



STUDIO DI FATTIBILITA'

- edificio vincolato dalla Soprintendenza
- edificazione in più fasi
- diffuse opere di rimaneggiamento interne e dei prospetti con ampi impieghi successivi di materiali incongrui
- fabbricati attigui gravemente danneggiati, crollati o demoliti
- terreni della zona con nota disomogeneità

Dati di ingresso:

CLASSE D'USO III
ZONA SISMICA 3
TIPO DI TERRENO C

Danni rilevati:

- gravi lesioni nelle murature
- crollo di un impalcato
- vistosi cedimenti differenziali







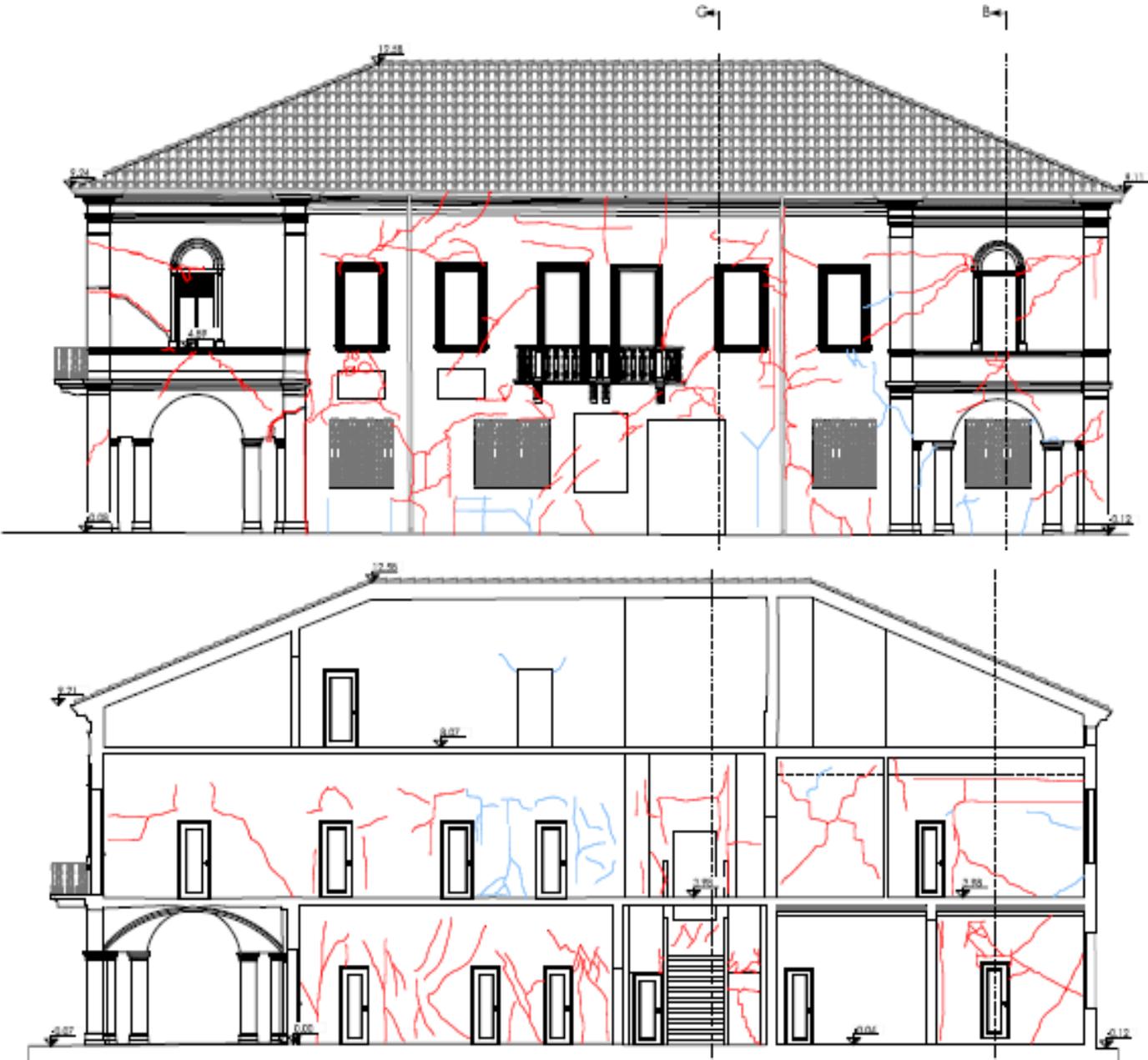
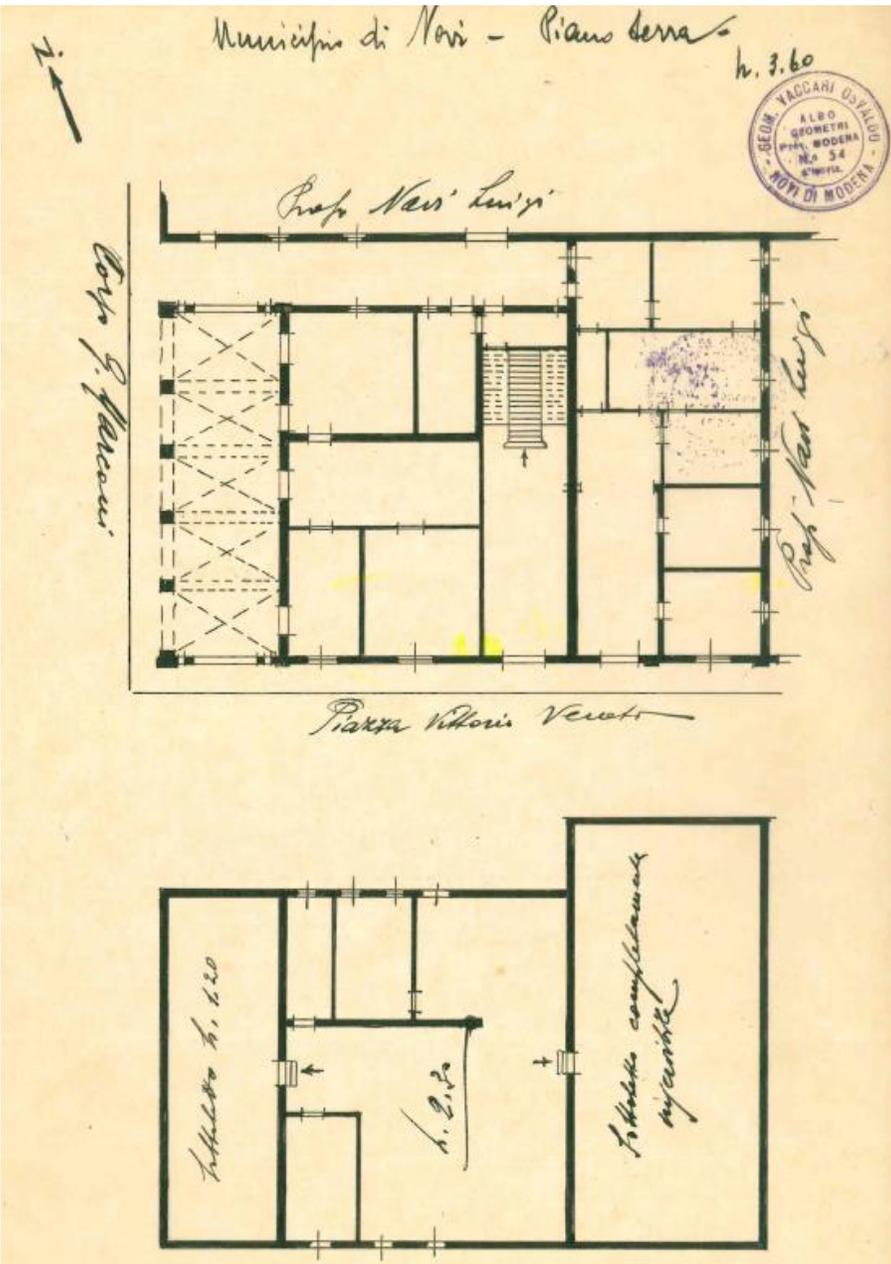
Ing. CORRADO PRANDI - Associazione ISI - Ingegneria Sismica Italiana

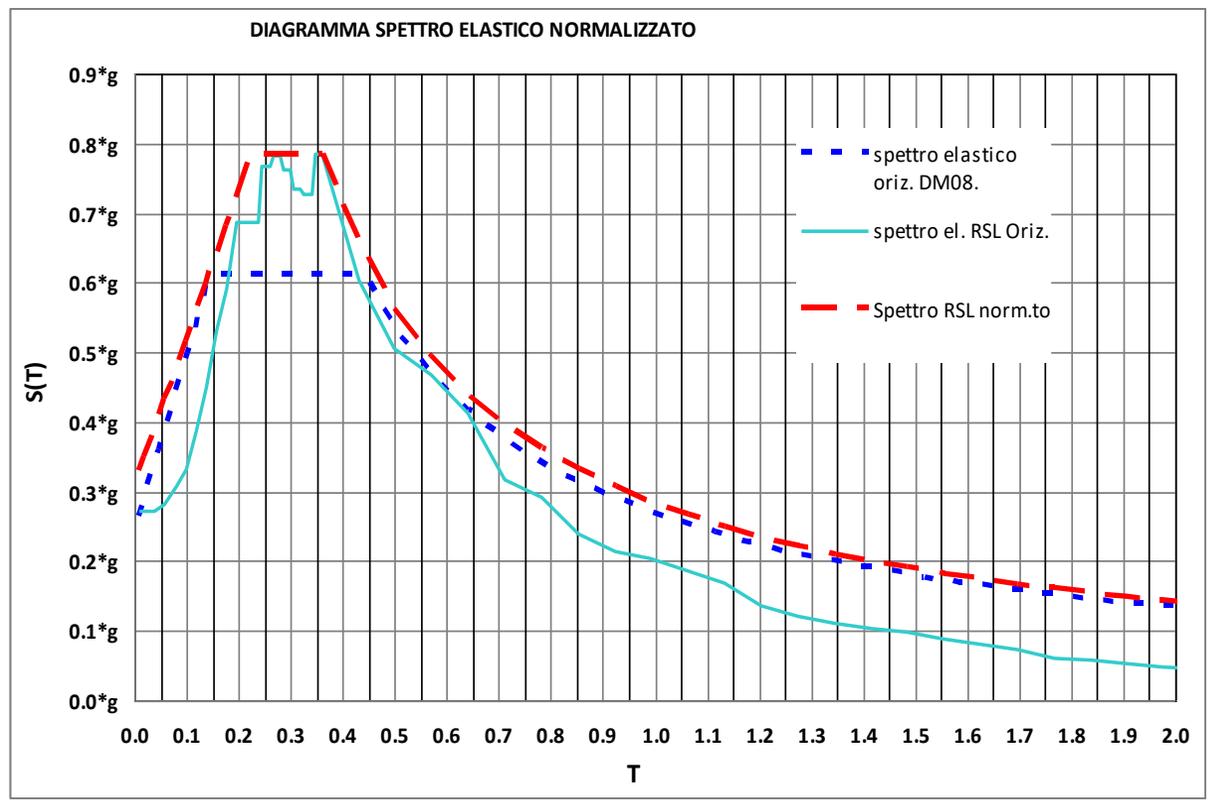
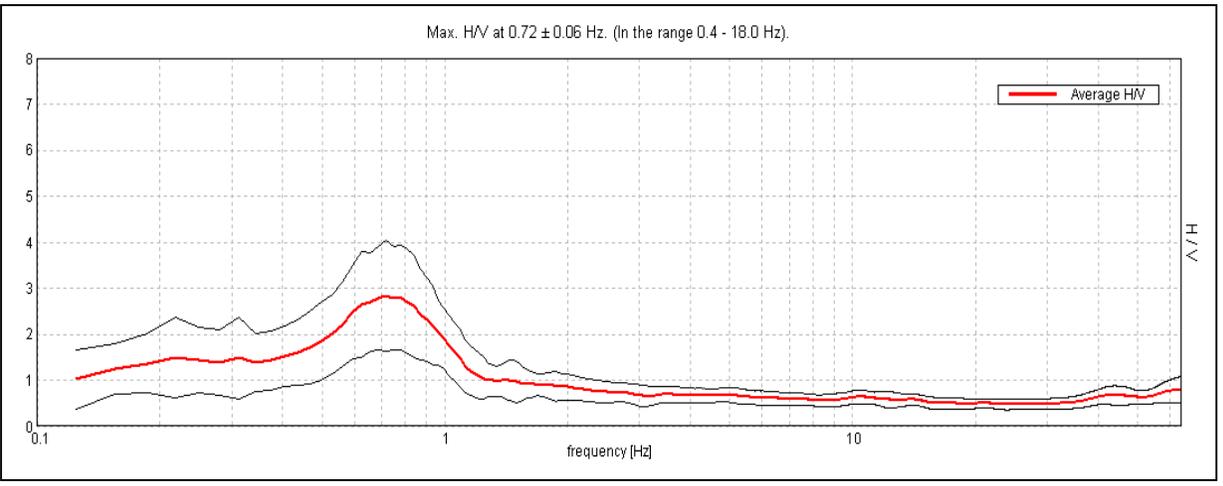
Evidente il prevalente danneggiamento nel piano delle pareti

Raccolta informazioni:

- documentazioni catastali
- immagini storiche
- Rilievo geometrico e del quadro fessurativo con laser scanner
- analisi stratigrafiche degli intonaci
- Indagini sul terreno



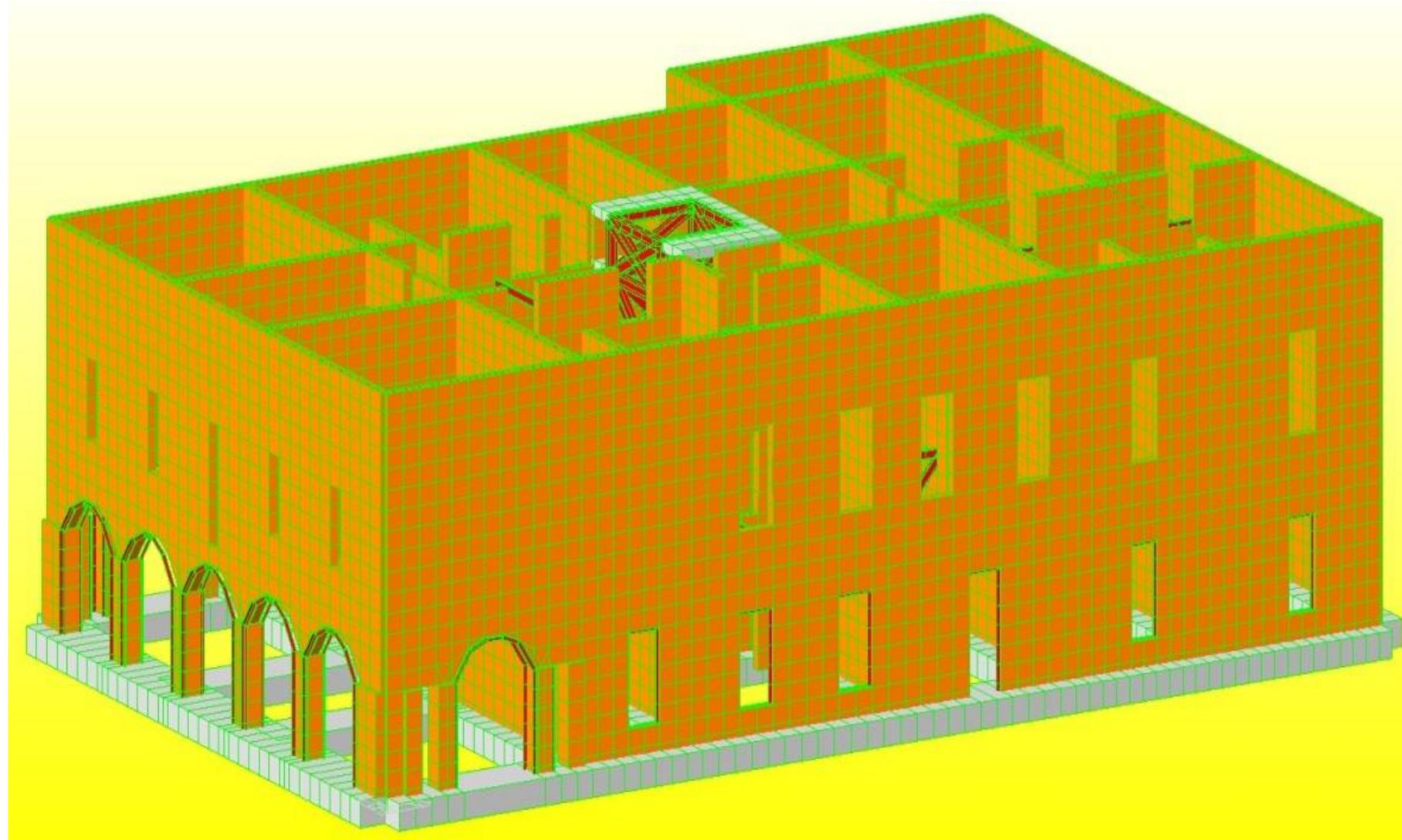




Creazione modello f.e.m. semplificato

(prevalentemente indirizzato alla conoscenza del comportamento nel piano delle murature, ma anche alla conoscenza delle tensioni sul terreno)

- Impalcati rigidi nel piano
(prevalentemente in laterocemento)
- Coerenza nell'applicazione dei vincoli in fondazione
(suolo elastico per l'esistente, indeformabile, grazie ai micropali in progetto, per lo stato modificato)
- Semplificazioni nelle geometrie ed allineamenti
(con agevolazione alla congruenza di elementi nei setti ortogonali)



Soluzione modello

F.E.M.

- individuazione dell'azione sismica
- definizione del fattore di struttura
- definizione dei carichi elementari e delle combinazioni di carico
- caratteristiche meccaniche della muratura

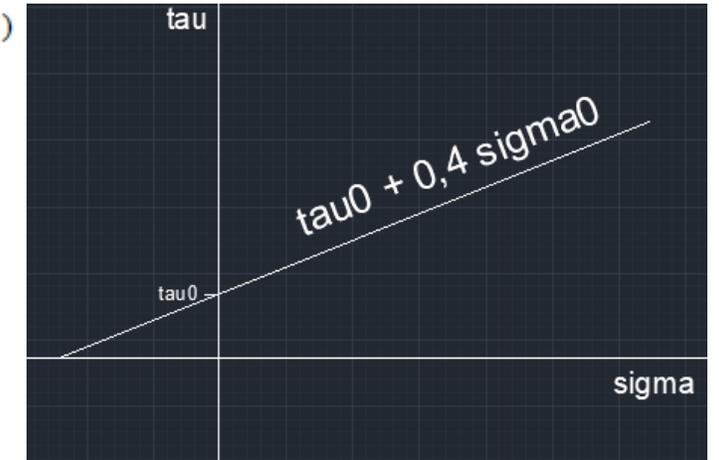
- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

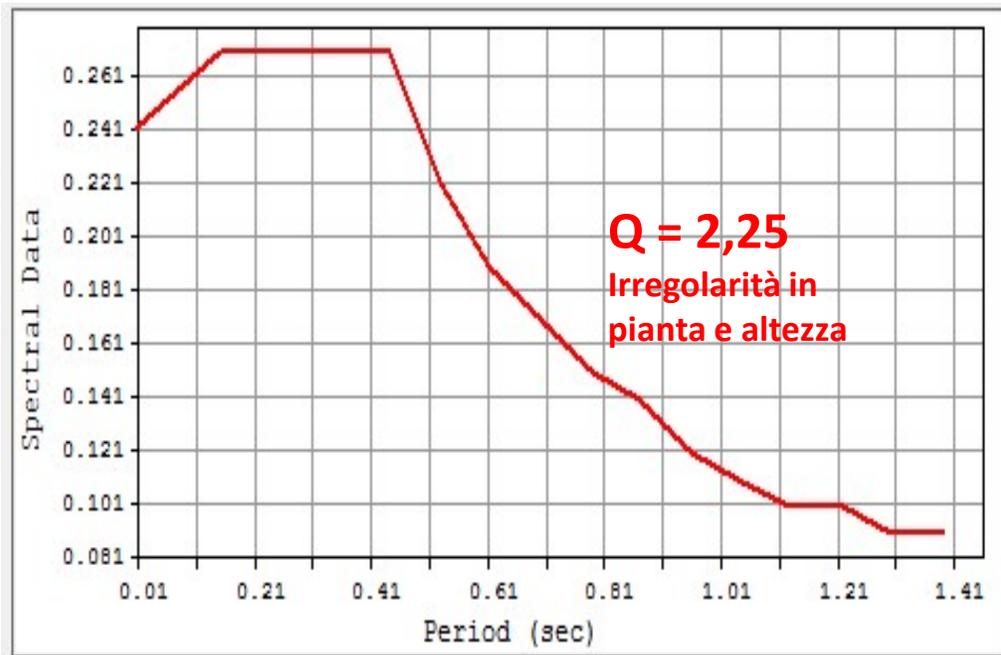
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

	Permanente strutturale	Permanente non strutturale	variabile
SLU statico	1,3	1,5	1,5
SLV sismico	1	1	0,7 (ai piani) 0 (neve)



$$\text{Tau} = (\text{tau0} + 0,4 \cdot \text{sigma0}) / (\text{FC} \cdot 3)$$

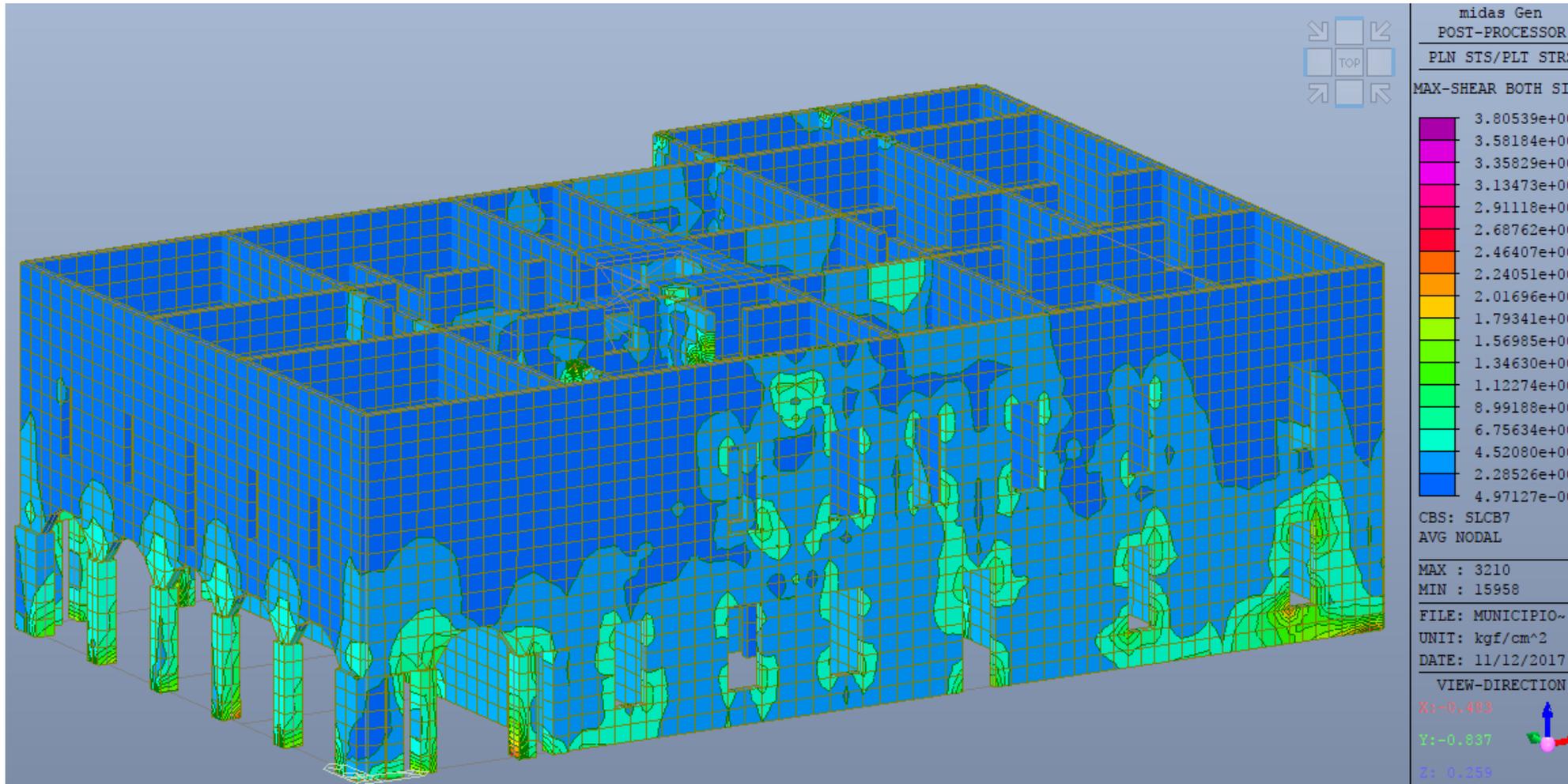


Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessioni trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z		Period
MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	(sec)
5.3254	5.3254	79.0891	79.0891	0.0002	0.0002	0.2111	0.2166	0.0093	0.0228	13.6539	13.6559	0.6519
85.4116	90.7370	8.6046	87.6937	0.0018	0.0020	0.0993	0.3160	0.7209	0.7438	1.6813	15.3372	0.4531
4.5224	95.2594	10.3749	98.0686	0.0001	0.0021	0.0091	0.3251	0.1719	0.9157	78.8495	94.1867	0.3179

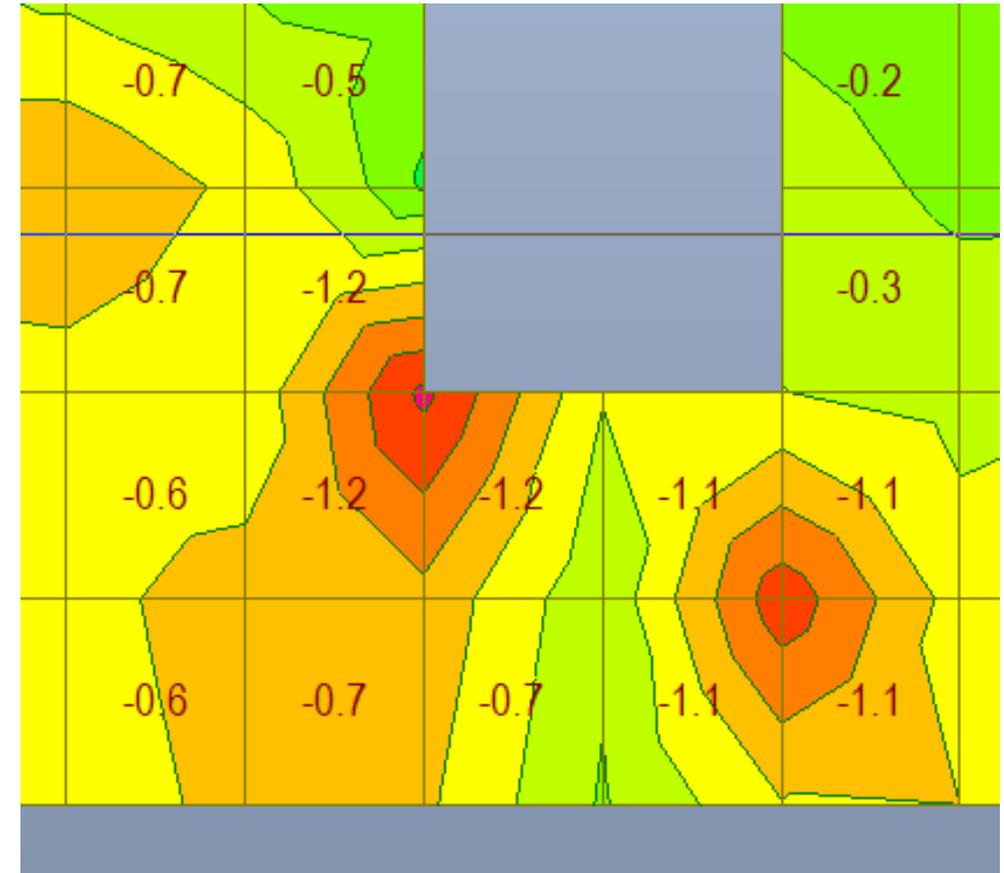
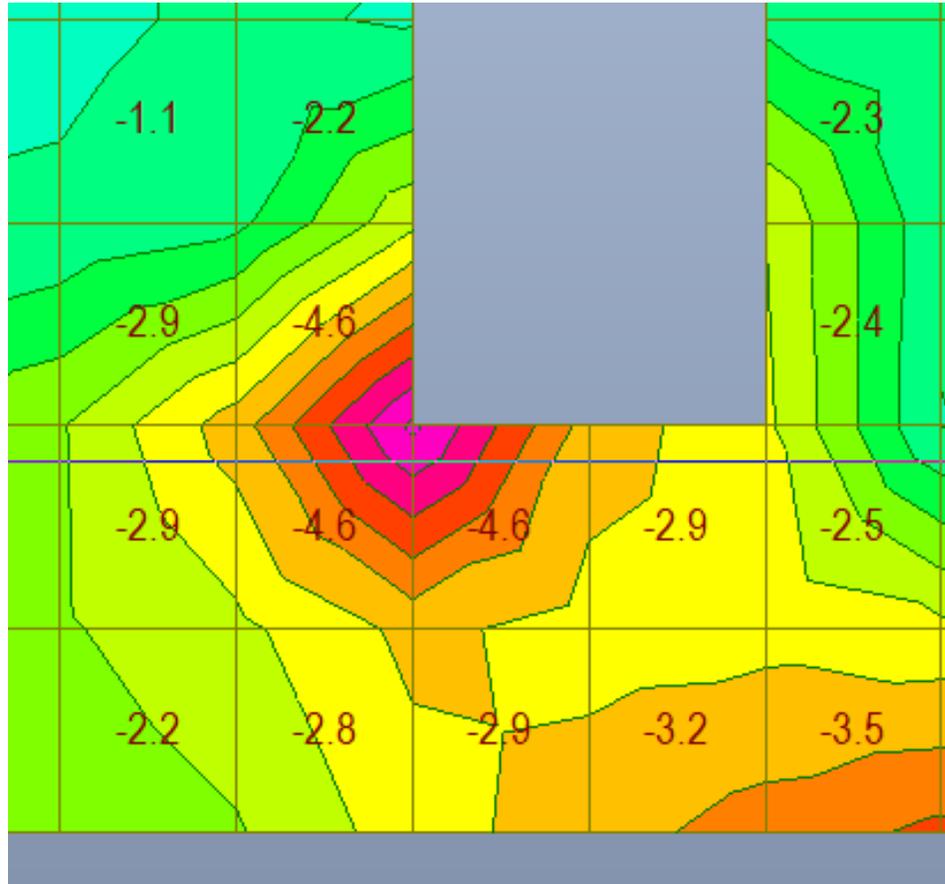
Soluzione modello f.e.m.



analisi dinamica lineare
verifica dell' idoneità
dei dimensionamenti
attribuiti con
riconoscimento dei
componenti più gravati

Azione tagliante
nella muratura

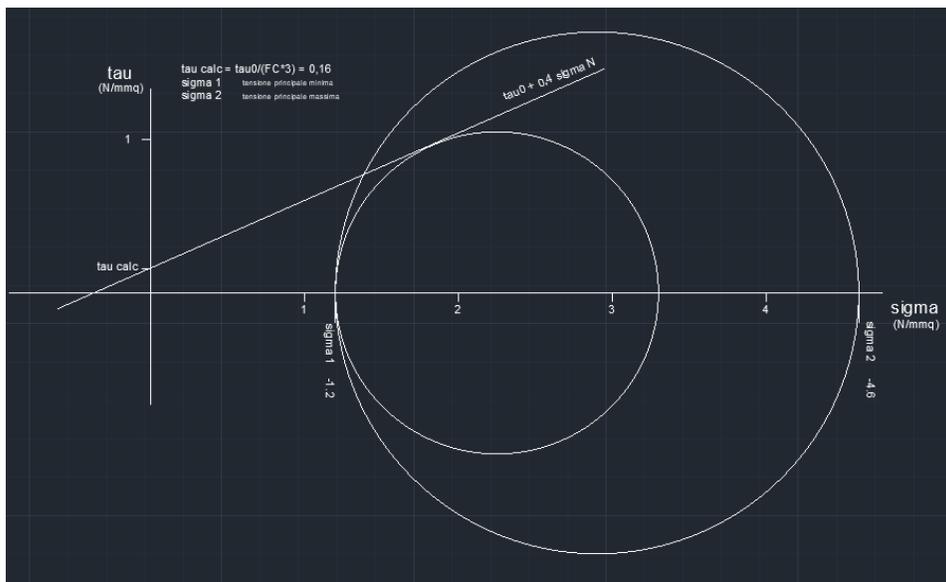
VULNERABILITA' SISMICA PER UN FABBRICATO CIVILE



SETTI MURARI quali elementi maggiormente attivi nel contrasto al SISMA

Mappe tensionali di S2 e S1 (tensioni principali) per la combinazione di carico sismica (più gravosa) secondo X(1.0) –Y(0.3)
con possibilità di riconoscimento delle parti per le quali le sollecitazioni superano la capacità limite

CAPACITA' TENSIONALE della zona muraria (**SLV**)



τ_{0} = tensione tangenziale di rottura in assenza di azione assiale

0,16 N/mm²

ϕ = angolo di attrito del materiale

23,6°

σ_1 = tensione principale min.

1,20 N/mm²

σ_2 = tensione principale max.

4,60 "

σ'_2 = tensione principale max. compatibile

3,29 "

raggio cerchio capacità/raggio cerchio domanda = **0,61**

Limitazione SPOSTAMENTO dell'interpiano (**SLD**)

N°nodo

CdC

D_{SLC} (mm)

D_{SLD} (3/1000*H_{mm})

7

cLCB7

20

11,5

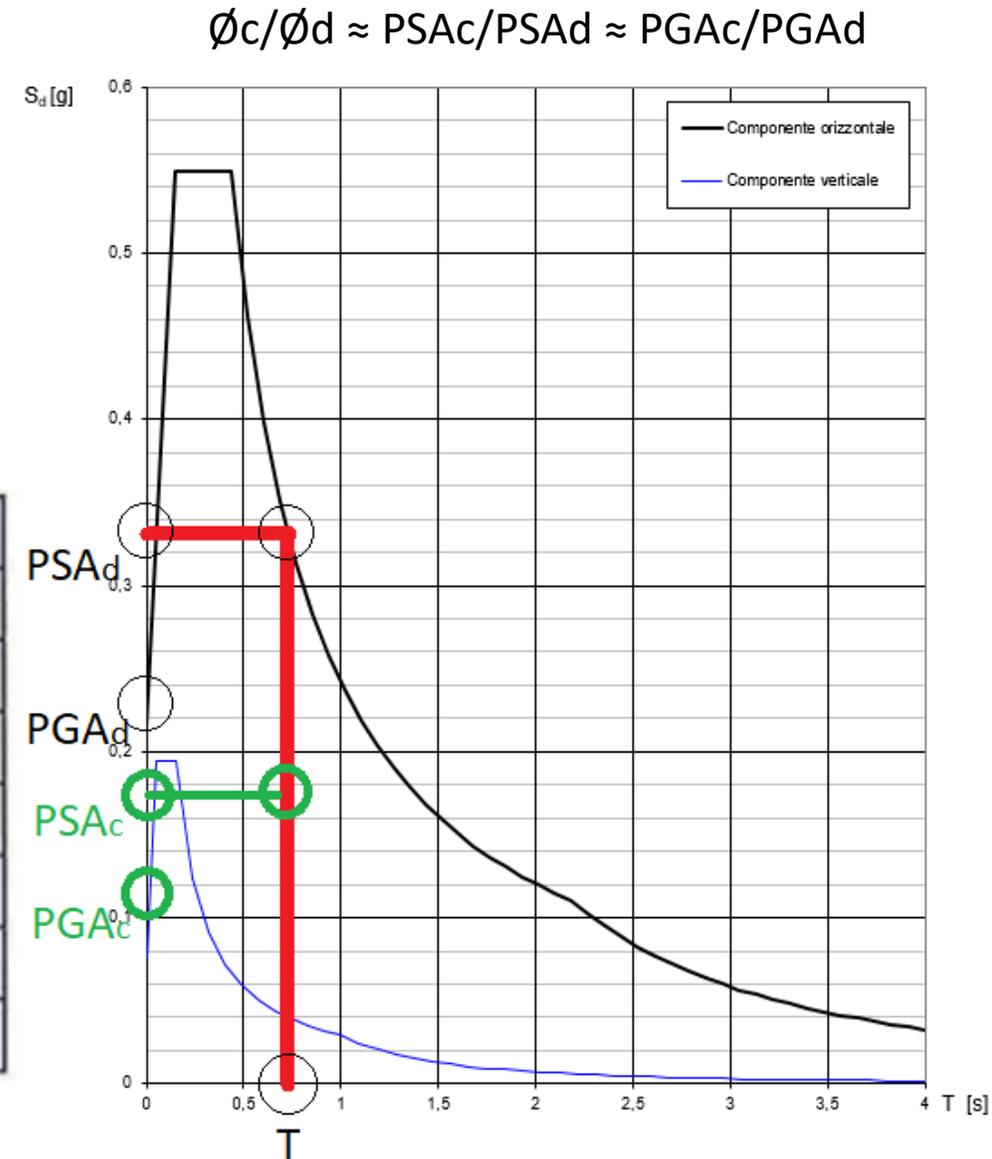
D_{SLD}/ D_{SLC} = **0,58**

Determinazione dell'indice di vulnerabilità IS-V

$$\phi_c/\phi_d = 0,61$$

$$\underline{\text{IS-V}} = \underline{0,61}$$

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < \text{IS-V}$	$A_{\text{IS-V}}^+$
$100\% \geq \text{IS-V} > 80\%$	$A_{\text{IS-V}}$
$80\% \geq \text{IS-V} > 60\%$	$B_{\text{IS-V}}$
$60\% \geq \text{IS-V} > 45\%$	$C_{\text{IS-V}}$
$45\% \geq \text{IS-V} > 30\%$	$D_{\text{IS-V}}$
$30\% \geq \text{IS-V} > 15\%$	$E_{\text{IS-V}}$
$\text{IS-V} \leq 15\%$	$F_{\text{IS-V}}$



Determinazione del periodo di ritorno $Trc = Trd(PGAc/PGAd)^{1/0,41}$
 e della frequenza $\lambda = 1/Trc$ per i vari SL

$(1/0,41=2,8)$ (SLV Trd = 475)
 (SLD Trd = 50)

SLID $\lambda = 10\%$

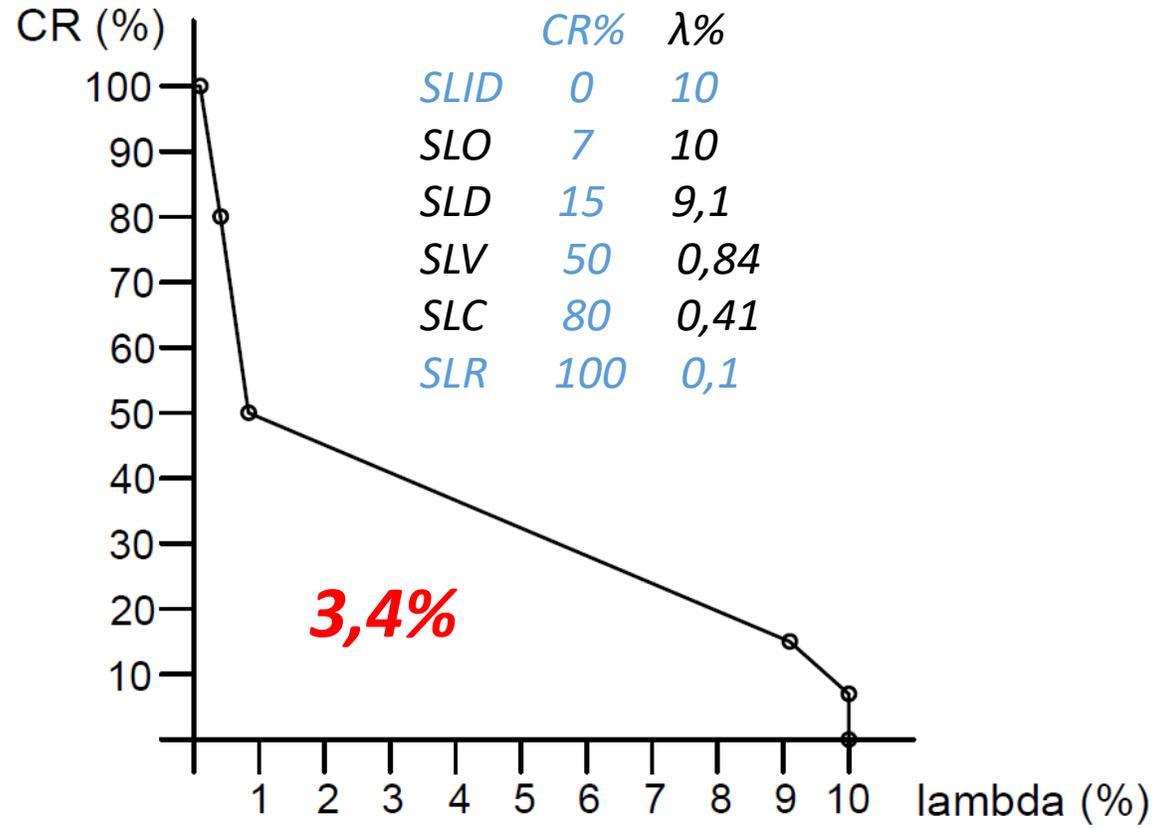
SLO $\lambda = 1,67 * 0,091\% \rightarrow 15,2\% \rightarrow 10\%$

SLD $Trc = 50(0,58)^{2,8} = 11$ anni
 $\lambda = 1/11 = 0,091 \rightarrow 9,1\%$

SLV $Trc = 475(0,61)^{2,8} = 119$ anni
 $\lambda = 1/119 = 0,0084 \rightarrow 0,84\%$

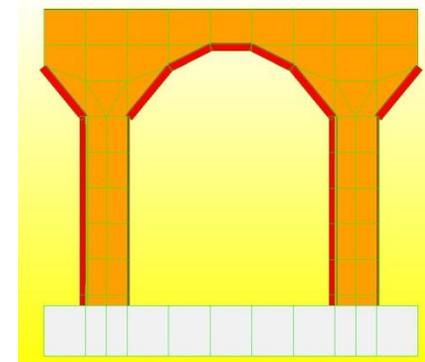
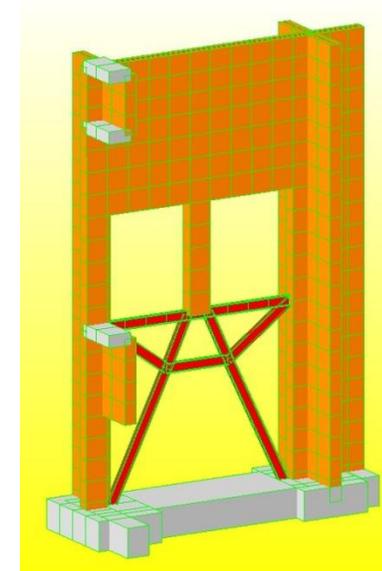
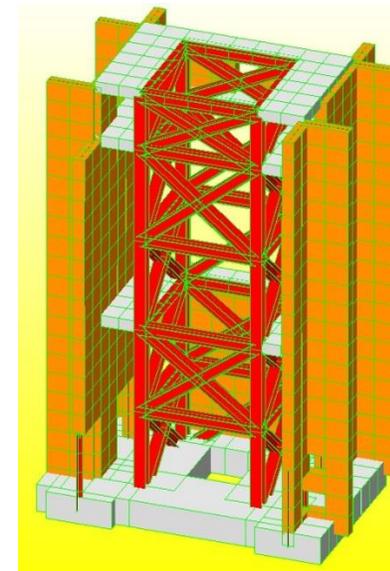
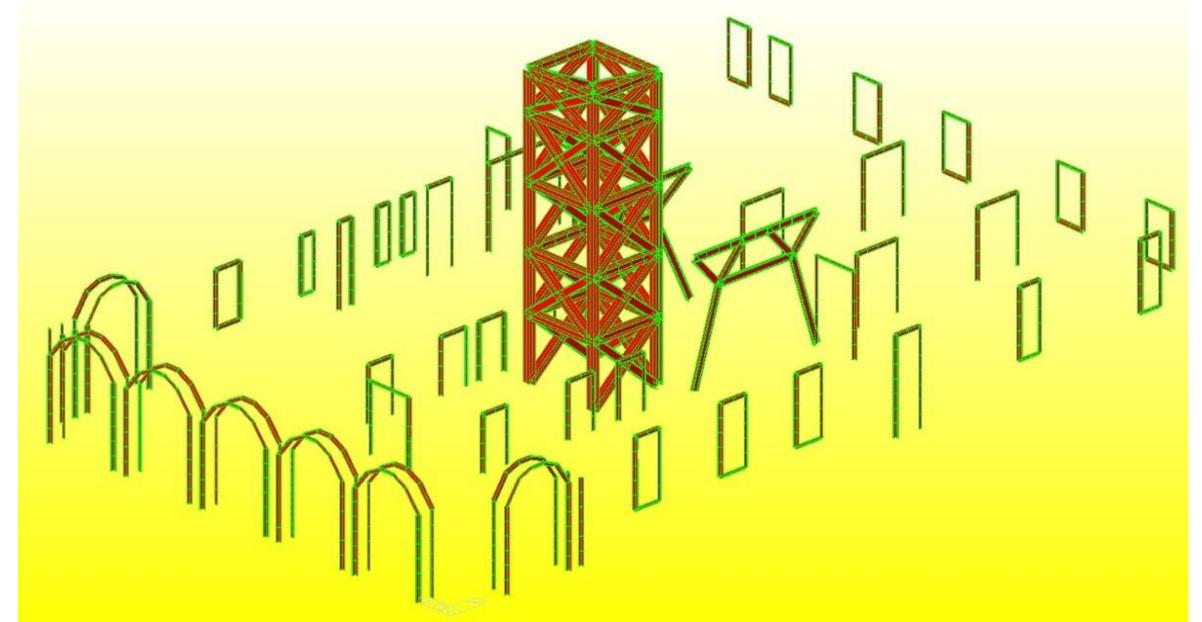
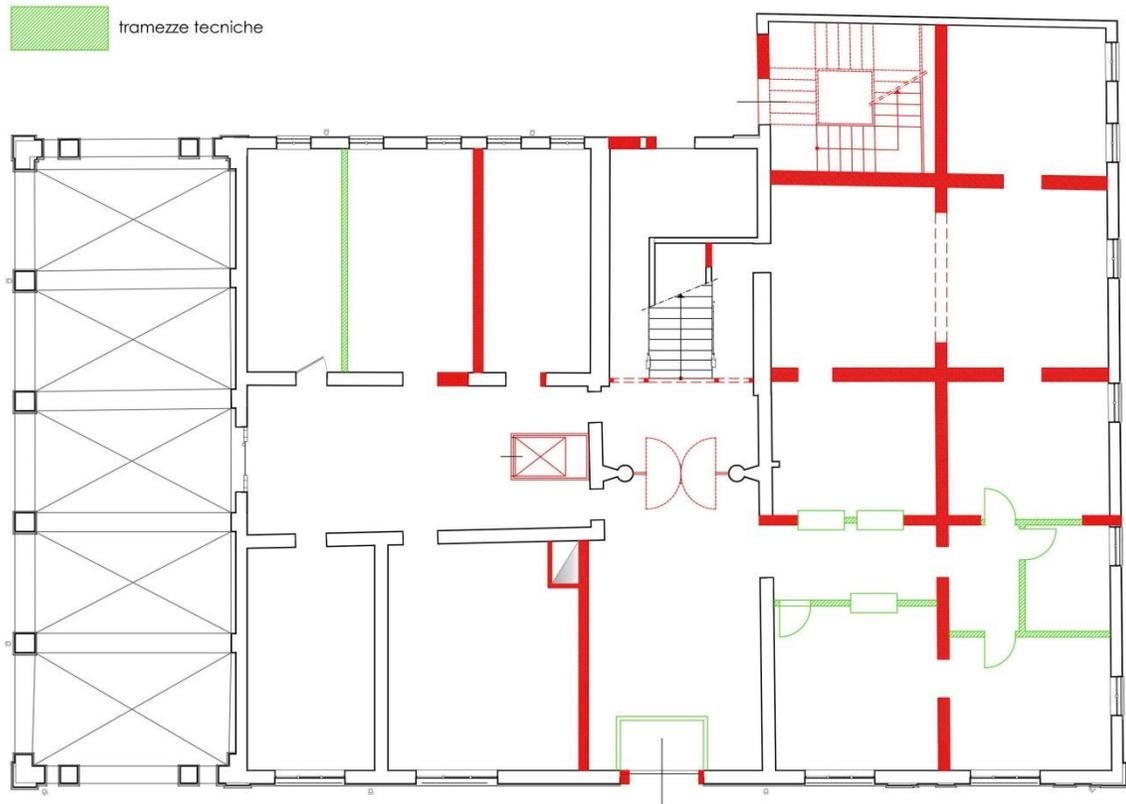
SLC $\lambda = 0,487 * 0,84\% \rightarrow 0,41\%$

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A ⁺ _{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A _{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B _{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C _{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E _{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F _{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G _{PAM}

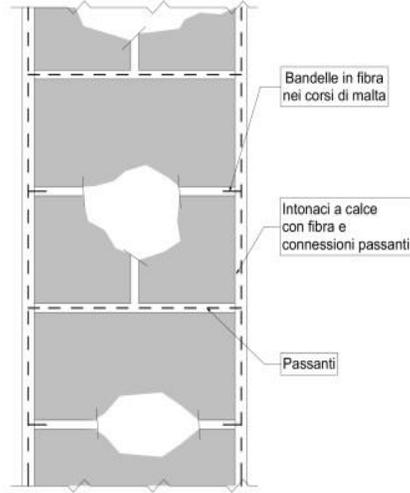


Intervento di MIGLIORAMENTO SISMICO

- Inserimento di traliccio e controventi metallici
- Estensione maschi murari
- Cerchiatura aperture al pianoterreno
- Confinamento colonne del porticato



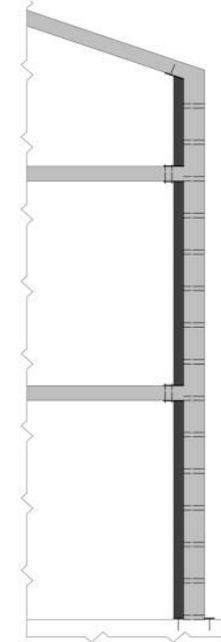
CONSOLIDAMENTO DEI SETTI MURARI



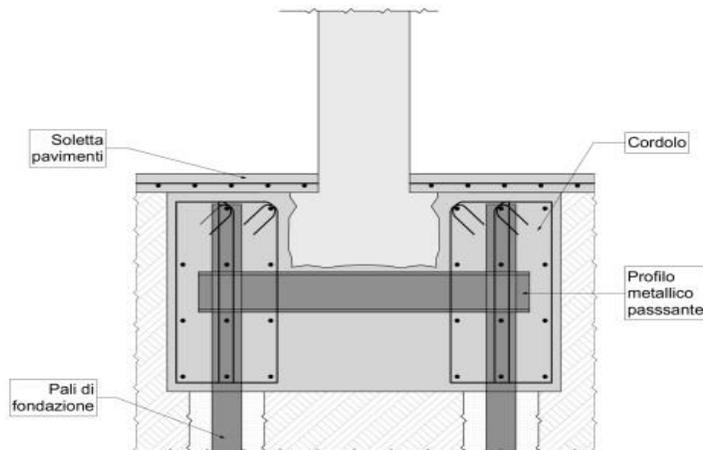
Intervento di MIGLIORAMENTO SISMICO

- Connessioni metalliche tra impalcati
- Micropali in fondazione
- Sostituzioni e miglioramenti murari

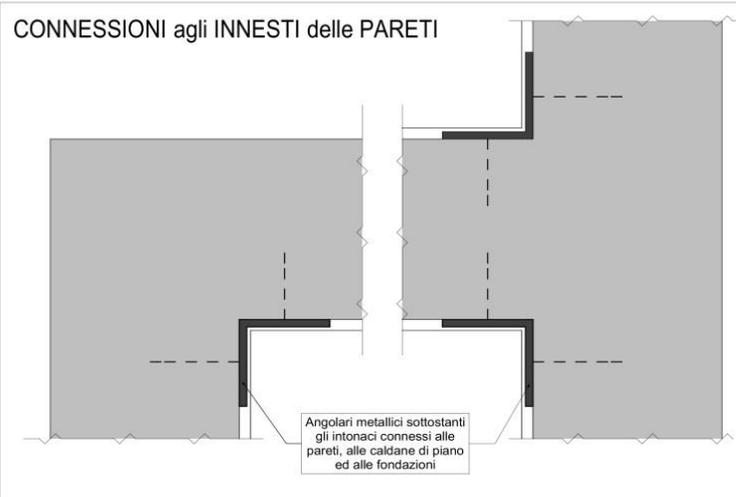
CONNESSIONI agli INNESTI delle PARETI



CONSOLIDAMENTO FONDAZIONI IN MURATURA



CONNESSIONI agli INNESTI delle PARETI



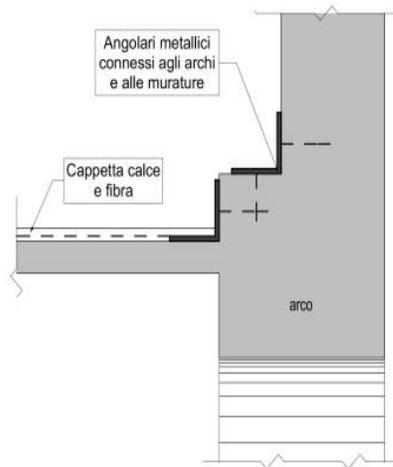
ORDINE degli INGEGNERI di TREVISO - 21 novembre 2017

VULNERABILITA' SISMICA PER UN FABBRICATO CIVILE

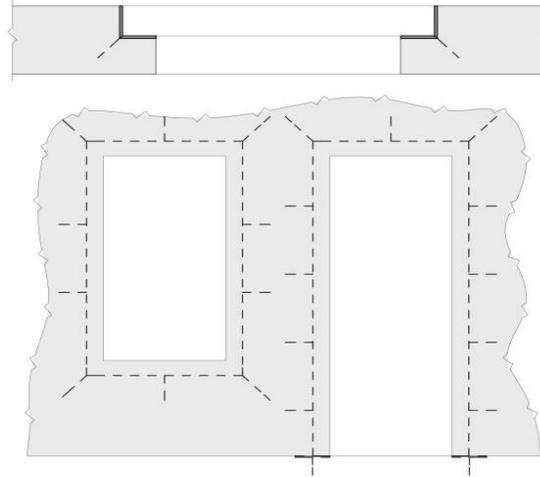
Intervento di MIGLIORAMENTO SISMICO

- Caldane e connessioni degli impalcati alle murature
- Confinamento colonne del porticato
- Cerchiature alle aperture del pianoterreno

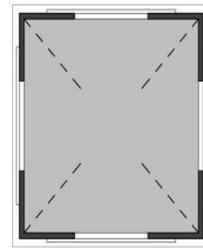
CONNESSIONE agli ARCHI del PORTICATO



CONNESSIONE/CERCHIATURE delle APERTURE

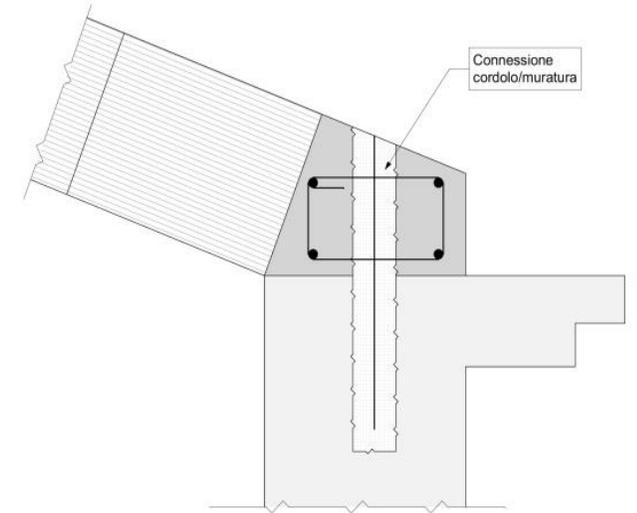


CONNESSIONI alle COLONNE del PORTICATO

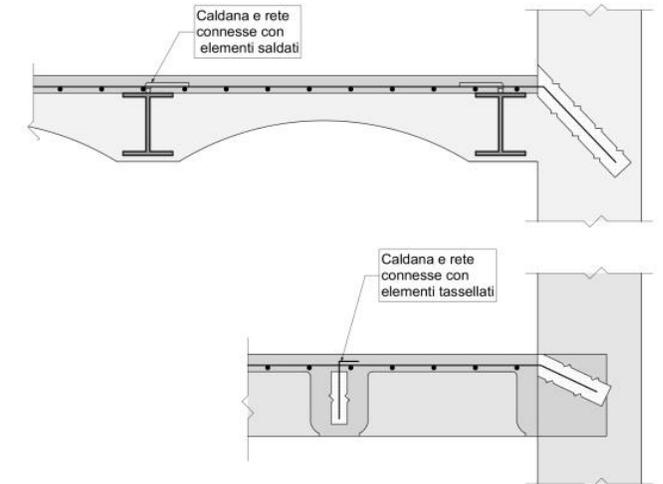


Angolari metallici tassellati e calastrelli saldati sottostanti l'intonaco

CORDOLO DI COPERTURA



CALDANE DI PIANO



ORDINE degli INGEGNERI di TREVISO - 21 novembre 2017
VULNERABILITA' SISMICA PER UN FABBRICATO CIVILE

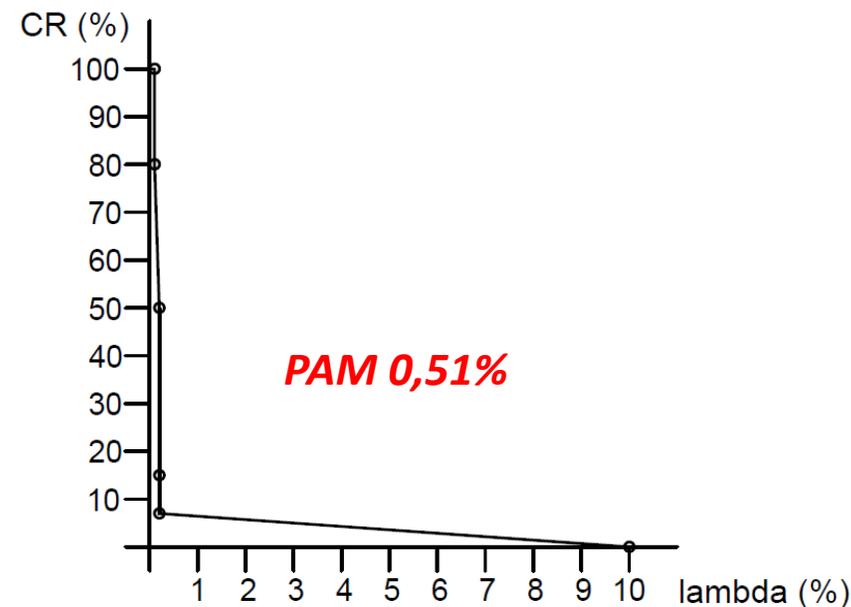
Capacità FLESSIONALE della sezione PILASTRO (**SLV**)

capacità/domanda = **1,02**

Limitazione SPOSTAMENTO della sommità PILASTRO (**SLD**)

domanda/capacità = **5,7**

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A_{IS-V}^+
$100\% \geq IS-V > 80\%$	A_{IS-V}
$80\% \geq IS-V > 60\%$	B_{IS-V}
$60\% \geq IS-V > 45\%$	C_{IS-V}
$45\% \geq IS-V > 30\%$	D_{IS-V}
$30\% \geq IS-V > 15\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}



SLID $\lambda = 10\%$

SLO $\lambda = 1,67 * 0,62 \rightarrow 1,04 \rightarrow 0,62\%$

SLD $Trc = 50(5,7)^{2,8} = 6537$ anni
 $\lambda = 1/6537 = 0,0003 \rightarrow 0,03\% \rightarrow 0,2\%$

SLV $Trc = 475(1,02)^{2,8} = 502$ anni
 $\lambda = 1/502 = 0,002 \rightarrow 0,2\%$

SLC $\lambda = 0,487 * 0,2\% \rightarrow 0,1\%$

SLR $\lambda = 0,1\%$

Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

	PRIMA (T=0,98-0,71 sec)	DOPO (T=0,36-0,20 sec)
Classe IS-V	B _{IS-V}	A+ _{IS-V}
Classe PAM	D _{PAM}	A _{PAM}
Classe	D	A

Miglioramento > di 2 classi

CONSIDERAZIONI: SLD legato alla grande limitazione degli spostamenti, è stato condizionante per l'indice e classe PAM
SLV legato al miglioramento della capacità pilastri, pur migliorando, non ha cambiato la classe IS-V

L'intervento ha operato un irrigidimento con aumento delle capacità e riduzione della deformabilità, che hanno determinato aumento dei taglianti sismici, comunque assorbiti dai controventi metallici, con riduzione della quota in pertinenza ai setti murari.

Grazie per l'attenzione
e per scaricare le diapositive
www.studioprandi.com