anas

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

Completamento della Tangenziale di Vicenza

1° Stralcio Completamento

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS DPRL

I PROGETTISTI:
ing. Antonio Scalamandré
Ordine Ing. di Frosinone n.1063

ing. Angela Maria Carbone
Ordine Ing. di Roma n. 35599

IL GEOLOGO:
geol. Serena Majetta
Ordine Geol. del Lazio n.928

IL RESPONSABILE DEL SIA:
arch. Giovanni Magarò
Ordine Arch. di Roma n.16183

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
ing. Anna Maria Nosari

ASSISTENZA AL GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS

POLICREO SOCIETÀ DI PROGETTAZIONE srl

ing. FILIPPO VIARO – *Strade e Idraulica*
Ordine Ing. di Parma n. 827A

ing. PIER PAOLO CORCHIA – *Strutture*
Ordine Ing. di Parma n. 751A

arch. SERGIO BECCARELLI – *Ambiente*
Ordine Arch. di Parma n. 377

PROTOCOLLO	DATA

GEOTECNICA

Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00EG00GETRE01A		
DPVE08	D	1401	CODICE ELAB. T00EG00GETRE01	A	

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C					
B					
A	EMISSIONE	Maggio 2018			

GEOTECNICA

Relazione Geotecnica Generale

SOMMARIO

1 PREMESSE 3

2 RIFERIMENTI: NORMATIVE, DOCUMENTI E BIBLIOGRAFIA 4

2.1 DOCUMENTI 4

2.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 4

2.3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO 4

3 INQUADRAMENTO GENERALE 6

3.1 INQUADRAMENTO DELL'OPERA 6

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE 6

4 INDAGINI GEOTECNICHE 8

4.1 CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICA 2013 8

4.2 CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICA 2014 8

4.3 CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICA 2018 8

4.3.1 Sondaggi geognostici 9

4.3.2 PROVE SPT 9

4.3.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE 10

4.3.4 PRELIEVO CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO 10

4.3.5 PROVE SISMICHE 12

4.3.6 RILIEVO PIEZOMETRICO 13

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI 14

5.1 DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICHE 14

5.1.1 INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE 14

5.1.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE 15

5.1.1.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU) E CONO SISMICO (SCPTU) 19

5.1.1.3 PROVE DI LABORATORIO 25

5.2 QUADRO DI SINTESI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE 27

6 ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI 28

6.1 METODO DI CALCOLO DEI CEDIMENTI 28

6.1.1 decorso dei cedimenti nel tempo 29

6.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI 33

7 ANALISI DI STABILITA' 41

7.1 METODO DI CALCOLO 41

7.2 CARICHI 43

7.3 RISULTATI 43

ALLEGATI

1 PREMESSE

Nel presente documento vengono affrontati gli aspetti geotecnici del progetto definitivo "Completamento della Tangenziale di Vicenza – I Stralcio – Completamento".

Il tracciato di progetto si sviluppa con andamento circa EW dallo svincolo della S.P. 26 fino alla bretella di collegamento alla base militare DIN, in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Bacchiglione.

La caratterizzazione geotecnica sviluppata in questa Relazione rappresenta il quadro di riferimento rispetto al quale sono state effettuate le verifiche geotecniche delle opere, per le quali si rimanda alle specifiche relazioni di calcolo.

Le azioni sismiche di progetto sono state definite a partire dalla pericolosità sismica di base dei siti interessati in accordo con quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2018 e con riferimento all'elaborato di progetto specifico (Relazione Sismica).

2 RIFERIMENTI: NORMATIVE, DOCUMENTI E BIBLIOGRAFIA

2.1 DOCUMENTI

[Rif. 1] Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica generale – T00GE01GEORE01

[Rif. 2] Relazione sismica– T00GE00GETRE02

[Rif. 3] Profilo geotecnico – T00GE00GETFG01

2.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[Rif. 4] Viggiani C. - "Fondazioni" – Hevelius Edizioni

[Rif. 5] Lancellotta R. "Geotecnica" - Zanichelli

[Rif. 6] Bruschi A. "Prove geotecniche in situ" – Dario Flaccovio Editore

[Rif. 7] Mancuso C, "Misure dinamiche in sito" – Hevelius Edizioni

[Rif. 8] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.

[Rif. 9] Jamiolkowski, M., Lo Presti, D.C.F. and Garizio, G.M. (2001). "Correlation between Relative Density and Cone Resistance for Silica Sands". Jubilee Volume 75th Anniversary of K. Terzaghi's. Erdbaumechanik Wien, Edit. H. Brandl.

[Rif. 10] Reese L.C., Cox W.R., Koop F.D. (1974) "Analysis of laterally loaded piles in sand"Proc. VI Offshore Technology Conference, OTC 2080, Houston, Texas.

[Rif. 11] Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPT I.

[Rif. 12] Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.

2.3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

[Rif. 13] DM 14.01.2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni"

[Rif. 14] Circ. Min. II. TT. 02.02.2009, n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008"

[Rif. 15] Raccomandazioni AGI Giugno 1977, "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"

[Rif. 16] Raccomandazioni AGI maggio 1994 "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio"

[Rif. 17] Linee guida AGI 2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica"

[Rif. 18] UNI EN 1997-1:2005 "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali"

[Rif. 19] UNI EN 1998-5:2005 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"

3 INQUADRAMENTO GENERALE

3.1 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

La porzione di territorio interessata dal tracciato stradale in oggetto ricade interamente nella provincia di Vicenza e si sviluppa nel settore settentrionale dell'area urbana di Vicenza.

Il tracciato ricade nel territorio comunale di Vicenza, ad eccezione del tratto in cui è prevista la rotatoria con viabilità di accesso alla base militare del DIN che è di pertinenza comunale di Caldogno.

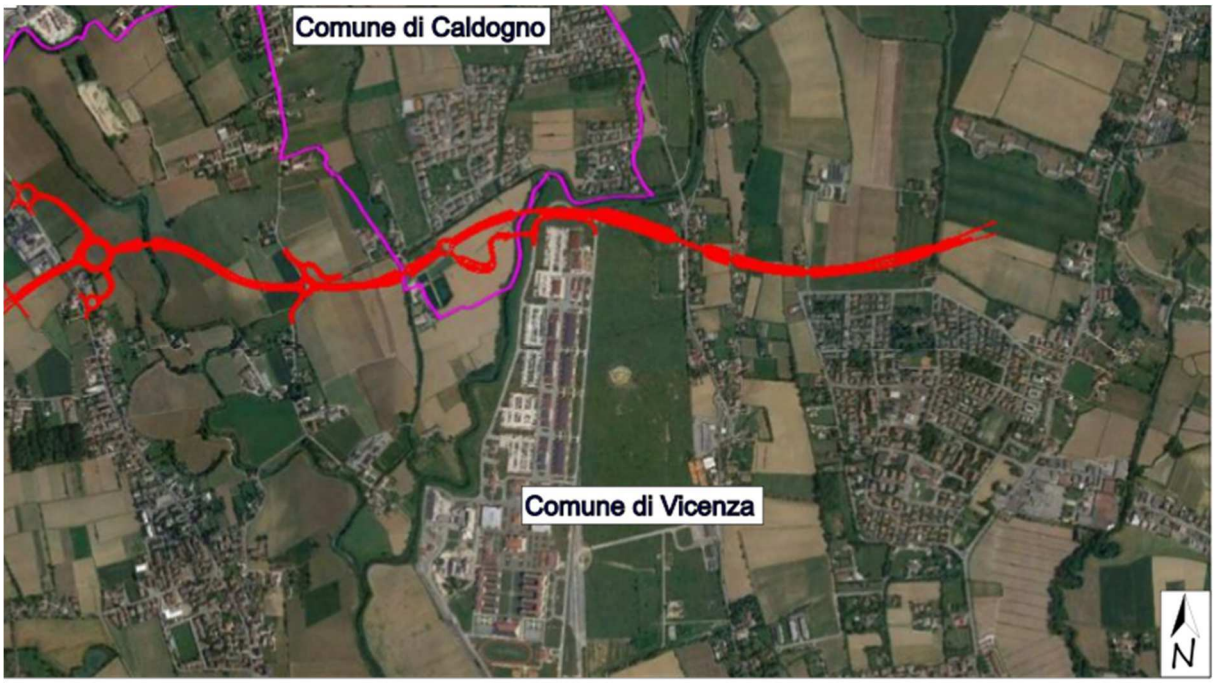


Figura 1. Inquadramento del tracciato stradale di progetto (in rosso)

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Rimandando alla Relazione Geologica di progetto per maggiori dettagli, nel seguito si delineano brevemente i caratteri geologici dell'area.

Il territorio appartiene al potente materasso alluvionale padano-veneto costituito, alla base, da sedimenti di formazione marina (sabbie, marne e argille) depositatesi nel Quaternario Antico o Pleistocene inferiore. Con il Pleistocene Medio iniziano a formarsi i più antichi depositi di tipo continentale contemporaneamente alla fusione dei ghiacciai e delle glaciazioni Donau e Gunz. Fenomeni di subsidenza, oscillazioni eustatiche, movimenti tettonici legati alle ultime fasi dell'orogenesi alpina determinarono il definitivo instaurarsi di un ambiente continentale, caratterizzato da un potente accumulo di materiali detritici fluvioglaciali e fluviali.

Nell' inquadramento generale (estratto da studio geologico del PAT di Vicenza), il territorio presenta a sud di Vicenza una zona di rilievi collinari appartenenti alle propaggini più settentrionali dei Monti Berici costituiti da calcari, calcareniti, arenarie e marne oligoceniche-eoceniche con inclusioni vulcanitiche basaltiche appartenenti al sistema eruttivo oligocenico-paleocenico degli Euganei-Berici_Lessini. A nord di Vicenza, settore in cui ricade il tracciato di progetto, si estende una zona di pianura che appartiene al dominio delle alluvioni recenti e antiche del sistema Bacchiglione-Tesina-Astichello, depositate dai fiumi a seguito del trasporto dei sedimenti lungo la piana corrispondente alla media Pianura Veneta.

Le glaciazioni quaternarie sono state interessate da numerosi oscillazione termiche minori che hanno causato un'alternanza di progressioni e regressioni del fronte glaciale. Nel territorio in studio sono presenti i depositi delle fasi Rissiana e Rissiana Antica. I depositi allineati secondo cerchie aventi convessità rivolta verso la pianura sono stati rimodellati e parzialmente smantellati a più riprese durante i periodi interglaciali da imponenti scaricatori glaciali che corrispondevano approssimativamente agli attuali percorsi dei maggiori fiumi, asportando materiale sciolto per poi trasportarlo verso sud dove, depositato, ha dato luogo a vasti terrazzi degradanti verso le zone di media pianura.

Nell'ambito della pianura a nord di Vicenza entro cui si sviluppa il tracciato in progetto, caratterizzata dalla presenza di un materasso alluvionale differenziato e collocata a sud della "Fascia delle risorgive", i terreni quaternari sono costituiti da materiali detritici continentali di deposito fluvioglaciale/alluvionale, molto variabili dal punto di vista granulometrico e tessiturale, geneticamente legati alla sovrapposizione ed interdigitazione delle conoidi subalpine dei principali corsi d'acqua ed alle loro divagazioni nell'area di pianura.

Dal punto di vista geologico, quindi, l'area è caratterizzata dalla presenza dei sedimenti di origine fluviale e fluvioglaciale tipici della media Pianura Veneta. Il sottosuolo dell'alta e media pianura è costituito prevalentemente da grandi conoidi ghiaiosi deposti dai corsi d'acqua prealpini allo sbocco dalle vallate montane. Nella fascia di alta pianura, a ridosso dei rilievi prealpini, i differenti conoidi sono tra loro sovrapposti, a causa dell'ampia divagazione dei fiumi, determinando un sottosuolo pressoché ghiaioso, indifferenziato anche per qualche centinaio di metri. A valle, nella media pianura, i conoidi di differente età non sono sovrapposti tra loro ma risultano nettamente separati da spessi livelli limoso-argillosi che arrivano quasi ad avvolgere i conoidi stessi; il sottosuolo mostra una struttura stratigrafica caratterizzata da alternanza di livelli alluvionali ghiaiosi con livelli limoso-argillosi, per spessori di centinaia di metri.

Il sottosuolo nel territorio studiato è quindi caratterizzato da una serie sedimentaria alluvionale, costituita da una potente successione di limi ed argille prevalenti, all'interno della quale si intercalano in profondità orizzonti e lenti più grossolane sabbioso-ghiaiose. La serie è riferibile ad ambienti di sedimentazione fluviali di bassa energia, con frequenti condizioni palustri o marine, e con temporanei e localizzati episodi fluviali o torrentizi d'energia maggiore.

4 INDAGINI GEOTECNICHE

Le indagini sulle quali è basata la caratterizzazione geotecnica, contenuta nella presente relazione, sono relative a più campagne d'indagine che si sono succedute nel corso dei vari livelli di progettazione:

4.1 CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICA 2013

La campagna di indagine geognostica del 2013 è stata così articolata:

- n.4 prove CPTU

4.2 CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICA 2014

La campagna di indagine geognostica del 2014 è stata così articolata:

- n.8 pozzetti esplorativi.

4.3 CAMPAGNA D'INDAGINI GEOGNOSTICA 2018

La campagna di indagine geognostica del 2018 è stata così articolata:

- n.3 sondaggi geotecnici verticali a carotaggio continuo (S1_D_DH - S2_D_PZ – S3_D_PZ) finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con n. 14 prove SPT in foro e prelievo di n. 8 campioni indisturbati e n. 6 campioni rimaneggiati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico
- condizionamento del foro di sondaggio S1_D_DH (prof. 20 m dal p.c.) con tubazione cieca in PVC da 3" per la realizzazione della prova down-hole
- condizionamento dei fori di sondaggio S2_D_PZ e S3_D_PZ (prof. 25 m dal p.c.) con piezometro a tubo aperto in PVC da 2" attestati rispettivamente a 7.70 e 20 m dal p.c.
- n. 2 prove CPTU e n. 1 prova S-CPTU
- n. 1 prova simica down-hole
- n. 2 indagini sismiche MASW E n. 1 indagine simica a rifrazione

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella "Planimetria ubicazione indagini" (T00GE00GEOPU01A-01). Rimandando agli elaborati T00GE00GEORE05A "Documentazione indagini geognostiche", T00GE00GEORE06A "Documentazione prove di laboratorio" e T00GE00GEORE07A "Documentazione indagini geofisiche" si riporta di seguito una sintesi delle indagini realizzate.

4.3.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sondaggio	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m dal p.c.)
S1_D_DH	40.0	20
S2_D_PZ	37.6	25
S3_D_PZ	38.7	25

I 3 sondaggi geotecnici hanno intercettato, per gran parte della verticale investigata, depositi costituiti da un'alternanza di limo argilloso-sabbioso e sabbia limosa. Sono stati inoltre rinvenuti locali livelli di ghiaia in scarsa matrice sabbioso-limosa (2.2-3.9 m dal p.c. in S1_D_DH, 5.2-5.8 m dal p.c. in S2_D_PZ e 3,9-7.1 m dal p.c. in S3_D_PZ). La sequenza stratigrafica è chiusa, in corrispondenza di tutti i sondaggi eseguiti, da uno strato di terreno vegetale dello spessore massimo di circa 1.00 m

4.3.2 PROVE SPT

Nel corso della realizzazione dei sondaggi geotecnici S1_D_DH, S2_D_PZ e S3_D_PZ sono state realizzate le seguenti prove SPT in foro:

Sondaggio	Profondità(m dal p.c.)	N° colpi
S1_D_DH	1.50-1.95	3/4/3
	5.50-5.95	2/2/3
	12.00-12.45	3/2/3
	16.00-16.45	5/7/8
S2_D_PZ	5.00-5.45	4/4/5
	8.30-8.75	2/3/2
	13.50-13.95	4/5/5
	16.00-16.45	3/4/5
	20.00-20.45	5/4/6
S3_D_PZ	5.70-6.00	28/R
	12.00-12.45	3/2/3
	15.00-15.45	5/7/7
	19.00-19.45	6/7/8
	22.00-22.45	7/9/11

4.3.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Lungo il tracciato di progetto sono state realizzate n. 3 prove penetrometriche statiche CPTU. Nella prova denominata S-CPTU03 è stato inserito un piezocono sismico fornito di accelerometri che ha permesso l'acquisizione delle onde sismiche di taglio. A quote prefissate è stata arrestata la penetrazione della punta e sono state eseguite prove di dissipazione delle sovrappressioni nel tempo.
Rimandando all'elaborato T00GE00GEORE05A "Documentazione indagini geognostiche" per le relative schede e grafici, si riporta di seguito l'elenco delle prove penetrometriche realizzate e la sintesi dei risultati.

Prove penetrometriche statiche

Sigla	Est	Nord	Quota p.c. (m s.l.m.)	Profondità (m dal p.c.)	n. dissipazioni
CPTU1_D	1 696 211.54	5 050 435.58	39.73	24.80	2
CPTU2_D	1 697 076.08	5 050 473.78	38.06	20.00	2
SCPTU3_D	1 697 262.54	5 050 572.77	38.74	20.00	1

4.3.4 PRELIEVO CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO

Durante la realizzazione dei sondaggi S1_D_DH, S2_D_PZ – S3_D_PZ sono stati prelevati i seguenti campioni da sottoporre alle prove di laboratorio geotecnico:

Campioni indisturbati e rimaneggiati

Sondaggio	Campioni indisturbati (m dal p.c.)	Campioni rimaneggiati (m dal p.c.)
S1_D_DH	CI1(7.0-7.5) CI2(10.0-10.5) CI3(14.5-15.0)	CR2(0.5 1.0) CR1(8.0 8.5)
S2_D_PZ	CI1(3.0-3.4) CI2(11.2-11.7)	CR2(0.5-1.0) CR3(14.0-14.5) CR1(15.5-16.0)
S3_D_PZ	CI1(3.0-3.5) CI2(7.5-8.0) CI3(17.0-17.5)	CR1(20.5 21.0)

Dei campioni prelevati sono stati analizzati quelli indicati dalla Committenza effettuando le seguenti determinazioni:

- caratteristiche generali: contenuto d'acqua (W), peso specifico dei grani (γ_s), peso di volume naturale (γ_n), peso di volume secco (γ_d), porosità (n), indice dei vuoti (e), grado di saturazione (S_r);
- curva granulometrica mediante analisi granulometrica per setacciatura e/o sedimentazione;

- limiti di Atterberg;
- angolo d'attrito interno e coesione mediante prove di taglio consolidata non drenata CIU;
- coesione non drenata mediante prova triassiale UU;
- prova di compressione edometrica;

Di seguito si riportano le tabelle contenenti i risultati delle prove di laboratorio geotecnico, la prima relativa ai campioni indisturbati e rimaneggiati e la seconda ai campioni prelevati nei pozzetti, rimandando per i relativi certificati all'elaborato T00GE00GEORE07A (Documentazione prove di laboratorio geotecnico).

Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m)		Peso di volume naturale γn (KN/m3)	Peso volume del secco γd (KN/m3)	Contenuto d'acqua W (%)	Peso specifico dei grani	Porosità n (%)	Indice dei vuoti e (-)	Grado di saturazione G (%)	Distribuzione granulometrica (%)					Limiti di Atterberg (%)					Contenuto in sostanza organica	Prova di taglio consolidata non drenata CIU		Prova triassiale UU	Prova di compressibilità edometrica	
		da	a								Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli	WL	WP	IP	IC	IL	%	Angolo di attrito (°)	Coesione (KPa)	Cu media (kPa)	Modulo edometrico E_{ed} (MPa)	Coefficiente di compressibilità mv (MPa)
S1 D DH - CI1	T.476/18	7,00	7,50	17,27	12,64	36,59	2,59	51,13	1,05	90,47	31,00	58,00	11,00	0,00	0,00	40,20	23,16	17,04	0,2	0,79					1,6	6,1E-01
S1 D DH - CI2	T.477/18	10,00	10,50	19,59	15,56	25,94	2,73	42,93	0,75	93,88	18,00	53,00	29,00	0,00	0,00	37,40	22,12	15,28	0,75	0,25				148,835	13,6	7,36E-02
S1 D DH - CI3	T.478/18	14,50	15,00	18,28	13,81	32,43	2,6	46,79	0,88	95,57	29,00	53,00	16,00	2,00	0,00	34,50	18,75	15,75	0,13	0,87		30,33	25,62		5,2	1,92E-01
S1 D DH - Cr1	T.479/18	0,50	1,00				2,59				27,00	40,00	31,00	2,00	0,00	60,00	36,58	23,42								
S1 D DH - Cr2	T.480/18	8,00	8,50				2,65				21,00	46,00	31,00	2,00	0,00	41,00	25,63	15,37								
S2 D Pz - CI1	T.481/18	3,00	3,40	19,63	15,76	24,57	2,7	41,58	0,71	93,11	24,00	44,76	30,24	1,00	0,00	53,20	27,04	26,16	1,09	-0,09					1,7	5,89E-01
S2 D Pz - CI2	T.482/18	11,20	11,70	19,79	16,41	20,6	2,56	35,88	0,56	94,23	38,50	48,50	13,00	0,00	0,00	44,80	22,06	22,74	1,06	-0,06	3,66	28,82	30,03			
S2 D Pz - Cr1	T.483/18	0,50	1,00				2,67				27,00	54,00	18,00	1,00	0,00	61,60	36,60	25,00								
S2 D Pz - Cr2	T.484/18	14,00	14,50								40,00	48,00	12,00	0,00	0,00	48,70	26,18	22,52								
S2 D Pz - Cr3	T.485-18	15,50	16,00	18,48	14,00	32,17	2,69				6,00	56,00	38,00	0,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.				32,86	18,66			
S3 D Pz - CI1	T.486/18	3,00	3,50	17,57	13,07	34,43	2,65	50,72	1,03	88,72	7,00	35,00	58,00	0,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.							4,2	2,35E-01
S3 D Pz - CI2	T.487/18	7,50	8,00	18,6	14,59	27,52	2,51	41,96	0,72	95,67	30,00	42,00	28,00	0,00	0,00	51,50	27,86	23,64	1,01	-0,01				46,011	2,40	4,09E-01
S3 D Pz - CI3	T.488/18	17,00	17,50	19,10	15,33	24,72	2,62	41,57	0,72	90,43	13,00	71,00	16,00	0,00	0,00	32,50	20,52	11,98	0,65	0,35					12,50	7,99E-02
S3 D Pz - Cr1	T.489/18	20,50	21,00				2,71				19,00	65,00	16,00	0,00	0,00	30,00	21,49	8,51								

Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m)		Peso di volume naturale γn (KN/m3)	Peso volume del secco γd (KN/m3)	Contenuto d'acqua W (%)	Peso specifico dei grani	Porosità n (%)	Indice dei vuoti e (-)	Grado di saturazione G (%)	Distribuzione granulometrica (%)					Limiti di Atterberg (%)					Contenuto in sostanza organica	Prova di taglio consolidata non drenata CIU		Prova triassiale UU	Prova di compressibilità edometrica	
		da	a								Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli	WL	WP	IP	IC	IL	%	Angolo di attrito (°)	Coesione (KPa)	Cu media (kPa)	Modulo edometrico E_{ed} (MPa)	Coefficiente di compressibilità mv (MPa)
S1 D DH - CI1	T.476/18	7,00	7,50	17,27	12,64	36,59	2,59	51,13	1,05	90,47	31,00	58,00	11,00	0,00	0,00	40,20	23,16	17,04	0,2	0,79					1,6	6,1E-01
S1 D DH - CI2	T.477/18	10,00	10,50	19,59	15,56	25,94	2,73	42,93	0,75	93,88	18,00	53,00	29,00	0,00	0,00	37,40	22,12	15,28	0,75	0,25				148,835	13,6	7,36E-02
S1 D DH - CI3	T.478/18	14,50	15,00	18,28	13,81	32,43	2,6	46,79	0,88	95,57	29,00	53,00	16,00	2,00	0,00	34,50	18,75	15,75	0,13	0,87		30,33	25,62		5,2	1,92E-01
S1 D DH - Cr1	T.479/18	0,50	1,00				2,59				27,00	40,00	31,00	2,00	0,00	60,00	36,58	23,42								
S1 D DH - Cr2	T.480/18	8,00	8,50				2,65				21,00	46,00	31,00	2,00	0,00	41,00	25,63	15,37								
S2 D Pz - CI1	T.481/18	3,00	3,40	19,63	15,76	24,57	2,7	41,58	0,71	93,11	24,00	44,76	30,24	1,00	0,00	53,20	27,04	26,16	1,09	-0,09					1,7	5,89E-01
S2 D Pz - CI2	T.482/18	11,20	11,70	19,79	16,41	20,6	2,56	35,88	0,56	94,23	38,50	48,50	13,00	0,00	0,00	44,80	22,06	22,74	1,06	-0,06	3,66	28,82	30,03			
S2 D Pz - Cr1	T.483/18	0,50	1,00				2,67				27,00	54,00	18,00	1,00	0,00	61,60	36,60	25,00								
S2 D Pz - Cr2	T.484/18	14,00	14,50								40,00	48,00	12,00	0,00	0,00	48,70	26,18	22,52								
S2 D Pz - Cr3	T.485-18	15,50	16,00	18,48	14,00	32,17	2,69				6,00	56,00	38,00	0,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.				32,86	18,66			
S3 D Pz - CI1	T.486/18	3,00	3,50	17,57	13,07	34,43	2,65	50,72	1,03	88,72	7,00	35,00	58,00	0,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.							4,2	2,35E-01
S3 D Pz - CI2	T.487/18	7,50	8,00	18,6	14,59	27,52	2,51	41,96	0,72	95,67	30,00	42,00	28,00	0,00	0,00	51,50	27,86	23,64	1,01	-0,01				46,011	2,40	4,09E-01
S3 D Pz - CI3	T.488/18	17,00	17,50	19,10	15,33	24,72	2,62	41,57	0,72	90,43	13,00	71,00	16,00	0,00	0,00	32,50	20,52	11,98	0,65	0,35					12,50	7,99E-02
S3 D Pz - Cr1	T.489/18	20,50	21,00				2,71				19,00	65,00	16,00	0,00	0,00	30,00	21,49	8,51								

4.3.5 PROVE SISMICHE

Nel foro di sondaggio S1_D_DH profondo 20 m, opportunamente condizionato, è stata realizzata n. 1 prova sismica Down-Hole che ha consentito di individuare la seguente sismostratigrafia.

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V_P	V_S
	da	a	m/s	m/s
1°	0.0	2.1	358	69
2°	2.1	15.1	936	146
3°	15.1	20.0	1.317	197

Tabella 1: Vicenza (VI). Indagine *down-hole* S1_D_DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati

n. *1 indagine sismica a rifrazione tomografica RIFRA L 1*di cui si riportano di seguito le preudosezioni sismiche tomografiche

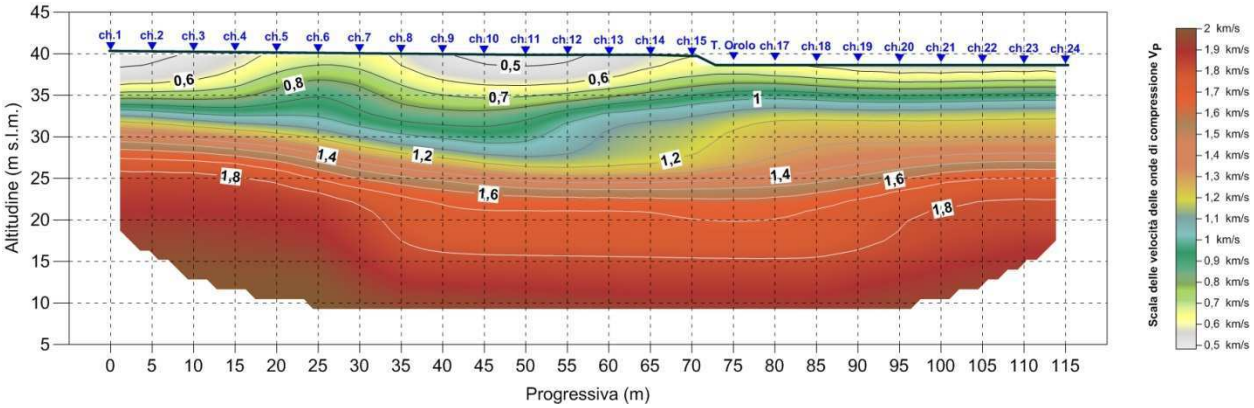


Figura 2. Vicenza. Tomografia sismica in onde P. Pseudosezione

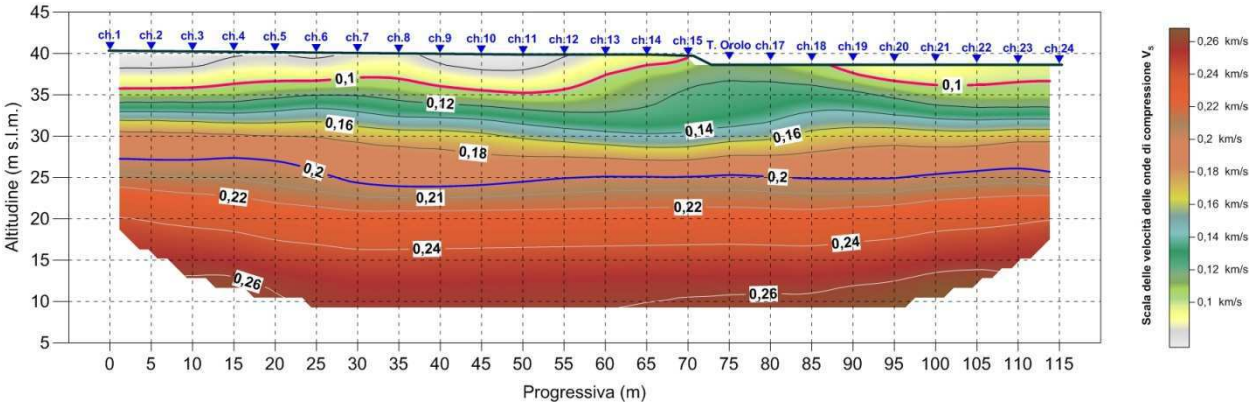


Figura 3. Vicenza. Tomografia sismica in onde S. Pseudosezione sismica tomografica

n. 2 indagini sismiche MASW che hanno permesso di calcolare il valore della velocità equivalente, di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ pari a 223 m/s (MASW2) e 218 m/s (MASW3) , ai sensi delle NTC 2018, il sottosuolo può essere attribuito alla Categoria "C".
I dettagli riguardanti tali prove sono riportati nell'elaborato T00GE00GEORE07A Documentazione indagini geofisiche.

4.3.6 RILIEVO PIEZOMETRICO

Su richiesta della Committenza, i fori di sondaggio S2_D_PZ e S3_D_PZsono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto attestati rispettivamente alla profondità di 7.7 m e 20.0 m dal p.c. In data 02/05/2018 è stato effettuato il rilievo del livello idrico nei due piezometri che è risultato pari a 1.50 m dal p.c.. in S2_D_PZ e di 2.50 m dal p.c. in S3_D_PZ.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche delle unità geotecniche interessate dalla realizzazione dell'opera sono stati interpretati e utilizzati i dati di tutte le campagne di indagine eseguite dal 2013 al 2018. Nel seguito vengono descritti ed interpretati, per ciascuna unità geotecnica individuata, i risultati delle indagini in sito e di laboratorio con l'obiettivo di definire i principali parametri fisici e meccanici (rigidezza e resistenza) dei terreni di fondazione.

Per ciascuna formazione/materiale e per ciascun parametro geotecnico rappresentativo, i dati relativi alle diverse campagne di indagine sono riportati, ove possibile, in forma grafica. I principali parametri rappresentativi di ciascuna formazione sono quindi successivamente riassunti per semplicità, in tabelle riepilogative. I parametri di calcolo riportati nelle tabelle delle singole unità geotecniche sono da intendersi come valori caratteristici.

5.1 DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICHE

Come è possibile dedurre dall'inquadramento geologico, l'area oggetto dell'intervento è interessata da sedimenti alluvionali caratterizzati da granulometrie comprese fra quella delle sabbie a quelle delle argille.

I depositi alluvionali sono ricoperti superficialmente da terreni di riporto di origine antropica, a granulometria eterogenea. In sintesi sono presenti le seguenti unità geotecniche:

- Unità geotecnica *Ug1*: alluvioni argillose limose prevalenti, si tratta di terreni alluvionali prevalentemente coesivi;
- Unità geotecnica *Ug2*: alluvioni limoso sabbiose, si tratta di terreni alluvionali limoso sabbiosi poco addensati;
- Unità geotecnica *Ug3*: Ghiaia in matrice sabbiosa

5.1.1 INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU).
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;

5.1.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità sono stati stimati sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT e delle prove penetrometriche statiche CPT/CPTU.

Le prove SPT sono state effettuate sia all'interno dei terreni prevalentemente sabbiosi, in cui non è possibile il prelievo di campioni indisturbati, sia nei terreni a grana fina.

La *Figura 4* riporta i risultati del numero di colpi, N'_{SPT}, in funzione della profondità ottenuti dalla campagna di indagine del 2018.

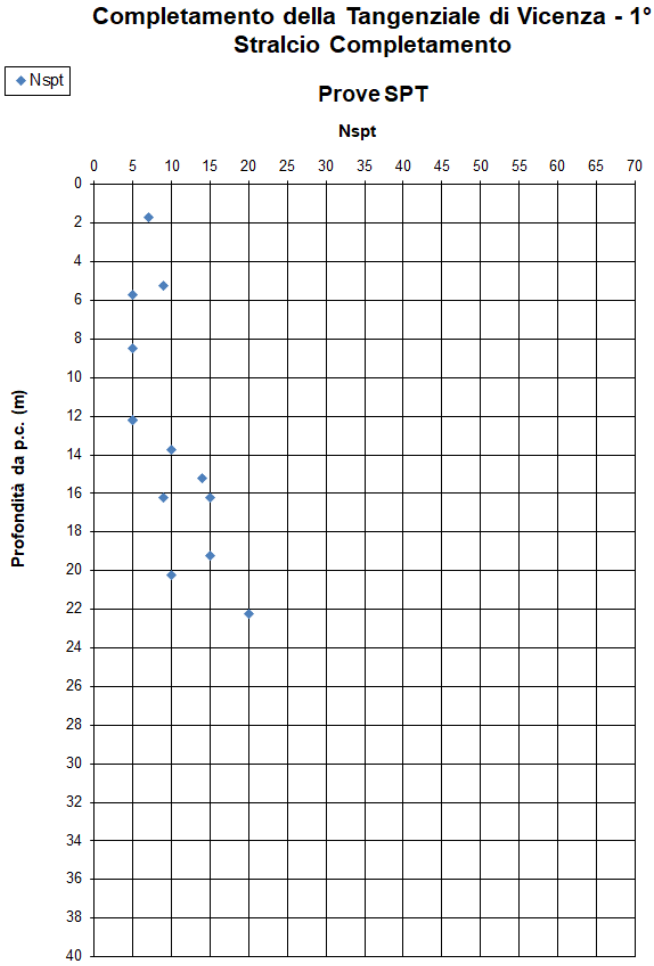


Figura 4. Risultati numero di colpi corretto, N'spt

Il numero di colpi riportato in *Figura 4* è stato corretto tenendo conto dell'influenza delle sovrappressioni interstiziali. La relazione utilizzata per la correzione è quella di Terzaghi & Peck (1948), i quali suggerirono che, nel caso di sabbie limose, quando N_{SPT}>15 la resistenza penetrometrica si debba ridurre secondo:

$$N'_{SPT} = 15 + 0{,}5(N_{SPT} - 15)$$

Successivamente per ogni valore di N'_{SPT}, è stato stimato il corrispondente stato di addensamento del terreno, attraverso la determinazione della densità relativa Dr. Dalla densità relativa Dr, è stato infine possibile ricavare il valore dell'angolo di resistenza al taglio φ'.

Nello specifico per la valutazione della densità relativa Dr si è fatto riferimento alla relazione proposta da Skempton (1986):

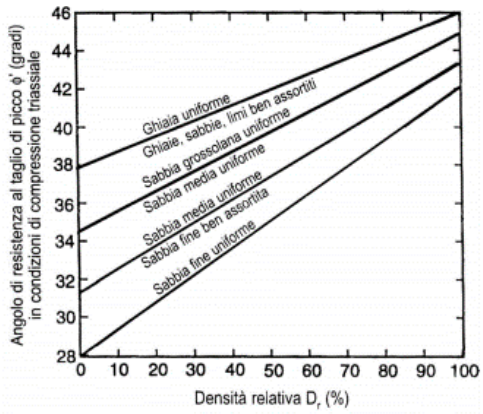
$$D_r = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{SPT}}{60}}$$

avendo assunto per il fattore C_N la formulazione proposta per sabbie fini:

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_v}{100}}$$

Per la valutazione dell'angolo d'attrito φ' a partire dalla densità relativa, si è fatto riferimento alle correlazioni proposte da *Schmertmann* (1978), in funzione delle caratteristiche granulometriche dei terreni:

Schmertmann (1978)	
sabbia fine uniforme --->	$\varphi' = 28 + 0.14 * D_R$
sabbie fini ben gradate - sabbia media uniforme --->	$\varphi' = 31.5 + 0.115 * D_R$
sabbia media ben gradata - sabbia grossa uniforme --->	$\varphi' = 34.5 + 0.1 * D_R$
sabbie e ghiaie poco limose - ghiaietto uniforme --->	$\varphi' = 38 + 0.08 * D_R$



Nella *Figura 5* si riporta l'andamento dell'angolo di attrito con la profondità.

I risultati delle prove SPT possono anche essere impiegati, in prima approssimazione, per la valutazione della rigidezza dei terreni utilizzando la correlazione di natura empirica proposta da Denver (1982):

$$E'=s1\ NSPT+s2$$

dove i parametri s1 ed s2 variano in funzione della distribuzione granulometrica.

Nella *Figura 6* si riporta l'andamento del modulo di Young con la profondità.

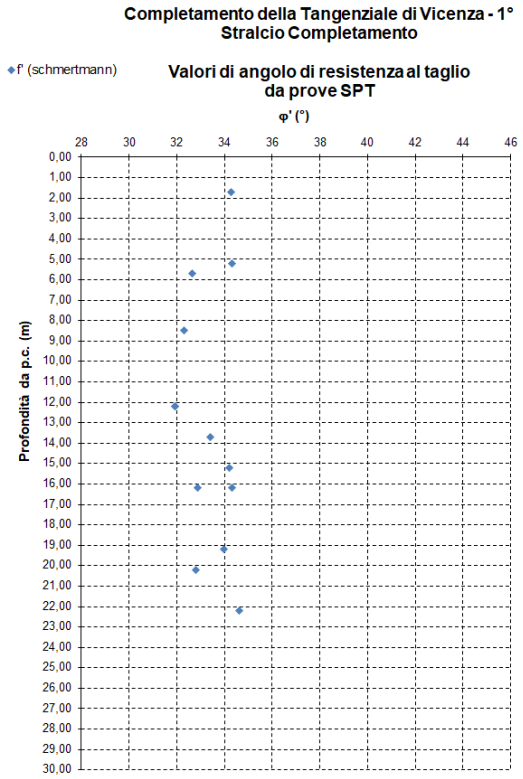


Figura 5. Angolo di resistenza al taglio – Risultati prove SPT

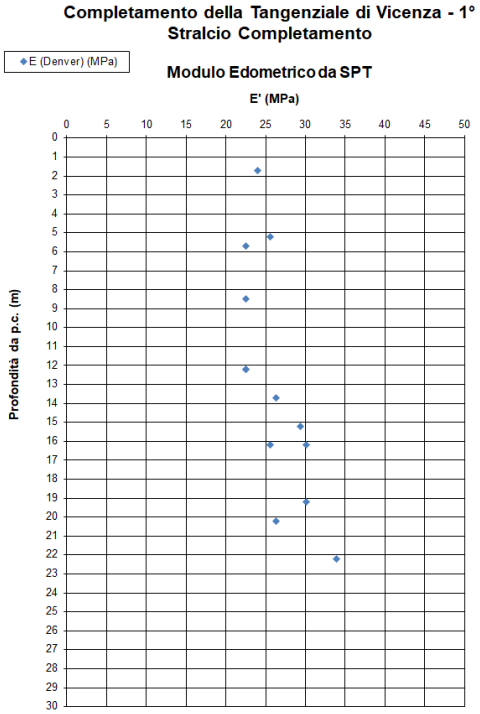


Figura 6. Modulo di Young – Risultati prove SPT

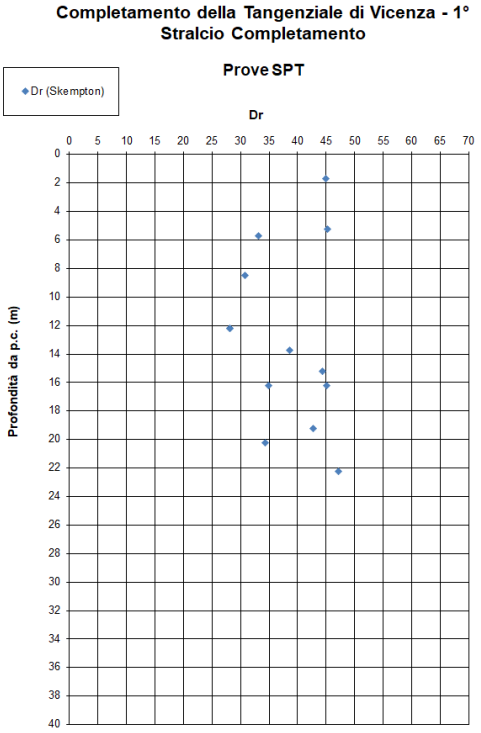


Figura 7. Densità Relativa – Risultati prove SPT

5.1.1.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU) E CONO SISMICO (SCPTU)

Nell'area in esame sono state eseguite prove penetrometriche statiche CPTU (con piezocono) e SCPTU (con cono sismico).

Durante l'esecuzione delle prove sono stati misurati i seguenti parametri:

- q_c è la resistenza alla punta;
- f_s è la resistenza laterale;

ai quali si aggiunge:

- u_2 è la pressione interstiziale misurata alla base del cono nel caso di punta equipaggiata con piezocono;
- V_s e V_p è la velocità delle onde nel caso di punta equipaggiata con cono sismico.

Da tali parametri misurati è possibile stimare, tramite correlazioni empiriche presenti in letteratura, i parametri geotecnici del terreno, con i criteri illustrati nei seguenti paragrafi. La resistenza alla punta misurata, q_c, viene corretta in funzione delle caratteristiche geometriche della punta effettivamente utilizzata, mediante la seguente espressione:

$$q_t = q_c + \left(1 - {}^{A_n}/_{A_c}\right) \cdot u_2 = q_c + (1 - a) \cdot u_2$$

dove:

- A_n è l'area interna del manicotto
- A_c è l'area di base del cono
- $a = A_n / A_c$ è una costante caratteristica dello strumento

Identificazione della litologia

Robertson nel 1990 ha proposto una carta di classificazione in funzione della resistenza alla punta normalizzata (Q):

$$Q = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a}$$

e del rapporto di attrito normalizzato (F):

$$F = \frac{fs}{qt - \sigma_{v0}}$$

dove, oltre ai simboli già noti, σ_{vo} è la tensione geostatica verticale totale.

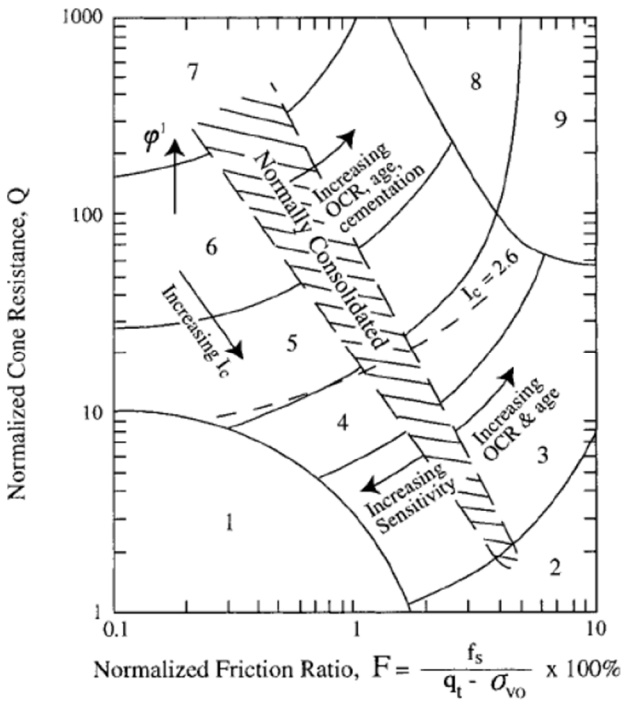


Figura 8. Diagramma Q-F di Robertson, 1990

Le aree numerate all'interno della carta identificativo i vari tipi di terreno in nove zone secondo la *Tabella 2*.

SBT_n zone ***Robertson (1990)***	**Proposed common SBT description**
1	*Sensitive fine-grained*
2	*Clay - organic soil*
3	*Clays: clay to silty clay*
4	*Silt mixtures: clayey silt & silty clay*
5	*Sand mixtures: silty sand to sandy silt*
6	*Sands: clean sands to silty sands*
7	*Dense sand to gravelly sand*
8	*Stiff sand to clayey sand**
9	*Stiff fine-grained**

** Overconsolidated or cemented*

Tabella 2: Soil Behavior Type zone (Robertson, 1990)

Le più recenti *Soil Behavioral Type* (SBT) *Charts* (Robertson, 2010) si basano su un criterio di normalizzazione ad esponente (n) variabile, in relazione al tipo di terreno esaminato. Le espressioni analitiche utilizzate sono rappresentate nella seguente *Figura 9*.

L'esponente n è funzione dell'indice di materiale I_c (*Soil Behaviour Type Index*). Quindi si giunge alla determinazione di Q_{tn} attraverso successive iterazioni.

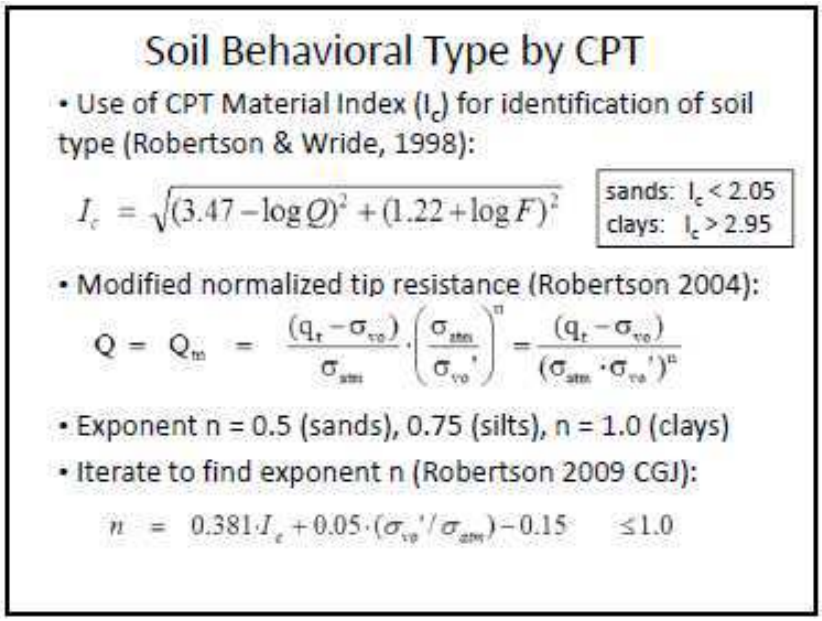
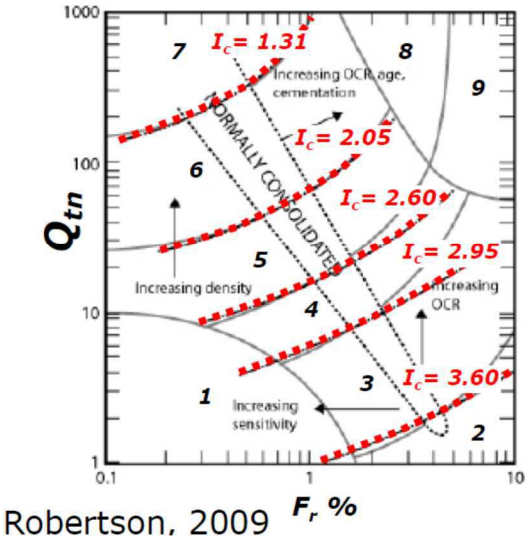


Figura 9. SBT by Robertson, 2009

In definitiva la classe di comportamento del materiale, può essere condensata in unico indice *(material idex*, Ic), identificando i terreni in base alla seguente *Tabella 3*.



Zona	*SBT*, Classe di Comportamento	I_c
1	Argille sensitive	N/A
2	Terreni organici, torbe	> 3.60
3	Argille → limi argillosi	2.95 ÷ 3.6
4	Limi arg. → argille limose	2.60 ÷ 2.95
5	Sabbie limose → limi sabb.	2.05 ÷ 2.60
6	Sabbie pulite → sabbie lim.	1.31 ÷ 2.05
7	Sabbie ghiaiose → sabbie dense	< 1.31
8	Sabbie molto dense, sabbie argillose	N/A
9	Terreni a grana fine molto consistenti	N/A

Tabella 3: SBT (Robertson, 2009)

Tale metodologia, opportunamente implementata nel codice di elaborazione dati, verrà nel seguito utilizzata per il riconoscimento del tipo di materiale, che si rende necessario caso per caso per individuare le correlazioni empiriche maggiormente idonee da applicare in fase di caratterizzazione geotecnica.

A tal fine verranno considerati i seguenti valori di frontiera:

Ic > 2.60 → terreni francamente coesivi;

Ic < 2.60 → terreni francamente incoerenti.

Peso di volume del terreno

Il peso di volume totale del terreno in posto è stato stimato mediante la seguente correlazione empirica proposta da *Mayne, Peuchen e Bouwmeester* [ISFOG – 2010]:

$$\gamma_t = 1.95 \cdot \gamma_w \cdot \left(\frac{f_s}{\sigma_{atm}}\right)^{0.06} \cdot \left(\frac{\sigma'_v}{\sigma_{atm}}\right)^{0.06}$$

La correlazione è stata validata sperimentalmente dagli autori come riportato nel grafico di . Trattandosi di una formula ricorsiva, una prima stima del peso di volume viene fatta mediante la seguente correlazione:

$$\gamma_t = 12 + 1.5 \cdot \ln(fs + 1)$$

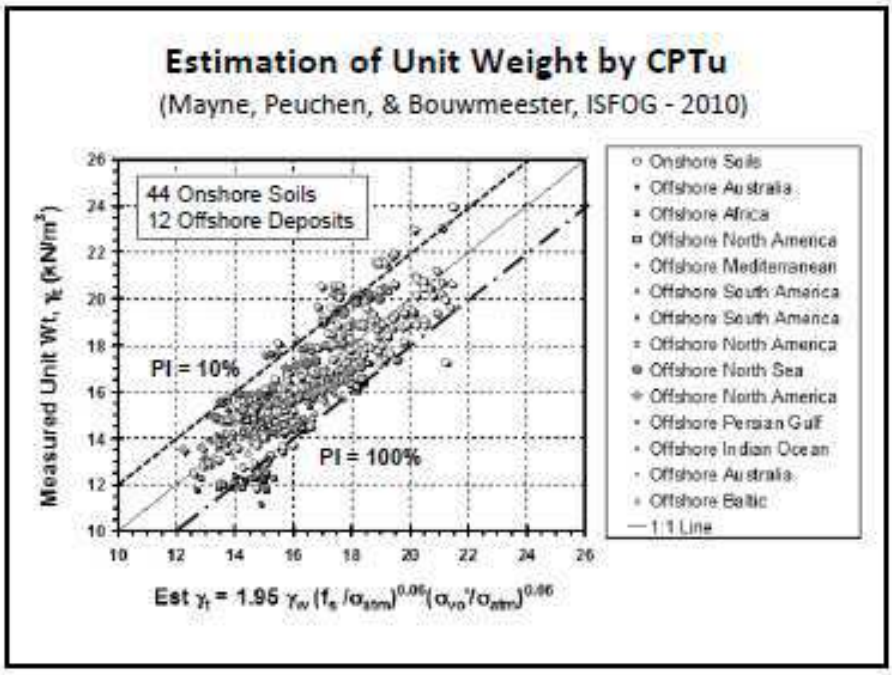


Figura 10. Peso di volume naturale del terreno

Velocità delle onde di taglio e modulo di deformabilità

Il modulo di taglio dinamico G_0 (ovvero riferito a piccolissime deformazioni) è stato stimato mediante la seguente correlazione empirica proposta da Mayne & Rix (1993) valida per i terreni a grana fine:

$$G_0 = 406 \cdot q_t^{0.695} \cdot e^{-1.13}$$

Mentre per i terreni incoerenti è stata utilizzata la seguente correlazione proposta da Lo Presti [1988]:

$$V_s = 277 \cdot q_c^{0.13} \cdot \sigma_v'^{0.27} \qquad (q_c \text{ e } \sigma'_v \text{ in MPa})$$

Il modulo di taglio G_0 si determina dalla velocità Vs mediante la seguente espressione:

$$G_0 = \rho_t \cdot V_s^2 = {}^{\gamma_t}/_{g} \cdot V_s^2$$

dove, oltre ai simboli già noti, g = 9.81 m/s^2 è la costante di accelerazione gravitazionale.

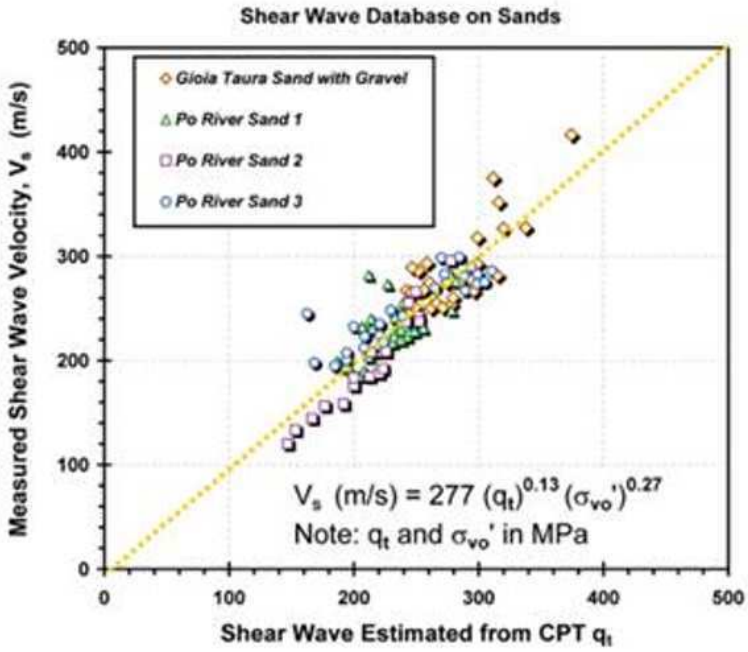


Figura 11. Correlazione di Lo presti

Inoltre, è stata considerata una correlazione valida per tutti i tipi di terreno, a partire dall'indice di comportamento del terreno, Ic (Robertson, 2009):

$$G_0 = 0.0188 \cdot \left[10^{(0.55 \cdot Ic + 1.68)}\right] \cdot (q_t - \sigma_{v0})$$

Il modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni) E_0 si determina dal modulo G_0 mediante la seguente espressione:

$$E_0 = 2(1 + \upsilon)G_0$$

dove ν è il coefficiente di Poisson.

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" (E') saranno assunti pari a 1/10÷1/15 di quello iniziale (E_0).

Nella valutazione dei cedimenti immediati dei rilevati il modulo di deformazione in condizioni non drenate (Eu) può essere stimato sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976):

$$Eu = k \cdot cu$$

Dove il coefficiente k è valutato con il grafico di *Figura 12*. Nel caso in esame è stato assunto un coefficiente k=500

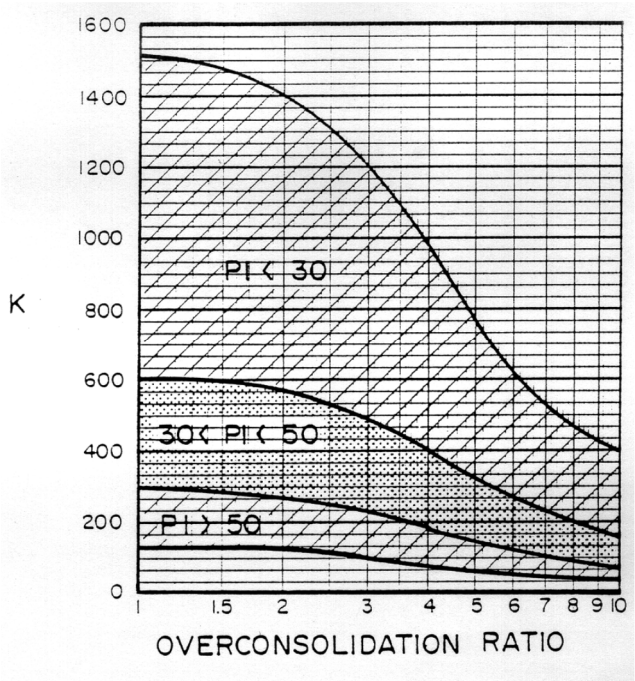


Figura 12. Duncan&Buchigani

Parametri di resistenza drenati

L'angolo di resistenza al taglio in condizione drenate è stato stimato mediante la seguente correlazione empirica proposta da Durgunouglu & Mitchell [1975] valida per sabbie N.C., non cementate:

$$\varphi' = 14.4 + 4.8 \cdot \ln(qt) - 4.5 \cdot \ln \sigma'_v$$

Aggiungendo che per sabbie O.C. l'angolo di resistenza al taglio così ottenuto va aumentato di 1-2°.

Resistenza al taglio non drenata

Per terreni coesivi, la relazione che lega la resistenza al taglio non drenata cu alla resistenza penetrometrica statica q_t è la seguente:

$$c_u = (q_t - \sigma_{vo})/N_{kt}$$

dove N_k è un fattore di portanza generalmente compreso tra 10 e 25.Nel caso in esame è stato assunto un valore di Nk = 20.

Coefficiente di consolidazione primaria verticale

Il coefficiente di consolidazione primaria verticale c_v può essere ricavato dalle prove CPT secondo la seguente correlazione (G. Ferioli, 1999):

$$c_v = 10^{0.583 \cdot \ln[(\frac{q_c}{f_s})/3534]} \qquad cm^2/s$$

L'insieme di tutti i risultati delle prove CPTU sono riportati nell'allegato 1.

5.1.1.3 PROVE DI LABORATORIO

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito e delle prove penetrometriche statiche CPTU (vedasi 5.1.1.3), anche dai risultati delle prove di laboratorio.

Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale;
- contenuti d'acqua naturale;
- limiti di Atterberg.

Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati principalmente sui risultati delle prove di laboratorio: taglio diretto, prove triassiali UU e CU.

In corrispondenza dei livelli coesivi durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite prove speditive di *Pocket Penetometer* (PP) per la stima della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (prove RE.MI, SCPTU);
- dalle prove penetrometriche statiche CPT/CPTU;
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- da correlazioni di letteratura.

Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati determinati dalle prove edometriche di laboratorio e con correlazioni empiriche in funzione del limite liquido (LL), vedasi ad esempio le seguenti:

cv = exp [-10.552+(164.074/LL)] [cm²/s]

cv = 0.009 (LL – 0.1) [cm²/s] NAVFAC-DM7.1. (1971)

Il coefficiente di consolidazione secondaria, è stato stimato con la correlazione proposta nel NAVFAC-DM 7.1 (1982, vedasi figura seguente), in funzione del contenuto naturale di acqua (wn).

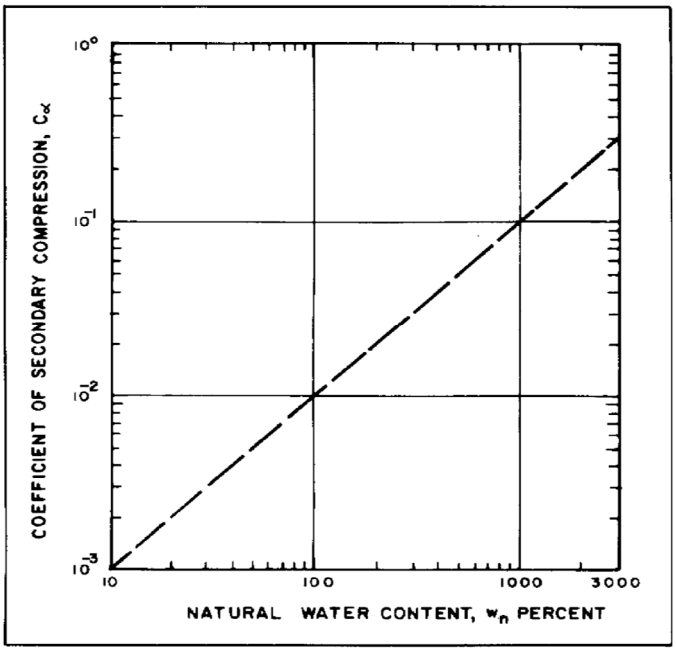


Figura 13. Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n

In appendice 2 si riportano i risultati delle prove di laboratorio

5.2 QUADRO DI SINTESI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Nella tabella seguente, sono sintetizzati i campi di variazione delle principali caratteristiche fisiche e geotecniche delle 3 unità (Ug1, Ug2, Ug3) interessate dalle opere in progetto, determinati dall'analisi delle prove in sito e di laboratorio, a partire dai quali è stato definito il modello geotecnico di calcolo ovvero i valori operativi utilizzati nelle analisi e nei calcoli di progetto.

Tabella 4: Caratteristiche geotecniche principali delle unità Ug1, Ug2 e Ug3

Caratteristiche geotecniche delle unità geotecniche principali				Unità geotecnica Ug1	Unità geotecnica Ug2	Unità geotecnica Ug3
Peso unità di volume		γ	[kN/m^3]	18.5	19	19
Limite liquido	*determinati sulla frazione fine, d<0.42mm*	w_L	[%]	–	–	–
Indice di plasticità		I_P	[%]	20	–	–
Indice di consistenza		I_C	[%]	1.4	–	–
Grado di sovraconsolidazione medio		OCR	[-]	≅ 3 (per z <2÷3 m dal p.c.)	–	–
Coefficnete di consolidazione primaria		Cv	[cm^2/s]	0,002		
Coefficiente di compressibilità		Cc	[-]	0.250	–	–
Indice dei vuoti iniziale		e_0	[-]	0.8		
Coefficiente di rigonfiamento		Cs	[-]	0.035	–	–
Densità relativa da prove SPT		Dr	[%]	-	≅ 40	≅40
Parametri di resistenza in tensioni efficaci	*da prove laboratorio (taglio diretto e triassiali)*	φ'	[°]	28 ÷ 30	–	–
		C'	[kPa]	5 ÷ 10	–	–
	da prove N_{SPT}	φ'_{picco}	[°]	-	30 ÷ 32	32 ÷ 34
Parametri di resistenza in tensioni totali	*Da prove CPTU*	cu	[kPa]	50 ÷ 100	–	–
Parametri di deformazione	*da prove edometriche*	E'	[MPa]	5 ÷ 10	–	–
	da prove SPT	E'	[MPa]	≅ 25 (per z >20 m dal p.c)	20 ÷ 25	25 ÷ 30
	Da Duncan&Buchignani	Eu	[MPa]	≅25		

6 ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Lungo lo sviluppo il tracciato presenta rilevati di altezza dell'ordine di 1-1.5 m, solo in corrispondenza delle rampe di accesso alle opere d'arte maggiori le altezze di rilevato aumentano fino ad un massimo di 6.0 m circa. La valutazione dei cedimenti è stata pertanto eseguita per le sezioni di approccio alle opere d'arte considerando la massima altezza di rilevato. Per i rilevati si prevedono scarpate a pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale) con berma di larghezza 2.0 m per altezze di scavo maggiori di 5 m.

Lo spessore della zona compressibile (di interesse per i cedimenti) è stato stabilito assumendo che, alla profondità per cui l'incremento delle tensioni verticali ($\Delta\sigma z$) risulta inferiore a (0.10)$\sigma v'$, il contributo per il calcolo del cedimento indotto può essere considerato trascurabile.

Di seguito si descrivono le metodologie di calcolo ed i risultati dell'analisi.

6.1 METODO DI CALCOLO DEI CEDIMENTI

La valutazione dei cedimenti dei rilevati nelle diverse sezioni è stata effettuata impiegando sia un approccio edometrico che un approccio elastico. Facendo ricorso alla teoria del semispazio elastico omogeneo ed isotropo, è possibile definire in ogni punto del sottosuolo e con valore costante sull'impronta della fondazione, i valori delle corrispondenti tensioni indotte. Il corpo di carico del rilevato viene ad essere suddiviso in corpi di carico riconducibili a quelli di *Figura 14* che consentono di determinare le tensioni indotte in forma analitica chiusa.

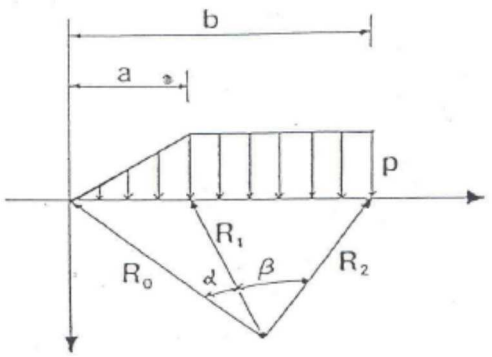


Figura 14.

Con tale modello le espressioni delle tensioni indotte, dal singolo corpo di carico, sono:

$$\Delta\sigma z = \frac{p}{\pi}\left[\beta + \frac{x\alpha}{a} - \frac{z}{R_2^2}(x-b)\right]$$

$$\Delta\sigma x = \frac{p}{\pi}\left[\beta + \frac{x\alpha}{a} + \frac{z}{R_2^2}(x-b) + \frac{2z}{a}\log\frac{R_1}{R_0}\right]$$

$$\Delta\sigma y = \nu(\Delta\sigma x + \Delta\sigma z)$$

Ricavati ad ogni profondità z il corrispondente valore di $\Delta\sigma x$, $\Delta\sigma y$, $\Delta\sigma z$, dovuto alla sovrapposizione degli effetti dei singoli corpi di carico, è possibile ricavare il corrispondente valore della εz attraverso l'espressione:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma z - \nu(\Delta\sigma y + \Delta\sigma x)}{E}$$

noti i valori del modulo di deformabilità E ed il coefficiente di Poisson ν.

Suddividendo il terreno al disotto della fondazione in strati di spessore Δzi, è possibile valutare il valore del cedimento dello strato i-esimo attraverso l'espressione:

$$\delta z_i = \frac{\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{yi} + \Delta\sigma_{xi})}{E_i}\Delta z_i$$

il cedimento complessivo sarà pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati e quindi pari a:

$$\delta z_j = \sum_i \delta z_i = \sum_i \frac{\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{yi} + \Delta\sigma_{xi})}{E_i}\Delta z_i$$

Poiché il sottosuolo sul quale è collocato il rilevato è costituito da n strati, il cedimento complessivo è pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati

$$\delta_{tot} = \sum_j \delta_{zj}$$

Il calcolo può essere esteso o su tutto lo spessore dello schema geotecnico definito, o esteso fino ad una profondità massima, intesa come quella profondità alla quale, il rapporto tra l'incremento di tensione media nel sottosuolo per effetto del sovraccarico dovuto al rilevato e la tensione efficace media cioè $\Delta\sigma m/\sigma m0$, (con $\Delta\sigma_m = (\Delta\sigma zi + \Delta\sigma yi + \Delta\sigma xi)/3$ e $\sigma' m_0 = (\sigma' vo + 2k0\sigma' v_0)/3$) sia una certa percentuale definita in precedenza (10%).

Il cedimento immediato si sviluppa all'applicazione del carico e viene valutato mediante il modulo Eu (in condizioni non drenate).

6.1.1 DECORSO DEI CEDIMENTI NEL TEMPO

La presenza di terreni a grana fine, comporta che con l'applicazione di un carico sul terreno insorga una deformazione iniziale a volume costante del complesso scheletro solido-acqua, che viene ad essere identificato come cedimento immediato o non-drenato, ed una deformazione graduale nel tempo connessa con la dissipazione delle sovrappressioni indotte dall'applicazione del carico (cedimento di consolidazione primaria).

Per prevedere l'andamento del cedimento nel tempo, viene utilizzata la teoria della consolidazione (Terzaghi, 1923), con la quale noto il cedimento totale δtot, è possibile risalire al valore cedimento al tempo t $\delta(t)$ attraverso la relazione:

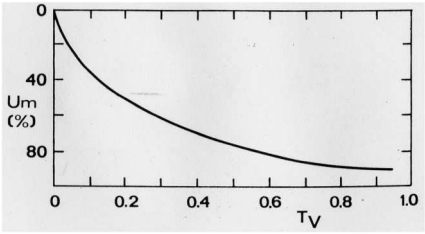
$$\delta_t = Um \cdot \delta_{tot}$$

Il grado di consolidazione medio Um è funzione del fattore tempo Tv, che assume la seguente espressione:

$$Tv = \frac{cv \cdot t}{H^2}$$

funzione del tempo t al quale si sta valutando, il coefficiente di consolidazione cv, ed il massimo percorso di drenaggio H che è funzione delle condizioni al contorno.

In questo caso lo strato di torbe presenta un solo contorno drenante, quindi il massimo percorso di drenaggio H è pari allo spessore dello strato.



Uv (%)	Tv
0	0
5	0,0017
10	0,0077
15	0,0177
20	0,0314
25	0,0491
30	0,0707
35	0,0962
40	0,126
45	0,159
50	0,196
55	0,238
60	0,286
65	0,342
70	0,403
75	0,477
80	0,567
85	0,684
90	0,848
95	1,129
100	∞

Sono molto utili le correlazioni tra le due grandezze Um e Tv, espresse attraverso le relazioni (Sivaram e Swamee, 1977):

$$Tv = \frac{(\pi/4)\cdot Um^2}{\left(1 - Um^{5.6}\right)^{0.357}}$$

$$Um = \frac{(4\cdot Tv/\pi)^{0.5}}{\left[1+\left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{2.8}\right]^{0.179}}$$

Quando i tempi di consolidazione risultano eccessivamente lunghi, il processo di consolidazione può essere accelerato attraverso l'installazione di dreni verticali e precarica.

I dreni previsti sono prefabbricati a nastro con disposizione a quinconce ad interasse 1,5 m x 1,5 m.

Il modello teorico per il calcolo della consolidazione mediante dreni verticali, introduce l'ipotesi che il flusso in direzione verticale, sia trascurabile rispetto a quello in direzione radiale e che le deformazioni avvengano solo in direzione verticale.

La risoluzione dell'equazione della consolidazione (Barron, 1948), consente di ricavare che in presenza di dreni, il grado di consolidazione medio (Uh) può essere valutato attraverso l'espressione:

$$U_h = 1 - e^{-\frac{8T_h}{F}}$$

con:

$$T_h = \frac{c_h \cdot t}{d_e^2}$$

c_h = coefficiente di consolidazione in presenza di solo flusso orizzontale = k_h / m_v γ_w;

k_h = coefficiente di permeabilità in direzione orizzontale;

m_v = coefficiente di compressibilità monodimensionale;

γ_w = peso specifico dell'acqua;

d_e = diametro equivalente del cilindro di terreno che drena (pari a 1,13 volte i nel caso di disposizione a maglia quadrata);

$$F = \frac{n^2}{n^2-1}\ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$

n = rapporto tra il diametro de del cilindro di terreno e il diametro d_w del dreno.

Il valore di d_w per i dreni prefabbricati a nastro si valuta in funzione del suo spessore (b) e della sua larghezza (a), attraverso l'espressione d_w = 2(a+b)/p.

La soluzione espressa in precedenza, fa riferimento al caso ideale, dove il dreno possa essere installato senza effettuare alcun rimaneggiamento del terreno e senza resistenze al moto del fluido nel suo interno.
Per tener conto del rimaneggiamento (effetto "smear" – Hansbo, 1979, 1981) hanno suggerito di introdurre la seguente espressione di F(n):

$$F_S = \ln\left(\frac{n}{s}\right) + \frac{k_h}{k_R}\ln(s) - 0.75$$

con:
s = rapporto tra il diametro della zona disturbata ds e il diametro del dreno dw;
n = rapporto tra il diametro de del cilindro di terreno e il diametro dw del dreno;
k_h = coefficiente di permeabilità in direzione orizzontale;
k_R = coefficiente di permeabilità ridotta della zona adiacente il dreno a causa del disturbo;
L'influenza, della resistenza idraulica che si sviluppa all'interno dei dreni può essere messa in conto attraverso l'espressione:

$$F_R = \ln(n) - 0.75 + \pi \cdot z \cdot (2l - z) \cdot \frac{k_h}{q_w}$$

con:
q_w = capacità idraulica del dreno = k_w A_w;
n = rapporto tra il diametro de del cilindro di terreno e il diametro dw del dreno;
A_w = area del dreno;
l = lunghezza caratteristica del dreno (pari a metà lunghezza se il dreno confina con due strati drenanti);
z = generica profondità.
Poiché l'espressione proposta viene a dipendere dalla profondità (F è infatti funzione di z) al fine di valutare il grado di consolidazione medio è necessario portare in conto un valore medio della resistenza idraulica, valutato a varie profondità z lungo la lunghezza caratteristica del dreno.
Nel caso di uno strato compressibile, in cui lo spessore h è interessato dai dreni solo per lo spessore h_1, il grado di consolidazione medio (U_m), viene valutato, attraverso l'ipotesi che la consolidazione si sviluppi solo radialmente nel tratto interessato dai dreni h_1 (da valutare tramite l'U_h) e solo verticalmente nel tratto h_2 (da valutare tramite il grado di consolidazione medio U_m stimato in base alla Teoria di Terzaghi), e sovrapponendo quindi gli effetti con la seguente espressione:

$$\mathrm{Um} = \frac{\mathrm{Uh} \cdot \delta 1 + \mathrm{Uv} \cdot \delta 2}{\delta 1 + \delta 2}$$

Con δ_1 e δ_2 i cedimenti rispetti dello strato interessato dai dreni (h_1) e la restante porzione dello strato compressibile non interessata da dreni (h_2).

6.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Il calcolo del cedimento è stato condotto tramite l'ausilio di fogli di calcolo. In funzione della natura incoerente o coesiva dei terreni di fondazione si è proceduto al calcolo delle seguenti componenti dei cedimenti totali attesi al piano di posa dei rilevati medesimi:

- Strati di natura incoerente: cedimento immediato;
- Strati di natura coesiva: cedimento immediato;
- cedimento di consolidazione primaria con valutazione del decorso nel tempo dello stesso;

Di seguito si riportano per i rilevati più significativi, ovvero quelli in corrispondenza delle opere d'arte, i principali risultati.

RILEVATO DI APPROCCIO PONTE OROLO

In corrispondenza dei rilevati di approccio del ponte Orolo, le indagini geotecniche (sondaggio S01_D) evidenziano la presenza di depositi limosi argillosi fino a 10.0 m circa intercalati localmente da lenti di ghiaia sabbiosa/limo sabbioso di spessore 1.5÷2.5 m.

Nella seguente tabella si riassume la stratigrafia, i parametri geotecnici utilizzati per le unità geotecniche, ed il livello di falda.

Sezione rilevato H=6.7 m – Sez SP-B							
Profondità da p.c.[m]	Unità geotecnica	γ [kN/m3]	E' [MPa]	Eu [MPa]	c_c	c_s	OCR
0.0÷2.50	Ug1	18.5	5	25	0.250	0.035	3
2.50÷4.0	Ug3	19.0	30	-	-	-	-
4.0÷6.0	Ug2	19.0	20	-	-	-	-
6.0÷8.50	Ug1	18.5	10	25	-	-	-
da 8.50 m	Ug2	19.0	20	-	-	-	-
Falda: a p.c.							

Tabella 5: Stratigrafia e parametri geotecnici – sezione di calcolo ponte Orolo

Nella seguente tabella si riassumono i principali risultati.

Cedimento totale in asse [mm]	Cedimento immediato in asse [mm]	Cedimento consolidazione [mm]
449	181	268

Tabella 6: Risultati cedimenti – Sezione di calcolo ponte Orolo

I cedimenti totali massimi stimati in asse rilevato sono dell'ordine di 45 cm, di cui immediato 18 cm e consolidazione 27 cm. In relazione alla successione stratigrafica viene valutato il decorso dei cedimenti nel tempo. Nell'allegato 2 si riportano i fogli di calcolo.

Con riferimento all'unità Ug1, che di fatto governa la natura differita dei cedimenti nel tempo, sono state eseguite prove finalizzate alla valutazione della permeabilità e quindi alla stima del coefficiente di consolidazione c_v. I risultati complessivamente disponibili conducono ad una stima di cv = $(1 \div 5) \cdot 10^{-07}$ m^2/s; si assume di calcolo $c_v = 2 \cdot 10^{-07}$ m^2/s.

Nella seguente *Figura 15* è mostrato il decorso dei cedimenti nel tempo (nell'allegato 2 sono mostrati il dettaglio dei calcoli). Si stima un tempo di consolidazione di circa 2-3 mesi, compatibile con i tempi realizzativi previsti per l'opera.

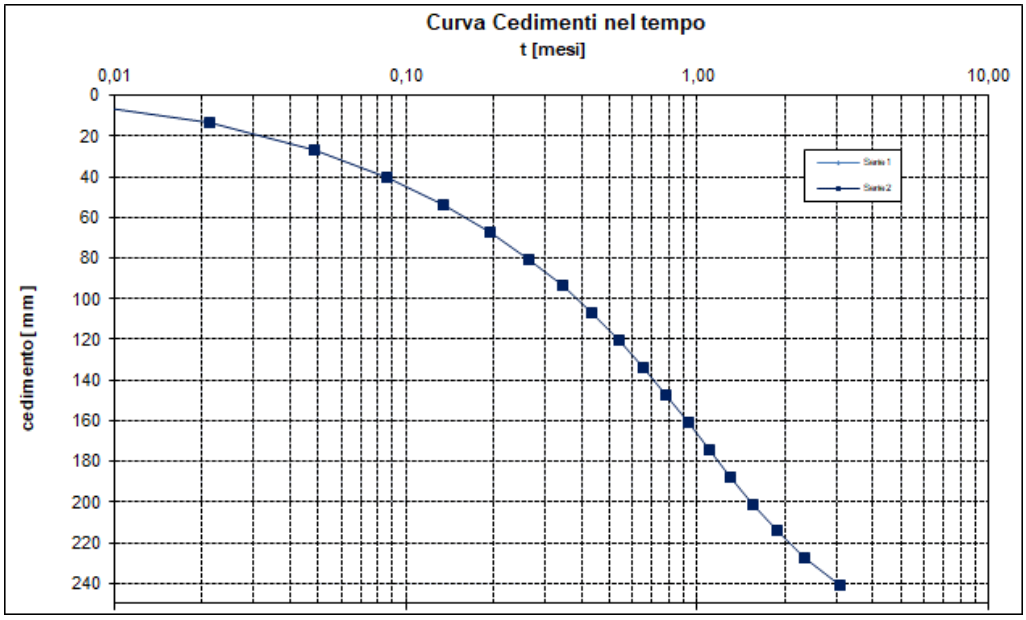


Figura 15. Decorso dei cedimenti nel tempo

RILEVATO DI APPROCCIO PONTE ZUBANA

In corrispondenza dei rilevati di approccio del ponte Zubana, le indagini geotecniche (sondaggio S02_D) evidenziano la presenza di depositi limosi argillosi fino a 4.0 m circa dal p.c., poi si evidenza la presenza di depositi incoerenti costituiti da limi sabbiosi e sabbia fino alla profondità di circa 20 m. A partire dai 20 m dal p.c. si rileva la presenza di limi argillosi consistenti.

Nella seguente tabella si riassume la stratigrafia, i parametri geotecnici utilizzati per le unità geotecniche, ed il livello di falda.

Sezione rilevato H=6.9 m – Sez SP-B pk 1+055.03							
Profondità da p.c.[m]	Unità geotec-nica	γ [kN/m3]	E' [MPa]	Eu [MPa]	c_c	c_s	OCR
0.0÷4.0	Ug1	18.5	5	25	0.250	0.035	3
4.0÷5.0	Ug2	19.0	20	-	-	-	-
5.0÷7.0	Ug3	19.0	30	-	-	-	-
70÷19.0	Ug2	19.0	20	-	-	-	-
da 19.0 m	Ug1	18.5	25	-	-	-	-
Falda: a p.c.							

Tabella 7: Stratigrafia e parametri geotecnici – sezione di calcolo ponte Zubana

Nella seguente tabella si riassumono i principali risultati (nell'allegato 3 si riportano i fogli di calcolo):

Cedimento totale in asse [mm]	Cedimento immediato in asse [mm]	Cedimento consolidazione [mm]
494	183	310

Tabella 8: Risultati cedimenti – Sezione di calcolo ponte Zubana – H=6.9 m

I cedimenti totali massimi stimati in asse rilevato sono dell'ordine di 49.3 cm, di cui immediato 18.3 cm e consolidazione 31 cm. In relazione alla successione stratigrafica viene valutato il decorso dei cedimenti nel tempo.

Con riferimento all'unità Ug1, che di fatto governa la natura differita dei cedimenti nel tempo, sono state eseguite prove finalizzate alla valutazione della permeabilità e quindi alla stima del coefficiente di consolidazione c_v. I risultati complessivamente disponibili conducono ad una stima di cv = (1÷5)·10^{-07} m^2/s; si assume di calcolo c_v = 2·10^{-07} m^2/s.

Nella seguente *Figura 16* è mostrato il decorso dei cedimenti nel tempo in assenza di interventi (curva verde). Si stima un tempo di consolidazione di circa 6-7 mesi, non compatibili con i tempi realizzativi previsti per l'opera.

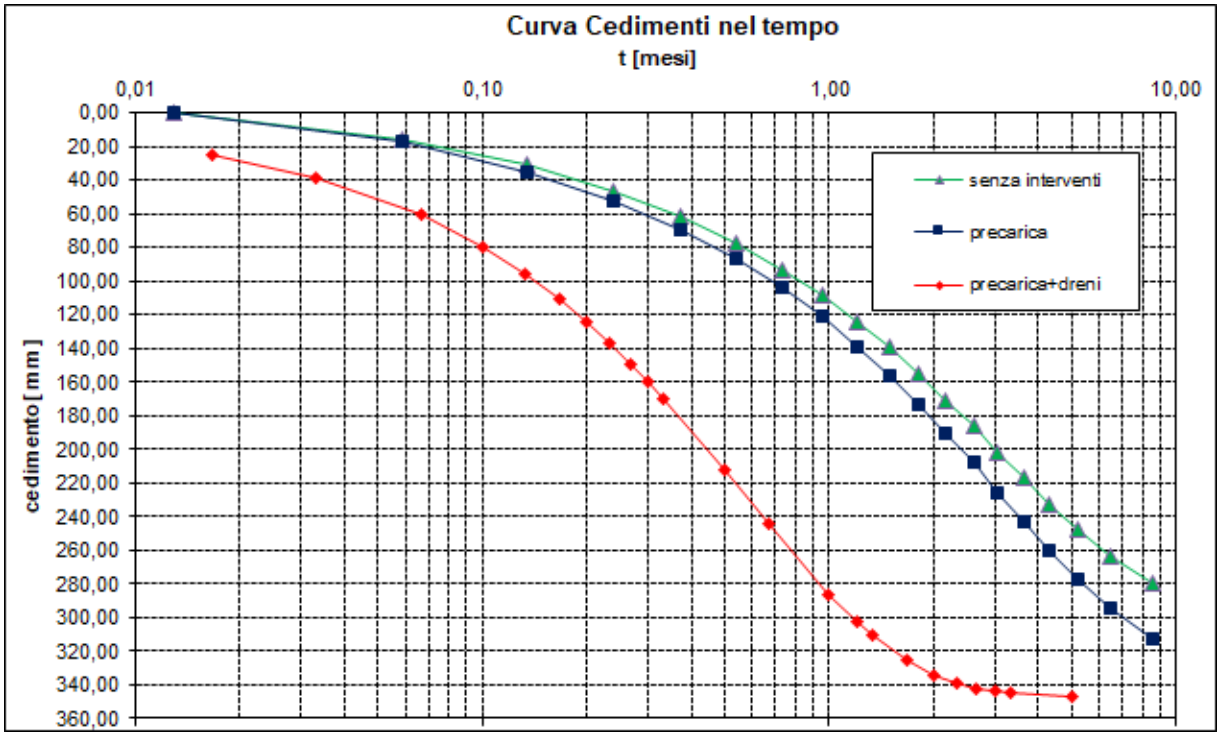


Figura 16. Decorso dei cedimenti nel tempo – Ponte Zubana

Per la necessità di ridurre i tempi di consolidazione a circa 60-90 gg, compatibili con le fasistiche previste, si prevede l'inserimento di dreni verticali a nastro, L = 10.0 m disposti a quinconce con interasse di 1.5 m e precarica di altezza pari ad 1.0 m. In *Figura 16* sono mostrate a confronto le curve del decorso dei cedimenti nel tempo, con e senza interventi. Si osserva che in presenza di interventi nei primi 3 mesi si dissipa il 100% dei cedimenti. Il trattamento interessa un porzione di circa 100 m a tergo le spalle fino ad una altezza del rilevato pari a circa 3 m. A tale proposito, per meglio dettagliare l'estensione dell'intervento, è stata considerata una sezione di calcolo senza dreni con un rilevato di altezza pari a 3 m, la quale fornisce i seguenti risultati in termini di cedimenti:

Cedimento totale in asse [mm]	Cedimento immediato in asse [mm]	Cedimento consolidazione [mm]
220	60	160

Tabella 9: Risultati cedimenti – Sezione di calcolo ponte Zubana – H=3.0 m senza dreni

I cedimenti totali massimi stimati in asse rilevato sono dell'ordine di 22 cm, di cui immediato 6 cm e consolidazione 16 cm.

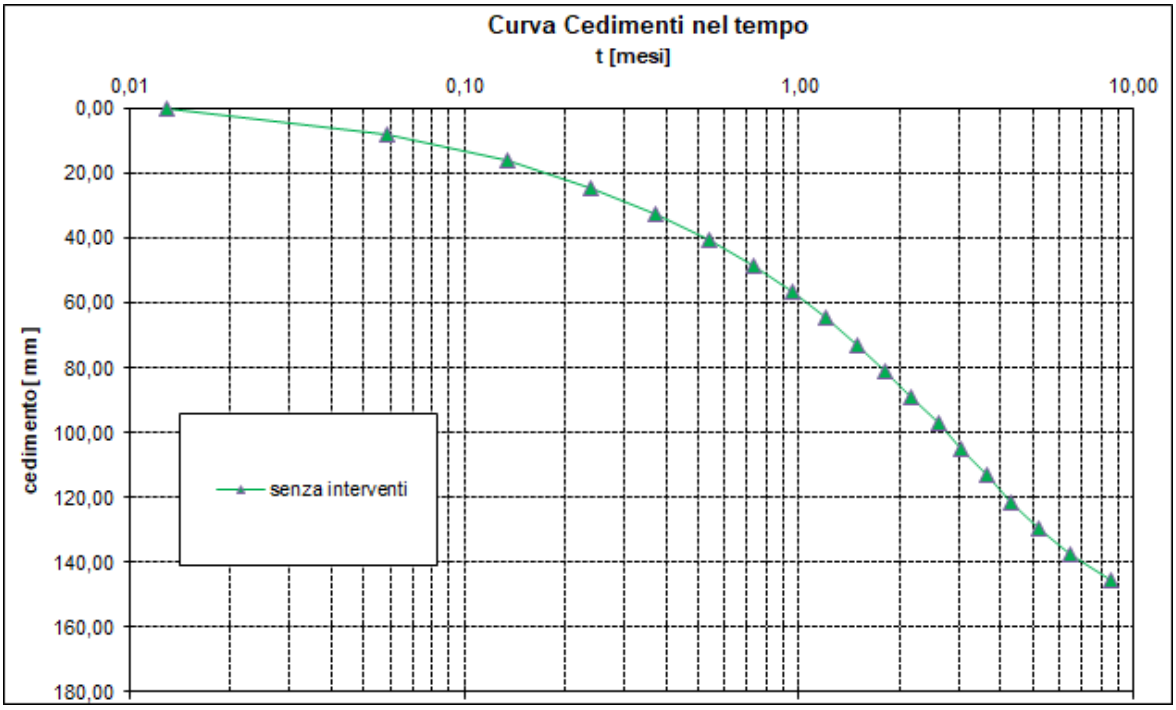


Figura 17. Decorso dei cedimenti nel tempo – Ponte Zubana – H=3.0 m senza dreni

In *Figura 17* è mostrato il decorso dei cedimenti nel tempo senza dreni e senza precarica da cui si evince che il cedimento residuo da scontare dopo tre mesi è circa 4.2 cm, quindi inferiore a 5 cm (come prescritto da Capitolato Speciale d'Appalto Anas).

L'obiettivo dell'intervento è quello di ridurre a valori trascurabili i cedimenti differenziali tra il rilevato-viadotto nonché le coazioni indotte dal rilevato sui pali di fondazione. Questi ultimi potranno essere realizzati, ovvero collegati al plinto, solo al termine dei processi di consolidazione.

Quanto previsto verrà verificato sperimentalmente mediante monitoraggio dei cedimenti del rilevato in costruzione; i dati via via acquisiti consentiranno di verificare le previsioni progettuali, ed operare le scelte sugli eventuali aggiustamenti in corso d'opera (calibrazione dei tempi di attesa ed altezza di precarico).

RILEVATO DI APPROCCIO VIADOTTO BACCHIGLIONE

In corrispondenza dei rilevati di approccio del Viadotto Bacchiglione, le indagini geotecniche (sondaggio S03_D) evidenziano la presenza di depositi limosi argillosi fino a 5.0 m circa dal p.c., poi si evidenza la presenza di depositi incoerenti costituiti da ghiaie sabbiose per uno spessore di circa 3 m. Tra 8.0 m e 20 m dal p.c. si rileva la presenza di limi sabbiosi e successivamente si individuano limi argillosi consistenti.

Nella seguente tabella si riassume la stratigrafia, i parametri geotecnici utilizzati per le unità geotecniche, ed il livello di falda.

Sezione rilevato H=5.4 m – Sez SP-B							
Profondità da p.c.[m]	Unità geotec-nica	γ [kN/m3]	E' [MPa]	Eu [MPa]	c_c	c_s	OCR
0.0÷5.0	Ug1	18.5	5	25	0.250	0.035	3
3.0÷5.0	Ug1	18.5	5	25	-	-	-
5.0÷8.0	Ug3	19.0	30	-	-	-	-
8.0÷20.0	Ug2	19.0	20	-	-	-	-
da 20.0 m	Ug1	18.5	25	-	-	-	-
Falda: a p.c.							

Tabella 10: Stratigrafia e parametri geotecnici – sezione di calcolo Viadotto Bacchiglione

Nella seguente tabella si riassumono i principali risultati (nell'allegato 4 si riportano i fogli di calcolo):

Cedimento totale in asse [mm]	Cedimento immediato in asse [mm]	Cedimento consolidazione [mm]
390	127	263

Tabella 11: Risultati cedimenti – Sezione di calcolo Viadotto Bacchiglione

I cedimenti totali massimi stimati in asse rilevato sono dell'ordine di 39 cm, di cui immediato 12.7 cm e consolidazione 26.3 cm. In relazione alla successione stratigrafica viene valutato il decorso dei cedimenti nel tempo considerando una altezza di drenaggio pari a 2.5 m.

Nella seguente *Figura 18* è mostrato il decorso dei cedimenti nel tempo in assenza di interventi (curva verde). Si stima un tempo di consolidazione di circa 10 mesi, non compatibili con i tempi realizzativi previsti per l'opera.

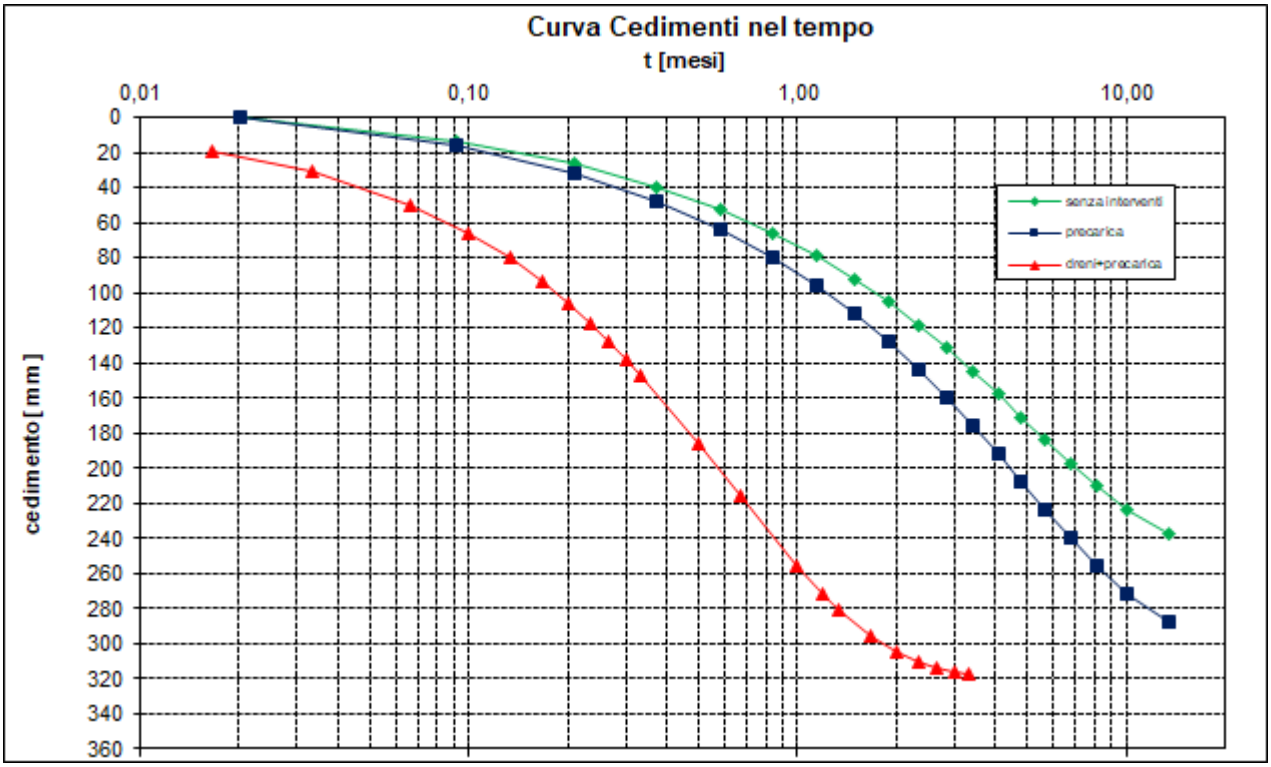


Figura 18. Decorso dei cedimenti nel tempo – Rilevato di approccio Viadotto Bacchiglione

Per la necessità di ridurre i tempi di consolidazione a circa 60-90 gg, compatibili con le fasistiche previste, si prevede l'inserimento di dreni verticali a nastro, L = 10.0 m disposti a quinconce con interasse 1.5 m e pre-carica di altezza pari ad 1.0 m. In *Figura 18* sono mostrate a confronto le curve del decorso dei cedimenti nel tempo, con e senza interventi. Si osserva che in presenza di interventi (curva rossa) nei primi 3 mesi si dissipa quasi il 100% dei cedimenti. Il trattamento interessa un porzione di circa 100 m a tergo della spalla SP1 dove l'unita incoerente Ug3 risulta più superficiale e l'altezza di drenaggio è pari a circa 1,5 m.

A tale proposito, per meglio dettagliare l'estensione dell'intervento, è stata considerata una sezione di calcolo senza dreni a circa 100 m da inizio intervento (sezione B10), la quale fornisce i seguenti risultati in termini di cedimenti:.

Cedimento totale in asse [mm]	Cedimento immediato in asse [mm]	Cedimento consolidazione [mm]
340	129	211

Tabella 12: Risultati cedimenti – Sezione B10 – senza interventi

I cedimenti totali massimi stimati in asse rilevato sono dell'ordine di 34 cm, di cui immediato 12.9 cm e consolidazione 21.1 cm.

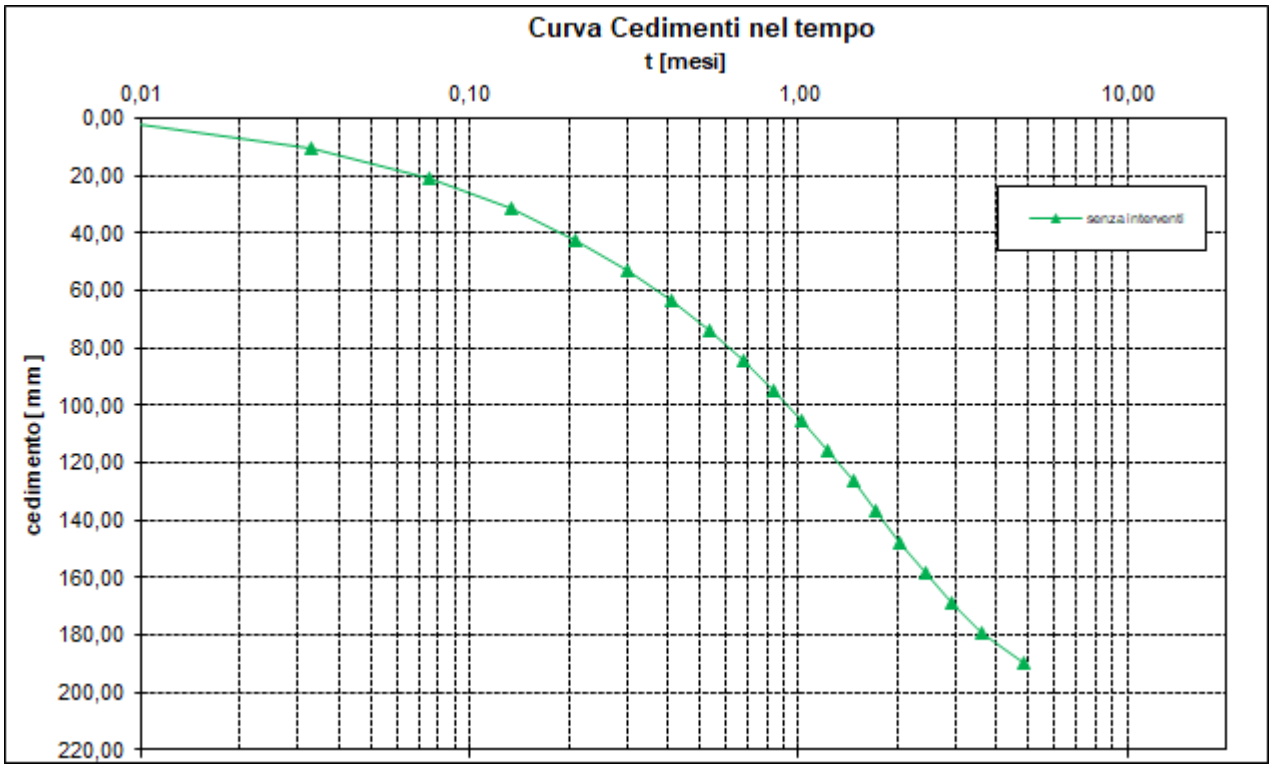


Figura 19. Decorso dei cedimenti nel tempo – Sezione B10 – senza interventi

In *Figura 21* è mostrato il decorso dei cedimenti nel tempo senza dreni e senza precarica da cui si evince che il cedimento residuo da scontare dopo tre mesi è circa 3 cm, quindi inferiore a 5 cm (come prescritto da Capitolato Speciale d'Appalto Anas).

Quanto previsto verrà verificato sperimentalmente mediante monitoraggio dei cedimenti del rilevato in costruzione; i dati via via acquisiti consentiranno di verificare le previsioni progettuali, ed operare le scelte sugli eventuali aggiustamenti in corso d'opera (calibrazione dei tempi di attesa ed altezza di precarico).

7 ANALISI DI STABILITA'

Nel presenta paragrafo si riportano le verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati. La verifica viene svolta per la sezione di massima altezza che si ha in corrispondenza delle rampe di accesso al viadotto (altezza 6.0 m circa). Per i rilevati si prevedono scarpate a pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale) con berma di larghezza 2.0 m per altezze di scavo maggiori di 6 m.

7.1 METODO DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità per le scarpate dei rilevati sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche in accordo a quanto previsto dalla normativa vigente.

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato un codice di calcolo denominato GEO-SLOPE 2012, in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo semplificato di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni.

Nelle analisi sono state ovviamente tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{disp}}{\int_S \tau_{mob}}$$

Per le verifiche in condizioni sismiche, si è fatto riferimento all'approccio pseudo-statico secondo cui le azioni sismiche si assimilano ad un'azione statica equivalente. Secondo il suddetto approccio, si definiscono le forze statiche orizzontali F_h e verticali F_v pari al prodotto fra il peso del volume di terreno sottoposto all'azione dinamica ed un coefficiente sismico, rispettivamente, orizzontale e verticale:

$F_h = \gamma\, k_h$ forza orizzontale per unità di volume

$F_v = \gamma\, k_v$ forza verticale per unità di volume

dove:

γ = peso nell'unità di volume del terreno

In accordo alla normativa vigente, per le analisi in esame, la componente orizzontale (ah) dell'accelerazione è stata legata all'accelerazione massima attraverso la seguente relazione:

$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$

$k_v = \pm k_h/2$

dove:

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

k_v = coefficiente sismico in direzione verticale;

βs = 0,38, coefficiente di riduzione indicato dalla normativa in condizioni ultime.

In accordo alla normativa vigente per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Nel caso di verifiche in condizioni statiche allo stato limite ultimo, i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

- $\gamma_{\varphi'}$= 1,25 coefficiente parziale per la tangente dell'angolo di resistenza al taglio
- $\gamma_{c'}$ = 1,25 coefficiente parziale per la coesione drenata
- γ_{cu} = 1,4 coefficiente parziale per la coesione non drenata

L'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di calcolo:

- $\tan(\varphi'_d) = \tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi'}$ angolo di resistenza al taglio
- $c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$ coesione drenata
- $c_{ud} = c'_k / \gamma_{c'}$ coesione non drenata

La resistenza a scorrimento del terreno è stata abbattuta del coefficiente parziale γ_R = 1,1 previsto per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le verifiche in condizioni sismiche allo stato limite ultimo, in accordo alla normativa vigente, vengono condotte ponendo pari all'unità i coefficienti parziali dei parametri di resistenza del terreno e riducendo la resistenza del terreno mediante il coefficiente parziale γ_R = 1,2.

7.2 CARICHI

Le analisi di stabilità dei rilevati sono state svolte considerando un carico accidentale stradale di 20 kPa; in condizioni statiche, viene amplificato con il coefficiente parziale per le azioni γ_F = 1,3 (Tabella 6.2.I NTC 2018). In condizioni sismiche, il valore di accelerazione massima, a_{max}, in superficie è stato definito dalle analisi di risposta sismica locale. In particolare, è stato fatto riferimento al valore più cautelativo ottenuto dalle analisi allo SLV che è pari a 0.334g, ottenendo così:

k_h = 0,38 · 0,334 = 0,126

k_v = 0,15/2 = 0,063

In condizioni sismiche è stato considerato un ulteriore sovraccarico pari a 4 kPa.

7.3 RISULTATI

Nelle figure seguenti si riportano la geometria della sezione analizzata e i risultati delle analisi di stabilita sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

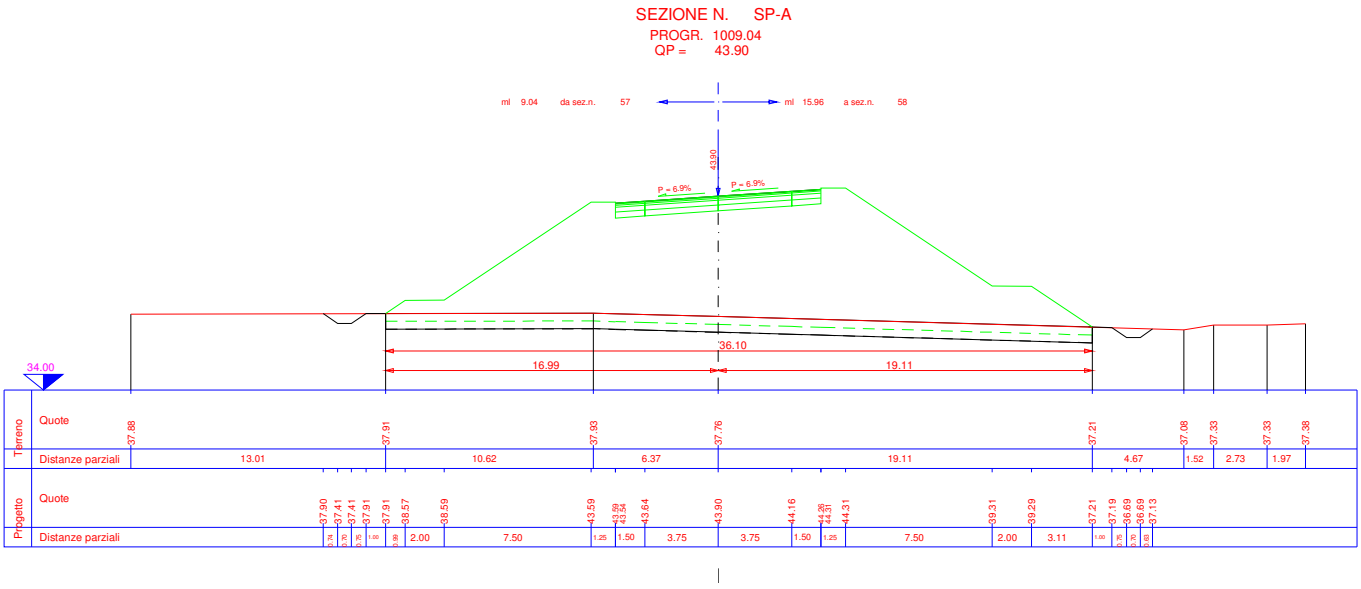


Figura 20. Sezione calcolo – Tangenziale di Vicenza

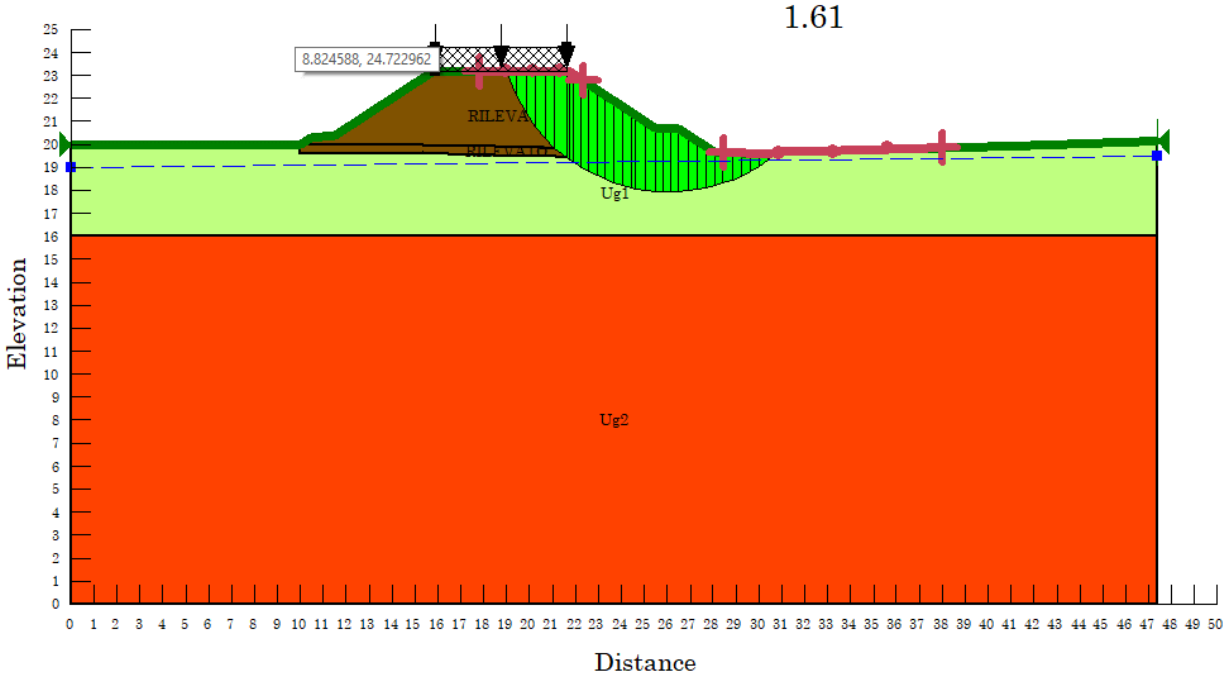


Figura 21. Analisi di stabilità in condizioni statiche

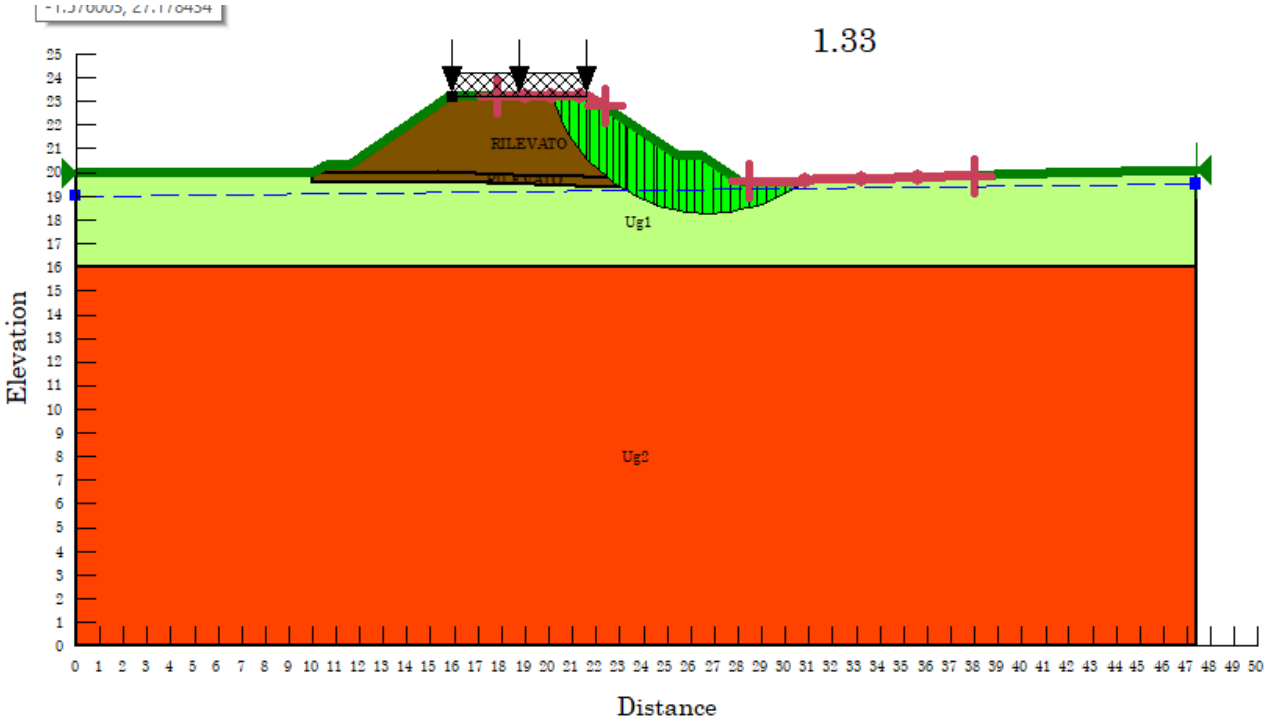
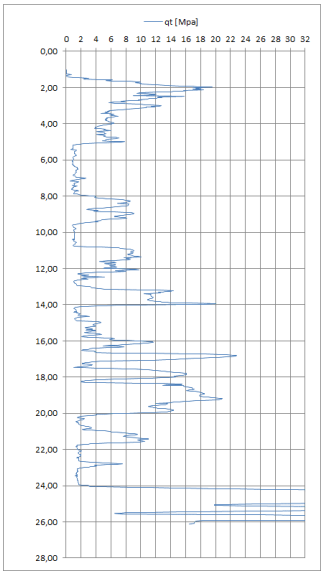


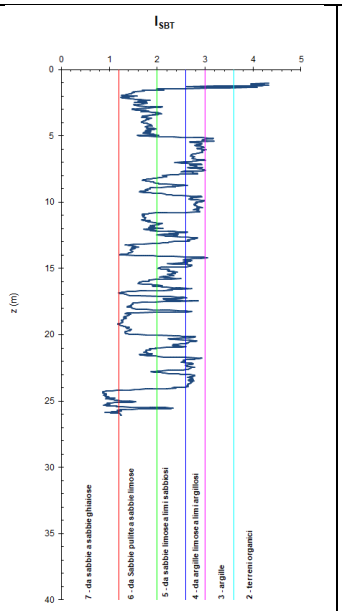
Figura 22. Analisi di stabilità in condizioni sismiche

ALLEGATO 1 – RISULTATI PROVE CPTU

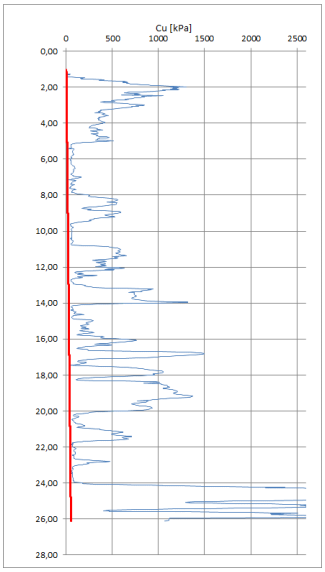
CPTU9_2013



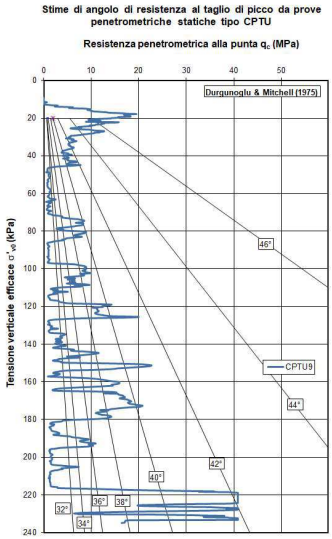
Resistenza alla punta



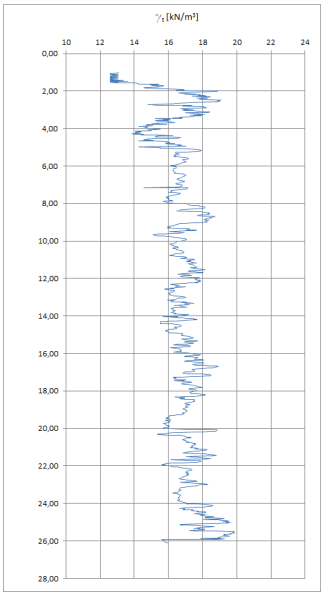
Soil Behaviour Type Index



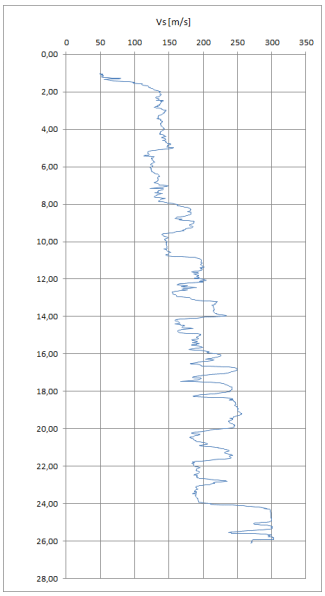
Resistenza al taglio non drenata



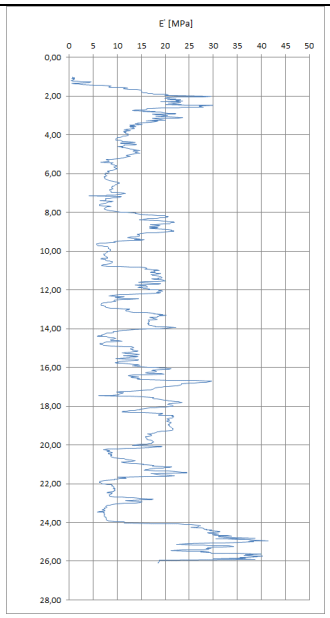
Resistenza drenata



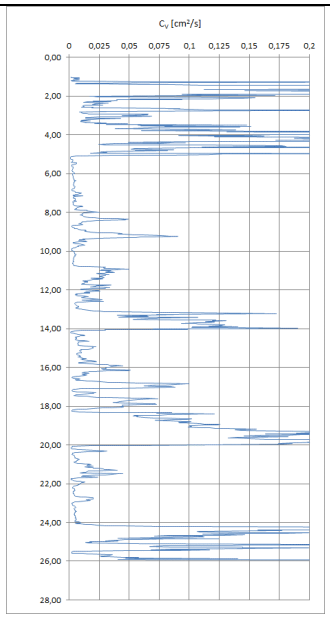
Peso unità di volume



Velocità onde di taglio

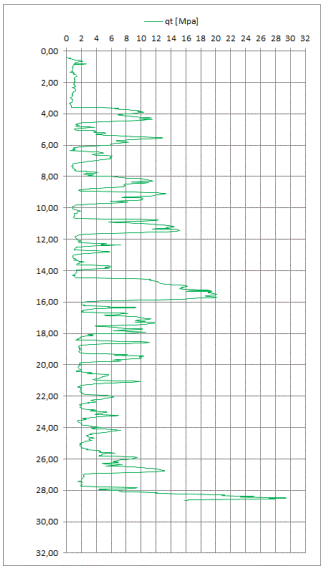


Modulo elastico

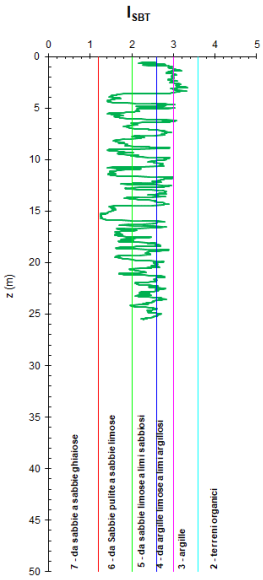


Coff. Consolidazione primaria

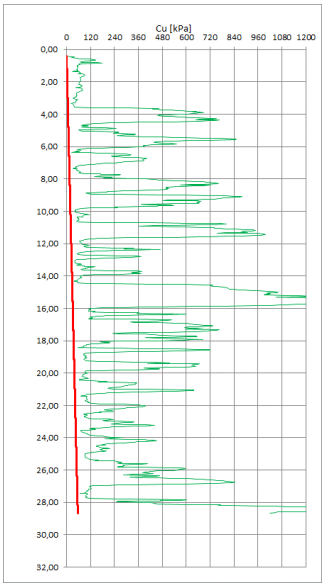
CPTU8_2013



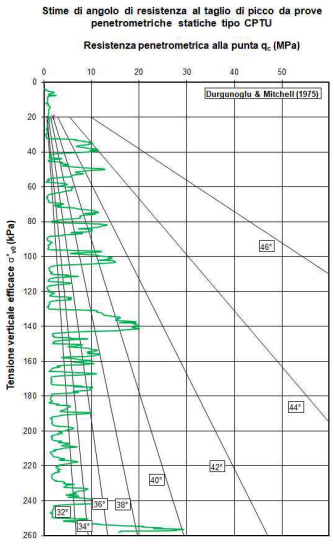
Resistenza alla punta



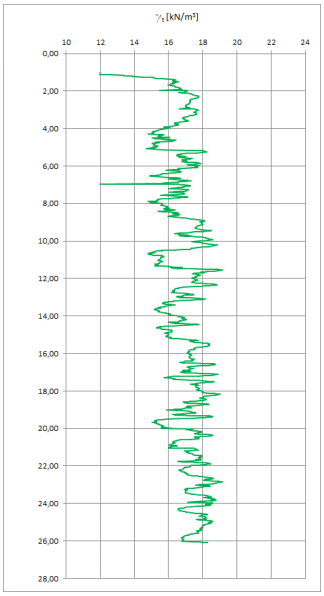
Soil Behaviour Type Index



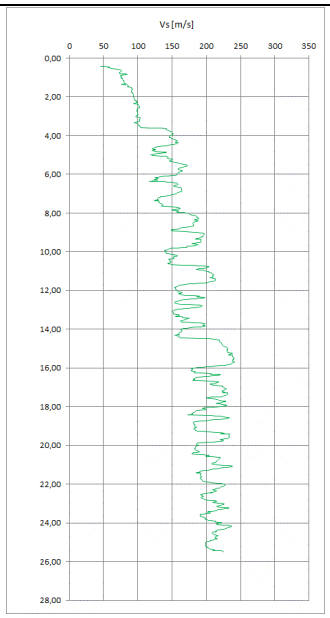
Resistenza al taglio non drenata



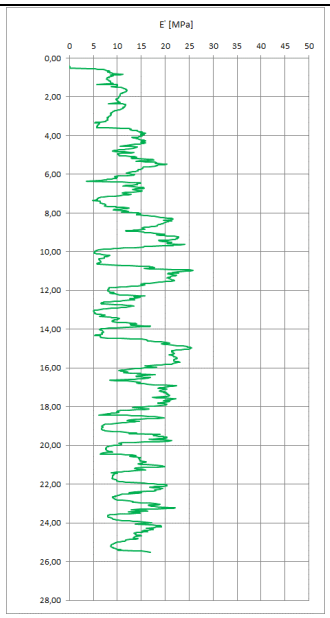
Resistenza drenata



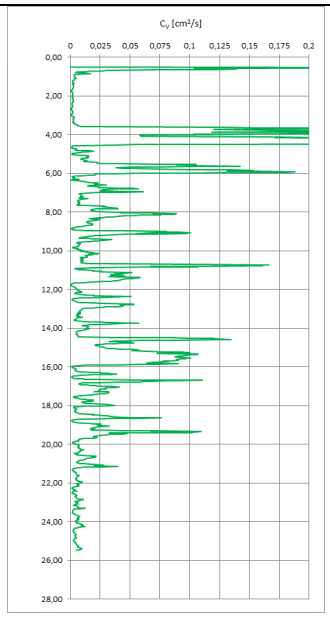
Peso unità di volume



Velocità onde di taglio

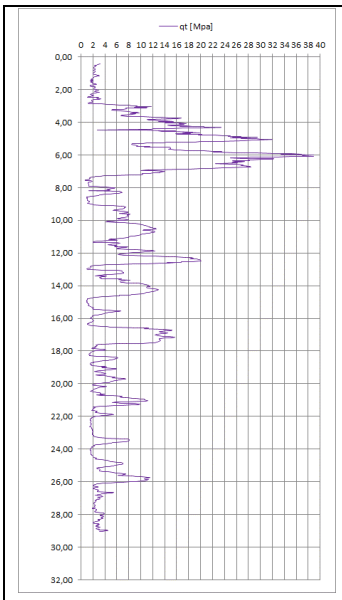


Modulo elastico

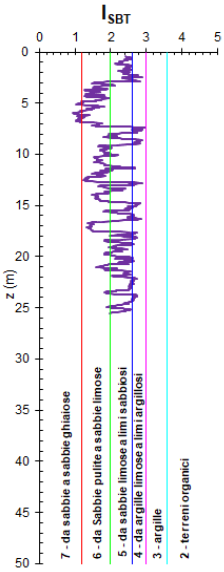


Coff. Consolidazione primaria

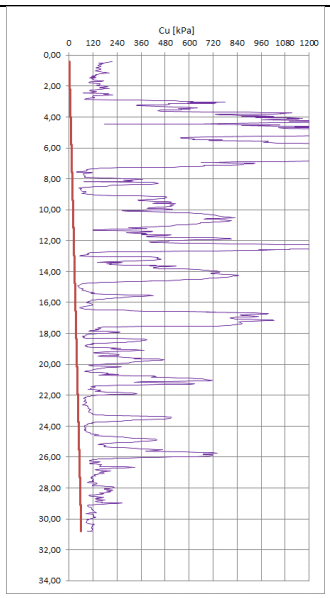
CPTU7_2013



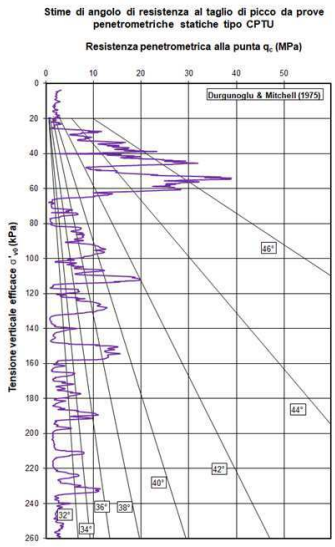
Resistenza alla punta



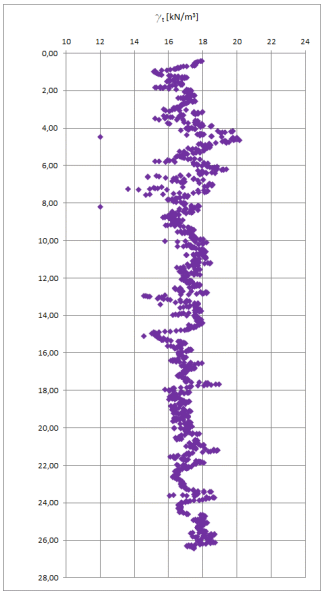
Soil Behaviour Type Index



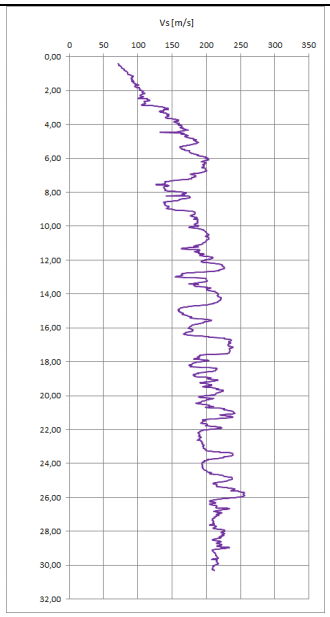
Resistenza al taglio non drenata



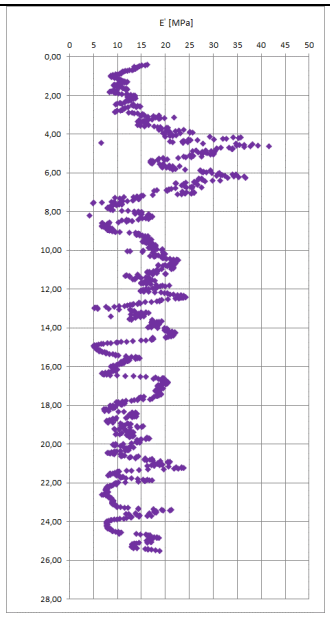
Resistenza drenata



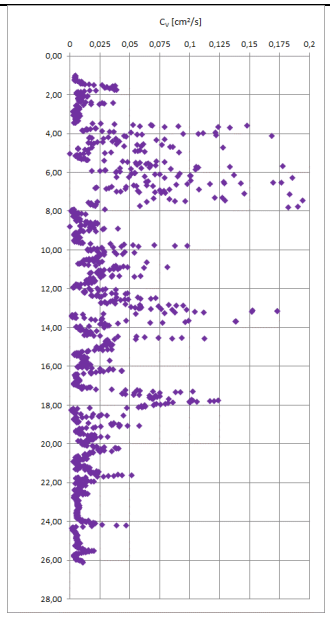
Peso unità di volume



Velocità onde di taglio

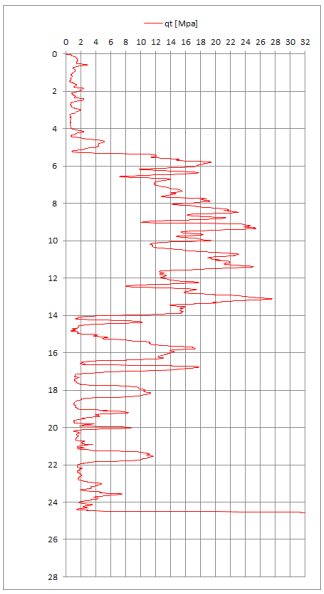


Modulo elastico

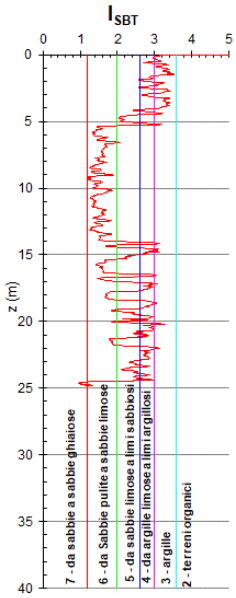


Coff. Consolidazione primaria

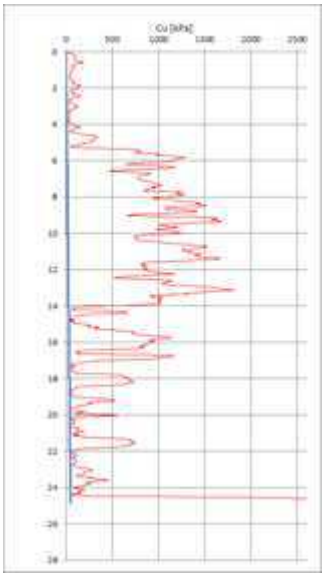
CPTU1D_2018



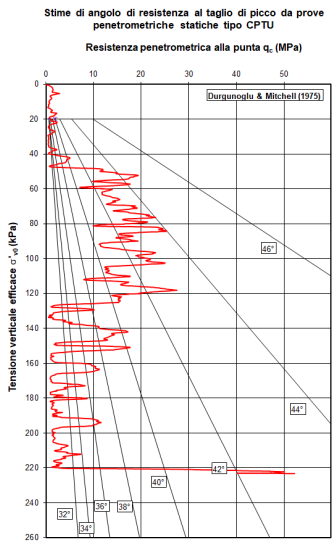
Resistenza alla punta



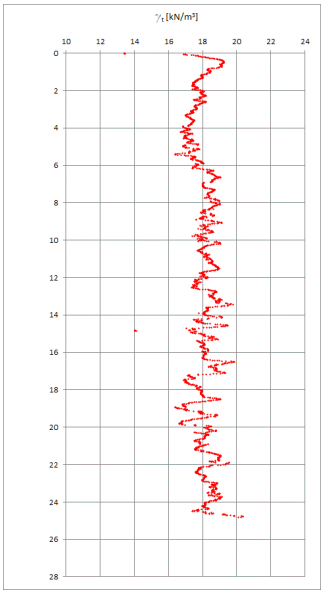
Soil Behaviour Type Index



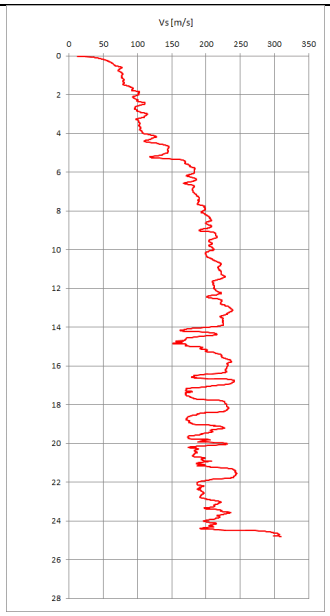
Resistenza al taglio non drenata



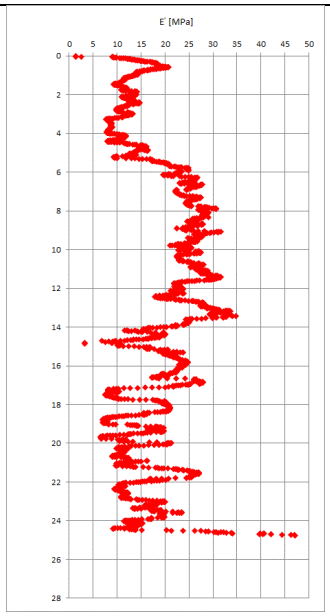
Resistenza drenata



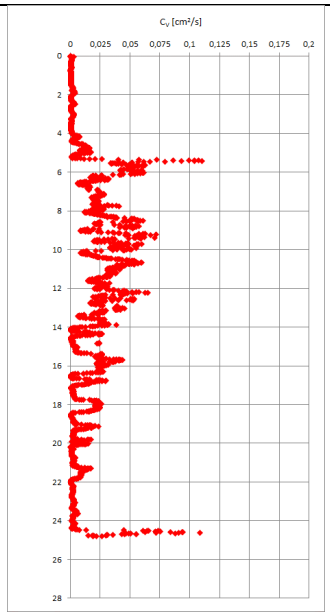
Peso unità di volume



Velocità onde di taglio

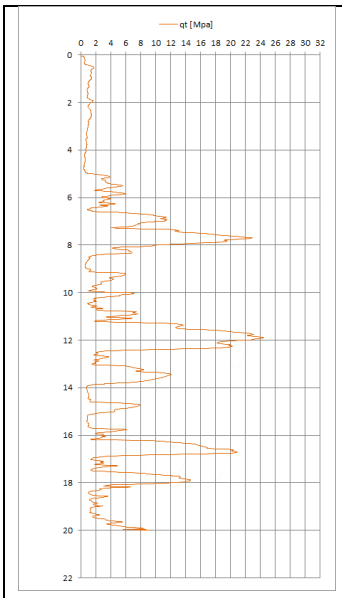
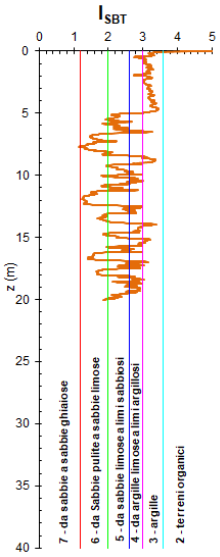
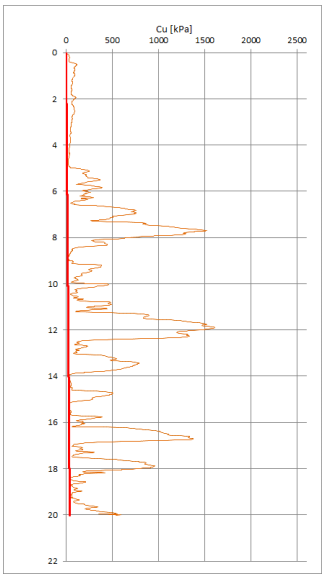
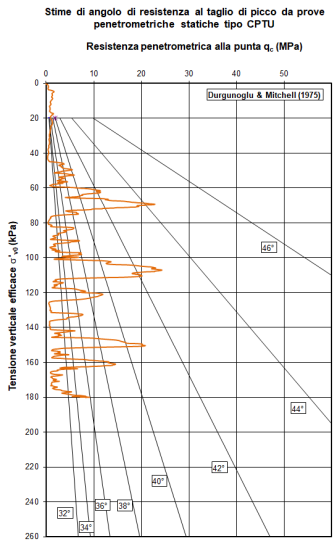
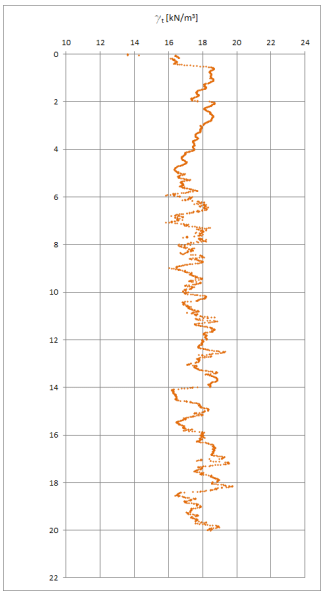
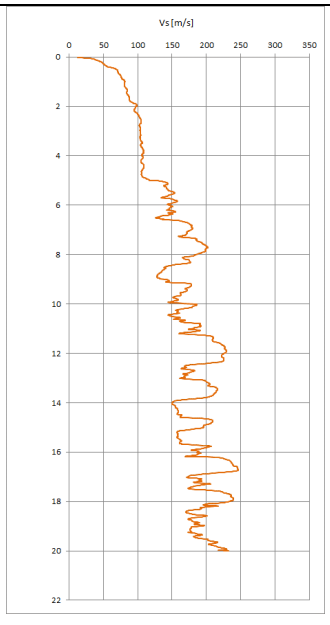
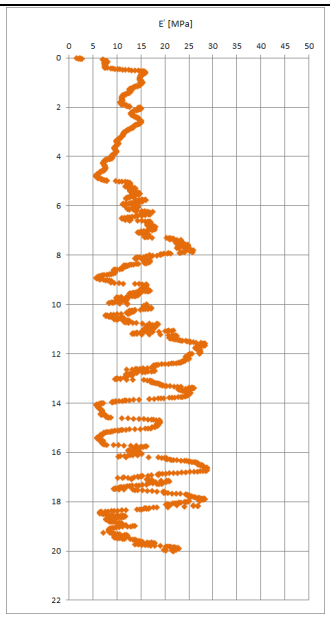
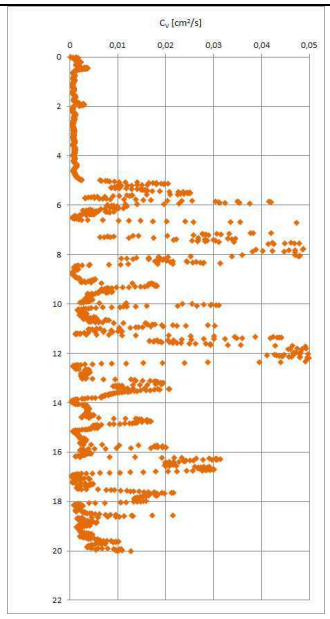


Modulo elastico

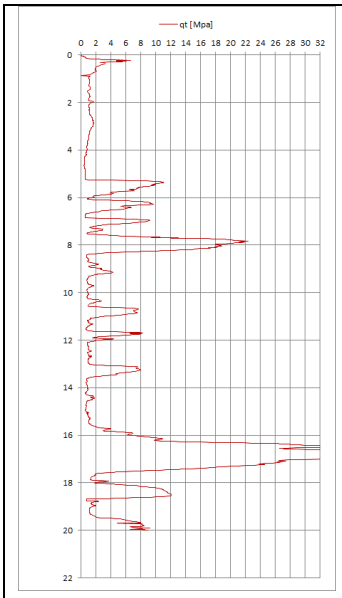
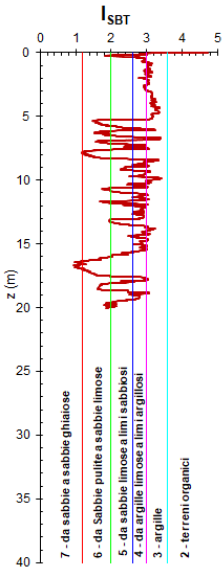
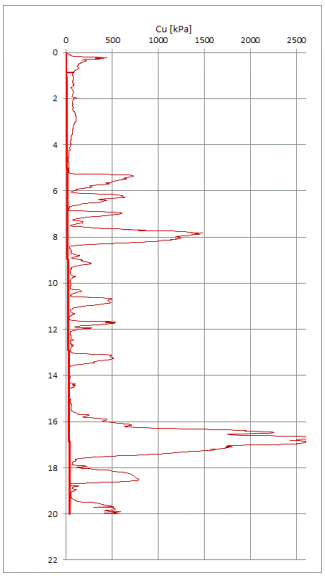
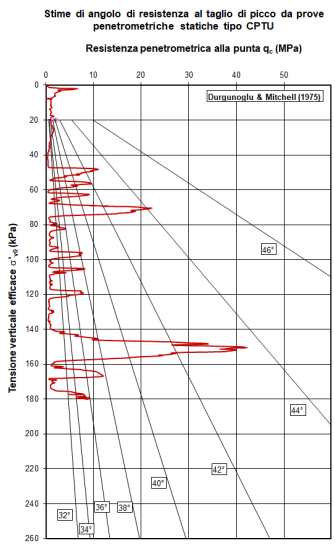
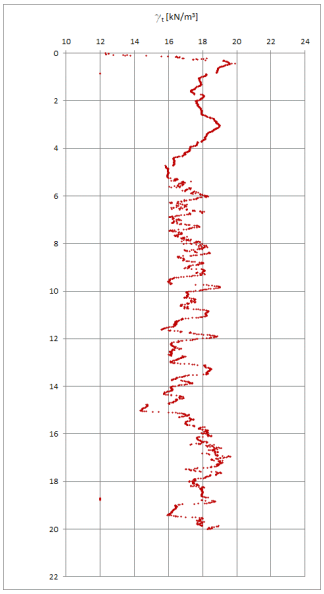
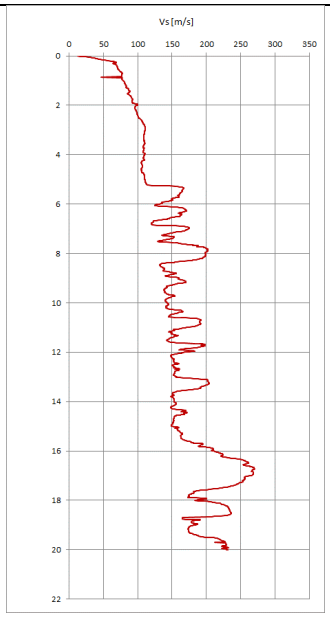
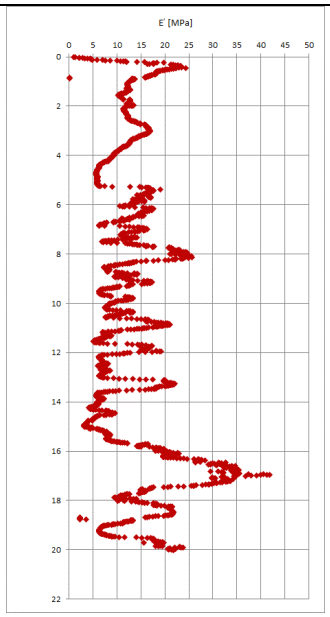
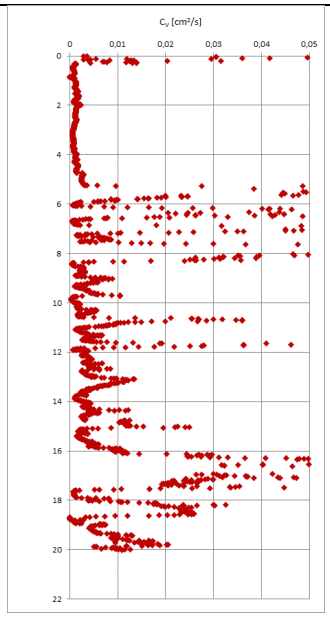


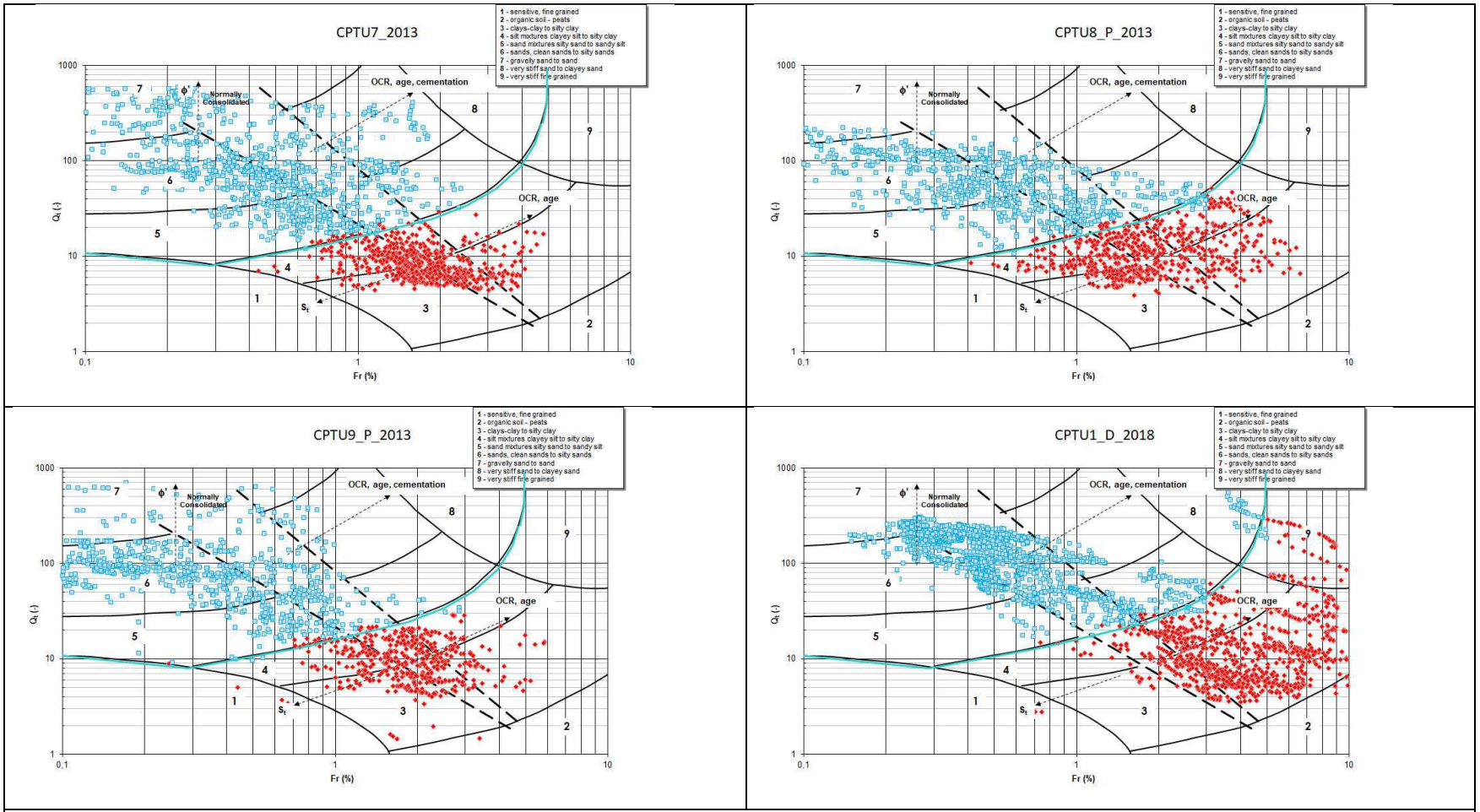
Coff. Consolidazione primaria

CPTU2D_2018

			
Resistenza alla punta	Soil Behaviour Type Index	Resistenza al taglio non drenata	Resistenza drenata
			
Peso unità di volume	Velocità onde di taglio	Modulo elastico	Coff. Consolidazione primaria

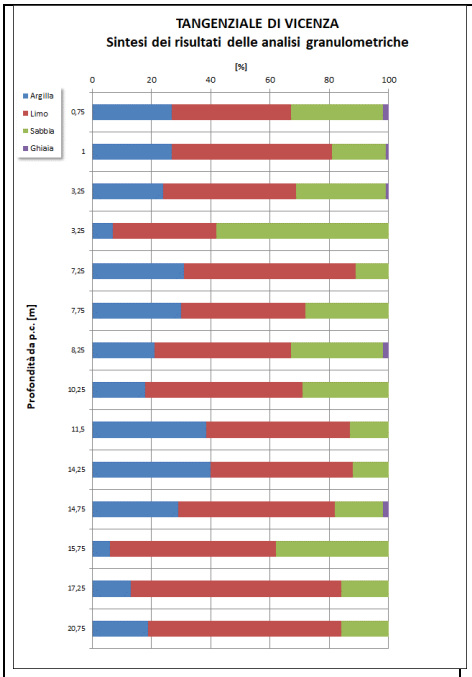
SCPTU3D_2018

			
Resistenza alla punta	Soil Behaviour Type Index	Resistenza al taglio non drenata	Resistenza drenata
			
Peso unità di volume	Velocità onde di taglio	Modulo elastico	Coff. Consolidazione primaria

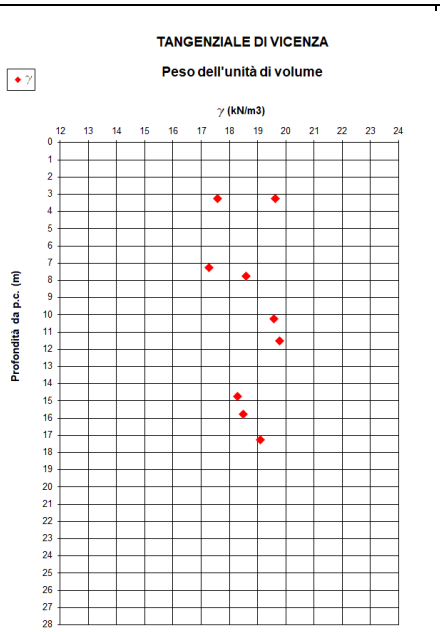


Abachi SBT – CPTU7_2013, CPTU8_2013, CPTU9_2013, CPTU1D_2018

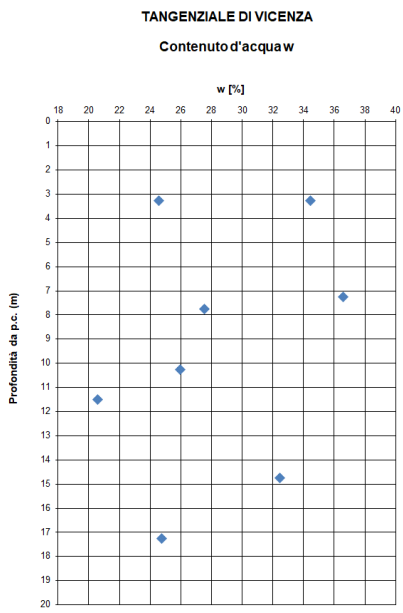
ALLEGATO 1 – RISULTATI PROVE DI LABORATORIO



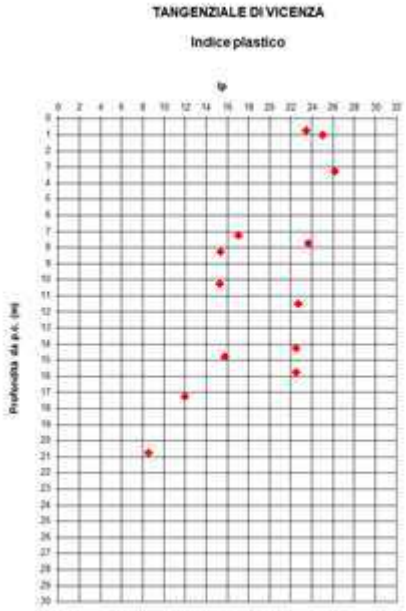
Analisi granulometrica



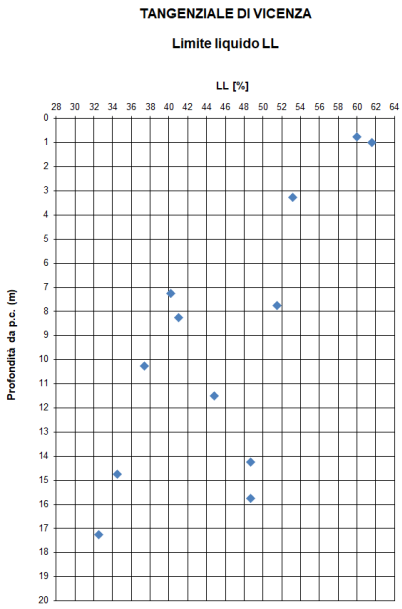
Peso dell'unità di volume



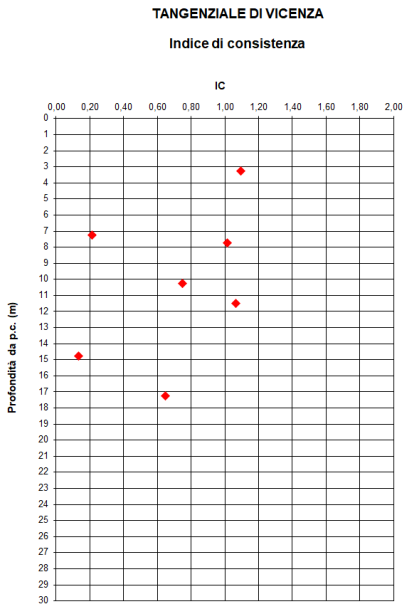
Contenuto d'acqua



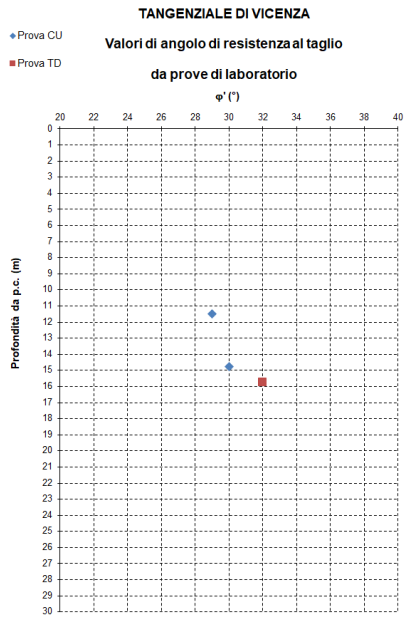
Indice Plastico



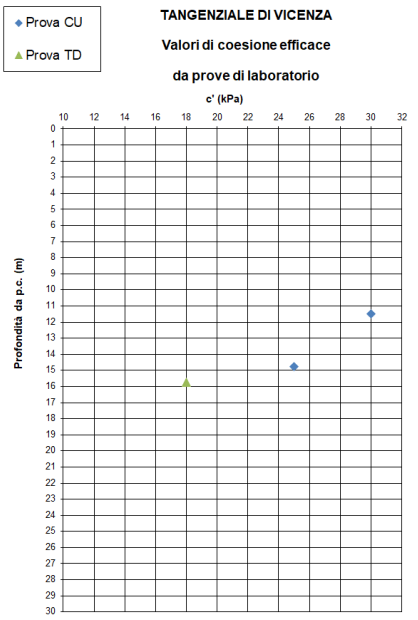
Limite liquido



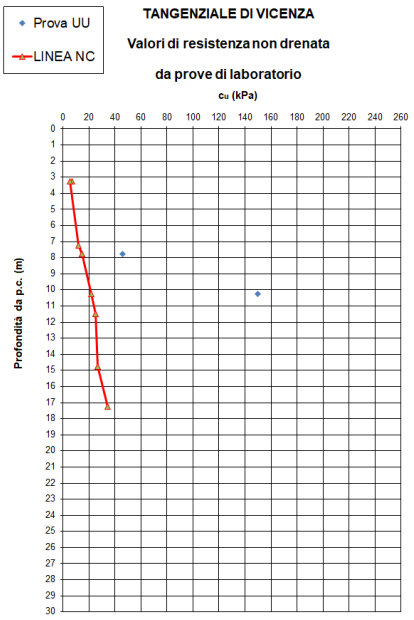
Indice di consistenza



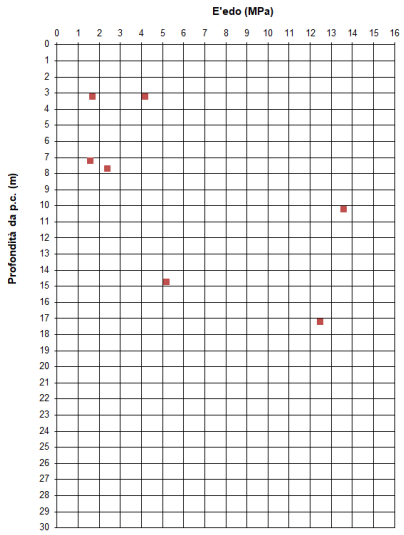
Angolo di attrito



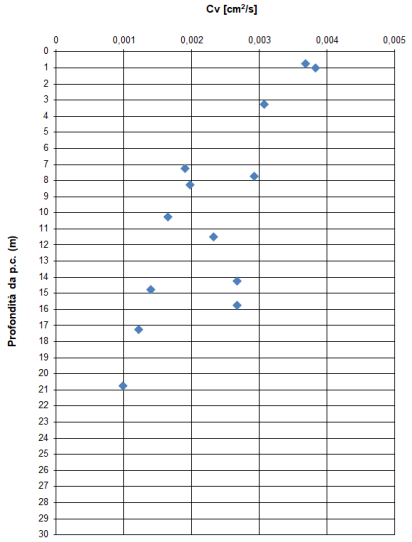
Coesione



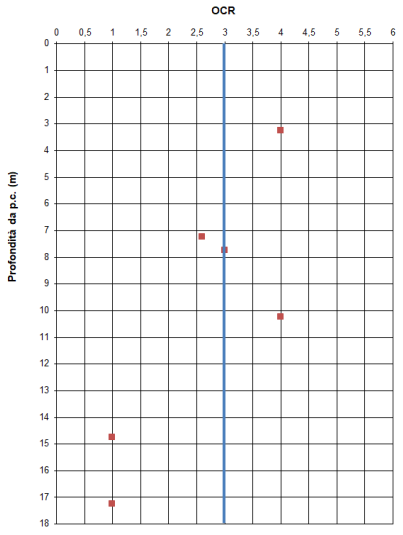
Resistenza al taglio non drenata



Modulo edometrico



Coeff. di consolidazione primaria



Grado di sovraconsolidazione

ALLEGATO 2 – CEDIMENTI RILEVATO DI APPROCCIO PONTE OROLO

RILEVATO DI APPROCCIO PONTE

SEZIONE	***SP-2***	*pk 0+154,17*
w_{TOT} (cm)	**44,9**	*asse*
w_{ist} (cm)	**18,1**	*asse*
w_{CON} (cm)	**26,7**	*asse*

DATI RILEVATO

H(m)=	6,7	Altezza rilevato
	18	gamma ril (kN/m3)
Bbase=	38	Larghezza base
q (kPa)=	120,6	Pressione
Zw_{SUP} (m)=	0	profondità falda superiore
Zw_{INF} (m)=	0	profondità falda inferiore
X(m)=	0	ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

DATI TERRENI

Ug1	1	Ug2	2	Terreno	3	Ug3	4	Ug1	5	Ug1	6
Cc	0,25	E' (kPa)	20000	Cc		E' (kPa)	30000	Cc	0,25	E' (kPa)	10000
Cs	0,035	E'ed	24000	Cs		E'ed	36000	Cs	0,035	E'ed	12000
OCR	3	ν'	0,25	OCR		ν'	0,25	OCR	1	ν'	0,25
γ (kN/m³)	18,5	γ (kN/m³)	19	γ (kN/m³)		γ (kN/m³)	19	γ (kN/m³)	18,5	γ (kN/m³)	18,5
ν'	0,3			ν'	0,3			ν'	0,3		
e_0	0,8			e_0				e_0	0,8		

44,9

	z(m)	H(m)	Terreno	gamma	σ_{z0}' (kPa)	u (kPa)	σ_{z0} (kPa)	σ'_{zmax} (kPa)	β (rad)	α (rad)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\Delta\sigma_y$ (kPa)	$\Delta\sigma_x$ (kPa)	$\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z$ (kPa)	e_0	Cc	Cs	e	edom ε_z	$E'_{ed,OPER}$ (kPa)	elastico ε_z (E'_{OPER})	E'_{OPER} (kPa)	$\Delta\sigma_z/\sigma'_o$	edometrico Δw(cm)	elastico $\Delta w(E'_{OPER})$(cm)
0,5	0,25	0,5	1	18,5	2,1	2,5	4,63	6,38	-1,56	3,115	120,6	71,8	118,6	122,7	0,8	0,25	0,04	0,462	0,1877	642,6	0,13302	477,4	56,75	9,38	6,65
1,0	0,75	0,5	1	18,5	6,4	7,5	13,88	19,13	-1,53	3,063	120,6	70,5	114,5	127,0	0,8	0,25	0,04	0,578	0,1235	976,8	0,08967	725,6	18,92	6,17	4,48
1,5	1,25	0,5	1	18,5	10,6	12,5	23,13	31,88	-1,51	3,010	120,6	69,3	110,5	131,2	0,8	0,25	0,04	0,630	0,0946	1274,3	0,07038	946,6	11,35	4,73	3,52
2,0	1,75	0,5	1	18,5	14,9	17,5	32,38	44,63	-1,48	2,958	120,6	68,1	106,5	135,4	0,8	0,25	0,04	0,663	0,0762	1581,3	0,05803	1174,7	8,10	3,81	2,90
2,5	2,25	0,5	1	18,5	19,1	22,5	41,63	57,38	-1,45	2,906	120,5	66,9	102,6	139,6	0,8	0,25	0,04	0,687	0,0629	1915,1	0,04897	1422,7	6,30	3,15	2,45
3,0	2,75	0,5	4	19,0	23,5	27,5	51,00	-	-1,43	2,854	120,4	54,8	98,7	143,9	-	-	-	-	0,0033	36000,0	0,00274	30000,0	5,13	0,17	0,14
3,5	3,25	0,5	4	19,0	28,0	32,5	60,50	-	-1,40	2,803	120,4	53,8	94,8	148,4	-	-	-	-	0,0033	36000,0	0,00277	30000,0	4,30	0,17	0,14
4,0	3,75	0,5	4	19,0	32,5	37,5	70,00	-	-1,38	2,752	120,2	52,8	91,1	152,7	-	-	-	-	0,0033	36000,0	0,00281	30000,0	3,70	0,17	0,14
4,5	4,25	0,5	2	19,0	37,0	42,5	79,50	-	-1,35	2,701	120,1	62,2	87,3	157,1	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00413	20000,0	3,24	0,25	0,21
5,0	4,75	0,5	2	19,0	41,5	47,5	89,00	-	-1,33	2,652	119,9	61,1	83,7	161,4	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00418	20000,0	2,89	0,25	0,21
5,5	5,25	0,5	2	19,0	46,0	52,5	98,50	-	-1,30	2,602	119,6	59,9	80,2	165,6	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00423	20000,0	2,60	0,25	0,21
6,0	5,75	0,5	2	19,0	50,5	57,50	108,00	-	-1,28	2,554	119,3	58,8	76,8	169,8	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00427	20000,0	2,36	0,25	0,21
6,5	6,25	0,5	6	18,5	54,9	62,5	117,38	-	-1,25	2,506	119,0	48,1	73,4	173,9	-	-	-	-	0,0099	12000,0	0,00886	10000,0	2,17	0,50	0,44
7,0	6,75	0,5	6	18,5	59,1	67,5	126,63	-	-1,23	2,459	118,6	47,2	70,2	177,7	-	-	-	-	0,0099	12000,0	0,00893	10000,0	2,01	0,49	0,45
7,5	7,25	0,5	6	18,5	63,4	72,5	135,88	-	-1,21	2,413	118,2	46,3	67,0	181,6	-	-	-	-	0,0098	12000,0	0,00898	10000,0	1,86	0,49	0,45
8,0	7,75	0,5	2	19,0	67,8	77,5	145,25	-	-1,18	2,367	117,7	54,5	64,0	185,5	-	-	-	-	0,0049	24000,0	0,00440	20000,0	1,74	0,25	0,22
8,5	8,25	0,5	2	19,0	72,3	82,5	154,75	-	-1,16	2,322	117,2	53,5	61,1	189,4	-	-	-	-	0,0049	24000,0	0,00443	20000,0	1,62	0,24	0,22
9,0	8,75	0,5	2	19,0	76,8	87,5	164,25	-	-1,14	2,278	116,6	52,5	58,3	193,4	-	-	-	-	0,0049	24000,0	0,00445	20000,0	1,52	0,24	0,22
9,5	9,25	0,5	2	19,0	81,3	92,5	173,75	-	-1,12	2,235	116,0	51,5	55,6	197,3	-	-	-	-	0,0048	24000,0	0,00446	20000,0	1,43	0,24	0,22
10,0	9,75	0,5	2	19,0	85,8	97,5	183,25	-	-1,10	2,193	115,4	50,5	53,0	201,1	-	-	-	-	0,0048	24000,0	0,00448	20000,0	1,35	0,24	0,22
10,5	10,25	0,5	2	19,0	90,3	102,5	192,75	-	-1,08	2,152	114,7	49,6	50,5	204,9	-	-	-	-	0,0048	24000,0	0,00448	20000,0	1,27	0,24	0,22
11,0	10,75	0,5	2	19,0	94,8	107,5	202,25	-	-1,06	2,112	114,0	48,6	48,2	208,7	-	-	-	-	0,0047	24000,0	0,00449	20000,0	1,20	0,24	0,22
11,5	11,25	0,5	2	19,0	99,3	112,5	211,75	-	-1,04	2,072	113,2	47,7	45,9	212,5	-	-	-	-	0,0047	24000,0	0,00449	20000,0	1,14	0,24	0,22
12,0	11,75	0,5	2	19,0	103,8	117,5	221,25	-	-1,02	2,034	112,4		43,7	216,2	-	-	-	-	0,0047	24000,0	0,00507	20000,0	1,08	0,23	0,25
12,5	12,25	0,5	2	19,0	108,3	122,5	230,75	-	-1,00	1,996	111,6	46,0	41,7	219,8	-	-	-	-	0,0046	24000,0	0,00448	20000,0	1,03	0,23	0,22
13,0	12,75	0,5	2	19,0	112,8	127,5	240,25	-	-0,98	1,960	110,7	45,1	39,7	223,5	-	-	-	-	0,0046	24000,0	0,00448	20000,0	0,98	0,23	0,22
13,5	13,25	0,5	2	19,0	117,3	132,5	249,75	-	-0,96	1,924	109,9	44,3	37,8	227,1	-	-	-	-	0,0046	24000,0	0,00447	20000,0	0,94	0,23	0,22
14,0	13,75	0,5	2	19,0	121,8	137,5	259,25	-	-0,94	1,889	109,0	43,5	36,0	230,7	-	-	-	-	0,0045	24000,0	0,00445	20000,0	0,90	0,23	0,22
14,5	14,25	0,5	2	19,0	126,3	142,5	268,75	-	-0,93	1,855	108,0	42,7	34,3	234,3	-	-	-	-	0,0045	24000,0	0,00444	20000,0	0,86	0,23	0,22
15,0	14,75	0,5	2	19,0	130,8	147,5	278,25	-	-0,91	1,821	107,1	42,0	32,7	237,9	-	-	-	-	0,0045	24000,0	0,00442	20000,0	0,82	0,22	0,22
15,5	15,25	0,5	2	19,0	135,3	152,5	287,75	-	-0,89	1,789	106,2	41,2	31,2	241,4	-	-	-	-	0,0044	24000,0	0,00440	20000,0	0,78	0,22	0,22
16,0	15,75	0,5	2	19,0	139,8	157,5	297,25	-	-0,88	1,757	105,2	40,5	29,7	244,9	-	-	-	-	0,0044	24000,0	0,00438	20000,0	0,75	0,22	0,22
16,5	16,25	0,5	2	19,0	144,3	162,5	306,75	-	-0,86	1,727	104,2	39,8	28,4	248,5	-	-	-	-	0,0043	24000,0	0,00436	20000,0	0,72	0,22	0,22
17,0	16,75	0,5	2	19,0	148,8	167,5	316,25	-	-0,85	1,697	103,2	39,1	27,0	252,0	-	-	-	-	0,0043	24000,0	0,00433	20000,0	0,69	0,22	0,22
17,5	17,25	0,5	2	19,0	153,3	172,5	325,75	-	-0,83	1,667	102,2	38,4	25,8	255,5	-	-	-	-	0,0043	24000,0	0,00431	20000,0	0,67	0,21	0,22
18,0	17,75	0,5	2	19,0	157,8	177,5	335,25	-	-0,82	1,639	101,2	37,7	24,6	259,0	-	-	-	-	0,0042	24000,0	0,00428	20000,0	0,64	0,21	0,21
18,5	18,25	0,5	2	19,0	162,3	182,5	344,75	-	-0,81	1,611	100,2	37,1	23,5	262,5	-	-	-	-	0,0042	24000,0	0,00425	20000,0	0,62	0,21	0,21
19,0	18,75	0,5	2	19,0	166,8	187,5	354,25	-	-0,79	1,584	99,2	36,5	22,4	265,9	-	-	-	-	0,0041	24000,0	0,00422	20000,0	0,59	0,21	0,21
19,5	19,25	0,5	2	19,0	171,3	192,5	363,75	-	-0,78	1,558	98,2	35,9	21,4	269,4	-	-	-	-	0,0041	24000,0	0,00419	20000,0	0,57	0,20	0,21
20,0	19,75	0,5	2	19,0	175,8	197,5	373,25	-	-0,77	1,532	97,2	35,3	20,5	272,9	-	-	-	-	0,0040	24000,0	0,00416	20000,0	0,55	0,20	0,21

20,5	20,25	0,5	2	19,0	180,3	202,5	382,75	-	-0,75	1,507	96,2	34,7	19,5	276,4	-	-	-	-	0,0040	24000,0	0,00413	20000,0	0,53	0,20	0,21
21,0	20,75	0,5	2	19,0	184,8	207,5	392,25	-	-0,74	1,483	95,2	34,2	18,7	279,9	-	-	-	-	0,0040	24000,0	0,00410	20000,0	0,52	0,20	0,20
21,5	21,25	0,5	2	19,0	189,3	212,5	401,75	-	-0,73	1,459	94,2	33,6	17,9	283,4	-	-	-	-	0,0039	24000,0	0,00406	20000,0	0,50	0,20	0,20
22,0	21,75	0,5	2	19,0	193,8	217,5	411,25	-	-0,72	1,436	93,2	33,1	17,1	286,9	-	-	-	-	0,0039	24000,0	0,00403	20000,0	0,48	0,19	0,20
22,5	22,25	0,5	2	19,0	198,3	222,5	420,75	-	-0,71	1,414	92,2	32,6	16,3	290,4	-	-	-	-	0,0038	24000,0	0,00400	20000,0	0,46	0,19	0,20
23,0	22,75	0,5	2	19,0	202,8	227,5	430,25	-	-0,70	1,392	91,2	32,1	15,6	293,9	-	-	-	-	0,0038	24000,0	0,00396	20000,0	0,45	0,19	0,20
23,5	23,25	0,5	2	19,0	207,3	232,5	439,75	-	-0,69	1,370	90,2	31,6	15,0	297,5	-	-	-	-	0,0038	24000,0	0,00393	20000,0	0,44	0,19	0,20
24,0	23,75	0,5	2	19,0	211,8	237,5	449,25	-	-0,67	1,349	89,3	31,1	14,4	301,0	-	-	-	-	0,0037	24000,0	0,00389	20000,0	0,42	0,19	0,19
24,5	24,25	0,5	2	19,0	216,3	242,5	458,75	-	-0,66	1,329	88,3	30,6	13,8	304,5	-	-	-	-	0,0037	24000,0	0,00386	20000,0	0,41	0,18	0,19
25,0	24,75	0,5	2	19,0	220,8	247,5	468,25	-	-0,65	1,309	87,4	30,2	13,2	308,1	-	-	-	-	0,0036	24000,0	0,00383	20000,0	0,40	0,18	0,19
25,5	25,25	0,5	2	19,0	225,3	252,5	477,75	-	-0,65	1,290	86,4	29,7	12,6	311,7	-	-	-	-	0,0036	24000,0	0,00379	20000,0	0,38	0,18	0,19
26,0	25,75	0,5	2	19,0	229,8	257,5	487,25	-	-0,64	1,271	85,5	29,3	12,1	315,2	-	-	-	-	0,0036	24000,0	0,00376	20000,0	0,37	0,18	0,19
26,5	26,25	0,5	2	19,0	234,3	262,5	496,75	-	-0,63	1,253	84,6	28,9	11,6	318,8	-	-	-	-	0,0035	24000,0	0,00372	20000,0	0,36	0,18	0,19
27,0	26,75	0,5	2	19,0	238,8	267,5	506,25	-	-0,62	1,235	83,7	28,4	11,2	322,4	-	-	-	-	0,0035	24000,0	0,00369	20000,0	0,35	0,17	0,18
27,5	27,25	0,5	2	19,0	243,3	272,5	515,75	-	-0,61	1,218	82,8	28,0	10,7	326,0	-	-	-	-	0,0034	24000,0	0,00365	20000,0	0,34	0,17	0,18
28,0	27,75	0,5	2	19,0	247,8	277,5	525,25	-	-0,60	1,201	81,9	27,7	10,3	329,6	-	-	-	-	0,0034	24000,0	0,00362	20000,0	0,33	0,17	0,18
28,5	28,25	0,5	2	19,0	252,3	282,5	534,75	-	-0,59	1,184	81,0	27,3	9,9	333,3	-	-	-	-	0,0034	24000,0	0,00359	20000,0	0,32	0,17	0,18
29,0	28,75	0,5	2	19,0	256,8	287,5	544,25	-	-0,58	1,168	80,2	26,9	9,5	336,9	-	-	-	-	0,0033	24000,0	0,00355	20000,0	0,31	0,17	0,18
29,5	29,25	0,5	2	19,0	261,3	292,5	553,75	-	-0,58	1,152	79,3	26,5	9,2	340,6	-	-	-	-	0,0033	24000,0	0,00352	20000,0	0,30	0,17	0,18
30,0	29,75	0,5	2	19,0	265,8	297,5	563,25	-	-0,57	1,137	78,5	26,2	8,8	344,2	-	-	-	-	0,0033	24000,0	0,00349	20000,0	0,30	0,16	0,17
30,5	30,25	0,5	2	19,0	270,3	302,5	572,75	-	-0,56	1,122	77,6	25,8	8,5	347,9	-	-	-	-	0,0032	24000,0	0,00345	20000,0	0,29	0,16	0,17
31,0	30,75	0,5	2	19,0	274,8	307,5	582,25	-	-0,55	1,107	76,8	25,5	8,2	351,6	-	-	-	-	0,0032	24000,0	0,00342	20000,0	0,28	0,16	0,17
31,5	31,25	0,5	2	19,0	279,3	312,5	591,75	-	-0,55	1,093	76,0	25,2	7,9	355,3	-	-	-	-	0,0032	24000,0	0,00339	20000,0	0,27	0,16	0,17
32,0	31,75	0,5	2	19,0	283,8	317,5	601,25	-	-0,54	1,079	75,2	24,8	7,6	359,0	-	-	-	-	0,0031	24000,0	0,00336	20000,0	0,27	0,16	0,17
32,5	32,25	0,5	2	19,0	288,3	322,5	610,75	-	-0,53	1,065	74,5	24,5	7,3	362,7	-	-	-	-	0,0031	24000,0	0,00332	20000,0	0,26	0,16	0,17
33,0	32,75	0,5	2	19,0	292,8	327,5	620,25	-	-0,53	1,051	73,7	24,2	7,0	366,4	-	-	-	-	0,0031	24000,0	0,00329	20000,0	0,25	0,15	0,16
33,5	33,25	0,5	2	19,0	297,3	332,5	629,75	-	-0,52	1,038	72,9	23,9	6,8	370,2	-	-	-	-	0,0030	24000,0	0,00326	20000,0	0,25	0,15	0,16
34,0	33,75	0,5	2	19,0	301,8	337,5	639,25	-	-0,51	1,025	72,2	23,6	6,5	373,9	-	-	-	-	0,0030	24000,0	0,00323	20000,0	0,24	0,15	0,16
34,5	34,25	0,5	2	19,0	306,3	342,5	648,75	-	-0,51	1,013	71,5	23,3	6,3	377,7	-	-	-	-	0,0030	24000,0	0,00320	20000,0	0,23	0,15	0,16
35,0	34,75	0,5	2	19,0	310,8	347,5	658,25	-	-0,50	1,001	70,7	23,0	6,1	381,5	-	-	-	-	0,0029	24000,0	0,00317	20000,0	0,23	0,15	0,16
35,5	35,25	0,5	2	19,0	315,3	352,5	667,75	-	-0,49	0,989	70,0	22,8	5,9	385,3	-	-	-	-	0,0029	24000,0	0,00314	20000,0	0,22	0,15	0,16
36,0	35,75	0,5	2	19,0	319,8	357,5	677,25	-	-0,49	0,977	69,3	22,5	5,7	389,1	-	-	-	-	0,0029	24000,0	0,00311	20000,0	0,22	0,14	0,16
36,5	36,25	0,5	2	19,0	324,3	362,5	686,75	-	-0,48	0,966	68,6	22,2	5,5	392,9	-	-	-	-	0,0029	24000,0	0,00309	20000,0	0,21	0,14	0,15
37,0	36,75	0,5	2	19,0	328,8	367,5	696,25	-	-0,48	0,954	68,0	22,0	5,3	396,7	-	-	-	-	0,0028	24000,0	0,00306	20000,0	0,21	0,14	0,15
37,5	37,25	0,5	2	19,0	333,3	372,5	705,75	-	-0,47	0,943	67,3	21,7	5,1	400,5	-	-	-	-	0,0028	24000,0	0,00303	20000,0	0,20	0,14	0,15
38,0	37,75	0,5	2	19,0	337,8	377,5	715,25	-	-0,47	0,933	66,6	21,5	5,0	404,4	-	-	-	-	0,0028	24000,0	0,00300	20000,0	0,20	0,14	0,15
38,5	38,25	0,5	2	19,0	342,3	382,5	724,75	-	-0,46	0,922	66,0	21,2	4,8	408,2	-	-	-	-	0,0027	24000,0	0,00297	20000,0	0,19	0,14	0,15
39,0	38,75	0,5	2	19,0	346,8	387,5	734,25	-	-0,46	0,912	65,3	21,0	4,7	412,1	-	-	-	-	0,0027	24000,0	0,00295	20000,0	0,19	0,14	0,15
39,5	39,25	0,5	2	19,0	351,3	392,5	743,75	-	-0,45	0,902	64,7	20,8	4,5	416,0	-	-	-	-	0,0027	24000,0	0,00292	20000,0	0,18	0,13	0,15
40,0	39,75	0,5	2	19,0	355,8	397,5	753,25	-	-0,45	0,892	64,1	20,5	4,4	419,9	-	-	-	-	0,0027	24000,0	0,00289	20000,0	0,18	0,13	0,14
40,5	40,25	0,5	2	19,0	360,3	402,5	762,75	-	-0,44	0,882	63,5	20,3	4,2	423,7	-	-	-	-	0,0026	24000,0	0,00287	20000,0	0,18	0,13	0,14
41,0	40,75	0,5	2	19,0	364,8	407,5	772,25	-	-0,44	0,873	62,9	20,1	4,1	427,7	-	-	-	-	0,0026	24000,0	0,00284	20000,0	0,17	0,13	0,14
41,5	41,25	0,5	2	19,0	369,3	412,5	781,75	-	-0,43	0,863	62,3	19,9	4,0	431,6	-	-	-	-	0,0026	24000,0	0,00282	20000,0	0,17	0,13	0,14
42,0	41,75	0,5	2	19,0	373,8	417,5	791,25	-	-0,43	0,854	61,7	19,7	3,8	435,5	-	-	-	-	0,0026	24000,0	0,00279	20000,0	0,17	0,13	0,14
42,5	42,25	0,5	2	19,0	378,3	422,5	800,75	-	-0,42	0,845	61,2	19,5	3,7	439,4	-	-	-	-	0,0025	24000,0	0,00277	20000,0	0,16	0,13	0,14
43,0	42,75	0,5	2	19,0	382,8	427,5	810,25	-	-0,42	0,836	60,6	19,3	3,6	443,4	-	-	-	-	0,0025	24000,0	0,00274	20000,0	0,16	0,13	0,14
43,5	43,25	0,5	2	19,0	387,3	432,5	819,75	-	-0,41	0,828	60,1	19,1	3,5	447,3	-	-	-	-	0,0025	24000,0	0,00272	20000,0	0,16	0,13	0,14
44,0	43,75	0,5	2	19,0	391,8	437,5	829,25	-	-0,41	0,819	59,5	18,9	3,4	451,3	-	-	-	-	0,0025	24000,0	0,00270	20000,0	0,15	0,12	0,13
44,5	44,25	0,5	2	19,0	396,3	442,5	838,75	-	-0,41	0,811	59,0	18,7	3,3	455,2	-	-	-	-	0,0025	24000,0	0,00267	20000,0	0,15	0,12	0,13
45,0	44,75	0,5	2	19,0	400,8	447,5	848,25	-	-0,40	0,803	58,4	18,5	3,2	459,2	-	-	-	-	0,0024	24000,0	0,00265	20000,0	0,15	0,12	0,13
45,5	45,25	0,5	2	19,0	405,3	452,5	857,75	-	-0,40	0,795	57,9	18,3	3,1	463,2	-	-	-	-	0,0024	24000,0	0,00263	20000,0	0,14	0,12	0,13
46,0	45,75	0,5	2	19,0	409,8	457,5	867,25	-	-0,39	0,787	57,4	18,1	3,0	467,2	-	-	-	-	0,0024	24000,0	0,00261	20000,0	0,14	0,12	0,13
46,5	46,25	0,5	2	19,0	414,3	462,5	876,75	-	-0,39	0,780	56,9	18,0	2,9	471,2	-	-	-	-	0,0024	24000,0	0,00258	20000,0	0,14	0,12	0,13
47,0	46,75	0,5	2	19,0	418,8	467,5	886,25	-	-0,39	0,772	56,4	17,8	2,9	475,2	-	-	-	-	0,0024	24000,0	0,00256	20000,0	0,13	0,12	0,13
47,5	47,25	0,5	2	19,0	423,3	472,5	895,75	-	-0,38	0,765	55,9	17,6	2,8	479,2	-	-	-	-	0,0023	24000,0	0,00254	20000,0	0,13	0,12	0,13
48,0	47,75	0,5	2	19,0	427,8	477,5	905,25	-	-0,38	0,757	55,4	17,4	2,7	483,2	-	-	-	-	0,0023	24000,0	0,00252	20000,0	0,13	0,12	0,13
48,5	48,25	0,5	2	19,0	432,3	482,5	914,75	-	-0,38	0,750	55,0	17,3	2,6	487,2	-	-	-	-	0,0023	24000,0	0,00250	20000,0	0,13	0,11	0,12
49,0	48,75	0,5	2	19,0	436,8	487,5	924,25	-	-0,37	0,743	54,5	17,1	2,6	491,3	-	-	-	-	0,0023	24000,0	0,00248	20000,0	0,12	0,11	0,12
49,5	49,25	0,5	2	19,0	441,3	492,5	933,75	-	-0,37	0,736	54,1	17,0	2,5	495,3	-	-	-	-	0,0023	24000,0	0,00246	20000,0	0,12	0,11	0,12
50,0	49,75	0,5	2	19,0	445,8	497,5	943,25	-	-0,36	0,730	53,6	16,8	2,4	499,3	-	-	-	-	0,0022	24000,0	0,00244	20000,0	0,12	0,11	0,12

RILEVATO DI APPROCCIO PONTE OROLO - DECORSO CEDIMENTI NEL TEMPO

SEZIONE	*SP-2*	*pk 0+154,17*
c_v (cm^2/s)	2,0E-03	
H (m)	1,2	

		Ug1						
U_m	T_v	w (cm)	w_{TOT} (cm)	w_{TOT} (mm)	t (s)	t (anni)	t (mesi)	v (cm/anno)
0	0,0000	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	#DIV/0!
5	0,0017	1,34	1,34	13,40	12240	0,00	0,00	3452,30
10	0,0077	2,68	2,68	26,80	55440	0,00	0,02	978,15
15	0,0177	4,02	4,02	40,20	127440	0,00	0,05	586,89
20	0,0314	5,36	5,36	53,60	226080	0,01	0,09	428,39
25	0,0491	6,70	6,70	67,00	353520	0,01	0,13	331,58
30	0,0707	8,04	8,04	80,40	509040	0,02	0,19	271,71
35	0,0962	9,38	9,38	93,80	692640	0,02	0,26	230,15
40	0,1260	10,72	10,72	107,19	907200	0,03	0,35	196,94
45	0,1590	12,06	12,06	120,59	1144800	0,04	0,44	177,85
50	0,1960	13,40	13,40	133,99	1411200	0,04	0,54	158,62
55	0,2380	14,74	14,74	147,39	1713600	0,05	0,65	139,74
60	0,2860	16,08	16,08	160,79	2059200	0,07	0,78	122,27
65	0,3420	17,42	17,42	174,19	2462400	0,08	0,94	104,80
70	0,4030	18,76	18,76	187,59	2901600	0,09	1,10	96,21
75	0,4770	20,10	20,10	200,99	3434400	0,11	1,31	79,31
80	0,5670	21,44	21,44	214,39	4082400	0,13	1,55	65,21
85	0,6840	22,78	22,78	227,79	4924800	0,16	1,87	50,16
90	**0,8480**	24,12	24,12	241,19	6105600	0,19	2,32	35,79
95	1,1290	25,46	25,46	254,59	8128800	0,26	3,09	20,89
100	1,E+03	26,80	26,80	267,99	7200000000	228,31	2739,73	0,01

ALLEGATO 3 – CEDIMENTI RILEVATO DI APPROCCIO PONTE ZUBANA

RILEVATO DI APPROCCIO PONTE ZUBANA

SEZIONE	*SP-2*	*pk 1+055,03*
w_{TOT} (cm)	49,4	*asse*
w_{ist} (cm)	18,3	*asse*
w_{CON} (cm)	31,0	*asse*

DATI RILEVATO

H(m)=	6,9	Altezza rilevato
	18	gamma ril (kN/m3)
Bbase=	39,1	Larghezza base
q (kPa)=	124,2	Pressione
Zw_{SUP} (m)=	0	profondità falda superiore
Zw_{INF} (m)=	0	profondità falda inferiore
X(m)=	0	ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

DATI TERRENI

Terreno Ug1	1	Ug2	2	Terreno	3	Ug1_cons	4	Terreno	5		6
Cc	0,25	E' (kPa)	20000	Cc		E' (kPa)	25000	Cc		E' (kPa)	30000
Cs	0,035	E'ed	24000	Cs		E'ed	30000	Cs		E'ed	36000
OCR	3	ν'	0,25	OCR		ν'	0,25	OCR		ν'	0,25
γ (kN/m^3)	18,5	γ (kN/m^3)	19	γ (kN/m^3)		γ (kN/m^3)	18,5	γ (kN/m^3)		γ (kN/m^3)	19
ν'	0,3			ν'	0,3			ν'	0,3		
e_0	0,8			e_0				e_0			

49,4

z(m)	H(m)	Terreno	gamma	σ_{z0}' (kPa)	u (kPa)	σ_{z0} (kPa)	σ'_{zmax} (kPa)	β (rad)	α (rad)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\Delta\sigma_y$ (kPa)	$\Delta\sigma_x$ (kPa)	$\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z$ (kPa)	e_0	Cc	Cs	e	edom ε_z	$E'_{ed,OPER}$ (kPa)	elastico ε_z (E'_{OPER})	E'_{OPER} (kPa)	$\Delta\sigma_z/\sigma'_o$	edometrico Δw(cm)	elastico Δw(E'_{OPER})(cm)
0,5	0,25	0,5	1	18,5	2,1	2,5	4,63	6,38	-1,56	3,116	124,2	73,9	122,2	126,3	0,8	0,25	0,04	0,459	0,1894	655,7	0,13421	487,1	58,45	9,47	6,71
1,0	0,75	0,5	1	18,5	6,4	7,5	13,88	19,13	-1,53	3,065	124,2	72,7	118,1	130,6	0,8	0,25	0,04	0,575	0,1251	992,4	0,09081	737,2	19,48	6,26	4,54
1,5	1,25	0,5	1	18,5	10,6	12,5	23,13	31,88	-1,51	3,014	124,2	71,5	114,1	134,8	0,8	0,25	0,04	0,627	0,0963	1290,1	0,07148	958,4	11,69	4,81	3,57
2,0	1,75	0,5	1	18,5	14,9	17,5	32,38	44,63	-1,48	2,963	124,2	70,3	110,1	139,0	0,8	0,25	0,04	0,660	0,0778	1595,4	0,05910	1185,1	8,35	3,89	2,95
2,5	2,25	0,5	1	18,5	19,1	22,5	41,63	57,38	-1,46	2,912	124,1	69,1	106,2	143,2	0,8	0,25	0,04	0,684	0,0645	1925,4	0,05002	1430,3	6,49	3,22	2,50
3,0	2,75	0,5	1	18,5	23,4	27,5	50,88	70,13	-1,43	2,862	124,1	67,9	102,2	147,4	0,8	0,25	0,04	0,703	0,0541	2293,1	0,04286	1703,5	5,31	2,70	2,14
3,5	3,25	0,5	1	18,5	27,6	32,5	60,13	82,88	-1,41	2,812	124,0	66,7	98,4	151,6	0,8	0,25	0,04	0,718	0,0457	2712,5	0,03694	2015,0	4,49	2,29	1,85
4,0	3,75	0,5	1	18,5	31,9	37,5	69,38	95,63	-1,38	2,763	123,8	65,5	94,6	155,7	0,8	0,25	0,04	0,730	0,0387	3200,9	0,03188	2377,8	3,89	1,93	1,59
4,5	4,25	0,5	2	19,0	36,3	42,5	78,75	-	-1,36	2,713	123,7	64,4	90,9	159,9	-	-	-	-	0,0052	24000,0	0,00424	20000,0	3,41	0,26	0,21
5,0	4,75	0,5	2	19,0	40,8	47,5	88,25	-	-1,33	2,665	123,5	63,2	87,2	164,2	-	-	-	-	0,0051	24000,0	0,00429	20000,0	3,03	0,26	0,21
5,5	5,25	0,5	6	19,0	45,3	52,5	97,75	-	-1,31	2,617	123,3	51,7	83,7	168,5	-	-	-	-	0,0034	36000,0	0,00298	30000,0	2,72	0,17	0,15
6,0	5,75	0,5	6	19,0	49,8	57,50	107,25	-	-1,28	2,569	123,0	50,8	80,2	172,7	-	-	-	-	0,0034	36000,0	0,00301	30000,0	2,47	0,17	0,15
6,5	6,25	0,5	6	19,0	54,3	62,5	116,75	-	-1,26	2,523	122,7	49,9	76,8	176,9	-	-	-	-	0,0034	36000,0	0,00303	30000,0	2,26	0,17	0,15
7,0	6,75	0,5	6	19,0	58,8	67,5	126,25	-	-1,24	2,477	122,3	49,0	73,5	181,1	-	-	-	-	0,0034	36000,0	0,00306	30000,0	2,08	0,17	0,15
7,5	7,25	0,5	2	19,0	63,3	72,5	135,75	-	-1,22	2,431	121,9	57,7	70,3	185,1	-	-	-	-	0,0051	24000,0	0,00449	20000,0	1,93	0,25	0,22
8,0	7,75	0,5	2	19,0	67,8	77,5	145,25	-	-1,19	2,387	121,4	56,6	67,3	189,2	-	-	-	-	0,0051	24000,0	0,00452	20000,0	1,79	0,25	0,23
8,5	8,25	0,5	2	19,0	72,3	82,5	154,75	-	-1,17	2,343	120,9	55,6	64,3	193,2	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00455	20000,0	1,67	0,25	0,23
9,0	8,75	0,5	2	19,0	76,8	87,5	164,25	-	-1,15	2,300	120,4	54,6	61,4	197,2	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00457	20000,0	1,57	0,25	0,23
9,5	9,25	0,5	2	19,0	81,3	92,5	173,75	-	-1,13	2,258	119,8	53,6	58,7	201,1	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00459	20000,0	1,47	0,25	0,23
10,0	9,75	0,5	2	19,0	85,8	97,5	183,25	-	-1,11	2,216	119,2	52,6	56,0	204,9	-	-	-	-	0,0050	24000,0	0,00460	20000,0	1,39	0,25	0,23
10,5	10,25	0,5	2	19,0	90,3	102,5	192,75	-	-1,09	2,176	118,5	51,6	53,5	208,8	-	-	-	-	0,0049	24000,0	0,00461	20000,0	1,31	0,25	0,23
11,0	10,75	0,5	2	19,0	94,8	107,5	202,25	-	-1,07	2,136	117,8	50,7	51,1	212,6	-	-	-	-	0,0049	24000,0	0,00462	20000,0	1,24	0,25	0,23
11,5	11,25	0,5	2	19,0	99,3	112,5	211,75	-	-1,05	2,097	117,1	49,7	48,7	216,3	-	-	-	-	0,0049	24000,0	0,00462	20000,0	1,18	0,24	0,23
12,0	11,75	0,5	2	19,0	103,8	117,5	221,25	-	-1,03	2,059	116,3		46,5	220,1	-	-	-	-	0,0048	24000,0	0,00523	20000,0	1,12	0,24	0,26
12,5	12,25	0,5	2	19,0	108,3	122,5	230,75	-	-1,01	2,022	115,5	48,0	44,4	223,8	-	-	-	-	0,0048	24000,0	0,00462	20000,0	1,07	0,24	0,23
13,0	12,75	0,5	2	19,0	112,8	127,5	240,25	-	-0,99	1,986	114,7	47,1	42,3	227,4	-	-	-	-	0,0048	24000,0	0,00462	20000,0	1,02	0,24	0,23
13,5	13,25	0,5	2	19,0	117,3	132,5	249,75	-	-0,98	1,950	113,8	46,3	40,4	231,1	-	-	-	-	0,0047	24000,0	0,00461	20000,0	0,97	0,24	0,23
14,0	13,75	0,5	2	19,0	121,8	137,5	259,25	-	-0,96	1,916	112,9	45,4	38,5	234,7	-	-	-	-	0,0047	24000,0	0,00460	20000,0	0,93	0,24	0,23
14,5	14,25	0,5	2	19,0	126,3	142,5	268,75	-	-0,94	1,882	112,0	44,6	36,8	238,3	-	-	-	-	0,0047	24000,0	0,00458	20000,0	0,89	0,23	0,23
15,0	14,75	0,5	2	19,0	130,8	147,5	278,25	-	-0,92	1,849	111,1	43,9	35,1	241,9	-	-	-	-	0,0046	24000,0	0,00457	20000,0	0,85	0,23	0,23
15,5	15,25	0,5	2	19,0	135,3	152,5	287,75	-	-0,91	1,817	110,2	43,1	33,5	245,4	-	-	-	-	0,0046	24000,0	0,00455	20000,0	0,81	0,23	0,23
16,0	15,75	0,5	2	19,0	139,8	157,5	297,25	-	-0,89	1,785	109,2	42,3	32,0	249,0	-	-	-	-	0,0046	24000,0	0,00453	20000,0	0,78	0,23	0,23
16,5	16,25	0,5	2	19,0	144,3	162,5	306,75	-	-0,88	1,755	108,2	41,6	30,5	252,5	-	-	-	-	0,0045	24000,0	0,00451	20000,0	0,75	0,23	0,23
17,0	16,75	0,5	2	19,0	148,8	167,5	316,25	-	-0,86	1,725	107,3	40,9	29,1	256,0	-	-	-	-	0,0045	24000,0	0,00449	20000,0	0,72	0,22	0,22
17,5	17,25	0,5	2	19,0	153,3	172,5	325,75	-	-0,85	1,696	106,3	40,2	27,8	259,5	-	-	-	-	0,0044	24000,0	0,00446	20000,0	0,69	0,22	0,22
18,0	17,75	0,5	2	19,0	157,8	177,5	335,25	-	-0,83	1,667	105,3	39,5	26,6	263,0	-	-	-	-	0,0044	24000,0	0,00444	20000,0	0,67	0,22	0,22
18,5	18,25	0,5	2	19,0	162,3	182,5	344,75	-	-0,82	1,640	104,3	38,9	25,4	266,5	-	-	-	-	0,0043	24000,0	0,00441	20000,0	0,64	0,22	0,22
19,0	18,75	0,5	2	19,0	166,8	187,5	354,25	-	-0,81	1,613	103,3	38,3	24,3	270,0	-	-	-	-	0,0043	24000,0	0,00438	20000,0	0,62	0,22	0,22
19,5	19,25	0,5	4	18,5	171,1	192,5	363,63	-	-0,79	1,586	102,2	31,4	23,2	273,4	-	-	-	-	0,0034	30000,0	0,00354	25000,0	0,60	0,17	0,18
20,0	19,75	0,5	4	18,5	175,4	197,5	372,88	-	-0,78	1,561	101,2	30,8	22,2	276,6	-	-	-	-	0,0034	30000,0	0,00352	25000,0	0,58	0,17	0,18

20,5	20,25	0,5	4	18,5	179,6	202,5	382,13	-	-0,77	1,536	100,2	30,4	21,2	279,8	-	-	-	-	0,0033	30000,0	0,00349	25000,0	0,56	0,17	0,17
21,0	20,75	0,5	4	18,5	183,9	207,5	391,38	-	-0,76	1,511	99,2	29,9	20,3	283,1	-	-	-	-	0,0033	30000,0	0,00347	25000,0	0,54	0,17	0,17
21,5	21,25	0,5	4	18,5	188,1	212,5	400,63	-	-0,74	1,488	98,2	29,4	19,4	286,3	-	-	-	-	0,0033	30000,0	0,00344	25000,0	0,52	0,16	0,17
22,0	21,75	0,5	4	18,5	192,4	217,5	409,88	-	-0,73	1,464	97,2	28,9	18,6	289,6	-	-	-	-	0,0032	30000,0	0,00341	25000,0	0,51	0,16	0,17
22,5	22,25	0,5	4	18,5	196,6	222,5	419,13	-	-0,72	1,442	96,2	28,5	17,8	292,8	-	-	-	-	0,0032	30000,0	0,00339	25000,0	0,49	0,16	0,17
23,0	22,75	0,5	4	18,5	200,9	227,5	428,38	-	-0,71	1,420	95,2	28,1	17,0	296,1	-	-	-	-	0,0032	30000,0	0,00336	25000,0	0,47	0,16	0,17
23,5	23,25	0,5	4	18,5	205,1	232,5	437,63	-	-0,70	1,398	94,2	27,6	16,3	299,4	-	-	-	-	0,0031	30000,0	0,00333	25000,0	0,46	0,16	0,17
24,0	23,75	0,5	4	18,5	209,4	237,5	446,88	-	-0,69	1,377	93,3	27,2	15,7	302,6	-	-	-	-	0,0031	30000,0	0,00330	25000,0	0,45	0,16	0,17
24,5	24,25	0,5	4	18,5	213,6	242,5	456,13	-	-0,68	1,357	92,3	26,8	15,0	305,9	-	-	-	-	0,0031	30000,0	0,00327	25000,0	0,43	0,15	0,16
25,0	24,75	0,5	4	18,5	217,9	247,5	465,38	-	-0,67	1,337	91,3	26,4	14,4	309,2	-	-	-	-	0,0030	30000,0	0,00324	25000,0	0,42	0,15	0,16
25,5	25,25	0,5	4	18,5	222,1	252,5	474,63	-	-0,66	1,318	90,4	26,0	13,8	312,5	-	-	-	-	0,0030	30000,0	0,00322	25000,0	0,41	0,15	0,16
26,0	25,75	0,5	4	18,5	226,4	257,5	483,88	-	-0,65	1,299	89,4	25,7	13,3	315,8	-	-	-	-	0,0030	30000,0	0,00319	25000,0	0,40	0,15	0,16
26,5	26,25	0,5	4	18,5	230,6	262,5	493,13	-	-0,64	1,280	88,5	25,3	12,7	319,1	-	-	-	-	0,0029	30000,0	0,00316	25000,0	0,38	0,15	0,16
27,0	26,75	0,5	4	18,5	234,9	267,5	502,38	-	-0,63	1,262	87,6	25,0	12,2	322,4	-	-	-	-	0,0029	30000,0	0,00313	25000,0	0,37	0,15	0,16
27,5	27,25	0,5	4	18,5	239,1	272,5	511,63	-	-0,62	1,245	86,7	24,6	11,8	325,8	-	-	-	-	0,0029	30000,0	0,00310	25000,0	0,36	0,14	0,16
28,0	27,75	0,5	4	18,5	243,4	277,5	520,88	-	-0,61	1,227	85,8	24,3	11,3	329,1	-	-	-	-	0,0029	30000,0	0,00307	25000,0	0,35	0,14	0,15
28,5	28,25	0,5	4	18,5	247,6	282,5	530,13	-	-0,61	1,211	84,9	23,9	10,9	332,5	-	-	-	-	0,0028	30000,0	0,00305	25000,0	0,34	0,14	0,15
29,0	28,75	0,5	4	18,5	251,9	287,5	539,38	-	-0,60	1,194	84,0	23,6	10,5	335,9	-	-	-	-	0,0028	30000,0	0,00302	25000,0	0,33	0,14	0,15
29,5	29,25	0,5	4	18,5	256,1	292,5	548,63	-	-0,59	1,178	83,1	23,3	10,1	339,2	-	-	-	-	0,0028	30000,0	0,00299	25000,0	0,32	0,14	0,15
30,0	29,75	0,5	4	18,5	260,4	297,5	557,88	-	-0,58	1,163	82,3	23,0	9,7	342,6	-	-	-	-	0,0027	30000,0	0,00296	25000,0	0,32	0,14	0,15
30,5	30,25	0,5	4	18,5	264,6	302,5	567,13	-	-0,57	1,148	81,4	22,7	9,3	346,0	-	-	-	-	0,0027	30000,0	0,00294	25000,0	0,31	0,14	0,15
31,0	30,75	0,5	4	18,5	268,9	307,5	576,38	-	-0,57	1,133	80,6	22,4	9,0	349,5	-	-	-	-	0,0027	30000,0	0,00291	25000,0	0,30	0,13	0,15
31,5	31,25	0,5	4	18,5	273,1	312,5	585,63	-	-0,56	1,118	79,8	22,1	8,7	352,9	-	-	-	-	0,0027	30000,0	0,00288	25000,0	0,29	0,13	0,14
32,0	31,75	0,5	4	18,5	277,4	317,5	594,88	-	-0,55	1,104	78,9	21,8	8,3	356,3	-	-	-	-	0,0026	30000,0	0,00286	25000,0	0,28	0,13	0,14
32,5	32,25	0,5	4	18,5	281,6	322,5	604,13	-	-0,54	1,090	78,1	21,5	8,0	359,8	-	-	-	-	0,0026	30000,0	0,00283	25000,0	0,28	0,13	0,14
33,0	32,75	0,5	4	18,5	285,9	327,5	613,38	-	-0,54	1,076	77,4	21,3	7,8	363,2	-	-	-	-	0,0026	30000,0	0,00280	25000,0	0,27	0,13	0,14
33,5	33,25	0,5	4	18,5	290,1	332,5	622,63	-	-0,53	1,063	76,6	21,0	7,5	366,7	-	-	-	-	0,0026	30000,0	0,00278	25000,0	0,26	0,13	0,14
34,0	33,75	0,5	4	18,5	294,4	337,5	631,88	-	-0,53	1,050	75,8	20,8	7,2	370,2	-	-	-	-	0,0025	30000,0	0,00275	25000,0	0,26	0,13	0,14
34,5	34,25	0,5	4	18,5	298,6	342,5	641,13	-	-0,52	1,037	75,1	20,5	7,0	373,7	-	-	-	-	0,0025	30000,0	0,00273	25000,0	0,25	0,13	0,14
35,0	34,75	0,5	4	18,5	302,9	347,5	650,38	-	-0,51	1,025	74,3	20,3	6,7	377,2	-	-	-	-	0,0025	30000,0	0,00270	25000,0	0,25	0,12	0,14
35,5	35,25	0,5	4	18,5	307,1	352,5	659,63	-	-0,51	1,013	73,6	20,0	6,5	380,7	-	-	-	-	0,0025	30000,0	0,00268	25000,0	0,24	0,12	0,13
36,0	35,75	0,5	4	18,5	311,4	357,5	668,88	-	-0,50	1,001	72,9	19,8	6,3	384,2	-	-	-	-	0,0024	30000,0	0,00265	25000,0	0,23	0,12	0,13
36,5	36,25	0,5	4	18,5	315,6	362,5	678,13	-	-0,49	0,989	72,1	19,6	6,1	387,8	-	-	-	-	0,0024	30000,0	0,00263	25000,0	0,23	0,12	0,13
37,0	36,75	0,5	4	18,5	319,9	367,5	687,38	-	-0,49	0,978	71,4	19,3	5,9	391,3	-	-	-	-	0,0024	30000,0	0,00261	25000,0	0,22	0,12	0,13
37,5	37,25	0,5	4	18,5	324,1	372,5	696,63	-	-0,48	0,967	70,8	19,1	5,7	394,9	-	-	-	-	0,0024	30000,0	0,00258	25000,0	0,22	0,12	0,13
38,0	37,75	0,5	4	18,5	328,4	377,5	705,88	-	-0,48	0,956	70,1	18,9	5,5	398,4	-	-	-	-	0,0023	30000,0	0,00256	25000,0	0,21	0,12	0,13
38,5	38,25	0,5	4	18,5	332,6	382,5	715,13	-	-0,47	0,945	69,4	18,7	5,3	402,0	-	-	-	-	0,0023	30000,0	0,00254	25000,0	0,21	0,12	0,13
39,0	38,75	0,5	4	18,5	336,9	387,5	724,38	-	-0,47	0,935	68,7	18,5	5,1	405,6	-	-	-	-	0,0023	30000,0	0,00251	25000,0	0,20	0,11	0,13
39,5	39,25	0,5	4	18,5	341,1	392,5	733,63	-	-0,46	0,924	68,1	18,3	5,0	409,2	-	-	-	-	0,0023	30000,0	0,00249	25000,0	0,20	0,11	0,12
40,0	39,75	0,5	4	18,5	345,4	397,5	742,88	-	-0,46	0,914	67,5	18,1	4,8	412,8	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00247	25000,0	0,20	0,11	0,12
40,5	40,25	0,5	4	18,5	349,6	402,5	752,13	-	-0,45	0,904	66,8	17,9	4,7	416,4	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00245	25000,0	0,19	0,11	0,12
41,0	40,75	0,5	4	18,5	353,9	407,5	761,38	-	-0,45	0,895	66,2	17,7	4,5	420,1	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00243	25000,0	0,19	0,11	0,12
41,5	41,25	0,5	4	18,5	358,1	412,5	770,63	-	-0,44	0,885	65,6	17,5	4,4	423,7	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00240	25000,0	0,18	0,11	0,12
42,0	41,75	0,5	4	18,5	362,4	417,5	779,88	-	-0,44	0,876	65,0	17,3	4,3	427,4	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00238	25000,0	0,18	0,11	0,12
42,5	42,25	0,5	4	18,5	366,6	422,5	789,13	-	-0,43	0,867	64,4	17,1	4,1	431,0	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00236	25000,0	0,18	0,11	0,12
43,0	42,75	0,5	4	18,5	370,9	427,5	798,38	-	-0,43	0,858	63,8	17,0	4,0	434,7	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00234	25000,0	0,17	0,11	0,12
43,5	43,25	0,5	4	18,5	375,1	432,5	807,63	-	-0,42	0,849	63,2	16,8	3,9	438,4	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00232	25000,0	0,17	0,11	0,12
44,0	43,75	0,5	4	18,5	379,4	437,5	816,88	-	-0,42	0,840	62,7	16,6	3,8	442,1	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00230	25000,0	0,17	0,10	0,12
44,5	44,25	0,5	4	18,5	383,6	442,5	826,13	-	-0,42	0,832	62,1	16,4	3,7	445,7	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00228	25000,0	0,16	0,10	0,11
45,0	44,75	0,5	4	18,5	387,9	447,5	835,38	-	-0,41	0,824	61,6	16,3	3,6	449,4	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00226	25000,0	0,16	0,10	0,11
45,5	45,25	0,5	4	18,5	392,1	452,5	844,63	-	-0,41	0,816	61,0	16,1	3,5	453,2	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00225	25000,0	0,16	0,10	0,11
46,0	45,75	0,5	4	18,5	396,4	457,5	853,88	-	-0,40	0,808	60,5	16,0	3,4	456,9	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00223	25000,0	0,15	0,10	0,11
46,5	46,25	0,5	4	18,5	400,6	462,5	863,13	-	-0,40	0,800	60,0	15,8	3,3	460,6	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00221	25000,0	0,15	0,10	0,11
47,0	46,75	0,5	4	18,5	404,9	467,5	872,38	-	-0,40	0,792	59,5	15,7	3,2	464,3	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00219	25000,0	0,15	0,10	0,11
47,5	47,25	0,5	4	18,5	409,1	472,5	881,63	-	-0,39	0,785	59,0	15,5	3,1	468,1	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00217	25000,0	0,14	0,10	0,11
48,0	47,75	0,5	4	18,5	413,4	477,5	890,88	-	-0,39	0,777	58,5	15,4	3,0	471,8	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00215	25000,0	0,14	0,10	0,11
48,5	48,25	0,5	4	18,5	417,6	482,5	900,13	-	-0,38	0,770	58,0	15,2	2,9	475,6	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00214	25000,0	0,14	0,10	0,11
49,0	48,75	0,5	4	18,5	421,9	487,5	909,38	-	-0,38	0,763	57,5	15,1	2,8	479,3	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00212	25000,0	0,14	0,10	0,11
49,5	49,25	0,5	4	18,5	426,1	492,5	918,63	-	-0,38	0,756	57,0	14,9	2,8	483,1	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00210	25000,0	0,13	0,09	0,11
50,0	49,75	0,5	4	18,5	430,4	497,5	927,88	-	-0,37	0,749	56,5	14,8	2,7	486,9	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00209	25000,0	0,13	0,09	0,10

CALCOLO DEI TEMPI DI CONSOLIDAZIONE CON DRENI VERTICALI

IPOTESI					
Coeff. di permeabilità orizzontale	k_h	3,00E-08	m/sec	(k_h=3*k_v)	
Coeff. perm. ridotto (effetto smear)	k_r	2,00E-08	m/sec		
Modulo edometrico medio	E_{ed}	3860	kPa		
Coeff. consolidazione orizz.	c_h	4,00E-07	m²/sec		
Grado di consolidazione richiesto	U_m	90%			
Spessore dreno	t	3,00	mm		
larghezza dreno	w	100,00	mm		
Diametro equivalente del dreno	d_w	0,0656	m	2(t+w)/π	
Spaziatura	D	1,50	m		
	d_e	1,575	m	maglia a quinconce	
larghezza base del rilevato	B	35,000	m		
quantità di dreni necessaria		179,62	(metri dreno/m rilevato)		maglia a quinconce
Coefficiente di effetto smear	s	1,5			
Raggio effetto smear	d_S	0,098	m	(d_w s)	
Resistenza idraulica:					
lunghezza dreno	l	10,00	m		
	z	5,00	m		
Portata idraulica misurata in lab.	q'_w	8,00E-05	m^3/sec		
Portata effettiva(*)	q_w	6,50E-05	m^3/sec		
coefficiente F	F_1	2,74	a "quinconce"		F = ln(n/s) + k_h/k_r ln(s)-0.75+π z (2l-z)k_h/q_w
rapporto d_e/d_w	n_1	24,02	a "quinconce"		
Tempo di consolidazione					
a "quinconce"	**t_1**	**4.891.386**	**[sec]**	**1,89**	**[mesi]**
				0,16	**[anni]**

(*) Capacità effettiva:
ridotta per le turbolenze del flusso, la presenza di bolle d'aria nel dreno e per le piegature del dreno stesso.

$$U_m = 1 - e^{\frac{-8T_h}{F}} \qquad T_h = \frac{c_h t}{d_e^2}$$

soluzione proposta:

dreni L=	10,00	m;	
passo	1,50	m;	maglia quinconce
incidenza	179,62	m dreno/m rilevato;	

con questo sistema, si ottiene una consolidazione dei primi 10,00 m
in circa 2 mesi

CEDIMENTO IN ASSE AL RILEVATO (x=0), DRENI									
H=6.9 m+precarica 1,0 m + dreni L=10 m		c_v=	2,00E-07	m^2s^{-1}					
Strato 2		H=	2,0	m					
		w_c=	33,4	cm					
		t_{90}	**0,19**	**anni**					
t	**t**	**t**	**t**	**Tv**	**Uv**	**w**	**Uh**	**U**	**w_{dreni}**
(anni)	(mesi)	(gg)	(s)			(cm)			(cm)
0,00	0,02	0,5	43200	2,16E-03	0,052	1,75	0,020	0,072	2,39
0,00	0,03	1	86400	4,32E-03	0,074	2,48	0,040	0,111	3,71
0,01	0,07	2	172800	8,64E-03	0,105	3,50	0,078	0,175	5,84
0,01	0,10	3	259200	1,30E-02	0,128	4,29	0,115	0,229	7,64
0,01	0,13	4	345600	1,73E-02	0,148	4,96	0,150	0,276	9,23
0,01	0,17	5	432000	2,16E-02	0,166	5,54	0,184	0,319	10,67
0,02	0,20	6	518400	2,59E-02	0,182	6,07	0,217	0,359	11,99
0,02	0,23	7	604800	3,02E-02	0,196	6,56	0,248	0,395	13,21
0,02	0,27	8	691200	3,46E-02	0,210	7,01	0,278	0,429	14,34
0,03	0,30	9	777600	3,89E-02	0,222	7,43	0,307	0,461	15,40
0,03	0,33	10	864000	4,32E-02	0,235	7,84	0,334	0,490	16,38
0,04	0,50	15	1296000	6,48E-02	0,287	9,60	0,457	0,613	20,47
0,06	0,67	20	1728000	8,64E-02	0,332	11,08	0,557	0,704	23,51
0,08	1,00	30	2592000	1,30E-01	0,406	13,56	0,705	0,825	27,55
0,10	1,20	36	3110400	1,56E-01	0,444	14,84	0,769	0,871	29,11
0,11	1,33	40	3456000	1,73E-01	0,468	15,63	0,803	0,895	29,92
0,14	1,67	50	4320000	2,16E-01	0,522	17,44	0,869	0,937	31,32
0,17	2,00	60	5184000	2,59E-01	0,570	19,04	0,913	0,963	32,16
0,19	2,33	70	6048000	3,02E-01	0,613	20,48	0,942	0,978	32,66

ALLEGATO 4 – CEDIMENTI RILEVATO VIADOTTO BACCHIGLIONE

RILEVATO DI APPROCCIO VIADOTTO BACCHIGLIONE

SEZIONE	*SP-1*	*1+499*
w_{TOT} (cm)	**39,0**	*asse*
w_{ist} (cm)	**12,7**	*asse*
w_{CON} (cm)	**26,3**	*asse*

DATI RILEVATO

H(m)=	5,4	Altezza rilevato
	18	gamma ril (kN/m3)
Bbase=	30	Larghezza base
q (kPa)=	97,2	Pressione
Zw_{SUP} (m)=	0	profondità falda supe
Zw_{INF} (m)=	0	profondità falda inferiore
X(m)=	0	ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

DATI TERENI

Terreno Ug1	1	Ug2	2	Terreno	3	Ug1_z>20 m	4	Terreno	5	Ug3	6	Terreno	7	Ug1_z>3 m	8
Cc	0,25	E' (kPa)	20000	Cc		E' (kPa)	25000	Cc		E' (kPa)	30000	Cc		E' (kPa)	5000
Cs	0,035	E'ed	24000	Cs		E'ed	30000	Cs		E'ed	36000	Cs		E'ed	6000
OCR	3	ν'	0,25	OCR		ν'	0,25	OCR		ν'	0,25	OCR		ν'	0,25
γ (kN/m^3)	18,5	γ (kN/m^3)	19	γ (kN/m^3)		γ (kN/m^3)	18,5	γ (kN/m^3)		γ (kN/m^3)	19	γ (kN/m^3)		γ (kN/m^3)	18,5
ν'	0,3			ν'	0,3			ν'	0,3			ν'	0,3		
e_0	0,8			e_0				e_0				e_0			

39,3

z(m)	H(m)	Terreno	gamma	σ_{z0}' (kPa)	u (kPa)	σ_{z0} (kPa)	σ'_{zmax} (kPa)	β (rad)	α (rad)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\Delta\sigma_y$ (kPa)	$\Delta\sigma_x$ (kPa)	$\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z$ (kPa)	e_0	Cc	Cs	e	edom ε_z	$E'_{ed,OPER}$ (kPa)	elastico ε_z (E'_{OPER})	E'_{OPER} (kPa)	$\Delta\sigma_z/\sigma'_o$	edometrico Δw(cm)	elastico Δw(E'_{OPER})(cm)
0,5	0,25	1	18,5	2,1	2,5	4,63	6,38	-1,55	3,108	97,2	57,7	95,1	99,3	0,8	0,25	0,035	0,485	0,1749	555,7	0,12439	412,8	45,74	8,75	6,22
1,0	0,75	1	18,5	6,4	7,5	13,88	19,13	-1,52	3,042	97,2	56,5	91,0	103,6	0,8	0,25	0,035	0,600	0,1112	874,3	0,08153	649,5	15,25	5,56	4,08
1,5	1,25	1	18,5	10,6	12,5	23,13	31,88	-1,49	2,975	97,2	55,2	86,9	107,8	0,8	0,25	0,035	0,651	0,0828	1174,0	0,06252	872,1	9,15	4,14	3,13
2,0	1,75	1	18,5	14,9	17,5	32,38	44,63	-1,45	2,909	97,1	54,0	82,9	112,0	0,8	0,25	0,035	0,683	0,0648	1499,3	0,05034	1113,7	6,53	3,24	2,52
2,5	2,25	1	18,5	19,1	22,5	41,63	57,38	-1,42	2,844	97,1	52,8	78,9	116,2	0,8	0,25	0,035	0,707	0,0518	1872,4	0,04138	1390,9	5,08	2,59	2,07
3,0	2,75	1	18,5	23,4	27,5	50,88	70,13	-1,39	2,779	97,0	51,6	75,0	120,3	0,8	0,25	0,035	0,725	0,0418	2316,9	0,03427	1721,1	4,15	2,09	1,71
3,5	3,25	8	18,5	27,6	32,5	60,13	-	-1,36	2,715	96,8	42,0	71,2	124,4	-	-	-	-	0,0161	6000,0	0,01370	5000,0	3,50	0,81	0,69
4,0	3,75	8	19,0	32,0	37,5	69,50	-	-1,33	2,652	96,6	41,0	67,5	128,6	-	-	-	-	0,0161	6000,0	0,01390	5000,0	3,02	0,81	0,69
4,5	4,25	8	19,0	36,5	42,5	79,00	-	-1,29	2,589	96,3	40,1	63,9	132,8	-	-	-	-	0,0161	6000,0	0,01407	5000,0	2,64	0,80	0,70
5,0	4,75	8	19,0	41,0	47,5	88,50	-	-1,26	2,528	96,0	39,1	60,4	137,0	-	-	-	-	0,0160	6000,0	0,01423	5000,0	2,34	0,80	0,71
5,5	5,25	6	19,0	45,5	52,5	98,00	-	-1,23	2,468	95,7	38,2	57,1	141,2	-	-	-	-	0,0027	36000,0	0,00239	30000,0	2,10	0,13	0,12
6,0	5,75	6	19,0	50,0	57,50	107,50	-	-1,20	2,409	95,2	37,3	53,9	145,2	-	-	-	-	0,0026	36000,0	0,00241	30000,0	1,90	0,13	0,12
6,5	6,25	6	19,0	54,5	62,5	117,00	-	-1,18	2,352	94,7	36,4	50,8	149,2	-	-	-	-	0,0026	36000,0	0,00243	30000,0	1,74	0,13	0,12
7,0	6,75	6	19,0	59,0	67,5	126,50	-	-1,15	2,296	94,2	35,5	47,9	153,2	-	-	-	-	0,0026	36000,0	0,00244	30000,0	1,60	0,13	0,12
7,5	7,25	6	19,0	63,5	72,5	136,00	-	-1,12	2,241	93,6	34,7	45,1	157,1	-	-	-	-	0,0026	36000,0	0,00245	30000,0	1,47	0,13	0,12
8,0	7,75	6	19,0	68,0	77,5	145,50	-	-1,09	2,188	92,9	33,8	42,5	160,9	-	-	-	-	0,0026	36000,0	0,00246	30000,0	1,37	0,13	0,12
8,5	8,25	2	19,0	72,5	82,5	155,00	-	-1,07	2,136	92,2	39,7	40,0	164,7	-	-	-	-	0,0038	24000,0	0,00362	20000,0	1,27	0,19	0,18
9,0	8,75	2	19,0	77,0	87,5	164,50	-	-1,04	2,085	91,5	38,7	37,6	168,5	-	-	-	-	0,0038	24000,0	0,00362	20000,0	1,19	0,19	0,18
9,5	9,25	2	19,0	81,5	92,5	174,00	-	-1,02	2,036	90,7	37,8	35,4	172,2	-	-	-	-	0,0038	24000,0	0,00362	20000,0	1,11	0,19	0,18
10,0	9,75	2	19,0	86,0	97,5	183,50	-	-0,99	1,989	89,8	36,9	33,3	175,8	-	-	-	-	0,0037	24000,0	0,00361	20000,0	1,04	0,19	0,18
10,5	10,25	2	19,0	90,5	102,5	193,00	-	-0,97	1,943	88,9	36,1	31,3	179,4	-	-	-	-	0,0037	24000,0	0,00360	20000,0	0,98	0,19	0,18
11,0	10,75	2	19,0	95,0	107,5	202,50	-	-0,95	1,898	88,0	35,2	29,4	183,0	-	-	-	-	0,0037	24000,0	0,00359	20000,0	0,93	0,18	0,18
11,5	11,25	2	19,0	99,5	112,5	212,00	-	-0,93	1,855	87,1	34,4	27,7	186,6	-	-	-	-	0,0036	24000,0	0,00358	20000,0	0,88	0,18	0,18
12,0	11,75	2	19,0	104,0	117,5	221,50	-	-0,91	1,813	86,1	33,6	26,0	190,1	-	-	-	-	0,0036	24000,0	0,00356	20000,0	0,83	0,18	0,18
12,5	12,25	2	19,0	108,5	122,5	231,00	-	-0,89	1,772	85,1	32,9	24,5	193,6	-	-	-	-	0,0035	24000,0	0,00354	20000,0	0,78	0,18	0,18
13,0	12,75	2	19,0	113,0	127,5	240,50	-	-0,87	1,733	84,1	32,2	23,1	197,1	-	-	-	-	0,0035	24000,0	0,00352	20000,0	0,74	0,18	0,18
13,5	13,25	2	19,0	117,5	132,5	250,00	-	-0,85	1,695	83,1	31,5	21,7	200,6	-	-	-	-	0,0035	24000,0	0,00349	20000,0	0,71	0,17	0,17
14,0	13,75	2	19,0	122,0	137,5	259,50	-	-0,83	1,658	82,1	30,8	20,5	204,1	-	-	-	-	0,0034	24000,0	0,00347	20000,0	0,67	0,17	0,17
14,5	14,25	2	19,0	126,5	142,5	269,00	-	-0,81	1,622	81,1	30,1	19,3	207,6	-	-	-	-	0,0034	24000,0	0,00344	20000,0	0,64	0,17	0,17
15,0	14,75	2	19,0	131,0	147,5	278,50	-	-0,79	1,588	80,1	29,5	18,2	211,1	-	-	-	-	0,0033	24000,0	0,00341	20000,0	0,61	0,17	0,17
15,5	15,25	2	19,0	135,5	152,5	288,00	-	-0,78	1,554	79,0	28,9	17,2	214,5	-	-	-	-	0,0033	24000,0	0,00338	20000,0	0,58	0,16	0,17
16,0	15,75	2	19,0	140,0	157,5	297,50	-	-0,76	1,522	78,0	28,3	16,2	218,0	-	-	-	-	0,0032	24000,0	0,00334	20000,0	0,56	0,16	0,17
16,5	16,25	2	19,0	144,5	162,5	307,00	-	-0,75	1,491	77,0	27,7	15,3	221,5	-	-	-	-	0,0032	24000,0	0,00331	20000,0	0,53	0,16	0,17
17,0	16,75	2	19,0	149,0	167,5	316,50	-	-0,73	1,461	75,9	27,1	14,4	224,9	-	-	-	-	0,0032	24000,0	0,00328	20000,0	0,51	0,16	0,16
17,5	17,25	2	19,0	153,5	172,5	326,00	-	-0,72	1,431	74,9	26,6	13,6	228,4	-	-	-	-	0,0031	24000,0	0,00324	20000,0	0,49	0,16	0,16
18,0	17,75	2	19,0	158,0	177,5	335,50	-	-0,70	1,403	73,9	26,0	12,9	231,9	-	-	-	-	0,0031	24000,0	0,00321	20000,0	0,47	0,15	0,16
18,5	18,25	2	19,0	162,5	182,5	345,00	-	-0,69	1,376	72,9	25,5	12,2	235,4	-	-	-	-	0,0030	24000,0	0,00317	20000,0	0,45	0,15	0,16
19,0	18,75	2	19,0	167,0	187,5	354,50	-	-0,67	1,349	71,9	25,1	11,6	238,9	-	-	-	-	0,0030	24000,0	0,00314	20000,0	0,43	0,15	0,16
19,5	19,25	2	19,0	171,5	192,5	364,00	-	-0,66	1,324	71,0	24,6	11,0	242,5	-	-	-	-	0,0030	24000,0	0,00310	20000,0	0,41	0,15	0,16
20,0	19,75	2	19,0	176,0	197,5	373,50	-	-0,65	1,299	70,0	24,1	10,4	246,0	-	-	-	-	0,0029	24000,0	0,00307	20000,0	0,40	0,15	0,15

20,5	20,25	0,5	4	18,5	180,4	202,5	382,88	-	-0,64	1,275	69,0	19,7	9,9	249,4	-	-	-	-	0,0023	30000,0	0,00247	25000,0	0,38	0,12	0,12
21,0	20,75	0,5	4	18,5	184,6	207,5	392,13	-	-0,63	1,252	68,1	19,4	9,4	252,7	-	-	-	-	0,0023	30000,0	0,00244	25000,0	0,37	0,11	0,12
21,5	21,25	0,5	4	18,5	188,9	212,5	401,38	-	-0,61	1,229	67,2	19,0	8,9	256,1	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00241	25000,0	0,36	0,11	0,12
22,0	21,75	0,5	4	18,5	193,1	217,5	410,63	-	-0,60	1,207	66,3	18,7	8,4	259,4	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00238	25000,0	0,34	0,11	0,12
22,5	22,25	0,5	4	18,5	197,4	222,5	419,88	-	-0,59	1,186	65,4	18,4	8,0	262,8	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00235	25000,0	0,33	0,11	0,12
23,0	22,75	0,5	4	18,5	201,6	227,5	429,13	-	-0,58	1,166	64,5	18,0	7,6	266,1	-	-	-	-	0,0022	30000,0	0,00232	25000,0	0,32	0,11	0,12
23,5	23,25	0,5	4	18,5	205,9	232,5	438,38	-	-0,57	1,146	63,6	17,7	7,3	269,5	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00230	25000,0	0,31	0,11	0,11
24,0	23,75	0,5	4	18,5	210,1	237,5	447,63	-	-0,56	1,127	62,8	17,4	6,9	272,9	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00227	25000,0	0,30	0,10	0,11
24,5	24,25	0,5	4	18,5	214,4	242,5	456,88	-	-0,55	1,108	62,0	17,1	6,6	276,3	-	-	-	-	0,0021	30000,0	0,00224	25000,0	0,29	0,10	0,11
25,0	24,75	0,5	4	18,5	218,6	247,5	466,13	-	-0,54	1,090	61,1	16,9	6,3	279,8	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00221	25000,0	0,28	0,10	0,11
25,5	25,25	0,5	4	18,5	222,9	252,5	475,38	-	-0,54	1,072	60,3	16,6	6,0	283,2	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00219	25000,0	0,27	0,10	0,11
26,0	25,75	0,5	4	18,5	227,1	257,5	484,63	-	-0,53	1,055	59,6	16,3	5,7	286,7	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00216	25000,0	0,26	0,10	0,11
26,5	26,25	0,5	4	18,5	231,4	262,5	493,88	-	-0,52	1,038	58,8	16,1	5,5	290,2	-	-	-	-	0,0020	30000,0	0,00214	25000,0	0,25	0,10	0,11
27,0	26,75	0,5	4	18,5	235,6	267,5	503,13	-	-0,51	1,022	58,0	15,8	5,2	293,6	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00211	25000,0	0,25	0,10	0,11
27,5	27,25	0,5	4	18,5	239,9	272,5	512,38	-	-0,50	1,006	57,3	15,6	5,0	297,2	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00209	25000,0	0,24	0,10	0,10
28,0	27,75	0,5	4	18,5	244,1	277,5	521,63	-	-0,50	0,991	56,5	15,3	4,8	300,7	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00206	25000,0	0,23	0,09	0,10
28,5	28,25	0,5	4	18,5	248,4	282,5	530,88	-	-0,49	0,976	55,8	15,1	4,6	304,2	-	-	-	-	0,0019	30000,0	0,00204	25000,0	0,22	0,09	0,10
29,0	28,75	0,5	4	18,5	252,6	287,5	540,13	-	-0,48	0,962	55,1	14,9	4,4	307,8	-	-	-	-	0,0018	30000,0	0,00201	25000,0	0,22	0,09	0,10
29,5	29,25	0,5	4	18,5	256,9	292,5	549,38	-	-0,47	0,948	54,4	14,7	4,2	311,3	-	-	-	-	0,0018	30000,0	0,00199	25000,0	0,21	0,09	0,10
30,0	29,75	0,5	4	18,5	261,1	297,5	558,63	-	-0,47	0,934	53,8	14,4	4,0	314,9	-	-	-	-	0,0018	30000,0	0,00197	25000,0	0,21	0,09	0,10
30,5	30,25	0,5	4	18,5	265,4	302,5	567,88	-	-0,46	0,921	53,1	14,2	3,9	318,5	-	-	-	-	0,0018	30000,0	0,00194	25000,0	0,20	0,09	0,10
31,0	30,75	0,5	4	18,5	269,6	307,5	577,13	-	-0,45	0,908	52,5	14,0	3,7	322,1	-	-	-	-	0,0017	30000,0	0,00192	25000,0	0,19	0,09	0,10
31,5	31,25	0,5	4	18,5	273,9	312,5	586,38	-	-0,45	0,895	51,8	13,8	3,6	325,7	-	-	-	-	0,0017	30000,0	0,00190	25000,0	0,19	0,09	0,09
32,0	31,75	0,5	4	18,5	278,1	317,5	595,63	-	-0,44	0,883	51,2	13,7	3,4	329,3	-	-	-	-	0,0017	30000,0	0,00188	25000,0	0,18	0,09	0,09
32,5	32,25	0,5	4	18,5	282,4	322,5	604,88	-	-0,44	0,871	50,6	13,5	3,3	333,0	-	-	-	-	0,0017	30000,0	0,00186	25000,0	0,18	0,08	0,09
33,0	32,75	0,5	4	18,5	286,6	327,5	614,13	-	-0,43	0,859	50,0	13,3	3,1	336,6	-	-	-	-	0,0017	30000,0	0,00184	25000,0	0,17	0,08	0,09
33,5	33,25	0,5	4	18,5	290,9	332,5	623,38	-	-0,42	0,848	49,4	13,1	3,0	340,3	-	-	-	-	0,0016	30000,0	0,00182	25000,0	0,17	0,08	0,09
34,0	33,75	0,5	4	18,5	295,1	337,5	632,63	-	-0,42	0,836	48,8	12,9	2,9	344,0	-	-	-	-	0,0016	30000,0	0,00180	25000,0	0,17	0,08	0,09
34,5	34,25	0,5	4	18,5	299,4	342,5	641,88	-	-0,41	0,826	48,3	12,8	2,8	347,7	-	-	-	-	0,0016	30000,0	0,00178	25000,0	0,16	0,08	0,09
35,0	34,75	0,5	4	18,5	303,6	347,5	651,13	-	-0,41	0,815	47,7	12,6	2,7	351,4	-	-	-	-	0,0016	30000,0	0,00176	25000,0	0,16	0,08	0,09
35,5	35,25	0,5	4	18,5	307,9	352,5	660,38	-	-0,40	0,805	47,2	12,4	2,6	355,1	-	-	-	-	0,0016	30000,0	0,00174	25000,0	0,15	0,08	0,09
36,0	35,75	0,5	4	18,5	312,1	357,5	669,63	-	-0,40	0,795	46,7	12,3	2,5	358,8	-	-	-	-	0,0016	30000,0	0,00172	25000,0	0,15	0,08	0,09
36,5	36,25	0,5	4	18,5	316,4	362,5	678,88	-	-0,39	0,785	46,1	12,1	2,4	362,5	-	-	-	-	0,0015	30000,0	0,00170	25000,0	0,15	0,08	0,09
37,0	36,75	0,5	4	18,5	320,6	367,5	688,13	-	-0,39	0,775	45,6	12,0	2,3	366,3	-	-	-	-	0,0015	30000,0	0,00168	25000,0	0,14	0,08	0,08
37,5	37,25	0,5	4	18,5	324,9	372,5	697,38	-	-0,38	0,766	45,1	11,8	2,2	370,0	-	-	-	-	0,0015	30000,0	0,00166	25000,0	0,14	0,08	0,08
38,0	37,75	0,5	4	18,5	329,1	377,5	706,63	-	-0,38	0,756	44,6	11,7	2,2	373,8	-	-	-	-	0,0015	30000,0	0,00165	25000,0	0,14	0,07	0,08
38,5	38,25	0,5	4	18,5	333,4	382,5	715,88	-	-0,37	0,747	44,2	11,6	2,1	377,5	-	-	-	-	0,0015	30000,0	0,00163	25000,0	0,13	0,07	0,08
39,0	38,75	0,5	4	18,5	337,6	387,5	725,13	-	-0,37	0,739	43,7	11,4	2,0	381,3	-	-	-	-	0,0015	30000,0	0,00161	25000,0	0,13	0,07	0,08
39,5	39,25	0,5	4	18,5	341,9	392,5	734,38	-	-0,37	0,730	43,2	11,3	2,0	385,1	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00160	25000,0	0,13	0,07	0,08
40,0	39,75	0,5	4	18,5	346,1	397,5	743,63	-	-0,36	0,722	42,8	11,2	1,9	388,9	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00158	25000,0	0,12	0,07	0,08
40,5	40,25	0,5	4	18,5	350,4	402,5	752,88	-	-0,36	0,713	42,3	11,0	1,8	392,7	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00156	25000,0	0,12	0,07	0,08
41,0	40,75	0,5	4	18,5	354,6	407,5	762,13	-	-0,35	0,705	41,9	10,9	1,8	396,5	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00155	25000,0	0,12	0,07	0,08
41,5	41,25	0,5	4	18,5	358,9	412,5	771,38	-	-0,35	0,698	41,5	10,8	1,7	400,3	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00153	25000,0	0,12	0,07	0,08
42,0	41,75	0,5	4	18,5	363,1	417,5	780,63	-	-0,34	0,690	41,0	10,7	1,7	404,2	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00152	25000,0	0,11	0,07	0,08
42,5	42,25	0,5	4	18,5	367,4	422,5	789,88	-	-0,34	0,682	40,6	10,6	1,6	408,0	-	-	-	-	0,0014	30000,0	0,00150	25000,0	0,11	0,07	0,08
43,0	42,75	0,5	4	18,5	371,6	427,5	799,13	-	-0,34	0,675	40,2	10,4	1,5	411,8	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00149	25000,0	0,11	0,07	0,07
43,5	43,25	0,5	4	18,5	375,9	432,5	808,38	-	-0,33	0,668	39,8	10,3	1,5	415,7	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00147	25000,0	0,11	0,07	0,07
44,0	43,75	0,5	4	18,5	380,1	437,5	817,63	-	-0,33	0,661	39,4	10,2	1,5	419,5	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00146	25000,0	0,10	0,07	0,07
44,5	44,25	0,5	4	18,5	384,4	442,5	826,88	-	-0,33	0,654	39,0	10,1	1,4	423,4	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00145	25000,0	0,10	0,07	0,07
45,0	44,75	0,5	4	18,5	388,6	447,5	836,13	-	-0,32	0,647	38,7	10,0	1,4	427,3	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00143	25000,0	0,10	0,06	0,07
45,5	45,25	0,5	4	18,5	392,9	452,5	845,38	-	-0,32	0,640	38,3	9,9	1,3	431,2	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00142	25000,0	0,10	0,06	0,07
46,0	45,75	0,5	4	18,5	397,1	457,5	854,63	-	-0,32	0,634	37,9	9,8	1,3	435,0	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00141	25000,0	0,10	0,06	0,07
46,5	46,25	0,5	4	18,5	401,4	462,5	863,88	-	-0,31	0,627	37,6	9,7	1,2	438,9	-	-	-	-	0,0013	30000,0	0,00139	25000,0	0,09	0,06	0,07
47,0	46,75	0,5	4	18,5	405,6	467,5	873,13	-	-0,31	0,621	37,2	9,6	1,2	442,8	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00138	25000,0	0,09	0,06	0,07
47,5	47,25	0,5	4	18,5	409,9	472,5	882,38	-	-0,31	0,615	36,9	9,5	1,2	446,7	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00137	25000,0	0,09	0,06	0,07
48,0	47,75	0,5	4	18,5	414,1	477,5	891,63	-	-0,30	0,609	36,5	9,4	1,1	450,7	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00136	25000,0	0,09	0,06	0,07
48,5	48,25	0,5	4	18,5	418,4	482,5	900,88	-	-0,30	0,603	36,2	9,3	1,1	454,6	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00134	25000,0	0,09	0,06	0,07
49,0	48,75	0,5	4	18,5	422,6	487,5	910,13	-	-0,30	0,597	35,9	9,2	1,1	458,5	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00133	25000,0	0,08	0,06	0,07
49,5	49,25	0,5	4	18,5	426,9	492,5	919,38	-	-0,30	0,591	35,5	9,1	1,0	462,4	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00132	25000,0	0,08	0,06	0,07
50,0	49,75	0,5	4	18,5	431,1	497,5	928,63	-	-0,29	0,586	35,2	9,1	1,0	466,3	-	-	-	-	0,0012	30000,0	0,00131	25000,0	0,08	0,06	0,07

CALCOLO DEI TEMPI DI CONSOLIDAZIONE CON DRENI VERTICALI

IPOTESI					
Coeff. di permeabilità orizzontale	k_h	3,00E-08	m/sec	(k_h=3*k_v)	
Coeff. perm. ridotto (effetto smear)	k_r	2,00E-08	m/sec		
Modulo edometrico medio	E_{ed}	3860	kPa		
Coeff. consolidazione orizz.	c_h	4,00E-07	m²/sec		
Grado di consolidazione richiesto	U_m	90%			
Spessore dreno	t	3,00	mm		
larghezza dreno	w	100,00	mm		
Diametro equivalente del dreno	d_w	0,0656	m	2(t+w)/π	
Spaziatura	D	1,50	m		
	d_e	1,575	m	maglia a quinconce	
larghezza base del rilevato	B	35,000	m		
quantità di dreni necessaria		179,62	(metri dreno/m rilevato)		maglia a quinconce
Coefficiente di effetto smear	s	1,5			
Raggio effetto smear	d_S	0,098	m	(d_w s)	
Resistenza idraulica:					
lunghezza dreno	l	10,00	m		
	z	5,00	m		
Portata idraulica misurata in lab.	q'_w	8,00E-05	m^3/sec		
Portata effettiva(*)	q_w	6,50E-05	m^3/sec		
coefficiente F	F_1	2,74	a "quinconce"		F = ln(n/s) + k_h/k_r ln(s)-0.75+π z (2l-z)k_h/q_w
rapporto d_e/d_w	n_1	24,02	a "quinconce"		
Tempo di consolidazione					
a "quinconce"	**t_1**	**4.891.386**	**[sec]**	**1,89**	**[mesi]**
				0,16	**[anni]**

(*) Capacità effettiva:
ridotta per le turbolenze del flusso, la presenza di bolle d'aria nel dreno e per le piegature del dreno stesso.

$$U_m = 1 - e^{\frac{-8T_h}{F}} \qquad T_h = \frac{c_h t}{d_e^2}$$

soluzione proposta:

dreni L=	10,00	m;	
passo	1,50	m;	maglia quinconce
incidenza	179,62	m dreno/m rilevato;	

con questo sistema, si ottiene una consolidazione dei primi 10,00 m
in circa 2 mesi

CEDIMENTO IN ASSE AL RILEVATO (x=0), DRENI									
H=5,4 m+precarica 1,0 m + dreni L=10 m		c_v=	2,00E-07	m^2s^{-1}					
		H=	2,5	m					
		w_c=	32,0	cm					
		t_{90}	**0,19**	**anni**					
t	**t**	**t**	**t**	**Tv**	**Uv**	**w**	**Uh**	**U**	**w_{dreni}**
(anni)	(mesi)	(gg)	(s)			(cm)			(cm)
0,00	0,02	0,5	43200	1,38E-03	0,042	1,34	0,020	0,061	1,96
0,00	0,03	1	86400	2,76E-03	0,059	1,90	0,040	0,097	3,10
0,01	0,07	2	172800	5,53E-03	0,084	2,68	0,078	0,155	4,97
0,01	0,10	3	259200	8,29E-03	0,103	3,29	0,115	0,206	6,58
0,01	0,13	4	345600	1,11E-02	0,119	3,79	0,150	0,251	8,03
0,01	0,17	5	432000	1,38E-02	0,133	4,24	0,184	0,292	9,35
0,02	0,20	6	518400	1,66E-02	0,145	4,65	0,217	0,330	10,56
0,02	0,23	7	604800	1,94E-02	0,157	5,02	0,248	0,366	11,70
0,02	0,27	8	691200	2,21E-02	0,168	5,37	0,278	0,399	12,76
0,03	0,30	9	777600	2,49E-02	0,178	5,69	0,307	0,430	13,75
0,03	0,33	10	864000	2,76E-02	0,188	6,00	0,334	0,459	14,68
0,04	0,50	15	1296000	4,15E-02	0,230	7,35	0,457	0,582	18,59
0,06	0,67	20	1728000	5,53E-02	0,265	8,48	0,557	0,674	21,56
0,08	1,00	30	2592000	8,29E-02	0,325	10,39	0,705	0,801	25,60
0,10	1,20	36	3110400	9,95E-02	0,356	11,38	0,769	0,851	27,21
0,11	1,33	40	3456000	1,11E-01	0,375	11,99	0,803	0,877	28,05
0,14	1,67	50	4320000	1,38E-01	0,419	13,40	0,869	0,924	29,54
0,17	2,00	60	5184000	1,66E-01	0,459	14,66	0,913	0,953	30,47
0,19	2,33	70	6048000	1,94E-01	0,495	15,82	0,942	0,971	31,04
0,22	2,67	80	6912000	2,21E-01	0,528	16,88	0,961	0,982	31,39
0,25	3,00	90	7776000	2,49E-01	0,559	17,87	0,974	0,989	31,61
0,28	3,33	100	8640000	2,76E-01	0,588	18,79	0,983	0,993	31,75
0,42	5,00	150	12960000	4,15E-01	0,707	22,60	0,998	0,999	31,95
0,44	5,33	160	13824000	4,42E-01	0,726	23,22	0,999	1,000	31,96
0,46	5,50	165	14256000	4,56E-01	0,736	23,52	0,999	1,000	31,96
0,50	6,00	180	15552000	4,98E-01	0,762	24,36	0,999	1,000	31,97
0,56	6,67	200	17280000	5,53E-01	0,793	25,34	1,000	1,000	31,97
0,62	7,40	222	19180800	6,14E-01	0,822	26,28	1,000	1,000	31,97
0,68	8,20	246	21254400	6,80E-01	0,849	27,15	1,000	1,000	31,97
0,78	9,30	279	24105600	7,71E-01	0,879	28,12	1,000	1,000	31,97
0,91	10,93	328	28339200	9,07E-01	0,912	29,17	1,000	1,000	31,97
1,01	12,17	365	31536000	1,01E+00	0,930	29,74	1,000	1,000	31,97
1,39	16,67	500	43200000	1,38E+00	0,966	30,90	1,000	1,000	31,97
1,60	19,17	575	49680000	1,59E+00	0,976	31,21	1,000	1,000	31,97
4,17	50,00	1500	129600000	4,15E+00	0,996	31,86	1,000	1,000	31,97
5,56	66,67	2000	172800000	5,53E+00	0,997	31,88	1,000	1,000	31,97
6,94	83,33	2500	216000000	6,91E+00	0,997	31,88	1,000	1,000	31,97
8,33	100,00	3000	259200000	8,29E+00	0,997	31,88	1,000	1,000	31,97
9,72	116,67	3500	302400000	9,68E+00	0,997	31,87	1,000	1,000	31,97
11,11	133,33	4000	345600000	1,11E+01	0,997	31,87	1,000	1,000	31,97
12,50	150,00	4500	388800000	1,24E+01	0,997	31,87	1,000	1,000	31,97
25,00	300,00	9000	777600000	2,49E+01	0,996	31,84	1,000	1,000	31,97
90,28	1083,33	32500	2,808E+09	8,99E+01	0,994	31,79	1,000	1,000	31,97