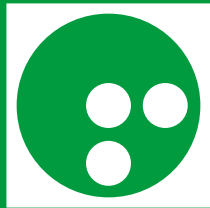


# MALTE STRUTTURALI

Rinforzo strutturale e antisismico delle murature esistenti







# **RINFORZO STRUTTURALE E ANTISISMICO DELLE MURATURE ESISTENTI**









# MALTE STRUTTURALI

## Indice

- 06. Interventi di rafforzamento delle murature esistenti
- 11. **Le malte strutturali**
- 13. **RESTAURMIX K05 F**
- 15. **CALCEVITA STRUTTURALE**
  
- 17. **Gli intonaci armati**
- 18. Le soluzioni per il consolidamento delle murature esistenti
- 20. Prove di compressione diagonale con **RESTAURMIX K05 F**
- 26. Prove di compressione diagonale con **CALCEVITA STRUTTURALE**
  
- 33. **I sistemi CRM**
- 35. Il nostro sistema CRM
- 37. Prove di compressione diagonale con **CALCEVITA STRUTTURALE** su singolo paramento
- 43. Prove di compressione diagonale con **CALCEVITA STRUTTURALE** su doppio paramento

# INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO DELLE MURATURE ESISTENTI

Gli edifici in muratura esistenti sono spesso complessi, costituiti da materiali eterogenei, difficili da analizzare e che spesso inducono dubbi relativi:

- alla tipologia di materiale impiegato
- alle caratteristiche meccaniche degli elementi costruttivi
- alla tecnica costruttiva impiegata
- al grado di connessione fra i vari elementi strutturali
- allo stato di conservazione

A queste problematiche si aggiungono spesso la mancanza di documentazione del progetto originale e quella relativa ad eventuali interventi successivi. Un'analisi approfondita e uno studio adeguato della struttura sono, quindi, di essenziale importanza prima di procedere con interventi su questa tipologia di manufatti. È, infatti, fondamentale raggiungere un adeguato livello di conoscenza dell'edificio in muratura, per poter ottenere un modello del comportamento strutturale pre e post intervento.

## **NTC del 2018 e Circolare attuativa del 2019 - Edifici esistenti in muratura**

La Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7, del 21 gennaio 2019, esplicativa delle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018 (NTC2018), riporta importanti indicazioni sulle modalità di esecuzione di prove e indagini per gli edifici in muratura esistenti che sono un presupposto fondamentale per la corretta modellazione del comportamento strutturale del fabbricato e per l'attendibilità dei risultati ottenuti.

## **Caratterizzazione della muratura: indagini e prove**

Data la grande varietà di tecniche costruttive e materiali impiegati per questa tipologia di costruzioni, il rilievo del fabbricato riveste un ruolo fondamentale. Il rilievo si concretizza nell'esecuzione di indagini classificate in tre livelli di approfondimento crescente:

- **indagini limitate**
- **indagini estese**
- **indagini esaustive**

Si tratta di indagini di tipo visivo, eseguite rimuovendo un'adeguata superficie di intonaco al fine di esaminare la tipologia di muratura presente.

Le indagini servono a verificare:

- il grado di ammorsamento fra le murature ortogonali
- le zone di appoggio dei solai, il collegamento fra solai e pareti e l'eventuale presenza di cordoli di piano
- la presenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture
- la presenza di eventuali catene
- la presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità

Il rilievo, ottenuto dalle indagini può essere confrontato, ove disponibili, con gli elaborati progettuali originali per ricavare ulteriori informazioni, come ad esempio evidenziare interventi e modifiche occorse dopo la costruzione dell'edificio.

Le prove che possono essere condotte sulla muratura esistente rivestono un grado aggiuntivo di conoscenza del manufatto e in funzione della loro tipologia e estensione corrisponderanno livelli di conoscenza differenti del manufatto.

**Prove limitate:** si limitano ad un esame visivo delle superfici, senza eseguire nessun tipo di prova sperimentale in sito. Le prove hanno lo scopo di individuare la tipologia di muratura al fine dell'assegnazione delle caratteristiche meccaniche.

**Prove estese:** si tratta di esami visivi diffusi e sistematici, sia in superficie sia nello spessore murario, eseguiti anche mediante endoscopie e accompagnati dall'analisi dei materiali che costituiscono la muratura. A questi esami si aggiungono indagini con tecniche diagnostiche non distruttive quali: penetrometriche, sclerometriche, termografiche, radar.

Le tecniche non distruttive possono essere eventualmente integrate, se necessario, da tecniche di indagine moderatamente distruttive quali i martinetti piatti.





**Prove esaustive:** richiedono tutte le prove previste nella categoria precedente (prove estese) e in aggiunta prove dirette sui materiali per la caratterizzazione meccanica. Le prove possono essere eseguite in situ oppure su campioni indisturbati di muratura prelevati in situ e comprendono ad

esempio: prove di compressione e di taglio, prove con martinetti piatti doppi, prove di compressione diagonale, ecc.

I risultati ottenuti dalle prove in situ saranno utilizzati per correggere i valori medi delle resistenze riportate nella tabella C8.5.I.

TIPOLOGIA DI MURATURA	<b>f</b> [N/mm <sup>2</sup> ] min-max	<b>τ<sub>0</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ] min-max	<b>f<sub>v0</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>E</b> [N/mm <sup>2</sup> ] min-max	<b>G</b> [N/mm <sup>2</sup> ] min-max	<b>w</b> [kN/m <sup>3</sup> ]
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0 2,0	0,018 0,032	- -	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	2,0	0,035 0,051	- -	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6 3,8	0,056 0,074	- -	1500 1980	500 660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4 2,2	0,028 0,042	- -	900 1260	300 420	13 ÷ 16
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	2,0 3,2	0,04 0,08	0,10 0,19	1200 1620	400 500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8 8,2	0,09 0,12	0,18 0,28	2400 3300	800 1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2,6 4,3	0,05 0,13	0,13 0,27	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura ≤40%)	5,0 8,0	0,08 0,17	0,20 0,36	3500 5600	875 1400	15

**Tabella C8.5.I**

**Legenda:** **f** = resistenza media a compressione, **τ<sub>0</sub>** = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali, **f<sub>v0</sub>** = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali, **E** = valore medio del modulo di elasticità normale, **G** = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, **w** = peso specifico medio

## Le tipologie di muratura

La Circolare del 2019 raccoglie nella tabella 8.5.I i valori indicativi dei parametri meccanici delle tipologie di muratura più ricorrenti.

Per le tipologie di muratura citate dalla Circolare si assumono le seguenti ipotesi: presenza di malta di calce di modeste caratteristiche (resistenza media a compressione  $f_m$  stimabile tra 0,7 e 1,5 N/mm<sup>2</sup>), assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, tessitura

(nel caso di elementi regolari) a regola d'arte, muratura non consolidata.

Per ogni tipologia di muratura vengono riportati i valori massimi e minimi dei parametri meccanici. Il valore da usare dipende dal livello di conoscenza raggiunto (in funzione delle indagini e prove eseguite, si veda paragrafo successivo).





La muratura dell'edificio che si sta analizzando potrebbe avere caratteristiche migliori rispetto a quelle ipotizzate dalla Circolare. In tal caso è possibile applicare dei coefficienti migliorativi ai parametri meccanici della muratura.

I coefficienti migliorativi proposti nella tabella C8.5.II sono distinti per ciascuna tipologia di muratura in corrispondenza di diverse caratteristiche presenti e sono distinti in due gruppi:

- **coefficienti migliorativi dello stato di fatto:** vanno applicati in presenza di malta buona, ricorsi o listature e connessioni trasversali
- **coefficienti migliorativi per interventi di consolidamento:** vanno applicati a seconda dell'intervento di consolidamento che si intende eseguire o che è stato eseguito sulla muratura. Gli interventi previsti sono: iniezioni di miscele leganti, intonaco armato, ristilatura armata e connessione dei paramenti.

TIPOLOGIA DI MURATURA	STATO DI FATTO			INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO			
	MALTA BUONA	RICORSI O LISTATURE	CONNESSIONE TRASVERSALE	INIEZIONE DI MISCELE LEGANTI	INTONACO ARMATO	RISTILATURA ARMATA CON CONNESSIONE DEI PARAMENTI	MASSIMO COEFFICIENTE COMPLESSIVO
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	-	-	1,3	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,30	-	1,3

**Tabella C8.5.II**

Come specificato nella Circolare, i coefficienti migliorativi possono essere applicati in combinazione tra loro, in forma moltiplicativa, considerando la concomitanza al più dei due effetti che hanno i coefficienti moltiplicativi più alti. Si deve inoltre rispettare il vincolo sul massimo coefficiente correttivo riportato nell'ultima colonna a destra della tabella.

Lo stesso discorso vale per gli interventi di consolidamento. In presenza di più interventi, i coefficienti andranno applicati in forma moltiplicativa, assumendo come valore massimo quello riportato nell'ultima colonna della tabella C8.5.II denominata "Massimo coefficiente complessivo".

## Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Come abbiamo già visto, le NTC hanno introdotto il concetto dei livelli di conoscenza della struttura esistente che sono tre: LC1, LC2 e LC3. In funzione del livello crescente di conoscenza è possibile impiegare Fattori di Confidenza (FC) decrescenti che vanno a modificare le proprietà meccaniche dei materiali secondo la seguente formula:

$R_d = R / FC$  (Resistenza ridotta del fattore di confidenza FC)

Quindi più alto sarà il livello di conoscenza, minore sarà FC e più limitato sarà l'intervento di consolidamento a parità di altri fattori.

La seguente tabella riepilogativa associa a ciascun livello di conoscenza i fattori di confidenza da utilizzare e il corrispondente livello di approfondimento di indagini e prove.

Livello di conoscenza	Indagini	Prove	Resistenza da tabella C8.5.I	Modulo elastico da tabella C8.5.I	FC*
LC1	limitate	limitate	Valore minimo	Valore medio	1.35
LC2	estese	estese	Valore medio	Valore medio	1.20
LC3	esaustive	esaustive	Aggiornata da risultati prove in sito	Aggiornata da risultati prove in sito	1.00

\* fattori di confidenza



PRODOTTI

# LE NOSTRE MALTE STRUTTURALI



# UN SACCO PROTETTIVO

LINEA RESTAURMIX





# LINEA RESTAURMIX

Malte e Betoncini per Ripristino e Consolidamento delle Murature



NORMA **UNI EN 998-2**

CLASSE **G M25**

Consumo ca 17 kg/m<sup>2</sup> \*

Colore Grigio

Confezione Sacco 25Kg - Sfuso silo

Pallet 40 Sacchi

\* kg di prodotto secco per 1m<sup>2</sup>, spessore di 1cm

## RESTAURMIX K05 F

RESTAURMIX K05 F è una malta premiscelata a secco, composta da: cemento portland, aggregati selezionati, fibre e additivi per compensare il ritiro idraulico e per migliorare la lavorabilità, l'adesione, le prestazioni fisico meccaniche e la durabilità agli agenti atmosferici.

Il prodotto è conforme alla norma **UNI EN 998-2** ed è classificato come **G M25**.

RESTAURMIX K05 F è ideale:

- in applicazioni dove sono richieste elevate resistenze alla compressione e all'adesione
- nel ripristino e consolidamento di murature in laterizio, mattoni, pietra, blocchi in calcestruzzo, anche in abbinamento a reti metalliche elettrosaldate o in fibra di vetro alcali-resistente
- come intonaco di supporto per ricevere piastrellature ceramiche a tutta parete, in esterno



Adatto al  
miglioramento sismico



Adatto per  
nuove costruzioni

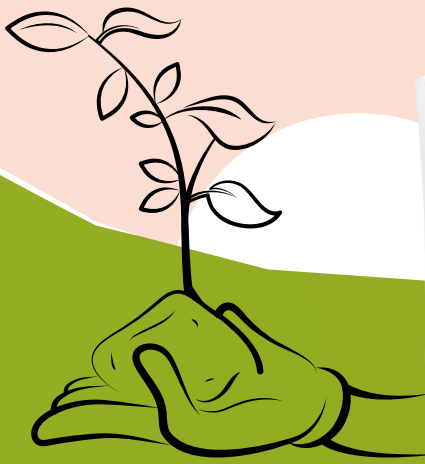


Adatto per  
vecchie costruzioni



# UN SACCO NATURALE

LINEA CALCEVITA





# LINEA CALCEVITA

Sistemi per risanamento e restauro



NORMA **UNI EN 998-2**

CLASSE **G M15**

Consumo ca 16 - 17 kg/m<sup>2</sup> \*

Colore Nocciola

Confezione Sacco 25Kg - Sfuso silo

Pallet 40 Sacchi

\* kg di prodotto secco per 1m<sup>2</sup>, spessore di 1cm

## CALCEVITA STRUTTURALE

**CALCEVITA STRUTTURALE** è una malta premiscelata a secco, **a base di calce idraulica naturale (NHL 3,5** in accordo a EN 459-1), biollegante minerale ad azione pozzolanica, sabbie selezionate e fibre. La calce idraulica naturale conferisce al prodotto un'elevata porosità e traspirabilità e, grazie alla presenza del biollegante minerale, un'estrema resistenza agli agenti aggressivi e una scarsa propensione alla formazione di efflorescenze.

**Il prodotto è conforme alla norma UNI EN 998-2 ed è classificato come G M15.**

**CALCEVITA STRUTTURALE** è ideale in applicazioni dove sono richieste elevate prestazioni meccaniche o nel rinforzo statico; può essere impiegato come intonaco nel ripristino e consolidamento di murature in laterizio, mattoni, pietra, blocchi in calcestruzzo, anche in abbinamento a reti metalliche elettrosaldate o in fibra di vetro. Può essere utilizzato anche come malta di allettamento e di stilatura per murature portanti e di tamponamento.

Tutti i prodotti del ciclo CALCEVITA, specifico per risanare e restaurare edifici di pregio storico e artistico, anche sotto tutela, ma anche fabbricati recenti e per applicazioni in bioedilizia, sono formulati a partire da costituenti naturali e a basso impatto ambientale.



Adatto al  
miglioramento sismico



Adatto per  
nuove costruzioni



Adatto per  
vecchie costruzioni



Adatto per  
le Belle Arti







SOLUZIONI

# INTONACI ARMATI

# LE SOLUZIONI DI CONSOLIDAMENTO DELLE MURATURE ESISTENTI

Il tipo di intervento da effettuare deve essere valutato in relazione alla tipologia e alla qualità della muratura e può variare da interventi di ricostruzione parziale (scuci-cuci) al consolidamento mediante iniezioni o mediante interventi superficiali di placcaggio o altre tecniche opportune.

## L'intonaco armato

L'intervento di placcaggio delle murature, mediante la tecnica dell'intonaco armato, rappresenta una possibile soluzione finalizzata all'incremento della capacità portante e alla riduzione della vulnerabilità sismica delle pareti. I rinforzi murari sono ottenuti attraverso la realizzazione di un intonaco armato sulle due facce della parete, con l'applicazione di una malta da muratura, una rete elettrosaldata in acciaio che viene fissata ai paramenti mediante connettori in acciaio.

Il sistema di rinforzo può essere applicato anche su un solo paramento del muro in tutti quei casi in cui non è possibile intervenire su entrambi.

Questa tipologia di intervento ha avuto un ruolo primario negli interventi di miglioramento o di adeguamento sismico degli edifici esistenti, in particolare per quanto riguarda il rinforzo a taglio delle pareti murarie. L'incremento di resistenza conseguibile con tale tecnica è elevato, ma nel tempo sono emerse, in alcuni casi, alcune problematiche:

- copriferro inadeguato con conseguente ossidazione delle reti e dei sistemi di connessione metallici
- elevata vulnerabilità all'umidità di risalita capillare
- mancanza di elementi complementari di sistema, ad esempio gli angolari, che consentano la continuità del rinforzo
- scarsa traspirabilità del sistema dovuto all'impiego di betoncini cementizi ad alta resistenza, poco traspiranti
- notevoli incrementi di rigidità delle pareti murarie su cui è applicato il rinforzo con conseguente modifica del comportamento meccanico dell'edificio

L'impiego di reti preformate in fibra di vetro e resina epossidica e malte a più basso modulo elastico, consente il superamento delle criticità soprariportate.

Riassumendo, quindi, gli intonaci armati si possono basare su tre tipologie di intervento:

1. con una rete elettrosaldata in acciaio
2. con una rete preformata in materiali compositi (Fiber Reinforced Polymer FRP) con relativi connettori, applicata attraverso matrici inorganiche (malte)
3. con una rete in fibra di vetro o di altra natura con o senza connettori, sempre con malte inorganiche ma a più basso spessore

seguendo così le tre diverse tipologie di rinforzo:

1. intonaco armato tradizionale
2. CRM (Composite Reinforced Mortar)
3. FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato, per i sistemi FRCM e CRM, le linee guida per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione (D.P.C.S.L.P. n.1 del 08.01.2019 per gli FRCM; D.P.C.S.L.P. n. 292 del 29.05.2019 per il CRM).

## Scuci-Cuci

Se la muratura da consolidare è di buona qualità e presenta dei danneggiamenti localizzati, è possibile procedere con la tecnica scuci-cuci: interventi di demolizione locale, scuci-cuci, e successiva ricostruzione sono operazioni da eseguire con la massima cautela evitando colpi e vibrazioni durante la fase di demolizione e provvedendo alle eventuali opere di presidio.

## Ristilatura

Nella Circolare delle NTC 2018 si evidenzia come qualora i setti murari siano costituiti da materiale di bassa qualità possa risultare opportuno migliorare le caratteristiche meccaniche del materiale.

Nell'ipotesi di erosione del giunto di malta, con conseguente perdita della sua funzione, è opportuno operare con interventi di ristilatura dei giunti stessi; l'intervento di ripristino e consolidamento è di tipo esclusivamente superficiale impiegando opportune malte che non alterino le caratteristiche fisico-meccaniche dell'edificio.





# RESTAURMIX K05 F

## Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

### Rinforzo murario mediante intonaco armato con rete metallica

Per valutare l'efficacia della soluzione di rinforzo murario con l'intonaco RESTAURMIX K05 F sono state eseguite delle prove di compressione diagonale controllata in riferimento alla norma ASTM E519/E519M-21 effettuate presso il laboratorio PLUS LAB S.r.l. in via Portico, 4 Orio al Serio (BG). Sono stati realizzati 4 blocchi in muratura di base realizzati con mattoni pieni e malta con presenza esclusiva di giunti di allettamento orizzontali e assenza di giunti verticali.

Le caratteristiche della muratura di base sono le seguenti:

- Mattone pieno "tipo portante sismico stabile"
- Resistenza mattone  $30 \div 40$  Mpa
- Massa volumica mattone  $17 \div 18$  kN/mc
- Classe di resistenza malta M5
- Spessore giunti in malta 1cm

Una coppia di blocchi di muratura è stata testata senza rinforzi di sorta per ottenere i parametri di riferimento e ad una coppia di blocchi è stato applicato sulle due facce un intonaco armato con le seguenti caratteristiche:

- Intonaco con RESTAURMIX K05 F con spessore di 40 mm
- Rete elettrosaldata filo 5mm con maglia 20x20 cm, annegata al centro dell'intonaco
- Connettori passanti in acciaio con diametro 8 mm, inghisati con resine epossidiche e risvoltati a L, da entrambi i lati
- Interesse dei connettori circa 50 cm (4 per mq) con sovrapposizione alla rete per circa 10 cm

La prova prevede l'applicazione di un carico quasi - statico verticale lungo una diagonale del campione in prova. Il carico applicato viene aumentato lentamente fino alla rottura del campione, ovvero fino al raggiungimento della condizione per la quale il carico non può essere ulteriormente aumentato a causa della mancanza di resistenza offerta dal campione stesso. La sollecitazione viene applicata per mezzo di una rampa di carico controllata in spostamento con incremento costante del valore di 0.01 mm/s. Contestualmente all'applicazione del carico, sulle superfici anteriore e posteriore, vengono misurate le deformazioni del campione nelle direzioni definite dalle diagonali. Di seguito la vista frontale del setup di prova.

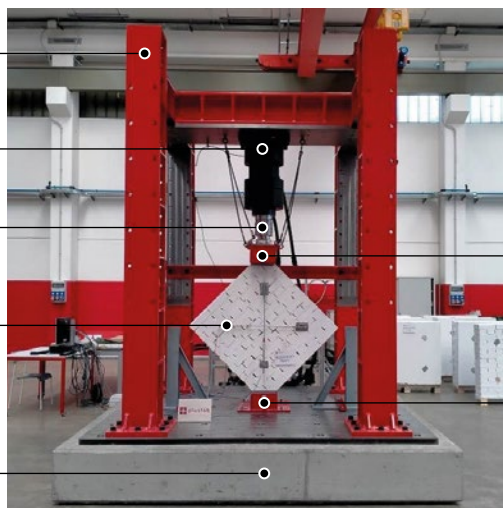
Telaio di contrasto

Attuatore

Trasduttore di forza

Trasduttori di spostamento

Basamento



Scarpa superiore

Scarpa inferiore

# RESTAURMIX K05 F

## Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

La tabella seguente riassume i valori del carico di rottura e del carico corrispondente al rilevamento delle fessure:

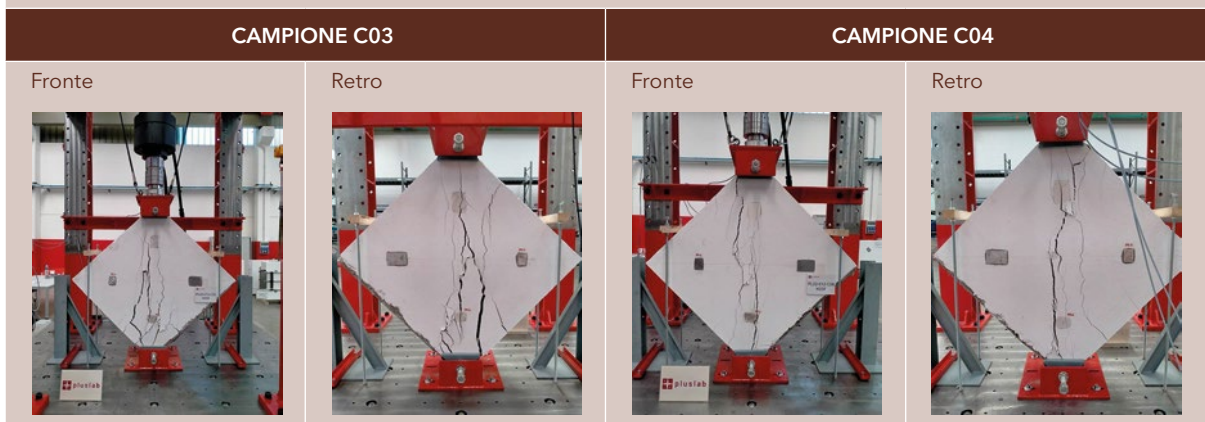
Tipo di rinforzo	Carico di rottura [kN]	Carico di fessurazione [kN]
Nessuno	50,0	Prossimo a rottura
Nessuno	52,2	Prossimo a rottura
Restaurmix K05 F	330,9	≈ 280
Restaurmix K05 F	333,7	≈ 280

Di seguito il report fotografico a conclusione della prova relativo ai campioni non rinforzati (C01-C02) e a quelli rinforzati con RESTAURMIX K05 F (C03-C04).

### CAMPIONI NON RINFORZATI



### CAMPIONI RINFORZATI CON RESTAURMIX K05 F



## RESTAURMIX K05 F

### Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

CAMPIONI NON RINFORZATI	
CAMPIONE C01	CAMPIONE C02
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>50,0 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>52,2 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>

CAMPIONI RINFORZATI CON RESTAURMIX K05 F	
CAMPIONE C03	CAMPIONE C04
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>330,9 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Al termine della prova non si riscontra il distacco dell'intonaco dalla muratura di base, sulla quale si notano delle fessure trasversali.</p> <p>A seguito dell'apertura volontaria di uno scasso di ispezione si nota che l'intonaco era fortemente adeso alla muratura di base tanto che la rottura dell'intonaco non ne ha provocato il distacco bensì ha provocato la rottura dei mattoni della muratura base.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 280</math> kN.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>333,7 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Al termine della prova non si riscontra il distacco dell'intonaco dalla muratura di base sulla quale si notano delle fessure trasversali.</p> <p>Dall'osservazione delle fessure residue si nota che l'intonaco era fortemente adeso alla muratura base.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 280</math> kN.</p>

Nelle pagine seguenti saranno evidenziati i risultati sperimentali sottoforma di grafici e tabelle.

Nella restituzione grafica saranno rappresentati i valori degli spostamenti medi verticali ed orizzontali in funzione del carico.

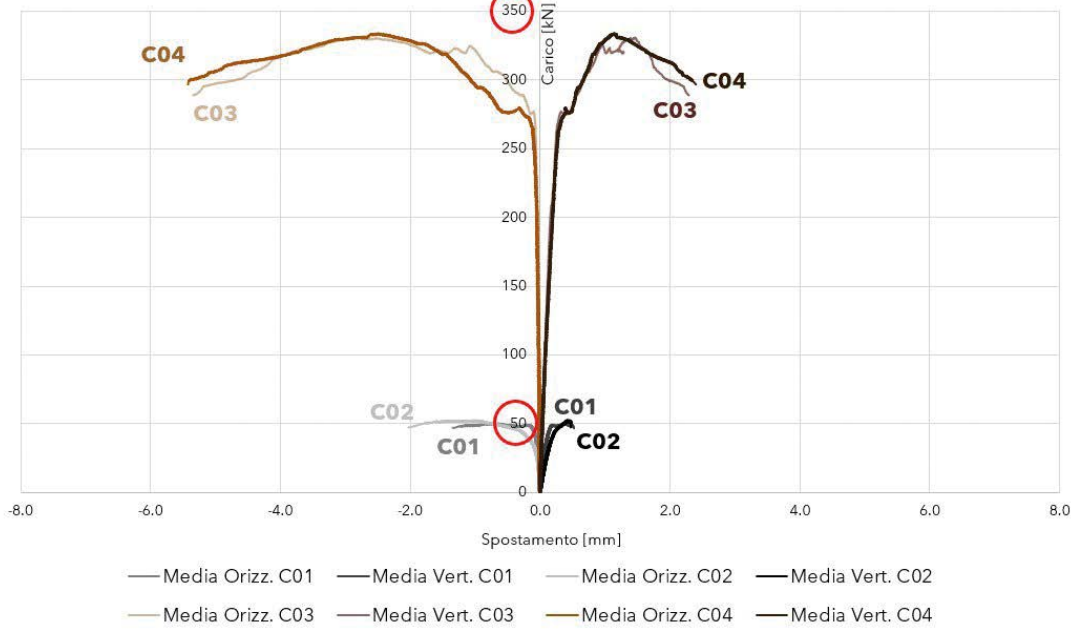
Seguiranno i grafici di sforzo deformazione. Successivamente sottoforma tabellare saranno riassunti i valori di carico, deformazione di taglio, sforzo di taglio massimo e modulo di rigidezza.



# RESTAURMIX K05 F

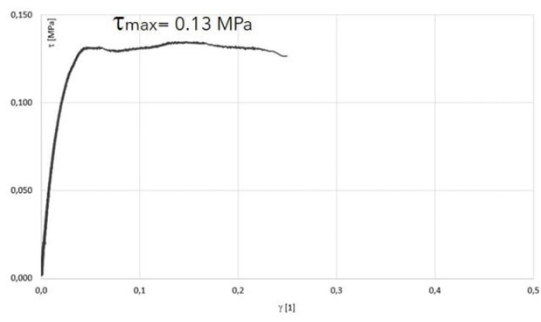
Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

Grafico carico-spostamento medio

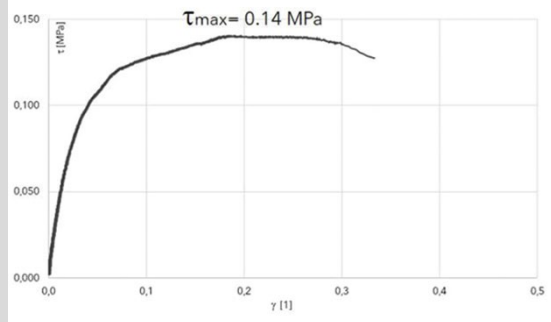


## CAMPIONI NON RINFORZATI

CAMPIONE C01

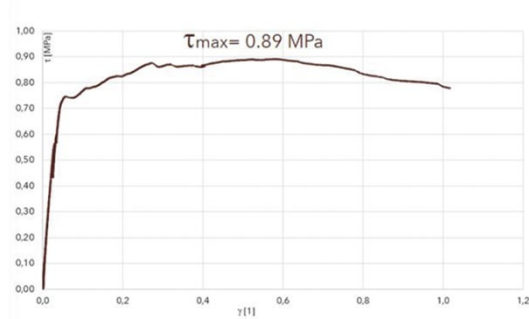


CAMPIONE C02

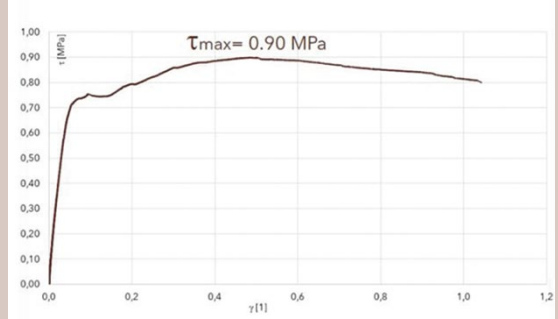


## CAMPIONI RINFORZATI CON RESTAURMIX K05 F

CAMPIONE C03



CAMPIONE C04



# RESTAURMIX K05 F

## Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

Nella seguente tabella sono riportati i valori di seguito descritti:

- $P_{max}$ : carico massimo a rottura
- $P_{1^{\circ}snervamento}$ : carico corrispondente al primo snervamento
- $Y_{max}$ : deformazione massima a rottura
- $Y_{1^{\circ}snervamento}$ : deformazione corrispondente al primo snervamento
- $\tau_{max}$ : sforzo di taglio a rottura
- $\tau_{1^{\circ}snervamento}$ : sforzo di taglio corrispondente al primo snervamento
- $G_{1^{\circ}snervamento}$ : modulo di rigidezza nel tratto di primo snervamento
- $G_{Elastico}$ : modulo di rigidezza nel tratto elastico

	$P_{max}$ [kN]	$P_{1^{\circ}snerv}$ [kN]	$Y_{max}$ [1]	$Y_{1^{\circ}snerv}$ [1]
C01 - non rinforzato	50,03	38,00	1,36E-03	2,16E-04
C02 - non rinforzato	52,16	35,00	1,90E-03	2,50E-04
<b>Media C01-C02</b>	<b>51,10</b>	<b>36,50</b>	<b>1,63E-03</b>	<b>2,33E-04</b>
C03 - Restaurmix K05 F	330,95	270,00	5,77E-03	4,77E-04
C04 - Restaurmix K05 F	333,66	270,00	4,85E-03	6,38E-04
<b>Media C03-C04</b>	<b>332,31</b>	<b>270,00</b>	<b>5,31E-03</b>	<b>5,58E-04</b>

	$\tau_{max}$ [Mpa]	$\tau_{1^{\circ}snerv}$ [Mpa]	$G_{elastico}$ [Mpa]	$G_{1^{\circ}snerv}$ [Mpa]
C01 - non rinforzato	0,13	0,10	474,54	28,31
C02 - non rinforzato	0,14	0,09	377,19	28,06
<b>Media C01-C02</b>	<b>0,14</b>	<b>0,10</b>	<b>425,87</b>	<b>28,18</b>
C03 - Restaurmix K05 F	0,89	0,73	1524,46	31,00
C04 - Restaurmix K05 F	0,90	0,73	1139,70	40,75
<b>Media C03-C04</b>	<b>0,90</b>	<b>0,73</b>	<b>1332,08</b>	<b>35,87</b>

Sforzo di taglio a rottura		Modulo di rigidezza nel tratto elastico	
Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi		Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi	
$\tau_{max\_K05 F} / \tau_{max\_N.R}$	<b>6,50</b>	$G_{K05 F} / G_{N.R}$	<b>3,13</b>

La Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 2019 (esplicativa delle NTC2018), individua nella tabella 8.5. Il un coefficiente migliorativo pari a 1,5 per un rinforzo con intonaco armato applicato ad una tipologia muraria come quelle prese in esame (Muratura in mattoni pieni e malta di calce). Il coefficiente può essere applicato ai parametri di resistenza e ai moduli elastici.

Il rapporto tra sforzi di taglio a rottura e moduli di rigidezza elastici permette di osservare come i provini C03-C04 abbiano subito un notevole incremento delle prestazioni meccaniche.

**In termini di resistenza** il materiale RESTAURMIX K05 F aumenta di **6,50** il valore di  $\tau$  originario. In definitiva il materiale di rinforzo RESTAURMIX K05 F **contribuisce notevolmente all'aumento di resistenza del maschio murario.**







## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

#### Rinforzo murario mediante intonaco armato con rete metallica

Per valutare l'efficacia della soluzione di rinforzo murario con l'intonaco **CALCEVITA STRUTTURALE** sono state eseguite delle prove di compressione diagonale controllata in riferimento alla norma ASTM E519/E519M-21 effettuate presso il laboratorio PLUS LAB S.r.l. in via Portico, 4 Orio al Serio (BG).

Sono stati realizzati 4 blocchi in muratura di base realizzati con mattoni pieni e malta con presenza esclusiva di giunti di allettamento orizzontali e assenza di giunti verticali.

Le caratteristiche della muratura di base sono le seguenti:

- Mattone pieno "tipo portante sismico stabile"
- Resistenza mattone  $30 \div 40$  Mpa
- Massa volumica mattone  $17 \div 18$  kN/mc
- Classe di resistenza malta M5
- Spessore giunti in malta 1cm

Una coppia di blocchi di muratura è stata testata senza rinforzi di sorta per ottenere i parametri di riferimento e ad una coppia di blocchi è stato applicato sulle due facce un intonaco armato con le seguenti caratteristiche:

- Intonaco con **CALCEVITA STRUTTURALE** con spessore di 40 mm
- Rete elettrosaldata filo 5mm con maglia 20x20 cm, annegata al centro dell'intonaco
- Connettori passanti in acciaio con diametro 8 mm, inghisati con resine epossidiche e risvoltati a L, da entrambi i lati
- Interesse dei connettori circa 50 cm (4 per mq) con sovrapposizione alla rete per circa 10 cm

La prova prevede l'applicazione di un carico quasi - statico verticale lungo una diagonale del campione in prova.

Il carico applicato viene aumentato lentamente fino alla rottura del campione, ovvero fino al raggiungimento della condizione per la quale il carico non può essere ulteriormente aumentato a causa della mancanza di resistenza offerta dal campione stesso. La sollecitazione viene applicata per mezzo di una rampa di carico controllata in spostamento con incremento costante del valore di 0.01 mm/s.

Contestualmente all'applicazione del carico, sulle superfici anteriore e posteriore, vengono misurate le deformazioni del campione nelle direzioni definite dalle diagonali. Di seguito la vista frontale del setup di prova.



## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

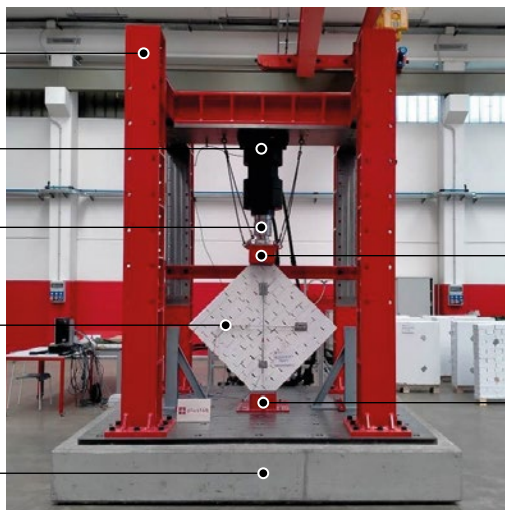
Telaio  
di contrasto

Attuatore

Trasduttore  
di forza

Trasduttori  
di spostamento

Basamento



Scarpa  
superiore

Scarpa  
inferiore

La tabella seguente riassume i valori del carico di rottura e del carico corrispondente al rilevamento delle fessure:

Tipo di rinforzo	Carico di rottura [kN]	Carico di fessurazione [kN]
Nessuno	50,0	Prossimo a rottura
Nessuno	52,2	Prossimo a rottura
<b>Calcevita Strutturale</b>	195,4	≈ 160
<b>Calcevita Strutturale</b>	157,4	≈ 130

Di seguito il report fotografico a conclusione della prova relativo ai campioni non rinforzati (C01-C02) e a quelli rinforzati con **CALCEVITA STRUTTURALE** (C03-C04).

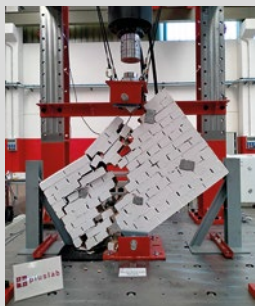
## LINEA CALCEVITA

Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

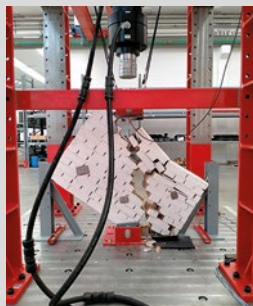
### CAMPIONI NON RINFORZATI

#### CAMPIONE C01

Fronte

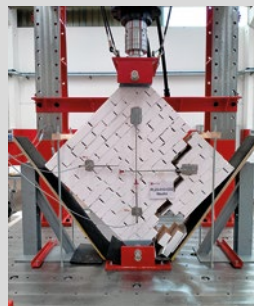


Retro

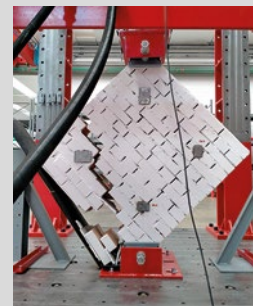


#### CAMPIONE C02

Fronte



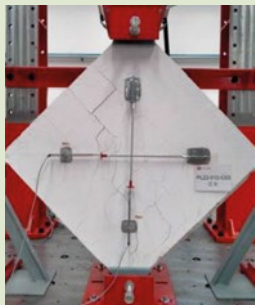
Retro



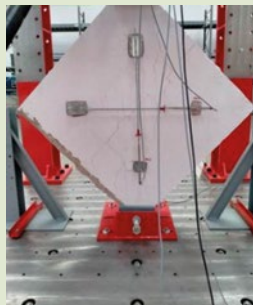
### CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE

#### CAMPIONE C03

Fronte

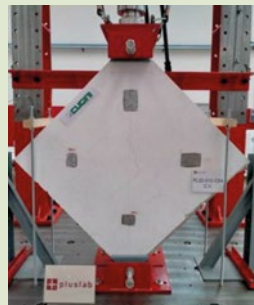


Retro

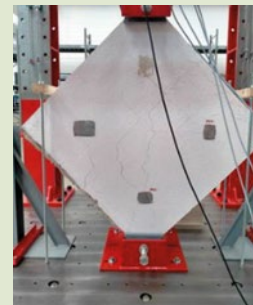


#### CAMPIONE C04

Fronte



Retro



## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

CAMPIONI NON RINFORZATI	
CAMPIONE C01	CAMPIONE C02
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>50,0 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>52,2 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>

CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE	
CAMPIONE C03	CAMPIONE C04
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>195,4 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Al termine della prova si riscontra un leggero distacco dell'intonaco dal blocco di muratura di base.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 160</math> kN.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>157,4 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Al termine della prova si riscontra un leggero distacco dell'intonaco dal blocco di muratura di base.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 130</math> kN.</p>

Nelle pagine seguenti saranno evidenziati i risultati sperimentali sottoforma di grafici e tabelle.

Nella restituzione grafica saranno rappresentati i valori degli spostamenti medi verticali ed orizzontali in funzione del carico.

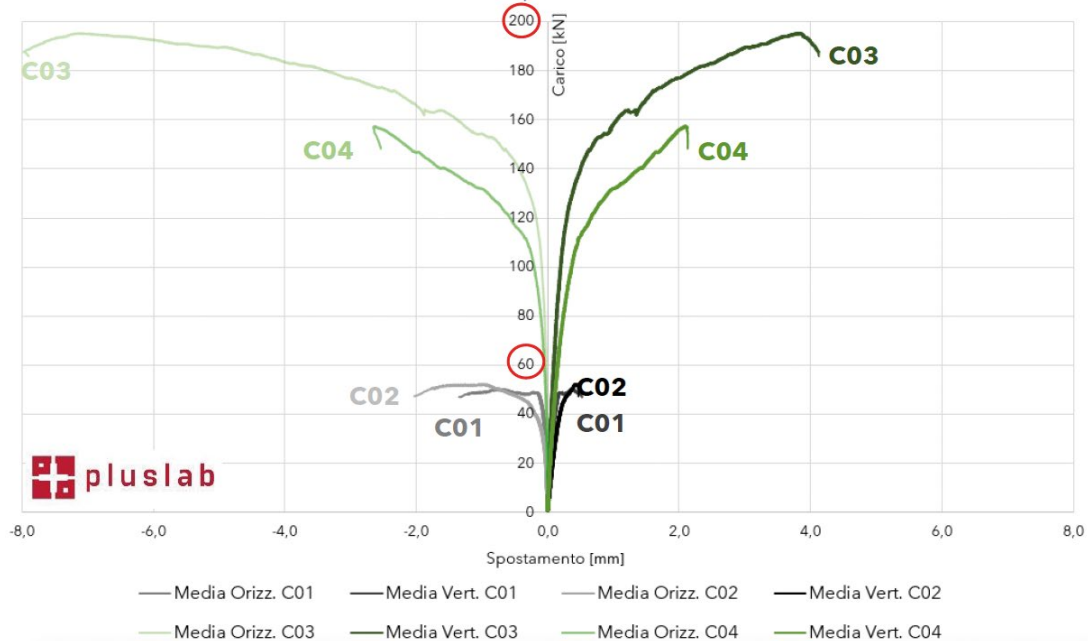
Seguiranno i grafici di sforzo deformazione. Successivamente sottoforma tabellare saranno riassunti i valori di carico, deformazione di taglio, sforzo di taglio massimo e modulo di rigidezza.



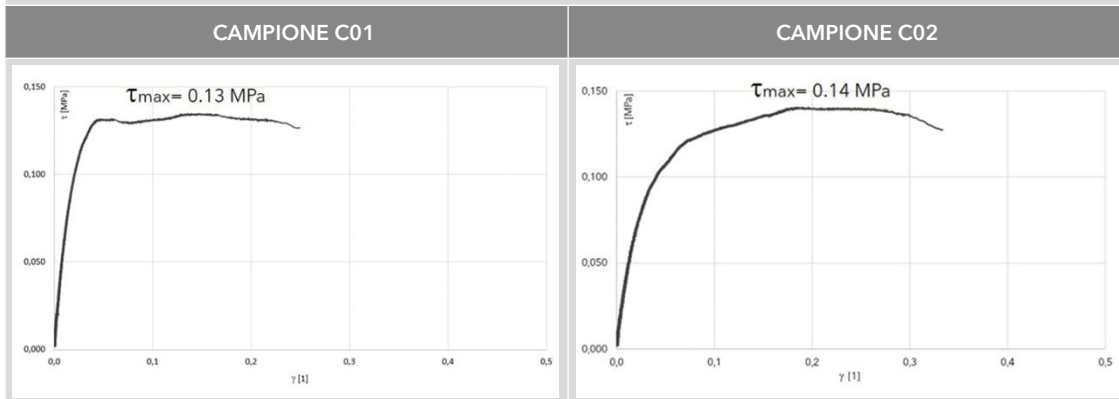
# LINEA CALCEVITA

## Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

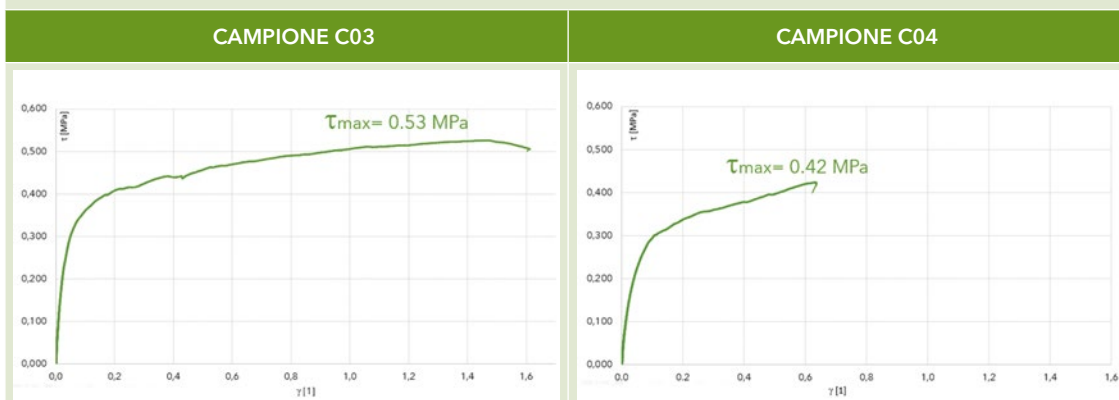
Grafico carico-spostamento medio



### CAMPIONI NON RINFORZATI



### CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE



## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Intonaco armato

Nella seguente tabella sono riportati i valori di seguito descritti:

- $P_{max}$ : carico massimo a rottura
- $P_{1^{\circ}snervamento}$ : carico corrispondente al primo snervamento
- $Y_{max}$ : deformazione massima a rottura
- $Y_{1^{\circ}snervamento}$ : deformazione corrispondente al primo snervamento
- $\tau_{max}$ : sforzo di taglio a rottura
- $\tau_{1^{\circ}snervamento}$ : sforzo di taglio corrispondente al primo snervamento
- $G_{1^{\circ}snervamento}$ : modulo di rigidezza nel tratto di primo snervamento
- $G_{Elastico}$ : modulo di rigidezza nel tratto elastico

	$P_{max}$ [kN]	$P_{1^{\circ}snerv}$ [kN]	$Y_{max}$ [1]	$Y_{1^{\circ}snerv}$ [1]
C01 - non rinforzato	50,03	38,00	1,36E-03	2,16E-04
C02 - non rinforzato	52,16	35,00	1,90E-03	2,50E-04
<b>Media C01-C02</b>	<b>51,10</b>	<b>36,50</b>	<b>1,63E-03</b>	<b>2,33E-04</b>
C03 - Calcevita Strutturale	195,38	115,00	1,46E-02	4,73E-04
C04 - Calcevita Strutturale	157,37	90,00	6,28E-03	5,89E-04
<b>Media C03-C04</b>	<b>176,37</b>	<b>102,50</b>	<b>1,04E-02</b>	<b>5,31E-04</b>

	$\tau_{max}$ [Mpa]	$\tau_{1^{\circ}snerv}$ [Mpa]	$G_{elastico}$ [Mpa]	$G_{1^{\circ}snerv}$ [Mpa]
C01 - non rinforzato	0,13	0,10	474,54	28,31
C02 - non rinforzato	0,14	0,09	377,19	28,06
<b>Media C01-C02</b>	<b>0,14</b>	<b>0,10</b>	<b>425,87</b>	<b>28,18</b>
C03 - Calcevita Strutturale	0,53	0,31	655,05	15,36
C04 - Calcevita Strutturale	0,42	0,30	503,03	22,44
<b>Media C03-C04</b>	<b>0,48</b>	<b>0,30</b>	<b>579,04</b>	<b>18,90</b>

Sforzo di taglio a rottura		Modulo di rigidezza nel tratto elastico	
Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi		Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi	
$\tau_{max\_CV} / \tau_{max\_N.R}$	<b>3,45</b>	$G_{CV} / G_{N.R}$	<b>1,36</b>

La Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 2019 (esplicativa delle NTC2018), individua nella tabella 8.5.11 un coefficiente migliorativo pari a 1,5 per un rinforzo con intonaco armato applicato ad una tipologia muraria come quelle prese in esame (Muratura in mattoni pieni e malta di calce). Il coefficiente può essere applicato a i parametri di resistenza e ai moduli elastici. Il rapporto tra i moduli di rigidezza elastici

permette di osservare come i provini C03-C04 siano in linea con la rigidezza della muratura priva di rinforzo (il valore è prossimo a 1). In altre parole, il manufatto con intonaco armato ha un comportamento elastico simile al muro senza rinforzo armato

**In termini di resistenza** il materiale **CALCEVITA STRUTTURALE** incrementa di **3,45** volte il valore di  $\tau$  rispetto al campione privo di rinforzo.







SOLUZIONI

# I SISTEMI CRM

# INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO DELLE MURATURE ESISTENTI

## I sistemi CRM

I sistemi CRM (**Composite Reinforced Mortar**) rientrano nella categoria dei **materiali compositi** per il rinforzo strutturale (come anche i FRCM, i FRP e i FRC) e la loro diffusione negli interventi di recupero è sempre maggiore grazie alla facilità della loro posa, all'adattabilità alle diverse geometrie strutturali e alle elevate prestazioni meccaniche che si possono ottenere.

I sistemi sono impiegati per il rinforzo strutturale di elementi murari esistenti, per consentire un miglioramento sia a carattere locale che nel comportamento globale dell'edificio.

Questi sistemi sono normalmente costituiti da una **rete preformata** in composito FRP (Fiber Reinforced Polymer). Le reti, gli angolari e gli elementi di connessione in composito, costituenti i sistemi di rinforzo CRM, sono realizzati mediante l'impiego di fibre lunghe e continue di vetro, carbonio, basalto o aramide, immerse in una matrice polimerica termoindurente. La rete viene annegata in una malta strutturale. Per garantire l'efficacia e la continuità del rinforzo nell'intersezione tra i vari setti murari, è prevista l'applicazione di **elementi angolari** che, generalmente, sono della stessa tipologia della rete. L'aderenza del sistema CRM all'elemento murario è garantita, oltre che dalla malta utilizzata, da connettori (che possono essere o meno passanti per l'intero spessore della muratura), fissati all'elemento murario tramite ancoranti chimici. L'intonaco di malta che ingloba la rete in FRP deve avere uno spessore compreso tra 30 e 50 mm.

Il sistema CRM può essere utilizzato su diverse tipologie di muratura: laterizio, tufo e pietra, ecc. I vantaggi, di questa metodologia di rinforzo, consistono principalmente nella **bassa invasività dell'intervento** e nella **rapidità di applicazione** che permettono di contenere i costi.

## Impiego e vantaggi

La tecnica CRM è impiegata principalmente per:

- migliorare e adeguare il comportamento, in caso di sisma, di edifici storici anche sottoposti a tutela delle belle arti
- il ripristino strutturale a seguito di eventi sismici
- il miglioramento strutturale di edifici civili e industriali
- il consolidamento di strutture degradate

I sistemi CRM possono essere impiegati sia per un miglioramento del comportamento globale dell'edificio, incrementando la rigidezza e la resistenza dei setti murari, sia per la prevenzione di possibili meccanismi locali di collasso, andando a prevenire eventuali ribaltamenti di alcune porzioni dell'edificio in muratura. Inoltre, il sistema CRM riesce a garantire un incremento della capacità di deformazione e della resistenza al taglio della muratura, conferendo quindi al manufatto una maggiore capacità di dissipare energia rispetto alla muratura non rinforzata; quest'ultimo aspetto è molto importante nel caso venga sottoposta all'azione di un sisma.

La metodologia CRM sta avendo una rapida diffusione in tutti gli interventi di rinforzo strutturale sul patrimonio edilizio esistente anche riferito agli edifici storici tutelati. Sicuramente questa tipologia di intervento è favorita, rispetto ai tradizionali intonaci armati con reti elettrosaldate, dalla facilità di posa della rete in FRP e dalla maggiore resistenza nei confronti degli agenti chimici.

I CRM offrono, rispetto agli intonaci armati con rete metallica, una serie di vantaggi:

1. nessun fenomeno di corrosione della rete e dei connettori
2. riduzione della rigidezza rispetto all'utilizzo di rete elettrosaldata con betoncini con elevato modulo elastico
3. agilità nella movimentazione e applicazione delle reti in fibra

## Il nostro sistema CRM

Il sistema CRM da noi proposto è costituito da:

- Applicazione di un intonaco realizzato con **CALCEVITA STRUTTURALE** di classe M15 con uno spessore da 3 a 5 cm, al netto del livellamento del supporto
- Reti in fibra di vetro della ditta GAVAZZI tipo AR 0355 EP (peso per unità di superficie 305 g/m<sup>2</sup>) oppure tipo AR0590EP (peso per unità di superficie 305 g/m<sup>2</sup>), entrambe con dimensioni della maglia (trama x ordito) di 38x38 mm
- Elemento ad angolo della ditta GAVAZZI tipo AR0355EP 252510 (peso per unità di superficie 305 g/m<sup>2</sup>) con dimensioni della maglia (trama x ordito) di 38x38 mm
- Connettore a L in GFRP della ditta GAVAZZI tipo CONR-E07 ad aderenza migliorata, in fibra di vetro ECR (boron free) impregnato con resina termoindurente con diametri 7 mm e con lunghezze da 10 a 100 cm fissato con resina epossidica al muro oppure
- Barre elicoidali in acciaio inossidabile Heli-Brick della Hilti con diametri da 6 a 12 mm e lunghezze da 40 a 100 cm

Le reti e l'elemento ad angolo in FRP della ditta GAVAZZI hanno ottenuto l'ETA n. 21/0962 e possono essere impiegate come parte dei sistemi CRM per il rinforzo di strutture in calcestruzzo o muratura. Le prove, per la valutazione delle prestazioni delle reti AR0355EP e AR0590EP e dell'elemento d'angolo AR0355EP 252510 in FRP, sono state eseguite in accordo all'EAD 340392-00-0104 secondo i metodi di prova ivi riportati e le relative indicazioni per il campionamento, il condizionamento e le condizioni di prova.

Le reti in FRP sono composte da trefoli in fibra di vetro AR (alcali-resistente), con contenuto di Ossido di Zirconio (ZrO<sub>2</sub>) superiore al 16% (secondo EN 15422), completamente impregnati con una resina termoindurente.

Le reti sono ordite da cantra, tessute a telaio e successivamente impregnate immergendo il tessuto in un bagno di resina. La resina viene successivamente totalmente reticolata per ottenere il prodotto finito. L'ordito della rete è realizzato da filo piatto esente di torsione orientato longitudinalmente e costituito da numerosi filamenti interni. L'ordito intreccia trasversalmente la trama ad una distanza regolare predefinita. La trama è costituita da filo piatto senza torsione.

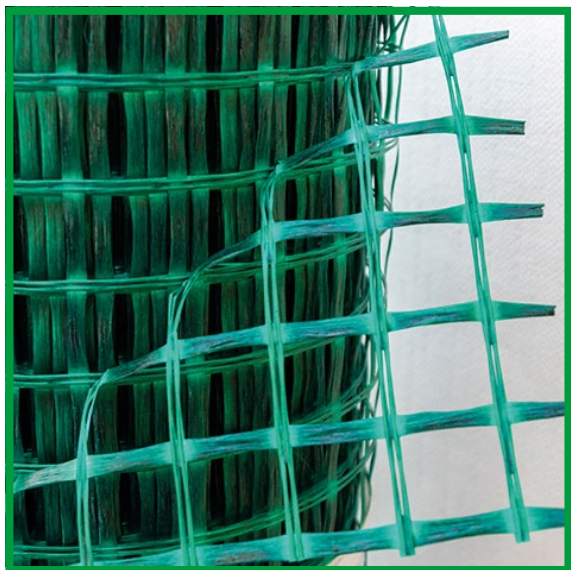
L'**elemento angolare** è prodotto mediante termoformatura a 90° della rete AR0355EP.

Le reti in FRP e l'elemento d'angolo in FRP del sistema CRM sono destinati ad essere utilizzati in composizione con malta e ancoranti chimici in applicazioni altamente specializzate per rafforzare strutture murarie e in calcestruzzo esistenti e nuove, specialmente per elementi in cui due dimensioni sono predominanti rispetto all'altra (pareti, volte, ecc.). In particolare, per aumentare la capacità portante, migliorare la resistenza, la rigidità e la duttilità degli elementi strutturali. Il loro utilizzo è consigliato per il rinforzo di elementi strutturali soggetti a carico statico, quasi statico, sismico/dinamico, anche in ambienti soggetti a condizioni di esposizione critiche.

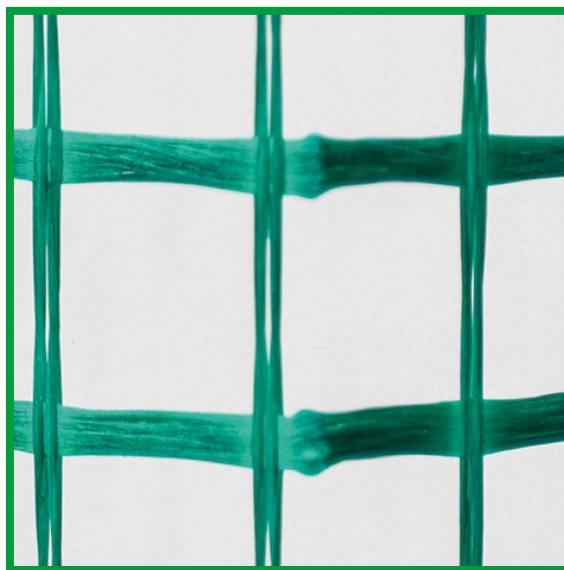
Le **Barre elicoidali** in acciaio inossidabile AISI 304 o 316 della Hilti sono marcate CE in accordo a EN 845-1:2013+A1:2016 con un uso previsto come componente ausiliario per connessioni di pareti in muratura. L'organismo notificato Technical and Test Institute for Construction Prague ha rilasciato il rapporto di prova n. 1020 - CPR - 090-049420.

Le barre elicoidali devono essere fissate ad una profondità di almeno 2/3 dello spessore del muro (non meno di 20 cm) e risvoltati ad L sopra la rete oppure bloccati con apposita rondella in polimero (tipo da cappotto).





Rete in fibra di vetro della ditta  
GAVAZZI tipo AR 0355 EP



Elemento ad angolo della ditta  
GAVAZZI tipo AR 0355 EP



Barre elicoidali in acciaio inossidabile  
Heli-Brick della Hilti



Connettore a L in GFRP della ditta GAVAZZI  
tipo CONR-E07 ad aderenza migliorata

## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Singolo paramento

#### Rinforzo murario CRM con intonaco CALCEVITA STRUTTURALE

Per valutare l'efficacia della soluzione di un rinforzo murario CRM realizzato con l'intonaco CALCEVITA STRUTTURALE sono state eseguite delle prove di compressione diagonale controllata in accordo alla norma ASTM E519/ E519M-21 effettuate presso il laboratorio PLUS LAB S.r.l. in via Portico, 4 Orio al Serio (BG).

Sono stati realizzati 4 campioni in muratura a due teste realizzati con mattoni pieni e malta con presenza esclusiva di giunti di allettamento orizzontali e assenza di giunti verticali al fine di simulare il più fedelmente possibile le caratteristiche meccaniche di una muratura storica.

Le caratteristiche della muratura di base sono le seguenti:

- Mattone pieno "tipo portante sismico stabile"
- Resistenza mattone 30÷40 Mpa
- Massa volumica mattone 17÷18 kN/mc
- Classe di resistenza malta M5
- Spessore giunti in malta 1cm

Una coppia di blocchi di muratura è stata testata senza rinforzi di sorta per ottenere i parametri di riferimento e ad una coppia di blocchi è stato applicato su un solo paramento un sistema CRM con le seguenti caratteristiche:

- Intonaco con CALCEVITA STRUTTURALE con spessore di 40 mm
- Rete in fibra di vetro GAVAZZI AR 0355 EP
- Barre elicoidali in acciaio inossidabile AISI 304 Heli-Brick della Hilti con diametro di 8 mm, lunghezza 60 cm risvoltati a L sopra la rete
- Interesse dei connettori circa 50 cm (4 per mq) con sovrapposizione alla rete per circa 10 cm

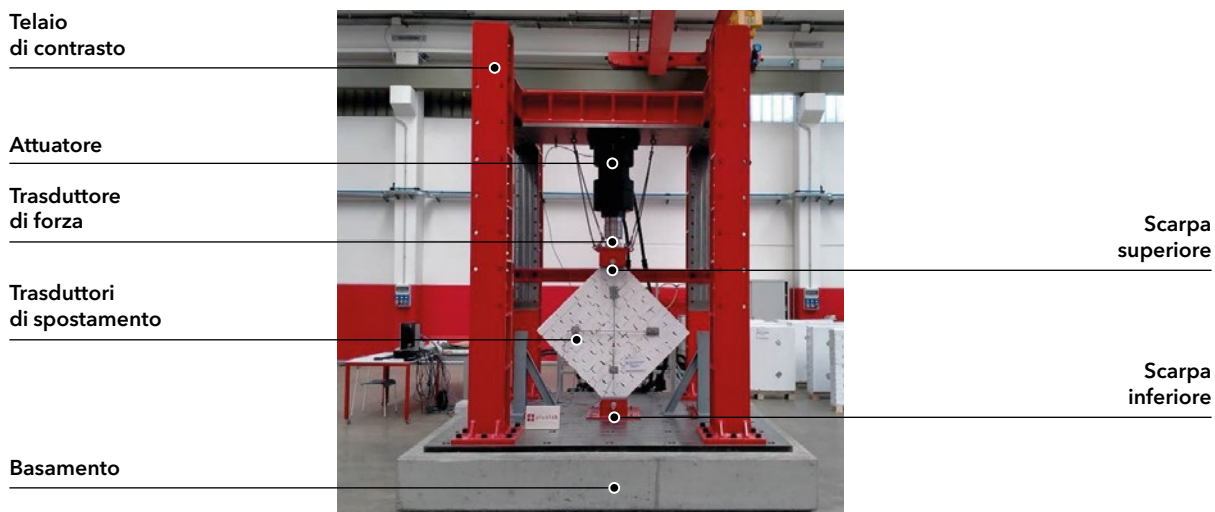
La prova prevede l'applicazione di un carico quasi - statico verticale lungo una diagonale del campione in prova.

Il carico applicato viene aumentato lentamente fino alla rottura del campione, ovvero fino al raggiungimento della condizione per la quale il carico non può essere ulteriormente aumentato a causa della mancanza di resistenza offerta dal campione stesso. La sollecitazione viene applicata per mezzo di una rampa di carico controllata in spostamento con incremento costante del valore di 0.01 mm/s.

Contestualmente all'applicazione del carico, sulle superfici anteriore e posteriore, vengono misurate le deformazioni del campione nelle direzioni definite dalle diagonali. Di seguito la vista frontale del setup di prova.

## LINEA CALCEVITA

Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Singolo paramento



La tabella seguente riassume i valori del carico di rottura e del carico corrispondente al rilevamento delle fessure:

Campioni	Tipo di rinforzo	Carico di rottura [kN]	Carico di fessurazione [kN]
C01	Nessuno	81,5	Prossimo a rottura
C02	Nessuno	91,5	Prossimo a rottura
C03	Calcevita Strutturale	170,0	≈ 165
C04	Calcevita Strutturale	164,8	≈ 155

Di seguito il report fotografico a conclusione della prova relativo ai campioni non rinforzati (C01-C02) e a quelli rinforzati con **CALCEVITA STRUTTURALE** (C03-C04).



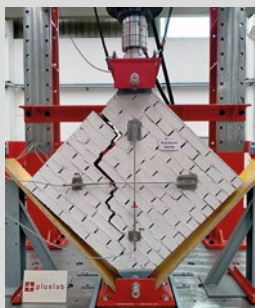
## LINEA CALCEVITA

Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Singolo paramento

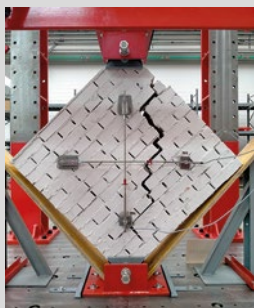
### CAMPIONI NON RINFORZATI

CAMPIONE C01

Fronte



Retro

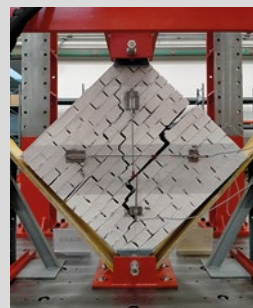


CAMPIONE C02

Fronte



Retro



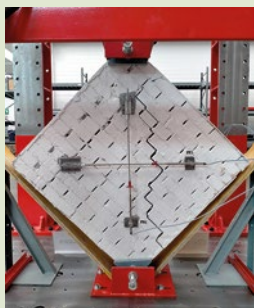
### CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE

CAMPIONE C03

Fronte



Retro

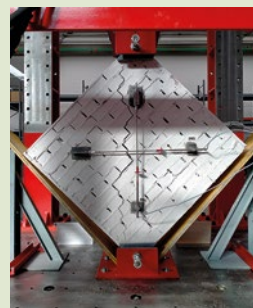


CAMPIONE C04

Fronte



Retro



## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Singolo paramento

CAMPIONI NON RINFORZATI	
CAMPIONE C01	CAMPIONE C02
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>81,7 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>91,7 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>

CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE	
CAMPIONE C03	CAMPIONE C04
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>170,2 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 165</math> kN.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>164,8 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 155</math> kN.</p>

Nelle pagine seguenti saranno evidenziati i risultati sperimentali sottoforma di grafici e tabelle.

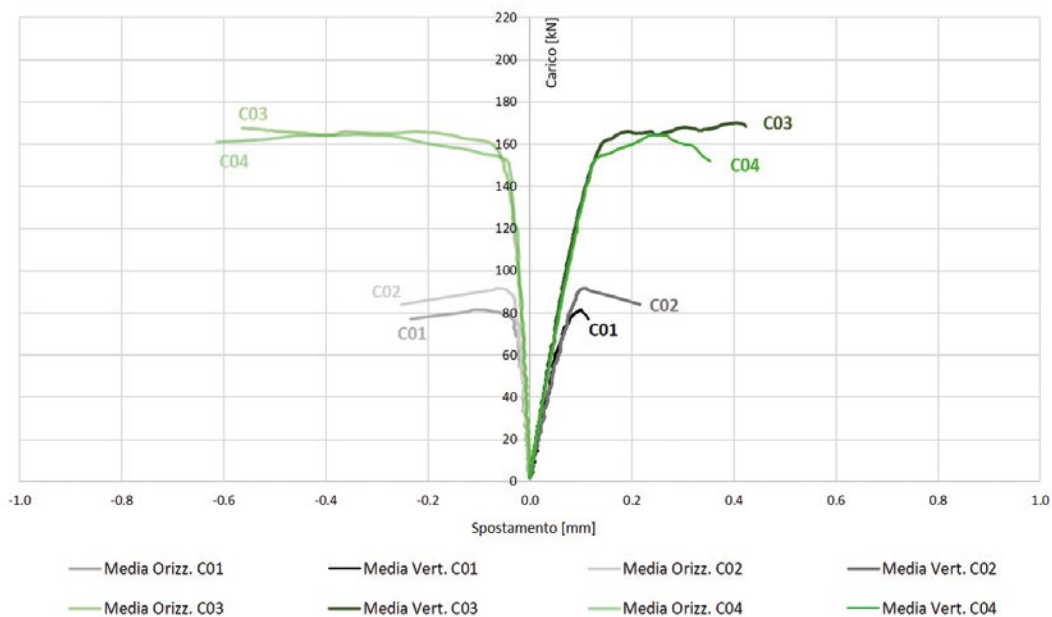
Nella restituzione grafica saranno rappresentati i valori degli spostamenti medi verticali ed orizzontali in funzione del carico.

Seguiranno i grafici di sforzo deformazione. Successivamente sottoforma tabellare saranno riassunti i valori di carico, deformazione di taglio, sforzo di taglio massimo e modulo di rigidezza.

# LINEA CALCEVITA

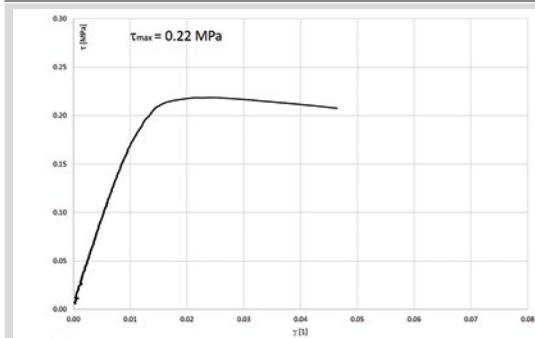
Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Singolo paramento

Grafico carico-spostamento medio

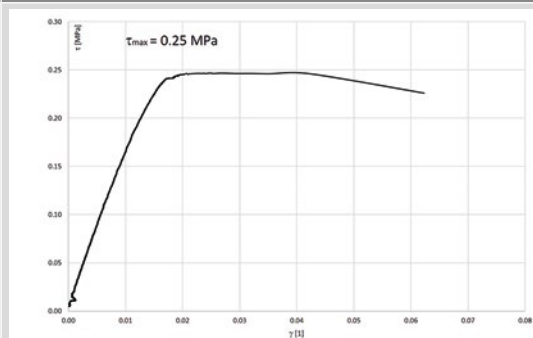


## CAMPIONI NON RINFORZATI

CAMPIONE C01

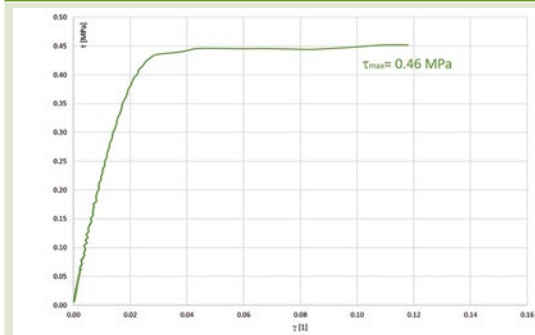


CAMPIONE C02

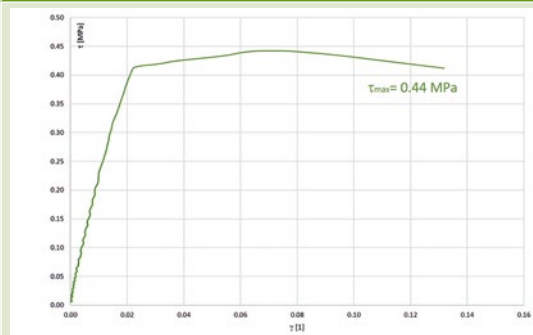


## CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE

CAMPIONE C03



CAMPIONE C04





## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Singolo paramento

Nella seguente tabella sono riportati i valori di seguito descritti:

- $P_{max}$ : carico massimo a rottura
- $P1^{°snervamento}$ : carico corrispondente al primo snervamento
- $Y_{max}$ : deformazione massima a rottura
- $Y1^{°snervamento}$ : deformazione corrispondente al primo snervamento
- $\tau_{max}$ : sforzo di taglio a rottura
- $\tau1^{°snervamento}$ : sforzo di taglio corrispondente al primo snervamento
- $G1^{°snervamento}$ : modulo di rigidezza nel tratto di primo snervamento
- $G_{Elastico}$ : modulo di rigidezza nel tratto elastico

	$P_{max}$ [kN]	$P1^{°snerv}$ [kN]	$Y_{max}$ [1]	$Y1^{°snerv}$ [1]
C01 - non rinforzato	81,75	55,00	2,43E-04	7,92E-05
C02 - non rinforzato	91,66	65,00	1,96E-04	1,07E-04
<b>Media C01-C02</b>	<b>86,70</b>	<b>60,00</b>	<b>2,20E-04</b>	<b>9,32E-05</b>
C03 - Calcevita Strutturale	170,17	105,00	2,12E-03	1,28E-04
C04 - Calcevita Strutturale	164,80	115,00	7,02E-04	1,49E-04
<b>Media C03-C04</b>	<b>167,48</b>	<b>110,00</b>	<b>1,41E-03</b>	<b>1,38E-04</b>

	$\tau_{max}$ [Mpa]	$\tau1^{°snerv}$ [Mpa]	$G_{Elastico}$ [Mpa]	$G1^{°snerv}$ [Mpa]
C01 - non rinforzato	0,22	0,15	1869,90	439,13
C02 - non rinforzato	0,25	0,18	1633,59	810,87
<b>Media C01-C02</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>1751,75</b>	<b>625,00</b>
C03 - Calcevita Strutturale	0,46	0,28	2212,49	88,00
C04 - Calcevita Strutturale	0,44	0,31	2083,41	242,29
<b>Media C03-C04</b>	<b>0,45</b>	<b>0,30</b>	<b>2147,95</b>	<b>165,14</b>

Sforzo di taglio a rottura		Modulo di rigidezza nel tratto elastico	
Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi		Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi	
$\tau_{max\_CV\_1L} / \tau_{max\_N.R}$	<b>1,95</b>	$G_{CV\_1L} / G_{N.R}$	<b>1,23</b>

È utile sottolineare che la letteratura tecnica relativa al rinforzo di murature su un singolo lato, suggerisce di utilizzare un coefficiente maggiorativo pari ad 1,15. Tale parametro può essere applicato sia ai valori di resistenza che di rigidezza.

**In termini di resistenza** il materiale **CALCEVITA STRUTTURALE** incrementa **1,95** volte il valore di sforzo di taglio a rottura rispetto al campione privo di rinforzo.

**Il rapporto tra i moduli di rigidezza** elastici pari a **1,23** permette di osservare come i muri rinforzati (C03-C04) siano in linea con la rigidezza della muratura priva di rinforzo (C01-C02). In altre parole, il manufatto con sistema di consolidamento CRM ha un comportamento elastico simile al muro senza rinforzo armato senza pertanto alterarne la rigidezza.

## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Doppio paramento

#### Rinforzo murario CRM con intonaco CALCEVITA STRUTTURALE applicato su entrambi i paramenti

Per valutare l'efficacia della soluzione di un rinforzo murario CRM realizzato con l'intonaco CALCEVITA STRUTTURALE sono state eseguite delle prove di compressione diagonale controllata in accordo alla norma ASTM E519/E519M-21. Le prove sono state eseguite presso il laboratorio PLUS LAB S.r.l. in via Portico, 4 Orio al Serio (BG).

Sono stati realizzati 4 campioni in muratura a due teste realizzati con mattoni pieni e malta con presenza esclusiva di giunti di allettamento orizzontali e assenza di giunti verticali al fine di simulare il più fedelmente possibile le caratteristiche meccaniche di una muratura storica.

Le caratteristiche della muratura di base sono le seguenti:

- Mattone pieno "tipo portante sismico stabile"
- Resistenza mattone  $30 \div 40$  Mpa
- Massa volumica mattone  $17 \div 18$  kN/mc
- Classe di resistenza malta M5
- Spessore giunti in malta 1cm

Una coppia di blocchi di muratura è stata testata senza rinforzi di sorta per ottenere i parametri di riferimento e ad una coppia di blocchi è stato **applicato su entrambi i paramenti** un sistema CRM con le seguenti caratteristiche:

- Intonaco con CALCEVITA STRUTTURALE con spessore di 40mm
- Rete in fibra di vetro GAVAZZI AR 0355 EP
- Barre elicoidali in acciaio inossidabile AISI 304 Heli-Brick della Hilti con diametro di 8mm, lunghezza 60cm risvoltati a L sopra la rete
- Interesse dei connettori circa 50cm (4 per mq) con sovrapposizione alla rete per circa 10cm

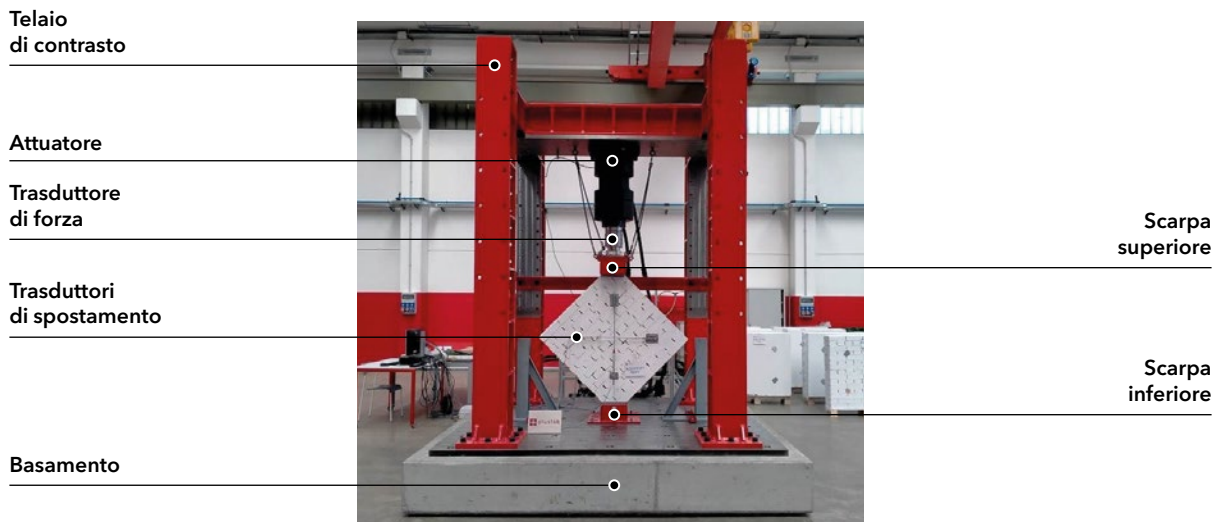
La prova prevede l'applicazione di un carico quasi - statico verticale lungo una diagonale del campione in prova in grado di simulare una azione di taglio nel pannello murario.

Il carico applicato viene aumentato lentamente fino alla rottura del campione, ovvero fino al raggiungimento della condizione per la quale il carico non può essere ulteriormente aumentato a causa della mancanza di resistenza offerta dal campione stesso. La sollecitazione viene applicata per mezzo di una rampa di carico controllata in spostamento con incremento costante del valore di 0.01 mm/s.

Contestualmente all'applicazione del carico, sulle superfici anteriore e posteriore, vengono misurate le deformazioni del campione nelle direzioni definite dalle diagonali. Di seguito la vista frontale del setup di prova.

## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Doppio paramento



La tabella seguente riassume i valori del carico di rottura e del carico corrispondente al rilevamento delle fessure:

Campioni	Tipo di rinforzo	Carico di rottura [kN]	Carico di fessurazione [kN]
C01	Nessuno	81,7	Prossimo a rottura
C02	Nessuno	91,7	Prossimo a rottura
C03	Calcevita Strutturale	193,3	≈ 185
C04	Calcevita Strutturale	210,8	≈ 200

Di seguito il report fotografico a conclusione della prova relativo ai campioni non rinforzati (C01-C02) e a quelli rinforzati con **CALCEVITA STRUTTURALE** (C03-C04).



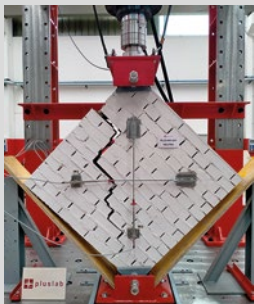
## LINEA CALCEVITA

Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Doppio paramento

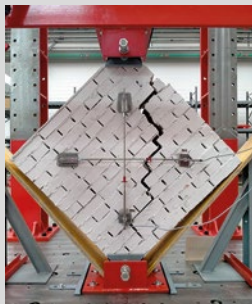
### CAMPIONI NON RINFORZATI

CAMPIONE C01

Fronte

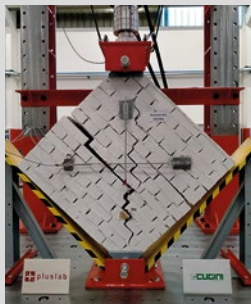


Retro

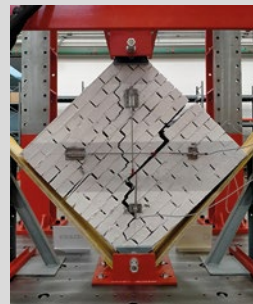


CAMPIONE C02

Fronte



Retro



### CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE

CAMPIONE C03

Fronte



Retro

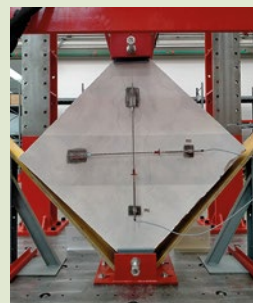


CAMPIONE C04

Fronte



Retro



## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Doppio paramento

CAMPIONI NON RINFORZATI	
CAMPIONE C01	CAMPIONE C02
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>81,7 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>91,7 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto si è disgregato con menomazione della propria integrità.</p> <p>Sul campione sono state rilevate delle fessure visibili ad occhio nudo pochi istanti prima della rottura.</p>

CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE	
CAMPIONE C03	CAMPIONE C04
<p>Il valore di carico a rottura è di <b>193,3 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 185</math> kN.</p>	<p>Il valore di carico a rottura è di <b>210,8 kN</b>.</p> <p>A seguito della rottura il manufatto non si è disgregato rimanendo macroscopicamente integro.</p> <p>Sulle superfici (anteriore/posteriore) del campione sono state rilevate delle fessure ben visibili prima della rottura al valore di carico di <math>\approx 200</math> kN.</p>

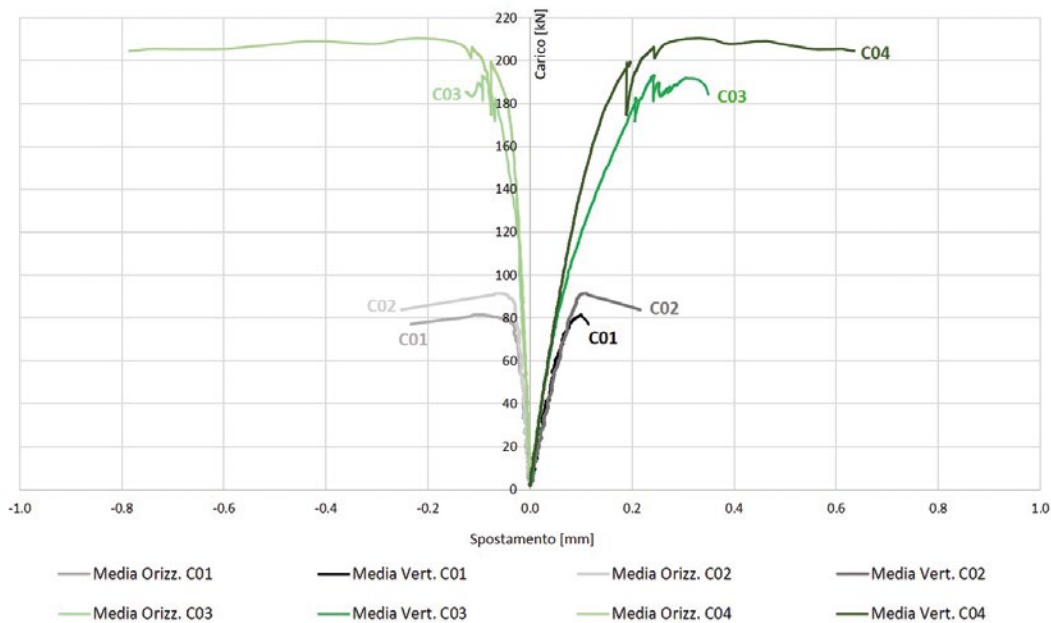
Nelle pagine seguenti saranno evidenziati i risultati sperimentali sottoforma di grafici e tabelle.  
Nella restituzione grafica saranno rappresentati i valori degli spostamenti medi verticali ed orizzontali in funzione del carico.

Seguiranno i grafici di sforzo deformazione. Successivamente sottoforma tabellare saranno riassunti i valori di carico, deformazione di taglio, sforzo di taglio massimo e modulo di rigidezza.

# LINEA CALCEVITA

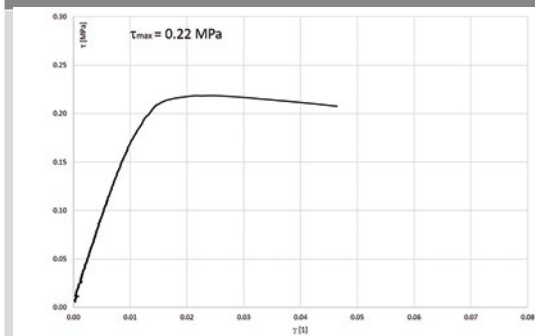
Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Doppio paramento

Grafico carico-spostamento medio

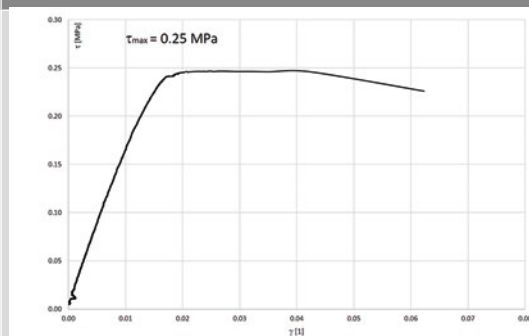


## CAMPIONI NON RINFORZATI

CAMPIONE C01

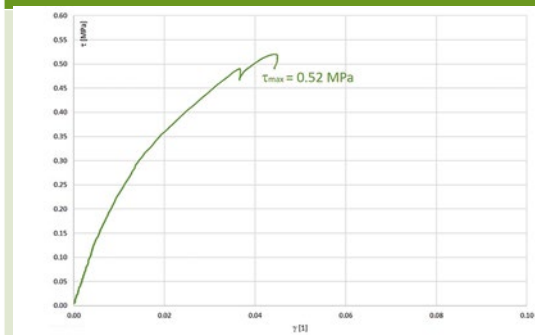


CAMPIONE C02

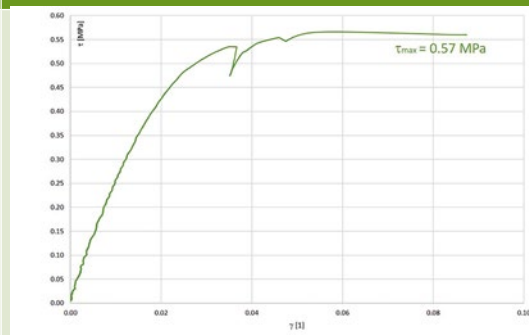


## CAMPIONI RINFORZATI CON CALCEVITA STRUTTURALE

CAMPIONE C03



CAMPIONE C04





## LINEA CALCEVITA

### Prova di compressione diagonale - Sistema CRM - Doppio paramento

Nella seguente tabella sono riportati i valori di seguito descritti:

- $P_{max}$ : carico massimo a rottura
- $P_{1^{\circ}snervamento}$ : carico corrispondente al primo snervamento
- $Y_{max}$ : deformazione massima a rottura
- $Y_{1^{\circ}snervamento}$ : deformazione corrispondente al primo snervamento
- $\tau_{max}$ : sforzo di taglio a rottura
- $\tau_{1^{\circ}snervamento}$ : sforzo di taglio corrispondente al primo snervamento
- $G_{1^{\circ}snervamento}$ : modulo di rigidezza nel tratto di primo snervamento
- $G_{Elastico}$ : modulo di rigidezza nel tratto elastico

	$P_{max}$ [kN]	$P_{1^{\circ}snerv}$ [kN]	$Y_{max}$ [1]	$Y_{1^{\circ}snerv}$ [1]
C01 - non rinforzato	81,75	55,00	2,43E-04	7,92E-05
C02 - non rinforzato	91,66	65,00	1,96E-04	1,07E-04
<b>Media C01-C02</b>	<b>86,70</b>	<b>60,00</b>	<b>2,20E-04</b>	<b>9,32E-05</b>
C03 - Calcevita Strutturale	193,27	120,00	4,40E-04	1,69E-04
C04 - Calcevita Strutturale	210,76	135,00	5,60E-04	1,58E-04
<b>Media C03-C04</b>	<b>202,02</b>	<b>127,50</b>	<b>5,00E-03</b>	<b>1,64E-04</b>

	$\tau_{max}$ [Mpa]	$\tau_{1^{\circ}snerv}$ [Mpa]	$G_{elastico}$ [Mpa]	$G_{1^{\circ}snerv}$ [Mpa]
C01 - non rinforzato	0,22	0,15	1869,90	439,13
C02 - non rinforzato	0,25	0,18	1633,59	810,87
<b>Media C01-C02</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>1751,75</b>	<b>625,00</b>
C03 - Calcevita Strutturale	0,52	0,32	1912,12	728,78
C04 - Calcevita Strutturale	0,57	0,36	2295,16	508,08
<b>Media C03-C04</b>	<b>0,54</b>	<b>0,34</b>	<b>2103,64</b>	<b>618,43</b>

Sforzo di taglio a rottura		Modulo di rigidezza nel tratto elastico	
Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi		Rapporto rispetto al campione non rinforzato - Valori medi	
$\tau_{max\_CV} / \tau_{max\_N.R}$	<b>2,33</b>	$G_{CV} / G_{N.R}$	<b>1,20</b>

La Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 2019 (esplicativa delle NTC2018), individua nella tabella 8.5.11 un coefficiente migliorativo pari a 1,5 per un rinforzo con intonaco armato applicato ad una tipologia muraria come quelle prese in esame (Muratura in mattoni pieni e malta di calce). Il coefficiente può essere applicato a i parametri di resistenza e ai moduli elastici.

Analizzando i dati sperimentali si nota come il rapporto tra i moduli di rigidezza elastici della muratura con rinforzo siano in linea con la rigidezza della muratura priva di rinforzo.

**In termini di resistenza**, il rinforzo murario CRM realizzato con l'intonaco **CALCEVITA STRUTTURALE**, incrementa **2,33** volte il valore dello sforzo di taglio a rottura rispetto al campione privo di rinforzo.



**CALCEVITA**

SISTEMA PER IL RISANAMENTO  
E IL RESTAURO DELLE  
DEGRADATE  
a base di NHL 3,5 e bio-pozzolana

EN 998-1  
N 998-2



**LITON**  
fornito il 1980  
domani













Visita [www.cugini.it](http://www.cugini.it)  
per scoprire tutti i nostri prodotti.

**CUGINI SpA** Via Vittoria, 30 | 24027 Nembro (BG)  
T. +39 035 52 07 80 | [cugini@cugini.it](mailto:cugini@cugini.it)

