Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso di

Problemi Strutturali dell'Edilizia Storica

EDIFICI ESISTENTI

Prof. Ing. Natalino Gattesco

INTRODUZIONE

Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione per gli aspetti seguenti:

- **il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione**
- **Il progetto può contenere difetti di impostazione progettuale e di realizzazione non immediatamente visibili**
- **Spesso l'esecuzione dell'opera non è preceduta da una fase di progettazione degli elementi strutturali (edilizia spontanea)**
- **Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati e ad altre azioni accidentali che non sono manifesti.**

INTRODUZIONE

Nella definizione dei modelli strutturali si deve tener conto che:

- **La geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive.**
- **La conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali dipende solo dalla omogeneità dei materiali stessi nell'opera e dal livello di approfondimento delle indagini e loro affidabilità.**
- **I carichi permanenti sono definiti e la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive.**

Di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici nuovi.

CONFIDENZA E ANALISI

E' quindi necessario utilizzare adeguati fattori di confidenza nelle verifiche di sicurezza e metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile.

Negli edifici esistenti le situazioni riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche e dettagliate per tutti i casi.

Quanto contenuto nelle norme riguardanti gli edifici esistenti costituisce un riferimento generale che può essere integrato, in casi particolari, da valutazioni specifiche ed anche alternative da parte del progettista.

Comunque, anche in questi casi particolari, il progettista non è esonerato dal far precedere alla progettazione una sufficiente conoscenza dell'oggetto su cui va a operare.

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU (*in genere SLV) (per CU IV necessarie anche verifiche SLE).*

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorre anche una sola delle seguenti situazioni:

- **Riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a**
  - **azioni ambientali (***sisma, vento, neve e temperatura***),**
  - **significativo degrado delle caratteristiche meccaniche dei materiali**
  - **azioni eccezionali (***urti, incendi, esplosioni***)**
  - **situazioni di funzionamento ed uso anomalo**
  - **deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno.**

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorre anche una sola delle seguenti situazioni:

- **Provati gravi errori di progetto o di costruzione**
- **Cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione**
- **Interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidezza.**
- **Quando si eseguano interventi strutturali** *(adeguam, miglior., ripar.)*
- **Opere realizzate in assenza di concessione o in difformità alle norme vigenti.**

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Se le circostanze sopraccitate riguardano porzioni limitate della costruzione, la valutazione può essere limitata agli elementi interessati ed a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- **L'uso della costruzione possa continuare senza interventi**
- **L'uso debba essere modificato (***declassamento, cambio di destinazione, imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso***)**
- **sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.**

La valutazione della sicurezza <u>è necessaria</u> ogni volta che si eseguono <u>interventi strutturali</u> e si dovrà determinare il <u>livello di sicurezza prima e dopo l'intervento</u>.

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza deve essere effettuata in rapporto a quella richiesta per gli edifici nuovi. Si definiscono i seguenti parametri

ζ_E **Rapporto tra l'azione sismica sopportabile dalla struttura e l'azione sismica che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione espresso in termini di accelerazione al piede.**

$\zeta_{v,i}$ **Rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale sopportabile dall'i-esima parte della costruzione ed il valore del sovraccarico verticale che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.**

Devono essere previste restrizioni nell'uso quando risultano parti che non sopportano le azioni verticali di progetto.

L'inadeguatezza nei confronti delle azioni sismiche richiede la programmazione dell'intervento (*gravità, pubblica incolumità, risorse).*

CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- **Interventi di adeguamento (***atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti al §8.4.3 delle NTC 2018***)**
- **Interventi di miglioramento (***atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti al §8.4.3 delle NTC 2018***)**
- **Interventi di riparazioni o locali che interessano elementi isolati (***che comunque non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti***)**

Per gli edifici di interesse storico è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento (D.P.C.M. 09.02.2011 - Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. del 14.01.2008)

ADEGUAMENTO SISMICO

E' obbligatorio eseguire valutazioni di sicurezza sismica e di effettuare interventi di adeguamento a chiunque intenda:

a. *Sopraelevare la costruzione*

b. *Ampliare l'edificio mediante opere ad esso strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta*

c. *Apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%*

d. *Effettuare interventi strutturali che portano ad un organismo edilizio diverso dal precedente*

e. *Apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV*

Nei casi c) ed e) si può assumere per l'indice si sicurezza sismica un valore $\zeta_E^a \geq 0.8$ **, per gli altri casi deve essere** $\zeta_E^a \geq 1.0$

Indice di sicurezza sismica $\zeta_E = \dfrac{PGA_D}{PGA_R}$ **Resistenza in termini di accelerazione**

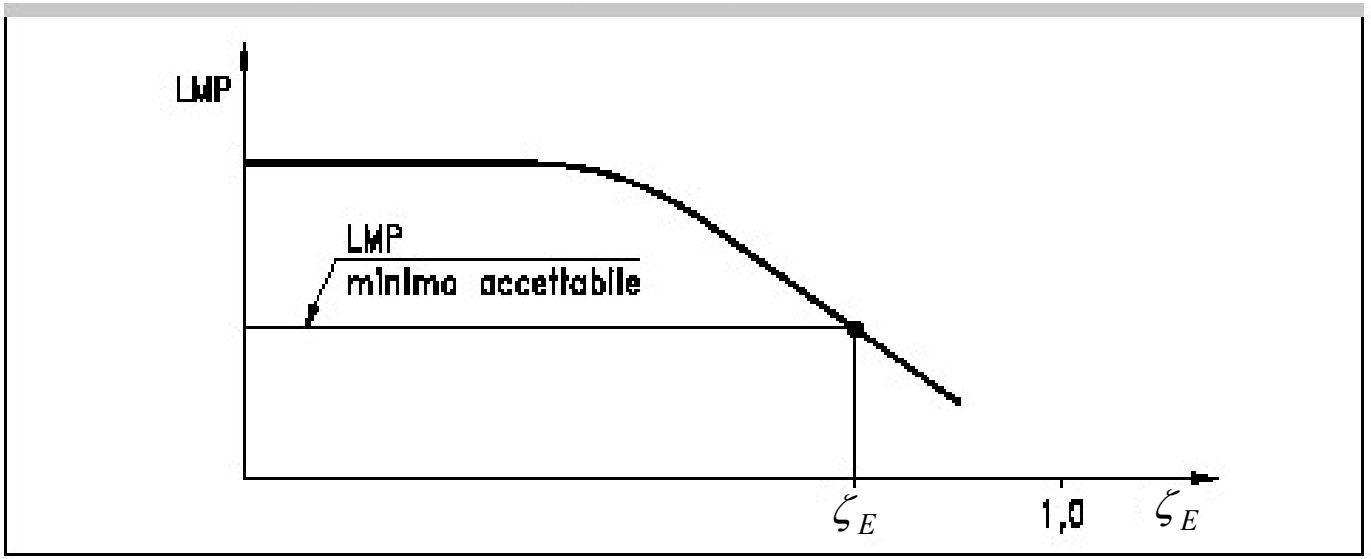
Domanda in termini di accelerazione

EDIFICI DI IMPORTANZA ARTISTICA

E' consentito derogare dall'obbligo dell'adeguamento, qualora ciò comporti l'esecuzione di opere incompatibili con le esigenze di tutela e conservazione del bene culturale

In tal caso, comunque, è richiesto di calcolare i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia dell'edificio, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento.

LMP Livello delle prestazioni raggiunte dal monumento tenendo conto dell'integrità architettonica, della reversibilità e della durabilità dell'intervento strutturale scelto. (Si possono avere valori più alti del coefficiente ζ_E in pesanti interventi che risultano però inaccettabili dal punto di vista delle prestazioni)



INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Quando non è obbligatorio l'adeguamento si può procedere con interventi di miglioramento, quando coinvolgono l'intera struttura.

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento devono essere estesi all'intera struttura e alle singoli parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento

Per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV, l'indice di sicurezza sismica dovrà essere

$$\zeta_E^m \geq 0.6$$

Per le altre costruzioni di classe III e per quelle di classe II, l'indice di sicurezza sismica dovrà essere incrementato

$$\zeta_E^m \geq \zeta_E^o + 0.1$$

RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Quando gli interventi riguardano singole parti della struttura si può procedere a interventi di tipo locale, purché essi non comportino il cambiamento del comportamento globale della costruzione.

In generale sono interventi mirati a:

a. *Ripristinare le caratteristiche iniziali di parti danneggiate*
b. *Migliorare le caratteristiche di resistenza e/o duttilità di elementi*
c. *Impedire la formazione di meccanismi locali*
d. *Modificare un elemento o una porzione limitata della struttura*

Il progetto e la valutazione della sicurezza possono essere riferiti alle sole parti o elementi interessati, dimostrando che non si producono modifiche sostanziali al comportamento dell'intera struttura e che gli interventi non comportano una riduzione della sicurezza preesistente

CONOSCENZA DELL'OGGETTO

Per procedere ad un'analisi adeguata dell'edificio oggetto della verifica è indispensabile la sua conoscenza, che può essere ottenuta con diversi livelli di approfondimento.

Innanzitutto è necessario eseguire una ricerca storica per ricostruire la storia dell'edificio dalla costruzione ad oggi considerando le seguenti fonti di informazione

- *documenti di progetto*
- *eventuale documentazione di progettazione o di altro tipo, riguardanti interventi successivi alla costruzione od eventi particolari (bellici, sismici)*

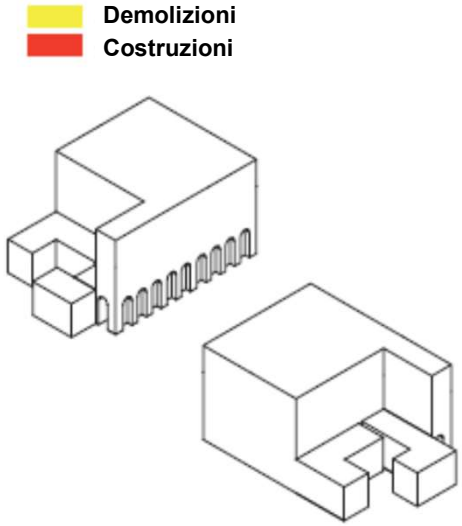
Sono quindi necessarie indagini di vario tipo, che costituiranno la base di partenza per le fasi di diagnostica e di progetto.

- *Rilievo geometrico*
- *Rilievo dei dettagli costruttivi*
- *Prove in-situ e in laboratorio riguardanti i materiali*

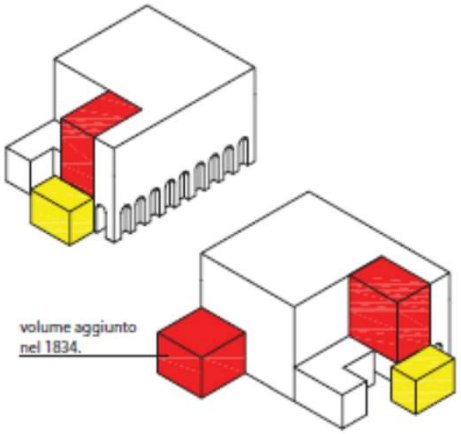
RICERCA STORICA

E’ necessaria una <u>ricerca storica</u> per risalire all’organismo originale e poter disporre di tutte le variazioni successive dovute a ristruttura-zioni, parziali ricostruzioni, ampliamenti, ecc.

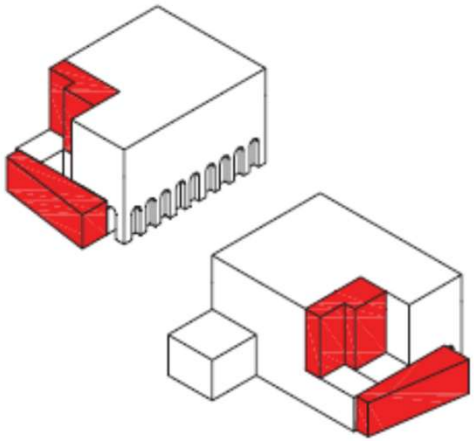
Tali informazioni consentono anche di ricostruire l’eventuale disomo-geneità di materiali impiegati nei vari interventi



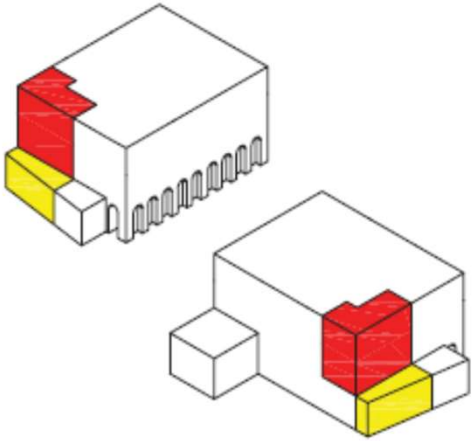
Schema volum. XVIII sec.



Schema volum. 1959-1960



Schema volum. 1972



Schema volum. 1980

INFORMAZIONI DIMENSIONALI

Rilievo geometrico

Rilievo in-situ delle dimensioni effettive delle parti strutturali, dei pesi propri delle stesse, dell'organizzazione dei solai di piano e di copertura, nonché della tipologia delle fondazioni.

E' importante individuare la presenza di cavità, nicchie, canne fumarie all'interno della muratura, in quanto interrompono la continuità.

I risultati del rilievo vanno dettagliatamente rappresentati in forma grafica (*piante, prospetti, sezioni, particolari*).

Rilievo dell'eventuale quadro fessurativo, indicando chiaramente la tipologia di fessura (*distacco, rotazione, scorrimento, spost. fuori piano***)**

Rilievo dell'eventuale presenza di deformazioni permanenti (*fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni delle volte***)**

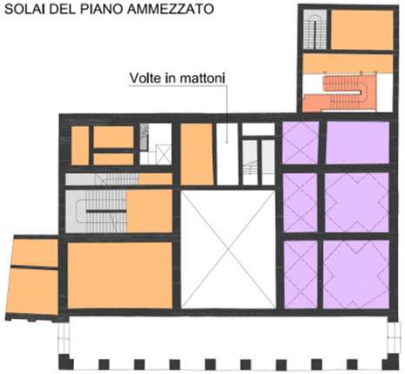
Queste informazioni devono essere adeguate affinchè durante la fase di diagnostica sia possibile risalire all'origine dei difetti riscontrati

SOLAI

SOLAI DEL PIANO TERRA



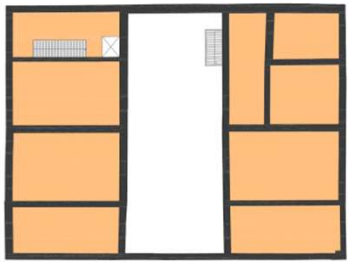
SOLAI DEL PIANO AMMEZZATO



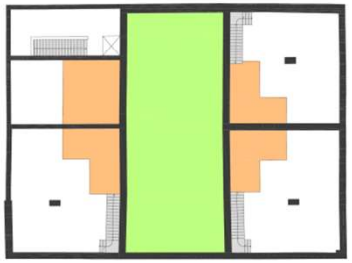
SOLAI DEL PIANO NOBILE



SOLAI DEL PIANO SOFFITTE



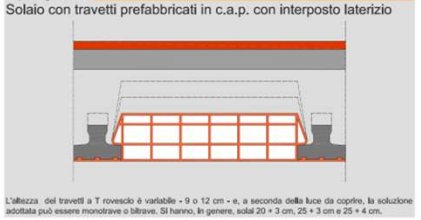
SOLAI DEL PIANO SOPPALCHI



LEGENDA STRUTTURE DI ELEVAZIONE INCLINATE

- Scala in calcestruzzo armato supportate dalle murature di perimetro
- Scala con struttura di contorno in profilati metallici a doppio T con interposta soletta in calcestruzzo
- Scala in pietra

Tipologia S01
Solaio con travetti prefabbricati in c.a.p. con interposto laterizio



L'altezza del travetti a T rovescio è variabile - 9 o 12 cm - e, a seconda della luce da coprire, la soluzione adottata può essere monotrave o bitrave. Si hanno, in genere, solai 20 + 3 cm, 25 + 3 cm e 25 + 4 cm.

Tipologia S02
Solaio Varese



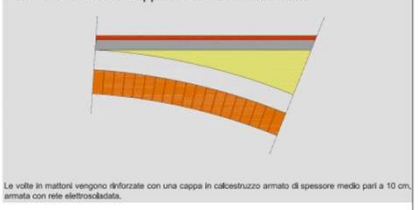
L'altezza delle travi è pari a 34/41cm e l'interasse è di 78 cm. Con la soletta di calcestruzzo armato di 3 cm, il solaio raggiunge un altezza di 44 cm.

Tipologia S03
Solaio di profilati d'acciaio con solaietto in latero-cemento



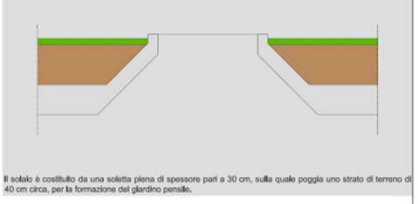
La parte portante del solaio è costituita da due profilati di acciaio saldati HEA 200 A, posti ad un interasse di 1,20 m; sono collegati trasversalmente da un solaietto in precompresso , di altezza pari a 12 + 3 cm.

Tipologia S04
Volte rinforzate con cappa in calcestruzzo armato



Le volte in mattoni vengono rinforzate con una cappa in calcestruzzo armato di spessore medio pari a 10 cm, armata con rete elettrosaldata.

Tipologia S05
Solaio di calcestruzzo armato



Il solaio è costituito da una soletta piena di spessore pari a 30 cm, sulla quale poggia uno strato di terreno di 40 cm circa, per la formazione del giardino pensile.

LEGENDA DEI MATERIALI DEI NUOVI SOLAI

- Elementi di alleggerimento in laterizio
- Elementi in legno non portanti
- Getto in calcestruzzo armato
- Giardino
- Mattoni
- Pavimento
- Profilati di acciaio
- Protezione con nylon e carta catramata
- Riempimento
- Sottofondo
- Terreno
- Travetti in c.a.p.

INFORMAZIONI SUI DETTAGLI COSTRUTTIVI

Dettagli costruttivi

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- *Qualità del collegamento fra pareti ortogonali*
- *Qualità del collegamento tra pareti e solai ed eventuale presenza di cordoli di piano*
- *Esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture*
- *Presenza di elementi strutturali spingenti ed eventuali elementi atti ad eliminare la spinta*
- *Presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità*
- *Tipologia e qualità della muratura (a un paramento, a due paramenti, con o senza collegamenti trasversali), eseguita in pietra o mattoni*

INDAGINI SUI MATERIALI

Materiali

Per risalire alle caratteristiche dei materiali che compongono la struttura è necessario eseguire indagini sperimentali con diversi metodi

- *Rilievo tessitura muraria in superficie ed in sezione* (*mediante prelievo di carote o mediante prove endoscopiche*)
- *Prelievo di campioni per prove in laboratorio, sui materiali componenti* (*malta, pietre e/o mattoni*) e sulla muratura (*pannello soggetto a prova di compressione diagonale o combinata di compressione e taglio*)
- *Prove in-situ con doppio martinetto piatto per resistenza a compressione e modulo elastico longitudinale*

In combinazione si possono utilizzare prove non distruttive quali:

- *Prove soniche*
- *Impulsi radar*
- *Indagini termografiche*

SPECIFICHE INDAGINI SUI MATERIALI

Valutazione della qualità muraria *(verifica rispetto regola d'arte*)*.*

L'esame della qualità muraria è fondamentale per stabilire se la muratura in esame è idonea a sopportare le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l'edificio in oggetto

E' molto importante verificare la presenza o meno di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti (*es. diatoni***), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la regolarità dei giunti, la qualità e la consistenza della malta.**

Se esiste una chiara corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi è possibile, in sostituzione delle prove sperimentali, utilizzare i risultati di prove eseguite su altri edifici della zona.

LIVELLI DI CONOSCENZA

Al fine della scelta del tipo di analisi e dei fattori di confidenza vengono definiti tre livelli di conoscenza

- *LC1 – Conoscenza limitata*
- *LC2 – Conoscenza Adeguata*
- *LC3 – Conoscenza Accurata*

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- *Geometria (rilievo strutturale, dissesti, fessurazioni, ecc.)*
- *Dettagli costruttivi (organizzazione strutturale)*
- *Proprietà dei materiali (resistenze meccaniche, fisiche)*

Maggiore conoscenza ➡ maggiore confidenza

LIVELLI DI CONOSCENZA

Livello di conosc.	Geometria	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali		Fatt. di Confid.
LC1	Rilievo completo (tutti elementi strutturali, piano per piano, delle volte, rilievo andamento e valutazione accurata rigidezza solai; valutazione dei carichi di gravità, rilievo fessure e dissesti)	Verif. in-situ limitate (scrost. intonaco, saggio murature in superficie e nello spessore e verifica collegamenti tra pareti a campione; in assenza di rilievo diretto assumere nelle verifiche le ipotesi più cautelative)	Indag. in-situ limitate (Si basano su esami visivi e su dati di letteratura. Esami visivi tessitura almeno uno per tipo. Verifica attraverso saggi localizzati della connessione interna trasversale delle murature. No prove sperim.)		1.35
LC2	Rilievo completo	Verif. in-situ estese ed esaustive (scrost. intonaco, saggio murature in superficie e nello spessore e verifica collegamenti tra pareti estese a tutto l'edificio)	Indag. in-situ estese (Oltre agli esami visivi di cui alle indagini limitate è richiesta almeno una prova sperimentale su ciascun tipo di muratura presente con doppio martinetto piatto)		1.20
LC3	Rilievo completo	Verif. in-situ estese ed esaustive	Indag. in-situ esaust. (Oltre agli esami visivi di cui alle indagini limitate sono richieste prove sperimentali su ciascun tipo di muratura per la misura delle caratteristiche meccaniche della muratura. Prove di compressione diagonale, prove combinate.)		1.00

PARAMETRI MECCANICI MATERIALI

Per i diversi livelli di conoscenza si assumono i parametri meccanici

Livello di conoscenza	Resistenze	Moduli elastici
LC1	Valori minimi degli intervalli riportati nella Tab. C8.5.I (Circ. 7/2019) per la tipologia muraria in consideraz.	Valori minimi degli intervalli riportati nella Tab. C8.5.I (Circ. 7/2019) per la tipologia muraria in consideraz.
LC2	Valori medi degli intervalli riportati nella Tab. C8.5.I (Circ. 7/2019) per la tipologia muraria in consideraz.	Valori medi degli intervalli riportati nella Tab. C8.5.I (Circ. 7/2019) per la tipologia muraria in consideraz.
LC3	Se sono disponibili 3 valori sperim. media dei risultati delle prove Se si dispone di un valore sperim. Se compreso nell'intervallo di Tab. C8.5.I (Circ. 7/2019) o superiore: valore medio; se minore: valore sperimentale.	Il minore fra la media dei valori degli intervalli riportati nella C8.5.I (Circ. 7/2019) per la tipologia muraria in considerazione e la media dei valori sperimentali

I valori di calcolo da utilizzare per calcolare la capacità degli elementi si ottengono dividendo questi valori per il Fatt. di Confidenza e per il coefficiente di sicurezza parziale γ_m come per edifici nuovi

PARAMETRI MECCANICI MATERIALI

Tabella C8.5.I -*Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:* **f** *= resistenza media a compressione,* τ_0 *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* f_{v0} *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* **E** *= valore medio del modulo di elasticità normale,* **G** *= valore medio del modulo di elasticità tangenziale,* **w** *= peso specifico medio.*

Tipologia di muratura	f (N/mm²)	τ_0 (N/mm²)	f_{v0} (N/mm²)	E (N/mm²)	G (N/mm²)	w (kN/m³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es,: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione fpuò essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

Tabella C8.5.II -*Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.*

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es,: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0.35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

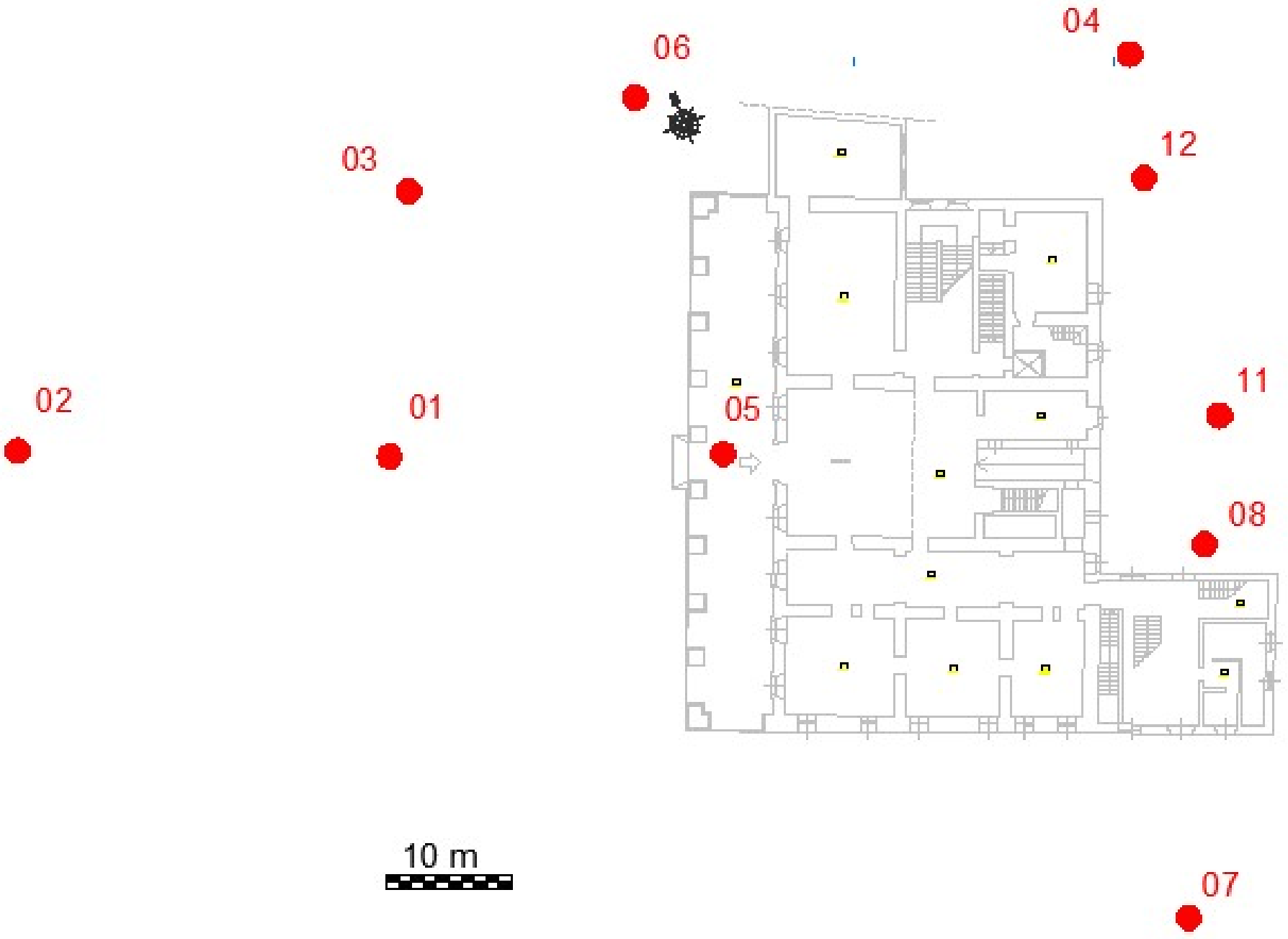
TECNICHE DI INDAGINE

Per il rilievo della geometria della struttura, oltre alle misure dirette, possono essere usate varie tecniche di misurazione indiretta mediante l'utilizzo di tecniche fotogrammetriche, strumenti topografici, strumenti manuali a diodo luminoso, strumenti per la misura delle inclinazioni delle pareti (*clinometri*).

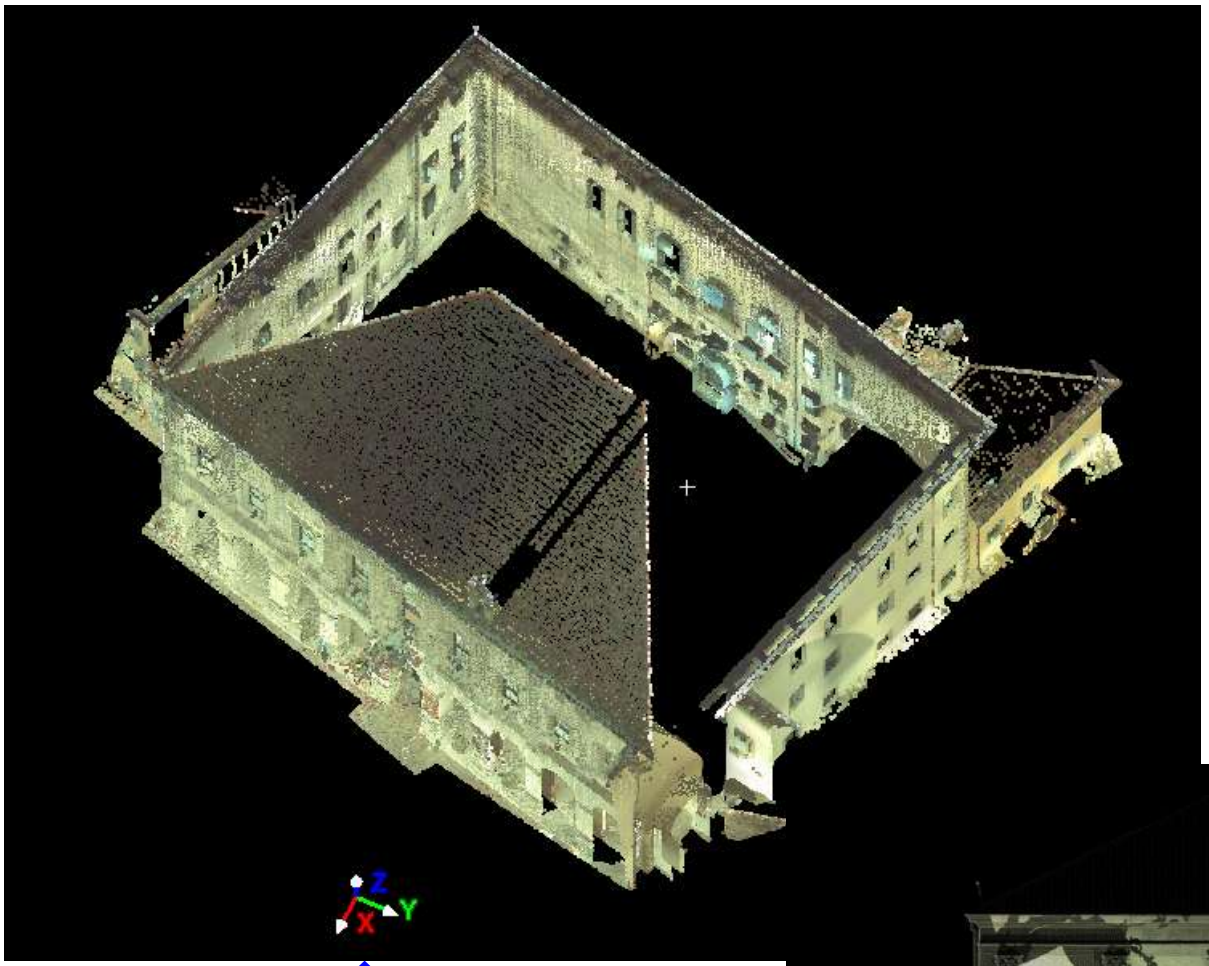
- *I primi consentono di rilevare in dettaglio le superfici esterne di edifici complessi e di grandi dimensioni con precisioni molto elevate*
- *Per la collocazione spaziale di queste superfici si possono utilizzare strumenti topografici per l'individuazione delle coordinate 3D di un certo numero di punti delle superfici mirando su bersagli o direttamente su punti della superficie se si usano strumenti reflectorless.*
- *Per le misure interne di edifici si possono utilizzare strumenti manuali che basati sul tempo di ritorno di un segnale luminoso che colpisce un ostacolo forniscono la distanza dello stesso*

Strumenti topografici a scansione laser (*rilievo tridimensionale*)

RILIEVO LASER SCANNER



RILIEVO LASER SCANNER



Ricostruzione 3D dell'oggetto colorando la nuvola di punti rilevati con i colori reali ricavati dalle immagini acquisite contestualmente al rilievo laser dalla fotocamera integrata nello stesso strumento

Ortofoto del prospetto principale derivante dalla vista in proiezione ortografica della nuvola di punti colorata



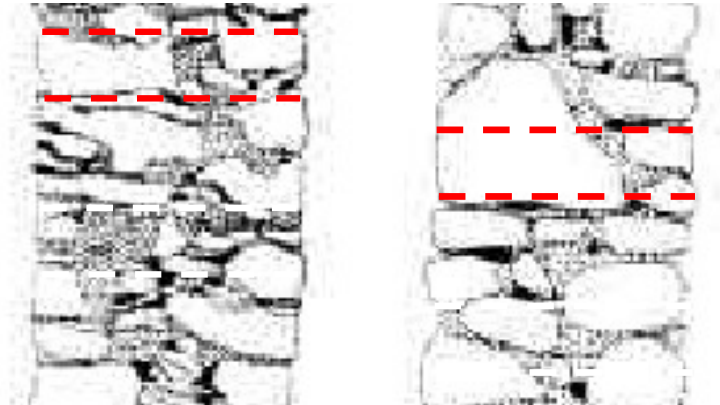
TECNICHE DI INDAGINE

Per il rilievo della tessitura muraria in superficie è necessario rimuovere l'intonaco in modo da mettere a nudo le murature. L'indagine è di tipo visivo e consente di individuare come è fatta la muratura: pietre/mattoni (*tipo di materiale, dimensioni e forma, organizzazione regolare o irregolare***), malta (***tipo di malta, dimensione dei giunti***).**

Per il rilievo della stratigrafia della muratura è necessario ricorrere al prelievo di carote e/o a indagini endoscopiche. Entrambe le tecniche non consentono però di riconoscere la tessitura nello spessore, che può essere visualizzata solo attraverso limitati scassi.

Per la caratterizzazione dei materiali si eseguono dei prelievi di campioni che saranno sottoposti a prove di laboratorio chimiche, petrografiche, fisiche e meccaniche.



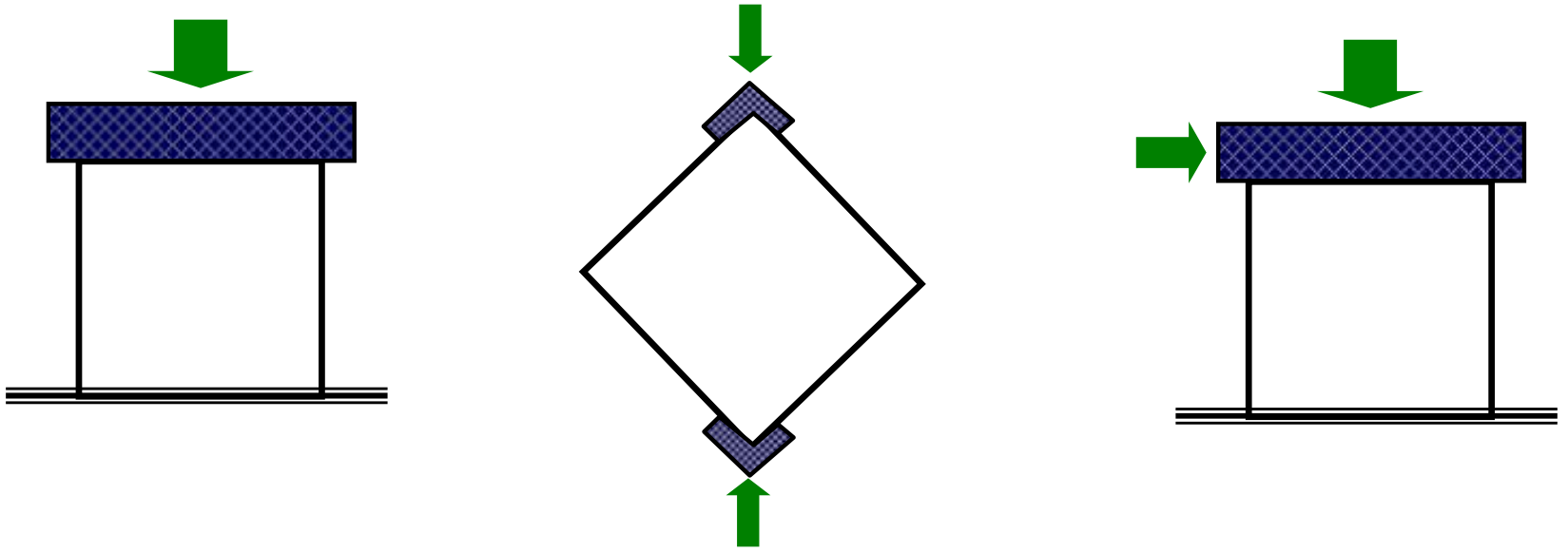


PROVE SULLA MURATURA

Prove meccaniche di laboratorio

Si prelevano dei campioni di muratura aventi larghezza pari ad almeno due elementi ed altezza pari ad almeno tre elementi e comunque con un rapporto altezza/spessore compreso tra 2.4 e 5.

Si eseguono prove di compressione verticale, di compressione diagonale e combinate di compressione e taglio.



PROVE SULLA MURATURA IN-SITU

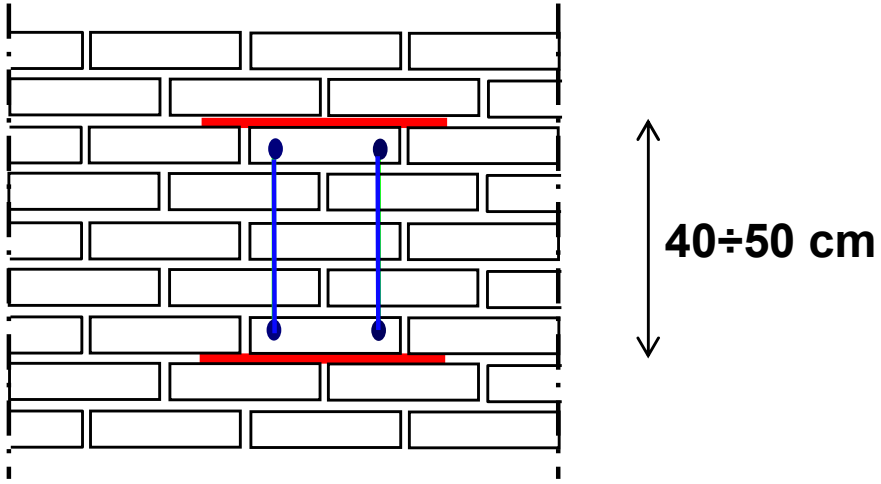
Prove con doppio martinetto piatto

Questa prova consente di rilevare sia lo stato tensionale presente nella muratura sia la resistenza a compressione ed il modulo elastico

Si eseguono due sedi orizzontali parallele nella muratura, aventi le dimensioni dei martinetti piatti che sono utilizzati nella prova, ad una distanza di 40÷50 cm.

Si inseriscono i martinetti e si applicano, alla muratura compresa tra i martinetti, due o tre trasduttori di spostamento.

Si inizia ad incrementare la pressione nei martinetti e contemporaneamente si leggono i valori di spostamento corrispondenti



Per rilevare lo stato tensionale presente nella muratura si deve eseguire una lettura dei trasduttori prima di eseguire le sedi per alloggiare i martinetti.

PROVE SULLA MURATURA IN-SITU

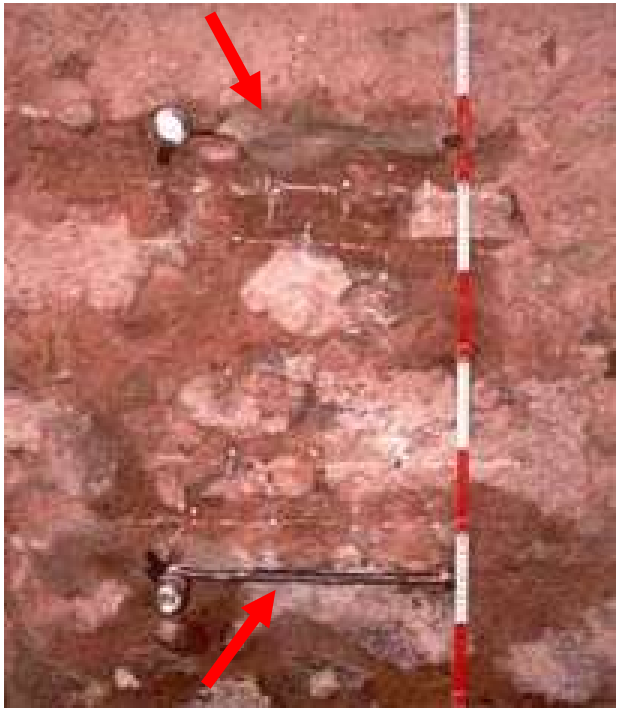
Prove con doppio martinetto piatto

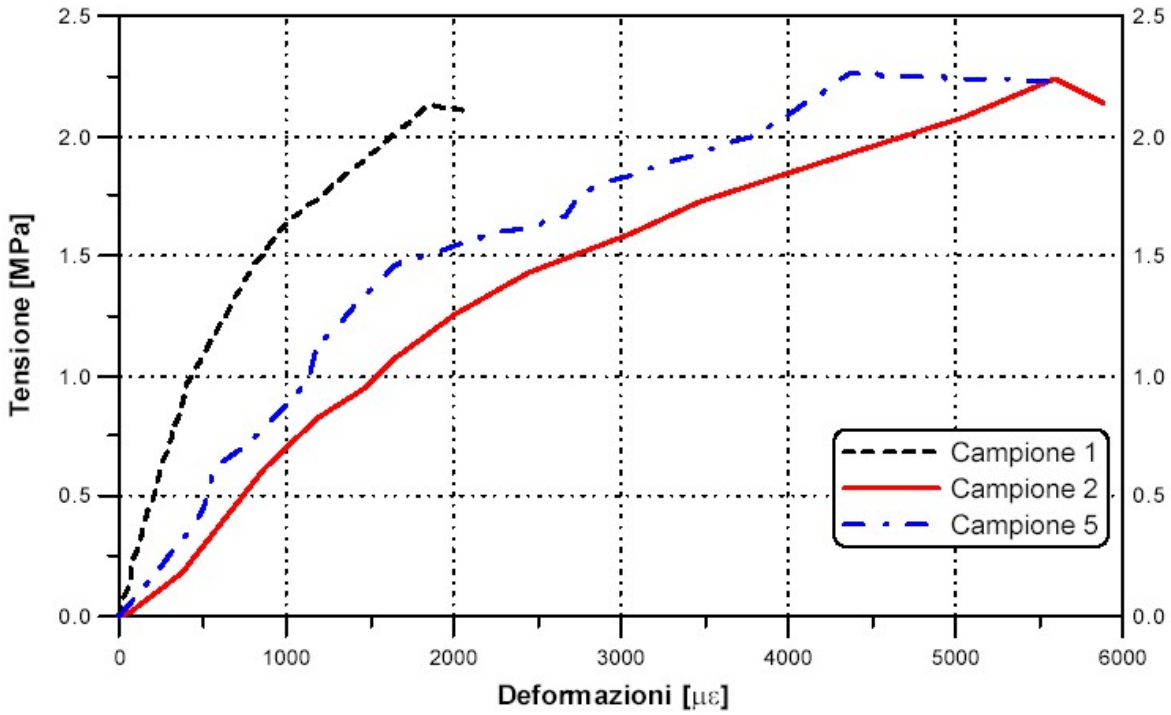
Chiamando con *p* la pressione idraulica nel martinetto, l'effettiva tensione presente nella muratura compresa tra i due martinetti è pari a

$$\sigma = k_f \, k_a \, p$$

k_f *è una costante di calibrazione del martinetto (< 1.0)*

k_a *è una costante che tiene conto della forma della sede e del martinetto*

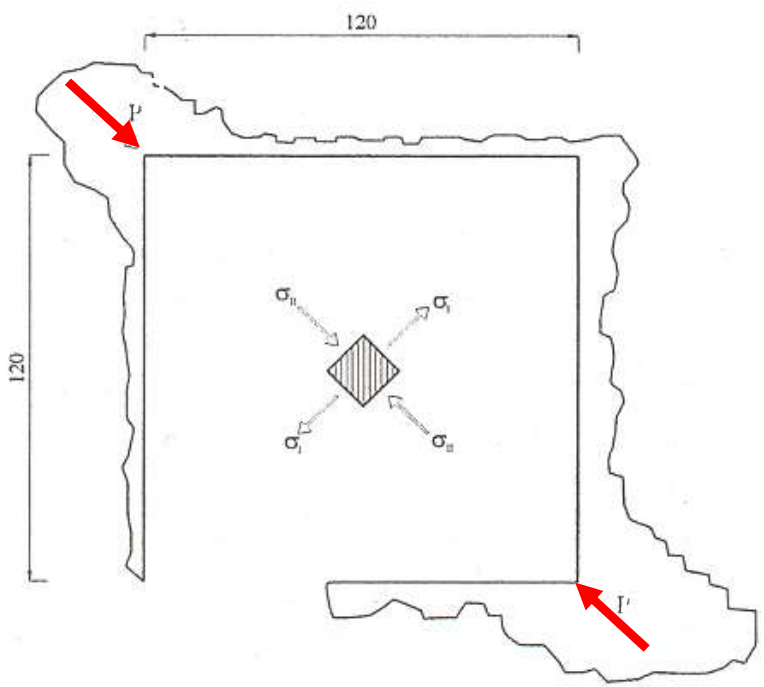


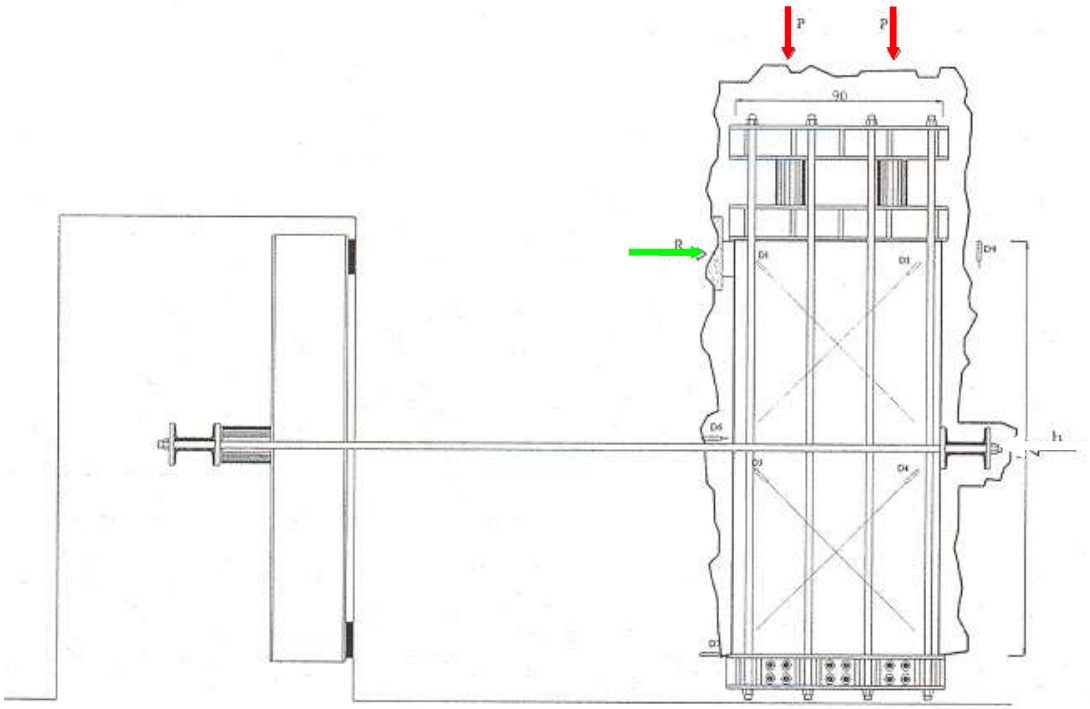


PROVE SULLA MURATURA IN-SITU

Prove di compressione diagonale e taglio-compressione

Le prove sono più invasive rispetto al prelievo di campioni da provare in laboratorio, ma hanno il vantaggio di un minore disturbo del campione (*rimozione, movimentazione, trasporto*)





Borri, Corradi, Vignoli (2000)

PROVE NON DISTRUTTIVE

Indagini soniche

Consentono di caratterizzare e descrivere qualitativamente la muratura. Si basa sulla generazione di impulsi sonici attraverso la percussione con martello strumentato (*produce vibrazioni nell'impatto*) e ricezione del segnale con accelerometro disposto ad una certa distanza da dove è stato applicato l'impulso

Si rileva il tempo che il segnale ha impiegato per compiere la distanza fra emissione e ricezione, e da questo si ricava la velocità di propagazione delle onde elastiche

Per materiali elastici, omogenei e isotropi esiste una relazione che lega questa velocità al modulo elastico *E* ed alla densità ρ

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

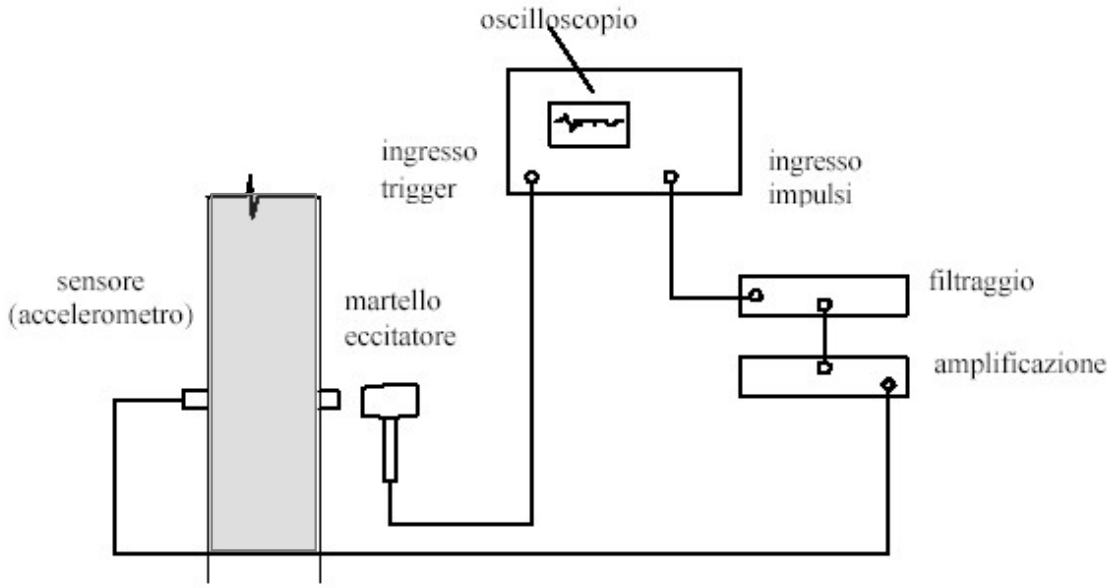
La velocità è maggiore nei solidi omogenei e minima nell'aria.

PROVE NON DISTRUTTIVE

Indagini soniche

In presenza di lesioni, fratture o discontinuità la velocità sonica diminuisce. Nelle discontinuità infatti l'onda è più lenta.

La frequenza del segnale di input nella prova è circa pari a 3.5 kHz.



Oscilloscopio analizza e registra le forme d'onda generate dal martello e rilevate dall'accelerometro situato sul lato opposto della muratura.

Strumento adatto per il controllo dell'omogeneità del materiale

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Per la valutazione delle azioni sismiche e per la modellazione della struttura si procede come per gli edifici di nuova costruzione

Si utilizzano gli stessi metodi di analisi della struttura adottati per gli edifici di nuova costruzione

Le verifiche degli elementi vanno condotte come per le costruzioni nuove, considerando per la verifica a taglio quella per fessurazione diagonale.

Nel caso di analisi lineare si assume per il fattore di struttura *q*

$q = 2.0\,\alpha_u/\alpha_1$ *Regolari in elevazione*

$q = 1.5\,\alpha_u/\alpha_1$ *Non regolari in elevazione*

α_u/α_1	**Tipo di edificio**
1.4	*Edifici in muratura ordinaria ad un piano*
1.7	*Edifici in muratura ordinaria a due o più piani*

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

Se l'edificio non soddisfa le verifiche di sicurezza è necessario procedere con interventi di adeguamento

Le verifiche sugli elementi irrigiditi e rinforzati con le tecniche indicate nel seguito devono far riferimento a modelli adeguatamente giustificati dal progettista.

Nel caso di edifici in aggregato, caso tipico nei centri storici, è necessario procedere ad una modellazione appropriata

E' necessario considerare l'eventualità di meccanismi locali di collasso (*collasso fuori piano di pareti mal collegate ai solai, ribaltamento di pareti sommitali in presenza di edifici di altezza diversa, collassi parziali negli edifici d'estremità o d'angolo di agglomerati, ecc.)*

AGGLOMERATO DI EDIFICI ADERENTI

Nella maggior parte dei casi gli edifici esistenti non sono isolati ma fanno parte di agglomerati più o meno complessi, che si sono formati nel tempo per somma in aderenza di nuove unità immobiliari

Quando si deve intervenire su un'unità dell'agglomerato, e l'intervento richiede l'adeguamento, non è possibile verificare tutto l'agglomerato, obbligando le proprietà che non intendono eseguire alcuna opera sulla propria porzione all'eventuale adeguamento

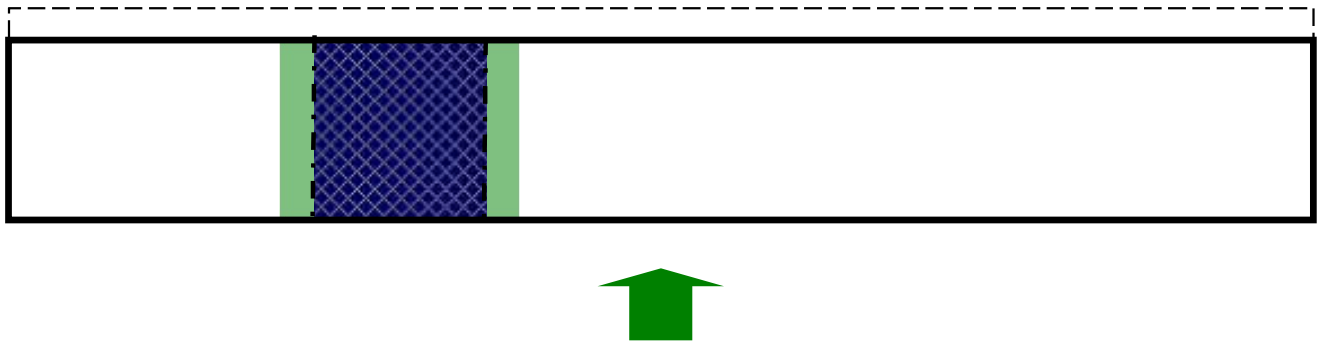
E' quindi necessario poter operare su una sola porzione dell'agglomerato, conferendo comunque adeguate garanzie di sicurezza nel rispetto della normativa

In sintesi l'intervento deve essere tale che, quando tutte le unità dell'agglomerato saranno adeguate, l'intero immobile si troverà ad un livello di vulnerabilità in accordo con la normativa

COMPORTAMENTO DEGLI AGGLOMERATI

Negli immobili molto allungati (*costruzioni a schiera*), **il comportamento per sisma trasversale, trascurando eccentricità della massa, è analogo a quello di ogni singola unità.**

E' quindi possibile studiare separatamente la singola unità (*purché si tenga conto della quota parte di massa delle unità adiacenti che grava sulla struttura resistente dell'unità in questione***)**

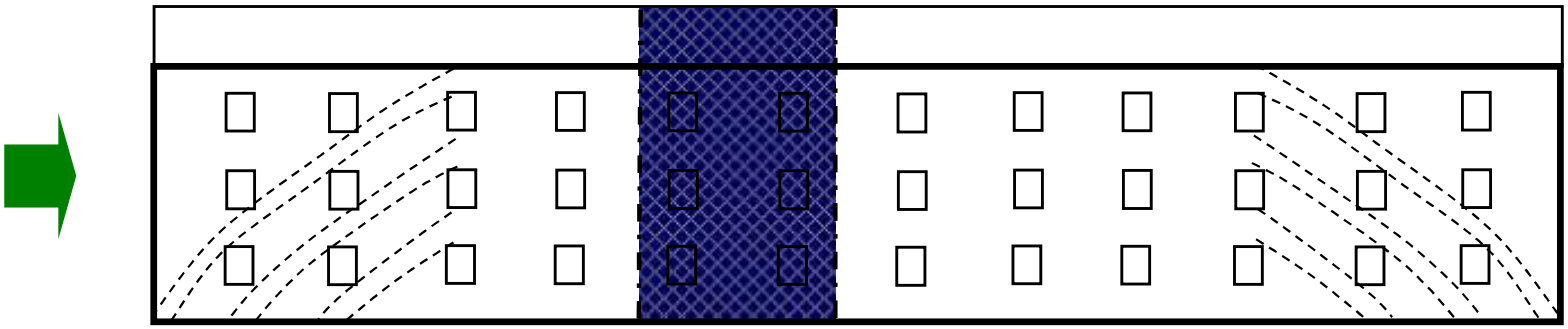


Primo modo traslazionale (*direzione trasversale*)

COMPORTAMENTO DEGLI AGGLOMERATI

Negli immobili molto allungati (*costruzioni a schiera*), il comportamento per sisma longitudinale in ogni singola unità è sensibilmente influenzato dalla presenza delle unità adiacenti. Si sviluppa infatti un meccanismo resistente ad arco che comporta un sensibile aumento della capacità portante di tutte le unità ad eccezione di quelle di estremità.

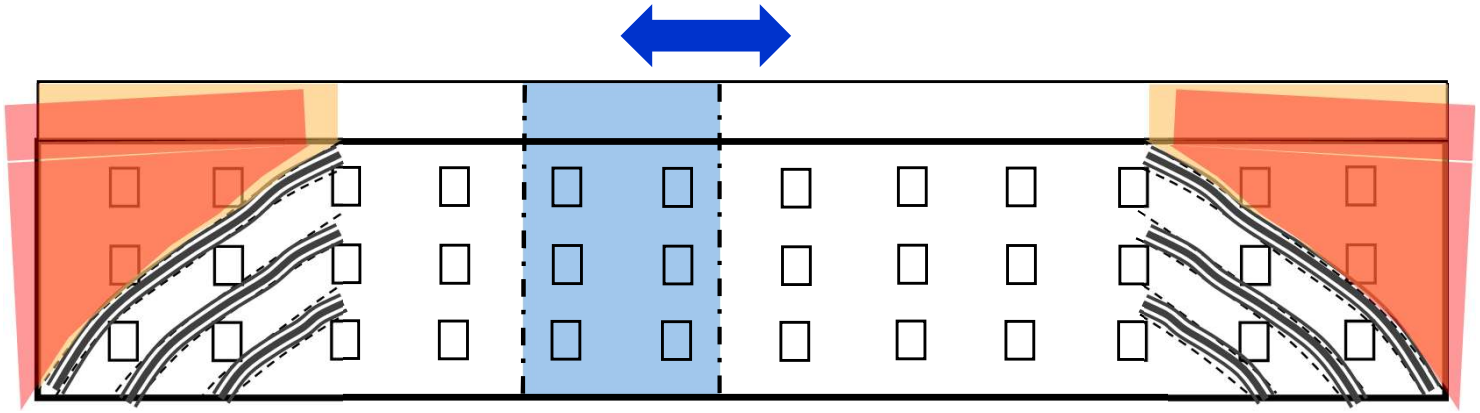
Lo studio della singola porzione è comunque in genere conservativo



Primo modo traslazionale (*direzione longitudinale*)

L'Aquila, 2009: Fessurazione diagonale su tre edifici in linea



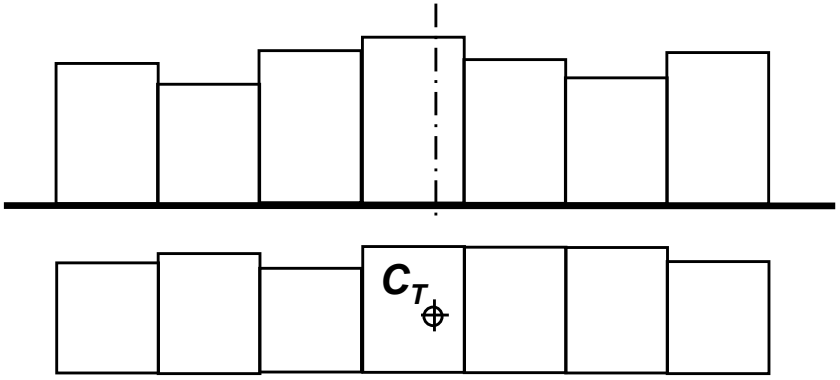


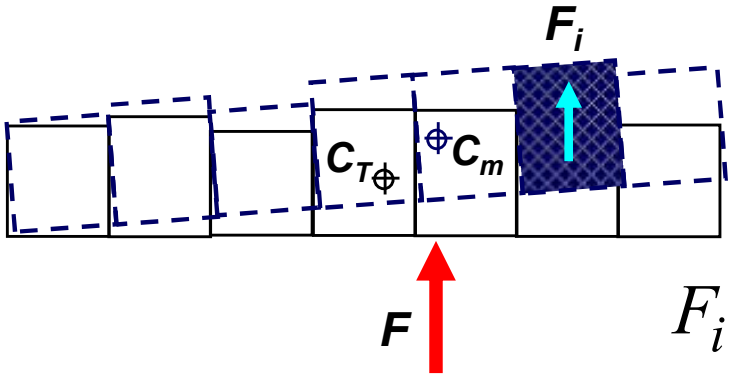
COMPORTAMENTO DEGLI AGGLOMERATI

In realtà le singole unità degli agglomerati non sono omogenee, presentano spesso geometrie (*altezze, larghezze*) e masse diverse. Anche la distribuzione degli elementi resistenti, e quindi delle rigidezze, è frequentemente non simmetrica per cui i primi modi prevedono una combinazione di roto-traslazione dei piani.

Questo comporta che le porzioni di fabbricato più distanti dal baricentro dell'agglomerato sono soggette a spostamenti maggiori e di conseguenza a forze statiche equivalenti maggiori.

Per tener conto di questo fatto, è necessario stimare un fattore di amplificazione della forza orizzontale relativo ad ogni porzione dell'agglomerato.

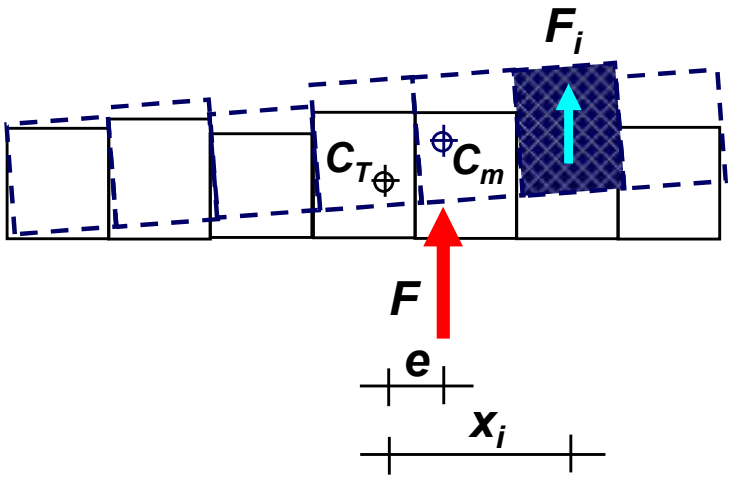




$$F_i > F \cdot \frac{M_i}{M_T}$$

COMPORTAMENTO DEGLI AGGLOMERATI

Se si ipotizza un diaframma di piano infinitamente rigido, e si assume che la rigidezza alla traslazione di ogni unità sia proporzionale all'area di base delle unità, si può scrivere

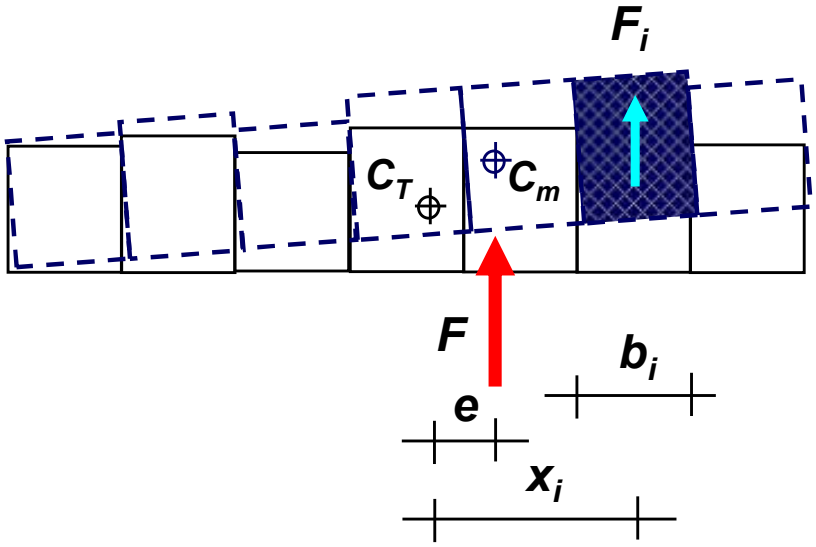


$$\begin{cases} F = \sum_{i=1}^{n} K_{yi} v_c \\ F \cdot e = \sum_{i=1}^{n} K_{yi} x_i^2 \, \vartheta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_c = \dfrac{F}{\sum_{i=1}^{n} K_{yi}} \\ \vartheta = \dfrac{F \cdot e}{\sum_{i=1}^{n} K_{yi} x_i^2} \end{cases}$$

$$F_i = K_{yi} v_c + K_{yi} x_i \vartheta \quad \Rightarrow \quad F_i = \left(\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} K_{yi}} + \frac{K_{yi} x_i}{\sum_{i=1}^{n} K_{yi} x_i^2} e \right) F$$

AMPLIFICAZIONE FORZA SINGOLE UNITA'

Sostituendo a K_{yi} la sua espressione in funzione dell'area dell'unità e dividendo per il valore di F_i proporzionale alla massa dell'unità *i*



$$K_{yi} = k\, b_i\, l_i$$

$$M_i = \mu_i\, b_i\, l_i$$

$$\overline{F}_i = \frac{\mu_i\, b_i\, l_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_i\, b_i\, l_i} F$$

$$\delta_i = \frac{F_i}{\overline{F}_i}$$

$$\delta_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i\, b_i\, l_i}{\mu_i \sum_{i=1}^{n} b_i\, l_i} \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i\, l_i}{\sum_{i=1}^{n} b_i\, l_i\, x_i^2} x_i\, e \right)$$

Amplificazione singolo blocco di costruzioni in agglomerati

numero	b (m)	l (m)	rapp. massa	x (m)	b*l (m^2)	b*l*x (m^3)	b*l*m (m^2)	b*l*m*x (m^3)	x_{ki} (m)	b*l*x_{ki}^2 (m^4)	δ_i
1	10	10	1	5	100	500	100	500	-46	211506	0.694
2	8	8	1.1	14	64	896	70.4	985.6	-37	87568	0.693
3	12	10	0.9	24	120	2880	108	2592	-27	87414	0.932
4	13	8	1	36.5	104	3796	104	3796	-14	21835	0.934
5	7	10	1.2	46.5	70	3255	84	3906	-4	1411	0.842
6	11	10	1.2	55.5	110	6105	132	7326	5	2238	0.899
7	9	12	1	65.5	108	7074	108	7074	15	22739	1.155
8	10	12	0.9	75	120	9000	108	8100	24	69179	1.363
9	12	10	1.1	86	120	10320	132	11352	35	147086	1.192
10	8	8	1.2	96	64	6144	76.8	7372.8	45	129659	1.156

Σb =	100	Mom. Sta.	49970	1023	53004	I_y = 780634
Σb*l =	980	x_k = 51.0		x_m = 51.8	e_{acc} = 5.0	
				e_x = 0.8	e = 5.8	

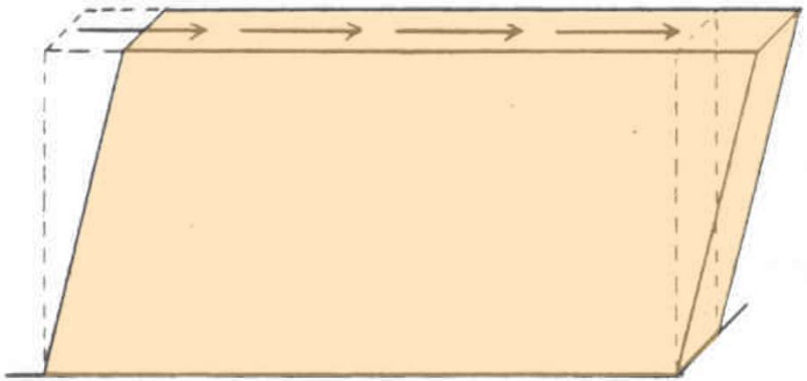
Amplificazione singolo blocco di costruzioni in agglomerati

numero	b (m)	l (m)	rapp. massa	x (m)	b*l (m^2)	b*l*x (m^3)	b*l*m (m^2)	b*l*m*x (m^3)	x_{ki} (m)	b*l*x_{ki}^2 (m^4)	δ_i
1	10	10	1	5	100	500	100	500	-46	211506	1.296
2	8	8	1.1	14	64	896	70.4	985.6	-37	87568	1.134
3	12	10	0.9	24	120	2880	108	2592	-27	87414	1.325
4	13	8	1	36.5	104	3796	104	3796	-14	21835	1.124
5	7	10	1.2	46.5	70	3255	84	3906	-4	1411	0.891
6	11	10	1.2	55.5	110	6105	132	7326	5	2238	0.849
7	9	12	1	65.5	108	7074	108	7074	15	22739	0.964
8	10	12	0.9	75	120	9000	108	8100	24	69179	1.014
9	12	10	1.1	86	120	10320	132	11352	35	147086	0.774
10	8	8	1.2	96	64	6144	76.8	7372.8	45	129659	0.664

Σb =	100	Mom. Sta.	49970	1023	53004	I_y = 780634
Σb*l =	980	x_k = 51.0		x_m = 51.8	e_{acc} = -5.0	
				e_x = 0.8	e = -4.2	

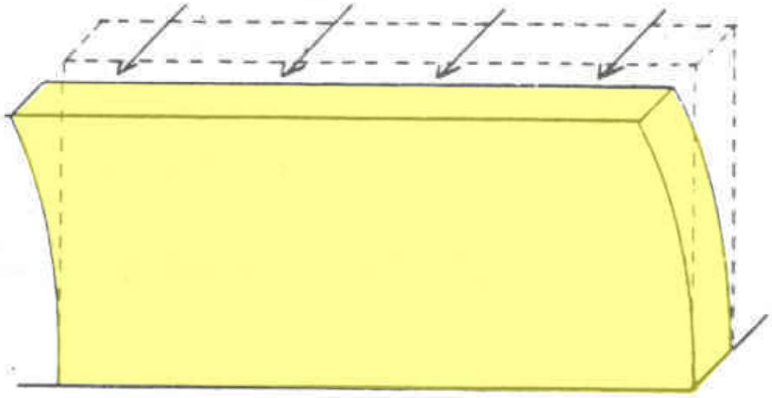
COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI

- Parete di muratura



Caricata nel piano

Rottura prevalentemente per ***taglio****, in subordine flessione*



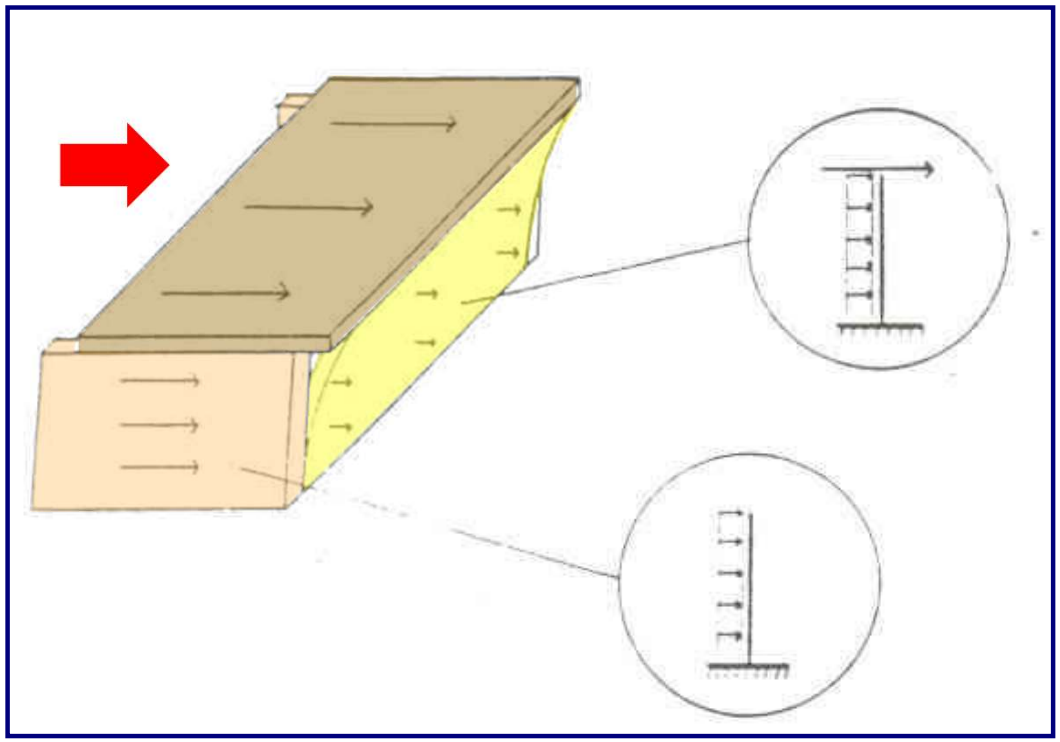
Caricata fuori piano

Rottura per ***ribaltamento, flessione orizzontale o verticale***

Rigidezza e resistenza nel piano notevolmente superiori a quelle fuori piano.

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI

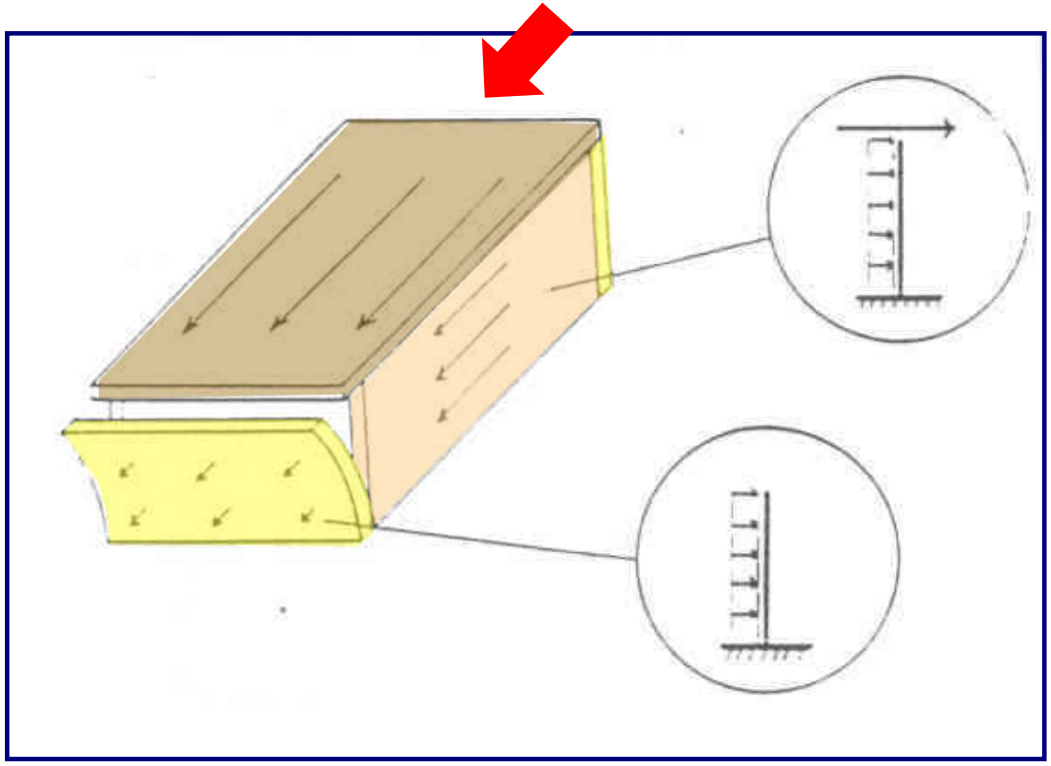
- Pareti **non collegate** fra loro, **solaio collegato alle pareti che lo sostengono**



- Pareti ortogonali al sisma sollecitate a mensola con forza concentrata in sommità e carico distribuito (**collasso per flessione o ribaltamento**)
- Pareti parallele al sisma sollecitate a taglio e flessione nel loro piano (**sollecitazioni modeste**)

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI

- Pareti **non collegate** fra loro, **solaio collegato alle pareti che lo sostengono**

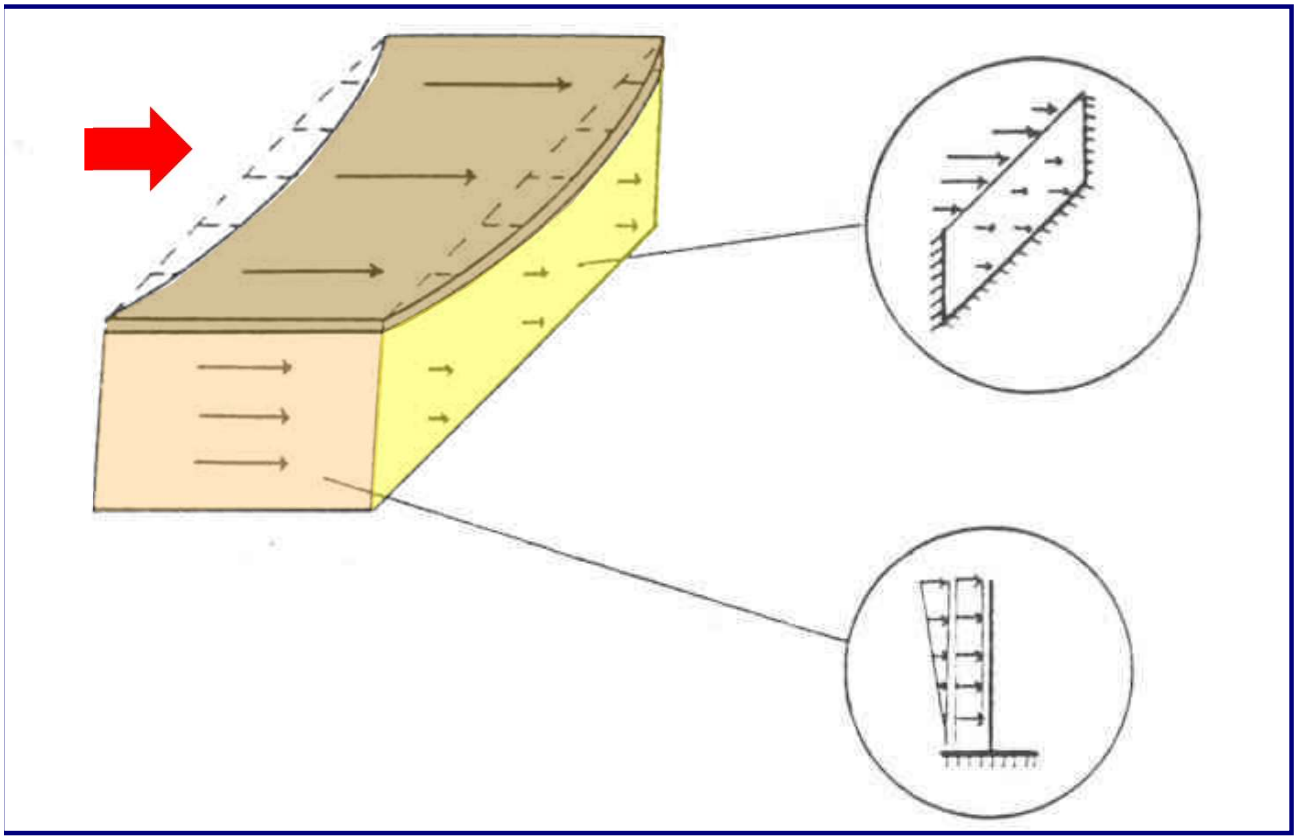


- <u>Pareti parallele al sisma</u> sollecitate a mensola con carico in sommità e carico distribuito (**taglio e flessione nel loro piano**)

- <u>Pareti ortogonali al sisma</u> sollecitate a mensola con carico distribuito (**collasso per flessione o ribaltamento**)

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI

- Pareti **collegate** fra loro, **solaio molto deformabile collegato alle pareti che lo sostengono**



- <u>Pareti ortogonali al sisma</u>

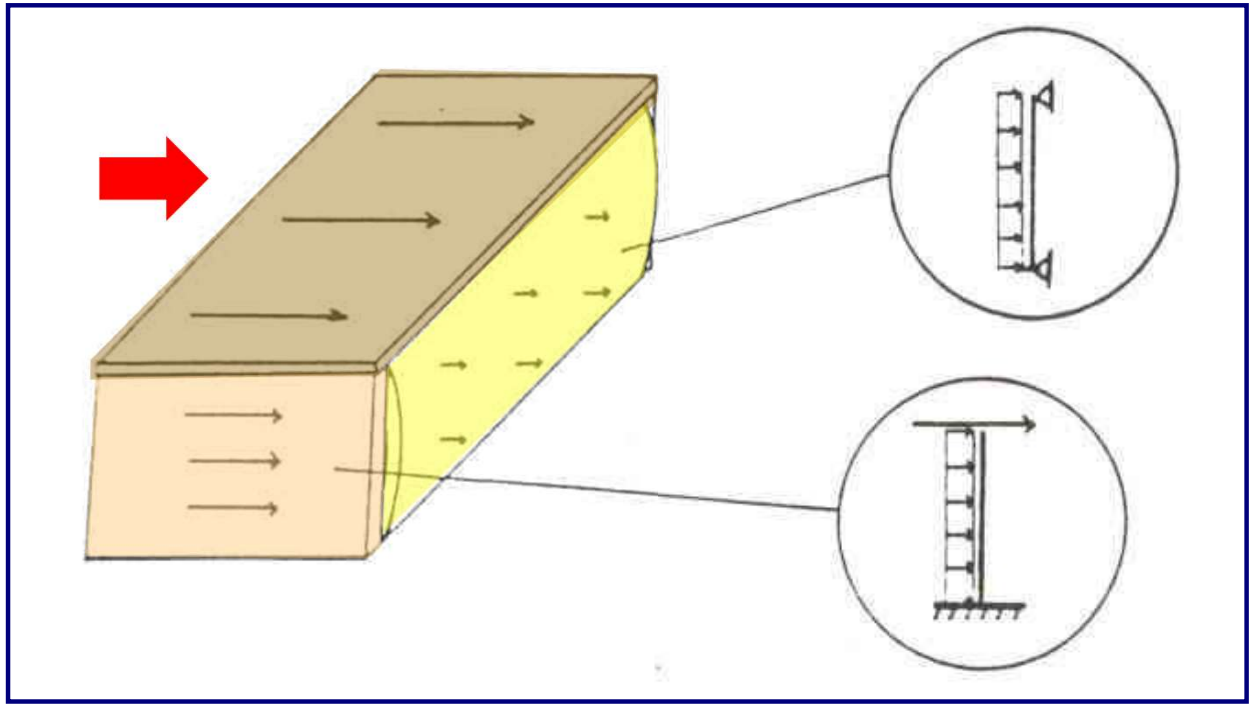
funzionano a piastra vincolata su tre lati (**collasso per flessione orizzontale per l/h>1**)

- <u>Pareti parallele al sisma</u>

sollecitate a mensola con carico distribuito e reazione parete ortogonale (**taglio e flessione nel loro piano**)

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI

- Pareti **non collegate** fra loro, **solaio rigido collegato a tutte le pareti**



- <u>Pareti ortogonali al sisma</u>

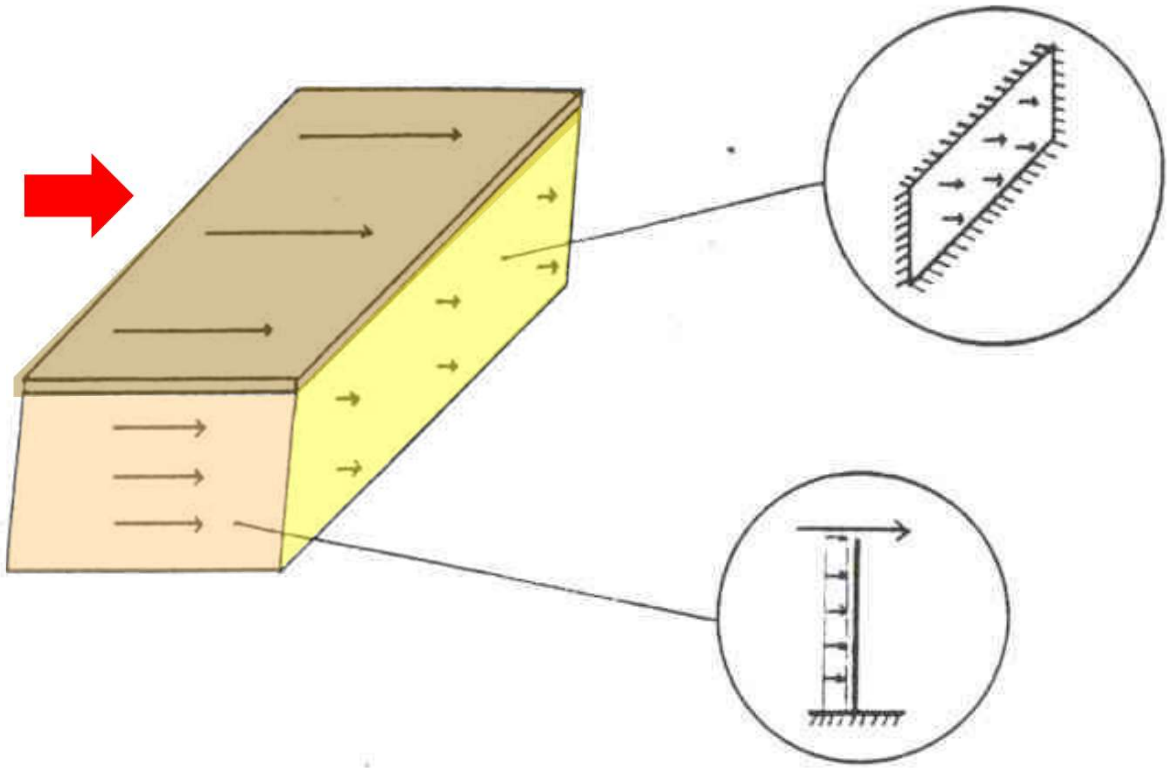
funzionano a trave vincolata a terra ed al solaio (**collasso per flessione verticale**)

- <u>Pareti parallele al sisma</u>

sollecitate a mensola con carico in sommità e distribuito (**taglio e flessione nel loro piano**)

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI

- Pareti **ben collegate** fra loro, **solaio rigido collegato a tutte le pareti**



- <u>Pareti ortogonali al sisma</u>

funzionano a lastra vincolata sul contorno (**sollecitazioni flessionali di modesta entità**)

- <u>Pareti parallele al sisma</u>

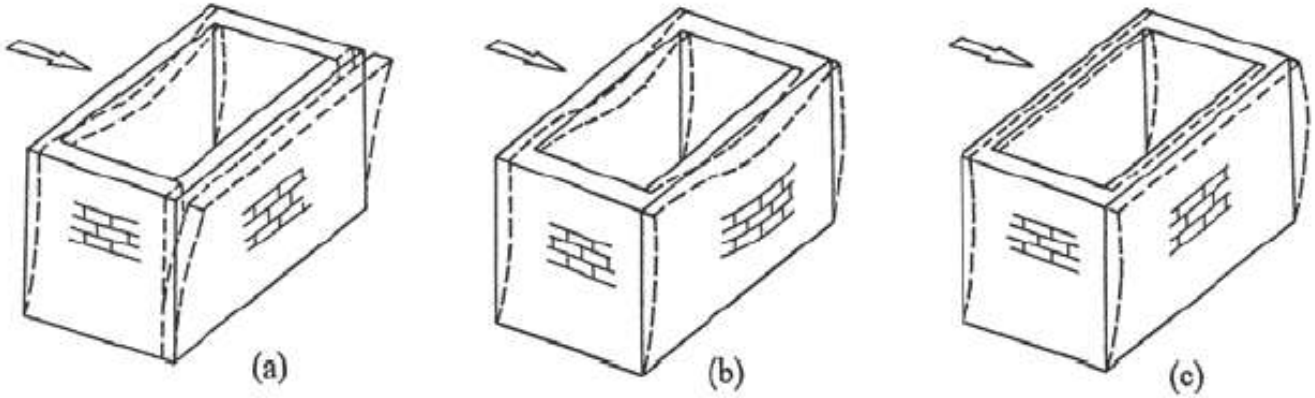
sollecitate a mensola con carico in sommità e distribuito (**taglio e flessione nel loro piano**)

CAUSE DI DANNO NEGLI EDIFICI IN MURATURA SOGGETTI AD ECCITAZIONE SISMICA

- ***Inadeguata integrità strutturale***
- ***Inadeguata distribuzione degli elementi resistenti***
- ***Inadeguata resistenza dei materiali***
- ***Inadeguato sistema di fondazione***

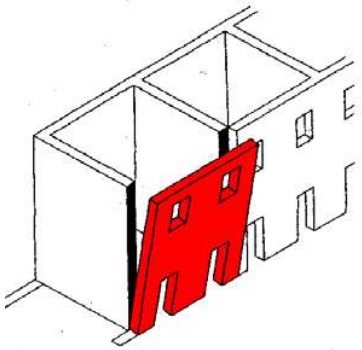
INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE

- ***Collegamenti tra pareti che si intersecano insufficienti o assenti***
- ***Collegamenti tra pareti e solai insufficienti o assenti***
- ***Inadeguata rigidezza dei solai nel proprio piano***

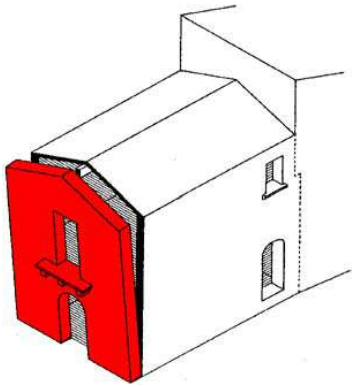




INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



Ribaltamento parete



Ribaltamento parete

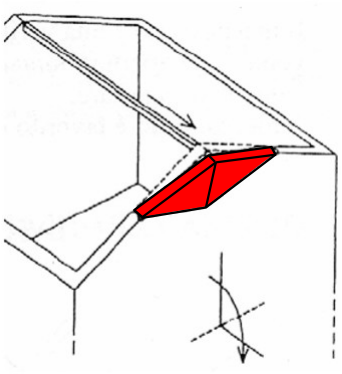


Duomo di Mirandola – Emilia 2012

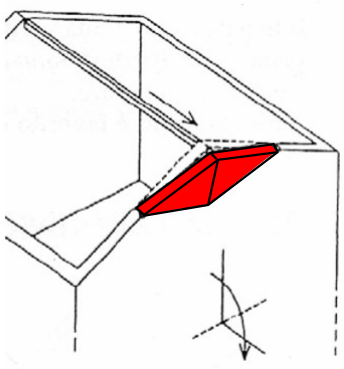


Edificio centro L'Aquila – L'Aquila 2009

INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



Ribaltamento timpano



Ribaltamento timpano



Chiesa centro L'Aquila – L'Aquila 2009



Ribaltamento timpano – San Gregorio (AQ) 2019

INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE

Chiesa delle Anime Sante – L'Aquila



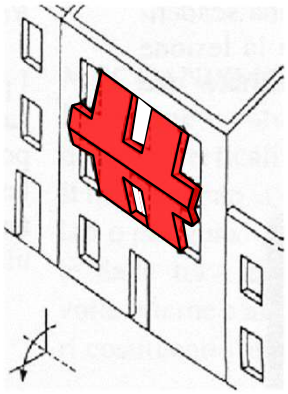
Prima terremoto 2009





Dopo terremoto 2009

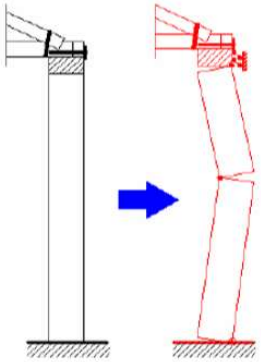
INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



Flessione verticale fuori piano



Flessione fuori piano – L'Aquila 2009

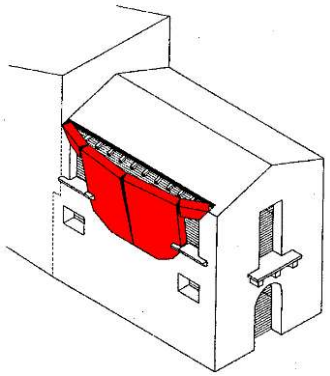


Flessione verticale fuori piano



Municipio di Sant'Agostino – Emilia 2012

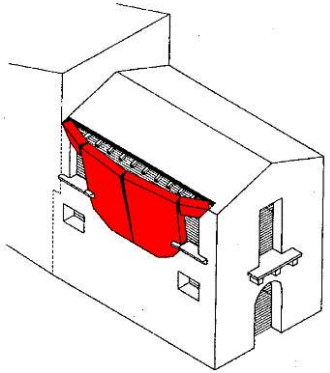
INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



Flessione orizzontale fuori piano



Flessione orizzontale fuori piano – L'Aquila 2009

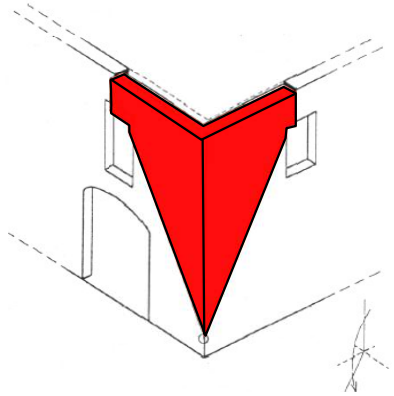


Flessione orizzontale fuori piano



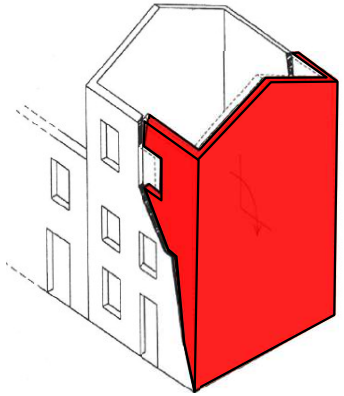
Flessione orizzontale - Salò 2004

INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



Ribaltamento cantonale

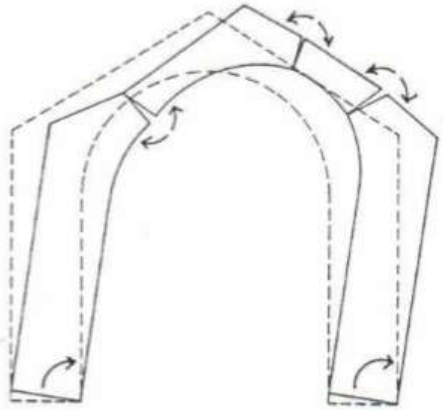




Ribaltamento composto facciata



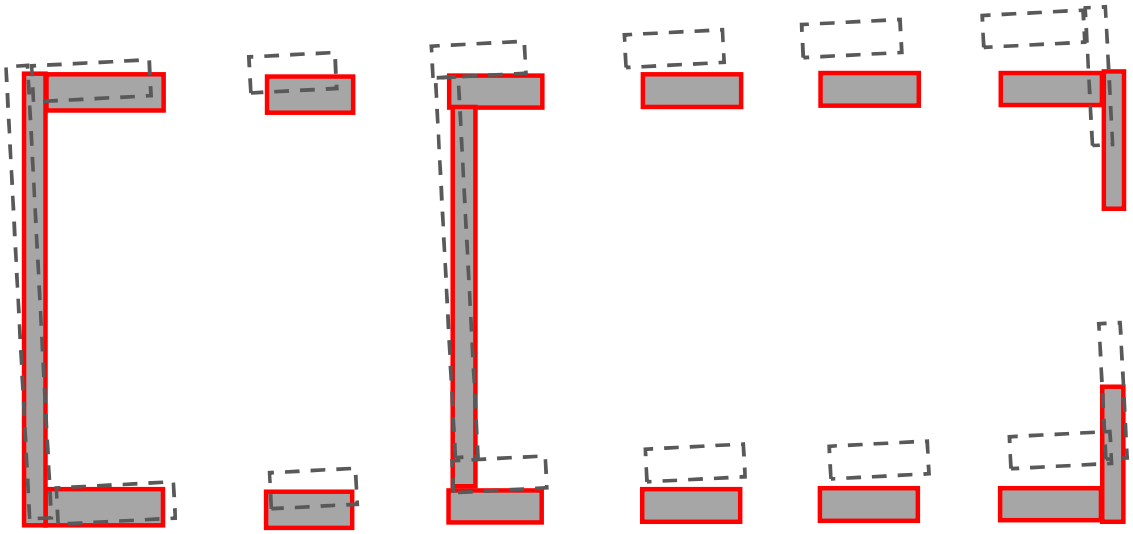
INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



Meccanismo di rottura arco



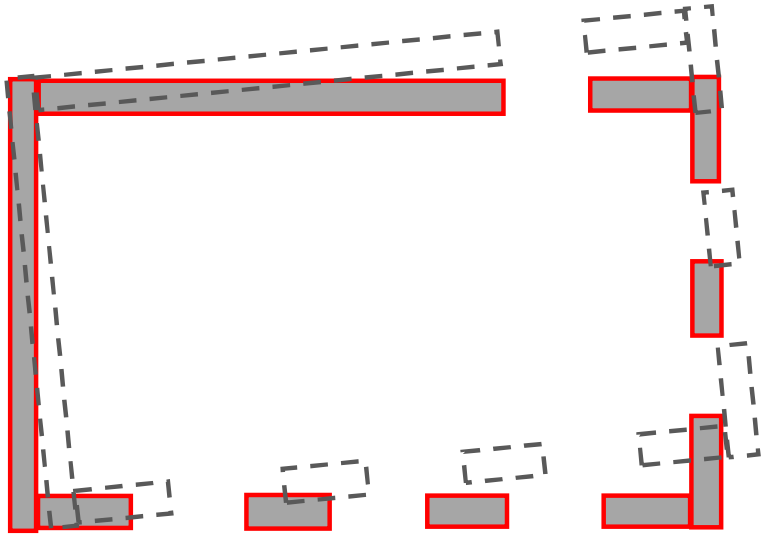
DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI



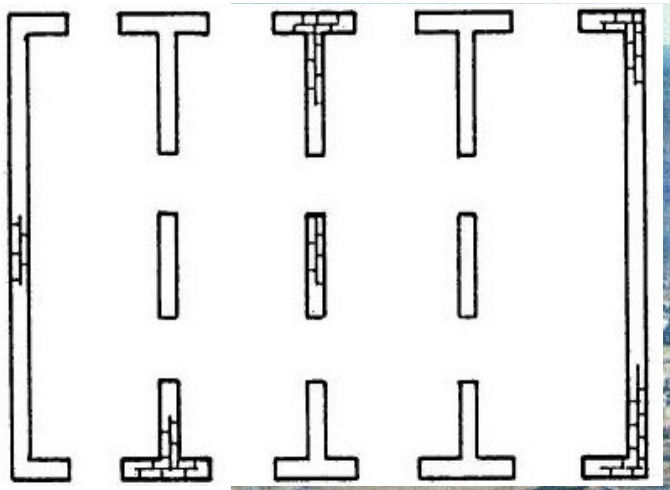
Distribuzione dissimmetrica rispetto ad un asse.



Distribuzione dissimmetrica rispetto ai due assi



DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI

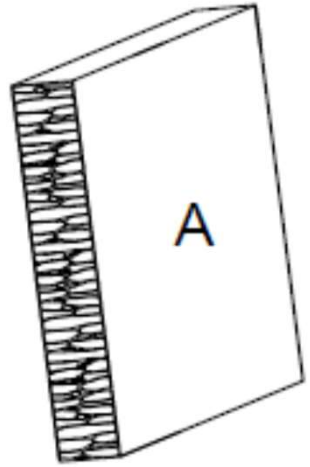


Neftegork, Russia 1995

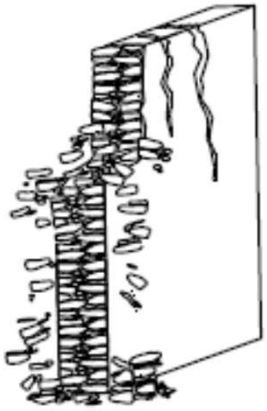
Collasso in una direzione

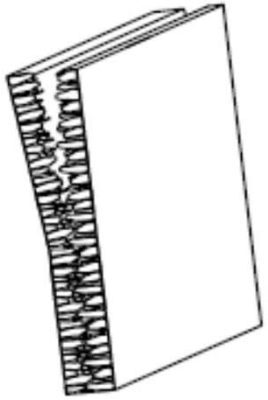
INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI

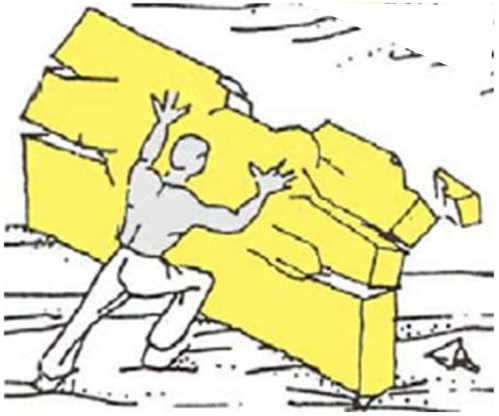
Le pareti murarie degli edifici possono essere soggette ai seguenti tipi di collasso quando eccitate dal sisma

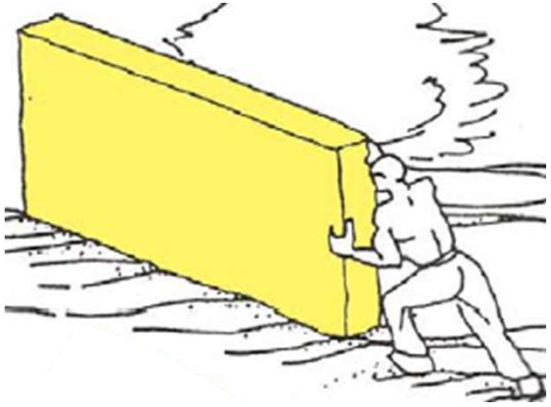


1. **Disgregazione della tessitura muraria**
2. **Separazione strati (più paramenti, sacco)**
3. **Collasso della parete fuori dal proprio piano**
4. **Collasso della parete nel proprio piano**



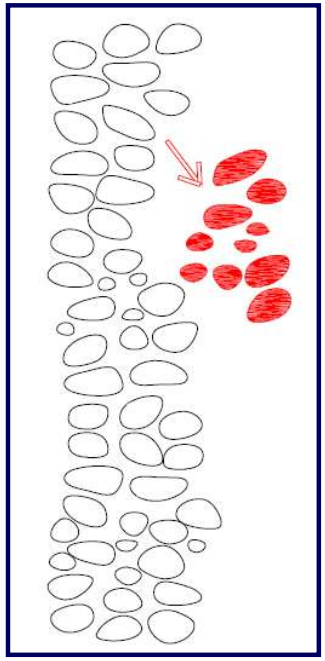






DISGREGAZIONE TESSITURA MURARIA

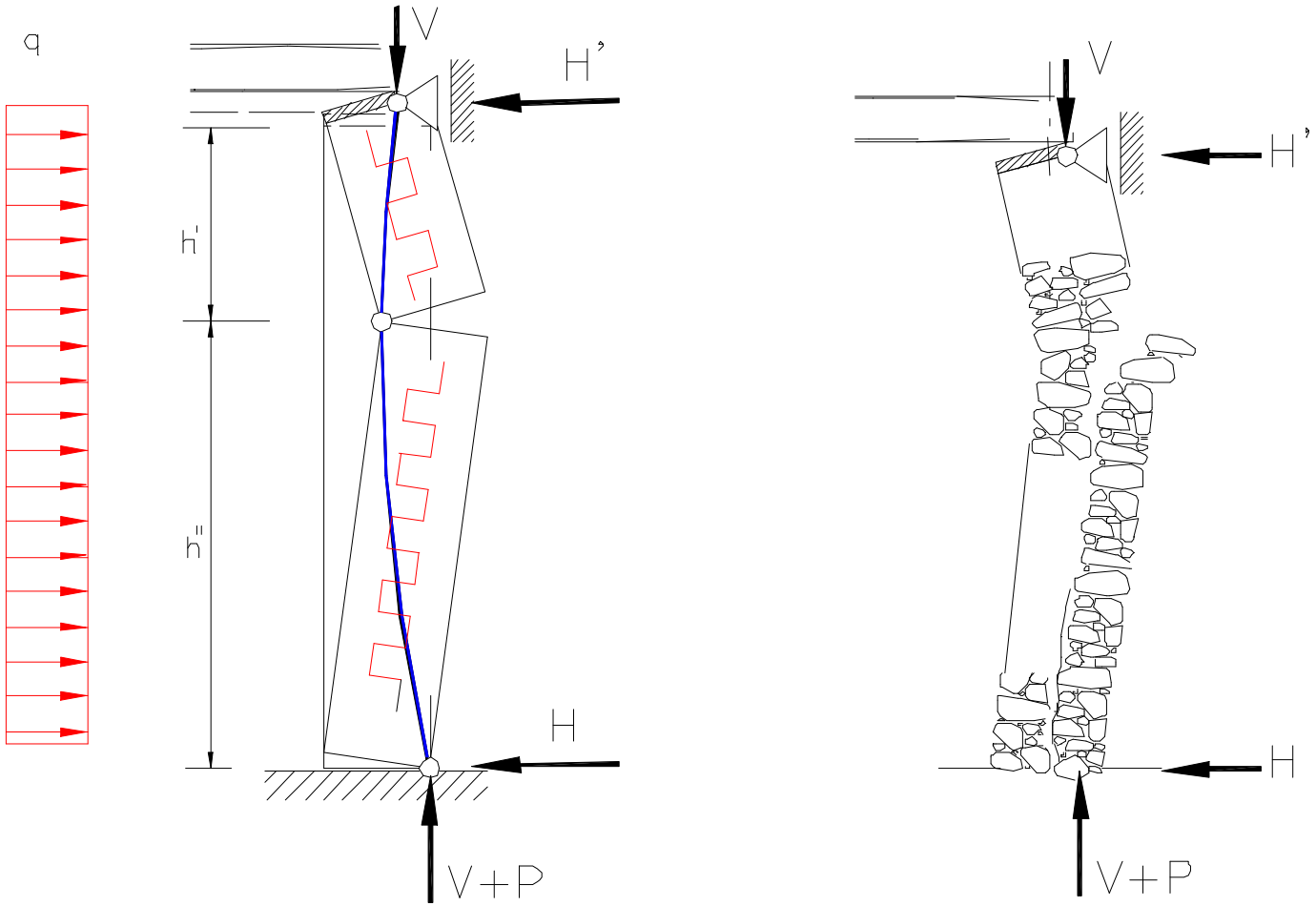
Espulsione del paramento esterno







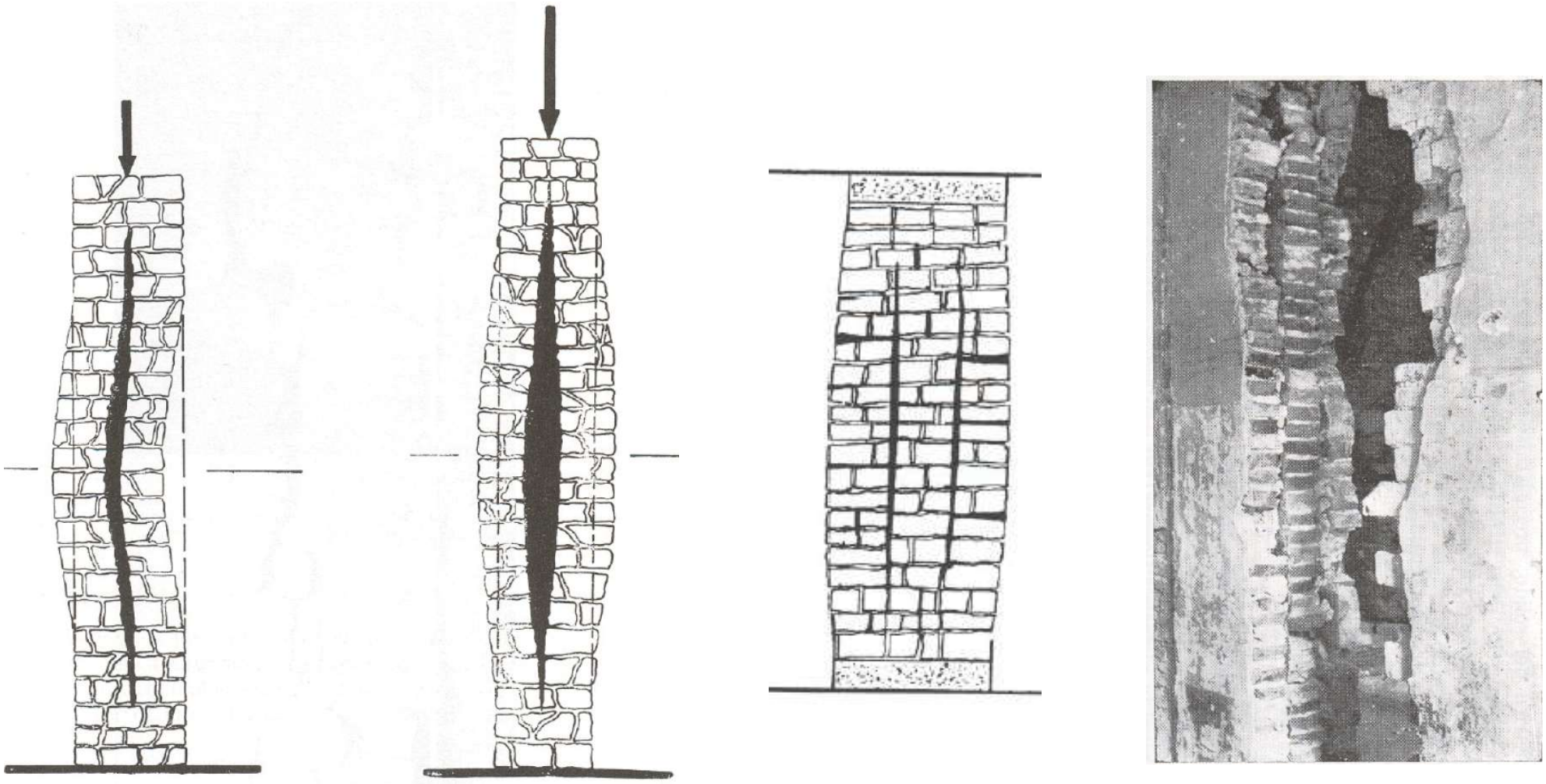
DISGREGAZIONE TESSITURA MURARIA



Se la muratura si disgrega, non si arriva alla formazione di meccanismi.

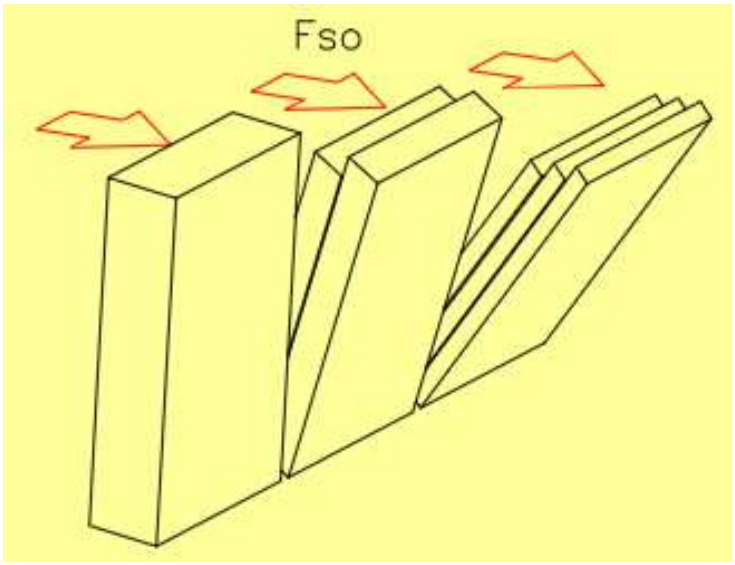
SEPARAZIONE MURATURE A STRATI

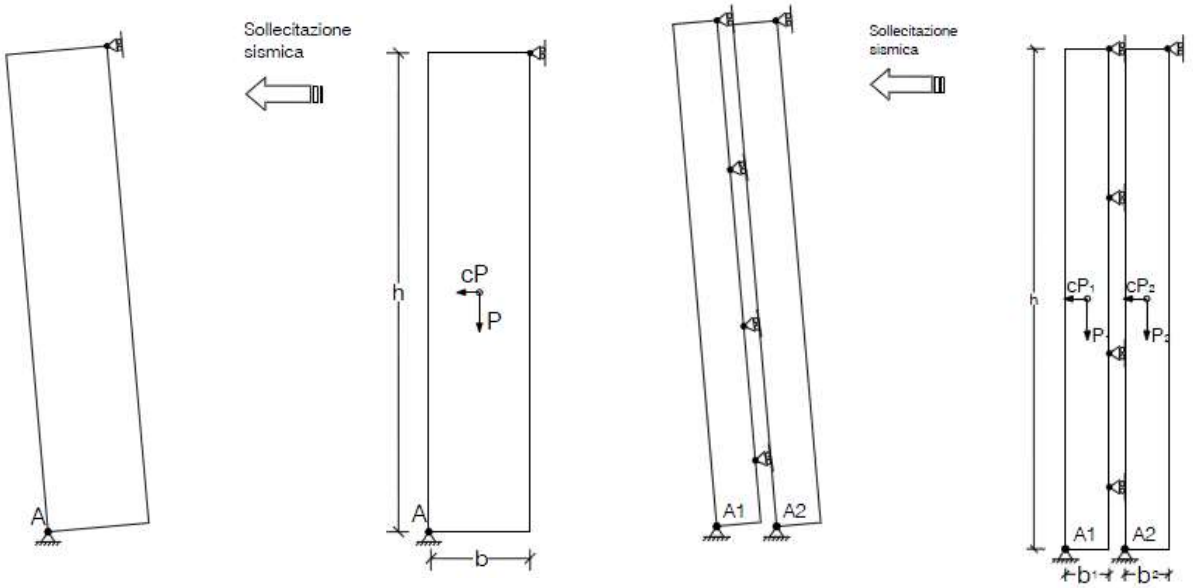
- Quadri fessurativi nel piano della muratura (*rigonfiamenti in superficie)*



SOLLECITAZIONE CRITICA PARETE FUORI PIANO

- Ribaltamento

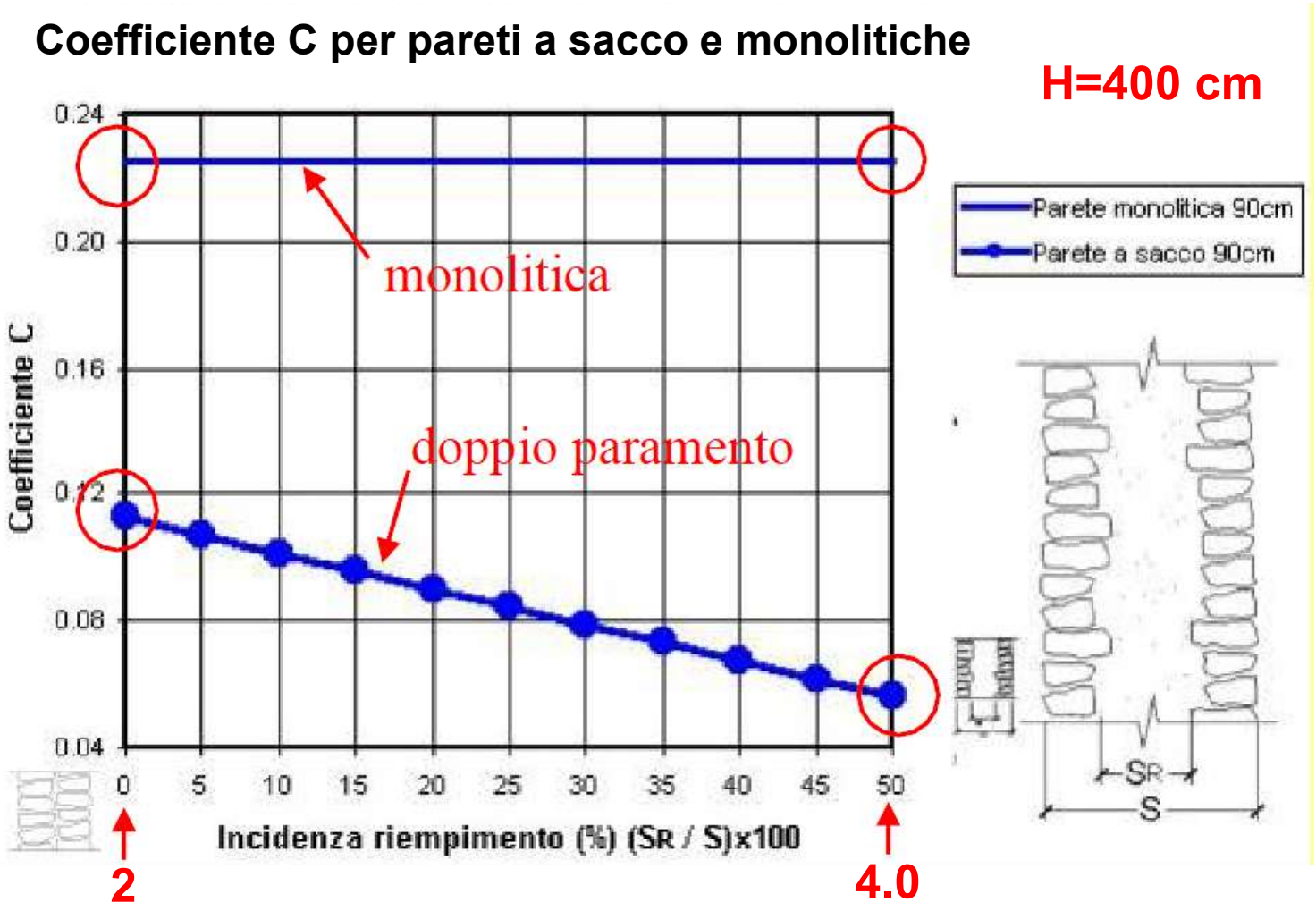




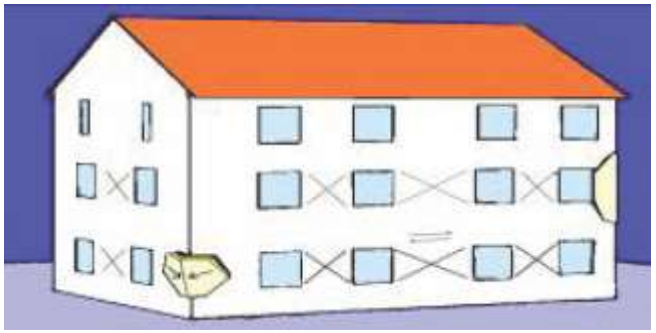
Moltiplicatori di collasso molto diversi.

SOLLECITAZIONE CRITICA PARETE FUORI PIANO

- Ribaltamento



COLLASSO PARETE NEL PROPRIO PIANO





L'Aquila, 2009
Fessurazione diagonale maschi



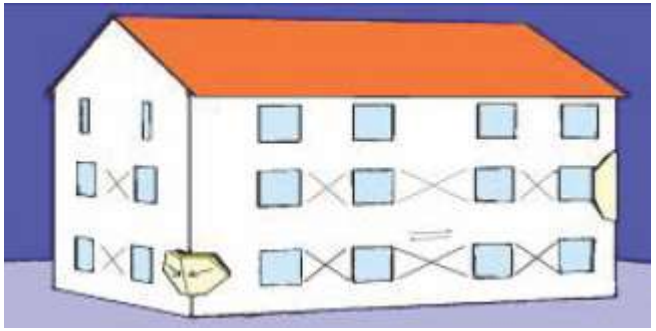
Budva, 1979
Rottura a taglio dei maschi del piano terra

INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI



Polog, 1998

Fessurazione diagonale maschi e danneggiamento dei maschi d'angolo



INADEGUATO SISTEMA DI FONDAZIONE

- ***Frane incombenti***
- ***Liquefazione del suolo***

Danni attesi

- ***Demolizione degli edifici dal fenomeno franoso***
- ***Inclinazione o ribaltamento dell'intero edificio per liquefazione del suolo di fondazione***

FRANE INCOMBENTI

Las Colinas – El Salvador, 2001

Frana che demolisce numerose costruzioni (600 vittime)



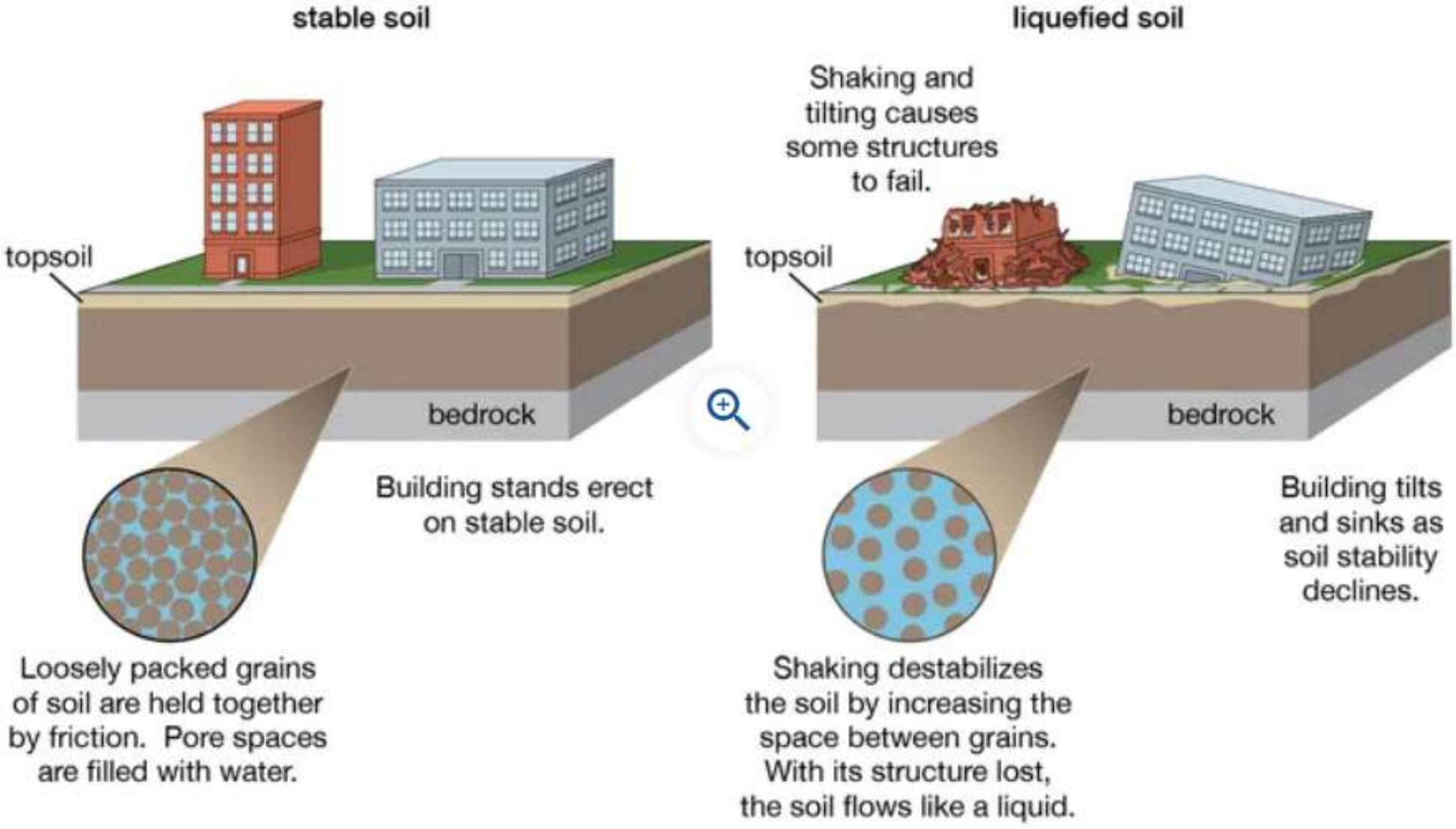
FRANE INCOMBENTI



Kobe - Giappone, 1995

Frana ha causato il collasso di diversi edifici (30 vittime)

LIQUEFAZIONE DEL SUOLO



LIQUEFAZIONE DEL SUOLO

Adapazari, Turkia, 1999

Ribaltamento di edifici dovuti a liquefazione del suolo di fondazione



LIQUEFAZIONE DEL SUOLO

Nijgata, Giappone, 1964

Ribaltamento di edifici dovuti a liquefazione del suolo di fondazione



PER RIMUOVERE LE CRITICITA’ EVIDENZIATE E’ NECESSARIA L’ESECUZIONE DI INTERVENTI DI RINFORZO

PROGETTAZIONE INTERVENTI SULL'ESISTENTE

- ***Comprendere i meccanismi di risposta al sisma dell'edificio esistente (****individuazione e interpretazione)*
- ***Individuare le criticità del sistema (vulnerabilità)***
- ***Stabilire le finalità degli interventi:***
  - *Eliminare criticità strutturali*
  - *Eventualmente incrementare la resistenza/capacità*
- ***Scegliere le tecniche maggiormente idonee***
- ***Comprendere gli effetti degli interventi***
- ***Valutare il livello di sicurezza raggiunto***

CRITERI GENERALI PER LA SCELTA DELL'INTERVENTO

- ***Evitare variazioni nella distribuzione delle rigidezze:***
  - *Gli interventi di rinforzo vanno applicati in modo regolare ed uniforme alle strutture*
  - *Interventi locali possono peggiorare il comportamento globale dell'edificio*
- ***L'intervento deve essere giustificato; si deve dimostrare:***
  - *La carenza dello stato attuale del fabbricato*
  - *Il beneficio apportato dall'intervento*
- ***L'intervento deve portare ad un'uniformità del livello di sicurezza per tutti i macroelementi***

CRITERI PER LA SCELTA DELL'INTERVENTO

- ***Frequentemente l'intervento non può essere finalizzato solo al raggiungimento di un appropriato livello di sicurezza della costruzione, ma deve garantire anche:***
  - *Compatibilità meccanica, chimica, fisica*
  - *Integrazione della struttura, non trasformazione*
  - *Rispetto della concezione e delle tecniche originarie della struttura*
  - *Limitata invasività*
  - *Possibilmente, reversibilità o rimovibilità*
  - *Durabilità degli interventi*
  - *Minimizzazione dell'intervento (sia per conservazione, sia per limitare i costi, sia per contenere i tempi di esecuzione)*

TECNICHE DI INTERVENTO

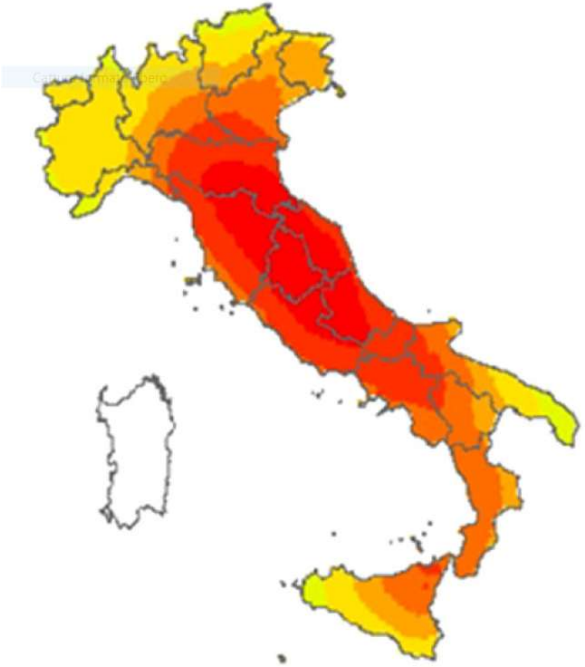
Le tecniche di intervento per rimuovere le criticità strutturali e incrementare le prestazioni in caso di sisma riguardano:

- ***Il miglioramento dei collegamenti (****tra muri ortogonali, tra muri e solai, tra muri e volte)*
- ***Il rinforzo dei solai di piano e di copertura***
- ***Il rinforzo degli elementi resistenti verticali (****distribuzione murature e miglioramento delle prestazioni dei materiali****)***

IL MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI

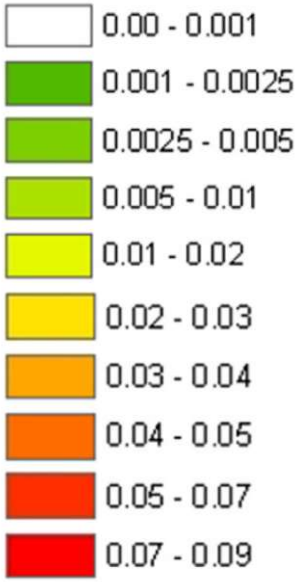
RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

Muratura in pietra di 1-2 piani senza legature (catene o cordoli)



Muratura in pietra di 1-2 piani con legature (catene o cordoli)

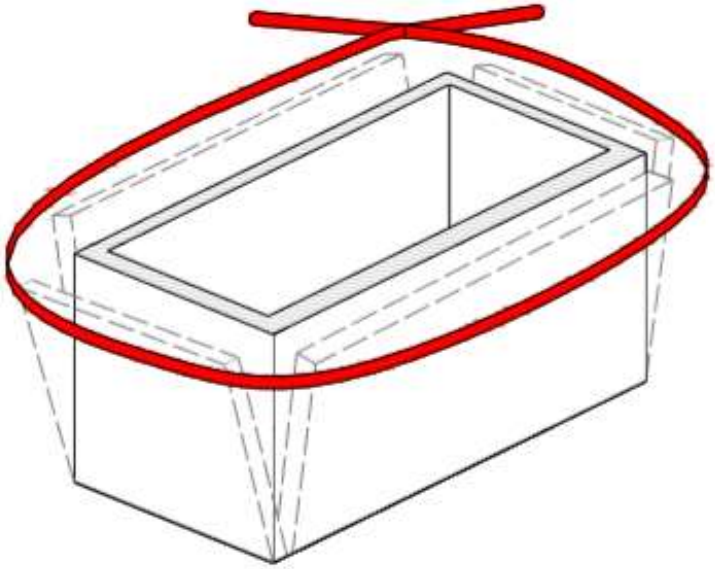


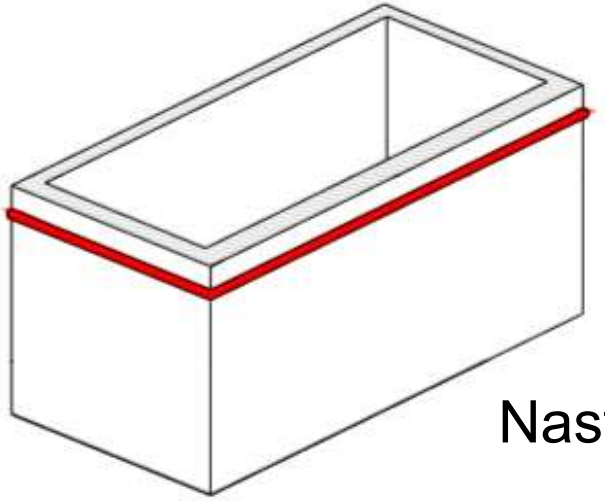


Probabilità annuale di perdere il valore dell'edificio (elaborazione sui dati dei rilievi post sismici in Italia (*Rota, Penna, Strobbia, Magenes 2011*)

LEGATURE ORIZZONTALI

Principio: favorire un comportamento scatolare





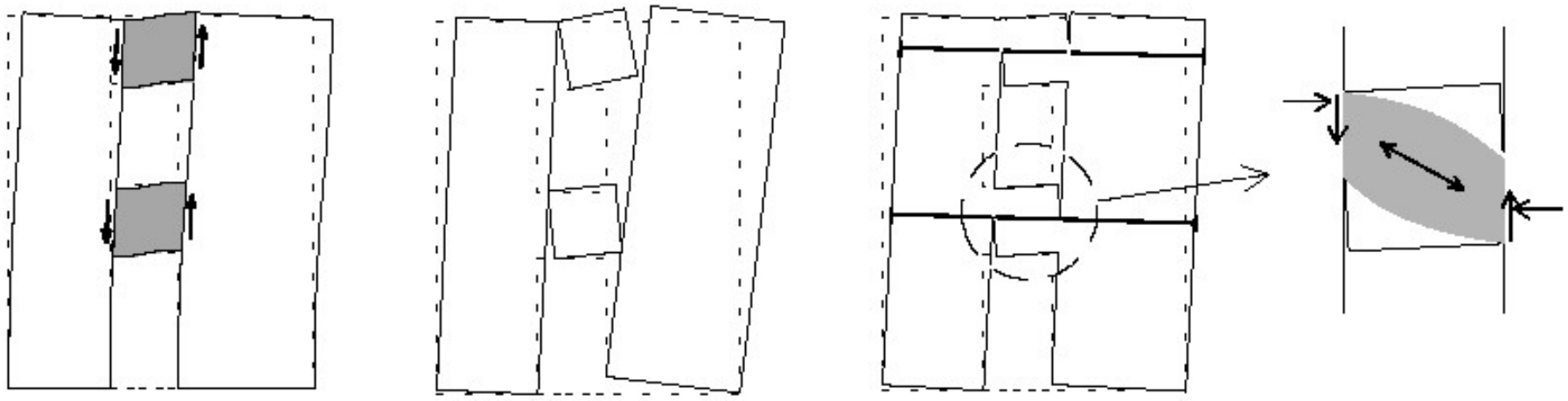
Nastri in FRP



Catene perimetrali

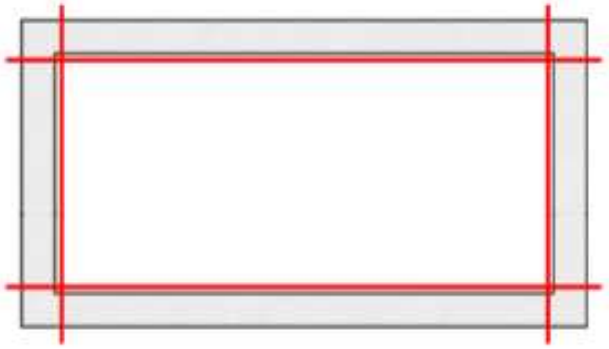
LEGATURE ORIZZONTALI

- *Le tirantature orizzontali sono indispensabili, se non ci sono cordoli o catene a livello dei solai, per impedire il "rocking" delle fasce di piano*



Senza catene

Con catene

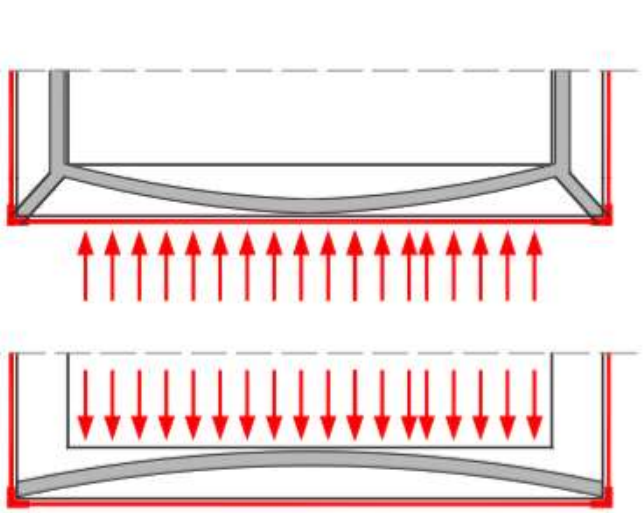


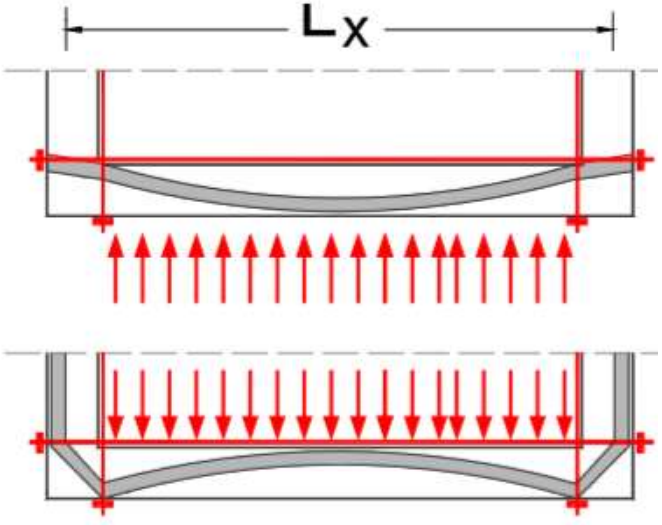
Catene perimetrali

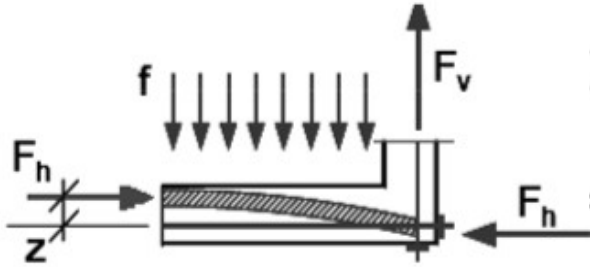
LEGATURE ORIZZONTALI

Le catene perimetrali possono essere:

- *Esterne, o alloggiate entro scanalature. Raramente entro fori eseguiti con attrezzo a rotazione (carotatrice).*
- *Attive, passive, aderenti o non aderenti. Le catene attive con leggera pretensione e non aderenti limitano la fessurazione e rendono l'intervento quasi reversibile. Devono essere protette dalla corrosione.*
- *Tesate con martinetto o con sistemi a vite (più semplice)*





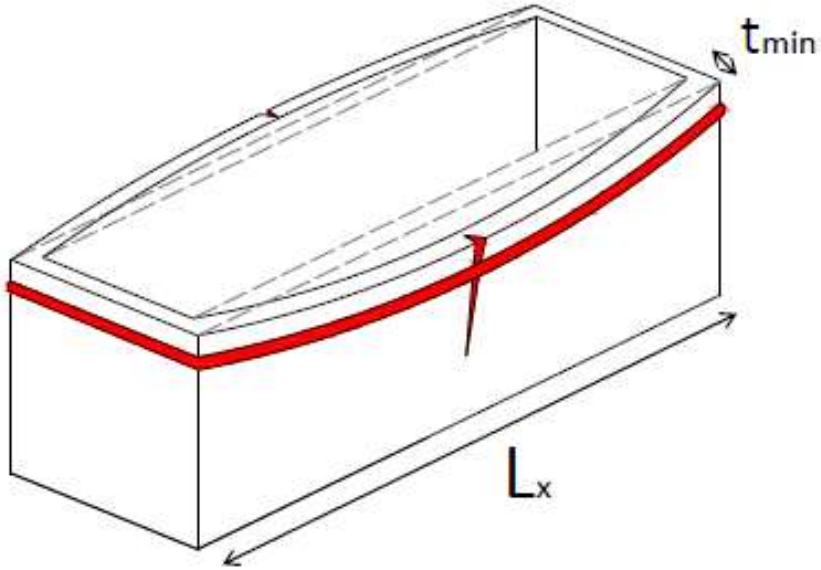


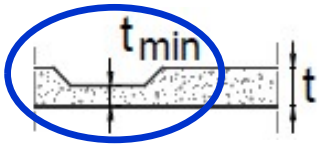
$$F_v = \frac{f \cdot L_x}{2} \qquad F_h = \frac{f \cdot L_x^2}{8 \cdot z}$$

LEGATURE ORIZZONTALI

Le catene perimetrali per essere efficaci è necessario che:

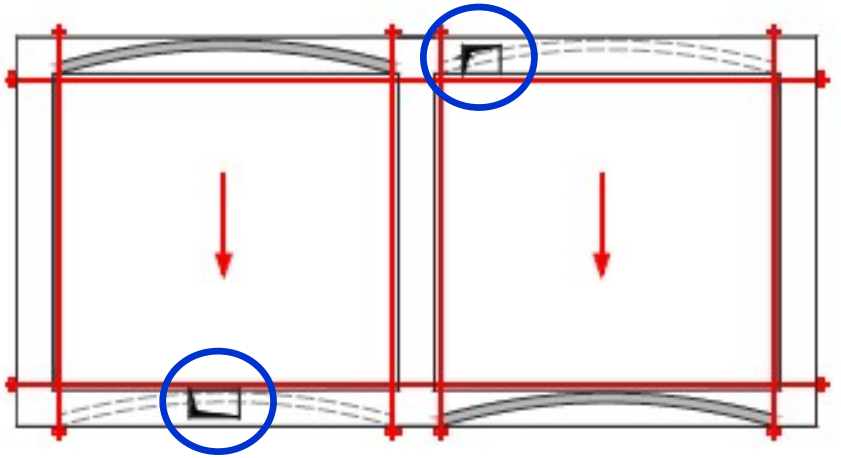
- *Non eccessiva snellezza pareti*



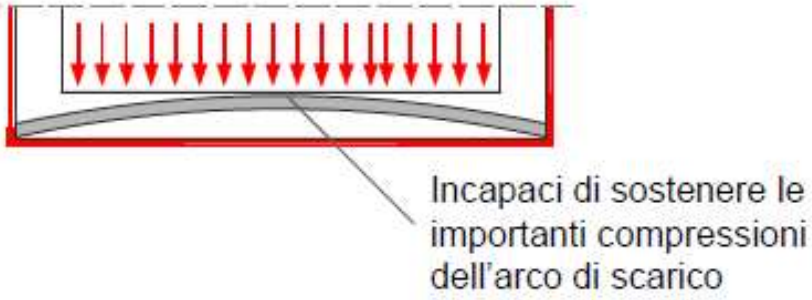


$$\frac{L_x}{t_{\min}} \leq 10$$

- *Assenza di canne fumarie. Non si può formare il sistema arco-catena*

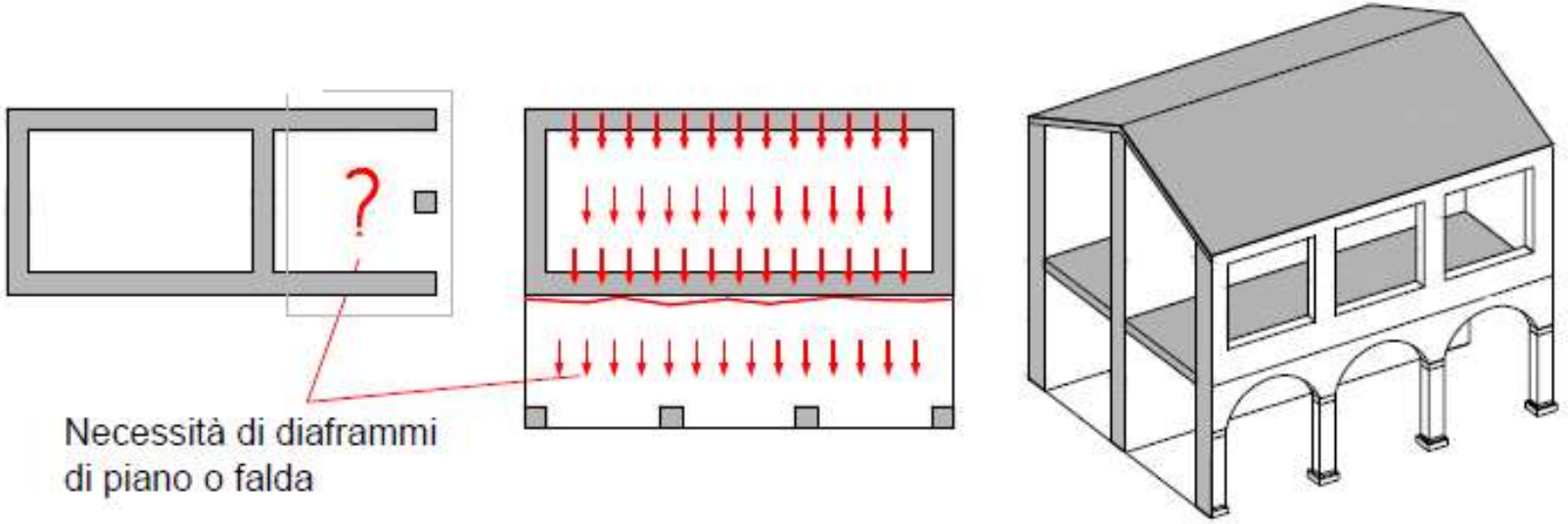


- *Le murature non siano scadenti*



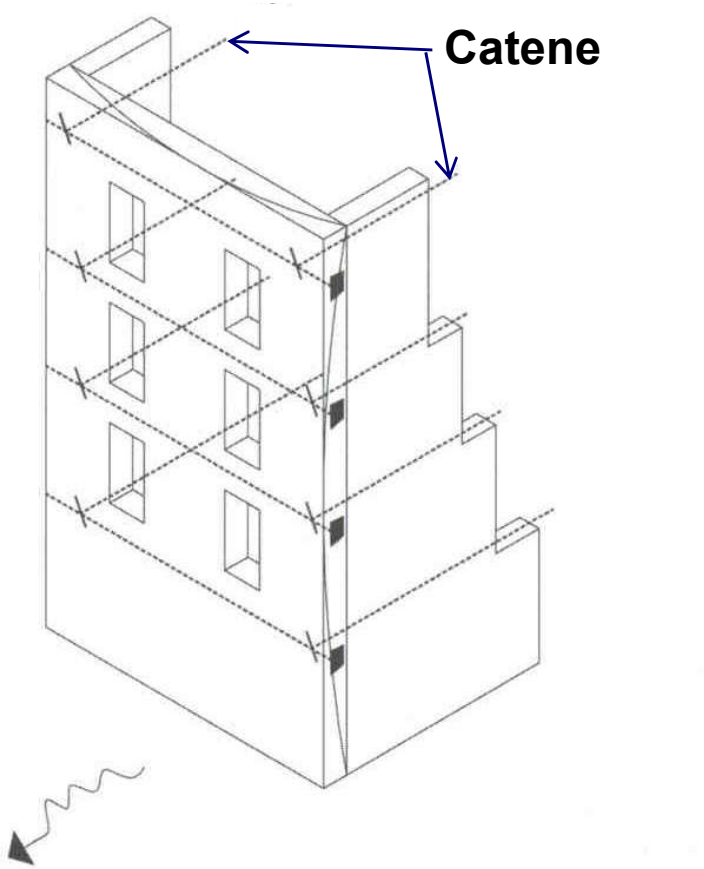
LEGATURE ORIZZONTALI

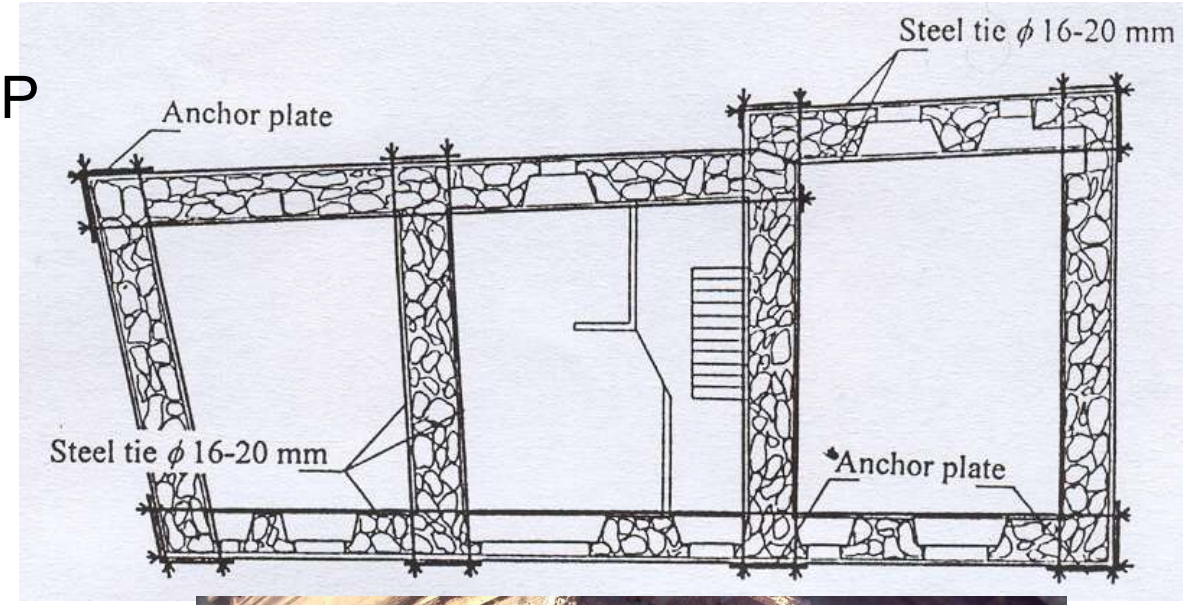
Se le catene sono inefficaci è necessario realizzare diaframmi di piano



LEGATURE ORIZZONTALI

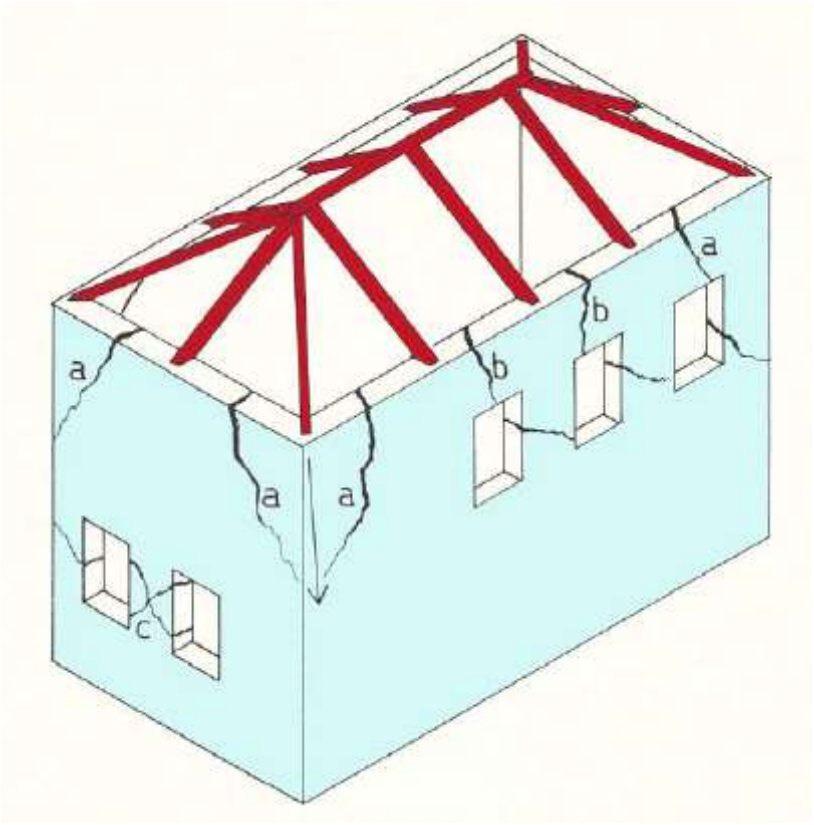
Rimedi: inserimento di legature orizzontali in acciaio o nastri FRP

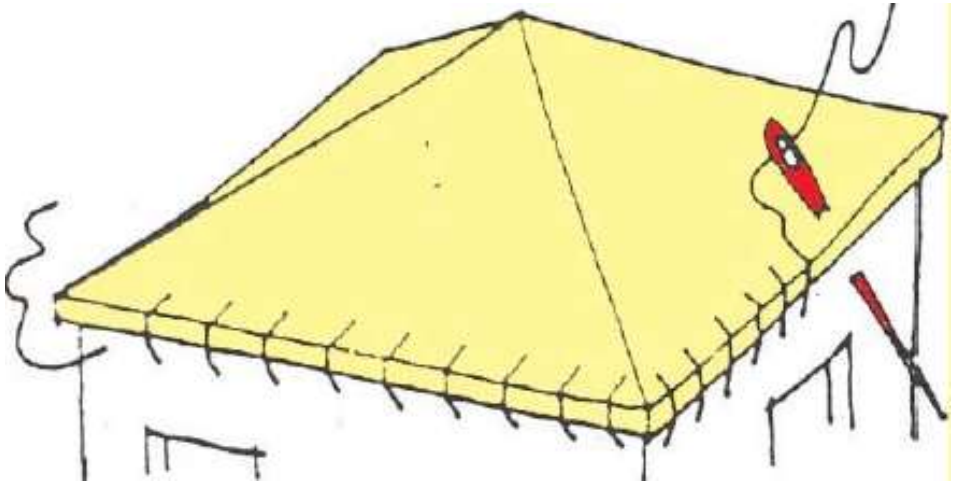






LEGATURE COPERTURE-PARETI





LEGATURE ORIZZONTALI





Legature orizzontali in profilati di acciaio spinottati.

EFFETTI LEGATURE ORIZZONTALI



L'Aquila 2009

Separazione parete all'intersezione con quella perpendicolare



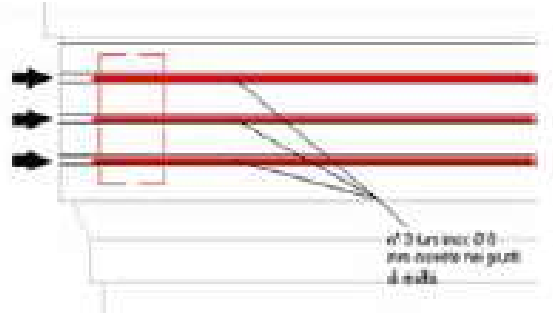
L'Aquila 2009

Edificio ben legato

EFFETTI LEGATURE ORIZZONTALI







Cerchiature realizzate con elementi metallici o materiali compositi.

Necessario evitare concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature (elementi di diffusione).



TIRANTATURE VERTICALI E ORIZZONTALI



Christchurch, Nuova Zelanda, edificio in muratura di pietra che ha resistito efficacemente al terremoto del 22/02/2011 (Mw=6.3).

TIRANTATURE VERTICALI E ORIZZONTALI



Particolari tirantature verticali e orizzontali post-tese

TIRANTATURE VERTICALI E ORIZZONTALI



Particolari tirantature verticali e orizzontali post-tese

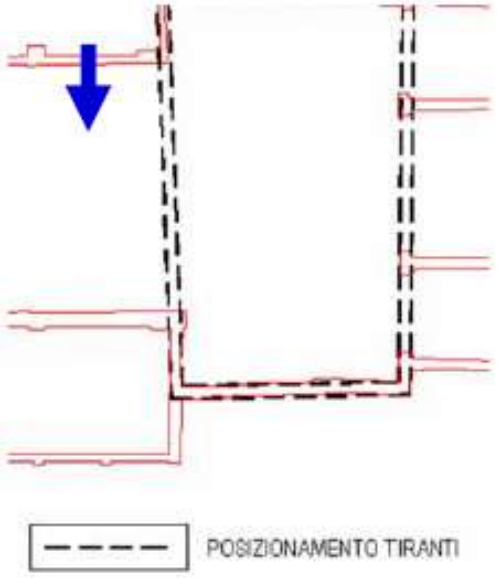
CORDOLI SOMMITALI

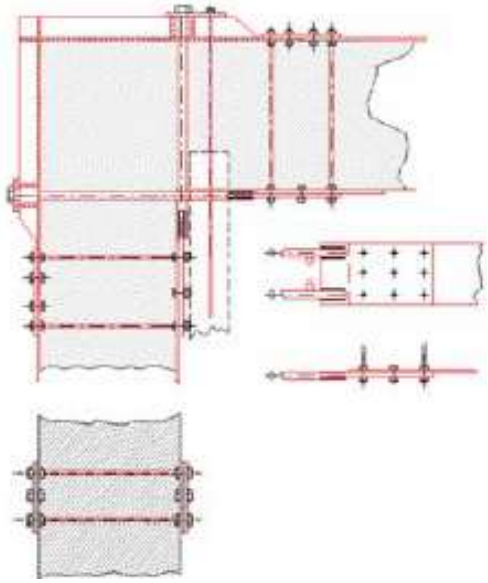
Per collegare efficacemente le pareti in sommità alla muratura e per migliorare l'interazione con la copertura. Possono essere realizzati:

- *In c.a., solo se di altezza limitata (incremento di peso e rigidezza)*
- *In muratura armata (consente di realizzare il collegamento con una tecnica volta alla conservazione delle caratteristiche murarie esistenti)*
- *In acciaio (interessanti per leggerezza e limitata invasività)*





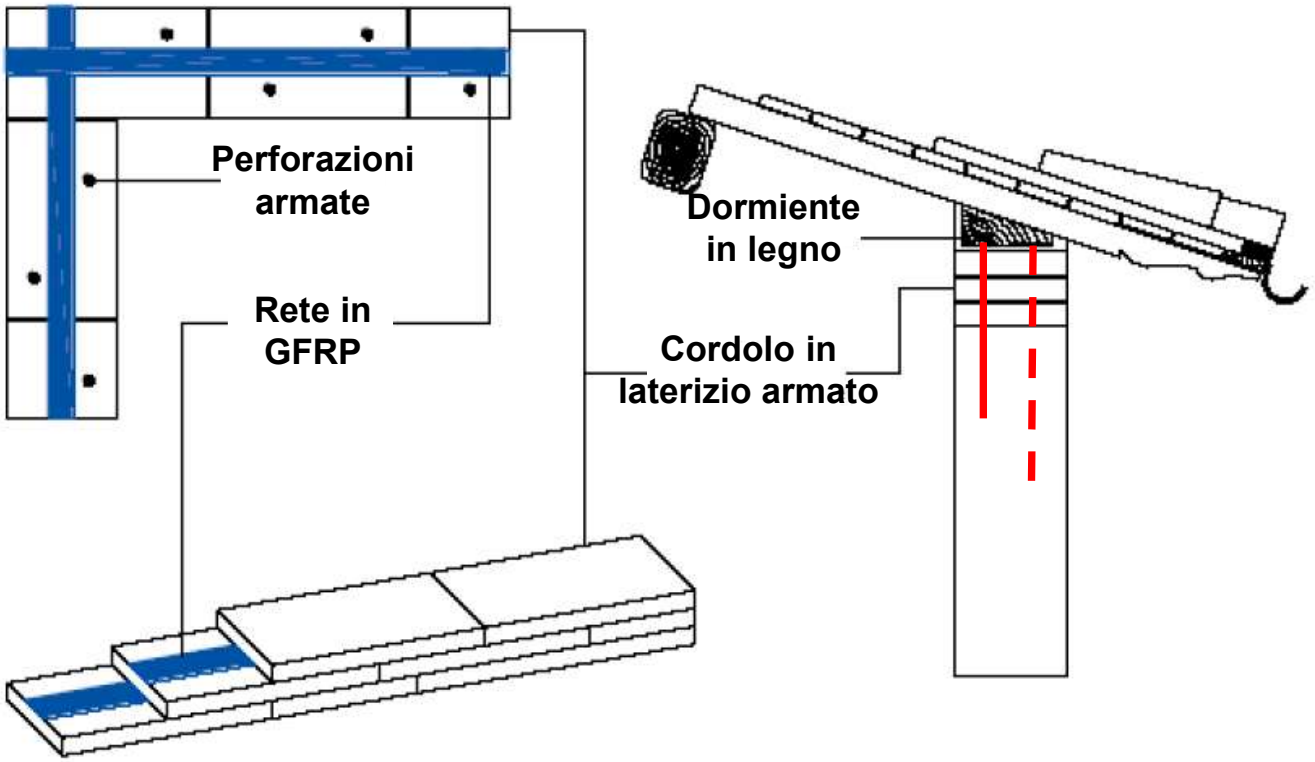




CORDOLI SOMMITALI

Cordolo in laterizio armato con reti in GFRP annegate nei giunti di malta.

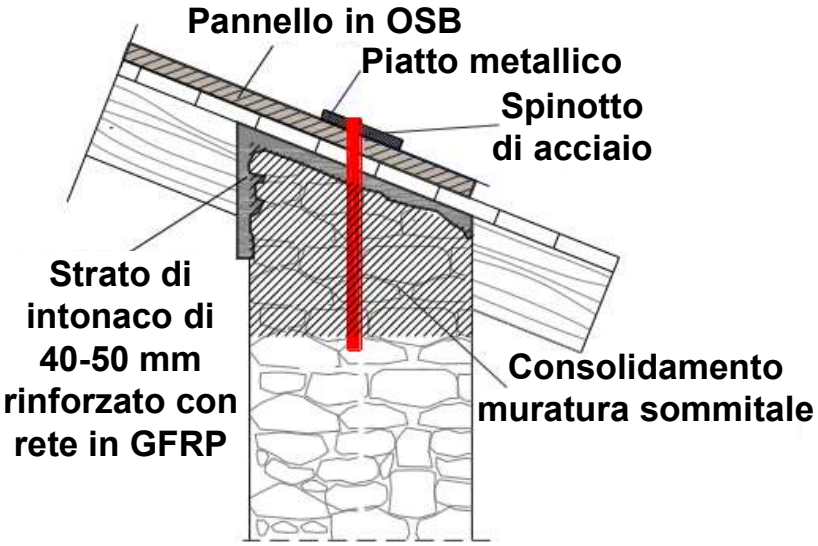
Perforazioni verticali armate con barre di acciaio iniettate.

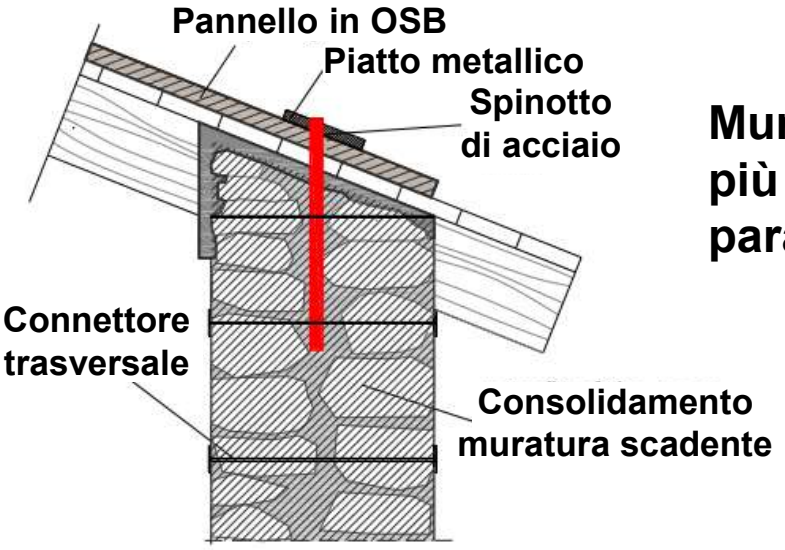




CORDOLI SOMMITALI

Muratura a singolo paramento





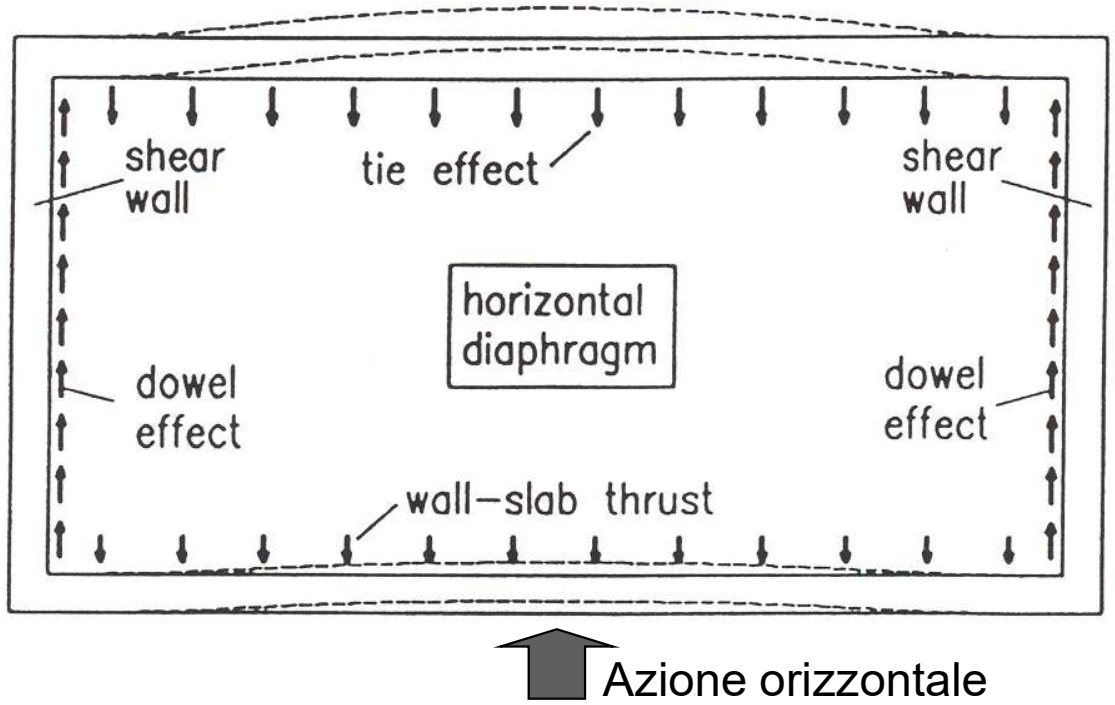
Muratura a più paramenti



Al posto del cordolo in c.a., esecuzione di muratura armata con rete in composito e chiusura con intonaco armato.

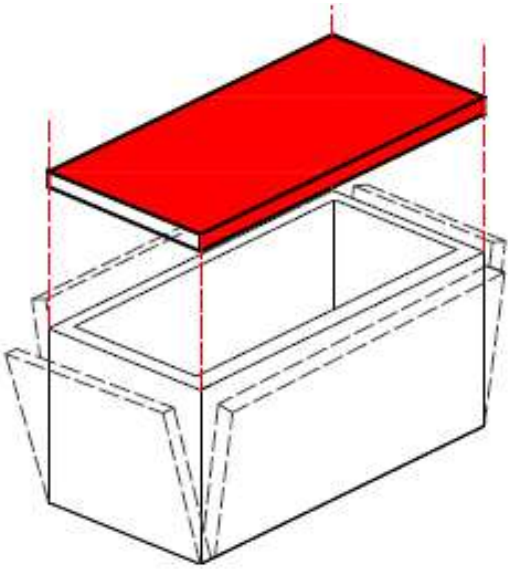
RINFORZO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

Il solaio deve essere ben ammorsato alle murature in modo da contrastare gli spostamenti fuori-piano delle pareti (*effetto tirante*) e trasferire alle pareti di controvento le azioni derivanti dall'accelerazione della massa del solaio e delle pareti perpendicolari alla direzione del sisma (*effetto trasferimento*)

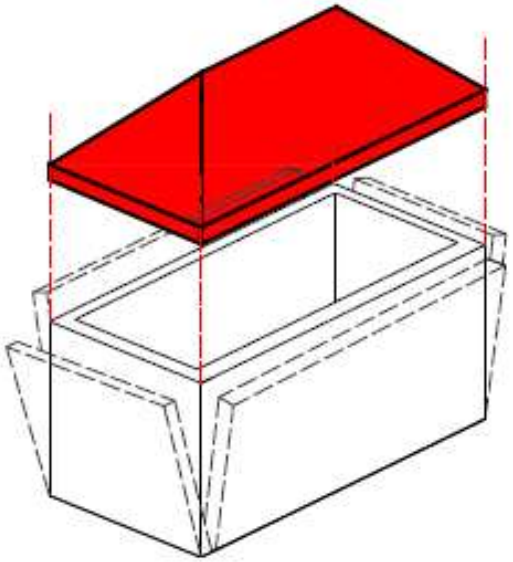


RINFORZO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

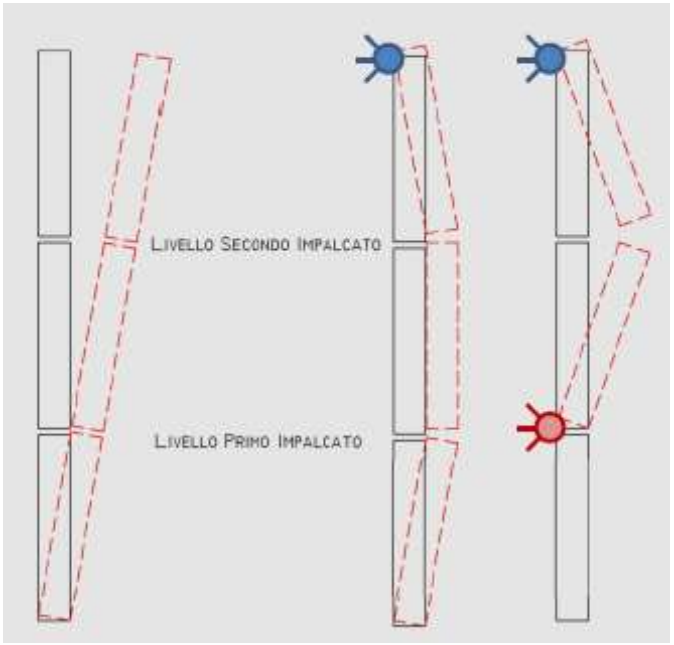
Diaframmi di piano e di falda



diaframma
di piano



diaframma
copertura



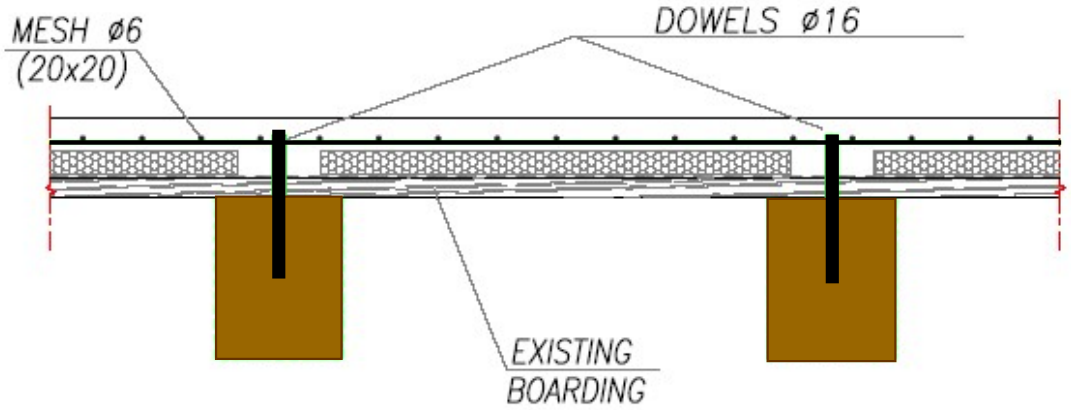
Meccanismo inibito da
diaframma copertura

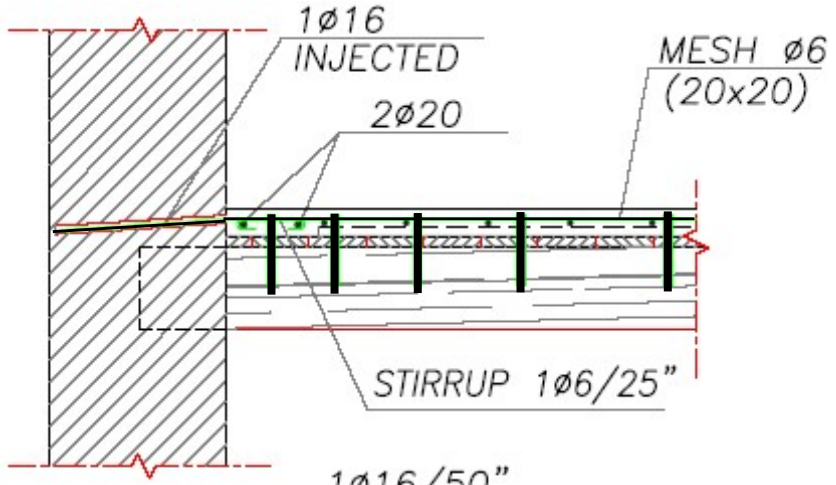
Meccanismo inibito da
diaframmi di piano

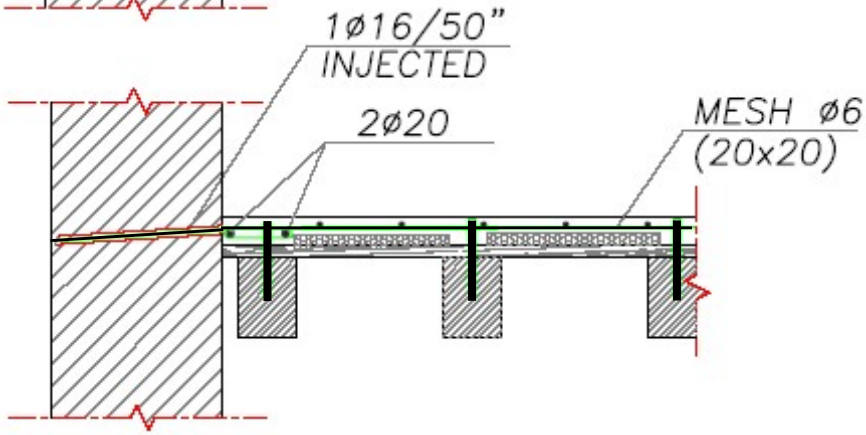
IRRIGIDIMENTO NEL PIANO

Per aumentare la rigidezza del solaio nel proprio piano si può procedere mediante:

- **Solidarizzazione di una soletta di calcestruzzo sopra le travi di legno**







Piazza-Turrini 1983, Ronca-Gelfi-Giuriani 1991, Spinelli 1992, Gattesco 2001, Giuriani 2002, etc.

SOLAIO RINFORZATO CON SOLETTA IN CLS



LIMITI RINFORZO CON SOLETTA

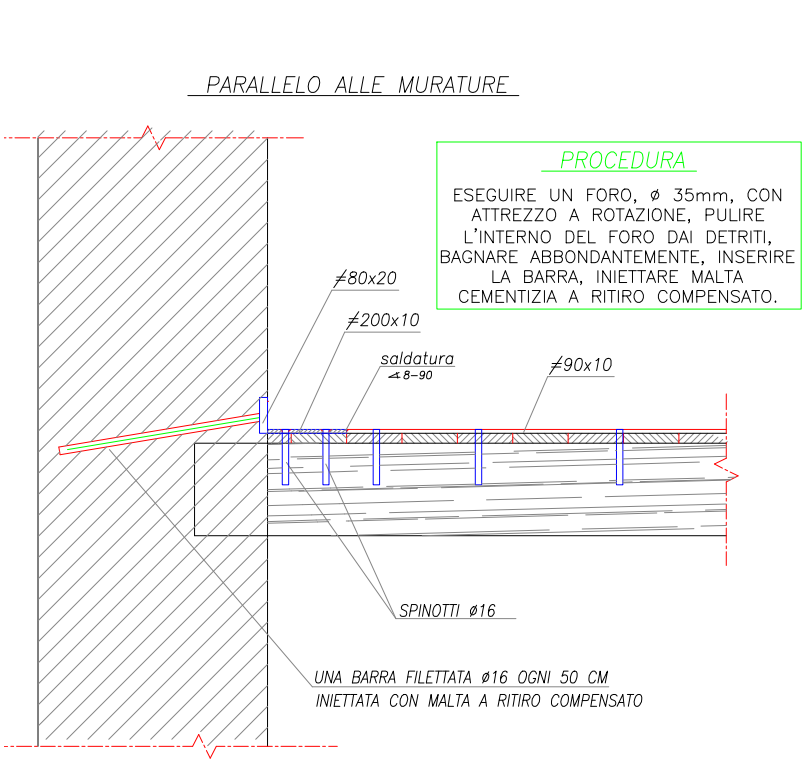
Per applicare tale tecnica è necessario modificare la quota finale del pavimento e questo talvolta è incompatibile con le strutture esistenti e le opere di finitura presenti.

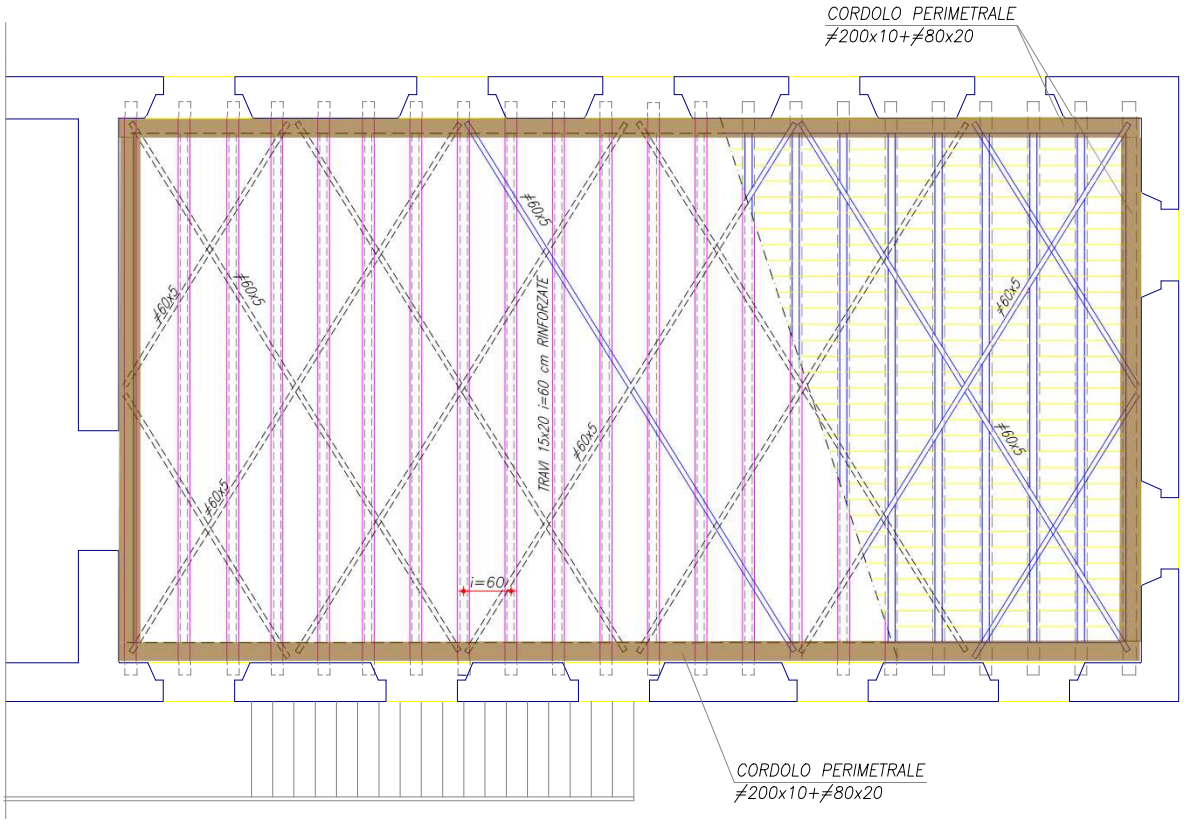
Nel caso di interventi su edifici tutelati dalle Soprintendenze non viene accettata perchè considerata "invasiva" e poco "reversibile".

Inoltre non è considerata adeguata perchè utilizza materiali non compatibili con quelli originali della costruzione storica.

RINFORZO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

Esempio di rinforzo di solaio ligneo con elemento metallico perimetrale ancorato alla muratura mediante spinotti iniettati.



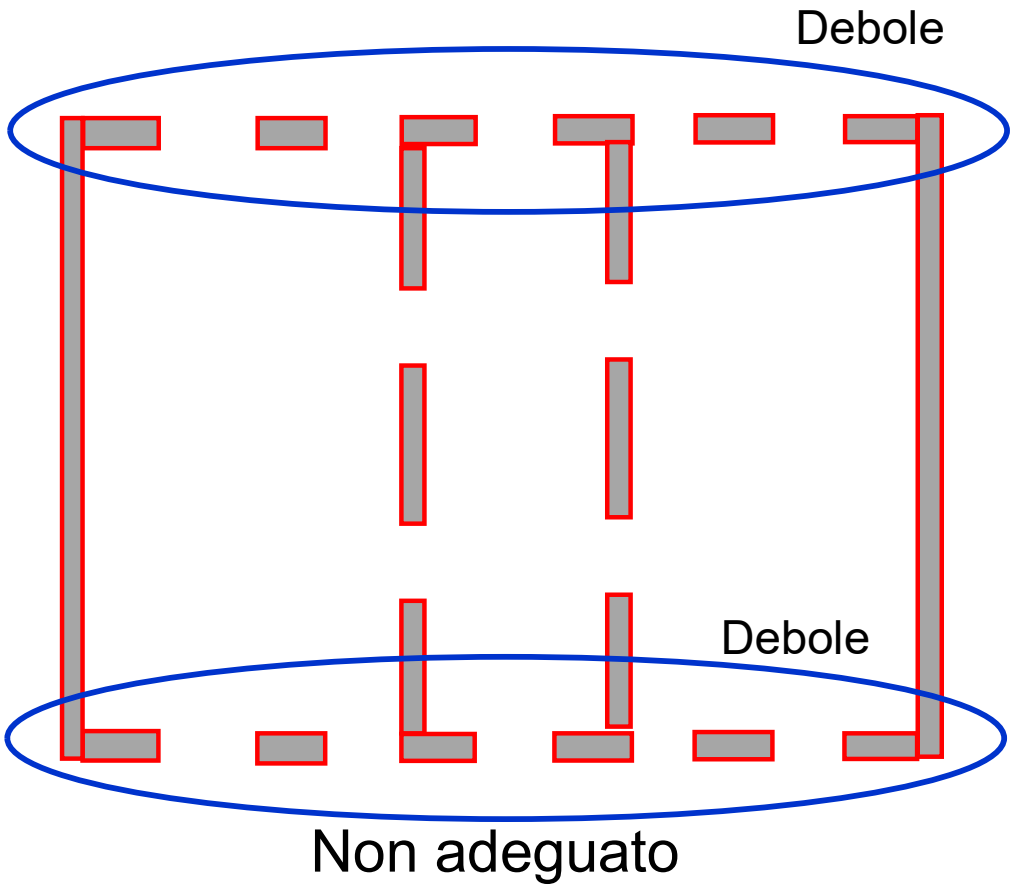


PER RIMUOVERE LE CRITICITA' EVIDENZIATE

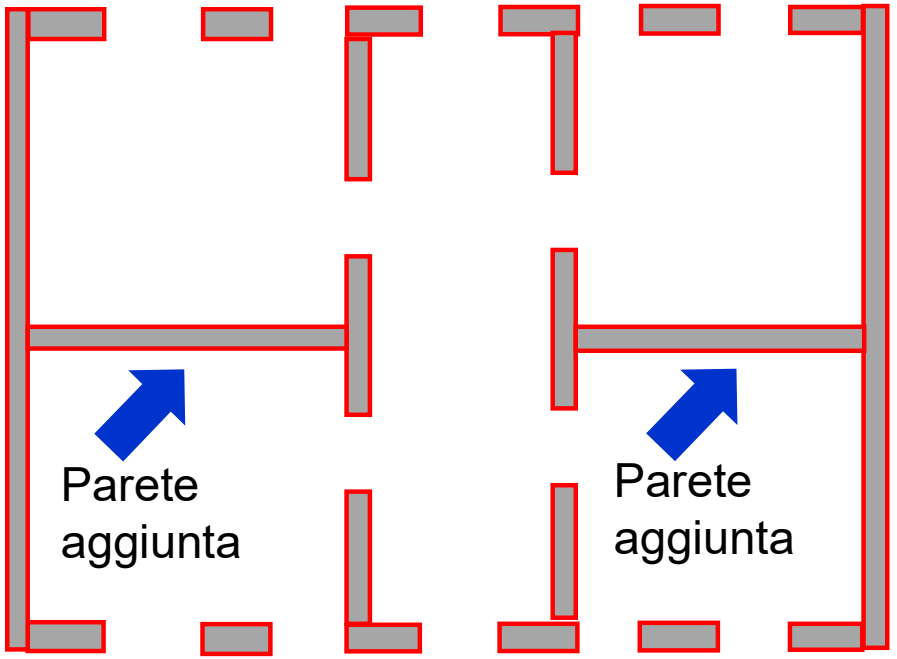
Distribuzione degli elementi resistenti

- ***Le pareti devono essere distribuite in maniera omogenea nelle due direzioni ed in maniera più possibile simmetrica***
- ***Evitare dissimmetrie in pianta e geometrie complesse (segmentare)***
- ***Le pareti non devono avere brusche riduzioni di sezione in altezza***
- ***Evitare piani deboli***

MIGLIORE DISTRIBUZIONE ELEMENTI RESISTENTI



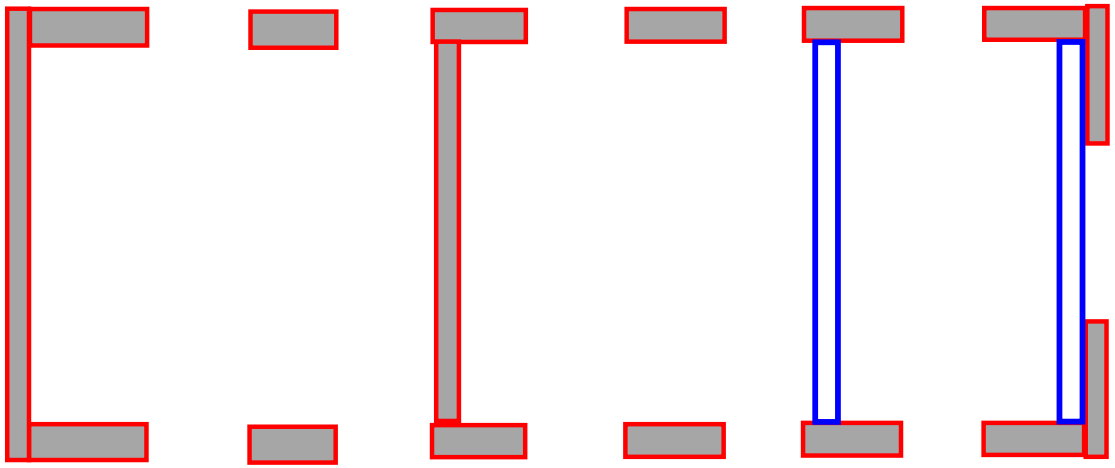
Non adeguato

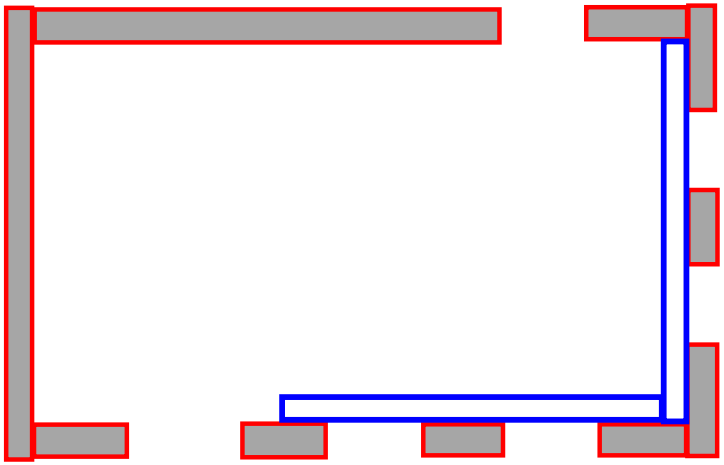


Adeguato

NUOVE PARETI DI CONTROVENTO

Esecuzione di controventi in acciaio per avvicinare i baricentri delle rigidezze e delle masse.

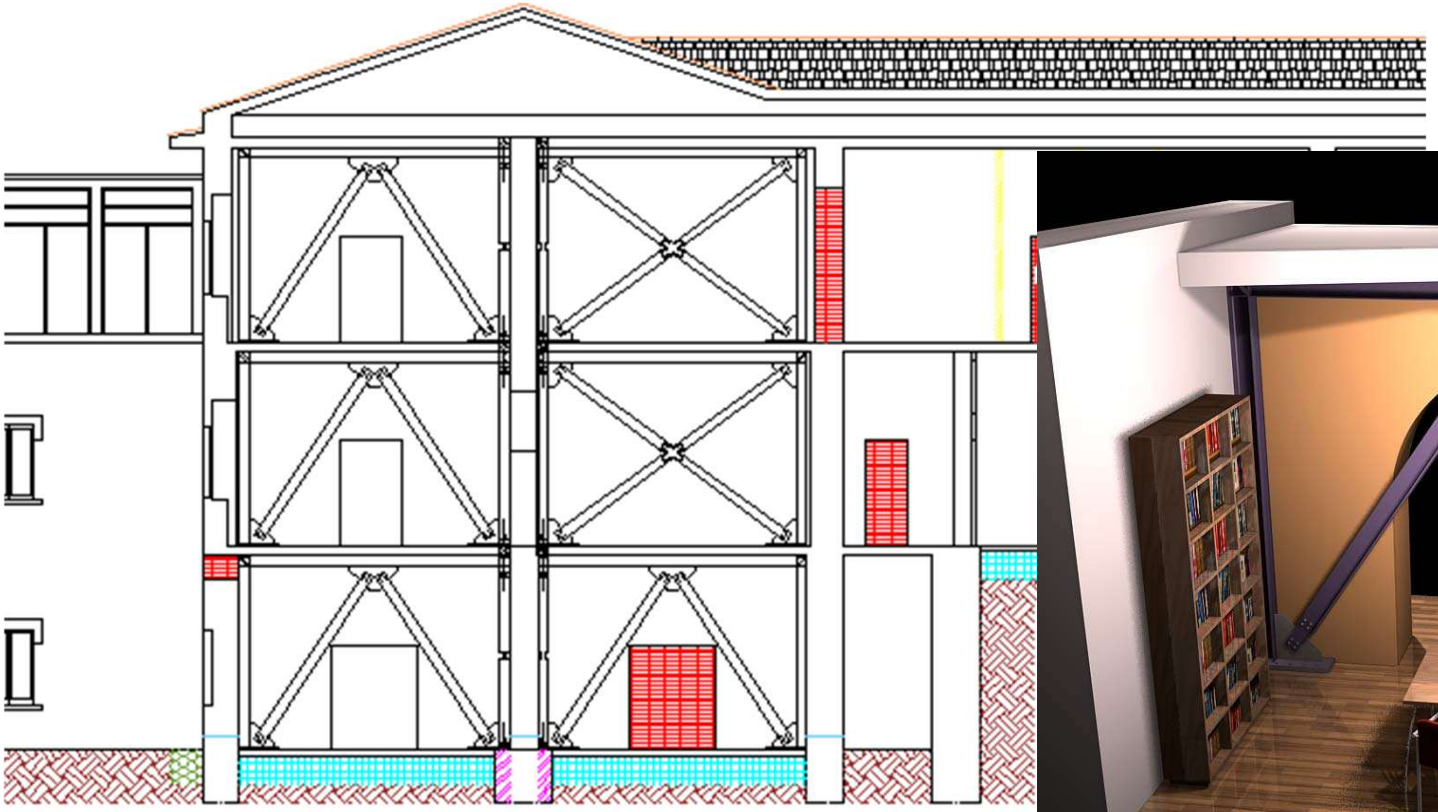




Da dimensionare controllando la rigidezza del controvento sia adeguata per evitare spostamenti eccessivi della muratura.

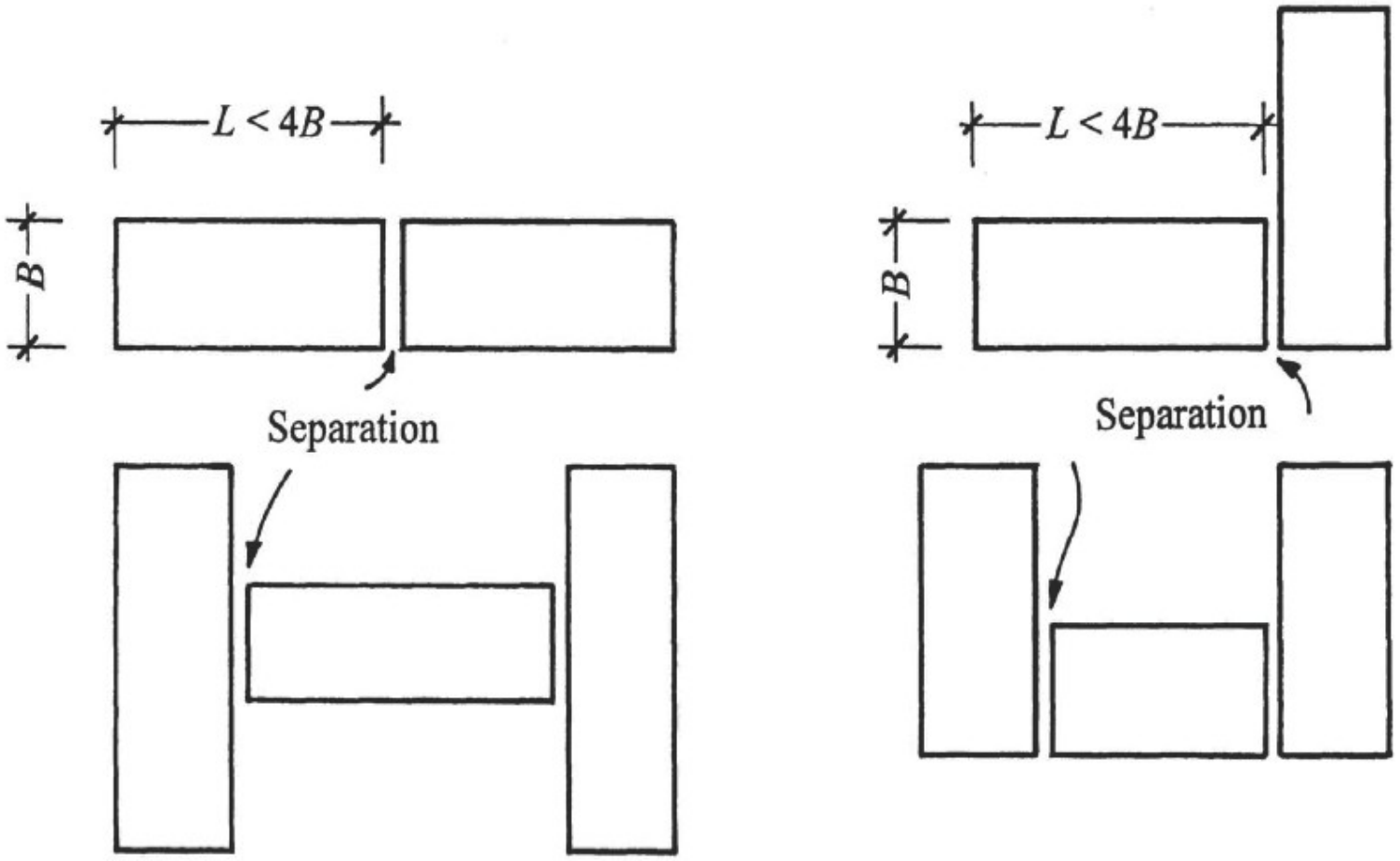
NUOVE PARETI DI CONTROVENTO

Esecuzione di controventi in acciaio per avvicinare i baricentri delle rigidezze e delle masse.





SEGMENTARE L'AGGLOMERATO



PER RIMUOVERE LE CRITICITA' EVIDENZIATE

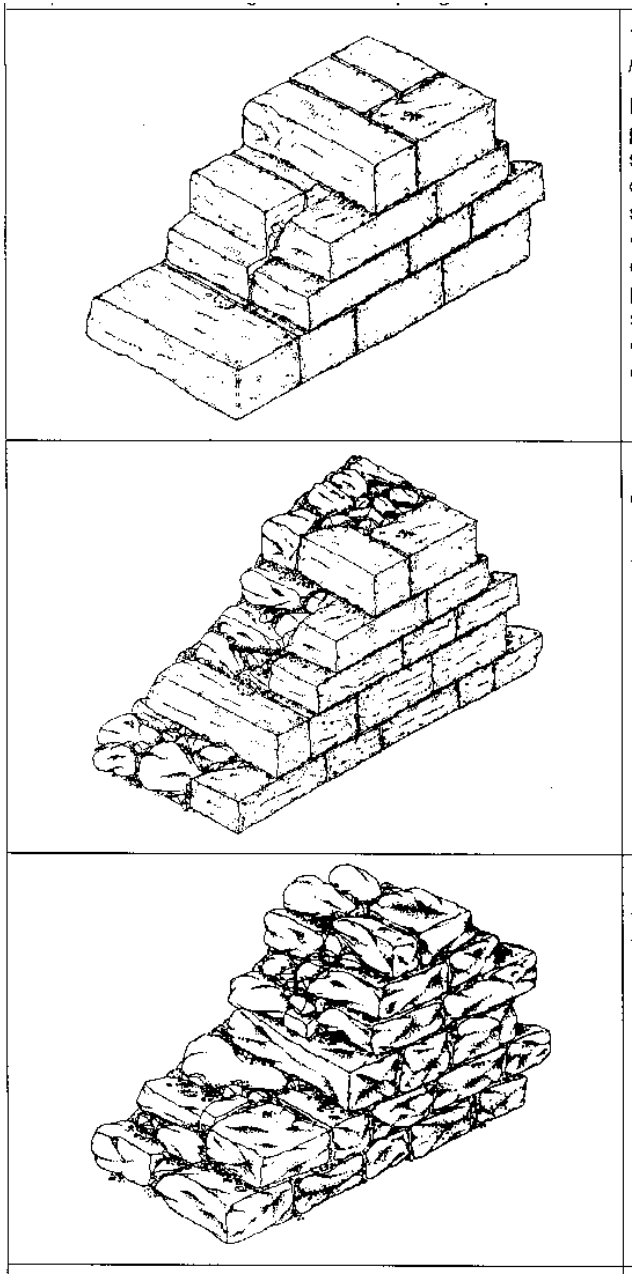
Resistenza del materiale

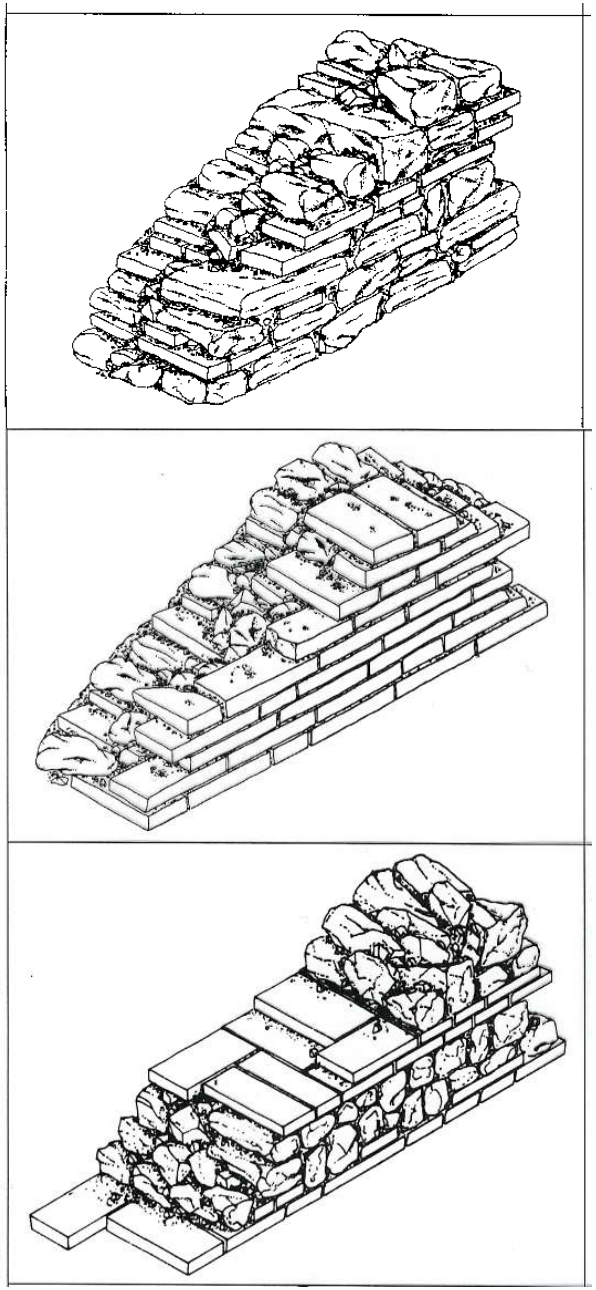
- ***Il materiale della muratura non deve disgregarsi in seguito all'eccitazione sismica***
- ***Se le caratteristiche meccaniche della muratura sono scadenti è necessario procedere al rinforzo***

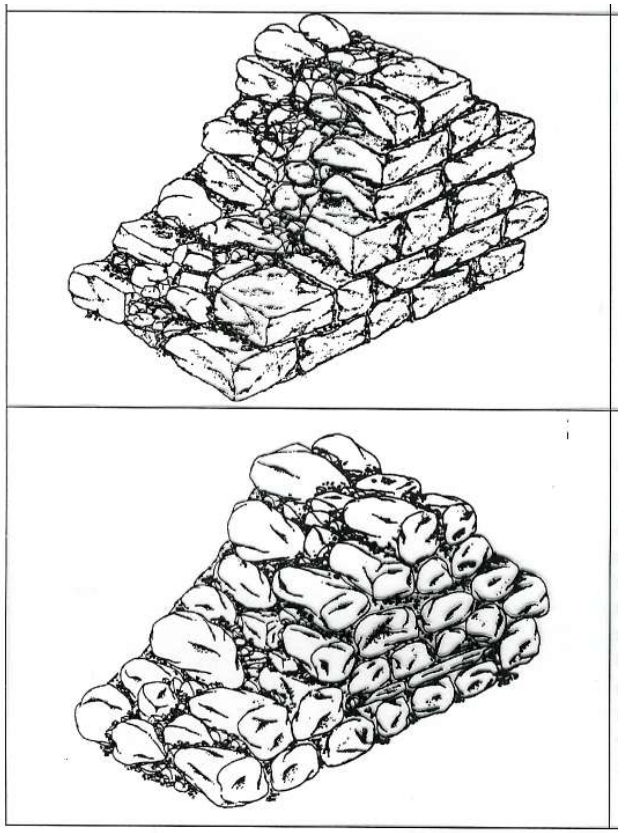
Incremento della resistenza della muratura

- **Diatoni artificiali** (*acciaio, c.a.*)
- **Incamiciatura** (*intonaco armato, ecc.*)
- **Legature contenitive** (*reticolatus, sistema CAM, ecc.*)
- **Nastri o lamine in composito incollate** (*con diatoni artificiali*)

TIPOLOGIE MURARIE

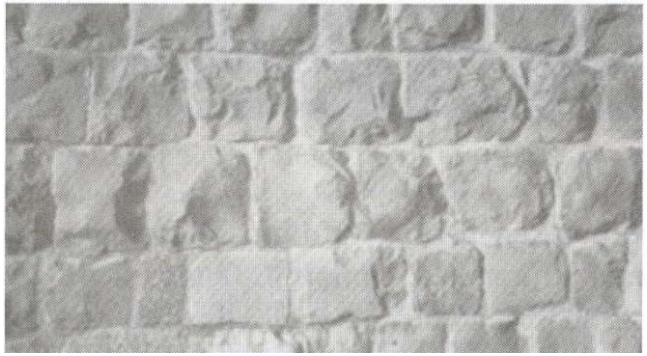




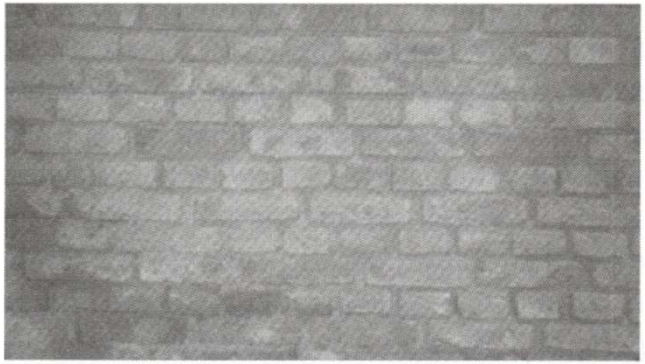


ALCUNI TIPI DI MURATURE

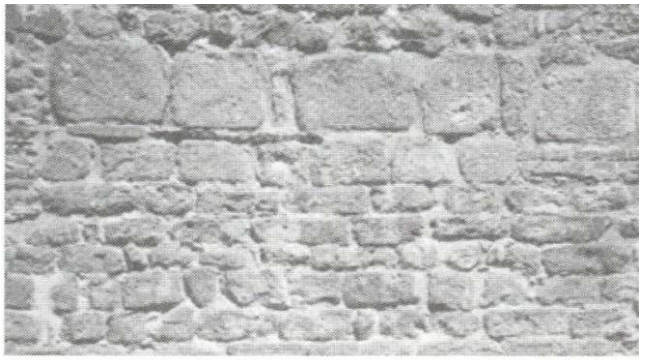
Gli edifici esistenti sono realizzati con diversi tipi di murature e principalmente



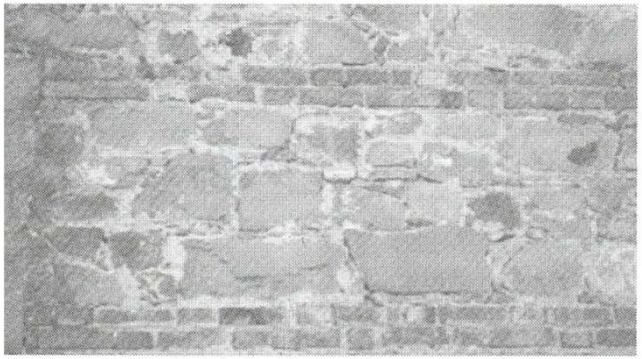
Blocchi di pietra grossola-namente squadrata



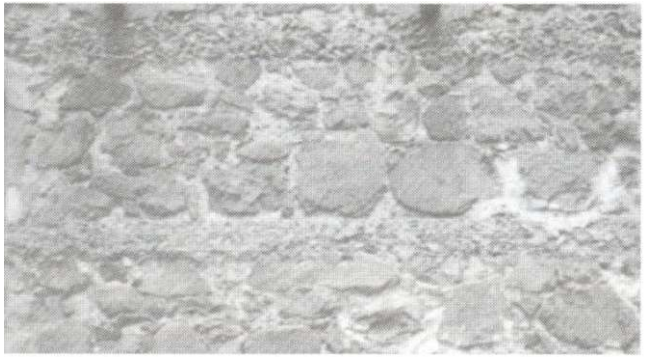
Mattoni pieni e malta di calce



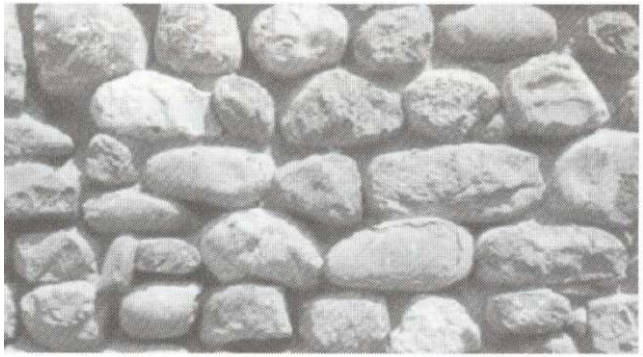
Blocchi di pietra grezza di varia pezzatura



Blocchi di pietra grezza con ricorsi di mattoni (murat. listata)



Blocchi tondeggianti in pietra di varie dimensioni



Ciottoli di torrente a strati affiancati

TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

Riparazione di fessure nelle murature con iniezioni

- *La riparazione di fessure mediante iniezione consente di ripristinare (in alcuni casi incrementare) la resistenza a taglio originale della muratura*

	Mortar	Original		Grouted cracks	
Masonry unit	f_m (MPa)	f_{tk} (MPa)	G (MPa)	f_{tk} (MPa)	G (MPa)
Brick (B 20)	0.5	0.07	-	0.11	-
Brick (B 20)	3.0	0.20	-	0.25	-
Ceramic block (B 20)	4.8	0.15	360	0.26	250
Ceramic block (B20)	6.1	0.19	240	0.18	380
Light concrete block (B 7.5)	2.9	0.19	380	0.28	380
Fly-ash block (B 15)	1.3	0.14	370	0.14	230
Fly-ash block (B 15)	1.3	0.16	480	0.22	490

Sheppard, Tercelj 1980

$$f_{tk} = \xi f_{vko}$$

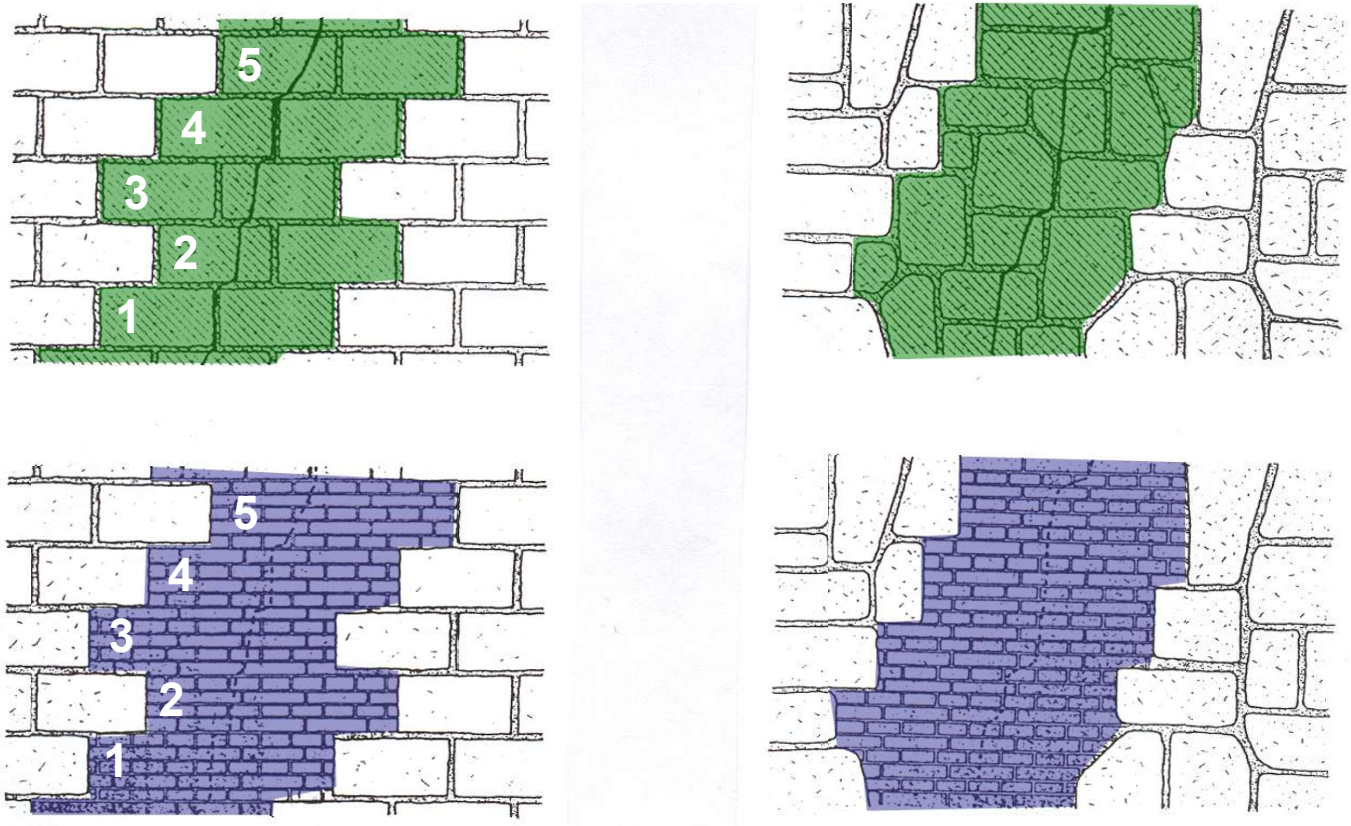
$$\xi = 1.0 \div 1.5$$

- *Si evidenzia anche un aumento della rigidezza del 30÷50 %*

TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

Riparazione di fessure mediante scuci e cuci

- *Quando si hanno fessure ampie e frastagliate è opportuno riparare le lesioni mediante rimozione della muratura ammalorata e sostituzione della stessa con muratura nuova. In quest'operazione è importante utilizzare materiali il più possibile simili, in termini di caratteristiche meccaniche, a quelli originari*

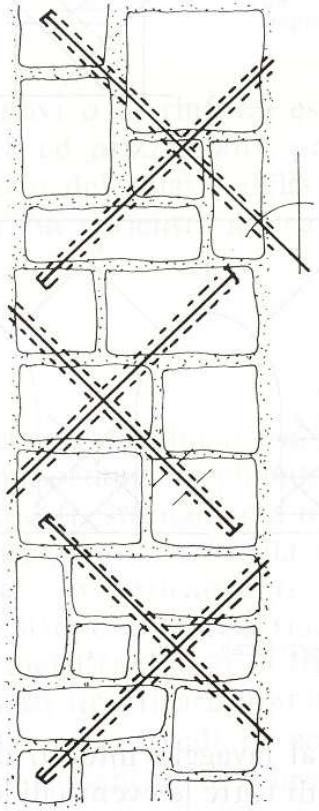


TECNICHE DI RINFORZO GENERALE PER MURATURE

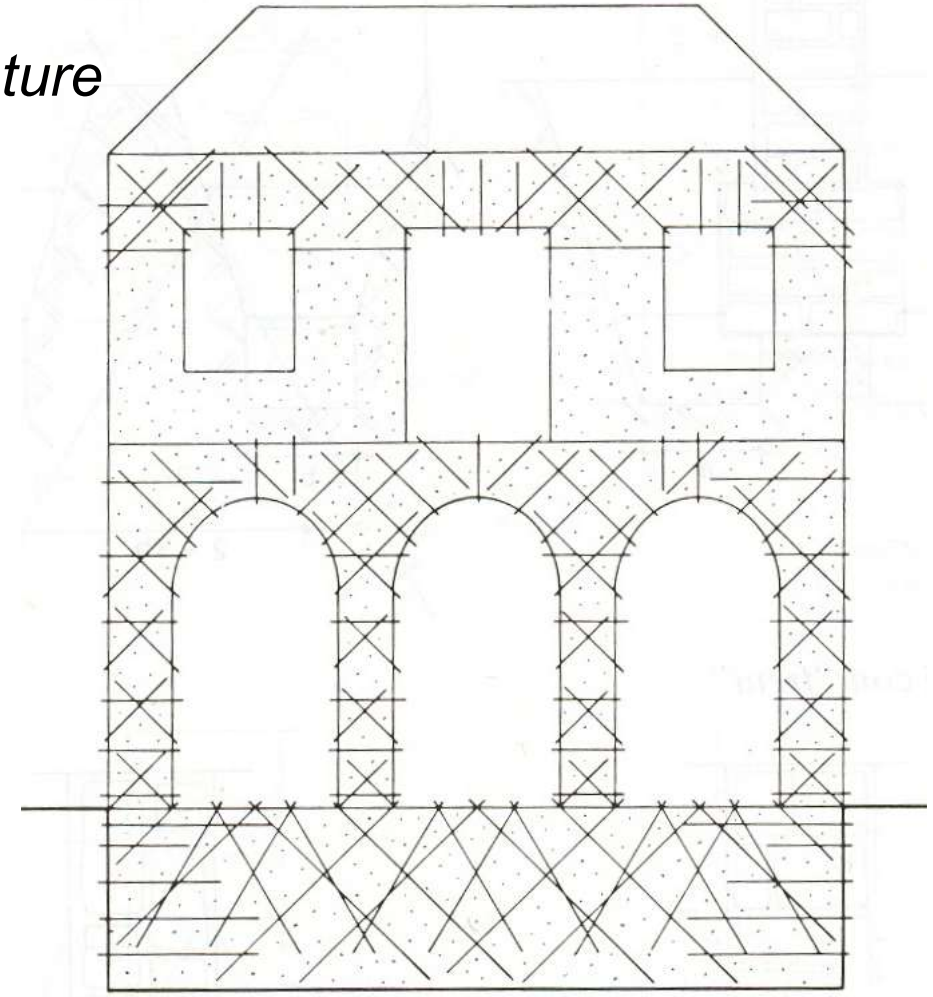
- *Esecuzione di Perforazioni armate*
- *Inserimento diatoni artificiali*
- *Iniezioni di miscele leganti*
- *Ristilatura (con o senza armatura) giunti di malta*
- *Realizzazione camicie in rete metallica e betoncino*
- *Realizzazione camicie in rete in GFRP e intonaco*
- *Tirantature orizzontali e verticali*
- *Rinforzi con nastri in FRP*
- *Sistema “reticolatus” e sistema ibrido “reticola e intonaco”*

PERFORAZIONI ARMATE

- *Tecnica particolarmente indicata per interventi locali di solidarizzazione di pareti tra loro ortogonali*
- *Anche per rinforzo generalizzato di murature*

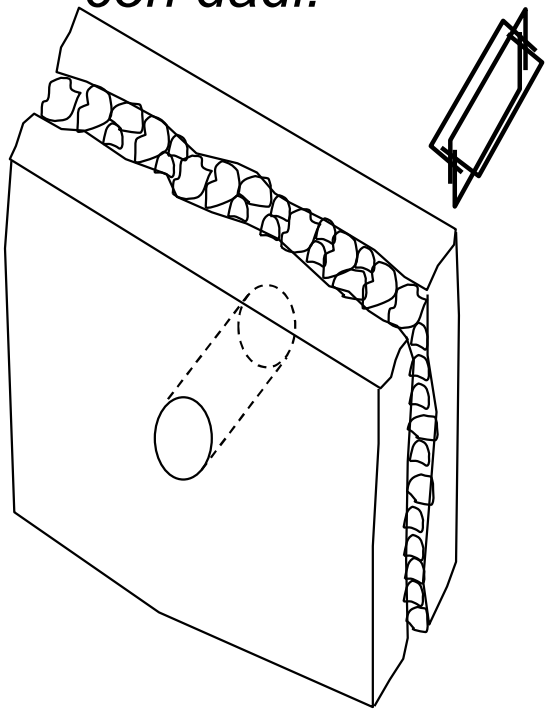


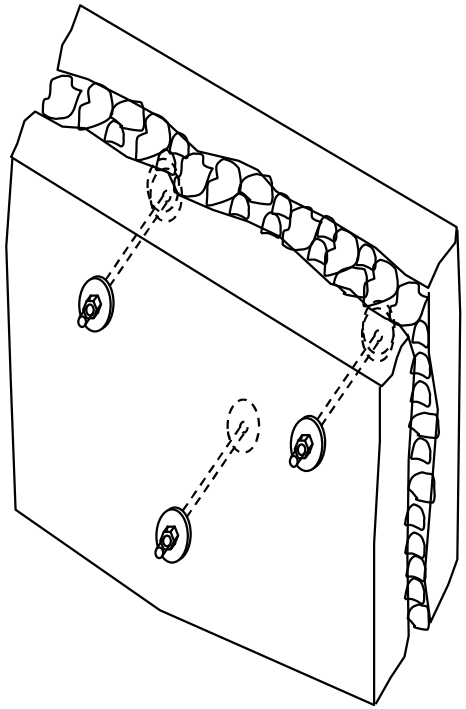
- *Esecuzione perforazioni con attrezzo a rotazione (ϕ 20÷25)*
- *Rimozione detriti e parti in distacco all'interno del foro*
- *Inserimento barre di acciaio (ϕ 12÷14 mm) o non metalliche*
- *Iniezione con malta tixotropica a ritiro compensato*

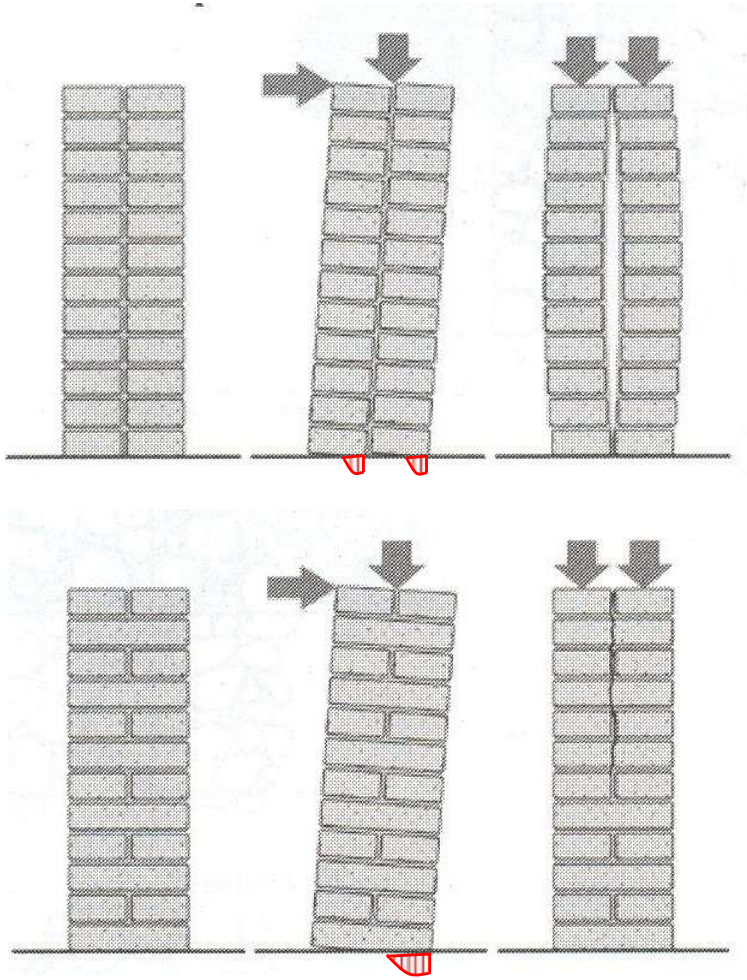


DIATONI ARTIFICIALI

- *Diatoni realizzati in calcestruzzo armato dentro fori di carotaggio*
- *Creano un collegamento fra i paramenti murari evitando il loro distacco*
- *Tirantini antiespulsivi, costituiti da barre metalliche filettate passanti con rondelle di ampio diametro sui paramenti e serrate con dadi.*

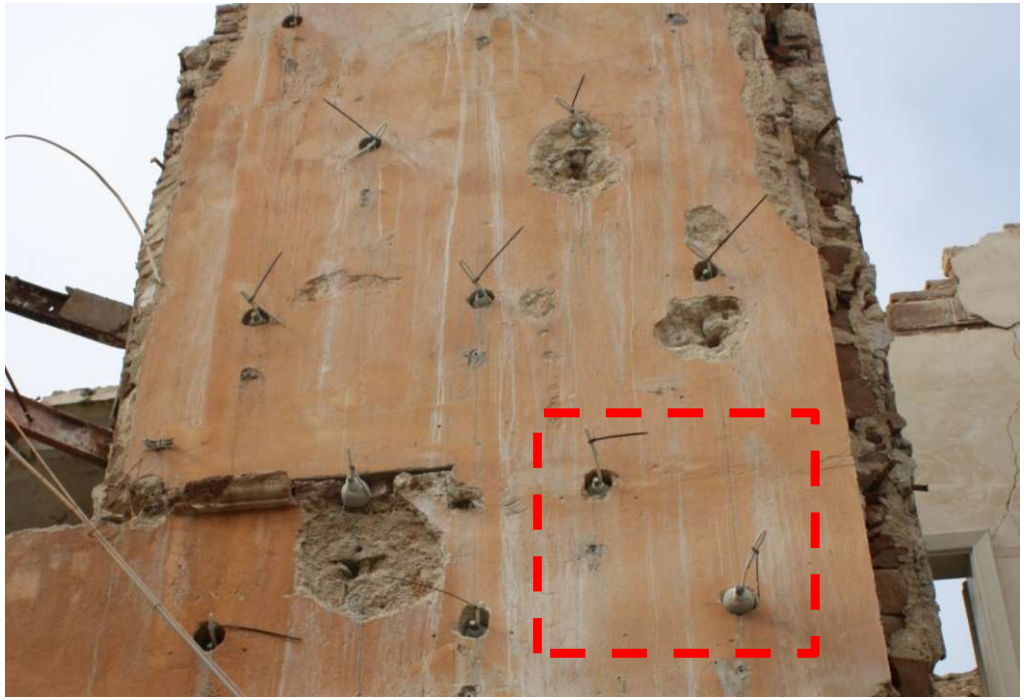






DIATONI ARTIFICIALI

- *Diatoni realizzati in barre iniettate dentro fori di carotaggio*
- *Creano un collegamento fra i paramenti murari evitando il loro distacco*
- *Per contenere il materiale di iniezione si usano calze o reti metalliche*



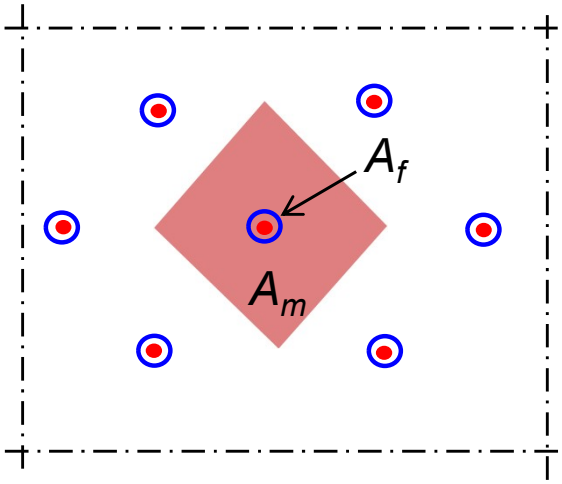


STIMA RESISTENZA

- *L'incremento di resistenza dovuto all'intervento deve essere stimato in base a prove sperimentali*
- *Comunque quando le barre sono distribuite uniformemente all'interno della muratura si possono utilizzare le seguenti espressioni proposte da T. Tassios (da verificare sperimentalmente).*

Resistenza a compressione

$$f_d^* = f_d + \frac{A_f}{A_m}[1+10\rho]\frac{f_c}{\gamma_m}$$



Resistenza a taglio

$$f_{vd}^* = \left[\frac{f_{vko}+0.4\sigma_o}{\gamma_m} + \frac{A_f}{2A_m}\frac{f_{sy}}{\gamma_s}\right]$$

f_c resistenza a compressione malta di iniezione, A_f area sezione foro, A_m area parete corrispondente ad ogni foro, ρ percentuale di armatura in ogni foro

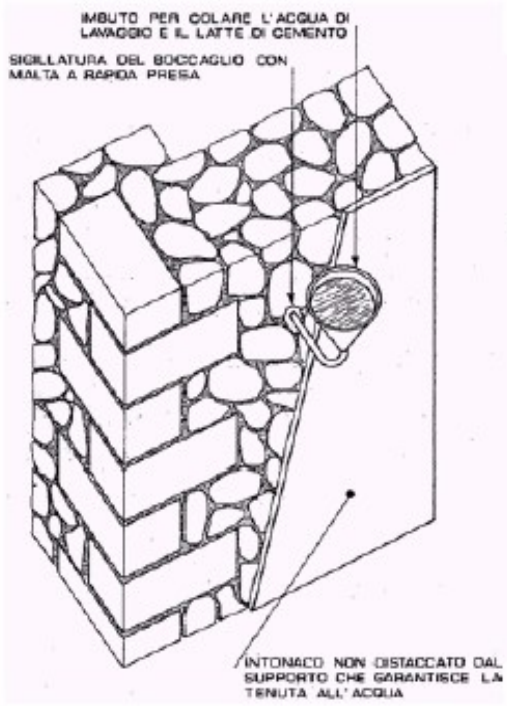
COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

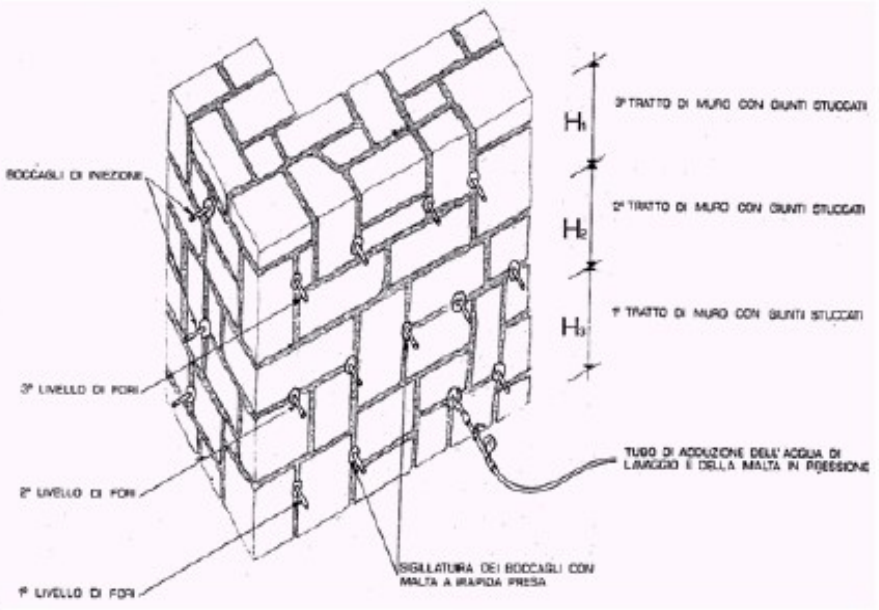
Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

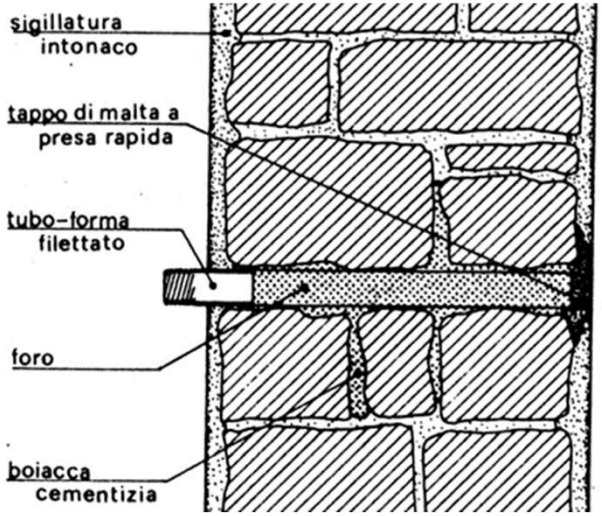
INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI

- *Le murature in pietrame presentano spesso numerosi vuoti al proprio interno, distribuiti pressoché uniformemente*





- *Il riempimento di questi vuoti con materiale cementizio conduce ad un sensibile aumento della resistenza della muratura (tecnica ampiamente utilizzata nella riparazione degli edifici dopo il sisma del 1976 in Friuli*)



INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI

- *Iniezione di malta cementizia molto fluida a pressione controllata (max 2.5÷3.0 atm). E' in genere necessaria una quantità di malta variabile fra 50 e 150 kg per m³ di parete.*

Sheppard, Tomazevic 1986

Masonry type	Original		Cement-grouted	
	f_{tk} (MPa)	G (MPa)	f_{tk} (MPa)	G (MPa)
Two-leaf, uncoursed stone (rural)	0.08	90	0.18	160
Two-leaf, uncoursed stone (urban)	0.12	150	0.23	300
Compact, uncoursed stone and brick (urban)	0.21	-	0.38	-

- *Questi valori evidenziano un notevole miglioramento della resistenza a taglio della muratura.*
- *Per quantificare l'incremento di resistenza è in genere necessario eseguire delle prove in-situ prima e dopo l'iniezione.*

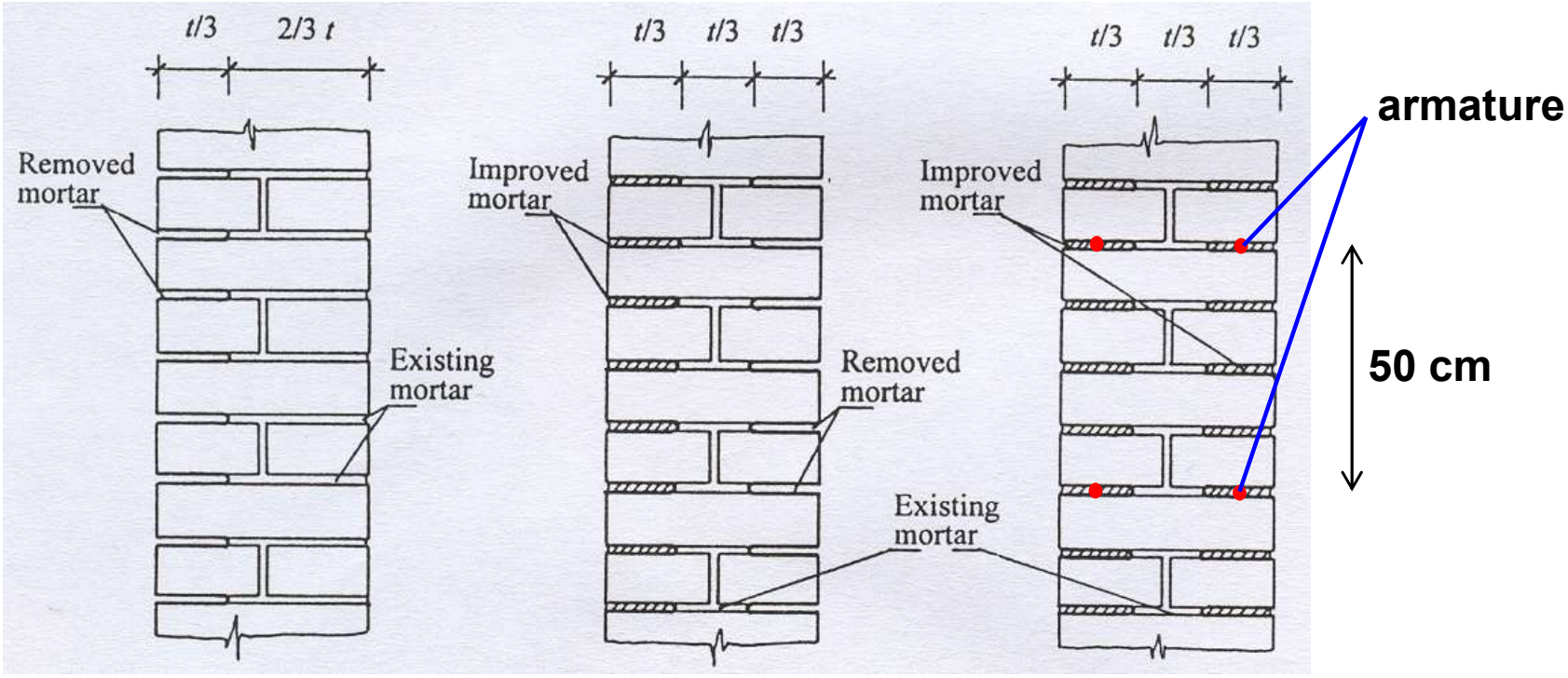
COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

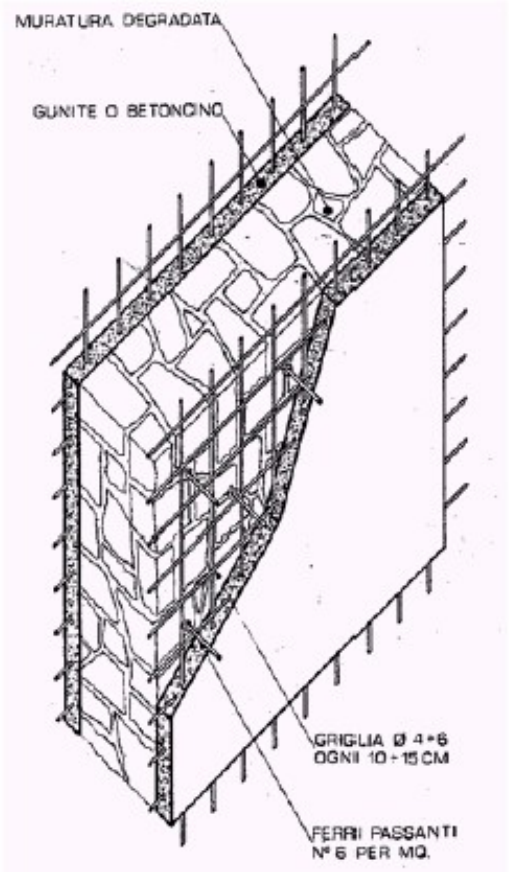
SOSTITUZIONE PARZIALE GIUNTI DI MALTA

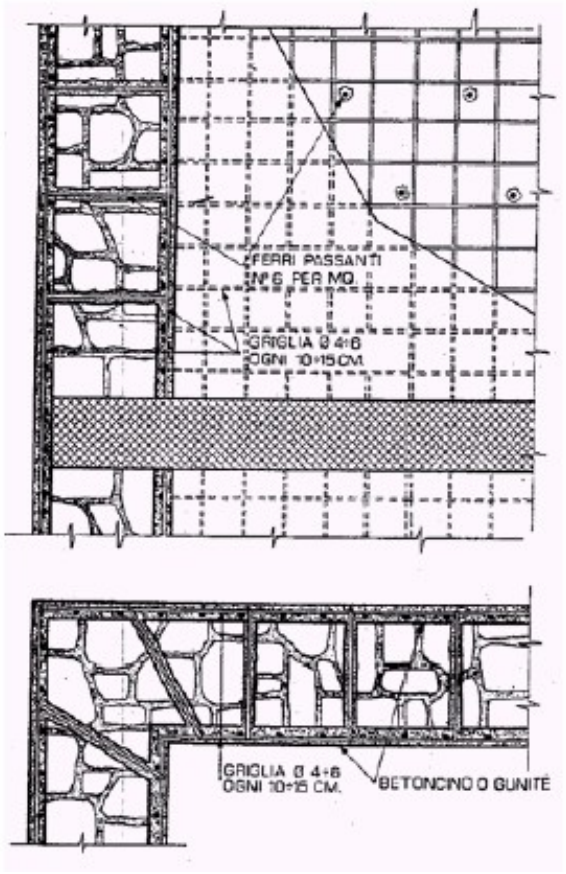
- *Quando la muratura è formata con elementi laterizi o lapidei resistenti disposti a file regolari ma con malta scadente, è possibile aumentare la resistenza della muratura mediante sostituzione parziale dei giunti di malta*
- *Se i giunti hanno spessore superiore a 10 mm è possibile inserire negli stessi anche delle barre di armatura non metalliche FRP o trefoli in inox*



CAMICIE IN RETE E BETONCINO

- *Consiste nell'utilizzo di armature metalliche disposte sulla superficie delle pareti, collegate fra loro con barre passanti attraverso la muratura, e realizzazione di due lastre in calcestruzzo dello spessore di circa 3÷4 cm*





- *Demolizione dell'intonaco*
- *Rimozione di circa 10÷15 mm di malta dai giunti sui due lati*
- *Esecuzione fori con attrezzo a rotazione per staffe di collegam.*
- *Rimozione detriti e pulizia con acqua delle superfici*
- *Inserimento barre ($6\phi6/m^2$) e iniezione con malta espansiva*
- *Applicazione primo strato di malta cementizia (~15 mm)*
- *Messa in opera rete e collega-mento della stessa con le staffe*
- *Applicazione secondo strato di malta cementizia (~15÷25 mm)*

CAMICIE IN RETE E BETONCINO

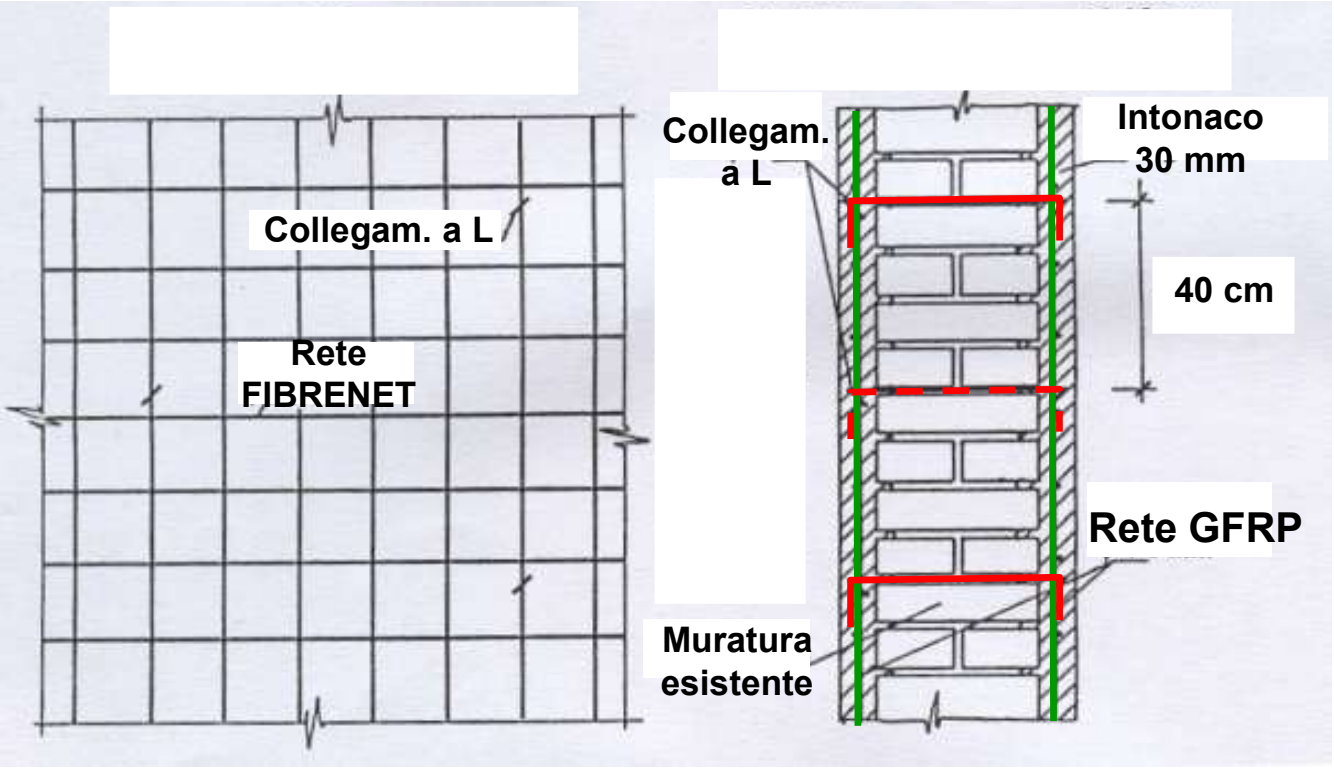
- *L'incremento di resistenza è inversamente proporzionale con la qualità delle murature originarie: importante nel caso di murature di qualità scadente, diventa via-via più modesto all'aumentare della qualità della muratura*

Sheppard, Tomazevic 1986

Type of masonry		Type of reinfor. cement	Resistance		Multiplier
Masonry unit Grade	Mortar Grade		Original (kN)	Strengthened (kN)	
Brick B 20	M 0.4	Steel	34	118	3.5
Brick B 10	M 0.3	Steel	47	167	3.6
C. block B 7.5	M 5	Steel	128	167	1.3

TECNICA DI RINFORZO CON RETE IN GFRP

- *Consiste nell'utilizzo di reti in GFRP disposte sulla superficie delle pareti, collegate fra loro con connettori a L giuntati per sovrapposizione all'interno di fori passanti attraverso la muratura, e realizzazione di intonaco di malta bastarda dello spessore di circa 3 cm*





VANTAGGI

- **Rete non metallica quindi non soggetta a corrosione (***durabilità***)**
- **Leggera e trasportabile in rotoli (***può essere portata agevolmente all'interno di edifici passando attraverso le aperture delle porte o delle finestre***)**
- **Connettori non metallici di tipo meccanico (***solidarizzati alla muratura con resina epossidica o con malte cementizie a ritiro compensato***)**.
- **Semplice da applicare (***come la tecnica con camicia di rete elettro-saldata e betoncino***)**

RISULTATI

Campione	P_{max} [kN]	P_{05} [kN]	f_t [MPa]	ε_{spl} [‰]	$\sigma_{I,5}$ [MPa]	$f_{t\,(R)} / f_{t\,(U)}$	$\sigma_{I,5\,(R)} / f_t$
Muratura a due teste di mattoni pieni (spessore 250mm)							
MD-1A	214.19	19.65	0.369	0.18	0.035	-	0.09
MD-2A	169.54	15.23	0.292	0.24	0.032	-	0.11
MD-1A-F33S	389.37	224.27	0.671	0.12	0.534	2.03	0.80
MD-2A-F33S	371.73	244.47	0.641	0.14	0.597	1.94	0.93
MD-1A-F66S	372.48	251.57	0.642	0.33	0.488	1.94	0.76
MD-2A-F66S	419.78	173.86	0.724	0.54	0.488	2.19	0.67
MD-1A-F99S	422.95	134.06	0.729	0.27	0.438	2.20	0.60
MD-2A-F99S	400.34	180.96	0.690	0.30	0.389	2.09	0.56
Muratura in pietra grossolanamente squadrata							
MP-1A	135.66	61.75	0.102	0.98	0.067	-	0.65
MP-2A	126.36	49.90	0.095	0.74	0.051	-	0.54
MP-1A-F33S	388.01	245.37	0.293	1.07	0.257	2.96	0.88
MP-2A-F33S	359.97	266.61	0.272	1.42	0.225	2.75	0.83
MP-1A-F66S	331.89	256.43	0.250	0.97	0.201	2.53	0.80
MP-2A-F66S	366.35	233.29	0.276	0.73	0.219	2.80	0.79

COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

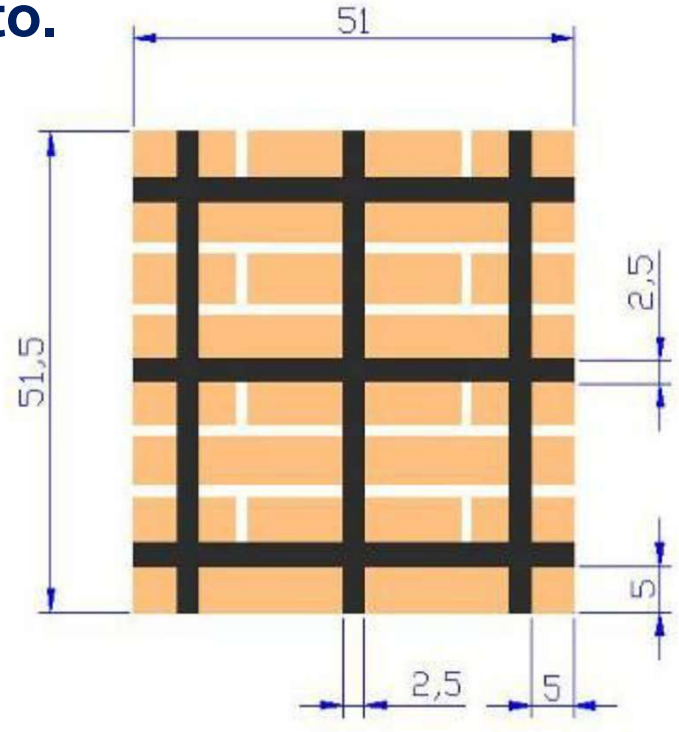
Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

Nastri in FRP

Consiste nell'incollaggio mediante collanti epossidici o poliuretanici di nastri in FRP sulla superficie della muratura *(su entrambe le facce*). Si utilizzano fibre di carbonio, vetro o aramide.

Per applicare i nastri è necessario rimuovere tutte le parti in distacco sulla superficie della muratura, quindi regolarizzare la superficie con uno strato di malta a buona aderenza al supporto.

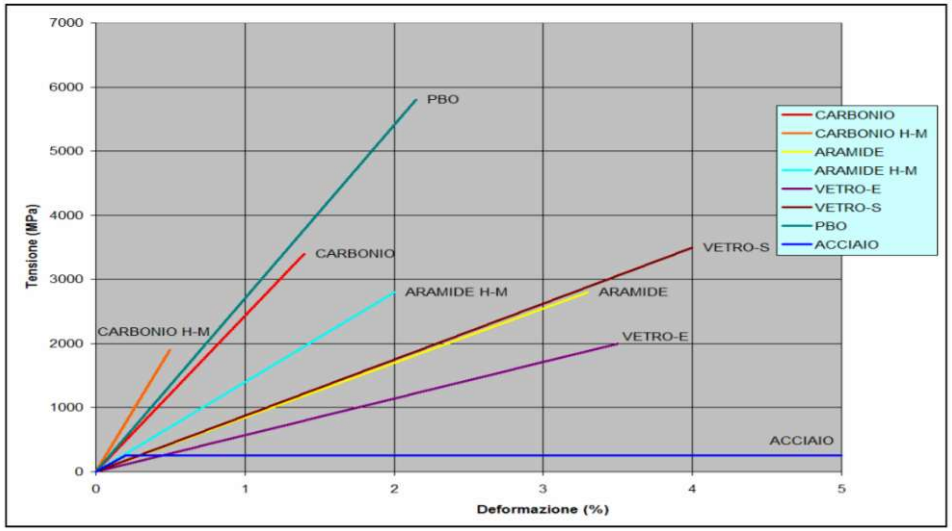


Principali limiti:

- **perdita di aderenza - debonding (***necessari connettori meccanici***)**
- **assenza di confinamento trasversale (***necessari connettori passanti per murature a strati)*

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

- *I tessuti in fibra secca disposte sulla superficie delle pareti possono essere applicati anche mediante rasatura di intonaco a base cementizia di spessore inferiore al cm. (sistema FRCM – Fiber Reinforced Cementitious Matrix)*
- *Garantisce buone prestazioni su murature a singolo paramento. Necessita della preventiva applicazione di diatoni artificiali per murature a più paramenti.*
- *Si utilizzano fibre diverse:*
  - **Carbonio**
  - **Vetro**
  - **Basalto**
  - **PBO** (*poliparafenilenbenzobisoxazolo*)
  - **Acciaio** (*fili di piccolo diametro unidirezionali*)



CONFRONTO FIBRE

FIBRE	RIGIDEZZA	RESISTENZA	COSTO	NOTE
VETRO	👎	👍	👍👍	*Bassa resistenza a fatica
ARAMIDICHE	🖐	👍	👎	*Leggero; *Ottima resistenza a gli urti.
CARBONIO	👍	👍	👎	*Modulo elastico più alto
PBO	👍	👍👍	👎👎	*Leggero; *Ottima resistenza a gli urti.

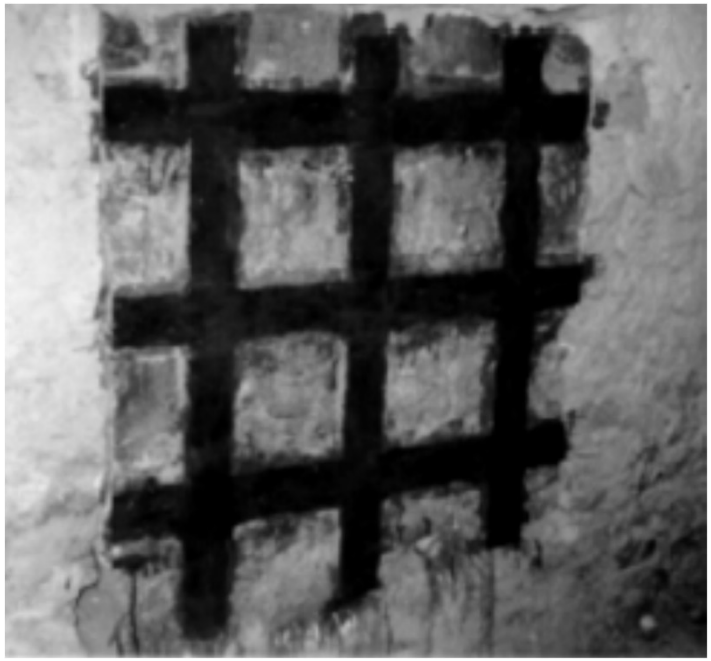
MATERIALE	DENSITA' [g/cm^3]	MODULO ELASTICO [GPa]	RESISTENZA A TRAZIONE [MPa]	DEFORMAZIONE A ROTTURA [%]	ASSORBIMENTO UMIDITA' [%]
VETRO E	2.58	73	2000	3.5	0.5
VETRO S	2.58	86	3500	4.0	0.3
CARBONIO	1.78	240	3400	1.4	0.1
CARBONIO H-M (High-Module)	1.83	640	1900	0.5	0.1
ARAMIDE	1.44	80	2800	3.3	4.5
ARAMIDE H-M (High-Module)	1.45	125	2800	2.0	2.5
PBO	1.56	270	5800	2.15	0.6
ACCIAIO	7.85	200	300-600	25.0	-

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

- *Esempi di applicazione*



Fibre di vetro



Fibre di carbonio

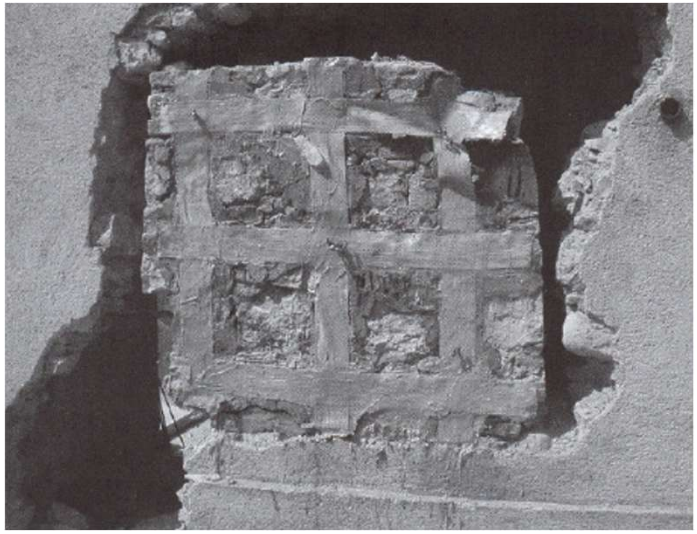


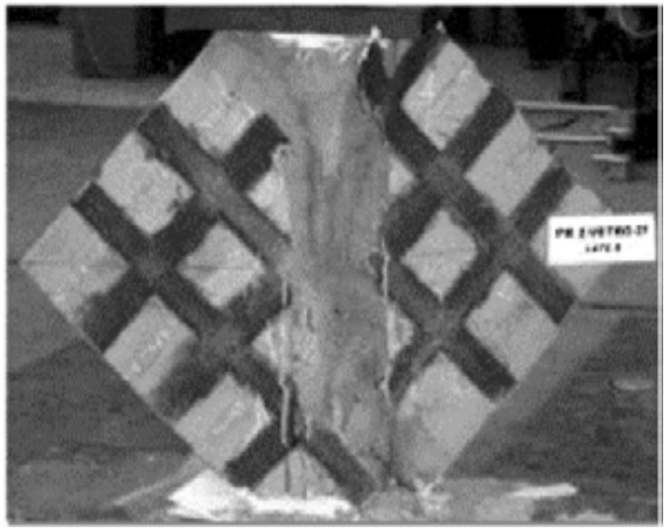
Fibre di aramide

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

Sono state eseguite numerose prove di compressione diagonale che hanno evidenziato un considerevole aumento della resistenza a taglio per murature di caratteristiche scadenti (f_{v0} = 0.04 MPa), fino a tre volte tanto (*Corradi, Borri, Vignoli 2008).*

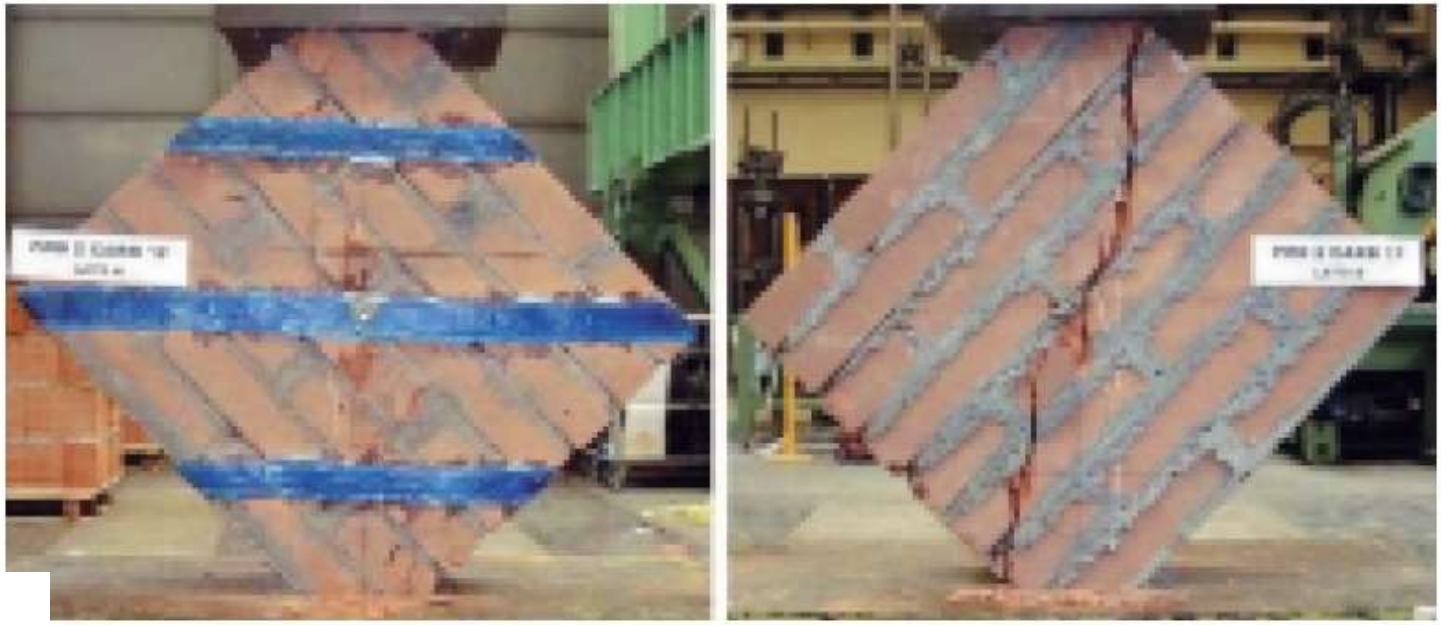
Prove eseguite su nuove murature di buona qualità (f_{v0} = 0.80 MPa) hanno mostrato incrementi di resistenza a taglio dal 50% al 70% (*Valluzzi, Tinazzi, Modena 2002):*





RINFORZO CON NASTRI IN FRP SU UNA SOLA FACCIA

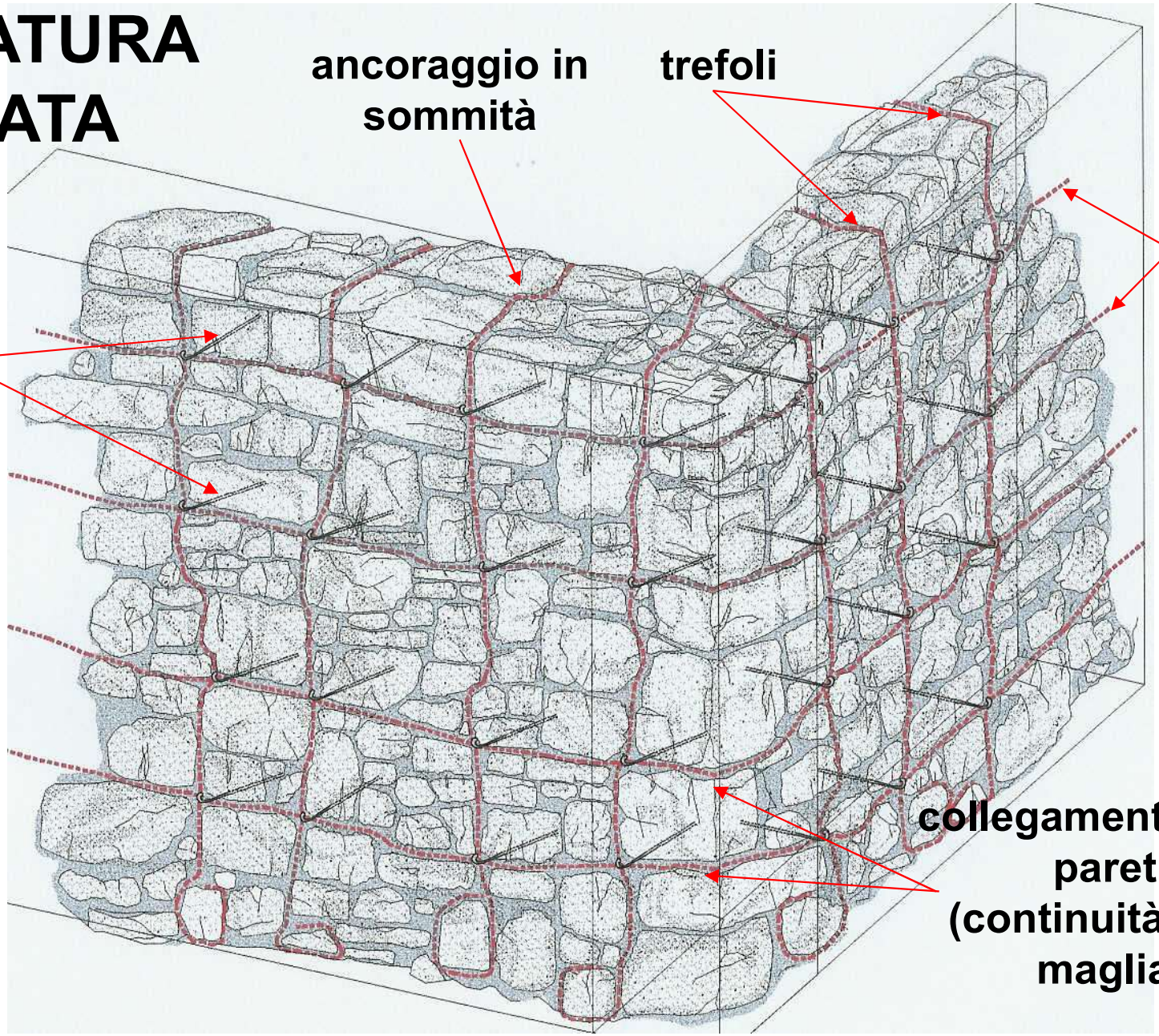
Maria Rosa Valluzzi, Davide Tinazzi, Claudio Modena



9. Rottura di un pannello rinforzato diagonalmente su una faccia con CFRP.

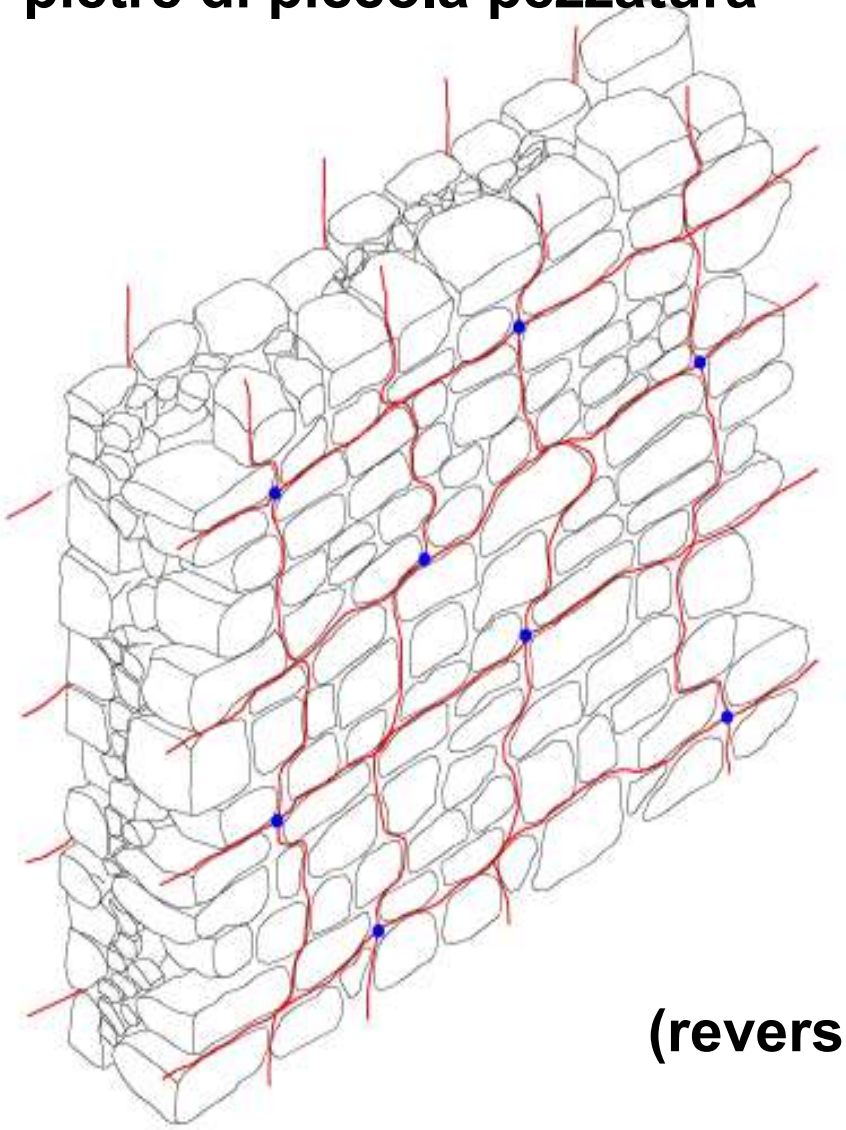
carico di rottura inferiore a quello del pannello non rinforzato !

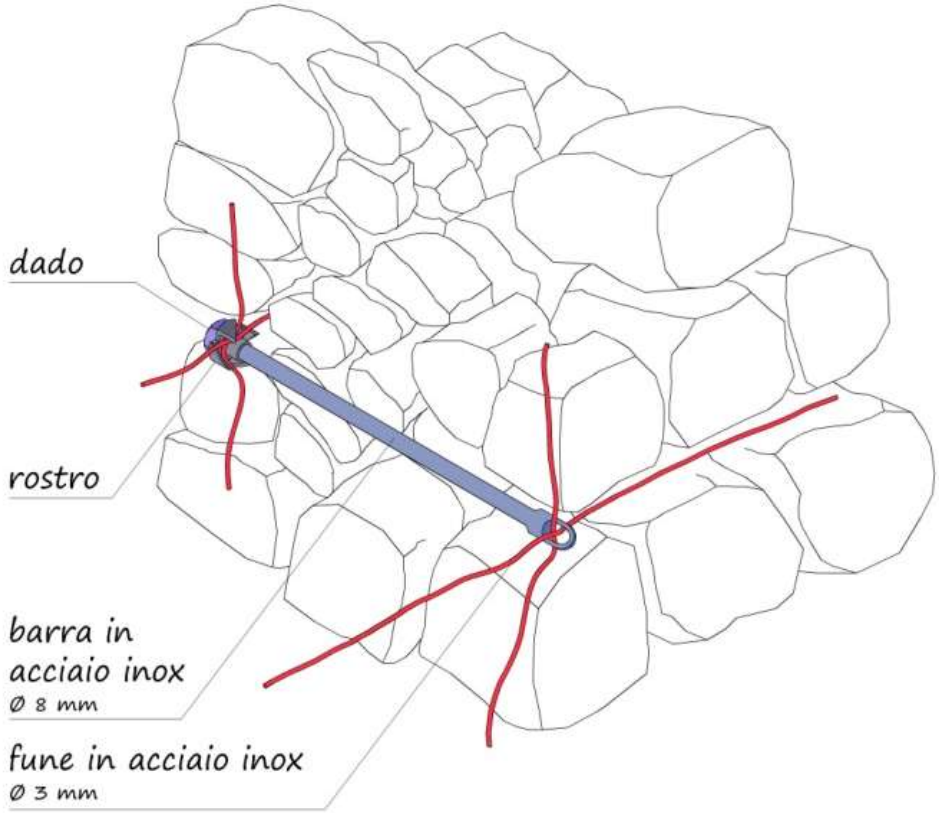
RISTILATURA ARMATA



RETICOLA TWIN

per pietre di piccola pezzatura

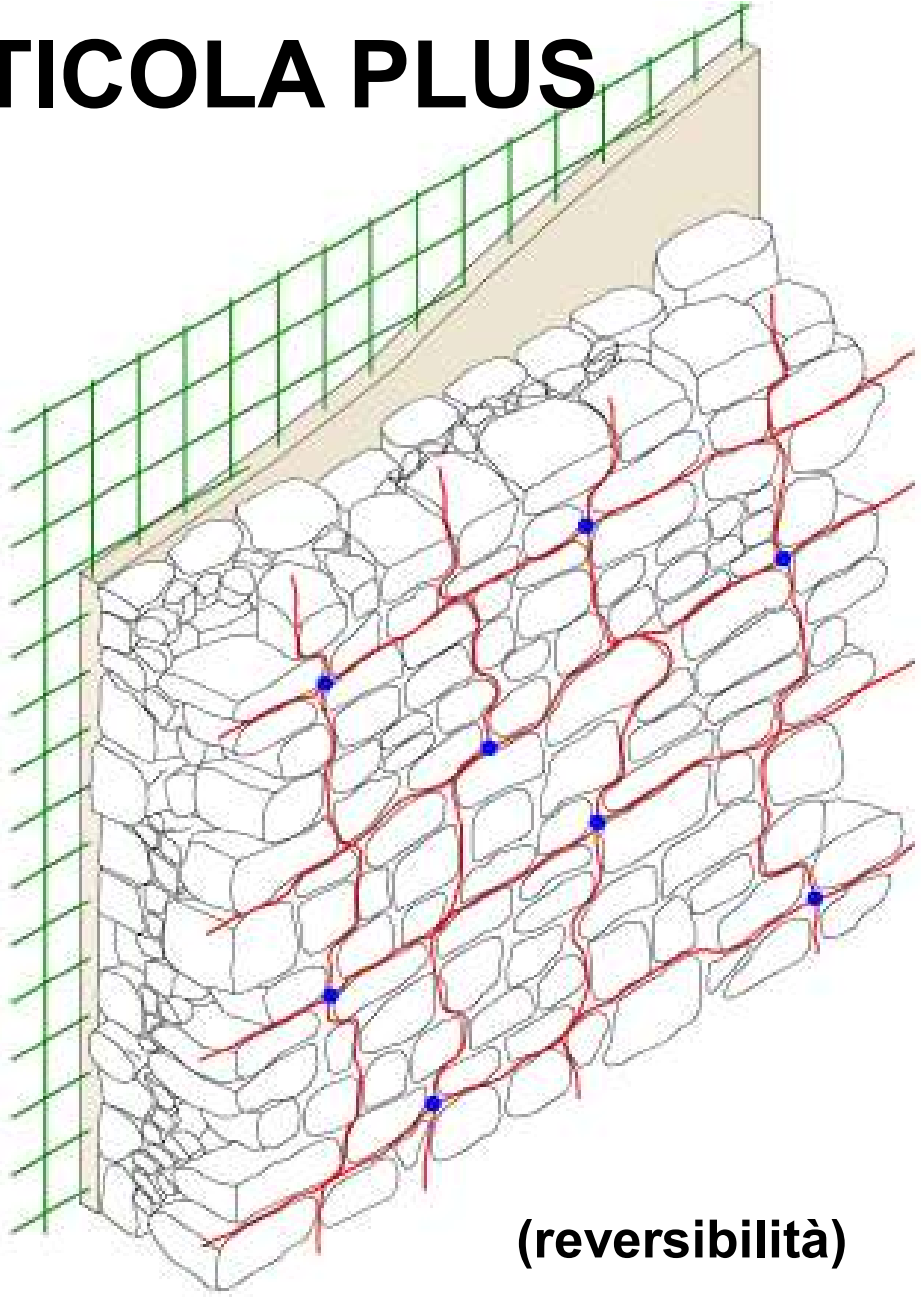




MURATURA FACCIA A VISTA SU ENTRAMBI I PARAMENTI

(reversibilità)

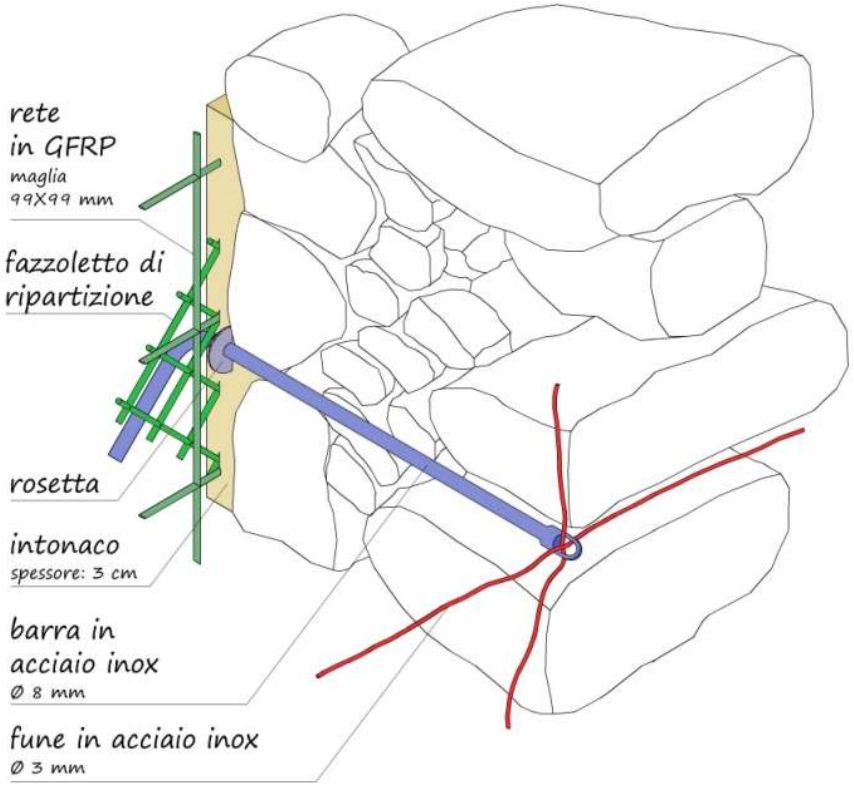
RETICOLA PLUS



(reversibilità)

MURATURA FACCIA A VISTA SUL PARAMENTO ESTERNO

PARAMENTO INTERNO INTONACATO

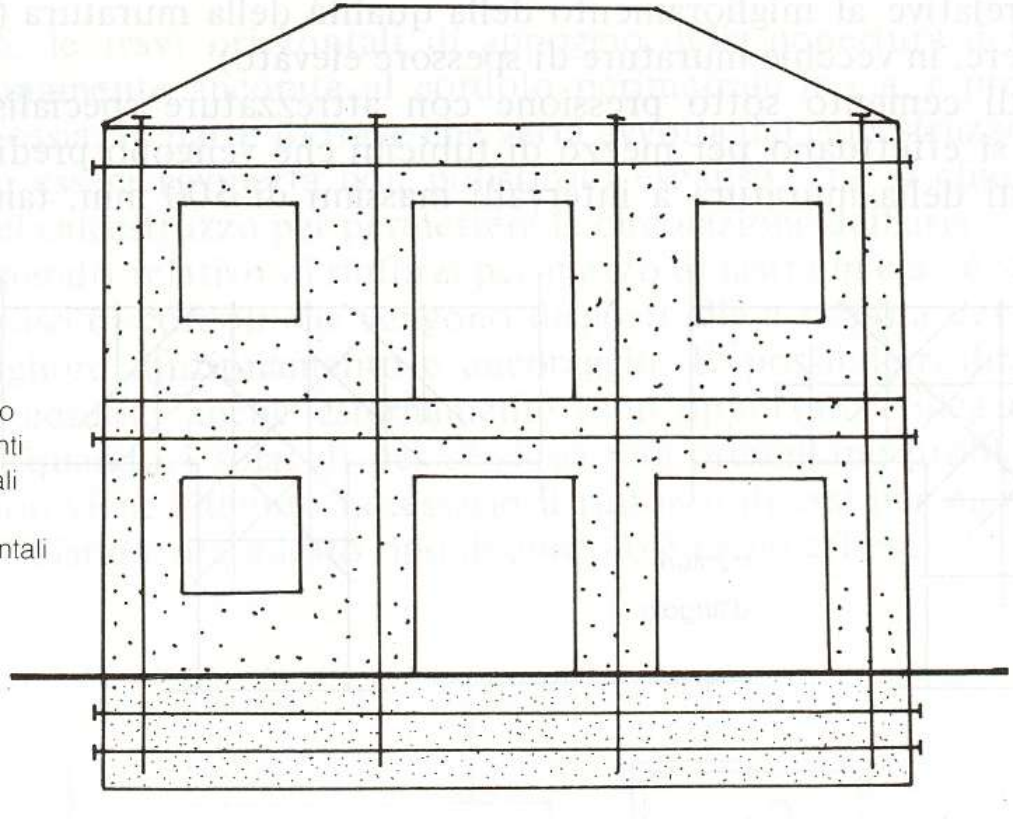


RETICOLA TWIN



TIRANTATURE ORIZZONTALI E VERTICALI

- *La tecnica consiste nella realizzazione di fori in direzione orizzontale e/o verticale nella muratura, con attrezzo a rotazione, e nell'alloggiamento di barre metalliche ad alta resistenza (Dywidag o trefoli) post-tese.*
- *Alle estremità si dispongono opportuni dispositivi metallici o in calce-struzzo armato per la ripartizione del carico*

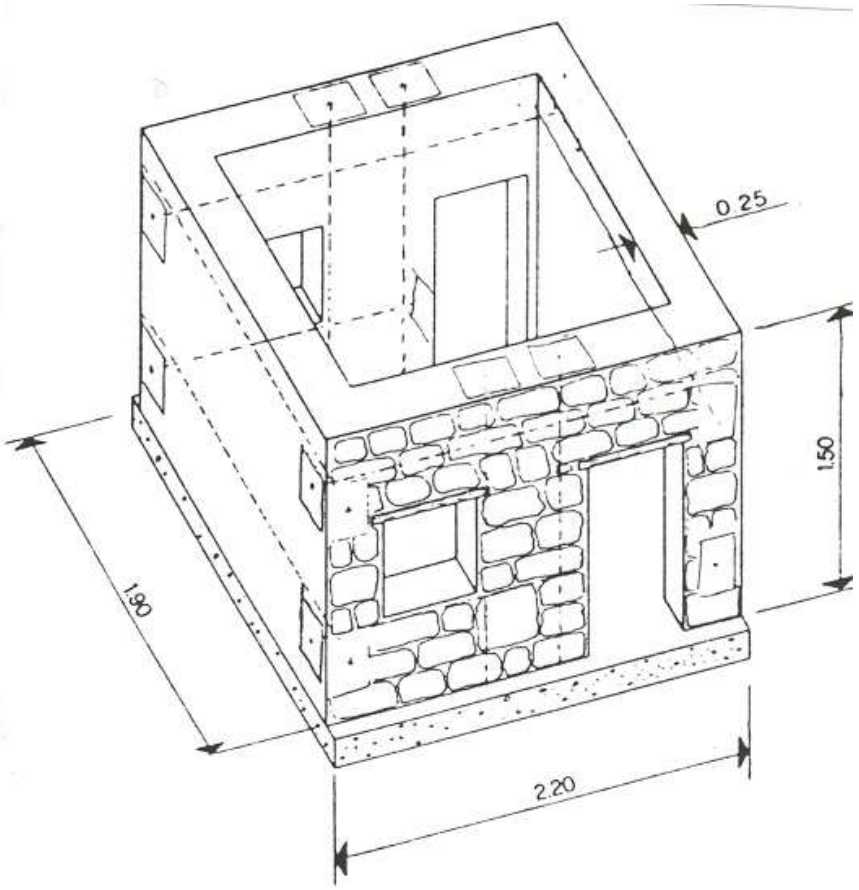


- *Tiranti verticali negli angoli dell'edificio ed in corrispondenza dei maschi*
- *Tiranti orizzontali in corrispon-denza dei solai di piano per irro-bustire le fasce di piano*
- *Tiranti orizzontali in fondazione per realizzare travi alte*
- *Le sedi dei tiranti generalmente vengono iniettate di malta ce-mentizia per proteggere le ar-mature dalla corrosione*

RISULTATI PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

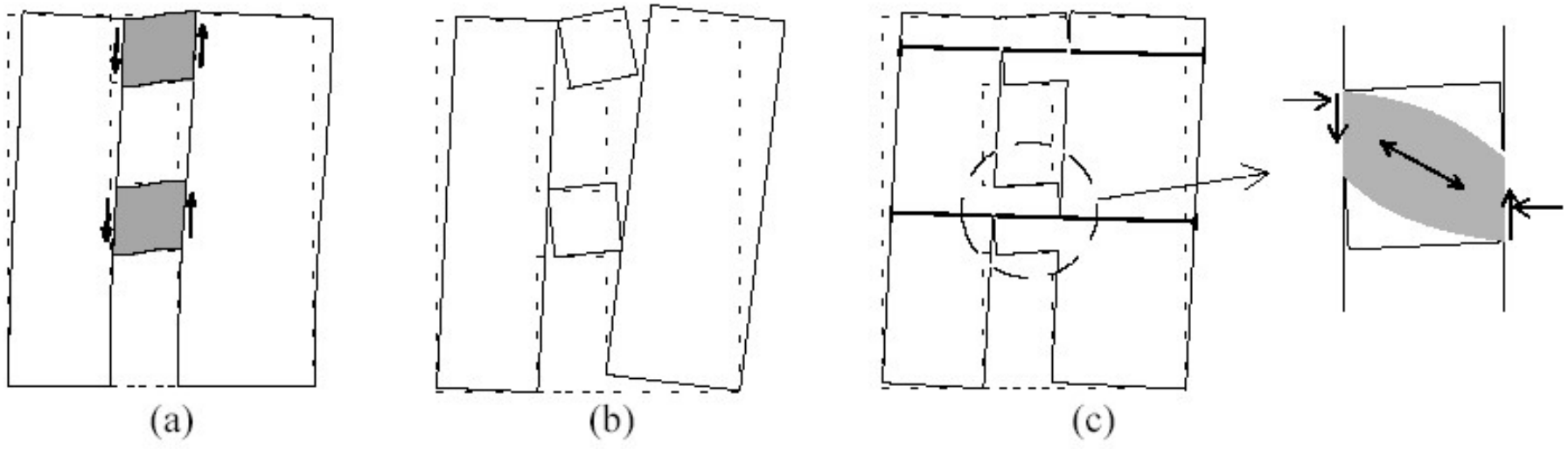
Prove eseguite dal Prof. Duilio Benedetti – Politecnico di Milano

Tipo di struttura	*Resistenza ultim*
Modelli non rinforzati	1
Modello con tiranti verticali nel maschio centrale	1,26
Modello con tiranti verticali negli spigoli	1,13
Modello con tiranti orizzontali	1,47
Modello con tiranti orizzontali e verticali negli spigoli	2,00
Modello con tiranti orizzontali e verticali nel maschio centrale	1,60
Modello con tiranti verticali nel maschio centrale e negli spigoli	2,13



TIRANTATURE ORIZZONTALI E VERTICALI

- *La resistenza a taglio (scorrimento, fessurazione diagonale) aumenta sensibilmente al crescere della tensione di compressione*
- *Le tirantature consentono di incrementare tale tensione, sia nei maschi che nelle fasce di piano, senza dover incrementare la massa della struttura, che comporterebbe anche un aumento dell'azione sismica*
- *Le tirantature orizzontali sono indispensabili, se non ci sono cordoli o catene a livello dei solai, per impedire il "rocking" delle fasce di piano*
- *Le tirantature verticali consentono, fra l'altro, di impedire il "rocking" dei maschi al piano sottotetto, quando la copertura è leggera (es. in legno)*



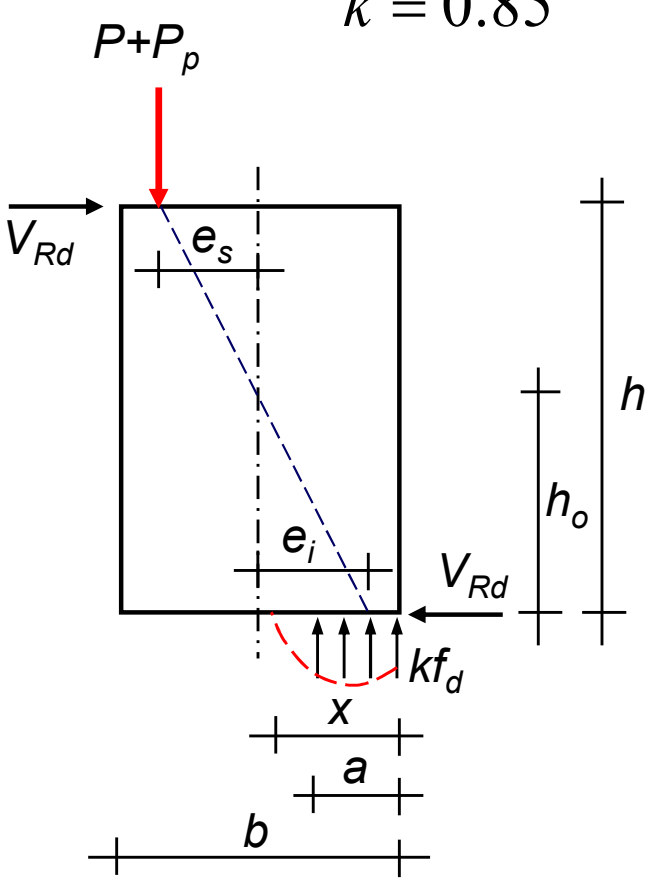
VERIFICA DI RESISTENZA MASCHI

I maschi murari sono soggetti a pressoflessione e taglio.

L'azione assiale dovuta ai carichi va incrementata con l'azione di pre-sollecitazione applicata con i tiranti verticali (P_p)

Capacità portante a pressoflessione

$$k = 0.85$$



$$\begin{cases} M_{Rd} = kf_d\, a\, t\,(\dfrac{b}{2} - \dfrac{a}{2}) \\ P + P_p = kf_d\, a\, t \end{cases} \Rightarrow a = \frac{P + P_p}{kf_d\, t}$$

$$a = 0.8\,x$$

$$\sigma_o = \frac{P}{bt}$$

$$\sigma_v = \frac{P_p}{bt}$$

Sostituendo *a* e σ_o nella prima

$$M_{Rd} = \frac{(\sigma_o + \sigma_v) b^2 t}{2}\left(1 - \frac{(\sigma_o + \sigma_v)}{kf_d}\right)$$

Nota la posizione di annullamento del momento h_o

$$V_{Rd}^{p} = \frac{(\sigma_o + \sigma_v) b^2 t}{2\,h_o}\left(1 - \frac{(\sigma_o + \sigma_v)}{kf_d}\right)$$

VERIFICA DI RESISTENZA MASCHI

Capacità portante a taglio (*Rottura per scorrimento*)

$$f_{vk} = f_{vok} + 0.4\,\sigma \qquad f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m$$

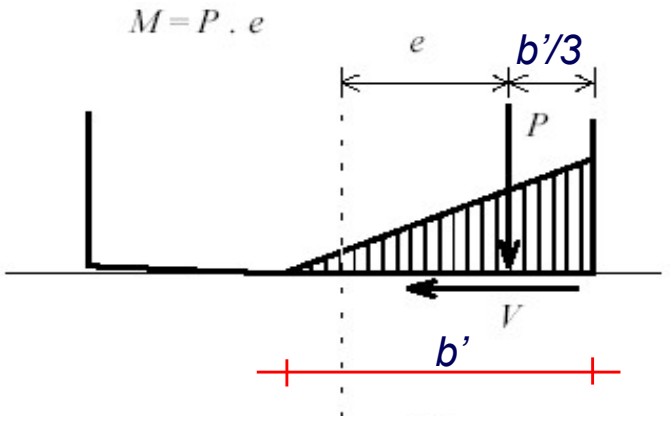
La resistenza della muratura è data dal prodotto della resistenza unitaria per l'area reagente del muro (*zona compressa*)

$$b' = \left(\frac{3}{2} - \frac{3e}{b}\right) b \qquad e = \frac{V\,h_o}{P} \qquad \sigma_o = \frac{P}{bt} \qquad \sigma_v = \frac{P_p}{bt}$$

$$V = f_{vd}\, b' t = \left[\left(\frac{3}{2} - \frac{3Vh_o}{(P+P_p)b}\right) f_{vko} + 0.4\left(\sigma_o + \sigma_v\right)\right] \frac{bt}{\gamma_m}$$

$$V_{Rd}^{s} = \frac{1.5\, f_{vko} + 0.4\left(\sigma_o + \sigma_v\right)}{1 + \dfrac{3h_o}{b\left(\sigma_o + \sigma_v\right)} \dfrac{f_{vko}}{\gamma_m}} \frac{bt}{\gamma_m}$$

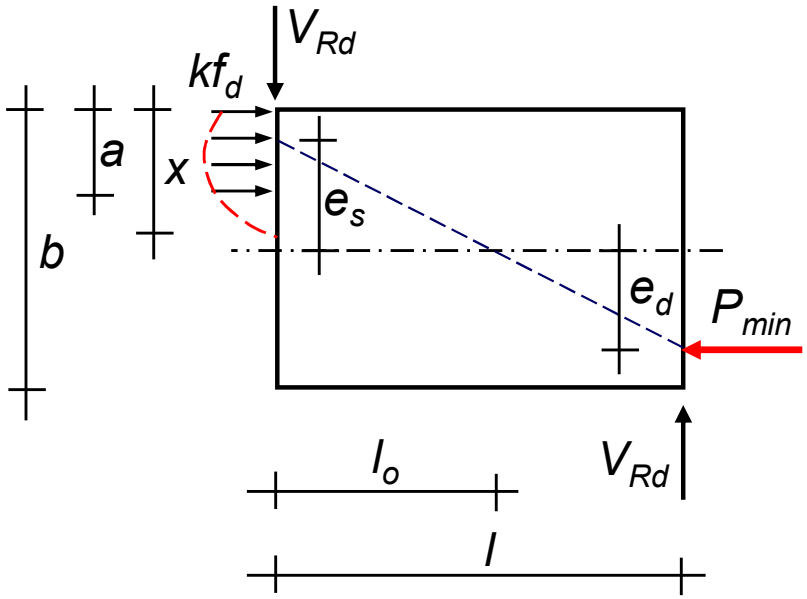
$$V_{Rd}^{s} \le \frac{f_{vok} + 0.4\left(\sigma_o + \sigma_v\right)}{\gamma_m} bt$$



VERIFICA A FLESSIONE FASCE DI PIANO

Capacità portante a pressoflessione

Si applica al tirante orizzontale una presollecitazione tale che la traversa sia in grado di resistere al momento agente massimo di calcolo M_{sd}



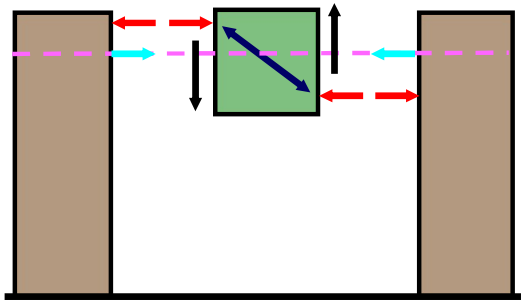
$$\begin{cases} M_{sd} = kf_d' \, a \, t \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) \\ P_{\min} = kf_d' \, a \, t \end{cases} \Rightarrow a = \frac{P_{\min}}{kf_d' \, t}$$

$$k = 0.85$$

$$a = 0.8\,x$$

Sostituendo *a* nella prima

$$M_{sd} = \frac{P_{\min}}{2}\left(b - \frac{P_{\min}}{kf_d' \, t}\right)$$



Risolvendo rispetto a P_{min}

$$P_{\min} = \frac{kf_d' \, bt}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{8M_{sd}}{kf_d' \, b^2 t}}\right) \Rightarrow \boxed{P_p \geq P_{\min}}$$

f_d' è la resistenza a compressione di calcolo della muratura in direzione orizzontale

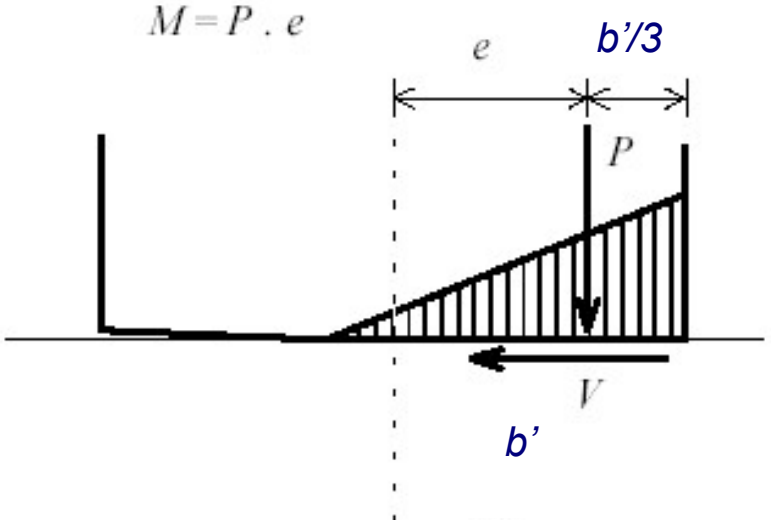
VERIFICA A TAGLIO FASCE DI PIANO

Esplicitando σ_h dalla relazione seguente e ponendo al posto di V_{Rd}^s il taglio agente V_{sd} , si può ricavare la forza assiale di presollecitazione da applicare ai tiranti orizzontali P_p, quindi con la forza assiale effettivamente applicata si calcola V_{Rd}^s

Rottura per scorrimento

$$V_{Rd}^s = \frac{1.5\, f_{vko} + 0.4\,\sigma_h}{1 + \frac{3 l_o}{b\,\sigma_h}\frac{f_{vko}}{\gamma_m}}\frac{b\,t}{\gamma_m}$$

$$\sigma_h = \frac{P_p}{b\,t}$$



RESISTENZA A TAGLIO TRAVERSE

In presenza di cordolo di piano o architrave resistente a flessione ed efficacemente ammorsato alle estremità, le NTC 2008 prescrivono

Rottura per scorrimento

$$V_{Rd}^{s} = \frac{f_{vko}}{\gamma_M} \cdot b\,t$$

Rottura per pressoflessione

$$M_{Rd} = \frac{H_p\, b}{2}\left(1 - \frac{H_p}{k f_d\, b\, t}\right)$$

$$H_p = min\begin{cases} \text{resist. a trazione elem. teso} \\ 0.4\, f_d'\, b\, t \end{cases}$$

$$V_{Rd}^{f} = \frac{2\, M_{Rd}}{l}$$

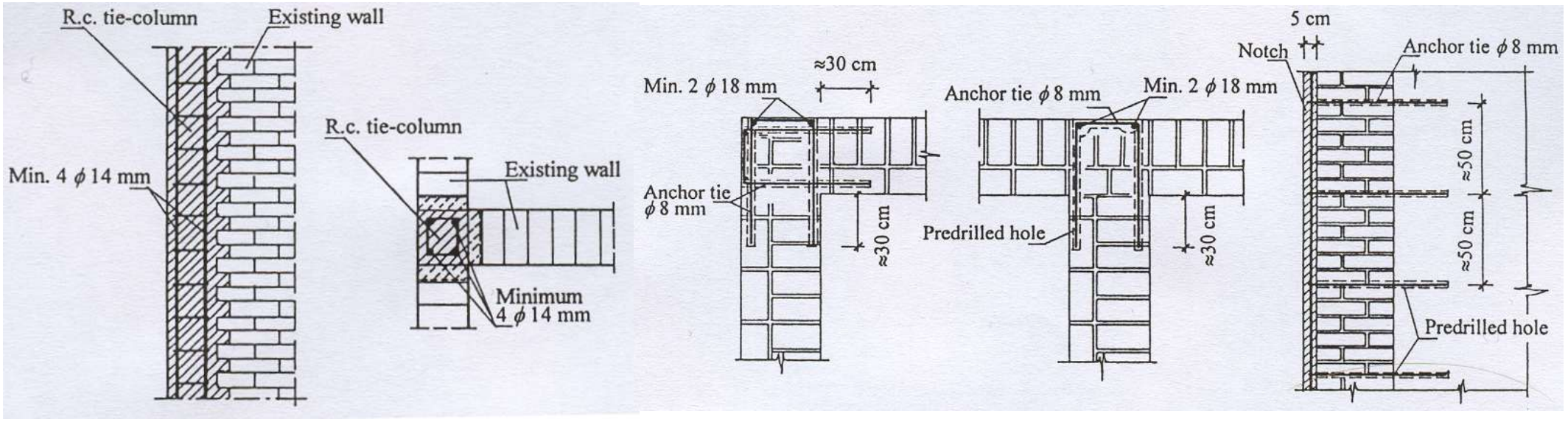
$$V_{sd} \le \min\begin{cases} V_{Rd}^{s} \\ V_{Rd}^{f} \end{cases}$$

f_d' **resist. a compr. muratura in direzione orizzontale**

TECNICHE DI CONFINAMENTO

Cordoli verticali

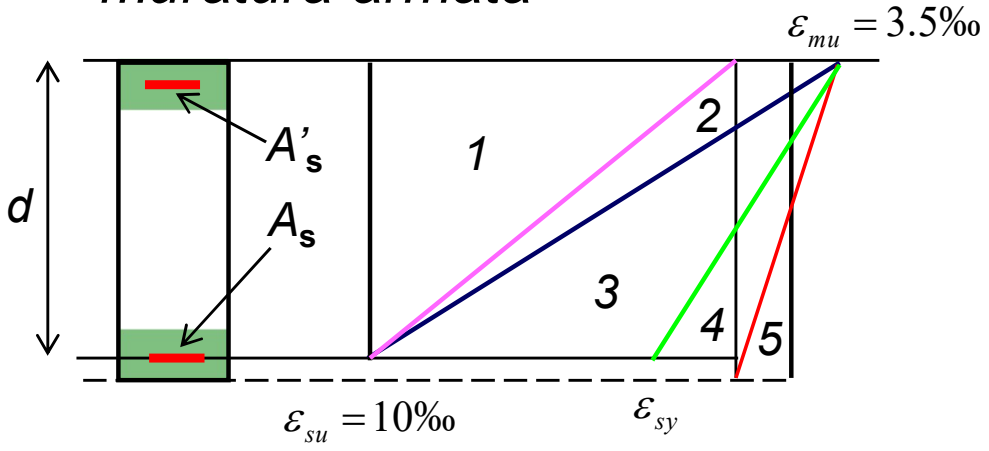
- *Sistema efficace quando è possibile realizzare cordoli verticali nelle intersezioni fra le pareti e ad entrambe le estremità dei maschi*
- *Applicabile solo per murature di mattoni, che vengono rimossi ad uno ad uno nelle zone dove verrà realizzato il cordolo verticale*
- *Inadatto per murature di pietrame in quanto la realizzazione delle sedi produce un notevole disturbo alla muratura riducendone sensibilmente la resistenza (si creano ampie zone di muratura fessurate)*
- *I cordoli verticali devono essere efficacemente collegati ai cordoli orizz.*

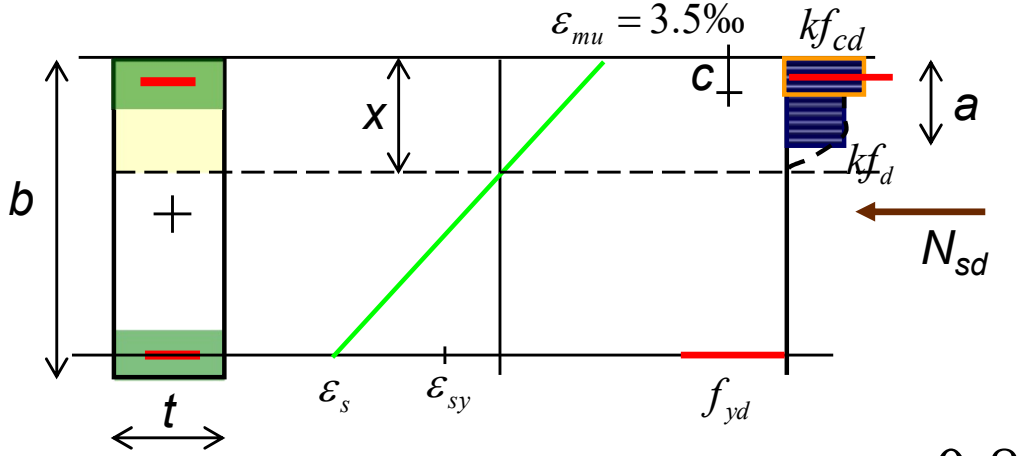


TECNICHE DI CONFINAMENTO

Capacità portante a pressoflessione dei maschi

- *Il momento resistente di calcolo si determina analogamente al caso di muratura armata*





$$a = 0.8x$$
$$k = 0.85$$

$$\begin{cases} N_{sd} = kf_d\,(a-c)t + kf_{cd}\,ct - f_{yd}\,(A_s - A_s') \\ M_{Rd} = kf_d\,(a-c)t\left(\frac{b}{2} - \frac{a+c}{2}\right) + kf_{cd}\,ct\left(\frac{b}{2} - \frac{c}{2}\right) + f_{yd}\,A_s\left(d - \frac{b}{2}\right) + f_{yd}\,A_s'\left(\frac{b}{2} - d'\right) \end{cases}$$

$$a \le 0.8\,\frac{0.0035d}{0.0035 + \varepsilon_{sy}}$$

(limite fra campo 3 e campo 4)

SOLAI LIGNEI

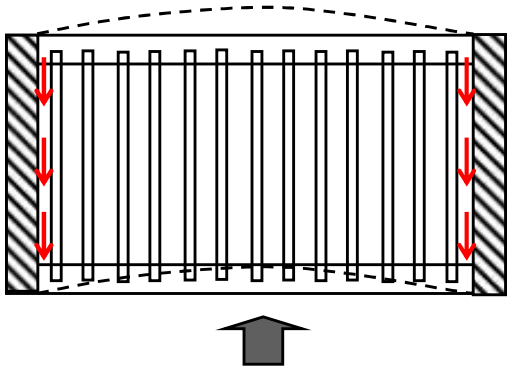
SOLAI DI PIANO

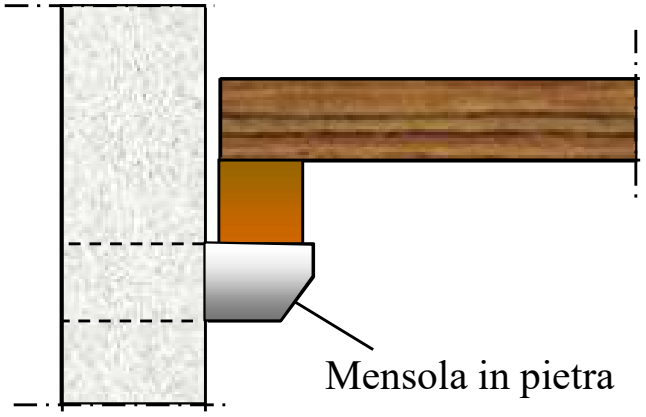
La maggior parte degli edifici dei centri storici sono caratterizzati da solai di piano costituiti da impalcati in legno

I solai in genere

- *sono progettati per sovraccarichi modesti*
- *hanno deformabilità flessionale eccessiva*
- *hanno scarsa rigidezza nel proprio piano*
- *il collegamento con le pareti è in genere scarso*
- *possono presentare parti ammalorate (funghi, insetti xilofagi)*







INTERVENTI SUI SOLAI DI PIANO

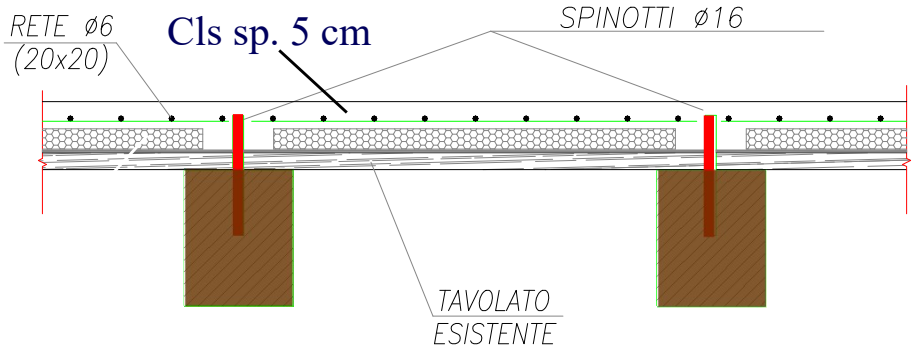
- Sostituzione con solai nuovi in laterocemento o in acciaio-cls
- Recupero dei solai in legno mediante interventi mirati a migliorare il loro comportamento
  - Aumento capacità portante
  - Aumento della rigidezza flessionale (limitare la freccia)
  - Irrigidimento del solaio nel proprio piano in modo che sia in grado di trasferire le azioni orizzontali alle pareti di taglio
  - Efficace collegamento tra il solaio e le murature affinchè vengano da un lato impediti gli spostamenti fuori piano delle pareti e dall'altro lato trasferite le azioni orizzontali alle pareti di taglio

AUMENTO CAPACITA' PORTANTE

Per aumentare la capacità portante e la rigidezza flessionale

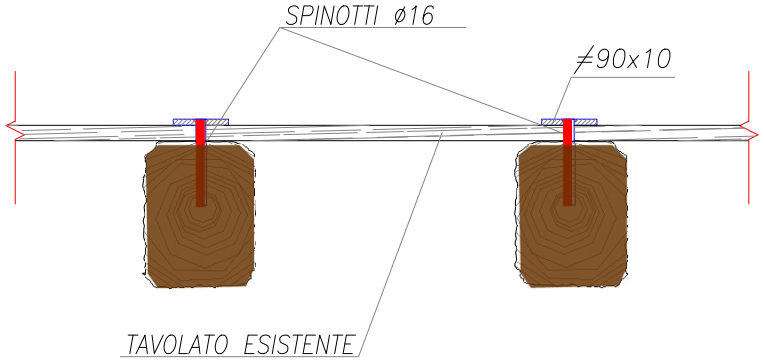
- Solidarizzazione di una soletta di calcestruzzo sopra le travi di legno

- Solidarizzazione di piatti metallici sopra le travi di legno



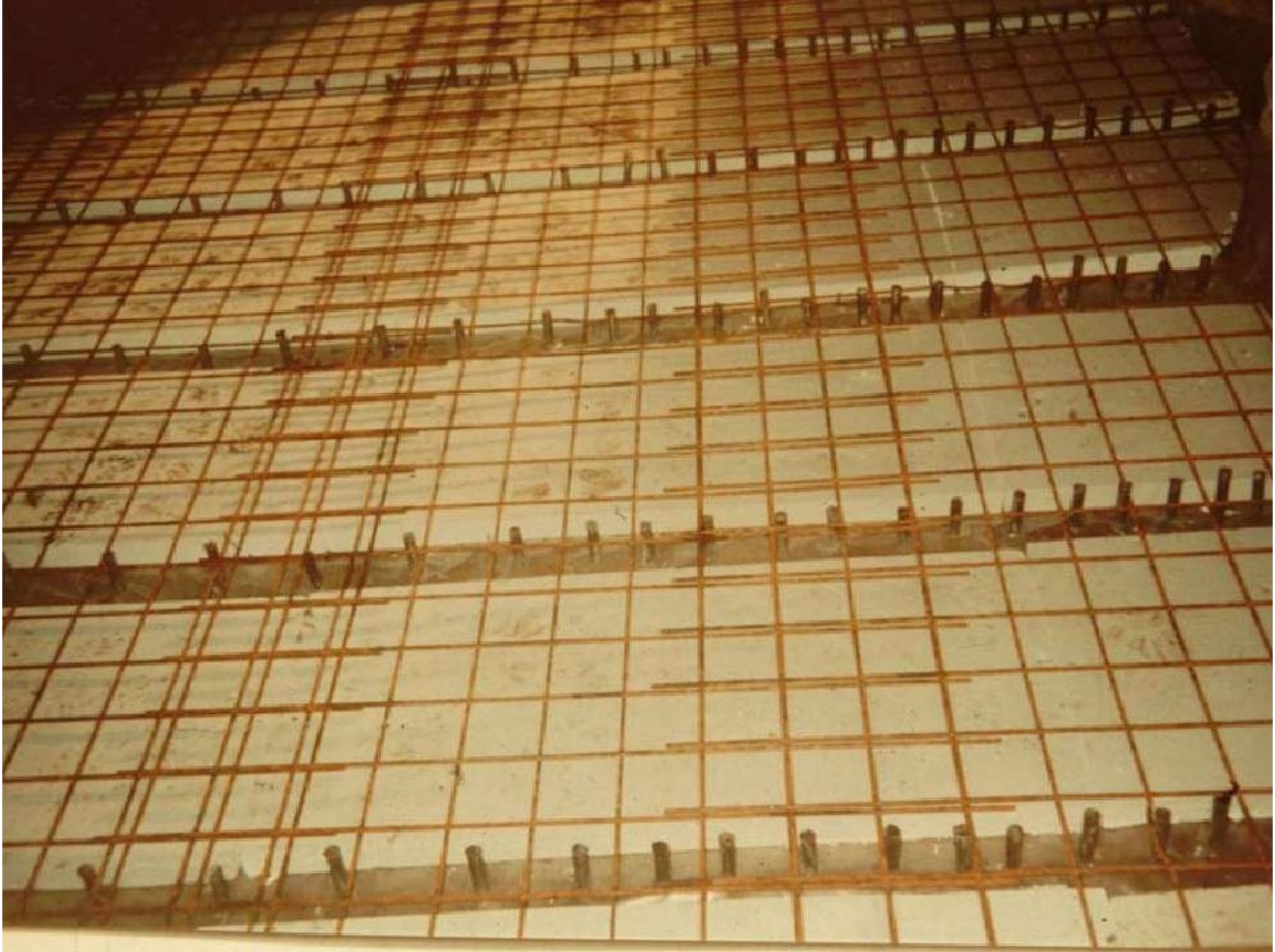
TECNICHE DI CONNESSIONE

ESEGUIRE UN FORO ø15,75 mm, INSERIRE A PRESSIONE UNO SPINOTTO IN ACCIAIO TONDO LISCIO ø16 (Fe510) DI LUNGHEZZA 17 cm.
IN ALTERNATIVA, ESEGUIRE UN FORO ø20 mm, INSERIRE UNA BARRA ø16 DI ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA FeB44k DI LUNGHEZZA 17 cm, COLARE RESINA EPOSSIDICA NEL FORO.



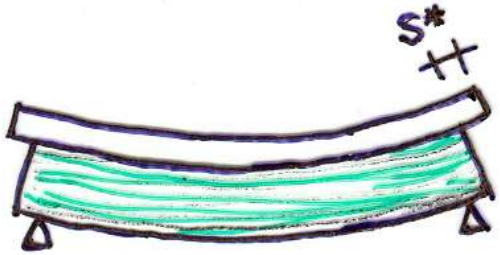
TECNICA DI RINFORZO

DISPORRE UN PIATTO 90x10 IN ACCIAIO, PROVVISTO DI FORI ø 16mm SVASATI VERSO L'ALTO, SOPRA IL TAVOLATO ESISTENTE IN CORRISPONDENZA DI OGNI TRAVE; ESEGUIRE UN FORO ø15,75 NEL LEGNO IN CORRISPONDENZA DEI FORI DEL PIATTO DI ACCIAIO; INSERIRE A PRESSIONE UNO SPINOTTO IN ACCIAIO TONDO LISCIO ø16 (Fe510) DI LUNGHEZZA 140 mm; SALDARE LO SPINOTTO AL PIATTO IN ACCIAIO RIEMPIENDO IL VUOTO DELLA SVASATURA.



CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA

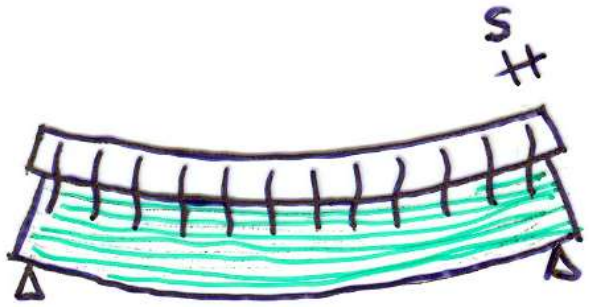
Se si realizza la soletta senza collegarla alla trave in legno il solaio risulta penalizzato dal punto di vista statico in quanto sono aumentati i carichi (p.p.soletta).



$$M_{Rd} = M_{Rd,w} + M_{Rd,c} \cong M_{Rd,w}$$

$$I = I_W + nI_C \cong I_W \qquad n = \frac{E_c}{E_w}$$

Se invece si dispongono fra trave e soletta dei dispositivi in grado di ostacolare lo slittamento e di trasferire la forza di scorrimento da un elemento all'altro, si ha un forte aumento sia della capacità portante che della rigidezza.



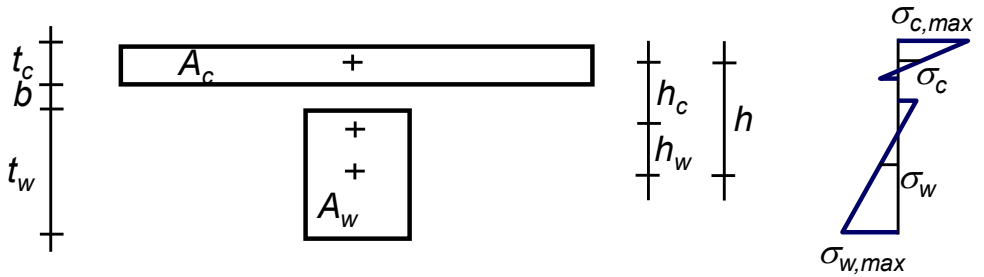
$$s << s^* \qquad n = \frac{E_c}{E_w}$$

$$I = I_W + nI_C + \gamma \cdot \frac{n \cdot A_c \cdot A_w}{A_w + n \cdot A_c} \cdot h^2 \quad >> I_w$$

SOLAIO COMPOSTO LEGNO-CLS

S.L.E.

$$\gamma = \left[1 + \pi^2 \frac{n A_c A_w}{n A_c + A_w} \frac{E_w s}{K l^2} \right]^{-1}$$ *(Efficienza connessione)*



s è il passo dei connettori

K rigidezza del connettore

$$\begin{cases} \sigma_c = n \gamma h_c \dfrac{M}{I_{eff}} \\ \sigma_{m,c} = n \dfrac{t_c}{2} \dfrac{M}{I_{eff}} \\ \sigma_{c,\max} = \sigma_{m,c} + \sigma_c \end{cases}$$

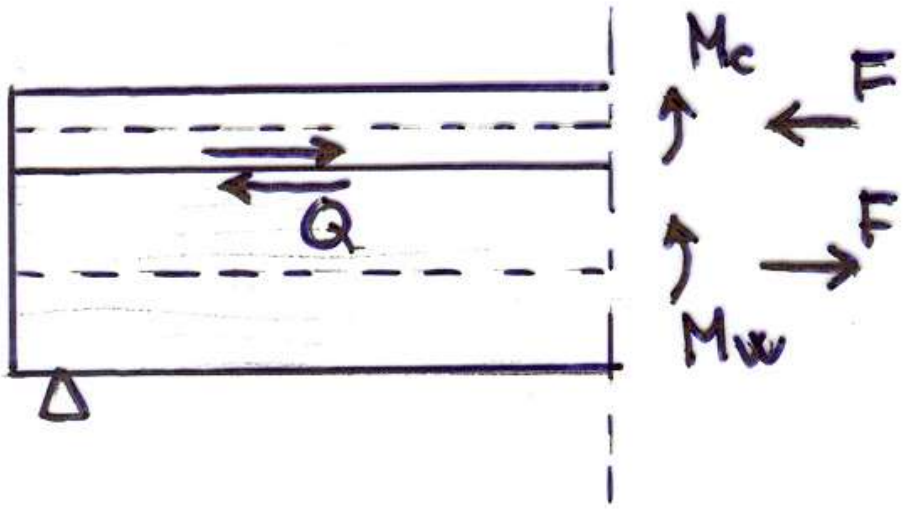
$$\begin{cases} \sigma_w = \gamma h_w \dfrac{M}{I_{eff}} \\ \sigma_{m,w} = \dfrac{t_w}{2} \dfrac{M}{I_{eff}} \\ \sigma_{w,\max} = \sigma_{m,w} + \sigma_w \end{cases}$$

$$F = s\, n\, A_c\, \gamma\, h_c \frac{V}{I_{eff}} \quad \Rightarrow \quad s = \frac{F\, I_{eff}}{n\, A_c\, \gamma\, h_c\, V}$$

MOMENTO RESISTENTE SOLAIO COMPOSTO

S.L.U.

$$M_{Rd} = M_{w,Rd}(\overline{F}) + M_{c,Rd}(\overline{F}) + \overline{F}\,h >> M_{w,Rd}(\overline{F})$$



$$\overline{F} = \min \begin{cases} Q_{Rd} \\ F_{c,Rd} \\ F_{w,Rd} \end{cases}$$

$$Q_{Rd} = n\,P_{Rd}$$

Q_{Rd} *è la resistenza allo scorrimento fra la sezione di momento massimo e l'appoggio*

P_{Rd} *è la capacità portante di un connettore*

n *è il numero di connettori fra la sezione di momento massimo e l'appoggio*

$F_{c,Rd}$ *è la resistenza a compressione della soletta di calcestruzzo*

$F_{w,Rd}$ *è la resistenza a trazione della trave di legno*

CAPACITA' PORTANTE CONNETTORE

La resistenza del connettore è data dalle seguenti relazioni

$$V_{Rd1} = f_{h1} \cdot d \cdot l_w \qquad (M < M_y)$$

$$V_{Rd,2a} = \frac{\sigma_c \cdot d}{2+\beta} \cdot \left[\sqrt{4b \cdot (b + l_w) + 2 \cdot l_w^2 \cdot (1 + 1/\beta) + \frac{4M_y \cdot (1+2/\beta)}{f_{h1} \cdot d}} - (2b + l_w) \right]$$

$$V_{Rd3} = \frac{\sigma_c \cdot d}{1+\beta} \cdot \left(\sqrt{b^2 + \frac{4M_y \cdot (1+\beta)}{\sigma_c \cdot d}} - b \right)$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}, V_{Rd2a}, V_{Rd2b}, V_{Rd3})$$

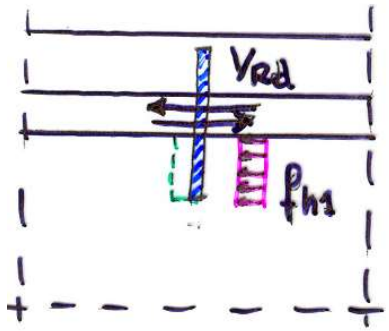
$$f_{hk} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k$$

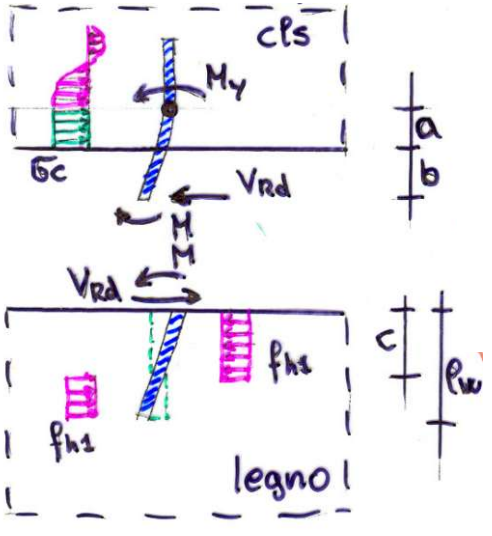
(MPa - ρ_k in kg/m³ e d in mm)

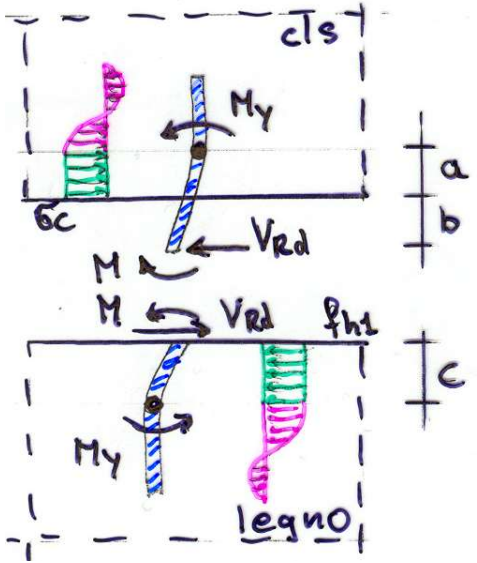
$$f_{h1d} = \frac{k_{\mathrm{mod}} f_{hk}}{\gamma_m}$$

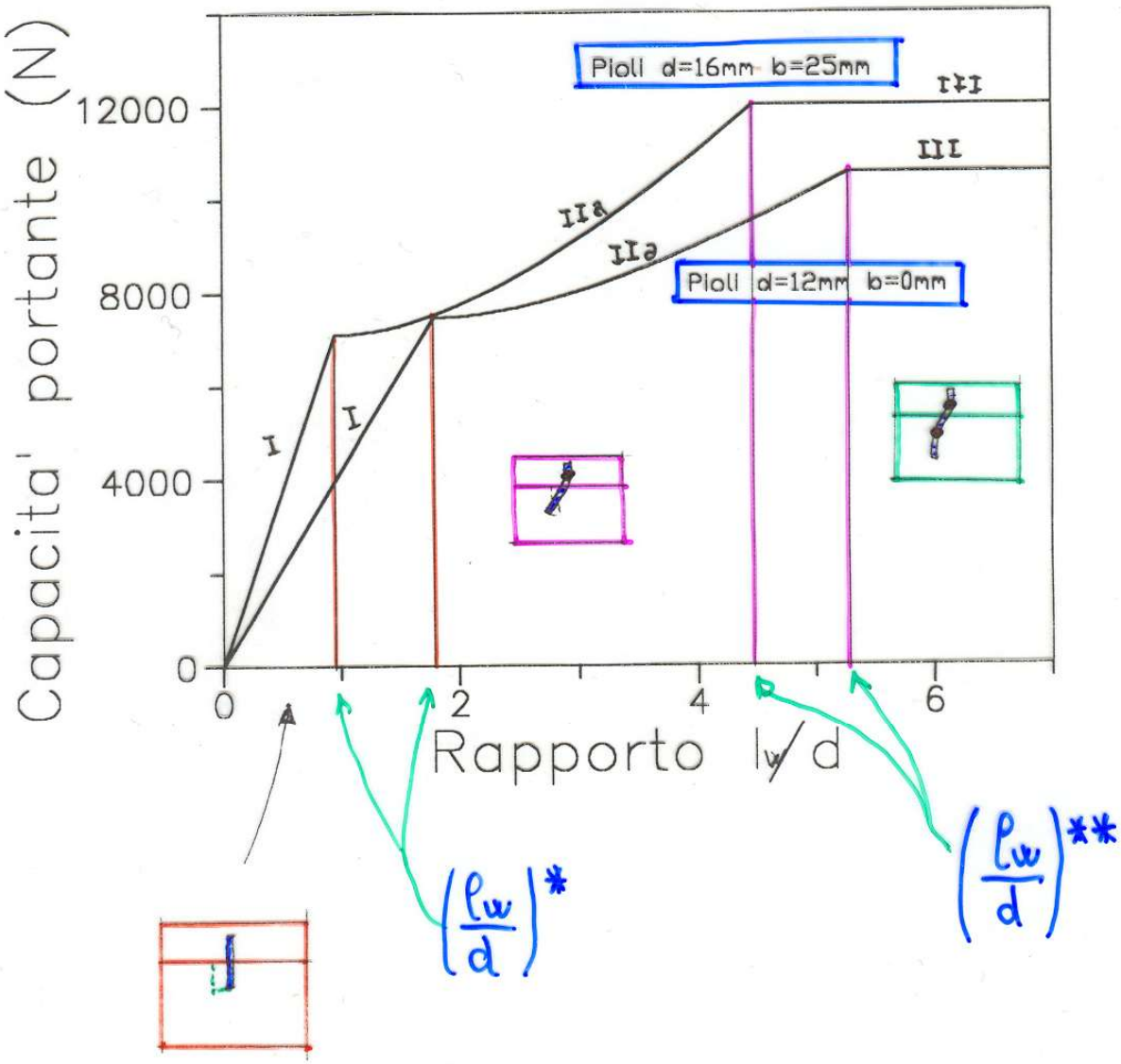
$$M_{yd} = \frac{f_{yd} d^3}{6}$$

$$\sigma_{cd} = \frac{5 f_{ck}}{\gamma_c}$$







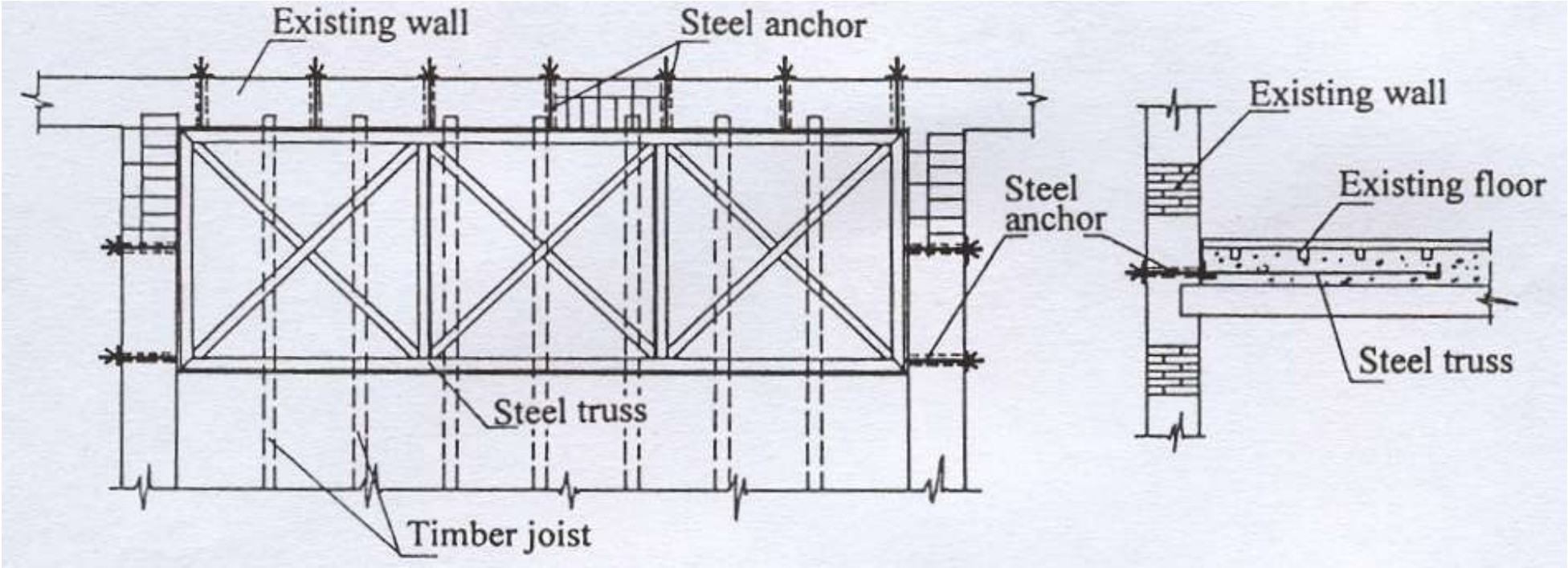


$\left(\frac{l_w}{d}\right)^*$ = limite tra I° e II° meccanismo

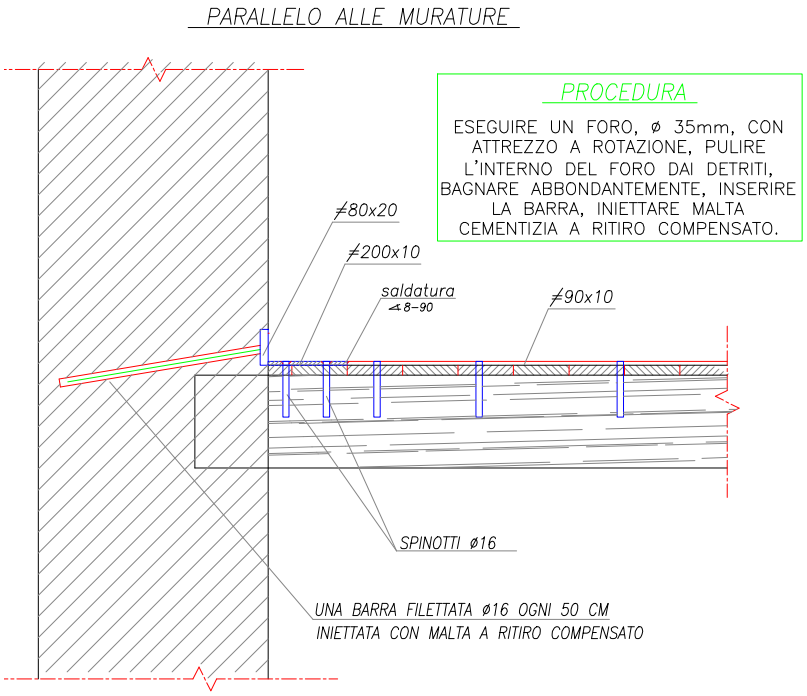
$\left(\frac{l_w}{d}\right)^{**}$ = limite tra II° e III° meccanismo

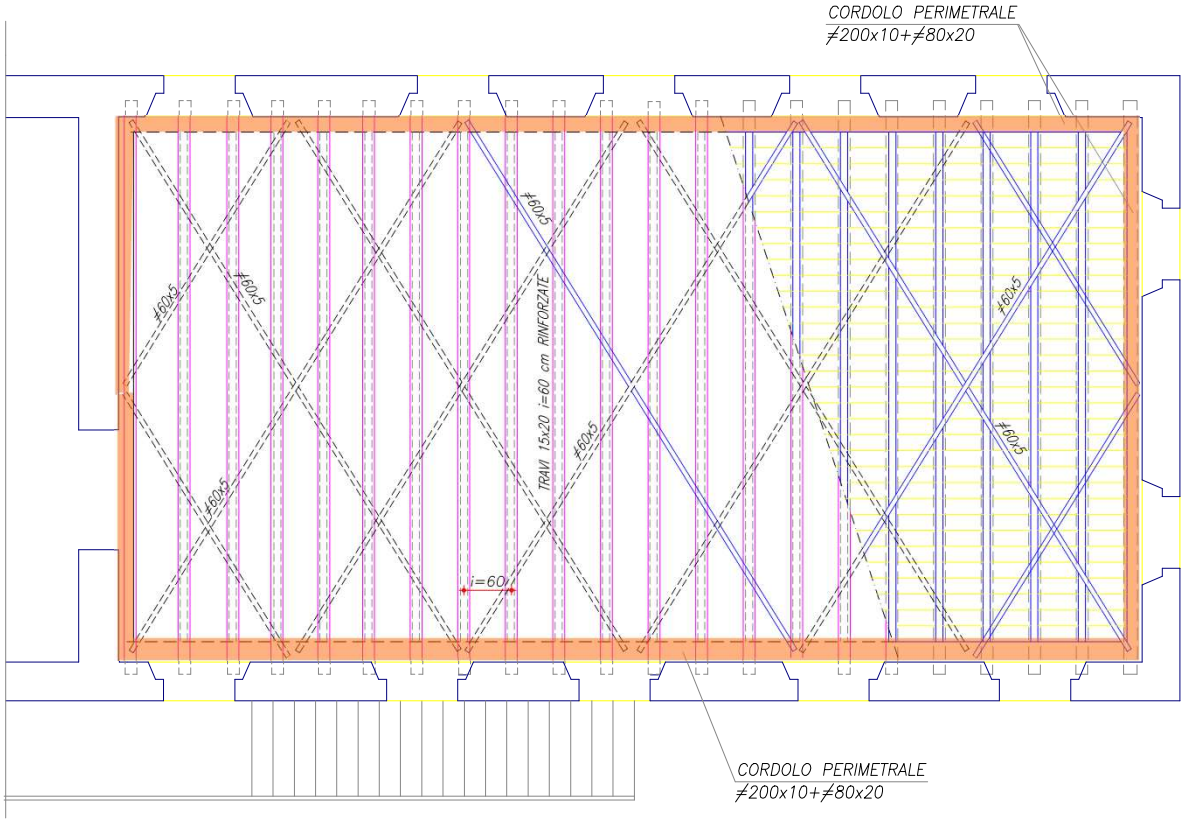
IRRIGIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

- **La realizzazione di una soletta di calcestruzzo costituisce un ottimo sistema di irrigidimento dei solai nel proprio piano. La solidarizzazione della soletta alle travi di legno consente di utilizzare solette di piccolo spessore (~ *5 cm*)**
- **Un'altra tecnica per l'irrigidimento consiste nella realizzazione di una struttura reticolare in acciaio che può essere disposta fra il tavolato ed il pavimento oppure a vista all'intradosso del solaio**



IRRIGIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

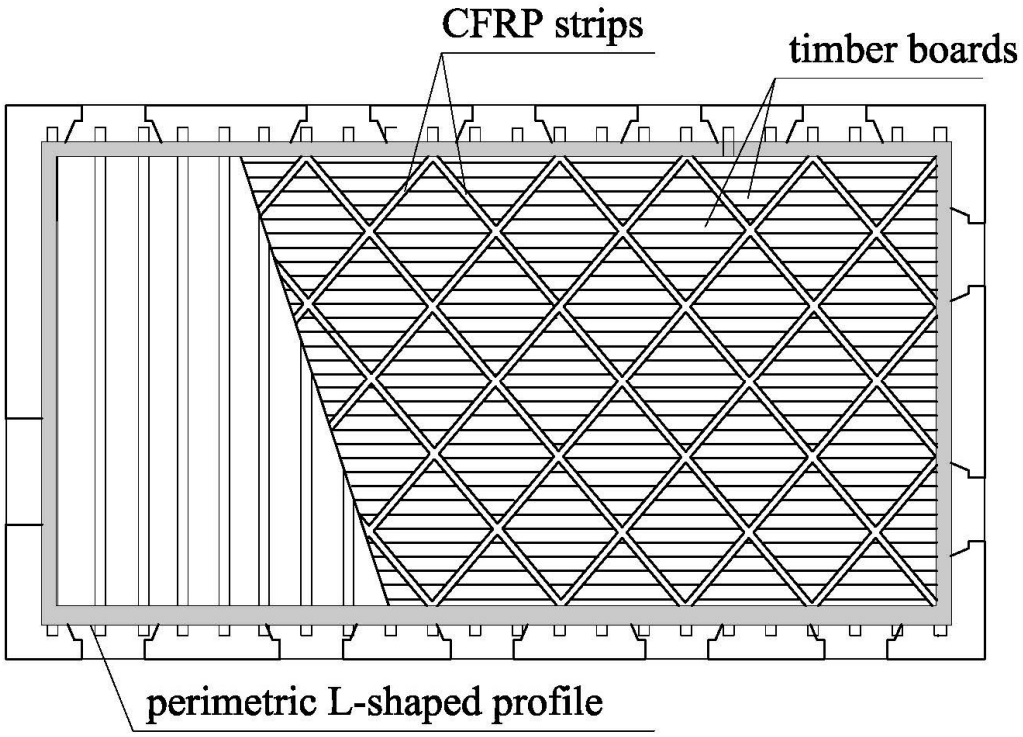


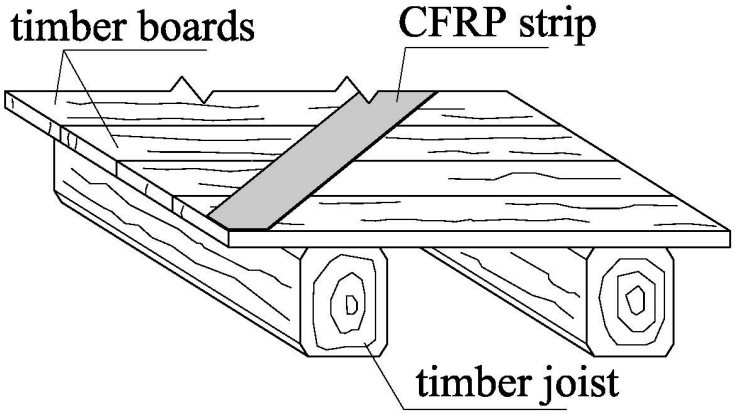


Profilati perimetrali a L solidarizzati sia alle travi del solaio che alla muratura con barre iniettate. Diagonali in acciaio che vanno a formare, assieme alle travi di legno e ai correnti metallici, una struttura reticolare orizzontale.

IRRIGIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

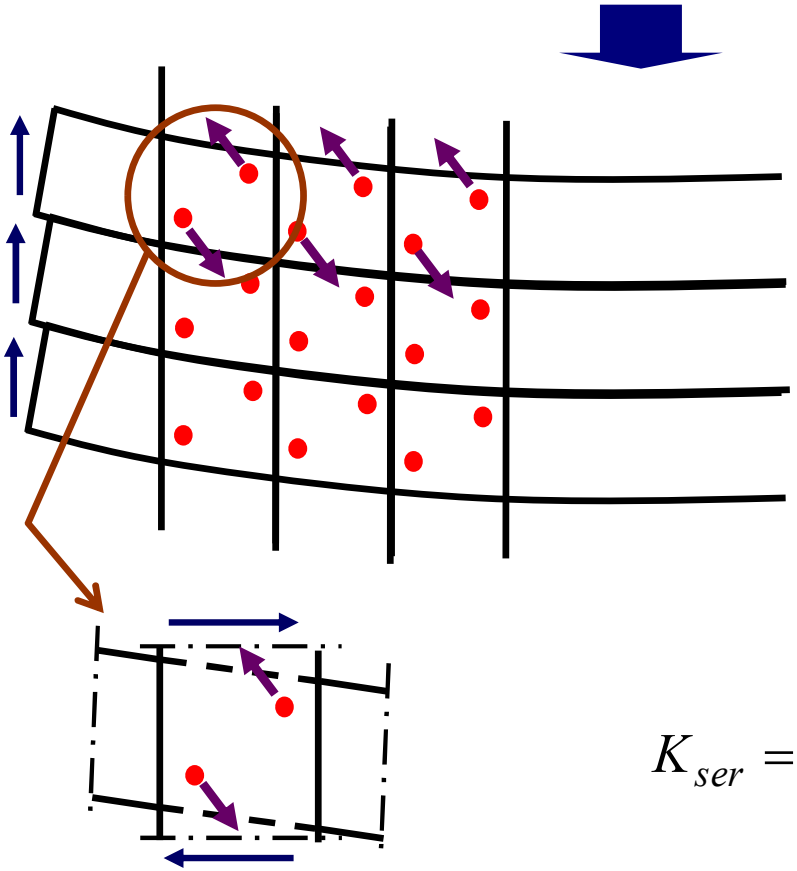
Un'altra tecnica consiste nell'uso di nastri diagonali in fibre di carbonio incollati alle tavole del solaio. Sul perimetro è sempre previsto un angolare metallico solidarizzato sia alle travi del solaio che alla muratura con spinotti iniettati.

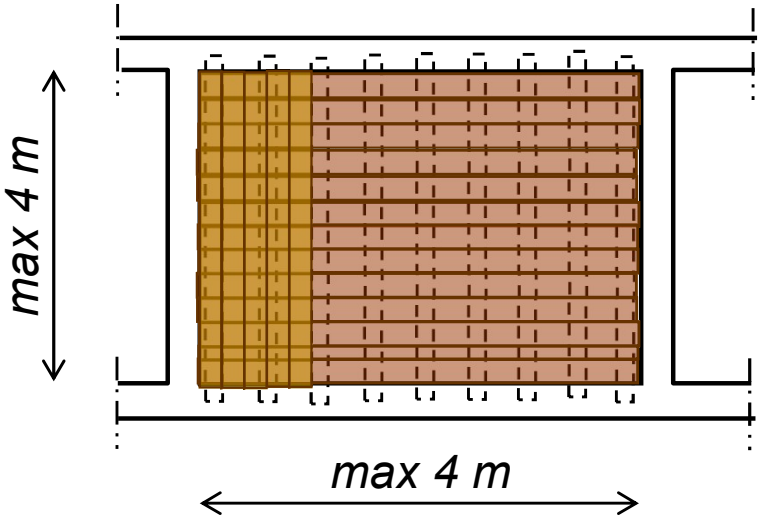




IRRIGIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

Se i campi di solaio sono di piccole dimensioni (*max 4 x 4 m*) può essere sufficiente irrigidire i solai inchiodando un secondo tavolato sopra il tavolato esistente disposto perpendicolarmente a quest'ultimo (*o a 45°*). E' indispensabile eseguire una robusta chiodatura che ha il compito di contrastare lo scorrimento longitudinale fra le tavole.



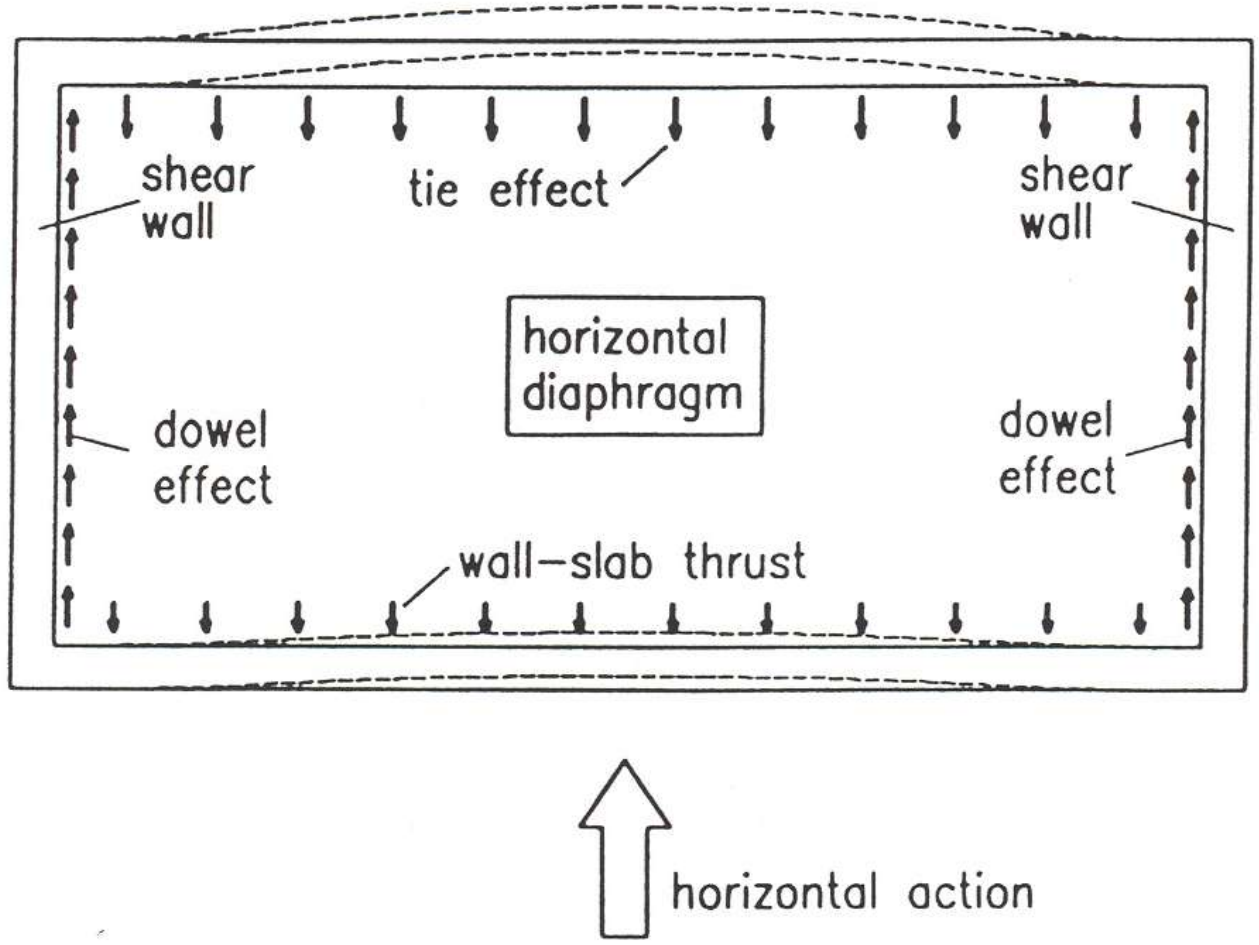


$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1.5}\, d^{0.8}}{30}$$

(rigidezza chiodi – EC5)

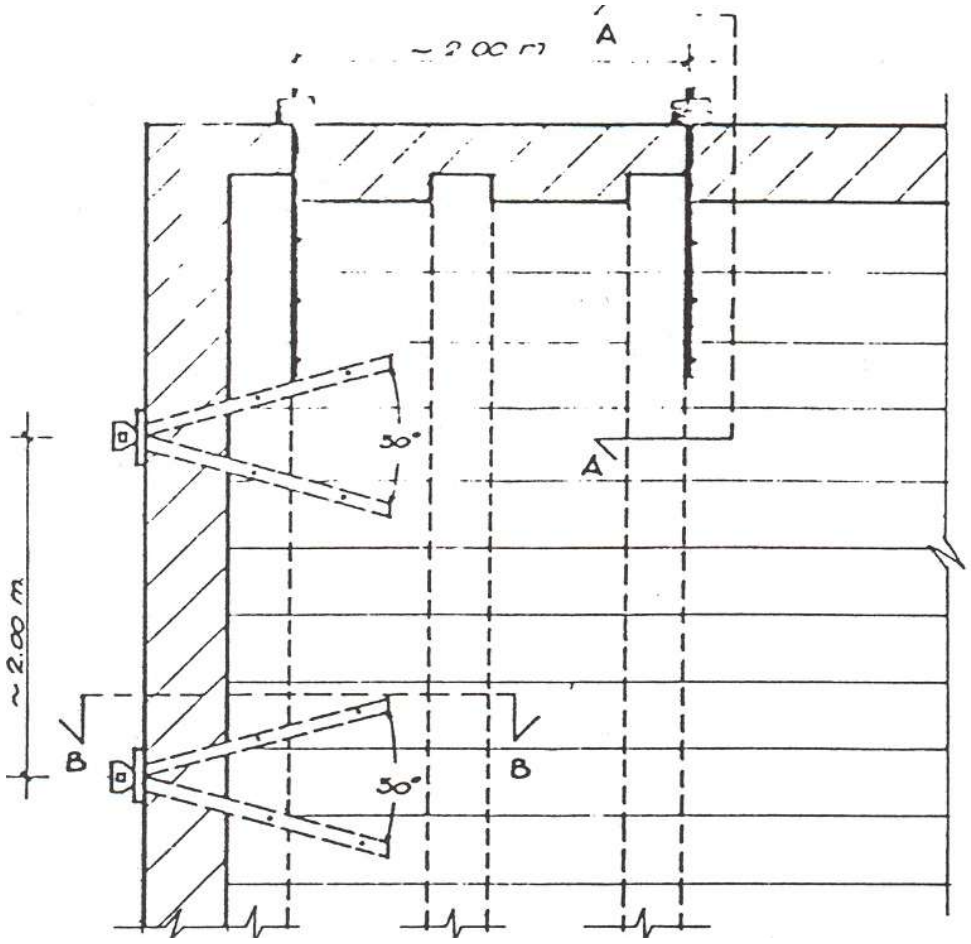
COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

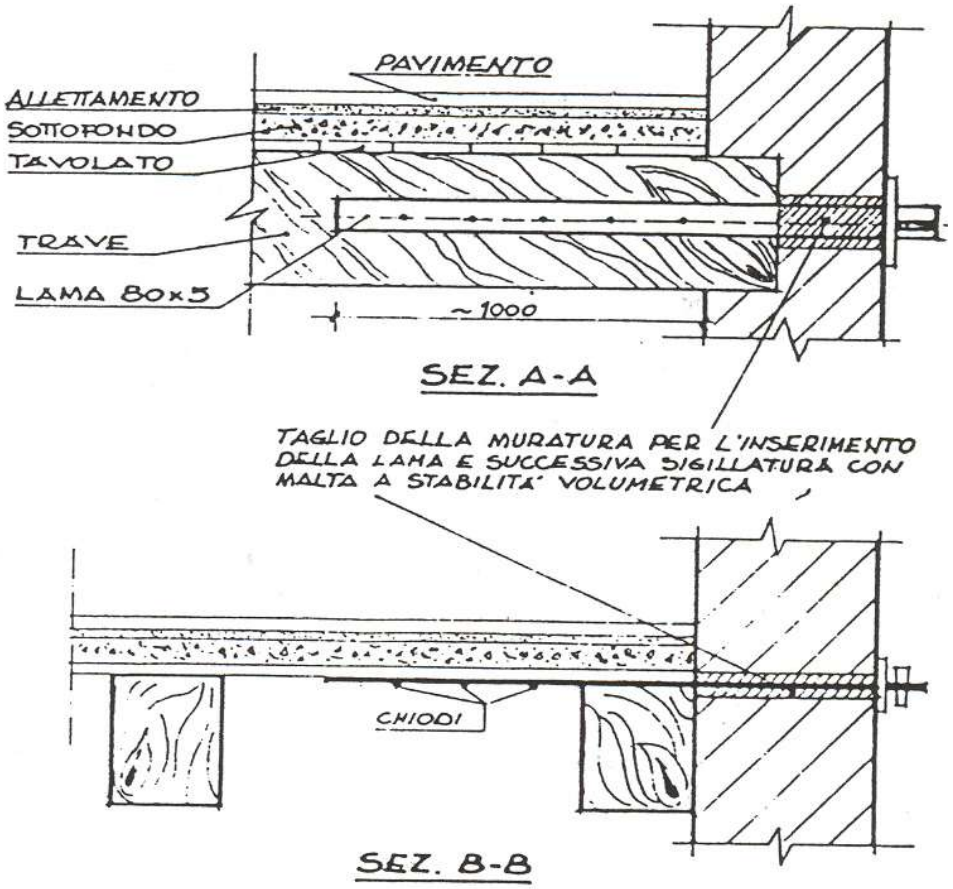
Il solaio deve essere ben ammorsato alle murature in modo da contrastare gli spostamenti fuori-piano delle pareti (*effetto tirante*) e trasferire alle pareti di controvento le azioni derivanti dall'accelerazione della massa del solaio e delle pareti perpendicolari alla direzione del sisma (*effetto trasferimento*)



COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

Nel caso di irrigidimento con un secondo tavolato il solaio va collegato efficacemente alla muratura mediante piatti di acciaio ancorati all'esterno della muratura o solidarizzati mediante iniezioni

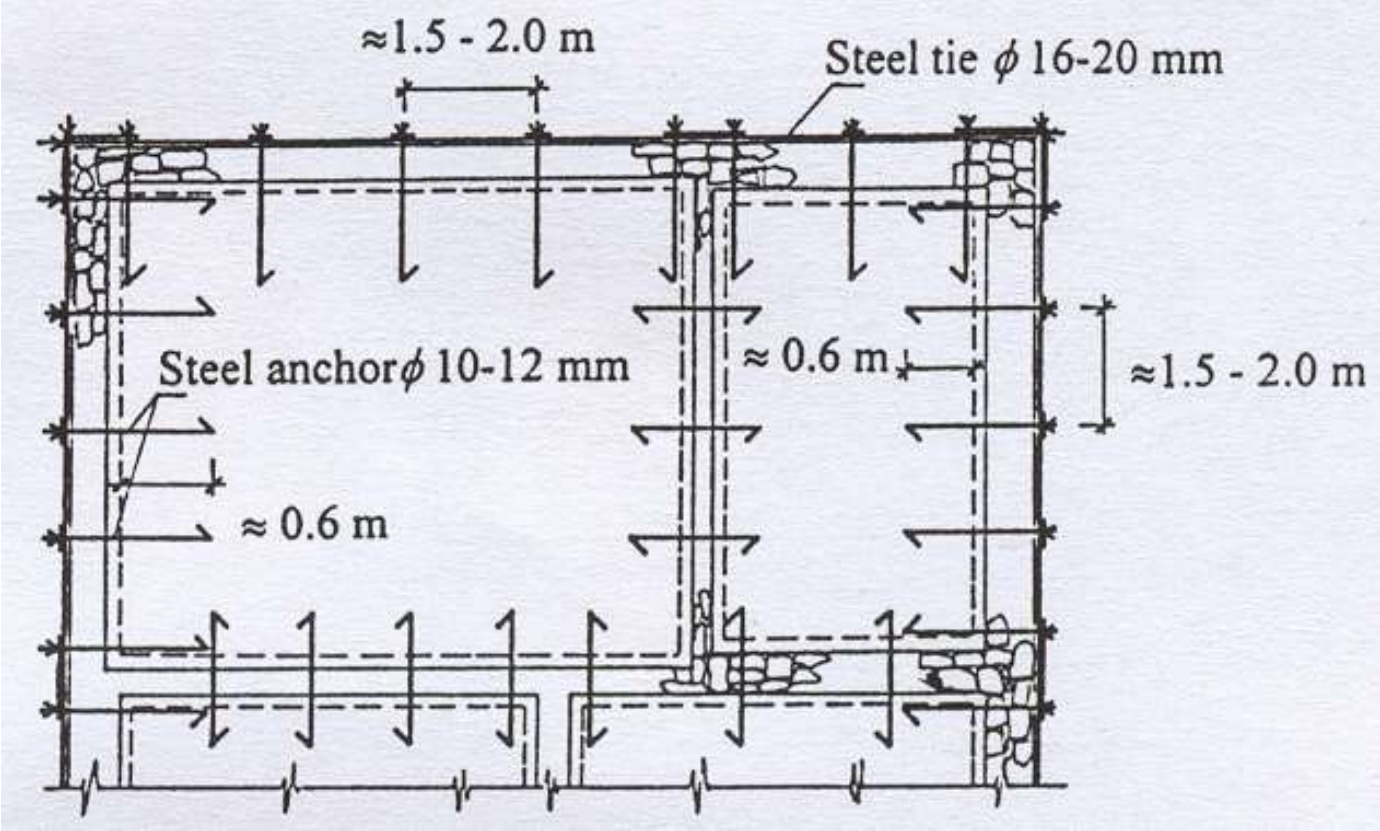




COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

Nel caso di irrigidimento con soletta armata si collega la soletta alla muratura mediante barre metalliche ancorate all'esterno della muratura o solidarizzate mediante iniezioni

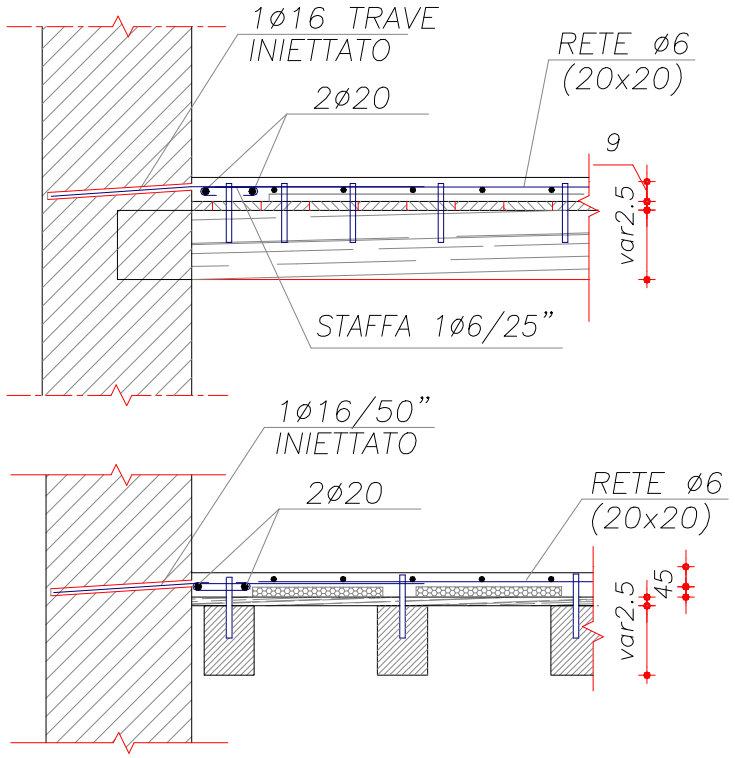
Questa tecnica fornisce un buon effetto tirante; per garantire un buon effetto trasferimento è necessario ridurre l'interasse fra le barre (*ϕ16 ogni 50÷80 cm*) e comunque favorire l'ingranamento soletta-parete

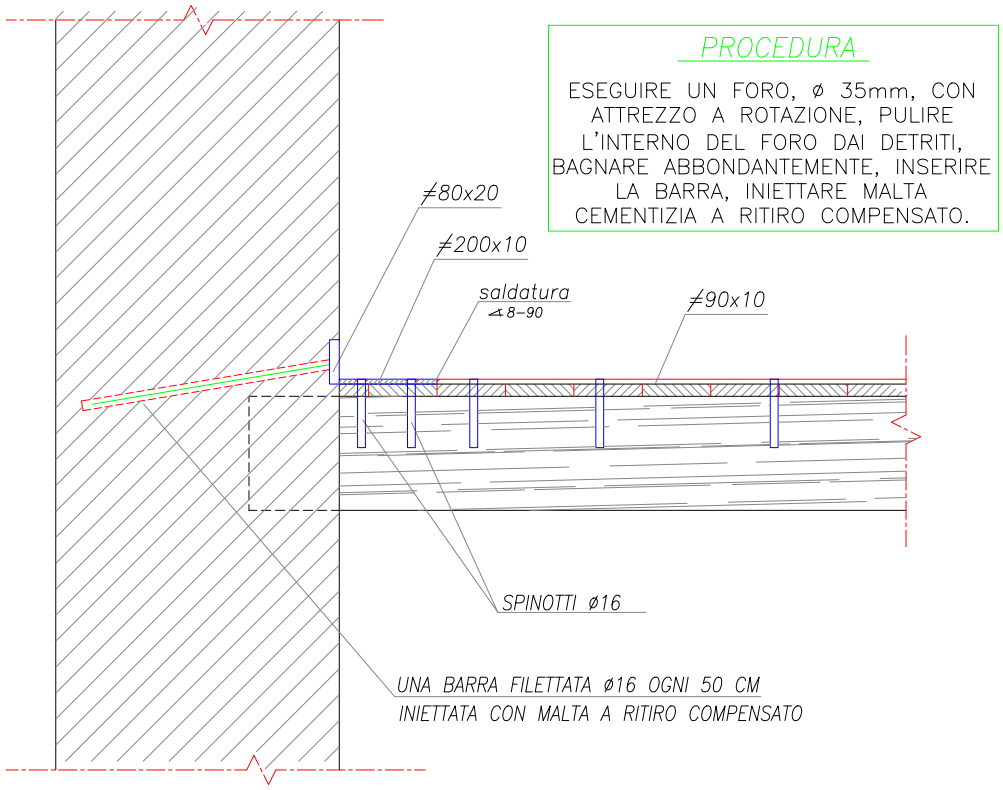


COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

Dettagli costruttivi riguardanti il collegamento tra la soletta e la muratura o tra un cordolo in acciaio e la muratura

Nel primo caso possibilmente favorire l'ingranamento soletta-parete





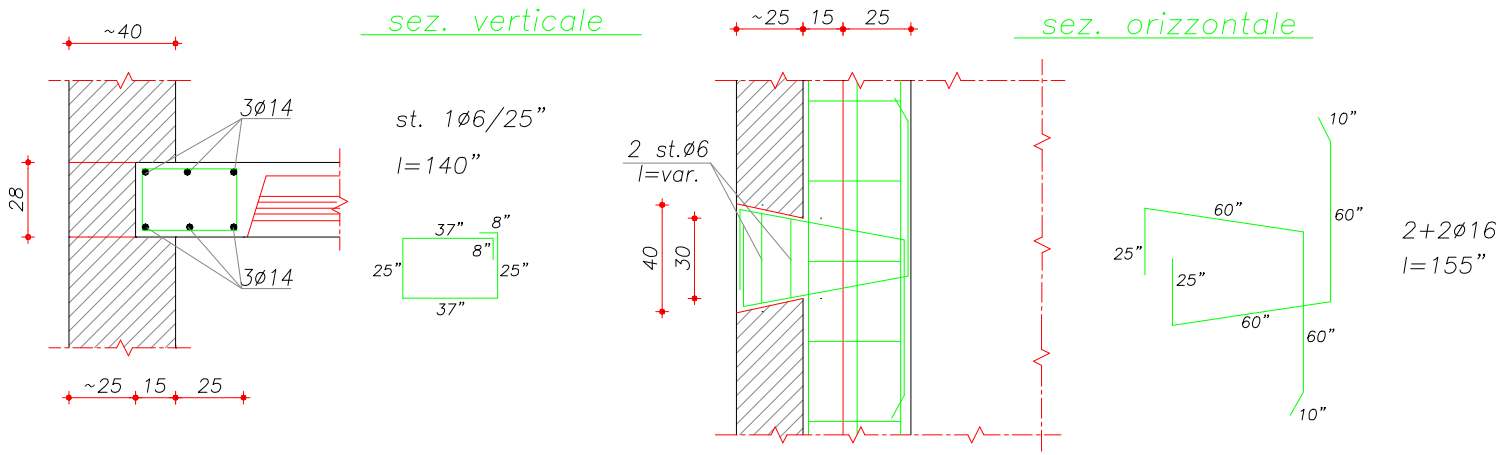
PROCEDURA ANCORAGGI

- ESEGUIRE FORI ø35 mm CON ATTREZZO A ROTAZIONE
- RIMUOVERE I DETRITI DAL FORO
- BAGNARE ENTRO I FORI CON ABBONDANTE ACQUA
- INSERIRE LA BARRA
- INIETTARE MALTA CEMENTIZIA A RITIRO COMPENSATO

COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

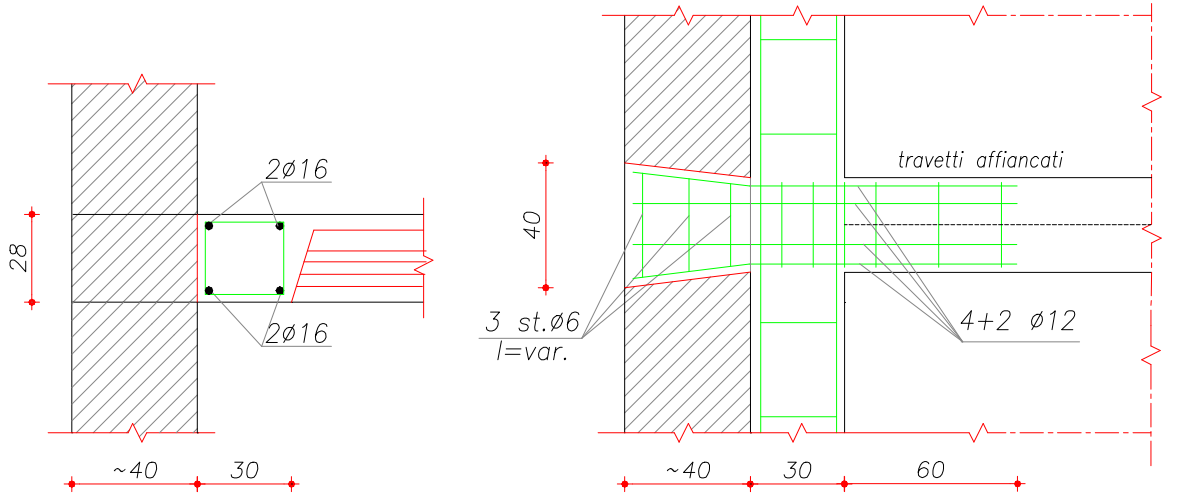
Dettagli costruttivi riguardanti il collegamento tra la soletta e la muratura o tra un cordolo in calcestruzzo armato e la muratura

UN ANCORAGGIO A CODA DI RONDINE OGNI 2,00 cm



Solo per murature di mattoni o blocchi a corsi regolari

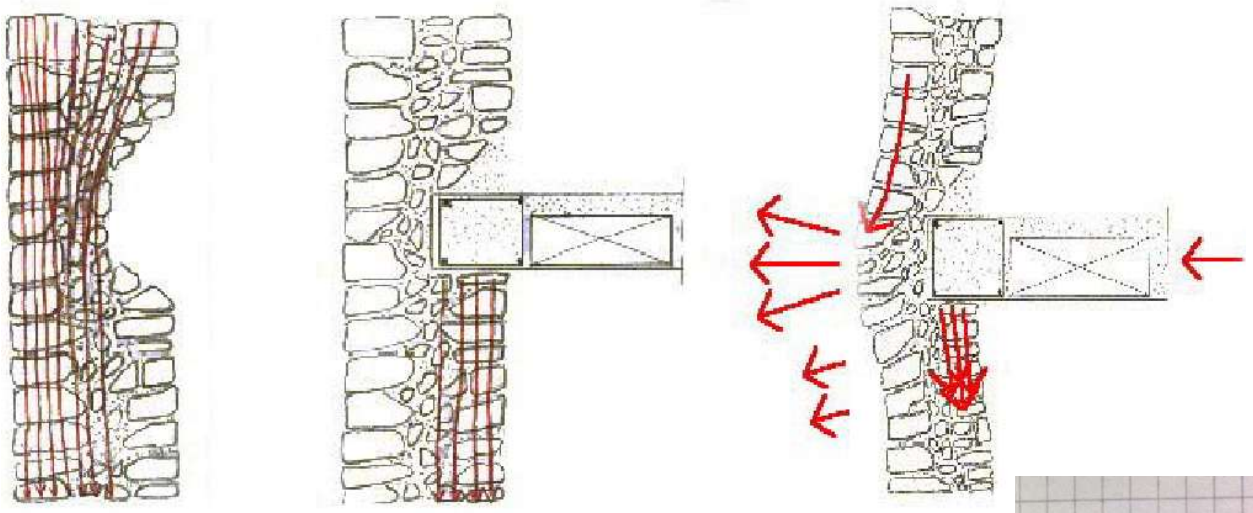
UN COLLEGAMENTO A CODA DI RONDINE OGNI 3 TRAVETTI (circa 180 cm)



Indispensabile per muratura in pietrame a corsi non regolari

armature inferiori travetti prolungati per tutto lo spessore del muro

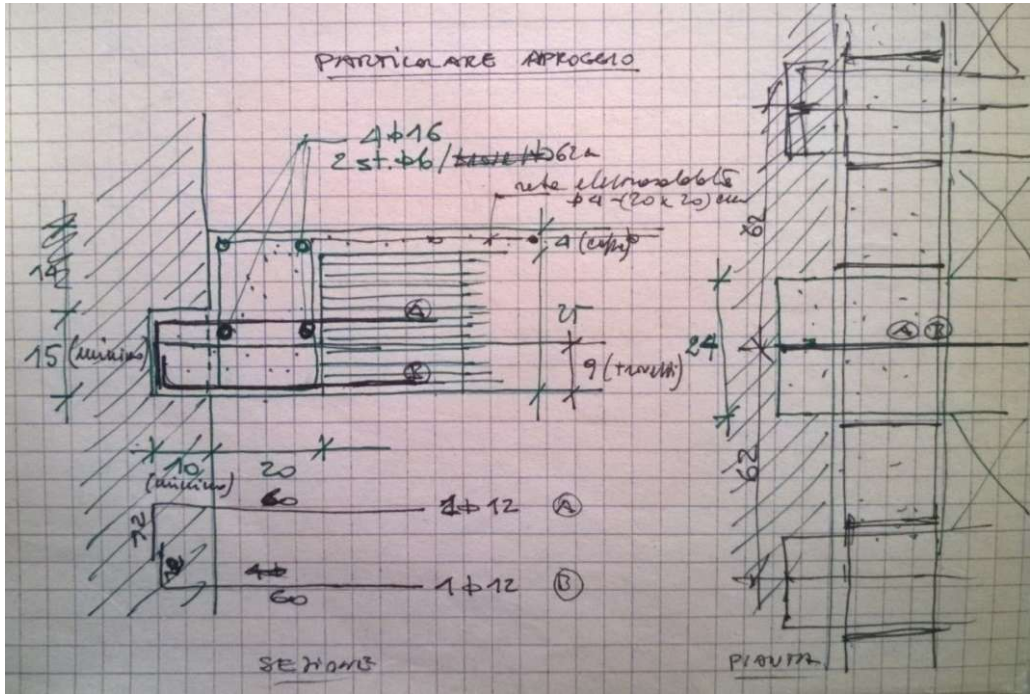
COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

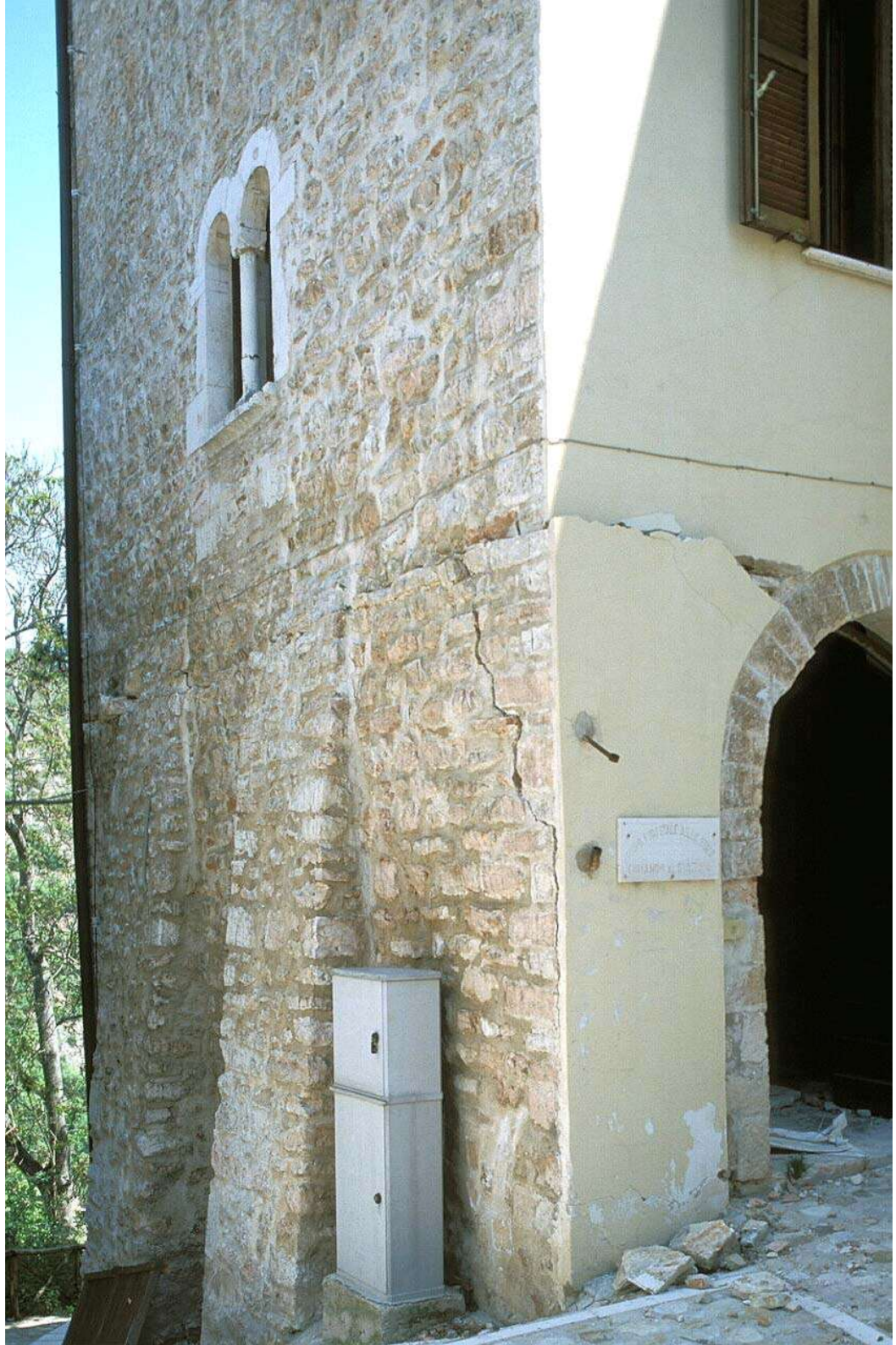


Solai in laterocemento

Non si possono eseguire scassi in breccia in murature disordinate o a piccola pezzatura

Non si può collegare un solaio in laterocemento con appoggi di 10 cm e senza efficace legatura orizzontale.





Umbria 1997: rottura orizzontale muratura dovuta al nuovo solaio in calcestruzzo



Umbria 1997: rottura orizzontale muratura dovuta al nuovo solaio in calcestruzzo

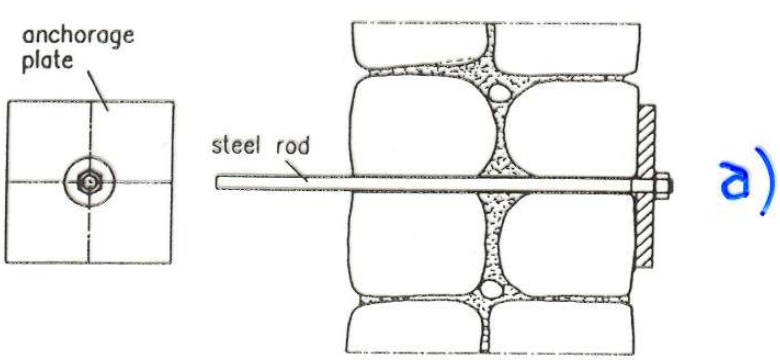


Bovec 1998: rottura orizzontale muratura dovuta al nuovo solaio in calcestruzzo e rottura a taglio maschi murari

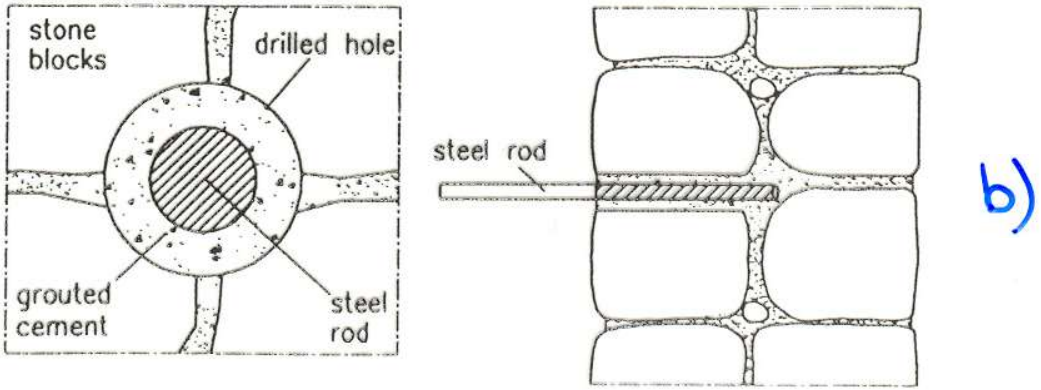
COLLEGAMENTI A SPINOTTO

a) • Spinotti passanti con contropiastra

b) • Spinotti iniettati con malte cementizie



a)



b)

CAPACITA' PORTANTE A TAGLIO

Può essere determinata:

- con prove sperimentali specifiche
- con modelli teorici basati sull'equilibrio limite.

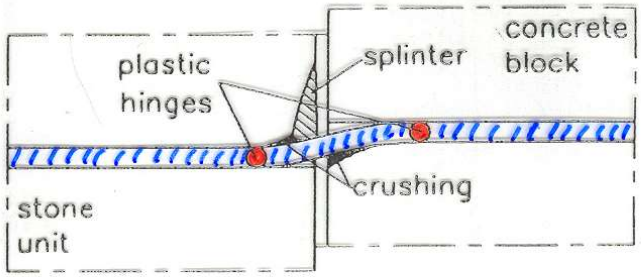
ESEMPI DI PROVE SPERIMENTALI

- Pioli iniettati — Gattesco, Felicetti

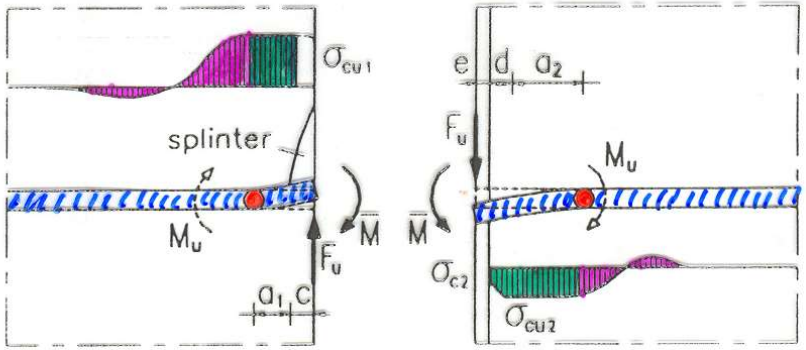
MODALITA' DI COLLASSO

- Snervamento dello spinotto (cerniere plastiche)
- Spacco trasversale o longitudinale del masso
- Schiacciamento della malta davanti al masso

Considerando ora il modello teorico di figura e scrivendo le equazioni di equilibrio limite delle due porzioni



(a)



$$
\begin{cases}
F_u = \sigma_{cu1} \cdot \phi \cdot a_1 \\
M_u = F_u \cdot (a_1 + c) - \dfrac{\sigma_{cu1} \cdot \phi \cdot a_1^2}{2} - \overline{M} \\
F_u = \sigma_{cu2} \cdot \phi \cdot (a_2 + d) - (\sigma_{cu2} - \sigma_{c2}) \cdot \phi \cdot \dfrac{d}{2} \\
M_u = F_u \cdot (a_2 + d + e) - \sigma_{cu2} \cdot \phi \cdot \dfrac{(a_2 + d)^2}{2} + \\
\qquad + (\sigma_{cu2} - \sigma_{c2}) \cdot \phi \cdot \dfrac{d}{2} (a_2 + \dfrac{2d}{3}) + \overline{M}
\end{cases}
$$

$\sigma_{c2} = f_c$

$\sigma_{cu2} = 5 \cdot f_c$

$c = \dfrac{210}{f_{tr}^2}$

$d = \frac{2}{3} \cdot \phi$

$\sigma_{cu1} = 3 \cdot f_r$

Gattesco, Del Piccolo

Risolvendo il sistema si ottiene

$$F_u = \frac{-z_2 + \sqrt{z_2^2 - 4 \cdot z_1 \cdot z_3}}{2 \cdot z_1}$$

$$z_1 = \frac{1}{2 \cdot \phi}\left(\frac{1}{\sigma_{cu1}} + \frac{1}{\sigma_{cu2}}\right)$$

$$z_2 = c + e + \left(1 - \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{cu2}}\right) \cdot \frac{d}{2}$$

$$z_3 = (\sigma_{cu2} - \sigma_{c2}) \cdot \left(\frac{\sigma_{cu2} - \sigma_{c2}}{8 \cdot \sigma_{cu2}} - \frac{1}{6}\right) \cdot \phi \cdot d^2 - 2 \cdot M_u .$$

Gattesco, Del Piccolo

CAPACITA' PORTANTE A TRAZIONE

- Prove sperimentali specifiche
- Modelli teorici di equilibrio limite

ESEMPI DI PROVE DI ESTRAZIONE

- Spinotti passanti ancorati con piastra (Castellani, ecc.)
- Spinotti iniettati con malte cementizie (Giuriani, Del Piccolo)

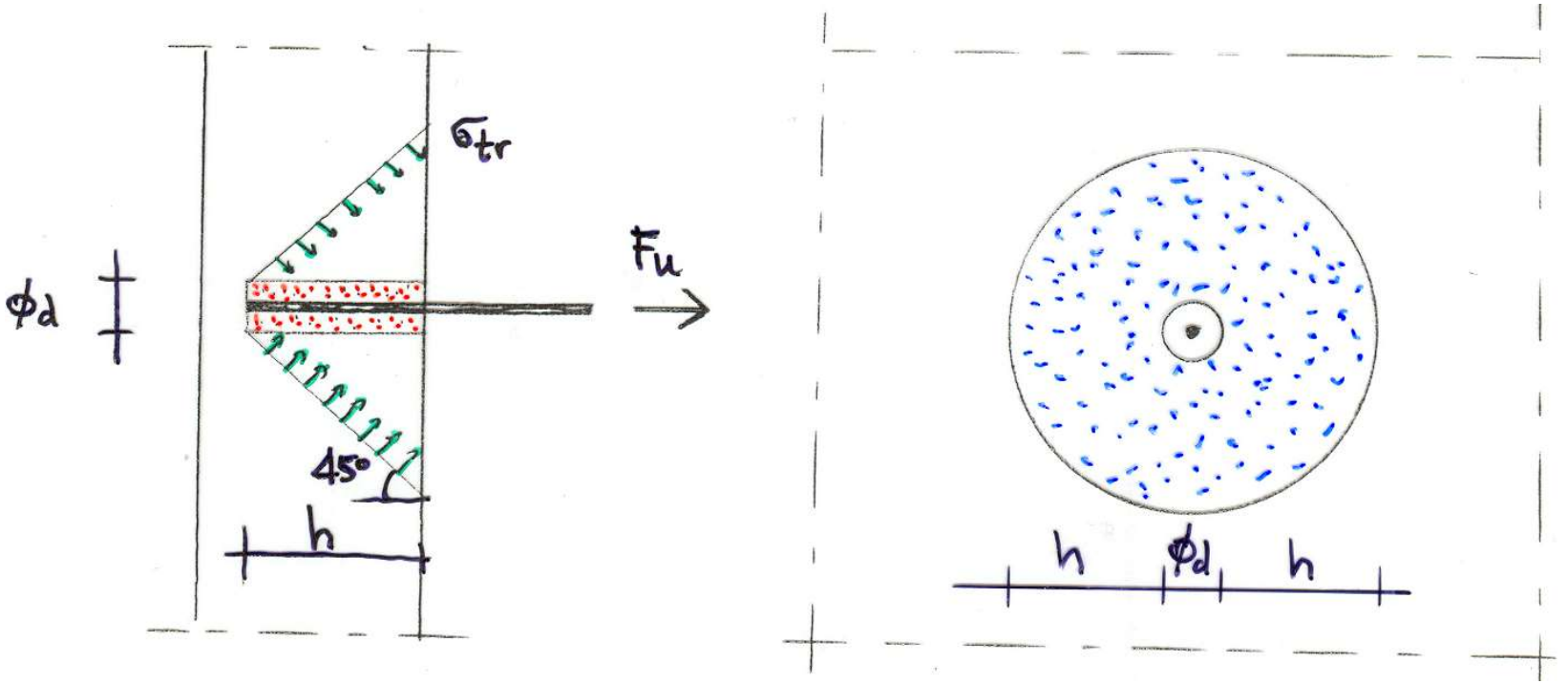
MODALITA' DI COLLASSO

- Snervamento dello spinotto (Murature molto resistenti)
- Rottura a cono della muratura (Murature poco resistenti)
- Sfilamento dello spinotto (Murature scadenti)

MODELLO TEORICO (Rottura a cono)

- Si considera la rottura di un cono a 45°.

- La capacità portante è ricavata considerando una tensione uniforme, pari alla resistenza a trazione, in direzione ortogonale alla superficie di rottura (ACI 355-91).

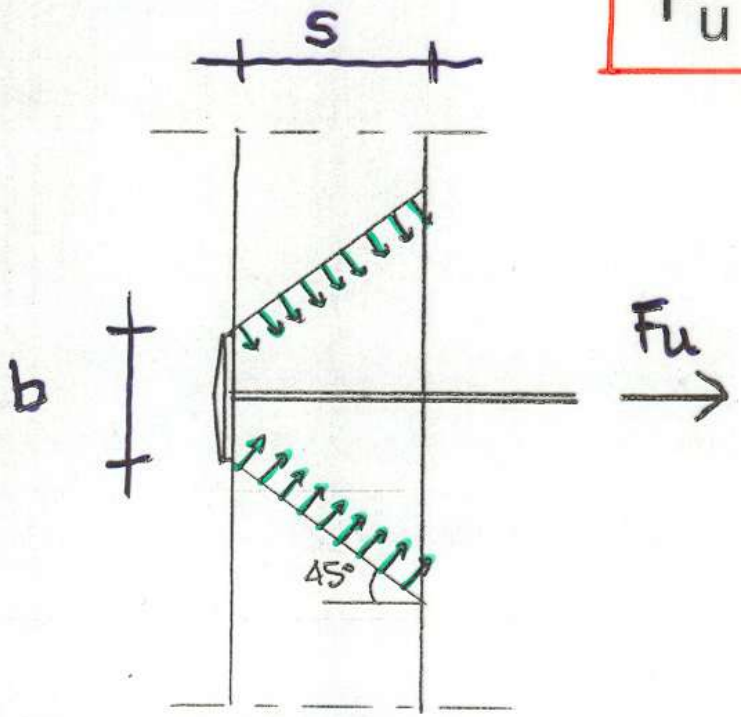


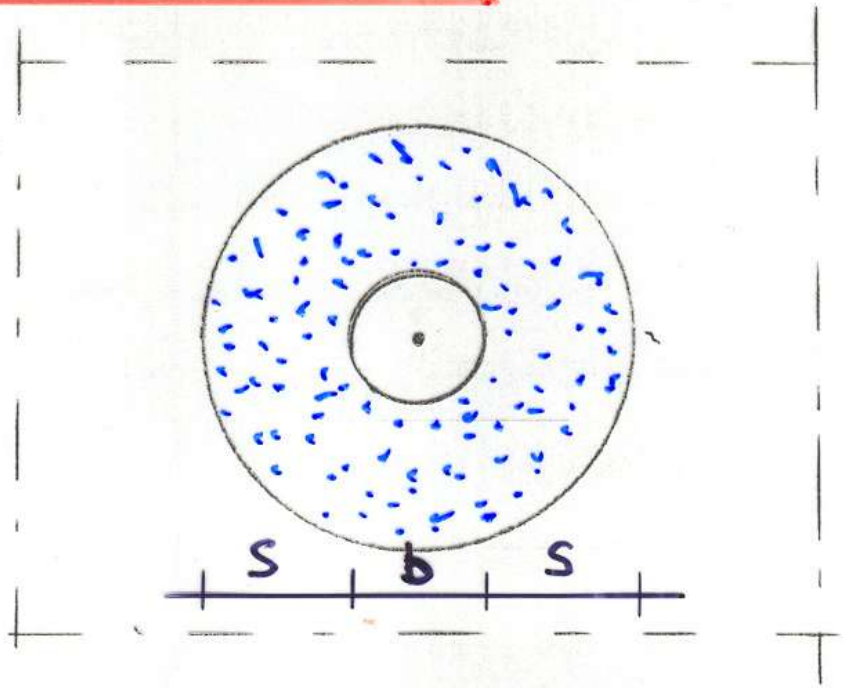
$$F_u = \sigma_{tr} \cdot \pi \cdot h \cdot (h + \phi_b)$$

$$\sigma_{tr} \approx 2.0 \div 2.5 \, f_{vko}$$

Per spinotti passanti

$$F_u = \sigma_{tr} \cdot \pi \cdot s \cdot (s + b)$$

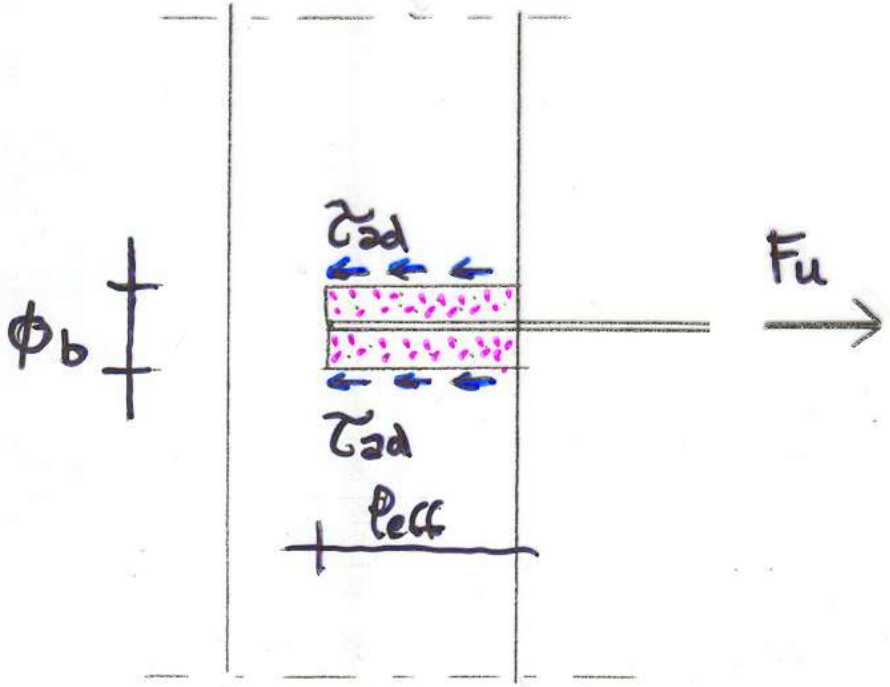




MODELLO TEORICO (Sfilamento)

- Generalmente non si ha mai sfilamento della barra dal bulbo di malta (Elevata aderenza barra-malta).
- Sfilamento bulbo di malta dal foro (aderenza limitata).

La resistenza ultima è ricavata supponendo la massima tensione resistente allo sfilamento costante lungo la superficie laterale del bulbo.



$$F_u = \tau_{ad} \cdot \pi \cdot \phi_b \cdot l_{eff}$$

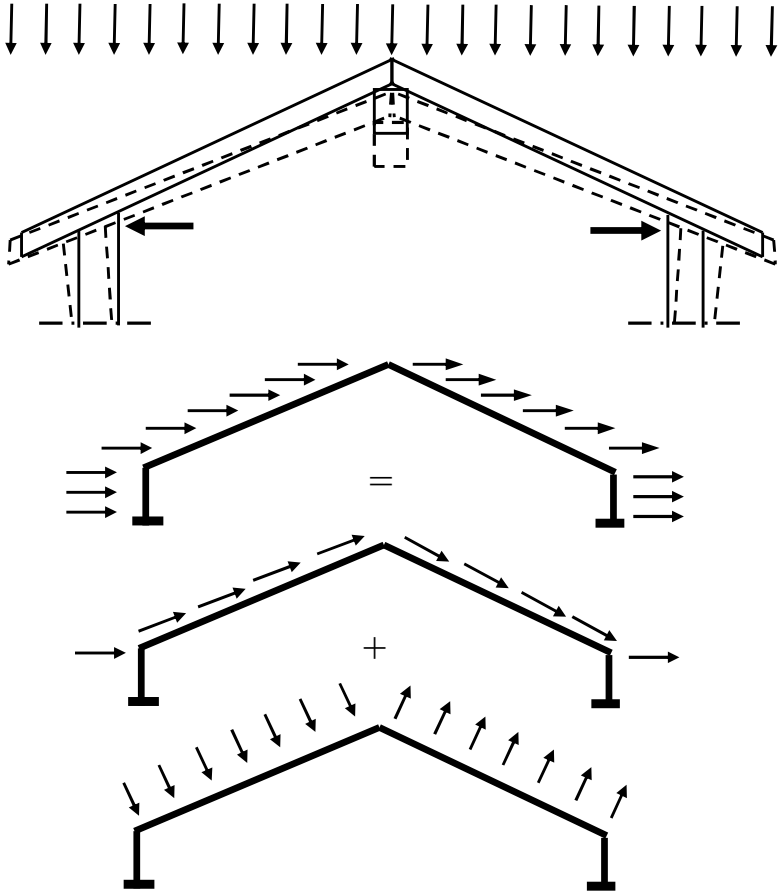
$$\tau_{ad} \approx 0.7 - 1.2 \quad MPa$$

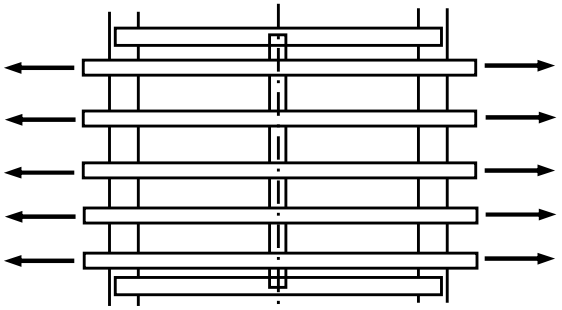
↓

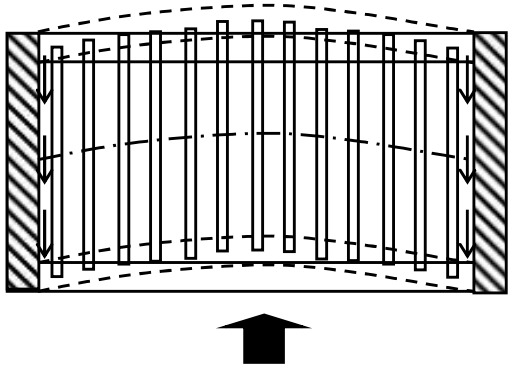
DA RISULTATI SPERIMENTALI (Giuriani et al.)

SOLAI DI COPERTURA

- Sono in genere spingenti sulle murature (deformabilità trave di colmo)
- Hanno deformabilità flessionale eccessiva
- Hanno scarsa rigidezza nel proprio piano
- Il collegamento con le pareti è in genere scarso
- Possono presentare delle parti ammalorate (funghi, insetti xilofagi)

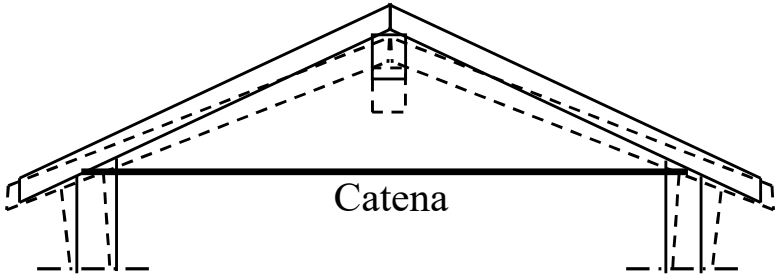


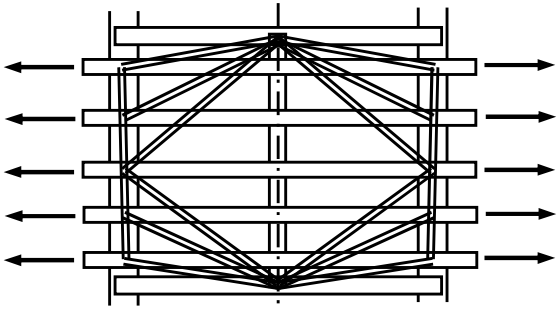




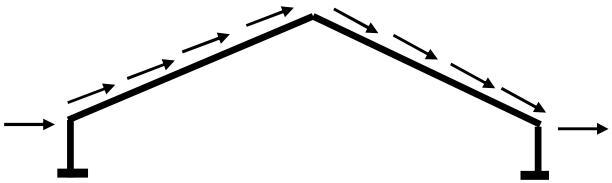
TECNICHE DI INTERVENTO

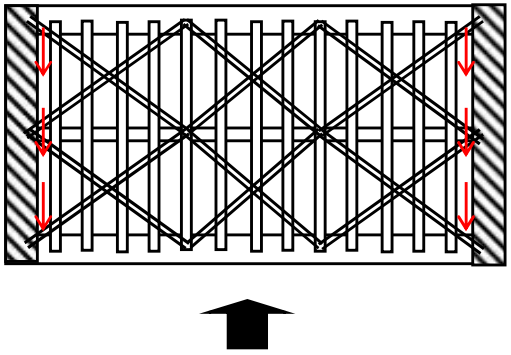
- Eliminazione spinte sulle murature (tiranti in acciaio, pannelli in legno, soletta in calcestruzzo resa collaborante)
- Irrigidimento del piano di falda (efficace per trasferire azioni orizzontali alle pareti di controvento
- Aumento rigidezza flessionale per recuperare parte delle deformazioni flessionali presenti
- Realizzare un efficace collegamento con le murature
- Ricostruzione di parti ammalorate di legno (protesi)

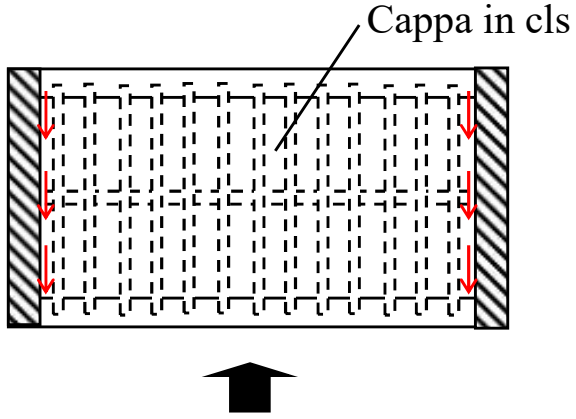




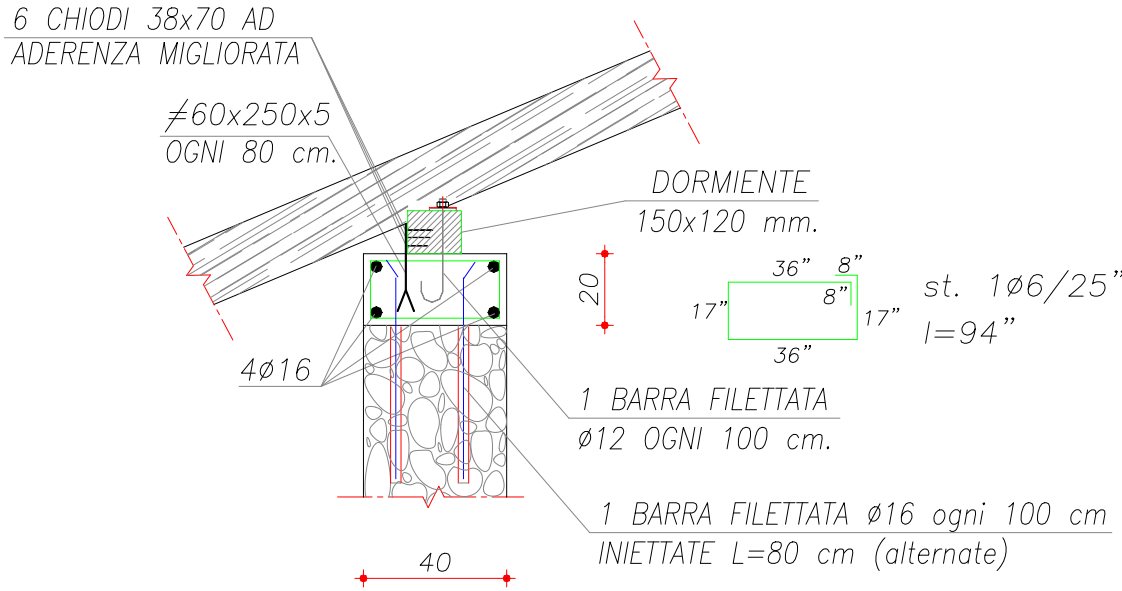
Pannello fenolico

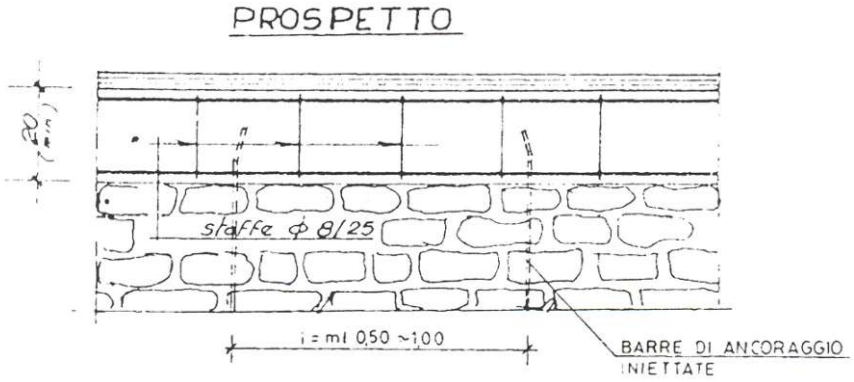


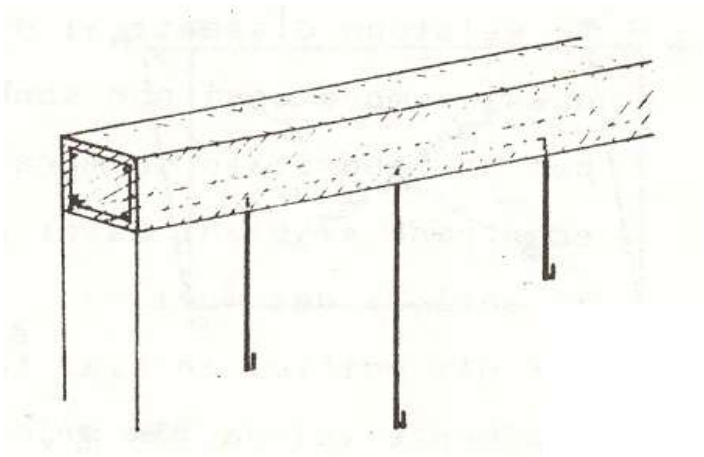


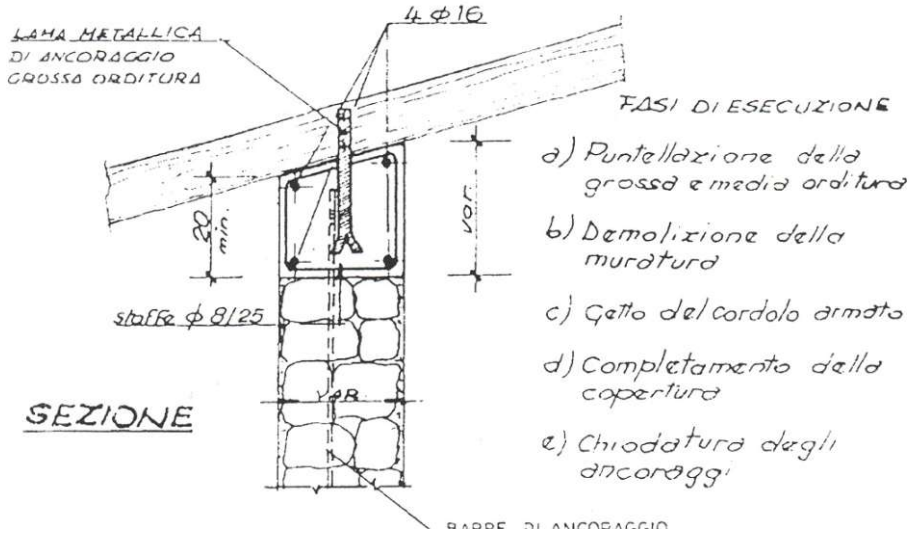


COLLEGAMENTO COPERTURE-PARETI



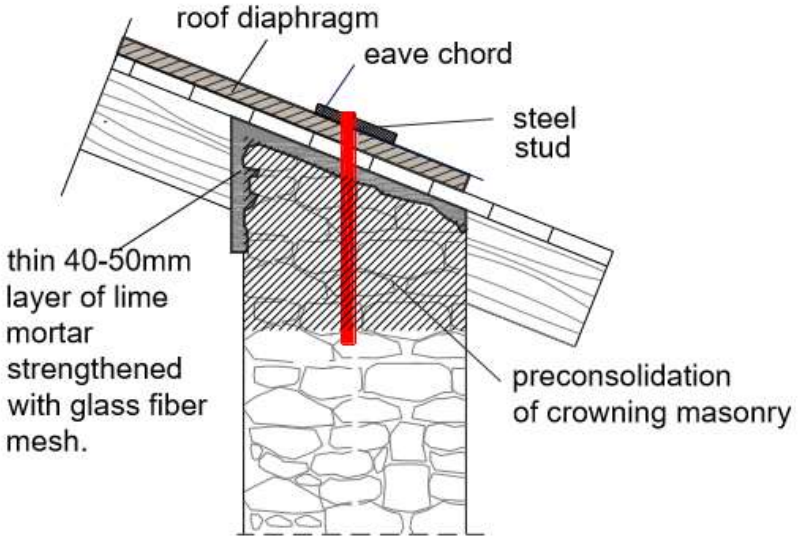


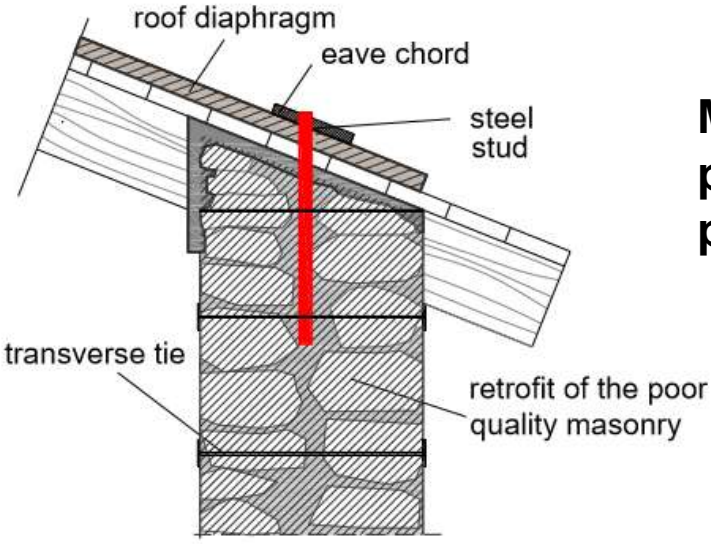




COLLEGAMENTO COPERTURE-PARETI

Muratura a singolo paramento





Muratura a più paramenti



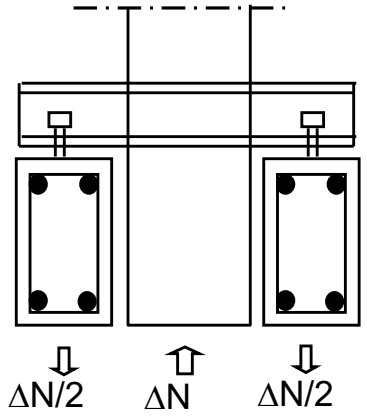
Al posto del cordolo in c.a., esecuzione di muratura armata con rete in composito e chiusura con intonaco armato.

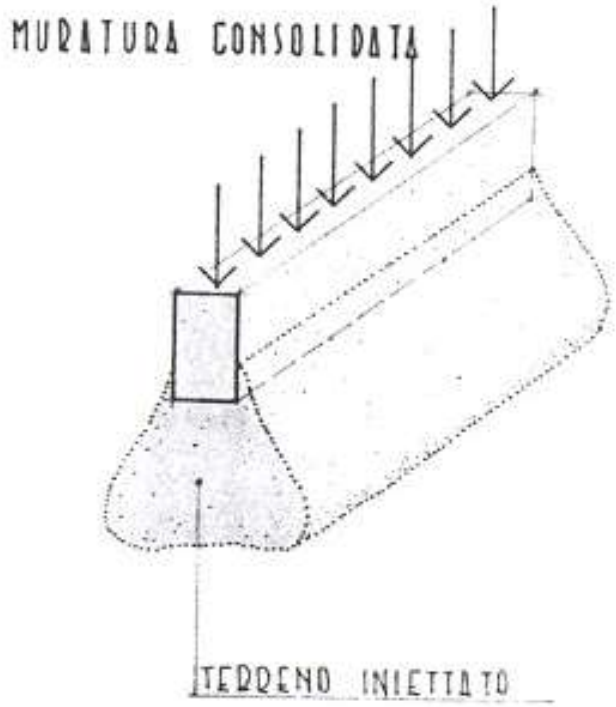
CONSOLIDAMENTO FONDAZIONI

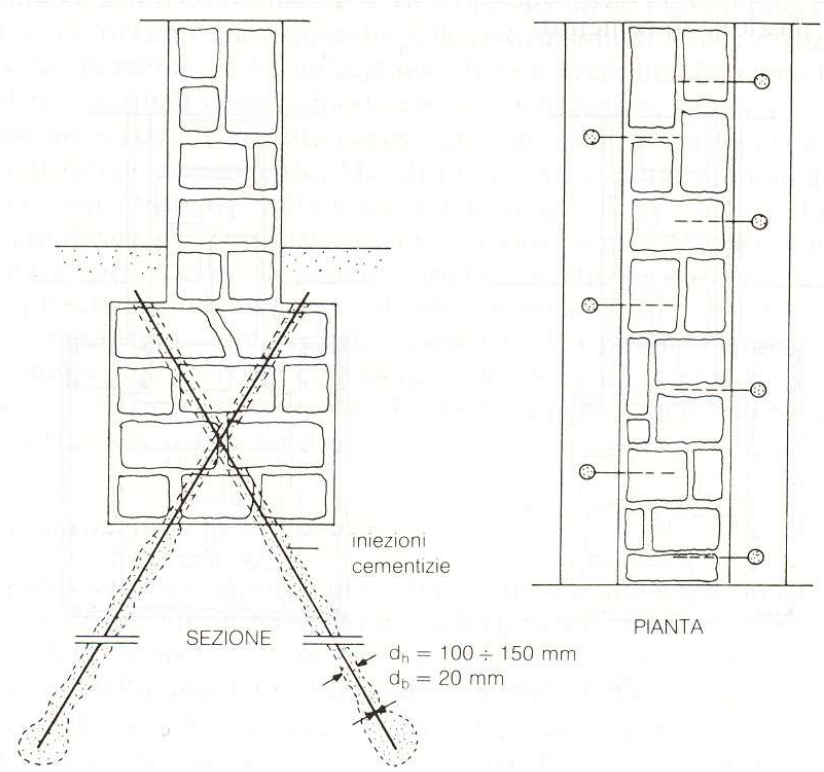
Spesso le fondazioni di edifici esistenti sono sottodimensionate con conseguenti valori elevati della pressione sul terreno

Le tecniche di consolidamento possono riguardare

- **Allargamento della base fondale**
- **Consolidamento del terreno mediante iniezioni**
- **Trasferimento del carico a strati più profondi (*es. micropali*)**

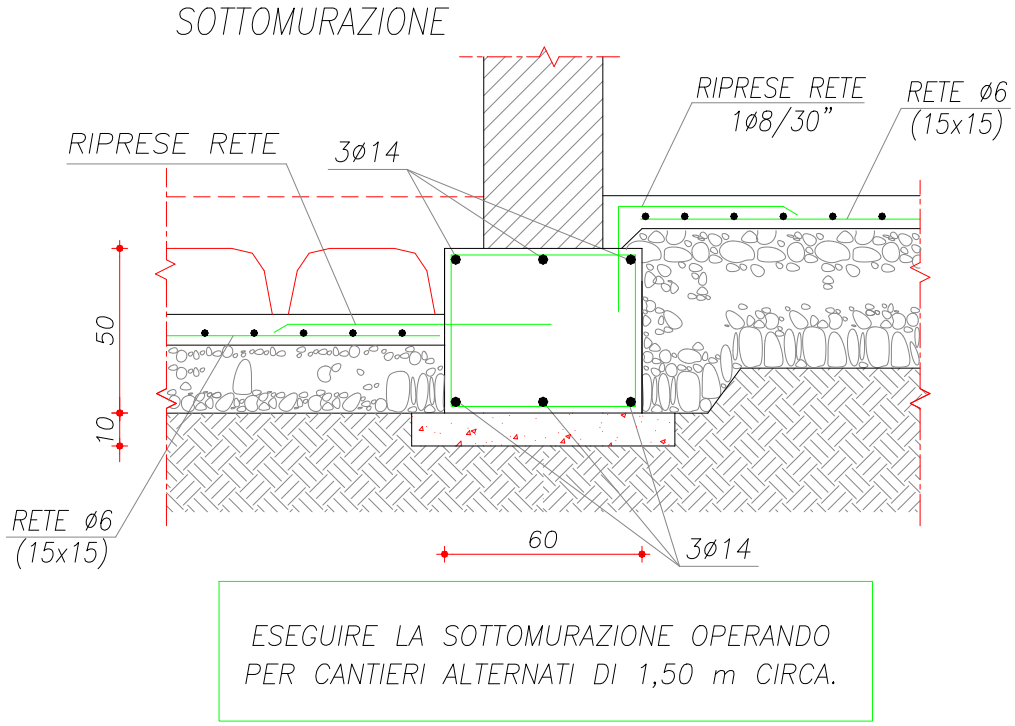


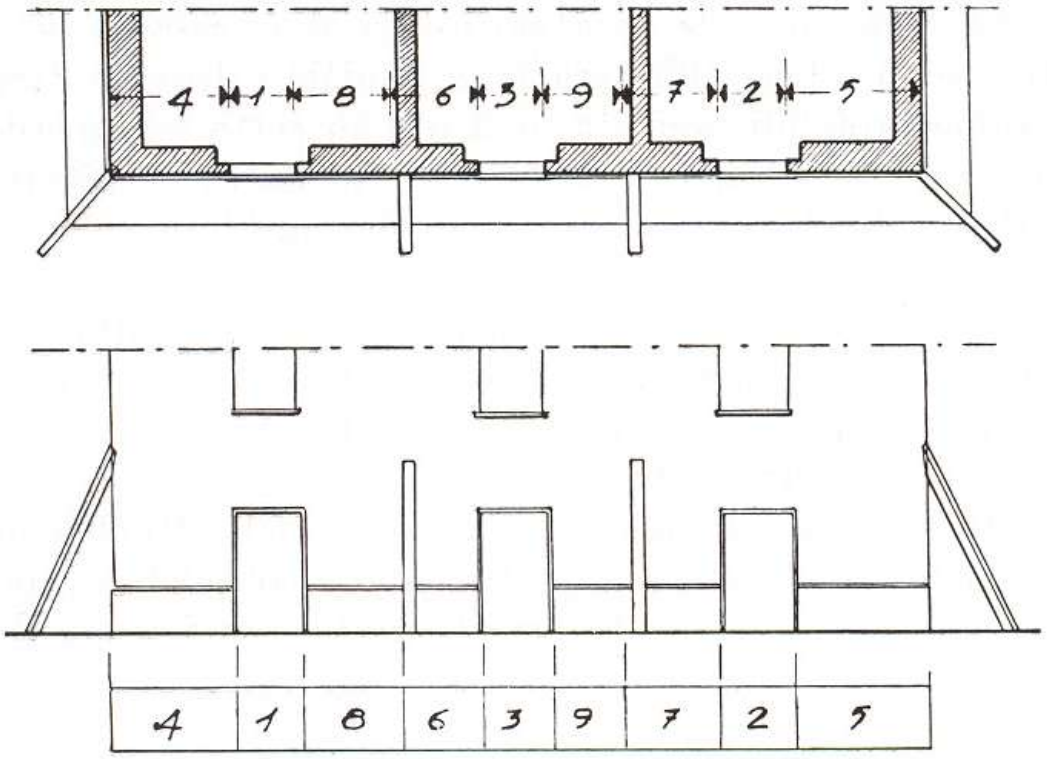




ALLARGAMENTO DELLA BASE FONDALE

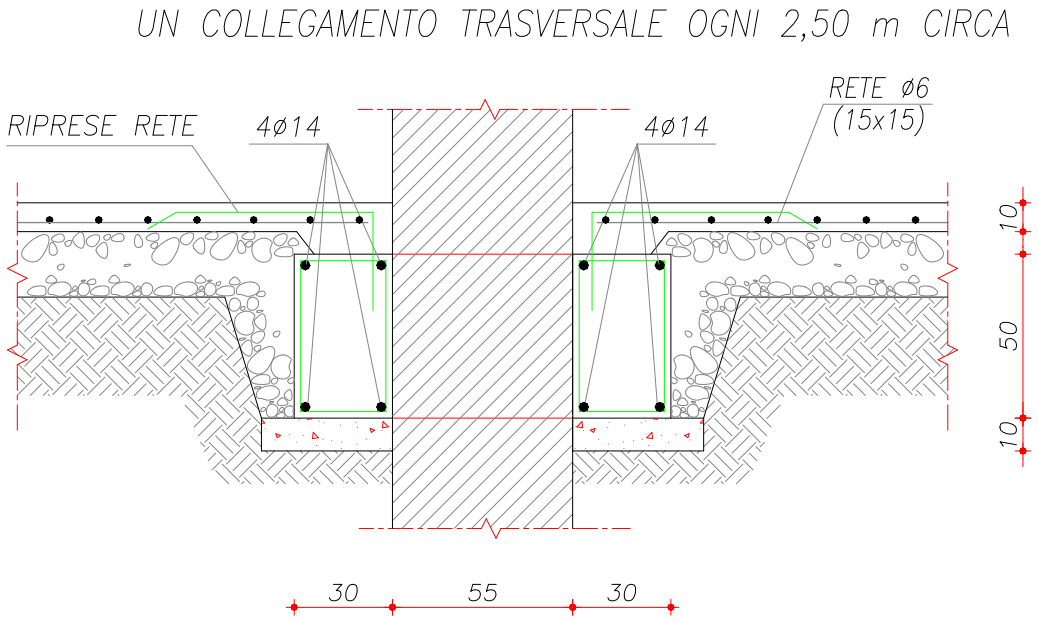
- **Sottomurazione (***quando il piano di posa delle fondazioni è troppo in superficie***)**

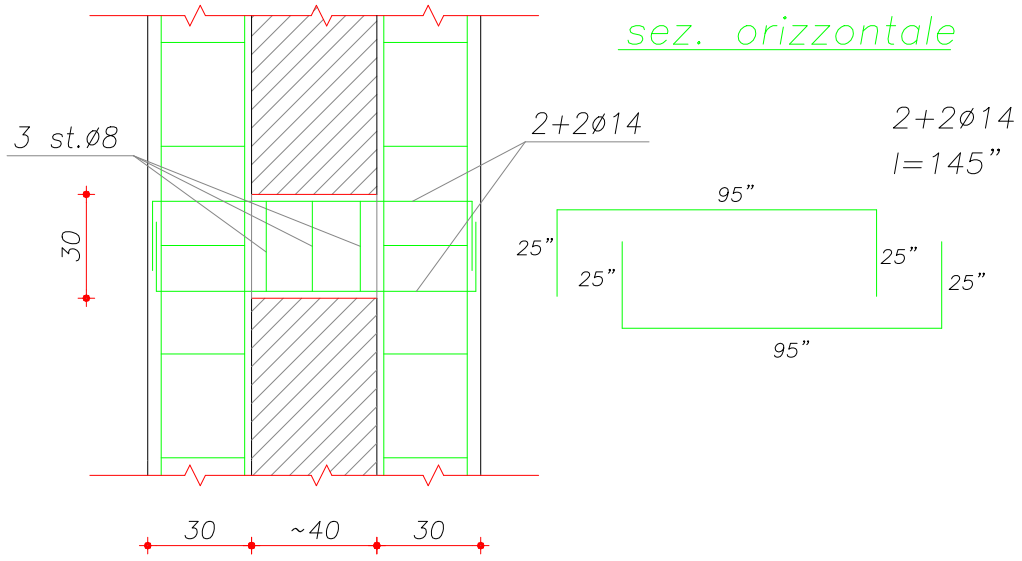




ALLARGAMENTO DELLA BASE FONDALE

- **Realizzazione di cordoli in calcestruzzo armato affiancati e solidarizzati con la fondazione esistente con elementi in calcestruzzo che attraversano (***non riduce il carico sulla fondazione esistente***)**





ALLARGAMENTO DELLA BASE FONDALE

- **Realizzazione di cordoli in calcestruzzo armato affiancati; traversa in acciaio con forzamento per trasferimento di parte del carico dalla fondazione esistente ai cordoli in c.a.**

