

**Iniezioni, cuciture armate, cerchiature. Ma prima di scegliere la tecnica occorre individuare lo schema portante delle murature, rilevare il quadro fessurativo e valutare le cause. Le tipologie di intervento, i materiali e alcuni suggerimenti per il cantiere.**

# CONSOLIDARE LE MURATURE

Giacomo Cusmano

**P**rima di affrontare la ristrutturazione di uno stabile fatiscente, uno dei principali quesiti che ogni operatore edile si pone in fase di rilievo riguarda la capacità portante delle murature d'ambito. Queste devono infatti sostenere in maniera adeguata sia

i carichi esistenti, sia quelli futuri a ristrutturazione avvenuta, in genere superiori.

Al di là di una semplice verifica geometrica con analisi numerica a compressione semplice ("muro grosso - muro snello", "mattoni pieni - mattoni semipieni", "un piano - tre



piani di carico", ecc...) appare evidente che la presenza di fessure esistenti, soprattutto se passanti, rappresenta il primo segnale di allarme.

L'approccio di analisi deve dunque passare attraverso una procedura che preveda nell'ordine:

- il rilievo delle caratteristiche dell'edificio, con l'individuazione dello schema portante e delle pareti principalmente caricate;
- l'individuazione di particolari condizioni al contorno, critiche per l'ossatura verticale dell'edificio, come ad esempio variazioni di acqua di falda nel terreno, scavi adiacenti recenti e così via;
- il rilievo del quadro fessurativo di ogni parete e la visione complessiva delle fessure su tutto l'edificio, per valutare eventuali fenomeni di degrado globali;
- una diagnosi strutturale delle possibili cause delle fessure;
- la valutazione di possibili accorgimenti tecnici per eliminare le cause sollecitanti l'edificio;
- la valutazione ed il confronto di possibili tecnologie alternative di ripristino.

In tale direzione si evidenzia che più volte la crisi di una muratura con formazione di lesioni non è da imputare ad un'insufficiente capacità portante, bensì a movimenti "impropri" imposti da cedimenti delle fondazioni o da spinte provenienti da volte o tetti superiori mal equilibrati. In interventi di recupero, inutile può rilevarsi un consolidamento di opere verticali come le pareti in muratura se non si eliminano dapprima le cause che hanno determinato il degrado esistente al momento del recupero edile o se non si ha la certezza che il fenomeno deteriorante è definitivamente cessato.

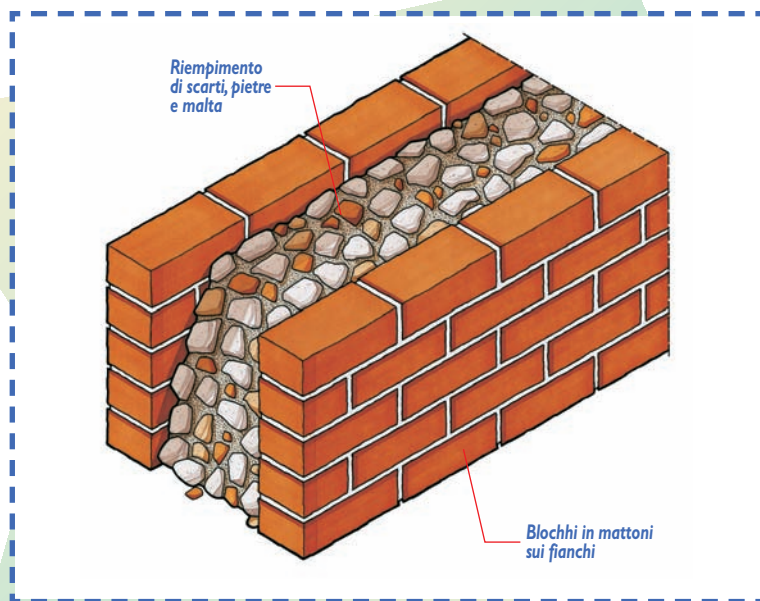
Premesso questo, nell'ipotesi di aver già provveduto ad eliminare le cause di sollecitazioni improprie ed eccessive, ci si pone la domanda su come poter rendere sicure e adeguate ai nuovi carichi le pareti esistenti.

La risposta a tale quesito passa attraverso un'ulteriore domanda: "Quali sono gli obiettivi da raggiungere?".

Le tecnologie di intervento, in tal senso, si possono inquadrare in tre categorie, anche se non è raro riuscire con un unico prodotto a raggiungere più obiettivi.

### **Tecnologie che danno una nuova consistenza alle strutture**

In edifici storici è facile imbattersi in murature verticali che sono sì di ampio spessore, ma che anche alla persona "non tecnica" mostrano dubbia capacità portante, in quanto la malta che lega i mattoni è dilavata oppure mancano addirittura porzioni di corsi.



*Esempio di muratura a sacco.*

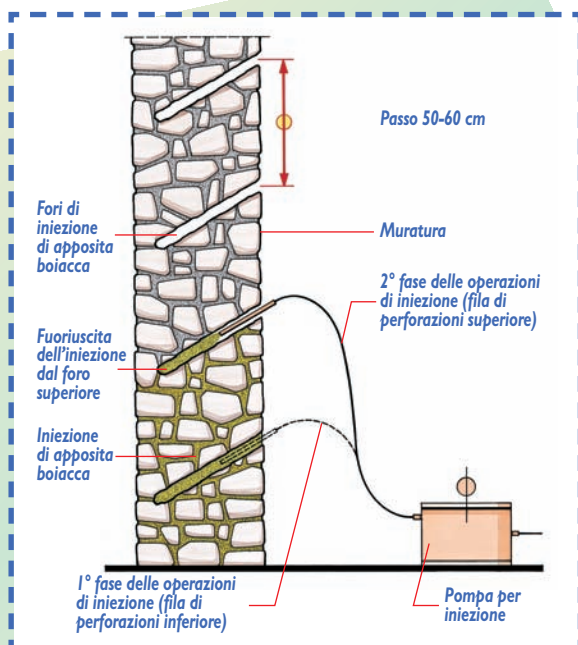
Non è poi raro imbattersi in murature che più che composte da mattoni appaiono sotto forma di un mix omogeneo (o a strati separati) di sassi, sabbia, cocci e ogni tanto di mattoni veri e propri.

Nei secoli passati, soprattutto per opere di minore importanza come edifici di civile abitazione, ma non solo, i maestri manovali impiegavano materiale tipico del luogo di costruzione che non richiedeva rilevanti trasporti, ampliando le dimensioni del muro per ottenere una buona capacità portante piuttosto che ricercando materiale di qualità.

In tali condizioni di rilievo a poco serve una valutazione sulla carta della capacità portante, con verifica a semplice compressione ( $s=N/A < s_{amm}$ ), in quanto è lecito il dubbio su quale sia lo sforzo massimo ammissibile in detti casi. Il risultato numerico è sì un riferimento, ma va preso solo come tale e non come un valore assoluto. In questi casi occorre avere piuttosto senso fisico, verificando che tutti gli elementi siano ben connessi tra di loro e che ogni forza sia opportunamente contrastata. Le ampie dimensioni dell'elemento portante aiutano gli addetti ai lavori, ma in fase di rilievo preventivo non bisogna farsi trarre in inganno: sono infatti citabili numerosi casi in cui ampie colonne murarie o ampi setti manifestano fessure da schiacciamento preannunciando una crisi. Come mai? Attenzione ai cosiddetti "muri a sacco": proprio per il discorso precedentemente citato, dove nei secoli passati vi era difficoltà a procurarsi nei cantieri materiali di buona qualità a basso costo, e quindi si realizzavano più volte setti portanti di ampio spessore con struttura a "sandwich": mattoni buoni sui due fianchi e nel mezzo un riempimento di "scarti di cantie-



A lato, consolidamento delle murature mediante iniezioni.



re" (cocci in generale) con un po' di malta legante. E' evidente che da un punto di vista strutturale la parete così composta ha sì inerzia, ma una limitata resistenza (lo sforzo effettivo nella parte portante di mattoni è maggiore del rapporto tra forza di compressione e area della parete  $s_{\text{effettivo}} > N/A$ ). Se l'obiettivo è dunque quello di ridare consistenza all'elemento murario si può intervenire attraverso diversi metodi.

### Iniezioni nella parete muraria di apposita boiacca

Al fine di saturare le cavità interne; dopo aver effettuato dei fori (diametro 20-40 mm, passo 50-60 cm) nella parete con attrezzi a perforazione (senza percussione, dunque), previa altresì pulizia con lavaggio ad acqua per togliere polveri, si procede a iniettare nel muro della boiacca. Le operazioni iniziano nella fila di perforazioni più bassa e procedono poi sino a che lentamente la stessa non incomincia a fuoriuscire dai fori della fila superiore. Quando ciò avviene la boiacca ha saturato le cavità della parte bassa del setto o pilastro murario e, dopo aver sigillato i fori della fila inferiore si può ripetere l'operazione di iniezione nella fila superiore, osservando ciò che avviene in quella a questa successiva.

Tra i diversi prodotti di iniezione esistenti in commercio, fondamentale è la scelta di una boiacca compatibile con le caratteristiche fisico-chimiche della muratura (che variano da cantiere a cantiere); quindi sulla scheda tecnica di prodotto vanno verificate:

- la resistenza ai sali della muratura;
- la dilatazione termica comparabile;

- il comportamento non gelivo del prodotto;
- il modulo di elasticità pari a circa quello della muratura;
- un'adeguata fluidità per penetrare tra le cavità e saturarle;
- la non presenza di fenomeni di eccessivo ritiro.

Indipendentemente dal prodotto impiegato vi è il problema di garantire in maniera scientifica il risultato; in tal senso è consigliabile operare attraverso delle prove di indagine sonora da effettuare prima e dopo l'intervento, così da poter comparare i risultati (la velocità degli ultrasuoni emessi dagli strumenti dipende dalla densità del materiale incontrato, ragion per cui la percentuale di vuoti rimasti nella parete è facilmente determinabile con prove sonore). In alternativa, è possibile prelevare a campione dei carotaggi di parete da sottoporre a prove di compressione in laboratorio (anche se si evidenzia che per un discorso statistico si dovrebbe operare con carotaggi in più punti). Le operazioni di iniezione "sporcano" le superfici della parete trattata e quindi è evidente che al seguire di tale intervento diventa pressoché necessario intonacare la stessa.

### REALIZZAZIONE DI CUCITURE ARMATE

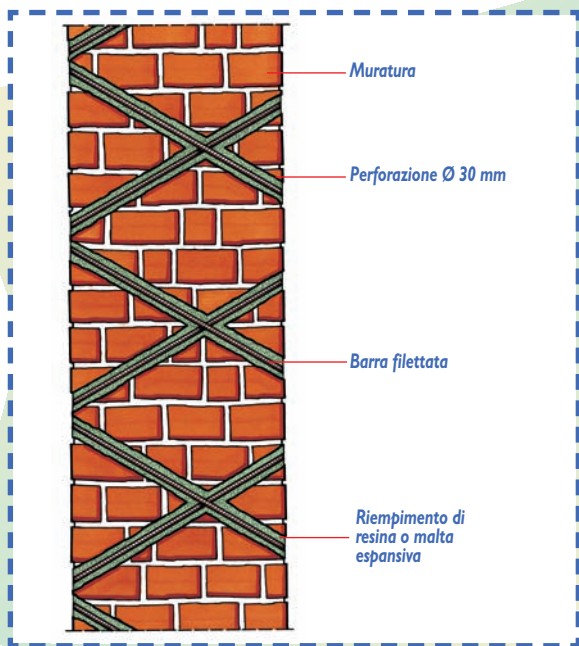
Iniezione della resina all'interno della perforazione



Resina iniettata: il prodotto è generalmente a rapido indurimento, la barra filettata deve essere infilata nel giro di un minuto



Barra filettata in acciaio inossidabile; l'immissione deve avvenire roteando la barra sul proprio asse, per favorire l'adesione omogenea del prodotto iniettato



### Cuciture armate per collegare i diversi corsi di mattoni

La struttura in mattoni appare disconnessa con piccoli moduli di mattoni leggermente mossi; per ripristinare la continuità strutturale, puntando così verso un comportamento d'insieme (come era negli intenti dei progettisti originali) si può optare per operazioni di cucitura mediante incroci di barre filettate a formare un reticolo. Lo scopo è quello di ottenere l'equivalente di una "muratura armata". La sequenza di operazioni per ogni singola barra prevede dapprima la formazione di una perforazione (del diametro di circa 30 mm nei casi ordinari) cui segue l'iniezione di apposita resina o malta espansiva; nell'immediato si procede con l'inserimento nella perforazione di un'armatura (ordine di grandezza Ø12), avendo cura di far roteare la barra intorno al suo asse per consentire una perfetta distribuzione della resina attorno alla barra.

A questo punto si ripete l'operazione eseguendo un'altra perforazione; si evidenzia che le cuciture devono essere il più incrociate possibile, così da consentire alla struttura di distribuire eventuali sforzi concentrati su alcuni corsi di mattoni. La tecnica delle cuciture armate può essere impiegata sia per volte che per pilastri o setti.

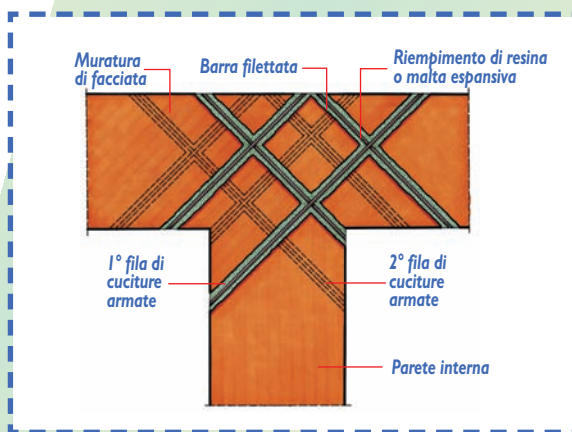
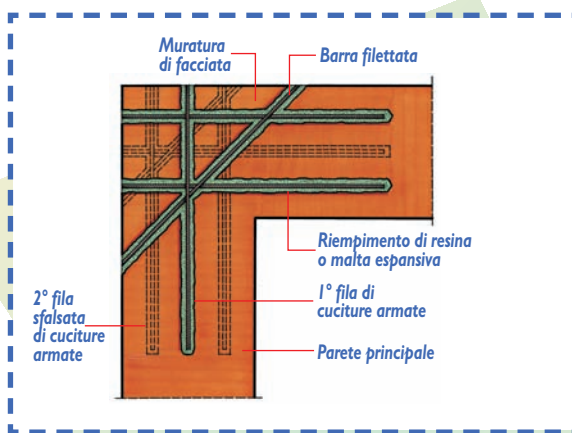
Tale tecnica è di valida applicazione nei casi in cui si intenda legare tra di loro setti murari ortogonali, come il caso di una facciata che tende a staccarsi roteando dalle pareti principali ortogonali della costruzione. In caso di evento sismico le cuciture armate riducono notevolmente il rischio di crolli improvvisi con rotazioni di interi blocchi, per l'appunto.

### Contropareti in cls armato

Per consolidare un muro sono anche proponibili soluzioni drastiche che prevedano la formazione di contropareti interne ed esterne in calcestruzzo armato. La parete esistente viene confinata all'interno di un sandwich armato e quindi in un certo senso si viene ad ottenere l'equivalente di un muro a sacco, dove questa volta la parte interna è rappresentata dalla parete originale in mattoni.

Affinché le due contropareti svolgano il proprio ruolo di contenitore che impedisce lo spanciamento della parete è necessario che le armature delle due pareti siano preventivamente collegate mediante delle armature ortogonali; dapprima occorre quindi eseguire delle perforazioni della parete con inserimento di barre dotate di relativo uncino di collegamento (ottenuto piegando l'estremità della barra).

È bene sottolineare che tale soluzione tecnologica è estremamente drastica, perché il muro viene completamente sigillato e diventa praticamente improponibile ogni riconversione futura. Per tale motivo molte Soprintendenze cercano di evitare tale tecnica negli edifici importanti, e quindi si suggerisce di proporla solo come ultima possibilità.



A sinistra, consolidamento mediante cuciture con inserimento di barre filettate.

Negli schemi esempi di consolidamento con cuciture incrociate nei punti critici come angoli e innesti di murature trasversali.



Nella foto esempio di muratura mista, mattoni, pietre, ciottoli.



Nel disegno a destra, consolidamento di pilastri con cerchiature metalliche. In basso, cerchiature di colonne.

### Operazioni di cucì e scuci della parete, per richiudere fessure murarie

Dopo aver eliminato le cause che hanno comportato dissesti strutturali nella costruzione si può procedere con l'eliminazione delle lesioni formatesi mediante sostituzione dei mattoni rotti dalla fessura con dei nuovi mattoni (o meglio: è sempre preferibile impiegare mattoni di pressoché identica data e caratteristiche, presi da altre parti meno nobili della costruzione o da "avanzi" buoni di altri cantieri). In sintesi la fessura scompare perché rimossi i mattoni lesionati con un'operazione "certosina", a mano, di "scucitura" (eliminazione provvisoria mattoni) e "cucitura" (messa in opera di nuovi pezzi); in tale direzione è importante incastonare i nuovi mattoni con malta, quasi forzando l'operazione, così da riempire per bene ogni vuoto.

### Tecnologie che aumentano la capacità portante dell'esistente murario

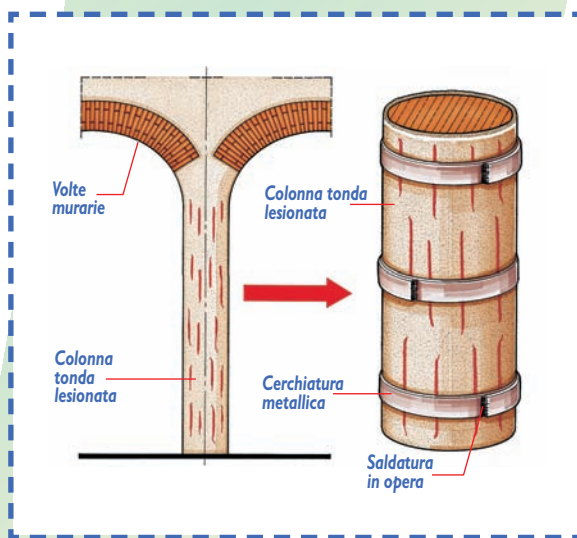
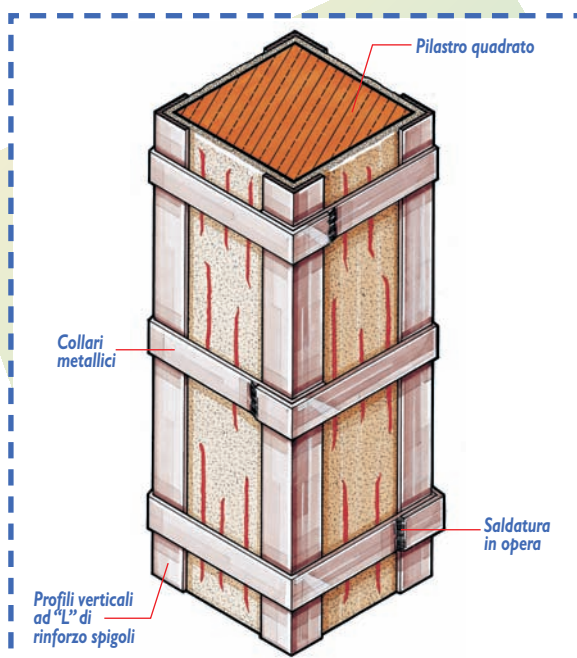
Premesso che alcune delle tecnologie sopra presentate oltre a ridare consistenza al nucleo portante possono, se ben impostate, aumentarne anche la capacità portante. Vi sono situazioni in cui è palese, causa aumento di carico in progetto, dover rinforzare la struttura verticale. Il problema si presenta in particolar modo per pilastri e colonne di muratura, ma anche per opere in calcestruzzo armato. La soluzione prevalente è quella di cerchiare il componente esistente così da contenerne gli spancamenti laterali (l'aumento di resistenza avviene in quanto, come da teoria scientifica dei "cerchi di Mohr" si riducono sul diagramma degli sforzi le dimensioni dei cerchi di sforzo; in maniera intuitiva si può spiegare che un pilastro schiacciato dal carico tende ad aprirsi sui fianchi formando delle fessure parallele verticali; se dunque si realizzano attorno al pilastro delle cinture sufficientemente rigide si

tende ad impedire tale movimento e dunque il pilastro resiste al carico in eccesso).

Le opere di cerchiatura possono avvenire attraverso le seguenti categorie di prodotti.

### Collari metallici

Si realizzano l'equivalente di staffe metalliche mediante dei collari saldati in opera o imbullonati nelle estremità. Per una colonna tonda ciò è sufficiente. Nel caso di pilastri quadrati o rettangolari, al fine di non creare concentrazioni di sforzi negli spigoli è sempre meglio predisporre negli angoli dei profili verticali ad L (tipo paraspigoli) prima di posizionare i collari.



## Fasciature di tessuti a base di fibra di carbonio

Il materiale base ha ottime prestazioni per sollecitazioni di trazione, come d'altronde si ritrovano sottoposte le cerchiature. Si può optare per due soluzioni: rivestendo la colonna esistente con una o più cerchiature elicoidali di fasce di ridotte dimensioni (bandelle di 10 cm di lato) oppure rivestendo completamente l'opera con veri e propri tessuti con fibra bidirezionale. È evidente che la cerchiatura con fibra di carbonio, per motivi estetici, richiama poi un rivestimento di intonaco sulla colonna, mentre le cerchiature metalliche sono spesso accettate anche a vista. Il collegamento del materiale aggiunto di fibra con l'esistente avviene mediante la preventiva (e seguente se occorre) stesura di resina epossidica.

## Tiranti metallici a formare quadrati chiusi

Se anziché di colonne si sta parlando di torri campanarie o di interi edifici ecco che le cerchiature metalliche si traducono, in maniera più adatta ai casi in esame, in veri e propri tiranti (esterni o interni alla costruzione). I tiranti sono sempre quattro sullo stesso asse, perché in analogo modo a quello che avveniva per i pilastri devono confinare l'elemento murario. I tiranti possono essere messi in tiro e quindi si è in grado di aumentare l'effetto di schiacciamento laterale; ovviamente fondamentale appare la progettazione di apposite piastre sulla testa dei tiranti per evitare effetti locali di punzonamento dei mattoni.

## Tecnologie che alterano lo schema funzionale

Per esigenze architettoniche non è raro, in interventi di ristrutturazione, dover aprire dei varchi all'interno di pareti portanti pluripiano. Premesso che ogni intervento di questo tipo, soprattutto in edifici di pregio, deve avvenire solo dopo attente riflessioni progettuali si può optare mediante coppie di putrelle a formare architravi portanti: l'apertura di un muro portante avviene in due fasi. Dopo aver creato una breccia

parziale su metà muro si inserisce una prima putrella; il contrasto tra putrella e parete deve avvenire mediante della malta espansiva. Dopo aver consentito la maturazione della malta espansiva si può ora provvedere a demolire la rimanente porzione di muro e a inserire la seconda putrella. Le due putrelle vengono generalmente collegate mediante delle chiavarde (barre orizzontali) a passo più o meno di 75 cm, così da consentire un definitivo comportamento d'insieme. Duran-

te le operazioni di indebolimento del muro il carico presente viene sostenuto dalla porzione di muro rimanente e poi dalla prima putrella (in questa fase non esistono i carichi accidentali). In taluni casi, modificando lo schema strutturale, più volte si decide di inserire un nuovo pilastro portante in muratura sotto travi esistenti: l'operazione è semplice, a patto di rispettare due avvertenze. In primo luogo è evidente che il nuovo pilastro centrale tenderà a portarsi un carico rilevante e quindi dapprima andranno svolte verifiche di carico, con particolare attenzione a fenomeni di instabilità (soprattutto nei locali al piano terra, generalmente ad ampia altezza); ovviamente bisogna aver l'accortezza di non far sorgere il nuovo pilastro semplicemente sul pavimento esistente, ma occorre prevedere un'apposita fondazione sotto il medesimo. In secondo luogo fondamentale è la realizzazione di un contrasto in sommità con l'esistente, per una reale collaborazione.

Il contrasto può avvenire mediante malta espansiva, cunei di materiale resistente e non deteriorabile e, nei casi più importanti, si può ottenere con l'ausilio di un martinetto.

Di volta in volta, le diverse tecniche presentate, qui ovviamente in maniera riassuntiva, sono tra di loro complementari e attuabili in diverse parti dell'edificio, anche se ogni intervento pratico deve sempre essere accompagnato da una valutazione preventiva a tavolino dei problemi risolti e, non va dimenticato, l'individuazione delle possibili "criticità" che lo stesso può causare in futuro. ■

### REALIZZAZIONE DI APERTURE IN MURATURE PORTANTI

Muratura portante superiore pluripiano

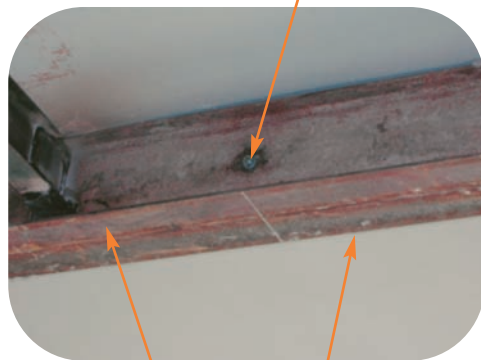


Putrella n. 1

Putrella n. 2

Appoggio incastrato nel soffitto rimanente

Chiavarde di collegamento passo 75-100 cm



Putrella n. 1

Putrella n. 2