

---

## 4.8. Gli edifici esistenti in muratura

### 4.8.1. Generalità

Si definisce “*Costruzione Esistente* quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura completamente realizzata”, che si identifica nella redazione del Collaudo Statico.

La particolare situazione italiana, ricca di un patrimonio edilizio di valenza storica-architettonica-artistica-ambientale notevole, presuppone una specifica attenzione al problema della sicurezza di queste costruzioni. Bisogna considerare la varietà di situazioni e tipologie costruttive, la complessità e la difficile standardizzazione del metodo di approccio.

Pertanto si deve adottare una strategia progettuale e di intervento diversa da quella solitamente usata per le nuove costruzioni, sotto diversi aspetti.

### 4.8.2. Differenza fra edificio nuovo ed esistente

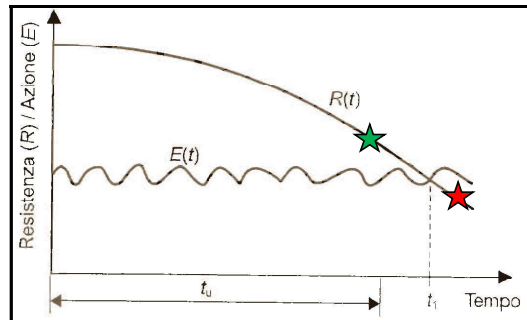
Nel caso di edifici nuovi, si lavora su ipotesi e prescrizioni da realizzare con successivo controllo dei risultati.

- il **progettista è “libero”** di assumere ipotesi, di scegliere i materiali, lo schema statico, i vincoli, di imporre una determinata geometria strutturale;
- il modello di calcolo può essere anche piuttosto semplificato e deriva da ipotesi fatte dallo stesso progettista.

Nel caso degli edifici esistenti si devono considerare i seguenti aspetti:

- **l'edificio esiste già**, con una sua forma, una sua geometria ed un certo materiale;
- a volte l'esecuzione dell'opera non è stata preceduta da una fase di progettazione degli elementi strutturali vera e propria (edilizia popolare e rurale);
- il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;

- nel corso del tempo sono state operate modifiche rispetto alla situazione originaria, utilizzati materiali e dettagli diversi dal progetto, e non documentati;
- tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati e ad altre azioni accidentali ed eccezionali che non sono manifesti;
- le strutture con molta probabilità presentano situazioni di degrado;
- nel tempo la durabilità dei materiali è venuta meno. Per durabilità si intende in generale la “*conservazione nel tempo delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture.*”



Di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sull'esistente sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso, non necessariamente maggiore.

È quindi necessario utilizzare coefficienti di sicurezza parziali adeguatamente modificati in funzione dell'informazione disponibile: i cosiddetti **FATTORI DI CONFIDENZA** che vanno a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali per ricavare i valori da adottare in sede di progetto e verifica (eventualmente ulteriormente ridotti dai coeff. di sicurezza, se previsto).

Il “*modello di calcolo*”, non necessariamente automatico con software di calcolo, deve inevitabilmente considerare le diverse situazioni, le possibili variazioni delle caratteristiche geometriche e meccaniche e di vincolo:

- la geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende solo dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento del **rilievo geometrico**;
- la conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera, ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione, del livello di approfondimento delle indagini conoscitive e dell'affidabilità delle stesse;
- carichi permanenti sono ben definiti ed applicati: possono essere accuratamente valutati a seconda del livello di approfondimento delle indagini conoscitive.

È IMPORTANTE CONOSCERE A FONDO L'EDIFICIO

MAGGIORE CONOSCENZA



MINORE PENALIZZAZIONE

#### 4.8.3. Valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza consiste nelle operazioni necessarie a

- stabilire se un edificio esistente è in grado o meno di resistere alla combinazione delle azioni di progetto previste dalle norme vigenti;
- oppure, a determinare la massima entità delle azioni che posso essere sostenute dalla struttura attuale e/o rinforzata con i margini di sicurezza imposti dalle nuove norme.

#### **QUANDO ???**

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

- evidente riduzione della capacità resistente;
- sensibile aumento delle deformazioni della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali;

- significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali;
- presenza di azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni);
- situazioni di funzionamento ed uso anomalo,
- deformazioni significative imposte da cedimenti fondazionali;
- evidenti e provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa,
- variazione significativa dei carichi variabili;
- modifica di elementi non strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modificano la rigidità.

### SCOPO ???

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 e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

Gli eventuali interventi si classificano in:

- Interventi di **adeguamento**;
- interventi di **miglioramento**;
- **riparazioni o interventi locali**

#### 4.8.4. Gli interventi secondo le NTC2008 (carattere TECNICO)

- Intervento di **adeguamento**: permette di raggiungere il livello di sicurezza previsto dalle vigenti norme tecniche, alla stregua delle nuove costruzioni;
- Intervento di **miglioramento**: permette migliorare la risposta della struttura nel suo insieme, di incrementare il livello di sicurezza rispetto allo stato attuale, senza necessariamente raggiungere il livello minimo imposto dalle vigenti norme;
- Intervento di **riparazioni o interventi locali**: interessano solo alcuni elementi strutturali isolati da sostituire/rinforzare/modificare, fermo restando che l'intervento eseguito comporti comunque un miglioramento delle condizioni statiche esistenti e non un peggioramento.

N.B.: opere tutelate dalla Soprintendenza: è ammesso anche il solo miglioramento.

#### 8.4.1 INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;
- c) apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti c) o d).

### 8.4.2 INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

### 8.4.3 RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

#### 4.8.5. Gli interventi secondo le NTC2018 (carattere TECNICO)

- Intervento di **adeguamento**: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3.  
 $\zeta_E \geq 1.0$ ,  $\zeta_E \geq 0.80$ ;
- Intervento di **miglioramento**: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;  
 $\zeta_E \geq 0.60$ ,  $\zeta_E \geq 0.10$  in ogni caso;
- Intervento di **riparazioni o interventi locali**: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;

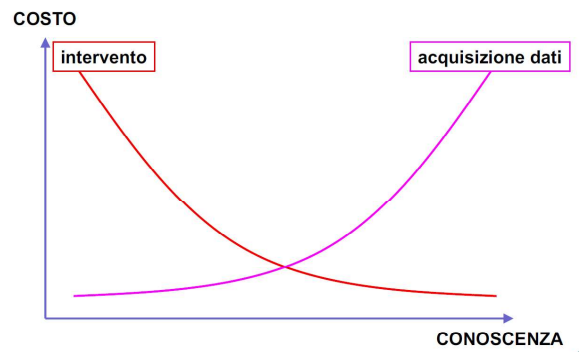
#### 4.8.6. Livelli di conoscenza LC

Al fine della scelta del tipo di analisi e dei coefficienti di sicurezza parziali 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, disegni originali, indagine storica, ecc.)
- Dettagli costruttivi (rilievo visivo, organizzazione strutturale)
- Materiali (indagini visive, prove sperimentali, ecc.)



Il raggiungimento di un determinato LC dipende dal diverso livello di approfondimento delle indagini, dall'accuratezza delle operazioni di rilievo, dal numero delle prove sperimentali in situ.

Le fonti da considerare per **l'acquisizione dei dati necessari** sono:

#### - Analisi storico-architettonica

E' necessaria una ricerca storica per:

- risalire all'organismo strutturale originale
- poter ricostruire il processo realizzativo
- risalire a ristrutturazioni, parziali ricostruzioni, ampliamenti
- eventi accidentali subiti
- l'eventuale disomogeneità di materiali impiegati nei vari interventi
- Documenti di progetto

- Rilievo geometrico

- Rilievo in-situ delle dimensioni effettive dell'edificio
- Individuazione degli elementi strutturali principali e delle loro caratteristiche
- Rilievo di eventuali nicchie, aperture, cavità, canne fumarie, volte, ecc...
- Solai di piano e di copertura: tipologia, orditura, ammorsamento alle pareti
- Individuazioni di cordoli di piano e relative caratteristiche
- Sondaggi sulle strutture di fondazione: tipologia, profondità, ecc

- Dettagli costruttivi

- Qualità del collegamento fra pareti ortogonali;
- Qualità del collegamento tra pareti e solai, ed eventuale presenza di cordoli di piano;
- Esistenza di architravi dotate di resistenza flessionale 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:
  - o ad un paramento, a due paramenti
  - o con o senza collegamenti trasversali,
  - o eseguita in pietra o mattoni;
- Presenza e rappresentazione dell'eventuale quadro fessurativo;



## - Materiali

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

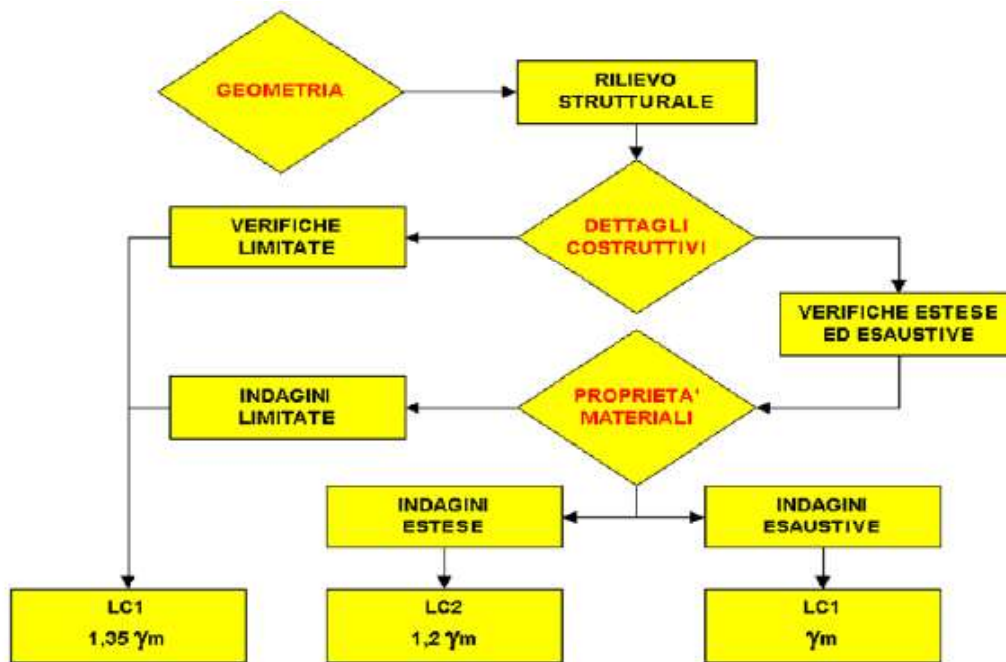
- Rilievo tessitura muraria in superficie ed in sezione (mediante prelievo di carote o mediante prove endoscopiche);
- Prove in-situ con singolo / doppio martinetto piatto per resistenza a compressione e modulo elastico longitudinale;
- Prelievo di campioni per prove in laboratorio, sui materiali componenti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

Si possono utilizzare prove non distruttive quali:

- Prove soniche
- Prove termografiche

## 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 rigidità 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) | <b>Indag. in-situ limitate</b> (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. Non sono richieste prove sperimentali)     | 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)  | <b>Indag. in-situ estese</b> (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  | <b>Indag. in-situ esaustive</b> (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             |



#### 4.8.7. Parametri meccanici per i materiali

| Livello di conoscenza | Resistenze   | Moduli elastici   |
|-----------------------|--|---|
| LC1                   | <u>Valori minimi</u> degli intervalli riportati in Tab C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione  | <u>Valori medi</u> degli intervalli riportati in Tab C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione   |
| LC2                   | <u>Valori medi</u> degli intervalli riportati in Tab C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione  | <u>Valori medi</u> degli intervalli riportati in Tab C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione   |
| LC3                   | Se sono disponibili 3 valori sperim. media dei risultati delle prove<br>Se si dispone di un valore sperim. Se compreso nell'intervallo di Tab. 11.D.1 o superiore: valore medio; se minore: valore sperimentale. | Il minore fra la media dei valori degli intervalli riportati nella Tab. 11.D.1 (All. 11D) 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 FC e per il coefficiente di sicurezza parziale  $\gamma_m$ , come per i nuovi edifici.

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte;  $f_m$  = resistenza media a compressione della muratura,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio della muratura,  $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale,  $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,  $w$  = peso specifico medio della muratura

| Tipologia di muratura  | $f_m$                | $\tau_0$             | $E$                  | $G$                  | $w$ |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----|
|  | (N/cm <sup>2</sup> ) | (N/cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |     |
|  | Min-max              | min-max              | min-max              | min-max              |     |
| Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)     | 100                  | 2,0                  | 690                  | 230                  | 19  |
|  | 180                  | 3,2                  | 1050                 | 350                  |     |
| Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno | 200                  | 3,5                  | 1020                 | 340                  | 20  |
|  | 300                  | 5,1                  | 1440                 | 480                  |     |
| Muratura in pietre a spacco con buona tessitura                                | 260                  | 5,6                  | 1500                 | 500                  | 21  |
|  | 380                  | 7,4                  | 1980                 | 660                  |     |
| Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)                    | 140                  | 2,8                  | 900                  | 300                  | 16  |
|  | 240                  | 4,2                  | 1260                 | 420                  |     |

| Tipologia di muratura   | $f_m$                | $\tau_0$             | $E$                  | $G$                  | $w$ |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----|
|   | (N/cm <sup>2</sup> ) | (N/cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |     |
|   | Min-max              | min-max              | min-max              | min-max              |     |
| Muratura a blocchi lapidei squadri  | 600                  | 9,0                  | 2400                 | 780                  | 22  |
|   | 800                  | 12,0                 | 3200                 | 940                  |     |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce  | 240                  | 6,0                  | 1200                 | 400                  | 18  |
|   | 400                  | 9,2                  | 1800                 | 600                  |     |
| Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)         | 500                  | 24                   | 3500                 | 875                  | 15  |
|   | 800                  | 32                   | 5600                 | 1400                 |     |
| Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)                               | 400                  | 30,0                 | 3600                 | 1080                 | 12  |
|   | 600                  | 40,0                 | 5400                 | 1620                 |     |
| Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%) | 300                  | 10,0                 | 2700                 | 810                  | 11  |
|   | 400                  | 13,0                 | 3600                 | 1080                 |     |
| Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)        | 150                  | 9,5                  | 1200                 | 300                  | 12  |
|   | 200                  | 12,5                 | 1600                 | 400                  |     |
| Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)                              | 300                  | 18,0                 | 2400                 | 600                  | 14  |
|   | 440                  | 24,0                 | 3520                 | 880                  |     |

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 parametro 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 squadriati                                      | 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               |

#### 4.8.8. Esempio

Consideriamo una muratura di mattoni pieni e malta di calce di qualità scarsa, pertanto si può far riferimento alla tab. C8A.2.1

| Tipologia di muratura                      | $f_m$                | $\tau_0$             | E                    | G                    | w                    |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|  | (N/cm <sup>2</sup> ) | (N/cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (kN/m <sup>3</sup> ) |
|  | Min-max              | min-max              | min-max              | min-max              |                      |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce | 240                  | 6,0                  | 1200                 | 400                  | 18                   |
|  | 400                  | 9,2                  | 1800                 | 600                  |                      |

LC1      **conoscenza limitata**       $f_m = 240/1.35 = 178 \text{ N/cm}^2$        $\tau_0 = 6.0/1.35 = 4.44 \text{ N/cm}^2$   
             **FC = 1.35**                       $E = 1500/1.35 = 1185 \text{ MPa}$                        $G = 500/1.35 = 370 \text{ MPa}$

LC2      **conoscenza adeguata**       $f_m = 320/1.20 = 267 \text{ N/cm}^2$        $\tau_0 = 7.6/1.20 = 6.33 \text{ N/cm}^2$   
             **FC = 1.20**                       $E = 1500/1.20 = 1250 \text{ MPa}$                        $G = 500/1.20 = 417 \text{ MPa}$

Confrontando i valori LC1 e LC2 si ha:

==>      Incremento della resistenza anche del 50%  
             Incremento dei moduli elastici del 10-15%



#### 4.8.9. Tecniche d'indagine

##### - Saggi sulle murature

I sondaggi sulle murature permettono di rilevare la tipologia e le caratteristiche della muratura in superficie, sui paramenti esterni. Se eseguiti negli angoli dell'edificio permettono di indagare la presenza o meno di un adeguato ammorsamento delle pareti ortogonali concorrenti nel nodo.



#### Strutture in muratura

##### - Carotaggi (prelievo di carote)

Il prelievo delle carote viene eseguito con “macchine carotatrici” ad avanzamento manuale che forniscono provini cilindrici (dette carote) di diverso diametro e lunghezza.

Le carote permettono di rilevare la tipologia e le caratteristiche geometriche della muratura: spessore e tessitura interna.

Successivamente i campioni vengono portati in laboratorio per l'esecuzione di prove sperimentali atte a determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti.



- [Prove endoscopiche](#)

La prova endoscopica consiste nell'eseguire un piccolo foro (20 mm circa di diametro) all'interno della muratura all'interno del quale viene inserito uno strumento costituito da un sistema di fibre ottiche, o prismi o una piccola telecamera (endoscopio), che permette di visionare la cavità rilevando la tipologia costruttiva, eventuali lesioni, ecc.



- [Termografia](#)

Si utilizza uno strumento in grado di misurare a distanza la temperatura dei corpi, senza alcun contatto fisico tra l'apparecchiatura di misura e la superficie investigata. Una camera ad infrarossi trasforma le radiazioni termiche emesse dall'oggetto investigato, in segnali elettrici, che vengono convertiti in immagini monocromatiche o in falso colore, in funzione della temperatura superficiale. Tale prova permette l'esecuzione di rilievi sulla morfologia delle strutture nascoste o dello stato di degrado (presenza fessurazioni, umidità, etc.);

- [Prove soniche / ultrasoniche](#)

Consistono nel misurare ed analizzare le caratteristiche di propagazione delle onde elastiche all'interno dei solidi murari. Le prove sono basate sulla misura del tempo di propagazione di un impulso meccanico tra una sonda trasmettitore ed una sonda ricevente. Tale velocità dipende dall'elasticità e dalla resistenza del materiale: maggiore è la velocità, maggiore è il modulo elastico e quindi la resistenza.

- [Prove con martinetti piatti](#)

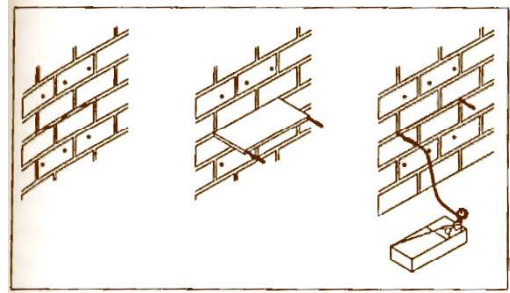
Le prove con i martinetti piatti sono condotte direttamente in situ sulla muratura esistente, utilizzando un metodo non "eccessivamente "distruittivo" e consentono un'indagine sperimentale sulle effettive condizioni statiche della struttura, sullo stato tensionale e sul modulo elastico.

Solitamente si eseguono più prove per ciascuna tipologia di muratura e in più punti diversi, per avere un campione rappresentativo dei risultati.

I martinetti piatti sono costituiti da due sottili fogli d'acciaio giuntati per saldatura lungo il bordo. assumendo forme e dimensioni varie, per adattarsi ad ogni tipologia di muratura ed a ogni sezione strutturale. Le forme più utilizzate sono rettangolare 200x400 per murature regolari con giunti di malta tra un corso e l'altro, semicircolare 350x275 per murature irregolari. All'interno della sottile camera fra i due fogli è immesso olio in pressione.



Nella prima fase viene utilizzato un solo martinetto (prova a singolo martinetto piatto) per valutare lo stato di sollecitazione presente nella muratura all'atto della prova: si individuano due punti di riferimento posti sulla superficie della muratura e successivamente si esegue un taglio, il quale provoca un rilascio delle tensioni nella muratura ed un conseguente ravvicinamento dei lembi del taglio. Dopo aver misurato la nuova distanza tra i due punti di riferimento (inferiore a quella precedente), si inserisce all'interno del taglio effettuato un martinetto piatto.

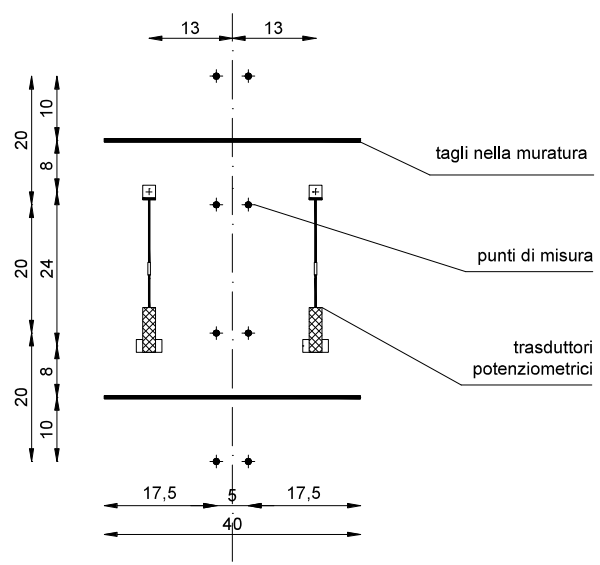


La pressione esercitata dal martinetto, per riportare al valore iniziale la distanza tra i due punti di riferimento, rappresenta la sollecitazione preesistente nella muratura.

Nella seconda fase viene inserito un secondo martinetto parallelamente al primo (prova a doppio martinetto piatto) al fine di determinare il modulo di deformabilità ed una stima della resistenza a compressione della muratura.

La prova consiste nell'isolare su una faccia del paramento murario, per una profondità di circa 20÷25 cm, un elemento di larghezza ed altezza opportune praticando due tagli orizzontali. L'elemento campione così isolato viene sottoposto, a mezzo di due martinetti piatti, introdotti nei tagli suddetti, a opportune storie di carico.

Gli spostamenti relativi fra appositi punti di riferimento predisposti sulla faccia esterna del campione isolato, rapportati alle distanze misurate prima dell'inizio del carico, forniscono le deformazioni corrispondenti ad ogni valore di



pressione registrato. La pressione misurata nei martinetti, corretta con un coefficiente che tiene conto del rapporto tra l'area d'impronta effettiva e quella nominale del martinetto ed un altro coefficiente proprio del martinetto, fornisce il valore della tensione  $\sigma$  di compressione nel campione.

$$\sigma = p \cdot K_m \cdot K_a$$

dove:

$p$  = pressione letta al manometro

$K_m$  = costante del martinetto (valore sempre  $< 1$ ), determinata mediante prove di taratura di laboratorio

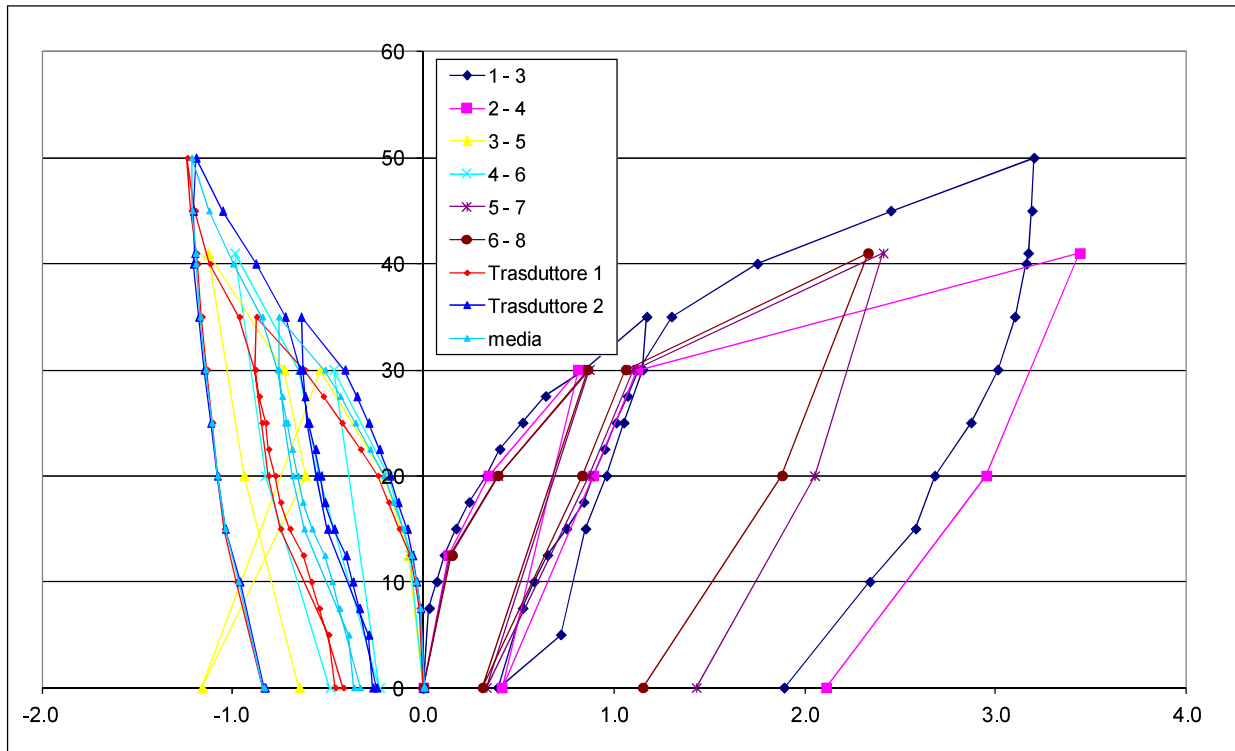
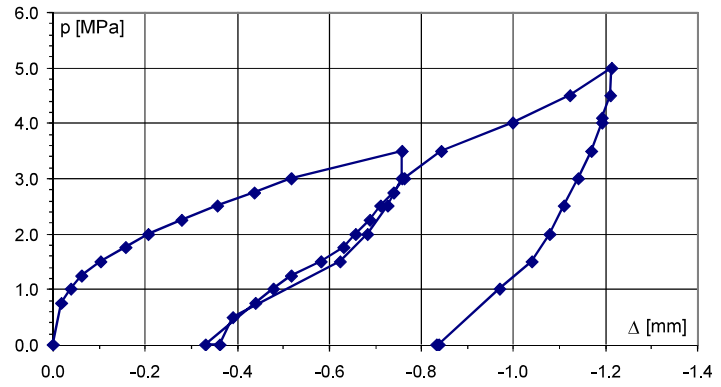
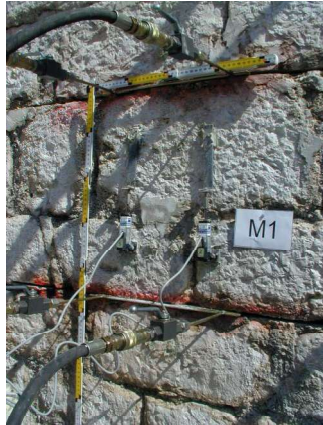
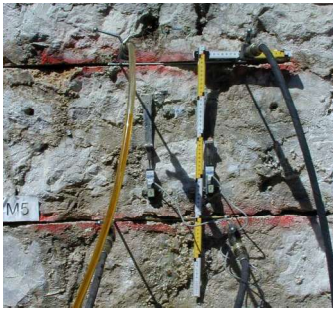
$K_a$  = rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio (valore sempre  $< 1$ )

Fino a quando il campione può essere considerato ancora in regime di comportamento elastico lineare ( $\sigma_{\max} < 0.4\sigma_u$ ), se la sconessione praticata non induce variazioni nello stato tensionale di entità tale da produrre plasticizzazioni o fessurazioni, si può assumere che in questo modo si realizzino le condizioni corrispondenti a un regime di compressione assiale per il quale i rapporti degli incrementi delle  $\sigma$  e delle  $\varepsilon$  forniscono il modulo elastico della muratura.

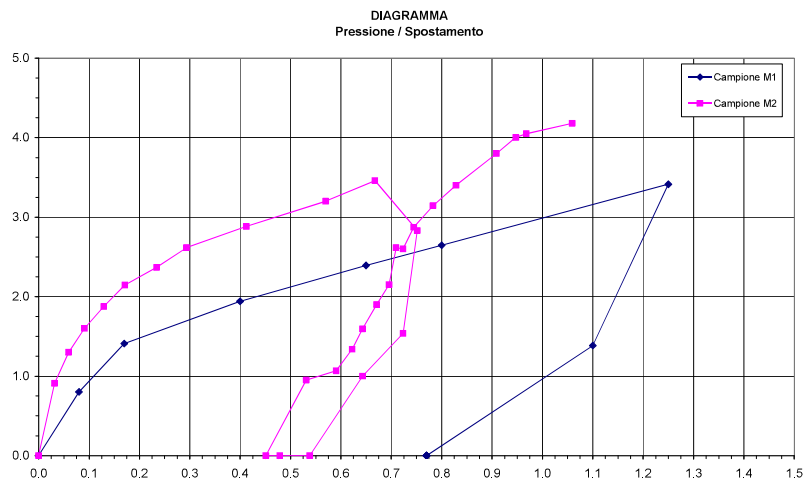
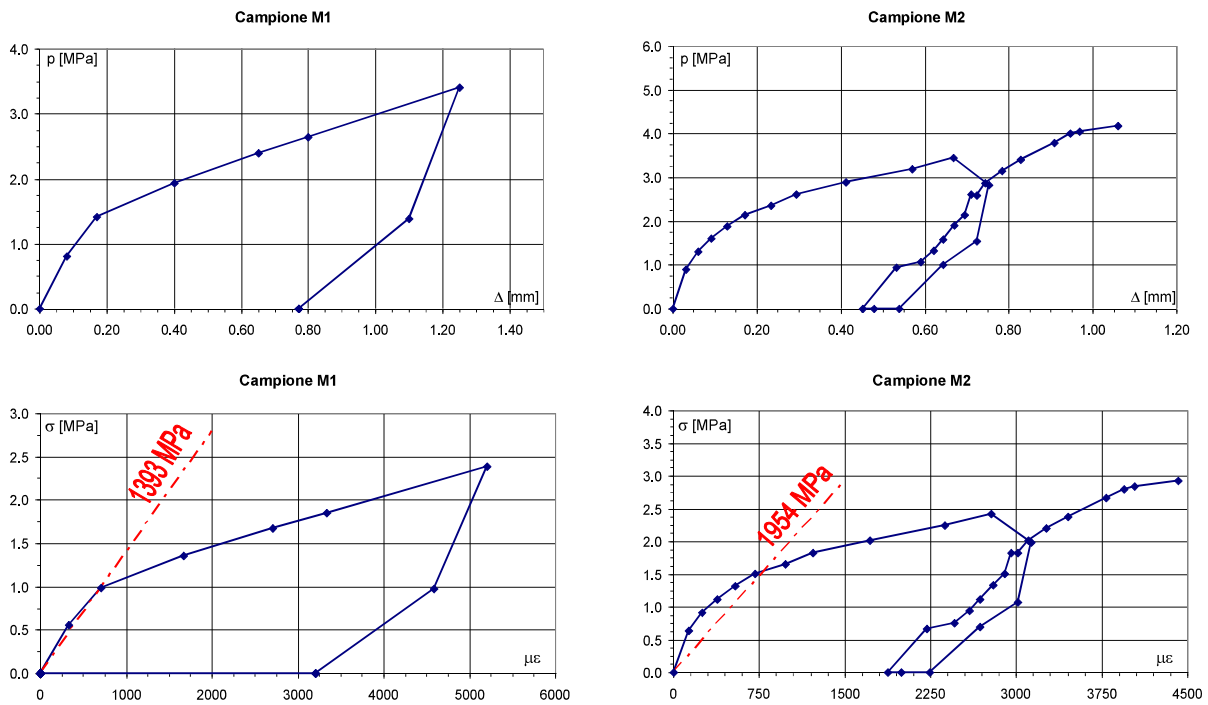
Successivamente, aumentando il valore della pressione nei martinetti, se la muratura circostante fornisce sufficiente contrasto, è possibile portare a collasso il campione.

Dall'andamento delle curve tensioni-deformazioni ottenute elaborando i dati raccolti durante la prova è possibile determinare il valore del modulo in fase elastica ed una stima della resistenza ultima della muratura.





Esempio: 2 prove a martinetti piatti sul muratura di mattoni pieni



| Campione | Modulo elastico secante [Mpa] | Resistenza a compressione [Mpa] |
|----------|-------------------------------|---------------------------------|
| M1       | 1393                          | 2.39                            |
| M2       | 1954                          | 2.93                            |

Tabella 4.1 : Moduli elastici secanti e resistenze a compressione relativi alle prove

Tabella 11.D.1 Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata.

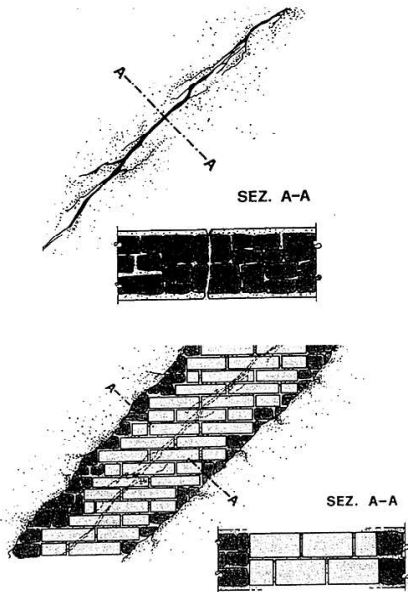
| Tipologia di muratura  | $f_m$<br>(N/cm <sup>2</sup> ) | $\tau_0$<br>(N/cm <sup>2</sup> ) | E<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | G<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $w$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|--|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|  | min-max                       | min-max                          | min-max                   | min-max                   |                             |
| Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)               | 60                            | 2,0                              | 690                       | 115                       | 19                          |
|  | 90                            | 3,2                              | 1050                      | 175                       |                             |
| Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno           | 110                           | 3,5                              | 1020                      | 170                       | 20                          |
|  | 155                           | 5,1                              | 1440                      | 240                       |                             |
| Muratura in pietre a spacco con buona tessitura  | 150                           | 5,6                              | 1500                      | 250                       | 21                          |
|  | 200                           | 7,4                              | 1980                      | 330                       |                             |
| Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)                              | 80                            | 2,8                              | 900                       | 150                       | 16                          |
|  | 120                           | 4,2                              | 1260                      | 210                       |                             |
| Muratura a blocchi lapidei squadati  | 300                           | 7,8                              | 2340                      | 390                       | 22                          |
|  | 400                           | 9,8                              | 2820                      | 470                       |                             |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce   | 180                           | 6,0                              | 1800                      | 300                       | 18                          |
|  | 280                           | 9,2                              | 2400                      | 400                       |                             |
| Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)                     | 380                           | 24                               | 2800                      | 560                       | 15                          |
|  | 500                           | 32                               | 3600                      | 720                       |                             |
| Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)                               | 460                           | 30,0                             | 3400                      | 680                       | 12                          |
|  | 600                           | 40,0                             | 4400                      | 880                       |                             |
| Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%) | 300                           | 10,0                             | 2580                      | 430                       | 11                          |
|  | 400                           | 13,0                             | 3300                      | 550                       |                             |
| Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)                       | 150                           | 9,5                              | 2200                      | 440                       | 12                          |
|  | 200                           | 12,5                             | 2800                      | 560                       |                             |
| Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni  | 300                           | 18,0                             | 2700                      | 540                       | 14                          |
|  | 440                           | 24,0                             | 3500                      | 700                       |                             |

#### 4.8.10. Tecniche d'intervento

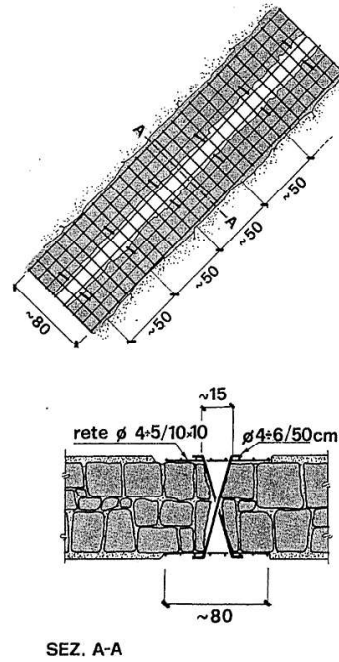
- Cuciture e risarciture localizzate;
- Iniezioni di miscela leganti (miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura);
- Iniezioni armate;
- Intonaci armati;
- Placcaggi – applicazione di lastre in cemento armato o di reti metalliche elettrosaldate e betoncino (aumento resistenza e duttilità della muratura da consolidare);
- Setti in c.a.;
- Inserimento di pilastri in c.a. o metallici;
- Cordoli a livello dei solai / cordoli di fondazione;
- Tirature orizzontali e/o verticali;
- Micropali.

**Risarciture localizzate**

**Metodo di riparazione a "cuci e scuci"**

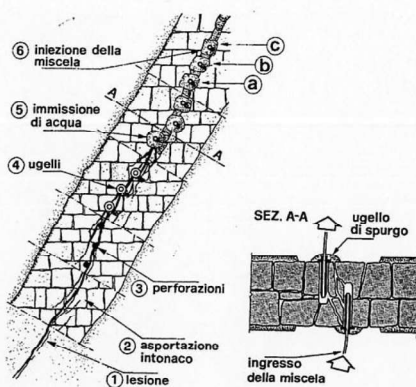


**Metodo di riparazione per apertura**

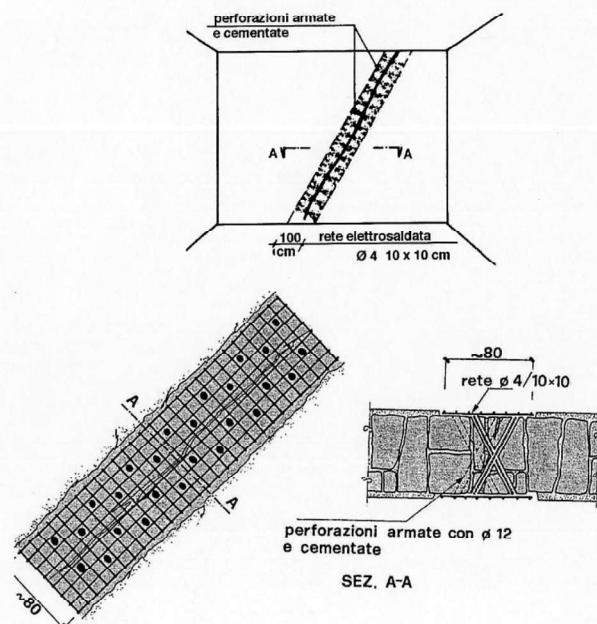


**Iniezioni di miscele leganti**

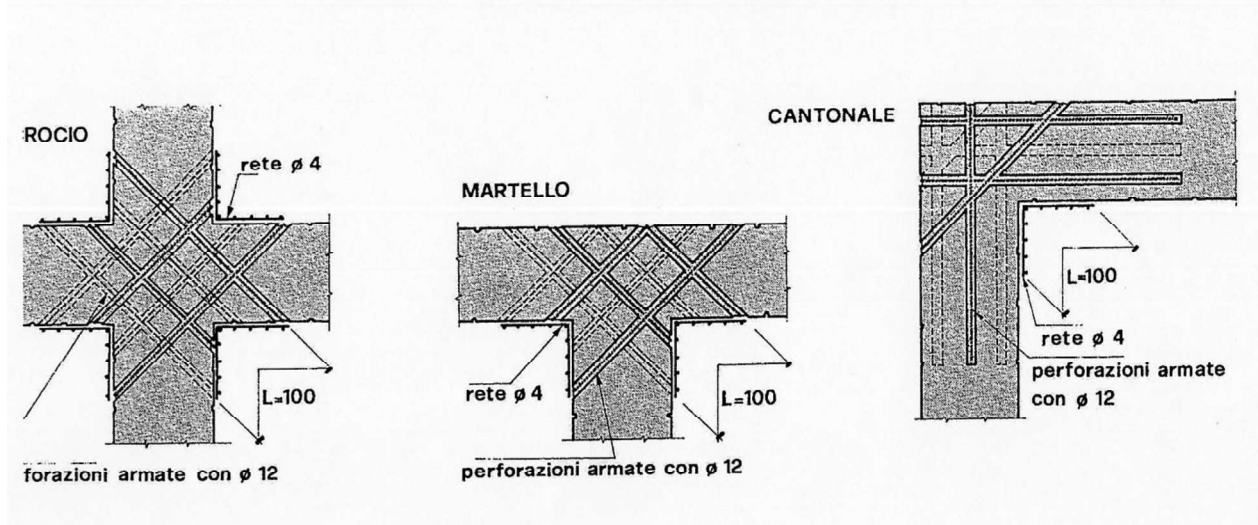
**Metodo di riparazione per iniezione**



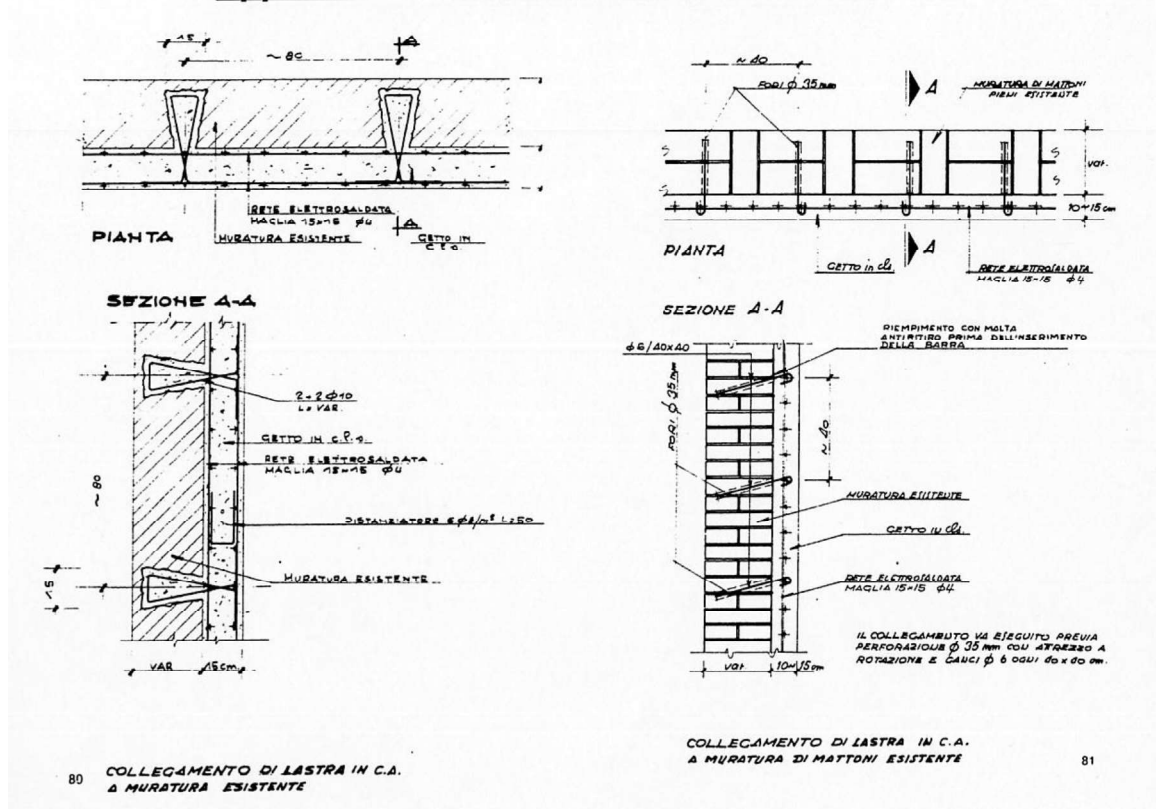
**Metodo di riparazione per iniezione armata e placcaggio di superficie**



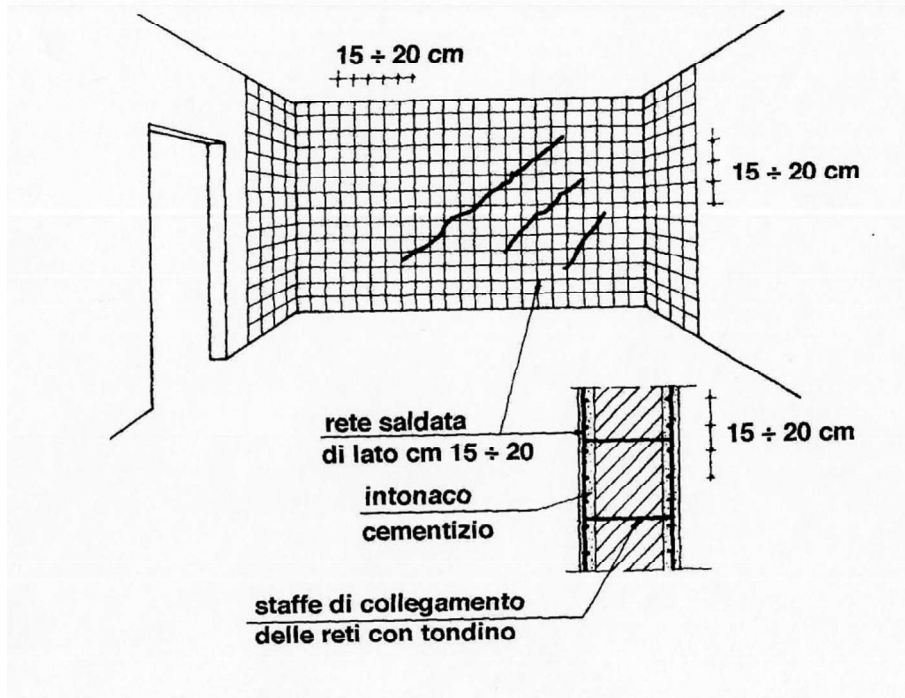
**Iniezioni armate (per lesioni d'angolo)**



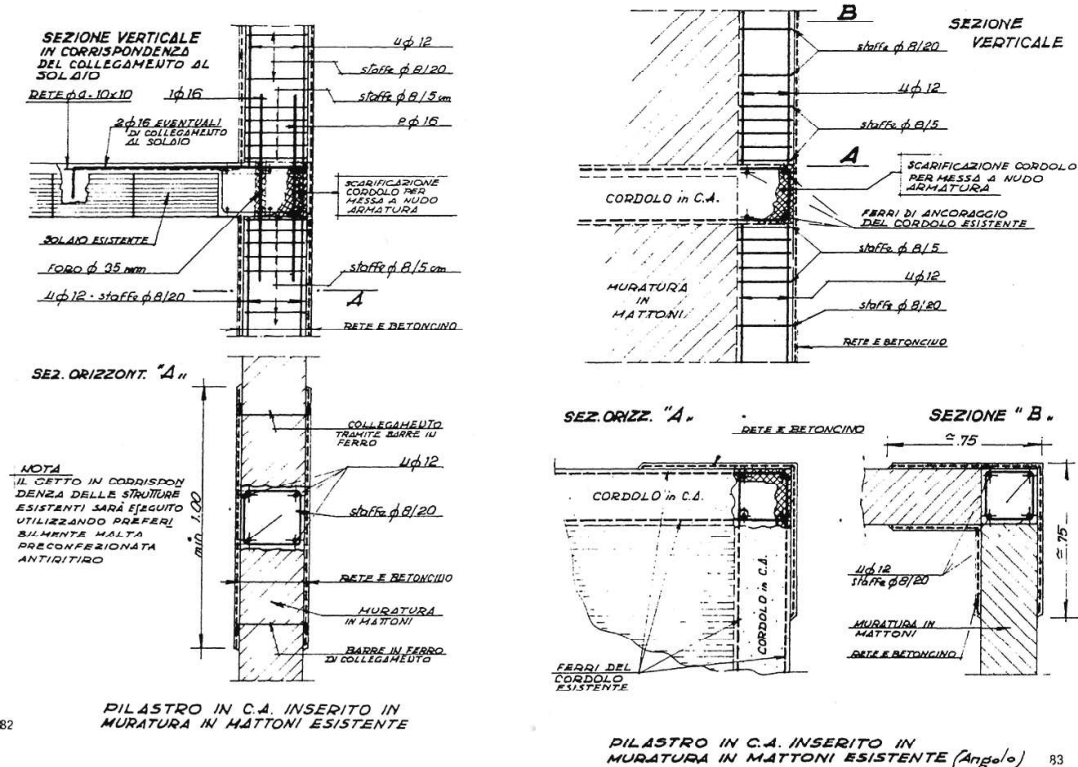
**Applicazione di lastre in cemento armato**



**Applicazione di lastre in cemento armato**

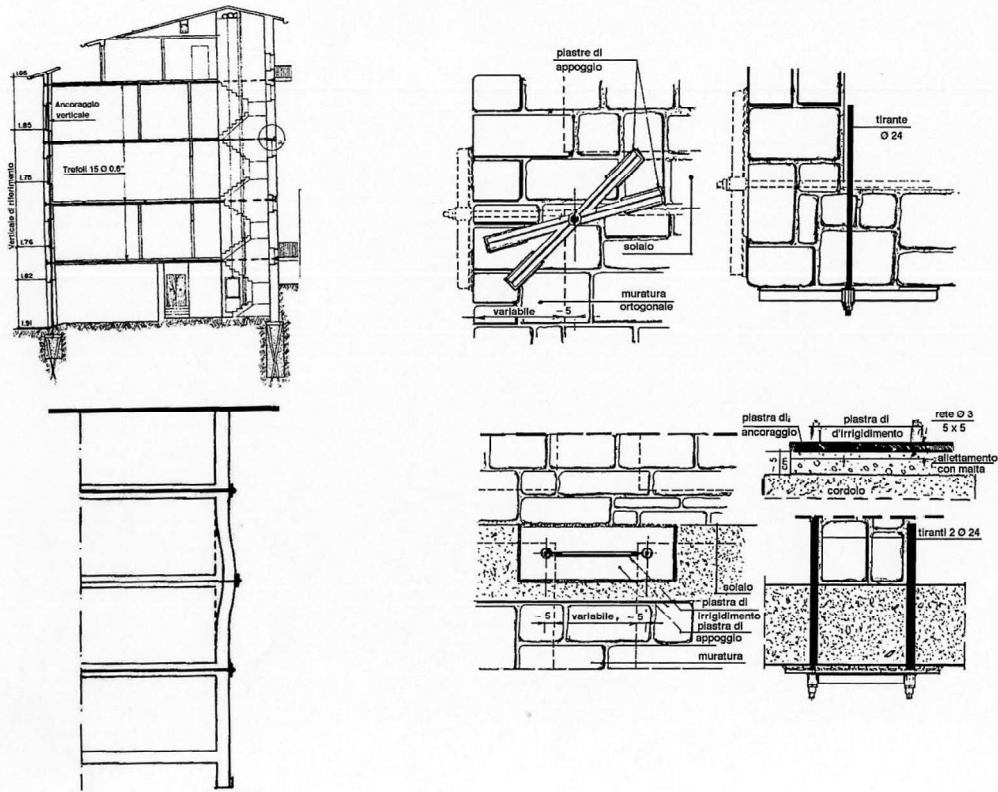


**Inserimento pilastri c.a.**

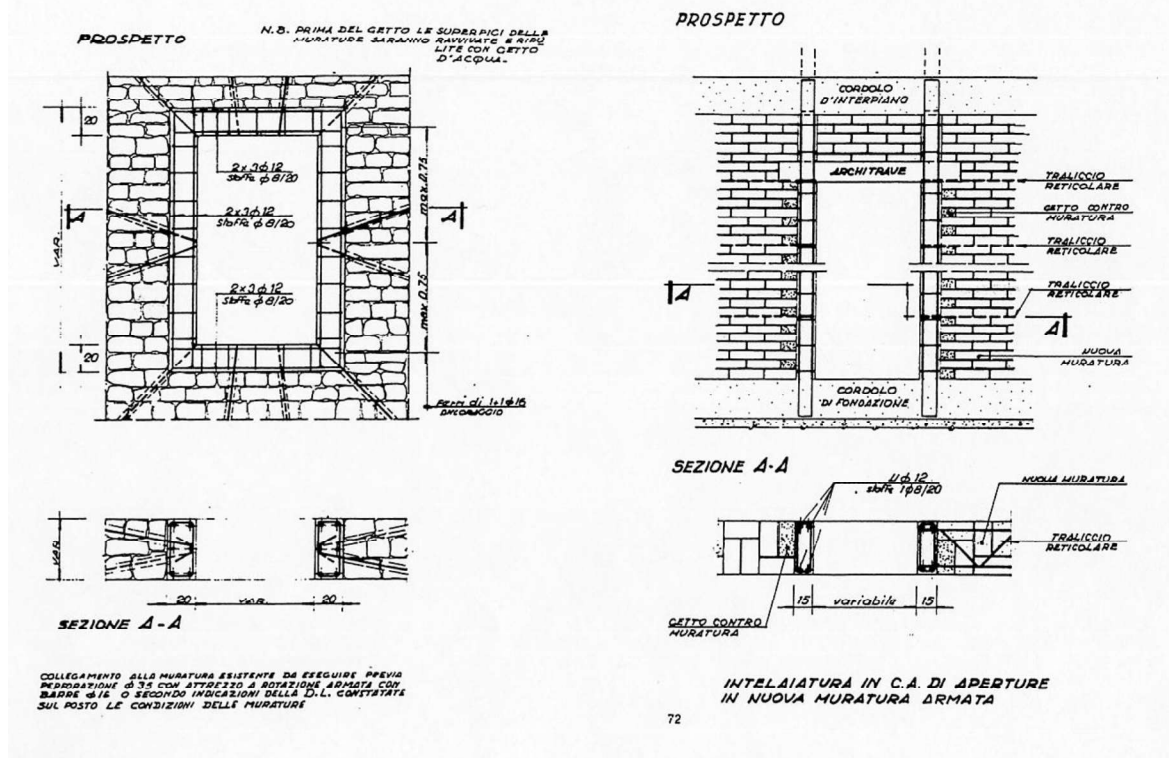


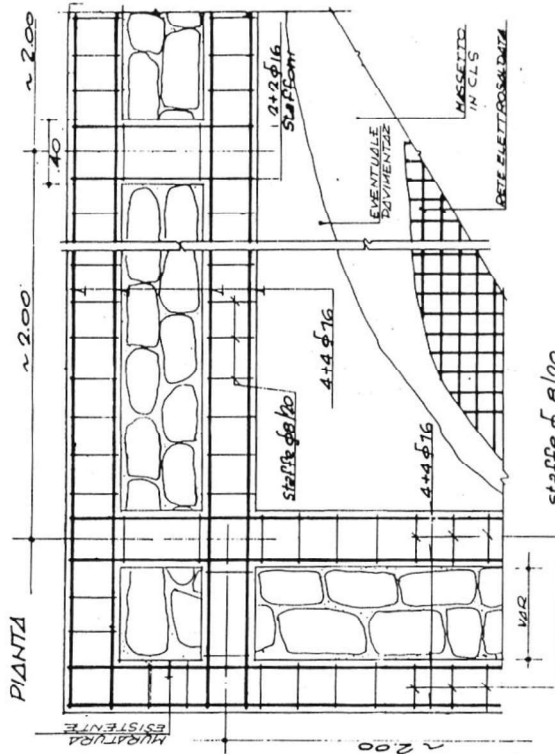


**Tirantature orizzontali e verticali**



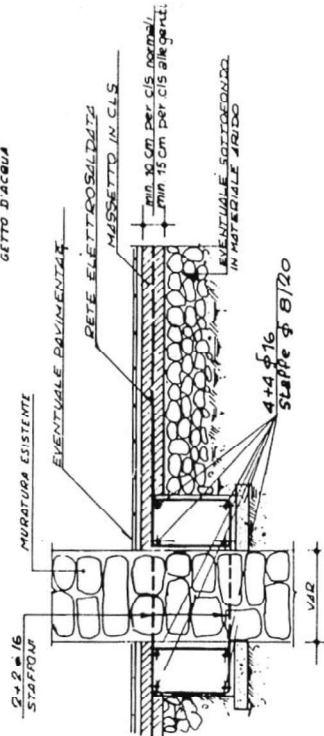
**Cerchiatura di aperture**





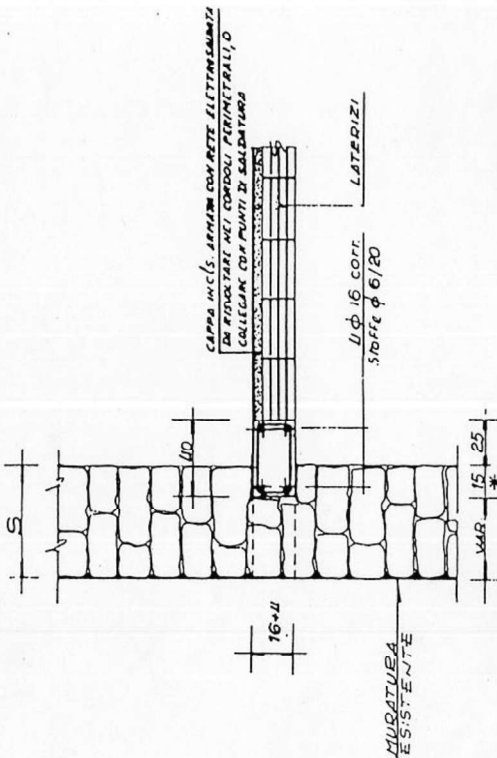
NB. PRIMA DEL GETTO LE SUPERFICIE DELLE MURATURE VERRANNO RAVINATE E RIVOLTE CON GETTO DI ACQUA

SEZIONE

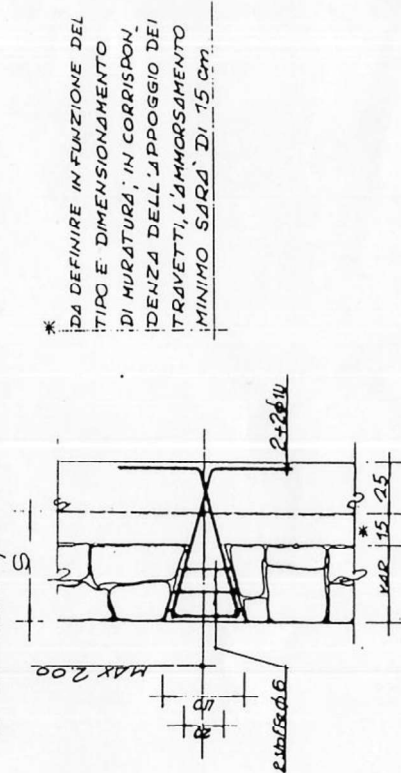


RINFORZO DELLA FONDAZIONE CON CORDOLI MASSETTO E RETE

SEZIONE VERTICALE



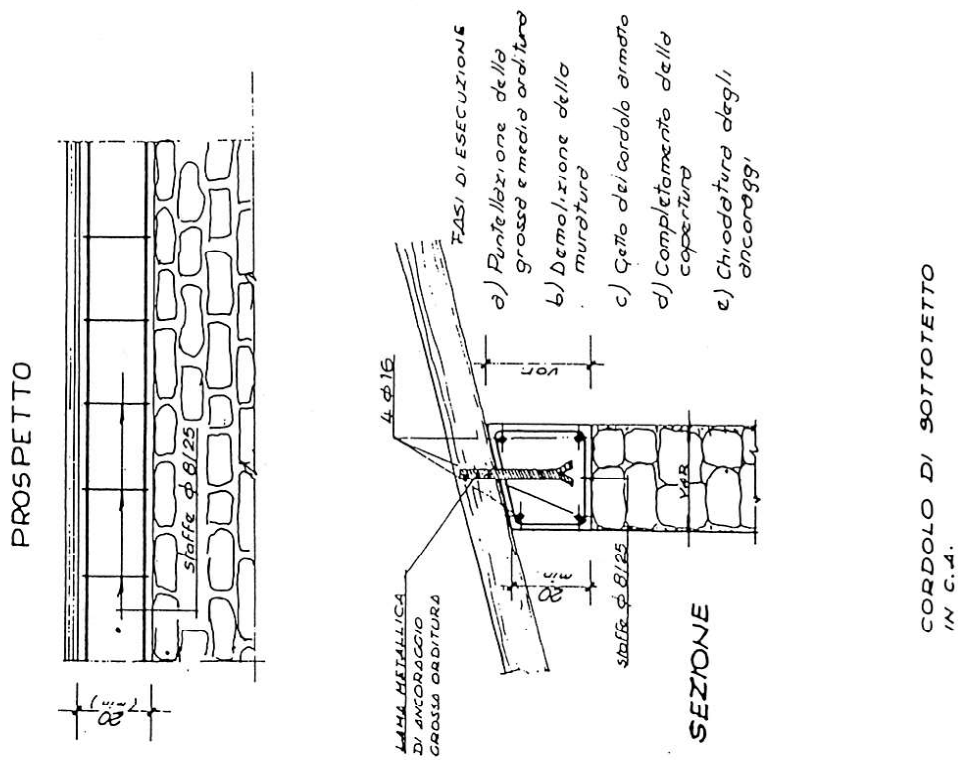
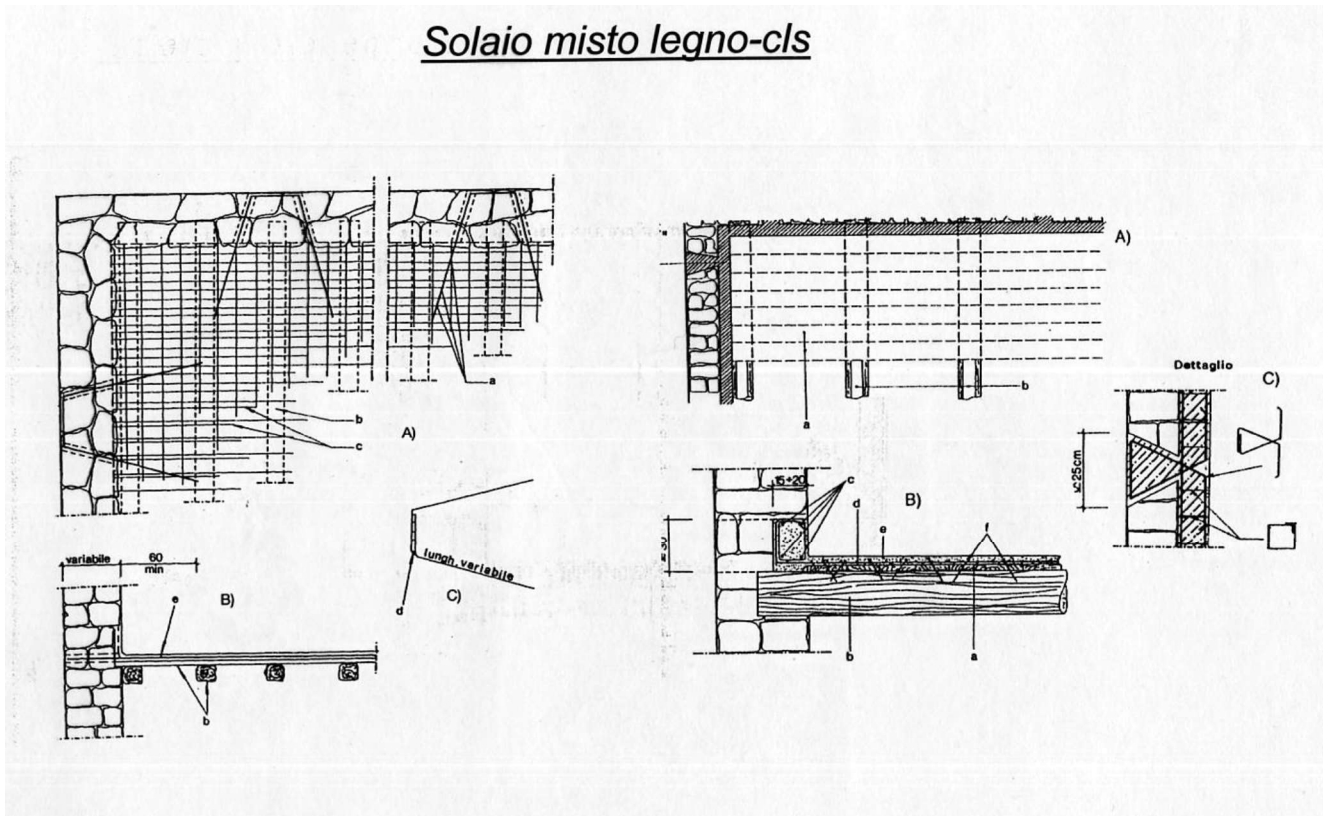
SEZIONE ORIZZONTALE (ANCORAGGIO A CODA DI RONDINE)



SOLAI IN LATEROCEMENTO DI NUOVA COSTRUZIONE SU MURATURE ESISTENTI

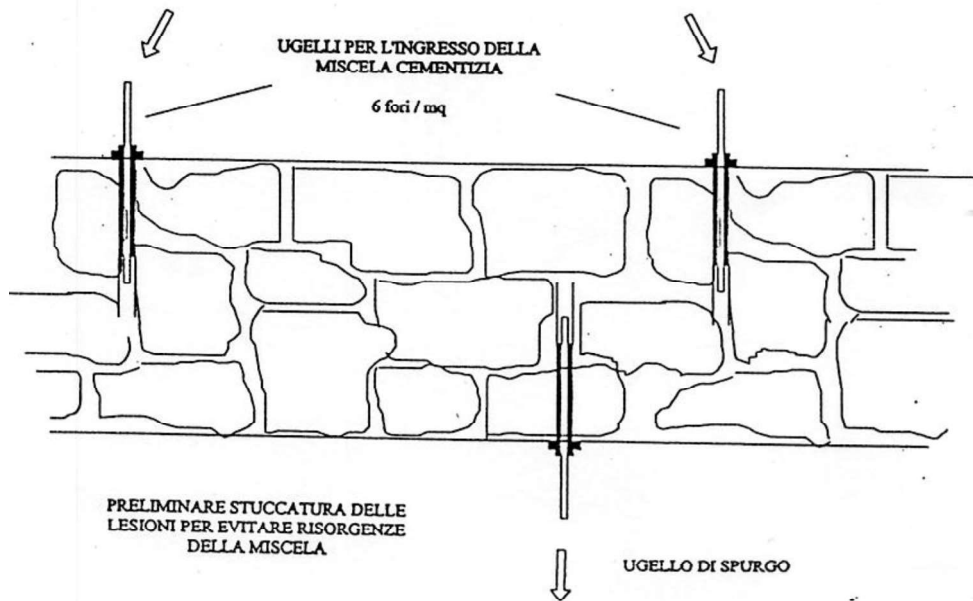


Solaio misto legno-clc



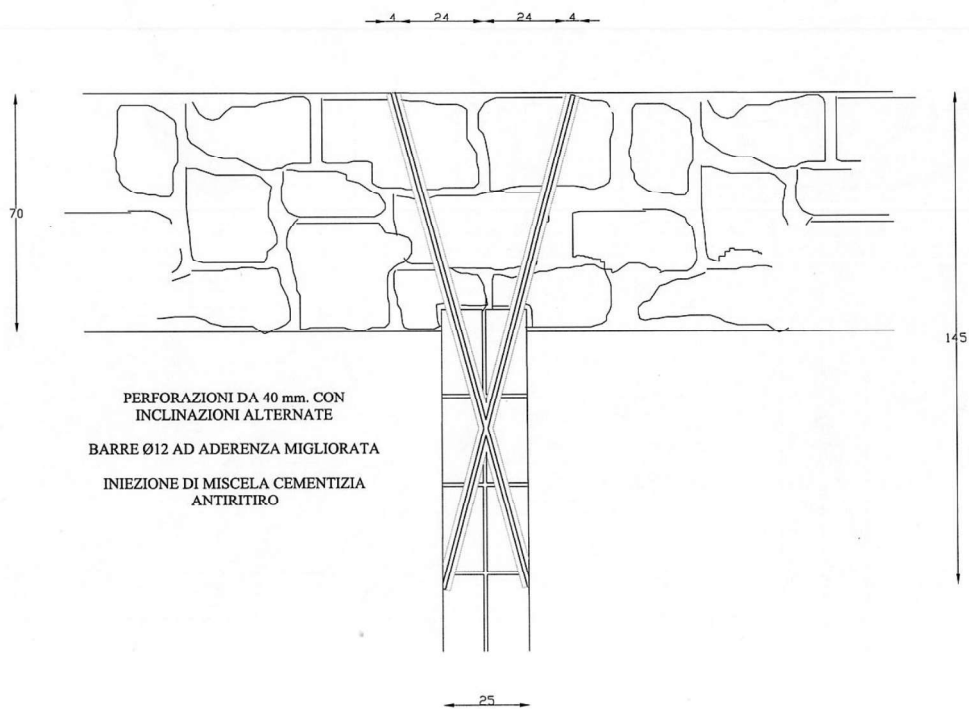
**PARTICOLARE INIEZIONI**

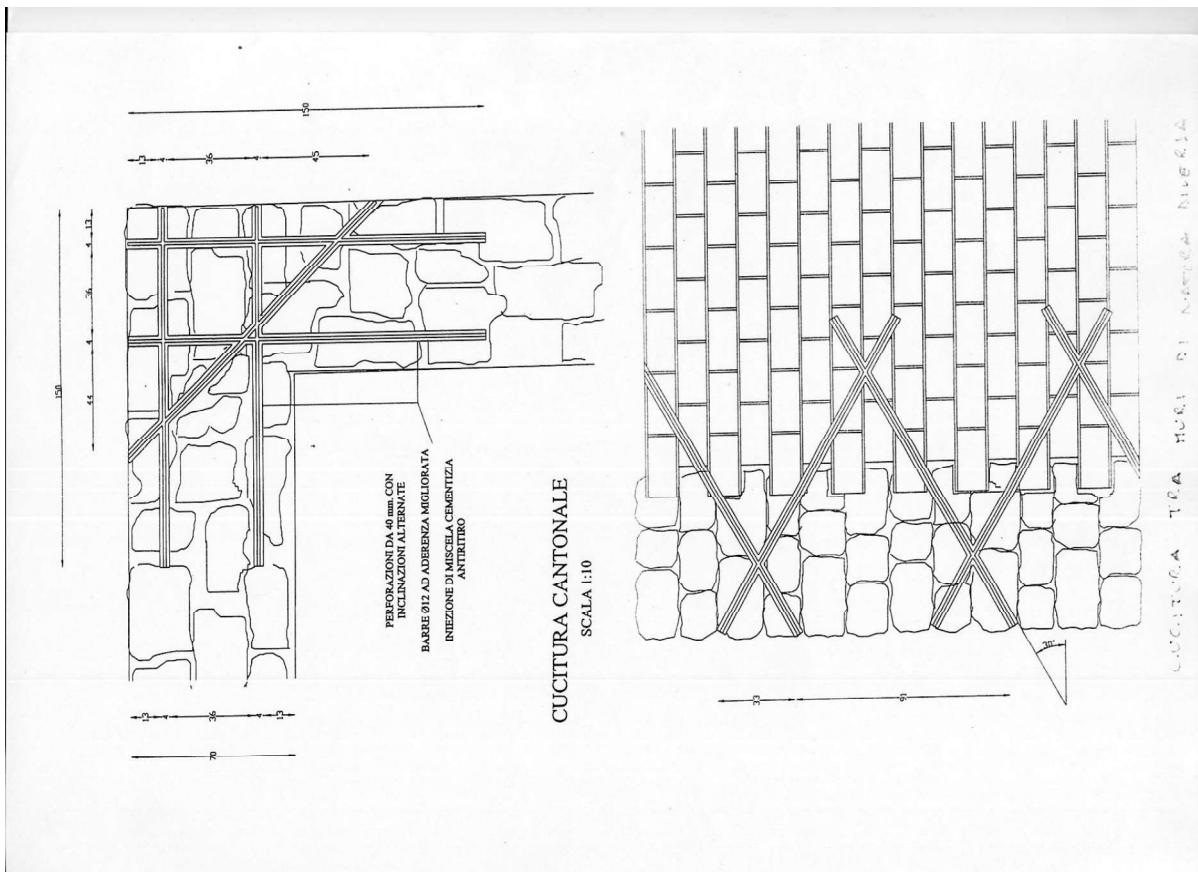
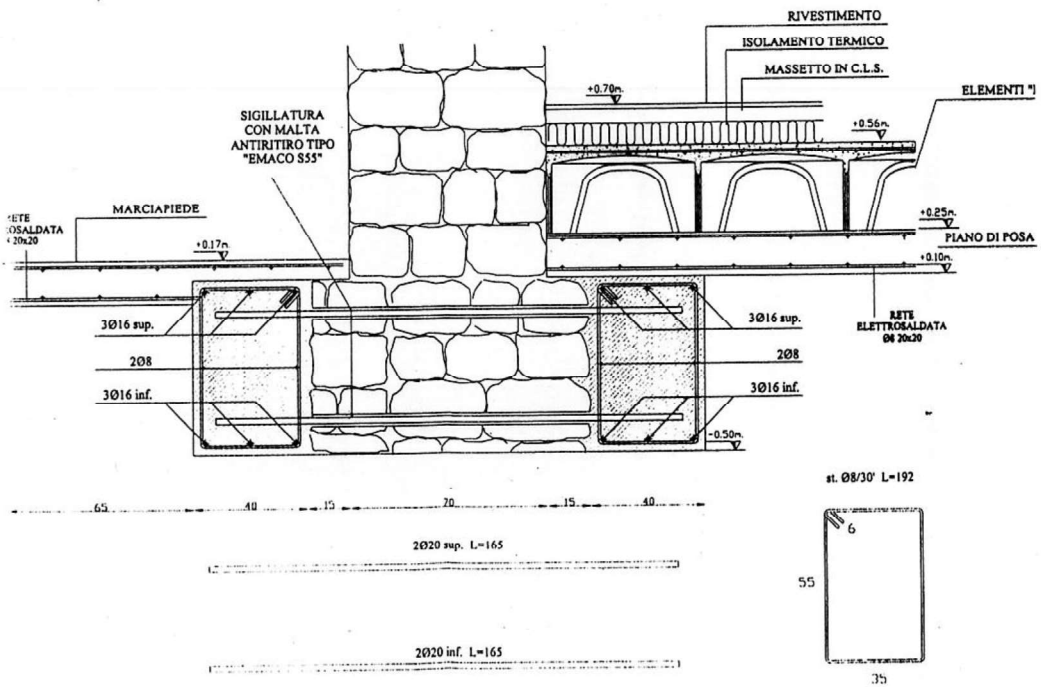
SCALA 1:10



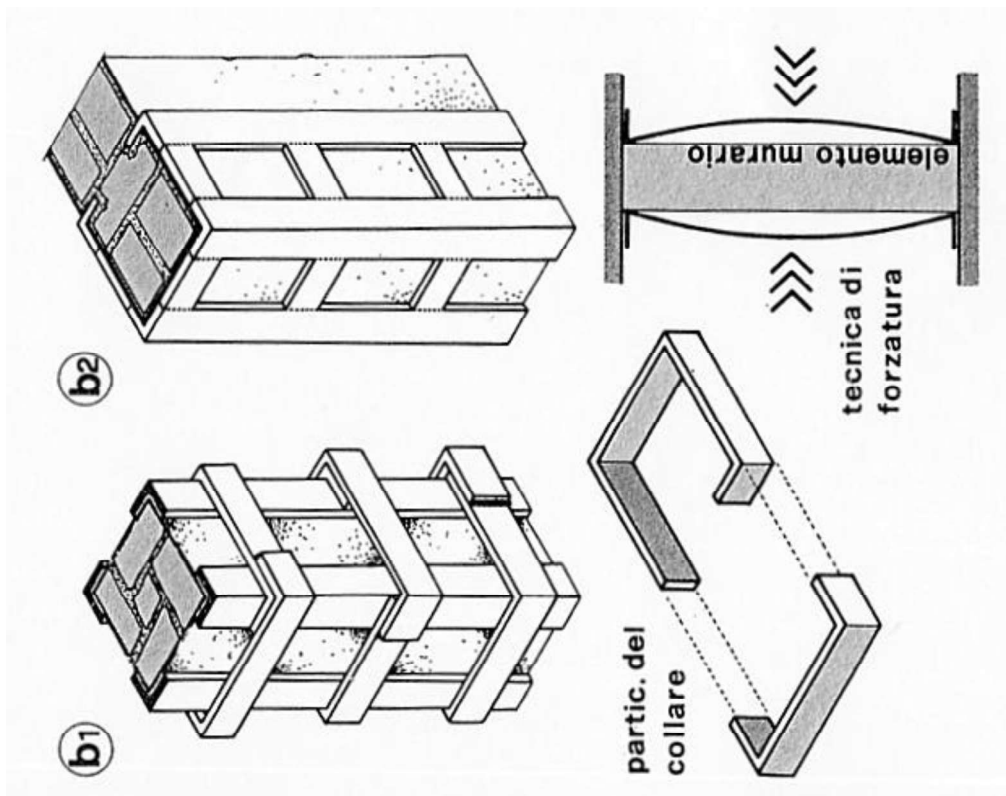
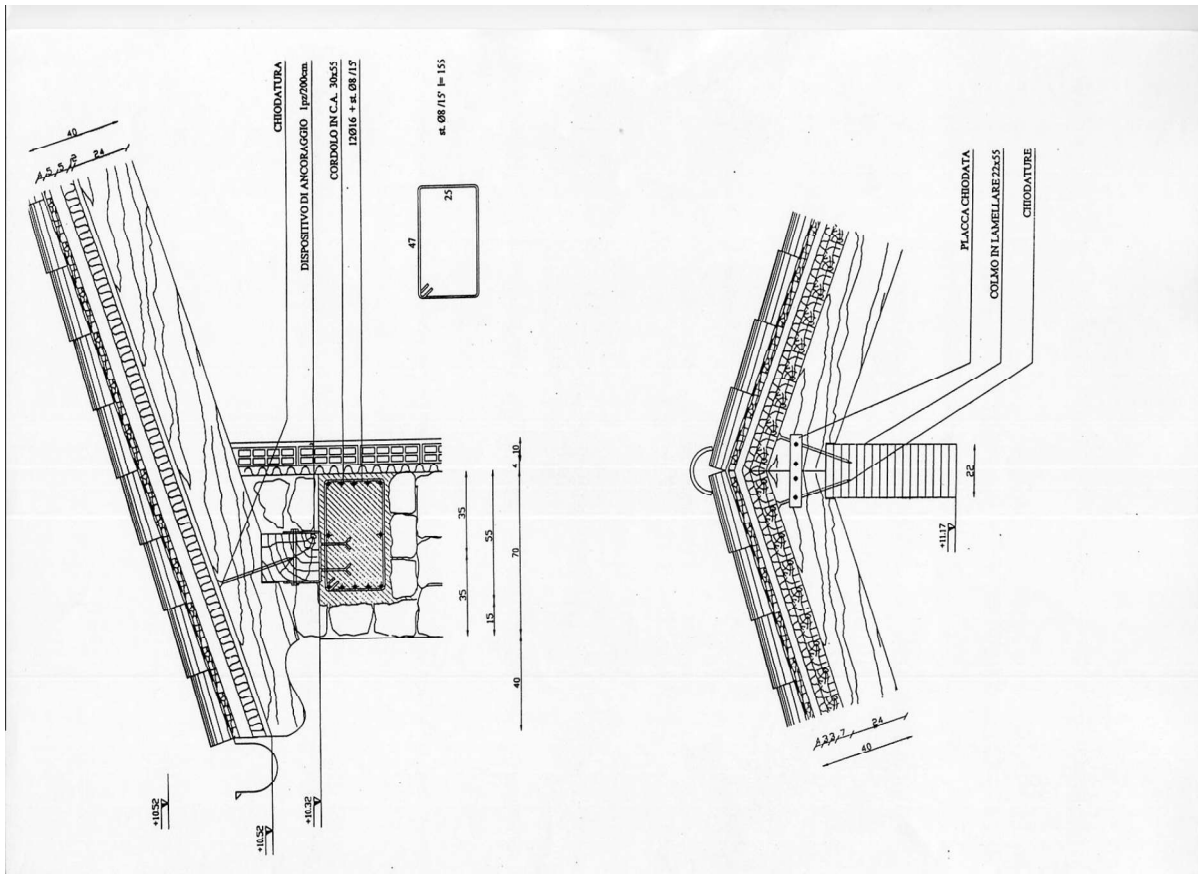
**CUCITURA MURATURA NUOVA**

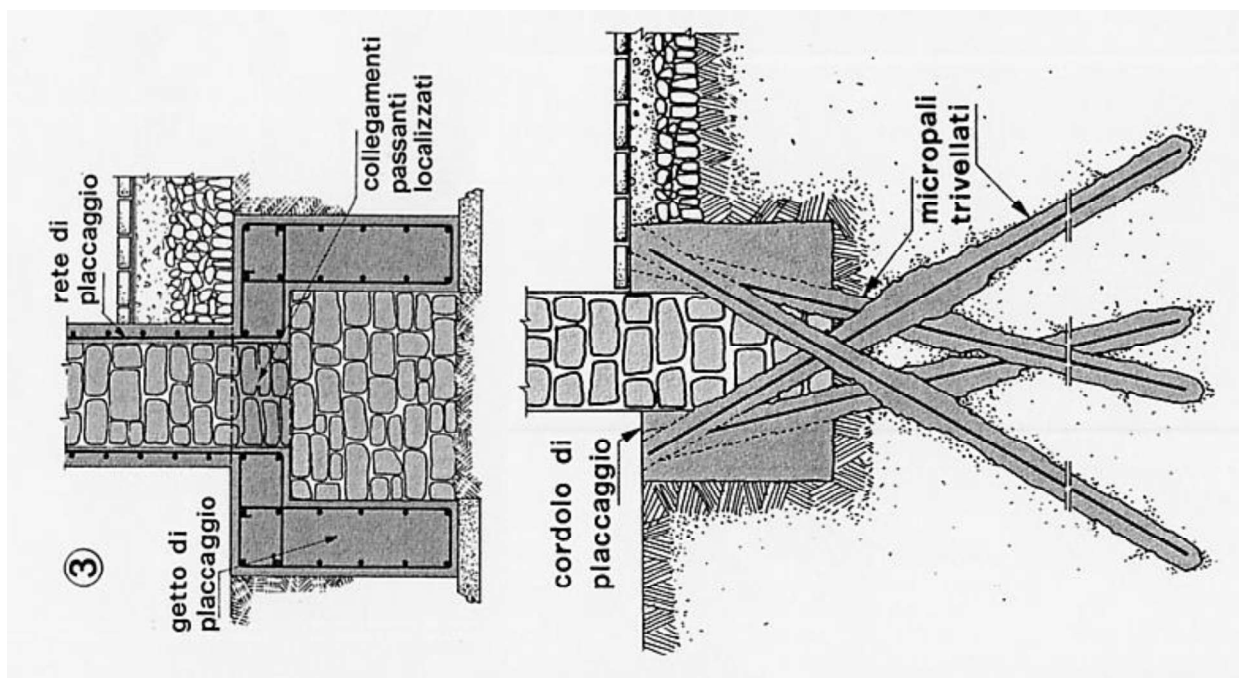
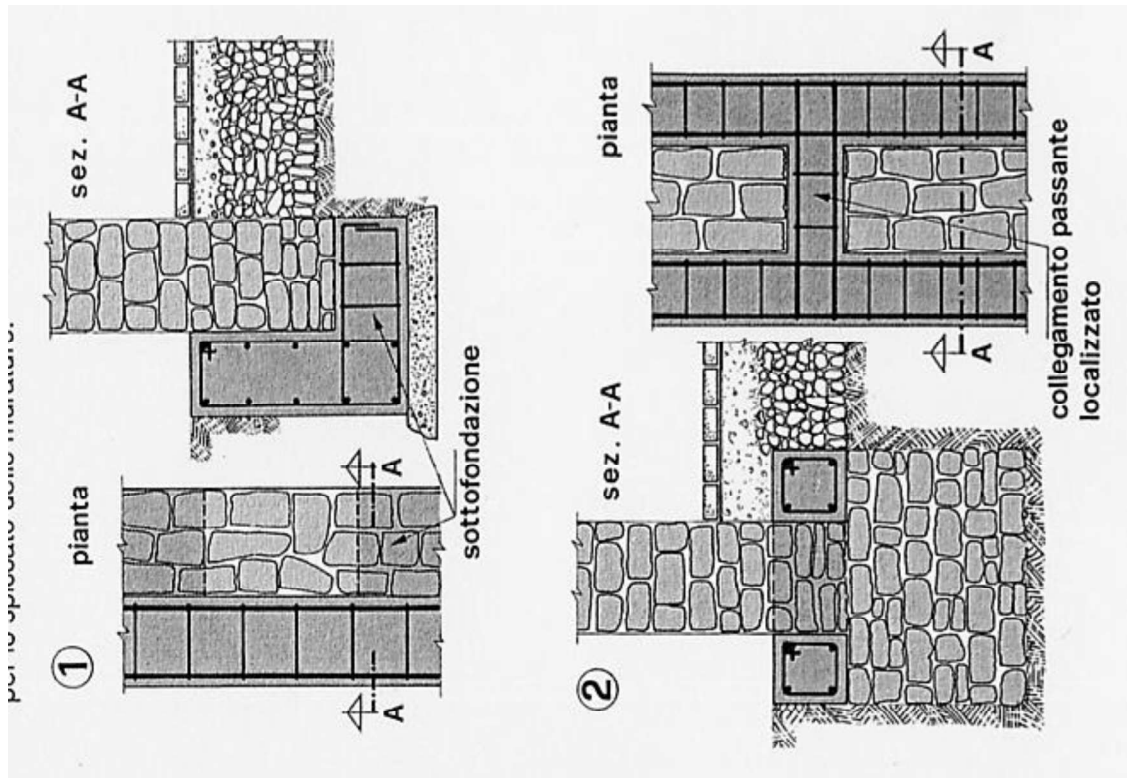
SCALA 1:10











#### **4.9. Riferimenti bibliografici essenziali**

- “Le costruzioni in muratura” – G. Del Piero – CISM
- “Ingegneria delle strutture” – E. Giangreco (3 volumi) - UTET
- “Manuale di ingegneria civile – vol 2” (3<sup>a</sup> edizione) – AA.VV. – Zanichelli / Esac
- “L’edificio in muratura” – G.Righetti e L.Bari – Consorzio Poroton – B.I.N.
- “Edifici in muratura in zona sismica” – L.Boscotrecase e F.Piccarretta – Flaccovio
- “Restauro conservativo e antisismico” – A. Pasta – Flaccovio
- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC2018”
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC2008”
- Circolare 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- Eurocodice 6

#### **4.10. Siti internet**

- <http://www.laterizio.it/>
- <http://www.muratureoggi.com/>
- <http://www.poroton.it/>
- <http://www.alveolater.com/>
- <http://www.muraturaarmata.it/>
- <http://www.ingv.it/gndt/>
- <http://www.aedes.it/>