



Ordine degli Ingegneri
della Provincia
di Roma



Materials and Structures Testing and Research
www.associazionemaster.org

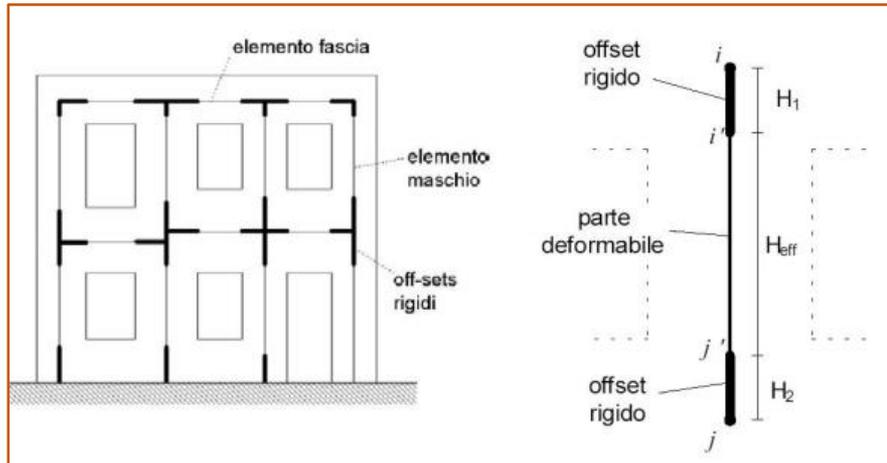
ASPETTI DI VALIDAZIONE DI LEGAMI COSTITUTIVI NON LINEARI PER MURATURA ESISTENTE IN CODICI DI CALCOLO FEM

Ing. Ada Zipoli

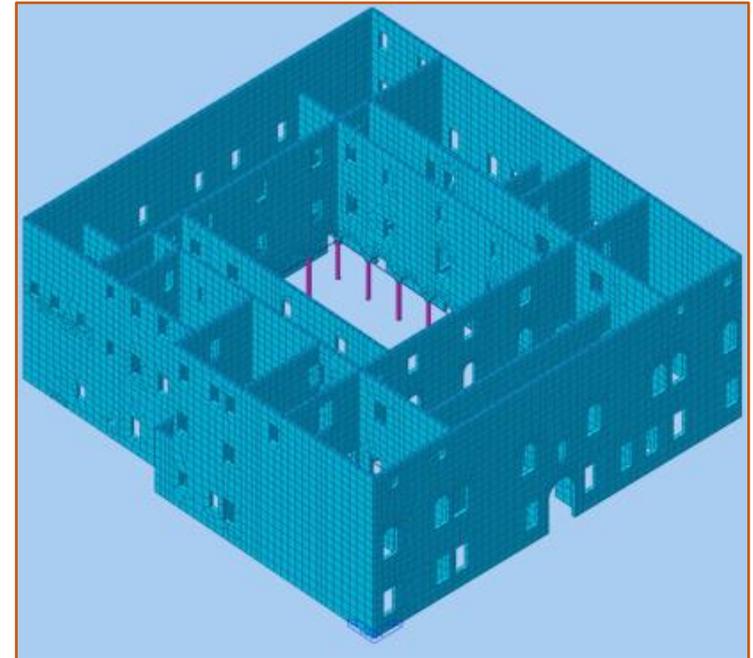
*Technical Manager Structural and Geotechnical Engineering
Department Harpaceas*



Telaio Equivalente vs. Modellazione al Continuo



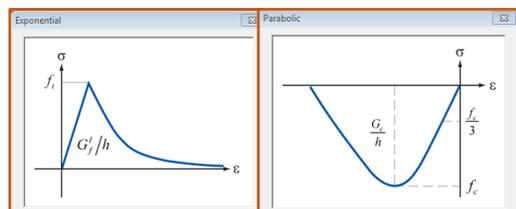
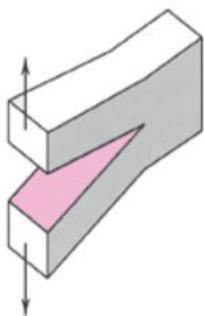
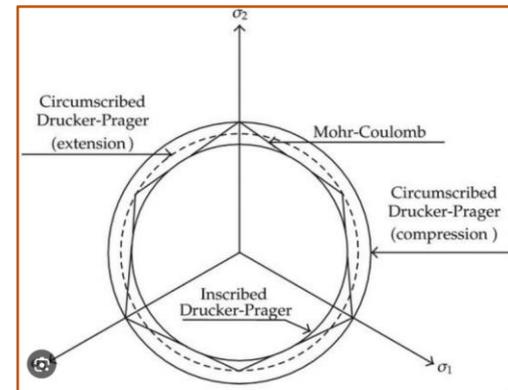
La presenza di aperture non allineate in altezza, di particolari costruttivi quali volte, capriate, porticati, catene ed in generale di elementi tozzi spesso non permette ad una modellazione a telaio equivalente di cogliere la risposta effettiva della struttura.



*Modello Palazzo de' Principi di Correggio (RE)
Studio Tecnico Ing. Corrado Prandi*

Leggi costitutive NL nei più comuni codici commerciali FEM per muratura al continuo

		Adatto per:	Input	Criterio di rottura	Peculiarità
Specifico per muratura	StruMas(Pande&Lee, Swansea Univ., UK)	Fessurazione diagonale	f_{tv} , E_{el-pl}	σ_{max}	Procedura avanzata di omogeneizzazione
Legami attritivi	Mohr Coulomb	Taglio scorrimento	c , ϕ , ψ	$\tau(\text{confinamento})$	Resistenza dipendente da confinamento
	Drucker Prager	Taglio scorrimento	c , ϕ , ψ	$\tau(\text{confinamento})$	Resistenza dipendente da confinamento
Formulazioni avanzate	Concrete Damage Plasticity	Fessurazione diagonale	f_{tv} , f_{cr} , $\varepsilon_{in,tv}$, $\varepsilon_{in,c}$, ψ	$\sigma_{max}/\sigma_{min}$	Possibilità di differenziare comportamento a trazione e a compressione
	Total Strain Crack/Smeared Crack Model	Fessurazione diagonale	f_{tv} , f_{cr} , G_{fr} , G_c	$\sigma_{max}/\sigma_{min}$	Possibilità di differenziare comportamento a trazione e a compressione

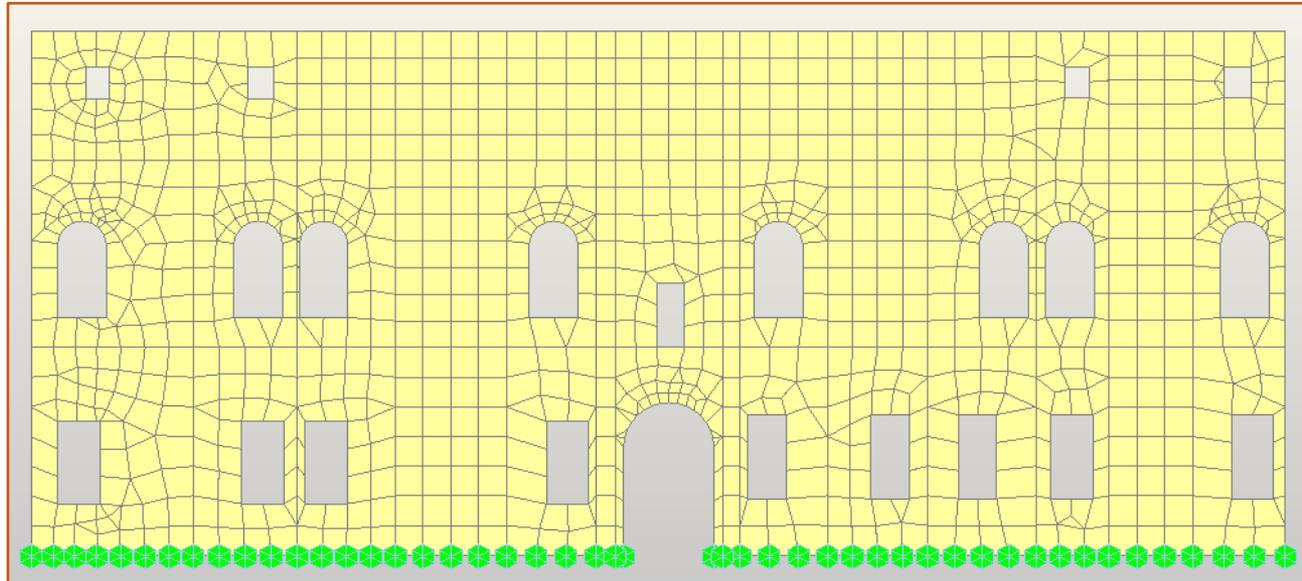


Con la complessità dei modelli aumenta il numero dei parametri
(...e il professionista spesso non ha a disposizione neppure i parametri basici!!!)



Nasce la necessità di capire l'errore commesso utilizzando modelli costitutivi più semplici
Se tali modelli sono tutti disponibili all'interno del singolo software, è necessario sapere allineare i modelli
Se tali modelli sono disponibili in software differenti, bisogna conoscerne le diverse implementazioni

Modello in esame: facciata del Palazzo de' Principi di Correggio



Spessore: 35 cm

Tre impalcati non rigidi a quota 6.8, 12.9 e 17.15 m

Carico verticale: peso proprio (basso confinamento)

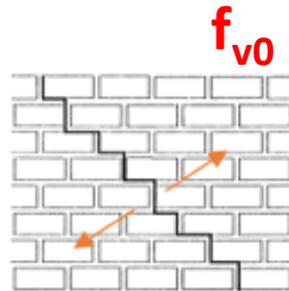
Carico orizzontale: forze proporzionali alle masse $\times 0.3$

Parametri della muratura

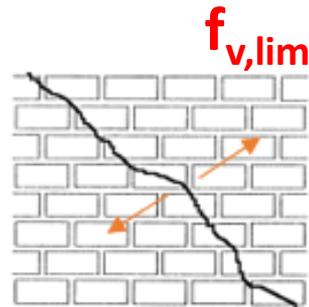
- Da prove sono disponibili
 - ✓ tipo di muratura = tessitura regolare
 - ✓ modulo elastico = 1500 N/mm²
 - ✓ resistenza a compressione = 2 N/mm².
- Voglio simulare



➔ Mi serve la resistenza a trazione della muratura



fessurazione diagonale con giunti deboli



fessurazione diagonale con giunti resistenti



Muratura irregolare
Fessurazione diagonale

Come recupero la resistenza a trazione della muratura?

- Faccio le prove
- Utilizzo indicazioni normative

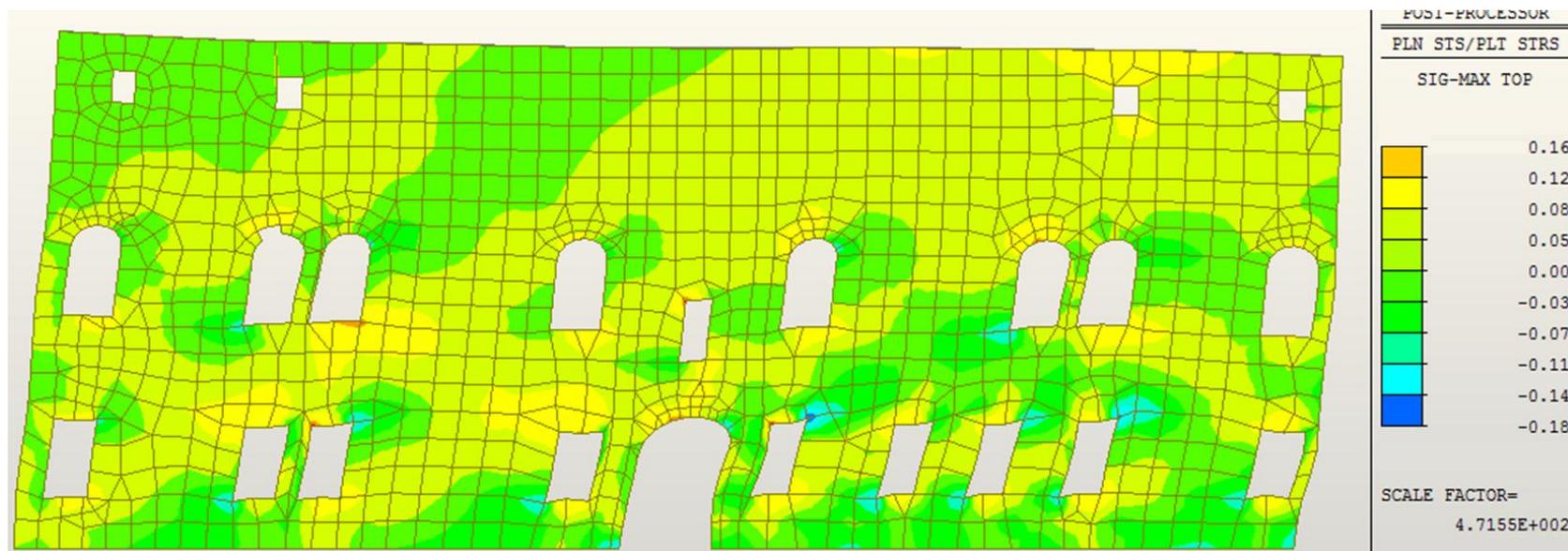
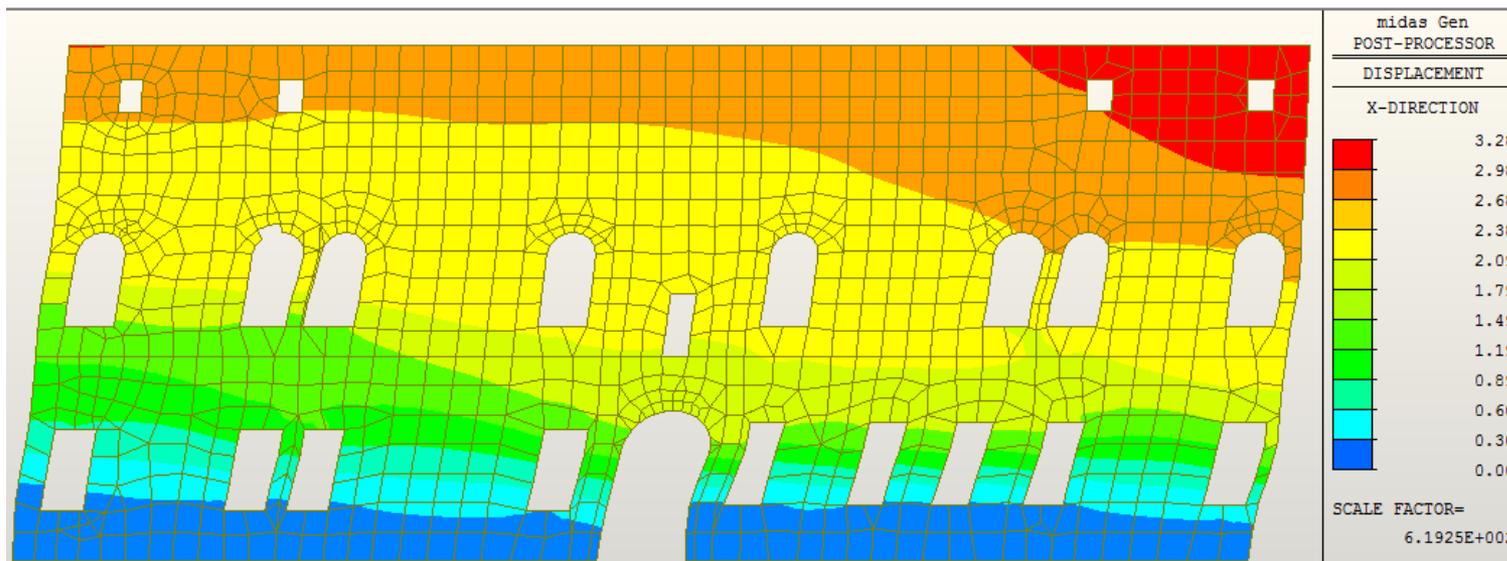
f_{td} e τ_{0d} sono, rispettivamente, i valori di calcolo della resistenza a trazione per fessurazione diagonale e della corrispondente resistenza a taglio di riferimento della muratura ($f_t = 1,5 \tau_0$); nel caso in cui tale parametro sia desunto da prove di compressione diagonale, la resistenza a trazione per fessurazione diagonale f_t si assume pari al carico diagonale di rottura diviso per due volte la sezione media del pannello sperimentato valutata come $t(l+h)/2$, con t , l e h rispettivamente spessore, base e altezza del pannello.

La Normativa propone due differenti formule per il calcolo della resistenza a taglio per fessurazione diagonale:

- **formula semplificata valida sia per murature irregolari che regolari che fa uso del parametro τ_0 (C8.7.1.16);**
- formula più accurata per le murature regolari che utilizza il parametro f_{v0} (C8.7.1.17).

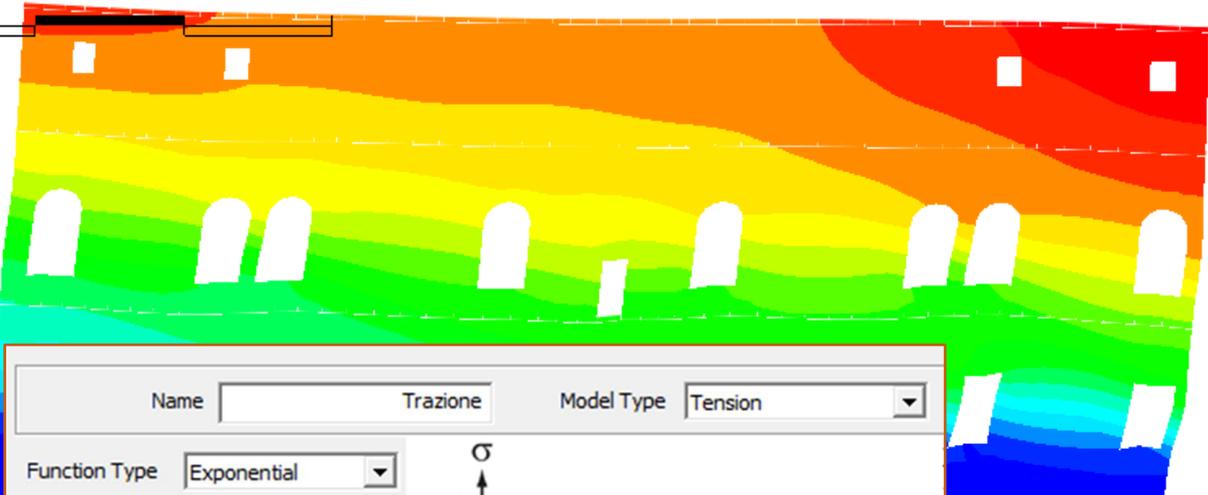
Resistenza a compressione = 0.15 N/mm²

Spostamenti e stato fessurativo con Strumas al limite elastico (disp. = 3.28 mm)



Spostamenti e stato fessurativo con TSC al limite elastico, disp. 3.33 mm

10203.201 15304.801 20406.401



DISPLACEMENT
DX, mm

2.0%	+3.33786
5.7%	+3.12925
14.6%	+2.92063
12.0%	+2.71201
8.8%	+2.50340
6.0%	+2.29478
4.9%	+2.08616
9.8%	+1.87755
5.8%	+1.66893
6.3%	+1.46032
4.2%	+1.25170
3.7%	+1.04308
3.3%	+0.83447
2.9%	+0.62585
4.4%	+0.41723
5.7%	+0.20862
	+0.00000

Name Trazione Model Type Tension

Function Type Exponential

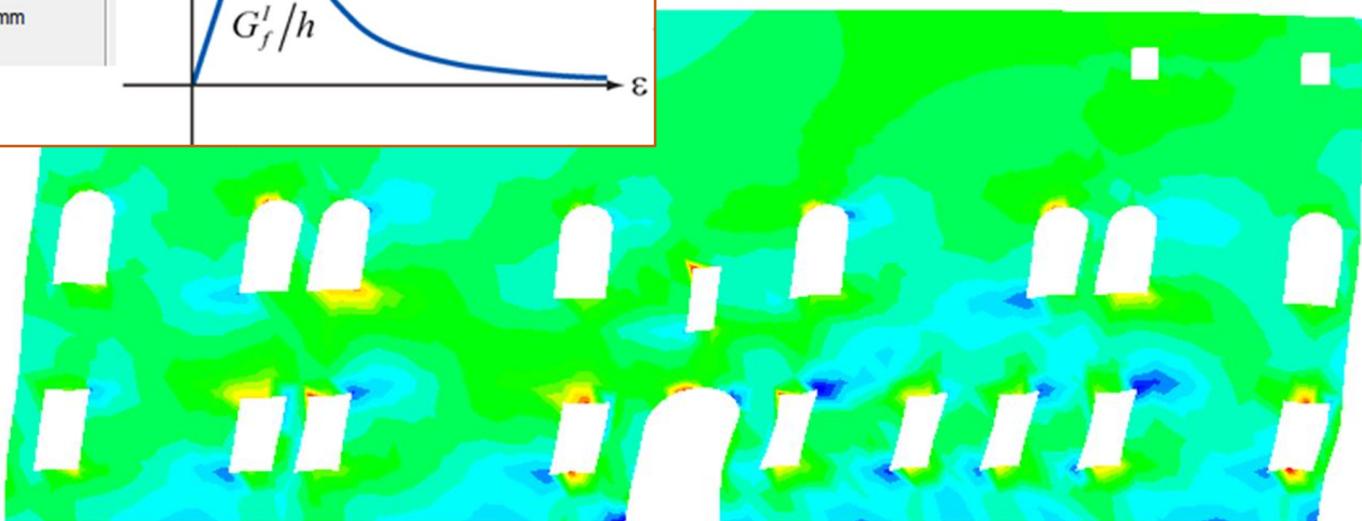
Parameters

Ft N/mm²

Gf N/mm

h mm

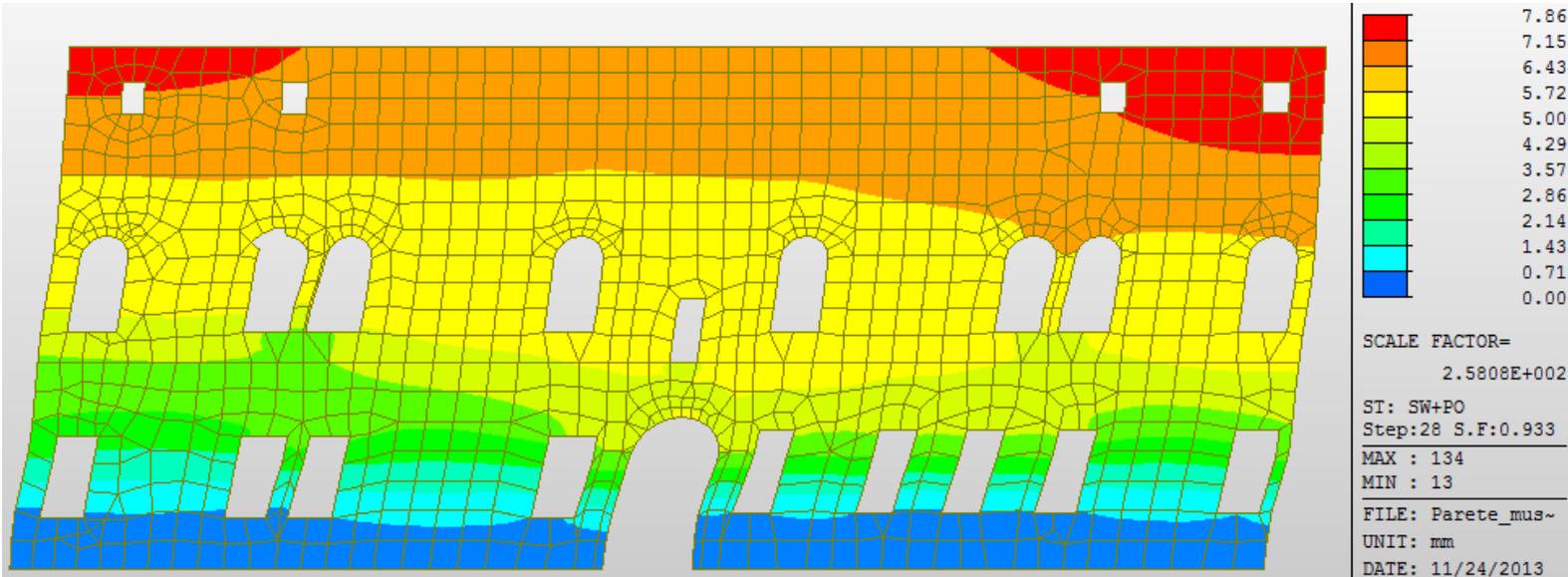
2D ELEMENT STRESS
P1, N/mm²



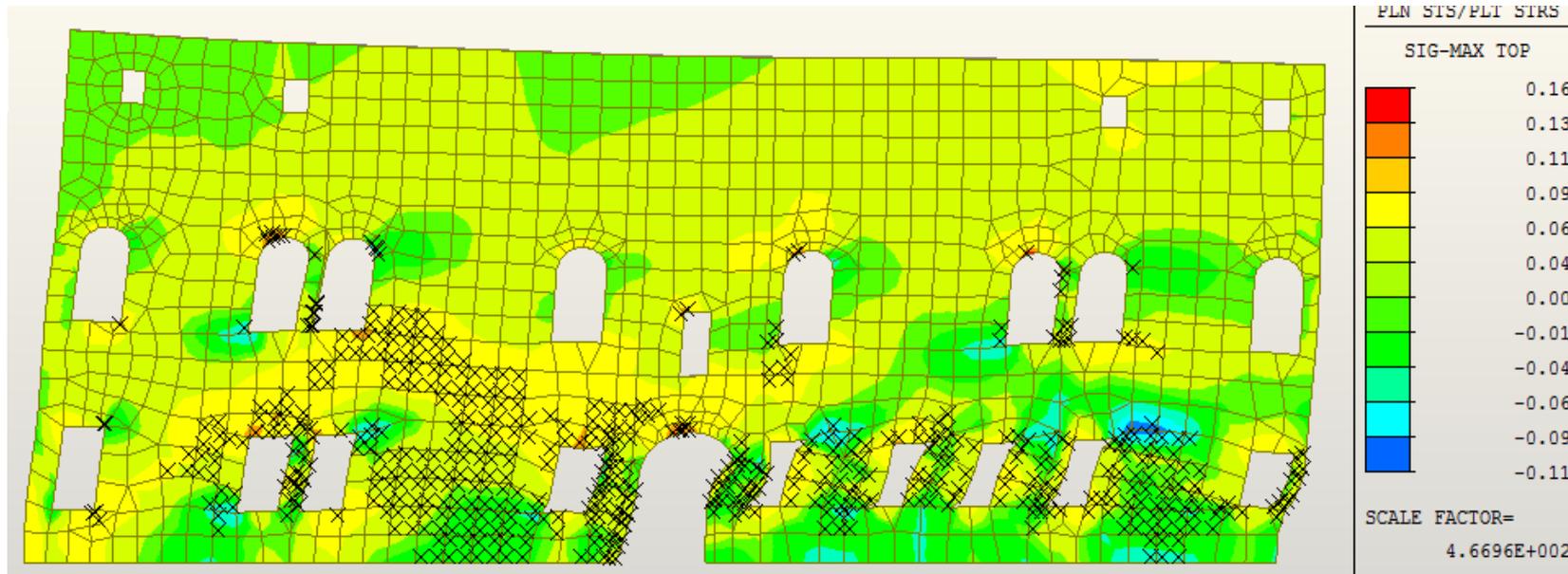
0.9%	+0.16
1.5%	+0.15
2.1%	+0.13
2.8%	+0.10
4.7%	+0.08
7.1%	+0.05
14.8%	+0.02
24.9%	+0.00
23.1%	-0.02
9.4%	-0.04
4.6%	-0.07
2.1%	-0.09
0.9%	-0.12
0.2%	-0.15

Spostamenti e stato fessurativo con Strumas

Step 28



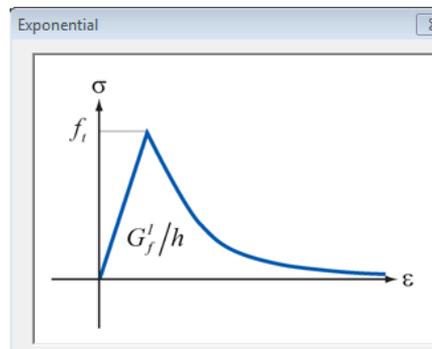
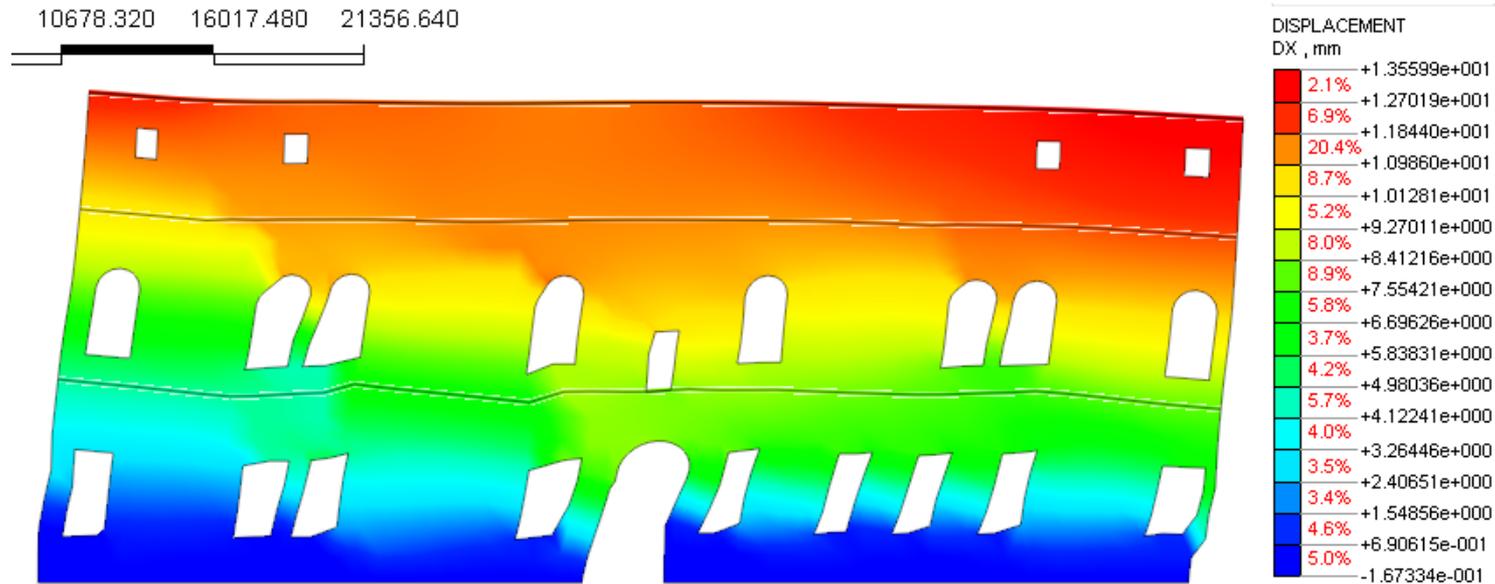
Step 30



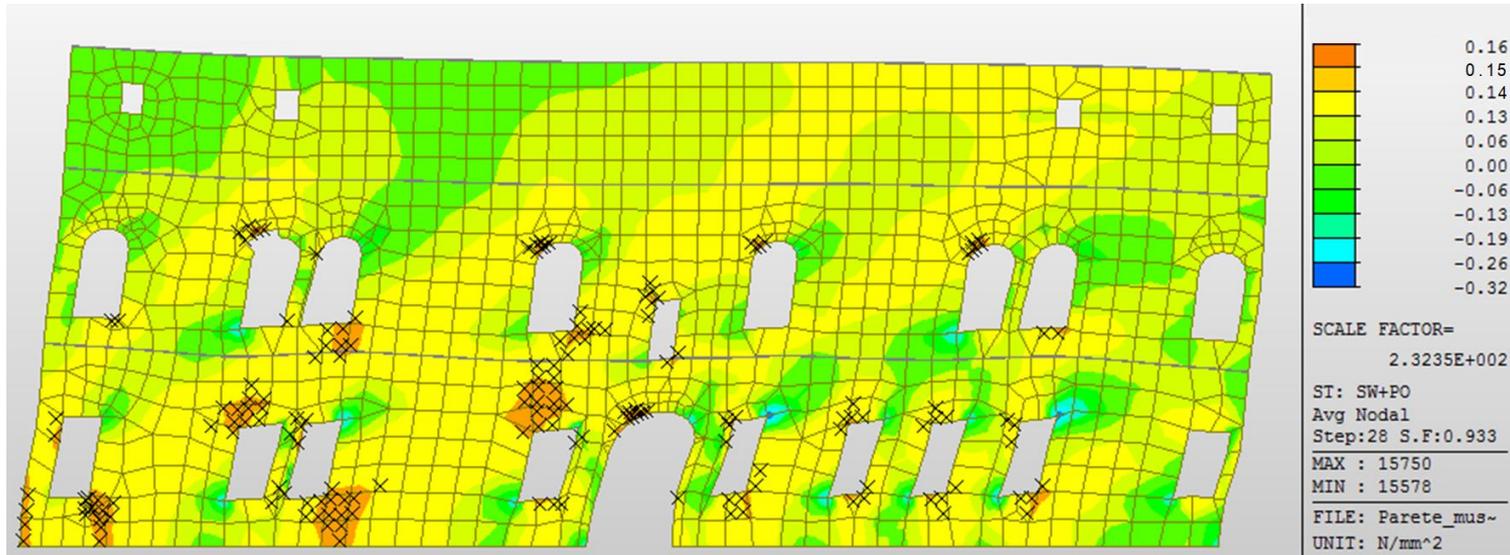
Spostamenti con TSC, Step 26, Moltiplicatore carico 0.867

Lo step 28 (a cui corrisponde un moltiplicatore di carico pari a 0.933) NON è raggiungibile.

L'ultimo step in cui viene raggiunta la convergenza è il 26 con uno spostamento di 13 mm.



Confronto stato fessurativo Strumas vs. TSC



Step 26



Grazie per l'attenzione

Ada Zirpoli
zirpoli@harpaceas.it