



CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

RICHIAMI DI INGEGNERIA SISMICA E CONSOLIDAMENTI
STRUTTURALI MEDIANTE FRP
CON APPLICAZIONI SU STRUTTURE PREFABBRICATE

**LE TECNICHE DI INTERVENTO SU EDIFICI TRADIZIONALI E
PREFABBRICATI ALLA LUCE DELLE NTC2018: RINGROSSI DI SEZIONE
E CONFINAMENTI, CALASTRELLATURE, CONTROVENTATURE**

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì-Cesena – 2 ottobre 2018

Relatore:

Ing. PhD. GIUSEPPE PACE

(g.pace@univpm.it)



CONTENUTO DELLA PRESENTAZIONE

STRATEGIE DI INTERVENTO

- Incremento di resistenza e rigidezza
- Incremento di duttilità
- Riduzione domanda sismica

TECNICHE DI INTERVENTO

- Locale
- Globale

TECNICHE DI INTERVENTO LOCALE E **GLOBALE**

- Incamiciatura in c.a.
- Incamiciatura in acciaio
- **Controventatura in acciaio**

STRATEGIE E TECNICHE DI INTERVENTO

Con riferimento al “*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*” dell’ATC 40 del 1996, si distinguono due situazioni:

- ❑ Scelta della *strategia di adeguamento*, ossia dell’approccio di base con cui conseguire l’incremento richiesto della capacità della struttura;
- ❑ Scelta dei *sistemi per “l’adeguamento sismico”* migliori per la strategia di adeguamento prescelta. Si fa riferimento quindi a quegli’interventi specifici, come, ad esempio, l’inserimento di pareti di taglio o controventature per ottenere un aumento di resistenze e rigidezza, o l’adozione di fasciature di confinamento dei pilastri per aumentare la capacità dissipativa della struttura.

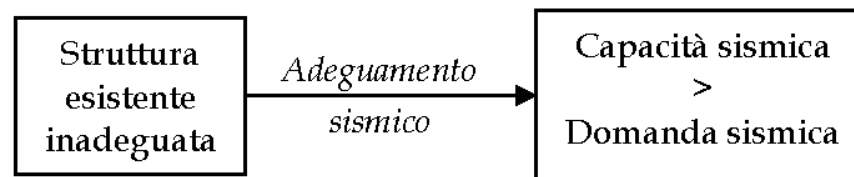


Figura 1. Obiettivo di un progetto di adeguamento sismico.

STRATEGIE DI INTERVENTO

Gli interventi di consolidamento mirano, da un lato, ad ottenere un aumento della capacità strutturale (resistenza, rigidezza e duttilità), dall'altro ad una diminuzione della domanda.

Le strategie di intervento si distinguono in:

- ❑ Metodi di tipo tradizionale (\uparrow **resistenza e rigidezza**, \downarrow massa)
- ❑ Metodi di tipo innovativo (\uparrow **duttilità**, \downarrow o filtrando l'energia sismica in ingresso).

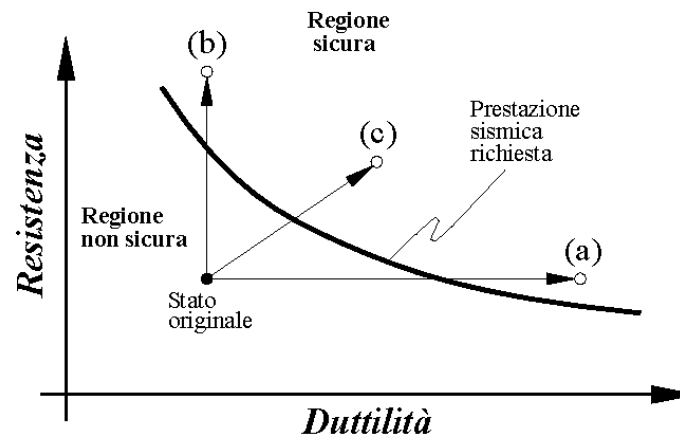


Figura 2. Modalità di incremento della capacità sismica di una struttura (Sugano, 1996).

INCREMENTO DI RESISTENZA E RIGIDEZZA

Le strategie basate sull'incremento di resistenza e rigidezza si basano su:

- Inserimento sistema resistente aggiuntivo alle azioni orizzontali.

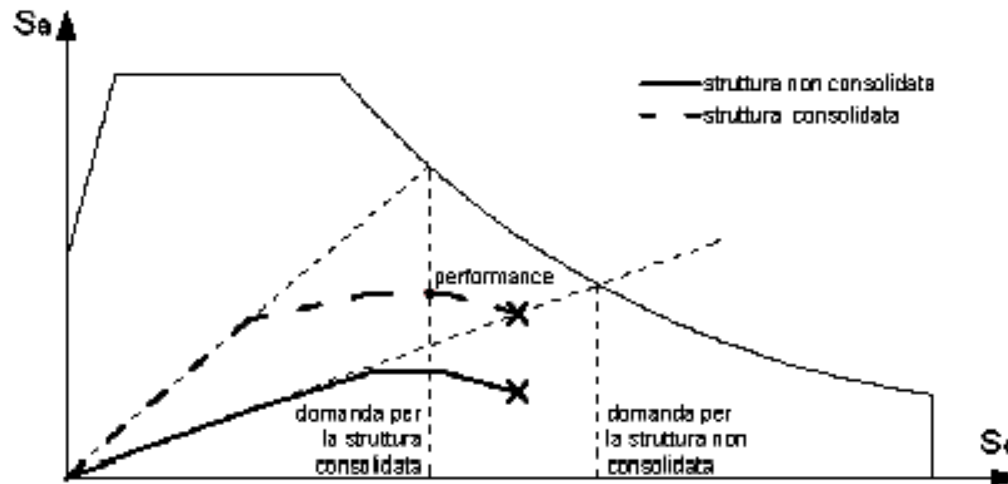


Figura 3. Strategie di intervento basate sull'incremento di rigidezza e resistenza (R. Landolfo et al.).

INCREMENTO DI DUTTILITÀ

Le strategie basate sull'incremento di duttilità GLOBALE offerta mira a:

- Incremento capacità deformazione anelastica degli elementi strutturali.

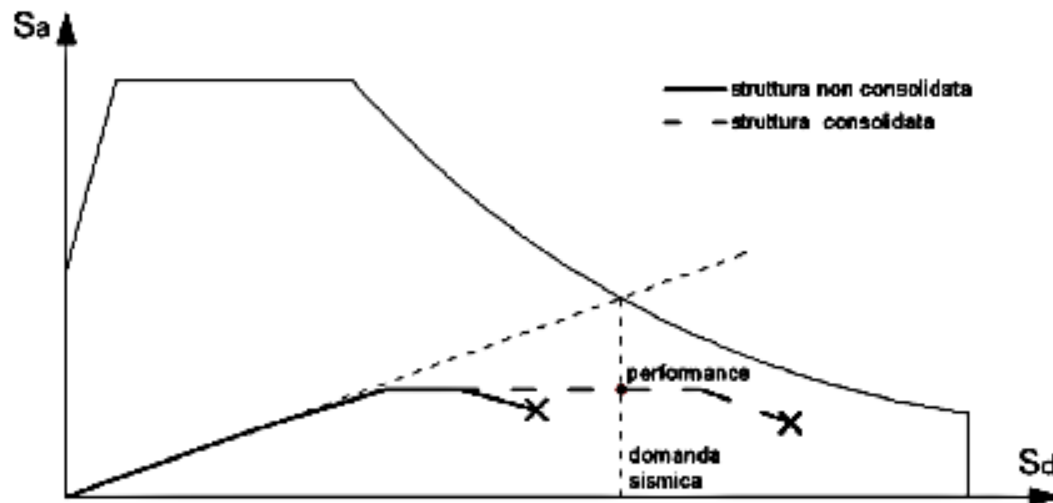


Figura 4. Strategie di intervento basate sull'incremento di duttilità
(R. Landolfo et al.).

RIDUZIONE DELLA DOMANDA SISMICA

Mira a ridurre gli effetti del terremoto in termini di forze e di spostamenti, lasciando inalterata la capacità della struttura iniziale. Può essere conseguita attraverso:

- Variazione e riduzione nella distribuzione delle masse;
- Riduzione input sismico (isolamento alla base);
- Incremento capacità dissipativa (sistemi di dissipazione di energia).

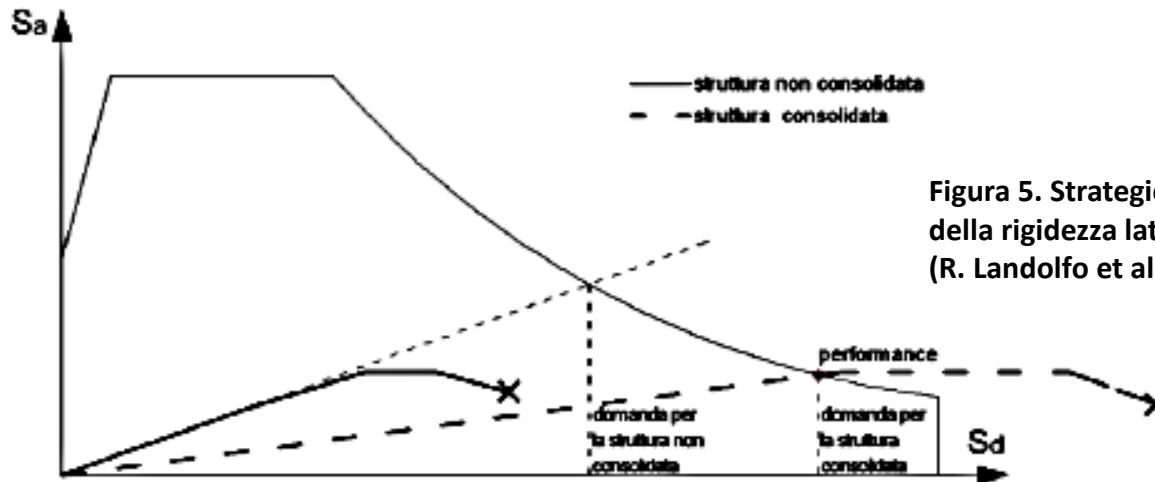


Figura 5. Strategie di intervento basate sulla riduzione della rigidità laterale (isolamento alla base) (R. Landolfo et al.).

CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI p.to 8.4. NTC2018

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- ***interventi di riparazione o locali***: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- ***interventi di miglioramento***: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- ***interventi di adeguamento***: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3.

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO p.to 8.4.3. NTC2018

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione ($\zeta_E \geq 1,0$);
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta ($\zeta_E \geq 1,0$);
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la **combinazione caratteristica** di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle parti singole e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione ($\zeta_E \geq 0,80$);
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani ($\zeta_E \geq 1,0$);
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV ($\zeta_E \geq 0,80$).

PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI SISMA p.to 8.7.4. NTC2018

Nella progettazione di interventi sulle costruzioni esistenti, specie se soggette ad azioni sismiche, **particolare attenzione sarà posta agli aspetti che riguardano la duttilità**. Si dovranno quindi assumere le informazioni necessarie a valutare se i **dettagli costruttivi, i materiali utilizzati e i meccanismi resistenti** siano in grado di sostenere cicli di sollecitazione o deformazione anche in campo plastico.

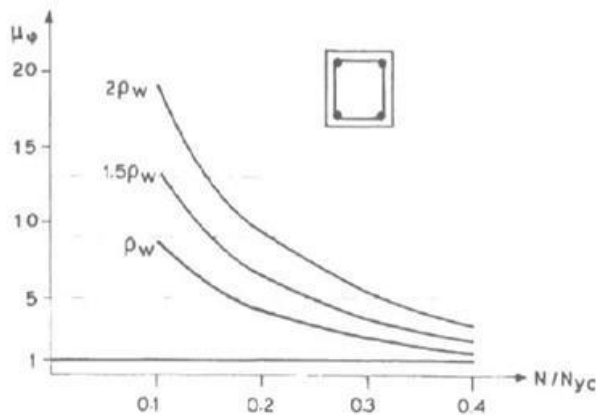


Figura 6.

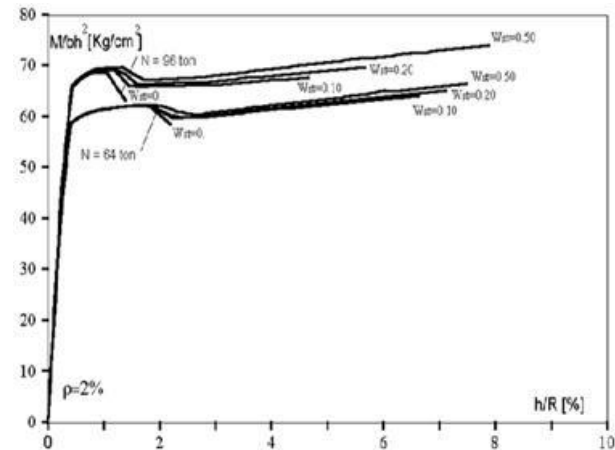


Figura 7.

CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

p.to 8.7.4. NTC2018

- Per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi vanno progettati ed eseguiti, 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 della costruzione.

CRITERI E TIPI D'INTERVENTO p.to 8.7.4. NTC2018

La scelta

del tipo

della tecnica

dell'entità

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.

CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

p.to 8.7.4. NTC2018

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, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, in termini di massa, resistenza e/o rigidità;
- 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;

CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

p.to 8.7.4. NTC2018

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti, sia nel loro piano che ortogonalmente a esso;
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali, alla struttura e tra loro;
- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario;
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli eventuali urti;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

p.to 8.7.4. NTC2018

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 la loro combinazione:

- rinforzo di tutti o parte degli elementi;
- aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a., controventi in acciaio, etc.;
- eliminazione di eventuali meccanismi "di piano";
- 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.

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.

C6.5.2.5 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.

FEMA 356: STRUTTURE A TELAIO

INTERVENTI TRADIZIONALI

1. Incamiciatura in c.a., acciaio, fibre
2. Precompressione esterna
3. Modifica del comportamento per eliminazione selettiva di materiale
4. Incremento di armatura

INTERVENTI NON TRADIZIONALI

5. Modifica del sistema costruttivo per ridurre la domanda
6. Modifica della tipologia strutturale

TECNICHE DI INTERVENTO

Le tecniche di intervento su edifici esistenti possono essere di due tipi:

LOCALE

GLOBALE

INTERVENTI DI TIPO LOCALE

Incremento della resistenza e/o della rigidezza e/o della duttilità delle membrature, attraverso:

- Incamiciatura in c.a.;
- Incamiciatura in acciaio;
- FRP (fiber reinforced polymer).

Questi interventi, se non estesi, producono effetti secondari sulla risposta globale.

INTERVENTI DI TIPO GLOBALE

Modifica della risposta complessiva della struttura attraverso:

- Inserimento di pareti in c.a. e controventi metallici;
- Pareti in c.a. incernierate alla base (uniforme distribuzione del danno);
- Fonti aggiuntive di dissipazione energetica (riduzione domanda di spostamento);
- Isolatori alla base.

TECNICA	EFFETTI LOCALI	EFFETTI GLOBALI	COSTO RELATIVO	DISTURBO	LIVELLO TECNOL.	COMMENTI
Iniezione di resine	Ripristino resistenza e rigidezza.	Nessuno	Basso-medio	Basso	Medio	Volta al ripristino.
Camicie in c.a.	Incremento rigidità e resistenza; eventualmente duttilità.	Modifica della risposta sismica. Se applicate ai pilastri, sposta la richiesta plastica verso le travi.	Basso, per elemento	Medio-alto	Basso	Può porre rimedio alla risposta di "piano soffice". Va estesa a più piani.
Camicie o collari in acciaio	Incremento duttilità e resistenza a taglio; di rigidità, se garantita l'azione composita.	Incrementa capacità deformativa globale.	Medio	Basso	Medio	Efficace ove sia scarsa l'armatura trasversale. Veloce installazione.
Fasciatura parziale con FRP	Sensibile incremento di duttilità. Limitati effetti su resistenza o rigidità.	Come per collari in acciaio.	Alto	Basso	Medio-alto	Soluzione adeguata quando il costo non è il criterio predominante.
Rinforzo dei nodi con FRP	Prevenzione rottura a taglio dei nodi.	Riduce marginale dello spostamento globale riducendo la deformabilità dei nodi trave-pilastro.	Alto	Basso	Medio-alto	Come sopra
Fasciatura completa in FRP	Notevole incremento di duttilità e resistenza a taglio; modesto incremento di rigidità.	Distribuzione delle rigidità invariata. Sensibili effetti in termini di distribuzione delle resistenze.	Alto	Basso	Medio-alto	Come sopra
Tecniche selettive	Incremento di un parametro scelto o di una combinazione di parametri.	Regola la risposta strutturale per adeguarla agli obiettivi prestazionali.	Basso, per elemento	Medio	Medio-alto	E' l'approccio più adeguato se si dispone di elevate capacità di analisi ed esperienza.
Pareti in c.a.	Potrebbe portare ad un incremento di sollecitazioni negli elementi connessi.	Riduce domanda di deformazione negli altri elementi. Risolve problemi di "piano soffice".	Medio	Alto	Basso	E' necessario un drastico intervento in fondazione.
Controventi in acciaio	Può indurre notevoli sollecitazioni nei nodi.	Incrementa la duttilità globale a capacità dissipativa. Può risolvere i problemi di "piano soffice".	Medio-alto	Basso-medio	Medio	Occorre proteggersi da fenomeni di instabilità locale e rotture post-buckling.
Inserimento di pannelli murari	Induce sensibili sollecitazioni nei nodi. Incrementa la rigidità di piano (riduce spostamenti di interpiano)	Incremento di peso: di forze sismiche. Riduce periodo: incremento di accelerazioni.	Medio	Medio-alto	Basso	Efficace per pannelli applicati all'esterno, solidali alla struttura. Anche con moduli prefabbricati in c.a..
Contrafforti esterni	Induce notevoli sollecitazioni locali.	Come per le pareti in c.a..	Medio-alto	Basso	Medio	Occorre prevedere un intervento in fondazione.

**Tabella 1. Bollettino FIB-24 (2003):
Tecniche di adeguamento e parametri sintetici utili alla selezione (Tab. 2.2).**

TECNICHE DI INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di tipo locale realizzano un miglioramento del comportamento sismico della struttura in c.a. attraverso la **riduzione del rischio di attivazione di meccanismi fragili oppure agendo sull'incremento di duttilità nelle sezioni d'estremità dei pilastri**, nelle quali normalmente si concentrano forti richieste di duttilità (Linee Guida 2012).

Generalmente, i meccanismi di tipo fragile si verificano a causa di:

- rottura dei pannelli nodali trave-pilastro;
- rottura del collegamento nodo-pilastro inferiore per scorrimento in corrispondenza della ripresa di getto;
- per taglio all'estremità superiore del pilastro,
- rottura per taglio delle travi o dei pilastri tozzi (presenza di finestrate a nastro con muratura di tamponamento robusta).

TECNICHE DI INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di tipo locale mirati all'incremento di duttilità offerta si traducono nel seguente complesso di operazioni che possono essere eseguite insieme e/o singolarmente:

- realizzazione di un confinamento trasversale così da aumentare la capacità deformativa del calcestruzzo;
- aggiunta di elementi resistenti longitudinali con lo scopo di aumentare la resistenza dell'elemento localmente così da modificare il meccanismo locale (struttura con travi forti e pilastri deboli);
- riduzione della rigidità di alcuni elementi così da prevenirne un danneggiamento indesiderato (caso di elementi tozzi con possibile rottura fragile a taglio).

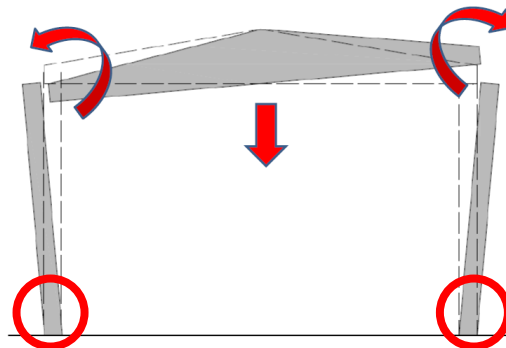
TECNICHE DI INTERVENTO LOCALE

Nel caso di rafforzamento a flessione e/o a taglio delle travi per migliorare la capacità portante, si deve fare attenzione a **non aumentare il momento resistente della trave** all'attacco del nodo per non favorire meccanismi di collasso a colonne deboli e travi forti, o comunque non variare il comportamento globale dell'edificio.

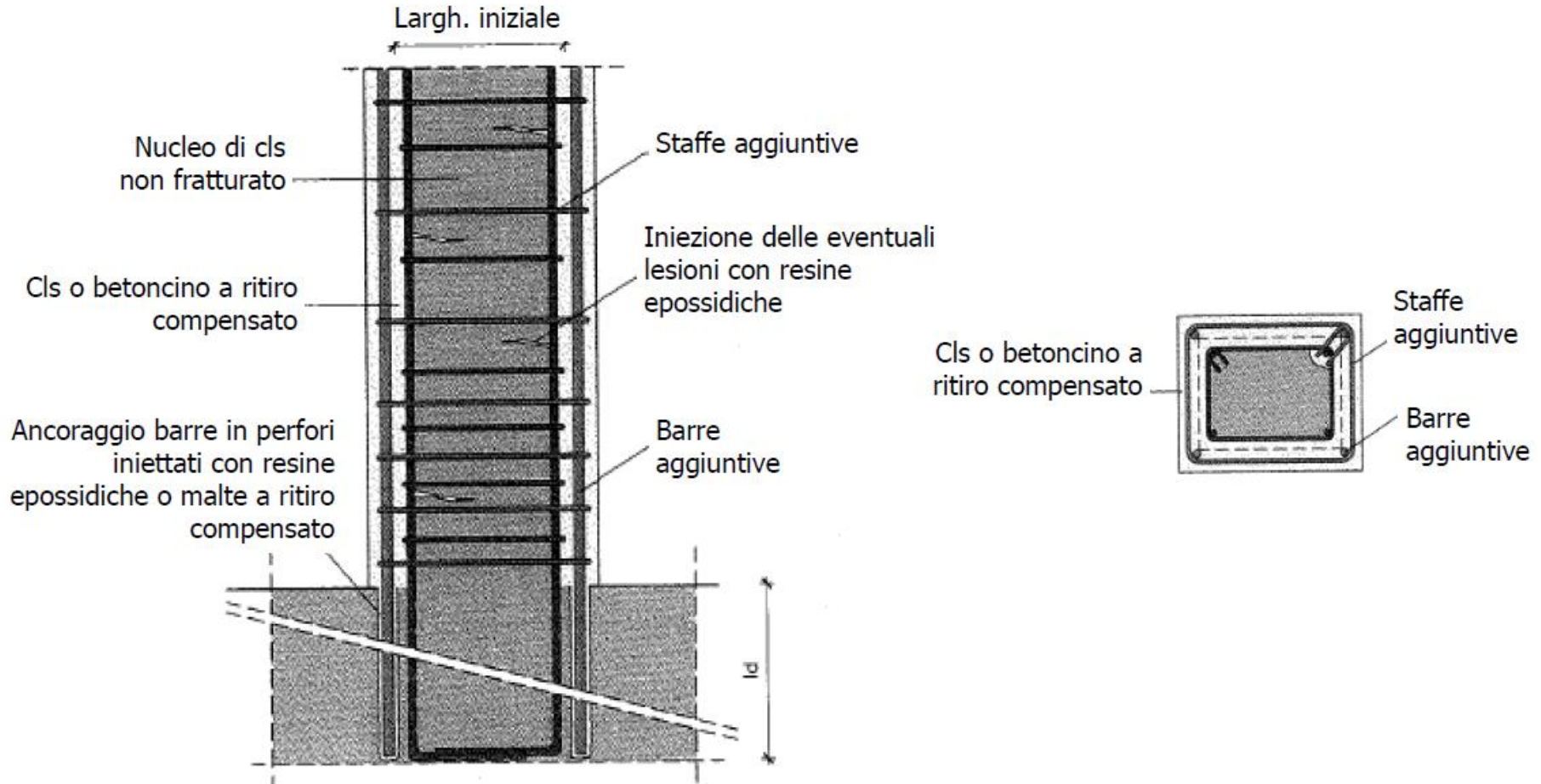
Altri tipi di interventi locali possono interessare le tamponature esterne, che possono fornire un contributo positivo alla resistenza al sisma dell'edificio. A tal fine, è utile realizzare dei collegamenti tra i pannelli di tamponatura e la cornice strutturale, in particolare lungo il bordo superiore e quelli laterali. In questo modo si può prevenire il collasso della parete fuori dal piano, si migliora la collaborazione con la struttura in c.a. e si può limitare l'effetto puntone in testa al pilastro.

APPLICAZIONE A PILASTRI DI STRUTTURE PREFABBRICATE

- strutture prefabbricate con dissipazione di energia concentrata
- possibile formazione di una cerniera plastica alla base a seguito di azioni sismiche
- necessità di aumento di resistenza e/o duttilità



INCAMICIATURA IN C.A.: RINFORZO PILASTRO



TECNICHE TRADIZIONALI DI RINFORZO LOCALE: 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.**

SVANTAGGI

- metodo invasivo
- incremento delle masse

VANTAGGI

- basato sull'utilizzo di tecniche tradizionali consolidate
- soluzione per l'adeguamento definitivo

INCAMICIATURA IN C.A.: FASI ESECUTIVE

Rinforzo di pilastri con incamiciatura totale:

- a) puntellamento dei pilastri interessati
- b) demolizione del calcestruzzo interessato (se necessario)
- c) iniezioni delle lesioni interne al nucleo (se necessario)
- d) raddrizzamento delle barre longitudinali (se necessario)
- e) posa in opera delle barre e delle staffe aggiuntive
- f) pulizia e abbondante umidificazione (no saturazione) della superficie del supporto
- g) applicazione del calcestruzzo (o betoncino) a ritiro compensato
- h) rimozione delle puntellature

INCAMICIATURA IN C.A.

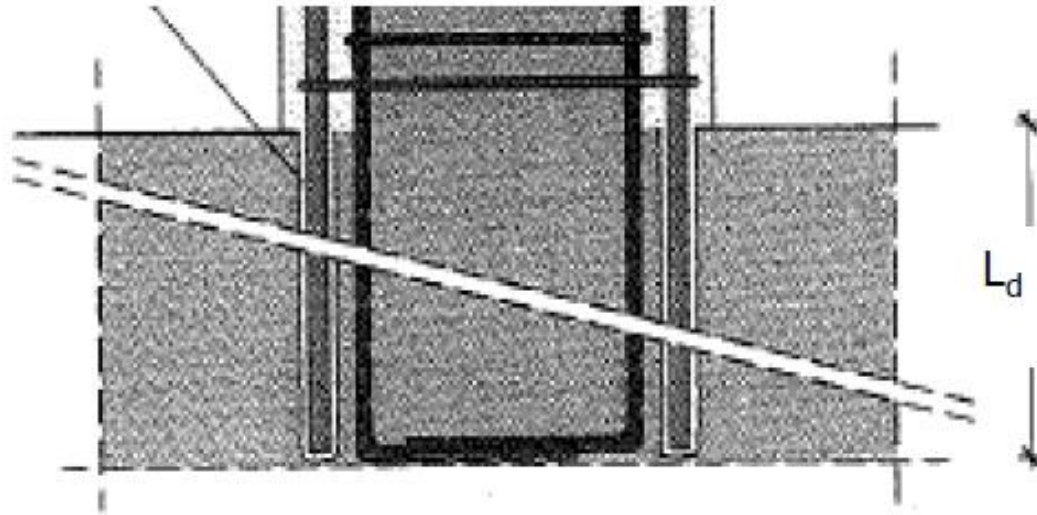
Per un corretto utilizzo di questa tecnica di rinforzo, è necessario fare attenzione a:

- spessore delle camice adeguato → COPRIFERRO
- messa a nudo delle armature nelle facce non incamiciate
- aumento della resistenza a taglio → STAFFE A 10 mm DAL SOLAIO
- aumento della resistenza flessionale

INCAMICIATURA IN C.A.: PRECAUZIONI E NOTE

Rinforzo di pilastri con incamiciatura totale:

- a) ove non si abbia altezza sufficiente per l'ancoraggio (L_d) è opportuno aumentare il numero delle barre o prevederne il bloccaggio su piastre contrapposte



INCAMICIATURA IN C.A.: IPOTESI SEMPLIFICATIVE

Ai fini della valutazione della resistenza e 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 la differenza fra i due materiali non sono eccessive

INCAMICIATURA IN C.A.: CAPACITÀ DELLA SEZIONE INCAMICIATA

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	$\tilde{M}_y = 0.9M_y$	[C8A.7.2]
------------------------	------------------------	-----------

DEFORMABILITÀ ALLO SNERVAMENTO	$\tilde{\theta}_y = 0.9\theta_y$	[C8A.7.3]
--------------------------------	----------------------------------	-----------

DEFORMABILITÀ ULTIMA	$\tilde{\theta}_u = \theta_u$	[C8A.7.4]
----------------------	-------------------------------	-----------

INCAMICIATURA IN C.A.: RESISTENZE MATERIALI

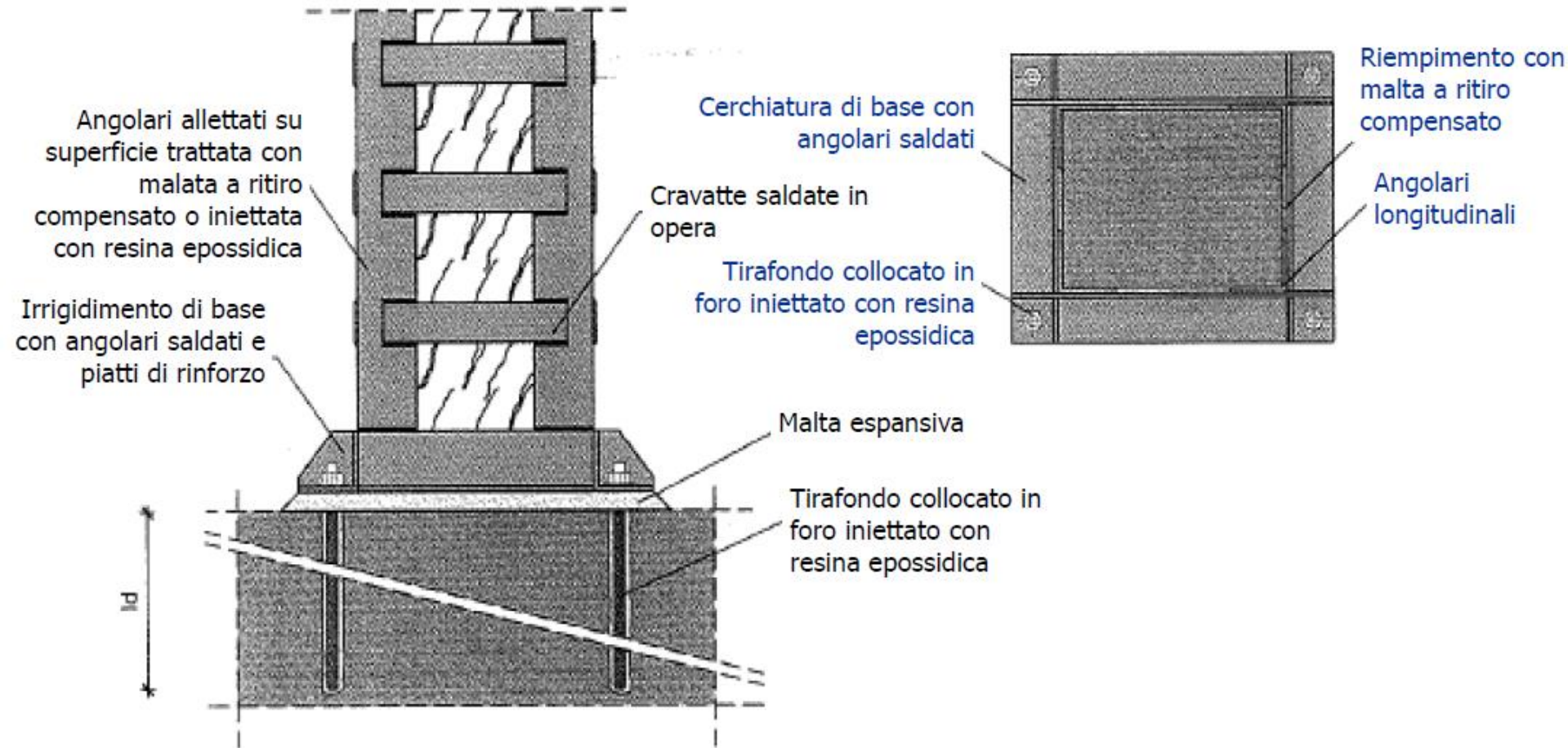
I valori da impiegare per le resistenze dei materiali saranno:

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

I valori da impiegare per le resistenze dei materiali nel calcolo del valore di \tilde{M}_y da utilizzare 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 situ e da fonti aggiuntive di informazione, moltiplicata 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.

INCAMICIATURA IN ACCIAIO: RINFORZO PILASTRO



TECNICHE TRADIZIONALI DI RINFORZO LOCALE: INCAMICIATURA IN ACCIAIO

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

- **aumento della resistenza a taglio;**
- **aumento della capacità deformativa;**
- **miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione;**
- **aumento della capacità portante verticale (effetto del confinamento, espressione [C8A.7.6]).**

SVANTAGGI

- vincolo alla base di difficile realizzazione
- non sempre applicabile

VANTAGGI

- velocità di posa in opera
- migliora la stabilità delle barre longitudinali in presenza di staffatura rada
- soluzione per l'adeguamento definitivo

INCAMICIATURA IN ACCIAIO: FASI ESECUTIVE

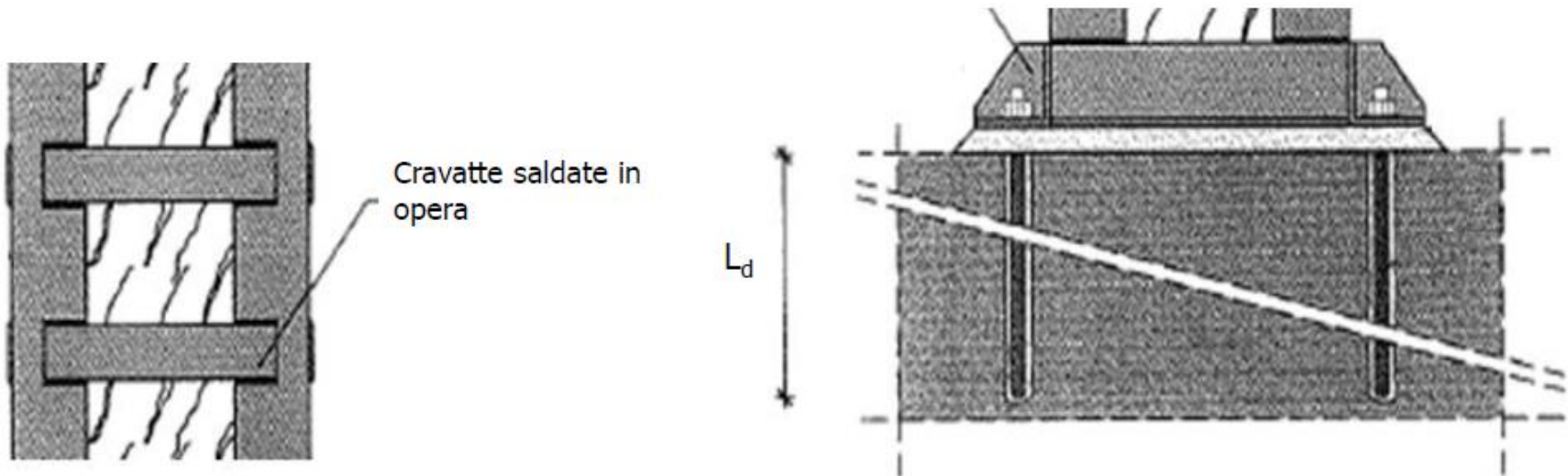
Rinforzo di pilastri con incamiciatura in acciaio:

- a) puntellamento dei pilastri interessati, se necessario
- b) demolizione del vecchio intonaco mettendo a vivo il calcestruzzo
- c) pulizia accurata delle fessure con getto d'acqua
- d) stuccatura delle fessure con resina epossidica o malta cementizia antiritiro
- e) realizzazione dei fori per il posizionamento dei tirafondi
- f) posa in opera dei profili in acciaio
- g) pulizia e abbondante umidificazione (no saturazione) della superficie del supporto
- h) protezione delle lamiere al fuoco mediante rivestimento con intonaco su rete porta intonaco metallica o sintetica
- i) rimozione delle puntellature

INCAMICIATURA IN C.A.: PRECAUZIONI E NOTE

Rinforzo di pilastri con incamiciatura totale:

- per una pressione di confinamento le bande possono essere preriscaldate prima della saldatura (o nastri presollecitati)
- ove non si abbia altezza sufficiente per l'ancoraggio (L_d) è opportuno aumentare il numero delle barre o prevederne il bloccaggio su piastre contrapposte



INCAMICIATURA IN ACCIAIO: SISTEMA CAM



Figura 8. Sistema CAM su strutture in c.a..

SISTEMA CAM SU STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

L'intervento con il Sistema di rinforzo CAM su elementi in cemento armato è costituito da nastri in acciaio ad alta resistenza singoli o sovrapposti, posizionati in maglia chiusa e pretensionati così da imporre uno stato di confinamento all'elemento stesso. Ai quattro vertici della sezione dell'elemento vengono di norma posizionati quattro elementi presso-piegati ad L in acciaio con funzione di distribuzione delle azioni confinanti dei nastri (migliorandone così l'efficienza). Tali presso-piegati hanno la superficie interna a contatto con il CLS irruvidita da una apposita lavorazione e la superficie esterna estremamente liscia per consentire un pretensionamento uniforme dei nastri.

SISTEMA CAM SU STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

Miglioramenti conseguibili:

- Aumento di resistenza e duttilità a compressione centrata mediante l'effetto del confinamento attivo;
- Aumento di duttilità a compressione del CLS con aumento della rotazione ultima della sezione a presso-flessione o flessione semplice;
- Aumento del Taglio resistente grazie alla aggiunta di armatura a taglio (staffatura dei nastri);
- Aumento di armatura a trazione e dunque del Momento Resistente nel caso in cui gli angolari vengano resi solidali alla sezione;

AUMENTO DELLA RESISTENZA A TAGLIO

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

$$V_j = 0.5 \frac{2t_j b}{s} f_{yw} \frac{1}{\cos \alpha_t}$$

- t_j, b, s : spessore, larghezza e interasse delle bande rispettivamente
- f_{yw} : resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio
- α_t : inclinazione delle fessure per taglio

(nel caso di camicie continue $b/s = 1$)

AZIONE DI CONFINAMENTO

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

Il raffittimento delle staffe nelle zone critiche in prossimità dei nodi produce diversi benefici:

- **Maggiore confinamento del calcestruzzo e quindi maggiore duttilità dello stesso;**
- **Maggiore contenimento ai fenomeni di instabilizzazione delle barre di armatura compressa;**
- **Maggiore probabilità di evitare fenomeni di rottura fragile per taglio.**

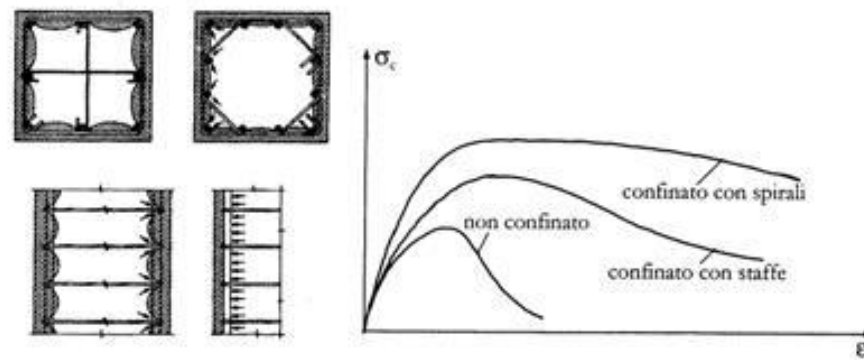


Figura 9. Effetti del confinamento.

AZIONE DI CONFINAMENTO

Per le proprietà del conglomerato confinato possono essere impiegate espressioni di comprovata validità.

Per la resistenza del conglomerato confinato:

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

- $\rho_s = 2 (b + h) t_s / (b h)$: rapporto volumetrico armatura trasversale (camicie continue)
- $\rho_s = 2 A_s (b + h) / (b h s)$: rapporto volumetrico armatura trasversale (bande discontinue)
- α_n : fattore di efficienza del confinamento nella sezione
- α_s : fattore di efficienza del confinamento lungo l'elemento

AZIONE DI CONFINAMENTO

Fattore di efficienza del confinamento nella sezione:

$$\alpha_n = 1 - \frac{(b - 2R)^2 + (h - 2R)^2}{3bh}$$

- R: raggio di arrotondamento (eventuale) degli spigoli della sezione
- b, h: dimensioni della sezione

Fattore di efficienza del confinamento lungo l'elemento:

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s - h_s}{2b}\right) \left(1 - \frac{s - h_s}{2h}\right)$$

- h_s : altezza delle bande discontinue

AZIONE DI CONFINAMENTO

Per la deformazione ultima del conglomerato confinato:

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 0.5 \frac{0.5\alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_{cc}}$$

RESISTENZE MATERIALI

Nelle due equazioni precedenti i valori da impiegare per le resistenze dei materiali saranno:

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

MIGLIORAMENTO DELLE GIUNZIONI 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 oltre la zona di sovrapposizione per una lunghezza pari almeno al 50% della lunghezza della zona di sovrapposizione;
- nella zona di sovrapposizione la camicia è 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 devono venire disposte una alla sommità della zona di sovrapposizione, l'altra ad un terzo dell'altezza di tale zona misurata a partire dalla base.

TECNICHE DI INTERVENTO GLOBALE

Gli interventi basati su sistemi a controllo passivo con aumento di rigidezza, resistenza e/o duttilità globale della struttura consistono nell'introduzione di nuovi elementi resistenti nella maglia strutturale, quali ad esempio:

- introduzione di pareti in blocchi di muratura piena o di calcestruzzo;
- introduzione di lastre in c.a., ovvero di pareti di taglio gettate in opera;
- introduzione di lastre multiple in c.a., ovvero di pareti di taglio prefabbricate;
- allargamento dei pilastri con muri d'ala in c.a. gettati in opera;
- introduzione di controventi in acciaio;
- introduzione di dispositivi speciali.

CONTROVENTI IN ACCIAIO

L'impiego di elementi di controvento in acciaio nel consolidamento sismico di strutture in c.a. è inquadrabile sia nel campo delle strategie con incremento di resistenza e rigidità che in quello con incremento di duttilità.

Gli elementi in acciaio si prestano ad essere introdotti nel contesto strutturale esistente in modo certamente meno invasivo rispetto ad altri elementi irrigidenti verticali come ad esempio le pareti di taglio. Infatti, mentre per queste ultime si deve realizzare anche una nuova fondazione, con i controventi in acciaio ciò non è necessario in quanto l'elemento viene connesso con giunti alla struttura esistente, garantendo, rispetto all'impiego di altri materiali, una notevole semplicità di realizzazione.

Laddove gli sforzi assiali trasmessi dal controvento risultino eccessivi per il telaio in c.a. si può realizzare un contro telaio interno reso solidale lungo il perimetro alla maglia della struttura. In questo modo si riesce a garantire la trasmissione degli sforzi evitando che questi si concentrino nei nodi.

CONTROVENTI IN ACCIAIO

Con riferimento ai sistemi dissipativi, tra i vari dispositivi quello sicuramente più frequentemente utilizzato nella protezione sismica degli edifici si fonda sull'introduzione all'interno della maglia strutturale di un sistema supplementare, che utilizza speciali dispositivi incorporati in (o collegati a) controventi rigidi, quasi sempre di acciaio, che connettono due piani della struttura, solitamente consecutivi. Lo spostamento interpiano prodotto dal sisma attiva i meccanismi di dissipazione di energia prima che gli spostamenti relativi possano produrre danni significativi sugli elementi strutturali. In tal modo la maggior parte dell'energia in entrata viene immagazzinata e dissipata nei dispositivi, mentre la funzione di sostegno dei carichi verticali rimane attribuita alla struttura esistente. Tra questi, i controventi ad instabilità impedita o BRB (acronimo dell'inglese Buckling Restrained Brace) consentono di calibrare l'intervento di consolidamento sia in termini di resistenza che di rigidezza e duttilità, in virtù della possibilità di disaccoppiare i tre parametri chiave di progetto. Si tratta di dispositivi di dissipazione sismica che, diversamente dalle comuni membrature metalliche, non presentano alcun tipo di degrado di resistenza e rigidezza per carichi ciclici.