



## Aedes.**PCM** 2017

### PROGETTAZIONE DI **C**OSTRUZIONI IN **M**MURATURA

Analisi strutturale di costruzioni in muratura secondo la Normativa Tecnica vigente

## **Guida rapida per gli interventi di consolidamento**

*Ultima revisione di questo documento: 27.04.2017*

Tutti i diritti sono riservati, anche di riproduzione parziale, a norma di legge e delle convenzioni internazionali. Nessuna parte di questo volume può essere riprodotta in qualsiasi forma o mezzo elettronico o meccanico, per alcun uso, senza il permesso scritto della AEDES Software per Ingegneria Civile.

© 1997-2017 **AEDES Software per Ingegneria Civile**

Via F. Aporti 32 - 56028 SAN MINIATO (PI)

Tel.: +39 0571 401073 - Fax: +39 0571 418350

E-mail: [info@aedes.it](mailto:info@aedes.it) - Internet: [www.aedes.it](http://www.aedes.it)

## AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO

La AEDES Software si riserva il diritto di apportare miglioramenti o modifiche al programma PCM, descritto nella documentazione ad esso associata, in qualsiasi momento e senza preavviso.

Il software e la documentazione allegata, anche se curati con scrupolosa attenzione, non possono comportare specifiche responsabilità di AEDES per involontari errori o inesattezze: pertanto, l'utilizzatore è tenuto a controllare l'esattezza e la completezza del materiale utilizzato. Le correzioni relative ad eventuali errori tipografici saranno incluse nelle versioni di aggiornamento.

PCM è di esclusiva proprietà della AEDES e viene concesso in uso non esclusivo secondo i termini e le condizioni riportati nel contratto di licenza d'uso. L'utente non avrà diritto ad utilizzare PCM fino a quando non avrà sottoscritto la suddetta licenza d'uso.

L'utente è responsabile della scelta di PCM al fine del raggiungimento dei risultati voluti, nonché dell'installazione, dell'uso dello stesso e dei relativi risultati.

Le sole garanzie fornite dalla AEDES in merito a PCM sono quelle riportate nella licenza d'uso. La AEDES non garantisce che le funzioni contenute in PCM soddisfino le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso da parte dell'utente.

I nomi dei prodotti citati nella documentazione di PCM possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive Società.

# **INDICE**

## 1. INTRODUZIONE

## 2. INTERVENTI STRUTTURALI con PCM

2.1. RINFORZO A TAGLIO

2.2. INTONACO ARMATO

2.3. PRECOMPRESSIONE

2.4. INTERVENTO CON FRP

2.5. INTERVENTO CON METODO 'CAM'

2.6. INTERVENTO CON 'RETICOLATUS'

2.7. RETI IN FRP E ALTRO

## 3. VALIDAZIONE PER SISTEMI DI RINFORZO CON FRP

## 1. INTRODUZIONE

Con PCM è possibile studiare ed approfondire vari tipi di interventi di rinforzo strutturale, orientati a migliorare il comportamento delle pareti in muratura.

Accanto ad interventi tradizionali (iniezioni cementizie, intonaco armato, diatoni artificiali, rinforzi a taglio con barre in acciaio, tiranti per la precompressione) sono proposte tecnologie all'avanguardia: rinforzi con nastri in FRP, applicazione dei nastri in acciaio pre-tesi con metodo CAM © EdilCAM, ristilatura dei giunti e armatura con trefoli in acciaio (Reticolatus), altri tipi di interventi (quali intonaci armati con reti GFRP) descrivibili mediante opportune proprietà meccaniche dei materiali.

Con tali modalità alternative è possibile quindi focalizzare il miglior intervento per il progetto di consolidamento in esame, adeguando la tecnologia scelta alle effettive caratteristiche dell'edificio.

Ad esempio: per una muratura storica a faccia vista la tecnica Reticolatus costituisce un'ottima soluzione; per murature massicce senza particolari necessità di faccia vista la tecnica CAM fornirà un adeguato consolidamento anche attraverso effetti di precompressione e confinamento della muratura; per murature sufficientemente regolari, la disposizione dei nastri in FRP consentirà un netto miglioramento delle prestazioni antisismiche per pressoflessione e taglio; intonaci armati di nuova generazione (malta a basso modulo di elasticità e reti in fibra di vetro) consentiranno un miglioramento sensibile delle qualità meccaniche delle pareti senza alterare troppo le rigidezze e le masse strutturali. In generale, gli interventi di nuova generazione si propongono l'obiettivo di alterare il meno possibile la configurazione originaria dell'edificio e di consentire, soprattutto per i casi di edifici storici e vincolati, la reversibilità.

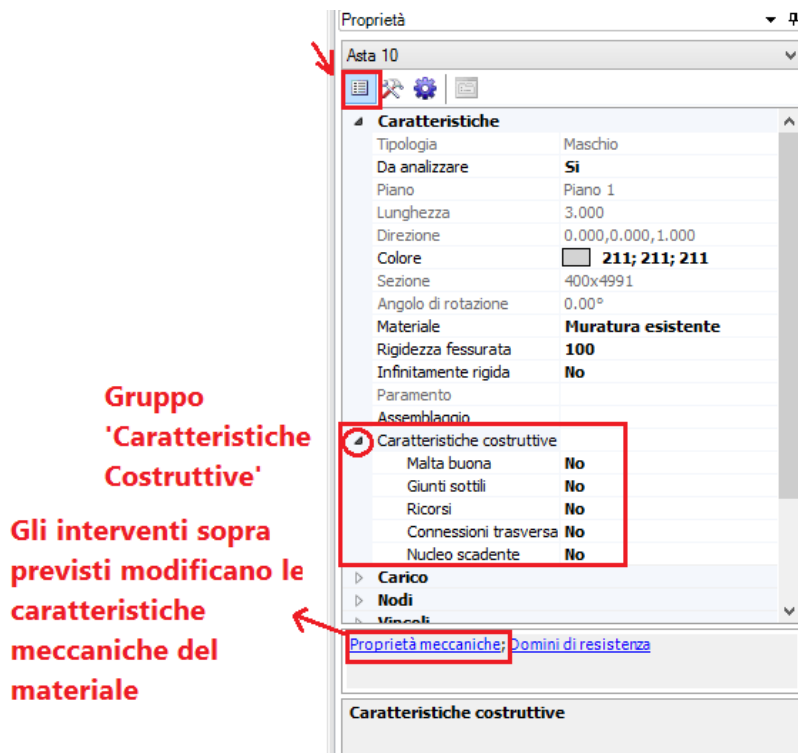
## 2. INTERVENTI STRUTTURALI CON PCM

In questo documento si adatterà come riferimento il file 'Freeware\_02.vdml', già presente all'interno della cartella 'Progetti' di PCM.

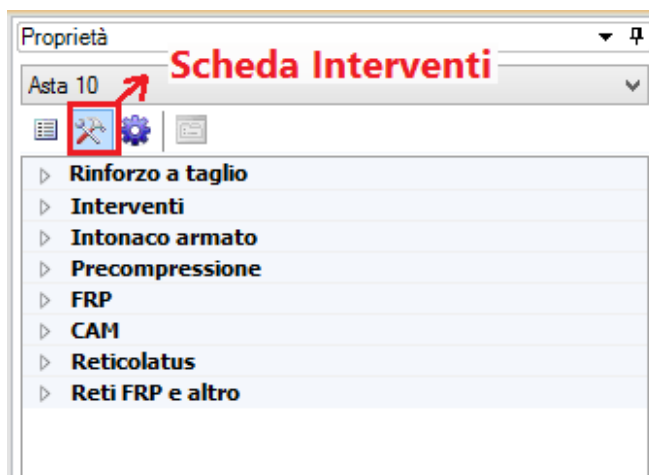
Gli interventi proposti da PCM si suddividono in **due categorie**:

- **Applicazione di particolari caratteristiche costruttive**, che comportino solo amplificazioni delle caratteristiche meccaniche del materiale:

Trattandosi di specifiche proprietà delle singole aste, tali interventi si trovano nella finestra delle proprietà, in corrispondenza del Gruppo 'Caratteristiche costruttive', che, quando viene aperto completamente, mostra le seguenti proprietà:



- **Applicazione di altri interventi di rinforzo**: in questa categoria rientrano tutti gli altri Interventi, che sono raggruppati nell'apposita scheda 'Interventi'; in particolare in PCM è possibile scegliere fra i seguenti:



**Interventi**: espandendo tale gruppo, è possibile scegliere fra:

**Iniezioni:** se posto su 'Si', sulle aste selezionate saranno applicati i coefficienti correttivi previsti per le Iniezioni di miscele per quel dato materiale;

**Diatoni Artificiali:** se posto su 'Si', sulle aste selezionate saranno applicati i coefficienti correttivi previsti per i Diatoni Artificiali per quel dato materiale;

**Altri Interventi:** questa proprietà contiene l'elenco di tutti gli altri interventi possibili. Per sceglierne un tipo specifico, è **necessario prima attivare** in tale etichetta il relativo intervento:

Interventi	
Iniezioni	No
Diatoni artificiali	No
Altri interventi	Nessuno
▶ Rinforzo a taglio	Nessuno
▶ Intonaco armato	Rinforzo a taglio
▶ Precompressione	Intonaco armato
▶ FRP	Precompressione
▶ CAM	FRP
▶ Reticolatus	CAM
▶ Reti FRP e altro	Reticolatus
	Reti FRP e altro

**Per attivare tutti i campi relativi a questi interventi, è necessario prima selezionare quale si voglia rendere attivo, nella proprietà 'Altri Interventi'**

Nei paragrafi seguenti si descrive operativamente l'applicazione di 'Altri interventi'.

## 2.1. RINFORZO A TAGLIO

L'intervento di 'Rinforzo a taglio' prevede di rinforzare la struttura utilizzando armatura trasversale posta nei giunti orizzontali (per es. tralici in acciaio). La rigidezza degli elementi portanti e la resistenza a pressoflessione vengono determinate come per gli elementi in muratura ordinaria; per la resistenza a taglio  $V_t$ , invece, tale intervento comporta un incremento rispetto alla muratura ordinaria:

$V_t = V_{tM}$  (contributo muratura) +  $V_{ts}$  (contributo armatura) =  $(d \cdot t \cdot f_{vd}) + (0.6 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd})/s$ , con la limitazione, nel caso di muratura con armature verticali:  $V_t \leq 0.3 \cdot f_d \cdot t \cdot d$  (§7.8.3.2.2),

dove:

$d$ = distanza tra lembo compresso e baricentro dell'armatura tesa;

$t$ = spessore della parete;

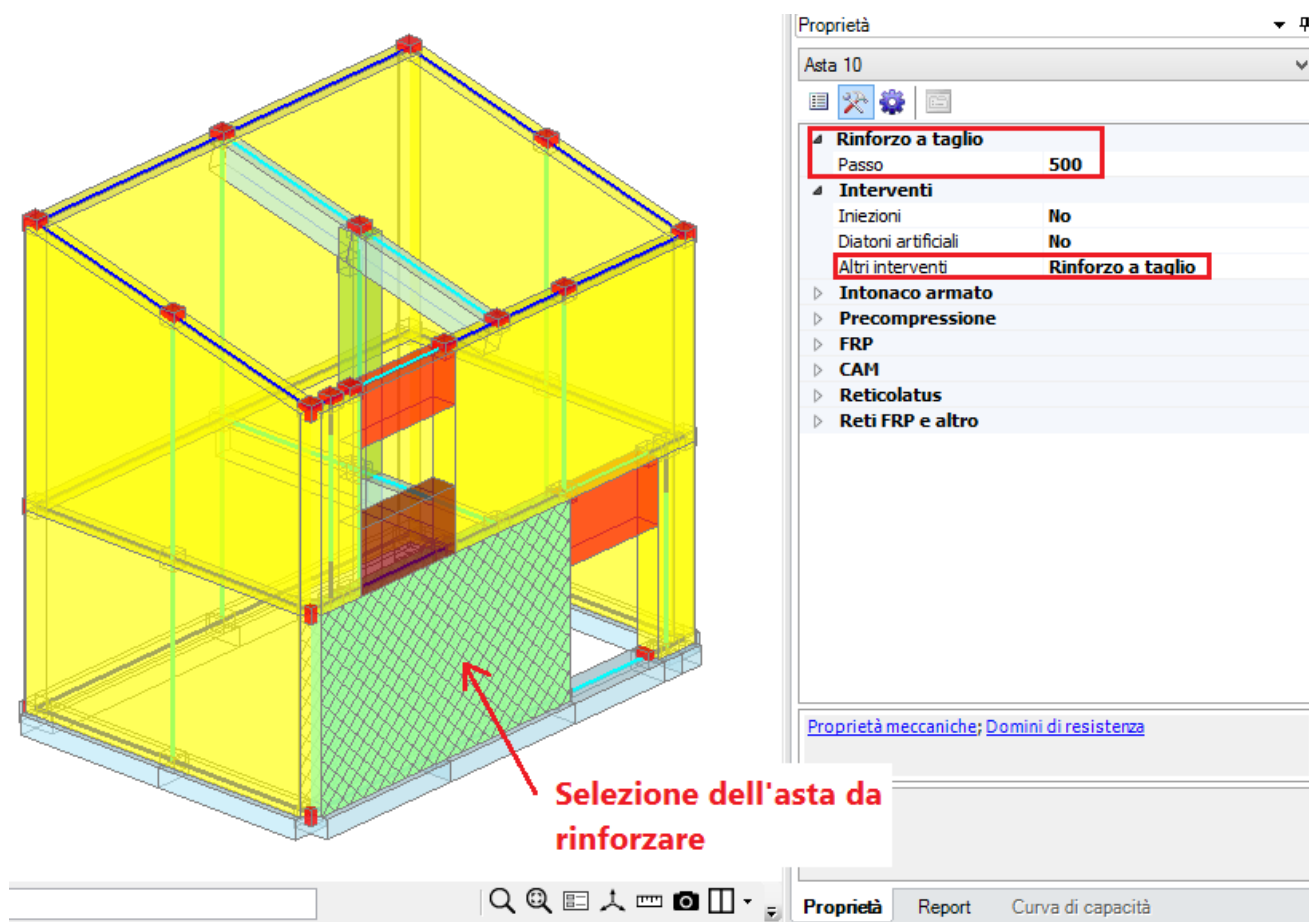
$s$ = distanza verticale tra i livelli di armatura;

$A_{sw}$ = area dell'armatura a taglio disposta in direzione parallela alla forza di taglio (armatura orizzontale) nel singolo corso orizzontale;

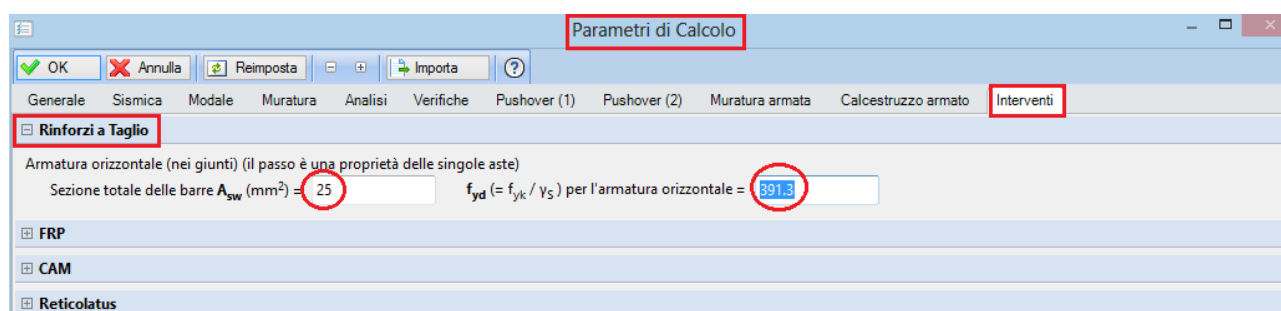
$f_{yd}$  = resistenza di calcolo dell'acciaio, pari ad  $f_{yk}/\gamma_s$  (analisi lineare) ( $\gamma_s = 1.15$ );

$f_d$  = resistenza a compressione di calcolo della muratura, pari a:  $f_d/\gamma_M$  (analisi lineare).

A livello operativo, nella finestra degli 'Interventi' si imposta il passo in base al quale verranno inserite le armature orizzontali (passo= distanza in verticale tra le armature):



Nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Interventi', si inseriscono invece le caratteristiche dimensionali delle armature (dati richiesti 'Area delle barre  $A_{sw}$ ' e 'Resistenza di snervamento  $f_{yd}$ '):

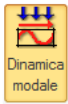


L'intervento nasce per le murature nuove, tuttavia, se gli accorgimenti esecutivi permettono un corretto posizionamento dell'armatura 'all'interno' della parete (o comunque con ancoraggio efficace), l'intervento è valido anche per le murature esistenti.

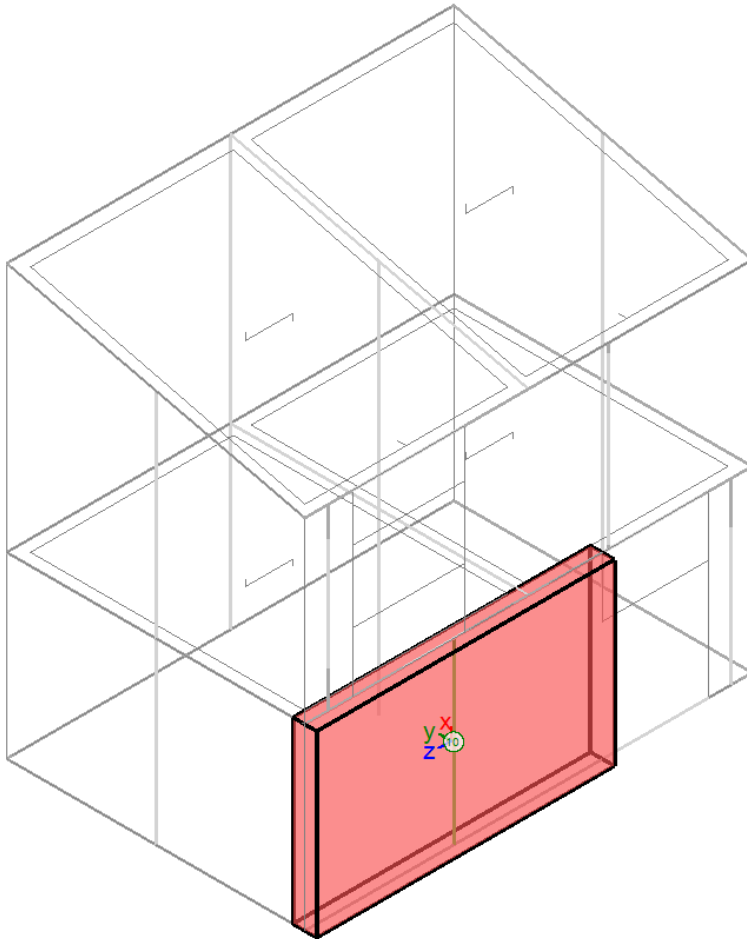
#### Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Supponendo che l'esempio 'Freeware\_02' sia ubicato nel comune di 'Perugia' ( $ag=0.192$ ), l'analisi dinamica modale evidenzia una crisi diffusa per Taglio, sia a scorrimento che per fessurazione; per esempio, si esamini nel dettaglio cosa accade alla parete n°10:

## Asta Non Rinforzata:



Taglio per Fessurazione Diagonale ▾



Proprietà

Asta 10

Sezioni		Totale	
<b>Deformazioni</b>			
dy	0.000	5.563	
dz	0.000	3.860	
φy	0.563	0.665	
φz	1.051	1.253	
<b>Sollecitazioni</b>			
N	280.21	-166.42	
Ty	5.07	-5.07	
Tz	76.16	-76.16	
Mx	0.19	-0.19	
My	129.91	-86.26	
Mz	7.88	-6.91	
<b>Verifiche</b>			
Coefficiente di sicurezza	0.247		
Verifica	Non soddisfatta		

[Proprietà meccaniche; Domini di resistenza](#)

**dy**  
Traslazione lungo l'asse y in mm (iniziale e finale)

Proprietà Report Curva di capacità

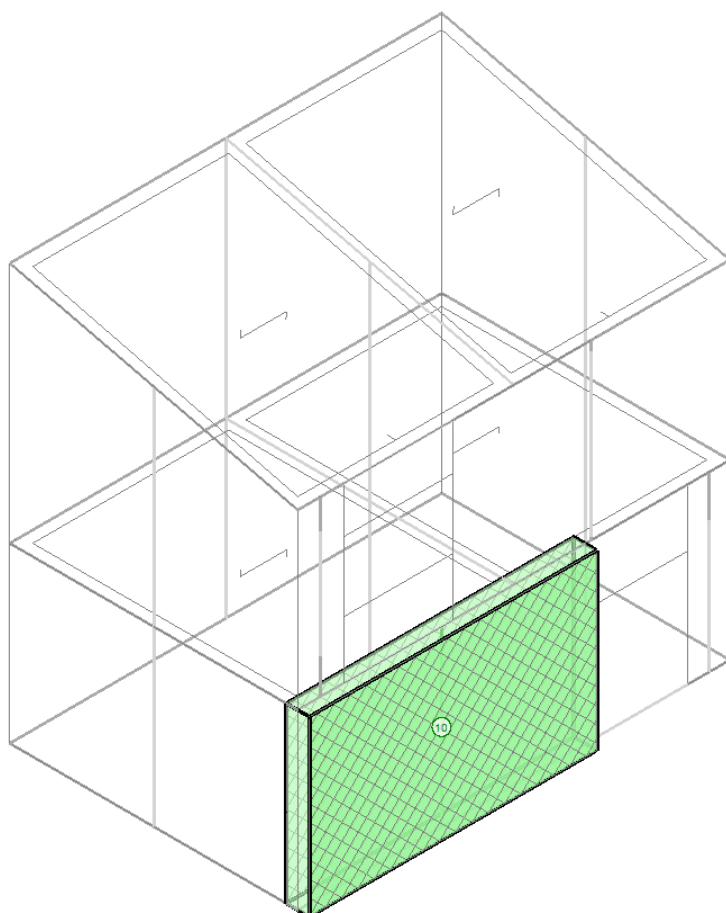
### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (SC8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	y,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	54.60	76.16	0.717
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	37.57	75.92	0.495
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	43.84	76.16	0.576
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	18.76	75.92	0.247

## Asta Rinforzata:



Taglio per Fessurazione Diagonale ▾



Proprietà ▾

Asta 10

Sezioni

Estremi della luce		Totale	
<b>Deformazioni</b>			
dy	0,000	5,563	
dz	0,000	3,860	
φy	0,563	0,665	
φz	1,051	1,253	
<b>Sollecitazioni</b>			
N	280,21	-166,42	
Ty	5,07	-5,07	
Tz	76,16	-76,16	
Mx	0,19	-0,19	
My	129,91	-86,26	
Mz	7,88	-6,91	
<b>Verifiche</b>			
Coefficiente di sicurezza	1,019		
Verifica	Soddisfatta		

[Proprietà meccaniche; Domini di resistenza](#)

**dy**  
Traslazione lungo l'asse y in mm (iniziale e finale)

Proprietà Report Curva di capacità

14.441, 6.574, 0.000

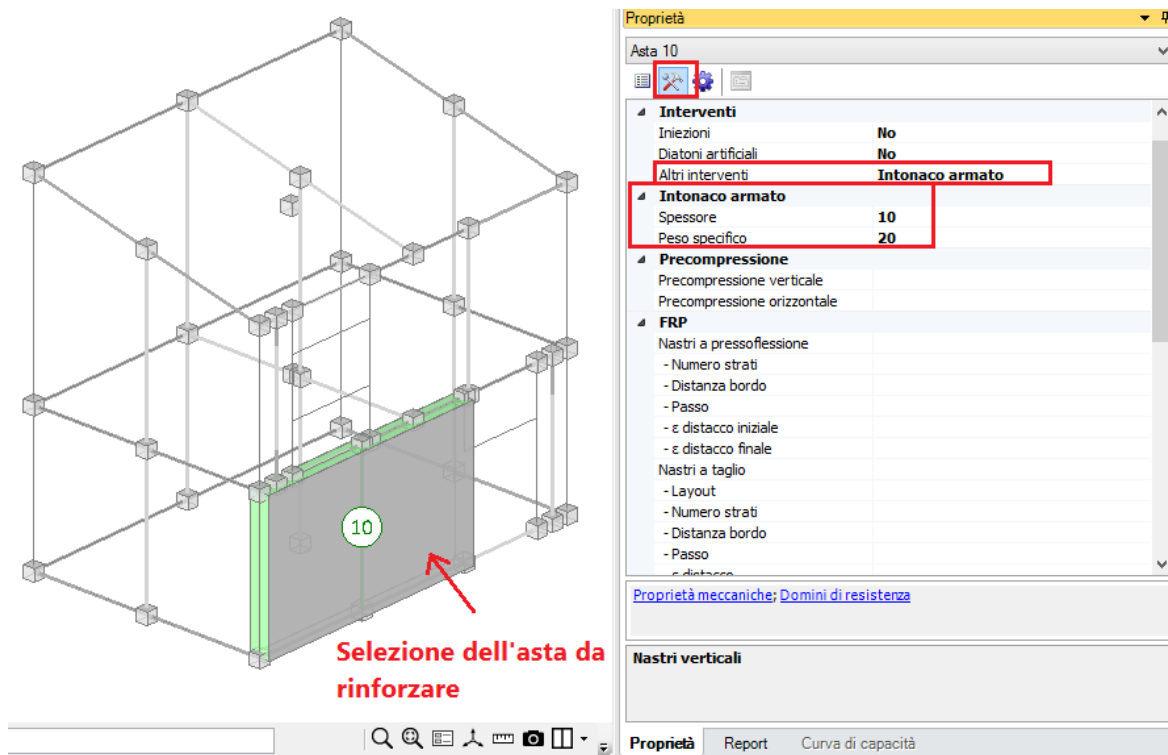
N.	n/e	Sez. comb.	Coeff. b	P (kN)	p	f <sub>vk0</sub> / tau0  (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>vd</sub>	γ, m * FC  tag.	Vt, M	Vt, S	Vt, lim	Vt	V	C. Sic.
10	e	B.1	1.500	280.21	0.14	0.020	0.027	2.70	0.013	54.60	58.59	113.19	76.16	1.486
10	e	B.4	1.500	120.97	0.06	0.020	0.019	2.70	0.013	37.57	58.59	96.16	75.92	1.267
10	e	S.1	1.500	172.75	0.09	0.020	0.022	2.70	0.013	43.84	58.59	102.43	76.16	1.345
10	e	S.4	1.500	13.51	0.01	0.020	0.009	2.70	0.013	18.76	58.59	77.35	75.92	1.019

A livello grafico, tale rinforzo è indicato solo con un retino, sia per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', che per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D'.

## 2.2. INTONACO ARMATO

Con riferimento sempre alla parete oggetto di indagine, si ipotizzi in alternativa di rinforzarla tramite applicazione di 'Intonaco Armato': per farlo, bisogna sempre attivare il relativo intervento nella finestra degli 'Interventi':





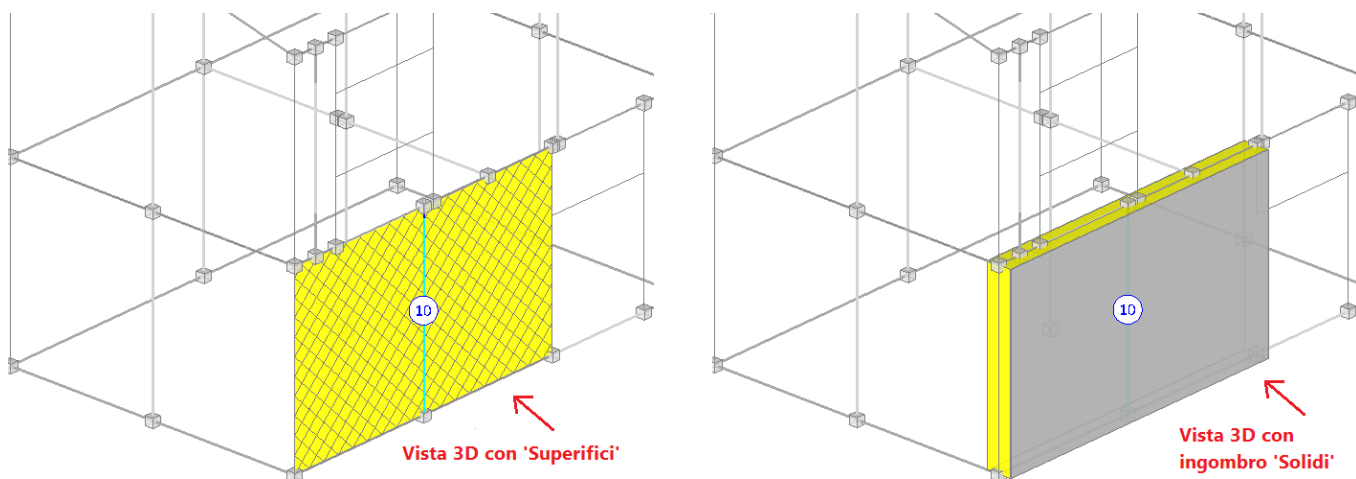
Nella griglia vengono richiesti i seguenti dati:

**Spessore:** rappresenta lo spessore (in mm) della malta di applicazione sulla parete;

**Peso specifico:** indica il peso specifico della malta da utilizzare.

Le due proprietà sopra indicate sono molto importanti per stimare correttamente l'influenza della massa della malta applicata, influenza che ha effetti soprattutto sulla rigidità della parete nell'analisi.

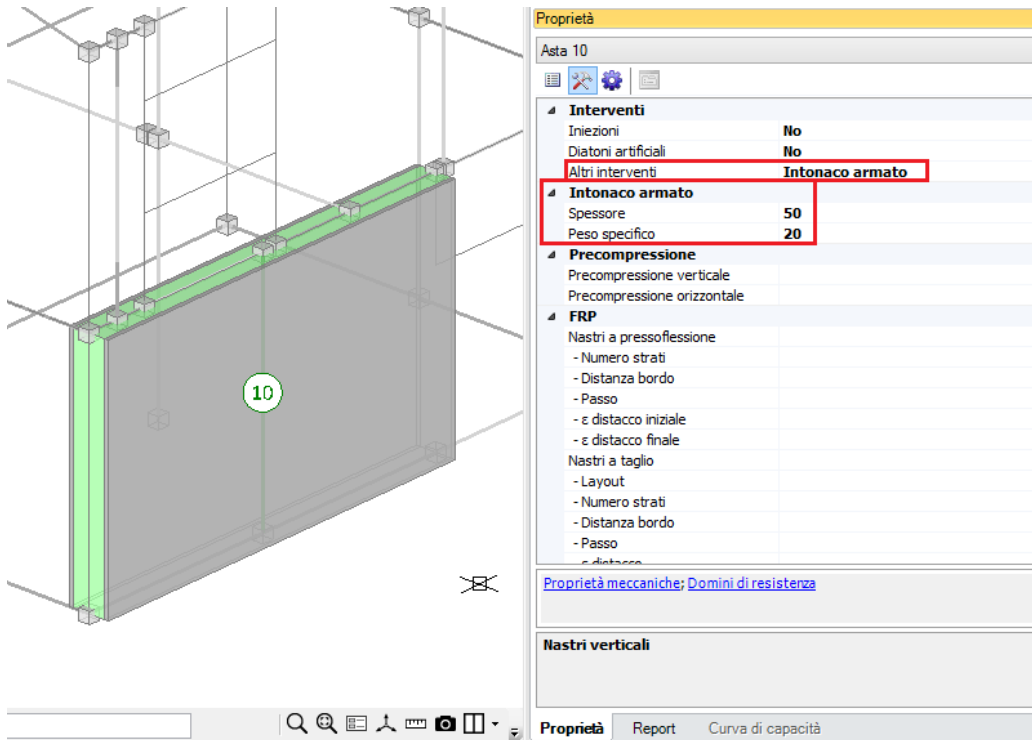
A livello grafico, tale rinforzo è indicato con un retino generico per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', mentre, per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D', viene indicato come ingombro della parete più il reale spessore di applicazione della malta:



### Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Supponiamo di avere adottato, per la parete indicata, un rinforzo tramite 'Intonaco Armato', con malta

complessivamente di spessore 50 mm, e peso specifico 20 kN/m<sup>3</sup>:

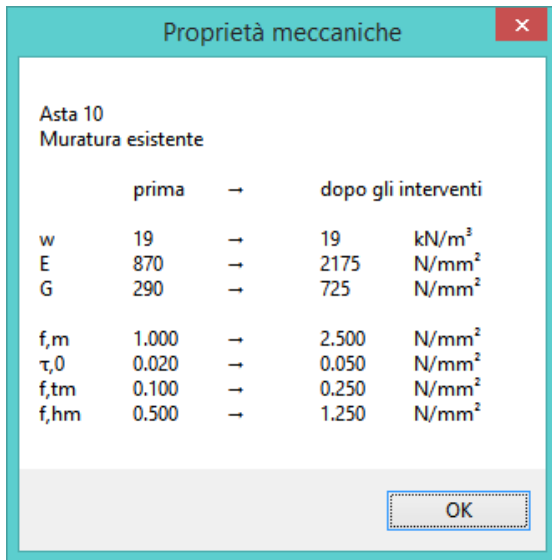


N.B.: l'intervento di Intonaco Armato è sempre pensato 'su entrambe le facce' della parete, sia interna che esterna: questo perché, per essere davvero efficace, l'intervento prevede di inserire collegamenti trasversali fra le due facce.

**Prima dell'applicazione** di tale intervento, per la parete vengono assegnati i seguenti valori di resistenza e modulo elastico:

Proprietà meccaniche		
Asta 10		
Muratura esistente		
w	19	kN/m <sup>3</sup>
E	870	N/mm <sup>2</sup>
G	290	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>m</sub>	1.000	N/mm <sup>2</sup>
τ <sub>0</sub>	0.020	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>tm</sub>	0.100	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>hm</sub>	0.500	N/mm <sup>2</sup>

**Dopo l'applicazione** dell'Intervento, i valori saranno invece modificati tenendo conto dei coefficienti amplificativi previsti per questo materiale ('Pietrame disordinato', c=2.50):



Dopo l'applicazione dell'intervento, la parete risulta verificata:

Asta Non Rinforzata:

Le verifiche evidenziano una crisi sia per pressoflessione che per Taglio:

**3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	f <sub>k</sub> / f <sub>m</sub>	γ <sub>m</sub>	f <sub>d</sub>	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	280.21	0.140	1.000	2.70	0.370	628.87	379.06	-146.11	2.594
10	e	B.4	120.97	0.061	1.000	2.70	0.370	628.87	242.19	129.91	1.864
10	e	S.1	172.75	0.087	1.000	2.70	0.370	628.87	309.41	89.03	3.475
* 10	e	S.4	13.51	0.007	1.000	2.70	0.370	628.87	32.98	-73.57	0.448

**5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	σ <sub>n</sub>	f <sub>vk0</sub> /τ <sub>0</sub>	γ <sub>m</sub>	f <sub>vd</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	280.21	-146.11	0.52	1.000	280.21	0.140	0.020	2.70	0.028	56.30	76.16	0.739
* 10	e	B.4	120.97	129.91	1.07	0.854	120.97	0.071	0.020	2.70	0.018	30.56	75.92	0.403
* 10	e	S.1	172.75	89.03	0.52	1.000	172.75	0.087	0.020	2.70	0.020	40.38	76.16	0.530
* 10	e	S.4	13.51	-73.57	5.45	0.000	13.51	0.000	0.020	2.70	0.000	0.00	75.92	0.000

**6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coef.	P	p	f <sub>vk0</sub> /τ <sub>0</sub>	γ <sub>m</sub>	f <sub>vd</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	54.60	76.16	0.717
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	37.57	75.92	0.495
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	43.84	76.16	0.576
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	18.76	75.92	0.247

Asta Rinforzata:

Le verifiche condotte mostrano un effettivo miglioramento delle verifiche (principalmente per taglio):

**3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.000**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	γ,m	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	390.70	0.157	2.500	2.70	0.926	1963.96	775.66	-244.10	3.178
10	e	B.4	169.86	0.068	2.500	2.70	0.926	1963.96	386.22	194.40	1.987
10	e	S.1	254.95	0.102	2.500	2.70	0.926	1963.96	551.34	102.69	5.369
10	e	S.4	34.11	0.014	2.500	2.70	0.926	1963.96	83.60	-53.35	1.567

**5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	σ,n	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(kN)	
10	e	B.1	390.70	-244.10	0.62	1.000	390.70	0.157	0.050	2.70	0.042	104.09	99.80	1.043
* 10	e	B.4	169.86	194.40	1.14	0.812	169.86	0.084	0.050	2.70	0.031	62.69	99.66	0.629
* 10	e	S.1	254.95	102.69	0.40	1.000	254.95	0.102	0.050	2.70	0.034	83.98	99.80	0.842
* 10	e	S.4	34.11	-53.35	1.56	0.560	34.11	0.024	0.050	2.70	0.022	30.93	99.66	0.310

**6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.221**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(kN)	
10	e	B.1	1.500	390.70	0.157	0.050	2.70	0.048	119.05	99.80	1.193
* 10	e	B.4	1.500	169.86	0.068	0.050	2.70	0.034	85.84	99.66	0.861
10	e	S.1	1.500	254.95	0.102	0.050	2.70	0.040	99.95	99.80	1.002
* 10	e	S.4	1.500	34.11	0.014	0.050	2.70	0.023	56.45	99.66	0.566

E' utile tuttavia confrontare cosa accade anche alla Rigidezza di questa parete: dal 'Report', 'Condizioni di Regolarità', è possibile visualizzare le rigidezze di tutte le aste.

Prima dell'applicazione dell'Intervento, si ha:

**RIGIDEZZE (kN/m)**

Rigidezze degli elementi verticali valutate in condizioni sismiche, tenendo quindi conto di eventuali rigidezze fessurate (definite come: '% di K elastica' nei Dati Aste)

N.	Tip.	p.no	G.X	G.Y	KX	KY	KY*X	KX*Y
			(m)	(m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN)	(kN)
10	M	1	2.496	0.000	156312	9673	24145	0

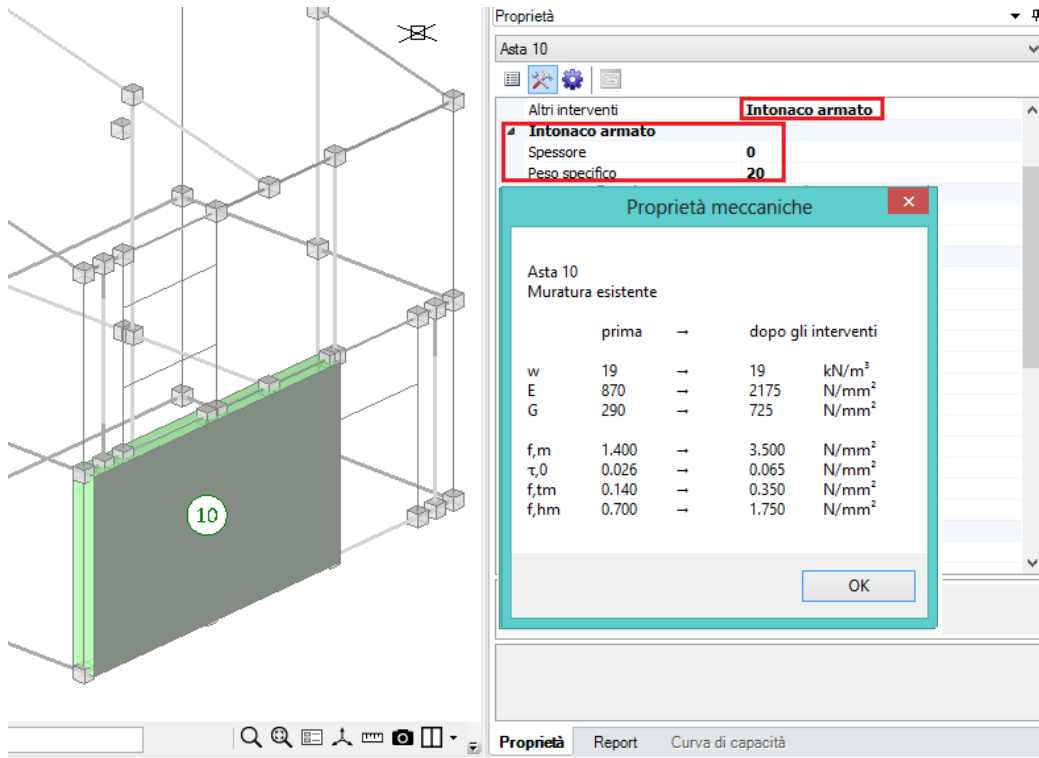
Dopo l'applicazione dell'Intervento, si ottiene invece:

**RIGIDEZZE (kN/m)**

Rigidezze degli elementi verticali valutate in condizioni sismiche, tenendo quindi conto di eventuali rigidezze fessurate (definite come: '% di K elastica' nei Dati Aste)

N.	Tip.	p.no	G.X	G.Y	KX	KY	KY*X	KX*Y
			(m)	(m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN)	(kN)
10	M	1	2.496	0.000	488474	45688	114037	0

Lo spessore di 50mm quindi comporta un'influenza abbastanza importante sulla rigidezza della parete. Se invece si fosse posto ugualmente l'intervento di 'Intonaco Armato', ma per es. con un valore nullo dello 'spessore' di intonaco, la parete risulterà ugualmente quasi totalmente verificata (in base ai tabulati), ma la rigidezza risulterà minore: tale ipotesi equivale praticamente ad applicare solamente il coefficiente correttivo previsto per il materiale:



#### RIGIDEZZE

Rigidezze degli elementi verticali valutate in condizioni sismiche, tenendo quindi conto di eventuali rigidezze fessurate (definite come: '% di K elastica' nei Dati Aste)

N.	Tip.	p.no	G.X (m)	G.Y (m)	KX (kN/m)	KY (kN/m)	KY*X (kN)	KX*Y (kN)
10	M	1	2.496	0.000	390779	24184	60362	

#### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P (kN)	p (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>k</sub> / f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	γ <sub>m</sub>  * FC	f <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Nu (kN)	Mu (kN m)	M (kN m)	C.Sic.
10	e	B.1	352.71	0.177	2.500	2.70	0.926	1571.17	677.13	-222.21	3.047
10	e	B.4	142.43	0.071	2.500	2.70	0.926	1571.17	322.33	178.09	1.810
10	e	S.1	245.25	0.123	2.500	2.70	0.926	1571.17	513.85	102.46	5.015
10	e	S.4	34.97	0.018	2.500	2.70	0.926	1571.17	85.28	-58.46	1.459

#### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P (kN)	M (kN m)	Ecc. (m)	Beta	C (kN)	σ <sub>n</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>vk0</sub> /τ <sub>0</sub>  * FC	γ <sub>m</sub>	f <sub>vd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	V <sub>t</sub> (kN)	V (kN)	C.Sic.
* 10	e	B.1	352.71	-222.21	0.63	1.000	352.71	0.177	0.050	2.70	0.045	89.22	94.94	0.940
* 10	e	B.4	142.43	178.09	1.25	0.748	142.43	0.095	0.050	2.70	0.033	48.77	94.88	0.514
* 10	e	S.1	245.25	102.46	0.42	1.000	245.25	0.123	0.050	2.70	0.037	73.30	94.94	0.772
* 10	e	S.4	34.97	-58.46	1.67	0.495	34.97	0.035	0.050	2.70	0.024	23.49	94.88	0.248

#### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.224 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

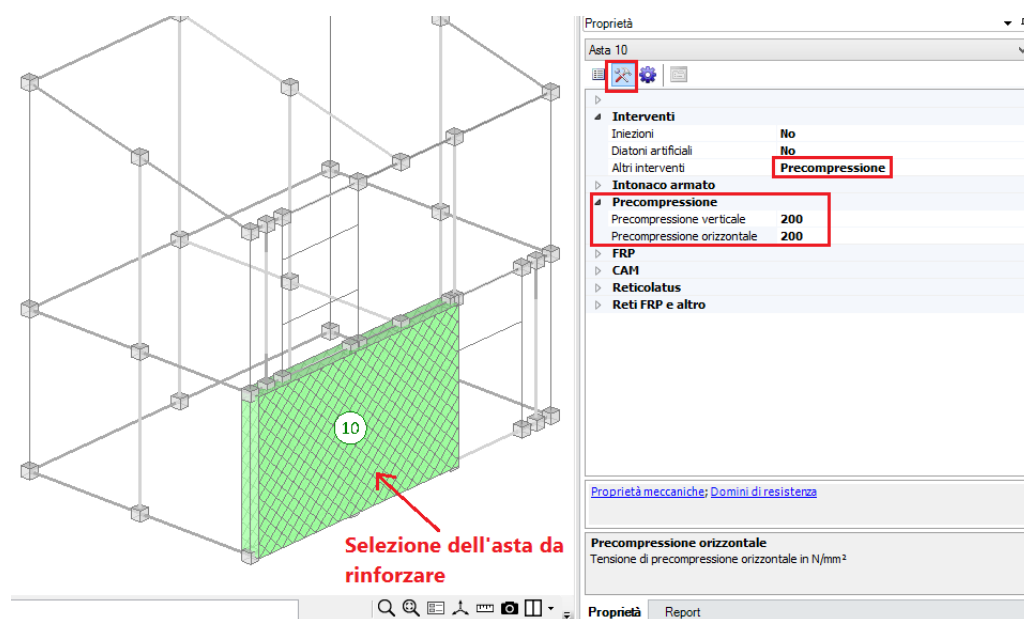
N.	n/e	Sez.	Coef. b	P (kN)	p (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>vk0</sub> /τ <sub>0</sub>  * FC	γ <sub>m</sub>	f <sub>vd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	V <sub>t</sub> (kN)	V (kN)	C.Sic.
10	e	B.1	1.500	352.71	0.177	0.050	2.70	0.050	100.30	94.94	1.056
* 10	e	B.4	1.500	142.43	0.071	0.050	2.70	0.035	69.84	94.88	0.736
* 10	e	S.1	1.500	245.25	0.123	0.050	2.70	0.043	86.09	94.94	0.907
* 10	e	S.4	1.500	34.97	0.018	0.050	2.70	0.024	47.21	94.88	0.498

Il confronto fra le rigidezze può essere utile per progettare in modo maggiormente adeguato l'utilizzo dello spessore dell'Intonaco, specialmente nei casi di Analisi Non Lineare, in cui per soddisfare la verifica è ricercata una maggiore duttilità (quindi capacità di spostamento) piuttosto che rigidezze troppo elevate.

### 2.3. PRECOMPRESSIONE

L'intervento di precompressione proposto in questa sezione riguarda la possibilità di tener conto, in fase di verifica, di uno Stato Tensionale di precompressione assiale nella parete oggetto di intervento (ad esempio nel caso di inserimento di tiranti verticali post-tesi).

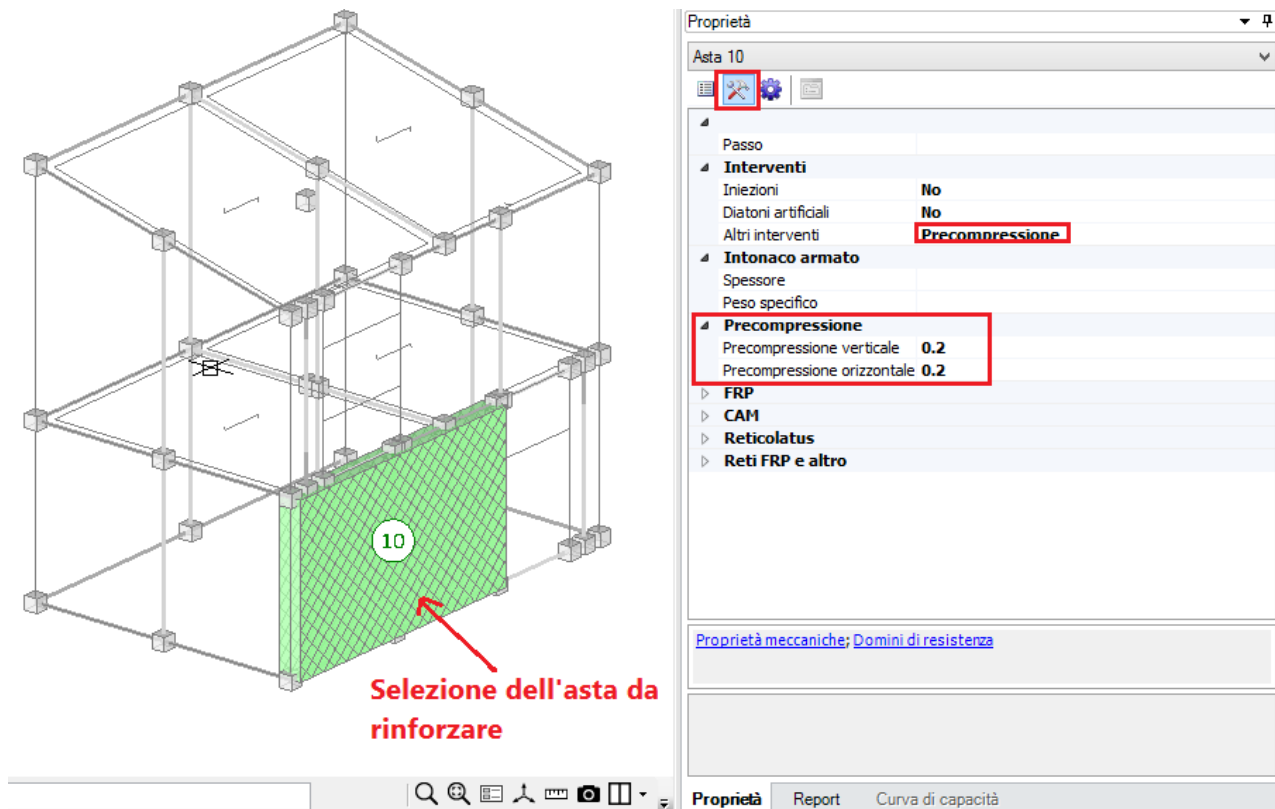
La precompressione viene suddivisa in orizzontale e verticale, in quanto i presidi che possono comportare tale effetto possono essere diversi, e/o contemporaneamente presenti:



L'effetto della precompressione consiste nell'incrementare lo sforzo normale di compressione della parete e quindi nello stabilizzarne il comportamento sia a pressoflessione (riducendo l'eccentricità dovuta al momento) sia a taglio (incrementando la resistenza, che dipende dalla tensione normale).

#### Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Supponiamo di avere adottato, per la parete indicata, una tensione di precompressione di  $0.200\text{N/mm}^2$ :



A livello grafico, tale rinforzo è indicato solo con un retino, sia per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', che per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D'.

### Asta Non Rinforzata:

Le verifiche evidenziano una crisi sia per pressoflessione che per Taglio:

#### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	γ,m	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	280.21	0.140	1.000	2.70	0.370	628.87	379.06	-146.11	2.594
10	e	B.4	120.97	0.061	1.000	2.70	0.370	628.87	242.19	129.91	1.864
10	e	S.1	172.75	0.087	1.000	2.70	0.370	628.87	309.41	89.03	3.475
* 10	e	S.4	13.51	0.007	1.000	2.70	0.370	628.87	32.98	-73.57	0.448

#### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	σ,n	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	280.21	-146.11	0.52	1.000	280.21	0.140	0.020	2.70	0.028	56.30	76.16	0.739
* 10	e	B.4	120.97	129.91	1.07	0.854	120.97	0.071	0.020	2.70	0.018	30.56	75.92	0.403
* 10	e	S.1	172.75	89.03	0.52	1.000	172.75	0.087	0.020	2.70	0.020	40.38	76.16	0.530
* 10	e	S.4	13.51	-73.57	5.45	0.000	13.51	0.000	0.020	2.70	0.000	0.00	75.92	0.000

#### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	54.60	76.16	0.717
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	37.57	75.92	0.495
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	43.84	76.16	0.576
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	18.76	75.92	0.247

## Asta Rinforzata:

Le verifiche condotte mostrano un effettivo miglioramento delle verifiche (principalmente per taglio):

### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.000

(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	$\gamma, m$	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.	
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)		
*	10	e	B.1	679.49	0.340	1.000	2.70	0.370	628.87	0.00	-146.11	0.000
	10	e	B.4	520.25	0.261	1.000	2.70	0.370	628.87	193.61	129.91	1.490
	10	e	S.1	572.03	0.287	1.000	2.70	0.370	628.87	101.32	89.03	1.138
	10	e	S.4	412.79	0.207	1.000	2.70	0.370	628.87	335.23	-73.57	4.557

### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000

(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	$\sigma, n$	fvk0/tau0	$\gamma, m$	fvd	Vt	V	C.Sic.	
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)			
	10	e	B.1	679.49	-146.11	0.22	1.000	679.49	0.340	0.020	2.70	0.058	115.45	76.16	1.516
	10	e	B.4	520.25	129.91	0.25	1.000	520.25	0.261	0.020	2.70	0.046	91.86	75.92	1.210
	10	e	S.1	572.03	89.03	0.16	1.000	572.03	0.287	0.020	2.70	0.050	99.53	76.16	1.307
	10	e	S.4	412.79	-73.57	0.18	1.000	412.79	0.207	0.020	2.70	0.038	75.94	75.92	1.000

### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.306

(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	$\gamma, m$	fvd	Vt	V	C.Sic.	
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)			
	10	e	B.1	1.500	679.49	0.340	0.020	2.70	0.182	362.54	76.16	4.760
	10	e	B.4	1.500	520.25	0.261	0.020	2.70	0.160	318.76	75.92	4.199
	10	e	S.1	1.500	572.03	0.287	0.020	2.70	0.167	333.63	76.16	4.381
	10	e	S.4	1.500	412.79	0.207	0.020	2.70	0.143	285.44	75.92	3.760

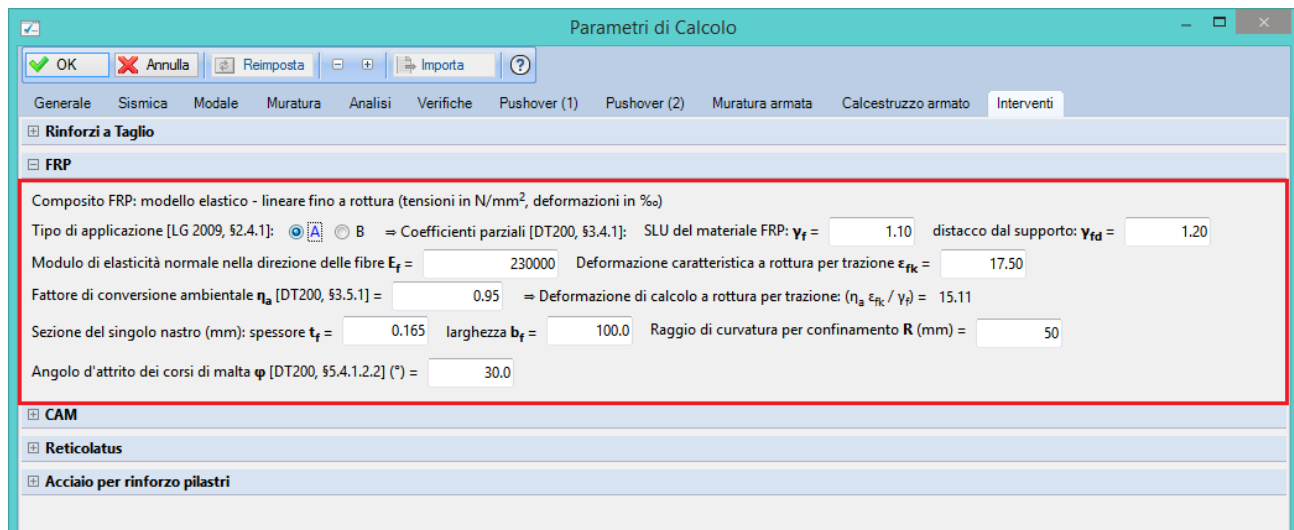


## 2.4. INTERVENTO CON FRP

L'adozione dell'intervento con compositi di materiale fibro-rinforzato costituisce un metodo abbastanza diffuso per considerare un miglioramento del comportamento prestazionale delle pareti che risultino in crisi sia per Pressoflessione che per Taglio.

Per utilizzare in PCM tale intervento, è necessario coniugare due aspetti:

- **i dati generali** delle fibre da utilizzare (dati e valori da Inserire nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Interventi'):



Parametri di Calcolo

OK Annulla Reimposta Importa

Generale Sismica Modale Muratura Analisi Verifiche Pushover (1) Pushover (2) Muratura armata Calcestruzzo armato Interventi

Rinforzi a Taglio

FRP

Composito FRP: modello elastico - lineare fino a rottura (tensioni in N/mm<sup>2</sup>, deformazioni in ‰)

Tipo di applicazione [LG 2009, §2.4.1]:  A  B ⇒ Coefficienti parziali [DT200, §3.4.1]: SLU del materiale FRP:  $\gamma_f =$  1.10 distacco dal supporto:  $\gamma_{fd} =$  1.20

Modulo di elasticità normale nella direzione delle fibre  $E_f =$  230000 Deformazione caratteristica a rottura per trazione  $\epsilon_{fk} =$  17.50

Fattore di conversione ambientale  $\eta_a$  [DT200, §3.5.1] = 0.95 ⇒ Deformazione di calcolo a rottura per trazione:  $(\eta_a \epsilon_{fk} / \gamma_f) =$  15.11

Sezione del singolo nastro (mm): spessore  $t_f =$  0.165 larghezza  $b_f =$  100.0 Raggio di curvatura per confinamento  $R$  (mm) = 50

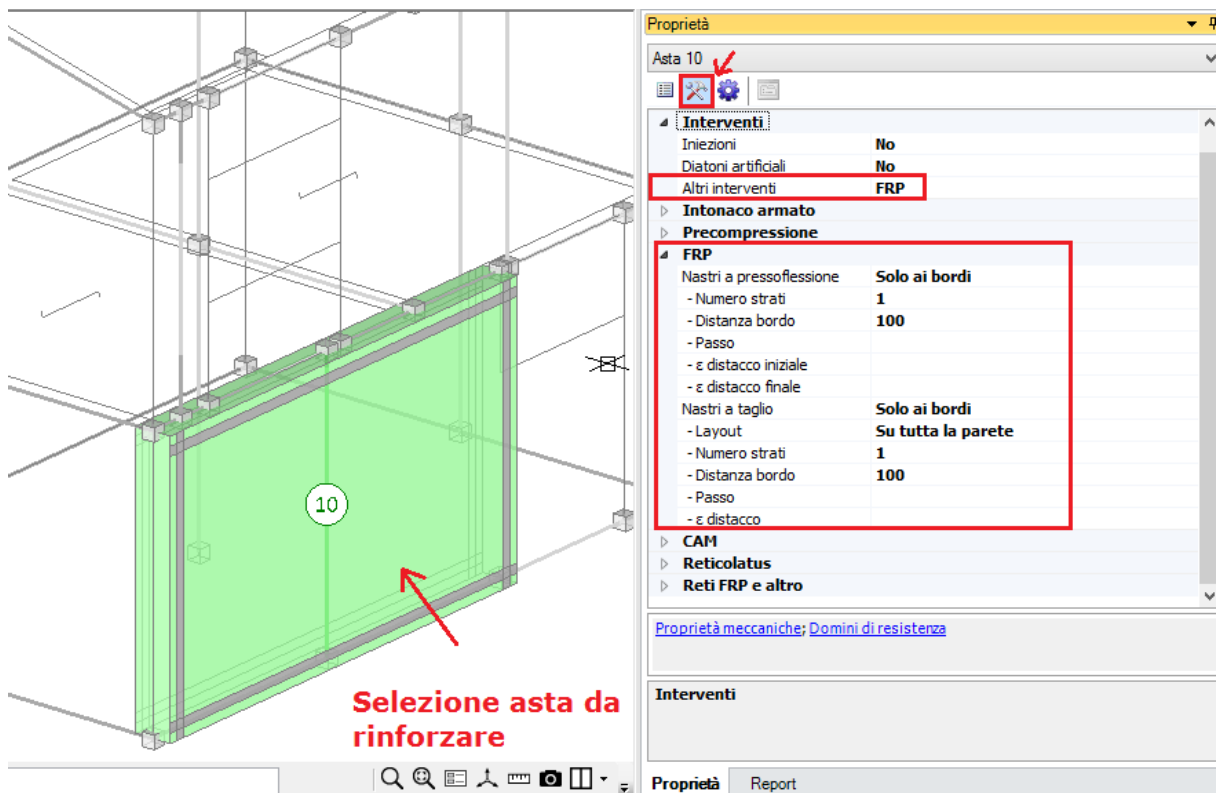
Angolo d'attrito dei corsi di malta  $\varphi$  [DT200, §5.4.1.2.2] (\*) = 30.0

CAM

Reticolatus

Acciaio per rinforzo pilastri

- **i dati specifici di ogni asta** interessata dall'intervento, nella finestra degli 'Interventi':



Proprietà

Asta 10

Interventi

Iniezioni No

Diatoni artificiali No

Altri interventi FRP

Intonaco armato

Precompressione

FRP

Nastri a pressoflessione	Solo ai bordi
- Numero strati	1
- Distanza bordo	100
- Passo	
- $\epsilon$ distacco iniziale	
- $\epsilon$ distacco finale	
Nastri a taglio	Solo ai bordi
- Layout	Su tutta la parete
- Numero strati	1
- Distanza bordo	100
- Passo	
- $\epsilon$ distacco	

CAM

Reticolatus

Reti FRP e altro

Proprietà meccaniche; Domini di resistenza

Interventi

Proprietà Report

Selezione asta da rinforzare

L'intervento con fibre in FRP è infatti in genere mirato a risolvere problematiche specifiche di una

determinata parete; sono disponibili varie ipotesi di applicazione del composito per risolvere le diverse problematiche presentate dalle pareti.

In genere, il rinforzo in FRP si può 'dividere' in due grandi categorie:

Rinforzo per Pressoflessione;

Rinforzo per Taglio.

A questo scopo, nella finestra degli interventi le fibre si suddividono in:

Nastri per pressoflessione; Nastri per Taglio.

### Nastri per Pressoflessione:

FRP	
Nastri a pressoflessione	No
- Numero strati	No
- Distanza bordo	Solo ai bordi
- Passo	In base al passo
- e distacco iniziale	A partire dai bordi
- e distacco finale	

A livello grafico, tale rinforzo è indicato con un retino generico per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', mentre, per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D', vengono rappresentati effettivamente i nastri per come si sceglierà di disporli.

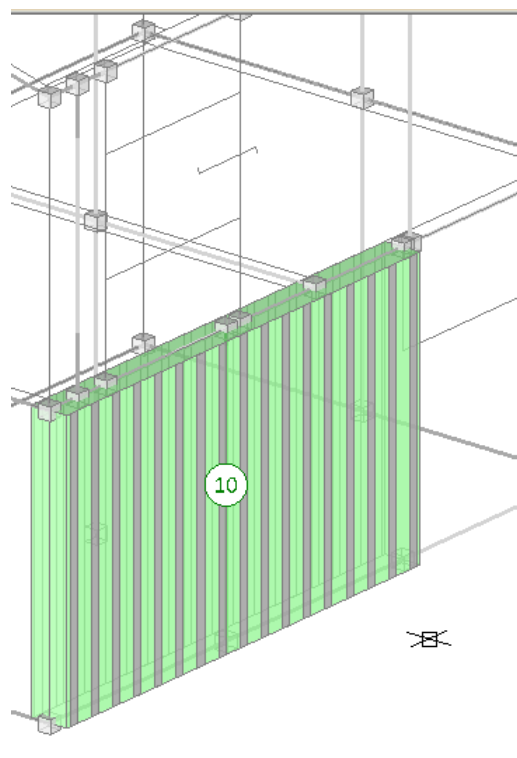
La configurazione geometrica della loro disposizione si decide aprendo la finestra a tendina 'Nastri a pressoflessione', e scegliendo il loro posizionamento:

**Solo ai bordi:** indica la presenza solo di due nastri di FRP, posti ai 'bordi' della parete, ad una determinata distanza dal bordo stesso (mm) che è possibile impostare nella successiva proprietà (la distanza dal bordo è netta, quindi la distanza dell'interasse del nastro è pari alla distanza dal bordo + metà larghezza nastro)

The image shows a 3D perspective view of a wall structure with FRP reinforcement strips applied to its edges. A circular callout with the number '10' is placed on the wall. To the right, a 'Proprietà' (Properties) window is open for 'Asta 10'. The 'Interventi' (Interventions) section is expanded, showing 'FRP' selected. The 'FRP' section is further expanded, showing 'Nastri a pressoflessione' (FRP strips for flexure) set to 'Solo ai bordi' (Only at edges). Other properties for this section include '- Numero strati' (Number of layers) set to '1' and '- Distanza bordo' (Edge distance) set to '100'. The 'Nastri a taglio' (FRP strips for shear) section is set to 'No'. The 'CAM' (Construction) section is also visible, with 'Reticolatus' (Reinforcement) set to 'No'.

Proprietà	
Asta 10	
Interventi	
Iniezioni	No
Diatoni artificiali	No
Altri interventi	FRP
Intonaco armato	
Precompressione	
FRP	
Nastri a pressoflessione	Solo ai bordi
- Numero strati	1
- Distanza bordo	100
- Passo	
- e distacco iniziale	
- e distacco finale	
Nastri a taglio	
Nastri a taglio	No
- Layout	
- Numero strati	
- Distanza bordo	
- Passo	
- e distacco	
CAM	
Reticolatus	
Reticolatus	No
Proprietà meccaniche; Domini di resistenza	

**In base al passo:** indica la presenza diffusa di nastri verticali distesi lungo l'estensione della parete, e disposti ad un determinato passo stabilito dall'utente nella successiva proprietà (in questa ipotesi di schematizzazione, è ininfluente la proprietà 'Distanza bordo', che è univocamente determinata in modo automatico in base al passo inserito (in mm)):



Proprietà

Asta 10

- Interventi
  - Iniezioni: No
  - Diatoni artificiali: No
  - Altri interventi: FRP
- Intonaco armato
- Precompressione
- FRP
  - Nastri a pressoflessione: In base al passo
  - Numero strati: 1
  - Distanza bordo: 46
  - Passo: 300
  - ε distacco iniziale
  - ε distacco finale
- Nastri a taglio: No
- Layout
- Numero strati
- Distanza bordo
- Passo
- ε distacco

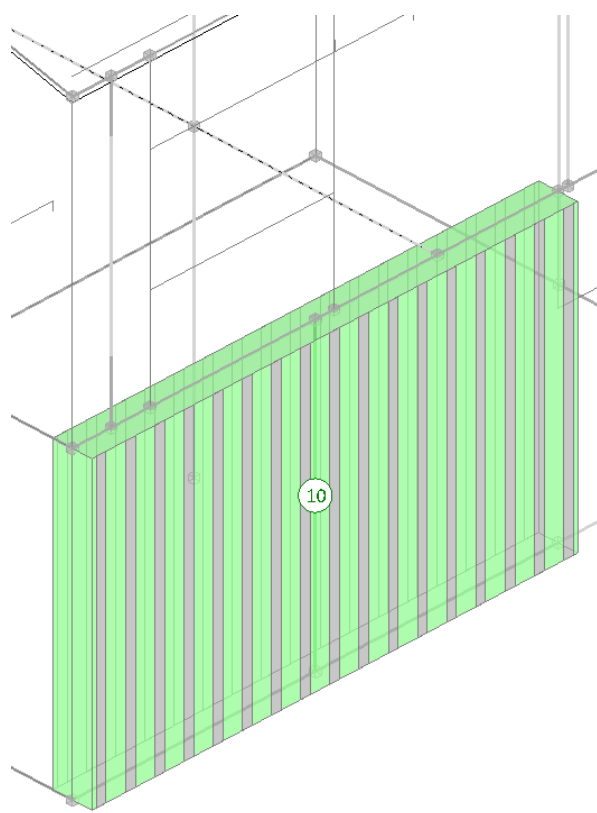
CAM

Reticolatus

Reti FRP e altro

[Proprietà meccaniche; Domini di resistenza](#)

Nastri a pressoflessione



Proprietà

Asta 10

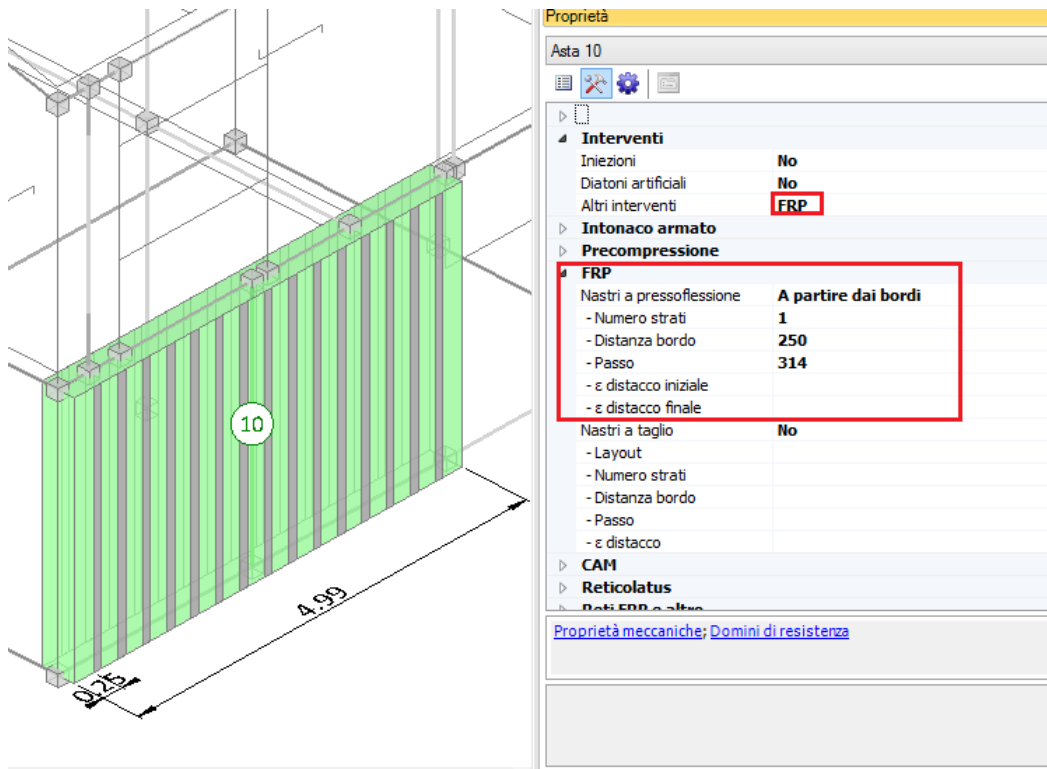
- Interventi
  - Iniezioni: No
  - Diatoni artificiali: No
  - Altri interventi: FRP
- Rinforzo a taglio
- Intonaco armato
- Precompressione
- FRP
  - Nastri a pressoflessione: In base al passo
  - Numero strati: 1
  - Distanza bordo: 46
  - Passo: 300
  - ε distacco iniziale
  - ε distacco finale
- Nastri a taglio: No
- Layout
- Numero strati
- Distanza bordo
- Passo
- ε distacco

CAM

Reticolatus

Reti FRP e altro

**A partire dai bordi:** Indica una modalità di distribuzione tale che i nastri estremi abbiano una distanza netta dal bordo della parete pari al valore impostato dall'utente. In questa modalità il valore del passo viene adeguato automaticamente in modo da rispettare la distanza dal bordo.



Ad esempio, per la parete di cui sopra, si ha:

distanza dal bordo  $d = 250\text{mm}$   
 passo inserito  $p = 300\text{mm}$   
 larghezza nastro  $t = 100\text{mm}$

Il primo nastro viene inserito rispettando la distanza dal bordo. La distanza tra gli assi dei nastri estremi deve quindi essere:

$$l = L - 2 \cdot (d + t/2) = 4990 - 2 \cdot (250 + 50) = 4390 \text{ mm}$$

Il numero dei nastri successivi al primo è pari alla parte intera di  $l/p$ :

$$n = \text{int}(l/p) = \text{int}(4390/300) = \text{int}(14.63) \approx 14$$

Il passo effettivo tra i nastri è quindi pari a:

$$p_{\text{eff}} = l/n = 4390 / 14 = 314 \text{ mm}$$

Infatti vengono posizionati effettivamente 15 nastri, in cui i primi due estremi a distanza fissa di 250mm dal bordo, e gli altri posizionati in modo simmetrico, quindi il passo effettivo ricorretto in automatico diviene 314 mm.

Quanto sopra riguarda in sintesi le proprietà per il posizionamento geometrico delle fibre in FRP.

Oltre alle proprietà già chiamate in causa, risulta poi possibile, sempre per ogni asta, distinguere il numero di strati da adottare (ovvero quanti nastri in FRP sovrapporre; il dato ha influenza su ogni singolo nastro, e per simmetria è applicato ad entrambe le facce della parete), nonché la deformazione ( $\epsilon$ ) di distacco (dal supporto) iniziale e finale; infatti, le fibre in FRP potrebbero essere 'incollate' al supporto, per determinate pareti, mentre per altre potrebbero essere presenti opportuni dispositivi di ancoraggio meccanico (fiocchi di fibre ortogonali e passanti per tutto lo spessore della parete; connettori o barre in fibra di vetro).

Nei casi in cui si inserisca un valore per la deformazione indicata, si intende quindi che la fibra in FRP possa andare in crisi per delaminazione dal supporto, quando invece il campo risulta vuoto, si intende che le fibre vadano in crisi per rottura (quindi si adopera la  $\epsilon$  di rottura a trazione, definita nei 'Parametri di Calcolo', anziché la  $\epsilon$  di distacco).

Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Utilizzando il legame di tipo 'Stress-Block', la parete n°10 non risultava verificata in Analisi Dinamica Modale, per pressoflessione, con un coefficiente di sicurezza di 0.435.

Per sistemi come Muratura Armata e rinforzi in FRP, CAM, PCM utilizza sempre il legame 'Parabola-Rettangolo'; è interessante quindi approfondire i risultati conducendo ugualmente anche la verifica della muratura ordinaria con tale legame (cfr. 'Parametri di Calcolo', scheda 'Muratura'):

**Comportamento muratura**

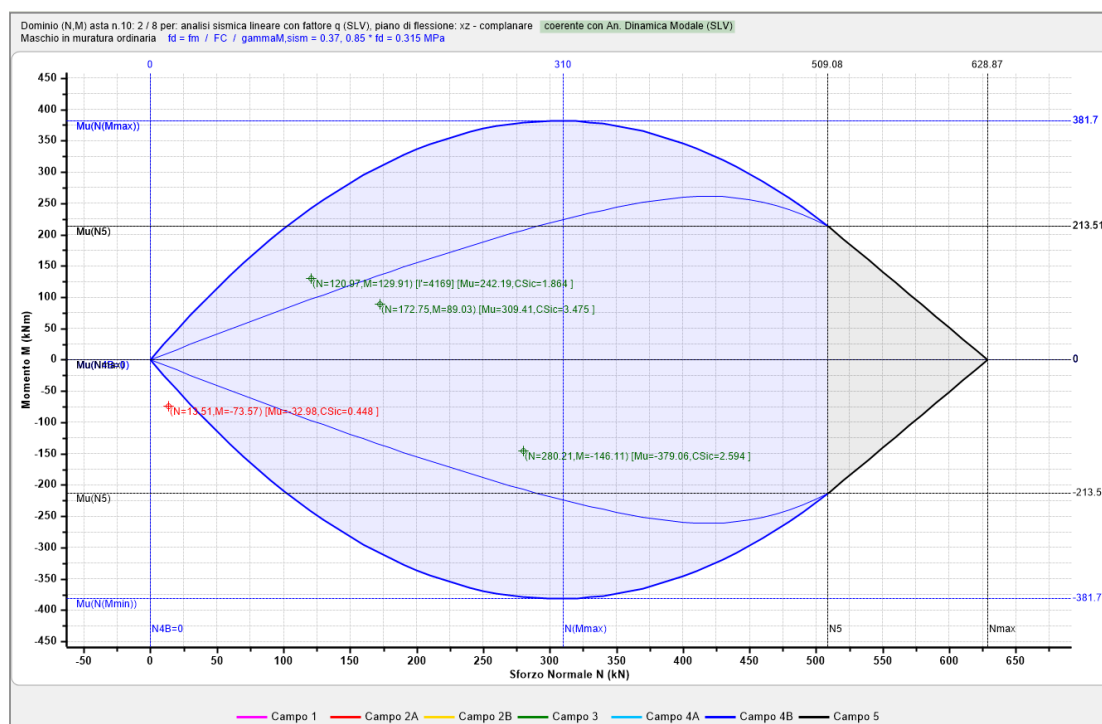
**Diagramma di calcolo tensione - deformazione [54.1.2.1.2.2]**

- Stress-block, con:  $M_U = (I^2 t \sigma_0 / 2) * [1 - (\sigma_0 / 0.85 f_d)]$  [57.8.2.2.1]
- Parabola-rettangolo, con  $M_U$  da dominio di resistenza N-M (sempre usato per sezioni di muratura armata o consolidata con CAM / FRP / Reticolatus)

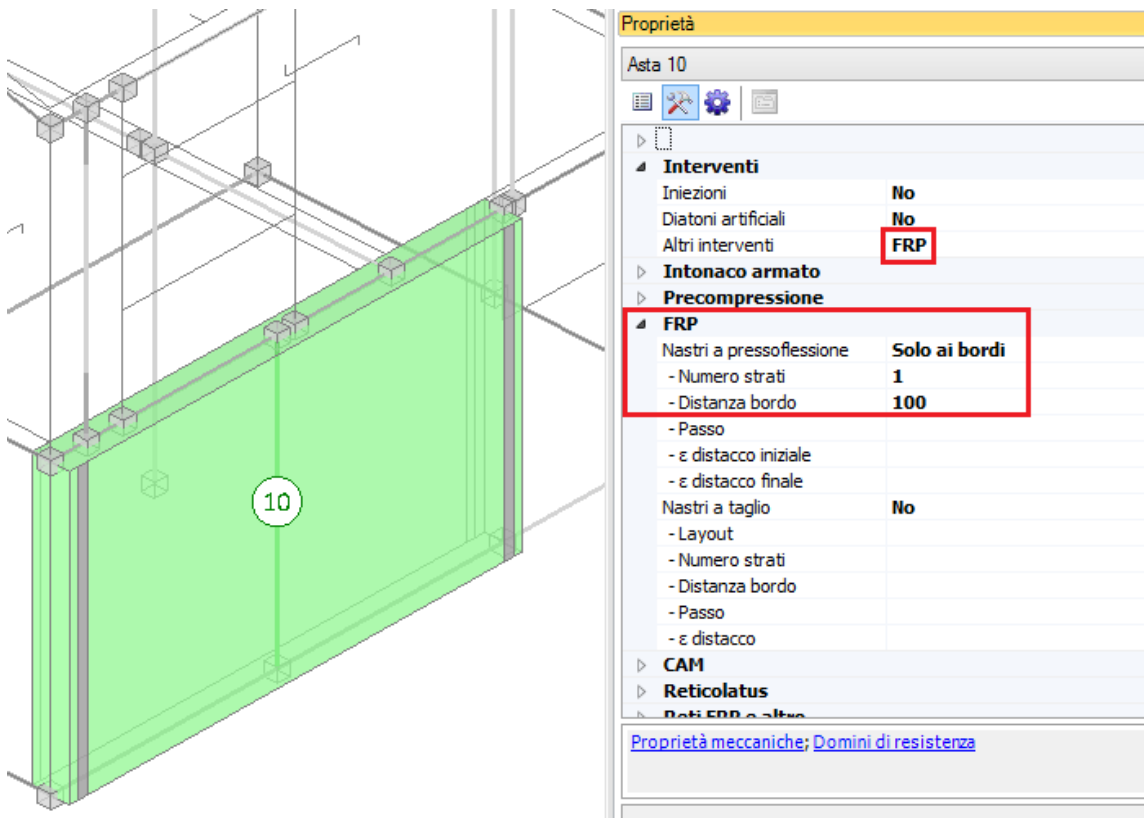
Per modello parabolico - rettangolare ( $\epsilon_m$  = deformazione della muratura, in ‰) :

deformazione di inizio tratto plastico  $\epsilon_{m2}$  =  deformazione ultima  $\epsilon_{mu}$  =

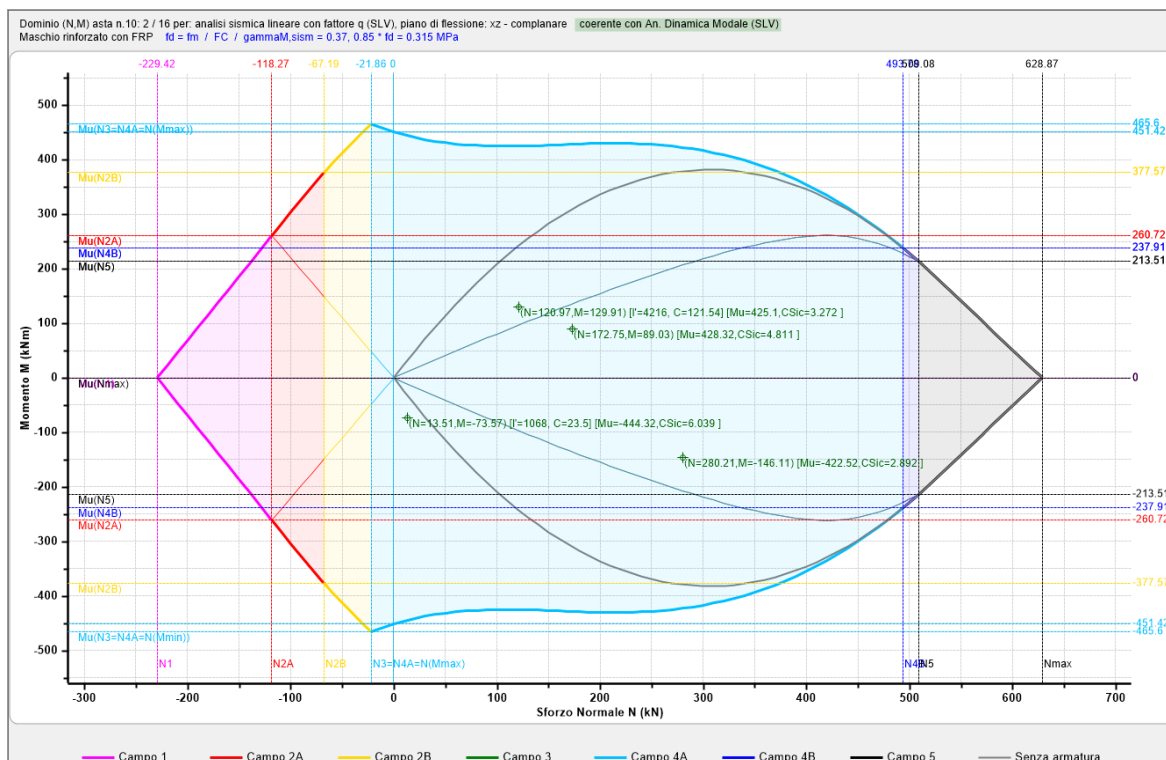
Visualizzando il 'Dominio di Resistenza', si nota come un solo punto ricada fuori dal dominio di resistenza:



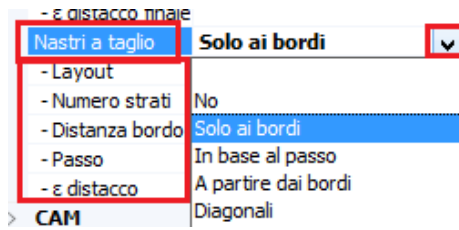
Si suppone adesso di applicare all'asta in oggetto un rinforzo in FRP, caratterizzato dai seguenti parametri:



Grazie all'applicazione del rinforzo, l'asta in oggetto risulta adesso compiutamente verificata per pressoflessione, come di evince dal seguente dominio di resistenza, in cui le coppie di sollecitazioni sono tutte contenute all'interno:



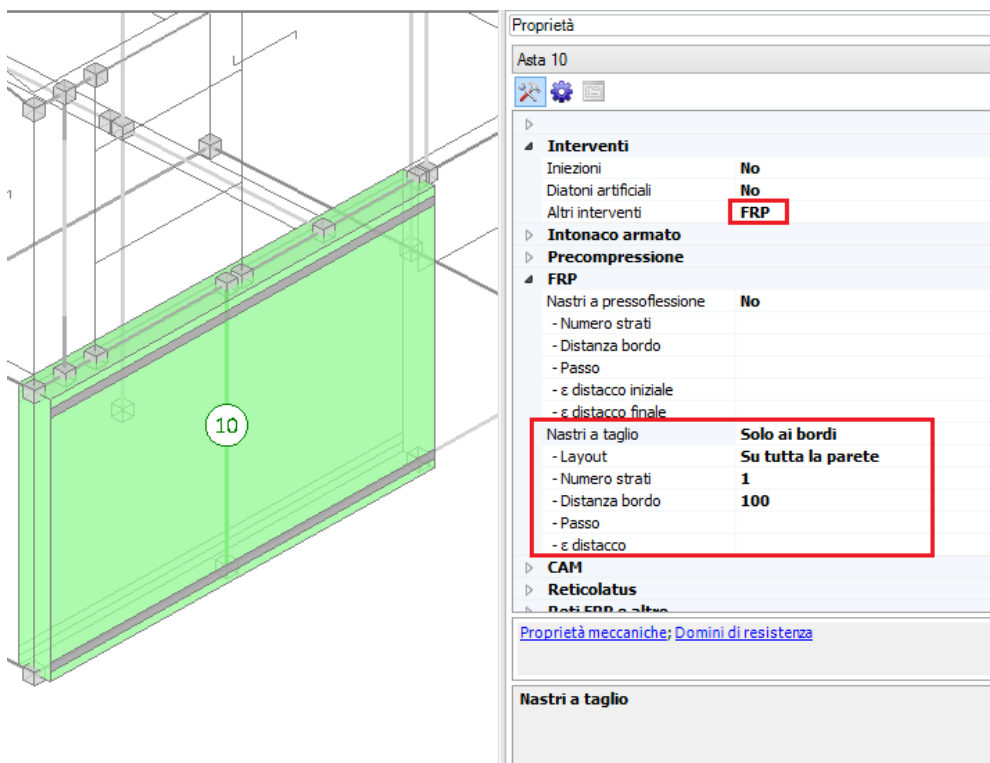
## Nastri per Taglio:



A livello grafico, tale rinforzo è indicato con un retino generico per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', mentre, per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D', vengono rappresentati effettivamente i nastri per come si sceglierà di disporli.

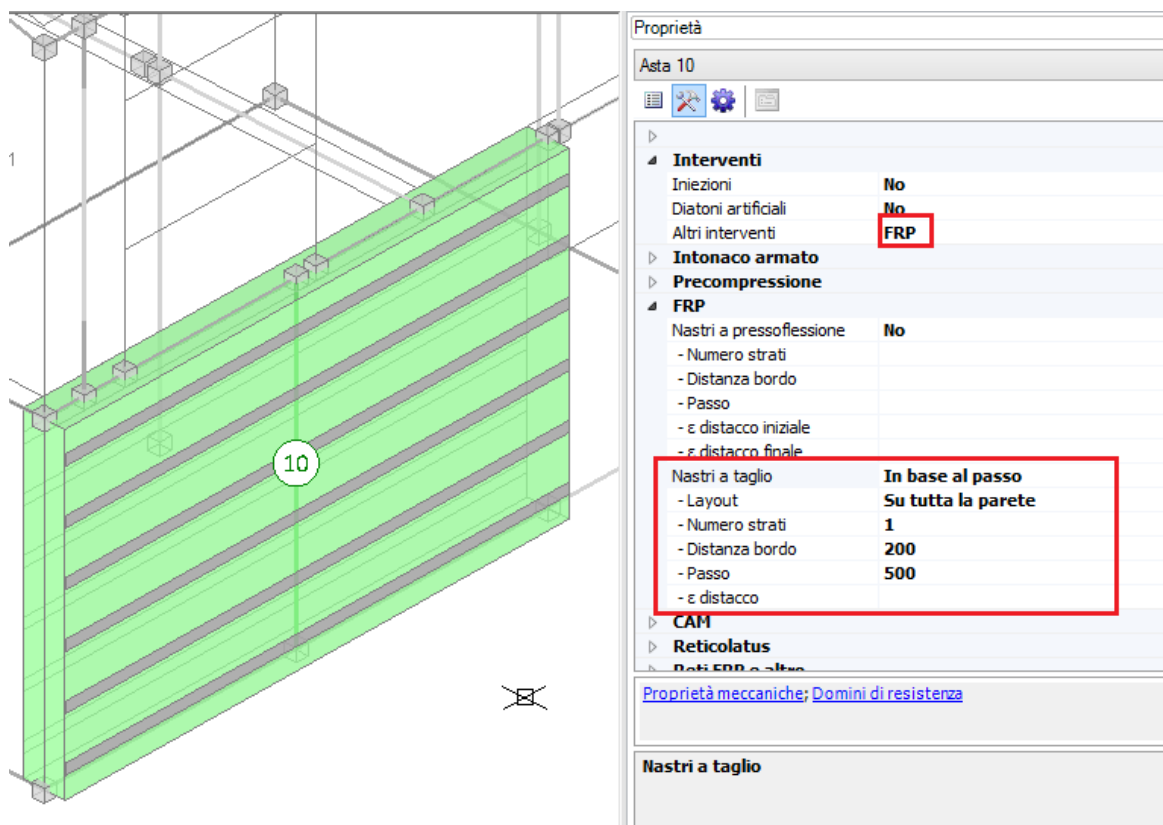
La configurazione geometrica della loro disposizione si decide aprendo la finestra a tendina 'Nastri a taglio', e scegliendo il loro posizionamento:

**Solo ai bordi:** indica la presenza solo di due nastri di FRP, posti ai 'bordi' della parete, ad una determinata distanza dal bordo stesso (mm), inserita in una successiva proprietà; trattandosi di taglio, questa volta i bordi sono i lati orizzontali in alto ed in basso; a questa proprietà, si aggiunge il 'Layout' di posizionamento, che può prevedere i nastri disposti considerando l'altezza geometrica di tutta la parete ('Su tutta la parete') oppure operando solo sull'altezza deformabile ('Su Luce deformabile');





**In base al passo:** indica la presenza diffusa di nastri orizzontali distesi lungo l'altezza dell'asta (anche in questo caso, tramite la proprietà 'Layout' sarà possibile impostare l'altezza geometrica o la luce deformabile), e disposti ad un determinato passo stabilito dall'utente nella successiva proprietà (in questa ipotesi di schematizzazione, è ininfluenza la proprietà 'Distanza bordo', che è univocamente determinata in automatico in base al passo inserito (in mm)):



**A partire dai bordi:** indica sempre la presenza diffusa di nastri orizzontali distesi lungo l'altezza (geometrica o deformabile) della parete, tuttavia anche per il taglio consente di progettare in modo ottimale la loro disposizione; indica quindi una modalità di distribuzione tale che i nastri estremi abbiano una distanza netta dal bordo della parete pari al valore impostato dall'utente. In questa modalità il valore del passo viene adeguato automaticamente in modo da rispettare la distanza dal bordo.

Esempio di distribuzione a partire dai bordi per nastri orizzontali della parete precedente:



altezza parete  $H = 3000 \text{ mm}$   
 distanza dal bordo  $d = 200 \text{ mm}$   
 passo inserito  $p = 300 \text{ mm}$   
 larghezza nastro  $t = 100 \text{ mm}$

Il primo nastro viene inserito rispettando la distanza dal bordo. La distanza tra gli assi dei nastri estremi deve quindi essere:

$$l = H - 2 \cdot (d + t/2) = 3000 - 2 \cdot (200 + 50) = 2500 \text{ mm}$$

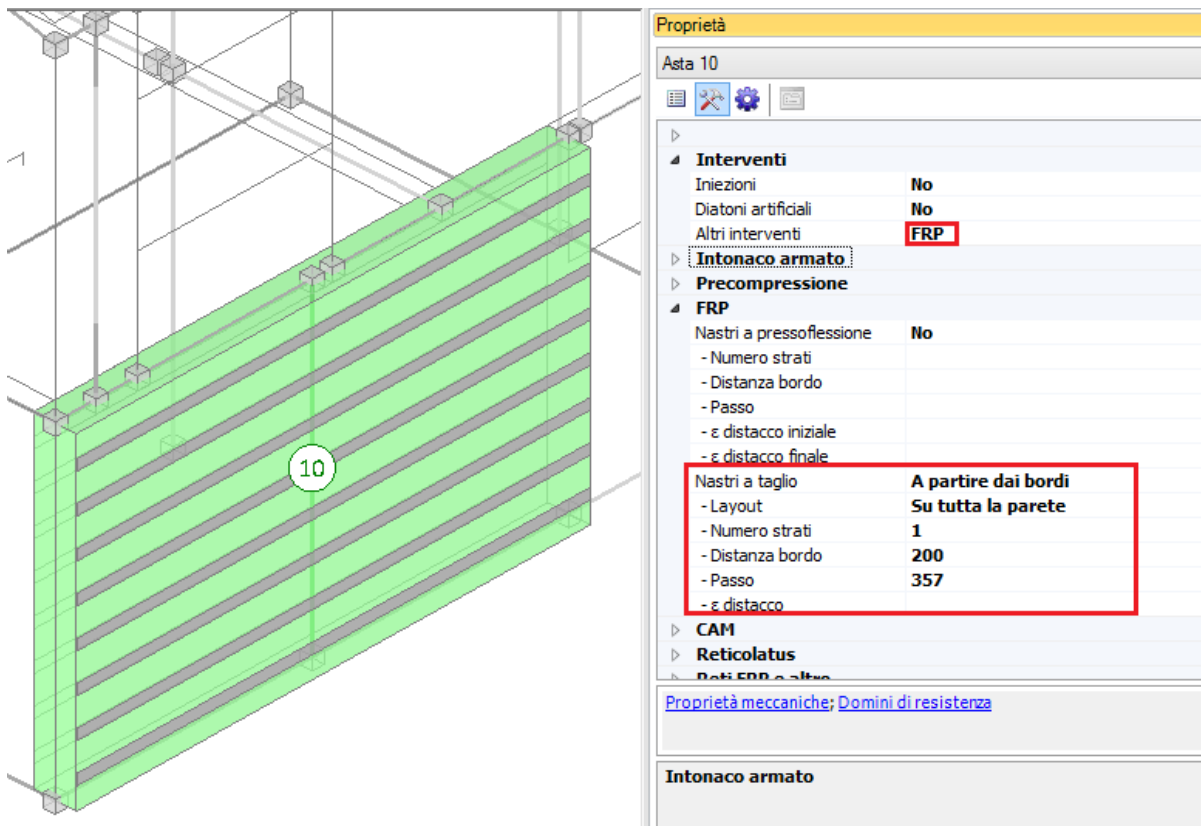
Il numero dei nastri successivi al primo è pari alla parte intera di  $l/p$ :

$$n = \text{int}(l/p) = \text{int}(2500/300) = \text{int}(8.33) = 8$$

Il passo effettivo tra i nastri è quindi pari a:

$$p_{eff} = l/n = 2500/8 = 313 \text{ mm}$$

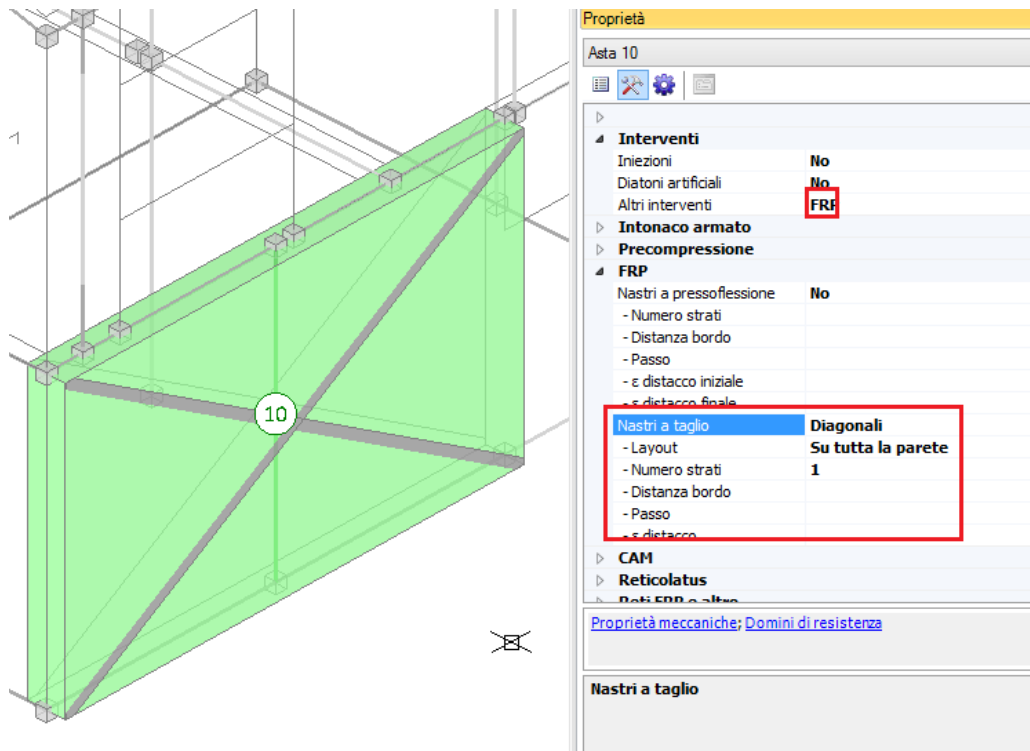
Infatti vengono posizionati effettivamente 9 nastri, in cui i primi due estremi a distanza fissa di 200mm dal bordo, e gli altri posizionati in modo simmetrico, quindi il passo effettivo ricorretto in automatico diviene 313 mm.



Quanto sopra riguarda in sintesi le proprietà per il posizionamento geometrico delle fibre in FRP anche per il taglio.

Oltre alle proprietà già chiamate in causa, risulta poi possibile, come per la pressoflessione, distinguere il numero di strati da adottare (ovvero quanti nastri in FRP sovrapporre; il dato ha influenza su ogni singolo nastro, e per simmetria è applicato ad entrambe le facce della parete), nonché la deformazione (ε) di distacco (dal supporto). Nei casi in cui si inserisca un valore per la deformazione indicata, si intende quindi che la fibra in FRP possa andare in crisi per delaminazione; quando invece il campo risulta vuoto, si intende che le fibre vadano in crisi per rottura (quindi si adopera la ε di rottura, per come definita nei 'Parametri di Calcolo', anziché la ε di distacco).

**Diagonali:** i nastri vengono applicati ricollegando gli spigoli diagonali della parete, sempre su entrambi i lati, e con la decisione se considerare l'intera altezza o solo la luce deformabile (passo e distanza da bordo non hanno chiaramente influenza):



Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Dai dati sopra riportati più volte, la parete n°10 risultava non verificata anche per taglio (sia a scorrimento, che per fessurazione diagonale):

**5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n Sez.    / comb   e	P (kN)	M (kN m)	Ecc. (m)	Beta	C (kN)	σ,n	f <sub>vk0</sub> /  tau0 (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>vd</sub>	γ,m   * FC  %arm.   tag.	V <sub>t,M</sub>	V <sub>t,S</sub>	V <sub>t,lim</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.
* 10	e  B.1	280.21	-146.11	0.52   0.798		280.21	0.176   0.020   0.033   2.70			53.32	14.36		67.68	76.16	0.889	
* 10	e  B.4	120.97	129.91	1.07   0.798		120.97	0.076   0.020   0.019   2.70			29.73	14.36		44.09	75.92	0.581	
* 10	e  S.1	172.75	89.03	0.52   0.798		172.75	0.108   0.020   0.023   2.70			37.40	14.36		51.76	76.16	0.680	
* 10	e  S.4	13.51	-73.57	5.45   0.798		13.51	0.008   0.020   0.009   2.70			13.81	14.36		28.17	75.92	0.371	

**6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n e  	Sez.   comb.	Coeff.   b	P (kN)	p	f <sub>vk0</sub> /  tau0 (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>vd</sub>	γ,m   * FC  %arm.   tag.	V <sub>t,M</sub>	V <sub>t,S</sub>	V <sub>t,lim</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.14   0.020   0.027   2.70			54.60	14.36		68.96	76.16	0.905	
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.06   0.020   0.019   2.70			37.57	14.36		51.93	75.92	0.684	
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.09   0.020   0.022   2.70			43.84	14.36		58.20	76.16	0.764	
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.01   0.020   0.009   2.70			18.76	14.36		33.12	75.92	0.436	

L'applicazione di due soli nastri orizzontali alle estremità, per come disposto nell'Immagine seguente, non comporta miglioramenti sensibili:



	10	e	B.1		280.21		-146.11		0.52	0.798		280.21		0.176	0.020	0.033	2.70	0.002		53.32		34.92		107.58		88.24		76.16		1.159	
*	10	e	B.4		120.97		129.91		1.07	0.798		120.97		0.076	0.020	0.019	2.70	0.002		29.73		34.92		107.58		64.64		75.92		0.851	
*	10	e	S.1		172.75		89.03		0.52	0.798		172.75		0.108	0.020	0.023	2.70	0.002		37.40		34.92		107.58		72.32		76.16		0.950	
*	10	e	S.4		13.51		-73.57		5.45	0.798		13.51		0.008	0.020	0.009	2.70	0.002		13.81		34.92		107.58		48.72		75.92		0.642	

Per la stessa parete indicata, si può tuttavia decidere di applicare, per esempio come riportato in figura sottostante, oltre ai due nastri verticali ai bordi laterali per fronteggiare la pressoflessione, anche due nastri inclinati lungo le diagonali per aiutare nella verifica a taglio; in questo caso, per il taglio si nota un miglioramento maggiore nei confronti della fessurazione diagonale, rispetto allo scorrimento (migliore rispetto al caso di parete non rinforzata, anche se non di molto):

**Proprietà**

**Asta 10**

**Interventi**

- Iniezioni: No
- Diatoni artificiali: No
- Altri interventi: **FRP**

**Intonaco armato**

**Precompressione**

- FRP**
  - Nastri a pressoflessione: **Solo ai bordi**
    - Numero strati: **1**
    - Distanza bordo: **100**
    - Passo:
    - ε distacco iniziale:
    - ε distacco finale:
  - Nastri a taglio: **Diagonali**
    - Layout: **Su tutta la parete**
    - Numero strati: **1**
    - Distanza bordo:
    - Passo:
    - ε distacco: **8.60**

**CAM**

**Reticolatus**

**Reti FRP e altre**

[Proprietà meccaniche; Domini di resistenza](#)

**Nastri a taglio**

### Asta Non Rinforzata:

#### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	γ, m	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.										
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)											
	10	e	B.1		280.21		0.140		1.000	2.70		0.370		628.87		379.06		-146.11		2.594	
	10	e	B.4		120.97		0.061		1.000	2.70		0.370		628.87		242.19		129.91		1.864	
	10	e	S.1		172.75		0.087		1.000	2.70		0.370		628.87		309.41		89.03		3.475	
*	10	e	S.4		13.51		0.007		1.000	2.70		0.370		628.87		32.98		-73.57		0.448	

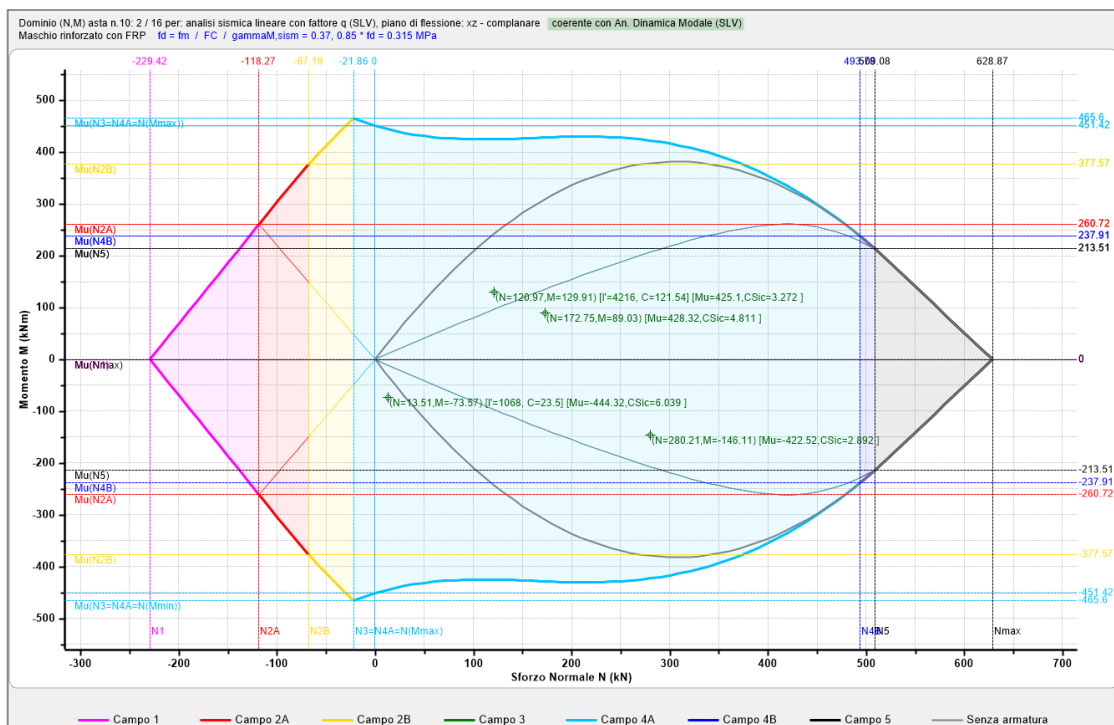
#### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	σ, n	f <sub>vk0</sub> /tau <sub>0</sub>	γ, m	f <sub>vd</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.												
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)														
*	10	e	B.1		280.21		-146.11		0.52	1.000		280.21		0.140		0.020	2.70		0.028		56.30		76.16		0.739	
*	10	e	B.4		120.97		129.91		1.07	0.854		120.97		0.071		0.020	2.70		0.018		30.56		75.92		0.403	
*	10	e	S.1		172.75		89.03		0.52	1.000		172.75		0.087		0.020	2.70		0.020		40.38		76.16		0.530	
*	10	e	S.4		13.51		-73.57		5.45	0.000		13.51		0.000		0.020	2.70		0.000		0.00		75.92		0.000	

#### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)		
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	54.60	76.16	0.717
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	37.57	75.92	0.495
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	43.84	76.16	0.576
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	18.76	75.92	0.247

### Asta Rinforzata:



### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	γ,m	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	280.21	0.140	1.000	2.70	0.370	628.87	422.52	-146.11	2.892
10	e	B.4	120.97	0.061	1.000	2.70	0.370	628.87	425.10	129.91	3.272
10	e	S.1	172.75	0.087	1.000	2.70	0.370	628.87	428.32	89.03	4.811
10	e	S.4	13.51	0.007	1.000	2.70	0.370	628.87	444.32	-73.57	6.039

### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	σ,n	fvk0/	fvd	γ,m	Vt,M	Vt,S	Vt,lim	Vt	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)		tau0	* FC	tag.	(kN)	(kN)	(kN)			
* 10	e	B.1	280.21	-146.11	0.52	0.798	280.21	0.176	0.020	0.033	2.70	53.32	14.36	67.68	76.16	0.889	
* 10	e	B.4	120.97	129.91	1.07	0.798	120.97	0.076	0.020	0.019	2.70	29.73	14.36	44.09	75.92	0.581	
* 10	e	S.1	172.75	89.03	0.52	0.798	172.75	0.108	0.020	0.023	2.70	37.40	14.36	51.76	76.16	0.680	
* 10	e	S.4	13.51	-73.57	5.45	0.798	13.51	0.008	0.020	0.009	2.70	13.81	14.36	28.17	75.92	0.371	

### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.306 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

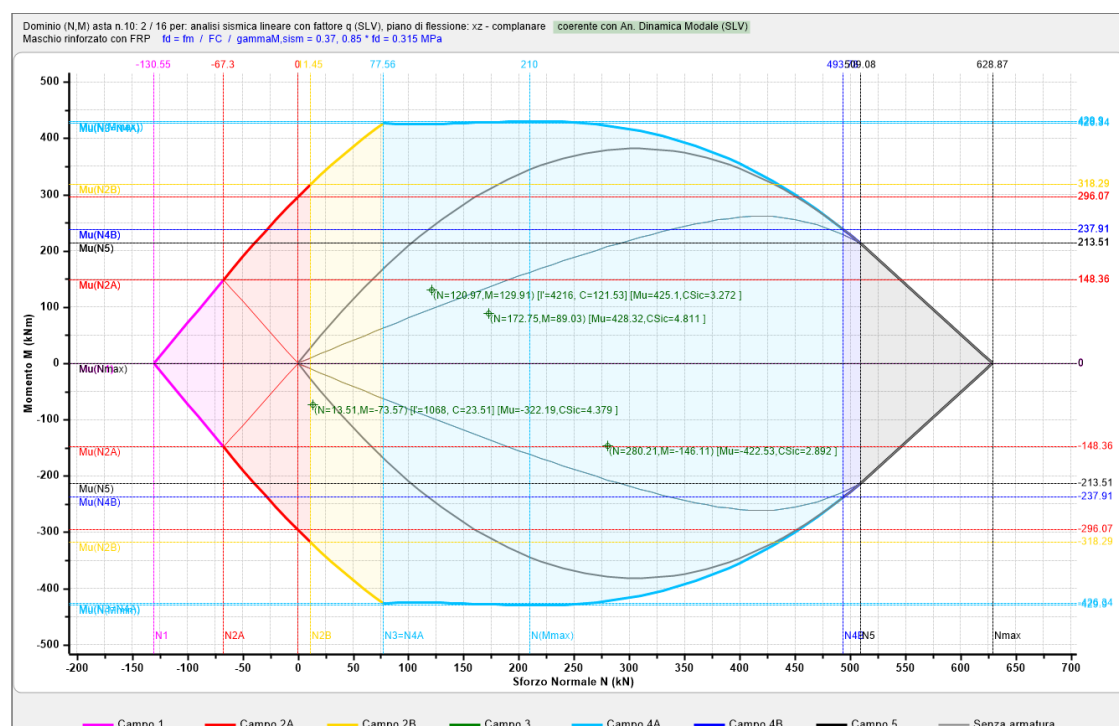
N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)		
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	68.96	76.16	0.905
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	51.93	75.92	0.684
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	58.20	76.16	0.764
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	33.12	75.92	0.436

In assenza di rinforzo, nella verifica a pressoflessione risultava solo un punto non verificato (coppia N,M 13.10, 74.08); adesso, con l'applicazione delle fibre di rinforzo, il dominio risulta molto più esteso come

forma verso sinistra (componente di Trazione di N, come ci si aspetta), quindi anche tale punto risulta interno al dominio, e la verifica è soddisfatta.

Il dominio è molto esteso perché, come valore di deformazione  $\epsilon$  delle fibre, non avendolo specificato direttamente nelle proprietà della scheda 'Interventi' della singola asta (campo  $\epsilon$  distacco 'vuoto') viene adoperata come riferimento la  $\epsilon$  di rottura che è definita nei 'Parametri di Calcolo'.

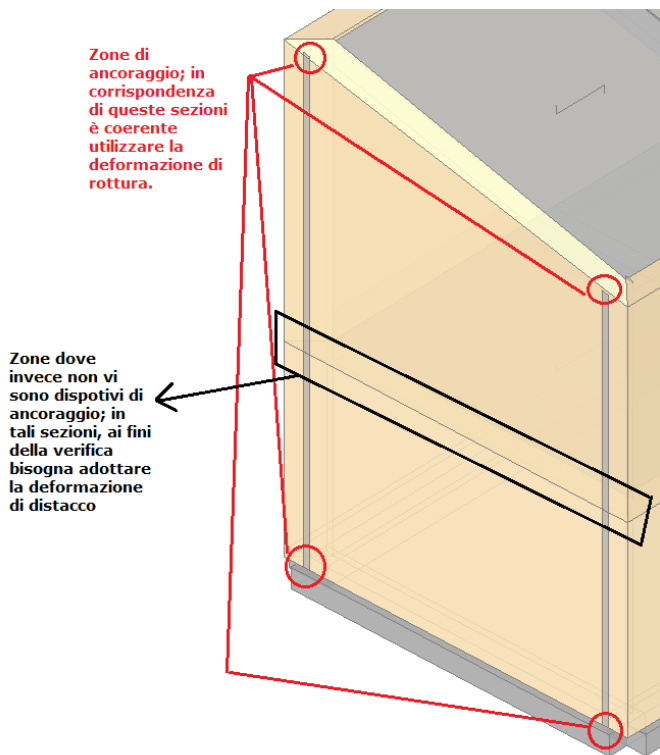
Se invece si adoperasse un valore di  $\epsilon$  di distacco, che come ordine di grandezza risulta sensibilmente inferiore, si noterebbe che il dominio è meno esteso rispetto al caso del rinforzo precedente. Ad esempio, inserendo per  $\epsilon$  di distacco il valore 8.6‰, il dominio sarebbe il seguente (la parete è ancora verificata, tuttavia si nota il dominio 'più corto' lungo l'asse delle ascisse (N di trazione)):



Per la verifica a taglio a scorrimento la sezione è sollecitata da un momento molto forte rispetto al carico N (eccentricità  $e > l/2$ ), quindi  $C.Sic=0$ ; nella parete rinforzata, l'eccentricità calcolata diminuisce, quindi  $Beta \neq 0$ , con aumento anche della risultante delle compressioni C, da cui un miglioramento netto sui coefficienti di sicurezza.

I valori di  $\epsilon$  di distacco (per nastri a pressoflessione) sono distinti in due campi diversi, iniziale e finale, in quanto potrebbero capitare alcuni casi in cui il rinforzo in FRP sia disteso lungo tutta l'altezza dell'edificio, ma con sistemi di ancoraggio disposti solo alla base e alla sommità dell'edificio (non alla base ed alla sommità di ogni parete, ai diversi piani); pertanto, in queste sezioni 'intermedie' ai vari interpiani, non essendoci un sistema di ancoraggio, è da scegliere il valore di deformazione da distacco.

Sempre con riferimento alla struttura di riferimento 'Freeware\_02', si analizzi il caso del rinforzo sulla parete disposta sui lati ciechi, in cui si progetta di inserire i dispositivi di ancoraggio solo alla base ed alla sommità dell'edificio:



In una situazione intermedia quindi come quella mostrata sopra, le singole aste presenteranno in un estremo (iniziale o finale) il valore di  $\epsilon$  di distacco; nell'altra sezione invece il campo sarà lasciato 'vuoto', in tal modo si intenderà adottata la deformazione a rottura (si ricorda che per i maschi murari la sezione 'iniziale' è sempre quella alla base; quella 'finale', rappresenta la sommità):

Proprietà

Asta 1

Interventi

- Iniezioni: No
- Diatoni artificiali: No
- Altri interventi: **FRP**

Intonaco armato

Precompressione

**FRP**

- Nastri a pressoflessione: **Solo ai bordi**
- Numero strati: **1**
- Distanza bordo: **100**
- Passo:
- $\epsilon$  distacco iniziale:
- $\epsilon$  distacco finale: **8.60**

Nastri a taglio: No

- Layout:

- Numero strati:

- Distanza bordo:

- Passo:

-  $\epsilon$  distacco:

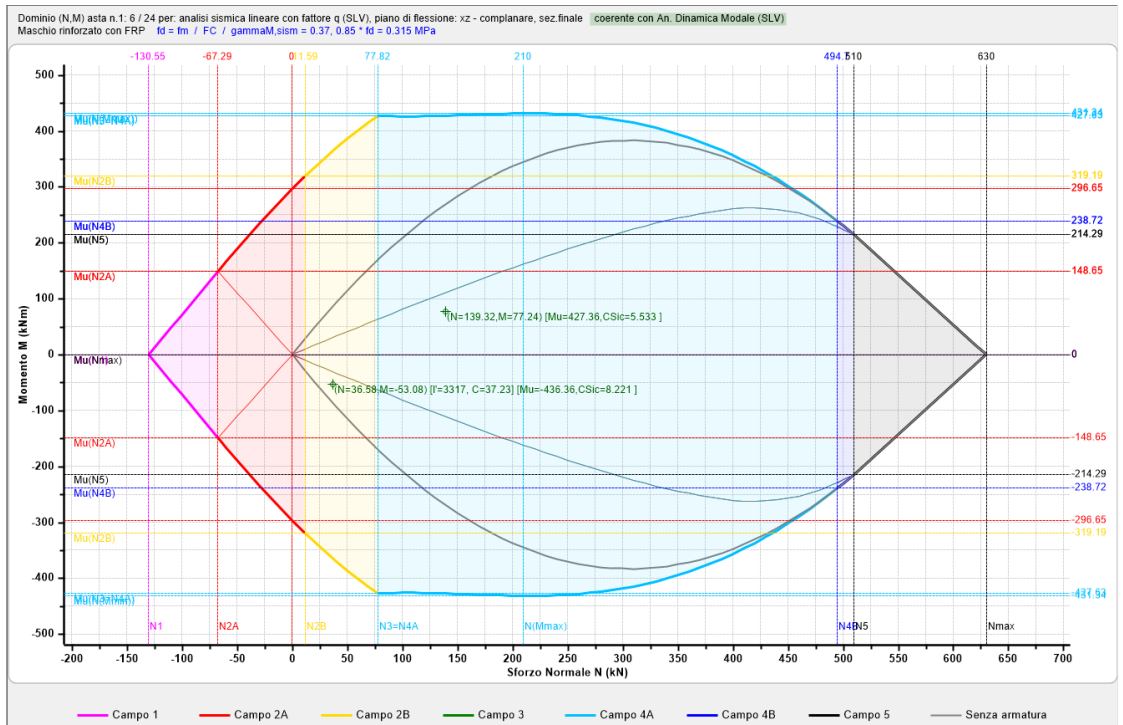
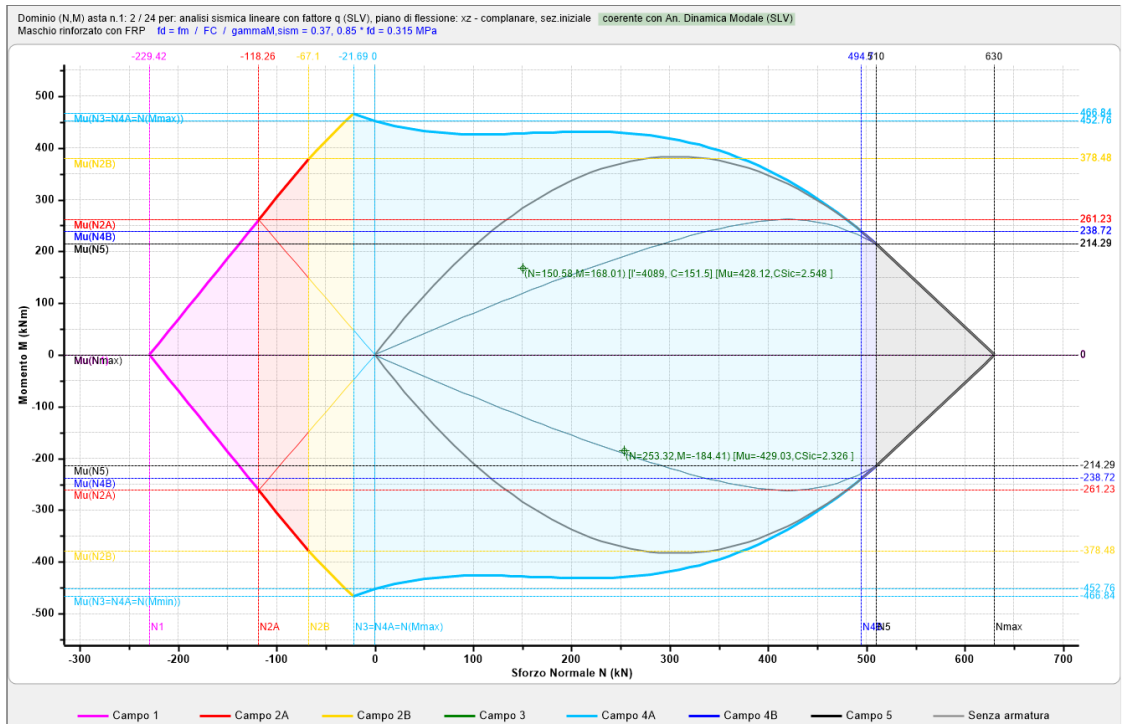
CAM

Reticolatus

Proprietà meccaniche; Domini di resistenza

Eseguendo il calcolo e quindi visualizzando i domini di resistenza, sarà possibile scorrere i vari domini generati, in particolare notando che sono generati stavolta due differenti domini, uno per la 'sezione

iniziale', ed uno per la 'sezione finale':



Anche in questo caso, dal confronto qualitativo si nota come il dominio della sezione in cui si adotta la  $\epsilon$  di rottura (sezione di base iniziale, con ancoraggi previsti) sia più 'esteso' rispetto al dominio della sezione di sommità (senza ancoraggi previsti), in cui si adotta invece la  $\epsilon$  di distacco.



## 2.5. INTERVENTO CON METODO 'CAM'

Il metodo 'CAM' prevede l'applicazione sulle pareti di un insieme di nastri in acciaio, orizzontali e verticali, disposti secondo una griglia ortogonale, che collegano entrambi i paramenti della parete, in modo da indurre nella stessa asta uno stato di confinamento in grado di incrementarne la resistenza e la duttilità. La definizione di questa tipologia di rinforzo viene effettuata attraverso due tipi di dati:

- i **Dati Generali** che riguardano i nastri in acciaio (dati e valori da Inserire nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Interventi');

**Parametri di Calcolo**

Interventi

Rinforzi a Taglio

FRP

**CAM**

Acciaio: modello elastico - perfettamente plastico (tensioni in N/mm<sup>2</sup>, deformazioni in ‰)

**Nastro standard duttile**  
 Tensione di snervamento: caratteristica  $f_{yk} = 220$  di calcolo  $f_{yd} = 200.0$   
 Deformazione: ultima  $\epsilon_{ud} = 144.70$  di snervamento  $\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 0.95$   
 Sezione del singolo nastro (mm): spessore  $t_f = 0.9$  larghezza  $b_f = 19.0$  Raggio di curvatura degli spigoli  $R (> 20)$  (mm) = 30

**Nastro migliorato duttile**  
 $f_{yk} = 330$   $f_{yd} = 300.0$   $\epsilon_{ud} = 125.40$   $\epsilon_{yd} = 1.43$   $t_f$  (mm) = 0.9  $b_f$  (mm) = 19.0  $R$  (mm) = 30

**Nastro ad alte prestazioni di resistenza elastico**  
 $f_{yk} = 850$   $f_{yd} = 560.0$   $\epsilon_{ud} = 2.80$   $\epsilon_{yd} = 2.67$   $t_f$  (mm) = 0.9  $b_f$  (mm) = 19.0  $R$  (mm) = 30

Per maschi murari rinforzati con sistema CAM  
 Considerare per effetto del confinamento l'incremento di:  deformazione ultima  resistenza ultima

Reticolatus

i **Dati Specifici di ogni asta** interessata dall'intervento, nella finestra degli 'Interventi':

Selezione asta da rinforzare

Proprietà

Asta 10

Interventi

Iniezioni No

Diatoni artificiali No

Altri interventi CAM

Intonaco armato

Precompressione

FRP

**CAM**

Nastri verticali

- Passo 670
- Avvolgimenti 1
- Pretensionamento 150
- Spigoli ad alte pres No

Nastri orizzontali

- Passo 675
- Avvolgimenti 1
- Pretensionamento 150
- Tipo migliorato No

Foratura a quinconce No

Reticolatus

Reti FRP e altro

Proprietà meccaniche; Domini di resistenza

CAM

Proprietà Report

I Dati richiesti sono i seguenti:

**Passo:** indica il passo in base al quale disporre i nastri (verticali oppure orizzontali): Il passo da inserire è un valore che viene adeguato in automatico: è necessario rispettare una distanza minima tra il bordo della

parete e l'asse del primo nastro di acciaio incontrato andando verso il centro della parete (sia dai lati che dall'alto o basso); tracciando tale distanza su tutto il perimetro della parete, si può quindi conoscere il passo massimo accettabile; se il valore inserito supera tale valore, in automatico è riportato al valore limite come prima individuato.

**Avvolgimenti:** rappresenta quanti nastri si sovrappongono nel racchiudere l'intera dimensione della parete);

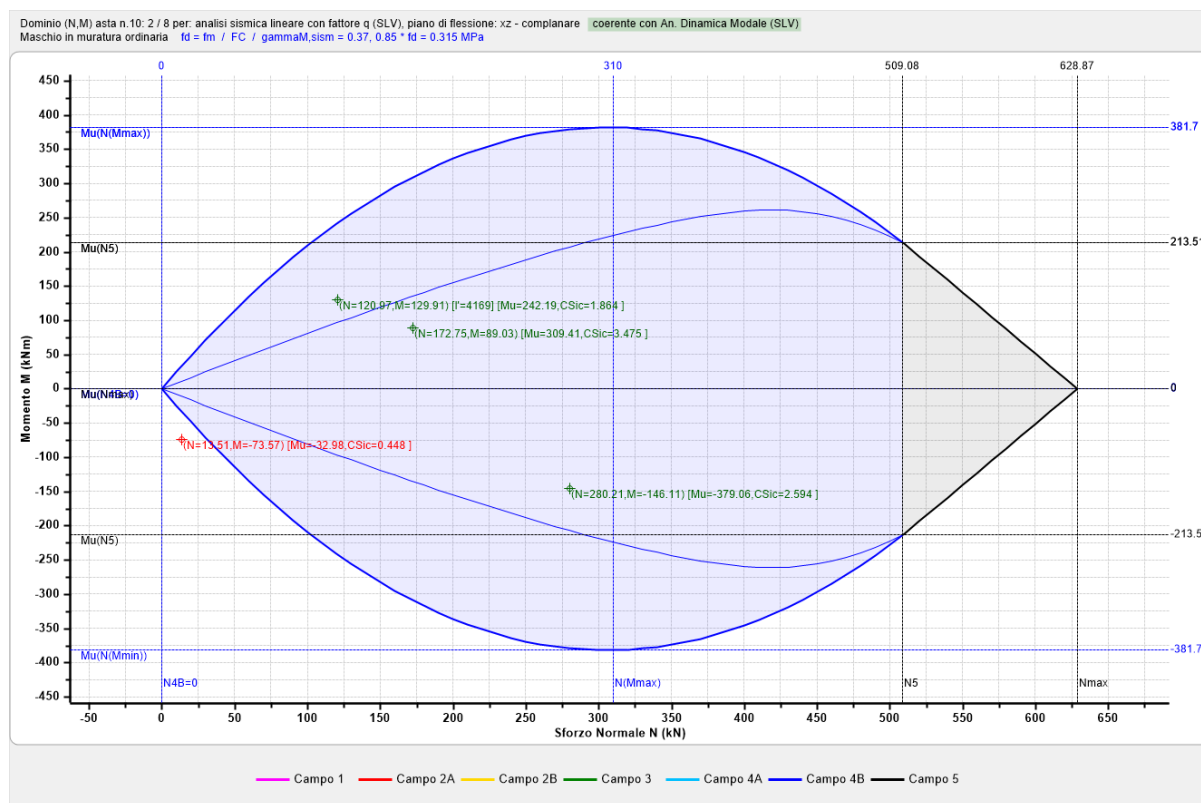
**Pretensionamento:** indica il valore della forza di pretensione che viene applicata ai nastri;

I nastri verticali possono essere inoltre distinti da quelli orizzontali per il materiale adoperato: per i Nastri Verticali, è possibile inserire i nastri di 'spigolo' come acciaio ad 'Alte prestazioni elastiche' (per come definito dall'Utente nei 'Parametri di Calcolo' sopra espressi); mentre, per i Nastri orizzontali, è possibile adoperare un tipo di acciaio di tipo migliorato (Nastro migliorato duttile, sempre per come classificato nei 'Parametri di Calcolo').

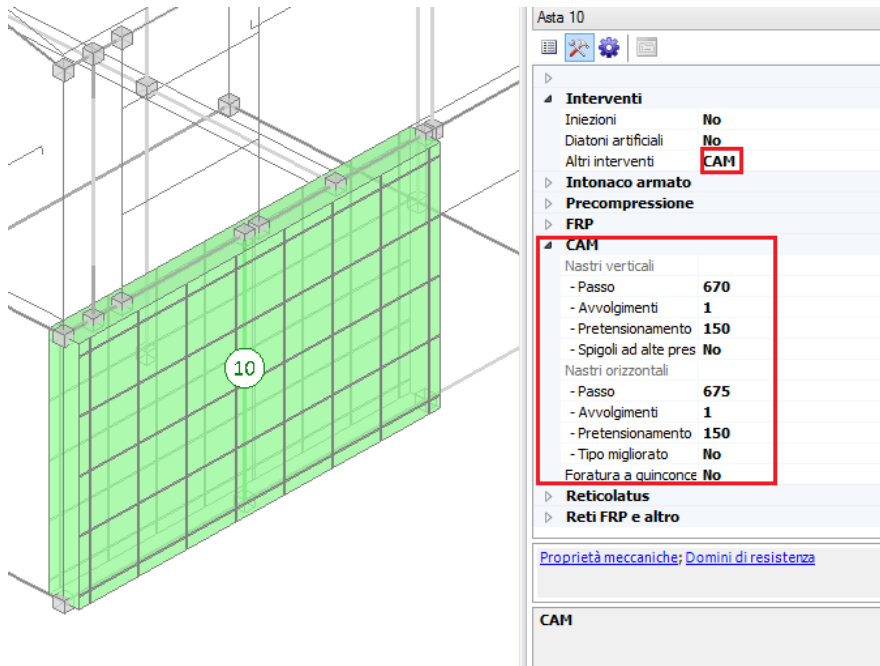
A livello grafico, tale rinforzo è indicato con un retino generico per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', mentre, per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D', vengono rappresentati effettivamente i nastri per come saranno disposti.

### Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

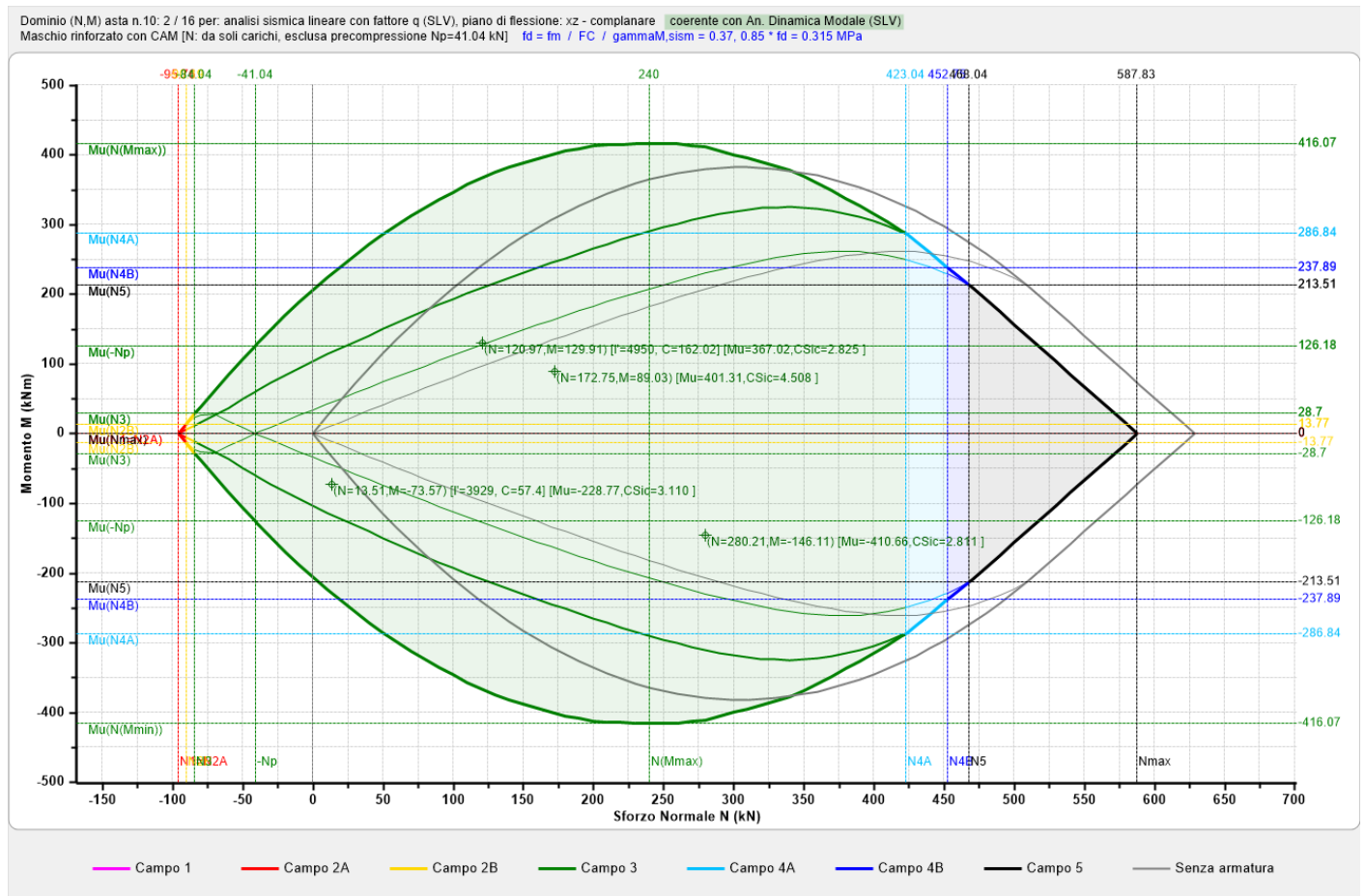
Il dominio della parete n°10, non rinforzata, mostrava la seguente situazione:



Si ipotizza quindi in questo caso di applicare un rinforzo 'CAM', con le seguenti caratteristiche:



Il dominio risultante ed aggiornato è il seguente:

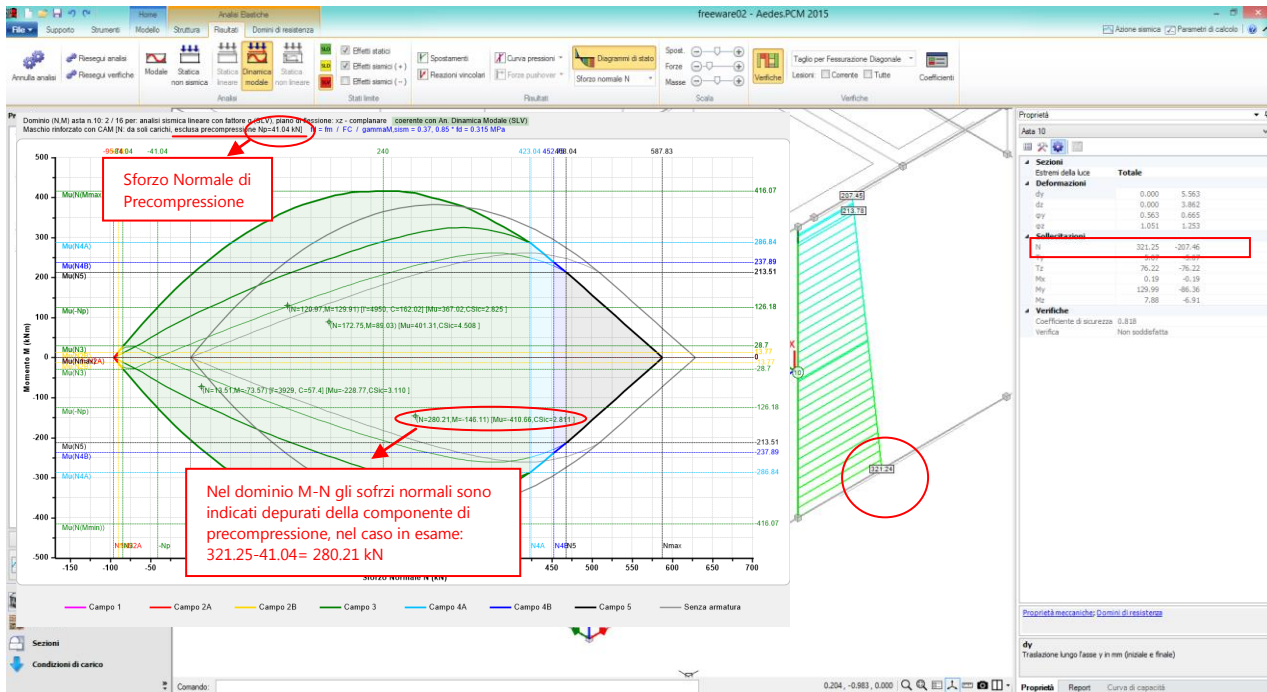


Nel dominio sopra visualizzato:

in grigio è riportato il dominio della parete 'Non Rinforzata', in modo da poterne condurre un confronto diretto; le linee verdi rappresentano invece il dominio per le tre situazioni 'limite' della sezione e dell'armatura, con i momenti corrispondenti alla parzializzazione della sezione (in verde più sottile), di 'Snervamento' (in verde leggermente più spesso) e di Momento realmente 'Ultimo' (in verde più 'spesso'); si

nota come rispetto alla muratura ordinaria si ha una 'traslazione' del dominio verso sinistra (zona di N in trazione).

Per consultare anche le diverse sollecitazioni corrispondenti nel modello, bisogna tenere presente che lo sforzo normale riportato nel dominio (cui corrisponde il punto di verifica) è ancora 'non affetto' dalla componente di precompressione:



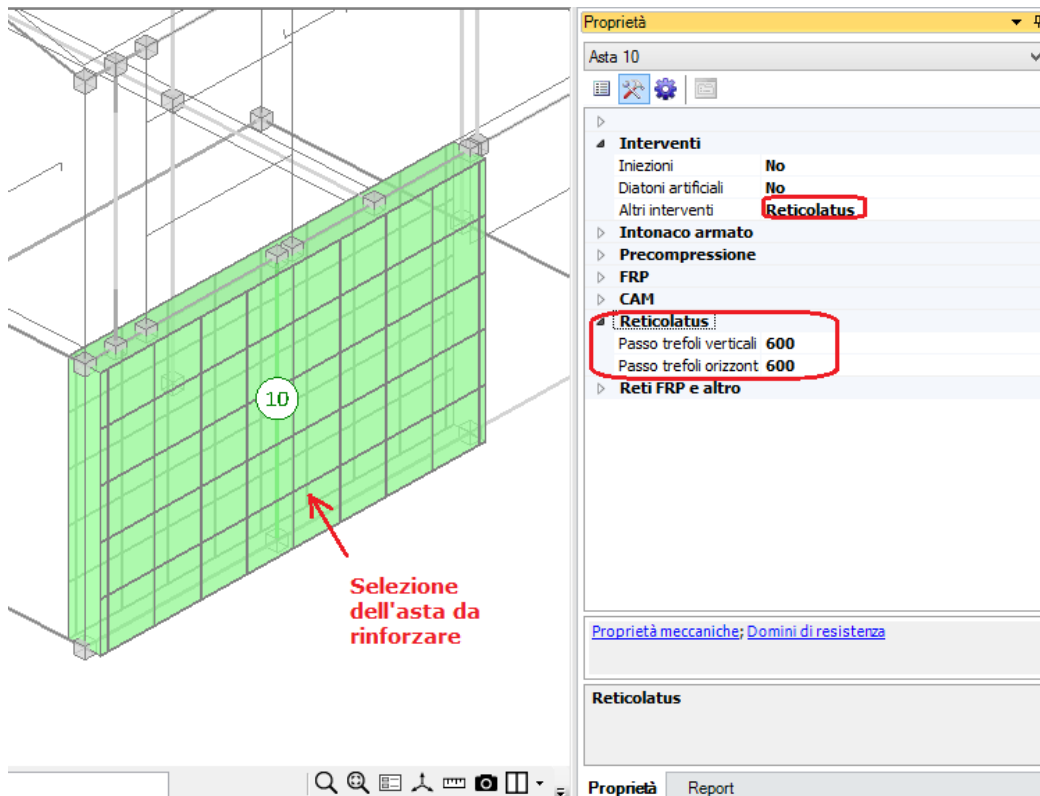
## 2.6. INTERVENTO CON 'RETICOLATUS'

La tecnica di rinforzo 'Reticolatus' costituisce un sistema innovativo di intervento sulle pareti, in quanto prevede l'applicazione di un sistema di 'trefoli' in acciaio, che, applicati alle due facce della parete, sono in grado di costituire un'alternativa valida ad esempio al classico intonaco armato, anche in casi di murature non perfettamente coese o costituite da materiali con non esattamente squadrati; i trefoli vengono infatti disposti secondo una maglia abbastanza regolare, e nella realtà possono seguire i giunti di malta anche asimmetrici disposti nella parete.

La definizione di questa tipologia di rinforzo viene effettuata attraverso due tipi di dati:

- i **Dati Generali** che riguardano i trefoli da adoperare (dati e valori da Inserire nei 'Parametri di Calcolo', scheda 'Interventi');

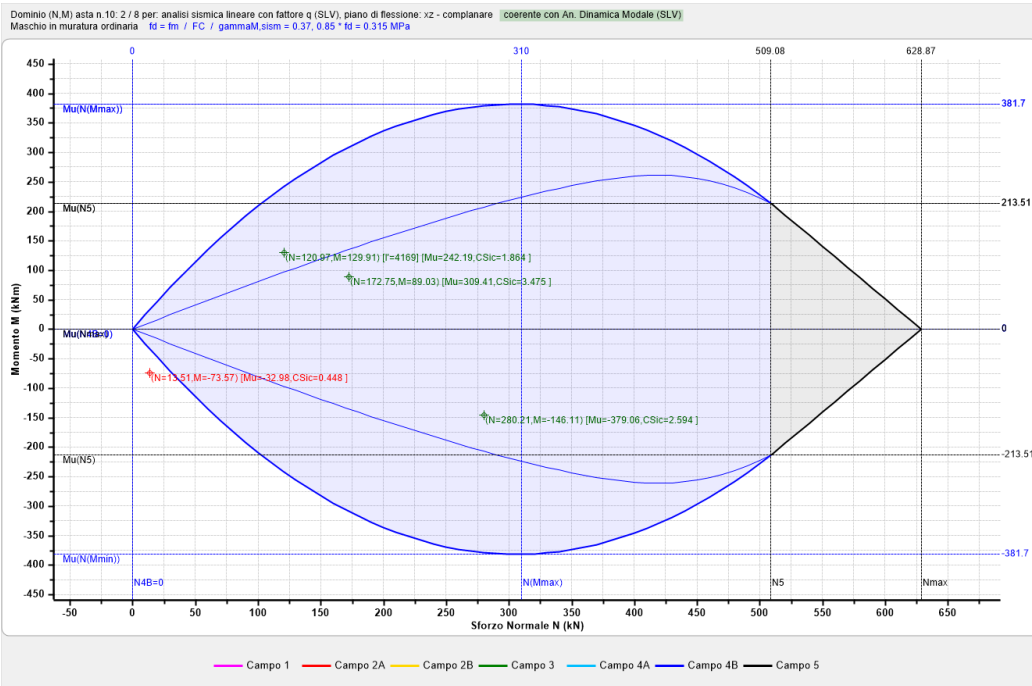
- i **Dati Specifici di ogni asta** interessata dall'intervento, nella finestra degli 'Interventi': viene richiesto in particolare di specificare il passo (in mm) della maglia da applicare, sia in verticale che in orizzontale:



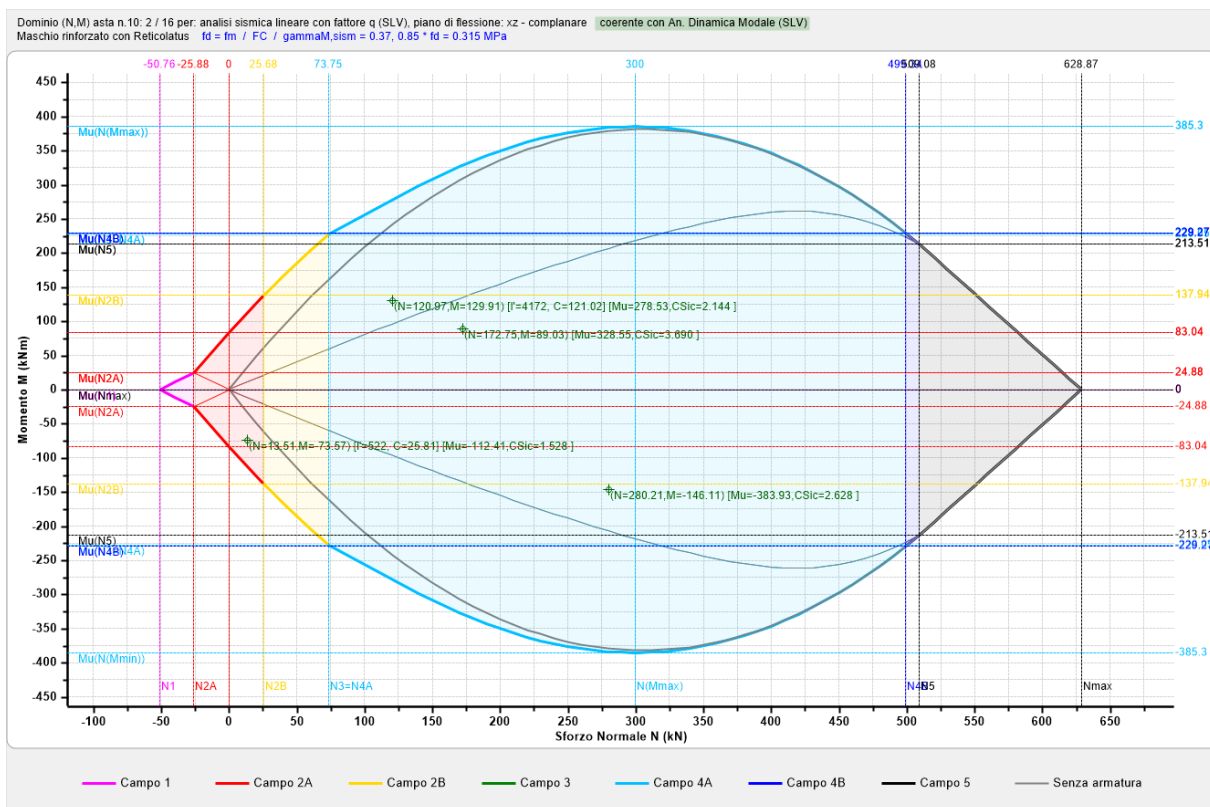
Il passo è simmetrico a partire dal baricentro della parete, non si conducono autocorrezioni, a tali fine la distanza dell'ultimo trefolo dal bordo è quella che rimane in base alla disposizione del passo inserito dall'utente. A livello grafico, tale rinforzo è indicato con un retino generico per l'asta visualizzata come 'Superficie 2D', mentre, per l'asta visualizzata con il suo 'Ingombro solido 3D', vengono rappresentati effettivamente i nastri per come saranno disposti in base al passo inserito.

#### Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Il dominio della parete n°10, non rinforzata, mostrava la seguente situazione:



Anche Il rinforzo con Reticolatus viene esaminato in termini di domini di resistenza, e la parete rinforzata viene verificata come in seguito mostrato:



Il punto che quindi restava 'fuori' dal dominio della parete senza rinforzi risulta adesso 'interno' al nuovo dominio, che risulta quindi più ampio, in quanto l'armatura dei trefoli consente una migliore estensione verso le zone di N di trazione.

Il miglioramento della verifica è apprezzabile anche nei confronti del Taglio, sia per scorrimento che per fessurazione diagonale:

## Asta non Rinforzata:

### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	$\gamma, m$	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	280.21	0.140	1.000	2.70	0.370	628.87	379.06	-146.11	2.594
10	e	B.4	120.97	0.061	1.000	2.70	0.370	628.87	242.19	129.91	1.864
10	e	S.1	172.75	0.087	1.000	2.70	0.370	628.87	309.41	89.03	3.475
* 10	e	S.4	13.51	0.007	1.000	2.70	0.370	628.87	32.98	-73.57	0.448

### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	$\sigma, n$	fvk0/tau0	$\gamma, m$	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	280.21	-146.11	0.52	1.000	280.21	0.140	0.020	2.70	0.028	56.30	76.16	0.739
* 10	e	B.4	120.97	129.91	1.07	0.854	120.97	0.071	0.020	2.70	0.018	30.56	75.92	0.403
* 10	e	S.1	172.75	89.03	0.52	1.000	172.75	0.087	0.020	2.70	0.020	40.38	76.16	0.530
* 10	e	S.4	13.51	-73.57	5.45	0.000	13.51	0.000	0.020	2.70	0.000	0.00	75.92	0.000

### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	$\gamma, m$	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	54.60	76.16	0.717
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	37.57	75.92	0.495
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	43.84	76.16	0.576
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	18.76	75.92	0.247

## Asta Rinforzata:

### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	$\gamma, m$	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	280.21	0.140	1.000	2.70	0.370	628.87	383.93	-146.11	2.628
10	e	B.4	120.97	0.061	1.000	2.70	0.370	628.87	278.53	129.91	2.144
10	e	S.1	172.75	0.087	1.000	2.70	0.370	628.87	328.55	89.03	3.690
10	e	S.4	13.51	0.007	1.000	2.70	0.370	628.87	112.41	-73.57	1.528

### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	$\sigma, n$	fvk0/tau0	$\gamma, m$	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
10	e	B.1	280.21	-146.11	0.52	0.981	280.21	0.143	0.020	2.70	0.029	83.63	76.16	1.098
* 10	e	B.4	120.97	129.91	1.07	0.981	120.97	0.062	0.020	2.70	0.017	60.04	75.92	0.791
* 10	e	S.1	172.75	89.03	0.52	0.981	172.75	0.088	0.020	2.70	0.020	67.71	76.16	0.889
* 10	e	S.4	13.51	-73.57	5.45	0.981	13.51	0.007	0.020	2.70	0.008	44.12	75.92	0.581

### 6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§C8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.306 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	$\gamma, m$	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	82.21	76.16	1.079
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	65.18	75.92	0.859
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	71.45	76.16	0.938
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	46.37	75.92	0.611

## 2.7. RETI IN FRP E ALTRO

Quest'ultima sezione degli interventi previsti in PCM è destinata all'analisi di rinforzi 'diversi' da come esplicitamente previsto negli altri casi; in particolare, attivando tale campo di rinforzo, è prevista la modifica dei 'Parametri Meccanici' della parete che si vuole rinforzare, adottando in sostanza valori 'equivalenti' a quelli migliorati che si avrebbero in realtà a seguito dell'applicazione dell'intervento previsto.

Questa sezione per esempio può essere adoperata per trattare in modo diverso l'intervento di apposizione delle 'fibre in vetro' (GFRP), per come proposto ad esempio dalla ditta 'FibreNet': l'intervento infatti può essere visto nell'ottica di un 'Intonaco Armato' di nuova generazione, in cui al posto delle usuali reti di armatura in acciaio vengono adoperate delle reti costituite da fibre di vetro; rispetto alla tecnica tradizionale con armatura in acciaio, i vantaggi sono notevoli, tra cui si ricordano i due più importanti:

- lo spessore ridotto della malta da utilizzare (le fibre sono molto sottili, si parla di 0.3mm); quindi questo permette di considerare una minore influenza dell'intervento sull'aumento di rigidezza della parete;
- la migliore gestione proprio delle reti disposte (non ci sono in questo caso problematiche legate per esempio all'ossidazione delle armature).

Per l'applicazione delle fibre in vetro, la ditta 'FibreNET' mette a disposizione sul suo sito ([www.fibrenet.it](http://www.fibrenet.it)) una modalità per determinare con facilità i parametri necessari a determinare una 'Muratura Equivalente', che ovviamente dovrà avere caratteristiche migliori rispetto al materiale originario, altrimenti è di fatto ininfluenza.

Per esempio, la parete n°10 oggetto dei presenti approfondimenti, sia costituita da un materiale esistente in 'Muratura in pietrame disordinato', con LC1, e valori minimi per le resistenze e medi per i moduli elastici:

The screenshot shows a software window titled 'Materiali' with a tree view on the left and a detailed property table on the right. The tree view includes categories like Calcestruzzo, Acciaio, Muratura esistente (selected), Muratura nuova, Materiale generico, and Blocchi e giunti. The main table lists various mechanical and physical properties for the selected material.

Generale	
Nome	Muratura esistente
Tipologia	Pietrame disordinato
Livello di Conoscenza	LC1 [da Parametri di Calcolo]
Moduli elastici	
Valori	Medi
E	870
G	290
Resistenze	
Valori	Minimi
f,m	1.000
τ,0	0.020
f,tm	0.100
f,hm	0.500
Altre proprietà meccaniche	
w	19.00
Coefficiente d'attrito	0.40
α	0.000010
▷ Coefficienti correttivi	
Proprietà grafiche	
Colore 2D	■ 169; 169; 169
Colore 3D	■ 245; 222; 179
Texture	■ Pietra_1
Requisiti geometrici maschi murari	
Spessore minimo	0.300
Spessezza compianare limite	2.000

Anteprima proprietà di calcolo

Valori

Buttons: Aggiungi, Rimuovi, OK

Nell'utilità proposta dal sito FibreNET è possibile inserire gli stessi criteri per i Parametri della Muratura (i valori delle resistenze che sono riportati derivano già dalla divisione per FC):



## Parametri Muratura

Tipo di Muratura: Class. C.E. 02/02/2009

Descrizione

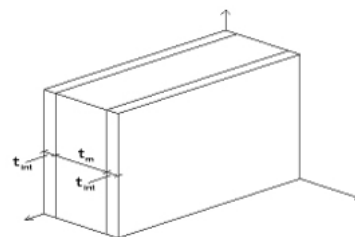
Livello di conoscenza del materiale  Fattore di confidenza **1,35**

Resistenza a taglio (da Norma)  $t_0$  **0,015** MPa

Resistenza a compressione (da Norma)  $f_c$  **0,741** MPa

Modulo di elasticità tangenziale (da Norma)  $G$  **290,0** MPa

Spessore della muratura  $t_m$   mm



Si inseriscono quindi anche le caratteristiche di resistenza della malta (cfr. ad es. prove specifiche, e classificazione secondo la norma UNI EN 998-2, consigliata anche dal DM08 al §11.10.2.1) e della rete da utilizzare:

## Parametri Intonaco

Tipo di intonaco: Class. D.M. 14/01/2008

Resistenza a compressione  MPa

Resistenza a trazione  MPa

Modulo elastico  $E$   MPa

Spessore intonaco  mm

## Parametri Rete in G.F.R.P.

Tipo di rete FibreNet

Caratteristiche Geometriche	<a href="#">FB MESH 33x33T96AR</a>	<a href="#">FB MESH 66x66T96AR</a>	<a href="#">FB MESH 99x99T96AR</a>	<a href="#">FB MESH 66x66T192AR</a>	<a href="#">FB MESH 99x99T192AR</a>
Spessore Medio [mm]	3	3	3	5	5
Sezione singola barra [mm <sup>2</sup> ]	10	10	10	20	20
Barre/Metro [n°]	30	15	10	15	10
Peso [gr/m <sup>2</sup> ]	1000	500	350	1000	700
Caratteristiche Meccaniche					
Resistenza a trazione singola barra [Kn]	3,5	3,5	3,5	5,7	5,7
Allungamento a Rottura [%]	3	3	3	3	3
Modulo Elastico a Trazione Medio Em [Mpa]	23000	23000	23000	27000	27000

## Determinazione dei parametri meccanici resistenti della muratura equivalente

Resistenza a trazione equivalente $f_t, calc$	0,157	[MPa]
Resistenza a taglio $t_0, calc$	0,104	[MPa]
Resistenza a compressione $f_c, calc$	1,111	[MPa]
Modulo di elasticità tangenziale equivalente $G_{calc}$	606,0	[MPa]
Coefficiente di sicurezza $\gamma$	1,00	[MPa] (da inserire)
Resistenza a taglio di progetto $t_0d$	0,104	[MPa]
Resistenza a compressione di progetto $f_{cd}$	1,111	[MPa]

### Verifica della resistenza post fessurazione rapportata alla resistenza di picco

#### Meccanismi di collasso

Cedimento a compressione malta intonaco $\delta_1$	1,86
Cedimento a trazione filo rete in GFRP $\delta_2$	3,38

Dimensionamento

Corretto!

**Attenzione: ad ogni modifica dei dati inseriti, premere "Verifica Calcoli"**

Verifica Calcoli

Vedi / Stampa

Per una rottura bilanciata  $\delta_1 = \delta_2$  Raccomandato  $\delta_1 \geq 0,60$  e  $\delta_2 \geq 0,60$

Poiché la procedura applica il fattore di confidenza prima del calcolo della muratura equivalente, i parametri finali che caratterizzeranno il nuovo apposito materiale da definire in PCM saranno direttamente quelli derivanti dal calcolo, senza nessuna riduzione (per tale motivo si è scelto: Coefficiente di sicurezza  $\gamma = 1.00$ , vd. sopra). Come descritto nella documentazione di riferimento di FibreNET, cui si rimanda approfondimenti, per la muratura equivalente viene calcolata la resistenza a trazione, che dipende dalla resistenza a trazione della muratura non rinforzata, dalla resistenza a trazione della malta dell'intonaco e dal tipo di rete utilizzata per il rinforzo.

Dalla resistenza a trazione  $f_t$  segue la resistenza a taglio  $\tau_0 = f_t / 1.5$ . Con un'altra relazione di origine sperimentale, viene calcolato il modulo di elasticità tangenziale  $G$ , da cui segue il modulo  $E$  attraverso la relazione  $G=0.4 E$ . Sul valore di  $G$  calcolato influiscono l'effetto del confinamento e la rigidità dell'intonaco. Infine, per la resistenza a compressione si applica il coefficiente di amplificazione proposto dalla Normativa vigente per l'intonaco armato. I parametri  $\delta_1$  e  $\delta_2$  identificano inoltre il corretto dimensionamento dell'intervento; quando sono maggiori di 0.6 la duttilità è tipo muratura armata (per la muratura armata, la Normativa fornisce: drift = 1.2%H per pressoflessione, 0.6%H per taglio).

I valori sopra riportati sono in definitiva quelli da modificare nella scheda degli 'Interventi' 'Reti FRP e altro'; sarà possibile consultare effettivamente come le proprietà siano modificate premendo la relativa etichetta sottostante 'Proprietà meccaniche dell'asta':

**Proprietà**

Asta 10

**Interventi**

- Iniezioni: No
- Diatoni artificiali: No
- Altri interventi: **Reti FRP e altro**

**Intonaco armato**

**Precompressione**

**FRP**

**CAM**

**Reticolatus**

**Reti FRP e altro**

- E: 1515
- G: 606
- f,m: 1.111
- $\tau,0$ : 0.104
- f,tm: 0.157
- f,hm: 0.555

**Proprietà meccaniche**

Asta 10  
Muratura esistente

	prima	→	dopo gli interventi	
w	19	→	19	kN/m <sup>2</sup>
E	870	→	1515	N/mm <sup>2</sup>
G	290	→	606	N/mm <sup>2</sup>
f,m	1.000	→	1.111	N/mm <sup>2</sup>
$\tau,0$	0.020	→	0.104	N/mm <sup>2</sup>
f,tm	0.100	→	0.157	N/mm <sup>2</sup>
f,hm	0.500	→	0.555	N/mm <sup>2</sup>

OK

**Proprietà meccaniche; Domini di resistenza**

**f,hm**  
Resistenza media a compressione orizzontale in N/mm<sup>2</sup>

**Proprietà** Report

Dalle proprietà meccaniche sopra modificate, si evince come, oltre alle resistenze a compressione e a taglio, cambi sostanzialmente il modulo elastico tangenziale (G).

### Esempio applicativo e Consultazione Risultati:

Il miglioramento della verifica della parete è apprezzabile dai confronti finali dei tabulati, nei confronti sia della pressoflessione che del Taglio:

### Asta non Rinforzata:

#### 3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.398 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e Sez.	P	p	f <sub>k</sub> / f <sub>m</sub>	$\gamma, m$	f <sub>d</sub>	Nu	Mu	M	C.Sic.
	comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e   B.1	280.21	0.140	1.000	2.70	0.370	628.87	379.06	-146.11	2.594
10	e   B.4	120.97	0.061	1.000	2.70	0.370	628.87	242.19	129.91	1.864
10	e   S.1	172.75	0.087	1.000	2.70	0.370	628.87	309.41	89.03	3.475
* 10	e   S.4	13.51	0.007	1.000	2.70	0.370	628.87	32.98	-73.57	0.448

#### 5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

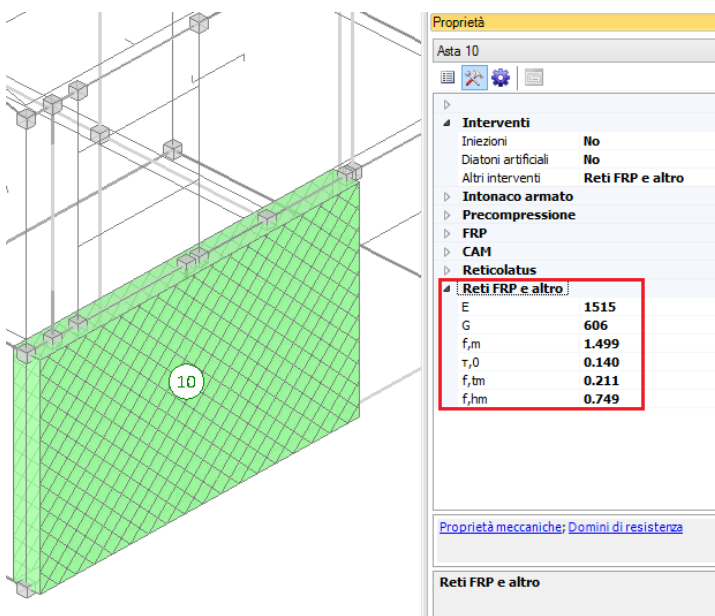
N.	n/e Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	$\sigma, n$	f <sub>vk0</sub> /tau <sub>0</sub>	$\gamma, m$	f <sub>vd</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.
	comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)		
* 10	e   B.1	280.21	-146.11	0.52	1.000	280.21	0.140	0.020	2.70	0.028	56.30	76.16	0.739
* 10	e   B.4	120.97	129.91	1.07	0.854	120.97	0.071	0.020	2.70	0.018	30.56	75.92	0.403
* 10	e   S.1	172.75	89.03	0.52	1.000	172.75	0.087	0.020	2.70	0.020	40.38	76.16	0.530
* 10	e   S.4	13.51	-73.57	5.45	0.000	13.51	0.000	0.020	2.70	0.000	0.00	75.92	0.000

**6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.247**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
* 10	e	B.1	1.500	280.21	0.140	0.020	2.70	0.027	54.60	76.16	0.717
* 10	e	B.4	1.500	120.97	0.061	0.020	2.70	0.019	37.57	75.92	0.495
* 10	e	S.1	1.500	172.75	0.087	0.020	2.70	0.022	43.84	76.16	0.576
* 10	e	S.4	1.500	13.51	0.007	0.020	2.70	0.009	18.76	75.92	0.247

**Asta Rinforzata:**

**Attenzione:** valutare se per la resistenza introdotta sia già stato considerato FC oppure no; per la procedura relativa a FibreNET, poiché anche il fattore di confidenza è stato già applicato nel corso della procedura di valutazione della muratura equivalente, nei dati della resistenza della parete muraria si dovrà pre-moltiplicare per FC(=1.35 in questo esempio), in modo che nel tabulato finale la resistenza adottata risulti coerente:



**3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§7.8.2.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 0.348**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	p	fk / fm	γ,m	fd	Nu	Mu	M	C.Sic.
		comb.	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN m)	(kN m)	
10	e	B.1	327.21	0.164	1.499	2.70	0.555	942.30	525.16	-194.04	2.706
10	e	B.4	134.81	0.068	1.499	2.70	0.555	942.30	286.96	163.62	1.754
10	e	S.1	219.75	0.110	1.499	2.70	0.555	942.30	416.97	104.15	4.004
* 10	e	S.4	27.35	0.014	1.499	2.70	0.555	942.30	66.22	-74.17	0.893

**5. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 0.000**  
(Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	P	M	Ecc.	Beta	C	σ,n	fvk0/tau0	γ,m	fvd	Vt	V	C.Sic.
		comb.	(kN)	(kN m)	(m)		(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
10	e	B.1	327.21	-194.04	0.59	1.000	327.21	0.164	0.140	2.70	0.076	151.99	91.96	1.653
10	e	B.4	134.81	163.62	1.21	0.770	134.81	0.088	0.140	2.70	0.065	99.73	91.80	1.086
10	e	S.1	219.75	104.15	0.47	1.000	219.75	0.110	0.140	2.70	0.068	136.07	91.96	1.480
* 10	e	S.4	27.35	-74.17	2.71	0.000	27.35	0.000	0.140	2.70	0.000	0.00	91.80	0.000

**6. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (SC8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 0.253**  
 (Analisi Sismica Dinamica Modale)

N.	n/e	Sez.	Coeff.	P	p	f <sub>vk0</sub> /tau <sub>0</sub>	γ, m	f <sub>vd</sub>	V <sub>t</sub>	V	C.Sic.
		comb.	b	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )		* FC	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	
10	e	B.1	1.500	327.21	0.164	0.140	2.70	0.091	182.47	91.96	1.984
10	e	B.4	1.500	134.81	0.068	0.140	2.70	0.071	141.49	91.80	1.541
10	e	S.1	1.500	219.75	0.110	0.140	2.70	0.081	160.88	91.96	1.749
10	e	S.4	1.500	27.35	0.014	0.140	2.70	0.056	112.26	91.80	1.223

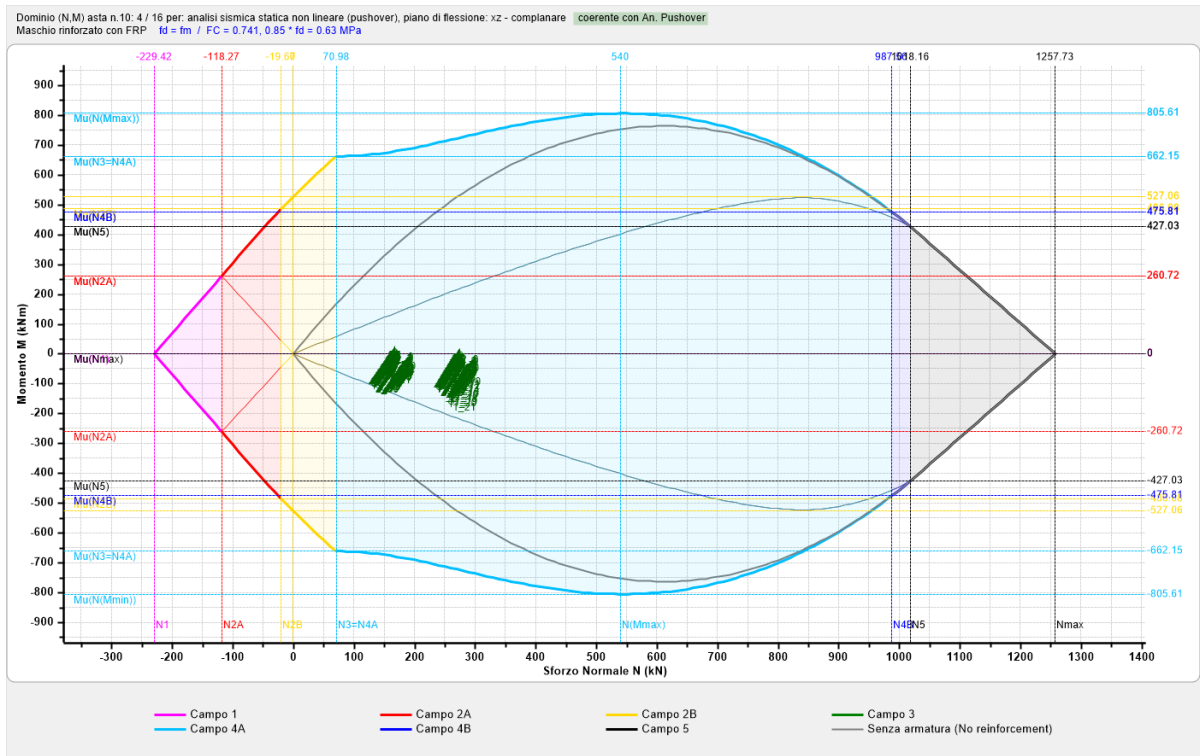
In conclusione agli approfondimenti del seguente documento, si può quindi in sintesi scegliere fra diverse ipotesi di intervento. Le considerazioni sopra condotte valgono anche in fase di Analisi Statica Non Lineare: nei domini si visualizzeranno più punti rappresentativi delle verifiche in quanto viene eseguita la verifica ai diversi passi, ed anche attraverso la contemporanea visualizzazione dei punti ai diversi step è possibile conoscere come si evolve lo stato di fessurazione e degrado della parete.

Esempio applicativo e Consultazione Risultati, nel caso di Analisi Non Lineare:

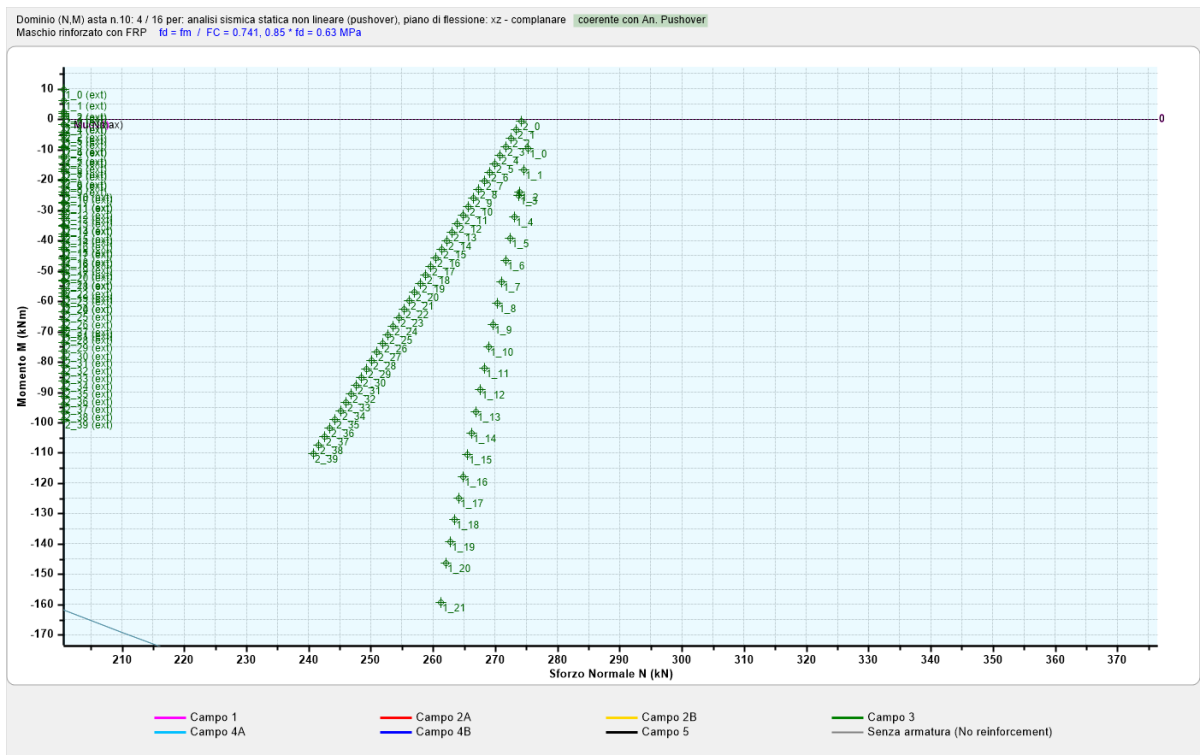
Conducendo un'analisi Non Lineare sull'esempio in oggetto, si focalizza l'attenzione sulla parete n°10, rinforzata come mostrato sotto:

The image shows a 3D model of a wall structure with FRP reinforcement strips. A circular callout labeled '10' is placed on one of the walls. To the right, a software interface displays the properties for 'Asta 10'. The 'Interventi' section shows 'Altri interventi' set to 'FRP'. The 'FRP' section is expanded, showing 'Nastri a pressoflessic' set to 'Solo ai bordi' and 'Nastri a taglio' set to 'Diagonali' with a layout of 'Su tutta la parete'. The 'Passo' parameter is also visible at the bottom.

Proprietà	
Asta 10	
Interventi	
Iniezioni	No
Diatoni artificiali	No
Altri interventi	<b>FRP</b>
Intonaco armato	
Precompressione	
FRP	
Nastri a pressoflessic	Solo ai bordi
- Numero strati	1
- Distanza bordo	100
- Passo	
- ε distacco iniziale	
- ε distacco finale	
Nastri a taglio	Diagonali
- Layout	Su tutta la parete
- Numero strati	1
- Distanza bordo	
- Passo	
- ε distacco	
CAN	
Reticolatus	
Proprietà meccaniche; Domini di resistenza	
- Passo	
Passo dei nastri a taglio in mm	

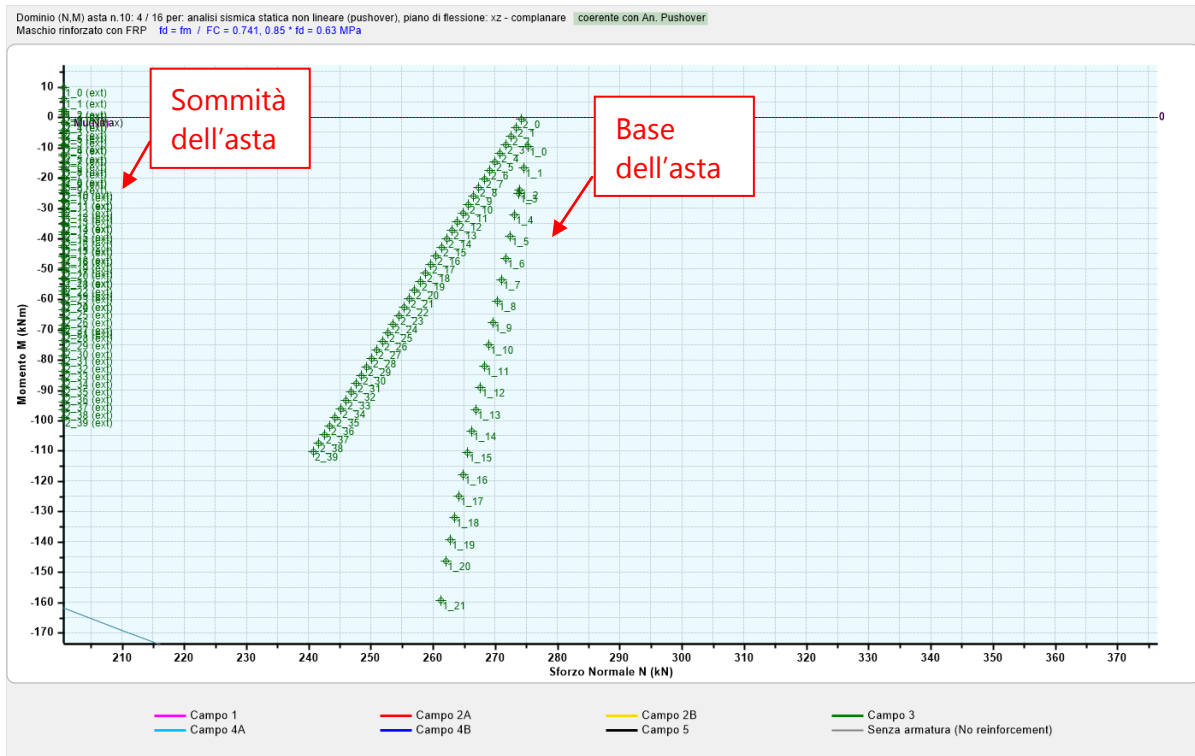


Conducendo uno zoom sui punti di verifica, si osserva il seguente quadro:

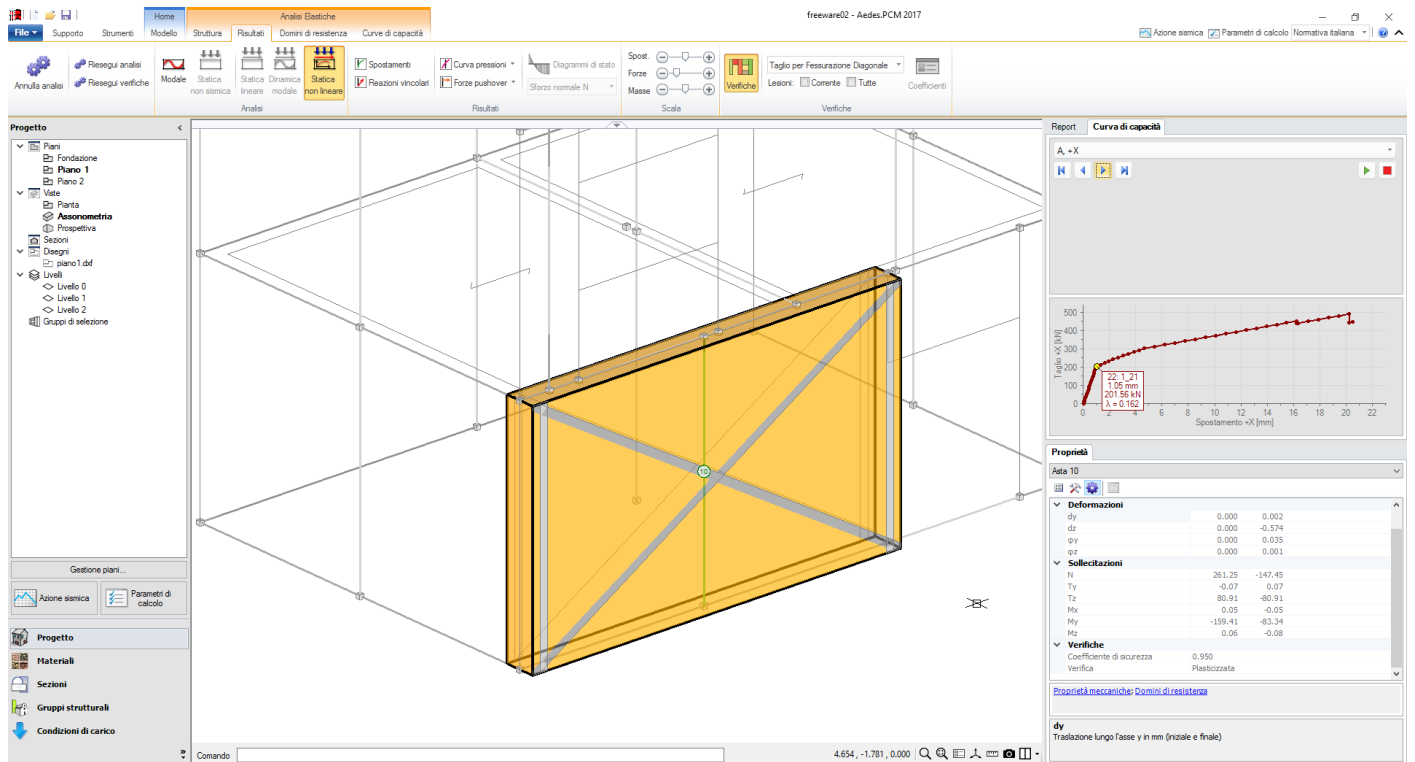


ovvero una serie di punti rappresentativi delle verifiche condotte ad ogni passo sia alla sezione di base che a quella di sommità. La legenda dei punti indica la sottocurva ed il passo: quindi ad es 1\_10 indica la sottocurva 1 al passo 10.

Dall'esame dell'andamento dei punti, si riscontra come all'aumentare del processo di carico tagliante aumenti il momento, e diminuisca lo sforzo normale:

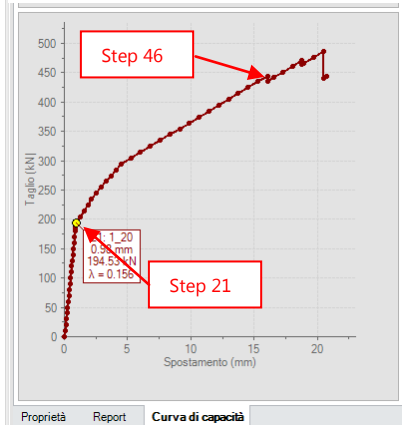
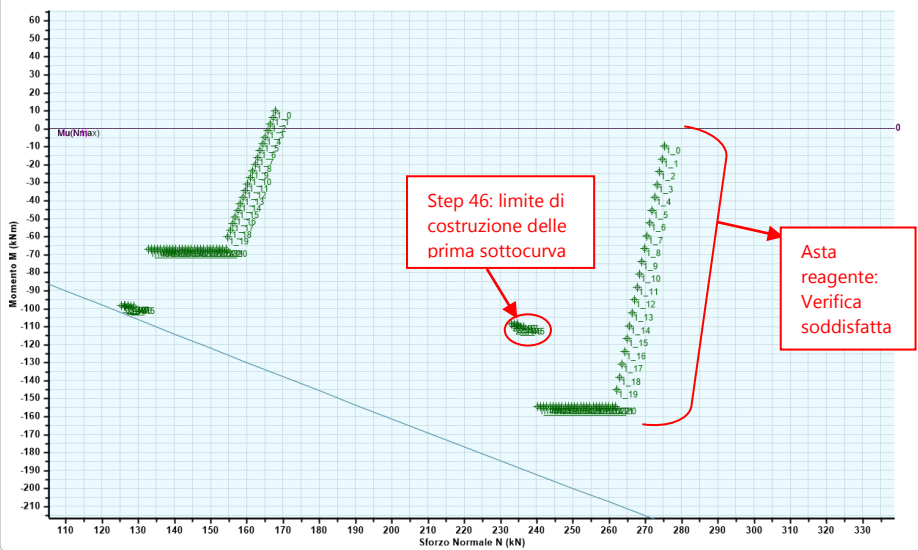


La tendenza è praticamente lineare fino al passo 21, limite al quale la parete si plasticizza (come si può anche confrontare visualizzando le verifiche al passo pushover):



Ai passi successivi, l'asta non potrà più assorbire momento (infatti i punti del dominio seguono a questo punto una retta costante orizzontale, 'ferma' al momento di plasticizzazione).

Dominio (N,M) asta n. 10 / 4 / 16 per: analisi sismica statica non lineare (pushover), piano di flessione: xz - complanare | coerente con AN. Pushover  
Maschio rinforzato con FRP  $f_d = f_m / FC = 0.741, 0.85 \cdot f_d = 0.63 \text{ MPa}$



Proprietà Report **Curva di capacità**



## 2.8. INTERVENTI DI RINFORZO PER ARCHI E COLONNE

Nell'ambito delle strutture edilizie più antiche, spesso si possono trovare componenti edilizi con caratteristiche proprie diverse dalle più comuni tipologie di sistemi resistenti; è il caso di elementi costruttivi storici e monumentali quali archi e colonne.

Qualora siano elementi con una certa prevalenza nell'ambito della struttura da analizzare, è consigliabile studiarli con approfondimenti dedicati, al fine di capire il corretto approccio anche ai fini di un opportuno intervento di rinforzo se necessario.

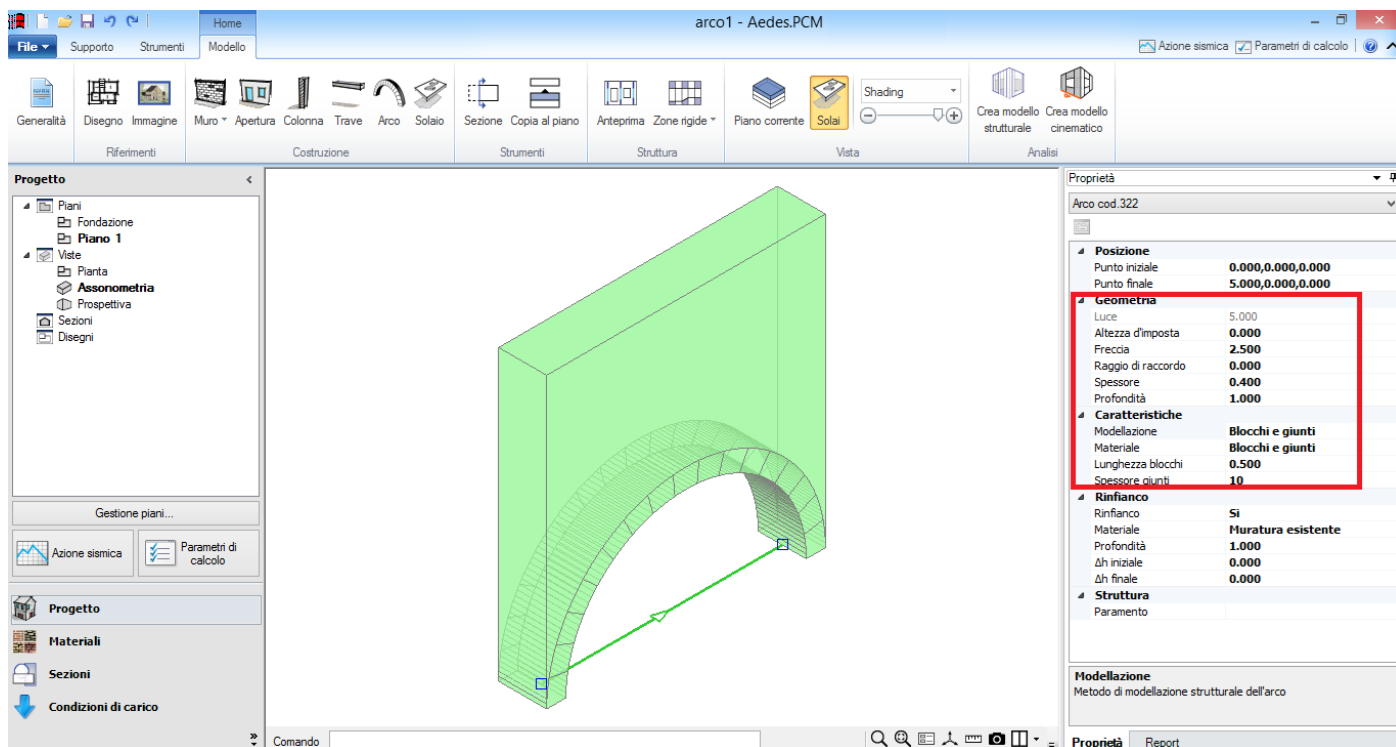
### ARCHI

In presenza di elementi ad arco, la trattazione più approfondita in PCM riguarda la loro modellazione a 'Blocchi', oppure a 'Blocchi e Giunti'.

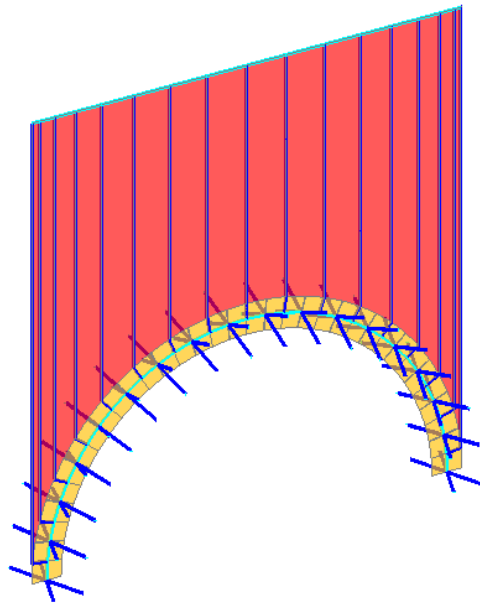
Per i richiami teorici, si rimanda ad un altro volume appositamente dedicato, ovvero il 'Manuale di ECS': ECS è infatti il modulo di estensione di PCM dedicato alle strutture storiche e monumentali, in cui è prevista questa tipologia di modellazione.

In questa sede, si precisa come poter utilizzare i sistemi di rinforzo previsti.

Supponendo di prendere come base di esempio un arco isolato, avente la seguente geometria: arco a tutto sesto, con Luce=5.00m, Freccia=2.50m, Spessore dei blocchi=0.40m, Profondità=1.00m, e modellazione a 'Blocchi e Giunti', con lunghezza preferita dei blocchi pari a 0.50m, e materiale 'Blocchi e Giunti' avente resistenza a trazione nulla:



Il modello strutturale generato risulta il seguente (disattivando la visualizzazione dei nodi):



Su questo modello, viene eseguita sia l'Analisi Statica Non Sismica, che l'Analisi Pushover, con diverse distribuzioni di forze (A, B, E ed F); è interessante andare subito a controllare il risultato di quest'ultima analisi non lineare, ad esempio concentrandosi sui risultati della distribuzione B: ci si porta quindi nella scheda 'Risultati', scegliendo questa curva Pushover, e visualizzandone l'andamento: la curva ha andamento bilineare, ci si concentra su cosa accade all'ultimo passo (cfr. Immagine seguente, con l'arco in vista frontale, e con la visualizzazione degli spostamenti e curva delle pressioni):

In rosso vengono evidenziati i giunti dilatati a causa della trazione

N'curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt	F.W	q*	q	PGACLTV	TRCLTV	PVRCLTV	aV.PGA	aV.TR	VN.CLV	PGACLTD	TRCLTD	PVRCLTD	aD.PGA	aD.TR
1	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	A	+X		0.105	3.256	2.000	0.055	19	92.747	0.291	0.040	2	0.055	19	92.699	0.679	0.382
2	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X		0.122	3.037	2.000	0.084	56	58.798	0.444	0.119	6	0.086	56	58.863	1.062	1.126
3	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X		0.126	2.919	2.000	0.091	71	50.780	0.481	0.148	7	0.093	70	50.797	1.148	1.410
4	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	F	+X		0.105	3.492	2.000	0.075	40	71.105	0.397	0.085	4	0.073	40	71.210	0.901	0.803

Come si nota dall'andamento degli spostamenti, il collasso avviene per l'apertura di tre cerniere alternate tra intradosso ed estradosso; la curva Pushover non è al momento verificata ( $\text{Alfa}, V = 0.444$  infatti per la distribuzione B, 0.291 per la A).

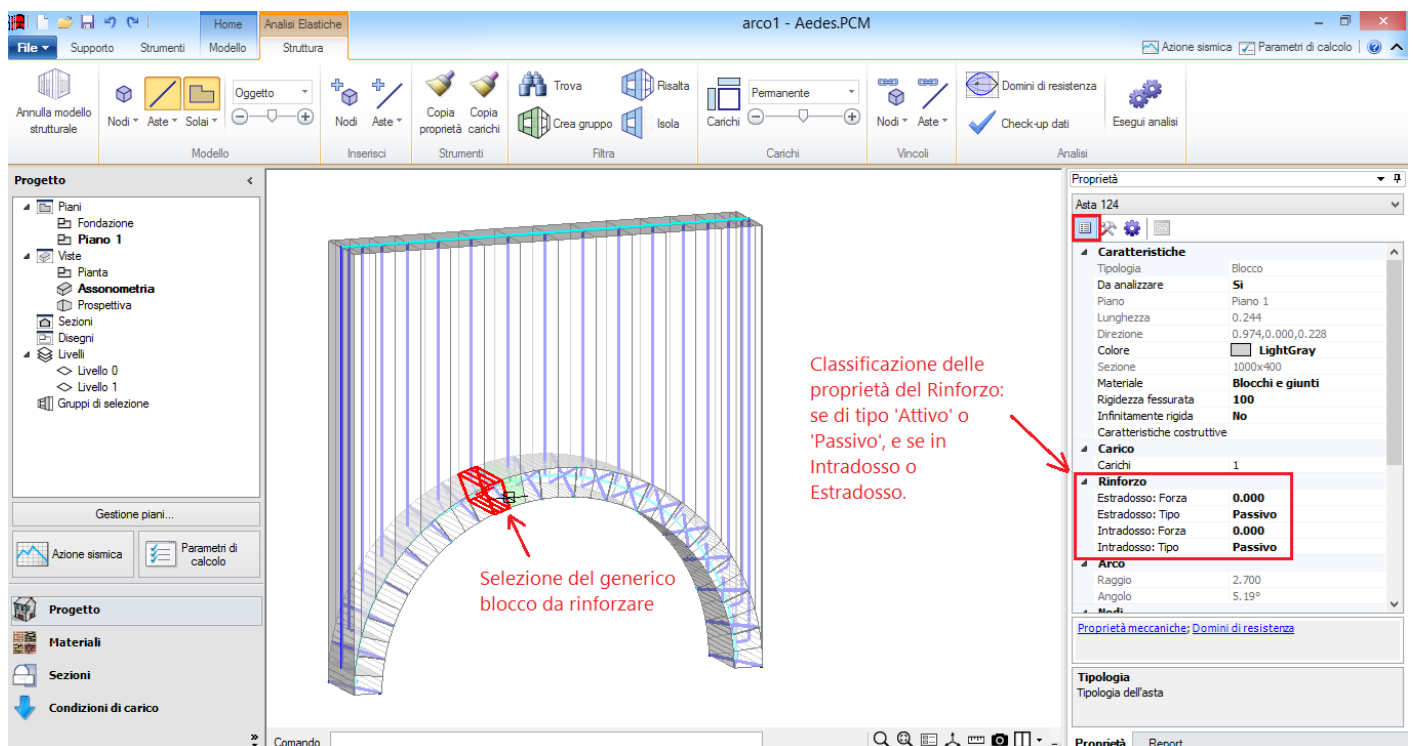
L'intervento di rinforzo adeguato dovrebbe quindi perseguire lo scopo di ritardare la formazione delle cerniere, in modo che la struttura possa trarre giovamento in termini di spostamento ultimo, e quindi migliorare la propria risposta.

In PCM, per gli archi modellati con 'Blocchi' o 'Blocchi e Giunti', sono disponibili due categorie di interventi di rinforzo:

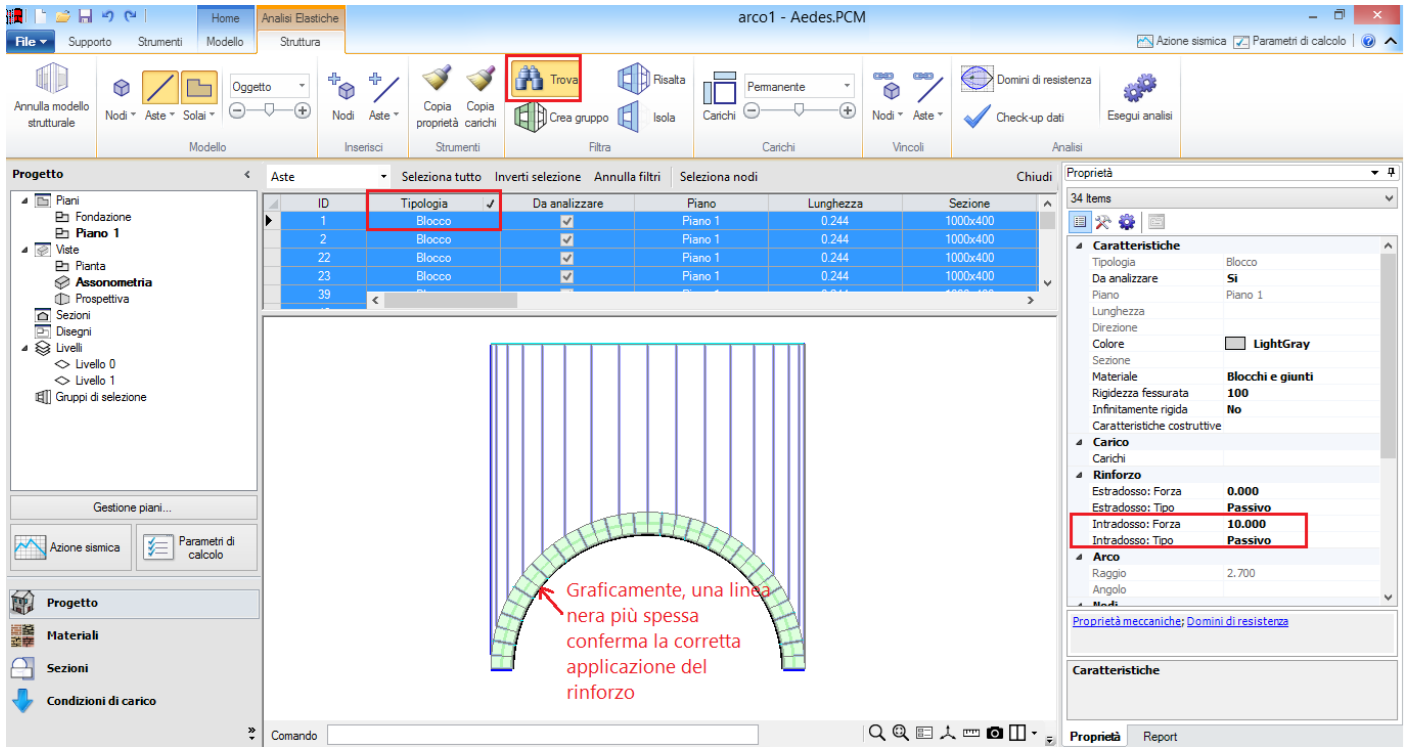
- **Rinforzo Attivo;**
- **Rinforzo Passivo.**

Entrambe le tipologie precedenti si traducono in proprietà da attivare per i Blocchi, **disponibili sia in Intradosso che in Estradosso.**

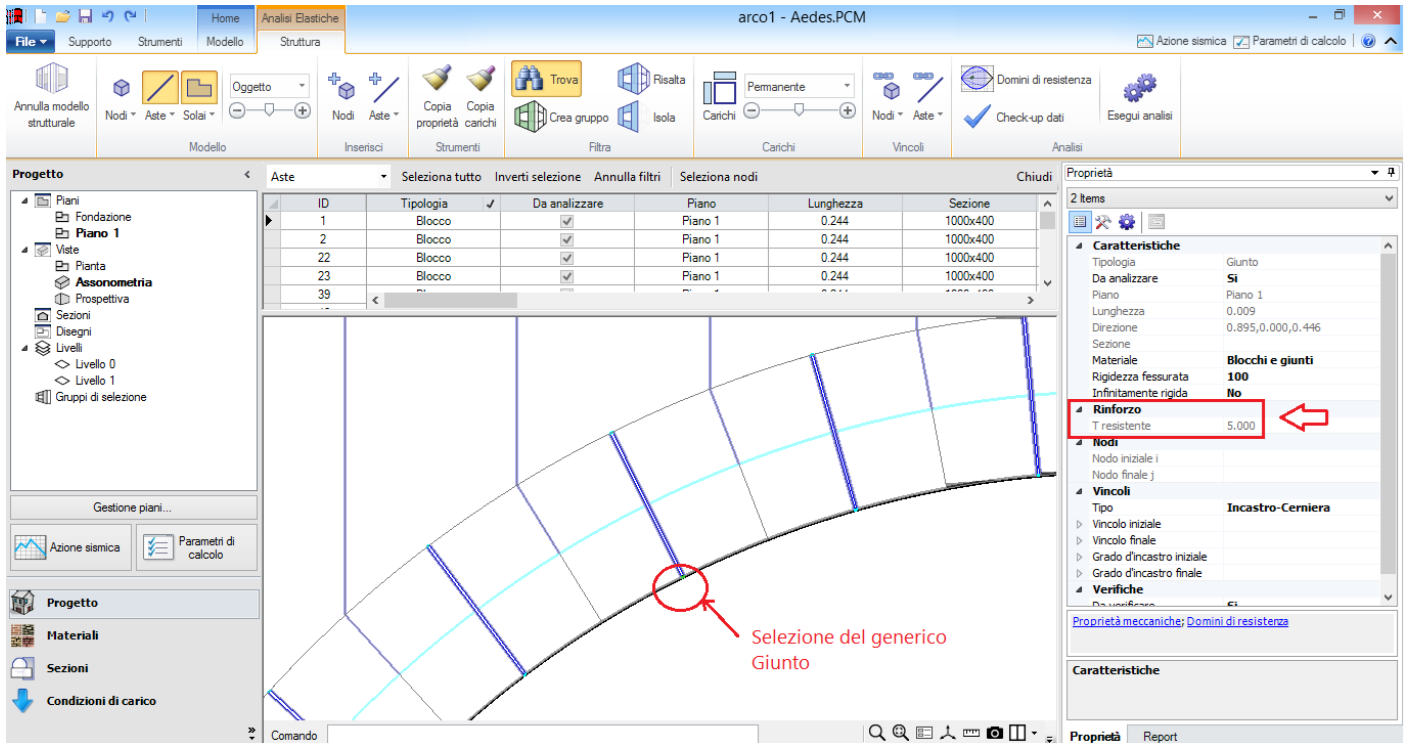
Il rinforzo 'Passivo' consente di tenere in conto una determinata resistenza a trazione (proprietà 'Forza'), da specificare nella finestra delle proprietà: questa è la classificazione dei rinforzi in FRP, o con altro tipo di matrice (reti in acciaio), che sono in grado di fornire una resistenza a trazione nei giunti e nei blocchi, resistenza che viene chiamata in causa solo in fase dinamica; il rinforzo 'Attivo' genera invece delle 'Forze' che agiscono 'radialmente', ossia orientate lungo il raggio dell'arco, e dirette internamente: sono forze di 'Precompressione', visualizzabili selezionando dal comando 'Carichi' l'apposita Condizione di Carico Elementare: rientra in tale categoria ad esempio il caso dell'Arco Armato, in cui si dispone un elemento resistente sottoposto a forze di pre-tensione, che genera beneficio all'arco sottostante; in tale ultimo caso, le forze di resistenza a trazione sul blocco saranno in automatico trasmesse ai 'Giunti';



Si supponga per esempio di inserire un rinforzo di tipo 'Passivo', su tutti i Blocchi dell'arco, in Intradosso: per semplicità si utilizza il comando 'Trova', selezionando tutte le aste con tipologia 'Blocco', ed attivando per questi il rinforzo passivo in intradosso nella finestra delle proprietà, inserendo come forza resistente a trazione ad esempio 10 kN:



A livello grafico, il rinforzo è evidenziato sui blocchi con una linea nera spessa; la forza resistente inserita sarà trasferita dai Blocchi ai Giunti di Malta: infatti, selezionando un generico giunto di malta, si può notare nella finestra delle proprietà la proprietà 'T Resistente', che è pari alla metà della forza in precedenza inserita in quanto per ogni blocco vi sono due interfacce, sia in intradosso che in estradosso (in questo caso quindi 5 kN):



Una volta applicato il rinforzo, e qualificate le sue proprietà, si possono rilanciare le analisi per confrontare se vi siano dei miglioramenti effettivi.

Nei riguardi dell'analisi Pushover, un buon metodo per capire l'efficacia dell'intervento consiste nel confrontare dei valori caratteristici della curva, come Taglio Massimo, Spostamento raggiunto, e Moltiplicatore di Collasso, per due punti notevoli della curva: nel caso di curve con andamento bilineare, si possono prendere come punti notevoli il punto di inizio del tratto plastico (quindi la fine della fase elastica), e l'ultimo punto effettivamente calcolato prima del termine della curva stessa: inserendo questi valori in una tabella, si riuscirà a capire l'entità del miglioramento raggiunto, e calibrare quindi quale sia la forza resistente necessaria per dimensionare correttamente l'intervento: ad esempio nelle tabelle seguenti si nota come, per i due punti notevoli citati, e per ogni distribuzione di forza considerata, crescano principalmente sia la forza massima che il moltiplicatore di collasso:

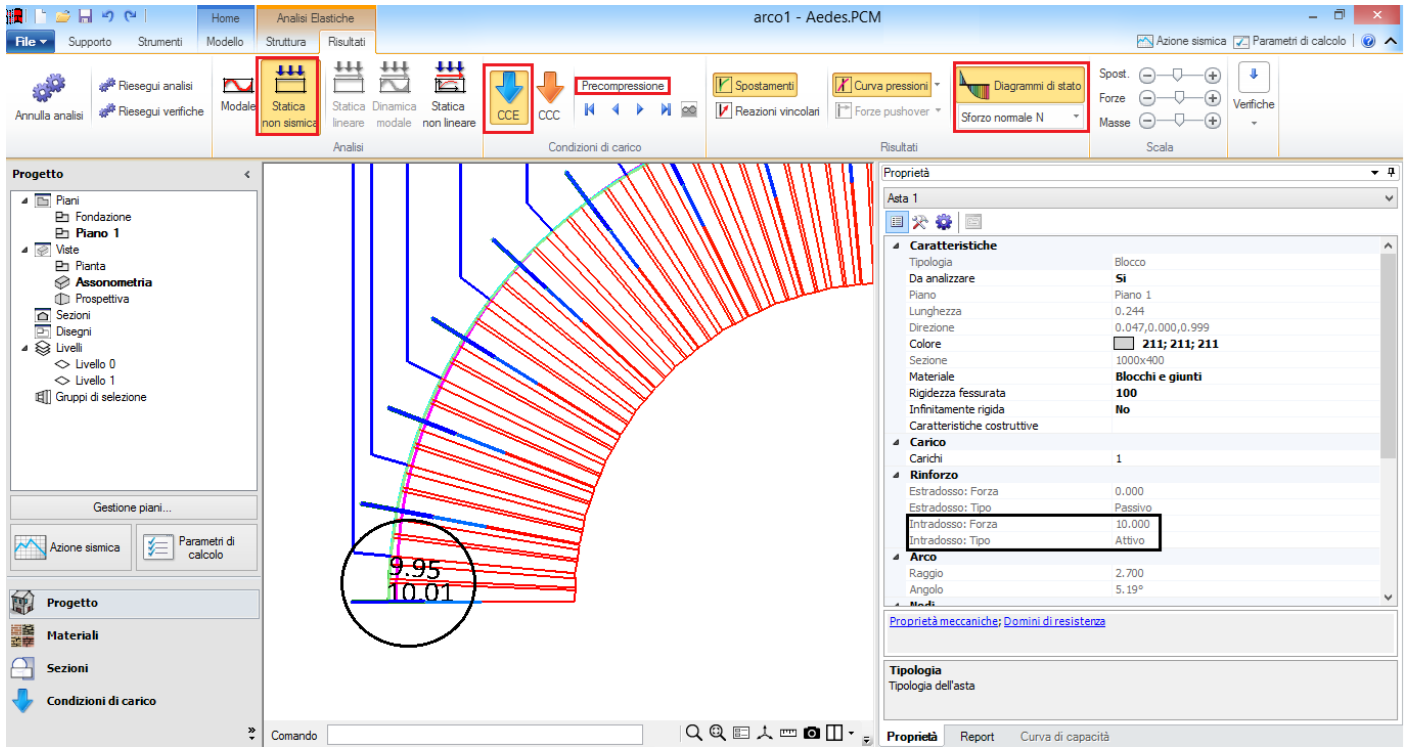
#### Rinforzo passivo in intradosso: Limite elastico

Rinforzo [kN]	A			B			E			F		
	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$
0	0.17	48.00	0.101	0.18	50.00	0.105	0.16	50.00	0.105	0.16	44.00	0.092
10	0.19	62.00	0.130	0.18	58.00	0.122	0.18	64.00	0.134	0.17	54.00	0.113
15	0.20	68.00	0.143	0.19	66.00	0.139	0.19	70.00	0.147	0.18	62.00	0.130
25	0.21	78.00	0.164	0.22	80.00	0.168	0.21	82.00	0.172	0.20	74.00	0.155

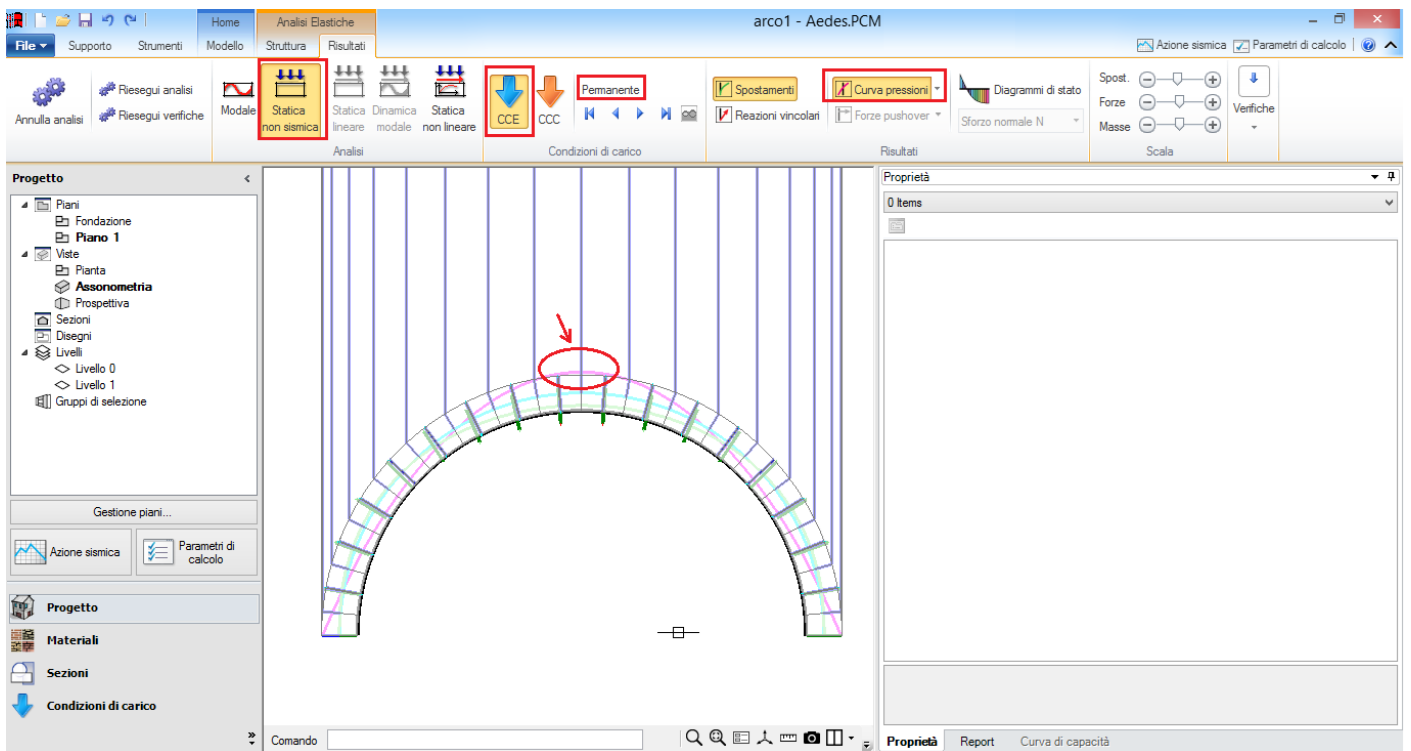
#### Rinforzo passivo in intradosso: Ultimo passo

Rinforzo [kN]	A			B			E			F		
	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$
0	0.18	50.00	0.105	0.61	58.00	0.122	0.65	60.00	0.126	0.55	50.00	0.105
10	0.67	72.00	0.151	0.67	68.00	0.143	0.67	74.00	0.155	0.18	56.00	0.118
15	0.58	76.00	0.160	0.58	74.00	0.155	0.68	80.00	0.168	0.19	64.00	0.134
25	0.59	86.00	0.180	0.53	86.00	0.180	0.56	90.00	0.189	0.56	80.00	0.168

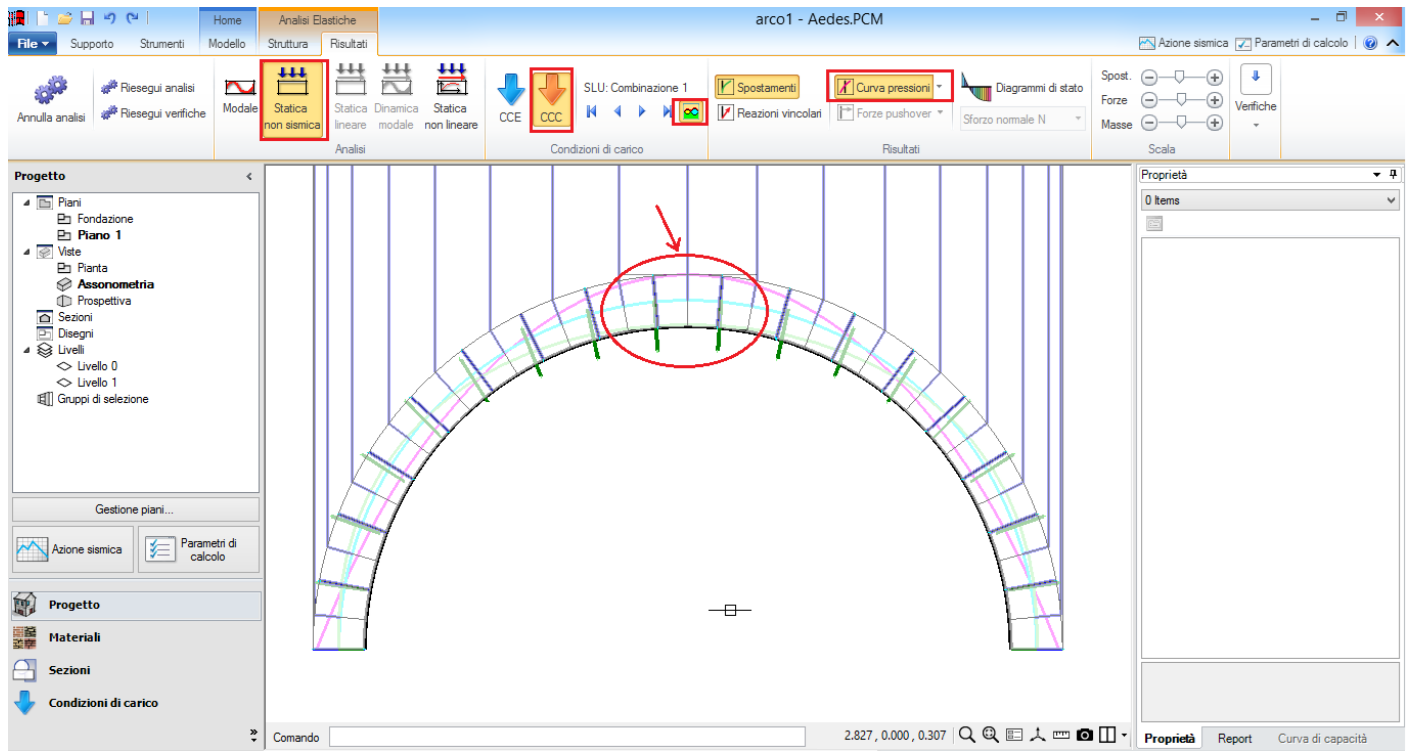
Un ragionamento simile può essere condotto nel caso si inserisca un rinforzo di tipo 'Attivo': in questo caso, è necessario selezionare i blocchi di interesse, e qualificare il rinforzo come 'Attivo' nella finestra delle proprietà, inserendo quindi il valore della forza di tesatura che si vuole applicare al rinforzo (ad es. nei casi di arco armato, si inseriscono dei cavi aderenti alla forma dell'arco, e si collegano a questo tramite opportuni connettori; tali cavi vengono pre-tesi applicando il valore della forza di tesatura specificato nella finestra delle proprietà); dai risultati dell'analisi statica non sismica, osservando la condizione elementare 'Precompressione', si può notare che lo sforzo normale cui è soggetto l'arco è proprio pari alla forza di tesatura inserita:



La curva delle pressioni, nella condizione di carico 'Permanente', fuoriesce leggermente dallo spessore dell'arco:



Visionando invece le l'involuppo delle Combinazioni di Carico, si nota l'effetto benefico della precompressione, che tende a ricentrare la curva delle pressioni entro lo spessore dell'arco (questo ovviamente in dipendenza del valore della forza di tesatura inserita: in questo caso, l'effetto positivo è ottenuto per un suo valore di 25 kN):



In fase di analisi non Lineare, anche in questo caso le curve presentano un andamento bilineare, con un miglioramento graduale dei diversi parametri controllati (Taglio alla base, Moltiplicatore di Collasso):

#### Rinforzo attivo in intradosso: Limite elastico

Rinforzo [kN]	A			B			E			F		
	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$
0	0.17	48.00	0.101	0.18	50.00	0.105	0.16	50.00	0.105	0.16	44.00	0.092
10	0.20	60.00	0.126	0.20	58.00	0.122	0.20	64.00	0.134	0.19	56.00	0.118
15	0.21	66.00	0.139	0.21	64.00	0.134	0.21	70.00	0.147	0.21	62.00	0.130
25	0.23	76.00	0.160	0.23	74.00	0.155	0.24	82.00	0.172	0.23	72.00	0.151

#### Rinforzo attivo in intradosso: Ultimo passo

Rinforzo [kN]	A			B			E			F		
	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$	d [mm]	F [kN]	$\lambda$
0	0.18	50.00	0.105	0.61	58.00	0.122	0.65	60.00	0.126	0.55	50.00	0.105
10	0.67	70.00	0.147	0.68	68.00	0.143	0.68	74.00	0.155	0.71	64.00	0.134
15	0.69	76.00	0.160	0.70	74.00	0.155	0.70	80.00	0.168	0.73	70.00	0.147
25	0.71	86.00	0.180	0.72	84.00	0.176	0.72	92.00	0.193	0.74	74.00	0.155

L'intervento di rinforzo di tipo 'Attivo' presenta dei benefici effetti anche quando l'arco poggia su delle colonne in muratura: di solito infatti se il sistema di rinforzo risulta ancorato solo alle imposte dell'arco, è probabile che le colonne non abbiano benefici (anche perché bisognerebbe inserire manualmente delle forze di reazione verticale alle imposte, che annullerebbero l'effetto del tirante); mentre se il sistema di rinforzo, quindi i tiranti disposti sull'arco, vengono ben ancorati alla base dei piedritti, l'effetto della precompressione sull'arco comporta benefici anche sulle colonne di appoggio.

## **COLONNE**

In presenza di elementi come le Colonne in muratura, sia nell'ambito di strutture storiche e monumentali, ma anche nell'edilizia civile, la trattazione più adeguata in letteratura segue le teorie di Heyman; anche in PCM è possibile trattare tali oggetti seguendo questa teoria; anche le colonne quindi vengono schematizzate come composte da Conci, a diretto contatto l'un l'altro.

Anche per le colonne è possibile visualizzare la Curva delle Pressioni, e l'esito delle verifiche a pressoflessione e taglio, se richiesto.

Proprio per la geometria e per il rapporto tra le loro dimensioni, la verifica maggiormente condizionante è la Pressoflessione: la verifica tuttavia può essere trattata in due modi:

- con controllo geometrico;
- con controllo di resistenza.

La prima opzione comporta che la verifica della colonna sarà condotta in termini di 'Resistenza', ovvero si condurrà la verifica tramite 'Dominio di Resistenza', che in questo caso sarà tridimensionale per via della presenza del Momento Flettente nei due piani di flessione ( $N$ ,  $N_y$  ed  $M_z$ ): se il punto rappresentativo delle sollecitazioni ricade interamente entro il dominio, la colonna è verificata.

Se invece si sceglie la seconda opzione, 'Con controllo geometrico', la verifica sarà condizionata solo dalla posizione della Curva delle pressioni: se la curva delle pressioni risulterà interna al perimetro della sezione di ogni concio, allora la verifica sarà soddisfatta.

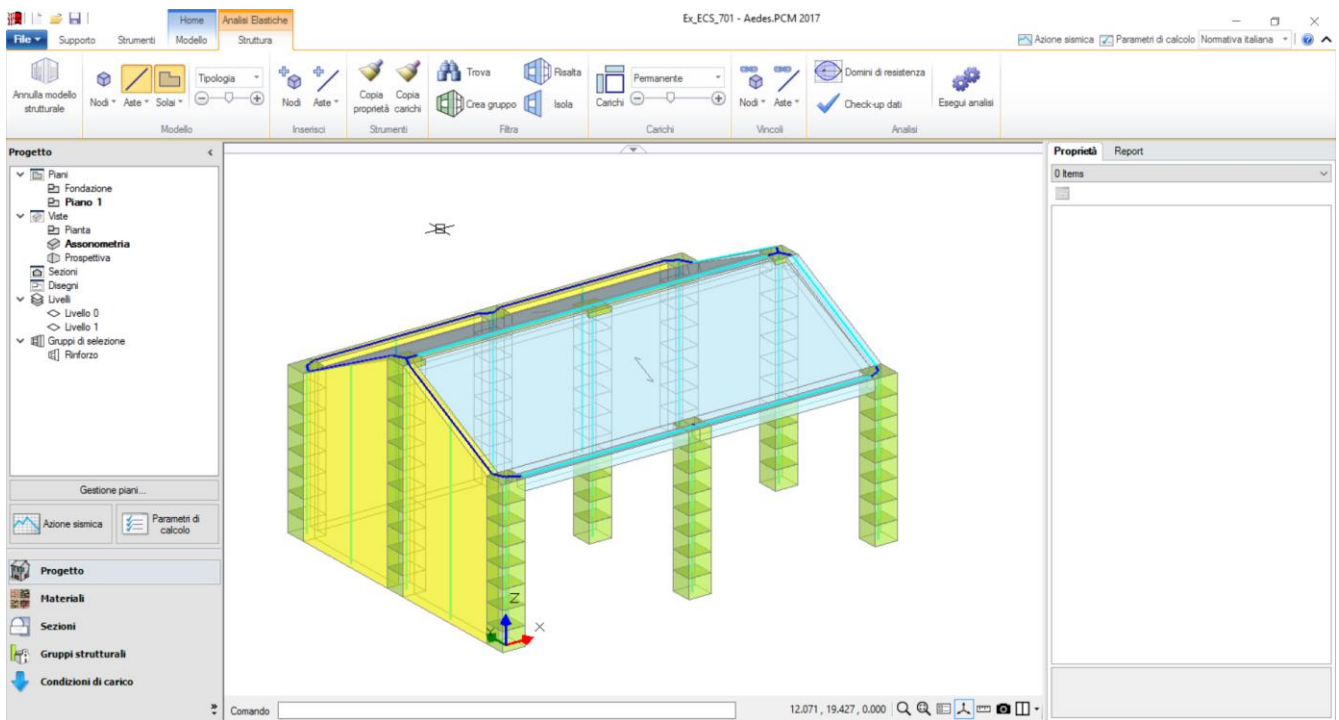
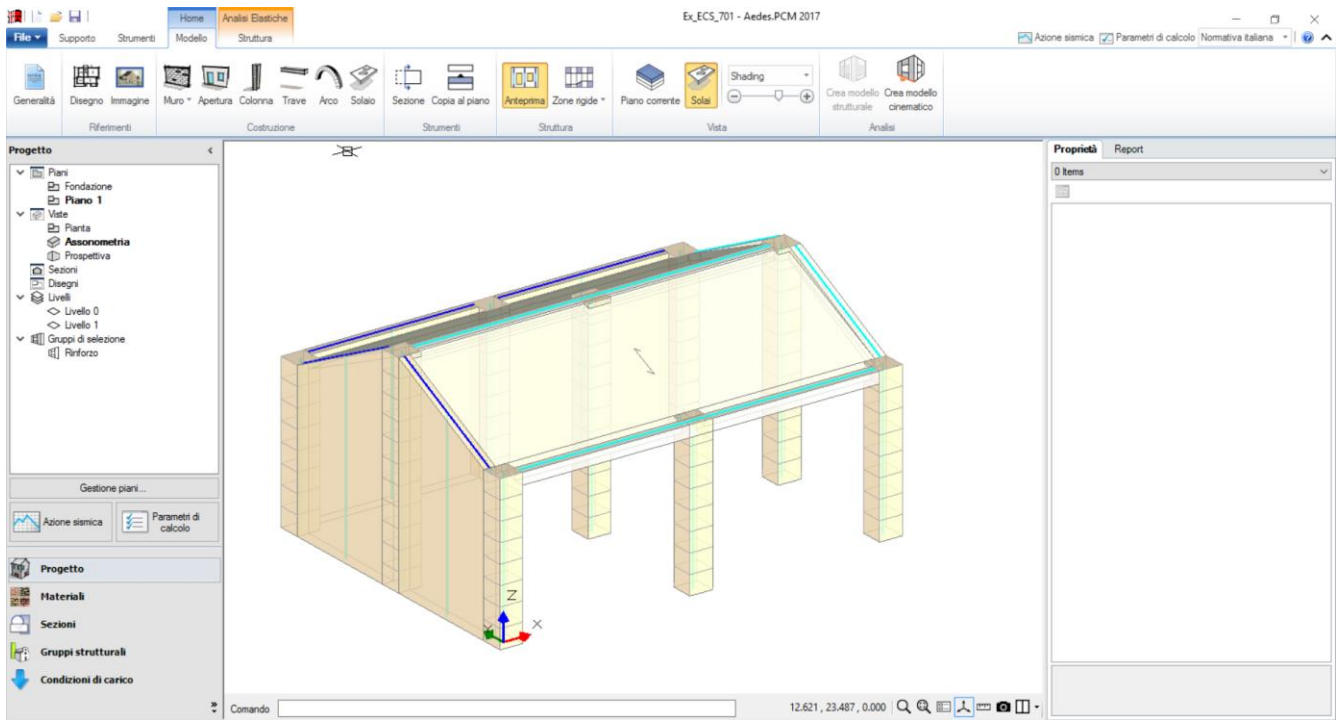
Nell'ottica degli interventi di rinforzo, principalmente ci si concentra sulla verifica in termini di 'controllo di resistenza'.

Per gli oggetti Colonna, in PCM sono disponibili molti degli interventi validi anche per maschi murari: FRP, CAM, Reti in GFRP ed altro, Acciaio.

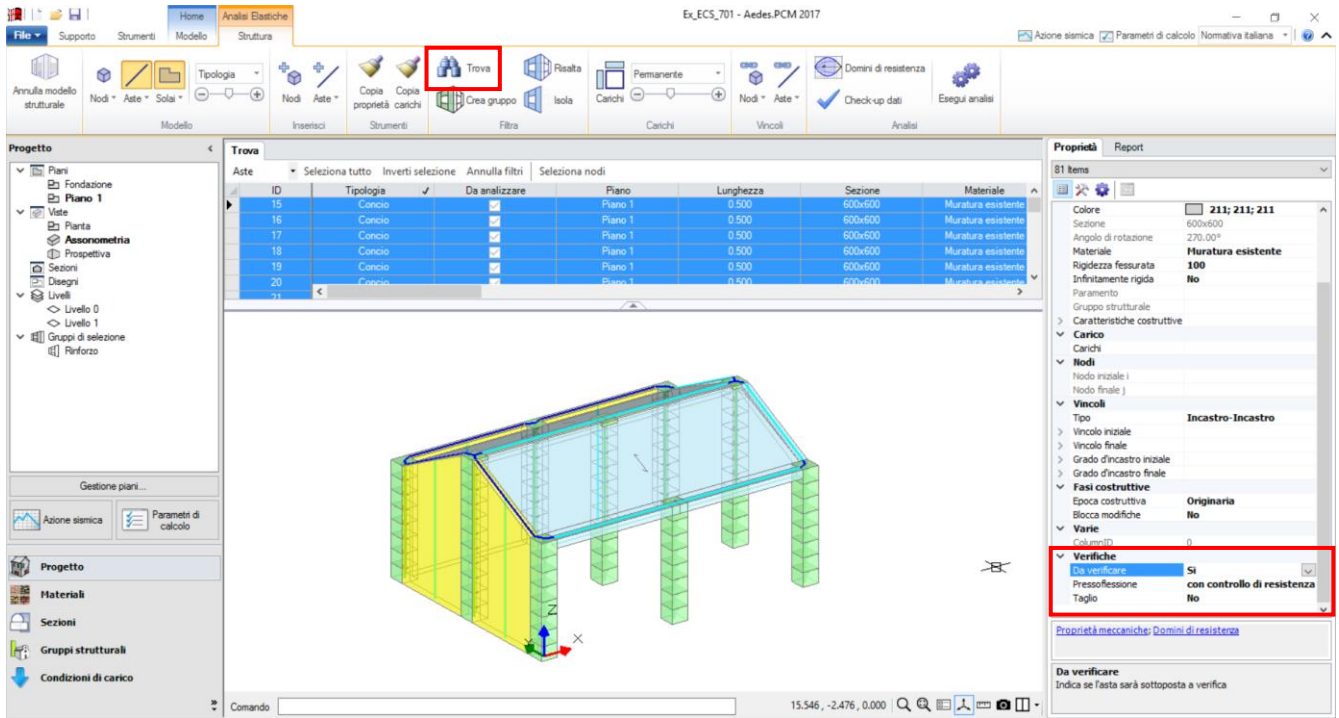
Si prenda come esempio la semplice struttura seguente, il quale potrebbe rappresentare un fienile, composto da un tetto a doppia falda che si assesta da una parte su di una trave in legno, dall'altra su un setto in muratura.

Le travi in legno vengono vincolate come 'cerniera-cerniera', per simulare il vincolo di trave appoggiata-appoggiata; mentre, in testa ai maschi murari, viene svincolata la traslazione  $X$ , al fine di poter trasmettere tutto il carico gravitazionale dei solai direttamente alle colonne, e quindi massimizzare gli effetti sfavorevoli; il livello di copertura è considerato come deformabile:



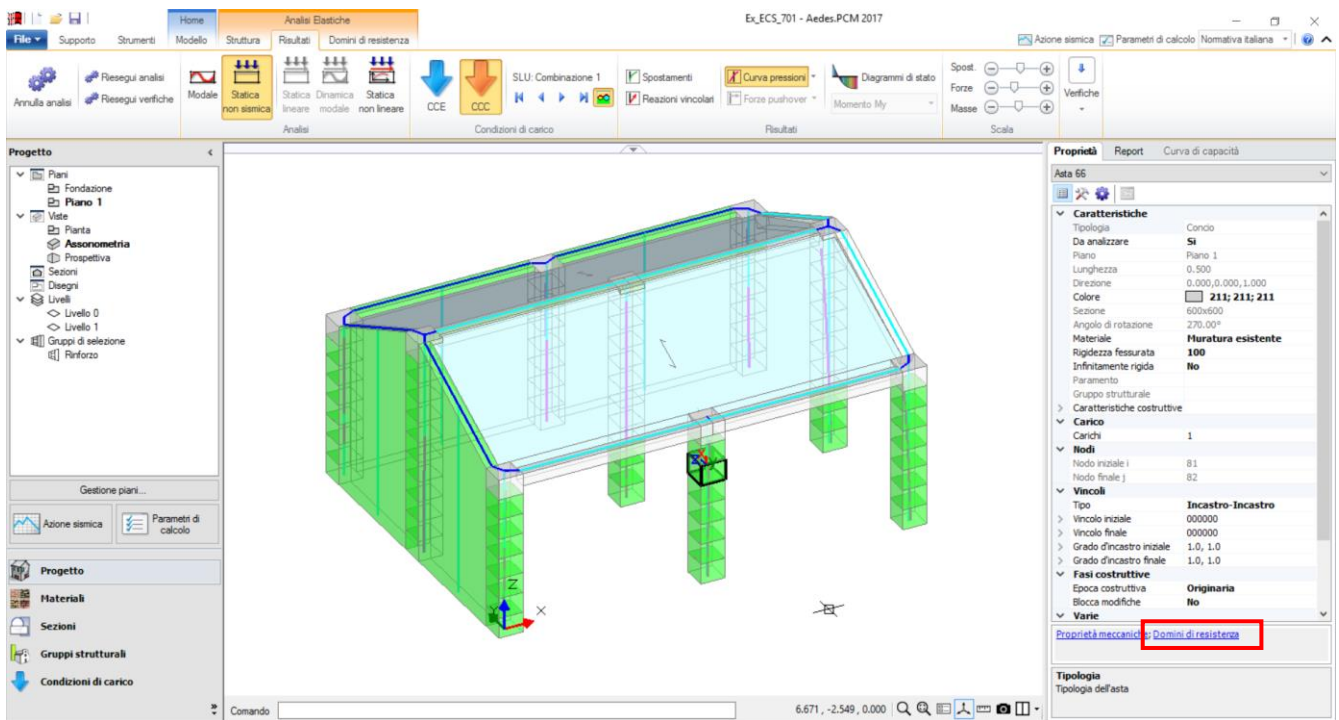


Poiché ci si vuole soffermare sulla pressoflessione, si selezionano gli oggetti 'Concio', e si disattiva la verifica a taglio; si mantiene la verifica con 'Controllo di resistenza':

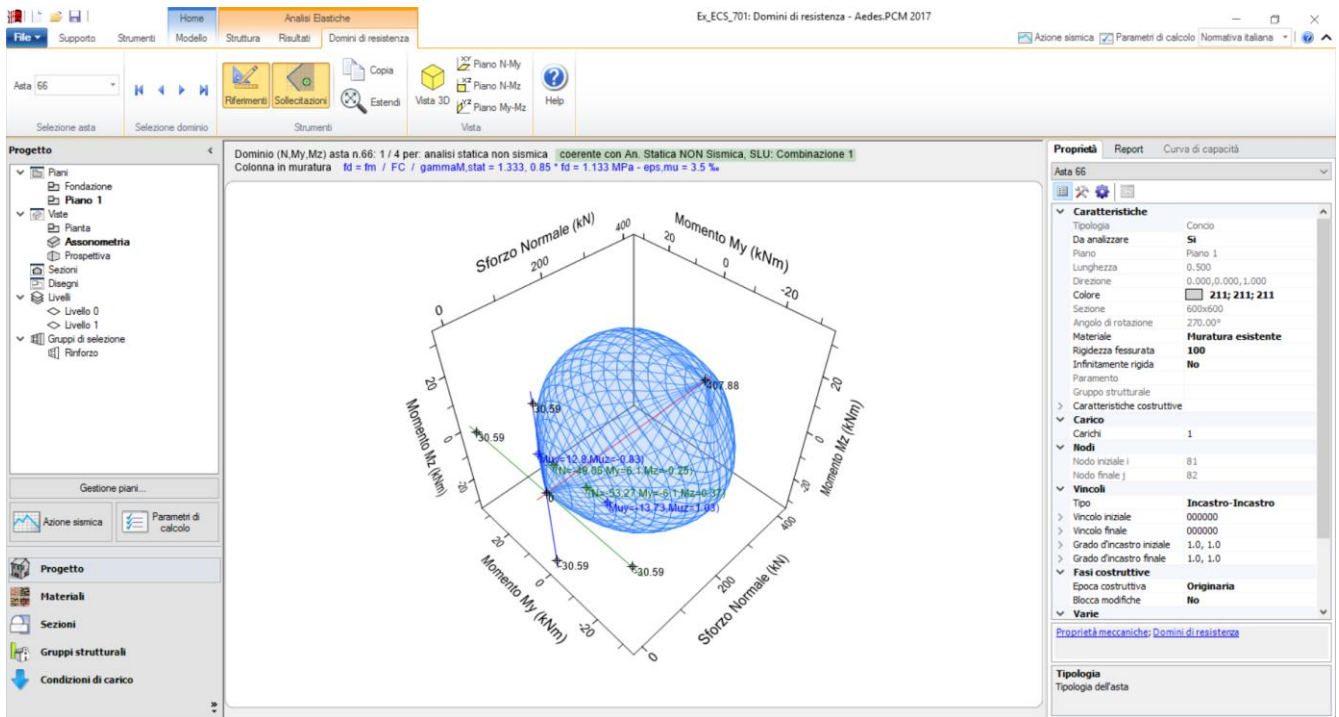


Su questa semplice struttura, viene eseguita l'analisi Statica Non Sismica, e l'Analisi Pushover con distribuzione B ed E, in entrambe le direzioni X ed Y.

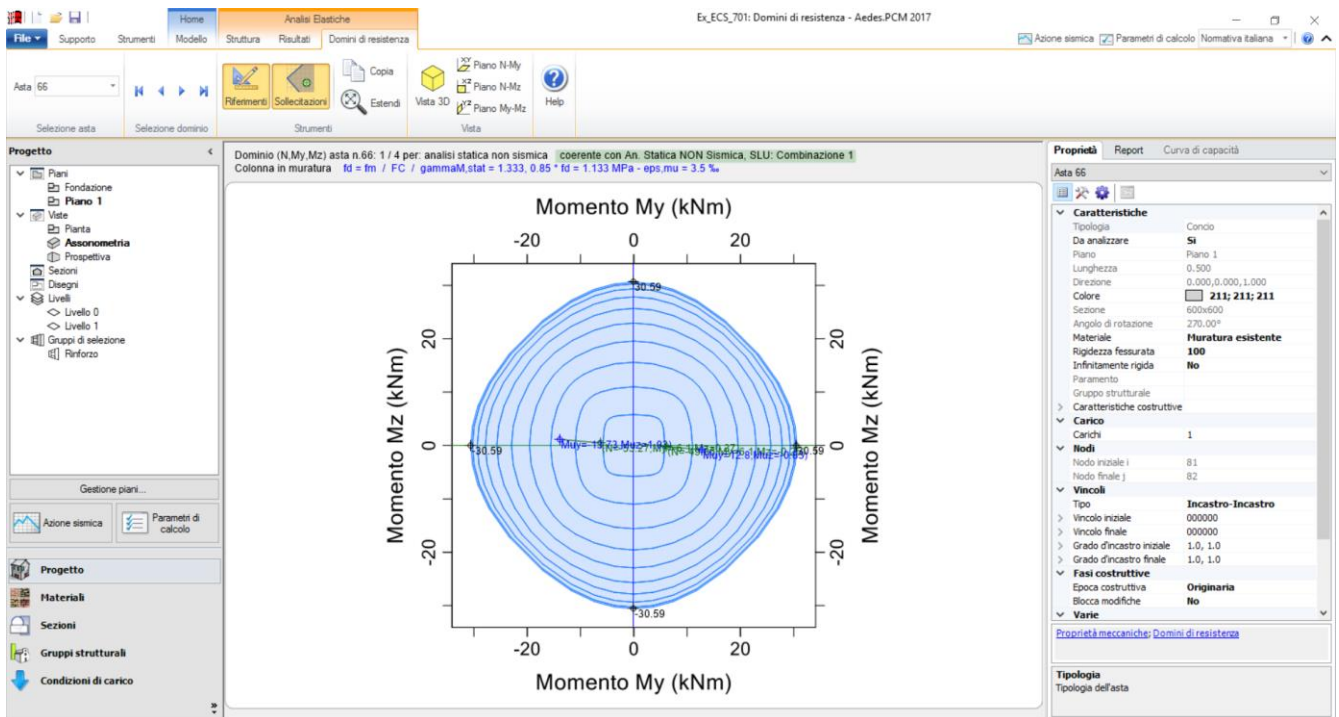
In Analisi Statica non sismica osserviamo che le verifiche sono soddisfatte per tutti gli elementi. Per ogni concio viene generato il dominio di resistenza, il quale può essere visualizzato selezionando l'elemento d'interesse e cliccando sull'apposito link, come mostrato nell'immagine seguente. In alternativa è possibile visualizzare i domini di tutti gli elementi andando nell'apposita scheda nella parte alta dello schermo.



Selezionando ad esempio il concio 66 e cliccando l'apposito link visualizziamo il dominio di resistenza:



Il dominio di resistenza è tridimensionale, ma con gli opportuni comandi della scheda 'Vista' si possono approfondire delle particolari sezioni del dominio, parallele ai piani coordinati: in figura seguente, ad esempio il piano My-Mz:

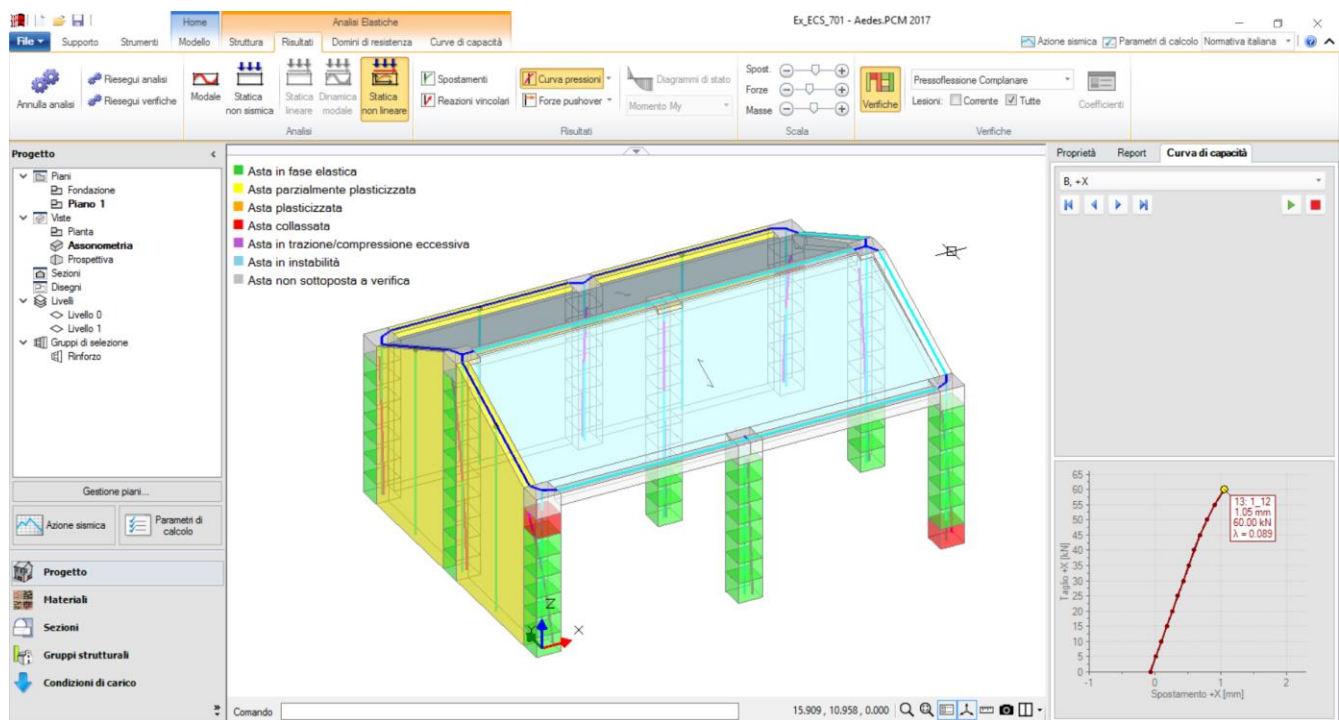


Sul dominio vengono posizionati anche i punti relativi alle varie combinazioni di carico, in modo da verificare se l'elemento è in sicurezza o collassato sotto ogni condizione di carico. Nel caso specifico tutti i punti sono interni quindi l'elemento è sicuro per questa analisi. Nel caso vi siano punti che escono dal dominio di resistenza essi vengono evidenziati di rosso.

L'analisi Pushover di questo Stato di Fatto evidenzia una crisi abbastanza significativa:

N° curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt	aV,PGA	aV,TR	VN,CLV	aD,PGA	aD,TR
1	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X		0.286	0.039	2	0.667	0.370
2	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+Y		0.365	0.069	3	0.852	0.651
3	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X		0.429	0.103	5	1.000	0.979
4	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+Y		0.310	0.045	2	0.722	0.425

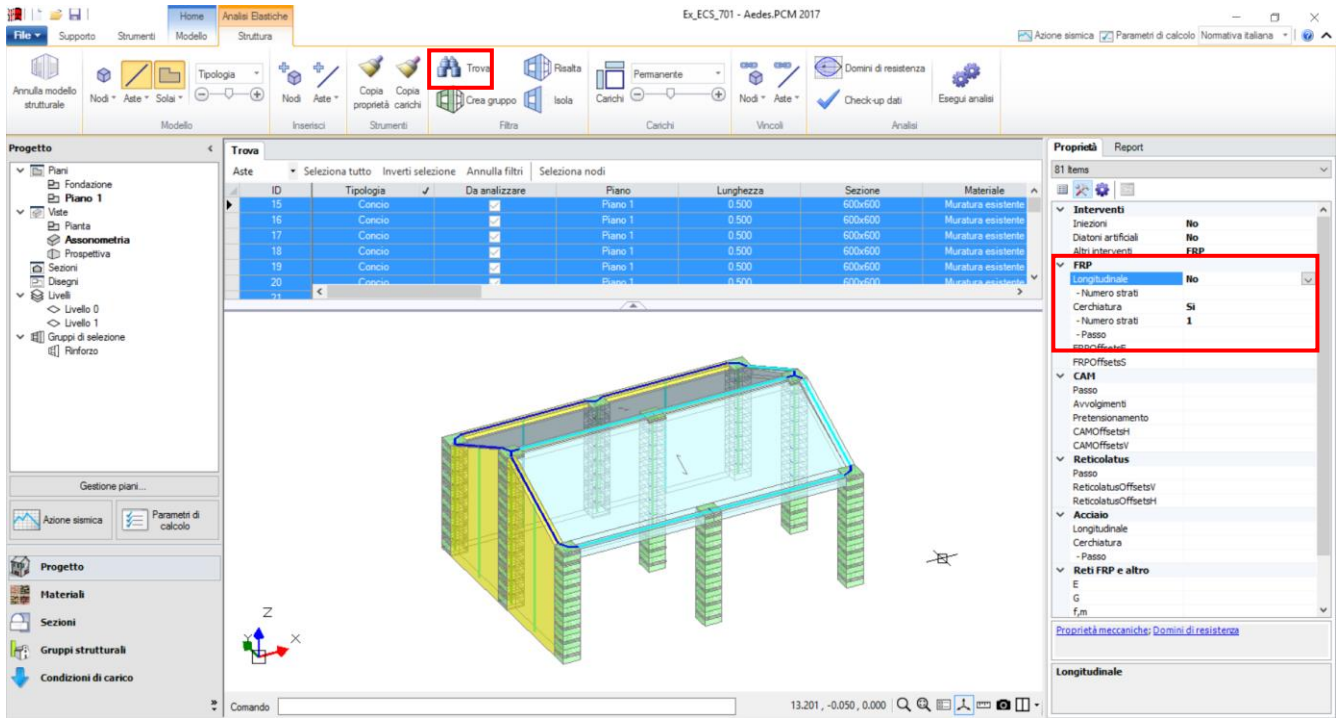
Scegliendo una delle curve elaborate possiamo studiare l'evoluzione al collasso della struttura, in particolare prendiamo la più gravosa la B+X, andando all'ultimo passo osserviamo che i maschi murari sono plasticizzati, quindi parzialmente svincolati, mentre due conci delle colonne sono collassati:



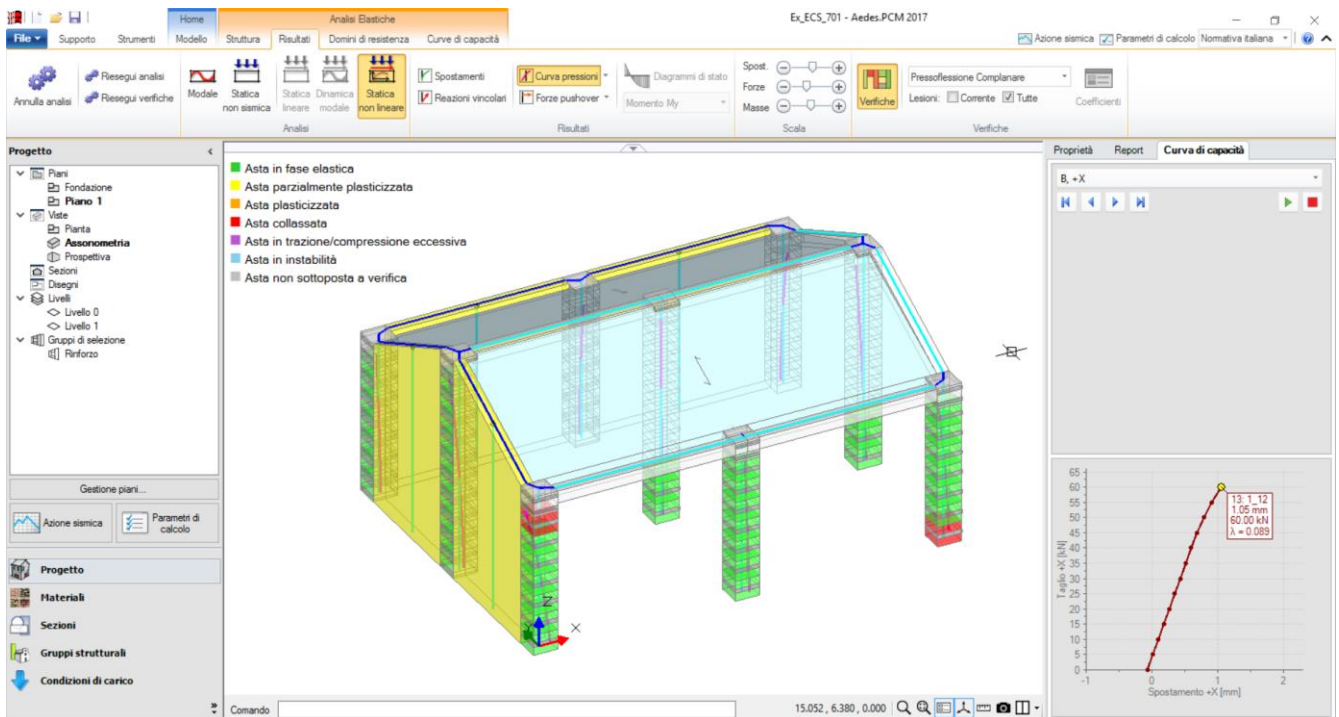
Si ipotizzano due tipologie di interventi sulle colonne:

- rinforzo con fasce in FRP;
- rinforzo con nastri in acciaio.

Entrambe le tipologie si attivano dalla scheda 'Interventi': per comodità si selezionando quindi tutte le aste con tipologia 'Concio', dal comando 'Trova', e si assegna loro l'intervento: nel caso seguente, si attiva l'intervento in FRP, ipotizzando in prima istanza di inserire solo le fasce di cerchiatura orizzontali in ogni concio (le dimensioni come larghezza e spessore delle fibre si gestiscono invece dai 'Parametri di Calcolo', scheda 'Interventi');



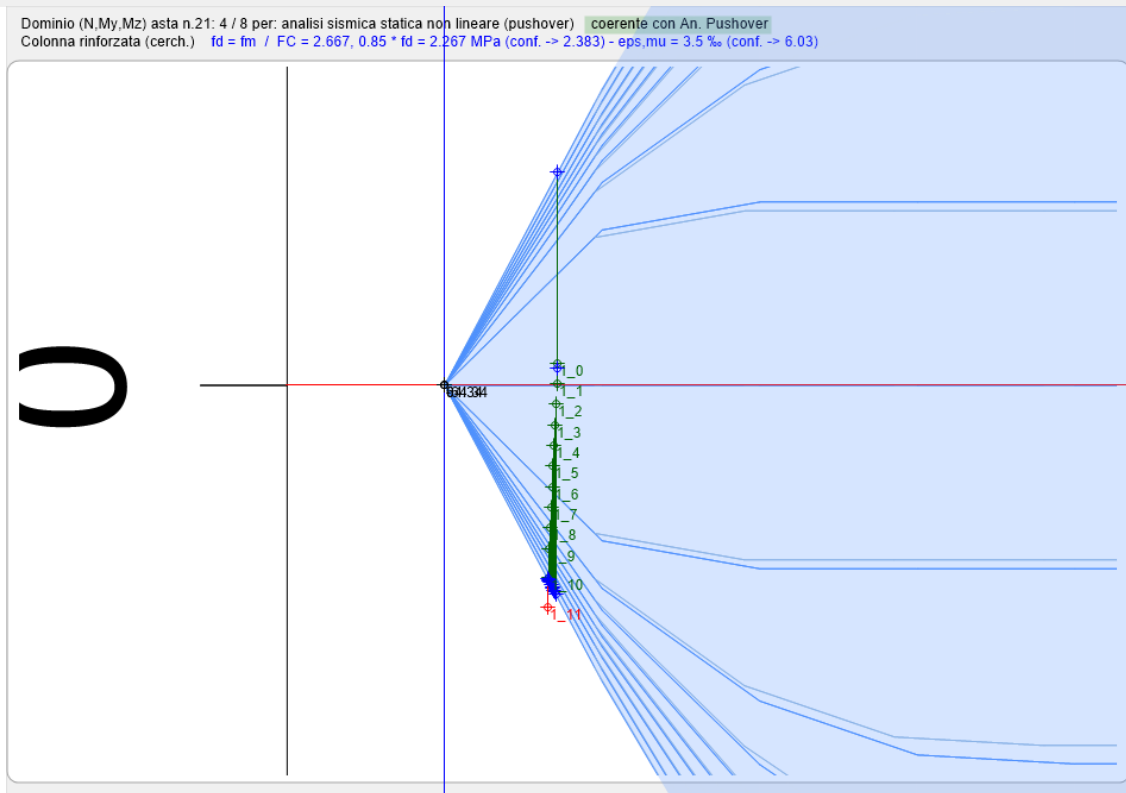
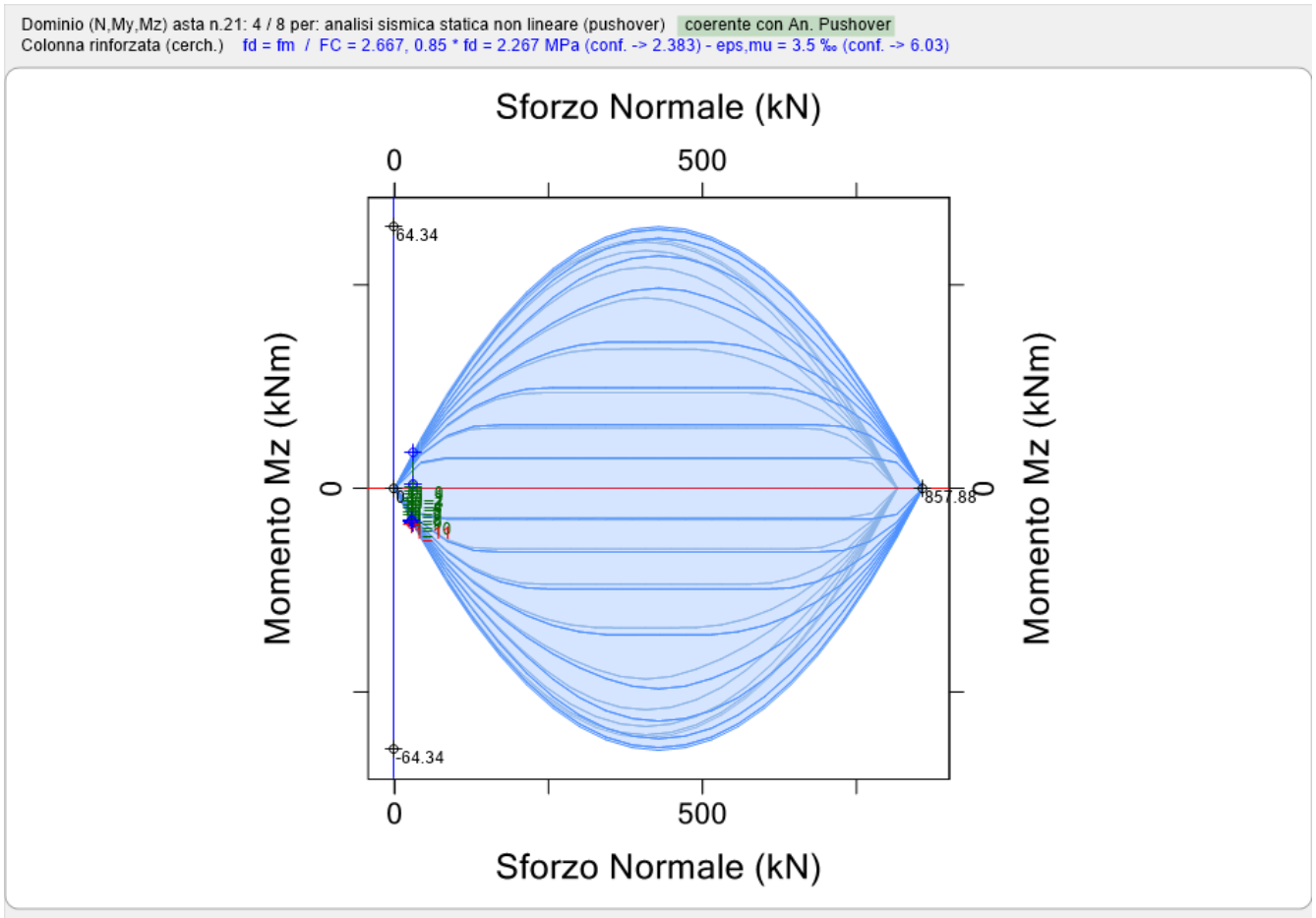
In analisi statica non sismica la struttura aveva già un buon comportamento, quindi l'intervento aumenta lievemente i coefficienti di sicurezza, che già erano maggiori di uno. In analisi Push Over osserviamo che l'intervento non è efficace, infatti i coefficienti di sicurezza non variano:



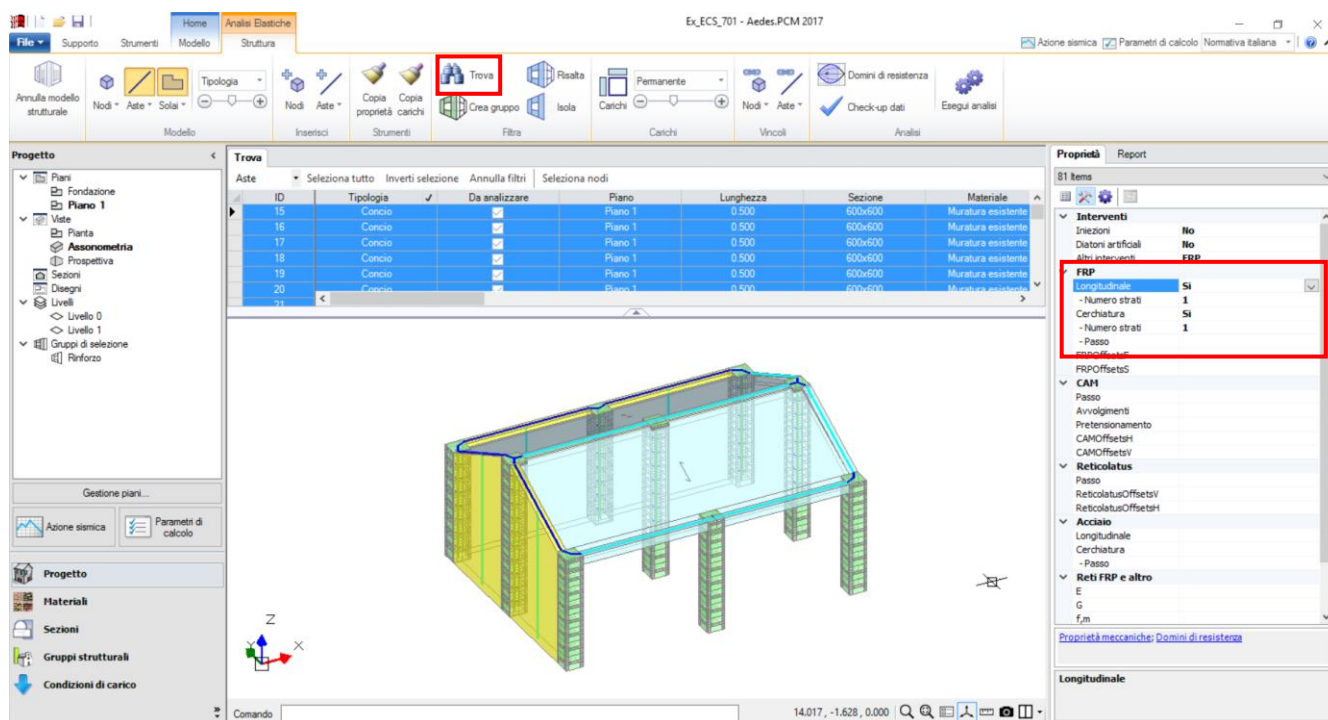
N°curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt	aV,PGA	aV,TR	VN,CLV	aD,PGA	aD,TR
1		<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X		0.286	0.039	2	0.667	0.370
2		<input type="checkbox"/>	B	+Y		0.365	0.069	3	0.852	0.651
3		<input type="checkbox"/>	E	+X		0.429	0.103	5	1.000	0.979
4		<input type="checkbox"/>	E	+Y		0.310	0.045	2	0.722	0.425

Selezionando uno dei conci possiamo verificare come l'intervento ha modificato il dominio, in particolare l'effetto dell'intervento qui ipotizzato porta un aumento della dimensione del dominio per alti valori dello

sfuerzo normale. Inoltre vengono visualizzati i punti rappresentativi dello stato di sollecitazione della sezione ad ogni passo della curva. In particolare sottolineiamo la presenza di un punto rosso relativo all'ultimo passo della curva di capacità:



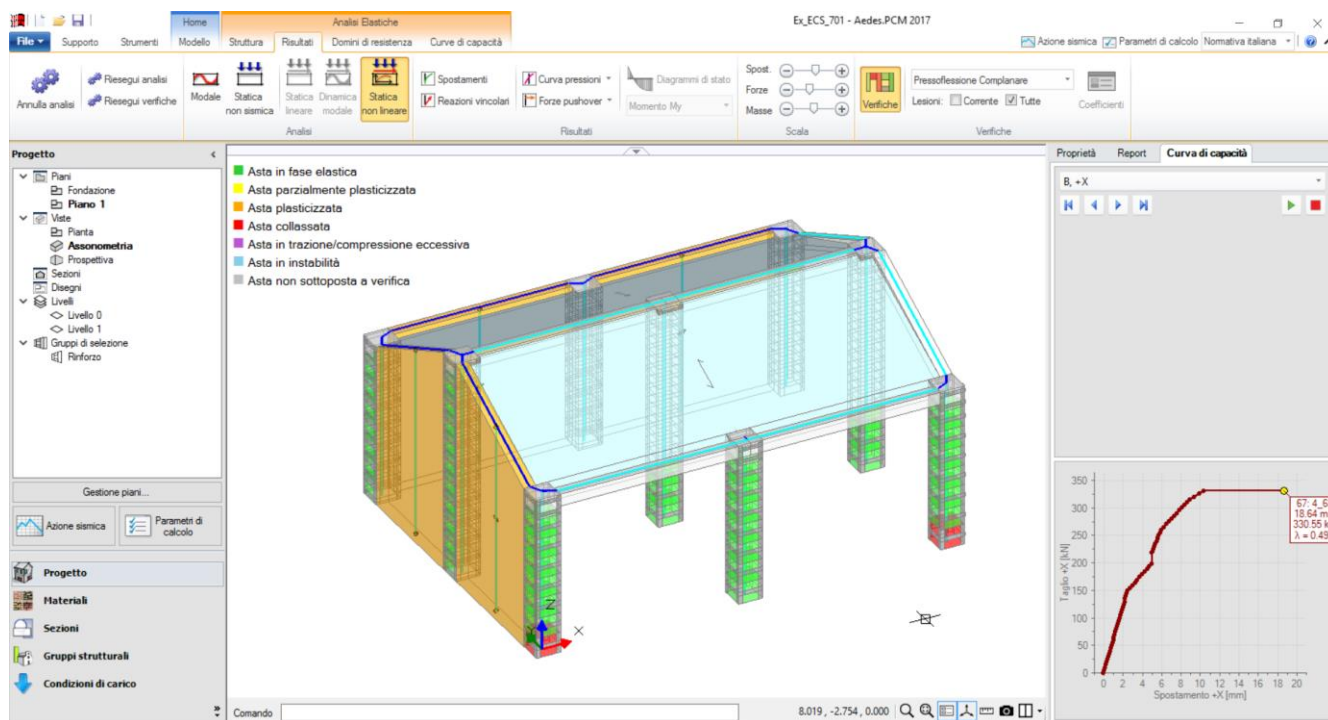
L'effetto migliore si ha invece aggiungendo, oltre che alla fibra di cerchiatura orizzontale, anche delle fibre longitudinali sugli spigoli:



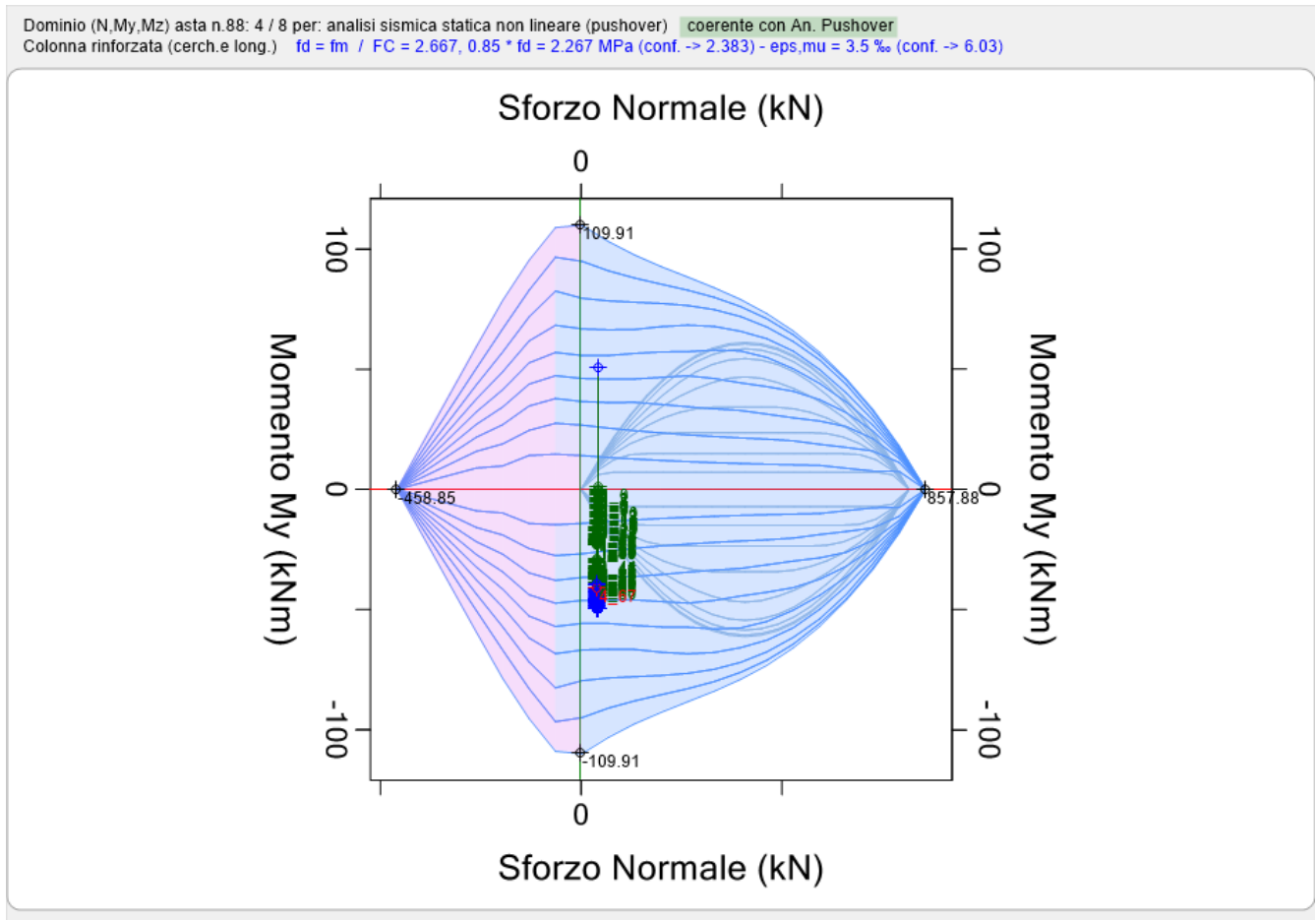
I benefici si notano soprattutto in ambito di analisi non lineare, con un evidente miglioramento:

N°curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt	aV,PGA	aV,TR	VNCLV	aD,PGA	aD,TR
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X		1.690	5.211	261	2.389	10.024
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B	+Y		1.690	5.211	261	2.148	7.425
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X		1.690	5.211	261	2.907	17.463
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	+Y		1.690	5.211	261	0.796	0.565

Analizzando lo sviluppo della curva osserviamo che le colonne collassano molto oltre il limite a SLV:

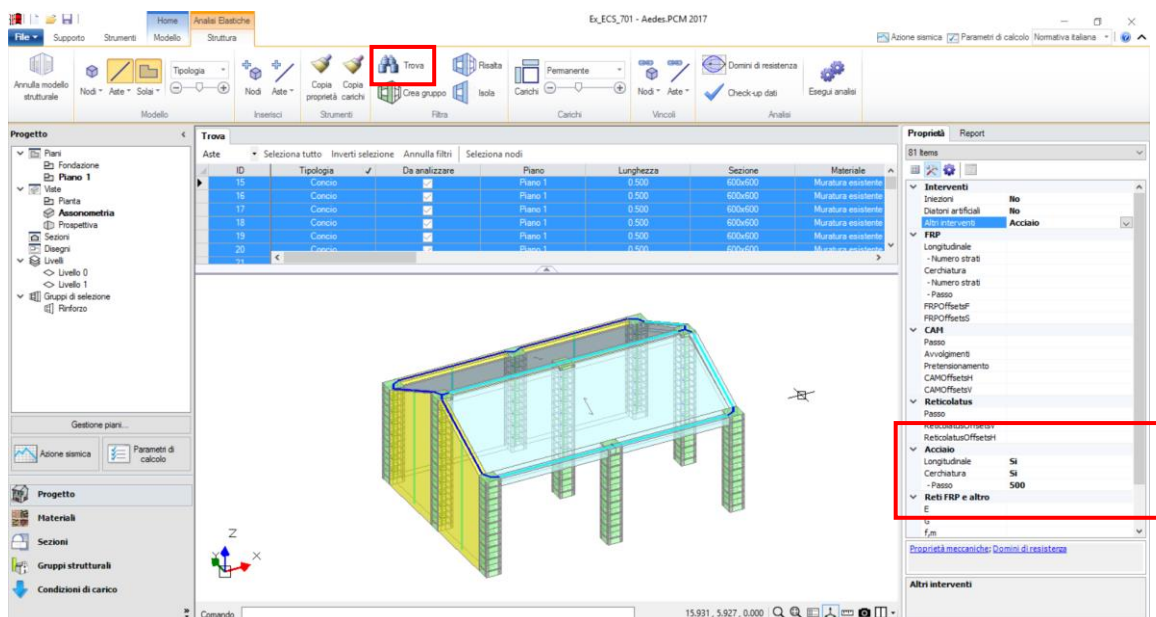


In termini di domini di resistenza, l'aggiunta dei rinforzi anche longitudinalmente comporta l'ampliamento del dominio di resistenza verso sinistra, ovvero per alti sforzi di trazione:



Se ne deduce quindi che il miglior rinforzo è ottenibile con l'inserimento anche di fibre longitudinali.

Un ragionamento analogo riguarda l'altra categoria di rinforzo, ovvero l'inserimento di nastri e profili in acciaio: questo è il caso di cerchiature metalliche orizzontali, e di profili angolari calastrellati: i dati specifici dei profili anche in questo caso sono modificabili dai 'Parametri di Calcolo', scheda 'Interveniti', mentre l'attivazione di questo rinforzo avviene sempre dalla scheda 'Interveniti':





### 3. VALIDAZIONE PER SISTEMI DI RINFORZO CON FRP

Il sistema di rinforzo con fibre in FRP, per come descritto ai paragrafi precedenti, è stato applicato e testato su una parete di tre piani con tre aperture, secondo la geometria proposta nelle norme CNR – DT 200 R1/2012 al §14 Appendice H.

La parete in oggetto è costituita da tre elevazioni, alte 3.00m: al piano terra sono presenti tre porte, mentre agli altri piani sono presenti tre finestre; a livello geometrico, il paramento è compiutamente definito, ed è schematizzato come mostrato nell'immagine seguente:

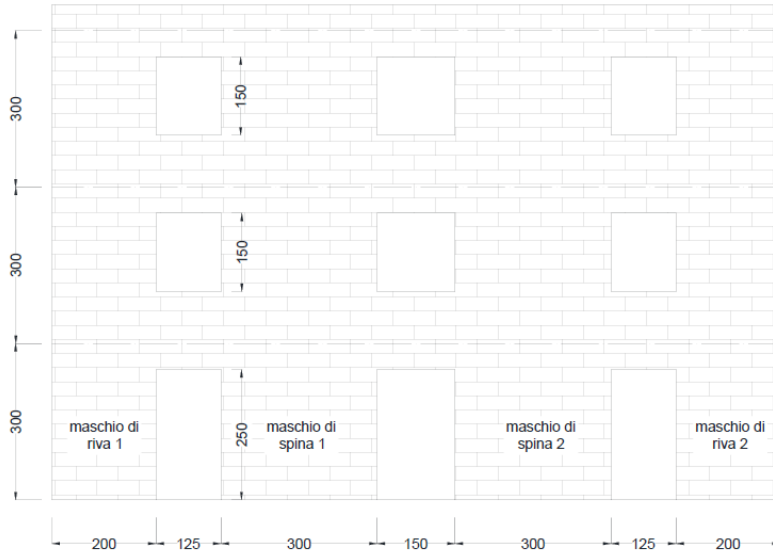
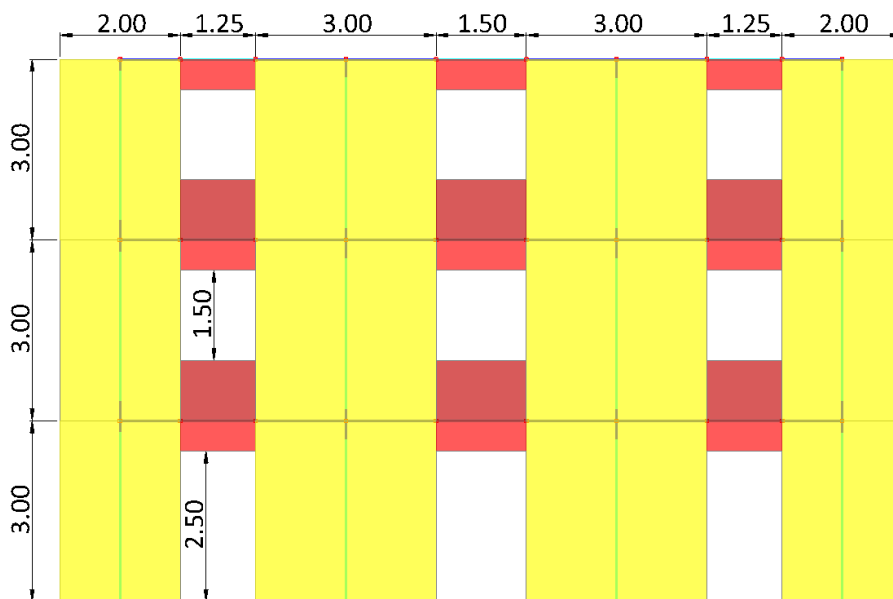
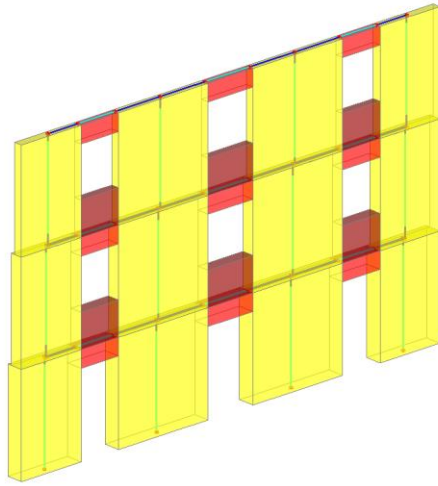


Figura 14-1 – Geometria della parete oggetto di studio (dimensioni in cm).



Le murature variano di spessore ai tre livelli: al piano terra presentano spessore pari a 50cm, al primo piano 37.5, ed all'ultimo pari a 25cm.



I muri sono allineati sul filo esterno, ed i disassamenti di spessore si traducono nella creazione di link rigidi ortogonali alle pareti.

Il riferimento indica i dati del materiale (sia della muratura, che successivamente dei rinforzi), ed indica anche i carichi assegnati alle aste, ovvero sostanzialmente:

- Su tutto l'impalcato un carico verticale di 20 kN/m;
- Forze concentrate orizzontali applicate ai nodi orizzontali, via via crescenti verso l'alto:

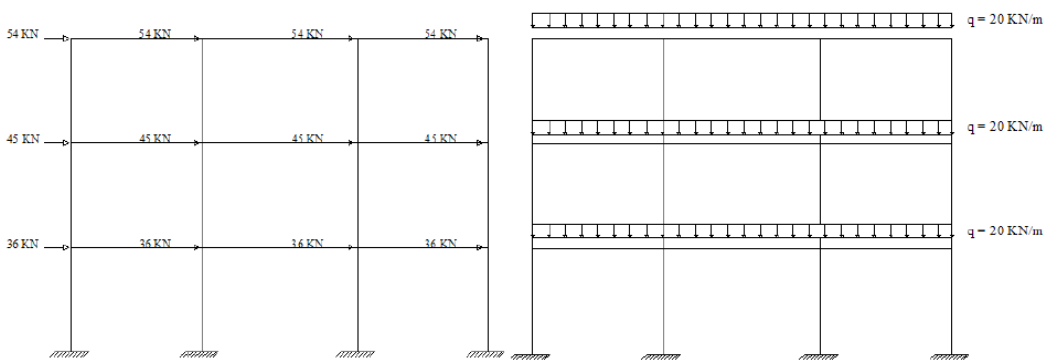
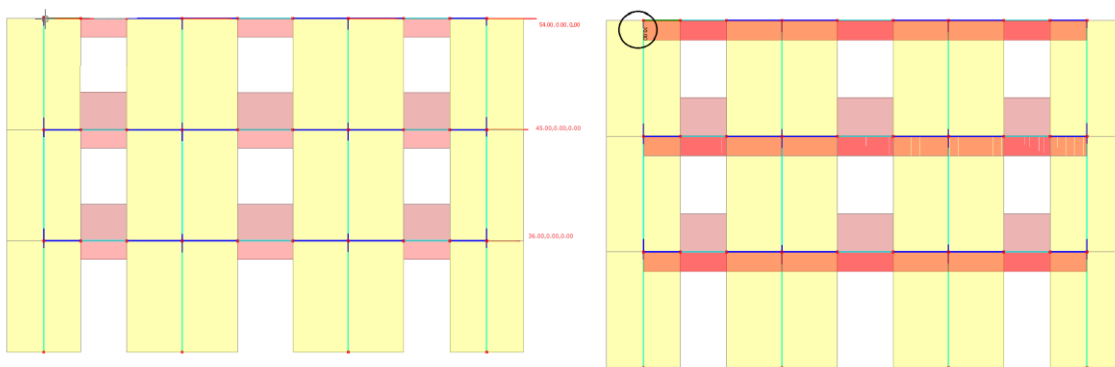


Figura 14-2 – Modellazione a telaio e azioni di progetto.



C

L'esempio bibliografico di riferimento non precisa alcune altre proprietà fondamentali per caratterizzare con precisione ed oggettività il paramento, come:

- **Il carico verticale sull'impalcato:** presumibilmente, questo è applicato per tutta la lunghezza dell'impalcato, quindi anche per le 'metà' pareti che non comparirebbero nel solo schema del telaio; per precisione quindi andrebbe inserito un carico concentrato rappresentativo di questa zona, ad

ogni modo in assenza di più specifiche valutazioni si intende comunque il solo carico applicato sulle aste orizzontali per come previsto dal documento;

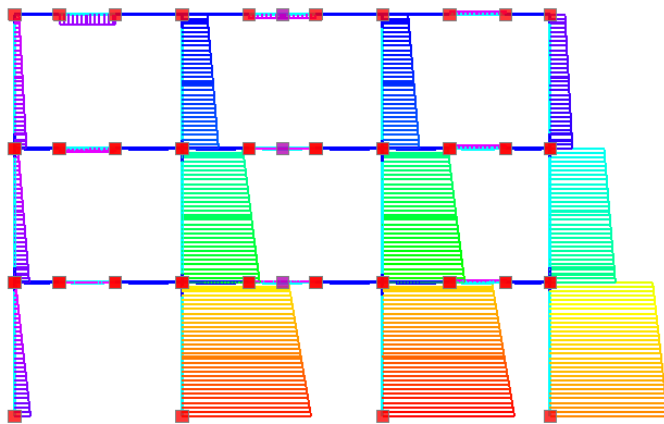
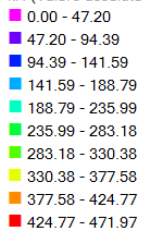
- **Zone rigide:** non viene dato riferimento sulle zone rigide adottate (se pari all'intersezione geometrica maschi-fasce, o ad esempio con diffusione a 30°); nel paramento ricostruito si adotta la diffusione delle zone rigide a 30°, secondo la metodologia proposta dal Prof. Dolce;

Malgrado la mancanza di dati oggettivi come sopra indicato, eseguendo un'analisi Statica Non Sismica, è stato possibile comunque evidenziare come i risultati siano abbastanza comparabili con il riferimento (le forze orizzontali, di origine sismica, sono già note ed applicate nei nodi, per cui in PCM il modello viene rappresentato inserendo tali forze ed eseguendo un'analisi statica non sismica).

A tal fine, il modello denominato 'Appendice\_H\_CNR-DT200\_R1\_2012.vdml' contiene la geometria del paramento senza rinforzi, e fornisce i seguenti risultati relativamente ai diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione:

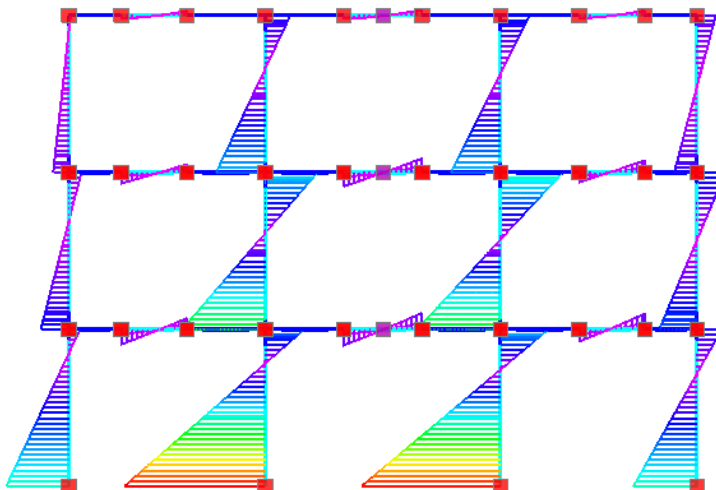
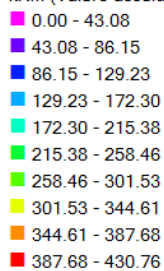
#### Sforzo normale N

kN (Valore assoluto)



#### Momento My

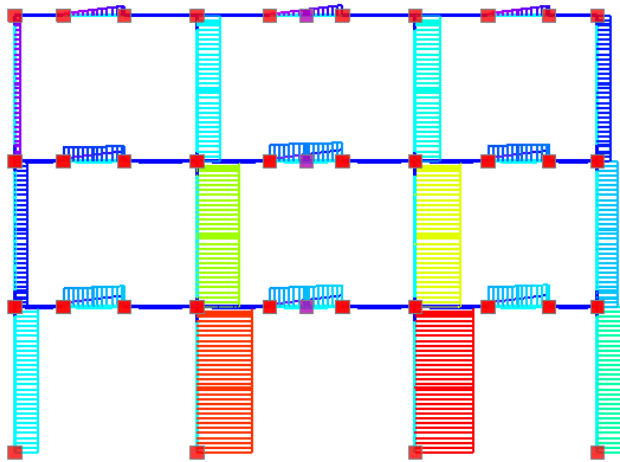
kNm (Valore assoluto)



### Taglio Tz

kN (Valore assoluto)

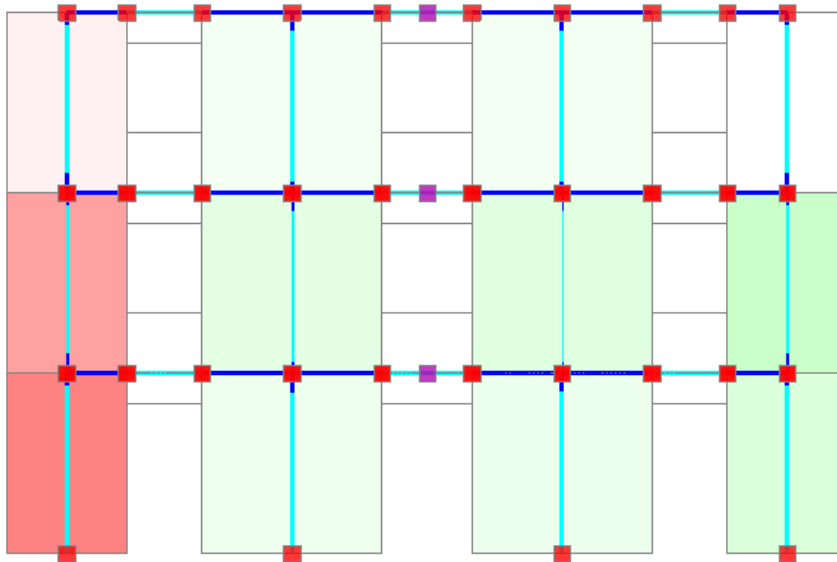
- 0.00 - 19.09
- 19.09 - 38.19
- 38.19 - 57.28
- 57.28 - 76.37
- 76.37 - 95.47
- 95.47 - 114.56
- 114.56 - 133.65
- 133.65 - 152.74
- 152.74 - 171.84
- 171.84 - 190.93



A livello di verifiche, si manifesta una crisi a pressoflessione e taglio lungo tutti i maschi di riva a sinistra, e sul primo maschio murario in alto a destra, coerente il campo di spostamenti che comporta un alleggerimento a sinistra e un aggravio a destra, con effetti sfavorevoli nelle pareti 'alleggerite' (minore sforzo normale tende a ridurre la stabilità della parete):

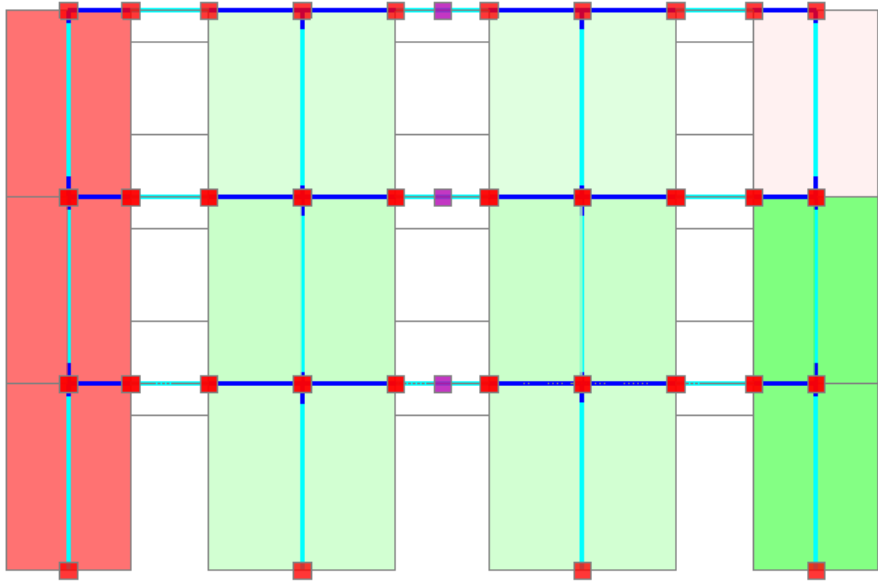
- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Asta non sottoposta a verifica

PressoFlessione Complanare

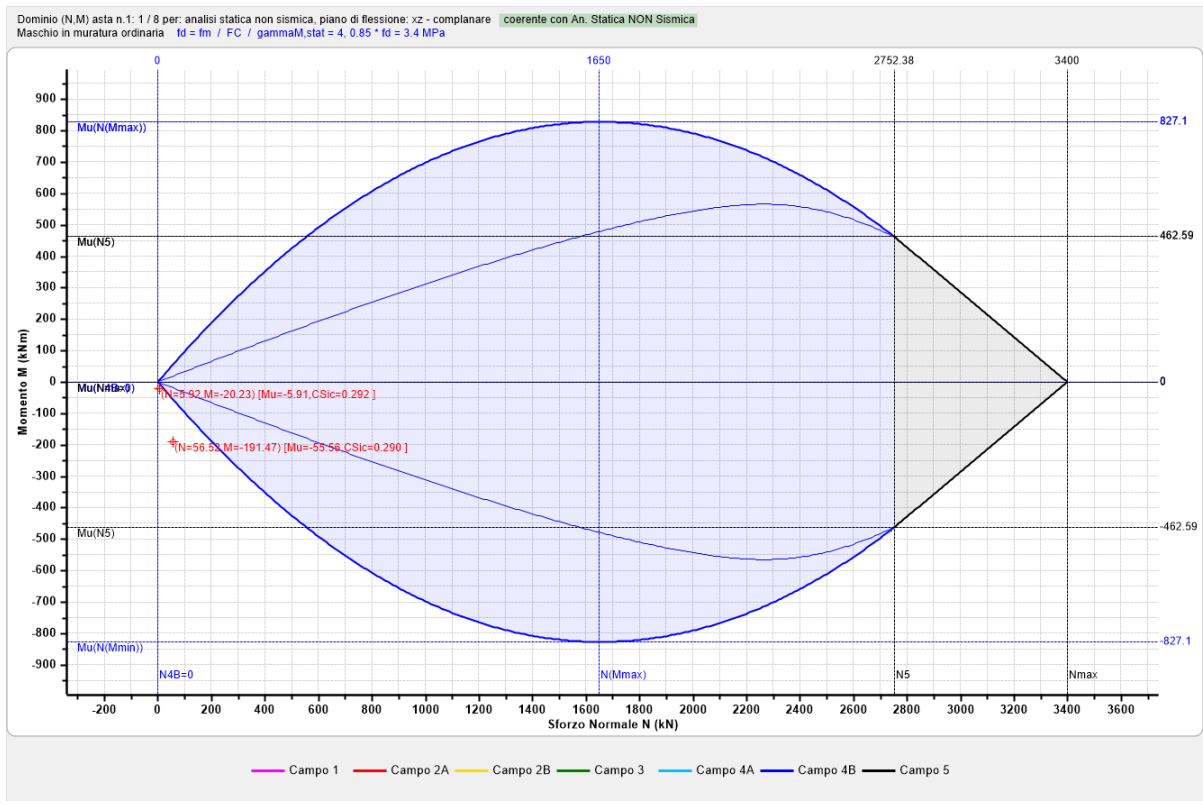


- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Asta non sottoposta a verifica

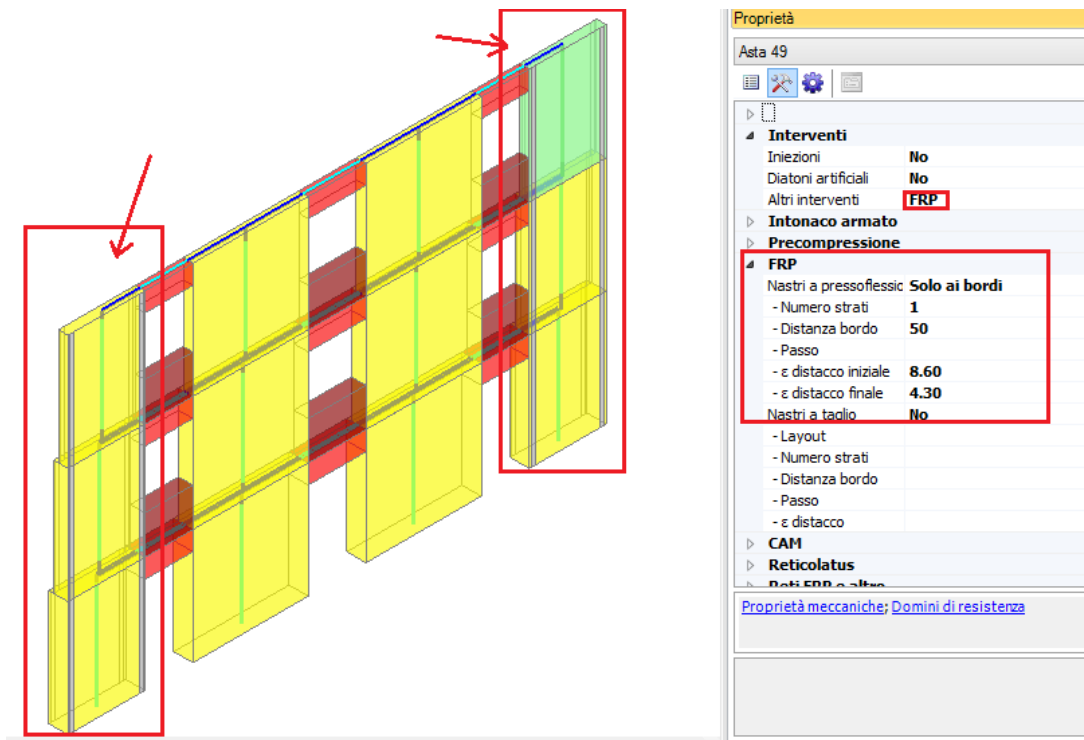
Taglio per Scommento



In termini di domini di resistenza, la parete meno verificata a pressoflessione è l'asta n°1, visualizzando i domini si nota infatti come i punti (in rosso) ricadano fuori dal dominio di resistenza:



Nel riferimento bibliografico, le ipotesi di consolidamento prendono anzitutto in considerazione un rinforzo a pressoflessione sui maschi di riva, sostanzialmente in modo analogo al modello 'Appendice\_H\_RinfPress.vdml':



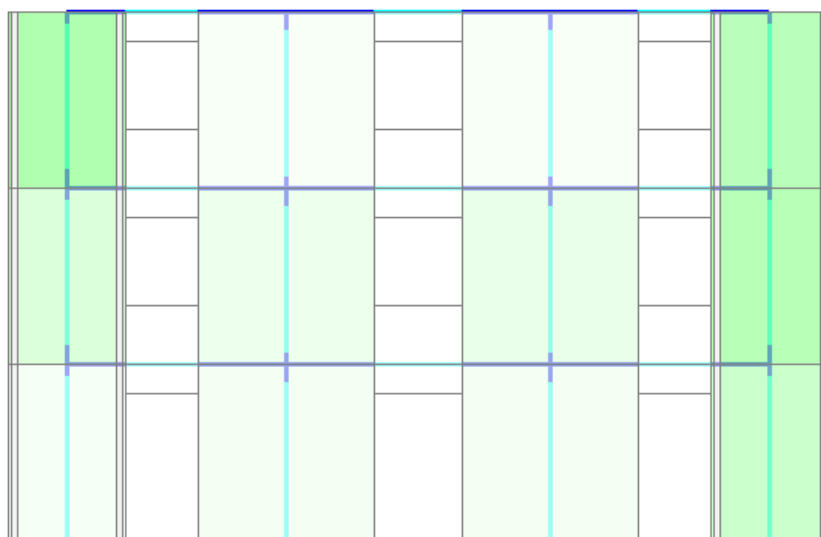
Si prevede di inserire gli ancoraggi solo alla sezione di base al piano terra, per tutte le altre sezioni il rinforzo FRP è incollato al supporto, quindi la crisi avverrà per delaminazione, in base alla  $\epsilon$  di distacco che si inserirà nei dati del rinforzo (in questo caso  $\epsilon$  distacco=8.60‰, leggermente inferiore – e pari a 4.30‰ per la sezione di sommità all'ultimo piano).

Come già osservato, la conseguenza sui risultati si traduce in un dominio di diversa ampiezza in caso di deformazione da distacco, anziché di deformazione da rottura (molto più elevata).

La verifica a pressoflessione è adesso tutta soddisfatta, ma non lo è ancora del tutto quella per taglio a scorrimento (pur essendo migliorata grazie al rinforzo a pressoflessione):

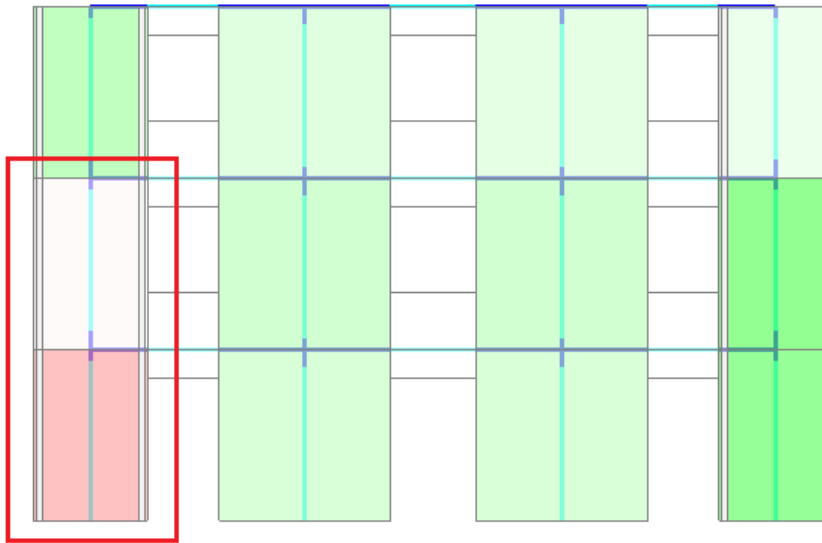
■ Verifica soddisfatta  
■ Verifica non soddisfatta  
■ Verifica soddisfatta per azioni nulle  
■ Verifica non soddisfatta per azioni non consentite  
■ Asta non sottoposta a verifica

Pressoflessione Complanare ▾

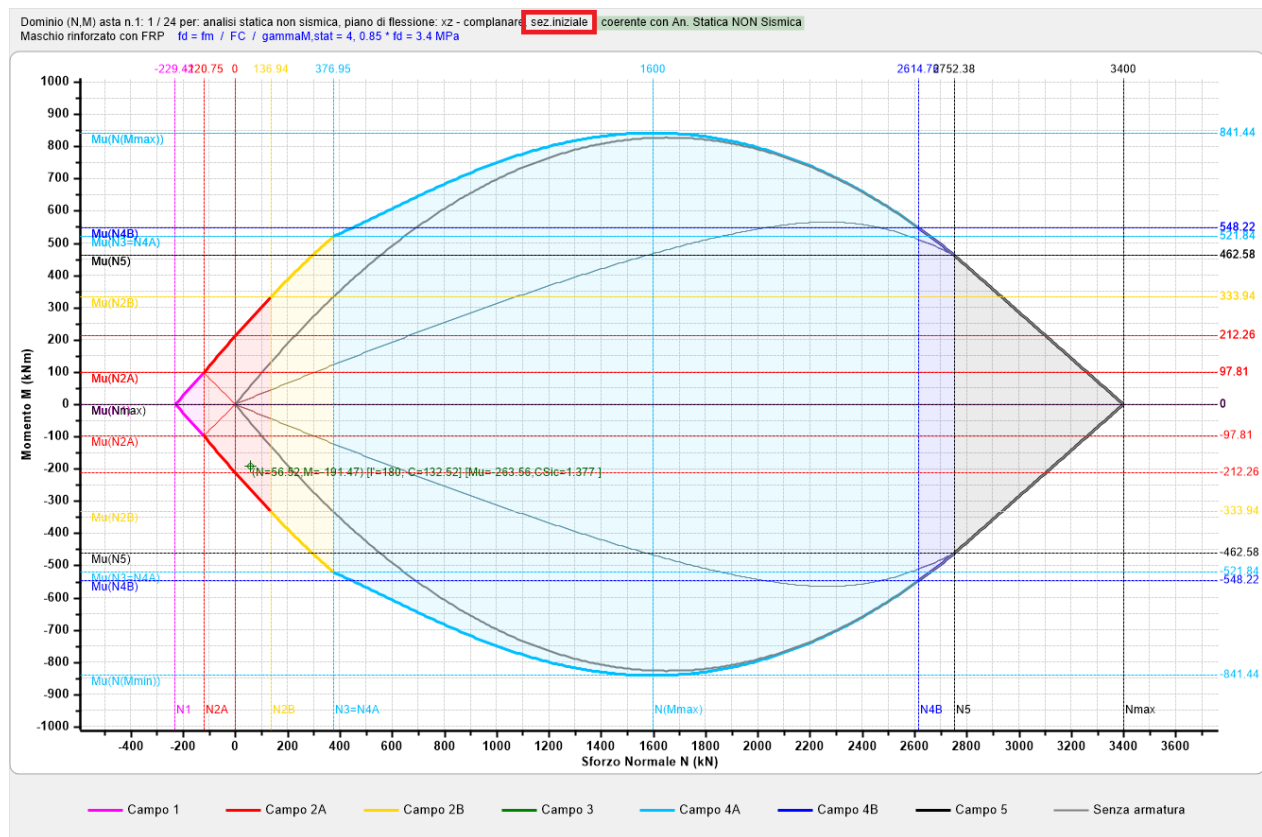


- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Asta non sottoposta a verifica

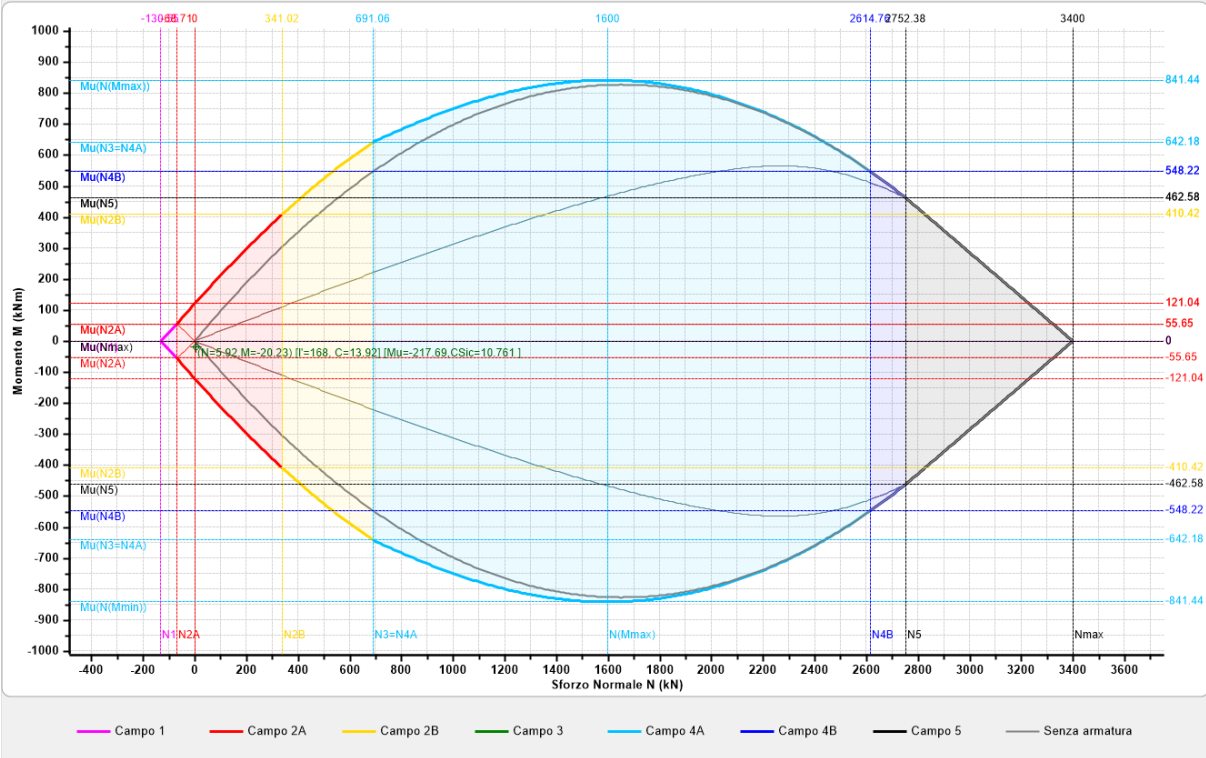
Taglio per Scorrimento ▼



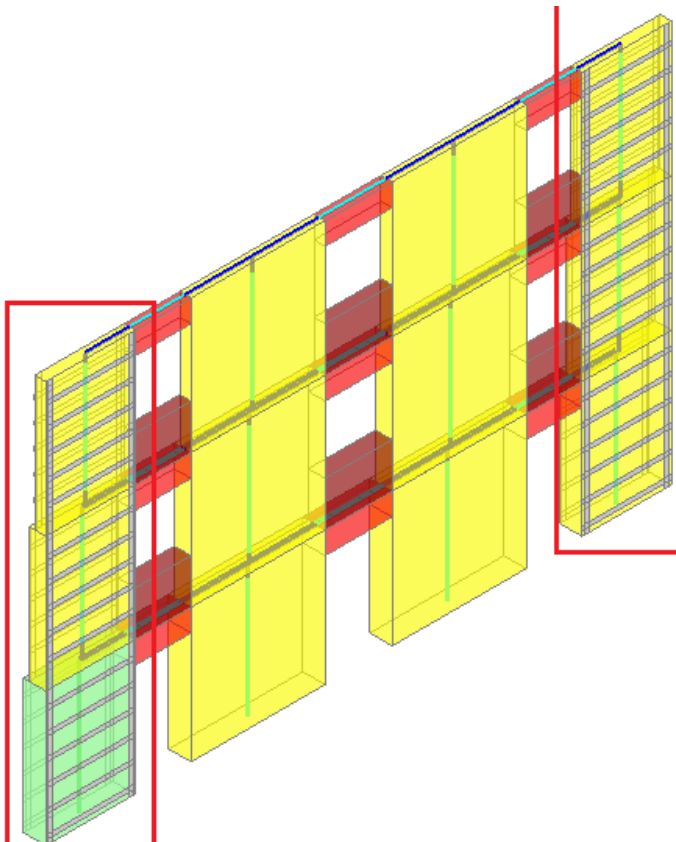
Per confronto con la situazione iniziale, ad esempio con riferimento alla precedente asta n°1, si visualizzano i domini di resistenza: si nota come il dominio è più 'ampio' verso sinistra, e riesce quindi a contenere il punto che prima ricadeva fuori (i domini sono distinti in 'Sezione Iniziale' e 'Sezione Finale', avendo come detto inserito valori differenti per le deformazioni di distacco e/o di rottura (campo di  $\epsilon$  vuoto)):



Dominio (N,M) asta n.1: 5 / 24 per: analisi statica non sismica, piano di flessione: xz - complanare sez. finale coerente con An. Statica NON Sismica  
 Maschio rinforzato con FRP  $f_d = f_m / F_C / \gamma_{mM,stat} = 4,085 \cdot f_d = 3,4 \text{ MPa}$



Si procede quindi ad inserire anche un ulteriore rinforzo in FRP, stavolta per aiutare anche nella verifica a taglio (modello 'Appendice\_H\_RinfPressTag.vdml'):



Proprietà

Asta 1

Interventi

- Iniezioni: No
- Diatoni artificiali: No
- Altri interventi: **FRP**

Intonaco armato

Precompressione

**FRP**

- Nastri a pressoflessic: **Solo ai bordi**
- Numero strati: **1**
- Distanza bordo: **50**
- Passo:
- $\epsilon$  distacco iniziale:
- $\epsilon$  distacco finale: **8.60**
- Nastri a taglio: **In base al passo**
- Layout: **Su luce deformabile**
- Numero strati: **1**
- Distanza bordo: **106**
- Passo: **500**
- $\epsilon$  distacco: **8.60**

CAM

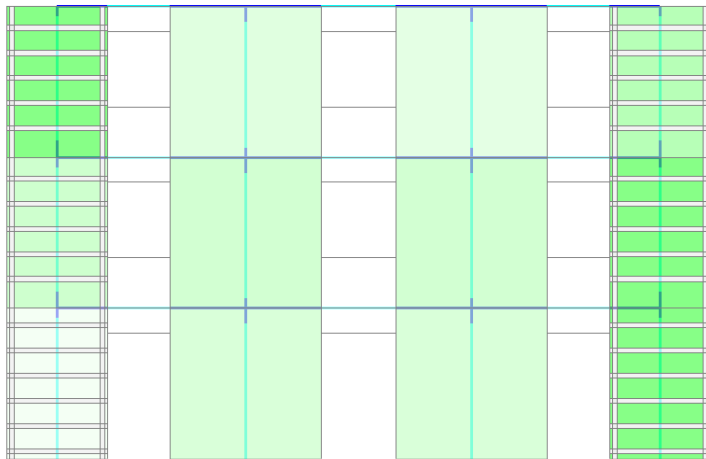
Reticolatus

Proprietà meccaniche; Domini di resistenza

La verifica a questo punto comporta la totale verifica dei maschi murari, anche nei confronti del taglio per scorrimento:



- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Asta non sottoposta a verifica



Analisi Statica Lineare, NON Sismica: Sintesi ris...

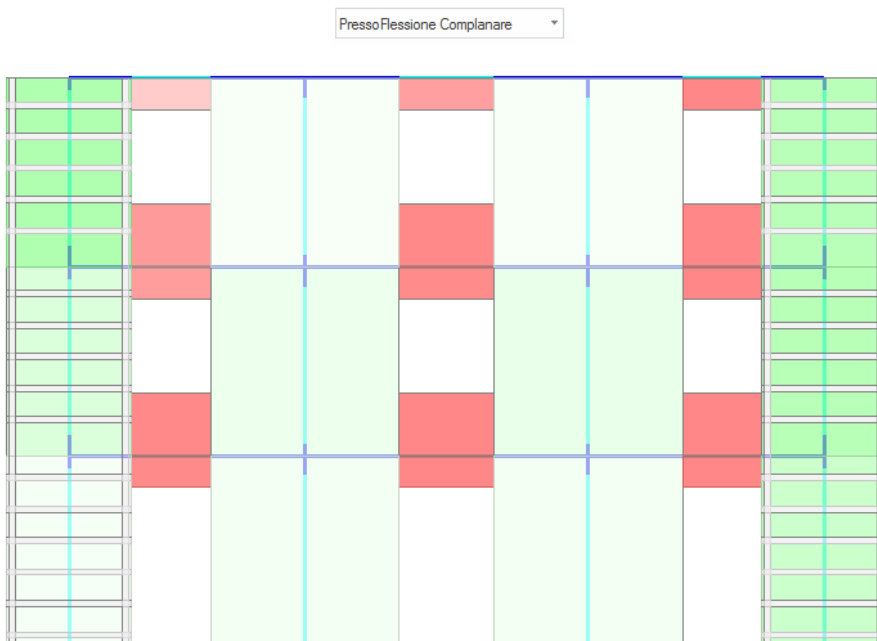
**Analisi Statica Lineare NON Sismica [§4.5.5]**  
**Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura**

SLU di salvaguardia della Vita (SLV)

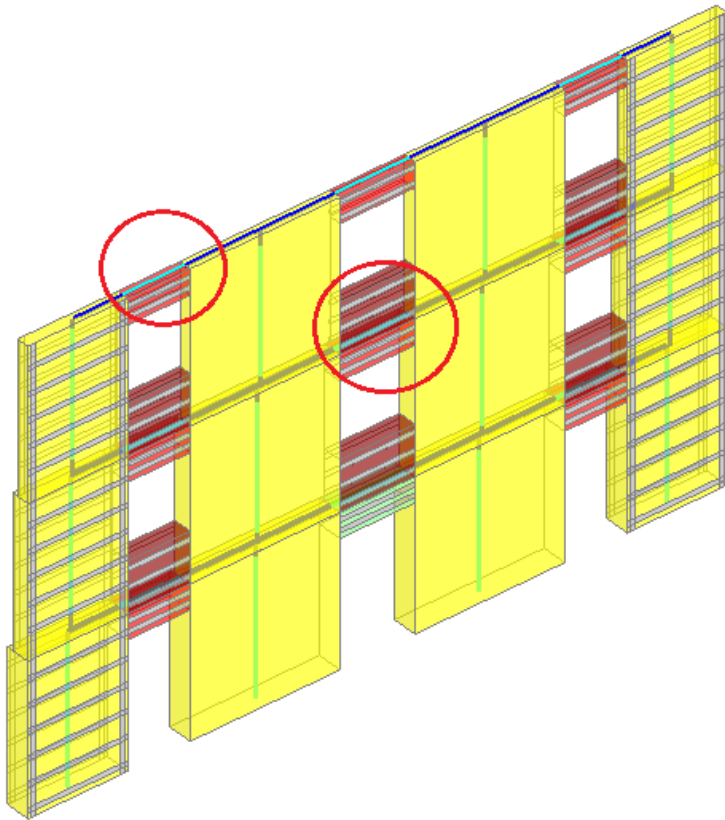
Verifiche di Resistenza

[§4.5.5]	<b>CCC 1 / 2</b>
PressoFlessione Complanare [§4.5.6]	<b>1.343</b> 100%
Taglio per Scorrimento [§4.5.6]	<b>1.435</b> 100%
Taglio per Fessuraz. Diagonale [§4.5.6]	<b>3.519</b> 100%
PressoFlessione Ortogonale (da modello 3D)	<b>3.814</b> 100%
PressoFlessione Ortogonale [§4.5.6.2]	<input type="checkbox"/>
SL di tipo geotecnico (GED): Capacità portante del terreno e Scorrimento sul piano di posa [§6.4.2.1]	<input type="checkbox"/>

Nei precedenti esempi, sono state escluse dalle verifiche le fasce murarie. Se si attivasse la verifica anche in queste ultime, si noterebbe come risultino non verificate per Pressoflessione, in sostanza in quanto prive di armature resistenti a trazione (modello 'Appendice\_H\_RinfPresTag\_FasceNonRinf.vdml')



Se quindi si volesse soddisfare la verifica anche per tali elementi orizzontali, si pensa anche per essi al rinforzo con FRP: a questo scopo, nel file 'Appendice\_H\_RinfPresTag\_FasceRinfPres.vdml' si è proceduto ad applicare un rinforzo a pressoflessione anche alle fasce orizzontali:



**Proprietà**

Asta 12

Interventi

- Iniezioni **No**
- Diatoni artificiali **No**
- Altri interventi **FRP**

Intonaco armato

Precompressione

FRP

- Nastri a pressoflessic **A partire dai bordi**
- Numero strati **2**
- Distanza bordo **100**
- Passo **200**
- ε distacco iniziale **8.60**
- ε distacco finale **8.60**
- Nastri a taglio **No**
- Numero strati
- Distanza bordo
- Passo
- ε distacco

CAM

Reticolatus

Reti FRP e altro

[Proprietà meccaniche; Domini di resistenza](#)

Con tale intervento, l'esito delle verifiche è in definitiva totalmente soddisfacente:

