

**IL RAFFORZAMENTO DI STRUTTURE IN
MURATURA CON IL METODO CAM:
*dal progetto alla verifica sperimentale dell'efficacia
dell'intervento***

"Dal Terremoto di Messina al Crollo del Ponte Morandi"

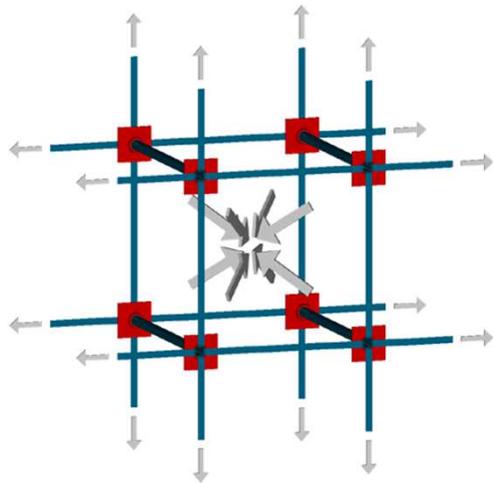
Taormina (ME), 07-08 Novembre 2019

Nino Spinella

CAM: Cucitura Attiva dei Manufatti



Avvolgimento dell'elemento murario con nastri in acciaio **pretesi**, anche passanti, e forature con schema a quinconce



CAM: Cucitura Attiva dei Manufatti

Piastre imbutite 125x125x4 mm



Angolari in acciaio 60x60x6 mm



Nastri in acciaio 19x0.9-1 mm
 $f_{yk} > 220 \text{ Mpa}$
 $f_{yk} > 500 \text{ MPa}$



In.CAM.M.I.N.O.

Innovazione del CAM Mediante Impiego di Nuove Opzioni di processo

Programma Operativo 2007-2013 – FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE- Investiamo nel vostro futuro – **L'Europa cresce in Sicilia**



- ✓ **Chimetec s.a.s.** Ragusa
- ✓ **Adeguamento Beni Immobili S.r.l.** Ragusa
- ✓ **Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica, Edile, Ambientale e Matematica Applicata** Università degli Studi di Messina

Ubicazione degli edifici



Strutture disponibili



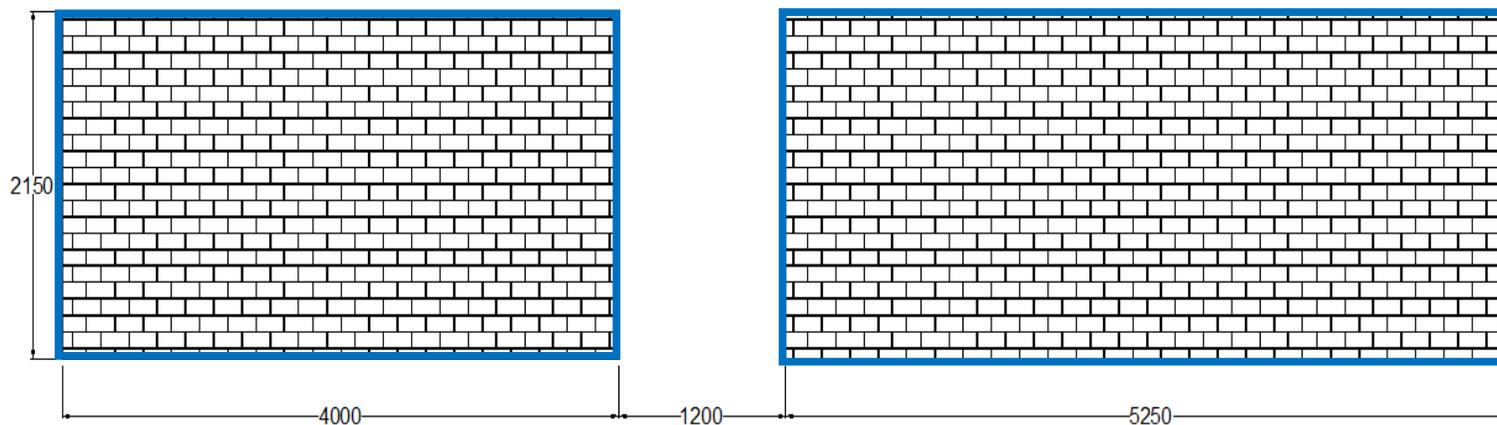
Pannelli

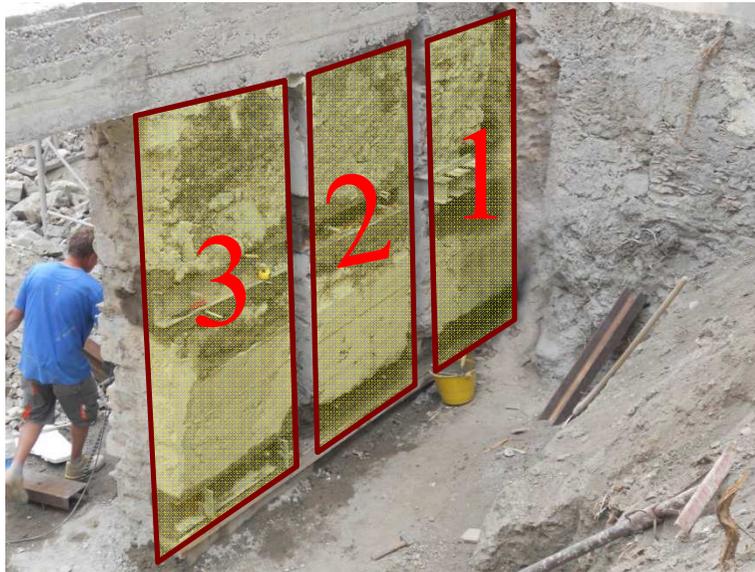
**Parete con apertura a
forma di arco**

Stato di fatto



Spessore medio: 50 cm

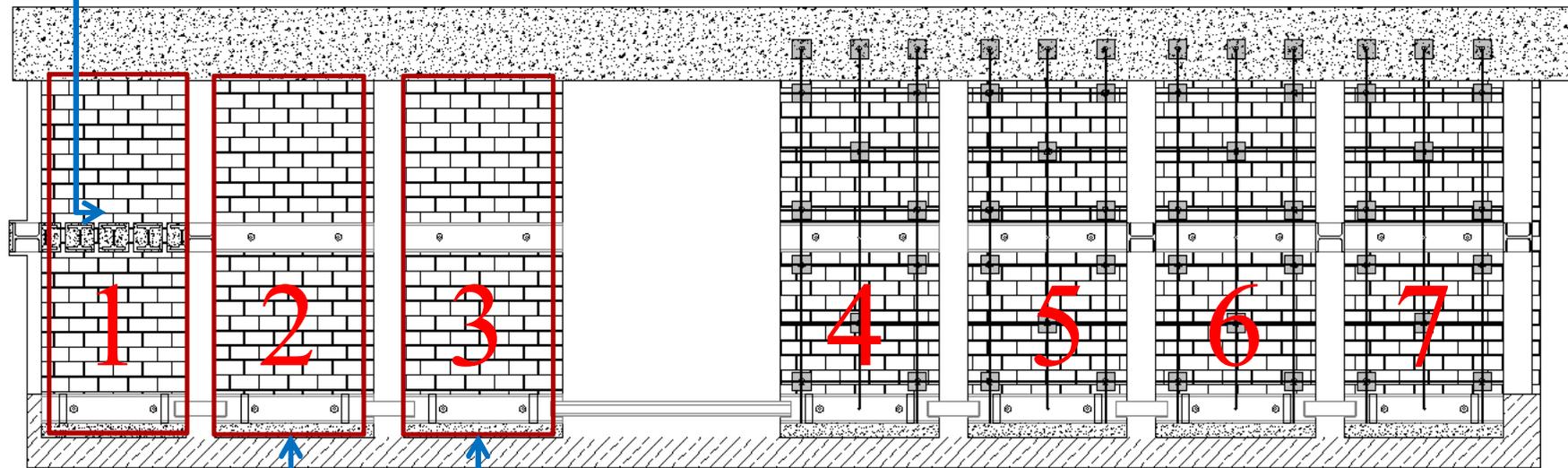




Inserimento profili metallici



PANNELLO 1:
Caratterizzazione meccanica della muratura in compressione



PANNELLO 2:
Non rinforzato

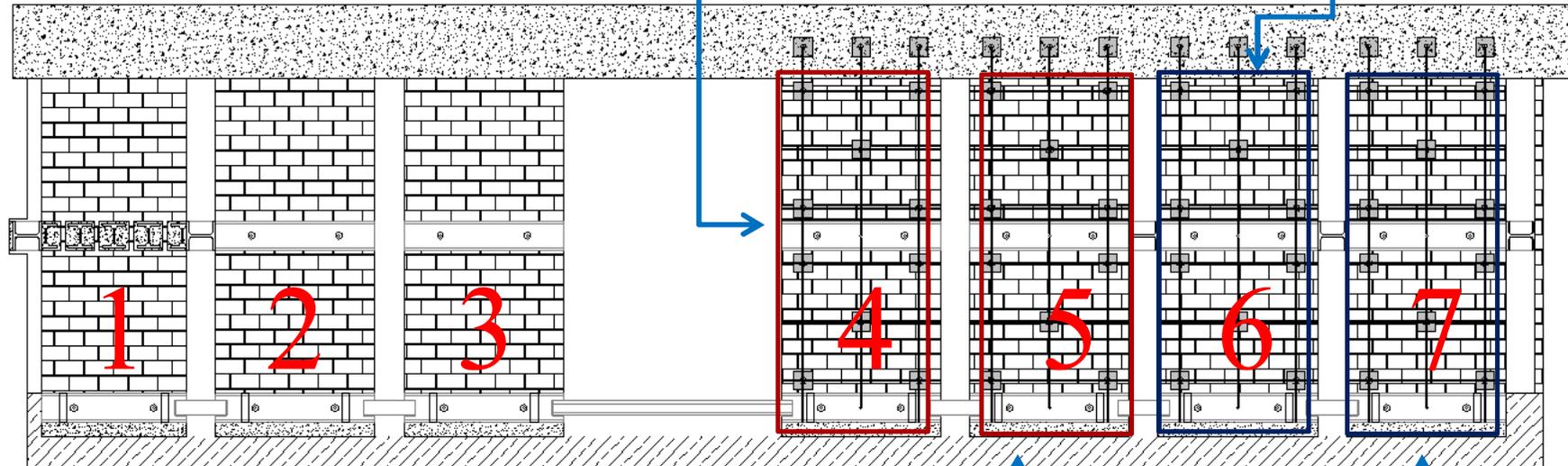
PANNELLO 3:
Rete polimerica a maglia quadrangolare 51x71 mm –
Resistenza a trazione 15 kN/m

PANNELLO 4: CAM

n. 2 nastri orizz. AISI 304 ($f_{yk}=220\text{MPa}$)
n. 2 nastri vert. AISI 304 ($f_{yk}=220\text{MPa}$)

PANNELLO 6: CAM

n. 2 nastri orizz. AISI 304 C850 ($f_{yk}=500\text{ Mpa} - f_{tk}=850\text{ MPa}$)
n. 2 nastri vert. AISI 304 ($f_{yk}=220\text{MPa}$)



PANNELLO 5: CAM

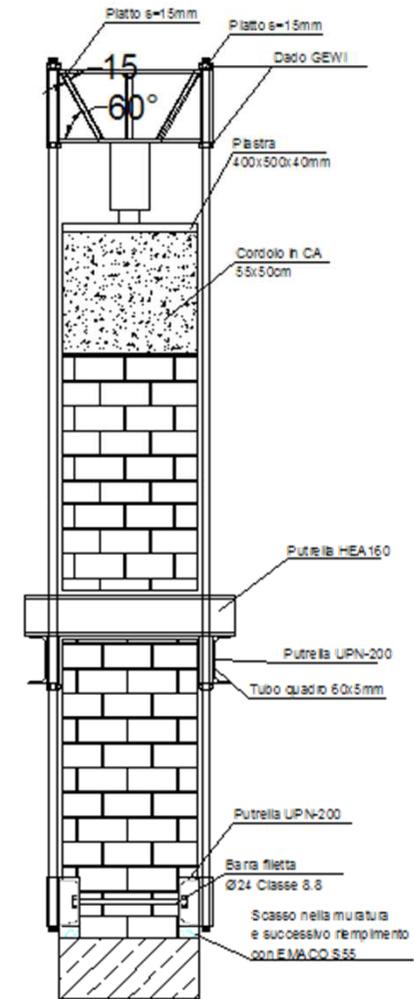
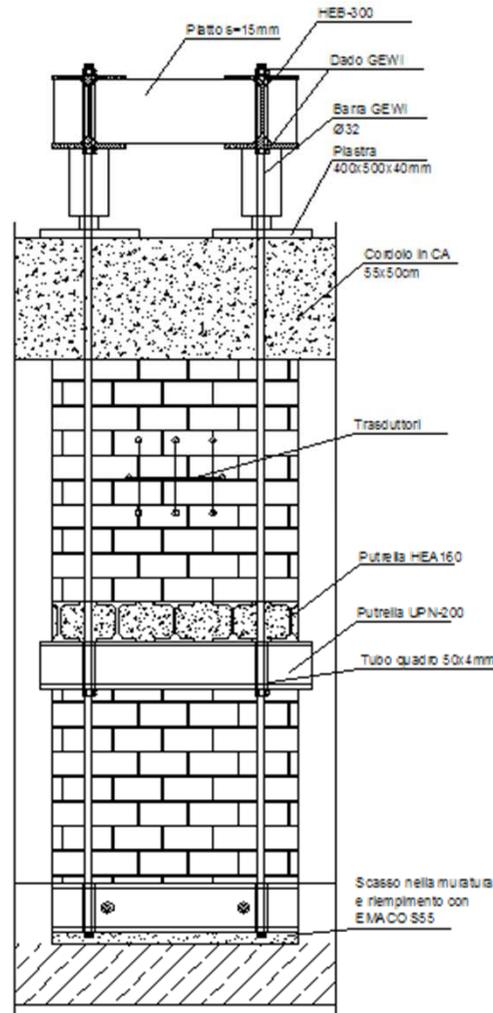
n. 2 nastri orizz. AISI 304 ($f_{yk}=220\text{MPa} - f_{tk}=540\text{ MPa}$)
n. 2 nastri vert. AISI 304 ($f_{yk}=220\text{MPa}$)
rete polimerica a maglia quadrangolare

PANNELLO 7: CAM

n. 2 nastri orizz. C850 ($f_{yk}=500\text{MPa}$)
n. 2 nastri vert. AISI 304 ($f_{yk}=220\text{MPa}$)
rete polimerica a maglia quadrangolare

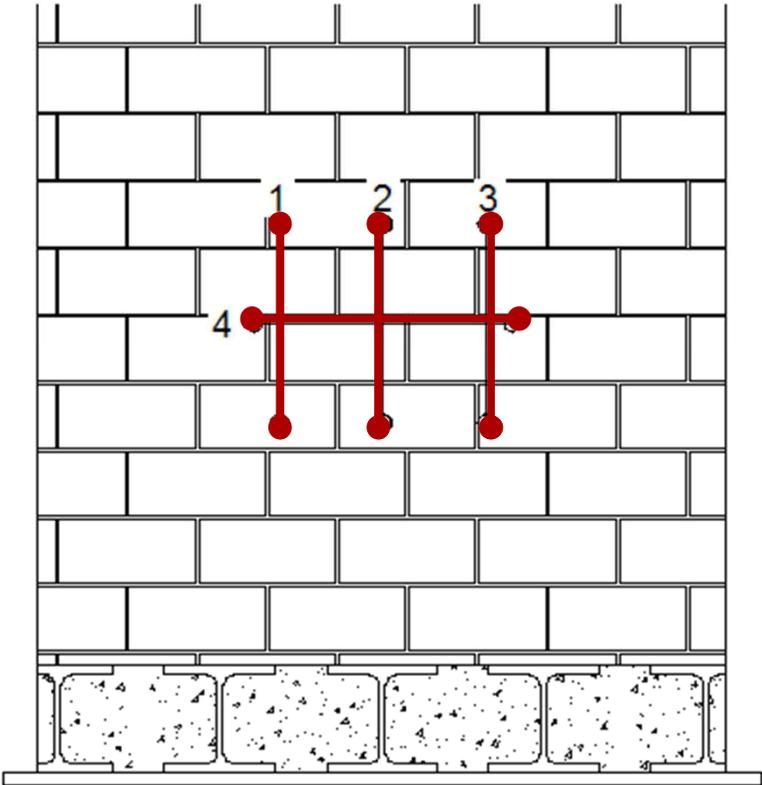
Prova non distruttiva a compressione

Pannello 1

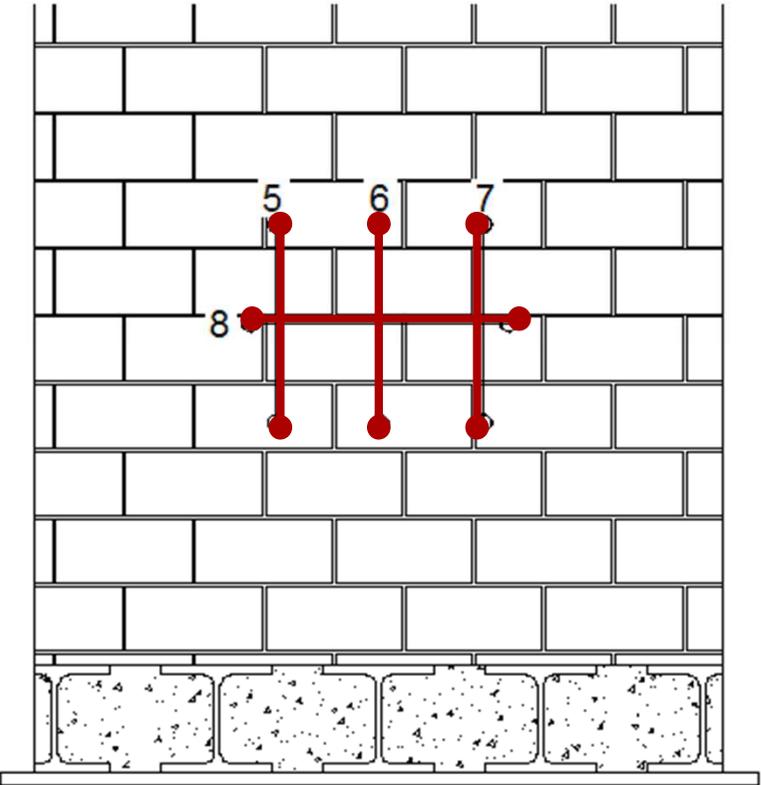


Prova non distruttiva a compressione

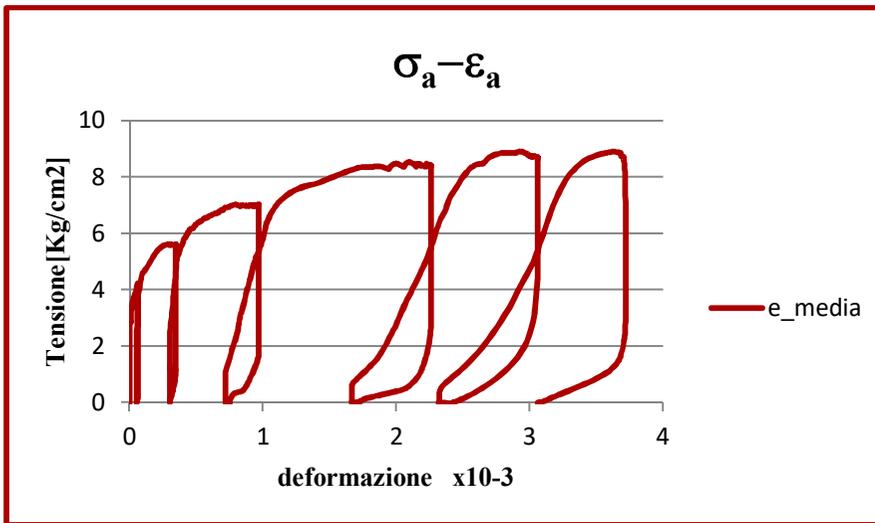
Fronte



Retro

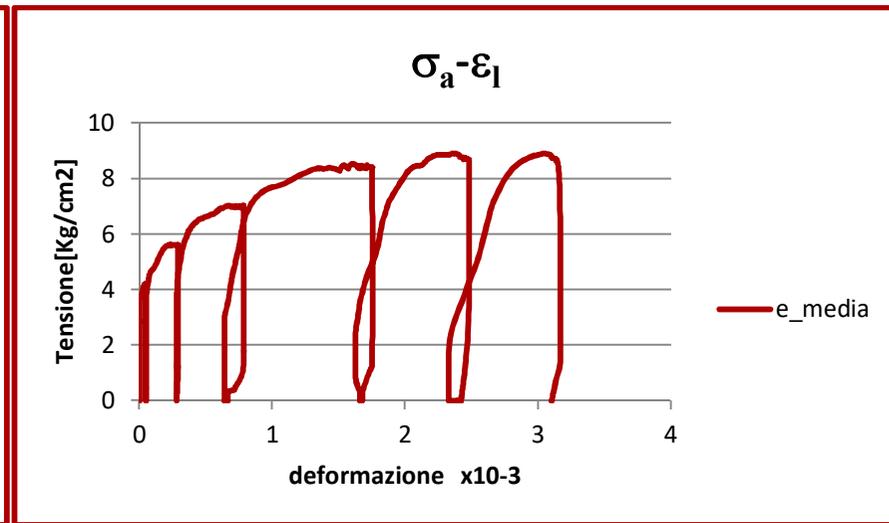


Prova non distruttiva a compressione



Deformazione massima:

3.700×10^{-3}



Deformazione massima:

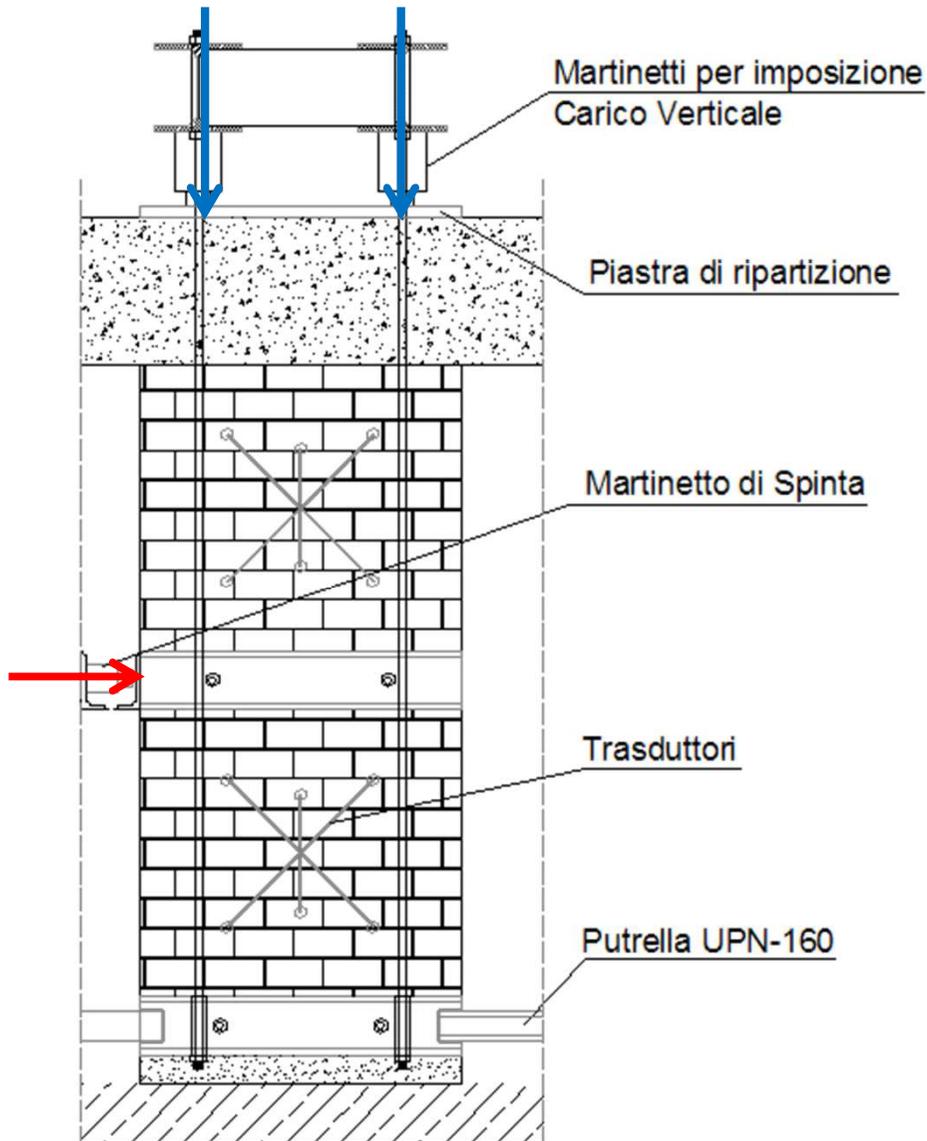
3.200×10^{-3}

Carico a rottura (resistenza):

38340 Kg

8.92 kg/cm²

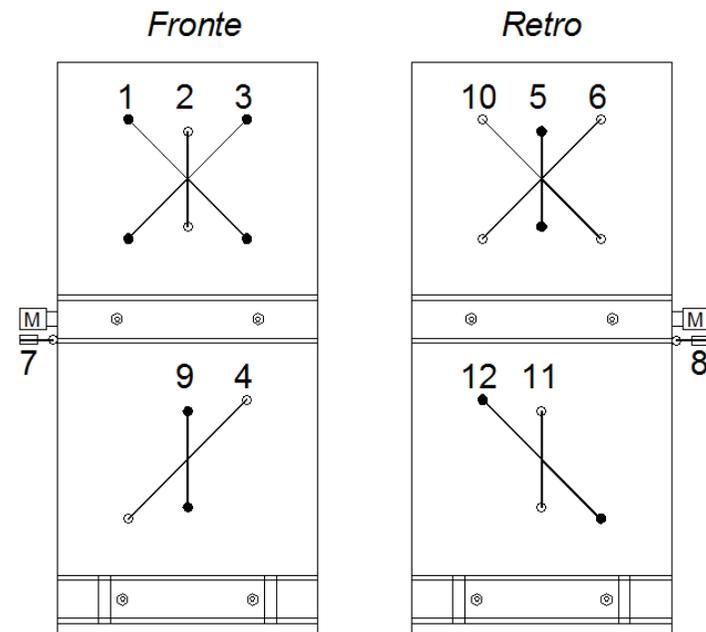
Pannello 2: Nessun Rinforzo



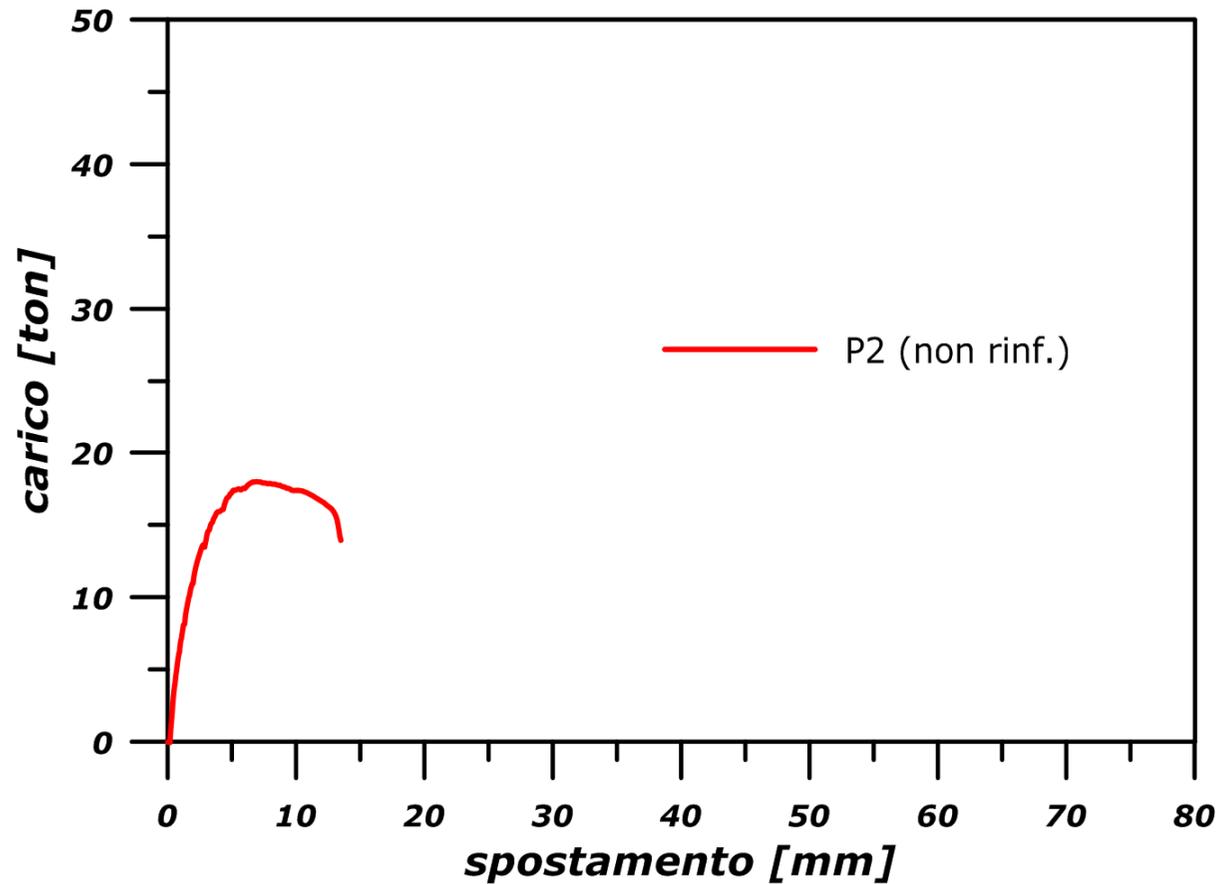
CARICO VERTICALE:
N=20 tonnellate costante

CARICO ORIZZONTALE:
Crescente sino a rottura

Trasduttori:

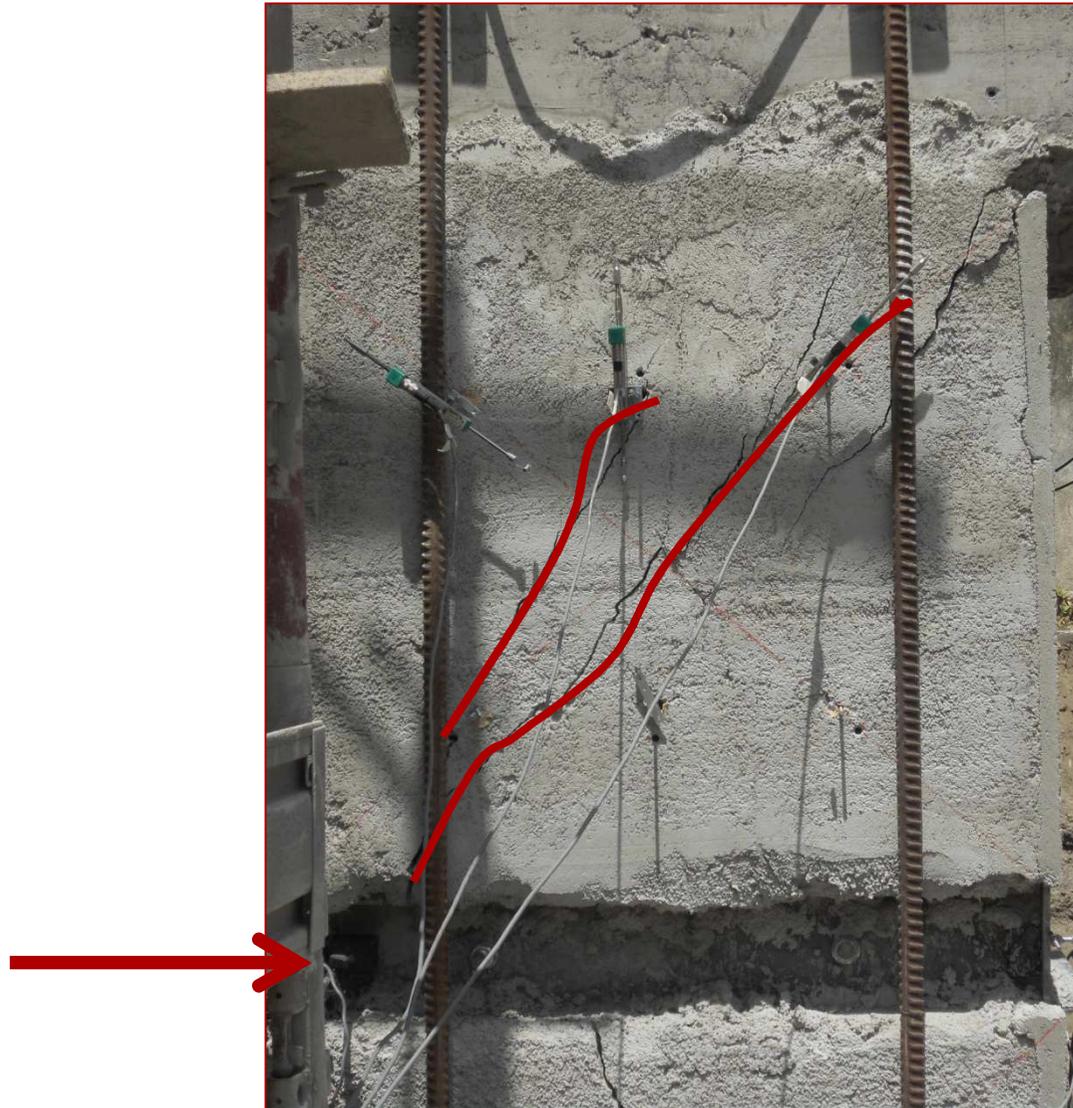


Pannello 2: Curva Carico-Spostamento

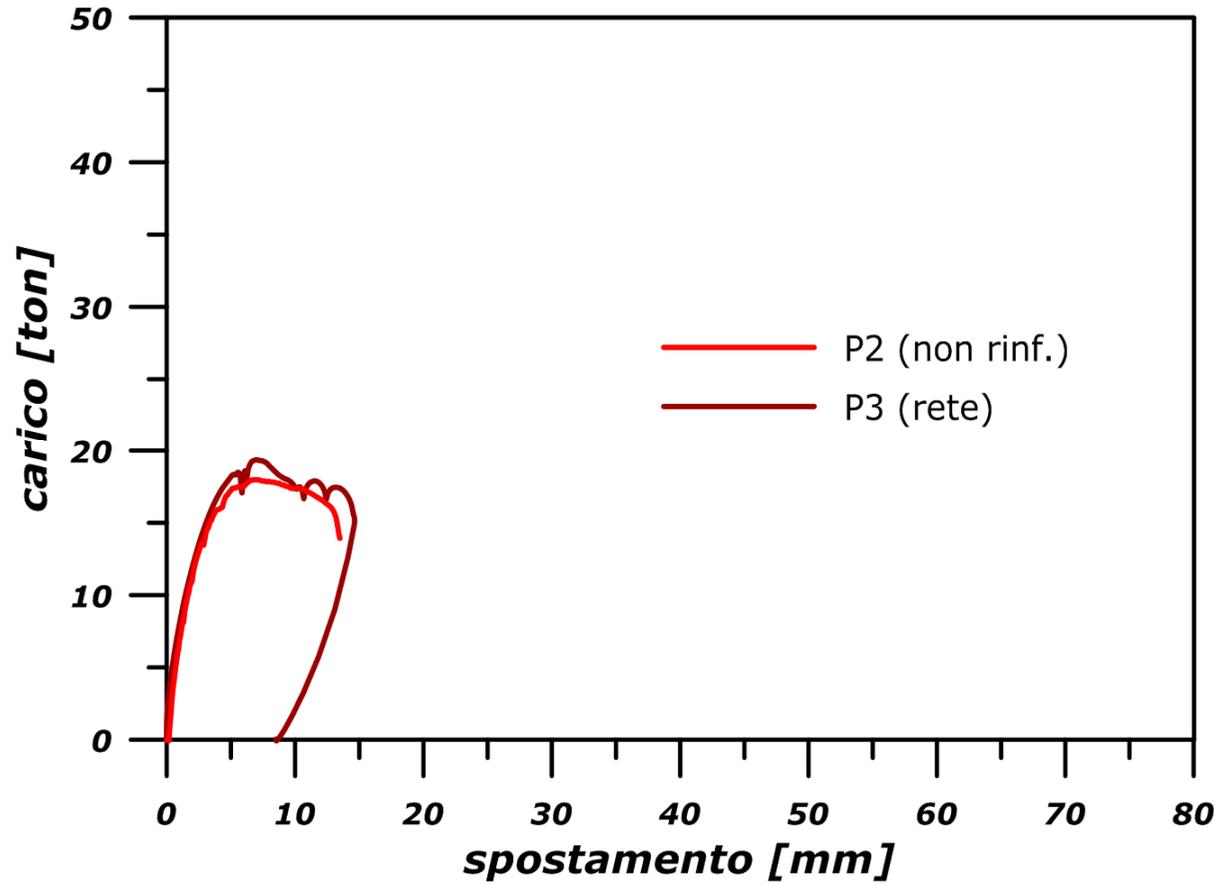


Carico Max:	Spostamento Max:
18.0 ton	13.5 mm

Pannello 2: Quadro fessurativo



Pannello 3: Rete polimerica

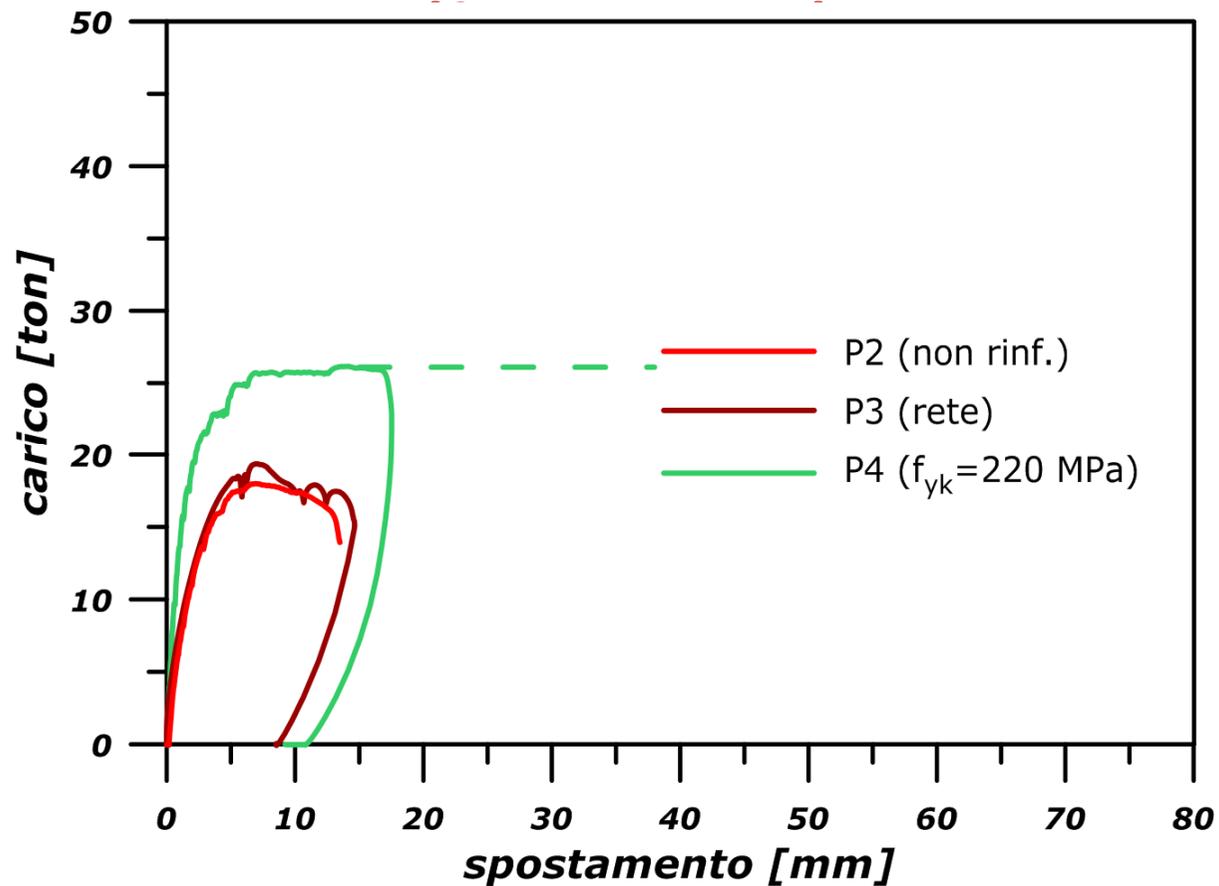


Carico Max:	Spostamento Max:
19.4 ton	14.6 mm

Pannello 3: Quadro fessurativo

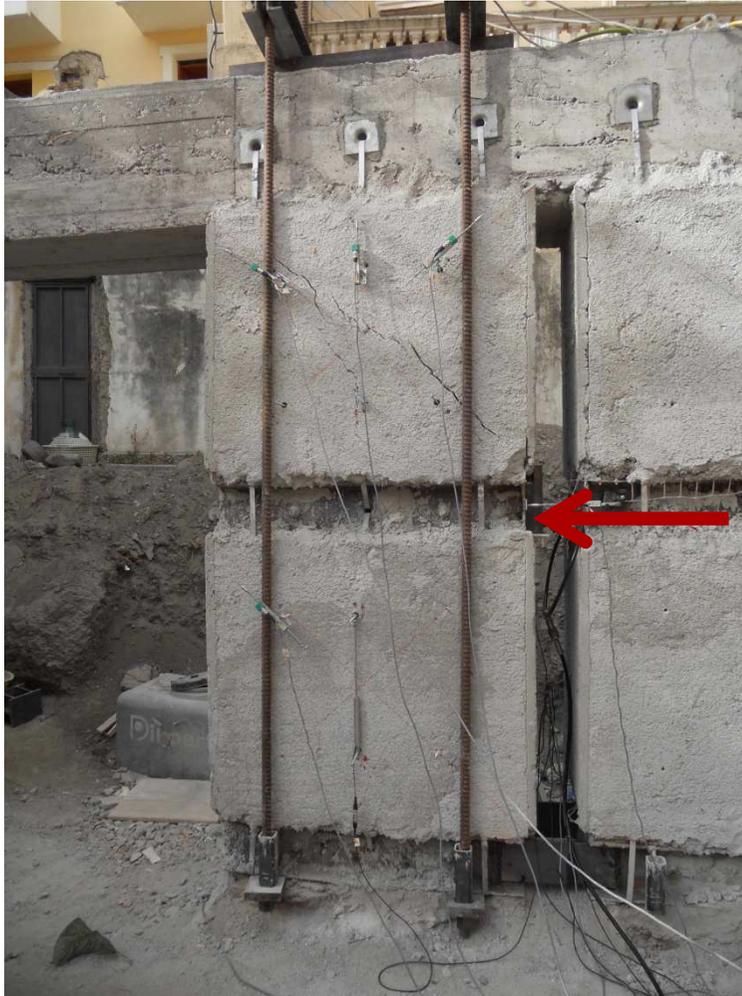


Pannello 4: CAM 2 nastri orizzontali e verticali

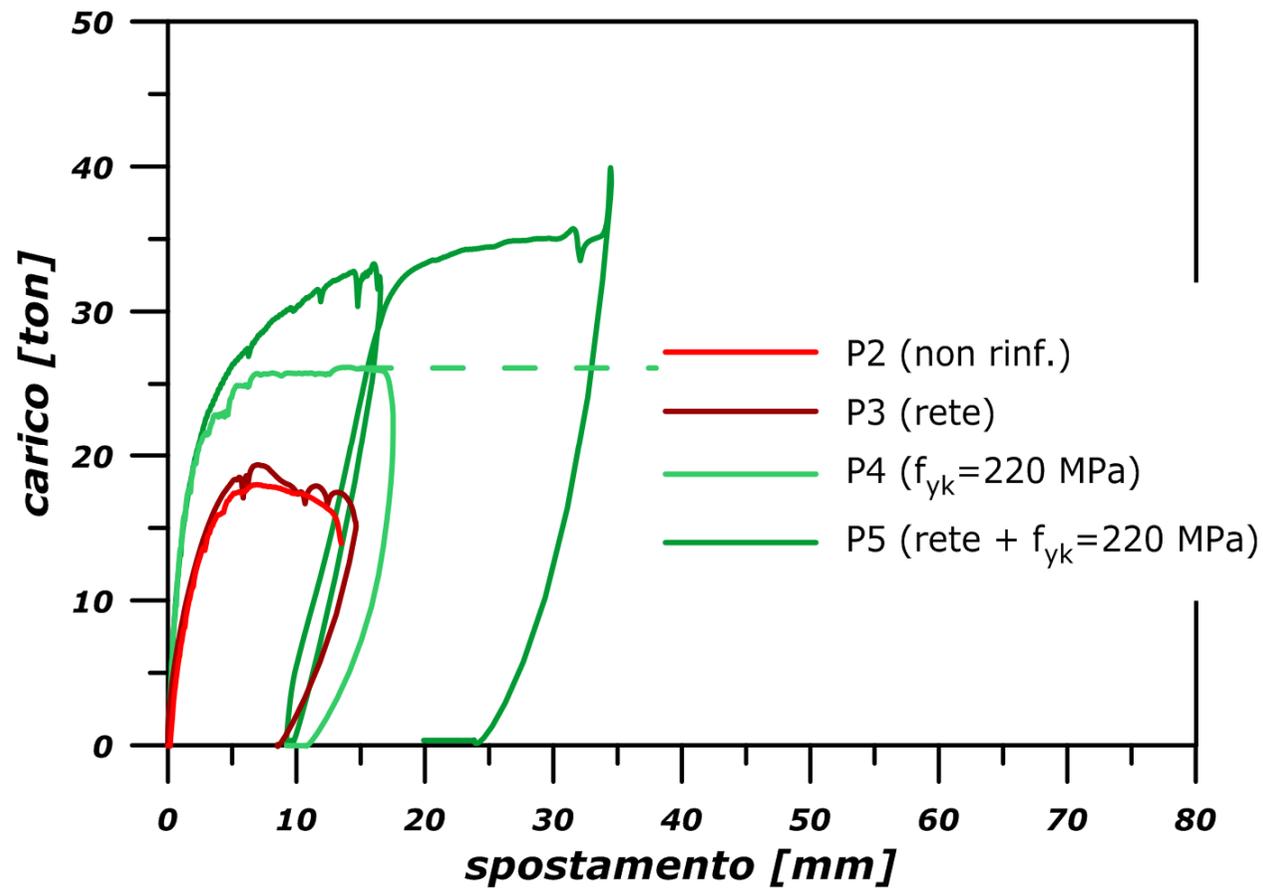


Carico Max:	Spostamento Max:	$\Delta\%$ (carico)	$\Delta\%$ (spostamento)
26.2 ton	17.5 mm	45%	30%

Pannello 4: Quadro fessurativo

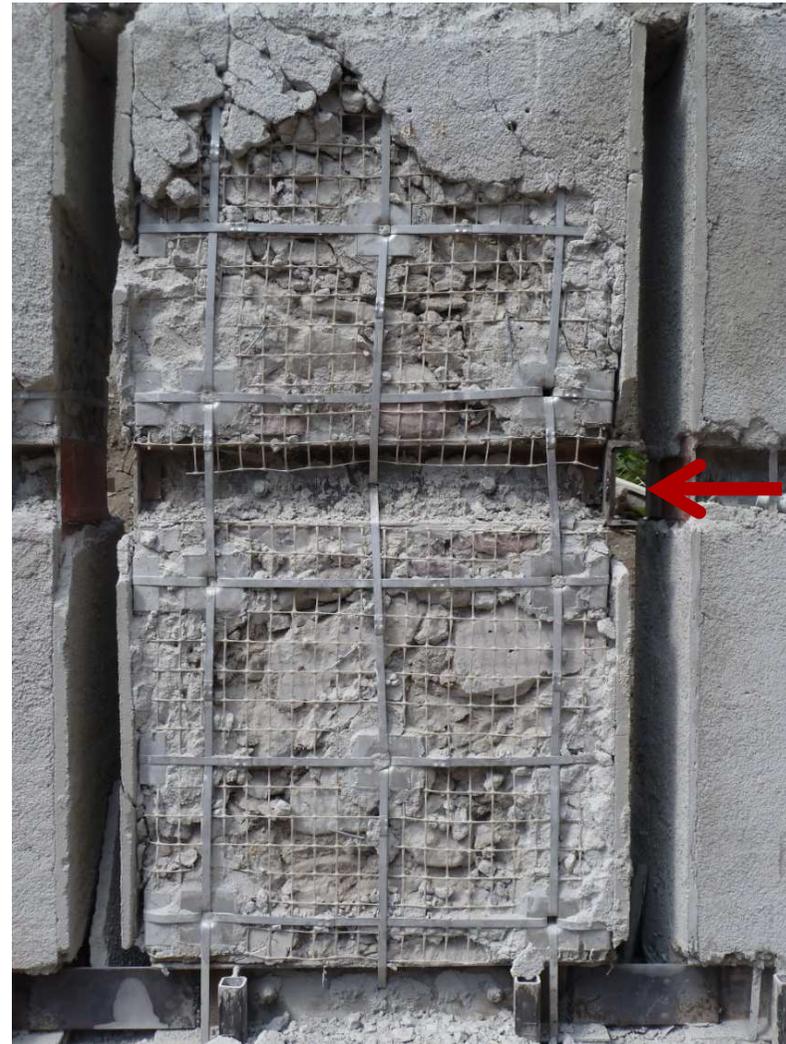


Pannello 5: CAM + Rete polimerica

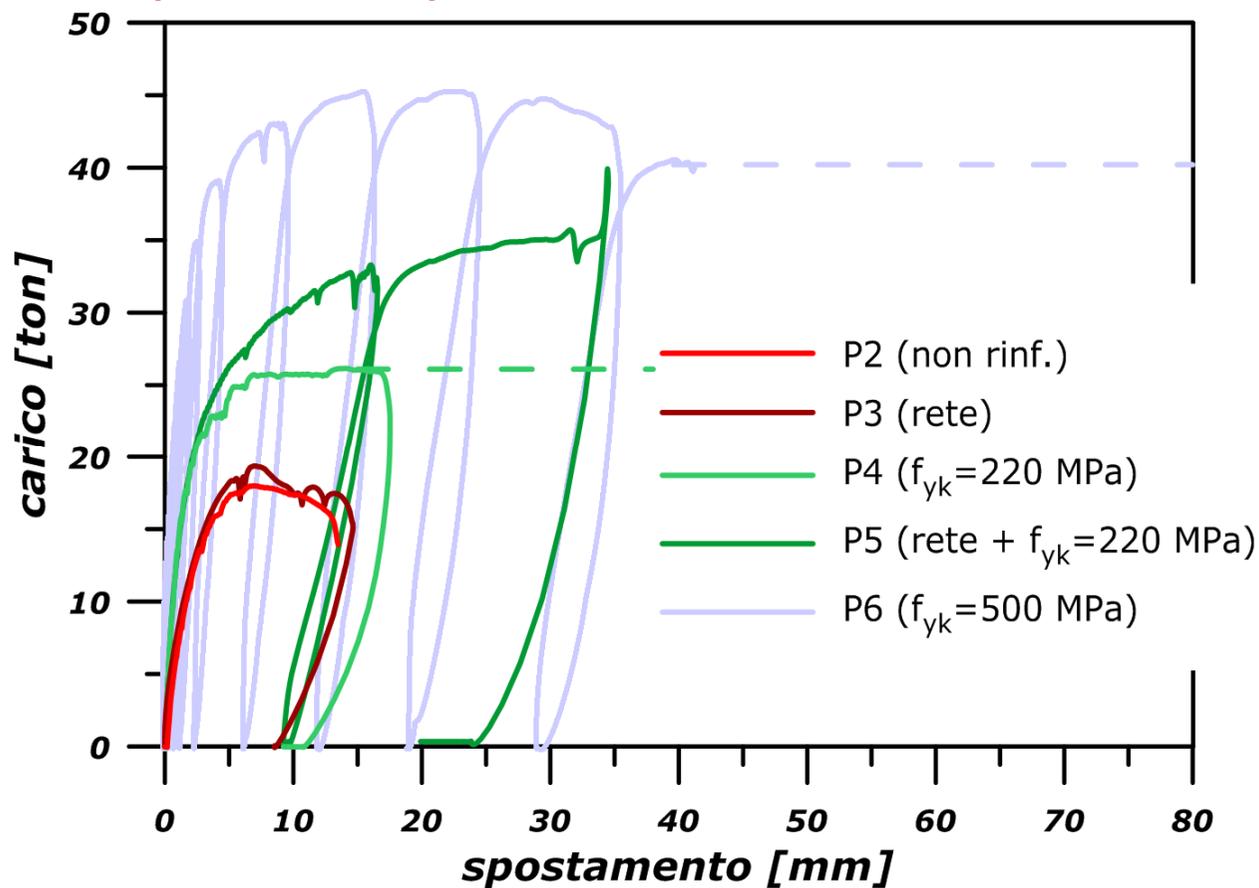


Carico Max:	Spostamento Max:	$\Delta\%$ (carico)	$\Delta\%$ (spostamento)
35.1 ton	34.5 mm	81 %	136 %

Pannello 5: Quadro fessurativo

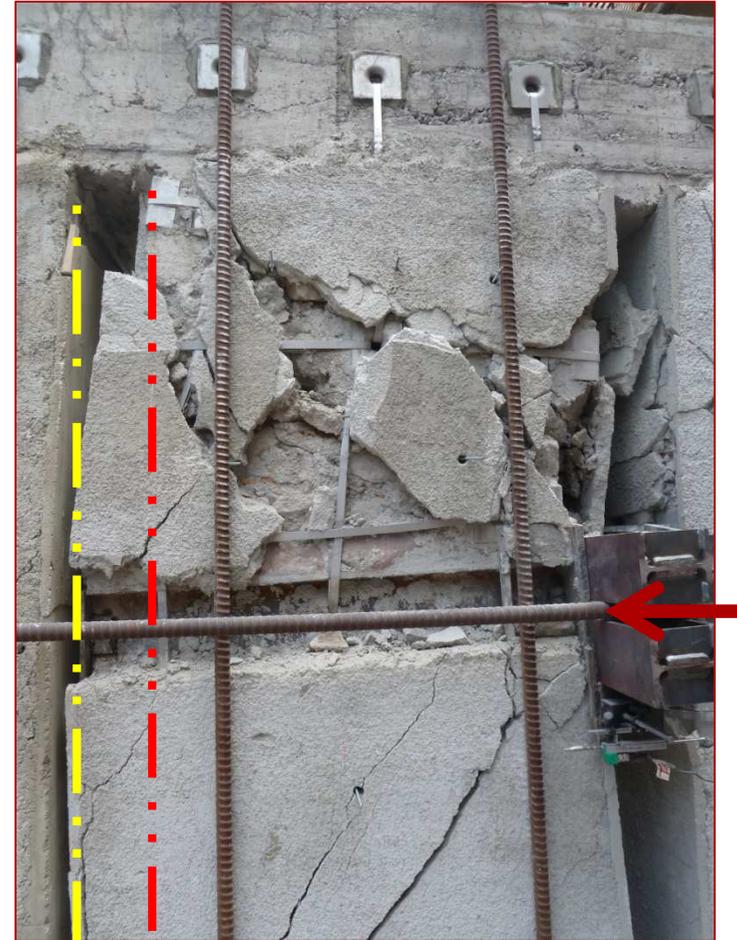


**Pannello 6: CAM 2 nastri orizzontali ($f_{yk}=500$ MPa)
2 nastri verticali ($f_{yk}=220$ MPa)**

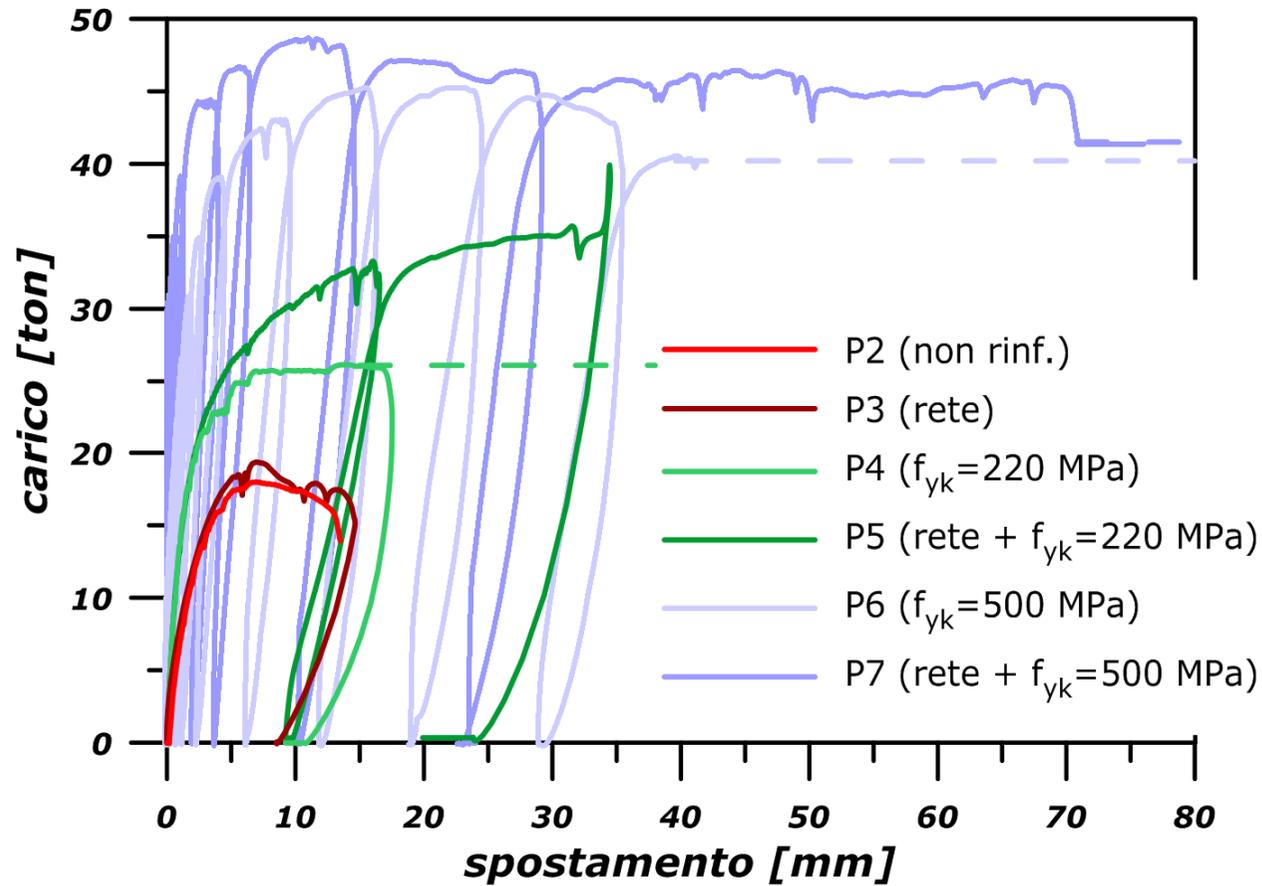


Carico Max:	Spostamento Max:	$\Delta\%$ (carico)	$\Delta\%$ (spostamento)
45.2 ton	156.8 mm	171 %	772 %

Pannello 6: Quadro fessurativo

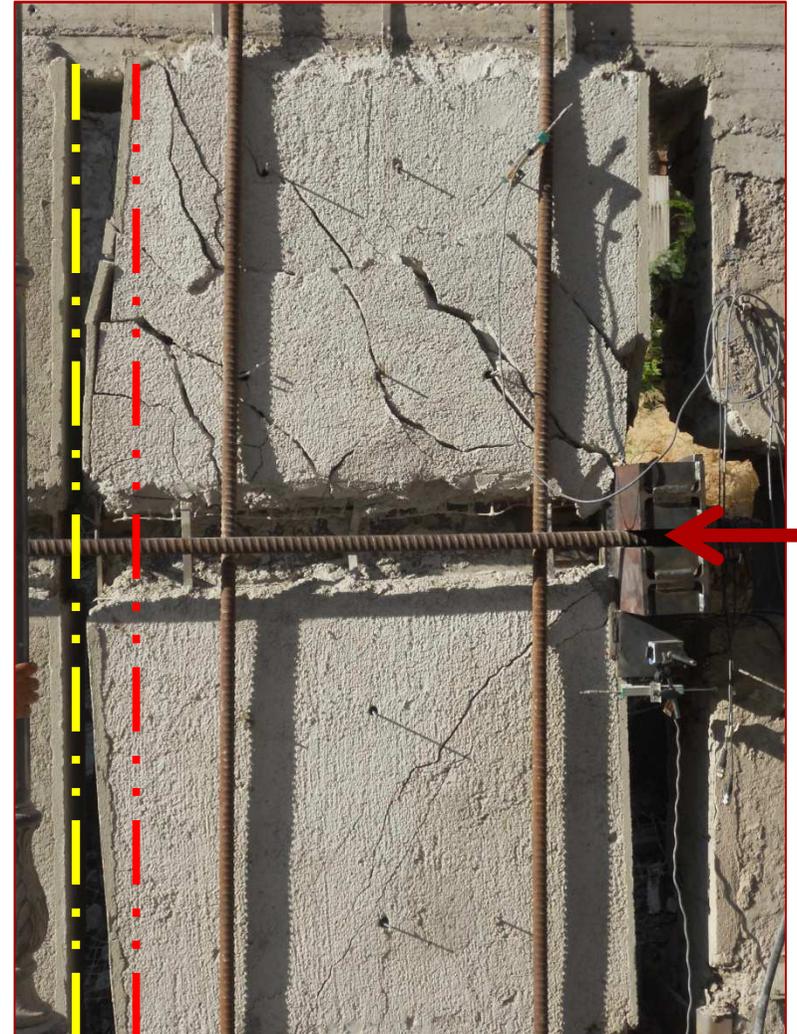


Pannello 7: CAM 2 nastri orizzontali ($f_{yk}=500\text{MPa}$) 2 nastri verticali ($f_{yk}=220\text{MPa}$), rete

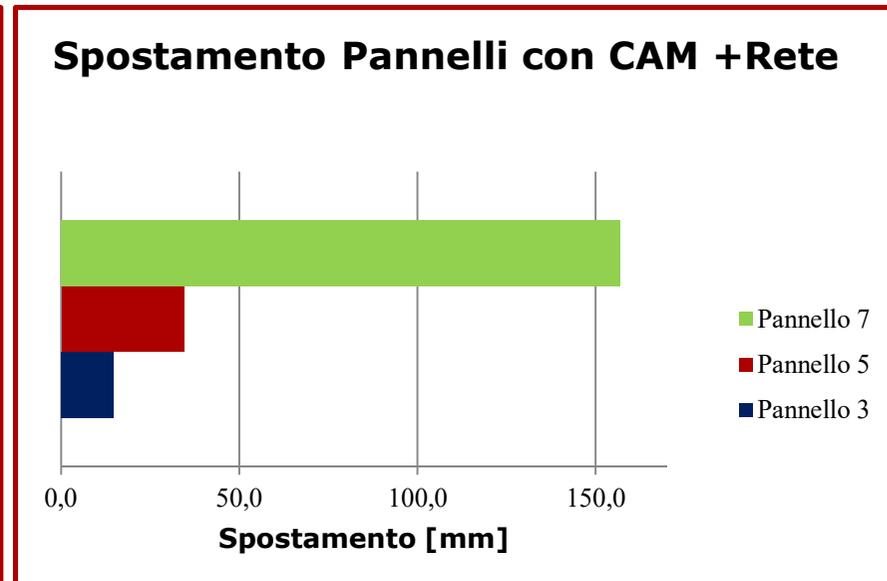
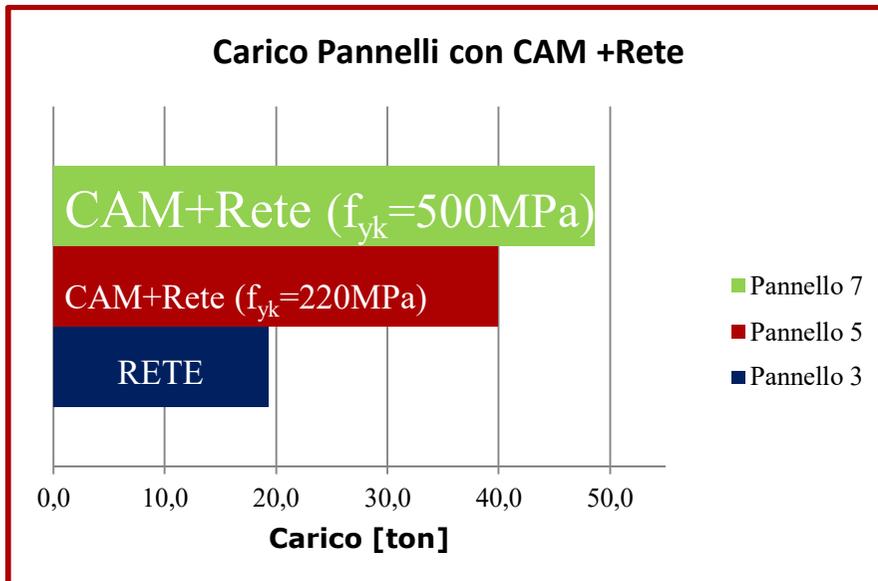
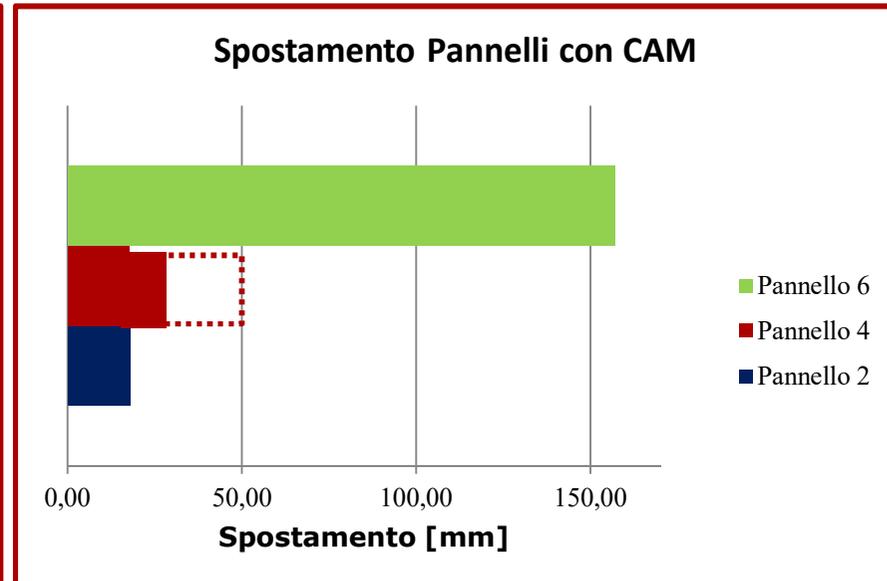
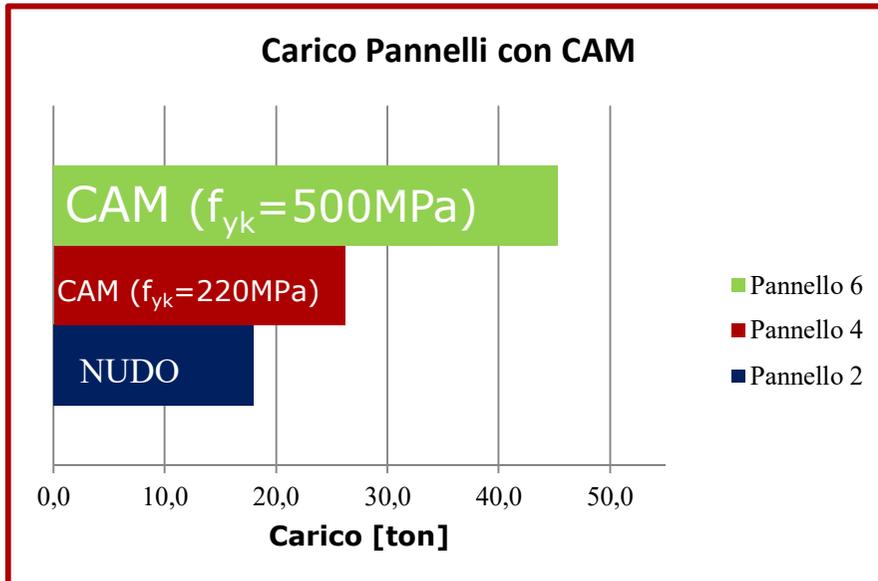


Carico Max:	Spostamento Max:	$\Delta\%$ (carico)	$\Delta\%$ (spostamento)
48.7 ton	156.8 mm	151 %	971 %

Pannello 7: Quadro fessurativo



Confronto pannelli



Preparazione Parete

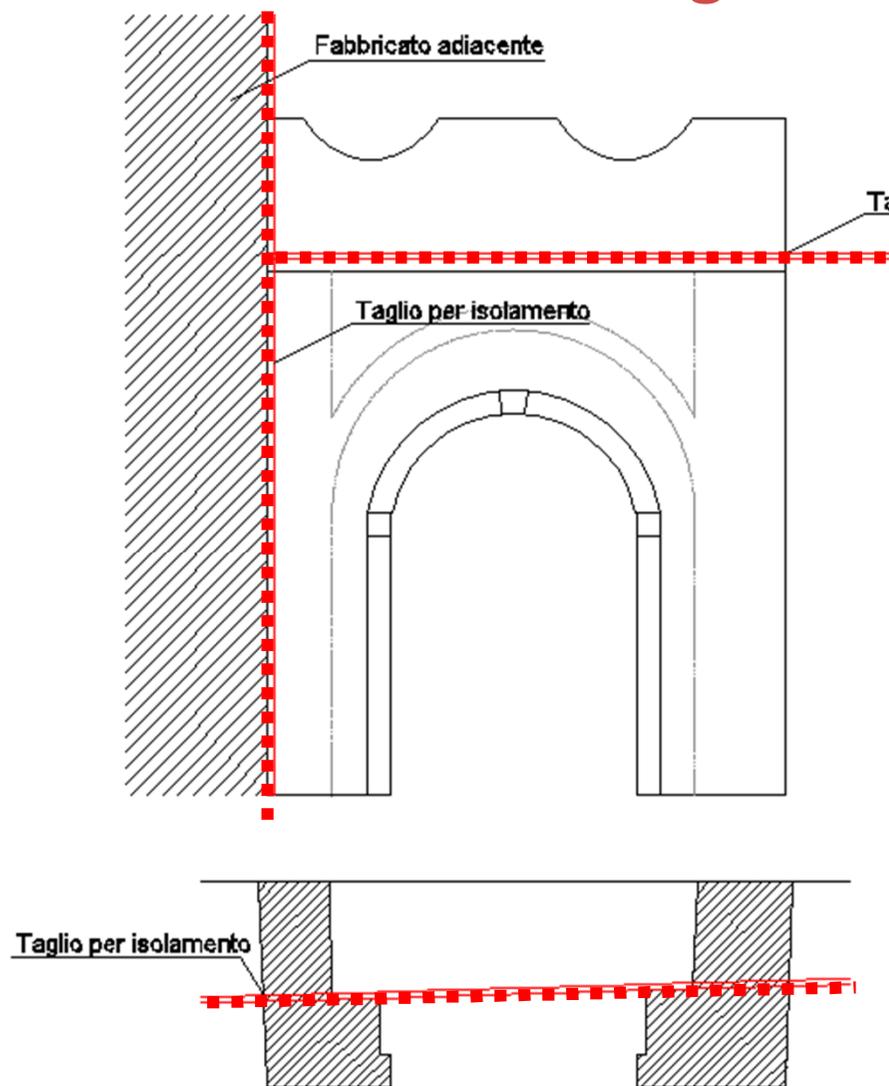


Rimozione strato esterno



Demolizione del parapetto

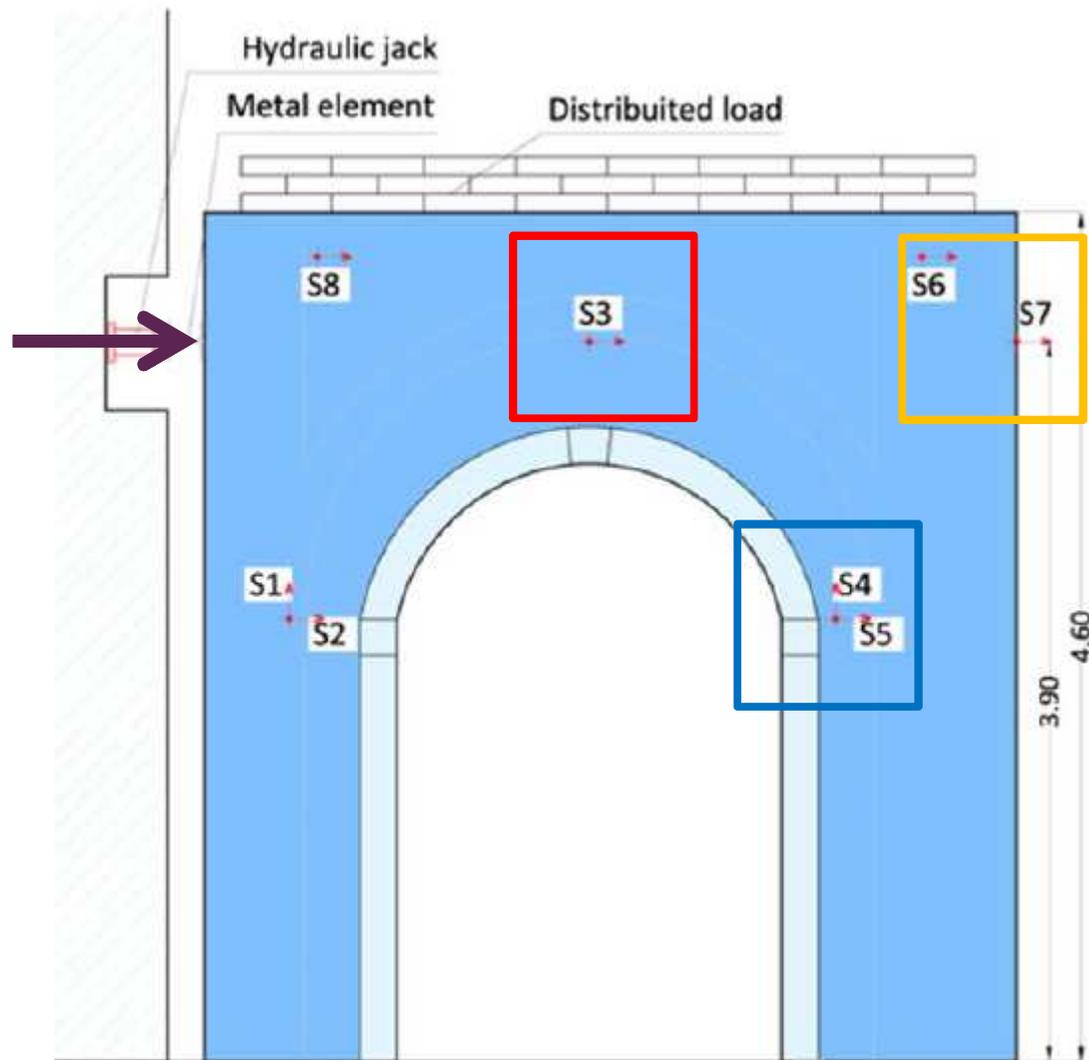
Taglio della parete



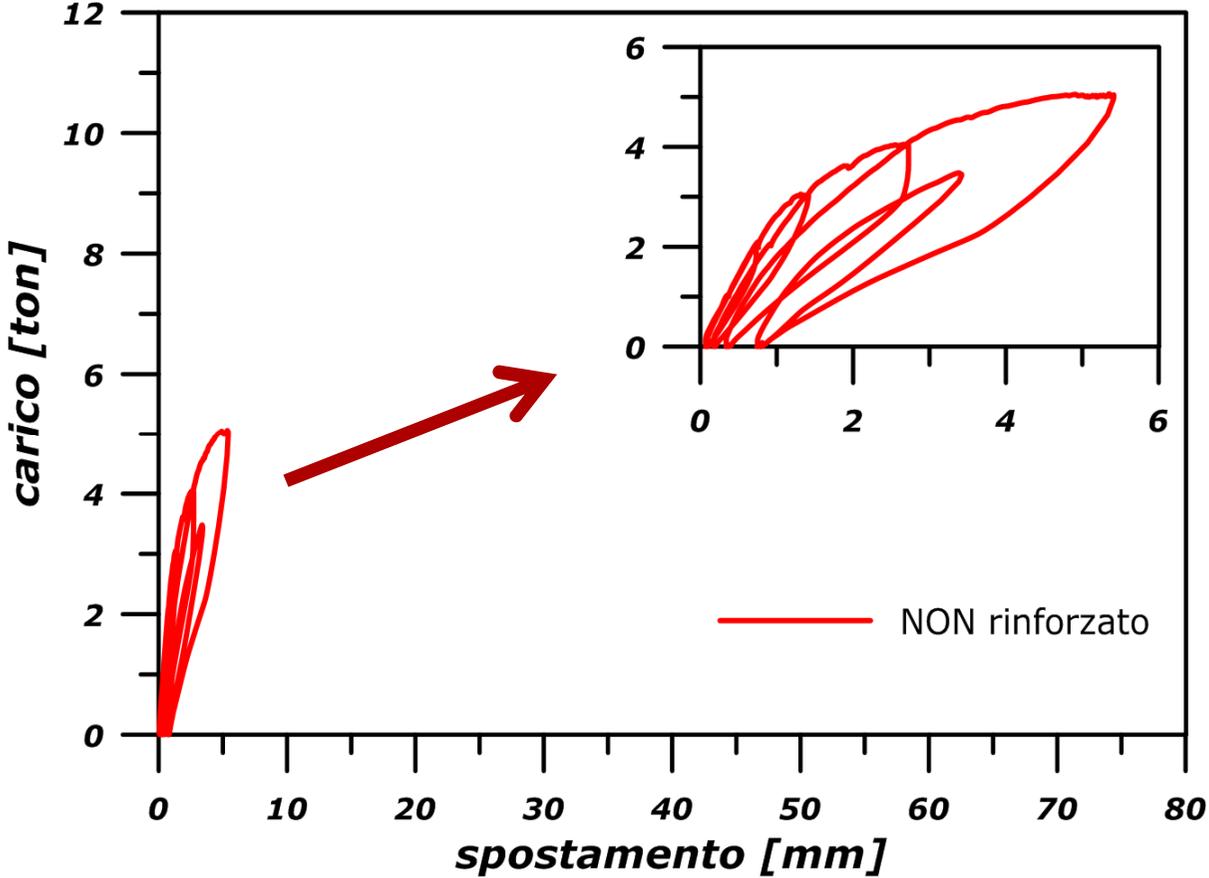
Binario per la sega tagliamuri



Setup di prova



Curva Carico-Spostamento: NON RINFORZATO



Carico Max:	Spostamento Max:
5.0 ton	5.4 mm

Quadro fessurativo Parete NON rinforzata



Fessure alle «reni»

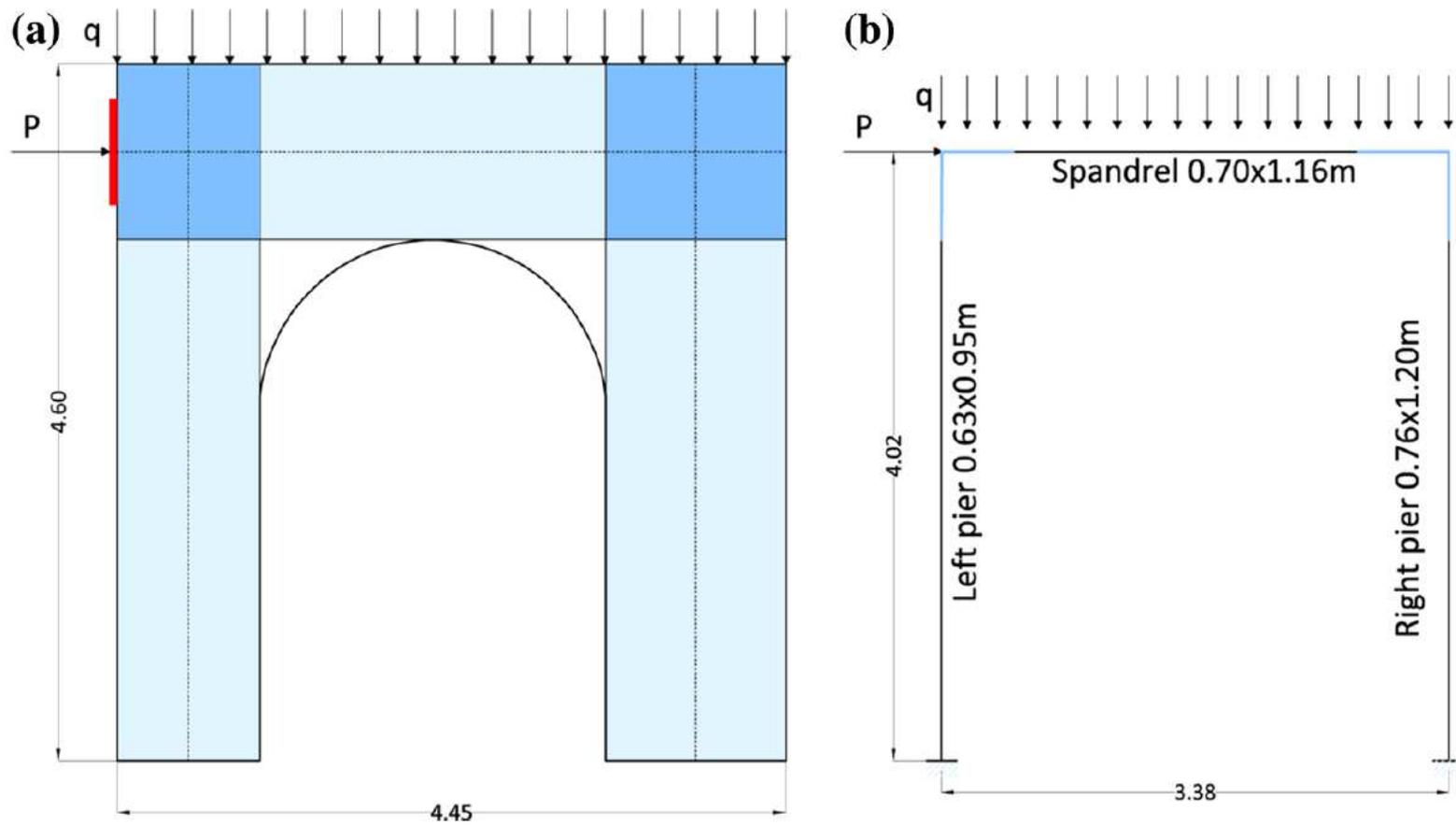


Fessure in prossimità del punto di applicazione del carico



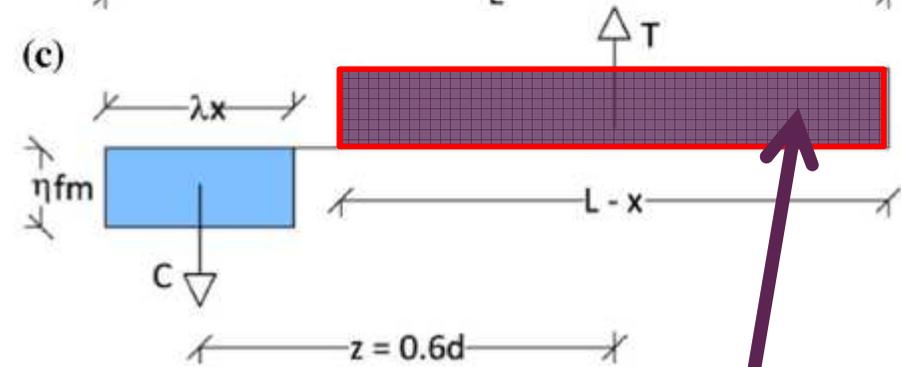
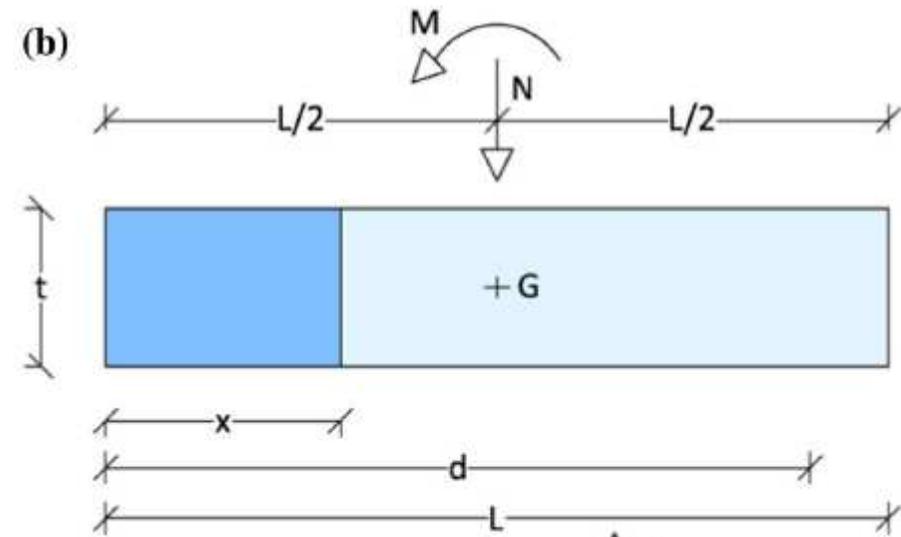
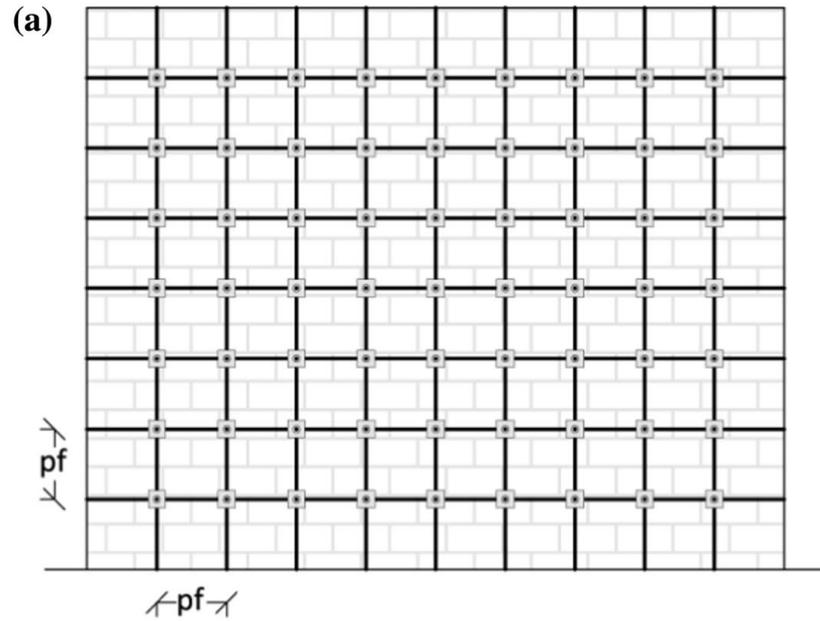
Fessura della fascia superiore

Progetto del rinforzo CAM



Modello a telaio equivalente

Progetto del rinforzo CAM

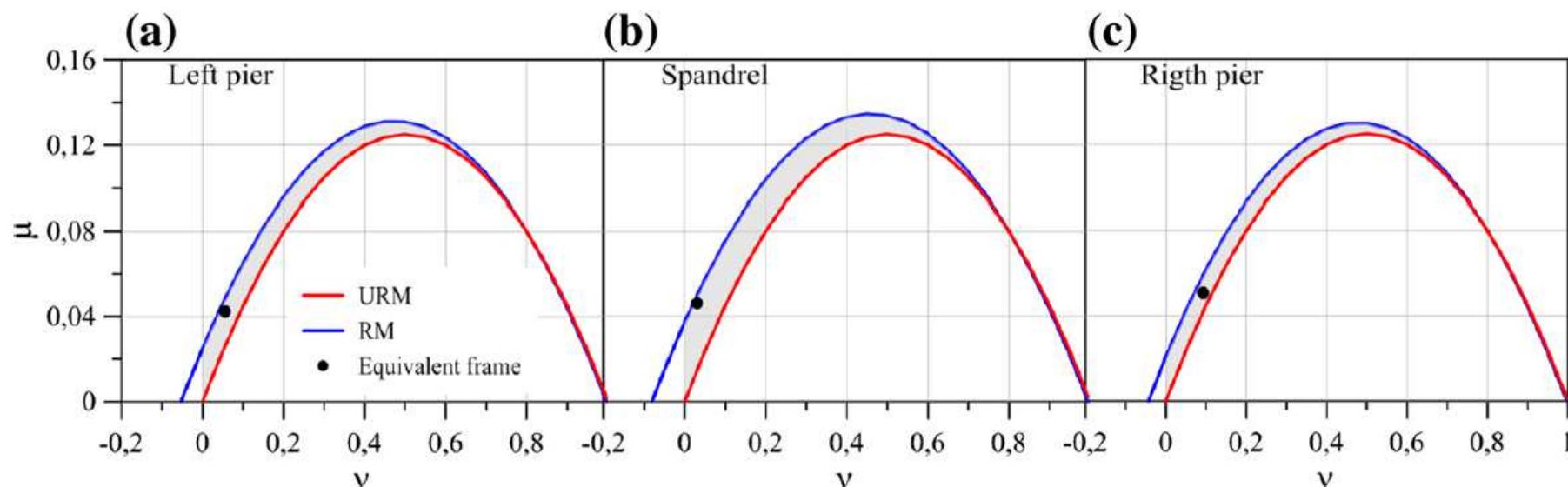


Modello sezionale

Resistenza a trazione dovuta al CAM

Progetto del rinforzo CAM

Si è ottenuta una maglia 450x600mm realizzata con 2 nastri sovrapposti.
Dimensioni nastro: 19x1mm



Incremento di resistenza della muratura
a **pressoflessione** dovuto al CAM

Progetto del rinforzo CAM

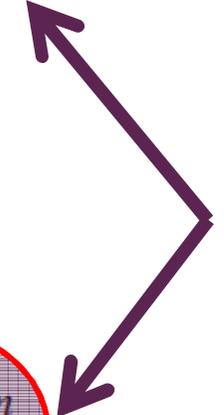
Taglio scorrimento

$$\frac{f_v}{f_{v0}} = \frac{d}{L} \left(1 + 0.4 \frac{\sigma_n}{f_{v0}} \right) + \frac{z}{L} \omega_s \frac{\eta f_{mm}}{f_{v0}}$$

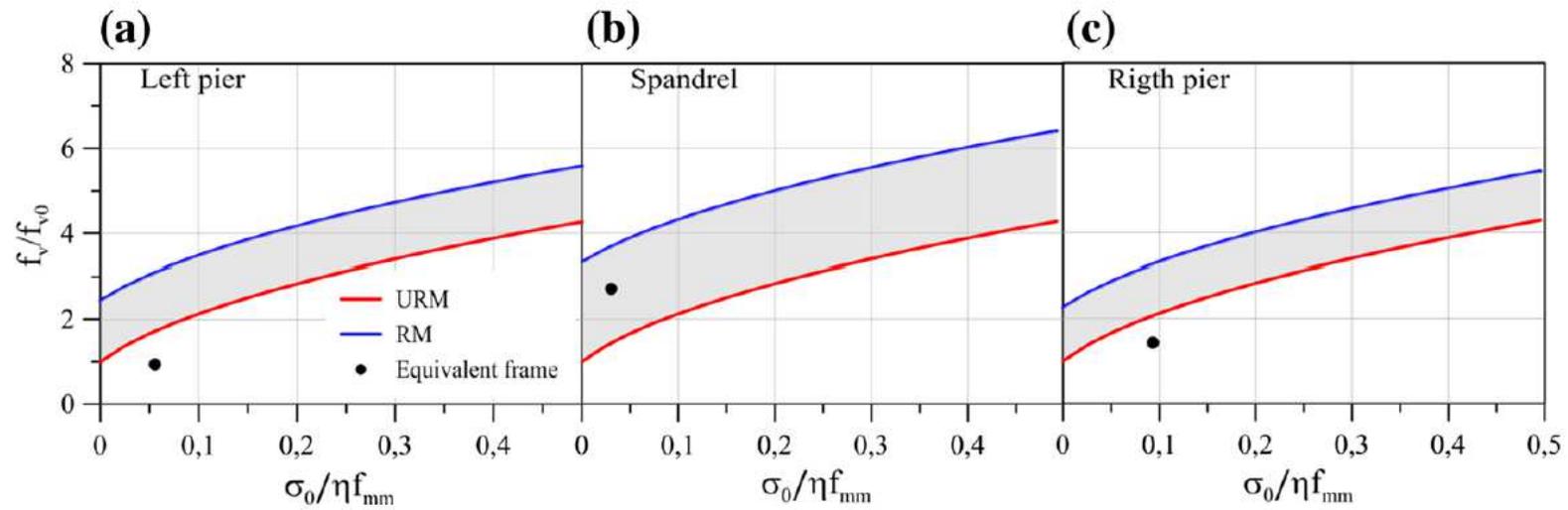
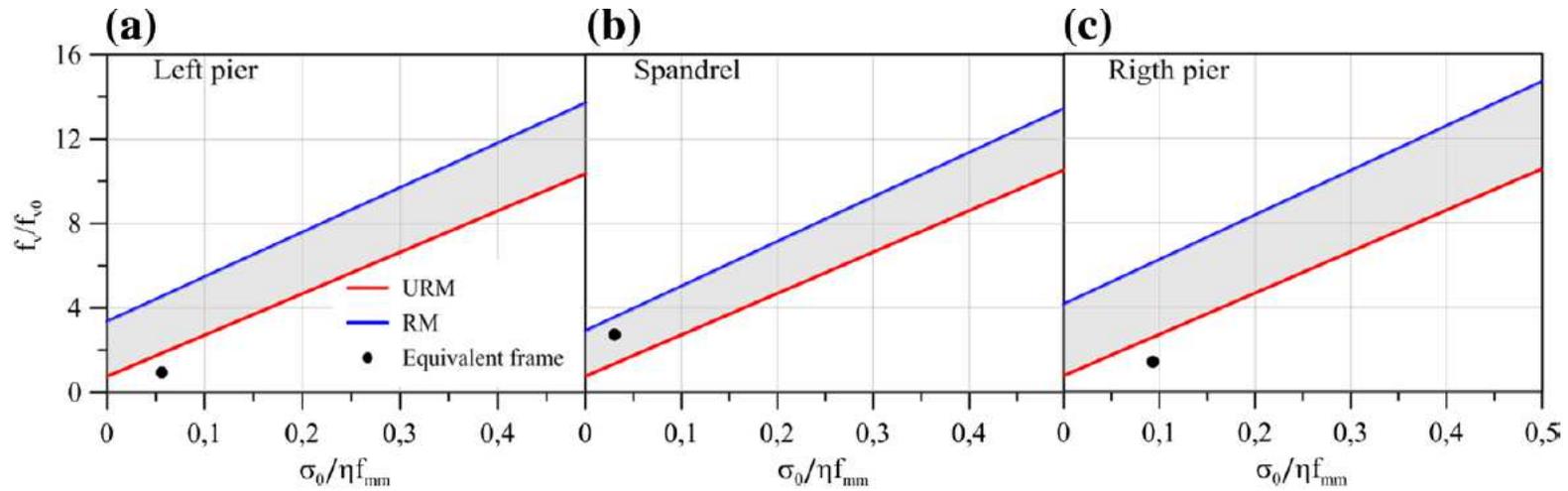
Taglio diagonale

$$\frac{f_v}{f_{v0}} = \frac{1.5}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_p}{1.5 f_{v0}}} + \frac{z}{L} \omega_s \frac{\eta f_{mm}}{f_{v0}}$$

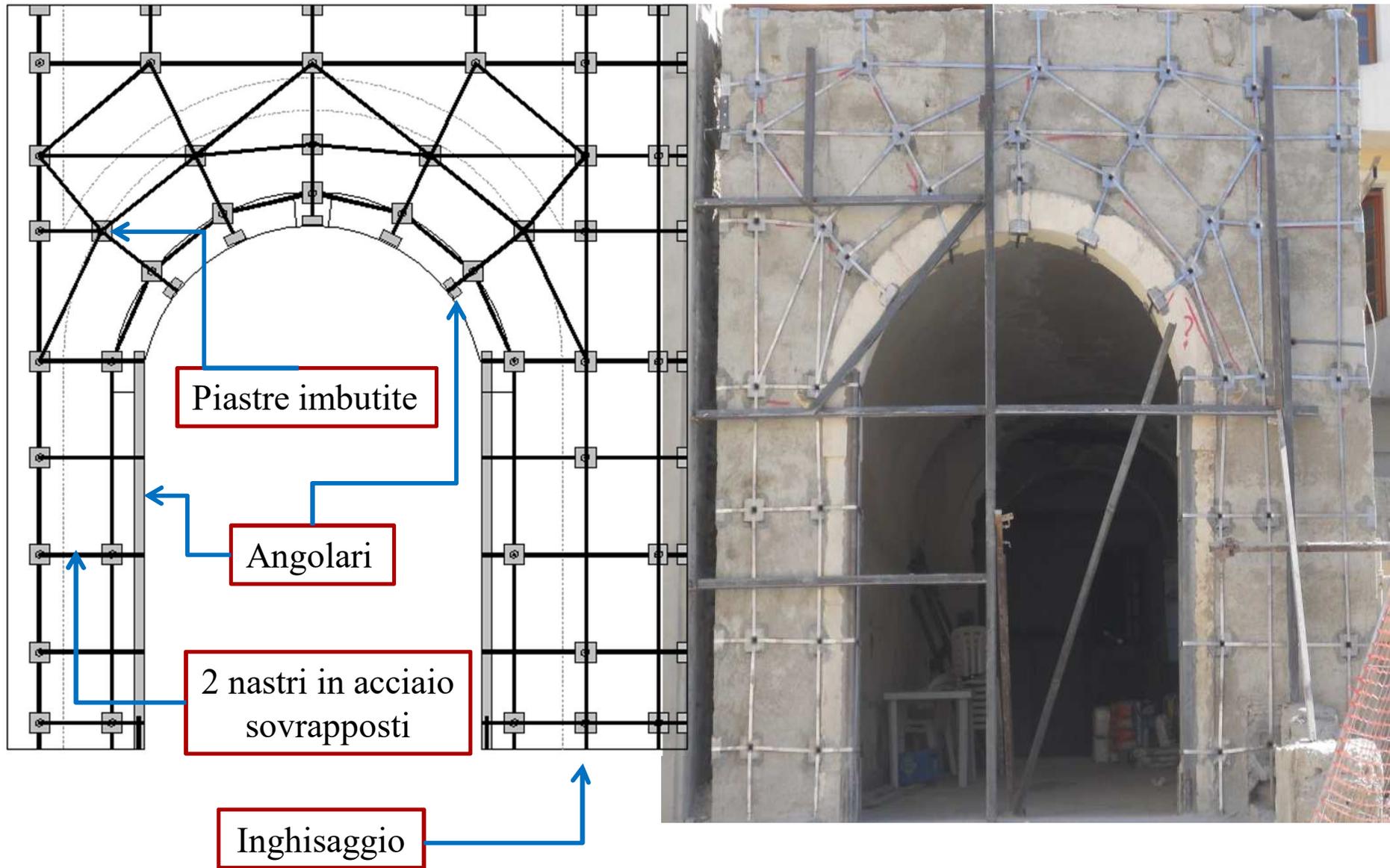
Incremento di resistenza
al taglio dovuto al CAM



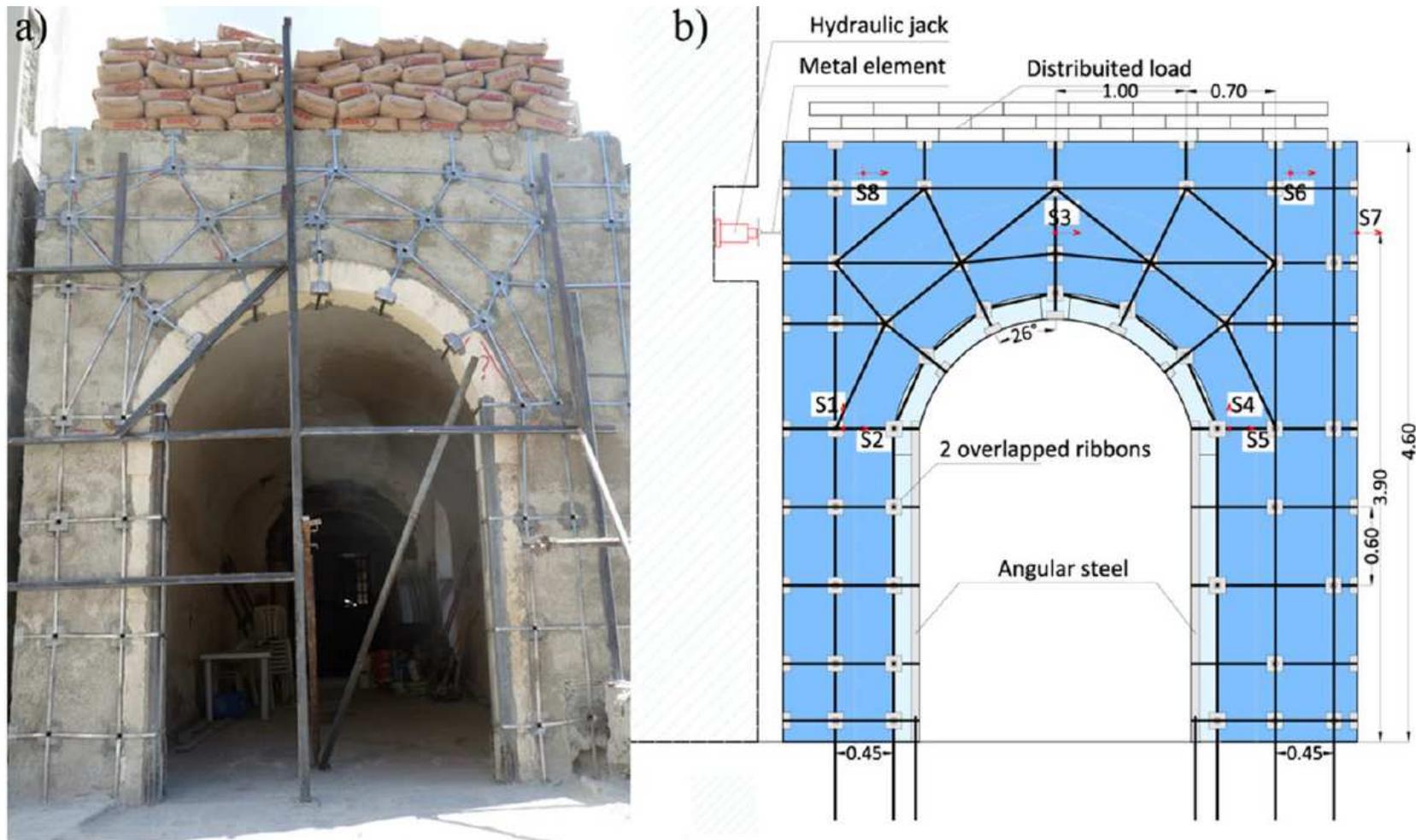
Progetto del rinforzo CAM



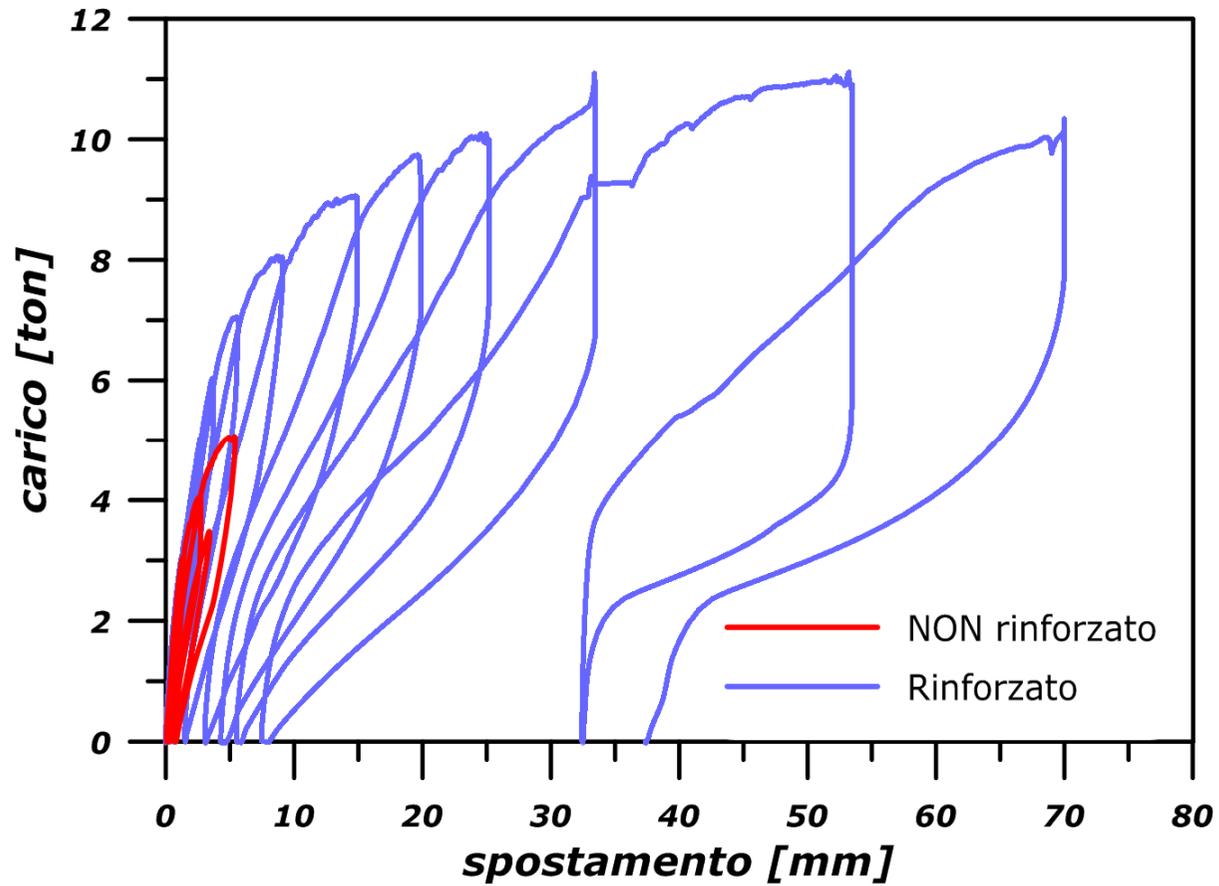
Schema disposizione nastri



Progetto del rinforzo CAM



Parete rinforzata con CAM



Carico Max:	Spostamento Max:	$\Delta\%$ (carico)	$\Delta\%$ (spostamento)
11.1 ton	70.0 mm	122 %	1194 %

Quadro fessurativo parete rinforzata con CAM



Nino Spinella – nino.spinella@unime.it



Fessure sul «pedritto» destro



**Fessure sul «pedritto»
sinistro**

Taormina – 07.11.2019

Posizione iniziale dello spigolo esterno



Posizione finale



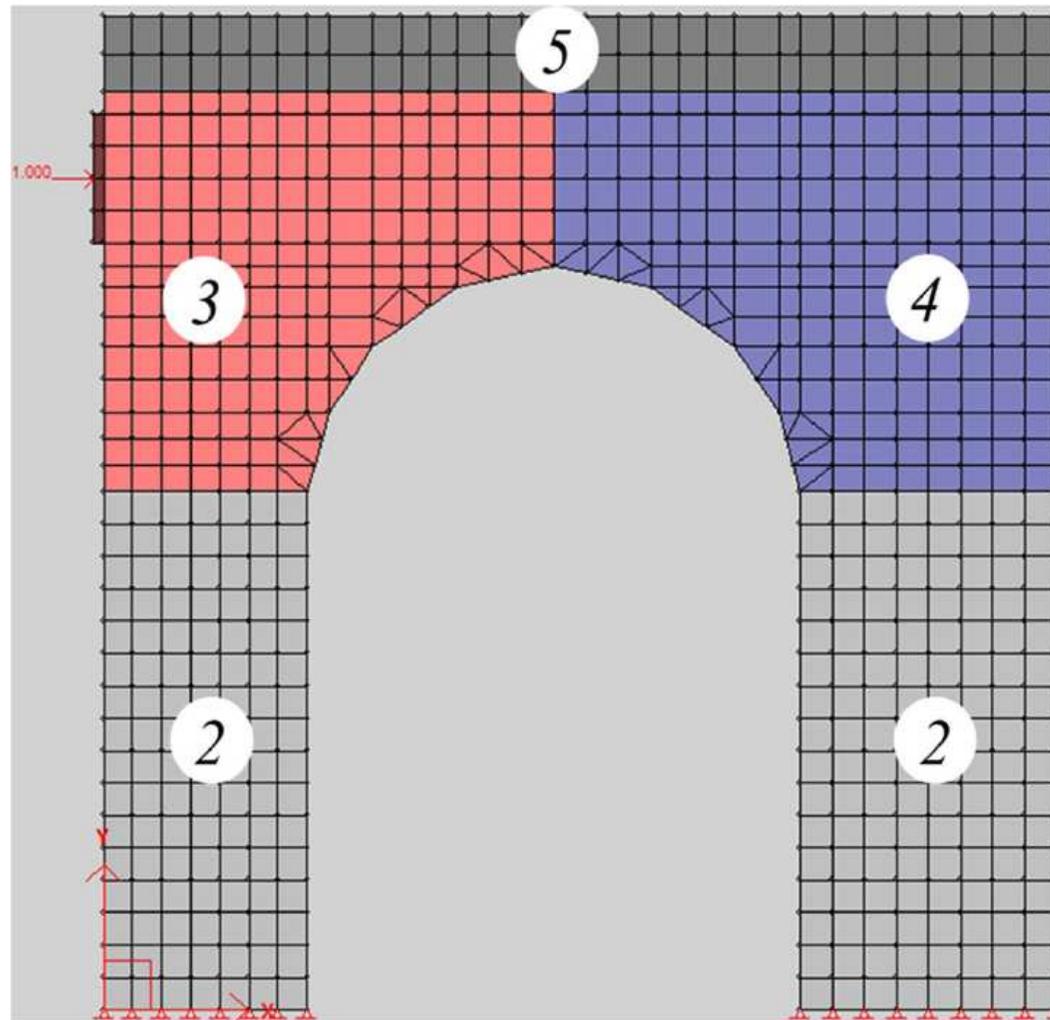


Piedritto di sinistra

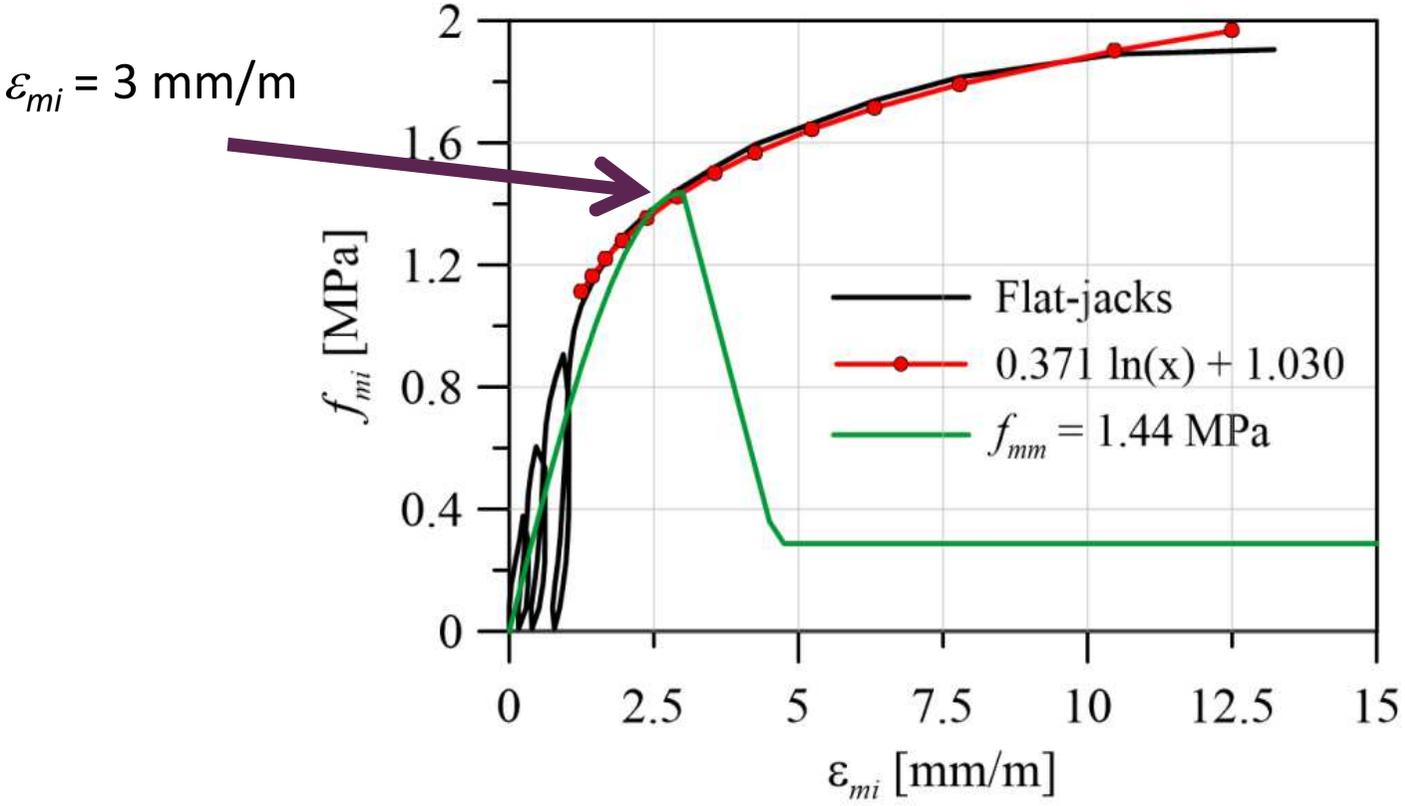


Piedritto di destra

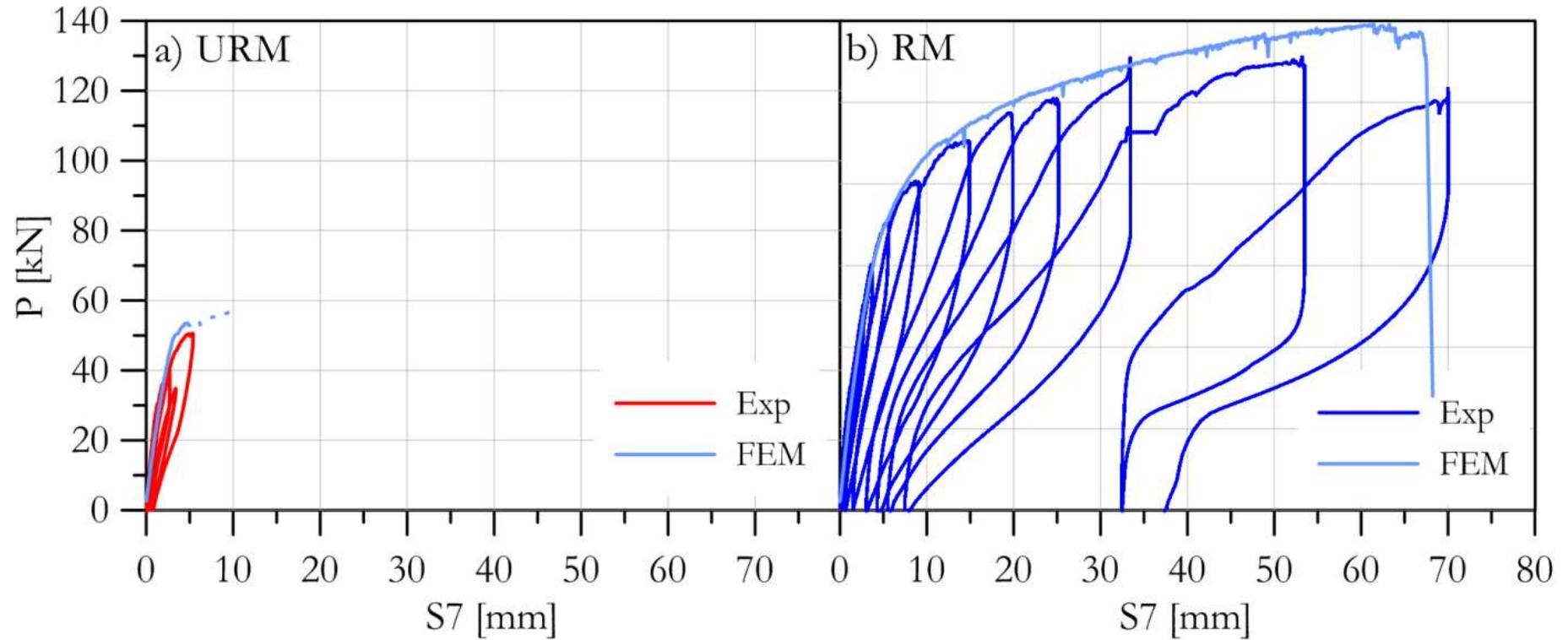
Modello FE (2D)



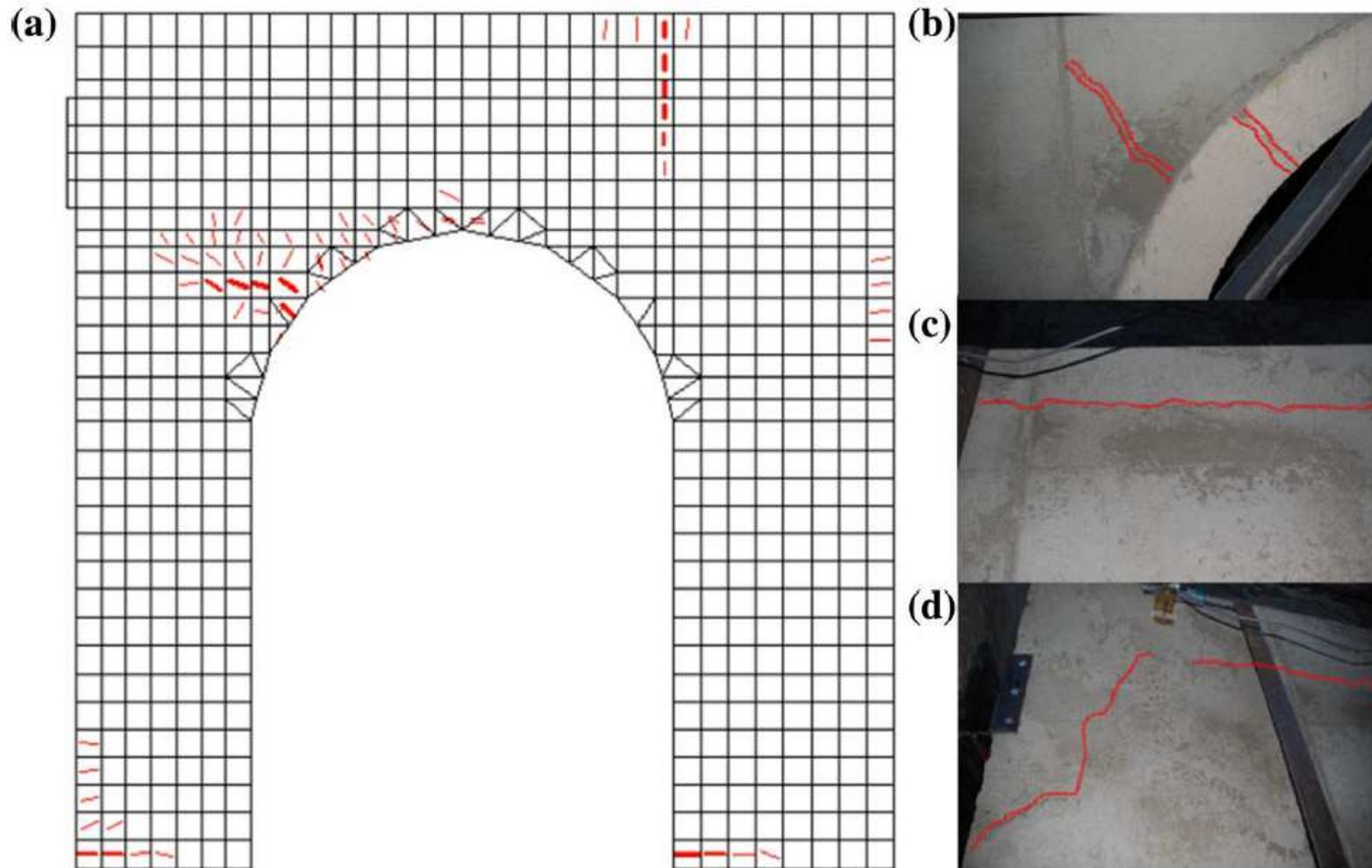
Martinetto piatto



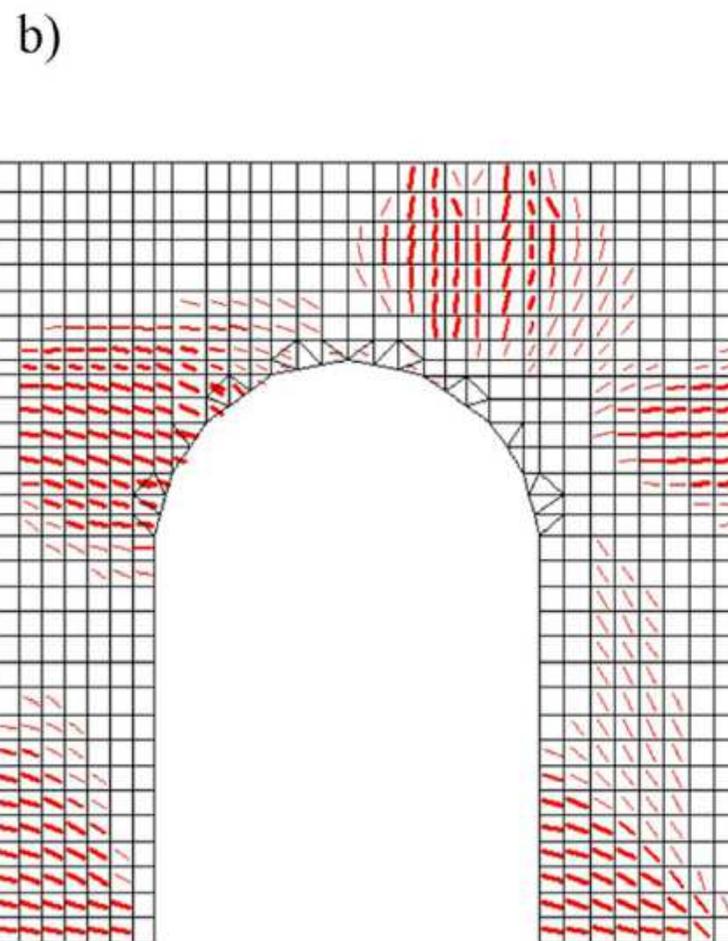
Risultati modello FEM



Risultati modello FEM



Risultati modello FEM



Realizzazioni col metodo CAM

Palazzo Gentile – Sant'Agata Militello (ME) – Chimetec Sas (RG)



Edificio, di proprietà del Comune di Sant'Agata Militello, che risale alla seconda metà del XIX secolo in muratura di scarsa qualità. Oggi sede dell'Ente Parco dei Nebrodi

Realizzazioni col metodo CAM

Palazzo Gentile – Sant'Agata Militello (ME) – Chimetec Sas (RG)



Alcuni solai lignei erano crollati
Maschi murari in cattive condizioni
Copiose infiltrazioni d'acqua

Realizzazioni col metodo CAM

Palazzo Gentile – Sant'Agata Militello (ME) – Chimetec Sas (RG)



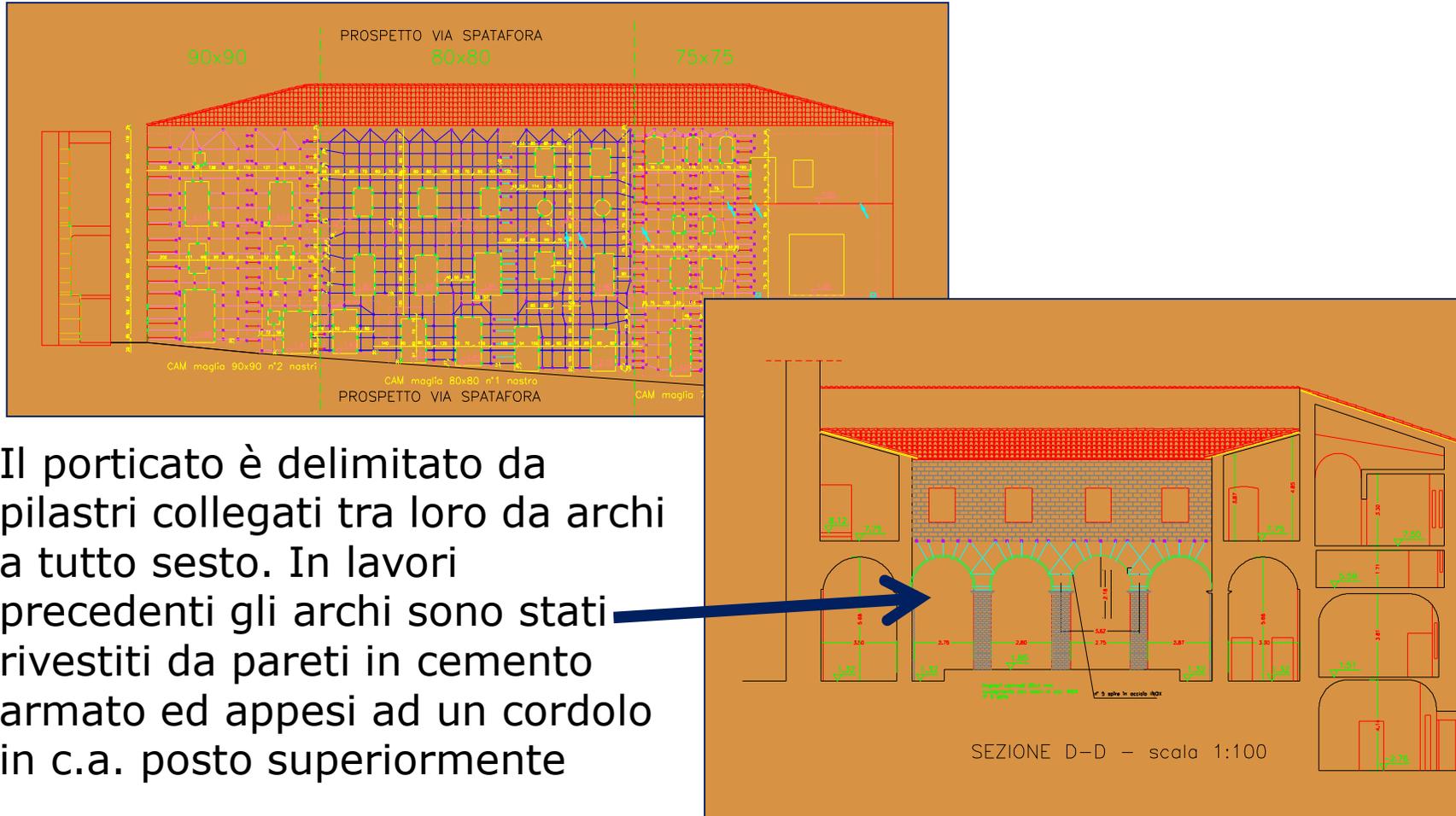
Realizzazioni col metodo CAM

Palazzo Gentile – Sant'Agata Militello (ME) – Chimetec Sas (RG)



Realizzazioni col metodo CAM

Convento Sant'Agostino - Corleone (PA) – Chimetec Sas (RG)



Realizzazioni col metodo CAM

Convento Sant'Agostino - Corleone (PA) – Chimetec Sas (RG)



L'intervento proposto per detti archi consiste nella realizzazione di cuciture metalliche pretese (CAM). Ogni singola maglia è chiusa su se stessa ed è costituita da quattro nastri sovrapposti.

Realizzazioni col metodo CAM

Convento Sant'Agostino - Corleone (PA) – Chimetec Sas (RG)



Così come per i maschi murari, alle estremità di ogni foro, sono posizionate, a diretto contatto con il paramento murario, una piastra imbutita e centine angolari in acciaio inossidabile allettati con malta. Le cerchiature incrementano la resistenza allo schiacciamento degli elementi strutturali sottoposti ad eccessiva compressione.



Ulteriori Informazioni

Cemento armato

1. <https://www.ingenio-web.it/ordini-ingegneri/3-ordine-degli-ingegneri-della-provincia-di-messina/20101-valutazione-sperimentale-dellefficacia-del-rinforzo-cam-su-travi-in-cemento-armato>
2. M. Cilia, I. Cipolla, P. Colajanni, R. Marnetto, A. Recupero, N. Spinella «Prove sperimentali su travi in c.a. rinforzate con metodo CAM®: valutazione del comportamento a taglio». Progettazione Sismica, 3, pp. 93-108, 2015 (<https://www.eucentre.it/editoria/progettazione-sismica-2>)

Muratura

1. P. Colajanni, A. Recupero, N. Spinella, «Progetto INCAMMINO – Indagini sperimentali su elementi strutturali in muratura rinforzati con il CAM» parte del libro «Conservare l'edilizia in muratura: il sistema CAM-Cuciture Attive dei Manufatti» a cura di R. Marnetto, A. Vari, M. Leonori, Preprogetti S.r.l. Roma, 2014, ISBN: 978-88-95027-04-3, pp. 173-180 (<https://www.ibs.it/conservare-edilizia-in-muratura-sistema-libro-vari/e/9788887731682>)
2. M. Cilia, I. Cipolla, P. Colajanni, R. Marnetto, A. Recupero, N. Spinella «Prove sperimentali in situ su tipica muratura messinese rinforzata con CAM: arco in muratura a piena scala». Progettazione Sismica, 3, 2014 (<https://www.eucentre.it/editoria/progettazione-sismica-2/>)
3. N. Spinella, P. Colajanni, A. Recupero «Experimental in situ behaviour of unreinforced masonry elements retrofitted by pre-tensioned stainless steel ribbons». Construction and Building Materials, 73, pp. 740-753, 2014 (<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.116>)

Grazie per l'attenzione