

**Progettare e costruire edifici antisismici**  
**Tecnologie, materiali e sistemi costruttivi**  
**a confronto**

**ADEGUAMENTO SISMICO**  
**DI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA**

Prof. Ing. Natalino Gattesco

Dipartimento di Ingegneria e Architettura  
Università degli Studi di Trieste

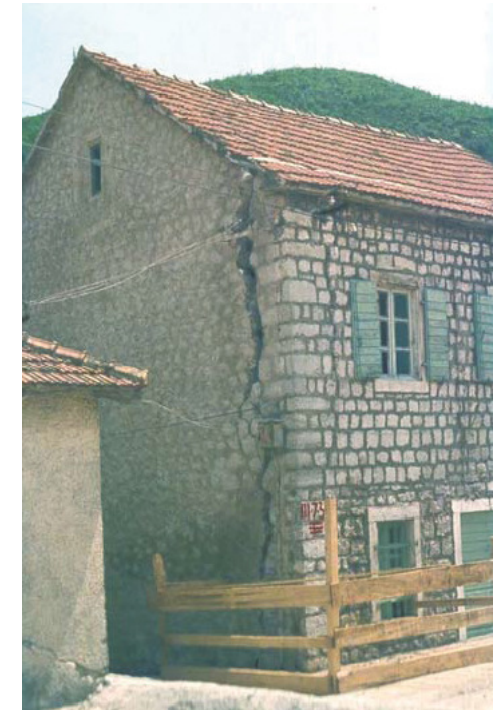
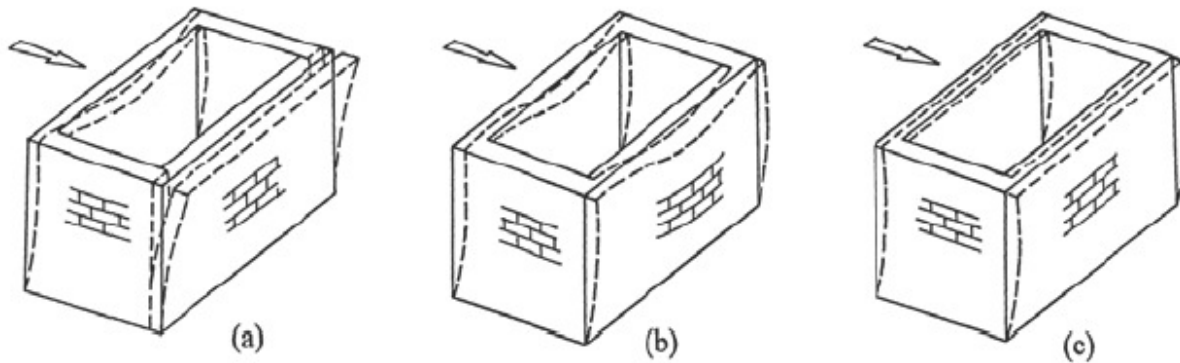
# CAUSE DI DANNO NEGLI EDIFICI IN MURATURA SOGGETTI AD ECCITAZIONE SISMICA

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

**INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE**

# 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



***L'Aquila 2009***

***Separazione parete all'intersezione  
con quella perpendicolare***



***L'Aquila 2009***

***Edificio ben legato***

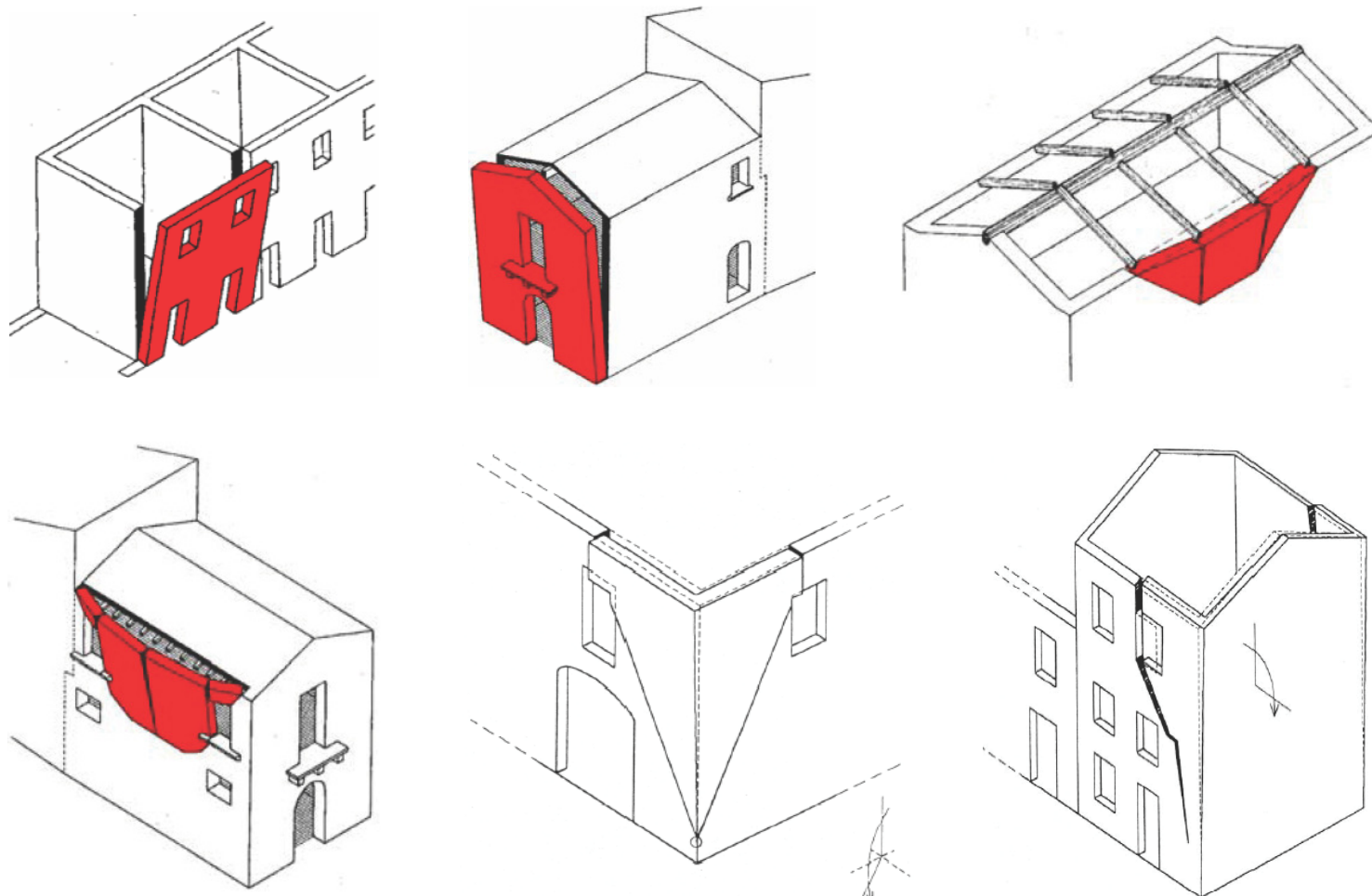
# INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



*Drezniske Ravne 1998*

*Danno in un edificio nuovo per  
mancanza di cordolo in sommità*

# INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE



**Ribaltamenti fuori piano di pareti e cantonali**

# **INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE**



**Ribaltamento fuori piano parete del piano superiore – L'Aquila 2009**



# INADEGUATA INTEGRITA' STRUTTURALE

*Montenegro, 1979*

*Ribaltamento  
parete laterale*



**Mancanza di vincoli  
orizzontali a livello  
dei solai di piano e di  
copertura.**



***Mirandola (Emilia) 2012: Ribaltamento pareti laterali***



***Sant'Agostino (Emilia) 2012: Flessione fuori piano***  
*Pareti molto snelle per la presenza di grandi distanze fra i solai.*



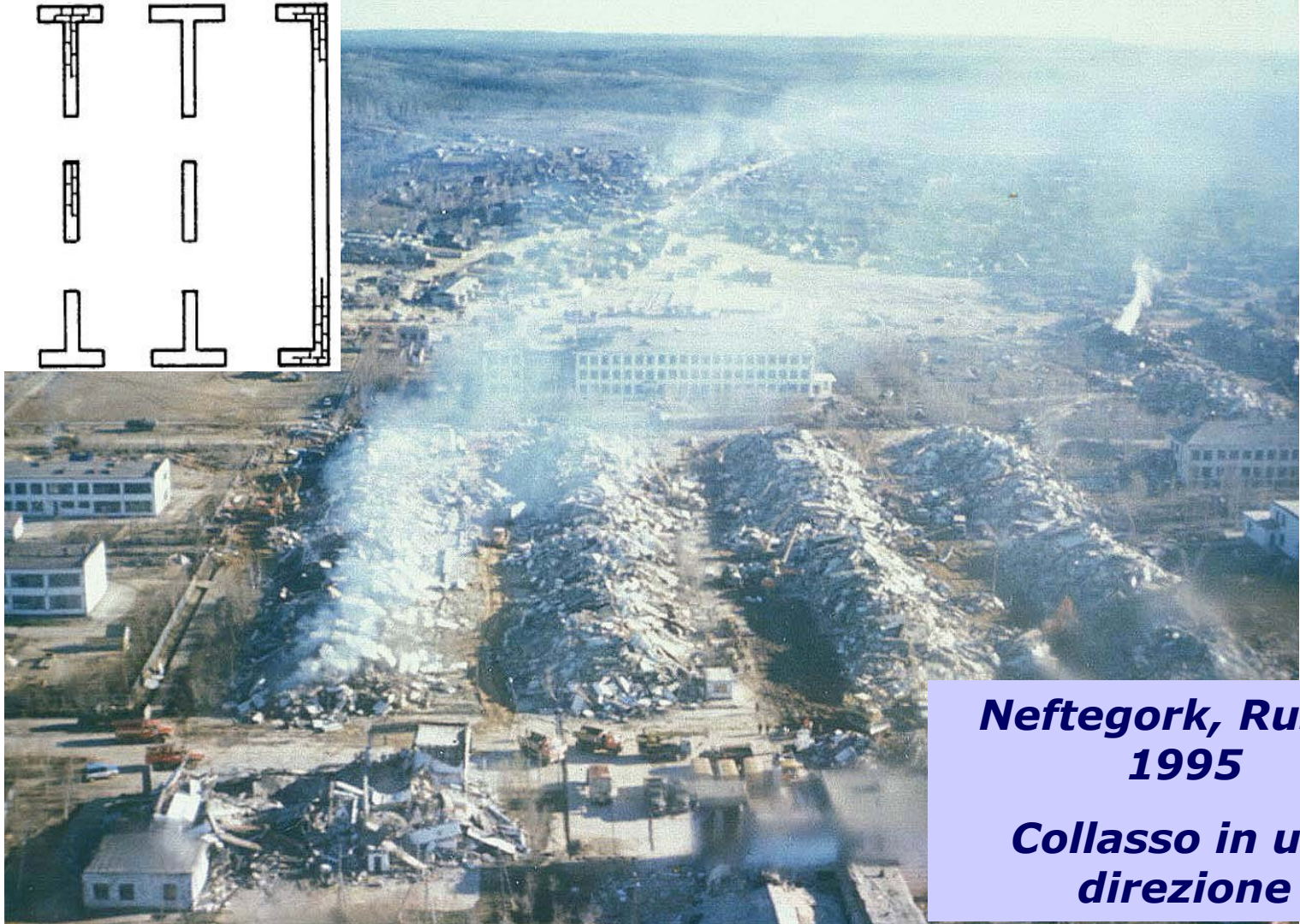
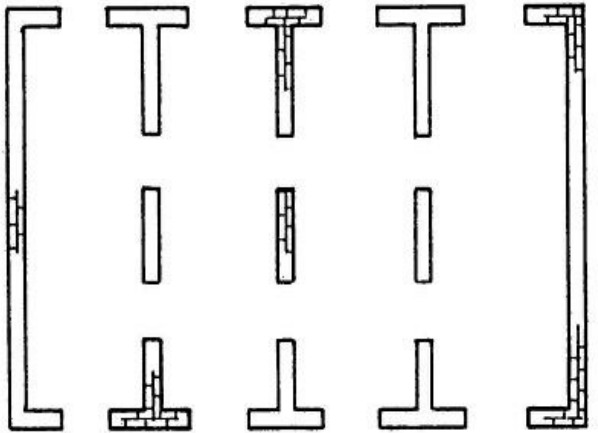
**Mirandola (Emilia) 2012: Ribaltamento timpano**

# **INADEGUATA DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI**

# **INADEGUATA DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI**

- *Distribuzione non simmetrica*
- *Percentuale di muratura diversa nelle due direzioni*
- *Distribuzione muratura non regolare in elevato*

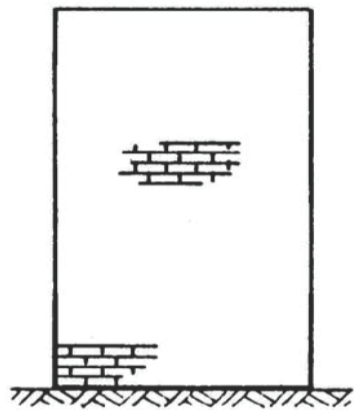
# DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI



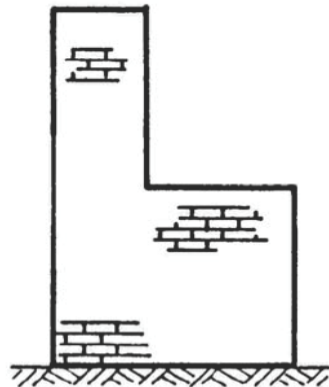
***Neftegork, Russia  
1995  
Collasso in una  
direzione***

# DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI

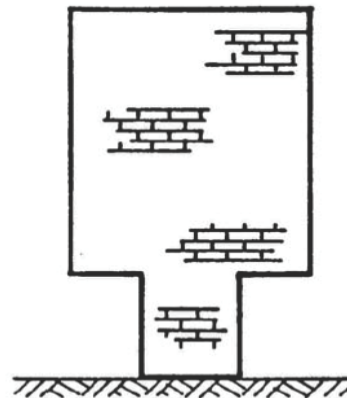
**Marche-Umbria 1997**  
**Estese fessure da taglio causate dalla diversa altezza con gli edifici adiacenti e dalla scarsa resistenza a taglio della muratura.**



Adequate



Not adequate



Bad







# **INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI**

# **INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI**

- *Tipo di muratura (a uno o più paramenti, tessitura)*
- *Malta scadente, blocchi irregolari, presenza o meno di diatoni*

## **Danni attesi**

- *Fessure diagonali nei maschi e nelle traverse*
- *Parziale disintegrazione o collasso delle murature portanti*
- *Collasso parziale o globale della struttura*

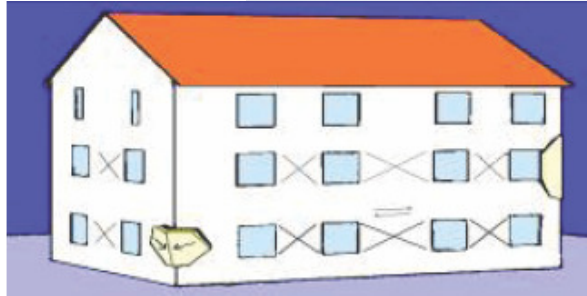
# INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI

*Budva, 1979*

*Rottura a taglio dei maschi del piano terra*



# INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI



*L'Aquila, 2009*

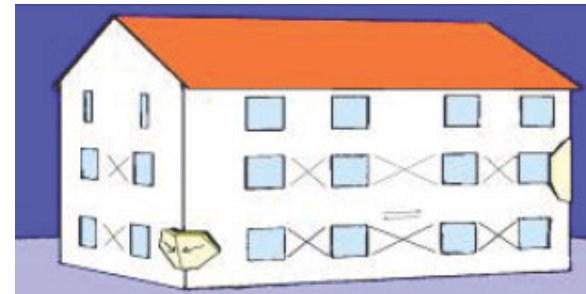
*Fessurazione  
diagonale  
maschi*

# INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI

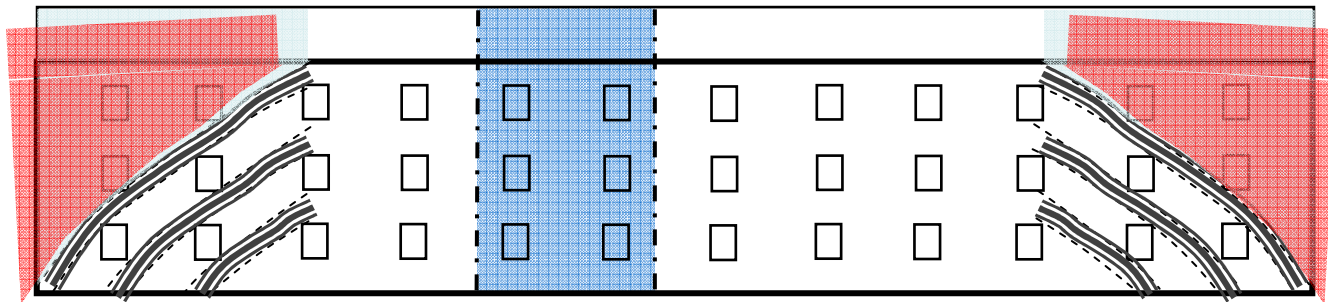


*Polog, 1998*

*Fessurazione diagonale  
maschi e danneggiamento dei  
maschi d'angolo*



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



# INADEGUATA RESISTENZA DEI MATERIALI

*L'Aquila, 2009*

*Edificio crollato  
parzialmente*



**PER EVITARE LE CRITICITA' EVIDENZIATE**





# CRITICITA' - INTERVENTI

**Il collasso parziale o globale degli edifici in muratura soggetti ad azioni sismiche è dovuto a:**

- **sollecitazioni fuori piano nelle pareti con ribaltamento o rottura per flessione delle stesse** (*collegamento coi solai scarso o inesistente*)
- **Scarsa resistenza a taglio dei maschi murari** (*murature di cattiva qualità*)

**Interventi:**

- **Tecniche per l'integrità strutturale** (*tiranti, colleg. muri-solai, rinf. solai*)
- **Incremento della resistenza a flessione fuori piano**
- **Incremento della resistenza a taglio della muratura**

# **TECNICHE DI RINFORZO PER MURATURE**

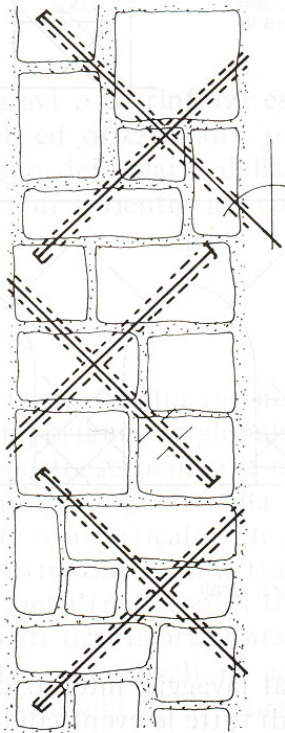
# **TECNICHE DI RINFORZO PER MURATURE**

*D.M. 14.01.2008 e Circolare Cons. Sup. LL. PP. 617 2-2-2009*

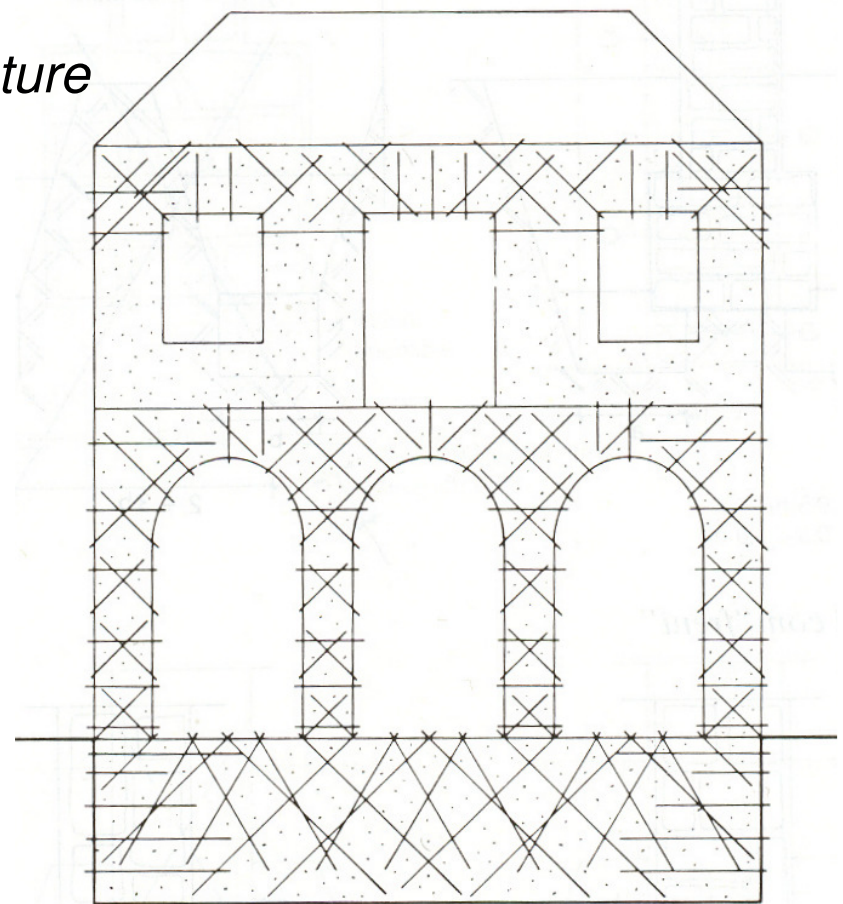
- *Esecuzione di Perforazioni armate*
- *Inserimento diatoni artificiali*
- *Iniezioni di miscele leganti*
- *Realizzazione camicie in rete metallica e betoncino*
- *Realizzazione camicie in rete in GFRP e intonaco*
- *Tirantature orizzontali e verticali*
- *Rinforzi con nastri in FRP*
- *Sistema “reticolatus” 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*

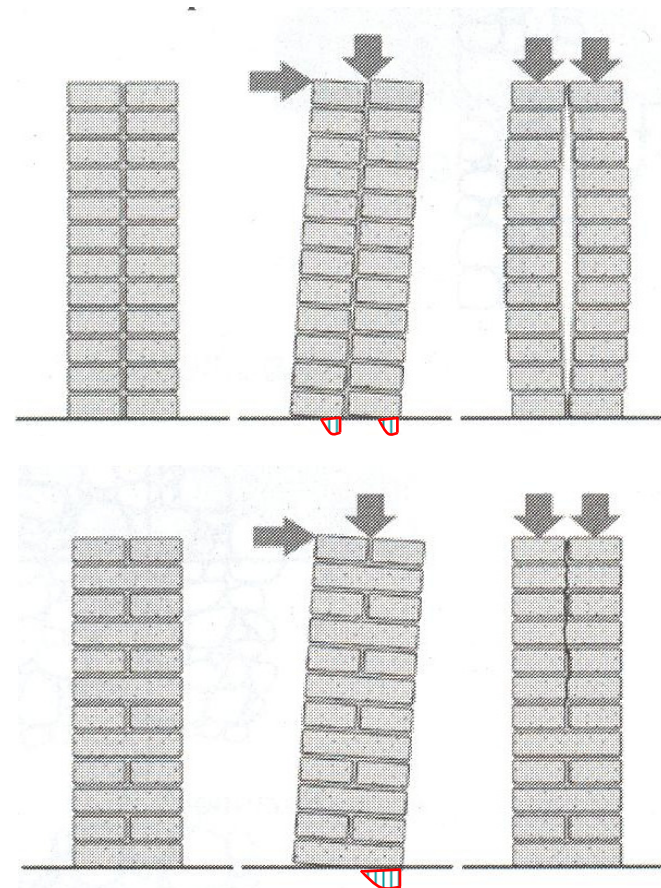
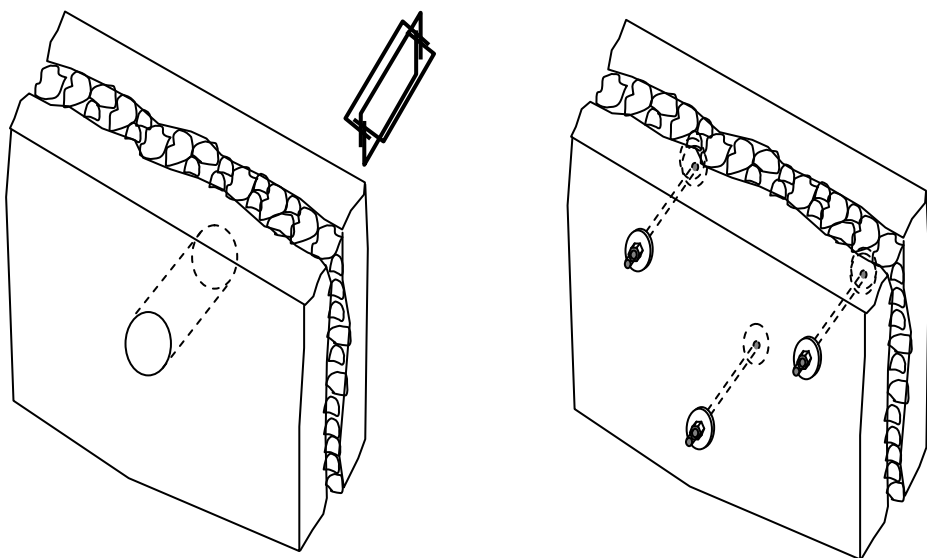


- *Esecuzione perforazioni con attrezzo a rotazione ( $\phi$  20÷25)*
- *Rimozione detriti e parti in distacco all'interno del foro*
- *Inserimento barre di acciaio ( $\phi$  12÷14 mm) o non metalliche*
- *Iniezione con malta tixotropica a ritiro compensato*



# DIATONI ARTIFICIALI

- *Diatoni realizzati in calcestruzzo armato dentro fori di carotaggio*
- *Creano un collegamento fra i paramenti murari evitando il loro distacco*



## 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

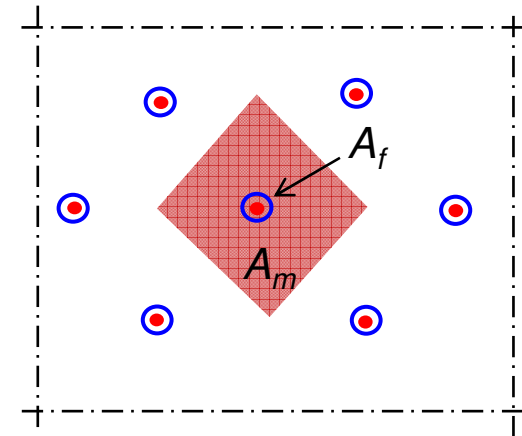
- *L'incremento di resistenza dovuto all'intervento deve essere stimato in base a prove sperimentali*
- *Comunque quando le barre sono distribuite uniformemente all'interno della muratura si possono utilizzare le seguenti espressioni proposte da T. Tassios (da verificare sperimentalmente).*

## Resistenza a compressione

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

## Resistenza a taglio

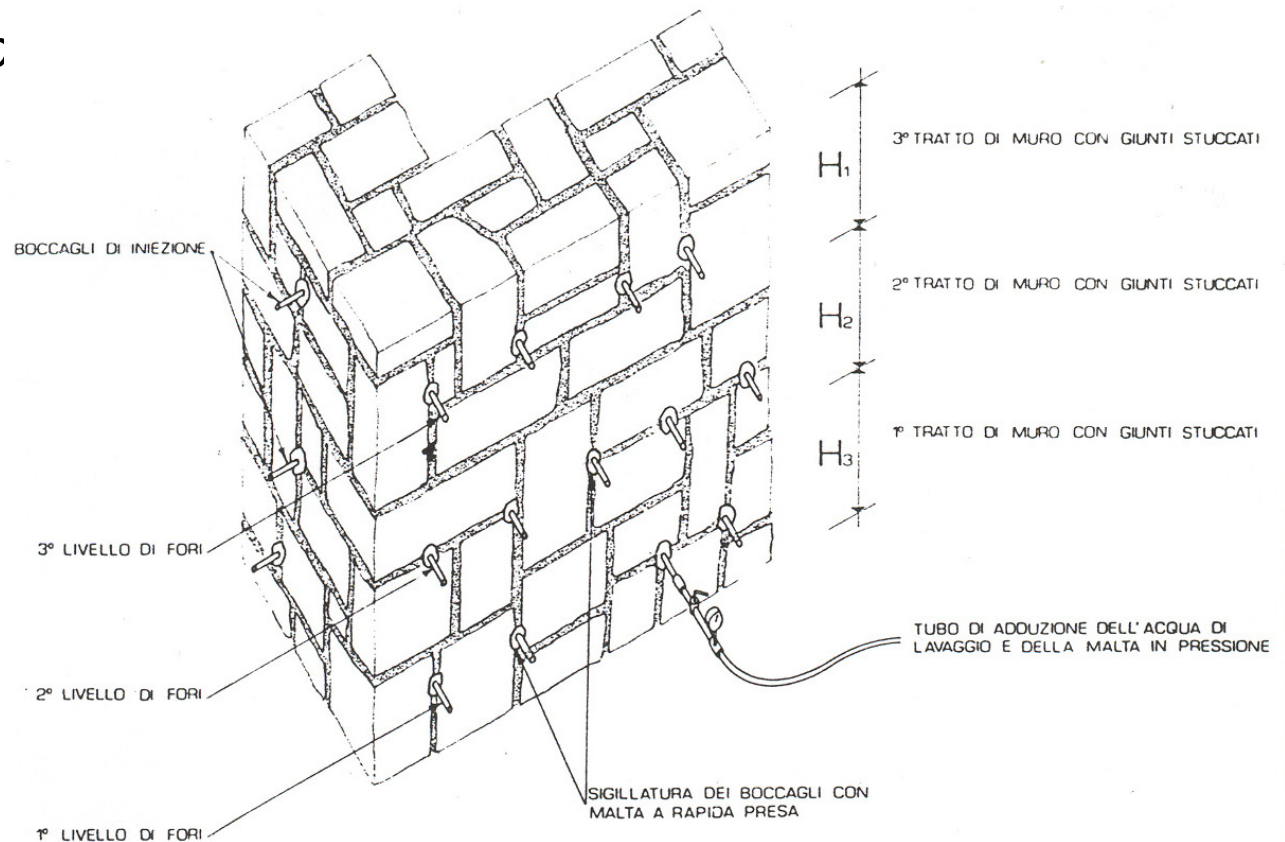
$$f_{vd}^* = \left[ \frac{f_{vko} + 0.4\sigma_o}{\gamma_m} + \frac{A_f}{2A_m} \frac{f_{sy}}{\gamma_s} \right]$$



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

# 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 m<sup>3</sup> di parete.*

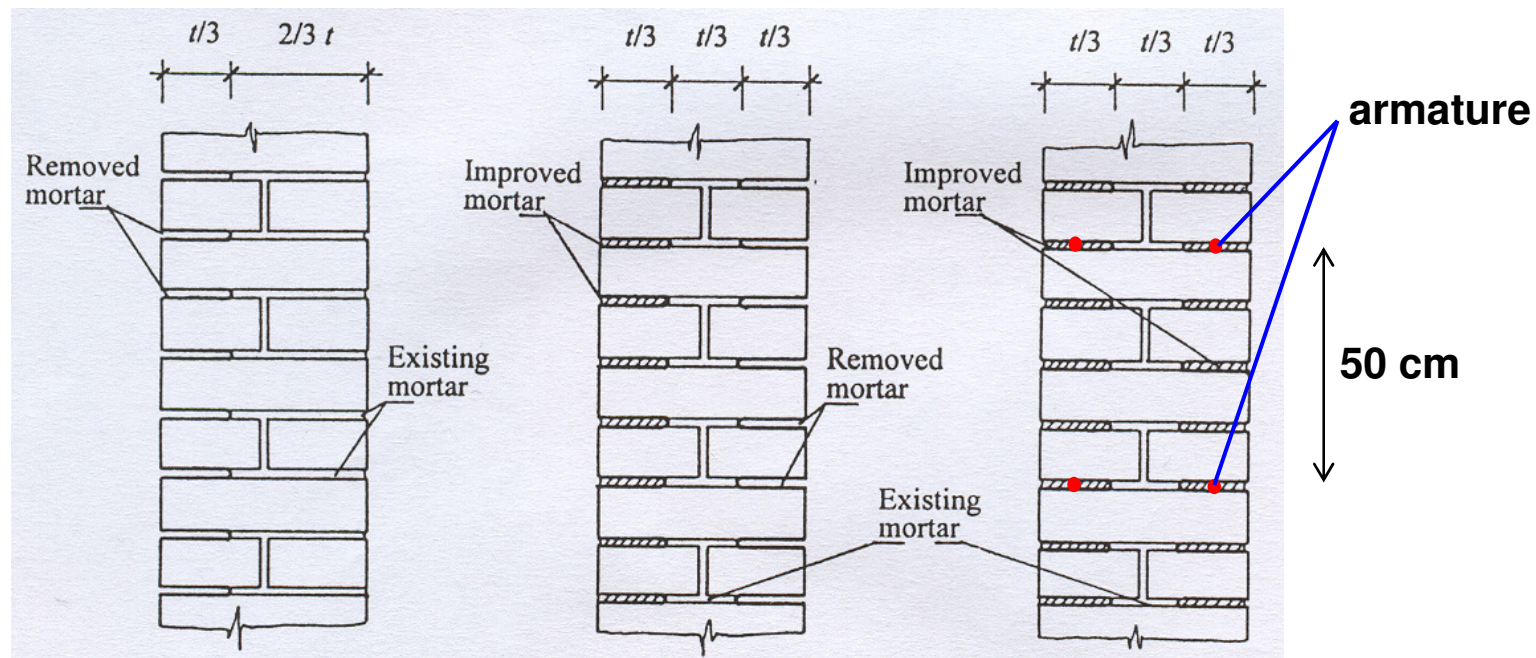
*Sheppard, Tomazevic 1986*

| Masonry type                               | Original          |            | Cement-grouted    |            |
|--|-------------------|------------|-------------------|------------|
|  | $f_{tk}$<br>(MPa) | G<br>(MPa) | $f_{tk}$<br>(MPa) | G<br>(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.*

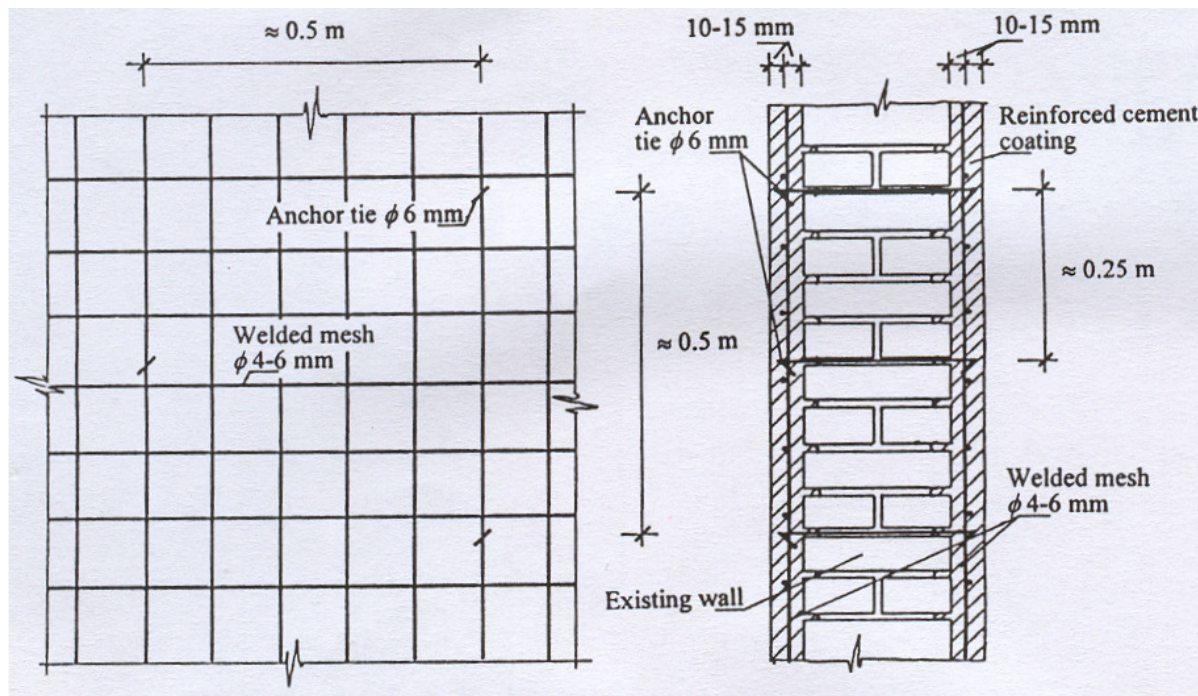
# SOSTITUZIONE PARZIALE GIUNTI DI MALTA

- *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 ( $6\phi 6/m^2$ ) e iniezione con malta espansiva*
- *Applicazione primo strato di malta cementizia ( $\sim 15$  mm)*
- *Messa in opera rete e collegamento della stessa con le staffe*
- *Applicazione secondo strato di malta cementizia ( $\sim 15\div 25$  mm)*

# CAMICIE IN RETE E BETONCINO

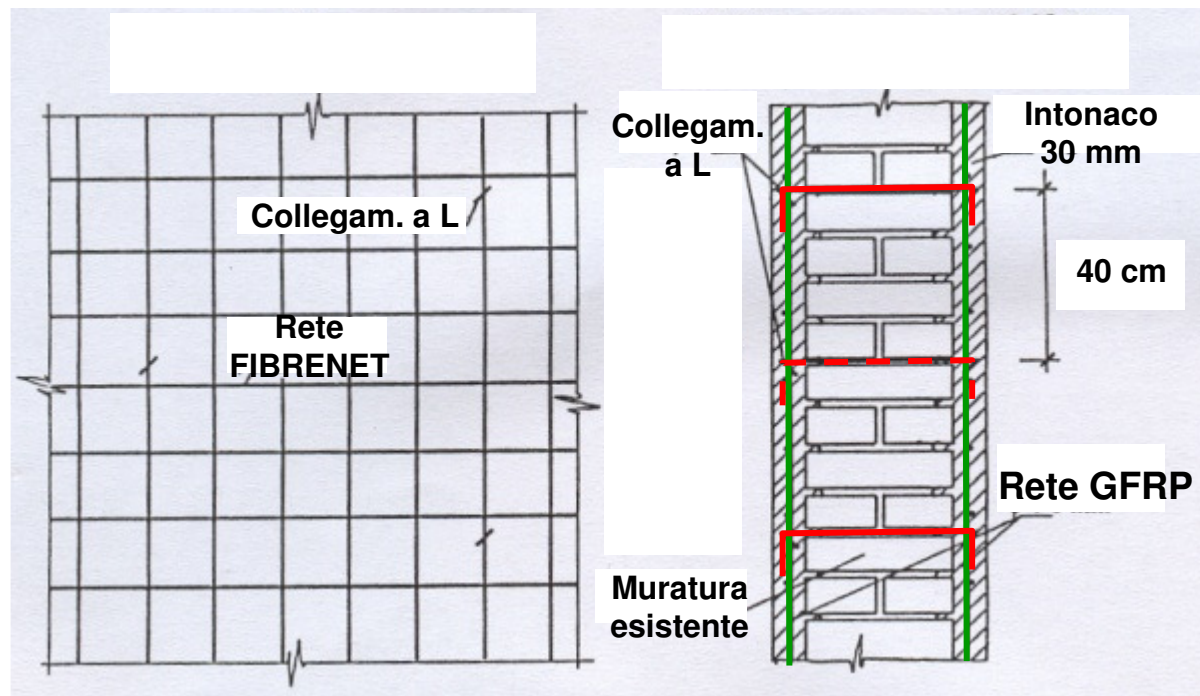
- *L'incremento di resistenza è inversamente proporzionale con la qualità delle murature originarie: importante nel caso di murature di qualità scadente, diventa via-via più modesto all'aumentare della qualità della muratura*

*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

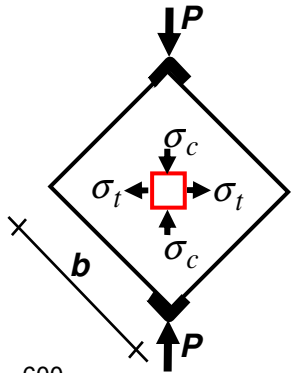
- *Consiste nell'utilizzo di reti in GFRP disposte sulla superficie delle pareti, collegate fra loro con connettori a L giuntati per sovrapposizione all'interno di fori passanti attraverso la muratura, e realizzazione di intonaco di malta bastarda dello spessore di circa 3 cm*



# RISULTATI

| Campione  | $P_{max}$<br>[kN] | $P_{05}$<br>[kN] | $f_t$<br>[MPa] | $\epsilon_{spl}$<br>[‰] | $\sigma_{I,5}$<br>[MPa] | $f_t (R) / f_t (U)$ | $\sigma_{I,5 (R)} / f_t$ |
|---|-------------------|------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|
| <i>Muratura a due teste di mattoni pieni (spessore 250mm)</i> |                   |                  |                |                         |                         |                     |                          |
| 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                     |
| <i>Muratura in pietra grossolanamente squadrata</i>           |                   |                  |                |                         |                         |                     |                          |
| 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                     |

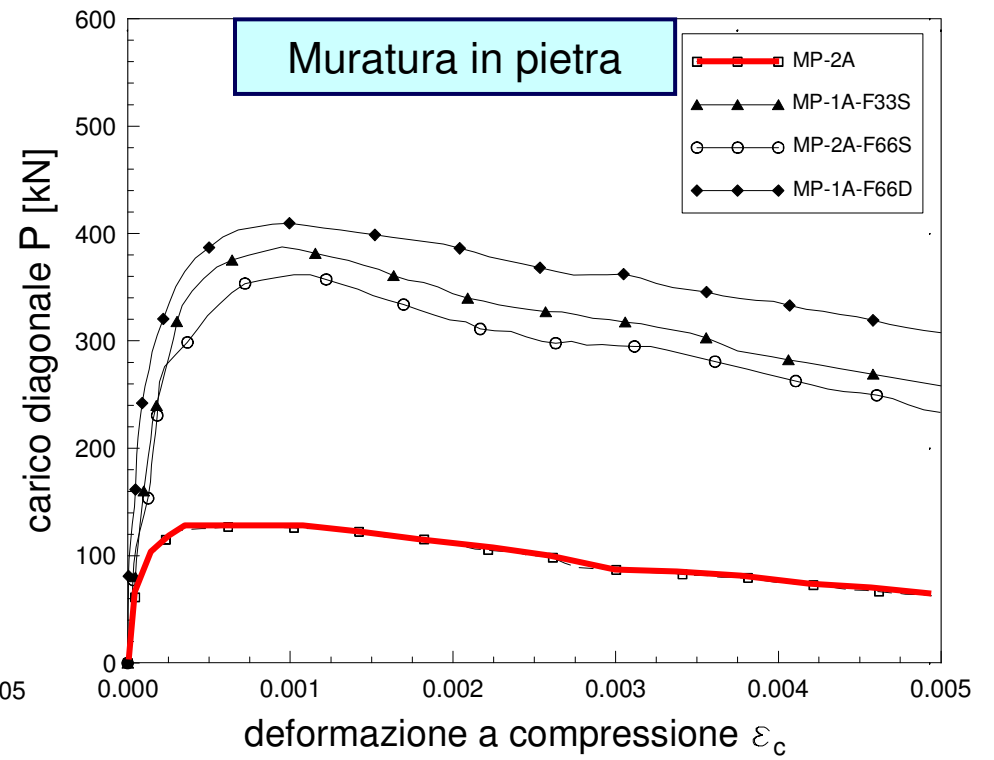
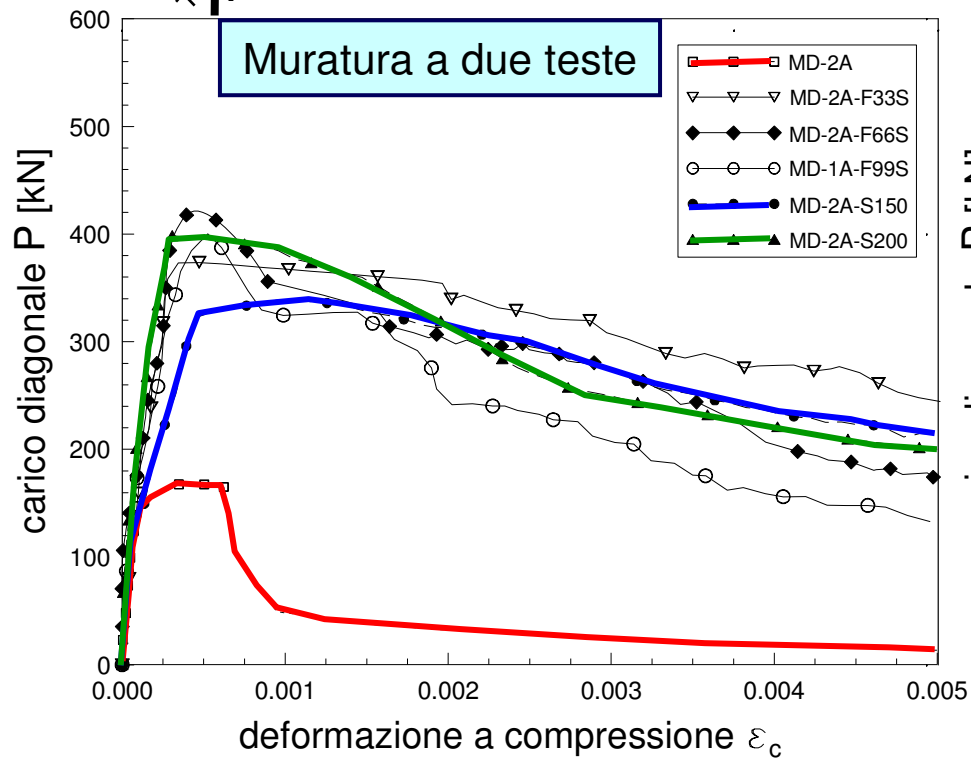
# RISULTATI



$$\sigma_t = \alpha \cdot \frac{P}{b \cdot t}$$

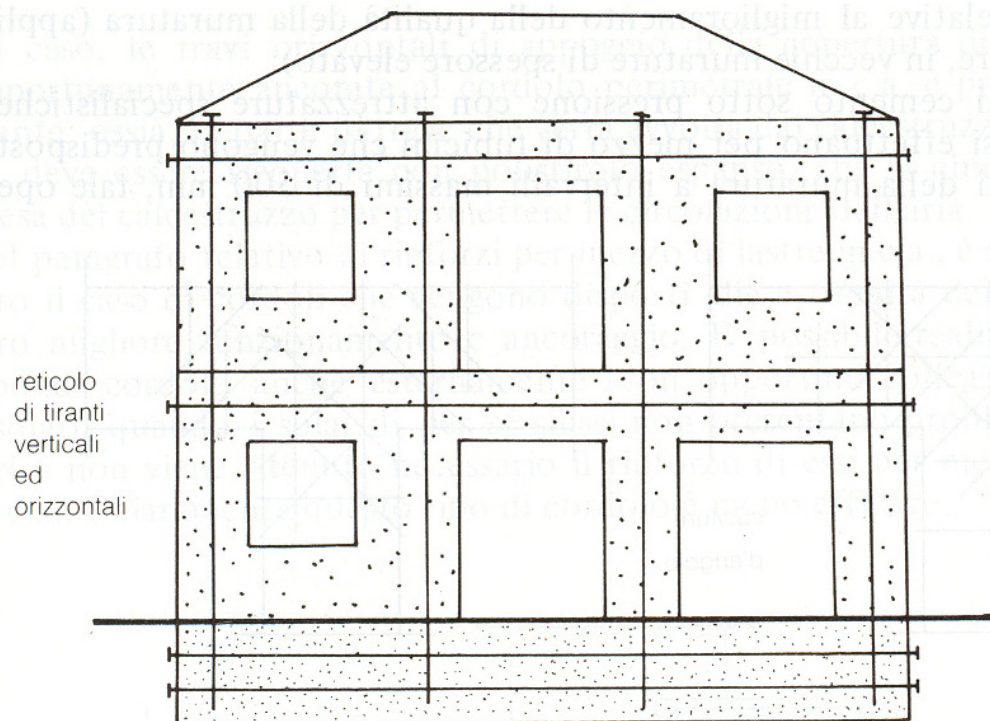
$\alpha = 0.50$      *Mattoni*

$\alpha = 0.35$      *Pietra*



# 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 calcestruzzo armato per la ripartizione del carico*



- *Tiranti verticali negli angoli dell'edificio ed in corrispondenza dei maschi*
- *Tiranti orizzontali in corrispondenza dei solai di piano per irrobustire le fasce di piano*
- *Tiranti orizzontali in fondazione per realizzare travi alte*
- *Le sedi dei tiranti generalmente vengono iniettate di malta cementizia per proteggere le armature dalla corrosione*



# VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

## Tirantature orizzontali e verticali

- *La relazione di Turnsek e Cacovic per la resistenza a taglio delle murature*

$$V_{Rd} = \frac{f_{vko}}{\gamma_m} b t \sqrt{1 + \frac{\sigma_o}{\xi f_{vko}}}$$

- *Per tener conto delle tirantature, Tomazevic (2001) propone un fattore che amplifica la resistenza a taglio di una muratura senza tirantature*

$$V_{Rd}^{pr} = m V_{Rd}$$

$$m_v = \sqrt{1 + \frac{\sigma_v}{\sigma_v + \sigma_o}}$$

*Per tirantatura perpendicolare all'azione tagliante*

$$m_h = 1 + \sqrt{\frac{\sigma_h}{\xi f_{vko}}}$$

*Per tirantatura parallela all'azione tagliante*

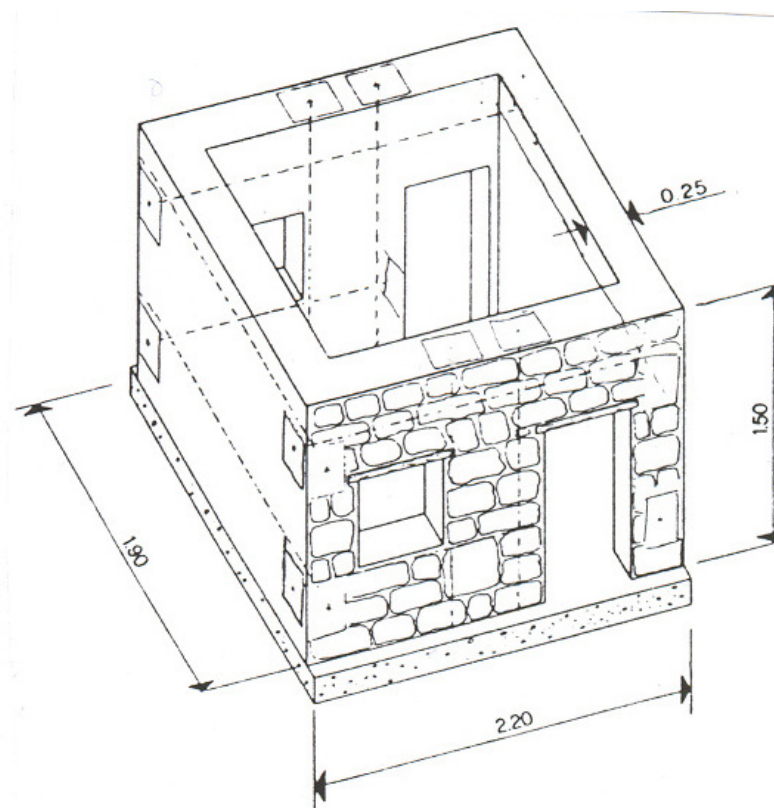
$\sigma_v$  *tensione di precompressione perpendicolare all'azione tagliante*

$\sigma_h$  *tensione di precompressione parallela all'azione tagliante*

# RISULTATI PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

*Prove eseguite dal Prof. Duilio Benedetti – Politecnico di Milano*

| <i>Tipo di struttura</i>   | <i>Resistenza ultim</i> |
|--|-------------------------|
| 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                    |



# RINFORZO CON NASTRI IN FRP

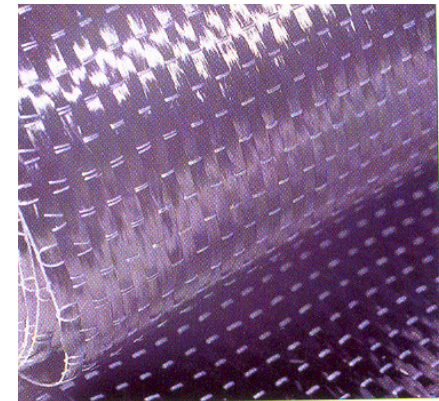
## Nastri in FRP

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*)

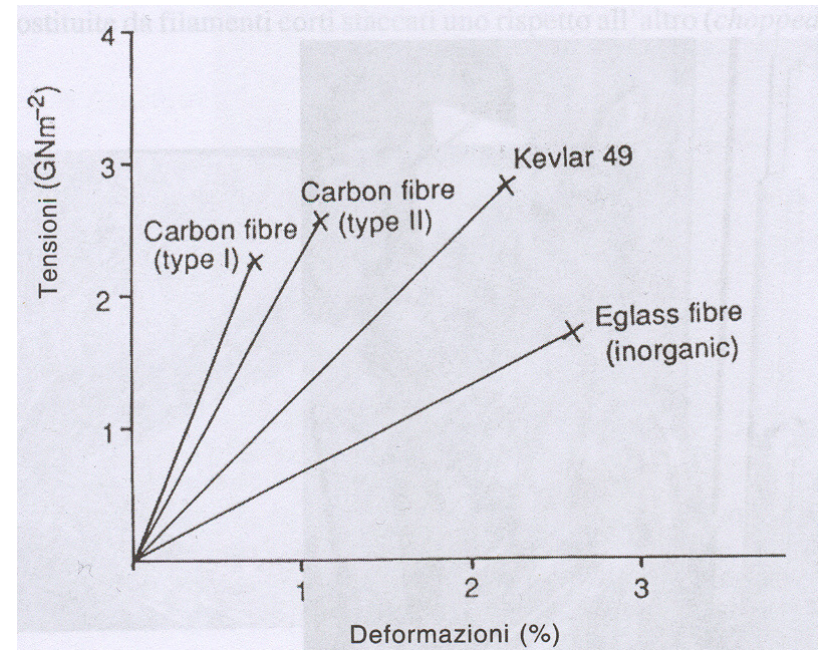


# MATERIALI COMPOSITI

## Compositi

Si usano differenti tipi di fibre:

- Carbonio
- Aramide (*kevlar 49*)
- Vetro



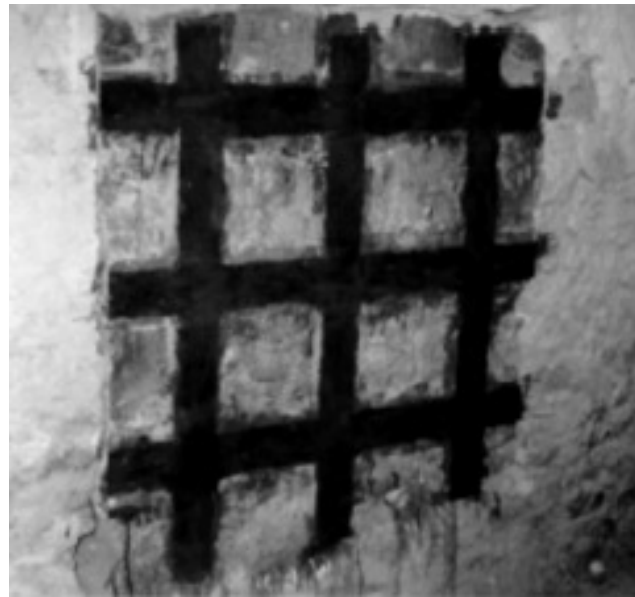
| Material  | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Tensile Strength (MPa) | Young Modulus (GPa) | Ultimate deformation (%) |
|-----------|------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| Carbon    | 2.00                         | 2400-5700              | 290-400             | 1.5-2.0                  |
| Kevlar 49 | 1.44                         | 2400-4500              | 62-142              | 1.5-4.5                  |
| Glass     | 2.55                         | 2000-4500              | 72-87               | 4.5-5.0                  |

# RINFORZO CON NASTRI IN FRP

- *Esempi di applicazione*



*Fibre di vetro*



*Fibre di carbonio*

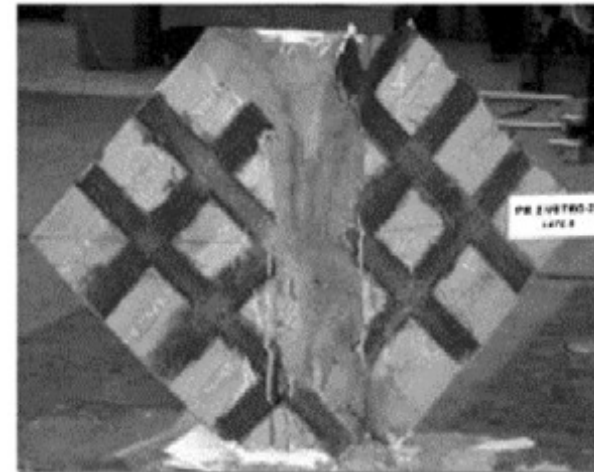


*Fibre di aramide*

## 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

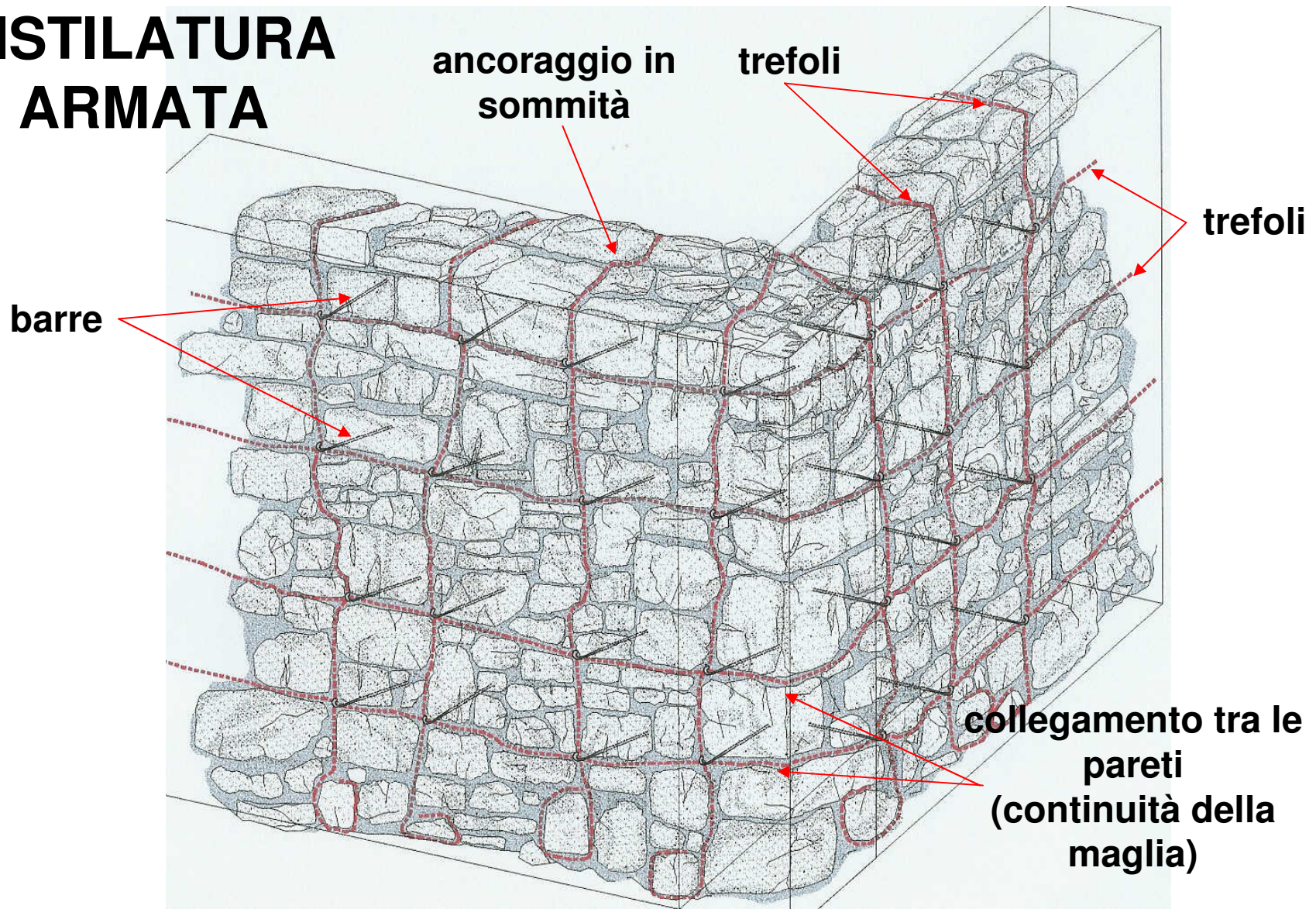
Maria Rosa Valluzzi, Davide Tinazzi, Claudio Modena



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

**carico di rottura inferiore a quello del pannello non rinforzato !**

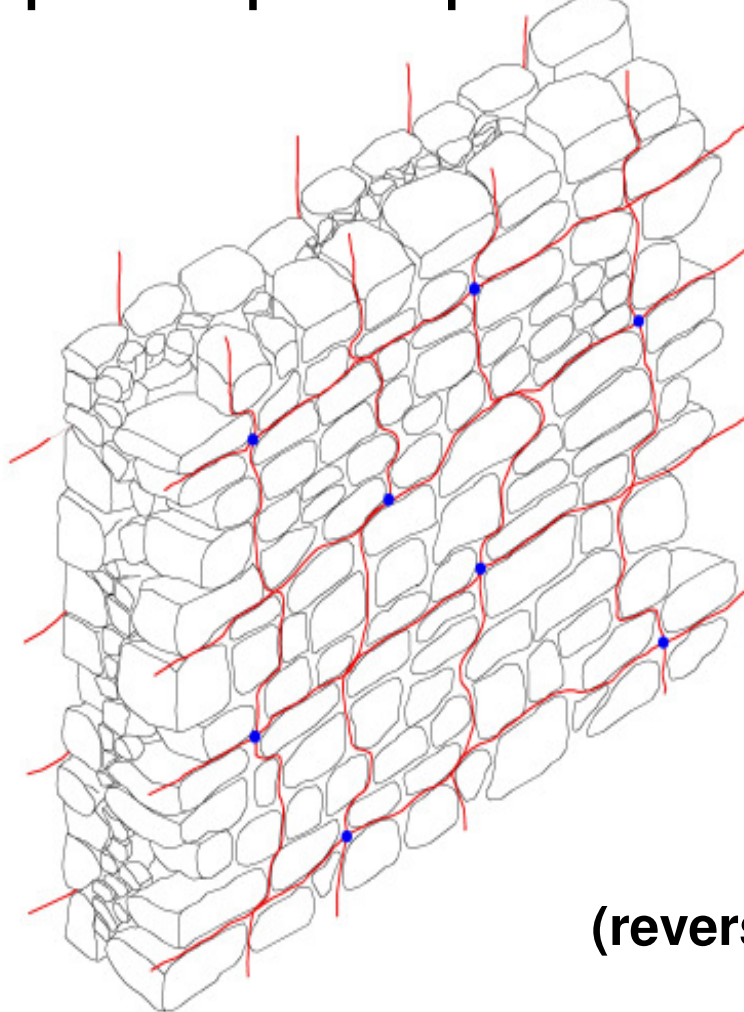
# RISTILATURA ARMATA



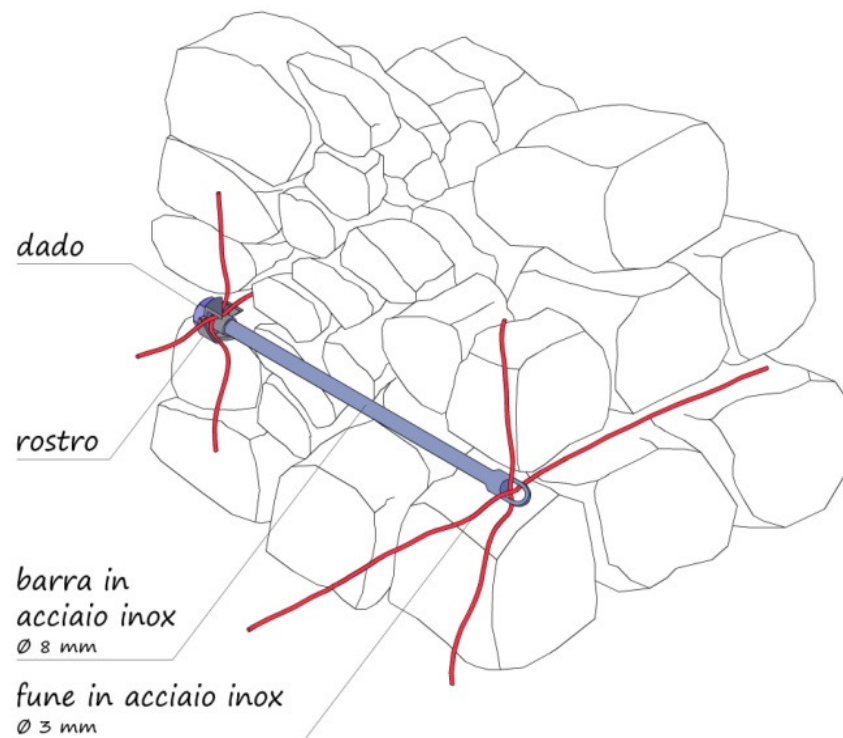


# RETICOLA TWIN

per pietre di piccola pezzatura

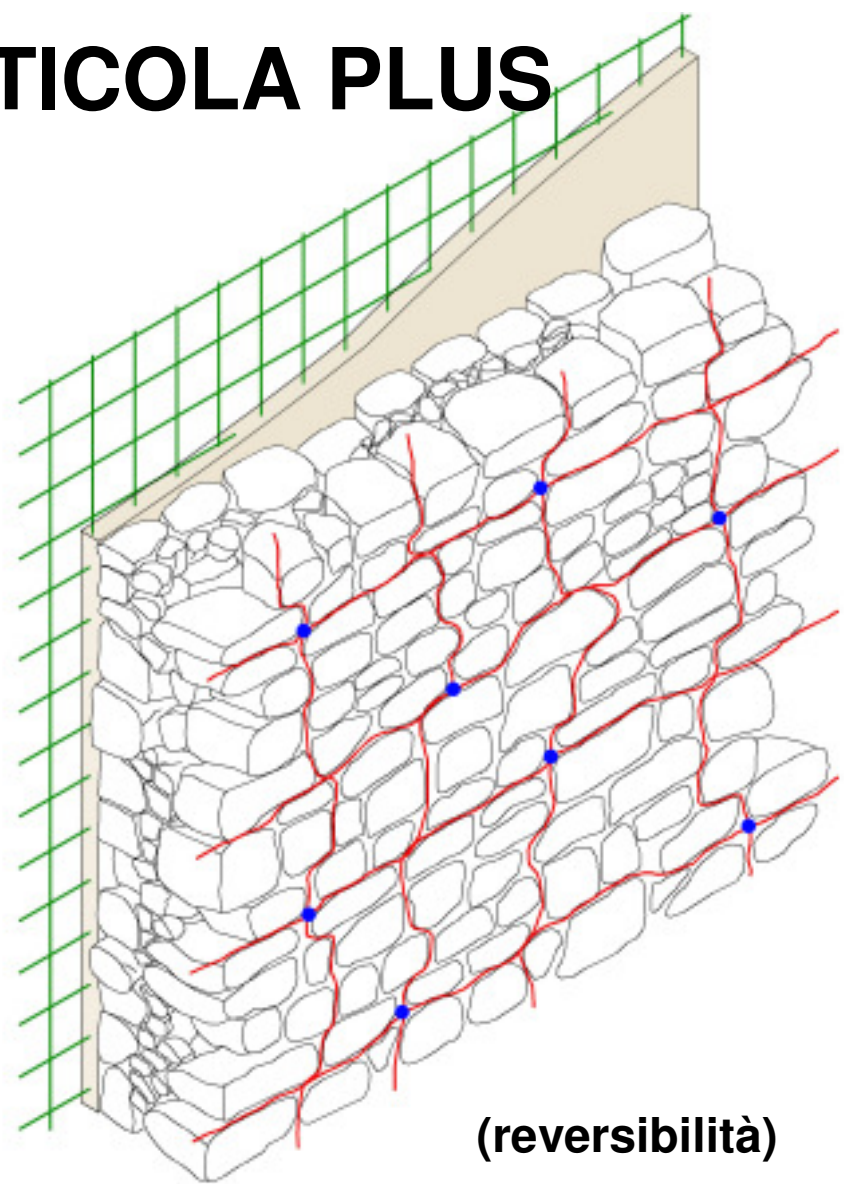


(reversibilità)



**MURATURA  
FACCIA A  
VISTA SU  
ENTRAMBI I  
PARAMENTI**

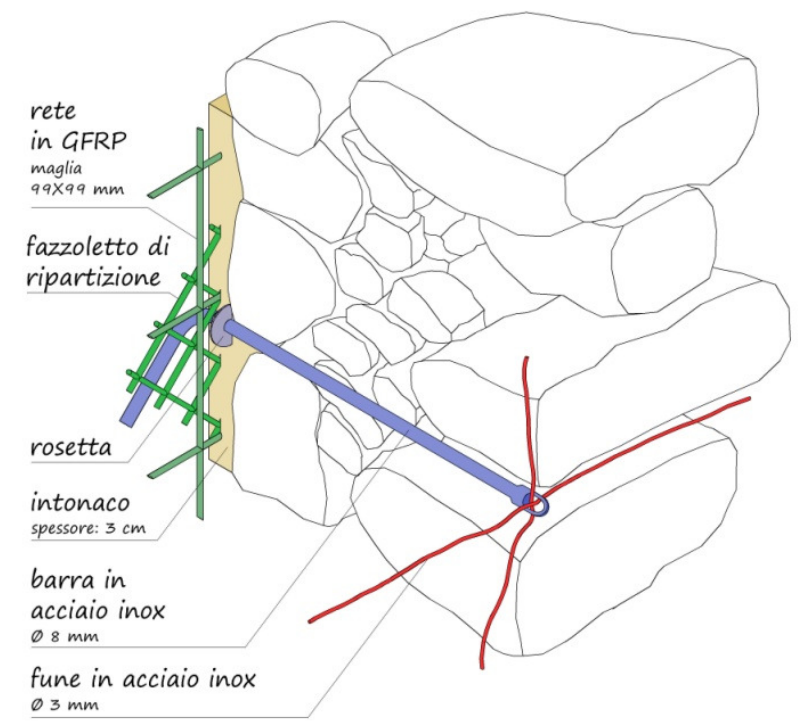
# RETICOLA PLUS



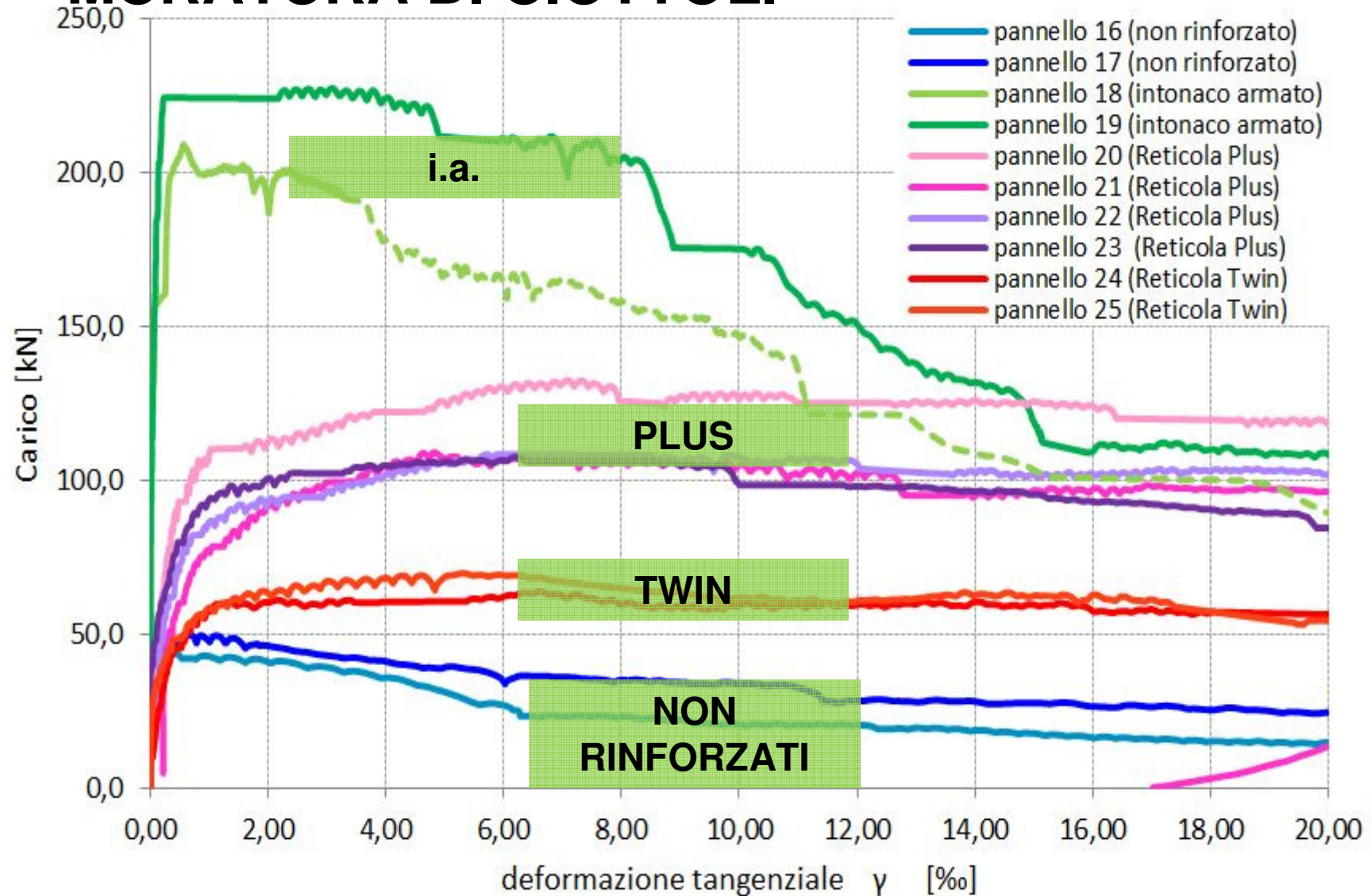
(reversibilità)

## MURATURA FACCIA A VISTA SUL PARAMENTO ESTERNO

## PARAMENTO INTERNO INTONACATO



# MURATURA DI CIOTTOLI



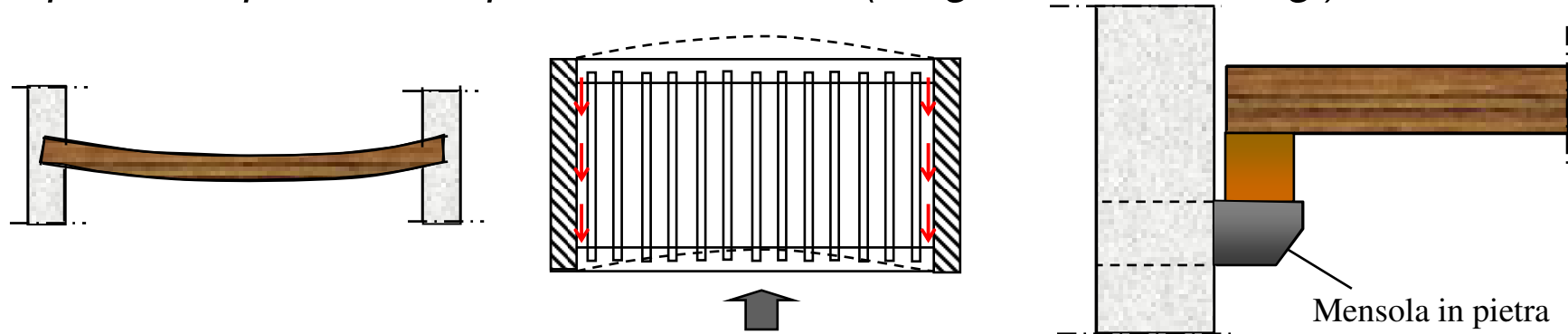
**SOLAI**

# PROBLEMI 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

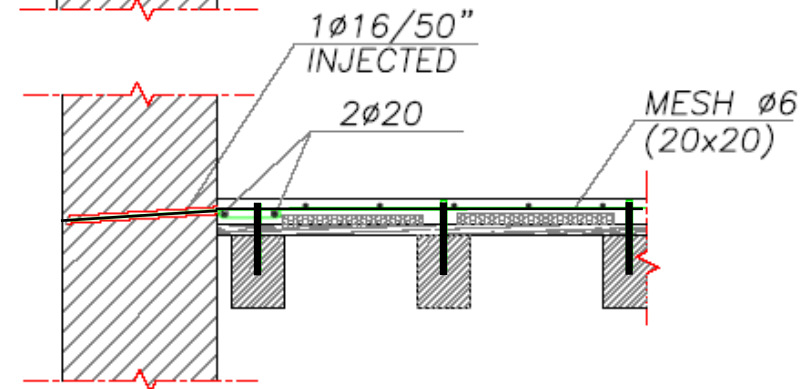
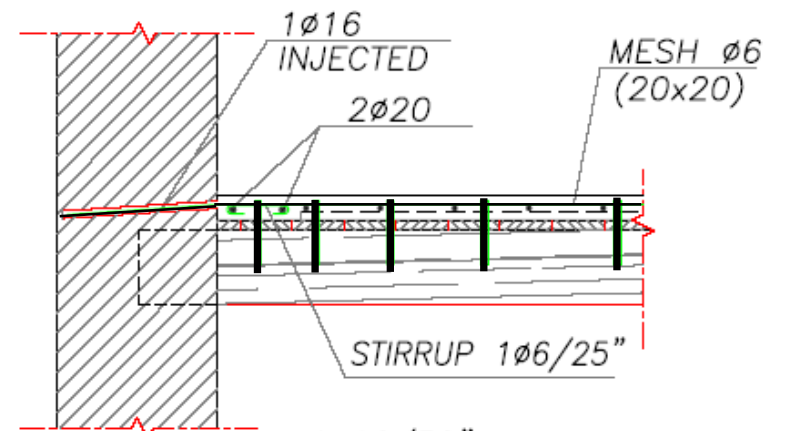
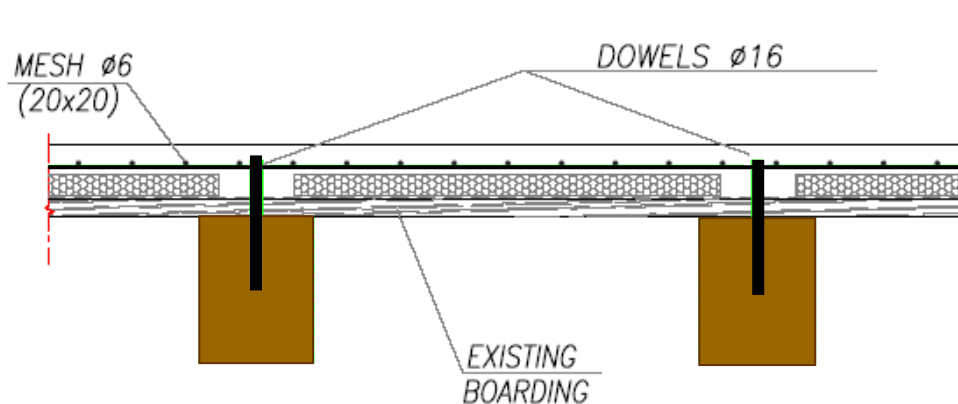
- *sono progettati per sovraccarichi modesti*
- *hanno deformabilità flessionale eccessiva*
- *hanno scarsa rigidezza nel proprio piano*
- *il collegamento con le pareti è in genere scarso*
- *possono presentare parti ammalorate (funghi, insetti xilofagi)*



# AUMENTO CAPACITA' PORTANTE

Per aumentare la capacità portante e la rigidezza flessionale di può procedere mediante:

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



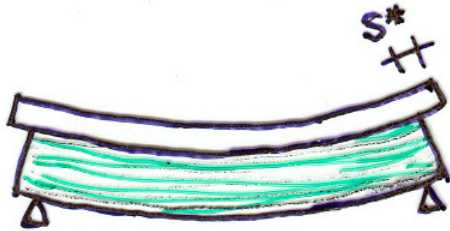
*Piazza-Turrini 1983, Ronca-Gelfi-Giuriani 1991, Spinelli 1992, Gattesco 2001, Giuriani 2002, etc.*

# SOLAIO RINFORZATO CON SOLETTA IN CLS



## CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA

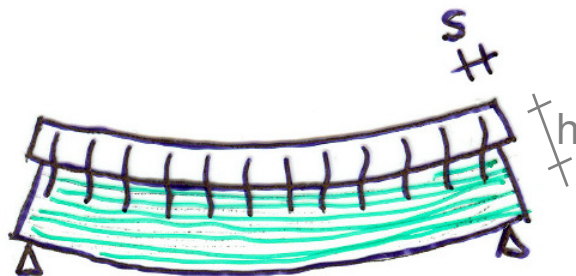
Se si realizza la soletta senza collegarla alla trave in legno il solaio risulta penalizzato dal punto di vista statico in quanto sono aumentati i carichi (p.p.soletta).



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

$$I = I_w + nI_c \cong I_w \quad n = \frac{E_c}{E_w}$$

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.



$$s \ll s^* \quad n = \frac{E_c}{E_w}$$

$$I = I_w + nI_c + \gamma \cdot \frac{n \cdot A_c \cdot A_w}{A_w + n \cdot A_c} \cdot h^2 \gg I_w$$



# **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.**

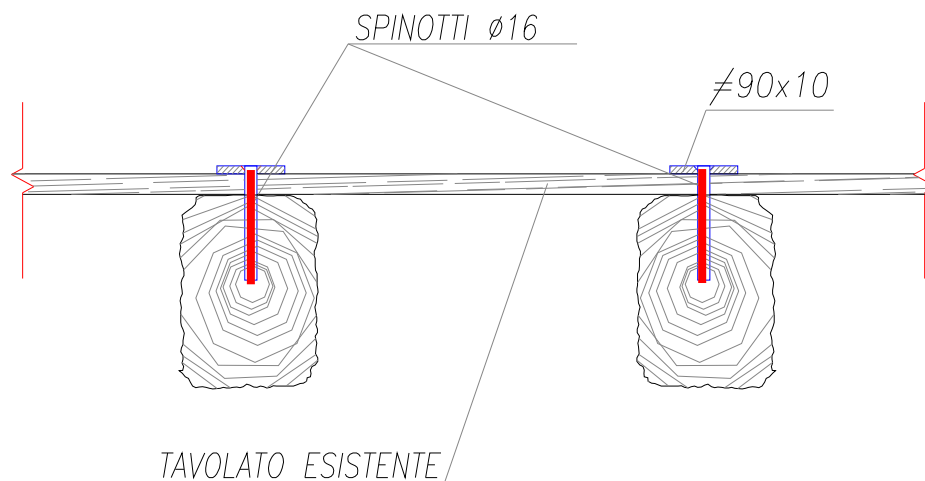
**Nel caso di interventi su edifici tutelati dalle Soprintendenze non viene accettata perchè considerata “invasiva” e poco “reversibile”.**

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

# AUMENTO CAPACITA' PORTANTE

Per aumentare la capacità portante e la rigidità flessionale di può procedere mediante:

- **Solidarizzazione di piatti metallici sopra le travi di legno**



**Gattesco, Macorini 2006**

## TECNICA DI RINFORZO

DISPORRE UN PIATTO 90x10 IN ACCIAIO, PROVISTO DI FORI  $\phi$  16mm SVASATI VERSO L'ALTO, SOPRA IL TAVOLATO ESISTENTE IN CORRISPONDENZA DI OGNI TRAVE; ESEGUIRE UN FORO  $\phi$  15,75 NEL LEGNO IN CORRISPONDENZA DEI FORI DEL PIATTO DI ACCIAIO; INSERIRE A PRESSIONE UNO SPINOTTO IN ACCIAIO TONDO LISCIO  $\phi$  16 (Fe510) DI LUNGHEZZA 140 mm; SALDARE LO SPINOTTO AL PIATTO IN ACCIAIO RIEMPIENDO IL VUOTO DELLA SVASATURA.

AL POSTO DEGLI PINOTTI SI POSSONO USARE ANCHE VITI MORDENTI DA LEGNO CON TESTA SVASATA

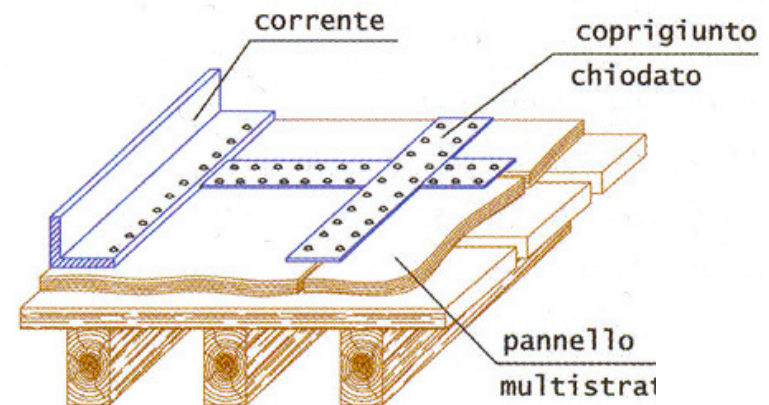
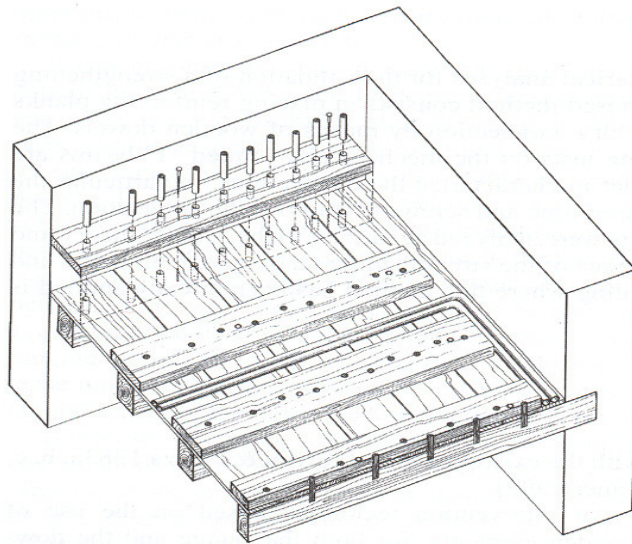
# SOLAIO RINFORZATO CON PIATTI DI ACCIAIO



# AUMENTO CAPACITA' PORTANTE

Altre tecniche di intervento "a secco".

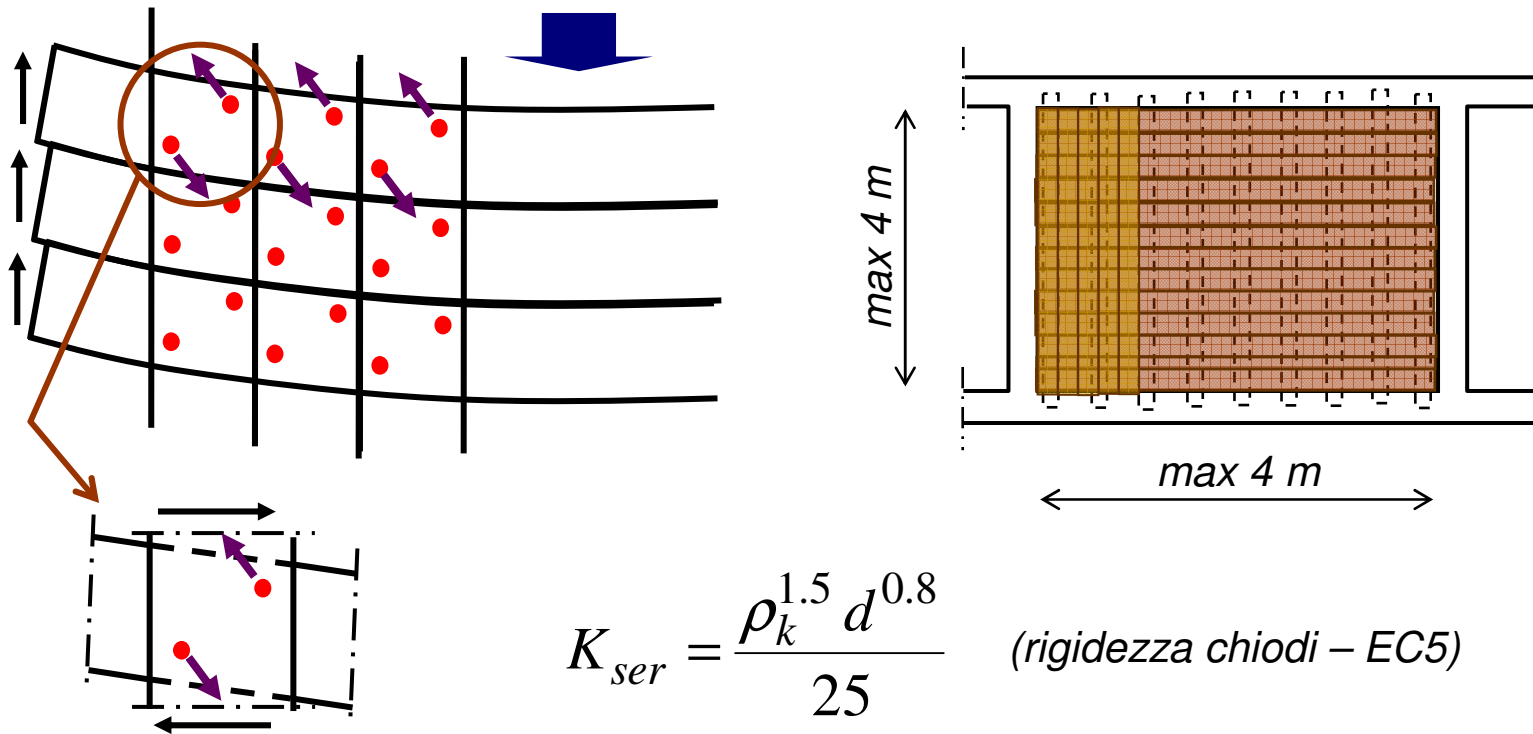
- Pannelli di legno (*Piazza, Giuriani*)
- Tavole di legno (*Piazza, Modena*)



**Tecniche che prevedono la solidarizzazione con pioli di acciaio.**

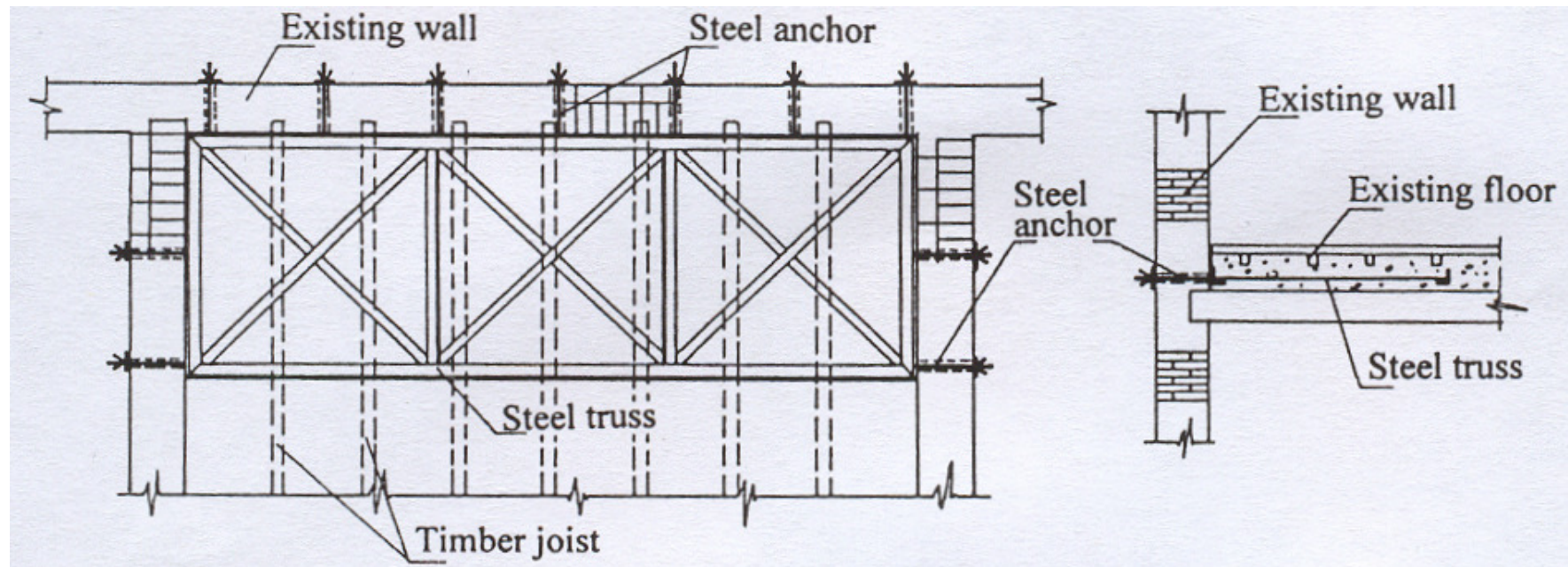
# IRRIDIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

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.

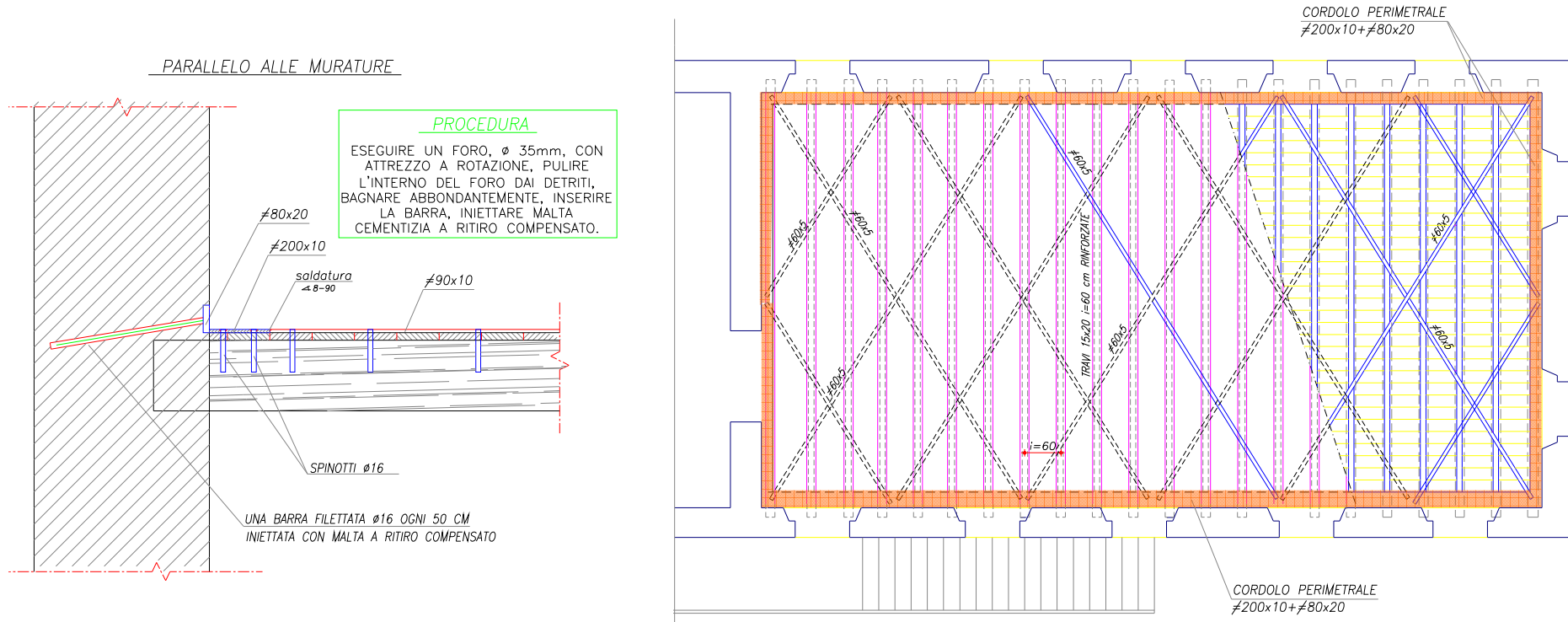


# IRRIGIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

- 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 ( $\sim 5\text{ cm}$ )
- 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



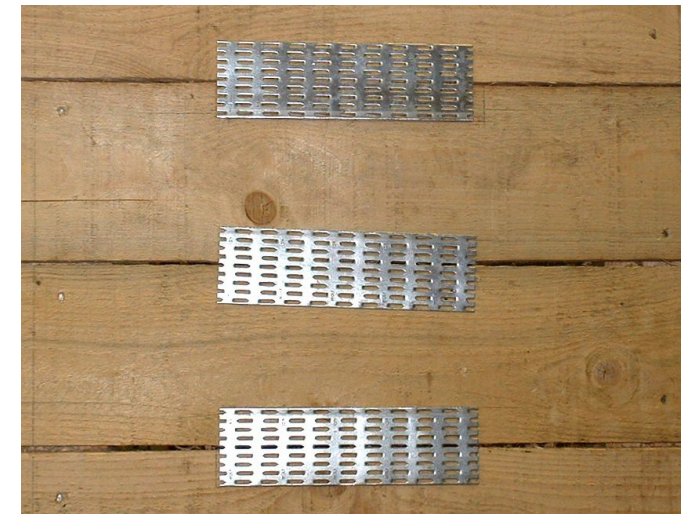
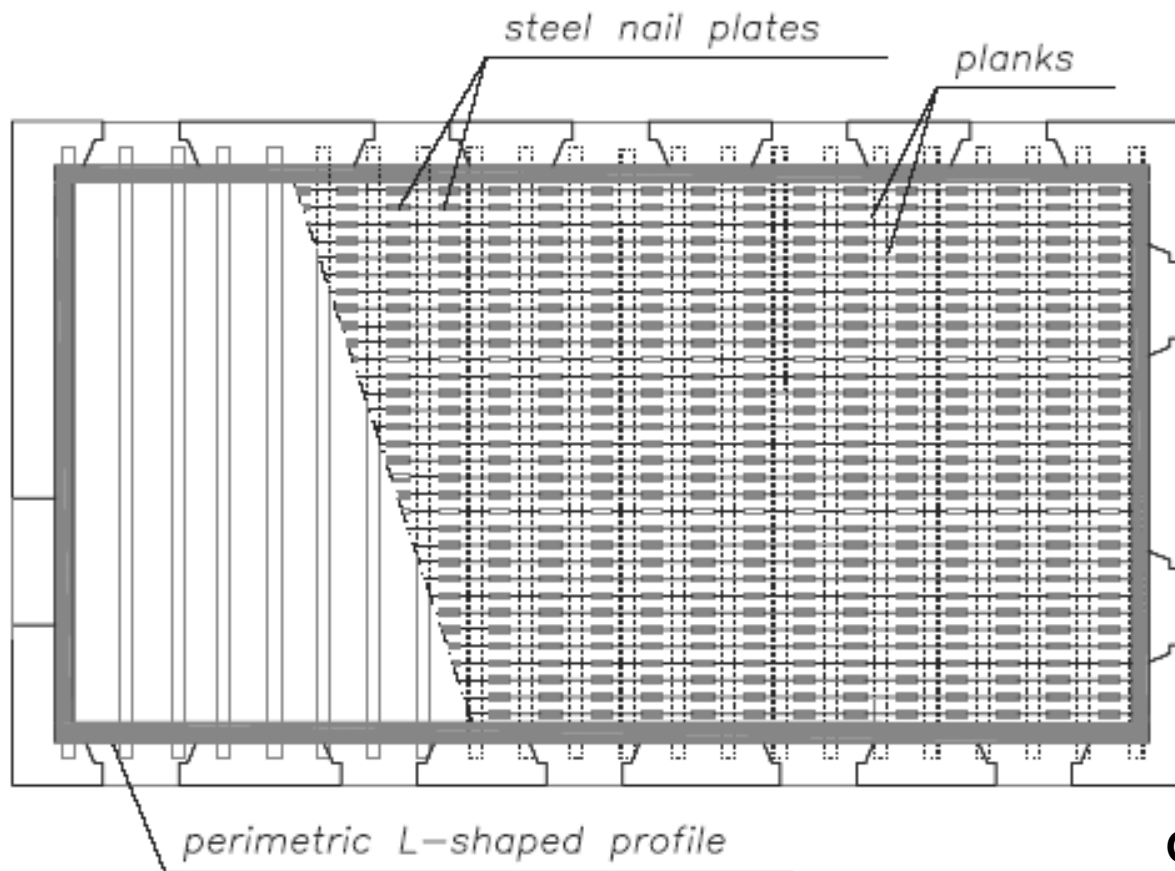
# IRRIGIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO



**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

Una nuova tecnica “a secco” leggera prevede l’impiego di piastre chiodate che solidarizzano longitudinalmente le tavole dell’impalcato per contrastare lo scorrimento.



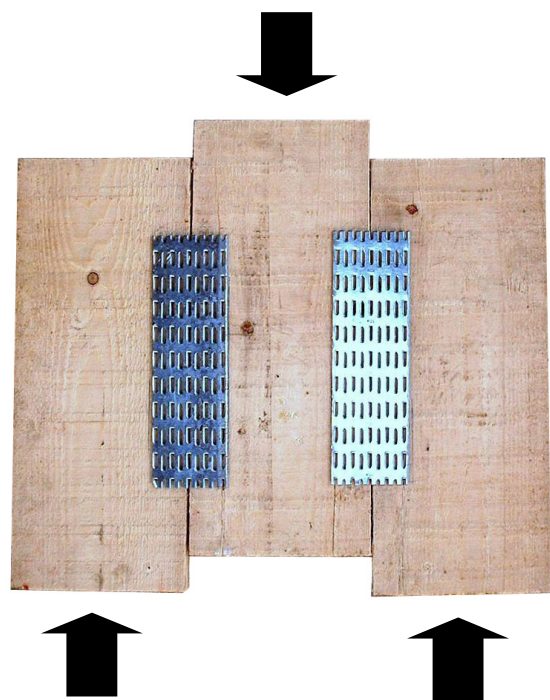
Gattesco, Macorini, Benussi 2008



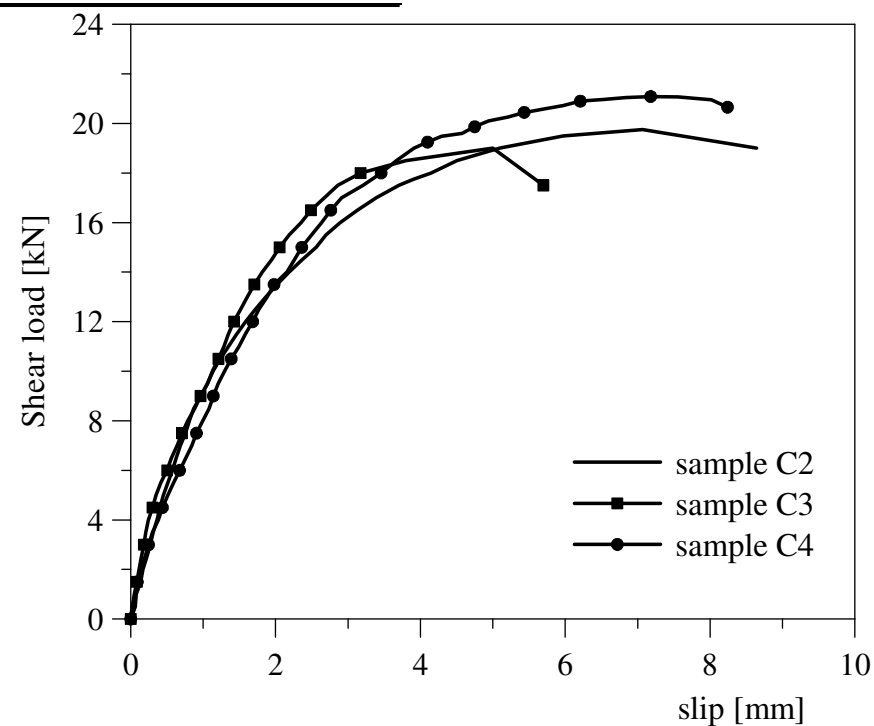
# PROVE SPERIMENTALI SU PIASTRE CHIODATE

Prove sperimentali di tipo “push-out” con due piastre chiodate e tre tavole per determinare la rigidezza  $k_{ps}$  e la capacità portante  $F_{pu}$  della singola piastra.

|                  | Sample C2 | Sample C3 | Sample C4 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| $k_{ps}$ (kN/mm) | 9.31      | 8.91      | 9.16      |
| $F_{pu}$ (kN)    | 19.8      | 19.0      | 21.0      |

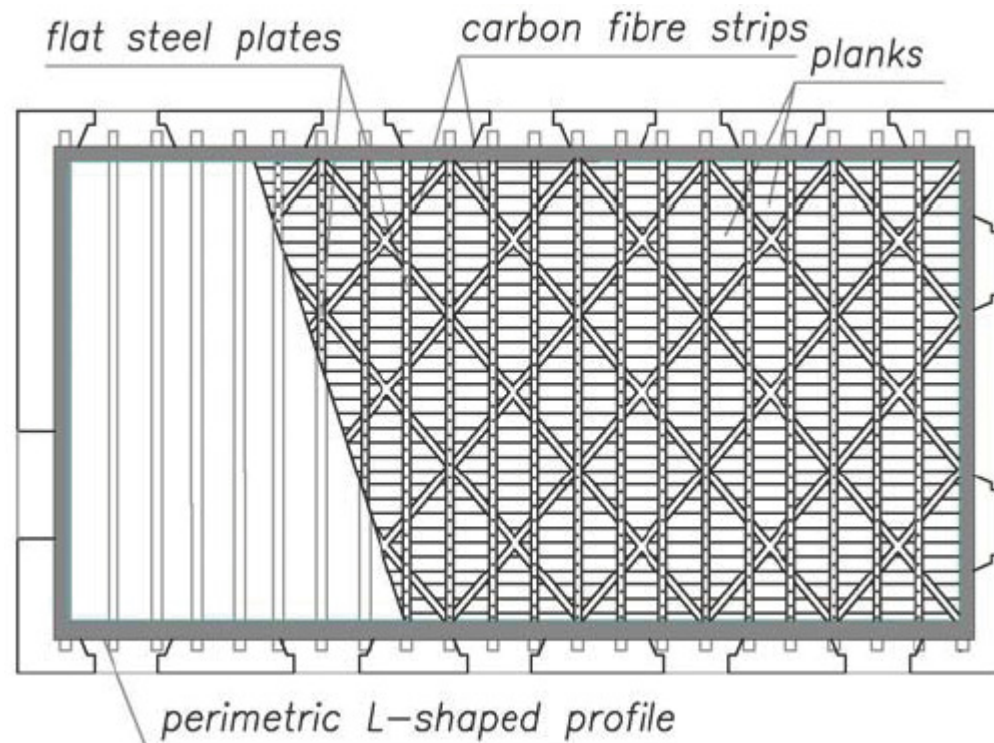


Piastre chiodate  
75x250x1.5 mm,  
con 80 chiodi da  
16 mm di  
lunghezza (Wolf)



# IRRIDIDIMENTO 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.



# IRRIDIDIMENTO SOLAI NEL PROPRIO PIANO

Prove sperimentali su campioni di solaio reale (4.0x4.0 m).



Campione F3

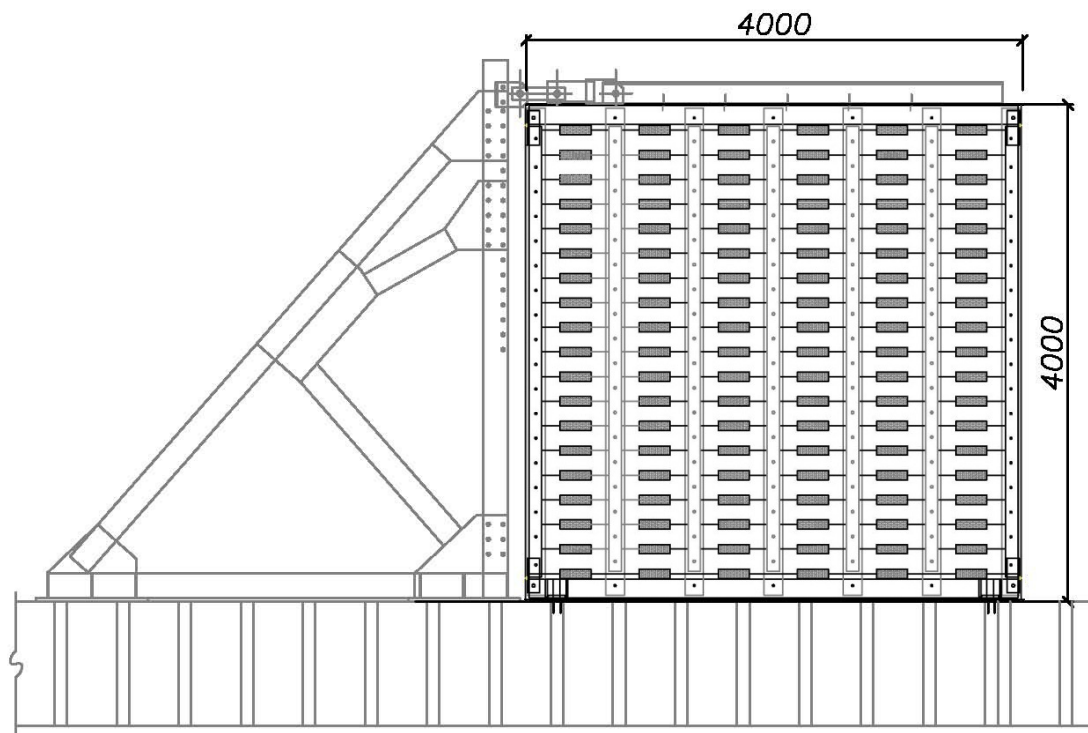


Campione F4

# INDAGINE SPERIMENTALE

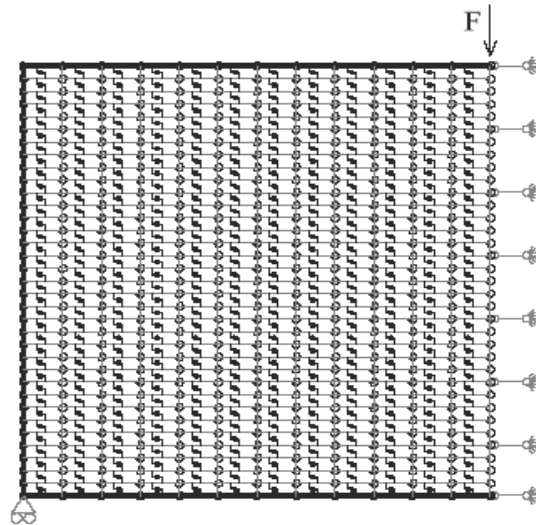
Prove sperimentali su campione di solaio in scala 1:1 (dimensioni 4.0x4.0 m).

Campione F1

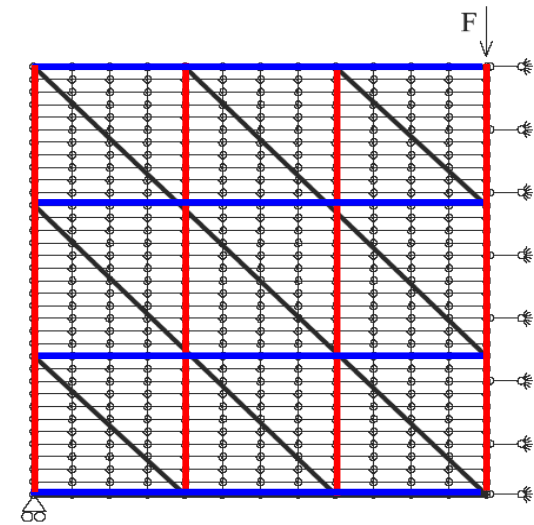


# SIMULAZIONI NUMERICHE

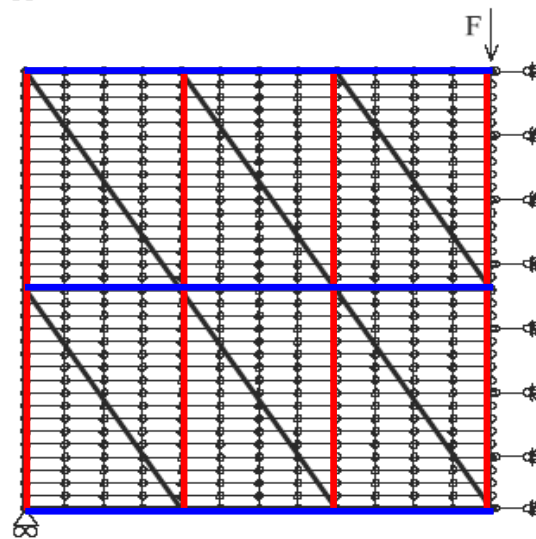
**Solaio con  
piastre  
chiodate**



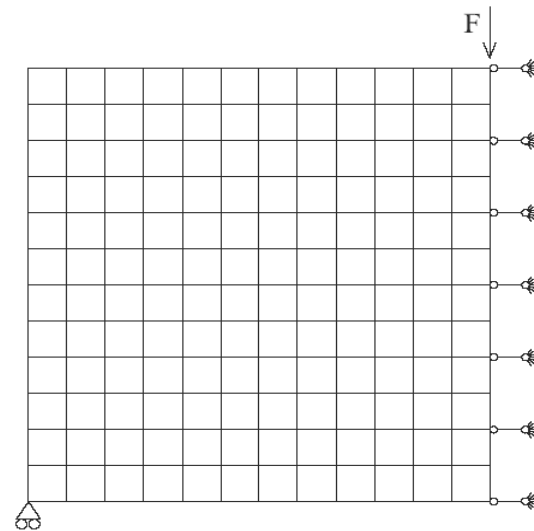
**Solaio con  
nastri in  
CFRP**



**Solaio con  
piatti in  
acciaio**



**Solaio con  
soletta in  
cls**

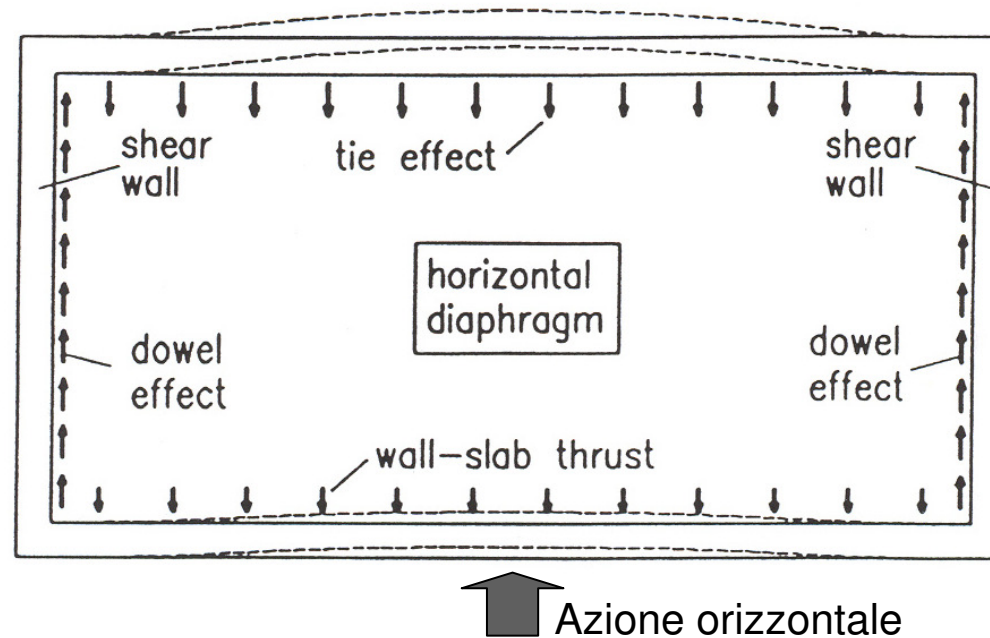


# RISULTATI SPERIMENTALI E DA SIMULAZIONI NUMERICHE

| Tipo di solaio                            | Spostamento<br>(mm) | Rigidezza<br>(N/mm) | Rapporto di<br>rigidezza |
|---|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Non rinforzato                            | 135.0               | 74.07               | 1.0                      |
| Con piastre chiodate                      | 3.41                | 2932                | 39.6                     |
| Con diagonali in CFRP                     | 2.57                | 3891                | 52.5                     |
| Con diagonali di acciaio                  | 1.52                | 6579                | 88.8                     |
| Con soletta di calcestruzzo               | 0.05                | 188679              | 2547                     |
| Rinforzato con doppio tavolato incrociato |                     |                     | (~4.0)                   |

# 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

**Sfilamento delle  
travi principali di un  
solaio in legno per  
carente  
collegamento**

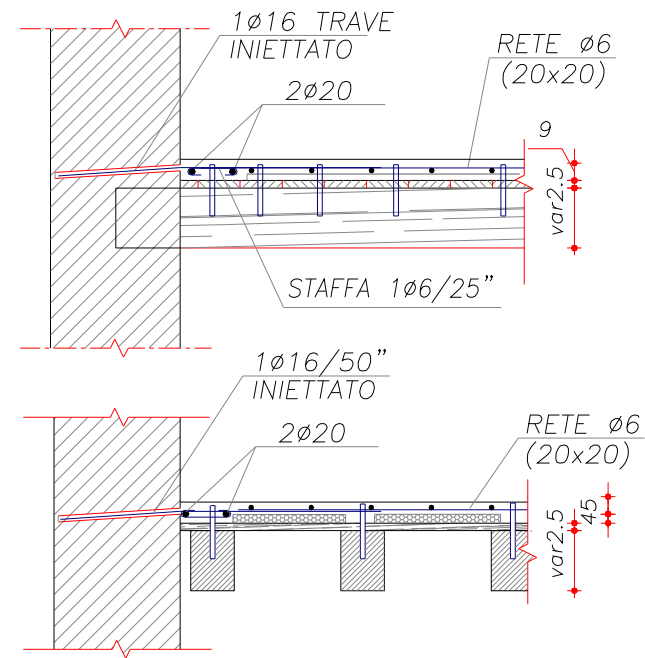
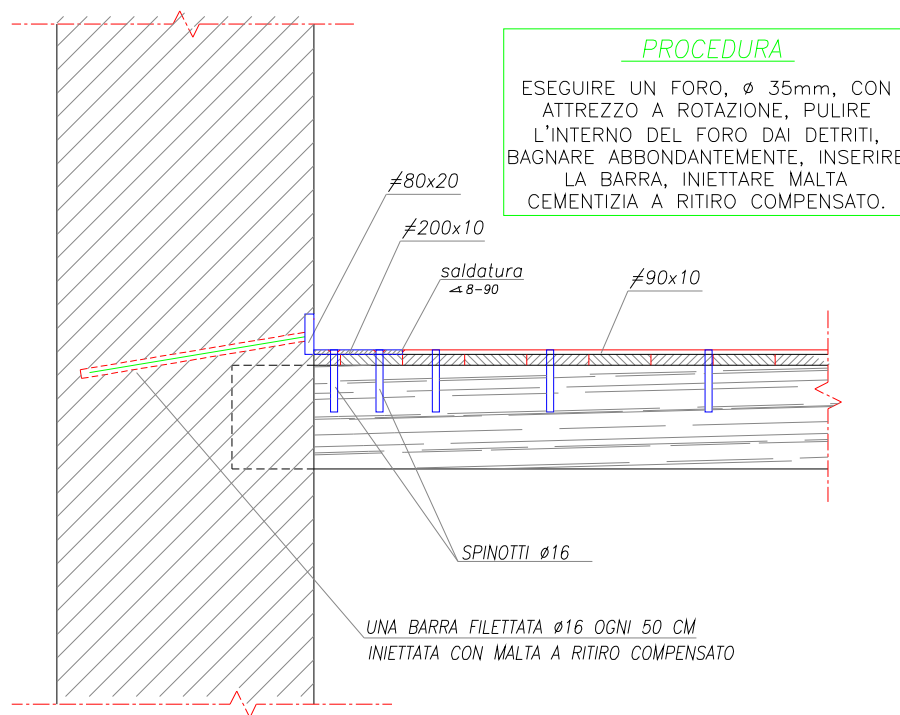




# COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETE

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

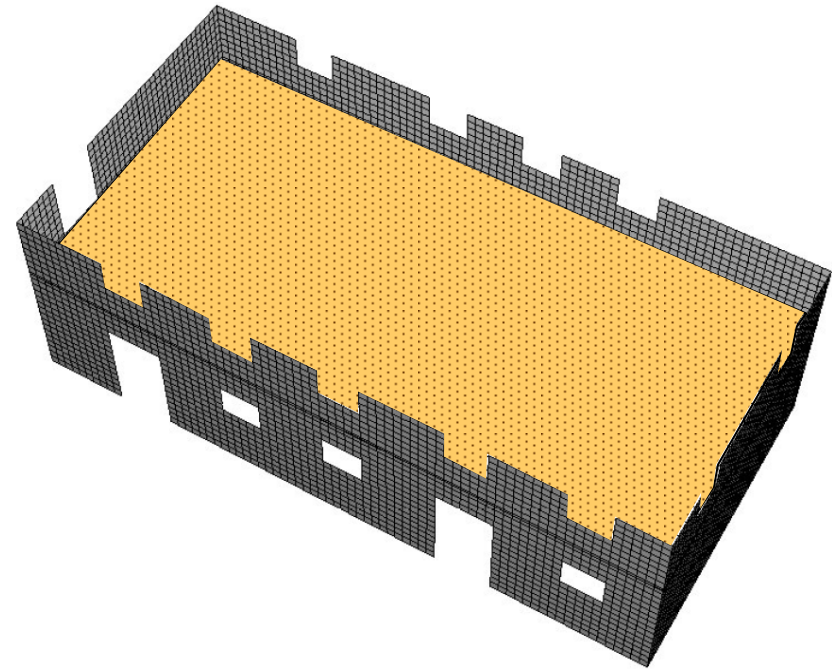
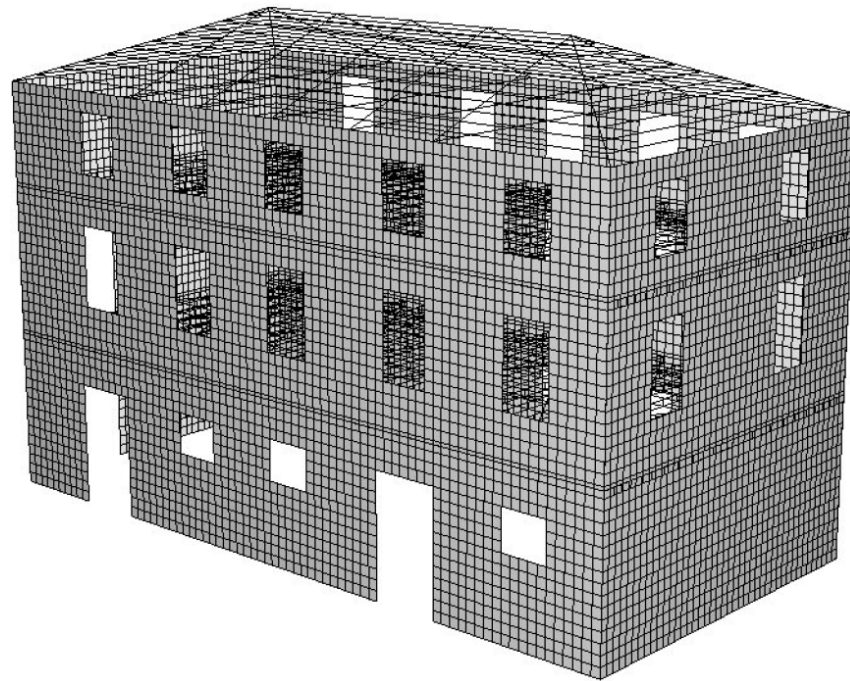


## PROCEDURA ANCORAGGI

- ESEGUIRE FORI  $\varnothing 35$  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

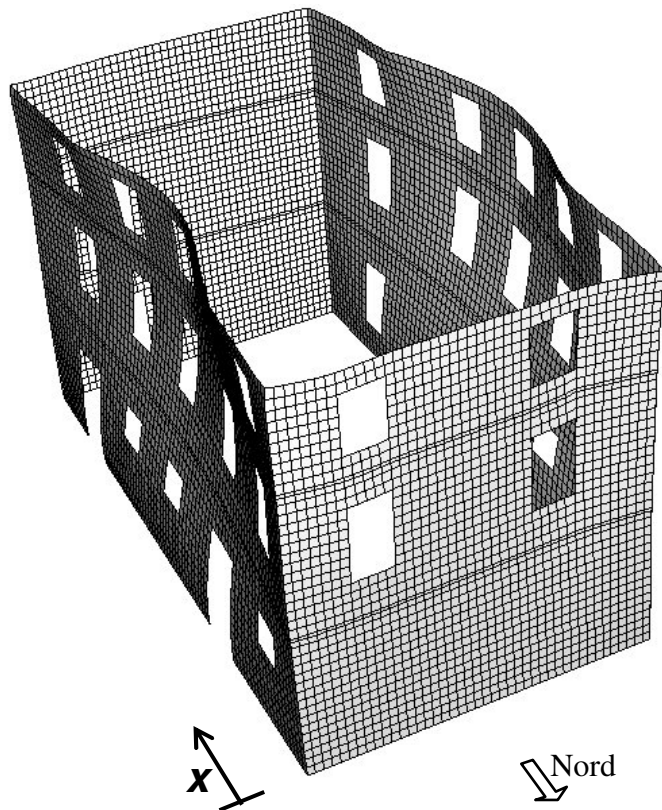
# COMPORTAMENTO GLOBALE

**E' stata eseguita una simulazione numerica del comportamento di un edificio storico in muratura con solai lignei originali e rinforzati con la tecnica del campione F3. Sono stati messi a confronto i risultati.**

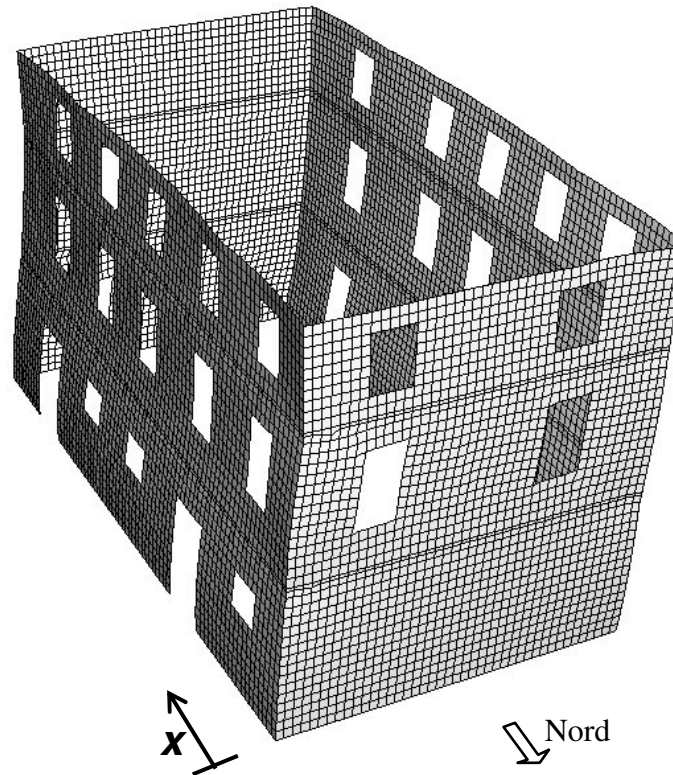


# COMPORTAMENTO GLOBALE - CONFRONTO

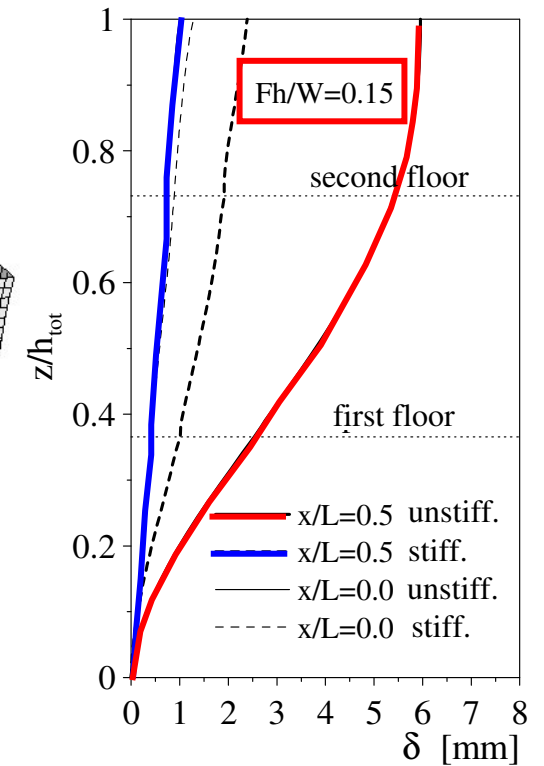
Spostamenti orizzontali ai vari piani del fabbricato.



**Solai originali**



**Solai rinforzati**



**GRAZIE**

**PER L'ATTENZIONE**