

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale
e Norme Tecniche per le Costruzioni

Verifica sismica di edifici esistenti in c.a.

12 - Interventi

Imola
16-18 maggio 2013
Aurelio Ghersi

Primi interventi, essenziali (o comunque prime verifiche)

Ridurre il rischio di rottura fragile, con:

- Staffatura efficace degli estremi dei pilastri
- Cerchiatura dei nodi
- Cucitura tra pilastri e travi

Miglioramento, **essenziale**

Solo dopo aver fatto questo:

- Valutazione del comportamento non lineare
- Controllo della duttilità delle sezioni

Adeguamento, quando occorre

Valutazione della sicurezza

Occorre fare riferimento solo allo stato limite ultimo

- SLV oppure SLC

Occorre stabilire se:

- L'uso della costruzione può continuare senza interventi
- L'uso può continuare ma con un declassamento
- Occorre aumentare o ripristinare la capacità portante

NTC 08, punto 8.3

Tipi di intervento

Adeguamento:

- Intervento sulla struttura che le conferiscono i livelli di sicurezza richiesti dalle norme vigenti
 - Si noti che la bozza 2013 riduce la vita nominale per le costruzioni esistenti (30 anni anziché 50) e quindi riduce le azioni sismiche da sopportare
- Analoghe riduzioni, anche se in forma diversa, sono in genere richieste negli interventi post-sisma

Bozza NTC 13, punto 2.1

NTC 08, punto 8.4

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
 - Questo vuol dire che la struttura "migliorata" deve poter sopportare un'azione sismica maggiore di prima, non che in tutte le sezioni le sollecitazioni si devono ridurre

NTC 08, punto 8.4

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

Riparazione o intervento locale:

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

NTC 08, punto 8.4

Miglioramento o adeguamento?

L'adeguamento è obbligatorio quando ricorre anche una sola delle tre condizioni seguenti:

- La costruzione viene ampliata o sopraelevata
- I carichi globali in fondazione aumentano più del 10% (per variazione di destinazione d'uso o altro)
- Sono effettuati interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino a sistemi strutturali diversi dal precedente

NTC 08, punto 8.4

Miglioramento o adeguamento?

- Sono effettuati "interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino a sistemi strutturali diversi dal precedente"

La frase può essere equivocata, perché non sempre esistono confini netti tra "sistemi strutturali diversi"

La preoccupazione del legislatore è che l'intervento porti, per alcuni elementi, ad un peggioramento del comportamento, non facilmente quantizzabile col calcolo

NTC 08, punto 8.4

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 rigidità, 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

NTC 08, punto 8.4

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 sofficato...)
- Si controlla se c'è rischio di rotture fragili
- Si valuta il comportamento duttile, individuando eventuali problemi (piano sofficato, 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 redistribuzione 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





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 mezzzeria) 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.

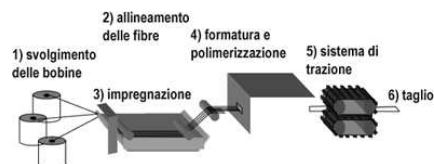
Epossidiche



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

Polimeri fibro-rinforzati (frp)

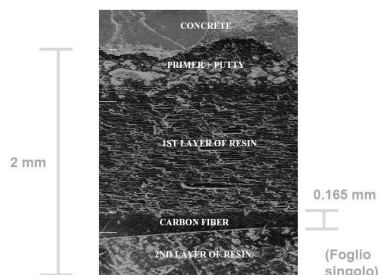
Pultrusion → “Pull” + “Extrusion”



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

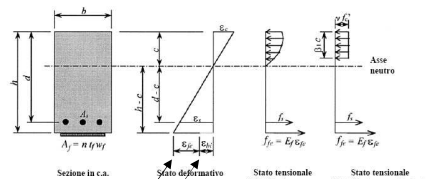
Polimeri fibro-rinforzati (frp)

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)

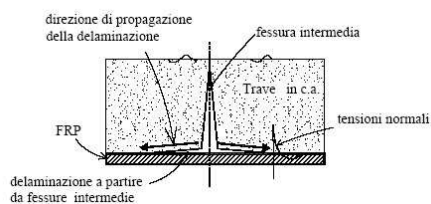


Coefficienti parziali di sicurezza
dipendenti dal produttore (sul
materiale) e dall'incertezza del
modello (sul momento resistente).

Resistenza a flessione con frp

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

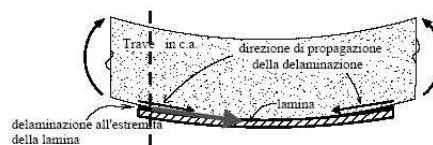
Delaminazione per flessione



Resistenza a flessione con frp

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

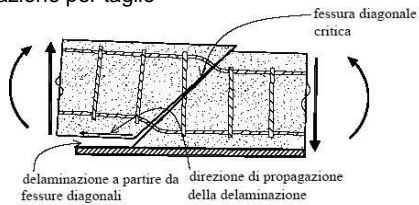
Delaminazione di estremità



Resistenza a flessione con frp

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

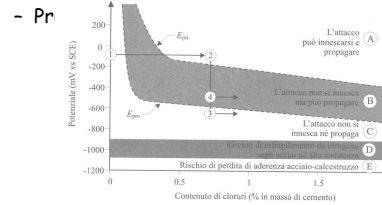
Delaminazione per taglio



Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Interventi alternativi:

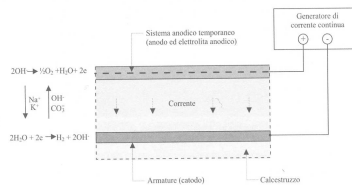
- Tecniche elettrochimiche, per ristabilire la passività delle armature senza rimuovere il calcestruzzo



Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Interventi alternativi:

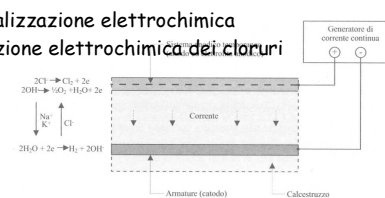
- Tecniche elettrochimiche, per ristabilire la passività delle armature senza rimuovere il calcestruzzo
 - Protezione catodica
 - Rialc



Degrado (calcestruzzo-armatura) nei solai

Interventi alternativi:

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

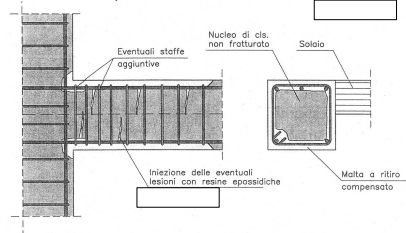
- A flessione
- A taglio

Interventi:

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

Travi

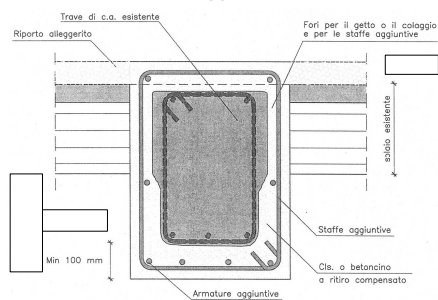
Riparazione locale, senza aumento di sezione



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

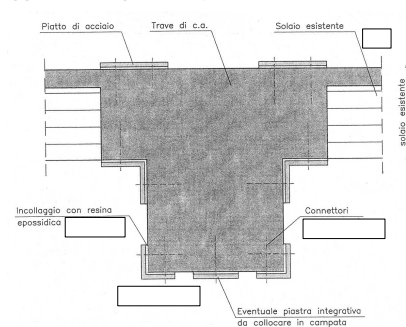
Travi

Incamicatura totale con aggiunta di nuove armature



Travi

Placcaggio con angolari e piatti in acciaio



Travi

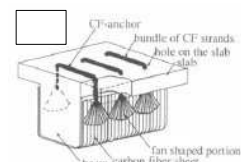
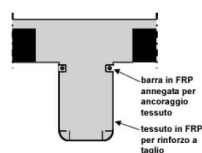
Rinforzo con frp



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

$$V_{Rd} = \min \left[\underset{\substack{\text{cls} \\ \text{armatura}}}{V_{Rd,ct}} + \underset{\text{frp}}{V_{Rd,s}} + \underset{\text{biella compressa}}{V_{Rd,f}}; V_{Rd,max} \right]$$

Contributo frp:

Fessure a taglio → Delaminazione

Resistenza efficace = tensione presente all'atto della delaminazione

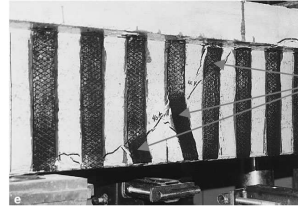
Dipende da:

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

Travi con frp - resistenza a taglio

$$V_{Rd} = \min \left[\underset{\substack{\text{cls} \\ \text{armatura}}}{V_{Rd,ct}} + \underset{\text{frp}}{V_{Rd,s}} + \underset{\text{biella compressa}}{V_{Rd,f}}; V_{Rd,max} \right]$$

Contributo frp:

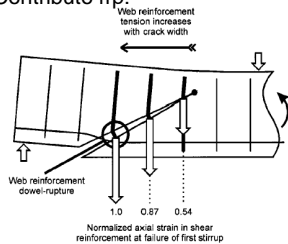


Contributo diverso alla resistenza

Travi con frp - resistenza a taglio

$$V_{Rd} = \min \left[\underset{\substack{\text{cls} \\ \text{armatura}}}{V_{Rd,ct}} + \underset{\text{frp}}{V_{Rd,s}} + \underset{\text{biella compressa}}{V_{Rd,f}}; V_{Rd,max} \right]$$

Contributo frp:

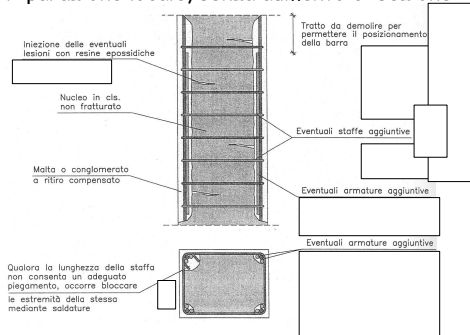


Non è lecito sommare i contributi se non avviene la redistribuzione. Non basta verificare l'equilibrio; è necessaria guardare alla congruenza

Interventi sui pilastri

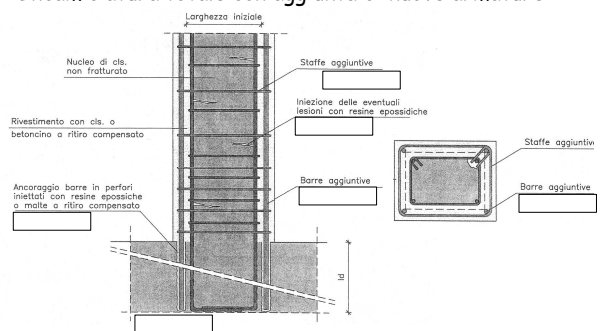
Pilastri

Riparazione locale, senza aumento di sezione



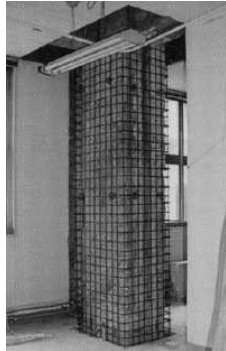
Pilastri

Incamicatura totale con aggiunta di nuove armature



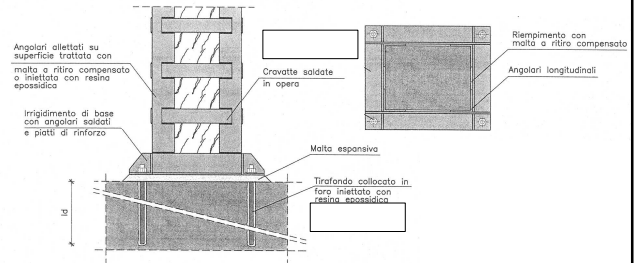
Pilastri

Incamicatura 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

Incamicatura, 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

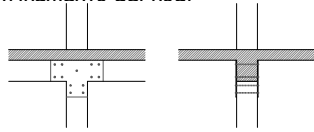
Nodi

- 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

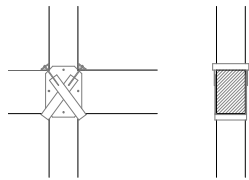
Nodi

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

