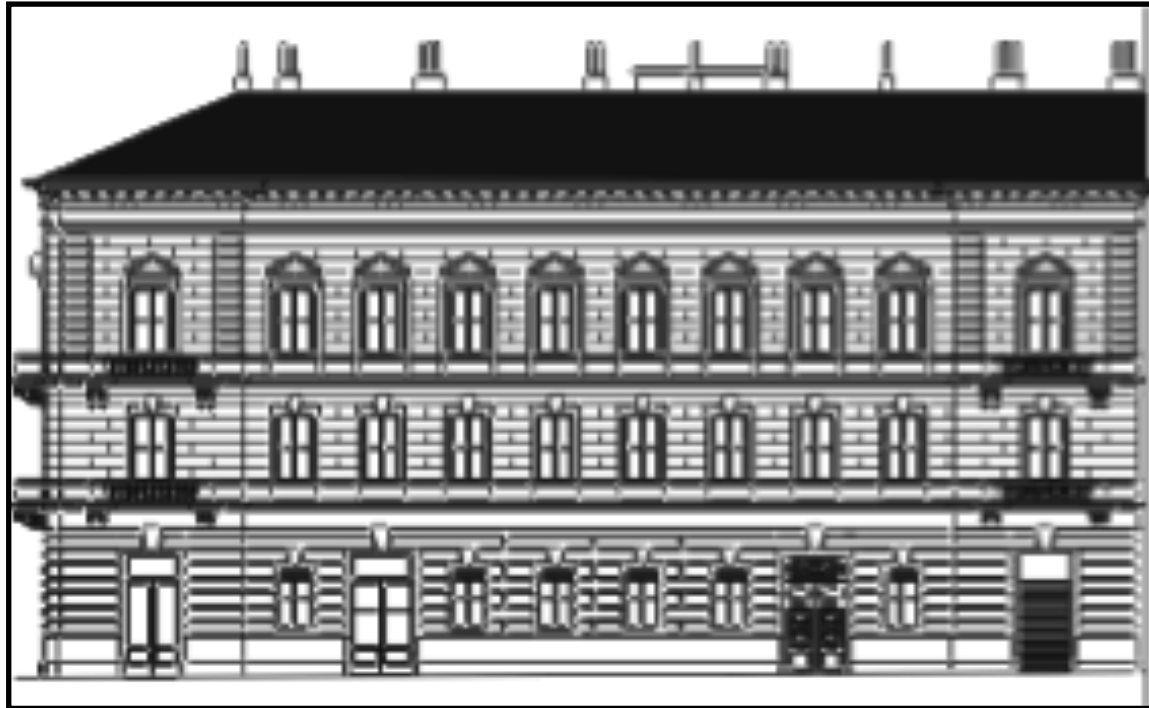


PROTEGGERSI DAL TERREMOTO: PROBLEMI ATTUALI E SOLUZIONI INNOVATIVE



**Studio della vulnerabilità degli edifici esistenti nella città di
Trieste: Palazzo Galatti sede della Provincia di Trieste**

Ing. Giorgio ALTIN

Libero professionista e collaboratore dell'Università di Trieste

PROCESSO DI VERIFICA SISMICA

● RACCOLTA DATI

● STORIA DELL'EDIFICIO

● GEOMETRIA STRUTTURALE

● MATERIALI



PROCESSO DI VERIFICA SISMICA

● RACCOLTA DATI

- STORIA DELL'EDIFICIO

- GEOMETRIA STRUTTURALE

- MATERIALI

● CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEL SITO



PROCESSO DI VERIFICA SISMICA

● RACCOLTA DATI

- STORIA DELL'EDIFICIO

- GEOMETRIA STRUTTURALE

- MATERIALI



● CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEL SITO

● MODELLAZIONE STRUTTURALE

PROCESSO DI VERIFICA SISMICA

● RACCOLTA DATI

- STORIA DELL'EDIFICIO

- GEOMETRIA STRUTTURALE

- MATERIALI

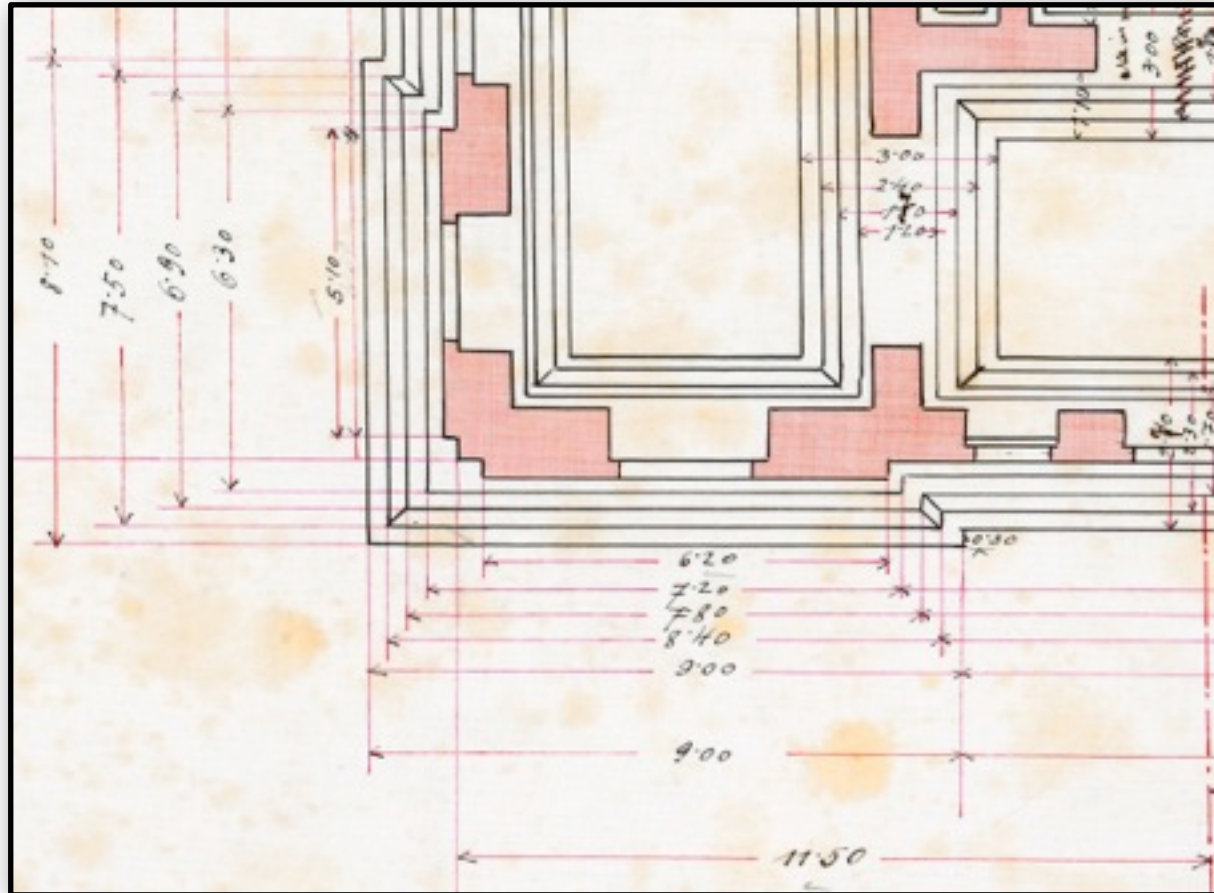


● CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEL SITO

● MODELLAZIONE STRUTTURALE

● VERIFICHE

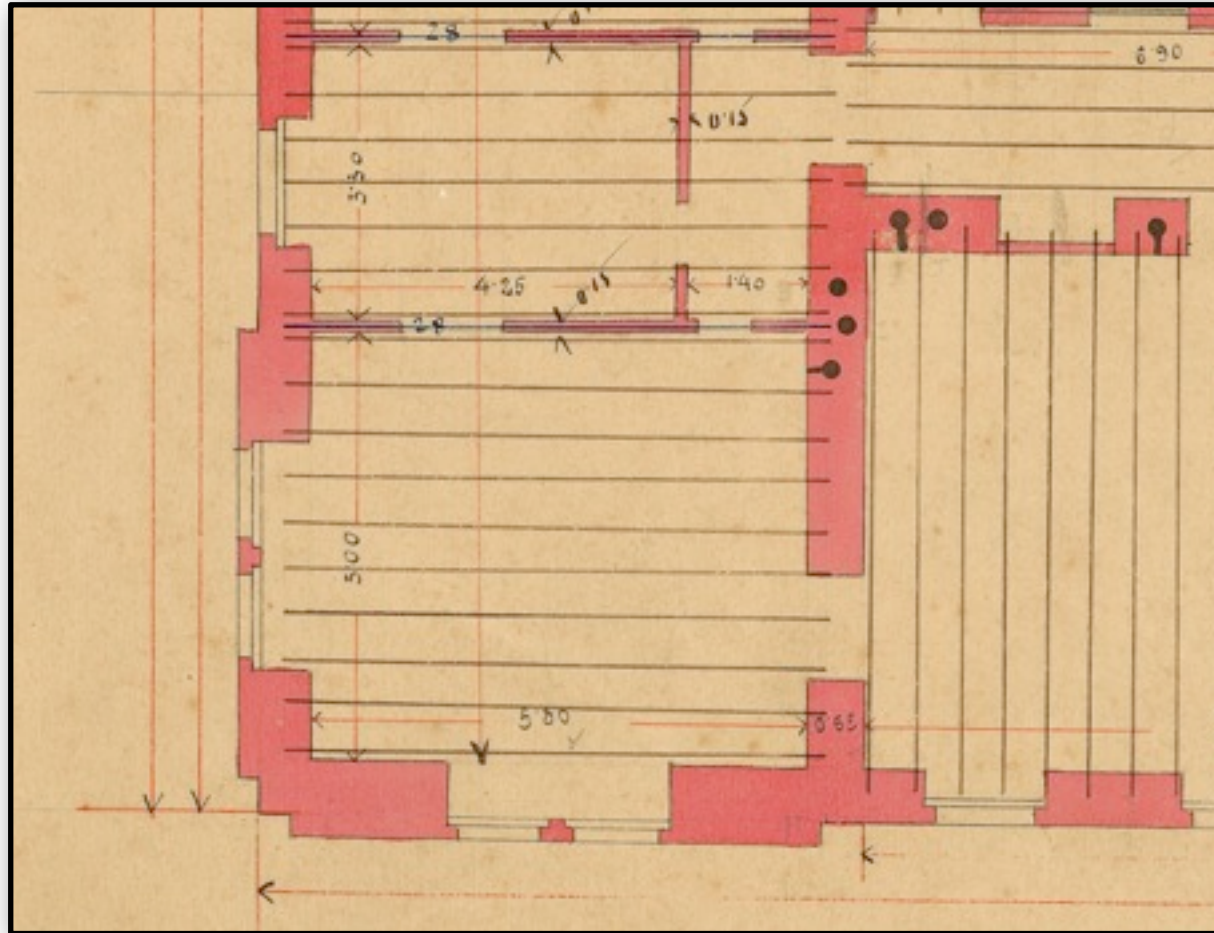
RACCOLTA DATI



ESTRATTO DELLA PIANTA FONDAZIONI DAI DISEGNI ESECUTIVI

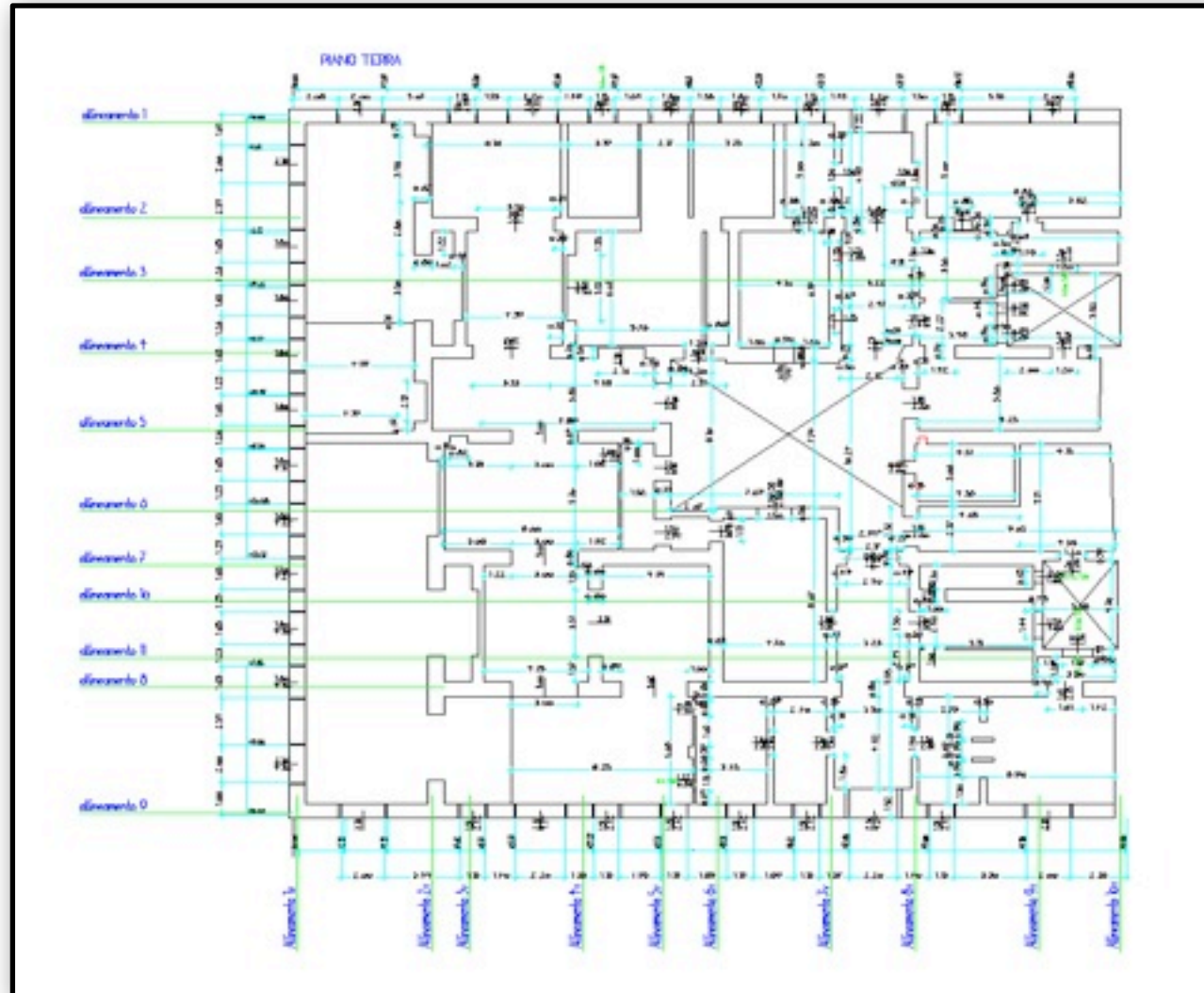
DETTAGLI COSTRUTTIVI

RACCOLTA DATI



ESTRATTO DELLA PIANTA DEL SOLAIO DEL II PIANO
DETTAGLI COSTRUTTIVI: ORDITURA TRAVI LIGNEE

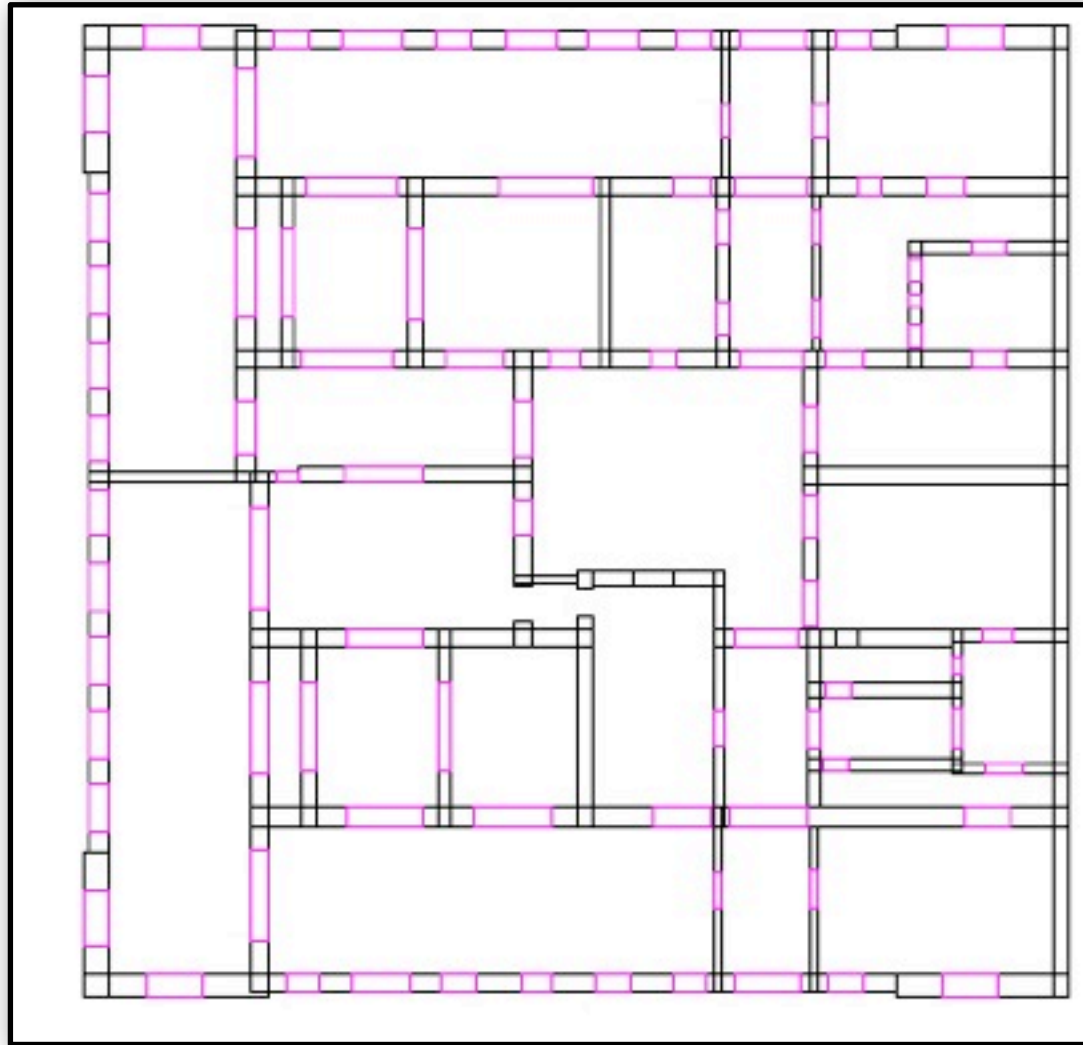
RACCOLTA DATI



PIANTA PIANO TERRA

GEOMETRIA

RACCOLTA DATI



PIANTA PIANO TERRA

GEOMETRIA - PER INPUT CODICE DI CALCOLO

RACCOLTA DATI



PIANO TERRA

TESSITURA MURATURA / QUALITA' DEI COLLEGAMENTI

RACCOLTA DATI



PIANO TERRA

SONDAGGIO: TIPOLOGIA DELLA MURATURA

RACCOLTA DATI

Punto C8A della circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del C.S.LL.PP.



PIANO TERRA

SONDAGGIO: TIPOLOGIA DELLA MURATURA

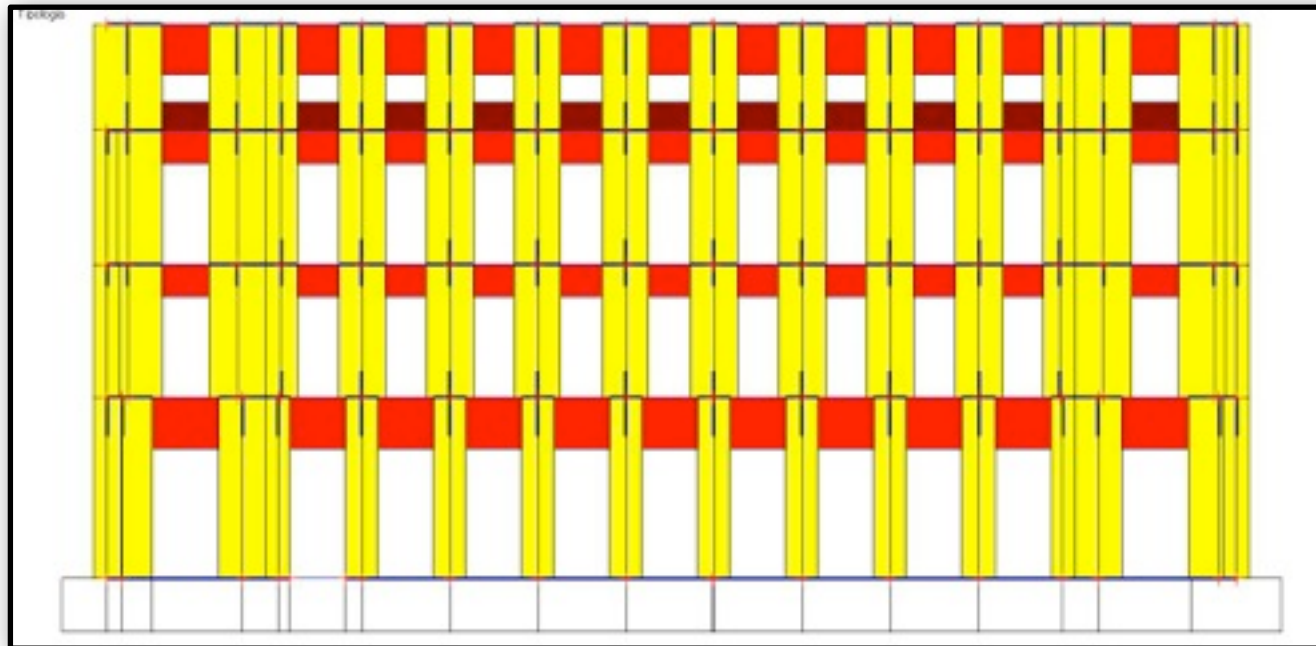
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

- I parametri geotecnici del suolo, alla quota di imposta delle fondazioni, sono stati dedotti dall' "Indagine geognostica e relazione geologica" redatta dal dott. Geol. F. Sergas sulla piazza Vittorio Veneto in data luglio-agosto 1999
- Alla quota di imposta:
 - Peso dell'unità di volume 1.9-2.0 g/cm³
 - Coesione 0.0-0.5 kg/cm²
 - Angolo di attrito 28-30°

CARATTERIZZAZIONE SISMICA

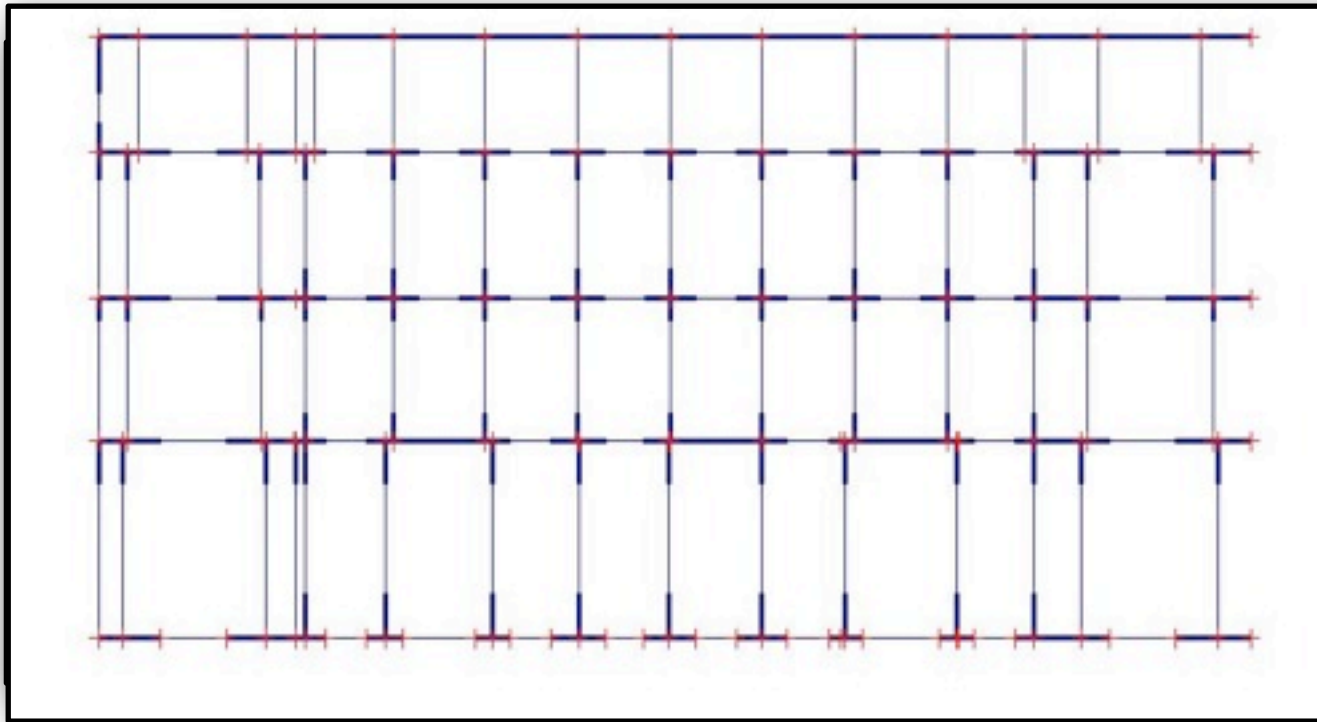
- L'ICTP ha effettuato, sul sito in oggetto, misure di rumore sismico ambientale che hanno permesso di concludere che il valore di V_{s30} è pari a circa 450m/s
- L'analisi dei profili di velocità permette di individuare come categoria di sottosuolo di riferimento quella di tipo E (Tabella 3.2.II delle NTC08), cioè “*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)*”
- Con riferimento alla Tabella 3.2.IV (Categorie topografiche) il sito ricade in zona T1

Modellazione numerica



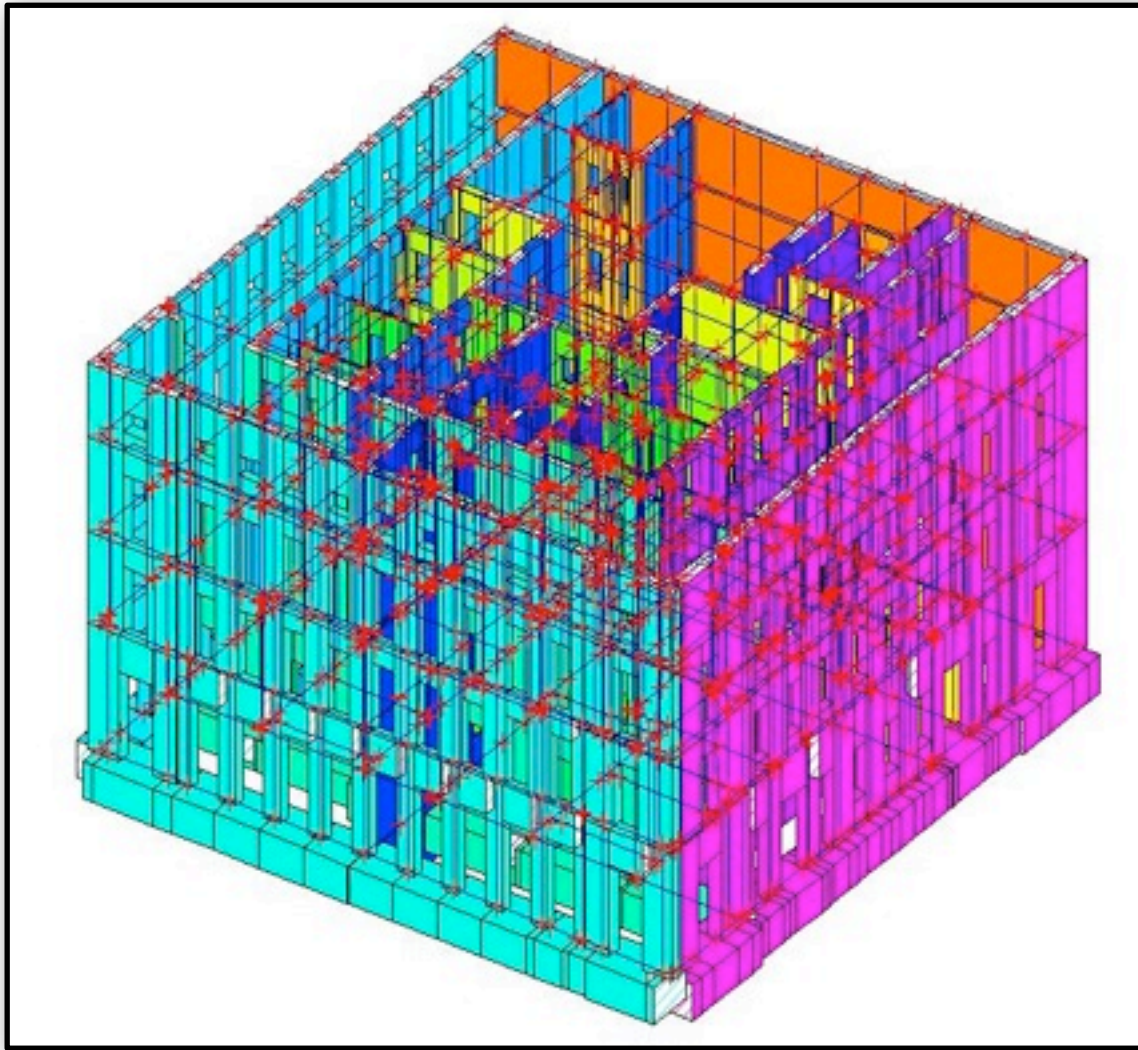
VISTA DI UN TELAIO DI UN ALLINEAMENTO

Modellazione numerica



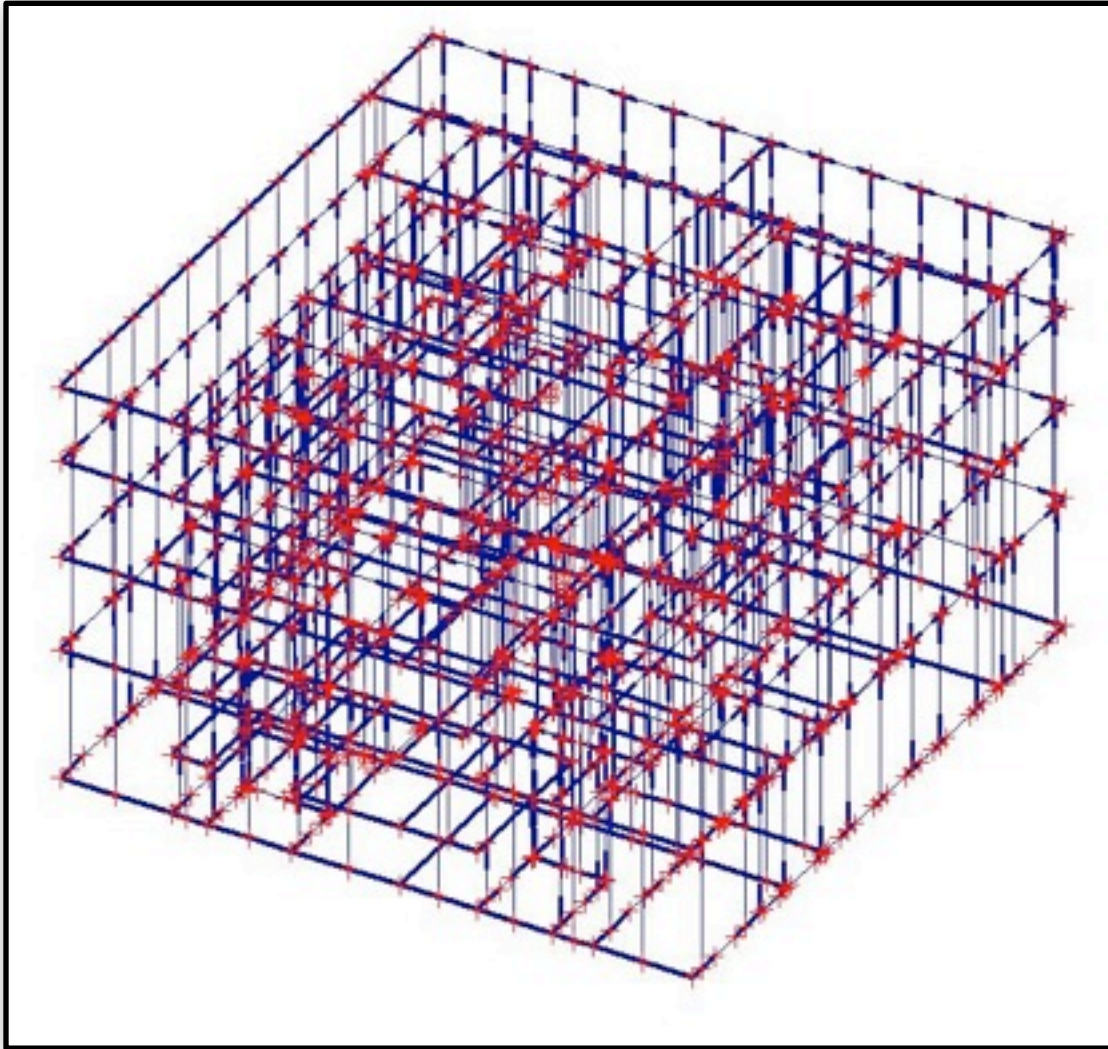
VISTA DI UN TELAIO DI UN ALLINEAMENTO

Modellazione numerica



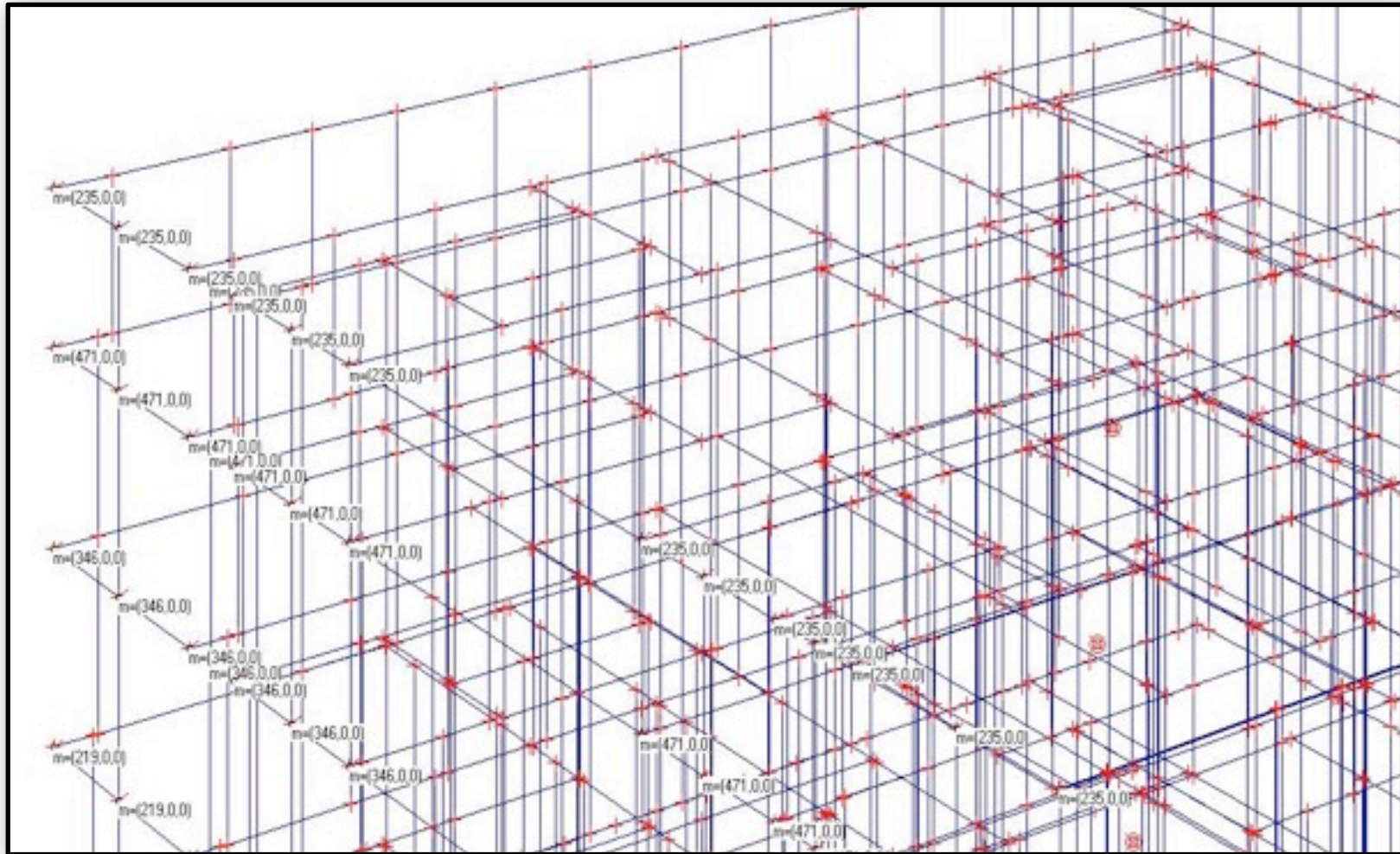
- Allineamenti dei telai
- Vantaggi del metodo a telaio equivalente:
- Risultati maggiormente “controllabili”
- Non è necessario conoscere il legame costitutivo non lineare della muratura

Modellazione numerica



- Modello 3D
- Telai ed irrigidimenti

Modellazione numerica



Interazione con l'edificio attiguo

Modellazione numerica

PC.E 2012.01.3: provincia5_HREGINA_SITO_R_R (20/06/2012 - 7.40.10)

File Esegui Opzioni Immagine Sposta Animazione Finestra ?

Sim Dinamica Mod. ANALISI SEMPLIFICATE

Materiali

Piano Drizzontale //XY Z = 10.350

Materiali [Piano 3 / 5]

Materiali

a' = 15 Z = 50 p = 100 X = 11.36 Y = 41.92

Materiali

Dati Solai (107)

N°	Col.	Trasp.	Dis.	Commento	Piano	Rigido	P. pr. G1 (kg/m ²)	Pem. G2 (kg/m ²)	Var. Q (kg/m ²)	CCE G1	CCE G2	CCE Q	Solaio per Nodi (Maglia)	Angolo ond. (°)	Schema statico	% per schema D	Spinta elimin.	H (cm) imposta
46		✓	✓	solai piano secondo	3	■	95	240	300	1	2	3	949 842 844 954 786 788 790 791 793 7	90	M	20	✓	50
47		✓	✓	solai piano secondo	3	■	165	370	300	1	2	3	947 956 779 952 718 775 848 745 900 7	90	D	49	✓	50
48		✓	✓	solai piano secondo	3	■	95	240	300	1	2	3	943 891 765 893 786 895 951 719 747 7	90	M	20	✓	50
49		✓	✓	soletta sala consiglio	3	✓	500	235	400	1	2	3	936 894 896 944 880 945 741 742 884 8	90	M	20	✓	50
50		✓	✓	soletta sala consiglio	3	✓	500	235	400	1	2	3	927 905 936 845 937 712 829 807 803 8	90	M	20	✓	50
51		✓	✓	soletta sala consiglio	3	✓	500	235	400	1	2	3	926 932 943 872 876 944 896 894 936 8	0	M	20	✓	50

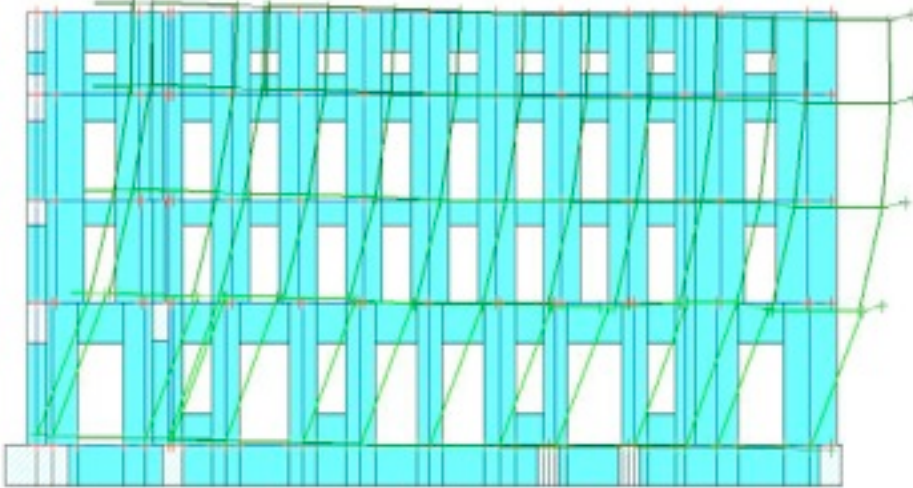
Versione 2012.01.3 Professionale Completa

PC.E 2012.01.3: pro... Output trasferimenti provi... IT Collegamenti 11.43

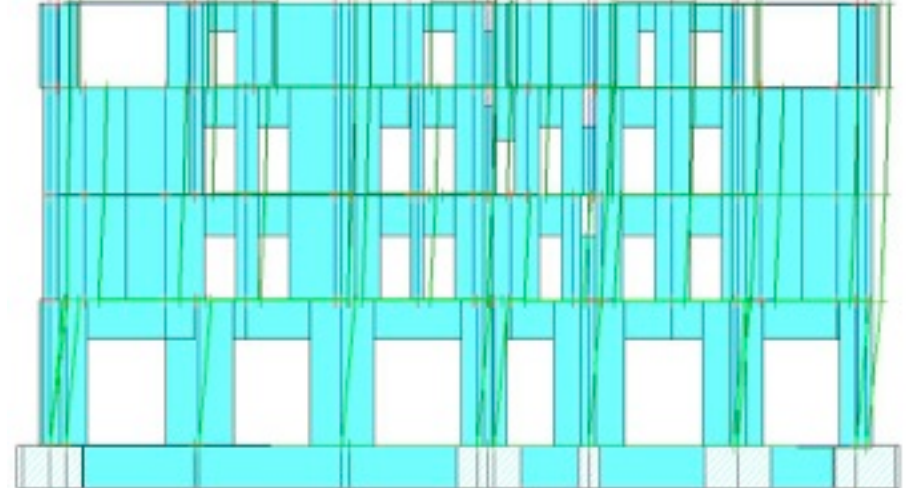
Solai rigidi e deformabili sullo stesso impalcato

Modellazione numerica - Analisi modale

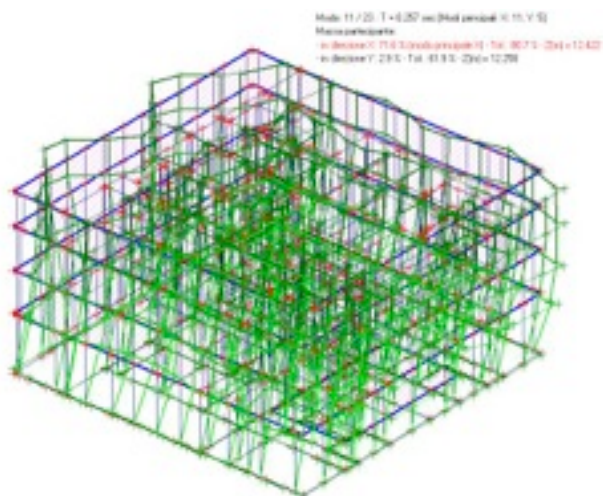
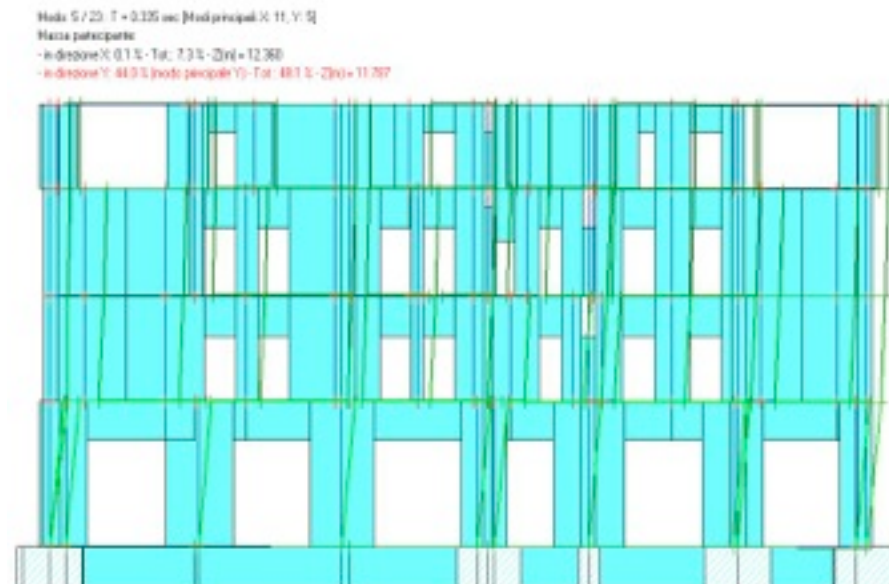
Modo 11 / 20: T = 0.207 sec [Mod.principali X, Y, Z]
Massa partecipante:
- direzione X: 71.5% (modo principale X) - Tot: 10713 - Z(m) = 12.432
- direzione Y: 2.9% - Tot: 4193 - Z(m) = 12.258



Modo 5 / 20: T = 0.135 sec [Mod.principali X, Y, Z]
Massa partecipante:
- direzione X: 0.1% - Tot: 73% - Z(m) = 12.360
- direzione Y: 41.0% (modo principale Y) - Tot: 4813 - Z(m) = 11.707

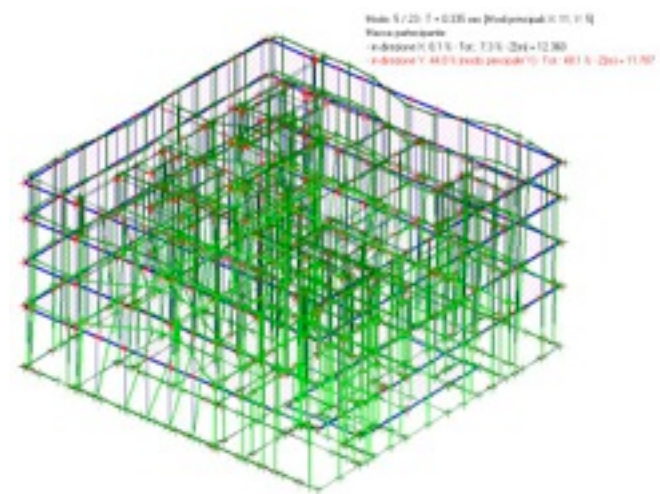
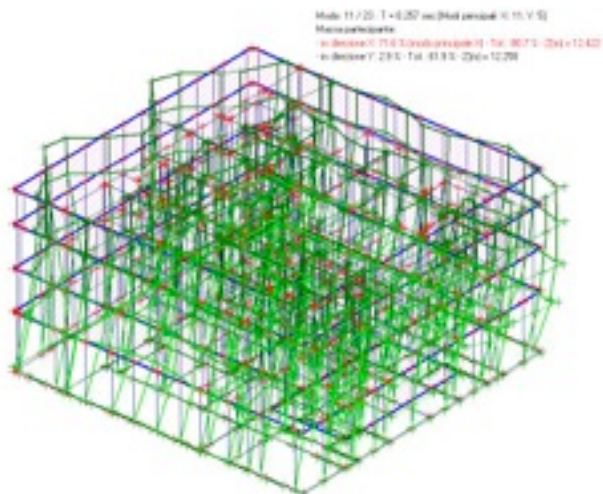
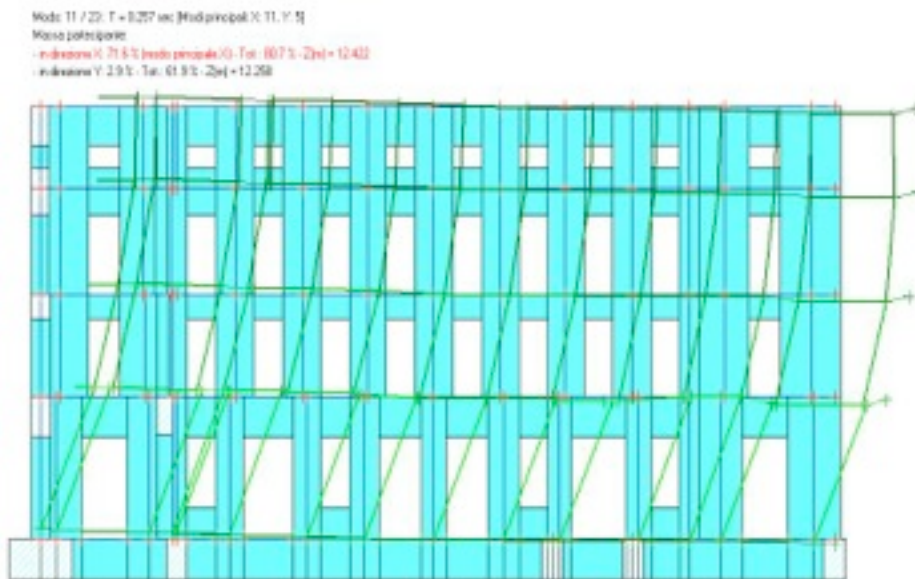


Modellazione numerica - Analisi modale



$$M_x = 71,6 \% ; T_x = 0,256 \text{ sec}$$

Modellazione numerica - Analisi modale



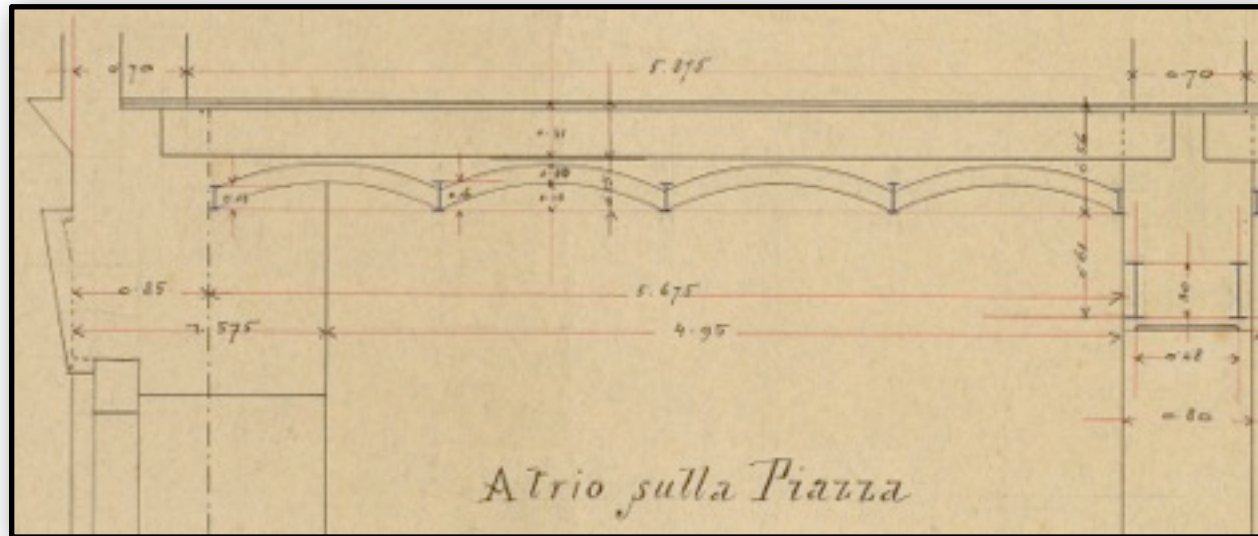
$$M_x = 71,6 \% ; T_x = 0,256 \text{ sec}$$

$$M_y = 44\% ; T_y = 0,335 \text{ sec}$$

Modellazione numerica - Vibrometria

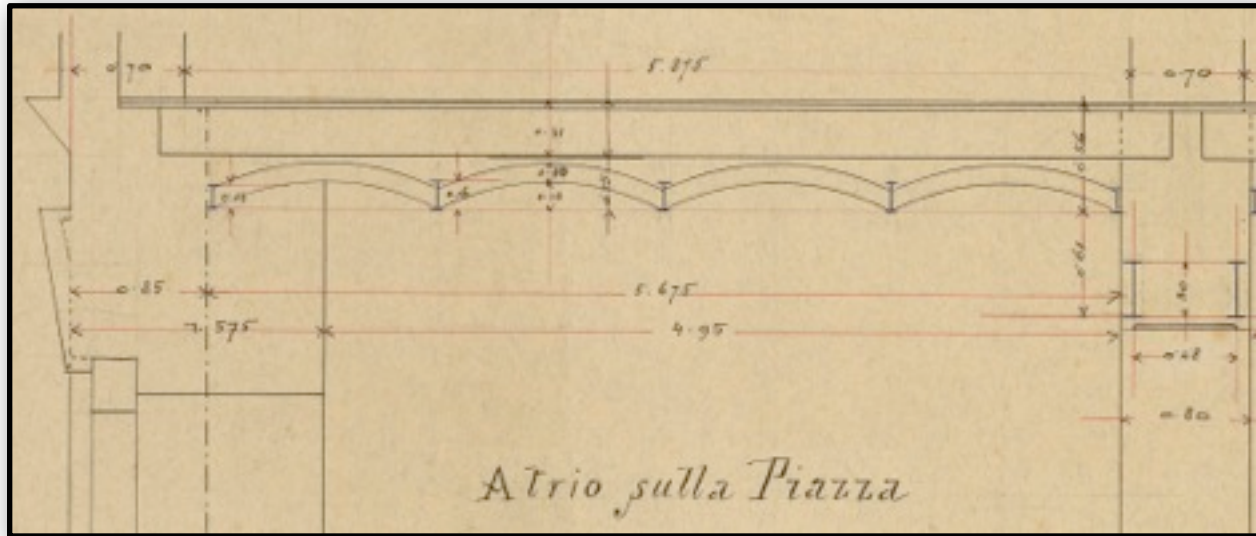
- Durante l'anno 2009 l'ICTP (International Center for Theoretical Physics) ha eseguito delle misure vibrometriche dell'edificio in oggetto che hanno permesso di ottenere per via sperimentale il valore del periodo proprio: è stato misurato un periodo proprio pari a 0.330 ± 0.028 s
- I valori ottenuti dall'analisi modale ($T_x = 0.256$ s e $T_y = 0.335$ s) sono **CONCORDI** con il dato sperimentale

Modellazione numerica - Modi principali



Dettaglio esecutivo
del solaio del primo
piano

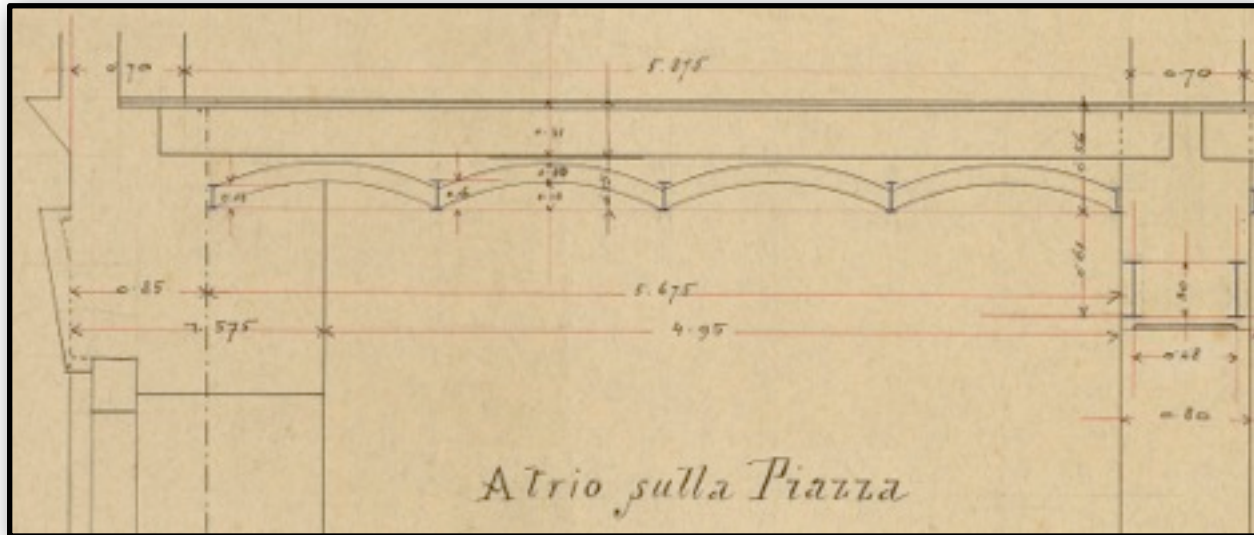
Modellazione numerica - Modi principali



Dettaglio esecutivo
del solaio del primo
piano

Cosa succederebbe se considerassi questo impalcato rigido?

Modellazione numerica - Modi principali



Dettaglio esecutivo
del solaio del primo
piano

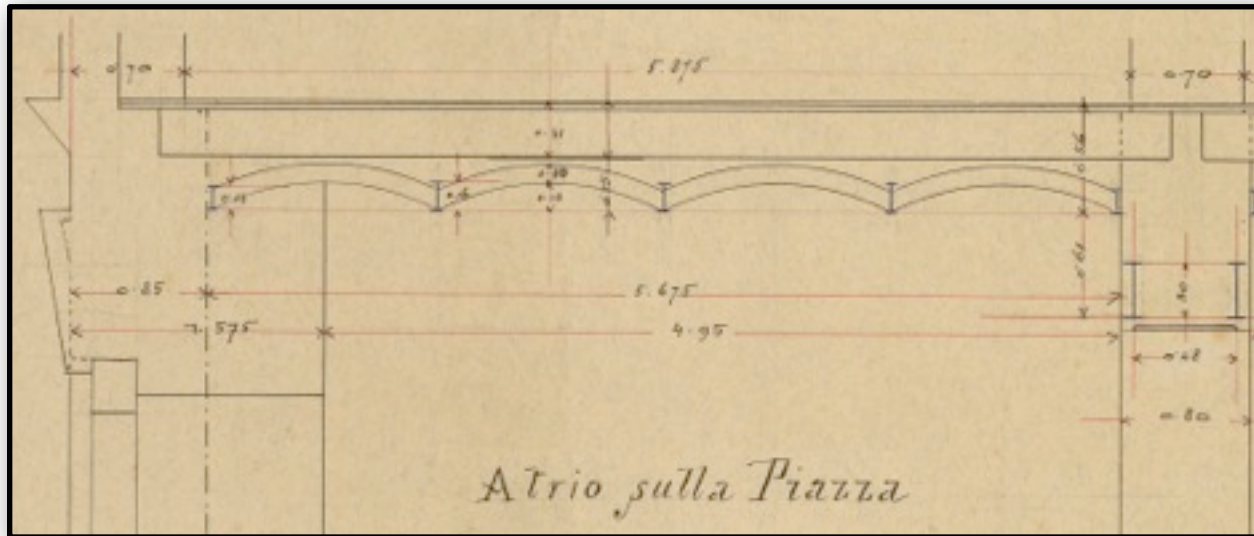
Cosa succederebbe se considerassi questo impalcato rigido?

Primo piano deformabile
(vengono considerati 23 modi con
periodi compresi tra 0.187 e 0.645 sec
Massa totale 86%)

$M_x = 71.6 \%$
 $T_x = 0.256 \text{ s}$

$M_y = 44.0\%$
 $T_y = 0.335 \text{ s}$

Modellazione numerica - Modi principali

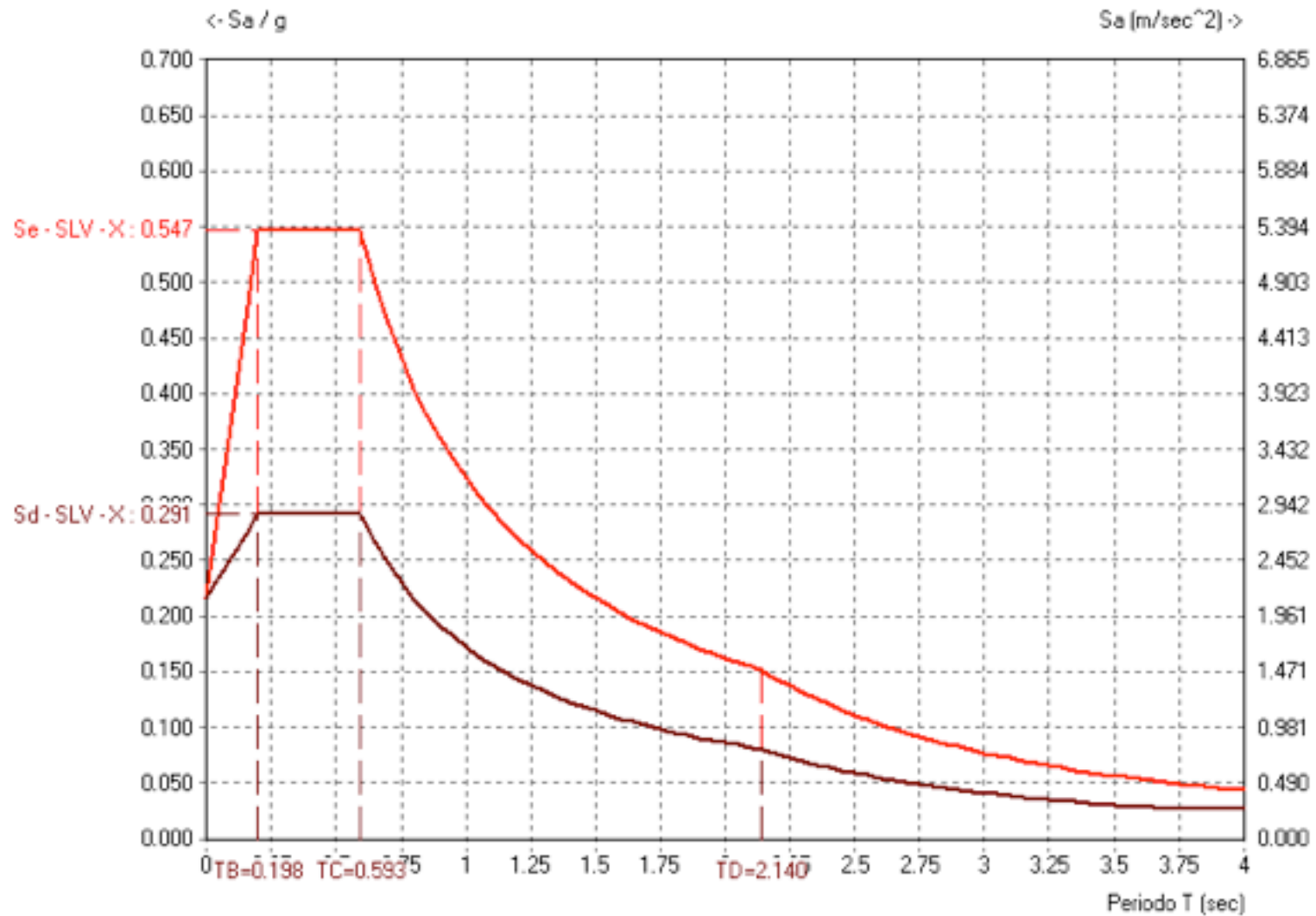


Dettaglio esecutivo
del solaio del primo
piano

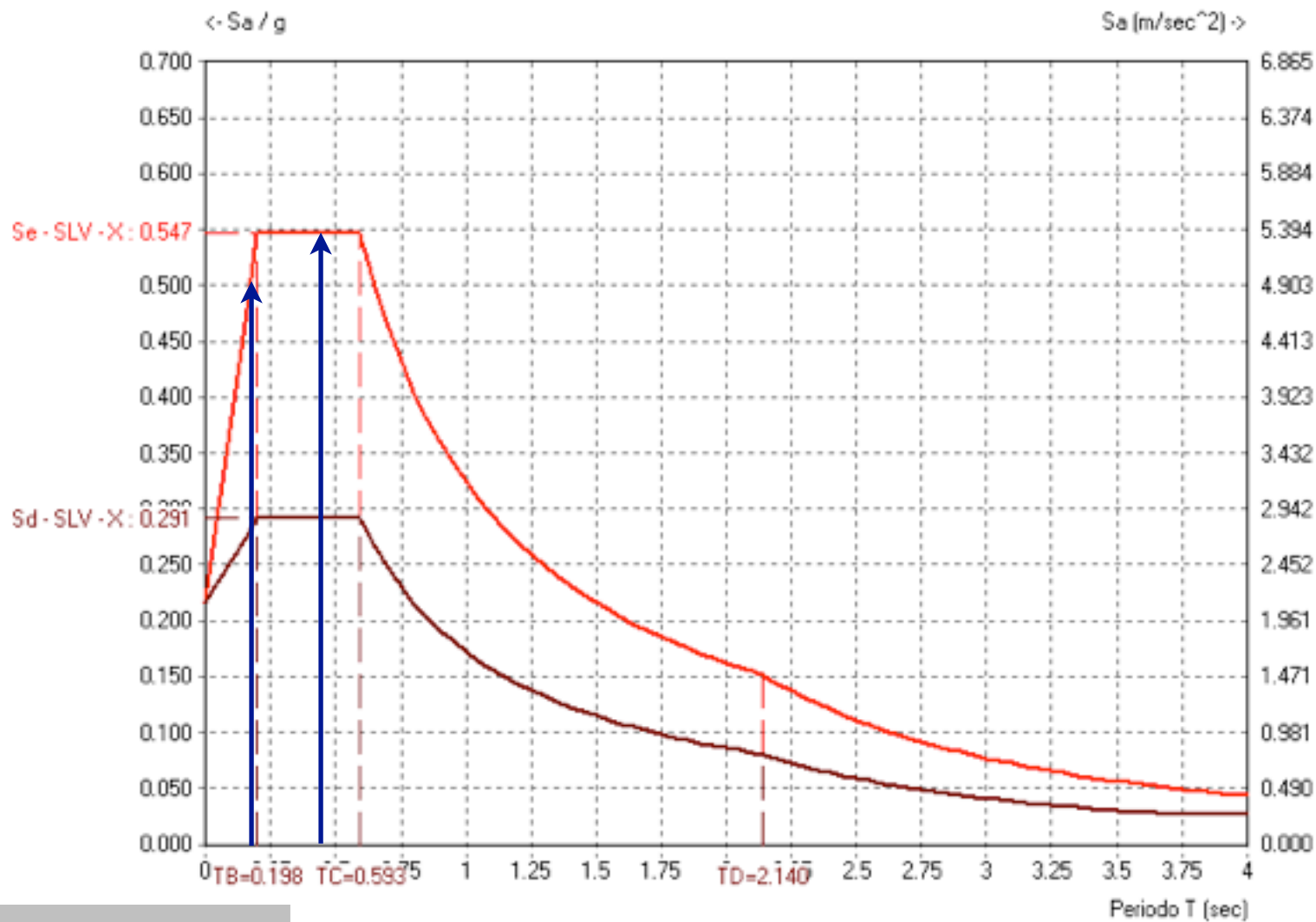
Cosa succederebbe se considerassi questo impalcato rigido?

<p>Primo piano deformabile (vengono considerati 23 modi con periodi compresi tra 0.187 e 0.645 sec Massa totale 86%)</p>	<p>$M_x = 71.6 \%$ $T_x = 0.256 \text{ s}$</p>	<p>$M_y = 44.0\%$ $T_y = 0.335 \text{ s}$</p>
<p>Primo piano rigido (vengono considerati 15 modi con periodi compresi tra 0.19 e 0.455 sec Massa totale 86%)</p>	<p>$M_x = 67,9 \%$ $T_x = 0.249 \text{ s}$</p>	<p>$M_y = 52.7\%$ $T_y = 0.309 \text{ sec}$</p>

Conseguenze in termini di accelerazioni



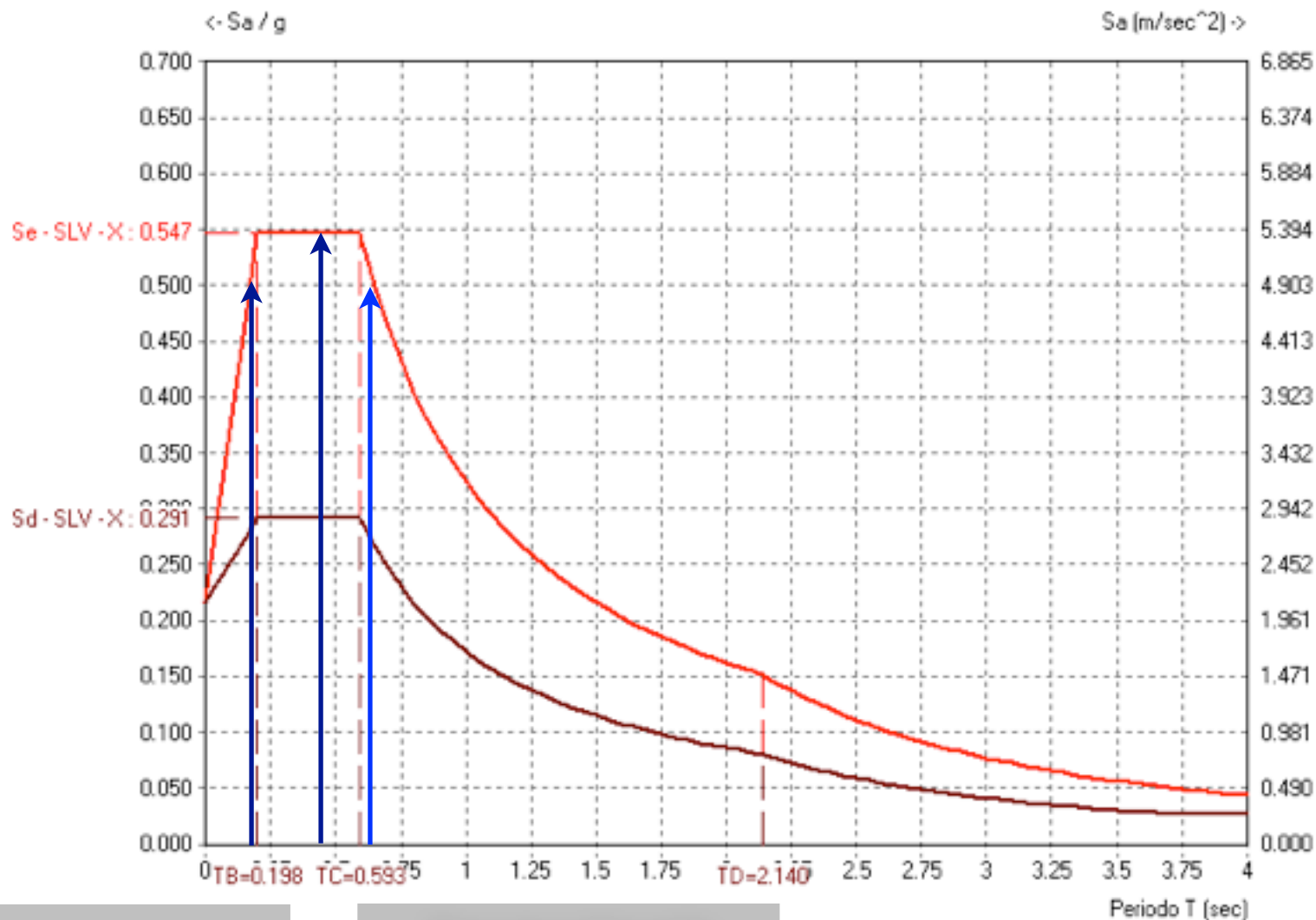
Conseguenze in termini di accelerazioni



Primo piano rigido

(vengono considerati 15 modi con
periodi compresi tra 0.19 e 0.455
sec Massa totale 86%)

Conseguenze in termini di accelerazioni



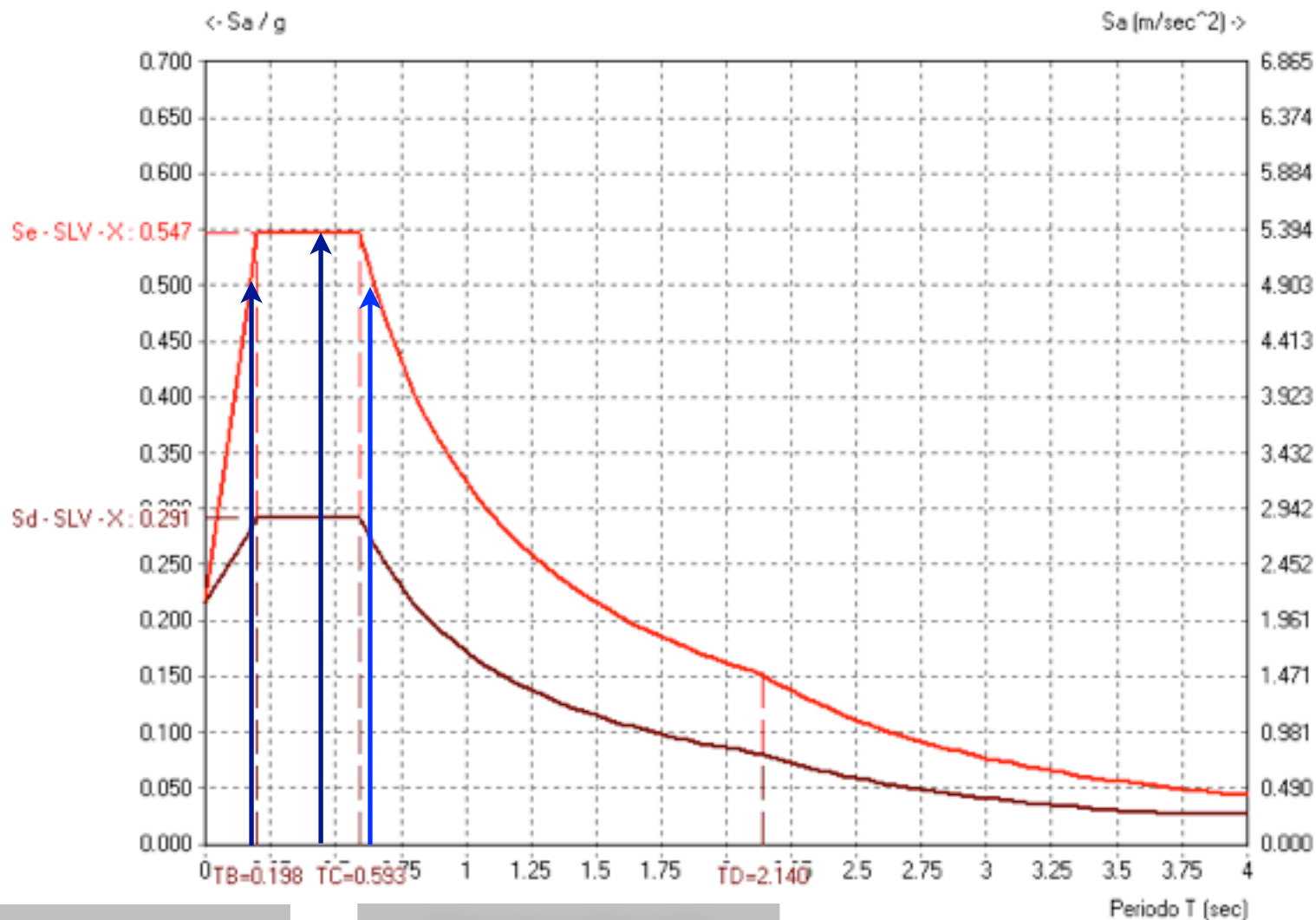
Primo piano rigido

(vengono considerati 15 modi con
periodi compresi tra 0.19 e 0.455
sec Massa totale 86%)

Primo piano deformabile

(vengono considerati 23 modi con
periodi compresi tra 0.187 e 0.645
sec Massa totale 86%)

Conseguenze in termini di accelerazioni



Primo piano rigido

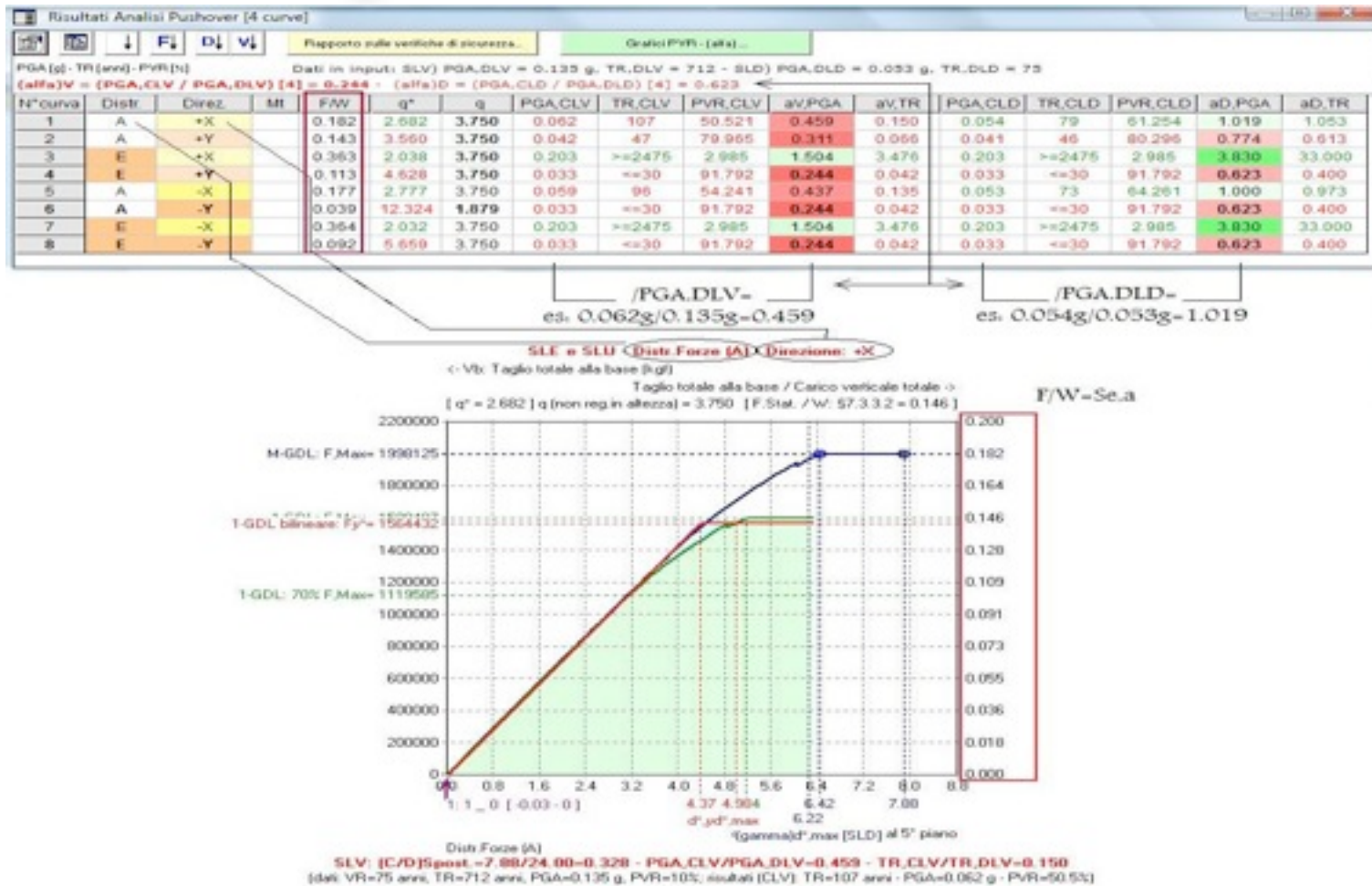
(vengono considerati 15 modi con
periodi compresi tra 0.19 e 0.455
sec Massa totale 86%)

Primo piano deformabile

(vengono considerati 23 modi con
periodi compresi tra 0.187 e 0.645
sec Massa totale 86%)

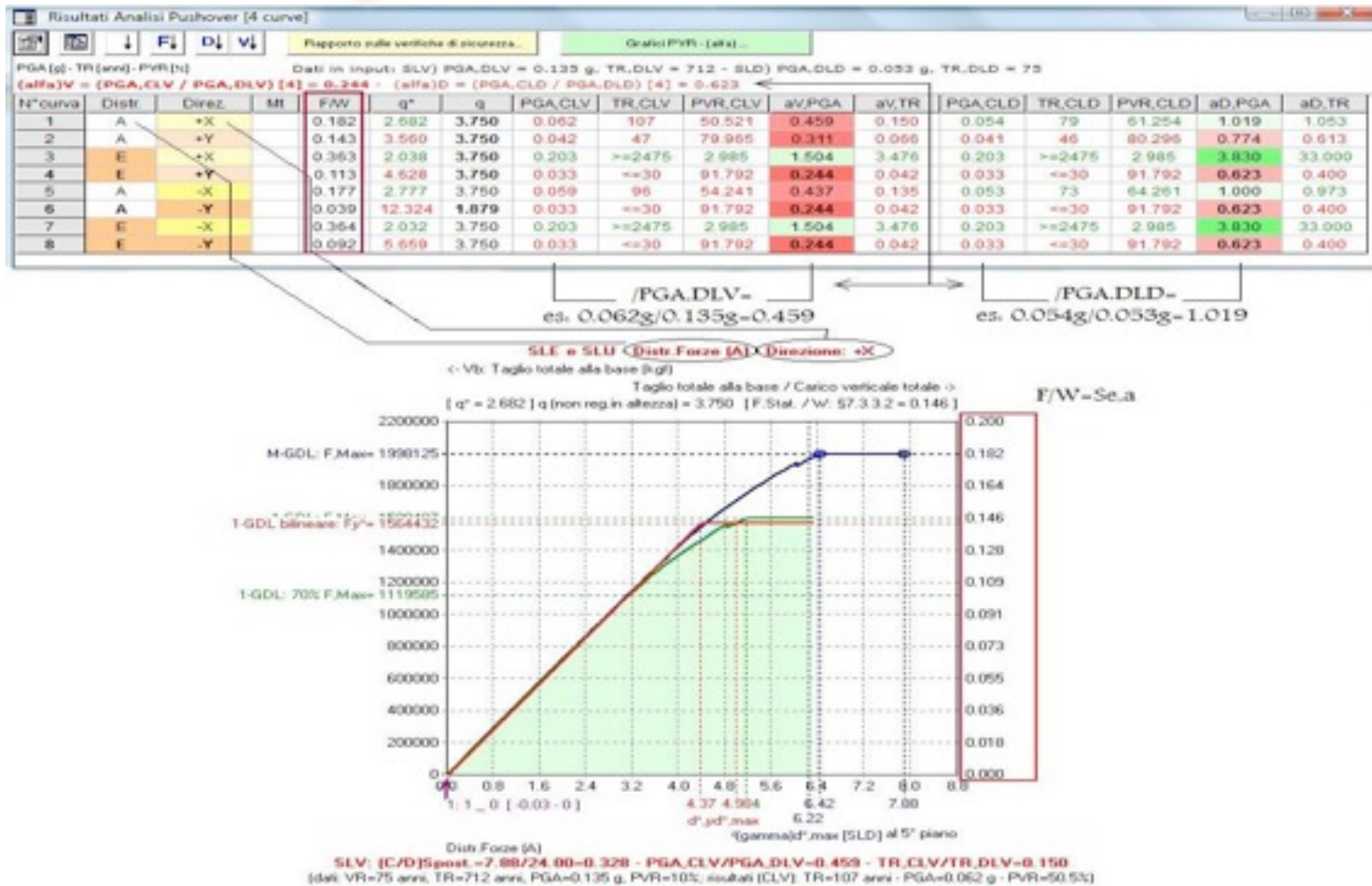
L'accelerazione si ridurrebbe del 10% o meno ma per una piccola percentuale delle masse: circa il 5%

Analisi di pushover e fattore di struttura



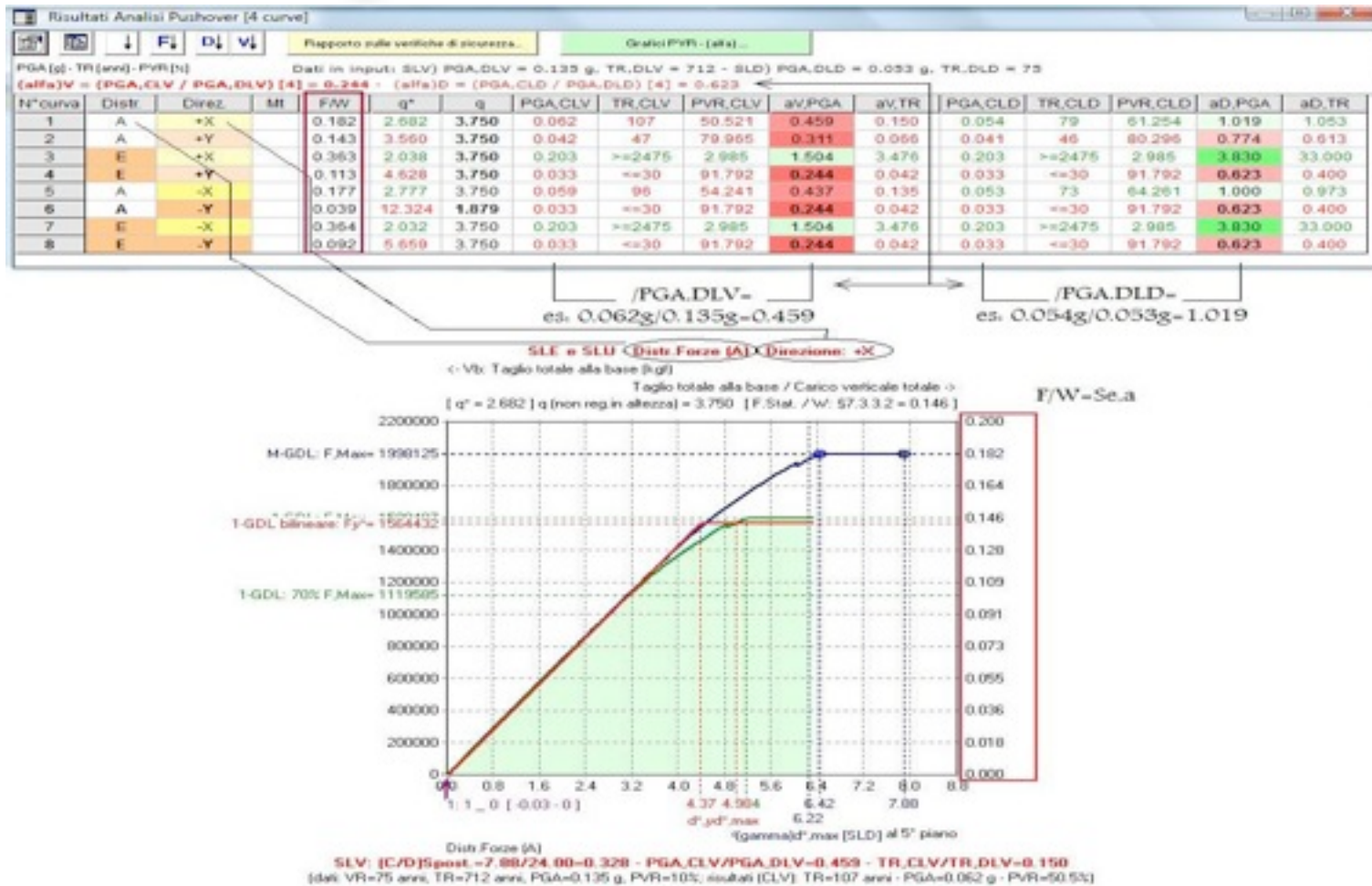
- Costruzione di una curva di capacità: processo incrementale di applicazione di forze orizzontali

Analisi di pushover e fattore di struttura



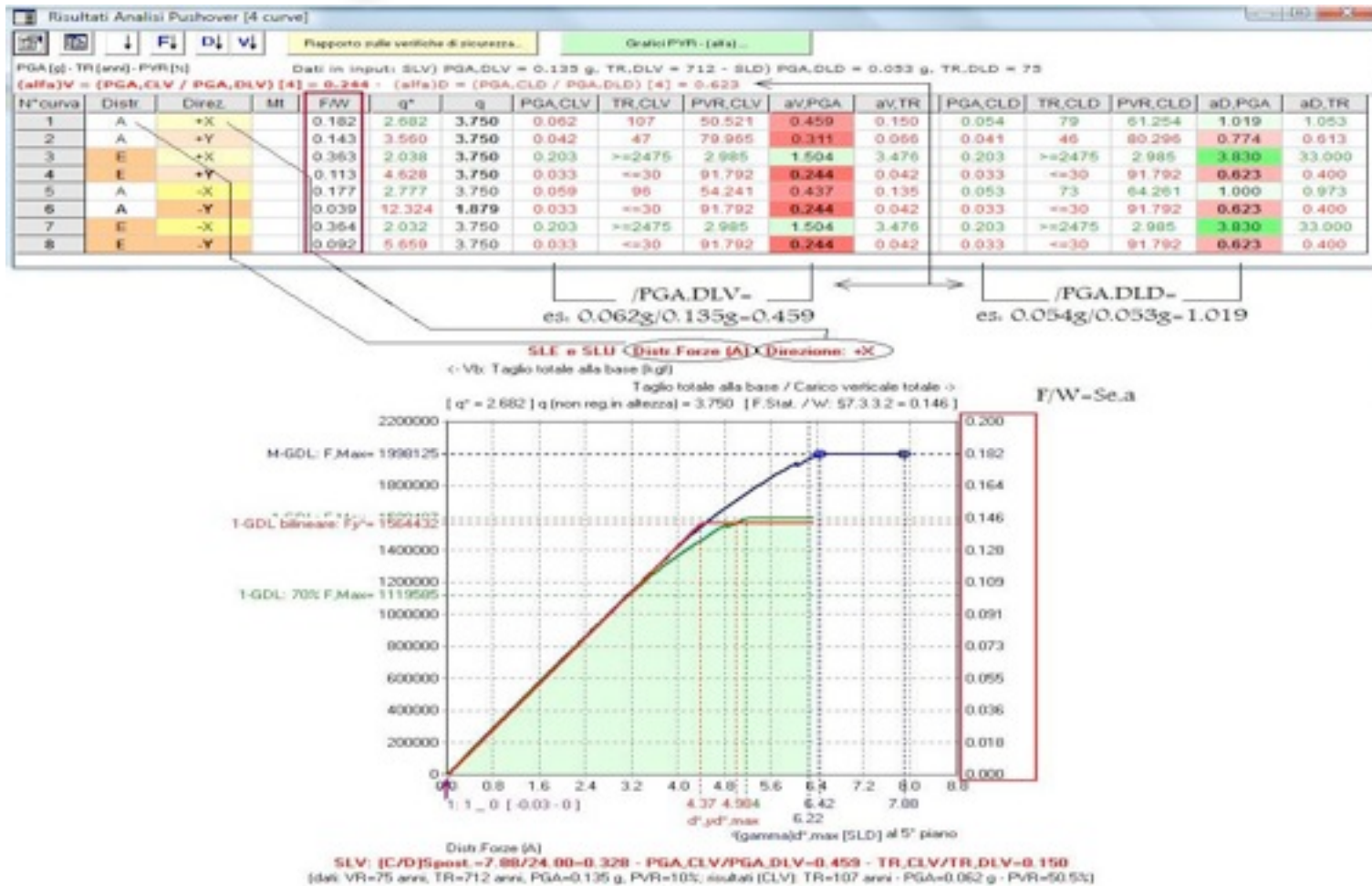
- Costruzione di una curva di capacità: processo incrementale di applicazione di forze orizzontali
- Dopo ogni incremento verifico la struttura ed aggiorno il modello (matrice di rigidezza)

Analisi di pushover e fattore di struttura



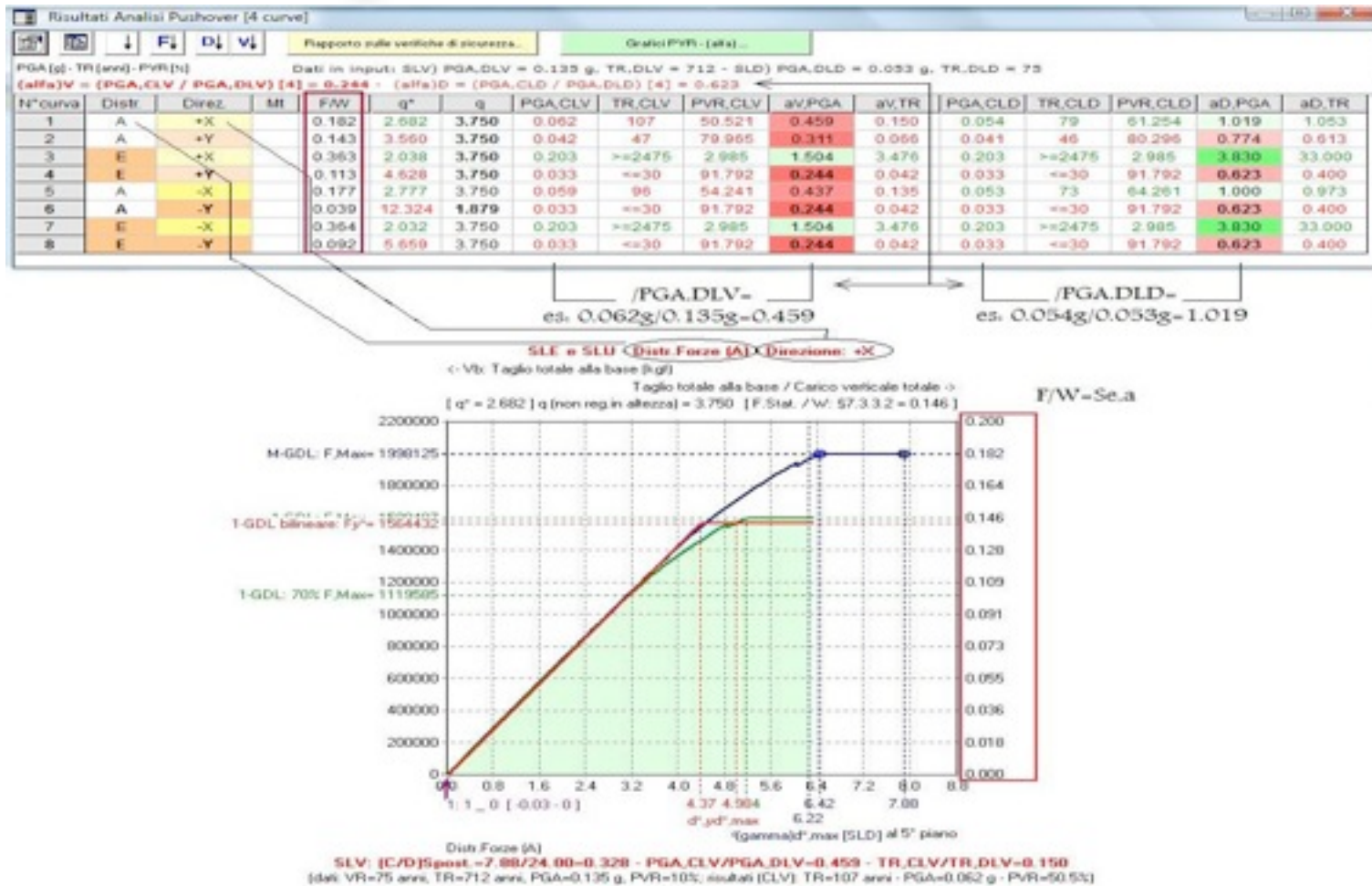
- Costruzione di una curva di capacità: processo incrementale di applicazione di forze orizzontali
- Dopo ogni incremento verifico la struttura ed agguirno il modello (matrice di rigidezza)
- Fine analisi al “collasso” di almeno un maschio murario. Si riparte dall'inizio tenendo conto degli elementi plasticizzati o già collassati e si costruisco le sottocurve

Analisi di pushover e fattore di struttura



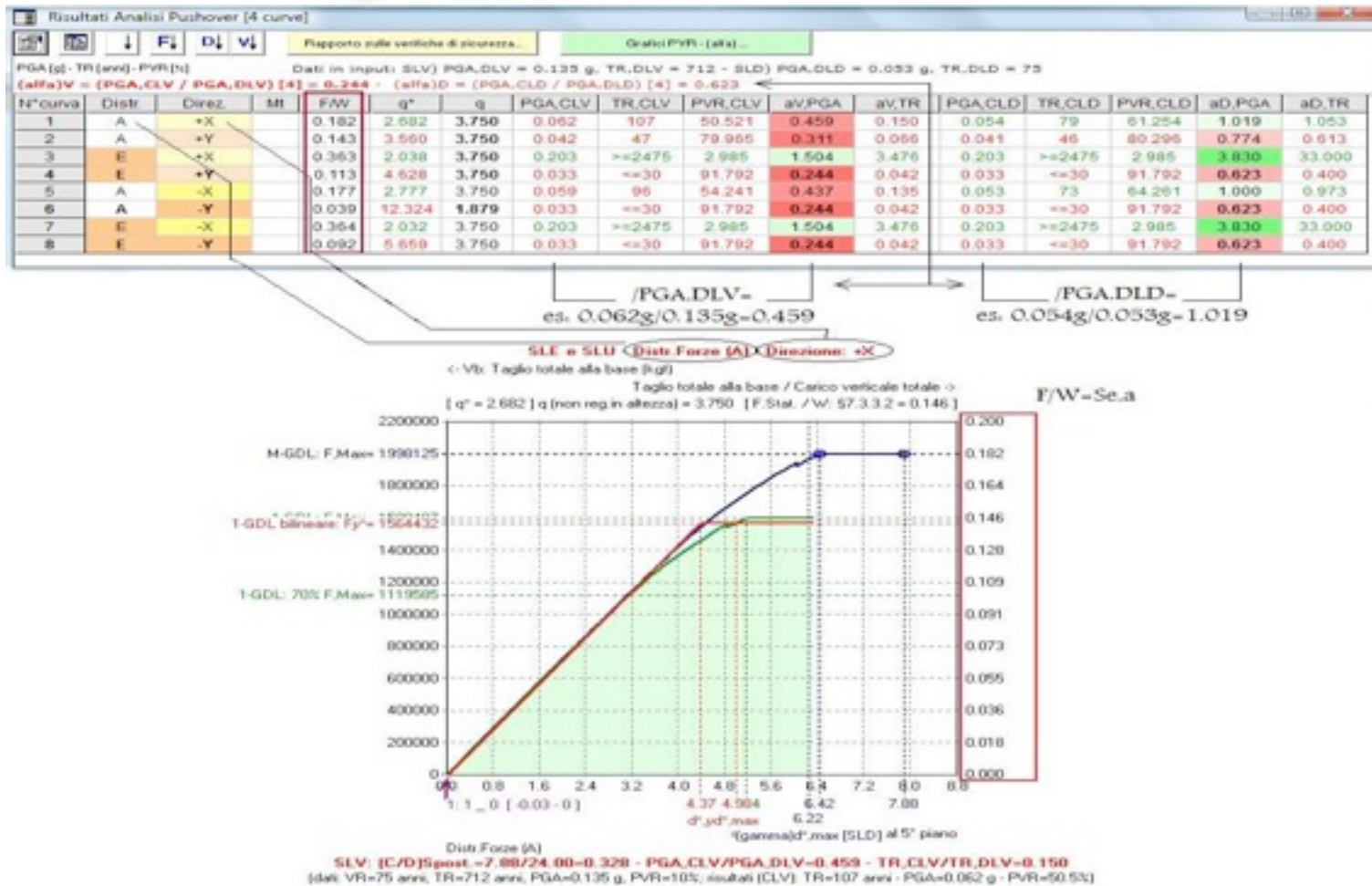
- Costruzione di una curva di capacità: processo incrementale di applicazione di forze orizzontali
- Dopo ogni incremento verifico la struttura ed aggiorno il modello (matrice di rigidità)
- Fine analisi al “collasso” di almeno un maschio murario. Si riparte dall'inizio tenendo conto degli elementi plasticizzati o già collassati e si costruiscono le sottocurve
- Curva finale = involucro superiore. Fine involucro alla prima riduzione del 20%

Analisi di pushover e fattore di struttura



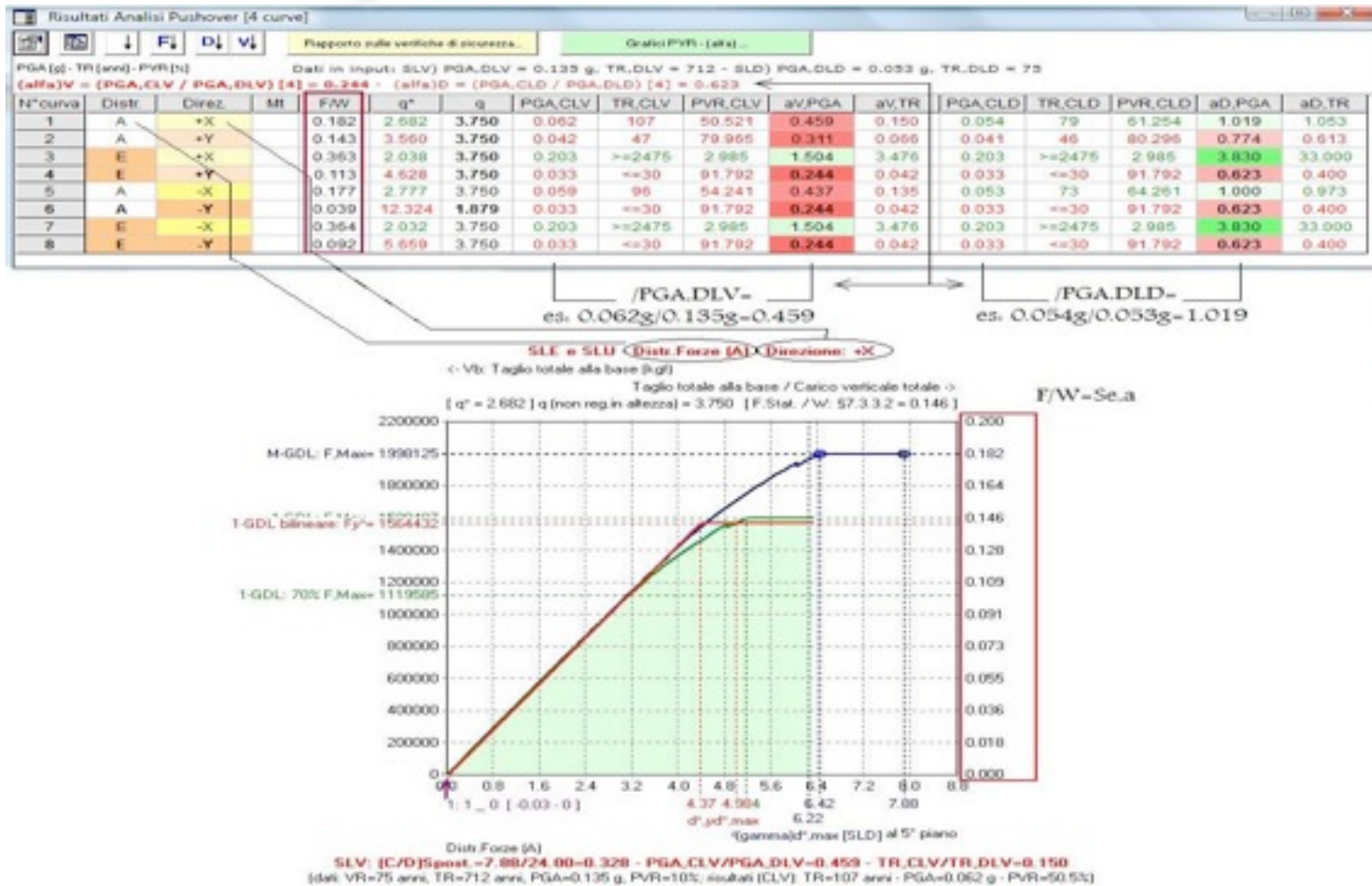
- Costruzione di una curva di capacità: processo incrementale di applicazione di forze orizzontali
- Dopo ogni incremento verifico la struttura ed agguirno il modello (matrice di rigidezza)
- Fine analisi al “collasso” di almeno un maschio murario. Si riparte dall'inizio tenendo conto degli elementi plasticizzati o già collassati e si costruisco le sottocurve
- Curva finale = involuppo superiore. Fine involuppo alla prima riduzione del 20%
- SLU

Analisi di pushover e fattore di struttura



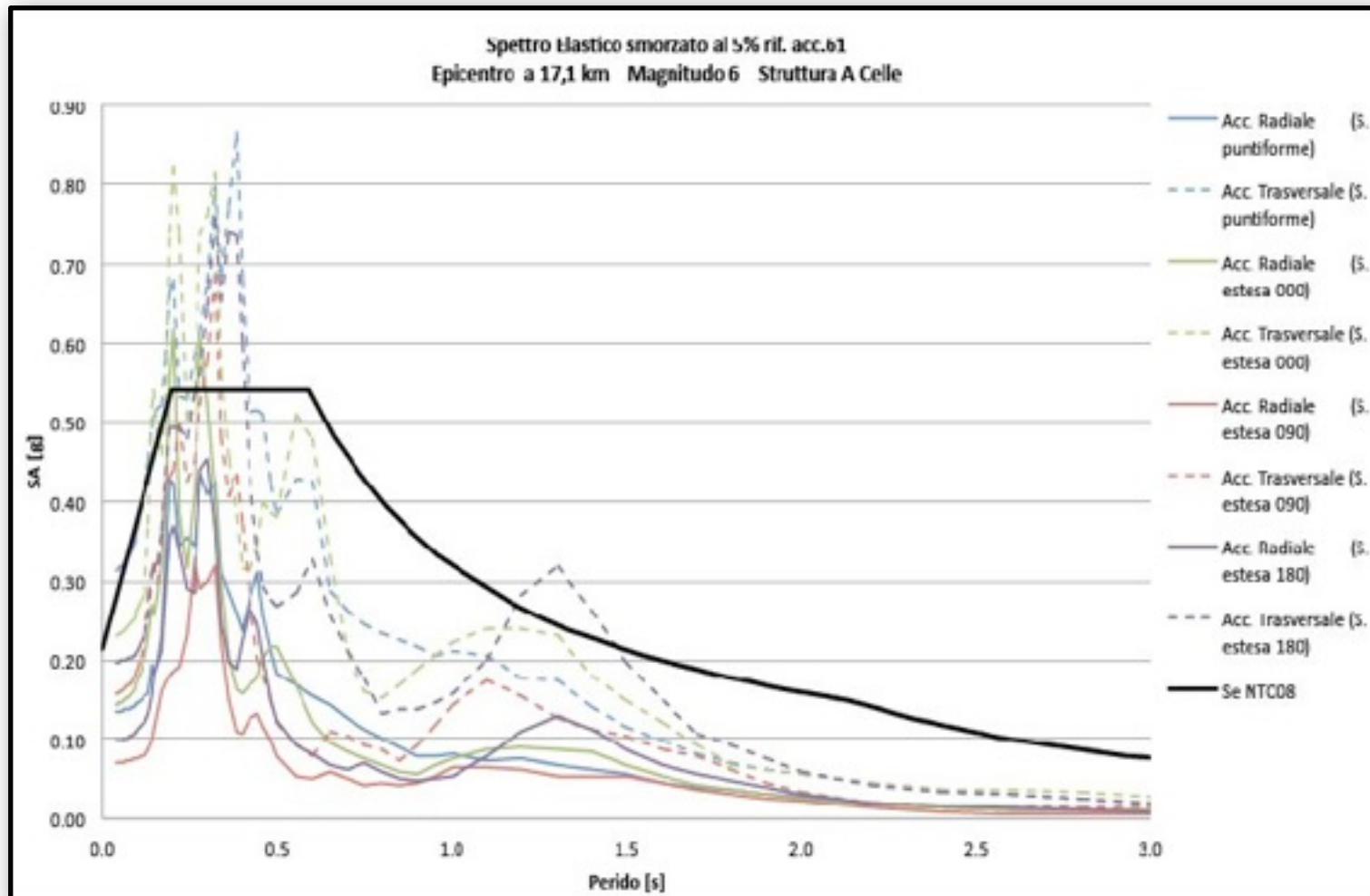
- Dal rapporto tra il 90% del taglio max ed il taglio di prima plasticizzazione

Analisi di pushover e fattore di struttura



- Dal rapporto tra il 90% del taglio max ed il taglio di prima plasticizzazione
- (edificio non regolare in altezza) 1.5 x → ottengo q (fattore di struttura) (7.8.1.3 NTC)

Spettro di progetto da NTC e da scenario



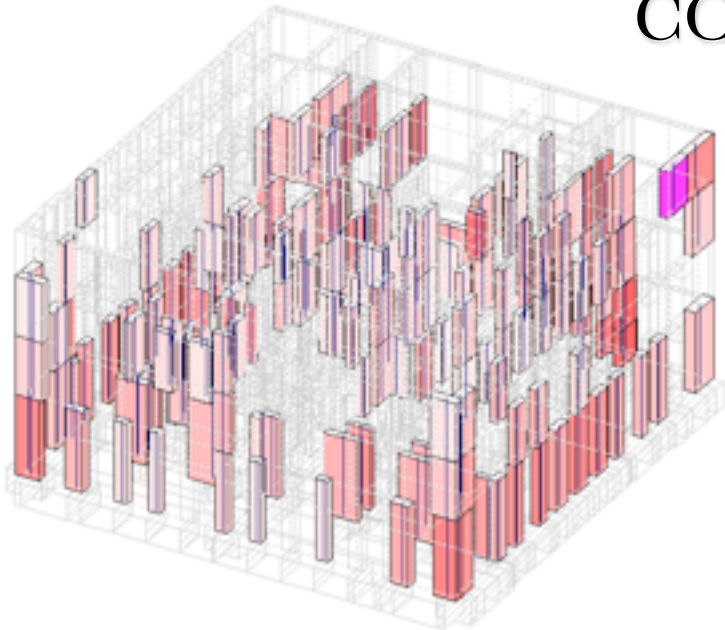
Spettri da scenario confrontati con spettro elastico Se SLV da reticolo INGV

Si eseguono le analisi a seguire

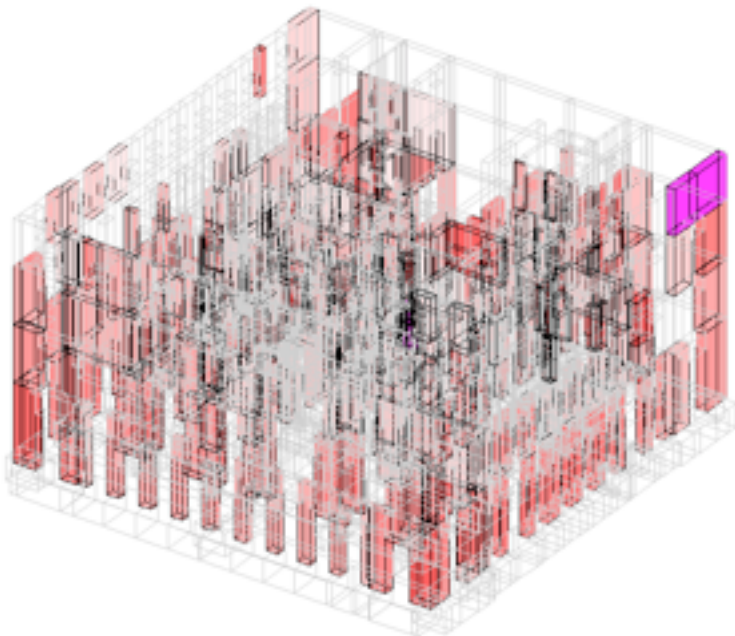
con un coefficiente $S_s = 2.4$ in luogo di 1.6 (suolo E)

VERIFICA

CONFRONTO DEI RISULTATI A PRESSOFLESSIONE COMPLANARE SLV



28 % a pressoflessione complanare
NON SODDISFATTA



Da input realistico:
39 % a pressoflessione complanare
NON SODDISFATTA

VERIFICA

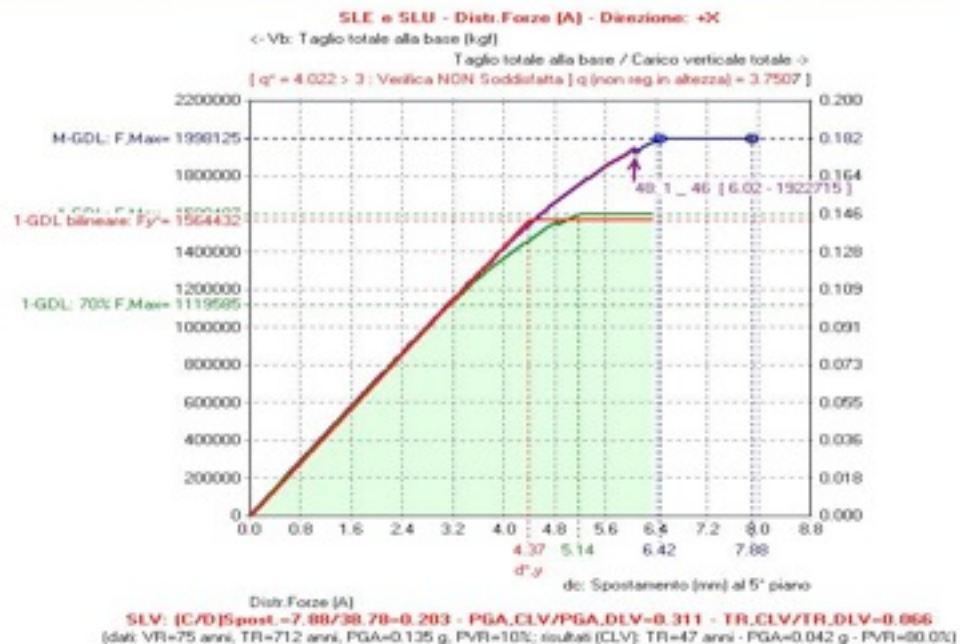
INDICATORI DI COLLASSO CON SPETTRO DA SCENARIO

Risultati Analisi Pushover [8 curve]

Rapporto sulle verifiche di sicurezza. Grafici PVR: [alfa]...

PGA [g] - TR [anni] - PVR [%] Dati in input: SLV PGA,DLV = 0.135 g - TR,DLV = 712 - SLD) PGA,DLD = 0.053 g - TR,DLD = 75
 [alfa]V = (PGA,CLV / PGA,DLV) [2] = 0.244 - [alfa]D = (PGA,CLD / PGA,DLD) [2] = 0.623

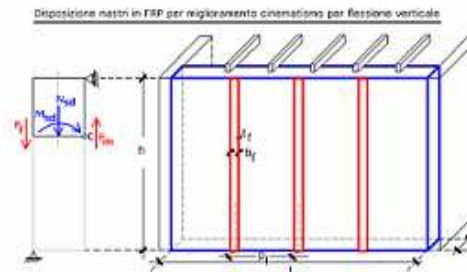
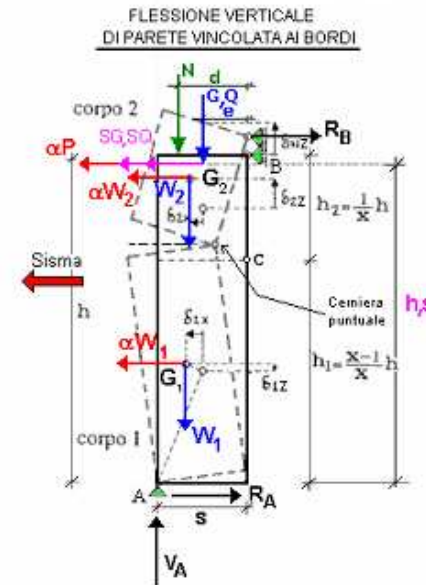
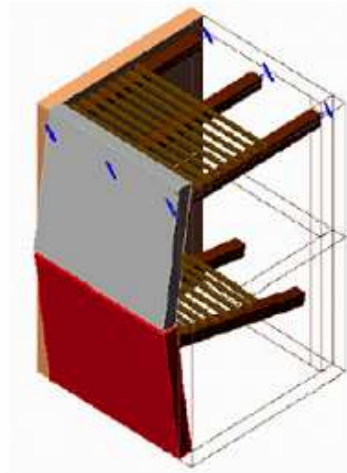
N° curva	Distr.	Direz.	Mt	FW	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA	aV,TR	PGA,CLD	TR,CLD	PVR,CLD	aD,PGA	aD,TR
1	A	+X		0.182	4.022	3.750	0.042	47	79.955	0.311	0.065	0.037	35	87.312	0.598	0.480
2	A	+Y		0.143	5.340	3.750	0.033	<=30	91.792	0.244	0.042	0.033	<=30	91.792	0.623	0.400
3	E	+X		0.363	3.057	3.750	0.135	713	9.986	1.000	1.001	0.203	>=2475	2.985	3.830	33.000
4	E	+Y		0.113	6.942	3.750	0.033	<=30	91.792	0.244	0.042	0.033	<=30	91.792	0.623	0.400
5	A	-X		0.177	4.165	3.750	0.041	44	81.824	0.304	0.062	0.035	35	88.324	0.650	0.467
6	A	-Y		0.039	18.486	1.879	0.033	<=30	91.792	0.244	0.042	0.033	<=30	91.792	0.623	0.400
7	E	-X		0.364	3.048	3.750	0.135	713	9.986	1.000	1.001	0.203	>=2475	2.985	3.830	33.000
8	E	-Y		0.092	8.489	3.750	0.033	<=30	91.792	0.244	0.042	0.033	<=30	91.792	0.623	0.400



IL RAPPORTO MINIMO DI α (PGA,CLV/PGA,DLV) SI RIDUCE DEL 20-30% (DIPENDE DALLA DISTRIBUZIONE A - E)

VERIFICA

MECCANISMI LOCALI: CINEMATISMO



Capacità in termini di PGA per SLV (PGA, CLV) = 0.115g
 → Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA} = 0.852$ (INGV)

Capacità in termini di PGA per SLV (PGA, CLV) = 0.077g
 → Indicatore di Rischio Sismico $IRS_{PGA} = 0.570$ (Input realistico)

In generale si ottiene una riduzione del 30% c.ca dell'Indicatore di rischio

ALTRI EDIFICI

● ISTITUTO RITTMAYER



$T = 0.140 \text{ s}$
(PIANI RIGIDI)

ALTRI EDIFICI

● ISTITUTO RITTMAYER



$T = 0.140 \text{ s}$
(PIANI RIGIDI)

● PALAZZO CARCIOTTI



$T = 0.212 \text{ s}$

ALTRI EDIFICI

● ISTITUTO RITTMAYER



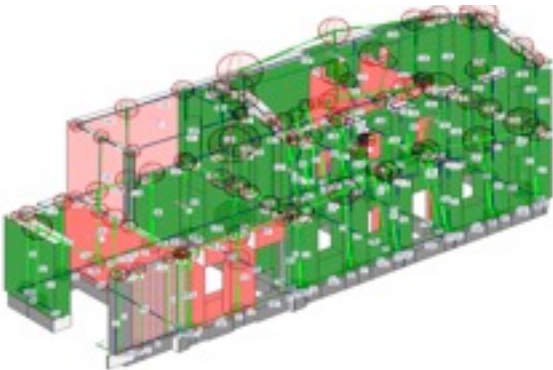
$T = 0.140 \text{ s}$
(PIANI RIGIDI)

● PALAZZO CARCIOTTI



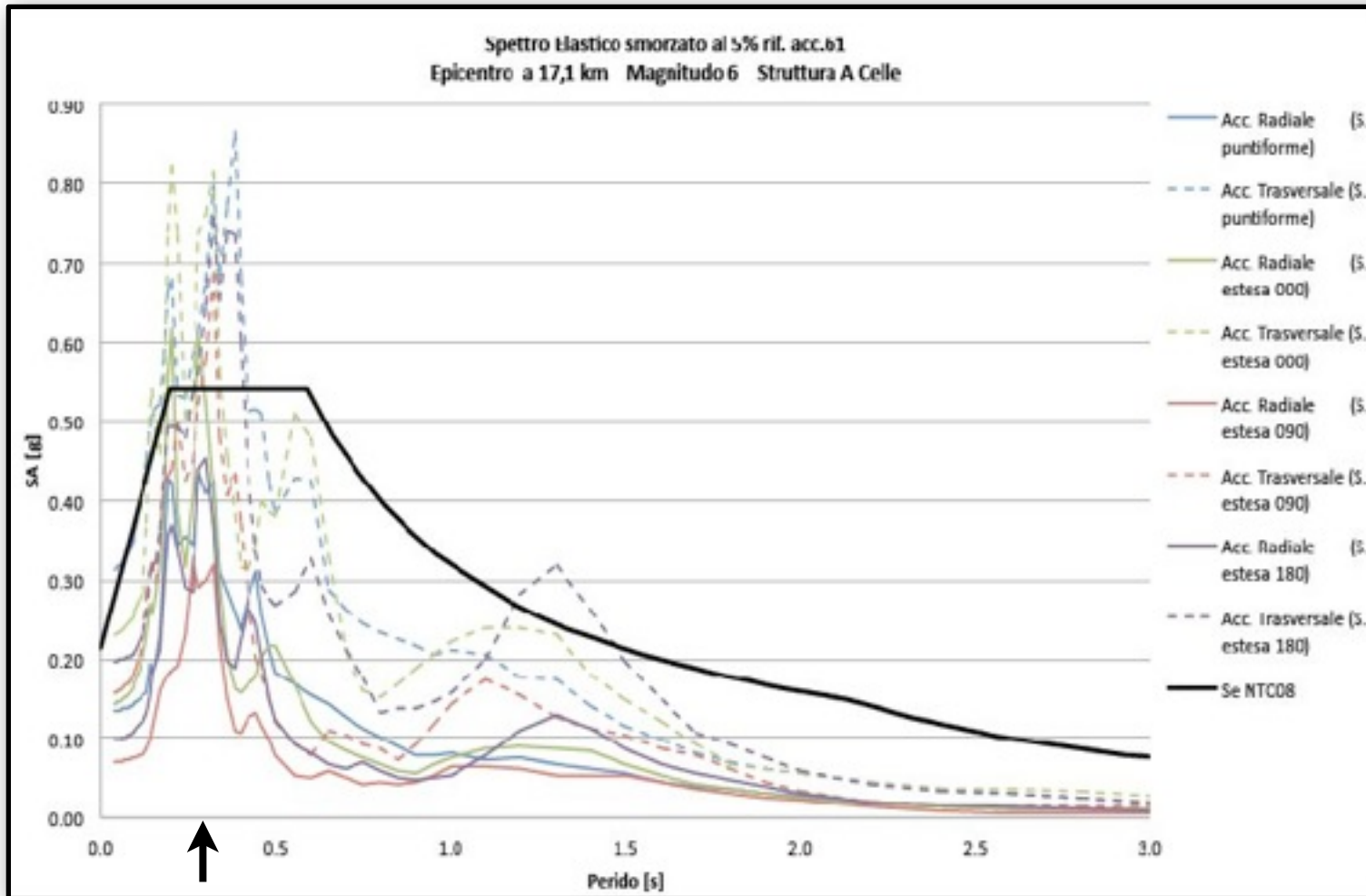
$T = 0.212 \text{ s}$

● EDIFICIO BIFAMILIARE

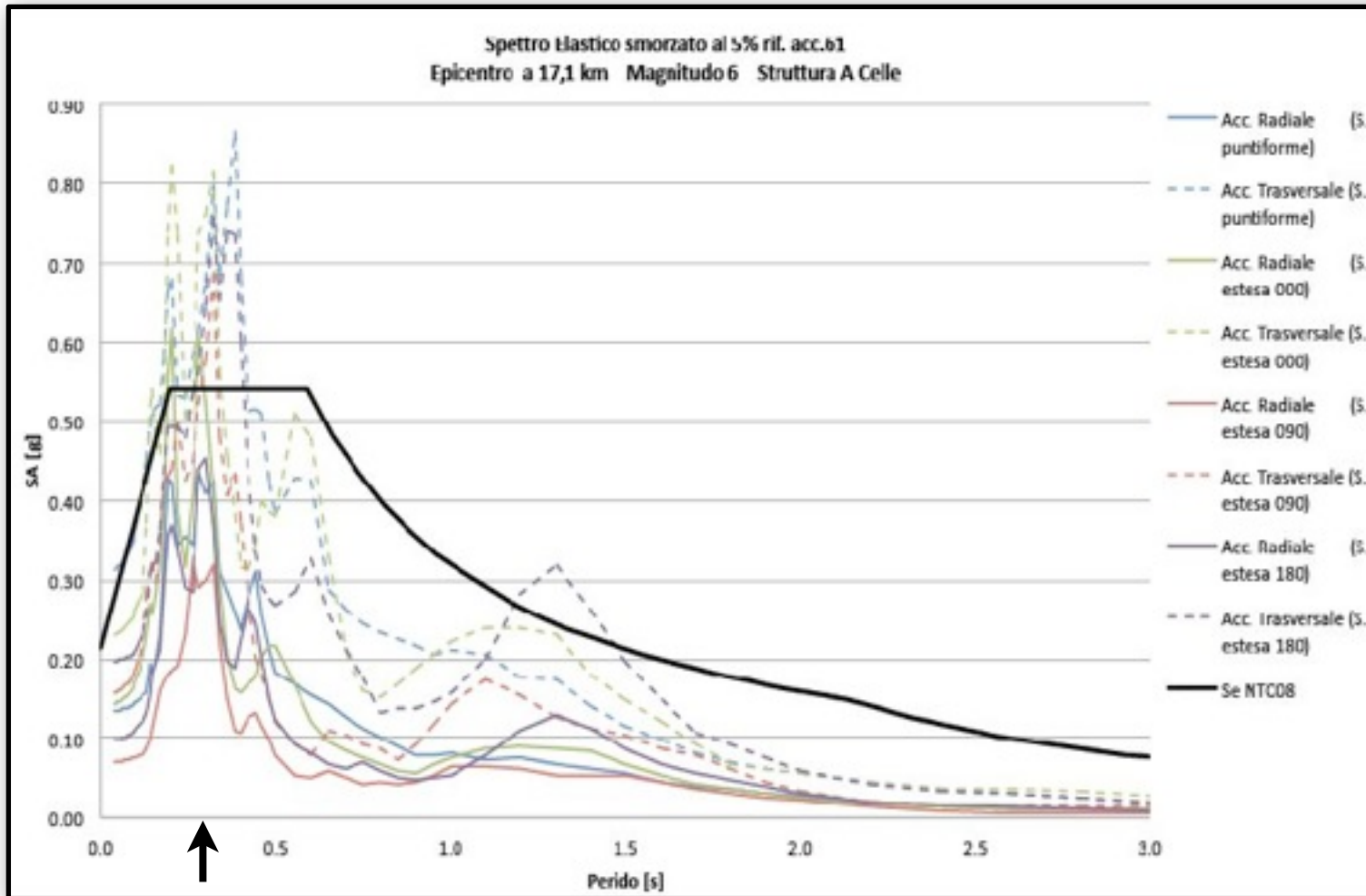


$T = 0.240 \text{ s}$

Dove siamo nello spettro di progetto?



Dove siamo nello spettro di progetto?



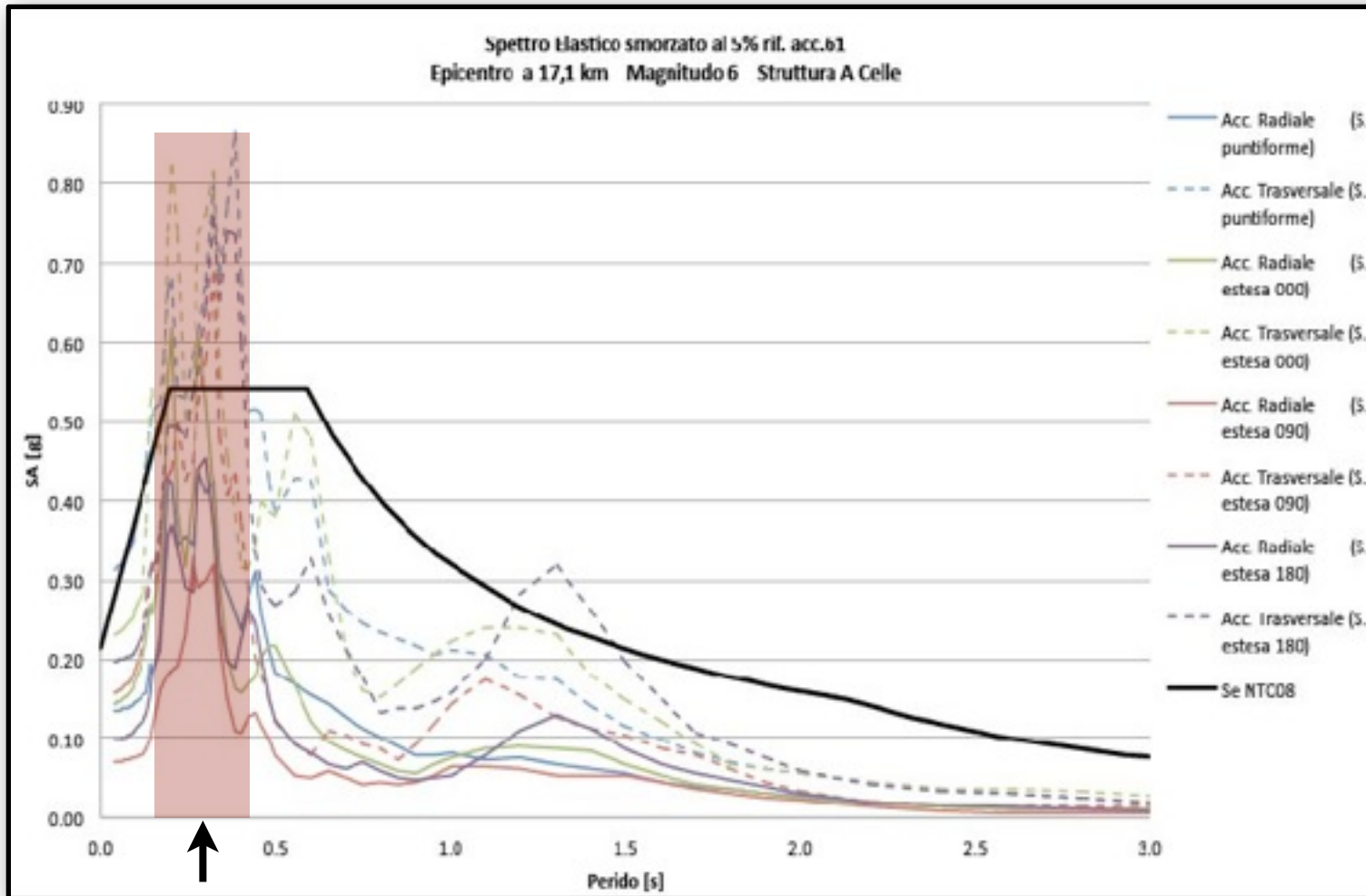
$T=0.140$ s

$T=0.212$ s

$T=0.240$ s

$T=0.335$ s,
con piani rigidi
 0.276 s

Dove siamo nello spettro di progetto?



$T=0.140$ s

$T=0.212$ s

$T=0.240$ s

$T=0.335$ s,
con piani rigidi
 0.276 s