Comune di Firenze Città Metropolitana di Firenze

CAMPAGNA GEOGNOSTICA ED INDAGINI GEOFISICHE CONCORSO DI PROGETTAZIONE RIQUALIFICAZIONE STADIO ARTEMIO FRANCHI - Servizio n.334/2021

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

CIG Z8C30D8025

Committente: Comune di Firenze

Borgo San Lorenzo, 23/04/21

IGeA sas
Dott. Geol. Guglielmo Braccesi

INDICE

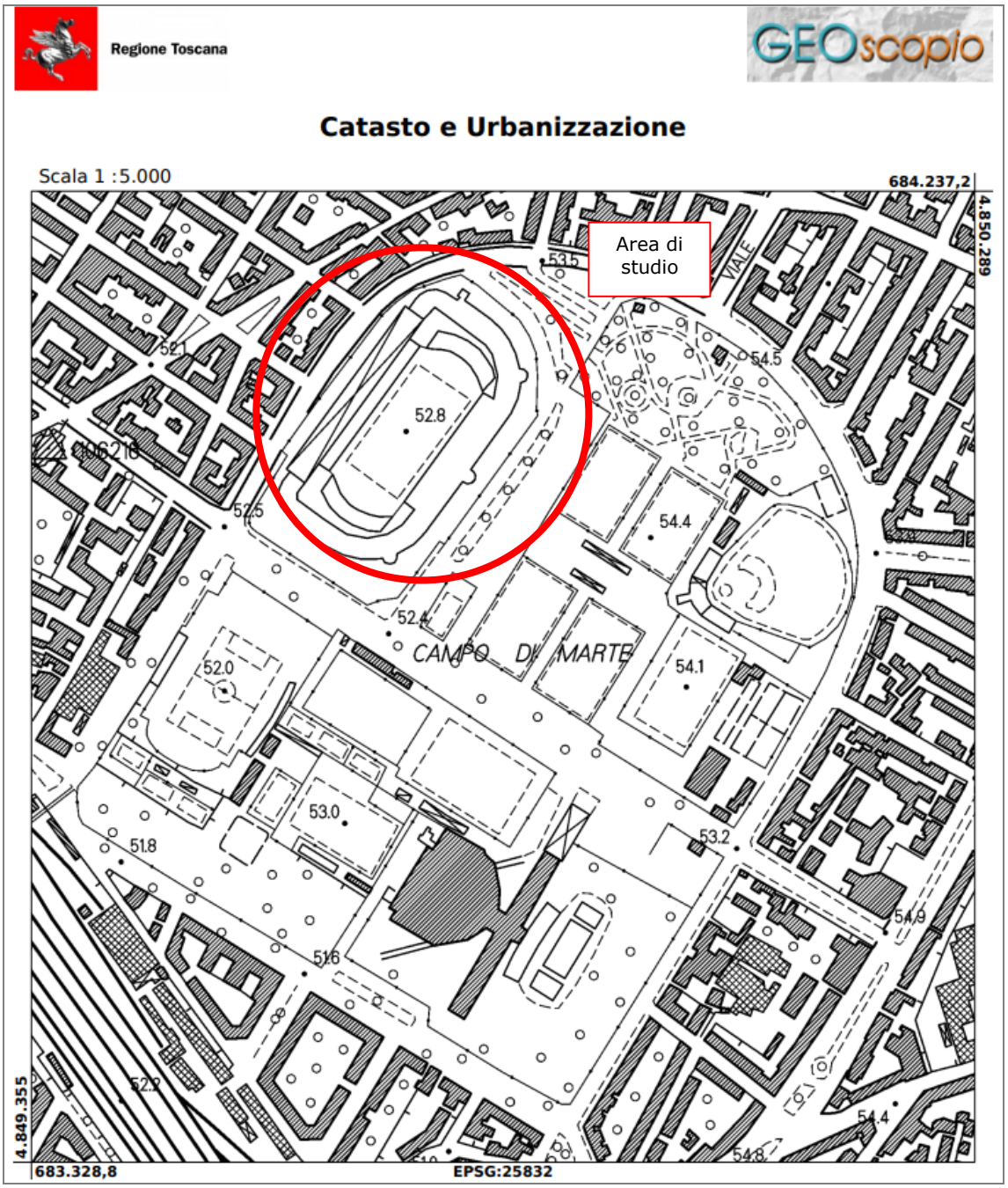
1 PREMESSA 2

2 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 3

2.1 Definizione di input sismico e dei parametri sismici 3
2.2 Determinazione dei dati di disaggregazione 7
2.3 Determinazione degli accelerogrammi di input – SCALCONA 12
2.4 Analisi monodimensionale di risposta locale STRATA ver. 399: 12
2.4.1 Parametri generali 12
2.4.2 Sismo-stratigrafia di input 13
2.4.3 Risultati per Stato limite 17

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Comune di Firenze, la IGeA sas è stata incaricata di eseguire uno studio di Risposta Sismica Locale, per concorso di progettazione e riqualificazione dello Stadio Artemio Franchi a Firenze (FI).



Estratto da carta tecnica regionale - scala 1:5000

2 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

2.1 Definizione di input sismico e dei parametri sismici

Per la modellazione di Risposta Sismica Locale occorre individuare 7 accelerogrammi di riferimento compatibili con l'area oggetto di studio.
E' necessario stabilire:

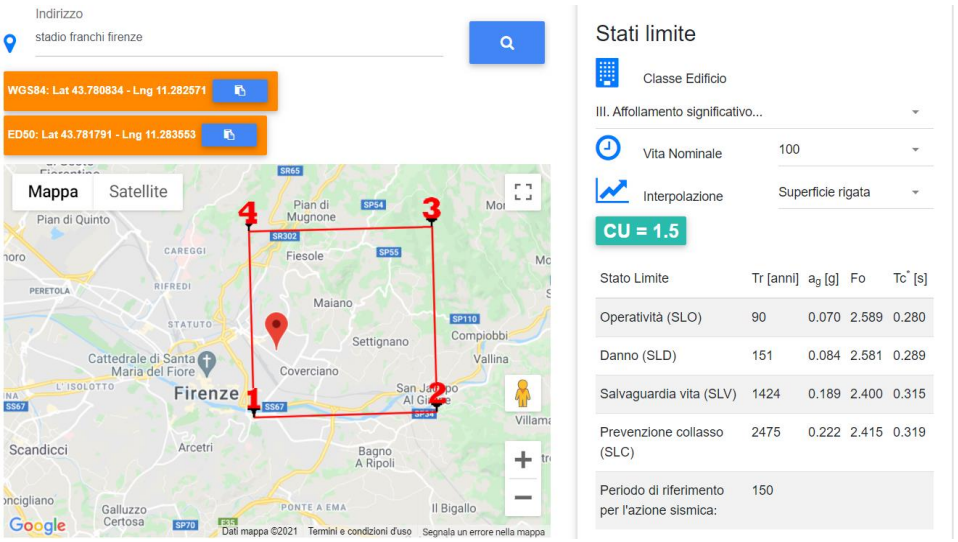
I. Le Coordinate del sito (ED50)
II. La Vita di riferimento, V_R, che è pari al prodotto della Vita nominale, V_N, per il Coefficiente d'uso, Cu, del progetto
III. Gli Stati limite del progetto di riferimento, SLV e SLD.

Si utillizzano, quindi, le seguenti applicazioni:

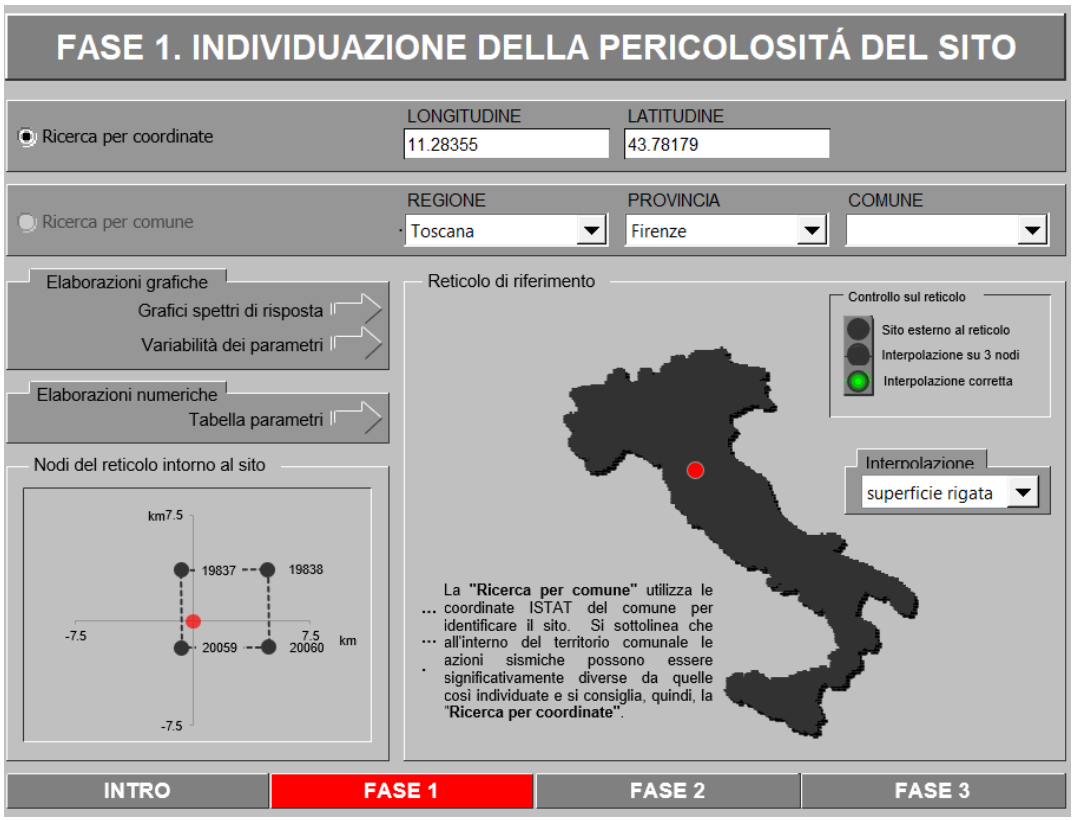
- http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx, per l'individuazione delle coordinate nel formato ED50
- Spettri-NTC ver.1.0.3 per la determinazione dei valori di a_g, F_0 e T^*_C in funzione dei diversi tempi di ritorno, T_R

Trattandosi di una palestra con un'alta affluenza di persone, sono state effettuate le seguenti scelte progettuali, come suggerite dallo staff dei tecnici progettisti:

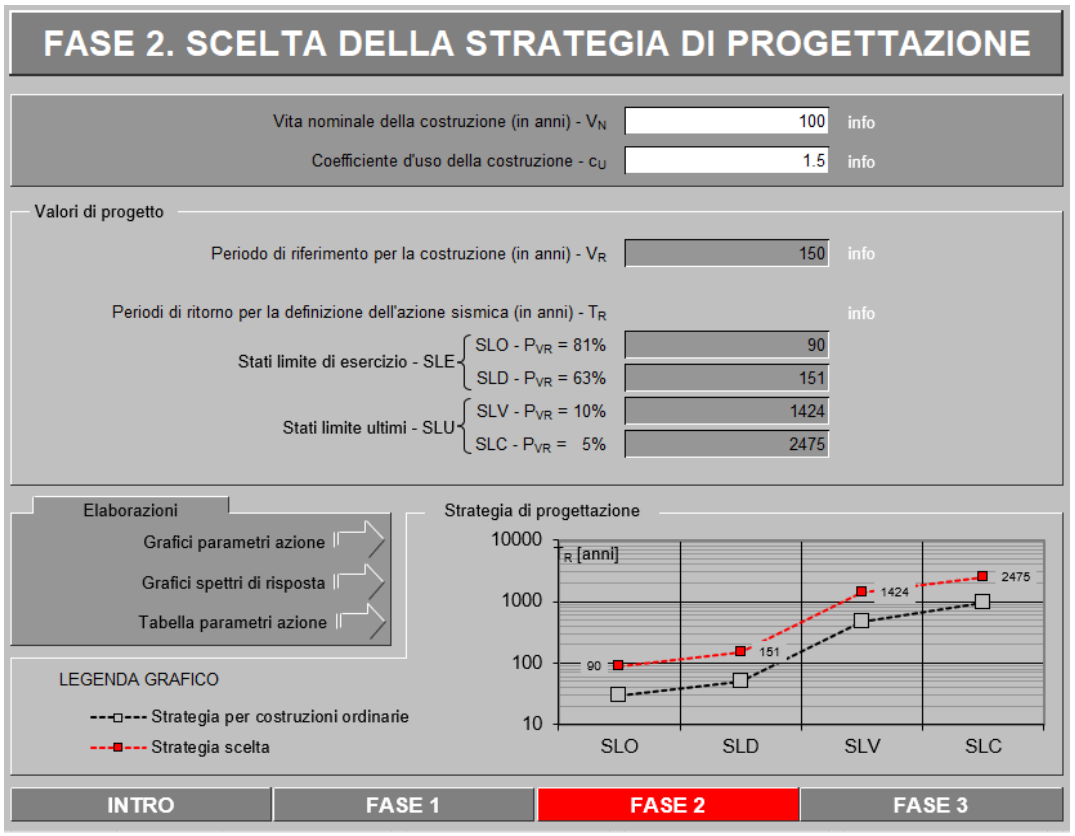
- Vita nominale V_N (anni), §:2.4.1 NTC-18 100
- Classe d'uso C_U (I, II, III o IV), §:2.4.2 NTC-18: III
- Coefficiente d'uso Cu, §:2.4.3 NTC-18: 1.5
- Periodo di riferimento V_R, §:2.4.3 NTC-18: 150



Individuazione delle coordinate ED50 dell'area da Geostru

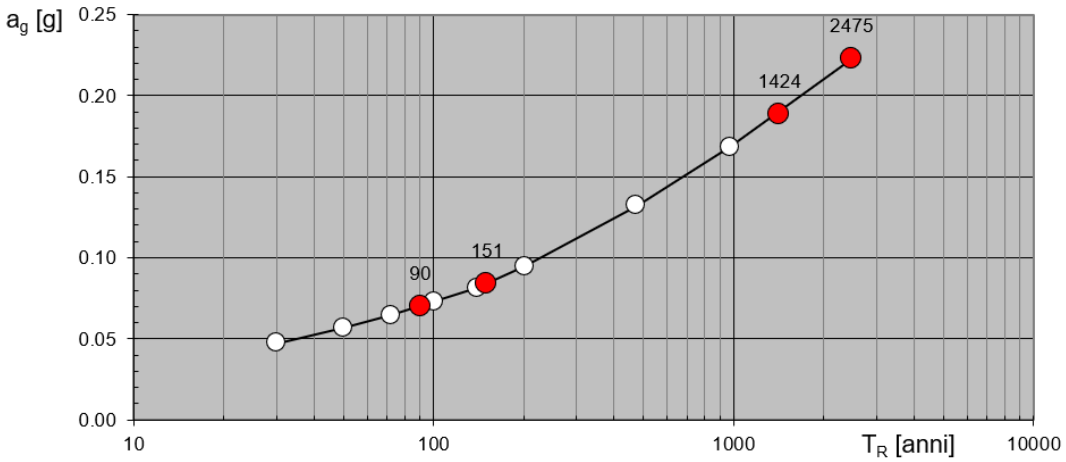


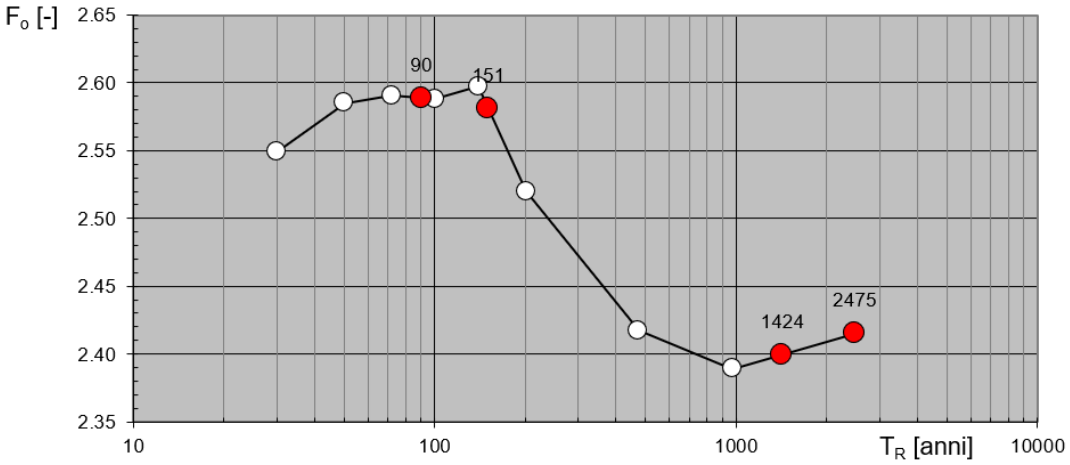
Spettri-NTC: inserimento coordinate dell'area

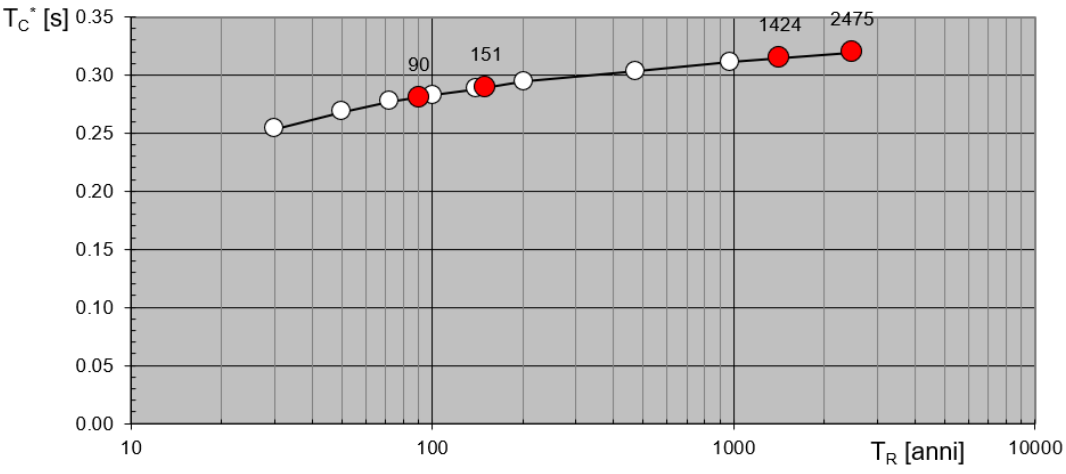


Spettri-NTC: inserimento delle scelte progettuali

Valori di progetto dei parametri a_g, F_o, T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R

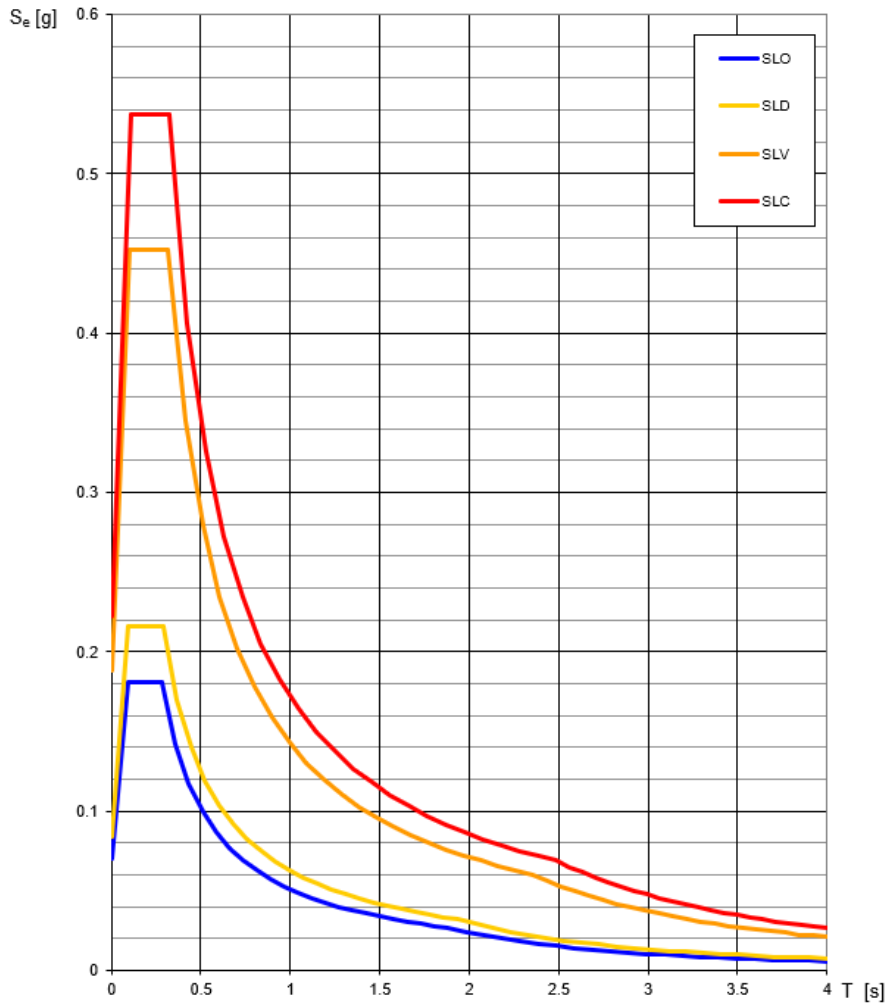






Spettri-NTC: definizione dei parametri sismici

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



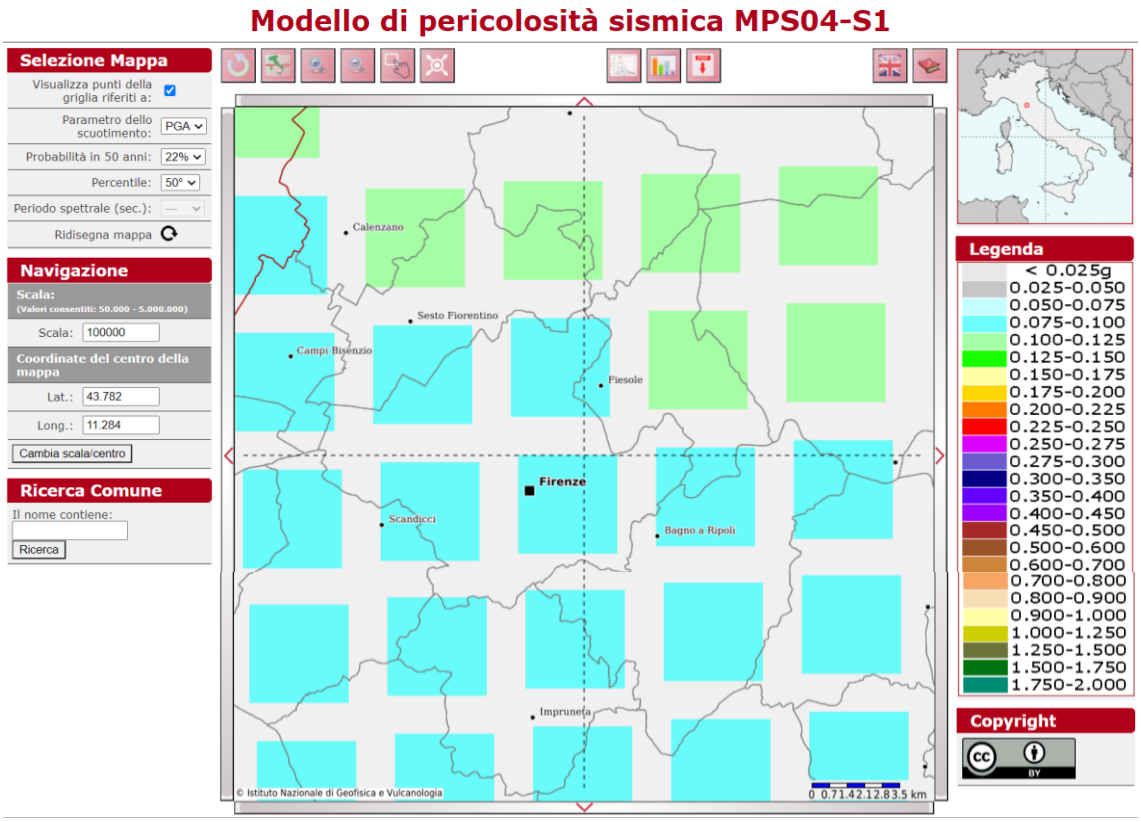
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	90	0.070	2.589	0.281
SLD	151	0.084	2.581	0.289
SLV	1424	0.189	2.400	0.315
SLC	2475	0.222	2.415	0.319

Spettri-NTC: parametri sismici di Input per analisi di Risposta Sismica Locale

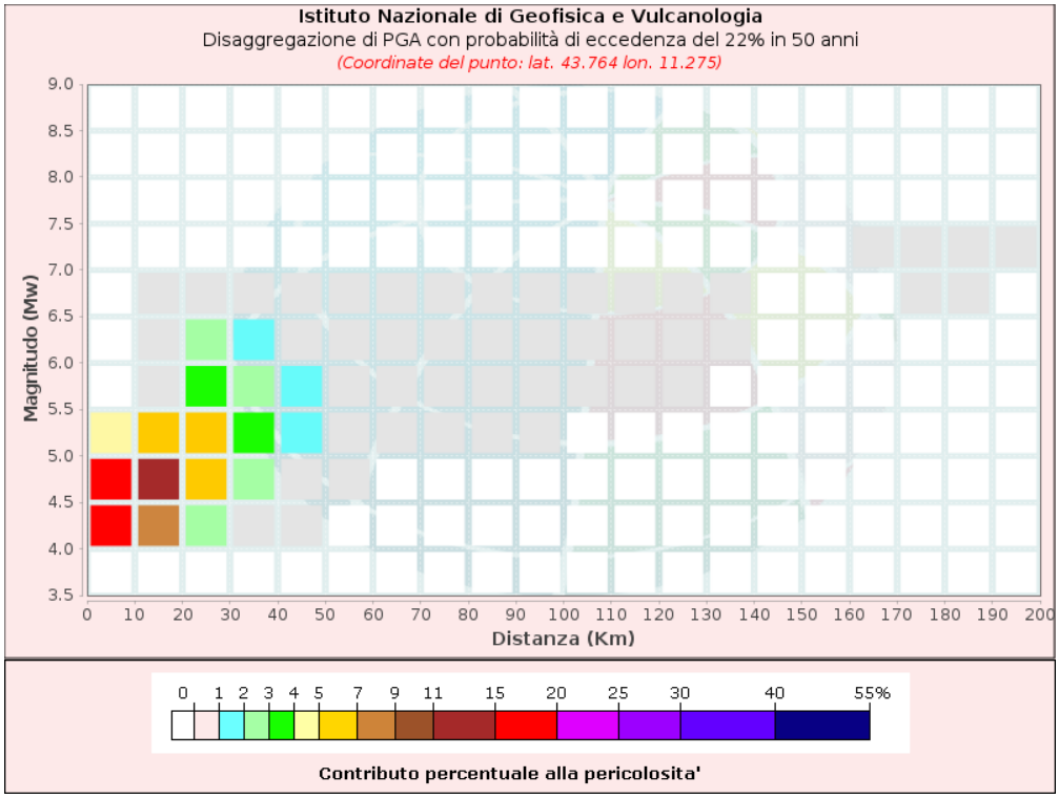
2.2 Determinazione dei dati di disaggregazione

L'estrazione degli accelerogrammi di input necessita di ulteriori parametri sismologici oltre quelli già definiti.

Per il sito in esame occorre trovare i dati di disaggregazione, cioè la variabilità in termini di magnitudo e distanza, ottenuti consultando il sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia alla pagina http://esse1-gis.mi.ingv.it.



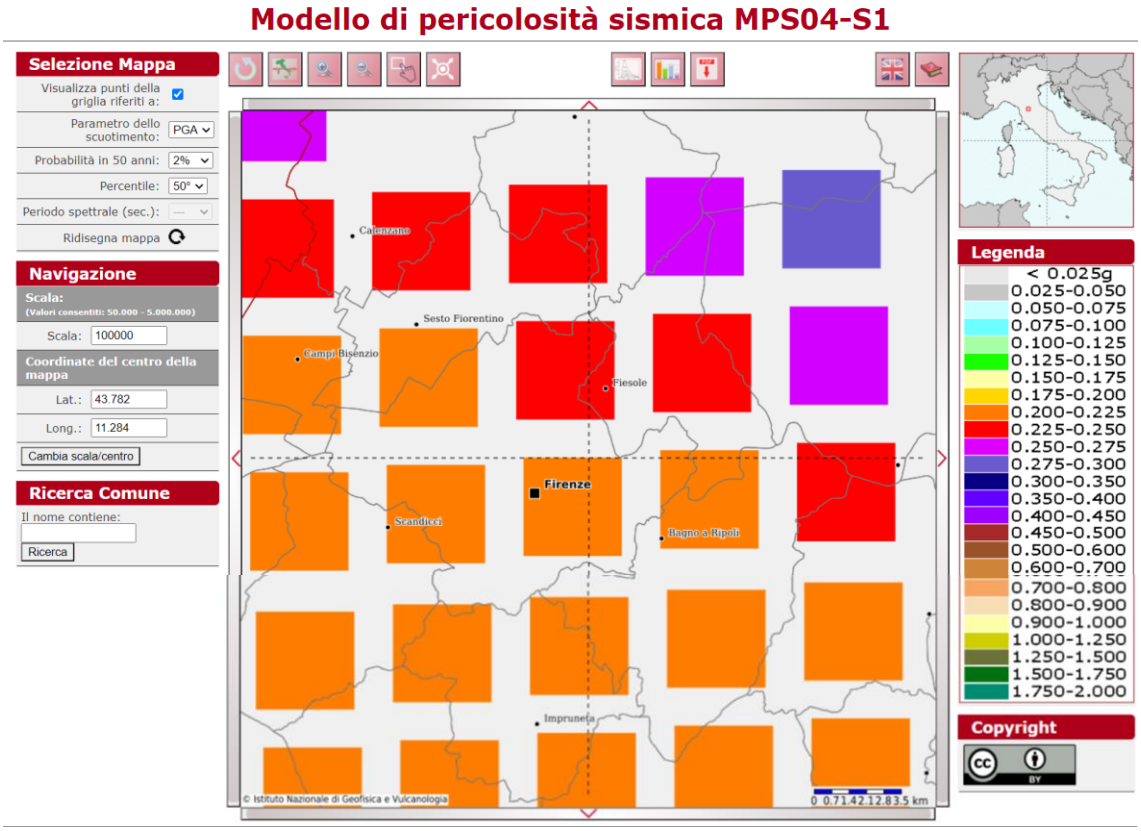
Mappa di pericolosità da INGV per stato limite SLD



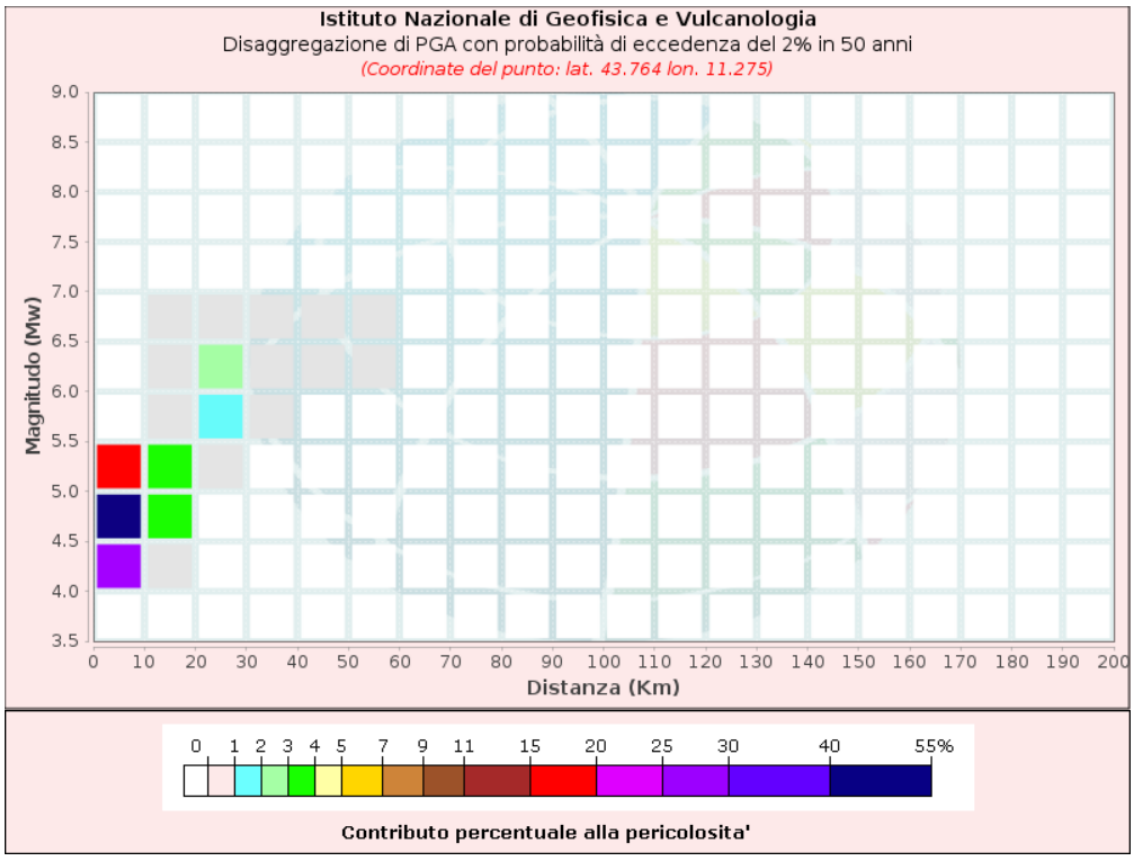
Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 22% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.764 lon. 11.275)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.2000	16.7000	4.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	7.0100	11.2000	5.0800	0.7150	0.3590	0.0423	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	2.3800	6.6700	5.8400	3.4600	2.0200	0.2670	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.1970	2.1600	3.2500	2.7000	1.7700	0.2670	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0009	0.4800	1.7100	1.6100	0.7140	0.1200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0330	0.6520	0.8670	0.3250	0.0606	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.1640	0.4780	0.2180	0.0263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	0.2240	0.1780	0.0110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0976	0.1330	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0574	0.0859	0.0038	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0255	0.0450	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0085	0.0214	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0068	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0093	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0063	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0038	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.96	18.8	1.04

Diagramma e tabella dati M-R disaggregati per stato limite SLD



Mappa di pericolosità da INGV per stato limite SLV



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.764 lon. 11.275)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	27.0000	40.9000	16.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.6910	3.2600	3.8700	0.7210	0.7100	0.1230	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.4080	1.5800	2.2500	0.4550	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1430	0.8450	0.2290	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0884	0.0495	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0053	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.84	6.53	1.37

Diagramma e tabella dati M-R disaggregati per stato limite SLV

Inserite le informazioni necessarie, sono stati determinati i parametri di disaggregazione M, magnitudo, e R, distanza, che permettono di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R, capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Riepilogo dei dati necessari per l'estrazione di input sismici sismo-compatibili e spettro-compatibili per un palestra polivalente posto a Firenze.

Coordinate del sito (ED50)	Latitudine=43.781791
	Longitudine=11.283553
Scelta della strategia di progettazione	Vita Nominale (VN)= 100 anni
	Coefficiente d'uso (Cu)=1.5
	Stati limite di riferimento=SLD e SLV
Accelerazione orizzontale massima al sito (a_g)	a_g= 0.084 g (SLD) a_g= 0.189 g (SLV)
Dati di disaggregazione	Magnitudo (M) compresa fra 4 e 6.5 (SLD) Magnitudo (M) compresa fra 4 e 6.5 (SLV)
	Distanza (R) compresa fra 0 e 50 km(SLD) Distanza (R) compresa fra 0 e 30 km(SLV)

2.3 Determinazione degli accelerogrammi di input – SCALCONA

La determinazione dei parametri sopra riportati, oltre ad altre informazioni fornite dai progettisti, permette di estrarre gli accelerogrammi di input.

E' stato estratto, grazie al software SCALCONA 3.0 (SCALing of Compatible Natural Accelerograms), un set di 7 input sismici naturali, soddisfacenti il requisito di spettro-compatibilità con lo spettro di risposta di normativa (NTC08), accedendo all'archivio degli accelerogrammi di riferimento, messo a disposizione dalla Regione Toscana.
Inserendo il periodo di ritorno e le coordinate del sito, il programma restituisce i 7 files degli accelerogrammi.

	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	SourceFile_Name
	6.2	29.9	1.23%	ESMEU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
	5.74	12.57	0.80%	NGA-West2RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
	6.69	38.07	0.62%	NGA-West2RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2
	6.5	57.74	2.03%	NGA-West2RSN8167_SANSIMEO_DCPP247.AT2
	6.6	62	0.67%	KiK-netSAGH050503201053.EW2
	5.4	13.2	1%	ESMIT.AQP..HNE.D.20090407.174737.C.ACC.ASC
	6.1	97	0.77%	KiK-netMYGH041103280724.EW2
media	6.18	44.35	1.02%	

Principali caratteristiche delle storie temporali in output da SCALCONA – Stato limite SLD

	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	Source File_Name
	6.2	29.9	3.82%	ESMEU.HRZ..HNN.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
	5.74	12.57	2.47%	NGA-West2RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
	6.93	92.21	3.87%	NGA-West2RSN788_LOMAP_PJH045.AT2
	6.69	38.07	1.65%	NGA-West2RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
	6.6	31	0.81%	KiK-netSMNH100010061330.EW2
	6.6	62	2.14%	KiK-netSAGH050503201053.NS2
	5.4	13.2	1.95%	ESMIT.AQP..HNE.D.20090407.174737.C.ACC.ASC
media	6.31	39.85	2.38%	

Principali caratteristiche delle storie temporali in output da SCALCONA – Stato limite SLV

I dati delle accelerazioni, opportunamente convertite da m/s^2 a g, sono state caricate su STRATA.

2.4 Analisi monodimensionale di risposta locale STRATA ver. 399:

2.4.1 Parametri generali

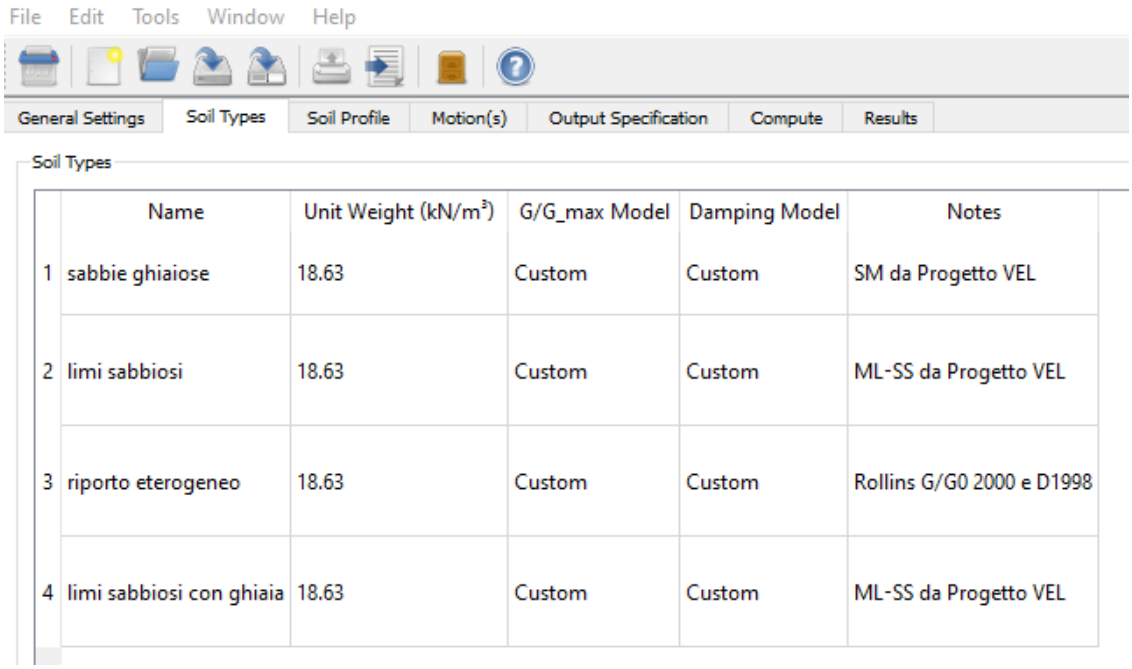
Per le analisi con STRATA, sono stati impostati i seguenti parametri generali:

- Metodo Equivalente-Lineare (EQL), utilizzando una serie temporale di dati (accelerogrammi)

- Scelta dei parametri di calcolo:
  - massimo errore accettabile in output = 1%;
  - massimo numero di iterazioni = 20;
  - il valore di effective strain ratio, determinato mediante la formula, proposta da Idriss and Sun, 1992, ratio=(M-1)/10, con M magnitudo terremoto di input = 0.52 per SLD e 0.53 per SLV

2.4.2 Sismo-stratigrafia di input

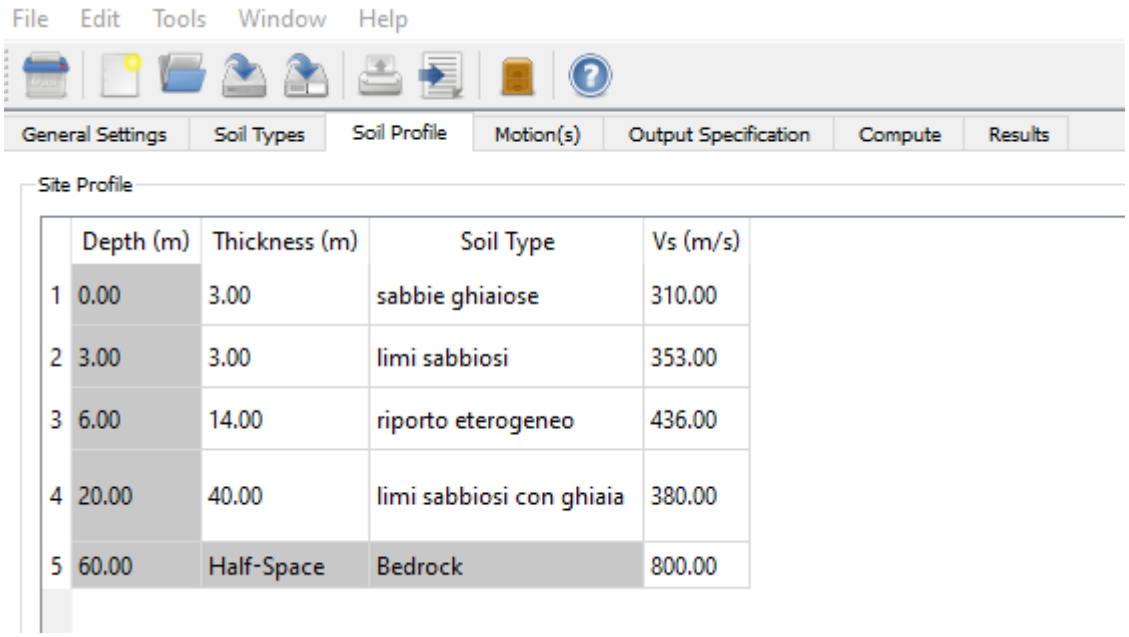
Con riferimento ai risultati delle indagini geologiche e geotecniche riportate nella relazione "*CAMPAGNA GEOGNOSTICA ED INDAGINI GEOFISICHE CONCORSO DI PROGETTAZIONE RIQUALIFICAZIONE STADIO ARTEMIO FRANCHI - Servizio n.334/2021- CIG Z8C30D8025)*" del 21/04/21 redatta dallo scrivente, si determinano i litotipi caratterizzanti il sottosuolo e dei quali si riportano i parametri:



	Name	Unit Weight (kN/m³)	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	sabbie ghiaiose	18.63	Custom	Custom	SM da Progetto VEL
2	limi sabbiosi	18.63	Custom	Custom	ML-SS da Progetto VEL
3	riporto eterogeneo	18.63	Custom	Custom	Rollins G/G0 2000 e D1998
4	limi sabbiosi con ghiaia	18.63	Custom	Custom	ML-SS da Progetto VEL

Schema dei litotipi parametri sismo-stratigrafici in input

Con riferimento alla ricostruzione geofisica della sismo-stratigrafia, degli spessori e del profilo di velocità del sottosuolo, vedi tabella seguente, si inserisce la stratigrafia e si ipotizza, in base ai risultati dell'ESAC, un substrato sismico di riferimento a circa 60 m di profondità dal p.c..

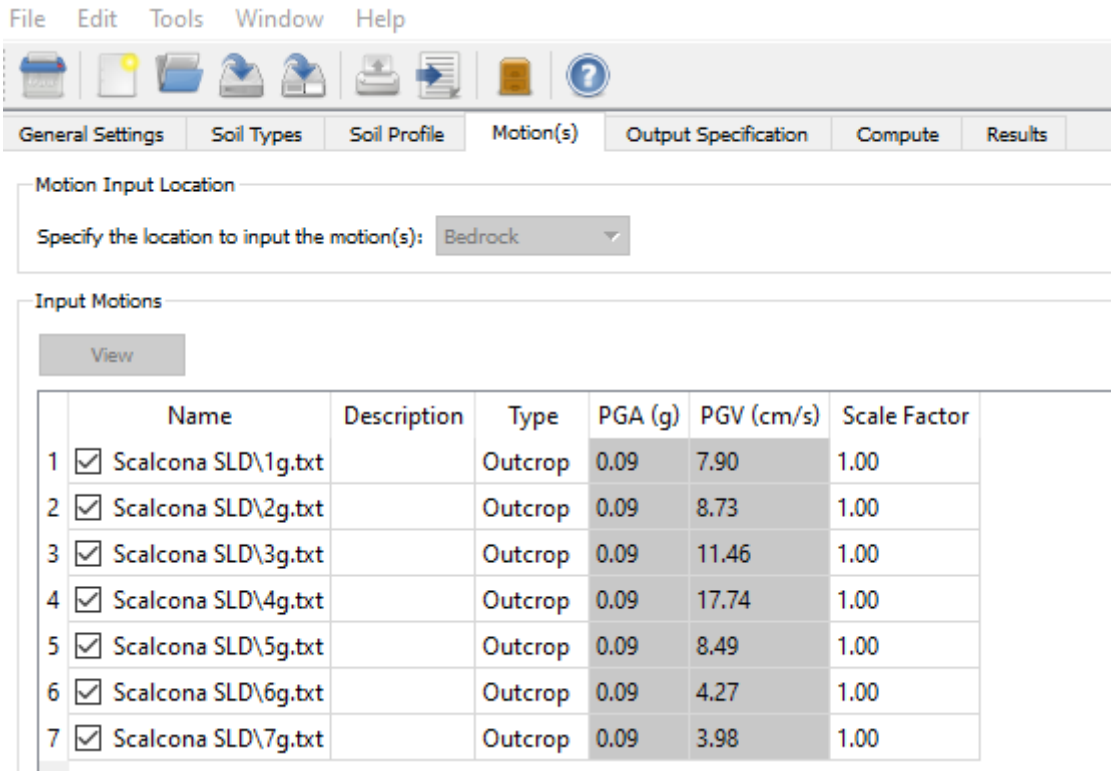


	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	sabbie ghiaiose	310.00
2	3.00	3.00	limi sabbiosi	353.00
3	6.00	14.00	riporto eterogeneo	436.00
4	20.00	40.00	limi sabbiosi con ghiaia	380.00
5	60.00	Half-Space	Bedrock	800.00

Tabella modello sismo-stratigrafico del sottosuolo

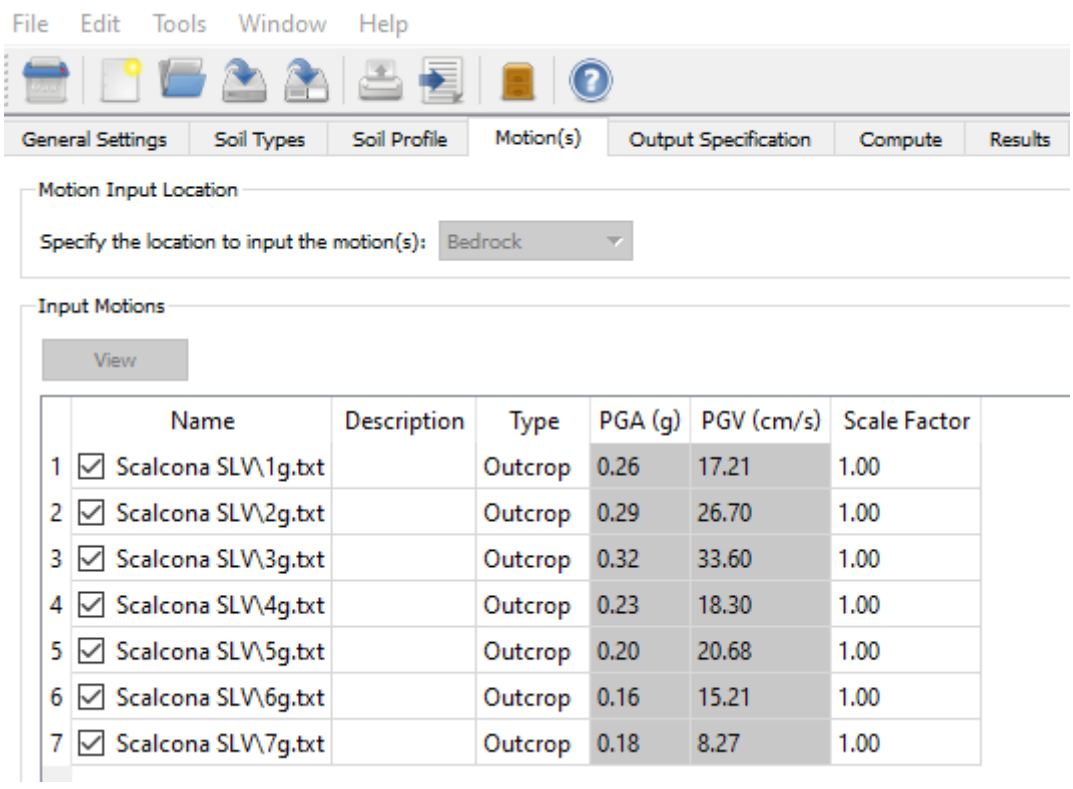
I dati relativi alla curva di decadimento del modulo di taglio normalizzato, G/G_{max}, e di quella di incremento dello smorzamento, D, per ciascuno strato di terreno presente nell'area, per la presente RSL, sono stati desunti da dati bibliografici. Per quanto riguarda il "riporto eterogeneo" è stata utilizzata l'equazione della curva di decadimento di Rollins (2000) mentre per l'andamento del rapporto di smorzamento con la deformazione è stata adottata l'equazione proposta da Rollins et al. (1998). Per gli altri sismostrati sono state utlizzate le curve determinate per le stesse litologie nel progetto VEL della Regione Toscana.

Tali informazioni vengo utilizzate da STRATA per simulare il comportamento non lineare dei terreni, che è funzione del livello deformativo, quindi sono stati scelti terreni analoghi, sotto il profilo fisico-meccanico, a quelli indagati.



	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	Scalcona SLD\1g.txt		Outcrop	0.09	7.90	1.00
2	Scalcona SLD\2g.txt		Outcrop	0.09	8.73	1.00
3	Scalcona SLD\3g.txt		Outcrop	0.09	11.46	1.00
4	Scalcona SLD\4g.txt		Outcrop	0.09	17.74	1.00
5	Scalcona SLD\5g.txt		Outcrop	0.09	8.49	1.00
6	Scalcona SLD\6g.txt		Outcrop	0.09	4.27	1.00
7	Scalcona SLD\7g.txt		Outcrop	0.09	3.98	1.00

Normalizzazione e scalatura degli accelerogrammi sismo-compatibili in STRATA PER SLD



	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	Scalcona SLV\1g.txt		Outcrop	0.26	17.21	1.00
2	Scalcona SLV\2g.txt		Outcrop	0.29	26.70	1.00
3	Scalcona SLV\3g.txt		Outcrop	0.32	33.60	1.00
4	Scalcona SLV\4g.txt		Outcrop	0.23	18.30	1.00
5	Scalcona SLV\5g.txt		Outcrop	0.20	20.68	1.00
6	Scalcona SLV\6g.txt		Outcrop	0.16	15.21	1.00
7	Scalcona SLV\7g.txt		Outcrop	0.18	8.27	1.00

Normalizzazione e scalatura degli accelerogrammi sismo-compatibili in STRATA PER SLV

Starting Strata Calculation
7 Trials (1 Sites and 7 Motions)
[1 of 1] Generating site and soil properties
[1 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\1g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 143.56 %
Iteration: 2 Maximum Error: 9.91 %
Iteration: 3 Maximum Error: 2.84 %
Iteration: 4 Maximum Error: 0.81 %
[2 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\2g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 176.71 %
Iteration: 2 Maximum Error: 13.50 %
Iteration: 3 Maximum Error: 3.15 %
Iteration: 4 Maximum Error: 0.75 %
[3 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\3g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 215.53 %
Iteration: 2 Maximum Error: 16.61 %
Iteration: 3 Maximum Error: 2.87 %
Iteration: 4 Maximum Error: 0.72 %
[4 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\4g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 314.22 %
Iteration: 2 Maximum Error: 28.47 %
Iteration: 3 Maximum Error: 5.54 %
Iteration: 4 Maximum Error: 1.54 %
Iteration: 5 Maximum Error: 0.55 %
[5 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\5g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 162.85 %
Iteration: 2 Maximum Error: 11.23 %
Iteration: 3 Maximum Error: 1.92 %
Iteration: 4 Maximum Error: 0.41 %
[6 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\6g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 84.47 %
Iteration: 2 Maximum Error: 7.01 %
Iteration: 3 Maximum Error: 0.49 %
[7 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLD\7g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 82.76 %
Iteration: 2 Maximum Error: 6.84 %
Iteration: 3 Maximum Error: 0.47 %
Computing statistics.

Errore medio 0,60%

Errore residuo dell'analisi di RSL del software Strata per lo stato limite SLD

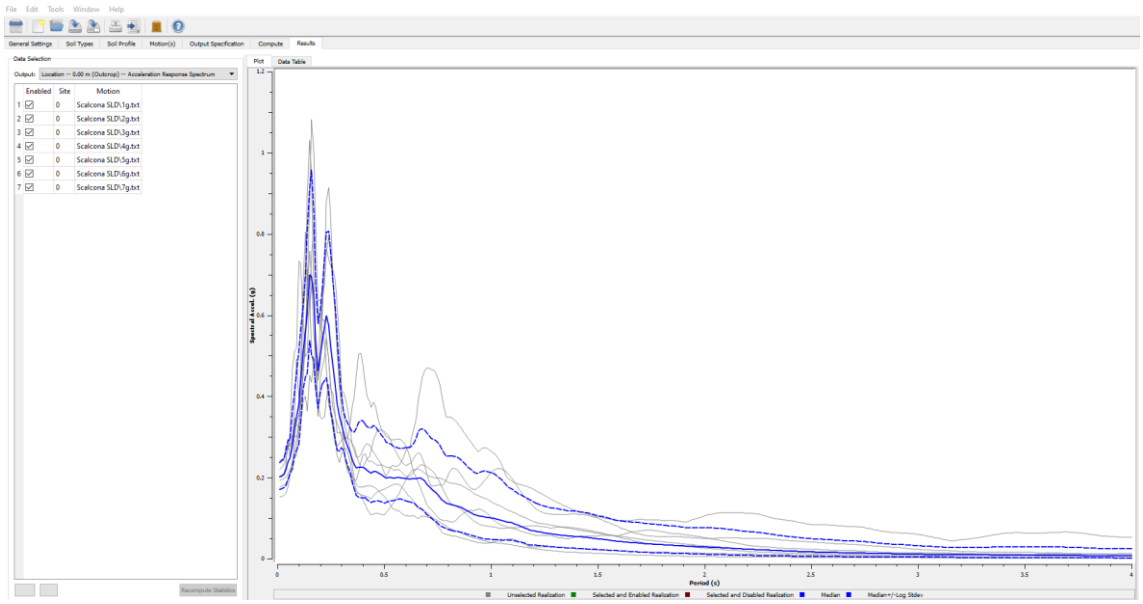
Starting Strata Calculation
7 Trials (1 Sites and 7 Motions)
[1 of 1] Generating site and soil properties
[1 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\1g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 183.38 %
Iteration: 2 Maximum Error: 18.23 %
Iteration: 3 Maximum Error: 4.26 %
Iteration: 4 Maximum Error: 1.98 %
Iteration: 5 Maximum Error: 1.00 %
[2 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\2g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 209.98 %
Iteration: 2 Maximum Error: 39.24 %
Iteration: 3 Maximum Error: 6.18 %
Iteration: 4 Maximum Error: 1.15 %
Iteration: 5 Maximum Error: 0.39 %
[3 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\3g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 195.78 %
Iteration: 2 Maximum Error: 60.16 %
Iteration: 3 Maximum Error: 8.66 %
Iteration: 4 Maximum Error: 2.19 %
Iteration: 5 Maximum Error: 1.27 %
Iteration: 6 Maximum Error: 1.09 %
Iteration: 7 Maximum Error: 0.95 %
[4 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\4g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 178.88 %
Iteration: 2 Maximum Error: 30.55 %
Iteration: 3 Maximum Error: 5.20 %
Iteration: 4 Maximum Error: 2.43 %
Iteration: 5 Maximum Error: 1.63 %
Iteration: 6 Maximum Error: 1.03 %
Iteration: 7 Maximum Error: 0.63 %
[5 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\5g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 235.09 %
Iteration: 2 Maximum Error: 24.07 %
Iteration: 3 Maximum Error: 10.34 %
Iteration: 4 Maximum Error: 4.59 %
Iteration: 5 Maximum Error: 2.18 %
Iteration: 6 Maximum Error: 1.01 %
Iteration: 7 Maximum Error: 0.49 %
[6 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\6g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 230.42 %
Iteration: 2 Maximum Error: 21.96 %
Iteration: 3 Maximum Error: 6.29 %
Iteration: 4 Maximum Error: 1.68 %
Iteration: 5 Maximum Error: 0.41 %
[7 of 7] Computing site response for motion: Scalcona SLV\7g.txt
Iteration: 1 Maximum Error: 112.40 %
Iteration: 2 Maximum Error: 10.55 %
Iteration: 3 Maximum Error: 2.06 %
Iteration: 4 Maximum Error: 0.37 %
Computing statistics.

Errore medio 0,61%

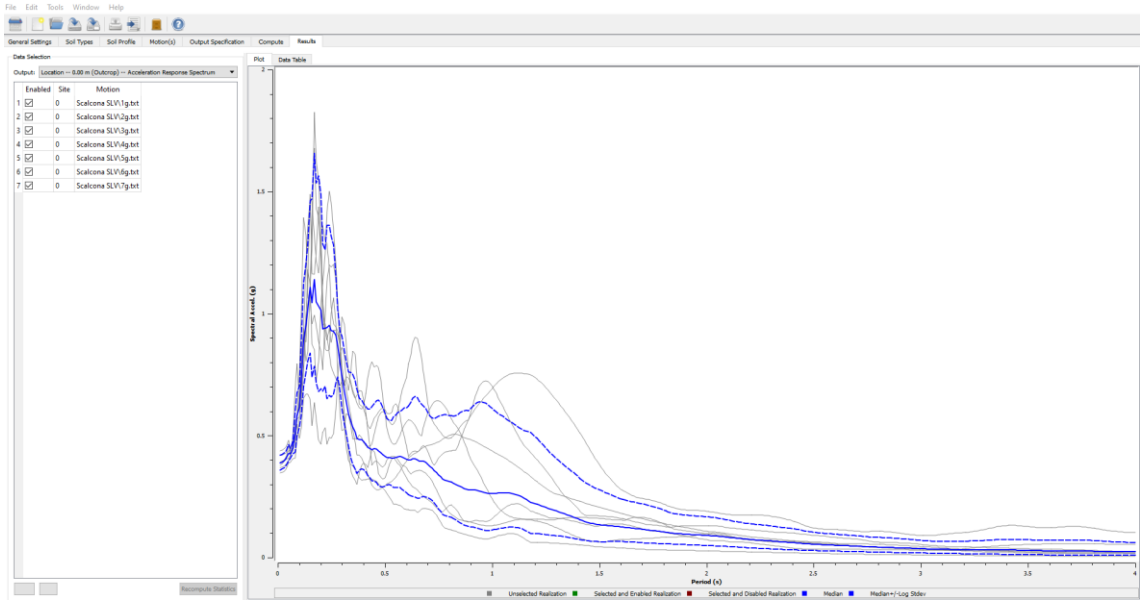
Errore residuo dell'analisi di RSL del software Strata per lo stato limite SLV

2.4.3 Risultati per Stato limite

Si assume che la progettazione della struttura sia eseguita ricorrendo ad analisi basate sugli spettri, per cui verranno forniti gli spettri di risposta elastici.
L'output di STRATA, di cui si riporta la figura, evidenzia lo spettro di risposta e l'intervallo di tolleranza superiore ed inferiore

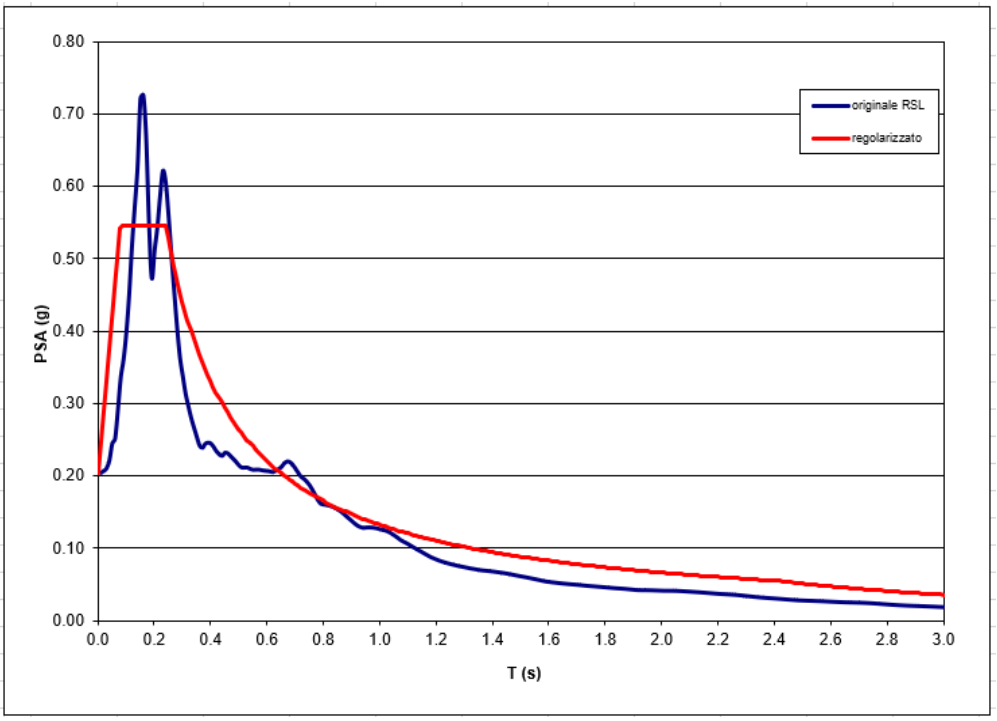


Output STRATA – Spettro elastico per SLD

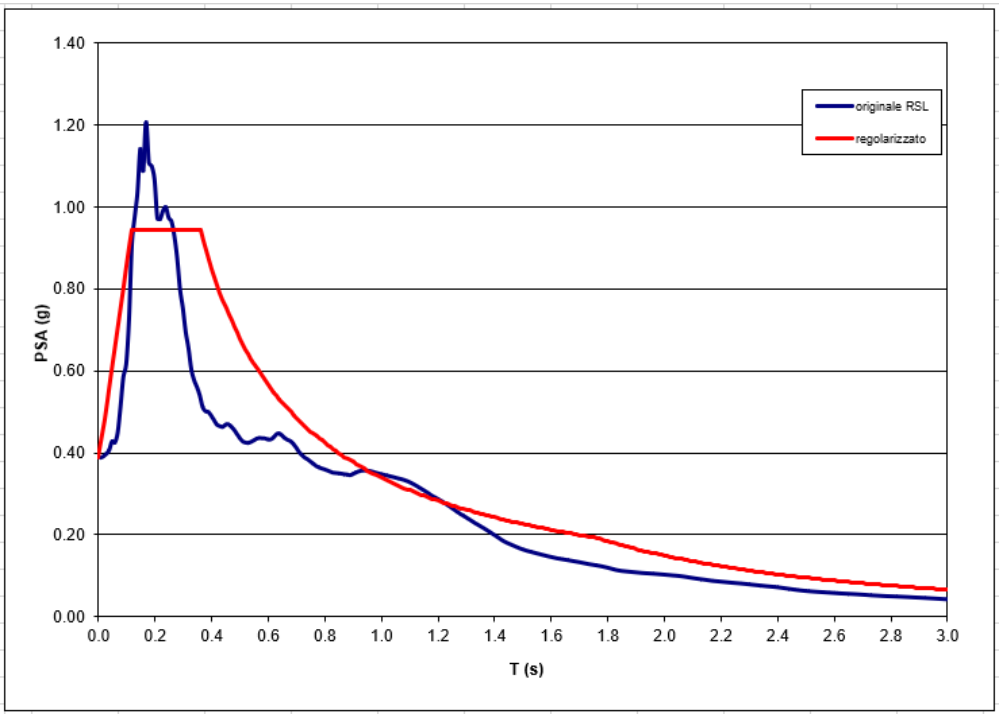


Output STRATA – Spettro elastico per SLV

Per una migliore interpretazione si riporta di seguito lo spettro elastico restituito graficamente sovrapposto allo spettro normalizzato secondo le ICMS (2018) e la tabella dei parametri derivati dallo studio di Risposta Sismica Locale.



Output STRATA – Spettro normalizzato SLD



Output STRATA – Spettro normalizzato SLV

a_{max}	0.204	g
TA	0.160	s
0.5TA	0.080	s
1.5TA	0.240	s
SA	0.545	g
TV	0.680	s
0.8TV	0.544	s
1.2TV	0.816	s
SV	0.021	g*s
Tc	0.243	s
Tb	0.081	s
Td	1.683	s
F0	2.679	
a_g	0.084	
S	2.423	

Tabella parametri RSL – Stato limite SLD

a_{max}	0.389	g
TA	0.170	s
0.5TA	0.085	s
1.5TA	0.255	s
SA	0.946	g
TV	1.110	s
0.8TV	0.888	s
1.2TV	1.332	s
SV	0.054	g*s
Tc	0.359	s
Tb	0.120	s
Td	1.759	s
F0	2.432	
a_g	0.189	
S	2.058	

Tabella parametri RSL – Stato limite SLV

Borgo San Lorenzo, 23/04/21

IGeA sas

Dott. Geol. Guglielmo Braccesi