

LINEE GUIDA PER LA RIPARAZIONE ED IL RAFFORZAMENTO DI ELEMENTI STRUTTURALI, TAMPONATURE E PARTIZIONI

Dipartimento Protezione Civile



ReLUIS



INTEGRAZIONE SUL METODO CAM ALLA BOZZA - AGOSTO 2009

Il testo e gli schemi riportati in questo documento vogliono costituire un supporto al tecnico che debba affrontare il delicato problema del rafforzamento locale antisismico di elementi strutturali e non strutturali a seguito del terremoto del 6 aprile 2009.

Data l'urgenza del problema, a seguito dell'emanazione delle OPCM 3779 e 3790, si è ritenuto di pubblicare il presente documento anche nell'attuale forma di bozza, fermo restando che il singolo progettista si assume la piena responsabilità del progetto e dei dettagli costruttivi, anche se ripresi da questo documento.

MAGGIO 2010

INDICE

1. Scopo dell'integrazione alle linee guida	3
3. Interventi strutturali (di riparazione o intervento locale)	4
3.1 Strutture in c.a.	4
3.1.1. Criteri per il progetto del rafforzamento locale di nodi non confinati.	4
3.1.5. Lavorazioni esecutive per intervento incamiciatura attraverso sistema CAM.	13
3.3. Interventi di rafforzamento locale per carichi verticali	17
3.3.1. Interventi di rafforzamento locale di travi in c.a.	17
3.3.1.1. Rinforzo a flessione di travi in c.a.	17
3.3.1.2. Rinforzo a taglio di travi in c.a.	17
3.3.1.6. Lavorazioni esecutive per intervento con sistema CAM sulle travi.	19
6. Gruppo di Lavoro	21

1. Scopo dell'integrazione alle linee guida

Il presente documento integra quanto contenuto ai punti 3.1 e 3.3 delle “LINEE GUIDA PER LA RIPARAZIONE E IL RAFFORZAMENTO DI ELEMENTI STRUTTURALI, TAMPONATURE E PARTIZIONI” – Bozza Agosto 2009. Tale documento originario si limita ad analizzare possibili soluzioni di rinforzo strutturale basate su incamiciatura in acciaio ovvero su placcatura e fasciatura con materiali compositi.

In questo ambito, si forniscono indicazioni relativamente ad un'ulteriore possibile soluzione che è basata sull'utilizzo di pressopiegati ad L e nastri metallici pretesi in acciaio ad alta resistenza (sistema CAM) per:

- riparazione o intervento locale su nodi d'angolo o intermedi di strutture in c.a. (sezione 3.1.1) e relative modalità operative (sezione 3.1.5) ;
- rafforzamento locale per carichi verticali di travi e solai in c.a. (sezione 3.3.1).

Per consentire a chi legge di contestualizzare quanto qui riportato nell'ambito del documento originario, vengono riprodotte anche parti del testo di quel documento di cui questo costituisce una integrazione.

3. Interventi strutturali (di riparazione o intervento locale)

3.1 Strutture in c.a.

Per quanto riguarda le strutture in c.a., l'attenzione viene concentrata in questo capitolo sui nodi trave-pilastro non confinati, che sono tipicamente quelli posti sul perimetro della struttura, o all'angolo (nodo d'angolo), ovvero in facciata (nodo intermedio).

Nell'ambito delle possibili tecniche che il progettista può scegliere per il rafforzamento locale dei nodi non confinati, ci si limita qui ad analizzare una possibile soluzione ai sensi del punto C8A.7 della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, basata su sistema CAM (Cerchiatura Attiva Manufatti) con nastri pretesi che confinano in maniera attiva le membrature in calcestruzzo contrastando su pressopiegati metallici ad L e piastre imbutite. Il proporzionamento dei rinforzi esterni di seguito descritti può essere condotto ai sensi delle Nuove Norme Tecniche (D.M. 14/01/08) e della relativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009.

Al fine di garantire comunque un buon comportamento d'insieme del sistema nodo trave-pilastri, e garantire un significativo incremento della duttilità a tale sistema, e dunque alla struttura nel suo insieme, l'intervento proposto consegue anche un incremento della resistenza a taglio delle travi e dei pilastri nelle loro parti terminali convergenti nel nodo ed un confinamento delle estremità dei pilastri, dove si concentrano le massime richieste di duttilità in pressoflessione.

Gli interventi vengono descritti nelle loro diverse componenti, ciascuna dedicata a prevenire un meccanismo di collasso. Cionondimeno la perfetta riuscita dell'intervento dipende dal complesso di componenti messe in opera, e pertanto non è possibile adottare un intervento solo parzialmente eliminando una parte di tali componenti.

3.1.1. Criteri per il progetto del rafforzamento locale di nodi non confinati.

Le tipologie d'intervento proposte migliorano le prestazioni del nodo trave-pilastro mediante:

- 1) incremento della capacità del pannello di nodo e della porzione di sommità del pilastro rispetto all'azione di taglio esercitata dalla tamponatura. L'osservazione dei danni post-terremoto conferma che tale azione di taglio può determinare danni significativi al nodo che, in funzione anche delle originarie modalità di realizzazione e della sezione di ripresa di getto, può presentare una fessura diagonale sul pannello di nodo (Figura 1-a) ovvero una lesione pseudo-orizzontale in corrispondenza della sezione di attacco pilastro-pannello di nodo (Figura 1-b), o ancora la rottura per lesione diagonale alla testa del pilastro (linea in tratteggio della Figura 1-b).

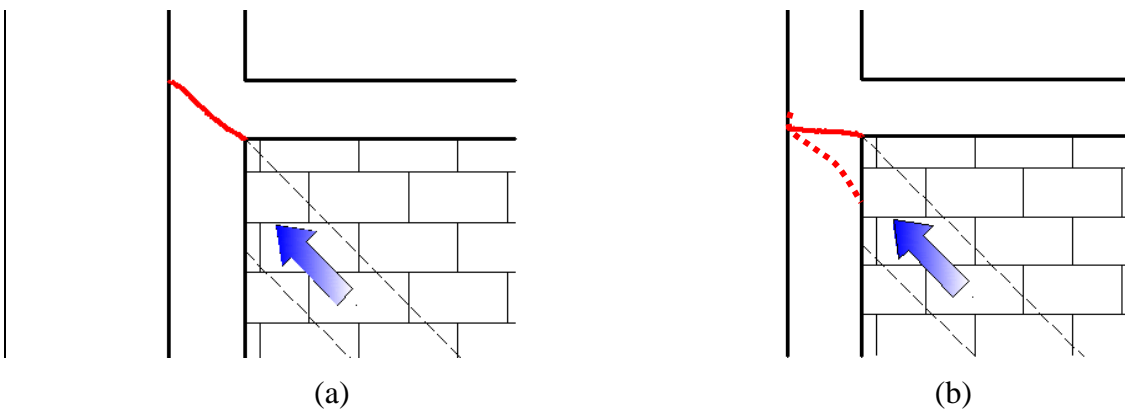


Figura 1. Rappresentazione schematica del meccanismo di crisi del nodo trave-pilastro dovuto all'azione di taglio della tamponatura: a) lesione diagonale nel pannello; b) lesione pseudo-orizzontale all'attacco pilastro-pannello di nodo e/o diagonale nel pilastro in prossimità dell'attacco al nodo.

Per determinare la forza che corrisponde all'attivazione di tale meccanismo si può fare riferimento, in maniera semplificata, al cosiddetto modello del "puntone equivalente" basato sulla formazione di bielle (puntone equivalenti) accoppiate all'interno dell'ossatura strutturale secondo le due diagonali; si assume che esse siano alternativamente efficaci in funzione della direzione dell'azione sismica, essendo attive solo quelle compresse. Sulla base delle indicazioni fornite dalla Circolare 10 aprile 1997, n. 65 e di una consolidata letteratura scientifica, la larghezza del puntone equivalente, w , può essere assunta pari al 10% della lunghezza della biella stessa $\sqrt{l^2 + h^2}$, il suo spessore, t , è pari allo spessore della muratura.

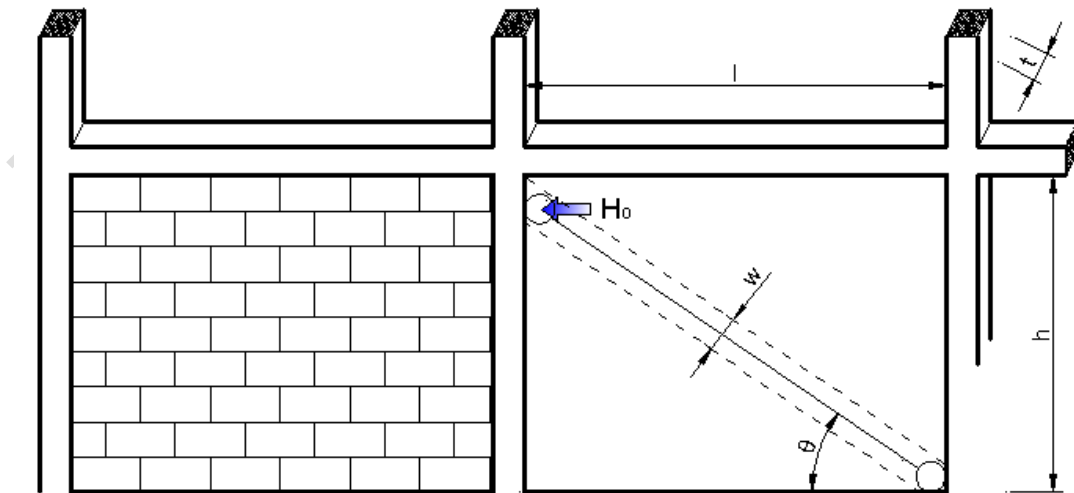


Figura 2. Dimensioni caratteristiche del puntone equivalente

L'azione orizzontale H_0 che corrisponde alla crisi della tamponatura (rottura diagonale per trazione ovvero rottura per schiacciamento locale degli spigoli), rappresenta la massima azione addizionale che può gravare sul pilastro e può essere calcolata come:

$$H_o = \min \left(\frac{f_{vko} \cdot l \cdot t}{0.6 \cdot \phi}; 0.8 \cdot \frac{f_k}{\phi} \cdot \cos^2 \theta \cdot \sqrt[4]{\frac{E_c}{E_m} \cdot I \cdot h \cdot t^3} \right)$$

e con i simboli si descrive:

- ϕ è un fattore di riduzione delle tensioni da porre pari ad 1 per verifiche agli stati limite;
- f_{vko} è la resistenza caratteristica a taglio della muratura in assenza di tensioni normali (Tabella 11.10.VII del D.M. 14/01/08);
- f_k è la resistenza caratteristica a compressione della muratura (Tabelle 11.10.V e 11.10.VI del D.M. 14/01/08);
- $\theta = \arctg (h/l)$ è l'angolo della diagonale del pannello rispetto all'orizzontale;
- E_c è il modulo di elasticità del calcestruzzo;
- $E_m = 1000 \cdot f_k$ è il modulo di elasticità della muratura;
- I è il momento di inerzia della sezione trasversale del pilastro rispetto all'asse ortogonale al piano della tamponatura (in caso di pilastri di diversa sezione si assume il valore medio dei due momenti di inerzia).

Ai fini dell'applicazione della procedura descritta si raccomanda di verificare che siano soddisfatte le ipotesi discusse al punto 1 dell'Allegato 2 della Circolare 10 aprile 1997, n. 65.

Per conferire al nodo una maggiore capacità resistente nei confronti del meccanismo descritto, si propone, nel caso di utilizzo del sistema CAM, di prevedere un rinforzo esterno che colleghi i pressopiegati ad L che confinano i pilastri al di sopra ed al di sotto del nodo; il predetto collegamento viene realizzato nel caso di un nodo d'angolo utilizzando un pressopiegato ad L continuo di maggiori dimensioni contenuto da nastri metallici ad alta resistenza (Figura A1, A2) e nel caso di un nodo di facciata con un piatto metallico saldato ai due pressopiegati posti sulla faccia esterna del pilastro; il piatto può essere posizionato sotto, sullo stesso piano o sopra alle ali dei pressopiegati; le saldature sono a cordone d'angolo nel primo e nel terzo caso, sono di testa nel secondo caso; lo spessore del cordone è pari allo spessore minimo dei piatti collegati; le figure A3, A4, A5, sono riferite al caso di piatto sottostante rispetto alle ali dei pressopiegati.

Il proporzionamento di tale rinforzo può essere eseguito ipotizzando di affidare ad esso l'intera forza H_o precedentemente definita e varia di poco al variare della posizione relativa fra piatto e ali dei pressopiegati. Il numero massimo consigliato di nastri (spessore 0.9 mm) sovrapposti per ogni anello è di 6.

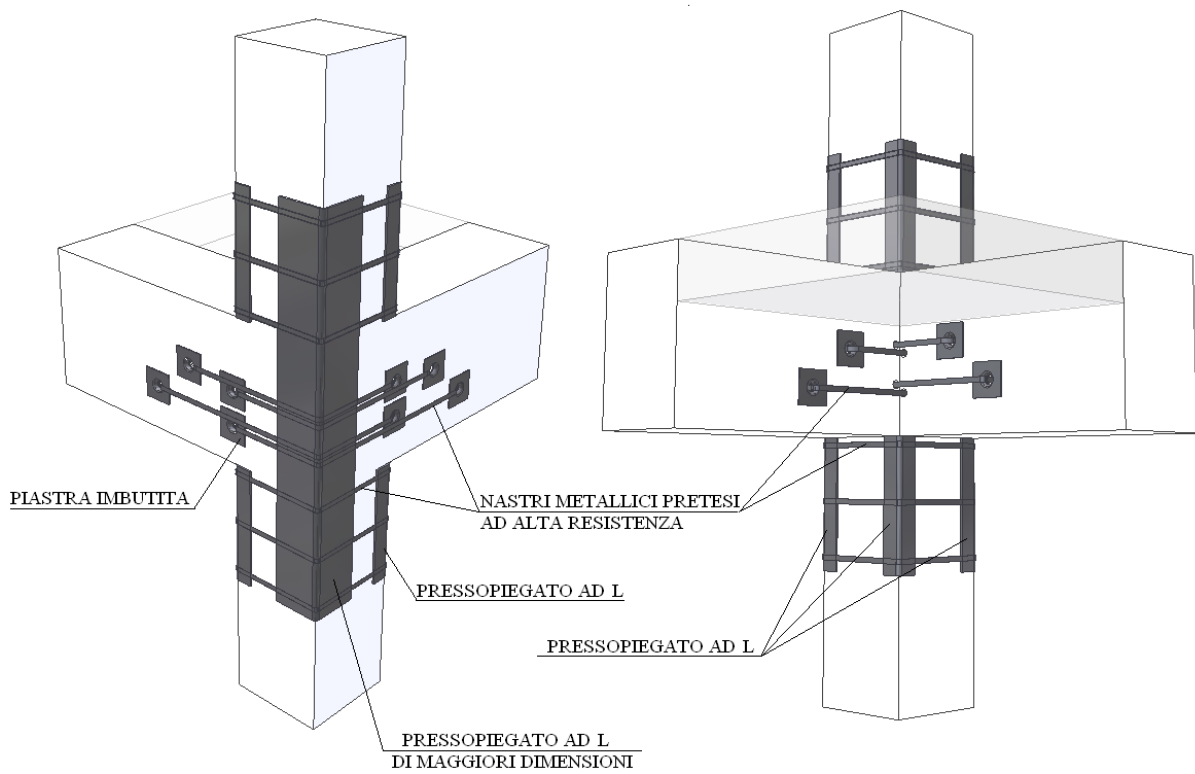


Figura A1. Pressopiegati ad L e nastri pretesi in un nodo d'angolo

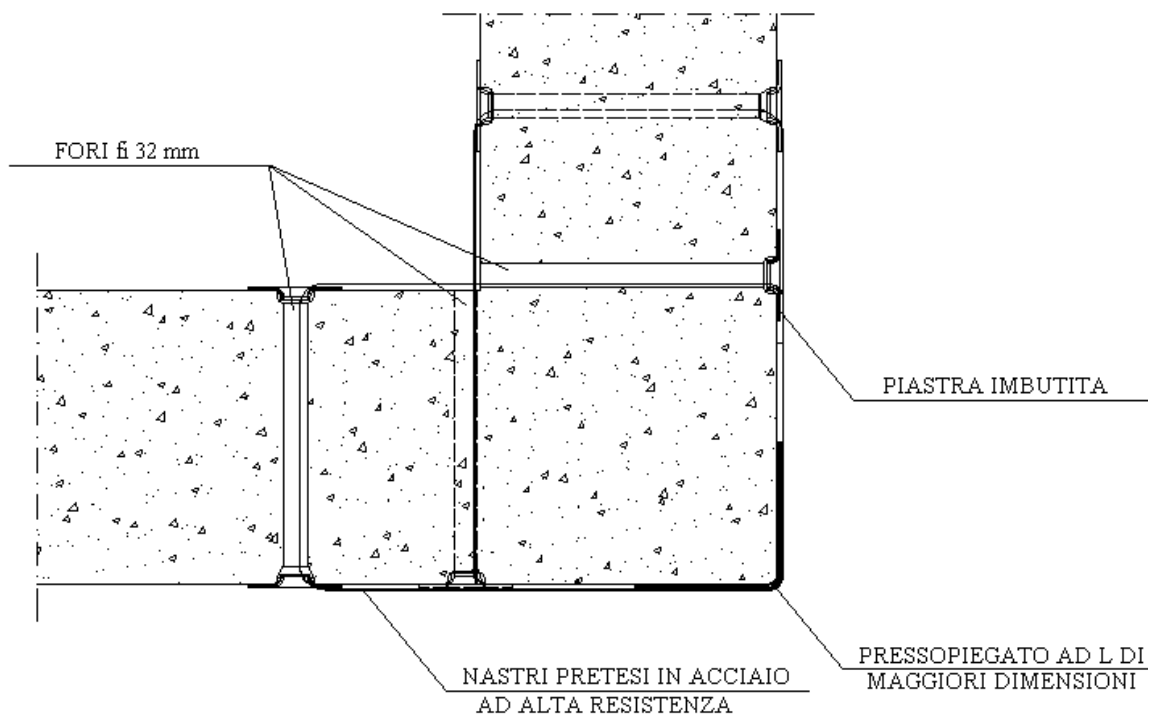


Figura A2. Vista in sezione dello schema di cui alla Figura A1

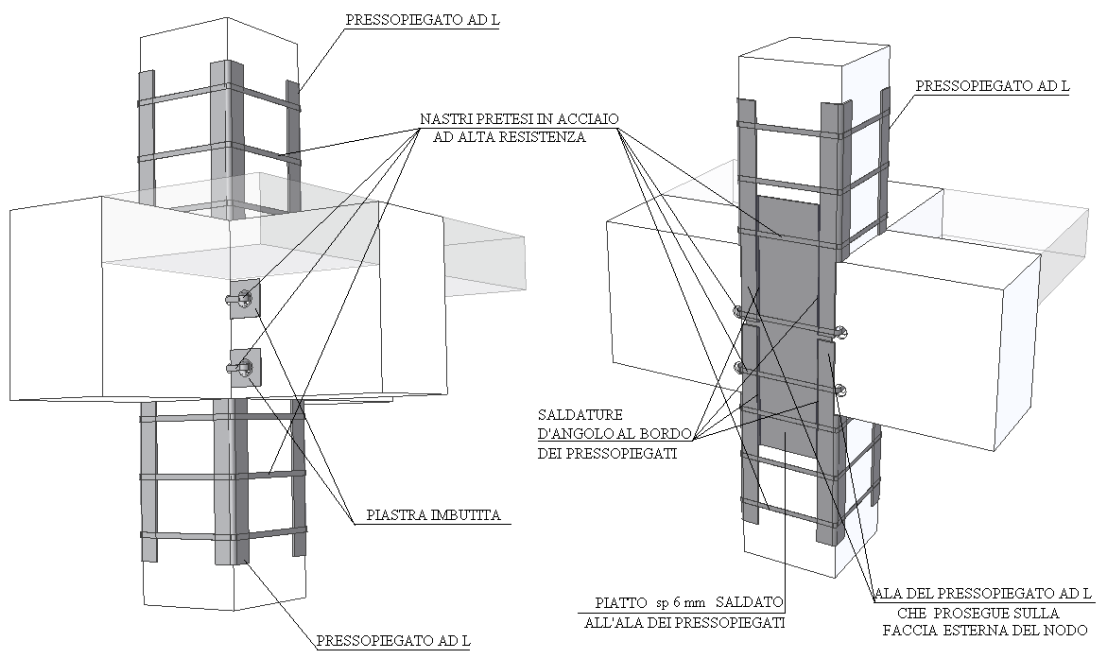


Figura A3. Pressopiegati ad L, piastra e nastri pretesi in un nodo intermedio

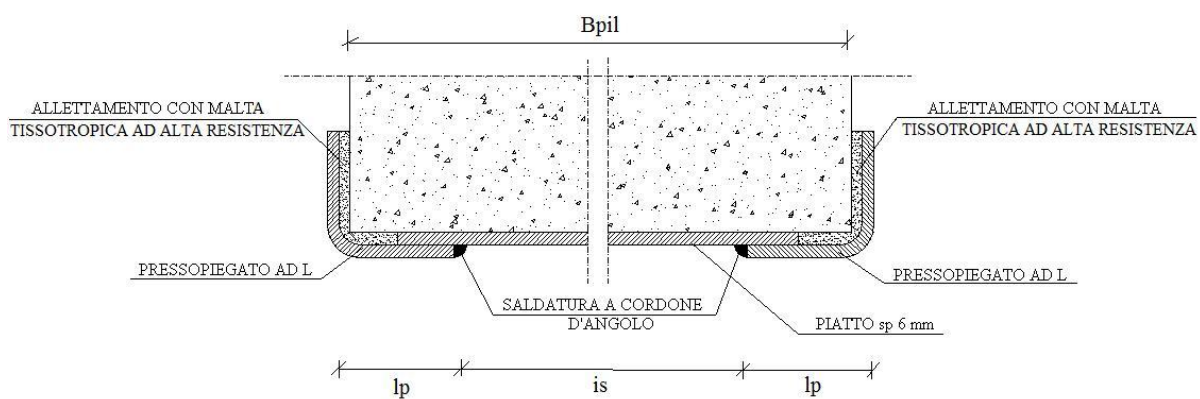


Figura A4. Vista in sezione in testa al pilastro dello schema di cui alla Figura A3

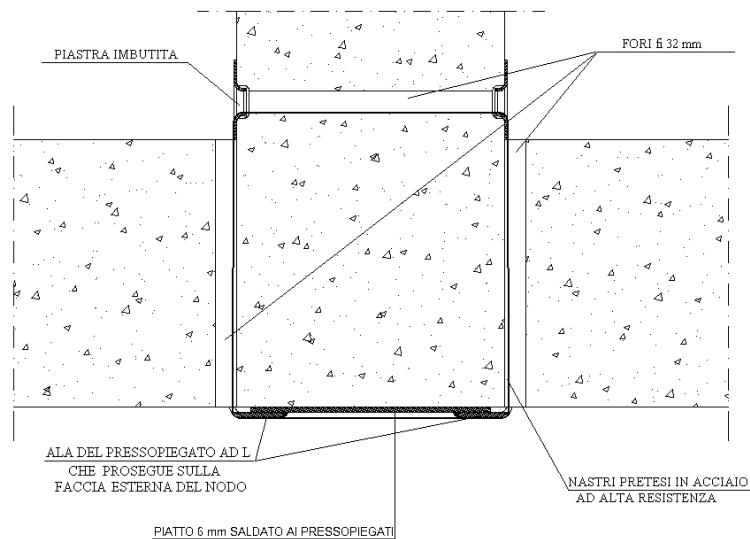


Figura A5. Vista in sezione all'altezza del nodo dello schema di cui alla Figura A3

- 2) incremento della resistenza a taglio del pannello di nodo. L'incremento di resistenza a taglio del pannello di nodo può essere conseguito, nel caso di utilizzo del sistema CAM con i nastri pretesi di acciaio ad alta resistenza posti in corrispondenza del nodo (secondo quanto mostrato in Figura A1, Figura A3, e Figura A5).
- 3) confinamento delle estremità dei pilastri. Il confinamento delle estremità dei pilastri consente di conferire alle stesse un significativo incremento della resistenza a taglio e della capacità deformativa; esso ha anche un effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali laddove il passo delle staffe sia molto rado. Per l'estremità superiore del pilastro, l'incremento di resistenza a taglio conferita dal confinamento è anche benefico nei riguardi dell'azione tagliante aggiuntiva dovuta al puntone che si forma nella tamponatura. Il confinamento delle estremità dei pilastri può essere realizzato mediante fasciatura delle stesse con sistema CAM (secondo quanto mostrato in Figura A6 ed in Figura A7).

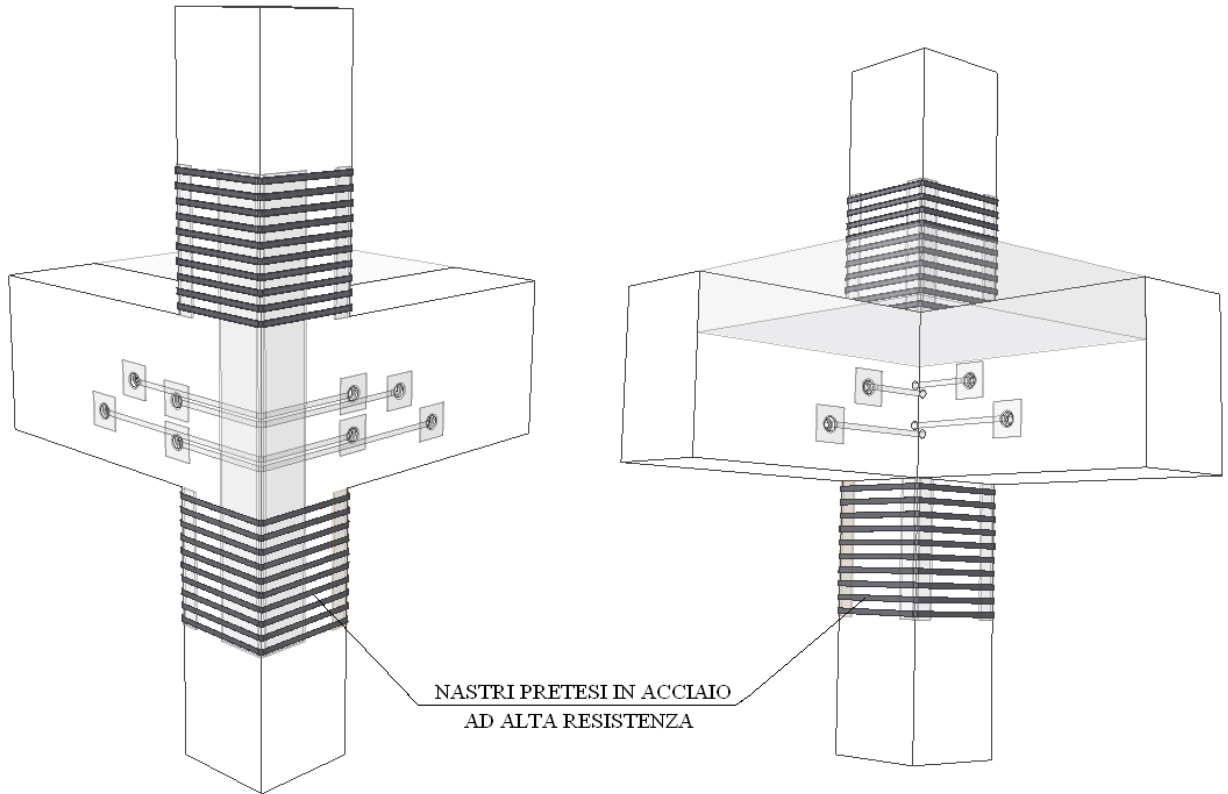


Figura A6. Confinamento delle estremità dei pilastri in un nodo d'angolo

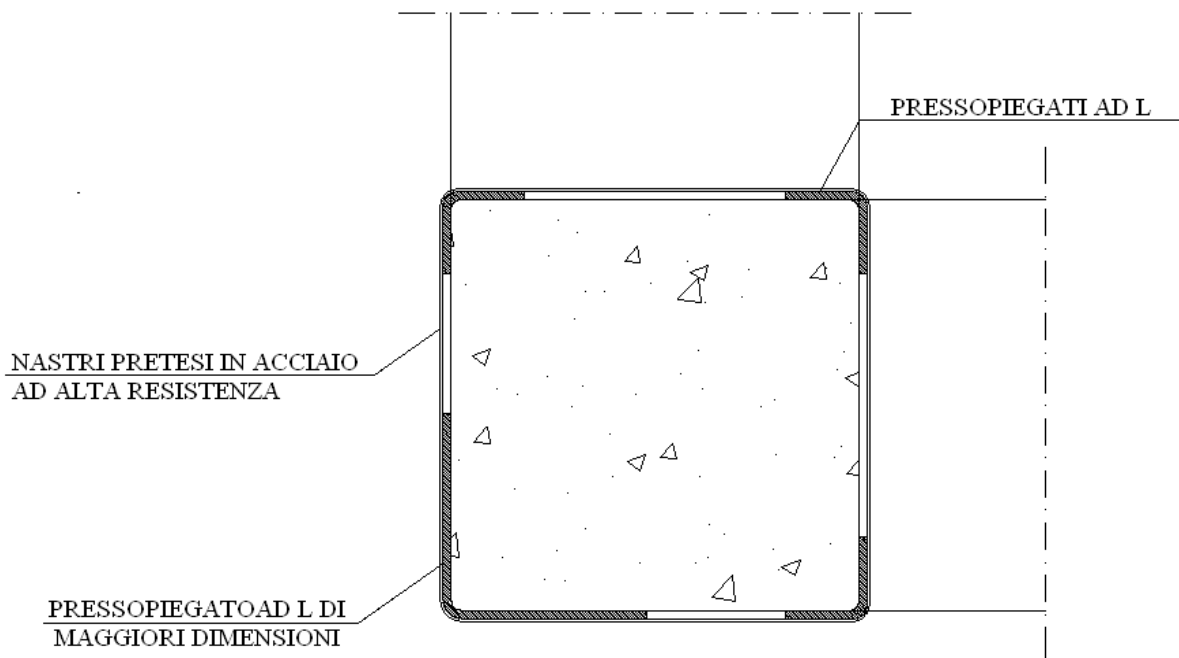


Figura A7. Vista in sezione dello schema di cui alla Figura A6

4) incremento della resistenza a taglio delle estremità delle travi. L'incremento di resistenza a taglio delle estremità delle travi consente di prevenire una eventuale crisi per taglio, secondo un meccanismo fragile che potrebbe attivarsi nel caso in cui la resistenza del calcestruzzo sia relativamente bassa e/o le armature a taglio siano carenti.

L'intervento di sola riparazione o rinforzo locale con il sistema CAM prevede la foratura del solaio e la fasciatura della trave con nastri di acciaio ad alta resistenza contrastati su pressopiegati ad L all'intradosso e su piatti o piastre imbutite all'estradosso. In presenza di travi alte l'intervento può essere realizzato anche senza forare il solaio, forando la trave orizzontalmente a livello all'intradosso del solaio come descritto in Figura A8.

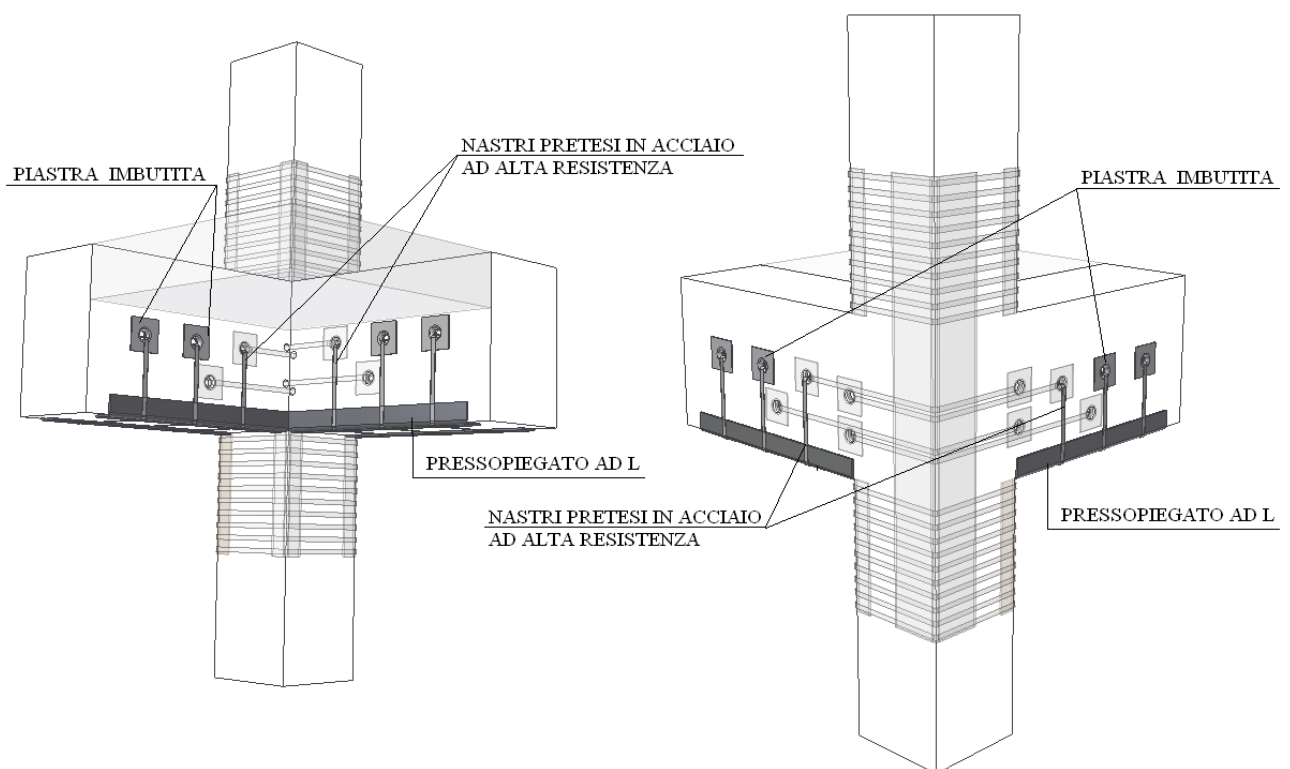


Figura A8. Rinforzo a taglio delle estremità di travi alte con nastri pretesi in un nodo d'angolo

Un intervento che va oltre l'intervento di sola riparazione o rinforzo locale può prevedere l'inserimento di angolari dissipativi fra i pressopiegati ad L che cerchiano i pilastri e quelli che cerchiano le travi (come riportato in Figura A9 e Figura A10); in questo caso la loro presenza introduce anche un rinforzo a flessione delle estremità di travi e pilastri con un ricondizionamento della gerarchia delle resistenze a vantaggio del pilastro e quindi è necessario ricalcolare la struttura nella suo insieme. In questo caso è prevista la cerchiatura almeno del pilastro per tutta l'altezza.

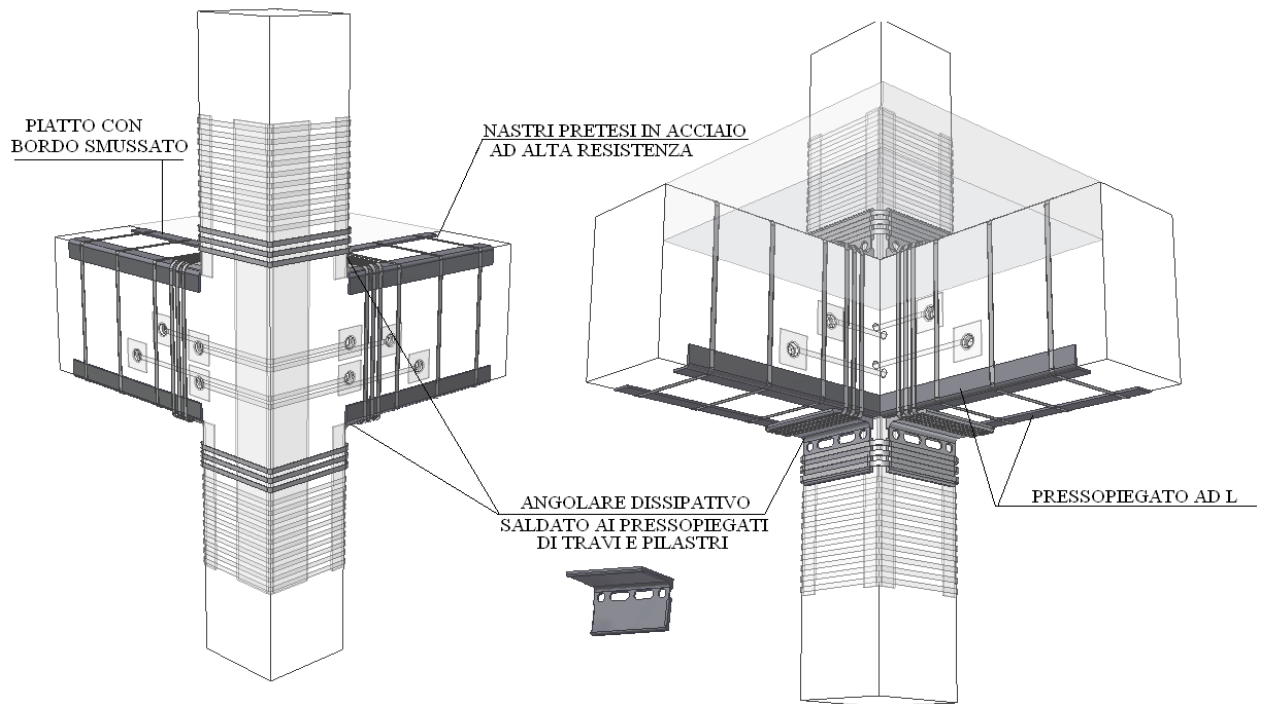


Figura A9. Rinforzo a taglio delle estremità delle travi con nastri pretesi e presenza anche di angolari dissipativi in un nodo d'angolo.

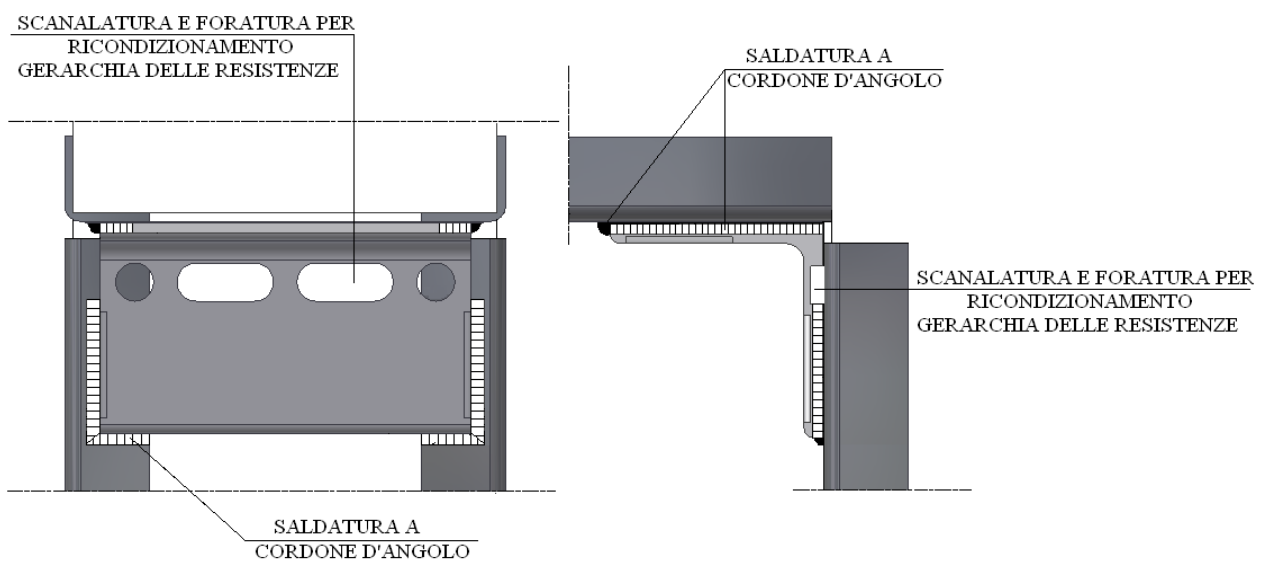


Figura A10. Vista frontale e laterale dell'angolare dissipativo con evidenziate le zone di saldatura sugli angolari

3.1.5. Lavorazioni esecutive per intervento incamiciatura attraverso sistema CAM

Si descrivono di seguito le lavorazioni da eseguire per l'installazione a regola d'arte del sistema CAM.

1) Rimozione dell'intonaco (ove presente) e rimozione corticale con idonei mezzi meccanici non battenti del c.a. ammalorato (ove presente). Intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare.

2) Pulizia per la rimozione di ogni residuo di lavorazione. Intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare.

- N.B.: Le fasi di cui ai successivi punti 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 sono da eseguirsi esclusivamente ove necessario (rilevata presenza in situ in corrispondenza delle parti interessate dall'applicazione del rinforzo di: fessurazioni e/o lesioni, strato corticale e/o volumetrico di calcestruzzo carbonatato e/o ammalorato). Si osserva che, relativamente alle fasi in parola, qualora si dovessero utilizzare malte o comunque prodotti di ripristino che necessitano di bagnatura, si dovrà necessariamente attendere l'avvenuta perfetta asciugatura del supporto prima di procedere all'esecuzione delle fasi previste per l'applicazione del rinforzo con angolari e cerchiature con nastri pretesi.

3.1) Trattamento (ove necessario) delle armature originarie degli elementi strutturali in c.a., per inibizione della corrosione, con malta cementizia anticorrosiva.

3.2) Riparazione di fessure strutturali in elementi in calcestruzzo armato con utilizzo di resine epossidiche di adeguata viscosità e fluidità.

3.3) Ripristino del c.a. (strato corticale ammalorato, ove necessario) con applicazione di malta a ritiro controllato tissotropica.

3.4) Ricostruzione volumetrica locale del calcestruzzo ammalorato (ove necessario) con malta a ritiro compensato.

4) Posizionamento in opera e realizzazione dei fori per l'inserimento dei nastri metallici, previa valutazione della posizione dei travetti del solaio ed analisi con pacometro delle armature della trave per evitare di tagliarle.

5) Nel caso di nodi intermedi, posizionamento del piatto in acciaio zincato (tipicamente sp. 6 mm) in aderenza al calcestruzzo.

6) Posizionamento dei pressopiegati ad L in acciaio zincato (almeno 60x6) e delle piastre in acciaio zincato imbutite (tipicamente 125x125x4) e fissaggio delle stesse al c.a. con malta tissotropica ad alta resistenza.

- 7) Nel caso di nodi intermedi, esecuzione delle saldature per il collegamento del piatto ai pressopiegati ad L e zincatura a freddo delle stesse.
- 8) Inserimento e tesatura dei nastri metallici in acciaio zincato ad alta resistenza con giunzione in grado di garantire la trasmissione di almeno il 70% del carico di rottura del nastro.
- 9) Eventuali lavorazioni per la presenza in progetto di angolari dissipativi: esecuzione delle unioni saldate di collegamento dei pressopiegati ad L con gli angolari dissipativi, zincatura a freddo sull'acciaio non protetto degli angolari dissipativi e sulle relative saldature, successiva tesatura dei nastri sovrapposti agli angolari dissipativi.





10) Chiusura dei fori secondo il giudizio del progettista con malta colabile a ritiro compensato ed elevata resistenza o con schiuma poliuretanic, per una profondità minima di 10 cm.

11) Sbruffata con malta cementizia di protezione ed aggrappaggio e successiva applicazione dell'intonaco di finitura.



3.3. Interventi di rafforzamento locale per carichi verticali

3.3.1. Interventi di rafforzamento locale di travi in c.a.

In questa sezione si esaminano alcuni interventi tipo di rafforzamento locale per travi in c.a., realizzati mediante il sistema CAM. Tali interventi sono proposti ai sensi del punto C8A.7 della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009. Il proporzionamento dei rinforzi esterni di seguito descritti può essere condotto ai sensi delle Nuove Norme Tecniche (D.M. 14/01/08) e della relativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009.

3.3.1.1. Rinforzo a flessione di travi in c.a.

Tale rinforzo può essere realizzato mediante placcaggio tradizionale con elementi metallici. Affinché sia possibile eseguire agevolmente anche i rinforzi a taglio mediante C.A.M., nel seguito descritti, è opportuno che i profili disposti posseggano gli spigoli arrotondati. Generalmente risulta di facile installazione l'applicazione di due angolari pressopiegati ad L (fig. A. 13).

3.3.1.2. Rinforzo a taglio di travi in c.a.

Questo tipo di rinforzo può essere realizzato, mediante sistema CAM, disponendo 2 pressopiegati ad L all'intradosso della trave e cerchiando la trave con nastri in acciaio ad alta resistenza.

I nastri possono essere disposti secondo diverse modalità:

- cerchiaggio di tutta la trave, contrastando su delle piastre imbutite poste all'estradosso della stessa, la relativa foratura dei solai va effettuata senza danneggiare i travetti (Figura A13);
- cerchiaggio di tutta la trave, contrastando su dei piatti posti all'estradosso della stessa, la relativa foratura dei solai va effettuata senza danneggiare i travetti (Figura A14);
- cerchiaggio nel caso di travi alte della sola parte intradossata, forando in orizzontale la trave all'intradosso del solaio senza danneggiare le staffe esistenti. Le piastre imbutite disposte all'estremità del foro vanno tagliate per adattarsi alla posizione del foro realizzato quanto più in alto possibile (Figura A15).

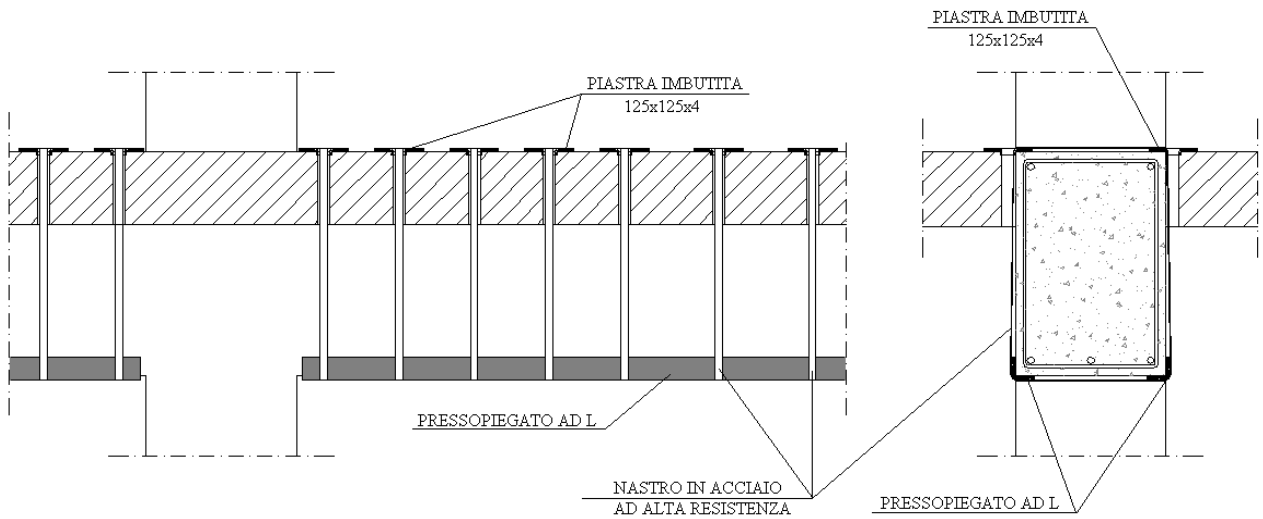


Figura A13. Rinforzo a taglio con nastri pretesi contrastati su piastre imbutite all'estradosso della trave

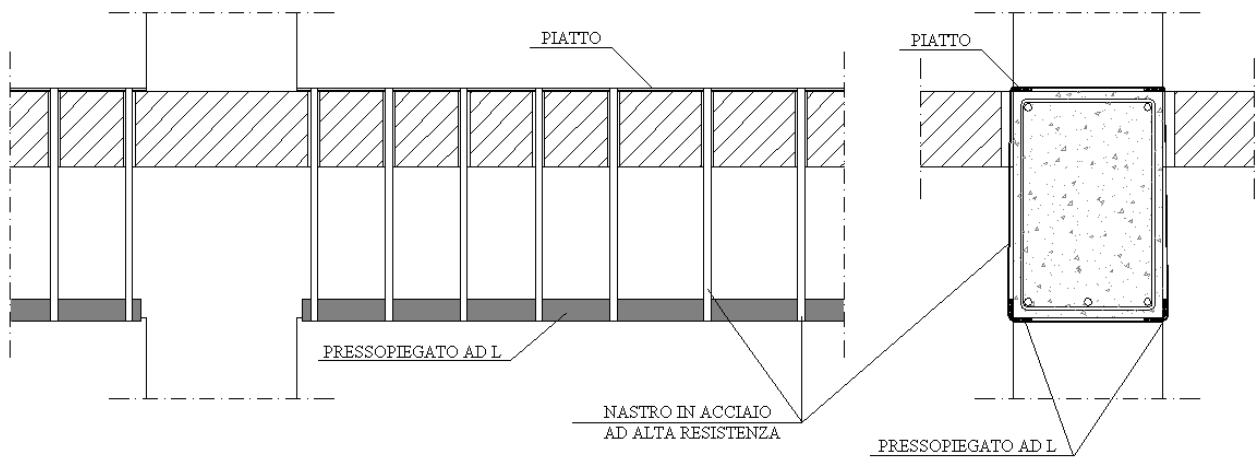


Figura A14. Rinforzo a taglio con nastri pretesi in acciaio ad alta resistenza contrastati su piatti all'estradosso della trave

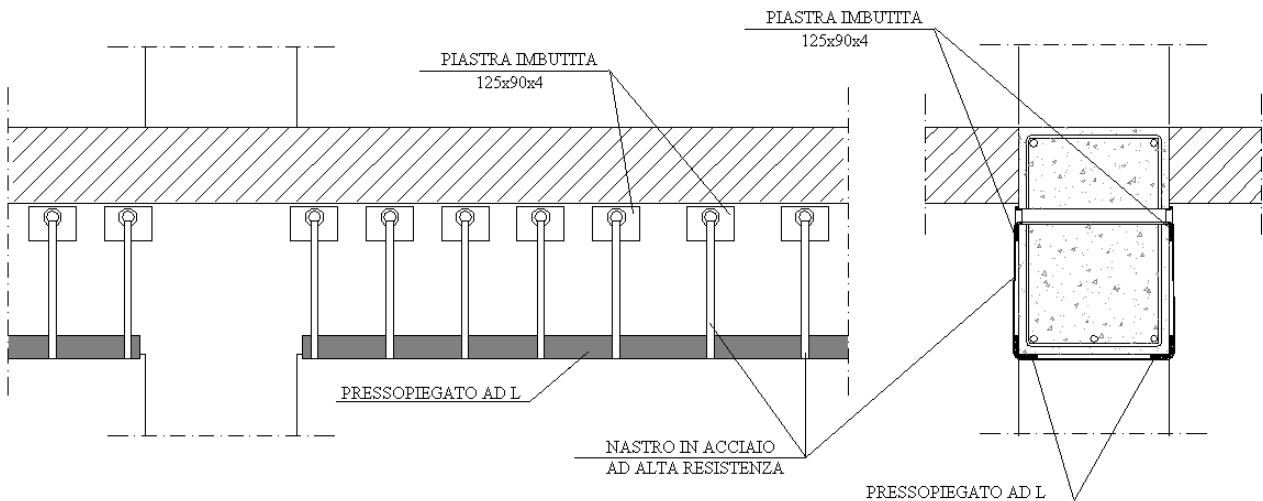


Figura A15. Rinforzo a taglio con nastri pretesi in acciaio ad alta resistenza contrastati su piastre imbutite all'intradosso del solaio



3.3.1.6. Lavorazioni esecutive per intervento con sistema CAM sulle travi

|

Per tali lavorazioni si rimanda a quanto riportato al punto 3.1.5. con la sola integrazione di evitare di interessare i ferri dell'armatura della trave anche nella realizzazione dei perfori per il collegamento dei pressopiegati.

BOZZA

6. Gruppo di Lavoro

Il presente Documento è stato predisposto da un Gruppo di lavoro costituito da:

- per il Dipartimento della Protezione Civile:

Mauro Dolce, Giacomo Di Pasquale, Claudio Moroni

- per ReLUIS:

Gaetano Manfredi, Andrea Prota, Alberto Balsamo e Ivano Iovinella

BOZZA