

Corso di aggiornamento

Progettazione delle strutture antisismiche secondo le  
indicazioni del capitolo 10 delle NTC 2008: approfondimenti

**Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.**

10 - Interventi

Bologna

14-15 febbraio 2013

Aurelio Gherzi

# Criteri e tipi di intervento

## 8.7.4 CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

Per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata, considerando la variazione nella distribuzione delle rigidità e delle resistenze e la conseguente eventuale interazione con le parti restanti della struttura. Particolare attenzione deve essere posta alla fase esecutiva degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale delle costruzioni.

La scelta del tipo, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende dai risultati della precedente fase di valutazione, dovendo mirare prioritariamente a contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili e, quindi, a migliorare il comportamento globale della costruzione.

*Intervenire globalmente, in maniera uniforme*

# Criteri e tipi di intervento

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riparazione di eventuali danni presenti
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi,
- riduzione delle condizioni che determinano situazioni di forte irregolarità degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidezza, anche legate alla presenza di elementi non strutturali;
- riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso,
- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia,
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti,
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali,
- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli urti.
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario,

# Criteri e tipi di intervento

Per le strutture in c.a. ed in acciaio si prenderanno in considerazione, valutandone l'eventuale necessità e l'efficacia, anche le tipologie di intervento di seguito esposte o loro combinazioni:

- rinforzo di tutti o parte degli elementi;
- aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a., controventi in acciaio, etc.;
- eliminazione di eventuali comportamenti a piano “debole”;
- introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto;
- eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali, come nel caso di incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio;

# Tipi di intervento

## Adeguamento:

- Intervento sulla struttura che le conferiscono i livelli di sicurezza richiesti dalle norme vigenti

## Miglioramento:

- Intervento sulla struttura per aumentarne globalmente la sicurezza, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle norme vigenti

## Intervento locale:

- Intervento su porzioni limitate della struttura, che non riducono le condizioni di sicurezza preesistenti

# Da cosa si parte?

Mediante analisi lineari e non lineari si valuta il comportamento della struttura

- Si individuano tutti i problemi dovuti a mancanza di regolarità (travi o pilastri corti, comportamento planimetrico non regolare, rischio di piano soffice...)
- Si controlla se c'è rischio di rotture fragili
- Si valuta il comportamento duttile, individuando eventuali problemi (piano soffice, carenza di duttilità in singoli elementi)

# Adeguamento o miglioramento?

Se la norma impone l'adeguamento

- Si analizzano i tipi di intervento per individuare il più conveniente ai fini dell'adeguamento

Se la norma non impone l'adeguamento

- Si analizzano i tipi di intervento e si fa una valutazione costi-benefici per giudicare se è possibile e vale la pena fare un adeguamento
  - Se è conveniente si fa un adeguamento
  - Altrimenti si sceglie un miglioramento

# Criteri e tipi di intervento

Sostanzialmente, due possibilità:

- Rinforzare tutti o buona parte degli elementi  
ovvero, mantenere la tipologia a telaio modificando  
sezione ed armatura degli elementi resistenti
- Affidare le azioni sismiche ad un nuovo sistema  
strutturale  
ovvero, inserire pareti o controventi che portano  
l'azione sismica, mentre il telaio originario porta i  
carichi verticali



# Criteri e tipi di intervento

## 1. Rinforzare tutti o buona parte degli elementi

Vantaggi:

- Pochi problemi negli impalcati
- Pochi problemi nelle fondazioni

Svantaggi:

- Interventi diffusi sugli impianti e sulle finiture

# Criteri e tipi di intervento

## 2. Affidare le azioni sismiche ad un nuovo sistema strutturale

### Vantaggi:

- Limitati interventi su impianti e finiture
- Pochi problemi per la struttura esistente

### Svantaggi:

- Possibili problemi negli impalcati
- Forti problemi nelle fondazioni

# Adeguamento

- La struttura dopo l'adeguamento si verifica come se fosse una nuova struttura
  - Valori di calcolo della resistenza, ecc., per tutti gli elementi nuovi o rinforzati
  - E per quelli su cui non si interviene? Probabilmente valori medi con fattori di confidenza

Nota:

- È quasi impossibile che gli elementi preesistenti soddisfino ovunque una verifica in termini di sollecitazioni
- Può essere indispensabile una analisi non lineare per dimostrare che sono comunque accettabili

# Miglioramento

- L'intervento fatto deve rimuovere o ridurre chiaramente i difetti evidenziati dall'analisi
  - Evitare rotture fragili
  - Evitare concentrazioni di sollecitazioni che portano a plasticizzazione precoce
  - Dare più duttilità a elementi particolarmente carenti

Nota:

- Qualunque intervento porta a ridistribuzione delle sollecitazioni:  
è inevitabile che alcuni elementi stiano peggio di prima
- L'importante è che questi limitati peggioramenti non pregiudichino il comportamento complessivo

# Problemi locali Solai

# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Nei solai:

- Carbonatazione del calcestruzzo o attacco di cloruri
- Corrosione dell'armatura
- Espulsione del copriferro
- Sfondellamento dei laterizi

Questi problemi sono molto diffusi e facilmente evidenti all'intradosso di solai e sbalzi

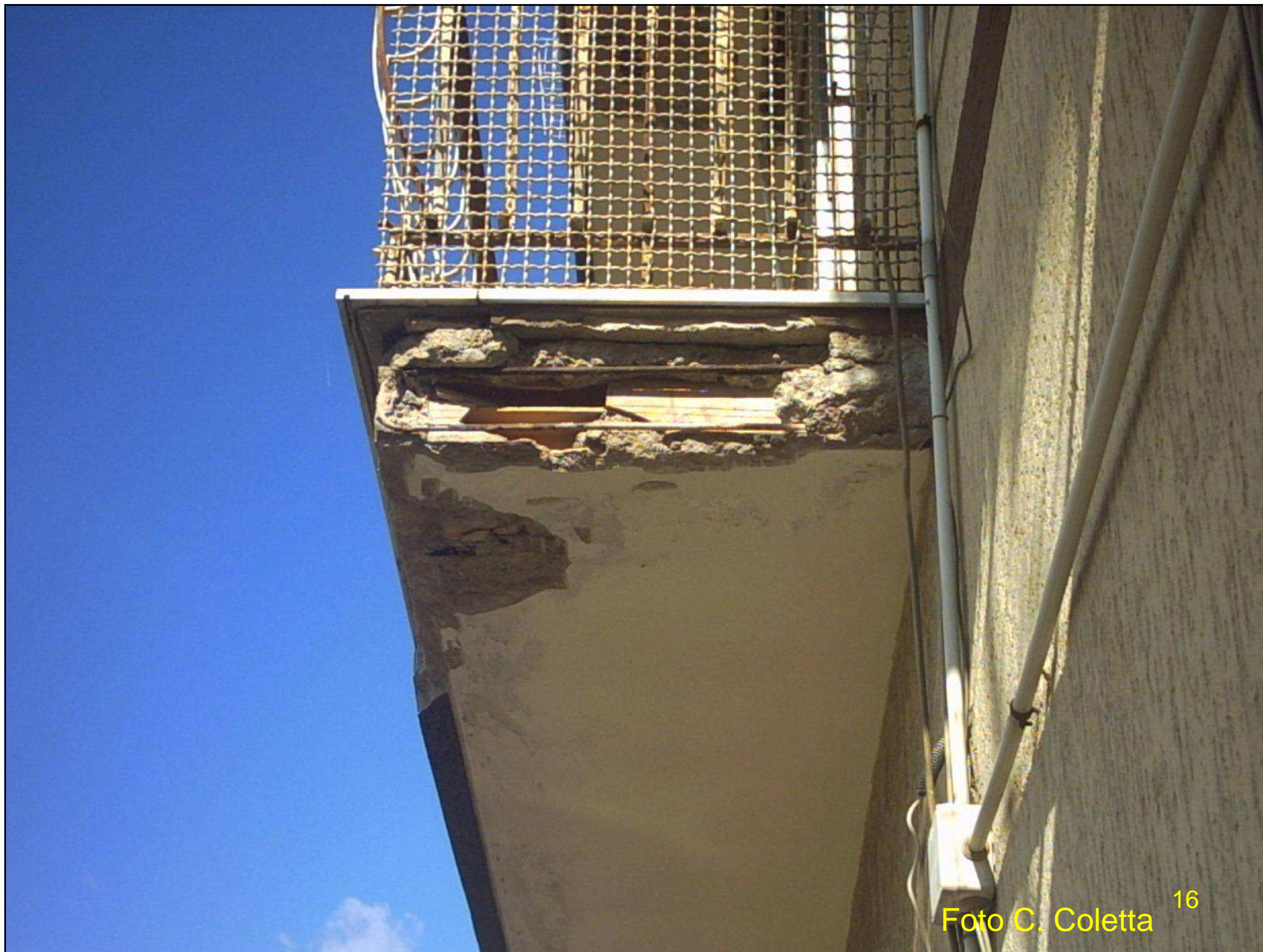
Sono particolarmente diffusi negli sbalzi, perché più esposti agli agenti atmosferici

Meno diffusa (ma ancor più insidiosa perché meno evidente) è la corrosione dell'armatura all'estradosso



Foto C. Coletta 15













# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Studio:

- Determinazione di entità e cause del degrado
- Diagnosi della sua evoluzione
- Valutazione delle sue conseguenze sulla resistenza e funzionalità della struttura
- Valutazione di tipologia, tempo e costo dei possibili interventi
- Scelta dell'intervento ottimale, anche in funzione della vita residua della struttura

# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Intervento tradizionale:

- Eliminazione del calcestruzzo ammalorato
  - Con martelli elettrici o pneumatici o idrodemolizione
  - Lasciare superficie ruvida e pulita
  - Non danneggiare il calcestruzzo rimasto
- Pulizia delle armature corrose
  - Eliminazione ruggine
  - Eliminazione cloruri
- Ripristino del calcestruzzo, con malte o calcestruzzi a ritiro controllato

# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Se le armature inferiori (in mezzeria) sono insufficienti:

- Inserimento nuove barre ed eventuali connettori

oppure

- Applicazione di piatti d'acciaio, incollati con resine epossidiche

oppure

- Applicazione di strisce di materiale composito (polimeri fibro-rinforzati, o frp), mediante incollatura

Analogie/differenze nel caso di armature superiori  
o, comunque, di estremità



# Verifica della sezione dopo l'intervento

- Stato deformativo e tensionale prima dell'intervento (con carichi ridotti)
- Incremento dello stato deformativo nell'intero elemento (vecchio più nuovo) dopo l'intervento (per l'incremento di carico)

## Note

- Per modello lineare (T.A.): molto rilevante
- Per modello non lineare (S.L.U.): trascurabile per le armature, che si snervano
- Per modello non lineare (S.L.U.): qualche importanza per calcestruzzo e frp

# Polimeri fibro-rinforzati (frp)

**Fibre ad alta resistenza** + Matrice polimerica

Fibre di vetro



Più economiche ma sensibili all'umidità, al creep ed al rilassamento. Si adattano a tutti i tipi di resina. Bianche brillanti.

Fibre di carbonio



Usate maggiormente con resine epossidiche. Maggiore resistenza e durabilità. Nere.

Fibre aramidiche



Molto tenaci (giubbotti antiproiettile) ma care e sensibili a umidità ed elevata temperatura. Gialle.

# Polimeri fibro-rinforzati (frp)

Fibre ad alta resistenza + Matrice polimerica

Serie di macromolecole (catene) unite da legami covalenti.

Due classi principali: polimeri termoindurenti e termoplastici

Poliestere e  
vinilestere



Ampiamente usate in pultrusione per  
produzione di profili, barre e strisce.  
Temperatura di transizione vetrosa  
(40 – 110 °C). Colore verdastro.

Epossidiche

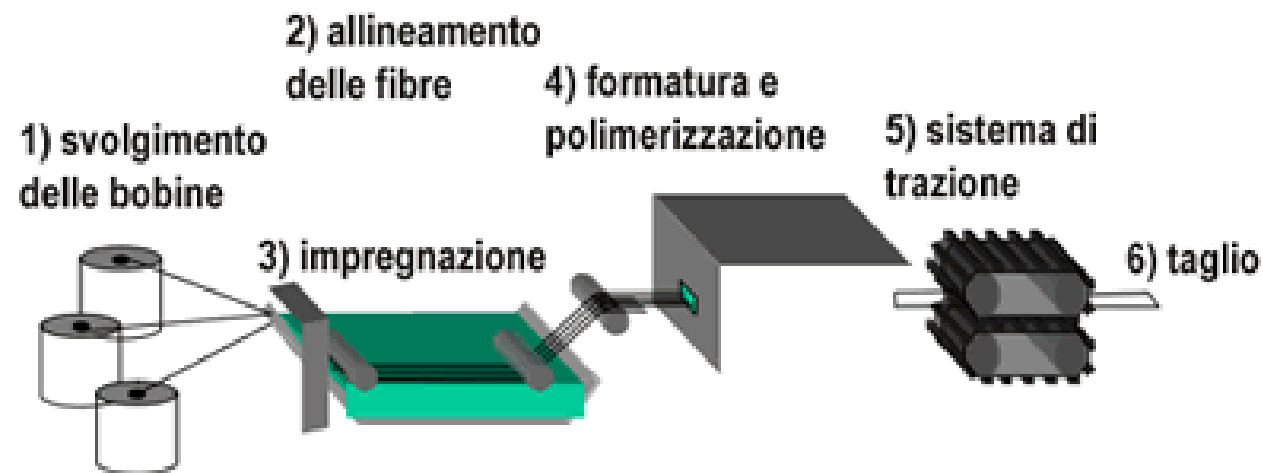


Usate per wet-layup: maggiori proprietà  
adesive, basso ritiro, durabilità.  
Temperatura di transizione vetrosa  
(40 – 300 °C). Colore giallastro.



# Polimeri fibro-rinforzati (frp)

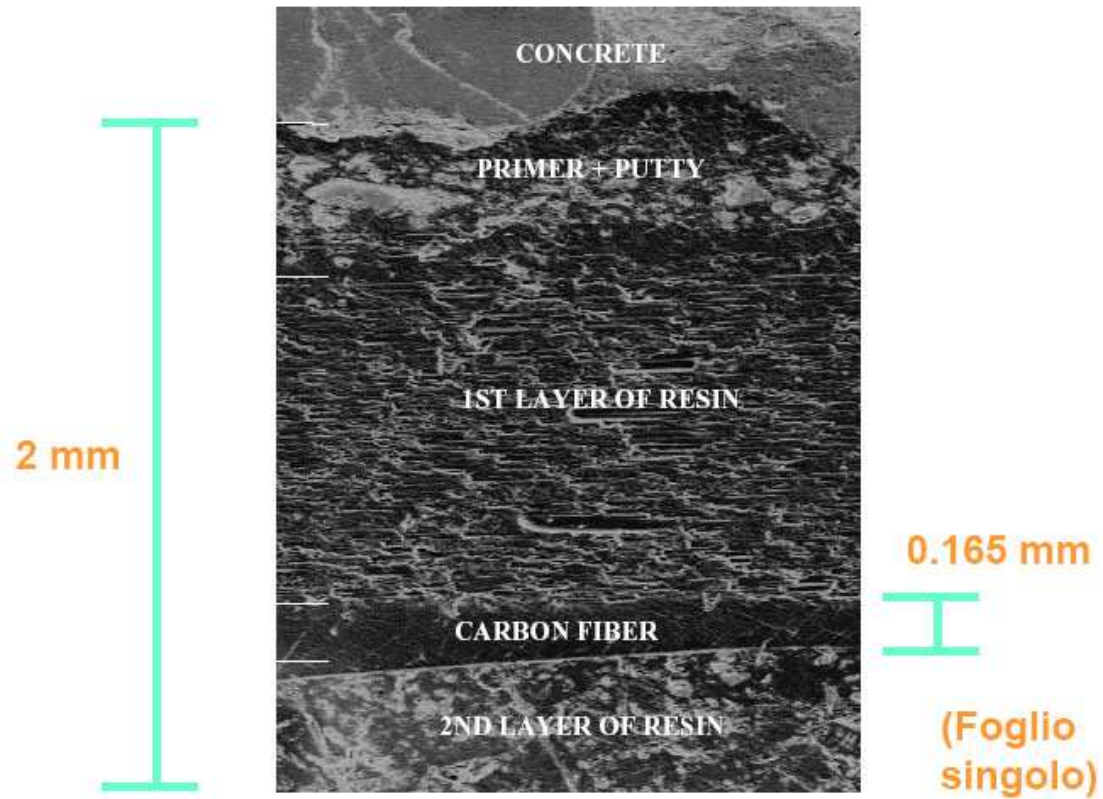
Pultrusion → “Pull” + “Extrusion”



Con questo processo si producono le barre ed i profilati in FRP

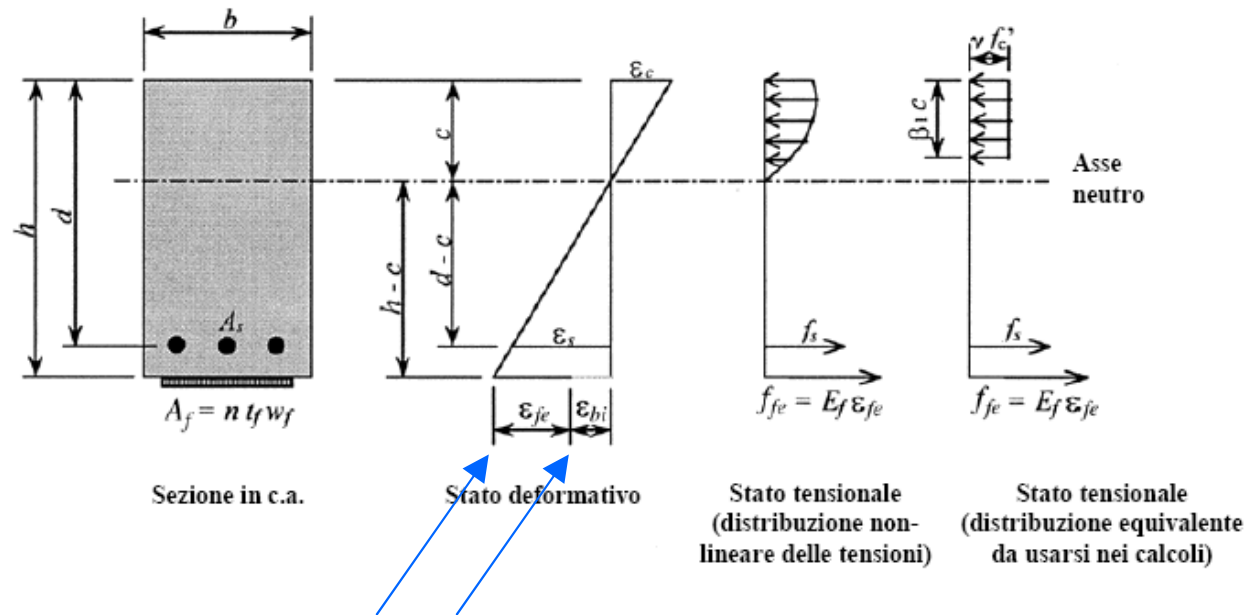
# Polimeri fibro-rinforzati (frp)

Wet-layup



Con questo processo si effettuano i rinforzi sugli edifici esistenti

# Resistenza a flessione con frp



Notare la differenza di deformazioni tra cls e frp

Normativa italiana  
(CNR-DT 200/2004)

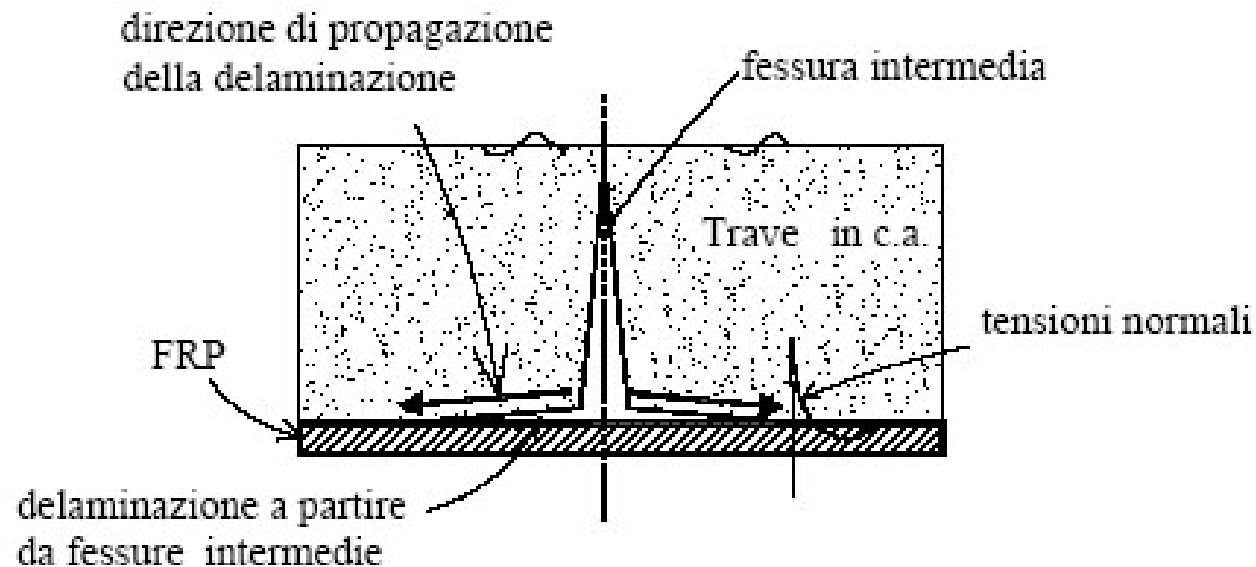


Coefficienti parziali di sicurezza  
dipendenti dal produttore (sul  
materiale) e dall'incertezza del  
modello (sul momento resistente).

# Resistenza a flessione con frp

Il massimo sforzo di trazione sopportabile dal composito è limitato dal debonding (delaminazione)

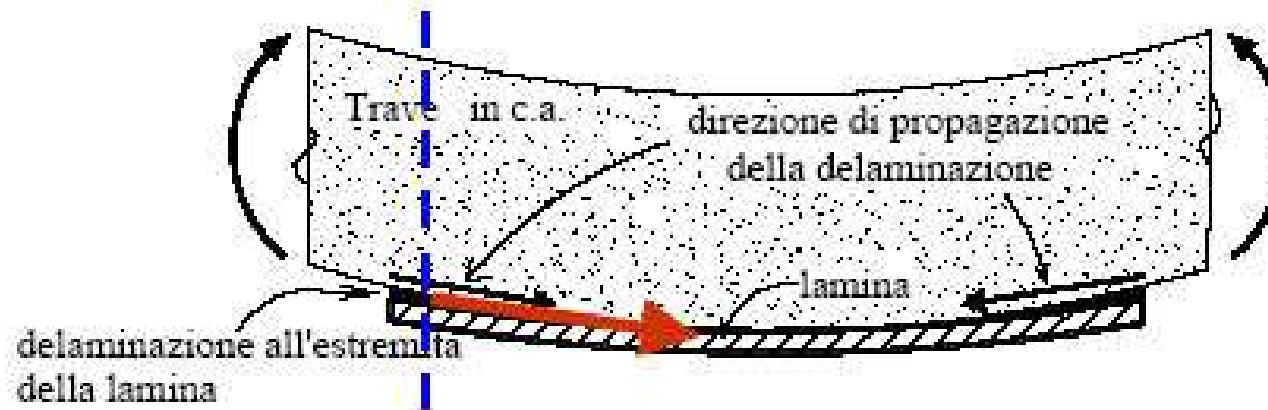
## Delaminazione per flessione



# Resistenza a flessione con frp

Il massimo sforzo di trazione sopportabile dal composito è limitato dal debonding (delaminazione)

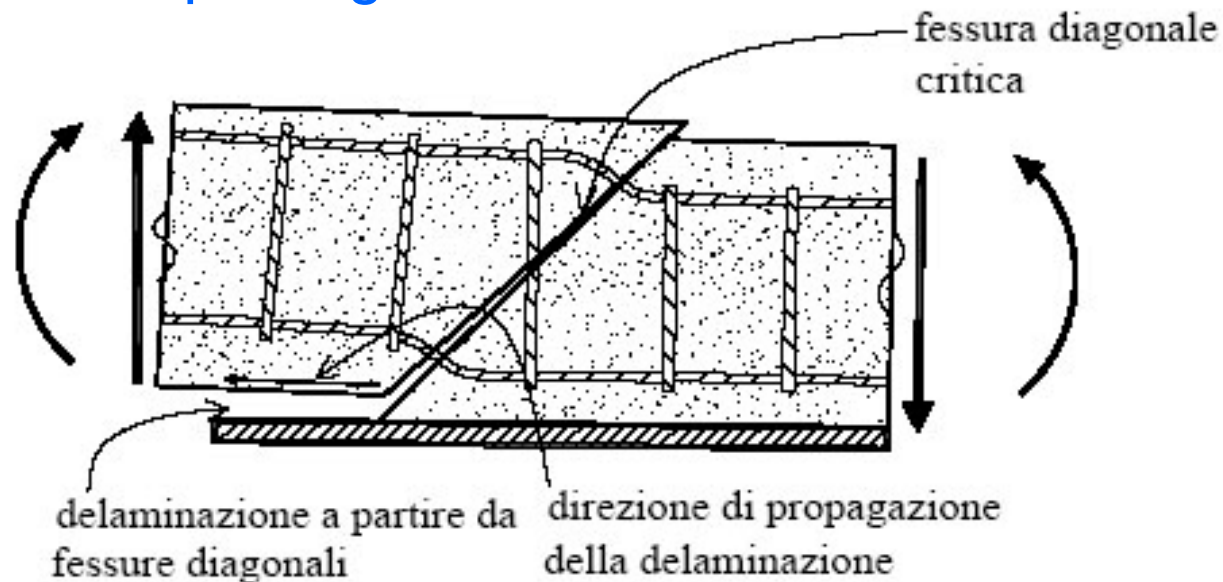
## Delaminazione di estremità



# Resistenza a flessione con frp

Il massimo sforzo di trazione sopportabile dal composito è limitato dal debonding (delaminazione)

## Delaminazione per taglio

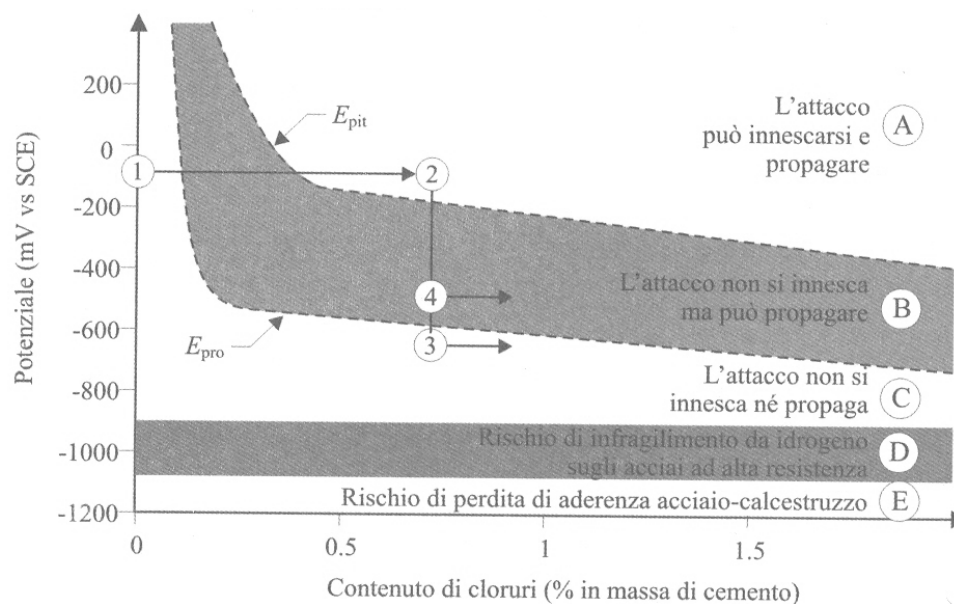


# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Interventi alternativi:

- Tecniche elettrochimiche, per ristabilire la passività delle armature senza rimuovere il calcestruzzo

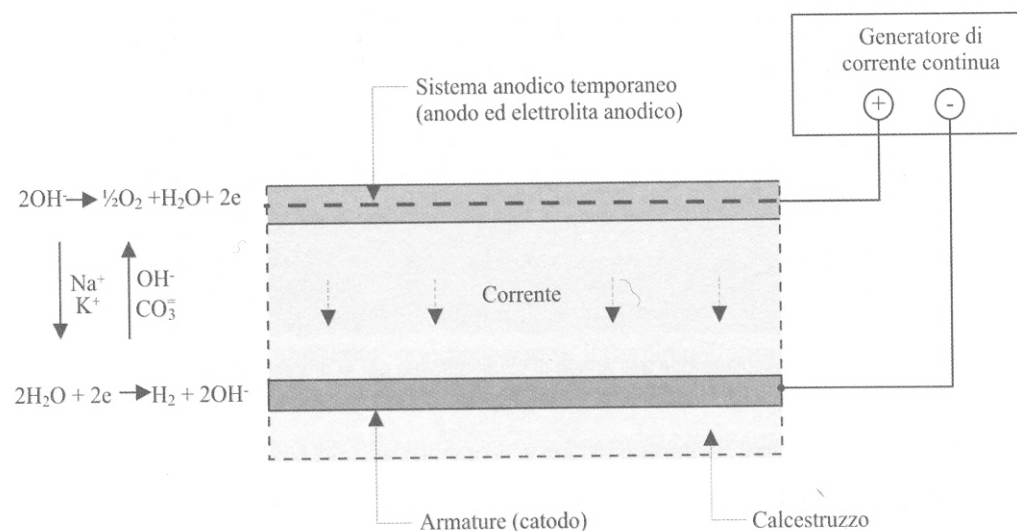
- Pr



# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Interventi alternativi:

- Tecniche elettrochimiche, per ristabilire la passività delle armature senza rimuovere il calcestruzzo
  - Protezione catodica
  - Rialc

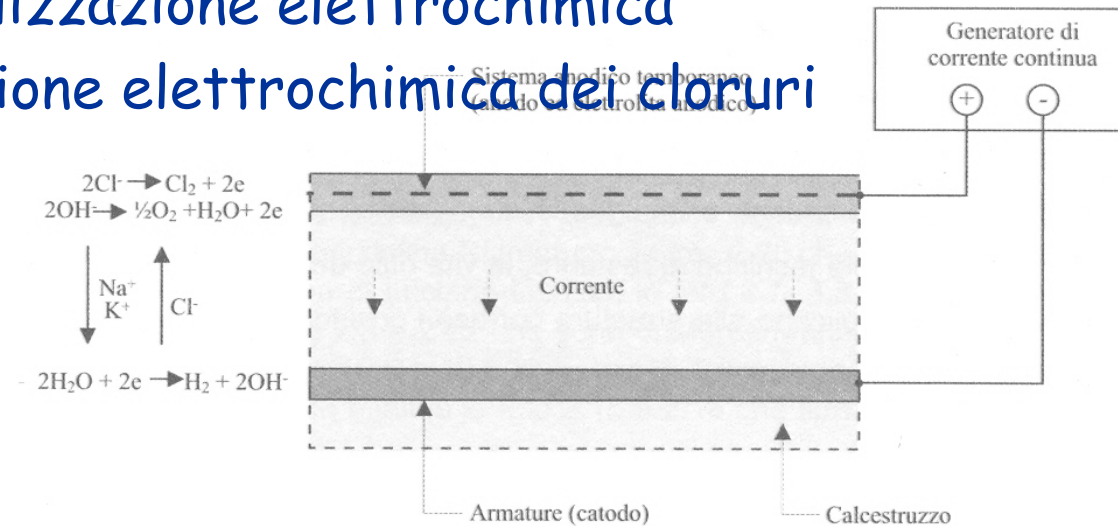




# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Interventi alternativi:

- Tecniche elettrochimiche, per ristabilire la passività delle armature senza rimuovere il calcestruzzo
  - Protezione catodica
  - Rialcalizzazione elettrochimica
  - Rimozione elettrochimica dei cloruri



# Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

## Interventi alternativi:

- Tecniche elettrochimiche, per ristabilire la passività delle armature senza rimuovere il calcestruzzo
  - Protezione catodica
  - Ricalcizzazione elettrochimica
  - Rimozione elettrochimica dei cloruri

## Alternativa estrema:

- Demolizione e ricostruzione della parte di solaio ammalorata

Interventi sulle travi

# Degrado e danneggiamento nelle travi

Degrado, come per i solai:

- Carbonatazione del calcestruzzo o attacco di cloruri
- Corrosione dell'armatura
- Espulsione del copriferro

Danneggiamento:

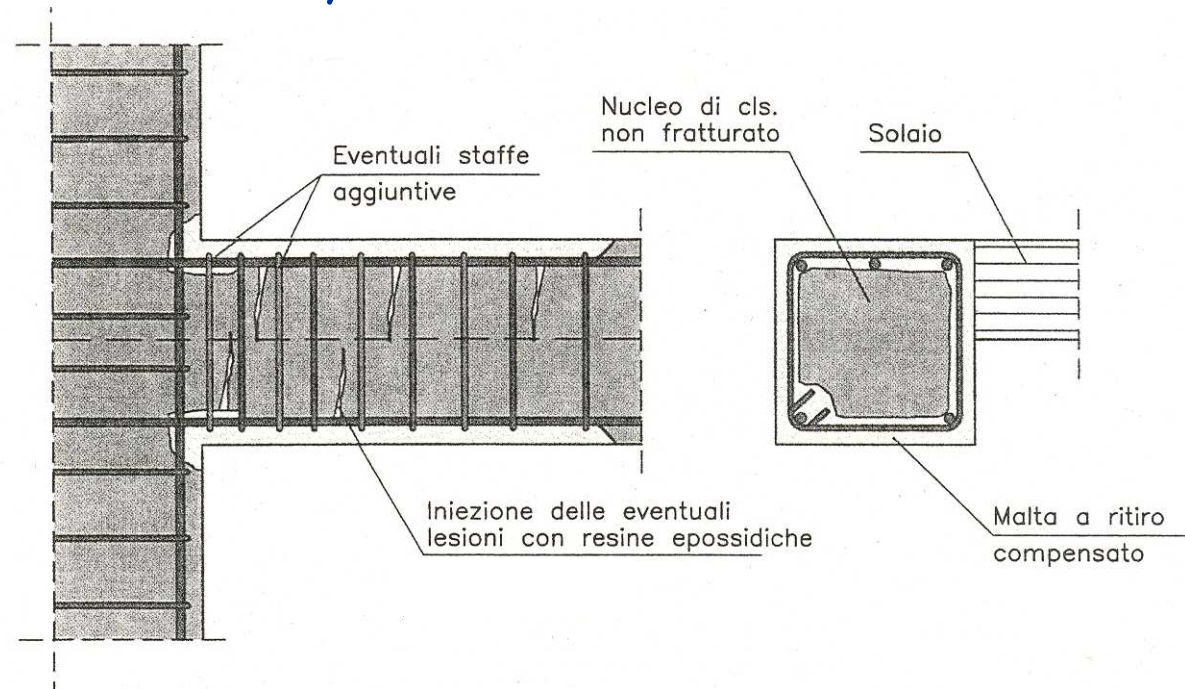
- A flessione
- A taglio

Interventi:

- Per flessione: analoghi a quelli del solaio
- Per il taglio

# Travi

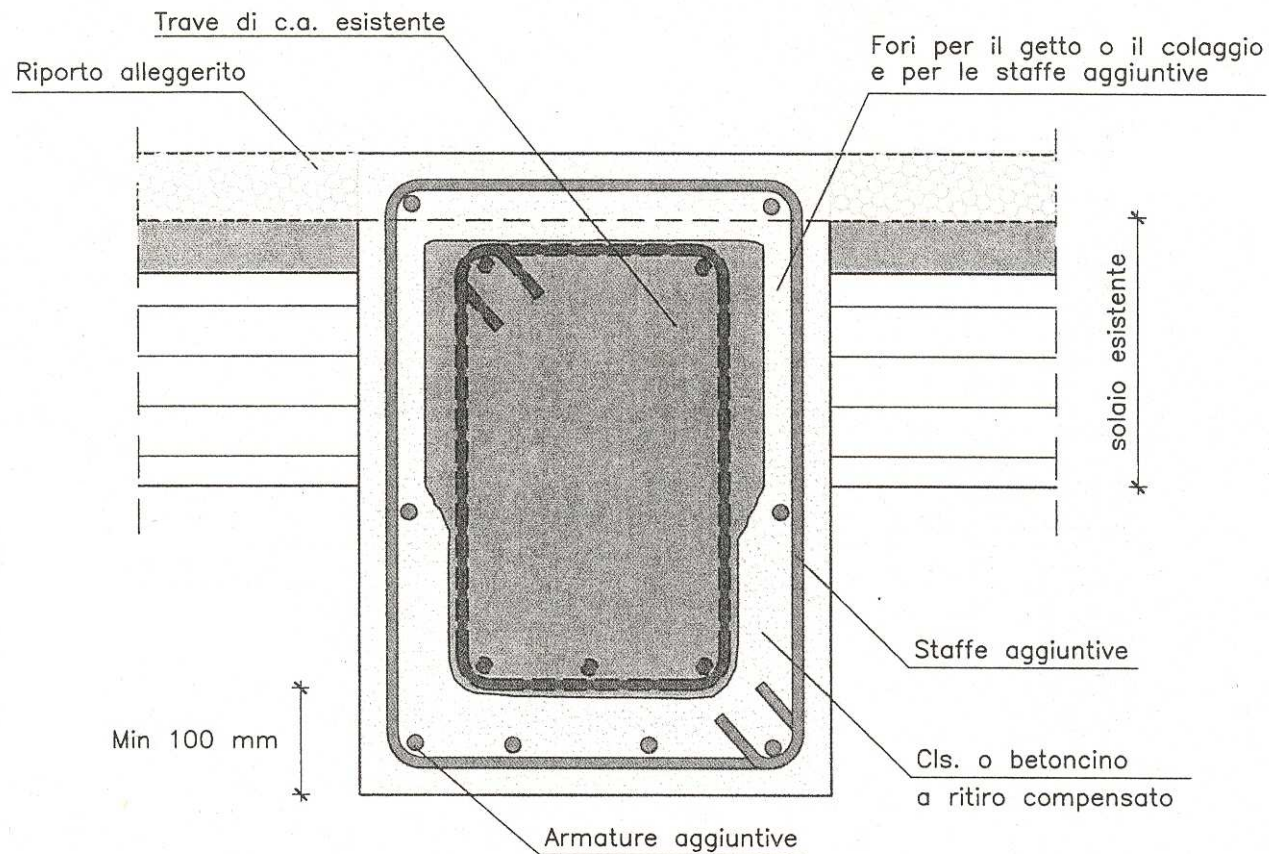
## Riparazione locale, senza aumento di sezione



Problemi particolari nella zona di contatto col solaio  
(perforazioni per inserimento staffe e iniezione malta)

# Travi

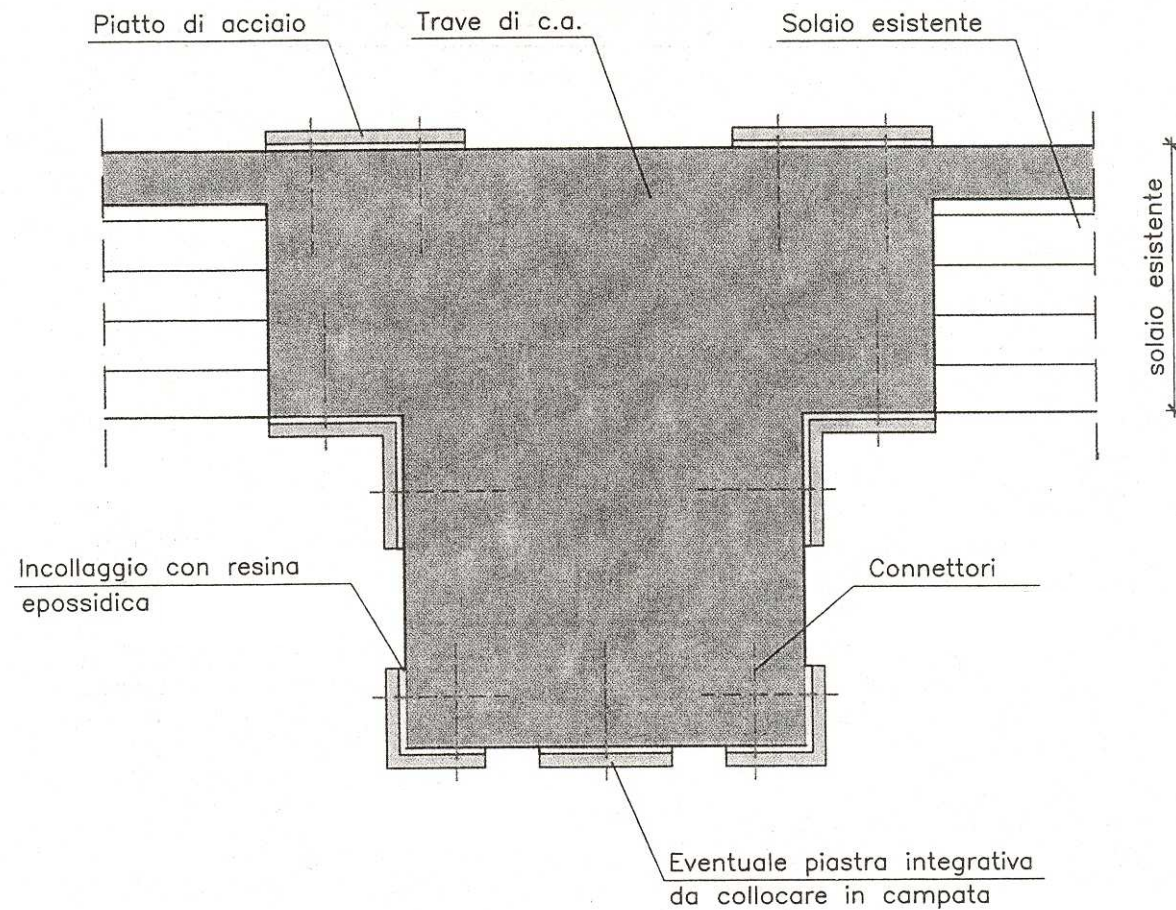
## Incamiciatura totale con aggiunta di nuove armature





# Travi

## Placcaggio con angolari e piatti in acciaio



# Travi

## Rinforzo con frp

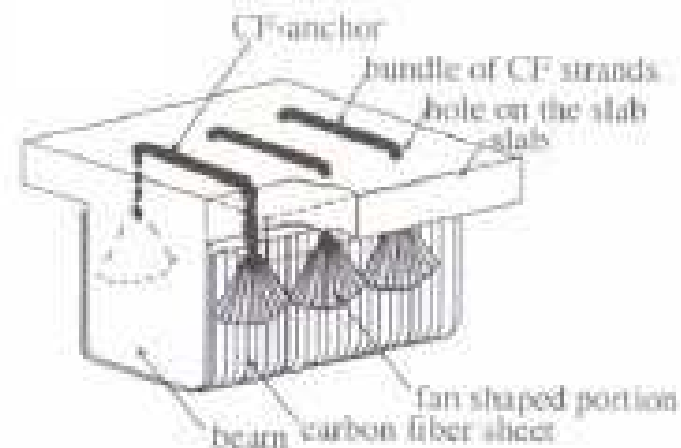
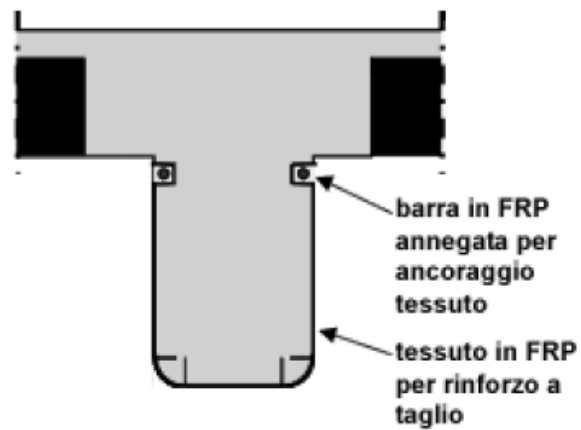


Strisce incollate all'intradosso (per la flessione)  
più strisce verticali incollate alle pareti (per il taglio)



# Travi

## Rinforzo con frp



Ancoraggio delle strisce verticali mediante barre in frp o con cavi in fibre sfioccati

# Travi con frp - resistenza a taglio

$$V_{Rd} = \min \left[ V_{Rd,ct} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f} ; V_{Rd,max} \right]$$

cls ———→  $V_{Rd,ct}$   
armatura ———→  $V_{Rd,s}$   
frp ———→  $V_{Rd,f}$   
biella compressa ———→  $V_{Rd,max}$

Contributo frp:

Fessure a taglio → Delaminazione

Resistenza efficace = tensione presente all'atto della delaminazione

Dipende da:

- Resistenza alla delaminazione in se
- Disposizione delle strisce (avvolgimento totale, ad U, solo di parete)

# Travi con frp - resistenza a taglio

$$V_{Rd} = \min[V_{Rd,ct} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}; V_{Rd,max}]$$

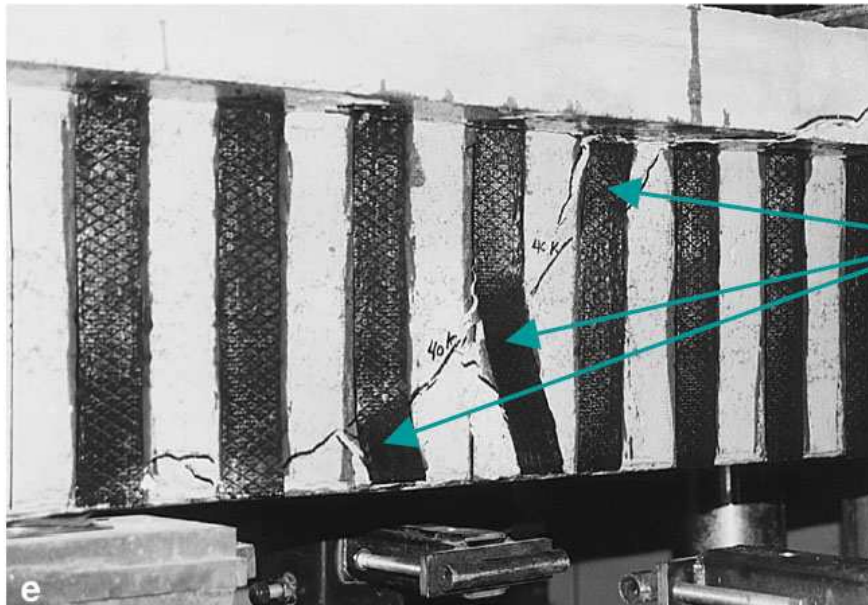
cls ———>  $V_{Rd,ct}$  ———>  $V_{Rd,s}$  ———>  $V_{Rd,f}$  ———>  $V_{Rd,max}$

armatura ———>  $V_{Rd,s}$  ———>  $V_{Rd,f}$  ———>  $V_{Rd,max}$

frp ———>  $V_{Rd,f}$  ———>  $V_{Rd,max}$

biella compressa

Contributo frp:



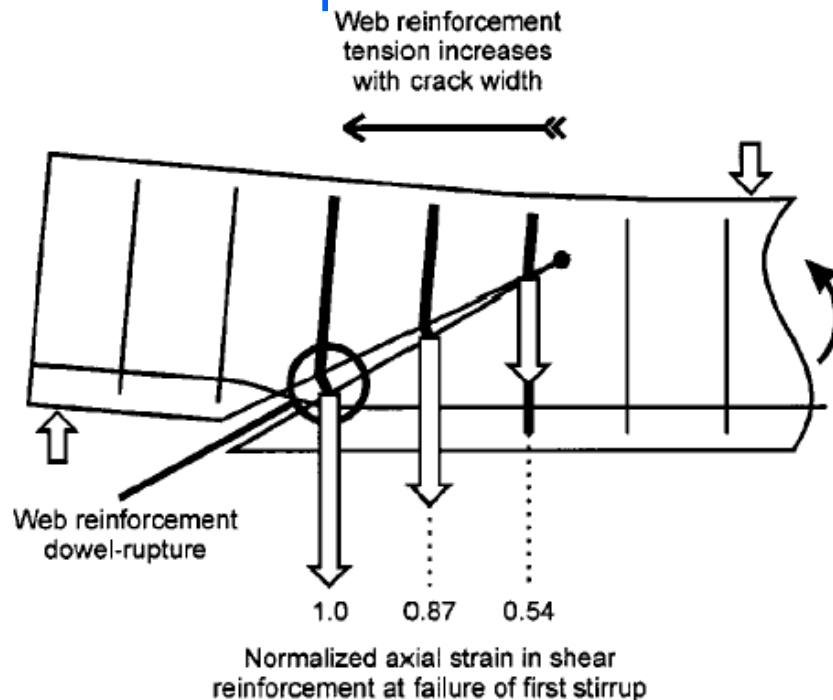
Contributo  
diverso alla  
resistenza

# Travi con frp - resistenza a taglio

$$V_{Rd} = \min[V_{Rd,ct} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}; V_{Rd,max}]$$

cls ———>  $V_{Rd,ct}$   
armatura ———>  $V_{Rd,s}$   
frp ———>  $V_{Rd,f}$   
biella compressa ———>  $V_{Rd,max}$

## Contributo frp:

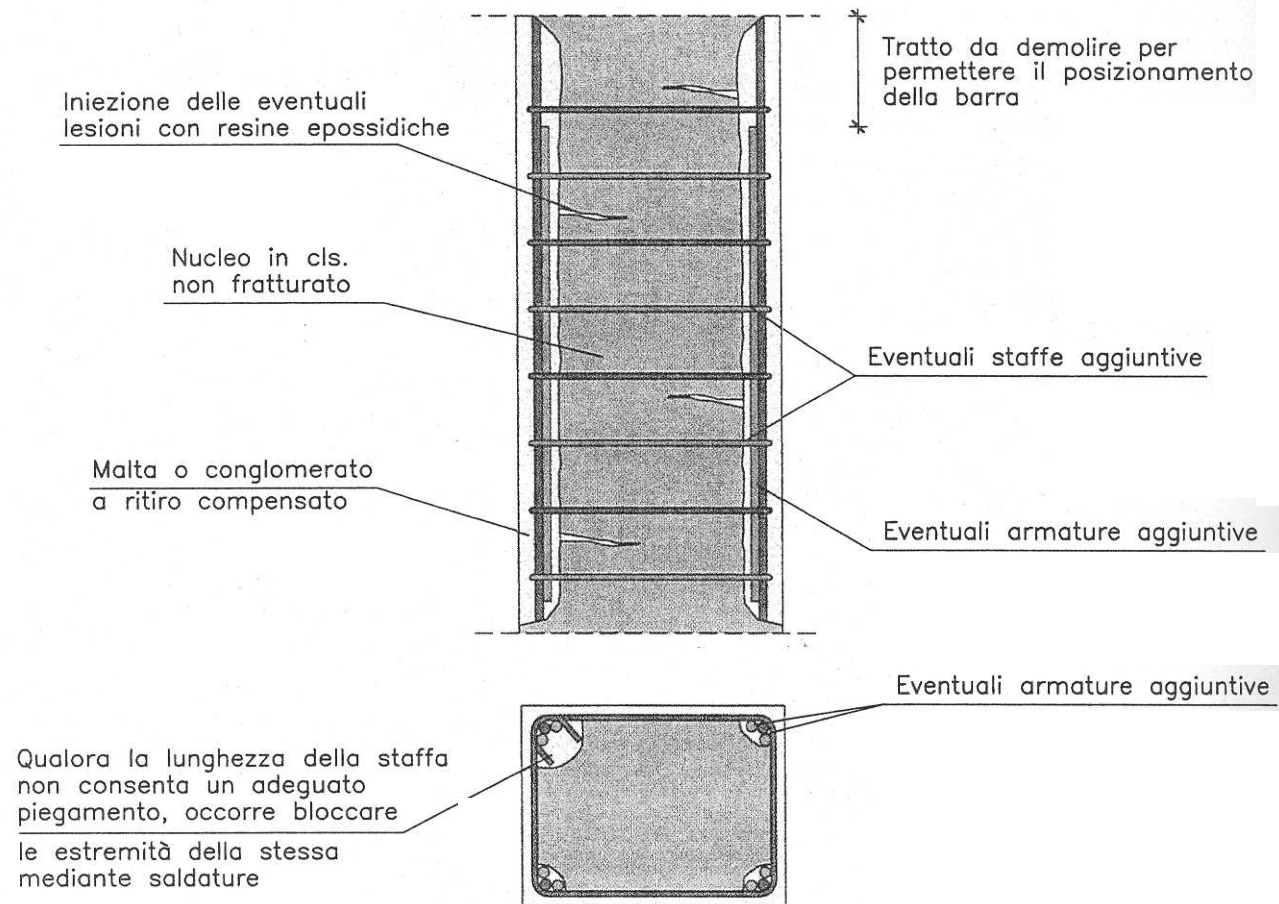


Non è lecito sommare i contributi se non avviene la redistribuzione.  
Non basta verificare l'equilibrio; è necessaria guardare alla congruenza

Interventi sui pilastri

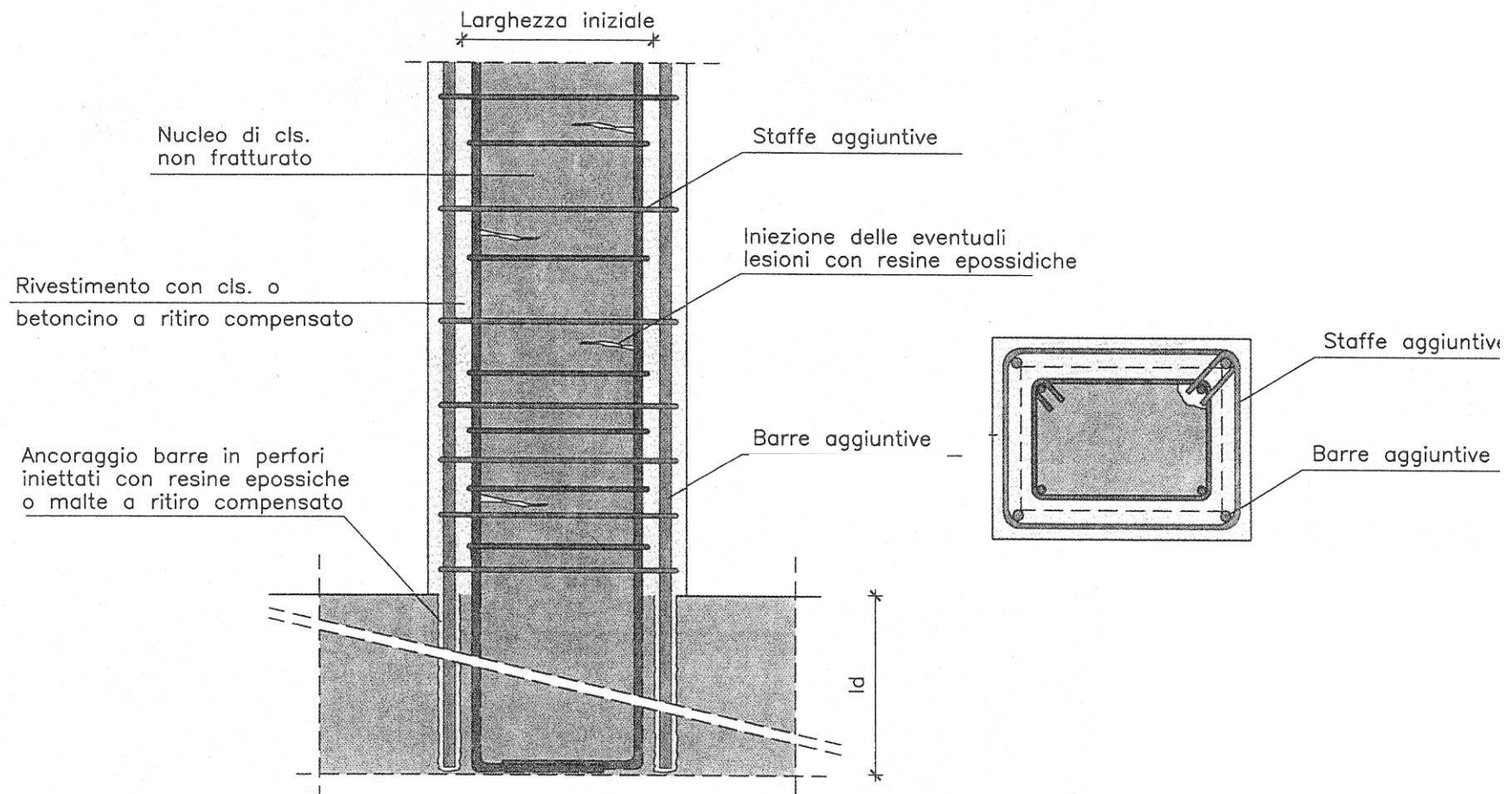
# Pilastri

## Riparazione locale, senza aumento di sezione



# Pilastri

## Incamiciatura totale con aggiunta di nuove armature





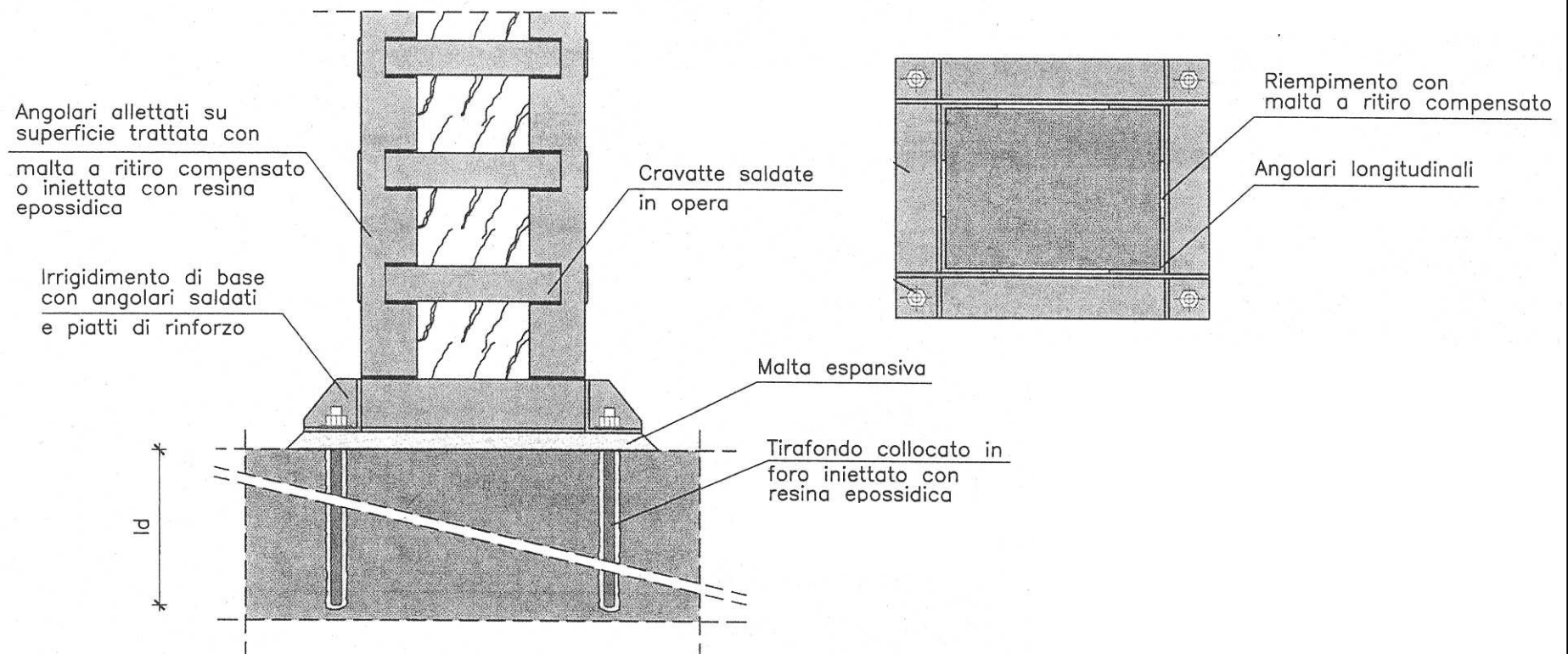
# Pilastri

Incamiciatura totale  
con aggiunta di nuove  
armature



# Pilastri

## Placcaggio con angolari e cravatte in acciaio



# Pilastri

## Rinforzo (fasciatura) con frp



Anche in questo caso si possono usare cavi in fibre  
sfioccati per un collegamento tra piani adiacenti

# Pilastri

Incamiciatura, placcaggio, fasciatura forniscono un confinamento che:

- Incrementa moderatamente la resistenza assiale dell'elemento
- Accresce notevolmente la duttilità dell'elemento soggetto a forza assiale e flessione

In zona sismica ha importanza fondamentale (ai fini della resistenza) il collegamento tra piani adiacenti

- Perforazione con barre passanti (per acciaio)
- Perforazione con cavi in fibre sfioccati (per frp)

Interventi sui nodi

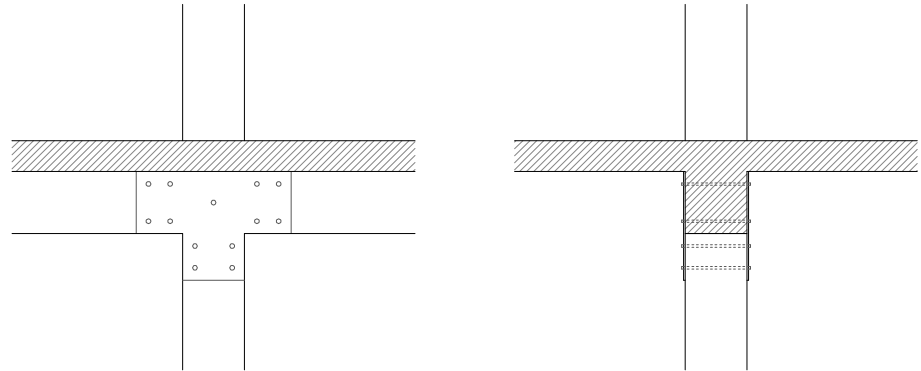
# Nodi

- Il consolidamento dei nodi assume particolare importanza in presenza di azioni sismiche
- Il problema può essere meno rilevante per i nodi interni, se circondati da travi (che fungono da confinamento)
- Il problema è particolarmente rilevante per i nodi perimetrali e d'angolo, sicuramente non confinati

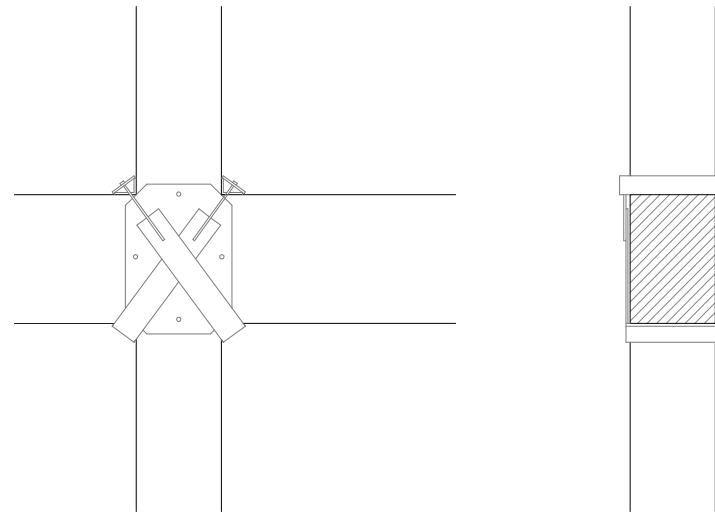
# Nodi

## Tecniche tradizionali di confinamento dei nodi

Intervento con piastre d'acciaio  
bullonate



Intervento con piastre d'acciaio  
inclinate





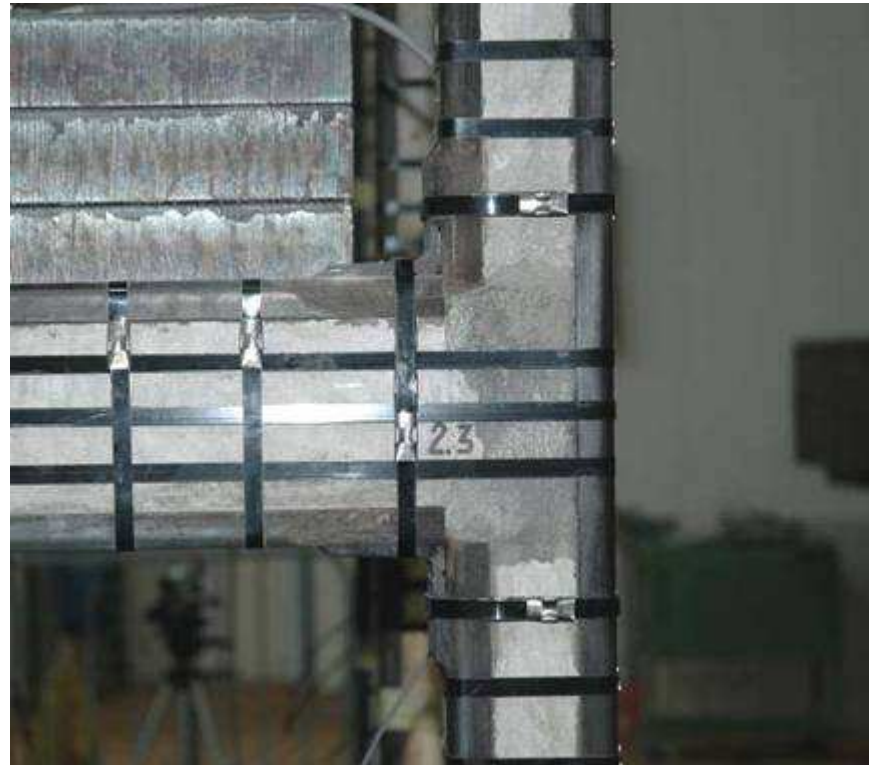
# Nodi

Tecniche innovative di confinamento dei nodi

## Sistema DIS-CAM

Angolari d'acciaio più  
avvolgimenti di nastri di  
acciaio, opportunamente  
pretesi

Dolce et al.



# Nodi

## Tecniche innovative di confinamento dei nodi

### Intervento con frp

Strisce di compositi  
disposte orizzontalmente  
e verticalmente a  
circondare il nodo  
(possibile solo per nodi  
perimetrali e d'angolo)



# Nodi

Tecniche innovative di confinamento dei nodi

## Sistema PREJO

Collare in acciaio (con  
angolari saldati in opera) e  
barre inclinate pre-tese  
Funziona bene anche per  
nodi interni

Antonio Perretti

