

COMMITTENTE:

IL DIRETTORE FUNZIONALE



Aps Holding s.p.a.

Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento del Comune di Padova

Dott. Ing. Diego Galiazzo

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Arch. Gaetano Panetta

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI



SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA



**PINI ITALIA**

## PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3

GEOTECNICA

Relazione Geotecnica

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

N P 0 1 0 0 D Z 3 G E G E 0 0 0 6 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M.TANZINI	GIUGNO 2020	M.MARELLI	GIUGNO 2020	A.PERESSO	GIUGNO 2020	A.POLLI	GIUGNO 2020



File: NP01 00 D Z3 GE GE0006 001 A.doc

n. Elab.:

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>SDAprogetti</b> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>ERRECI</b> INGEGNERIA DI ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>PINI</b> SWISS</p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>2 di 74</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	2 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	2 di 74								

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>7</b>
1.1 OGGETTO E SCOPO .....	7
1.2 DESCRIZIONE DELL'INDAGINE GEOTECNICA ESEGUITA .....	7
1.3 DESCRIZIONE DEL SITO E DEL PROGETTO .....	8
1.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	9
1.4.1 <i>Elaborati, indagini e studi precedenti</i> .....	9
1.4.2 <i>Normativa</i> .....	10
1.1.1 <i>Bibliografia</i> .....	10
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DEL PROGETTO .....	12
2.2 SISMICITÀ .....	14
<b>3. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE .....</b>	<b>23</b>
<b>4. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELL'INDAGINE GEOTECNICA.....</b>	<b>24</b>
4.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO CPTU.....	24
4.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE.....	29
<b>5. SCHEMATIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....</b>	<b>33</b>
5.1 DEFINIZIONE DELLE STRATIGRAFIE DI RIFERIMENTO .....	33
5.2 ANDAMENTO DELLA FALDA.....	42
5.3 PARAMETRIZZAZIONE PER LIVELLI DAL SITO E DAL LABORATORIO.....	43
5.3.1 <i>Identificazione e classificazione dei terreni</i> .....	43
5.3.2 <i>Risultati delle prove penetrometriche statiche</i> .....	44
5.3.3 <i>Risultati delle prove penetrometriche dinamiche</i> .....	52
5.4 RIEPILOGO DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	67
<b>6. TIPOLOGIA DI FONDAZIONI .....</b>	<b>69</b>

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>3 di 74</p>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Tracciato della Nuova Linea Tramviaria nella città di Padova SIR3 (scala grafica) .....	8
Figura 2. Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 147 – Padova Sud (stralcio non in scala).....	13
Figura 3: Classificazione sismica dei Comuni della Regione Veneto (non in scala). In rosso l'area in oggetto .....	15
Figura 4. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).....	16
Figura 5. Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s,30}>800$ m/s) – da INGV Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).....	17
Figura 6. Carta di classificazione dei terreni sulla base dei valori normalizzati ottenuti dalle prove CPTU, con piezocono (fonte: Robertson, 1990). .....	25
Figura 7. Carta di classificazione dei terreni sulla base dei valori di $I_c$ (fonte: Robertson e Wride, 1998). .....	26
Figura 8. Relazione generalizzata fra il modulo edometrico e la resistenza alla punta (fonte: Kulhawy e Mayne, 1990). .....	29
Figura 9. Prova CPTU – P1, resistenza alla punta $q_c$ . .....	34
Figura 10. Prova CPTU – P1, pressione interstiziale $u_2$ .....	35
Figura 11. Prova CPTU – P2, resistenza alla punta $q_c$ . .....	35
Figura 12. Prova CPTU – P2, pressione interstiziale $u_2$ .....	36
Figura 13. Prova CPTU – P3, resistenza alla punta $q_c$ . .....	36
Figura 14. Prova CPTU – P3, pressione interstiziale $u_2$ .....	37
Figura 15. Prova CPTU – P4, resistenza alla punta $q_c$ . .....	37
Figura 16. Prova CPTU – P4, pressione interstiziale $u_2$ .....	38
Figura 17. Prova CPTU – P5, resistenza alla punta $q_c$ . .....	38
Figura 18. Prova CPTU – P5, pressione interstiziale $u_2$ .....	39
Figura 19. Stratigrafia di progetto in corrispondenza del sondaggio S1. ....	40
Figura 20. Stratigrafia di progetto in corrispondenza del sondaggio S3. ....	41
Figura 21. Prova CPTU-P1, valori dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ . .....	44
Figura 22. Prova CPTU-P1, valori della coesione non drenata, $c_u$ . .....	45
Figura 23. Prova CPTU-P1, valori del modulo edometrico, $M_0$ . .....	45
Figura 24. Prova CPTU-P2, valori dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ . .....	46
Figura 25. Prova CPTU-P2, valori della coesione non drenata, $c_u$ . .....	46
Figura 26. Prova CPTU-P2, valori del modulo edometrico, $M_0$ . .....	47
Figura 27. Prova CPTU-P3, valori dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ . .....	47
Figura 28. Prova CPTU-P3, valori della coesione non drenata, $c_u$ . .....	48
Figura 29. Prova CPTU-P3, valori del modulo edometrico, $M_0$ . .....	48
Figura 30. Prova CPTU-P4, valori dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ . .....	49

 MANDATARIA <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA  NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3  PROGETTO DEFINITIVO</b>							
MANDANTE  <b>SDAprogetti</b> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  <b>ENEC</b> INGEGNERIA E ARCHITETTURA	MANDANTE  <b>PINI</b> SWISS						
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>			COMMESSA <b>NP01</b>	LOTTO <b>00 D Z3</b>	CODIFICA <b>GE</b>	DOCUMENTO <b>GE0006 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>4 di 74</b>

Figura 31. Prova CPTU-P4, valori della coesione non drenata, $c_u$ .....	49
Figura 32. Prova CPTU-P4, valori del modulo edometrico, $M_0$ .....	50
Figura 33. Prova CPTU-P5, valori dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ .....	50
Figura 34. Prova CPTU-P5, valori della coesione non drenata, $c_u$ .....	51
Figura 35. Prova CPTU-P5, valori del modulo edometrico, $M_0$ .....	51
Figura 36. Prova DPSH_E1, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	52
Figura 37. Prova DPSH_E1, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	53
Figura 38. Prova DPSH_E1, valori del modulo di deformabilità.....	53
Figura 39. Prova DPSH_E2, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	54
Figura 40. Prova DPSH_E2, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	54
Figura 41. Prova DPSH_E2, valori del modulo di deformabilità.....	55
Figura 42. Prova DPSH_E3, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	55
Figura 43. Prova DPSH_3, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	56
Figura 44. Prova DPSH_E3, valori del modulo di deformabilità.....	56
Figura 45. Prova DPSH_E4, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	57
Figura 46. Prova DPSH_E4, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	57
Figura 47. Prova DPSH_E4, valori del modulo di deformabilità.....	58
Figura 48. Prova DPSH_E5, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	58
Figura 49. Prova DPSH_E5, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	59
Figura 50. Prova DPSH_E5, valori del modulo di deformabilità.....	59
Figura 51. Prova DPSH_E6, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	60
Figura 52. Prova DPSH_E6, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	60
Figura 53. Prova DPSH_E6, valori del modulo di deformabilità.....	61
Figura 54. Prova DPSH_E7, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	61
Figura 55. Prova DPSH_E7, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	62
Figura 56. Prova DPSH_E7, valori del modulo di deformabilità.....	62
Figura 57. Prova DPSH_E8, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	63
Figura 58. Prova DPSH_E8, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	63
Figura 59. Prova DPSH_E8, valori del modulo di deformabilità.....	64
Figura 60. Prova DPSH_E9, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	64
Figura 61. Prova DPSH_E9, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	65
Figura 62. Prova DPSH_E9, valori del modulo di deformabilità.....	65
Figura 63. Prova DPSH_E10, valori dell'angolo di resistenza al taglio.....	66
Figura 64. Prova DPSH_E10, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.....	66
Figura 65. Prova DPSH_E10, valori del modulo di deformabilità.....	67
Figura 66. Ubicazione fondazioni nuovo ponte di attraversamento del canale scaricatore.....	69

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p>  </p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>5 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	5 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	5 di 74								

Figura 67. Andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza di setti di diaframma delle dimensioni di 1.2 x 2.5 m. ....70

Figura 68. Andamento del cedimento del setto di diaframma in funzione del carico applicato. ....71

Figura 69. Officine di manutenzione di Voltabarozzo; andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza dei pali del diametro di 600 mm. ....72

Figura 70. Officine di manutenzione di Guizza; andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza dei pali del diametro di 600 mm. ....74

<p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> 	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>6 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	6 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	6 di 74								

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Elaborati prodotti nell'ambito del presente studio.....	9
Tabella 2. Valori di accelerazione massima del suolo $a_g$ con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s .....	15
Tabella 3. Valori dei parametri di $a_g$ , $F_0$ , $T_{c^*}$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento .....	18
Tabella 4. Elenco delle prove geofisiche MASW realizzate e rispettivi valori di $V_{s,30}$ .....	21
Tabella 5. Valori della costante empirica $m$ secondo Bolton (1986). .....	31
Tabella 6. Valori dell'angolo a volume costante $\phi'_{cv}$ in accordo a Stroud (1988) e Youd (1972) .....	31
Tabella 7. Livelli piezometrici misurati durante la campagna geognostica Italferr 2020 .....	42
Tabella 8. Sondaggio S1, risultati prove di laboratorio per l'identificazione e classificazione dei terreni. ....	43
Tabella 9. Sondaggio S3, risultati prove di laboratorio per l'identificazione e classificazione dei terreni. ....	43
Tabella 10. Sondaggio S1 (con prove SPT), prova penetrometrica statica con piezocono CPTU-P4, prova penetrometrica dinamica continua DPSH_E19, stratigrafia di progetto e parametrizzazione (Figura 19).....	68
Tabella 11. Sondaggio S3 (con prove SPT), prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU-P2, CPTU-P3, CPTU-P5, stratigrafia di progetto e parametrizzazione (Figura 20).....	68
Tabella 12. Officine di manutenzione di Guizza, stratigrafia di progetto e parametrizzazione. ....	74

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>SDAprogetti</b> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>ERREDI</b> INGEGNERIA DI ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>PINI</b> SWISS</p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>7 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	7 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	7 di 74								

## 1. **PREMESSA**

### 1.1 **Oggetto e scopo**

La presente relazione geotecnica prende in esame i terreni di fondazione interessati dalla Progettazione Definitiva della nuova Linea Tramviaria nella città di Padova SIR3 ed esamina in dettaglio le problematiche di fondazione connesse alla natura dei terreni stessi ed al tipo di opere da realizzare.

La caratterizzazione geologica e stratigrafica dell'area interessata dal progetto è stata redatta integrando i dati più recenti, forniti dalla campagna geognostica realizzata nei mesi di aprile e maggio 2020, con le informazioni attualmente disponibili derivanti da fonti bibliografiche.




### 1.2 **Descrizione dell'indagine geotecnica eseguita**

Per la presente Progettazione Definitiva è stata condotta una campagna di indagini geognostiche che ha visto l'esecuzione, nel mese di maggio 2020, di:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 30 metri dal p.c. attrezzati con piezometro a tubo aperto tipo Norton;
- n. 5 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (CPTU) spinte fino alla profondità di 20 – 30 metri da p.c.;
- n. 10 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) spinte alla profondità di 8 – 9 m circa da p.c.;
- n. 2 prove MASW (Multi Analysis of Surface Waves) eseguite nei pressi dei sondaggi stratigrafici.

Inoltre, sui campioni sia rimaneggiati sia indisturbati prelevati dai 2 sondaggi a carotaggio continuo, sono state effettuate delle prove di laboratorio per la identificazione, classificazione dei terreni e per la determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio e di deformabilità

Per i rapporti di prova dettagliati delle indagini si rimanda al documento “Relazione Tecnica della Campagna di Indagine” redatto da Vicenzetto S.r.l. che costituisce parte integrante del presente studio.

<p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> 	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>8 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	8 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	8 di 74								

### 1.3 Descrizione del sito e del progetto

La relazione geotecnica si riferisce al Progetto Definitivo della nuova linea tramviaria SIR 3 nella città di Padova, il cui tracciato è mostrato nella

Figura 1. La nuova linea avrà sede in parte dedicata in parte promiscua; si sviluppa perlopiù in ambito urbano, su strade esistenti, con solo alcuni tratti che invece percorrono aree attualmente destinate a verde.

Nel tratto urbano su strade già esistenti la linea interferisce con diversi manufatti esistenti. Nello specifico è previsto il passaggio sopra il ponte Silvio Omizzolo, che attraversa il canale Piovego, oltre al passaggio sopra i seguenti 6 manufatti interrati: (1) Ponte delle gradelle di Porciglia; (2) Ponte di Santa Sofia (un manufatto interrato del 1223); (3) Ponte del Pidocchioso (un manufatto interrato del 1481); (4) Ponte dell'Ospitale in muratura; (5) Ponte dell'Ospitale in calcestruzzo; (6) Sottopassaggio dell'ospedale.



Figura 1. Tracciato della Nuova Linea Tramviaria nella città di Padova SIR3 (scala grafica)



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NP01</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">GE</td> <td style="text-align: center;">GE0006 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">9 di 74</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	9 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	9 di 74								

## 1.4 Documenti di riferimento

### 1.4.1 Elaborati, indagini e studi precedenti

La presente relazione geotecnica fa riferimento agli elaborati riportati nella Tabella 1, relativi agli studi di carattere geologico, idrogeologico e sismico delle aree connesse alla realizzazione dell'intervento in progetto.

Tabella 1. Elaborati prodotti nell'ambito del presente studio

TITOLO	CODIFICA	SCALA
Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica	<b>NP00 00 D69 RG GE0001 001 A</b>	-
Carta geologica e profilo - Tavola 1 di 3	<b>NP00 00 D69 N6 GE0001 001 A</b>	1:2.000- 1:2.000/200
Carta geologica e profilo - Tavola 2 di 3	<b>NP00 00 D69 N6 GE0001 002 A</b>	1:2.000- 1:2.000/200
Carta geologica e profilo - Tavola 3 di 3	<b>NP00 00 D69 N6 GE0001 002 A</b>	1:2.000- 1:2.000/200
Carta idrogeologica e profilo - Tavola 1 di 3	<b>NP00 00 D69 N6 GE0002 001 A</b>	1:2.000- 1:2.000/200
Carta idrogeologica e profilo - Tavola 2 di 3	<b>NP00 00 D69 N6 GE0002 002 A</b>	1:2.000- 1:2.000/200
Carta idrogeologica e profilo - Tavola 3 di 3	<b>NP00 00 D69 N6 GE0002 003 A</b>	1:2.000- 1:2.000/200

Inoltre, i risultati della campagna di indagini geotecniche 2020 sono riportati nei seguenti elaborati:

- R.T.P.: Italferr S.p.A., SDA Progetti, ERREGI S.r.l., PINI SWISS ENGINEERS S.r.l., Progetto definitivo, Nuova Linea Tramviaria nella città di Padova SIR 3, Indagini Geofisiche, Doc. NP00 00 D Z3 PR GE0000 001 A.
- R.T.P.: Italferr S.p.A., SDA Progetti, ERREGI S.r.l., PINI SWISS ENGINEERS S.r.l., Progetto definitivo, Nuova Linea Tramviaria nella città di Padova SIR 3, Indagini geognostiche, Prove in situ e prelievo di campioni, Relazione Tecnica della campagna di indagine, Doc. NP01 00 D 69 IG GE0000 001 0.
- R.T.P.: Italferr S.p.A., SDA Progetti, ERREGI S.r.l., PINI SWISS ENGINEERS S.r.l., Progetto definitivo, Nuova Linea Tramviaria nella città di Padova SIR 3, Prove di laboratorio, Doc. NP00 00 D Z3 PR GE0000 002 A.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p>  </p> <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>10 di 74</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	10 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	10 di 74								

#### 1.4.2 Normativa

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.

#### 1.4.3 Bibliografia

- Bolton (1986) “The strength and dilatancy of sands” Geotechnique 36 , n° 1.
- Bustamante M., Gianceselli L. (1982), Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT, Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam.
- Clayton C.R.I. (1995) “The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use” CIRIA Report n° 143, 1995.
- 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.
- Skempton A.W. (1986) “Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation” Geotechnique 36, n° 3.
- Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 355-8.
- Knappett J.A. e Craig R.F. (2012). Craig’s Soil Mechanics. Ottava Edizione. Spon Press. London and New York.
- Kulhawy F.H. e Mayne P.W. (1990). Manual on estimating soil properties for foundation design. Electric Power Research Institute, EPRI, August, 1990.
- Lunne, T., Christophersen, H.P. (1983). Interpretation of cone penetrometer data for offshore sands. Proceedings of the Offshore Technology Conference, Richardson, Texas, Paper No. 4464.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> INFRASTRUTTURE</p> <p>MANDANTE</p> <p></p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>11 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	11 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	11 di 74								

- Mayne, P.W., Kulhawy, F.H. (1982).  $K_0$  – OCR relationships in soil. Journal of Geotechnical Engineering, 108(6), 851-72.
- Mayne (2007). Cone penetration testing: a synthesis of highway practice. NCHRP Synthesis Report 368, Transportation Research Board, Washington DC.
- Robertson, P.K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-158.
- Randolph, M.F. e Wroth, C.P. (1978). Analysis and deformation of vertically loaded piles. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 104(GT12), 1465-1488.
- Robertson, P.K. e Wride, C.E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35(3): 442-459.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p>  </p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>12 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	12 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	12 di 74								

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 2.1 Inquadramento geologico dell'area del progetto

Le caratteristiche delle unità geologiche presenti nell'area sono intimamente legate agli elementi geomorfologici riconosciuti in superficie e, complessivamente, sono il prodotto dei processi deposizionali ed erosivi attuatisi tra le fasi finali del Pleistocene e l'Attuale, ossia negli ultimi 150.000 anni circa.

Come si evince esaminando la Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 147 – Padova Sud (Figura 2), il sottosuolo dell'area di studio è costituito da depositi continentali quaternari del Sintema del Po, in particolare:


- **Unità di Mezzavia (bacino del F. Brenta e del F. Bacchiglione) POI<sub>12</sub>**; costituita da sabbia e limo con sabbia a stratificazione orizzontale o incrociata (depositi alluvionali di canale fluviale, argine e ventaglio di rotta); limo ed argilla a stratificazione orizzontale (depositi di piana alluvionale). Lo spessore varia da circa 1 m a circa 10 m.

OLOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE P.P.

- **Sintema di Bassano (bacino del F. Brenta e del F. Bacchiglione) BBS**; costituita da sabbia, raramente ghiaiosa, limo e sabbia a stratificazione orizzontale o incrociata (depositi alluvionali di canale fluviale, argine, ventaglio di rotta, piana alluvionale prossimale); limo argilloso a stratificazione orizzontale, talora organico (depositi di piana alluvionale e talora palustri). Limite inferiore sepolto, limite superiore inconforme con POI<sub>12</sub> o coincidente con la superficie topografica. Spessore di alcune decine di m.

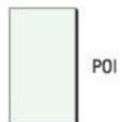
PLEISTOCENE SUPERIORE

Le informazioni acquisite dalla cartografia geologica disponibile sono state confermate dai dati geognostici disponibili ovvero le indagini geognostiche realizzate a supporto della presente progettazione. Tali dati geognostici hanno evidenziato la presenza di un potente materasso alluvionale costituito da depositi di notevole spessore di sabbie intercalate a limi sabbiosi e a lenti argillose di spessore ed estensione estremamente variabile.

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA          NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3          PROGETTO DEFINITIVO</b>
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	
MANDANTE  INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	
MANDANTE 	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO NP01        00 D Z3        GE            GE0006 001    A        13 di 74



### DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI



#### Sistema del Po (indistinto)

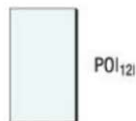
Limo sabbioso-argilloso con ghiaia, talora debolmente stratificato, diamicton a supporto di matrice, con clasti di provenienza locale (depositi colluviali); ghiaie e blocchi a supporto clastico o parzialmente aperto, con clasti angolosi di provenienza locale, diamicton a supporto di clasti o di matrice (depositi di versante, detrito di falda); ghiaie sabbioso-limose debolmente stratificate, diamicton a supporto di matrice (depositi di origine mista: torrentizi e/o di *debris-flow*); limo, limo ed argilla o sabbia, sabbia e ghiaia, ghiaia a stratificazione orizzontale o incrociata (depositi alluvionali); ghiaia e blocchi eterometrici, diamicton a supporto di matrice o clastici, con clasti di litologie locali (accumuli di frana); travertino; limi, sabbie e ghiaie variamente miscelati (depositi antropici). Limite inferiore sepolto o inconforme con CZ e BBS, limite superiore coincidente con la superficie topografica. Spessore variabile da 0,5 m ad alcune decine di m.

**PLEISTOCENE SUPERIORE P.P. – ATTUALE**

#### Subsistema di Padova

#### PLEISTOCENE SUPERIORE P.P. - OLOCENE

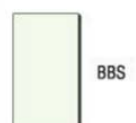
Comprende le seguenti unità:



#### Unità di Mezzavia (bacino del F. Brenta e del F. Bacchiglione)

Sabbia, limo e sabbia a stratificazione orizzontale o incrociata (depositi alluvionali di canale fluviale, argine, ventaglio di rotta); limo ed argilla a stratificazione orizzontale (depositi di piana alluvionale). Limite inferiore inconforme o erosivo con BBS, limite superiore coincidente con la superficie topografica o inconforme con POI<sub>11</sub> e POI<sub>12k</sub>. Spessore variabile da circa 1 m a circa 10 m.

**OLOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE P.P.**



#### Sistema di Bassano (bacino del F. Brenta e del F. Bacchiglione p.p.)

Sabbia, raramente ghiaiosa, limo e sabbia a stratificazione orizzontale o incrociata (depositi alluvionali di canale fluviale, argine, ventaglio di rotta, piana alluvionale prossimale); limo argilloso a stratificazione orizzontale, talora organico (depositi di piana alluvionale e talora palustri). Limite inferiore sepolto, limite superiore inconforme con POI<sub>121</sub> o coincidente con la superficie topografica. Spessore di alcune decine di m.

**PLEISTOCENE SUPERIORE**

Figura 2. Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 147 – Padova Sud (stralcio non in scala)

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> ERREDI INGEGNERIA DI ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> PINI SWISS</p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>14 di 74</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	14 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	14 di 74								

## 2.2 Sismicità

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, il Veneto viene interamente classificato sismico e incluso nelle zone 4, 3 e 2. Con deliberazione n. 67 del 3 dicembre 2003 il Consiglio regionale ha fatto proprio e approvato il nuovo elenco dei comuni sismici del Veneto nell'ambito del quale il Comune di Padova risulta classificato in zona "4". Trova pertanto attuazione la classificazione stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale suddivide il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dall'allegato I della D.C.R. n. 67/2003, il Comune di Padova risulta classificato in zona "4" (Figura 3).

Rispetto alla classificazione sismica del Comune di Padova ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra <0.05 e 0.05 g (Figura 4).

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 74</p>

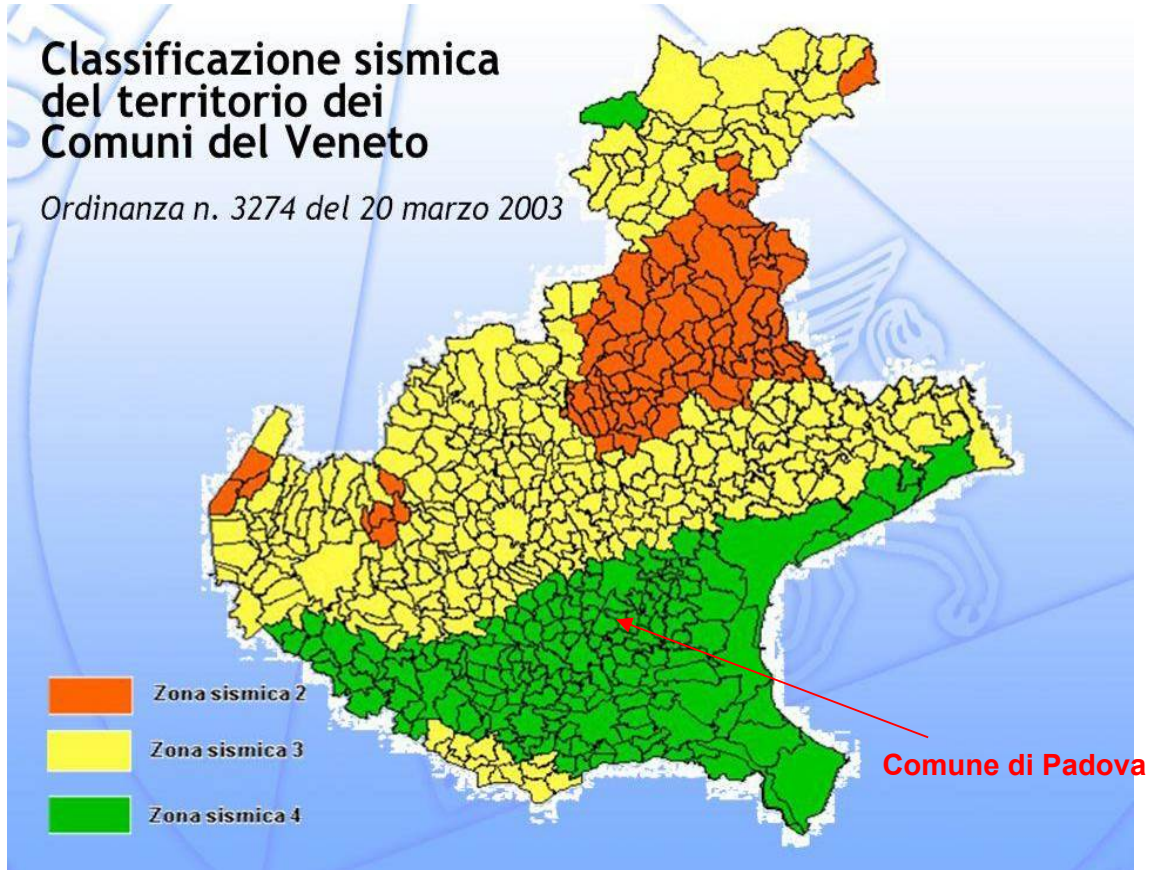



Figura 3: Classificazione sismica dei Comuni della Regione Veneto (non in scala). In rosso l'area in oggetto

Tabella 2. Valori di accelerazione massima del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s,30} > 800$  m/s

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, $a_g/g$ )
1	>0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	<0.05	0.05

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>16 di 74</p>

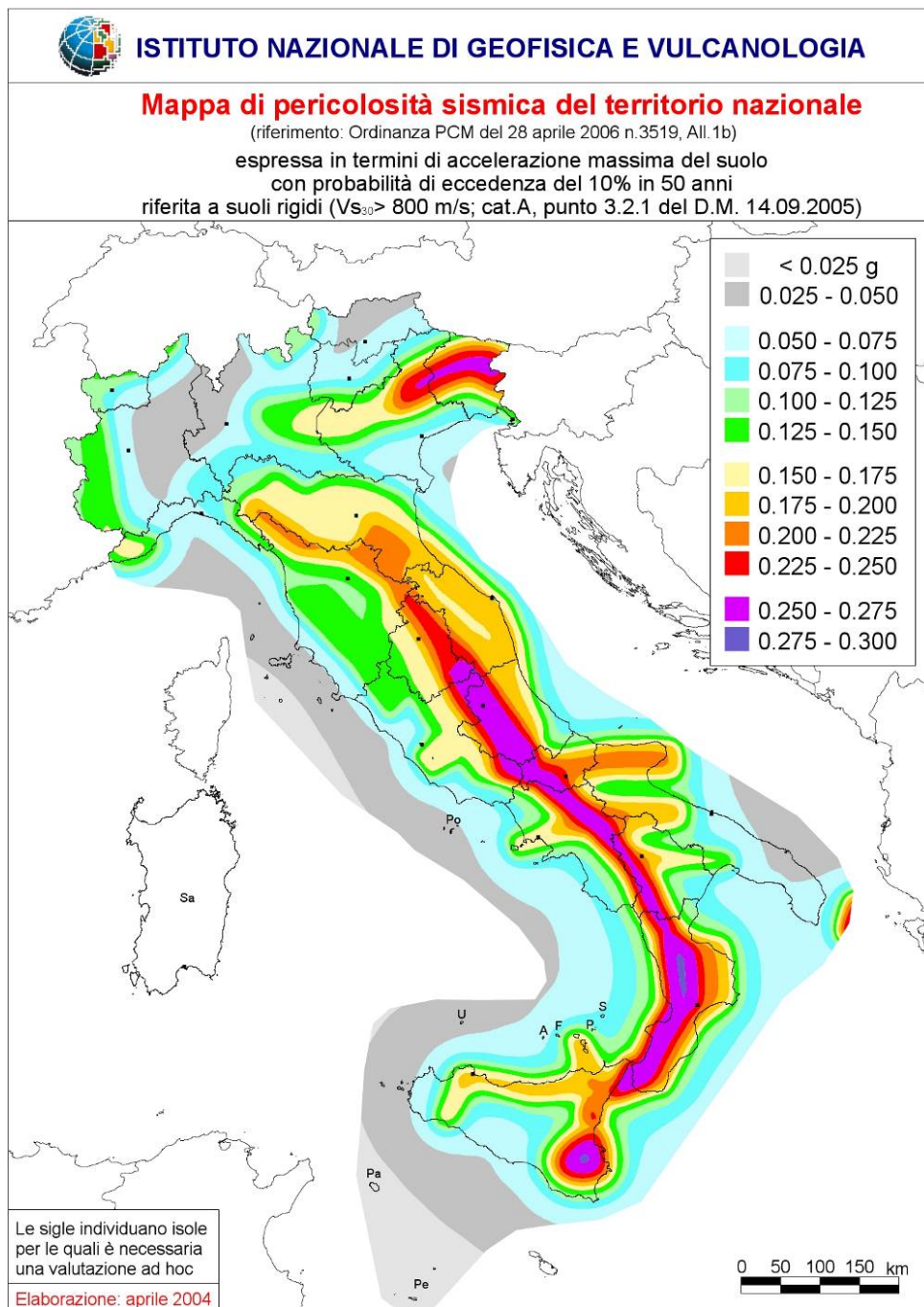





Figura 4. Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>17 di 74</p>

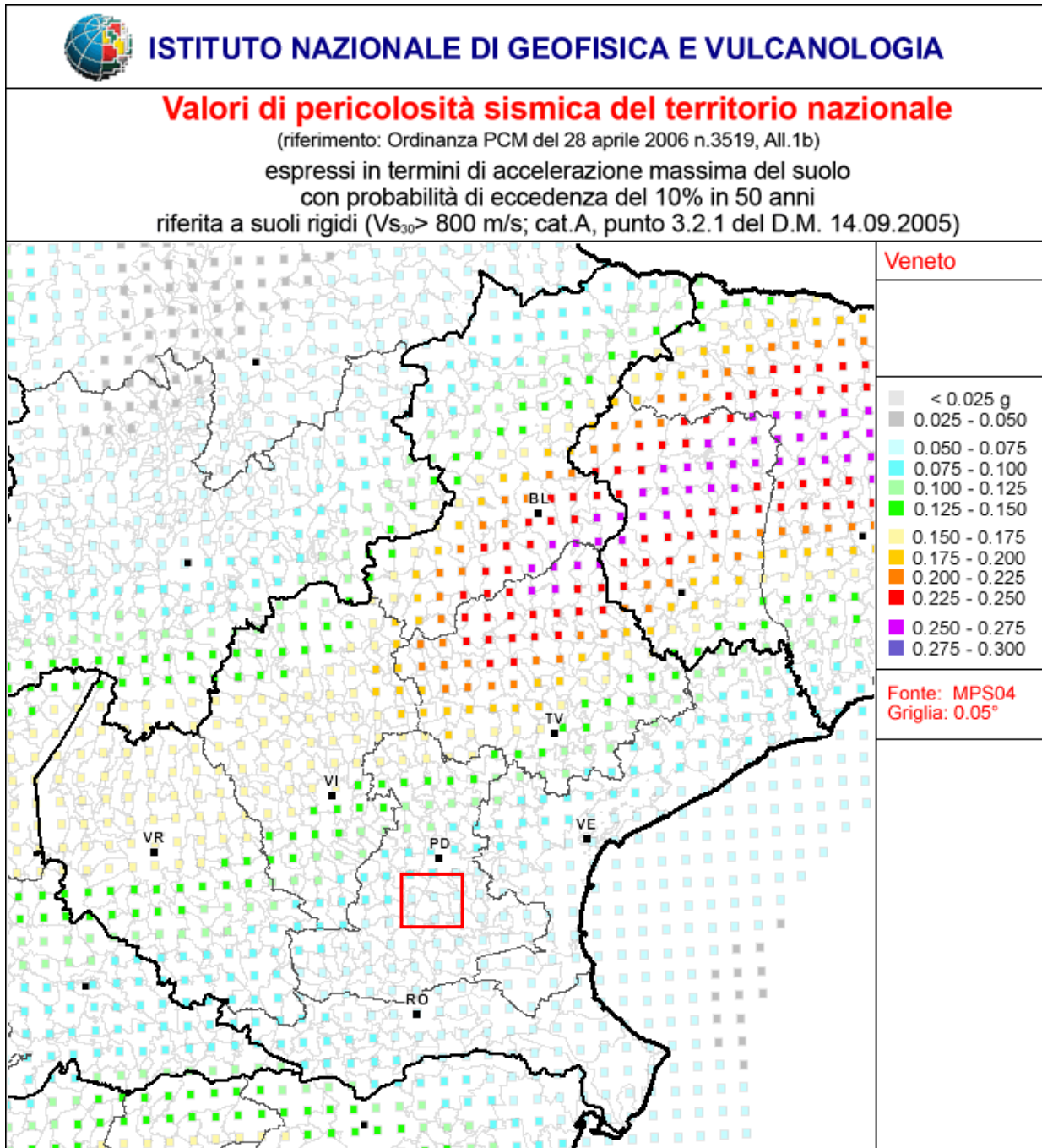


Figura 5. Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s,30} > 800$  m/s) – da INGV Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA DI PROGETTAZIONE</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>18 di 74</p>



In Tabella 3 vengono forniti, per periodi di ritorno  $T_R$  di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_{c^*}$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati secondo la normativa vigente (NTC2018).

Nel dettaglio:

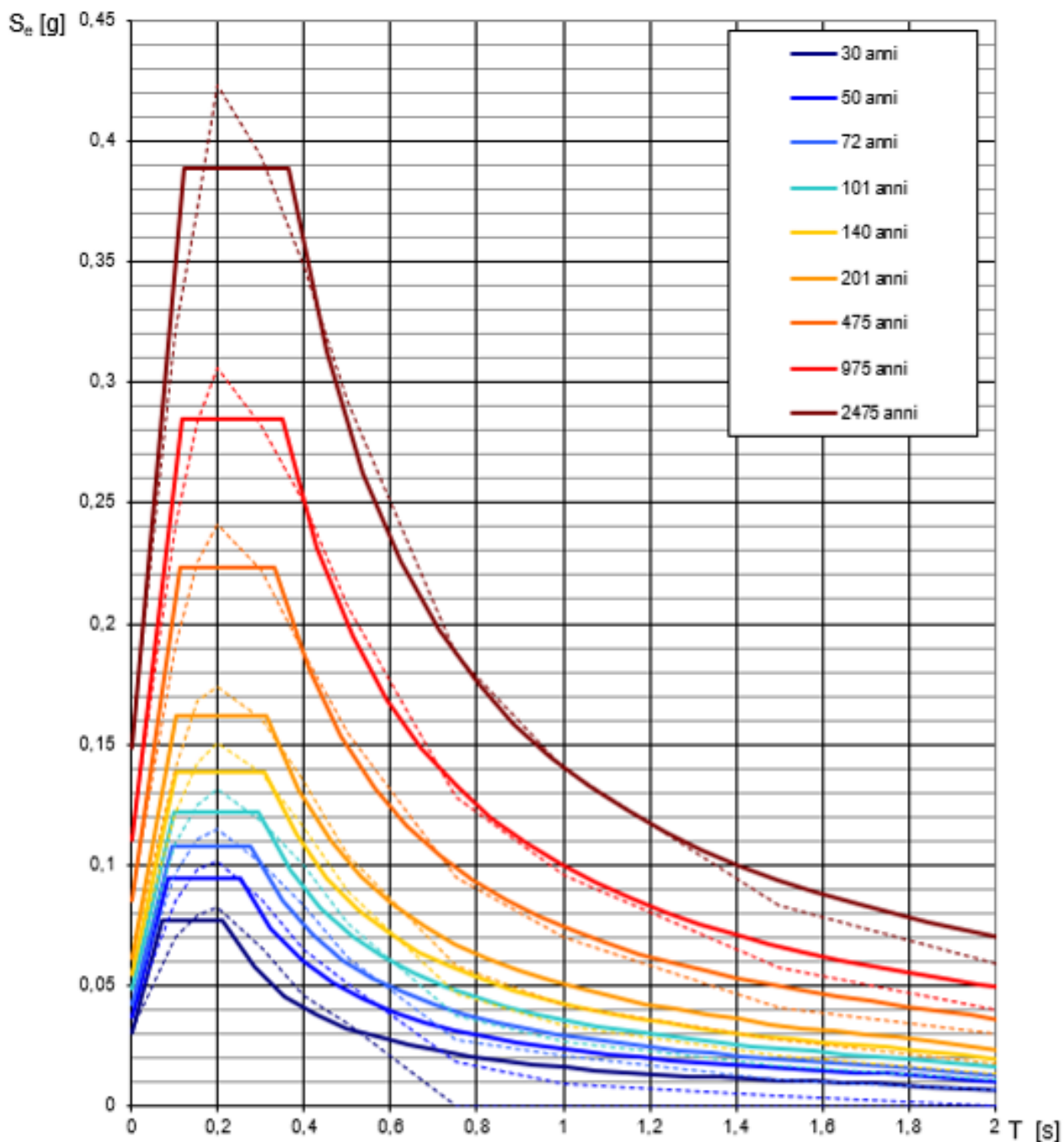
- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_{c^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

*Tabella 3. Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento*

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0,031	2,519	0,210
50	0,037	2,554	0,251
72	0,042	2,538	0,276
101	0,049	2,506	0,296
140	0,055	2,537	0,308
201	0,061	2,632	0,313
475	0,085	2,620	0,333
975	0,111	2,579	0,350
2475	0,149	2,614	0,362

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>19 di 74</p>

## Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



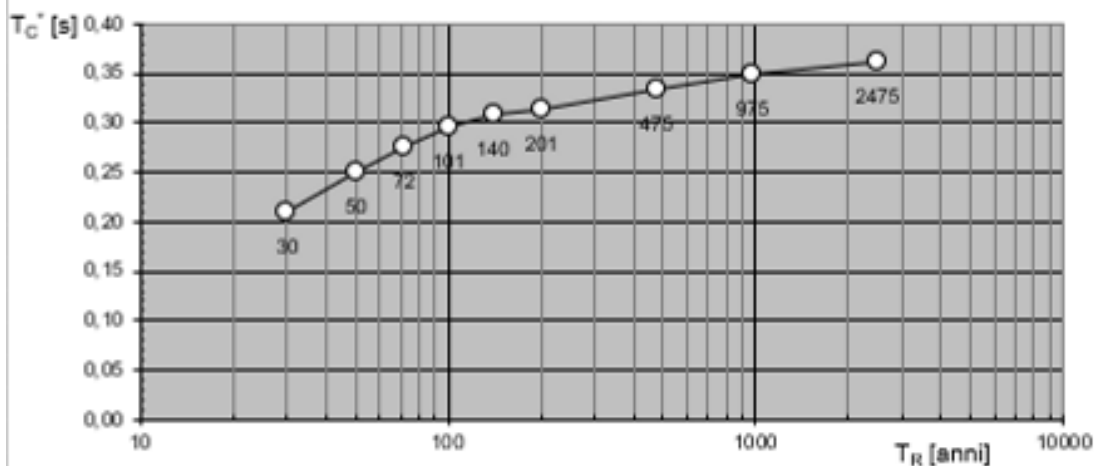
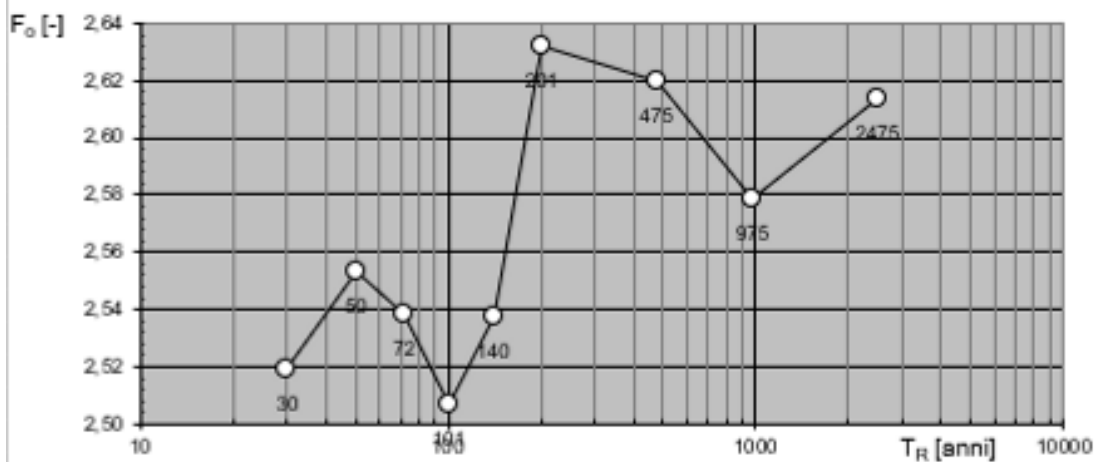
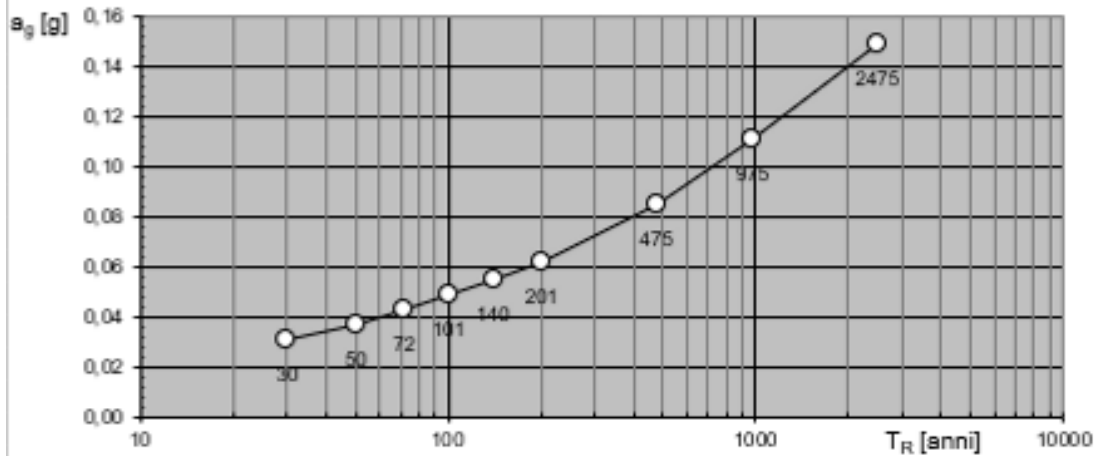
NOTA:


Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**RELAZIONE GEOTECNICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	20 di 74

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>21 di 74</p>

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse. La determinazione del tipo di suolo, secondo normativa, può essere basata sulla stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  del deposito di terreno ovvero sul numero medio di colpi  $N_{SPT,30}$  ottenuti da prove penetrometriche dinamiche nei terreni granulari ovvero sulla coesione non drenata media  $c_{u,30}$  nei terreni coesivi.

Va precisato che per depositi di spessore complessivo superiore a 30 m, la  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , corrispondente alla velocità di propagazione equivalente degli strati di terreno fino alla profondità di 30 m. Per quanto concerne il sito in oggetto si adotterà pertanto il valore di  $V_{s,30}$  in quanto i depositi di terreno hanno uno spessore di gran lunga superiore a 30 m.

Nel caso in oggetto, la determinazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata a partire dai valori di  $V_{s,30}$  definiti da n. 2 prove MASW eseguite in corrispondenza dei sondaggi geognostici realizzati. In Tabella 4 si riporta l'elenco delle prove eseguite ed il corrispondente valore di  $V_{s,30}$ , per i rapporti di prova si rimanda al documento "Relazione Tecnica della Campagna di Indagini" realizzata da Vicenzetto Srl.

Tabella 4. Elenco delle prove geofisiche MASW realizzate e rispettivi valori di  $V_{s,30}$

ID prova	$V_{s,30}$ (m/s)
MASW SS1 (area S3)	276
MASW SS2 (area S1)	231

I dati relativi alle misure geofisiche indicano come tutti i siti presentino velocità delle onde di taglio, nei primi 30 metri, coerenti con un sottosuolo di categoria "C", ovvero "depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>22 di 74</p>

		S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>	S=S <sub>s</sub> *S <sub>T</sub>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.50	1.50	1.50
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo le aree in oggetto localizzate in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, le morfologie possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.IV.

In particolare, i siti in oggetto possono essere classificati di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T=1.0$ .

<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo


<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p>  </p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>23 di 74</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	23 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	23 di 74								

### 3. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE

Con riferimento ai profili geologici e geotecnici longitudinali, sono state identificate le seguenti unità litostratigrafiche:

- **Riporto;** ghiaie, sabbie, limi e argille. Talora conglomerato bituminoso.
- **Sabbia;** sabbia, sabbia limosa, talora con ghiaia sparsa, da fine a grossolana. Fino a 10-15 m di profondità si presenta sciolta o poco addensata, più in profondità da mediamente addensata ad addensata. Intercalati a varie profondità si rinvengono livelli di spessore centimetrico e decimetrico di limi e argille.
- **Limo;** limo, limo sabbioso e limo argilloso, da tenero a mediamente consistente, di colore grigio con screziature nerastre. Intercalati a varie profondità si rinvengono livelli di spessore centimetrico e decimetrico di sabbie e argille.
- **Argilla;** argilla e argilla limosa, da mediamente consistente a consistente, di colore nocciola e grigio con screziature nerastre. Talora si rinvengono livelli di spessore centimetrico e decimetrico di torba. Intercalati a varie profondità si rinvengono livelli di spessore centimetrico e decimetrico di limi e argille.

Nella elaborazione del modello geologico – geotecnico di riferimento, sintetizzato nel profilo geologico e geotecnico, oltre che delle indagini puntuali (sondaggi stratigrafici e pozzi), si sono tenute in debita considerazione anche le risultanze delle prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NP01</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">GE</td> <td style="text-align: center;">GE0006 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">24 di 74</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	24 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	24 di 74								

#### 4. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELL'INDAGINE GEOTECNICA

##### 4.1 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU

In letteratura sono state proposte numerose carte che consentono sulla base dei valori della resistenza alla punta,  $q_c$ , e della resistenza laterale,  $f_s$ , una classificazione dei terreni e conseguentemente del tipo di comportamento del terreno (drenato, non drenato, etc.).

Essendo state effettuate prove penetrometriche statiche con piezocono si è fatto riferimento alla carta di classificazione proposta da Robertson (1990) e riportata nella Figura 6; sulla base dei seguenti valori normalizzati della resistenza alla punta,  $Q_t$ , e del rapporto di frizione  $F_r$  è possibile individuare 9 tipi di terreno:

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \times 100\%$$

essendo:

$$q_t = q_c + u_2 (1 - a)$$

$q_c$  = resistenza alla punta

$q_t$  = valore della resistenza alla punta corretto e pari a  $q_c$  nel caso di prove standard CPT senza piezocono

$u_2$  = pressione interstiziale misurata dietro il cono

$a$  = fattore di correzione dell'area della punta conica di infissione del penetrometro che dipende dal tipo di penetrometro e tipicamente compreso tra 0.5 e 0.9

$f_s$  = resistenza laterale

$Q_t$  = resistenza alla punta normalizzata

$F_r$  = rapporto di frizione normalizzato

$\sigma_{v0}$  = tensione verticale totale presente in sito

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace presente in sito

Inoltre per valutare sistematicamente per ogni valore della resistenza alla punta e laterale misurata, il tipo di comportamento del terreno e quindi direttamente una stratigrafia del terreno interessato dalle prove CPTU, si è adottato l'approccio proposto da Robertson e Wride (1998) che hanno quantificato con la seguente formula il parametro  $I_c$  che fornisce il raggio di archi che separano, come mostrato nella Figura 7 le zone di differenti tipi di terreno da 2 a 7:



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>25 di 74</p>

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2}$$

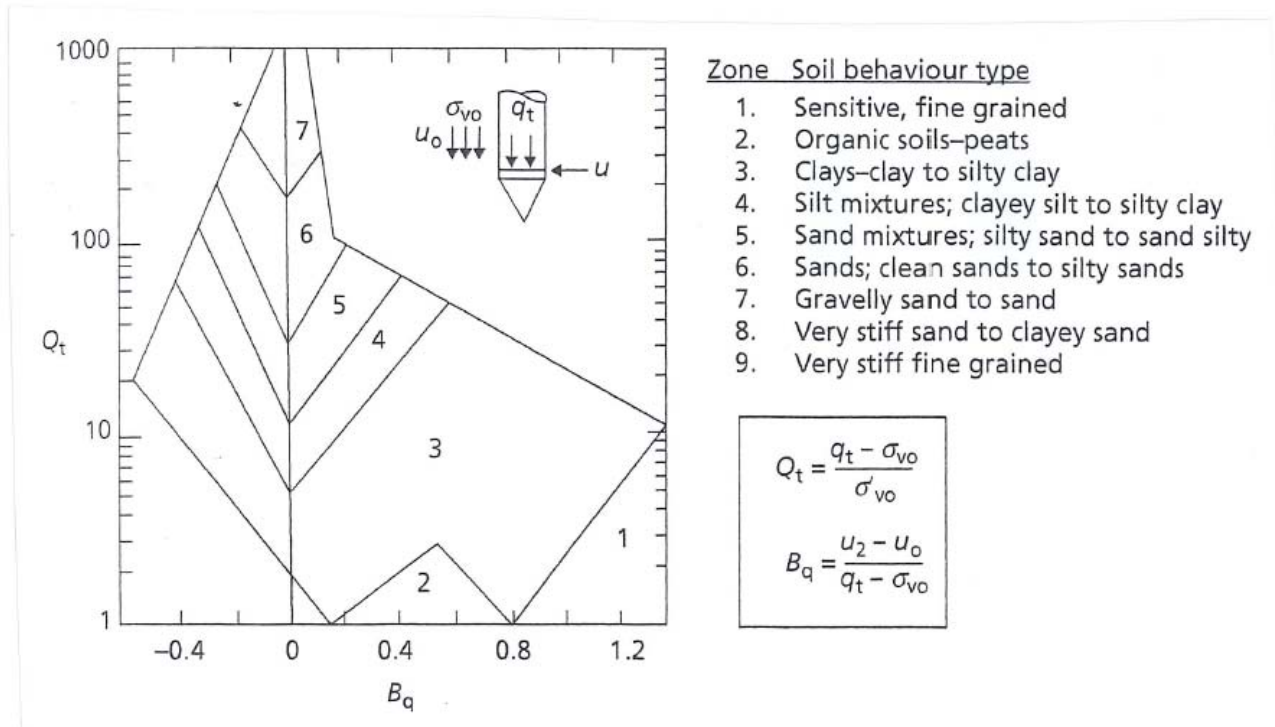






Figura 6. Carta di classificazione dei terreni sulla base dei valori normalizzati ottenuti dalle prove CPTU, con piezocono (fonte: Robertson, 1990).

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>26 di 74</p>

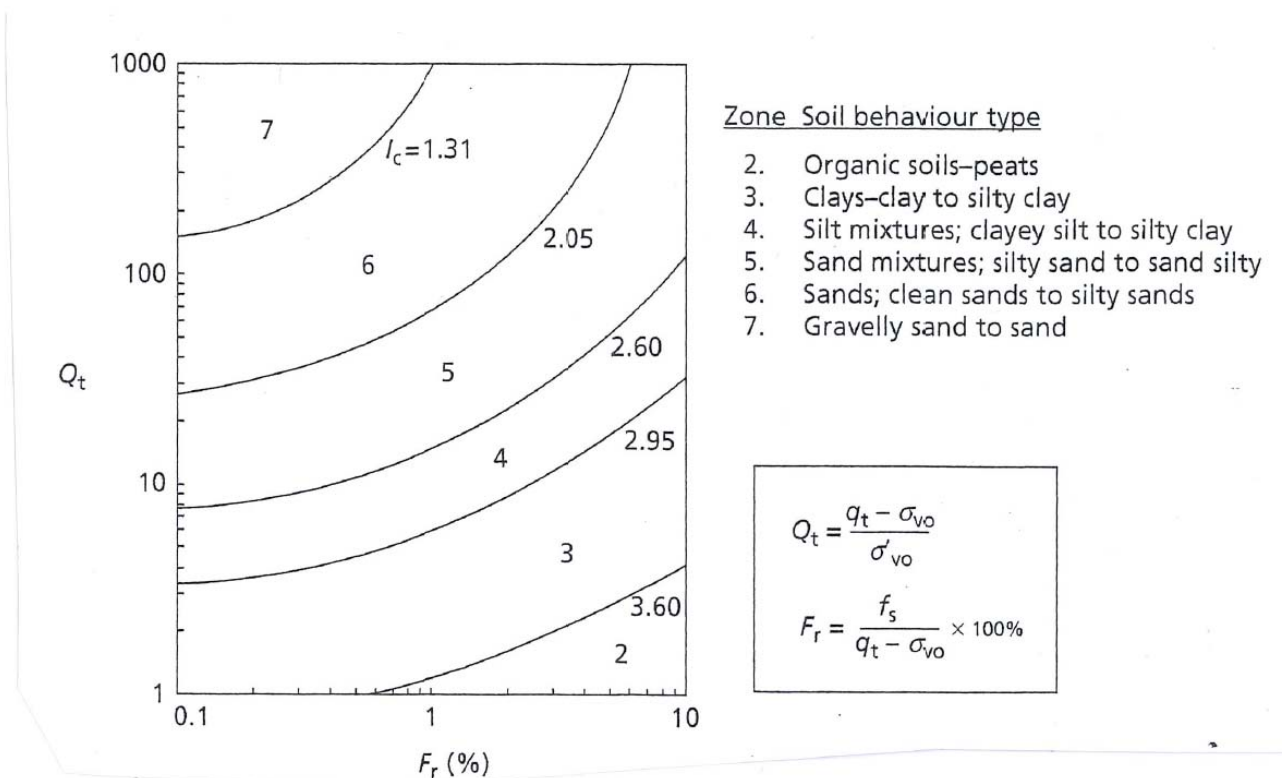


Figura 7. Carta di classificazione dei terreni sulla base dei valori di  $I_c$  (fonte: Robertson e Wride, 1998).

Con riferimento alla Figura 7, si hanno le seguenti zone – tipi di terreno:

- 2 – terreni organici, torbe;
- 3 – argille – da argille a argille limose
- 4 – misture di limo – da limi argillosi ad argille limose
- 5 – misture di sabbia – da sabbie limose a sabbie con limo
- 6 – sabbie – da sabbie pulite a sabbie limose
- 7 – da sabbie ghiaiose a sabbie.

1. Determinazione della resistenza e deformabilità dei terreni a grana grossa sulla base delle prove CPT

Per la determinazione della densità relativa  $D_r$  è stata adottata la seguente correlazione, proposta sulla base dei dati raccolti da Jamiolkowski et al. (2001) e da Mayne (2007):

$$D_r = D + E \log \left( \frac{q_c}{\sigma_{vo}^{0.5}} \right)$$

dove:

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>27 di 74</p>

$q_c$  = resistenza alla punta

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace presente in sito

D = valore pari a -1.21 per sabbia silicee di media compressibilità, pari a -1.06 per sabbie silicee molto compressibili, pari a -1.36 per terreni poco compressibili (Craig et al., 2012)

E = valore assunto pari a 0.584 (Craig et al., 2012)

Per quanto concerne l'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'_{max}$ , Mayne (2007) ha proposto la seguente correlazione:

$$\phi'_{max} = 6.6 + 11 \cdot \log \left( \frac{q_c}{\sigma'_{v0}{}^{0.5}} \right)$$

Una volta determinato l'angolo di resistenza a taglio, il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  può essere determinato dalla seguente correlazione empirica (Lunne e Christophersen, 1983):

$$\frac{K_0(nc)}{K_0(oc)} = OCR^m$$

dove:

$K_{0(nc)}$  = coefficiente di spinta a riposo del terreno normalconsolidato =  $1 - \sin \phi'$  (Jaky, 1944)

$K_{0(oc)}$  = coefficiente di spinta a riposo del terreno sovraconsolidato

OCR = grado di sovraconsolidazione

Per quanto concerne il valore di m, Lunne e Christophersen (1983) raccomandano di assumere un valore pari a 0.45. Tuttavia Mayne e Kulhawy (1982) raccomandano un valore pari a 0.65.

Infine, per quanto concerne il modulo edometrico, Lunne e Christophersen (1983) propongono le seguenti correlazioni per i terreni normalconsolidati (OCR = 1):

$M_0 = 4 q_c$  per  $q_c < 10$  MPa

$M_0 = 2 q_c + 20$  (MPa)  $10$  MPa  $< q_c < 50$  MPa

$M_0 = 120$  MPa  $q_c > 50$  MPa


Gli stessi Autori per terreni sovraconsolidati (OCR > 1) propongono le seguenti correlazioni:

$M_0 = 5 q_c$  per  $q_c < 50$  MPa

$M_0 = 250$  MPa  $q_c > 50$  MPa

## 2. Determinazione della resistenza e deformabilità dei terreni a grana fine sulla base delle prove CPT

Nel caso di terreni a grana fine, i dati delle prove CPT sono comunemente utilizzati per valutare la resistenza al taglio in condizioni non drenate,  $c_u$ , mediante la seguente formula:

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>28 di 74</p>

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_k}$$

dove:

$q_c$  = valore della resistenza alla punta

$\sigma_{v0}$  = tensione verticale totale

$N_k$  = fattore del cono.

Oppure nel caso di prove CPTU:

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

dove:

$q_t$  = valore della resistenza alla punta corretta per effetto della pressione interstiziale.

Normalmente si è visto che un valore di  $N_k = 15$  è una buona approssimazione. Nel caso di prove CPTU è stata trovata la seguente correlazione fra  $N_{kt}$  e  $B_q$  (Knappett et al., 2012), dove il valore di  $B_q$  è riportato nella Figura 6:

$$N_{kt} = 7.2 (B_q)^{-0.77}$$

Le prove CPT, nella maggior parte dei terreni a grana fine possono essere utilizzati per la determinazione del grado di sovraconsolidazione OCR. Mayne (2007), per la determinazione di OCR ha proposto la seguente relazione:




$$OCR = 0.33 \left( \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Inoltre Kulhawy e Mayne (1990) hanno proposto la seguente espressione per il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ :

$$K_0 \approx 0.1 \left( \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Infine, per quanto concerne il modulo edometrico, Kulhawy e Mayne (1990) hanno suggerito la seguente relazione, come mostrato nella Figura 8:

$$M = 8.25 (q_t - \sigma_{v0})$$

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 29 di 74</p>

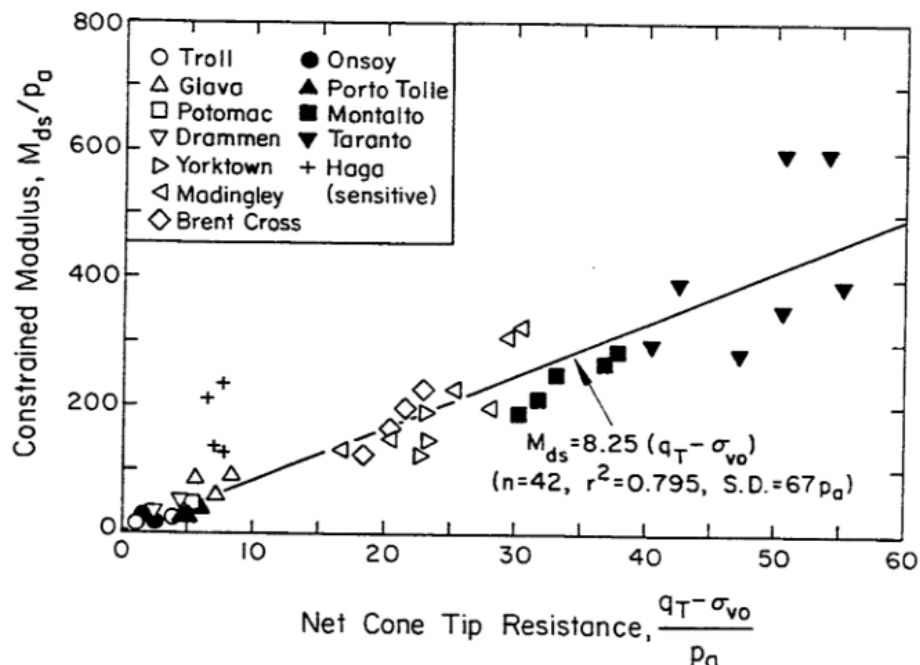


Figura 8. Relazione generalizzata fra il modulo edometrico e la resistenza alla punta (fonte: Kulhawy e Mayne, 1990).

## 4.2 Prove penetrometriche dinamiche




Nei sondaggi sono state effettuate delle prove penetrometriche dinamiche SPT misurando la resistenza  $N_{SPT}$ . Sono state inoltre effettuate delle prove penetrometriche dinamiche continue super pesanti (DPSH) che hanno misurato il numero di colpi,  $N_{20}$ , necessari per l'infissione della punta nel terreno per tratti consecutivi di 20 cm.

Di seguito sono riportate le correlazioni che sono state adottate per l'interpretazione delle prove SPT; per quanto concerne le prove DPSH sulla base della differente energia delle due prove, ricavabile dal prodotto del peso del maglio, dell'altezza di caduta del maglio, della penetrazione (20 cm per le prove DPSH e 30 cm per le prove SPT) e dell'area trasversale della punta; più precisamente, anche in accordo ad indicazioni di letteratura (Bruzzi e Cestari, 1983) è stata adottata la seguente correlazione fra  $N_{SPT}$  e  $N_{20}$ :  $N_{SPT} = 0.66 N_{20}$ .

### Densità relativa

#### **Correlazione di Bazaraa (1967)**

Bazaraa (1967) ha mosso una critica alle correlazioni ottenute in laboratorio, osservando che i risultati di prove SPT eseguite su campioni ricostituiti in laboratorio non fossero rappresentativi dei valori di  $N$

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>							
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>30 di 74</p>

che, a parità di densità relativa, si ottengono in sito, per l'esistenza nel deposito naturale di fattori di primaria importanza quali la cementazione, l'invecchiamento (aging), la storia dello stato tensionale ecc.

Partendo da tale obiezione, Bazaraa è pervenuto alla seguente correlazione:

$$D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{v0})} \quad \text{per } \sigma'_{v0} \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

$$D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{v0})} \quad \text{per } \sigma'_{v0} > 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

### Angolo di resistenza al taglio

#### **Correlazione di Bolton**

In accordo a Bolton (1986) l'angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'$  può essere stimato sulla base delle seguenti equazioni:

$$\phi' = \phi'_{cv} + m \cdot DI$$

con

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p'_f)] - 1$$

essendo:

$D_r$  = densità relativa

$Q$  = 10 (per particelle di natura silicea)

$p'_f$  = pressione efficace media a rottura (kPa) =  $1.4 \sigma'_{ff}$  (Jamiokowski et al. ,1988)

$\sigma'_{ff}$  = tensione normale alla superficie di rottura in condizioni di rottura

$m$  = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione (Tabella 5)

$\phi'_{cv}$  = angolo di attrito a volume costante, determinabile da prove di laboratorio o stimabile, nel caso di sabbie, sulla base di quanto indicato in Tabella 6.

In accordo all'involuppo curvilineo proposto da Baligh (1975) fino a valori di  $\sigma'_{ff} = 272$  kPa l'angolo di attrito di picco  $\phi'$  può essere determinato adottando  $p'_f = 1.4 \sigma'_{ff} = 1.4 \times 272 = 380$  kPa.

Per valori superiori di  $\sigma'_{ff}$ , l'angolo di attrito  $\phi'$  tenderà invece a diminuire; esso andrà determinato caso per caso sulla base dell'effettivo valore di  $\sigma'_{ff}$  o di  $p'_f$ , associabile allo specifico problema in esame.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA DI PROGETTAZIONE</p>	<p>MANDANTE</p> 				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>31 di 74</p>



*Tabella 5. Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986).*

Condizioni di deformazione	m (-)
Tipiche di prove triassiali di compressione (problemi di carico in condizioni assialsimmetriche)	3
Tipiche di prove di taglio semplice (problemi in condizioni di deformazione piana)	5

*Tabella 6. Valori dell'angolo a volume costante  $\phi'_{cv}$  in accordo a Stroud (1988) e Youd (1972)*

Tipo di terreno	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie con spigoli vivi	38°	34°
Sabbie con spigoli arrotondati	33°	30°

Nel caso delle ghiaie si potrà assumere mediamente  $\phi'_{cv} = 35^\circ \div 36^\circ$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 				
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>32 di 74</p>

### Modulo di deformabilità

In alternativa, i moduli elastici “operativi” possono essere ricavati direttamente dalle prove SPT in sabbia e ghiaia. In accordo a Jamiolkowski et al. (1988) per la stima dei moduli elastici operativi da prove SPT valgono le seguenti espressioni:

$$E'_{25} = (10.5 - 3.5 D_r) \cdot \frac{N_{SPT}}{10} \quad (\text{MPa}) \text{ nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E'_{25} = (52.5 - 35 D_r) \cdot \frac{N_{SPT}}{10} \quad (\text{MPa}) \text{ nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

essendo:

$E_{25}'$  = modulo di Young secante a cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;

$D_r$  = densità relativa espressa come frazione dell'unità;

$N_{SPT}$  = numero di colpi in prova SPT.

### Valutazione della resistenza al taglio non drenata dalle prove SPT nei terreni a grana fine

In questa categoria di terreni sono comprese le sabbie limose fini, i limi e le argille. Occorre evidenziare che in questi tipi di terreni le correlazioni devono essere considerate solo indicative e di fatto è possibile ricavare dalle prove SPT, la sola resistenza al taglio non drenata,  $c_u$ , di materiali saturi sotto falda, associabile a quella di prove triassiali di compressione e carico, consolidate alle tensioni efficaci geostatiche, adottando la correlazione empirica proposta da Stroud (1974). In base a tale correlazione risulta quanto segue:

$$c_u = (5.0 \div 5.5) N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$



<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p>  </p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>33 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	33 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	33 di 74								

## 5. SCHEMATIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

### 5.1 Definizione delle stratigrafie di riferimento

I due nuovi sondaggi effettuati per la campagna geotecnica 2020, denominati S1 ed S3, e anche altri sondaggi relativi a precedenti indagini condotte nelle medesime aree del presente Progetto Definitivo, presentano una successione stratigrafica caratterizzata dalla presenza prevalentemente di sabbie limose e sabbie con limo con intercalazioni di livelli di terreni a grana fine costituiti prevalentemente da limo argilloso e argille limose. Tali alternanze sono ben evidenziate dalle 5 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) distribuite lungo il tracciato della nuova tramvia i cui valori della resistenza alla punta e della pressione interstiziale misurata dietro il cono sono riportati nelle seguenti Figure.

Con riferimento a tali Figure occorre tenere presente quanto segue:

- i terreni incoerenti presentano valori della resistenza alla punta,  $q_c$ , elevati, indicativamente compresi fra 2 e 30 MPa e risultano marcatamente variabili. Inoltre a parità di composizione granulometrica, nelle sabbie si osserva un aumento della  $q_c$  al crescere della densità del materiale o delle tensioni di confinamento;
- i terreni a grana fine presentano resistenze  $q_c$  ridotte, indicativamente comprese fra 0.5 e 2 MPa con andamento più uniforme.

Tuttavia, quando si attraversano formazioni di piccolo spessore di terreni diversi, come nel nostro caso, la resistenza alla punta deve essere interpretata con cura. Essa è influenzata non solo dal materiale che la punta sta attraversando, ma anche dal materiale dentro e davanti alla punta stessa. Di conseguenza, la transizione da uno strato ad un altro non viene necessariamente registrata con un netto cambiamento.

La misura della pressione interstiziale invece non dipende da tali fattori ed è quindi un parametro molto più sensibile nella definizione del profilo stratigrafico. Anche in questo caso una rapida occhiata al profilo di  $u$  in funzione della profondità fornisce importanti indicazioni:

- nelle sabbie, dove la penetrazione avviene in condizioni praticamente drenate, si hanno valori di  $u$  corrispondenti alle condizioni di equilibrio iniziale della falda;
- nelle argille la penetrazione avviene in condizioni non drenate e pertanto si ha un notevole aumento (o diminuzione nel caso di argille fortemente sovraconsolidate) della pressione neutrale.

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA          NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  INFRASTRUTTURE E SERVIZI	MANDANTE  SWISS				
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	COMMESSA NP01	LOTTO 00 D Z3	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 001	REV. A	FOGLIO 34 di 74

In conclusione, il piezocono si è rivelato uno strumento particolarmente indicato nella definizione del profilo stratigrafico, attraverso la misura delle pressioni interstiziali in quanto in grado di rilevare la presenza di strati anche molto sottili.

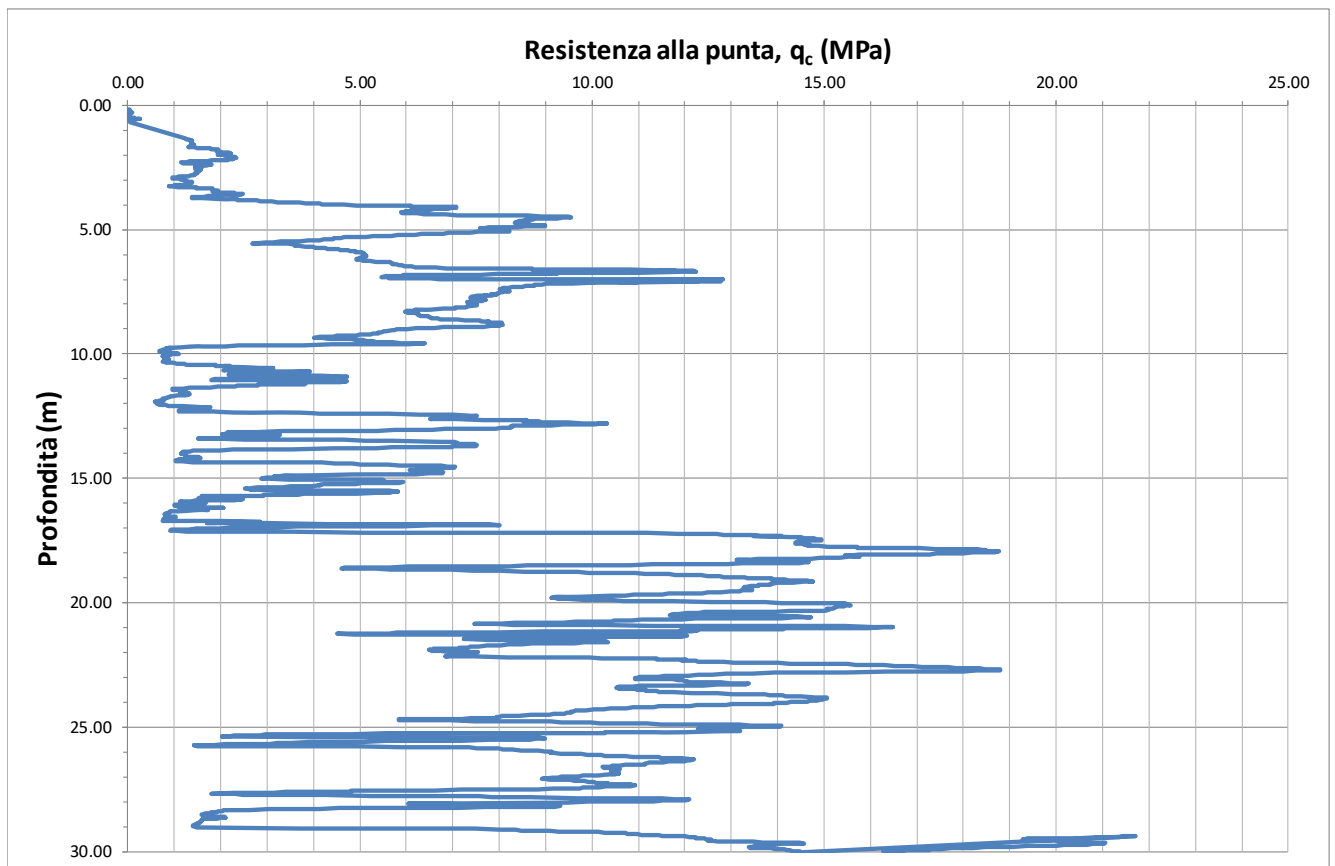


Figura 9. Prova CPTU – P1, resistenza alla punta  $q_c$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 35 di 74</p>

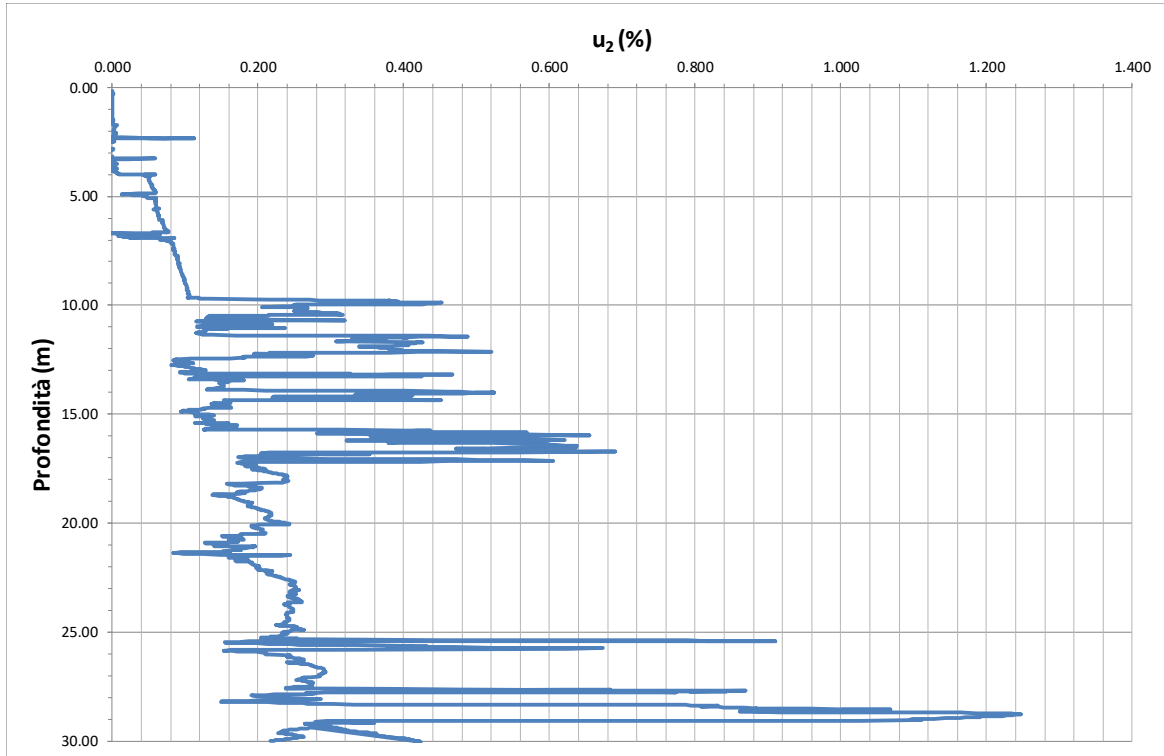


Figura 10. Prova CPTU – P1, pressione interstiziale  $u_2$ .

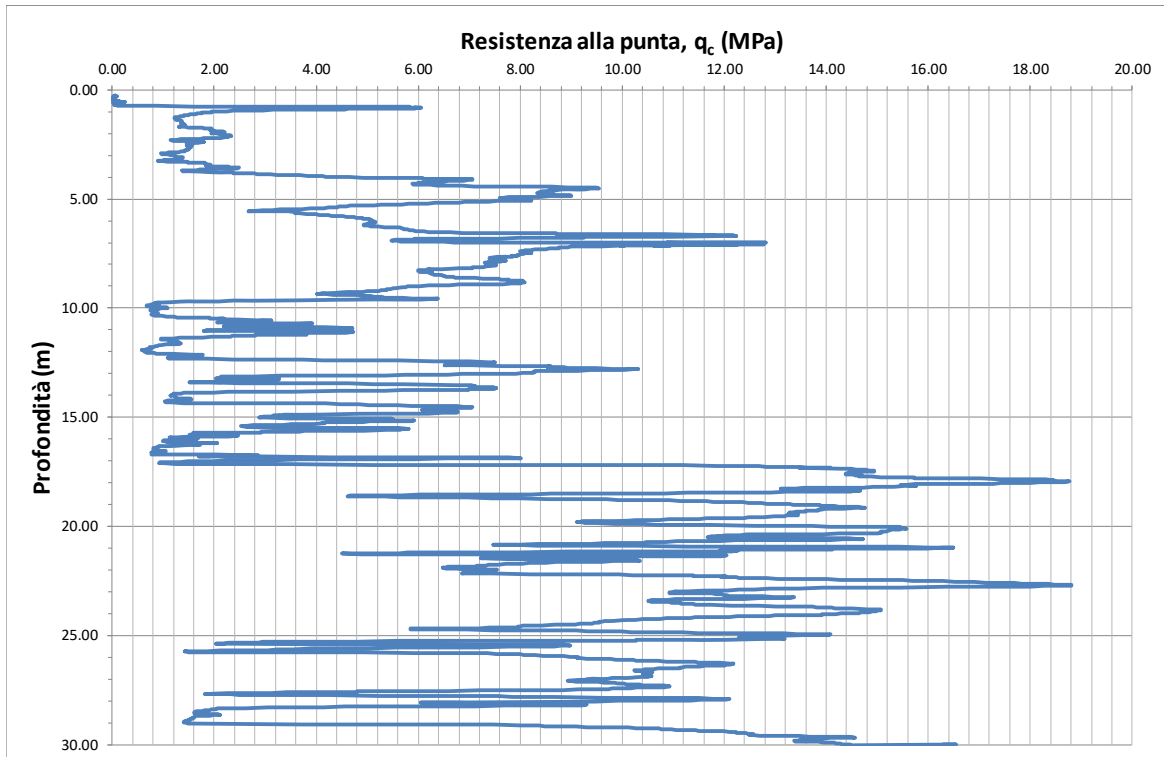


Figura 11. Prova CPTU – P2, resistenza alla punta  $q_c$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 36 di 74</p>

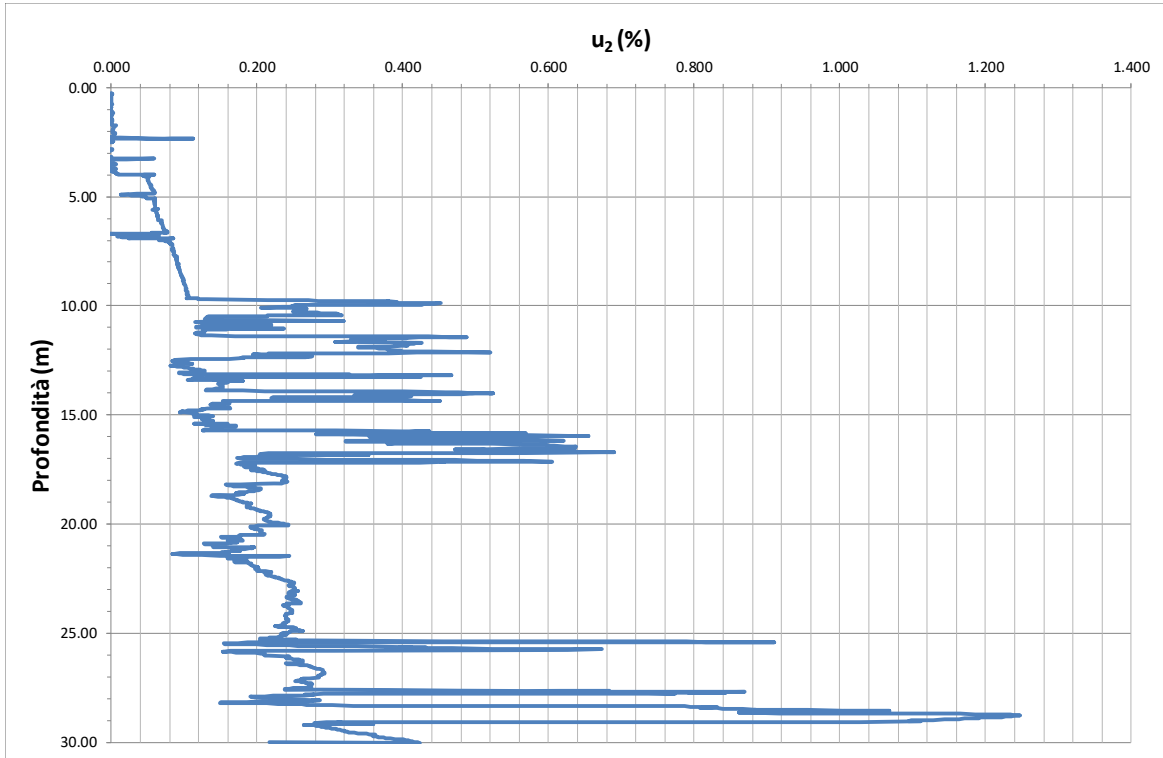


Figura 12. Prova CPTU – P2, pressione interstiziale  $u_2$ .

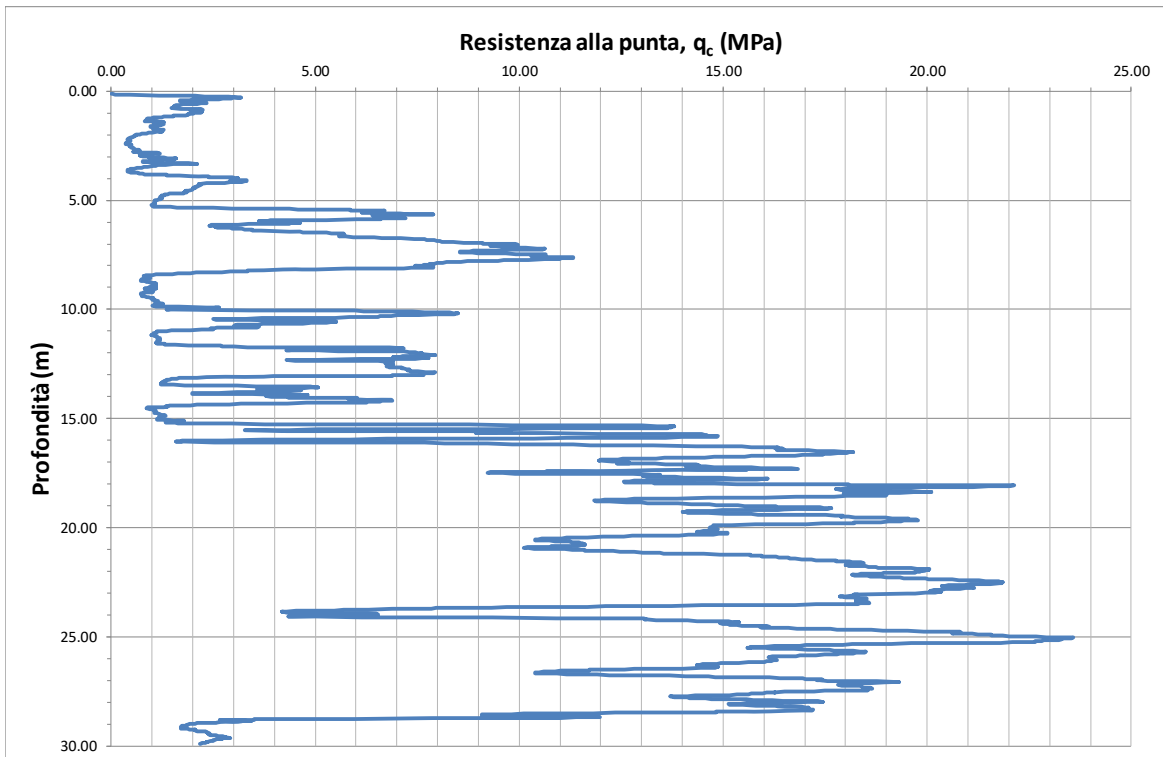


Figura 13. Prova CPTU – P3, resistenza alla punta  $q_c$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 37 di 74</p>

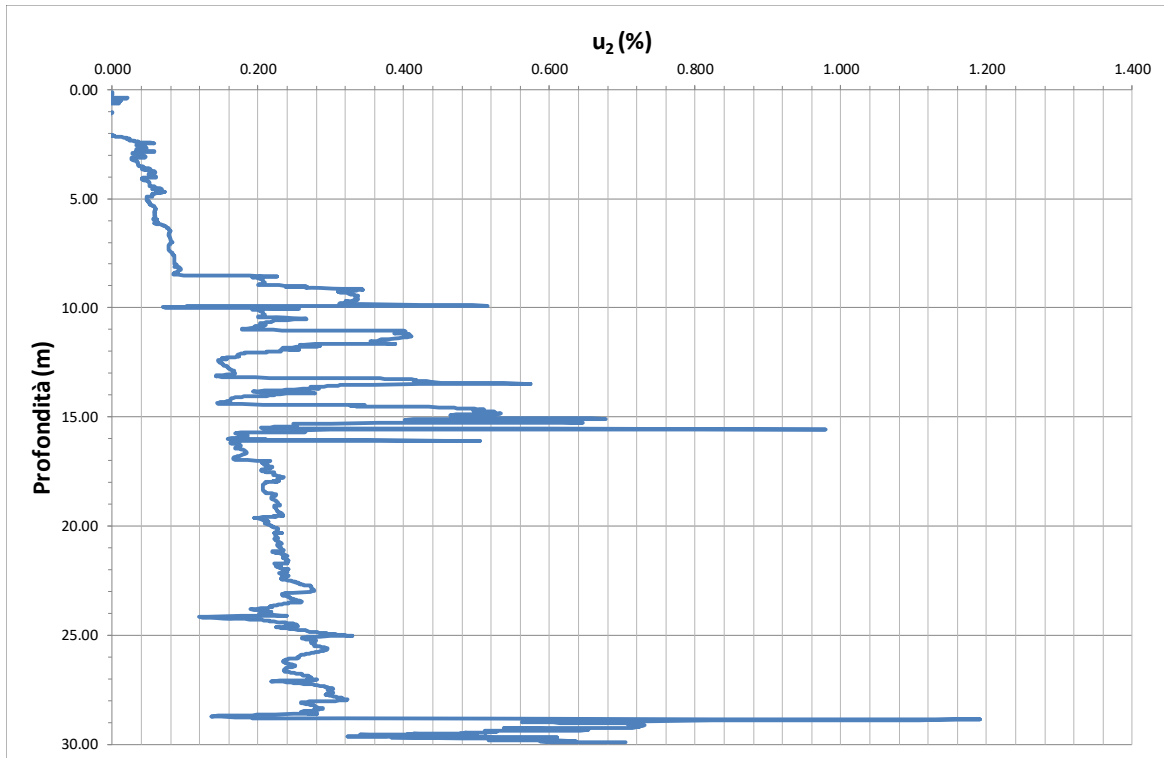


Figura 14. Prova CPTU – P3, pressione interstiziale  $u_2$ .

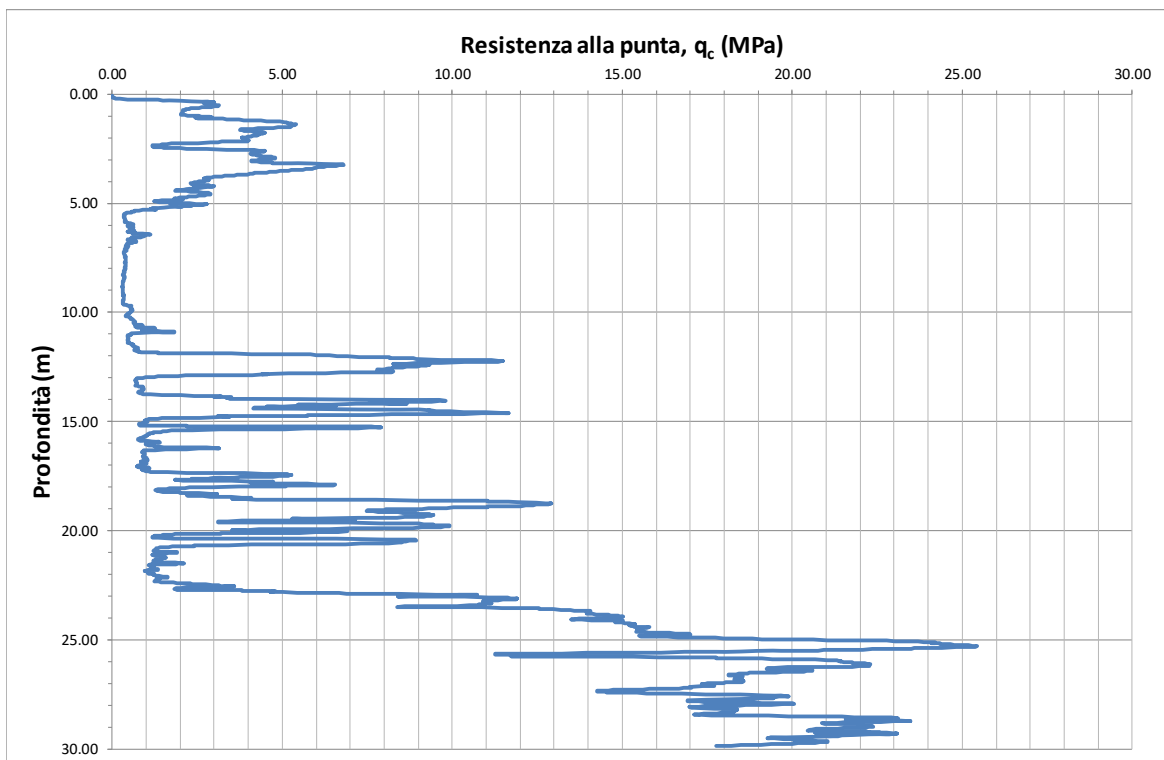


Figura 15. Prova CPTU – P4, resistenza alla punta  $q_c$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 38 di 74</p>

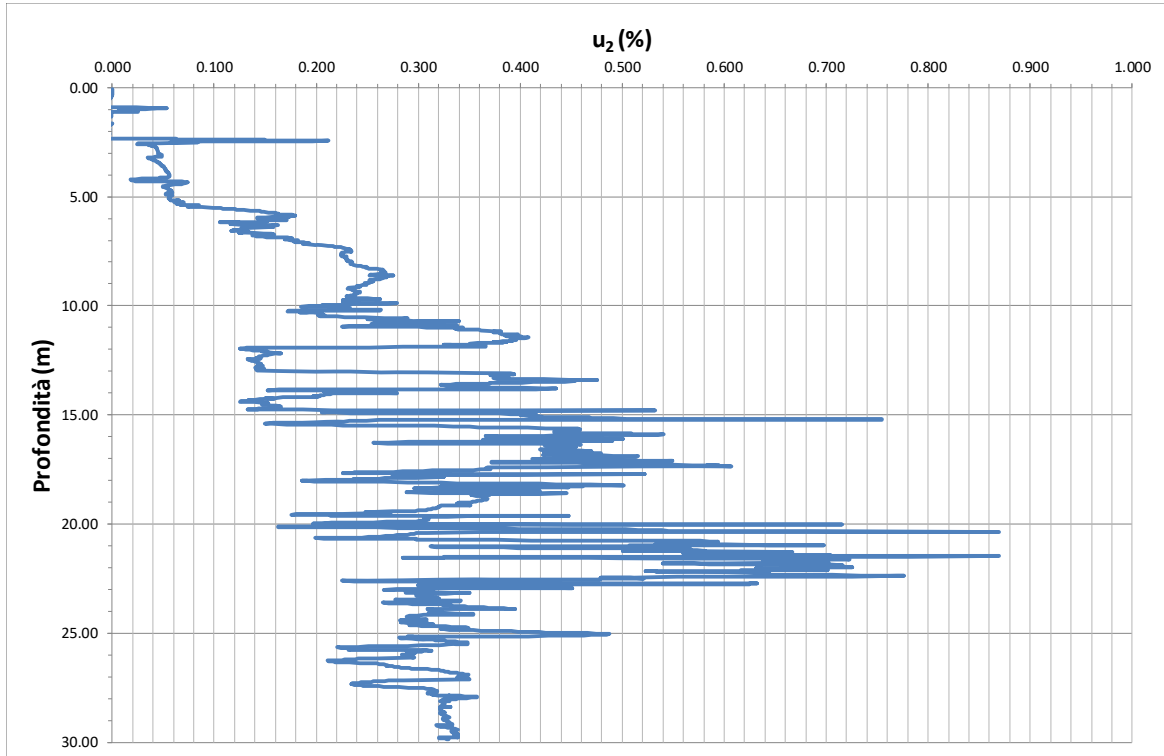


Figura 16. Prova CPTU – P4, pressione interstiziale  $u_2$ .

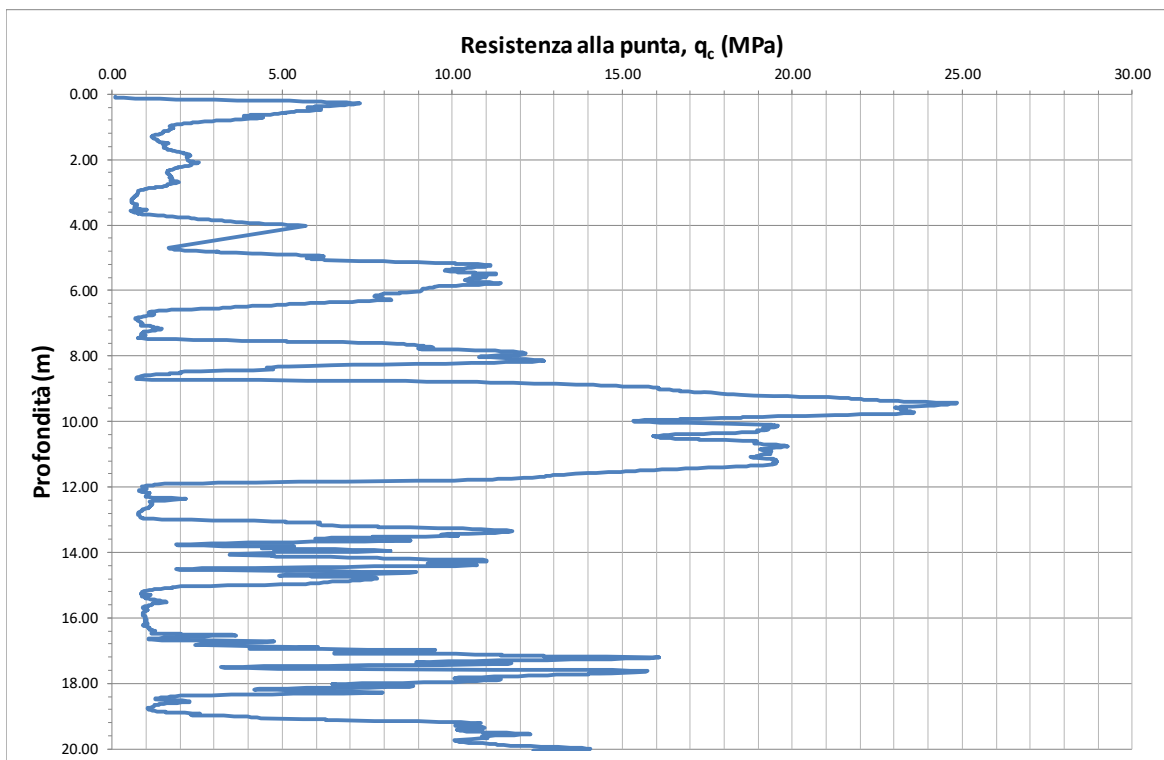


Figura 17. Prova CPTU – P5, resistenza alla punta  $q_c$ .

<p>MANDATARIA</p> 			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p> 	<p>MANDANTE</p> 	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>39 di 74</p>

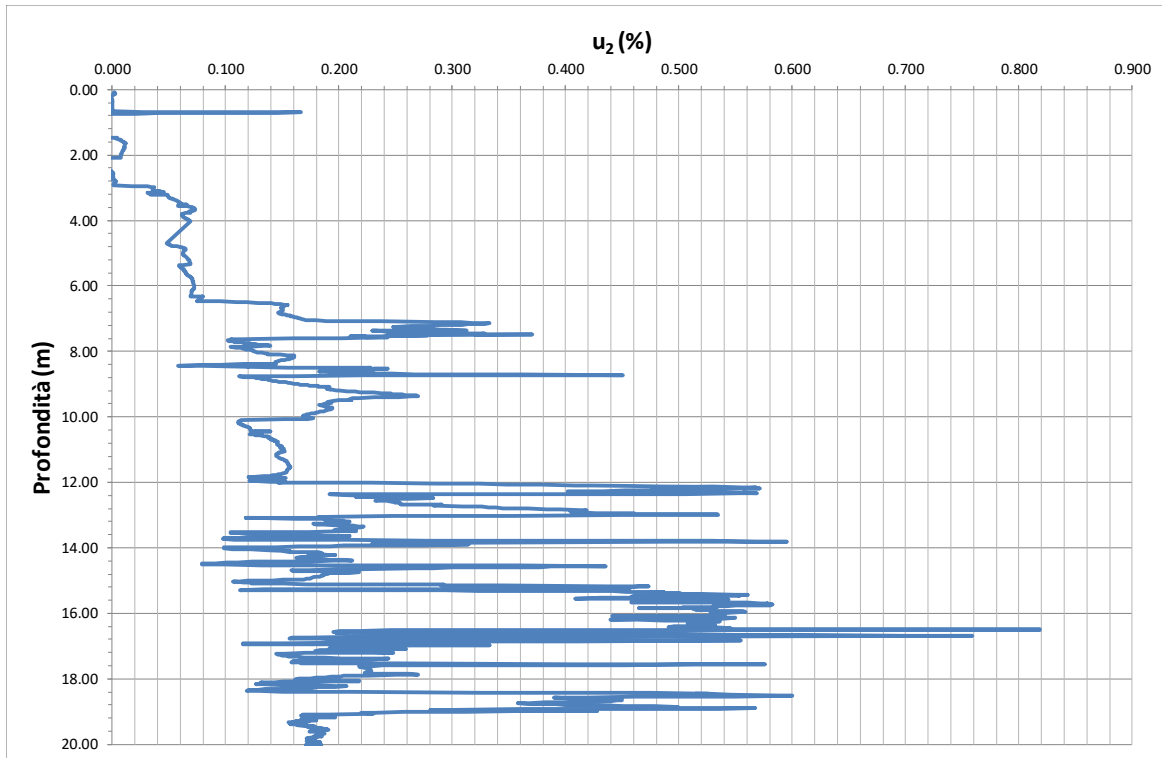


Figura 18. Prova CPTU – P5, pressione interstiziale  $u_2$ .

Dall'esame di tutte le prove geotecniche si possono considerare come stratigrafie di progetto particolarmente rappresentative dell'intero sviluppo del tracciato dell'opera in oggetto, quelle in corrispondenza dei sondaggi S1 ed S3 tenendo anche conto che in corrispondenza del sondaggio S3 si è situata uno dei più importanti nuovi manufatti ovvero sia il ponte che attraversa il canale scaricatore. Nelle seguenti Figure sono riportate tali stratigrafie di progetto.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>						
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>40 di 74</p>

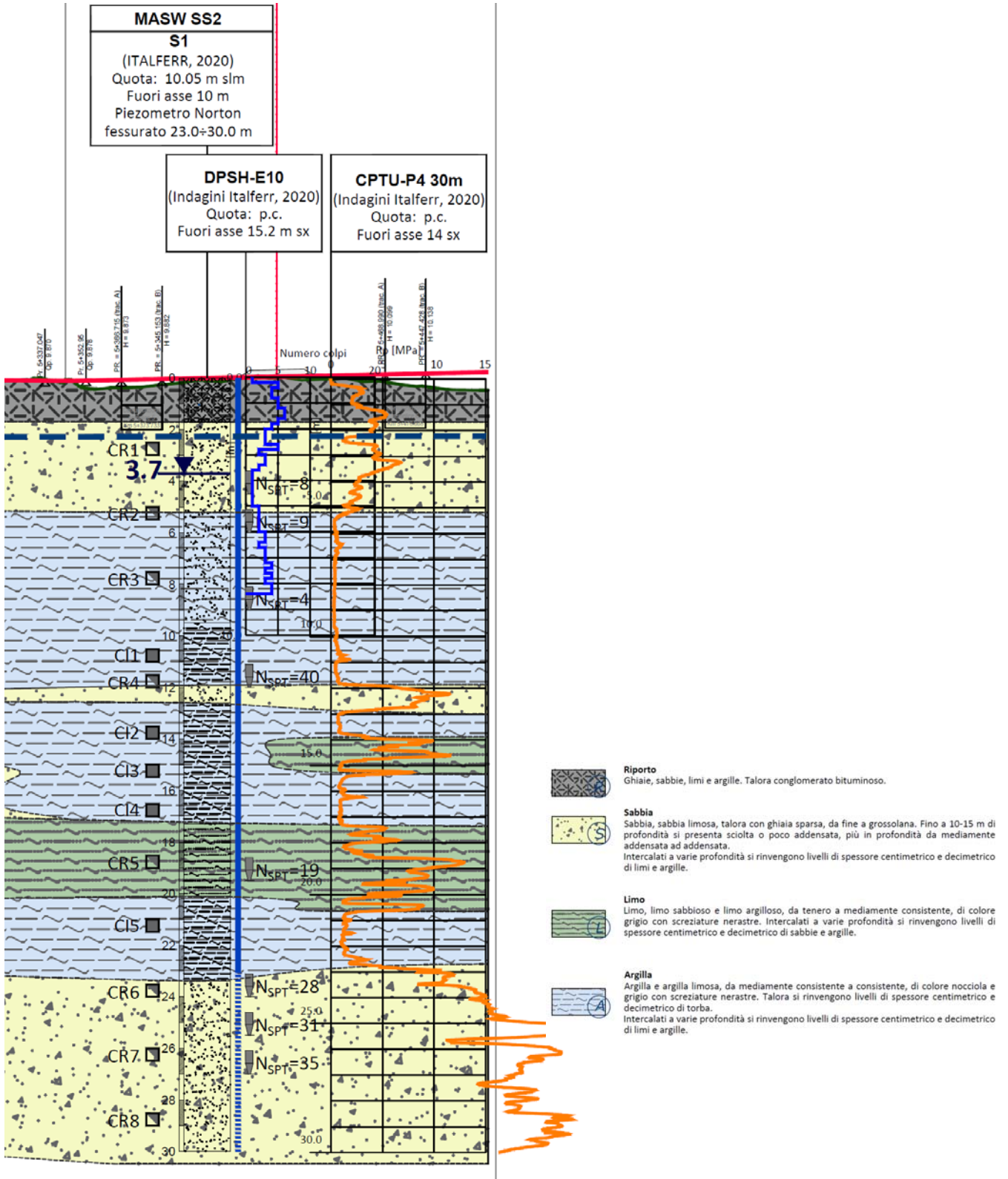



Figura 19. Stratigrafia di progetto in corrispondenza del sondaggio S1.



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>						
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>41 di 74</p>

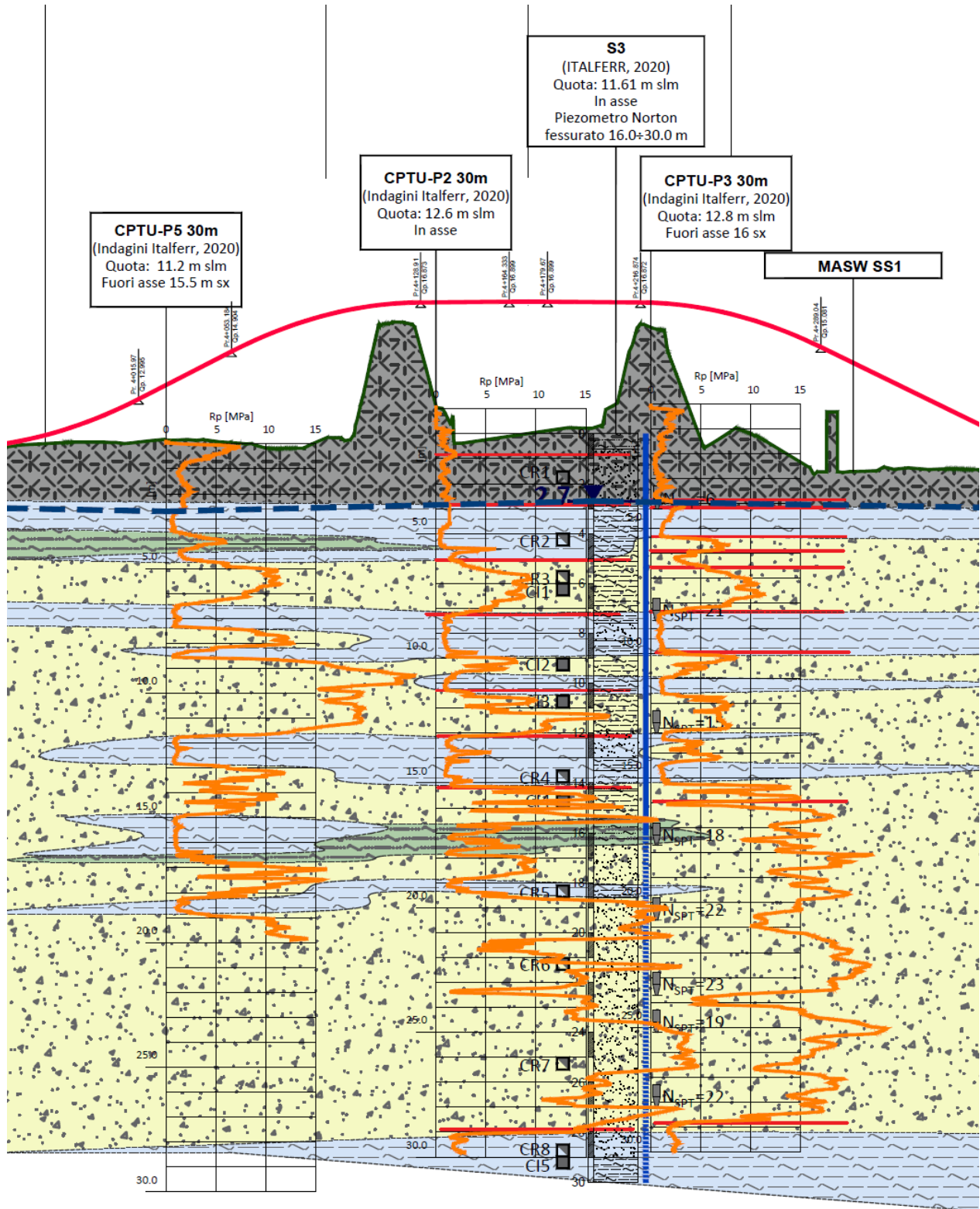


Figura 20. Stratigrafia di progetto in corrispondenza del sondaggio S3.

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE  MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI MANDANTE  ERRECI INGEGNERIA DI ARCHITETTURA MANDANTE  PINI SWISS	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA          NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3          PROGETTO DEFINITIVO</b>
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO NP01        00 D Z3        GE            GE0006 001    A        42 di 74

## 5.2 Andamento della falda

In riferimento ai dati puntuali lungo il profilo, ed in accordo con quanto indicato nella Carta Idrogeologica del PAT (Piano di Assetto del Territorio) del Comune di Padova del marzo 2014, la falda freatica si colloca generalmente a profondità comprese tra 2 e 3 m dal piano campagna.

I dati piezometrici disponibili, acquistati durante la campagna geognostica Italferr del maggio 2020, sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 7. Livelli piezometrici misurati durante la campagna geognostica Italferr 2020

<b>PROVA</b>	<b>QUOTA INDICATIVA</b>	<b>PROFONDITA' FALDA m da p.c.</b>	<b>QUOTA ISOFREATICA m s.l.m.</b>
S1	10.00	3.70	6,30
S3	12.8	2.70	10,10
P1	12.2	2.60	9,60
P2	12.6	2.20	10,40
P3	12.8	1.90	10,90
P4	10.1	2.20	7,90
P5	11.2	2.80	8,40
DPSH-E1	11.6	2.27	9,33
DPSH-E2	13.4	2.60	10,80
DPSH-E3	13.10	4.02	9,08
DPSH-E4	13.0	2.35	10,65
DPSH-E5	10.8	2.55	8,25
DPSH-E6	10.2	1.48	8,72
DPSH-E7	10.9	2.04	8,86
DPSH-E8	10.8	2.23	8,57
DPSH-E9	10.1	2.35	7,75
DPSH-E10	10.2	2.20	8,00

L'andamento delle isopieze (m s.l.m.) riportate nella cartografia idrogeologica allegata è stato elaborato in riferimento alla Carta Idrogeologica – PAT Comune di Padova. Le oscillazioni medie della falda sono stimabili in  $\pm 1$  m nel corso delle variazioni annuali (Piano Di Assetto Del Territorio Comune Di Padova).

			<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>			COMMESSA NP01	LOTTO 00 D Z3	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 001	REV. A	FOGLIO 43 di 74

### 5.3 Parametrizzazione per livelli dal sito e dal laboratorio

#### 5.3.1 Identificazione e classificazione dei terreni

Nei sondaggi S1 ed S3 sono stati prelevati dei campioni sui quali sono state effettuate delle analisi granulometriche, delle determinazioni del peso unitario di volume naturale. Inoltre, la definizione dello stato di consistenza delle porzioni fini (< 0.44 mm), presenti nei materiali in esame, è stata ottenuta analizzando le percentuali di acqua corrispondenti ai limiti di liquidità e di plasticità in relazione al contenuto d'acqua naturale presente nei vari campioni recuperati. Nelle seguenti due Tabelle, rispettivamente, per il sondaggio S1 ed S3 sono riportati i risultati di tali prove di laboratorio.

Tabella 8. Sondaggio S1, risultati prove di laboratorio per l'identificazione e classificazione dei terreni.

#### SONDAGGIO S01

Campione	Profondità	w <sub>n</sub> (%)	γ (Mg/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub>	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla
CR1	2.75							0.0	82.2	17.8	0.0
CR2	5.25							0.0	75.4	24.6	0.0
CR3	7.75							0.0	74.7	25.3	0.0
CI1	10.75	31.5	2.0	2.7	35.0	22.6	12.4	0.0	0.3	79.7	20.0
CR4	11.75							0.0	45.0	55.0	0.0
CI2	13.75	19.2	2.1	2.7	21.7	17.4	4.3	0.0	6.8	93.2	0.0
CI3	15.25	24.6	2.1	2.7	32.7	19.4	13.3	0.0	0.5	79.5	20.0
CI4	16.75	25.0	2.1	2.7	25.4	22.3	3.1	0.0	8.2	91.8	0.0
CR5	18.75							0.0	12.2	87.8	0.0
CI5	21.25	33.9	1.9	2.8	41.5	24.7	16.8	0.0	0.3	79.7	20.0
CR6	23.75							0.0	12.5	87.5	0.0
CR7	26.25							0.0	50.0	41.0	0.0
CR8	28.75							0.0	50.6	49.4	0.0

Tabella 9. Sondaggio S3, risultati prove di laboratorio per l'identificazione e classificazione dei terreni.

#### SONDAGGIO S03

Campione	Profondità	w <sub>n</sub> (%)	γ (Mg/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub>	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla
CR1	1.75				31.9	25.2	6.7	2.6	18.3	79.1	0.0
CR2	4.25							0.3	5.4	94.3	0.0
CR3	5.75							0.0	6.5	93.5	0.0
CI1	6.25	23.4	2.1	2.7	41.5	20.0	21.5	0.5	5.8	73.7	20.0
CI2	9.25	22.6	2.1	2.7	33.7	18.0	15.7	0.0	0.5	81.5	18.0
CI3	10.75	27.9	2.0	2.7	30.8	20.0	10.8	0.0	0.3	83.7	16.0
CR4	13.75							0.0	2.7	97.3	0.0
CI4	14.75	22.9	2.1	2.7	25.2	20.3	4.9	0.0	0.6	99.4	0.0
CR5	18.45				37.0	18.8	18.2	0.0	3.2	76.8	20.0
CR6	21.25							0.0	85.1	14.9	0.0
CR7	25.25							0.0	66.4	32.9	0.0
CR8	28.75							0.0	68.9	31.1	0.0
CI5	29.25	41.2	1.7	2.7	56.0	31.6	24.4	0.0	3.8	71.2	25.0

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>44 di 74</p>

Inoltre, su 4 campioni prelevati dal sondaggio S1 sono state effettuate, rispettivamente, 3 prove edometriche e 1 prova di taglio diretto.

### 5.3.2 Risultati delle prove penetrometriche statiche

Nelle seguenti Figure, sulla base delle correlazioni riportate nel precedente capitolo 4 sono riportate per le prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU i valori dell'angolo di resistenza al taglio per i livelli a comportamento drenato (sabbie e limi sabbiosi), i valori della coesione in condizioni non drenate per i livelli a comportamento non drenato (limi argillosi, argille e argille limose) e i valori del modulo edometrico per i terreni a grana grossa e fine.

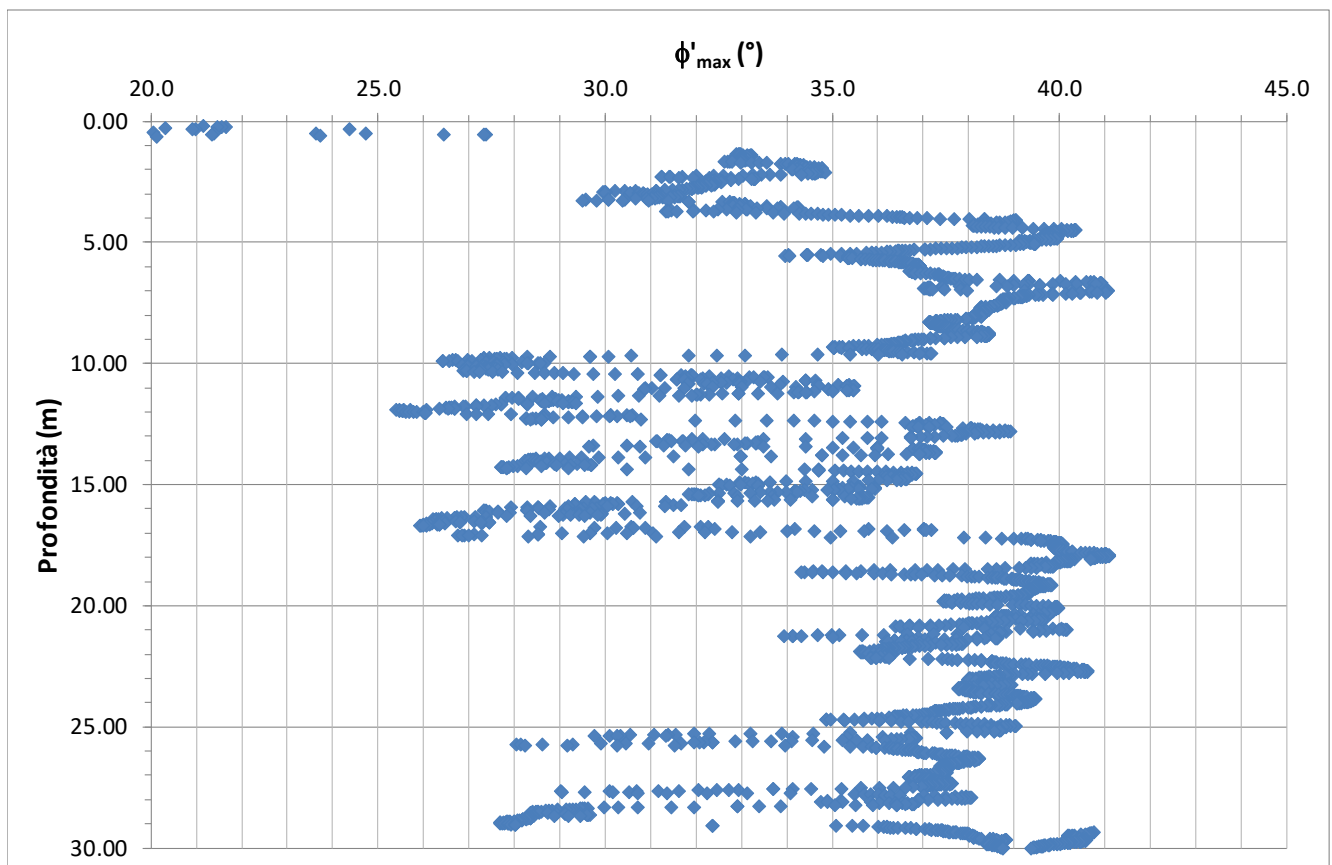


Figura 21. Prova CPTU-P1, valori dell'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 45 di 74</p>

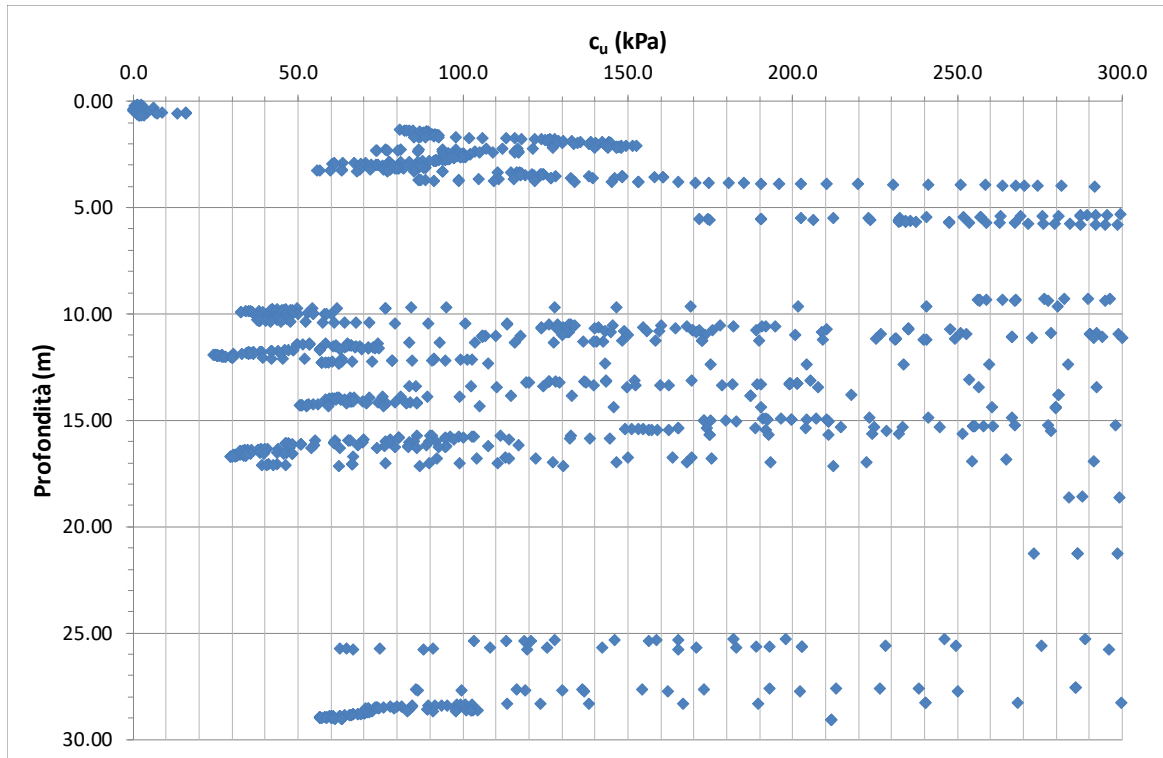


Figura 22. Prova CPTU-P1, valori della coesione non drenata,  $c_u$ .

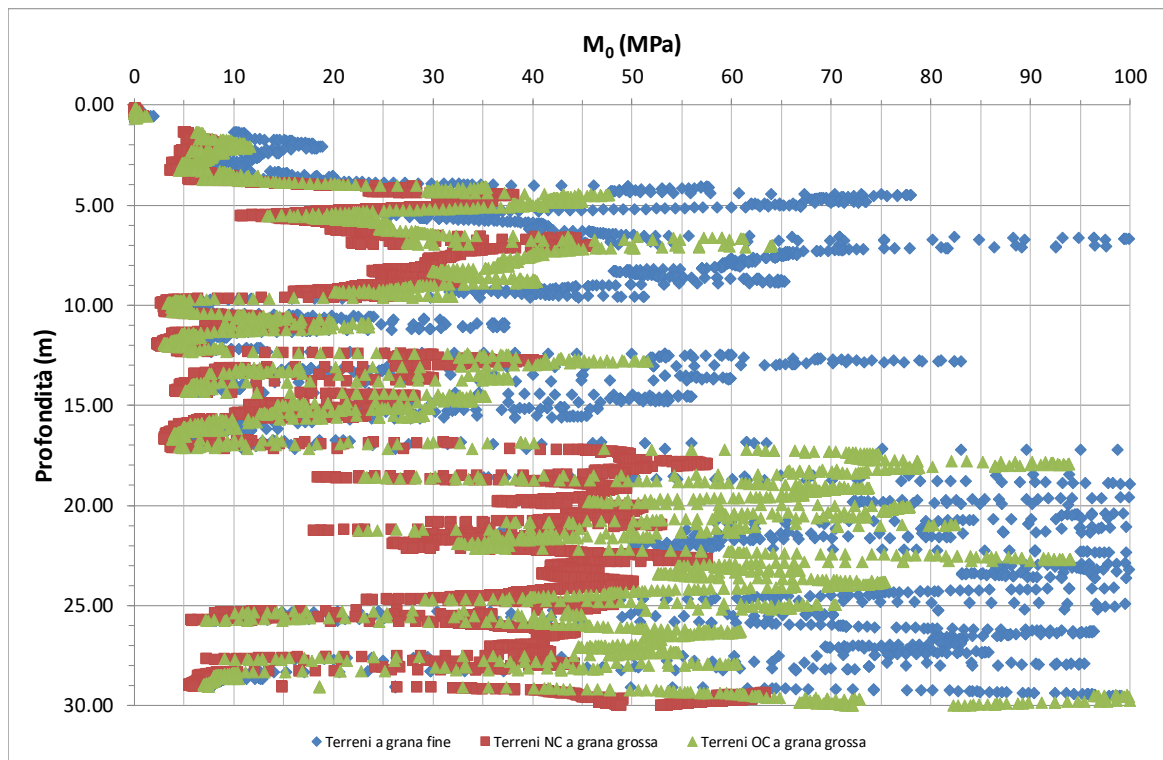


Figura 23. Prova CPTU-P1, valori del modulo edometrico,  $M_o$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 46 di 74</p>

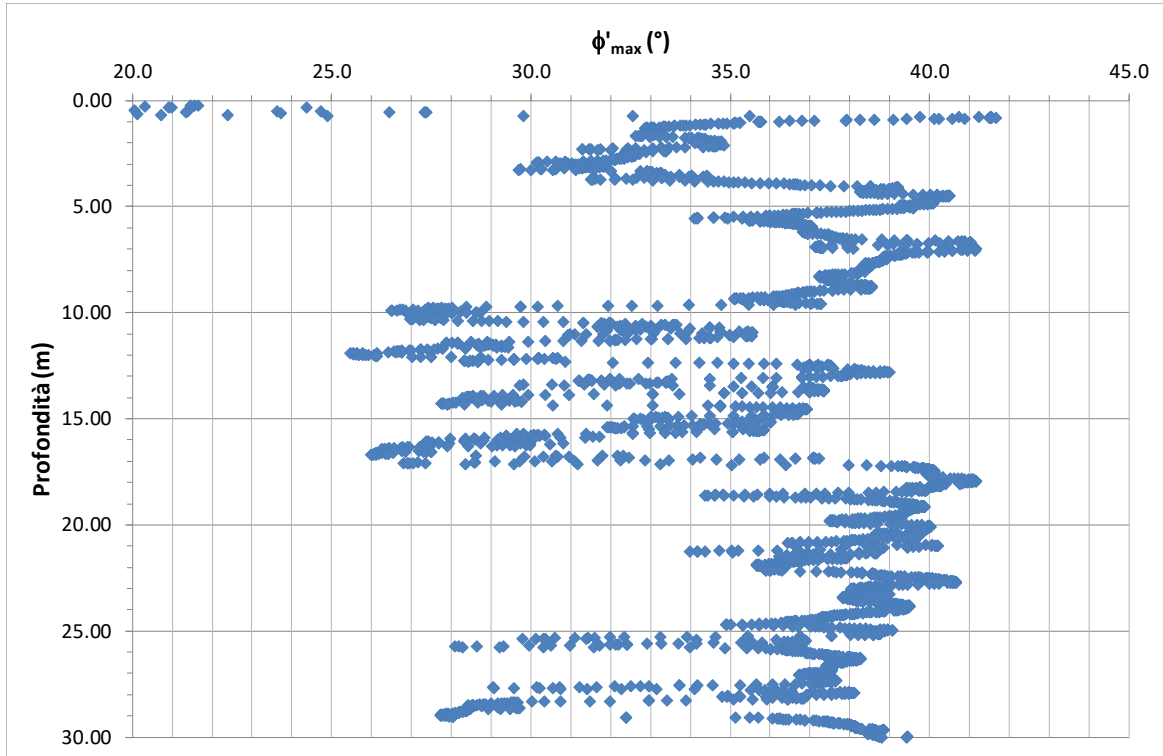


Figura 24. Prova CPTU-P2, valori dell'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'$ .

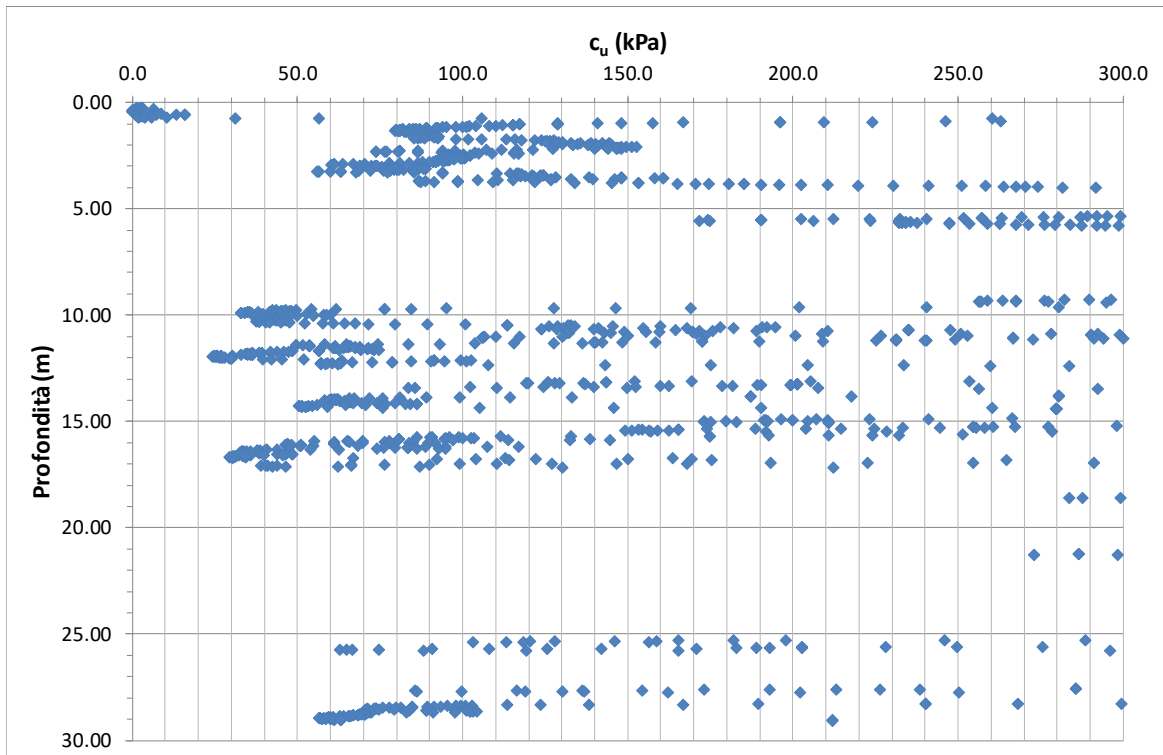



Figura 25. Prova CPTU-P2, valori della coesione non drenata,  $c_u$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 47 di 74</p>

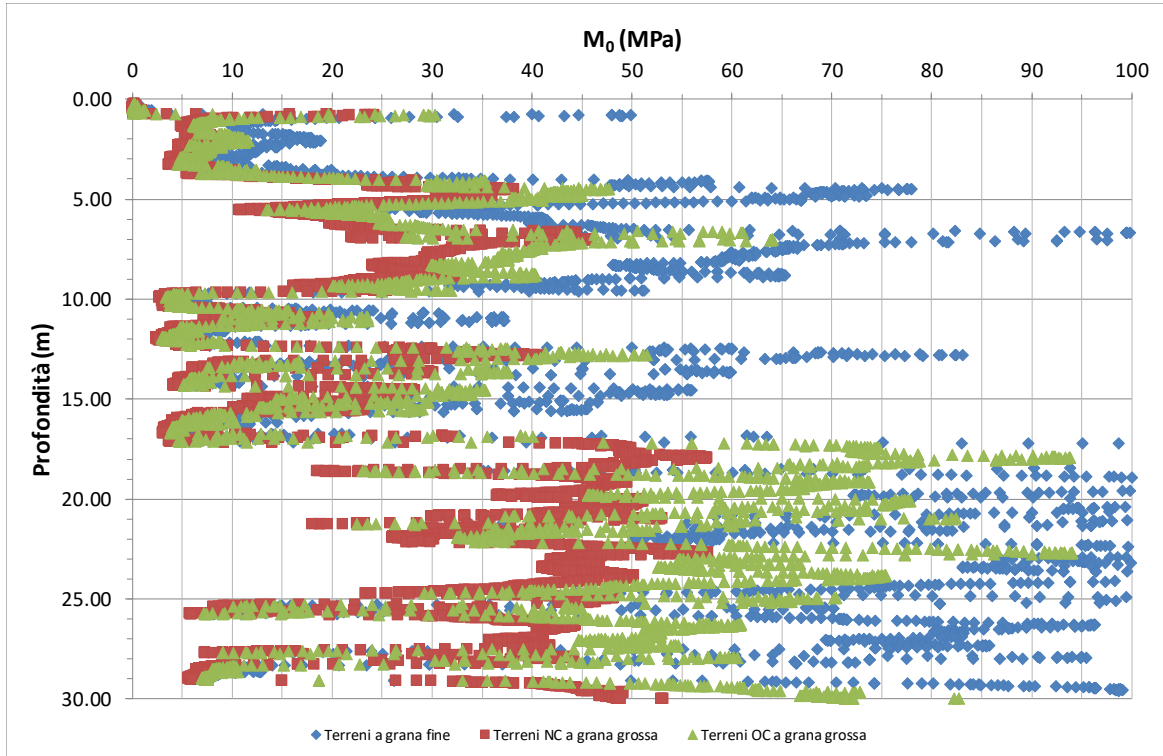


Figura 26. Prova CPTU-P2, valori del modulo edometrico,  $M_0$ .

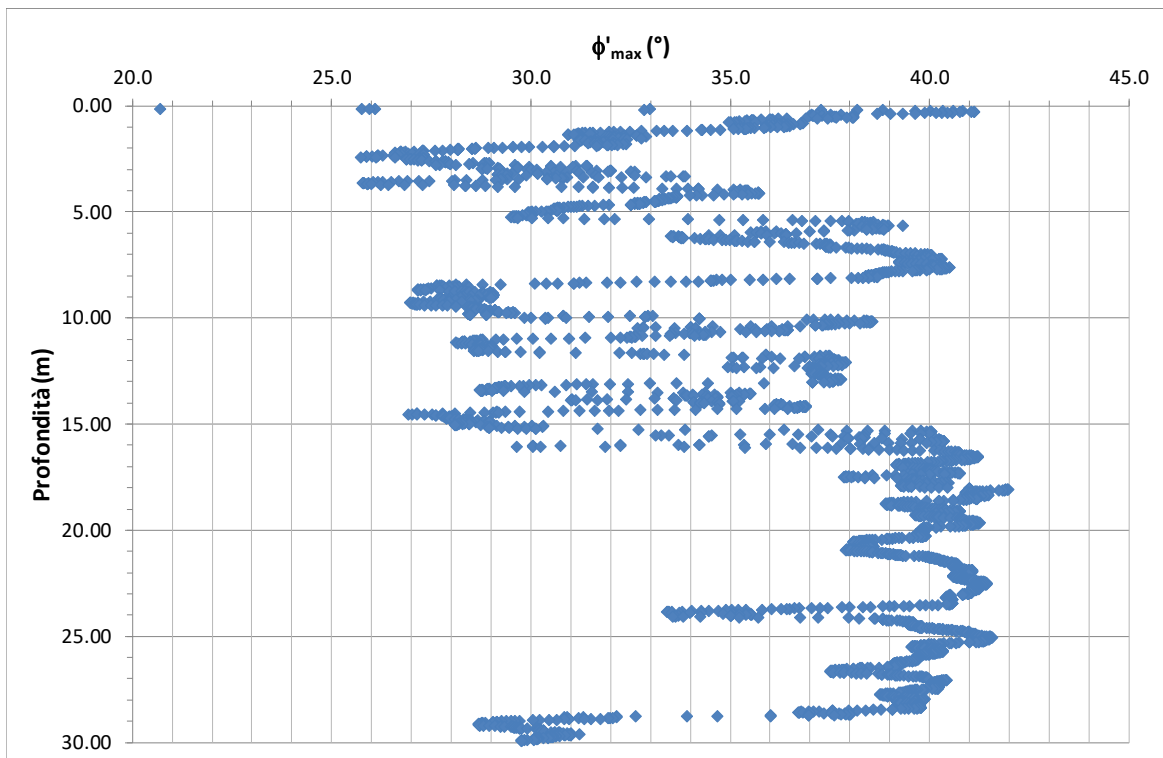


Figura 27. Prova CPTU-P3, valori dell'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>48 di 74</p>

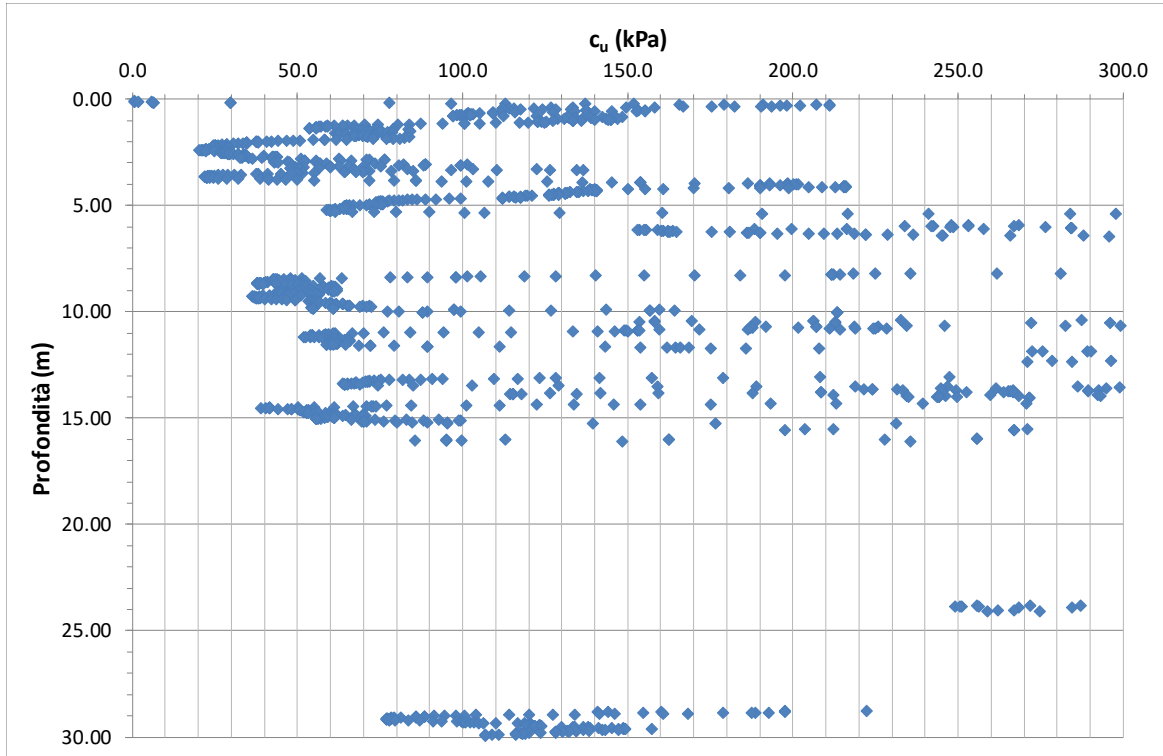


Figura 28. Prova CPTU-P3, valori della coesione non drenata,  $c_u$ .

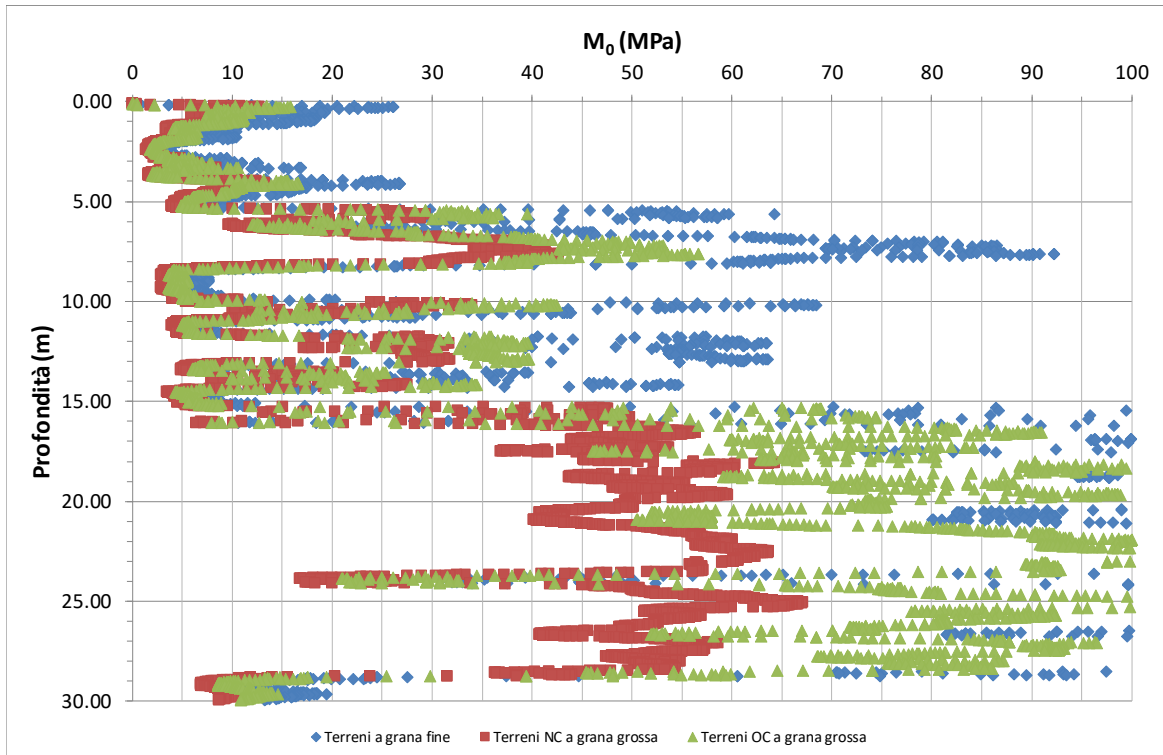


Figura 29. Prova CPTU-P3, valori del modulo edometrico,  $M_0$ .



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 49 di 74</p>

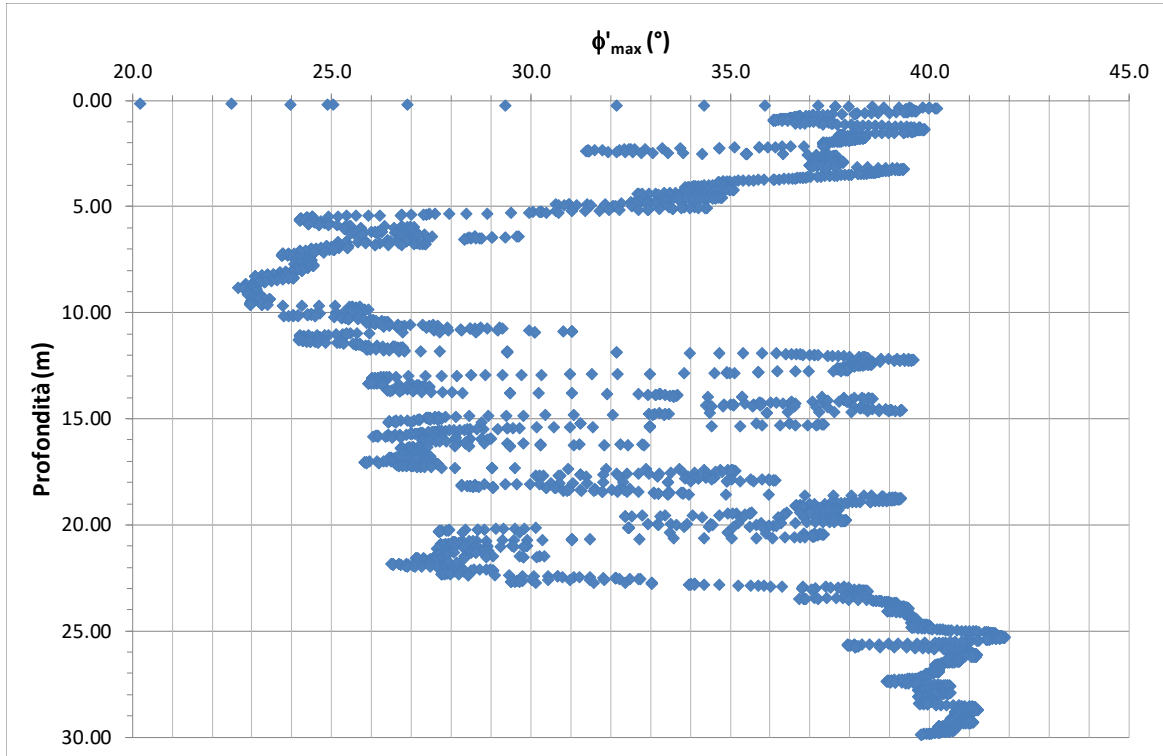


Figura 30. Prova CPTU-P4, valori dell'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'$ .

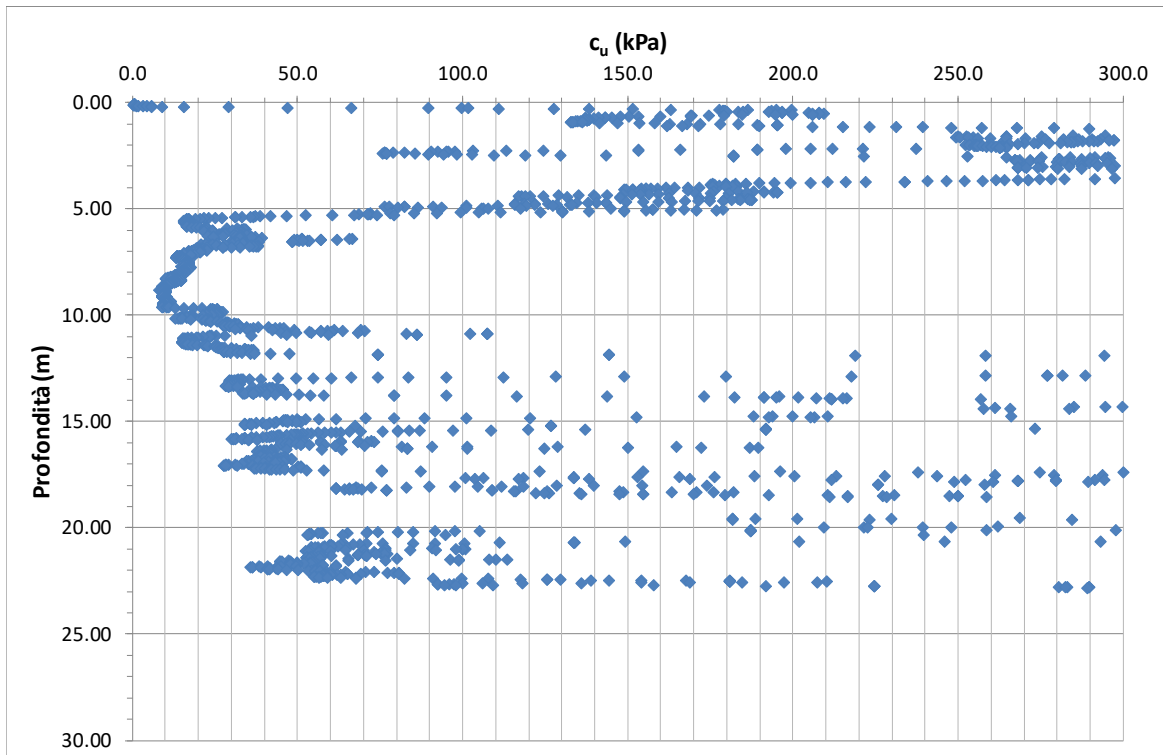


Figura 31. Prova CPTU-P4, valori della coesione non drenata,  $c_u$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>50 di 74</p>

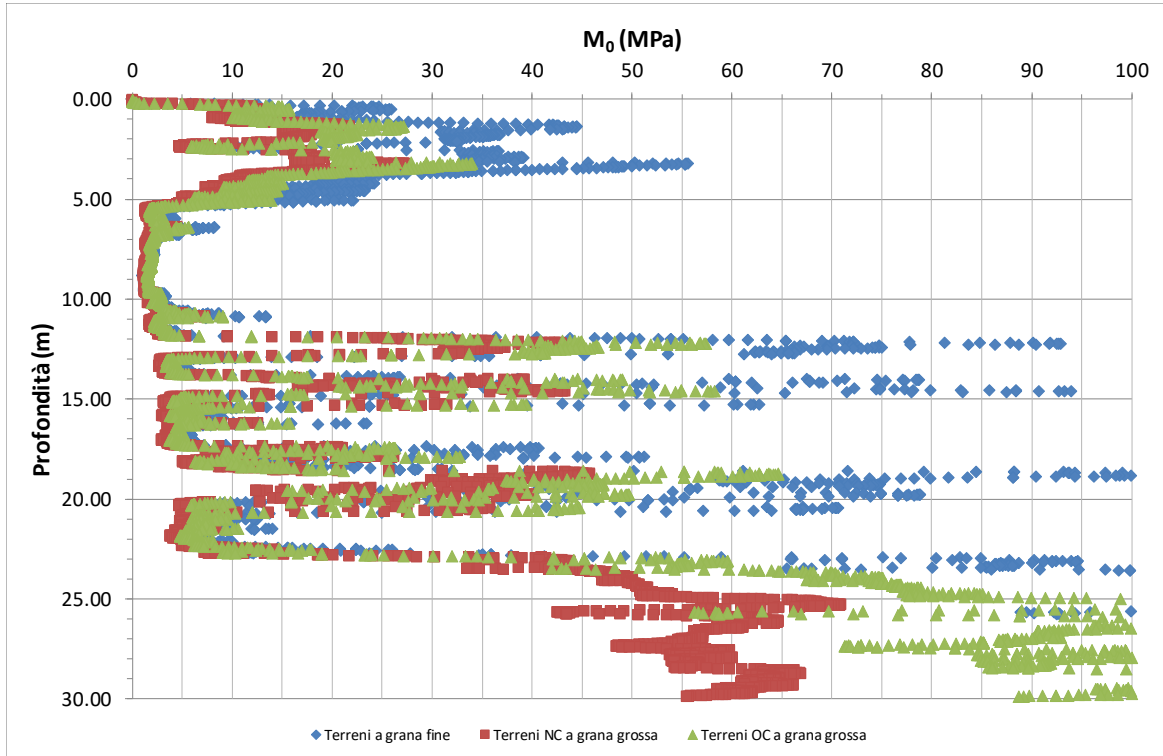


Figura 32. Prova CPTU-P4, valori del modulo edometrico,  $M_0$ .

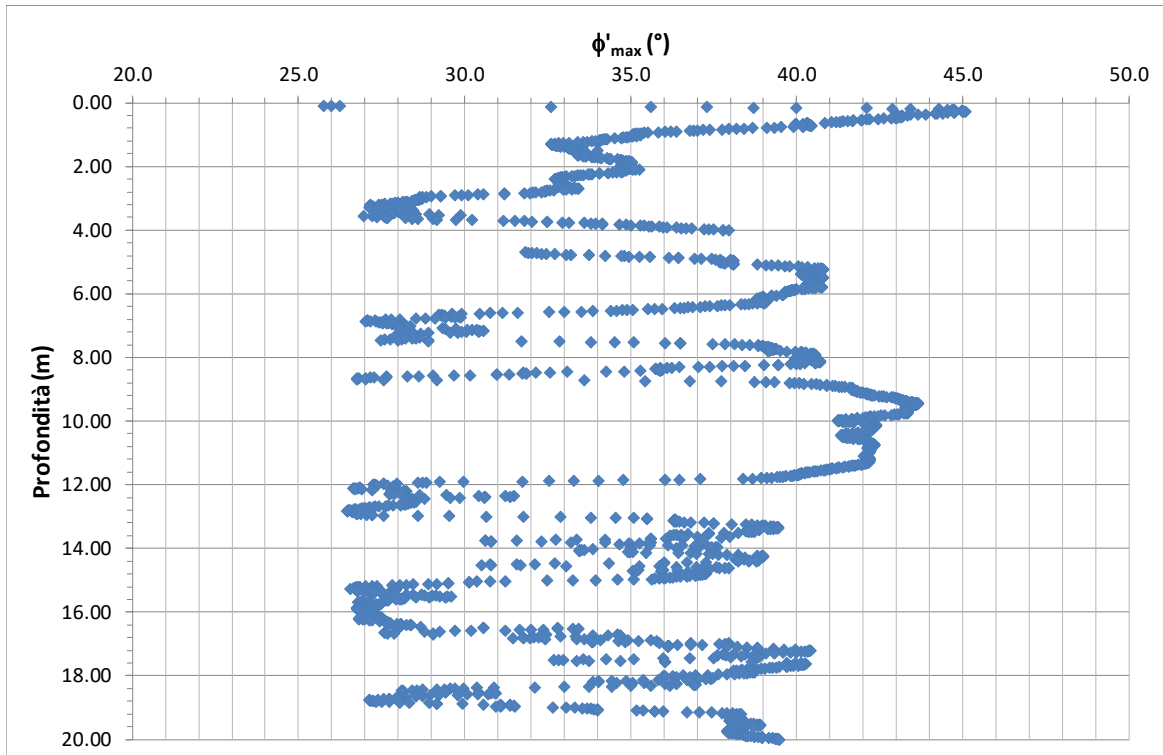


Figura 33. Prova CPTU-P5, valori dell'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'$ .

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 51 di 74</p>

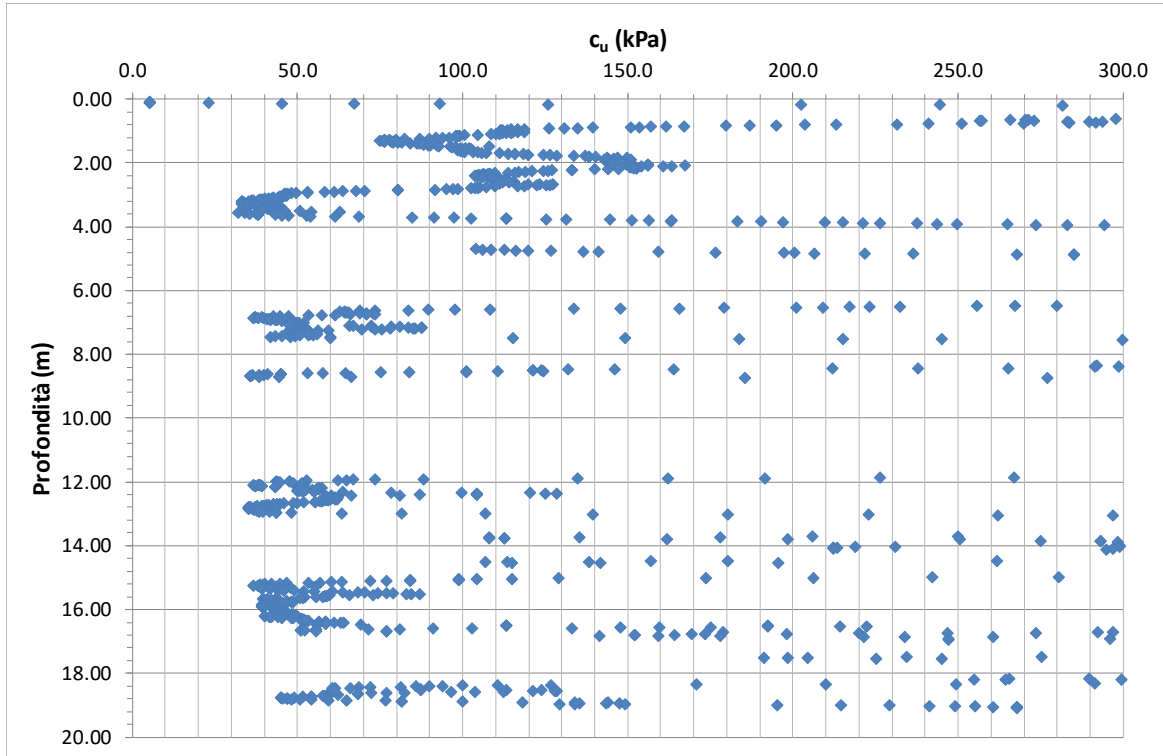


Figura 34. Prova CPTU-P5, valori della coesione non drenata,  $c_u$ .

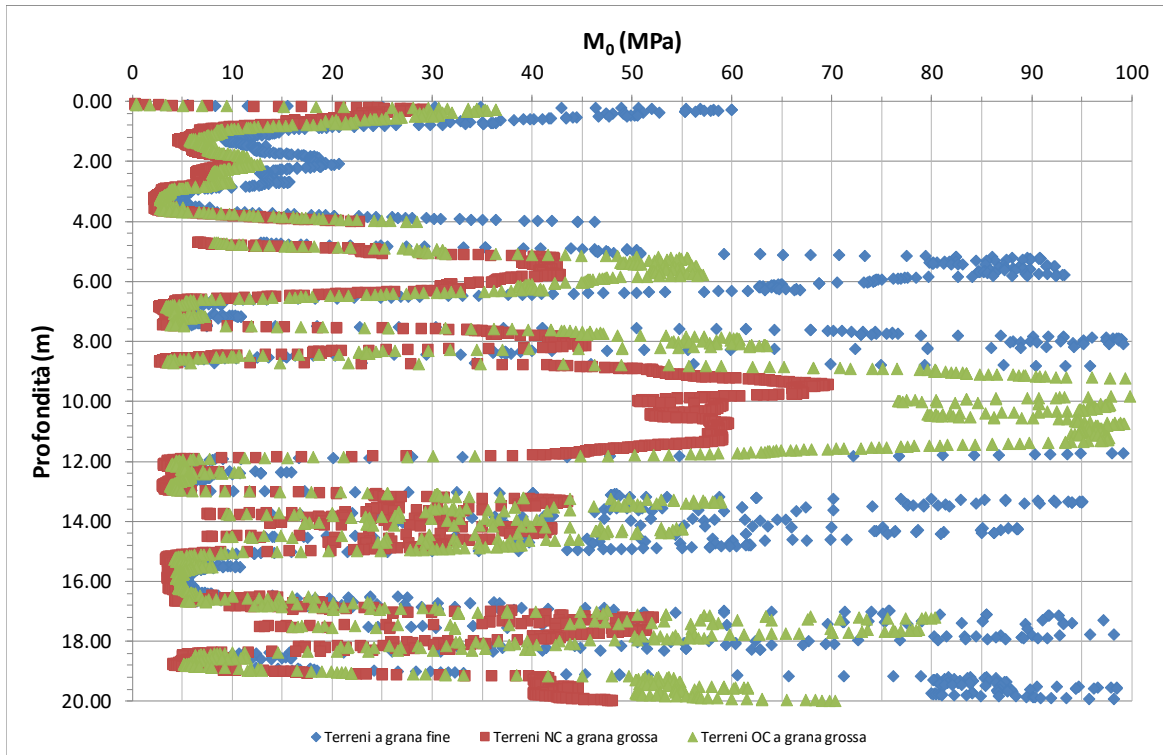


Figura 35. Prova CPTU-P5, valori del modulo edometrico,  $M_0$ .

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA          NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  INGEGNERIA DI PROGETTAZIONE	MANDANTE  SWISS				
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	COMMESSA NP01	LOTTO 00 D Z3	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 001	REV. A	FOGLIO 52 di 74

### 5.3.3 Risultati delle prove penetrometriche dinamiche

Nelle seguenti Figure, sulla base delle correlazioni riportate nel precedente capitolo 4, sono riportati sia per le prove penetrometriche dinamiche SPT, effettuate nei sondaggi S1 ed S3, sia per le prove penetrometriche dinamiche continue, DPSH, i valori dell'angolo di resistenza al taglio relativi ad un comportamento drenato, i valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate per i livelli a comportamento non drenato e i valori del modulo di deformabilità E.

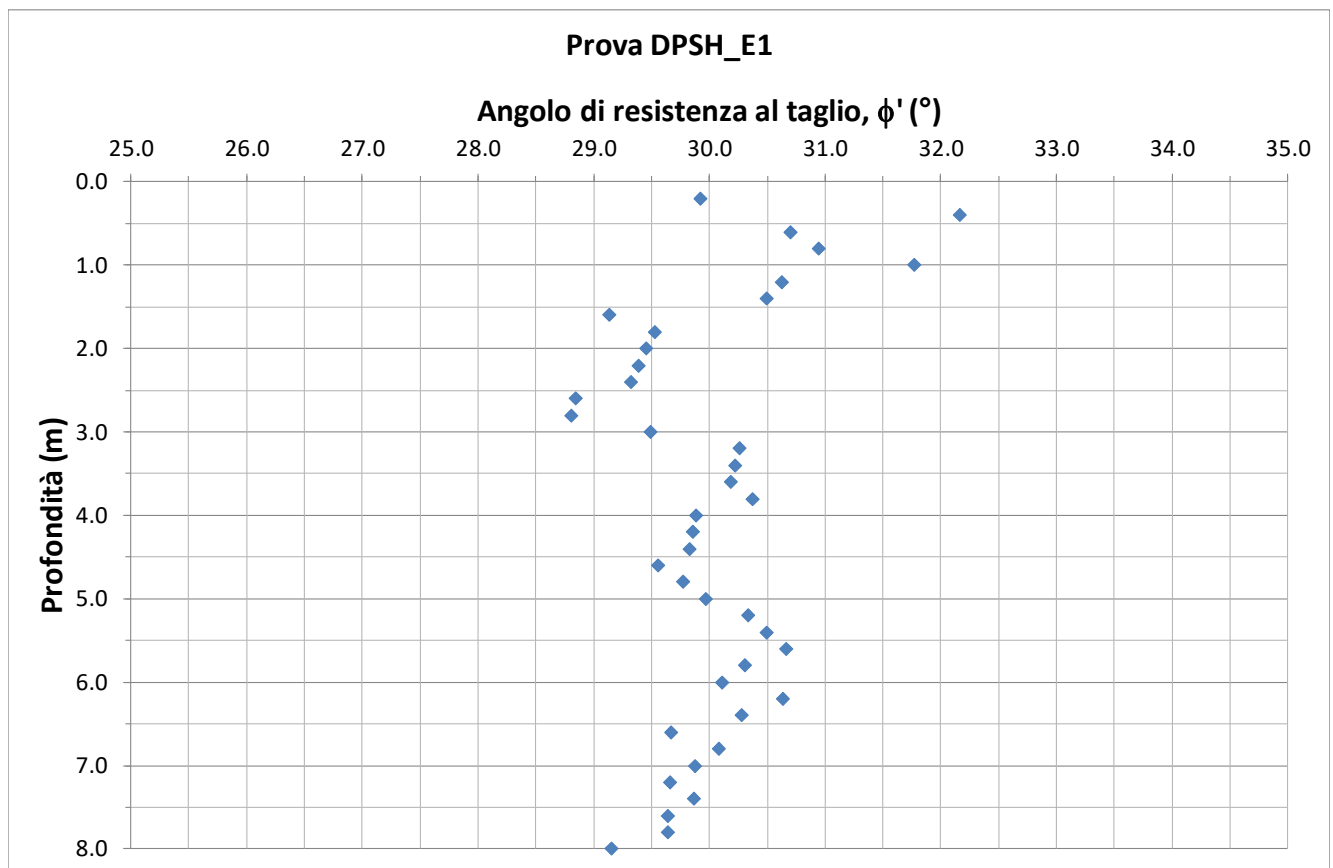



Figura 36. Prova DPSH\_E1, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 53 di 74</p>

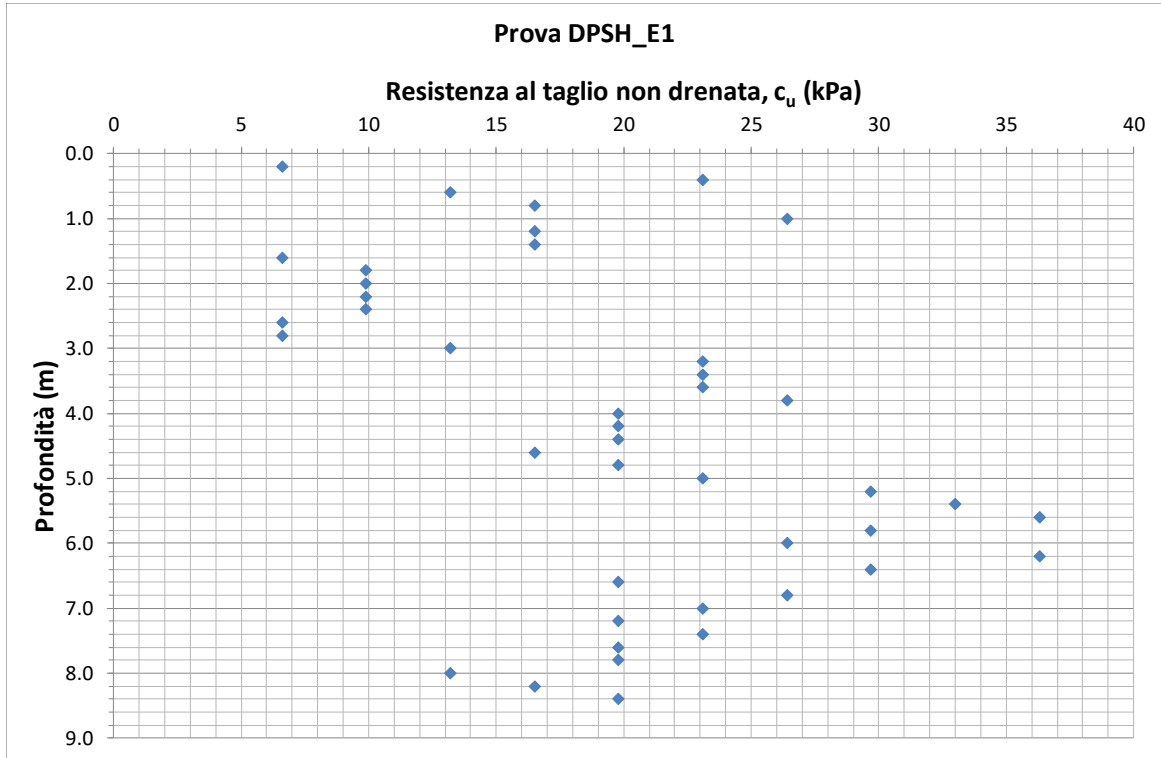


Figura 37. Prova DPSH\_E1, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

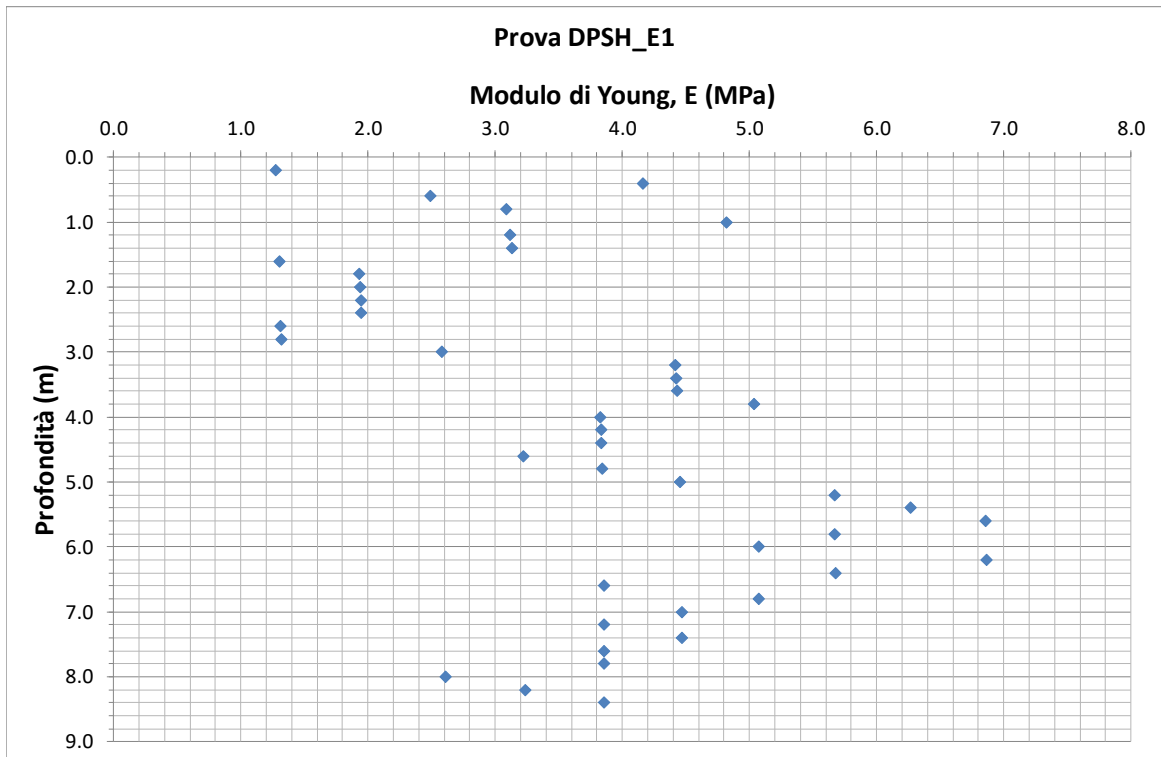



Figura 38. Prova DPSH\_E1, valori del modulo di deformabilità.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 54 di 74</p>

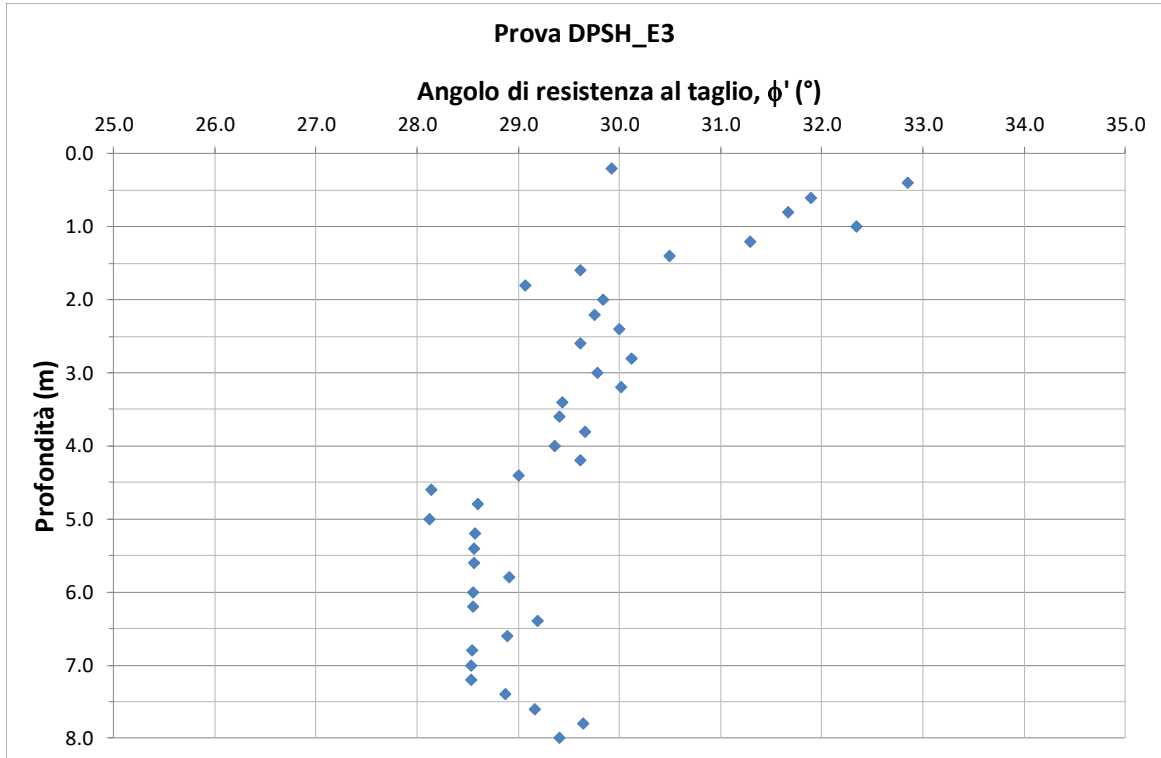


Figura 39. Prova DPSH\_E2, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

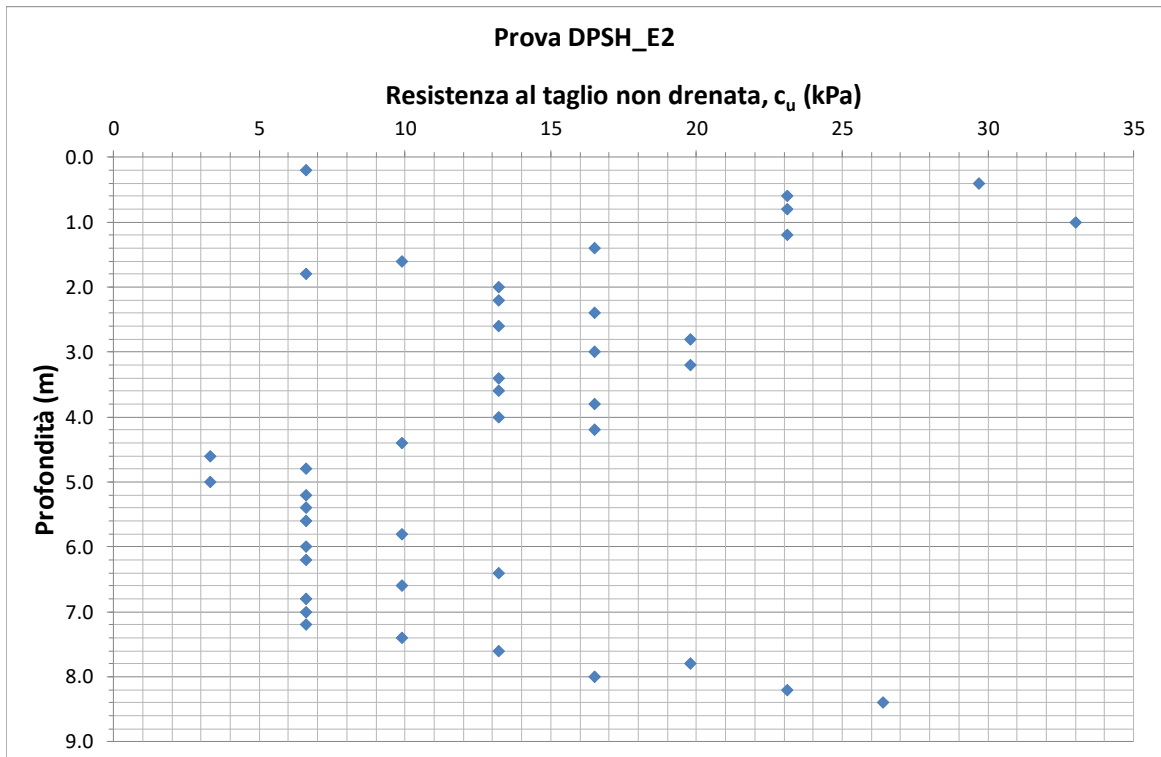



Figura 40. Prova DPSH\_E2, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>55 di 74</p>

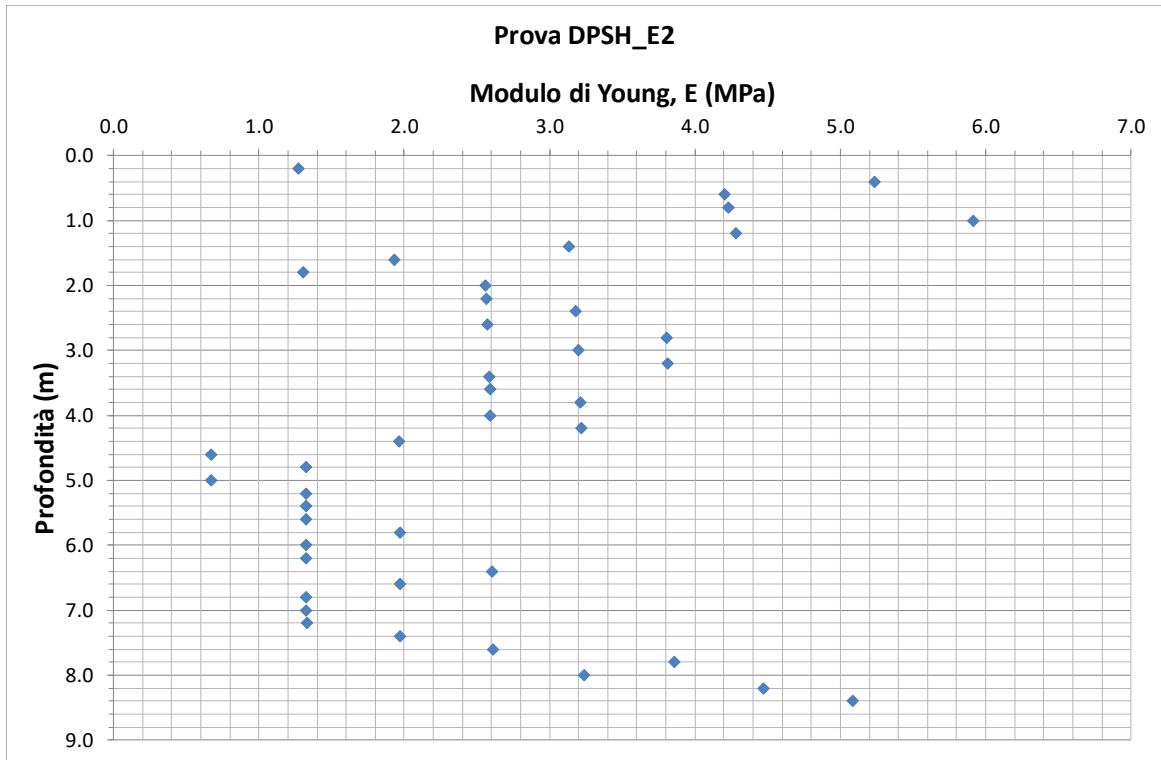


Figura 41. Prova DPSH\_E2, valori del modulo di deformabilità.

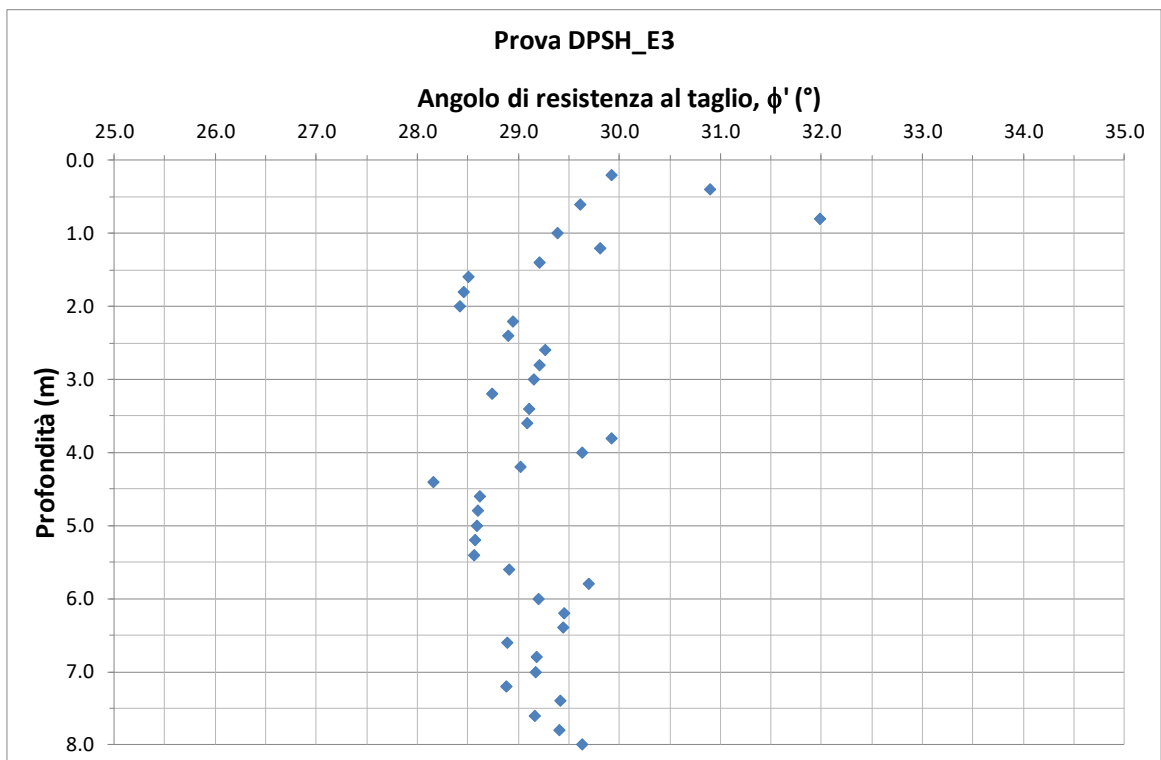


Figura 42. Prova DPSH\_E3, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 56 di 74</p>

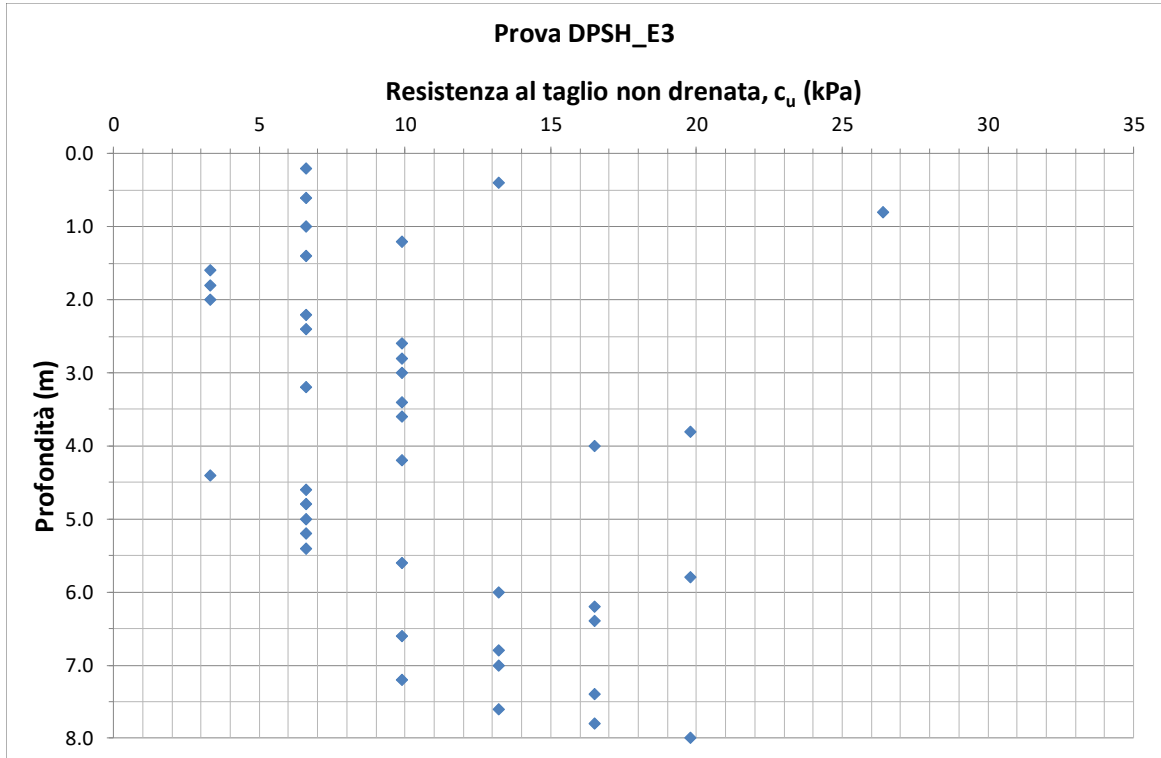


Figura 43. Prova DPSH\_3, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

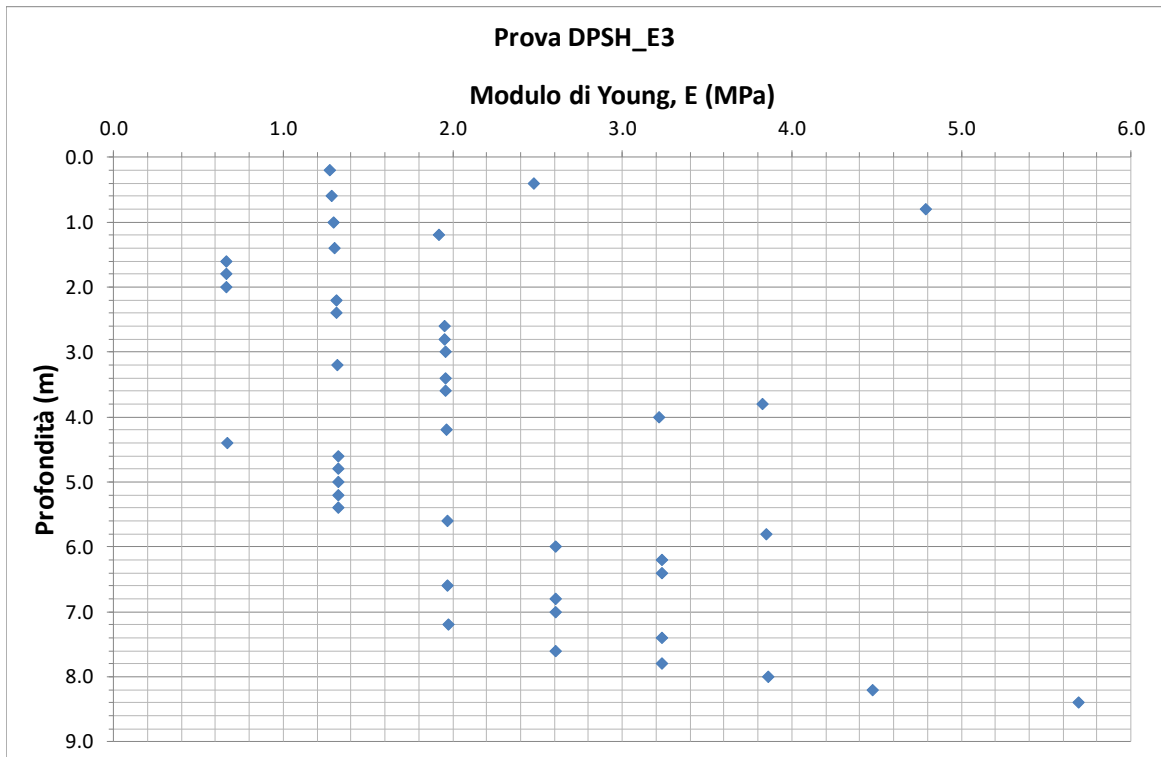


Figura 44. Prova DPSH\_E3, valori del modulo di deformabilità.



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 57 di 74</p>

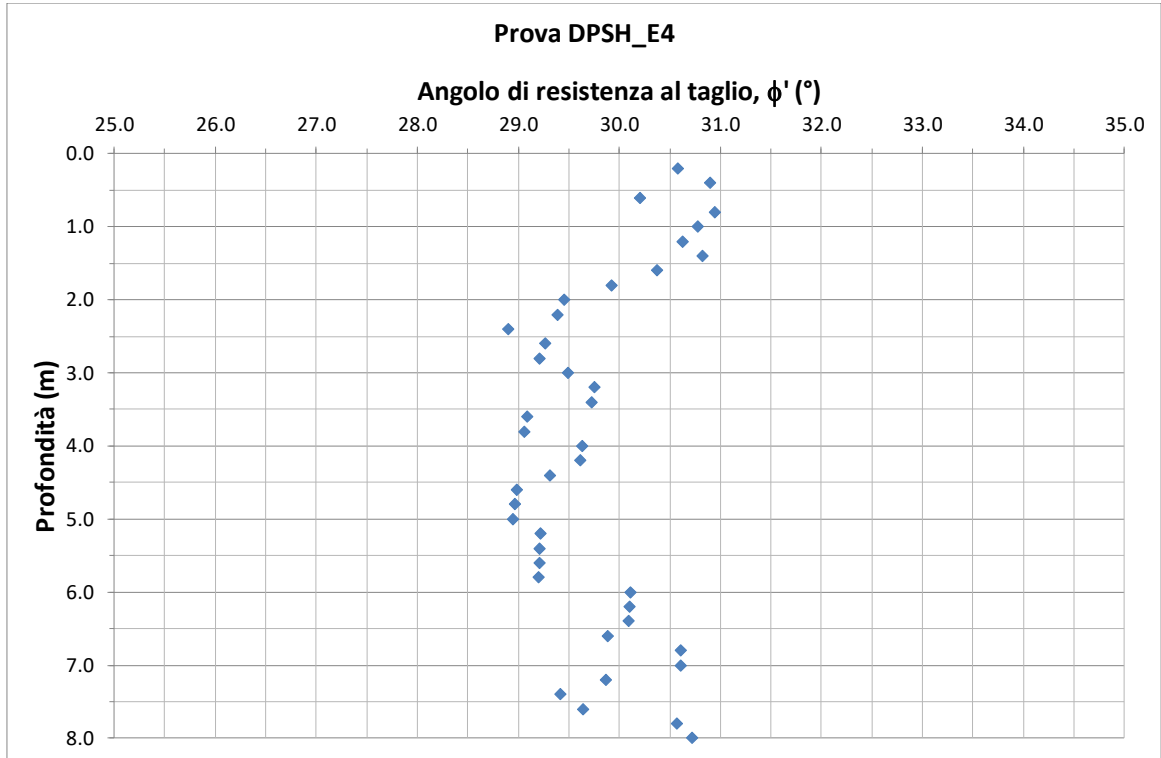


Figura 45. Prova DPSH\_E4, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

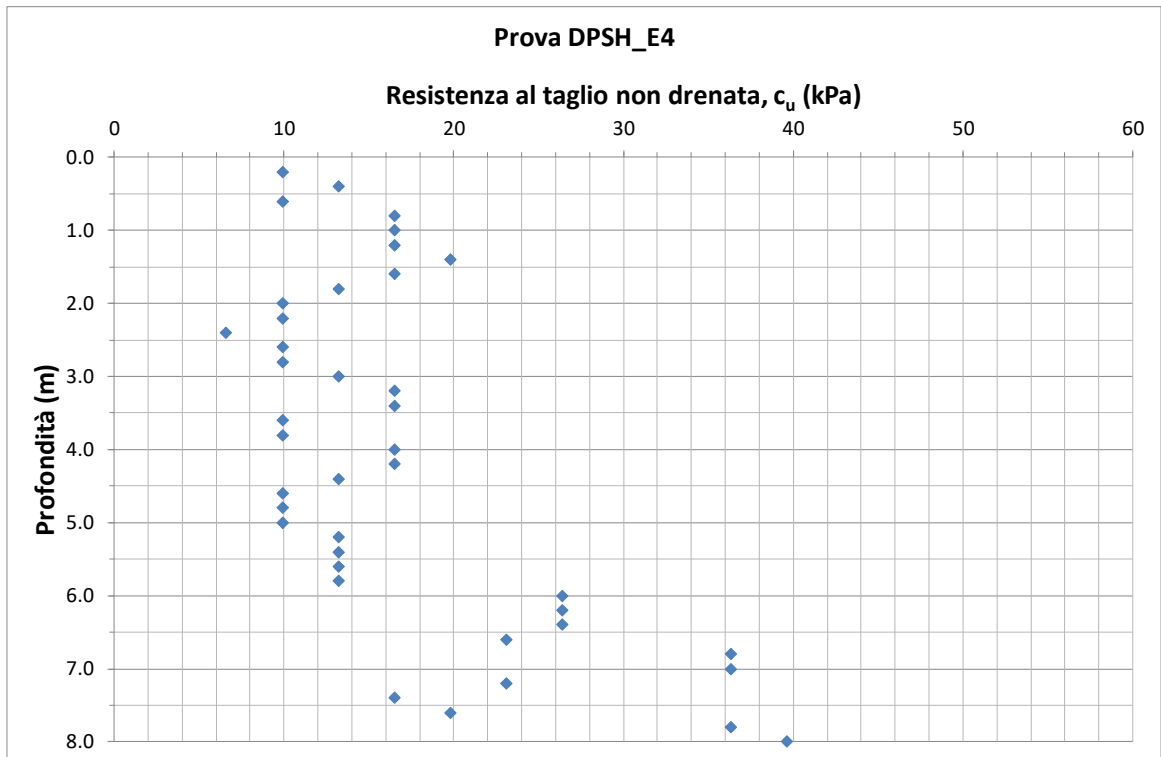


Figura 46. Prova DPSH\_E4, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 58 di 74</p>

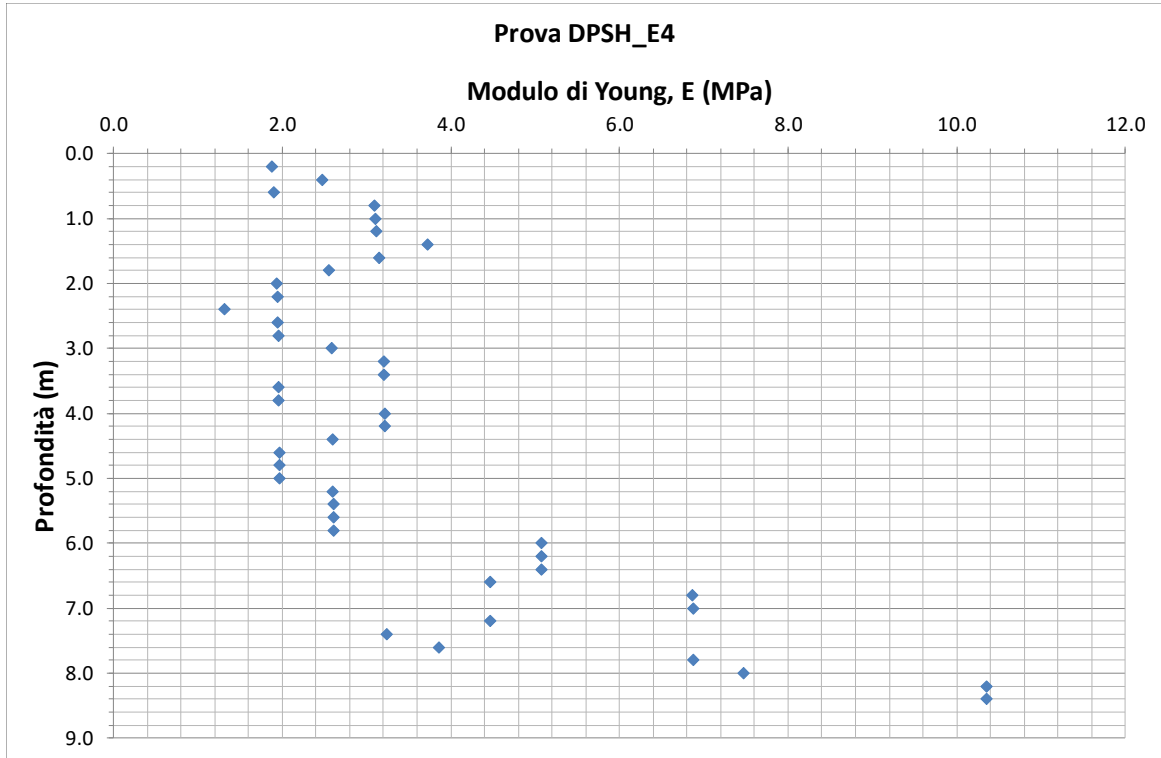


Figura 47. Prova DPSH\_E4, valori del modulo di deformabilità.

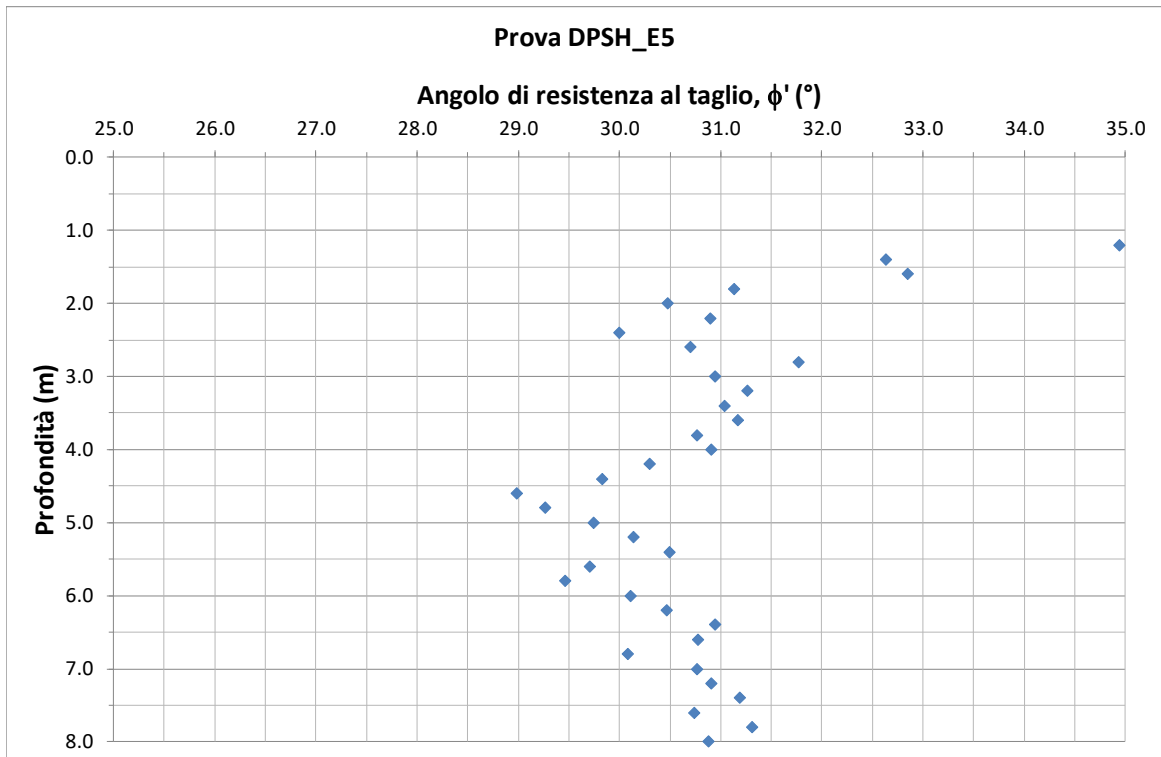


Figura 48. Prova DPSH\_E5, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>59 di 74</p>
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>								

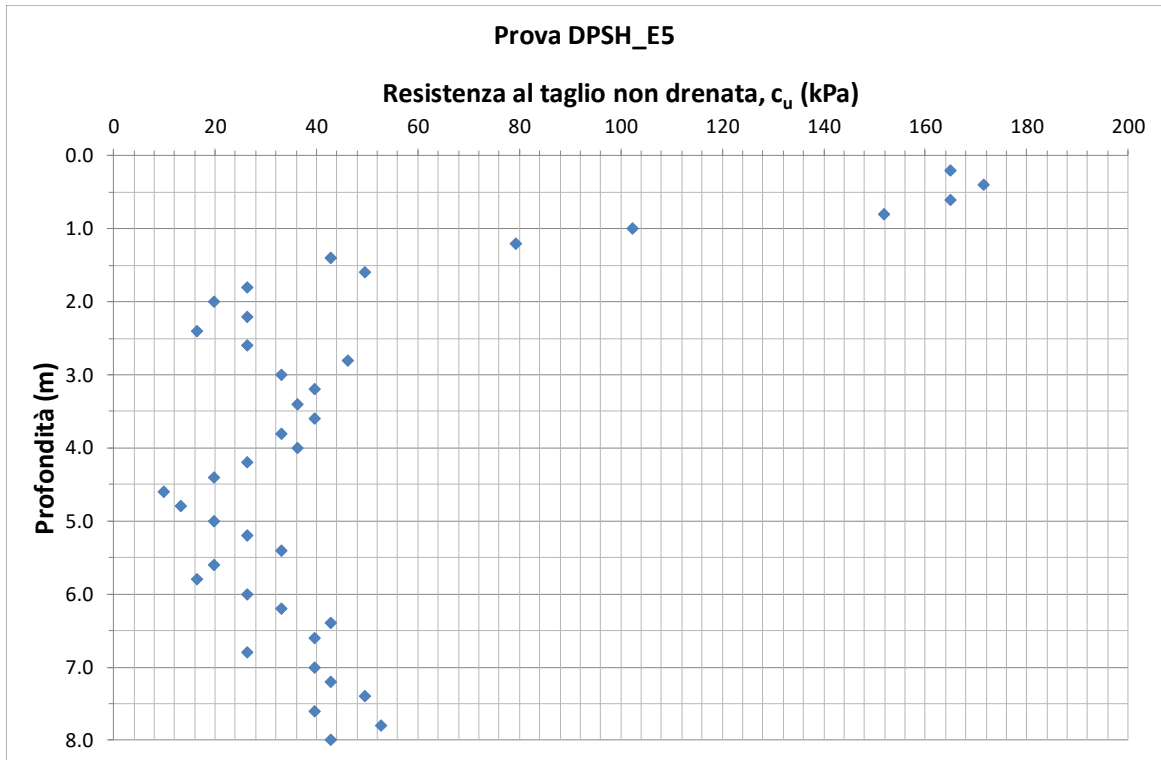


Figura 49. Prova DPSH\_E5, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

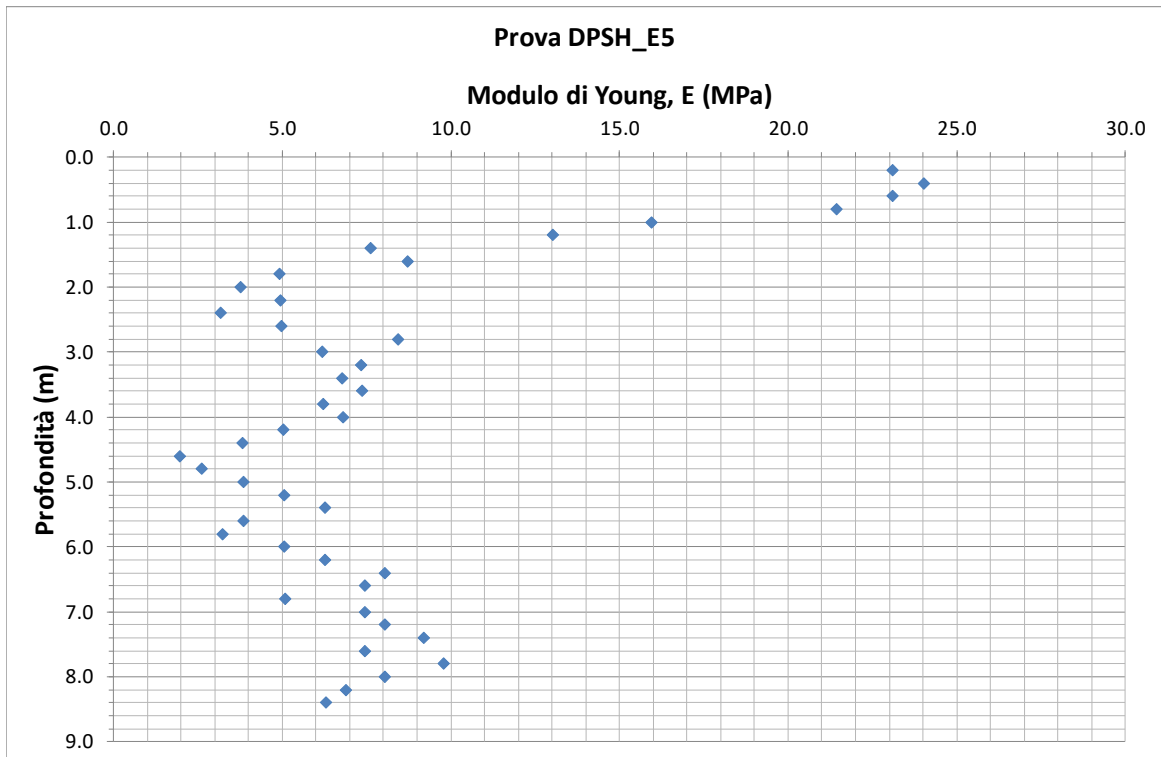


Figura 50. Prova DPSH\_E5, valori del modulo di deformabilità.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA DI PROGETTAZIONE</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 60 di 74</p>

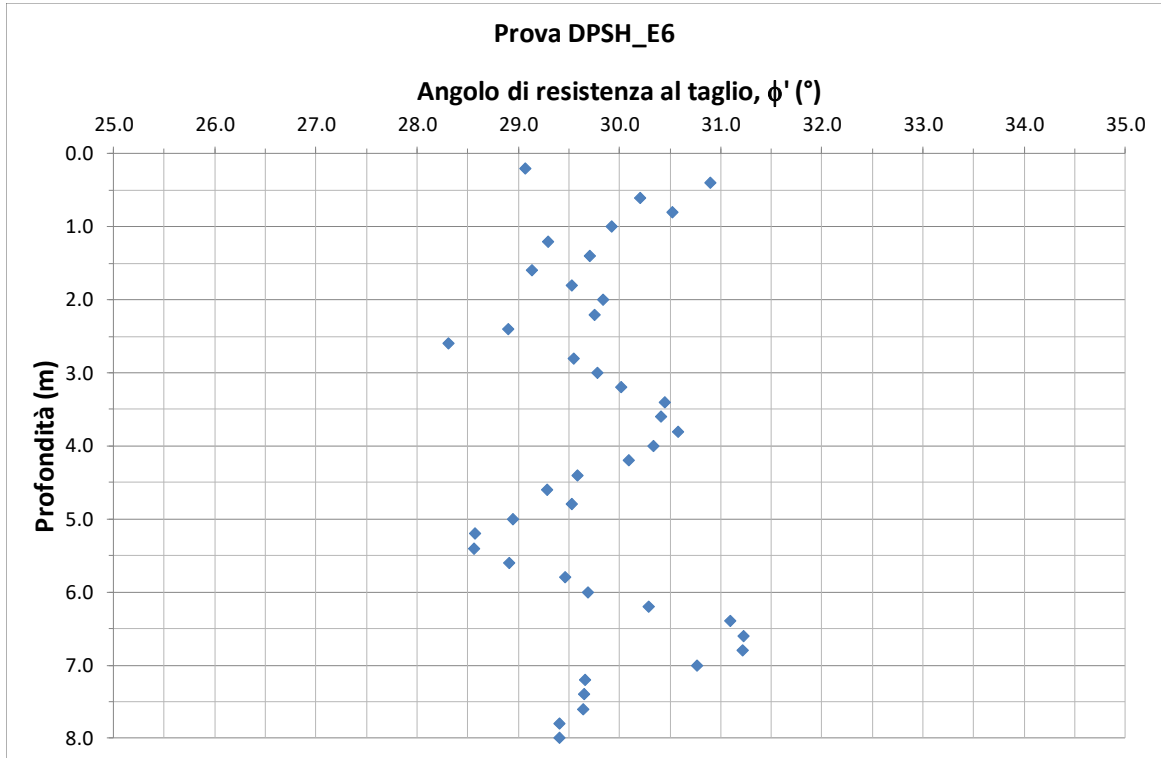


Figura 51. Prova DPSH\_E6, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

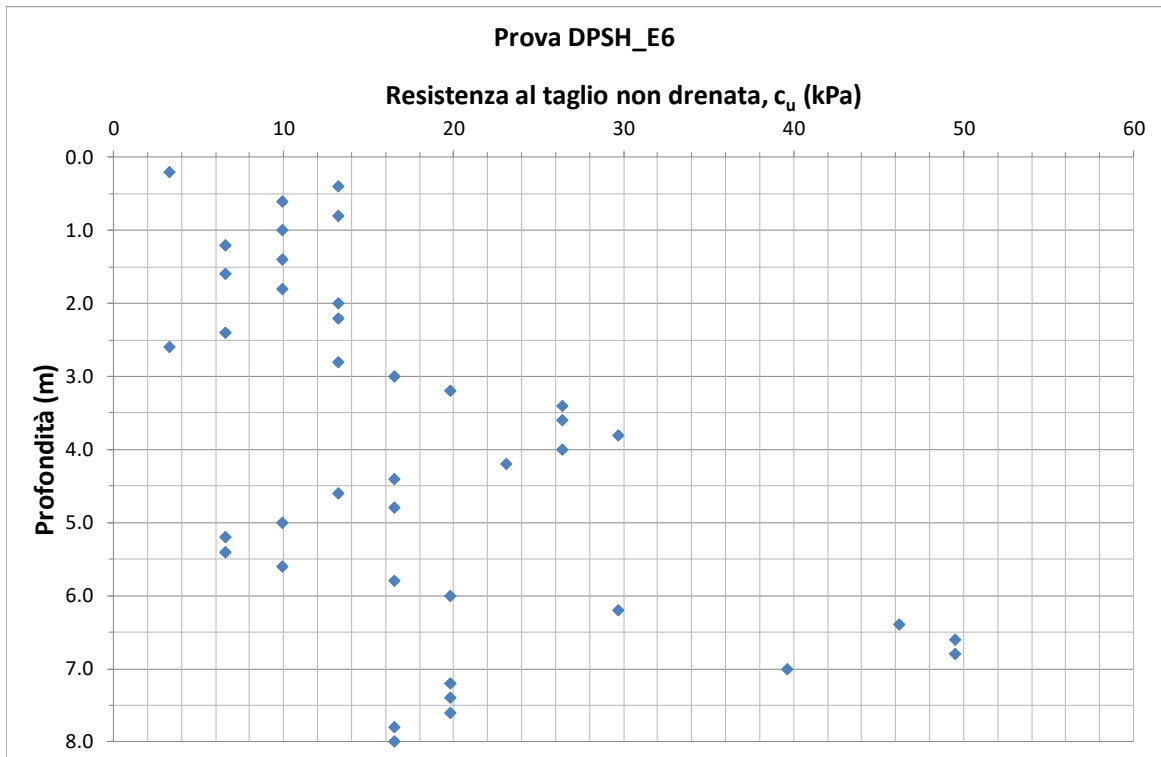


Figura 52. Prova DPSH\_E6, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 61 di 74</p>

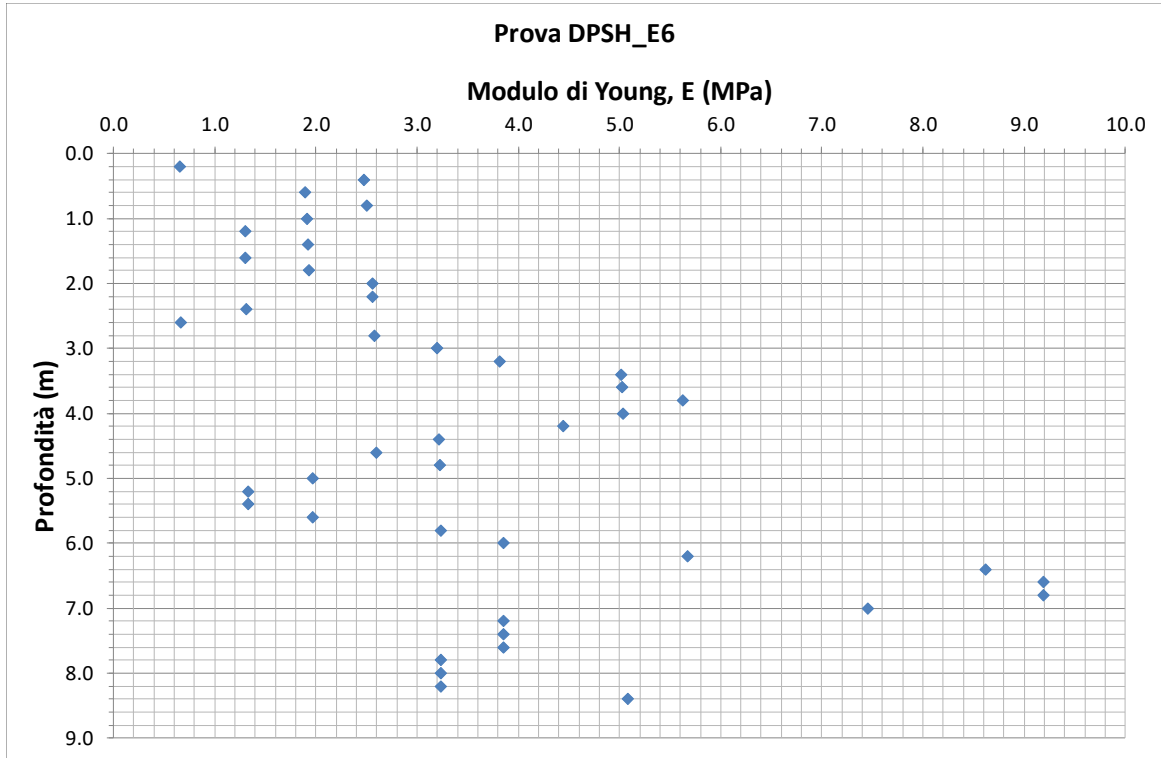


Figura 53. Prova DPSH\_E6, valori del modulo di deformabilità.

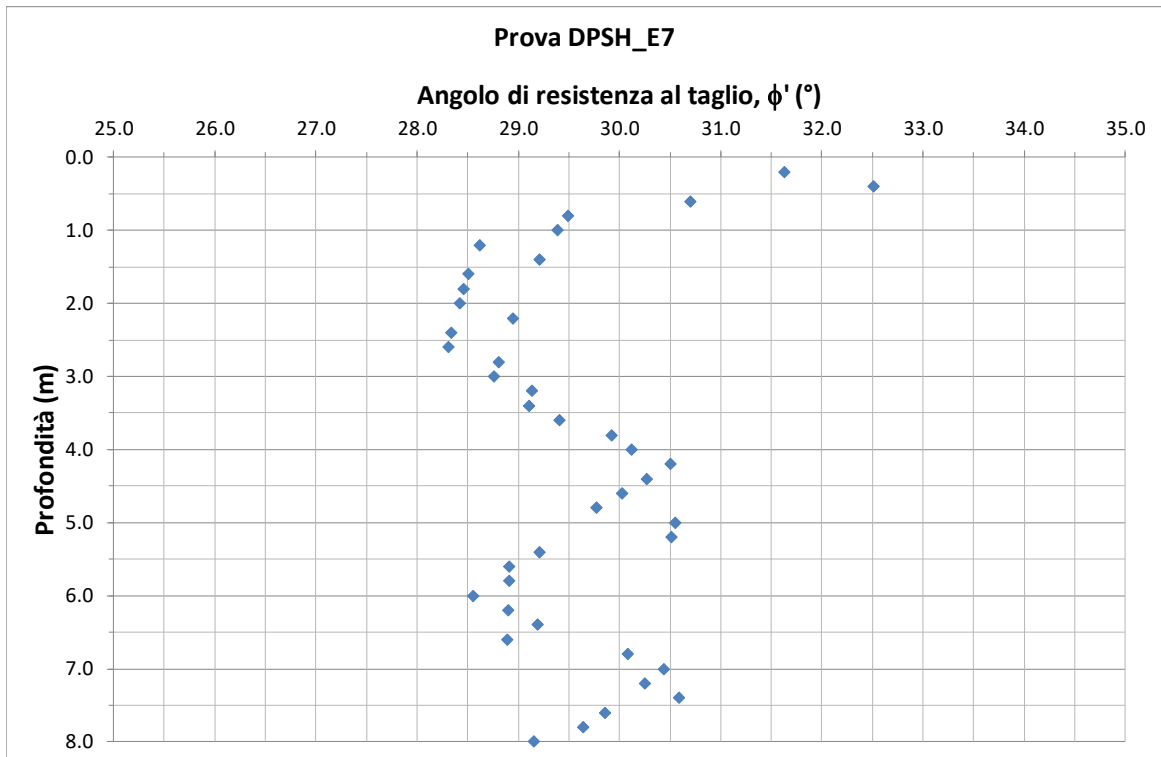


Figura 54. Prova DPSH\_E7, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>62 di 74</p>
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>								

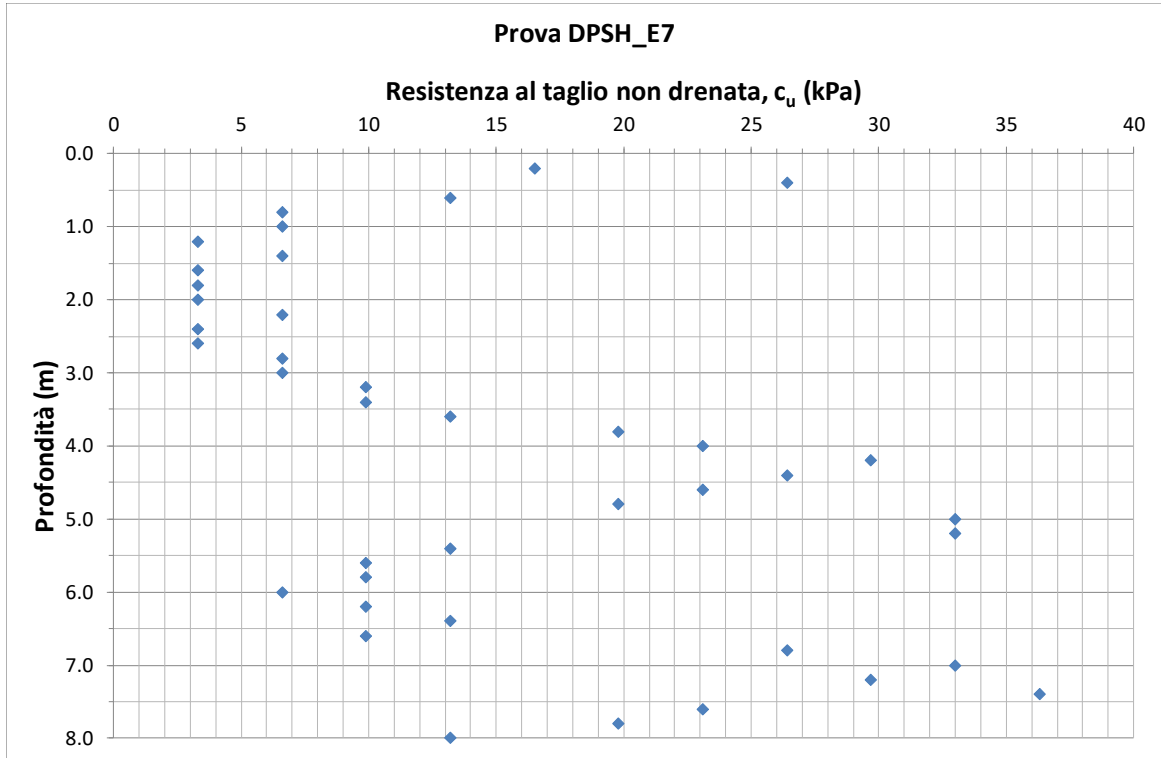


Figura 55. Prova DPSH\_E7, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

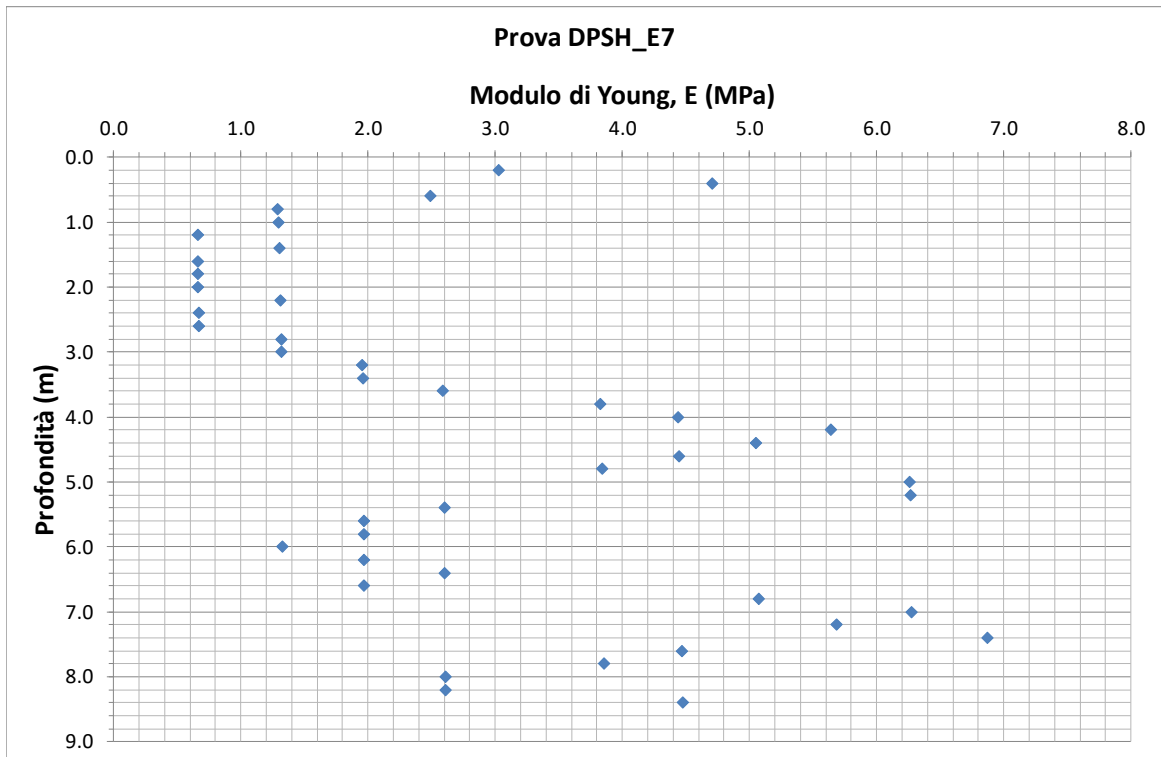


Figura 56. Prova DPSH\_E7, valori del modulo di deformabilità.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 63 di 74</p>

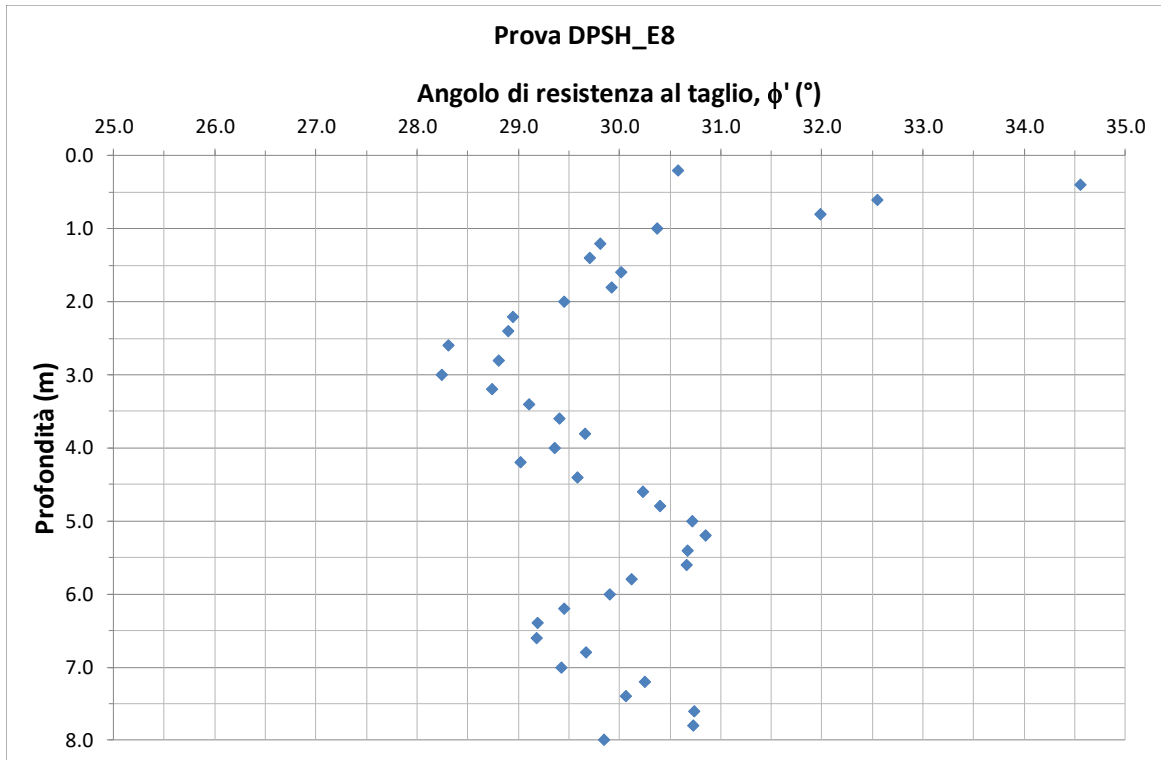


Figura 57. Prova DPSH\_E8, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

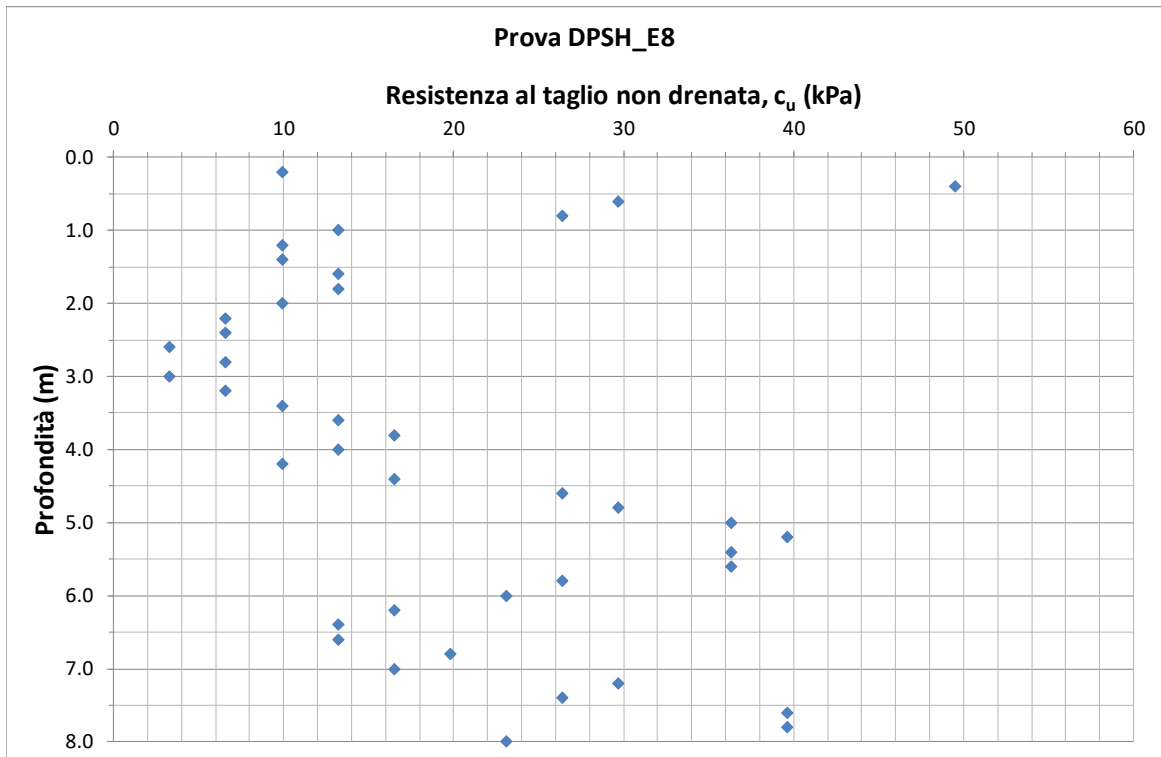


Figura 58. Prova DPSH\_E8, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 64 di 74</p>

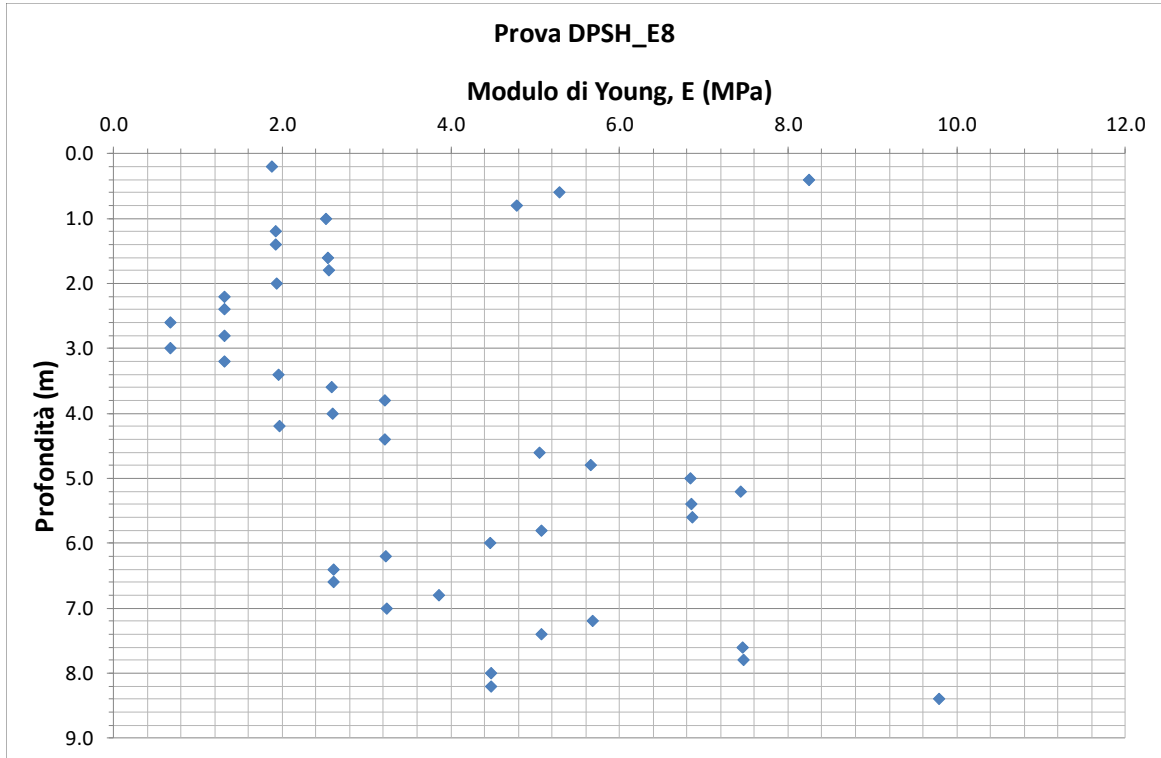


Figura 59. Prova DPSH\_E8, valori del modulo di deformabilità.

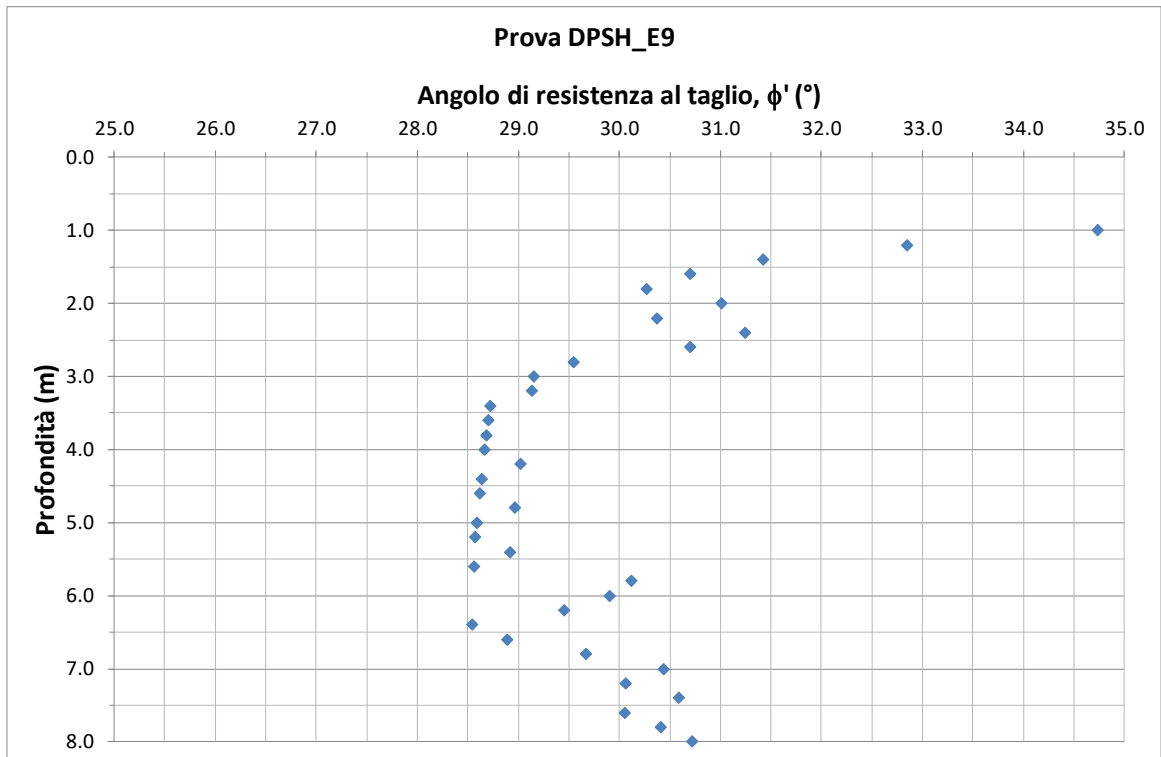


Figura 60. Prova DPSH\_E9, valori dell'angolo di resistenza al taglio.



<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>65 di 74</p>
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>								

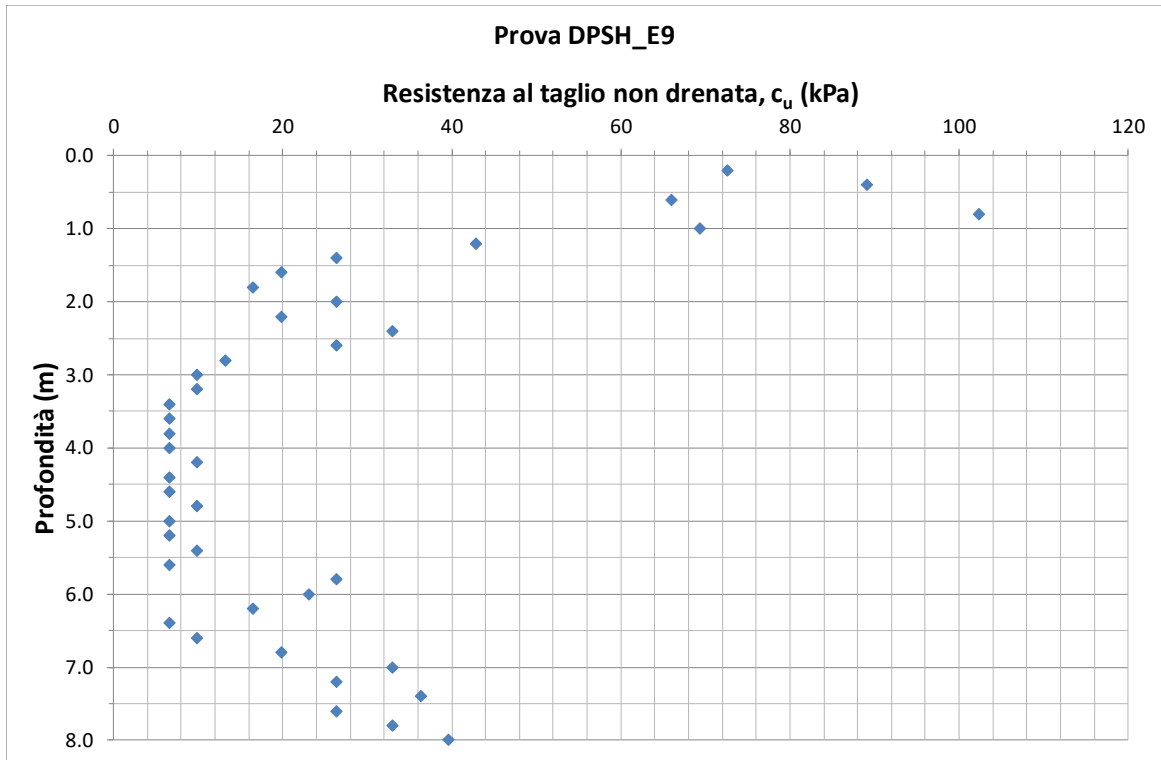


Figura 61. Prova DPSH\_E9, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

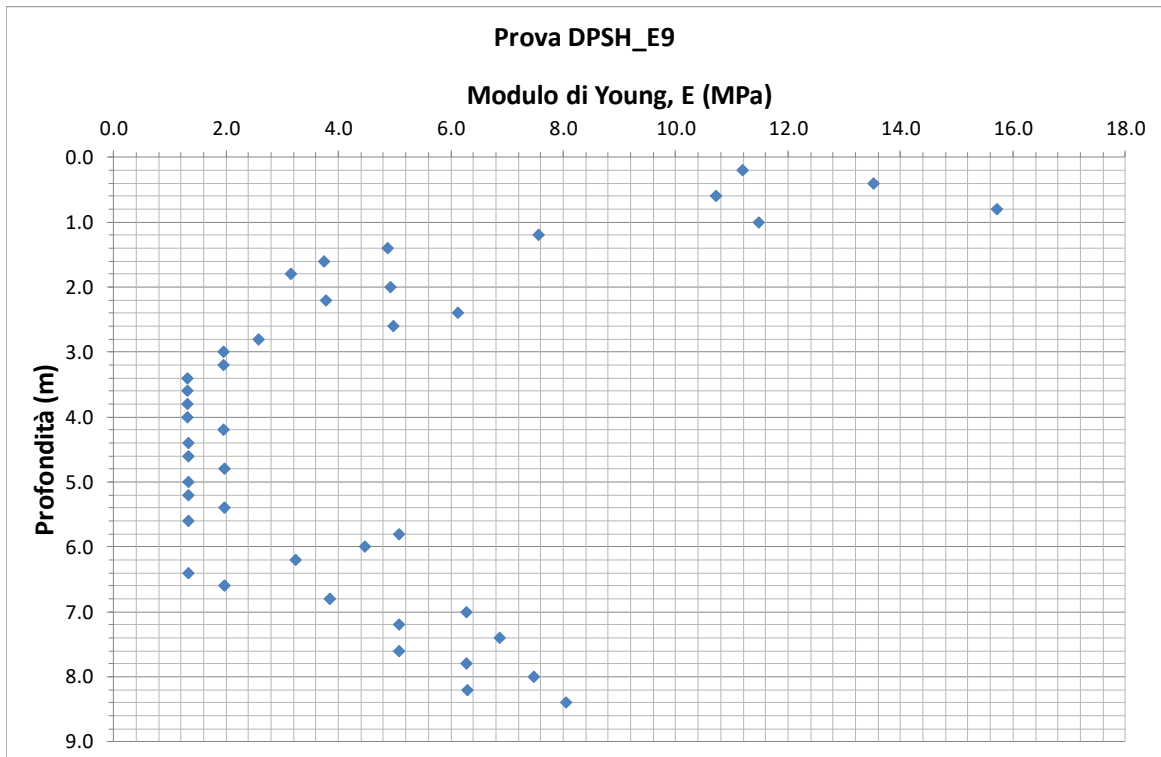


Figura 62. Prova DPSH\_E9, valori del modulo di deformabilità.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 66 di 74</p>

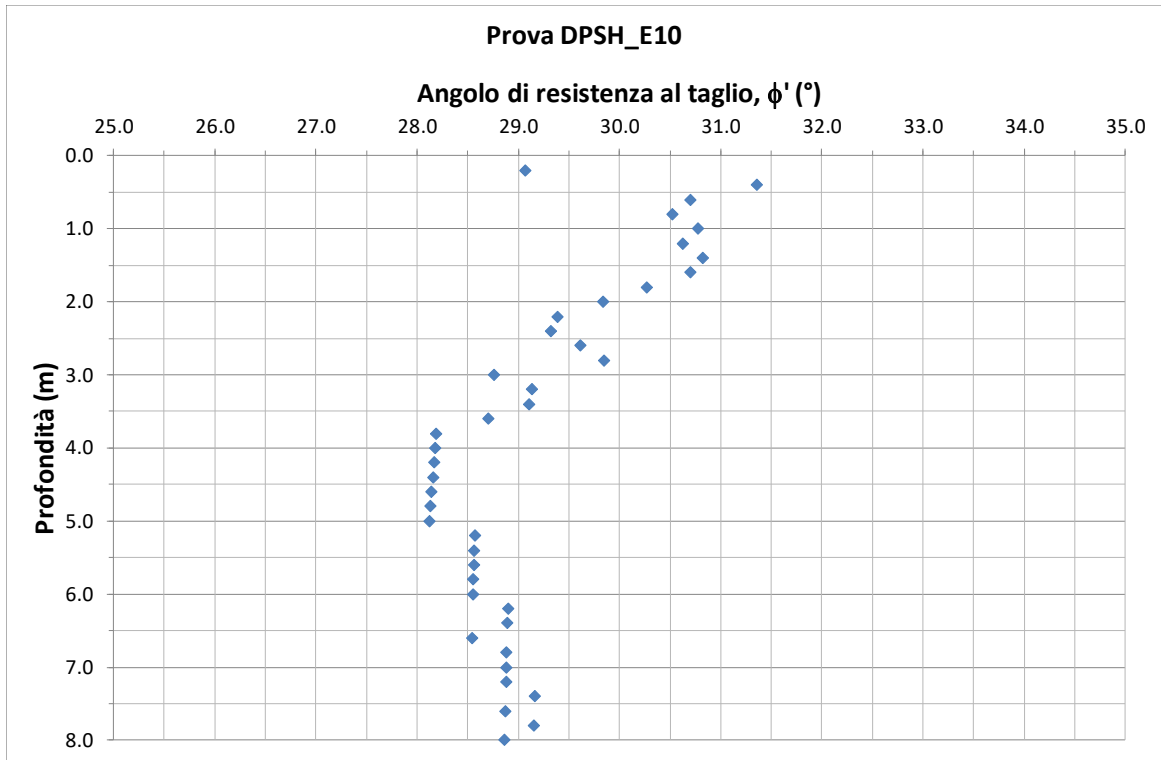


Figura 63. Prova DPSH\_E10, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

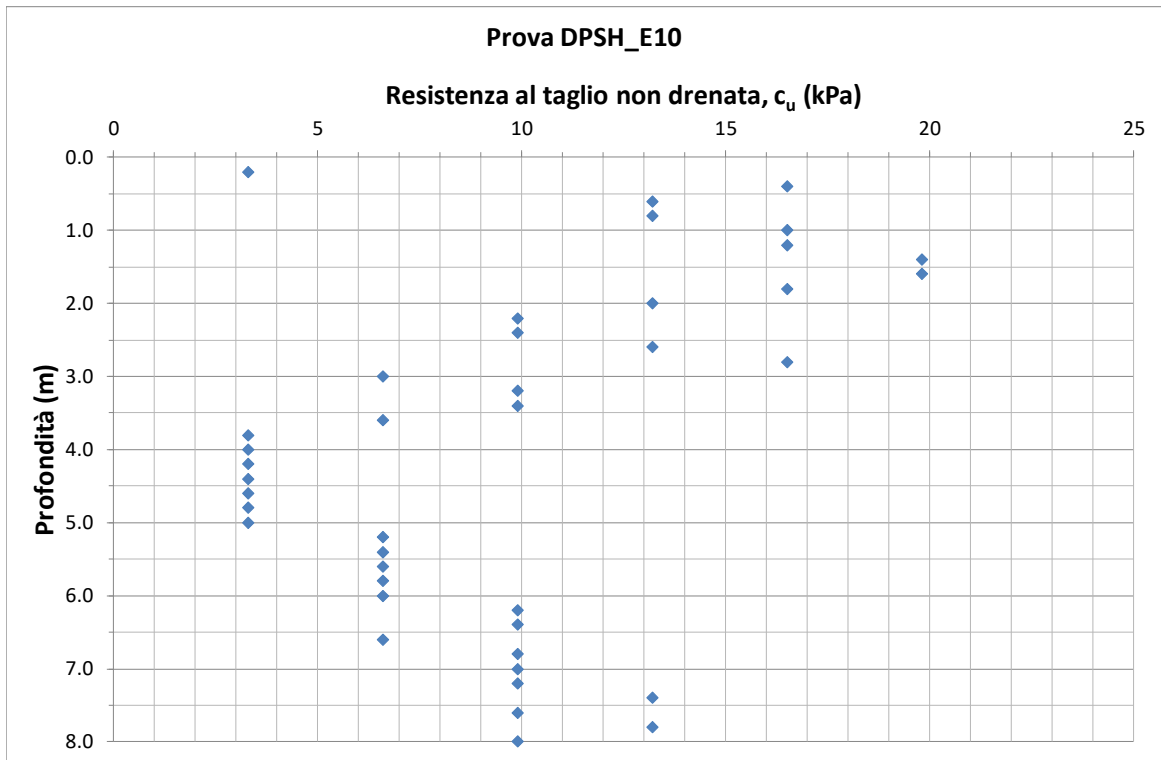


Figura 64. Prova DPSH\_E10, valori della resistenza al taglio in condizioni non drenate.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 67 di 74</p>

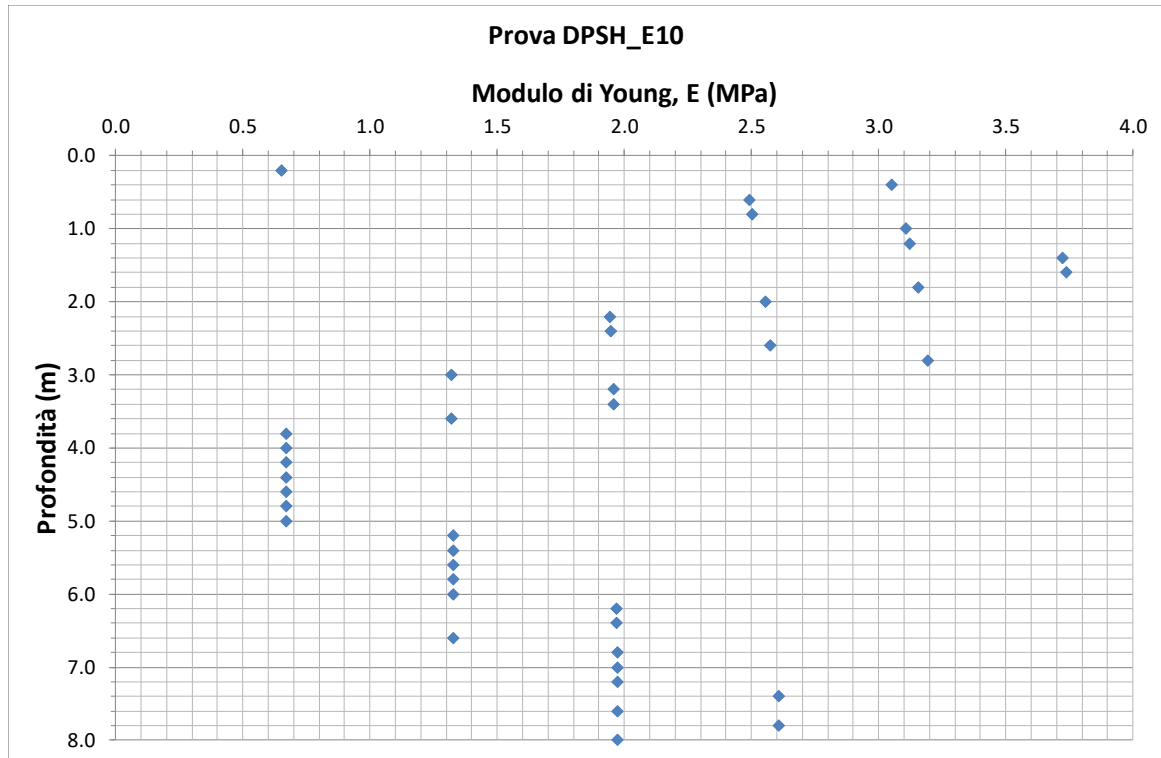


Figura 65. Prova DPSH\_E10, valori del modulo di deformabilità.

#### 5.4 Riepilogo dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

Con riferimento ai due sondaggi S1 ed S2 e alle contigue prove penetrometriche statiche e dinamiche, rispettivamente, CPTU-P4 e DPSH\_E10 in prossimità del sondaggio S1 e CPTU-P2, CPTU-P3 e CPTU-P5 per il sondaggio S3, nelle seguenti Tabelle sono riportate le relative stratigrafie di progetto e parametrizzazione per quanto concerne i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>68 di 74</p>

Tabella 10. Sondaggio S1 (con prove SPT), prova penetrometrica statica con piezocono CPTU-P4, prova penetrometrica dinamica continua DPSH\_E19, stratigrafia di progetto e parametrizzazione (Figura 19).

Profondità (m)	Unità geotecnica prevalente	$q_c$ (MPa)	$c_u$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$M_0$ (MPa)
0 – 1.8	Riporto	1.0	-	35	5
1.8 – 5.0	Sabbia	3.0	-	37	15
5.0 – 12.0	Argilla	0.4	20	24	20
12.0 – 12.8	Sabbia	5.0	-	37	30
12.8 – 17.2	Argilla	1.0	40	26	3
17.8 – 20.0	Limo	5.0	100	34	20
20.0 – 23.5	Argilla	1.5	60	26	7
23.5 – 30.0	Sabbia	13.0	-	40	50

Tabella 11. Sondaggio S3 (con prove SPT), prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU-P2, CPTU-P3, CPTU-P5, stratigrafia di progetto e parametrizzazione (Figura 20).

Profondità (m)	Unità geotecnica prevalente	$q_c$ (MPa)	$c_u$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$M_0$ (MPa)
0 – 3.0	Riporto	1.0	-	25	5
3.0 – 4.0	Argilla	1.5	80	30	10
4.0 – 7.0	Sabbia	4.0	-	37	25
7.0 – 9.8	Sabbia	6.0	-	36	30
9.8 – 12.0	Argilla	1.5	60	28	5
12.0 – 15.5	Argilla	2.0	80	28	5
15.5 – 17.0	Limo	1.5	40	28	5
17.0 – 28.0	Sabbia	10	-	38	40
28.0 – 30.0	Argilla	1.5	60	28	15

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 69 di 74</p>




## 6. TIPOLOGIA DI FONDAZIONI

Con riferimento alle condizioni stratigrafiche dell'area ed ai parametri che individuano il comportamento meccanico dei terreni, discussi ai capitoli precedenti, si ritiene che per i manufatti più importanti quali ad esempio le fondazioni del nuovo ponte di scavalco del canale scaricatore la tipologia più idonea sia costituita da fondazioni profonde su pali o, come nel caso delle fondazioni del ponte che attraversa il canale scaricatore, mediante setti di diaframma delle dimensioni di 1.2 x 2.5 m. Relativamente a tali diaframmi viene di seguito riportata la valutazione della capacità portante.



Figura 66. Ubicazione fondazioni nuovo ponte di attraversamento del canale scaricatore.

Nella seguente Figura 67 è mostrato l'andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , di setti di diaframma delle dimensioni di 1.2 x 2.5 m in funzione della loro lunghezza. Tale valutazione è stata effettuata adottando il metodo proposto da Bustamante e Ganeselli (1983) basato sulla resistenza alla punta ottenuta dalle prove penetrometriche statiche CPT.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA NP01</p>	<p>LOTTO 00 D Z3</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 70 di 74</p>

Per tale valutazione sono stati adottati i valori della resistenza alla punta riportati nella Tabella 11. Come si può notare l'andamento della resistenza in alcuni livelli diminuisce anche discretamente in corrispondenza del passaggio da strati prevalentemente di sabbia con resistenze alla punta che comportano una portata di base discretamente elevata, a livelli prevalentemente argillosi per i quali il contributo della portata di base si riduce drasticamente.

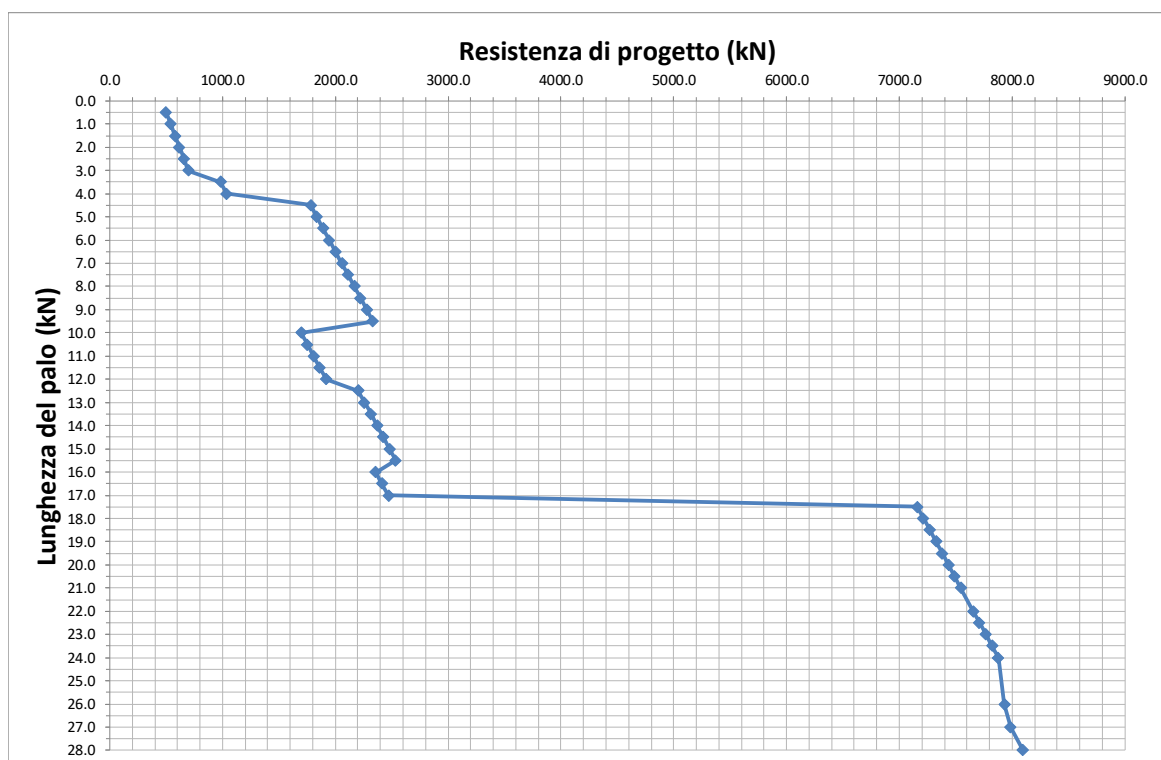


Figura 67. Andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza di setti di diaframma delle dimensioni di 1.2 x 2.5 m.

Infine, adottando il metodo di Randolph e di Wroth nella seguente Figura 68 è riportato l'andamento del cedimento atteso in funzione del carico applicato.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA DI PROGETTAZIONE</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>71 di 74</p>

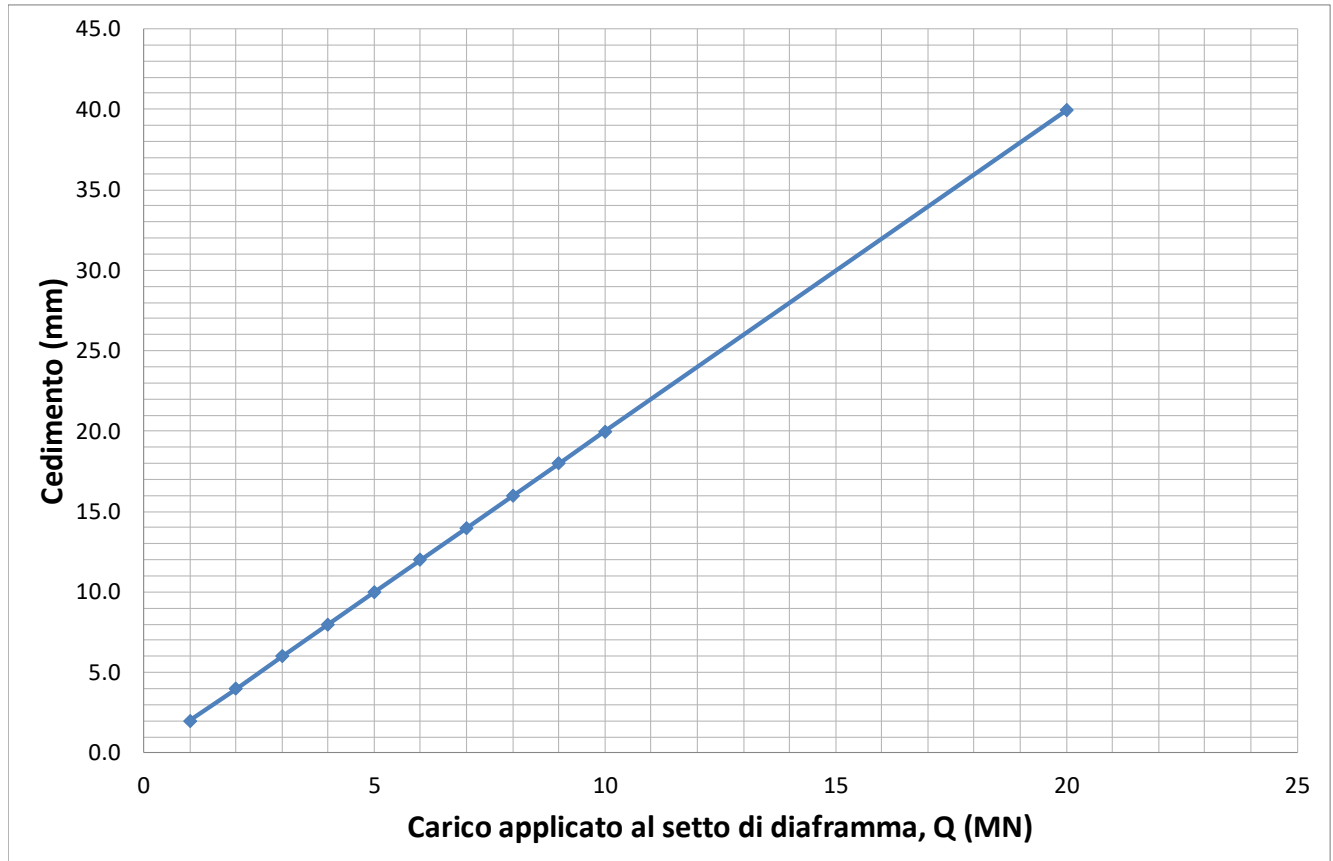


Figura 68. Andamento del cedimento del setto di diaframma in funzione del carico applicato.

Inoltre, altri due manufatti importanti previsti dal progetto definitivo sono relativi alle officine di manutenzione di Voltabarozzo e Guizza in corrispondenza dei quali si adotteranno fondazioni profonde con pali trivellati del diametro di 600 m.

Per le officine Voltabarozzo si fa riferimento al sondaggio S1 e alle prove penetrometriche CPTU-P4 e DPSH\_E10 (Figura 19) e nella seguente Figura 69 è mostrato l'andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , relativamente a pali del diametro di 600 mm.

Anche in questo caso si può notare come l'andamento della resistenza in alcuni livelli diminuisce in corrispondenza del passaggio da strati prevalentemente di sabbia con resistenze alla punta che comportano una portata di base discretamente elevata, a livelli prevalentemente argillosi per i quali il contributo della portata di base si riduce.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 	<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>72 di 74</p>
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>								

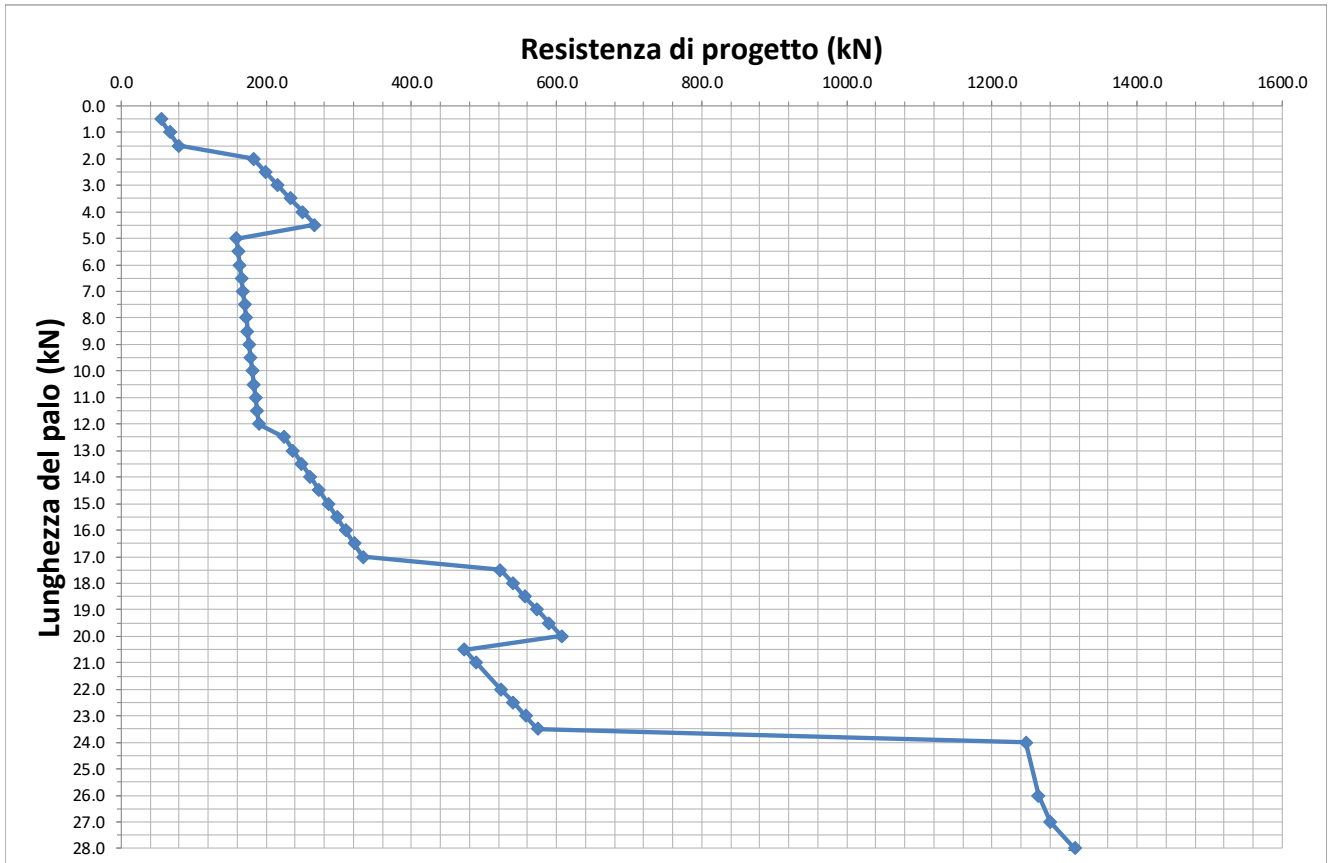


Figura 69. Officine di manutenzione di Voltabarozzo; andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza dei pali del diametro di 600 mm.

Per quanto concerne le officine di manutenzione di Guizza si è fatto riferimento ai dati relativi ad una campagna geotecnica del 2008-2009 comprendente sondaggi e prove penetrometriche statiche che si sono spinte fino a 40 m di profondità. Sulla base di tali dati nella seguente



<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>SDAprogetti</b> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>ERREDI</b> INGEGNERIA DI ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>PINI</b> SWISS</p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP01</td> <td>00 D Z3</td> <td>GE</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>73 di 74</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	73 di 74
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP01	00 D Z3	GE	GE0006 001	A	73 di 74								

Tabella 12 è riepilogata la stratigrafia di progetto e i valori della resistenza alla punta adottati per la determinazione della resistenza di progetto di pali del diametri di 600 mm; a questo riguardo nella seguente Figura 70 è riportato l'andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza dei pali del diametro di 600 mm.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p> 						
<p><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p>NP01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D Z3</p>	<p>CODIFICA</p> <p>GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE0006 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>74 di 74</p>

Tabella 12. Officine di manutenzione di Guizza, stratigrafia di progetto e parametrizzazione.

Profondità (m)	Unità geotecnica prevalente	$q_c$ (MPa)
0 – 1.3	Riporto	1.0
1.3 – 5.0	Limo e sabbia	2.0
5.0 - 8.5	Argilla	1.0
8.5 – 10.0	Sabbia	10.0
10.0 - 22.0	Argilla e Limo	1.25
22.0 – 24.5	Sabbia	15
24.5 – 28.5	Argilla	0.2
28.5 – 30.0	Limo	8
30.0 – 33.0	Limo	0.2
33.0 – 40.0	Sabbia	10

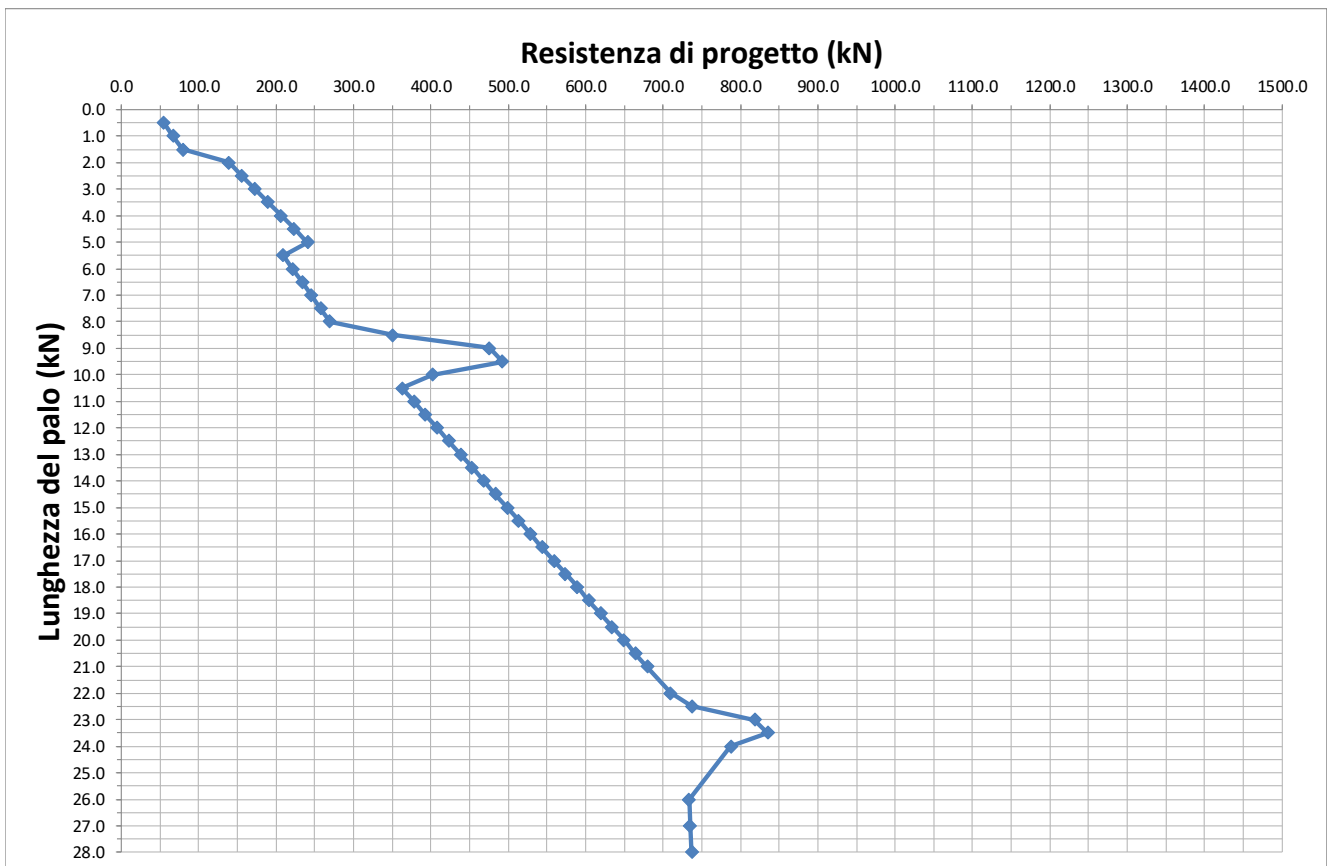


Figura 70. Officine di manutenzione di Guizza; andamento della resistenza di progetto,  $R_d$ , in funzione della lunghezza dei pali del diametro di 600 mm.