

Corso di aggiornamento professionale

Vulnerabilità Sismica ed Adeguamento di Costruzioni Esistenti in Calcestruzzo Armato

7 maggio – 7 giugno 2013

Aula Magna Seminario Vescovile Via Puccini, 36 - Pistoia



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PISTOIA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Valutazione e riduzione della vulnerabilità degli elementi strutturali, non strutturali ed impianti.

- Strategie e modalità d'intervento.
- Edifici multipiano di calcestruzzo armato ed edifici prefabbricati.
- Interventi locali e interventi globali.
- Progetto e verifica degli interventi.
- Problematiche relative agli elementi non strutturali ed impianti.
- Esempi applicativi: edificio multipiano di calcestruzzo armato ed edificio prefabbricato.

Rosario Gigliotti

rosario.gigliotti@uniroma1.it



Strategie e modalità d'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 rigidzze 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.

§8.7.4 Criteri e tipi d'intervento

La scelta di:

- tipo,
- tecnica,
- entità
- 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.

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

§8.7.4 Criteri e tipi d'intervento

ANDRANNO VALUTATI E CURATI GLI ASPETTI SEGUENTI

1. **riparazione di eventuali danni presenti,**
2. **riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani,**
3. **miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi,**
4. **riduzione delle situazioni di forte irregolarità degli edifici,** in termini di massa, resistenza e/o rigidità, anche legate alla presenza di elementi non strutturali; Gigliotti
5. **riduzione delle masse,** anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso,
6. **riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari** mediante sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia,
7. **riduzione dell'eccessiva deformabilità di orizzontamenti,**
8. **miglioramento dei collegamenti di elementi non strutturali.**

§8.7.4 Criteri e tipi d'intervento

9. **incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti**, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali,
10. **realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli urti**,
11. **miglioramento del sistema di fondazione**, ove necessario.

Interventi su parti non strutturali ed impianti sono necessari quando, in aggiunta a motivi di funzionalità, la loro risposta sismica può mettere a rischio la vita degli occupanti o produrre danni ai beni contenuti nella costruzione.

Per il progetto di interventi atti ad assicurare l'integrità di tali parti valgono le prescrizioni fornite nei §§ 7.2.3 e 7.2.4.

§8.7.4 Criteri e tipi d'intervento

7.2.3 CRITERI DI PROG. DI ELEMENTI STRUTTURALI “SECONDARI” ED ELEMENTI NON STRUTTURALI

[...]

7.2.4 CRITERI DI PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI

Gli elementi strutturali che sostengono e collegano i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto tra loro e alla struttura principale devono essere progettati seguendo le stesse regole adottate per gli elementi costruttivi senza funzione strutturale.

L'effetto dell'azione sismica sull'impianto può essere valutato considerando una forza (F_a) applicata al baricentro di ciascuno degli elementi funzionali componenti l'impianto, calcolata utilizzando le equazioni (7.2.1) e (7.2.2).

Gli eventuali componenti fragili debbono essere progettati per avere resistenza doppia di quella degli eventuali elementi duttili ad essi contigui, ma non superiore a quella richiesta da un'analisi eseguita con fattore di struttura q pari ad 1.

§8.7.4 Criteri e tipi d'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:

INTERVENTI TRADIZIONALI

INTERVENTI INNOVATIVI

- 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

§8.7.4 Criteri e tipi d'intervento

TIPOLOGIE TRADIZIONALI DI INTERVENTO

Per interventi di *tipo tradizionale* si intendono interventi che non comportano una modifica sostanziale del sistema strutturale resistente alle azioni orizzontali ma agiscono a livello di

RESISTENZA – RIGIDEZZA – DUTTILITÀ

degli elementi strutturali e delle connessioni già presenti nella costruzione.

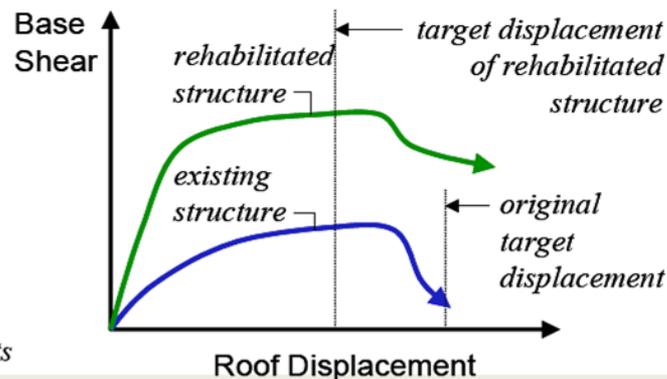
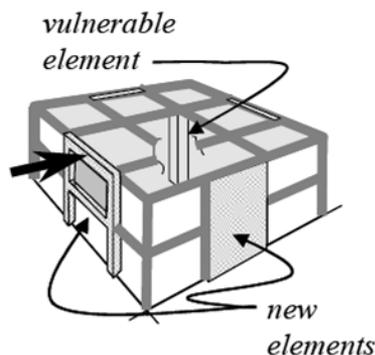
Sono pertanto esclusi l'isolamento alla base e la dissipazione, l'introduzione di nuovi sistemi strutturali in grado di resistere all'azione sismica e l'eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali.

Strategie di intervento

1

Modifica del sistema strutturale in modo che le richieste di progetto siano MINORI della capacità degli elementi strutturali e non strutturali

GLOBALE

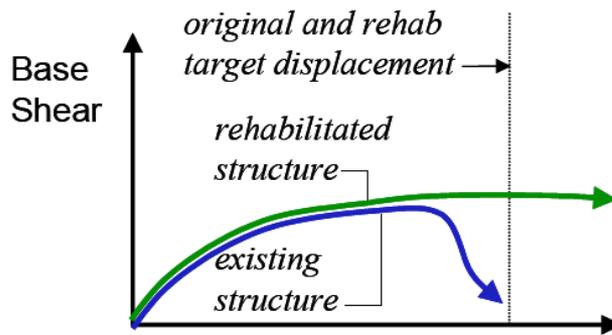
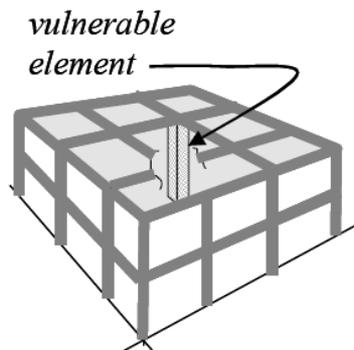


- Inserimento di muri strutturali
- Inserimento di controventi in acciaio
- Inserimento di isolatori alla base

2

Modifica di componenti ISOLATI del sistema strutturale e non strutturale in modo da aumentare la capacità di deformazione degli elementi insufficienti

LOCALE



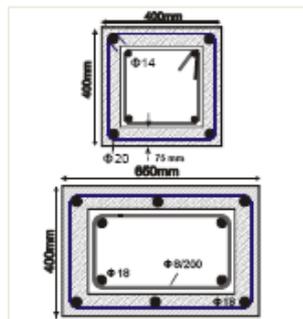
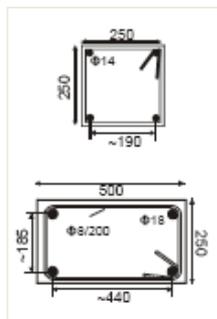
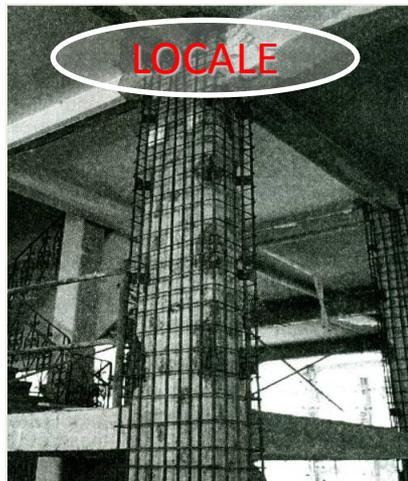
- Rivestimenti in acciaio, cemento armato (incamiciature) e FRP

Tecniche di intervento

INCAMICIATURA IN ACCIAIO

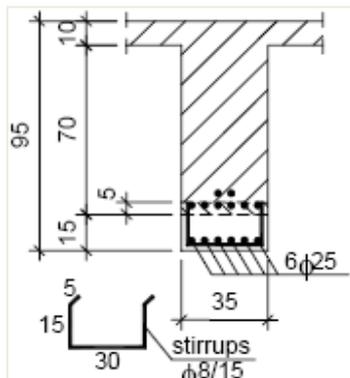
Realizzazione di uno strato di c.a. attorno all'elemento strutturale da adeguare, con inserimento di barre longitudinali e staffe

- Incremento RESISTENZA FLESSIONALE E A TAGLIO;
- Incremento DUTTILITA';
- Incremento RIGIDEZZA.



Esempio: INCAMICIATURA COLONNA

Molto conveniente per modificare un sistema *trave forte – colonna debole* in uno *colonna forte – trave debole*



Esempio: INCAMICIATURA TRAVE

N.B. LIMITI

- Crescita delle dimensioni della sezione resistente, con conseguente riduzione delle luci disponibili
- Metodo piuttosto invasivo

E' IL METODO INGENERALE PIU' USATO NELLA PRATICA

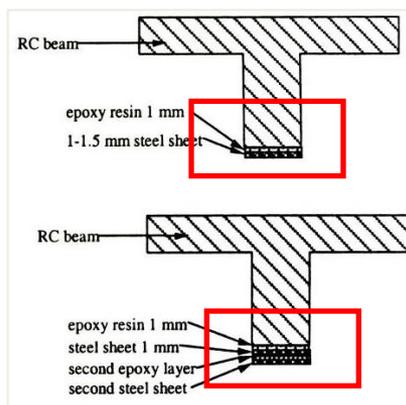
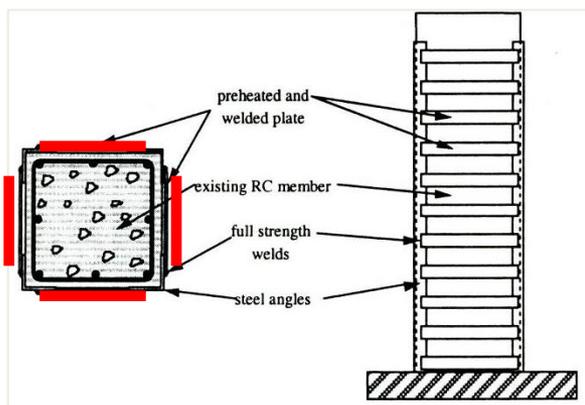
Tecniche di intervento

INCAMICIATURA IN ACCIAIO

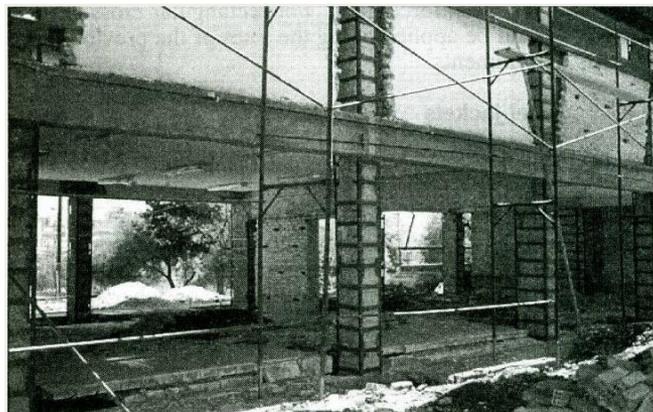
Analogo a quello in c.a., ma usando fasciature in acciaio; metodo meno usato di quello in c.a., che permette:

- Incremento RESISTENZA A TAGLIO;
- Incremento DUTTILITA' tramite confinamento.

LOCALE



Esempio: INCAMICIATURA PILASTRO E TRAVE



- *Non si usano in generale per irrigidire nei confronti di azioni flessionali (non è semplice realizzare il collegamento sotto all'elemento);*
- *Soluzione molto rapida e facile da eseguire, che si applica come rimedio immediato per strutture danneggiate da sisma;*

Tecniche di intervento

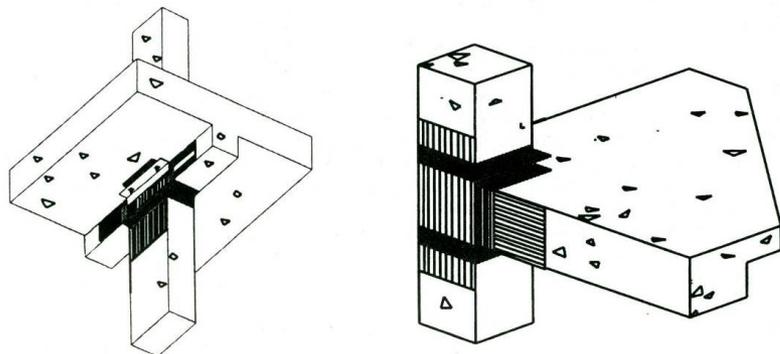
RINFORZO CON FRP

LOCALE



Metodo molto usato a partire dagli ultimi 20 anni per rinforzare strutture esistenti in c.a. che permette:

- *Miglioramento della capacità portante a taglio in colonne, setti e pareti, travi;*
- *Ulteriore confinamento alle estremità di travi e colonne, incrementando la duttilità delle cerniere plastiche flessionali;*
- *Limitazione della perdita di resistenza flessionale in conseguenza alla formazione di fessure nel cls.*



Esempio: Inserimento di FRP in corrispondenza dei giunti

VANTAGGI NELL'USO DI FRP

1. Alto rapporto RESISTENZA – PESO
2. Non si verificano fenomeni di CORROSIONE
3. Facilità di posa in opera

LIMITI legati alla continuità degli ancoraggi nei giunti, durabilità e costi molto elevati

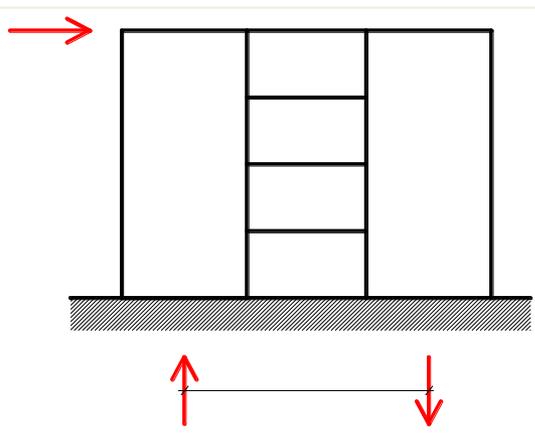
Tecniche di intervento

INSERIMENTO DI MURI DI
TAGLIO IN C.A.

GLOBALE

- Molto efficienti nel controllo degli spostamenti globali laterali (riduzione danneggiamento edificio);
- Sezione trasversale piuttosto grossa;
- Capacità deformativa minore di quella di elementi snelli (colonne).

COME SI INSERISCONO?



Si “chiudono” una o più campate della struttura, incorporando travi e colonne esistenti

Inserimento di barre verticali passanti da piano a piano, inglobamento degli elementi esistenti

TRASFERIMENTO SFORZI

MOMENTO RIBALTANTE IN FONDAZIONE

La FONDAZIONE deve essere in grado di supportare tale momento
(Spesso si richiedono interventi sulle fondazioni)

LIMITE: si deve agire sulla fondazione (interventi non semplici, costosi, invasivi e spesso distruttivi)

Tecniche di intervento

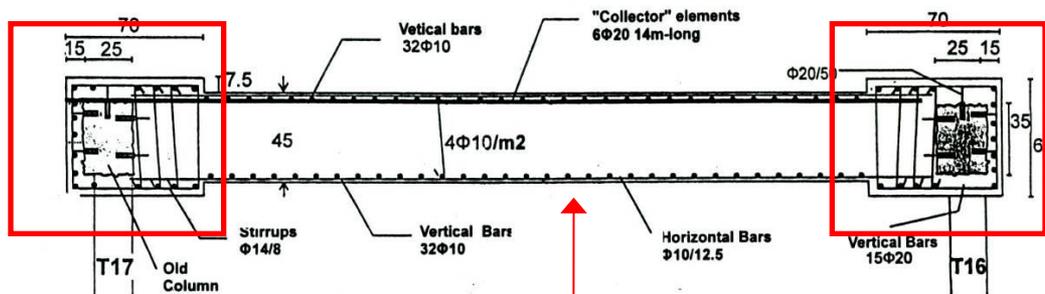
INSERIMENTO DI MURI DI
TAGLIO IN C.A.



Realizzazione del muro di taglio



Intervento in fondazione



Elemento esistente in c.a.
che viene inglobato

Nuovo muro in c.a.



TIPI D'INTERVENTO

Riferimenti bibliografici

Per la definizione delle tipologie di intervento:

Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici

a cura di Francesco Gurrieri,

Regione dell'Umbria, 1999

DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile

Per le valutazioni analitiche e le considerazioni in merito alle peculiarità dei diversi interventi:

§§ C8A6 e C8A7 della Circ. 617

Per la pubblicistica tecnica americana:

FEMA 356

Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings

REGOLA GENERALE

La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche



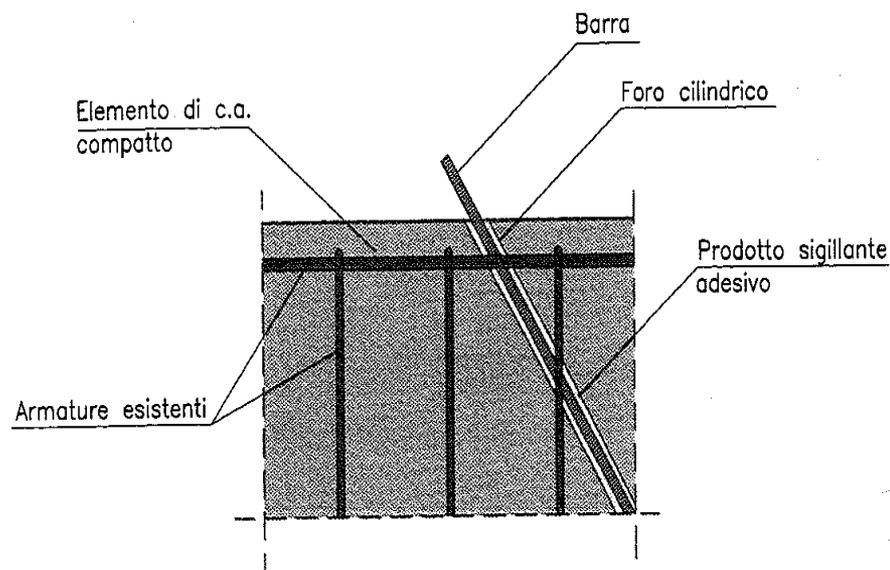
TIPI D'INTERVENTO

Lavorazioni generali

Perforazioni armate

FASI ESECUTIVE

1. Esecuzione di fori con utensile a roto-percussione o carotatrice
2. Pulizia del foro mediante insufflaggio di aria compressa
3. Parziale riempimento del foro con prodotto sigillante adesivo a ritiro compensato o espansivo
4. Inserimento della barra di armatura (interamente filettata o ad aderenza migliorata) con movimento di avanzamento-avvitamento fino al trascinare del sigillante dal bocca-foro
5. Eventuale pulitura del bocca-foro dal materiale trascinato



Perforazioni armate

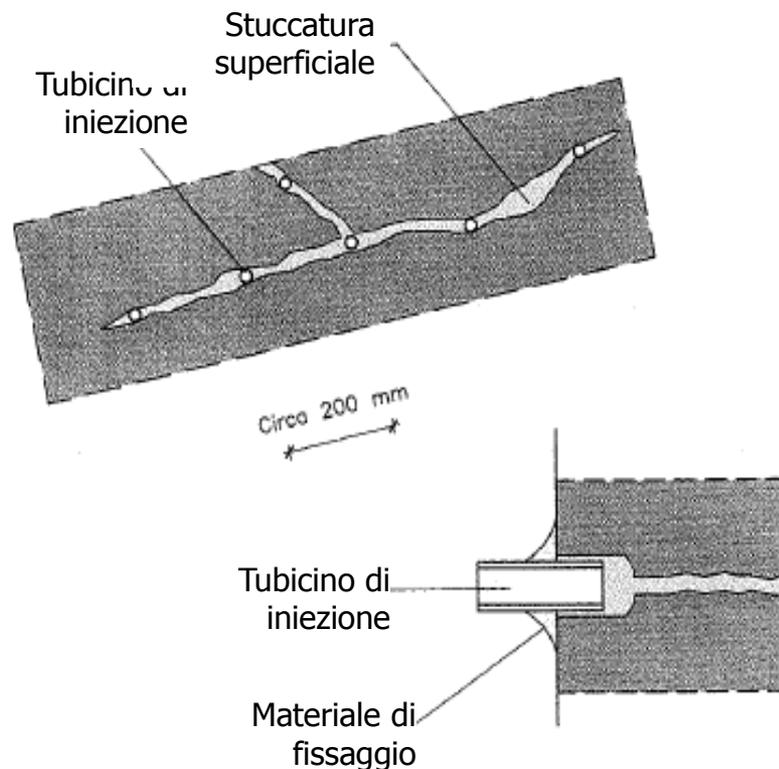
PRECAUZIONI E NOTE

- a. **Il foro deve essere pulito (ed asciutto, se si usa resina epossidica)**
- b. La differenza tra diametro del foro ϕ_f e della barra ϕ_b deve rispettare le specifiche del sigillante usato ($\phi_f / \phi_b \cong 1.2$)
- c. **Immissione del sigillante:**
 - in fori passanti è opportuno procedere mediante iniezione dall'estremità più bassa,
 - In fori ciechi occorre effettuare l'iniezione dal fondo del foro, mediante tubicino o beccuccio
- d. La tecnica della perforazione armata è utilizzabile anche per l'ancoraggio di barre d'armatura
- e. **Nel caso di elemento fratturato**, prima dell'esecuzione del foro occorre sigillare le lesioni

Iniezione lesioni non passanti

FASI ESECUTIVE

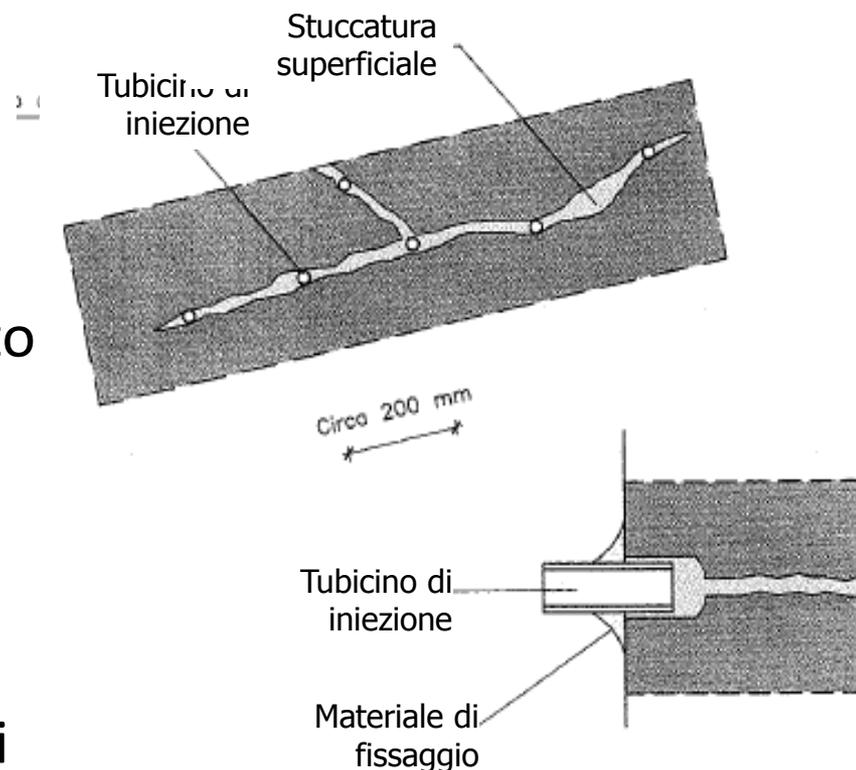
1. Pulitura superficiale e scarnificazione della lesione
2. Pulitura profonda con aria compressa o acqua a debole pressione
3. Realizzazione di fori di iniezione con utensile a roto-percussione e inserimento di tubicini metallici di iniezione fissati con paste a rapido indurimento, previa pulitura del foro con aria compressa
4. Stuccatura superficiale della lesione con paste a rapido indurimento, **per evitare refluenti durante l'iniezione**



Iniezione lesioni non passanti

FASI ESECUTIVE

5. Iniezione a bassa pressione di prodotti fluidi (resine epossidiche) procedendo dal basso verso l'alto, controllando il refluito dai tubicini immediatamente soprastanti
6. Chiusura di tutti i tubicini e aumento della pressione di iniezione, per verificare la presenza di sacche d'aria
7. Dopo l'indurimento, rimozione o taglio a filo superficie dei tubicini di iniezione



Iniezione lesioni non passanti

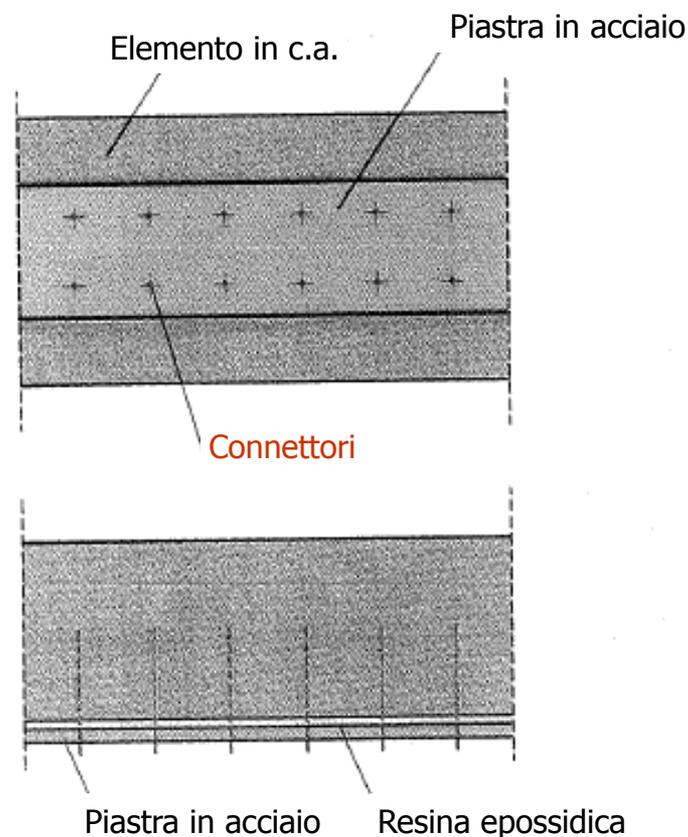
PRECAUZIONI E NOTE

- a. **Il foro deve essere pulito (ed asciutto se si usa resina epossidica)**
- b. L'asportazione della stuccatura superficiale mediante utensile con disco abrasivo può consentire una verifica parziale della iniezione
- c. In presenza di lesioni ramificate disporre il tubicino di iniezione in corrispondenza degli incroci delle stesse

Placcaggi in acciaio

FASI ESECUTIVE

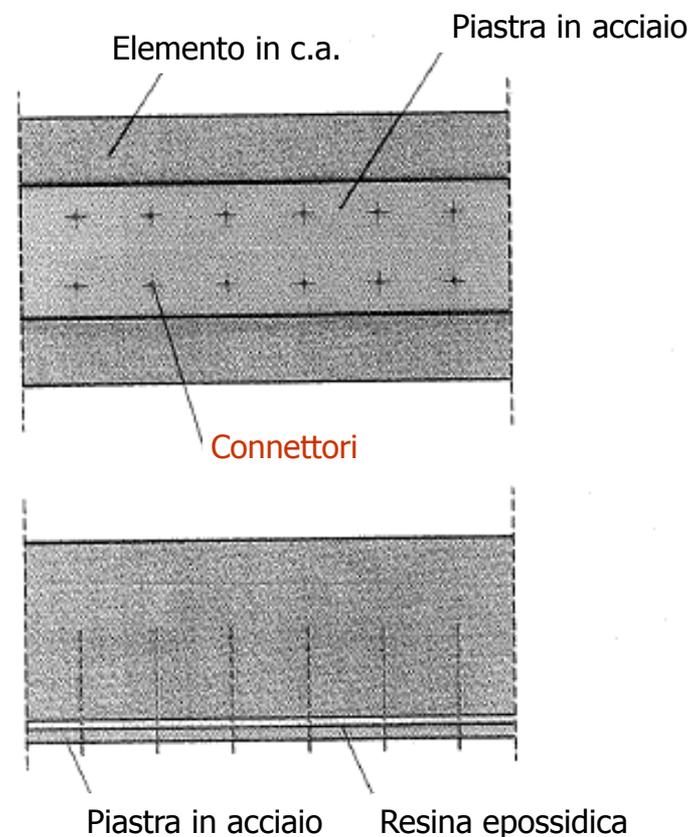
1. Demolizione del cls danneggiato o degradato
2. Iniezione delle eventuali lesioni presenti
3. Ricostruzione delle parti demolite con malte o betoncino a ritiro compensato
4. Pulitura del supporto mediante sabbiatura e depolverizzazione
5. Regolarizzazione del supporto mediante l'applicazione di stucco epossidico
6. Sabbiatura della lamiera



Placcaggi in acciaio

FASI ESECUTIVE

7. Spalmatura della pasta epossidica sulle superfici da unire (**BETON-PLAQUÉ** per incollaggio diretto)
8. Fissaggio della lamiera preforata al supporto nella posizione prestabilita
9. Perforazione del supporto in corrispondenza dei fori della lamiera ad avvenuto incollaggio
10. Collocazione dei connettori
11. Protezione delle lamiere mediante uso di prodotti anticorrosivi



Placcaggi in acciaio

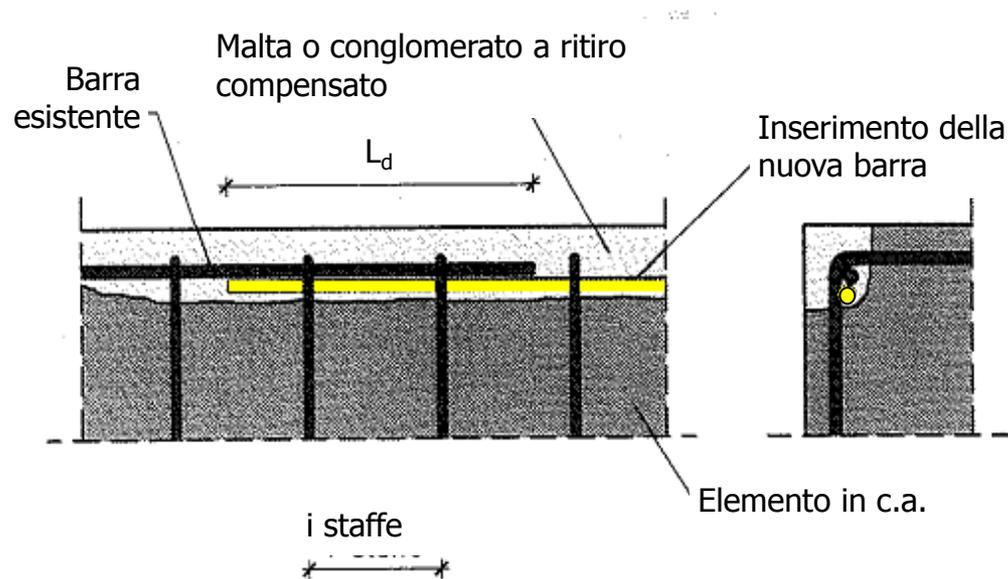
PRECAUZIONI E NOTE

- a. Il supporto deve essere pulito e regolarizzato prima dell'applicazione
- b. Lo spessore della resina deve essere ridotto (**2–3 mm**)
- c. Nel caso in cui non si possa eseguire l'incollaggio si procederà mediante collocazione delle lamiere e successiva iniezione di resina fluida nell'intercapedine struttura-placca (**BETON-PLAQUÉ** per iniezione)

Giunzioni e ancoraggi barre

FASI ESECUTIVE

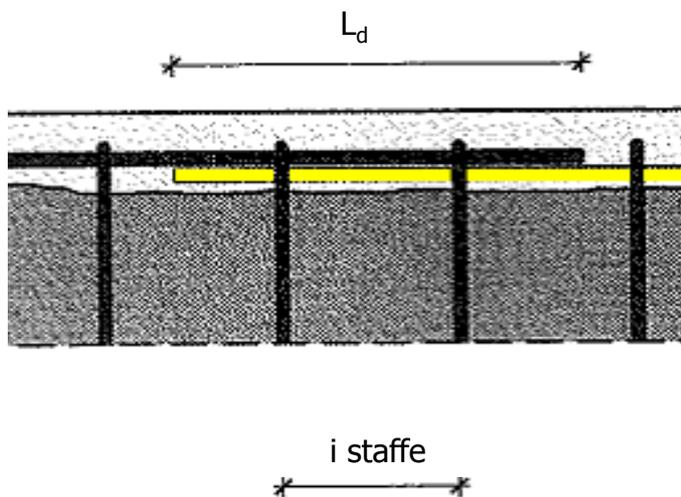
1. Demolizione del cls per la zona necessaria alla collocazione delle armature, liberando gli angoli delle staffe esistenti
2. Inserimento delle armature da sovrapporre
3. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto
4. Ripristino del conglomerato di rivestimento e di copriferro con malta o conglomerato a ritiro compensato



Giunzioni e ancoraggio delle barre

PRECAUZIONI E NOTE

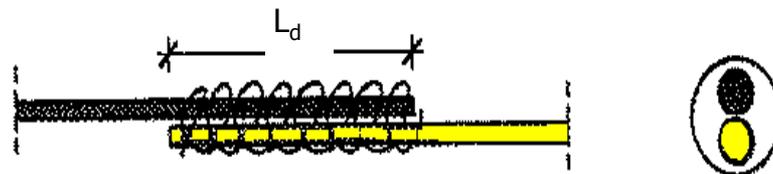
- Le barre da giuntare non devono distare tra loro più di 2Φ con un minimo di **20mm**
- Il materiale di ripristino deve rivestire bene il tratto di giunzione
- La lunghezza di sovrapposizione deve essere tale che $L_d \geq 2i$ staffe



Giunzioni e ancoraggio delle barre

PRECAUZIONI E NOTE

- d. È opportuno sfalsare gli ancoraggi
- e. Per migliorare l'efficacia della sovrapposizione si possono cerchiare le barre sovrapposte mediante fasciatura elicoidale con filo Φ 1-2 mm lungo la giunzione



- f. Per barre lisce si consiglia la formazione di ganci di estremità
- g. Le saldature sono da evitare. Ove la lunghezza L_d non si possa ottenere e se la caratteristica degli acciai lo consente la saldatura va realizzata a cordone d'angolo tra le barre sovrapposte (**Soluzione A migliore di B**)

SOLUZIONE A



SOLUZIONE B

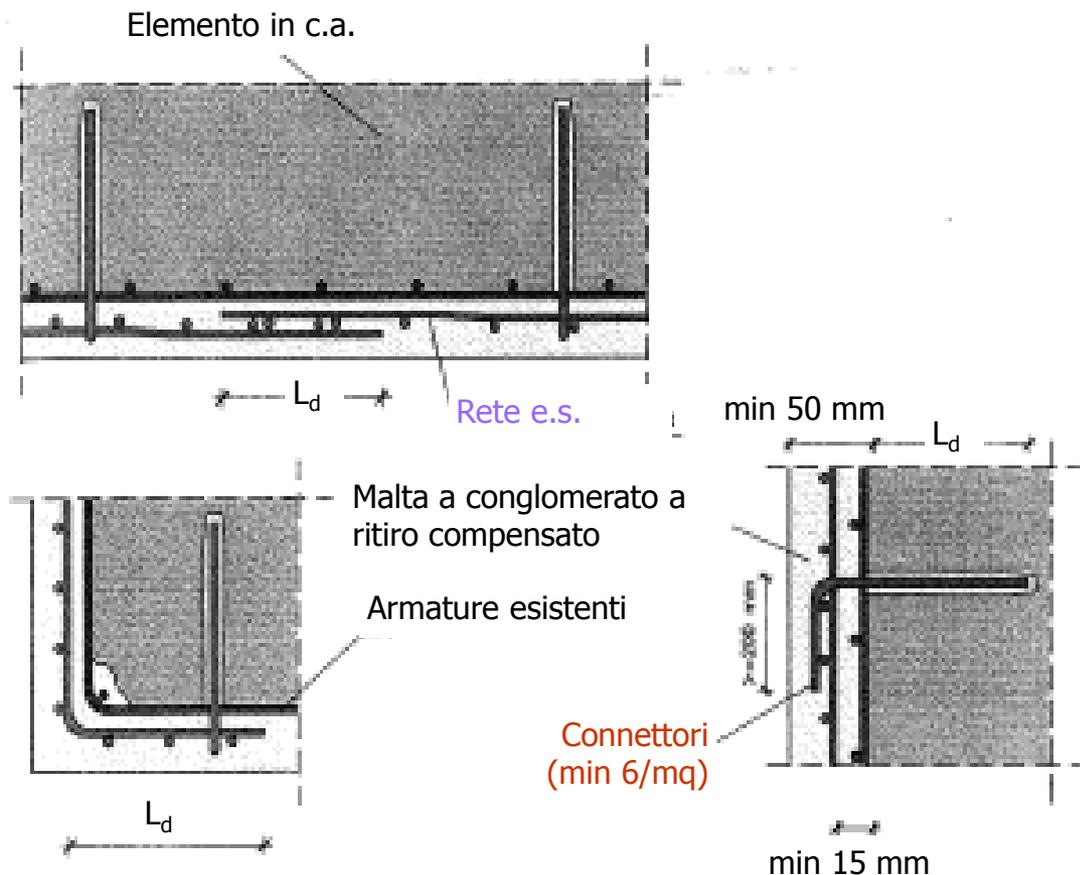


$$0.5 \leq \phi_1 / \phi_2 \leq 2$$

Incamiciatura con rete elettrosaldata

FASI ESECUTIVE

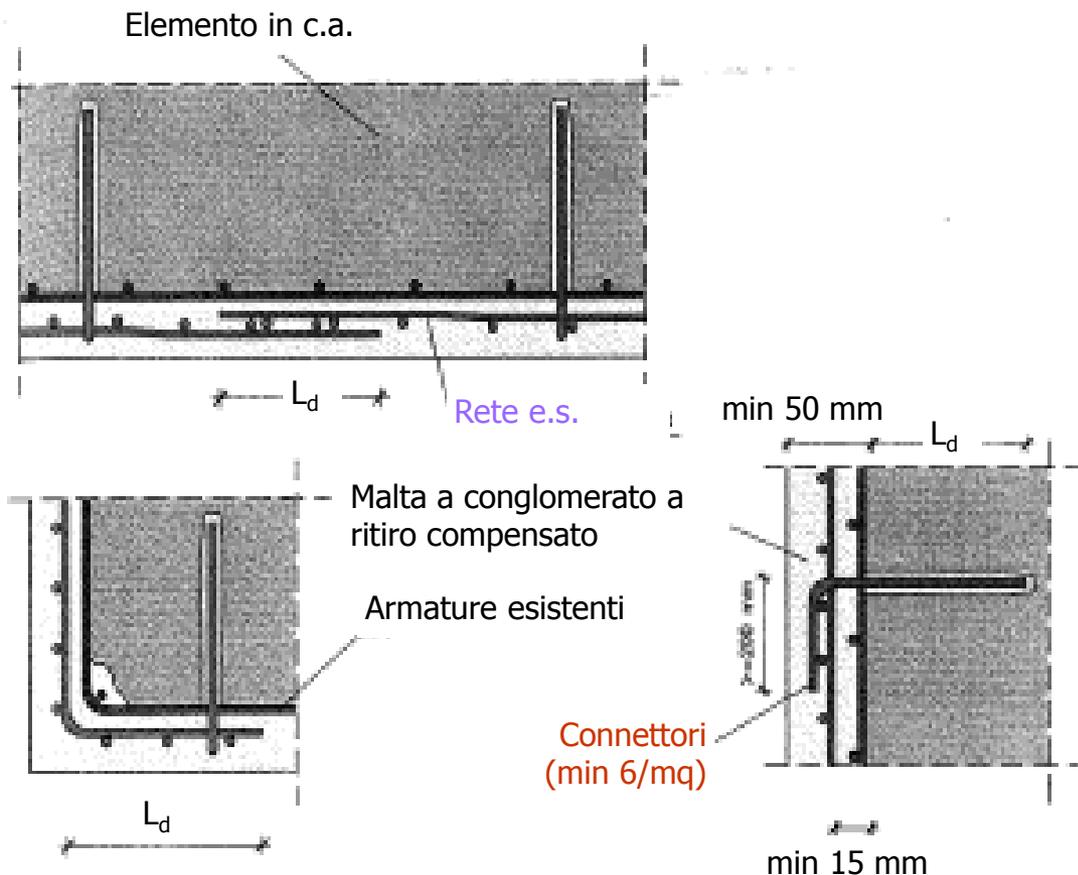
1. Demolizione del copriferro fino a scoprire tutte le armature
2. Esecuzione dei fori per la posa in opera dei connettori d'ancoraggio della rete e.s.
3. Posa in opera dei connettori dislocati a quinconce



Incamiciatura con rete elettrosaldata

FASI ESECUTIVE

4. Posa in opera della rete e.s. fissata ai connettori e distanziata dalla superficie dell'elemento in c.a.
5. Formazione del gancio di ancoraggio del connettore alla rete
6. Pulizia e umidificazione abbondante (**ma non saturazione**) della superficie di supporto
7. Applicazione del materiale di rivestimento



Incamiciatura con rete elettrosaldata

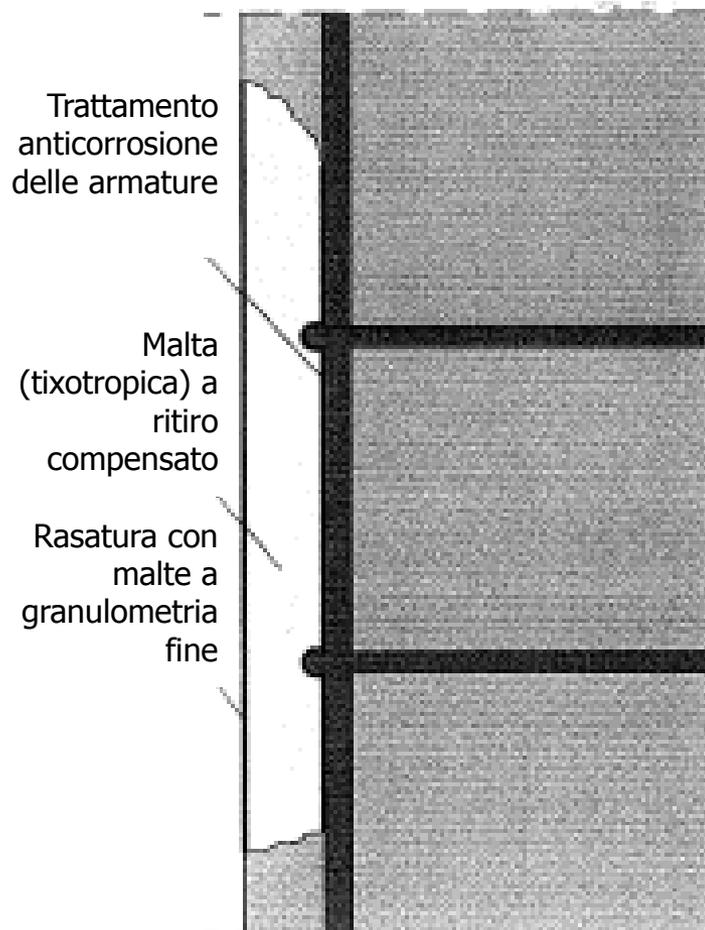
PRECAUZIONI E NOTE

- a. La rete e.s. deve essere distanziata dalla superficie dell'elemento in c.a.
- b. **Per applicazioni verso l'ambiente esterno** utilizzare reti zincate o in alternativa, aumentare adeguatamente il copriferro (**minimo 20 mm** a coprire i connettori più esposti)
- c. I connettori possono essere realizzati anche con barre filettate in fori iniettati e piastra di testata bloccata mediante dadi di regolazione
- d. Dove gli spessori lo consentono è opportuno disporre connettori passanti (legature)
- e. **Sono da evitare connettori a fissaggio meccanico** (con espansione) **quando il cls non è di elevata qualità**

Ripristino copriferro, passivazione armature

FASI ESECUTIVE

1. Demolizione del cls degradato, estesa a tutta la zona interessata dalla corrosione delle armature
2. Pulitura delle armature scoperte dalle scorie della corrosione
3. Applicazione di un passivante sulle armature scoperte
4. Pulizia e abbondante umidificazione (**ma non saturazione**) del cls
5. Applicazione di malta (tixotropica) a ritiro compensato (per forti spessori procedere per strati di **20-30mm**)
6. Rasatura della parte ricostruita con malta a granulometria fine





Ripristino copriferro, passivazione armature

PRECAUZIONI E NOTE

- a. Pulire accuratamente le armature prima dell'applicazione dell'inibitore di corrosione
- b. Sulla superficie trattata e finita può essere applicato uno strato protettivo dato a spruzzo, pennello o rullo, a seconda del prodotto impiegato



RINFORZO DI ELEMENTI STRUTTURALI

Incamiciatura in c.a. – elementi verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7,.Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.1 Incamiciatura in c.a.*

A pilastri o pareti possono essere applicate camicie in c.a. per conseguire tutti o alcuni dei seguenti obiettivi:

- **aumento della capacità portante verticale;**
- **aumento della resistenza a flessione e/o taglio;**
- **aumento della capacità deformativa;**
- **miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione.**

Incamiciatura in c.a. – elementi verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., C8A.7.1 Incamiciatura in c.a.

Lo spessore delle camicie deve essere tale da consentire il posizionamento di armature longitudinali e trasversali con un copriferro adeguato.

Se la camicia non avvolge completamente l'elemento, occorre mettere a nudo le armature nelle facce non incamiciate, e collegare a queste ultime le armature delle facce incamiciate.

Se le camicie servono ad aumentare:

- ❑ la **resistenza flessionale**, le barre longitudinali devono superare il solaio in forature continue ancorate con adeguata staffatura alle estremità dei pilastri inferiore e superiore.
- ❑ la **resistenza a taglio** e la **deformabilità**, o anche a migliorare l'efficienza delle giunzioni, esse devono fermarsi a circa **10mm** dal solaio.

Incamiciatura in c.a. – elementi verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7,.Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.1 Incamiciatura in c.a.*

Per valutare la resistenza e la deformabilità di elementi incamiciati sono accettabili le seguenti ipotesi semplificative:

- l'elemento incamiciato si comporta monoliticamente, con piena aderenza tra il calcestruzzo vecchio e il nuovo;*
- si trascura il fatto che il carico assiale è applicato alla sola porzione preesistente dell'elemento, e si considera che esso agisca sull'intera sezione incamiciata;*
- le proprietà meccaniche del calcestruzzo della camicia si considerano estese all'intera sezione* ***se le differenze fra i due materiali non sono eccessive.***

Incamiciatura in c.a. – elementi verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.1 Incamiciatura in c.a.*

I valori della capacità da adottare nelle verifiche sono quelli calcolati con riferimento alla sezione incamiciata, **nelle ipotesi semplificative su indicate ridotte secondo le espressioni seguenti:**

resistenza a taglio: $\tilde{V}_R = 0.9V_R$ (C8A.7.1)

resistenza a flessione: $\tilde{M}_y^o = 0.9M_y$ (C8A.7.2)

deformabilità allo snervamento: $\tilde{\theta}_y^o = 0.9\theta_y$ (C8A.7.3)

deformabilità ultima: $\tilde{\theta}_u^o = \theta_u$ (C8A.7.4)

Incamiciatura in c.a. – elementi verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.1 Incamiciatura in c.a.*

I valori da impiegare per le **resistenze dei materiali** saranno:

- a) per l'acciaio esistente, la resistenza ottenuta come media delle prove eseguite in sito e da fonti aggiuntive di informazione, divisa per il fattore di confidenza appropriato in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto e, **per il solo calcolo di \tilde{V}_R** divisa anche per il coefficiente parziale;
- b) per i materiali aggiunti, calcestruzzo ed acciaio, la resistenza di calcolo.

Incamiciatura in c.a. – elementi verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7,.Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.1 Incamiciatura in c.a.*

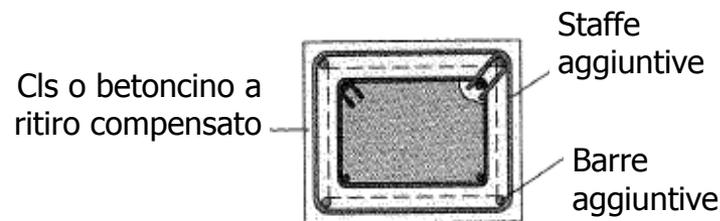
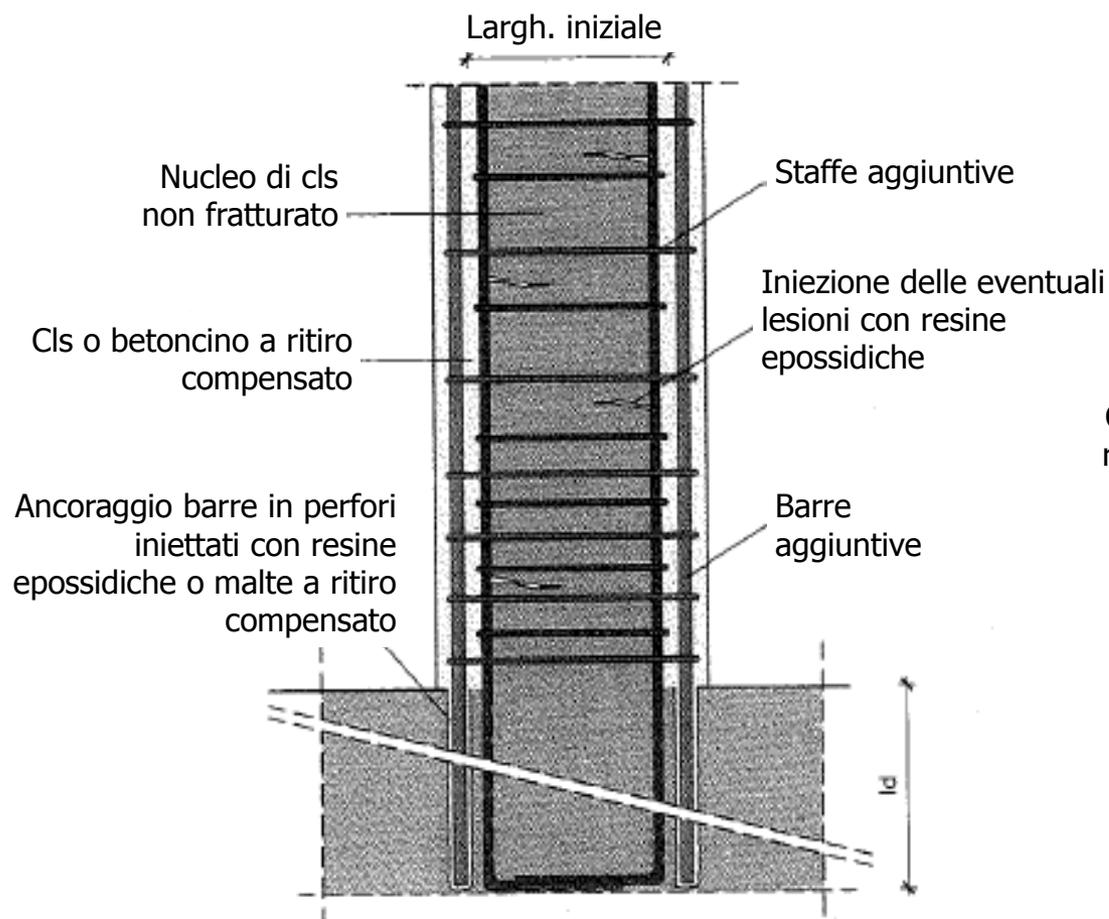
I valori da impiegare per le resistenze dei materiali nel calcolo di M_y^0 da usare per la valutazione del taglio agente su elementi/meccanismi fragili saranno:

- a) per l'acciaio esistente la resistenza ottenuta come media delle prove eseguite in sito e da fonti aggiuntive di informazione, divisa per il fattore di confidenza appropriato in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto;
- b) per i materiali aggiunti, calcestruzzo ed acciaio, il valore caratteristico della resistenza.

Incamicatura in c.a. – elementi verticali

RINFORZO DI PILASTRI CON INCAMICIATURA TOTALE

INCAMICIATURA TOTALE CON NUOVE ARMATURE



Incamicatura in c.a. – elementi verticali

RINFORZO DI PILASTRI CON INCAMICIATURA TOTALE

FASI ESECUTIVE

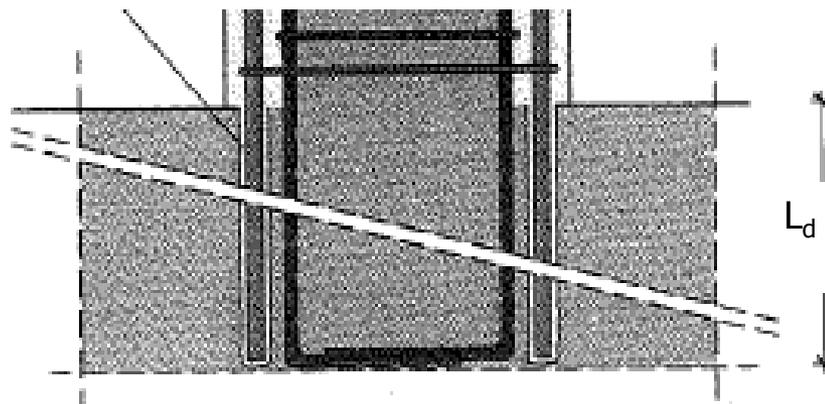
1. Puntellamento delle strutture interessate
2. Demolizione del calcestruzzo lesionato
3. Iniezione delle lesioni interne al nucleo
4. Raddrizzamento delle barre longitudinali
5. Collocazione delle barre e delle staffe aggiuntive
6. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto
7. Applicazione del calcestruzzo o del betoncino a ritiro compensato
8. Rimozione delle puntellature

Incamicatura in c.a. – elementi verticali

RINFORZO DI PILASTRI CON INCAMICIATURA TOTALE

PRECAUZIONI E NOTE

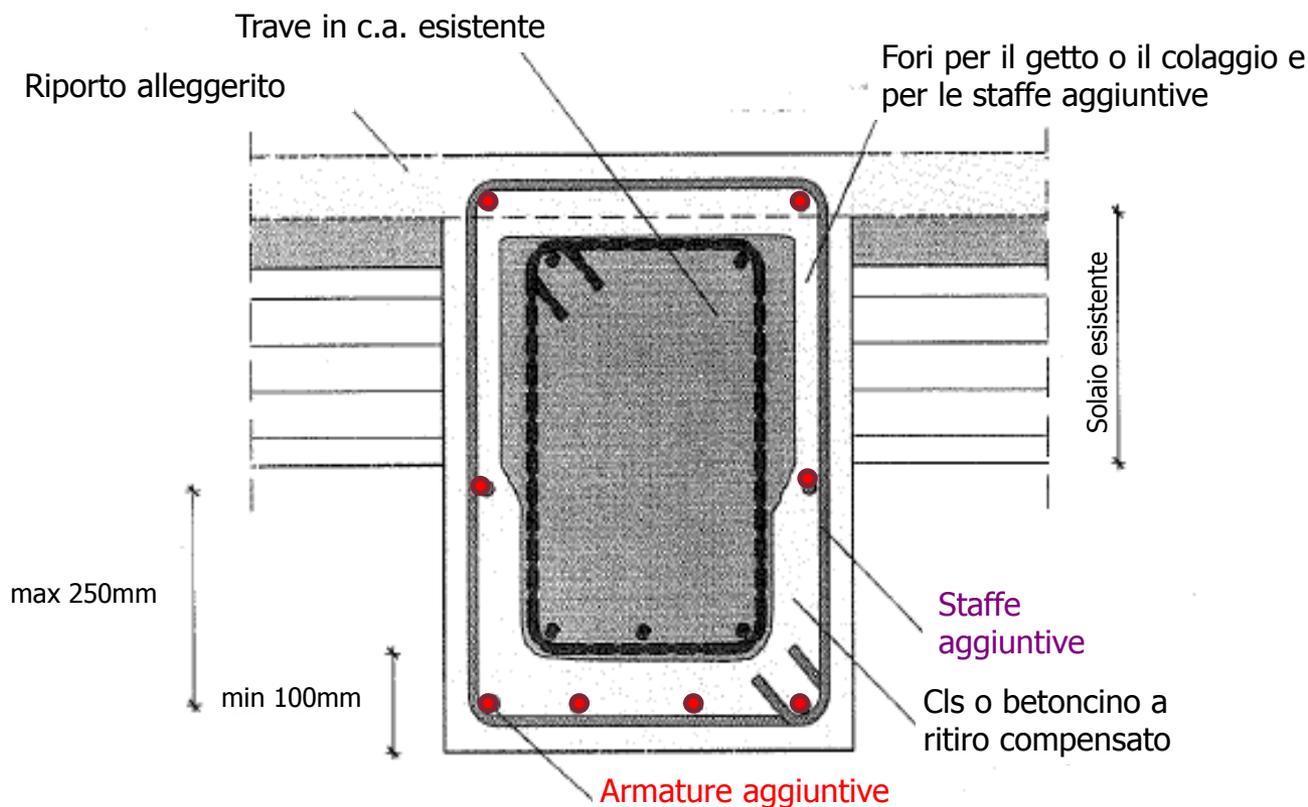
- Per forti spessori del rivestimento è opportuno disporre una doppia orditura di armature.
- In presenza di pilastri allungati bisogna disporre delle legature trasversali passanti in fori iniettati con resina epossidica.
- In alternativa alle legature si possono utilizzare tasselli chimici ancorati al nucleo interno.
- Ove non si abbia altezza sufficiente per l'ancoraggio (L_d) è opportuno aumentare il numero di barre o prevederne il bloccaggio su piastre contrapposte.



Incamiciatura in c.a. – elementi orizzontali

RINFORZO DI TRAVI

INCAMICIATURA TOTALE CON NUOVE ARMATURE



Incamicatura in c.a. – elementi orizzontali

RINFORZO DI TRAVI CON INCAMICIATURA TOTALE

FASI ESECUTIVE

1. Puntellamento del solaio gravante sulla trave
2. Demoliz. parziale del copriferro della parte inferiore della trave
3. Esecuzione di fori (min ≥ 60) sul solaio per il getto integrativo mediante carotatrice al passo previsto per le staffe aggiuntive
4. Posizionamento delle staffe
5. Collocazione armature aggiuntive e piegatura finale staffe
6. Pulizia e abbondante umidificazione (**ma non saturazione**) della superficie del supporto
7. Realizzazione della cassaforma
8. Esecuzione del getto da un foro e controllo del refluisce del conglomerato dal foro simmetrico
9. Scasseratura ad avvenuta maturazione
10. Rimozione delle puntellature

Incamiciatura in c.a. – elementi orizzontali

RINFORZO DI TRAVI CON INCAMICIATURA TOTALE

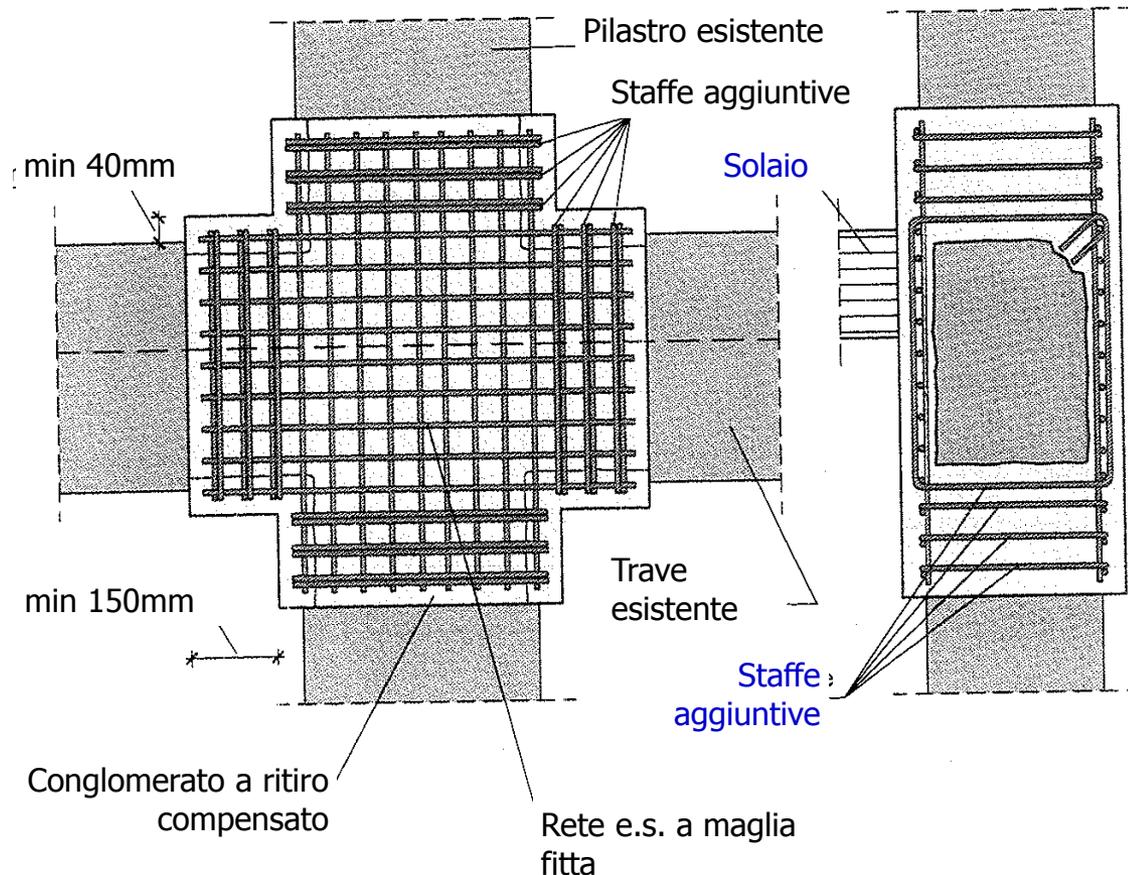
PRECAUZIONI E NOTE

- a. I fori per il getto non devono interferire con le eventuali nervature del solaio
- b. Le superfici devono essere pulite e depolverizzate
- c. Il getto deve essere eseguito con l'uso di conglomerati molto fluidi (eventuale uso di vibratori ad ago entro i fori)
- d. Il passo delle staffe non deve interferire con le eventuali nervature del solaio
- e. Per il controllo del riempimento della suola inferiore possono essere disposti dei tubicini di sfiato attraverso la cassaforma
- f. Possono essere impiegati adesivi epossidici per l'aderenza vecchio-nuovo cls
- g. Se necessario il riporto alleggerito può essere sostituito con una soletta in c.a. di rinforzo

Incamiciatura in c.a. – Nodi

RINFORZO DI NODI CON INCAMICIATURA IN C.A.

Per conferire un buon comportamento d'insieme al sistema a telaio si opera sulla zona nodale, comprese quindi anche le parti terminali di travi e pilastri, migliorando taglio e confinamento delle zone critiche (resistenza e duttilità).



Incamicatura in c.a. – Nodi

RINFORZO DI NODI CON INCAMICIATURA IN C.A.

FASI ESECUTIVE

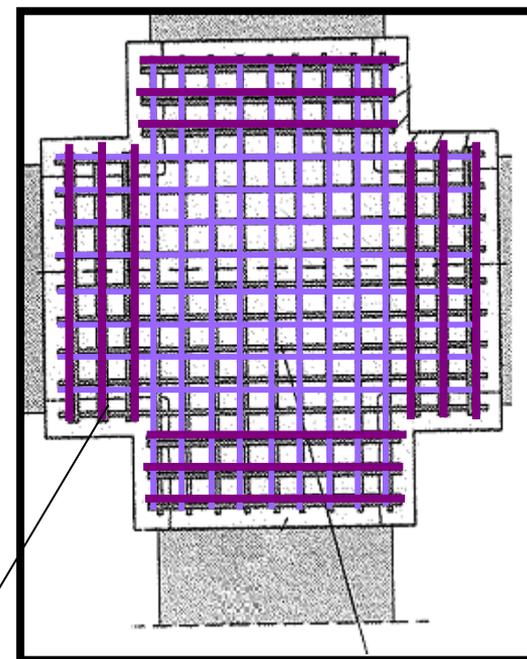
1. Puntellamento delle strutture interessate
2. Demolizione del calcestruzzo di copriferro e delle parti danneggiate
3. Iniezione delle eventuali lesioni presenti
4. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto
5. Collocazione delle armature
6. Applicazione del conglomerato mediante tecnica a spruzzo o a getto previa collocazione delle casseforme
7. Rimozione delle casseforme e delle puntellature

Incamicatura in c.a. – Nodi

RINFORZO DI NODI CON INCAMICIATURA IN C.A.

PRECAUZIONI E NOTE

- Distanziare la r.e.s. dalla superficie del supporto
- Risvoltare la r.e.s. ed effettuare le necessarie sovrapposizioni di tutte le armature aggiuntive
- Per nodi di dimensioni rilevanti è opportuno ancorare la r.e.s. mediante connettori su fori iniettati



Staffe
aggiuntive

Rete e.s. a
maglia fitta

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7,.Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.2 Incamiciatura in acciaio*

Camicie in acciaio possono essere applicate principalmente a pilastri o pareti per conseguire tutti o alcuni dei seguenti obiettivi:

- aumento della capacità portante verticale (effetto del confinamento);
- aumento della resistenza a taglio;
- aumento della capacità deformativa;
- miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione.

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., C8A.7.2 Incamiciatura in acciaio

Le camicie in acciaio applicate a pilastri rettangolari sono generalmente costituite da quattro profili angolari sui quali vengono saldate piastre continue in acciaio o bande di dimensioni ed interasse adeguati, oppure vengono avvolti nastri in acciaio opportunamente dimensionati.

I profili angolari possono essere fissati con resine epossidiche o semplicemente resi aderenti al calcestruzzo esistente.

Le bande possono essere preriscaldate prima della saldatura e i nastri presolleccitati, in modo da fornire successivamente una pressione di confinamento.

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7,.Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.2.1 Aumento della resistenza a taglio*

Il **contributo della camicia alla resistenza a taglio** può essere considerato aggiuntivo alla resistenza preesistente, **purché la camicia rimanga interamente in campo elastico, condizione necessaria** affinché essa limiti l'ampiezza delle fessure e assicuri l'integrità del conglomerato, **consentendo il funzionamento del meccanismo resistente dell'elemento preesistente.**

Se la tensione nella camicia è limitata al 50% del valore di snervamento l'espressione della resistenza a taglio aggiuntiva offerta dalla camicia vale:

$$V_j = 0.5 \frac{2t_j b}{s} f_{yw} \frac{1}{\cos \alpha_t} \quad (\text{C8A.7.5})$$

nella quale t_j , b , s sono rispettivamente **spessore, larghezza e interasse delle bande** ($b/s=1$ nel caso di camicie continue), e f_{yw} è la resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio, α_t è l'inclinazione delle fessure per taglio.

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.2.2 Azione di confinamento*

L'effetto di confinamento di una camicia in acciaio si valuta come per le staffe, con riferimento al percentuale geometrica di armatura presente in ciascuna delle direzioni trasversali.

Per le proprietà del conglomerato confinato possono essere impiegate espressioni di comprovata validità, come ad esempio le seguenti:

- per la resistenza del conglomerato confinato:

$$f_{cc} = f_c \left[1 + 3,7 \left(\frac{0,5 \alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_c} \right)^{0,86} \right] \quad (\text{C8A.7.6})$$

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., C8A.7.2.2 Azione di confinamento

dove ρ_s è il rapporto volumetrico di armatura trasversale, pari a: $\rho_s = 2 (b+h)t_s / (b h)$ nel caso di camicie continue (t_s = spessore della camicia, b e h = dimensioni della sezione)

$\rho_s = 2 A_s (b+h) / (b h s)$ nel caso di bande discontinue

con (A_s = area trasversale della banda, s = passo delle bande),

α_n ed α_s fattori di efficienza del confinamento nella sezione e lungo l'elemento, dati da:

$$\alpha_n = 1 - \frac{(b - 2R)^2 + (h - 2R)^2}{3bh} \quad (\text{C8A.7.7a})$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s - h_s}{2b}\right) \left(1 - \frac{s - h_s}{2h}\right) \quad (\text{C8A.7.7b})$$

R raggio di arrotondamento (eventuale) degli spigoli della sezione (in presenza di angolari R può essere assunto pari al minore tra la lunghezza del lato degli angolari e 5 volte lo spessore degli stessi), b , h dimensioni della sezione, h_s altezza delle bande discontinue (se la camicia è continua si assume $h_s = s$).

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.2.2 Azione di confinamento*

-per la deformazione ultima del conglomerato confinato:

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + 0,5 \frac{0.5\alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_{cc}} \quad (C8.A.7.8)$$

Nelle due equazioni precedenti (resistenza e deformazione) i valori da impiegare per le resistenze dei materiali saranno:

- per il calcestruzzo esistente, la resistenza ottenuta come media delle prove eseguite in sito e da fonti aggiuntive di informazione, divisa per il fattore di confidenza appropriato in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto;
- per l'acciaio della camicia, la resistenza di calcolo.

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.2.3 Miglioramento della giunzione per aderenza*

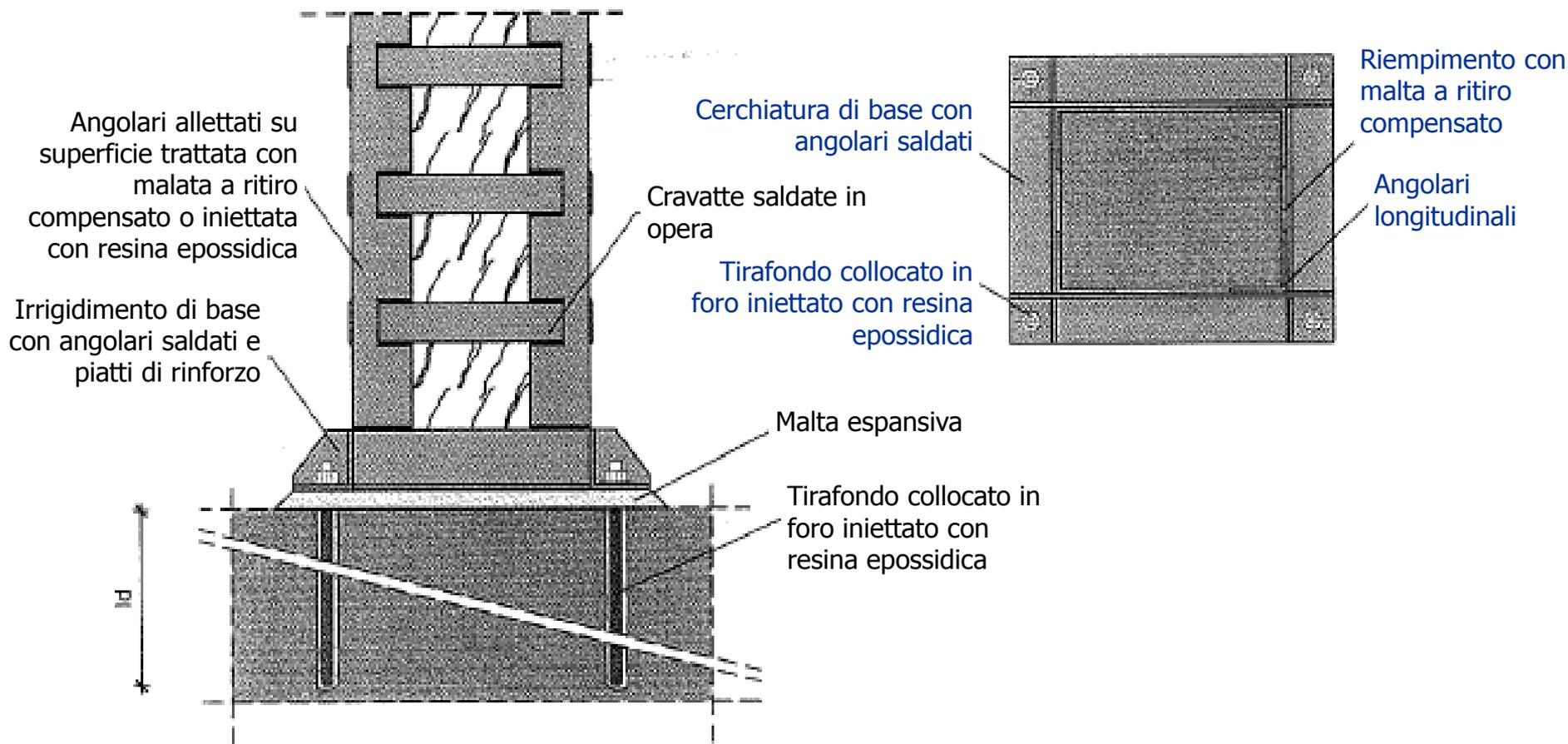
Le camicie in acciaio possono fornire un'efficace azione di serraggio nelle zone di giunzione per aderenza.

Per ottenere questo risultato occorre che:

- *la camicia si prolunghi per una lunghezza pari almeno al **50%** della lunghezza della zona di sovrapposizione;*
- *nella zona di sovrapposizione la camicia sia mantenuta aderente in pressione contro le facce dell'elemento, mediante almeno **due** file di bulloni ad alta resistenza;*
- *nel caso in cui la sovrapposizione sia alla base del pilastro, le file di bulloni vengano disposte una alla sommità della zona di sovrapposizione, l'altra ad un terzo dell'altezza di tale zona misurata a partire dalla base.*

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

PILASTRI RINFORZATI CON PROFILATI DI ACCIAIO



Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

PILASTRI RINFORZATI CON PROFILATI DI ACCIAIO

FASI ESECUTIVE

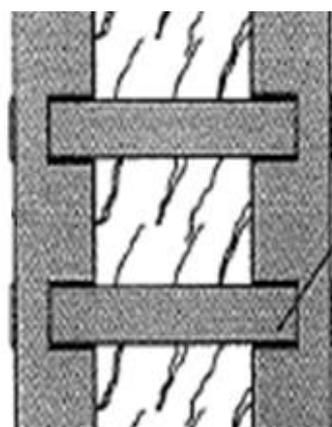
1. Puntellamento delle strutture interessate, se necessario
2. Demolizione del vecchio intonaco mettendo a vivo il cls
3. Pulizia accurata delle fessure con getto d'acqua
4. Stuccatura delle fessure con resina epossidica o malta cementizia antiritiro
5. Realizzazione di fori per il posizionamento dei tirafondi
6. Collocamento dei profilati necessari
7. Pulizia e abbondante umidificazione (**ma non saturazione**) della superficie del supporto
8. Protezione delle lamiere dal fuoco mediante rivestimento con intonaco su rete porta intonaco metallica o sintetica
9. Rimozione delle eventuali puntellature

Incamiciatura in acciaio – Elementi Verticali

PILASTRI RINFORZATI CON PROFILATI DI ACCIAIO

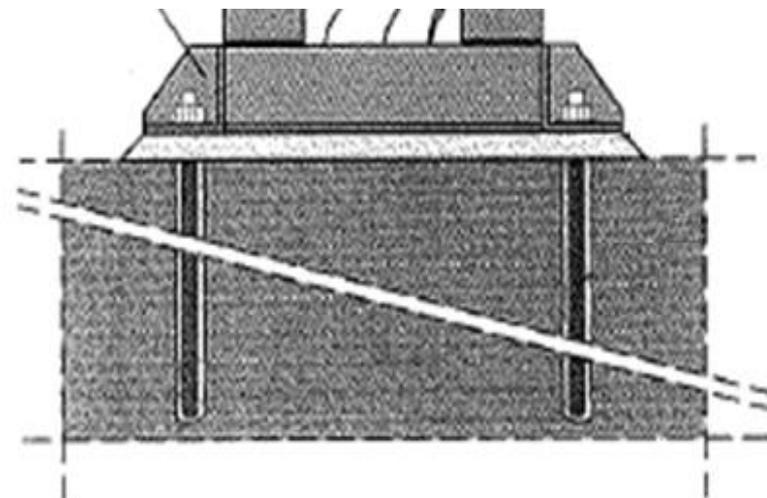
PRECAUZIONI E NOTE

- Per indurre un effetto cerchiante attivo scaldare le cravatte prima della saldatura
- Ove non si abbia altezza sufficiente per l'ancoraggio dei tirafondi (L_d) è opportuno aumentare il numero di tirafondi o prevederne il bloccaggio su piastre contrapposte



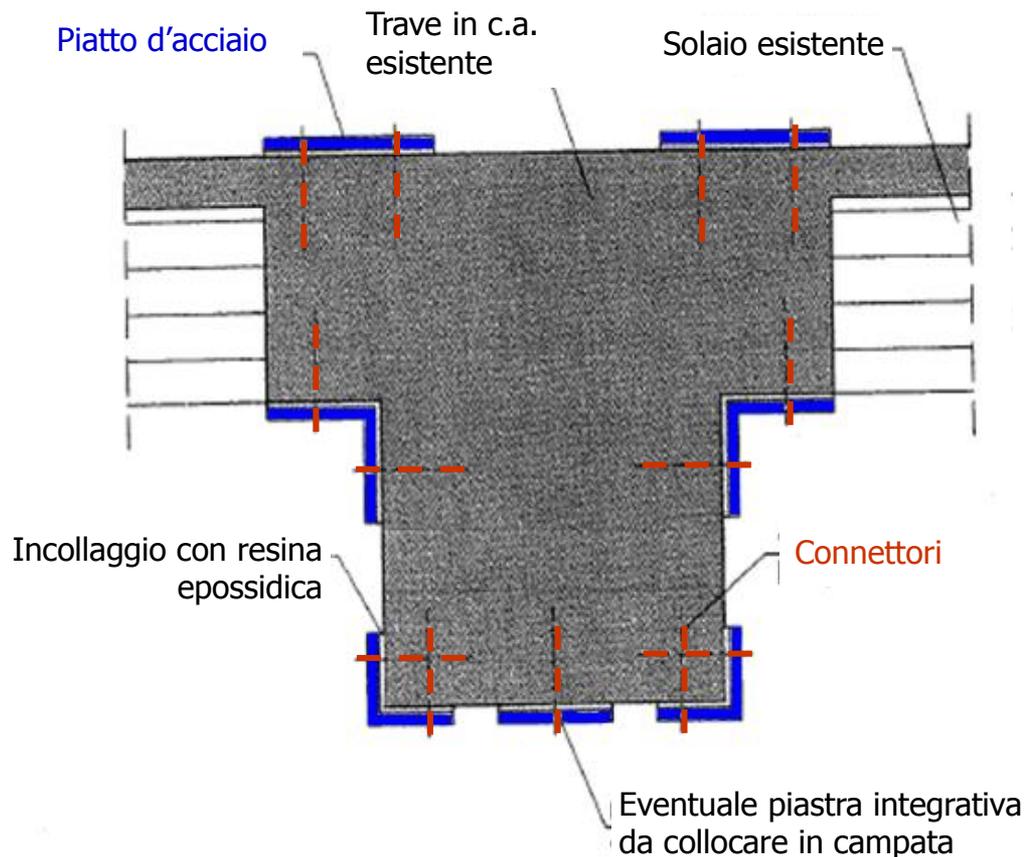
Cravatte saldate in opera

L_d



Incamiciatura in acciaio – Elementi orizz.

TRAVI PLACCATE CON PIATTI DI ACCIAIO



Incamiciatura in acciaio – Elementi orizz.

TRAVI PLACCATE CON PIATTI DI ACCIAIO

FASI ESECUTIVE

1. Puntellamento della trave e, se necessario, delle strutture interessate
2. Demolizione delle parti superficiali di calcestruzzo danneggiato o degradato
3. Preparazione delle superfici del supporto
4. Fissaggio delle lamiera
5. Collocazione dei connettori
6. Rimozione delle puntellature
7. Protezione delle lamiera con vernice anticorrosiva
8. Protezione delle lamiera dal fuoco con rivestimento isolante

Incamiciatura in acciaio – Elementi orizz.

TRAVI PLACCATE CON PIATTI DI ACCIAIO

PRECAUZIONI E NOTE

- a. Lo spessore delle resine di incollaggio deve essere ridotto (**2÷3mm**)
- b. Se nella trave sono presenti fessurazioni occorre procedere prima alla loro iniezione e successivamente al placcaggio

Placcatura in materiali compositi

Circ. 617, Allegato C8A.7, Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in c.a., *C8A.7.3 Placcatura e fasciatura in materiali compositi*

L'uso dei fibrorinforzati nel rinforzo sismico di elementi in c.a. è finalizzato agli obiettivi seguenti:

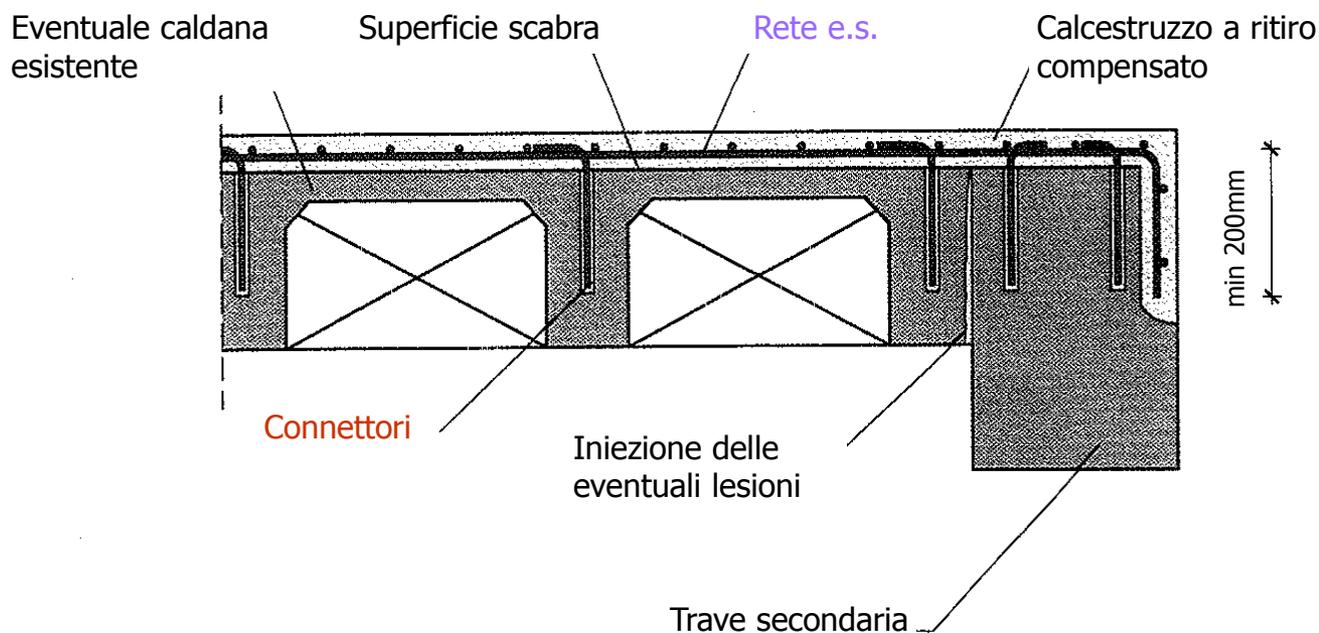
- aumento della resistenza a taglio** di pilastri e pareti mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo le staffe;
- aumento della duttilità** e/o della **resistenza** nelle parti terminali di travi e pilastri mediante fasciatura con fibre continue disposte lungo il perimetro;
- miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione**, sempre mediante fasciatura con fibre continue disposte lungo il perimetro.

Ai fini delle verifiche di sicurezza degli elementi rafforzati con FRP si possono adottare le Istruzioni CNR-DT 200/04.

Rinforzo di solai (soletta collaborante)

SOLAI RINFORZATI CON SOLETTA COLLABORANTE

Il rinforzo di un solaio può essere ottenuto mediante una soletta collaborante realizzata all'estradosso del solaio esistente, dove peraltro è più agevole intervenire.



Rinforzo di solai (soletta collaborante)

SOLAI RINFORZATI CON SOLETTA COLLABORANTE

FASI ESECUTIVE

1. Demolizione della pavimentazione fino a raggiungere la caldana del solaio e del copriferro esterno della trave
2. Puntellamento delle strutture interessate
3. Iniezione delle eventuali lesioni presenti
4. Posa in opera dei connettori previa realizzazione di fori
5. Preparazione della superficie di interfaccia
6. Collocazione della rete e.s. opportunamente distanziata dalla superficie di interfaccia
7. Collocazione delle casseforme (ove necessario)
8. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto
9. Esecuzione del getto di calcestruzzo a ritiro compensato
10. Rimozione delle casseforme e delle puntellature ad avvenuta maturazione della soletta

Rinforzo di solai (soletta collaborante)

SOLAI RINFORZATI CON SOLETTA COLLABORANTE

PRECAUZIONI E NOTE

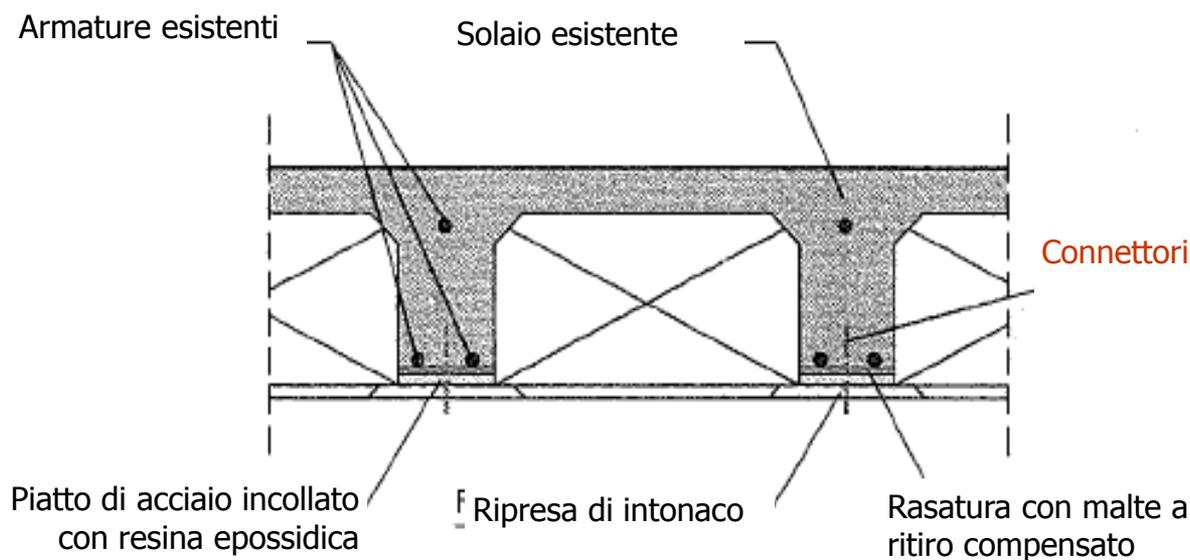
- Per rendere attiva la partecipazione della soletta ai pesi propri (oltre che ai carichi permanenti e ai carichi variabili e sismici) è opportuno calibrare il puntellamento e l'interasse dei connettori
- Per non aumentare le masse può essere prevista la demolizione della caldana di calcestruzzo esistente
- In alternativa ai connettori possono essere usati inerti preventivamente incollati con resine epossidiche alle nervature esistenti:



Rinforzo di solai (sulla nervatura)

SOLAI RINFORZATI DIRETTAMENTE SULLA NERVATURA

Il rinforzo di un solaio può essere ottenuto mediante rinforzo diretto delle nervature.



Rinforzo di solai (sulla nervatura)

SOLAI RINFORZATI DIRETTAMENTE SULLA NERVATURA

FASI ESECUTIVE

1. Puntellamento lungo le pignatte utilizzando tavoloni ripartitori
2. Demolizione dei fondelli inferiori in laterizio delle nervature del solaio e dell'intonaco interessato
3. Regolarizzazione dell'interfaccia mediante rasatura con malte a ritiro compensato
4. Applicazione dei piatti di acciaio previa spalmatura di paste o resine epossidiche sulle superfici da incollare già preparate
5. Rimozione delle puntellature
6. Applicazione di prodotti anticorrosione sulle piastre
7. Realizzazione di intonaco con eventuali caratteristiche di protezione dal fuoco



Rinforzo di solai (sulla nervatura)

SOLAI RINFORZATI DIRETTAMENTE SULLA NERVATURA

PRECAUZIONI E NOTE

- a. Per migliorare l'efficacia del rinforzo occorre calibrare l'azione delle puntellature

Circ. 617 §c8a5.11 – Interventi in fondazione

VEDI INDICAZIONI RELATIVE AD EDIFICI IN MURATURA

Le informazioni ricavabili dalla storia della costruzione devono essere tenute nel dovuto conto ai fini della scelta degli interventi sulle fondazioni. È in genere possibile omettere interventi sulle strutture di fondazione, nonché le relative verifiche, qualora siano contemporaneamente presenti tutte le condizioni seguenti:

- x) nella costruzione non siano presenti **importanti dissesti di qualsiasi natura attribuibili a cedimenti delle fondazioni** e dissesti della stessa natura non si siano **mai prodotti prima**;
- y) gli interventi progettati non comportino sostanziali **alterazioni dello schema strutturale del fabbricato**;
- z) gli stessi interventi non comportino rilevanti **modificazioni delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni**;
- aa) siano esclusi **fenomeni di ribaltamento** della costruzione per effetto delle azioni sismiche.

Circ. 617 §c8a5.11 – Interventi in fondazione

VEDI INDICAZIONI RELATIVE AD EDIFICI IN MURATURA

L'inadeguatezza delle fondazioni è raramente la causa del danneggiamento osservato nei rilevamenti post-sisma.

Nel caso di:

fondazione poggiante su terreni dalle caratteristiche geomeccaniche inadeguate al trasferimento dei carichi,

cedimenti fondali localizzati in atto ,

si provvederà al consolidamento delle fondazioni, attuando uno dei seguenti tipi di intervento, o una loro combinazione opportuna, o interventi equipollenti, previo rilievo delle fondazioni esistenti.

[...]

Nelle situazioni in cui si ritiene possibile l'attivazione sismica di fenomeni d'instabilità del pendio, il problema va affrontato agendo sul terreno e non semplicemente a livello delle strutture di fondazione.



Circ. 617 §c8a5.11 – Interventi in fondazione

VEDI INDICAZIONI RELATIVE AD EDIFICI IN MURATURA

Allargamento fondazione con cordoli in c.a. o platea armata.

L'intervento va realizzato in modo tale da far collaborare adeguatamente le fondazioni esistenti con le nuove, curando in particolare la connessione fra nuova e vecchia fondazione al fine di ottenere un corpo monolitico atto a diffondere le tensioni in modo omogeneo.

Deve essere realizzato un collegamento rigido (travi in c.a. armate e staffate, traversi in acciaio di idonea rigidità, barre post-tese che garantiscono una trasmissione per attrito) in grado di trasferire parte dei carichi provenienti dalla sovrastruttura ai nuovi elementi.

In presenza di possibili cedimenti differenziali della fondazione è opportuno valutarne gli effetti sull'intero fabbricato, e decidere di conseguenza la necessaria estensione dell'intervento di allargamento.

Circ. 617 §c8a5.11 – Interventi in fondazione

VEDI INDICAZIONI RELATIVE AD EDIFICI IN MURATURA

Consolidamento dei terreni di fondazione.

Gli interventi di consolidamento dei terreni possono essere effettuati mediante iniezioni di miscele cementizie, resine (ad es. poliuretani che si espandono nel terreno), od altre sostanze chimiche.

Inserimento di sottofondazioni profonde (micropali, pali radice).

L'esecuzione di questo tipo di intervento può essere effettuata in alternativa al precedente; nel caso di cedimenti che interessino singole porzioni di fabbricato, l'intervento può essere effettuato anche limitatamente alle porzioni interessate, purché omogenee dal punto di vista delle problematiche fondali. [...]



Riparazioni di elementi strutturali



Riparazione di elementi strutturali

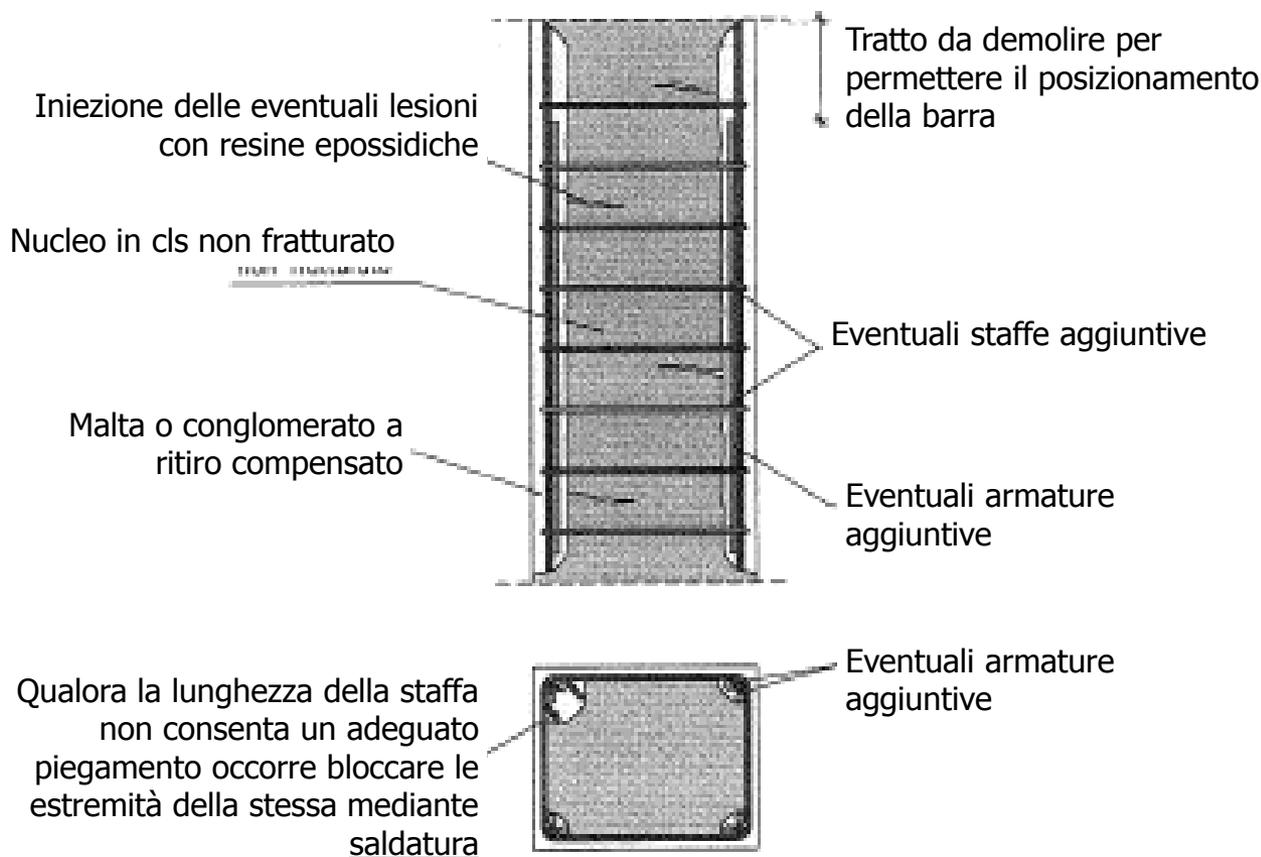
GENERALITÀ

Per riparazione si intende un intervento tecnico volto a ripristinare le caratteristiche preesistenti di funzionalità e di capacità resistente di una struttura o di una sua parte.

RIPARAZIONE DI PILASTRI

RIPARAZIONE DI PILASTRI

RIPARAZIONE LOCALE SENZA AUMENTO DI SEZIONE



RIPARAZIONE DI PILASTRI

FASI ESECUTIVE

1. Puntellamento delle strutture interessate
2. Demolizione del cls lesionato e di una fascia superiore ed inferiore di altezza tale da consentire un adeguato ancoraggio delle barre aggiuntive
3. Iniezione delle lesioni interne al nucleo
4. Eventuale raddrizzamento delle barre longitudinali
5. Collocazione delle eventuali barre aggiuntive
6. Collocazione delle eventuali staffe aggiuntive
7. Pulizia e abbondante umidificazione (**ma non saturazione**) della superficie del supporto
8. Applicazione della malta o conglomerato a ritiro compensato
9. Rimozione delle puntellature



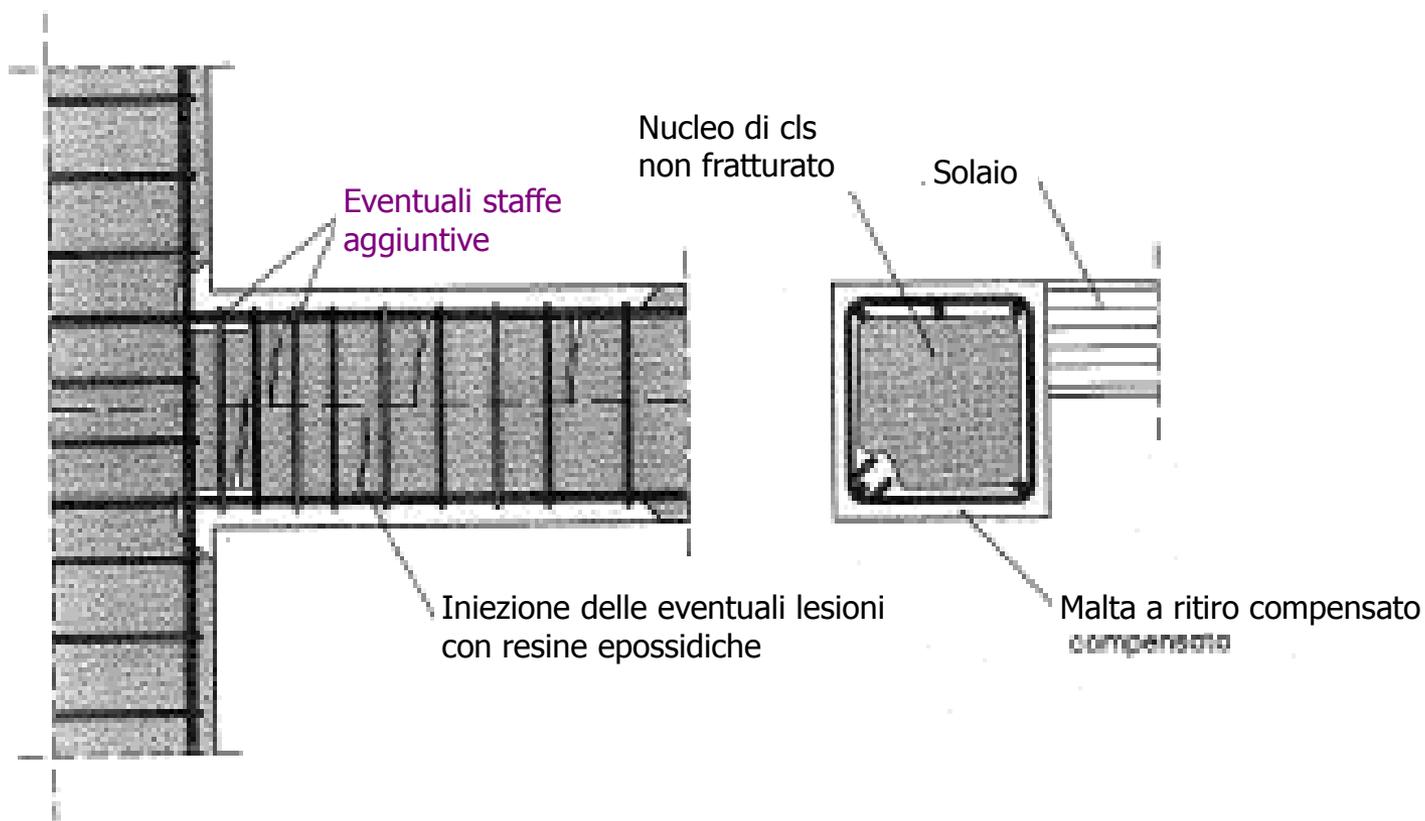
RIPARAZIONE DI PILASTRI

PRECAUZIONI E NOTE

- a. Ove la larghezza del pilastro e la presenza di armature interne richieda legature, queste dovranno essere disposte in fori preventivamente eseguiti

RIPARAZIONE DI TRAVIC

RIPARAZIONE LOCALE SENZA AUMENTO DI SEZIONE



RIPARAZIONE DI TRAVI

FASI ESECUTIVE

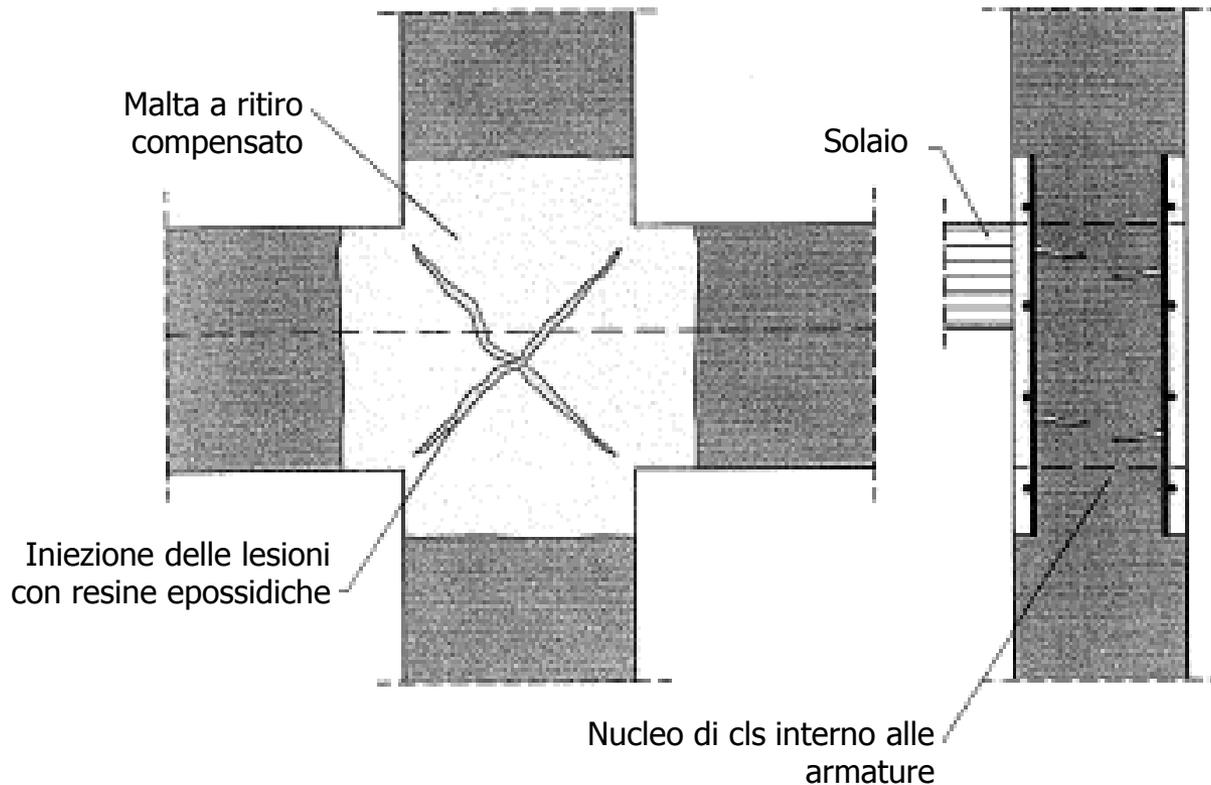
1. Puntellamento delle strutture interessate
2. Demolizione di tutto il cls danneggiato o degradato e di una fascia laterale di larghezza tale da consentire un adeguato ancoraggio delle eventuali barre aggiuntive
3. Iniezione delle lesioni interne al nucleo
4. Eventuale raddrizzamento delle barre longitudinali
5. Collocazione delle eventuali barre aggiuntive
6. Collocazione delle eventuali staffe aggiuntive
7. Pulizia e abbondante umidificazione (**ma non saturazione**) della superficie del supporto
8. Applicazione della malta a ritiro compensato
9. Rimozione delle puntellature

RIPARAZIONE DI TRAVI

PRECAUZIONI E NOTE

- a. Nel caso in cui si debbano eseguire fori occorre controllare che non si taglino o danneggino le armature interne al nodo
- b. Se la trave è principale, occorre eseguire demolizioni a tratti sui fianchi senza danneggiare le nervature del solaio

RIPARAZIONE DI NODI



RIPARAZIONE DI TRAVI

FASI ESECUTIVE

1. Puntellamento delle strutture interessate se necessario
2. Demolizione del calcestruzzo danneggiato o degradato del nodo
3. Iniezione delle lesioni interne al nodo
4. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto
5. Ricostruzione delle parti di cls demolite mediante applicazione di malta a ritiro compensato
6. Rimozione delle eventuali puntellature
7. Rasatura della parte ricostruita con malta a granulometria fine



RIPARAZIONE DI NODI

PRECAUZIONI E NOTE

- a. Ove si renda necessario si possono collocare connettori o legature passanti per il contenimento delle barre di armatura esistenti



FEMA 356

Uno sguardo agli Stati Uniti



Suggerimenti dagli USA: FEMA 356

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY

FEMA 356/November 2000

PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS



FEMA 356: STRUTTURE A TELAIO

6.5.2.5 Rehabilitation Measures

Concrete beam-column moment frame components that do not meet the acceptance criteria for the selected rehabilitation objective shall be rehabilitated. Rehabilitation measures shall meet the requirements of Section 6.4.7 and other provisions of this standard.

6.5.2.5 Rehabilitation Measures

The following rehabilitation measures may be effective in rehabilitating reinforced concrete beam-column moment frames:

1. **Jacketing existing beams, columns, or joints with new reinforced concrete, steel, or fiber wrap overlays.** The new materials should be designed and constructed to act compositely with the existing concrete. Where reinforced concrete jackets are used, the design should provide detailing to enhance ductility. Component strength should be taken to not exceed any limiting strength of connections with adjacent components. Jackets should be designed to provide increased connection strength and improved continuity between adjacent components.
2. **Post-tensioning existing beams, columns, or joints using external post-tensioned reinforcement.** Post-tensioned reinforcement should be unbonded within a distance equal to twice the effective depth from sections where inelastic action is expected. Anchorages should be located away from regions where inelastic action is anticipated, and should be designed considering possible force variations due to earthquake loading.
3. **Modification of the element by selective material removal from the existing element.** Examples include: (1) where nonstructural elements or components interfere with the frame, removing or separating the nonstructural elements or components to eliminate the interference; (2) weakening, due to removal of concrete or severing of longitudinal reinforcement, to change response mode from a nonductile mode to a more ductile mode (e.g., weakening of beams to promote formation of a strong-column, weak-beam system); and (3) segmenting walls to change stiffness and strength.

4. **Improvement of deficient existing reinforcement details.** Removal of cover concrete for modification of existing reinforcement details should avoid damage to core concrete and the bond between existing reinforcement and core concrete. New cover concrete should be designed and constructed to achieve fully composite action with the existing materials.

5. **Changing the building system to reduce the demands on the existing element.** Examples include addition of supplementary lateral-force-resisting elements such as walls or buttresses, seismic isolation, and mass reduction.

6. **Changing the frame element to a shear wall, infilled frame, or braced frame element by addition of new material.** Connections between new and existing materials should be designed to transfer the forces anticipated for the design load combinations. Where the existing concrete frame columns and beams act as boundary elements and collectors for the new shear wall or braced frame, these should be checked for adequacy, considering strength, reinforcement development, and deformability. Diaphragms, including drag struts and collectors, should be evaluated and, if necessary, rehabilitated to ensure a complete load path to the new shear wall or braced frame element.

6.5.3 Post-Tensioned Concrete Beam-Column Moment Frames

6.5.3.1 General Considerations

The analytical model for a post-tensioned concrete beam-column frame element shall be established following the criteria specified in Section 6.5.2.1 for reinforced concrete beam-column moment frames. In addition to potential failure modes described in Section 6.5.2.1, the analysis model shall consider potential failure of tendon anchorages.

The analysis procedures described in Chapter 3 shall apply to frames with post-tensioned beams satisfying the following conditions:

1. The average prestress, f_{pc} , calculated for an area equal to the product of the shortest cross-sectional dimension and the perpendicular cross-sectional

4. Incremento di armatura

5. Modifica del sistema per ottenere una riduzione della domanda

6. Modifica della tipologia strutturale

Interventi non tradizionali

1. Incamiciatura in c.a., acciaio, fibre

2. Precompressione esterna

3. Modifica del comportamento per eliminazione selettiva di materiale

FEMA 356: STRUTTURE A PARETI

6.8.2.5 Rehabilitation Measures

Reinforced shear walls, wall segments, coupling beams, and columns supporting discontinuous shear walls that do not meet the acceptance criteria for the selected Rehabilitation Objective shall be rehabilitated. Rehabilitation measures shall meet the requirements of Section 6.4.7 and other provisions of this standard.

C6.8.2.5 Rehabilitation Measures

The following measures may be effective in rehabilitating reinforced shear walls, wall segments, coupling beams, and reinforced concrete columns supporting discontinuous shear walls:

1. **Addition of wall boundary members.** Addition of boundary members may be an effective measure in strengthening shear walls or wall segments that have insufficient flexural strength. These members may be either cast-in-place reinforced concrete elements or steel sections. In both cases, proper connections should be made between the existing wall and the added members. The shear capacity of the rehabilitated wall should be re-evaluated.

2. **Addition of confinement jackets at wall boundaries.** Increasing the confinement at the wall boundaries by the addition of a steel or reinforced concrete jacket may be an effective measure in improving the flexural deformation capacity of a shear wall. For both types of jackets, the longitudinal should not be continuous from story to story unless the jacket is also being used to increase the flexural capacity. The minimum thickness for a concrete jacket should be three inches. Carbon fiber wrap should be permitted for improving the confinement of concrete in compression.

3. **Reduction of flexural strength.** Reduction in the flexural capacity of a shear wall to change the governing failure mode from shear to flexure may be an effective rehabilitation measure. It may be accomplished by saw-cutting a specified number of longitudinal bars near the edges of the shear wall.

4. **Increased shear strength of wall.** Increasing the shear strength of the web of a shear wall by casting additional reinforced concrete adjacent to the wall web may be an effective rehabilitation measure. The new concrete should be at least four inches thick and should contain horizontal and vertical reinforcement. The new concrete should be properly bonded to the existing web of the shear wall. The use of carbon fiber sheets, epoxied to the concrete surface, should also be permitted to increase the shear capacity of a shear wall.

5. **Confinement jackets to improve deformation capacity of coupling beams and columns supporting discontinuous shear walls.** The use of confinement jackets specified above as a rehabilitation measure for wall boundaries, and in Section 6.5 for frame elements, may also be effective in increasing both the shear capacity and the deformation capacity of coupling beams and columns supporting discontinuous shear walls.

6. **Infilling between columns supporting discontinuous shear walls.** Where a discontinuous shear wall is supported on columns that lack either sufficient strength or deformation capacity to satisfy design criteria, making the wall continuous by infilling the opening between these columns may be an effective rehabilitation measure. The infill and existing columns should be designed to satisfy all the requirements for new wall construction, including any strengthening of the existing columns required by adding a concrete or steel jacket for strength and increased confinement. The opening below a discontinuous shear wall should also be permitted to be "infilled" with steel bracing. The bracing members should be sized to satisfy all design requirements and the columns should be strengthened with a steel or a reinforced concrete jacket.

All of the above rehabilitation measures require an evaluation of the wall foundation, diaphragms, and connections between existing structural elements and any elements added for rehabilitation purposes.

4. Incremento della resistenza a taglio

5. Incamiciatura di confinamento per gli elementi di accoppiamento e i pilastri che sostengono pareti discontinue

6. Eliminazione delle discontinuità nelle pareti

1. Rinforzo delle pareti tramite inserimento di flange

2. Inserimento di incamiciatura di confinamento nelle zone critiche

3. Riduzione della resistenza a flessione per modificare la modalità di collasso

FEMA 356: FONDAZIONI SUPERFICIALI

C6.13.4.1 Rehabilitation Measures for Shallow Foundations

1. Enlarging the existing footing by lateral additions. Enlarging the existing footing may be an effective rehabilitation measure. The enlarged footing may be considered to resist subsequent actions produced by the design loads, provided that adequate shear and moment transfer capacity are provided across the joint between the existing footing and the additions.

2. Underpinning the footing. Underpinning an existing footing involves the removal of unsuitable soil underneath, coupled with replacement using concrete, soil cement, suitable soil, or other material. Underpinning should be staged in small increments to prevent endangering the stability of the structure. This technique may be used to enlarge an existing footing or to extend it to a more competent soil stratum.

3. Providing tension hold-downs. Tension ties (soil and rock anchors—prestressed and unstressed) may be drilled and grouted into competent soils and anchored in the existing footing to resist uplift. Increased soil bearing pressures produced by the ties should be checked against the acceptance criteria for the selected Performance Level specified in Chapter 4. Piles or drilled piers may also be effective in providing tension hold-downs of existing footings.

4. Increasing effective depth of footing. This method involves pouring new concrete to increase shear and moment capacity of the existing footing. The new concrete must be adequately doweled or otherwise connected so that it is integral with the existing footing. New horizontal reinforcement should be provided, if required, to resist increased moments.

5. Increasing the effective depth of a concrete mat foundation with a reinforced concrete overlay. This method involves pouring an integral topping slab over the existing mat to increase shear and moment capacity.

1. Allargamento delle fondazioni

2. Sottofondazione

3. Inserimento di dispositivi di ancoraggio della struttura

4/5. Incremento della effettiva profondità della fondazione (plinti o solette)

6. Inserimento di pali

7. Modifica della domanda

8. Inserimento di travi di collegamento

9. Consolidamento del terreno esistente

6. Providing pile supports for concrete footings or mat foundations. Adding new piles may be effective in providing support for existing concrete footing or mat foundations, provided the pile locations and spacing are designed to avoid overstressing the existing foundations.

7. Changing the building structure to reduce the demand on the existing elements. This method involves removing mass or height of the building or adding other materials or components (such as energy dissipation devices) to reduce the load transfer at the base level. New shear walls or braces may be provided to reduce the demand on existing foundations.

8. Adding new grade beams. This approach involves the addition of grade beams to tie existing footings together when poor soil exists, to provide fixity to column bases, and to distribute lateral loads between individual footings, pile caps, or foundation walls.

9. Improving existing soil. This approach involves grouting techniques to improve existing soil.

FEMA 356: FONDAZIONI PROFONDE

C6.13.4.2 Rehabilitation Measures for Deep Foundations

1. **Providing additional piles or piers.** Providing additional piles or piers may be effective, provided extension and additional reinforcement of existing pile caps comply with the requirements for extending existing footings in Section C6.13.4.1.
2. **Increasing the effective depth of the pile cap.** New concrete and reinforcement to the top of the pile cap may be effective in increasing its shear and moment capacity, provided the interface is designed to transfer actions between the existing and new materials.
3. **Improving soil adjacent to existing pile cap.** Soil improvement adjacent to existing pile caps may be effective if undertaken in accordance with guidance provided in Section 4.3.
4. **Increasing passive pressure bearing area of pile cap.** Addition of new reinforced concrete extensions to the existing pile cap may be effective in increasing the vertical foundation bearing area and load resistance.
5. **Changing the building system to reduce the demands on the existing elements.** New lateral-load-resisting elements may be effective in reducing demand.
6. **Adding batter piles or piers.** Adding batter piles or piers to existing pile or pier foundation may be effective in resisting lateral loads. It should be noted that batter piles have performed poorly in recent earthquakes when liquefiable soils were present. This is especially important to consider around wharf structures and in areas having a high water table. Addition of batter pile to foundations in areas of such seismic hazards should be in accordance with requirements in [Sections 4.3.2 and 4.4.2.2B].
7. **Increasing tension tie capacity from pile or pier to superstructure.** Added reinforcement should satisfy the requirements of Section 6.4.

1. Incremento del numero di pali
2. Aumento dell'altezza del plinto di fondazione
3. Consolidamento del terreno adiacente al plinto di fondazione
4. Aumento della capacità portante verticale del plinto di fondazione
5. Modifica della domanda
6. Inserimento di pali inclinati
7. Rinforzo del collegamento a trazione tra pali e sovrastruttura



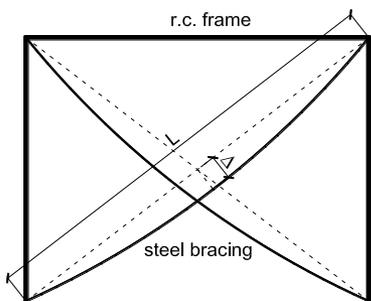
FINE

Tecniche di adeguamento

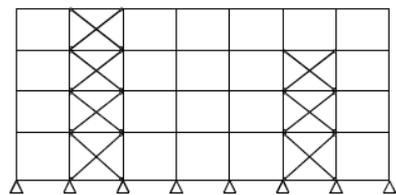
INSERIMENTO CONTROVENTI CONCENTRICI

RETROFIT CON ELEMENTI IN ACCIAIO

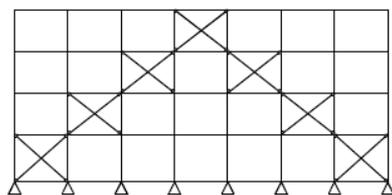
GLOBALE



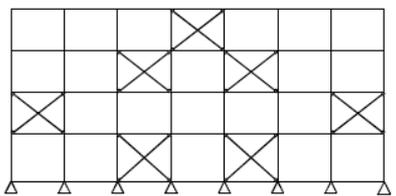
Imperfezione controvento (simulazione fenomeni di instabilità)



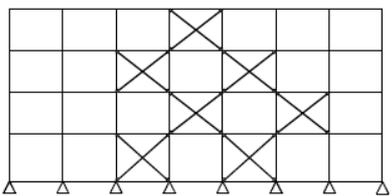
a) Case 2 (Multi-Story)



b) Case 3 (Mountain Type)



c) Case 4 (Discontinuous)



d) Case 5 (Checkedered Type)

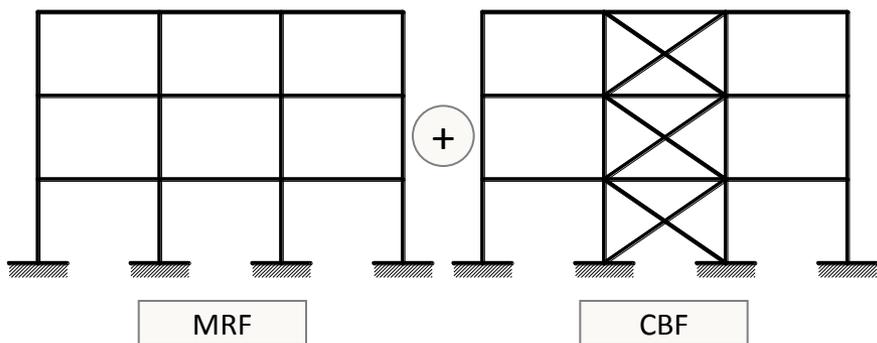
Possibili configurazioni dei controventi concentrici

- Incremento considerevole di resistenza nei confronti della forza laterale e un minore incremento della rigidezza laterale;
- Necessità di studiare la configurazione architettonica più conveniente per l'uso degli spazi.
- Considerare, nella progettazione, possibili effetti di **instabilità** delle membrature compresse;
- Metodo meno distruttivo dell'inserimento di setti in c.a.;
- Si possono comunque avere problemi in corrispondenza degli **attacchi** alla struttura esistente;

Tecniche di adeguamento

RETROFIT CON ELEMENTI IN ACCIAIO

GLOBALE

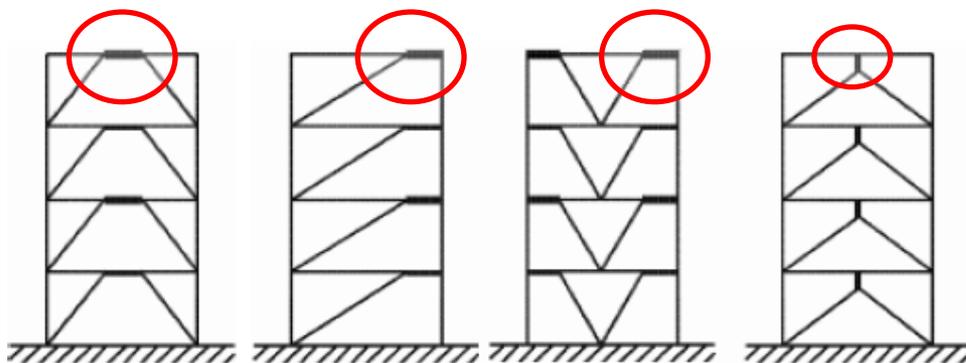


Sistema che unisce i benefici di un sistema **MRF** (moment resisting frame) con uno **CBF** (concentric braced frame) e riduce i loro rispettivi svantaggi

- Buona rigidezza elastica;
- Risposta inelastica stabile sotto carichi ciclici laterali;
- Eccellente duttilità e capacità di dissipazione.



DISSIPAZIONE ATTRAVERSO IL **LINK**
(porzione della struttura a cui si
connettono direttamente i controventi)



Possibili configurazioni dei controventi eccentrici

K-braced
frame

D-braced
frame

V-braced
frame

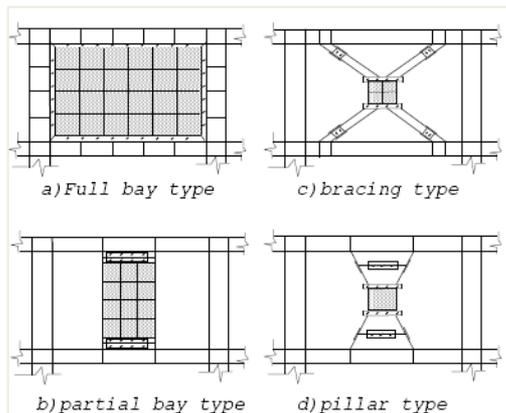
Inverted Y-
braced
frame

Link Corti
A TAGLIO

Link Lunghi
A MOMENTO

Tecniche di adeguamento

*SISTEMI DISSIPATIVI:
pannelli metallici a taglio*



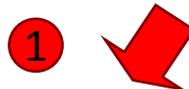
Alternativa al sistema di controventi in acciaio

Pannelli in acciaio (alti un piano e larghi una campata) inseriti verticalmente nella struttura connettendoli a travi e pilastri esistenti

Due sistemi prevalenti di dissipazione

1. dissipazione per Taglio puro
2. dissipazione per nel campo delle trazioni;

Tipiche configurazioni



Esempi applicativi



Comportamento stabile sotto azione ciclica e snervamento uniforme diffuso su tutto il pannello

Assorbono una gran parte dell'input sismico e proteggono la struttura da danni rilevanti

Inserimento di irrigidimenti per evitare fenomeni di instabilità delle parti compresse

La snellezza del pannello ne provoca la prematura instabilizzazione in campo elastico

Bassa dissipazione energetica e grande interazione flessionale con travi e colonne della struttura

