

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

1222•2022
800
ANNI

COMPLESSO EX-S.E.E.F.
VIA CAMPAGNOLA - PADOVA

PIANO DI RECUPERO

AREA EDILIZIA E SICUREZZA
Ufficio Sviluppo Edilizio

PADOVA - Palazzo S.Stefano - P.zza Antenore n.3
tel. 049/8273274 fax 049/8273269



cod.edif.: 01220

EX S.E.E.F. Via Campagnola

elab.:

R12

RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

data: 17.02.2020

curatori:

aggiorn.: 01.09.2020

Padova, 31 Agosto 1999

COMMITTENTE: Spett.le

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

UFFICIO EDILIZIA E RISTRUTTURAZIONI

Via VIII febbraio, 2

35122 PADOVA (PD)

OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA ED INDAGINE
GEOGNOSTICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE PER
LA RISTRUTTURAZIONE, L'AMPLIAMENTO E LA
COSTRUZIONE DI NUOVI EDIFICI DEL COMPLESSO
EDILIZIO EX SEEF DI VIA CAMPAGNOLA - PADOVA.

SIRGEO-CONSULT s.a.s.
PADOVA
Dott. Geol. L. CAREGNATO



RELAZIONE TECNICA

GENERALITA'

Su incarico e dietro indicazioni dell'Università di Padova è stata eseguita da questa Società una campagna di indagini geognostiche per determinare le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sottosuolo nell'area denominata EX SEEF in via Campagnola a Padova costituito da un insieme di corpi di fabbrica di cui all'oggetto, destinati ad uso Didattico in parte da costruire ex novo, in parte daristrutturare e ampliare, al fine di esaminare i problemi geotecnici connessi con le opere di fondazione.

La presente indagine, oltre che rispondere all'esigenza di una corretta e razionale progettazione delle opere di fondazione, ottempera ai dispositivi del D.M.11/3/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e della successiva Cir. Min.LL.PP. del 9/1/ 1996 n. 218/24/3 contenente le relative istruzioni per l'applicazione.

Tale indagine è consistita nell'esecuzione di n. 7 prove penetrometriche statiche.

L'indagine effettuata ha consentito di analizzare le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo fino alla profondità di 15 m dal piano campagna.

Il livello della falda, per quanto il metodo di misura sia indicativo data la tipologia di prova effettuata, è stato individuato a profondità variabile tra -2.00 e -2.80 m dall'attuale piano campagna. Tale valore è indicativo a causa del piccolo diametro dei fori e della presenza di un riporto superficiale grossolano.

In allegato sono riportati:

- una planimetria con l'ubicazione delle prove penetrometriche;
- n. 7 diagrammi penetrometrici;
- n. 7 tabelle di restituzione dati con i parametri geotecnici più significativi, ottenuti dall'elaborazione dei dati delle prove penetrometriche.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Nei diagrammi penetrometrici allegati sono riportate, in funzione della profondità, le misure effettuate, per ogni 0.20 m di avanzamento, della:

- Resistenza alla punta R_p espressa in Kg/cm^2 ;
- Resistenza di attrito laterale locale (r_{al}) in Kg/cm^2 ;
- L'interpretazione stratigrafica desunta dal rapporto R_p/r_{al} (Begemann).

I sedimenti presenti nel sottosuolo rispecchiano una situazione stratigrafica tipica di deposito alluvionale recente, in cui sono state individuate alternanze di strati di natura sabbiosa, limosa e argillosa poco compatti.

L'analisi dei dati rilevati evidenzia una situazione stratigrafica non omogenea per l'area in esame per quanto riguarda i risultati delle prove eseguite soprattutto in senso verticale (disomogeneità meccanica).

Prendendo come quota di riferimento il piano campagna, risultano individuati, procedendo verticalmente, i seguenti livelli:

PROFONDITA' Da metri	a metri	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA SECONDO BEGEMANN
0.00	1.00	Terreno di riporto compatto e/o terreno vegetale.
1.00	1.80 – 3.20	Argilla media e molle e limo argilloso in C.P.T. n°1 e 3.
1.80 – 3.20	7.20 – 7.80	Sabbia fine limosa e limo sabbioso.
7.20 – 7.80	9.80	Sabbia medio grossa.
9.80	10.80	Livello di argilla media e molle.
10.80	12.00 – 12.40	Sabbia media e fine debolmente limosa.
12.00 - 12.40	12.60 – 13.00	Argilla molle.
12.60 – 13.00	13.80 – 14.00	Limo sabbioso e/o sabbia fine limosa.
13.80 – 14.00	15.00	Argilla e argilla limosa.

DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Sull'area in esame devono essere ristrutturati gli edifici esistenti con possibile aumento di volume e inoltre devono essere costruiti nuovi edifici ancora in fase di progetto; dei fabbricati esistenti non è nota la quota di imposta delle fondazioni.

Per una più dettagliata caratterizzazione dell'intervento si veda la relazione illustrativa sulle strutture eseguita dall'Ing. Domenico Gallo.

Gran parte delle strutture risultano composte presumibilmente da un telaio in muratura con pilastri portanti e solai trasversali.

I carichi di progetto dovuti alla sopraelevazione di un nuovi piani, non sono conosciuti.

SUGGERIMENTI PER LA SCELTA DELLE FONDAZIONI

I problemi evidenziati dalla committenza sono relativi al chiarimento della capacità portante del terreno.

Si fa presente come i diversi corpi in progetto avranno fondazioni di tipo diverso con imposta delle stesse a quote diverse: in questa sede si esamineranno ipotesi fondazionali a platea e a trave continua.

FONDAZIONI A TRAVE CONTINUA:

Esigenze costruttive fanno supporre che il piano di appoggio sia impostato a circa -1.00 m dall'attuale piano campagna, per cui la portata delle fondazioni verrà ad essere influenzata principalmente dagli strati coesivi presenti inferiormente a tale profondità. La pressione ammissibile, calcolata in termini di pressioni totali (verifica a breve termine-condizioni non drenate), la si ottiene applicando le seguenti relazioni (Terzaghi):

$$Q_d = c \times N_c + \delta \times h \times N_q$$

in cui:

- $c = R_p/24 = 3.5 \text{ T/m}^2$ (Tale valore è stato determinato con riferimento alle prove peggiori: C.P.T. n° 2, 5 e 6);
- $\delta = 0.80 \text{ T/m}^3$ (peso di volume immerso, considerando che la falda possa risalire in prossimità del piano campagna).
- $H = 1.00 \text{ m}$. incastro fondazione;
- $N_q = 1$;
- $N_c = 5.7$,

da cui si ottiene:

$$Q_d = 3.5 \times 5.7 + 0.8 \times 1.0 \times 1 \approx 21 \text{ T/m}^2$$

La pressione ammissibile dal punto di vista della resistenza al taglio, con fattore di sicurezza pari a 3, risulterebbe di 0.7 Kg/cm^2 .

FONDAZIONI A PLATEA:

Per un fabbricato impostato a - 3.00 m (da p.c. originario) la pressione ammissibile risultante sarà:

$$Q_d = (1 + 0.2 \times B/L) \times c \times N_c + \delta \times H \times N_q$$

nella quale:

- N_c, N_q , = Fattore di capacità portante

(per $c = 0^\circ$, $N_c = 5.7$, $N_q = 1$)

- δ = Peso di volume = 0.8 Ton/m^3 (considerando la falda a piano fondazione)

- c = coesione media al di sotto delle fondazioni 6 Ton/m^2

- B e L = Dimensioni fondazione a platea

$$Q_d = 1.13 \times 6 \times 5.7 + 1 \times 3.0 \times 1 \approx 42 \text{ Ton/m}^2$$

La portata in questo caso risulterebbe di circa 1.4 Kg/cm^2 (applicando un coefficiente di sicurezza pari a 3) prendendo come riferimento i valori delle prove n. 2, 5 e 6. Tale valore andrà comunque ridotto a $0.7 - 0.8 \text{ Kg/cm}^2$ per la presenza della falda.

Il carico ammissibile dipenderà comunque anche dall'entità del cedimento assoluto e del cedimento differenziale in funzione dei nuovi carichi per gli edifici sia da ristrutturare e sia per quelli di nuova costruzione.

Il valore fornito per la portata va generalmente confrontato con le deformazioni indotte sul terreno: occorre infatti verificare il comportamento della struttura dal punto di vista dei cedimenti secondo le prescrizioni della normativa (vedi nota nel paragrafo conclusioni).

CEDIMENTI DI FONDAZIONE CONTINUA

Dato che la fase di progetto è ancora in corso i carichi a cui verranno sollecitate i vari tipi di fondazione non sono noti, si fa comunque presente che con le sole prove penetrometriche il valore calcolato risulterebbe molto indicativo: nel caso specifico inoltre variazioni della falda freatica possono far aumentare notevolmente il suo valore come pure il cedimento secondario dovuto alla presenza di possibili livelli con argille organiche.

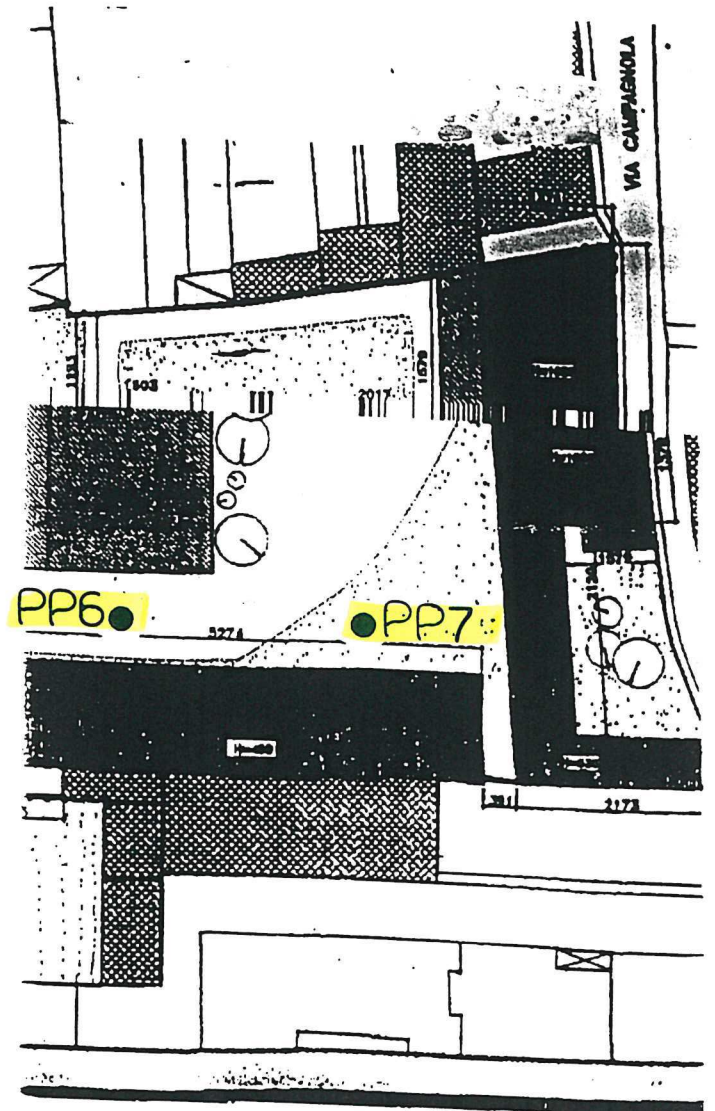
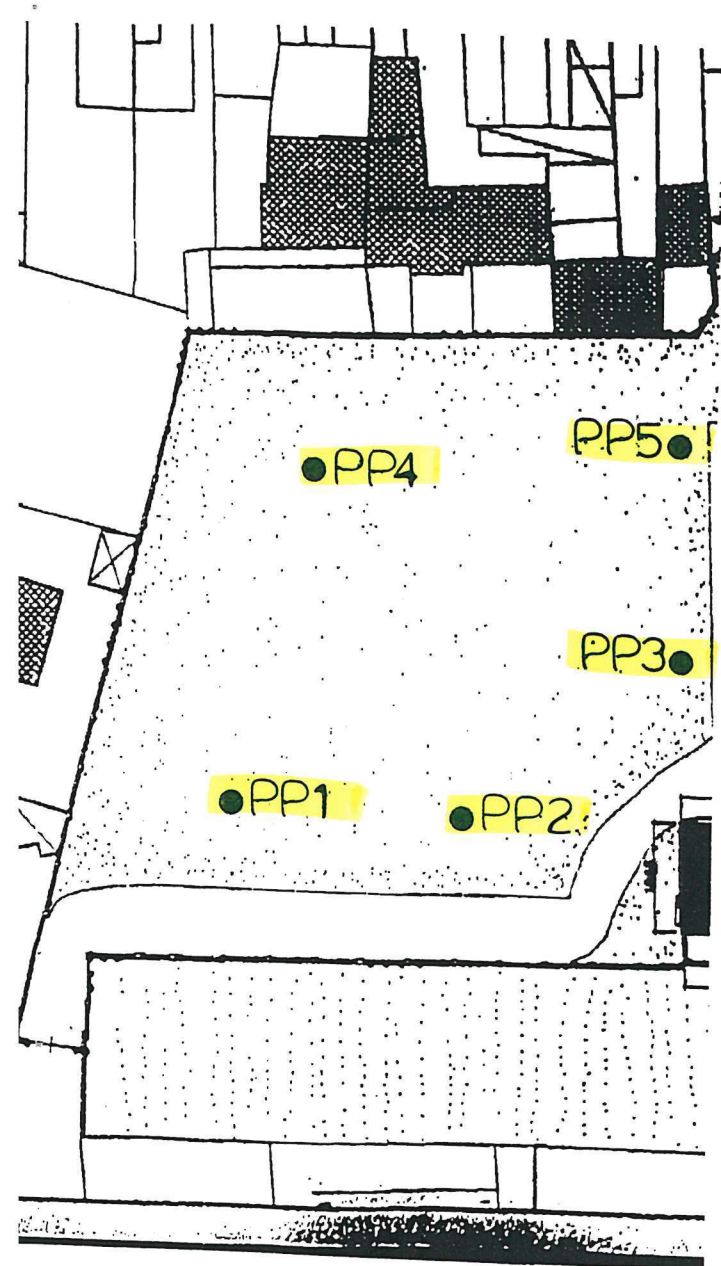
E' evidente che un valore molto più attendibile lo si può ottenere su campioni indisturbati prelevati da un sondaggio geognostico.

CONCLUSIONI

In base all'analisi dei risultati penetrometrici e delle verifiche effettuate si possono trarre le seguenti considerazioni.

- A. I terreni risultano sostanzialmente abbastanza omogenei in senso orizzontale a partire dai 3.20 m di profondità e risultano formati da strati argilloso limoso fino a tale profondità. Sarà comunque necessario verificare tale omogeneità del terreno in fase di scavo di nuove fondazioni per la possibile presenza di canali o fossi mascherati.
- B. La capacità portante ammissibile risulta verificata: per le due tipologie fondazionali impostate rispettivamente a -1.0 m e a -3.0 m da p.c. non dovrà risultare superiore a $0.7 - 0.8 \text{ Kg/cm}^2$. Il suo valore, come già specificato, dipende dal valore assoluto dei cedimenti: si consiglia l'esecuzione di n° 1 sondaggio geognostico con almeno n° 2 campioni indisturbati.
- C. Un'accurata analisi dei cedimenti potrà essere effettuata qualora saranno forniti gli esecutivi statici dei singoli corpi e il tipo di fondazioni che si vuol adottare.
- D. Per gli edifici da ristrutturare si consiglia una verifica delle fondazioni esistenti (piano di posa e dimensioni).
- E. Lo scavo con sistema Wellpoint in vicinanza di edifici già realizzati con fondazioni superficiali, può provocare fenomeni di ulteriore cedimento per consolidazione dei materiali compressibili drenati; tale intervento andrà quindi opportunamente dimensionato.

TAVOLE



CANTIERE: VIA CAMPAGNOLA – PADOVA (PD)

UBICAZIONE PROVE DI CAMPAGNA

- PPS PROVA PENETROMETRICA STATICA
- PPD PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
- △ S SONDAGGIO
- + W PIEZOMETRO

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Prova N° : 1 Nome File : UNIVE1 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	RI Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	80	100	1.33			45	98		0.72		SLI
0.60	45	100	3.67		63.43	42	76		1.08		ATO
0.80	37	61	1.60		63.43	42	66		1.44		ALI
1.00	33	43	0.67		63.43	40	59		1.80		LAS
1.20	28	36	0.53		63.43	40	52		2.16		SLA
1.40	26	33	0.47		63.43	37	48		2.52		SLI
1.60	16	32	1.07	0.79				5.19	2.88	SC	ALI
1.80	40	57	1.13		86.44	40	57		3.24		LAR
2.00	43	53	0.67		88.54	37	57		3.60		SLI
2.20	40	53	0.87		90.64	37	54		3.96		LAS
2.40	50	55	0.33		92.74	37	59		4.32		GHI
2.60	33	46	0.87	1.63				11.41	4.68	SC	LAR
2.80	42	51	0.60		136.22	37	52		4.84		SGH
3.00	34	46	0.80	1.67				11.64	5.00	SC	LAS
3.20	43	53	0.67		200.32	37	52		5.16		SLI
3.40	53	61	0.53		204.05	37	58		5.32		GHI
3.60	45	57	0.80		207.79	37	52		5.48		SLI
3.80	50	58	0.53		211.53	37	55		5.64		GHI
4.00	38	51	0.87		215.27	35	47		5.80		LAS
4.20	36	46	0.67		219.00	35	45		5.96		SLA
4.40	42	47	0.33		222.74	35	49		6.12		GHI
4.60	47	62	1.00		226.48	37	52		6.28		LAS
4.80	65	75	0.67		230.22	37	61		6.44		GHI
5.00	63	72	0.60		233.95	37	59		6.60		GHI
5.20	49	63	0.93		237.69	37	52		6.76		SLA
5.40	53	72	1.27		241.43	37	54		6.92		LAS
5.60	68	75	0.47		245.17	37	61		7.08		GHI
5.80	58	68	0.67		248.90	37	56		7.24		SGH
6.00	44	58	0.93		252.64	35	47		7.40		LAS
6.20	47	68	1.40		256.38	35	49		7.56		LAR
6.40	67	73	0.40		260.12	37	59		7.72		GHI
6.60	59	75	1.07		263.85	37	55		7.88		SLI
6.80	70	85	1.00		267.59	37	60		8.04		SGH
7.00	80	85	0.33		271.33	37	63		8.20		GHI
7.20	53	72	1.27		275.07	35	51		8.36		LAS
7.40	45	60	1.00		278.81	35	46		8.52		LAS
7.60	52	66	0.93		282.54	35	50		8.68		SLI
7.80	75	95	1.33		286.28	37	60		8.84		SLI
8.00	75	95	1.33		290.02	37	60		9.00		SLI
8.20	54	73	1.27		293.76	35	50		9.16		LAS
8.40	65	80	1.00		297.49	35	55		9.32		SGH
8.60	75	90	1.00		301.23	37	59		9.48		SGH
8.80	80	105	1.67		304.97	37	61		9.64		LAS
9.00	90	120	2.00		308.71	37	64		9.80		LAS
9.20	100	120	1.33		312.44	37	67		9.96		SGH
9.40	150	170	1.33		316.18	40	78		10.12		GHI
9.60	36	74	2.53		319.92	32	37		10.28		ATO
9.80	13	37	1.60	0.60				2.67	10.44	LC	ATO
10.00	17	29	0.80	0.80				3.81	10.60	LC	ALI
10.20	13	29	1.07	0.60				2.64	10.76	LC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Prova N° : 1 Nome File : UNIVE1 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	RI Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	70	80	0.67		92.43	35	55		10.92		GHI
10.60	80	120	2.67		92.85	37	59		11.08		LAR
10.80	80	110	2.00		93.26	37	59		11.24		LAS
11.00	90	115	1.67		93.68	37	62		11.40		SLA
11.20	75	110	2.33		94.09	35	56		11.56		LAR
11.40	90	110	1.33		94.51	37	61		11.72		SGH
11.60	80	100	1.33		94.92	35	58		11.88		SLI
11.80	16	52	2.40	0.74				3.37	12.04	LC	ATO
12.00	8	15	0.47	0.34				1.26	12.20	NC	ALI
12.20	24	35	0.73	1.14				5.73	12.36	SC	LAR
12.40	20	28	0.53	0.94				4.48	12.52	LC	LAR
12.60	14	24	0.67	0.64				2.75	12.68	LC	ALI
12.80	90	105	1.00		156.80	37	60		12.84		GHI
13.00	73	85	0.80		157.93	35	54		13.00		GHI
13.20	50	58	0.53		159.06	32	43		13.16		GHI
13.40	5	16	0.73	0.18				0.57	13.32	BC	ATO
13.60	6	11	0.33	0.23				0.77	13.48	BC	ALI
13.80	9	19	0.67	0.38				1.43	13.64	NC	ATO
14.00	13	26	0.87	0.58				2.40	13.80	NC	ALI
14.20	17	36	1.27	0.78				3.47	13.96	LC	ATO
14.40	20	28	0.53	0.93				4.30	14.12	LC	LAR
14.60	10	27	1.13	0.43				1.63	14.28	NC	ATO
14.80	18	26	0.53	0.83				3.70	14.44	LC	LAR
15.00	10	22	0.80	0.43				1.61	14.60	NC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)
 Data : 24/08/99
 Prova N° : 2 Nome File : UNIVE2 .PEN

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00
 Quota falda : 2.40

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	57	71	0.93		64.28	45	88		0.72		SLI
0.60	23	70	3.13	1.14				10.61	1.08	SC	ATO
0.80	12	29	1.13	0.59				4.34	1.44	SC	ATO
1.00	13	25	0.80	0.64				4.52	1.80	SC	ALI
1.20	16	29	0.87	0.79				5.61	2.16	SC	ALI
1.40	17	30	0.87	0.84				5.81	2.52	SC	ALI
1.60	15	28	0.87	0.74				4.78	2.88	SC	ALI
1.80	13	27	0.93	0.63				3.85	3.24	SC	ATO
2.00	12	23	0.73	0.58				3.37	3.60	SC	ALI
2.20	12	21	0.60	0.58				3.28	3.96	SC	ALI
2.40	12	22	0.67	0.58				3.20	4.32	SC	ALI
2.60	26	33	0.47		80.88	35	40		4.48		SLI
2.80	25	31	0.40		81.56	35	38		4.64		SLI
3.00	26	36	0.67	1.28				8.37	4.80	SC	LAR
3.20	33	43	0.67		138.66	35	45		4.96		LAS
3.40	47	55	0.53		140.76	37	55		5.12		SGH
3.60	54	68	0.93		142.86	37	58		5.28		SLI
3.80	90	100	0.67		144.96	40	72		5.44		GHI
4.00	100	115	1.00		147.07	40	75		5.60		GHI
4.20	90	95	0.33		149.17	40	72		5.76		GHI
4.40	60	75	1.00		151.27	37	60		5.92		SLI
4.60	61	73	0.80		153.37	37	60		6.08		SGH
4.80	47	62	1.00		155.48	37	52		6.24		LAS
5.00	54	58	0.27		157.58	37	55		6.40		GHI
5.20	44	61	1.13		159.68	35	49		6.56		LAR
5.40	69	75	0.40		161.78	37	62		6.72		GHI
5.60	68	75	0.47		163.89	37	61		6.88		GHI
5.80	85	100	1.00		165.99	40	67		7.04		SGH
6.00	105	125	1.33		168.09	40	73		7.20		SGH
6.20	75	105	2.00		170.19	37	63		7.36		LAR
6.40	85	100	1.00		172.29	37	66		7.52		SGH
6.60	64	80	1.07		174.40	37	58		7.68		SLI
6.80	55	72	1.13		176.50	37	53		7.84		LAS
7.00	54	72	1.20		178.60	35	52		8.00		LAS
7.20	75	100	1.67		180.70	37	61		8.16		LAS
7.40	90	120	2.00		182.81	37	66		8.32		LAS
7.60	125	160	2.33		184.91	40	75		8.48		SLA
7.80	100	110	0.67		187.01	37	69		8.64		GHI
8.00	62	71	0.60		189.11	37	55		8.80		GHI
8.20	58	80	1.47		191.22	35	53		8.96		LAR
8.40	74	80	0.40		193.32	37	59		9.12		GHI
8.60	85	100	1.00		195.42	37	63		9.28		SGH
8.80	75	105	2.00		197.52	37	59		9.44		LAR
9.00	150	190	2.67		199.63	40	79		9.60		SLI
9.20	160	180	1.33		201.73	40	81		9.76		GHI
9.40	130	150	1.33		203.83	40	74		9.92		GHI
9.60	80	100	1.33		205.93	37	60		10.08		SLI
9.80	17	41	1.60	0.80				3.86	10.24	LC	ATO
10.00	12	21	0.60	0.55				2.40	10.40	LC	ALI
10.20	9	15	0.40	0.40				1.60	10.56	NC	ALI

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)
 Data : 24/08/99
 Prova N° : 2 Nome File : UNIVE2 .PEN

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.40

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	57	72	1.00		109.43	35	50		10.72		SLI
10.60	75	90	1.00		110.08	35	57		10.88		SGH
10.80	69	95	1.73		110.73	35	55		11.04		LAR
11.00	66	95	1.93		111.38	35	53		11.20		LAR
11.20	73	85	0.80		112.03	35	56		11.36		GHI
11.40	80	115	2.33		112.67	35	58		11.52		LAR
11.60	90	130	2.67		113.32	37	61		11.68		LAR
11.80	40	68	1.87		113.97	32	38		11.84		ALI
12.00	10	34	1.60	0.44				1.76	12.00	NC	ATO
12.20	8	17	0.60	0.34				1.27	12.16	NC	ATO
12.40	12	24	0.80	0.54				2.25	12.32	NC	ALI
12.60	18	27	0.60	0.84				3.90	12.48	LC	LAR
12.80	46	66	1.33		122.18	32	41		12.64		LAR
13.00	49	61	0.80		122.89	32	43		12.80		SLI
13.20	60	73	0.87		123.61	35	48		12.96		SGH
13.40	55	75	1.33		124.32	32	46		13.12		LAS
13.60	9	31	1.47	0.38				1.44	13.28	NC	ATO
13.80	8	16	0.53	0.33				1.21	13.44	BC	ALI
14.00	12	23	0.73	0.53				2.16	13.60	NC	ALI
14.20	13	25	0.80	0.58				2.41	13.76	NC	ALI
14.40	14	26	0.80	0.63				2.66	13.92	NC	ALI
14.60	18	40	1.47	0.83				3.73	14.08	LC	ATO
14.80	16	28	0.80	0.73				3.17	14.24	LC	ALI
15.00	17	36	1.27	0.78				3.43	14.40	LC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.80

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 25/08/99

Prova N° : 3 Nome File : UNIVE3 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	130	150	1.33			45	112		0.72		GHI
0.60	66	95	1.93			45	87		1.08		LAR
0.80	37	60	1.53			42	66		1.44		ALI
1.00	27	41	0.93	1.34	62.57			11.38	1.80	SC	ALI
1.20	29	42	0.87	1.44				11.88	2.16	SC	LAR
1.40	29	53	1.60	1.44				11.41	2.52	SC	ALI
1.60	26	64	2.53	1.29				9.60	2.88	SC	ATO
1.80	33	72	2.60	1.63				12.58	3.24	SC	ATO
2.00	30	73	2.87	1.48				10.85	3.60	SC	ATO
2.20	21	60	2.60	1.03				6.72	3.96	SC	ATO
2.40	12	44	2.13	0.58				3.20	4.32	SC	ATO
2.60	26	43	1.13	1.28				8.43	4.68	SC	ALI
2.80	23	41	1.20	1.12				7.06	5.04	SC	ALI
3.00	20	29	0.60	0.97				5.85	5.20	SC	LAR
3.20	24	31	0.47		83.28	32	35		5.36		SLA
3.40	37	46	0.60		83.97	35	47		5.52		SLI
3.60	50	60	0.67		84.67	37	55		5.68		SGH
3.80	56	68	0.80		85.37	37	58		5.84		SGH
4.00	59	71	0.80		86.06	37	59		6.00		SGH
4.20	68	75	0.47		86.76	37	63		6.16		GHI
4.40	80	95	1.00		87.46	40	67		6.32		SGH
4.60	70	75	0.33		88.16	37	63		6.48		GHI
4.80	68	75	0.47		88.85	37	61		6.64		GHI
5.00	70	75	0.33		89.55	37	62		6.80		GHI
5.20	55	61	0.40		90.25	37	55		6.96		GHI
5.40	51	68	1.13		90.94	37	52		7.12		LAS
5.60	49	64	1.00		91.64	35	51		7.28		LAS
5.80	75	80	0.33		92.34	37	63		7.44		GHI
6.00	75	90	1.00		93.03	37	62		7.60		SGH
6.20	70	74	0.27		93.73	37	60		7.76		GHI
6.40	75	100	1.67		94.43	37	62		7.92		LAS
6.60	80	110	2.00		95.12	37	63		8.08		LAS
6.80	80	130	3.33		95.82	37	63		8.24		ALI
7.00	75	90	1.00		96.52	37	61		8.40		SGH
7.20	70	80	0.67		97.22	37	59		8.56		GHI
7.40	41	53	0.80		97.91	35	43		8.72		SLA
7.60	85	95	0.67		98.61	37	64		8.88		GHI
7.80	49	66	1.13		99.31	35	48		9.04		LAS
8.00	53	67	0.93		100.00	35	50		9.20		SLI
8.20	56	70	0.93		100.70	35	51		9.36		SLI
8.40	60	73	0.87		101.40	35	53		9.52		SGH
8.60	68	80	0.80		102.09	37	56		9.68		SGH
8.80	75	85	0.67		102.79	37	59		9.84		GHI
9.00	75	85	0.67		103.49	37	58		10.00		GHI
9.20	47	64	1.13		104.18	35	45		10.16		LAS
9.40	40	57	1.13		104.88	32	40		10.32		LAR
9.60	110	120	0.67			37	69		10.48		GHI
9.80	135	165	2.00			40	74		10.64		SGH
10.00	22	80	3.87	1.05				5.33	10.80	SC	ATO
10.20	16	33	1.13	0.75				3.48	10.96	LC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)
 Data : 25/08/99
 Prova N° : 3 Nome File : UNIVE3 .PEN

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.80

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	9	17	0.53	0.39				1.56	11.12	NC	ALI
10.60	68	75	0.47		92.53	35	54		11.28		GHI
10.80	75	90	1.00		92.94	35	57		11.44		SGH
11.00	67	85	1.20		93.36	35	53		11.60		SLI
11.20	63	85	1.47		93.77	35	51		11.76		LAS
11.40	75	100	1.67		94.19	35	56		11.92		LAS
11.60	90	130	2.67		94.60	37	61		12.08		LAR
11.80	90	110	1.33		95.02	37	61		12.24		SGH
12.00	55	72	1.13		95.43	35	46		12.40		LAS
12.20	13	28	1.00	0.59				2.49	12.56	NC	ATO
12.40	6	13	0.47	0.24				0.80	12.72	BC	ATO
12.60	14	29	1.00	0.64				2.74	12.88	LC	ATO
12.80	15	28	0.87	0.68				2.100	13.04	LC	ALI
13.00	42	52	0.67		92.57	32	38		13.20		SLI
13.20	50	63	0.87		92.94	32	43		13.36		SLI
13.40	67	80	0.87		93.30	35	51		13.52		SGH
13.60	12	42	2.00	0.53				2.16	13.68	NC	ATO
13.80	10	21	0.73	0.43				1.65	13.84	NC	ATO
14.00	13	27	0.93	0.58				2.39	14.00	NC	ATO
14.20	15	31	1.07	0.68				2.90	14.16	LC	ATO
14.40	12	23	0.73	0.53				2.12	14.32	NC	ALI
14.60	19	32	0.87	0.88				3.98	14.48	LC	ALI
14.80	17	31	0.93	0.78				3.41	14.64	LC	ALI
15.00	15	26	0.73	0.68				2.86	14.80	NC	ALI

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Prova N° : 4 Nome File : UNIVE4 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	70	115	3.00			45	94		0.72		ALI
0.60	48	70	1.47		63.43	45	78		1.08		LAR
0.80	20	46	1.73	0.99				8.27	1.44	SC	ATO
1.00	12	23	0.73	0.59				4.09	1.80	SC	ALI
1.20	10	21	0.73	0.49				3.08	2.16	SC	ATO
1.40	16	27	0.73	0.79				5.38	2.52	SC	ALI
1.60	15	38	1.53	0.74				4.78	2.88	SC	ATO
1.80	12	36	1.60	0.58				3.48	3.24	SC	ATO
2.00	11	33	1.47	0.53				3.01	3.60	SC	ATO
2.20	10	24	0.93	0.48				2.59	3.96	SC	ATO
2.40	18	33	1.00	0.88				5.39	4.32	SC	ALI
2.60	34	42	0.53		72.78	37	47		4.68		SLI
2.80	35	43	0.53		73.19	37	47		4.84		SGH
3.00	35	44	0.60		73.61	35	47		5.00		SLI
3.20	51	57	0.40		74.02	37	57		5.16		GHI
3.40	46	66	1.33		74.44	37	53		5.32		LAR
3.60	64	75	0.73		74.85	37	63		5.48		SGH
3.80	53	63	0.67		75.27	37	57		5.64		SGH
4.00	54	65	0.73		75.68	37	57		5.80		SGH
4.20	30	34	0.27		76.10	35	40		5.96		GHI
4.40	25	36	0.73	1.22				7.44	6.12	SC	LAR
4.60	56	63	0.47		155.14	37	57		6.28		GHI
4.80	64	75	0.73		157.25	37	60		6.44		SGH
5.00	62	71	0.60		159.35	37	59		6.60		GHI
5.20	54	66	0.80		161.45	37	55		6.76		SGH
5.40	55	69	0.93		163.55	37	55		6.92		SLI
5.60	44	53	0.60		165.66	35	48		7.08		SGH
5.80	43	58	1.00		167.76	35	47		7.24		LAS
6.00	45	49	0.27		169.86	35	48		7.40		GHI
6.20	29	36	0.47		171.96	32	35		7.56		SLI
6.40	30	36	0.40		174.06	32	36		7.72		SGH
6.60	66	75	0.60		176.17	37	58		7.88		GHI
6.80	43	54	0.73		178.27	35	46		8.04		SLI
7.00	73	80	0.47		180.37	37	61		8.20		GHI
7.20	69	75	0.40		182.47	37	59		8.36		GHI
7.40	56	64	0.53		184.58	35	52		8.52		GHI
7.60	51	62	0.73		186.68	35	49		8.68		SGH
7.80	58	71	0.87		188.78	35	53		8.84		SGH
8.00	95	125	2.00		190.88	37	67		9.00		LAS
8.20	130	155	1.67		192.99	40	75		9.16		SGH
8.40	63	75	0.80		195.09	35	54		9.32		SGH
8.60	62	72	0.67		197.19	35	54		9.48		GHI
8.80	66	74	0.53		199.29	35	55		9.64		GHI
9.00	90	110	1.33		201.40	37	64		9.80		SGH
9.20	140	150	0.67		203.50	40	76		9.96		GHI
9.40	120	160	2.67		205.60	40	72		10.12		LAS
9.60	40	64	1.60		207.70	32	40		10.28		ALI
9.80	110	120	0.67		209.81	37	69		10.44		GHI
10.00	17	58	2.73	0.80				3.81	10.60	LC	ATO
10.20	18	30	0.80	0.85				4.09	10.76	LC	ALI

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)
 Data : 24/08/99
 Prova N° : 4 Nome File : UNIVE4 .PEN

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	RI Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	21	42	1.40	0.100				4.100	10.92	SC	ALI
10.60	74	80	0.40		110.05	35	57		11.08		GHI
10.80	80	110	2.00		110.70	37	59		11.24		LAS
11.00	80	105	1.67		111.35	37	58		11.40		LAS
11.20	85	115	2.00		111.99	37	60		11.56		LAS
11.40	100	135	2.33		112.64	37	64		11.72		LAS
11.60	100	130	2.00		113.29	37	64		11.88		SLA
11.80	110	120	0.67		113.94	37	67		12.04		GHI
12.00	27	57	2.00	1.29				6.71	12.20	SC	ATO
12.20	14	25	0.73	0.64				2.78	12.36	LC	ALI
12.40	9	17	0.53	0.39				1.48	12.52	NC	ALI
12.60	28	34	0.40		116.54	30	27		12.68		SGH
12.80	27	52	1.67	1.29				6.61	12.84	SC	ALI
13.00	80	85	0.33		143.43	35	57		13.00		GHI
13.20	70	80	0.67		144.37	35	53		13.16		GHI
13.40	30	72	2.80	1.43				7.50	13.32	SC	ATO
13.60	12	24	0.80	0.53				2.17	13.48	NC	ALI
13.80	7	13	0.40	0.28				0.98	13.64	BC	ALI
14.00	9	15	0.40	0.38				1.42	13.80	NC	ALI
14.20	19	26	0.47	0.88				4.03	13.96	LC	LAS
14.40	15	27	0.80	0.68				2.91	14.12	LC	ALI
14.60	19	36	1.13	0.88				3.100	14.28	LC	ALI
14.80	16	21	0.33		161.47	25	9		14.44		LAS
15.00	17	41	1.60	0.78				3.41	14.60	LC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)
 Data : 25/08/99
 Prova N° : 5 Nome File : UNIVE5 .PEN

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	15	37	1.47	0.75				6.88	0.72	SC	ATO
0.60	11	32	1.40	0.54				4.19	1.08	SC	ATO
0.80	12	30	1.20	0.59				4.34	1.44	SC	ATO
1.00	14	36	1.47	0.69				4.97	1.80	SC	ATO
1.20	15	34	1.27	0.74				5.17	2.16	SC	ATO
1.40	13	34	1.40	0.64				4.13	2.52	SC	ATO
1.60	11	24	0.87	0.54				3.21	2.88	SC	ATO
1.80	13	25	0.80	0.63				3.85	3.24	SC	ALI
2.00	11	21	0.67	0.53				3.01	3.60	SC	ALI
2.20	13	23	0.67	0.63				3.64	3.96	SC	ALI
2.40	8	18	0.67	0.38				1.88	4.32	SC	ATO
2.60	10	19	0.60	0.48				2.46	4.68	SC	ALI
2.80	16	22	0.40	0.78				4.49	4.84	SC	LAS
3.00	16	23	0.47	0.77				4.44	5.00	SC	LAR
3.20	17	22	0.33		79.02	30	25		5.16		SLA
3.40	25	31	0.40		79.65	32	36		5.32		SLI
3.60	34	42	0.53		80.28	35	44		5.48		SLI
3.80	50	63	0.87		80.91	37	55		5.64		SLI
4.00	71	75	0.27		81.54	40	65		5.80		GHI
4.20	70	80	0.67		82.17	37	64		5.96		GHI
4.40	37	41	0.27		82.80	35	45		6.12		GHI
4.60	36	54	1.20		83.43	35	44		6.28		LAR
4.80	68	75	0.47		84.07	37	62		6.44		GHI
5.00	62	71	0.60		84.70	37	59		6.60		GHI
5.20	68	74	0.40		85.33	37	61		6.76		GHI
5.40	39	53	0.93		85.96	35	45		6.92		LAS
5.60	59	66	0.47		86.59	37	56		7.08		GHI
5.80	62	75	0.87		87.22	37	58		7.24		SGH
6.00	68	80	0.80		87.85	37	60		7.40		SGH
6.20	90	105	1.00			40	68		7.56		GHI
6.40	80	90	0.67		89.11	37	64		7.72		GHI
6.60	80	115	2.33		89.74	37	64		7.88		LAR
6.80	80	105	1.67		90.37	37	63		8.04		LAS
7.00	66	71	0.33		91.00	37	58		8.20		GHI
7.20	66	75	0.60		91.63	37	57		8.36		GHI
7.40	70	100	2.00		92.26	37	59		8.52		LAR
7.60	105	130	1.67			40	70		8.68		SLI
7.80	105	125	1.33			40	70		8.84		SGH
8.00	64	72	0.53		94.15	37	55		9.00		GHI
8.20	70	80	0.67		94.78	37	58		9.16		GHI
8.40	90	105	1.00		95.41	37	65		9.32		GHI
8.60	57	73	1.07		96.04	35	51		9.48		SLA
8.80	55	68	0.87		96.68	35	50		9.64		SLI
9.00	55	69	0.93		97.31	35	50		9.80		SLI
9.20	59	75	1.07		97.94	35	52		9.96		SLI
9.40	67	75	0.53		98.57	35	55		10.12		GHI
9.60	72	80	0.53		99.20	37	57		10.28		GHI
9.80	64	74	0.67		99.83	35	53		10.44		GHI
10.00	19	53	2.27	0.90				4.42	10.60	SC	ATO
10.20	8	25	1.13	0.35				1.34	10.76	NC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 25/08/99

Prova N° : 5 Nome File : UNIVE5 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	46	74	1.87		79.81	32	43		10.92		ALI
10.60	70	80	0.67		80.05	35	55		11.08		GHI
10.80	75	100	1.67		80.28	35	57		11.24		LAS
11.00	85	110	1.67			37	60		11.40		SLA
11.20	90	110	1.33			37	62		11.56		SGH
11.40	100	130	2.00			37	64		11.72		SLA
11.60	110	135	1.67			37	67		11.88		SGH
11.80	120	130	0.67			37	69		12.04		GHI
12.00	75	100	1.67		81.68	35	56		12.20		LAS
12.20	60	80	1.33		81.92	35	49		12.36		LAS
12.40	10	56	3.07	0.44				1.73	12.52	NC	TOR
12.60	8	15	0.47	0.34				1.24	12.68	BC	ALI
12.80	9	17	0.53	0.39				1.47	12.84	NC	ALI
13.00	20	30	0.67	0.94				4.42	13.00	LC	LAR
13.20	50	60	0.67		127.26	32	43		13.16		SGH
13.40	71	80	0.60		128.02	35	53		13.32		GHI
13.60	67	80	0.87		128.77	35	51		13.48		SGH
13.80	54	73	1.27		129.53	32	45		13.64		LAS
14.00	6	10	0.27	0.23				0.76	13.80	BC	ALI
14.20	8	13	0.33	0.33				1.18	13.96	BC	ALI
14.40	7	12	0.33	0.28				0.96	14.12	BC	ALI
14.60	17	31	0.93	0.78				3.44	14.28	LC	ALI
14.80	19	36	1.13	0.88				3.98	14.44	LC	ALI
15.00	18	34	1.07	0.83				3.69	14.60	LC	ALI

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.20

Prova N° : 6 Nome File : UNIVE6 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	18	53	2.33	0.90				8.65	0.72	SC	ATO
0.60	13	31	1.20	0.64				5.18	1.08	SC	ATO
0.80	11	21	0.67	0.54				3.89	1.44	SC	ALI
1.00	9	17	0.53	0.44				2.83	1.80	SC	ALI
1.20	10	18	0.53	0.49				3.08	2.16	SC	ALI
1.40	11	18	0.47	0.54				3.34	2.52	SC	ALI
1.60	12	22	0.67	0.59				3.59	2.88	SC	ALI
1.80	13	21	0.53	0.63				3.85	3.24	SC	ALI
2.00	12	21	0.60	0.58				3.37	3.60	SC	ALI
2.20	10	21	0.73	0.48				2.59	3.96	SC	ATO
2.40	7	16	0.60	0.33				1.60	4.12	LC	ATO
2.60	7	16	0.60	0.33				1.58	4.28	LC	ATO
2.80	8	16	0.53	0.38				1.86	4.44	SC	ALI
3.00	17	33	1.07	0.83				4.92	4.60	SC	ALI
3.20	39	43	0.27		78.96	37	50		4.76		GHI
3.40	27	33	0.40		79.59	35	39		4.92		SGH
3.60	28	37	0.60		80.22	35	40		5.08		LAS
3.80	31	40	0.60		80.85	35	42		5.24		SLA
4.00	66	75	0.60		81.48	40	64		5.40		GHI
4.20	65	75	0.67		82.11	37	63		5.56		GHI
4.40	38	48	0.67		82.74	35	47		5.72		SLI
4.60	23	37	0.93	1.12				6.76	5.88	SC	ALI
4.80	68	80	0.80		104.50	37	63		6.04		SGH
5.00	67	75	0.53		105.44	37	62		6.20		GHI
5.20	30	50	1.33	1.47				9.30	6.36	SC	ALI
5.40	34	47	0.87	1.67				10.83	6.52	SC	LAR
5.60	55	74	1.27		131.89	37	55		6.68		LAS
5.80	63	75	0.80		133.35	37	59		6.84		SGH
6.00	43	62	1.27		134.81	35	48		7.00		LAR
6.20	44	60	1.07		136.27	35	48		7.16		LAS
6.40	43	56	0.87		137.73	35	47		7.32		LAS
6.60	35	53	1.20	1.71				10.82	7.48	SC	ALI
6.80	37	54	1.13		113.85	35	42		7.64		LAR
7.00	48	66	1.20		114.78	35	49		7.80		LAS
7.20	43	67	1.60		115.72	35	46		7.96		ALI
7.40	68	80	0.80		116.65	37	59		8.12		SGH
7.60	70	90	1.33		117.59	37	59		8.28		SLA
7.80	100	135	2.33		118.52	40	69		8.44		LAS
8.00	100	110	0.67		119.45	37	69		8.60		GHI
8.20	65	75	0.67		120.39	37	56		8.76		GHI
8.40	28	49	1.40	1.36				7.73	8.92	SC	ALI
8.60	53	75	1.47		122.26	35	50		9.08		LAR
8.80	140	160	1.33			40	77		9.24		GHI
9.00	110	140	2.00		124.13	40	70		9.40		SLI
9.20	80	110	2.00		125.06	37	61		9.56		LAS
9.40	53	120	4.47		125.99	35	49		9.72		ATO
9.60	120	140	1.33		126.93	40	72		9.88		GHI
9.80	145	180	2.33			40	77		10.04		SLI
10.00	100	130	2.00		128.80	37	66		10.20		SLA
10.20	25	70	3.00	1.20				6.38	10.36	SC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.20

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Prova N° : 6 Nome File : UNIVE6 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	17	38	1.40	0.80				3.82	10.52	LC	ATO
10.60	15	32	1.13	0.70				3.22	10.68	LC	ATO
10.80	70	85	1.00		80.81	35	55		10.84		SGH
11.00	90	135	3.00			37	62		11.00		LAR
11.20	75	120	3.00		81.27	35	57		11.16		ALI
11.40	75	115	2.67		81.51	35	57		11.32		ALI
11.60	80	120	2.67		81.74	37	58		11.48		LAR
11.80	75	115	2.67		81.97	35	56		11.64		ALI
12.00	75	125	3.33		82.21	35	56		11.80		ALI
12.20	18	74	3.73	0.84				3.95	11.96	LC	TOR
12.40	8	21	0.87	0.34				1.27	12.12	NC	ATO
12.60	7	13	0.40	0.29				1.03	12.28	BC	ALI
12.80	13	29	1.07	0.59				2.50	12.44	LC	ATO
13.00	15	25	0.67	0.69				3.03	12.60	LC	ALI
13.20	32	56	1.60	1.54				8.27	12.76	SC	ALI
13.40	62	74	0.80		99.32	35	49		12.92		SGH
13.60	67	75	0.53		99.76	35	51		13.08		GHI
13.80	20	53	2.20	0.93				4.40	13.24	LC	ATO
14.00	8	15	0.47	0.33				1.21	13.40	BC	ALI
14.20	8	14	0.40	0.33				1.20	13.56	BC	ALI
14.40	15	22	0.47	0.68				2.94	13.72	LC	LAR
14.60	17	27	0.67	0.78				3.47	13.88	LC	ALI
14.80	28	56	1.87	1.33				6.74	14.04	SC	ALI
15.00	16	31	1.00	0.73				3.17	14.20	LC	ALI

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.00

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Prova N° : 7 Nome File : UNIVE7 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Ri Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
0.40	17	21	0.27		66.00	42	54		0.72		SLI
0.60	12	23	0.73	0.59				4.68	1.08	SC	ALI
0.80	9	21	0.80	0.44				3.01	1.44	SC	ATO
1.00	14	23	0.60	0.69				4.97	1.80	SC	ALI
1.20	14	27	0.87	0.69				4.73	2.16	SC	ALI
1.40	12	23	0.73	0.59				3.73	2.52	SC	ALI
1.60	11	29	1.20	0.54				3.21	2.88	SC	ATO
1.80	11	25	0.93	0.53				3.11	3.24	SC	ATO
2.00	11	24	0.87	0.53				3.01	3.60	SC	ATO
2.20	14	26	0.80	0.68				4.06	3.76	SC	ALI
2.40	13	27	0.93	0.63				3.65	3.92	SC	ATO
2.60	33	46	0.87	1.63				11.84	4.08	SC	LAR
2.80	40	48	0.53		79.31	37	53		4.24		SGH
3.00	29	40	0.73	1.43				9.85	4.40	SC	LAR
3.20	32	42	0.67		135.12	35	45		4.56		LAS
3.40	37	46	0.60		137.22	37	49		4.72		SLI
3.60	55	63	0.53		139.32	37	60		4.88		GHI
3.80	28	36	0.53		141.42	35	40		5.04		SLA
4.00	31	39	0.53		143.53	35	42		5.20		SLI
4.20	37	47	0.67		145.63	35	47		5.36		SLI
4.40	53	63	0.67		147.73	37	57		5.52		SGH
4.60	52	63	0.73		149.83	37	56		5.68		SGH
4.80	37	45	0.53		151.94	35	46		5.84		SGH
5.00	32	42	0.67		154.04	35	41		6.00		LAS
5.20	38	46	0.53		156.14	35	46		6.16		SGH
5.40	42	54	0.80		158.24	35	48		6.32		SLA
5.60	32	43	0.73	1.57				10.04	6.48	SC	LAS
5.80	56	66	0.67		237.46	37	56		6.64		SGH
6.00	68	75	0.47		241.20	37	61		6.80		GHI
6.20	53	60	0.47		244.94	37	54		6.96		GHI
6.40	34	42	0.53		248.68	35	41		7.12		SLI
6.60	34	43	0.60		252.41	35	40		7.28		SLI
6.80	42	54	0.80		256.15	35	46		7.44		SLA
7.00	62	67	0.33		259.89	37	57		7.60		GHI
7.20	57	70	0.87		263.63	37	54		7.76		SGH
7.40	73	80	0.47		267.36	37	61		7.92		GHI
7.60	85	105	1.33		271.10	37	65		8.08		SLI
7.80	110	125	1.00		274.84	40	72		8.24		GHI
8.00	90	110	1.33		278.58	37	66		8.40		SGH
8.20	80	90	0.67		282.31	37	63		8.56		GHI
8.40	90	115	1.67		286.05	37	66		8.72		SLA
8.60	95	110	1.00		289.79	37	67		8.88		GHI
8.80	160	180	1.33		293.53	40	82		9.04		GHI
9.00	110	150	2.67		297.26	40	71		9.20		LAS
9.20	210	240	2.00		301.00	42	89		9.36		GHI
9.40	185	230	3.00		304.74	40	85		9.52		SLI
9.60	220	240	1.33		308.48	42	90		9.68		GHI
9.80	210	230	1.33		312.21	42	88		9.84		GHI
10.00	90	110	1.33		315.95	37	64		10.00		SGH
10.20	22	61	2.60	1.05				5.43	10.16	SC	ATO

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

PROVA C.P.T.

RESTITUZIONE DATI

Legenda Argilla

BC = Sottocons.
 LC = Leggermente cons.
 NC = Normalmente cons.
 SC = Sovracons.

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.00

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

Prova N° : 7 Nome File : UNIVE7 .PEN

PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. metri	Rp Kg/cm ²	Ra Kg/cm ²	Rl Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	Qc Kg/cm ²	φ gradi	Dr %	Pcons Kg/cm ²	σ'vo ton/m ²	ORC	LIT
10.40	11	27	1.07	0.50				2.13	10.32	LC	ATO
10.60	59	73	0.93		81.72	35	51		10.48		SLI
10.80	64	75	0.73		81.96	35	53		10.64		SGH
11.00	80	130	3.33		82.19	37	59		10.80		ALI
11.20	100	140	2.67			37	65		10.96		LAR
11.40	110	130	1.33			37	68		11.12		SGH
11.60	75	95	1.33		82.89	35	57		11.28		SLI
11.80	75	95	1.33		83.12	35	57		11.44		SLI
12.00	17	56	2.60	0.79				3.70	11.60	LC	ATO
12.20	11	18	0.47	0.49				2.03	11.76	NC	ALI
12.40	6	13	0.47	0.24				0.83	11.92	BC	ATO
12.60	12	18	0.40	0.54				2.27	12.08	NC	LAR
12.80	14	24	0.67	0.64				2.79	12.24	LC	ALI
13.00	36	47	0.73		125.57	30	34		12.40		LAS
13.20	105	130	1.67		126.33	37	65		12.56		SLI
13.40	60	68	0.53		127.08	35	49		12.72		GHI
13.60	25	44	1.27	1.19				5.97	12.88	SC	ALI
13.80	9	25	1.07	0.38				1.46	13.04	NC	ATO
14.00	7	14	0.47	0.28				0.99	13.20	BC	ALI
14.20	8	15	0.47	0.33				1.21	13.36	BC	ALI
14.40	10	16	0.40	0.43				1.67	13.52	NC	ALI
14.60	10	18	0.53	0.43				1.66	13.68	NC	ALI
14.80	21	26	0.33		134.35	27	17		13.84		SLI
15.00	17	27	0.67	0.78				3.46	14.00	LC	ALI

LEGENDA LITOLOGIA

TOR = Torba
 LAR = Limo Argilloso
 SLI = Sabbia Limosa

ATO = Argilla Torbosa
 LAS = Limo Argillo-Sabbioso
 SGH = Sabbia Ghiaiosa

ALI = Argilla Limosa
 SLA = Sabbia Limo-Argillosa
 GHI = Ghiaia

DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 1

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00
 Quota falda : 2.60
 Data : 24/08/99

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

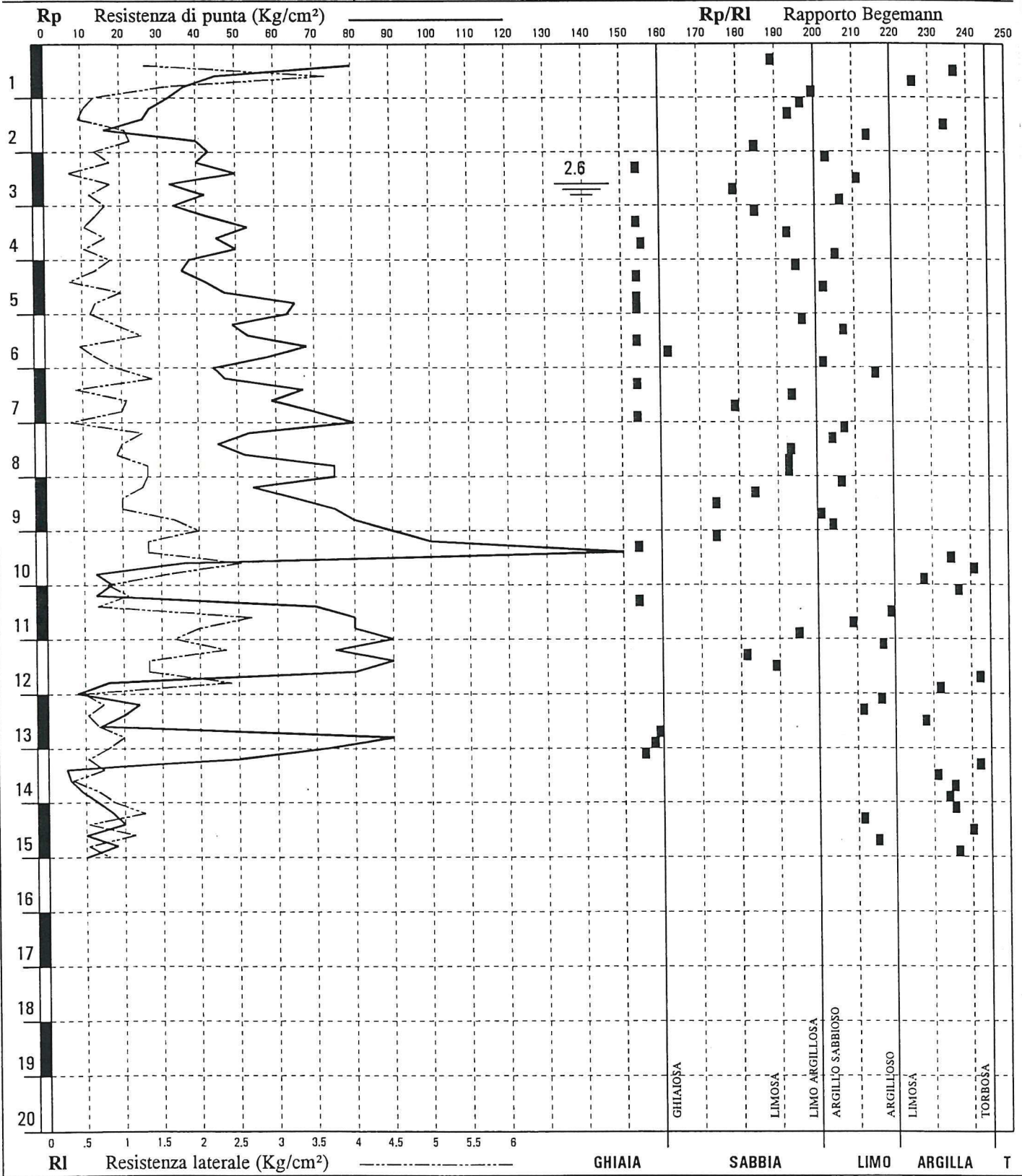


DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 2

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.40

Data : 24/08/99

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

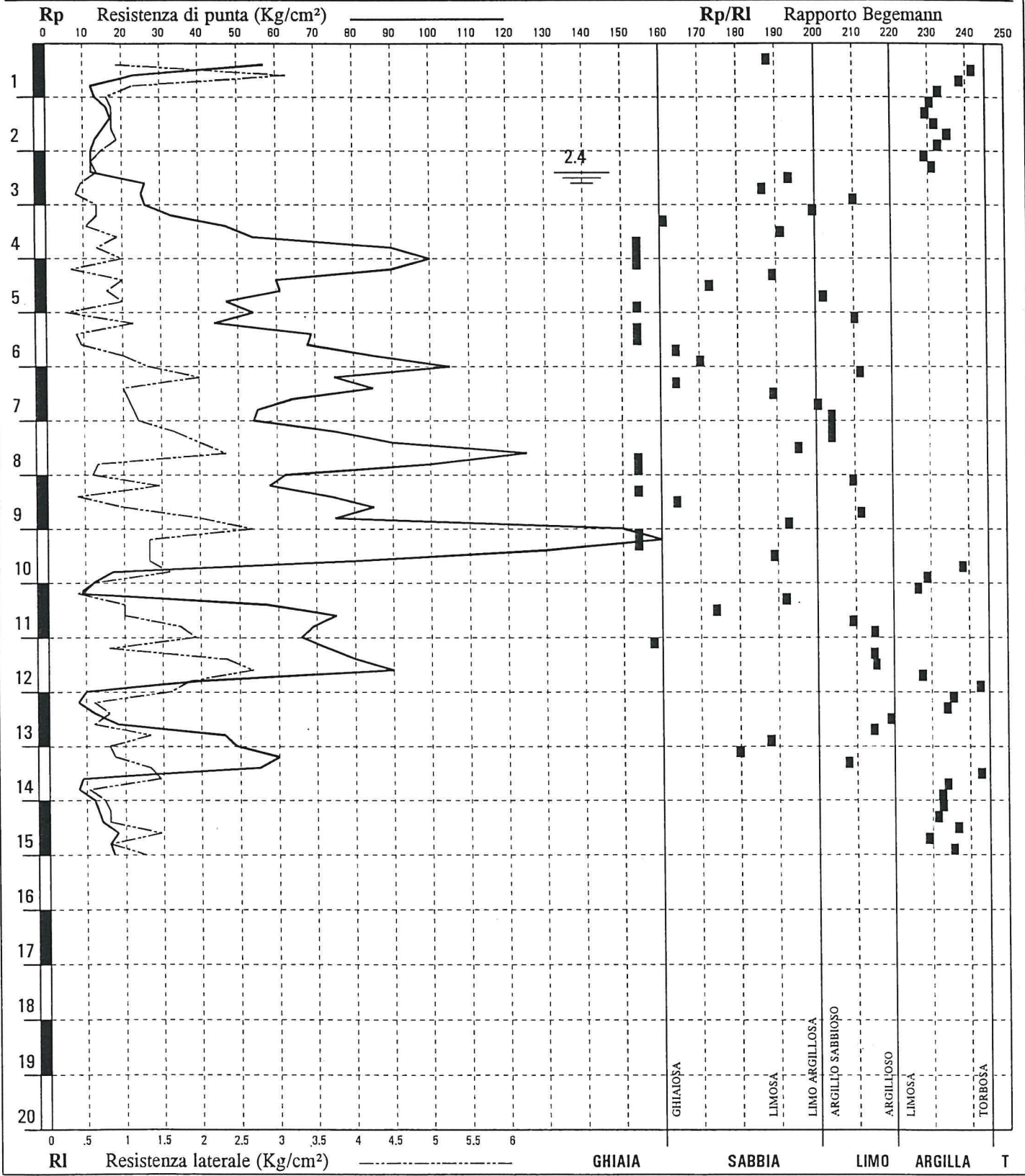


DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 3

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Quota falda : 2.80

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 25/08/99

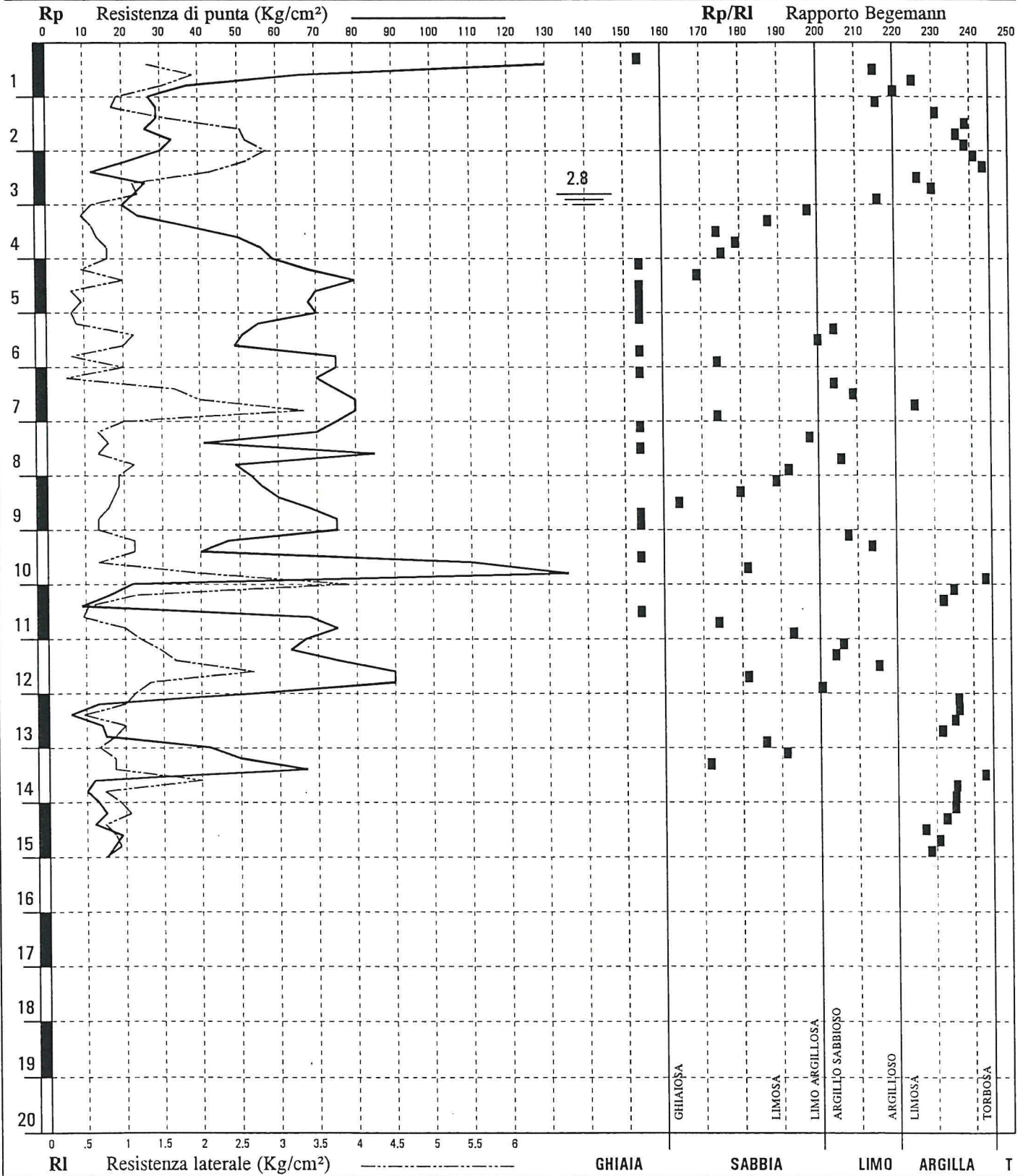


DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 4

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

Data : 24/08/99

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

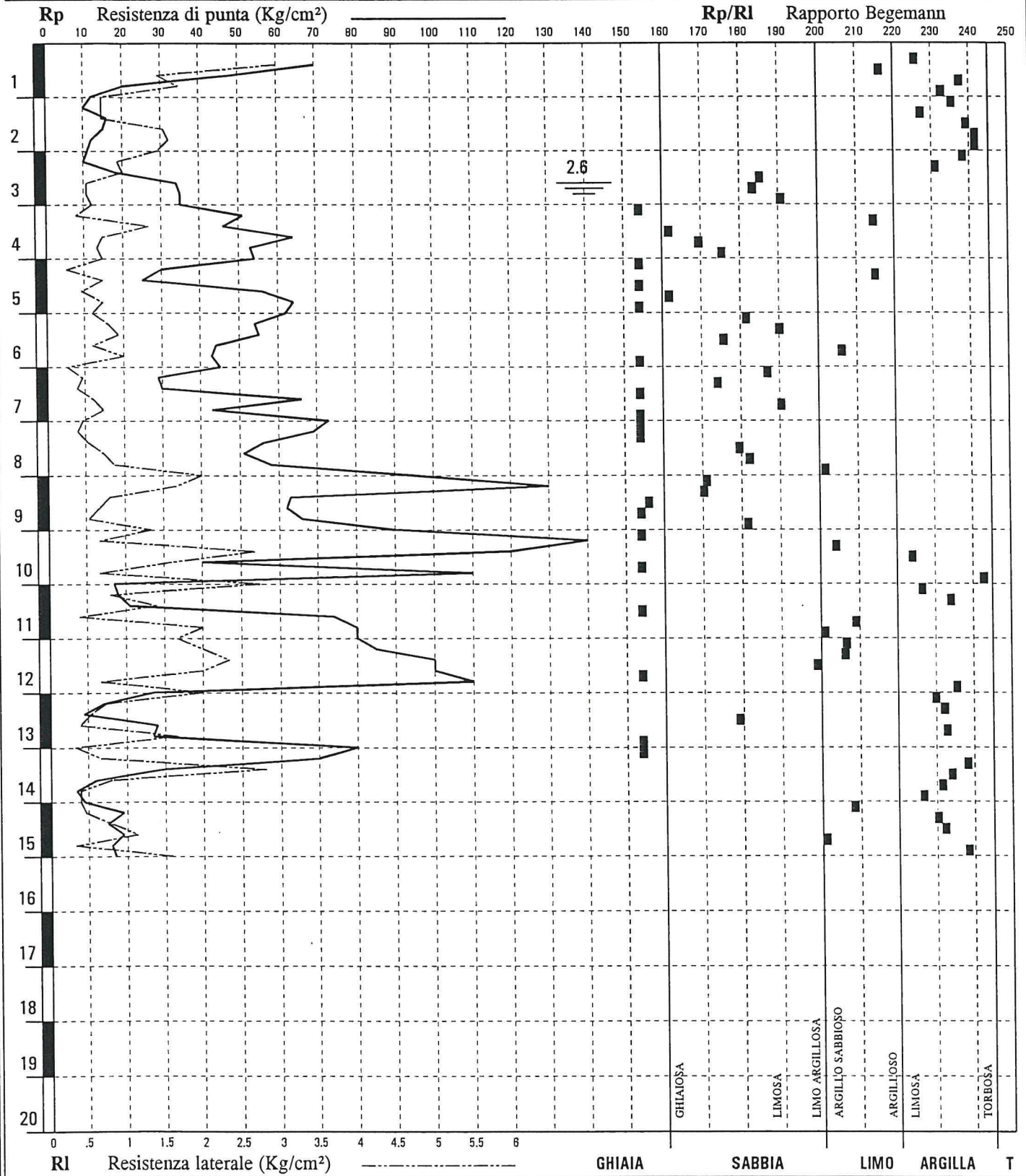


DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 5

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Quota falda : 2.60

Data : 25/08/99

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

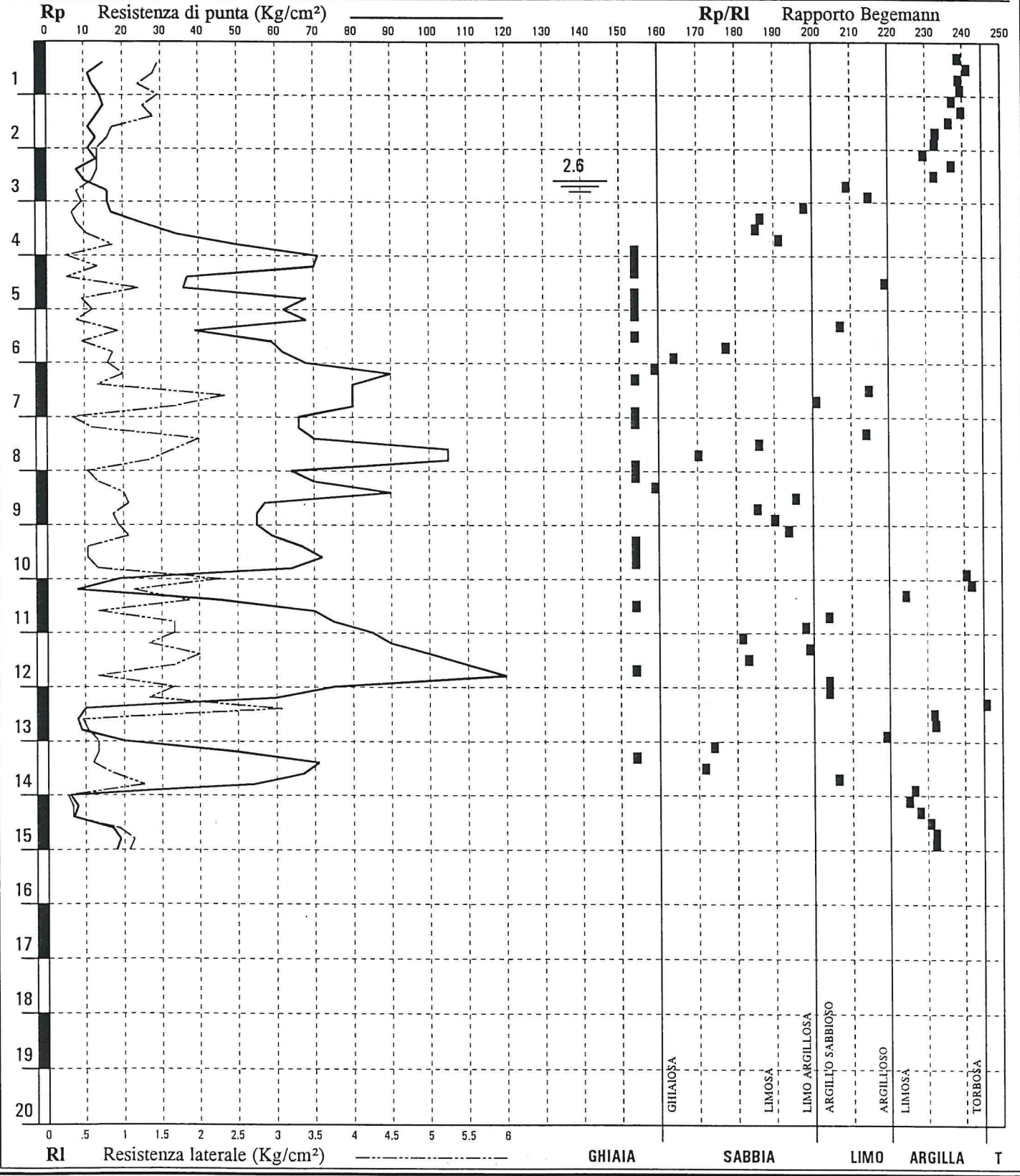


DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 6

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA

Quota falda : 2.20

Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)

Data : 24/08/99

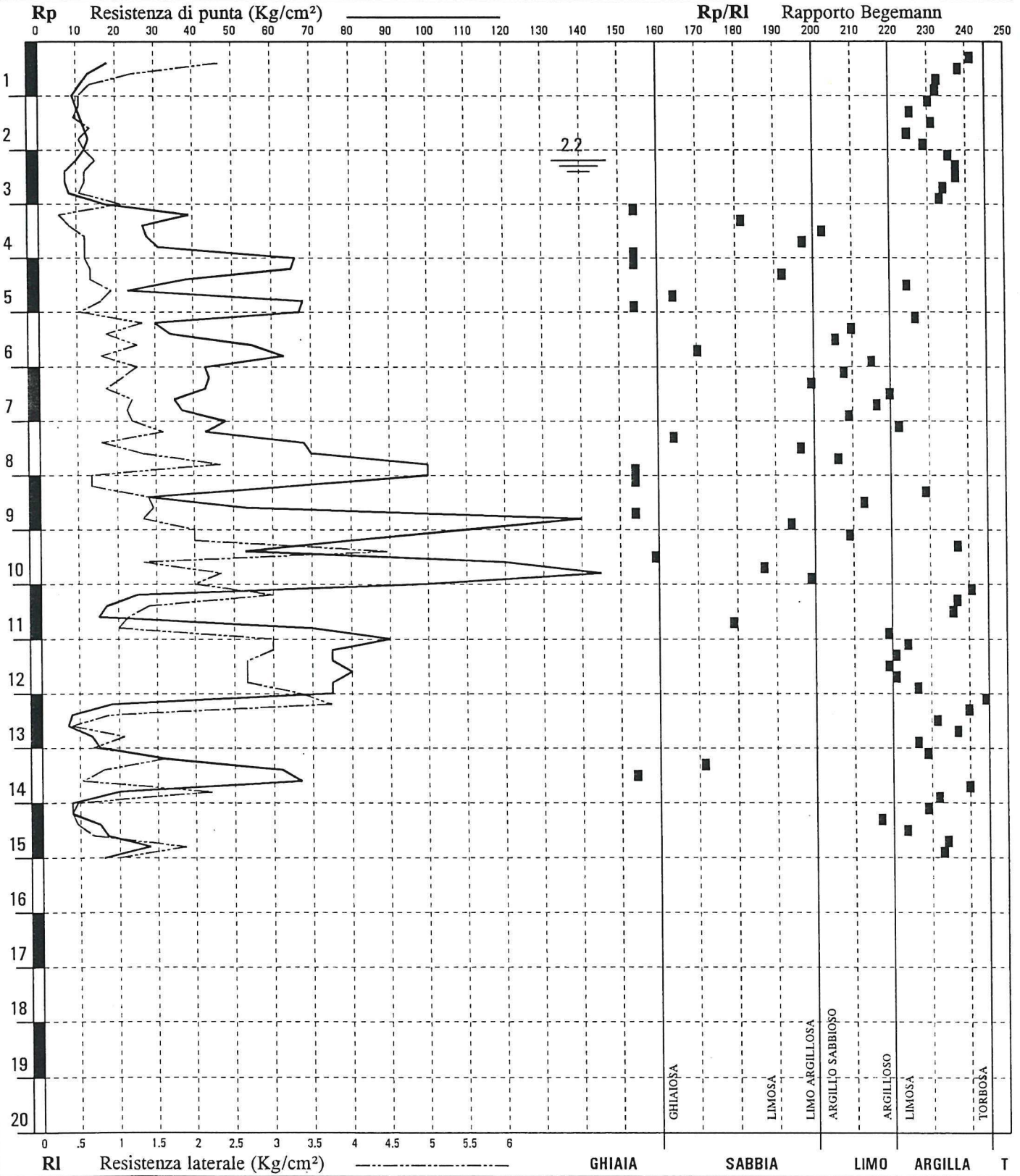
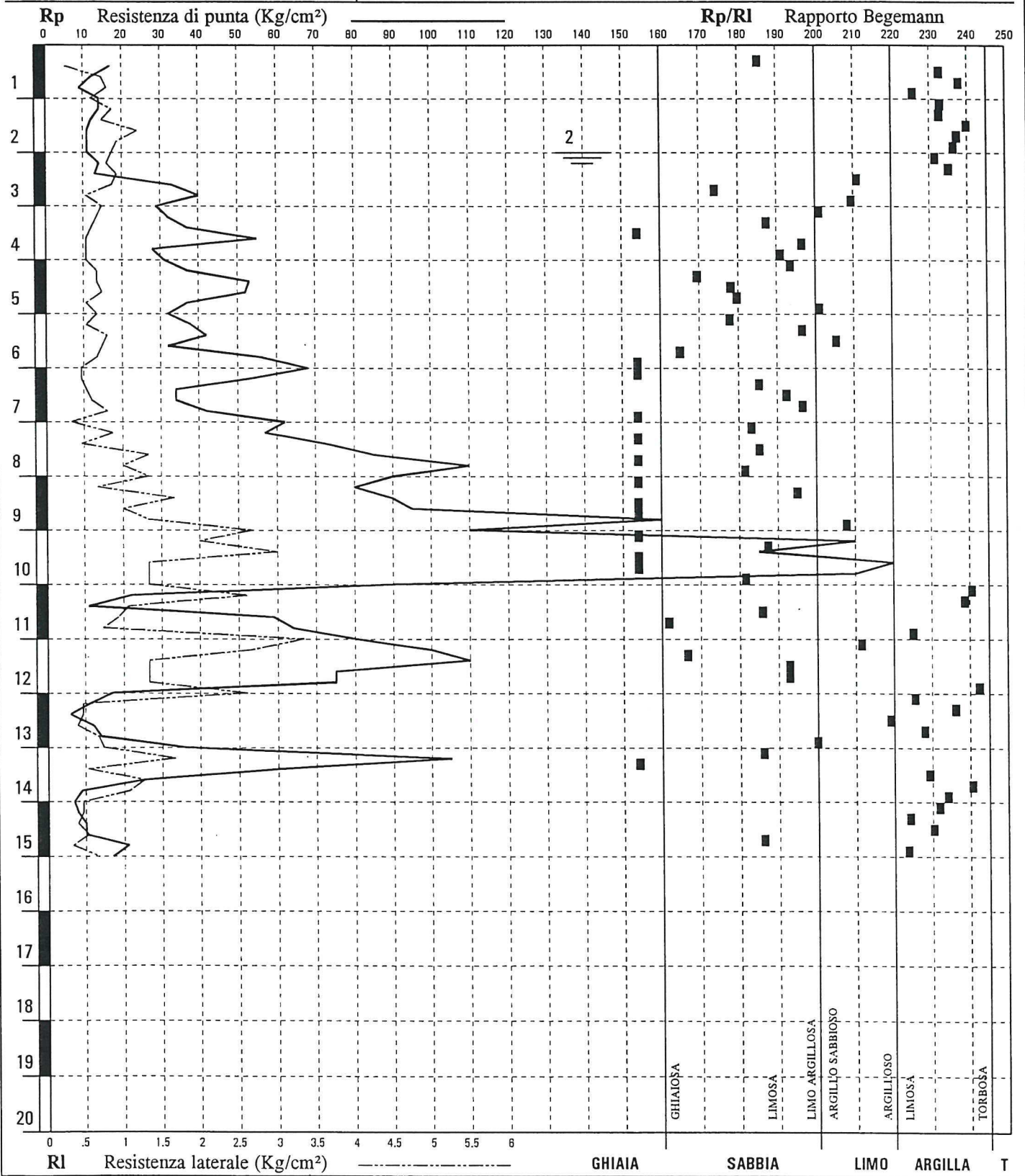


DIAGRAMMA PROVA PENETROMETRICA STATICA

C.P.T. N° 7

Quota iniz. : 0.40 Quota fin. : 15.00
 Quota falda : 2.00
 Data : 24/08/99

Committente : UNIVERSITA' DI PADOVA
 Loc. Cantiere : VIA CAMPAGNOLA - PADOVA (PD)



COMUNE DI PADOVA

PROVINCIA DI PADOVA



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

AREA EDILIZIA E SICUREZZA

Via VII Febbraio 1848, 2
35122 – PADOVA (PD)

INDAGINE GEOFISICA PER L'AGGIORNAMENTO
NORMATIVO (AI SENSI DELLE N.T.C. – D.M. 17
GENNAIO 2018) DELLA RELAZIONE
GEOLOGICO/GEOTECNICA CON STUDIO DELLA
RISPOSTA SISMICA LOCALE TRAMITE MODELLAZIONE
NUMERICA AVANZATA IN MODALITA' DINAMICA C/O
COMPLESSO EX S.E.E.F. DI VIA CAMPAGNOLA IN
COMUNE DI PADOVA.

Dott. Geol. Devi Fincato
Albo dei Geologi della Regione Veneto N. 549.



Rev.0/2020

Padova, 03 Luglio 2020

Sommario

1. PREMESSE	3
2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.).....	5
2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	8
3. CENNI TEORICI DI ANALISI DINIMACA AVANZATA (<i>FLAC 2D – ITASCA, 2018</i>)	9
4. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	17
5. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	19
5.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate.....	19
5.2 Interpretazione indagini sismiche passive in array (Re.Mi.) con inversione congiunta	20
5.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.).....	22
5.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018.....	23
6. MODELLIZZAZIONE NUMERICA AVANZATA	25
7. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO E VERIFICHE SUPPLETTIVE.....	30
7.1 Modello geotecnico di riferimento	30
7.2 Considerazioni per la progettazione geotecnica	31
7.3 Descrizione delle Strutture	33
7.4 Determinazione della capacità portante limite del terreno	33
7.5 Determinazione del coefficiente di Winkler	34
7.6 Verifica agli stati limite di esercizio – calcolo dei cedimenti	35
7.7 Terreni suscettibili di liquefazione	36
8. CONCLUSIONI	39

1. PREMESSE

Su incarico dell'Università degli Studi di Padova è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica in via Domenico Campagnola presso il complesso EX S.E.E.F. , nel Comune di Padova (PD). Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono state eseguite, in data 12 giugno 2020:

- **n°1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)**, sviluppata in un *array* lineare con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica dei terreni e assegnazione della categoria di sottosuolo di fondazione tramite la stima della velocità di propagazione delle onde S (metodo semplificato – NTC18);
- **n°2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno e per ricostruire puntualmente l'assetto sismo-stratigrafico locale fino all'ultimo riflettore in grado di generare amplificazione.

Successivamente, la risposta sismica dei terreni oggetto d'indagine è stata indagata mediante un approccio al continuo in condizioni di monodimensionalità. La tecnica di risoluzione numerica adoperata è quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo **FLAC 8.0 (ITASCA, 2018)**, operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (*Fig. n°1 – Estratto di I.G.M. alla scala 1:25.000*).

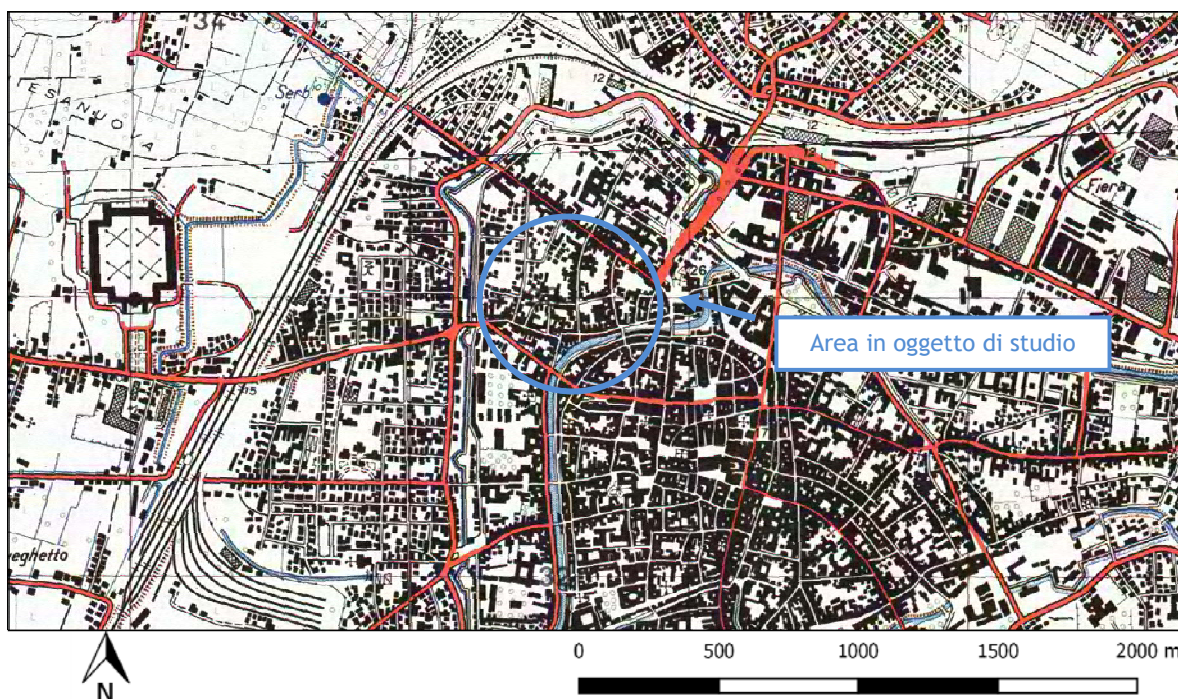


Fig. n° 1 – Estratto I.G.M. alla scala 1:25.000

L'esatta ubicazione dell'area è stata ottenuta tramite un posizionatore GPS interno alla strumentazione geofisica utilizzata e di seguito riportata in gradi e minuti con decimali secondo lo standard WGS-84 e ED50. Nella figura seguente (*Fig. n°2 – Ubicazione prove in situ*) sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Latitudine	Longitudine
45,412961° N (WGS-84)	11,868183° E (WGS-84)
45,413873° N (ED50)	11,869180° E (ED50)

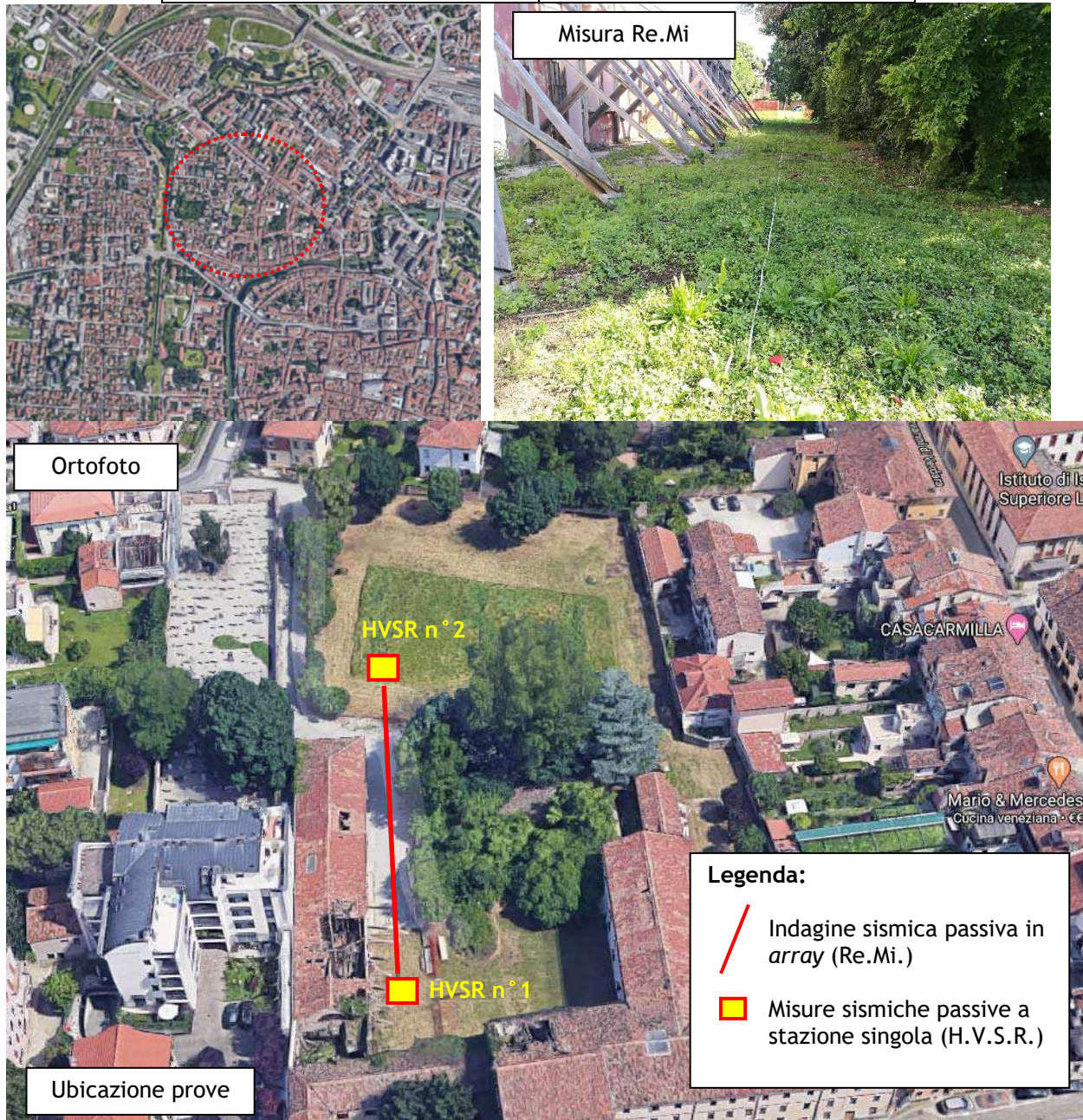


Fig. n° 2 – Ubicazione prove in situ



2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito ***dispersione in frequenza*** ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico – matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da

quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.7.0 beta release 2018](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°9 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 45 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n h_i v_i} \quad [2.1]$$

Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);
hi = spessore dello strato i - esimo [m];
vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borcherdt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (free field) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,eq}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

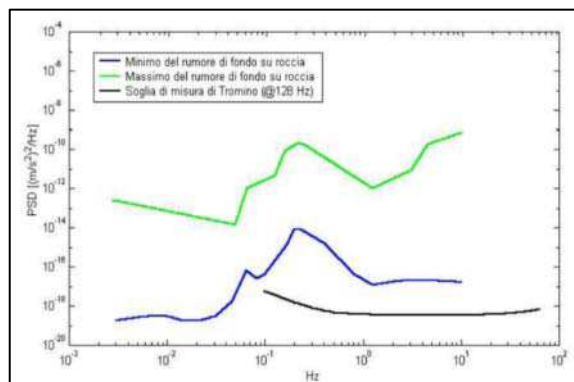
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSr che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho S.r.l. modello "Tromino – ENGY PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



3. CENNI TEORICI DI ANALISI DINAMICA AVANZATA (FLAC 2D – ITASCA, 2018)

Il codice di calcolo FLAC 2D v.8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) della Itasca (2018) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di praticamente tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in

campo statico ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (3.10)$$

di

- ρ è la densità
- x_i la componente i -esima del vettore posizione
- \dot{u}_i la componente i -esima del vettore velocità
- g_i la componente dell'accelerazione di gravità (forze di volume) lungo la direzione i
- τ_{ji} la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

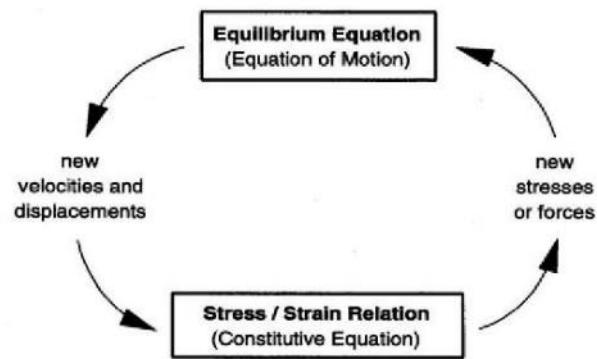
$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji}; \dot{e}_{ij}; k) \quad (3.11)$$

dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale e \dot{e}_{ij} il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

$$\dot{e}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.12)$$

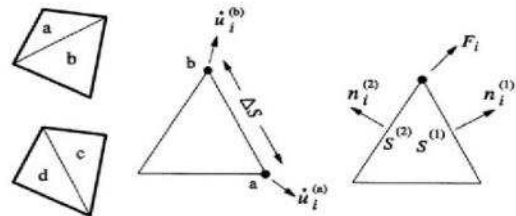
I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (mesh) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali anche complesse e irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzano il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia.

I metodi alle differenze finite come quelli agli elementi finiti traducono un sistema di equazioni differenziali come le (3.10) in un sistema di equazioni algebriche. Se i metodi agli elementi finiti hanno come punto centrale la definizione delle funzioni di forma che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento, nei metodi alle differenze finite si prescinde da questa definizione delle funzioni di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (tensioni, spostamenti) definite nei nodi della mesh. In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.



Ad ogni nuovo passo di calcolo (step), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente dalle velocità di deformazione, attraverso le equazioni dei legami costitutivi, si giunge a valori aggiornati delle tensioni.

L'ipotesi base dell'approccio esplicito consiste nel fatto che, durante ciascuna fase, le grandezze vengono ricavate da altre grandezze i cui valori sono assunti costanti durante l'operazione. Ad esempio, i valori delle velocità di deformazione sono considerati fissi durante l'operazione di calcolo delle



tensioni mediante le leggi costitutive; in altre parole, i nuovi valori calcolati delle tensioni non influenzano le velocità. Questo può apparire poco accettabile dal punto di vista fisico poiché se c'è una variazione di tensione in un punto, questa necessariamente influenza i punti vicini alterandone le velocità di deformazione. Tuttavia se l'intervallo di tempo Δt (timestep) corrispondente al singolo ciclo di calcolo è sufficientemente piccolo, tale alterazione non può propagarsi da un elemento all'altro in tale intervallo. Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il Δt richiesto generalmente molto piccolo, sono necessari un gran numero di passi di integrazione cui corrispondono tempi di calcolo molto elevati.

Gli elementi quadrangolari della griglia vengono automaticamente suddivisi dal programma in due set sovrapposti di triangoli a deformazioni costanti. Le equazioni alle differenze finite per ogni triangolo si ottengono dalla forma generalizzata del teorema della divergenza di Gauss:

$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (3.13)$$

in cui:

\mathbf{n} è il versore normale al contorno S del dominio triangolare

\mathbf{f} la funzione generica (scalare, vettore o tensore)

A la superficie del dominio triangolare di contorno S

ds la lunghezza incrementale lungo il contorno S .

Sostituendo ad f un valore medio del vettore velocità la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s (\dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)}) n_j \Delta s \quad (3.14)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo. Attraverso la (3.12) e la (3.14) è quindi possibile calcolare tutte le componenti del tensore velocità di deformazione. La legge costitutiva è poi utilizzata per calcolare un nuovo valore del tensore delle tensioni. Calcolate le tensioni vengono calcolate le forze equivalenti applicate ai nodi. Le tensioni agiscono in ciascun triangolo come trazioni sui lati del triangolo stesso; ogni trazione è considerata equivalente a due forze agenti sui due nodi all'estremità del lato. Su ogni nodo del triangolo quindi agiscono due forze relative ai due lati convergenti nel nodo stesso:

$$F_i = \frac{1}{2} \tau_{ij} (n_i^{(1)} S^{(1)} + n_i^{(2)} S^{(2)}) \quad (3.15)$$

Infine per ciascun nodo vengono sommate tutte le forze dovute ai triangoli convergenti nel nodo, le forze dovute a eventuali carichi esterni applicati e le forze di volume dovute alla gravità. In tal modo viene determinata la forza nodale netta ΣF_i ; se $\Sigma F_i=0$ il nodo è in equilibrio altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (3.10) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left[\sum F_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (3.16)$$

dove t indica il tempo in corrispondenza del quale è valutata la variabile e m è la massa associata a ciascun nodo pari alla somma di un terzo delle masse dei triangoli convergenti nel nodo. Dalla relazione precedente si determinano nuovi valori della velocità e quindi del tensore velocità di deformazione per un nuovo ciclo.

Come detto, condizione essenziale dell'algoritmo descritto, è che il time step Δt corrispondente al singolo ciclo di calcolo sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l'approssimazione di tensioni e velocità costanti sul singolo step di calcolo. In particolare Δt deve essere inferiore ad un time step critico Δt_{crit} definito dalla:

$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (3.17)$$

dove A è la superficie del sub-elemento triangolare, Δx_{max} la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e V_p la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il timestep critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidità del materiale è elevata e quanto più piccolo

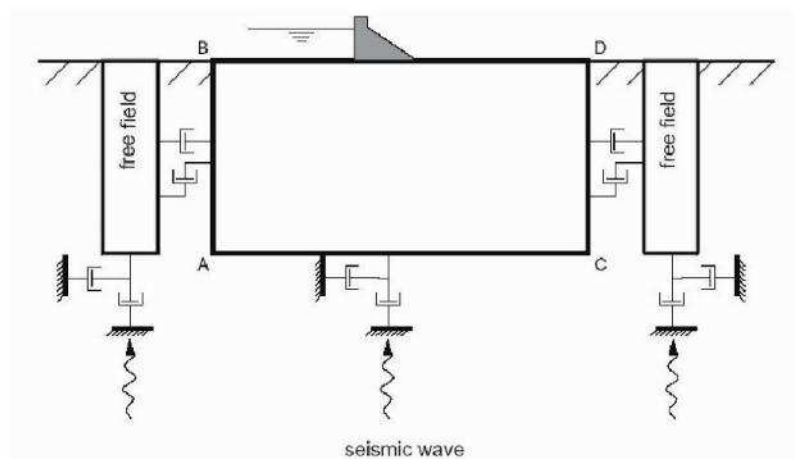
è l'elemento. Il Δt di calcolo viene determinato internamente da FLAC applicando un coefficiente di sicurezza due al valore fornito dalla (3.17).

Particolare attenzione va posta nella scelta delle dimensioni degli elementi della mesh in quanto queste condizionano in maniera fondamentale l'accuratezza numerica della trasmissione delle onde. In particolare, per un'accurata modellazione viene consigliato di scegliere una altezza degli elementi h almeno pari ad un valore compreso tra un decimo ed un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse λ_{min} :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (3.18)$$

La lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una mesh di nodi, di una porzione finita dello spazio per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione dando luogo ad una "perdita" di energia indicata come smorzamento di radiazione. Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della mesh imponendo su questi condizioni di campo libero (free field boundaries) o viscosi (quiet boundaries). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito.

I contorni free-field consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).



In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale ed allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della mesh delle onde diffratte verso l'esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia free-field attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l'energia delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscosi proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni free-field. Prima dell'applicazione delle condizioni free-field durante l'analisi

dinamica il modello deve essere in condizioni di equilibrio statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni free-field quindi tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello. I contorni free-field sono di notevole utilità in quanto consentono di evitare l'allontanamento dei confini laterali altrimenti necessario, in assenza di confini assorbenti, per la minimizzazione delle onde riflesse dai contorni.

I contorni quiet sono invece costituiti, secondo la formulazione di Lysmer e Kuhlemeyer (1969), da smorzatori viscosi attaccati alla griglia ed agenti in direzione normale e tangenziale al contorno stesso; essi consentono un pressoché completo assorbimento delle onde di volume che incidono sul contorno. I contorni quiet possono essere applicati su contorni verticali, orizzontali o inclinati. Essi vanno applicati al confine inferiore della mesh per simulare la base elastica mentre ai bordi del modello, come detto, è preferibile l'utilizzo dei contorni free-field.

Le sollecitazioni dinamiche possono essere applicate sia ai bordi della mesh sia ai suoi nodi interni in una delle seguenti forme:

- ✓ storia temporale di accelerazioni
- ✓ storia temporale di velocità
- ✓ storia temporale di tensioni
- ✓ storia temporale di forze.

Nell'applicare la sollecitazione dinamica, bisogna però tenere conto di alcune limitazioni che derivano da particolari incompatibilità tra forme di applicazione dell'input e delle condizioni al contorno. Se, ad esempio, queste sono rappresentate da quiet boundaries (come avviene solitamente per il bordo inferiore della mesh) il loro effetto viene annullato se si applica un accelerogramma o una storia di velocità. In questo caso quindi la base è modellata come rigida cioè perfettamente riflettente dando luogo a irrealistiche sovrastime del moto sismico. Per simulare correttamente una base elastica occorre applicare ai quiet boundaries alla base della mesh una storia temporale di tensioni. A tal fine, un accelerogramma di input deve essere integrato per ottenere una storia temporale di velocità e questa viene infine convertita in tensioni tramite le seguenti relazioni:

$$\sigma_n = 2(\rho V_p) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_s) v_s \quad (3.19)$$

dove:

ρ è la densità

σ_n, σ_s rispettivamente tensione applicata in direzione normale e tangenziale al contorno

V_p, V_s rispettivamente velocità delle onde di compressione e di taglio del materiale che viene simulato al di sotto del contorno inferiore (costituente la base elastica)

v_n, v_s rispettivamente la velocità di input normale e tangente al contorno.

In definitiva quindi un input costituito da onde SV sarà applicato come una storia temporale di tensioni tangenziali mentre le onde P tramite una storia temporale di tensioni normali al contorno. Entrambe le sollecitazioni sono applicate con incidenza verticale.

La non linearità e le proprietà dissipative dei terreni possono essere modellate in FLAC secondo differenti modalità: attraverso l'adozione di un legame costitutivo propriamente non lineare o, a partire dalla versione 8.0 (Itasca, 2016), tramite semplici modelli di smorzamento isteretico. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di Rayleigh.

L'adozione di una legge sforzi-deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono inoltre la valutazione delle deformazioni permanenti. Dal punto di vista pratico però spesso i modelli non lineari sono complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve $G/G_0-\gamma$ e $D-\gamma$ generalmente fornite dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni empiriche ha portato all'introduzione di semplici modelli di smorzamento isteretico (hysteretic damping) nella recente versione 5.0 del codice. Durante ciascun step di calcolo, in funzione del valore medio del tensore di velocità di deformazione, viene restituito un fattore moltiplicativo da usarsi nel legame costitutivo in modo da correggere il valore del modulo tangente di taglio associato a ciascun elemento. Il modello isteretico implementato utilizza solo curve continue che esprimono la variazione del modulo di taglio con la deformazione tangenziale, quindi i parametri da fornire in input, che definiscono la forma di tali curve, vanno ricavati attraverso regressione dei dati sperimentali. Analisi di calibrazione dello smorzamento isteretico sono necessarie prima di un suo uso nella pratica corrente.

Nel caso di analisi lineari, o per modellare comunque lo smorzamento a basse deformazioni che spesso i legami costitutivi non lineari non riescono a cogliere, si può utilizzare la formulazione di Rayleigh. Essa conduce ad uno smorzamento dipendente dalla frequenza in contrasto con le evidenze sperimentali sul comportamento dei terreni. Il suo impiego richiede pertanto una oculata scelta dei parametri che lo definiscono per limitare la variazione dello smorzamento con la frequenza (Lanzo et al., 2003 e 2004). Lo smorzamento di Rayleigh è stato originariamente formulato per le analisi strutturali ed è espresso in forma matriciale attraverso la definizione di una matrice di smorzamento C proporzionale alla matrice di massa M e a quella di rigidità K :

$$C = \alpha_R M + \beta_R K \quad (3.20)$$

dove α_R e β_R sono i coefficienti di Rayleigh che hanno dimensione rispettivamente di s^{-1} e s . È possibile dimostrare (Chopra, 1995) che lo smorzamento ξ_j associato al j -esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (3.21)$$

dove ω_j è la frequenza circolare relativa al modo j .

I coefficienti di Rayleigh vengono comunemente determinati attraverso due procedure, a seconda che si fissi il valore dello smorzamento modale in corrispondenza di una o due frequenze naturali opportunamente selezionate (dette frequenze di controllo). Il codice FLAC adotta la prima procedura in accordo alla quale i coefficienti di Rayleigh sono espressi dalle:

$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (3.22)$$

avendo fissato lo smorzamento modale al valore ξ in corrispondenza della singola frequenza ω .

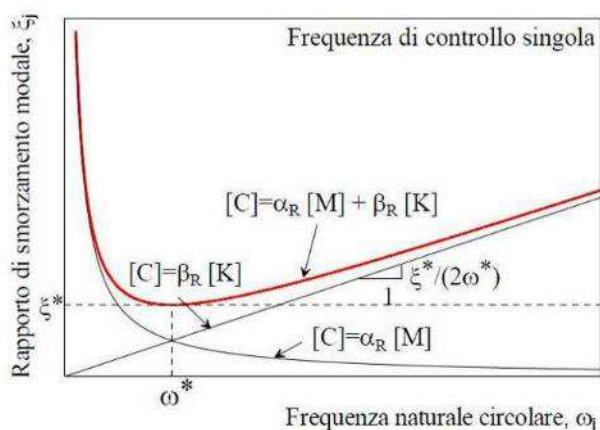
Per ciascun elemento della mesh occorre specificare il rapporto di smorzamento ξ^* del materiale e la frequenza ω^* . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento ξ^* e frequenza ω^* costante per tutto il deposito, è possibile dimostrare che un'analisi lineare eseguita con FLAC fornisce gli stessi risultati di un'analisi modale con rapporto di smorzamento modale dell'intero sistema variabile con la frequenza circolare naturale ω_j secondo la:

$$\xi_j = \frac{\xi^*}{2} \left(\frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (3.23)$$

riportata nella figura seguente, nella quale si nota come ξ_j assuma un minimo (pari al valore imposto ξ^*) in corrispondenza della frequenza di controllo ω^* mentre sia sovrastimato nel campo dei valori maggiori e minori di ω^* .

La formulazione di Rayleigh viene applicata a livello del singolo elemento della mesh per cui, tra i dati di input, occorre specificare per ciascun elemento il valore del rapporto di smorzamento del materiale che lo costituisce ξ^* e la frequenza di controllo ω^* (o meglio il valore f^*). La scelta di f^* è cruciale per fissare il campo di frequenza in corrispondenza del quale lo smorzamento mostra variazioni

contenute rispetto a ξ^* . In generale, f^* deve essere scelta nel campo di frequenza significativo per il problema in esame sia in termini di frequenze naturali del sistema che di frequenze predominanti dell'input. In prima approssimazione si può collocare f^* tra la frequenza fondamentale del sistema e la frequenza predominante dell'input (frequenza



corrispondente al massimo dello spettro di Fourier o di risposta). Se questi valori sono distanti è comunque opportuno esaminare con analisi parametriche l'influenza sui risultati delle diverse scelte di f^* .

In definitiva occorre quindi fornire in input, per ciascun materiale, i seguenti parametri:

- peso dell'unità di volume

- nel caso di analisi lineari modulo di taglio (G_0) e di elasticità volumetrico (k), o, in alternativa modulo

di Young (E) e coefficiente di Poisson (ν); nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato

- rapporto di smorzamento (ξ^*) e frequenza di controllo (f^*) se si adotta la formulazione di Rayleigh.

In uscita il codice offre notevoli potenzialità potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente inoltre di costruire ed esportare grafici delle sopra citate grandezze in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

4. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n°193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n°1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Toscana (1971), fu emanata la Legge n°64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n°3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono

esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 17 gennaio 2018) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'azione sismica.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots,$$

[4.1]

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [4.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [4.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [4.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

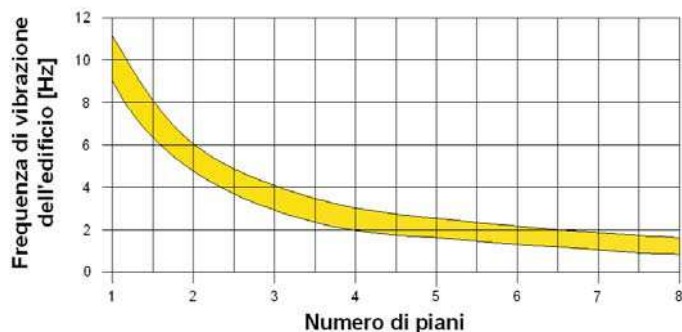


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

5. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

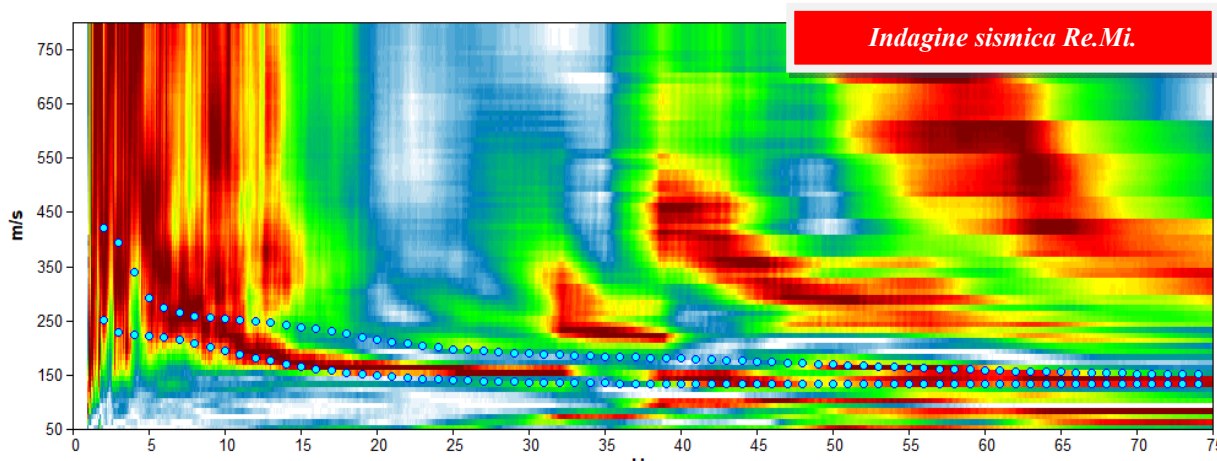
5.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere dei modelli sismo - stratigrafici del sottosuolo robusti e affidabili in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre le prospezioni passive a stazione singola (H.V.S.R.), hanno stimato il grado di rigidità della copertura e del *bedrock* geofisico. Inoltre, le misure HVSR hanno determinato la frequenza di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

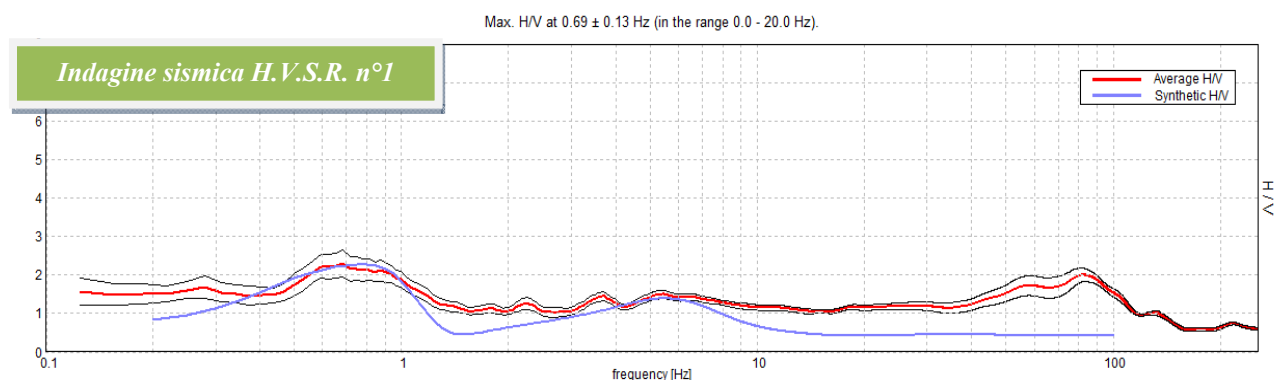
L'attendibilità dei modelli sismo-stratigrafici desunti è da considerarsi elevata poiché la coerenza dei segnali è buona e gli spettri di velocità sono ben definiti nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

5.2 Interpretazione indagini sismiche passive in array (Re.Mi.) con inversione congiunta

Indagine Remi + HVSr n°1



Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente in quasi tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellizzazione diretta delle onde S.

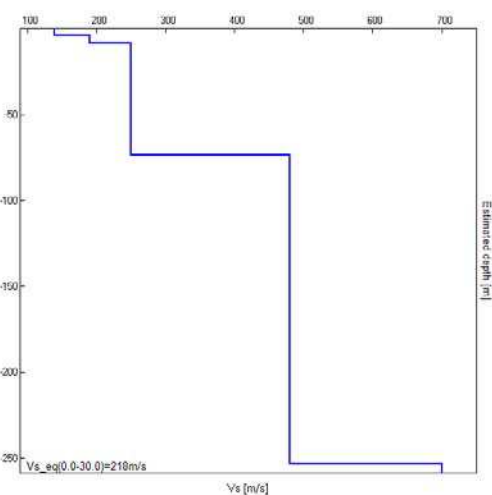


La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 8,5 m dal p.c. locale caratterizzato da una V_s di circa 140-190 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità aumenta con valori di circa 250 m/s.

A 74 m dal p.c. locale si segnala un ulteriore aumento della velocità di propagazione delle onde S che raggiunge valori di circa 480 m/s (vedi *modello sismo-stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Infine, un ulteriore incremento delle onde di taglio è

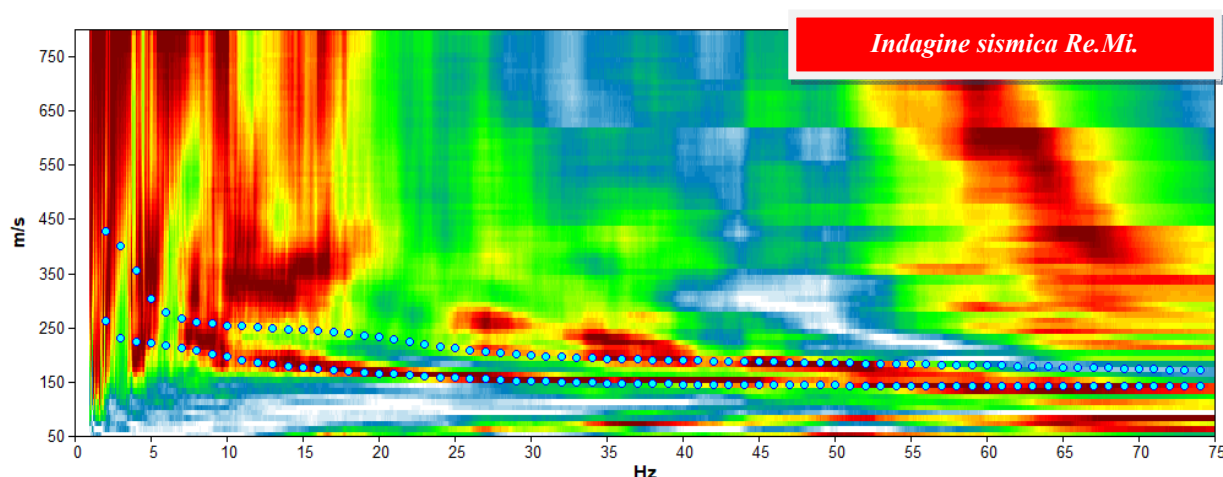


registrato a circa 254 m di profondità con valori massimi di 700 m/s.

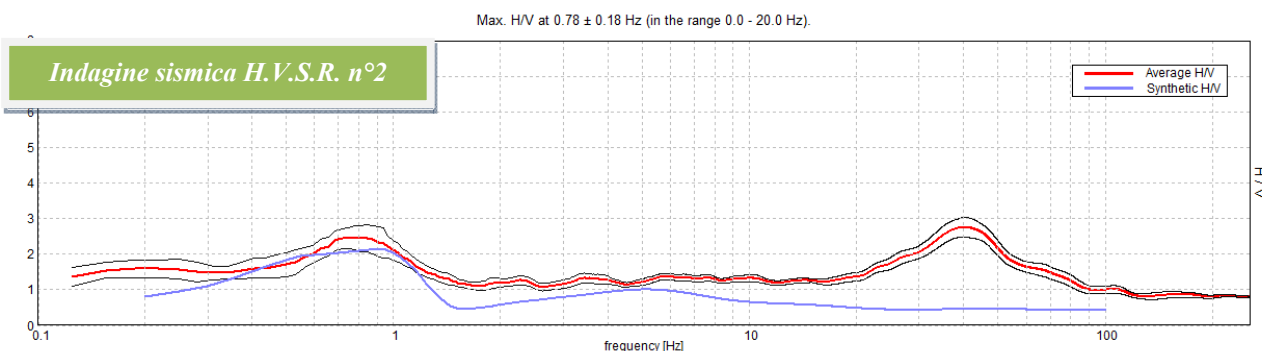
Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	140	3,5	0,0 – 3,5
II SISMOSTRATO	190	5,0	3,5 – 8,5
III SISMOSTRATO	250	65	8,5 - ≈74
IV SISMOSTRATO	480	180	≈74 - ≈254
V SISMOSTRATO	700	Semisp.	≈254 – Semisp.

Indagine Remi + HVSR n°2



Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente in quasi tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellizzazione diretta delle onde S.



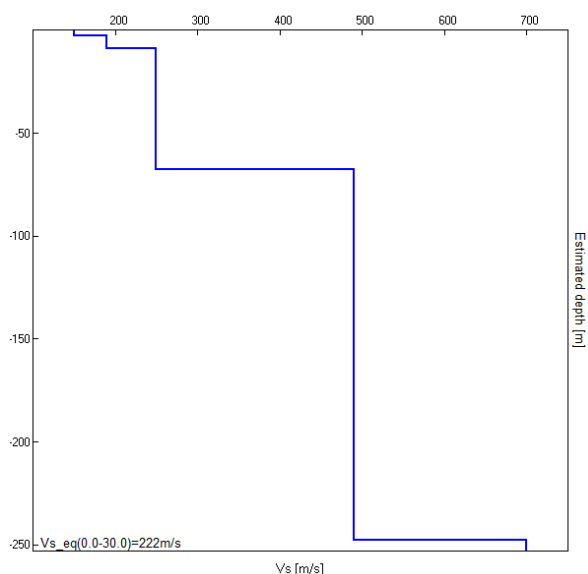
La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 8,8 m dal p.c. locale caratterizzato da una Vs di circa 150-190 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità aumenta con valori di circa 250 m/s.

A 68 m dal p.c. locale si segnala un ulteriore aumento della velocità di propagazione delle onde S che raggiunge valori di circa 490 m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Infine, un ulteriore incremento delle onde di taglio è registrato a circa 248 m di profondità con valori massimi di 700 m/s.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):



Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	150	2,8	0,0 – 2,8
II SISMOSTRATO	190	6,0	2,8 – 8,8
III SISMOSTRATO	250	59	8,8 - ≈68
IV SISMOSTRATO	490	180	≈68 - ≈248
V SISMOSTRATO	700	Semisp.	≈248 – Semisp.

5.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, è possibile ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

Le misura H.V.S.R. effettuate nei due punti sono state sovrapposte tra loro nell'immagine seguente (la linea rossa corrisponde alla misura n°2; la linea verde alla misura n° 1).

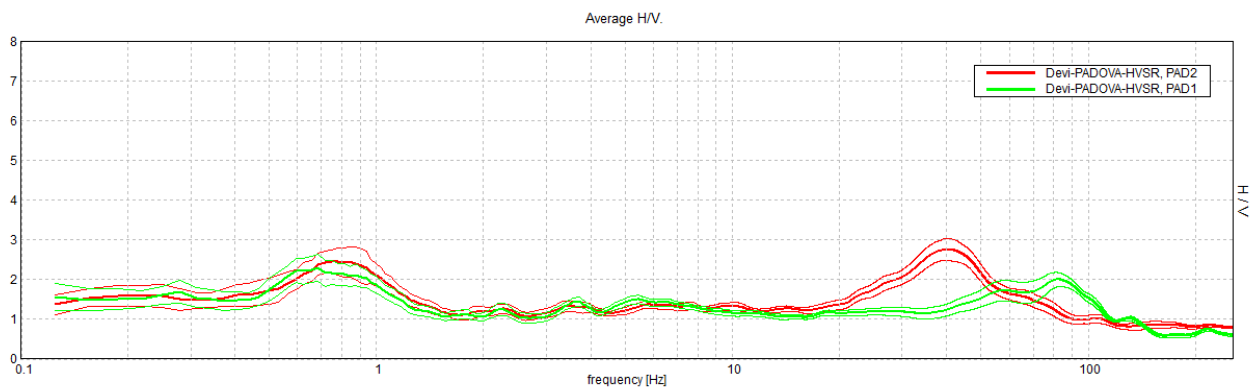
La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 2,5$) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 – 20,0 Hz), è di circa 0,7 Hz.

Frequenza fondamentale di risonanza

0.69 – 0.78 Hz

È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione naturale del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.



Rapporto spettrale H/V misurato. In rosso è indicato l'HV medio mentre in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

5.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro $V_{s,eq}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ($V_{s,30}$ per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Dall'assetto sismo-stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del *bedrock* geofisico (substrato di riferimento) a profondità superiori a 30 m dal p.c. locale.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018*), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ($V_{s,30}$), a partire da varie profondità dal piano campagna per entrambi i modelli:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30} - \text{Re.Mi.} + \text{HVSr}$ n°1	$V_{s,30} - \text{Re.Mi.} + \text{HVSr}$ n°2
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 218 \text{ m/s}$	$V_s (0 - 30) \approx 222 \text{ m/s}$
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 224 \text{ m/s}$	$V_s (1 - 31) \approx 227 \text{ m/s}$
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 229 \text{ m/s}$	$V_s (2 - 32) \approx 231 \text{ m/s}$
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 235 \text{ m/s}$	$V_s (3 - 33) \approx 236 \text{ m/s}$

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento di entrambi i siti di indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata C**, così definita:

Categoria C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST

L'area in esame è modellizzabile nella **Categoria T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ - cfr. Tabella 3.2.IV del par. 3.2.2 delle NTC); il coefficiente di amplificazione topografica ST si può quindi assumere pari ad **1,0** come indicato nella Tabella 3.2.VI del paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC.

In virtù dei contrasti di rigidità rilevati dalle misure sismiche condotte e dall'importanza della struttura oggetto d'indagine, si è condotto uno studio approfondito di risposta sismica locale (RSL 1D), i cui contenuti e risultati sono riportati nel capitolo successivo.

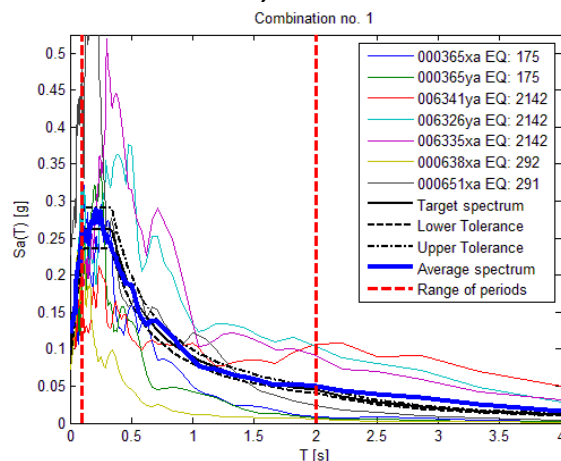
6. MODELLIZZAZIONE NUMERICA AVANZATA

Come anticipato nelle premesse, è stato effettuato uno studio di risposta sismica locale tramite una modellazione numerica monodimensionale avanzata in modalità dinamica. Nel rispetto della normativa vigente è stata effettuata una modellazione numerica assegnando una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento, P, e con il periodo di ritorno, T_r , relativi agli stati limite considerati. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (V_n) di 50 anni, una classe d'uso (C_u) di III con il relativo coefficiente pari a 1,5 e quindi una vita di riferimento $V_r = 75$ anni. A partire da queste indicazioni si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 712 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

Gli *input* sismici utilizzati sono rappresentati da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello per lo stato limite considerato e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub-orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2018).

In particolare, gli accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software REXEL - *computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*.

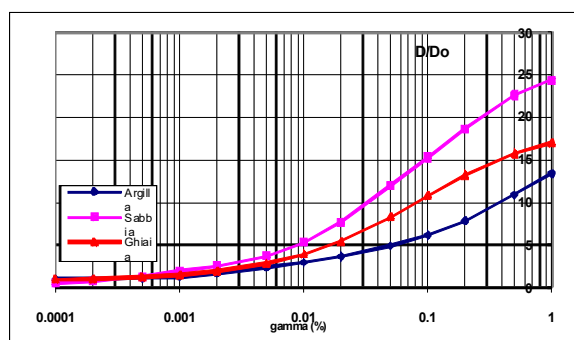
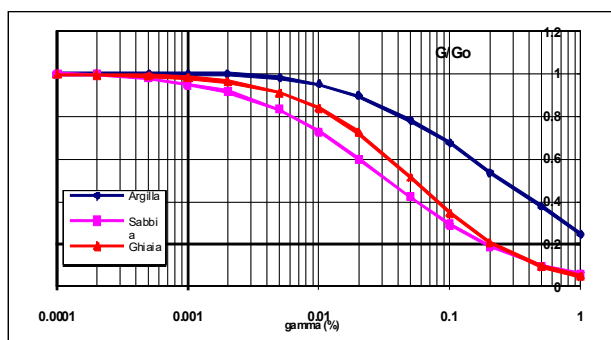
Nella modellazione numerica, sono state utilizzate le sismo - stratigrafie e i valori di rigidità ricavati dalle indagini geofisiche eseguite e precedentemente illustrate. Il modello geometrico, è stato discretizzato con una maglia ad elementi quadrangolari, le dimensioni dei quali sono state stabilite in funzione delle lunghezze d'onda minime caratterizzanti il fenomeno di propagazione sismica, determinabili



con la relazione di Kuhlemeyer & Lysmer ($h_{max} < V_s / 10 * f_{max}$) in funzione delle velocità delle onde di taglio nei diversi terreni del modello e della frequenza massima di interesse dei segnali accelerometrici selezionati ($f_{max}=10$ Hz).

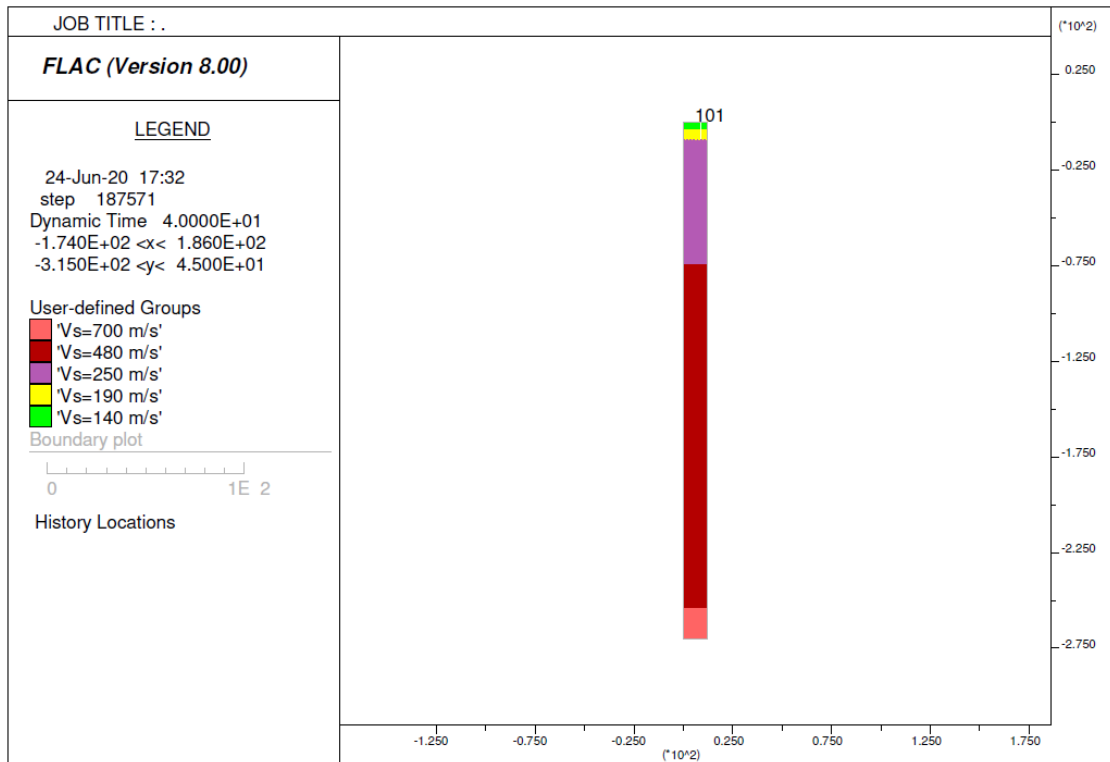
Lungo le frontiere laterali sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (*free-field boundaries*), che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di *free-field*, essenziali per le analisi di risposta sismica locale 1D.

Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (*quiet boundaries*) mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso lo smorzamento isteretico per i materiali più superficiali tramite le curve di degrado G/G_0 e D/D_0 indicate negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” del 2008 e sotto riportate.



Le *history* (storie temporali) ricavate al tetto del modello rappresentano le storie accelerometriche orizzontali attese nel sito d’indagine. Le n°7 *history* ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa (*Step n.1*), confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall’approccio semplificato (*Step n.2*).

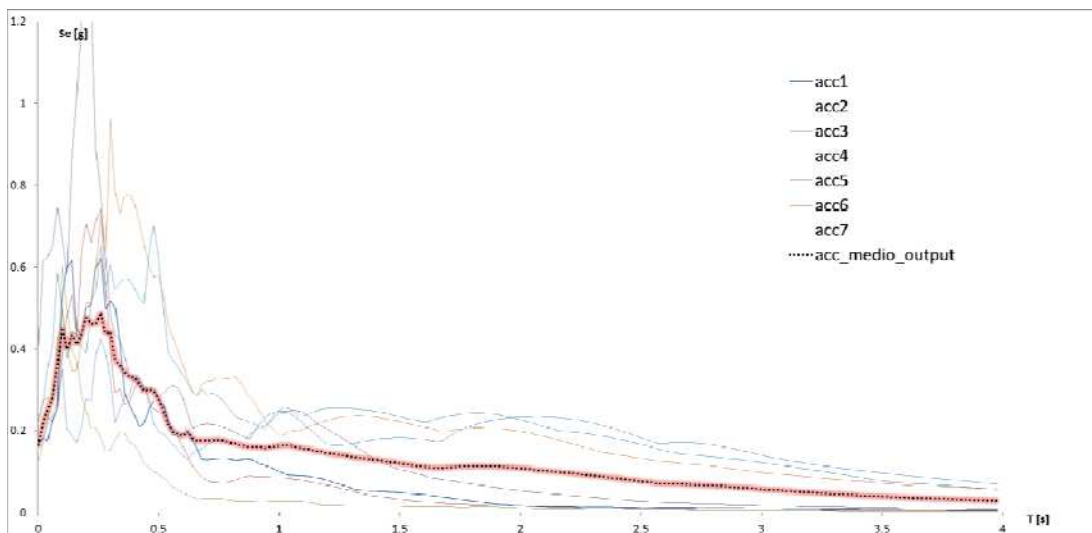
A seguire si mostra il modello sismo - stratigrafico impiegato per le simulazioni numeriche e gli spettri risultati dalla modellazione sia per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).



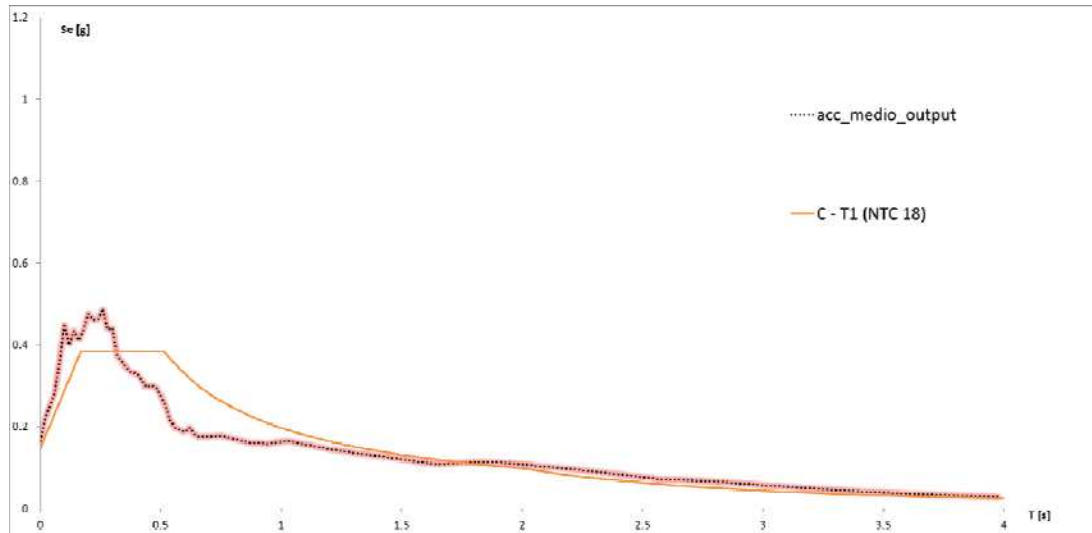
Modello sismo – stratigrafico utilizzato per lo studio di RSL

ANALISI ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

Step n.1: le linee acc1, acc2, acc3, acc4, acc5, acc6 e acc7 rappresentano gli spettri di risposta elastica calcolati in superficie (tetto del modello) per ogni evento sismico modellizzato. La media di questi è rappresentata dalla linea nera (acc medio; v. Tabella seguente).



Step n.2: lo spettro di risposta medio viene confrontato con quelli derivanti dalla procedura semplificata di risposta sismica locale e identificabile nelle categorie di sottosuolo.



Dalla ricostruzione del quadro sismico-stratigrafico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si dovrebbe prevedere l’inserimento del sito d’indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata C.

In virtù dei contrasti di rigidità rilevati dalle misure sismiche condotte e dall’importanza della struttura oggetto di indagine, si è ritenuto opportuno condurre uno studio di risposta sismica locale (RSL 1D) con un periodo di ritorno dell’azione sismica di 712 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

Lo spettro di risposta elastico ottenuto, presenta valori massimi di a_g compresi tra 0,36 – 0,47 g/g nell’intervallo 0,08 e 0,34 s.

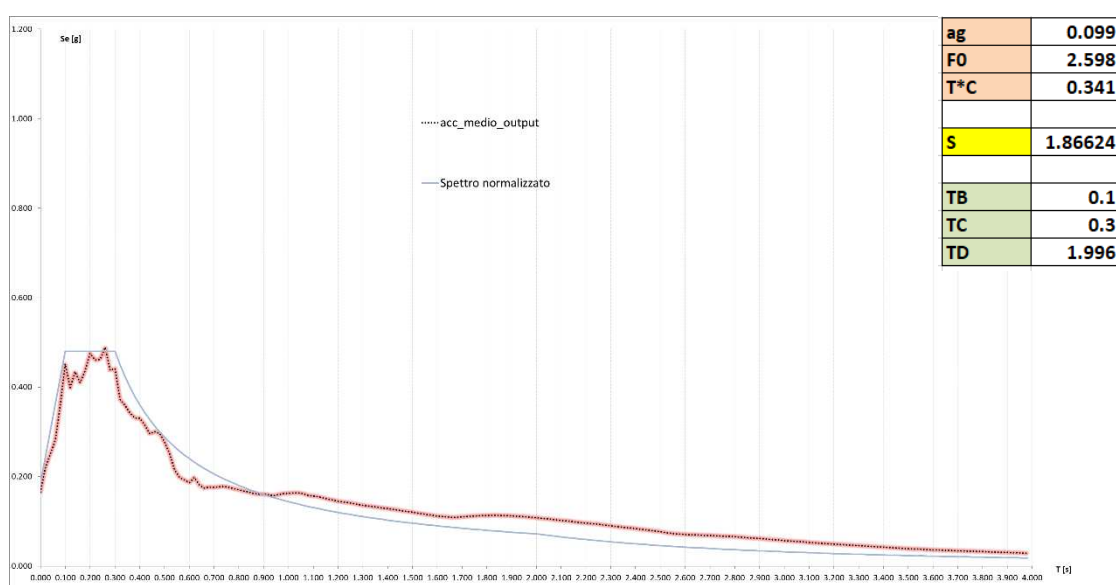
Dal grafico sopra riportato, si può osservare che la Categoria C unita alla Categoria Topografica T1 in cui rientrerebbe il sito, approssima lo spettro modellato esclusivamente per periodi maggiori a 1 s. Al contrario, per periodi inferiori a 0,5s non riesce a modellare i valori massimi di a_g raggiunti, e per periodi compresi tra 0,5s e 1,0s sovrastima fortemente la risposta sismica locale.

Pertanto, dai risultati ottenuti, si auspica l’utilizzo dello spettro calcolato tramite la modellazione numerica descritta poiché riesce a quantificare correttamente la spinta sismica da utilizzare in fase di progettazione e/o adeguamento.

Tuttavia, nel caso fosse necessario esprimere lo spettro elastico ottenuto dallo studio di RSL con le equazioni 3.2.3 del DM 2018, di seguito si riportano i parametri a_g , F_0 ed T_c^* del sito, i periodi di vibrazione (T_B, T_C, T_D) ed il coefficiente di amplificazione S ($S_T^*S_S$) da utilizzare per costruire lo spettro normalizzato che meglio approssima, per periodi inferiori a 1s, quelli medi ottenuti dalla modellazione mostrato nell’immagine seguente e riportato nell’allegato “Spettro normalizzato”.

Resta di stretta competenza del Sig. Progettista la scelta definitiva dell'input sismico da adottare per i calcoli strutturali, che sarà subordinata all'individuazione dei parametri progettuali definitivi.

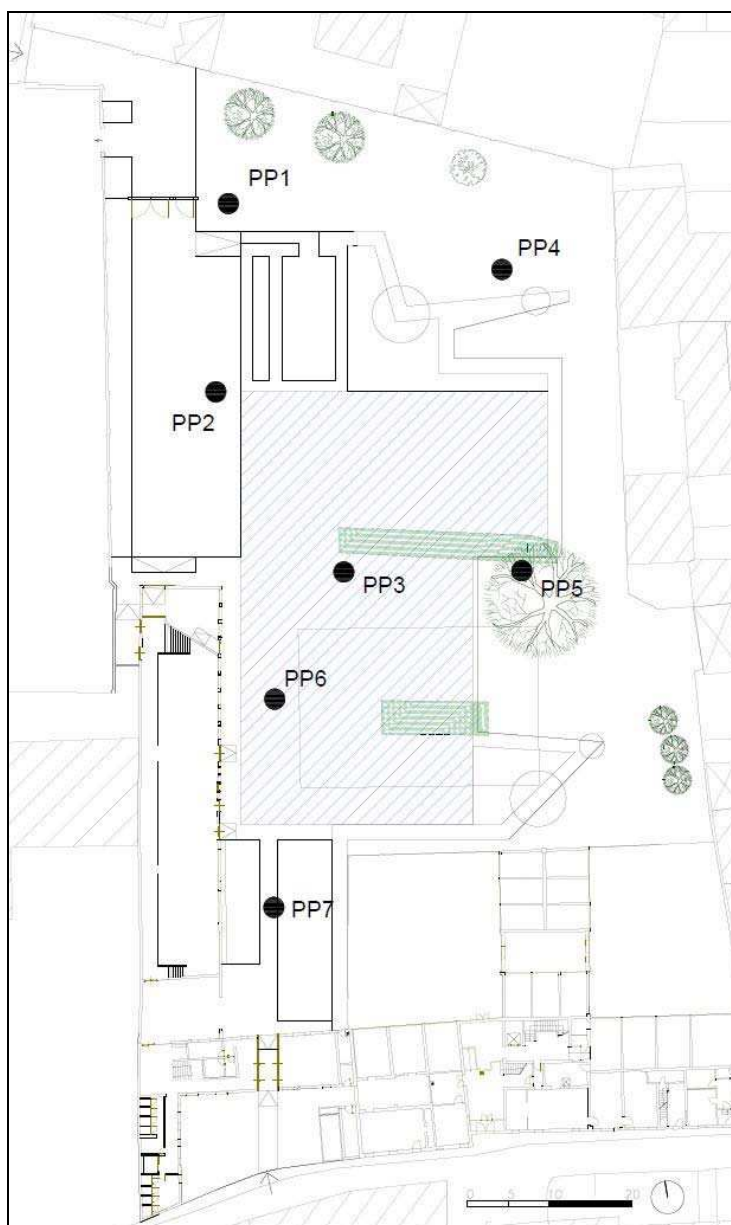
Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.



7. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO E VERIFICHE SUPPLETTIVE

7.1 Modello geotecnico di riferimento

Con riferimento all'indagine geognostica condotta in data 31 Agosto 1999 si riportano di seguito le caratteristiche geotecniche individuate mediante la realizzazione di complessive n° 7 prove penetrometriche statiche con punta meccanica ubicate approssimativamente come in Figura seguente (estratto planimetria posizionamento prove - PPS).



Si riporta di seguito l'interpretazione stratigrafica sintetica dei terreni, riportata nella relazione sopra menzionata, rinvenuti in fase d'indagine. Nella relazione sono stati inoltre riportati in allegato i tabulati di restituzione dati con le misure rilevate in campagna (Rp ed Ra).

PROFONDITA' Da metri	a metri	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA SECONDO BEGEMANN
0.00	1.00	Terreno di riporto compatto e/o terreno vegetale.
1.00	1.80 – 3.20	Argilla media e molle e limo argilloso in C.P.T. n°1 e 3.
1.80 – 3.20	7.20 – 7.80	Sabbia fine limosa e limo sabbioso.
7.20 – 7.80	9.80	Sabbia medio grossa.
9.80	10.80	Livello di argilla media e molle.
10.80	12.00 – 12.40	Sabbia media e fine debolmente limosa.
12.00 - 12.40	12.60 – 13.00	Argilla molle.
12.60 – 13.00	13.80 – 14.00	Limo sabbioso e/o sabbia fine limosa.
13.80 – 14.00	15.00	Argilla e argilla limosa.

Durante l'esecuzione dell'indagine nel 1999 la falda freatica è stata individuata tra le profondità di -2.0 e -2.6 m da piano campagna.

7.2 Considerazioni per la progettazione geotecnica

Su richiesta del committente con la presente inoltre si fornisce una ridefinizione dei parametri geotecnici utili alla progettazione delle strutture di fondazione dei nuovi manufatti. La rielaborazione è stata condotta mediante l'impiego di software per l'analisi delle prove CPT è **Fondazio 7.42 – rel. 2019** del Dr. Diego Merlin e **CPet-3.0** della Geologismiki aggiornati alle NTC 2018.



Si riporta di seguito i modelli geotecnici aggiornati secondo le NTC 2018. Le prove **PP2 – PP4 – PP5 – PP6 e PP7** presentano resistenze degli strati superficiali abbastanza basse. Al fine della parametrizzazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni si andranno di seguito a considerare tali verticali geotecniche.

Param. 055-2020 [2]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m	qc	qc/fs	γ'	σ'_{vo}	Vs		Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FLs	FLI	E'50	E'25	Mo
da	a	U.M.	t/m ³	U.M.	m/s		U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.
0.20	0.60	40.0	18.78	2.0	0.10	217	1.38	88.8	235.3	352.9	120	87	42	39	37	34	43	30	--	--	66.7	100.0	120.0
0.60	2.40	13.6	17.91	1.8	0.31	147	0.62	17.9	106.8	160.2	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	9.60	74.5	68.05	1.0	0.79	275	2.50	18.6	425.0	637.5	225	65	39	32	29	27	36	32	--	--	124.1	186.2	223.4
9.60	10.20	12.7	19.00	0.9	1.17	143	0.58	2.6	293.6	440.4	46	--	31	21	18	17	25	26	--	--	20.0	30.0	36.0
10.20	11.80	68.8	39.48	1.0	1.27	271	2.00	10.8	402.4	603.6	180	52	38	29	26	25	33	32	--	--	114.6	171.9	206.3
11.80	12.60	12.0	14.41	0.9	1.39	140	0.56	2.0	304.7	457.1	44	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.60	13.40	52.5	46.98	0.9	1.46	246	--	--	--	--	--	40	36	28	24	23	31	31	--	--	87.5	131.3	157.5
13.40	15.00	13.4	16.72	0.9	1.57	146	0.59	1.8	329.7	494.6	46	--	31	21	18	17	25	27	--	--	28.3	42.5	51.0

Sezione geotecnica – PP2

Param. 055-2020 [4]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m	qc	qc/fs	γ'	σ'_{vo}	Vs		Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FLs	FLI	E'50	E'25	Mo
da	a	U.M.	t/m ³	U.M.	m/s		U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.
0.20	0.60	59.0	36.88	2.0	0.10	256	1.60	99.9	272.0	408.0	144	100	43	42	39	36	44	32	--	--	98.3	147.5	177.0
0.60	2.20	13.3	12.16	1.9	0.29	146	0.61	19.5	105.3	157.9	47	62	39	34	31	29	38	27	--	--	33.3	50.0	60.0
2.20	7.80	48.0	70.24	1.0	0.71	235	1.34	13.3	228.1	342.1	115	54	38	31	28	26	35	31	--	--	79.9	119.9	143.9
7.80	9.80	91.6	68.67	1.0	1.07	299	--	--	--	--	--	65	39	32	29	27	36	33	--	--	152.7	229.0	274.8
9.80	10.40	18.7	21.54	0.9	1.19	167	0.74	3.5	333.3	500.0	55	14	33	24	21	19	27	27	--	--	35.0	52.5	63.0
10.40	12.00	82.0	48.96	1.0	1.30	287	--	--	--	--	--	57	38	30	27	25	34	33	--	--	136.7	205.0	246.0
12.00	12.60	17.0	19.61	0.9	1.40	157	0.68	2.6	334.4	501.7	57	20	34	25	21	20	28	28	--	--	46.7	70.0	84.0
12.60	13.40	51.8	45.00	0.9	1.47	238	2.33	11.1	396.7	595.0	210	36	36	27	24	22	31	30	--	--	86.3	129.4	155.3
13.40	15.00	14.3	22.22	0.9	1.58	149	0.61	1.9	337.9	506.9	47	1	31	21	18	17	25	27	--	--	26.7	40.0	48.0

Sezione geotecnica – PP4

Param. 055-2020 [5]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m	qc	qc/fs	γ'	σ'_{vo}	Vs		Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FLs	FLI	E'50	E'25	Mo
da	a	U.M.	t/m ³	U.M.	m/s		U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.
0.20	0.60	13.0	10.00	1.9	0.10	145	0.60	69.1	102.3	153.4	46	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	2.60	12.0	13.61	1.8	0.32	141	0.57	15.8	105.9	158.8	44	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	3.60	21.6	41.54	0.9	0.53	174	0.70	9.3	122.7	184.1	53	33	35	28	25	23	32	28	--	--	36.0	54.0	64.8
3.60	9.80	67.3	72.67	0.9	0.87	268	2.13	13.5	362.7	544.0	192	61	39	31	28	27	35	32	--	--	112.1	168.1	201.8
9.80	10.20	13.5	9.00	0.9	1.18	144	0.59	2.7	281.4	422.1	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	12.20	83.1	52.76	1.0	1.30	290	2.00	9.9	340.4	510.5	180	58	38	30	27	26	34	33	--	--	138.5	207.8	249.3
12.20	13.00	11.8	20.09	0.9	1.43	138	0.54	1.9	295.9	443.8	43	7	32	23	19	18	26	27	--	--	33.3	50.0	60.0
13.00	13.80	60.5	80.40	0.9	1.51	259	--	--	--	--	--	44	37	28	25	23	32	32	--	--	100.8	151.3	181.5
13.80	15.00	12.5	19.79	0.8	1.59	140	0.51	1.5	253.1	379.7	37	1	31	22	18	17	25	27	--	--	30.0	45.0	54.0

Sezione geotecnica – PP5

Param. 055-2020 [6]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m	qc	qc/fs	γ'	σ'_{vo}	Vs		Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FLs	FLI	E'50	E'25	Mo
da	a	U.M.	t/m ³	U.M.	m/s		U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.
0.20	0.60	15.5	16.58	2.0	0.10	155	0.68	74.9	115.1	172.7	51	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	2.80	10.0	16.04	1.5	0.32	131	0.49	12.8	81.6	122.3	36	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	7.60	45.1	46.76	0.9	0.66	229	1.08	11.9	183.8	275.7	92	53	38	30	27	26	35	30	--	--	75.1	112.7	135.3
7.60	10.00	91.2	48.26	1.0	1.01	297	1.82	13.4	350.7	526.0	162	66	39	32	29	27	36	33	--	--	151.9	227.9	273.5
10.00	10.60	19.0	16.15	1.0	1.15	167	0.77	3.8	321.4	482.1	60	21	34	25	22	21	29	28	--	--	41.7	62.5	75.0
10.60	12.00	77.1	25.63	1.0	1.26	284	2.57	15.4	437.1	655.7	231	57	38	30	27	25	34	33	--	--	128.6	192.9	231.4
12.00	13.00	12.2	13.23	0.8	1.37	140	0.55	2.1	266.5	399.8	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.00	13.80	45.3	45.25	0.9	1.45	227	0.80	2.9	399.6	599.4	60	32	35	26	23	22	30	30	--	--	75.4	113.1	135.8
13.80	15.00	15.3	20.86	0.9	1.54	151	0.63	2.1	333.6	500.4	52	9	32	23	19	18	26	28	--	--	36.7	55.0	66.0

Sezione geotecnica – PP6

Param. 055-2020 [7]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m	qc	qc/fs	γ'	σ'_{vo}	Vs		Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FLs	FLI	E'50	E'25	Mo
da	a	U.M.	t/m ³	U.M.	m/s		U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.
0.20	0.80	12.7	17.84	1.9	0.11	143	0.58	57.0	98.9	148.3	46	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	2.40	12.5	13.89	1.6	0.31	143	0.59	15.4	99.8	149.7	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	7.40	43.5	67.98	0.9	0.63	227	--	--	--	--	--	54	38	31	28	26	35	30	--	--	72.5	108.7	130.4
7.40	10.00	133.5	81.61	1.0	0.99	344	--	--	--	--	--	80	41	34	31	29	38	35	--	--	222.4	333.7	400.4
10.00	10.40	16.5	16.50	0.9	1.15	157	0.69	3.4	303.5	455.3	54	17	33	24	21	20	28	28	--	--	36.7	55.0	66.0
10.40	11.80	80.4	42.27	1.0	1.24	288	2.43	14.6	413.7	620.5	219	59	38	30	27	26	34	33	--	--	134.0	201.1	241.3
11.80	12.80	12.0	21.90	0.8	1.35	139	0.55	2.1	271.4	407.0	40	4	32	22	19	18	26	27	--	--	28.3	42.5	51.0
12.80	13.60	56.5	49.78	1.0	1.43	245	1.05	4.3	398.2	597.3	92	39	36	27	24	23	31	31	--	--	94.2	141.3	169.5
13.60	15.00	11.7	28.57	0.8	1.52	137	0.44	1.3	225.7	338.5	33	3	32	21	18	17	25	27	--	--	26.7	40.0	48.0

Sezione geotecnica – PP7

7.3 Descrizione delle Strutture

Sull'area oggetto d'intervento edilizio si prevede la realizzazione di una nuova struttura da adibirsi ad aule per gli studenti delle dimensioni in pianta di circa 30 x 50 m.

In tale sede si prevede la realizzazione di fondazioni a **platea superficiale con piano di posa a -0.7 m e la trasmissione di un carico di circa 2.000 kg/m²**.

7.4 Determinazione della capacità portante limite del terreno

Si è eseguita una verifica allo stato limite ultimo (SLU) della fondazione precedentemente descritta. Ai fini delle valutazioni ci si è basati sui risultati evidenziati localmente delle prove PP2 – PP4 – PP5 – PP6 e PP7 eseguite in corrispondenza del nuovo manufatto da realizzare. Eventuali difformità (riscontrate in sede di verifica dell'opera) da quanto riportato in relazione dovranno essere considerate.

Valori di progetto dei parametri geotecnici

I valori di progetto **P(1)** dei parametri geotecnici, X_d , possono essere ricavati dai valori caratteristici, utilizzando la seguente equazione:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

I valori di progetto, X_d (Φ_d , c' , C_{ud} ...) sono quelli da utilizzare nelle verifiche. Si ricavano a partire dai valori caratteristici, X_k ai quali va applicato un fattore riduttivo γ_m (FS parziale), riportato nelle NTC 2018.

Il valore caratteristico è una stima cautelativa di cui si riporta di seguito il metodo di calcolo (t-student) per dati numerosi:

$$\mu = t(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

Media della popolazione: $t(n-1)$ = distribuzione di Student con $n-1$ gradi di libertà.

La distribuzione della media è sensibile al numero n dei dati, e al valore s della deviazione standard del campione.

Nel caso specifico si riporta il valore caratteristico per il parametro coesione **Cu** calcolato sui dati delle prove penetrometriche di riferimento e relative ai terreni argillosi presenti al di sotto del piano di fondazione, all'interno della "superficie di rottura" (volume "significativo" di terreno coinvolto dall'azione dell'opera in progetto) al 5° percentile distribuzione della media.

Determinazione del valore caratteristico con piano di posa a -0.7 m:

Numero Dati	Media	Deviazione standard	Valore minimo	Valore massimo
#	M	σ	min	max
27	0.54	0.09	0.35	0.64

Numerosità	Coefficiente di variazione	Con compensazione		Senza compensazione		Valori suggeriti		
		Valore caratteristico inferiore	Valore caratteristico superiore	Valore caratteristico inferiore	Valore caratteristico superiore	Valore caratteristico	Valori di progetto	
Alta	COV 16.85%	$X_{k,inf}$ 0.51	$X_{k,sup}$ 0.57	$X_{k,inf}$ 0.4	$X_{k,sup}$ 0.7	X_k 0.51	$X_d M1$ 0.51	$X_d M2$ 0.36
# >= 10	16.85%	0.51	0.57	0.40	0.70	<i>Alta numerosità \ fondazioni</i>		
# < 10	30.00%	0.49	0.59	0.32	0.84	<i>compensate</i>		

Si determina pertanto un valore della coesione caratteristica $C_{uk} = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$.

Si riporta di seguito il calcolo relativo alla capacità portante con i dati di riferimento di input come sopra descritti al par. 7.4 in approccio unico ai sensi del D.M. 14/01/2018.

· Tipo verifica: NON DRENATA	· Fondazione: PLATEA	· Falda: -2.00 m	· Resistenza: (R)	3.03 kg/cm ²
· Coesione: (c _{uk}) 0.50 kg/cm ²	· Larghezza: (B) 30.00 m	· Peso secco: (G _s) 1.85 t/m ³	· Coef.parz.: (γ _f)	2.30
· Coef.parz.: (γ _{cu}) 1.00	· Lunghezza: (L) 50.00 m	· Peso saturo: (G _w) 1.85 t/m ³	· Resis.prog.: (R _d)	1.32 kg/cm²
· Coesione: (c _{ud}) 0.50 kg/cm ²	· Piano posa: (D) -0.70 m			

· Resistenza ammissibile :	· CPT :	cedimento (S) :	cm	
1.32 kg/cm²				differenziale (S) : cm

Tabella calcolo capacità portante

Si determina pertanto una **resistenza limite** pari a **3.03 kg/cm²**.

7.5 Determinazione del coefficiente di Winkler

Per la verifica della fondazione si potrà assumere un modulo di reazione di Winkler (K_w) pari a 1.18 Kg/cm^3 .

CALCOLO DEL MODULO DI REAZIONE DI WINKLER

Secondo la relazione di J.E. Bowles si può assumere un valore di K_s , dove la resistenza ultima del terreno corrisponde ad un cedimento dH pari a 2,54 cm (1 pollice), pari a:

$$K = \frac{Q_{ult}}{\Delta H} \quad \text{con} \quad dH = 2.54 \quad \text{cm}$$

si ha $K = 1.18$

7.6 Verifica agli stati limite di esercizio – calcolo dei cedimenti

Per la tipologia di fondazione analizzata è stata eseguita una preliminare verifica dei cedimenti. Tale verifica è stata condotta a titolo indicativo, dato che per una più rigorosa analisi è necessario disporre di parametri geotecnici quali il modulo edometrico ottenibili in forma più accurata mediante l'esecuzione di prove edometriche su campioni indisturbati di terreno.

7.6.1 FONDAZIONE A PLATEA SUPERFICIALE

Il calcolo di previsione dei cedimenti è stato eseguito in corrispondenza di tutte le 7 prove di riferimento considerando appunto le proprietà geomeccaniche riscontrate.

La determinazione viene eseguita per strati successivi (spessore 20 cm), valutando per ciascuno strato la tensione verticale σ_v , al centro della superficie di carico, nonché il relativo modulo edometrico M_o , in base all'espressione: cedimento $S = n \sum (h \sigma_v / M_o)$
ove:

n = eventuale coefficiente di riduzione ($n \leq 1$) che tiene conto della rigidità strutturale.

Nei calcoli si sono ipotizzati come da dati forniti:

Impronta di carico per **fondazione a platea superficiale di tipo semirigido ($n = 85\%$) di Larghezza $B = 30.0$ m e Lunghezza $L = 50.0$ m con un incremento netto sul piano di posa alla tensione massima ammissibile calcolata di 100 KPa.**

Il piano di posa assunto è pari a -0.7 m.

Carico distribuito della fondazione pari a 2.000 kg/m^2 .

Pre carico litostatico dovuto al piano di posa della fondazione pari a 1.500 kg/m^2 .

Incremento di Carico in corrispondenza del piano di posa: 500 kg/m^2

Nella relazione dei calcoli si è fatto ricorso alla teoria dell'elasticità, ciò è lecito quando, come nel presente caso, le pressioni applicate al terreno sono inferiori alla pressione critica ed escludono quindi la presenza di fenomeni di plasticizzazione locale.

I calcoli fanno riferimento a alle caratteristiche meccaniche dei terreni riscontrate nei singoli punti di prova, alle dimensioni delle tipologie fondali in relazione al carico trasmesso e alla profondità del piano di fondazione.

Si riporta di seguito i tabulati dei cedimenti assoluti calcolati in prima valutazione per fondazioni semirigide a platea superficiale (VEDI TABELLE SOTTOSTANTI).

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_v)	0.16 kg/cm ²	- q.amm.: (Δ)	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.21 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.64 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3084.00 t

Calcolo cedimenti in **PP1**

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_0)	0.15 kg/cm ²	- q.amm.: Δ	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.20 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.61 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3066.00 t

Calcolo cedimenti in PP2

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_0)	0.15 kg/cm ²	- q.amm.: Δ	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.20 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.64 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3069.00 t

Calcolo cedimenti in PP3

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_0)	0.15 kg/cm ²	- q.amm.: Δ	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.20 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.62 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3069.00 t

Calcolo cedimenti in PP4

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_0)	0.15 kg/cm ²	- q.amm.: Δ	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.20 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.69 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3039.00 t

Calcolo cedimenti in PP5

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_0)	0.15 kg/cm ²	- q.amm.: Δ	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.20 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.87 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3051.00 t

Calcolo cedimenti in PP6

[1] Fondazione tipo: PLATEA							
- Larghezza: (B)	30.00 m	- Banco compress.: (Hc)	15.00 m	- Carico Lit.: (σ_0)	0.15 kg/cm ²	- q.amm.: Δ	0.05 kg/cm ²
- Lunghezza: (L)	50.00 m	- Rigidezza fondazione: (n)	85.00%	- Tot. q.amm.:	0.20 kg/cm ²	- Cedimento: (s)	0.76 cm
- Piano Posa: (D)	-0.70 m	- Coeff. sicurezza: (Gs)	3.00			- Portata: (Q)	3036.00 t

Calcolo cedimenti in PP7

Si osserva che i cedimenti risultano abbastanza contenuti entro un centimetro e variabili da **0.61 a 0.87 cm** con cedimenti in aumento in corrispondenza delle PP5, PP6 e PP7.

I valori esposti sono indicativi per l'incremento di carico sopra esposto, sovraccarichi superiori andranno eventualmente rivalutati.

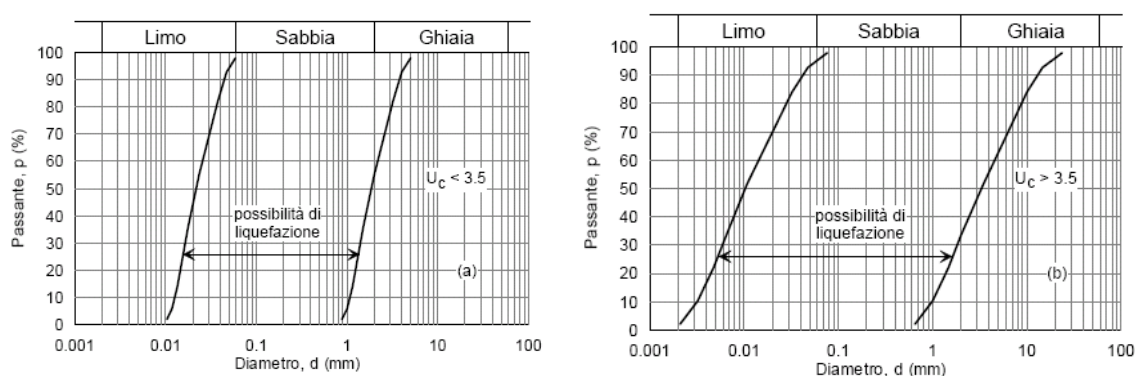
7.7 Terreni suscettibili di liquefazione

Il termine "liquefazione" denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 la verifica di stabilità nei confronti della liquefazione "può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze":

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (rif. fig. 7.11(a) – NTC 2018).



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Si è pertanto proceduto alla verifica di liquefazione degli strati come previsto dalla normativa vigente utilizzando i dati delle n. 7 prove penetrometriche statiche a -15 m eseguite in sito nel 1999 a cui si fa riferimento.

La verifica è stata eseguita per un **tempo di ritorno di 712 anni** derivante dall'utilizzo di una classe d'uso 3 e Vita nominale 50 anni con $a_{max,s} = 0.19 \text{ ag/g}$. La magnitudo di riferimento ottenuta dal diagramma di disaggregazione è $M_w = 6.0$.

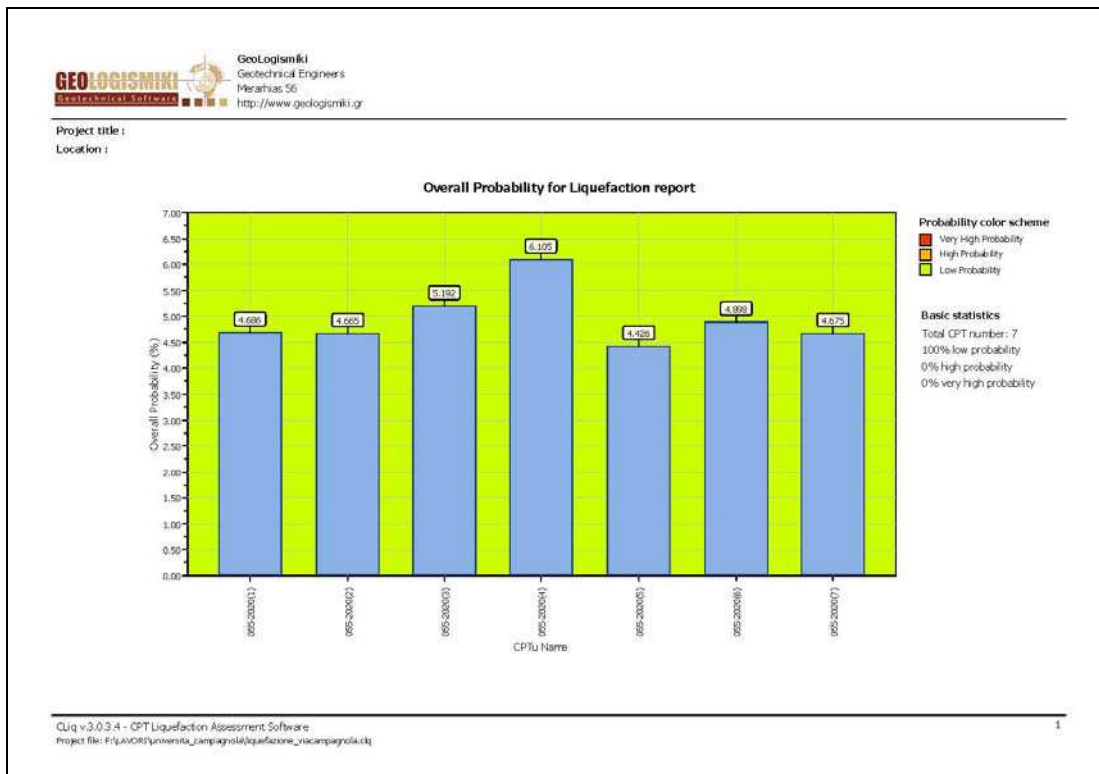
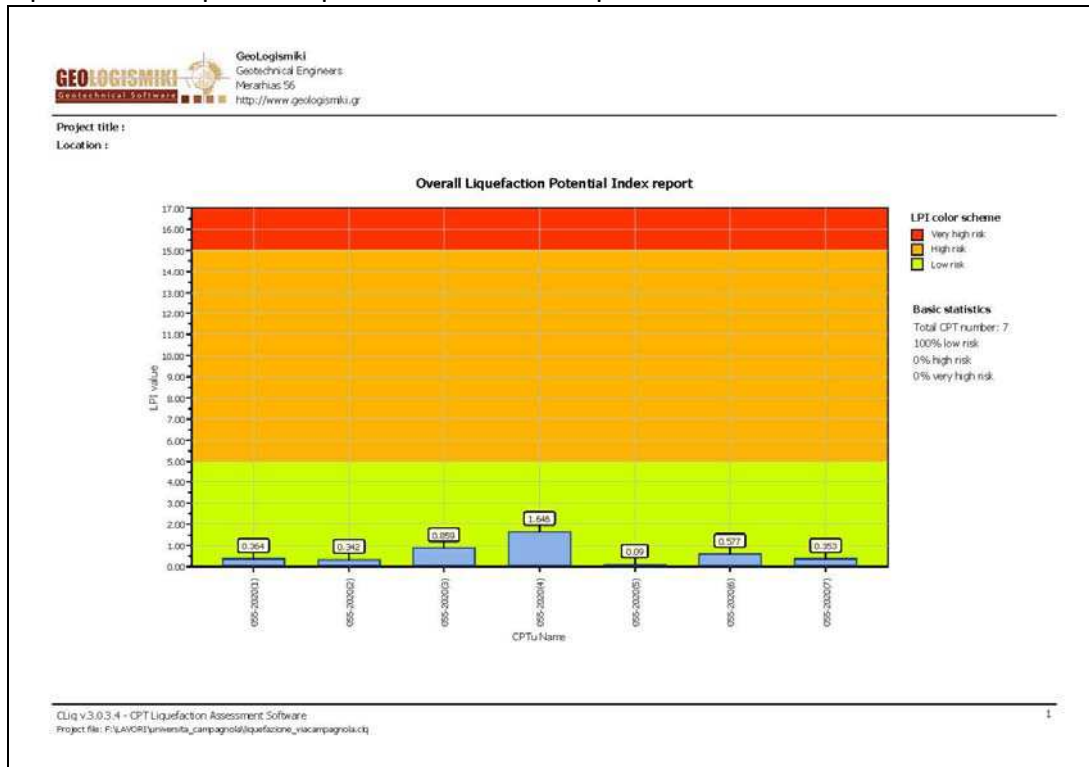
Dai parametri di input considerati come sopra riportati si è proceduto all'analisi alla verifica della suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti in corrispondenza delle 7 verticali geotecniche di riferimento (si veda Par. 7.1). Il software utilizzato è stato **CLiq v.3.0 della Geologismiki**, il metodo di calcolo adottato è quello di Boulanger & Idriss (2014).

L'analisi evidenzia la presenza di alcuni strati che presentano possibilità alla liquefazione dei terreni granulari immersi caratterizzati da un basso stato di addensamento (sabbie limose e limi) diffusamente riscontrati in piccoli strati tra -5 e -10 m (a in particolare a -8.5 m) e poi in maniera abbastanza puntuale fino a -15.0 circa esposti nei diagrammi allegati.

Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che il rischio di potenziale liquefazione è da considerarsi "basso" ($0 < LPI < 5$) con valori massimi riscontrati di $LPI = 1.64$ con una probabilità del fenomeno "basso" e compreso tra il 4.4 e il 6.1 %.

Gli spostamenti verticali (cedimenti post sismici) risultano apprezzabili ma soltanto indicativi ed occorre comunque precisare che gli stessi hanno carattere areale e che nel caso in esame non vi sono eteropie geologiche molto rilevanti.

Si allega alla presente il report completo dell'analisi di liquefazione condotta.



8. CONCLUSIONI

In base all'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite si traggono le seguenti conclusioni:

- A. La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 2,5$) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 – 20,0 Hz), è di circa **0,7 Hz**.
- B. Dall'analisi di risposta sismica locale (RSL) tramite modellazione numerica avanzata in modalità dinamica, considerando una Classe d'uso III e una vita nominale di 50 anni, si è determinata **Valore di a_g da RSL** pari a: $a_{max,s} = 0.19 \text{ ag/g}$. (si veda conclusioni in par. 6).
- C. La rielaborazione geotecnica dei dati penetrometrici precedentemente acquisiti è espsta in par. 7.2.
- D. Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che il rischio di potenziale liquefazione è da considerarsi "basso" ($0 < LPI < 5$) con valori massimi riscontrati di $LPI = 1.64$ con una probabilità del fenomeno "basso" e compreso tra il 4.4 e il 6.1 %.
- E. Dall'analisi dei dati penetrometrici precedentemente acquisiti si è calcolato per una platea delle dimensioni d 30 x 50 m e piano di posa a -0.7 m i seguenti parametri:
 $Q_{lim} = 3.03 \text{ kg/cm}^2$;
 $K_w = 1.18 \text{ Kg/cm}^3$.
- F. Assumendo un carico distribuito della fondazione pari a 2.000 kg/m^2 , un precarico litostatico dovuto al piano di posa della fondazione pari a 1.500 kg/m^2 si ha un incremento di carico in corrispondenza del piano di posa pari a 500 kg/m^2 ; Con tali ipotesi si determinano cedimenti abbastanza contenuti entro un centimetro e variabili da **0.61 a 0.87 cm** con cedimenti in aumento in corrispondenza delle PP5, PP6 e PP7. I valori esposti sono indicativi per l'incremento di carico sopra esposto, sovraccarichi superiori andranno eventualmente rivalutati.

Dott. Geol. Devi Fincato

Albo dei Geologi della Regione Veneto N. 549.



ALLEGATI

- ✚ Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 712 anni e smorzamento 5% (SLV)
- ✚ Spettro normalizzato – Tav. 1
- ✚ Tav.2A: Studio di risposta sismica locale 2D
- ✚ Tav.2B: Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R. n°1
- ✚ Tav.2C: Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R. n°2
- ✚ Analisi liquefazione dei terreni

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 – 666.
 - ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V *Spectrum*, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 – 63.
 - ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
 - ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 – 908.
 - ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
 - ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
 - ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 – 128.
 - ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 – 290.
 - ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
 - ✓ ITASCA (2011) - FLAC 2D v 7.00.413 – *Fast Lagrangian Analysis of Continua* – Version 5.0. User's Guide, Itasca Consulting Group, Minneapolis, USA.
 - ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 – 266.
 - ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
 - ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo – Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
 - ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 – 30.
 - ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- [SESAME Project](#): "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.

Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 712 anni e smorzamento 5% (SLV)

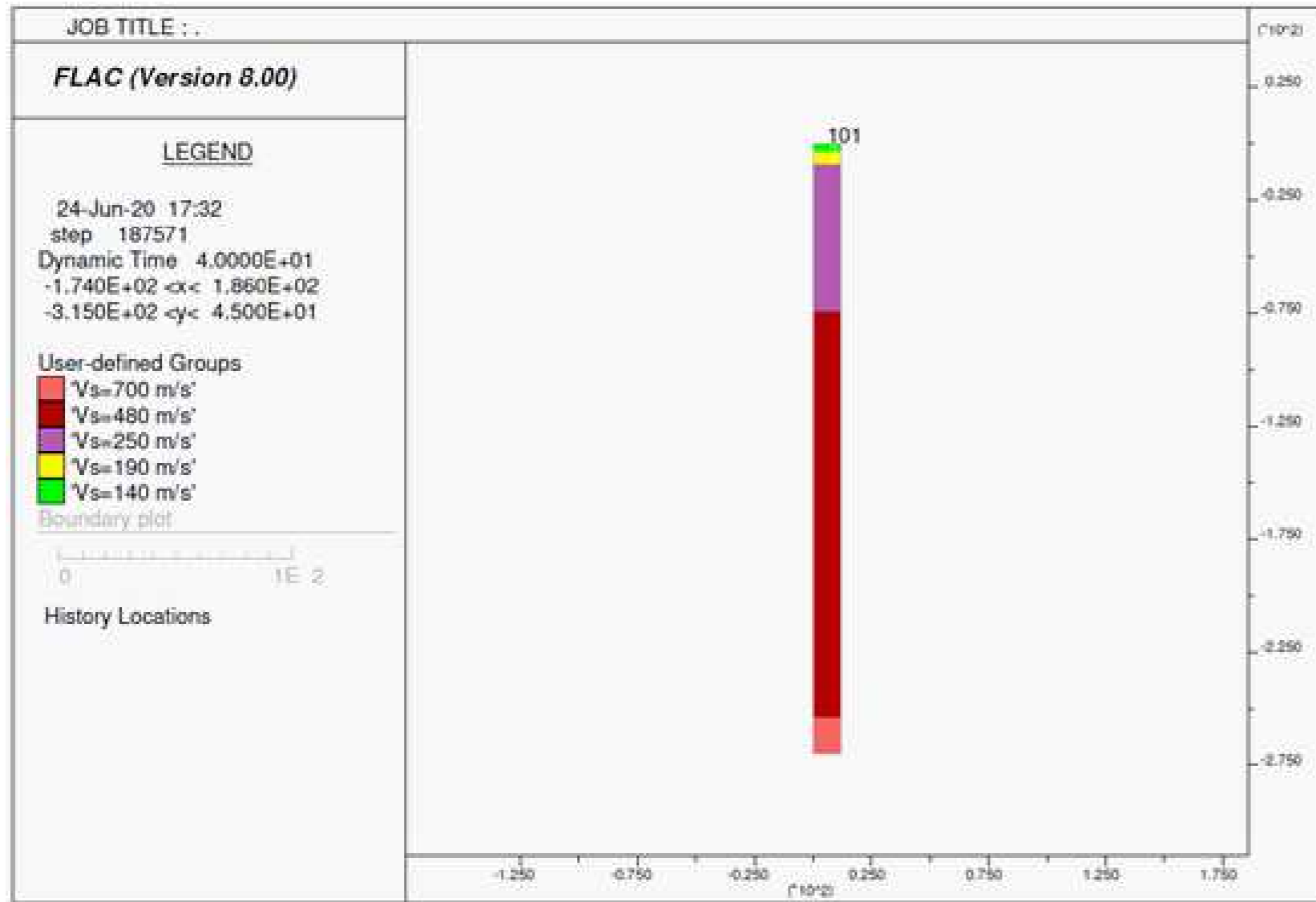
T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]
0	0.166	1.04	0.163	2.08	0.103	3.12	0.052
0.02	0.220	1.06	0.162	2.10	0.102	3.14	0.051
0.04	0.251	1.08	0.158	2.12	0.101	3.16	0.051
0.06	0.282	1.10	0.157	2.14	0.100	3.18	0.050
0.08	0.360	1.12	0.155	2.16	0.098	3.20	0.049
0.10	0.452	1.14	0.153	2.18	0.097	3.22	0.048
0.12	0.399	1.16	0.150	2.20	0.096	3.24	0.048
0.14	0.435	1.18	0.147	2.22	0.095	3.26	0.047
0.16	0.410	1.20	0.145	2.24	0.094	3.28	0.046
0.18	0.436	1.22	0.143	2.26	0.093	3.30	0.046
0.20	0.475	1.24	0.142	2.28	0.092	3.32	0.045
0.22	0.460	1.26	0.140	2.30	0.090	3.34	0.044
0.24	0.462	1.28	0.138	2.32	0.089	3.36	0.044
0.26	0.489	1.30	0.136	2.34	0.088	3.38	0.043
0.28	0.438	1.32	0.134	2.36	0.086	3.40	0.042
0.30	0.441	1.34	0.133	2.38	0.085	3.42	0.041
0.32	0.372	1.36	0.131	2.40	0.084	3.44	0.041
0.34	0.360	1.38	0.130	2.42	0.082	3.46	0.040
0.36	0.342	1.40	0.129	2.44	0.081	3.48	0.040
0.38	0.331	1.42	0.127	2.46	0.080	3.50	0.039
0.40	0.331	1.44	0.125	2.48	0.078	3.52	0.038
0.42	0.315	1.46	0.124	2.50	0.077	3.54	0.038
0.44	0.296	1.48	0.122	2.52	0.075	3.56	0.037
0.46	0.301	1.50	0.120	2.54	0.074	3.58	0.037
0.48	0.296	1.52	0.119	2.56	0.072	3.60	0.036
0.50	0.277	1.54	0.117	2.58	0.071	3.62	0.036
0.52	0.251	1.56	0.115	2.60	0.071	3.64	0.035
0.54	0.215	1.58	0.113	2.62	0.070	3.66	0.035
0.56	0.198	1.60	0.112	2.64	0.070	3.68	0.035
0.58	0.193	1.62	0.111	2.66	0.069	3.70	0.034
0.60	0.186	1.64	0.110	2.68	0.069	3.72	0.034
0.62	0.198	1.66	0.109	2.70	0.068	3.74	0.034
0.64	0.181	1.68	0.109	2.72	0.068	3.76	0.033
0.66	0.174	1.70	0.110	2.74	0.067	3.78	0.033
0.68	0.177	1.72	0.111	2.76	0.067	3.80	0.032
0.70	0.176	1.74	0.112	2.78	0.066	3.82	0.032
0.72	0.177	1.76	0.112	2.80	0.066	3.84	0.032
0.74	0.178	1.78	0.113	2.82	0.065	3.86	0.031
0.76	0.176	1.80	0.113	2.84	0.064	3.88	0.031
0.78	0.173	1.82	0.113	2.86	0.063	3.90	0.030
0.80	0.170	1.84	0.113	2.88	0.062	3.92	0.030
0.82	0.168	1.86	0.113	2.90	0.062	3.94	0.030
0.84	0.165	1.88	0.113	2.92	0.061	3.96	0.029
0.86	0.162	1.90	0.112	2.94	0.060	3.98	0.029
0.88	0.161	1.92	0.111	2.96	0.059		
0.9	0.161	1.94	0.111	2.98	0.058		
0.92	0.159	1.96	0.110	3.00	0.057		
0.94	0.157	1.98	0.109	3.02	0.056		
0.96	0.160	2.00	0.108	3.04	0.055		
0.98	0.162	2.02	0.107	3.06	0.055		
1.00	0.163	2.04	0.106	3.08	0.054		
1.02	0.164	2.06	0.105	3.10	0.053		

Spettro normalizzato

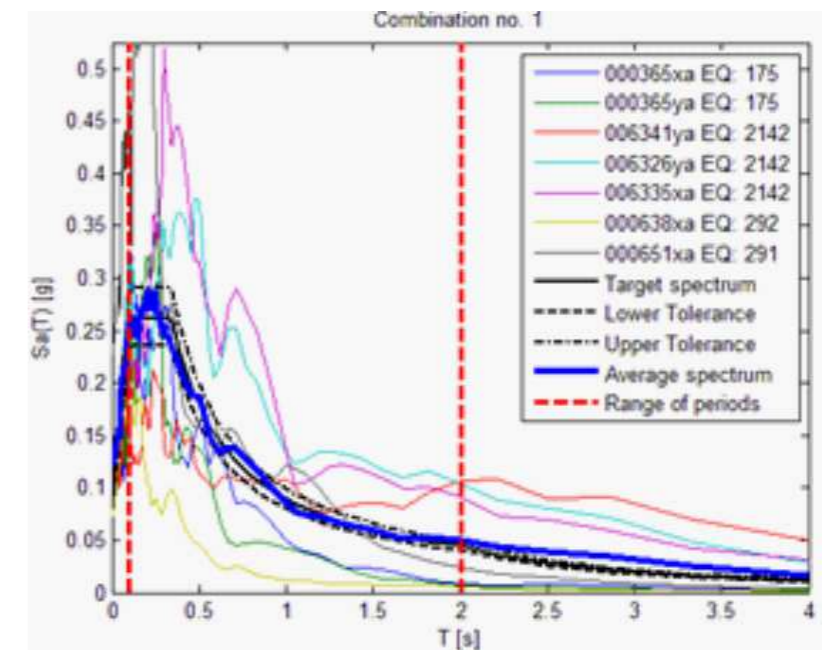
T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]
0	0.185	1.04	0.138	2.08	0.066	3.12	0.030
0.02	0.244	1.06	0.136	2.10	0.065	3.14	0.029
0.04	0.303	1.08	0.133	2.12	0.064	3.16	0.029
0.06	0.362	1.10	0.131	2.14	0.063	3.18	0.028
0.08	0.421	1.12	0.129	2.16	0.062	3.20	0.028
0.10	0.480	1.14	0.126	2.18	0.060	3.22	0.028
0.12	0.480	1.16	0.124	2.20	0.059	3.24	0.027
0.14	0.480	1.18	0.122	2.22	0.058	3.26	0.027
0.16	0.480	1.20	0.120	2.24	0.057	3.28	0.027
0.18	0.480	1.22	0.118	2.26	0.056	3.30	0.026
0.20	0.480	1.24	0.116	2.28	0.055	3.32	0.026
0.22	0.480	1.26	0.114	2.30	0.054	3.34	0.026
0.24	0.480	1.28	0.113	2.32	0.053	3.36	0.025
0.26	0.480	1.30	0.111	2.34	0.052	3.38	0.025
0.28	0.480	1.32	0.109	2.36	0.052	3.40	0.025
0.30	0.480	1.34	0.107	2.38	0.051	3.42	0.025
0.32	0.450	1.36	0.106	2.40	0.050	3.44	0.024
0.34	0.424	1.38	0.104	2.42	0.049	3.46	0.024
0.36	0.400	1.40	0.103	2.44	0.048	3.48	0.024
0.38	0.379	1.42	0.101	2.46	0.047	3.50	0.023
0.40	0.360	1.44	0.100	2.48	0.047	3.52	0.023
0.42	0.343	1.46	0.099	2.50	0.046	3.54	0.023
0.44	0.327	1.48	0.097	2.52	0.045	3.56	0.023
0.46	0.313	1.50	0.096	2.54	0.045	3.58	0.022
0.48	0.300	1.52	0.095	2.56	0.044	3.60	0.022
0.50	0.288	1.54	0.094	2.58	0.043	3.62	0.022
0.52	0.277	1.56	0.092	2.60	0.043	3.64	0.022
0.54	0.267	1.58	0.091	2.62	0.042	3.66	0.021
0.56	0.257	1.60	0.090	2.64	0.041	3.68	0.021
0.58	0.248	1.62	0.089	2.66	0.041	3.70	0.021
0.60	0.240	1.64	0.088	2.68	0.040	3.72	0.021
0.62	0.232	1.66	0.087	2.70	0.039	3.74	0.021
0.64	0.225	1.68	0.086	2.72	0.039	3.76	0.020
0.66	0.218	1.70	0.085	2.74	0.038	3.78	0.020
0.68	0.212	1.72	0.084	2.76	0.038	3.80	0.020
0.70	0.206	1.74	0.083	2.78	0.037	3.82	0.020
0.72	0.200	1.76	0.082	2.80	0.037	3.84	0.019
0.74	0.195	1.78	0.081	2.82	0.036	3.86	0.019
0.76	0.189	1.80	0.080	2.84	0.036	3.88	0.019
0.78	0.185	1.82	0.079	2.86	0.035	3.90	0.019
0.80	0.180	1.84	0.078	2.88	0.035	3.92	0.019
0.82	0.176	1.86	0.077	2.90	0.034	3.94	0.019
0.84	0.171	1.88	0.077	2.92	0.034	3.96	0.018
0.86	0.167	1.90	0.076	2.94	0.033	3.98	0.018
0.88	0.164	1.92	0.075	2.96	0.033		
0.9	0.160	1.94	0.074	2.98	0.032		
0.92	0.157	1.96	0.073	3.00	0.032		
0.94	0.153	1.98	0.073	3.02	0.032		
0.96	0.150	2.00	0.072	3.04	0.031		
0.98	0.147	2.02	0.070	3.06	0.031		
1.00	0.144	2.04	0.069	3.08	0.030		
1.02	0.141	2.06	0.068	3.10	0.030		

Tav. 1

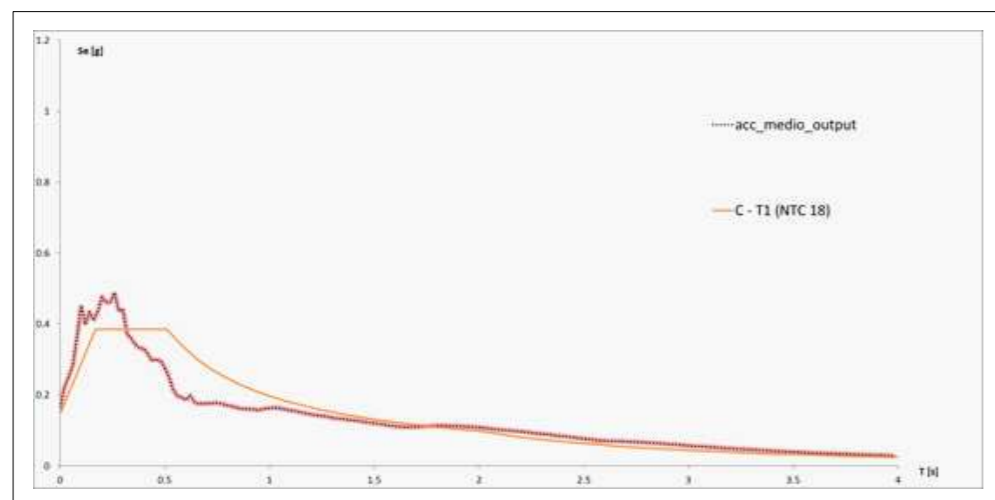
Modello sismo-stratigrafico del sottosuolo utilizzato nella modellazione



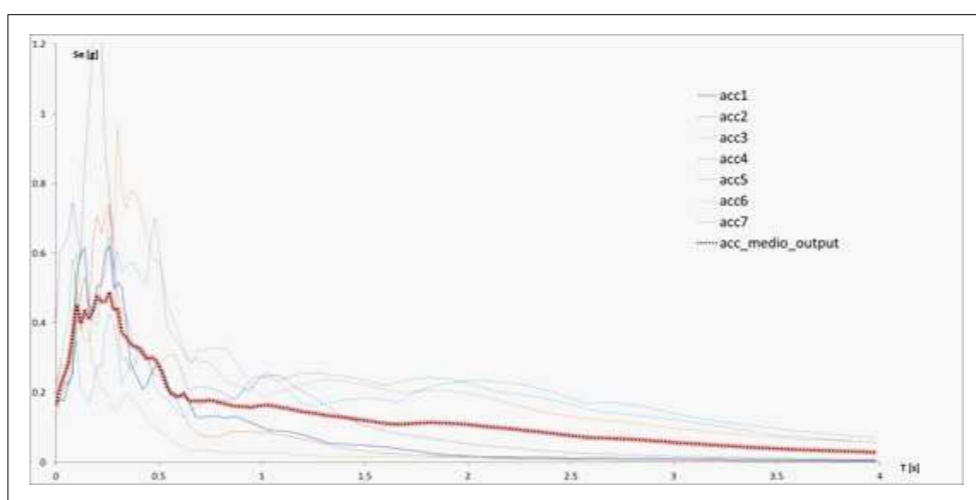
Spettri di risposta elastici dell'input sismico



Confronto tra lo spettro di risposta medio ottenuto dalle modellazioni e gli spettri derivanti dalla normativa



Spettri di risposta elastica calcolati in superficie (la linea rosa rappresenta lo spettro medio)

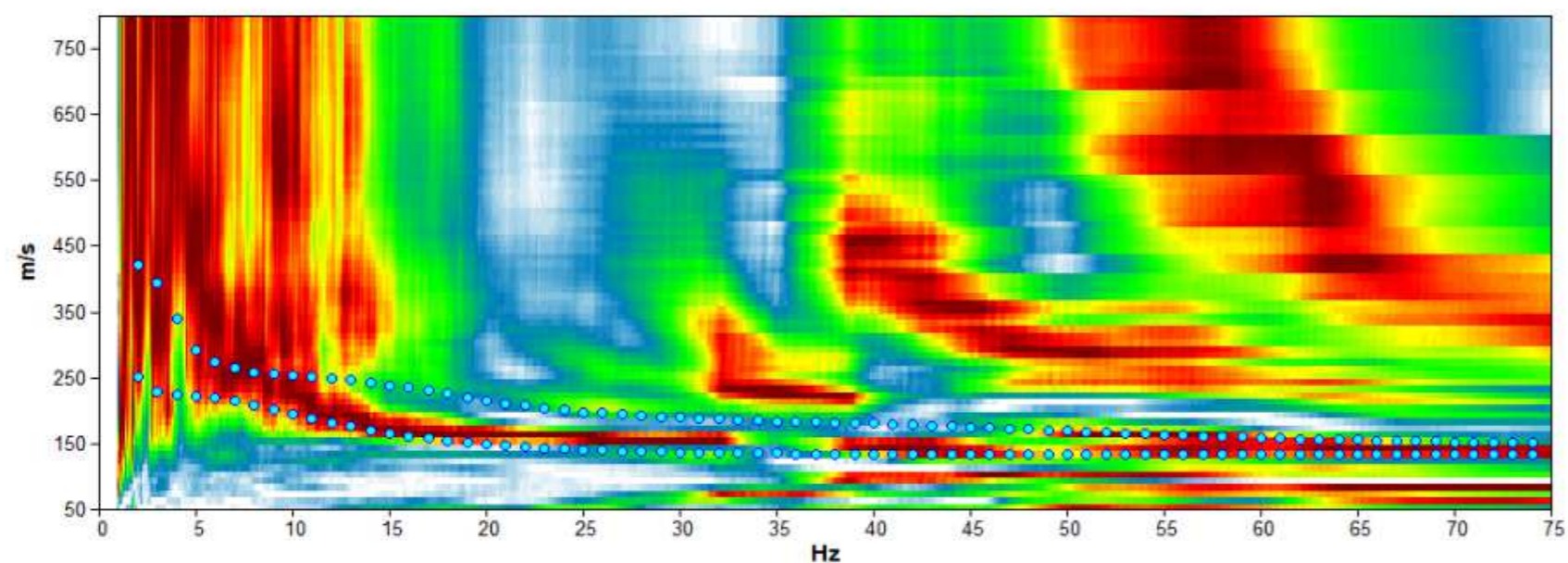


TAV2A: STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

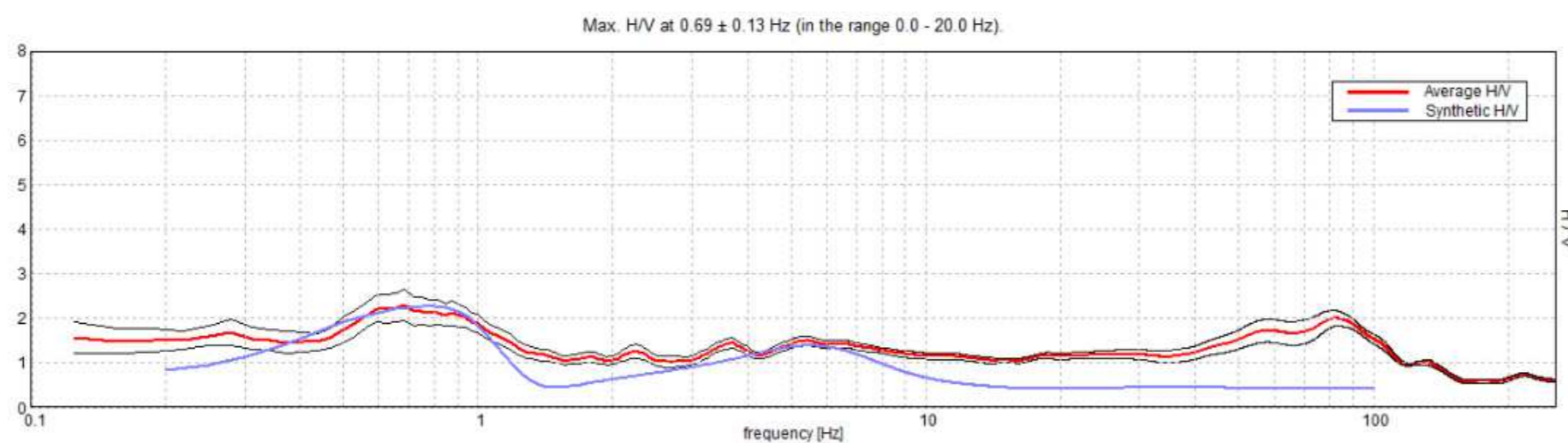
Via D. Campagnola
Comune di Padova (PD)

Lat. 45.412961° N Long. 11.868183° E (WGS-84)
Lat. 45.413873° N Long. 11.869180° E (ED50)

Giugno 2020



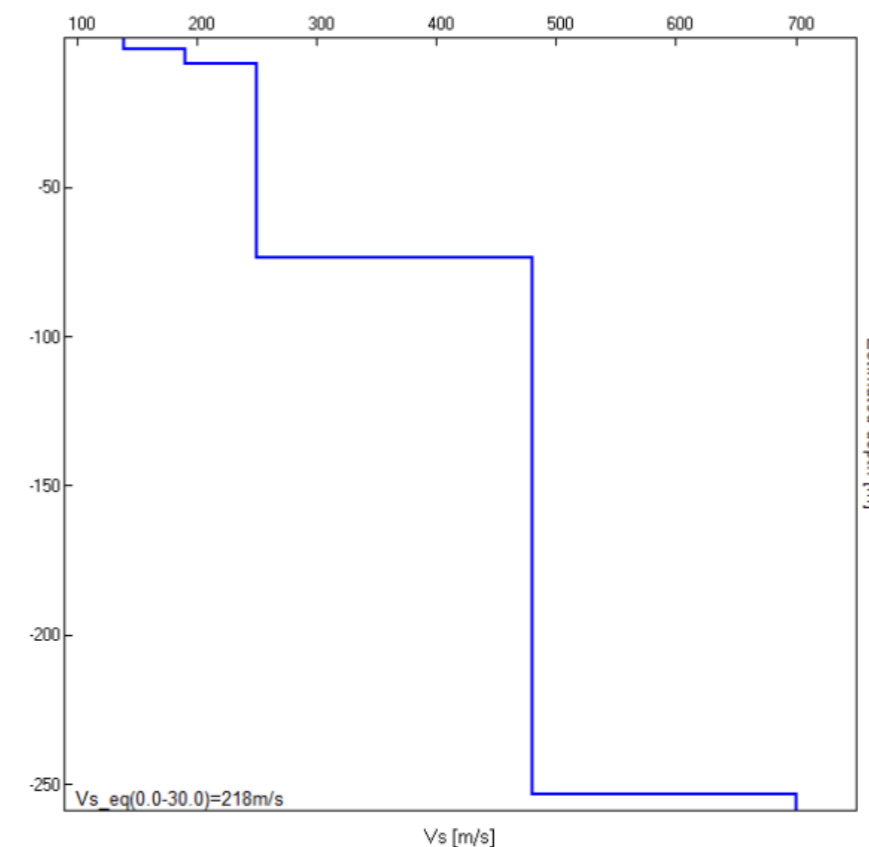
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

0 m dal p.c.	218 m/ s	<i>Categoria C</i>
1 m dal p.c.	224 m/ s	<i>Categoria C</i>
2 m dal p.c.	229 m/ s	<i>Categoria C</i>
3 m dal p.c.	235 m/ s	<i>Categoria C</i>



Profilo verticale onde S (Vs)

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	140	3,5	0,0 - 3,5
II SISMOSTRATO	190	5,0	3,5 - 8,5
III SISMOSTRATO	250	65	8,5 - ≈74
IV SISMOSTRATO	480	180	≈74 - ≈254
V SISMOSTRATO	700	Semisp.	≈254 - Semisp.



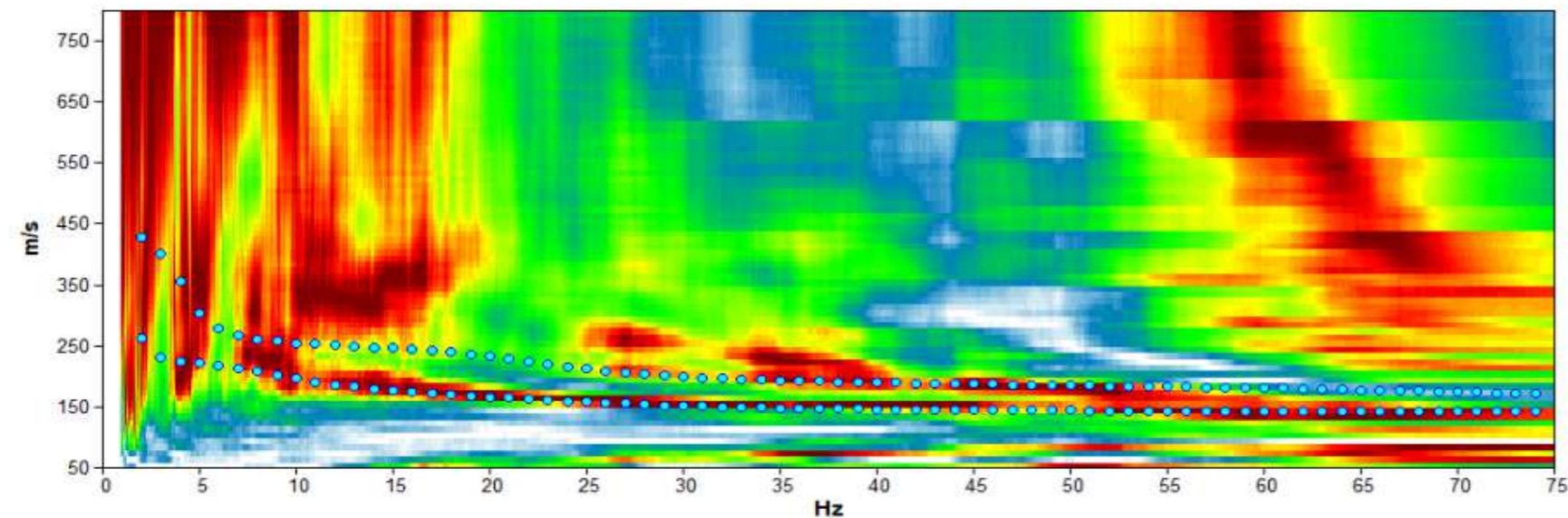
INDAGINE GEOFISICA

Ubi: Via D. Campagnola
Comune di Padova (PD)

Lat. 45,412961° N - Lon. 11,868183° E (WGS-84)

**TAV2B: Indagine sismica
Re.Mi. e H.V.S.R. n°1**

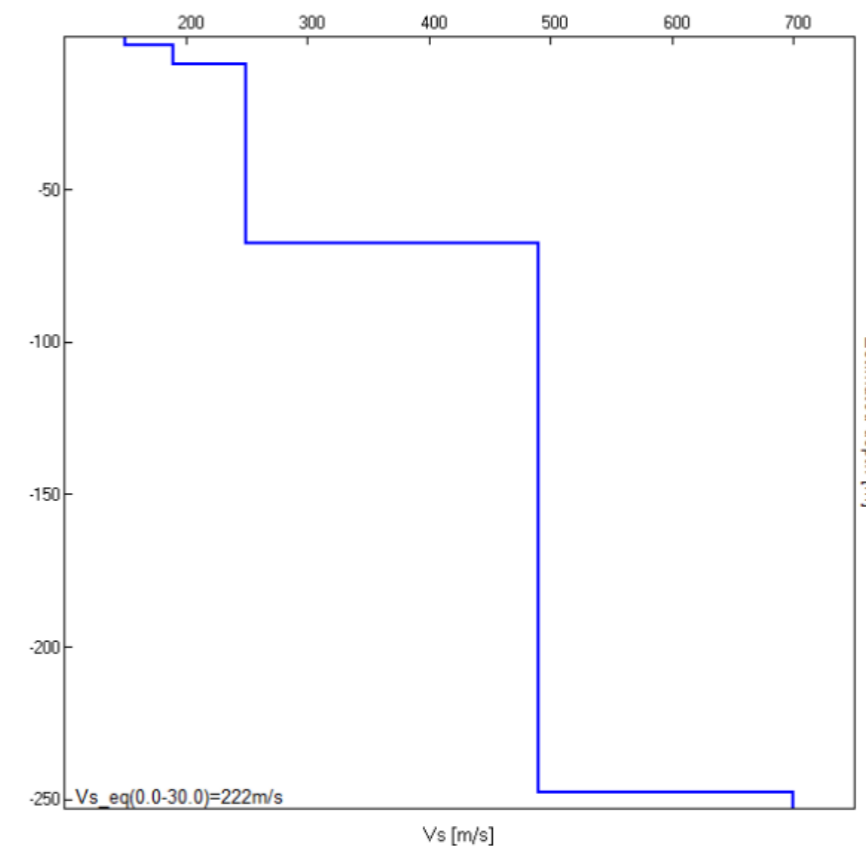
Giugno 2020



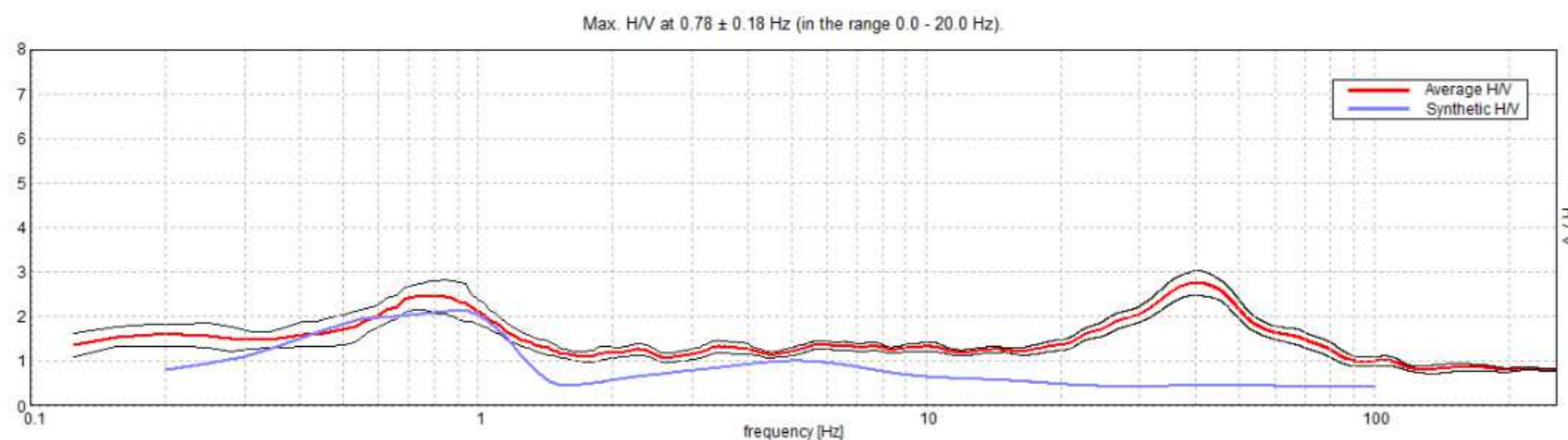
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

0 m dal p.c.	222 m/ s	<i>Categoria C</i>
1 m dal p.c.	227 m/ s	<i>Categoria C</i>
2 m dal p.c.	231 m/ s	<i>Categoria C</i>
3 m dal p.c.	236 m/ s	<i>Categoria C</i>



Profilo verticale onde S (Vs)



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	150	2,8	0,0 - 2,8
II SISMOSTRATO	190	6,0	2,8 - 8,8
III SISMOSTRATO	250	59	8,8 - ≈68
IV SISMOSTRATO	490	180	≈68 - ≈248
V SISMOSTRATO	700	Semisp.	≈248 - Semisp.



INDAGINE GEOFISICA

Ubi: Via D. Campagnola
Comune di Padova (PD)

Lat. 45,412961° N - Lon. 11,868183° E (WGS-84)

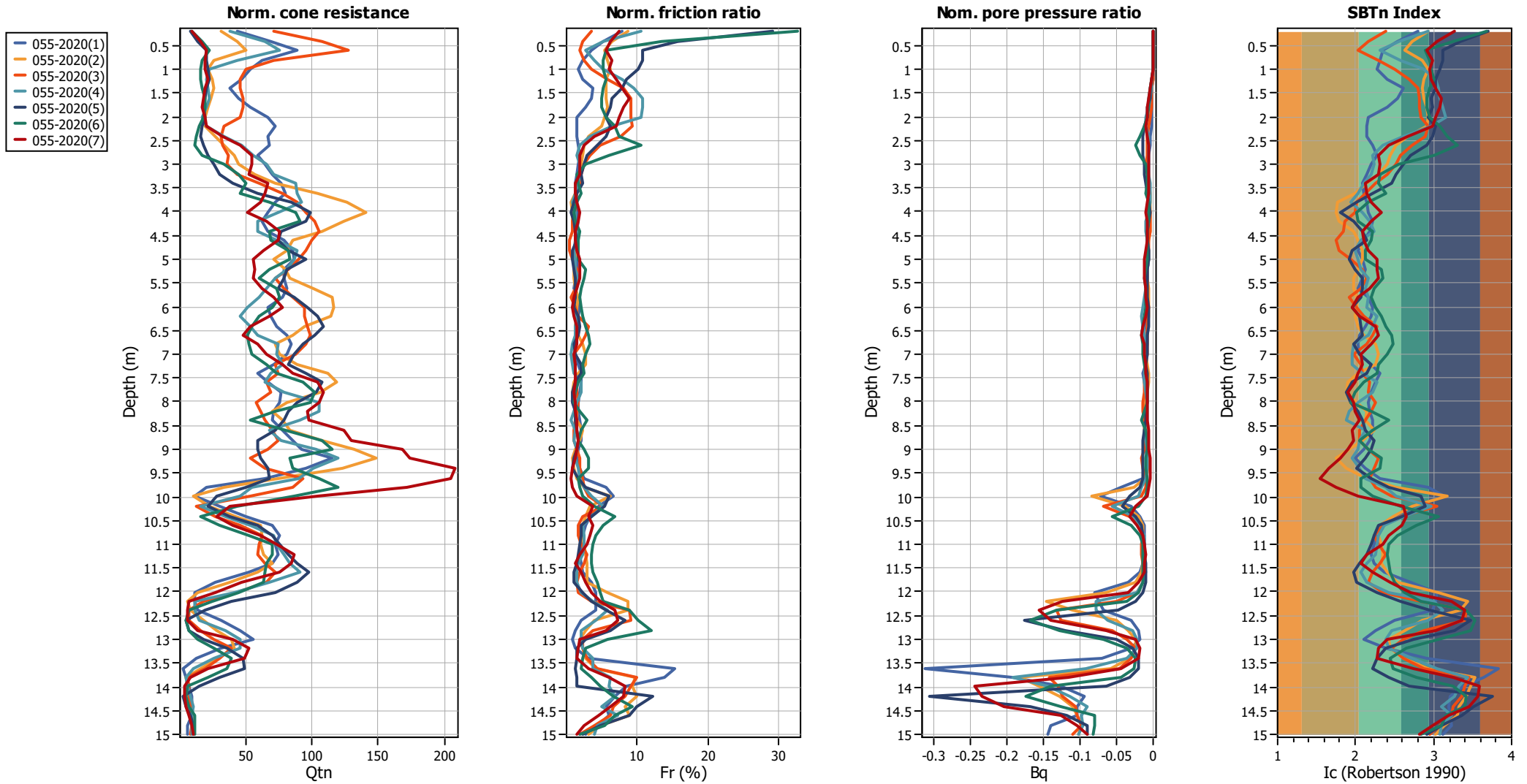
**TAV2C: Indagine sismica
Re.Mi. e H.V.S.R. n°2**

Giugno 2020



Project:

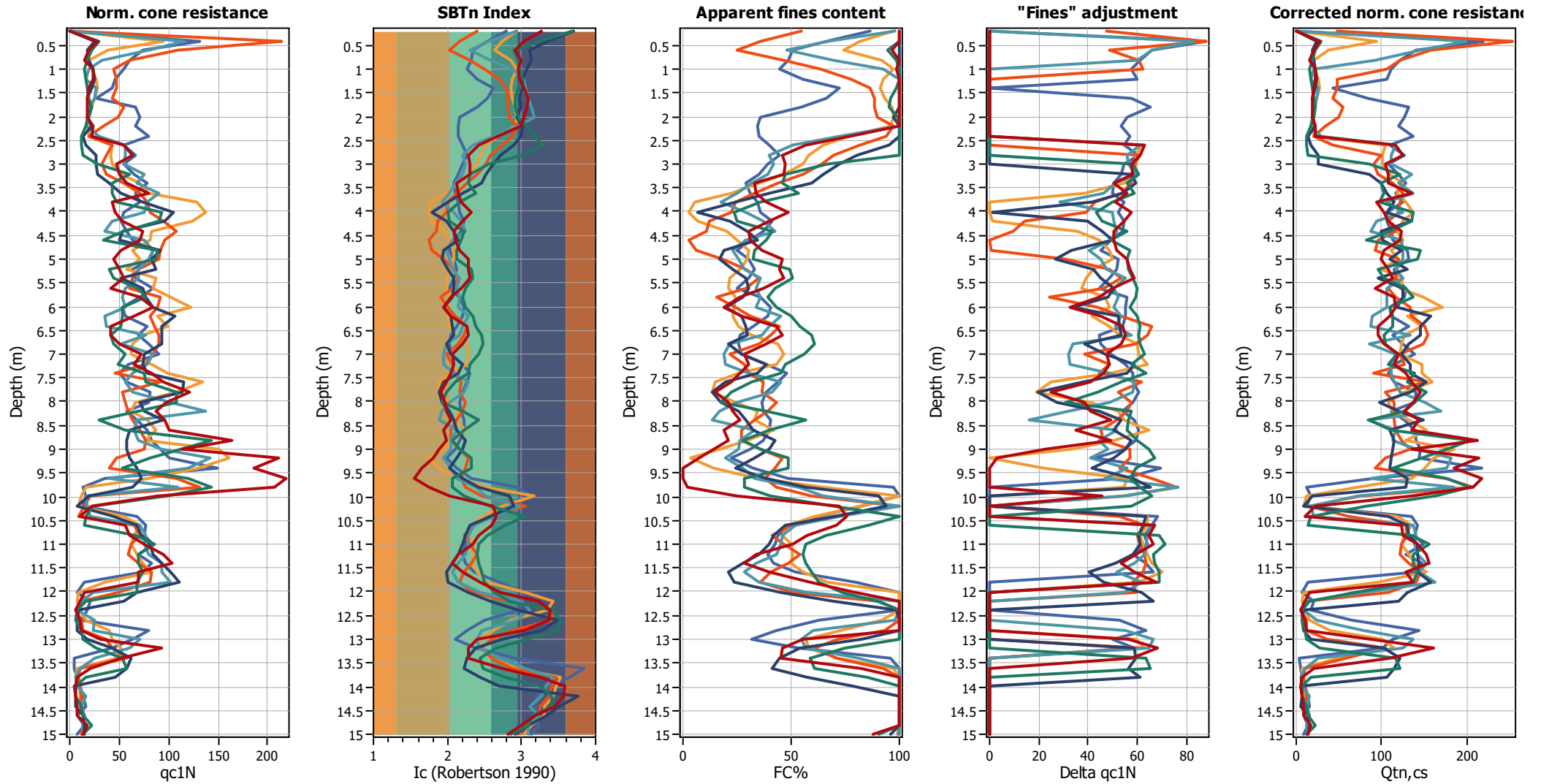
Overlay Normalized Plots





Project:

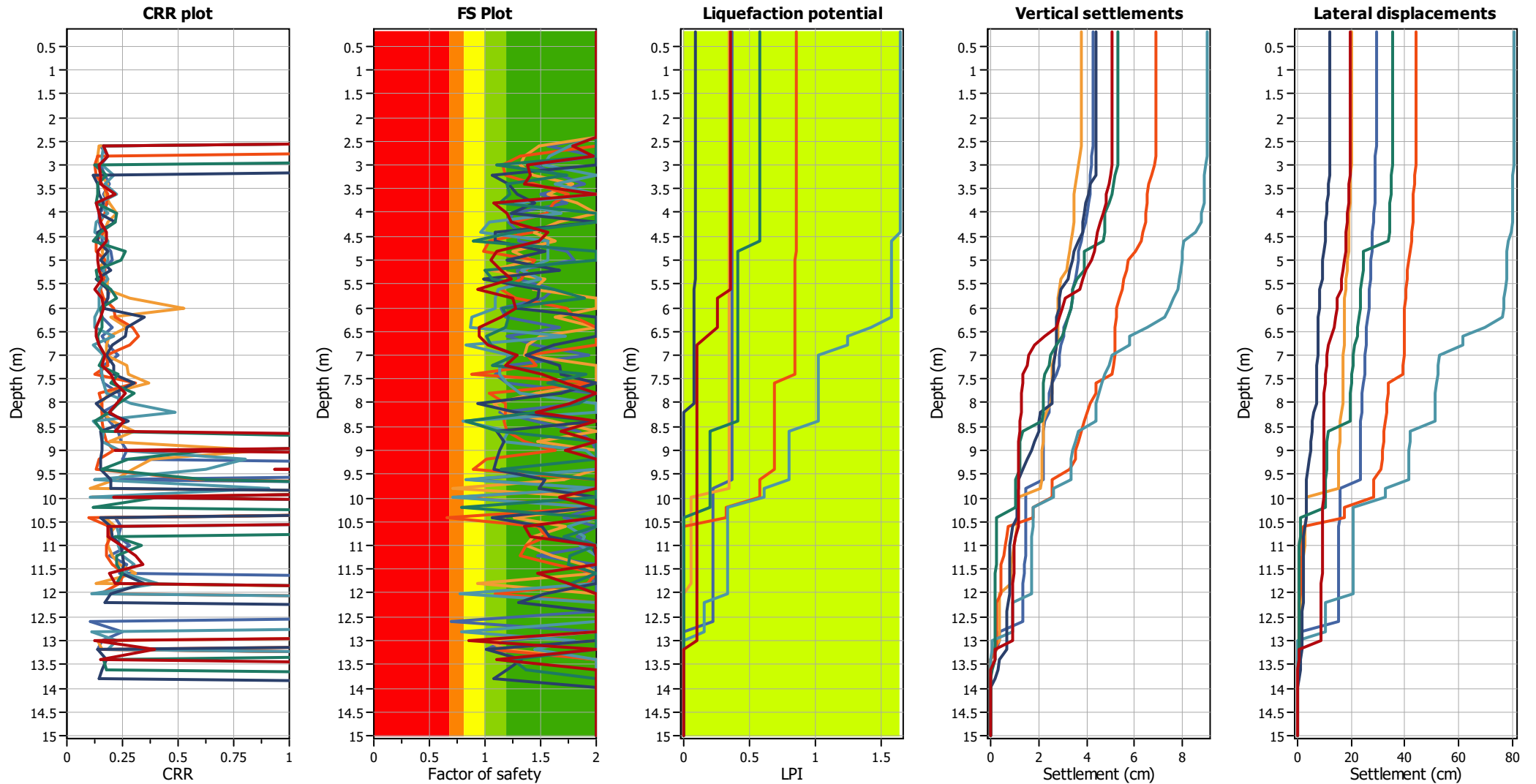
Overlay Intermediate Results





Project:

Overlay Cyclic Liquefaction Plots





Project:

Overlay Strength Loss Plots

