

Indice

Sistema Fortius

Reti	pag. 4
Angolari, Connettori.....	pag. 5
Fazzoletti, Ancorante	pag. 6
Malte a prestazione garantita	pag. 8
Certificazione ETA	pag. 10
Marcatura CE	pag. 11
Possibili rinforzi	pag. 12
Istruzioni di installazione su muratura	pag. 14
Istruzioni di installazione su calcestruzzo	pag. 16
Mappatura connessioni	pag. 18
Connessione semplice	pag. 20
Connessione passante	pag. 21
Angolare	pag. 22
Doppio Angolare.....	pag. 23
TCS Glass MR44	pag. 24
TCS Glass MR48	pag. 26
TCS Glass MR88	pag. 28
TCS Glass MR812	pag. 30
TCS Glass MR1212	pag. 32
TCS Glass Corner MR48	pag. 34
TCS Glass Corner MR88	pag. 36
TCS Glass Connector	pag. 38
V-Fix Ancorante Vinilestere	pag. 40
Applicazioni	pag. 42
Ricerca e Sviluppo	pag. 50
Prove di distacco dal supporto	pag. 52
Prove di compressione diagonale	pag. 54
Prove di flessione fuori dal piano	pag. 62
Antisfondellamento	pag. 70
Progetto CICE 2023	pag. 76

Sistema Fortius



Sistema CRM

FORTIUS è ideale per la messa in sicurezza di edifici in muratura.

Il principio alla base del sistema è quello della tecnica dell'intonaco armato ma rivisitato in chiave innovativa con materiali compositi e malte a calce ideali per il recupero, risanamento e restauro.

Il Sistema CRM denominato **FORTIUS** è composto da reti, angolari e connettori in fibra di vetro alcali resistente a matrice inorganica.





Reti

Reti alcali resistenti in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM.



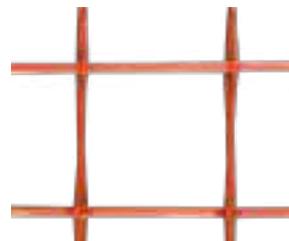
TCS GLASS MR44

Maglia rete: 40 x 40 mm
Grammatura: 1050 g/m²
Altezza: 2 m
Lunghezza: 20 m
Superficie: 40 m²
Rotolo: 20 x 2 m



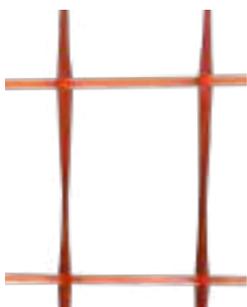
TCS GLASS MR48

Maglia rete: 40 x 80 mm
Grammatura: 780 g/m²
Altezza: 2 m
Lunghezza: 20 m
Superficie: 40 m²
Rotolo: 20 x 2 m



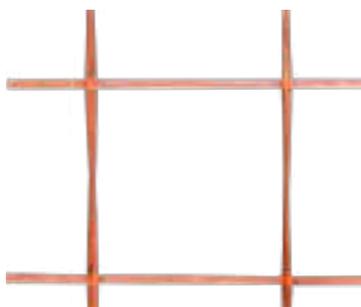
TCS GLASS MR88

Maglia rete: 80 x 80 mm
Grammatura: 550 g/m²
Altezza: 2 m
Lunghezza: 20 m
Superficie: 40 m²
Rotolo: 20 x 2 m



TCS GLASS MR812

Maglia rete: 80 x 120 mm
Grammatura: 440 g/m²
Altezza: 2 m
Lunghezza: 20 m
Superficie: 40 m²
Rotolo: 20 x 2 m

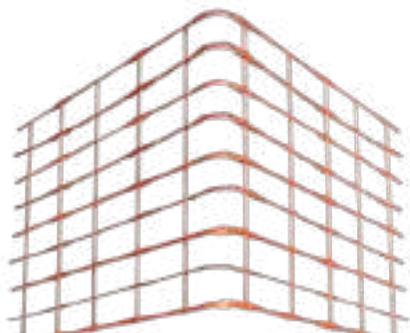


TCS GLASS MR1212

Maglia rete: 120 x 120 mm
Grammatura: 350 g/m²
Altezza: 2 m
Lunghezza: 20 m
Superficie: 40 m²
Rotolo: 20 x 2 m

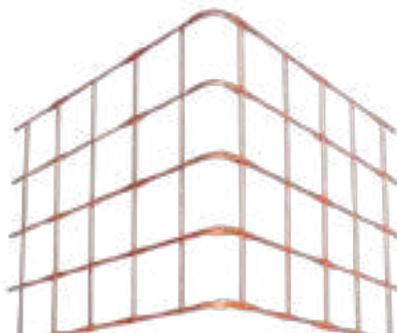
Angolari

Reti alcali resistenti in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM.



TCS GLASS CORNER MR48

Maglia angolare: 40 x 80 mm
Grammatura: 780 g/m²
Lato angolare: 40 cm
Altezza angolare: 2 m
Raggio di curvatura: 30 mm
Corner: 4 x 2 m

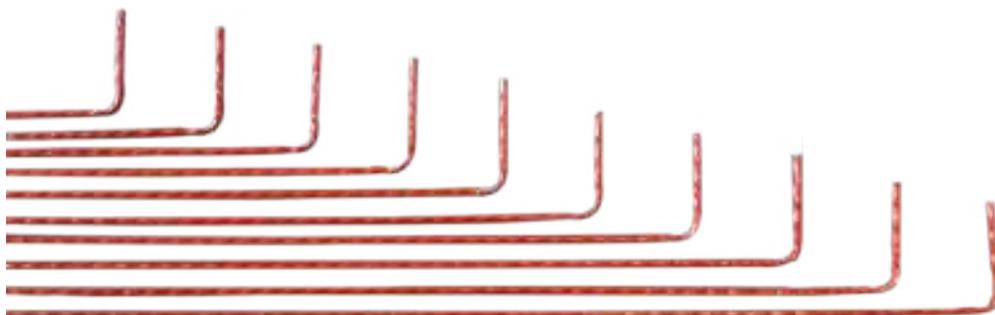


TCS GLASS MR88

Maglia rete: 80 x 80 mm
Grammatura: 550 g/m²
Lato angolare: 40 cm
Altezza angolare: 2 m
Raggio di curvatura: 30 mm
Corner: 4 x 2 m

Connettori

Connettore a "L" ad aderenza migliorata in composito GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) alcali resistente realizzato in resina epossidica.



TCS GLASS CONNECTOR

Da utilizzare con ancorante chimico V-Fix
Grammatura: 103 g/m
Lunghezza: lato corto 10 cm
Lunghezza lato lungo
10,15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 cm

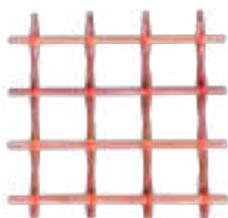
Fazzoletti

Fazzoletti IN PA riciclato e ricavati dalla rete



TCS MR44 PA

Fazzoletto Ø 16 cm in PA riciclato caricato con fibra di vetro.



TCS GLASS MR44

Fazzoletto classico 16 x 16 cm con sezione maglia quadrata 4 x 4 cm ricavato direttamente dalla rete.

Ancorante

Resina vinilestere bicomponente in cartuccia senza stirene per ancoraggi strutturali.



V-FIX

Cartuccia: 400 ml
Applicazione: pistola per ancorante chimico
Compatibilità: muri asciutti e bagnati



Sistema Fortius e malte a prestazione garantita

Sistema certificato con diverse tipologie di malte a prestazione garantita. Per ogni esigenza una malta specifica: strutturale o coibente, a calce o cemento, deumidificante o tradizionale.

Versatile: possibilità di essere applicato a scelta con diverse matrici inorganiche di calce idraulica naturale NHL 5 o tradizionale.

Restauro: l'abbinamento con matrice inorganica di calce idraulica naturale B-STRUCTURA rende il sistema adatto al rinforzo e al consolidamento di strutture soggette a vincolo della Soprintendenza, utilizzabile laddove è fondamentale l'impiego di materiali compatibili a quelli dell'epoca in grado di rinforzare senza alterare la traspirabilità del sistema e l'equilibrio termo-igrometrico.

Reversibilità: sistemi di facile rimozione e ripristino delle condizioni pre consolidamento delle strutture esistenti.

Resistente: elevate performance tecniche di resistenza e modulo elastico.

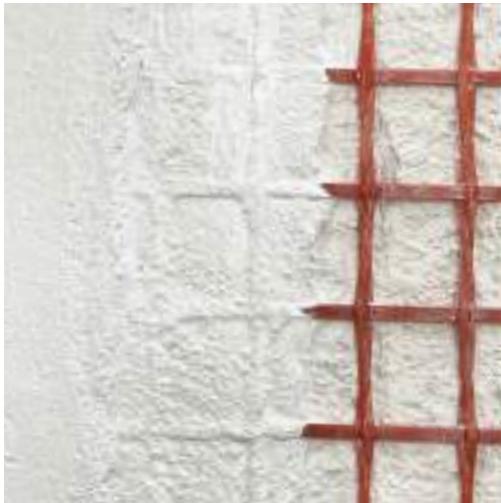
Facile: installazione estremamente semplice rispettando pochi semplici passaggi.

Durabilità: elevata resistenza ad ambienti umidi, alcalini e aggressivi grazie all'impiego di matrice epossidica.



Malte termiche e deumidificanti

- Climatherm AR
- Intopore AR



Malte strutturali a calce

- B-Structura
- B-Structura G



Malte ad alte prestazioni

- Materica
- B-Structura 10F
- B-Structura 15 F



Certificazione ETA



Organismo nazionale
per la valutazione tecnica
Italian Technical Assessment Body

ITAB/ITC-CNR
Via Lombarda 49 - 20095 San Giuliano Milanese - Italy
tel: +39-02-9608.1 - Telefax: +39-02-96280088
e-mail: segreteria.itab@itc.cnr.it



European Technical Assessment ETA 21/0524 of 01/03/2024

GENERAL PART

Trade name of the construction product

FORTIUS made of:

ERP mesh

TCS Glass MR44, TCS Glass MR48, TCS Glass MR66,
TCS Glass MR81.2, TCS Glass MR1212

ERP mesh corner element

TCS Glass Corner MR48, TCS Glass Corner MR66

ERP connector

TCS Glass Connector

Product family to which the construction product belongs

PAC 34: BUILDING KITS, UNITS, AND PREFABRICATED ELEMENTS.

CRM (Composite Reinforced Mortar) systems for strengthening concrete and masonry structures

Manufacturer

T.C.S. s.r.l.

Via Averolda, 58/60
25039 Travagliato (BS) - Italy

Manufacturing plant

T.C.S. s.r.l.

Via Averolda, 58/60
25039 Travagliato (BS) - Italy

This European Technical Assessment contains:

20 pages, including 16 annexes which form an integral part of this assessment

This European Technical Assessment is issued in accordance with Regulation (EU) n° 305/2011, on the basis of

EAD 340392-00-0104 CRM (Composite Reinforced Mortar) systems for strengthening concrete and masonry structures

This version replaces

ETA 21/0524 (version 01) of 14/07/2021

The European Technical Assessment is issued ITAB/ITC-CNR in Italian and English. Translations of this European Technical Assessment into other languages shall fully correspond to the original issued document and should be identified as such. Communication of this European Technical Assessment, including transmission by electronic means, shall be in full (excepted the confidential Annexes) referred to above. However, partial reproduction can be made with the written consent of ITAB/ITC-CNR (issuing Technical Assessment Body). In this case partial reproduction has to be designated as such.

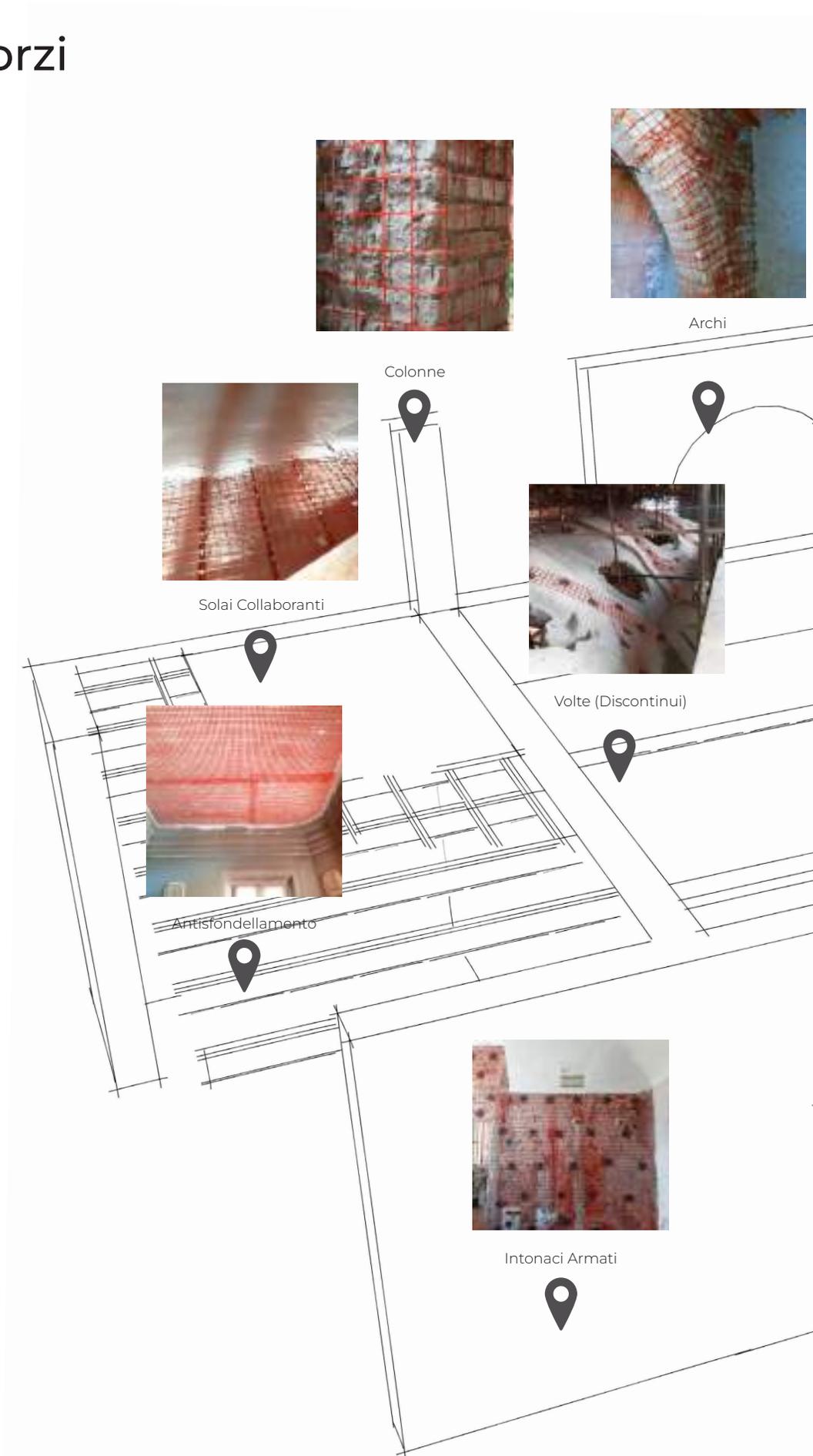
ETA 21/0524 v02 of 01/03/2024

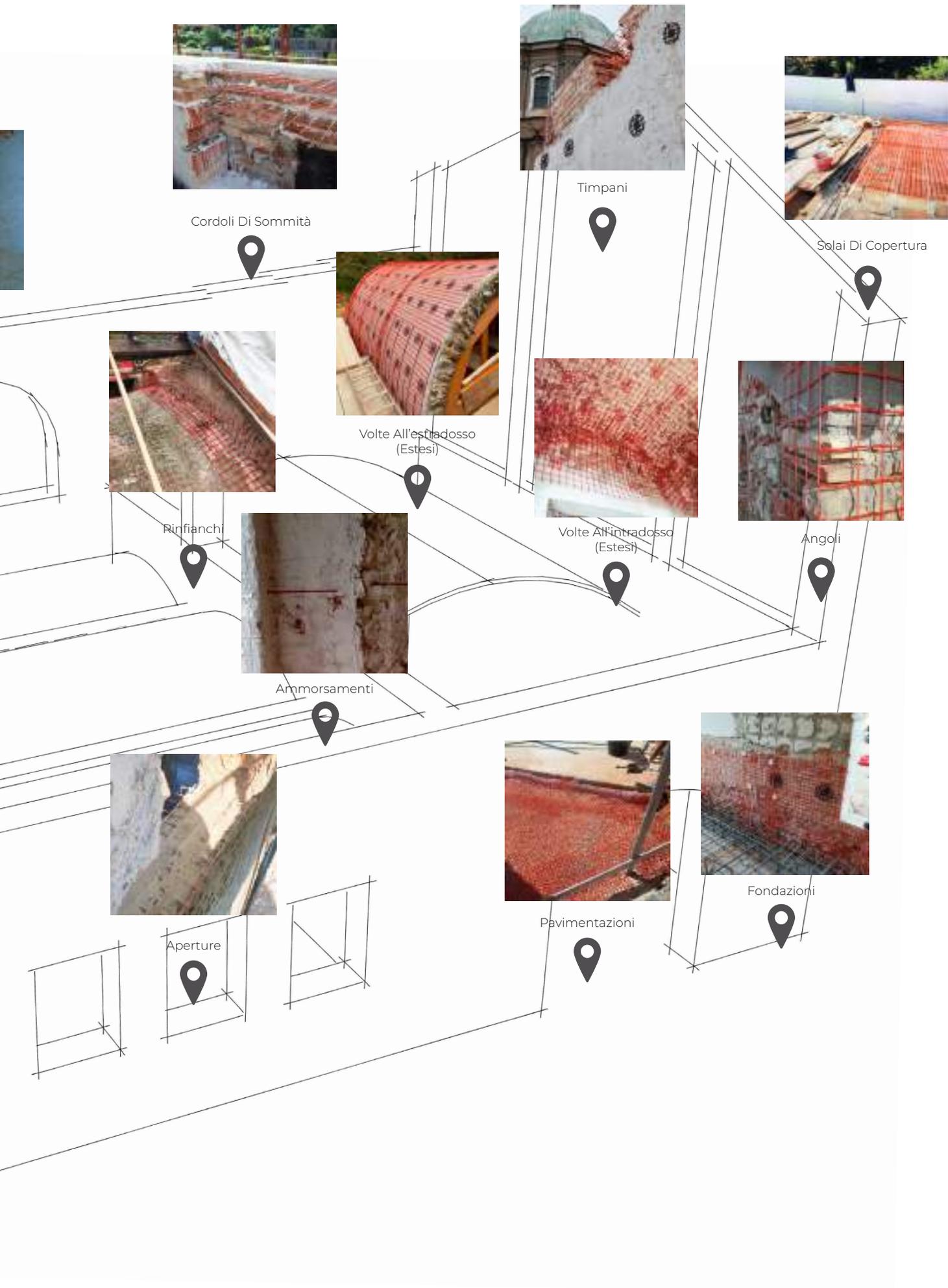
Marcatura CE



Possibili Rinforzi

- Colonne
- Archi
- Cordoli di sommità
- Timpani
- Volte all'estradosso
- Volte all'intradosso
- Solai di copertura
- Angoli
- Ammorsamenti
- Rinfianchi
- Volte (discontinui)
- Solai collaboranti
- Antisfondellamento
- Aperture
- Pavimentazioni
- Fondazioni
- Intonaci armati





Istruzioni di installazione

Muratura

Superfici grezze:

- Mattoni pieni
- Murature di ciottoli
- Murature sbozzate
- Pietrame
- Tufo
- Murature miste



Mattoni pieni



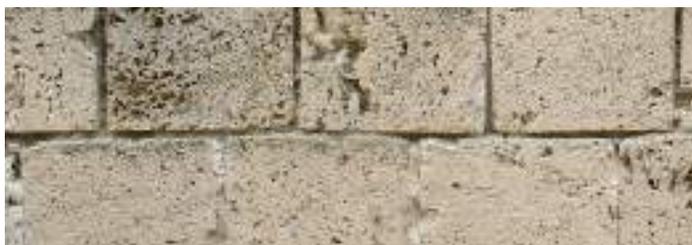
Murature di ciottoli



Murature sbozzate



Pietrame

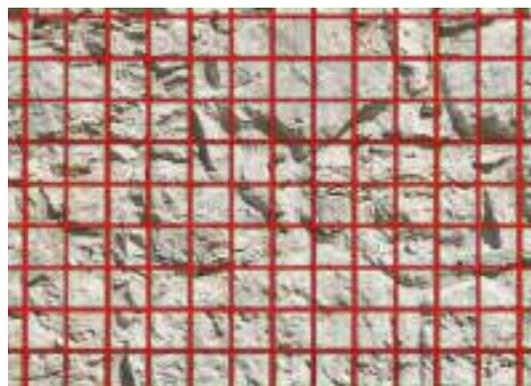


Tufo



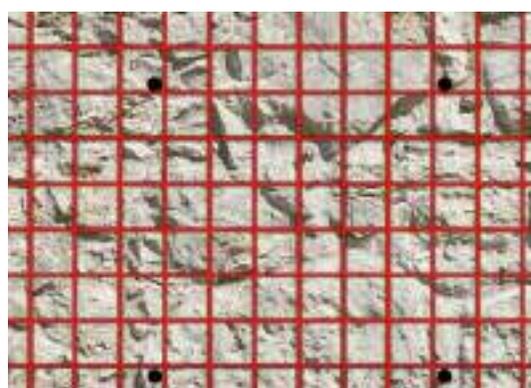
Murature miste

1. Posizionamento a secco della rete TCS GLASS MR48 / 88 / 812 / 1212. Possono essere utilizzati connettori o dispositivi provvisori per il momentaneo mantenimento della rete in sede.



Posizionamento rete

2. Posizionamento a secco degli elementi angolari TCS GLASS CORNER MR48 / MR88 o doppio MR88 con opportuna sovrapposizione (consigliata la sovrapposizione totale dell'elemento a "L" e comunque non inferiore a 15 cm).

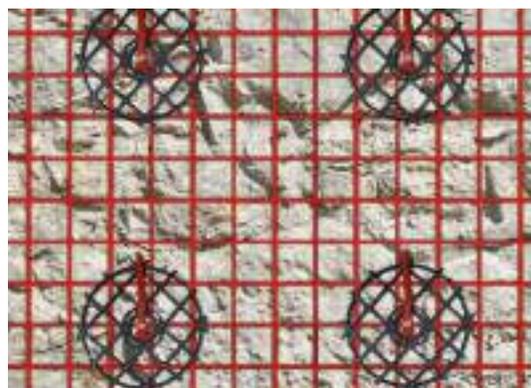


Fori per connettori e pulizia

3. Realizzazione dei fori da 12 mm di diametro per l'installazione dei connettori.

4. Pulizia dei fori.

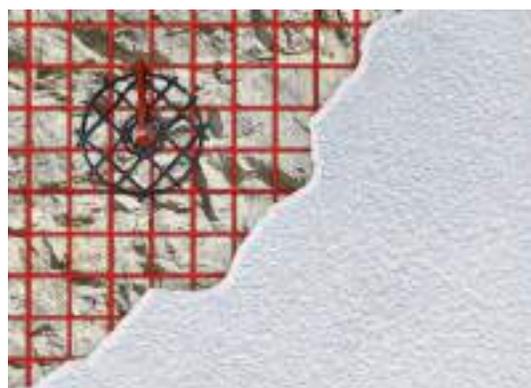
5. Saturazione del perforo con ancorante strutturale V-FIX o matrice inorganica.



Installazione connettori e fazzoletti

6. Inserimento del connettore TCS GLASS CONNECTOR con apposito fazzoletto di ripartizione ricavato dalla rete montata a 45° o FAZZOLETTO MR44 PA.

7. Applicazione della matrice inorganica a ricoprimento totale della rete, fazzoletti e connettori. Linea B-STRUCTURA per applicazione a calce o MATERICA per applicazione con malte da ripristino calcestruzzo.



Intonaco

Istruzioni di installazione



Calcestruzzo

- Calcestruzzo
- Forati
- Blocchi in CLS



Calcestruzzo



Forati



Blocchi in CLS

1. Applicazione di una prima mano di rinzafo di matrice inorganica. Linea B-STRUCTURA per applicazione a calce o MATERICA per applicazione con malte da ripristino calcestruzzo.

2. Posizionamento della rete TCS GLASS MR44/48/88/812/1212. Possono essere utilizzati connettori o dispositivi provvisori per il momentaneo mantenimento della rete in sede.

3. Posizionamento degli elementi angolari TCS GLASS CORNER MR48/MR88 o doppio MR88 con opportuna sovrapposizione (consigliata la sovrapposizione totale dell'elemento a "L" e comunque non inferiore a 15 cm).

4. Realizzazione dei fori da \varnothing 12 mm di diametro per l'installazione dei connettori.

5. Pulizia dei fori.

6. Saturazione del perforo con ancorante strutturale V-FIX o matrice inorganica.

7. Inserimento del connettore TCS GLASS CONNECTOR con apposito fazzoletto di ripartizione ricavato dalla rete montato a 45° o FAZZOLETTO MR44 PA.

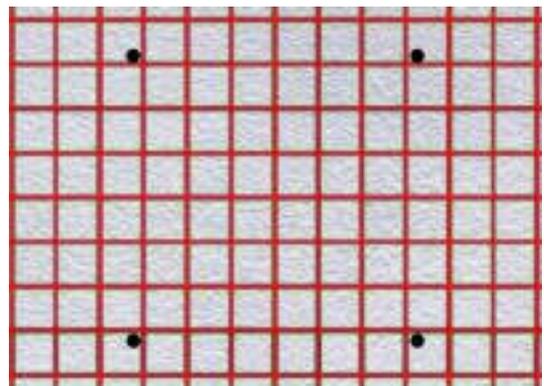
8. Applicazione della seconda mano di matrice inorganica a ricoprimento totale della rete, fazzoletti e connettori.
Linea B-STRUCTURA per applicazione a calce o MATERICA per applicazione con malte da ripristino calcestruzzo.



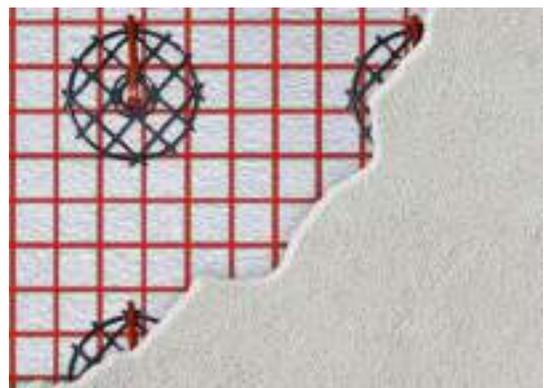
Preparazione del supporto



Prima mano di malta



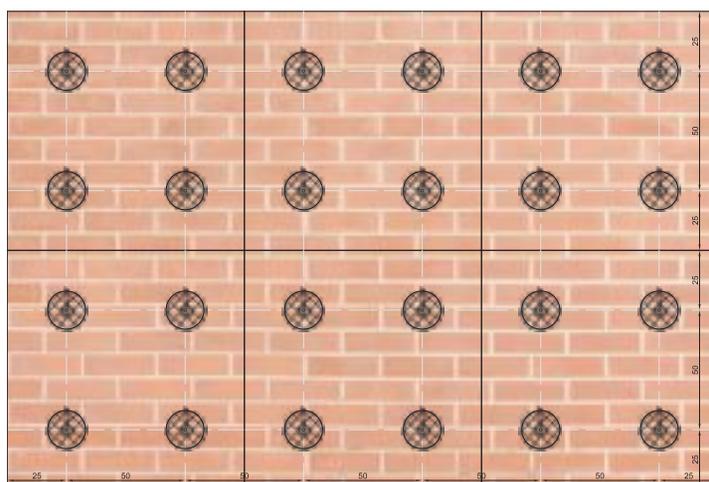
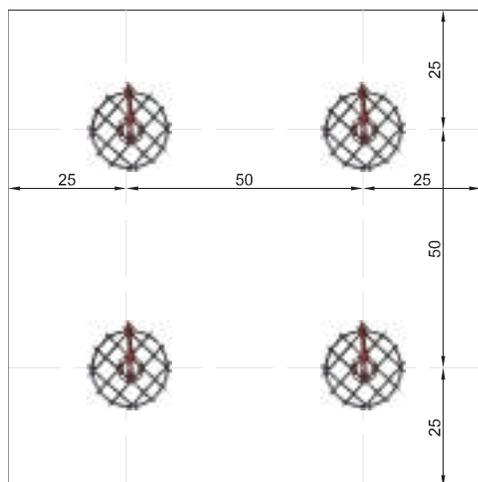
Rete e fori



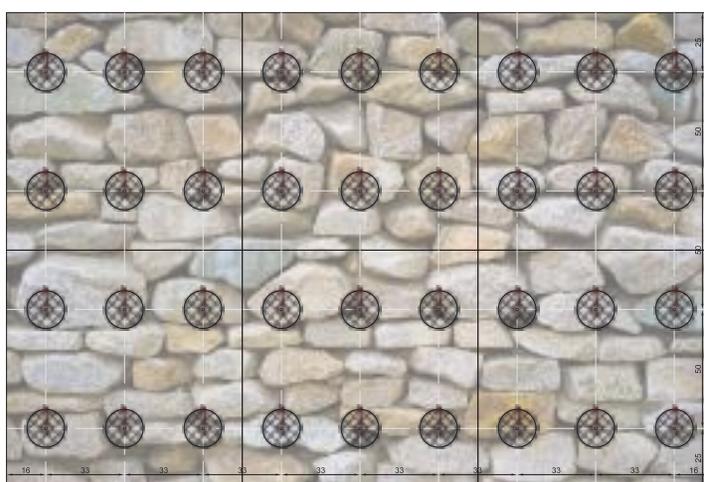
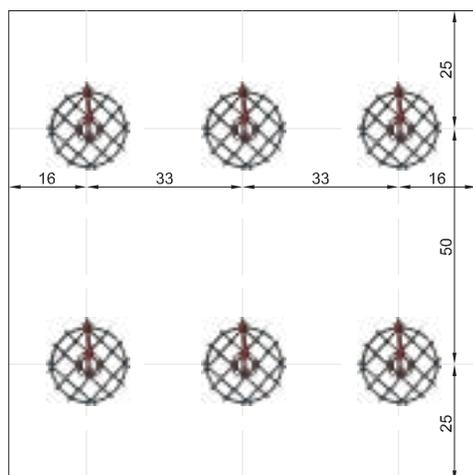
Installazione reti e fazzoletti e applicazione intonaco

Mappatura Connessioni

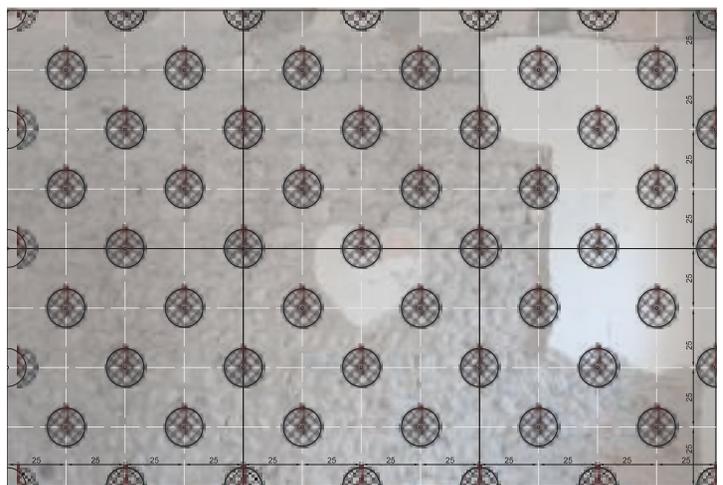
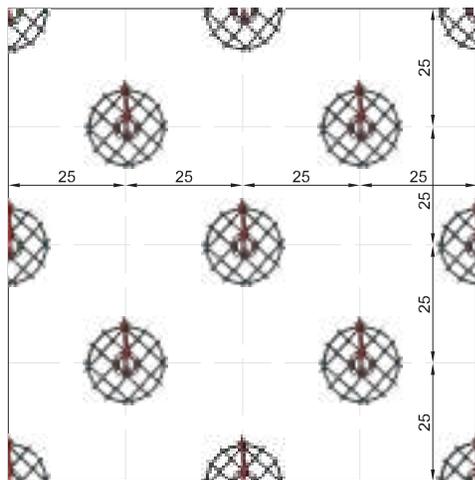
4 connessioni al m²



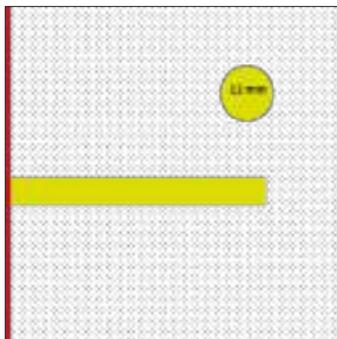
6 connessioni al m²



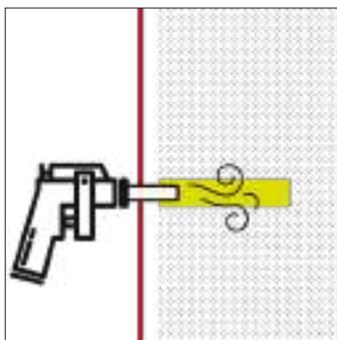
8 connessioni al m²



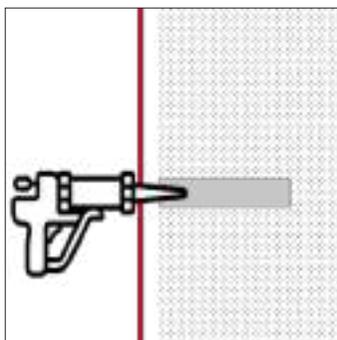
Connessione semplice



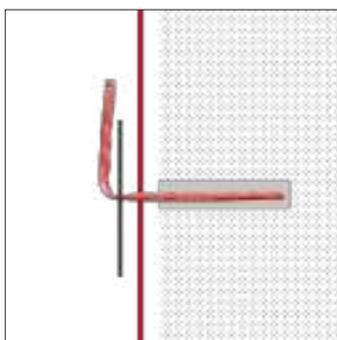
1. Foro da 12 mm. Lunghezza come da progetto. Consigliato non inferiore a $\frac{2}{3}$ dello spessore.



2. Pulizia del foro tramite aria compressa o lavaggio.

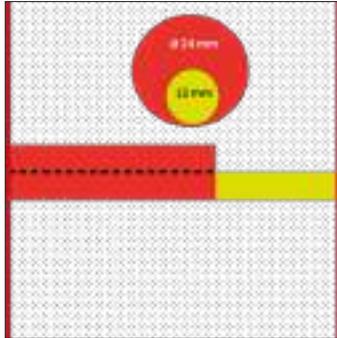


3. Riempimento con l'ancorante strutturale V-FIX.

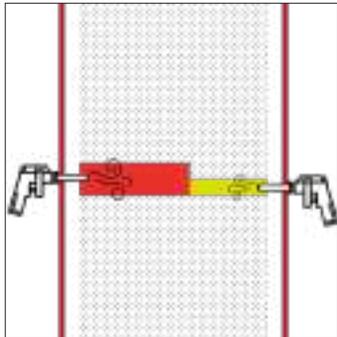


4. Posizionamento del fazzoletto e inserimento del connettore.

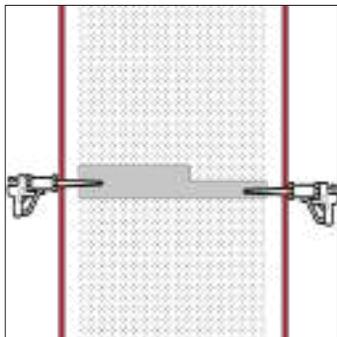
Connessione passante



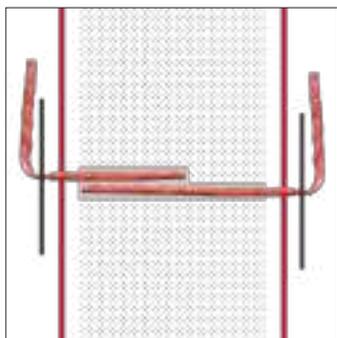
1. Foro da 24 mm per la profondità di 200 mm. Foro passante da 12 mm tangente alla base.



2. Pulizia del foro tramite aria compressa o lavaggio.

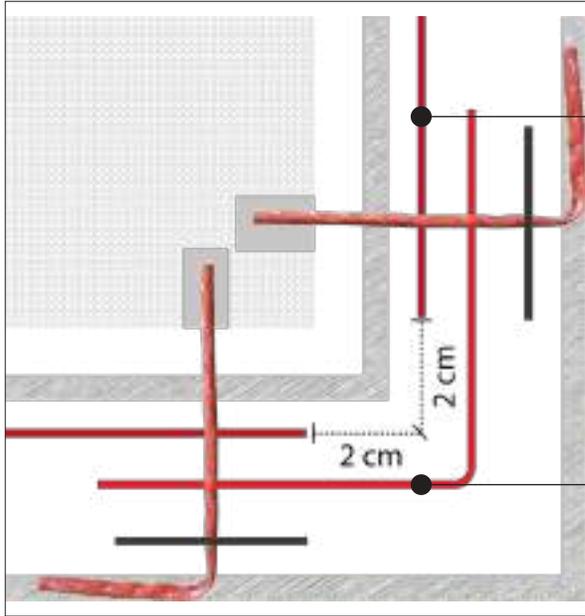


3. Riempimento con l'ancorante strutturale V-FIX.



4. Posizionamento del fazzoletto e inserimento del connettore.

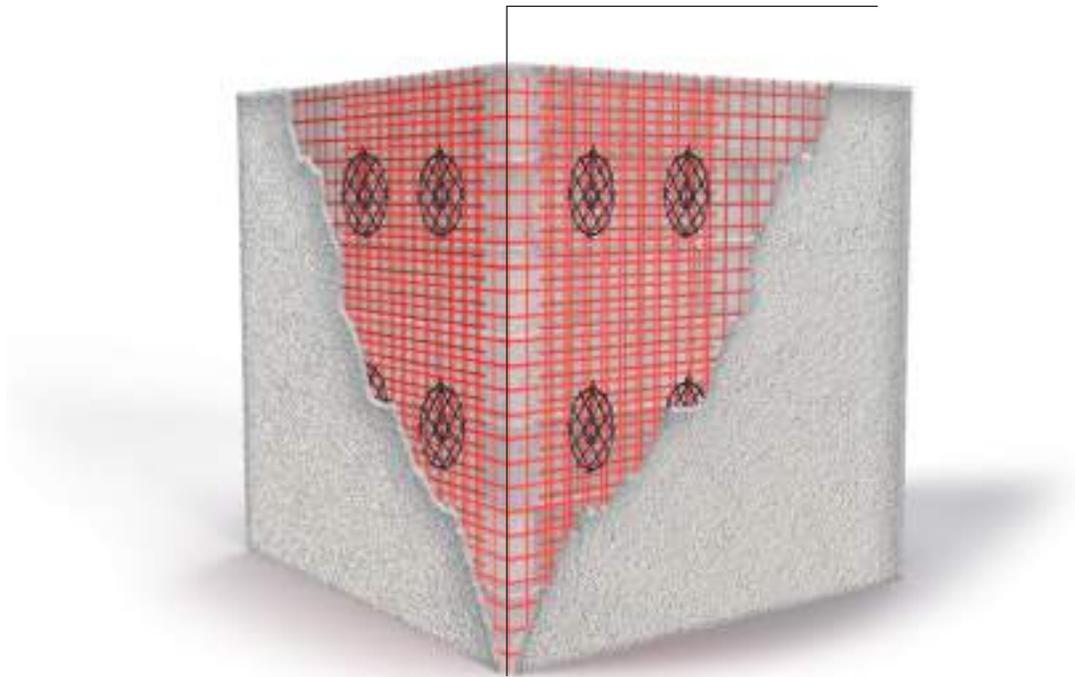
Angolare



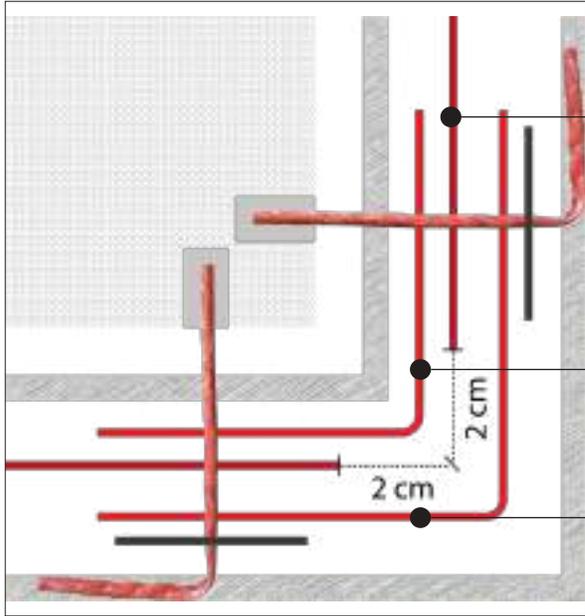
Rete

Angolare

Raggio di curvatura 30 mm



Doppio Angolare



Rete

Primo Angolare

Secondo Angolare



Malta



Rete / Angolare



Fazzoletto



Supporto

TCS GLASS MR44

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
40 X 40 mm

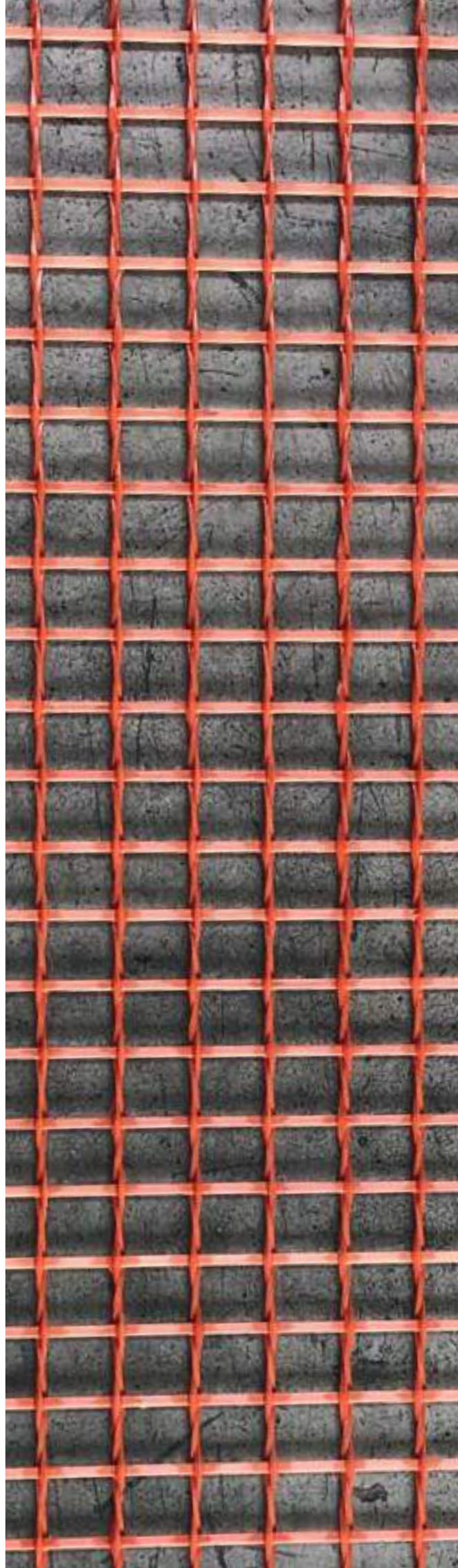
GRAMMATURA:
1050 g/m²

ALTEZZA:
2 m

LUNGHEZZA:
20 m

SUPERFICIE:
40 m²

ROTOLO:
20x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,6	ETA-21 / 0524
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	10,00	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	CNR DT 203 / 2006
Barre per metro	n.	25	25	
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Resistenza a trazione singola barra (medio)	kN	4,78	ETA-21 / 0524
Resistenza a trazione singola barra (caratteristico)	kN	3,90	
Sforzo a trazione singola barra (medio)	MPa	486	
Sforzo a trazione singola barra (caratteristico)	MPa	436	
Resistenza a trazione per metro (medio)	kN	119	
Resistenza a trazione per metro (caratteristico)	kN	97	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	42	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	0,96	
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico)	kN	0,50	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Confezioni	Rotolo da 20 m altezza 2 m, foglio da 1 m altezza 2 m. Bancale da 5 rotoli, 100 x 120 x 215 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3007 - FRPMR44

TCS GLASS MR48

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
40 X 80 mm

GRAMMATURA:
780 g/m²

ALTEZZA:
2 m

LUNGHEZZA:
20 m

SUPERFICIE:
40 m²

ROTOLO:
20x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,60	Metodo Interno
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	ETA-21 / 0524
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	10,00	ETA-21 / 0525
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	ETA-21 / 0526
Barre per metro	n.	12,5	25	ETA-21 / 0527
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Resistenza a trazione singola barra (medio)	kN	8,28	6,69	ETA-21 / 0524
Resistenza a trazione singola barra (caratteristico)	kN	6,41	5,46	
Sforzo a trazione singola barra (medio)	MPa	865	635	
Sforzo a trazione singola barra (caratteristico)	MPa	670	525	
Resistenza a trazione per metro (medio)	kN	103	167	
Resistenza a trazione per metro (caratteristico)	kN	80	136	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	57	40	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	1,12	1,15	
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico)	kN	0,50		

STOCCAGGIO E CONFEZIONI

Confezioni	Rotolo da 20 m altezza 2 m, foglio da 1 m altezza 2 m. Bancale da 5 rotoli, 100 x 120 x 215 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3008- FRPMR48

TCS GLASS MR88

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
80 X 80 mm

GRAMMATURA:
550 g/m²

ALTEZZA:
2 m

LUNGHEZZA:
20 m

SUPERFICIE:
40 m²

ROTOLO:
20x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,90	ETA-21 / 0524
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	12,00	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	CNR DT 203 / 2006
Barre per metro	n.	12,5	12,5	
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Resistenza a trazione singola barra (medio)	kN	7,14	ETA-21 / 0524
Resistenza a trazione singola barra (caratteristico)	kN	5,83	
Sforzo a trazione singola barra (medio)	MPa	572	
Sforzo a trazione singola barra (caratteristico)	MPa	496	
Resistenza a trazione per metro (medio)	kN	89	
Resistenza a trazione per metro (caratteristico)	kN	72	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	34	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	1,32	
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico)	kN	0,50	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Confezioni	Rotolo da 20 m altezza 2 m, foglio da 1 m altezza 2 m. Bancale da 5 rotoli, 100 x 120 x 215 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3009- FRPMP88

TCS GLASS MR812

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
80 X 120 mm

GRAMMATURA:
440 g/m²

ALTEZZA:
2 m

LUNGHEZZA:
20 m

SUPERFICIE:
40 m²

ROTOLO:
20x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,90	ETA-21 / 0524
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	12,00	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	CNR DT 203 / 2006
Barre per metro	n.	8,3	12,5	
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Resistenza a trazione singola barra (medio)	kN	8,7	7,19	ETA-21/0524
Resistenza a trazione singola barra (caratteristico)	kN	7,10	5,64	
Sforzo a trazione singola barra (medio)	MPa	929	596	
Sforzo a trazione singola barra (caratteristico)	MPa	764	468	
Resistenza a trazione per metro (medio)	kN	72	89	
Resistenza a trazione per metro (caratteristico)	kN	58	70	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	58	36	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	1,27	1,24	
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico)	kN	0,50		

STOCCAGGIO E CONFEZIONI

Confezioni	Rotolo da 20 m altezza 2 m, foglio da 1 m altezza 2 m. Bancale da 5 rotoli, 100 x 120 x 215 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3010- FRPMR812

TCS GLASS MR1212

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
120 X 120 mm

GRAMMATURA:
350 g/m²

ALTEZZA:
2 m

LUNGHEZZA:
20 m

SUPERFICIE:
40 m²

ROTOLO:
20x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,90	ETA-21 / 0524
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	12,00	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	CNR DT 203 / 2006
Barre per metro	n.	8,3	8,3	
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Resistenza a trazione singola barra (medio)	kN	7,19	ETA-21 / 0524
Resistenza a trazione singola barra (caratteristico)	kN	5,64	
Sforzo a trazione singola barra (medio)	MPa	596	
Sforzo a trazione singola barra (caratteristico)	MPa	468	
Resistenza a trazione per metro (medio)	kN	59	
Resistenza a trazione per metro (caratteristico)	kN	46	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	36	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	1,24	
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico)	kN	0,50	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Confezioni	Rotolo da 20 m altezza 2 m, foglio da 1 m altezza 2 m. Bancale da 5 rotoli, 100 x 120 x 215 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3011- FRPMR1212

TCS GLASS CORNER MR48

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
40 X 80 mm

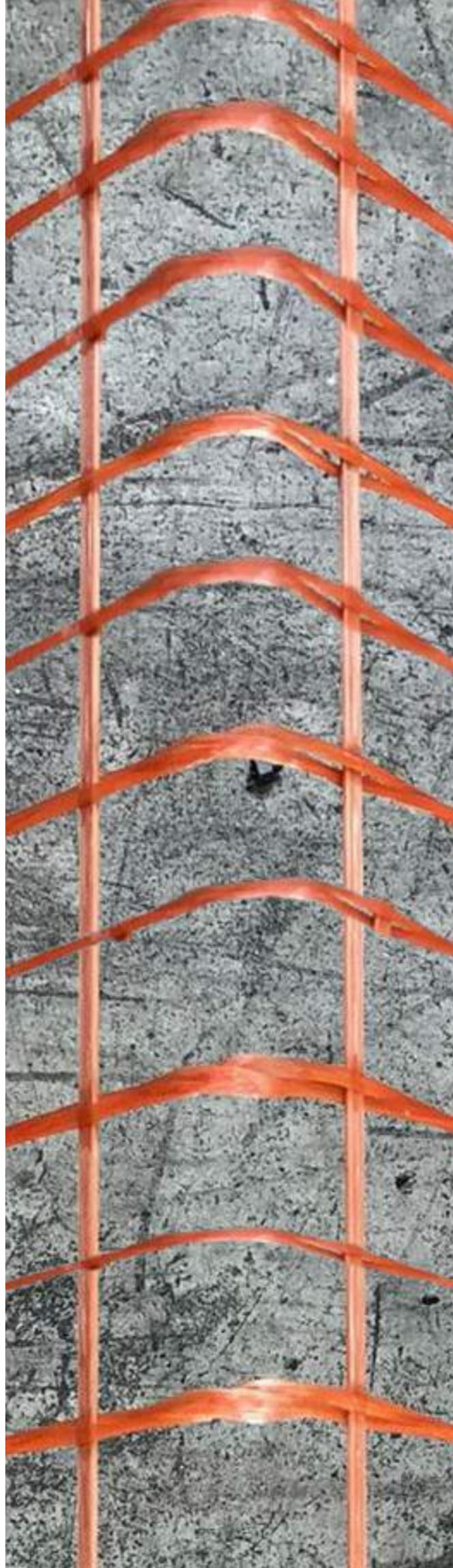
GRAMMATURA:
780 g/m²

LATO ANGOLARE:
40 cm

ALTEZZA ANGOLARE:
2 m

RAGGIO DI CURVATURA:
30 mm

CORNER:
4x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,60	ETA-21 / 0524
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	10,00	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	CNR DT 203 / 2006
Barre per metro	n.	12,5	25	
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Forza perpendicolare dell'angolo (caratteristico)	kN	4,01	ETA-21 / 0524
Forza dell'angolo decomposta a 90° (caratteristico)	kN	2,84	
Resistenza massima decomposizione per metro (caratteristico)	kN	71	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	40	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	1,32	
Resistenza a strappo del nodo(caratteristico)	kN	0,50	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Confezioni	10 pz. 2 m di lunghezza. Lato 40 cm. Bancale da 100 pz. 200x120x60 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3012- FRPMR48ANG/2

TCS GLASS CORNER MR88

Rete alcali resistente in fibra di vetro con matrice epossidica per sistemi CRM. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21 / 0524 secondo EAD 340392-00-0104

MAGLIA RETE:
80 X 80 mm

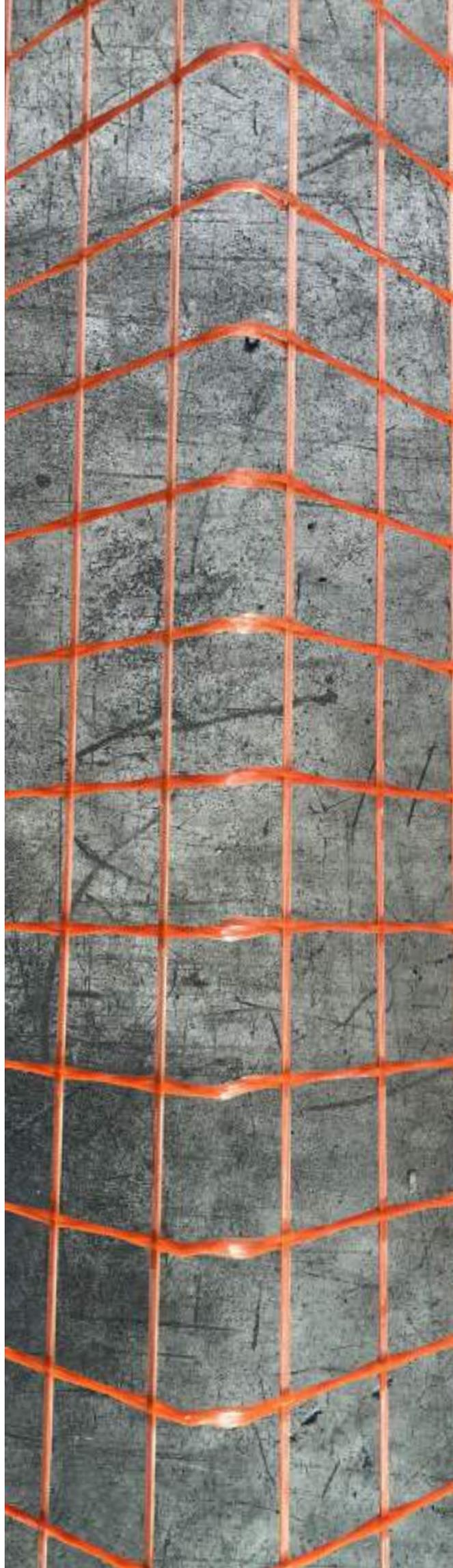
GRAMMATURA:
550 g/m²

LATO ANGOLARE:
40 cm

ALTEZZA ANGOLARE:
2 m

RAGGIO DI CURVATURA:
30 mm

CORNER:
4x2 m



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE		VALORE		Riferimento
Proprietà	U.m.	Trama	Ordito	
Diametro nominale	mm	-	3,90	ETA-21 / 0524
Sezione nominale	mm ²	9,90	-	
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	9,60	12,00	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	7,20	5,70	CNR DT 203 / 2006
Barre per metro	n.	12,5	12,5	
Contenuto di fibra in peso (media)	%	75		Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70		ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70		
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60		
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25		
Classe di reazione al fuoco	-	F		

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Forza perpendicolare dell'angolo (caratteristico)	kN	4,01	ETA-21 / 0524
Forza dell'angolo decomposta a 90° (caratteristico)	kN	2,84	
Resistenza massima decomposizione per metro (caratteristico)	kN	35	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	34	
Deformazione a rottura (caratteristico)	%	1,32	
Resistenza a strappo del nodo(caratteristico)	kN	0,50	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Confezioni	10 pz. 2 m di lunghezza. Lato 40 cm. Bancale da 100 pz. 200x120x60 cm.
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3013- FRPMR88ANG/2

TCS GLASS CONNECTOR

Connettore a "L" ad aderenza migliorata in composito GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) alcali resistente realizzato in resina epossidica. Componente del sistema FORTIUS.

ETA - 21/0524 secondo EAD 340392-00-0104

DA UTILIZZARE CON:
Ancorante chimico V-FIX

GRAMMATURA:
103 g/m

LUNGHEZZA:
Lato Corto 10 cm
Lato lungo 10,15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90,100 cm



DATI TECNICI			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Diametro nominale	mm	8,2	ETA-21 / 0524
Sezione nominale (cilindro graduato)	mm ²	52,28	
Area nominale riferita alla fibra	mm ²	29,5	CNR DT 203 / 2006
Contenuto di fibra	%	74 (in peso), 53 (in volume)	Metodo Interno
Temperatura limite di utilizzo	°C	DA -15 A 70	ETA-21 / 0524
Temperatura di transizione vetrosa del composito	°C	70	
Densità della fibra	g/cm ³	2,50 ÷ 2,60	
Densità della matrice	g/cm ³	1,15 ÷ 1,25	
Classe di reazione al fuoco	-	F	
Resistenza a trazione singola barra (medio)	kN	30	
Resistenza a trazione singola barra (caratteristico)	kN	28	
Sforzo a trazione singola barra (medio)	MPa	579,44	
Sforzo a trazione singola barra (caratteristico)	MPa	540,43	
Sforzo a trazione riferito alla fibra (medio)	MPa	1016	
Sforzo a trazione riferito alla fibra (caratteristico)	MPa	949	
Modulo elastico (caratteristico)	GPa	38	
Lunghezza	cm	Lato corto 10 Lato lungo 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Confezioni	Scatola da 100 pz./ cf
Conservazione	Nella confezione originale in luogo asciutto.



DoP n°3006- FRPCON7

V-FIX ANCORANTE VINILESTERE

Resina vinilestere bicomponente in cartuccia senza stirene per ancoraggi strutturali.

Componente del sistema FORTIUS.

CARTUCCIA:
400 ml

APPLICAZIONE:
Pistola per ancorante chimico

COMPATIBILITÀ:
Muri asciutti e bagnati



DATI TECNICI			
Proprietà	U.m.	Valore	Riferimento
Lavorabilità a -10°C	min	105	ETA-09 / 0140 ETA-09 / 0246
Attesa per la messa in carico a -10°C	ore	24	
Lavorabilità a -5°C	min	65	
Attesa per la messa in carico a -5°C	ore	14	
Lavorabilità a 0°C	min	45	
Attesa per la messa in carico a 0°C	ore	7	
Lavorabilità a 5°C	min	25	
Attesa per la messa in carico a 5°C	ore / min	1 h 30 min	
Lavorabilità a 10°C	min	16	
Attesa per la messa in carico a 10°C	ore	1	
Lavorabilità a 20°C	min / sec	7 min 30 sec	
Attesa per la messa in carico a 20°C	min	40	
Lavorabilità a 25°C	min	5	
Attesa per la messa in carico a 25°C	min	35	
Lavorabilità a 30°C	min	3	
Attesa per la messa in carico a 30°C	min	30	
Lavorabilità a 40°C	min	1	
Attesa per la messa in carico a 40°C	min	20	

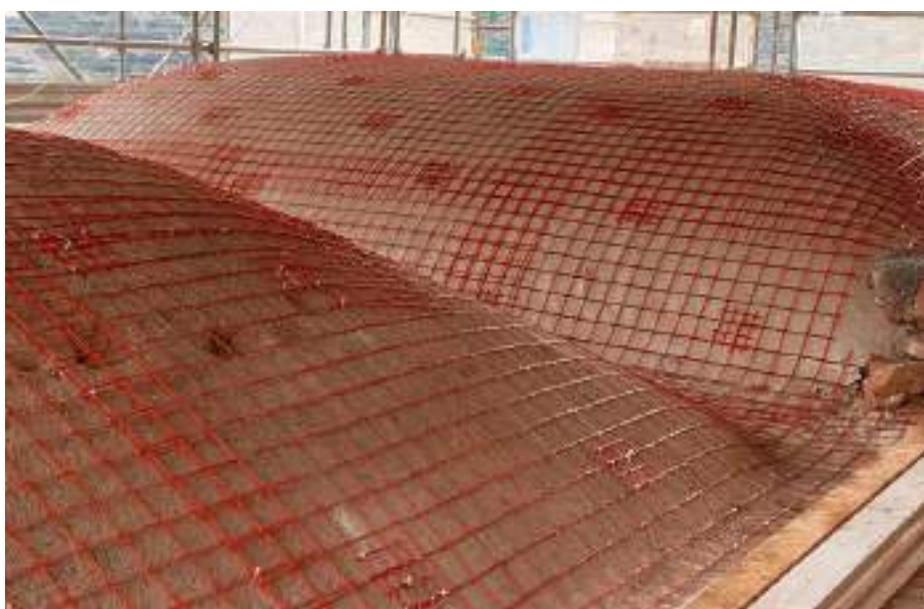
Resa			
Diametro connettore	mm	ø 8	Metodo Interno
Diametro foro	mm	ø 12	
Profondità foro	mm	100	
Temperatura di applicazione	°C	da +5 a +30	
Classificazione reach	-	Vedere SDS	

STOCCAGGIO E CONFEZIONI	
Numero iniezioni	25/30 (cartuccia da 400 ml)
Confezioni	Scatola da 12 pz/cf
Conservazione	Fino a 16 mesi nella confezione originale

Applicazioni



Frenello



Volta in muratura estradosso



Volta in legno



Volta in muratura intradosso

Applicazioni



Cordolo



Colonna



Intonaco armato



angolo

Applicazioni



Antisfondellamento



Elementi snelli



Ripresa in fondazione



Pavimentazioni storiche

Applicazioni



Connessioni perimetrali



Cucitura d'angolo



NSM



Connessione con fazzoletto

Ricerca e Sviluppo



Prove di distacco dal supporto



Prove di compressione diagonale



Prove di flessione fuori dal piano



Antisfondellamento

Prove di distacco dal supporto

Di seguito sono illustrati i risultati delle prove di distacco dal supporto del sistema di rinforzo FORTIUS con rete TCS GLASS MR44 applicato su elementi in muratura con malta B-STRUCTURA. I mattoni sono di recupero da un edificio storico.

Prove eseguite presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

Geometria dei campioni

I campioni sono realizzati con i medesimi mattoni storici utilizzati per le prove di compressione diagonale. I mattoni presentano dimensioni nominali di 325 x 162 x 40 mm. I blocchi in muratura sono realizzati con 6 mattoni e giunti con la stessa malta di calce utilizzata per le prove di compressione diagonale. Le dimensioni dei blocchi sono pari a circa 325 x 162 x 330 mm. Date le caratteristiche dei mattoni utilizzati, i blocchi non presentano dimensioni regolari e le facce presentano evidenti non planarità. Queste condizioni sono simili a quelle della muratura reale. Il sistema di rinforzo è applicato su una faccia principale con una lunghezza di ancoraggio di 290 mm e una larghezza di 120 mm che quindi include 3 yarns della rete di rinforzo sia in direzione trama che in direzione ordito. All'estremità libera della rete sono posizionati due tabs in acciaio applicati con resina epossidica. Sono state eseguite 6 prove sperimentali per ciascuna direzione della rete. Uno dei campioni realizzati con trama parallela alla direzione di applicazione della forza è risultato danneggiato ed è stato quindi scartato.

Risultati sperimentali

In Tabella 1 e Tabella 2 sono riportati i risultati delle singole prove svolte in direzione trama ed in direzione ordito. Si riportano il carico e lo sforzo a rottura, lo scorrimento medio dei 2 LVDT registrato al carico massimo e la pendenza del primo ramo elastico. Si ricorda che ogni striscia di tessuto comprende tre yarn. In Figura 1 si riportano gli andamenti sforzo-scorrimento dei provini in direzione ordito, mentre in Figura 2 sono riportati gli andamenti sforzo-scorrimento dei provini in direzione trama.



Campione	Carico a rottura F_{max} [kN]	Sforzo a rottura [MPa]	Scorrimento medio a F_{max} [mm]	Rigidezza del primo ramo [kN/mm]
DS_ordito_1	10.71	626.09	2.04	11.19
DS_ordito_2	11.74	686.65	1.80	10.44
DS_ordito_3	8.30	485.21	1.76	12.36
DS_ordito_4	11.06	647.01	1.64	17.91
DS_ordito_5	10.03	586.56	1.59	11.34
DS_ordito_6	11.30	660.74	1.88	10.98
Media	10.52	615.38	1.78	12.37
CoV	11.7%	11.7%	9.1%	22.8%

Tabella 1.
Risultati delle prove di distacco in direzione trama.

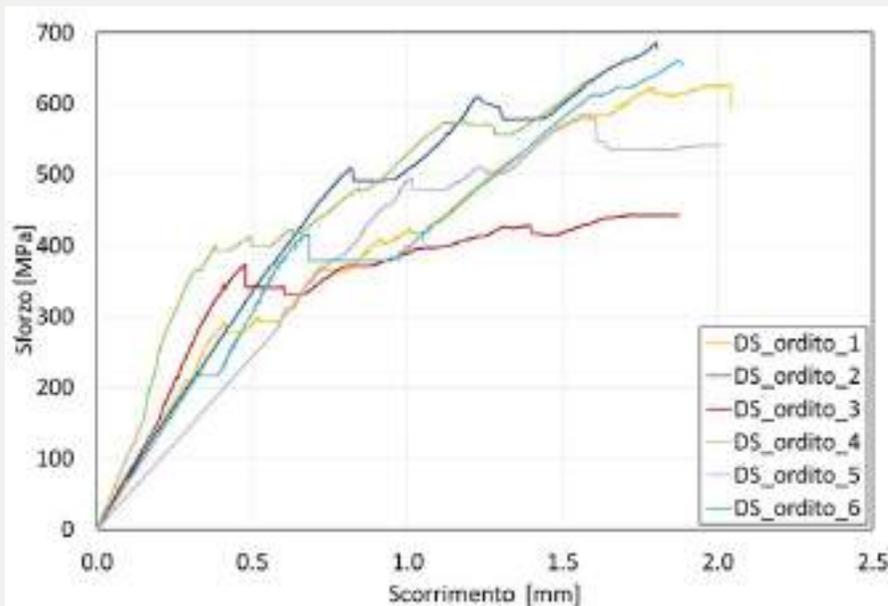


Figura 1.
Curve sforzo-scorrimento in direzione ordito.

Campione	Carico a rottura F_{max} [kN]	Sforzo a rottura [MPa]	Scorrimento medio a F_{max} [mm]	Rigidezza del primo ramo [kN/mm]
DS_trama_1	5.58	326.08	0.41	20.11
DS_trama_2	9.44	551.96	1.02	12.15
DS_trama_3	8.85	517.73	1.51	17.13
DS_trama_4	11.67	682.31	1.26	13.74
DS_trama_5	7.30	426.79	2.08	46.59
Media	8.57	500.97	1.25	21.94
CoV	26.75	26.75	49.00	64.33

Tabella 2.
Risultati delle prove di distacco in direzione ordito.

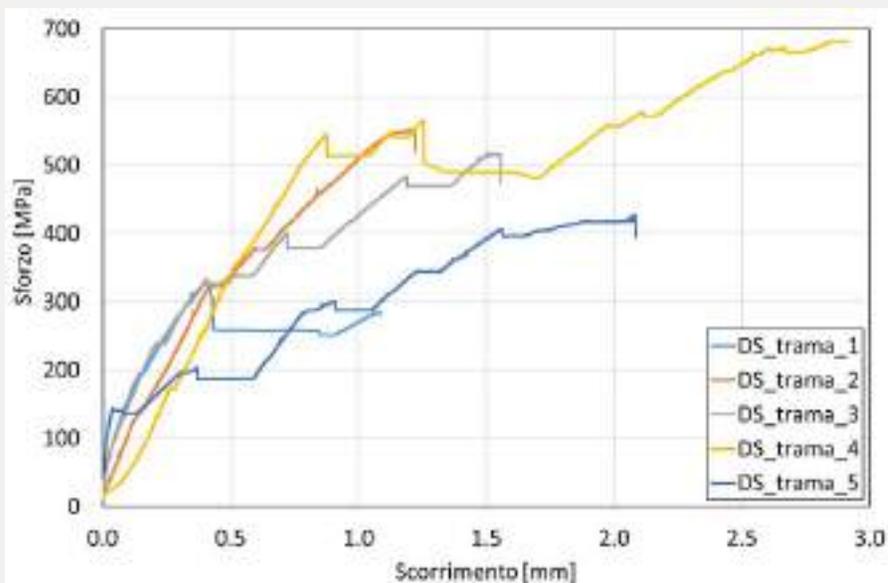


Figura 2.
Curve sforzo-scorrimento in direzione trama.

Prove di compressione diagonale

Di seguito sono illustrati i risultati delle prove di compressione diagonale di campioni in muratura rinforzati con il sistema FORTIUS con rete TCS GLASS MR44 applicato con malta B-STRUCTURA e connettori elicoidali TCS TWIST 9A2. I mattoni sono di recupero da un edificio storico. Prove eseguite presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

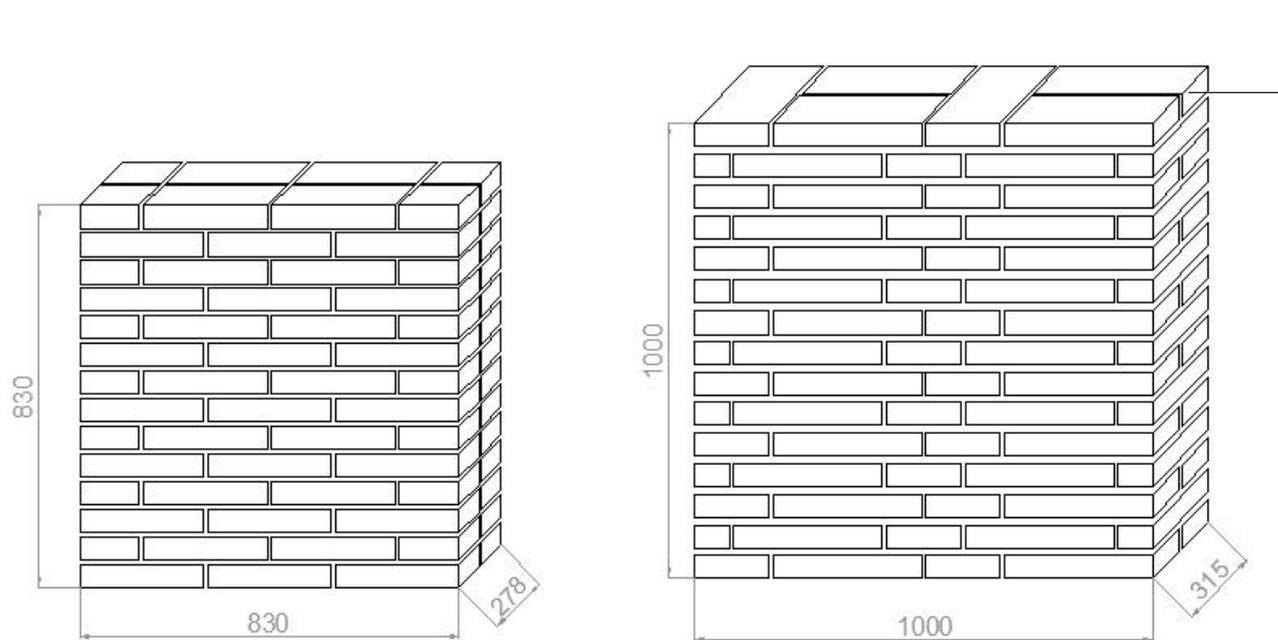
Geometria dei campioni e sistemi di rinforzo

Le prove di compressione diagonale sono eseguite su otto elementi in muratura realizzati con mattoni storici e malta bastarda con una resistenza a compressione pari a circa 4.8 MPa. Quattro campioni (tipologia a) sono realizzati con mattoni delle dimensioni di circa 270 x 125 x 50 mm e presentano dimensioni nominali di 830 x 830 x 278 mm; gli altri quattro (tipologia b) sono realizzati con piastrelle delle dimensioni di circa 325 x 162 x 40 mm e presentano dimensioni nominali di 1000 x 1000 x 315 mm. In Figura 1 è mostrata la tessitura muraria delle due tipologie di campioni. Il pannello con dimensioni inferiori (a) è costituito da due paramenti paralleli senza connessioni mentre il secondo (b) presenta mattoni che fungono da diatono tra i due paramenti.

Per ogni tipologia tre campioni sono rinforzati con il sistema di rinforzo FORTIUS mentre uno è mantenuto senza alcun rinforzo come confronto (controllo). Il sistema di rinforzo FORTIUS è costituito da una rete in fibra di vetro TCS GLASS MR44 applicata con una matrice inorganica denominata B-STRUCTURA. Il rinforzo è applicato su entrambe le facce dei campioni. I campioni tipologia a presentano quattro connettori elicoidali in acciaio inseriti a secco denominati TCS TWIST 9A2.

I campioni sono denominati DW_110/140_G/control_y, dove 110/140 indica la lunghezza della diagonale compressa (110 cm per i campioni tipologia a e 140 cm per i campioni tipologia b); "G" indica la presenza del sistema di rinforzo TCS GLASS MR44, control indica i campioni senza rinforzo e y il numero progressivo dei campioni.

Figura 1.
Geometria dei campioni:
a) tipologia a; b) tipologia b



CAMPIONI DI TIPOLOGIA A

In Tabella 1 si riportano i risultati ottenuti dalle prove eseguite su campioni di tipologia a. Per ciascuna prova sono riportati i valori raggiunti al termine della fase elastica (indicati dal pedice el), al carico di picco (indicati dal pedice max), e quelli raggiunti al termine della fase "pseudo-duttile" (indicati dal pedice d).

Per ciascuna fase si riportano (ii=el, max, d):

- F_{ii} : carico applicato sulla diagonale
- τ_{ii} : sforzo di taglio nella muratura
- $\delta_{ii1}, \delta_{ii3}$: variazione di lunghezza lungo le diagonali tese delle due facce del pannello
- $\delta_{ii2}, \delta_{ii4}$: variazione di lunghezza lungo le diagonali compresse delle due facce del pannello
- y_{ii} : deformazione a taglio

In accordo alla norma ASTM E519-10 gli sforzi di taglio raggiunti sono calcolati secondo la relazione

$$\tau_{xx} = 0.707 \frac{F_{xx}}{A_n}$$

Dove A_n è l'area netta della sezione trasversale calcolata come $A_n = \frac{\eta + \omega}{2} t \cdot n$, con η e ω le dimensioni dei lati del muretto, t lo spessore e n l'indice dei pieni, che in questo caso è pari ad 1.

La deformazione al taglio è calcolata come somma fra la media delle deformazioni registrate lungo la diagonale compressa (ϵ_c) e quelle registrate lungo la diagonale tesa (ϵ_t). I valori di deformazione sono stati ottenuti dalle letture degli spostamenti registrate dagli LVDT.

$$Y_{xx} = \epsilon_t + |\epsilon_c|$$

<i>Fase elastica</i>							
Campione	F_{el} [kN]	τ_{el} [MPa]	δ_{el1} [mm]	δ_{el2}^* [mm]	δ_{el3}^* [mm]	δ_{el4} [mm]	Deformazione a taglio γ_{el} [%]
DW_110_control	62.8	0.19	0.06	-0.24	0.04	-0.11	0.035
DW_110_G_1	246.35	0.74	0.09	-0.24	0.03	-0.17	0.042
DW_110_G_2	202.41	0.61	0.15	-0.31	0.09	-0.20	0.052
DW_110_G_3	199.66	0.60	0.12	-0.24	0.07	-0.23	0.048
Media (DW_110_G_y)	216.14	0.65	-	-	-	-	0.047
<i>Carico di picco</i>							
Campione	F_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]	δ_{max1} [mm]	δ_{max2}^* [mm]	δ_{max3}^* [mm]	δ_{max4} [mm]	Deformazione a taglio γ_{max} [%]
DW_110_control	87.11	0.27	0.28	-0.76	0.26	-0.35	0.123
DW_110_G_1	246.35	0.74	0.09	-0.24	0.03	-0.17	0.042
DW_110_G_2	202.41	0.61	0.15	-0.31	0.09	-0.20	0.052
DW_110_G_3	200.95	0.61	3.14	-	2.60	-	-
Media (DW_110_G_y)	216.57	0.65	-	-	-	-	0.047
<i>Fase "pseudo-duttile"</i>							
Campione	F_d [kN]	τ_d [MPa]	δ_d1 [mm]	δ_d2^* [mm]	δ_d3^* [mm]	δ_d4 [mm]	Deformazione a taglio γ_d [%]
DW_110_control	-	-	-	-	-	-	-
DW_110_G_1	224.50	0.68	3.50	-1.16	3.12	-1.40	0.678
DW_110_G_2	181.80	0.55	3.43	-1.37	3.03	-1.36	0.635
DW_110_G_3	188.75	0.57	3.61	-	2.97	-	-
Media (DW_110_G_y)	198.35	0.60	-	-	-	-	0.656

* Valori negativi indicano compressione

Tabella 1. Risultati sperimentali, campioni tipologia a

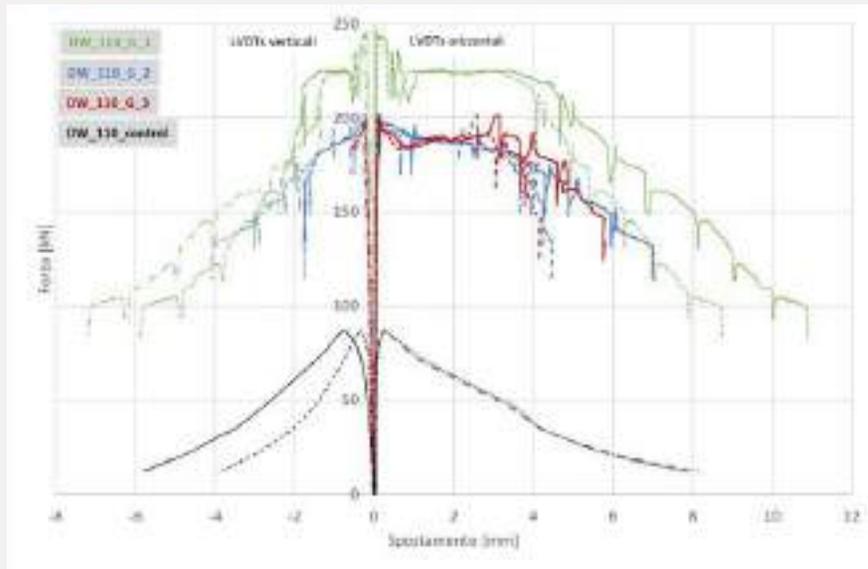


Figura 2.
Andamento
forza-spostamento,
confronto campioni
tipologia a

In Figura 3 si riportano gli andamenti forza-tempo per i campioni di tipologia a. Per maggiore chiarezza è stato riportato solo il secondo ciclo di carico registrato da un LVDT posizionato sulla diagonale tesa. È evidente come la fase elastica presenti la stessa durata per i campioni rinforzati e per quello di controllo, anche se la pendenza della curva di quest'ultimo è notevolmente inferiore. Raggiunto il carico di picco il campione non rinforzato presenta un'immediata perdita di carico mentre i campioni rinforzati presentano una fase "pseudo-ductile" con una durata variabile tra 400 e 500 secondi e una successiva fase decrescente in cui il carico diminuisce di circa 50 kN ogni 200 secondi. Si ricorda che le prove sono eseguite in controllo di spostamento alla velocità costante di 0.007 mm/s.

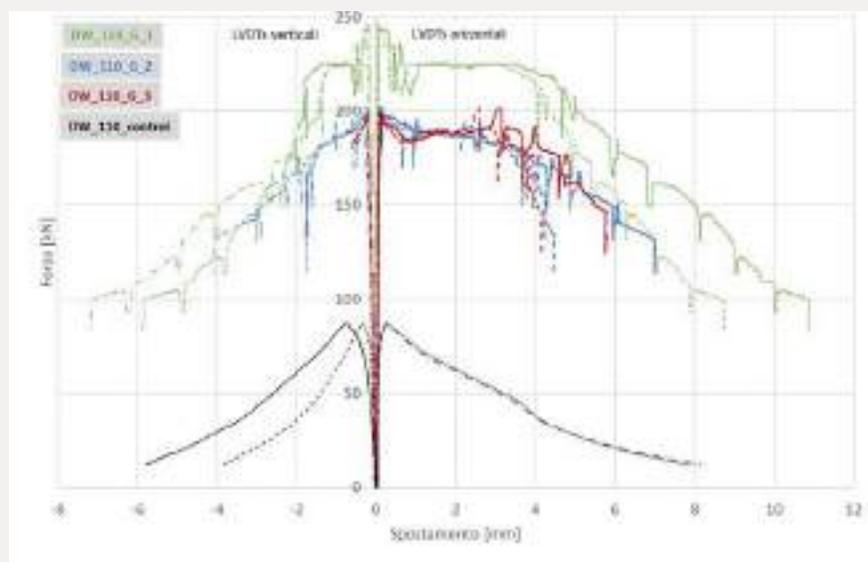


Figura 3.
Andamento
forza-tempo,
confronto campioni
tipologia a

In Figura 4 sono riportate alcune immagini rappresentative delle modalità di rottura. Il campione non rinforzato presenta una fessurazione lungo la diagonale compressa che coinvolge principalmente i letti di malta orizzontali e verticali.

I campioni rinforzati presentano un quadro fessurativo diffuso sull'intera faccia del campione con fessure principalmente in direzione verticale; nelle ultime fasi della prova si è verificata l'espulsione di parti dello strato esterno della matrice, senza rottura della rete in fibra di vetro.

Il campione DW_110_G_3 presenta inoltre il distacco di una porzione di rinforzo dal substrato con rottura localizzata della rete in corrispondenza del connettore.



Figura 4.
Modalità di rottura tipologia a

Modalità di rottura: A
campione DW_110_control



Modalità di rottura: B
campione DW_110_G_1



Modalità di rottura: C
campione DW_110_G_2



Modalità di rottura: D
campione DW_110_G_3

CAMPIONI DI TIPOLOGIA B

I campioni non rinforzati presentano un andamento forza-spostamento caratterizzato da una prima fase elastica, al termine della quale si ha la formazione delle prime fessure nei giunti di malta orizzontali e verticali lungo la diagonale compressa. Il carico continua ad aumentare con una pendenza inferiore rispetto al ramo elastico sino al raggiungimento del carico di picco. La fase decrescente successiva è molto rapida, i campioni rinforzati presentano un l'andamento forza-spostamento descritto per i campioni di tipologia A. La principale differenza tra le due tipologie è legata alla modalità di rottura che per la tipologia b include il distacco del rinforzo dalla muratura. Questo comporta una perdita di carico più rapida al termine della fase "pseudo-duttile", rappresentata da un tratto discendente quasi verticale. La fase "pseudo-duttile" comprende la fessurazione della matrice del rinforzo e il distacco del sistema dalla muratura. Tale fase è molto estesa, raggiungendo spostamenti di 4-5 mm registrati lungo la diagonale tesa, con una durata che varia tra i 500 e i 900 secondi, rispetto a una fase di carico di circa 500 secondi.

Per ciascun campione sono riportate le letture dei quattro LVDT; si riportano in positivo i valori registrati lungo le diagonali tese e in negativo quelli registrati lungo le diagonali compresse. Si evidenzia che nella prova DW_110_G_3 si è avuto il distacco prematuro di un LVDT verticale. Per tale motivo le letture sono interrotte poco dopo il superamento della fase elastica.

In Figura 5 si riporta un confronto fra le curve forza-spostamento ottenute da tutti i campioni di tipologia B.

In Tabella 2 si riportano i risultati ottenuti dalle prove eseguite su campioni di tipologia b. Per ciascuna prova sono riportati i valori raggiunti al termine della fase elastica (indicati dal pedice el), al carico di picco (indicati dal pedice max), e quelli raggiunti al termine della fase "pseudo-duttile" (indicati dal pedice d), come definito nella sezione precedente.

<i>Fase elastica</i>							
Campione	F_{el} [kN]	τ_{el} [MPa]	$\delta_{el} 1$ [mm]	$\delta_{el} 2^*$ [mm]	$\delta_{el} 3^*$ [mm]	$\delta_{el} 4$ [mm]	Deformazione a taglio γ_{el} [%]
DW_140_control	91.01	0.20	0.03	-0.21	0.01	-0.16	0.025
DW_140_G_1	182.93	0.41	0.07	-0.25	0.09	-0.33	0.040
DW_140_G_2	209.71	0.46	0.07	-0.30	0.01	-0.25	0.032
DW_140_G_3	222.72	0.49	0.06	-0.27	0.08	-0.26	0.036
Media (DW_140_G_y)	205.12	0.45	-	-	-	-	0.036
<i>Carico di picco</i>							
Campione	F_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]	$\delta_{max} 1$ [mm]	$\delta_{max} 2^*$ [mm]	$\delta_{max} 3^*$ [mm]	$\delta_{max} 4$ [mm]	Deformazione a taglio γ_{max} [%]
DW_140_control	104.26	0.23	0.11	-0.28	0.05	-0.25	0.042
DW_140_G_1	197.39	0.44	1.60	-0.79	2.17	-0.95	0.301
DW_140_G_2	249.31	0.55	2.42	-	1.83	-1.00	0.265
DW_140_G_3	243.28	0.54	1.59	-	1.64	-0.71	0.203
Media (DW_140_G_y)	229.99	0.51	-	-	-	-	0.256
<i>Fase "pseudo-duttile"</i>							
Campione	F_d [kN]	τ_d [MPa]	$\delta_d 1$ [mm]	$\delta_d 2^*$ [mm]	$\delta_d 3^*$ [mm]	$\delta_d 4$ [mm]	Deformazione a taglio γ_d [%]
DW_140_control	-	-	-	-	-	-	-
DW_140_G_1	191.74	0.42	3.79	-1.21	4.29	-1.26	0.577
DW_140_G_2	220.65	0.49	4.36	-	3.55	-1.45	0.471
DW_140_G_3	228.34	0.51	5.18	-	5.11	-1.19	0.584
Media (DW_140_G_y)	213.58	0.47	-	-	-	-	0.544

Tabella 2.
Risultati sperimentali, campioni tipologia b

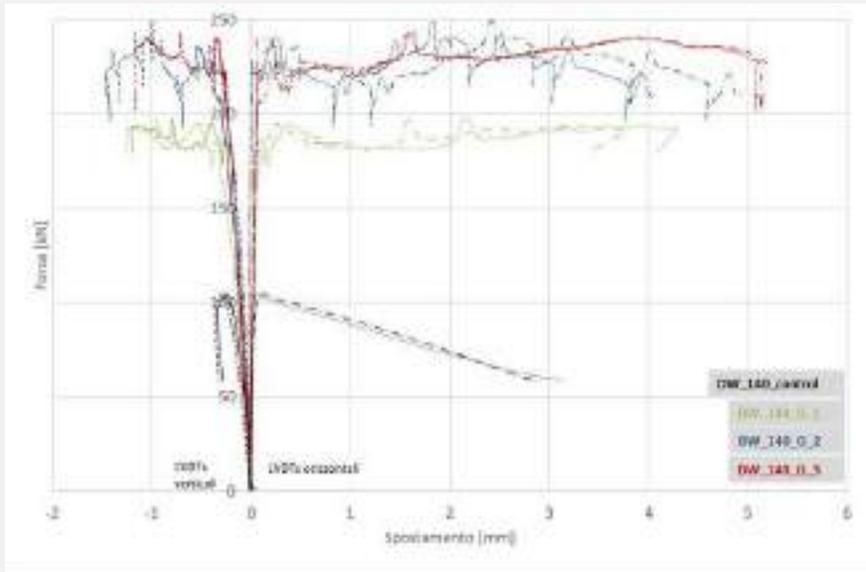


Figura 5.
Andamento
forza-spostamento,
confronto campioni
tipologia b

In Figura 6 si riportano gli andamenti forza-tempo per i campioni di tipologia b; per maggiore chiarezza è stato riportato solo il secondo ciclo di carico registrato da un LVDT posizionato sulla diagonale tesa. Raggiunto il carico di picco il campione non rinforzato presenta un'immediata perdita di carico, mentre i campioni rinforzati presentano una fase "pseudo-duttile" con una durata variabile tra 500 e 900 secondi e una successiva fase decrescente molto rapida associata al distacco del sistema di rinforzo.

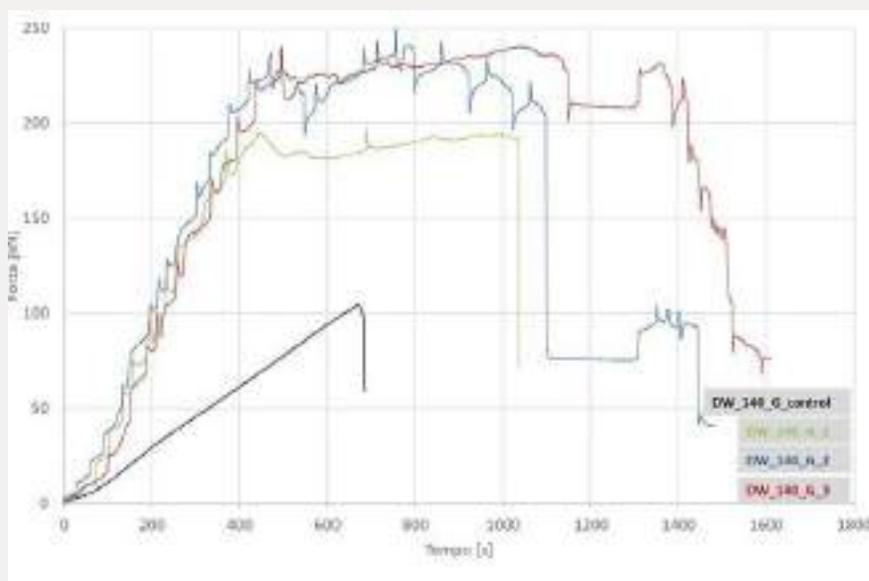


Figura 6.
Andamento
forza-tempo,
confronto campioni
tipologia b

In Figura 7 sono riportate alcune immagini rappresentative delle modalità di rottura. Il campione non rinforzato presenta una fessurazione che coinvolge principalmente i letti di malta orizzontali e verticali e che si sviluppa a partire dalla mezzaria del lato superiore sino alla sella inferiore. La fessurazione è avvenuta principalmente all'interfaccia tra la malta e i mattoni.

I campioni rinforzati presentano fessurazione della muratura, che si è gradualmente estesa allo strato interno (a contatto con la muratura) della matrice di rinforzo e in alcuni casi è risultata visibile in superficie; nelle ultime fasi della prova si è avuto il distacco del rinforzo dalla muratura con asportazione di un sottile strato di substrato. Solo il campione DW_140_G_3 ha presentato l'espulsione dello strato superiore della matrice senza il distacco dell'intero sistema di rinforzo dalla muratura. In nessun caso è stata evidenziata la rottura della rete in fibra di vetro.



Figura 7.
Modalità di rottura tipologia b

Modalità di rottura: A
campione DW_140_control



Modalità di rottura: B
campione DW_140_G_1



Modalità di rottura: C
campione DW_140_G_2



Modalità di rottura: D
campione DW_140_G_3

Osservazioni e conclusioni

I campioni (differenziati in tipologia a e tipologia b) sono stati realizzati con mattoni di differenti geometrie e caratterizzati da due diverse tessiture murarie. I campioni di tipologia a sono rinforzati con il sistema FORTIUS, composto dalla rete TCS GLASS MR44 applicata su entrambe le facce della muratura con matrice inorganica B-STRUCTURA e con barre elicoidali TCS TWIST 9A2, che fungono da connettori tra i due paramenti murari e il sistema di rinforzo. La modalità di rottura di questi campioni e del rinforzo principalmente in senso verticale è caratterizzata dalla fessurazione della muratura e del rinforzo con fessure principalmente verticali; nelle ultime fasi della prova si è avuta l'espulsione di parti dello strato esterno della matrice, senza rottura della rete in fibra di vetro.

Il sistema di rinforzo ha consentito di incrementare il carico di picco di circa 2.5 volte: il campione non rinforzato ha infatti raggiunto un carico di picco pari a 87.11 kN mentre i campioni rinforzati presentano un carico massimo medio di 216.57 kN.

Il campione non rinforzato presenta un comportamento fragile. Al contrario, l'andamento forza-spostamento dei campioni rinforzati presenta un'ampia fase "pseudo-ductile", che consente di raggiungere spostamenti in trazione di circa 4 mm, con un "ductility factor" variabile tra 26.70 e 55.61.

I campioni di tipologia b sono rinforzati con il medesimo sistema FORTIUS applicato su entrambe le facce della muratura, ma senza l'inserimento delle barre elicoidali. La modalità di rottura di questi campioni è caratterizzata prevalentemente dal distacco del sistema di rinforzo dalla muratura. Il sistema di rinforzo ha consentito di incrementare il carico di picco di circa 2.2 volte, il campione non rinforzato ha raggiunto un carico di picco pari a 104.26 kN, mentre i campioni rinforzati hanno presentato un carico massimo medio di 229.99 kN.

Come nel caso precedente il campione non rinforzato presenta un comportamento fragile. Al contrario, l'andamento forza-spostamento dei campioni rinforzati presenta un'ampia fase "pseudo-ductile" che consente di raggiungere spostamenti in trazione di circa 6 mm, con un elevato "ductility factor". Al termine di questa fase non si ha un ramo decrescente, ma il collasso del campione per distacco del sistema di rinforzo.

In termini di sforzo di taglio, i due campioni non rinforzati presentano sforzo massimo simile, pari a 0.27 MPa per la tipologia a e 0.23 MPa per la tipologia b. Si constata, quindi, un miglior comportamento per i campioni in cui sono stati inseriti anche i connettori in acciaio, che contrastano il distacco del sistema di rinforzo. In questi campioni si sono raggiunti sforzi di taglio pari a 0.74 MPa, mentre i campioni di tipologia b raggiungono uno sforzo di taglio massimo di 0.55 MPa.

Prove di flessione fuori dal piano

Di seguito sono illustrati i risultati delle prove di flessione fuori dal piano di campioni in muratura rinforzati con il sistema FORTIUS con rete TCS GLASS MR44/48/88 applicato con malta B-STRUCTURA, MATERICA o CLIMATHERM. I mattoni sono di recupero da un edificio storico. Prove eseguite presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

Geometria dei campioni e sistemi di rinforzo

Le prove di flessione sono eseguite su dodici elementi in muratura realizzati con mattoni storici e malta bastarda con una resistenza a compressione pari a circa 4.8 MPa.

I muretti sono realizzati da un singolo paramento di mattoni storici hanno le dimensioni nominali rappresentate in Figura 1. I campioni sono rinforzati con tre differenti sistemi di rinforzo FORTIUS, cinque con rete TCS GLASS MR88, tre con rete TCS GLASS MR48 e tre con rete TCS GLASS MR44, mentre un campione è mantenuto senza alcun rinforzo come confronto (provino di controllo). Il sistema di rinforzo FORTIUS è costituito da una rete in fibra di vetro TCS GLASS MR applicata tramite matrice inorganica.

Per nove campioni, la matrice inorganica è costituita da malta strutturale di calce denominata B-STRUCTURA, mentre per i due campioni è utilizzata una malta termica di calce denominata CLIMATHERM una malta da ripristino calcestruzzi denominata MATERICA.

Il Sistema rinforzo è applicato in tutti i provini rinforzati su una sola faccia dei muretti.

I campioni sono denominati MR_X_Y_n, dove X=88, 48 o 44 indica l'utilizzo della rete MR88, MR48 o MR44 rispettivamente; Y=B, C o M indica l'utilizzo della malta B-STRUCTURA (B), CLIMATHERM (C) o MATERICA (M), mentre n è il numero progressivo dei campioni.

Il campione di controllo è denominato "Control". Tabella 1 riporta i campioni di prova.

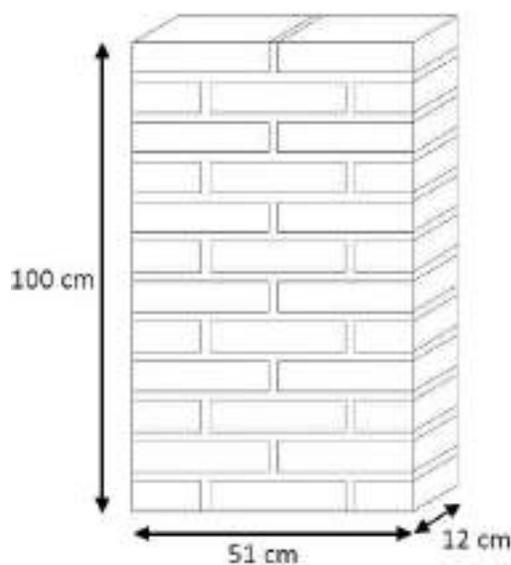


Figura 1.
Geometria nominale
dei campioni

Numero	Campione	Rete di rinforzo	Malta
1	Control	-	-
2	MR_88_C	MR88	CLIMATHERM
3	MR_88_B_1	MR88	B-STRUCTURA
4	MR_88_B_2	MR88	B-STRUCTURA
5	MR_88_B_3	MR88	B-STRUCTURA
6	MR_48_B_1	MR48	B-STRUCTURA
7	MR_48_B_2	MR48	B-STRUCTURA
8	MR_48_B_3	MR48	B-STRUCTURA
9	MR_44_B_1	MR44	B-STRUCTURA
10	MR_44_B_2	MR44	B-STRUCTURA
11	MR_44_B_3	MR44	B-STRUCTURA
12	MR_88_M	MR88	MATERICA

Tabella 1.
Campioni di prova

Risultati sperimentali e modalità di rottura

Per ciascuna prova è stato misurato il carico applicato P al variare dell'abbassamento in mezzera δ . Il carico P è stato ottenuto sommando al carico misurato dalla cella di carico il carico corrispondente al peso della trave HEB 100 utilizzata per distribuire il carico, pari a 0.11 kN. Lo spostamento δ è stato calcolato mediando gli spostamenti misurati dai diversi LVDT:

$$\delta = \frac{\delta_{LVDT-A} + \delta_{LVDT-B}}{2} + \frac{\delta_{LVDT-C} + \delta_{LVDT-D}}{2}$$

Si noti che per tutti gli LVDT la compressione del tastatore corrisponde ad una lettura positiva. I risultati ottenuti dalle prove sperimentali sono riportati in Tabella 2, dove P_{max} è la forza massima misurata, δ_{max} lo spostamento (abbassamento) in corrispondenza di tale forza massima, η il rapporto tra il carico massimo dello specifico provino rinforzato rispetto al carico massimo del provino di controllo, e A l'area sottesa dalla curva $P-\delta$ dall'inizio della prova fino al raggiungimento di P_{max} .

Numero	Campione	P_{max} [kN]	δ_{max} [mm]	η [-]	A [kNmm]
1	Control	2.18	0.12	-	0.18
2	MR_88_C	17.91	13.69	8.21	178.72
3	MR_88_B_1	24.27	11.91	11.12	193.87
4	MR_88_B_2	23.47	13.74	10.76	224.11
5	MR_88_B_3	26.74	12.97	12.25	231.42
6	MR_48_B_1	36.70	11.09	16.82	268.82
7	MR_48_B_2	33.42	12.49	15.32	293.99
8	MR_48_B_3	36.66	14.05	16.80	331.72
9	MR_44_B_1	30.78	10.25	14.10	234.53
10	MR_44_B_2	33.95	14.93	15.56	375.72
11	MR_44_B_3	38.25	13.54	17.53	372.30
12	MR_88_M	25.57	9.05	11.72	164.01

Tabella 2.
Risultati delle
prove sperimentali

Campione di controllo (control)

La curva $P-\delta$ del campione di controllo (Control) è riportata in Figura 2. La curva mostra un unico ramo elastico crescente interrotto dalla rottura improvvisa per flessione del campione, al raggiungimento della resistenza a trazione della muratura all'intradosso del muretto. Il carico massimo ottenuto è $P_{max} = 2.18 \text{ kN}$, corrispondente ad un abbassamento $\delta_{max} = 0.12 \text{ mm}$.

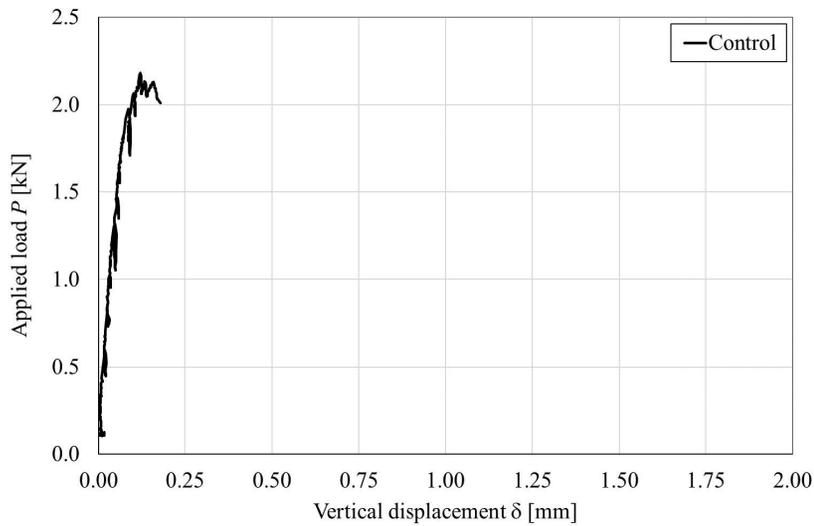


Figura 2.
Curva $P-\delta$ del campione di controllo (Control)



Foto del provino di controllo (Control)



Rottura del provino di controllo (Control)

Campioni con rete TCS Glass MR88 e malta B-Structura

Le curve carico-abbassamento dei campioni rinforzati con rete MR88 e malta B-STRUCTURA sono riportate in Figura 3: la linea tratteggiata indica il carico massimo P_{max} ottenuto dal provino non rinforzato (Control). I campioni rinforzati mostrano una prima fase lineare con un'elevata rigidezza fino alla formazione della prima fessura all'intradosso. Con l'aumentare dell'abbassamento imposto dal martinetto, ulteriori fessure compaiono all'intradosso del provino, così come mostrato dalle improvvise perdite di carico nelle curve in Figura 3.

Dopo aver raggiunto un abbassamento in mezzeria δ di circa 5 mm, i campioni mostrano un comportamento approssimativamente lineare fino al raggiungimento del carico massimo, corrispondente un abbassamento in mezzeria δ di circa 12 mm. La rottura avvenuta a seguito del raggiungimento di P_{max} a causa della rottura della rete di rinforzo.

Figura 4, Figura 5 e Figura 6 mostrano la rottura dei campioni MR_88_B_1, 2 e 3 rispettivamente. Tabella 3 riporta i risultati dei singoli provini con rete MR88 e malta B-STRUCTURA i corrispondenti valori medi e coefficienti di variazione CoV.

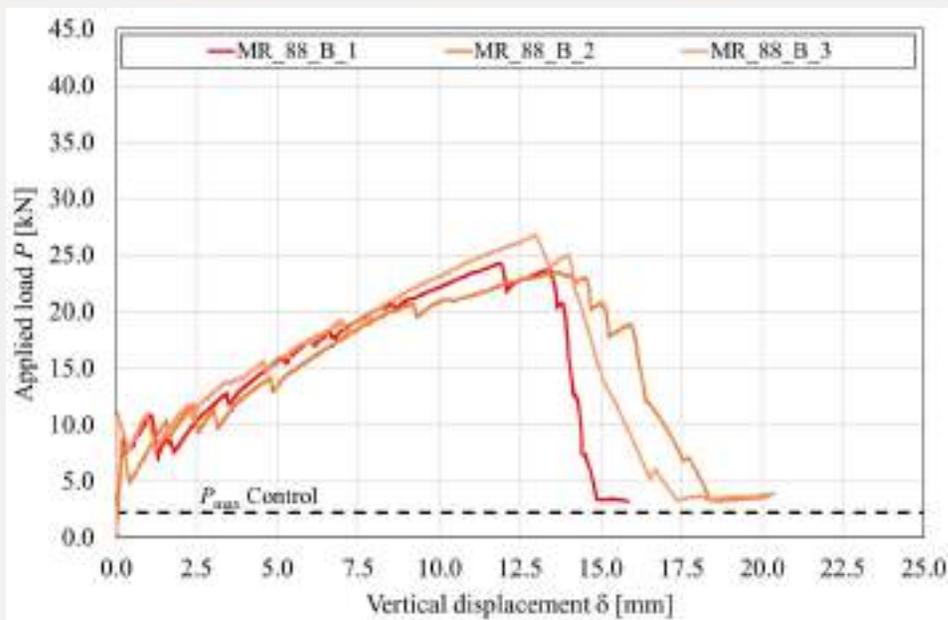


Figura 3.
Curve P - δ dei campioni con rete MR88 e malta B-STRUCTURA

Numero	Campione	P_{max} [kN]	δ_{max} [mm]	η [-]	A [kNmm]
3	MR_88_B_1	24.27	11.91	11.12	193.87
4	MR_88_B_2	23.47	13.74	10.76	224.11
5	MR_88_B_3	26.74	12.97	12.25	231.42
	Media	24.83	12.87	11.38	216.47
	CoV [%]	5.60	5.84	5.60	7.51

Tabella 3.
Risultati dei provini con rete MR88 e malta B-STRUCTURA



Figura 4.
Rottura del campione
MR_88_B_1



Figura 5.
Rottura del campione
MR_88_B_2



Figura 6.
Rottura del campione
MR_88_B_3

Campioni con rete TCS Glass MR48 e malta B-Structura

Le curve carico-abbassamento dei campioni rinforzati con rete MR48 e malta B-STRUCTURA sono riportate in Figura 7: la linea tratteggiata indica il carico massimo P_{max} ottenuto dal provino non rinforzato (Control). Il comportamento generale è analogo a quello dei provini rinforzati con rete MR88 e malta B-STRUCTURA. I campioni hanno mostrato una prima fase lineare con un'elevata rigidità fino alla formazione della prima fessura all'intradosso. Con l'aumentare dell'abbassamento imposto dal martinetto, ulteriori fessure sono comparse all'intradosso del provino, così come mostrato dalle improvvise perdite di carico nelle curve in Figura 7. Dopo aver raggiunto un abbassamento in mezzeria δ di circa 3 mm, i campioni hanno mostrato un comportamento approssimativamente lineare fino al raggiungimento del carico massimo, corrispondente ad un abbassamento in mezzeria δ di circa 12.5 mm. La rottura è avvenuta per raggiungimento della resistenza a taglio della muratura, così come visibile dall'apertura di un'ampia fessura inclinata nel campione, senza rottura della rete di rinforzo.

Figura 8, Figura 9 e Figura 10 mostrano la rottura dei campioni MR_48_B_1, 2 e 3 rispettivamente. Tabella 4 riporta i risultati dei singoli provini con rete MR48 e malta B-STRUCTURA i corrispondenti valori medi e coefficienti di variazione CoV.

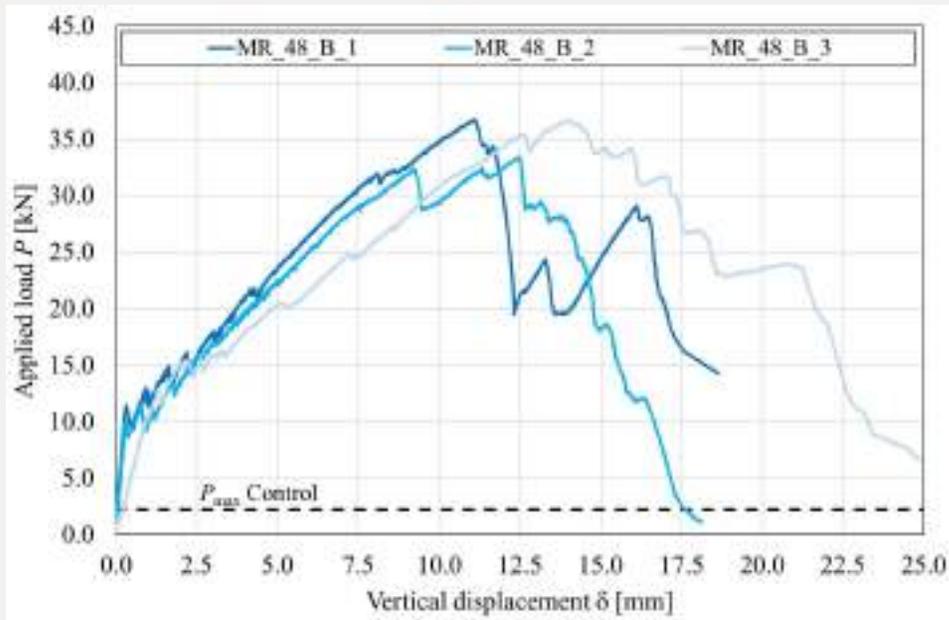


Figura 7.
Curve $P-\delta$ dei campioni con rete MR48 e malta B-STRUCTURA

Numero	Campione	P_{max} [kN]	δ_{max} [mm]	η [-]	A [kNmm]
6	MR_48_B_1	36.70	11.09	16.82	268.82
7	MR_48_B_2	33.42	12.49	15.32	293.99
8	MR_48_B_3	36.66	14.05	16.80	331.72
	Media	35.60	12.54	16.31	298.18
	CoV [%]	4.31	9.65	4.31	8.67

Tabella 7.
Risultati dei provini con rete MR48 e malta B-STRUCTURA



Figura 8.
Rottura del campione
MR_48_B_1



Figura 9.
Rottura del campione
MR_48_B_2



Figura 10.
Rottura del campione
MR_48_B_3

Confronto

Le curve carico-abbassamento di tutti i campioni rinforzati sono riportate in Figura 11: la linea tratteggiata indica il carico massimo P_{max} ottenuto dal provino non rinforzato (Control). Da questo grafico si osserva che tutti i rinforzi analizzati aumentano significativamente la resistenza a flessione del muro (si veda anche Tabella 2). Si può inoltre osservare come i rinforzi con le reti MR44 e MR48 arrivino a un carico di picco più elevato rispetto ai campioni rinforzati con rete MR88. Confrontando i provini rinforzati con rete MR88 si può notare come il provino con malta CLIMATHERM raggiunga un carico massimo ($P_{max}=17.91$ kN) circa il 28% inferiore rispetto al carico medio dei provini con la stessa rete e malta B-STRUCTURA (carico medio $P_{max}=24.83$ kN). Il campione con malta MATERICA ha invece mostrato abbassamenti minori a parità di carico rispetto ai provini rinforzati con la stessa rete di rinforzo e malta B-STRUCTURA e CLIMATHERM.

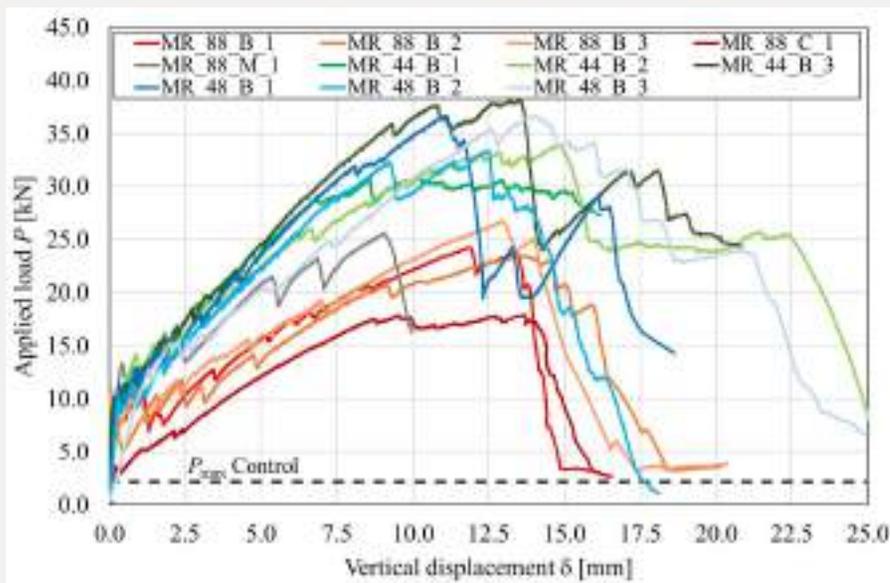


Figura 11.
Curve $P-\delta$ dei
campioni testati

Antisfondellamento

Di seguito sono illustrati i risultati delle prove di antisfondellamento di solai con il sistema **FORTIUS** con rete **TCS GLASS MR44/48/88** a secco applicato con connettori meccanici o con malta **B-STRUTURA**.

Prove eseguite presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

Le prove sono svolte applicando un carico monotono nella direzione ortogonale al piano medio della rete. È stata valutata l'incidenza di vari fattori sulla capacità portante della rete: passo della maglia, interasse tra i connettori, tipologia di posa in opera del connettore, sovrapposizione di reti.

Campioni

Sono state eseguite le seguenti prove:

• Supporti in legno

Dieci prove di sfondellamento su provini costituiti da due travi in legno lamellare lunghe 200 cm e con interasse 60 cm, appoggiate su due cavalletti. La rete antisfondellamento viene fissata all'intradosso delle travi con tasselli passo 50 cm. La prova consiste nel punzonamento della rete tramite due impronte di carico con area 40 x 40 cm ciascuna, collegate un unico distributore.

• Supporti in calcestruzzo armato precompresso (cap)

Sei prove di sfondellamento su provini costituiti da quattro travetti prefabbricati lunghi 200 cm e con interasse 50 cm. Sopra i travetti vengono appoggiate pignatte in laterizio. La rete antisfondellamento viene fissata all'intradosso dei travetti con tasselli passo 50 cm. La prova consiste nel punzonamento della rete tramite un'impronta di carico con area 24 x 35 cm.

• Supporti latero-cementizi

Tre prove di sfondellamento su provini costituiti da porzioni di solaio latero-cementizio (quattro travetti prefabbricati lunghi 200 cm e con interasse 50 cm con pignatte di alleggerimento e getto di completamento). La rete antisfondellamento viene applicata all'intradosso dei travetti con malta a base calce. La prova consiste nel punzonamento della rete tramite un'impronta di carico con area 24 x 35 cm attraverso un foro ricavato dalla rimozione di una pignatta prima dell'esecuzione del getto di completamento.

Supporti in legno

Sono state eseguite 10 prove su supporti in legno per studiare l'effetto di diversi parametri sulla capacità portante del sistema.

Il primo parametro studiato è quello della maglia della rete, di cui sono state fornite tre tipologie: 40 x 40 mm, 40 x 80 mm e 80 x 80 mm. La prova su supporti in legno condotta solo sulle ultime due tipologie, mentre la prima è stata impiegata su supporti in calcestruzzo armato precompresso e sui solai latero-cementizi. Entrambe le tipologie di rete testate su supporti in legno vengono posate in opera sia singolarmente, sia sovrapposte per circa 4 maglie. Per ciascuna configurazione sono eseguite due ripetizioni. I campioni sono costituiti da due travetti in legno lamellare di sezione 24 x 12 cm, lunghi 200 cm, collocati in appoggio su cavalletti, interasse di 60 cm, e fissati per mezzo di morsetti. La rete (o le reti nel caso di provini con sovrapposizione) è stata applicata all'intradosso dei travetti tramite tassellatura. La prova consiste nell'applicazione del carico su due impronte distinte, realizzate con tavole di compensato, di dimensione 40 x 40 cm ciascuna.

Queste impronte sono distanziate di 1 cm tra loro per evitare interferenze nel corso della prova. Il carico è applicato alle due impronte tramite una trave in acciaio collegata al martinetto ed equipaggiata con una cerniera cilindrica in corrispondenza di ciascuna impronta di carico. Un'altra cerniera cilindrica è posizionata tra il martinetto e la trave in acciaio per permettere la rotazione attorno all'asse ortogonale all'asse di rotazione delle altre cerniere.

Il set-up di prova è mostrato in Figura 1.

La rete è fissata tramite tasselli e rondelle di supporto in acciaio zincato (diametro 50 mm). I tasselli sono disposti ad interasse 50 cm (Figura 2).



Figura 1.
Set-up di prova
su supporti in legno

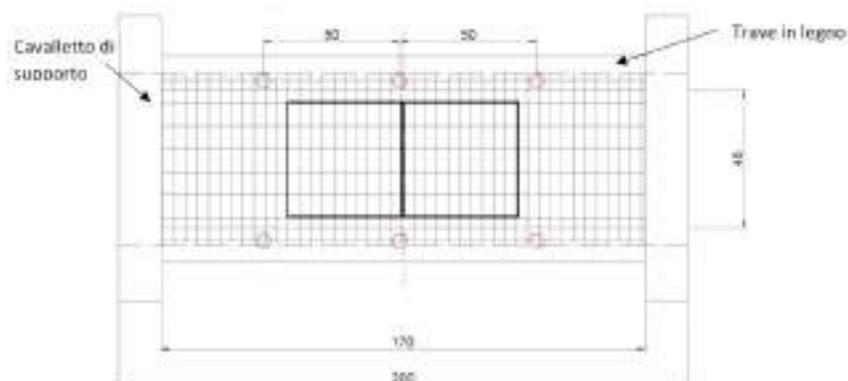


Figura 2.
Posizione dei tasselli
(in rosso)

Supporti in calcestruzzo armato precompresso

Sono state eseguite 6 prove su provini costituiti da 4 travetti in calcestruzzo armato precompresso fissati un telaio in acciaio. Sui travetti sono appoggiate tre file di pignatte in laterizio. La pignatta al centro del provino è rimossa il carico è applicato attraverso il foro da essa lasciato. Figura 3 mostra lo spazio lasciato dalla pignatta centrale in uno dei campioni, mentre Figura 4 mostra il dettaglio della sezione dei travetti fissati al telaio in acciaio. Figura 5 mostra la geometria dei campioni a cui è stata applicata la rete con maglia 80 x 80 mm con l'indicazione del foro attraverso cui è stato applicato il carico. La rete è fissata ai travetti precompressi tramite tasselli per calcestruzzo (Figura 5) in cui è applicata una rondella in acciaio di diametro 50 mm (analoga a quelle utilizzate nel caso delle prove su supporti in legno). L'impronta di carico è realizzata con una singola tavola in compensato di forma rettangolare, con dimensioni 24 x 35 cm, che riproduce l'impronta di una pignatta.

Sono state svolte due prove con rete con maglia 40 x 40 mm, due prove con rete con maglia 40 x 80 mm e due prove con rete con maglia 80 x 80 mm. Per ciascuna rete, una prova è svolta disponendo la trama in direzione parallela all'asse longitudinale dei travetti in cap, mentre la rimanente prova è svolta disponendo l'ordito in direzione parallela all'asse longitudinale dei travetti in cap.



Figura 3.
Provino per prove su supporti in calcestruzzo armato precompresso



Figura 4.
Dettaglio della sezione dei travetti fissati al telaio in acciaio

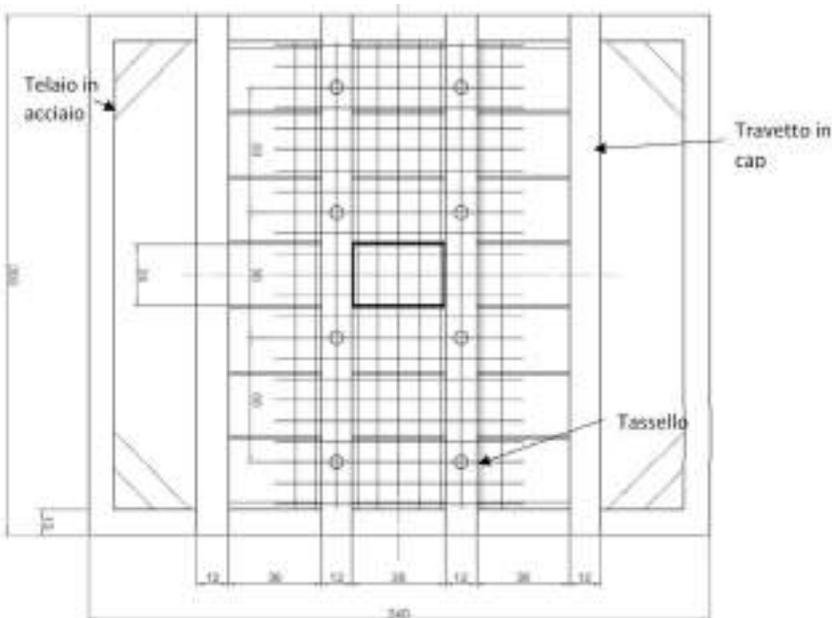


Figura 5.
Geometria dei campioni a cui è stata applicata la rete con maglia 80x80 mm

Supporti latero-cementizi

Sono state eseguite 3 prove su porzioni di solaio latero-cementizio a cui le reti sono state applicate tramite malta a base calce (Figura 6). Figura 7 mostra uno dei provini prima dell'esecuzione della prova. disponendo la trama in direzione parallela all'asse longitudinale dei travetti in cap, mentre la rimanente prova è svolta disponendo l'ordito in direzione parallela all'asse longitudinale dei travetti in cap.

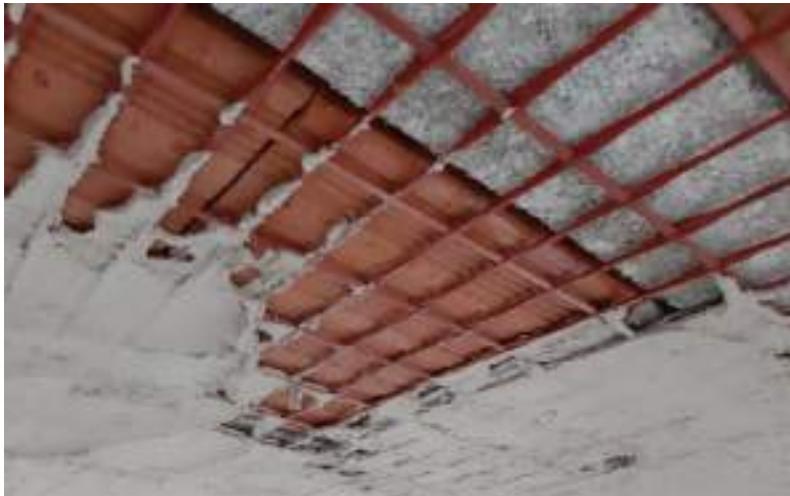


Figura 6.
Applicazione del sistema
di rinforzo tramite
malta a base calce.



Figura 6.
Applicazione del sistema
di rinforzo tramite
malta a base calce.



Figura 7.
Provino costituito da
una porzione di
solaio latero-cementizio

Risultati

I campioni vengono nominati seguendo la notazione Q_XY_Z_d_A_n, dove Q indica il tipo di supporto (T=legno, C=calcestruzzo armato precompresso, L=latero-cemento), X e Y indicano le dimensioni della maglia (in cm) in direzione della trama e dell'ordito, Z è il numero di reti applicate (2 nel caso di sovrapposizione delle reti), d indica l'orientamento della rete (a=trama parallela ai travetti, b=ordito parallelo ai travetti), A indica il tipo di ancoraggio (S=rondella in acciaio, W=rondella in PE, R=ancoraggio rinforzato con una maglia inserita sotto il tassello) e n è il numero della prova.

Tabella 1 riporta i risultati ottenuti da ciascuna prova in termini di:

- Carico massimo ottenuto;
- Dimensione dell'impronta di carico (somma delle dimensioni delle due impronte di carico nel caso di prove su supporti in legno);
- Capacità portante calcolata come carico massimo/impronta di carico;
- Spostamento verticale dell'impronta di carico corrispondente al carico massimo.

Nome provino	Carico massimo [kN]	Impronta di carico [m x m]	Capacità portante [kN/m ²]	Spostamento verticale al carico massimo [mm]
T_48_1_a_S_1	3.40	0.40 x 0.80	10.65	50.86
T_48_1_a_S_2	3.28	0.40 x 0.80	10.27	42.94
Average	3.34	-	10.46	46.90
T_88_1_a_S_1	1.66	0.40 x 0.80	5.19	44.68
T_88_1_a_S_2	1.04	0.40 x 0.80	3.26	55.75
Average	1.35	-	4.22	50.21
T_48_2_a_S_1	4.85	0.40 x 0.80	15.16	64.35
T_48_2_a_S_2	3.93	0.40 x 0.80	12.30	58.56
Average	4.39	-	13.73	61.46
T_88_2_a_S_1	2.23	0.40 x 0.80	6.99	46.76
T_88_2_a_S_2	1.99	0.40 x 0.80	6.22	72.16
Average	2.11	-	6.60	59.46
T_88_1_a_W_1	1.49	0.40 x 0.80	4.66	58.45
T_88_1_a_R_2	1.52	0.40 x 0.80	4.76	53.46
C_44_1_a_S	4.02	0.35 x 0.24	47.92	97.84
C_44_1_b_S	2.76	0.35 x 0.24	32.92	105.26
C_48_1_a_S	1.56	0.35 x 0.24	18.64	65.89
C_48_1_b_S	2.11	0.35 x 0.24	25.14	104.16
C_88_1_a_S	1.32	0.35 x 0.24	15.71	105.36
C_88_1_b_S	1.38	0.35 x 0.24	16.42	81.38
L_44	3.07	0.35 x 0.24	36.50	40.38
L_48	9.11	0.35 x 0.24	108.50	67.11
L_88	5.30	0.35 x 0.24	63.14	71.90

Tabella 1.
Risultati delle prove



Progetto presentato al CICE 2023 di Rio de Janeiro.

International Conference on
FRP Composites in Civil Engineering.

Sviluppato in collaborazione con il Politecnico di Milano



Comportamento a flessione e taglio di muri storici rinforzati con sistemi CRM.

Introduzione

In questo articolo, il comportamento in piano e fuori piano di pareti storiche in muratura a 5 ante rinforzate con CRM tagliate da un edificio esistente è stato studiato per mezzo di due prove di compressione diagonale nel piano e cinque prove di flessione a tre punti fuori piano, rispettivamente. Il CRM studiato comprendeva una rete composita in fibra di vetro e una malta di pura calce applicato su uno o su entrambi i lati dei provini di parete.

I risultati dei test eseguiti sulle pareti rinforzate sono stati confrontati con quelli delle corrispondenti pareti non rinforzate (di controllo), dimostrando l'efficacia dell'armatura CRM nell'aumentare la resistenza delle pareti in muratura a spessore.

Caratterizzazione dei materiali

I 5 campioni sono stati ricavati tagliando porzioni di muratura da un edificio storico situato a Milano. Le pareti in muratura sono state realizzate con mattoni pieni irregolari e giunti di malta con spessori compresi tra i 10 mm e i 30 mm. Le proprietà di compressione delle pareti sono state determinate mediante prove di compressione uniassiale su due blocchi in muratura di dimensioni 240×500×580 mm e 250×500×510 mm.

I valori medi di resistenza alla compressione, deformazione a rottura e modulo elastico in compressione ottenuti sono stati 3,25-3,16 MPa, 0,45-0,67% e 488-727 MPa, che hanno portato a valori medi di 3,21 MPa, 0,56% e 607 MPa. Il CRM impiegato per il consolidamento delle murature esistenti è costituito da una griglia bidirezionale a maglia aperta in fibra di vetro (TCS srl., 2020b) annessa in una malta idraulica di pura calce di spessore 20 mm (TCS srl., 2020a).

La griglia è stata realizzata con filati in fibra di vetro ECR impregnati di resina epossidica termoindurente che ha garantito la durabilità della rete. L'area nominale della sezione trasversale della rete era di 10 mm² e 9,6 mm² rispettivamente nella direzione dell'ordito e della trama.

La rete aveva una maglia rettangolare con interasse di 40 e 80 mm rispettivamente per i fili di ordito e trama. La griglia in vetro FRP aveva un modulo elastico, una resistenza alla trazione e una deformazione finale in 3 tensione nel senso dell'ordito (trama) pari a 40(57) GPa, 525(670) MPa, e 1,15(1,12)%, come dichiarato dal produttore (TCS srl., 2020b). La resistenza nominale a compressione della malta dichiarata dal produttore era superiore a 5 MPa (TCS srl., 2020a).

L'armatura è stata applicata alle pareti con ancoraggi in GFRP appositamente sviluppati per il CRM impiegato, come mostrato in Figura 1 (TCS srl., 2020a).

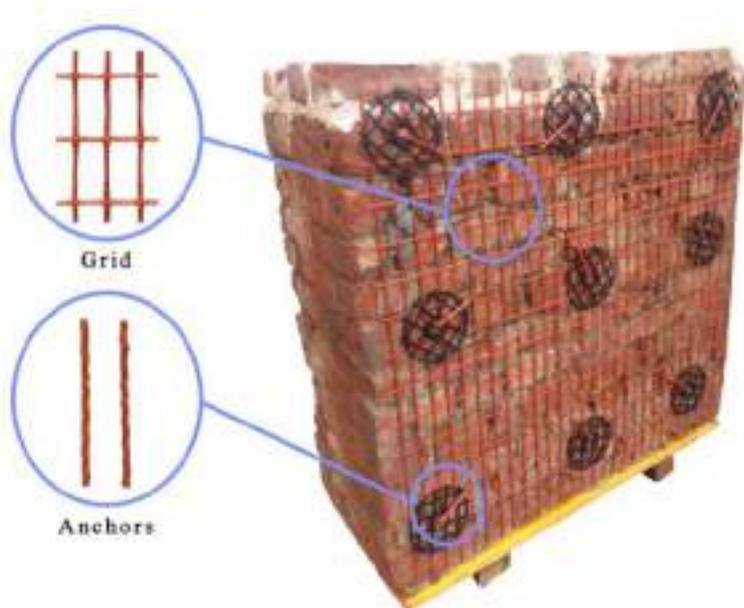


Figura 1.
b) F_R_1 del provino prima della prova
(dimensioni in mm)

Prove di flessione a tre punti

Per studiare l'efficacia del sistema di rinforzo CRM contro i carichi fuori piano, sono state eseguite prove di flessione a tre punti su due pareti in muratura di controllo (non rinforzate) e tre murate rinforzate. Due campioni su tre sono stati rinforzati con uno strato di CRM in tensione e uno strato in compressione, mentre il resto con un singolo strato in tensione. Le pareti avevano una lunghezza, l , 2000 mm ed erano caratterizzate da una diversa sezione trasversale ($b \times h$): 500×500 mm per i campioni di controllo, 500×520 mm per il campione con uno strato di CRM e 500×540 mm per i restanti campioni. Lo strato CRM è stato orientato in modo da avere fili di ordito allineati con l'asse longitudinale del provino, cioè per massimizzare l'area della sezione trasversale della griglia.

I test sono stati condotti utilizzando una configurazione di prova di flessione a tre punti (Figura 2). La distanza tra gli assi di appoggio, L , era pari a 1700 mm. Gli elementi in muratura sono stati posati su due supporti (cerniera da un lato e rullo sul lato opposto) ed è stata applicata una forza di compressione nella sezione trasversale della campata centrale utilizzando un martinetto servoidraulico dotato di una cella di carico da 300 kN. Per riprodurre meglio le reali condizioni di campo delle pareti in muratura, è necessaria una forza di compressione assiale pari a $F_a=90$ kN (Figura 2a) è stato applicato al provino per simulare la forza assiale nella parete. La forza assiale è stata applicata utilizzando due martinetti servoidraulici e due profili in acciaio a forma di C posizionati ai bordi delle pareti e collegati tramite barre d'acciaio (Figura 2). Per evitare cedimenti locali, è stato applicato uno strato di malta ad alta resistenza sui provini in tutte le aree di carico e

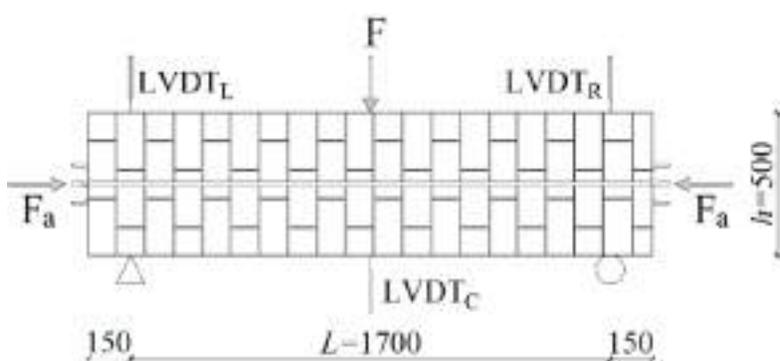


Figura 2.
a) Schizzo della configurazione della prova di flessione a tre punti



Figura 3.
Applicazione della griglia CRM al provino testato in compressione diagonale

Durante le prove, sono stati utilizzati tre LVDT con una lunghezza tra i riferimenti di 100 mm per misurare gli spostamenti verticali. Un LVDT è stato posizionato a metà della campata della parete (LVDTc) mentre i due LVDT rimanenti sono stati posizionati ai supporti (LVDTL e LVDTR). Sono stati condotti test nel controllo dello spostamento, aumentando la corsa del martinetto idraulico a una velocità costante di 0,005 mm/s. I campioni sono stati denominati seguendo la notazione F_X_N , dove F = flessionale, X = NR o R (NR = non rinforzato e R = rinforzato con CRM) e N = numero di campioni. Il provino F_R_3 è stato rinforzato con un unico strato di CRM, posizionato sulla faccia di trazione.

RISULTATI

Prove di flessione a tre punti

Per ogni campione testato, la deformazione a metà campata, δ , è stata calcolata come la differenza tra lo spostamento registrato da LVDTc, δ_c e il valore medio delle registrazioni di LVDT_L e LVDT_R, cioè δ_L e δ_R :

$$\delta = \delta_c - (\delta_L + \delta_R)/2 \quad \text{Eq. 1}$$

Le curve F - δ di Carico-Spostamento e M - δ Momento Flettente-Spostamento δ della parete testata sono riportate rispettivamente nella Figura 4a e nella Figura 4b, dove $M = FL/4$ è il momento flettente a metà campata. Il provino non rinforzato F_NR_1 mostrava un ramo lineare interrotto da un cedimento fragile, mentre il provino non rinforzato nominalmente uguale F_NR_2 mostrava un ramo non lineare prima di un cedimento improvviso.

Questi campioni hanno fornito un carico di picco simile, anche se il campione F_NR_2 ha raggiunto uno spostamento finale più elevato. Ciò è stato attribuito alle differenze nei due campioni di muratura (ad esempio, lo spessore del giunto di malta, le dimensioni dei mattoni e la disposizione), poiché sono stati tagliati da un edificio storico esistente. I campioni rinforzati con CRM hanno mostrato un comportamento lineare iniziale seguito da un ramo non lineare prima del raggiungimento di un cedimento fragile. I campioni F_R_3 hanno mostrato un maggior spostamento finale e una minore rigidità iniziale (cioè pendenza del ramo lineare) rispetto ai provini F_R_1 e 2.

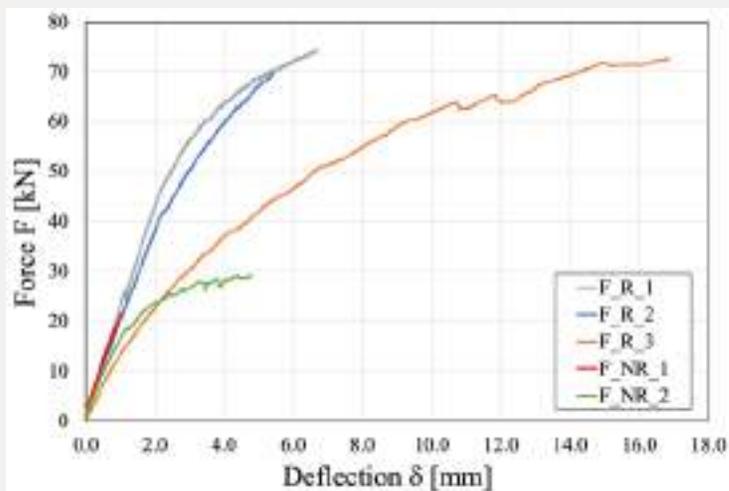


Figura 4.a
Prove di flessione a tre punti:
a) forza - spostamento

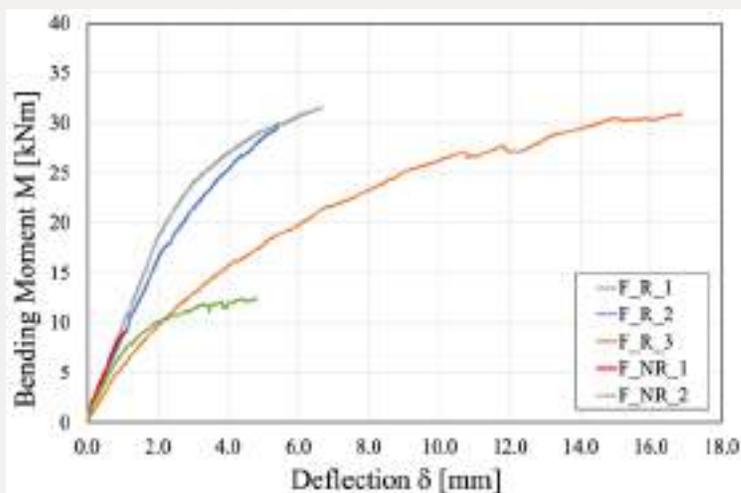


Figura 4.b
Prove di flessione a tre punti:
b) momento flettente - spostamento



Figura 5.a
a) Rottura a flessione del provino F_NR_1

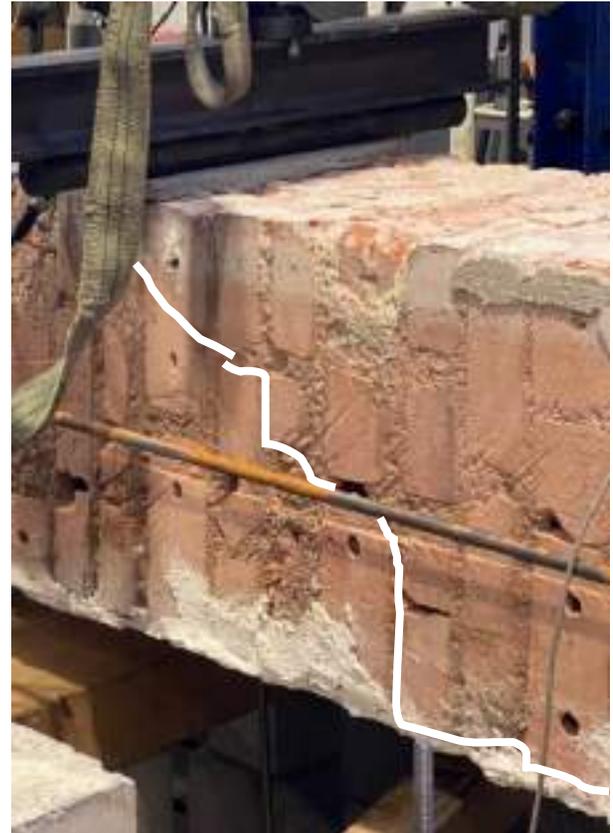


Figura 5.b
b) Rottura a taglio del provino F_R_1

I provini di controllo hanno raggiunto il cedimento a causa dell'apertura di una singola fessura flessionale a metà campata che si è sviluppata tra un mattone e il giunto di malta adiacente (Figura 5a). I provini rinforzati con CRM hanno raggiunto il cedimento a causa dell'apertura di una fessura di taglio che ha attraversato i mattoni e le interfacce tra mattoni e malta e i giunti di testa (Figura 5b). Durante i test non è stato osservato alcun distacco del CRM. L'aumento del carico di picco osservato nei provini rinforzati rappresenta un limite inferiore poiché la modalità di rottura è passata dalla flessione al taglio.

Il carico di picco, F_{max} , il corrispondente spostamento e il momento flettente, M_u , sono riportati nella Tabella 1 per ciascun campione, insieme ai loro valori medi e coefficienti di variazione (CoV). La Tabella 1 riporta anche il momento flettente resistente teorico M_{Rd} delle pareti rinforzate e di controllo, nonché il rapporto tra momenti flettenti ultimi e resistenti (M_u/M_{Rd}).

Il momento flettente resistente è stato calcolato mediante l'equilibrio della sezione trasversale, considerando i parametri meccanici e geometrici delle pareti sopra riportati. Per i campioni con rinforzo CRM, è stato osservato un aumento medio della resistenza di picco dell'89% rispetto al campione di controllo. Il provino con uno strato di CRM in tensione (F_R_3) ha mostrato un carico ultimo coerente con quello dei provini F_R_1 e 2, confermando l'effetto trascurabile del CRM in compressione sul momento flettente ultimo della parete. La presenza dell'armatura CRM ha generalmente comportato l'aumento delle deflessioni a rottura della parete. Tuttavia, i campioni F_R_1 e 2 hanno riportato δ_u nell'intervallo 5,43-6,67 mm, mentre i campioni F_R_3 fornito $\delta_u=16,85$ mm. Questa differenza è stata attribuita a diverse proprietà geometriche e meccaniche delle pareti, come nel caso dei campioni di controllo.

Il momento flettente ultimo sperimentale è risultato inferiore al momento flettente teorico resistente per tutti i provini (Tabella 1).

Sample	F_{max} [kN]	$F_{max,avg}$ (CoV%) [kN]	δ_u [mm]	$\delta_{u,avg}$ (CoV%) [mm]	M_u [kNm]	$M_{u,avg}$ (CoV%) [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_u/M_{Rd} [-]
F_NR_1	47.24	38.25 (33%)	1.04	2.93 (91%)	9.11	10.75 (22%)	24.69	0.37
F_NR_2	29.25		4.82		12.40			0.50
F_R_1	74.35	72.25 (3%)	6.67	9.65 (65%)	31.60	30.67 (3%)	62.67	0.50
F_R_2	69.68		5.43		29.61			0.47
F_R_3	73.41		16.85		30.79			57.89

Tabella 1.
Risultati sperimentali delle prove di flessione a tre punti

Prove di compressione diagonale

Per ogni provino testato, seguendo le prescrizioni della norma ASTM E519/E519M-22 (ASTM International, 2015), la sollecitazione di taglio τ è stata calcolata come:

$$\tau = 0.707V/A_n \quad \text{Eq. 2}$$

Dove V è il carico applicato e A_n è l'area netta del provino, cioè l'area della sezione trasversale della parete considerando solo la parte solida delle unità in muratura. Poiché sono stati impiegati mattoni pieni, l'area netta A_n è stata presa uguale all'area totale del provino (cioè, $A_n = (w+h)t/2$).

La deformazione di taglio γ è stata calcolata come:

$$\gamma = |\epsilon_c| + \epsilon_t \quad \text{Eq. 3}$$

Dove $\epsilon_c = 1/2 \sum \Delta x_i / \ell_{0,i}$ e $\epsilon_t = 1/2 \sum \Delta y_i / \ell_{0,i}$. Δx_i sono gli spostamenti misurati lungo la diagonale in compressione ($i=1, 2$ rappresenta lo spostamento registrato rispettivamente sui lati superiore e inferiore della parete) e Δy_i sono gli spostamenti misurati lungo la diagonale in tensione ($i=1, 2$ rappresenta lo spostamento registrato rispettivamente sui lati superiore e inferiore del muro).

$\ell_{0,i}$ è la lunghezza di riferimento corrispondente.

Le curve sperimentali di γ dello sforzo di taglio τ – deformazione di taglio sono riportate in Figura 6 e mostrano coerenza con la relazione idealizzata $\tau - \gamma$ riportata in letteratura (D'Antino et al., 2019). La curva del provino rinforzato è stata caratterizzata da una diramazione elastica iniziale seguita da una diramazione di pseudo-duttilità durante la quale le sollecitazioni nella parete vengono ridistribuite nella griglia di armatura.

La parete di controllo ha mostrato una modalità di rottura fragile, caratterizzata dalla formazione di una singola fessura lungo la diagonale in compressione (Figura 7a). La parete rinforzata con CRM ha mostrato diverse crepe durante la prima fase di carico, per lo più concentrate negli angoli in cui si trovavano i profili in acciaio. Successivamente, si è sviluppata una fessura principale su tutta la parete con un angolo di inclinazione inferiore a 45° rispetto alla direzione diagonale compressa (Figura 7b). Al cedimento, porzioni dello strato di malta di rinforzo si sono staccate dalla parete (Figura 7c).

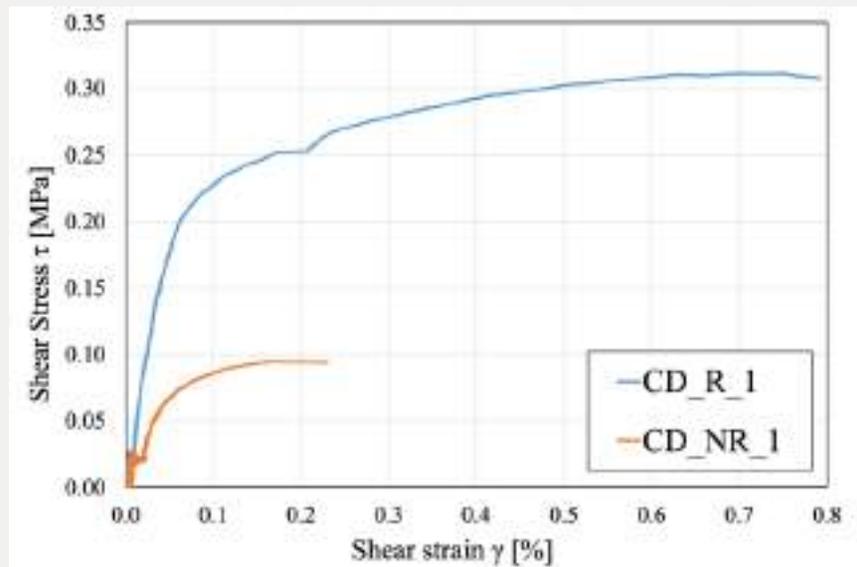


Figura 6. Sforzo di taglio τ – deformazione di taglio γ curve delle prove di taglio diagonale



a)

b)

c)

Figura 7. Modalità di guasto di a) controllo e parete rinforzata con CRM b) durante la parte iniziale del test e c) dopo il cedimento

Il carico di picco, V_{max} , la corrispondente sollecitazione di taglio, τ_{max} , e la deformazione di taglio, γ_{max} , sono riportati nella Tabella 2 per ciascun provino. La Tabella 2 riporta anche il modulo di taglio, G , indicato come modulo di rigidità da ASTM E519/E519M-22 (ASTM International, 2015), che è stato calcolato come modulo secante tra valori pari al 20% e al 50% della sollecitazione di taglio di picco (τ_{max}) sulla curva sperimentale τ - γ :

$$G = \frac{\tau_{50} - \tau_{20}}{\gamma_{50} - \gamma_{20}}$$

Specimen	V_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]	γ_{max} [mm/mm]	G [MPa]
CD_NR_1	87.12	0.095	0.00170	123
CD_R_1	296.23	0.312	0.00704	387

Tabella 2.
Risultati sperimentali delle prove di compressione diagonale

I risultati della Tabella 2 e della Figura 6 mostrano che il sistema di rinforzo ha aumentato drasticamente la resistenza al taglio delle pareti in muratura. Infatti, il provino rinforzato ha mostrato un aumento del carico di picco del 240% rispetto al provino di controllo. Inoltre, il modulo di taglio G è aumentato da 123 MPa a 387 MPa (aumento del 314%). Va notato che il valore della massima sollecitazione di taglio ottenuto per il provino di controllo è basso se confrontato con i risultati sperimentali riportati in letteratura (Donnini et al., 2021). Anche in questo caso, ciò potrebbe essere attribuito a irregolarità nella geometria e nelle proprietà meccaniche delle pareti testate, poiché sono state tagliate da un edificio esistente.

Conclusioni

In questo articolo, è stato studiato il comportamento nel piano e fuori dal piano di pareti in muratura storica rinforzate con CRM in fibra di vetro. Tre provini rinforzati con CRM sono stati sottoposti a prove di flessione a tre punti, mentre uno è stato sottoposto a prova di taglio diagonale. A causa delle grandi dimensioni del provino, è stato impiegato un set-up di prova specifico per studiare il comportamento di taglio in piano della parete in muratura.

I risultati dei provini rinforzati con CRM hanno mostrato un aumento della resistenza di picco, della capacità di deformazione e della deformazione finale (per le prove di flessione) rispetto ai corrispondenti campioni di controllo, il che ha confermato l'efficacia del rinforzo CRM nel caso di elementi in muratura spessi. Tuttavia, l'uso di muri tagliati da un edificio esistente ha comportato una grande dispersione tra i risultati.



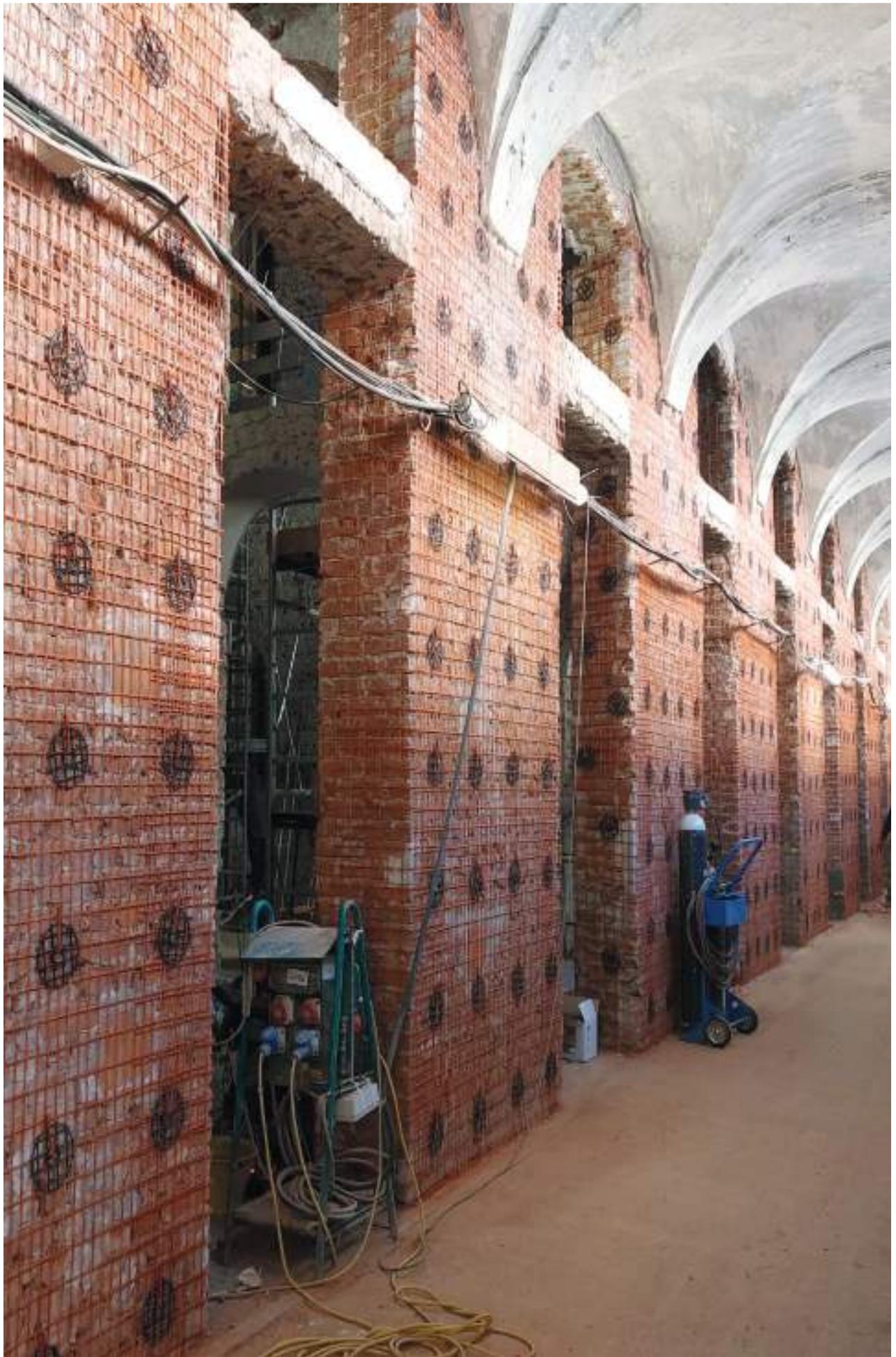
Riconoscimento

Le prove sperimentali descritte in questo lavoro sono state effettuate presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

Note



A series of horizontal dotted lines for writing notes.





Le immagini e i relativi colori, le rese e le indicazioni presenti nel catalogo hanno valore puramente indicativo e non costituiscono riferimento assoluto di corrispondenza, e vengono fornite al fine di meglio comprendere l'applicazione dei prodotti o dei Sistemi. Per i dati tecnici contenuti nelle schede tecniche fare sempre riferimento al nostro sito internet. Per ulteriori informazioni e dimostrazioni pratiche relative ai prodotti consultare il ns. servizio tecnico. Per la merce fornita da TCS è sempre disponibile una scheda tecnica, una scheda di sicurezza nonché le relative certificazioni. La società si riserva di apportare in qualsiasi momento e senza preavviso le modifiche che riterrà necessarie. Pertanto verificare che i documenti in vostro possesso siano sempre aggiornati.