

Nuove metodologie di rinforzo di edifici in muratura e struttura mista con 3DMacro

Caratteristiche del rinforzo trasversale a taglio della sezione

wf (largh. strisce) cm rc cm Avvolgimento completo

pf (passo strisce) cm β Avvolgimento a U

tf (spessore singolo strato) cm n° ricoprimenti Effetto confinante

Materiale FRP

Modulo di elasticità, E	230000 MPa	Ancoraggio	Incollaggio
Resistenza a trazione, f_y	4500 MPa		
Densità, ρ	1780 N s ² / m ⁴		
Deformazione ultima, ϵ_s	2.1 %		

Testati in fibre, muratura armata, fibre Net...

Elemento selezionato:

Tipi di rinforzo: **FIBRE NET** (Tipo semplificato: Muro30_Pietra)

Tipi di rete:

Costante di trazione, k : N/mm

Resistenza a trazione, f_y : MPa

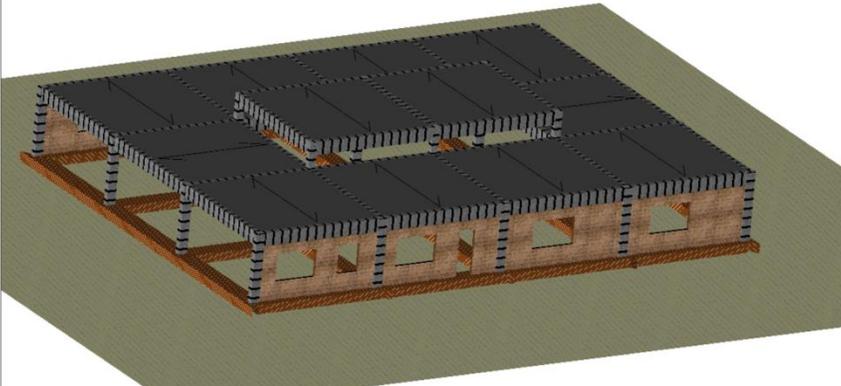
Spessore dell'intelaiatura, t_f : cm

Numero di condotti trasversali al m²:

3DMacro Full EU | 000092 OmniaTest-115423L7 | Buozzi_SP10_L2_4.1.0 [D:\LAVORO\buozzi_Per Gaetano Vedda\Variante 2017\Buozzi_SP10...]

File Modello Definizi Costruisci Visualizza Calcola Output Verifica

Selezione Ruota vista



di del modello

- Asta 100
- Asta 101
- Asta 102
- Asta 103
- Asta 104
- Asta 105
- Asta 106
- Asta 107

Proprietà

Buozzi_SP10_L2_4.1.0 - Solbio_111 a quota 520 cm

Elemento di solbio 112

Proprietà Risposta

Modello geometrico

- Generale: Elemento di solbio 112
- Nodi: 191 - 192 - 193 - 190
- Proprietà geometriche
- Sistema di riferimento
- Orditura: Singola
- Carico: Solbio copertina

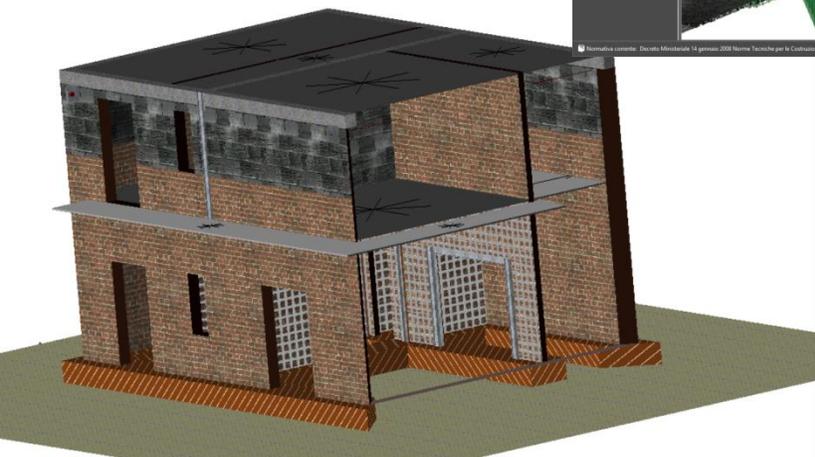
Legenda Modello sbloccato Unità di misura

Normativa: TU 2008 Solutore 8500.07 Release 4.1.2 ver 05-dic-17 step 01

3DMacro Full EU | 000092 OmniaTest-115423L7 | Consoli_SP_var03_rete [C:\Users\EliSa\Desktop\Consoli_SP_var03_rete.htm]

File Modello Definizi Costruisci Visualizza Calcola Output Verifica

Selezione Ruota vista



di del modello

- Pannello 135
- Pannello 132
- Pannello 133
- Pannello 134
- Pannello 135
- Pannello 136
- Pannello 137
- Pannello 138
- Pannello 139

Proprietà

Consoli_SP_var03_rete - Parete 4 - Pannello 136

Proprietà Risposta

Modello geometrico

- Generale: Pannello 136 (Muro30_Pietra)
- Nodi: 2913 - 106 - 2915 - 2914
- Proprietà geometriche: 264x100x30
- Materiale: Mur_BiochiLapidee
- Traccia parete
- Sistema di riferimento
- Carichi puntuali

Legenda Modello sbloccato Unità di misura

Normativa: NTC2008 Solutore 8500.05 Release 4.1.1 ver 04-dic-17 step 01

Metodologie di rinforzo pannelli in muratura in 3DMacro

Tipologia Rinforzi per pannelli in muratura:

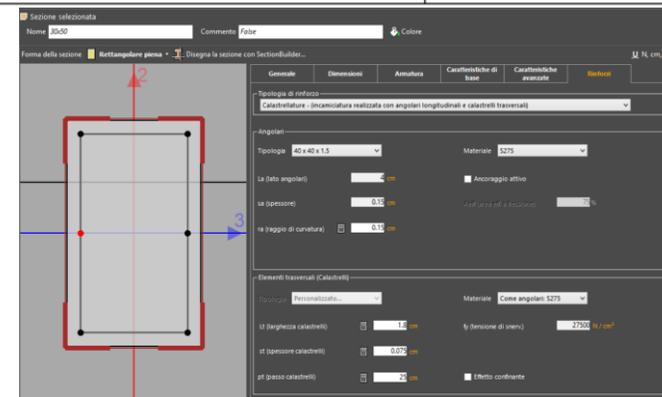
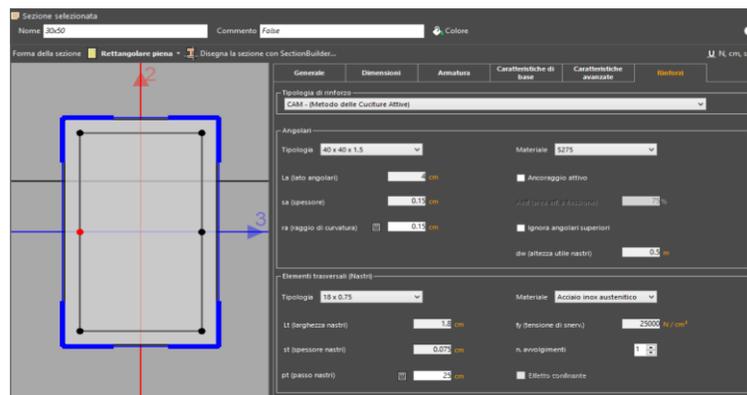
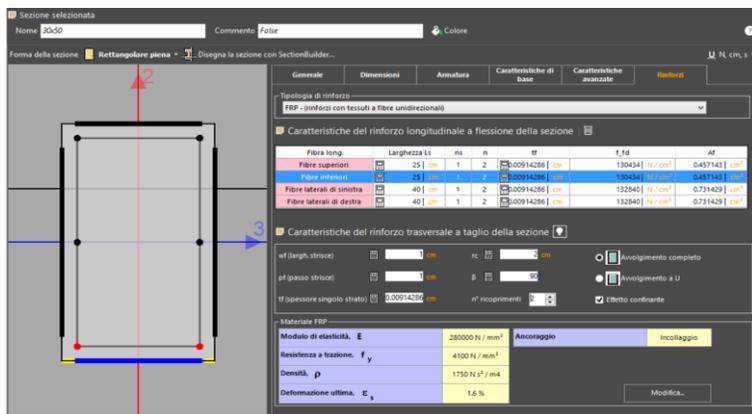
- **Nastri CAM:** sviluppata in collaborazione con [EDIL CAM sistemi S.r.l.](#) permette la definizione dei parametri di un rinforzo di tipo CAM con disposizione di nastri orizzontali, verticali e diagonali.
- **Tessuti e Nastri in FRP:** materiali composti costituiti da due fasi distinte: una matrice polimerica di natura organica e da fibre di rinforzo (fibre di vetro, carbonio, aramidiche, d'acciaio, etc...)
- **Murature armate**
- **Sistemi tipo Fibre NET:** sviluppata in collaborazione con [Fibre NET s.r.l.](#) si basano sull'impiego di reti in materiale composito rinforzato mediante reti in fibre di vetro GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer).
- **Sistemi ARMOX:**



Metodologie di rinforzo elementi asta c.a. in 3DMacro

L'applicazione dei rinforzi sulle sezioni in c.a. prevede l'utilizzo di tre differenti tipologie:

- **FRP** – Rinforzi con tessuti e fibre unidirezionali
- **CAM** – Metodo delle cuciture attive
- **Calastrellature** – Incamiciatura realizzata con angolari



Nastri CAM

- **Procedura di calcolo.**
 - **Tipo A:** modello a fibre. Considera un incremento di resistenza a trazione della muratura rinforzata, equivalente alla quantità di nastri disposti e vengono opportunamente modificate le procedure di taratura.
 - **Tipo B:** assimila la muratura rinforzata ad una muratura armata.
- **Disposizione dei nastri:** a maglia rettangolare o a quinconce.
- **Nastri orizzontali/verticali/diagonali:** tipo di orditura dei nastri CAM.
- **Passo:** distanza tra i nastri disposti nelle varie direzioni.
- **Avvolgimento:** numero di strati di rinforzo per le varie direzioni.
- **Precompressione:** eventuale pretensione dei nastri CAM disposti in ciascuna direzione.
- **Caratteristiche meccaniche dei nastri:** tipo di acciaio (inox austenitico, o acciaio ad alta resistenza) e la sezione dei nastri da adottare, da cui si determina area nominale, tensione di snervamento e Modulo di elasticità.

Procedura di calcolo **A** ▼ Modello a fibre

Disposizione dei nastri

Maglia rettangolare A quinconce

Nastri orizzontali Nastri verticali Nastri diagonali

Passo m m m

Avvolgimenti

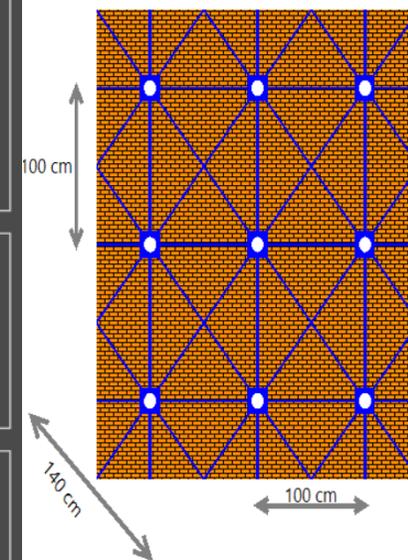
Precompressione

Tensione dei nastri orizzontali N/m² Tensione dei nastri verticali N/m² Tensione dei nastri diagonali N/m²

Caratteristiche meccaniche dei nastri

Nastri (larghezza x spessore) Acciaio inox austenitico Acciaio ad alta resistenza Fattore di duttilità

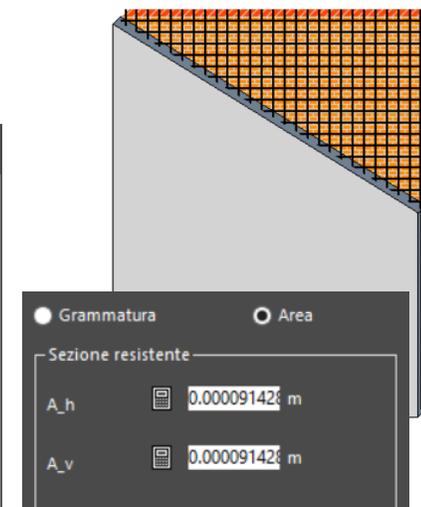
Area nominale m² Tensione di snervamento (fy) N/m² Modulo di Elasticità (E) N/m²



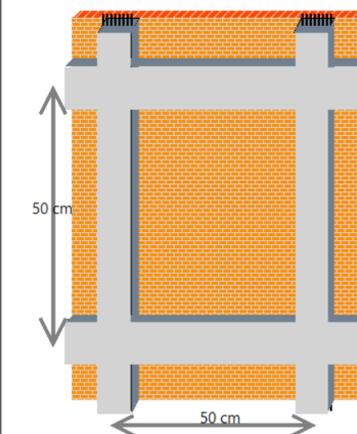
Rinforzi in FRP - Tessuti o Nastri – Dati Generali

- **Tipologia Fibre:** Carbonio, Vetro, Aramidiche, e Acciaio
- **Parametri di resistenza:**
 - Modulo di deformazione normale delle fibre E
 - Forza ultima del rinforzo f_y
 - Deformazione a rottura ϵ_u
 - Densità ρ
- **Grammatura:** la massa del tessuto (non impregnato), rapportata alla superficie di tessuto stesso.
 - Tessuti: grammatura per ciascuna delle due direzioni di orditura;
 - Nastri: valore unico.
- **Area:** Area di rinforzo, disposta nella direzione principale, orizzontale e verticale (A_h e A_v), riferito all'unità di larghezza del tessuto. Nel caso di Nastri (A) è riferito alla larghezza del nastro.
- **Larghezza:** larghezza dei nastri. Si considera la stessa larghezza sia per i nastri verticali che orizzontali.
- **Passo:** distanza tra i nastri orizzontali e verticali (p_h e p_v).

Tessuti	Nastri	Muratura armata	Fibre Net
Dati generali			
Tipologia Fibre		Carbonio	
<input type="radio"/> Grammatura <input checked="" type="radio"/> Area		E	280000 MPa
<input type="radio"/> Orizzontale <input type="radio"/> Verticale		f_y	4100 MPa
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		ϵ	1.6%
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		ρ	1750 N s ² / m ⁴



Tessuti	Nastri	Muratura armata	Fibre Net
Dati generali			
Tipologia Fibre		Carbonio	
<input type="radio"/> Grammatura <input checked="" type="radio"/> Area		E	280000 MPa
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		f_y	4100 MPa
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		ϵ	1.6%
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		ρ	1750 N s ² / m ⁴
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		p_h	0.5 m
<input type="radio"/> Grammat. Orizz. <input type="radio"/> Grammat. Vert.		p_v	0.5 m



Rinforzi in FRP - Tessuti o Nastri – Ancoraggio

- **Ancoraggio:** tipo di collegamento tra il materiale fibro-rinforzato e il supporto.
 - **Incollaggio / Incollaggio ottimale:** il collegamento è affidato esclusivamente all'incollaggio, realizzato con una lunghezza definita dall'utente (nel primo caso) o con una lunghezza ottimale, determinata automaticamente come prescritto dalle Norme CNR. La lunghezza di incollaggio deve essere sempre maggiore di quella ottimale.
 - **Ancoraggio Meccanico :** il collegamento è affidato a sistemi meccanici.
- **Lunghezza di ancoraggio:** lunghezza di incollaggio del rinforzo al supporto (dato essenziale per la valutazione della resistenza ultima per delaminazione del rinforzo).
- **Spessore nominale:** spessore del tessuto secco (o del nastro), a meno della resina (che funge da incollaggio e da matrice).
- **Ricoprimenti:** numero di strati di rinforzo.
- **Spessore intervento:** spessore totale del rinforzo, dato dallo spessore nominale del rinforzo, per il numero di ricoprimenti.
- **Sforzo ammissibile unitario del rinforzo:** resistenza massima del tessuto per unità di lunghezza.

Ancoraggio

Incollaggio Lunghezza di ancoraggio cm
 Incollaggio con lunghezza ottimale
 Meccanico

Spessore nominale mm Ricoprimenti

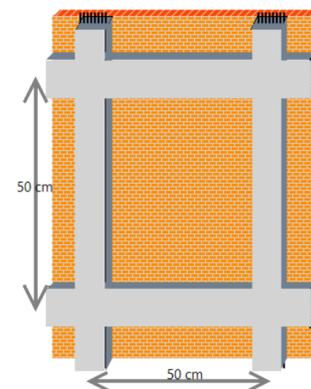
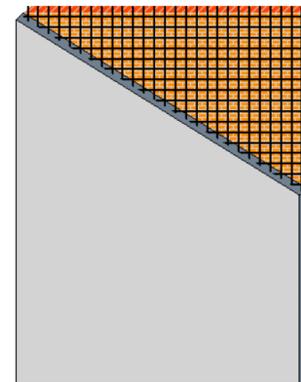
Spessore intervento mm

Sforzo ammissibile unitario del rinforzo

$F_{y,h}$ N/m $F_{y,v}$ N/m

Sforzo ammissibile del rinforzo

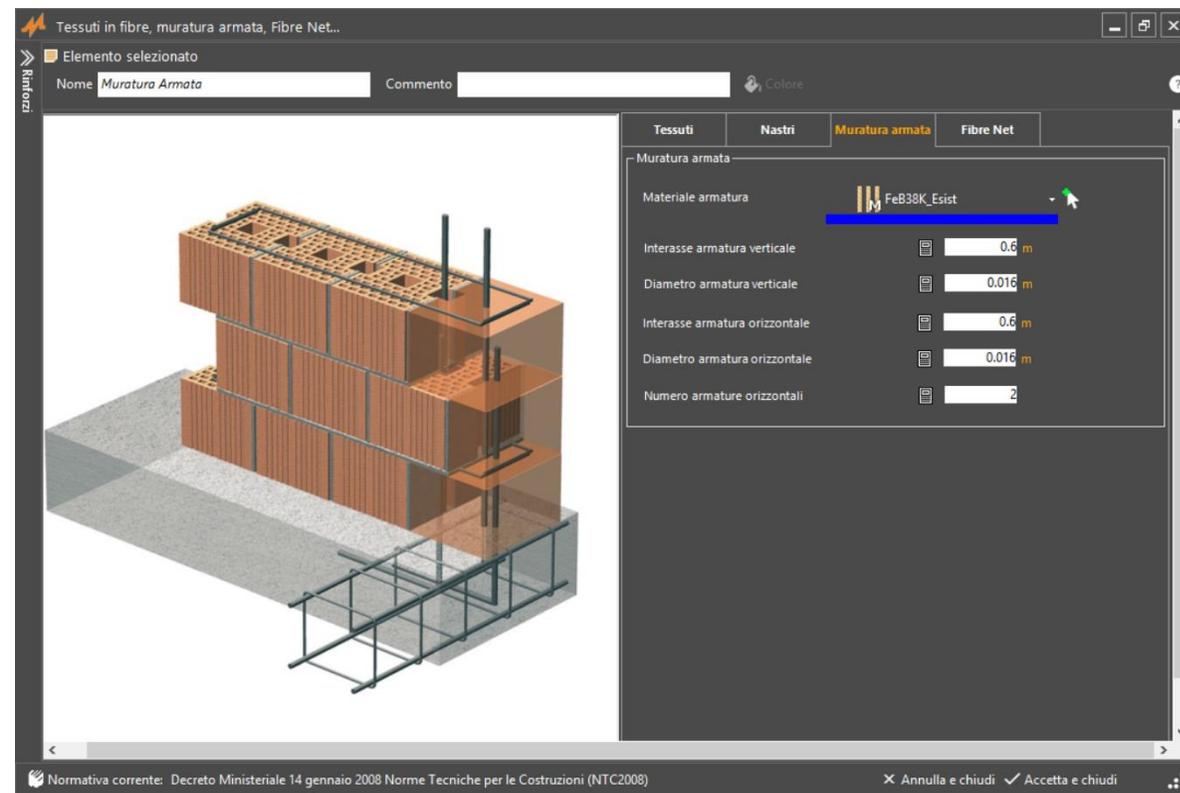
F_y N



Muratura Armata

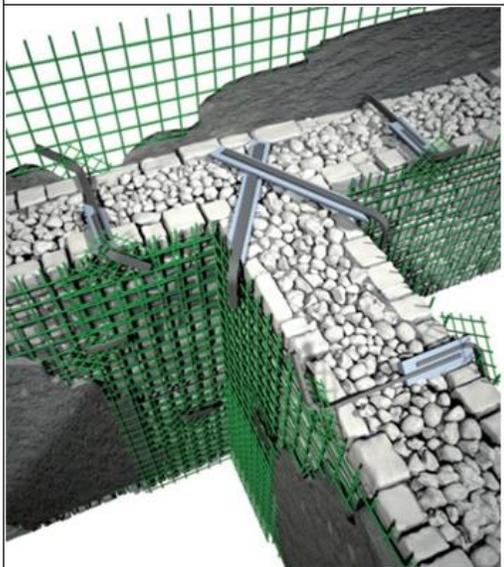
Definire le caratteristiche meccaniche della **Muratura Armata**:

- **Materiale armatura**: selezionare il tipo materiale armatura, tra quelli precedentemente definiti.
- **Interasse armatura verticale/orizzontale**: distanza tra le armature disposte verticalmente e orizzontalmente. In verticale è possibile inserire una sola fila di armature.
- **Diametro armatura verticale/orizzontale**.
- **Numero armature orizzontali**: numero di file di armature disposte orizzontalmente.



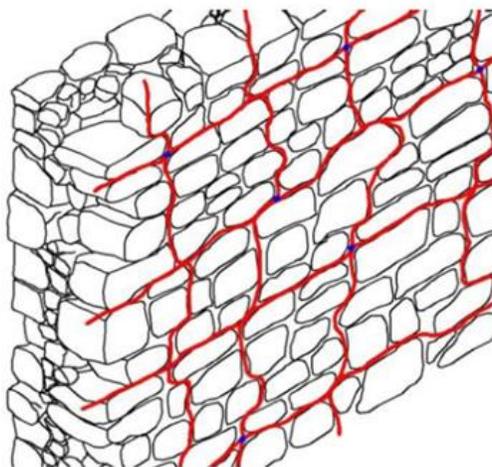
Sistemi Fibre NET - Tipologia

RI-STRUTTURA



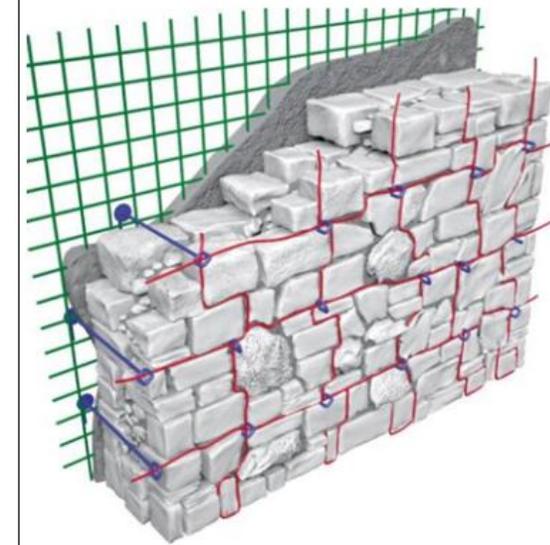
- **RI-STRUTTURA** su due/una faccia
L'evoluzione del tradizionale “intonaco armato”. Costituito da reti in fibre di vetro (su una o due facce) mediante comuni malte da intonaco strutturali e connettori.

FIBRE BUILD RETICOLA e RETICOLA TWIN



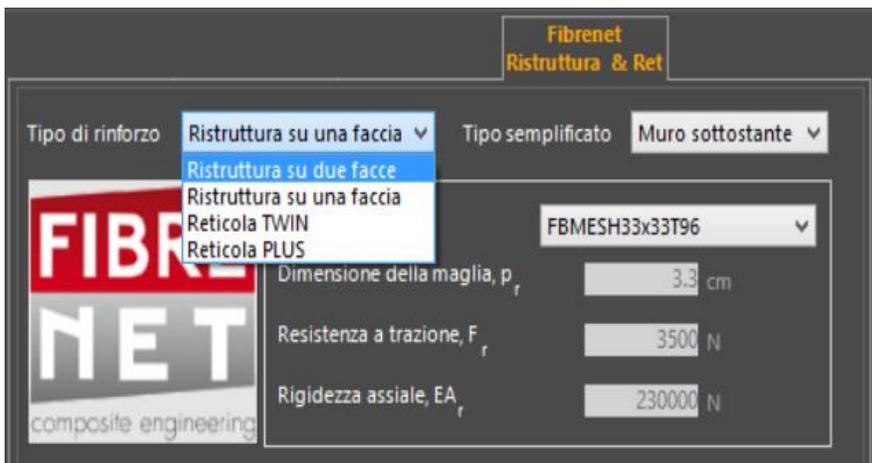
- **FIBRE BUILD RETICOLA e
RETICOLA TWIN**
Ristilatura armata dei giunti di malta fra gli elementi in pietra o laterizio costituenti la muratura, attraverso speciali trefoli e connettori in acciaio inox.

FIBREBUILD RETICOLA PLUS



- **FIBREBUILD RETICOLA PLUS**
Ristilatura armata su una faccia + intonaco armato sull'altra. Il sistema crea un rinforzo tridimensionale, mantenendo a vista una delle facce.

Sistemi Fibre NET - Tipo di rinforzo



The screenshot shows the 'FibreNet Ristruttura & Ret' software interface. It features a dropdown menu for 'Tipo di rinforzo' with options: 'Ristruttura su una faccia', 'Ristruttura su due facce', 'Ristruttura su una faccia', 'Reticola TWIN', and 'Reticola PLUS'. The 'Tipo semplificato' dropdown is set to 'Muro sottostante'. A material selection dropdown shows 'FBMESH33x33T96'. Below these are input fields for material properties: 'Dimensione della maglia, p_r' (3.3 cm), 'Resistenza a trazione, F_r' (3500 N), and 'Rigidezza assiale, EA_r' (230000 N). The 'FIBRE NET composite engineering' logo is visible in the bottom left corner of the interface.

Tipologia di rinforzo: tipologia corrispondente al sistema di rinforzo con FibreNet che si vuole attuare:

- RI-STRUTTURA su due facce
- RI-STRUTTURA su una faccia
- RETICOLA TWIN
- RETICOLA PLUS

Tipo semplificato: tipo di supporto sul quale il rinforzo è applicato. E' possibile scegliere il tipo di materiale, tra quelli proposti nella "classificazione semplificata" riportata nel menu a tendina, o ereditare le caratteristiche del materiale sottostante. La classificazione semplificata di seguito riportata è stata creata dai produttori dei sistemi di rinforzo FibreNet.

- **Pietra** (Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno)
- **Mattoni** (Muratura a blocchi lapidei squadrati; mattoni pieni e malta di calce; blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (percentuale foratura <45%); Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa; in blocchi di calcestruzzo semipieni)
- **Sacco** (Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno)
- **Ciottoli** (Muratura in pietrame disordinata - ciottoli, pietre erratiche e irregolari -)

Sistemi Fibre NET - Rete - Malta

Definisci > Rinforzo > FibreNET...

..... RETE



Rete

Tipo di rete **FBMESH33x33T96**

Dimensione della maglia, p_r cm

Resistenza a trazione, F_r N

Rigidezza assiale, EA_r N

Tipo di rete	passo	Resistenza [kN]	Rigidezza [kN]
FBMESH 33x33T96	33	4,145	250
FBMESH 66x66T96	66	3,5	230
FBMESH 99x99T96	99	3,5	230
FBMESH 66x66T192	66	5,7	540
FBMESH 99x99T192	99	5,7	540

..... MALTA

Malta

Tipo di malta **FBCALCEM13MPa**

Resistenza a compressione, f_{cint} N / mm²

Resistenza a trazione, f_{tint} N / mm²

Modulo Elastico, E_{int} N / mm²

Spessore dell'intonaco, t_{int} cm

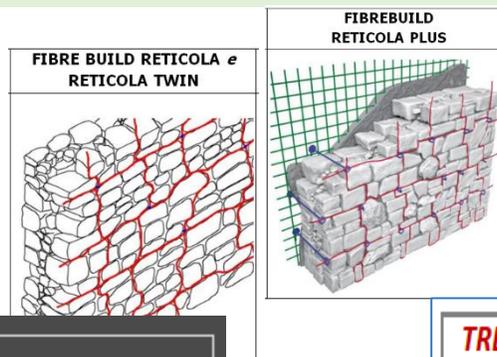
Tipo di malta	Resistenza a compressione	Resistenza a trazione	Modulo elastico
FB NHL 5 MPa	5,0	0,5	7000
FB NHL 10 MPa	10,0	1,0	8000
FB NHL 15 MPa	15,0	1,0	10000
FB CALCEM 10 MPa	10,0	1,0	8000
FB CALCEM 15 MPa	15,0	1,0	10000
FB CALCEM 20 MPa	20,0	1,0	15000

FibreNet s.r.l. suggerisce spessori intonaco non inferiori a 2 cm e non superiori a 5 cm.
Si consiglia di adottare uno spessore medio pari a 3 cm.

Sistemi Fibre NET - Trefoli - Connettori

Definisci > Rinforzo > FibreNET...

..... **TREFOLI** (armature sottofuga)



Trefoli

Numero di trefoli per ogni fuga, n_{tref}

Diametro del trefolo, ϕ_{tref}

Passo della maglia di trefoli, p_{tref}

TREFOLO IN ACCIAIO INOX FBRT

Trefolo in acciaio inox AISI 316 a 49 fili.

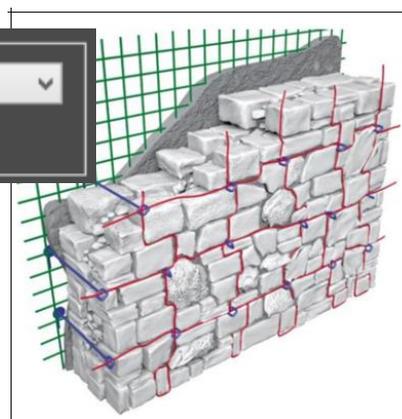
Caratteristiche	ϕ 3 mm	ϕ 5 mm
Area del trefolo	4,19 mm ²	11,64 mm ²
Resistenza a trazione caratteristica	1416 MPa	1447 MPa
Modulo elastico a trazione medio	81,5 GPa	115,9 GPa

..... **CONNETTORI** (passanti o non passanti)

Connettori

Tipo di connettori

Numero di connettori trasversali al mq



Connettori trasversali in acciaio inox: fungono da collegamento dei trefoli alla muratura, se si sceglie il Sistema di rinforzo FibreBuild RETICOLA (TWIN o PLUS), o semplicemente da connessione tra le due facce del rinforzo di tipo RI-STRUTTURA.

Sistemi Fibre NET - Trefoli - Connettori

Definisci > Rinforzo > FibreNET...

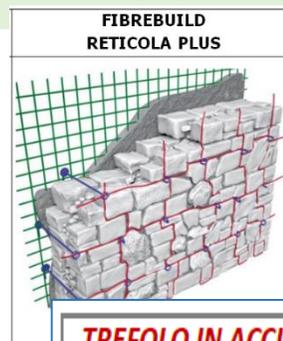
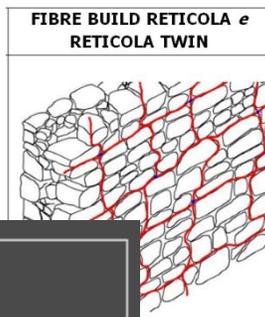
..... TREFOLI (armature sottofuga)

Trefoli

Numero di trefoli per ogni fuga, n_{tref}

Diametro del trefolo, ϕ_{tref}

Passo della maglia di trefoli, p_{tref} cm



TREFOLO IN ACCIAIO INOX FBRT

Trefolo in acciaio inox AISI 316 a 49 fili.

Caratteristiche

Area del trefolo

ϕ 3 mm

4,19 mm²

ϕ 5 mm

11,64 mm²

Resistenza a trazione caratteristica

1416 MPa

1447 MPa

Modulo elastico a trazione medio

81,5 GPa

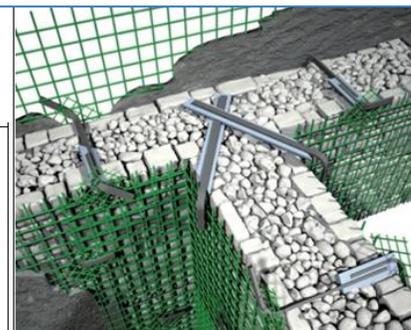
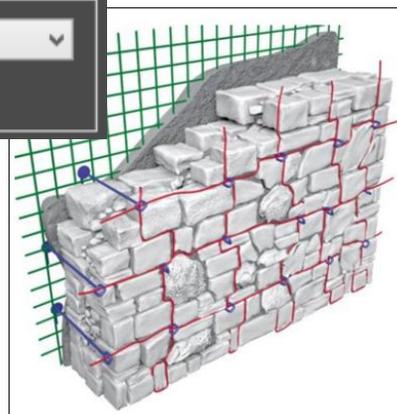
115,9 GPa

..... CONNETTORI (passanti o non passanti)

Connettori

Tipo di connettori

Numero di connettori trasversali al mq



Connettori trasversali in acciaio inox: fungono da collegamento dei trefoli alla muratura, se si sceglie il Sistema di rinforzo FibreBuild RETICOLA (TWIN o PLUS), o semplicemente da connessione tra le due facce del rinforzo di tipo RI-STRUTTURA .

Sistemi Fibre NET - Controlli di bilanciamento

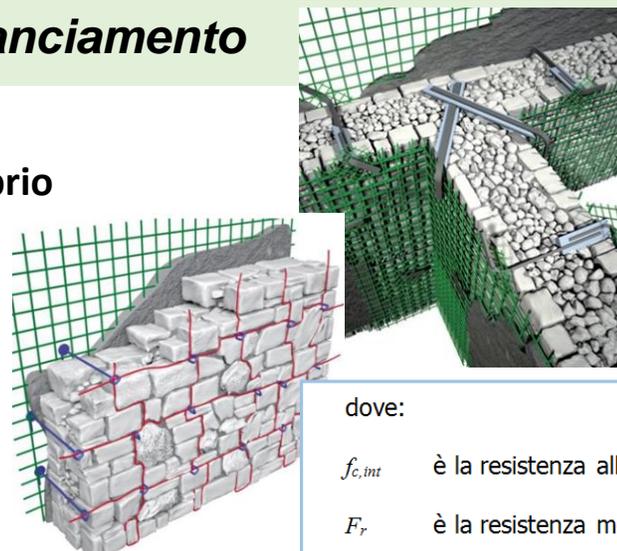
Affinchè il sistema di rinforzo sia **efficace** occorre che sia **“bilanciato” (equilibrio tra le caratteristiche meccaniche di malta e rete)**. Occorre tarare opportunamente le caratteristiche meccaniche dei componenti .
Fibre NET definisce dei parametri di controllo adimensionalizzati:

- **Δ1 (Delta1):** controlla il bilanciamento della malta ed è proporzionale alla resistenza di picco che può essere sopportata dal puntone di malta.
- **Δ2 (Delta2):** controlla il bilanciamento delle fibre (rete) ed è proporzionale alla resistenza della rete in fibre.



Il rinforzo è progettato correttamente (è equilibrato) se:

- **Δ1 e Δ2 risultano entrambi sempre maggiori di 0,6.**
- **Il rapporto di Δ1 e Δ2 sia tale che la resistenza di picco che può essere sopportata dal puntone di malta è maggiore di quella della rete in GFRP**
Δ1 > Δ2



$$\Delta 1 = 0.5 \cdot \frac{f_{c,int} \cdot t_{int}}{1.5 \cdot \tau_{0,rinf} \cdot t_h}$$

$$\Delta 2 = 2 \cdot \frac{F_r}{1.5 \cdot \tau_{0,rinf} \cdot t_h \cdot p_r}$$

dove:

$f_{c,int}$ è la resistenza alla compressione dell'intonaco (malta);

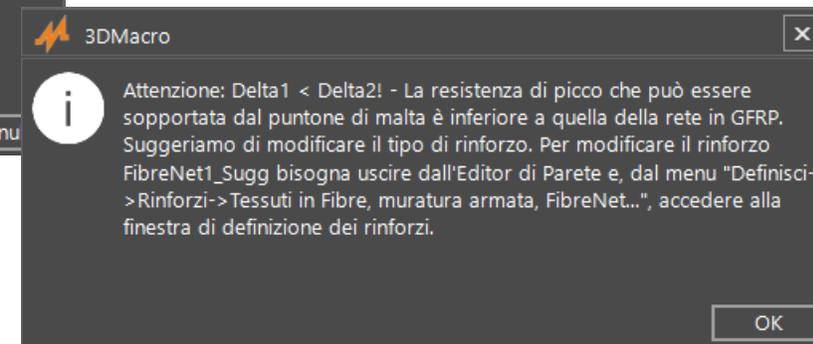
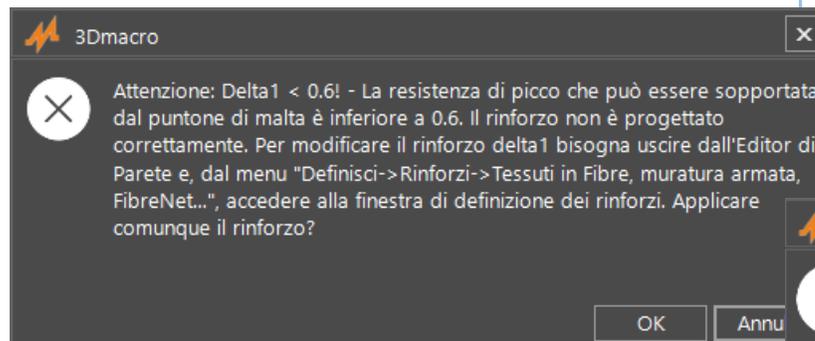
F_r è la resistenza media a trazione della rete in fibra;

p_r è il passo della maglia della rete in fibra;

t_{int} è lo spessore dell'intonaco;

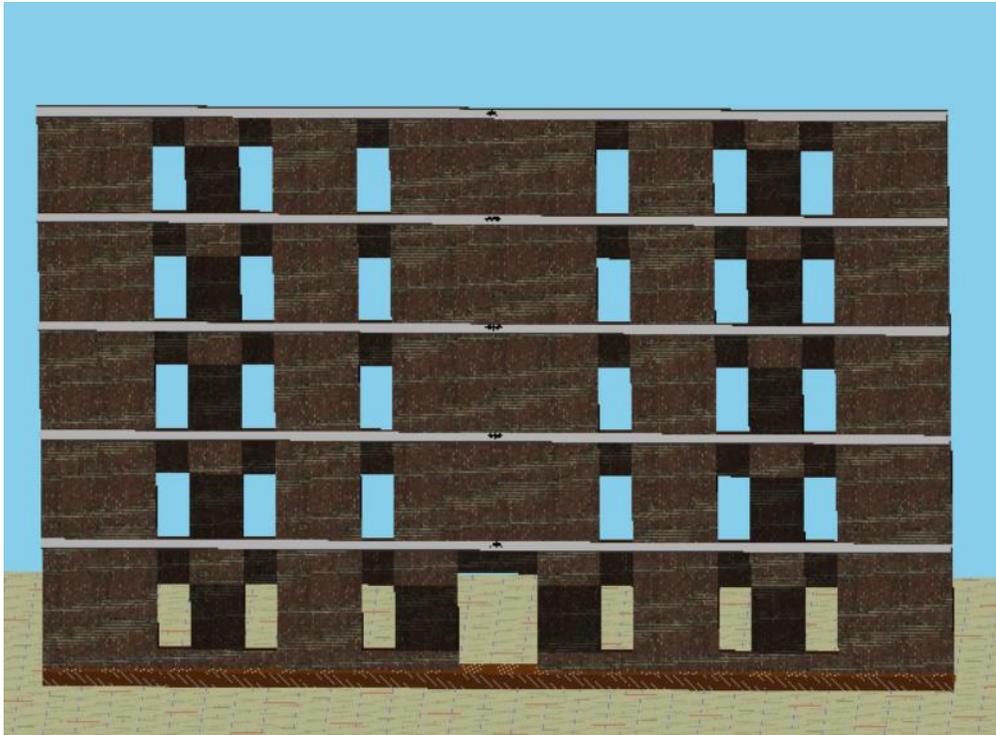
$\tau_{0,rinf}$ resistenza a taglio della muratura rinforzata;

t_h è lo spessore della muratura rinforzata.



Caso Studio – Parete edificio in muratura - «Edificio Martoglio» (Progetto Catania)

Stato di Fatto



Stato di Progetto

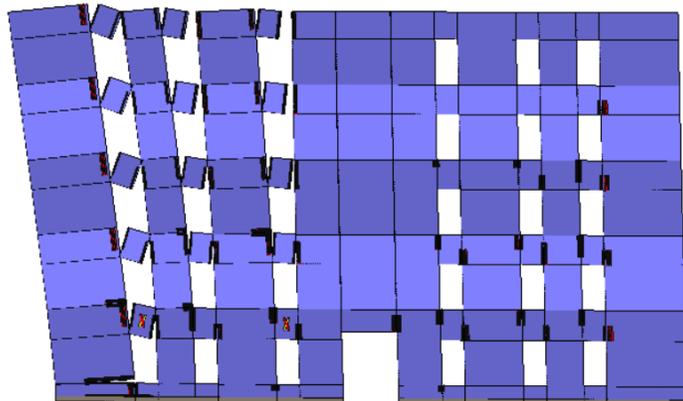


Caso Studio – Parete edificio in muratura - «Edificio Martoglio» (Progetto Catania)

Stato di Fatto

Analisi Pushover	Direzione	Cb	Teff	Fattore di sicurezza (%)	Verifica...
Distribuzione di forze proporzionale alla massa					
Pushover +X Massa	+X	594	0.433 s	27.21%	105.3%

Parametro	Valore
Stato Limite	
Definizione dello stato limite	SLV
Capacità del Sistema	
Periodo del sistema bilineare, T^*	0.4331 s > 0.35 s (sistema deformabile)
Spostamento accettabile allo stato limite (capacità)	0.629 cm
Richiesta del Sisma	
Spettro di progetto	Da normativa
PGA richiesta allo stato limite	0.259 g
Spostamento massimo richiesto, $d_{max}^* = d_{max}^*$	
Stima della Vulnerabilità Sismica del Sistema	
<input checked="" type="checkbox"/> Fattore di sicurezza	



Stato di Progetto

Analisi Pushover	Direzione	Cb	Teff	Fattore di sicurezza (%)	Verifica...
Distribuzione di forze proporzionale alla massa					
Pushover +X Massa	+X	2420	0.316 s	147.4%	353.8%

Parametro	Valore
Periodo del sistema bilineare, T^*	0.3163 s < 0.35 s (sistema rigido)
Richiesta del Sisma	
Spettro di progetto	Da normativa
PGA richiesta allo stato limite	0.259 g
Spostamento massimo elastico richiesto, d_{max}^*	1.53 cm
Fattore di struttura, q^*	0.848
Spostamento massimo richiesto, d_{max}^*	
Stima della Vulnerabilità Sismica del Sistema	
Passo dell'analisi a cui si raggiunge d_{max}^*	
<input checked="" type="checkbox"/> Fattore di sicurezza	

