edilportale agorà in collaborazione con MADE expo

smart village in tour

PERUGIA, 13 marzo 2013

Certificazione sismica degli edifici esistenti e tecniche innovative per la riduzione della loro vulnerabilità

Prof. Ing. Antonio Borri

Ordinario di Scienza delle Costruzioni - Università degli Studi di Perugia
Presidente Centro Studi Mastrodicasa
Direttore del Master in «Restauro e Consolidamento del costruito storico e monumentale»
V. Presidente AICO – Consigliere ASS.I.R.C.CO. – Consigliere ARCo
Consigliere Fondazione Umbra per l'Architettura – Consigliere Fondazione Ordine Ingegneri Perugia
Email:borri@unipg.it

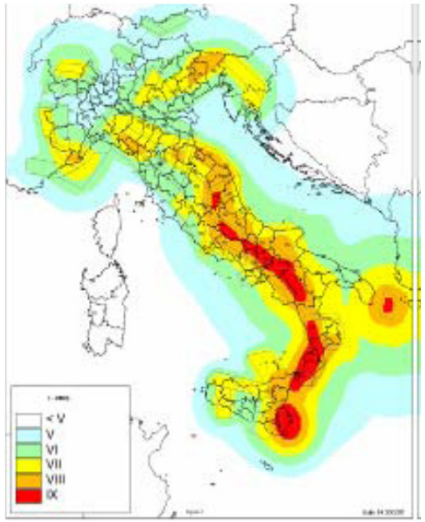
Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Probabilità di avere un terremoto di data intensità

PERICOLOSITA’



Attitudine delle costruzioni a danneggiarsi o a crollare

VULNERABILITA’

Elementi soggetti alle conseguenze del danneggiamento/ crollo

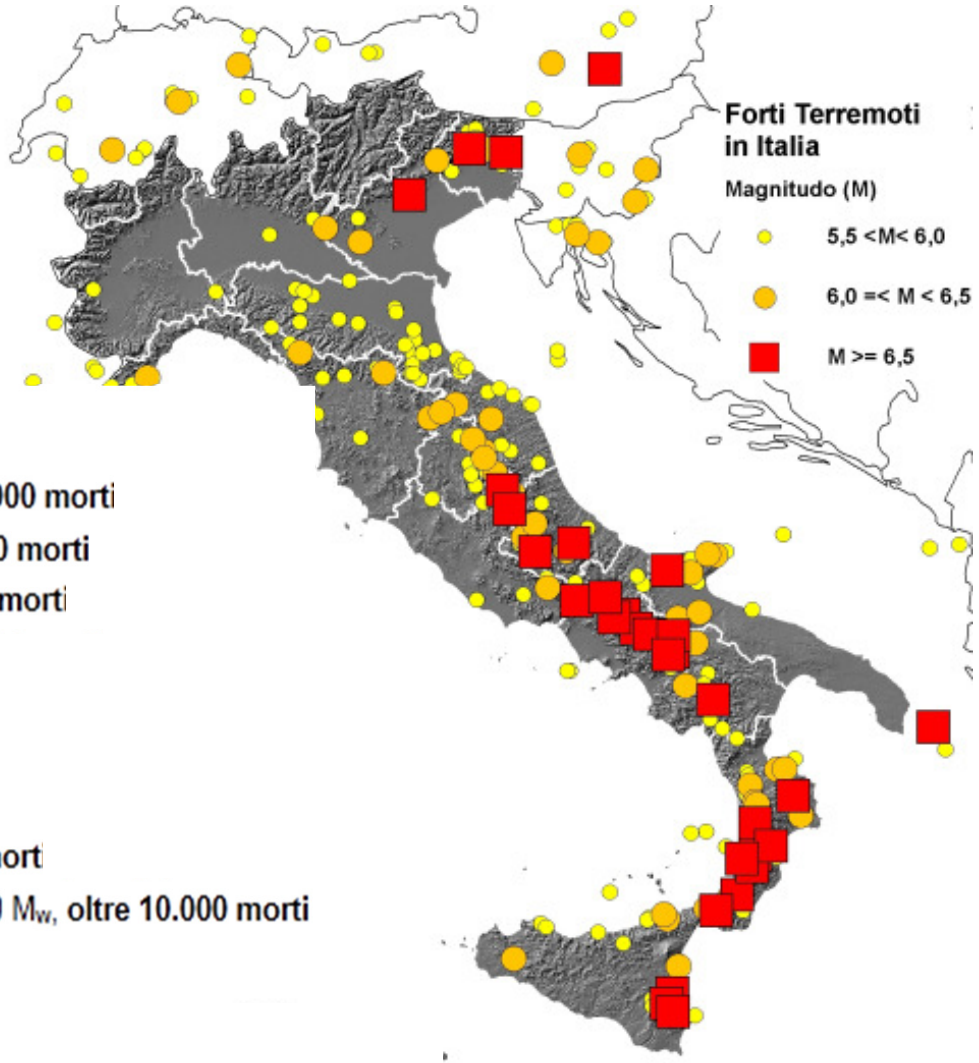
ESPOSIZIONE

RISCHIO SISMICO

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



Terremoti più disastrosi in Italia

1. Messina e Reggio Calabria (28 dicembre 1908), 7,24 M_w, **100.000 morti**
2. Val di Noto, *Sicilia orientale* (11 gennaio 1693), 7,41 M_w, **60.000 morti**
3. Reggio Calabria e Messina (5 febbraio 1783), 6,91 M_w, **50.000 morti**
4. Avezzano, *Abruzzo* (13 gennaio 1915), 6,99 M_w, **33.000 morti**
5. Verona (3 gennaio 1117), 6,49 M_w, **30.000 morti**
6. Molise e Sannio (5 dicembre 1456), 6,96 M_w, **30.000 morti**
7. Catania (4 febbraio 1169), 6,60 M_w, **20.000 morti**
8. Montemurro, *Basilicata* (16 dicembre 1857), 6,96 M_w, **12.000 morti**
9. Nicastro (oggi Lamezia Terme), *Calabria* (27 marzo 1638), 7,00 M_w, **oltre 10.000 morti**
10. Carinzia e Friuli (25 gennaio 1348), 6,66 M_w, **10.000 morti**

Messina 1908

Messina 1908

Fig. 1 - *Il palazzo reale di Messina dopo il terremoto calabro-siculo del 1783.* Tav. 58 e pag. 385 di M. SARCONI: *Osservazioni fatte nelle Calabrie e nella frontiera del Valdemone sui fenomeni del terremoto del 1783* ecc. R. Acc. di Scienze e delle Belle Lettere di Napoli, 1784.

Friuli 1976

Friuli

POR → solai c.a., paretine c.a., cordoli in breccia ,…..

Irpinia

POR → Iniezioni, solai c.a., paretine c.a., cordoli in breccia ,…..

Irpinia 1980

Umbria 1997

San Giuliano di Puglia - 2002

Abruzzo 2009

10.05.2009 17:20

Abruzzo 2009

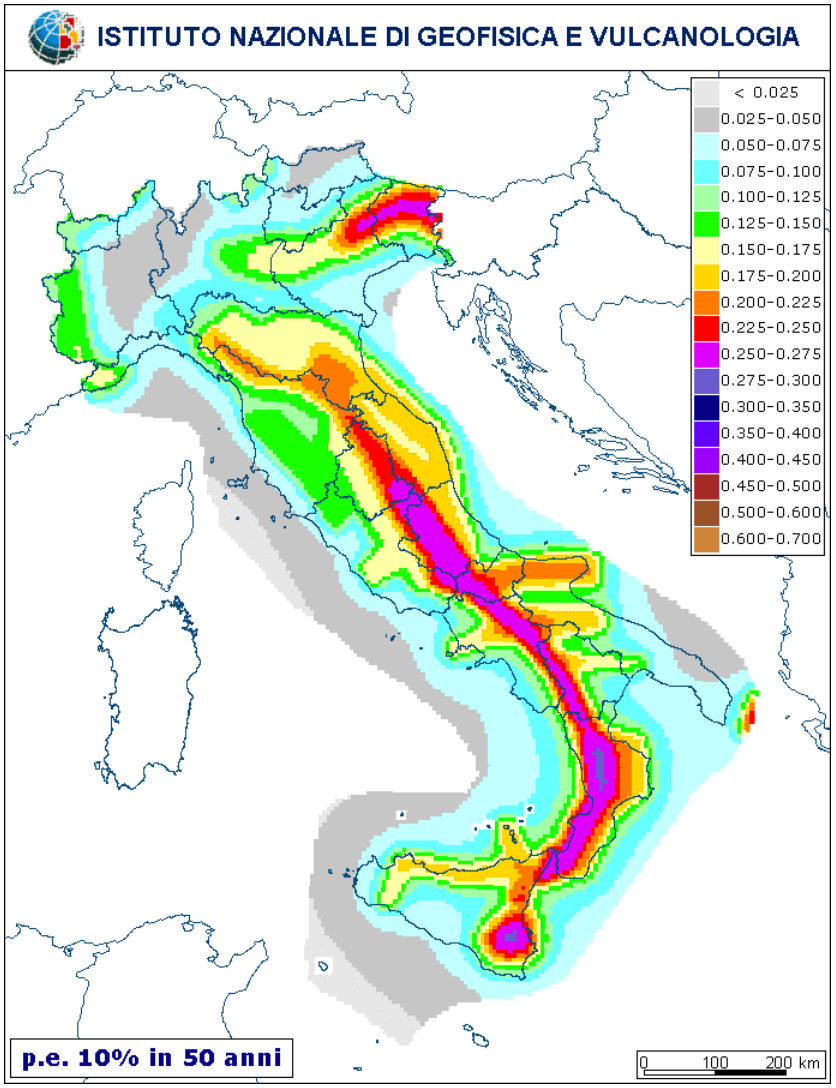
Emilia 2012

Pericolosità

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



Probabilità che si verifichi un evento di una data magnitudo in un dato intervallo di tempo

Mappe sismiche →

Per edifici "ordinari" fissano la probabilità del 10% in 50 anni (sisma di progetto) e forniscono l'accelerazione a_g corrispondente a quel terremoto in quel sito

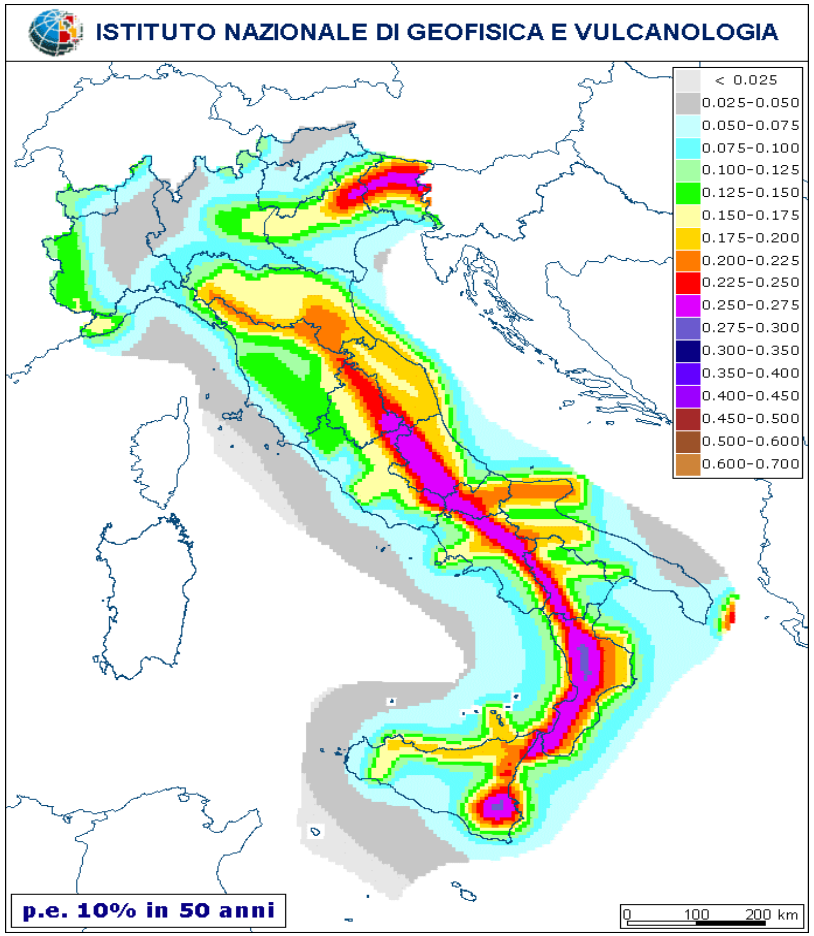
Amplificazione del sottosuolo → coefficiente S (1 – 2,2)

Prof. Ing. Antonio Borri

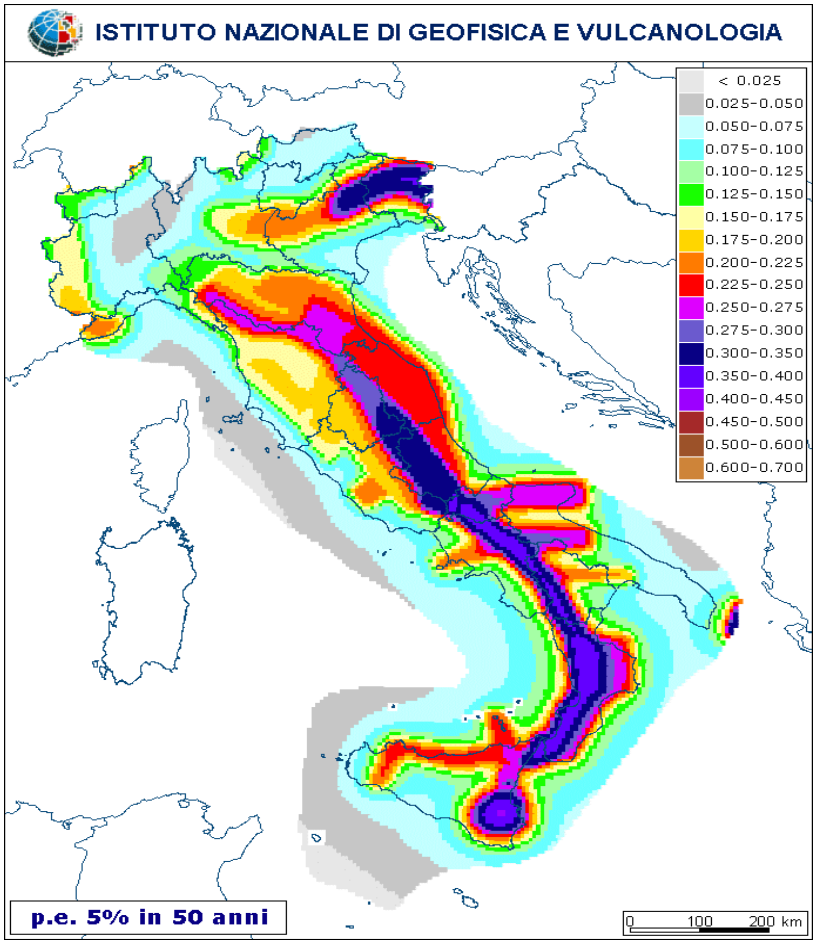
Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA



$T_R = 475$ anni



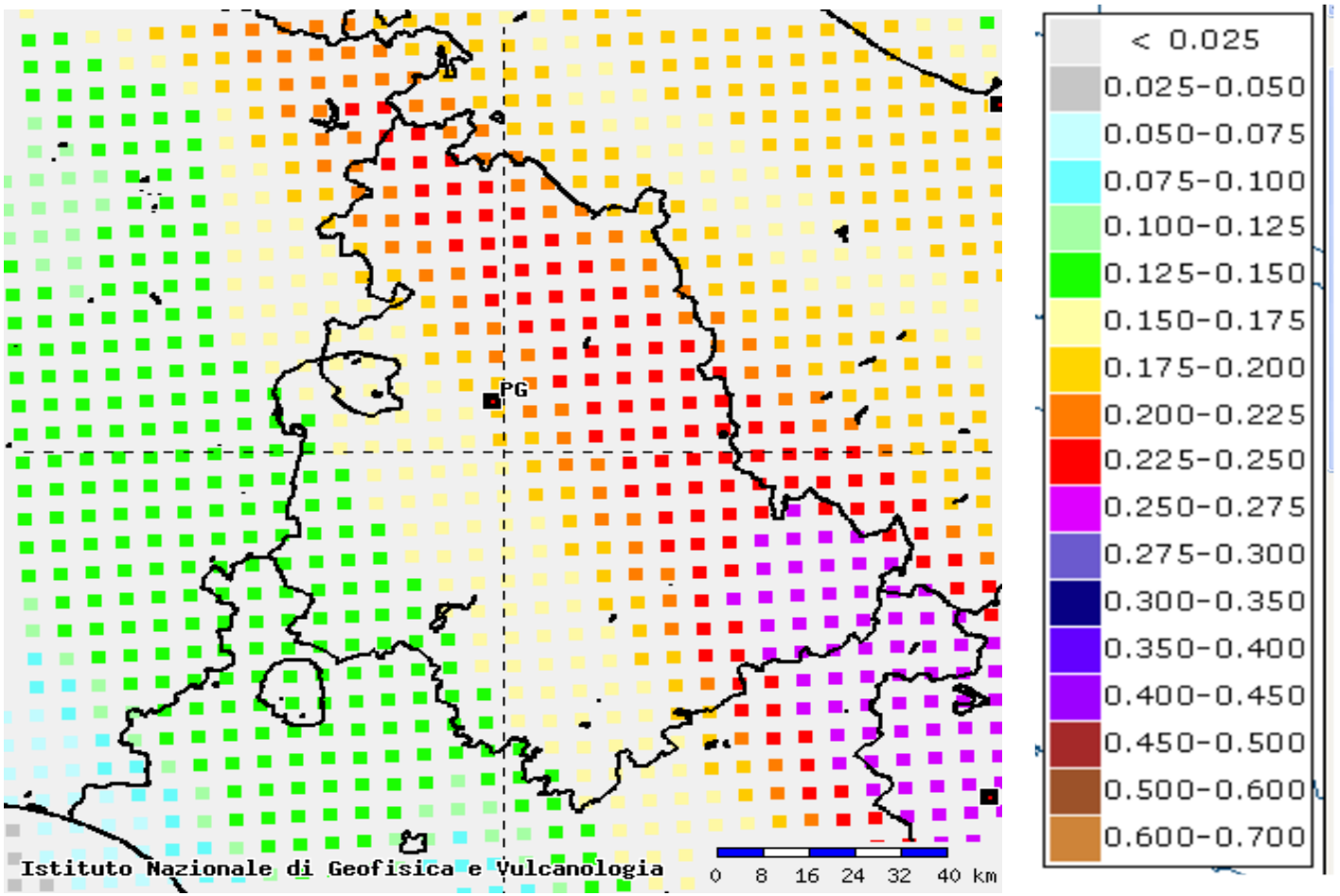
$T_R = 975$ anni

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Esempio: accelerazione di sito in Umbria (Tr =475 anni)



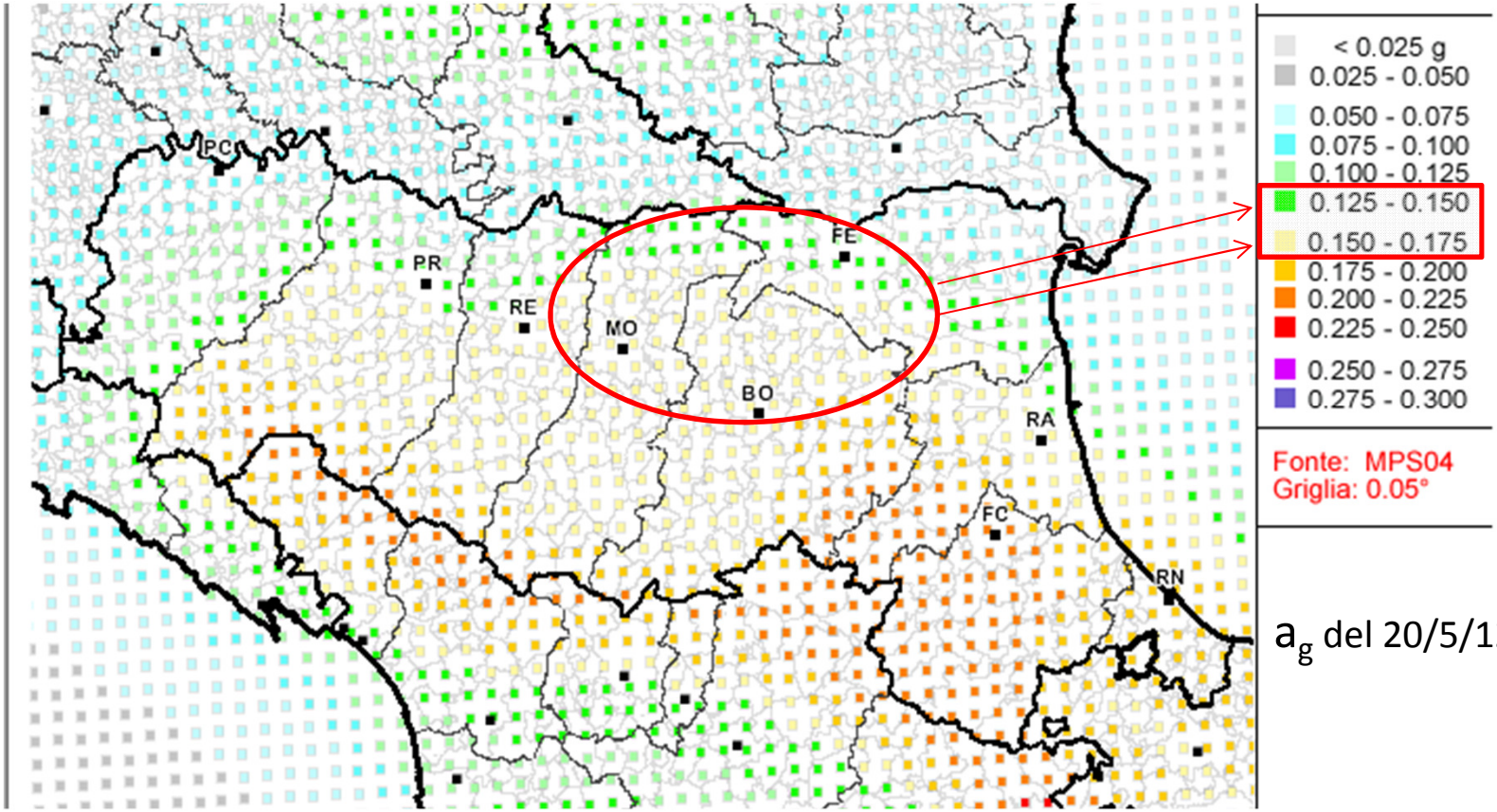
Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Mappa sismica delle accelerazioni a_g in Emilia Romagna per T_R di 475 anni



a_g del 20/5/12: 0,31 g !

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Aggiornamento delle NTC 2008 (uscita prevista nel corso del 2013)

Attualmente: fase di inchiesta pubblica

Nella bozza sottoposta a inchiesta pubblica si va in direzione di semplificare le verifiche e ridurre l'azione sismica per l'adeguamento di costruzioni esistenti

Tab. 2.4.Ib – *Vita nominale V_N per i diversi tipi di costruzioni esistenti*

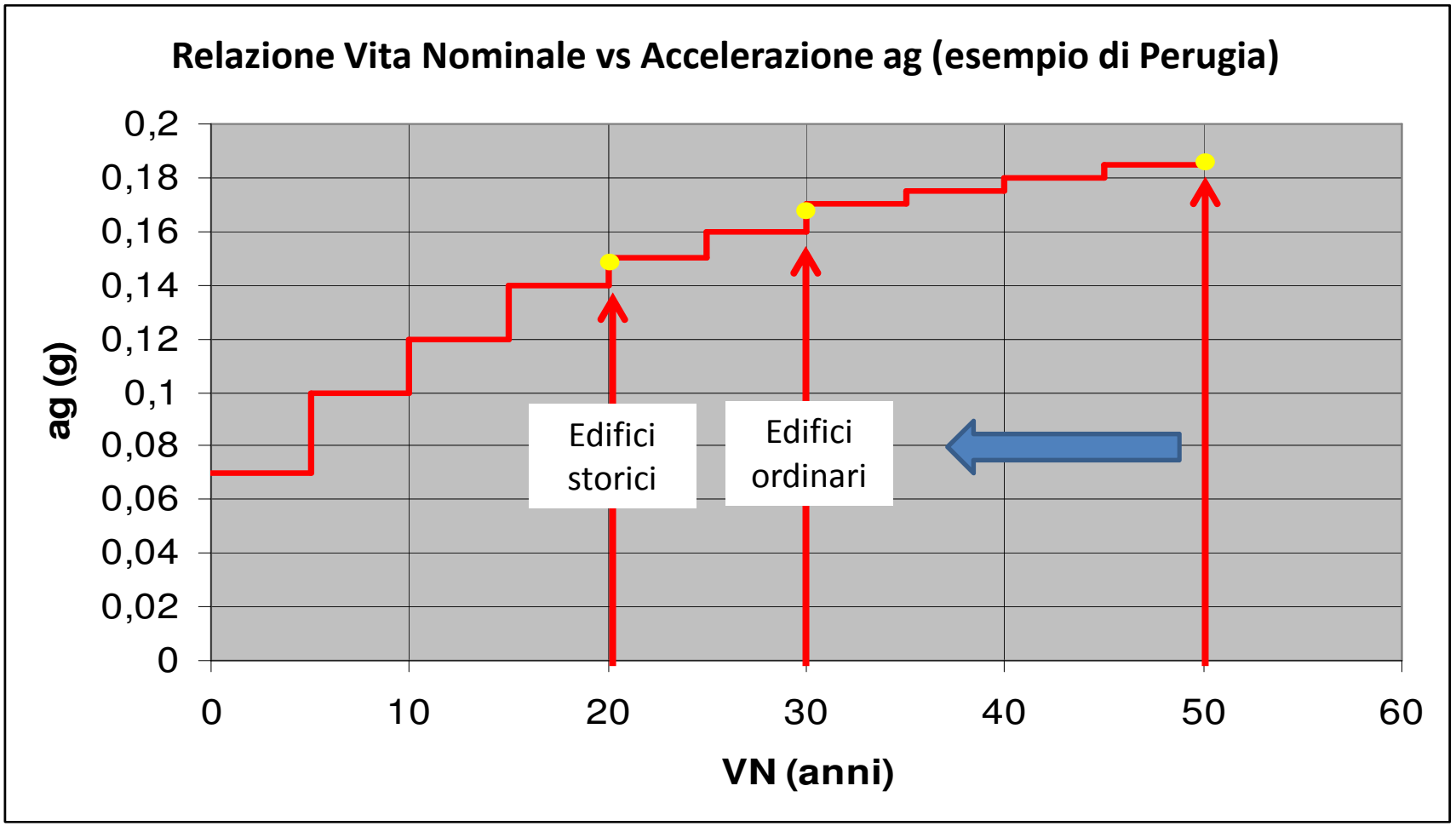
	TIPI DI COSTRUZIONI ESISTENTI	V_N (anni)
1	Costruzioni provvisorie, provvisionali e di presidio	≥ 2
2	Costruzioni ordinarie	≥ 30
3	Costruzioni di durabilità straordinaria	≥ 60

(PROPOSTA)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



Per varie zone italiane molto a rischio → Sicurezza illusoria, solo formale ….

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Vulnerabilità sismica

Attitudine di un determinato elemento a tollerare/subire gli effetti del sisma.

Dipende da come sono fatte le costruzioni …. (grande variabilità del costruito in Italia!)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

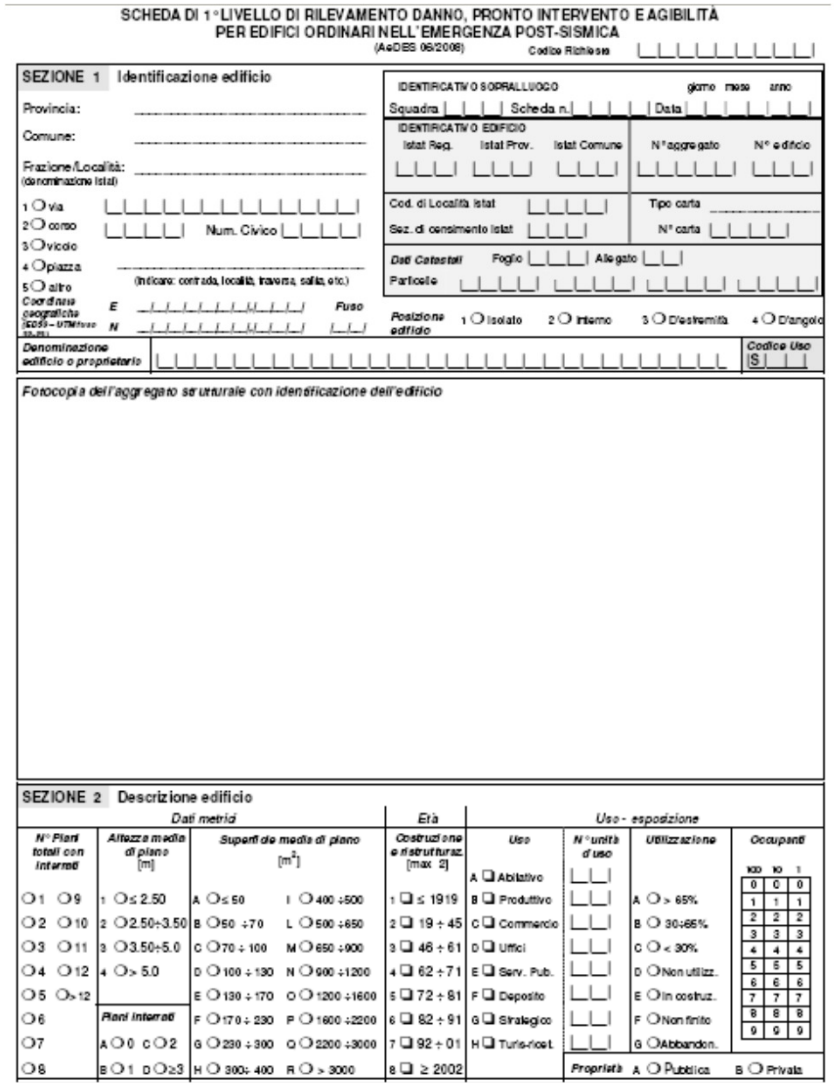
Esposizione

Entità soggette alle conseguenze del sisma, in termini di vite umane, economia, arte, valore culturale, etc

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



SCHEDA DI 1°LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ
PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA
(AeDES 06/2008)

Codice Richiesta

SEZIONE 1 Identificazione edificio

Provincia:
Comune:
Frazione/Località: (denominazione Istat)
1 Via 2 Corso 3 Vicolo 4 Piazza 5 Altro — Num. Civico — (Indicare: contrada, località, traversa, salita, etc.)
Coordinate geografiche (ED50 – UTM fuso 32 m) E N — Fuso

IDENTIFICATIVO SOPRALLUOGO — giorno mese anno
Squadra — Scheda n. — Data
IDENTIFICATIVO EDIFICIO
Istat Reg. — Istat Prov. — Istat Comune — N° aggregato — N° edificio
Cod. di Località Istat — Tipo carta
Sez. di censimento Istat — N° carta
Dati Catastali Foglio — Allegato
Particelle
Posizione edificio 1 Isolato 2 Interno 3 D'estremità 4 D'angolo

Denominazione edificio o proprietario — Codice Uso (S)

Fotocopia dell'aggregato strutturale con identificazione dell'edificio

SEZIONE 2 Descrizione edificio

Dati metrici

N° Piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m²]	Età Costruzione e ristrutturaz. [max 2]	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 >12	1 ≤ 2.50; 2 2.50÷3.50; 3 3.50÷5.0; 4 > 5.0	A ≤ 50; B 50 ÷70; C 70 ÷ 100; D 100 ÷ 130; E 130 ÷ 170; F 170 ÷ 230; G 230 ÷ 300; H 300÷ 400; I 400 ÷500; L 500 ÷650; M 650 ÷900; N 900 ÷1200; O 1200 ÷1600; P 1600 ÷2200; Q 2200 ÷3000; R > 3000	1 ≤ 1919; 2 19 ÷ 45; 3 46 ÷ 61; 4 62 ÷ 71; 5 72 ÷ 81; 6 82 ÷ 91; 7 92 ÷ 01; 8 ≥ 2002	A Abitativo; B Produttivo; C Commercio; D Uffici; E Serv. Pub.; F Deposito; G Strategico; H Turis-ricet.		A > 65%; B 30÷65%; C < 30%; D Non utilizz.; E In costruz.; F Non finito; G Abbandon.	kd ko t: 0 0 0; 1 1 1; 2 2 2; 3 3 3; 4 4 4; 5 5 5; 6 6 6; 7 7 7; 8 8 8; 9 9 9

Piani interrati: A 0 C 2 B 1 D ≥3

Proprietà A Pubblica B Privata

Schede di rilievo del danno:
servono a valutare la situazione
dopo che c'è stato il terremoto

Es: Scheda AEDES di 1° livello

Serve al rilevamento del danno su edifici ordinari in fase di emergenza

Si applica su edifici e non su porzioni di edifici (importante!!)

Va compilata da personale tecnico

Risultato finale → agibilità o inagibilità dell'edificio

PB. → L'esito di agibilità non è conseguente rigidamente dallo stato di danno: occorre valutare caso per caso e serve esperienza

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Tecniche di valutazione della vulnerabilità:

→ **Modelli meccanici dell'edificio**

Si considera per l'edificio un modello meccanico teorico (più o meno aderente alla costruzione reale…).

Risultati anche di buona qualità ma richiedono analisi strutturali vere e proprie e quindi richiedono tempo….

ESITO: massima accelerazione PGA sostenibile dall'edificio

→ **Analisi di vulnerabilita' con modelli meccanici semplificati**:

compromesso fra rigore del calcolo e velocita' di un rilievo speditivo

ESITO: massima accelerazione PGA sostenibile dall'edificio o anche classi di vulnerabilità indicate da lettere

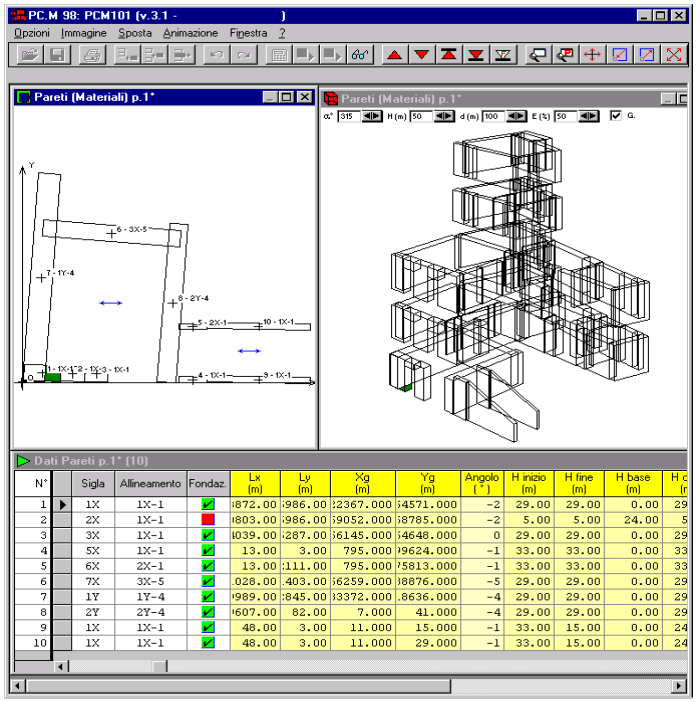
Prof. Ing. Antonio Borri

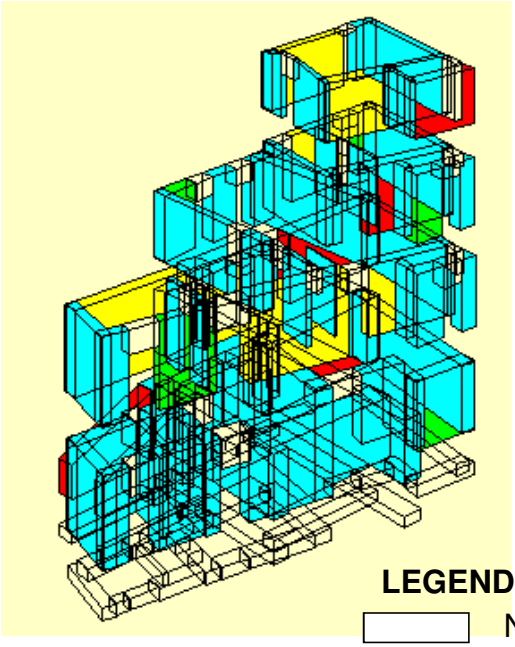
Università di Perugia

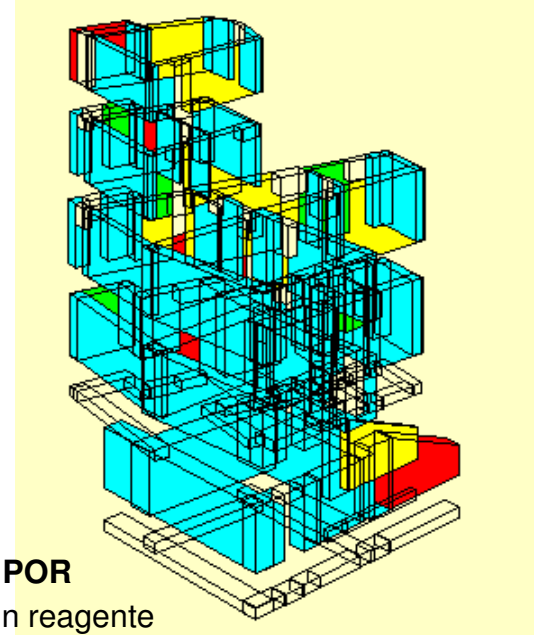
Centro Studi Mastrodicasa

ANALISI CON STRUMENTI TRADIZIONALI: LE VERIFICHE VET, POR, PORFLEX

Ci si riferisce al singolo edificio → tempi lunghi ……







LEGENDA POR

- Non reagente
- Elastico
- Oltre elastico
- Oltre fessurazione
- Al collasso
- Collassata

- Rilievo dettagliato dell'intero edificio
- Risultati al livello di parete per parete
- Necessario conoscere geologia del terreno
- Necessario accedere dentro edificio
- Dipendenza dei risultati dalla modellazione
- Necessari software di calcolo e competenza nell'utilizzo..

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Lavoro svolto nell'ambito del POR-FESR 2007-2013 per la Regione dell'Umbria.
Attualmente le LL.GG. per la C/Q Sismica sono state acquisite formalmente dalla Regione Umbria

Obiettivo: attribuire una classe convenzionale di prestazione dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche → qualificazione sismica

Se i livelli di sicurezza sono come da NTC 2008 → certificazione sismica (classe A+)

A+	A	B1	B2	C1	C2	D1	D2	D3	E

Funzione delle classi di qualificazione sismica: consentire a chiunque di valutare e raffrontare la prestazione antisismica dell'edificio in forma sintetica.

L'oggetto cui ci si riferisce → Unità Strutturale così come definita dalle NTC

La procedura di qualificazione sismica si compone di due momenti:

- una analisi dei principali elementi vulnerabili dell'edificio in esame;
- una serie di verifiche numeriche semplificate per l'edificio in esame.

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Valutazione di vulnerabilità

Scheda sintetica con 10 voci

Per ogni elemento si esprime un giudizio di vulnerabilità che potrà essere:

- vulnerabilità bassa
- vulnerabilità media
- vulnerabilità alta
- vulnerabilità altissima

il giudizio di vulnerabilità dell'edificio è pari al giudizio più grave fra i giudizi specifici

Omogeneità dei giudizi
→ riferimento riportato nelle appendici alle LL.GG. con schemi ed esempi

N.	Descrizione vulnerabilità
1	Stato di conservazione. Estensione e gravità di lesioni significative o fatiscenza grave.
2	Qualità muraria. Valutazione del rispetto della Regola dell'Arte e quantità di pareti di fattura scadente.
3	Collegamenti. Connessioni o incatenamenti delle pareti esterne con i muri di spina e con i solai e la copertura.
4	Solai e copertura. Luce o appoggio insufficiente.
5	Regolarità strutturale (solo sugli impalcati "rigidi"). Presenza di irregolarità in pianta.
6	Edificio facente parte di un agglomerato o una schiera. Posizione di angolo o di testata oppure sporgenze o elevazioni non contrastate dagli altri edifici.
7	Regolarità in elevazione. Variazioni di massa o rigidezza fra due livelli consecutivi.
8	Fondazioni e terreno. Evidenza di cedimenti fondali.
9	Carenze strutturali locali. Elementi spingenti, muri o pilastri in falso, superfetazioni, martellamento con edifici adiacenti.
10	Elementi non strutturali vulnerabili. Comignoli, parapetti, balconi, gronde, velette, controsoffitti di peso significativo e mal collegati.

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Verifiche numeriche semplificate per l'edificio

Verifica globale semplificata

→ Coglie il comportamento d'insieme dell'edificio

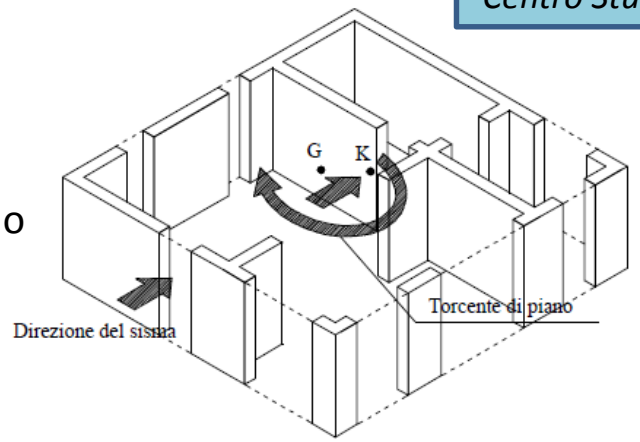
Verifiche locali semplificate

→ Colgono meccanismi di collasso locali

→ Ampia fiducia all'esperienza dei tecnici e progettisti (se farle, dove farle, quante farne)

Verifica statica semplificata

→ Individua carenze di area resistente a carichi verticali



Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Verifiche numeriche semplificate

Risultati riferiti, in termini percentuali, al livello di sicurezza previsto dalle NTC 2008 allo SLV

L'intera procedura è informatizzata

Modifiche e semplificazioni rispetto alle NTC

Livello minimo di rilievo geometrico richiesto: area di muratura resistente ad ogni piano; spessore della parete oggetto di verifica locale

Possibilità di agire a livelli di conoscenza differenziati per i materiali ed i vincoli

Possibilità di tenere conto della stratigrafia del suolo (è proposta una procedura semplificata)

smart village in tour

Verifiche locali semplificate

Prof. Ing. Antonio Borri
Università di Perugia
Centro Studi Mastrodicasa

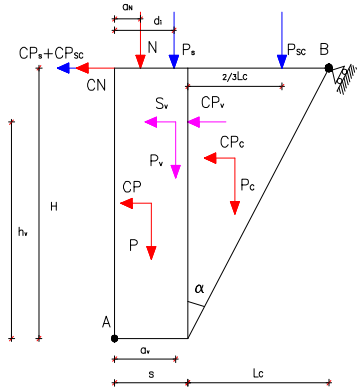
dati di input | formule | formule e risultati

Verifiche locali convenzionali per la qualificazione sismica degli edifici
Meccanismo locale n. 5
Ribaltamento con cuneo di spina

IPOTESI DI LAVORO: α = 30 *ampiezza angolo del cuneo di distacco (gradi).*

s(m)	s_C(m)	H(m)	h_v(m)	a_v(m)	l_i(m)	l_{Ci}(m)	d_i(m)	a_N(m)	B(m)

GEOMETRIA:
s(m): Spessore della parete.
s_C(m): Spessore parete ortogonale.
H(m): Altezza della parete.
h_v(m): Altezza di applicazione della spinta orizzontale della volta.
a_v(m): Braccio della spinta verticale della volta.
l_i(m): Luce d' influenza del solaio Ps sulla parete di facciata
l_{Ci}(m): Luce d' influenza del solaio Psc appoggiato sul cuneo.
d_i(m): Distanza pto di applicazione carico del solaio-lembo esterno.
a_N(m): Distanza pto di applicazione carico verticale-lembo esterno.
B(m): Larghezza della parete.
L_c(m): Larghezza del cuneo di distacco.



γ(kN/m^3)	N(kN)	P_v(kN)
20	0	8
	S_v(kN)	q_S(kN/m^2)
	7	3

CARICHI:
γ(Kg/m^3): Peso specifico della muratura.
N(Kg): Carico verticale.
P_v(Kg): Spinta verticale della volta
S_v(Kg): Spinta orizzontale della volta
q_S(Kg/m^2): Peso del solaio a mq.
P(Kg): Peso proprio della parete.
P_S(Kg): Peso del solaio.
P_C(Kg): Peso proprio del cuneo di distacco.
P_{SC}(Kg): Peso del solaio che scarica sul cuneo.

$L_C = H \cdot \tan(\alpha) =$ 0.00 (m)
$P = \frac{B}{2} \cdot \gamma \cdot s \cdot H =$ 0 (kN)
$P_{SC} = L_C \, q_S \, l_{Ci} =$ 0 (kN)
$P_C = \frac{L_C \cdot \gamma \cdot s_C \cdot H}{2} =$ 0 (kN)
$P_s = \frac{B}{2} \cdot q_s \cdot l_i =$ 0 (kN)

Calcolo moltiplicatore di attivazione meccanismo α_0 *Ribaltamento rispetto al punto A:*

Moltiplicatore α_0 =	#DIV/0!

Dati sismicità e suolo

Accelerazione di sito SLV	a_g	g	0.198
Coeff. di sottosuolo	S	adim.	1.20
Fattore di struttura	q	adim.	2
Termine di riferimento	a_g S / q	g	0.1188

Calcolo accelerazione di attivazione

Massa partecipante x g (M*g)	kN	
Coefficiente e*	adim	
Accelerazione attivazione a*0	g	

Fattore di sicurezza verifiche locali. Meccanismo n. 5

VERIFICA LOCALE n. 5 : $FL5_{sic}$ [%]=

dati di input | formule | formule e risultati

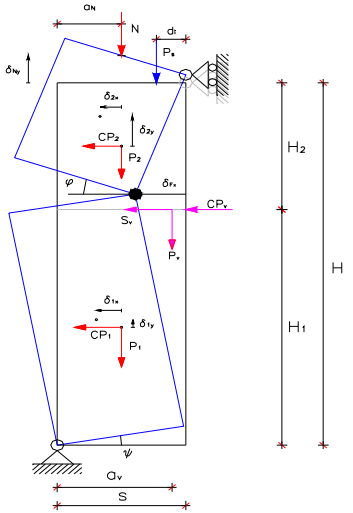
Verifiche locali convenzionali per la qualificazione sismica degli edifici
Meccanismo locale n. 4
Pressoflessione verticale

HP: la cerniera si forma nel punto di applicazione della spinta statica della volta.

s(m)	H(m)	l_i(m)	d_i(m)	a_N(m)	H_1(m)	H_2(m)	a_v(m)
0.35	6	2.5	0.17	0.17	3	3.2	0.3

GEOMETRIA:
s(m): Spessore della parete.
H(m): Altezza della parete.
di(m): Distanza pto di applicazione carico del solaio sommitale filo interno.
l_i(m): Luce d' influenza del solaio sommitale che dà origine al peso Ps
a_N(m): Dist. pto di applicazione carico verticale N -filo esterno.
a_v(m): braccio della forza peso verticale del solaio intermedio

γ(kN/m^3)	N(kN)	q_S(kN/m^2)
20	0	4
	P_v(kN)	S_v(kN)
	12	0



CARICHI:
γ (kN/m^3): Peso specifico della muratura.
N (kN): Carico verticale.
q_S (kN/m^2): Peso del solaio sommitale a mq
P_v (kN): Spinta verticale della volta.
S_v (kN): Spinta orizzontale della volta.
P (kN): Peso proprio della parete.
P_s (kN): Peso del solaio sommitale in kN

$P_1 = 1 \cdot \gamma \cdot s \cdot H_1 =$ 21 (kN)
$P_2 = 1 \cdot \gamma \cdot s \cdot H_2 =$ 22.4 (kN)
$P_s = 1 \cdot q_s \cdot l_i =$ 10 (kN)

Calcolo moltiplicatore di attivazione meccanismo α_0

Moltiplicatore α_0 =	0.236

$$\alpha_0 = \frac{P_1 \cdot \frac{s}{2} + (P_2 + N) \cdot \left(s + \frac{s \cdot H_1}{2 \cdot H_2}\right) + P_s \cdot \left(s + d_i \cdot \frac{H_1}{H_2}\right) + P_v \cdot s - S_v \cdot H_1}{(P_1 + 2P_v + P_2) \cdot \frac{H_1}{2}}$$

Dati sismicità e suolo

Accelerazione di sito SLV	a_g	g	0.198
Coeff. di sottosuolo	S	adim.	1.20
Fattore di struttura	q	adim.	2
Termine di riferimento	a_g S / q	g	0.1188

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{X,i}\right)^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{X,i}^2}$$

Calcolo accelerazione di attivazione

Massa partecipante x g	M*g	kN	49.70
Coefficiente e*	e*	adim	0.760
Accelerazione attivazione	a*0	g	0.230

$$e^* = \frac{gM^*}{\sum P_i} \qquad a_0^* = \frac{\alpha_0 \, g}{e^* \, FC}$$

Fattore di sicurezza verifiche locali. Meccanismo n. 4

VERIFICA LOCALE n. 4 : $FL4_{sic}$ [%]= 193.8

$$F.Sic.(\%) = 100 \times \frac{a_0^*}{\frac{a_g (P_{Vr}) S}{q}}$$

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Verifiche numeriche semplificate

Si richiede di determinare l'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento delle condizioni limite di collasso per le principali tipologie di collasso strutturale.

$$a_{SLU} = \frac{rqF_{SLU}}{MF_0} \qquad F_{SLU,xi} = \frac{0{,}8\xi_{xi}A_{xi}\tau_{di}}{1{,}25} \qquad \tau_{di} = \tau_{0d}\sqrt{1+\frac{\sigma_{0i}}{1.5\tau_{0d}}}$$

Semplificazioni in favore di sicurezza

$$F.Sic.(\%) = 100 \times \frac{a_{SLU}}{a_g(P_{Vr})S}$$ → risultato in termini % rispetto allo SLV

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Attribuzione della classe di qualificazione sismica

Si incrocia il giudizio di vulnerabilità con il minimo fattore di sicurezza delle tre verifiche numeriche semplificate

Certificazione antisismica					
Valutazione sicurezza NTC 08 (SLV) con esito positivo				Classe A+	
Qualificazione sismica					
	Esito verifiche numeriche				
Giudizio di vulnerabilità	>80%	80-60%	60-40%	40-20%	<20%
Vulnerabilità bassa	A	B1	B2	C1	D1
Vulnerabilità media	B1	B2	C1	C2	D2
Vulnerabilità alta	B2	C1	C2	D1	D3
Vulnerabilità altissima	C1	C2	D1	D2	E

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

La metodologia è citata nel testo approvato dalla Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Gruppo di lavoro istituito con nota del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7547 del 6.9.2010

" STUDIO PROPEDEUTICO ALL'ELABORAZIONE DI STRUMENTI D'INDIRIZZO PER L'APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SISMICA AGLI INSEDIAMENTI STORICI "

20.04.2012

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

NECESSITA' DI FARE PREVENZIONE

("Capitalizzare" le esperienze del passato)

NECESSITA' DI FARE PREVENZIONE

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

NECESSITA' DI FARE PREVENZIONE

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

NECESSITA' DI FARE PREVENZIONE

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

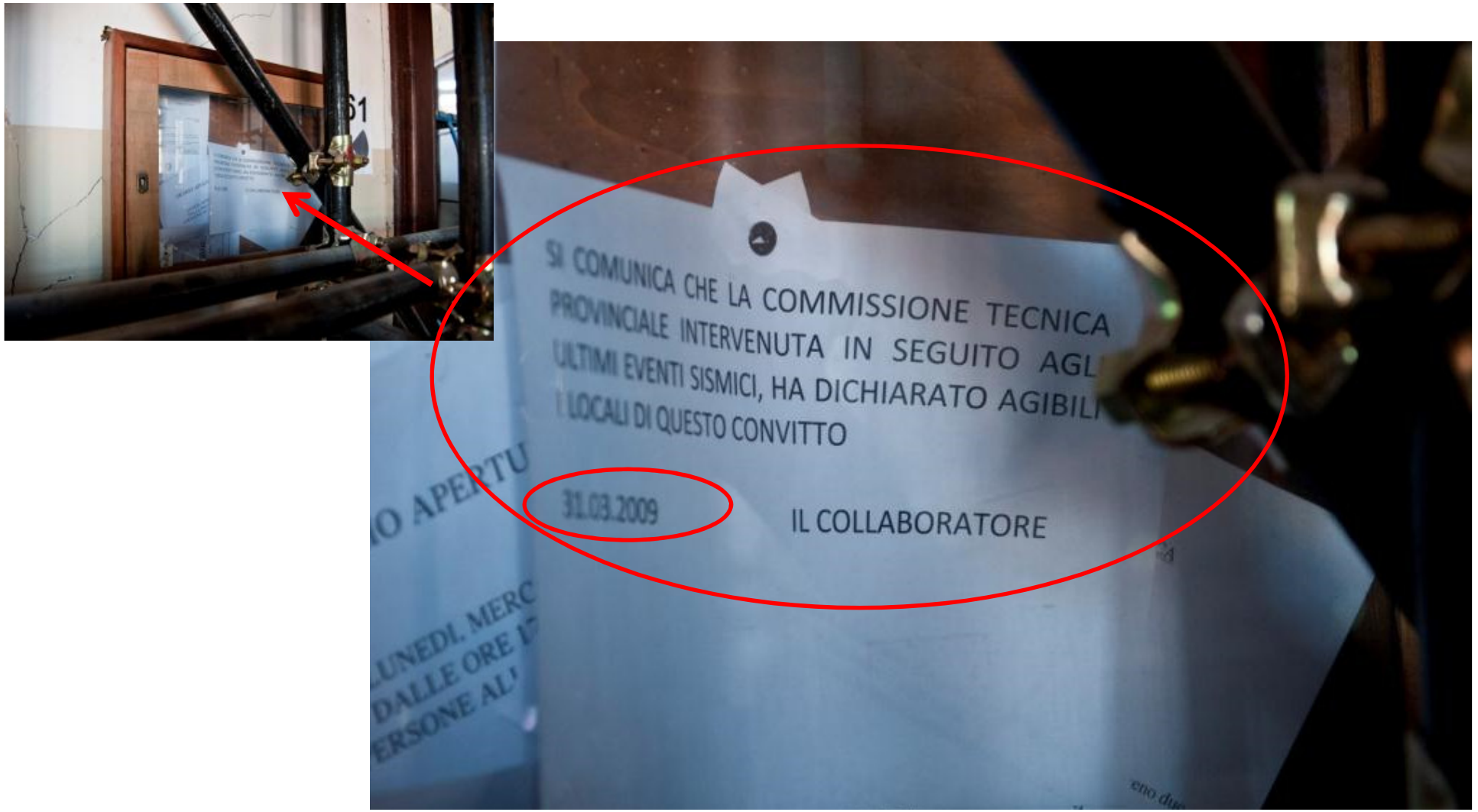
Centro Studi Mastrodicasa

NECESSITA' DI FARE PREVENZIONE

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Utilizzi possibili

• Finalità di protezione civile. Si presta alla costruzione di scenari di danno poiché, oltre alla classe di qualificazione, dà come risultato una PGA sostenibile

• Contratti di compravendita, possibili influenze sul valore di un immobile (utilizzo simile alla certificazione energetica)

• Catasto strutturale delle costruzioni se applicato su larga scala (similmente al fascicolo del fabbricato tentato qualche anno fa, ma più semplice da ottenere)

• Assicurazioni di edifici in caso di sisma (in prospettiva futura)

• Definizione di scale di priorità per interventi pubblici e finanziamenti

• Pianificazione di tipo urbanistico da parte dei Comuni

• Prima valutazione di sicurezza di tipo speditivo per singoli edifici

Prof. Ing. Antonio Borri
Università di Perugia
Centro Studi Mastrodicasa

Validazione del metodo

Risultati dei test su dieci scuole nel territorio comunale di Perugia

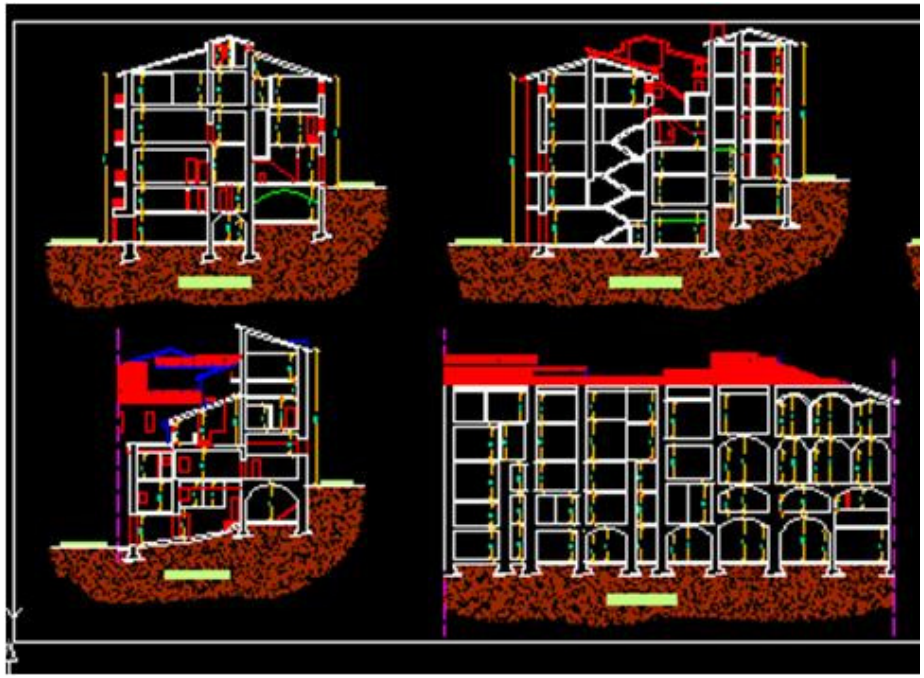
n.	Denominazione edificio (scuole)	FG Pushover (globale)	FG (globale)	FS (statica)	FL (locale)	Vulnerab. (scheda)	Classe di Qualificazione	Rapporto FG P/FG	Coeff. S (terreno)	Tipologia Solaio	n. piani
1	elementare MB	38	36	332	>	bassa	C1	1,06	1,92	sol.rig.	1piano
2	materna MB	21	22	108	>	bassa	C1	0,95	1,4	sol.def.	2piani
3	materna SMR	75	97,5	643	254	media	B1	0,77	1,406	sol.rig.	1piano
4	elementare SMR	109	100,5	430	262	bassa	A	1,08	1,406	sol.rig.	1piano
5	elementare MLG	78	26	354	>	media	C2	3,00	1,44	sol.rig.	2piani
6	Materna PR	51	42	151	>	Alta	C2	1,21	1,2	sol.rig.	2piani
7	Materna FDC	95	91,5	259	>	Bassa	A	1,04	1	sol.rig.	1piano
8	Materna SE	48	48	239	152	Alta	C2	1,00	1,42	sol.rig.	2piani
9	Materna CB	44	44	218	>	Bassa	B2	1,00	2,08	sol.rig.	3piani
10	Asilo nido CO	60	26	166	>	Bassa	C1	2,31	1,8	sol.def.	3piani

Validazione del metodo

Prof. Ing. Antonio Borri
Università di Perugia
Centro Studi Mastrodicasa

Risultati dei test su edifici consolidati dopo il sisma del 1997

n.	Den. edificio e stato attuale o progetto	FG (globale)	FS (statica)	FL (locale)	Vulnerabilità (scheda)	Classe di Qualificazione	Coeff. S (terreno)	Tipologia Solaio	n. piani
11	D. stato attuale	36	183	298	Altissima	D2	1,56	sol.rig.	3piani
12	D. stato progetto	42	244	298	Bassa	B2	1,56	sol.rig.	3piani
13	G. stato attuale	68	235	39	Altissima	D2	1,2	sol.def.	3piani
14	G. stato progetto	76	276	420	Bassa	B1	1,2	sol.rig.	3piani
20	CC stato attuale	54	220	51	alta	C2	1,5		3piani
21	CC stato progetto	54	220		media	C1	1,5		3piani



Validazione del metodo

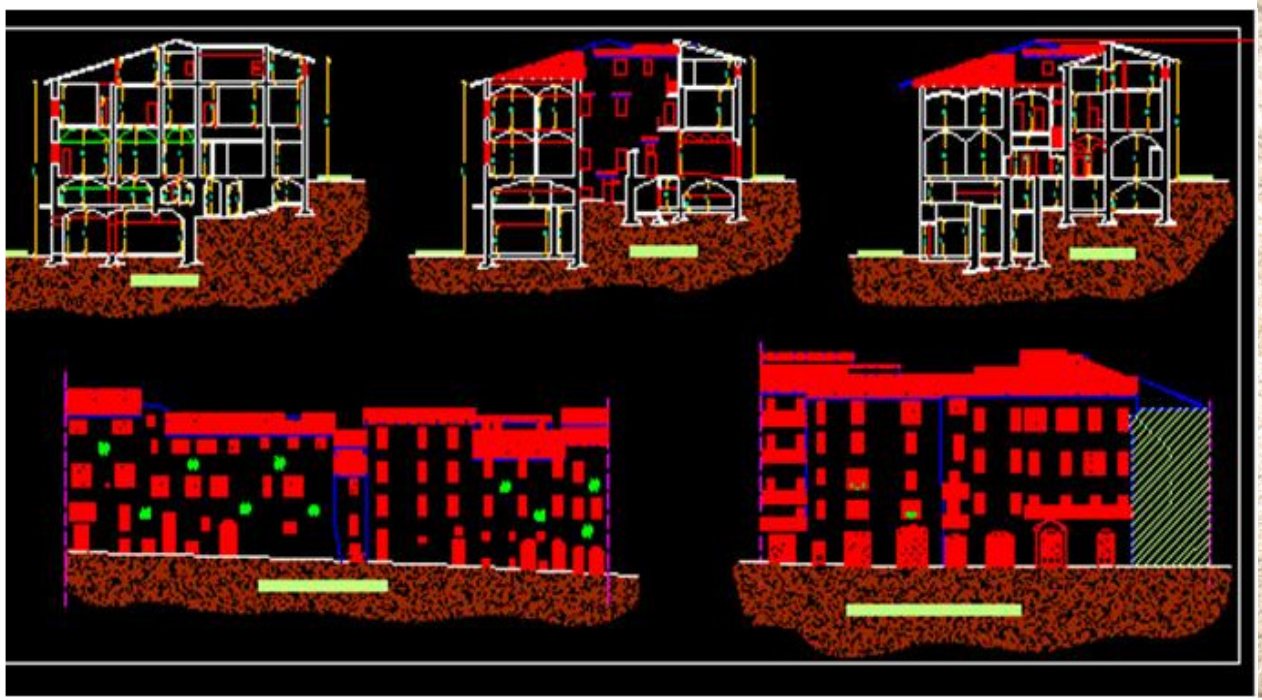
Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Risultati dei test su edifici estesi ed in agglomerato

n.	Denom. edificio (edifici estesi)	FG (globale)	FS (statica)	FL (locale)	Vulnerabilità (scheda)	Classe di Qualificazione	Coeff. S (terreno)	Tipologia Solaio	n. piani
15	P. Edificio A	4	60	47	Altissima	E	1,18	sol.def.	>3piani
16	P. Edificio B	20	106	51	Altissima	D2	1,18	sol.def.	2piani
18	Edificio Via V.	14	183	39	Altissima	E	1,2	sol.def.	>3piani
19	Edificio L. L.	8			Altissima	E		sol.def.	>3piani



Validazione del metodo

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Risultati dei test su edifici ordinari

n.	Denominazione edificio	FG (globale)	FS (statica)	FL (locale)	Vulnerabilità (scheda)	Classe di Qualificazione	Coeff. S (terreno)	Tipologia Solaio	n. piani
17	Edificio S.	72	224		Altissima	C2	1,2		2piani
22	Nuovo DM 96	290	682		media	B1	1,44		3piani
23	B.M. Collescipoli	86	464		alta	B2	1,46		2piani
24	B. M. Fornole	112	325		media	B1	1,1		3piani
25	A. G. Bevagna	166	777	77	bassa	B1	1,39		2piani
26	A. G. - Sterpete	44	217		Altissima	D2	1,6	sol.def.	2piani

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

Tecniche innovative per la riduzione della vulnerabilità sismica. Sperimentazioni in corso (cenni)

Diatonos (collab. con Bossong – BG)

Reticolatus (collab. con Fibrenet – UD)

Volte sottili

Pilastri murari

Intonaco armato con GFRP (collab. con Fibrenet – Ud e Univ. di TS)

(Anteprima della presentazione al Salone del restauro di Ferrara)

Diatonos

Sperimentazione a Reggio Calabria (2012)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

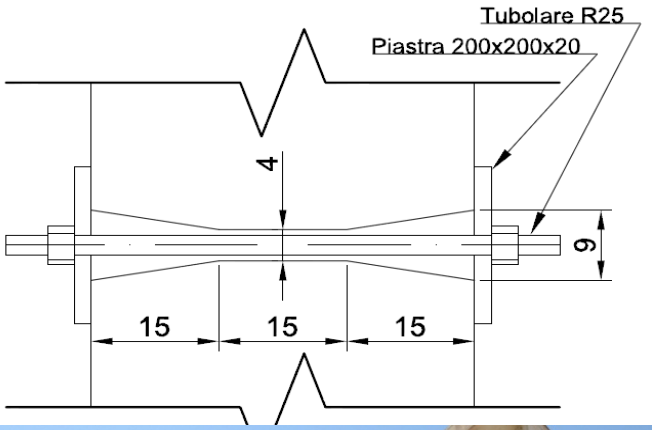
Diatonos

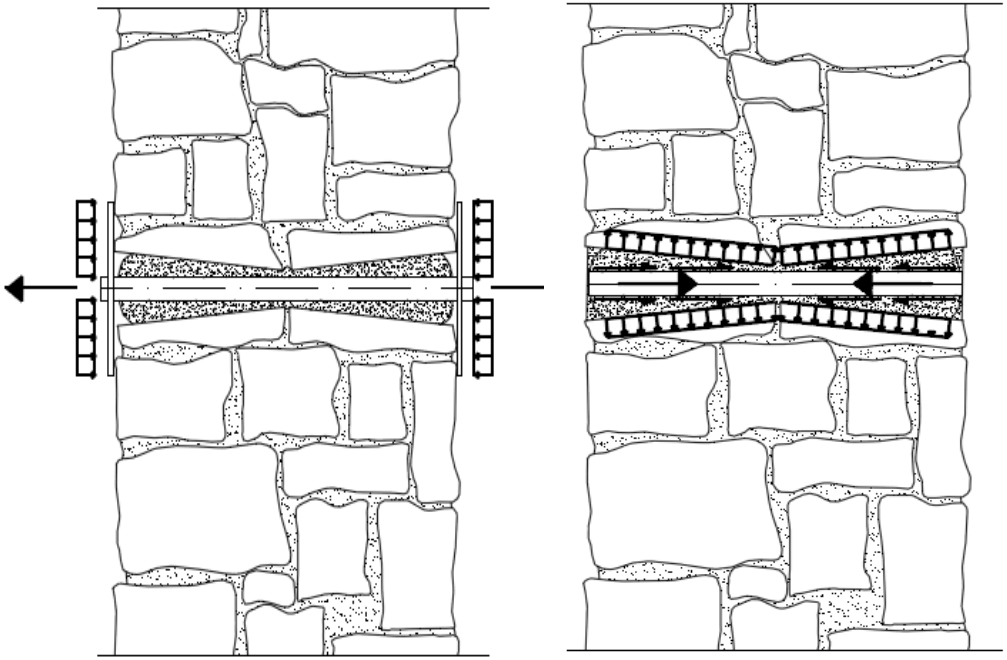
Sperimentazione a Reggio Calabria (2012)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa





Diatonos

Sperimentazione a Reggio Calabria (2012)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

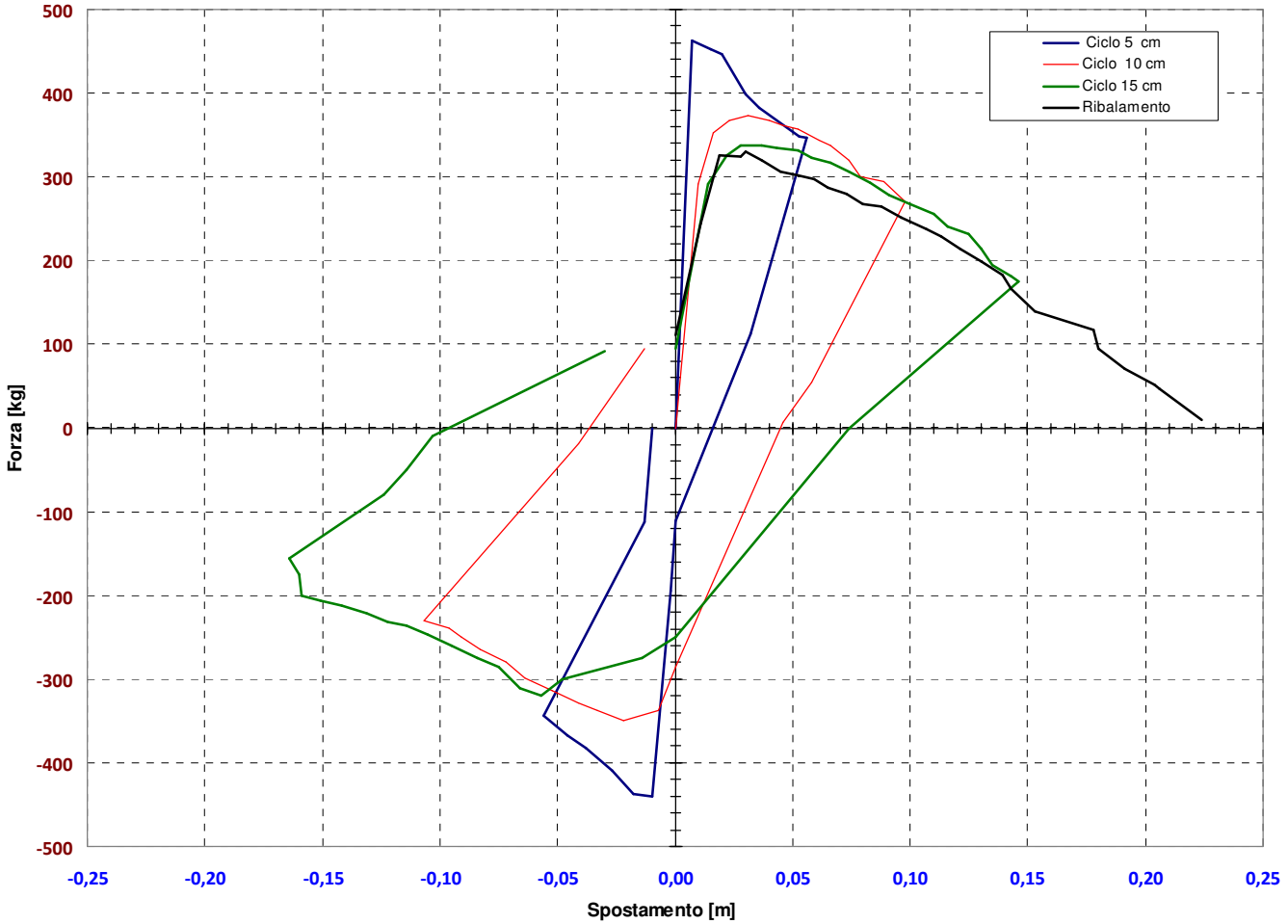
Diatonos

Sperimentazione a Reggio Calabria (2012)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



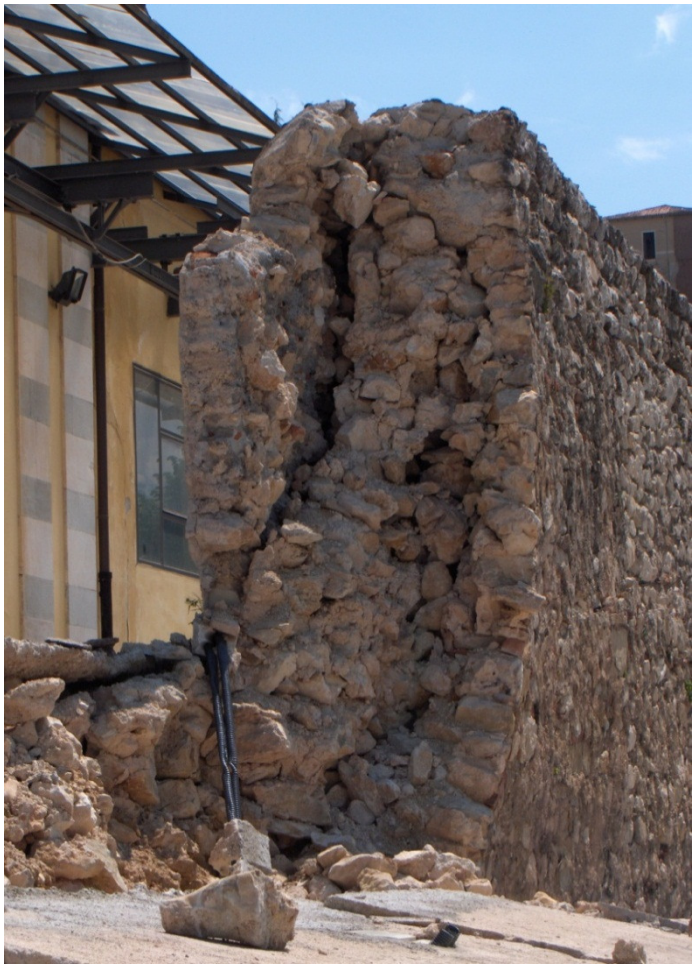
Diatonos

Prossima sperimentazione:
Mura urbiche L'Aquila

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa



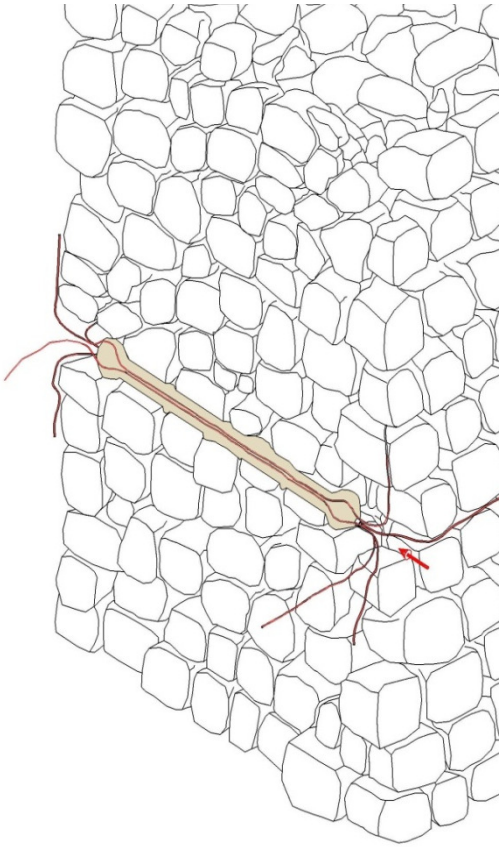
Diatonos

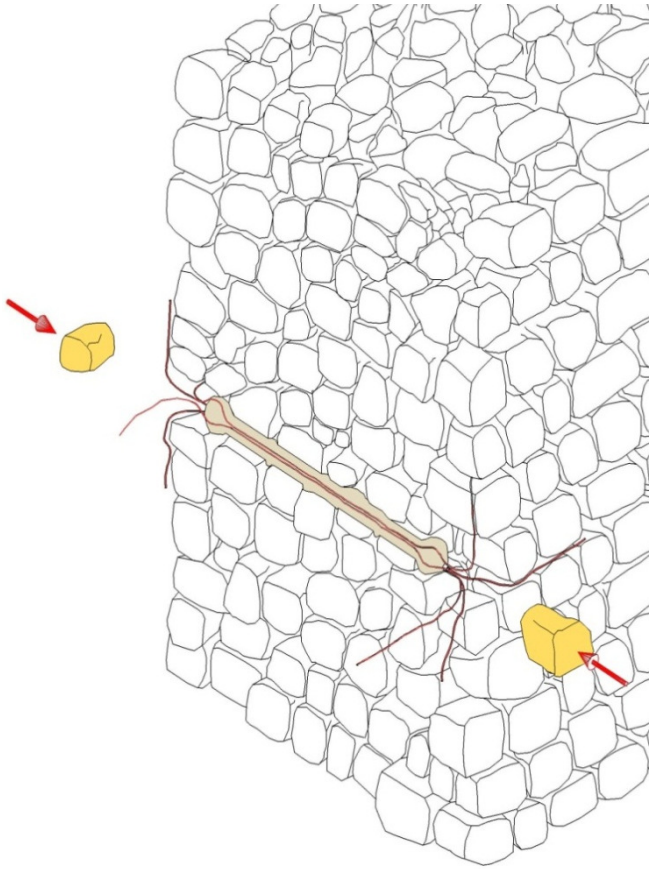
Prossima sperimentazione:
Mura urbiche L'Aquila

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa





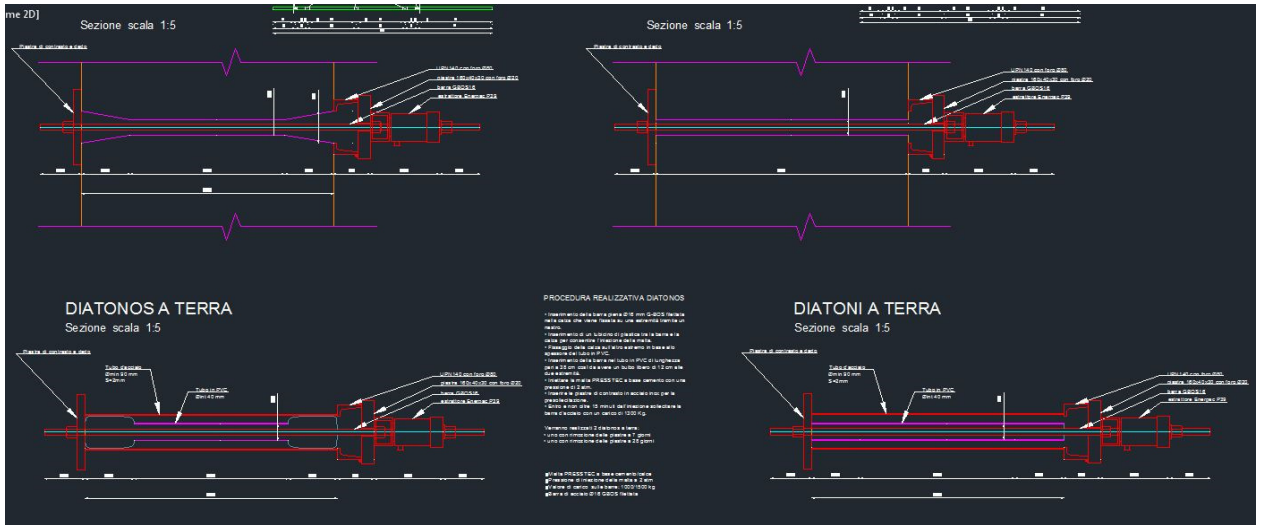
Diatonos

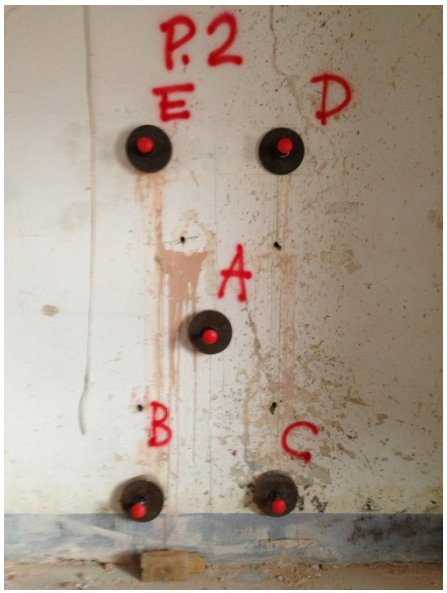
Sperimentazione in corso:
Palazzo Pica Alfieri a L'Aquila
(in collab. con Ing. Riccardo Vetturini)

Prof. Ing. Antonio Borri

Università di Perugia

Centro Studi Mastrodicasa

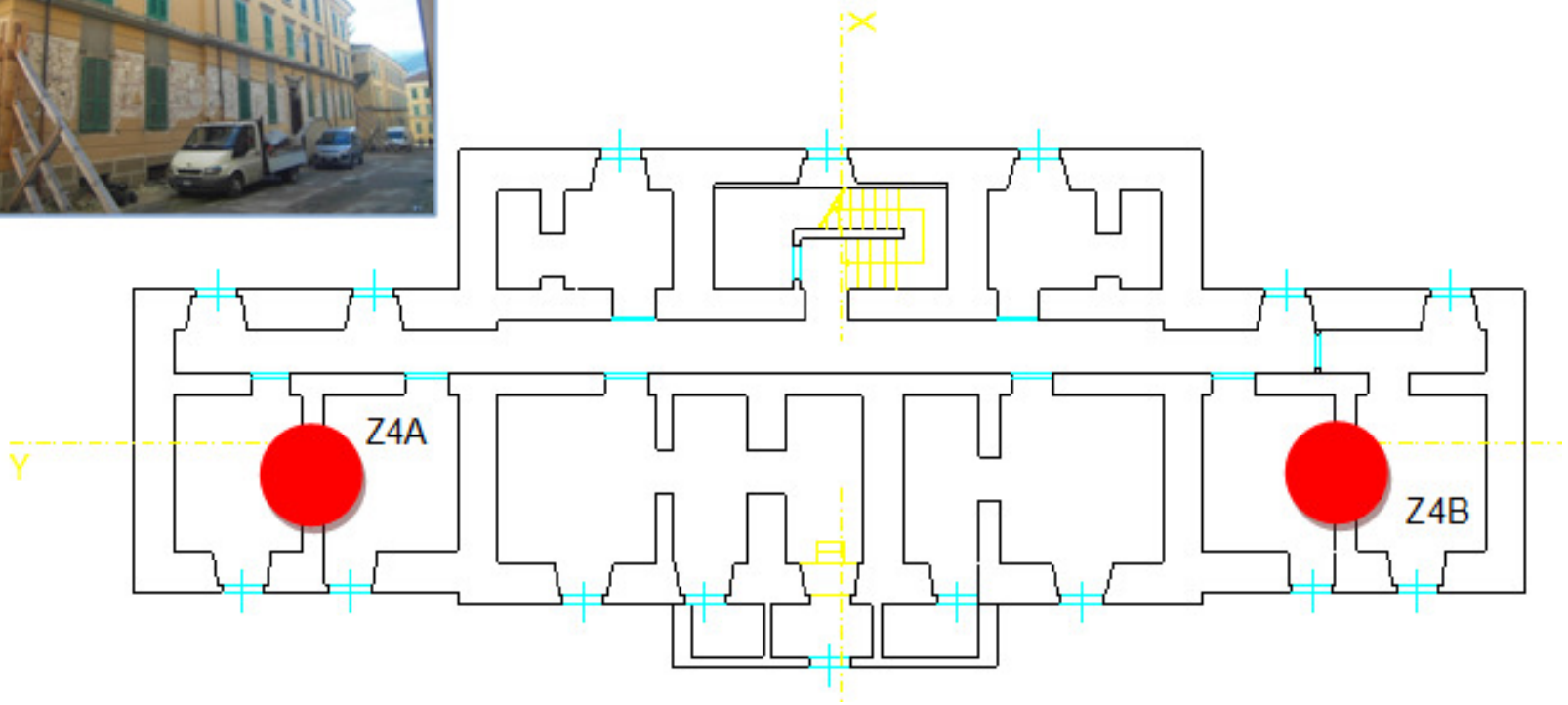




Prove di compressione diagonale su edifici a Porta Napoli – L’Aquila

in collaborazione con:
Area Progetto – Perugia, Unilab – Perugia, FibreNet - Udine

Intonaco con malta di calce armato con rete in GFRP (2004)



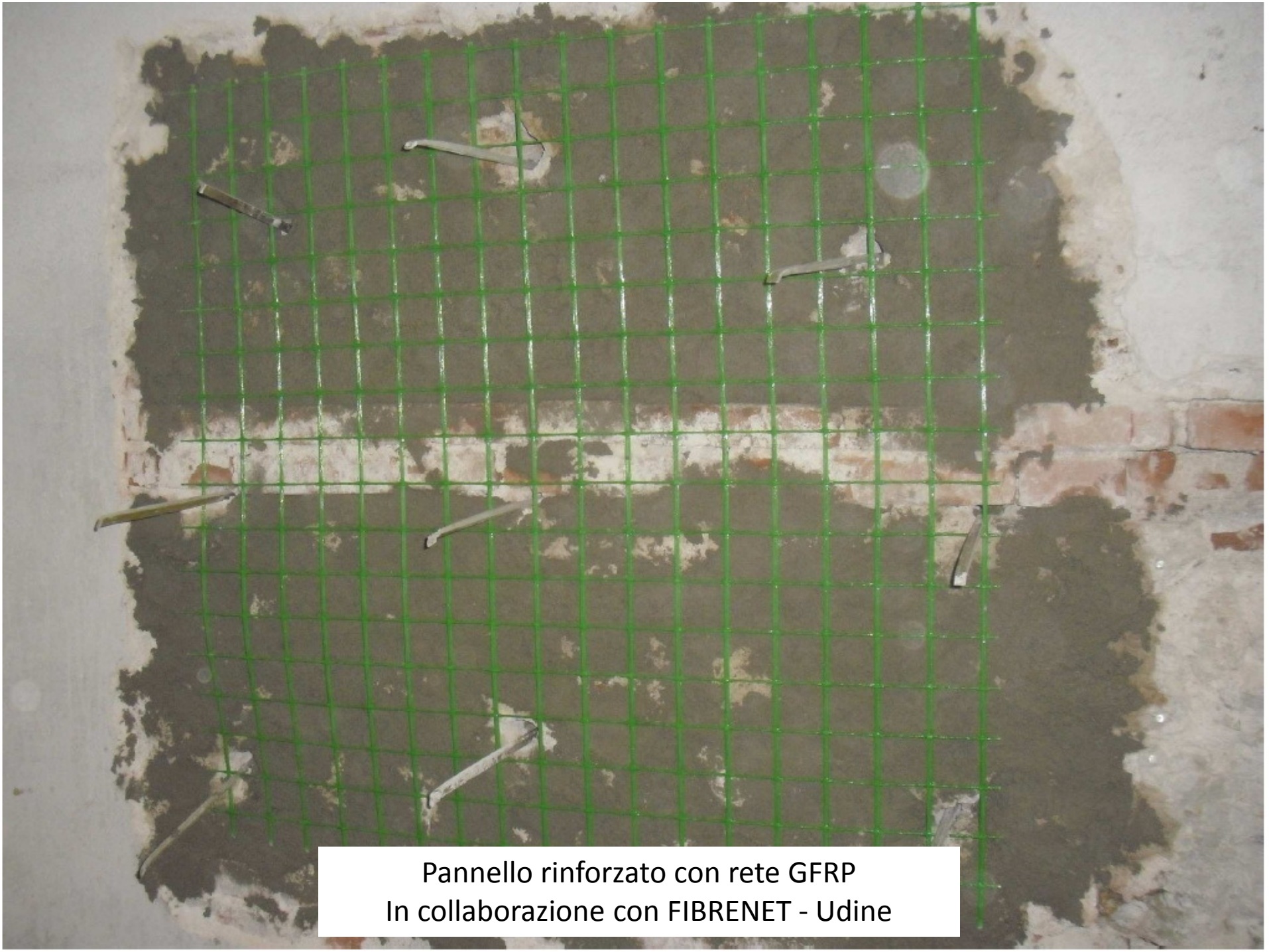
Edifici nei pressi di Porta Napoli
Progettista: Ing. Marco Balducci – Area Progetto (PG)

5 prove compressione diagonale

Pannello non rinforzato

Pannello rinforzato con rete GFRP
In collaborazione con FIBRENET - Udine

Pannello rinforzato con rete GFRP
In collaborazione con FIBRENET - Udine



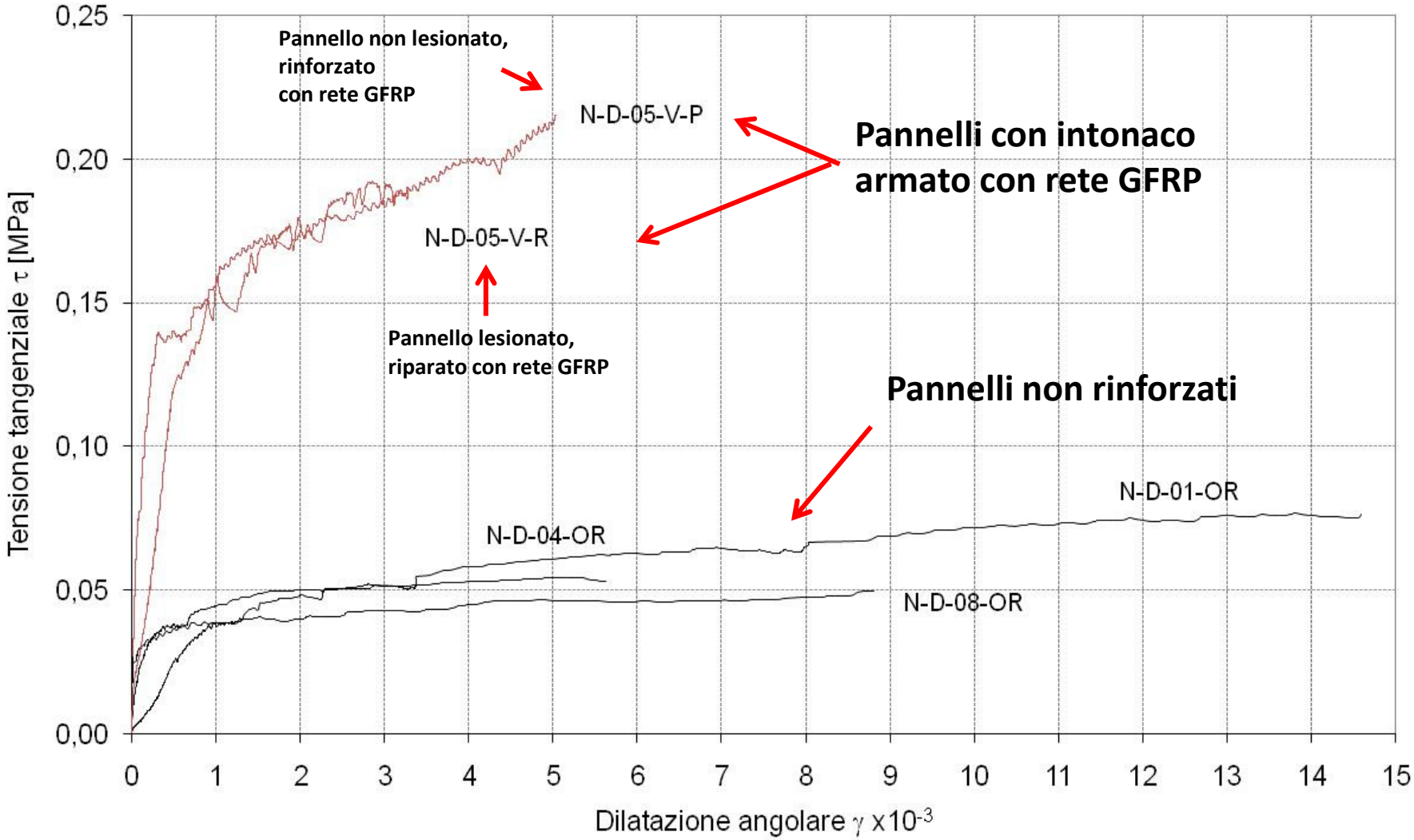
Pannello rinforzato con rete GFRP
In collaborazione con FIBRENET - Udine

Pannello rinforzato con rete GFRP
In collaborazione con FIBRENET - Udine

Pannello rinforzato con rete GFRP
In collaborazione con FIBRENET - Udine

Pannello rinforzato con rete GFRP
In collaborazione con FIBRENET - Udine

Sigla	Rinforzo	Tessitura	P_{max} [kN]	S_S [MPa]	t_0 [MPa]	$G_{1/3}$ [MPa]	spessore (cm)
N-D-04-OR	Nessuno	Pietre non squad.	44.51	0.055	0.026	261	47.0
N-D-03-VP	Rete GFRP (rinforzo)	Pietre non squad.	178.95	0.192	0.091	1250	54.0
N-D-01-OR	Nessuno	Pietre non squad.	61.77	0.078	0.036	50	46.5
N-D-02-VR	Rete GFRP (riparazione)	Pietre non squad.	200.70	0.215	0.102	1098	55.0
N-D-08-OR	Nessuno	Pietre non squad.	39.12	0.050	0.024	76	46.0


Pannello non lesionato, rinforzato con rete GFRP
N-D-05-V-P
Pannelli con intonaco armato con rete GFRP
N-D-05-V-R
Pannello lesionato, riparato con rete GFRP
Pannelli non rinforzati
N-D-01-OR
N-D-04-OR
N-D-08-OR
Tensione tangenziale τ [MPa]
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Dilatazione angolare γ x10-3

Prove di compressione diagonale e taglio compressione

Colle Umberto (PG) - settembre 2012

1° tipologia muraria*: muratura in pietrame del Novecento*

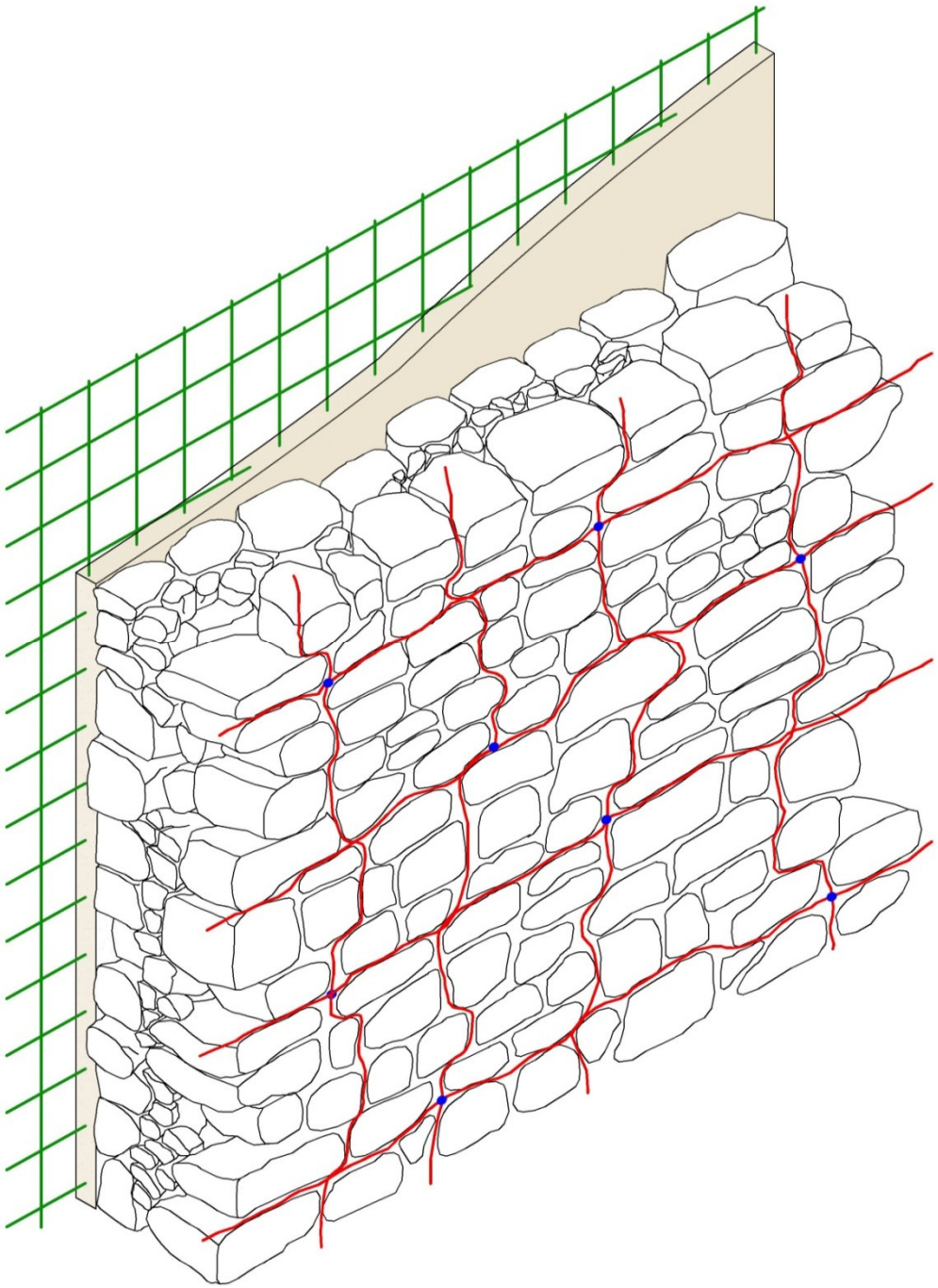
- Prova di compressione diagonale:
  - 1 pannello non rinforzato
  - 1 pannello rinforzato con intonaco armato
  - 1 pannello riparato con intonaco armato
- Prova di taglio-compressione con pressione di confinamento esistente:
  - 1 pannello non rinforzato
  - 1 pannello rinforzato con intonaco armato
  - 1 pannello riparato con intonaco armato

2° tipologia muraria: *muratura in pietrame dell'Ottocento*

- Prova di compressione diagonale:
  - 1 pannello non rinforzato
  - 1 pannello riparato con intonaco armato
- Prova di taglio-compressione con pressione di confinamento esistente:
  - 1 pannello non rinforzato
  - 1 pannello rinforzato con intonaco armato

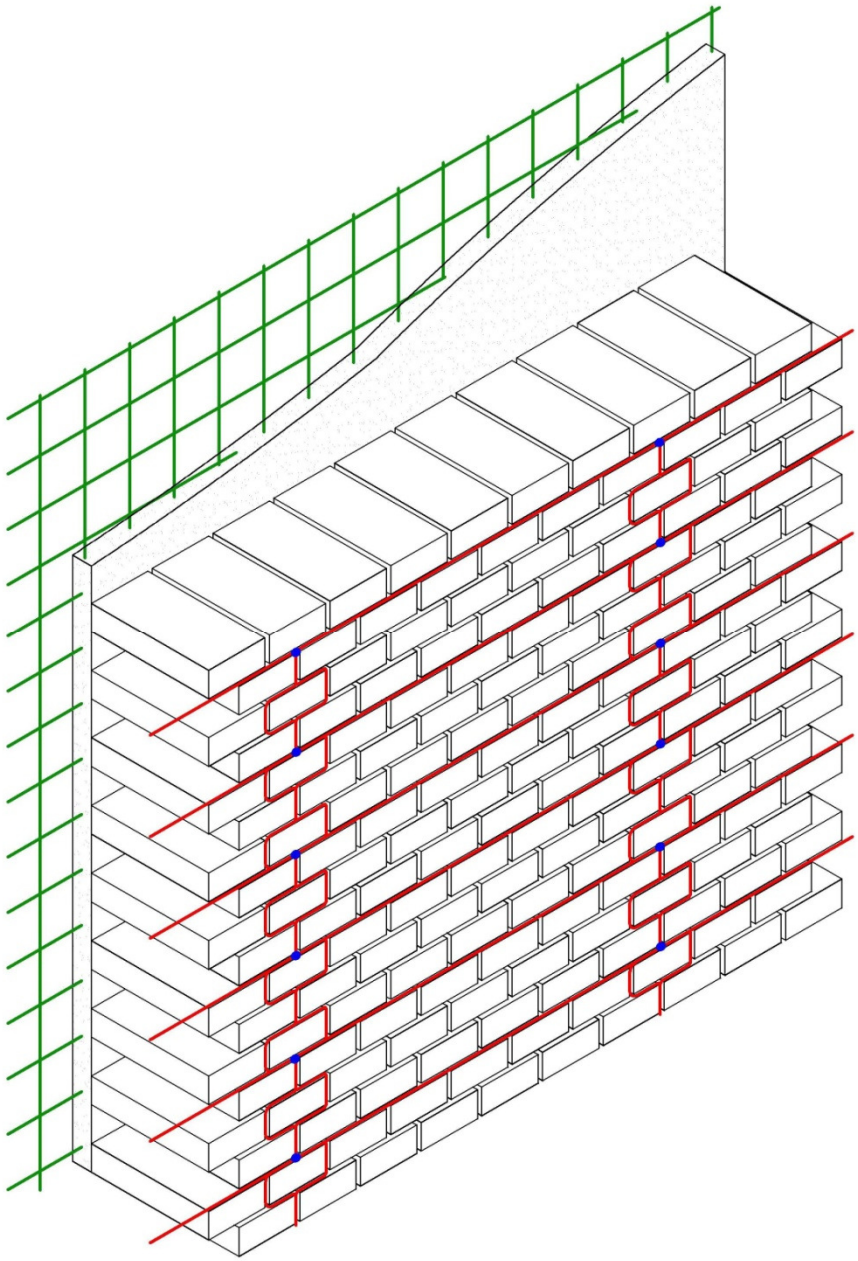
Reticolatus

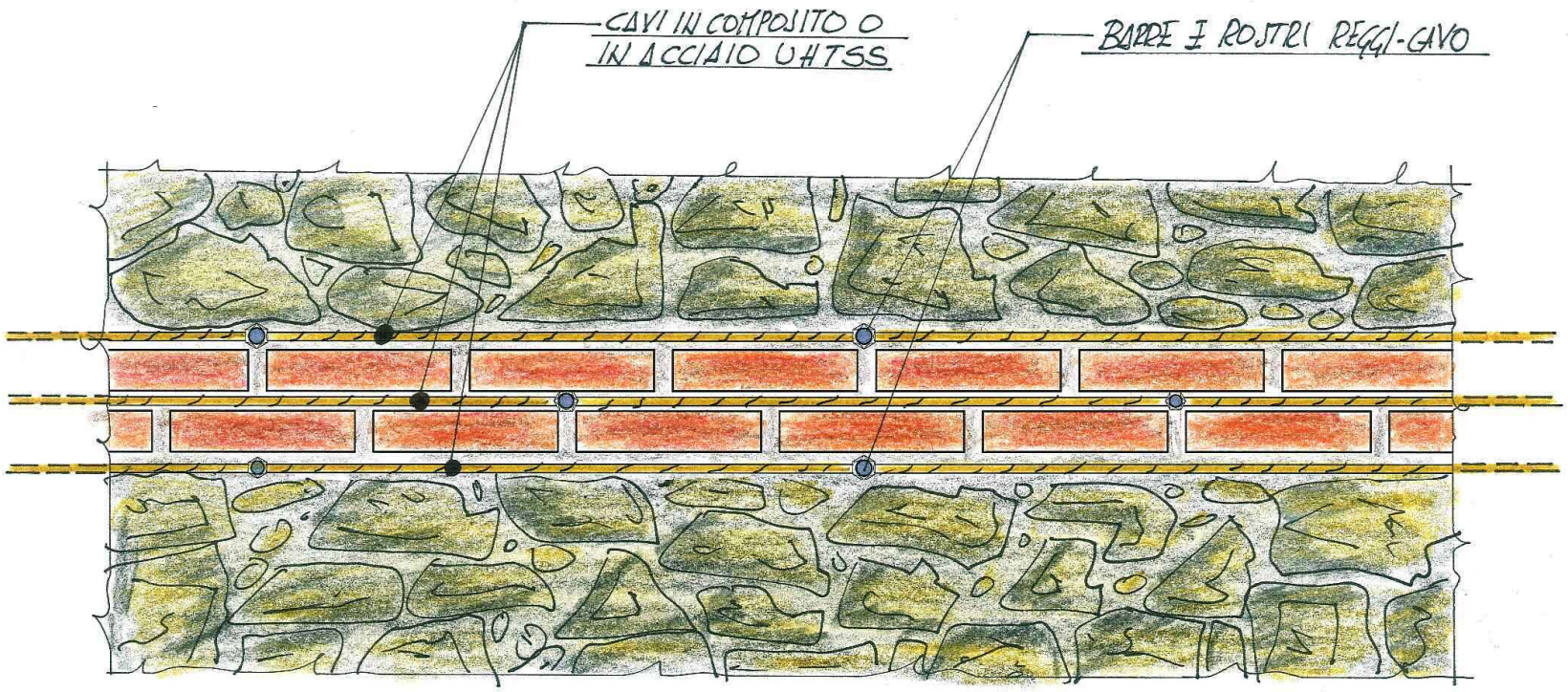
(su una faccia)



Reticolatus

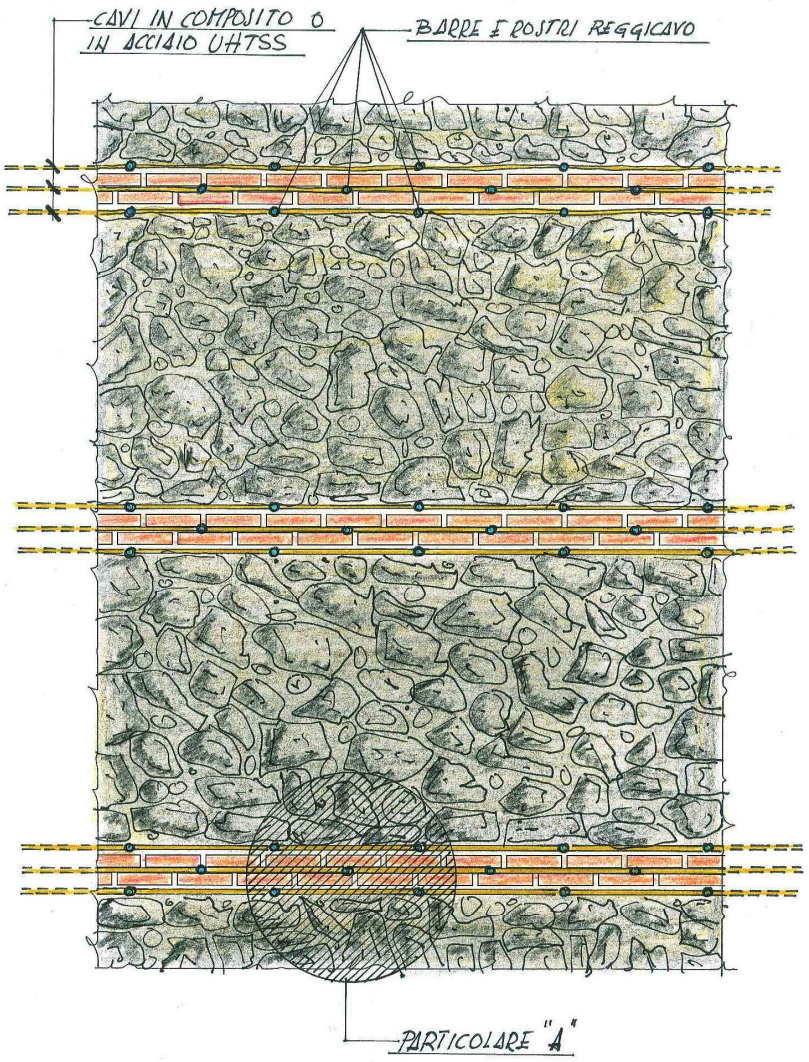
(su una faccia)





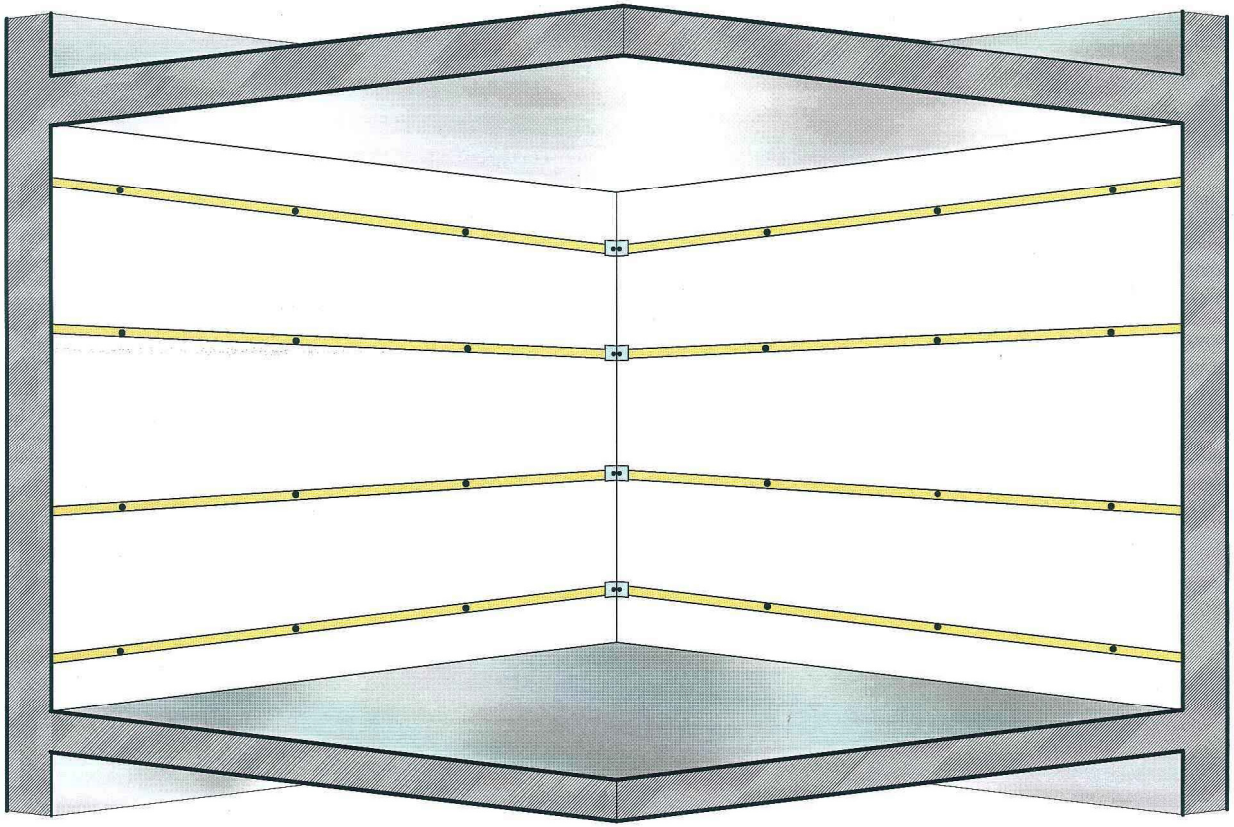
Reticolatus per murature listate

(proposta per un sistema di tirantature diffuse di parete per murature listate)



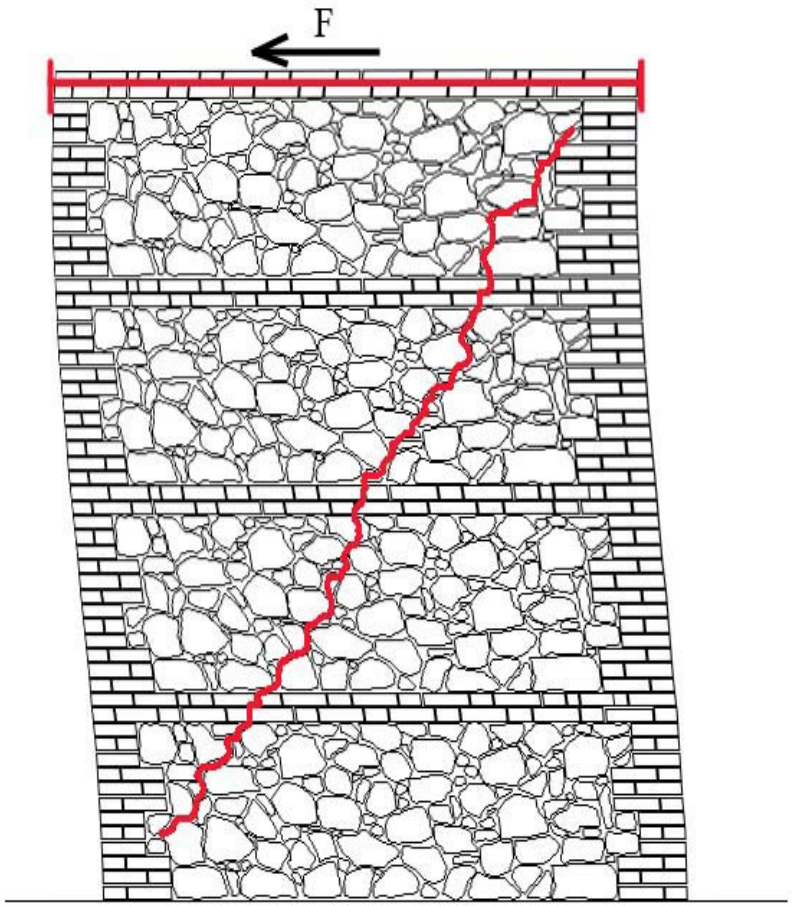
Reticolatus per murature listate

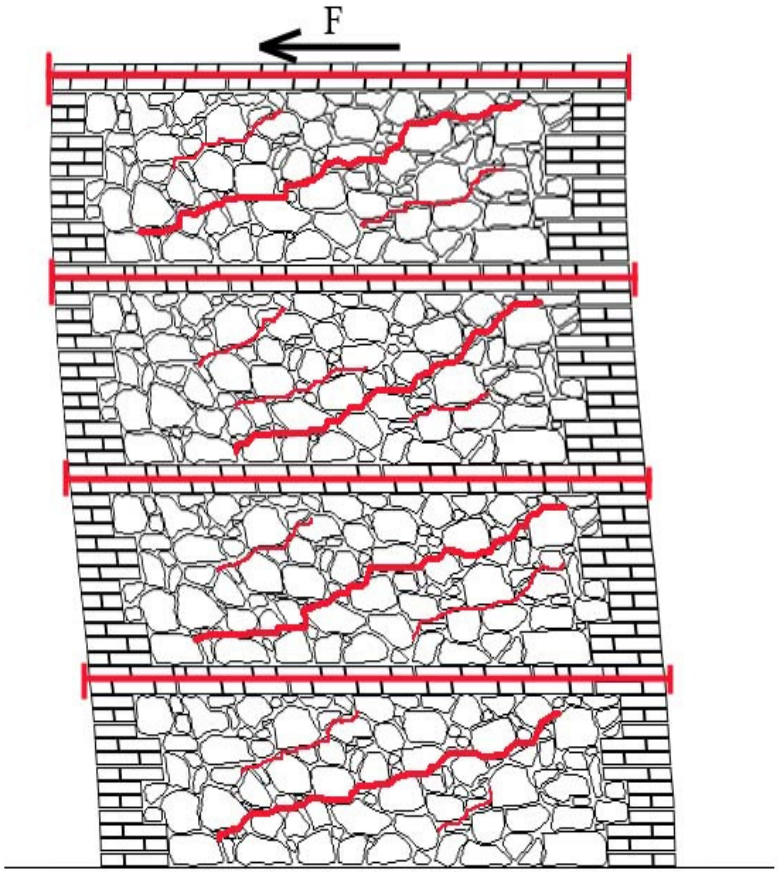
(proposta per un sistema di tirantature diffuse di parete per murature listate)



Reticolatus per murature listate

(proposta per un sistema di tirantature diffuse di parete per murature listate)


F


F

XIV convegno ANIDIS
L'Ingegneria Sismica in Italia
ANIDIS BARI2011
POLITECNICO DI BARI
ASSOCIAZIONE NAZIONALE ITALIANA DI INGEGNERIA SISMICA
ANIDIS
Italian National Association of Earthquake Engineering

Sperimentazioni al vero nel centro storico dell'Aquila

Pannelli murari diversamente consolidati e sollecitati fuori piano: prime note

Antonio Borri

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale,

Università degli studi di Perugia.

Michele Candela

Dipartimento P.A.U, Università di Reggio Calabria.

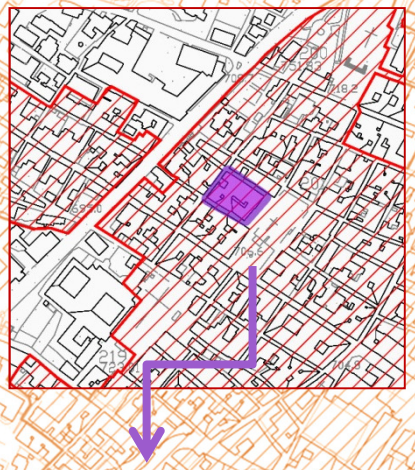
Roberta Fonti

Dipartimento di Ingegneria Strutturale,

Università di Napoli "Federico II"

Bari, 18 – 22 /09/ 11

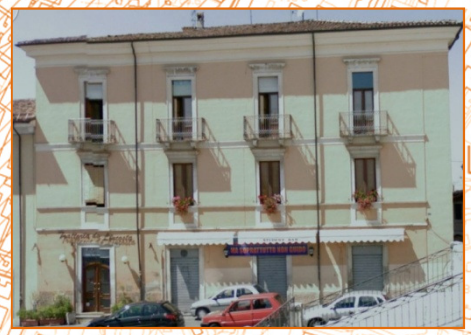
L'Aquila - Perimetrazione Zona Rossa -



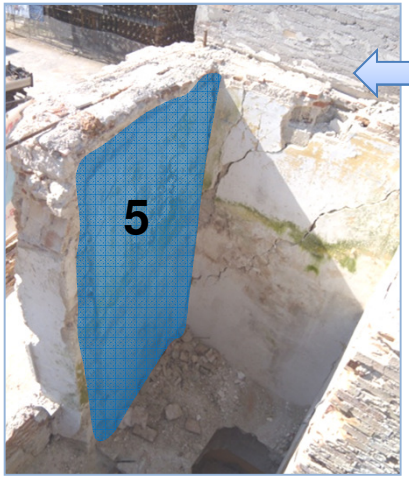
Lo Stato dei Luoghi: PRE- TERREMOTO

Lo Stato dei Luoghi: POST - TERREMOTO

Il centro storico dell'Aquila
Piazza San Pietro



Facciata prospiciente
Piazza San Pietro



Individuazione Pannello 5

Campo di prova prospiciente - **Piazza San Pietro**

Piazza San Pietro

Campo di prova prospiciente **– Via Pretatti** - Individuazione Pannelli

Programma di demolizione comparto edilizio 96 – individuazione del sub-cantiere di prova -

Pannello 1

Pannello 2

Pannello 3

Pannello 4

Pannello 6

Tecnica applicata: **Ibrida – reticolatus sul lato esterno ed intonaco armato con rete in GFRP su lato interno**

Tecnica applicata: **Realizzazione di Diatoni artificiali in conglomerato cementizio alleggerito con divaricatori metallici per la messa in carico**

Tecnica applicata: **-Diatoni Artificiali - Posa in opera di elementi metallici avvolti in una calza di poliestere, iniettata con malta a base di calce**

Tecnica applicata: **Iniezioni**

Tecnica applicata: **Tal Quale**

Pannello 5

Tecnica applicata: **Realizzazione di Diatoni in legno e Rinzeppatura profonda**

Sono state messe appunto ***cinque differenti strategie d'intervento***, che a partire dal semplice miglioramento della monoliticità trasversale, via via ci si è interessati di più aspetti, guardando all'intero elemento strutturale, e quindi aspirando all'eliminazione di ambo i difetti rilevati.

Pannello 1

Pannello 2

Pannello 3

Pannello 4

Pannello 6

Pannello 5

Tecnica applicata: **Realizzazione di Diatoni in legno e Rinzeppatura profonda**

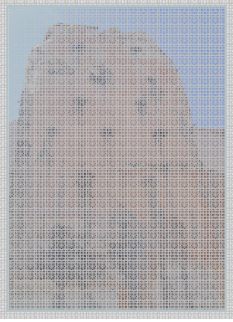
Tecnica applicata: **Ibrida – reticolatus sul lato esterno ed intonaco armato con rete in GFRP su lato interno**

Tecnica applicata: **Realizzazione di Diatoni artificiali in conglomerato cementizio alleggerito con divaricatori metallici per la messa in carico**

Tecnica applicata: **-Diatoni artificiali - Posa in opera di elementi metallici avvolti in una calza di poliestere, iniettata con malta a base di calce**

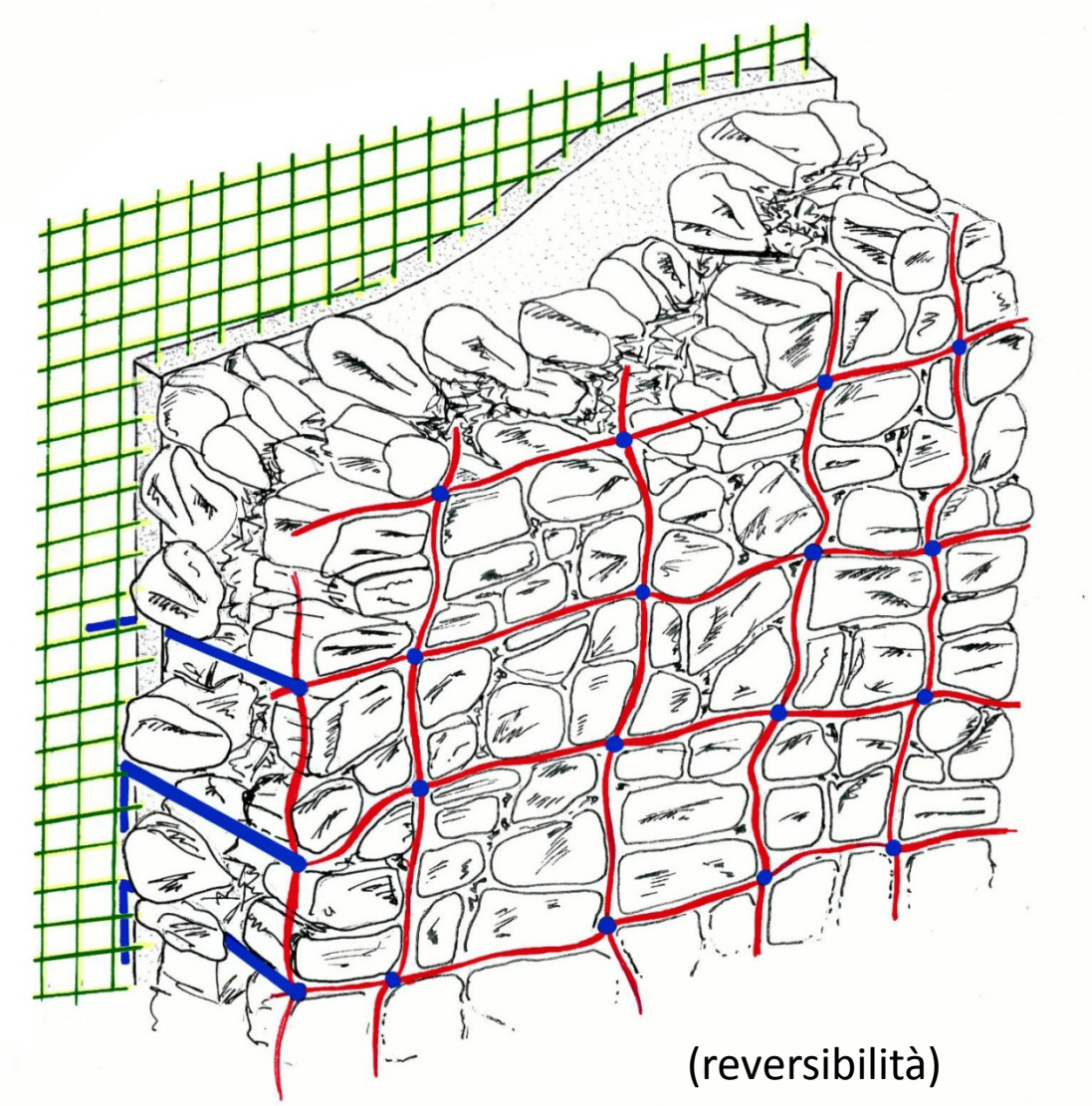
Tecnica applicata: **Iniezioni**

Tecnica applicata: **Tal Quale**

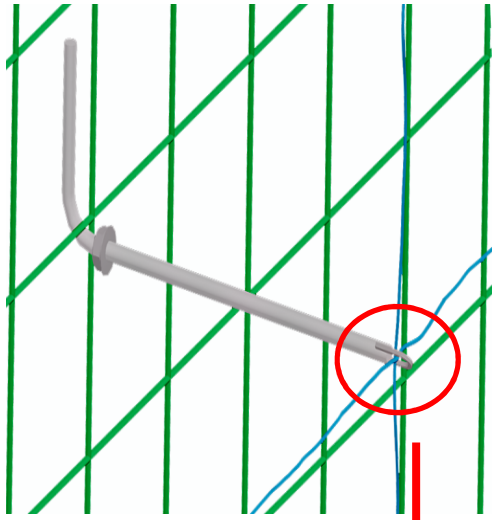


Sono state messe appunto ***cinque differenti strategie d'intervento***, che a partire dal semplice miglioramento della monoliticità trasversale, via via ci si è interessati di più aspetti, guardando all'intero elemento strutturale, e quindi aspirando all'eliminazione di ambo i difetti rilevati.

RETICOLATUS IBRIDO

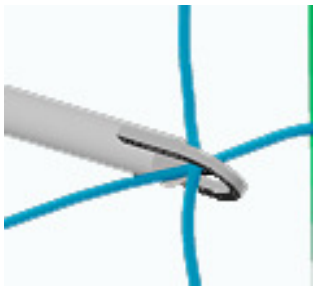


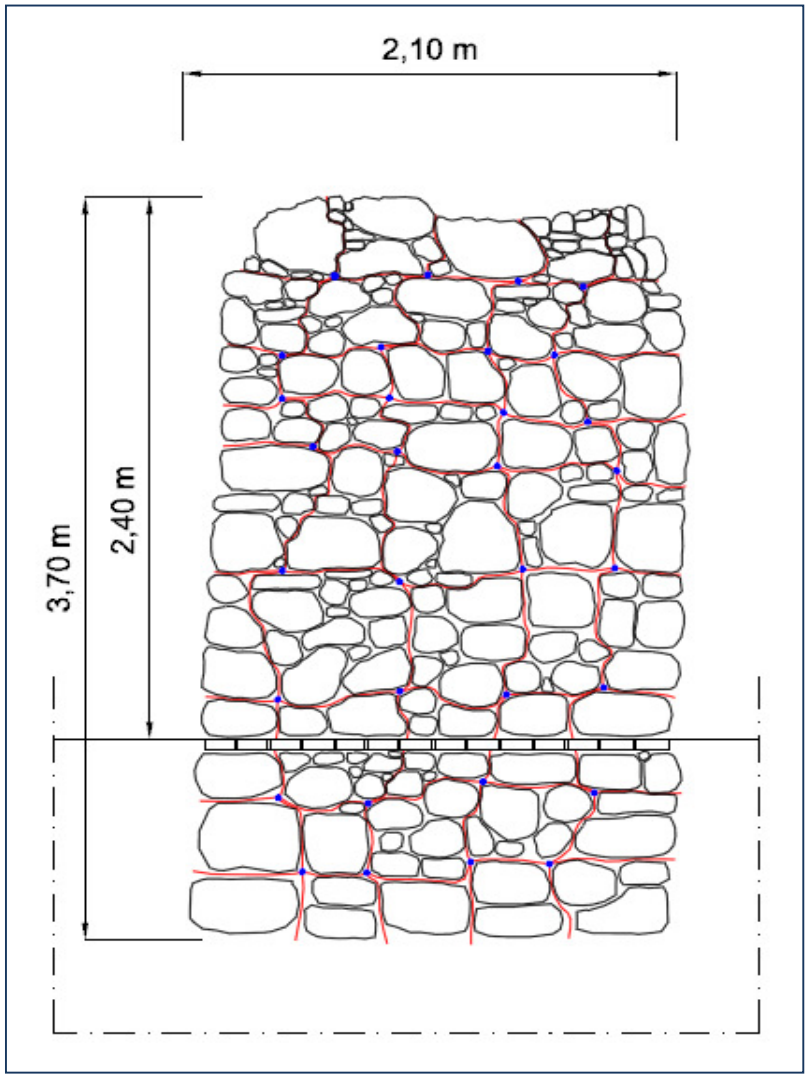
(reversibilità)



MURATURA
FACCIA A VISTA
SUL PARAMENTO
ESTERNO

PARAMENTO
INTERNO
INTONACATO




2,10 m
3,70 m
2,40 m

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	-

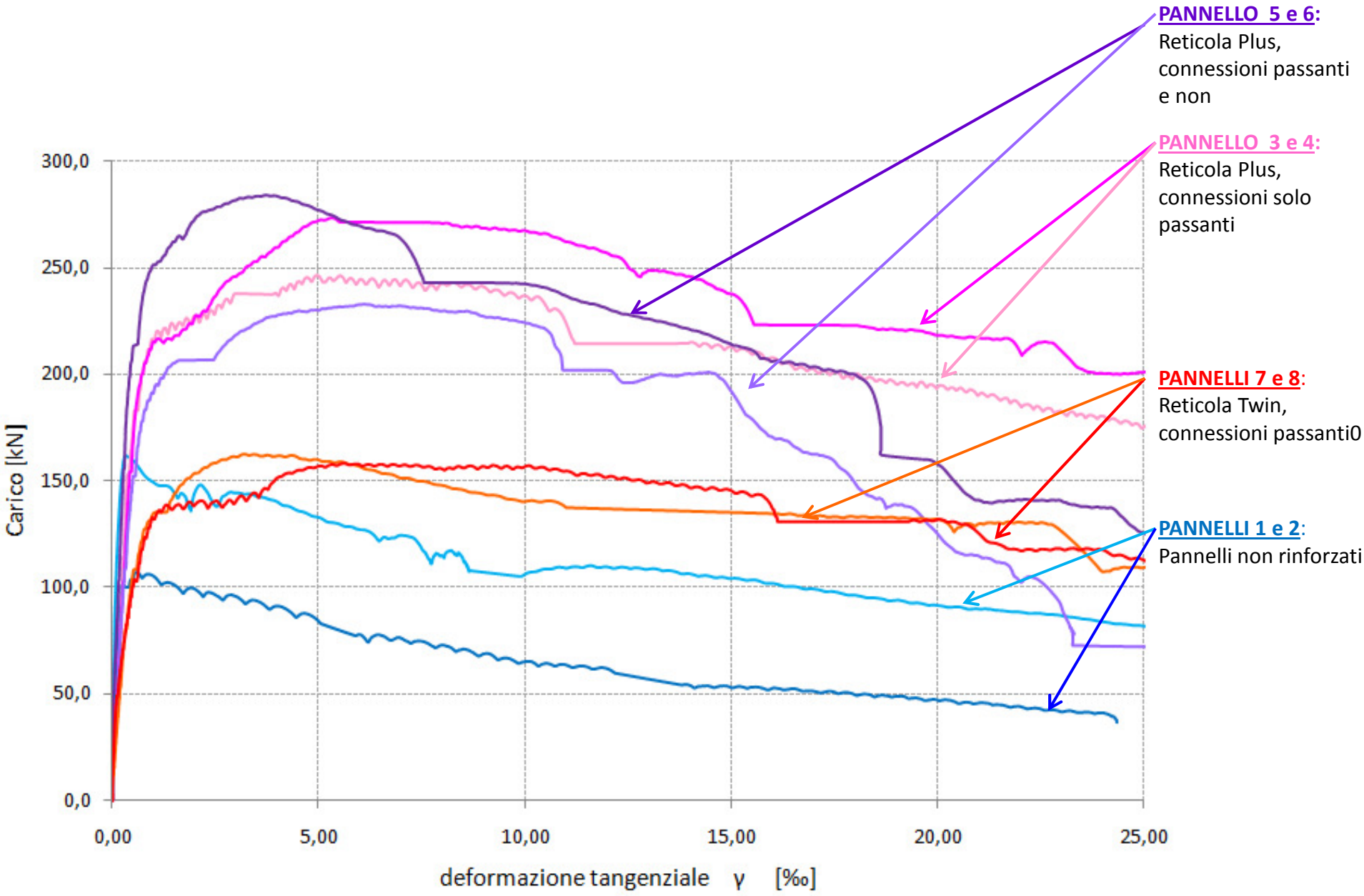
Muratura in pietrame: configurazione post-prova

PANNELLI 1-2
Non rinforzati

PANNELLI 3-4-5-6
Reticola Plus

PANNELLI 7-8
Reticola Twin

Muratura in pietrame: diagrammi carico – deformazione



PANNELLO 5 e 6:
Reticola Plus, connessioni passanti e non

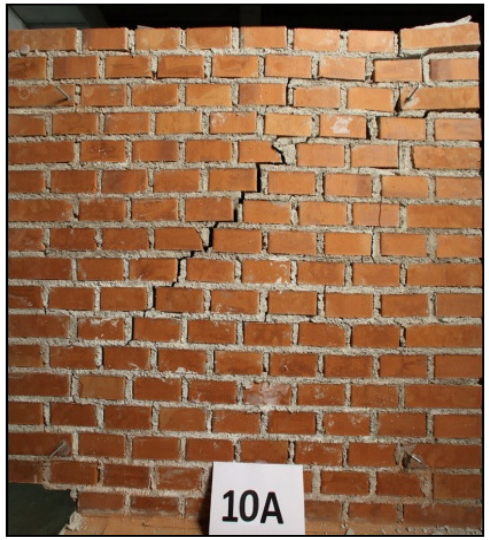
PANNELLO 3 e 4:
Reticola Plus, connessioni solo passanti

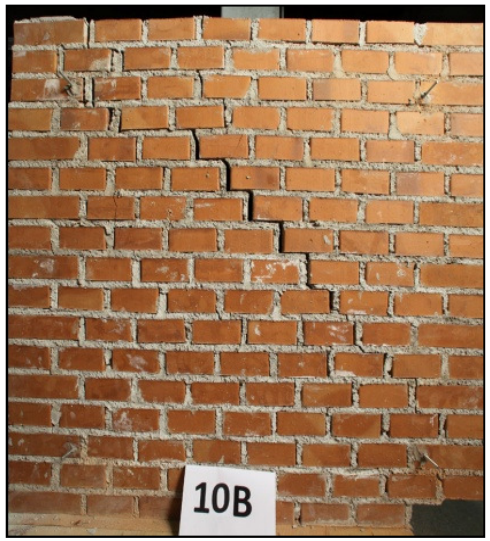
PANNELLI 7 e 8:
Reticola Twin, connessioni passanti0

PANNELLI 1 e 2:
Pannelli non rinforzati

Muratura in laterizio: configurazione post-prova

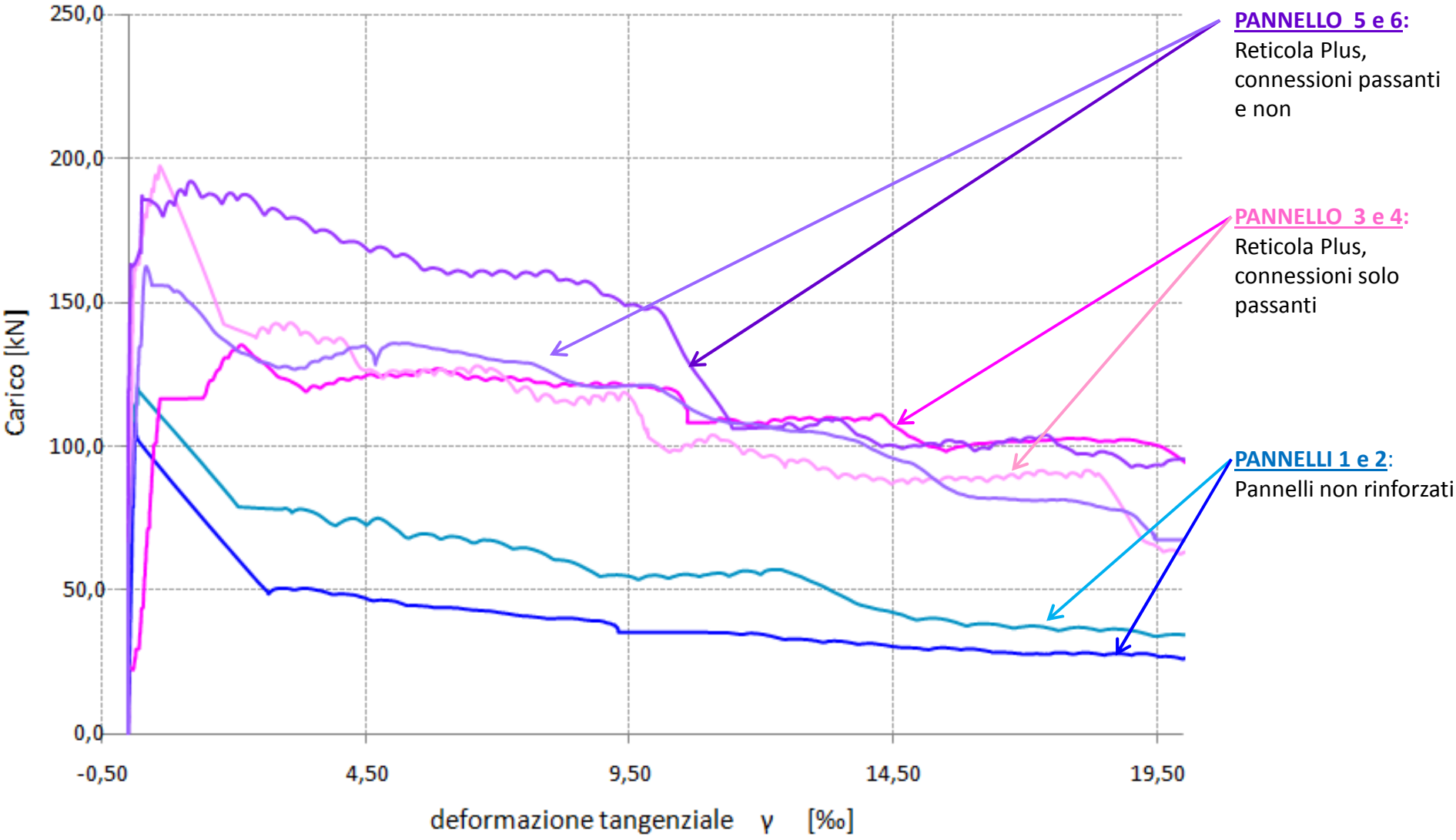
PANNELLI 9-10
Non rinforzati





PANNELLI 11-12-13-14
Reticola Plus

Muratura in laterizio- diagrammi carico – deformazione



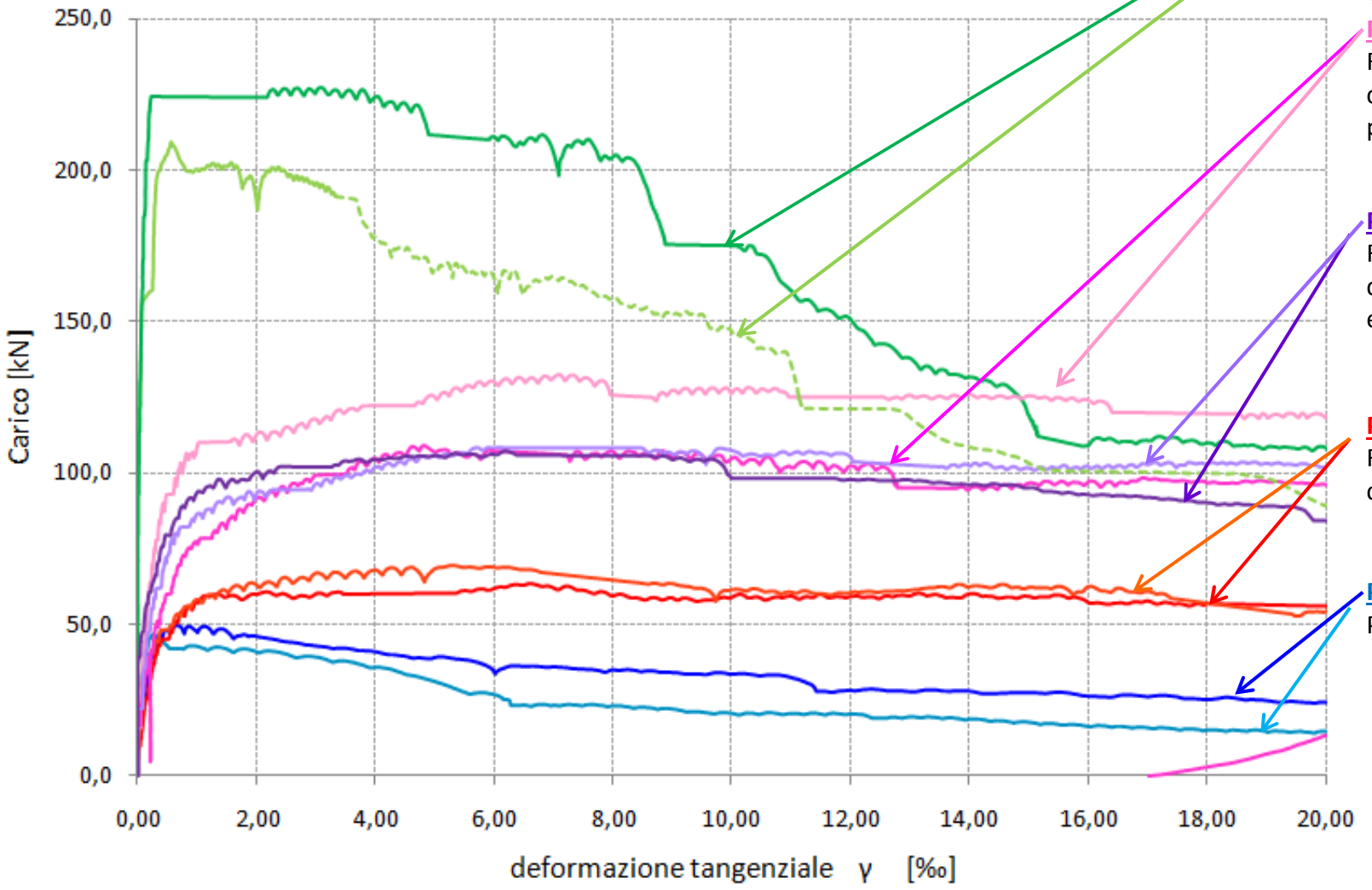
Muratura in ciottoli: configurazione post-prova

PANNELLI 15-16
Non rinforzati

PANNELLI 17-18-19-20
Reticola Plus

PANNELLI 21-22
Reticola Twin

Muratura in ciottoli: diagrammi carico – deformazione



PANNELLO 23 e 24: intonaco armato sulle due facce

PANNELLO 17 e 18: Reticola Plus, connessioni solo passanti

PANNELLO 19 e 20: Reticola Plus, connessioni passanti e non

PANNELLI 21 e 22: Reticola Twin, connessioni passanti

PANNELLI 15 e 16: Pannelli non rinforzati

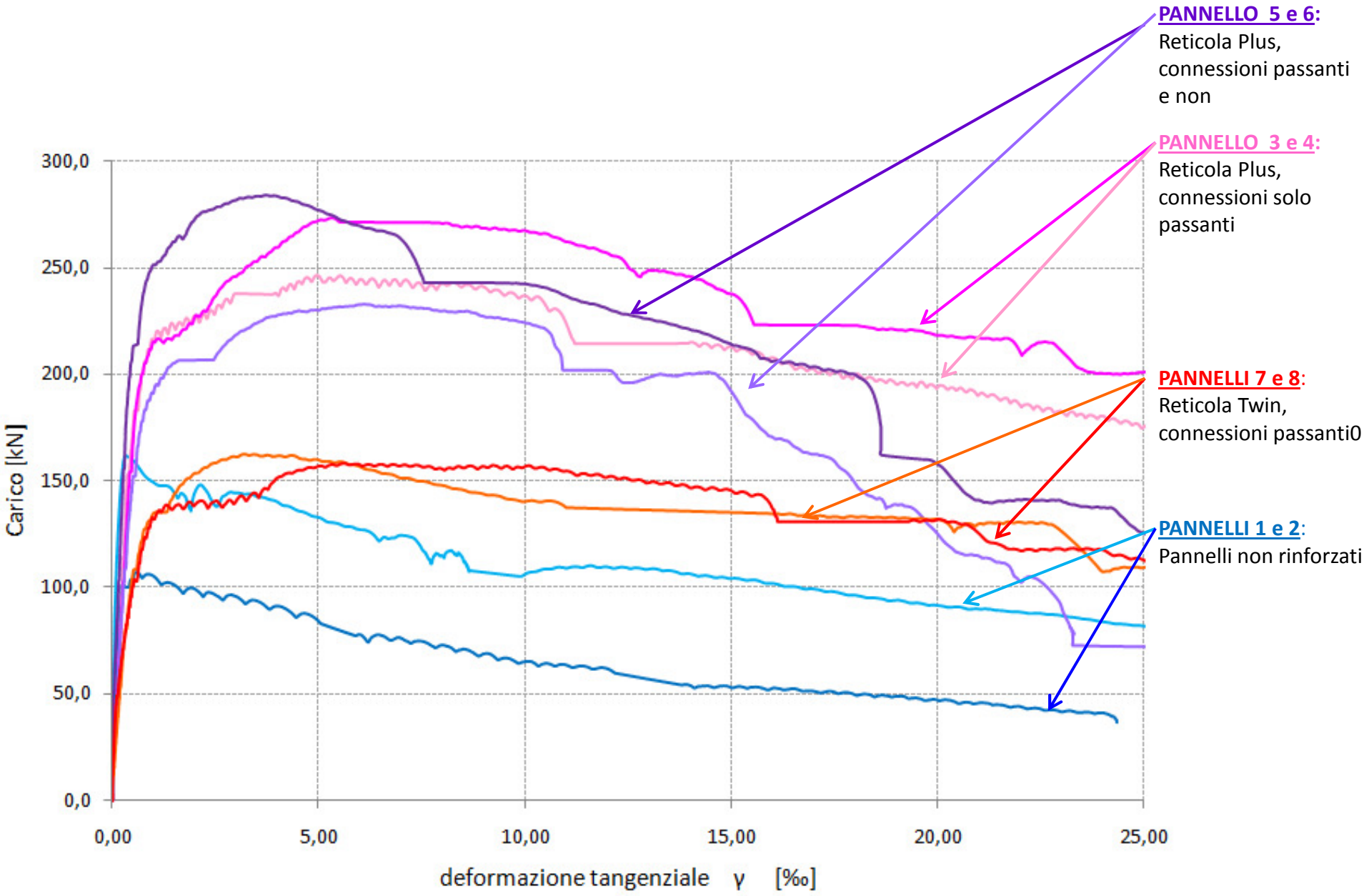
Muratura in pietrame: configurazione post-prova

PANNELLI 1-2
Non rinforzati

PANNELLI 3-4-5-6
Reticola Plus

PANNELLI 7-8
Reticola Twin

Muratura in pietrame: diagrammi carico – deformazione



PANNELLO 5 e 6:
Reticola Plus, connessioni passanti e non

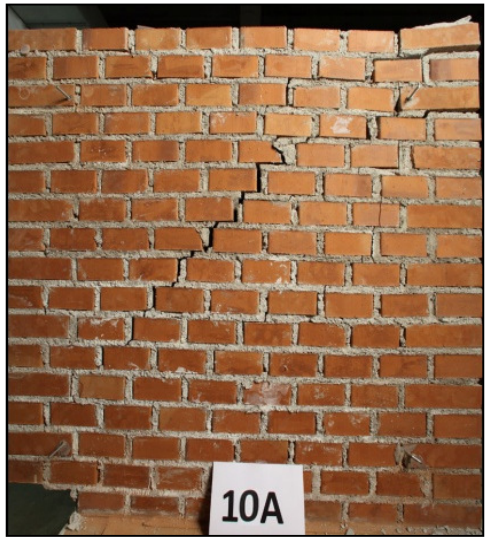
PANNELLO 3 e 4:
Reticola Plus, connessioni solo passanti

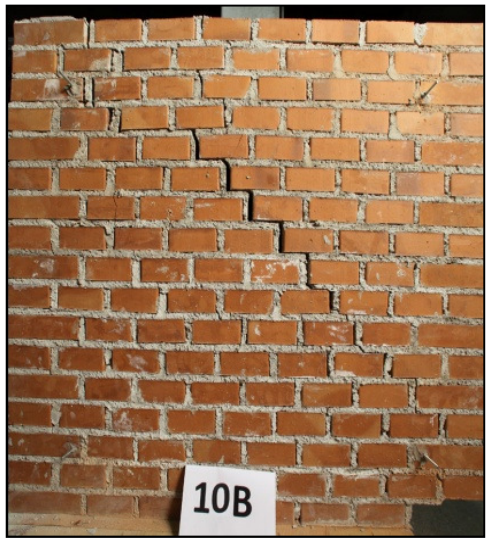
PANNELLI 7 e 8:
Reticola Twin, connessioni passanti0

PANNELLI 1 e 2:
Pannelli non rinforzati

Muratura in laterizio: configurazione post-prova

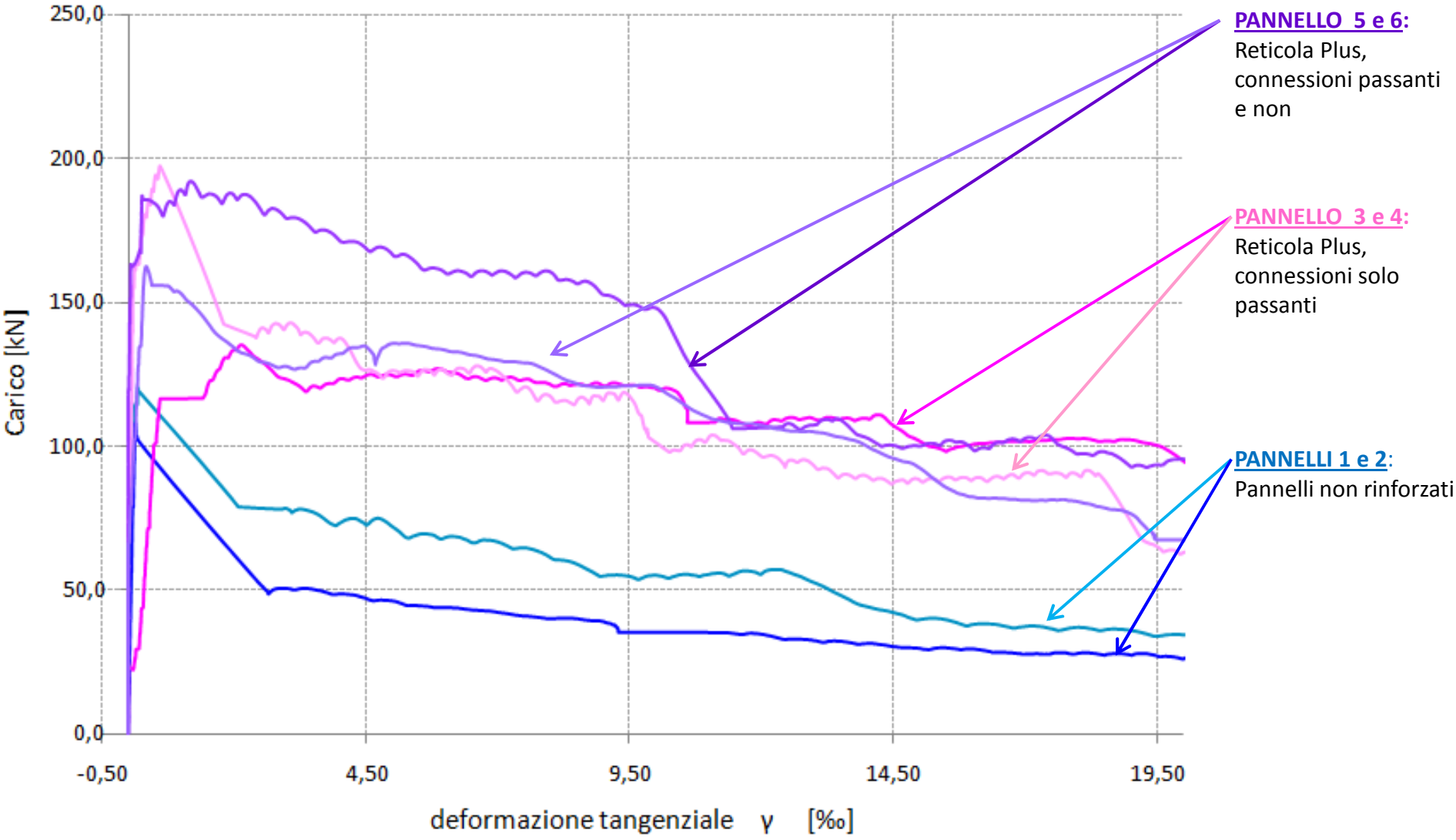
PANNELLI 9-10
Non rinforzati





PANNELLI 11-12-13-14
Reticola Plus

Muratura in laterizio- diagrammi carico – deformazione



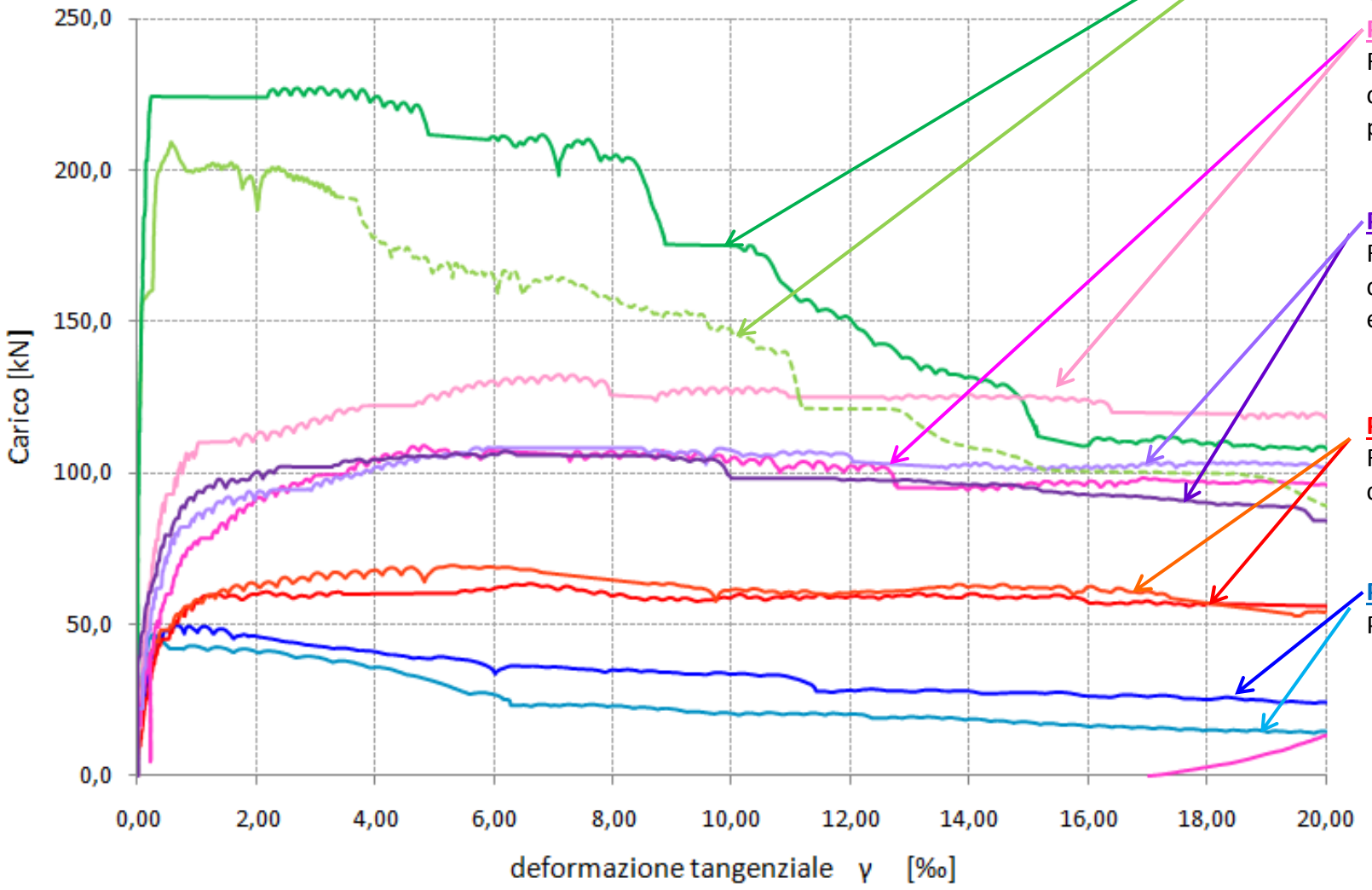
Muratura in ciottoli: configurazione post-prova

PANNELLI 15-16
Non rinforzati

PANNELLI 17-18-19-20
Reticola Plus

PANNELLI 21-22
Reticola Twin

Muratura in ciottoli: diagrammi carico – deformazione



PANNELLO 23 e 24: intonaco armato sulle due facce

PANNELLO 17 e 18: Reticola Plus, connessioni solo passanti

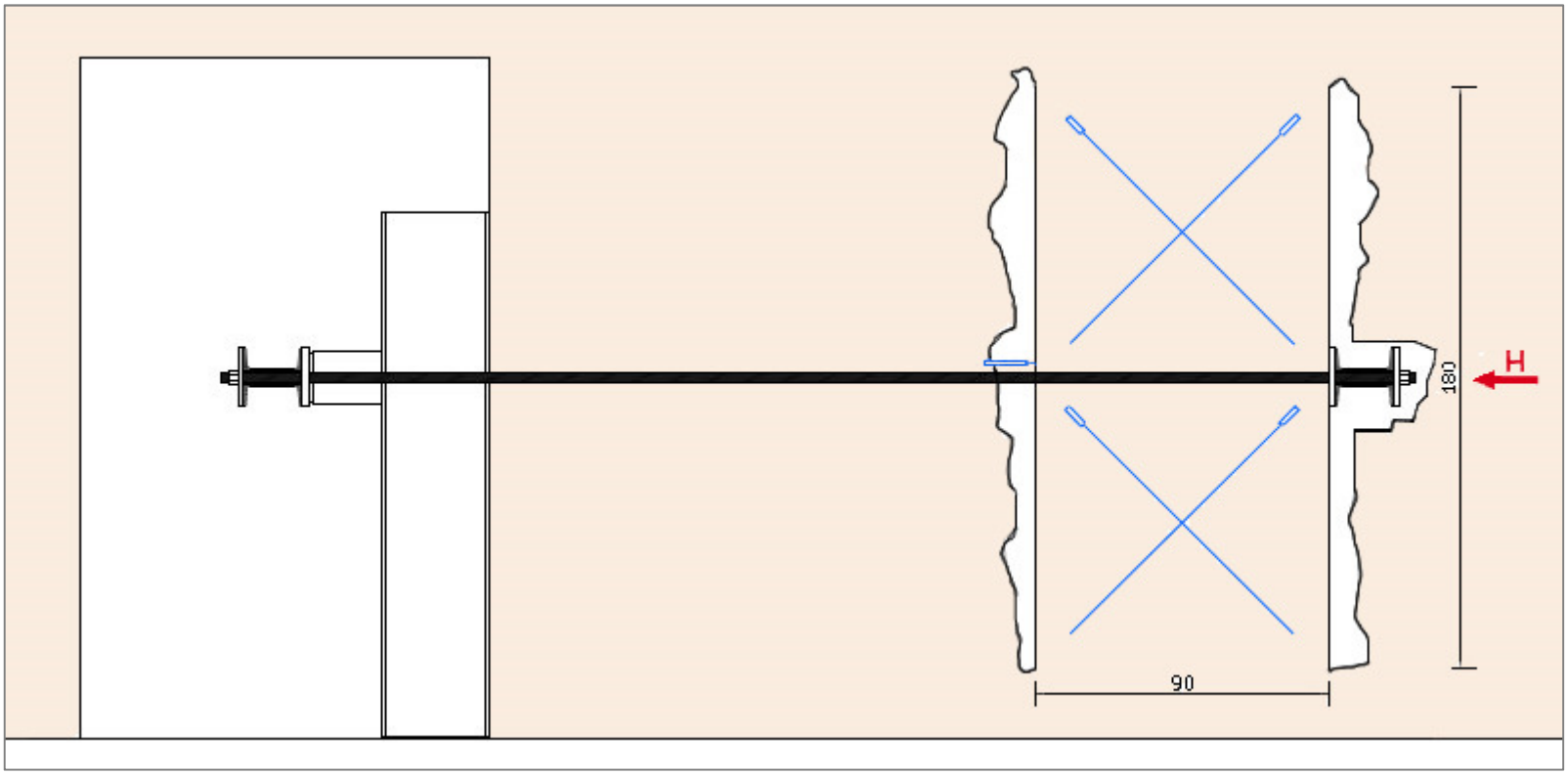
PANNELLO 19 e 20: Reticola Plus, connessioni passanti e non

PANNELLI 21 e 22: Reticola Twin, connessioni passanti

PANNELLI 15 e 16: Pannelli non rinforzati

Prove di compressione diagonale e taglio compressione

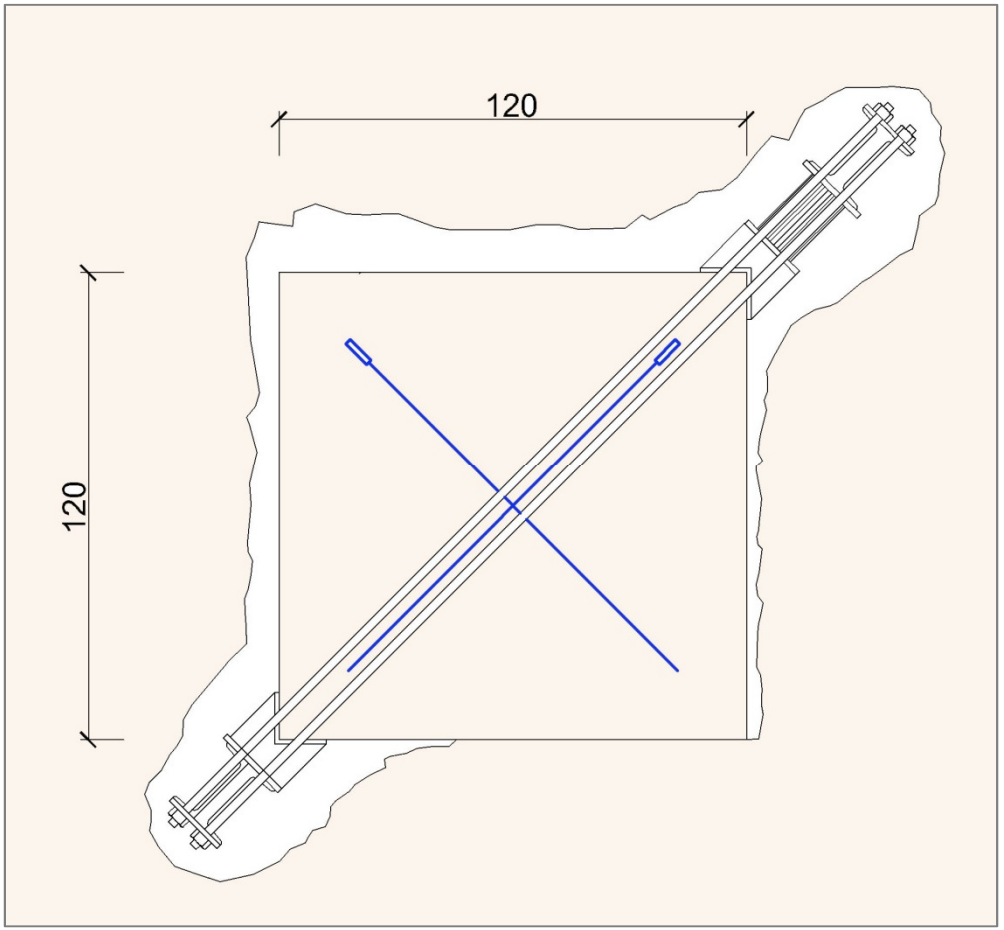
Colle Umberto (PG) - settembre 2012



Schema della prova di taglio-compressione con pressione di confinamento esistente

Prove di compressione diagonale e taglio compressione

Colle Umberto (PG) - settembre 2012



Schema della prova compressione diagonale

Prove di compressione diagonale e taglio compressione

Colle Umberto (PG) - settembre 2012

FASI ESECUTIVE DEL RINFORZO

1- Rimozione dell'intonaco esistente

2- Esecuzione delle perforazioni per i connettori trasversali

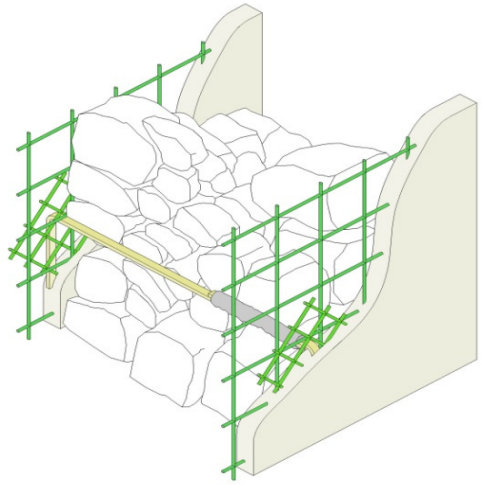
3- Disposizione della rete in GFRP e dei connettori trasversali

4- Applicazione della malta

Prove di compressione diagonale e taglio compressione

Colle Umberto (PG) - settembre 2012

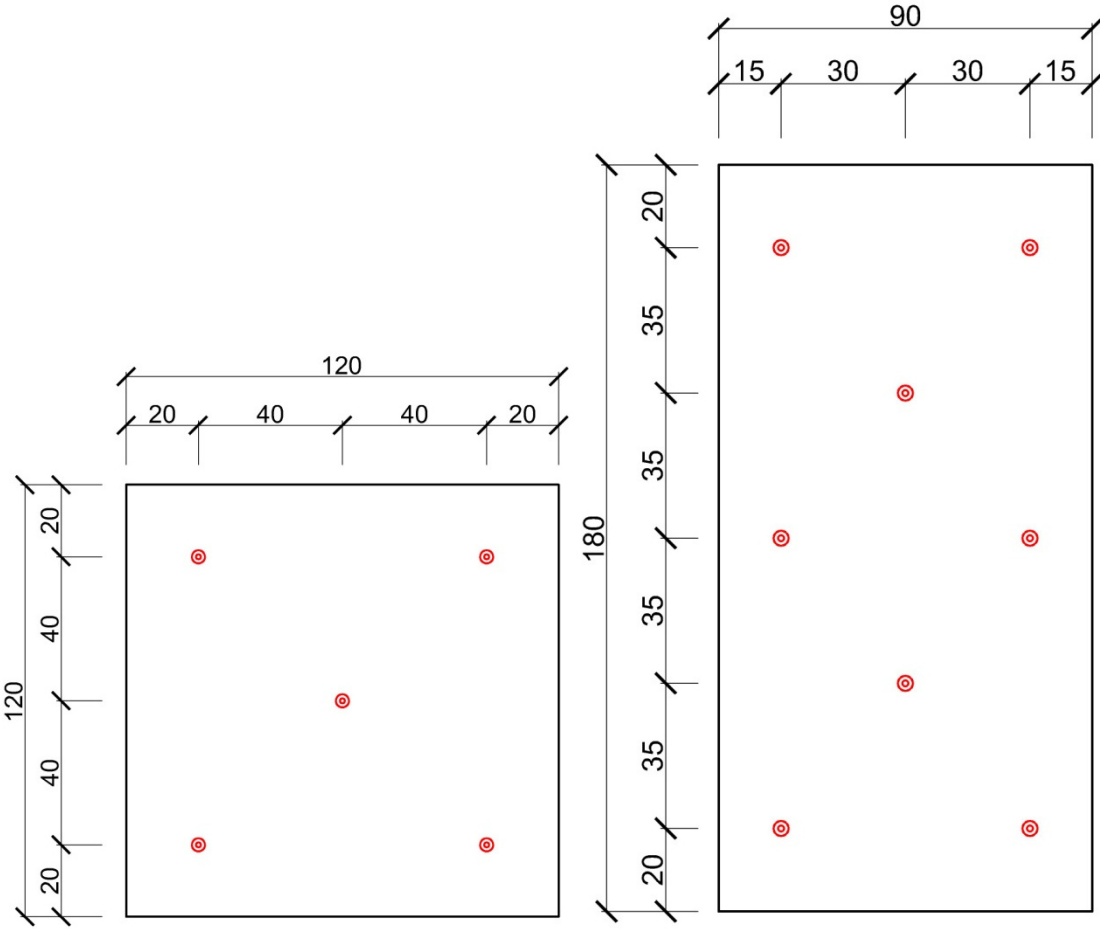
CARATTERISTICHE DEL RINFORZO



rete in GFRP: FB MESH 66x66T96 di FibreNet s.r.l

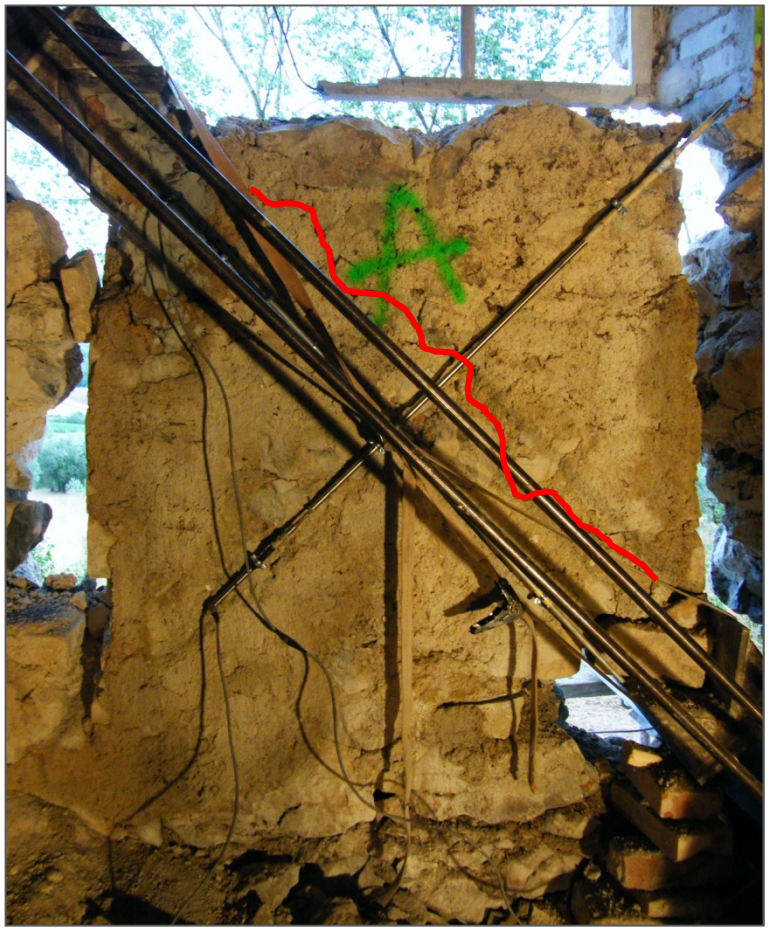
malta: dosaggio in volume:
1 parte di calce idraulica;
1 parte di cemento;
2 parti e ½ di sabbia
Resistenza a compressione:
20,64 MPa (11 gg di maturazione)

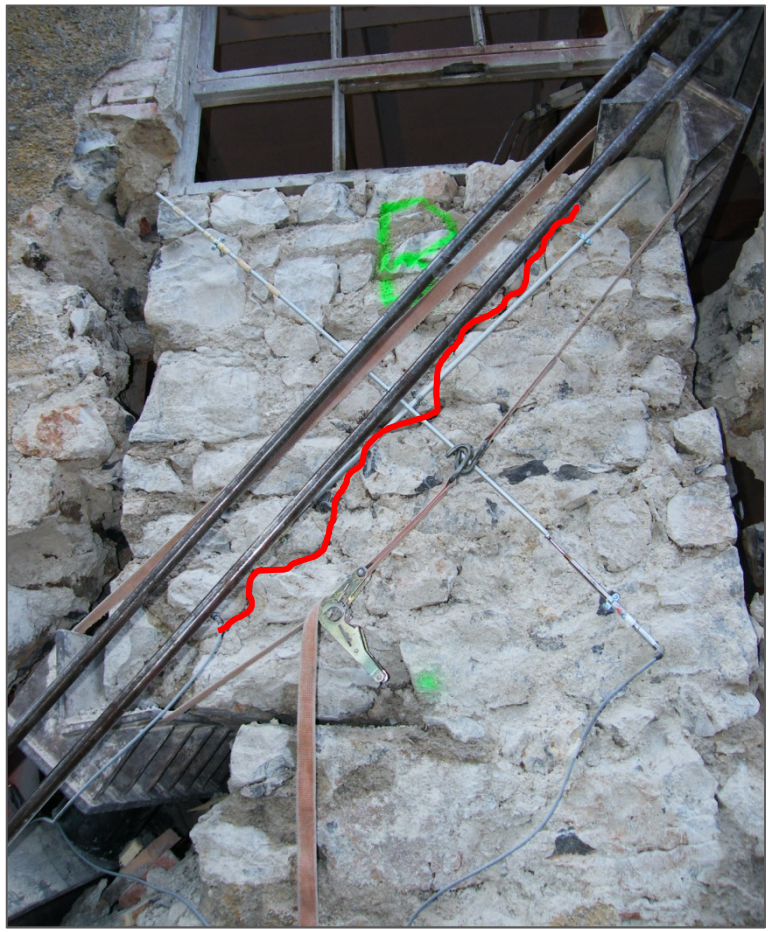
spessore medio intonaco: 35 mm



Prove di compressione diagonale su pannelli originari

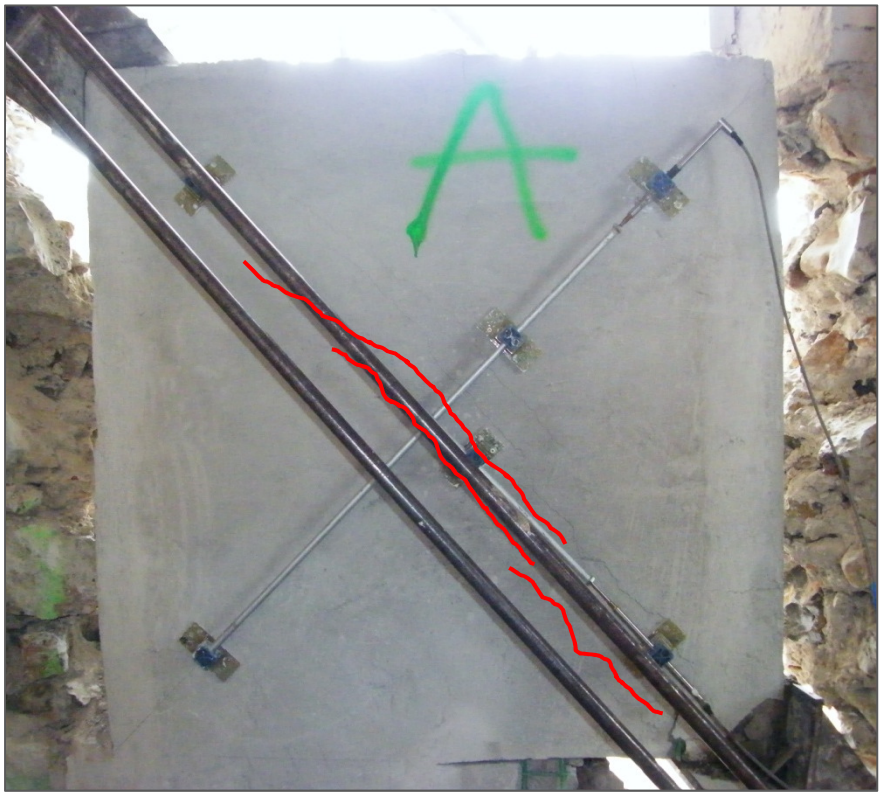
Colle Umberto (PG) - settembre 2012

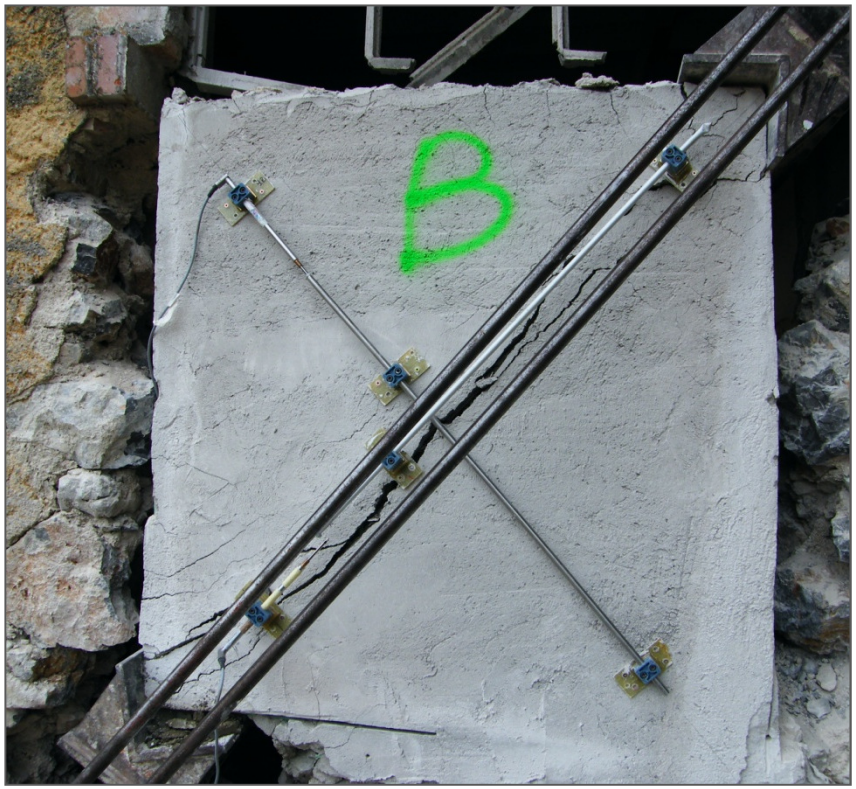




Prove di compressione diagonale su pannelli rinforzati

Colle Umberto (PG) - settembre 2012

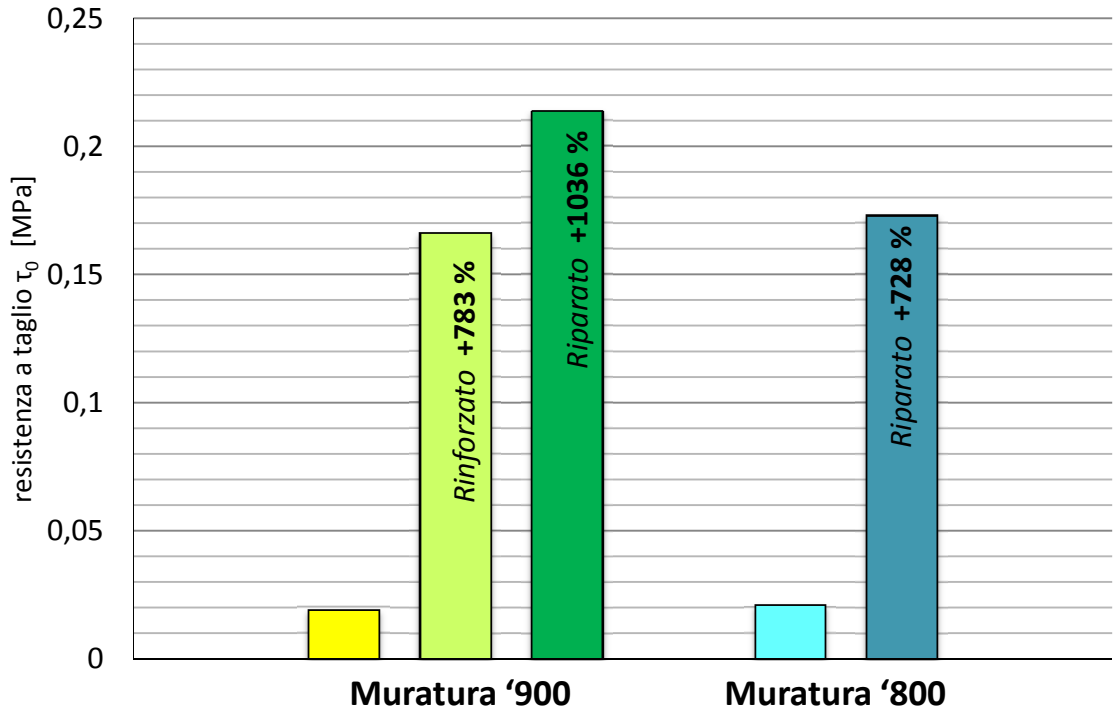




Prove di compressione diagonale – Risultati numerici

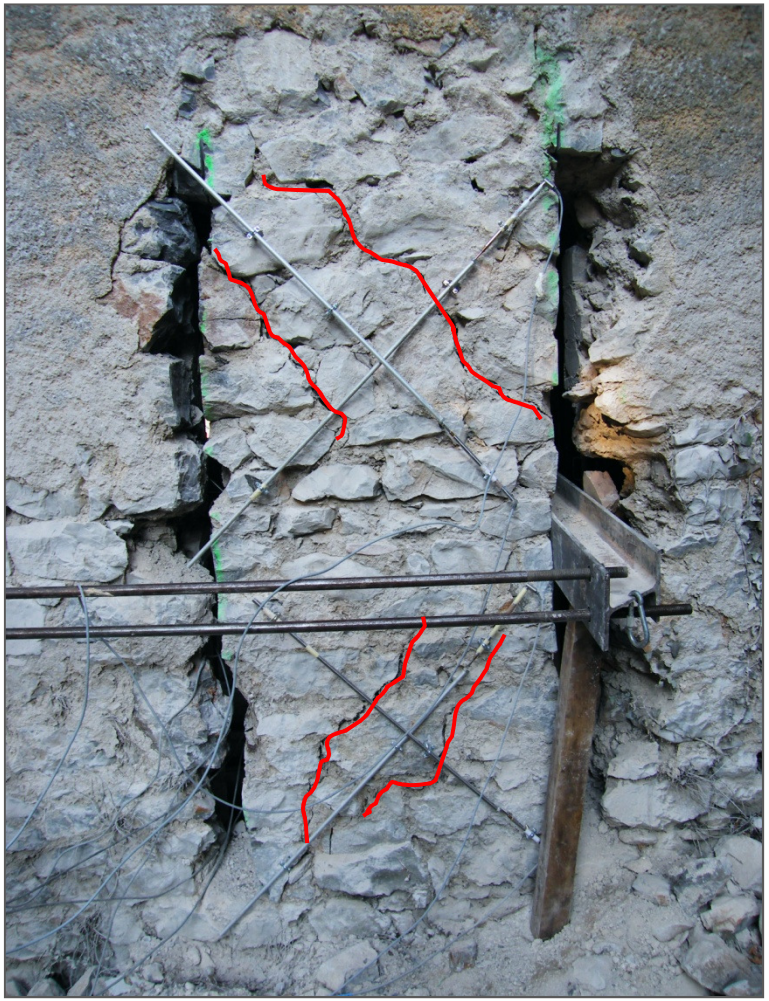
Colle Umberto (PG) - settembre 2012

Tipologia muraria	descrizione	Spessore murario [mm]	Carico ultimo [kN]	τ_0 [MPa]	Incremento τ_0 [%]
Muratura '900	*NON RINFORZATO*	480	31,20	0,0188	-
Muratura '900	*RINFORZATO*	570	333,40	0,1660	783
Muratura '900	*RIPARATO*	565	422,30	0,2136	1036
Muratura '800	*NON RINFORZATO*	670	44,10	0,0209	-
Muratura '800	*RIPARATO*	700	543,6	0,1730	728



Prove di taglio compressione su pannelli originari

Colle Umberto (PG) - settembre 2012



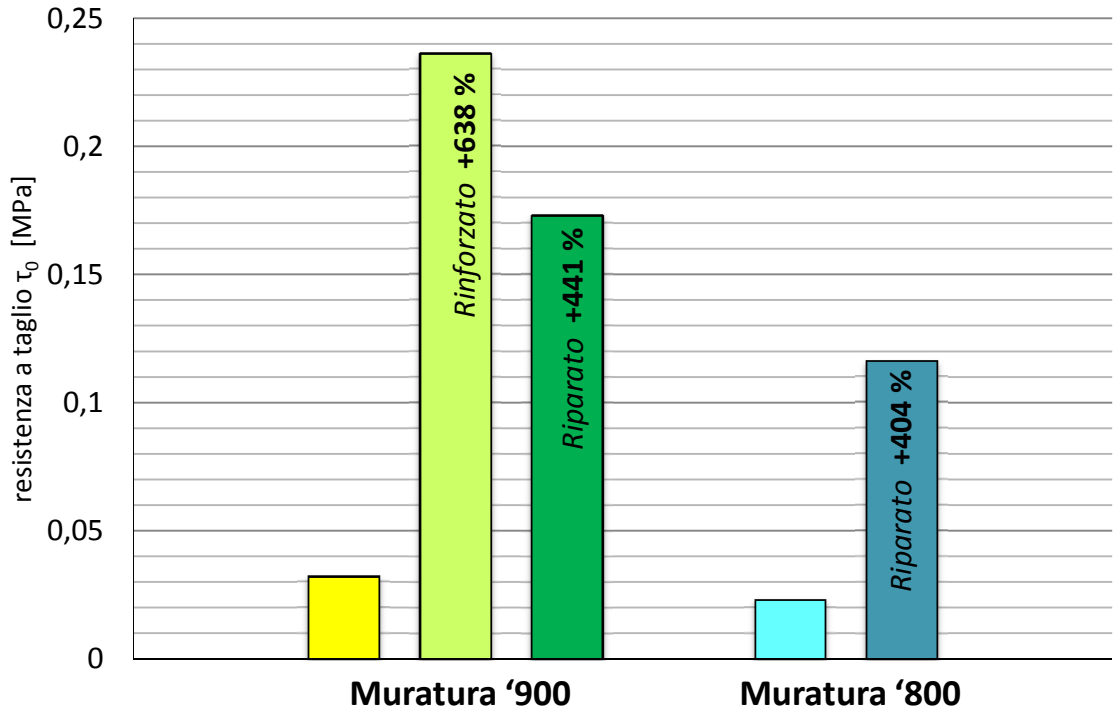
Prove di taglio compressione su pannelli rinforzati

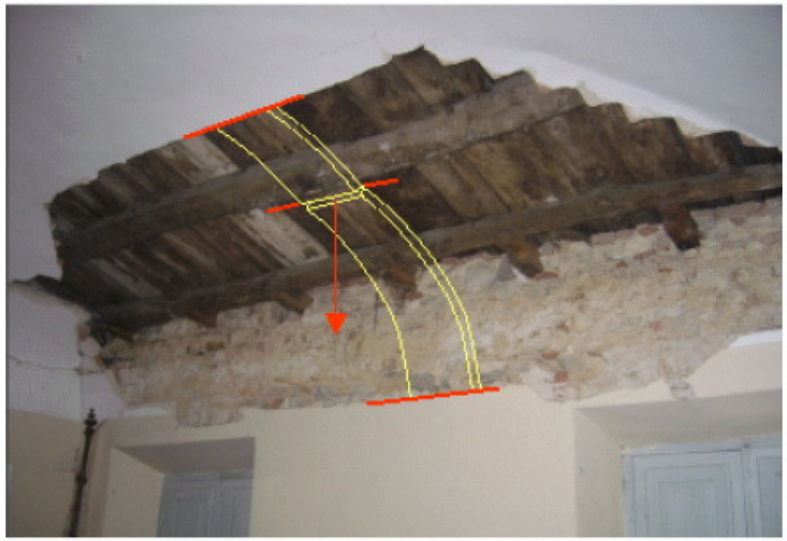
Colle Umberto (PG) - settembre 2012

Prove di taglio compressione – Risultati numerici

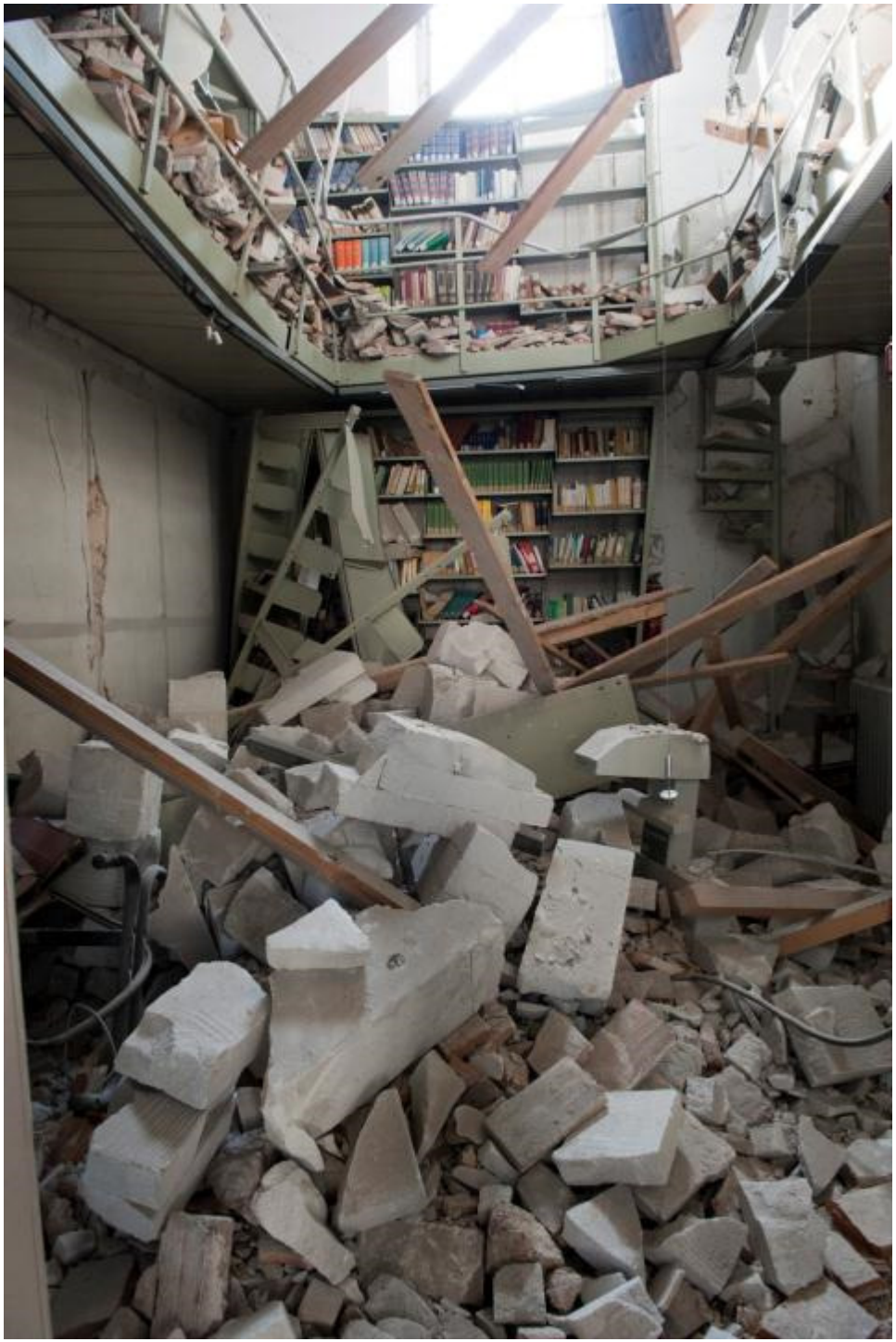
Colle Umberto (PG) - settembre 2012

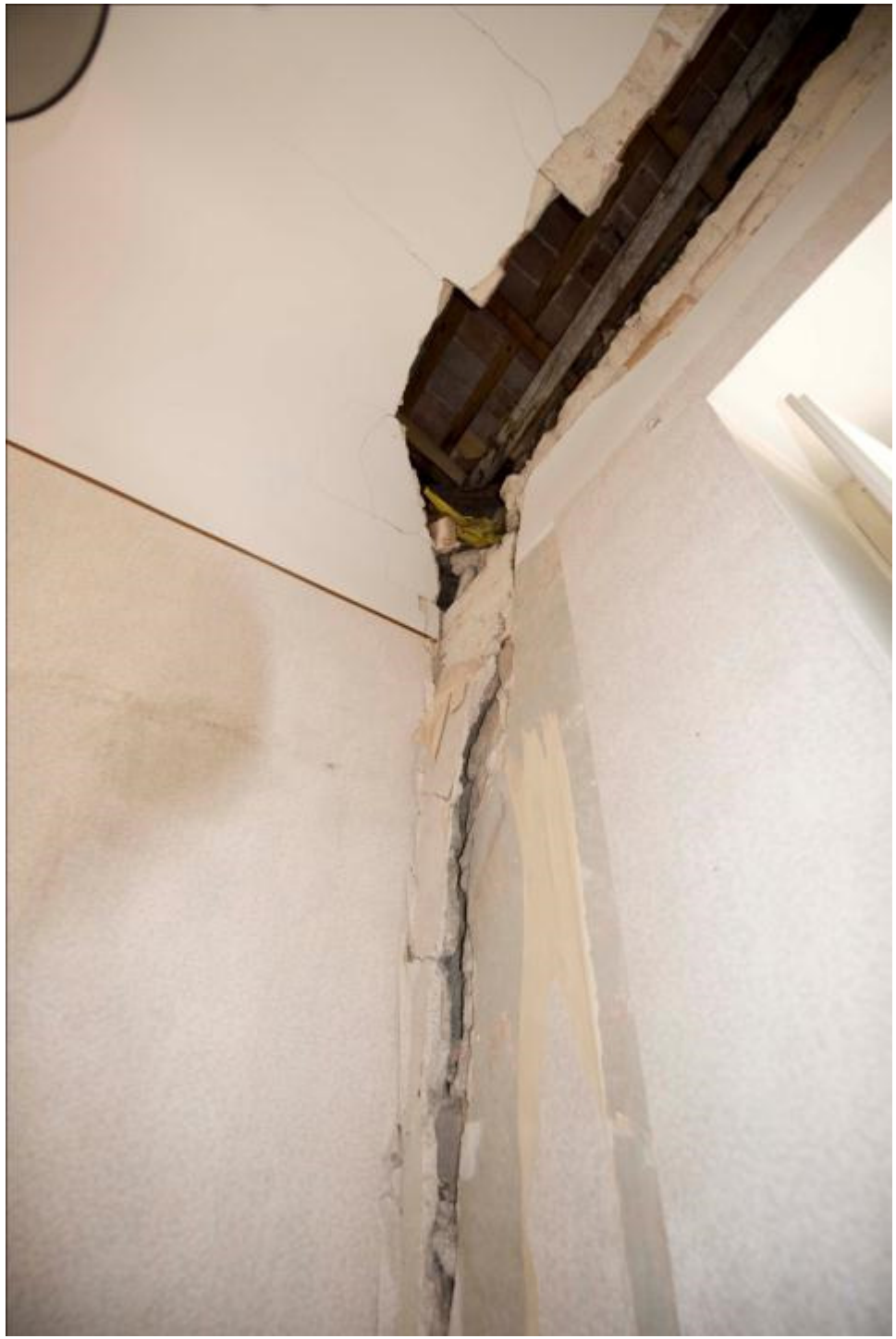
Tipologia muraria	descrizione	Spessore murario [mm]	Carico ultimo [kN]	Tensione compressione [MPa]	τ_0 [MPa]	Incremento τ_0 [%]
Muratura '900	NON RINFORZATO	480	36,06	0,1	0,032	-
Muratura '900	RINFORZATO	565	203,8	0,1	0,236	638
Muratura '900	RIPARATO	565	155,3	0,1	0,173	441
Muratura '800	NON RINFORZATO	600	36,9	0,1	0,023	-
Muratura '800	RINFORZATO	670	131,6	0,1	0,116	404





55) Collasso fragile del fuso di padiglione a livello del sottotetto sul lato del muro esterno, con indicazione del meccanismo resistente ad arco rampante riprodotto nello schema grafico.





Interventi definitivi
“VOLTE IN FOLIO”
interventi all’ estradosso
volte alla catalana

Claudio Renato Fantone

ANTONI GAUDÍ

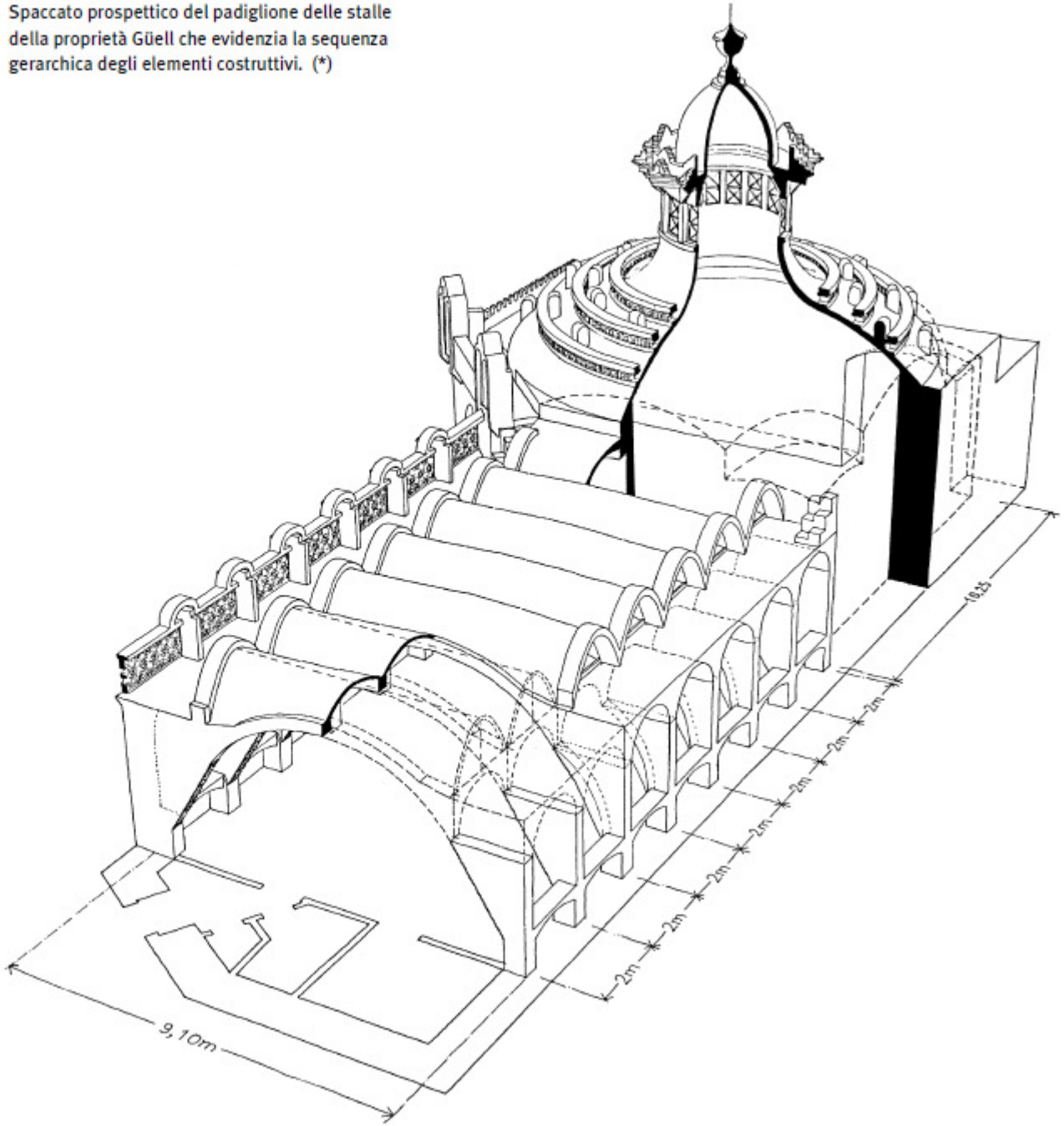
Le coperture di Gaudí

Nell'architettura gaudiana, la tettonica riveste un ruolo assai importante dal punto di vista funzionale, simbolico e formale. Impiegando, in maniera innovativa, tecniche costruttive tradizionali, il maestro catalano crea coronamenti di particolare effetto chiaroscurale e, nella fase matura, con l'uso esteso dell'arco parabolico e delle superfici rigate, realizza coperture di particolare suggestione

Padiglione delle stalle della proprietà Güell. Particolare di un elemento di raccordo del parapetto traforato. (*)

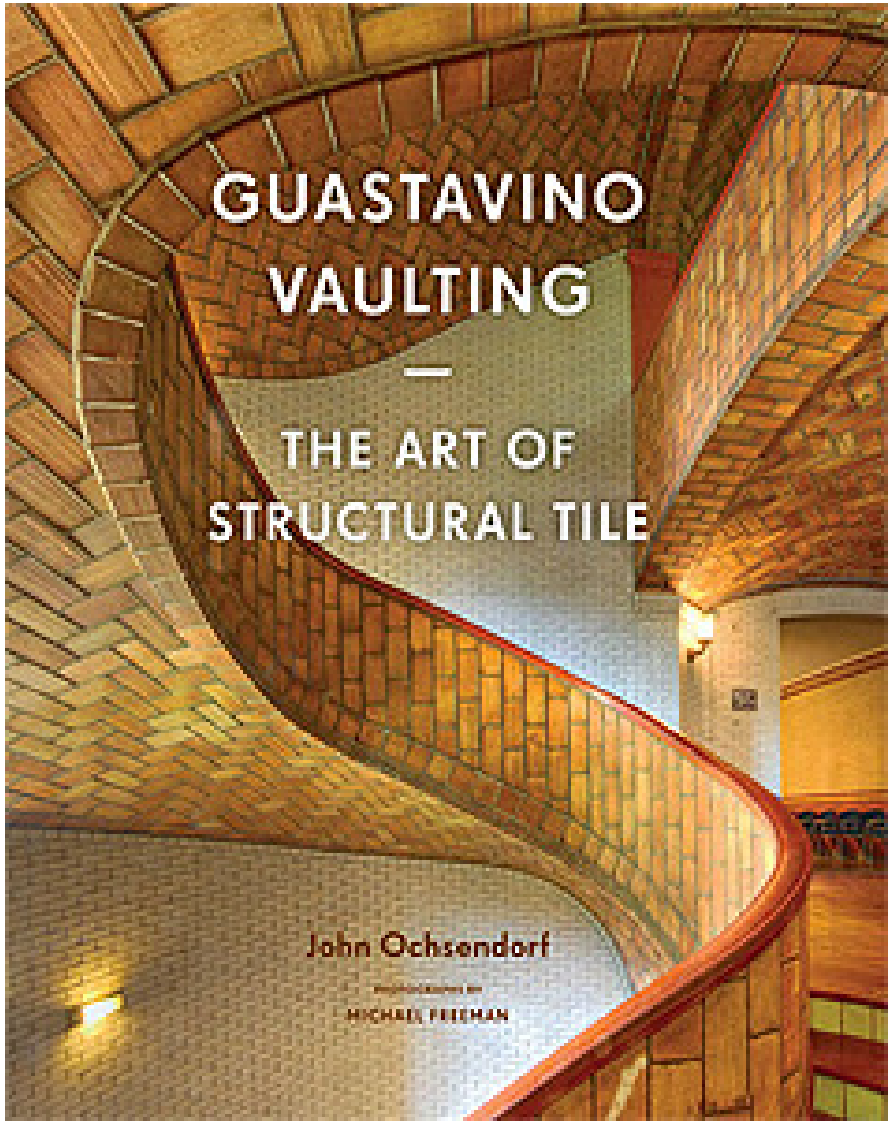
Particolare della soluzione d'angolo della copertura del maneggio per realizzare il deflusso a cielo aperto delle acque pluviali. (*)

Spaccato prospettico del padiglione delle stalle della proprietà Güell che evidenzia la sequenza gerarchica degli elementi costruttivi. (*)



Rafael Guastavino y Moreno 1842-1908

© James Emmett


GUASTAVINO
VAULTING
—
THE ART OF
STRUCTURAL TILE
John Ochsendorf
MICHAEL FREEMAN

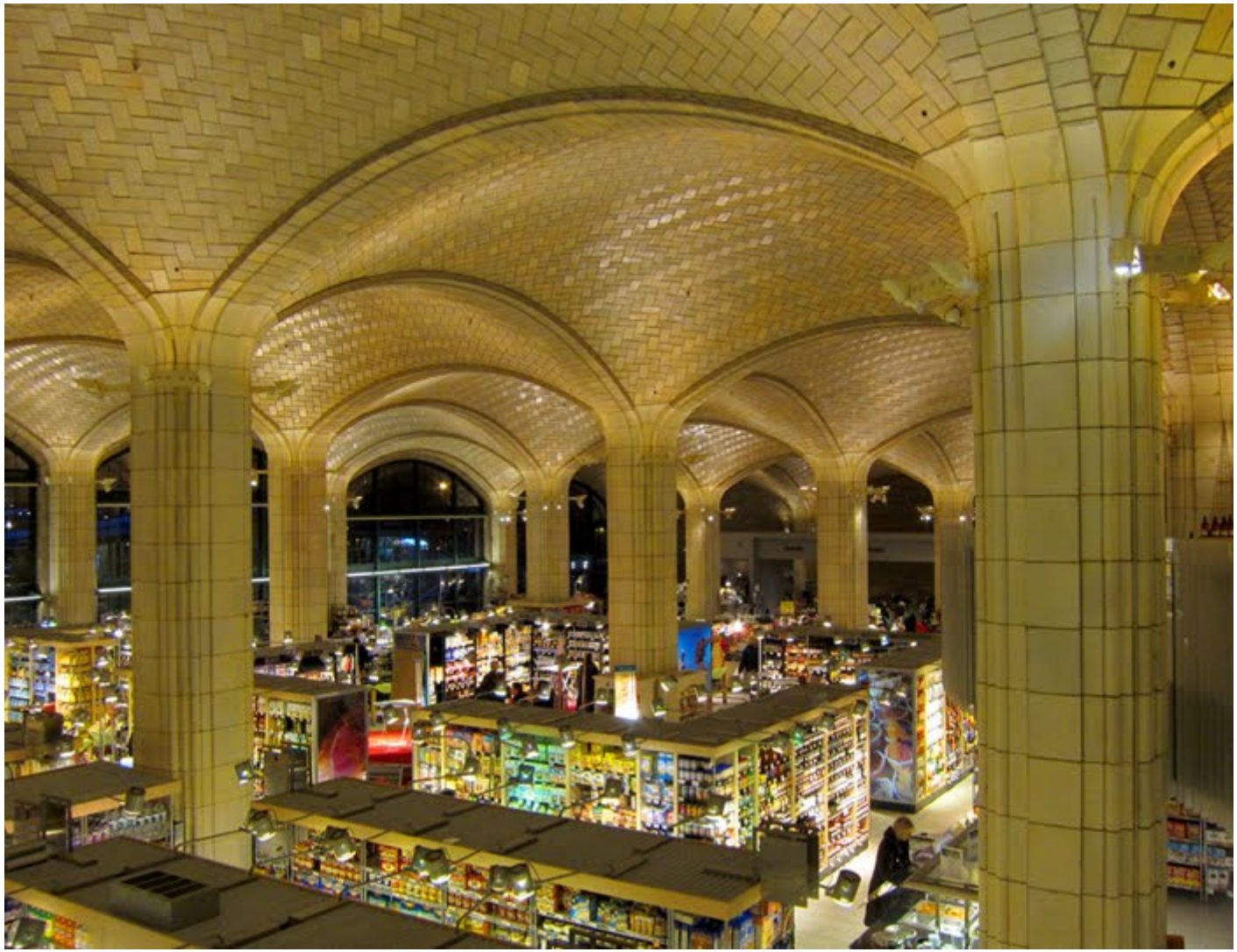
© www.hawkesarchitecture.co.uk

R. Guastavino. Immagine d'epoca raffigurante una fase delle prove di carico eseguite su modelli sperimentali di volte *tabicade* (1887-89).

Fase di costruzione di una volta *tabicada* a botte. Si noti lo scanso di appoggio eseguito sulla muratura e l'assenza di centine di supporto per la realizzazione del primo strato *(sencillo)* murato con pasta di gesso.

Intervento di ristrutturazione edilizia, Fano, 1993. Volta *tabicada* rampante a tre strati con mattonelle di cotto (cm 14x28x2) murate con pasta di gesso per il primo strato e tavelline forate (cm 25x12,5x3) legate con malta di calce. Progetto e costruzione: R. Gulli, G. Mochi, T. Piemontese.

Intervento di ristrutturazione edilizia eseguito su un edificio a schiera, Mombaroccio, Pesaro, 1995. Fase di costruzione di una scala *tabicada* a tre strati eseguita con mattonelle di cotto (14x28x2). Progetto e costruzione: R. Gulli, G. Mochi, T. Piemontese.

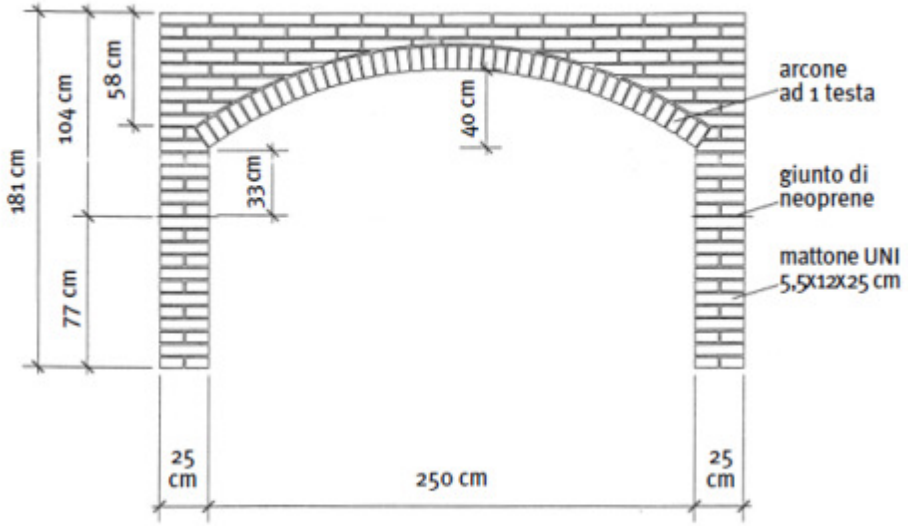


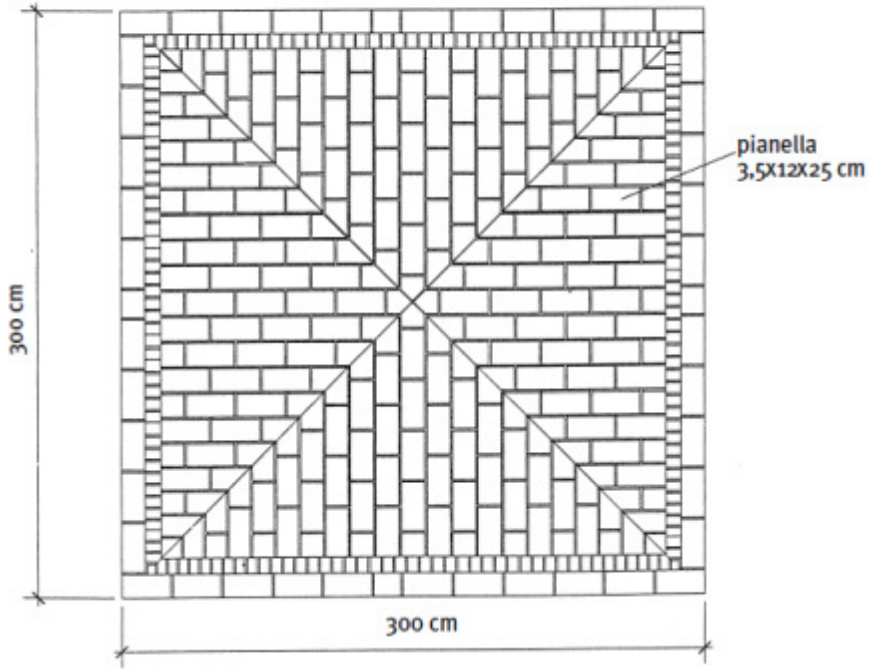
Riccardo Gulli
Giovanni Mochi

Il recupero delle volte *in folio* attraverso la costruzione *tabicada*

Il carattere peculiare e le sorprendenti potenzialità espresse da una antica tecnica costruttiva catalana – la tecnica *tabicada* – è rintracciabile all'interno di alcune specificità della tradizione costruttiva italiana. L'ipotesi di una sua riattualizzazione come tecnica di intervento per il recupero delle volte *in folio* portanti costituisce l'obiettivo della sperimentazione costruttiva descritta in questa ricerca

A. Gaudì. Le Scuole della Sagrada Famiglia, 1909. Immagine d'epoca.

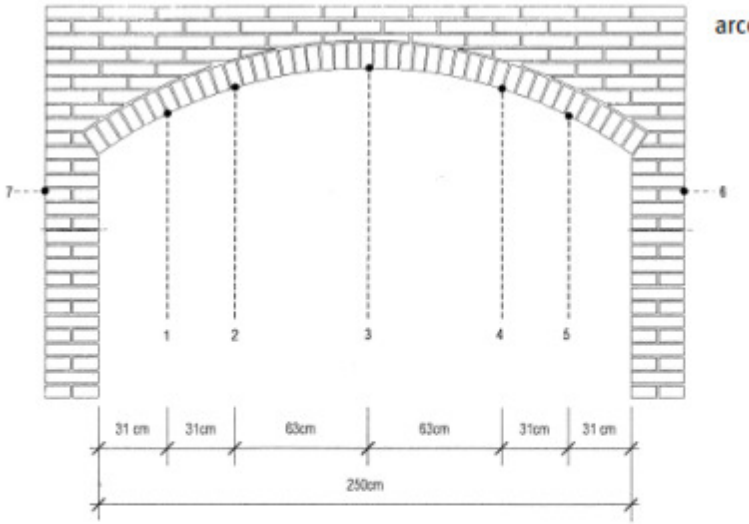


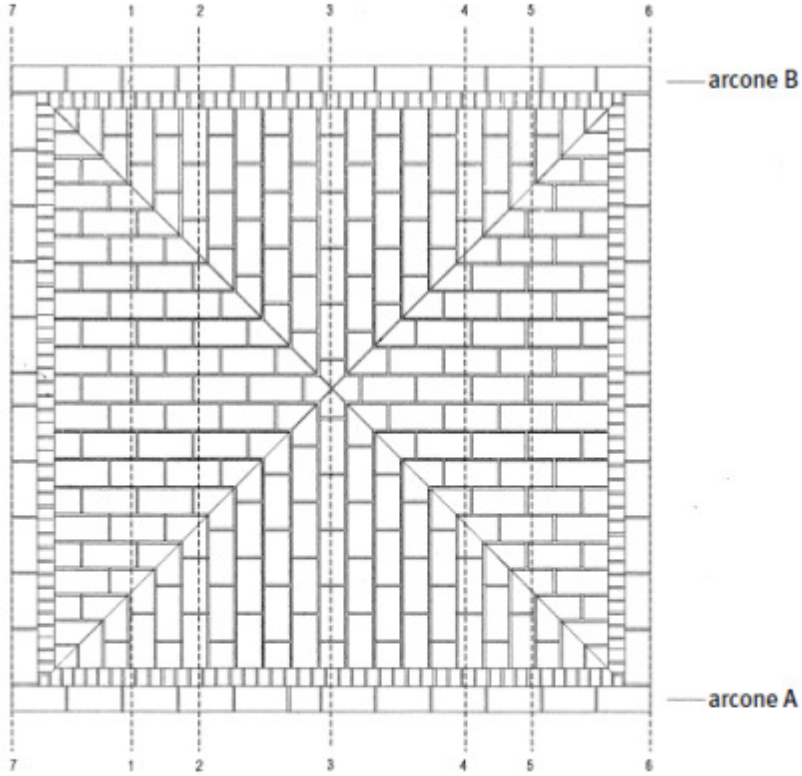


Disegni di progetto del modello sperimentale.

Posizionamento dell'accelerometro fisso sull'intradosso della volta *in folio* per le prove di caratterizzazione dinamica.

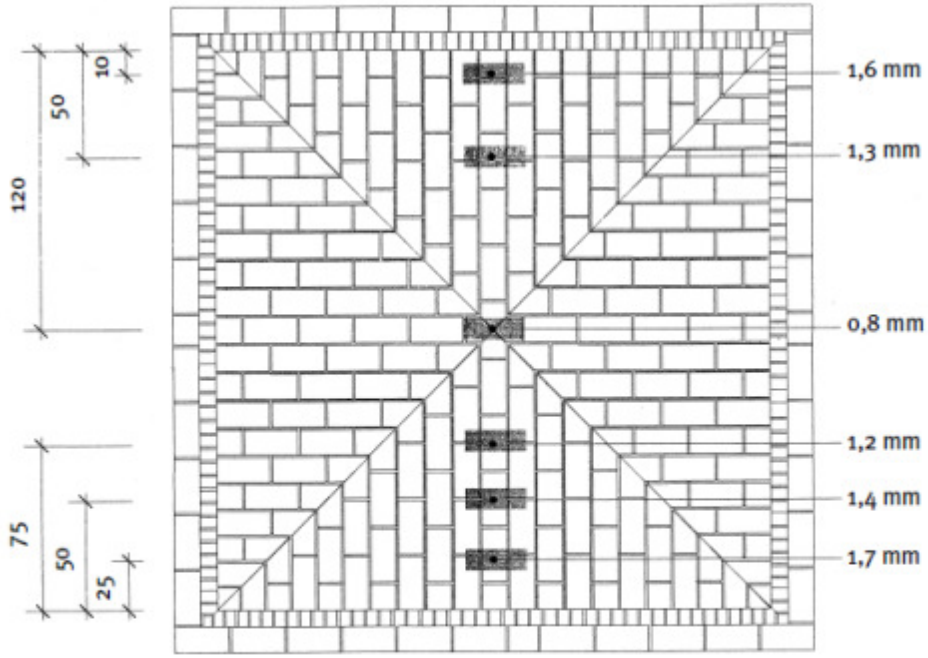
La costruzione del modello sperimentale. Fase di realizzazione della volta *in folio* eseguita in pianelle delle dimensioni di 3,5 x 112 x 25 cm murate con pasta di gesso.





Localizzazione dei comparatori centesimali per il rilievo degli spostamenti.

Fase di lesionamento del modello eseguita con una linea di carico estradossale lungo la chiave di volta e con spostamento indotto delle imposte.

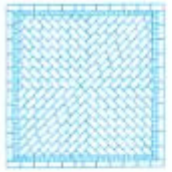


Rilievo delle lesioni sulla volta *in folio* e sugli arconi.

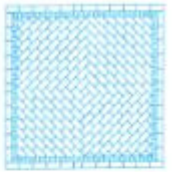
Fase di recupero della volta *in folio* con sovrapposizione del primo strato di pianelle estradossali.

Operazioni di sigillatura delle lesioni sugli arconi eseguite con malta espansiva.

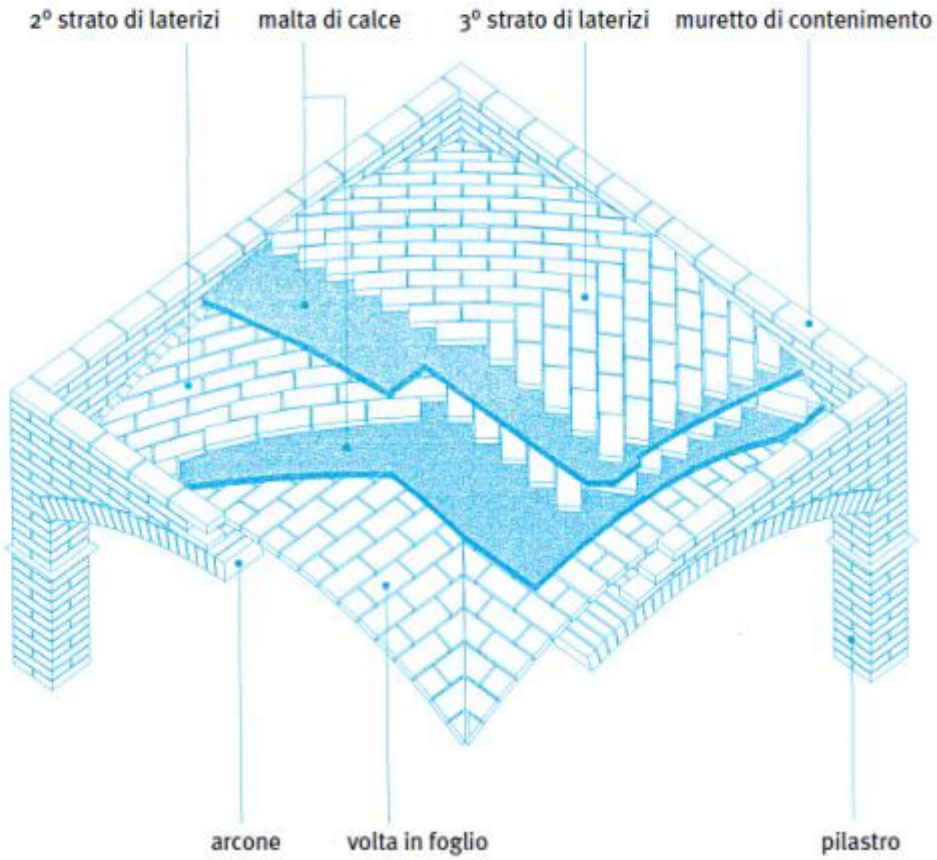
pianta volta in foglio



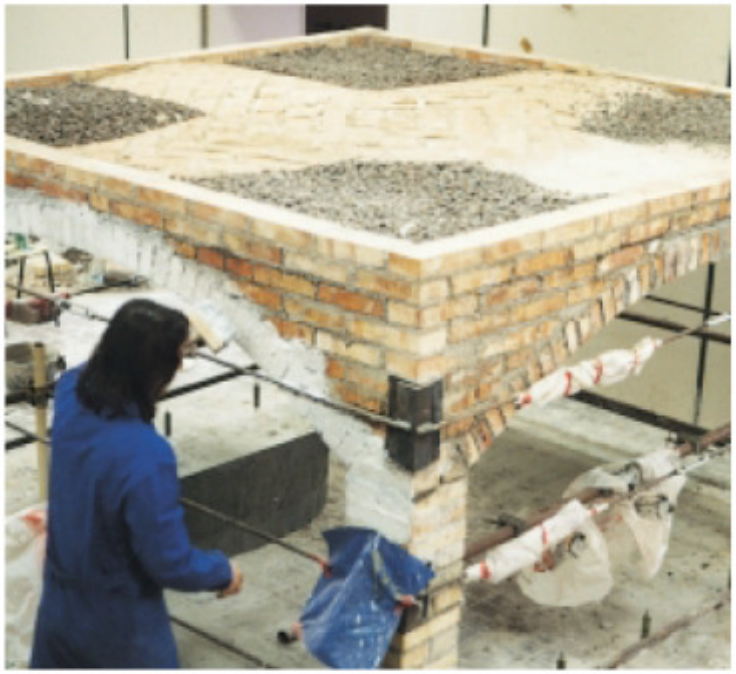
pianta 2° strato



pianta 3° strato



Spaccato assonometrico del modello della volta restaurata con la tecnica *tabicada*.

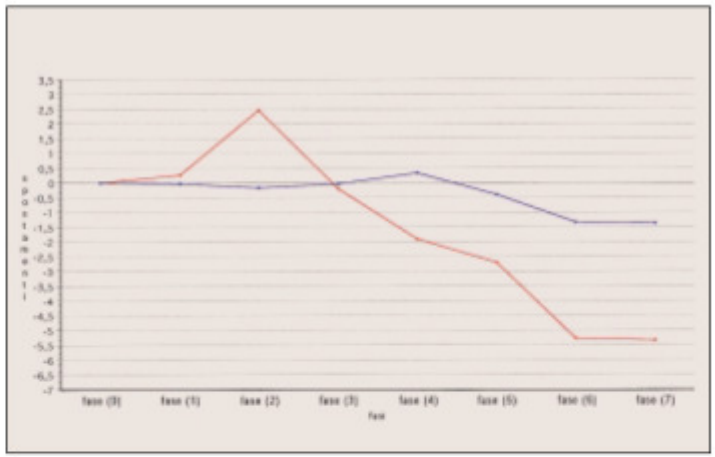


Vista del modello restaurato. I rinfianchi sono costituiti da materiale incoerente a base di argilla espansa.

La fessura prodotta sulla chiave dell'arco dopo la seconda prova di lesionamento eseguita sul modello restaurato.

Spostamenti subiti dalla chiave dell'arcone A e dal cervello della volta nelle fasi di carico e scarico, prima e dopo l'intervento di recupero. Si evidenzia con chiarezza il contributo migliorativo offerto dall'intervento di recupero strutturale.

La chiave dell' arcone A.

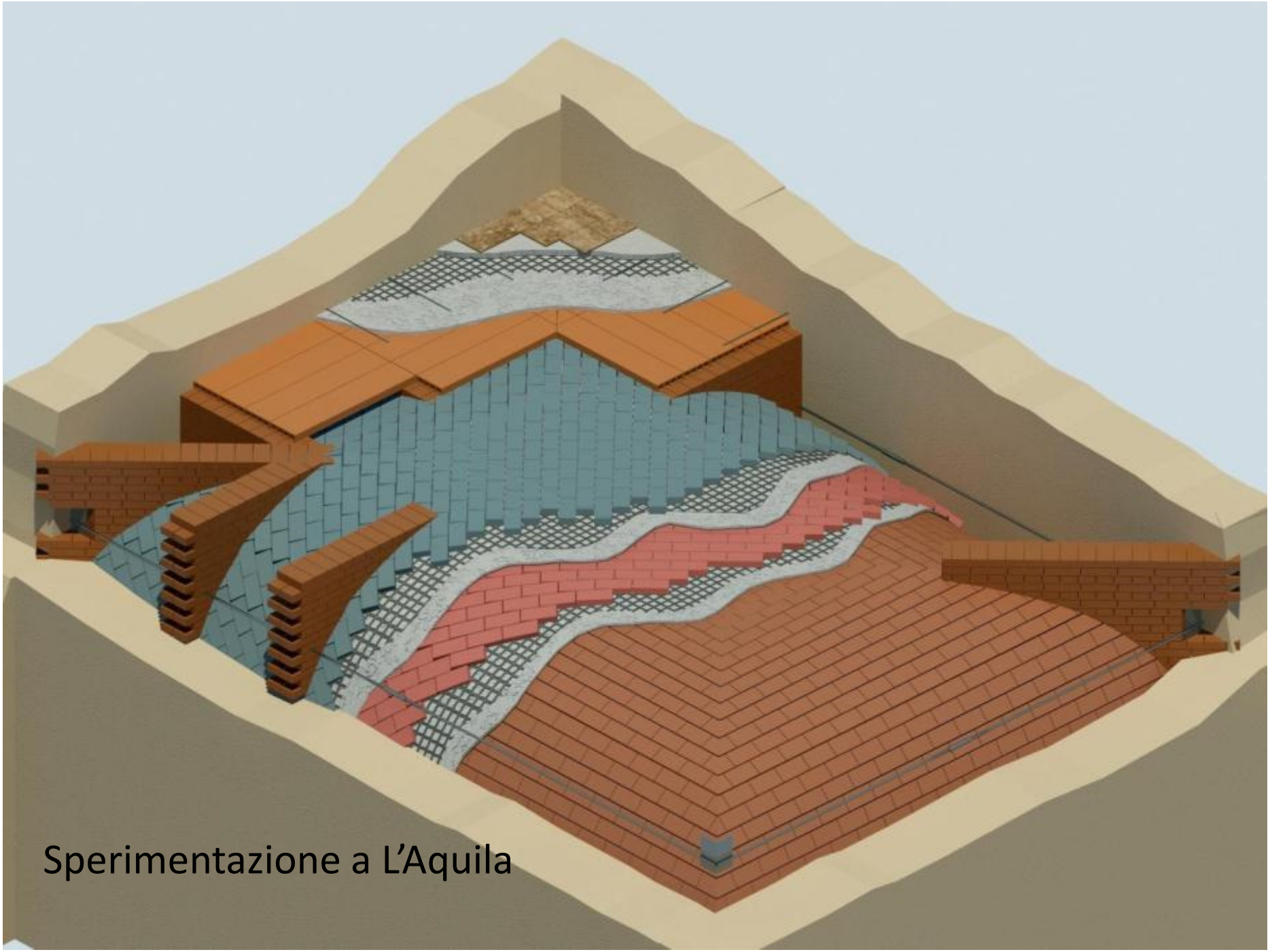


Legenda:

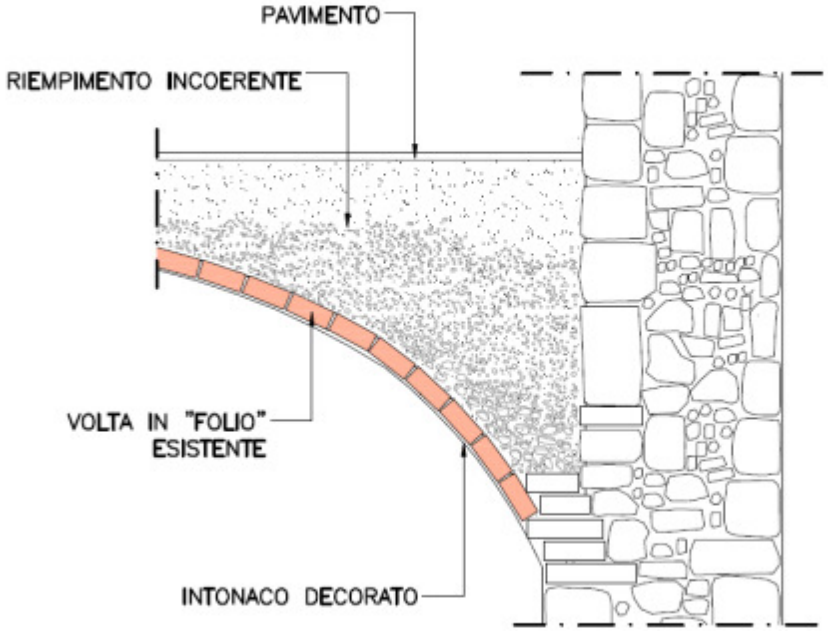
volta in foglio

dopo il restauro

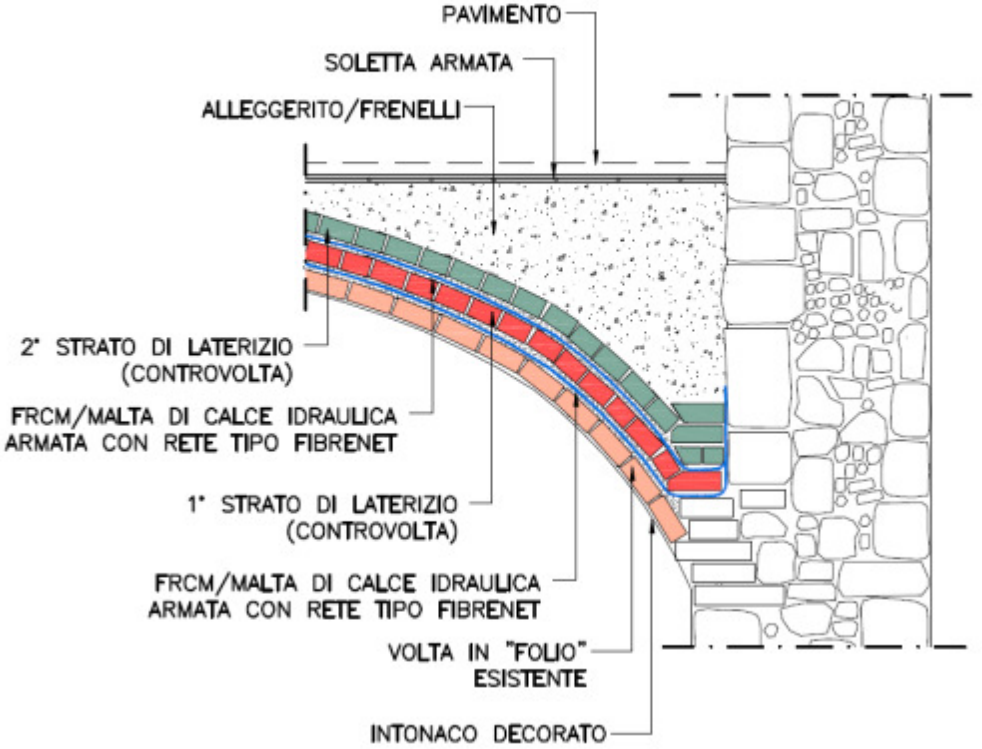
Il cervello della volta.

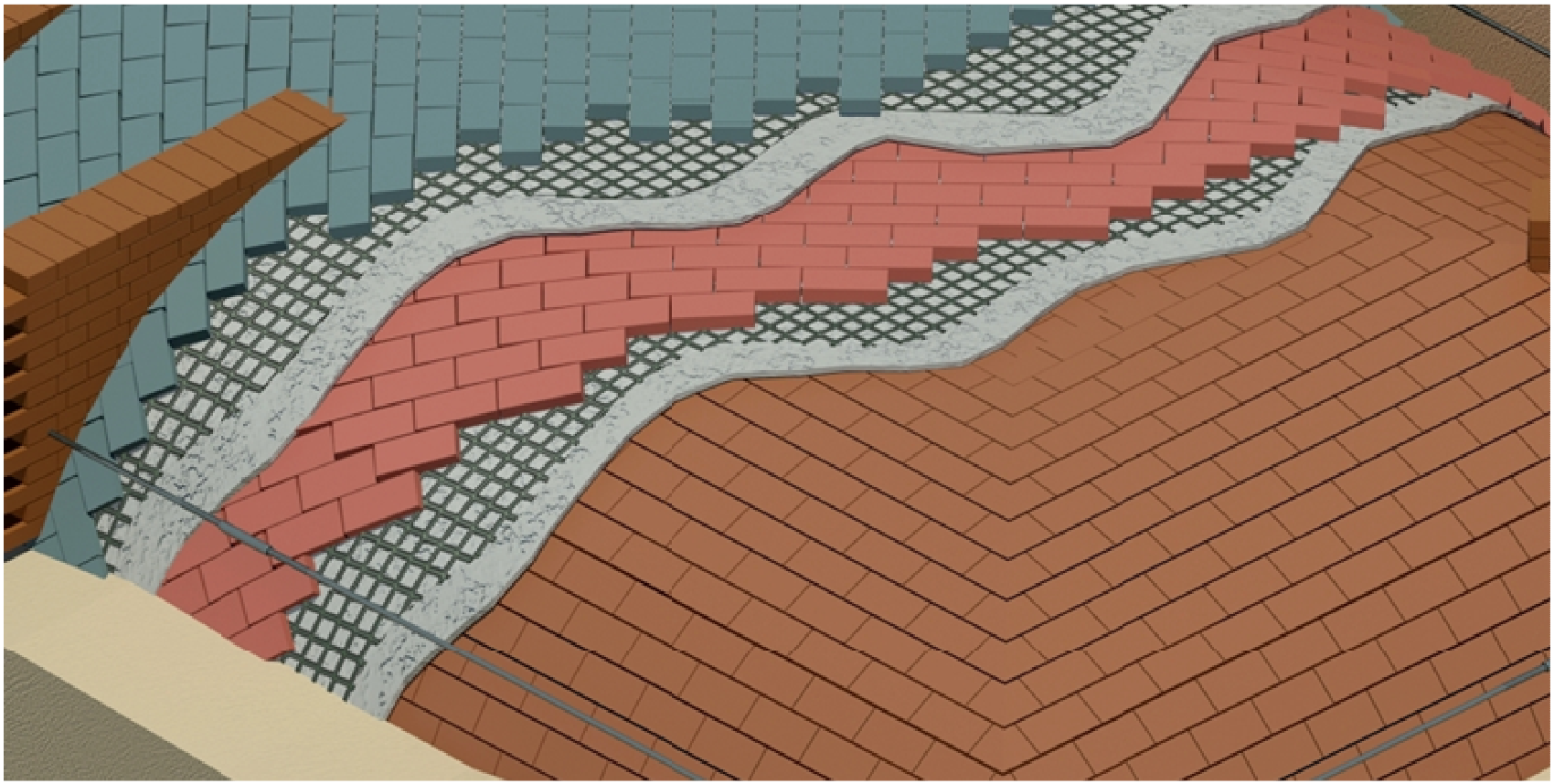

Sperimentazione a L’Aquila

STATO DI FATTO



RINFORZO





Prove in corso a L’Aquila
(realizzazione e prova al collasso di una volta)

Nel frattempo …..

SAM_3157
02:00
16:22
02/02/2013

SAM_3157
02:53

SAM_3157
03:48
16:26
02/02/2013

SAM_3157
04:47
16:28
02/02/2013

SAM_3157
04:47
16:28
02/02/2013

SAM_3157
04:47
16:28
02/02/2013