



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE



**Università degli Studi di Trieste  
Dipartimento di Ingegneria e Architettura**

**Corso di  
Progetto di Strutture – Modulo 2**

**COSTRUZIONI IN MURATURA  
TECNICHE DI INTERVENTO**

***Prof. Ing. Natalino Gattesco***

# BIBLIOGRAFIA

- **AA.VV., “Manuale delle murature storiche Vol. I e Vol. II”, Dei, 2011**
- **Croci G., “Conservazione e restauro strutturale dei beni architettonici”, UTET, Torino, 2001.**
- **Hendry A.W. (1986) “Statica delle strutture in muratura di mattoni”, Patron Editore, Bologna.**
- **Tomazevic M. (2001) “Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings”, Series on Innovation in Structures and Construction – Vol. 1, Imperial College Press, London.**
- **DM 17.01.2018 – Nuove norme tecniche per le costruzioni**
- **Circolare 21.01.2019, n. 7/C.S.LL.PP. – Circolare esplicativa NTC2018**
- **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**

# PER RIMUOVERE LE CRITICITA' EVIDENZIATE

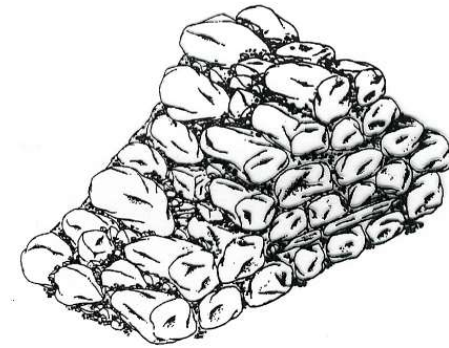
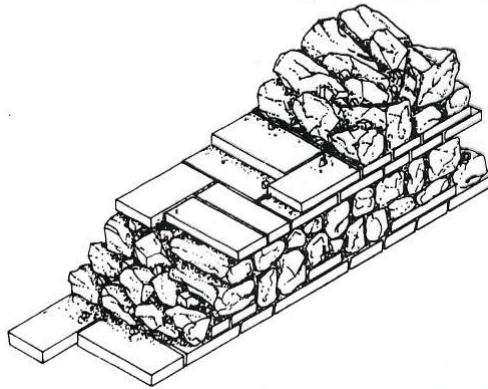
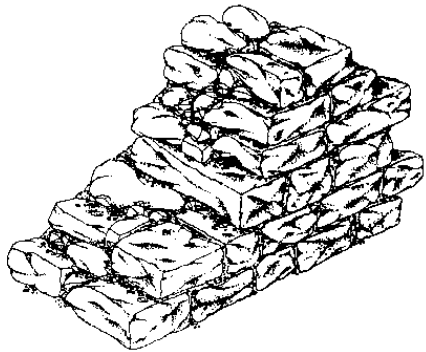
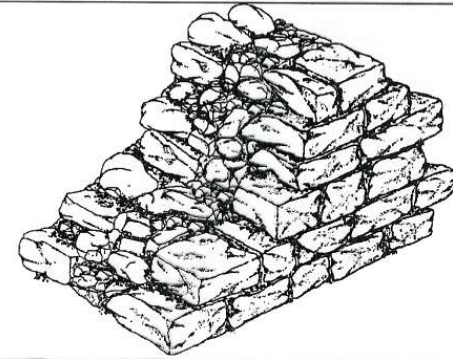
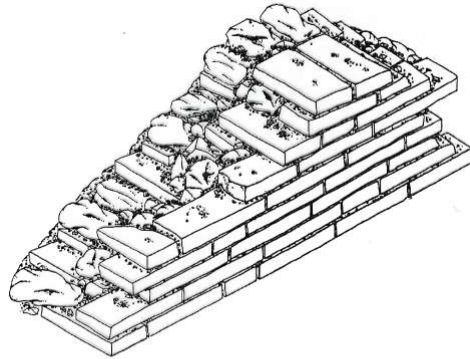
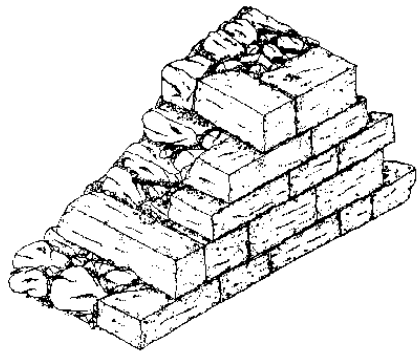
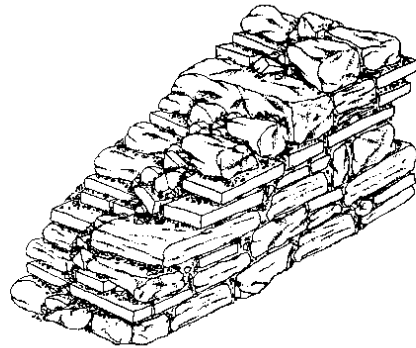
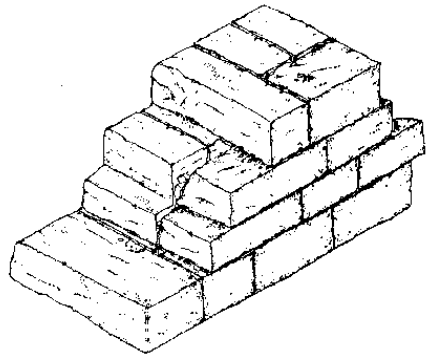
## Resistenza del materiale

- *Il materiale della muratura non deve disgregarsi*
- *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

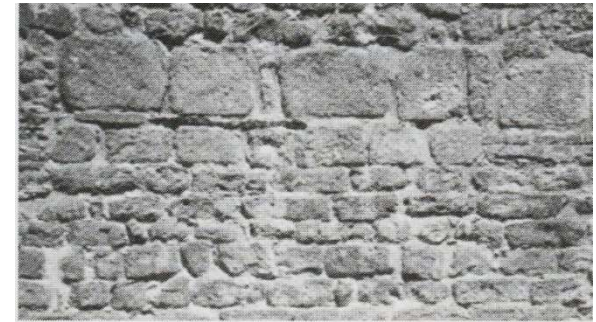
Gli edifici esistenti sono realizzati con diversi tipi di murature e principalmente



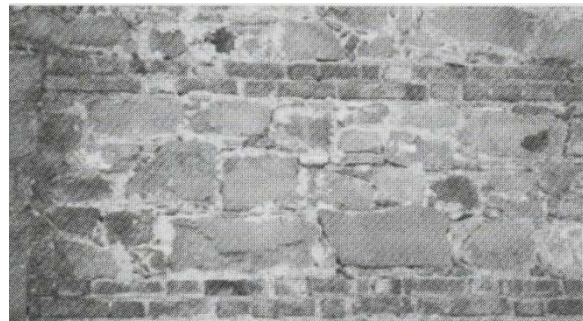
*Blocchi di pietra grossolanamente squadrata*



*Mattoni pieni e malta di calce*



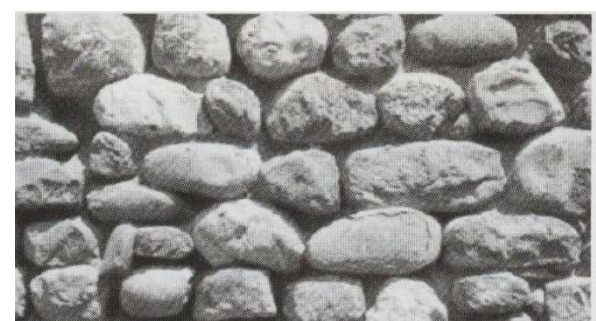
*Blocchi di pietra grezza di varia pezzatura*



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



*Blocchi tondeggianti in pietra di varie dimensioni*



*Ciottoli di torrente a strati affiancati*

# PARAMETRI MECCANICI MATERIALI

**Tabella C8.5.1** -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,  $\tau_0$  = 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	$f$	$\tau_0$	$f_{v0}$	$E$	$G$	$w$
	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <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 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 squadri	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  $f_{pu}$  può 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.

# 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*

Masonry unit	Mortar	Original		Grouted cracks	
	$f_m$ (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**

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

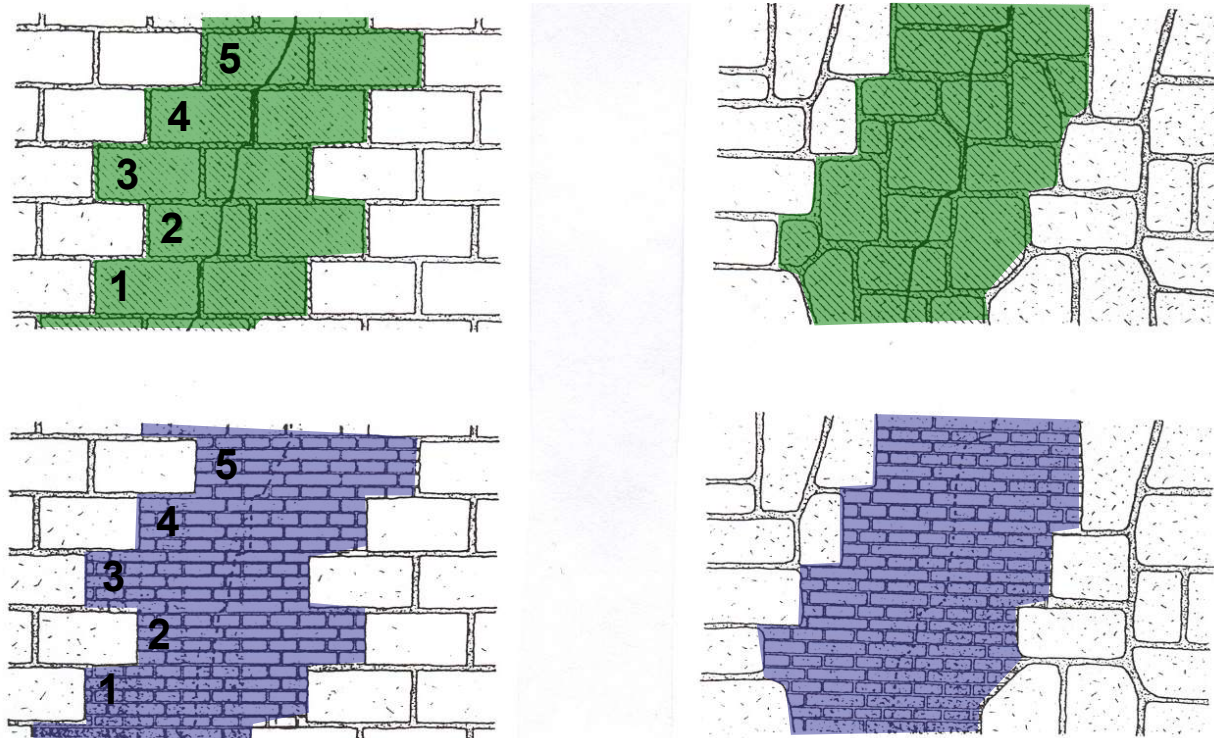
$$\xi = 1.0 \div 1.5$$

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

# TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

## Riparazione di fessure mediante scuci e cucì

- *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*



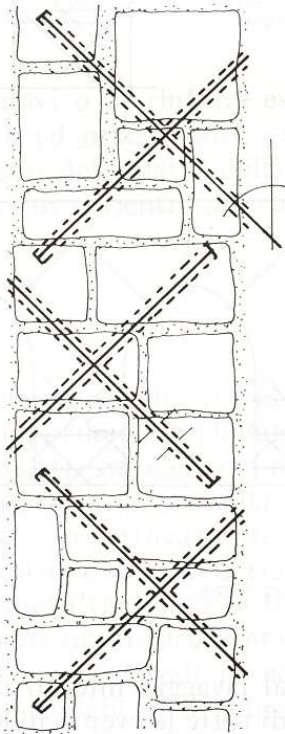


# TECNICHE DI RINFORZO GENERALE PER MURATURE

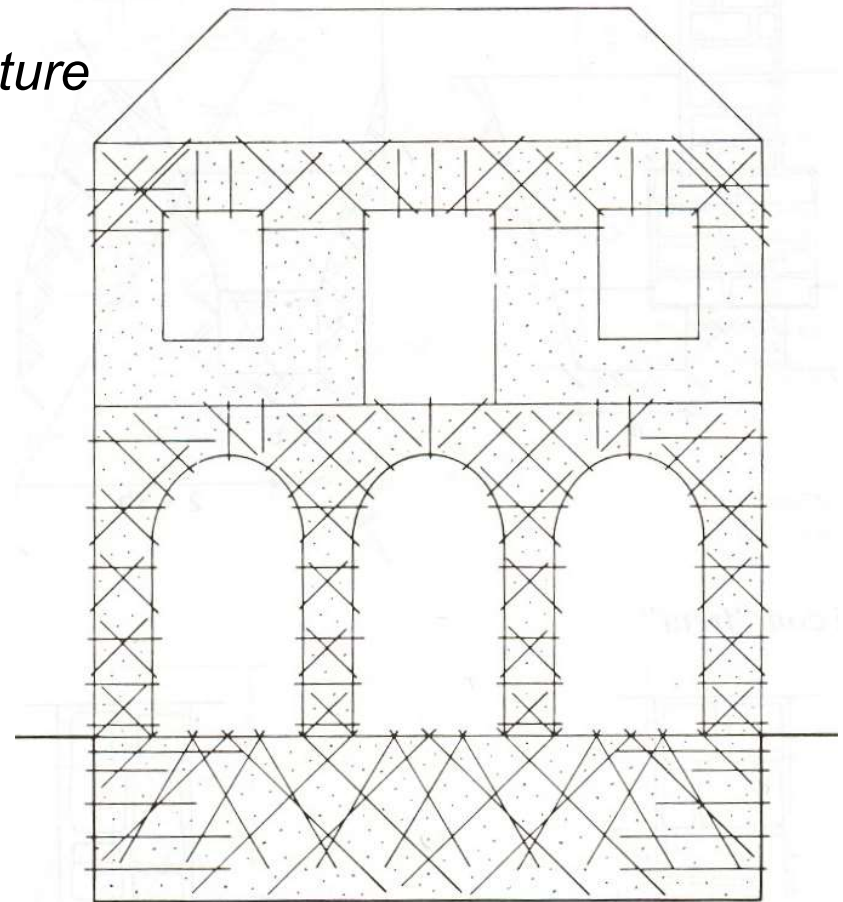
- *Esecuzione di Perforazioni armate*
- *Inserimento diatoni artificiali*
- *Iniezioni di miscele leganti*
- *Ristilatura (con o senza armatura) giunti di malta*
- *Realizzazione camicie in rete metallica e betoncino*
- *Realizzazione camicie in rete in GFRP e intonaco*
- *Tirantature orizzontali e verticali*
- *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*

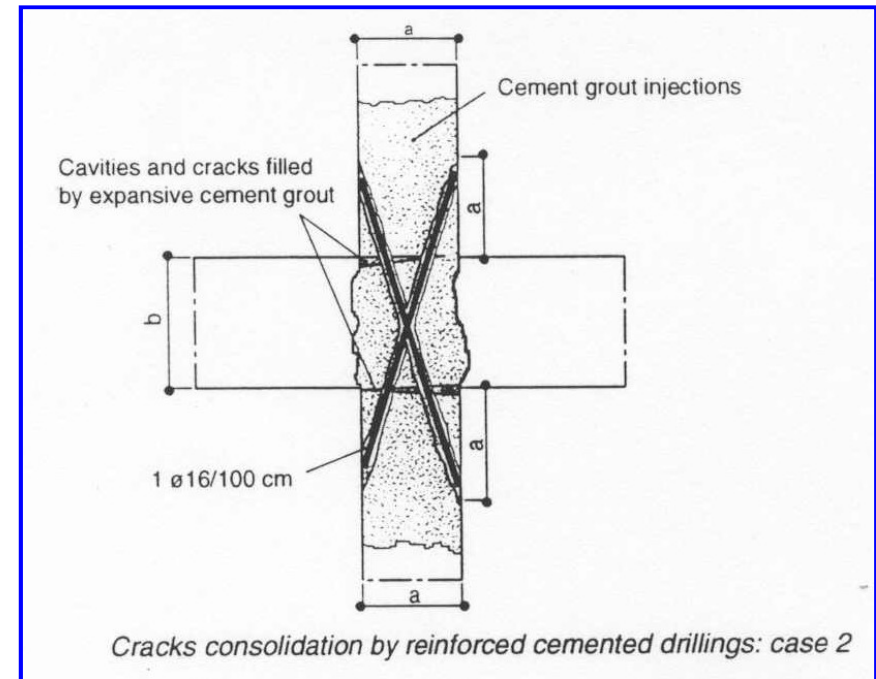
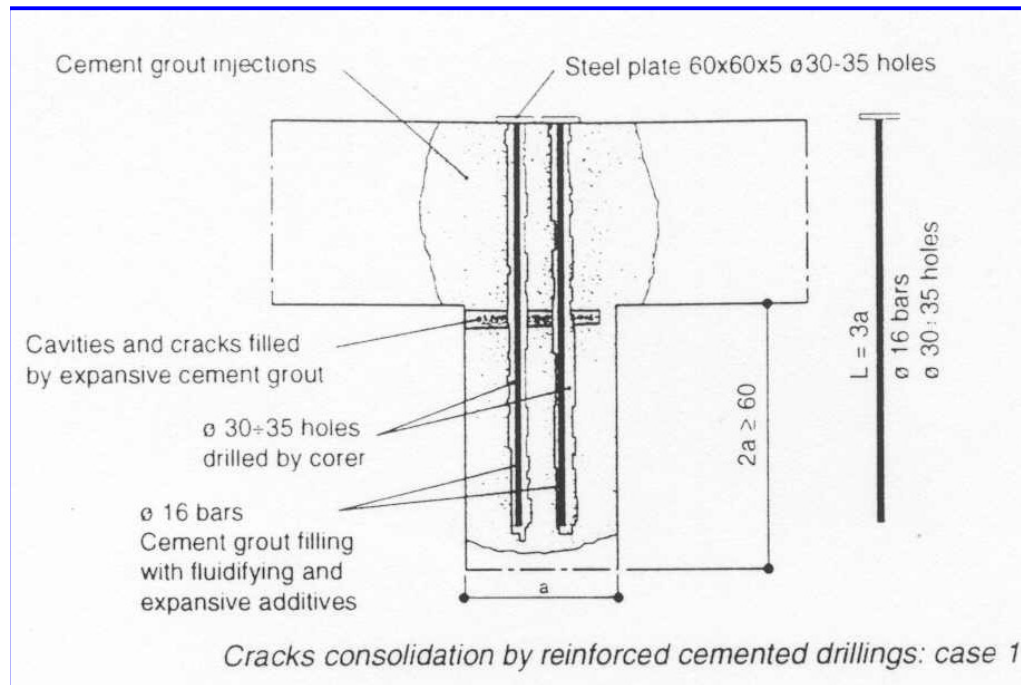


- *Esecuzione perforazioni con attrezzo a rotazione ( $\phi$  20÷25)*
- *Rimozione detriti e parti in distacco all'interno del foro*
- *Inserimento barre di acciaio ( $\phi$  12÷14 mm) o non metalliche*
- *Iniezione con malta tixotropica a ritiro compensato*



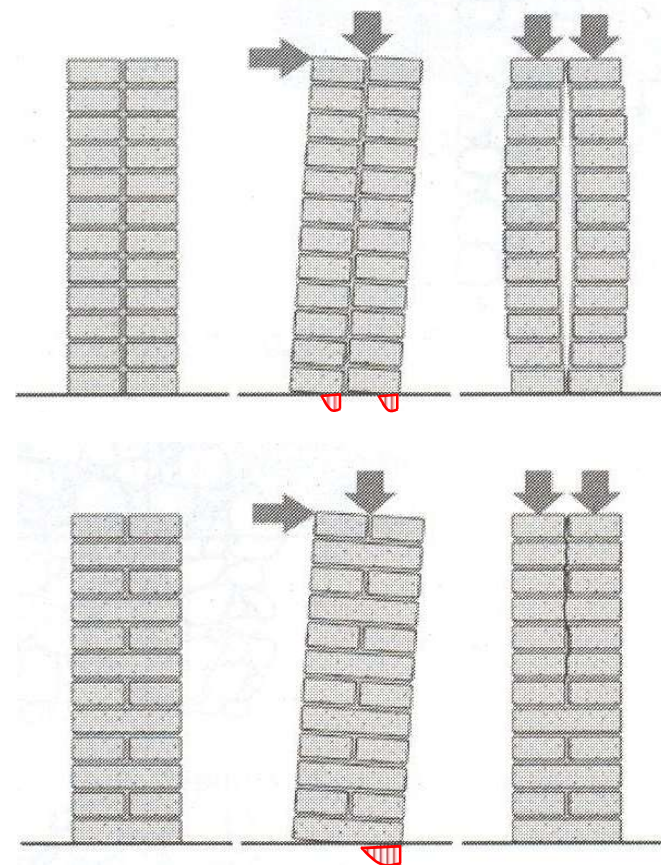
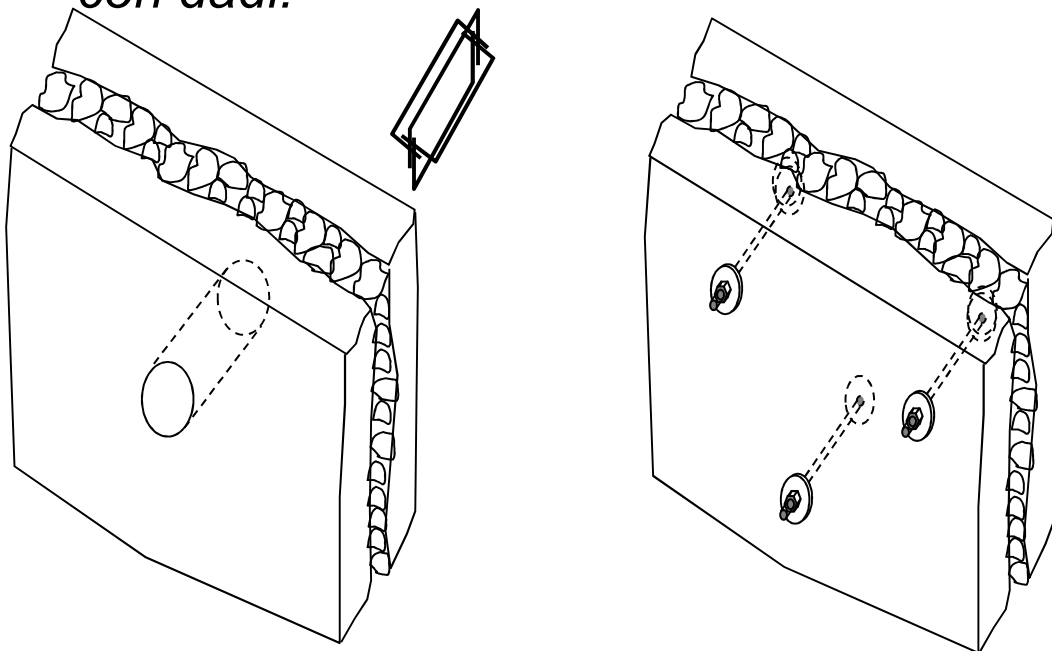
# PERFORAZIONI ARMATE

- *Solidarizzazione di pareti tra loro ortogonali*



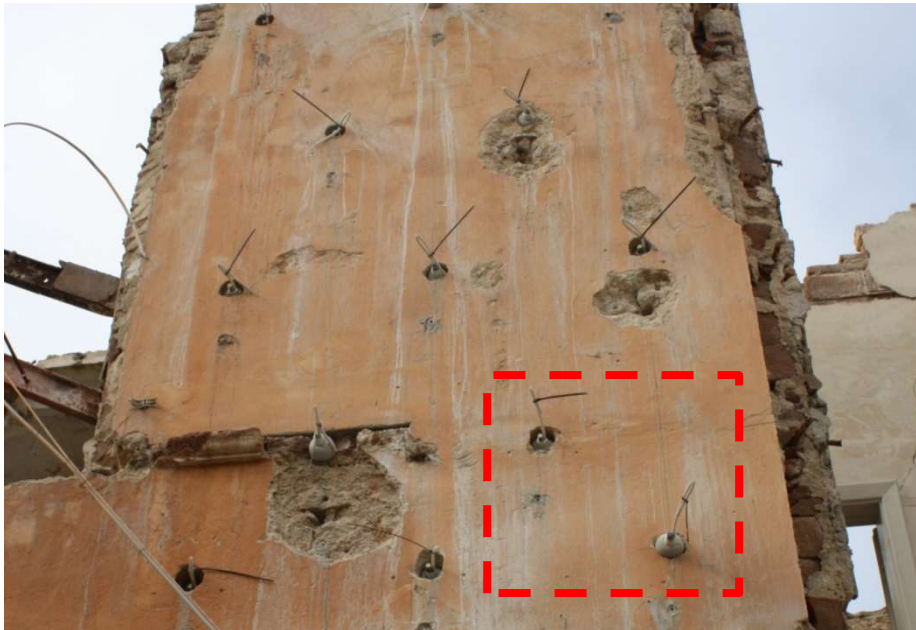
# DIATONI ARTIFICIALI

- *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

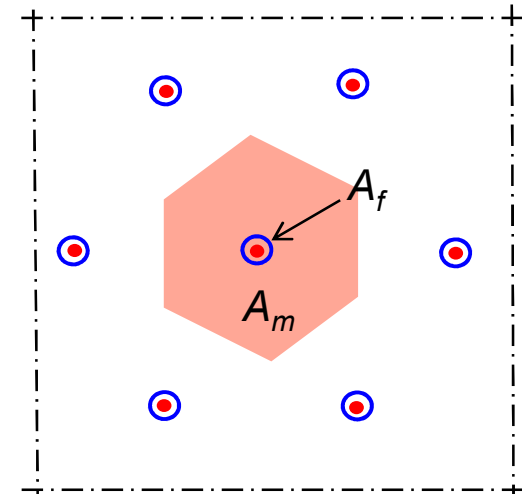
- *L'incremento di resistenza dovuto all'intervento deve essere stimato in base a prove sperimentali*
- *Comunque quando le barre sono distribuite uniformemente all'interno della muratura si possono utilizzare le seguenti espressioni proposte da T. Tassios (da verificare sperimentalmente).*

## 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,  $\rho$  percentuale di armatura in ogni foro

# COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

**Tabella C8.5.II** -Coefficients 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 sbazzati, 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).

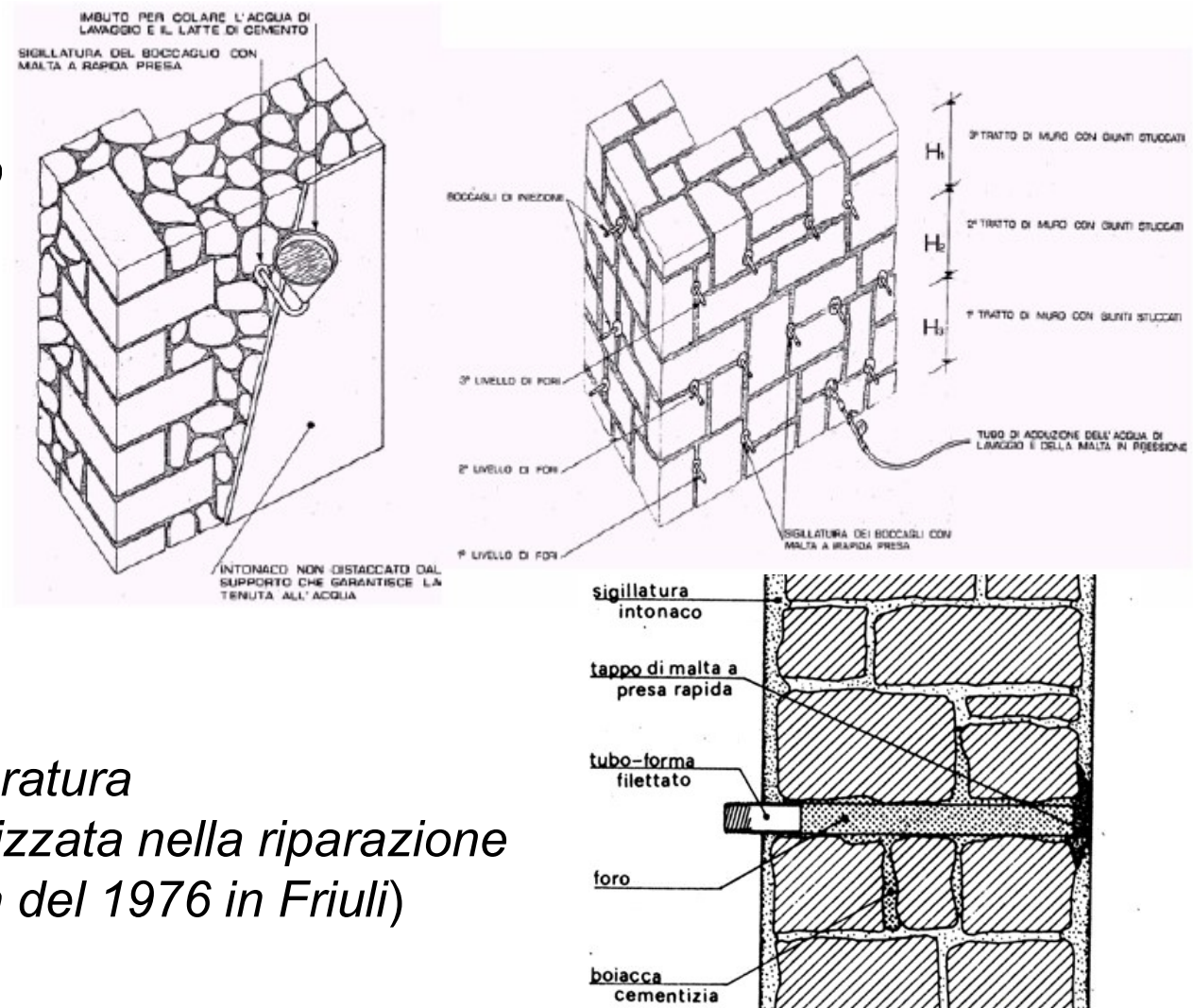
(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,25}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

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

# 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	
	$f_{tk}$ (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 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 miscela 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 miscela 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).

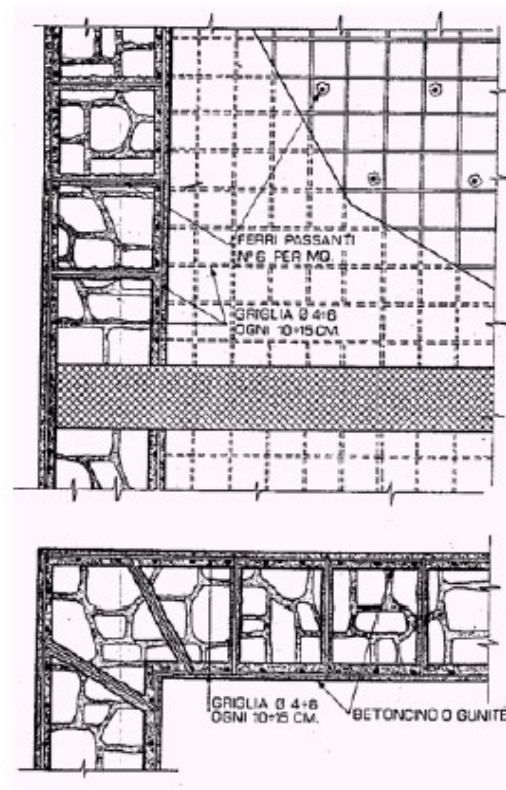
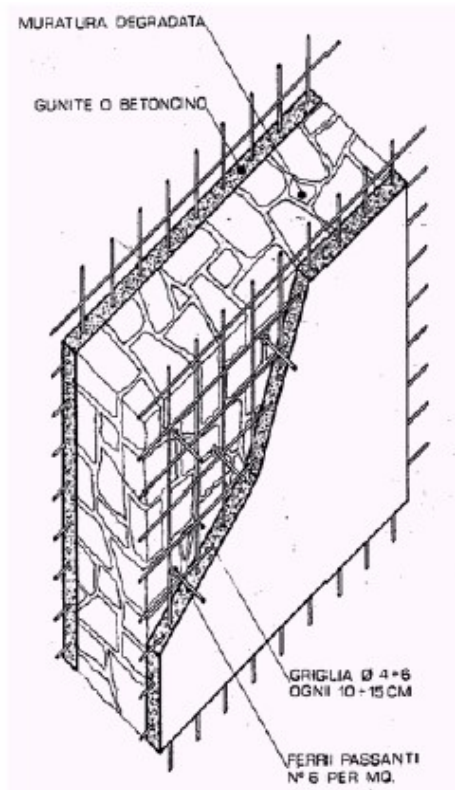
(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

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

# 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<sup>2</sup>) e iniezione con malta espansiva*
- *Applicazione primo strato di malta cementizia (~15 mm)*
- *Messa in opera rete e collegamento 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*

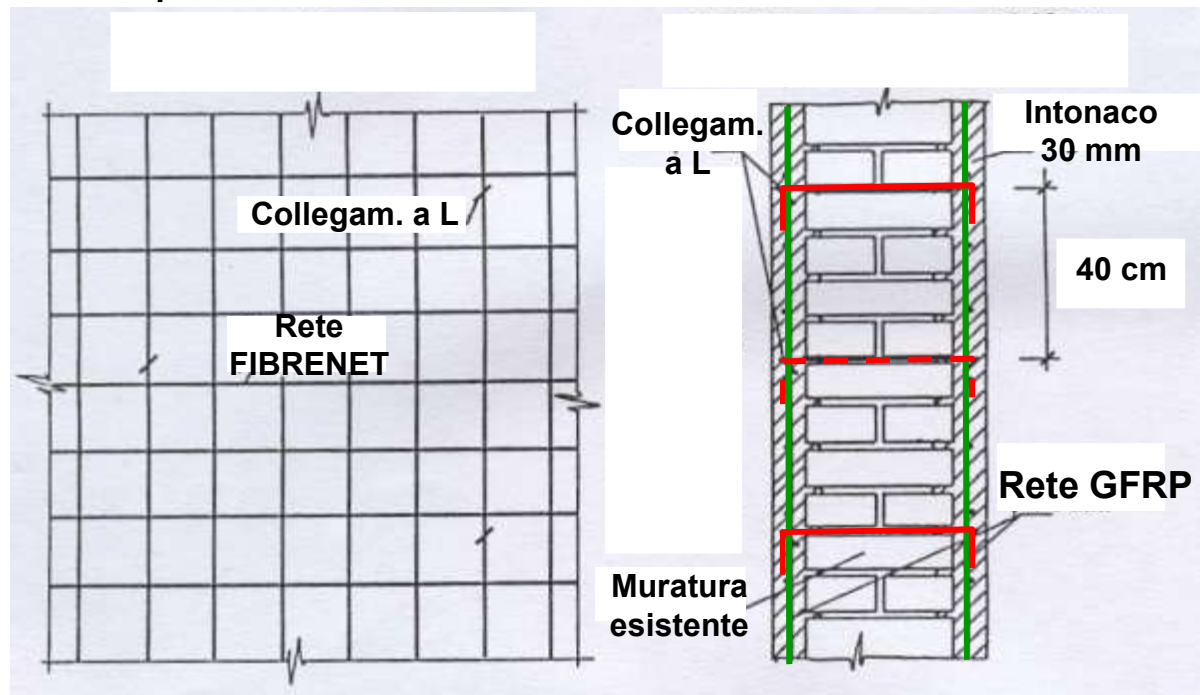
*Sheppard, Tomazevic 1986*

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 CRM

(Composite Reinforced Mortar)

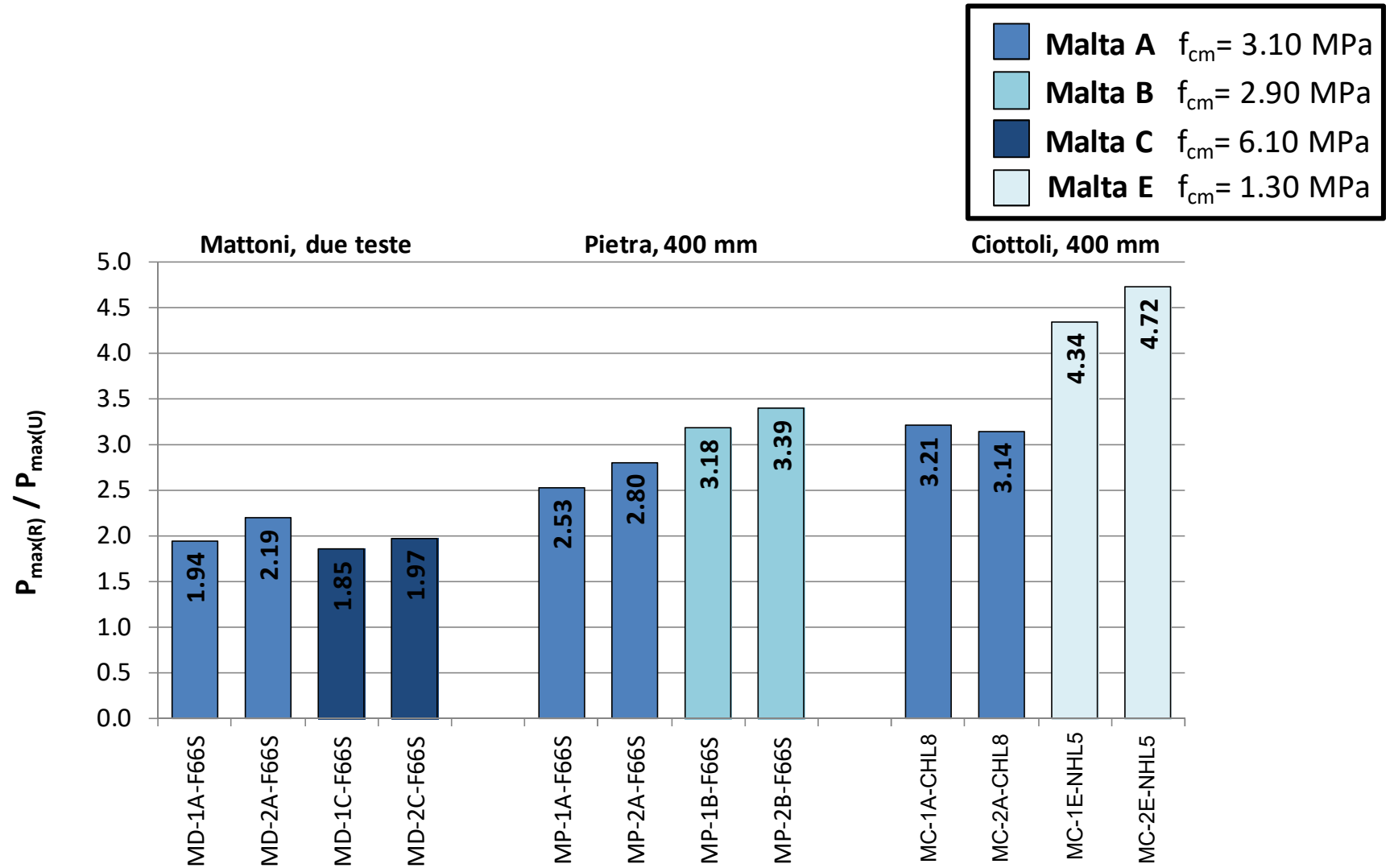
- Consiste nell'utilizzo di reti in GFRP (glass fiber reinforced polymer) disposte sulla superficie delle pareti, collegate fra loro con connettori a L giuntati per sovrapposizione all'interno di fori passanti attraverso la muratura, e realizzazione di intonaco di malta di calce o bastarda dello spessore 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 elettrosaldata e betoncino*)

# INCREMENTO DI RESISTENZA



# 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 squadriati	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/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

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



# TECNICA DI RINFORZO CRM

## Comportamento nel piano

Rigidezza  $K_{e(R)}$

$$K_{e(R)} = \frac{1}{\frac{h^3}{12EI_{(R)}} + \frac{\chi h}{GA_{(R)}}}$$

$$G_{\text{int}} = \frac{E_{\text{int}}}{2(1+\nu)}$$

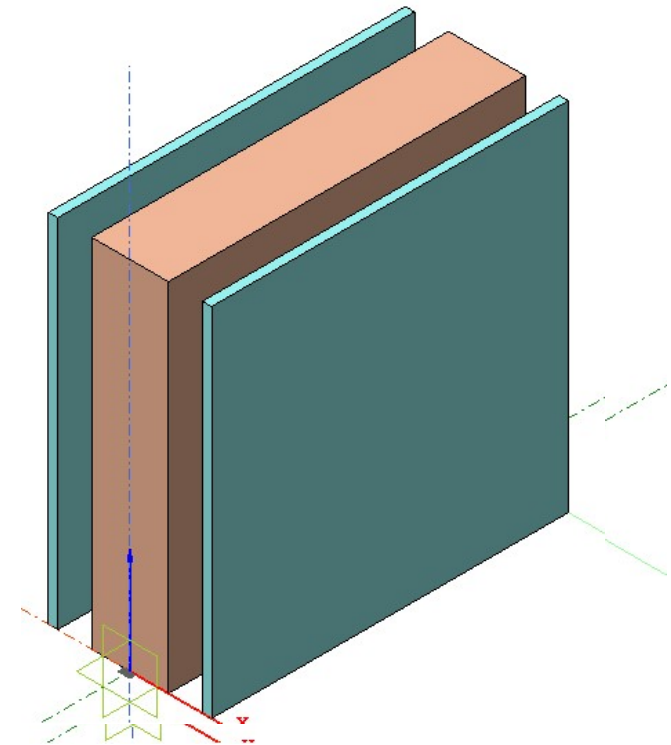
$$E_{(R)} = E_{(NR)} + E_{\text{int}} \frac{t_{\text{int}}}{t_{NR}}$$

$$G_{(R)} = G_{(NR)} + G_{\text{int}} \frac{t_{\text{int}}}{t_{NR}}$$

Resistenza a trazione  $f_{t(R)}$

$$f_{t(R)} = \beta \left( f_{(NR)} + f_{\text{int}} \frac{t_{\text{int}}}{t_{(NR)}} \right)$$

da cui si ricava  $f_{v0(R)}$  e la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  con la formula di Turnsek-Cacovic (1971)



# TECNICA DI RINFORZO CRM

La resistenza a taglio post fessurazione può essere calcolata come nelle FEMA 306 o **nelle CNR 200R1/2013, ossia**

$$V_{Rdm} = x \cdot t \cdot f'_{vd}$$

(muratura)

$$V_{Rdf} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{fw} \cdot f_{fd}}{p_f}$$

(meccanismo  
strut and tie)

$$V_{Rd} = V_{Rdm} + V_{Rdf}$$

$$f'_{vd} = \alpha f_{vo} + 0.4 \sigma'_{vm}$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$V_{Rdmax} = 0.3 \cdot d \cdot t \cdot f_{md}^h$$

Collasso a compressione  
del puntone di muratura

$f'_{vd}$  resistenza a scorr. sezione compressa

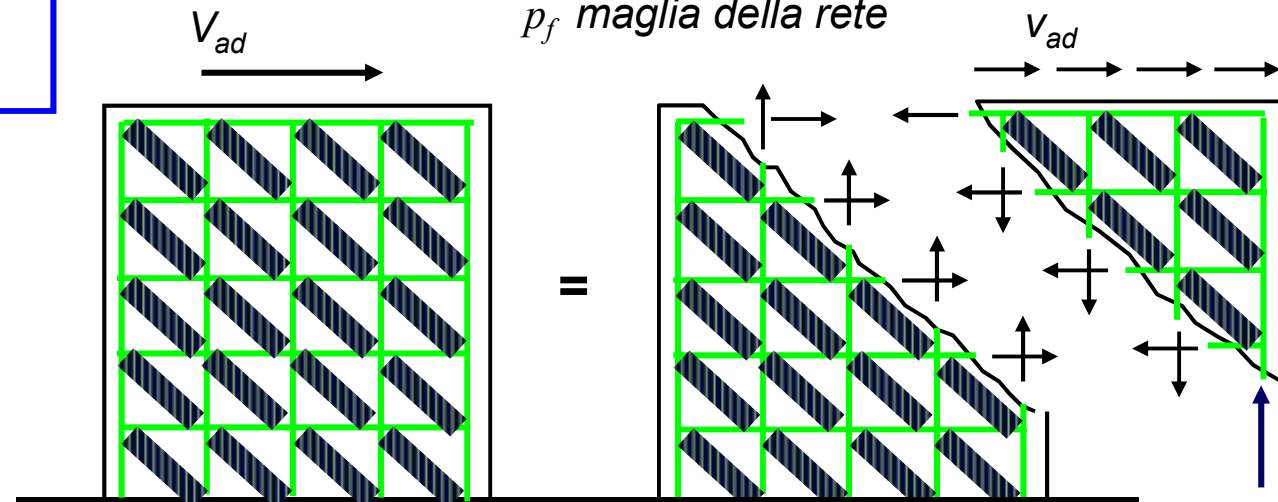
$\sigma'_{vm}$  tensione media zona compressa

$x$  posizione dell'asse neutro

$d$  altezza utile della sezione ( $\sim 0.8 l$ )

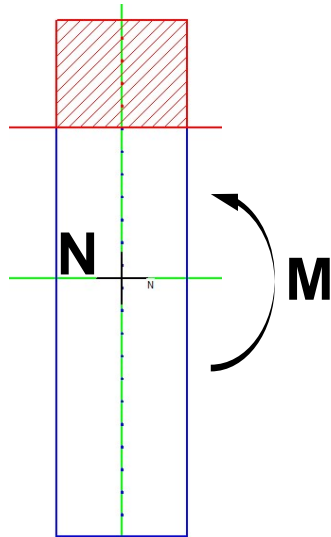
$A_{fw}$  sezione trasversale filo rete

$p_f$  maglia della rete



# TECNICA DI RINFORZO CRM

## Pressoflessione nel piano

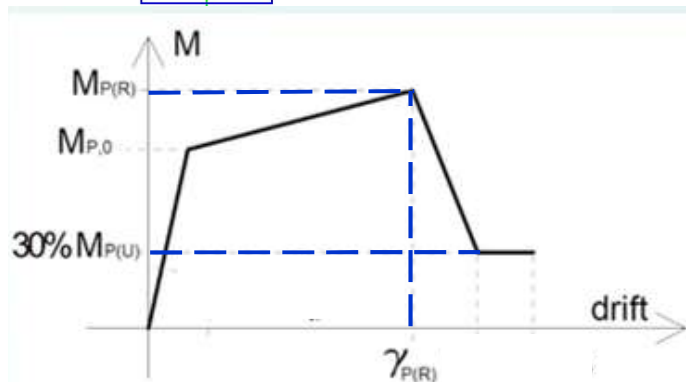


**Comportamento elasto-plastico con incrudimento**

**In analogia con le sezioni in c.a., il momento di 'snervamento' può essere valutato come**

$$M_{P,0} = -N(x_I - x_{II}) \cdot \frac{1}{1 - \frac{EI_{II}}{EI_I}}$$

$x_I$ ,  $EI_I$  e  $x_{II}$ ,  $EI_{II}$  asse neutro e rigidezza della sezione interamente reagente (I) o fessurata (II), in condizioni di flessione semplice



$$\gamma_{P(R)} \approx 0.8\%$$

**Il momento ultimo può essere valutato calcolando la resistenza della sezione parzializzata pressoinflessa, considerando:**

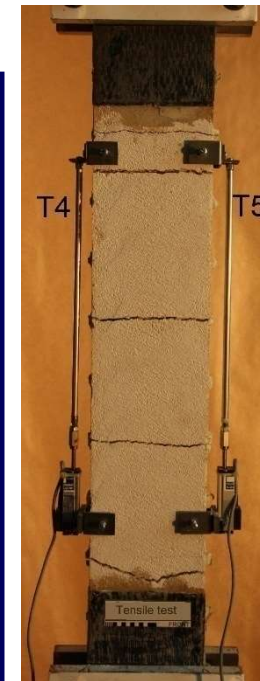
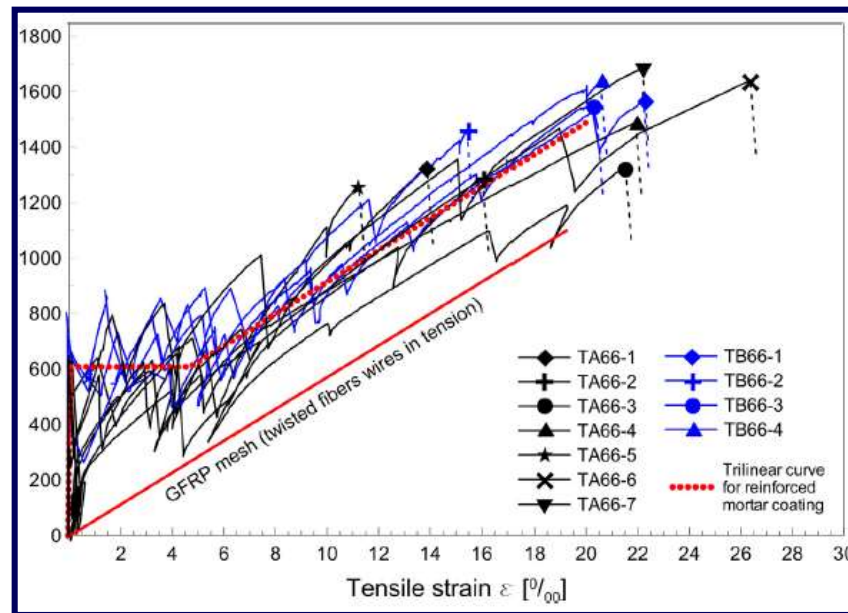
- **la resistenza a compressione della muratura;**
- **la resistenza a trazione dei fili di rete**

# TECNICA DI RINFORZO CRM

## Pressoflessione nel piano

Lo spostamento ultimo dipende, in generale, dalle dimensioni del maschio e può essere valutato considerando la rotazione alla base del maschio dovuta alla deformazione a trazione dell'intonaco armato (trascurando lo schiacciamento della muratura al lembo compresso).

Il comportamento a trazione del rinforzo si può ricavare da prove sperimentali su lastre di intonaco armato



# TECNICA DI RINFORZO FRCM

*(fiber reinforced cementitious matrix)*



Rinforzo muratura con rete in basalto



Rinforzo estradossale di volta in foglio



Rinforzo  
volta con  
fasce di  
acciaio  
galvaniz-  
zato

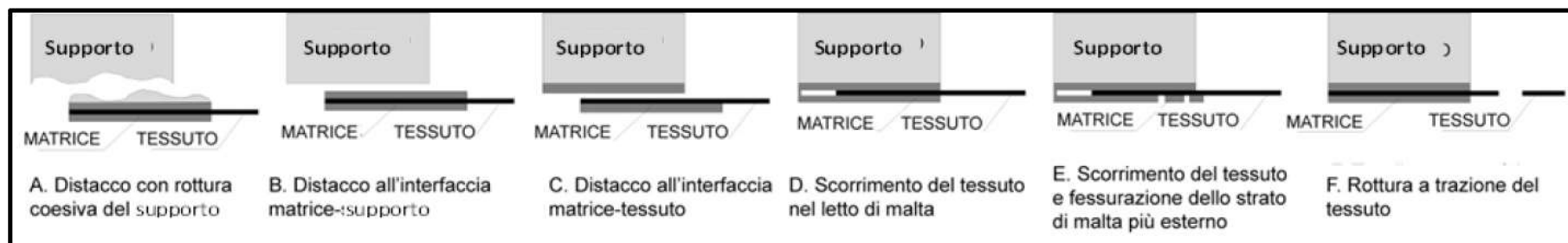
Rinforzo  
parete  
con rete  
in  
composi-  
to



# MECCANISMI DI COLLASSO

Per quantificare la resistenza devono essere considerati tutti i possibili meccanismi di crisi (CNR-DT 215/2018):

- A. il distacco con rottura coesiva del supporto del rinforzo;
- B. il distacco all'interfaccia matrice-supporto;
- C. il distacco all'interfaccia matrice-tessuto;
- D. lo scorrimento del tessuto nella matrice;
- E. lo scorrimento del tessuto e fessurazione dello strato di malta più esterno;
- F. la rottura a trazione del tessuto.



La caratterizzazione meccanica deve includere la prova di trazione del sistema FRCM e del tessuto secco e la prova di distacco dal supporto.

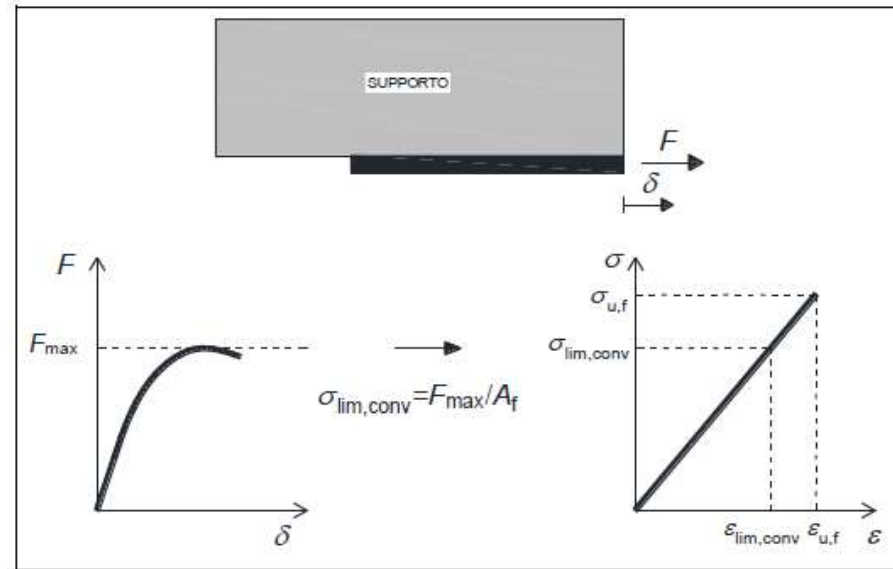
# PROPRIETA' MECCANICHE FRCM

- a) tensione limite convenzionale,  $\sigma_{lim,conv}$  (valore caratteristico), deformazione limite convenzionale,  $\varepsilon_{lim,conv}$ , come di seguito definite (entrambe le proprietà sono variabili in funzione del supporto);
- b) modulo di rigidezza a trazione del campione nello stadio non fessurato ( $E_1$ , valore medio);
- c) tensione ultima  $\sigma_u$  (valore caratteristico) e deformazione ultima  $\varepsilon_u$  (valore medio) del composito FRCM a rottura per trazione;
- d) tensione ultima,  $\sigma_{u,f}$  (valore caratteristico) del tessuto secco a rottura per trazione;
- e) modulo elastico  $E_f$  del tessuto secco (valore medio);
- f) deformazione ultima a trazione,  $\varepsilon_{u,f}$ , del tessuto secco ( $\varepsilon_{u,f} = \sigma_{u,f} / E_f$ );
- g) resistenza a compressione della matrice/malta,  $f_{c,mat}$ , caratteristica o nominale (quest'ultima assunta come caratteristica).

*La tensione limite convenzionale  $\sigma_{lim,conv}$  è la resistenza del sistema di rinforzo ricavata mediante prove di distacco da supporti convenzionali.*

*La deformazione limite convenzionale è pari a  $\varepsilon_{lim,conv} = \frac{\sigma_{lim,conv}}{E_t}$*

# PROPRIETA' MECCANICHE FRCM



Nelle verifiche governate dagli stessi fenomeni, ma localizzati in zone intermedie, i valori da impiegare sono i seguenti:  $\varepsilon_{lim,conv}^{(\alpha)} = \alpha \cdot \varepsilon_{lim,conv}$  e  $\sigma_{lim,conv}^{(\alpha)} = E_f \cdot \varepsilon_{lim,conv}^{(\alpha)}$ .

Il coefficiente di amplificazione  $\alpha$  deve essere assunto pari a 1.5 per tutti i sistemi FRCM ad eccezione di quelli per i quali il punto di ordinata  $\sigma_{lim,conv}$  ricada nello stadio A della curva media tensione-deformazione di cui sopra. Per questi ultimi si deve assumere  $\alpha = 1.0$ .

Valori di  $\alpha$  superiori, rispettivamente, a 1.5 o a 1.0 sono possibili ma devono essere supportati da opportune prove sperimentali su elementi strutturali, come descritti nel § 9.

In ogni caso il valore di  $\sigma_{lim,conv}^{(\alpha)}$  deve essere minore o al più uguale a  $\sigma_u$ .



# RESISTENZA A TAGLIO MURATURA RINFORZATA

La resistenza a taglio della parete rinforzata è data da:

$$V_{t,R} = V_t + V_{t,f}$$

Resistenza rinforzo

$$\alpha_t = 0.8$$

$$\varepsilon_{fd} = \eta \cdot \frac{\varepsilon_{lim,conv}}{\gamma_m}$$

Resistenza muratura non rinforzata

$$V_{t,f} = 0.5 \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot b_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f$$

$$V_{t,c} = 0.25 \cdot f_{md} \cdot t \cdot d_f$$

Schiacciamento diag. muratura

- $n_f$  è il numero totale degli strati di rinforzo disposti sulle facce della parete;
- $t_{vf}$  è lo spessore equivalente di uno strato di rete con fibre disposte in direzione parallela alla forza di taglio;
- $b_f$  è la dimensione del rinforzo misurata ortogonalmente alla forza di taglio
- $t$  è lo spessore della parete;
- $f_{md}$  è la resistenza a compressione di progetto della muratura;
- $d_f$  è la distanza tra l'estremo lembo compresso della muratura e l'estremo lembo teso del rinforzo FRCM (fibre ortogonali alla direzione del taglio)

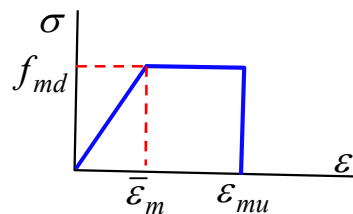
# RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE

*Il momento resistente  $M_{Rd}(N_{sd})$  della parete rinforzata associato ad un assegnata azione normale  $N_{sd}$  di compressione può essere calcolato assumendo le seguenti ipotesi:*

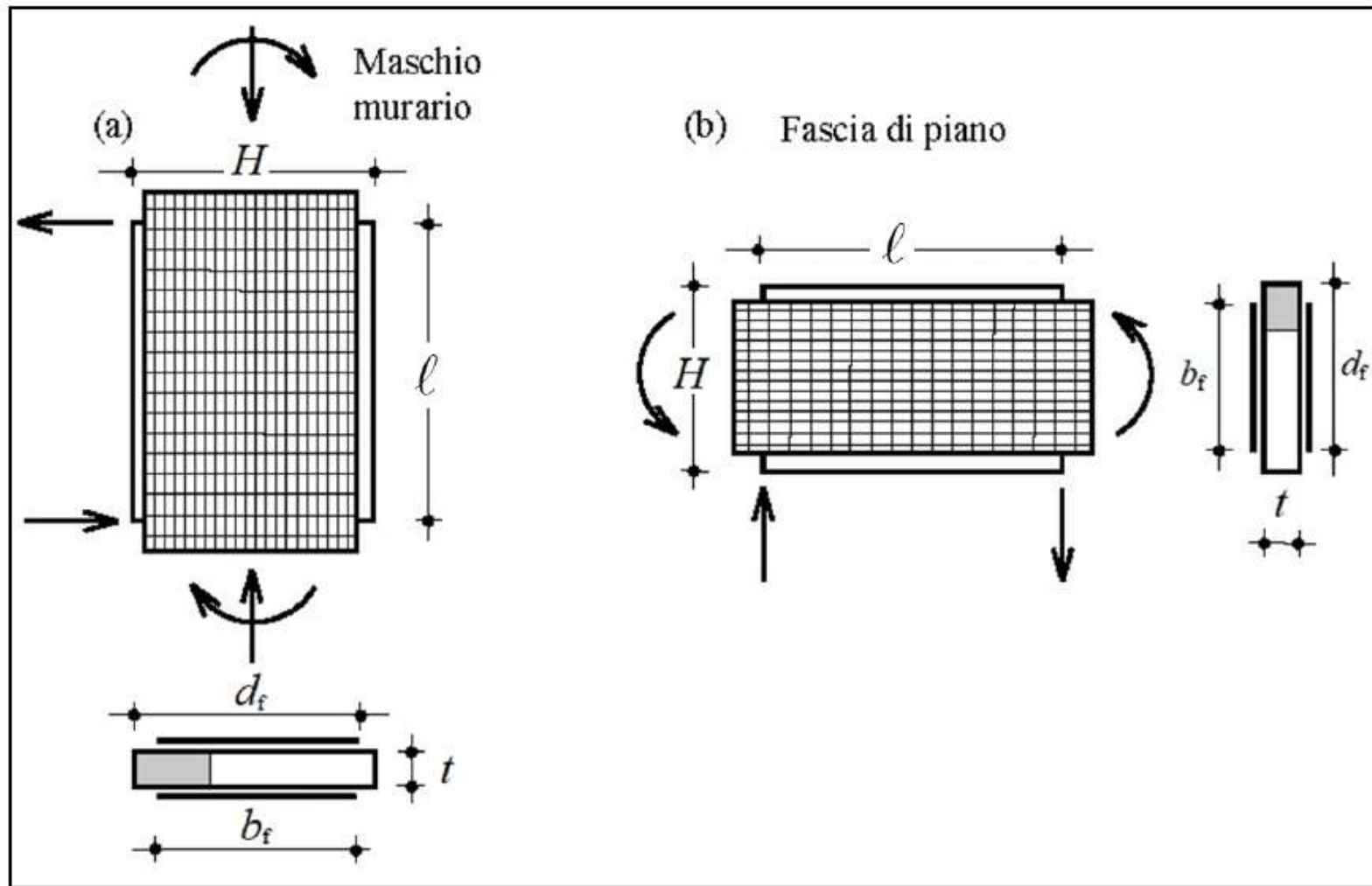
- conservazione della planarità delle sezioni rette;
- perfetta aderenza tra rinforzo FRCM e supporto.

Il legame costitutivo  $\sigma-\varepsilon$  della muratura per stati tensionali monoassiali può essere schematizzato come segue:

- trazione: resistenza nulla;
- compressione: comportamento lineare fino alla resistenza di progetto,  $f_{md}$ , cui compete il valore  $\bar{\varepsilon}_m$  della deformazione; tensione nulla per deformazioni maggiori a quella ultima,  $\varepsilon_{mu}$ ; tensione costante, pari a  $f_{md}$ , per deformazioni comprese nell'intervallo  $\bar{\varepsilon}_m \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{mu}$ .



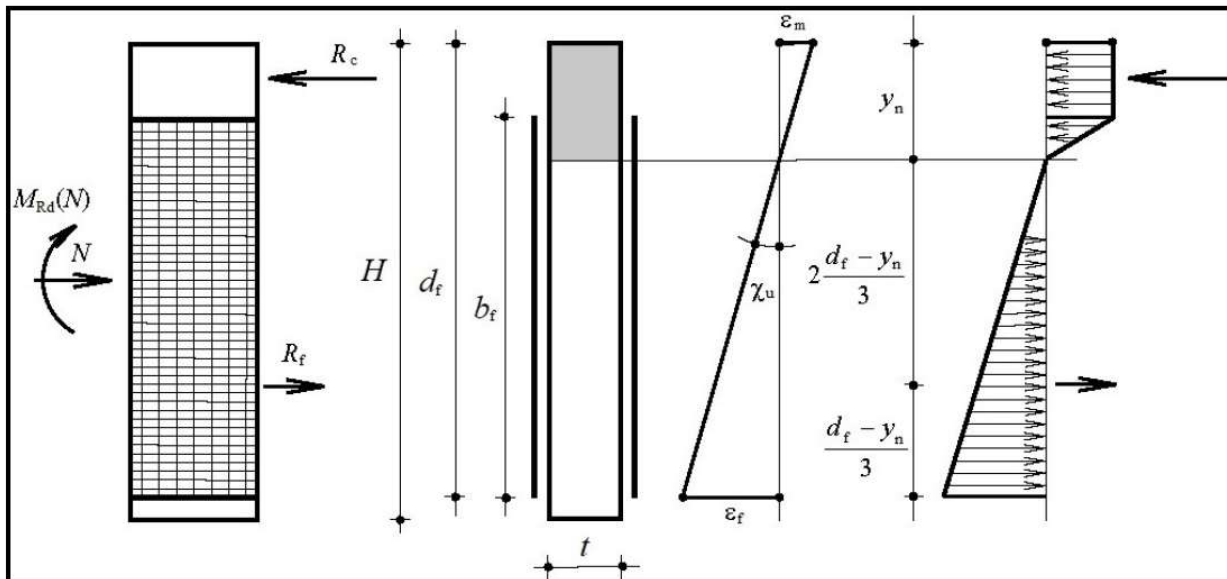
# RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE



# RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE

In assenza di dati sperimentali la deformazione ultima di progetto,  $\varepsilon_{mu}$ , può essere assunta pari a 3.5‰.

Il legame costitutivo  $\sigma - \varepsilon$  del rinforzo per tensioni di trazione è elastico lineare fino alla deformazione limite  $\varepsilon_{fd}$  ottenuta dalla 3.1 a partire dalla deformazione convenzionale  $\varepsilon_{lim,conv}^{(a)}$  nel caso in cui la modalità di crisi attesa sia per distacco o scorrimento intermedio ovvero a partire dalla deformazione convenzionale  $\varepsilon_{lim,conv}$  nel caso in cui la modalità di crisi attesa sia per distacco o scorrimento di estremità. Il modulo elastico del rinforzo è  $E_f$  come definito in precedenza (tessuto secco). Il rinforzo è privo di rigidità e di resistenza a compressione. Pertanto nel caso in cui l'asse neutro tagli la sezione del rinforzo, questa viene suddivisa dall'asse neutro stesso in due parti di cui una tesa ed una non reagente.



$$M_{sd} = M_{Rd}$$

## COEFFICIENTI CORRETTIVI

*In maniera semplificata, si può calcolare la capacità portante della muratura rinforzata moltiplicando i valori della muratura non rinforzata per i seguenti coefficienti correttivi.*

Tipo di muratura	Rinforzi FRCM disposti simmetricamente sulle due facce del pannello murario	$\bar{q}_{u,f}$ (N/mm)
Muratura di pietrame disordinato (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.5	44.60
Muratura a conci sbozzati con paramento di limitato spessore	1.5	44.60
Muratura di pietre a spacco con buona tessitura	2.4	32.20
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	2.0	44.60
Muratura a blocchi lapidei squadrate	1.2	44.60
Muratura di mattoni pieni e malta di calce	1.7	24.50
Muratura di blocchi di calcestruzzo o di argilla espansa	1.3	44.60

*Murature di spessore non superiore a 400 mm, rinforzi sulle due facce e con  $\sigma_{u,f} \cdot t_f \geq \bar{q}_{u,f}$*

# RINFORZO CON NASTRI IN FRP

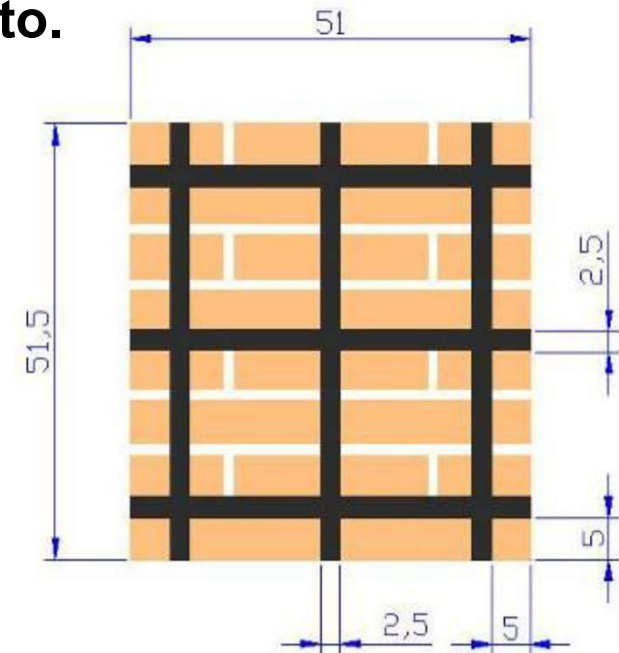
## Nastri in FRP

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 disposti 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:*

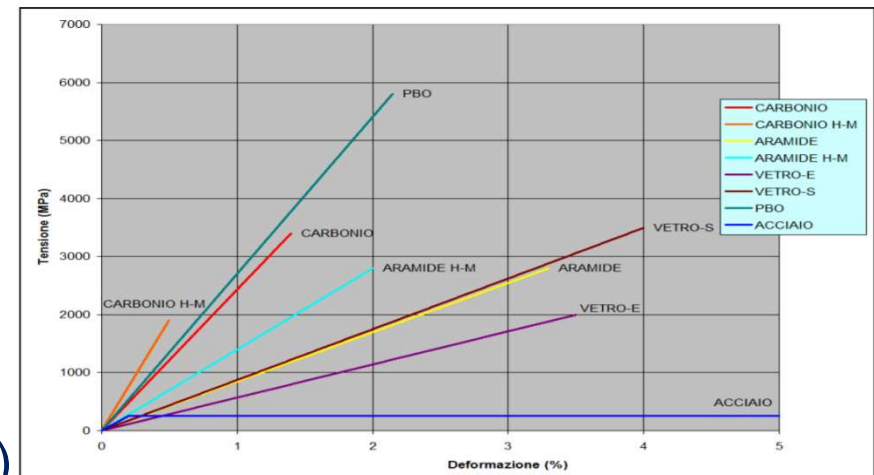
- **Carbonio**

- **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 <sup>3</sup> ]	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*

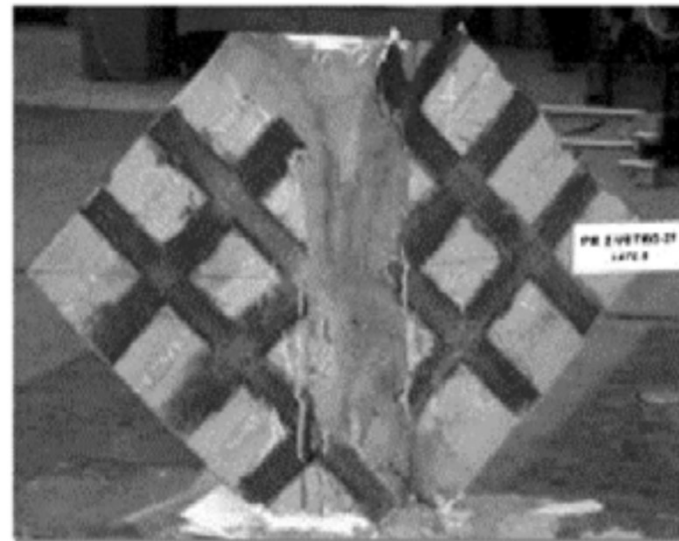
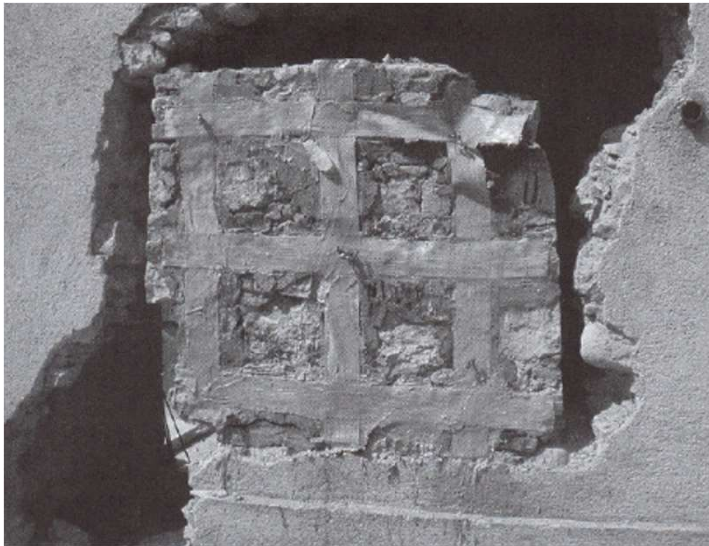


*Fibre di aramide*

## RINFORZO CON NASTRI IN FRP

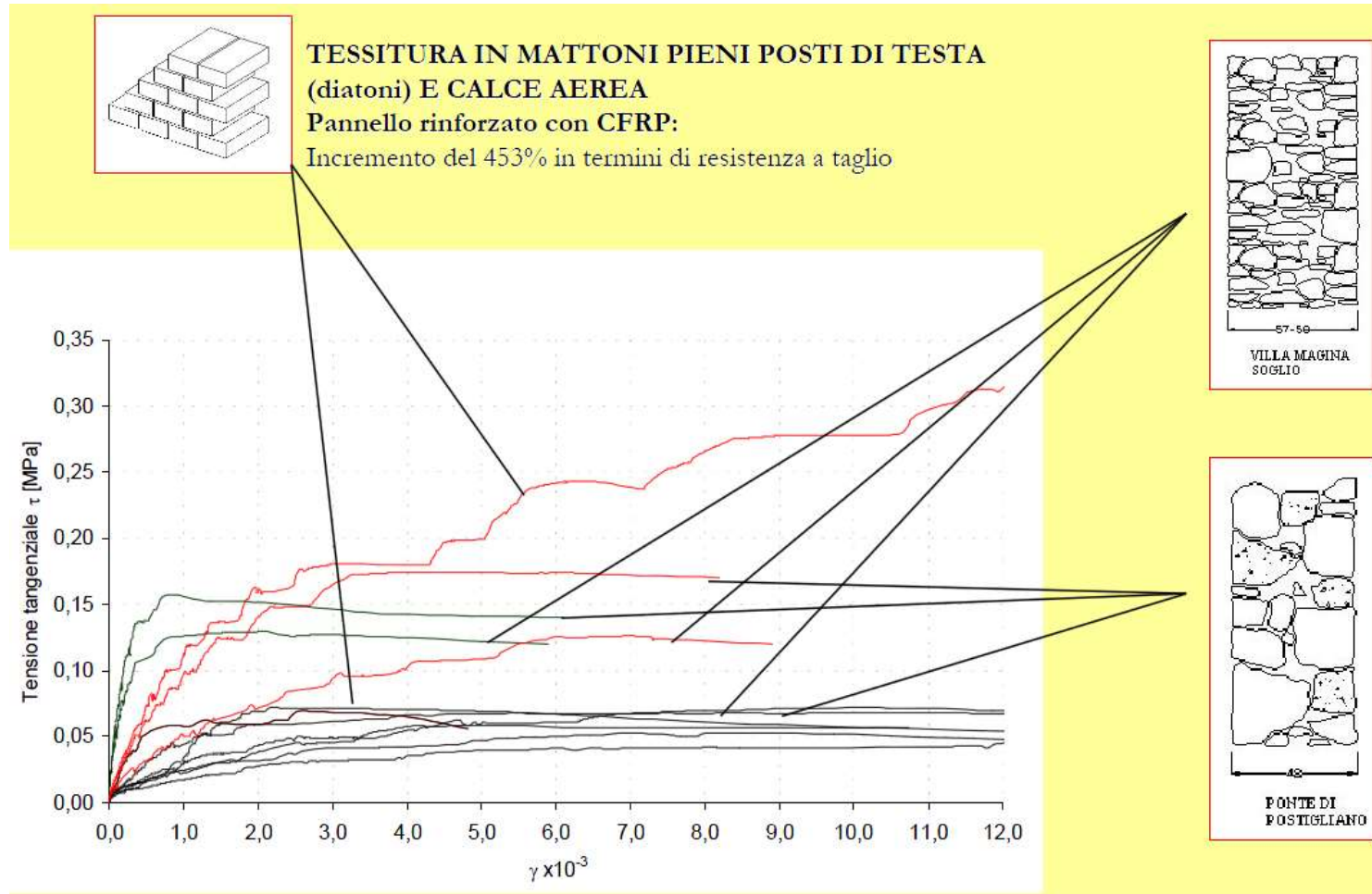
Sono state eseguite numerose prove di compressione diagonale che hanno evidenziato un considerevole aumento della resistenza a taglio per murature di caratteristiche scadenti ( $f_{v0} = 0.04$  MPa), fino a **tre volte tanto** (Corradi, Borri, Vignoli 2008).

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

## Risultati prove di compressione diagonale (*Prof. Borri et al.*)



# 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.

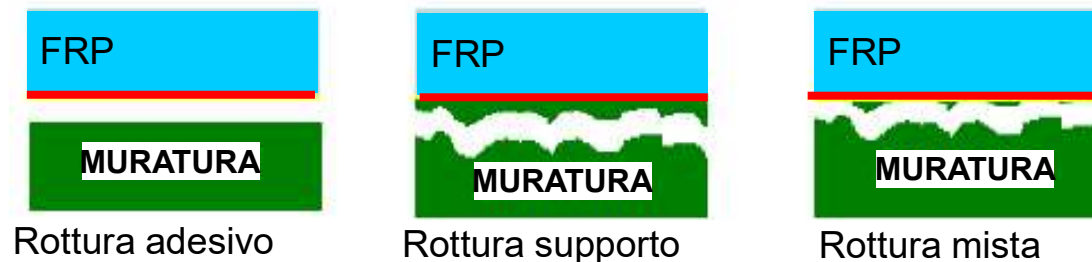
**carico di rottura inferiore a quello del pannello non rinforzato !**

# RINFORZO CON NASTRI IN FRP

## Nastri in FRP - Debonding

Debonding è un aspetto cruciale di questa tecnica e richiede verifiche sperimentali.

Il distacco dipende dalla superficie della muratura, frequentemente parti di pietra o mattone si staccano con il nastro (rip-off failure).



# RINFORZO CON NASTRI IN FRP

## Nastri in FRP - Debonding

Alcune regole di progettazione e relazioni analitiche si trovano nelle **CNR 200R1 2013**. La resistenza al debonding è

$$f_{fd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

$E_f$  Modulo elastico FRP

$t_f$  spessore del nastro

$k_b, k_G$  coefficienti funzione tipo muratura

$FC$  fattore di confidenza

$f_{tm}$  resistenza a trazione blocchi muratura

$f_{mk}$  resistenza a compressione blocchi muratura

$f_{bd}$  massima tensione tangenziale di aderenza

## Energia di frattura specifica

$$\Gamma_F = \frac{k_b k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{mk} \cdot f_{tm}}$$

## Lunghezza di ancoraggio ottimale

$$l_{ed} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}; 150 \text{ mm} \right\}$$

$$f_{bd} = \frac{2 \cdot \Gamma_{Fd}}{0.4}$$

# RINFORZO CON NASTRI IN FRP

Nelle CNR 200R1/2013, la resistenza a taglio è

$$V_{Rdm} = x \cdot t \cdot f'_{vd} \quad (\text{muratura})$$

$f'_{vd}$  resistenza a scorr. sezione compressa

$\sigma'_{vm}$  tensione media zona compressa

$x$  posizione dell'asse neutro

$d$  altezza utile della sezione ( $\sim 0.8 l$ )

$A_{fw}$  sezione trasversale nastro

$p_f$  passo verticale dei nastri

$$V_{Rdf} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \frac{0.6 \cdot d \cdot A_{fw} \cdot f_{fd}}{p_f} \quad (\text{meccanismo strut and tie})$$

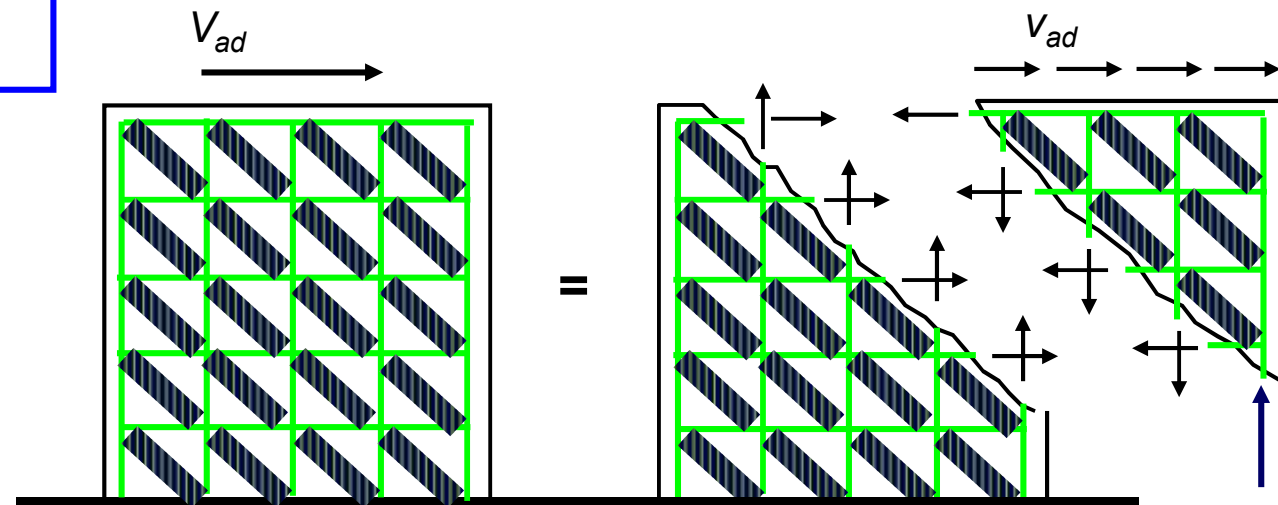
$$V_{Rd} = V_{Rdm} + V_{Rdf}$$

$$f'_{vd} = \alpha f_{vo} + 0.4 \sigma'_{v}$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

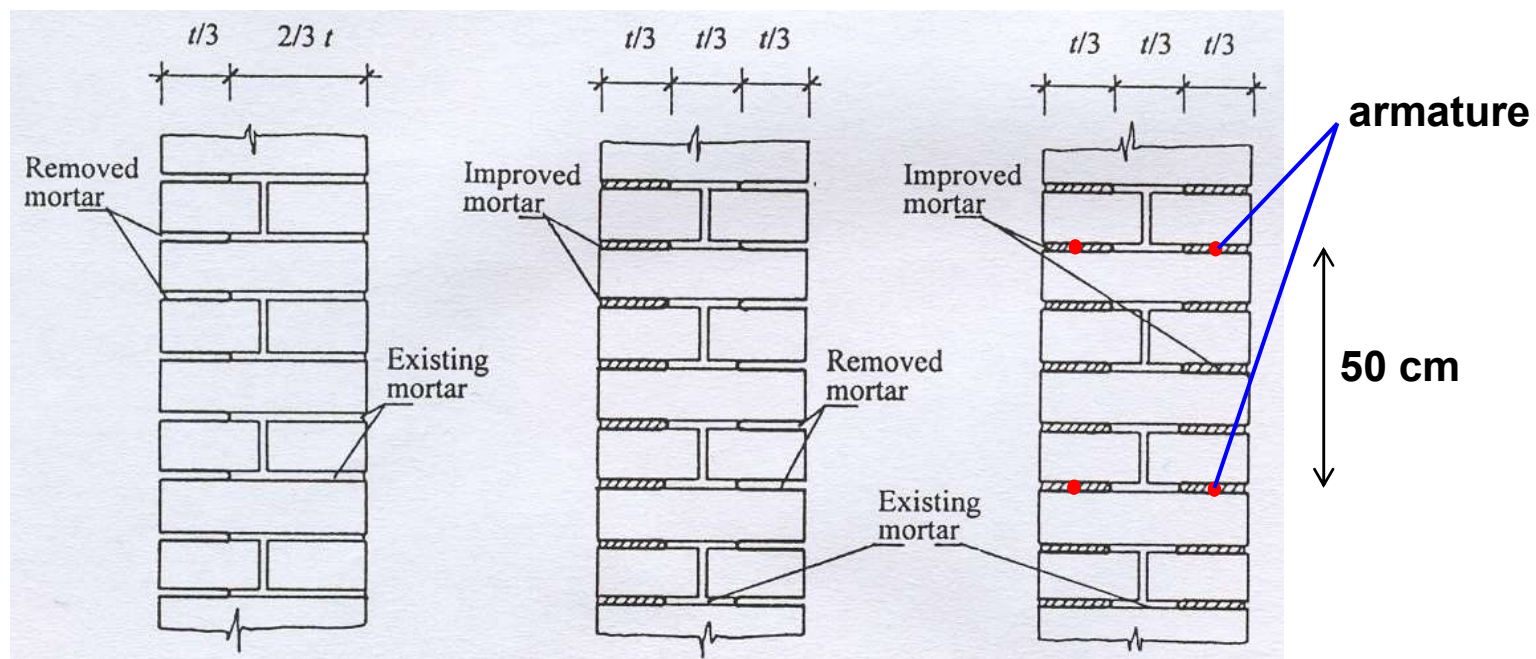
$$V_{Rd \max} = 0.3 \cdot d \cdot t \cdot f_{md}^h$$

Collasso a compressione del puntone di muratura



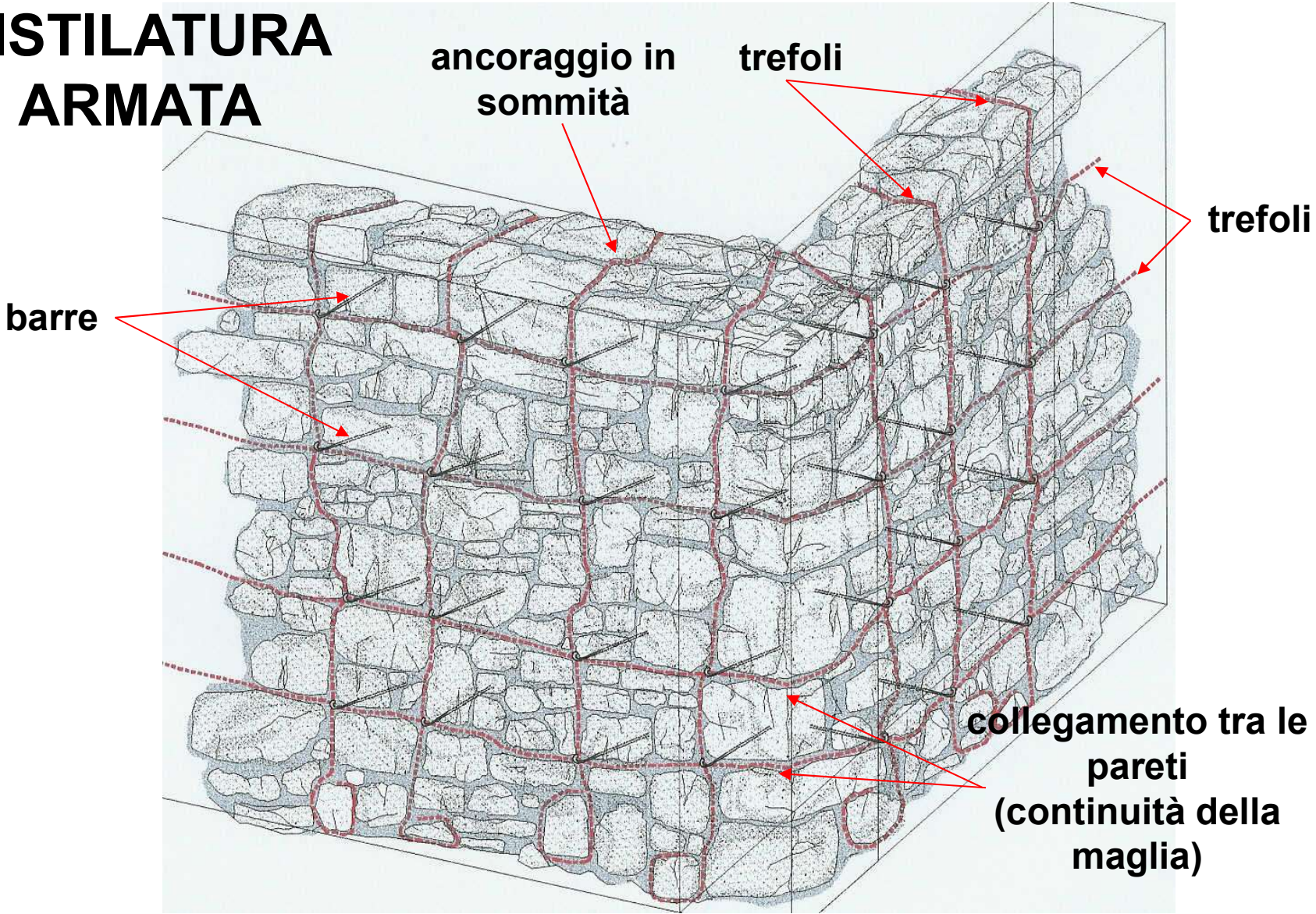
# SOSTITUZIONE PARZIALE GIUNTI DI MALTA

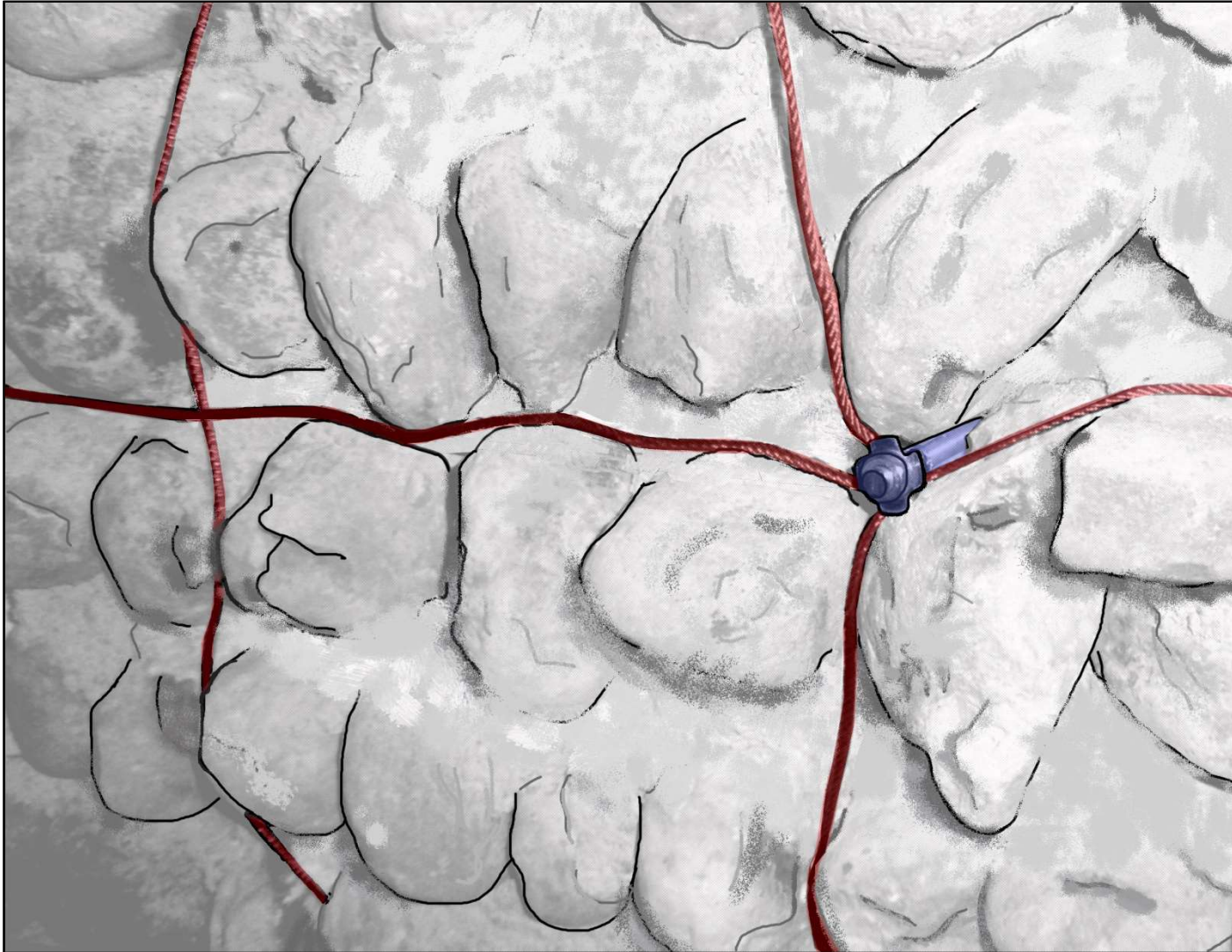
- Quando la muratura è formata con elementi laterizi o lapidei resistenti disposti a file regolari ma con malta scadente, è possibile aumentare la resistenza della muratura mediante sostituzione parziale dei giunti di malta (**Ristilatura**)
- Se i giunti hanno spessore superiore a 10 mm è possibile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

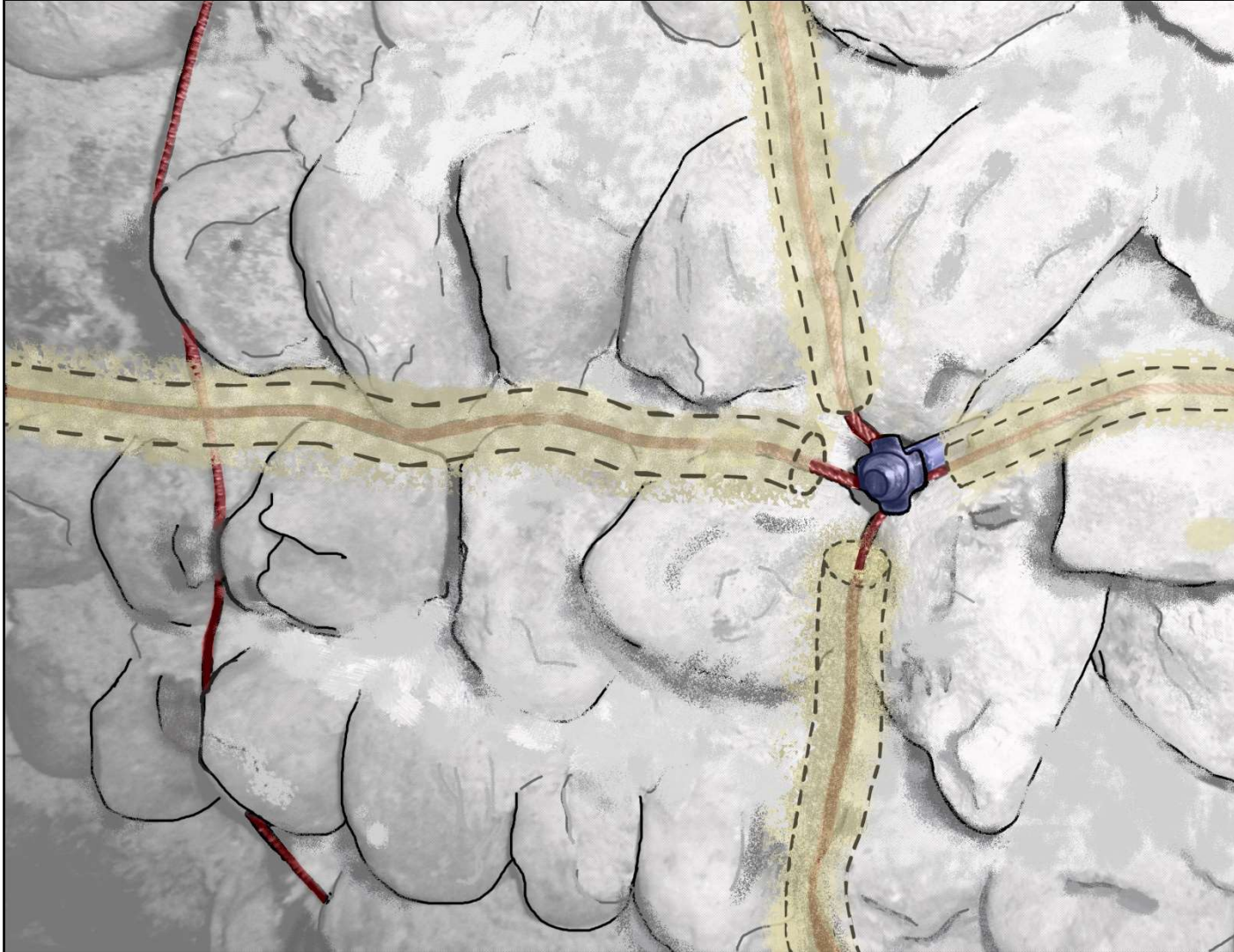




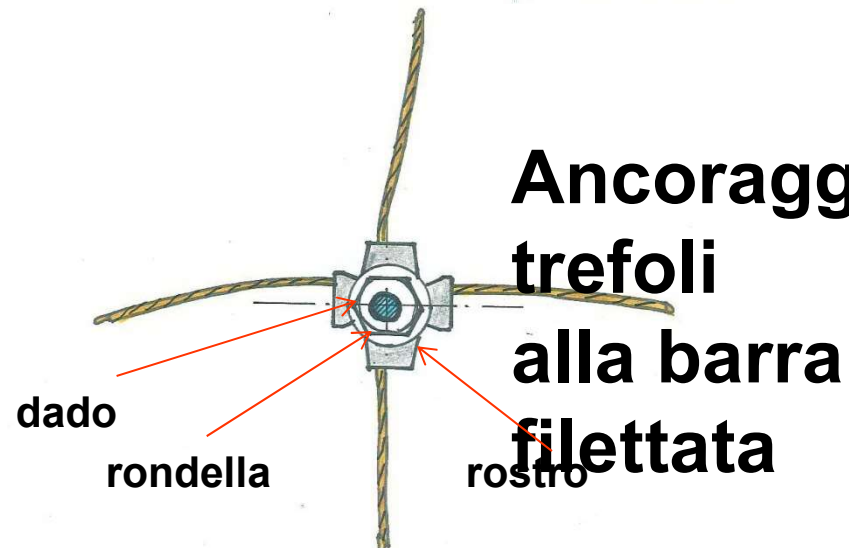
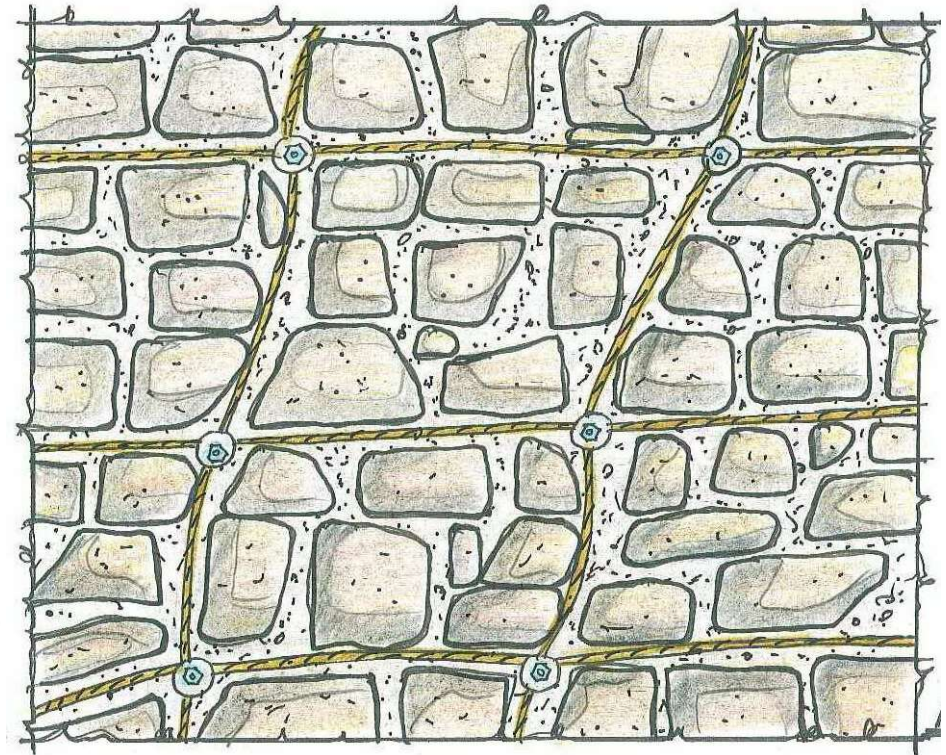
# RISTILATURA ARMATA







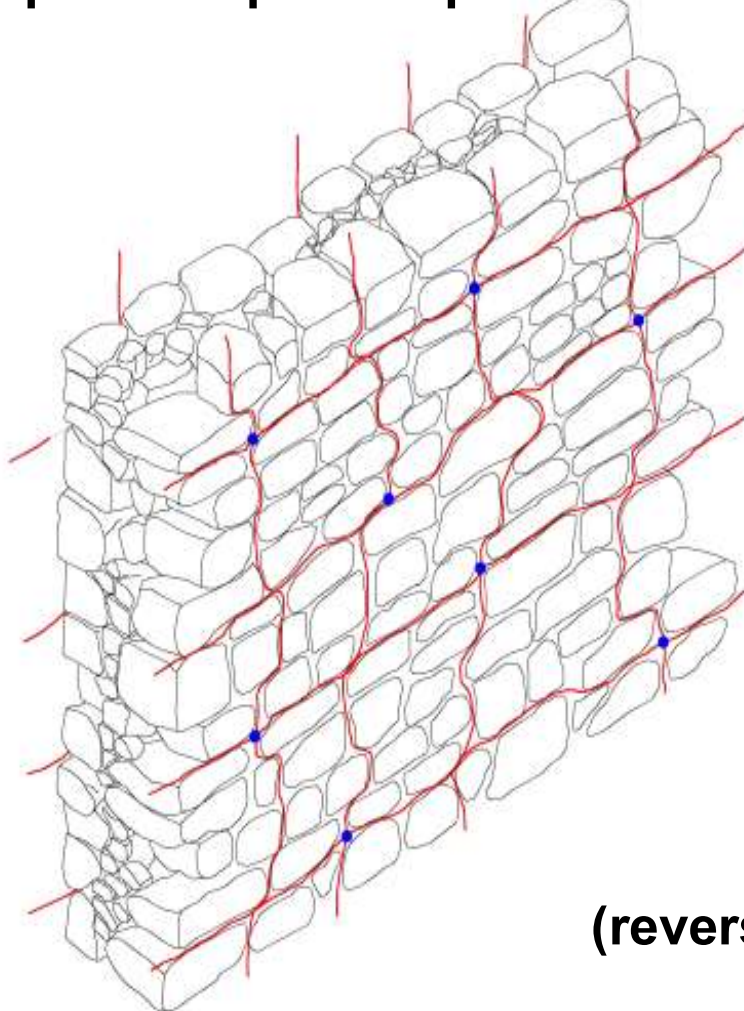
**Mutuo  
confinamento  
muratura -  
trefoli**



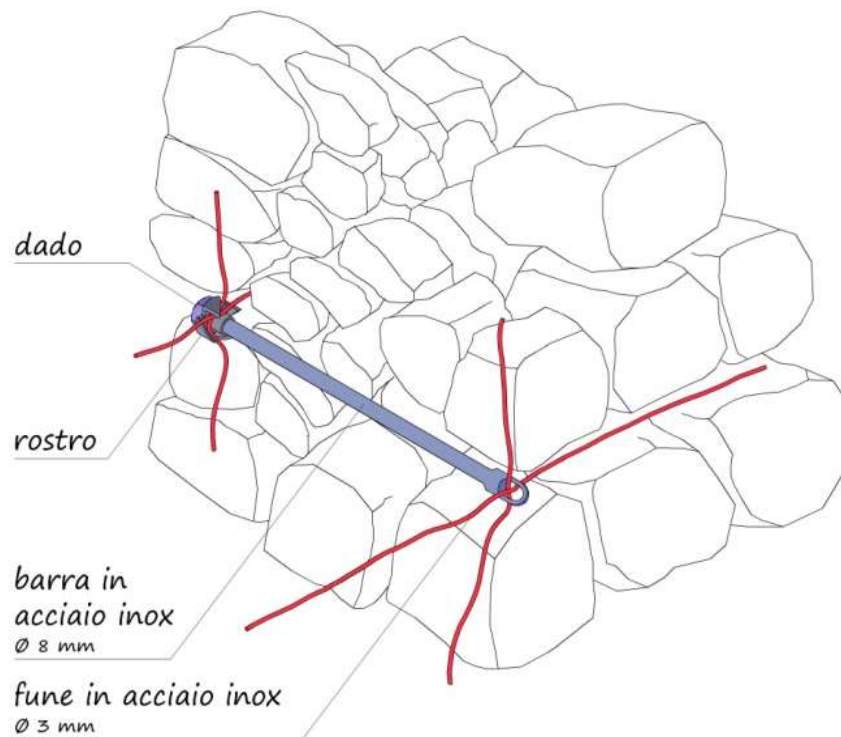
**Ancoraggio dei  
trefoli  
alla barra  
filettata**

# RETICOLA TWIN

per pietre di piccola pezzatura

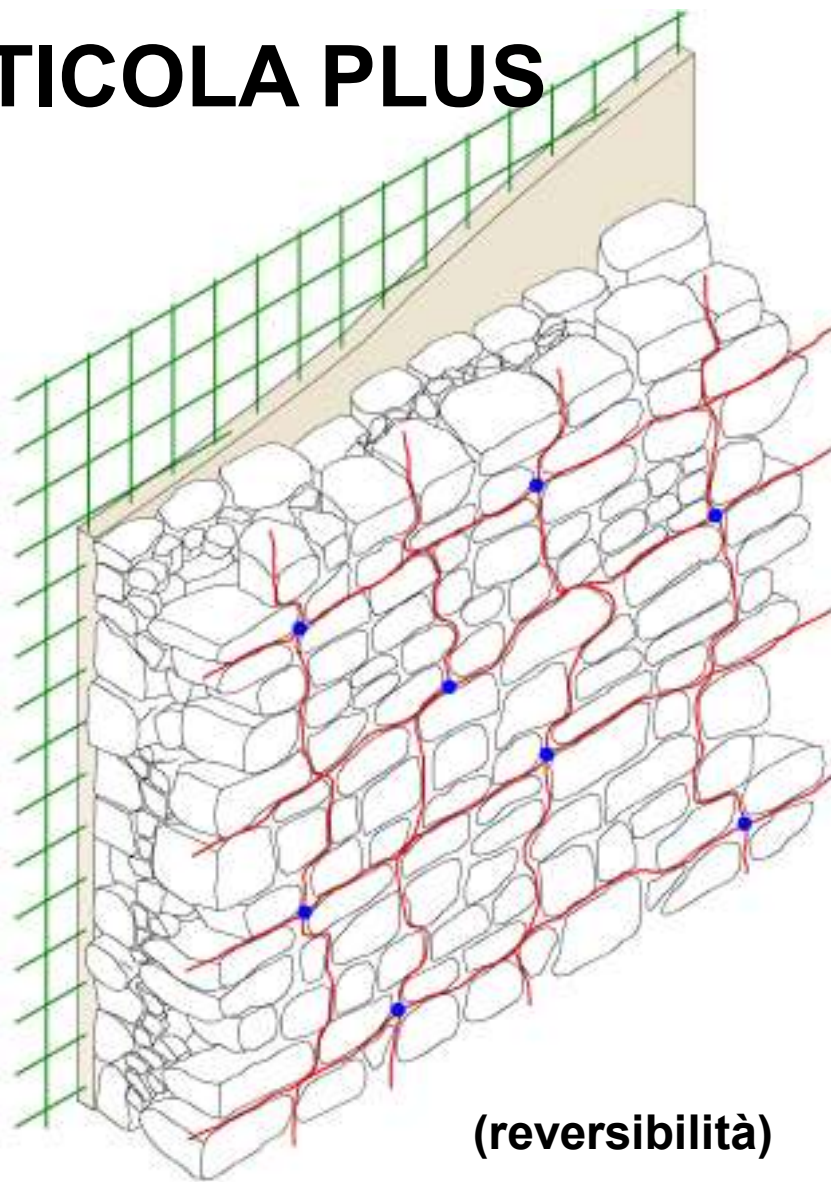


(reversibilità)



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

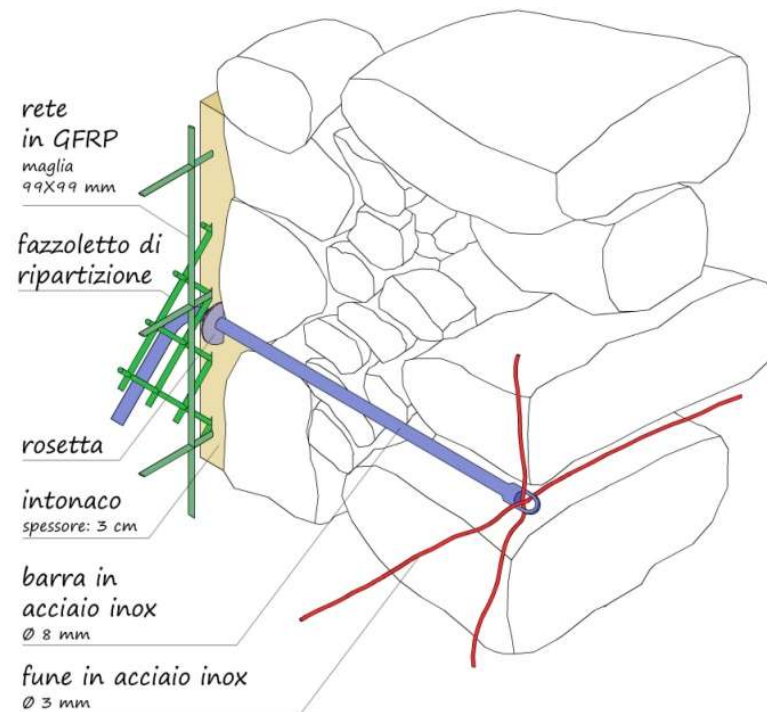
# RETICOLA PLUS



**(reversibilità)**

**MURATURA FACCIA  
A VISTA SUL  
PARAMENTO  
ESTERNO**

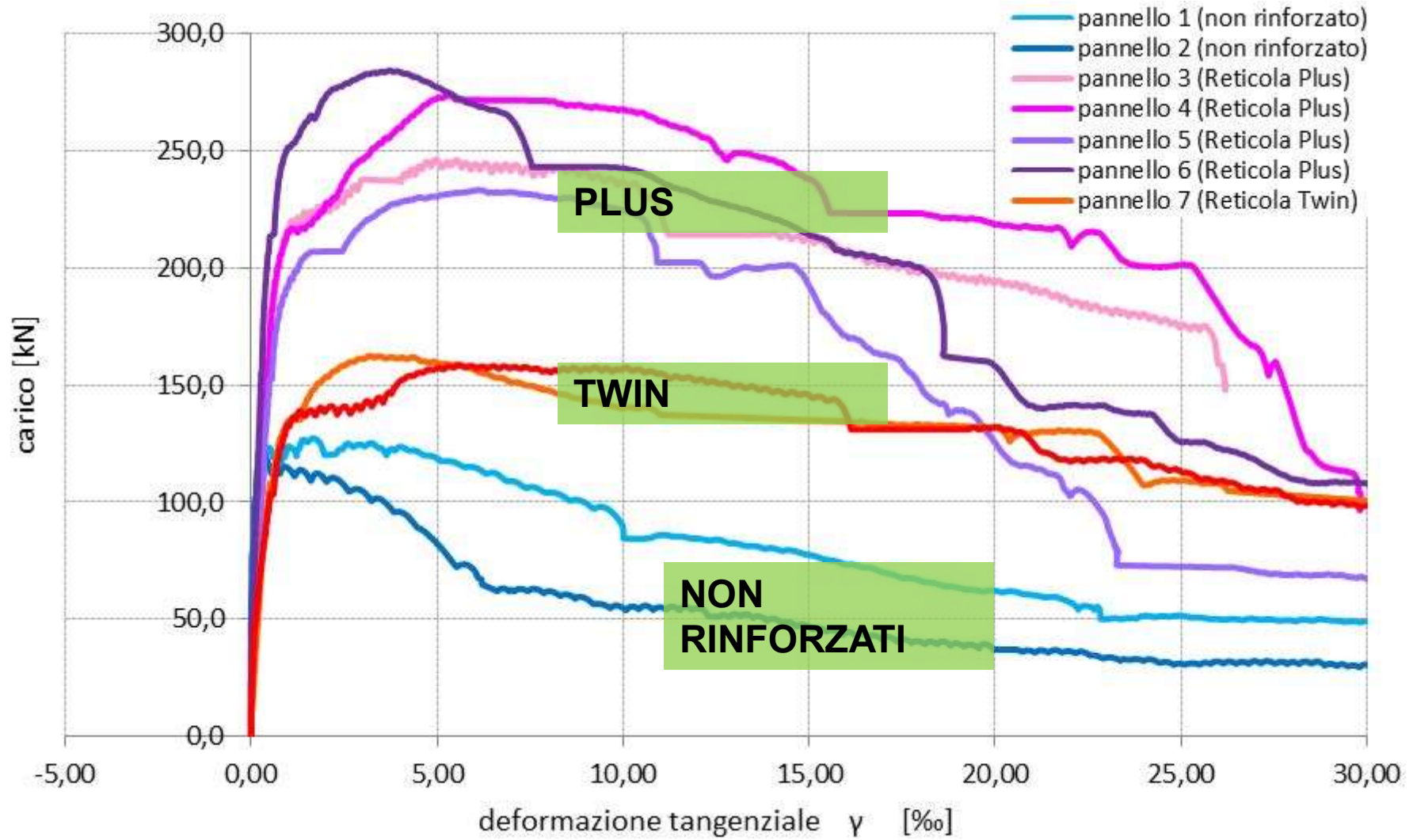
**PARAMENTO  
INTERNO  
INTONACATO**



# RETICOLA TWIN



# MURATURA DI PIETREME





# RESISTENZE E RIGIDENZE

- **Si possono adottare i coefficienti indicati in tabella (Circ. C.S.LL.PP. 7/2019) applicabili sia ai parametri di resistenza ( $f$ ,  $\tau_o$ ,  $f_{vo}$ ) sia ai moduli elastici ( $E$  e  $G$ ) in misura ridotta del 50%.**
- **I valori di tabella vanno comunque considerati un riferimento in assenza di più specifiche valutazioni sui valori da adottare per il caso in esame.**
- **Test sperimentali sull'efficacia della tecnica devono essere presi in considerazione.**

# 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).

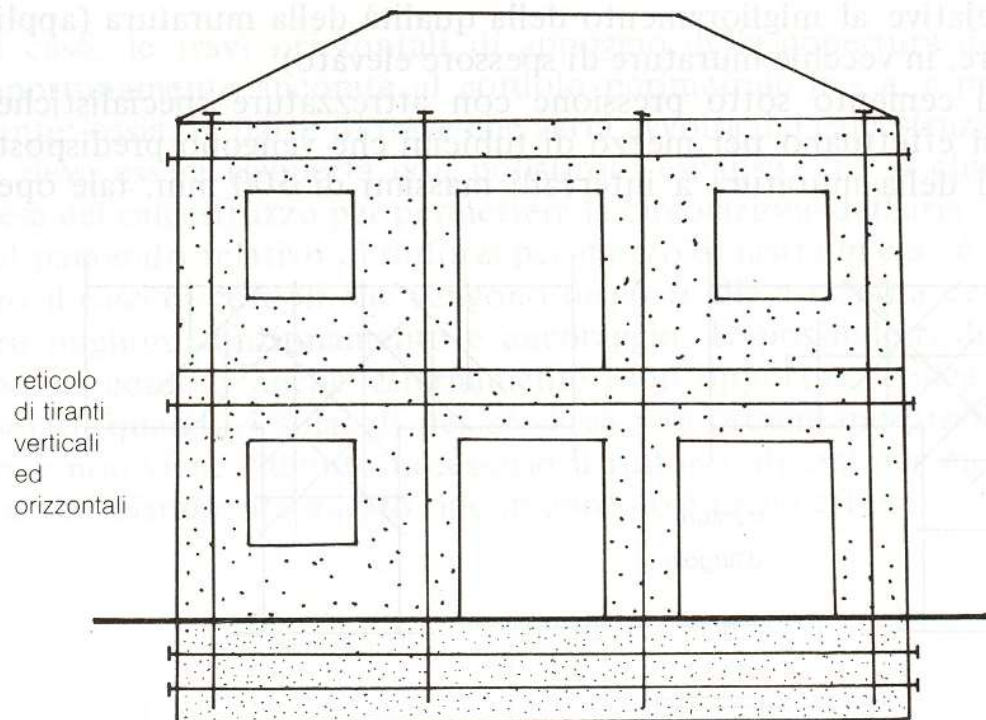
(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

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

# 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*

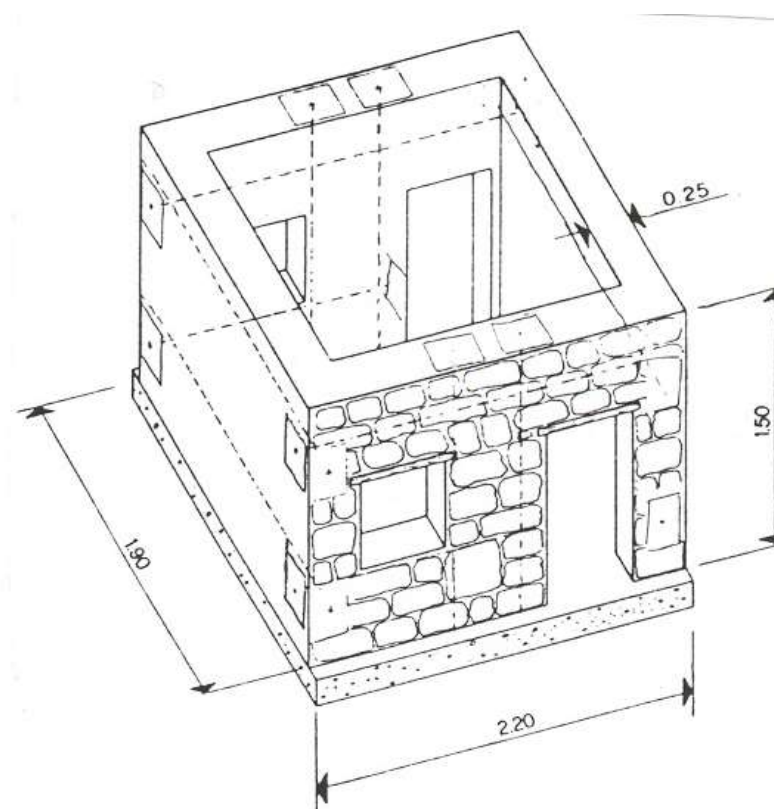


- *Tiranti verticali negli angoli dell'edificio ed in corrispondenza dei maschi*
- *Tiranti orizzontali in corrispondenza dei solai di piano per irrobustire le fasce di piano*
- *Tiranti orizzontali in fondazione per realizzare travi alte*
- *Le sedi dei tiranti generalmente vengono iniettate di malta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

# RISULTATI PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

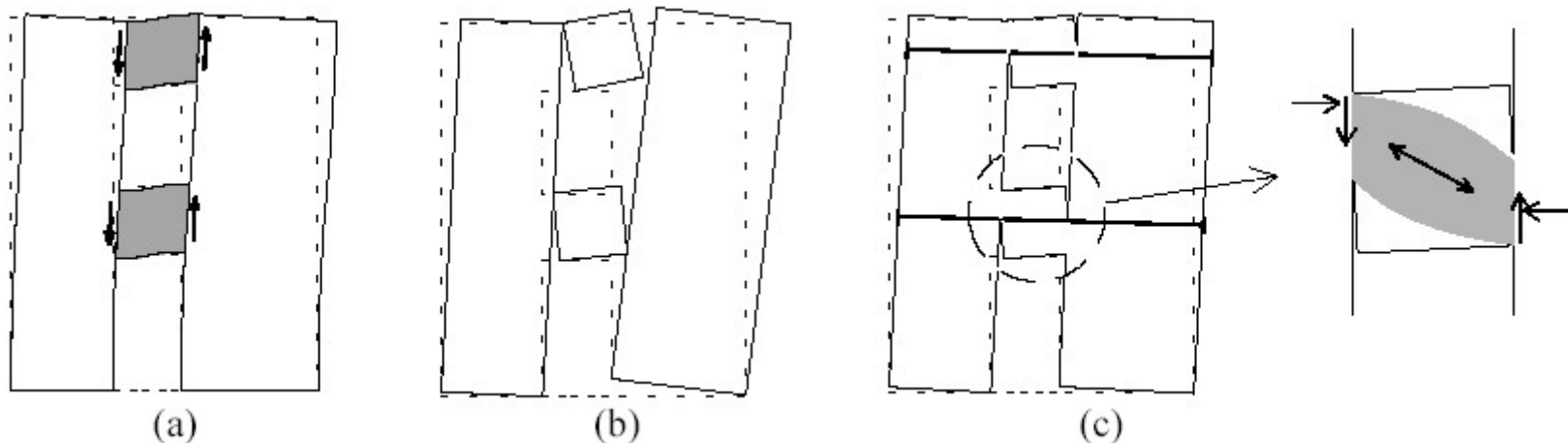
*Prove eseguite dal Prof. Duilio Benedetti – Politecnico di Milano*

<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



# 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)*

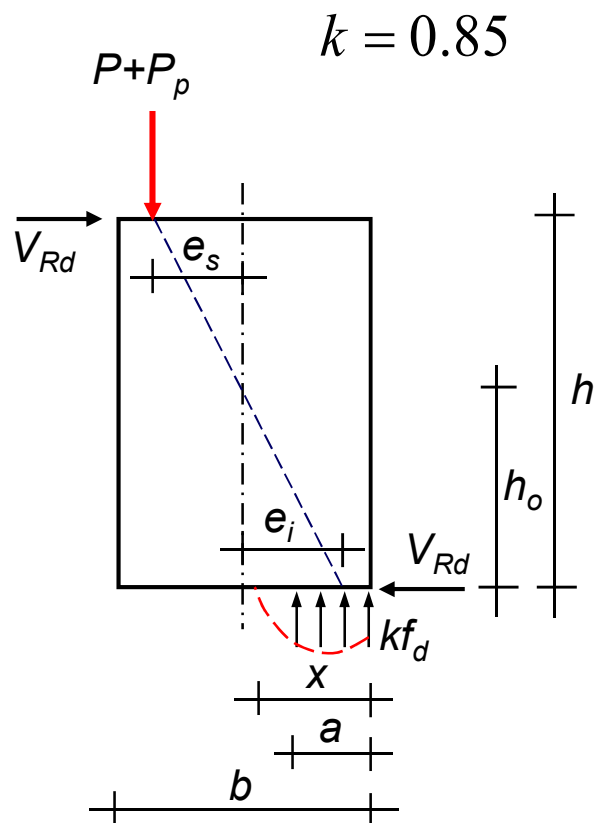


# VERIFICA DI RESISTENZA MASCHI

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



$$\left\{ \begin{array}{l} M_{Rd} = k f_d a t \left( \frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) \\ P + P_p = k f_d a t \end{array} \right. \rightarrow a = \frac{P + P_p}{k f_d t}$$

$$a = 0.8 x$$

$$\sigma_o = \frac{P}{b t}$$

$$\sigma_v = \frac{P_p}{b t}$$

Sostituendo  $a$  e  $\sigma_o$  nella prima

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

Nota la posizione di annullamento del momento  $h_o$

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

# VERIFICA DI RESISTENZA MASCHI

Capacità portante a taglio (*Rottura per scorrimento*)

$$f_{vk} = f_{vok} + 0.4 \sigma$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m$$

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

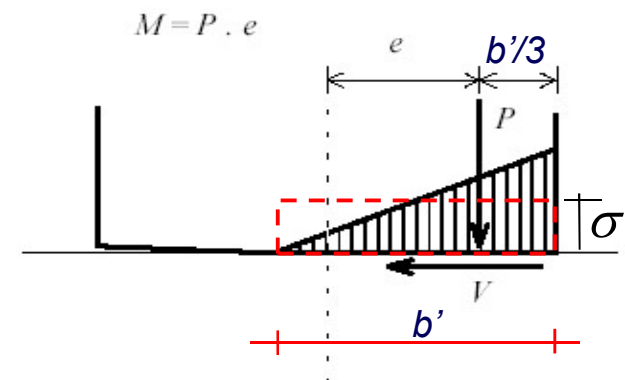
$$\frac{b'}{3} + e = \frac{b}{2} \quad \rightarrow \quad b' = \left( \frac{3}{2} - \frac{3e}{b} \right) b \quad e = \frac{V h_o}{P} \quad \sigma_o = \frac{P}{bt} \quad \sigma_v = \frac{P_p}{bt}$$

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



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

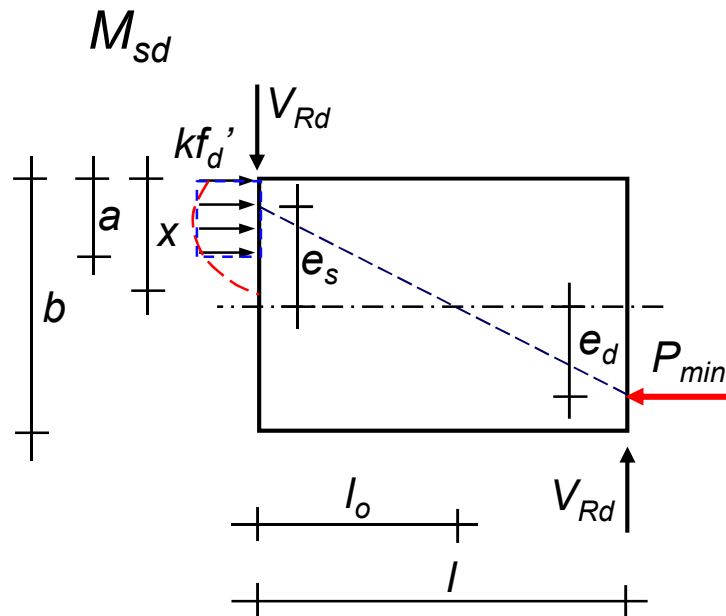
$$V_{Rd}^s \leq \frac{f_{vok} + 0.4(\sigma_o + \sigma_v) bt}{\gamma_m}$$



# 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



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

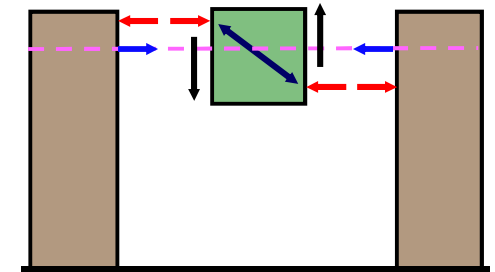
$k = 0.85$   
 $a = 0.8x$

Sostituendo  $a$  nella prima

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

Risolviendo rispetto a  $P_{min}$

$$P_{min} = \frac{kf'_d b t}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{8M_{sd}}{kf'_d b^2 t}} \right)$$



$$P_p \geq P_{min}$$

$f'_d$  è la resistenza a compressione di calcolo della muratura in direzione orizzontale



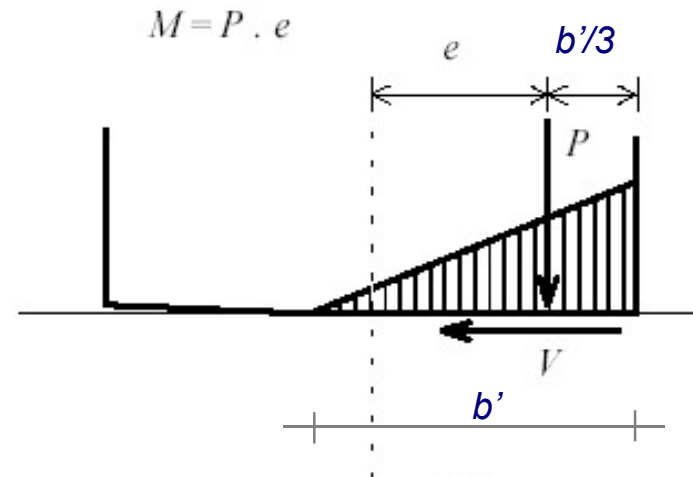
# VERIFICA A TAGLIO FASCE DI PIANO

Esplicitando  $\sigma_h$  dalla relazione seguente e ponendo al posto di  $V_{Rd}^s$  il taglio agente  $V_{sd}$ , si può calcolare 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

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

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



# RESISTENZA A TAGLIO FASCE DI PIANO

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

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

$$H_p = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{resist. a trazione elem. teso} \\ 0.4 f'_d b t \end{array} \right.$$



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

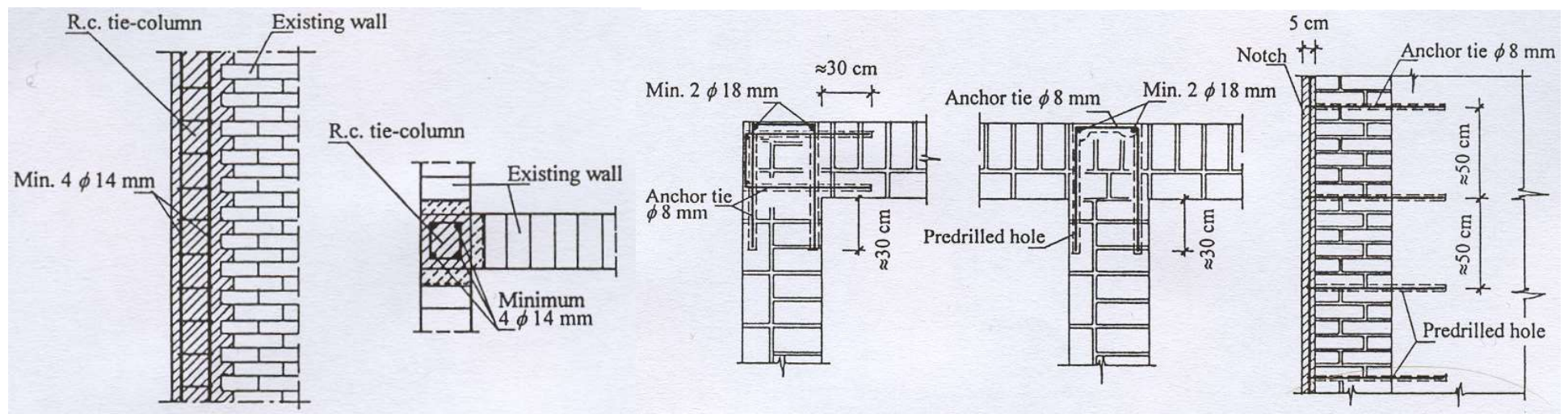
$$V_{sd} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} V_{Rd}^s \\ V_{Rd}^f \end{array} \right.$$

$f'_d$  resist. a compr. muratura in direzione orizzontale

# TECNICHE DI CONFINAMENTO

## Cordoli verticali

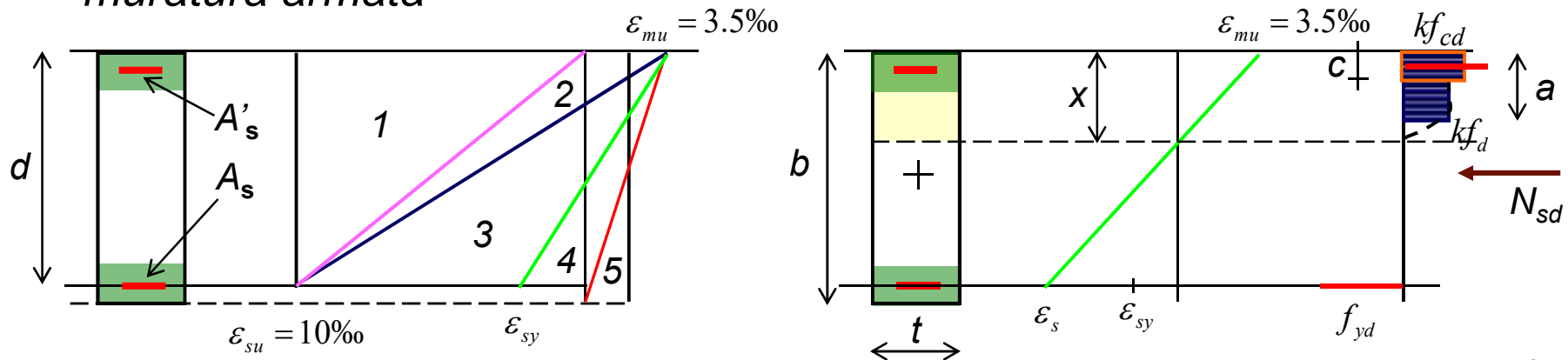
- *Sistema efficace quando è possibile realizzare cordoli verticali nelle intersezioni fra le pareti e ad entrambe le estremità dei maschi*
- *Applicabile solo per murature di mattoni, che vengono rimossi ad uno ad uno nelle zone dove verrà realizzato il cordolo verticale*
- *Inadatto per murature di 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



$$a = 0.8x$$

$$k = 0.85$$

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

$$a \leq 0.8 \frac{0.0035d}{0.0035 + \varepsilon_{sy}} \quad (\text{limite fra campo 3 e campo 4})$$

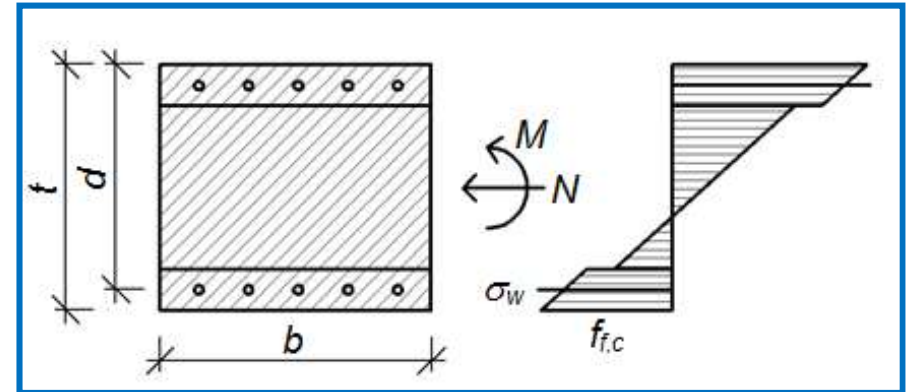
(di norma la tensione di compressione nell'acciaio non raggiunge lo snervamento quindi si utilizza il coeff.  $\alpha \sim 0.4$ )

# RINFORZO CON RETE IN GFRP

## Pressoflessione fuori piano

### Momento di cracking

$$M_{cr(R)} = \left( \frac{N}{A_{id}} + \frac{|f_{f,c}|}{\alpha_c} \right) \frac{J_{id}}{h/2}$$



### Momento ultimo

$$M_{u(R)} = \bar{x} b f_{c,c} \cdot \left( \frac{t}{2} - \frac{\bar{x}}{2} \right) + n_w T_m \left( d - \frac{t}{2} \right)$$

$$\bar{x} = \frac{N_{tot} + n_w T_m}{b f_{c,c}}$$

$$\bar{x} = 0.8 x$$

$n_w T_m$  Numero fili rete per resistenza singolo filo

