



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE



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

**Corso di
Progettazione e riabilitazione strutturale**

**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

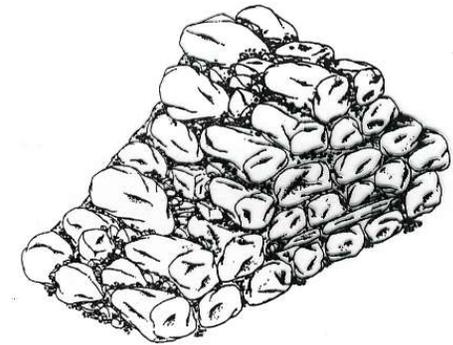
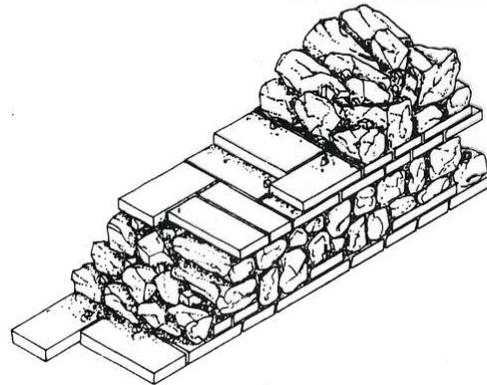
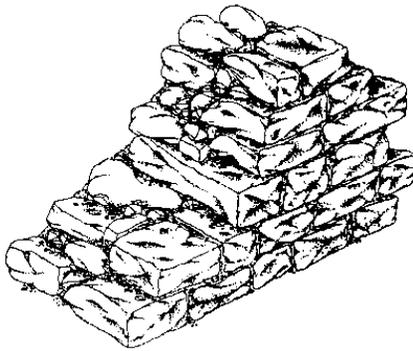
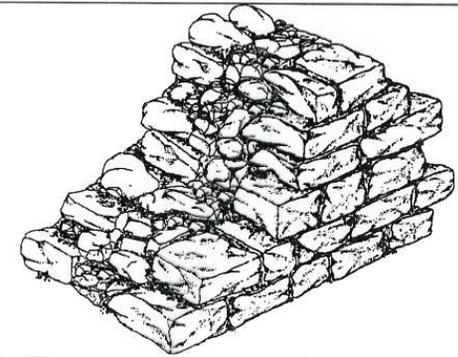
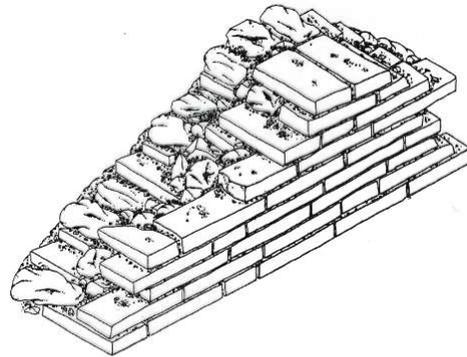
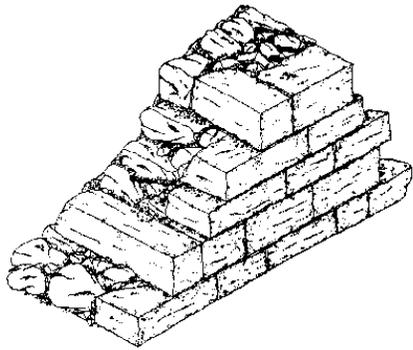
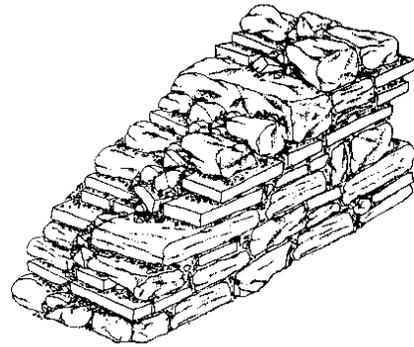
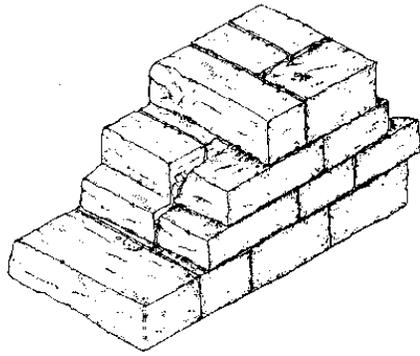
Resistenza del materiale

- *Il materiale della muratura non deve disgregarsi*
- *Migliorare la connessione interna*
- *Se le caratteristiche meccaniche della muratura sono scadenti è necessario procedere al rinforzo*

Incremento della resistenza della muratura

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

TIPOLOGIE MURARIE



ALCUNI TIPI DI MURATURE

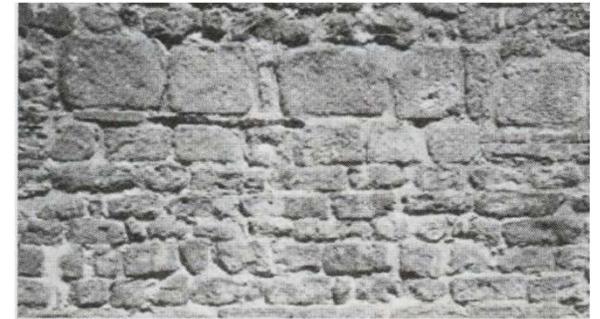
Gli edifici esistenti sono realizzati con diversi tipi di murature e principalmente



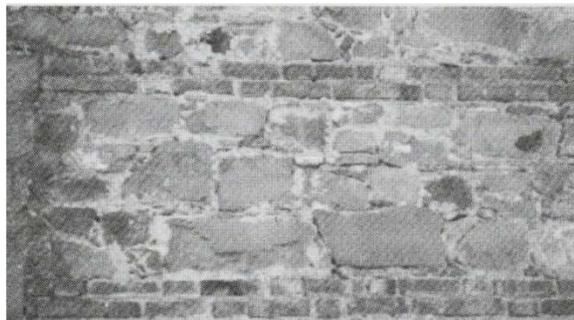
*Blocchi di pietra grossolana-
namente squadrata*



*Mattoni pieni e
malta di calce*



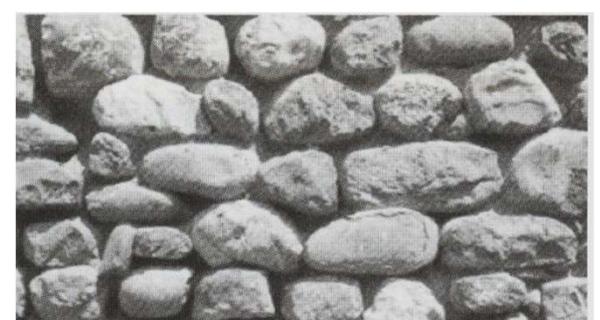
*Blocchi di pietra grezza di varia
pezzatura*



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



*Blocchi tondeggianti in
pietra di varie dimensioni*



*Ciottoli di torrente a strati
affiancati*

PARAMETRI MECCANICI MATERIALI

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

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	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 squadriati	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**

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

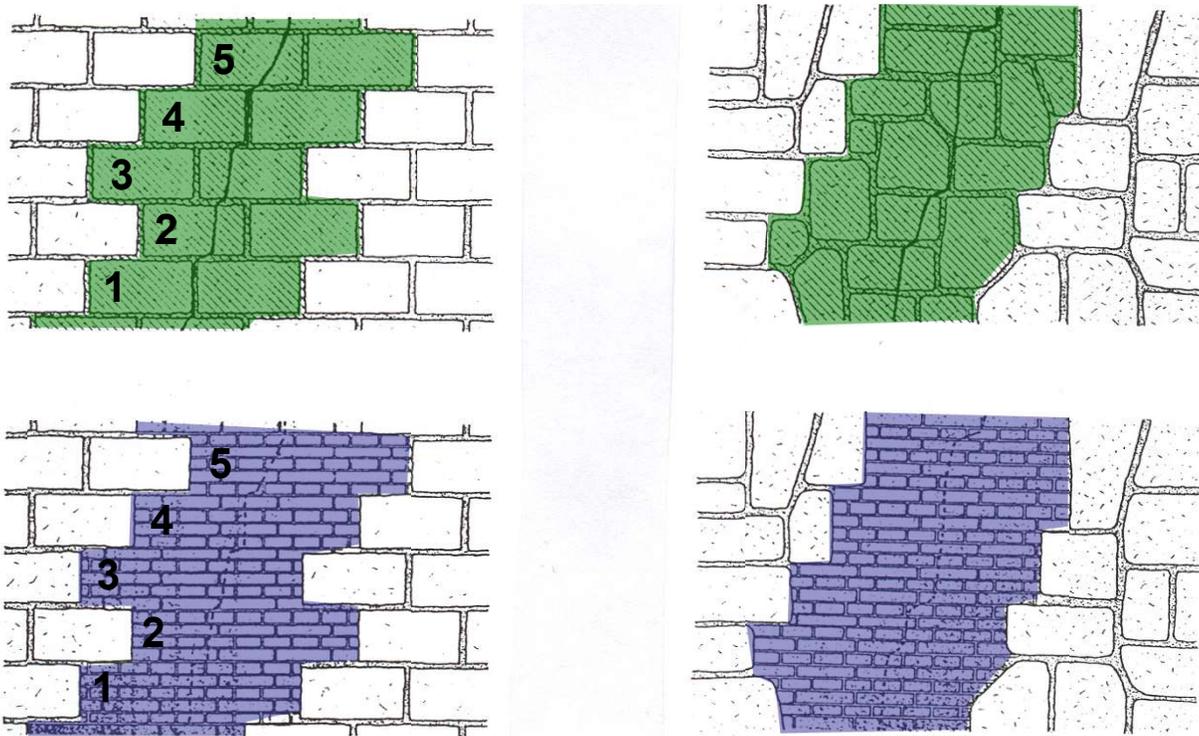
$$\xi = 1.0 \div 1.5$$

- *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 originali*

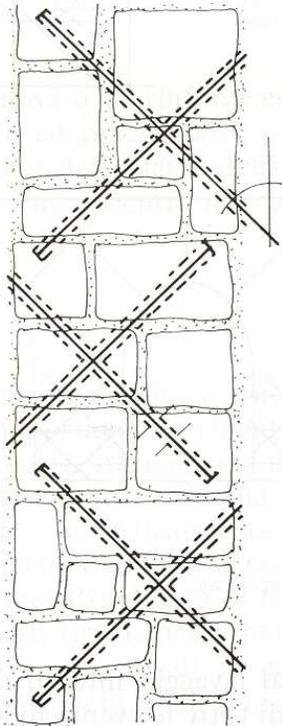


TECNICHE DI RINFORZO GENERALE PER MURATURE

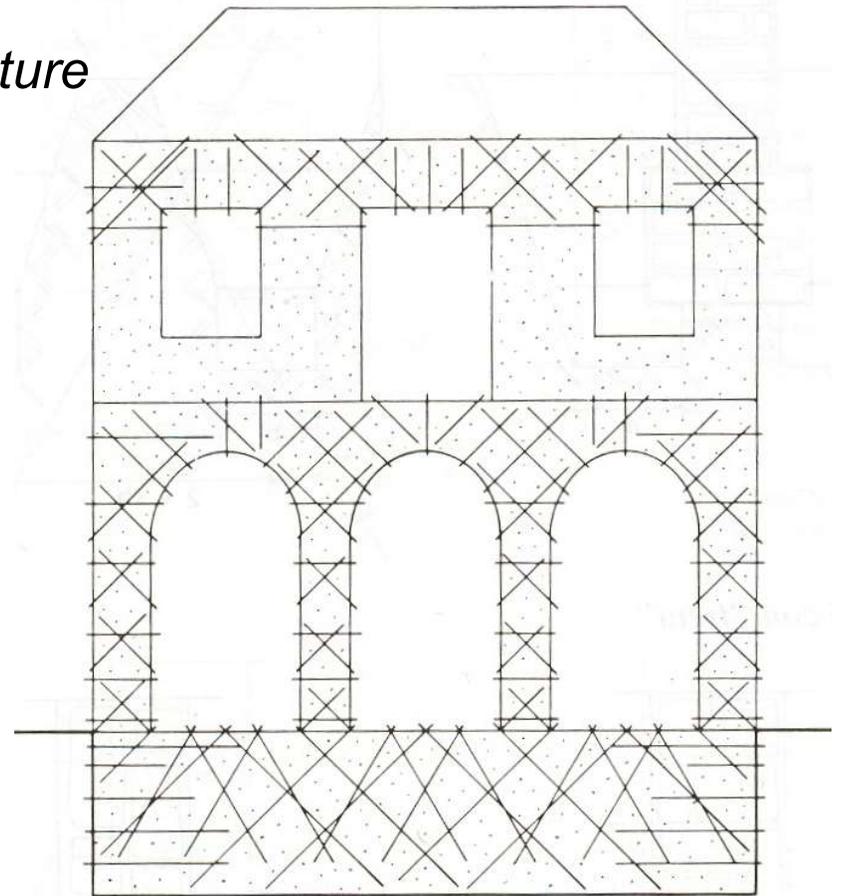
- *Esecuzione di Perforazioni armate*
- *Inserimento diatoni artificiali*
- *Iniezioni di miscele leganti*
- *Ristilatura (con o senza armatura) giunti di malta*
- *Realizzazione camicie in rete metallica e betoncino*
- *Realizzazione camicie in rete in GFRP e intonaco (CRM)*
- *Applicazione tessuti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

PERFORAZIONI ARMATE

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

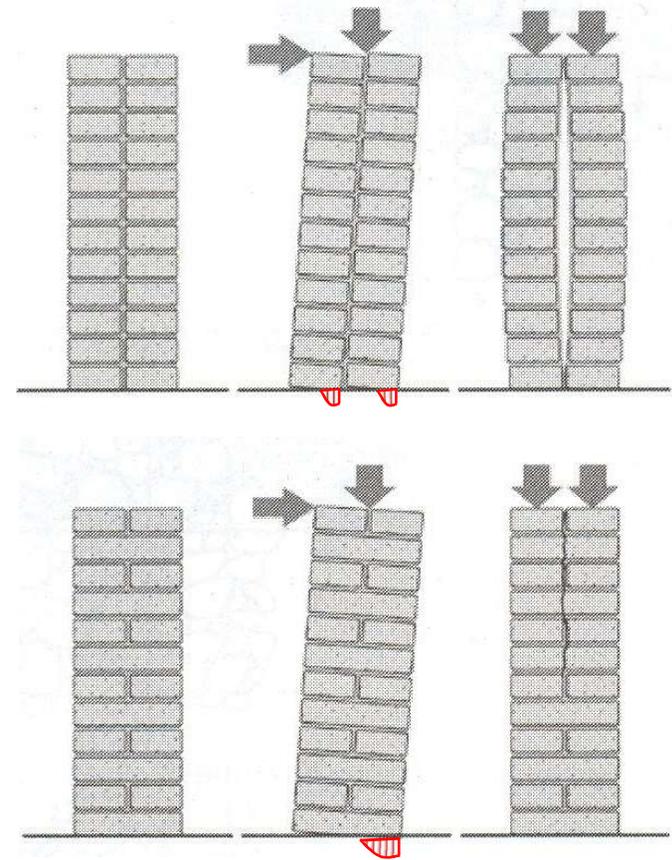
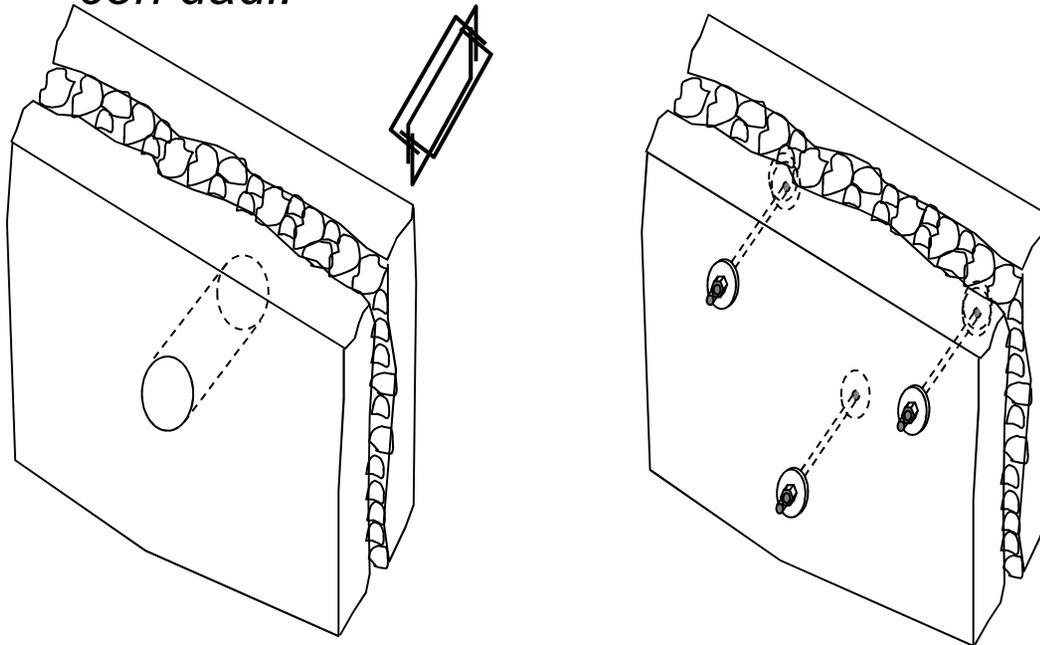


- *Esecuzione perforazioni con attrezzo a rotazione (ϕ 20÷25)*
- *Rimozione detriti e parti in distacco all'interno del foro*
- *Inserimento barre di acciaio (ϕ 12÷14 mm) o non metalliche*
- *Iniezione con malta tixotropica a ritiro compensato*



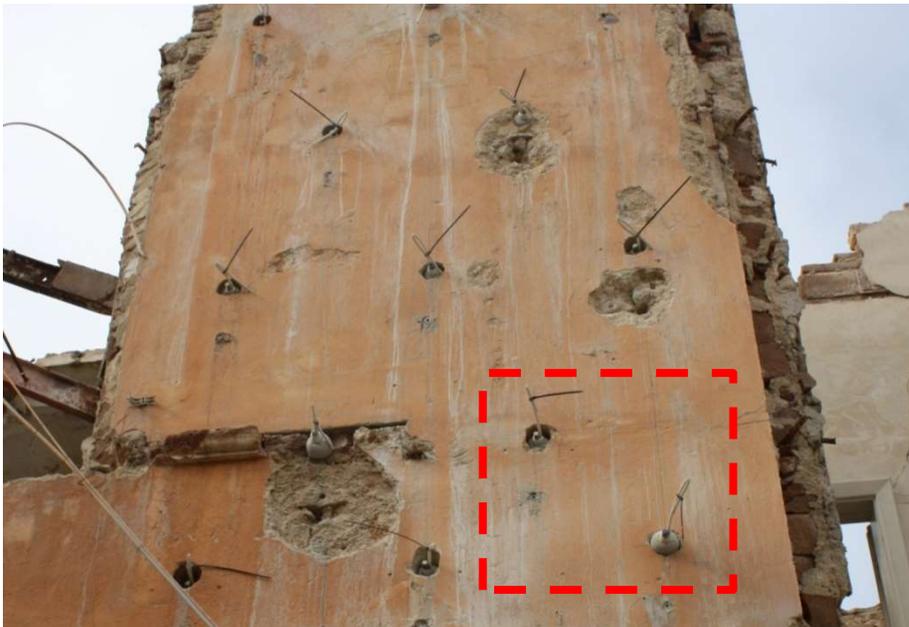
DIATONI ARTIFICIALI

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



DIATONI ARTIFICIALI

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



STIMA RESISTENZA

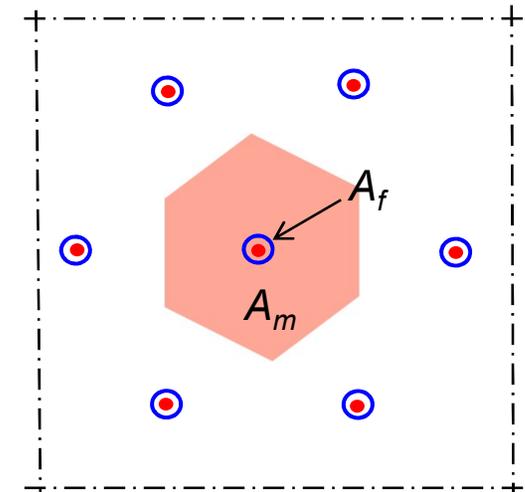
- *L'incremento di resistenza dovuto all'intervento deve essere stimato in base a prove sperimentali*
- *Comunque quando le barre sono distribuite uniformemente all'interno della muratura si possono utilizzare le seguenti espressioni proposte da T. Tassios (da verificare sperimentalmente).*

Resistenza a compressione

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

Resistenza a taglio

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



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

COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

Tabella 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 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 quadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

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

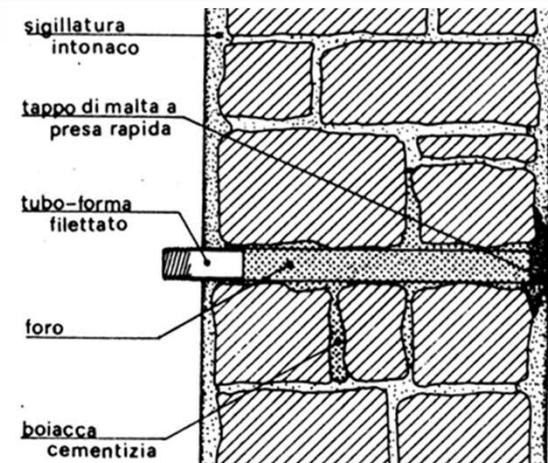
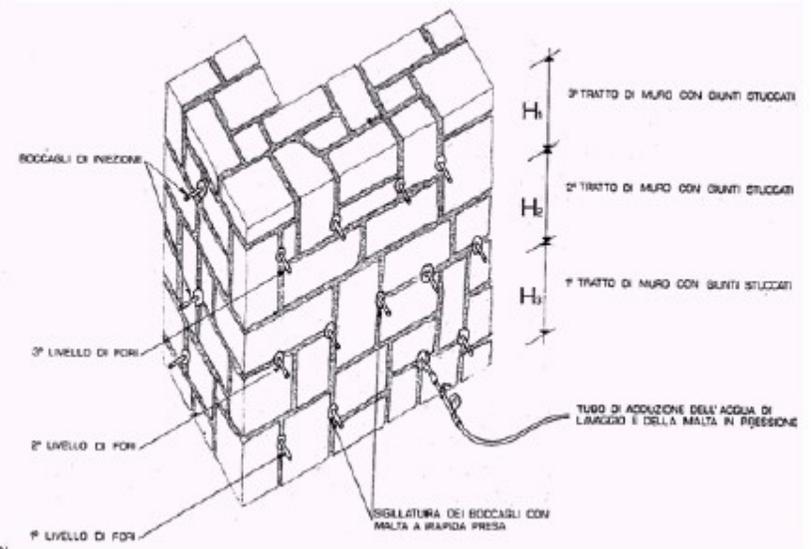
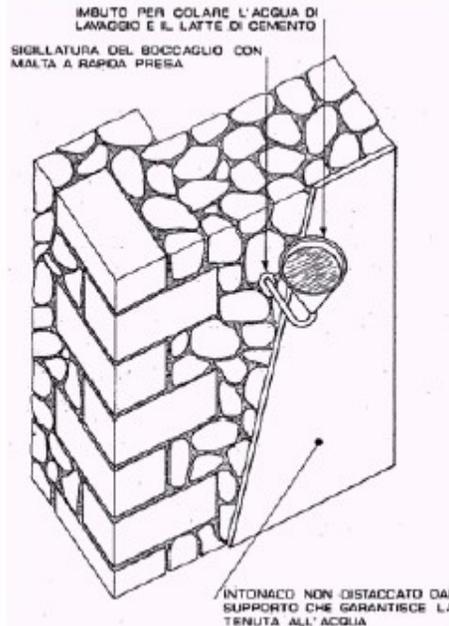
(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

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

INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI

- *Le murature in pietrame presentano spesso numerosi vuoti al proprio interno, distribuiti pressoché uniformemente*
- *Il riempimento di questi vuoti con materiale cementizio conduce ad un sensibile aumento della resistenza della muratura (tecnica ampiamente utilizzata nella riparazione degli edifici dopo il sisma del 1976 in Friuli)*



INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI

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

Sheppard, Tomazevic 1986

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

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

COEFFICIENTI CORRETTIVI MATERIALI

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

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

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

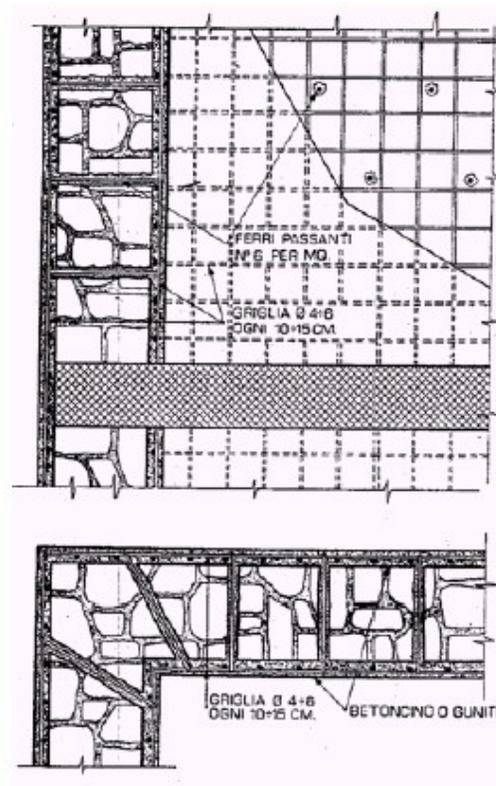
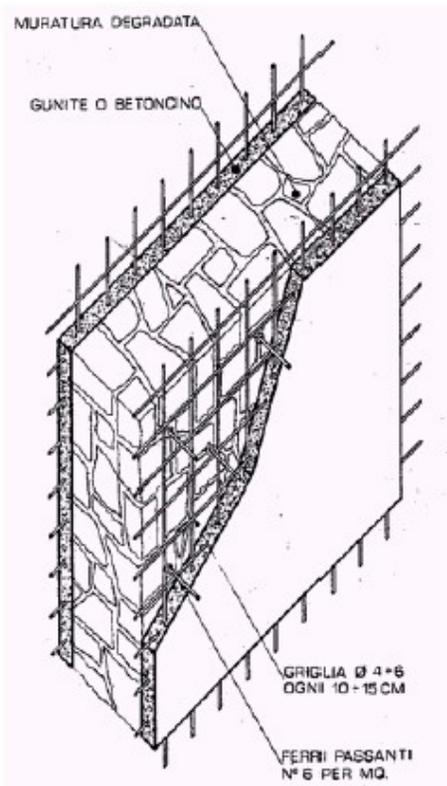
(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

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

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 ϕ 6/m²) 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*

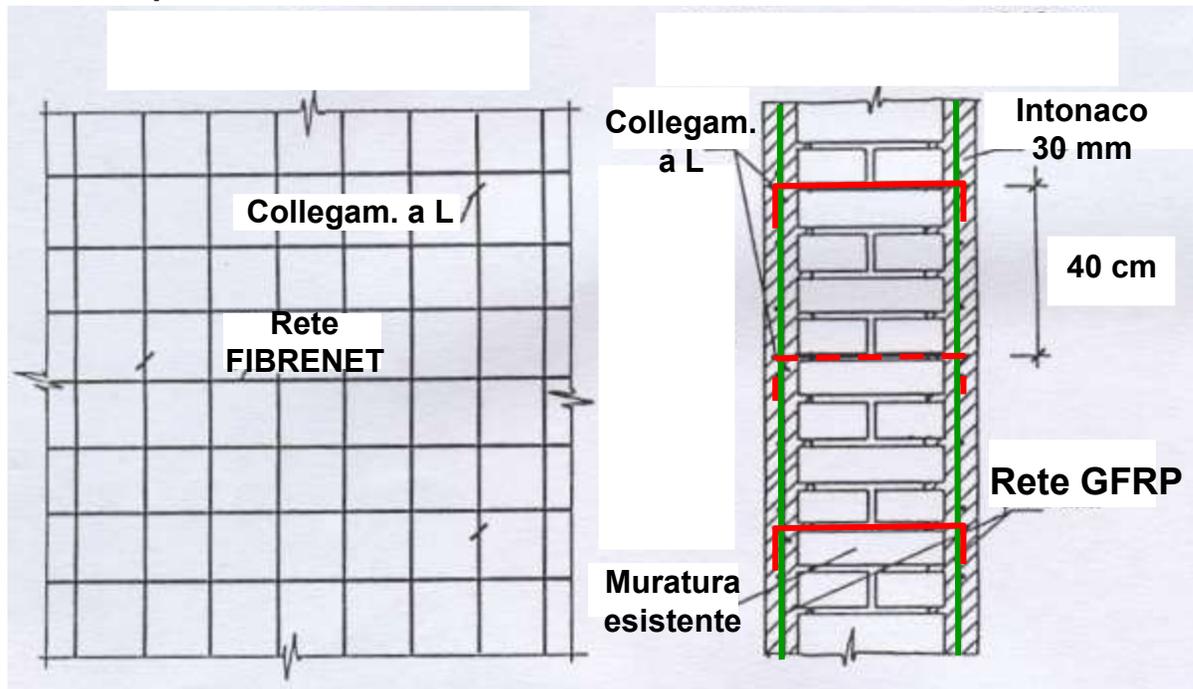
Sheppard, Tomazevic 1986

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)

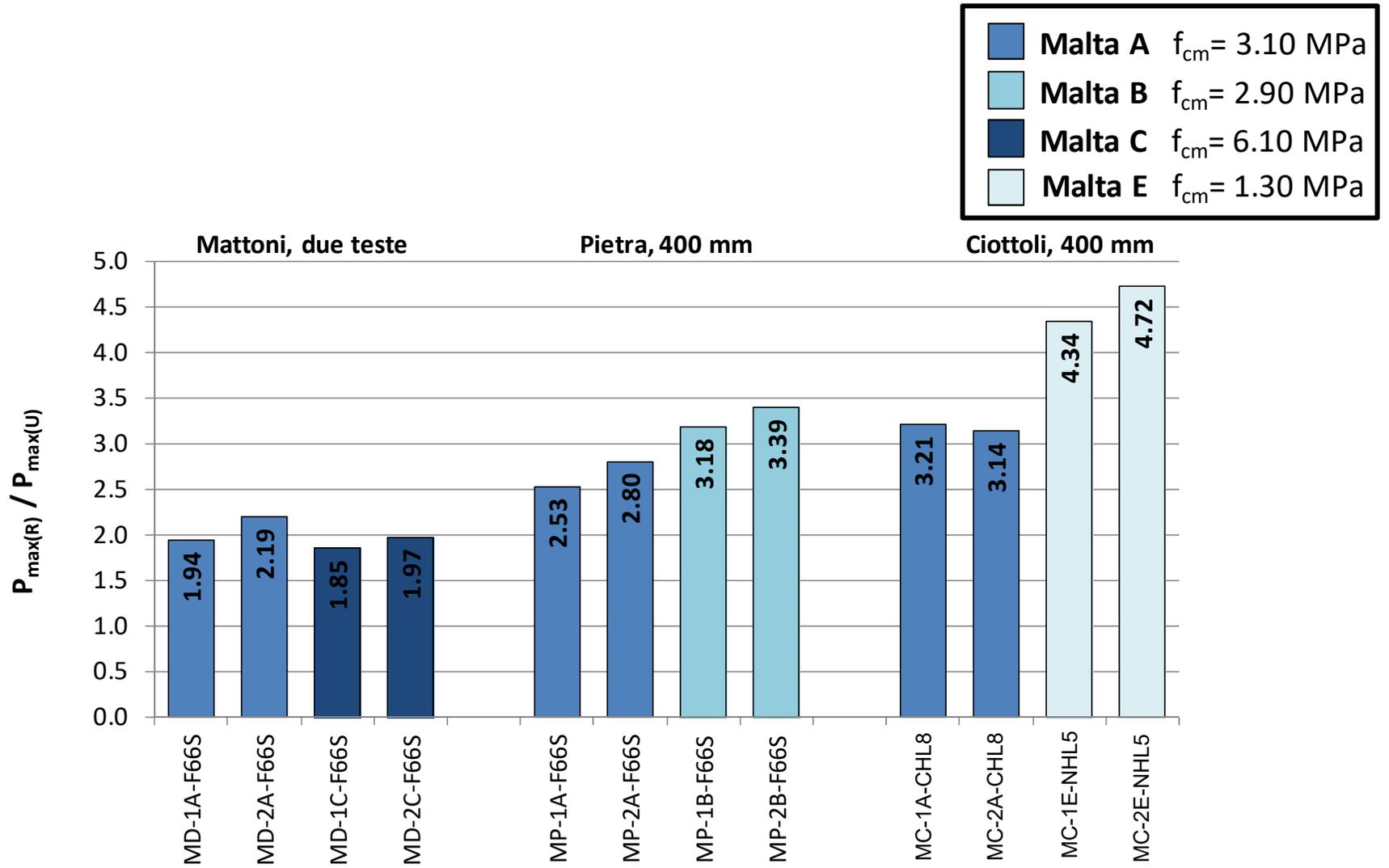
- Consiste nell'utilizzo di reti in GFRP (glass fiber reinforced polymer) disposte sulla superficie delle pareti, collegate fra loro con connettori a L giuntati per sovrapposizione all'interno di fori passanti attraverso la muratura, e realizzazione di intonaco di malta di calce o bastarda dello spessore 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/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,25}$ (f_m in N/mm²).

(****) 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 $K_{e(R)}$

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

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

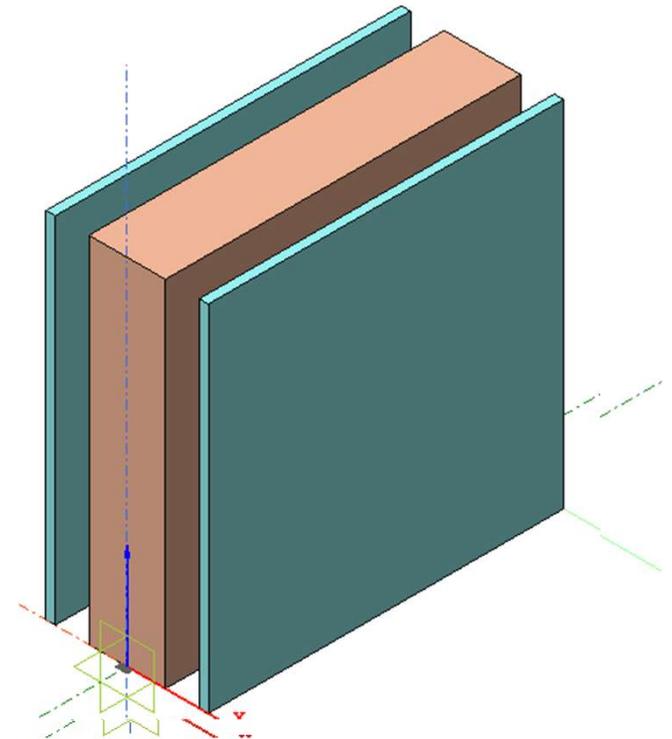
$$E_{(R)} = E_{(NR)} + E_{\text{int}} \frac{t_{\text{int}}}{t_{NR}}$$

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

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**

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

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

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

$$f'_{vd} = \alpha f_{v0} + 0.4 \sigma'_v$$

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

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

Collasso a compressione del puntone di muratura

$$\sigma'_v = N/bt$$

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

σ'_{vm} tensione media zona compressa

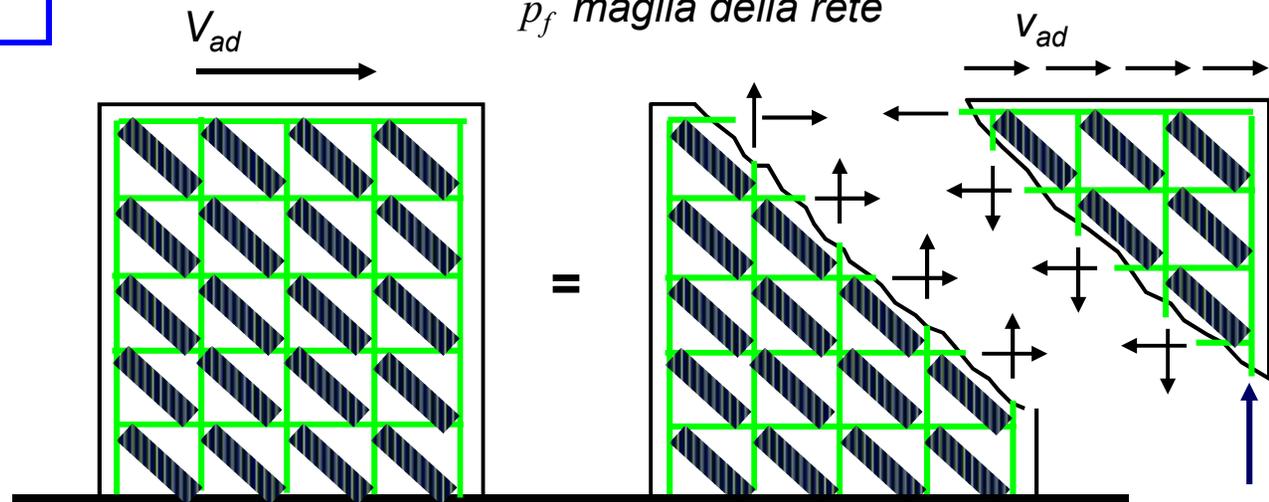
x posizione dell'asse neutro

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

A_{fw} sezione trasversale filo rete

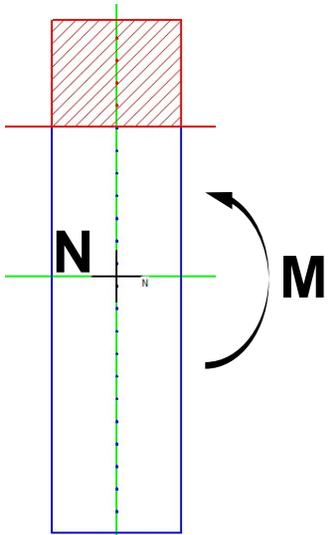
f_{fd} resistenza a trazione filo di rete

p_f maglia della rete



TECNICA DI RINFORZO CRM

Pressoflessione nel piano

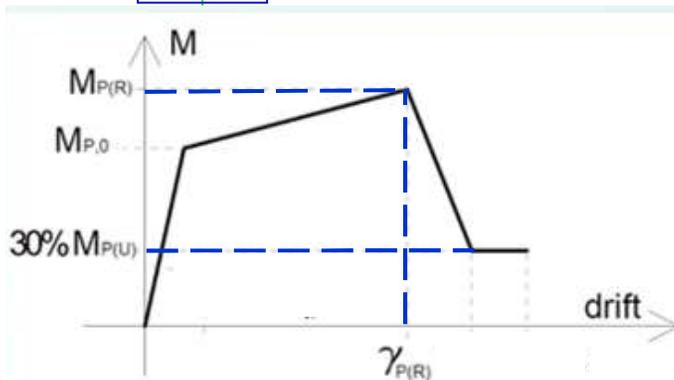


Comportamento elasto-plastico con incrudimento

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:

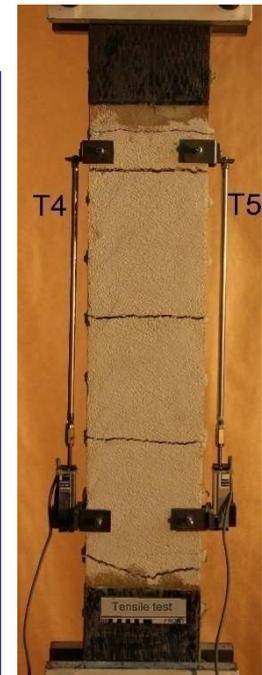
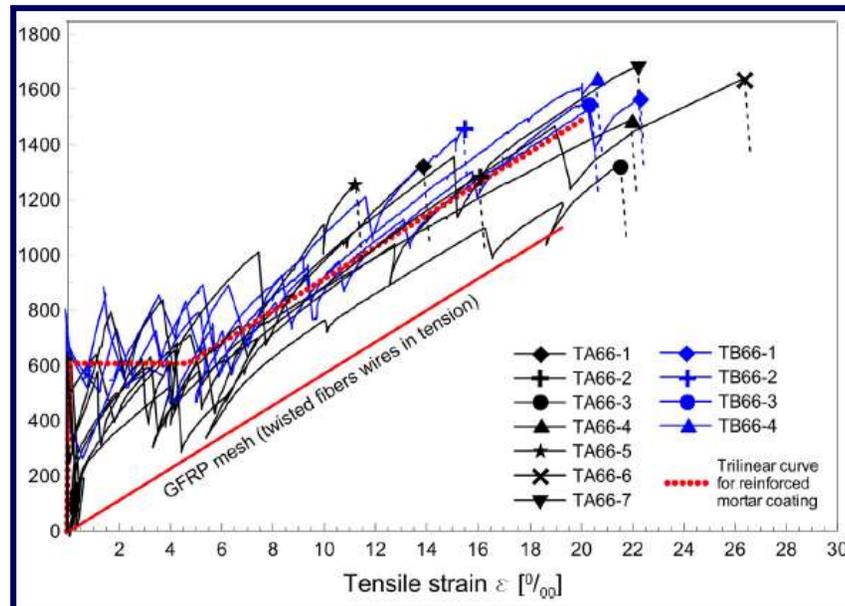
- **la resistenza a compressione della muratura;**
- **la resistenza a trazione dei fili di rete**

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

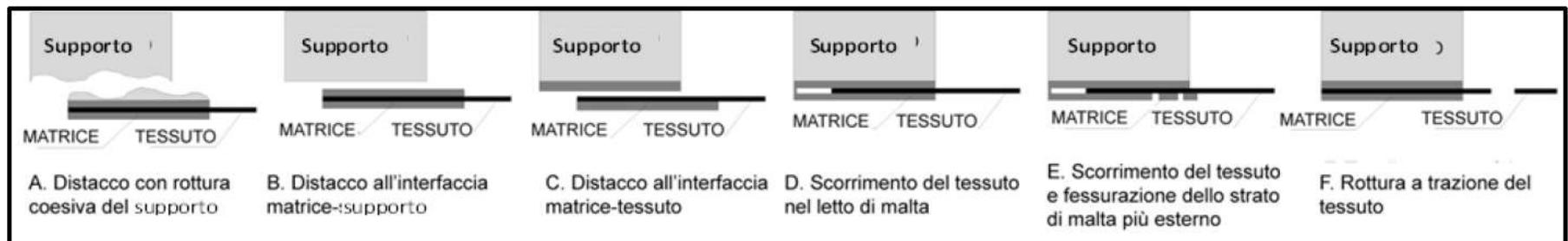
Rinforzo
parete
con rete
in
composi-
to



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 FRCC e del tessuto secco e la prova di distacco dal supporto.

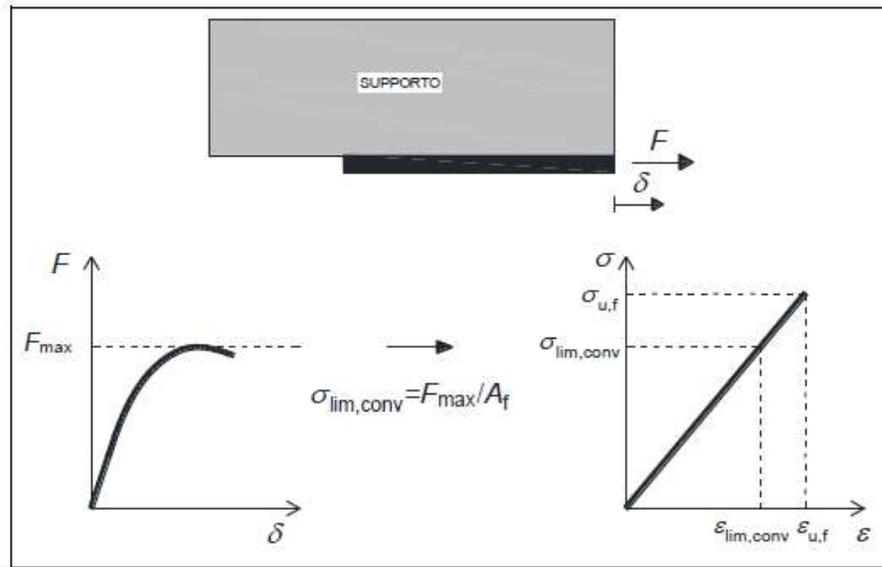
PROPRIETA' MECCANICHE FRCM

- 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 σ_u (valore caratteristico) e deformazione ultima ε_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 $\varepsilon_{lim,conv} = \frac{\sigma_{lim,conv}}{E_f}$

PROPRIETA' MECCANICHE FRCM



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

Il coefficiente di amplificazione α 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 α 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 $\sigma_{lim,conv}^{(a)}$ deve essere minore o al più uguale a σ_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

$$\alpha_t = 0.8$$

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

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)

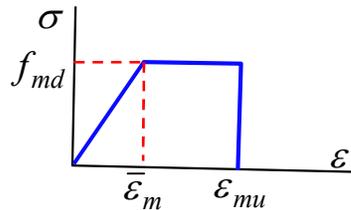
RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE

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:

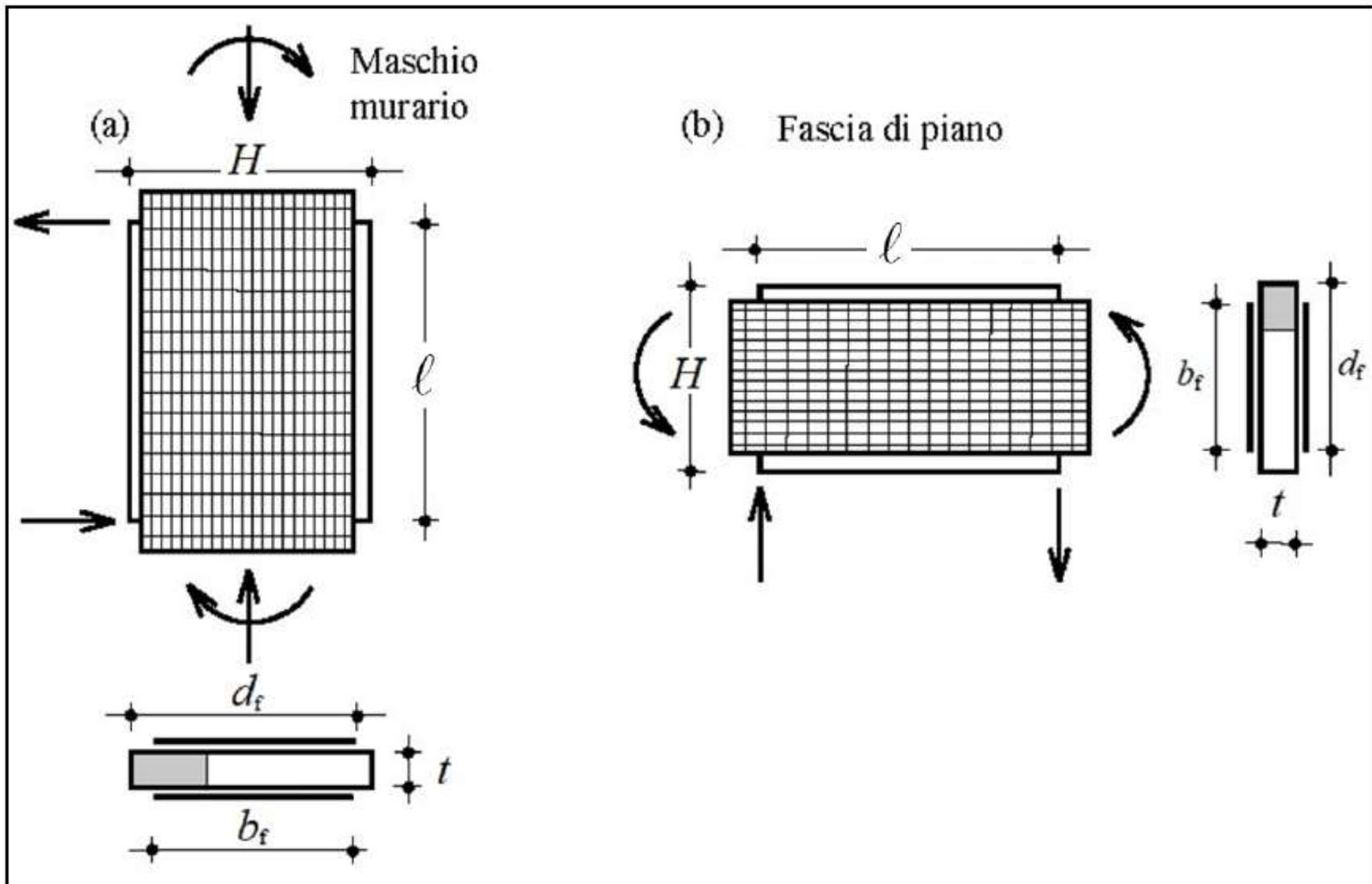
- conservazione della planarità delle sezioni rette;
- perfetta aderenza tra rinforzo FRCM e supporto.

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, ε_{mu} ; tensione costante, pari a f_{md} , per deformazioni comprese nell'intervallo $\bar{\varepsilon}_m \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{mu}$.



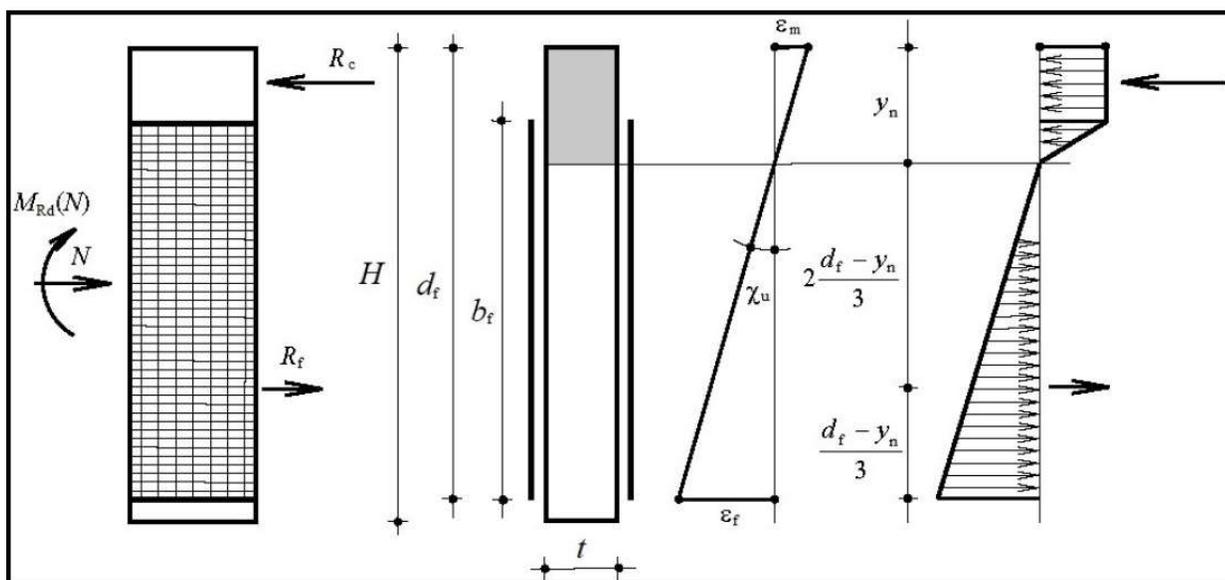
RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE



RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE

In assenza di dati sperimentali la deformazione ultima di progetto, ε_{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 ε_{fd} ottenuta 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.



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

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

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 FRM 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 squadrati	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

(CNR-DT 200 R1/2013):

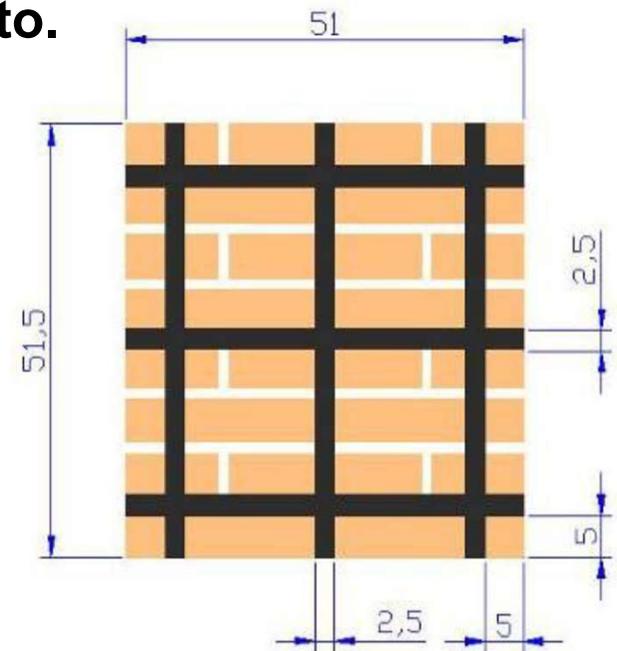
Nastri in FRP

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.

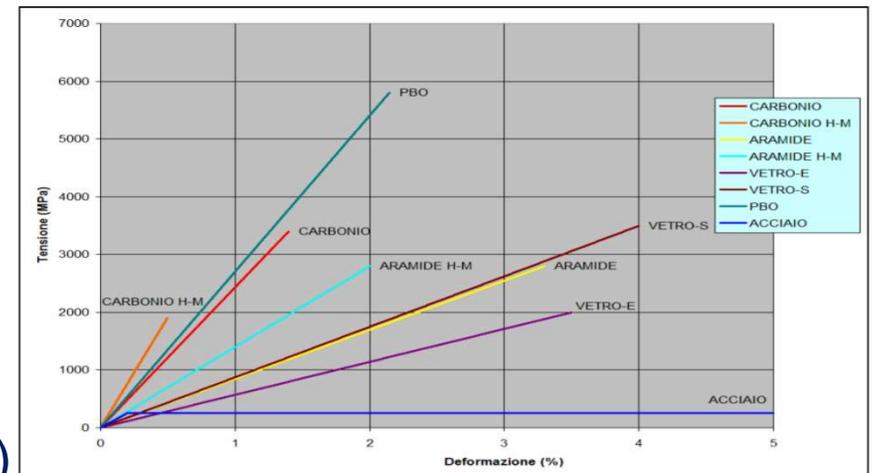
Principali limiti:

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

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

- *Esempi di applicazione*



Fibre di vetro



Fibre di carbonio

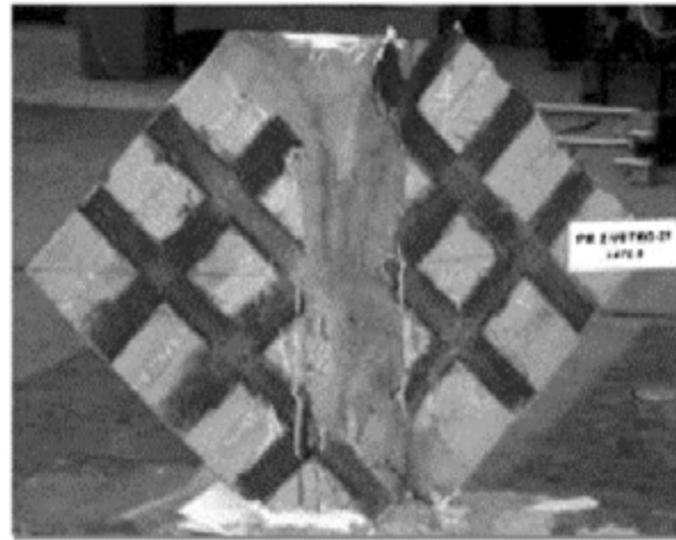
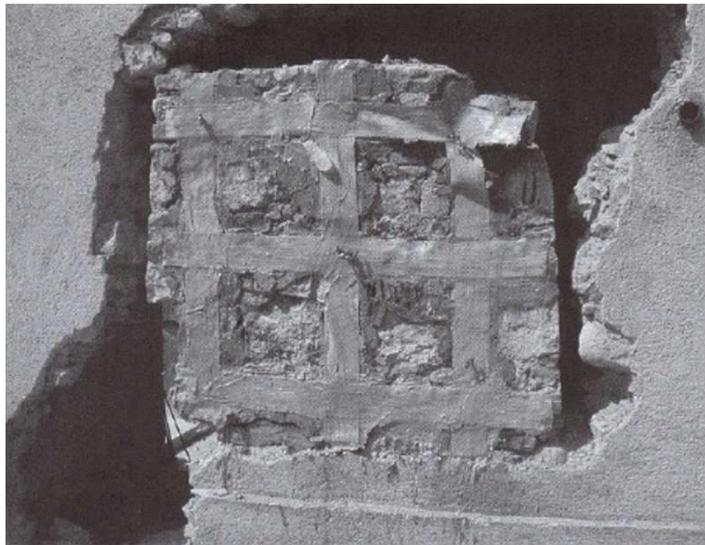


Fibre di aramide

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

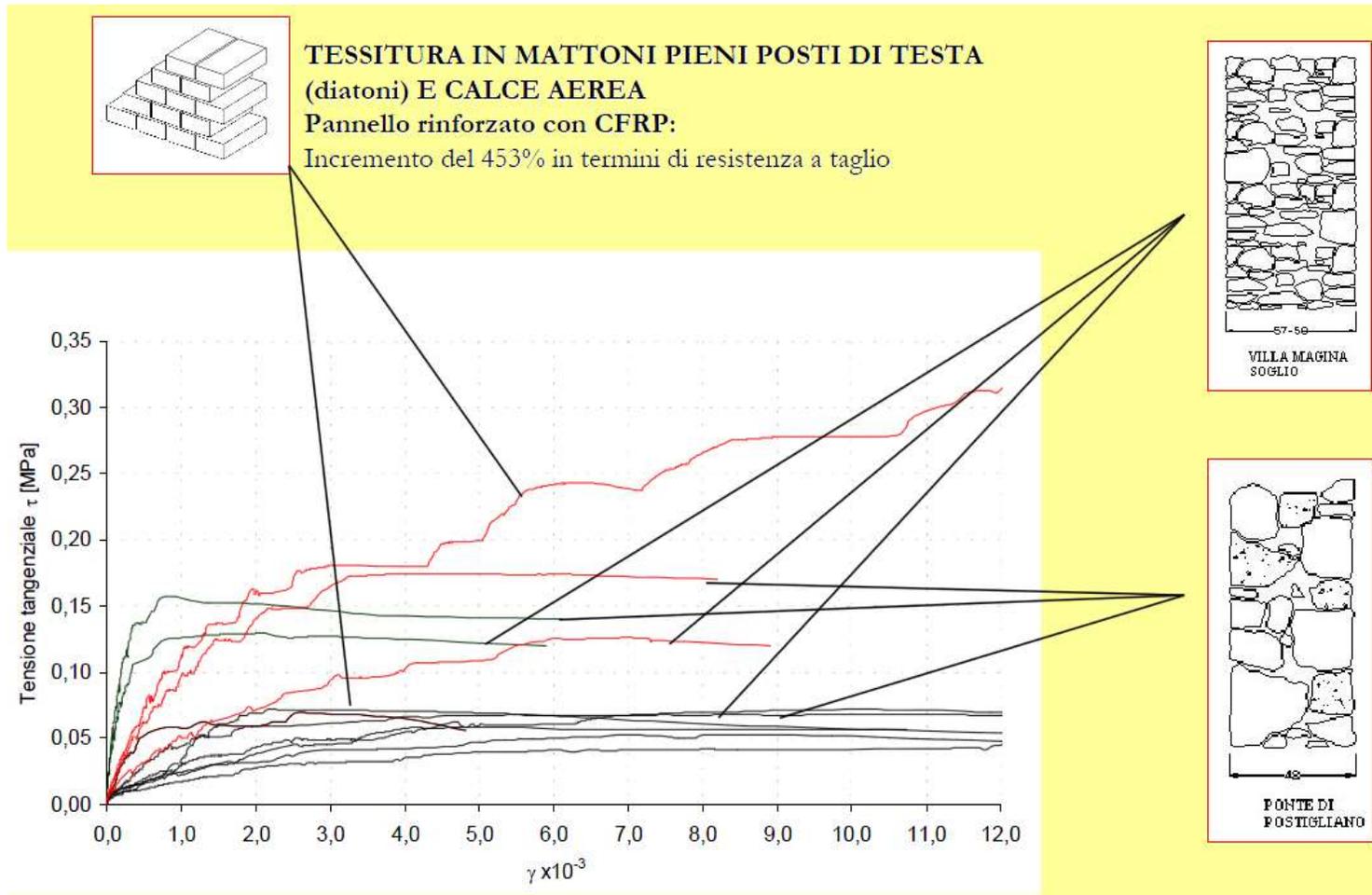
Sono state eseguite numerose prove di compressione diagonale che hanno evidenziato un considerevole aumento della resistenza a taglio per murature di caratteristiche scadenti ($f_{v0} = 0.04$ MPa), fino a **tre volte tanto** (Corradi, Borri, Vignoli 2008).

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



RINFORZO CON NASTRI IN FRP

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 200 R1/2013. La resistenza al debonding è

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

E_f Modulo elastico FRP

t_f spessore del nastro

k_b, k_G coefficienti funzione tipo muratura

FC fattore di confidenza

f_{btm} resistenza a trazione blocchi muratura

f_{bm} resistenza a compressione blocchi muratura

f_{bd} massima tensione tangenziale di aderenza

$$k_b = \sqrt{\frac{3 - b_f/b}{1 + b_f/b}}$$

$$k_G = 0.012 \div 0.048$$

Energia di frattura specifica

$$\Gamma_F = \frac{k_b k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{bm} \cdot f_{btm}}$$

Lunghezza di ancoraggio ottimale

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

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

$$s_u = 0.3 \div 0.4$$

RINFORZO CON NASTRI IN FRP

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

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

(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)

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

$$f'_{vd} = \alpha f_{v0} + 0.4 \sigma'_v$$

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

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

Collasso a compressione
del puntone di muratura

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

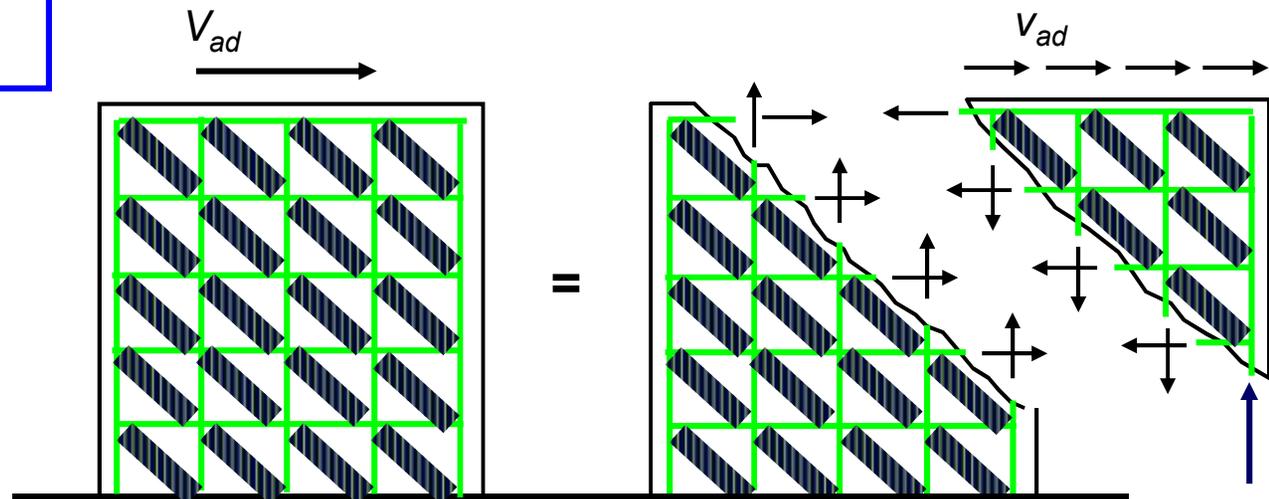
σ'_{vm} tensione media zona compressa

x posizione dell'asse neutro

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

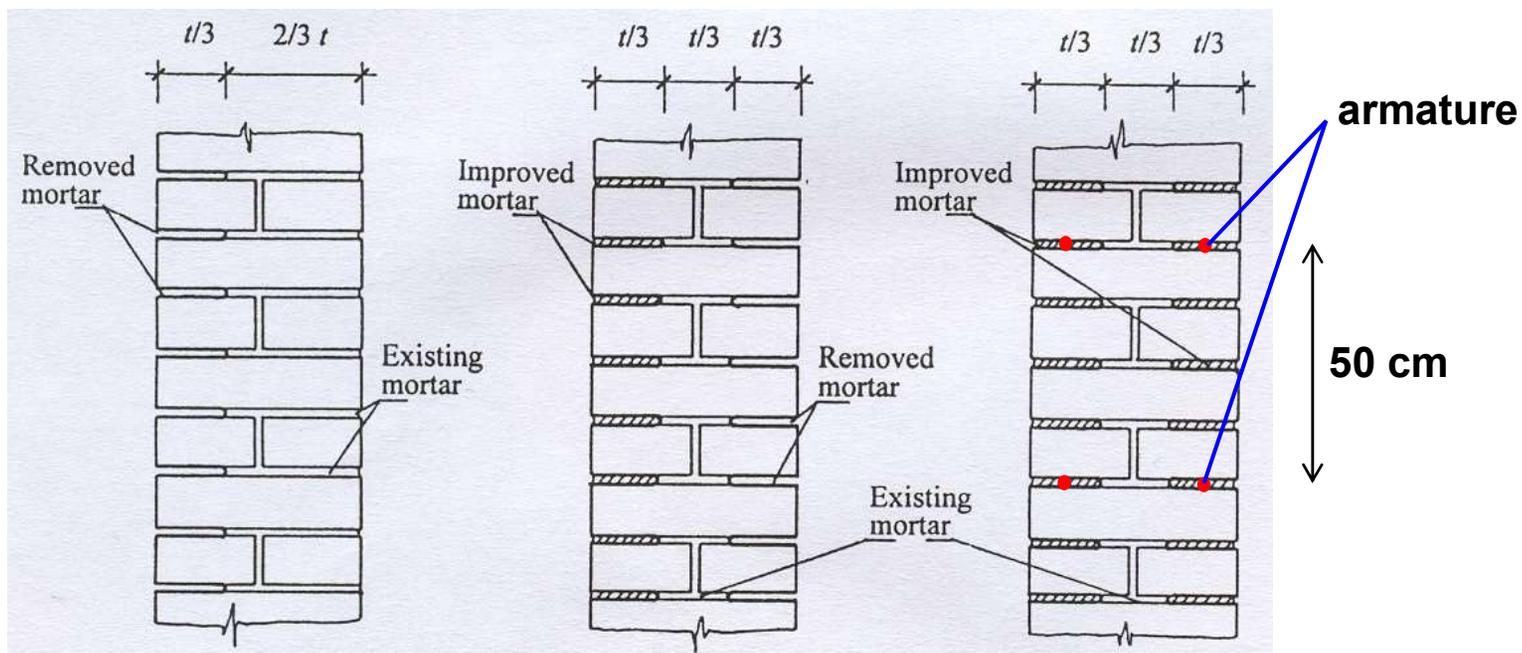
A_{fw} sezione trasversale nastro

p_f passo verticale dei nastri

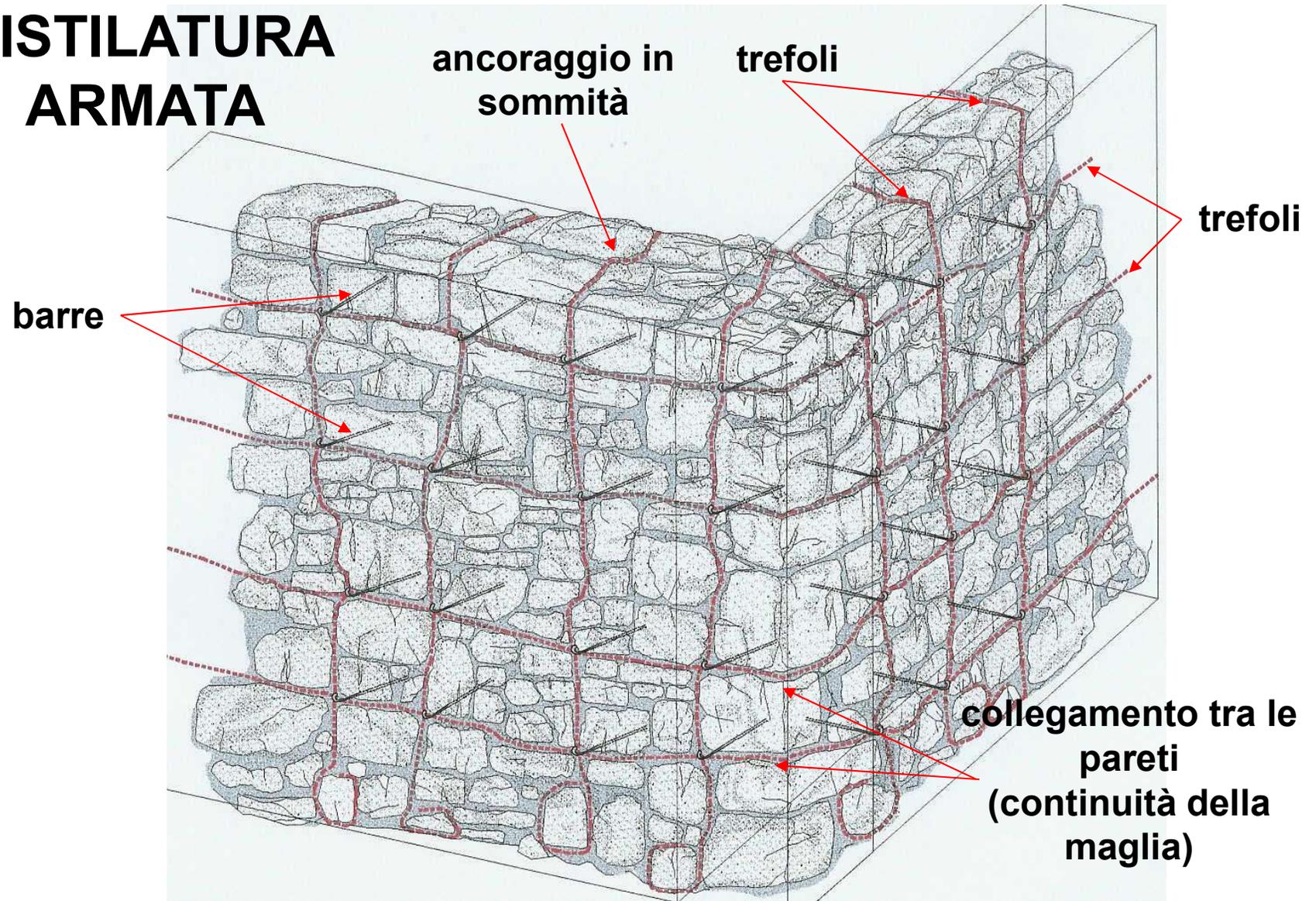


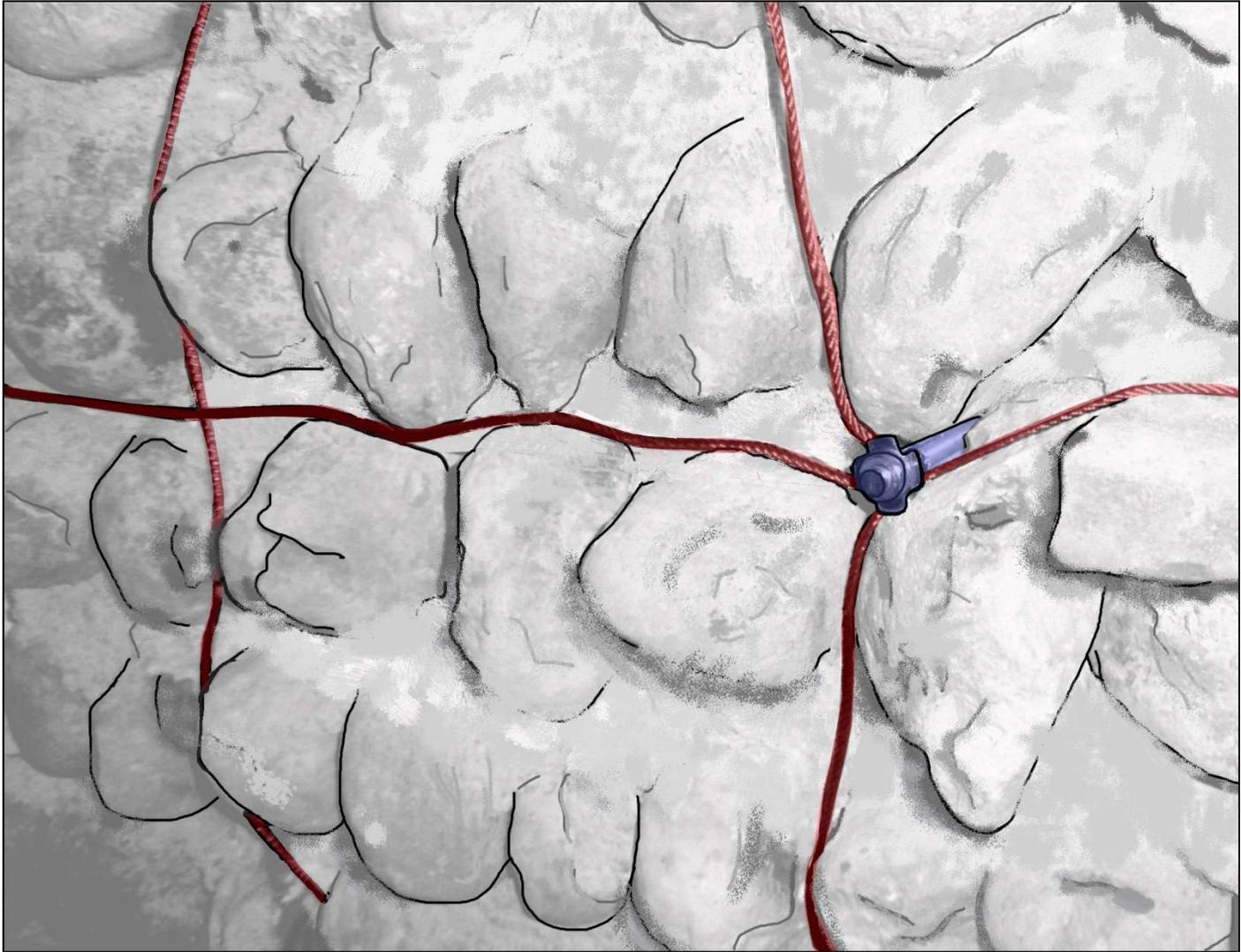
SOSTITUZIONE PARZIALE GIUNTI DI MALTA

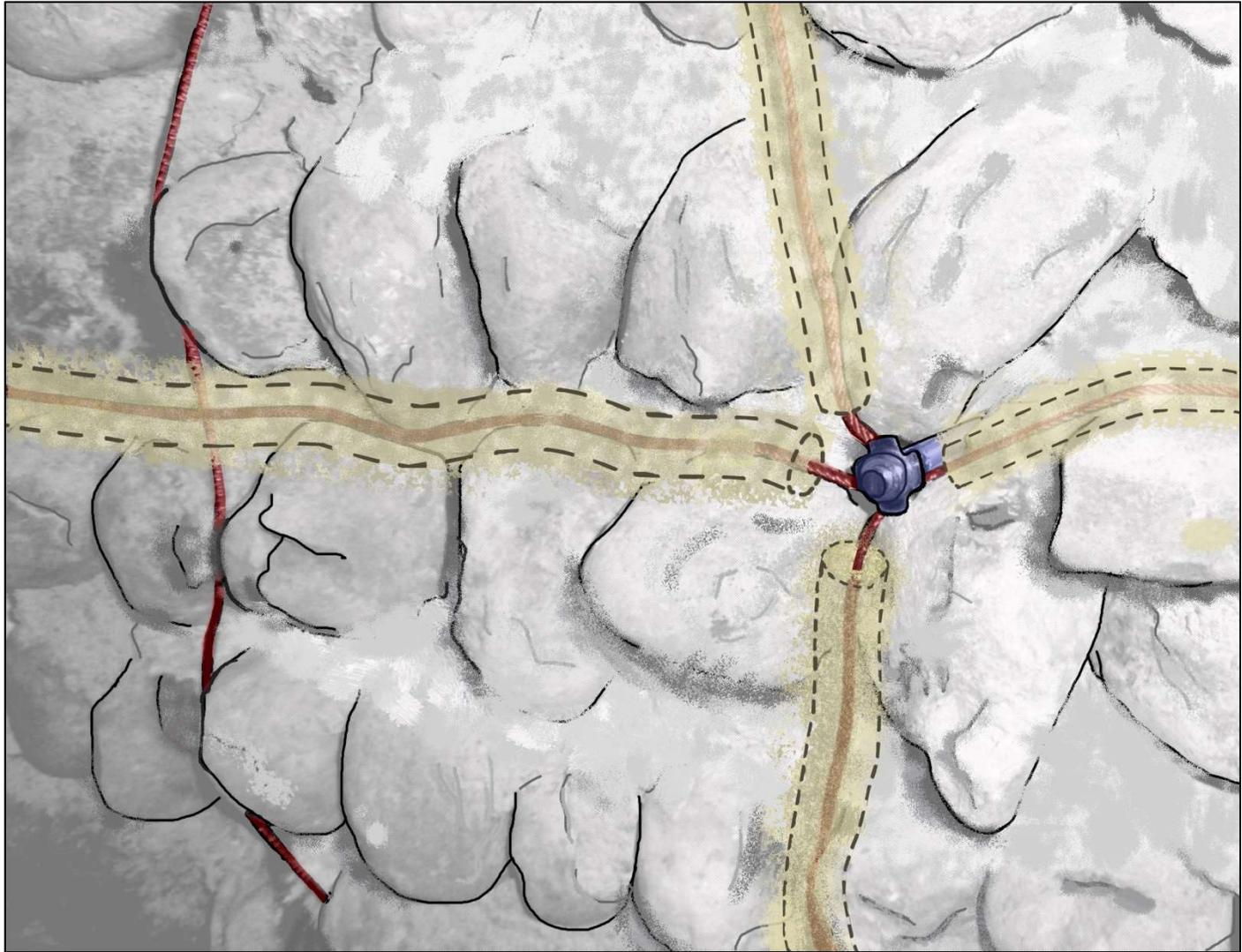
- Quando la muratura è formata con elementi laterizi o lapidei resistenti disposti a file regolari ma con malta scadente, è possibile aumentare la resistenza della muratura mediante sostituzione parziale dei giunti di malta (**Ristilatura**)
- Se i giunti hanno spessore superiore a 10 mm è possibile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



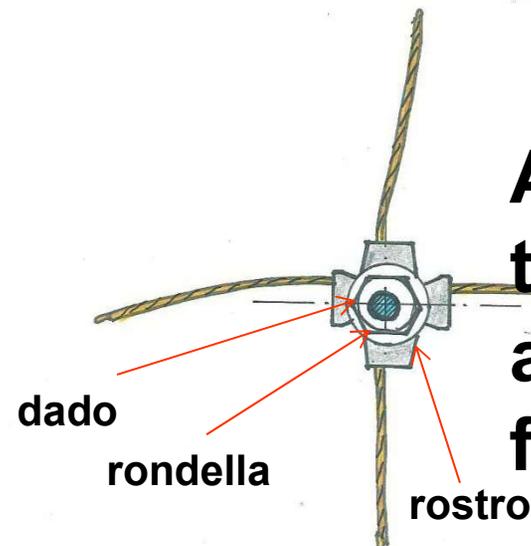
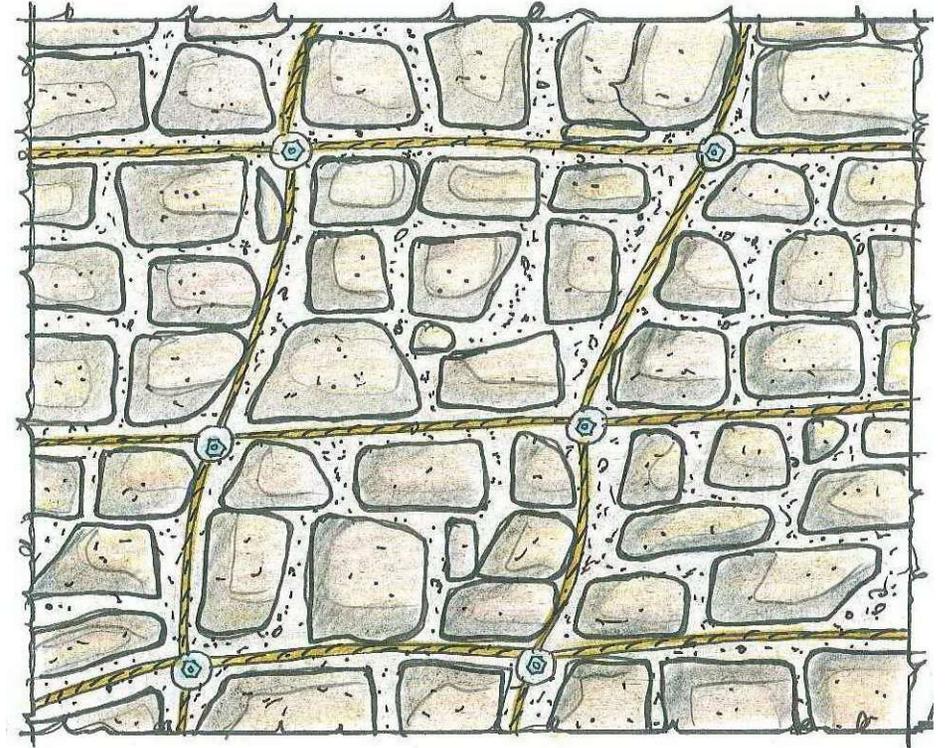
RISTILATURA ARMATA







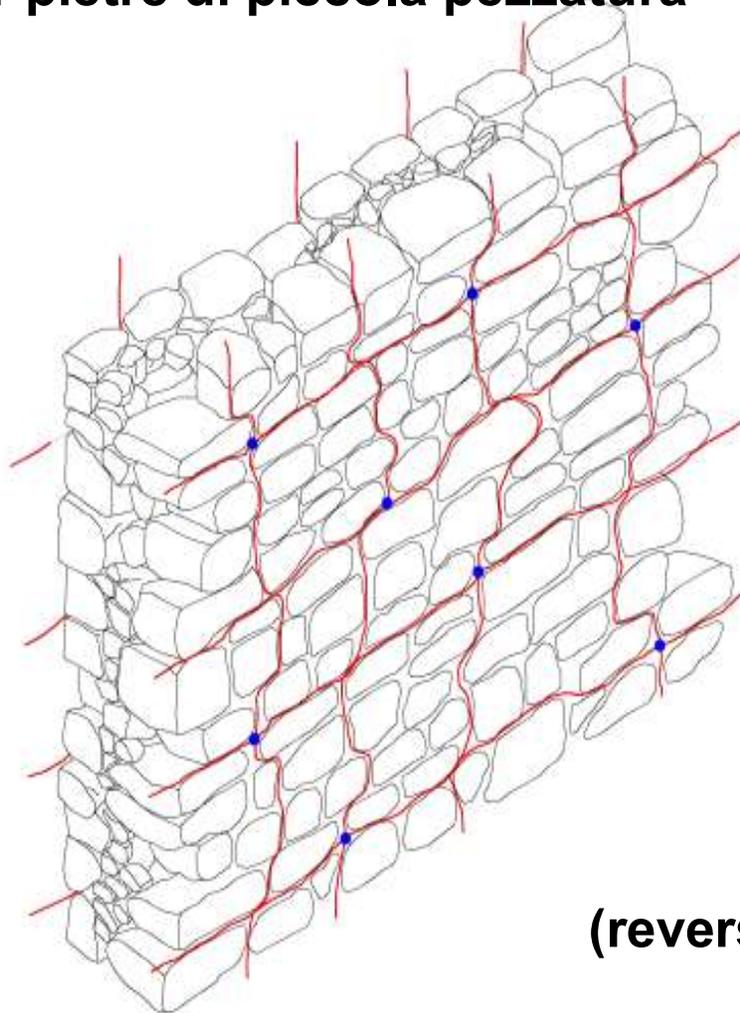
**Mutuo
confinamento
muratura -
trefoli**



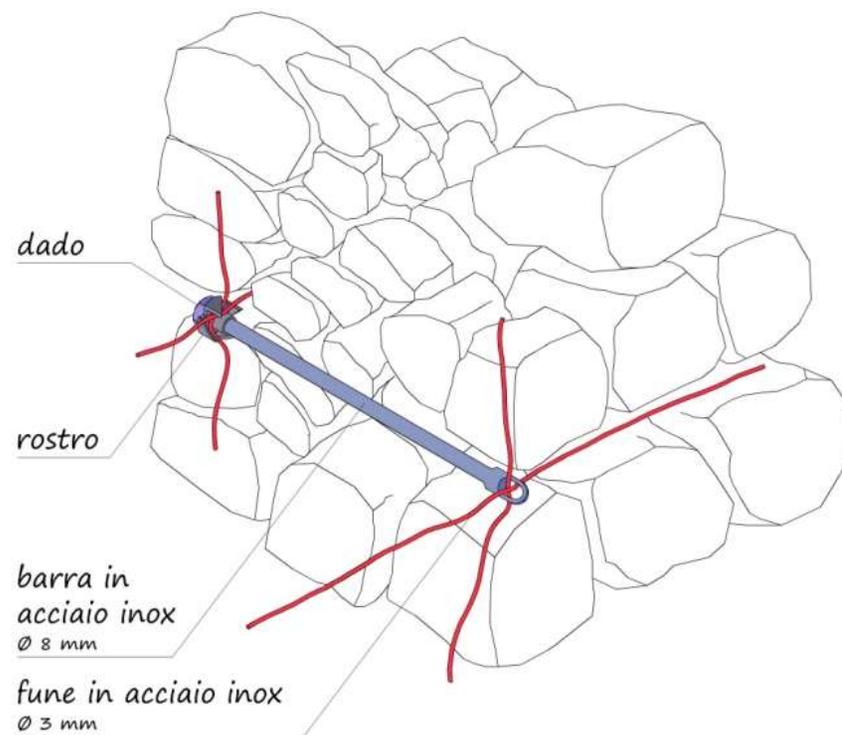
**Ancoraggio dei
trefoli
alla barra
filettata**

RETICOLA TWIN

per pietre di piccola pezzatura

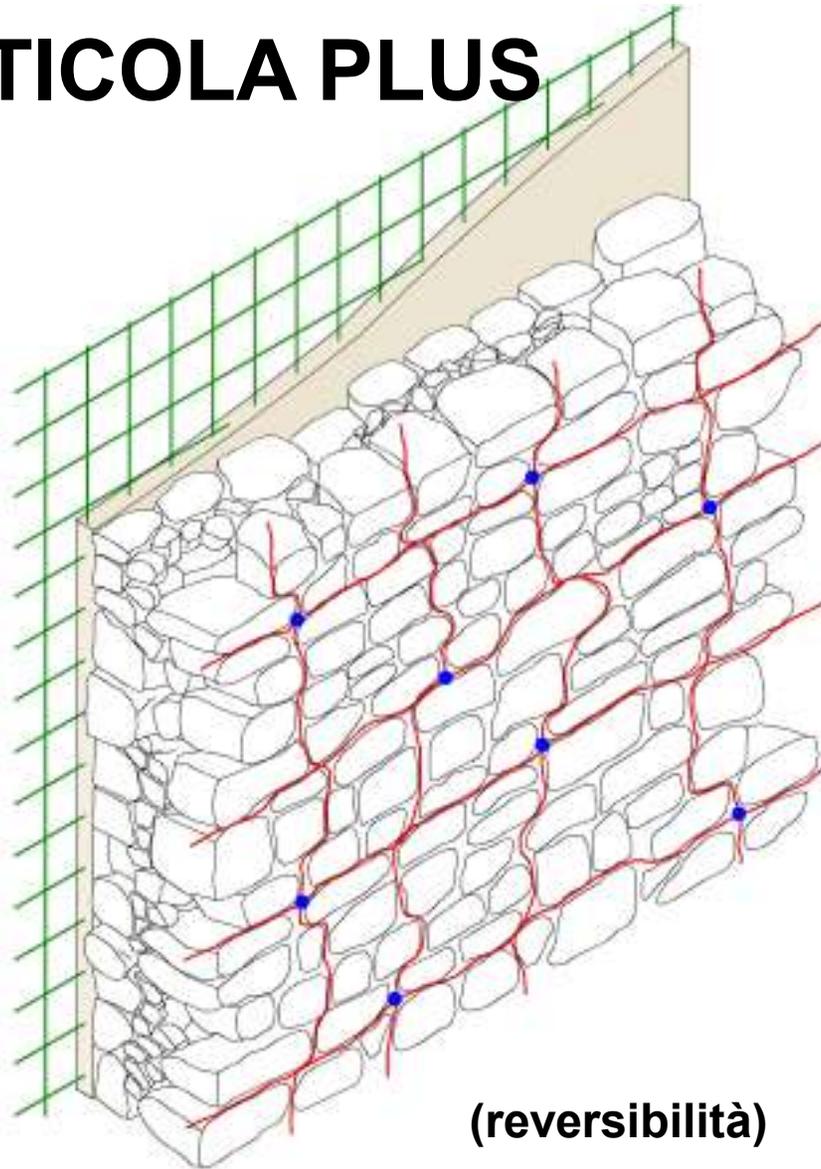


(reversibilità)



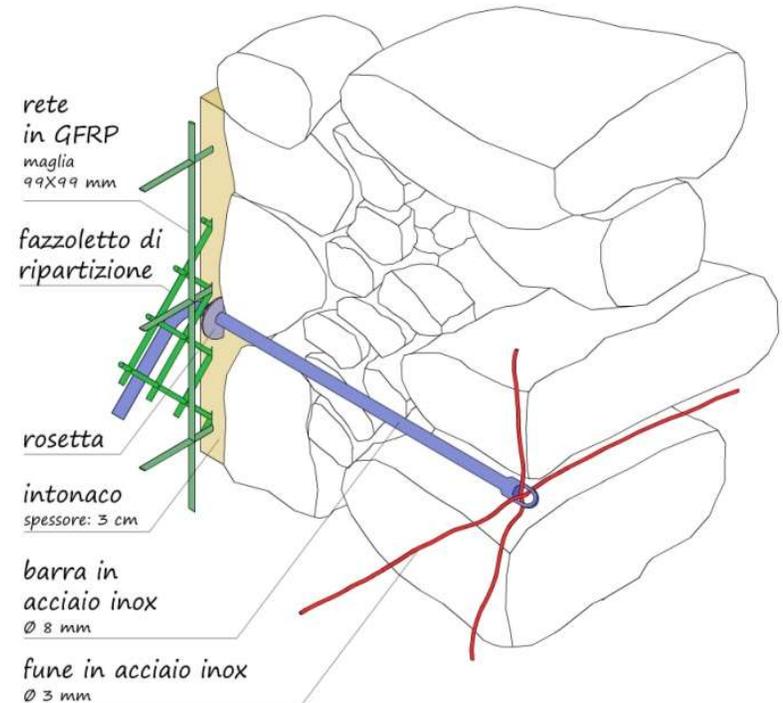
**MURATURA
FACCIA A
VISTA SU
ENTRAMBI I
PARAMENTI**

RETICOLA PLUS



MURATURA FACCIA
A VISTA SUL
PARAMENTO
ESTERNO

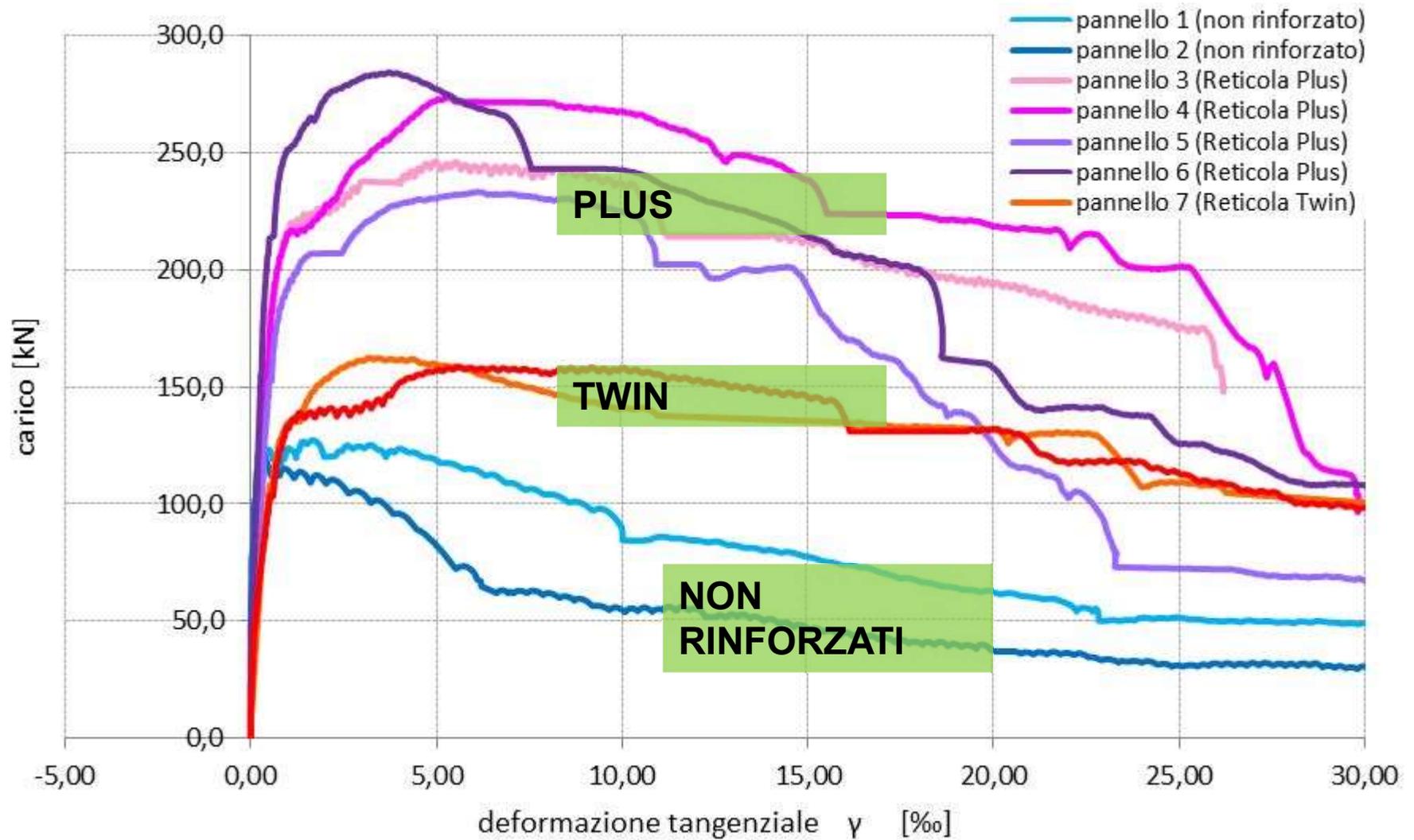
PARAMENTO
INTERNO
INTONACATO



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

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

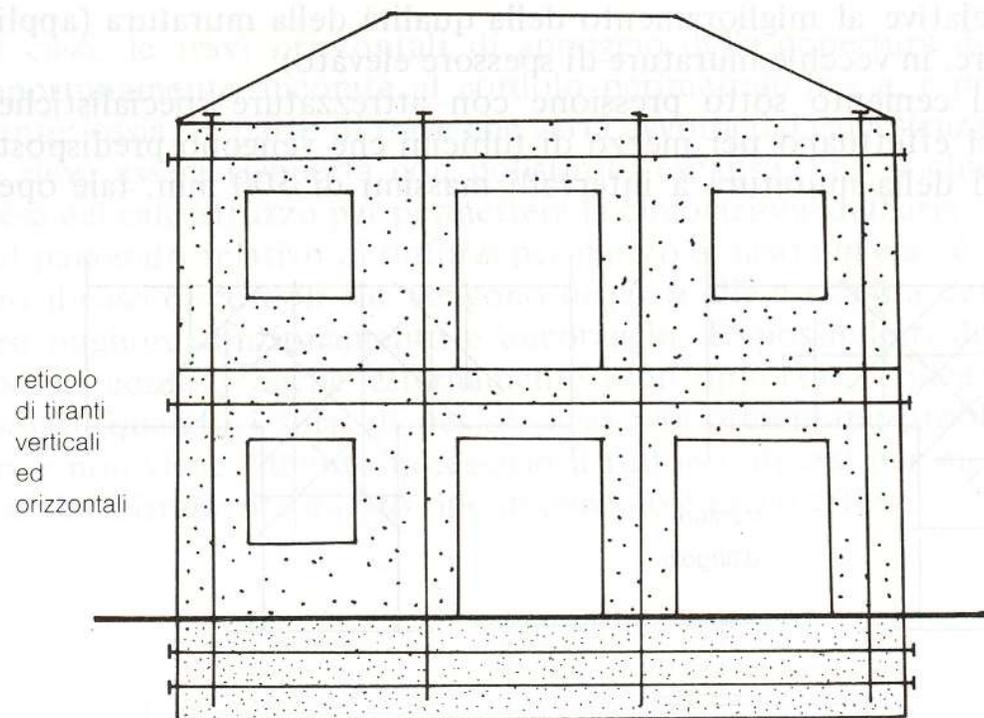
(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

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

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*

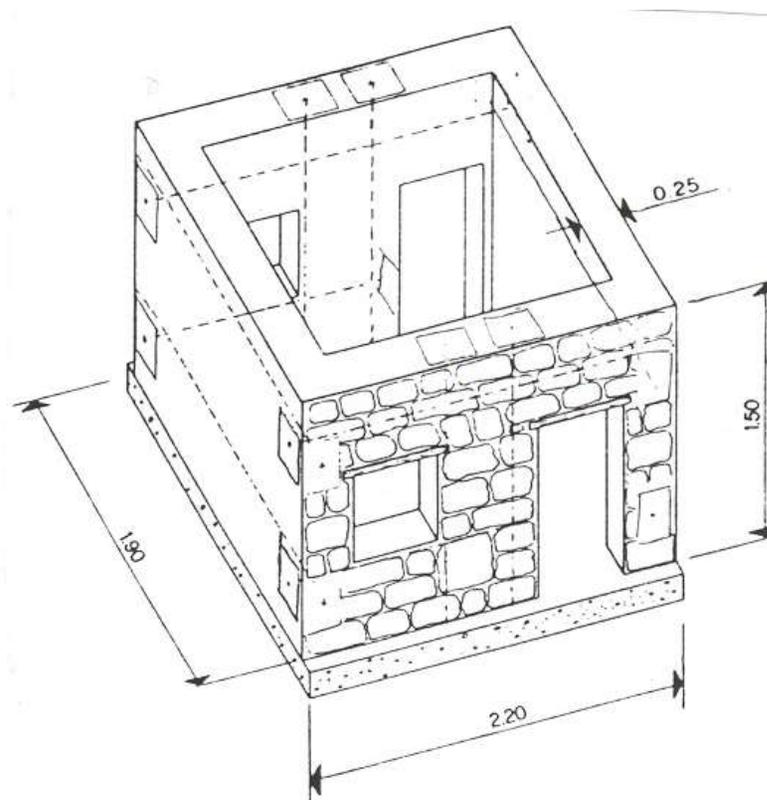


- *Tiranti verticali negli angoli dell'edificio ed in corrispondenza dei maschi*
- *Tiranti orizzontali in corrispondenza dei solai di piano per irrobustire le fasce di piano*
- *Tiranti orizzontali in fondazione per realizzare travi alte*
- *Le sedi dei tiranti generalmente vengono iniettate di malta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

RISULTATI PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

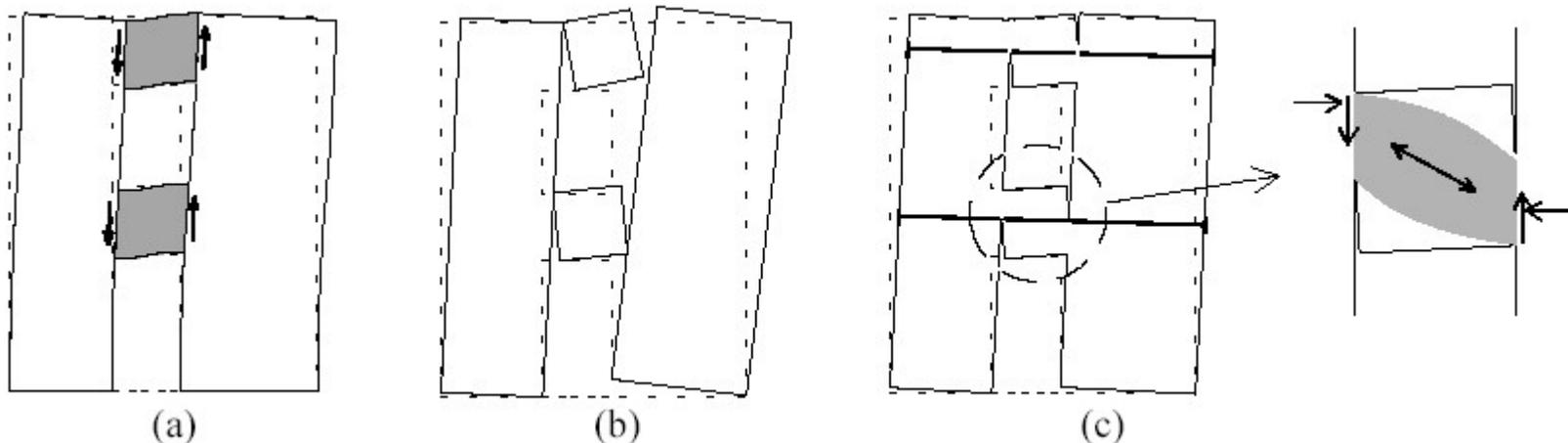
Prove eseguite dal Prof. Duilio Benedetti – Politecnico di Milano

<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)*

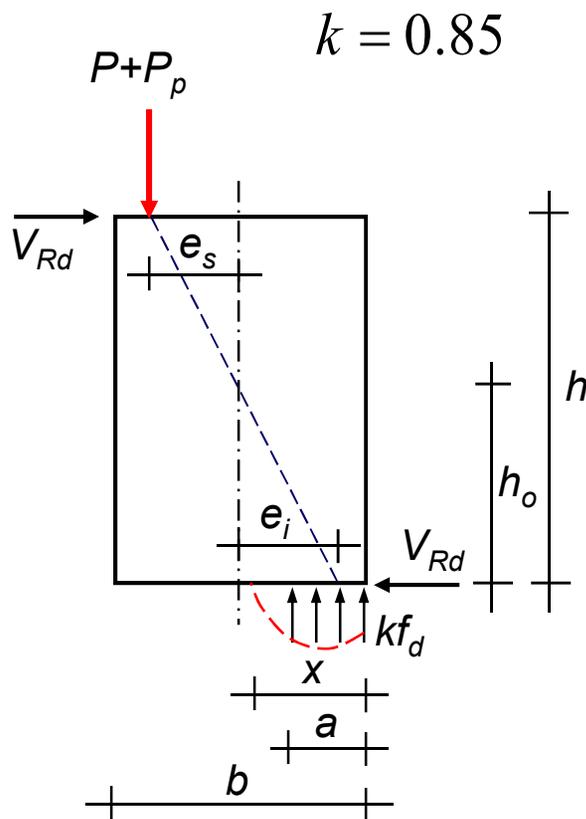


VERIFICA DI RESISTENZA MASCHI

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



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

$$a = 0.8 x$$

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

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

Sostituendo a e σ_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*)

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

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

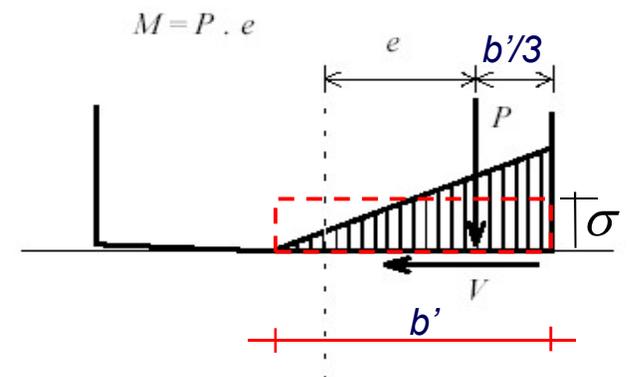
$$\frac{b'}{3} + e = \frac{b}{2} \quad \rightarrow \quad b' = \left(\frac{3}{2} - \frac{3e}{b} \right) b \qquad e = \frac{V h_o}{P} \qquad \sigma_o = \frac{P}{bt} \qquad \sigma_v = \frac{P_p}{bt}$$

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



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

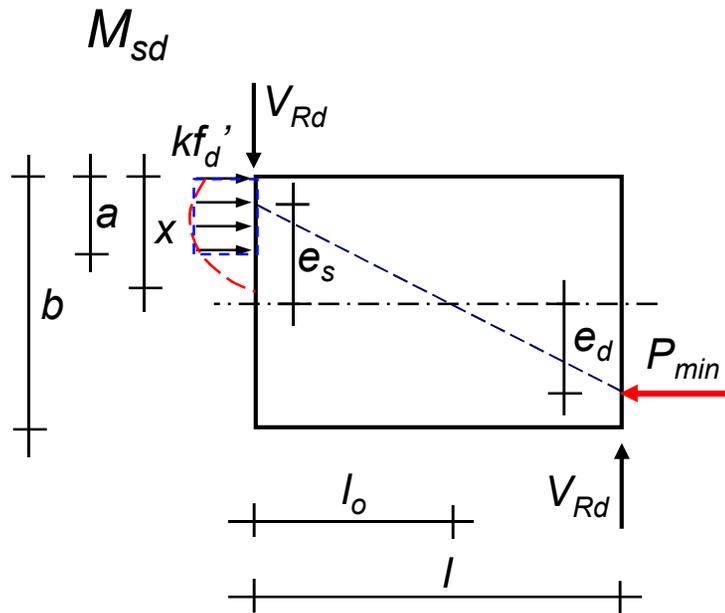
$$V_{Rd}^s \leq \frac{f_{vok} + 0.4(\sigma_o + \sigma_v) bt}{\gamma_m}$$



VERIFICA A FLESSIONE FASCE DI PIANO

Capacità portante a pressoflessione

Si applica al tirante orizzontale una presollecitazione tale che la trave sia in grado di resistere al momento agente massimo di calcolo



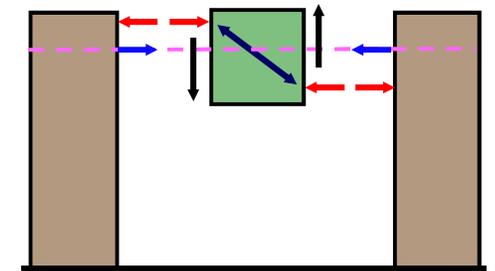
$$\begin{cases} M_{sd} = kf'_d a t \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) \\ P_{min} = kf'_d a t \end{cases} \Rightarrow a = \frac{P_{min}}{kf'_d t} \quad \begin{matrix} k = 0.85 \\ a = 0.8x \end{matrix}$$

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

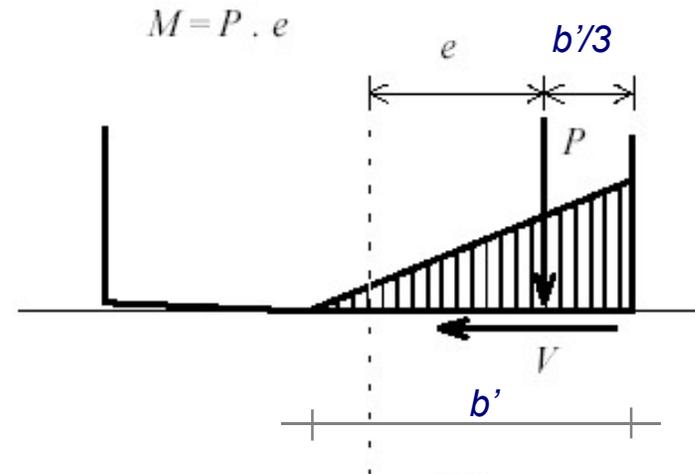
VERIFICA A TAGLIO FASCE DI PIANO

Esplicitando σ_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 TRAVERSE

In presenza di cordolo di piano o architrave resistente a flessione ed efficacemente ammorsato alle estremità, le NTC 2018 prescrivono

Rottura per scorrimento

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

Rottura per pressoflessione

$$M_{Rd} = \frac{H_p b}{2} \left(1 - \frac{H_p}{k f_d b t} \right) \quad H_p = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{resist. a trazione elem. teso} \\ 0.4 f_d' b t \end{array} \right.$$


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

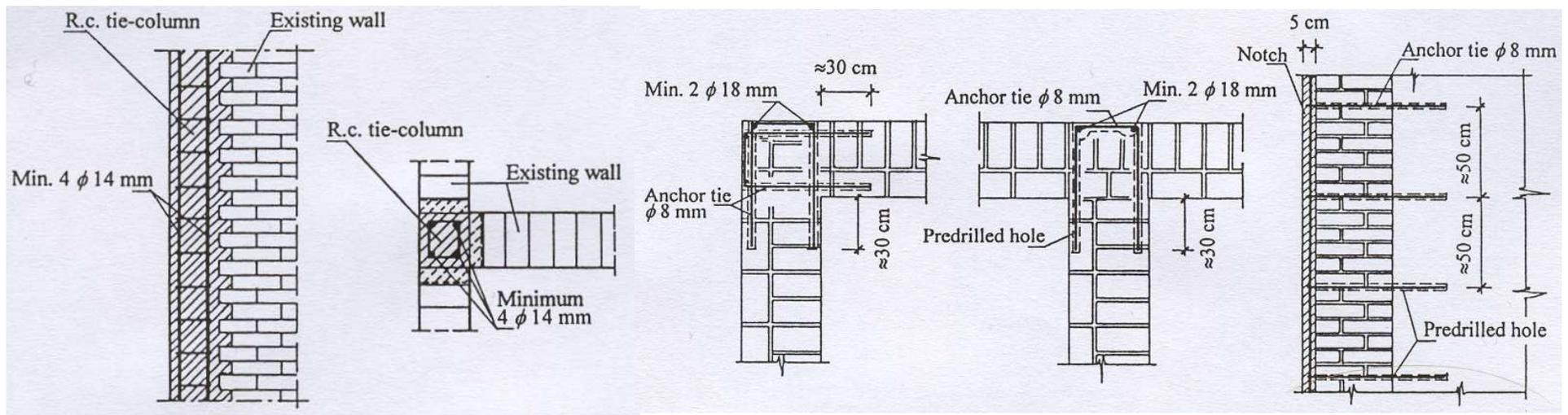
$$V_{sd} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} V_{Rd}^s \\ V_{Rd}^f \end{array} \right.$$

f_d' resist. a compr. muratura
in direzione orizzontale

TECNICHE DI CONFINAMENTO

Cordoli verticali

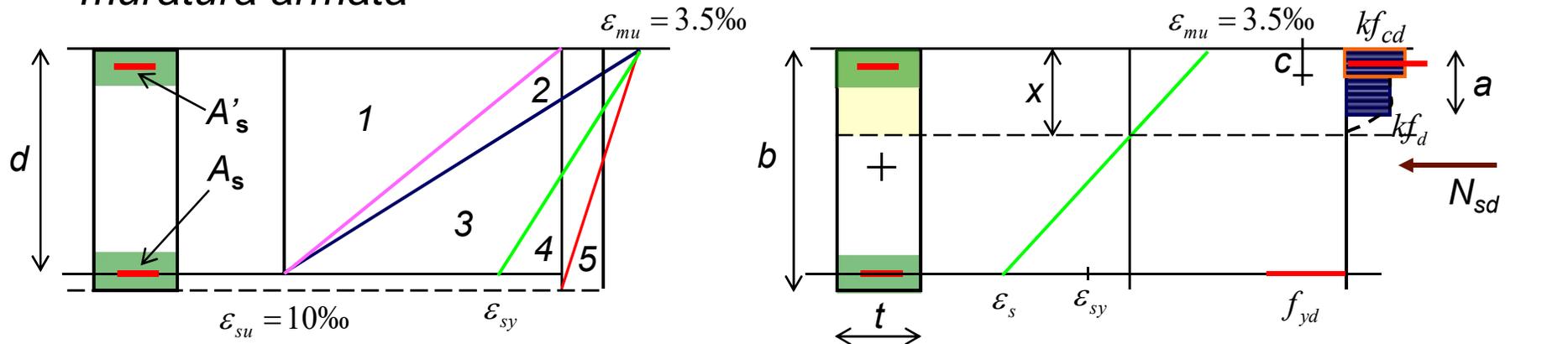
- *Sistema efficace quando è possibile realizzare cordoli verticali nelle intersezioni fra le pareti e ad entrambe le estremità dei maschi*
- *Applicabile solo per murature di mattoni, che vengono rimossi ad uno ad uno nelle zone dove verrà realizzato il cordolo verticale*
- *Inadatto per murature di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



$$a = 0.8x$$

$$k = 0.85$$

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

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

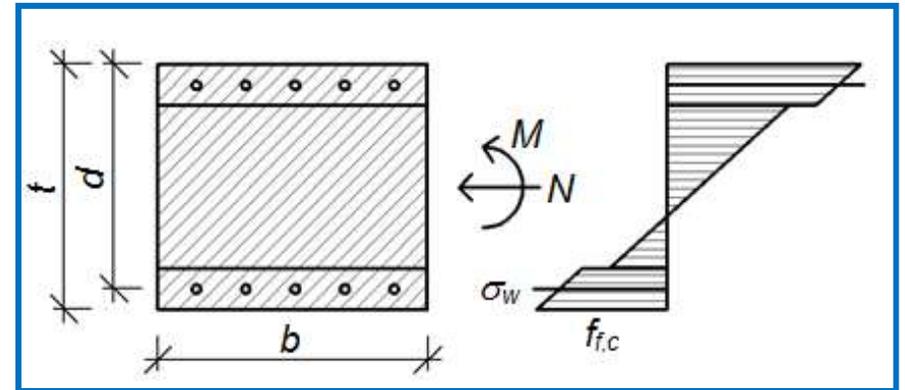
(di norma la tensione di compressione nell'acciaio non raggiunge lo snervamento quindi si utilizza il coeff. $\alpha \sim 0.4$)

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

