

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) Sabbiatura a metallo bianco dei profilati in acciaio preforati.
- 5) Preparazione e pulizia del supporto al fine di asportare ogni parte incoerente.
- 6) Posizionamento in opera e realizzazione dei fori per l'inserimento della tassellatura metallica.
- 7) Posizionamento dei profilati e delle piastre in acciaio sagomate, adeguatamente distanziate dal supporto in c.a. e fissaggio delle stesse, con tassellatura meccanica.



- 8) Esecuzione, laddove necessario, delle unioni saldate di collegamento mutuo dei profilati (L, piatti, piastre).



9) Posizionamento dei tubetti d'iniezione e di sfiato e sigillatura continua dei bordi dei profilati, dei piatti e delle piastre in acciaio al calcestruzzo di supporto, con applicazione di stucco epossidico a consistenza tissotropica in guisa da formare un cordone continuo a perfetta tenuta. Eliminazione a spatola dell'eccesso di stucco epossidico.





10) Esecuzione di iniezione a bassa pressione, con resina epossidica a bassissima viscosità.

Ad avvenuta polimerizzazione della resina iniettata, procedere all'esecuzione delle seguenti lavorazioni per protezione e finitura:

11) Posa in opera e fissaggio di rete metallica filo 2 mm - maglia 20x20 mm - in guisa da ricoprire integralmente l'intera superficie interessata dall'applicazione del rinforzo in beton-plaquè.

12) Applicazione per l'intero sviluppo superficiale sulle facce esposte dei profilati metallici (L, piatti, piastre) di strato di adesivo epossidico bicomponente a bassa viscosità dato a pennello, con applicazione (a fresco) di spaglio di sabbia di quarzo fine asciutta, con funzione di promotore di adesione per i successivi strati da applicare in sovrapposizione. L'applicazione dell'adesivo epossidico assicura anche la protezione degli elementi in acciaio nei confronti della corrosione.

- Aspirazione della sabbia in eccesso non inglobata nella resina.

N.B. Qualora l'esecuzione della fase (13) seguente (rasatura) sia contestuale alla fase (12) precedente (applicazione di adesivo epossidico promotore di adesione e per protezione anticorrosiva dell'acciaio), non si procederà all'applicazione dello spaglio di sabbia, ma si applicherà l'adesivo epossidico sull'intera superficie interessata dall'applicazione del rinforzo in beton-plaquè (acciaio e riquadri di calcestruzzo all'interno dei calastrelli) e si procederà direttamente all'esecuzione della lavorazione di cui al punto (14) seguente

(rasatura) entr 120-150 minuti dalla spalmatura dell'adesivo epossidico (per temperatura ambiente di circa +20C°)

13) Applicazione per l'intera superficie interessata dall'applicazione del rinforzo in beton-plaquè, di rasatura di pareggiamento e ricoprimento con malta tissotropica fibrorinforzata di granulometria fine, a ritiro controllato ed a media resistenza meccanica (>3 N/mm²), a spatola, cazzuola o macchina intonacatrice.

In alternativa alle fasi 11-12-13 :

11) Protezione delle lastre con vernice anticorrosiva.

12) Protezione delle lastre dal fuoco con utilizzo di rivestimento e/o, se richiesto, intonaco di adeguate caratteristiche ignifughe (classe REI).



3.1.4.2. Modalità applicative mediante incollaggio

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 incamiciatura in acciaio.

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) Sabbiatura a metallo bianco delle lastre in acciaio preforate.

5) Preparazione e pulizia del supporto al fine di asportare ogni parte incoerente.

6) Posizionamento in opera e realizzazione dei fori per l'inserimento della tassellatura metallica (connettori).

7) Primerizzazione della superficie di incollaggio (lato c.a.) mediante applicazione di primer epossidico superfluido a pennello o a rullo.



8) Stesura di stucco epossidico a consistenza tissotropica, sia sulle lastre in acciaio che sul supporto in c.a. dove andranno posizionate (regolarizzazione ed incollaggio).



9) Posa in opera delle lastre in acciaio e fissaggio dei tasselli meccanici di ancoraggio (connettori).



10) Eliminazione a spatola dell'eccesso di stucco epossidico a consistenza tissotropica che fuoriesce dai bordi.

11) Puntellatura delle lastre in acciaio per almeno 24 ore.



12) Protezione delle lastre con vernice anticorrosiva.

13) Protezione delle lastre dal fuoco con utilizzo di rivestimento e/o, se richiesto, intonaco di adeguate caratteristiche ignifughe (classe REI).



3.2. Strutture in muratura

Per quanto riguarda le strutture in muratura, l'attenzione viene posta su alcuni interventi previsti al punto C8A.5 della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 ed in particolare:

- 1) interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti mediante incatenamenti costituiti da tiranti e/o catene, o mediante collegamento dei solai alle pareti murarie (punto C8A.5.1);
- 2) interventi volti ad incrementare la resistenza dei maschi murari mediante scuci e cucì, risarcitura di lesioni ovvero ristilatura dei giunti (punto C8A.5.6).

3.2.1. Incatenamenti

Per incatenamenti si intende l'insieme dei sistemi di presidio e consolidamento dell'edificio in muratura, costituiti da catene, tiranti, collegamento di solai in legno alle pareti in muratura, in grado di ricostituire e restituire un comportamento scatolare e monolitico della fabbrica muraria (insieme delle pareti). Gli incatenamenti rendono possibile alle pareti murarie sia poste in contiguità (nel caso di mutua ammorsatura assente e/o poco efficace), sia alle pareti murarie contrapposte, nonché alle pareti murarie sottoposte all'azione di elementi spingenti (ad esempio: elementi voltati non mutuamente contrastati o sufficientemente equilibrate da masse murarie), di interagire mutuamente e fornire una risposta il più possibile "globale" nei confronti delle azioni orizzontali (ad esempio: sisma), contenendo l'entità degli spostamenti e delle rotazioni delle pareti stesse e consentendo la mitigazione della vulnerabilità per innesco di possibili meccanismi cinematici di ribaltamento per rotazione.

Gli incatenamenti costituiscono un sistema di rinforzo ampiamente sperimentato ed applicato con riconosciuto successo anche in organismi murari molto antichi; essi possono essere, peraltro, validamente utilizzati anche come presidio provvisorio di consolidamento per contrastare dissesti e cinematismi che investono repentinamente la fabbrica muraria. Se opportunamente realizzati, gli incatenamenti utilizzati come presidi provvisori possono essere trasformati in definitivi, per inglobamento in interventi di rafforzamento o miglioramento.

Gli incatenamenti sono, altresì, raccomandati anche nei seguenti casi:

- per contenere le spinte non contrastate degli elementi voltati (archi e volte);

- per contenere le spinte non contrastate di strutture in copertura costituite da elementi spingenti (travi inclinate, capriate prive di tiranti e/o catene in grado di annullare la spinta sulle pareti di appoggio);
- in assenza di cordoli perimetrali;
- in caso di cedimenti differenziali delle fondazioni, per migliorare il comportamento scatolare e limitare gli spostamenti relativi di differenti parti strutturali.

Prima della posa in opera degli incatenamenti, dovrà valutarsi attentamente la “*qualità*” muraria specie in corrispondenza delle zone di attestamento dei presidi di contrasto, in quanto ivi si determinano severe azioni locali (tipicamente compressione e punzonamento), particolarmente critiche in specie nel caso di apparati murari con tessitura in pietre di piccole dimensioni, informi e con scadente qualità della malta di allettamento. Pertanto si raccomanda di valutare in ogni caso l’opportunità di procedere prima della posa in opera degli incatenamenti, all’esecuzione di opere di preconsolidamento con bonifica locale (sostruzione muraria nella zona di attestamento) o di miglioramento generale della qualità muraria (iniezioni, ecc.).

Si segnala che l’applicazione degli incatenamenti ad una fabbrica muraria deformata e/o decoesa (tipicamente per carenze nell’apparecchio murario e nella capacità legante della malta), non è in grado da sola di ripristinare lo stato tensionale originario correggendo e riequilibrando gli effetti del dissesto, tuttavia essa può essere utilmente proposta per evitare ulteriori aggravamenti dei meccanismi e delle deviazioni tensionali, e a consentire alla struttura di sostenere azioni sismiche che altrimenti ne determinerebbero il collasso.

Nel seguito si illustrano le seguenti tipologie di incatenamenti tradizionali o mutuati dalla tradizione:

- catene metalliche (generalmente barre tonde o piatti) e relativi sistemi di ancoraggio alle testate delle pareti murarie;
- tiranti (in acciaio ad alto limite elastico: barre post-tese in acciaio speciale per c.a.p., trefoli, cavi in acciaio armonico) e relativi sistemi di ancoraggio alle testate delle pareti murarie;
- travi in legno e/o metalliche costituenti gli elementi portanti degli orizzontamenti di piano (solai) e relativi sistemi (regge) di ancoraggio alle pareti murarie.

3.2.1.1. *Intervento con catene o tiranti*

L'incatenamento, secondo le modalità tradizionali di applicazione, prevede l'utilizzo di due componenti base costituenti gli elementi del sistema:

- i capichiave;
- la catena.

In corrispondenza delle due testate di estremità sono allocati i capichiave costituiti da elementi di contrasto in acciaio (in fabbricati d'epoca spesso realizzati in ghisa) aventi varie forme anche in funzione della loro collocazione in corrispondenza delle pareti murarie di attestamento. I capichiave sono generalmente lasciati a vista, soltanto in alcuni casi (edifici di interesse storico-monumentale) vengono "nascosti" ed allocati in tasche di intaglio all'uopo realizzate nella muratura e successivamente mascherati con sovrapposizione di protesi in elementi lapidei, opere a stucco e da semplici inserti di intonaco.

La catena in acciaio è l'elemento di collegamento tra i due capichiave; essa assicura, per mezzo dell'operazione di messa in tiro (tesatura), il richiesto contrasto tra le pareti murarie collegate.

La catena deve essere dimensionata, oltre che in funzione della resistenza a trazione del materiale metallico di cui è costituita, in base ai seguenti criteri:

- essere dimensionata con una sezione trasversale rapportata alla lunghezza, che ne assicuri un'adeguata rigidità;
- essere sottoposta ad uno stato di pretensione commisurato a:
 - entità del tiro in esercizio;
 - valutazione dell'entità delle cadute di tensione nel tempo;
 - azioni locali (all'interfaccia capochiave-muratura di attestamento) compatibili con le capacità resistenti locali delle parti murarie che forniscono il contrasto.

Nel caso di edifici in muratura con più piani, le catene sono collocate in corrispondenza dei solai (orizzontamenti di piano) e posizionati al di sotto del pavimento.

Come criterio base da perseguire quando possibile ed obbligatoriamente nell'ipotesi di solai che non garantiscano adeguato contrasto all'azione di compressione (per faticanza, per carenza della dimensione, ecc.), le catene vanno posizionate (generalmente al livello dei solai) in adiacenza ai muri trasversali, sia perché essi sono in grado di contrastarne in maniera efficace il tiro, sia perché in tal modo si consegue un efficiente collegamento puntuale tra pareti ortogonali.

La disposizione più efficace è costituita da una coppia di catene gemelle (catene binate) poste in parallelo, lateralmente allo stesso muro.

I capichiavi delle catene binate sono costituiti da due paletti di estremità attestati su una serie di traverse o su piastre nervate.

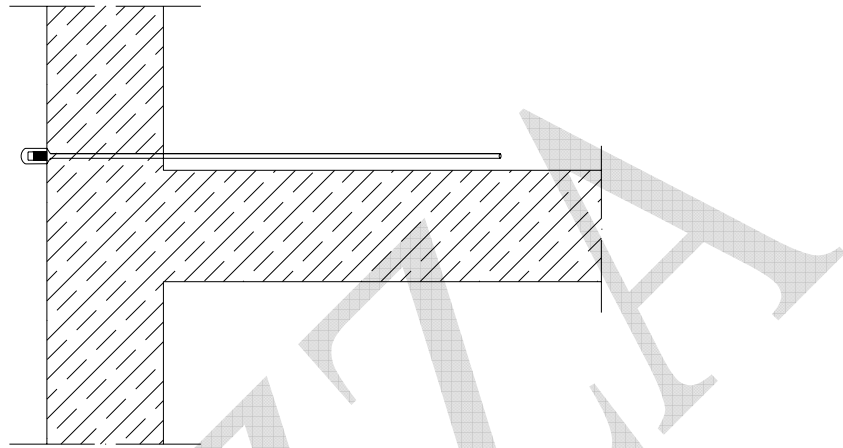


Figura 42. Vista in pianta di catena semplice aderente al muro trasversale a livello del solaio

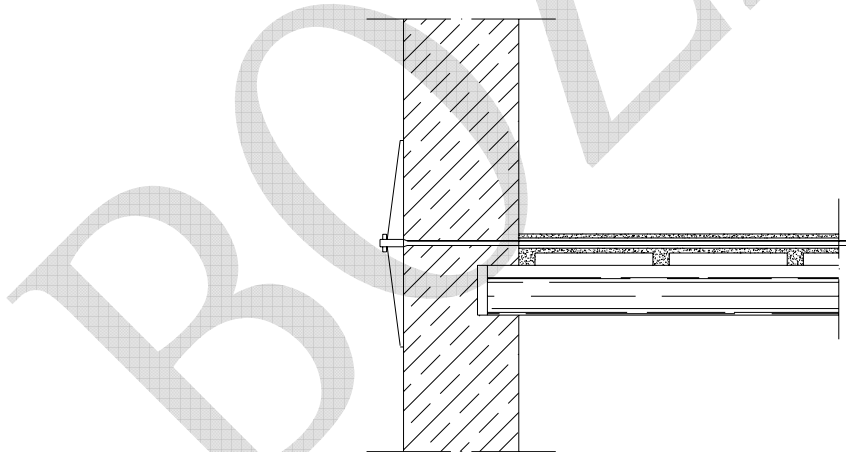


Figura 43. Vista in sezione di catena semplice aderente al muro trasversale a livello del solaio

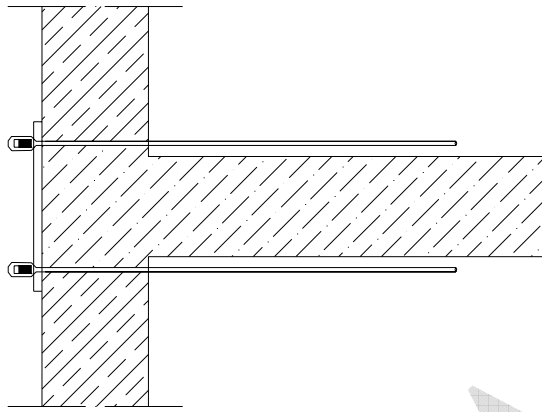


Figura 44. Vista in pianta di catena binata aderente al muro trasversale a livello del solaio

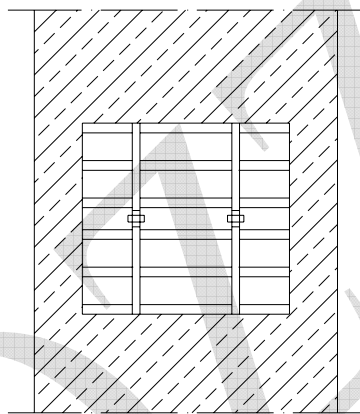


Figura 45. Vista in prospettiva di catena binata aderente al muro trasversale a livello del solaio

I capichiave di catene singole sono generalmente di tre tipi: a paletto, piastra circolare e piastra ellittica.

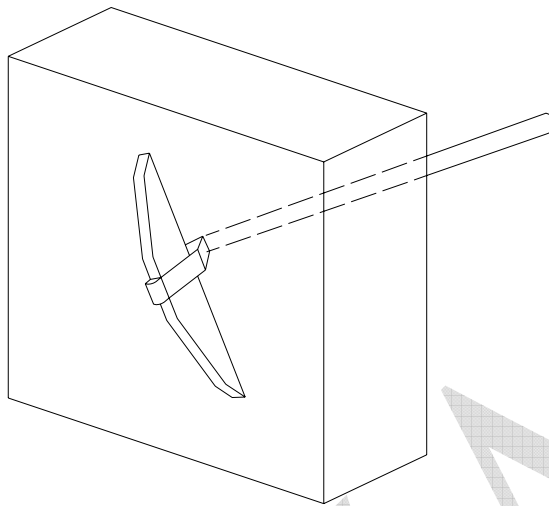


Figura 46. Schema di catena con capo chiave a paletto

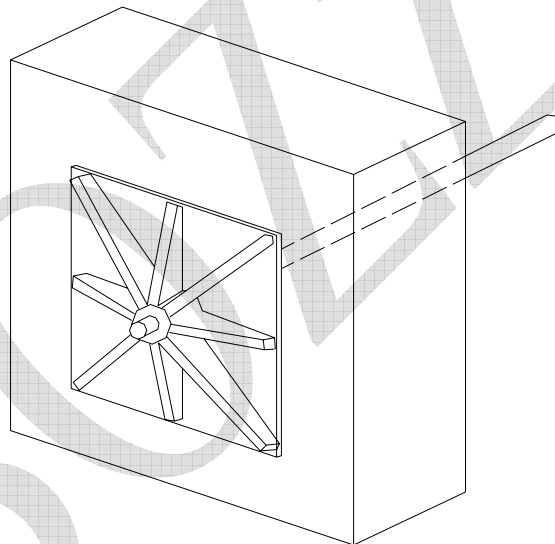


Figura 47. Schema di catena con piastra nervata

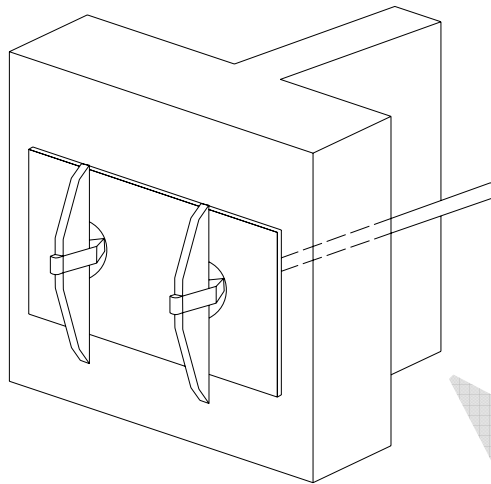


Figura 48. Schema di catena con capochiave a doppio paletto e piastra per muro di spina

I capichiave a paletto non vengono mai posti in opera in posizione verticale o orizzontale. L'orientamento dei capichiave deve essere scelto in funzione delle reazioni che possono fornire le strutture poste ad immediato contatto locale. Nel caso (tipico) di catena posta in aderenza al muro trasversale e sotto il pavimento, essa potrà ricevere l'ottimale contrasto da queste parti strutturali. A tal fine il paletto della catena trova la sua ideale collocazione con orientamento a circa 45° sulla verticale e con il braccio superiore rivolto contro il muro trasversale. Tale posizionamento del paletto impedisce di far scaricare l'azione della spinta (tiro) integralmente sul solaio ovvero (soluzione ancora peggiore) direttamente sulla parete (non muro da taglio) di alloggiamento del capochiave.

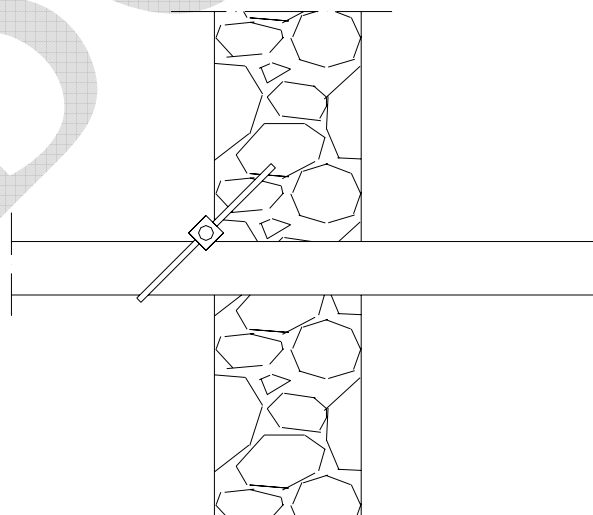


Figura 49. Capochiave a paletto: schema di disposizione corretta

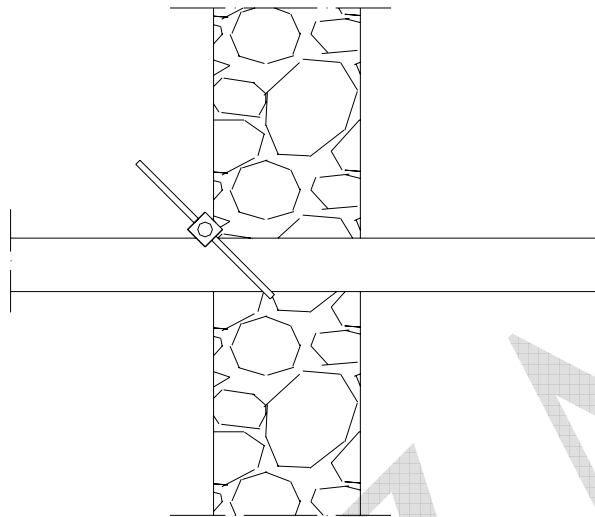


Figura 50. Capochiave a paletto: schema di disposizione errata

Il tiro delle catene può essere applicato secondo le seguenti modalità:

1. *allungamento a caldo*; secondo le seguenti fasi esecutive:
 - Posa in opera della catena e dei capichiave.
 - Verifica della rettilineità lungo lo sviluppo della catena.
 - Leggera messa in forza delle zeppe a contrasto dei capichiave.
 - Riscaldamento con idonea apparecchiatura del tratto centrale della catena fino all'allentamento delle zeppe ed al raggiungimento dell'allungamento calcolato.
 - Leggera forzatura delle zeppe a contrasto dei capichiave. Raffreddamento della catena.
2. *allungamento a freddo*. In questo caso la catena deve essere realizzata con un'estremità filettata ed il capochiave, relativo a questa estremità, deve presentare una foratura per permettere il passaggio dell'estremità filettata. Il tiro viene applicato operando l'avvitamento del dado all'estremità filettata, fino al raggiungimento dell'allungamento calcolato. In alternativa al sistema sopradetto, il tiro può essere applicato utilizzando un manicotto tenditore intermedio a doppia filettatura destra-sinistra. L'allungamento a freddo permette di conseguire i seguenti vantaggi:
 - possibilità di ristabilire nel tempo il giusto grado di tensionamento della catena (ripristino per caduta di tensione);
 - controllo del tiro con procedure esecutive più affidabili e controllate.

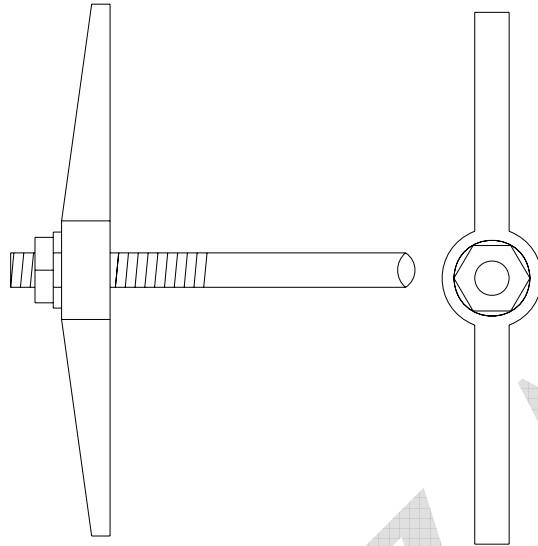


Figura 51. Catena con dado terminale e capochiave forato

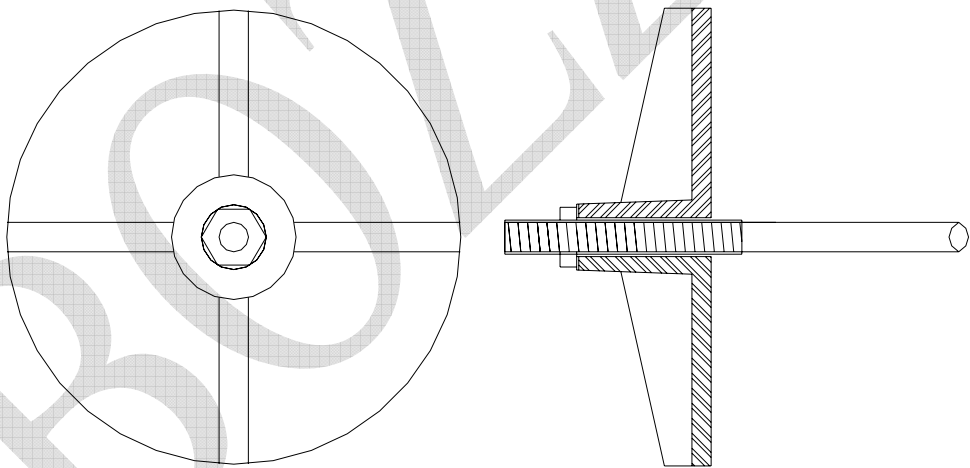


Figura 52. Capochiave circolare in ghisa fusa

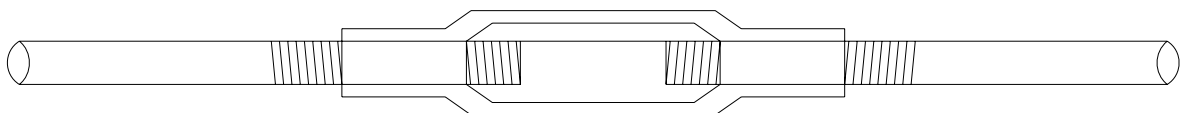


Figura 53. Catena con manicotto centrale

Il sistema con manicotto tenditore intermedio, inoltre, offre la possibilità di porre in opera una catena formata da due pezzi successivamente collegati dal tenditore e, quindi, di più agevole collocamento nel caso di sviluppo lineare esteso.

I tiranti in acciaio ad alto limite elastico presollecitati, possono essere realizzati con :

- barre in acciaio speciale per c.a.p.;
- trefoli, o cavi in acciaio armonico.

Il posizionamento dei tiranti segue le stesse regole indicate per le catene.

Per la posa dei tiranti si seguiranno le seguenti prescrizioni operative:

- i fori passanti saranno eseguiti con trapani a rotazione onde evitare sconessioni nella tessitura delle pareti murarie attraversate;
- l'area di appoggio delle piastre dovrà essere accuratamente preparata assicurandone un'andamento regolare e planare con letto di malta cementizia di idonee prestazioni meccaniche;
- il tirante sarà posto in trazione solo a malta indurita;
- i tiranti dovranno essere protetti dagli agenti atmosferici.

Il collegamento fra le murature può essere attuato con disposizione dei tiranti orizzontali, verticali o comunque inclinati, fissati alle estremità con opportuni dispositivi di ancoraggio. Le piastre di contrasto e di ancoraggio dei cavi possono avere forme e dimensioni diverse: ortogonali al tirante, inclinate rispetto a questo, a bloccaggio singolo o pluricavo.

Sarebbe in generale opportuno non indebolire la muratura per l'occultamento delle tirantature orizzontali, ad esempio inserendole nel massetto del pavimento del solaio o in aderenza alla muratura. In alternativa si possono inserire le barre o i trefoli in scanalature correnti di minima entità lungo le murature. È in generale da evitare l'esecuzione di fori passanti in asse alla muratura attraverso l'intero sviluppo delle pareti ed inserimento delle barre o dei trefoli. Molto spesso, infatti, le murature da rinforzare sono a doppio paramento e l'esecuzione del foro in asse indebolisce il legame tra i due paramenti e la compressione indotta dal tirante non fa che accentuare l'instabilità dell'apparecchio murario. A questo proposito occorre sottolineare come lo stato di precompressione indotto nelle murature vada attentamente calibrato in relazione alle caratteristiche e allo stato dell'apparecchio murario. La precompressione può essere utile in quanto previene la fessurazione nella muratura interessata ed il distacco delle pareti ortogonali collegate, che potrebbe avvenire altrimenti anche per

terremoti di medio-bassa intensità, ma può risultare dannosa in caso di murature a doppio paramento e/o con scarse proprietà meccaniche. Se eccessiva potrebbe infatti favorire il reciproco distacco e l'instabilizzazione dei paramenti e/o facilitare la disgregazione e lo sfaldamento dell'apparecchio murario.

Ove necessario si può provvedere all'alloggiamento delle piastre con bloccaggio del tipo occultato, provvedendo alla formazione del piano di appoggio per raggiungere la completa aderenza delle piastre alla muratura e, quindi, procedere alla tesatura dei cavi o delle barre mediante martinetti idraulici o chiave dinamometrica.

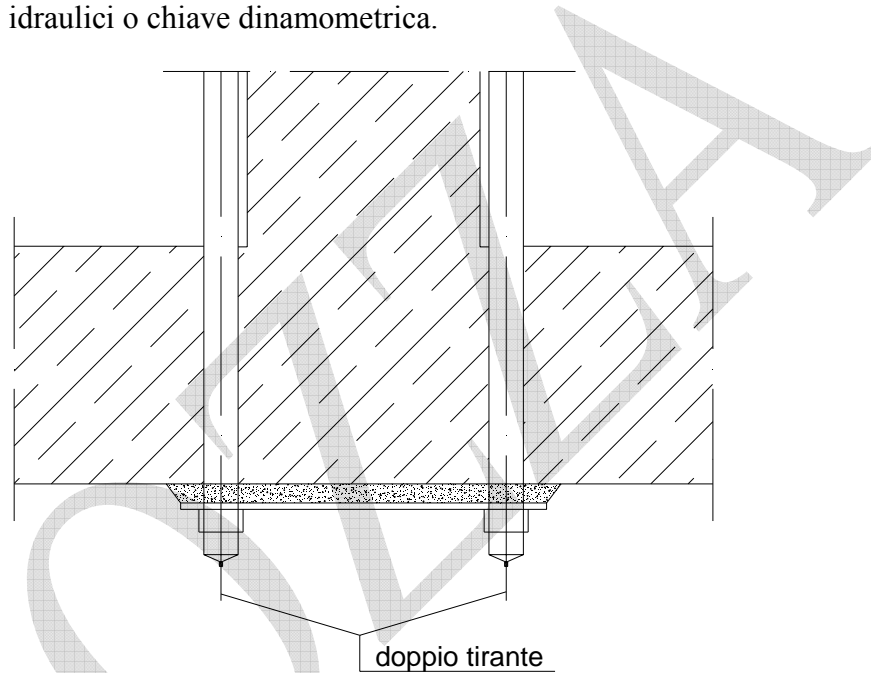


Figura 54. Vista in pianta di doppio tirante

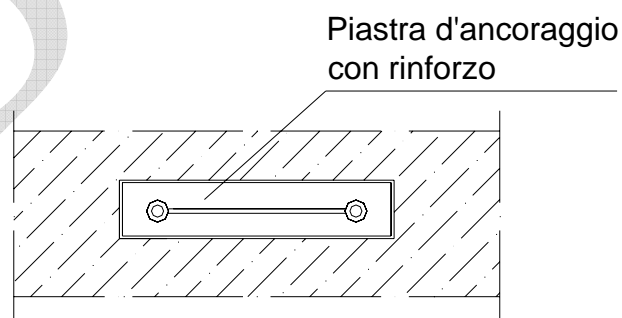


Figura 55. Vista in prospettiva di doppio tirante

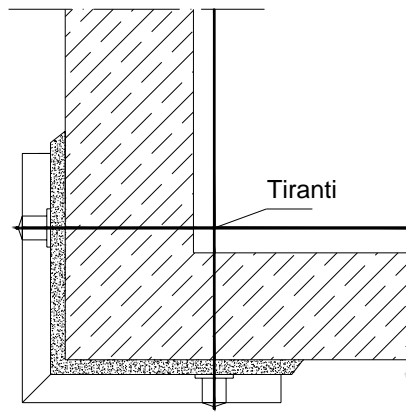


Figura 56. Vista in pianta di doppio tirante d'angolo

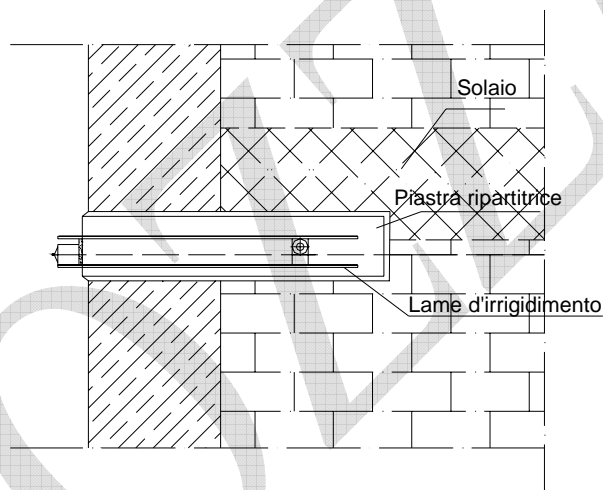


Figura 57. Vista in prospettiva di doppio tirante d'angolo

Per collegamenti con tirantature verticali, diagonali e comunque inclinate, il procedimento applicativo può essere realizzato con le seguenti operazioni :

- formazione di fori passanti attraverso le murature con attrezzatura a rotazione e acqua a pressione; nel caso di murature dissestate, si deve prevedere una preventiva campagna di iniezione di preconsolidamento;
- inserimento delle barre o dei trefoli;
- iniezione in pressione per formazione del bulbo di ancoraggio;
- messa in opera della piastra di ancoraggio e contrasto, dotata del dispositivo di bloccaggio;
- tesatura, solitamente in due fasi, dei tiranti.

3.2.1.2. *Intervento di collegamento di solai in legno alle pareti in muratura*

E' possibile, in generale, considerare i solai come elementi strutturali atti a conseguire il richiesto mutuo incatenamento delle pareti murarie; tale soluzione strutturale è stata ampiamente utilizzata anche dagli antichi costruttori.

Con tale tecnica si utilizzano le travi in legno e/o metalliche costituenti gli elementi portanti degli orizzontamenti di piano (solai) e relativi sistemi (regge) di ancoraggio alle pareti murarie: esse si vincolano per mezzo della posa in opera di chiavarde, capichiave, ancoraggi di ammorsamento, alle murature portanti parallele all'orditura ed alle murature di vincolo ortogonali all'orditura, contribuendo a solidarizzare mutuamente l'impianto murario portante verticale complessivo costituito dai muri perimetrali e/o di spina su cui sono impostati gli orizzontamenti.

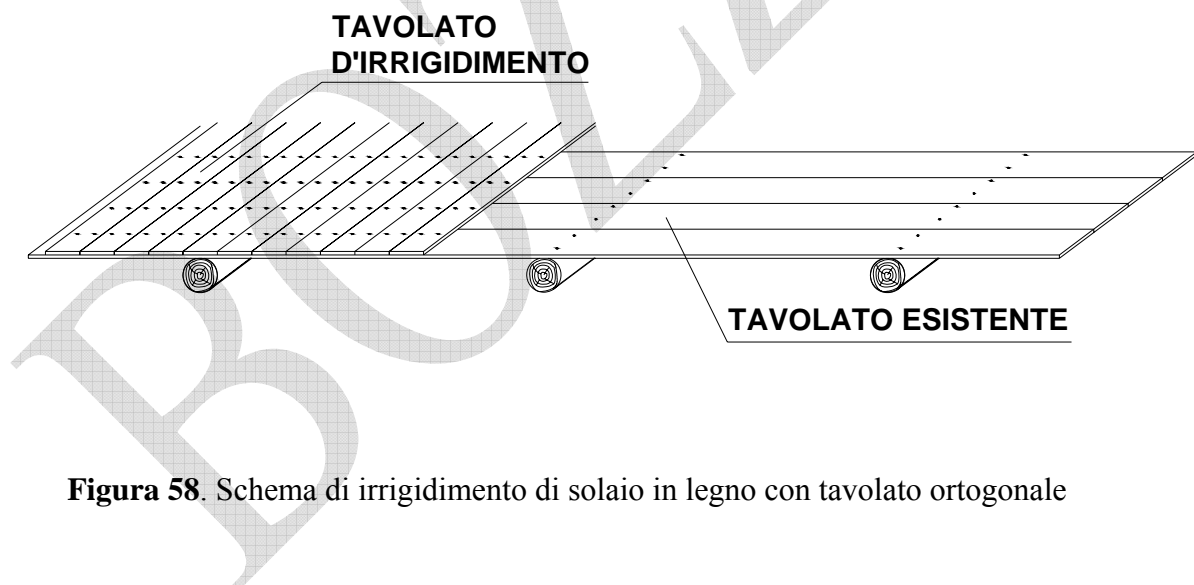


Figura 58. Schema di irrigidimento di solaio in legno con tavolato ortogonale

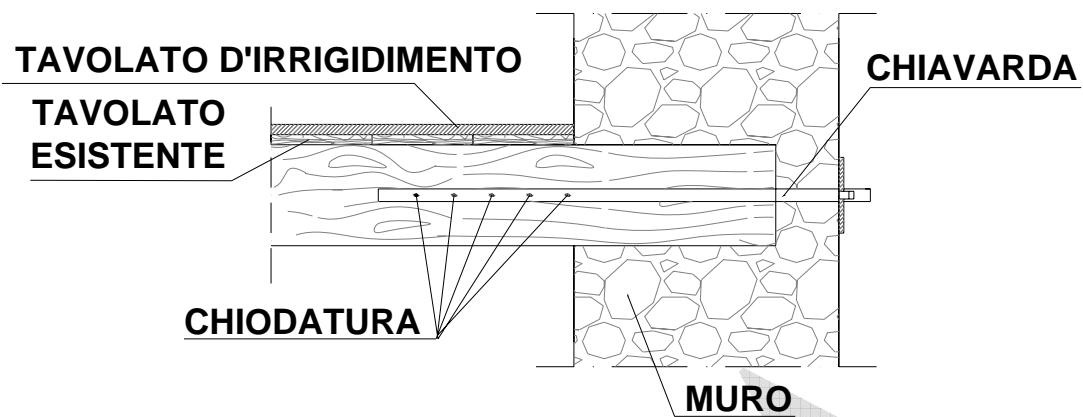


Figura 59. Schema di irrigidimento di solaio in legno con tavolato ortogonale e collegamento trave-muro

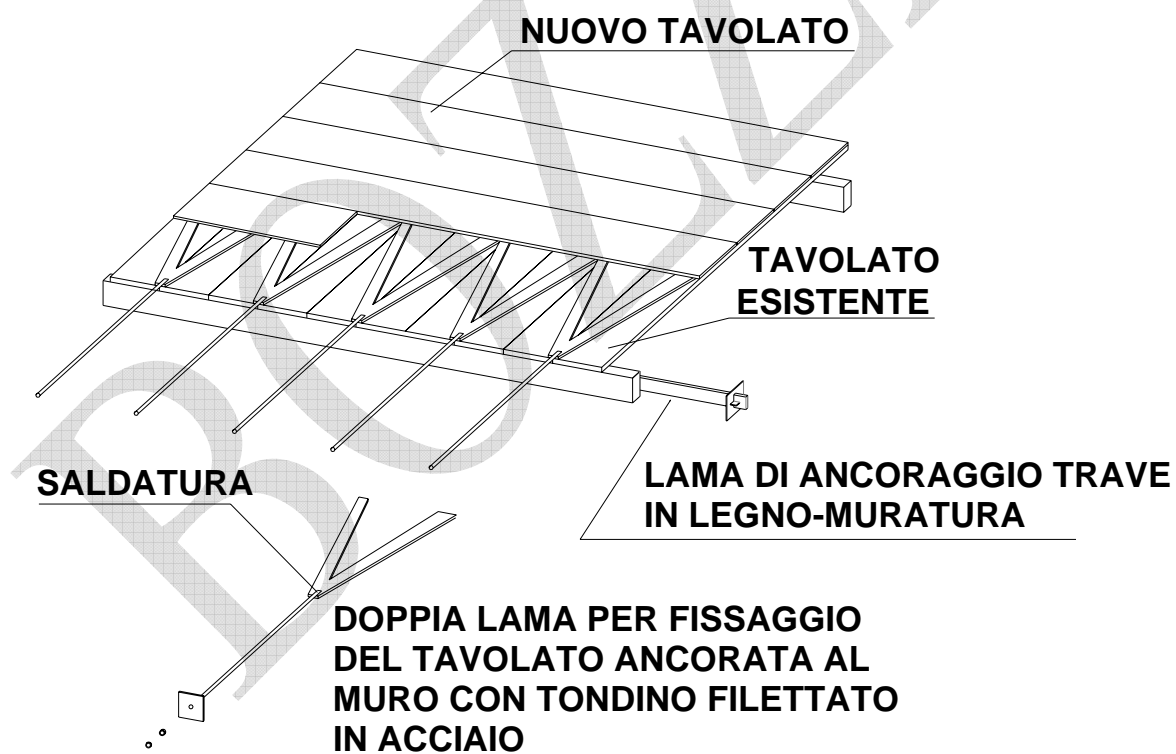


Figura 60. Schema di rinforzo di solaio in legno con doppio tavolato e lame metalliche

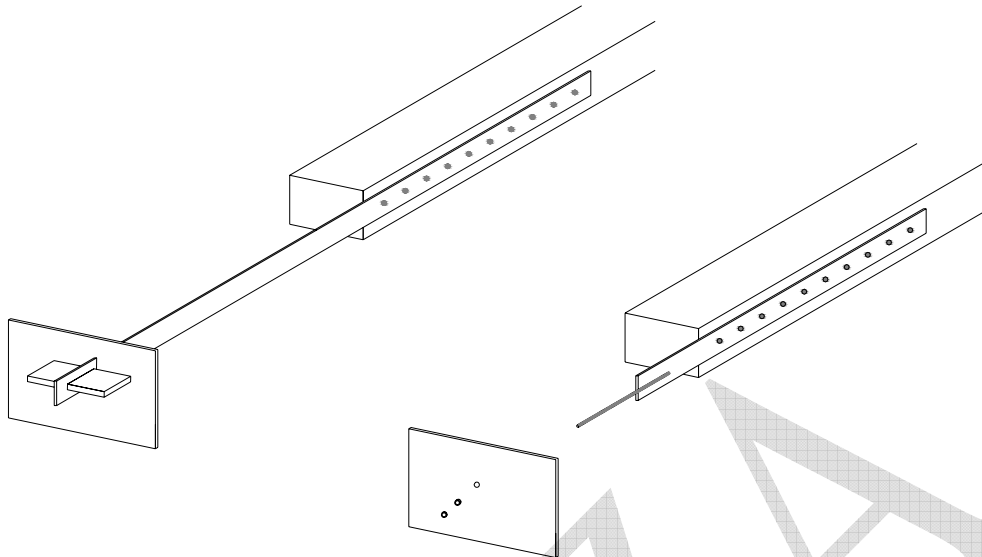


Figura 61. Vista assonometrica di particolare di lama di ancoraggio di trave in legno con muratura

Più recentemente tale tecnica è stata sviluppata anche con utilizzo di tecnologie e materiali innovativi con l'adozione di ancoraggi (fiocchi) realizzati in materiali compositi (fibre in carbonio, fibre metalliche ad elevata resistenza meccanica) adesi con matrici epossidiche alle travi lignee e risvoltati con formazione di testa di contrasto sulla superficie esterna della parete muraria attraversata per l'imperniazione.

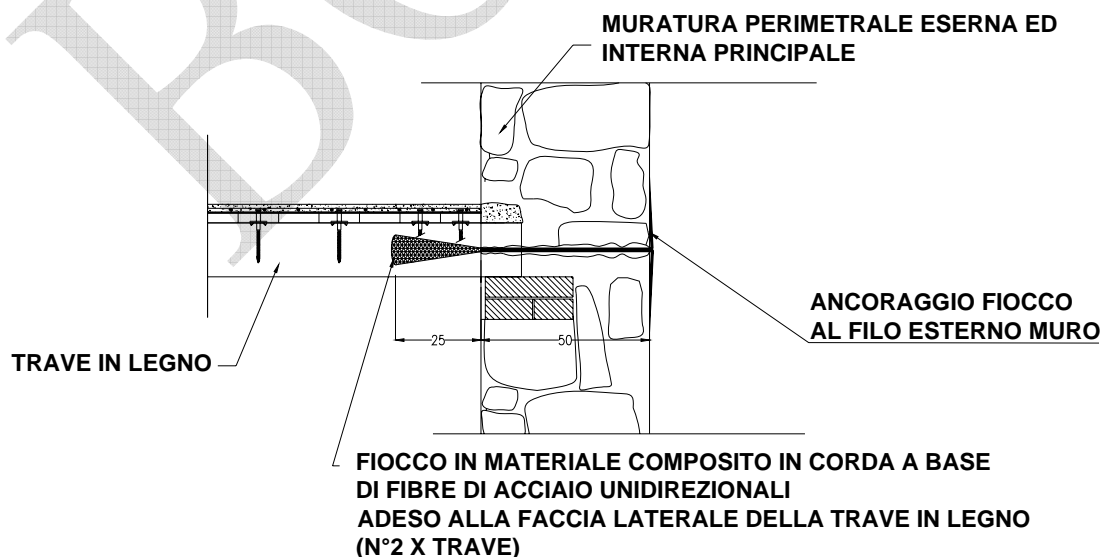


Figura 62. Ancoraggio laterale: soluzione con fiocco in fibra metallica passante

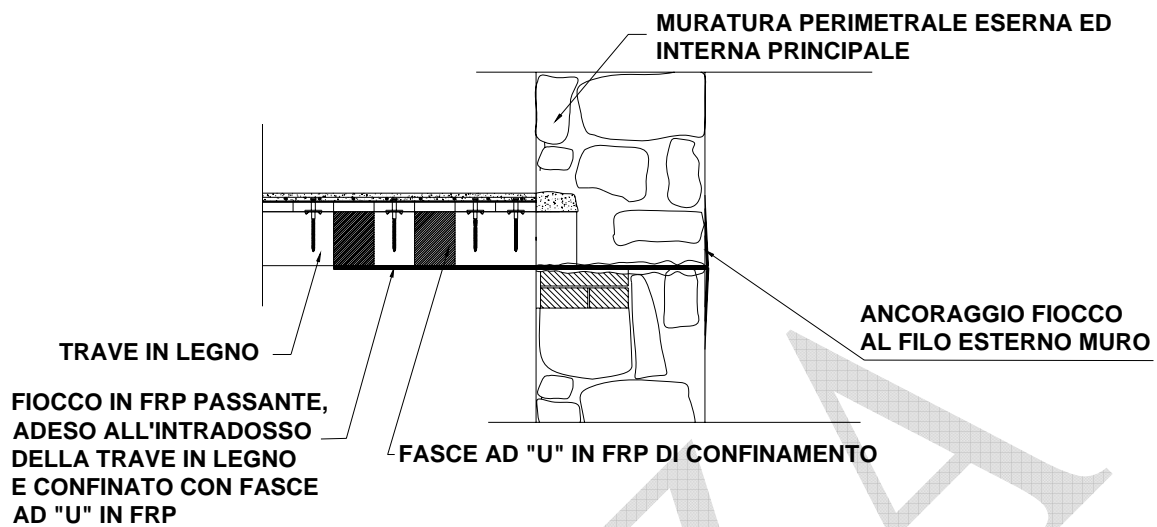


Figura 63. Ancoraggio laterale: soluzione con fiocco in fibra di carbonio passante

La possibilità di utilizzare i solai, opportunamente ancorati alle murature, come elementi utili anche a svolgere la funzione aggiuntiva di incatenamento delle pareti murarie, deve essere valutata attentamente anche in funzione della qualità muraria delle pareti di ancoraggio, dello stato conservativo delle stesse travi portanti e dell'effettiva capacità degli orizzontamenti (solai) di restituire un comportamento a diaframmi rigidi nel proprio piano.

Nel caso un'accurata indagine preventiva (saggi) rivelasse un deficit delle qualità richieste, si procederà all'esecuzione propedeutica delle opere di preconsolidamento delle murature (sostruzione muraria nella zona di attestamento, iniezioni, ecc.), di consolidamento dei solai atte a garantire l'efficienza prestazionale delle travi (protesi, sostituzione parziale di elementi compromessi, ecc.) e la restituzione del comportamento statico richiesto (diaframma rigido).

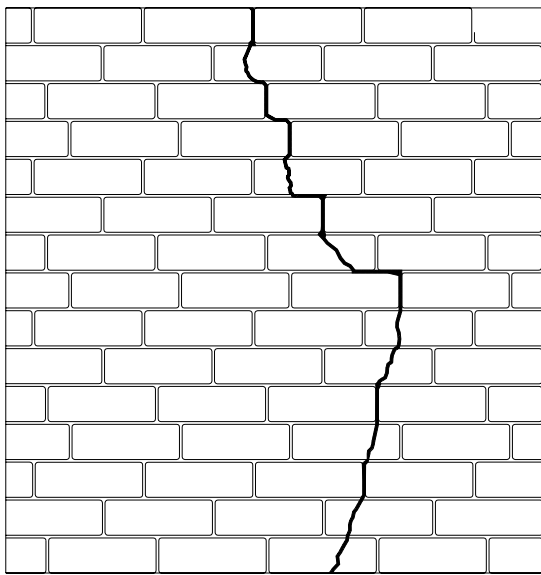
In alternativa è sempre preferibile adottare le altre soluzioni tecniche proposte per gli incatenamenti (cfr.: catene, tiranti).

3.2.2. Intervento di scuci e cuci

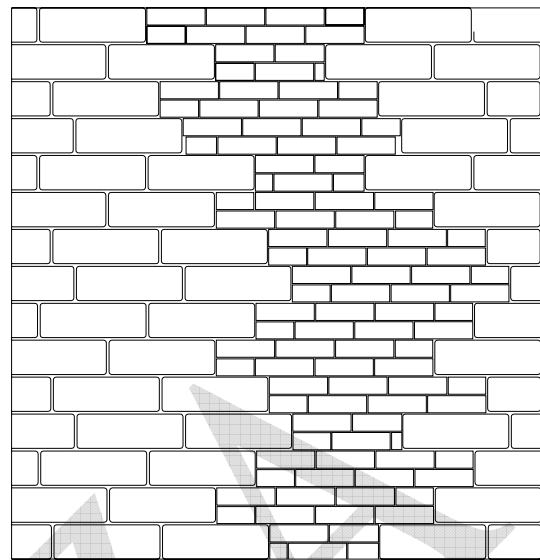
L'intervento di consolidamento sostitutivo locale, denominato “*scuci e cuci*”, consiste in una demolizione locale di parti di tessitura muraria e successiva ricostruzione. E' un'operazione delicata da eseguire con la massima cautela evitando colpi e vibrazioni durante la fase di demolizione e provvedendo alle eventuali opere di presidio.



Figura 64. Paramento murario danneggiato su cui verrà realizzato intervento di scuci e cuci



(a)



(b)

Figura 65. Paramento murario oggetto di intervento di scuci e cuci: a) prima dell'intervento; b) dopo l'intervento

3.2.3. Lavorazioni esecutive per intervento di scuci e cuci

1) Operare la rimozione (scucitura) della parte di muratura (pietrame e/o laterizi) localmente degradata e/o lesionata, ivi compresa la malta di allettamento originaria e tutto quanto possa compromettere le successive lavorazioni, utilizzando mezzi esclusivamente manuali senza l'utilizzo di utensili meccanici.



2) Procedere al lavaggio del paramento murario con utilizzo di acqua spruzzata a bassa pressione.

3) Ricostruzione (cucitura) dei conci murari precedentemente rimossi e sostituzione (sostruzione) degli stessi utilizzando mattoni pieni allettati con malta di caratteristiche fisico-meccaniche simili alla preesistente, realizzata con un legante esente da cemento a base di eco-

pozzolana e inerti selezionati. Il legante dovrà essere esente da sali idrosolubili. I mattoni pieni saranno ammorsati (da entrambi i lati) alla vecchia muratura, avendo cura di lasciare tra la muratura nuova e la vecchia, lo spazio per l'inserimento forzato di appositi cunei.



L'operazione viene eseguita partendo dal basso e procedendo verso l'alto.

Per contenere gli effetti delle deformazioni di riassetto, sia per il ritiro della malta che per l'entrata progressiva in carico, è opportuno seguire particolari accorgimenti nella ricostruzione a “*scuci e cuci*”:

- usare malta di piccolo spessore tra i mattoni, al fine di ridurre la diminuzione di volume per effetto del rassetto e del successivo ritiro della malta;
- mettere in forza progressivamente le parti già ricostruite del muro, con cunei o spezzoni di mattoni duri, i cosiddetti “*biscotti*”, in modo da poter compensare in parte il rassetto dovuto al ritiro della malta ed alla compressione che gradualmente si induce;
- ove si ravvisi l'opportunità di impiegare opere provvisoriale, si raccomanda un loro utilizzo in forma parzialmente attiva, mettendo, cioè, in forza le puntellature con dispositivi vari utilizzando i semplici cunei di legno martellati, elementi metallici filettati e martinetti meccanici o oleodinamici. In tal modo si garantisce il trasferimento alla puntellatura di parte del carico sopportato inizialmente dal cuneo; il carico verrà restituito al muro dopo la rimozione della puntellatura.



BOVIA

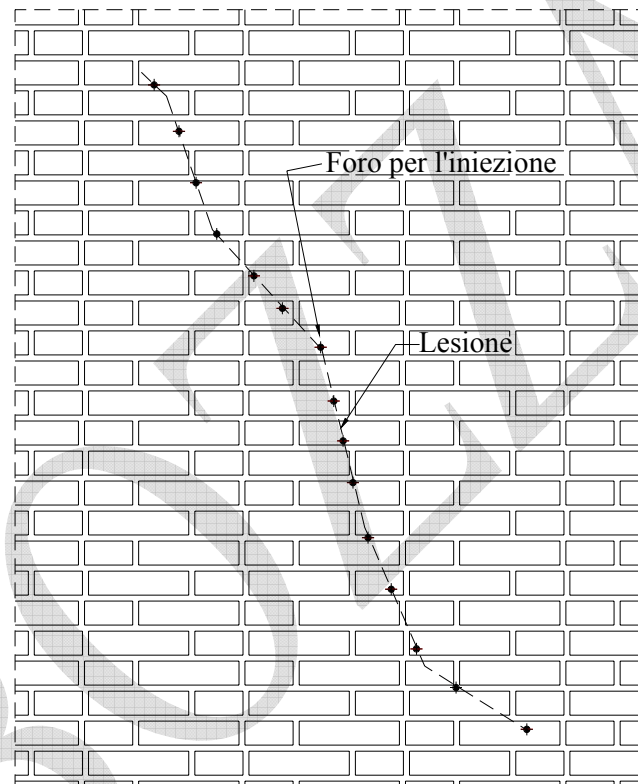
3.2.4. Intervento di sarcitura delle lesioni

L'intervento si articola nelle seguenti due fasi:

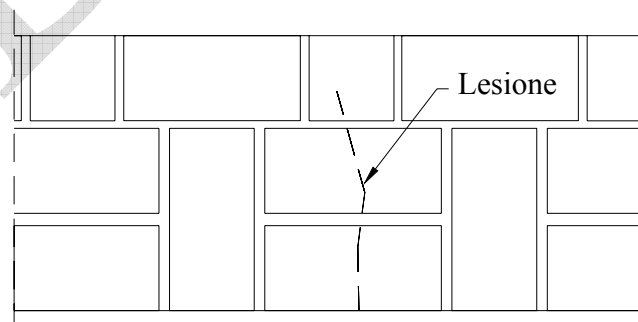
- 1) iniezione della lesione;
- 2) applicazione di rete di rinforzo.

Esse vengono distintamente descritte di seguito.

3.2.4.1. Iniezione della lesione



(a)



(b)

Figura 66. Iniezione della lesione: a) vista prospettica; b) vista in sezione trasversale

3.2.4.2. Lavorazioni esecutive per intervento di iniezione delle lesioni

- 1) Rimozione dell'intonaco e messa a nudo della superficie muraria a cavallo della zona di intervento (fascia di circa 50-60 cm). Scarnitura ed apertura della lesione. Pulizia della superficie.
- 2) Scelta preventiva dei punti per le iniezioni in base al tipo di struttura muraria (tipologia muraria) ed in base alla severità dell'eventuale quadro fessurativo. I punti saranno posti mediamente ad interasse di circa 20-30 cm. Predisporre le perforazioni in modo regolare lungo l'intero sviluppo lineare della lesione (Vedi Particolare). Nelle murature di pietrame, le perforazioni si eseguono in corrispondenza dei ricorsi di malta.
- 3) Esecuzione delle perforazioni secondo lo schema prescelto con utilizzo di utensile meccanico non battente. Realizzare i fori del diametro di 32 mm perpendicolarmente alla superficie o leggermente inclinati.
- 4) Pulizia dei fori con aria compressa.
- 5) Sigillatura dei giunti tra i mattoni, pietre, fessure e discontinuità che portebbero alla fuoriuscita della boiaccia iniettata, con malta da risanamento con caratteristiche fisico-meccaniche simili alla preesistente, realizzata con un legante esente da cemento a base di eco-pozzolana e inerti selezionati. Il legante dovrà essere esente da sali idrosolubili.
- 6) Posizionamento degli ugelli o boccagli di iniezione in plastica flessibile Ø 20 mm in corrispondenza dei fori da iniettare, per una profondità di almeno 10-15 cm, sigillandoli con malta di caratteristiche fisico-meccaniche simili a quanto riportato al punto 5). Tali tubicini andranno rimossi ad iniezione effettuata.
- 7) Saturazione della struttura interna della muratura con acqua, iniettandola tramite i tubi d'iniezione già predisposti. Si procede al lavaggio attraverso l'introduzione di acqua nei perfori in modo da eliminare le polveri e saturare i materiali originari che tenderebbero a disidratare la miscela di iniezione. In tal modo si può anche verificare l'esistenza di lesioni e/o fratture nascoste grazie alla fuoriuscita di acqua. Tale operazione deve essere eseguita almeno 24 ore prima di effettuare le iniezioni di consolidamento.
- 8) Preparazione della boiaccia di iniezione.
- 9) Procedendo dal basso verso l'alto, si inietta la miscela di iniezione (boiaccia) a bassa pressione (minore di 2 atm) per evitare la formazione di pressioni all'interno della massa muraria e le conseguenti coazioni con le cortine murarie esterne.

La boiaccia sarà realizzata con un un legante premiscelato idraulico fillerizzato esente da cemento a base di eco-pozzolana e inerti selezionati. Il legante utilizzato per la miscela da iniezione (boiaccia) dovrà essere esente da sali idrosolubili (non deve interagire negativamente con gli eventuali sali solfatici preesistenti nelle strutture da consolidare, né deve apportare componenti alcalini - sodio, potassio - capaci di innescare pericolosi fenomeni espansivi con gli elementi lapidei alcali-reattivi) ed avere stabilità dimensionale raggiunta in tempi brevi.

La miscela da iniezione (boiaccia) dovrà essere formulata in guisa da presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata fluidità con basso rapporto acqua/legante;
- caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche comparabili a quelle della struttura muraria, permettendo un comportamento strutturale omogeneo ed isotropo della muratura risanata;
- basso tenore di sali idrosolubili;
- alta traspirabilità;
- elevato potere di penetrazione con conseguente saturazione di piccole fessure o cavità;
- assenza di segregazione nell'impasto durante l'iniezione;
- compatibilità chimica con i materiali utilizzati negli edifici storici;
- ridotto ritiro idraulico.

L'iniezione della boiaccia deve essere effettuata con particolari pompe per boiacche, tipo Clivio manuali o automatiche (pressione minore di 2 atm).

Se l'operazione dovesse essere eseguita manualmente, iniettare il prodotto con siringhe ad ago di adeguato diametro e capienza.

La pressione si deve mantenere costante fino a quando la miscela non fuoriesce dai fori adiacenti.

L'iniezione deve essere eseguita partendo dal tubicino iniettore posto più in basso.

Si chiudono, quindi, i fori con cunei di legno o di sughero e si prosegue il consolidamento rispettando il previsto piano di lavoro.

10) Dopo l'indurimento della miscela, si asportano gli ugelli e si sigillano le sedi con malta di caratteristiche fisico-meccaniche simili a quanto riportato al punto 5).

Nota:

Nel caso di lesione passante per l'intero spessore della parete muraria, in funzione dello spessore della parete, dello sviluppo e della gravità della lesione in corrispondenza delle facce contrapposte, si seguiranno le seguenti indicazioni:

- lesione passante con similare andamento (forma e sviluppo lineare) su entrambe le facce della parete, di gravità modesta e spessore della parete ≤ 60 cm: le lavorazioni di cui ai precedenti punti 1) e 5) saranno eseguite anche in corrispondenza della faccia meno danneggiata (a parità di danno, sulla faccia interna), mentre le lavorazioni di cui ai precedenti punti da 1) a 10) saranno eseguite in corrispondenza della faccia maggiormente danneggiata (a parità di danno, sulla faccia esterna);
- lesione passante su entrambe le facce della parete, con dissimile andamento (forma e sviluppo lineare) sulle due facce della parete, e/o di gravità severa e/o spessore della parete ≥ 60 cm: le lavorazioni di cui ai precedenti punti da 1) a 10) saranno eseguite in corrispondenza di entrambe le facce danneggiate.

3.2.4.3. Applicazione di rete di rinforzo

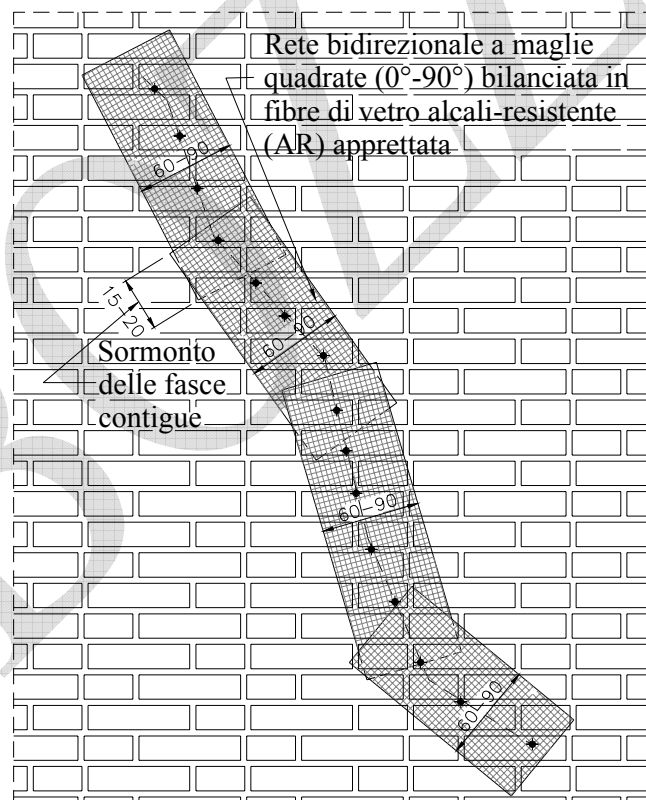


Figura 67. Applicazione di rete di rinforzo: vista prospettica

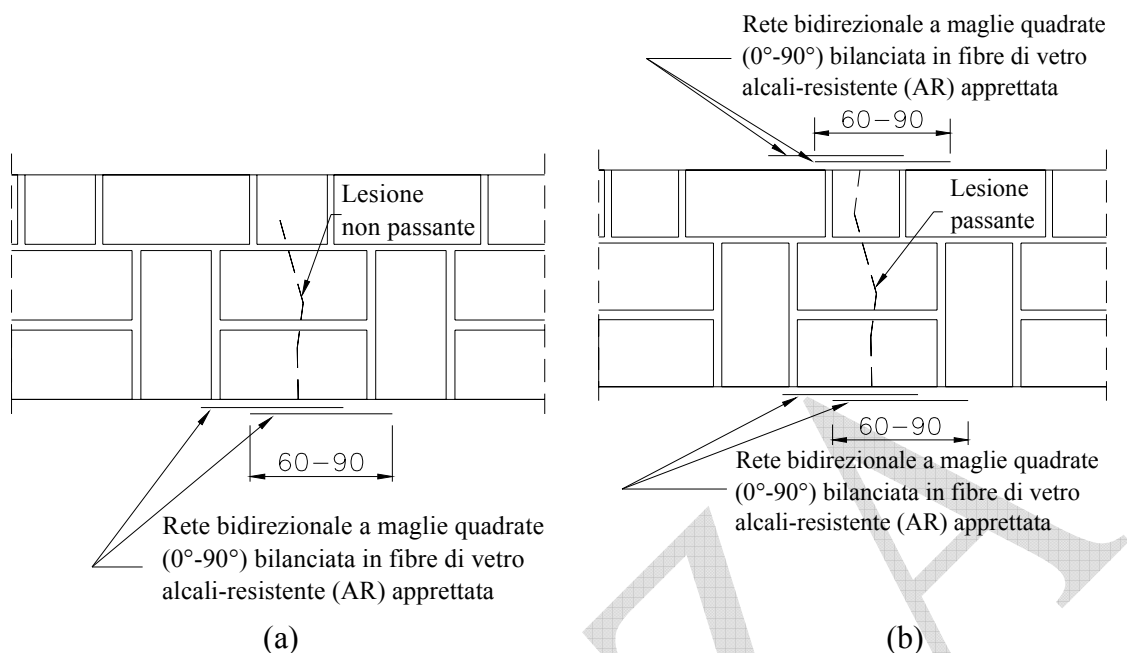


Figura 68. Applicazione di rete di rinforzo: vista in sezione trasversale nel caso di a) lesione non passante; b) lesione passante

Il rinforzo è costituito da rete (griglia) a maglie quadrate bilanciata (0°, 90°) in fibra di vetro alcali-resistente tipo AR apprettata; essa viene messa in opera mediante l'utilizzo di una matrice (malta) a base calce, a reattività pozzolanica, bicomponente, ad elevata duttilità, rinforzata con l'aggiunta di fibre di vetro. Tale matrice è specificamente da utilizzarsi per le strutture in muratura non recenti (storiche) per ottenere caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche comparabili a quelle della struttura muraria originaria. Essa permette un comportamento strutturale omogeneo ed isotropo della muratura risanata, evitando il rilascio di sali idrosolubili capaci di innescare pericolosi fenomeni espansivi con gli elementi lapidei originali alcali-reattivi.

3.2.4.4. Lavorazioni esecutive per intervento di applicazione di rete di rinforzo

La procedura di applicazione del rinforzo è articolata nelle seguenti fasi:

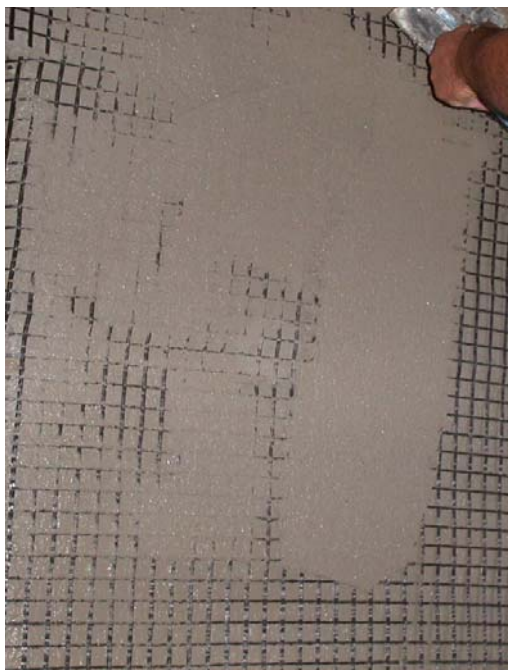
1) Preparazione locale della parete in muratura: esecuzione di lavaggio accurato della superficie muraria con getto di acqua per eliminare polveri ed eventuali detriti, per una fascia larga circa 100 cm a cavallo della lesione. La muratura, in corrispondenza della zona di intervento, deve essere bagnata con supporto portato a saturazione a superficie asciutta, per evitare la sottrazione del lattice alla matrice del sistema di rinforzo da parte delle pietre, pregiudicandone la corretta presa.

2) Preparazione della matrice (malta) e predisposizione della rete (griglia) a maglie quadrate bilanciata (0°, 90°) in fibra di vetro alcali-resistente tipo AR apprettata: durante la preparazione della matrice (malta), la polvere viene additivata con il lattice che ne migliora l'adesione al supporto. Contemporaneamente vengono tagliate (cutter, forbici) e predisposte a piè d'opera, le reti delle dimensioni opportune.



3) Esecuzione delle fasce di rinforzo: in corrispondenza della superficie muraria, per una fascia larga circa 70-100 cm a cavallo della lesione, viene applicato con spatola metallica piana, un primo strato uniforme di malta fino a realizzare uno spessore minimo di 4 mm. Se la superficie muraria di supporto, presenta sensibili irregolarità da pareggiare con un livellamento anche di alcuni centimetri, applicare la malta in più strati, ciascuno di spessore \leq 6 mm, in sequenza “a fresco” fino al raggiungimento dello spessore richiesto. In alternativa utilizzare lo stesso tipo di malta con carica di inerti fini formulata per applicazioni fino a 25 cm per mano. Sullo strato di malta ancora “fresco”, viene posizionata la rete, esercitando una leggera pressione con una spatola metallica piana in modo da farla aderire perfettamente alla malta applicata.



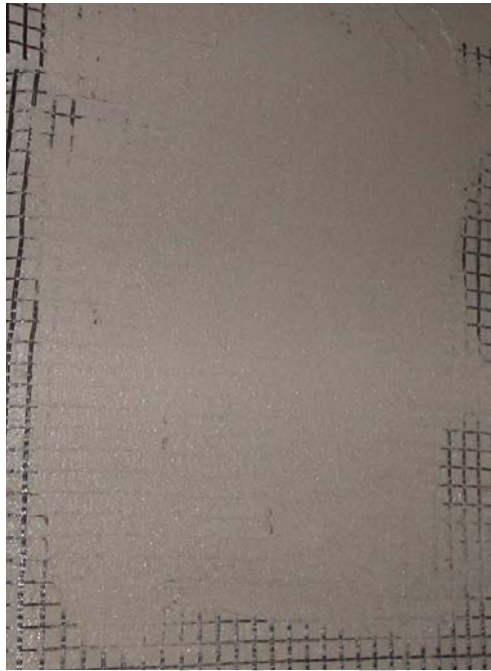


Applicazione “*a fresco*”, con spatola metallica piana, del secondo strato uniforme di malta a completa ricopertura della rete, fino a realizzare uno spessore di circa 4 mm.



Lisciatura della superficie “fresca” con spatola piana.





Il rinforzo presenta al finito complessivamente lo spessore di circa 8 mm e 10 mm (nel caso di superficie muraria di supporto regolare).



Per ricoprire la lesione in ogni sua parte dello sviluppo lineare ed adattarsi al relativo andamento, la rete di rinforzo può essere applicata in forma di segmenti sequenziali a forma di “spezzata” (Vedi Particolare) avendo cura di assicurare nelle zone di sovrapposizione dei segmenti contigui, un sormonto $\geq 15-20$ cm.

Nota:

Nel caso di lesione passante per l'intero spessore della parete muraria, la fascia di rinforzo locale in materiale composito sarà, in ogni caso, realizzata su entrambe le facce della parete secondo la procedura applicativa di cui ai precedenti punti 1), 2) e 3).

Nel caso di murature di edifici realizzati in epoca recente, l'intervento può essere realizzato con le stesse modalità e fasi realizzative di cui ai precedenti punti, utilizzando in alternativa una matrice (malta) cementizia, a reattività pozzolanica, bicomponente, ad elevata duttilità, rinforzata con l'aggiunta di fibre di vetro.

La procedura applicativa illustrata può essere utilizzata anche nel caso di sarcitura di lesioni presenti in corrispondenza dell'intradosso di elementi murari voltati (volte, archi), in quanto il sistema di rinforzo prevede l'utilizzo di matrici (malte) tissotropiche.





3.2.5. Intervento di ristilatura dei giunti

L'intervento è previsto nell'ipotesi di erosione del giunto con perdita della funzione legante superficiale della malta legante originaria ed in presenza di materiale lapideo murario originario in buono stato di conservazione. L'intervento di ripristino e consolidamento è di tipo esclusivamente superficiale.

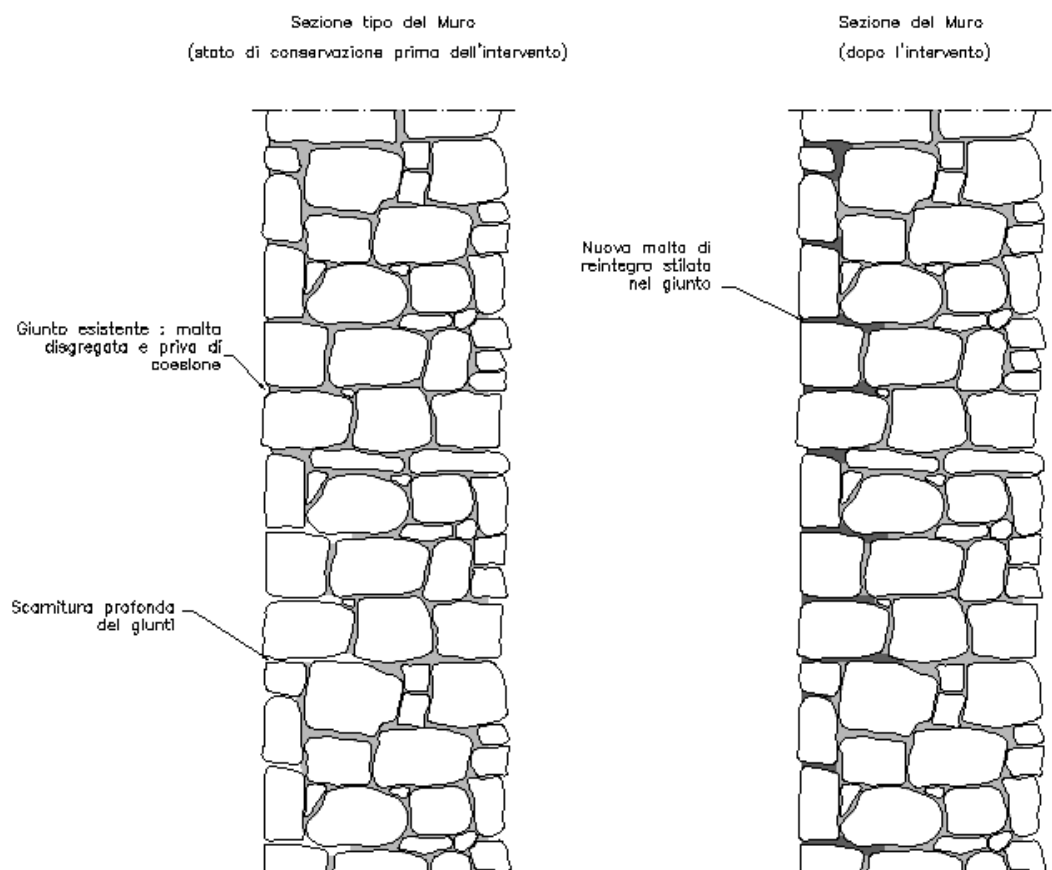


Figura 69. Intervento di ristilatura profonda dei giunti

3.2.5.1. Lavorazioni esecutive per intervento di ristilatura dei giunti

1) Operare una profonda scarnitura dei giunti murari con mezzi manuali utilizzando esclusivamente raschietti. Evitare l'utilizzo di apparecchiature meccaniche o scalpellature.



2) Procedere al lavaggio del paramento murario con utilizzo di acqua spruzzata a bassa pressione.



3) Eseguire la ristilatura profonda dei giunti con malta di caratteristiche fisico-meccaniche simili alla preesistente, realizzata con un legante esente da cemento a base di eco-pozzolana e inerti selezionati. Il legante dovrà essere esente da sali idrosolubili.





Nel caso di accertata presenza di lacune (non superficialmente apparenti) nella tessitura all'interno del corpo della muratura, l'intervento illustrato è propedeutico all'esecuzione di consolidamento con iniezioni.



BOWLING

3.3. Interventi di rafforzamento locale per carichi verticali

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

In questa sezione si esaminano alcuni interventi tipo di rafforzamento locale per travi e solai in c.a., limitandosi ad analizzare possibili soluzioni basate sull'utilizzo di incollaggio di lastre e/o incamiciature in acciaio ovvero di placcatura e fasciatura con materiali compositi fibrorinforzati costituiti da fibre di carbonio di elevate prestazioni meccaniche immerse in matrici polimeriche (CFRP). 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; in particolare per i materiali compositi, il progettista può riferirsi alle Istruzioni CNR-DT200 ed alle Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

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

Tale rinforzo può essere realizzato, mediante materiali compositi (CFRP), disponendo tessuti unidirezionali o lamine pultruse in fibra di carbonio adesi all'intradosso dell'elemento strutturale (vedi Figura 70 e Figura 72); se sulla stessa trave è previsto anche un rinforzo a taglio, esso potrà essere utilizzato anche come ancoraggio d'estremità del rinforzo a flessione (vedi Figura 71 e Figura 72). In alternativa, se il rinforzo è realizzato mediante incamiciatura di acciaio (beton-plaquè), si può disporre all'intradosso dell'elemento una lastra metallica di opportuno spessore (tipicamente 4-8 mm), fissata al supporto in c.a. con ancoraggi meccanici (vedi Figura 73 e Figura 74).

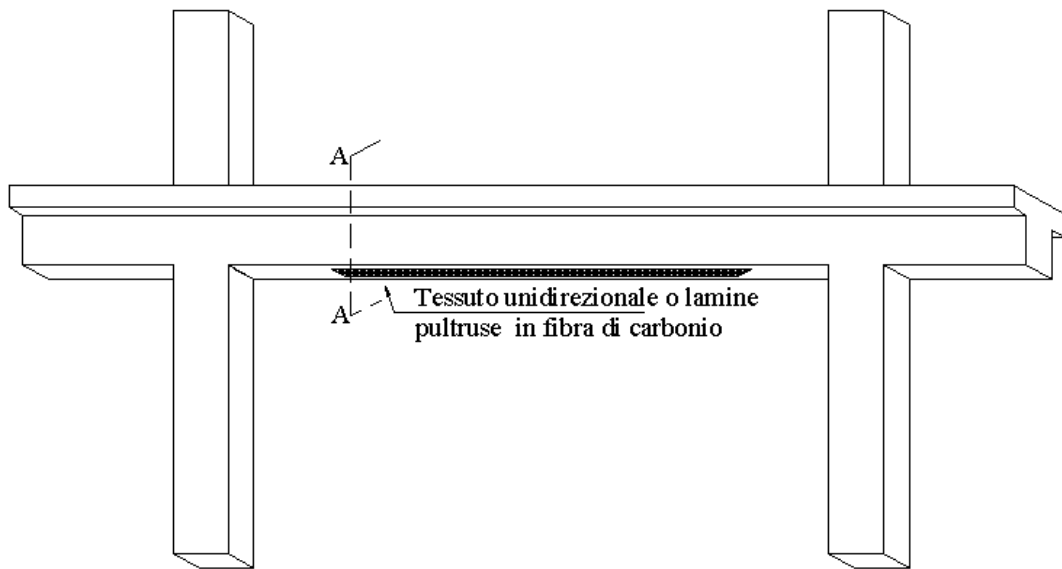


Figura 70. Rinforzo a flessione con compositi di una trave in c.a.



