = forza massima raggiunta dal dispositivo in un ciclo di carico;
 W_d = energia dissipata da un dispositivo in un ciclo completo di carico, ossia l'area racchiusa dal ciclo di carico in un diagramma forza-spostamento

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

ISOLATORI A SCORRIMENTO

Il legame costitutivo di questi dispositivi, con riferimento al comportamento nel piano orizzontale, è solitamente idealizzato come bilineare, in accordo allo schema riportato nella figura che segue, ed è definito dalla relazione:

$$F_{\max} = F_0 + K_r \cdot d = \mu \cdot N_{sd} + \frac{N_{sd}}{R} \cdot d$$

$F_0 = \mu N_{sd}$ = forza di attrito sviluppata dal dispositivo

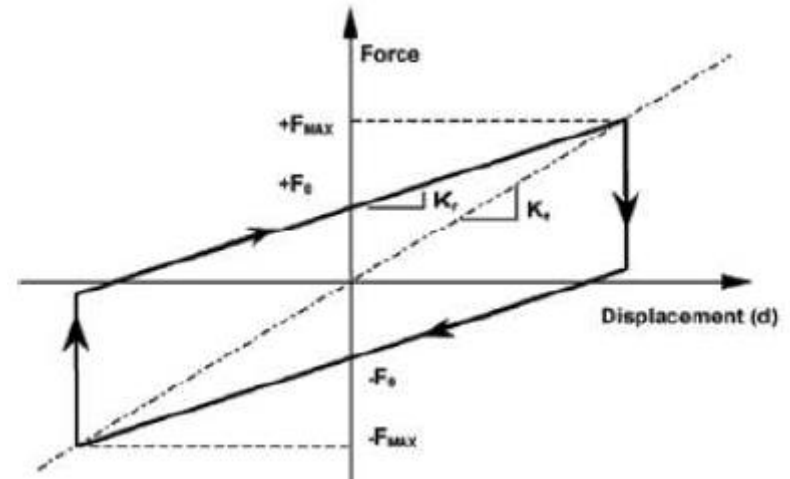
$K_r = N_{sd} / R$ = rigidezza del dispositivo

N_{sd} = carico verticale semi-permanente (eq. 3.2.17 NTC 2008)

R = raggio di curvatura

μ = coeff. di attrito dinamico

d = spostamento



INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

ISOLATORI A SCORRIMENTO

se si considera la pendenza del ramo plastico di risposta, corrispondente allo stato di moto oscillatorio lungo la superficie sferica, il periodo vale:

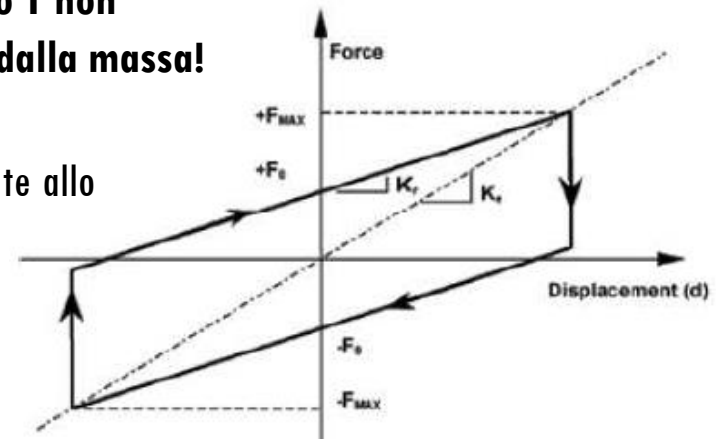
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{N_{sd}/R}} = 2\pi \sqrt{\frac{K}{g}}$$

Il periodo T non dipende dalla massa!

se si considera invece come riferimento il valore di rigidità secante allo spostamento di progetto, il periodo vale:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)}}$$

Periodo effettivo della struttura isolata
UTILIZZATO PER ANALISI LINEARI



INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

ISOLATORI A SCORRIMENTO

Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente:

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$

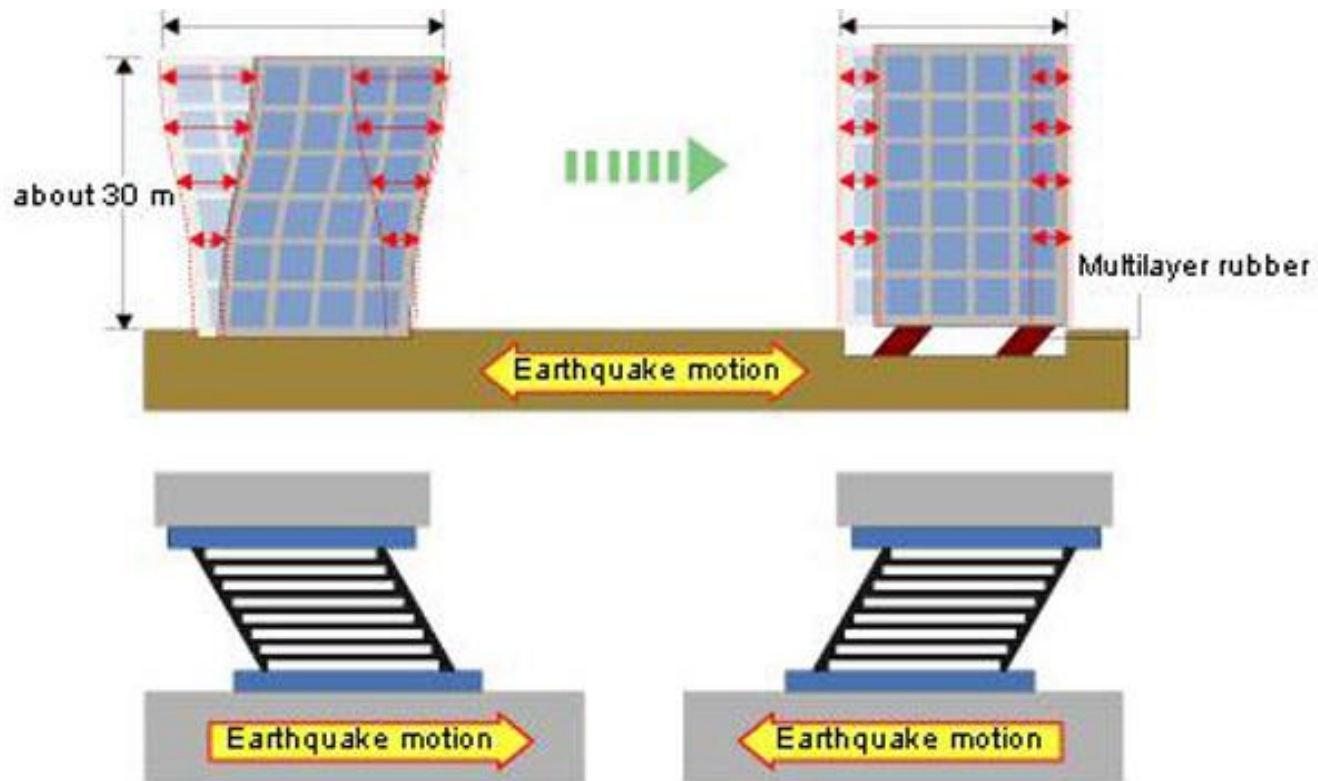
Qualora le Norme consentano il ricorso ad analisi lineari, cioè sia possibile modellare il comportamento non lineare del dispositivo con un comportamento lineare equivalente:

$$K_e = N_{sd} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

Scuotimento violento ed
amplificazione delle vibrazioni.
Periodo proprio $\approx 0,6$ sec.



Oscillazione lenta e stabile
Periodo proprio ≈ 2 sec.

INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

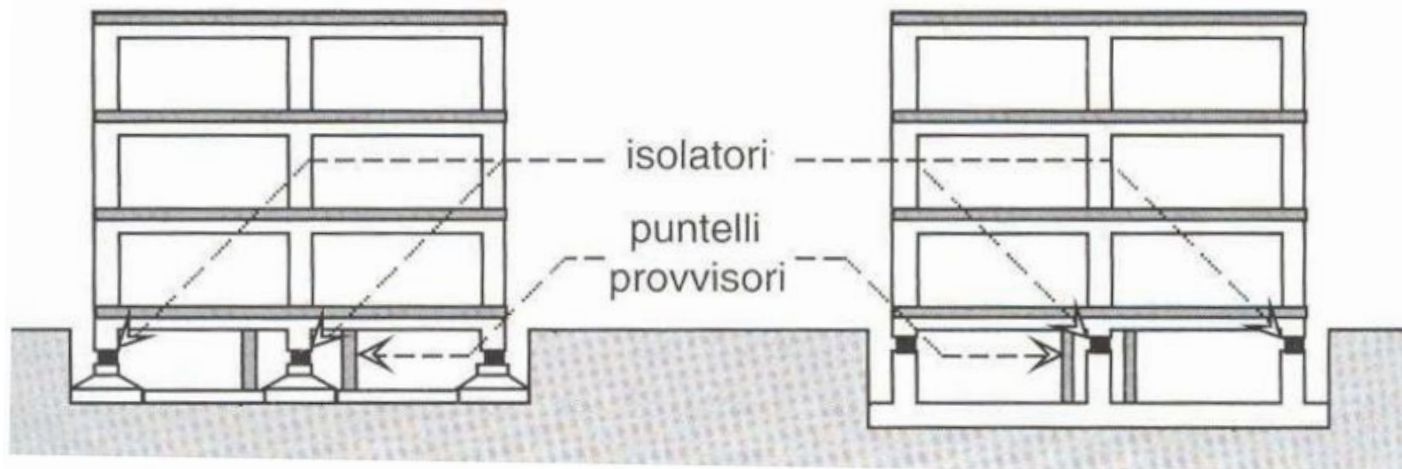
Problemi principali:

- Spostamenti elevati;
- Raccordi specifici per gli impianti;
- **Difficoltà per gli edifici contigui** => grandi spostamenti / martellamento;
- Difficoltà costruttive nel caso di presenza di setti strutturali;



INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

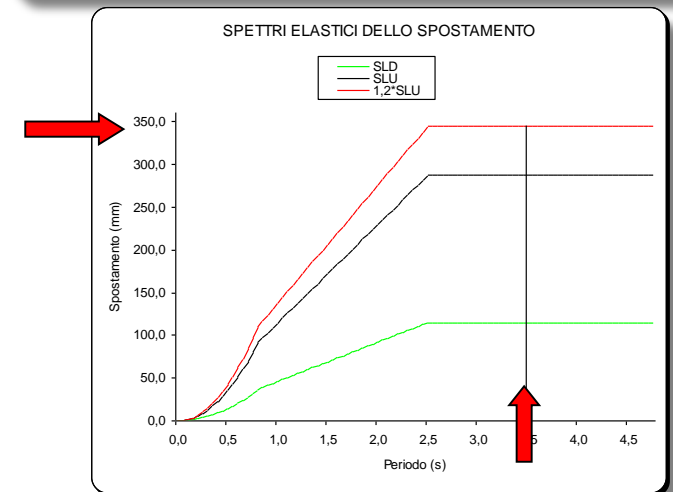
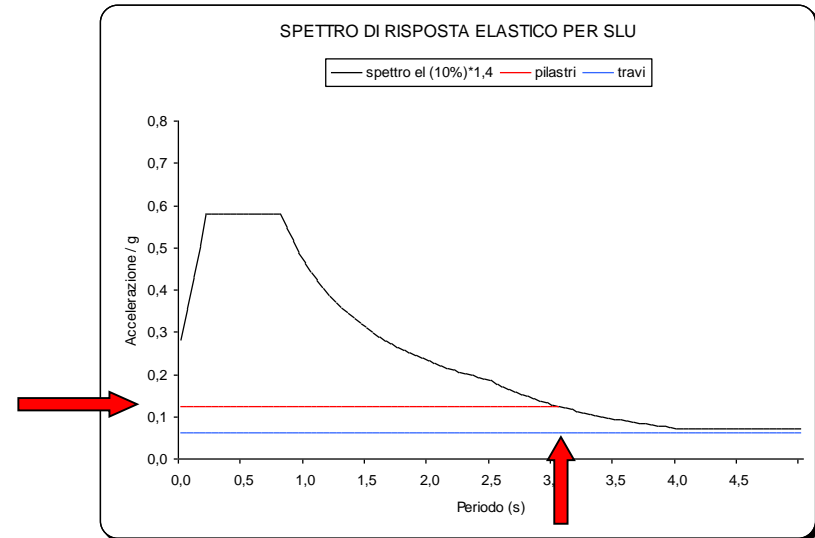


INTERVENTI GLOBALI

Isolamento alla base della struttura

Dimensionamento isolatori:

- Determinazione della accelerazione massima sopportabile dalla struttura esistente
- Determinazione del periodo corrispondente
- Determinazione dello spostamento richiesto
- **Determinazione della rigidezza degli isolatori in funzione del periodo**



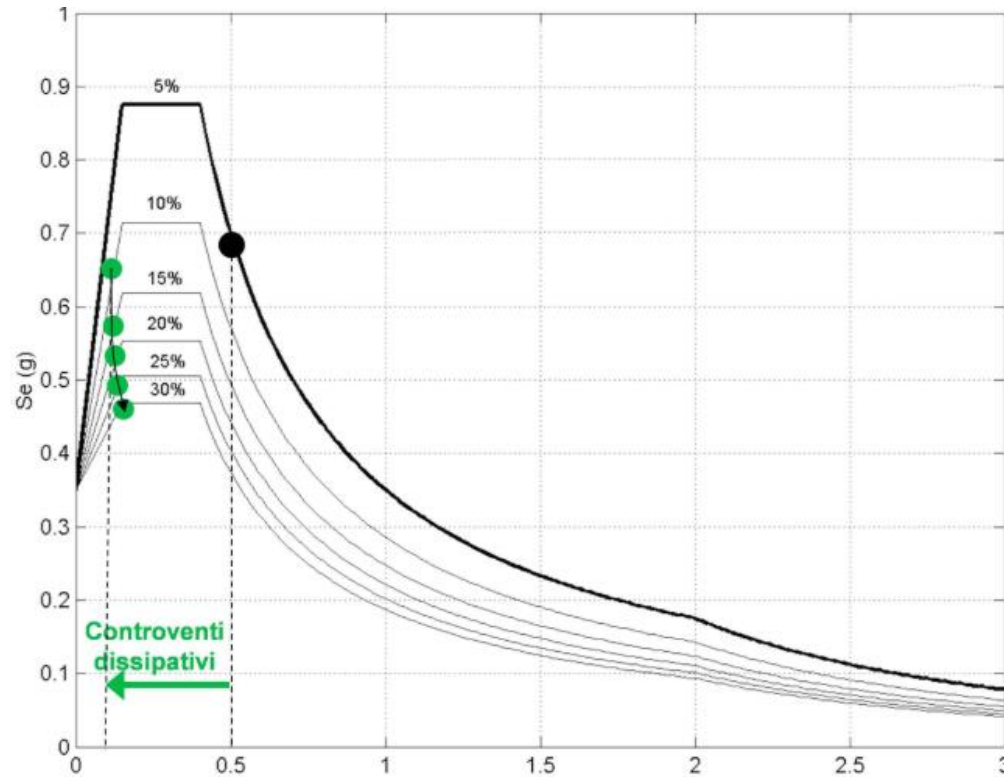
INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi

Per poter ottenere anche con l'intervento di controventamento una **riduzione della risposta in termini di forze**, e non solo in termini di spostamenti, è possibile introdurre in corrispondenza dei controventi opportuni **dispositivi di dissipazione energetica**.





L'azione sismica viene **assorbita dagli elementi più rigidi della struttura**, i controventi, e da questi si indirizza su **dispositivi ausiliari di dissipazione energetica**.

Questi sfruttano le proprietà dissipative del loro legame costitutivo e contribuiscono in questo modo a **ridurre l'entità delle forze sismiche agenti complessivamente sulla struttura protetta**.



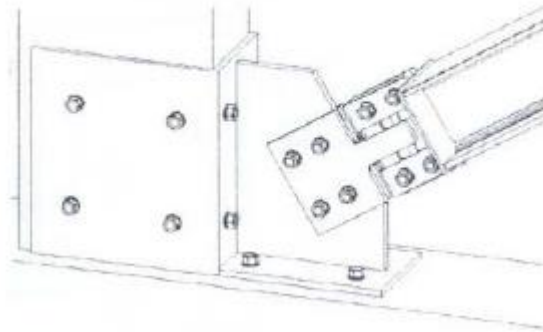
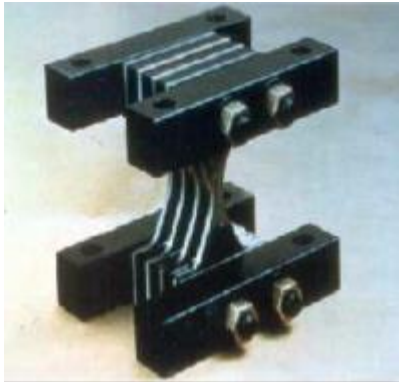
INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi

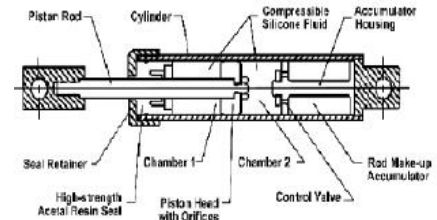
Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi



dissipatori dipendenti dallo spostamento



dissipatori dipendenti dalla velocità

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi

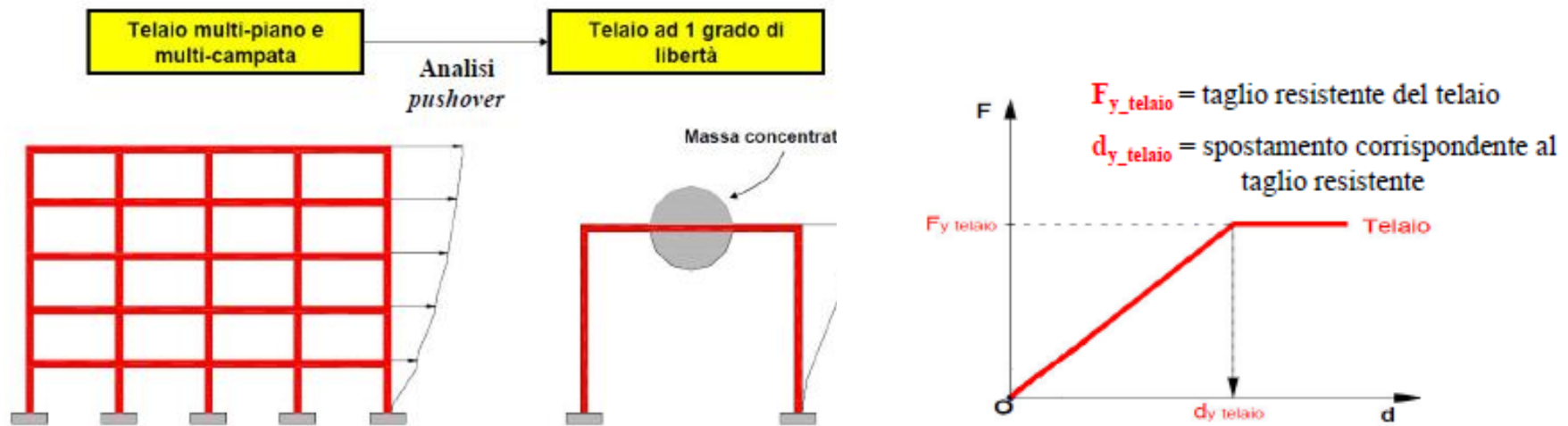
I **controventi dissipativi** utilizzano dissipatori ad es. a comportamento elastoplastico, con dissipatori isteretici assiali ad instabilità impedita (**Buckling-Restrained Axial Dampers – BRAD**), che dissipano energia in trazione-compressione.

Nucleo interno in acciaio, una parte del quale è progettato per dissipare energia in campo plastico, **da un tubo in acciaio** e da un **riempimento in calcestruzzo**. Tra il calcestruzzo ed il nucleo interno è interposto uno **strato di speciale materiale distaccante**, allo scopo di impedire la trasmissione di tensioni tangenziali tra i due componenti e permettere al **nucleo interno di allungarsi o accorciarsi liberamente**, dissipando energia.



INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi

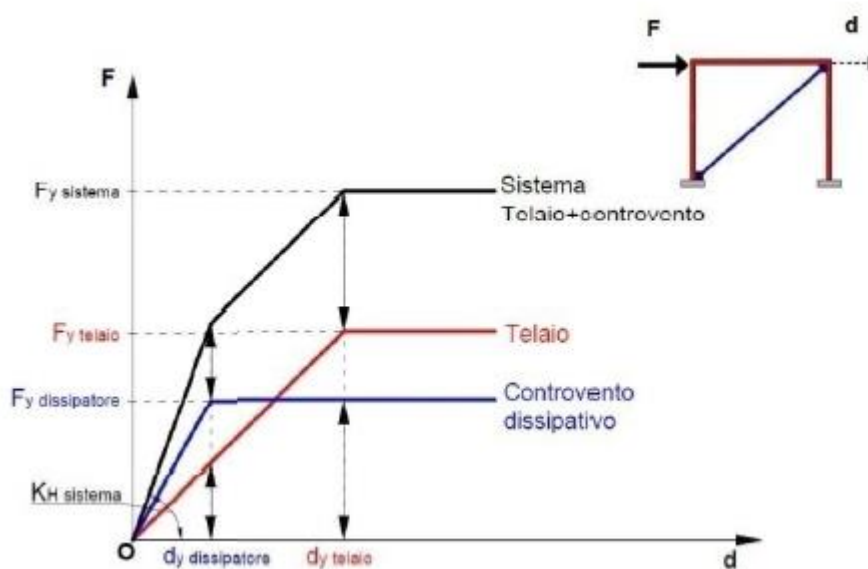
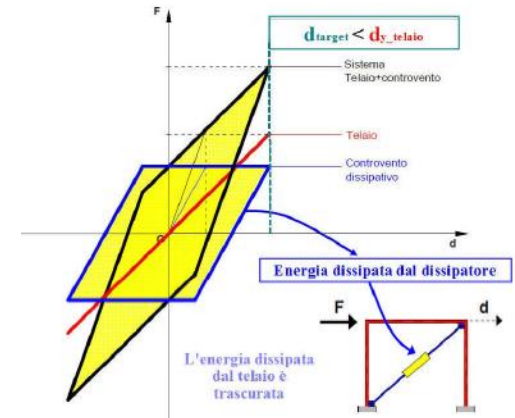


Genericamente la richiesta di spostamento per la struttura è maggiore di quella che è in grado di sostenere senza attivare meccanismi di collasso fragili.

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi

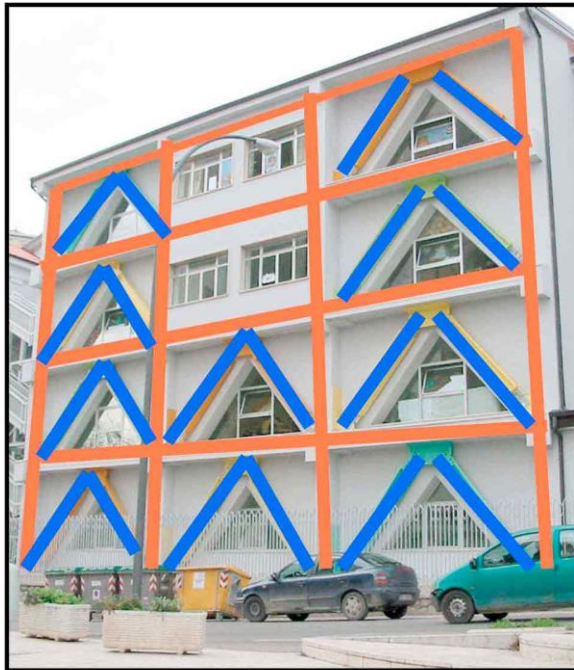
L'obiettivo è quindi quello di portare la richiesta di spostamento ad essere inferiore di d_{y_telaio}



- Irrigidire la struttura → periodo proprio più basso
- Aumentare le capacità dissipative del sistema → a parità di periodo, con uno smorzamento lineare equivalente più alto, la richiesta di spostamento è inferiore

INTERVENTI GLOBALI

Inserimento di controventi dissipativi



Scuola Domiziano Viola (PZ)



-  telaio strutturale
-  controventi
-  dissipatori

INTERVENTI GLOBALI

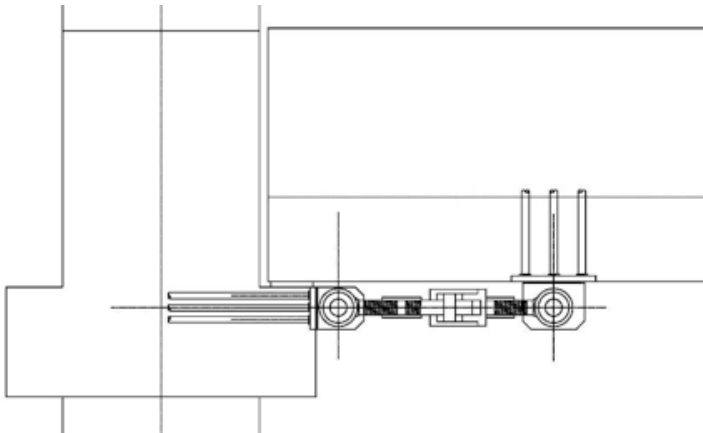
Inserimento di controventi dissipativi



INTERVENTI GLOBALI

Shock-transmitters

- Dispositivi pensati per avere una **legge di risposta funzione della velocità**
- Sviluppano le deformazioni che si manifestano lentamente nel tempo (termiche o di ritiro) senza opporre resistenze considerevoli
- **Reagiscono fino al valore della forza di progetto per velocità elevate** (carichi dinamici, terremoto, ecc...).
- Progettati per un ampio intervallo di forza e spostamento.



INTERVENTI GLOBALI

Shock-transmitters

Consistono di solito in un cilindro di acciaio riempito di fluido siliconico e diviso in due camere da un pistone contenente delle valvole.

Possono essere **utili in caso di giunti di ampiezza insufficiente (problema del martellamento).**

Manutenzione relativamente limitata: le parti del circuito idraulico sono interne al dispositivo e quindi protette.

Necessità di predisposizione di opportuni **accorgimenti e dettagli costruttivi nella zona di collegamento alla struttura esistente.**

