

EVENTO ORGANIZZATO DA **OIBA** **FIBRA** **NET** **SEMINARIO**

**TECNICHE DI RINFORZO STRUTTURALE DI EDIFICI ESISTENTI CON MATERIALI COMPOSITI**  
**BARI, 26 OTTOBRE 2016**  
**SEDE: CENTRO CONGRESSI PARCO DEI PRINCIPI BARI**

**QUALITA' MURARIA  
 COMPORTAMENTO DELLE MURATURE STORICHE  
 TECNICHE DI INTERVENTO INNOVATIVE**

Prof. Ing. Antonio Borri

Ordinario di Scienza delle Costruzioni nell'Università degli Studi di Perugia

Presidente Centro Studi Mastrodicasa

Fondatore e Coordinatore del Master in «Restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale»

Email: antonio.borri@unipg.it



**CENTRO STUDI "SISTO MASTRODICASA"**  
 per il consolidamento ed il restauro del patrimonio  
 strutturale, edilizio e monumentale



**Ing. Sisto Mastrodicasa**



Tra i vari incarichi:  
 condizioni statiche  
 della cupola del  
 Brunelleschi e del  
 Ponte Vecchio a  
 Firenze

MASTER UNIVERSITARIO DI II LIVELLO

MIGLIORAMENTO SISMICO, RESTAURO E  
CONSOLIDAMENTO DEL COSTRUITO  
STORICO  
E MONUMENTALE

IX edizione

Inizio: FEBBRAIO 2017

Anno Accademico 2016-2017

Il “materiale” muratura è un **prodotto artigianale** il cui comportamento meccanico dipende da vari fattori (materiali impiegati, tipo di tessitura, sapienza costruttiva, etc etc).

Comportamento murature  $\neq$  comportamento costruzioni in c.a. o acciaio

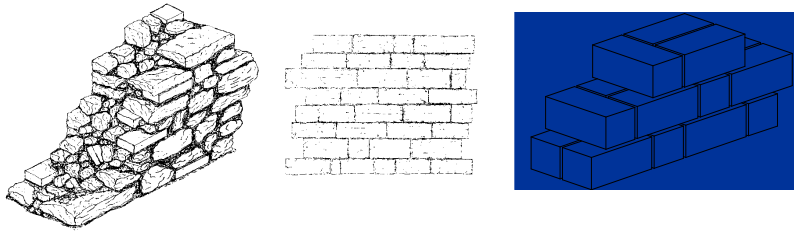
Comportamento murature storiche  $\neq$  comportamento murature moderne

Motivi:

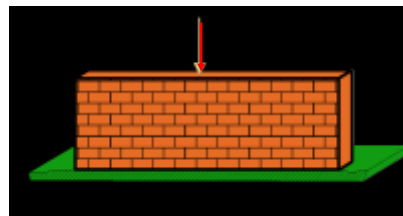
- 1) Non resistenza a trazione (NRT)
- 2) Vincoli monolateri (resistono solo in una direzione, solitamente quella verticale)

### 1) Non resistenza a trazione:

*“Nessuno ha mai pensato di incollare un elemento all’altro e quella sabbia mescolata con poca calcina disposta tra un elemento e l’altro aveva il solo scopo di regolarizzare la superficie di appoggio ...”*

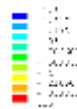
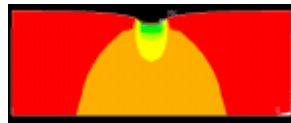


Es.: pannello murario carico verticale

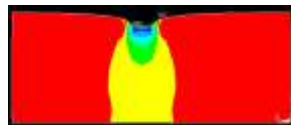


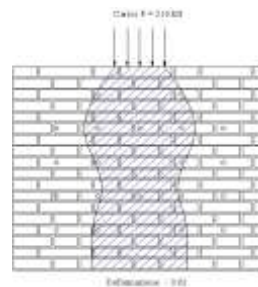
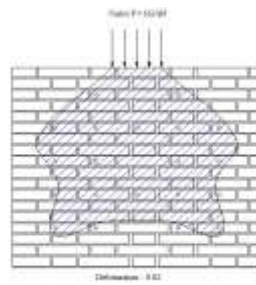
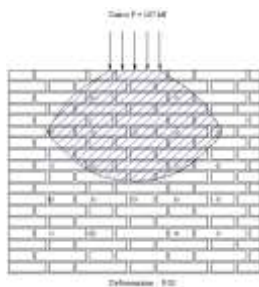
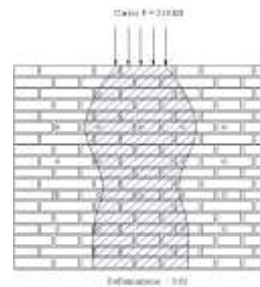
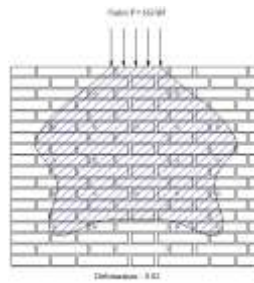
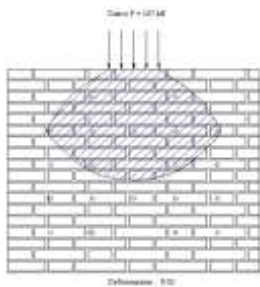
- B= 4 m
- H= 2 m
- S=0.3 metri
- P=40 Kn
- $\sigma_{cr}=5$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_{tr}=0.5$  N/mm<sup>2</sup>
- E=2000 N/mm<sup>2</sup>

a) Materiale elastico perfetto (resistente sia a trazione sia a compressione)



b) Materiale scarsamente resistente a trazione





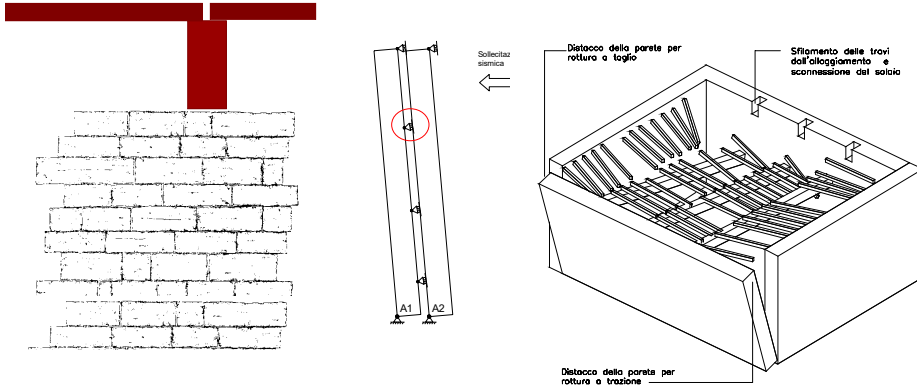
-Comportamento del pannello murario al crescere del carico:

fase 1, elastica → diffusione carichi come nei materiali elastici (es. cemento). E' una fase **estremamente breve**.

fase 2 → la NRT è causa di lesioni (in questo caso verticali). Le tensioni nella loro diffusione devono tenere conto delle lesioni che impediscono il passaggio → questa fase si verifica **quasi subito** → **inutile studiare le murature con calcoli elastici**

2) Vincoli monolateri:

trasmettono la compressione ma non la trazione



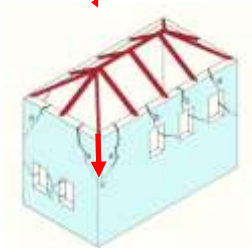
“Assemblaggio di elementi posti uno sull'altro,....il tutto è tenuto insieme dalla sola forza peso ....”

Conseguenze di:

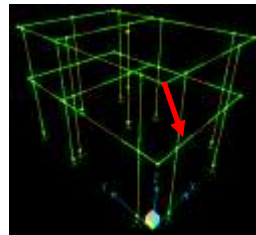
- 1) NRT
- 2) Vincoli monolateri

Distinzione tra “costruzione” e “struttura resistente” per gli edifici in muratura

Meccanismi locali e non comportamento globale (almeno per gli edifici storici “non manomessi”)



In una costruzione in muratura una azione localizzata produce effetti localizzati  
struttura resistente = f (azione)



In una costruzione realizzata con materiali “moderni” una forza applicata in un punto produce effetti in tutta la struttura.  
struttura resistente = tutta, sempre

## Comportamento di edifici in muratura esistenti

→ comportamento puntuale, locale, globale

### CASO 1

- muratura di scarsa qualità

→ comportamento "puntuale"  
(**disgregazione** della muratura)

### CASO 2

- muratura di buona qualità  
- assenza di sistemi di collegamento diffusi  
sull'intero edificio

→ comportamento "locale"  
(**meccanismi** di collasso)

### CASO 3

- muratura di buona qualità  
- efficaci collegamenti fra elementi strutturali

→ comportamento "globale"  
(pareti impegnate "nel piano"  
e che **rispondono insieme**)

## Comportamento puntuale

### CASO 1

- muratura di scarsa qualità

→ comportamento "puntuale":  
disgregazione della muratura



Tino, fraz. Accumoli (foto Ing. Andrea Barocci)

## Comportamento locale

### CASO 2

- muratura di buona qualità
- solai e copertura deformabili nel loro piano

→ comportamento per  
"sottosistemi locali"  
(meccanismi di collasso)



Centro Storico dell'Aquila



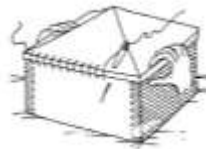
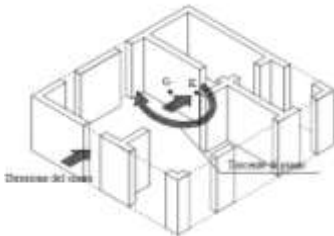
(S. Lagomarsino)

## Comportamento globale

### CASO 3

- muratura di buona qualità
- efficaci collegamenti fra elementi strutturali
- solai e copertura rigidi nel loro piano

→ comportamento globale  
(d'insieme)

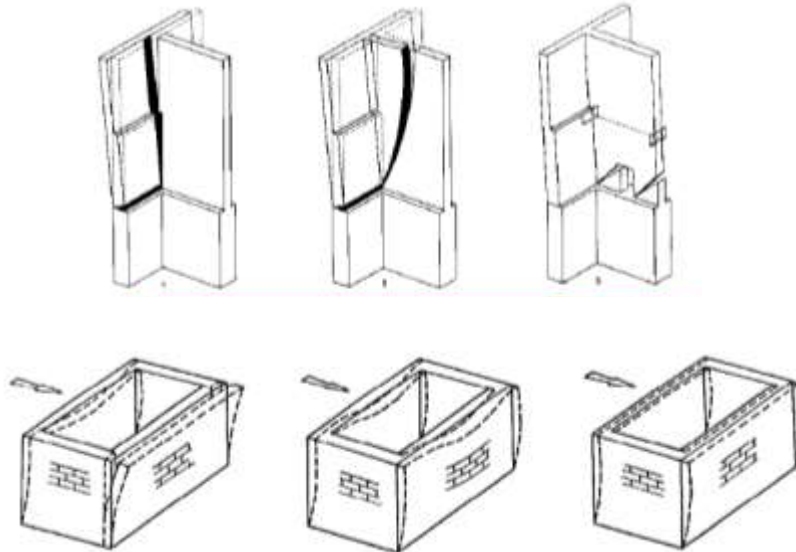


→ risposta sismica principalmente tramite  
meccanismi nel piano delle murature ed  
evitando significativi impegni per azioni  
ortogonali,  
→ impegno dell'intera struttura e non singoli  
elementi: se crolla una parete le altre pareti  
si fanno carico della diminuzione di resistenza



## Comportamento puntuale, locale e globale

Al migliorare dei vincoli e della qualità dei solai il comportamento dell'edificio migliora



(G. Magenes)

Situazione strutturale		Comportamento sismico	Analisi più adatta	Intervento prioritario
Muratura di sufficiente qualità Assenza di collegamenti diffusi sulla costruzione		Locale (formazione di cinematismi di collasso)	Analisi cinematica dei meccanismi di collasso Analisi per carichi verticali (solai, copertura) Ricognizione delle vulnerabilità locali	Inserire vincoli (catene, collegamenti, etc...) Rinforzo di solai e coperture (se necessario) Eliminare vulnerabilità
Muratura di sufficiente qualità e presenza di collegamenti diffusi sull'intera costruzione	Impalcati deformabili	Complessivo (risposta d'insieme e carichi per zone d'influenza) Assenza effetti torcenti globali	Analisi non lineare su modello 3D Analisi non lineare per allineamenti	Migliorare resistenza e capacità deformativa degli elementi resistenti
	Impalcati rigidi	Globale (risposta d'insieme e carichi proporzionali alle rigidità) Presenza effetti torcenti globali	Analisi non lineare su modello 3D	Migliorare resistenza e capacità deformativa degli elementi resistenti



La qualità muraria:  
fondamentale per l'analisi  
e prerequisito per qualsiasi  
ipotesi di intervento

### NTC 2008 E CIRCOLARE 617 DEL 2009: ASPETTI INNOVATIVI

- Nuovo metodo per la **definizione dell'azione sismica**
- **Quando fare valutazione della sicurezza** di una costruzione esistente
- Ridefinizione **categorie di intervento** (adeguamento, miglioramento e intervento localizzato)
- Fattore di sicurezza dipende dai **livelli di conoscenza** della costruzione
- Importanza della **"qualità muraria"**; aggiornamento **tabelle** con resistenza e rigidezza delle murature
- Importanza del **rilievo critico** (strutturale)
- Nuovi metodi di analisi e nuovi **modelli dell'edificio** in muratura esistente
- Analisi locali dei **meccanismi di collasso** (analisi limite)
- Edifici in **aggregato** e loro suddivisione in **unità strutturali** (U.S.)
- Necessità di un'analisi anche per gli **edifici tutelati** (Beni Culturali)
- Aggiornamento tecniche d'intervento (es. recente: linee guida compositi e **DT 200**)

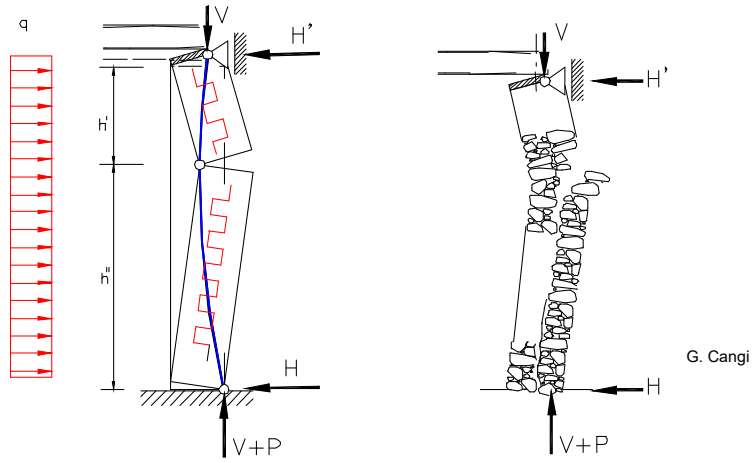
Importanza della  
qualità muraria





Bazzano (AQ, 2009)  
Inutile inserire collegamenti e catene  
se la qualità muraria è scadente.  
La qualità muraria rimane il primo  
requisito per la sicurezza

Senza qualità non si hanno cinematismi ....



.. e senza cinematismi non possiamo nemmeno iniziare a ragionare.



(S. Lagomarsino)



Umbria, 1997

## Qualità della muratura

### Regola dell'arte

Quando è che un muro è “di buona qualità” ?

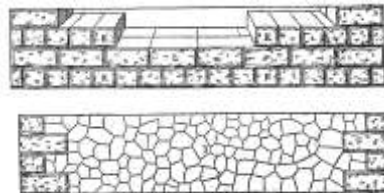
Quando esso è stato costruito seguendo la “regola dell'arte”

#### **Regola dell'arte:**

Insieme di regole costruttive pratiche a carattere empirico tramandate nel corso della storia. La R.D.A. stabilisce l'importanza della tessitura dei blocchi per ottenere un muro di buona qualità.

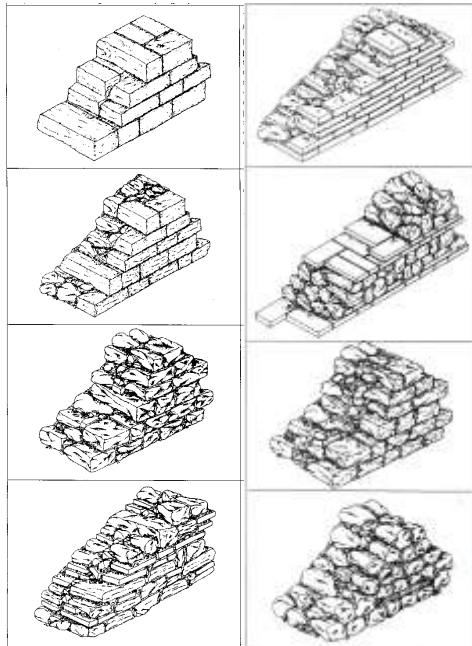


Breymann, 1885



Palladio, 1570





Dal Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici – DEI



Norcia 2016

Le tipologie murarie influenzano il comportamento meccanico della stessa muratura

Esistono moltissime varietà di muratura, alcune presenti solo in determinati contesti geografici o sociali (es. muri di fango)



Pescara sul Tronto 2016



**IQM**  
**Indice di Qualità Muraria**  
 (A. Borri – A. De Maria)

## IQM : INDICE DI QUALITA' MURARIA

### OBIETTIVI:

- a) valutazione della qualità muraria espressa mediante un indice;
- b) stima dei parametri meccanici della muratura necessari per effettuare le verifiche di sicurezza richieste dalle NTC 2008 per gli edifici esistenti.

### Parametri della regola dell'arte

MA. = qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe;

P.D. = ingranamento trasversale / presenza dei diatoni;

F.EL. = forma degli elementi resistenti;

D.EL. = dimensione degli elementi resistenti;

S.G. = sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano della parete;

OR. = orizzontalità dei filari;

RE.EL. = resistenza degli elementi.

### Giudizio sul rispetto dei parametri della regola dell'arte:


R. = parametro rispettato;

P.R. = parametro parzialmente rispettato;

N.R. = parametro non rispettato.

Valutazione di IQM → tramite i giudizi sul grado di rispetto della regola dell'arte si valuta l'IQM per azioni verticali, orizzontali ortogonali al piano e orizzontali nel piano






*attenzione: IQM va distinto in base alla direzione dell'azione sollecitante (tre indici di qualità muraria):*

- 1) *IQM per azioni verticali;*
- 2) *IQM per azioni ortogonali al piano;*
- 3) *IQM per azioni nel piano.*

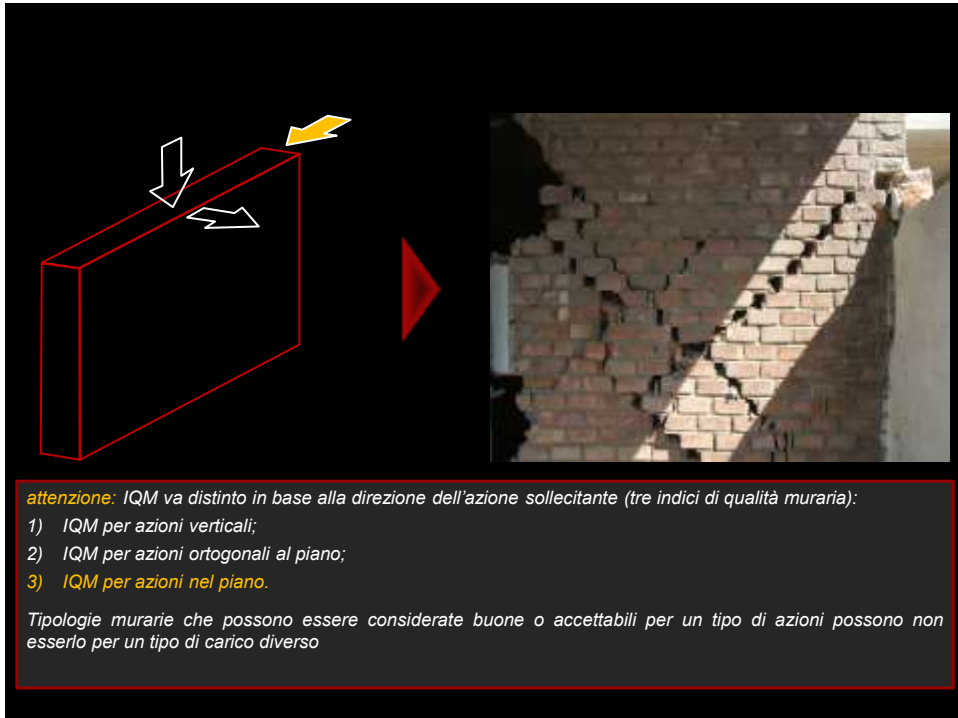
*Tipologie murarie che possono essere considerate buone o accettabili per un tipo di azioni possono non esserlo per un tipo di carico diverso*



*attenzione: IQM va distinto in base alla direzione dell'azione sollecitante (tre indici di qualità muraria):*

- 1) *IQM per azioni verticali;*
- 2) *IQM per azioni ortogonali al piano;*
- 3) *IQM per azioni nel piano.*

*Tipologie murarie che possono essere considerate buone o accettabili per un tipo di azioni possono non esserlo per un tipo di carico diverso*



## CALCOLO DELL' I.Q.M.

	Azioni verticali			Azioni fuori piano			Azioni nel piano		
	NR	PR	R	NR	PR	R	NR	PR	R
<b>OR.</b> Orizzontalità dei filari	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
<b>P.D.</b> Presenza dei diatoni / ingranamento trasversale	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
<b>F.EL.</b> Forma degli elementi resistenti	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
<b>S.G.</b> Sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
<b>D.EL.</b> Dimensione degli elementi resistenti	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
<b>MA.</b> Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
<b>RE.EL.</b> Resistenza degli elementi	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1

Tabella 1. Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte.

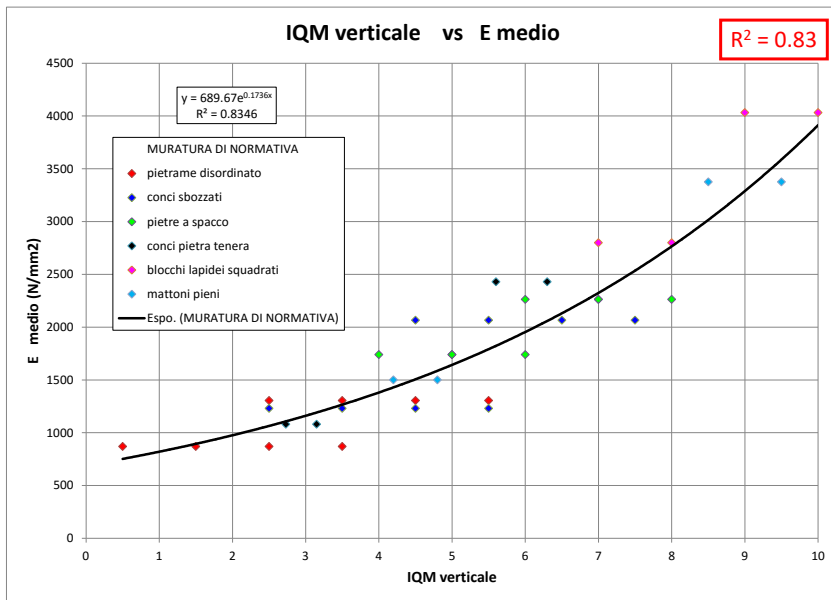
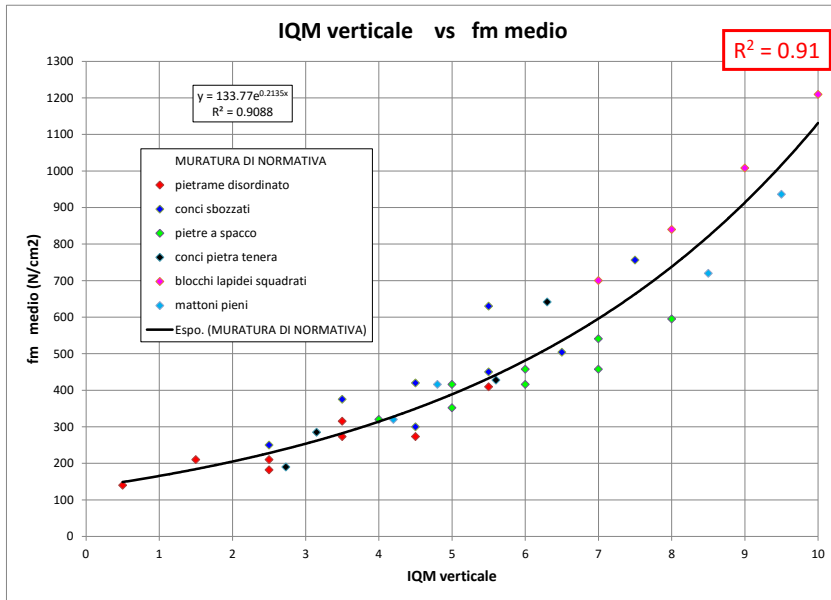
$$IQM = RE.EL. \times (OR. + P.D. + F.EL. + S.G. + D.EL. + MA.)$$

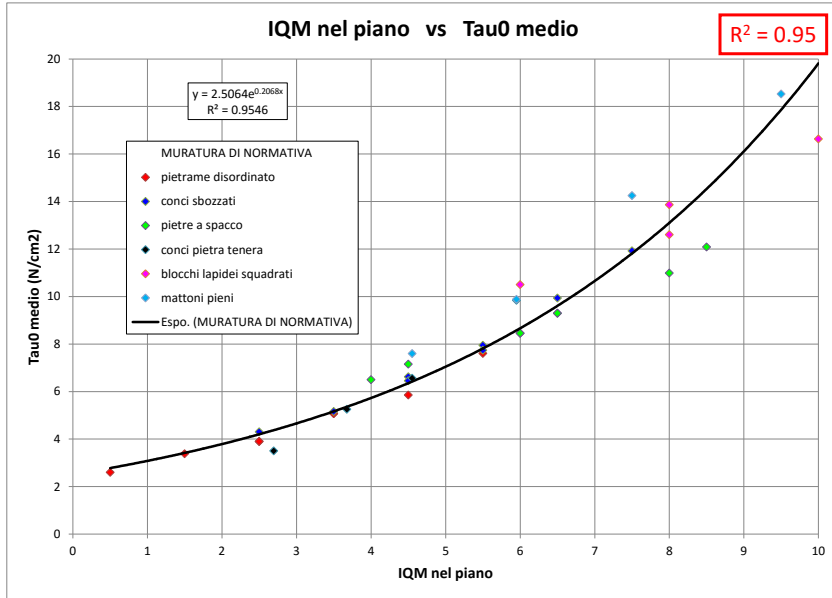
Determinazione categoria meccanica della muratura			
Categoria Azioni	A	B	C
azioni verticali	$5 \leq IQ \leq 10$	$2,5 \leq IQ < 5$	$0 \leq IQ < 2,5$
azioni orizzontali ortogonali	$7 \leq IQ \leq 10$	$4 < IQ < 7$	$0 \leq IQ \leq 4$
azioni orizzontali complanari	$5 < IQ \leq 10$	$3 < IQ \leq 5$	$0 \leq IQ \leq 3$

### CORRELAZIONE TRA IQM E CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

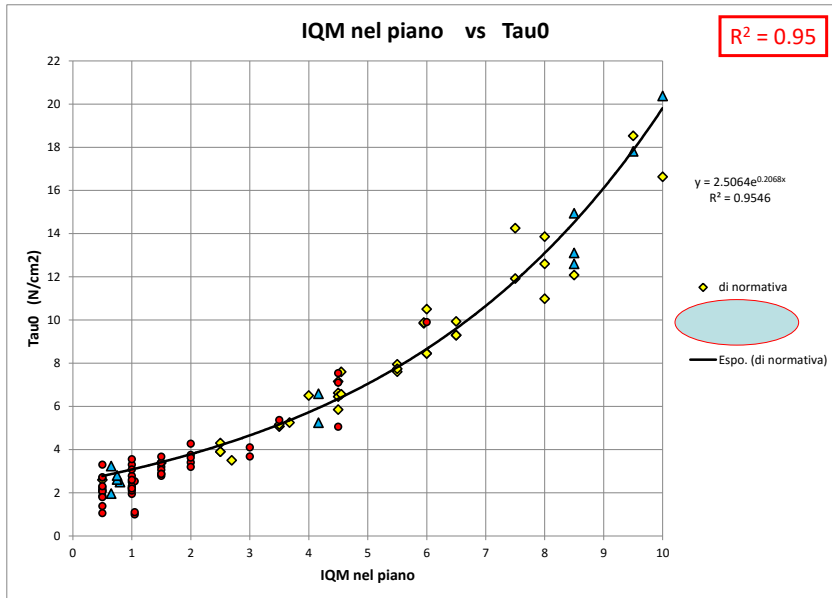
Combinando le tipologie della tabella C.8.B.1. (circolare esplicativa NCT) con i possibili coefficienti correttivi della tabella C.8.B.2: → 36 diverse tipologie murarie “ufficiali”.

Per ciascuna tipologia si può valutare l'IQM e quindi esaminare le correlazioni tra gli IQM trovati e i valori delle caratteristiche meccaniche forniti dalle tabelle delle NCT.

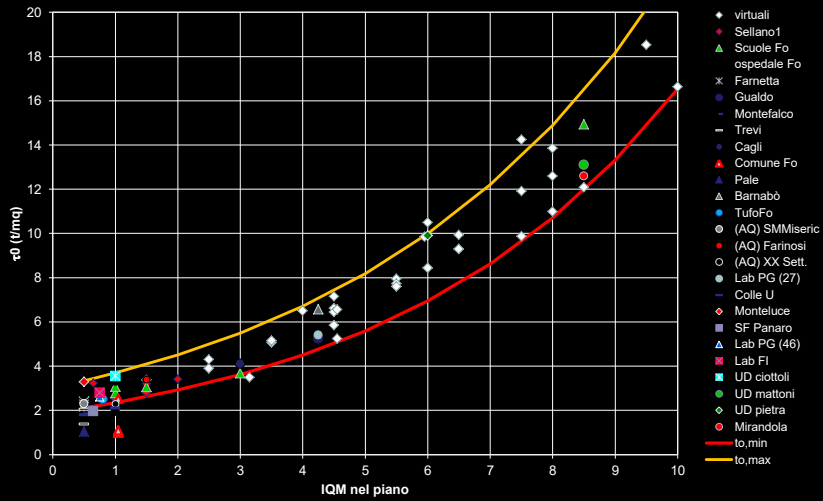




Considerando anche le prove sperimentali:



## Correlazione tra IQM e parametri meccanici della muratura



Il problema sismico

Messina, 1908



Courtesy of Ing. Manlio Marino - Messina



*Friuli 1976*



*Irpinia 1980*



*Umbria 1997*





ABRUZZO 6 Aprile 2009

Orologio della chiesa di Sant'Eusanio a Sant'Eusanio Forconese, fermo alle ore 3.32 del 6 aprile 2009 (Foto Prof. V. Ceradini)

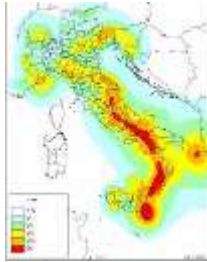


Emilia, 2012

## AL DI LÀ DEL **NEGAZIONISMO** PSICOLOGICO DI MASSA ....

Probabilità di avere un terremoto di data intensità

### PERICOLOSITA'



Attitudini delle costruzioni a danneggiarsi o a crollare

### VULNERABILITA'

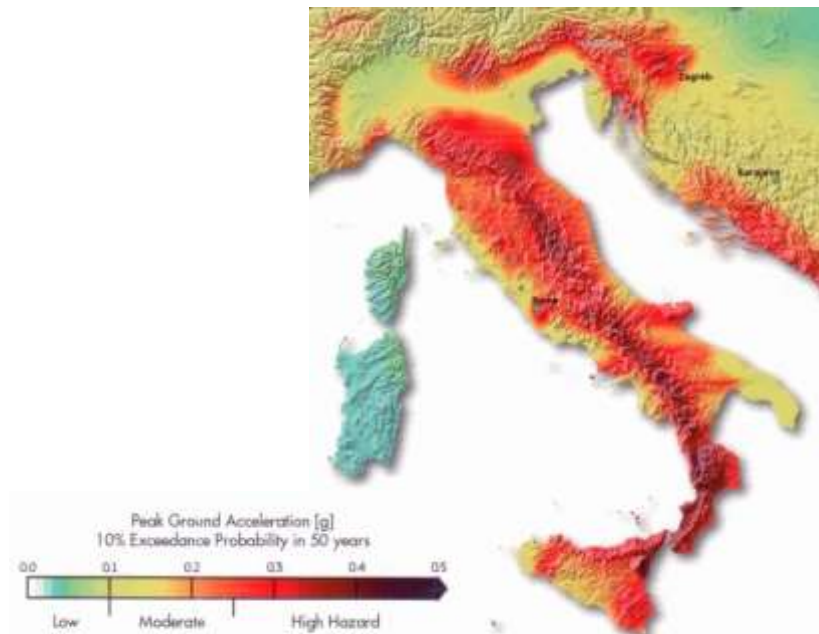


Elementi soggetti alle conseguenze del danneggiamento/ crollo

### ESPOSIZIONE

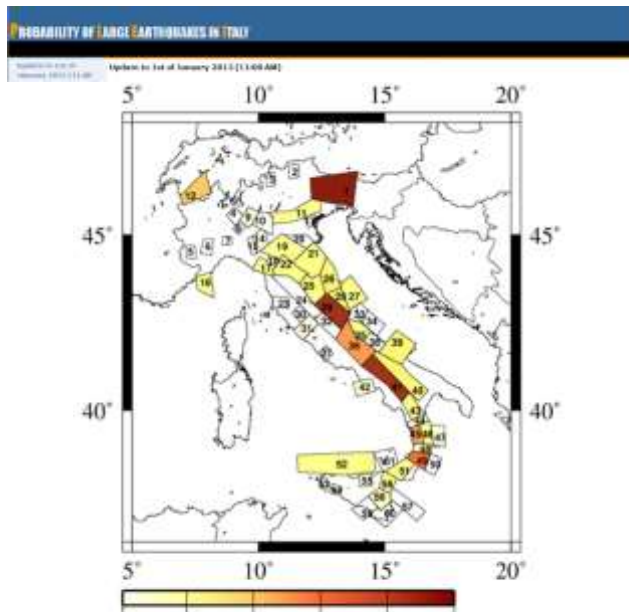
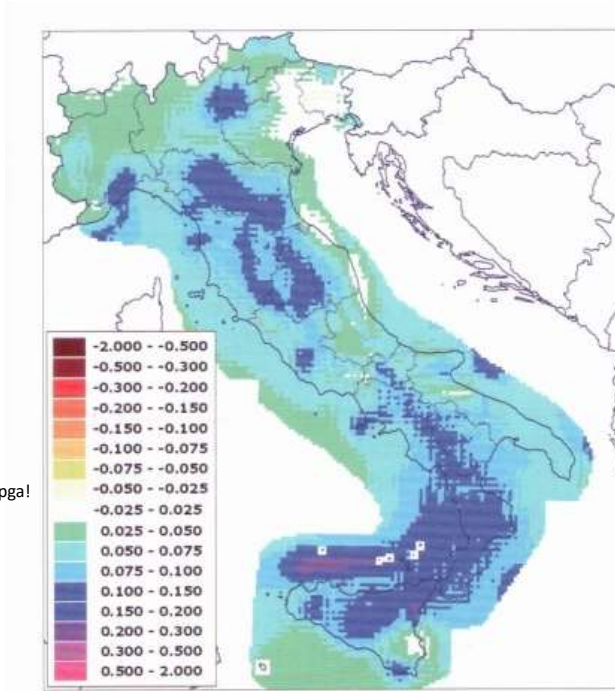


**RISCHIO SISMICO**



C. Meletti, A. Rovida, V. D'Amico e M. Stucchi: "Modelli di pericolosità sismica per l'area italiana: MPS04-S1 e SHARE". Su: Progettazione sismica, 2014.

Incremento di pga!

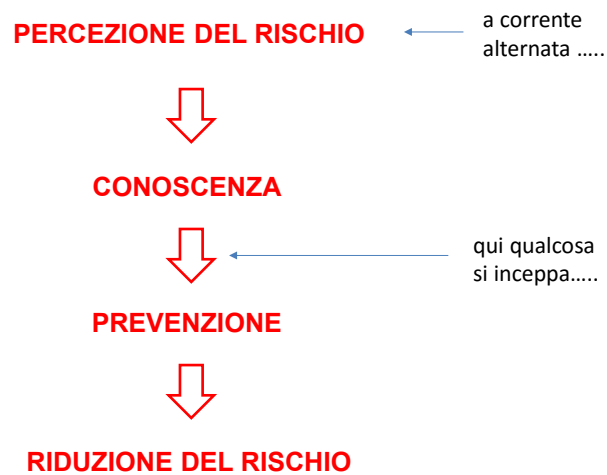


ZONA	p
1	0.2822
9	0.0189
11	0.0682
12	0.1216
14	0.0189
16	0.0682
17	0.0682
19	0.0634
21	0.0682
22	0.0682
25	0.0682
26	0.0946
27	0.0682
28	0.0682
29	0.2562
31	0.0189
35	0.0682
36	0.1503
39	0.0946
40	0.0946
41	0.2562
42	0.0189
43	0.0682
45	0.1488
46	0.0682
47	0.0189
48	0.0426
49	0.1760
51	0.0682
52	0.0682
54	0.0189
55	0.0189
56	0.0682
58	0.0426

Carta aggiornata al 27/10/2016 (vedi sito <http://www.ingv.it>) sismi di intensità superiore a magnitudo 5.5 attesi nei prossimi dieci anni in Italia

QUINDI SIAMO CERTI CHE AVVERRA' E CHE LI' DOVE  
AVVERRA'  
CI SARANNO CROLLI, LUTTI E DANNI

BISOGNEREBBE QUINDI FARE **PREVENZIONE**





Quale è la probabilità che avvenga un sisma nei prossimi 7-8 anni in Italia?

$$P(E_1 \vee E_2 \vee E_3 \vee E_4 \dots \vee E_n) = 1 - P(\text{nessuna}) = 1 - [(1-p_1)(1-p_2)(1-p_3)\dots(1-p_n)]$$

$$P = 96 \%$$

### ABBIAMO LA CERTEZZA CHE AVVERA'

Del resto basterebbe la statistica:  
30 sismi con  $M > 5$  negli ultimi 30 anni  
(negli ultimi 10 anni: Abruzzo ed Emilia)

E' ALLARMISMO ?

QUALCUNO PENSA CHE I PROSSIMI ANNI SARANNO DIVERSI?



**Geochemistry  
Geophysics  
Geosystems** G<sup>3</sup>

AN ELECTRONIC JOURNAL OF THE EARTH SCIENCES

Published by AGU and the Geochemical Society

*Article*  
Volume 5, Number 11  
**2 November 2004**  
Q11003, doi:10.1029/2004GC000724  
ISSN: 1525-2027

## Probability map of the next $M \geq 5.5$ earthquakes in Italy

**F. R. Cinti**  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Marata 605, 00143 Roma, Italy (cinti@ingv.it)*

**L. Faenza and W. Marzocchi,**  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, Italy (faenza@bo.ingv.it; marzocchi@bo.ingv.it)*

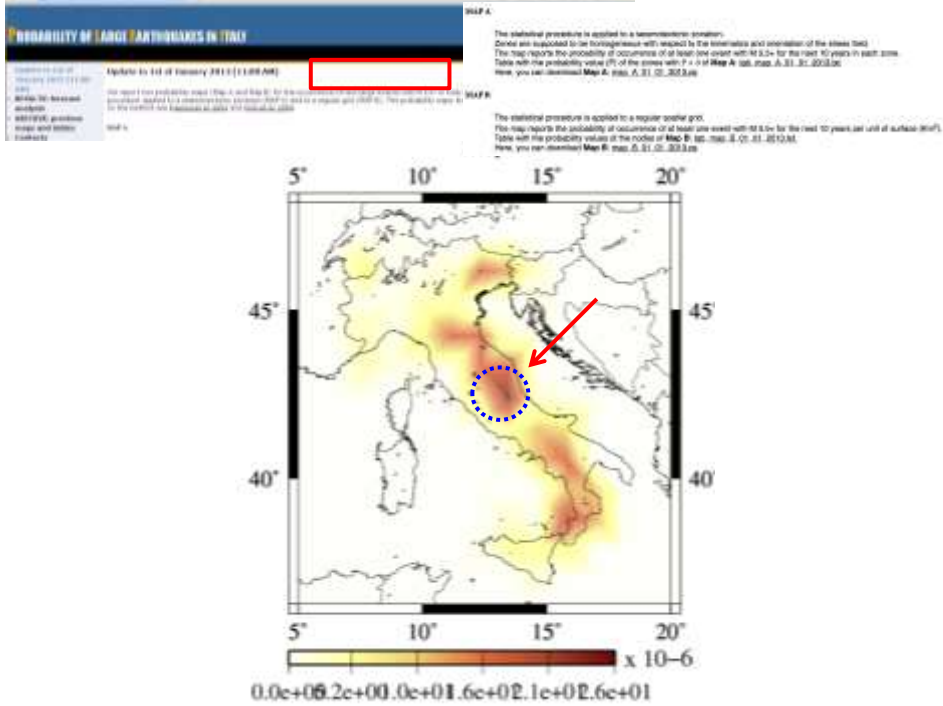
**P. Montone**  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Marata 605, 00143 Roma, Italy (montone@ingv.it)*

*Geophys. J. Int.* (2003), **55**, 521–531

## A non-parametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalogue

Licia Faenza, Warner Marzocchi and Enzo Boschi

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, Italy; E-mails: faenza@bo.ingv.it; marzocchi@bo.ingv.it*

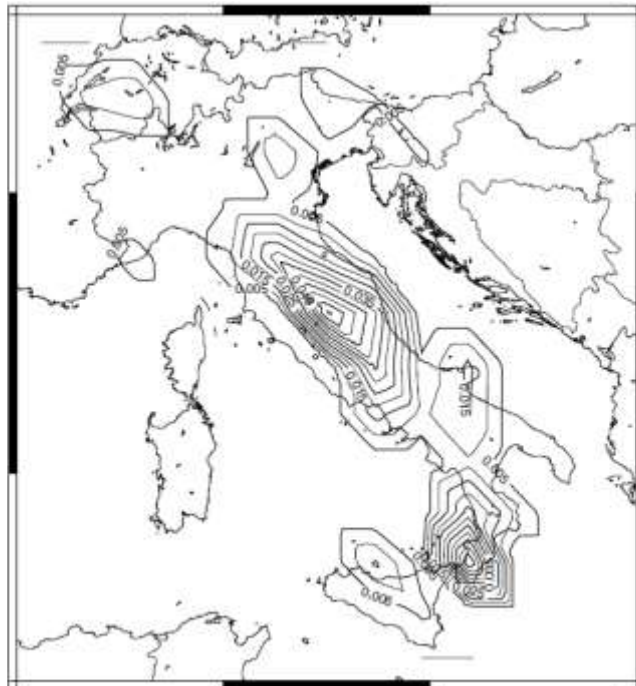


2003

*Geophys. J. Int.* (2003) 155, 521–531

**A non-parametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalogue**

Licia Faenza, Warner Marzocchi and Enzo Boschi  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, Italy. E-mails: faenza@bo.ingv.it; marzocchi@bo.ingv.it



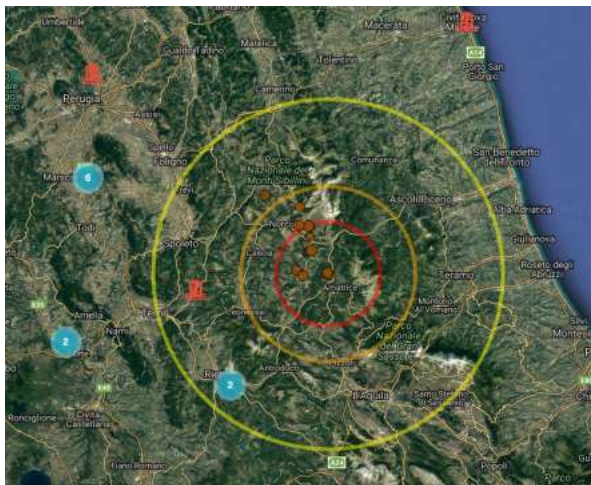
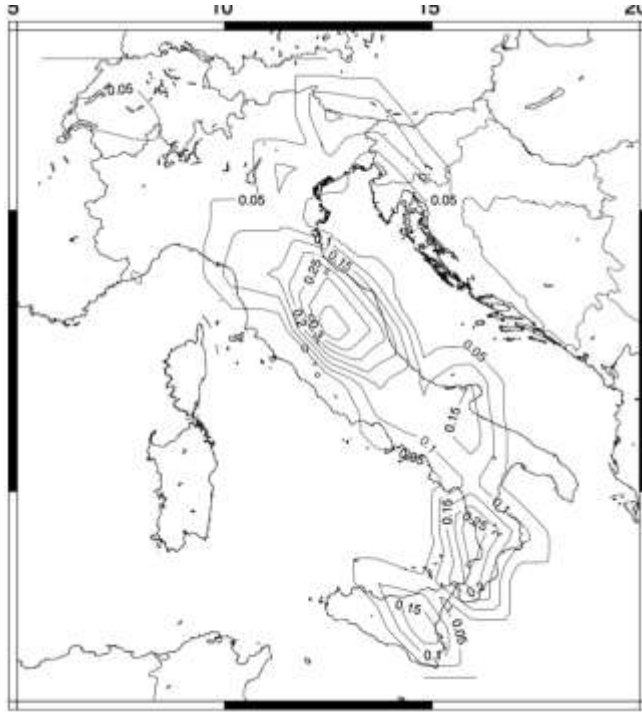


2003

*Geophys. J. Int.* (2003) **155**, 521–531

**A non-parametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalogue**

Licia Faenza, Warner Marzocchi and Enzo Boschi  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, Italy, E-mails: faenza@bo.ingv.it; marzocchi@bo.ingv.it



Sisma centro Italia  
24 agosto 2016





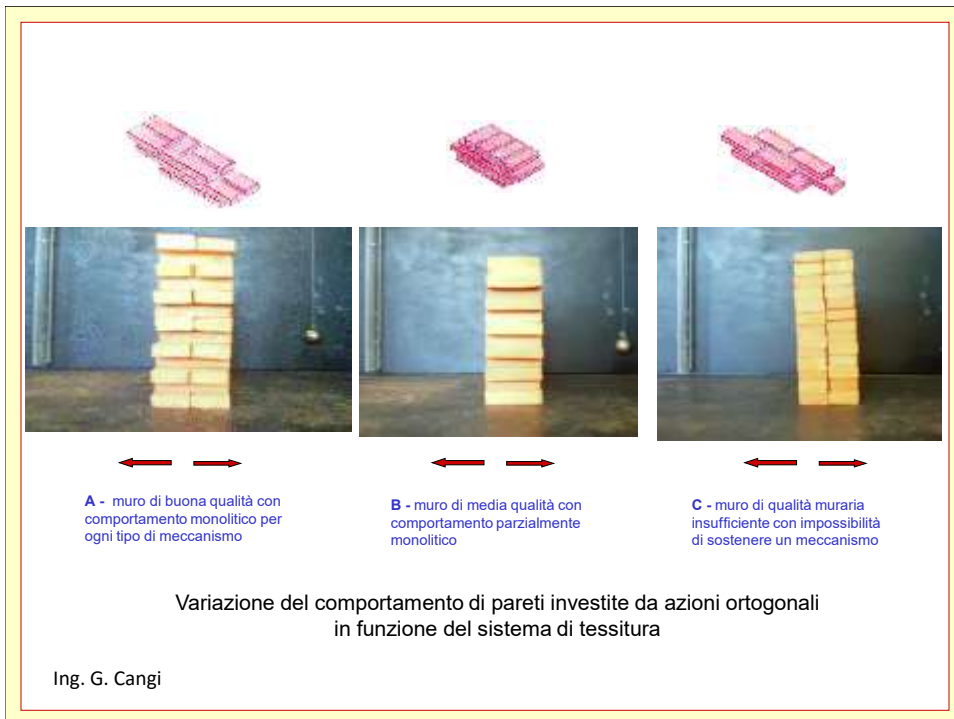
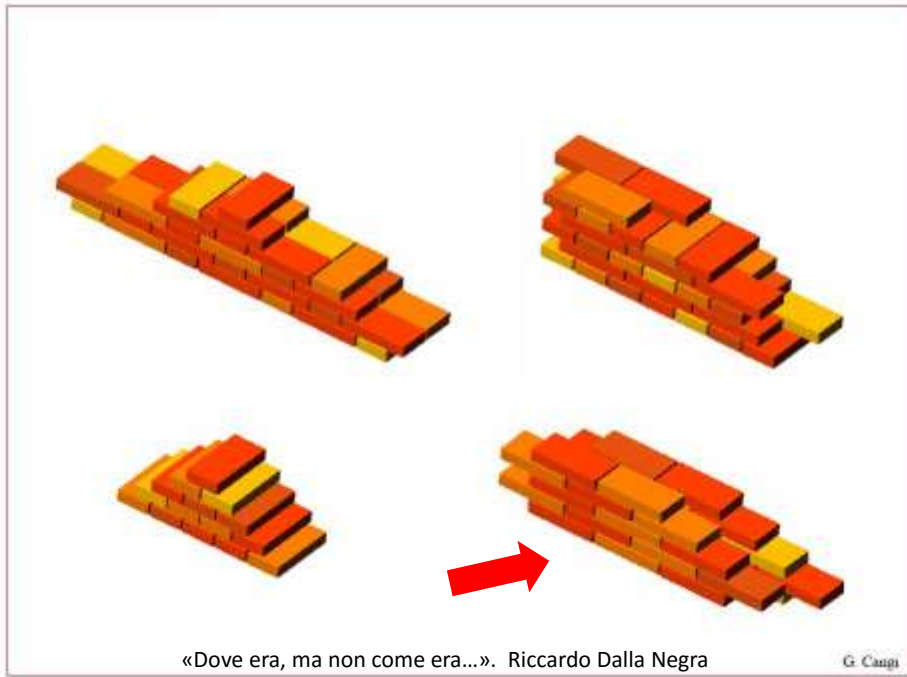






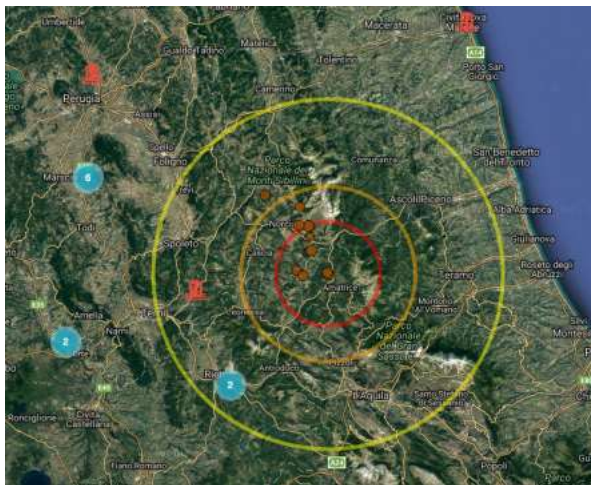








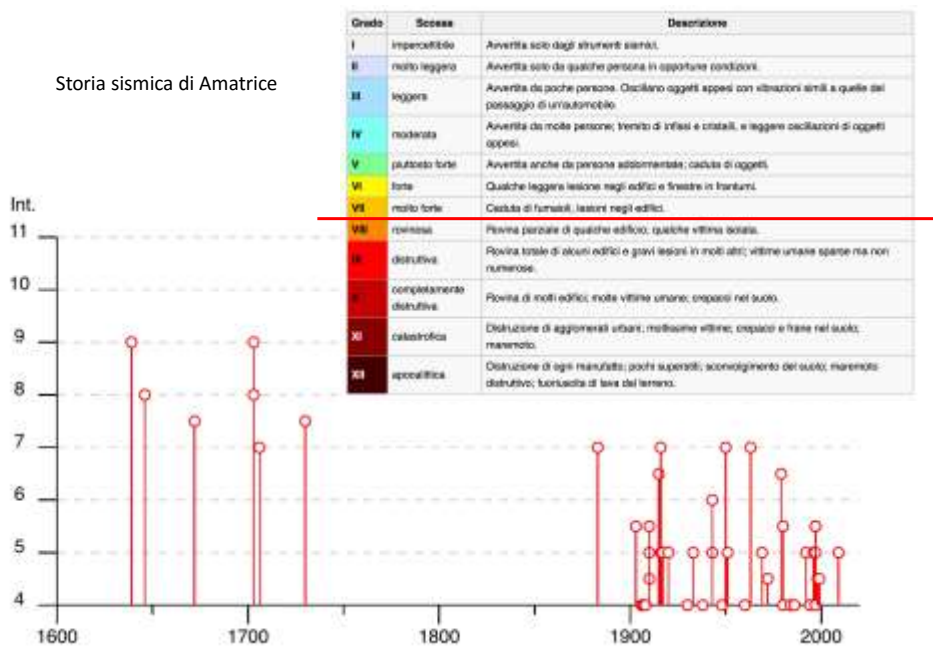




Sisma centro Italia  
24 agosto 2016



### Storia sismica di Amatrice





Sisma del 24 agosto 2016: danni in una chiesa a Norcia



Accumoli, Foto Ing. Andrea Barocci



Pescara sul Tronto



Attenzione a valutare la qualità muraria solo dai paramenti esterni, specie su edifici monumentali ....



Attenzione ai paramenti  
esterni, specie su edifici  
monumentali!!



Accumoli, Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci







Pescara sul Tronto





Accumoli, Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Accumoli, Foto Ing. Andrea Barocci







Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci





Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci









Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci





Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci



Accumoli. Foto Ing. Andrea Barocci



Foto Ing. Andrea Barocci





Accumoli, Foto Ing. Andrea Barocci

RICOSTRUZIONE:

DOVE ERA E COME (NON) ERA

(ma come doveva essere ....)

#### **DANNI DA NORMATIVA**

Friuli '76: POR (→sostituzione solai e coperture lignee, cordoli in breccia)

Umbria '79 «Protocollo B.»

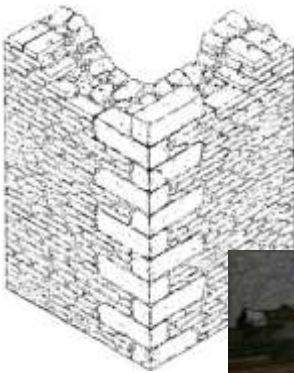
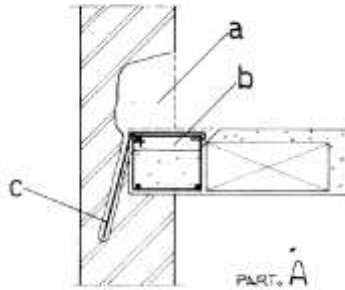
Irpinia '80: iniezioni di cemento

DM '96 ....

Elenco lunghissimo di danni e lutti ..... che purtroppo si allungherà ancora.  
Danni maggiori al tessuto tradizionale, ma non solo.



Negli anni '80:





Documento Tecnico 2 (Friuli)  
D.M. 30.07.1981 (Irpinia)

Tra gli interventi suggeriti:

- **Iniezioni** di miscele leganti su pareti murarie.
- **Lastre in cemento armato** o di reti metalliche elettrosaldate su pareti murarie.
- **Pilastrini in cemento armato** o metallici in breccia nella muratura;
- Tirantature orizzontali e verticali su pareti murarie.
- **Archi e volte** interessati da gravi dissesti e se realizzati con muratura di non buona consistenza e fattura, devono essere **eliminati**. Il rinforzo può invece essere conseguito costruendo in aderenza a quelli esistenti **archi e volte in cemento armato**.
- **Solai** avvallati o deteriorati, si da non possedere adeguata rigidezza nel proprio piano, **devono essere sostituiti con solai in cemento armato** ordinario o precompresso, ovvero in acciaio.
- Le **scale** in muratura a sbalzo, cioè quelle aventi gli scalini o la sottostruttura incastrati nei muri di gabbia da un lato e liberi d'altro, devono essere di regola **sostituite con scale in cemento armato** o in acciaio.



Interventi realizzati negli  
anni '80 su un edificio  
del 1300 a Gubbio

Nel 1981 la suddivisione delle categorie d'intervento sugli esistenti era:

- "adeguamento antisismico"
- "interventi di modesta entità"

Il miglioramento compare solo nel 1986.

Franco Braga (primi anni '90):

*"I terremoti sono perniciosi per il patrimonio monumentale italiano, non tanto per l'eccezionalità dei danni prodotti, quanto per il numero e il tipo di interventi di riparazione e di adeguamento antisismico che ad essi hanno fatto seguito..:"*

## 1997 Umbria

Riscontrati gravi danni anche su edifici consolidati con i criteri delle Norme del 1981 e seguenti

→ **Inefficacia di interventi troppo pesanti** su edifici in muratura







Roio, un paese vicino all'Università adibito spontaneamente a casa dello studente  
Le maggioranza delle case modificate sono crollate, le case non manomesse sono restate integre





PRIMA



DOPO





PRIMA



DOPO





Onna



Onna







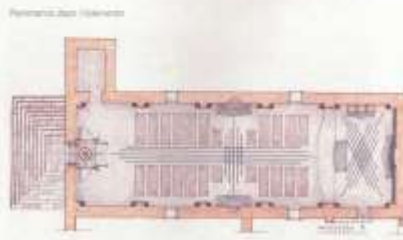
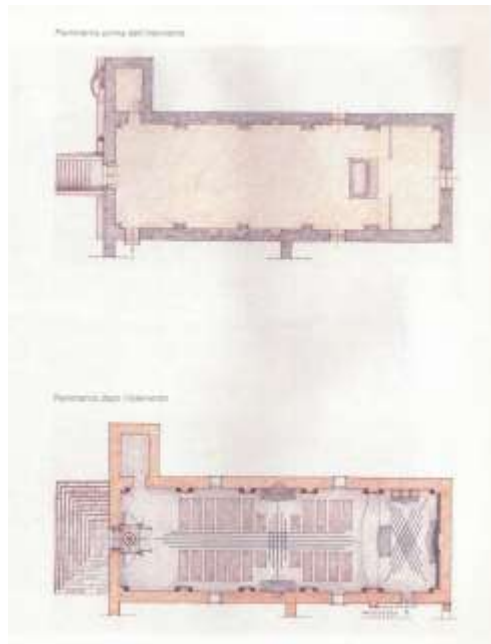


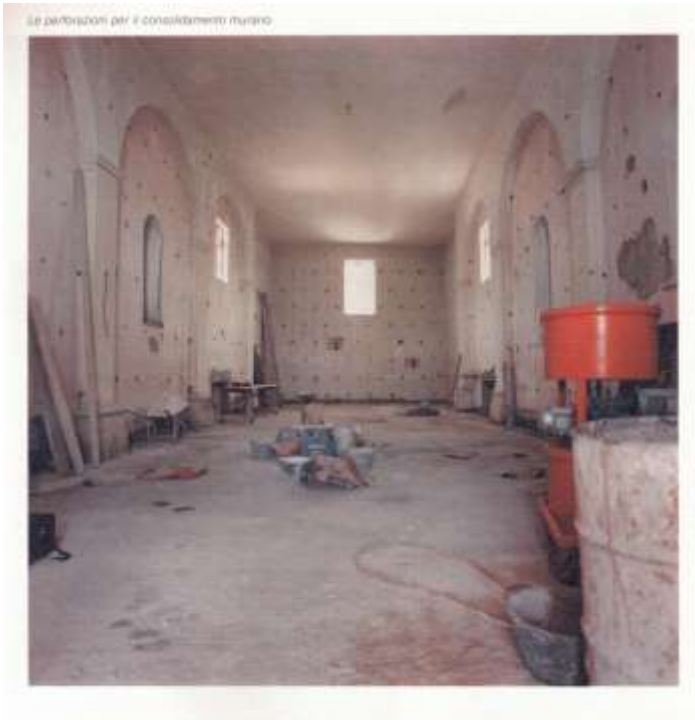
Quanto alle iniezioni .....



Chiesa Parrocchiale di S. Maria del Rosario – Tempera (L'Aquila)







1984  
Interventi strutturali

**INTERVENTO  
INNOVATIVO:**

1000 iniezioni con  
boiaccia di cemento

**Circolare 30/07/1981 n. 21745**

	TIPO DI MURATURA	$\tau_k$	$\sigma_k$
		(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
MURATURE non consolidate non lesionate	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche corrispondenti alle prescrizioni del D.M. 3.3.1975 (29x19x19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Muratura in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di $\tau_k$ può essere aumentato del 30%):		
	- a) pietrame in cattive condizioni	2	50
	- b) pietrame grossolanamente squadrato e ben organizzato	7	200
- c) a sacco in buone condizioni	4	150	
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE Nuove	Mattoni "pieni" con fori circolari Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno = 40% Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	24	500
MURATURE Consolidate	Mattoni pieni, pietrame squadrato, consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	Pietrame iniettato Murature in pietra a sacco consolidate con due lastre in cls armato da cm 3 (minimo)	11	300



6 Aprile 2009



Chiesa delle Anime Sante – L'Aquila

**-2003-2004**

- Consolidamento generale della chiesa
- Lavori di restauro della cupola, della lanterna, delle volte della navata e della pavimentazione della chiesa
- Consolidamento dei muri d'ambito: realizzazione di un ancoraggio in cemento armato nella muratura
- Consolidamento del tamburo: iniezione di malta di cemento e ritocco degli stucchi
- Escavazioni e drenaggio: trattamento delle risalite di umidità (lato Via del Suffragio)
- Realizzazione del riscaldamento a pavimento (sotto la pavimentazione)
- Consolidamento della navata: posizionamento dei tiranti metallici

**-2008**

- Lavori di grande manutenzione

**-2009, 6 aprile**

Due anni fa si fecero lavori di manutenzione generale e tinteggiatura. Non si pensò a mettere un cerchio in corrispondenza del primo cornicione. Con i ponteggi montati la fornitura e posa in opera di un cerchio di ferro 40x8 mm per un totale di 180 Kg di acciaio composto da 8 pezzi della lunghezza di 8 m ciascuno con giunzioni di lunghezza 80 cm, a 4 fori per un totale di 32 bulloni, 32 dadi, 32 rondelle, sarebbe costato secondo il prezzario della Regione Abruzzo 360 euro + IVA a 4% = 374 euro.

**Con il senno del poi:**

il cerchiaggio con le tre catene in legno del Valadier dopo 200 anni di onorato servizio richiedeva una precauzionale duplicazione. (Valadier l'avrebbe fatta...)

Questo ci ha detto la sperimentazione effettuata dal grande collaudatore, ora è inutile recriminare, occorre molto di più.

(V. Ceradini)





Difetto di quel periodo:

manca di direttive o prescrizioni sulle metodologie di controllo dell'effettivo miglioramento ....

Si pensava di raggiungere sempre e comunque l'obiettivo.

Forse oggi la storia si ripete, per altre tecniche ed altri «nuovi» materiali .....

(mancanza di sperimentazione e di controlli sul sistema di rinforzo, e non solo sui materiali)

Tecniche e materiali innovativi:  
proposte per un consolidamento consapevole

## TRAVI-CORDOLO IN MURATURA ARMATA

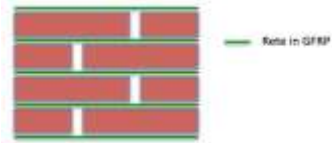


Cordolo in muratura armata:  
intervento «tradizionale»  
(Cangi – Giuffrè)

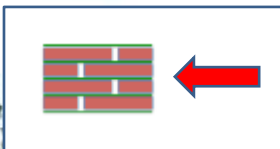


2015: ESPERIENZE AQUILANE

TRAVI-CORDOLO IN MURATURA DI  
MATTONI



CORDOLO IN MURATURA DI MATTONI E GFRP : CARICHI ORIZZONTALI



**CARICO MASSIMO: 4.580 Kg**  
(non di rottura)

## CORDOLO IN MURATURA DI MATTONI E GFRP : CARICHI VERTICALI

**2015**CORDOLO DI SOMMITA' IN MURATURA  
DI PIETREME DI RECUPERO

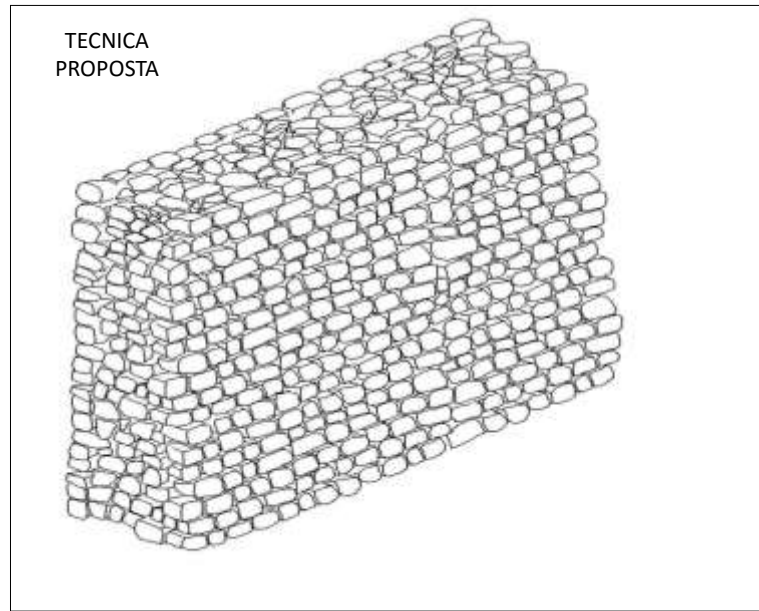
(RECUPERO E RIUSO CON RIQUALIFICAZIONE DEI MATERIALI)



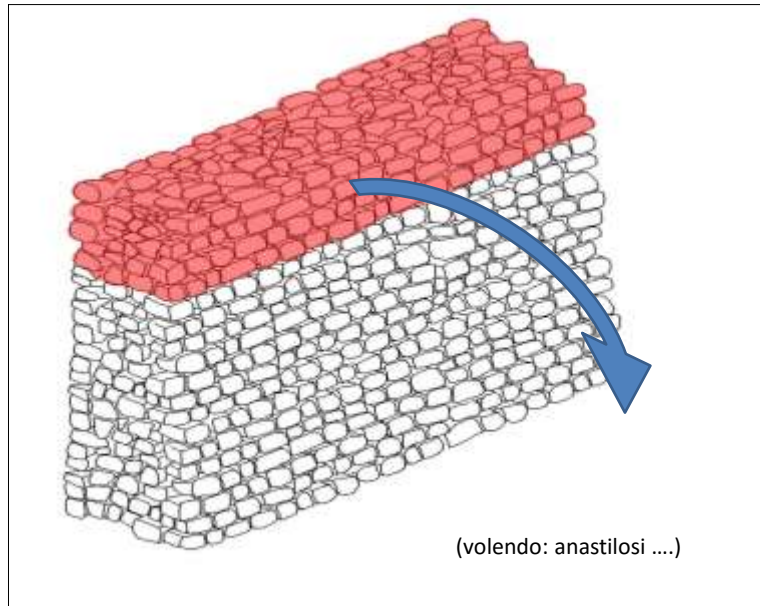


Caso Studio: Convento di Santa Maria delle Grazie - L'Aquila  
Progetto e DL: Ing. Andrea Giannantoni  
Impresa: Tecnoclima Group Srl - AQ

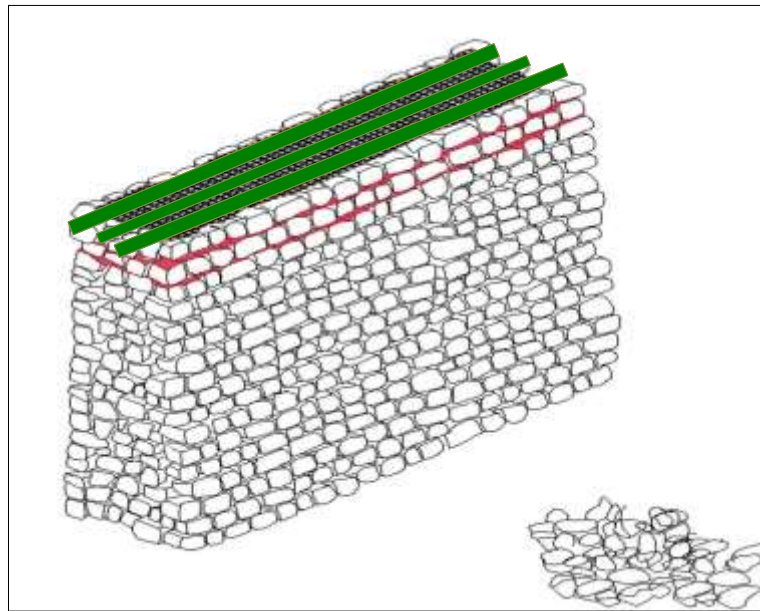




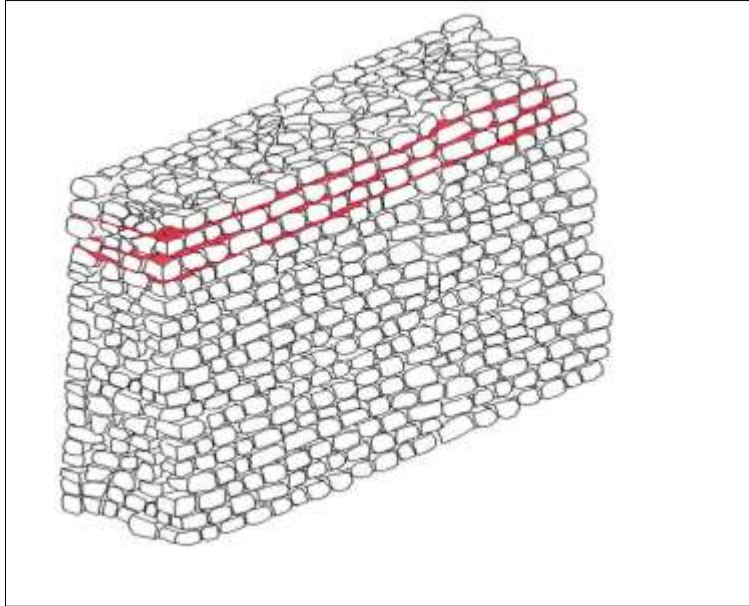
Fasi realizzative



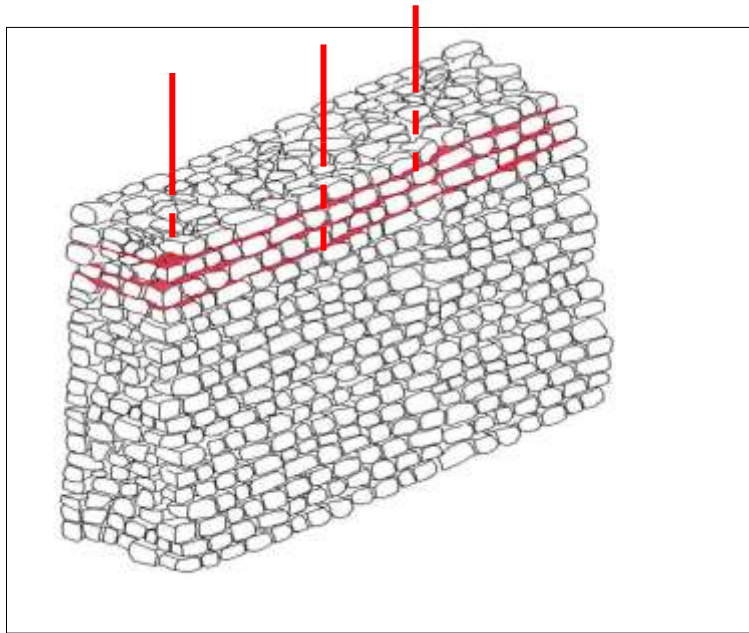
Smontaggio della parte sommitale



Nuovo strato di malta con rete FRCM

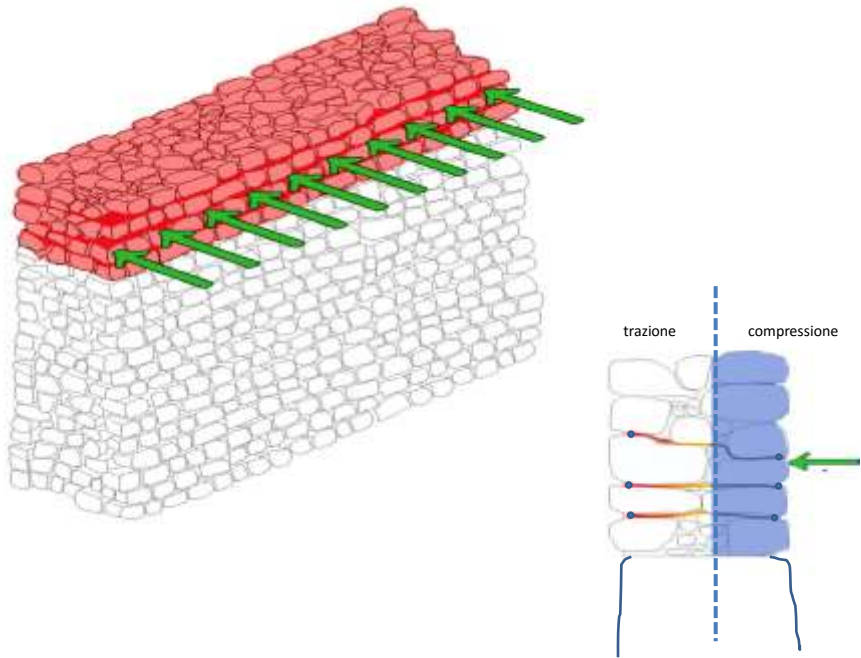
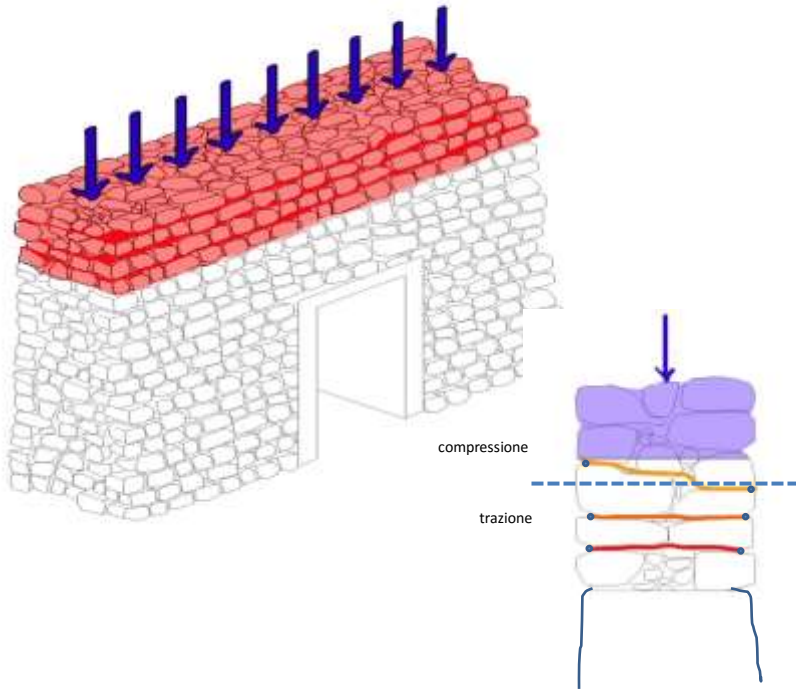


Ricostruzione muratura: terzo strato muratura del cordolo



Collegamenti con la muratura sottostante con barre in GFRP





























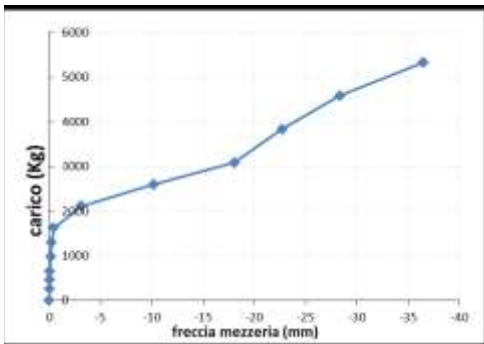
PROVE: 10-14 SETTEMBRE 2015

CORDOLO IN MURATURA DI PIETRAMME E GFRP : CARICHI ORIZZONTALI

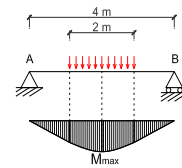
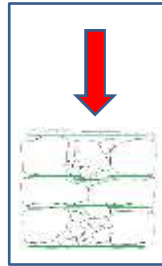


**CARICO MASSIMO: 4.310 Kg**  
**(non di rottura)**

CORDOLO IN MURATURA DI PIETREME E GFRP : CARICHI VERTICALI



L'Aquila, 22 febbraio 2016  
 Prova di carico su trave in pietrame armata con rete 66x66 mm

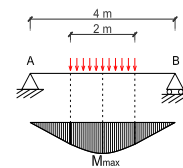
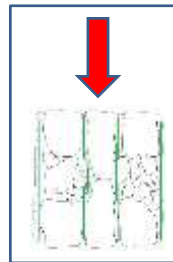


Carico massimo applicato: **6290 kg** (no rottura)  
 Peso proprio: 21.4 kN/m  
 Momento massimo in mezzeria : 54.73 kN/m

Stato fessurativo all'applicazione di 6290 kg:



L'Aquila, 22 marzo 2016  
 Prova di carico su trave in pietrame armata con rete 66x66 mm

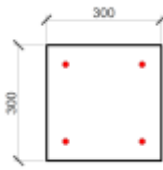


Carico massimo: **4320 kg** (rottura a 4800 kg)  
 Peso proprio: 21.4 kN/m  
 Momento massimo in mezzeria : 40.27 kN/m



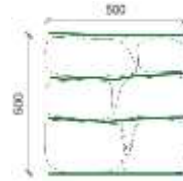


## DIFFERENZE DI RIGIDEZZA



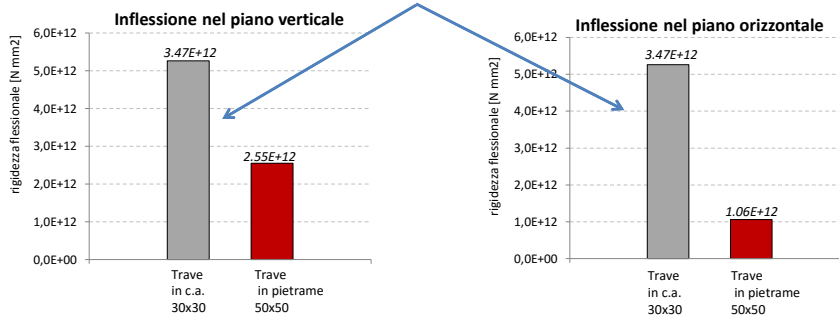
cordolo in c.a.

C28/35  
 $2\phi 16 + 2\phi 16$  (B450C)  
 $M_{Rd} = 45.06$  kNm

cordolo in  
muratura armata

$M_{Rd} = 52.59$  kNm (inflexione nel piano verticale)  
 $M_{Rd} = 42.57$  kNm (inflexione nel piano orizzontale)

**Il cordolo in c.a. è molto più rigido di quello in muratura armata**



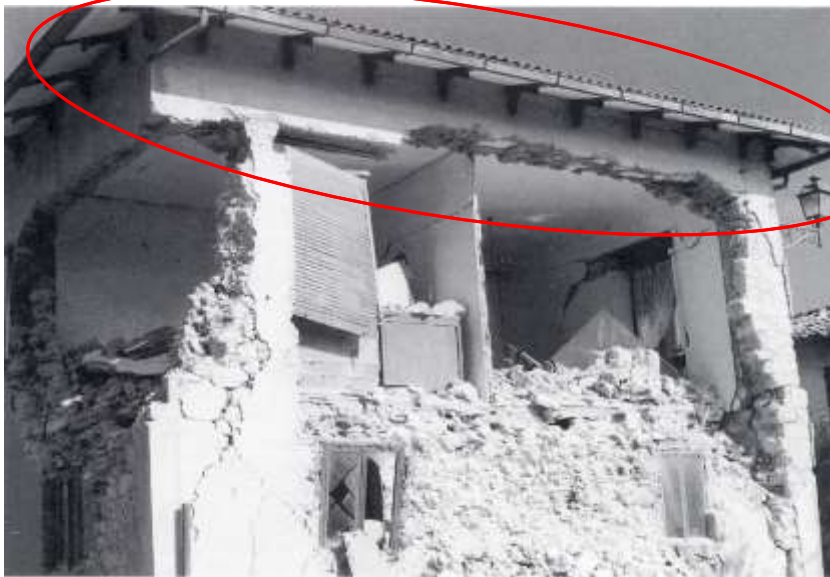
Se per semplicità realizzativa venisse fatto un cordolo 60x30 cm la rigidezza nel piano orizzontale aumenterebbe di 8 volte quella nel piano verticale di 2 volte

Cordoli in c.a. rigidi: incapacità a collaborare con la muratura sottostante



215

Cordoli in c.a. rigidi: incapacità a collaborare con la muratura sottostante





### “RETICOLATUS”

Rinforzo a maglia continua  
nei giunti di malta  
di murature e fabbriche murarie

(autonomo o integrativo di altre tecniche)

### LA “SFIDA” DEL CONSERVARE IN SICUREZZA



Tra i vari problemi...:

Le costruzioni storiche sono spesso  
caratterizzata dall'aver la muratura  
faccia a vista.

→ **Limitazioni negli interventi**





Dalle Linee Guida BBCC:

“... contemperare l'esigenza di raggiungere i più elevati livelli di **sicurezza** con le istanze di **conservazione**....”.

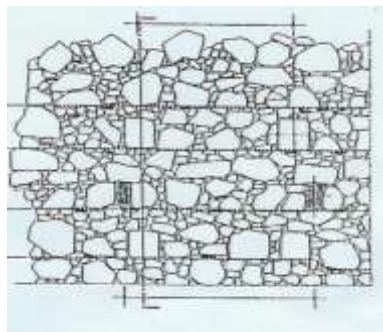
Ma come?







### LA SFIDA

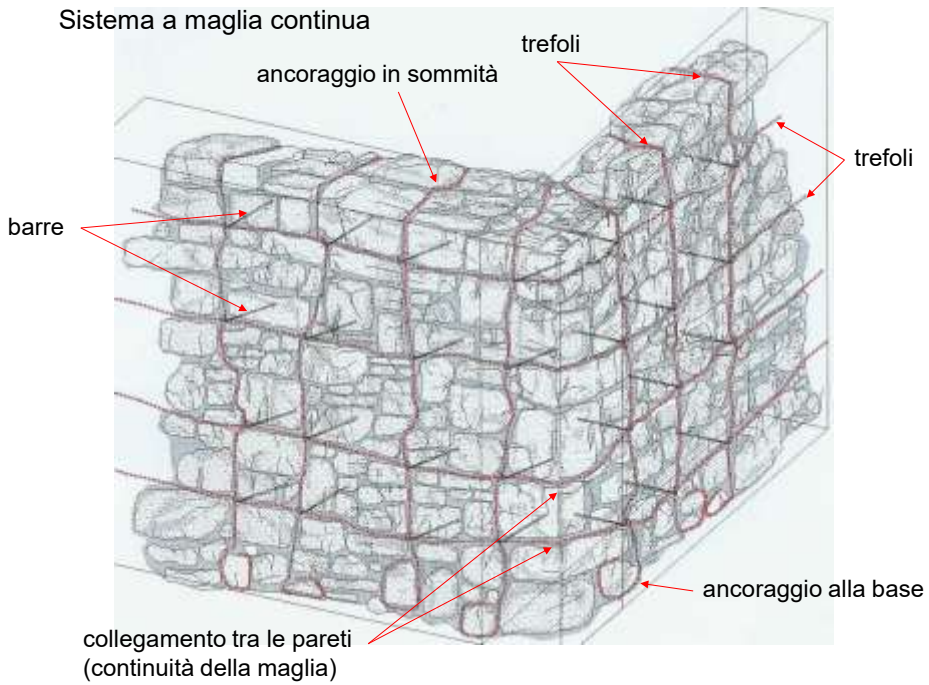


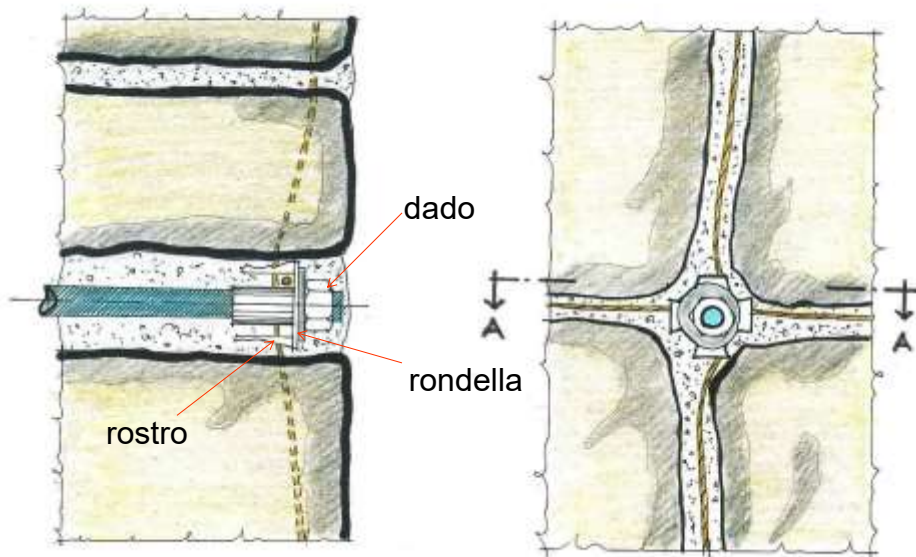
**Manufatti tutelati** (murature storiche)

Ricerca di un intervento che:

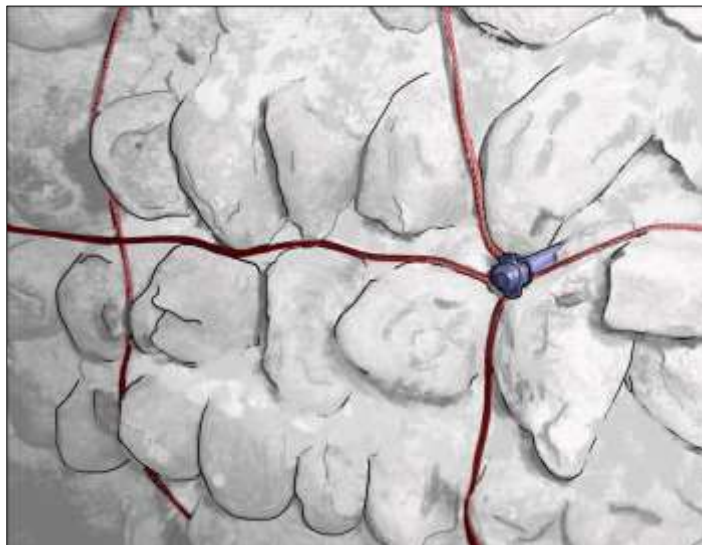
- 1) conservi il paramento faccia a vista
- 2) non invasivo
- 3) reversibile
- 4) efficace

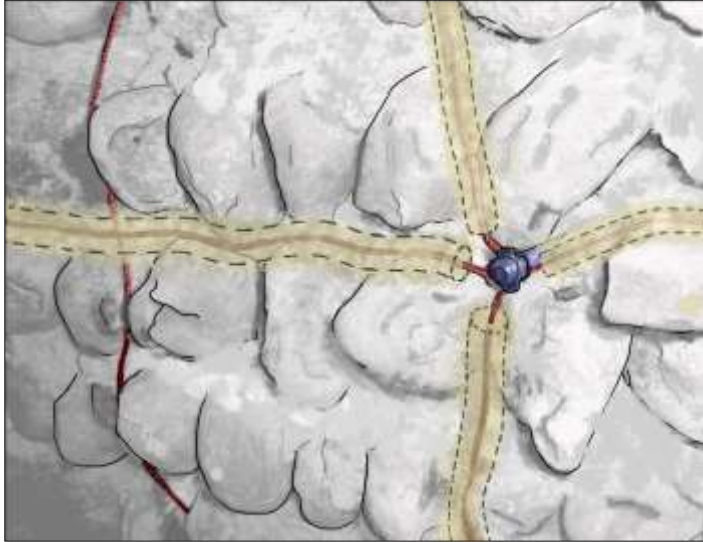






Sistema mini - invasivo e reversibile





Quando NON va bene ....



Giunti sottili



Malte tenaci



**NO !**



**SBAGLIATO**



**CORRETTO**



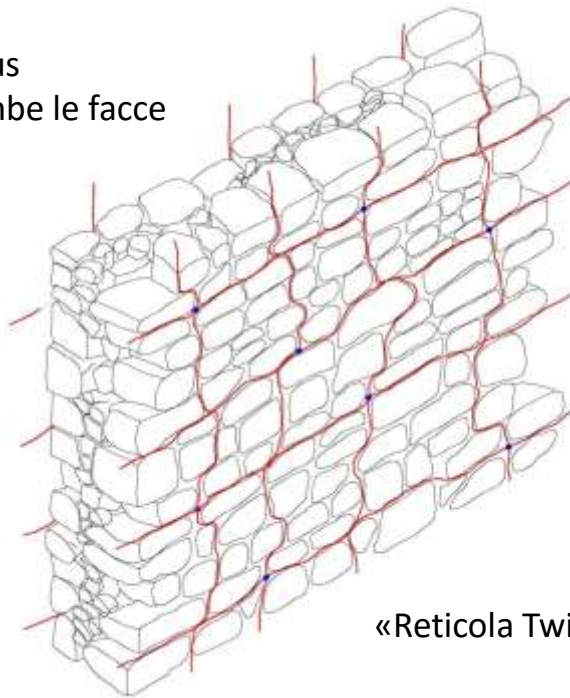
**NO !**

sottodimensionamento ....





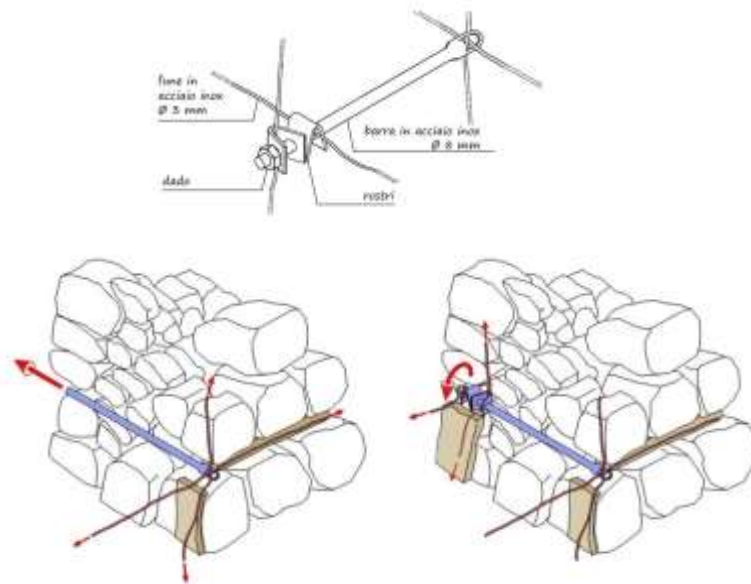
Reticolatus  
su entrambe le facce



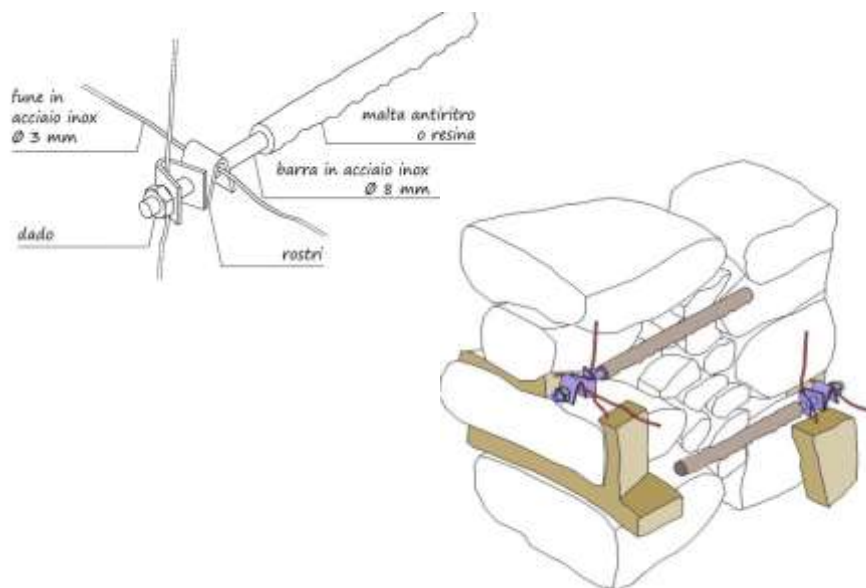
«Reticola Twin»



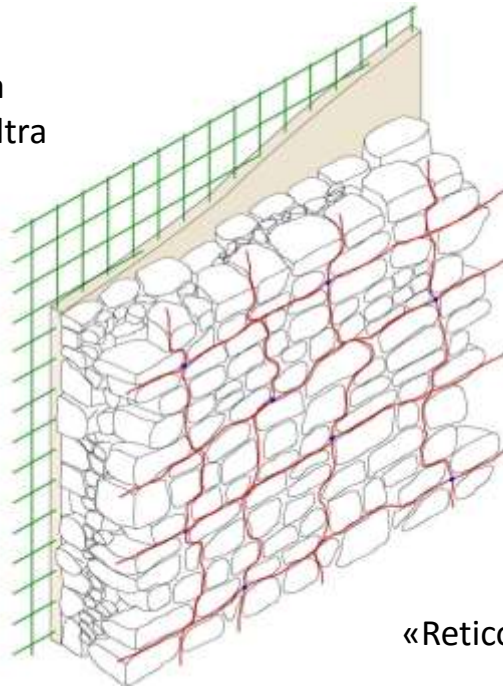
## Murature con pietre di piccola pezzatura



## Murature con pietre di pezzatura media o grande

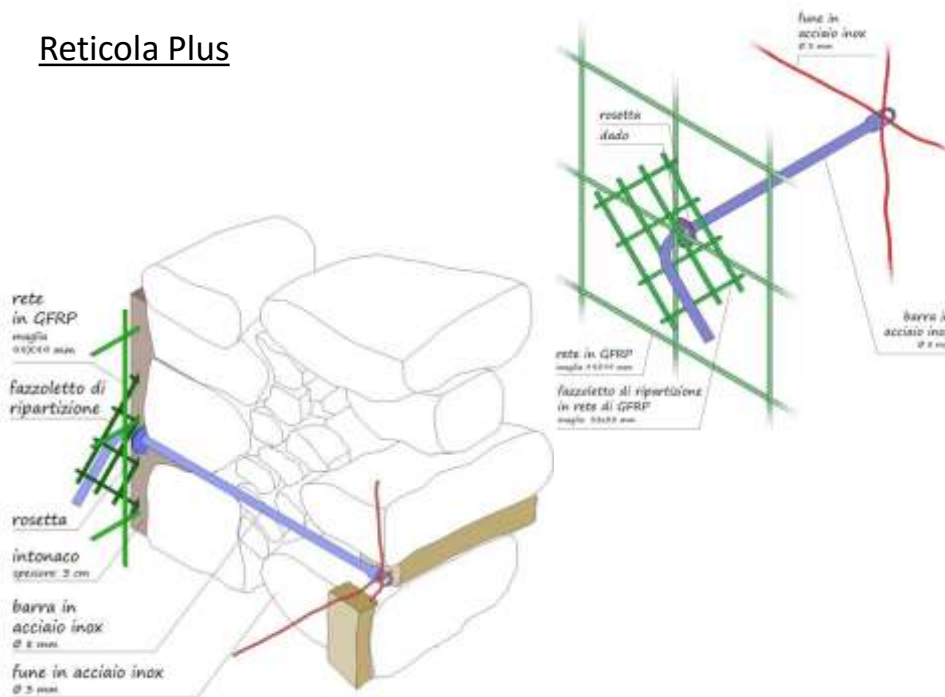


Reticolatus  
su una faccia  
i.a. 2.0 sull'altra



«Reticola Plus»

Reticola Plus





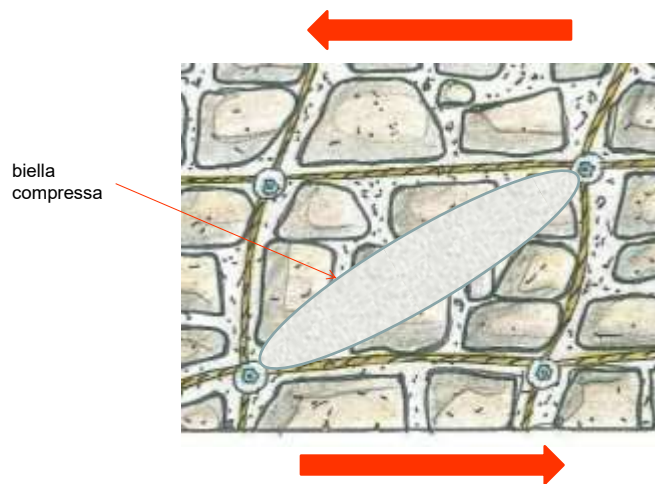
## “RETICOLATUS”

Benefici attesi (1):

- Incremento resistenza a compressione
- Incremento resistenza a taglio
- Incremento di resistenza a flessione nel piano
- Incremento di resistenza a flessione ortog. al piano

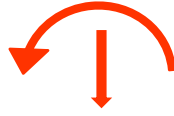


Meccanismo nel piano: taglio



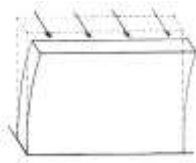
(muratura confinata)

Pressoflessione nel piano:



Presenza di una armatura resistente a trazione

Flessione fuori del piano:



Presenza di una armatura resistente a trazione



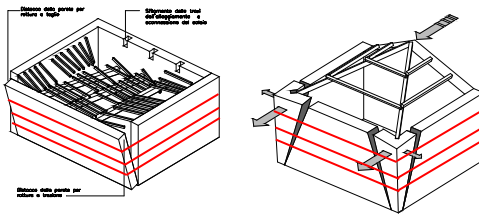


## “RETICOLATUS”

Benefici attesi (2):

COLLEGAMENTI (diffusi)

- tra pareti verticali
- tra pareti verticali e orizzontamenti
- cucitura lesioni



... anche (e soprattutto nelle murature di mattoni)

Sperimentazione sul campo: mura urbane di Trevi (Foligno)



Prime prove sperimentali



Prove con martinetti piatti doppi

ristilatura profonda

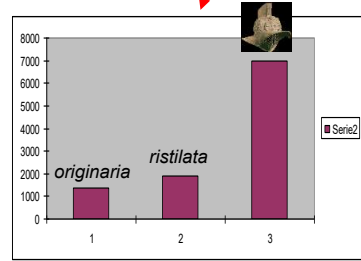
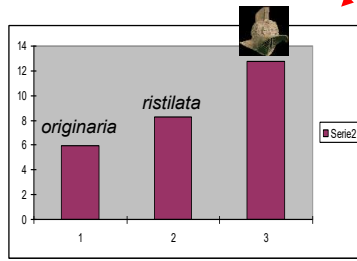


reticolatus

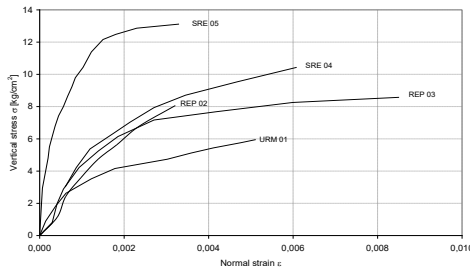


reticolatus vs ristilatura:  
+50% resistenza a compressione

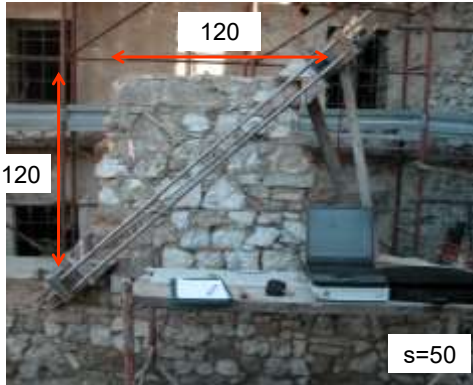
Prove con martinetti doppi	Resistenza (kg/cmq)	Modulo di elasticità (kg/cmq)
<i>Muratura originaria</i>	5.95	1370
<i>Ristilata</i>	8.30	1900
<i>Ristilata con "Reticolatus"</i>	12.80	7000



Prove con martinetti doppi



	$\sigma_{max}$ (MPa)	$E_{1/3}$ (MPa)
URM 01	0.595	480
REP 02	0.807	393
REP 03	0.857	512
SRE 04	1.261	486
SRE 05	1.312	2416



Prove diagonali

Tipo di rinforzo	$\tau_k$ (MPa)
Non rinforzato	0.029
Ristilatura profonda	0.039
Reticolatus	0.063

### Campagna 2012 (FibreNet – UD)

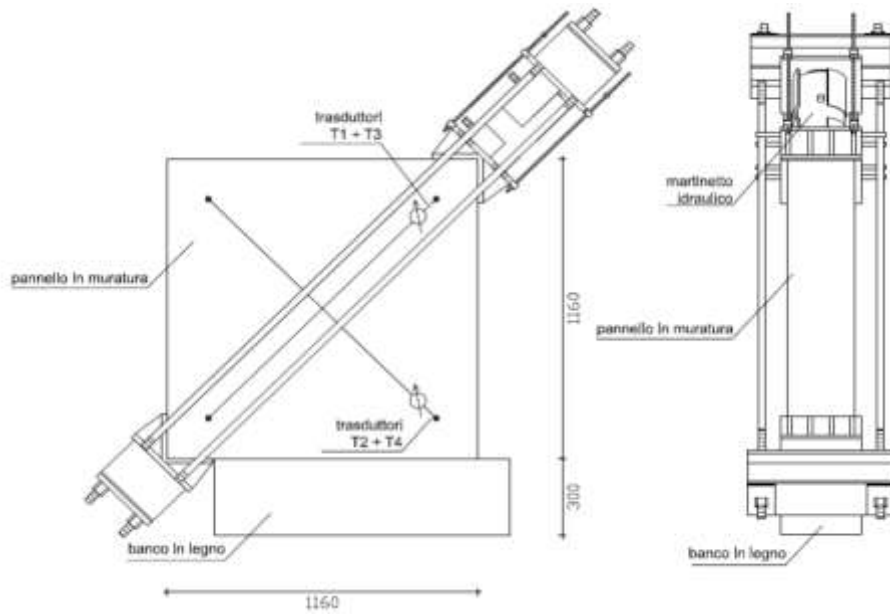


Prove effettuate dall'Università di Trieste  
Prof. N. Gattesco

	TIPOLOGIA MURATURA	TIPO RINFORZO	CONFIGURAZIONE RINFORZO
1-2	pietra	-	-
3-4	pietra	Reticola Plus	Configurazione B
5-6	pietra	Reticola Plus	Configurazione A
7-8	pietra	Reticola Plus	Configurazione D
9-10	mattoni 2 teste	-	-
11-12	mattoni 2 teste	Reticola Plus	Configurazione E
13-14	mattoni 2 teste	Reticola Plus	Configurazione F
15-16	ciottoli	-	-
17-18	ciottoli	Reticola Plus	Configurazione A
19-20	ciottoli	Reticola Plus	Configurazione B
21-22	ciottoli	Reticola Twin	Configurazione C
23-24	ciottoli	Intonaco armato	-



## Setup di prova – Pannelli non rinforzati e rinforzati con Reticola Twin

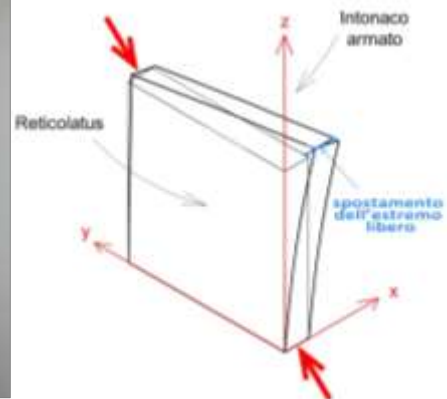


## Setup di prova – Pannelli rinforzati con Reticola Plus



Rottura di un pannello rinforzato diagonalmente su una faccia con CFRP: il carico di rottura è inferiore a quello del pannello non rinforzato.

Maria Rosa Valluzzi,  
Davide Tinazzi,  
Claudio Modena



## Muratura in pietrame: configurazione post-prova

PANNELLI 1-2  
Non rinforzati



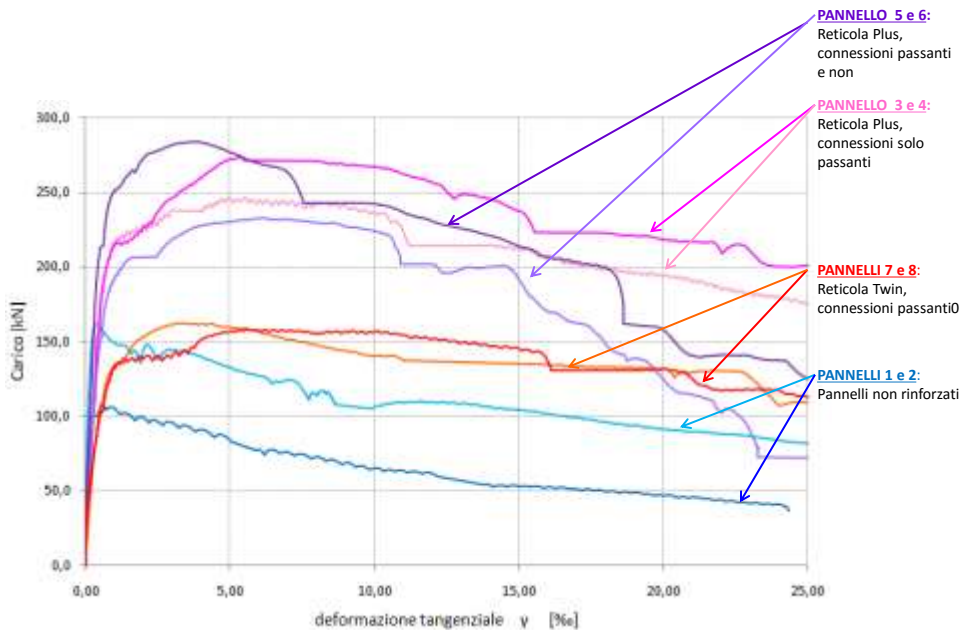
PANNELLI 3-4-5-6  
Reticola Plus



PANNELLI 7-8  
Reticola Twin



## Muratura in pietrame: diagrammi carico – deformazione



## Muratura in laterizio: configurazione post-prova

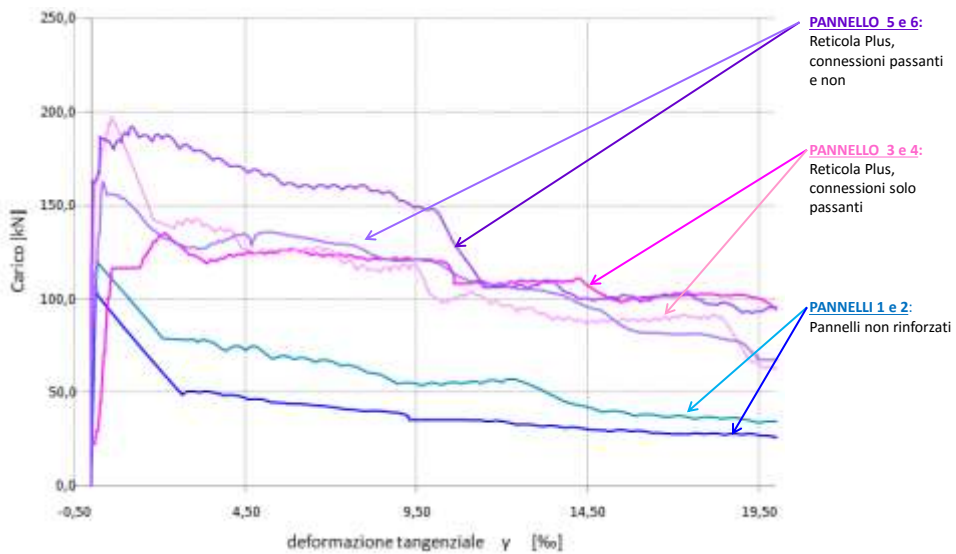
PANNELLI 9-10  
Non rinforzati



PANNELLI 11-12-13-14  
Reticola Plus



## Muratura in laterizio- diagrammi carico – deformazione



## Muratura in ciottoli: configurazione post-prova

PANNELLI 15-16  
Non rinforzati



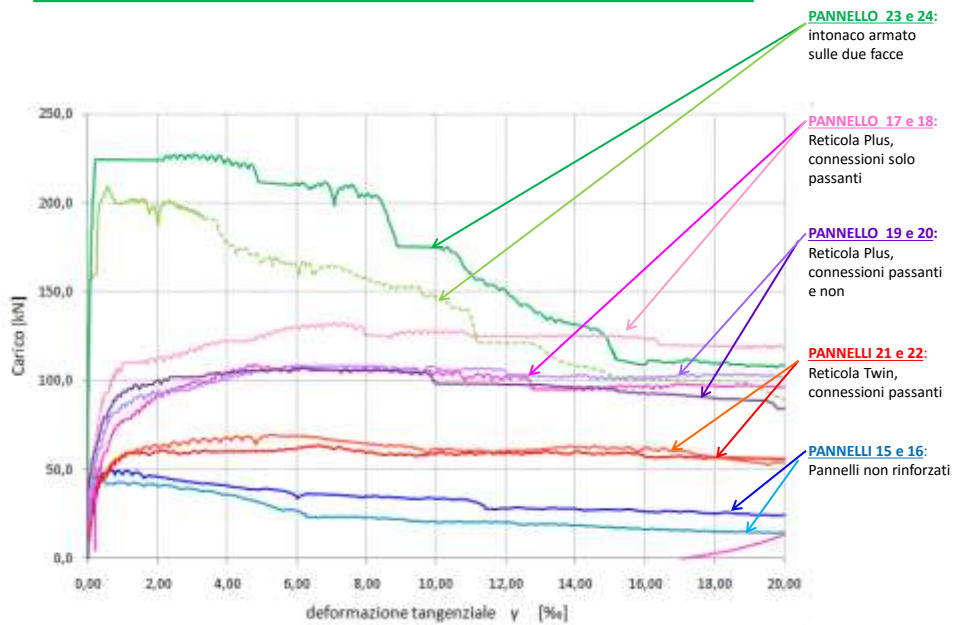
PANNELLI 17-18-19-20  
Reticola Plus



PANNELLI 21-22  
Reticola Twin



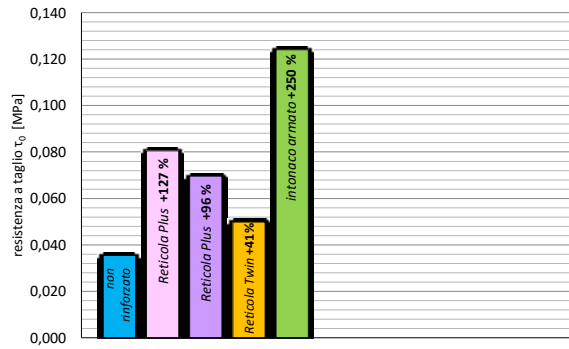
## Muratura in ciottoli: diagrammi carico – deformazione



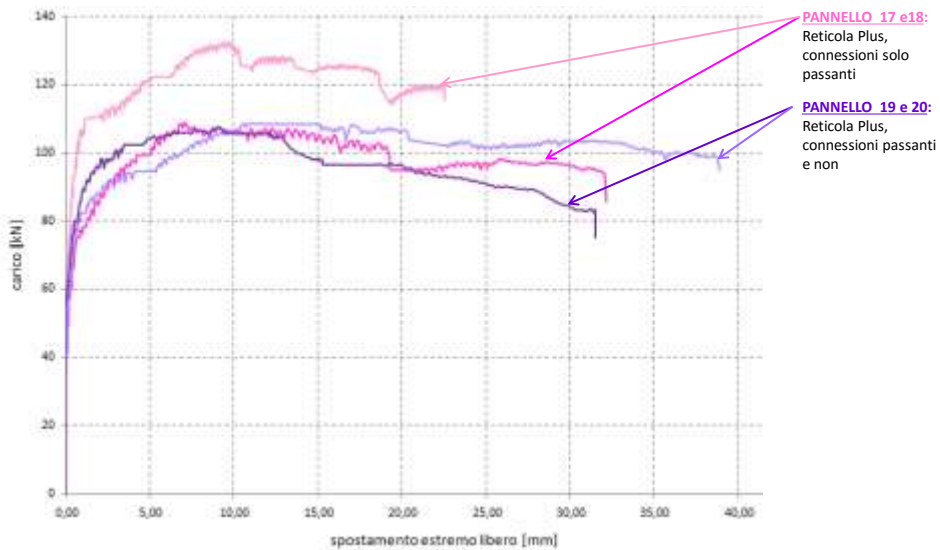


## Muratura in ciottoli: risultati numerici

		$P_{max}$	$f_t$	$\tau_0$	media $\tau_0$	incremento $\tau_0$
		[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
pannello 15		46,66	0,052	0,034		
pannello 16	<i>non rinforzato</i>	49,77	0,055	0,037	0,035	-
pannello 17	<i>Reticola Plus</i>	132,49	0,131	0,088		127
pannello 18	<i>solo passanti</i>	109,08	0,110	0,074		
pannello 19	<i>Reticola Plus</i>	108,48	0,105	0,070		
pannello 20	<i>passanti e non</i>	107,54	0,104	0,069	0,070	96
pannello 21	<i>Reticola Twin</i>	63,79	0,072	0,048	0,050	41
pannello 22	<i>passanti e non</i>	69,73	0,077	0,052		
pannello 23	<i>intonaco</i>	209,19	0,178	0,119		
pannello 24	<i>armato</i>	227,37	0,194	0,129	0,124	250



## Muratura in ciottoli: spostamento dell'estremo libero



## PROVE DI FLESSIONE:

Paper 68



©Civb-Camp Press, 2013  
 Proceedings of the Fourteenth International Conference on  
 Civil, Structural and Environmental Engineering Computing,  
 I.C.S.E.E. Topping and P. Iacini, (Editors),  
 Civb-Camp Press, Strathgairne, Scotland

### Behaviour of Existing Masonry Strengthened with a GFRP Reinforced Mortar Coating

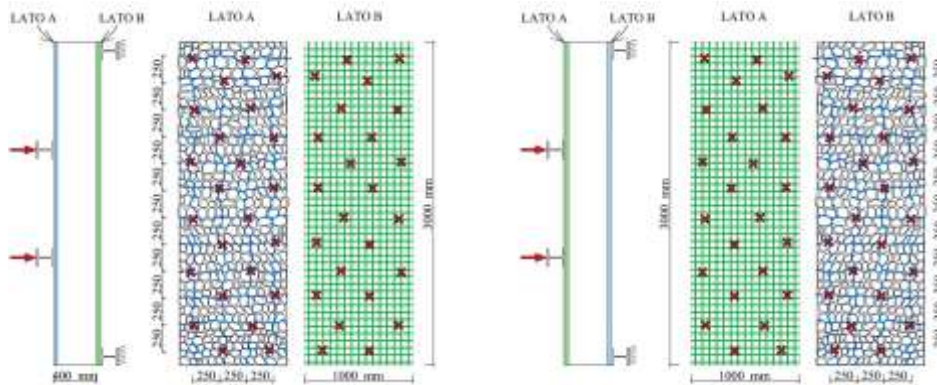
N. Gattesco<sup>1</sup>, I. Boem<sup>1</sup> and A. Dudine<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Engineering and Architecture  
 University of Trieste, Italy

<sup>2</sup>FibreNet S.r.l., Udine, Italy

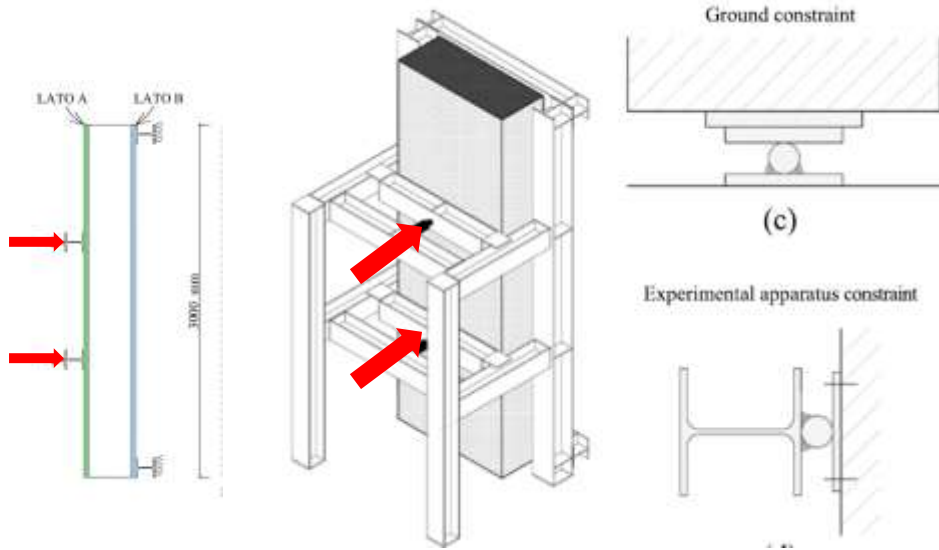
Tre pannelli di muratura in ciottoli di fiume  
 Larghezza 1000 mm, altezza 3000 mm, spessore 400 mm

#### PROVE DI FLESSIONE



parte tesa: intonaco GFRP

parte tesa: reticolatus



Prove: Prof. Gattesco – Università di Trieste



Prove: Prof. Gattesco – Università di Trieste

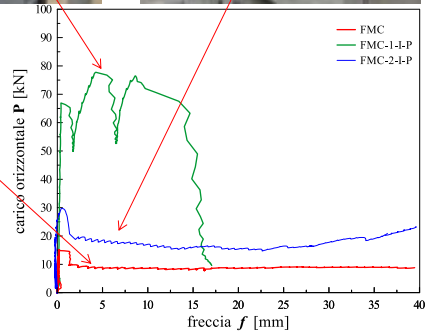


Prove: Prof. Gattesco – Università di Trieste

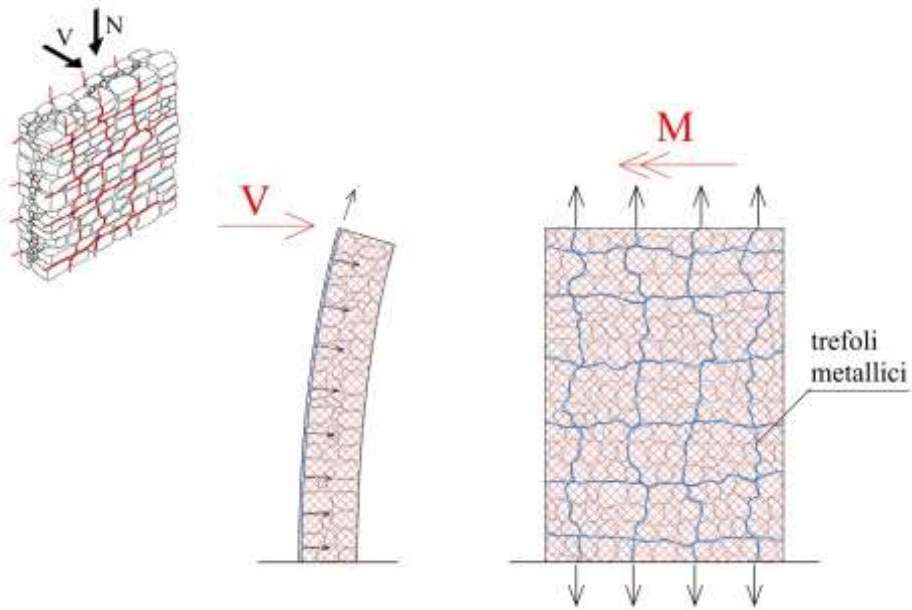


Campione	$P_{max}$ [kN]	$P_{R,max}/P_{NR,max}$ [-]	$f_p$ [mm]
FMC	15.14	-	0.07
FMC-1-I-P	66.36 <sup>(*)</sup>	4.38	0.89
FMC-2-I-P	29.76	1.97	0.71

\*Carico corrispondente alla formazione della prima fessura.



**PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO**



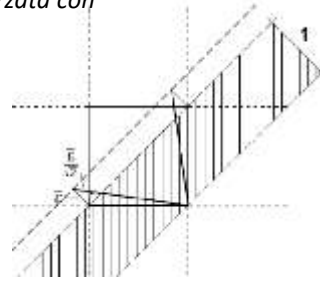


## Calcolo della resistenza a trazione equivalente

*Resistenza a trazione equivalente della muratura rinforzata con intonaco armato con rete in GFRP*

$$f_{t,calc} = \beta \cdot f_{t,m} + 2 \left( f_{t,int} \cdot \frac{t_{int}}{t_m} + \frac{EA_r \cdot \bar{\epsilon}}{t_m \cdot p} \right)$$

$f_{t,m}$	resistenza a trazione della muratura originaria;
$\beta$	coefficiente amplificativo della resistenza a trazione della muratura per l'effetto del confinamento
$f_{t,int}$	resistenza a trazione dell'intonaco;
$t_{int}$	spessore dell'intonaco;
$t_m$	spessore della muratura;
$p$	passo della maglia della rete in GFRP;
$EA_r$	rigidezza assiale di un filo della rete in GFRP;
$\bar{\epsilon}$	deformazione della malta in condizione non fessurata ad una tensione di trazione uguale alla resistenza a trazione della malta stessa;



	$\beta$
Muratura in mattoni singolo paramento	1.3
Muratura in pietra singolo paramento	1.5
Muratura a sacco doppio paramento	1.0

Prof. Ing. Natalino Gattesco

Dipartimento Ingegneria civile e Architettura – Università di Trieste

## Reticola Twin: Calcolo della resistenza a trazione equivalente

$$f_{t,calc,TWIN} = \beta' \cdot f_{t,m}$$

$f_{t,m}$	resistenza a trazione della muratura originaria;
$\beta'$	coefficiente amplificativo della resistenza a trazione della muratura per l'effetto del confinamento;

	$\beta'$
Muratura in pietrame	1,2
Muratura in ciottoli	1,4

## Reticola Twin: $f_t$ sperimentale vs $f_t$ calcolata

$$f_{t,calc\_TWIN} = \beta^T \cdot f_{t,m}$$

	risultati sperimentali		calcolo	
	$f_t$ [MPa]	media $f_t$ [MPa]	$f_{t\_calc}$ [MPa]	differenza [%]
<b>MURATURA IN PIETRAMME (<math>\beta^T=1,2</math>)</b>				
pannello 3	0,175	0,173	0,159	<b>-8,1</b>
pannello 4	0,171			
<b>MURATURA IN CIOTTOLI (<math>\beta^T=1,4</math>)</b>				
pannello 17	0,072	0,075	0,074	<b>-1,1</b>
pannello 18	0,077			

## Reticola Plus: calcolo della resistenza a trazione equivalente

$$f_{t,calc\_PLUS} = \beta^T \cdot f_{t,m} + \left( f_{t,int} \cdot \frac{t_{int}}{t_m} + \frac{EA_r \cdot \bar{\epsilon}}{t_m \cdot p} \right)$$

$f_{t,m}$	resistenza a trazione della muratura originaria;
$\beta$	coefficiente amplificativo della resistenza a trazione della muratura per l'effetto del confinamento;
$f_{t,int}$	resistenza a trazione dell'intonaco;
$t_{int}$	spessore dell'intonaco;
$t_m$	spessore della muratura;
$p$	passo della maglia della rete in GFRP;
$EA_r$	rigidezza assiale di un filo della rete in GFRP;
$\bar{\epsilon}$	deformazione della malta in condizione non fessurata ad una tensione di trazione uguale alla resistenza a trazione della malta stessa;

	$\beta^T$
Muratura in pietrame	1,2
Muratura in ciottoli	1,4
Muratura in mattoni (diatoni)	1,0

	A	B	C	D
1	<b>CARATTERISTICHE MURATURA</b>			
2	resistenza a taglio della muratura	2,0	N/cm <sup>2</sup>	
3	resistenza a trazione della muratura $f_{t,m}$	3,0	N/cm <sup>2</sup>	
4	spessore muratura $t_m$	480	mm	
5				
6	<b>CARATTERISTICHE INTONACO</b>			
7	resistenza a compressione $f_{t,m}$	20,00	MPa	
8	modulo elastico malta $E_m$	20000	MPa	
9	resistenza a trazione $f_{t,m}$	2,00	MPa	
10	spessore $t_{int}$	30	mm	
11	$\epsilon$	0,0001		
12				
13	<b>CARATTERISTICHE RETE GFRP</b>			
14	passo rete $p$	66	mm	
15	modulo elastico	23000	MPa	
16	area singola barra	30	mm <sup>2</sup>	
17				
18	<b>CALCOLO DELLA RESISTENZA MURATURA BIRFORZATA CON RETICOLA PLUS</b>			
19	$\beta$	1,2		
20	resistenza a trazione di calcolo	16,2	N/cm <sup>2</sup>	
21	resistenza a taglio di calcolo	10,8	N/cm <sup>2</sup>	
22				

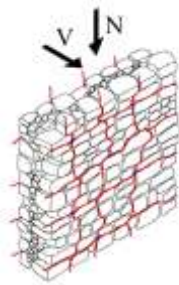
Foglio di calcolo

## Reticola Plus: $f_t$ sperimentale vs $f_t$ calcolata

$$f_{t,calc\_PLUS} = \beta' \cdot f_{t,m} + \left( f_{t,int} \cdot \frac{t_{int}}{t_m} + \frac{EA_r \cdot \bar{\epsilon}}{t_m \cdot p} \right)$$

		risultati sperimentali		calcolo	
		$f_t$	media $f_t$	$f_{t\_calc}$	differenza
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
<b>MURATURA IN PIETREME (<math>\beta'=1,2</math>)</b>					
pannello 3	Connessioni	0,241			
pannello 4	passanti e non	0,274			
pannello 5	Connessioni solo	0,234	0,255	0,238	-6,8
pannello 6	passanti	0,273			
<b>MURATURA IN MATTONI (<math>\beta'=1</math>)</b>					
pannello 11	Funi orizzontali e	0,2131			
pannello 12	verticali	0,3063			
pannello 13		0,2955	0,266	0,293	10,2
pannello 14	Funi solo orizzontali	0,2488			
<b>MURATURA IN CIOTTOLI (<math>\beta'=1,4</math>)</b>					
pannello 17	Connessioni solo	0,131			
pannello 18	passanti	0,110			
pannello 19	Connessioni	0,105	0,113	0,116	3,0
pannello 20	passanti e non	0,104			

### PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO



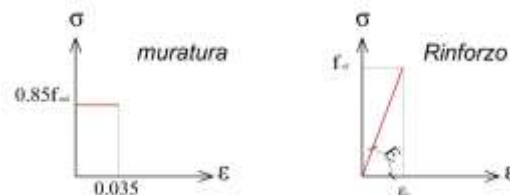
RIFERIMENTO NORMATIVO: NTC 2008

#### 7.8.3.2.3 Pressoflessione fuori piano

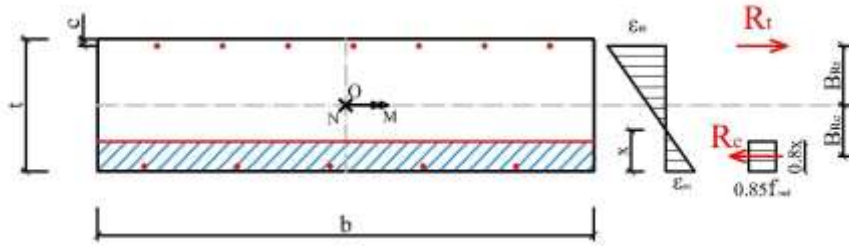
Nel caso di azioni agenti perpendicolarmente al piano della parete la verifica è effettuata adottando diagramma delle compressioni e valori di deformazioni limite per muratura e acciaio in modo analogo al caso di verifica nel piano.

#### 7.8.3.2.1 Pressoflessione nel piano

Per la verifica di sezioni pressoinflesse può essere assunto un diagramma delle compressioni rettangolare con profondità  $0,8x$ , dove  $x$  rappresenta la profondità dell'asse neutro, e sollecitazione pari a  $0,85 f_d$ . Le deformazioni massime da considerare sono pari a  $\epsilon_m=0,0035$  per la muratura compressa e  $\epsilon_s=0,01$  per l'acciaio teso.



### PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO



$$R_c = 0.85 f_{md} \cdot 0.8x \cdot b \quad R_t = A_{tot} \cdot E_r \cdot \varepsilon_r$$

$$B_{Rc} = \frac{t}{2} - \frac{0.8x}{2} \quad B_{Rt} = \frac{t}{2} - c$$

Determinazione della posizione dell'asse neutro dall'equazioni di equilibrio alla traslazione:

$$R_c - R_t - N_d = 0 \quad x = \frac{A_{tot} \cdot E_r \cdot \varepsilon_r + N_d}{0.85 \cdot 0.8 \cdot f_{md} \cdot b}$$

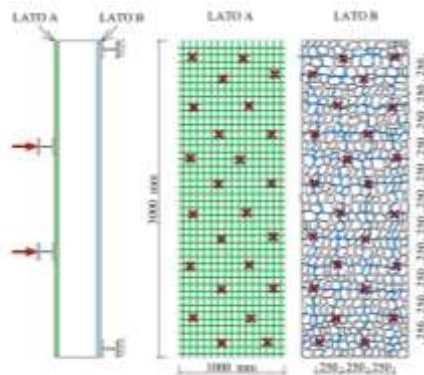
Determinazione del momento resistente dall'equazione di equilibrio alla rotazione:

$$M_{Rd} = R_c \cdot B_{Rc} + R_t \cdot B_{Rt}$$



### PRESSOFLESSIONE FUORI PIANO

Confronto con prove sperimentali  
lato tesoro: **Reticolatus**



Dimensioni campioni	
L	3000 [mm]
b	1000 [mm]
t	440 [mm]

#### Risultato sperimentale

carico	29,76 [kN]
<b>M max</b>	<b>14,88 [kN m]</b>
N in mezzera	12,54 [kN]

#### Caratteristiche muratura

peso specifico	19 [kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione	1,04 [MPa]

#### Reticolatus

passo	250 [mm]
Area trefolo	4,19 [mm <sup>2</sup> ]
carico rottura medio	5,54 [kN]
modulo elastico	81500 [MPa]

#### Calcolo del momento resistente

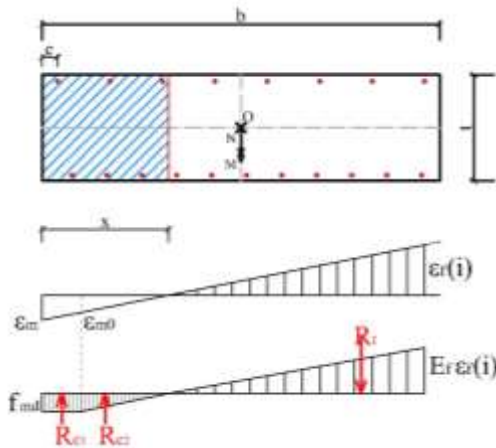
$R_c$	34700 [N]
$B_{Rc}$	195 [mm]
$R_t$	22160 [N]
$B_{Rt}$	200 [mm]
x	49,07 [mm]
<b><math>M_R</math></b>	<b>11,21 [kN m]</b>





**TAGLIO NEL PIANO****1° PASSO:**

Determinazione della posizione dell'asse neutro per la sezione rinforzata in base alle sollecitazioni ottenute dall'analisi strutturale.

**TAGLIO NEL PIANO****2° PASSO:**

Calcolo dei due contributi resistenti a taglio:

**muratura:**

$$V_{Rd,m} = x \cdot t \cdot f_{vd}$$

**rinforzo:**

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.6 \cdot d \cdot (E_f \cdot \varepsilon_{fd}) \cdot 2 \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{p_f}$$

essendo:

- $x$  la distanza dell'asse neutro dall'estremo lembo compresso;
- $t$  lo spessore della parete;
- $f_{vd}$  la resistenza di progetto a taglio della muratura, funzione della tensione normale media pari al rapporto tra il risultante degli sforzi di compressione e l'area,  $x \cdot t$ ;
- $E_f$  il modulo di elasticità del composito FRP nella direzione delle fibre;
- $\varepsilon_{fd}$  la deformazione di progetto del rinforzo di FRP ;
- $t_f$  lo spessore del rinforzo di FRP,
- $b_f$  e  $p_f$ , rispettivamente, la larghezza e il passo delle strisce.

## Esempi applicativi





Castello di Compiano (PR)

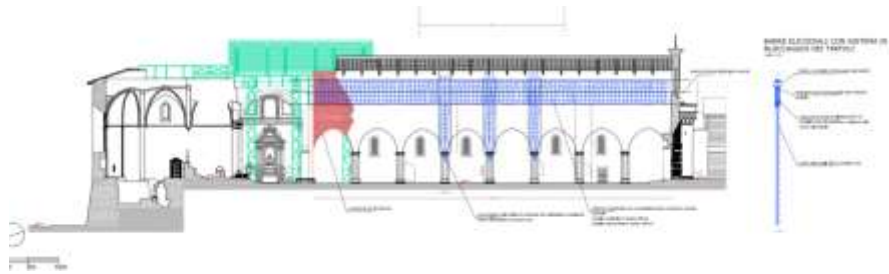






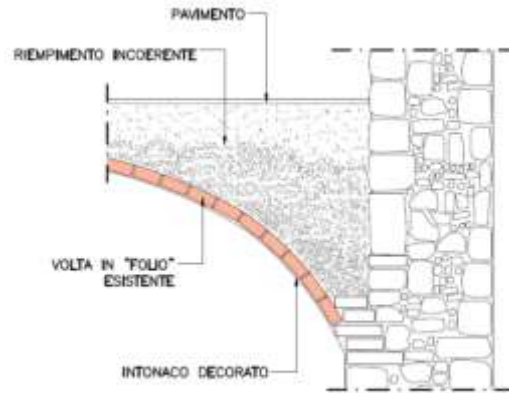


Un caso attuale ....



VOLTE IN FOLIO RIEMPITE

## VOLTE IN FOLIO ESISTENTI USATE COME VOLTE STRUTTURALI



## VOLTA TABICADA

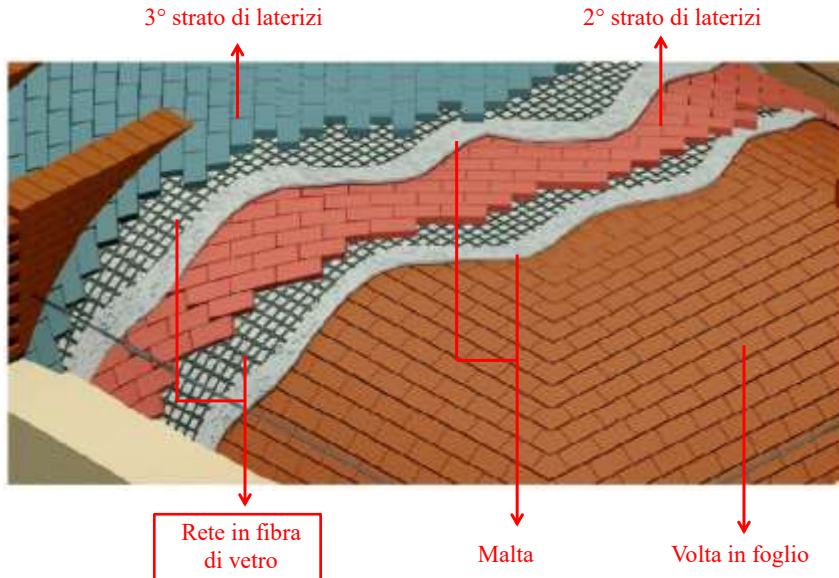


Proposta di utilizzarla anche come tecnica di recupero dell'esistente: Gulli e Mochi, 2001)

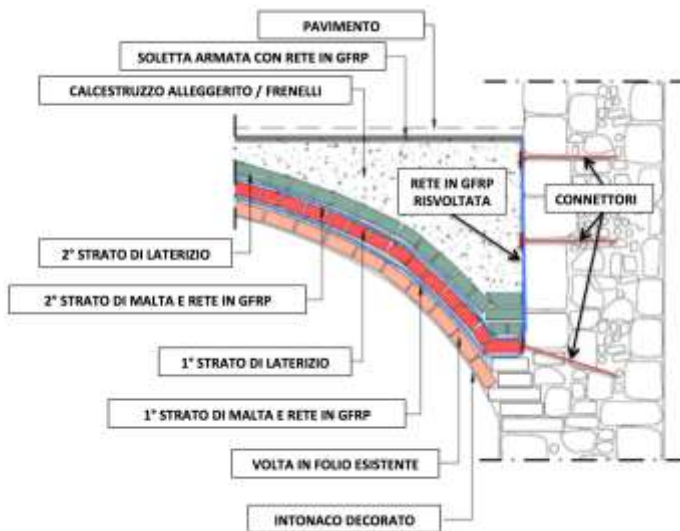


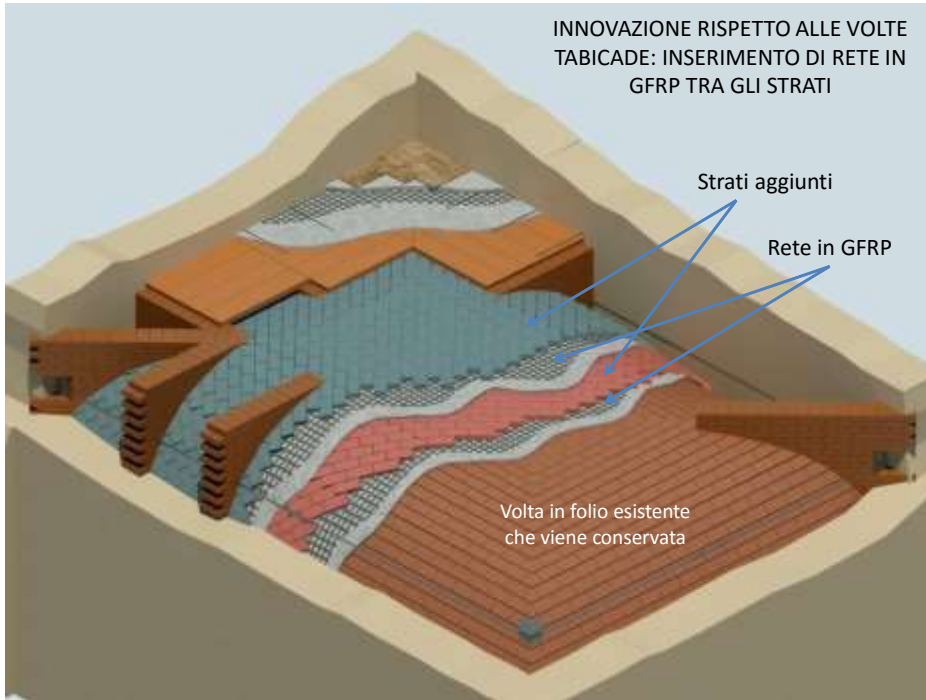
NUOVA  
PROPOSTA  
A

## VOLTA TABICADA ARMATA

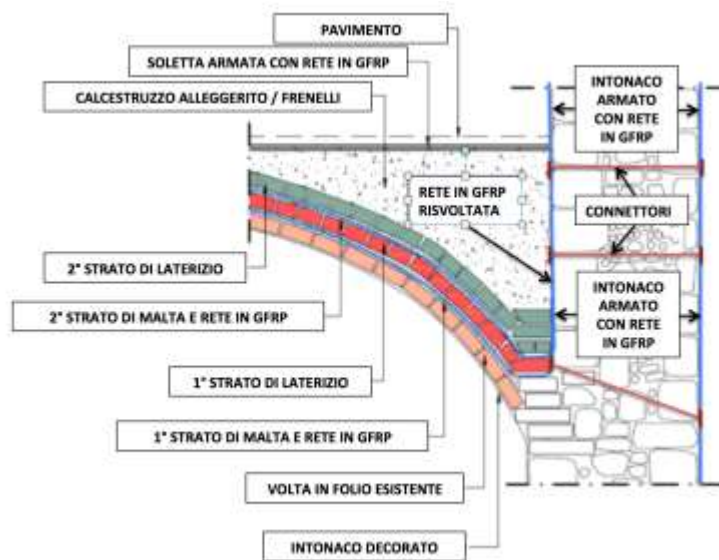


PROPOSTA DI INTERVENTO:  
SI CONSERVA LA VOLTA INSERENDO DUE STRATI SUPERIORI IN LATERIZIO ARMATO CON RETE IN GFRP





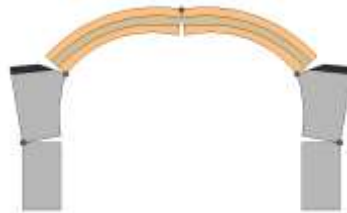
Se è previsto anche l'i.a. con GFRP:





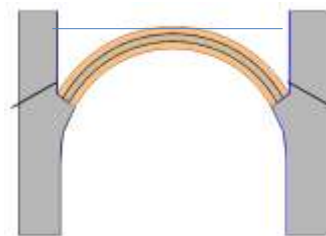
MODIFICA DEI MECCANISMI DI COLLASSO

Volta in folio consolidata con la tecnica tabicada "tradizionale"



Volta in folio consolidata con la tecnica tabicada armata

Tecnica tabicada armata + collegamento volta/parete + frenelli



## PROVE SPERIMENTALI (ARCHI)



APPLICAZIONE A L'AQUILA: PALAZZO PICA ALFIERI  
PROGETTISTI ING.: RICCARDO VETTURINI E GIACOMO DI MARCO  
IMPRESAATI COBAR SPA E ALDO DEL BEATO SRL – D.T. ING. MARCO DEL BEATO









Primo strato laterizio



Primo strato laterizio











Tempi di realizzazione molto rapidi  
Costi inferiori rispetto alle altre tecniche













