



DIREZIONE MOBILITA' INFRASTRUTTURE
E TRASPORTO PUBBLICO LOCALE




**SRT 70 DELLA CONSUMA
MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA
TRA LE PROGRESSIVE
KM 10+200 E KM 10+600
NEL COMUNE DI PELAGO**



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

MODELLO GEOLOGICO, SISMICO E GEOTECNICO

**ELABORATO N°
SPE_5.00**

<i>Riferimenti amministrativi</i> PRATICA N.		SCALA: -
R.U.P.: Ing. Antonio De Crescenzo		<i>Data revisione elaborato:</i> Aprile 2024
PROGETTO E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: Ing. Mario Daneri DA.SA. 	COLLABORATORI: Arch. Mario Palmieri Geom. Francesco Senatori	RILIEVO TOPOGRAFICO:  GEOLOGO: 

SETTORE VIABILITA' REGIONALE AMBITI FIRENZE - PRATO - PISTOIA

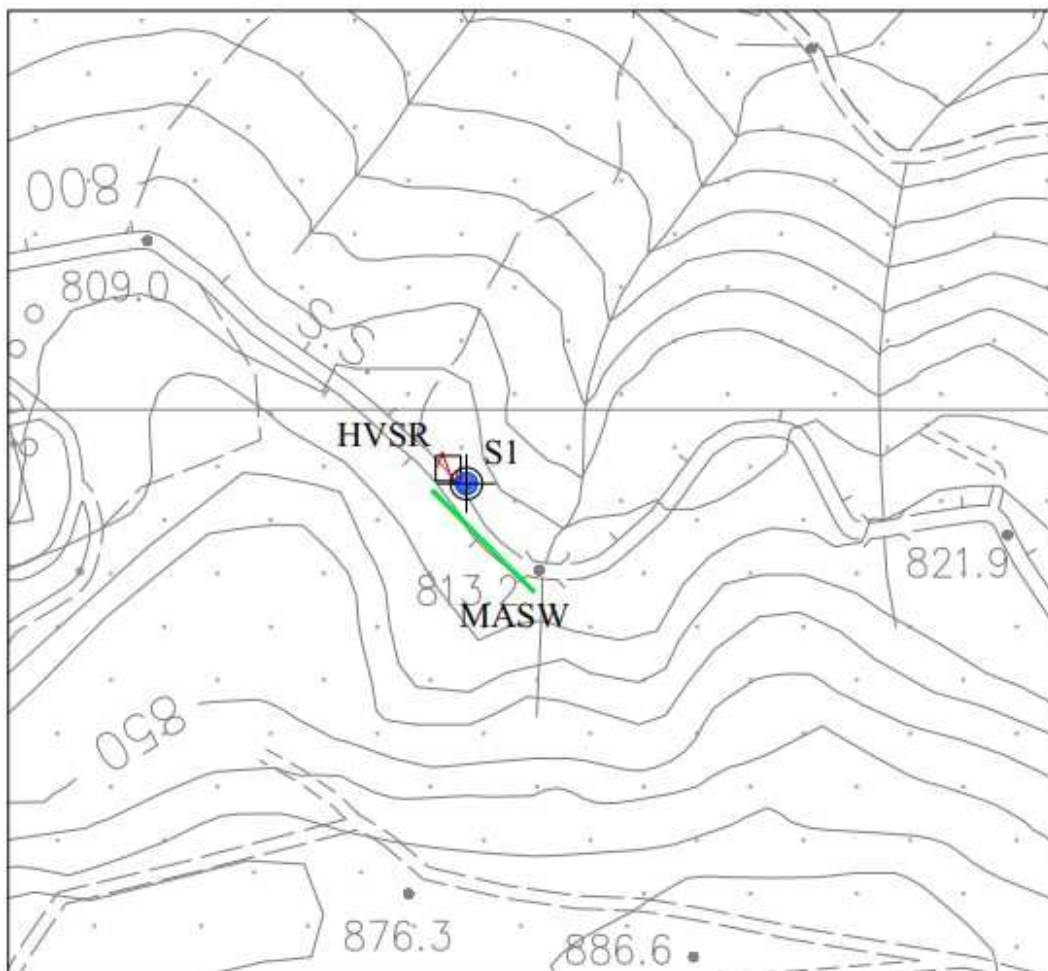
INDAGINI EFFETTUATE

Per la definizione della sequenza stratigrafica, presentata nel Modello Geologico di Riferimento e per la determinazione del Modello Geotecnico riguardante il volume significativo delle opere di progetto sono stati considerati i risultati geognostici e geotecnici derivanti dalle indagini specificatamente eseguite nell'area di interesse:

- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo (denominato S1pz) di profondità 15,0 metri e strumentato con piezometro a tubo aperto;
- esecuzione di n. 3 prove S.P.T.;
- prelievo di n. 2 campioni rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di n. 2 analisi di laboratorio di meccanica delle terre.

Per quanto attiene alla caratterizzazione e alla modellazione sismica delle unità geotecniche, sono state realizzate le seguenti indagini:

- n. 1 indagine di sismica a rifrazione di tipo Masw;
- n. 1 indagine di sismica passiva a stazione singola di tipo HVSR.



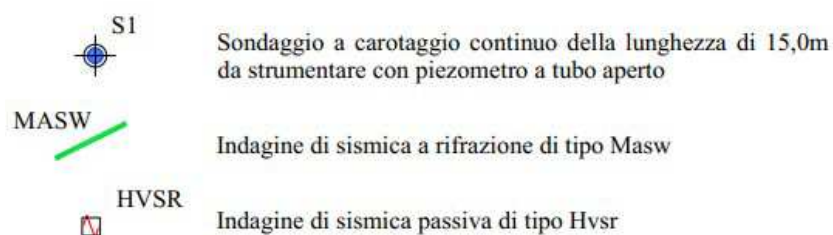


Figura n. 1 – Planimetria di ubicazione delle indagini svolte a supporto dell'intervento in oggetto

Sondaggio meccanico a carotaggio continuo

Nell'area di indagine è stato eseguito dalla ditta Tecna di Arezzo nel febbraio 2021 n. 1 sondaggio a carotaggio continuo della profondità di 15,0 m dal p.c., denominato S1pz.

Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato strumentato con piezometro a tubo aperto della lunghezza dell'intera perforazione.

A seguito di ciascuna delle perforazioni è stata effettuata la compilazione del modulo stratigrafico delle cassette catalogatrici con le carote estratte, presentate anche in debita documentazione fotografica.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono stati prelevati direttamente dal materiale estruso dalla perforazione n. 2 campioni di terreno rimaneggiato. Nella seguente tabella vengono riportate le profondità di prelievo e la tipologia di ciascun campione prelevato.

ID SONDAGGIO	PROFONDITA' PRELIEVO (m dal p.c.)	TIPOLOGIA CAMPIONE
S1pz	3,4-3,9	rimaneggiato
	5,0-5,4	rimaneggiato

Durante la perforazione del sondaggio, in avanzamento nel foro, sono state eseguite n. 3 prove SPT (Standard Penetration Test).

Nella seguente tabella vengono riportate le specifiche delle prove S.P.T. eseguite durante l'esecuzione del carotaggio e i risultati conseguiti.

SONDAGGIO	PROFONDITA' PROVA (m dal p.c.)	TIPOLOGIA PROVA	VALORI S.P.T.
S1pz	2,5	punta chiusa	Rif (10 cm)
	5,0	punta chiusa	40-Rif
	8,0	punta chiusa	27-37-45

Analisi fisico-meccaniche dei terreni

Durante l'esecuzione del sondaggio sono stati prelevati n. 2 campioni rimaneggiati di terreno.

I campioni sono stati sottoposti a specifiche analisi di laboratorio comprensive delle caratteristiche indice del campione e di quelle di resistenza e deformabilità.

Le analisi sono state svolte presso il Laboratorio Laboter s.r.l. di Pistoia.

Un riassunto per ciascun campione delle indagini eseguite e dei parametri geotecnici che sono stati determinati nel corso delle analisi di laboratorio è riportato nella seguente tabella:

Sondaggio	S1pz	S1pz
Campione	CR1	CR2
Profondità	3,4-3,9 m	5,0-5,4 m
γ	16,7	-
W	25,5	13,8
A	11,4	18
L	13,7	17,7
S	20,5	19,9
G	54,4	44,4
LL	44,1	33,6
LP	24,3	22,3
IP	19,8	11,3
IC	0,94	1,75
ϕ CD	31,9	-
c CD	12,1	-

Legenda:

γ (kN/mc) = peso di volume; w (%) = umidità naturale;

A (%) = argilla; L (%) = limo; S (%) = sabbia; G (%) = ghiaia

LL (%) = limite liquido; LP (%) = limite plastico; IP (%) = indice di plasticità; IC = indice di consistenza

ϕ CD (°) = angolo di attrito da prove di taglio diretto consolidato lento drenato; cCD (kPa) = coesione da prove di taglio diretto consolidato lento drenato;

Indagine di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw

L'indagine di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw, eseguita dalla società GeoMa di Arezzo nel mese di febbraio 2021, ha permesso di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde Sh) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

L'indagine Masw ha registrato nel sottosuolo la seguente successione sismostratigrafica:

- spessore = 1,1 m	Vsh = 222,0 m/s
- spessore = 3,3 m	Vsh = 325,0 m/s
- spessore = 3,9 m	Vsh = 464,0 m/s
- spessore = 1,3 m	Vsh = 412,0 m/s
- spessore = 3,6 m	Vsh = 516,0 m/s
- spessore = 16,8 m	Vsh = 756,0 m/s

Dall'indagine è stato, quindi, ricavato un valore di $V_{s30,Eq}$ pari a 536,4 m/s, riferibile ad una categoria di suolo di fondazione di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Indagine di sismica passiva a stazione singola (tipo Hvsr)

In data 15/02/2021 la ditta GeoMa di Arezzo ha eseguito n. 1 misura di sismica passiva con tecnica a "stazione singola" (HVSr) al fine di determinare la frequenza di risonanza del sito.

La prova ha riscontrato la presenza di un picco significativo con $f_0 = 31,4$ Hz e ampiezza $A_0 = 3,59$, imputabile ad alti contrasti di impedenza sismica a profondità estremamente superficiali (< 5,0 m da p.c.).

MODELLO GEOLOGICO

Si riporta sinteticamente di seguito la stratigrafia del sondaggio eseguito appositamente per l'intervento in oggetto durante la campagna del febbraio 2022 ed utilizzato per la caratterizzazione litostratigrafica dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area in esame.

SONDAGGIO S1 – 15,0 m da p.c.

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 0,5 m: Materiale di riporto misto bituminoso
- da 0,5 a 1,75 m: Argilliti, siltiti brunastre contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia
- da 1,75 a 2,75 m: Livello lapideo calcarenitico frantumato dell'ordine della ghiaia grossolana in matrice argillosa
- da 2,75 a 4,8 m: Argilliti, siltiti brunastre contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia con localizzate presenze di ciottoli
- da 4,8 a 7,0 m: Argilliti, siltiti grigie biancastre compatte intercalate localmente da pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia. Presente un livello lapideo arenitico tra 5,8 e 6,0
- da 7,0 a 14,25 m: Argilliti, siltiti grigie biancastre compatte intercalate alla base da ghiaia fine
- da 14,25 a 15,0 m: Marna grigio chiara compatta

Dal punto di vista geologico in corrispondenza del settore di interesse si evidenzia la presenza di terreni riferibili a un corpo di frana quiescente poggianti sul substrato litoide costituito dalla formazione delle Arenarie del Falterona – Membro di Montalto (FAL3) appartenente all'Unità del Monte Cervarola (Dominio Toscano).

In sintesi, la configurazione lito-stratigrafica dell'area di intervento è rappresentata, partendo dall'alto verso il basso, dalla seguente successione di terreni:

0,0 – 2,75 m da p.c. Coltre di frana (quiescente) costituita da pezzame lapideo argillitico, siltitico e calcarenitico dell'ordine della ghiaia in matrice argilloso limosa, colore bruno marrone

2,75 – 4,5 m da p.c. Coltre di alterazione del substrato costituita da argilliti e siltiti alterate brunastre contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia e talora dei ciottoli

4,5 – 15,0 m da p.c. Substrato litoide costituito dall'alternanza di argilliti e siltiti con subordinati livelli marnosi e arenacei, colore grigio

MODELLO IDROGEOLOGICO

La configurazione idrogeologica che caratterizza i siti di interesse vede sostanzialmente la presenza nel substrato di litologie costituite da siltiti e argilliti con livelli marnosi e arenacei intercalati che danno talora origine a più falde sebbene con modesta circolazione idrica nella rete delle fratture.

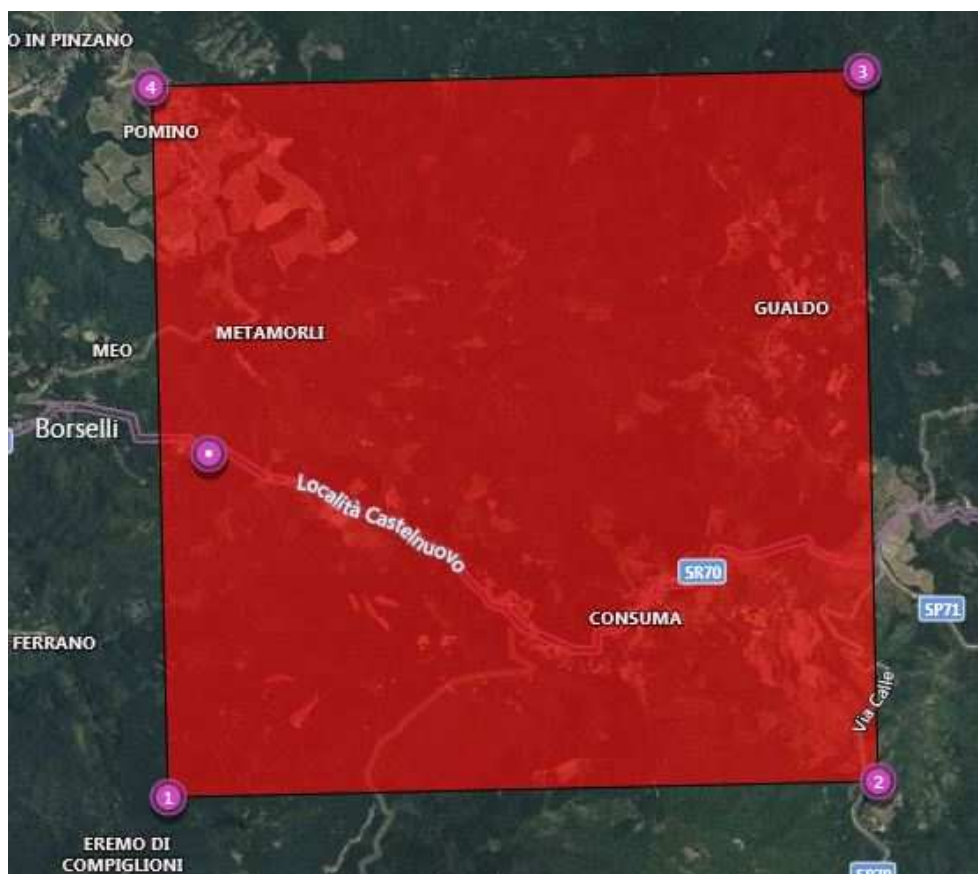
In questo contesto non si è in presenza di una vera falda freatica od artesia sul luogo di intervento, sebbene i livelli di copertura superficiali (coltre di frana e coltre alteritica del substrato) potrebbero essere sede di una qualche filtrazione idrica in funzione della saturazione degli strati superficiali a seguito di forti eventi piovosi o di falde discontinue in corrispondenza di maggior presenza di elementi a granulometria grossolana.

A seguito della materializzazione del piezometro nel foro di sondaggio S1pz è stato eseguito uno specifico monitoraggio nel periodo compreso tra marzo e maggio 2021 che ha mostrato una soggiacenza del livello piezometrico variabile tra 2,5 e 4,33 m dal p.c..

MODELLO SISMICO

Le indagini sismiche specificatamente eseguite nell'area in esame (n. 1 indagine di sismica attiva in onde Sh di tipo Masw e n. 1 indagine di sismica passiva a stazione singola di tipo hvsr) in fase di supporto alla progettazione hanno permesso di ricavare per i terreni presenti nel sottosuolo un valore di $V_{s30,Eq}$ uguale a 536,4 m/s, riferibile ad una categoria di suolo di fondazione di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Di seguito si forniscono le verifiche di pericolosità sismica di base e di sito



PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (V_n): 50 [anni]

Classe d'uso: III

Coefficiente d'uso (C_u): 1.5

Periodo di riferimento (V_r): 75 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO: 45 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLD: 75 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLV: 712 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLC: 1462 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43.7921410 [°]

Longitudine (WGS84): 11.5546236 [°]

Latitudine (ED50): 43.7930946 [°]

Longitudine (ED50): 11.5556002 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20063	43.768850	11.551700	2713.98
2	20064	43.769980	11.620880	5837.03
3	19842	43.819970	11.619370	5926.03
4	19841	43.818840	11.550090	2896.73

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.054	2.511	0.258
SLO	45	0.064	2.512	0.269
	50	0.066	2.512	0.271
	72	0.076	2.514	0.278
SLD	75	0.078	2.512	0.279
	101	0.087	2.503	0.284
	140	0.101	2.459	0.285
	201	0.118	2.409	0.291
	475	0.158	2.405	0.299
SLV	712	0.181	2.398	0.306
	975	0.200	2.394	0.311
SLC	1462	0.226	2.411	0.315
	2475	0.265	2.434	0.319

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.057	2.499	0.261
SLO	45	0.068	2.483	0.270
	50	0.071	2.479	0.272
	72	0.082	2.489	0.278
SLD	75	0.083	2.481	0.278
	101	0.097	2.424	0.279
	140	0.110	2.416	0.284
	201	0.127	2.397	0.289
	475	0.173	2.377	0.294
SLV	712	0.198	2.380	0.296
	975	0.220	2.383	0.297
SLC	1462	0.249	2.391	0.306
	2475	0.292	2.400	0.318

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.060	2.481	0.262
SLO	45	0.073	2.451	0.269
	50	0.077	2.443	0.271
	72	0.091	2.425	0.272
SLD	75	0.093	2.425	0.273
	101	0.105	2.421	0.276
	140	0.121	2.390	0.282
	201	0.138	2.412	0.284
	475	0.190	2.394	0.288
SLV	712	0.218	2.389	0.297
	975	0.242	2.385	0.304
SLC	1462	0.275	2.404	0.312
	2475	0.323	2.429	0.321

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.058	2.493	0.261
SLO	45	0.069	2.473	0.269

	50	0.072	2.468	0.271
	72	0.086	2.431	0.275
SLD	75	0.087	2.431	0.275
	101	0.099	2.431	0.277
	140	0.113	2.416	0.283
	201	0.131	2.399	0.286
	475	0.178	2.383	0.292
SLV	712	0.204	2.375	0.301
	975	0.227	2.368	0.308
SLC	1462	0.257	2.389	0.312
	2475	0.303	2.417	0.317

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	45	0.067	2.485	0.269
SLD	75	0.084	2.467	0.277
SLV	712	0.197	2.386	0.301
SLC	1462	0.248	2.399	0.312

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$:

1.000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2 - Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.019	0.024	0.068	0.097
kv	0.010	0.012	0.034	0.048
amax [m/s ²]	0.953	1.189	2.785	3.384
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.057	0.108	--
kv	--	0.028	0.054	--
amax [m/s ²]	0.953	1.189	2.785	3.384
Beta	--	0.470	0.380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.057	0.108	--
kv	--	0.028	0.054	--
amax [m/s ²]	0.953	1.189	2.785	3.384
Beta	--	0.470	0.380	--

Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

3.0 [m]

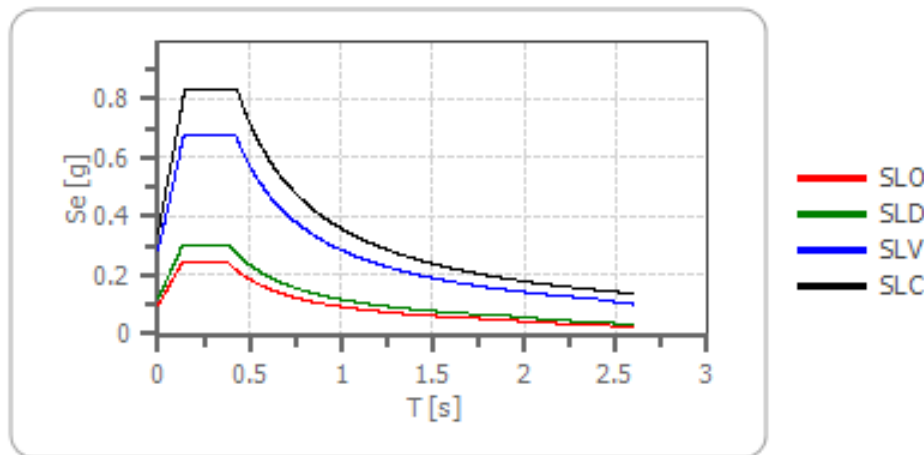
Spostamento ammissibile us:

0.015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.075	0.094	0.220	0.268
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0.953	1.189	2.785	3.384
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) [g]	Se (TB) [g]
SLO	1.5	0.067	2.485	0.269	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.385	1.870	0.097	0.241
SLD	1.5	0.084	2.467	0.277	1.200	1.420	1.200	1.440	1.000	0.131	0.393	1.937	0.121	0.299
SLV	1.5	0.197	2.386	0.301	1.200	1.400	1.200	1.440	1.000	0.140	0.421	2.389	0.284	0.678
SLC	1.5	0.248	2.399	0.312	1.160	1.390	1.200	1.392	1.000	0.144	0.433	2.592	0.345	0.828

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

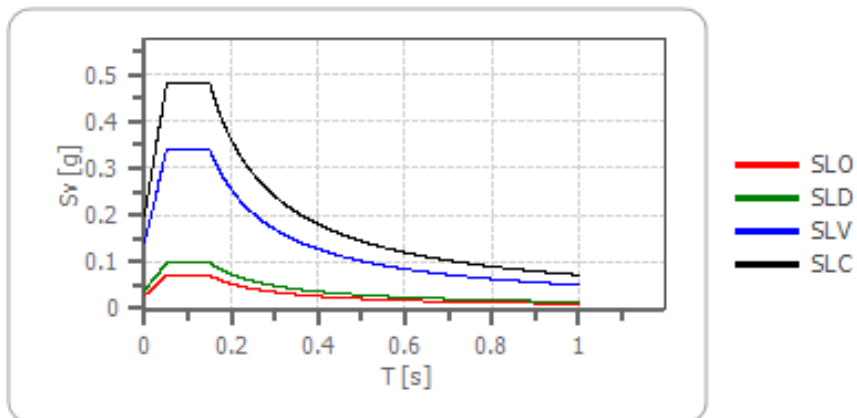
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5 + \xi)]^{1/2}$:

1.000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se (TB) [g]
SLO	1.5	0.067	2.485	0.269	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.071
SLD	1.5	0.084	2.467	0.277	1	1.420	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.040	0.098
SLV	1.5	0.197	2.386	0.301	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.142	0.339
SLC	1.5	0.248	2.399	0.312	1	1.390	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.200	0.480

MODELLO GEOTECNICO

Dalla campagna geognostica eseguita si sono ricavati i parametri geotecnici dei terreni compresi nel volume significativo (verifiche SLE), con particolare riguardo per le resistenze a taglio interessanti il presumibile cuneo di rottura (verifiche SLU).

Sulla scorta del modello geologico di riferimento, si sono evidenziate le diverse unità geotecniche che vanno a costituire il modello geotecnico di base per la progettazione strutturale.

Unità Geotecnica 1 tra 0,0 e 2,75 m da p.c.

Coltre di frana costituita da pezzame lapideo argillitico, siltitico e calcarenitico dell'ordine della ghiaia in matrice argilloso limosa

Unità Geotecnica 2 tra 2,75 – 4,5 m da p.c.

Coltre di alterazione del substrato costituita da argilliti e siltiti alterate contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia e talora dei ciottoli

Unità Geotecnica 3 tra 4,5 e 15,0 m da p.c.

Substrato litoide costituito dall'alternanza di argilliti e siltiti con subordinati livelli marnosi e arenacei

Parametri nominali o sperimentali

- Unità Geotecnica 1: Coltre di frana costituita da pezzame lapideo argillitico, siltitico e calcarenitico dell'ordine della ghiaia in matrice argilloso limosa

Peso di volume o densità umida	$\gamma = 17,5 \text{ kN/mc}$
Peso di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 18,0 \text{ kN/mc}$
Resistenza in tensioni efficaci	$\phi' = 27,0^\circ; c' = 11,5 \text{ kPa}$
Resistenza residua	$\phi'_r = 17,5^\circ; c'_r = 0,0 \text{ kPa}$
Resistenza non drenata	$c_u = 65,0 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione edometrica	$E_{\text{ed}} = 5,25 \text{ MPa}$

- Unità Geotecnica 2: Coltre di alterazione del substrato costituita da argilliti e siltiti alterate contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia e talora dei ciottoli

Peso di volume o densità umida	$\gamma = 16,7 \text{ kN/mc}$
Peso di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 18,3 \text{ kN/mc}$
Resistenza in tensioni efficaci	$\phi' = 31,9^\circ; c' = 12,1 \text{ kPa}$
Resistenza non drenata	$c_u = 50,0 \text{ kPa}$

Modulo di deformazione edometrica

$E_{ed} = 11,5 \text{ MPa}$

- Unità Geotecnica 3: Substrato litoide costituito dall'alternanza di argilliti e siltiti con subordinati livelli marnosi e arenacei

Peso di volume o densità umida	$\gamma = 20,5 \text{ kN/mc}$
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 21,0 \text{ kN/mc}$
Resistenza in tensioni efficaci	$\phi' = 37,0^\circ; c' = 19,8 \text{ kPa}$
Resistenza non drenata	$c_u = 85,0 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione edometrica	$E_{ed} = 46,5 \text{ Mpa}$

Parametri caratteristici k

- Unità Geotecnica 1: Coltre di frana costituita da pezzame lapideo argillitico, siltitico e calcarenitico dell'ordine della ghiaia in matrice argilloso limosa

Peso di volume o densità umida	$\gamma = 17,5 \text{ kN/mc}$
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 18,0 \text{ kN/mc}$
Resistenza in tensioni efficaci	$\phi'k = 22,6^\circ; c'k = 7,44 \text{ kPa}$
Resistenza residua	$\phi'rk = 14,6^\circ; c'rk = 0,0 \text{ kPa}$
Resistenza non drenata	$c_{uk} = 38,41 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione edometrica	$E_{ed} = 5,25 \text{ MPa}$

- Unità Geotecnica 2: Coltre di alterazione del substrato costituita da argilliti e siltiti alterate contenenti pezzame lapideo dell'ordine della ghiaia e talora dei ciottoli

Peso di volume o densità umida	$\gamma = 16,7 \text{ kN/mc}$
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 18,3 \text{ kN/mc}$
Resistenza in tensioni efficaci	$\phi'k = 26,7^\circ; c'k = 7,83 \text{ kPa}$
Resistenza non drenata	$c_{uk} = 29,55 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione edometrica	$E_{ed} = 11,5 \text{ MPa}$

- Unità Geotecnica 3: Substrato litoide costituito dall'alternanza di argilliti e siltiti con subordinati livelli marnosi e arenacei

Peso di volume o densità umida	$\gamma = 20,5 \text{ kN/mc}$
Peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 21,0 \text{ kN/mc}$
Resistenza in tensioni efficaci	$\phi'k = 30,9^\circ; c'k = 12,81 \text{ kPa}$
Resistenza non drenata	$c_{uk} = 50,23 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione edometrica	$E_{ed} = 46,5 \text{ MPa}$