UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI COSTRUZIONI E RESTAURO E CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHITETTONICI

TESI DI LAUREA IN CONSOLIDAMENTO DEGLI EDIFICI STORICI

A.A 2011/2012

RELATORE PROF. ARCH. SILVIO VAN RIEL
CORRELATORE ARCH. ALBERTO RIDOLFI
LAUREANDA SERENA AGRESTI

IPOTESI DI RESTAURO E RIABILITAZIONE STRUTTURALE

LA BIBLIOTECA M.T PLAUTO A SARSINA (FC) - ANALISI DELLE VULNERABILITA' E MECCANISMI GLOBALI

ANALISI DELLE CRITICITA' ESISTENTI

Lo studio delle forme di vulnerabilità specifica presenti nella fabbrica implica l'osservazione e la ricerca di quei fattori che possono influenzare il processo di danno, favorendolo inibendolo oppure indirizzandolo verso particolari modalità di danno. Al tempo stesso possono rappresentarne, nel comportamento globale, fattori che hanno funzione di innesco di determinati meccanismi di collasso. Si tratta quindi di osservare in maniera mirata e puntuale gli aspetti costruttivo - strutturali e la consistenza propria dei macroelementi.

VULNERABILITÀ LEGATE ALLE MODALITÀ COSTRUTTIVE

Un primo gruppo tematico delle forme di vulnerabilità è quello legato alle modalità costruttive iniziali in particolare:

- le fondazioni risultano sufficientemente dimensionate, si evidenzia tuttavia la mancanza dell' armatura minima rispetto alla normativa vigente.

- le travi di copertura risultano verificate, ma quelle collocate nella seconda campata presentano delle fessurazioni legate ai processi di stagionatura che costituiscono un indebolimento della sezione a taglio.

- La parete Est del piano interrato , presenta uno stato tensionale maggiore, probabilmente a causa del carico maggiore che insiste su quella porzione del fabbricato, data la presenza della torretta ed inoltre a causa di una minor resistenza della muratura stessa, costruita in pietrame.

- Alcuni dei solai non consolidati presentano delle insufficienze statiche a flessione e taglio.

VULNERABILITÀ LEGATE AI PROCESSI DI TRASFORMAZIONE EDILIZIA

Il secondo gruppo tematico riguarda il ruolo dei processi di trasformazione edilizia che la fabbrica ha subito nel tempo determinando perdita di omogeneità e continuità costruttiva iniziale. Si fa riferimento ad ampliamenti planimetrici, chiusura e apertura di nuovi fori che possono indurre a particolari situazioni come insufficienti ammorsature fra le murature, eterogeneità e discontinuità costruttive, queste generano vulnerabilità specifiche nel comportamento della costruzione al sisma in quanto determinano risposte differenziate in relazione alle diverse caratteristiche dei materiali.
Le forme di vulnerabilità legate ai processi di trasformazione edilizia sono:

- un' insufficiente ammorsatura fra il nucleo originario dell'edificio (anni '20) e la porzione derivante dall'ampliamento eseguito nel 1953. Il dato è stato verificato tramite un sondaggio eseguito sul prospetto Est dell'edificio, in corrispondenza della lesione superficiale formatasi fra le due murature come diretta conseguenza dell'insufficiente ammorsatura fra le due. Questa trova inoltre conferma nella lesione simmetrica presente sul prospetto Ovest in corrispondenza del muro portante interno.

- La sottrazione, avvenuta probabilmente nel periodo tra il 1953 e il 1997, di una parte muraria nella parte sud del fabbricato nei locali degli attuali uffici al primo piano; la verifica ha infatto evidenziato un insufficienza statica della parete in falso presente nel piano sottotetto corrispondente alla sottrazione muraria sopra citata.

- La parete della sala conferenze sul prospetto Est si presenta una maggiore vulnerabilità a causa dell'elevata luce (8 metri), l'allargamento dell'apertura effettuato nel 1999, ha inoltre contribuito a diminuire la sezione resistente del pannello murario.

VULNERABILITÀ LEGATE ALLE FORME DI DEGRADO STRUTTURALE E DEBITO MANUTENTIVO

Il terzo gruppo di vulnerabilità che può interessare questa struttura è legato alle forme di degrado strutturale e debito manutentivo in particolare si fa riferimento all'efficienza dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque rientrano in questo gruppo: tutte le murature esterne interessate da fenomeni di risalita capillare della acque o dovuti all'acqua di ruscellamento, inoltre la parte Ovest del piano interrato dove le infiltrazioni d'acqua interessano le pareti per tutta l'altezza. Inoltre si è verificato il distacco dell'intonaco anche in alcuni punti in prossimità del cornicione, dovuto probabilmente ad otturazione del canale di gronda. Sempre a cause del malfunzionamento del sistema di raccolta delle acque meteoriche, il cornicione sul prospetto Est ha perso nel tratto centrale il copriferro, esponendo le staffe all'ossidazione.

Azione sismica di riferimento

Sulla base dei dati relativi alle destinazioni d'uso presenti (vita nominale, classi d'uso periodo di riferimento) e alle caratteristiche geomorfologiche del sito viene definita l'azione sismica di riferimento per ciascuno degli stati limite considerati (in termini di forme spettrali e/o accelerogrammi da impiegare nelle analisi sismiche).

Come già visto nella premessa, il territorio di Sarsina all'epoca della costruzione della palestra non era considerato sismico, motivo per cui la sua struttura non è stata dotata dei necessari presidi in fase di progettazione e realizzazione.
Il territorio comunale di Sarsina (FC) è invece, secondo la Riclassificazione sismica dell' Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003, classificato come di Zona II.

Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.

Le "NTC08" definiscono le azioni sismiche su ciascuna costruzione in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU
VR =VN *CU
La vita nominale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la costruzione in esame si è assunta una vita nominale VN pari a 50 anni .
L'edificio appartiene alla Classe III d'uso, quella cioè che comprende costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi; la vita nominale è fissata, come da normativa, a 50 anni.
Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, trattandosi di "costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi", la costruzione ricade in classe d'uso III, conseguentemente il coefficiente d'uso CU risulta pari a 1,5.
Ne risulta che il periodo di riferimento VN è pari a 75 anni.

Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche.

Non essendo la costruzione fondata su sottosuolo "rigido" (di categoria "A"), è necessario tenere conto oltre alle condizioni topografiche, delle condizioni stratigrafiche.
Non avendo eseguito analisi specifiche finalizzate alla definizione dell'azione sismica di progetto, per quanto riguarda gli effetti stratigrafici, si utilizza l'approccio semplificato indicato al punto 3.2.2 delle "NTC08" che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.
Il sottosuolo su cui sorge la costruzione in esame appartiene alla categoria "B" in quanto il valore della VS30, ottenuto grazie ad una Analisi multicanale delle Onde Superficiali (MASW), è risultato pari a 441m/s; per un maggior dettaglio si rimanda alla relazione geotecnica allegata e al capitolo 3.3 della presente relazione. Sempre in detta relazione viene precisato che non siamo in presenza di terreni suscettibili di liquefazione.
L'identificazione della categoria di sottosuolo permette di definire i coefficienti SS (Coefficienti di amplificazione stratigrafica) e CC (Coefficiente che individua il periodo, dello spettro, corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante) di cui si forniranno precisazioni nel seguito.
La categoria topografica, definita al punto 3.2.2 delle "NTC08", è la T1 in quanto la configurazione della superficie su cui insiste la costruzione in questione è pianeggiante; il coefficiente di amplificazione topografica ST viene quindi assunto pari all'unità.

Stati limite e relative probabilità di superamento.

Il punto 3.2.1 delle "NTC08" definisce, nei confronti delle azioni sismiche, quattro stati limite. Gli SLE vengono suddivisi in Stato Limite di Operatività (SLO) e Stato Limite di Danno (SLD); gli SLU in Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Collasso (SLC). Ad ogni stato limite considerato viene associata la relativa probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR cui riferirsi per individuare l'azione sismica.
Lo Stato Limite di Operatività, introdotto dalle "NTC08", si riferisce alle opere che debbono restare operative e subito dopo il terremoto (ospedali, centri della protezione civile, etc.); considerato inoltre che la costruzione in questione è esistente, la presente valutazione della sicurezza non prende in esame il predetto Stato Limite di Esercizio.
Sebbene il primo capoverso del punto 8.3 delle "NTC08" indichi che la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU, si ritiene opportuno valutare le risorse della struttura nei confronti dello Stato Limite di Danno.
Le Verifiche agli SLU, precisa il secondo capoverso del punto 8.3 delle "NTC08", possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC). La "Circ09", nel punto C8.3, precisa che fornisce istruzioni, per lo Stato Limite di Collasso, solo per costruzioni di calcestruzzo armato o di acciaio. Per i motivi esposti la presente valutazione prende in esame, quale SLU, lo Stato Limite di salvaguardia della Vita.
Si precisa inoltre che, secondo quanto indicato al punto 7.2.1 delle "NTC08", le caratteristiche della costruzione in oggetto consentono di non considerare la componente verticale dell'azione sismica nella modellazione globale.
Le forme spettrali corrispondenti ai diversi Stati Limite di riferimento vengono definite in funzione delle relative probabilità di superamento nel periodo PVR, e dei parametri su sito di riferimento rigido orizzontale ag, Fo e T*C , riferiti al sito su cui sorge il complesso scolastico in parola.
Essendo consuetudine, quale parametro caratterizzante la pericolosità sismica il relativo periodo di Ritorno TR, si ricorda che quest'ultimo, fissata la vita di riferimento VR e la probabilità di superamento PVR (associata a ciascuno degli stati limite), è determinabile mediante la seguente relazione:
TR = - VR/(ln[1-PVR)

I valori di ag, Fo e T*C sono stati determinati mediante il calcolatore di EDILUS fornito da Acca software. A titolo esemplificativo si riportano i parametri generali e l'andamento dell'accelerazione al crescere del tempo di ritorno.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.065	2.404	0.263
50	0.083	2.396	0.272
72	0.098	2.392	0.278
101	0.113	2.414	0.281
140	0.130	2.418	0.283
201	0.150	2.406	0.289
475	0.204	2.416	0.305
975	0.256	2.472	0.317
2475	0.332	2.561	0.332

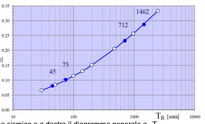


figura 35, a sinistra i parametri dell'azione sismica e a destra il diagramma generale a_g-T_R

STATI LIMITE		P_{VR} [-]	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [-]
SLE	SLO	81%	45	0.079	2.398	0.270
	SLD	63%	75	0.100	2.395	0.279
SLU	SLV	10%	712	0.232	2.448	0.312
	SLC	5%	1462	0.287	2.511	0.323

figura 35, parametri per la definizione dell'azione sismica degli Stati Limite definiti dalla NTC08

Spettri di risposta.

Con riferimento all'ubicazione del complesso scolastico in oggetto, sono state valutate le condizioni topografiche e stratigrafiche e sono stati determinati i parametri legati alla pericolosità sismica. A questo punto, per definire gli spettri di risposta, occorre determinare i parametri riportati nella tabella seguente con riferimento ai soli stati limite presi in considerazione perle analisi.
Si riporta a esempio la parte della scheda di sintesi corrispondente all'argomento.

Azione sismica di riferimento					
1) Zona sismica				s ☐ 2 ☑ 3 ☐ 4 ☐	
2) Azione di riferimento					
A) VITA NOMINALE	50				
B) CLASSE D'USO	III				
C) PERIODO DI RIFERIMENTO	75				
D) PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPETTRI ELASTICI					
Stati limite di esercizio	Ø	SLO	T_R = 0045	A_G = 0.0795	T_C = 0.274 F_0 = 2.417
	Ø	SLD	T_R = 0075	A_G = 0.0994	T_C = 0.281 F_0 = 2.407
Stati limite ultimo	Ø	SLV	T_R = 0712	A_G = 0.2264	T_C = 0.316 F_0 = 2.483
	Ø	SLC	T_R = 1462	A_G = 0.2821	T_C = 0.324 F_0 = 2.541
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S e periodi T_B, T_C, T_D					
Stati limite di esercizio	Ø	SLO	S_S = 1,200	T_B = 0,130	T_C = 0,391 T_D = 1,918
	Ø	SLD	S_S = 1,200	T_B = 0,133	T_C = 0,399 T_D = 1,998
Stati limite ultimo	Ø	SLV	S_S = 1,175	T_B = 0,146	T_C = 0,437 T_D = 2,506
	Ø	SLC	S_S = 1,113	T_B = 0,149	T_C = 0,447 T_D = 2,728

Dove:
TR periodo di ritorno;
AG accelerazione orizzontale massima del sito;
F0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
TC* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
SS coefficiente stratigrafico (categoria di sottosuolo B)
TB, TC, TD periodi che separano i diversi rami dello spettro

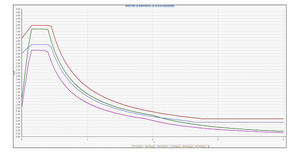
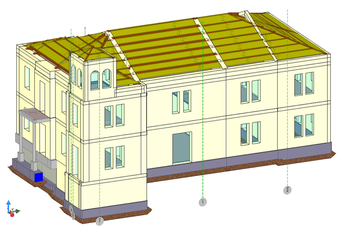
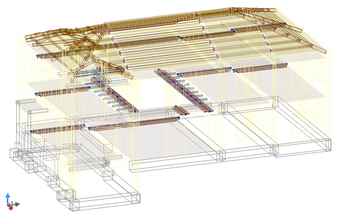


figura 90 spettri di risposta di accelerazione: in funzione dello SLO (in rosa), dello SLD (in blu), dello SLV (in verde), dello SLC (in marrone)

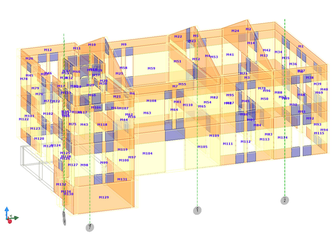
Gli spettri di risposta, per i vari stati limite, risultano quelli riportati nella fig. 90.Si è deciso di valutare la vulnerabilità sismica attraverso verifiche globali e locali. Pertanto sono state fatte verifiche ai carichi statici verticali, e un'analisi dinamica lineare .



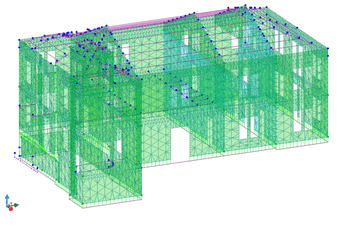
Vista assonomerica di riferimento



Individuazione degli orizzontamenti



Individuazione dei maschi murari



individuazione delle suddivisioni degli elementi strutturali

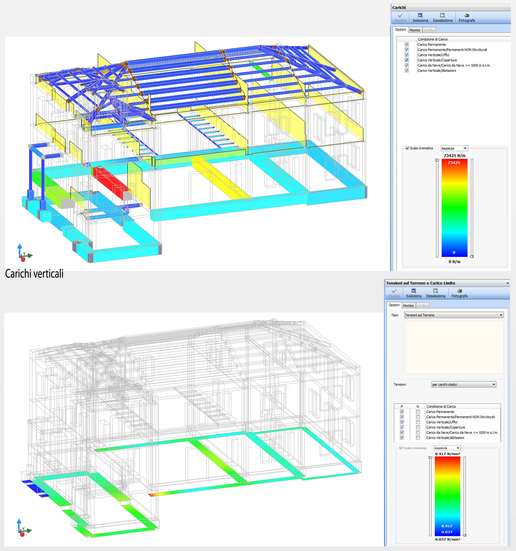
VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI (EDILUS)

La verifica degli elementi allo SLU avviene con seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni in base dal D.M 14 gennaio 2008, ottenendo un insieme di sollecitazioni.
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione de sisma (nel caso più semplice si hanno altre quattro combinazioni, nel caso più complesso una serie di altri valori.
-per sollecitazionis semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui verificare l'elemento considerato, per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

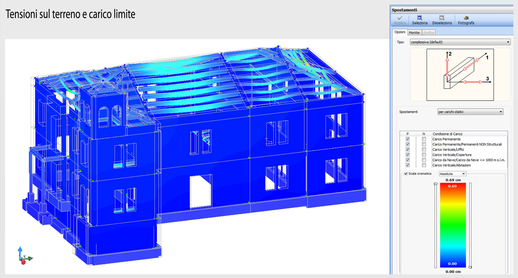
VERIFICHE SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI

ANALISI STATICA

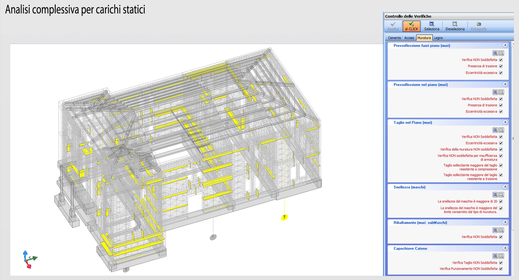


Carichi verticali

Tensioni sul terreno e carico limite

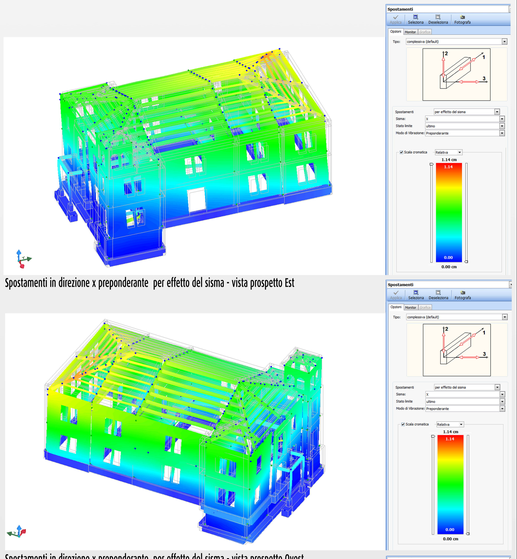


Analisi complessiva per carichi statici



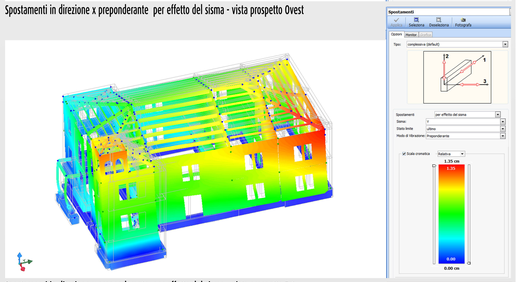
Sintesi di verifica per gli elementi in muratura

ANALISI DINAMICA

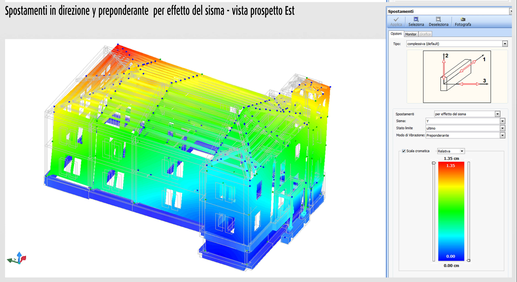


Spostamenti in direzione x preponderante per effetto del sisma - vista prospetto Est

Spostamenti in direzione x preponderante per effetto del sisma - vista prospetto Ovest

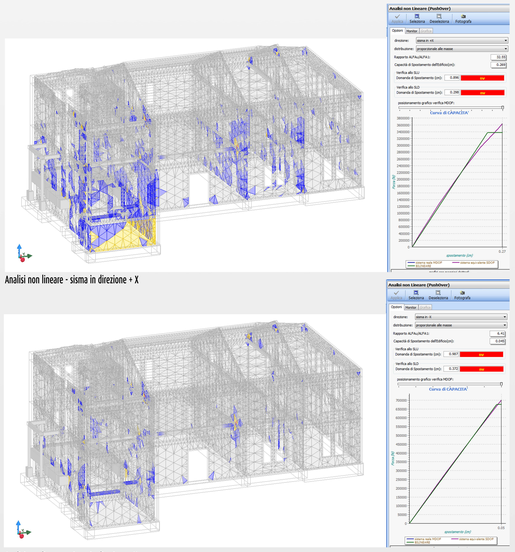


Spostamenti in direzione y preponderante per effetto del sisma - vista prospetto Est



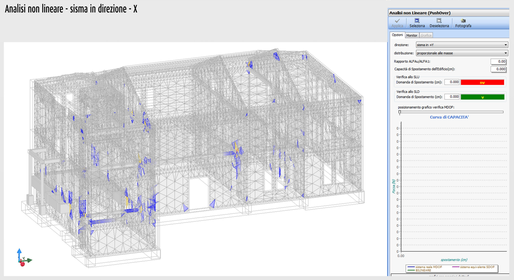
Spostamenti in direzione y preponderante per effetto del sisma - vista prospetto Ovest

ANALISI STATICA NON LINEARE

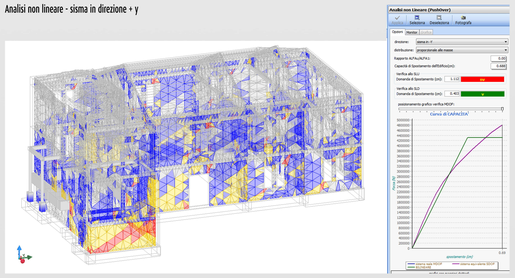


Analisi non lineare - sisma in direzione + X

Analisi non lineare - sisma in direzione - X

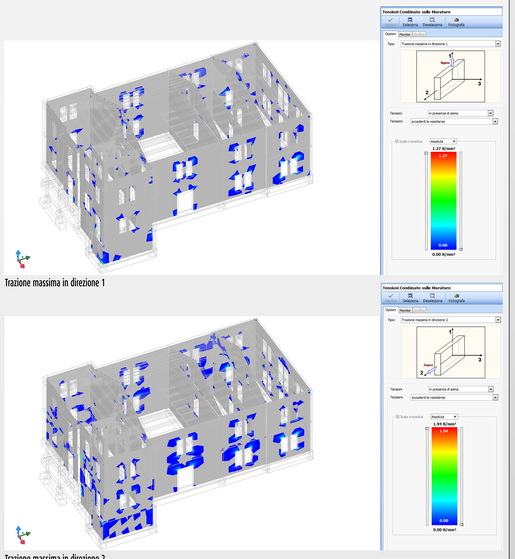


Analisi non lineare - sisma in direzione + y



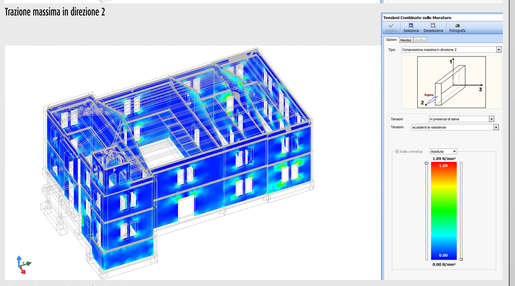
Analisi non lineare - sisma in direzione - y

TENSIONI COMBINATE SULLE MURATURE

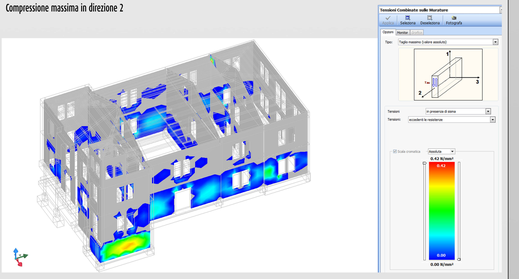


Trazione massima in direzione 1

Trazione massima in direzione 2



Compressione massima in direzione 2



Taglio massimo