



3DMACRO
FOR EXISTING BUILDINGS

**MODELLAZIONE DI PANNELLI MURARI RINFORZATI
NEL PIANO CON RETI FIBRENET IN
GFRP E MALTA DI CALCE**

DOCUMENTO DI UTILIZZO E VALIDAZIONE

(Update number 20170525_01- rev 20250403_01)

Copyright of Gruppo Sismica s.r.l.

ITALIA



GRUPPO SISMICA
SMART STRUCTURAL SOLUTIONS

(Update number 20170525_01- rev 20250403_01)

3DMacro® è prodotto e distribuito da:

Gruppo Sismica s.r.l.

Viale Andrea Doria, 27

95125 Catania

Telefono: 095/504749

Email: info@grupposismica.it

Web: <http://www.grupposismica.it>

Supporto tecnico:

Servizio assistenza tecnica tramite Tickets su

<http://www.lms-grupposismica.it/web/>

Assistenza telefonica: +39 095 504749

Il presente manuale e le funzionalità correlate sono state prodotte in collaborazione con:

FibreNet s.r.l.

Via Jacopo Stellini, 3 - Z.I.U.

33050 Pavia di Udine (UD)

Telefono: +39 0432 600918

Email: info@fibrenet.info

Web: www.fibrenet.it -

Proprietà letteraria riservata

Gruppo Sismica s.r.l. © Ottobre 2011

INDICE GENERALE

<i>INDICE GENERALE</i>	<i>3</i>
<i>1. PREMESSE</i>	<i>4</i>
<i>2. DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI RINFORZO FIBRENET</i>	<i>4</i>
<i>3. STIMA CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA RINFORZATA</i>	<i>4</i>
3.1 STIMA DELLA RESISTENZA A TAGLIO	5
3.2 STIMA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE	6
3.3 STIMA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA	6
3.4 PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ	7
3.5 INCREMENTO DELLA DUTTILITÀ ULTIMA DEL PANNELLO	8
<i>4. VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO</i>	<i>8</i>
4.1 CAMPAGNA SPERIMENTALE	8
4.2 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE MURATURE	9
4.3 MODELLO NUMERICO	10
4.4 OUTPUT DEL MODELLO E CONFRONTO CON I DATI SPERIMENTALI	11

1. PREMESSE

Il presente documento illustra le modalità di input e le procedure di calibrazione utilizzate per la simulazione in 3DMacro® del comportamento nel piano di pannelli murari rinforzati mediante i sistemi di rinforzo sviluppati da *FibreNet* srl, basati sull'utilizzo di reti in GFRP e malte di calce. I risultati delle elaborazioni numeriche sono validati mediante il confronto con i risultati di test sperimentali svolti presso l'Università degli Studi di Trieste [1] su provini rinforzati e non rinforzati. Per questa ragione il presente manuale si può intendere valido ai fini della validazione del software, ai sensi del punto 10.2 delle NTC 2018.

2. DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI RINFORZO FIBRENET

I sistemi FibreNet si basano sull'impiego di reti in materiale composito rinforzato mediante reti in fibre di vetro GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer). Tali sistemi possono essere classificati, a seconda del materiale impiegato, come segue:

- Sistema Intonaco armato *RI-STRUTTURA*
- Sistema *FIBREBUILD-Reticola*

Il sistema ***RI-STRUTTURA*** rappresenta l'evoluzione del tradizionale “intonaco armato” ed è costituito da reti in fibre di vetro che si possono applicare su entrambe le facce dei paramenti murari o su una sola faccia mediante comuni malte da intonaco strutturali o con prodotti a base di calce naturale. Il sistema prevede inoltre connettori trasversali, elementi speciali d'angolo e accessori in materiale composito preformato GFRP composti da fibre di vetro AR e resine termoindurenti.

Il sistema ***FIBREBUILD-Reticola***, basato sulla tecnica Reticolatus™, consiste nella realizzazione di una ristilatura armata dei giunti di malta fra gli elementi in pietrame o laterizio costituenti la muratura, attraverso speciali trefoli e connettori in acciaio inox, appositamente progettati e dimensionati per lo specifico utilizzo. Il sistema può essere utilizzato, anche in accoppiamento con il sistema *RI-STRUTTURA* mediante le seguenti soluzioni:

- RETICOLA: Ristilatura armata su una faccia;
- RETICOLAPLUS: Ristilatura armata su una faccia + intonaco armato sull'altra;
- RETICOLATWIN: Ristilatura armata su entrambe le facce

Per ulteriori dettagli sui materiali si rimanda alle schede tecniche dei prodotti FibreNet. Le informazioni relative alle modalità di installazione e i particolari costruttivi sono disponibili sul sito: www.fibrenet.it

3. STIMA CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA RINFORZATA

Gli interventi di rinforzo sopra descritti assicurano un incremento di resistenza a trazione, compressione e a taglio della muratura, nonché un notevole beneficio in termini di duttilità. L'efficacia dell'intervento dipende dai materiali impiegati (reti e malta), dallo spessore dell'intonaco, dalla presenza e numero di connettori trasversali, e infine dalla tipologia e

caratteristiche della muratura da rinforzare. Di seguito si riportano le formule utilizzate per stimare le caratteristiche della muratura rinforzata, determinate empiricamente su base sperimentale utilizzando la campagna di prove condotta dal prof. Gattesco [1]. Per le procedure di calibrazione del macro-elemento implementato in 3DMacro®, si rimanda al manuale teorico del software [2] e a specifiche pubblicazioni scientifiche [3,4].

3.1 STIMA DELLA RESISTENZA A TAGLIO

La resistenza a taglio del pannello rinforzato può essere calcolata attraverso la seguente formula:

$$\tau_{0,r} = \left\{ \left[1 + (i_1 \cdot [\beta - 1] + i_2 [\beta' - 1]) \right] \cdot 1.5 \tau_0 + i_3 \left(f_{t,int} \frac{t_{int}}{t_m} + \frac{EA_r \cdot \bar{\varepsilon}}{t_m \cdot p} \right) \right\} / 1.5 < 3.5 \tau_0$$

con:

$$f_{t,int} < 1 \text{ MPa},$$

$$\bar{\varepsilon} = f_{t,int} / E_{int}$$

Dove:

τ_0 è la resistenza a taglio della muratura non rinforzata;

E_{int} è il modulo elastico dell'intonaco;

$f_{t,int}$ è la resistenza a trazione dell'intonaco;

EA_r è la rigidezza assiale del filo della rete per intonaco armato (nel caso di rinforzo con il sistema reticola o reticola twin questo contributo viene escluso);

t_m è lo spessore della muratura non rinforzata;

t_{int} è lo spessore dell'intonaco;

p è il passo della maglia del rinforzo.

I parametri i_1, i_2, i_3 dipendono dal tipo di rinforzo applicato secondo quanto riportato in tabella 1, mentre i coefficienti β e β' dipendono dalla tipologia muraria e sono riportati in tabella 2.

Tabella 1

Tipologia di rinforzo	i_1	i_2	i_3
Intonaco armato FibreNet su due facce	1	0	2
Intonaco armato FibreNet su una faccia	0	0	1
Sistema Reticola Twin	0	1	0
Sistema Reticola Plus	0	1	1

Tabella 2

Tipologia Muraria	β	β'
Mattoni	1.3	1
Pietra	1.5	1.2
Sacco	1.0	1.2
Ciottoli	1.5	1.4

3.2 STIMA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE

Con riferimento ai pannelli rinforzati su entrambi i paramenti, viene utilizzata la seguente formula empirica, determinata su base sperimentale:

$$f_{t,r} = \beta \cdot f_t + i_3 \left(f_{t,int} \frac{t_{int}}{t_m} + \frac{EA_r \cdot \bar{\varepsilon}}{t_m \cdot p} \right), \quad \text{dove } \bar{\varepsilon} = f_{t,int} / E_{int}$$

Dove:

$f_{t,r}$ è la resistenza a trazione della muratura rinforzata;

f_t è la resistenza a trazione della muratura non rinforzata;

$f_{t,int}$ è la resistenza a trazione dell'intonaco;

EA_r è la rigidezza assiale del filo della rete per intonaco armato (nel caso di rinforzo con il sistema reticola o reticola twin questo contributo viene escluso);

E_{int} è il modulo elastico dell'intonaco;

t_m è lo spessore della muratura non rinforzata;

t_{int} è lo spessore dell'intonaco;

p è il passo della maglia del rinforzo.

Il parametro i_3 dipende dalla tipologia di rinforzo applicato mentre il parametro β dipende dalla tipologia muraria secondo il significato definito nelle tabelle 1 e 2 del paragrafo precedente.

3.3 STIMA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA

La resistenza a compressione della muratura, a seguito dell'applicazione dell'intervento di rinforzo ($f_{m,r}$) viene stimata sulla base della resistenza a compressione della muratura non rinforzata (f_m) come segue:

$$f_{m,r} = k \cdot f_m$$

Il fattore di amplificazione k viene considerato pari a 1 nel caso di rinforzi *RETICOLA* o di Intonaco armato applicato limitatamente a un paramento. Nel caso di intonato applicato su entrambi i paramenti k viene determinato sulla base della tipologia di muratura rinforzata e della tipologia di rinforzo applicato secondo quanto riportato di seguito:

$$k = \begin{cases} 1 & \text{se la muratura non rinforzata ha connessioni trasversali} \\ 1 & \text{se il rinforzo è con intonaco armato su una faccia} \\ 1 & \text{se il numero di connettori trasversali al m}^2 \text{ è minore di 6} \\ k_3 & \end{cases}$$

dove k_3 si può ricavare dalla Tabella 3,

Tabella 3

Tipologia muratura	k_3
--------------------	-------

Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.5
Muratura a conci sbozzati, con paramento a limitato spessore e nucleo interno	1.5
Muratura in pietre a spacco di buona tessitura	1.05
Muratura a conci di pietre tenere (tufo, calcarenite, ecc.)	1.05
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1.05
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1.05
Muratura in blocchi di laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (percentuale foratura <45%)	1.0
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (percentuale foratura tra 45% e 65%)	1.0
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (percentuale foratura <45%)	1.0

3.4 PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ

Il modulo di elasticità tangenziale del pannello rinforzato può essere calcolato attraverso la seguente formula:

$$G_{m,r} = [1 + g_1 (\xi - 1)] G_m + g_2 \left[0.4 E_{\text{int}} \frac{t_{\text{int}}}{t_m} \right]$$

dove:

G_m è modulo di elasticità tangenziale della muratura non rinforzata;

E_{int} è il modulo elastico dell'intonaco;

t_m è lo spessore della muratura non rinforzata;

t_{int} è lo spessore dell'intonaco;

Analogamente il modulo di Young della muratura rinforzata ($E_{m,r}$) può essere determinato mediante l'espressione:

$$E_{m,r} = \frac{G_{m,r}}{0.4} = [1 + g_1 (\xi - 1)] E_m + g_2 \left[E_{\text{int}} \frac{t_{\text{int}}}{t_m} \right]$$

I parametri g_1 e g_2 dipendono dal tipo di rinforzo mentre il parametro ξ dipende dalla tipologia di muratura, secondo quanto riportato nelle tabelle 4 e 5.

Tabella 4

Tipologia di rinforzo	g_1	g_2
Intonaco armato FibreNet su due facce	1	2
Intonaco armato FibreNet su una faccia	0	1
Sistema Reticola Twin	0	0
Sistema Reticola Plus	0	1

Tabella 5

Tipologia muraria	ξ
Mattoni	1.3
Pietra	1.5
Sacco	1.3
Ciottoli	1.5

3.5 INCREMENTO DELLA DUTTILITÀ ULTIMA DEL PANNELLO

Le prove sperimentali hanno evidenziato un notevole incremento della duttilità ultima dei pannelli rinforzati, a tal proposito nella sezione che segue si riporta una stima della duttilità ultima sulla base delle curve di capacità sperimentali relative ai pannelli rinforzati.

In fase progettuale per i pannelli rinforzati viene considerato una duttilità limite pari a 0,6% che si può ritenere un valore sufficientemente cautelativo per tutte le tipologie di muratura e rinforzo investigate. Tale limite corrisponde all'impostazione di default di 3DMacro® ma comunque può essere modificato dall'utente utilizzando la finestra di definizione del rinforzo.

4. VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Nella presente sezione si riporta la validazione del modulo di calcolo 3DMacro® dedicato alla simulazione del comportamento nel piano di pannelli murari rinforzati mediante i sistemi di rinforzo strutturale FibreNet. A tal fine si riporta il confronto tra i risultati delle analisi numeriche e le curve di capacità sperimentali, relative a prove di compressione diagonale condotte su pannelli di forma quadrata (dimensioni 1160x1160mm). Nel confronto sono state prese in esame diverse tipologie murarie (composte da due e tre teste) e diverse tipologie di rinforzo (Intonaco armato e Reticola).

4.1 CAMPAGNA SPERIMENTALE

La campagna di prove sperimentali è stata eseguita su 20 campioni costituiti da pannelli murari a due teste di mattoni pieni (spessore s 250 mm), 18 campioni di muratura a tre teste di mattoni pieni (spessore 380 mm), 12 campioni di muratura di mattoni pieni a doppio paramento con sacco interno di ciottoli di pietra e malta scadente (spessore 380 mm) ed infine 14 campioni di muratura in pietra grossolanamente squadrata (spessore 400 mm). Tutti i 64 campioni hanno forma quadrata con lato di dimensione pari a 1160 mm. In Figura 1, a titolo esemplificativo, si riporta il layout del provino con tessitura muraria regolare a due teste. Per ciascun gruppo di campioni sono stati utilizzati due tipi di malta: malta di tipo "A" e malta di tipo "C", per la tipologia muratura a due teste, malta di tipo "A" e "B" per le altre tipologie murarie. Tutte le tipologie di malte sono state caratterizzate da un punto di vista meccanico mediante prove in laboratorio, per una loro più completa descrizione si rimanda ai report di prova. Per il rinforzo della muratura dei campioni sono state utilizzate 3 differenti maglie di rete in GFRP di tipo "S": maglie 33x33 mm, 66x66 mm e 99x99 mm. Infine 4 campioni sono stati rinforzati con rete in acciaio elettrosaldata: 2 campioni con rete $\phi 5$ e maglia 150x150 mm e 2 con rete $\phi 6$ e maglia 200x200 mm. Nel presente manuale si riportano i confronti relativi unicamente alle reti in GFRP.

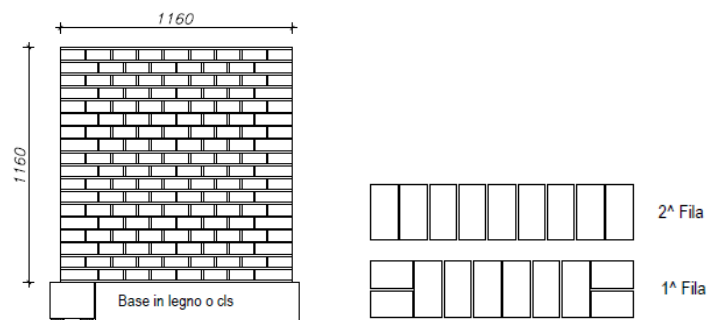


Figura 1: Dimensioni e tessitura dei campioni: muratura a due teste (spessore 250 mm).

4.2 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE MURATURE

Ciascuna tipologia muraria è stata caratterizzata sulla base della risposta sperimentale dei provini non rinforzati. I parametri meccanici così ottenuti sono stati utilizzati per calibrare i modelli numerici in 3DMacro®. Le caratteristiche della muratura nello stato post-intervento sono state determinate utilizzando le formule descritte nella precedente sezione; quindi la risposta del modello numerico è stata confrontata con i risultati ottenuti sperimentalmente.

Durante le prove di compressione diagonale, il pannello è soggetto a uno stato tensionale approssimabile con una condizione di puro taglio. I parametri della risposta registrati durante la prova sono la forza totale applicata (P) e la deformazione longitudinale media lungo la diagonale (ε) ottenuta come rapporto tra lo spostamento relativo dei due punti appartenenti alla medesima base di lettura e la loro distanza iniziale. Ciascun pannello è stato strumentato mediante 2 basi di lettura (Figura 2), una lungo ciascuna diagonale e pertanto il dato finale in termini di deformazione è stato valutato come media aritmetica dei due valori.

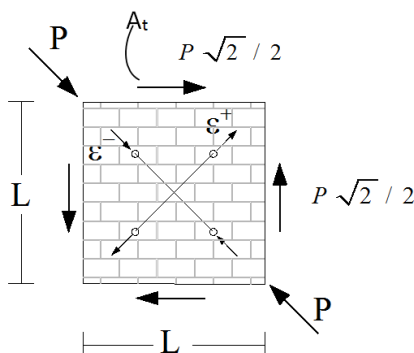


Figura 2: Schema statico della prova sperimentale di compressione diagonale

L'output delle prove sperimentali è consistito nella curva di carico espressa in termini di *Forza – Deformazione* (P - ε). Tali curve, ai fini del confronto con i risultati numerici, sono stati espressi in termini di tensione tangenziale media (τ) agente sulla sezione trasversale del pannello e il corrispondente scorrimento angolare (γ) mediante le seguenti relazioni:

$$\tau = P \frac{\sqrt{2}}{2A_t} = P \frac{\sqrt{2}}{2Ls}$$

$$\gamma = 2 \cdot \varepsilon$$

Dove:

L : lunghezza del lato del pannello;

A_t : area della sezione trasversale della faccia superiore del pannello;

s : spessore del pannello.

4.3 MODELLO NUMERICO

La simulazione numerica delle prove in 3DMacro® è stata condotta considerando un unico pannello le cui dimensioni e spessore riproducono l'esatta geometria testata sperimentalmente. Il pannello è stato vincolato alla base con una condizione isostatica di doppio appoggio (Figura 3) realizzata utilizzando degli elementi "asta" sufficientemente rigidi rispetto alla muratura. I vincoli interni tra pannello e aste non prevedono il trasferimento di momento (cfr. manuale teorico 3DMacro®). La simulazione della prova sperimentale è stata condotta imponendo uno spostamento lungo la direzione diagonale del vertice superiore del pannello (Figura 3) la cui intensità è stata incrementata monotonamente fino alla rottura a taglio del pannello.

Il modulo di deformazione normale (E_m) e la resistenza a compressione della muratura (f_m) della muratura sono stati determinati sulla base prove di compressione monoassiale. Il modulo di deformazione tangenziale (G_m) della muratura è stato stimato come 40% del valore di E . La resistenza limite di snervamento a taglio (τ_0) e lo scorrimento angolare ultimo (γ_u) del pannello sono stati desunti mediante le seguenti espressioni:

$$\tau_0 = P_0 \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot A_t}$$

$$\gamma_u = \frac{G_{sh}}{\tau_0}$$

dove:

P_0 : forza massima registrata durante la prova.

G_{sh} : energia di frattura specifica associata al meccanismo di rottura a taglio del pannello, valutata come area sottesa dalla curva sperimentale carico spostamento (τ - γ).

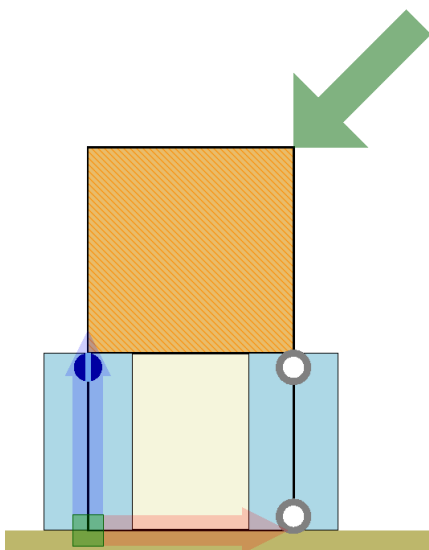


Figura 3: modello in 3DMacro® dell'esperimento

Non disponendo di dati sperimentali, la resistenza a trazione della muratura (f_t) è stata valutata sulla base delle indicazioni riportate nella circolare esplicativa delle NTC 2018 per le rispettive tipologie murarie. Per maggiori dettagli sui legami costitutivi utilizzati nelle analisi e per le procedure di taratura utilizzate per calibrare il modello e in particolare le molle a taglio diagonali, si rimanda al manuale teorico di 3DMacro®.

I parametri dei rinforzi considerati nelle elaborazioni sono stati definiti mediante una apposita finestra che permette di selezionare la tipologia di rinforzo FibreNet e le relative caratteristiche (Figura 4). Più in particolare, la definizione del rinforzo ha previsto la definizione della rete impiegata (passo, diametro dei fili e grammatura), in numero di connettori trasversali, la tipologia della malta e lo spessore dell'intonaco. Le diverse opzioni implementate sono state desunte dai cataloghi FibreNet. Per quanto riguarda l'applicazione del rinforzo ai pannelli murari, si rimanda al manuale utente di 3DMacro® [5].

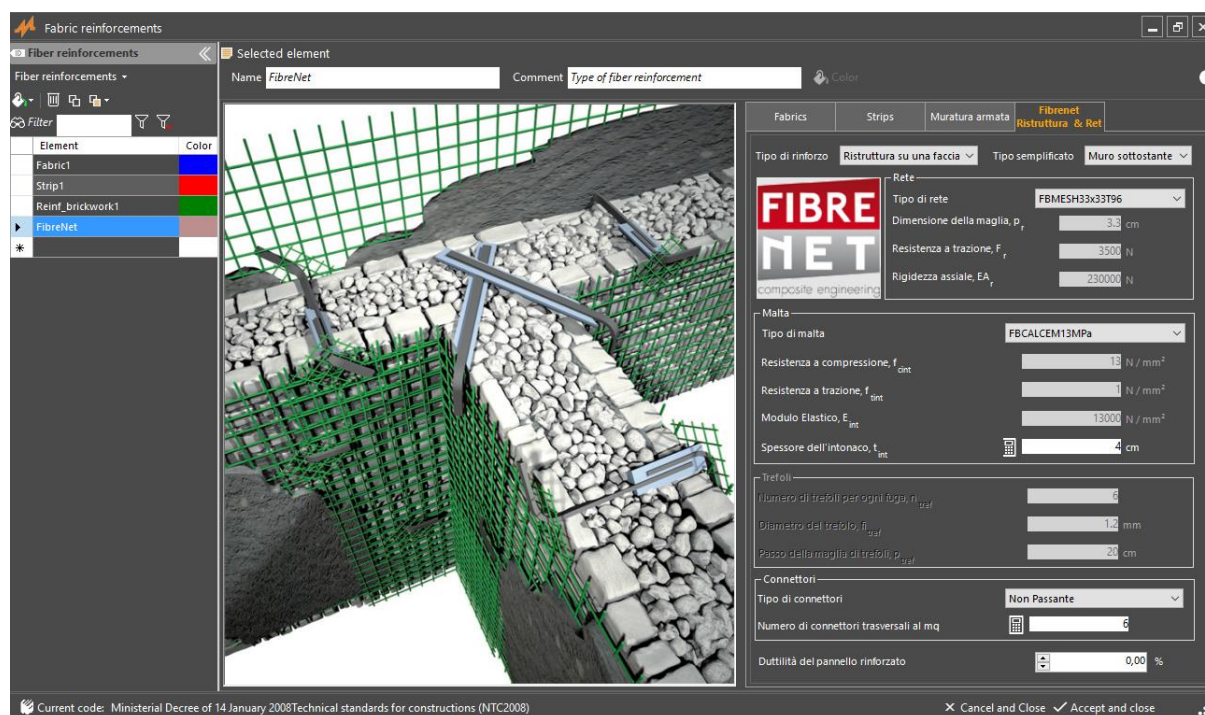


Figura 4: ambiente di definizione dei rinforzi FibreNet in 3DMacro®.

4.4 OUTPUT DEL MODELLO E CONFRONTO CON I DATI SPERIMENTALI

A partire dalla risposta delle molle diagonali a taglio è possibile risalire alla tensione a taglio media agente nel pannello (τ) e allo scorrimento angolare (γ), mediante le relazioni sotto riportate, dove con F_m si è indicata la forza corrente agente sulla molla diagonale del pannello e con u_m il corrispondente allungamento (vedi Figura 5).

$$\tau = 2F_m \frac{\sqrt{2}}{2A_t} = \frac{F_m \sqrt{2}}{A_t}$$

$$\gamma = u_m \frac{2}{\sqrt{2}} \frac{1}{L}$$

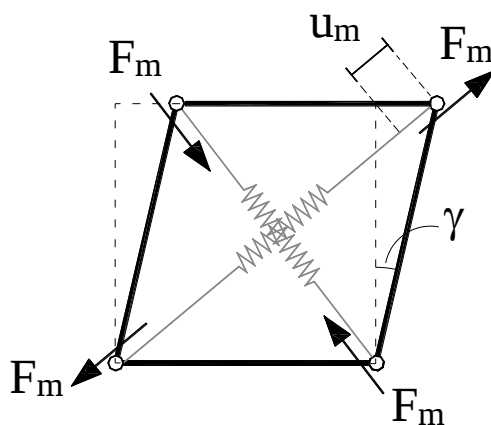


Figura 5: Parametri di risposta considerati nella simulazione numerica della prova di compressione diagonale.

In Figura 6 si riporta l'immagine dell'output relativo a una molla diagonale visualizzabile nell'ambiente "visualizza risposta della parete" di 3DMacro® (cfr. manuale utente) con riferimento al passo dell'analisi in cui si verifica lo snervamento della molla. Nella parte a sinistra della figura viene riportata la forza agente nella molla (F_m) e il valore dello sforzo normale medio agente nel pannello, nella parte di destra della figura viene riportato il grafico forza, spostamento (F_m-u_m) della molla.

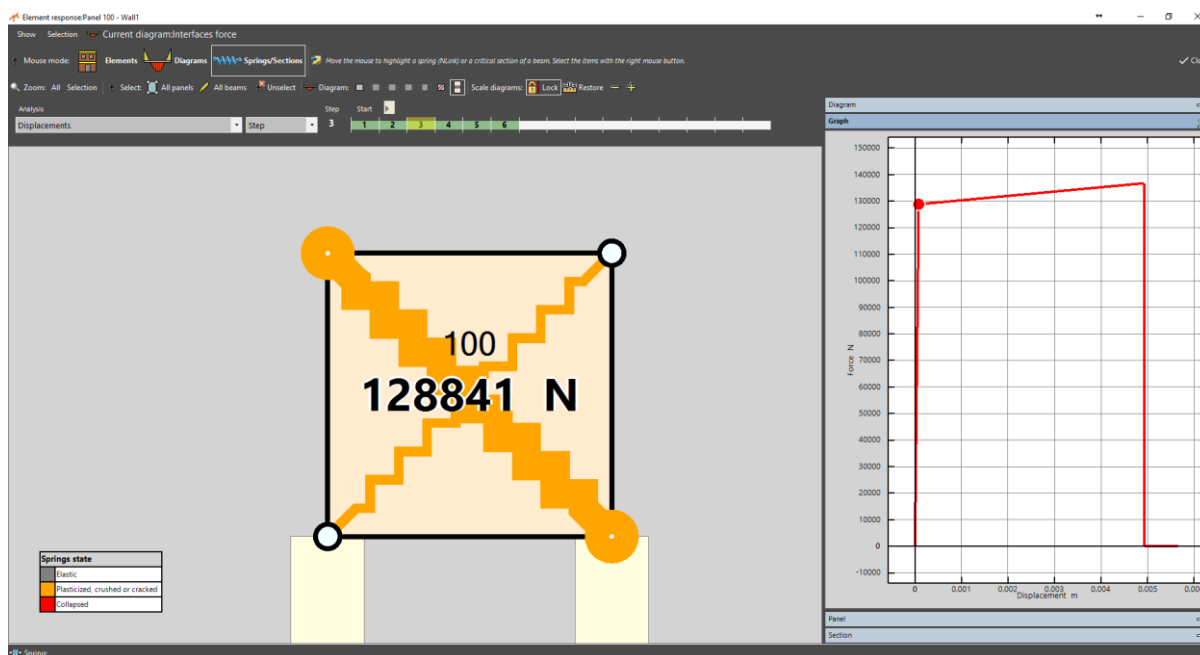


Figura 6: Visualizzazione della risposta delle molle diagonali del pannello per un generico step dell'analisi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gattesco, Dudine, Cernigoi, Trevisan “Studio dell'efficacia del sistema di rinforzo delle murature con l'impiego della rete in materiale composito fibrorinforzato GFRP prodotta dalla ditta FibreNet di Udine”, 2010 – Università degli Studi di Trieste DICA, Trieste
- [2] AA. VV, “Manuale Teorico 3DMacro® ver. 1.11103101”, 2011 – Gruppo Sismica srl, Catania
- [3] Calì, Marletta, Pantò, “A new discrete element model for the evaluation of the seismic behavior of unreinforced masonry buildings”, 2012 – Engineering Structures 40 (2012) 327–338, Italy
- [4] Calì, Pantò, “A macro-element modelling approach of Infilled Frame Structures”, 2014 – Computers and Structures 143 (2014) 91–107, Italy
- [5] AA. VV, “Manuale Utente 3DMacro® ver. 3.0.121030.1”, 2012 – Gruppo Sismica srl, Catania

SCHEDA A: MURATURA A 2 TESTE (MD-A)

Descrizione della muratura: muratura a due teste di spessore 25 cm e malta di tipo A.

Descrizione dell'intervento: rete GFRP di maglia 33x33 mm, con area di fibre Standard pari a 3.8 mm², applicata su entrambe le facce del pannello e solidarizzata al pannello mediante 9 connettori passanti. L'intonaco è stato realizzato con malta di calce caratterizzata da resistenza a compressione $f_c = 7.8$ MPa, resistenza a trazione $f_{t,int} = 0.75$ MPa, modulo di Young $E_{int} = 2850$ MPa e spessore nominale $t_{int} = 30$ mm.

Parametri della muratura non rinforzata:

meccanismo di rottura flessionale						fessurazione diagonale			
E_m	f_m	f_t	ε_c	ε_t	w	G_m	τ_0	μ	γ_u
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	‰	‰	kN/m ³	N/mm ²	N/mm ²		%
6481	11.50	0.05	5.32	0.01	18.00	2592	0.46	0.30	0.09

Input del rinforzo:

Fabrics Strips Muratura armata **FibreNet Ristrutturazione & Ret**

Tipo di rinforzo: Ristrutturazione su due facce Tipo semplificato: Mattoni

FIBRE NET composite engineering

Rete

Tipo di rete: Custom

Dimensione della maglia, p_r : 3.3 cm

Resistenza a trazione, F_r : 3500 N

Rigidità assiale, EA_r : 250000 N

Malta

Tipo di malta: Custom

Resistenza a compressione, $f_{c,int}$: 7.8 N/mm²

Resistenza a trazione, $f_{t,int}$: 0.75 N/mm²

Modulo Elastico, E_{int} : 2850 N/mm²

Spessore dell'intonaco, t_{int} : 3 cm

Connettori

Tipo di connettori: Passante

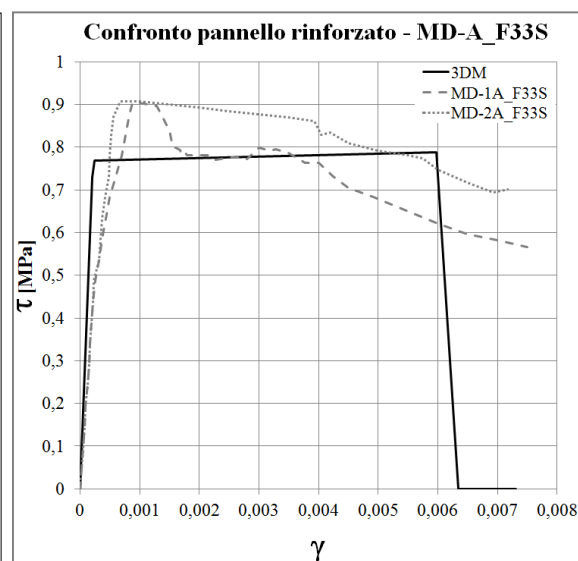
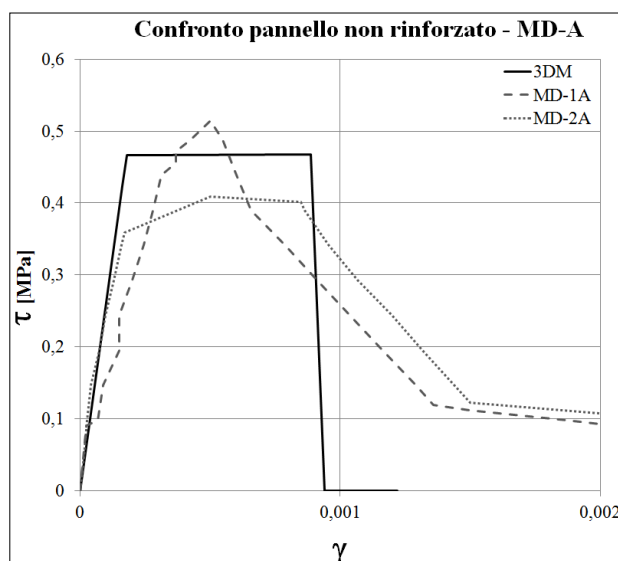
Numero di connettori trasversali al mq: 9

Duttilità del pannello rinforzato: 0.60 %

Parametri della muratura rinforzata:

	valore	incremento
	N/mm ²	%
$E_{m,r}$	9109	41
$G_{m,r}$	3643	41
$f_{m,r}$	12.07	5
$f_{t,r}$	0.26	422
$\tau_{0,r}$	0.75	62
	%	%
γ_u	0.6	566

Confronto in termini di curve di capacità:



SCHEDA B: MURATURA A 3 TESTE (MT-A)

Descrizione della muratura: muratura a tre teste di spessore 38 cm e malta di tipo A.

Descrizione dell'intervento: rete GFRP di maglia 33x33 mm, con area di fibre Standard pari a 3.8 mm², applicata su entrambe le facce del pannello e solidarizzata al pannello mediante 9 connettori passanti. L'intonaco è stato realizzato con malta di calce caratterizzata da resistenza a compressione $f_c = 7.8$ MPa, resistenza a trazione $f_{t,int} = 0.75$ MPa, modulo di Young $E_{int} = 2850$ MPa e spessore nominale $t_{int}=30$ mm.

Parametri della muratura non rinforzata:

meccanismo di rottura flessionale						fessurazione diagonale			
E_m	f_m	f_t	ε_c	ε_t	w	G_m	τ_0	μ	γ_u
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	‰	‰	kN/m ³	N/mm ²	N/mm ²		%
6481	11.50	0.05	5.32	0.01	18.00	2592	0.45	0.30	0.09

Input del rinforzo:

Fabrics Strips Muratura armata **FibreNet Ristrutturazione & Ret**

Tipo di rinforzo: Ristrutturazione su due facce Tipo semplificato: Mattoni

FIBRE NET composite engineering

Rete

Tipo di rete: Custom

Dimensione della maglia, p_r : 3.3 cm

Resistenza a trazione, F_r : 3500 N

Rigidità assiale, EA_r : 250000 N

Malta

Tipo di malta: Custom

Resistenza a compressione, f_{cint} : 7.8 N/mm²

Resistenza a trazione, f_{tint} : 0.75 N/mm²

Modulo Elastico, E_{int} : 2850 N/mm²

Spessore dell'intonaco, t_{int} : 3 cm

Connettori

Tipo di connettori: Passante

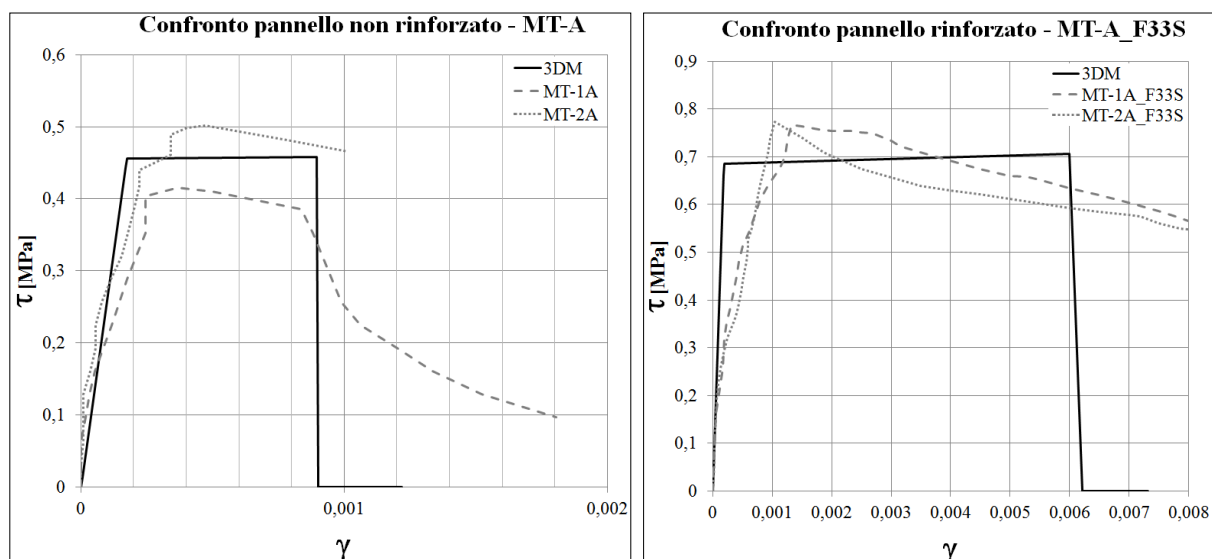
Numero di connettori trasversali al mq: 9

Duttilità del pannello rinforzato: 0.60 %

Parametri della muratura rinforzata:

	valore	incremento
	N/mm ²	%
$E_{m,r}$	8876	37
$G_{m,r}$	3550	37
$f_{m,r}$	12.07	5
$f_{t,r}$	0.19	287
$\tau_{0,r}$	0.67	49
	%	%
γ_u	0.6	567

Confronto in termini di curve di capacità:



SCHEDA C: MURATURA A SACCO A 2 PARAMENTI (MS-A)

Descrizione della muratura: muratura a sacco a due paramenti di spessore 38 cm e malta di tipo A.

Descrizione dell'intervento: rete GFRP di maglia 66x66 mm, con area di fibre Standard pari a 3.8 mm², applicata su entrambe le facce del pannello e solidarizzata al pannello mediante 9 connettori passanti. L'intonaco è stato realizzato con malta di calce caratterizzata da resistenza a compressione $f_c = 7.8$ MPa, resistenza a trazione $f_{t,int} = 0.75$ MPa, modulo di Young $E_{int} = 2850$ MPa e spessore nominale $t_{int} = 30$ mm.

Parametri della muratura non rinforzata:

meccanismo di rottura flessionale						fessurazione diagonale			
E_m	f_m	f_t	ε_c	ε_t	w	G_m	τ_0	μ	γ_u
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	‰	‰	kN/m ³	N/mm ²	N/mm ²		%
6481	11.50	0.05	5.32	0.01	18.00	2592	0.31	0.30	0.26

Input del rinforzo:

Fabrics Strips Muratura armata **FibreNet Ristrutturazione & Ret**

Tipo di rinforzo: Ristrutturazione su due facce Tipo semplificato: Sacco

RETE

Tipo di rete: Custom

Dimensione della maglia, p_r : 6.6 cm

Resistenza a trazione, F_r : 3500 N

Rigidezza assiale, EA_r : 250000 N

MALTA

Tipo di malta: Custom

Resistenza a compressione, f_{cint} : 7.8 N/mm²

Resistenza a trazione, f_{tint} : 0.75 N/mm²

Modulo Elastico, E_{int} : 2850 N/mm²

Spessore dell'intonaco, t_{int} : 3 cm

CONNETTORI

Tipo di connettori: Passante

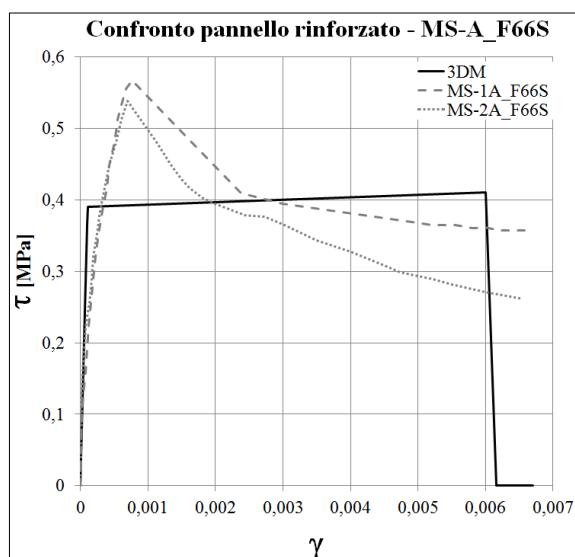
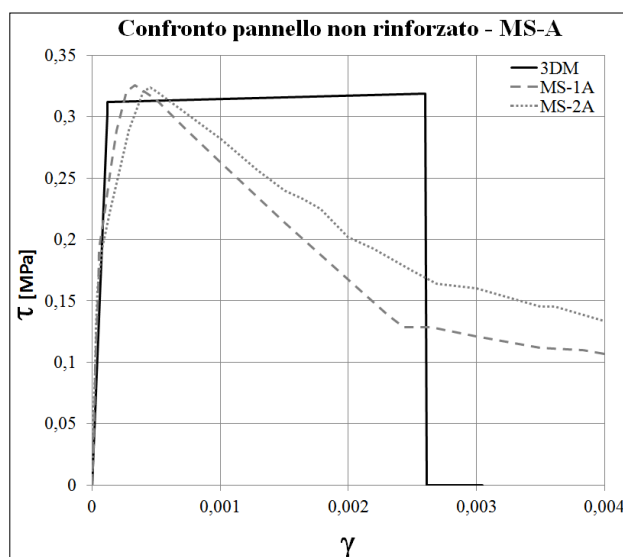
Numero di connettori trasversali al mq: 9

Duttilità del pannello rinforzato: 0.60 %

Parametri della muratura rinforzata:

	valore	incremento
	N/mm ²	%
$E_{m,r}$	8876	37
$G_{m,r}$	3550	37
$f_{m,r}$	12.07	5
$f_{t,r}$	0.17	247
$\tau_{0,r}$	0.39	27
	%	%
γ_u	0.6	131

Confronto in termini di curve di capacità:



SCHEDA D: MURATURA IN PIETREME (MP-A)

Descrizione della muratura: muratura in pietrame di spessore 40 cm e malta di tipo A.

Descrizione dell'intervento: rete GFRP di maglia 33x33 mm, con area di fibre Standard pari a 3.8 mm², applicata su entrambe le facce del pannello e solidarizzata al pannello mediante 9 connettori passanti. L'intonaco è stato realizzato con malta di calce caratterizzata da resistenza a compressione $f_c = 7.8$ MPa, resistenza a trazione $f_{t,int} = 0.75$ MPa, modulo di Young $E_{int} = 2850$ MPa e spessore nominale $t_{int} = 30$ mm.

Parametri della muratura non rinforzata:

meccanismo di rottura flessionale						fessurazione diagonale			
E_m	f_m	f_t	ε_c	ε_t	w	G_m	τ_0	μ	γ_u
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	‰	‰	kN/m ³	N/mm ²	N/mm ²		%
6481	11.50	0.05	5.32	0.01	18.00	2592	0.19	0.30	0.38

Input del rinforzo:

Fabrics Strips Muratura armata **FibreNet Ristrutturazione & Ret**

Tipo di rinforzo: Ristrutturazione su due facce Tipo semplificato: Pietra

FIBRE NET composite engineering

Rete

Tipo di rete: Custom

Dimensione della maglia, p_r : 3.3 cm

Resistenza a trazione, F_r : 3500 N

Rigidità assiale, EA_r : 250000 N

Malta

Tipo di malta: Custom

Resistenza a compressione, f_{cint} : 7.8 N/mm²

Resistenza a trazione, f_{tint} : 0.75 N/mm²

Modulo Elastico, E_{int} : 2850 N/mm²

Spessore dell'intonaco, t_{int} : 3.5 cm

Connettori

Tipo di connettori: Passante

Numero di connettori trasversali al mq: 9

Duttilità del pannello rinforzato: 0,60 %

Parametri della muratura rinforzata:

	valore	incremento
	N/mm ²	%
$E_{m,r}$	10221	58
$G_{m,r}$	4088	58
$f_{m,r}$	12.07	5
$f_{t,r}$	0.22	332
$\tau_{0,r}$	0.38	99
	%	%
γ_u	0.6	58

Confronto in termini di curve di capacità:

