

**MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI  
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



**COMUNE DI TORINO**



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO  
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA  
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo**

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			INFRATRASPORTI.TO S.r.l.											
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. P. De Martini Ugolotti Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 8227Y	<b>GEOTECNICA E SISMICA</b> RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA												
		ELABORATO				REV.		SCALA	DATA					
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A0	D	GEO	GEN	R	002	0	4	-	23/06/2023

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	31/01/22	VPe	PDM	PDM	RCr
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	11/11/22	VPe	PDM	PDM	RCr
2	Revisione a seguito di verifica preventiva	23/12/22	MPe	PDM	PDM	RCr
3	Revisione a seguito di verifica preventiva	31/03/23	MPe	PDM	PDM	RCr
4	Revisione a seguito di verifica preventiva	23/06/23	MPe	PDM	PDM	RCr

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>4.11</td> <td>7</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>GEOGENR002</td> </tr> </table>	LOTTO 0	CARTELLA	4.11	7	MTL2T1A0D	GEOGENR002	<p align="center"><b>STAZIONE APPALTANTE</b></p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>
LOTTO 0	CARTELLA	4.11	7	MTL2T1A0D	GEOGENR002		

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>8</b>
<b>1.2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>PIANO DELLA RELAZIONE</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>BREVE DESCRIZIONE DELL'OPERA</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>ASSETTO MORFOLOGICO</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>STRATIGRAFIA GENERALE DELL'AREA CITTADINA</b>	<b>15</b>
<b>4.3</b>	<b>ASSETTO DEL SOTTOSUOLO NELL'AREA DI PROGETTO</b>	<b>16</b>
4.3.1	STRATO ANTROPICO (UNITÀ GEOLOGICA UID)	16
4.3.2	DEPOSITI FLUVIO GLACIALI (UNITÀ GEOLOGICA AFR)	17
4.3.3	DEPOSITI INCERTAE SEDIS (UNITÀ GEOLOGICA INS)	18
4.3.4	DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI IN FACIES "VILLAFRANCHIANA" (UNITÀ GEOLOGICA SFR)	19
4.3.5	ARGILLE AZZURRE DI LUGAGNANO (UNITÀ GEOLOGICA FAA)	19
4.3.6	MARNE DI SANT'AGATA FOSSILI (UNITÀ GEOLOGICA SAF)	19
<b>5.</b>	<b>ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>19</b>
<b>5.1</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA TORINESE</b>	<b>19</b>
<b>5.2</b>	<b>MODELLO IDROGEOLOGICO CONCETTUALE</b>	<b>22</b>
5.2.1	ACQUIFERO LIBERO SUPERFICIALE	22
5.2.2	SISTEMA MULTIAQUIFERO IN PRESSIONE	23
<b>5.3</b>	<b>ANDAMENTO ATTUALE DELLA FALDA</b>	<b>24</b>
<b>6.</b>	<b>INDAGINI GEOTECNICHE</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>25</b>
<b>6.2</b>	<b>CAMPAGNA DI INDAGINI ANNO 2018</b>	<b>25</b>
6.2.1	INDAGINI IN SITO	26
6.2.1.1	Sondaggi a carotaggio continuo	26
6.2.1.2	Sondaggi a distruzione di nucleo	27
6.2.1.3	Prove SPT	29
6.2.1.4	Indagini idrogeologiche	33
6.2.2	PROVE DI LABORATORIO	34
<b>6.3</b>	<b>CAMPAGNA DI INDAGINE ANNO 2021</b>	<b>37</b>
6.3.1	INDAGINI IN SITO	37

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

6.3.1.1	Prove Standard Penetration Test (SPT)	41
6.3.1.2	Prove Lefranc in foro di sondaggio	46
6.3.1.3	Fori a distruzione di nucleo (Diagrafie)	48
6.3.1.4	Prove MASW	48
6.3.2	PROVE DI LABORATORIO	49
<b>6.4</b>	<b>ASSETTO STRATIGRAFICO LUNGO IL TRACCIATO</b>	<b>58</b>
<b>6.5</b>	<b>CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO</b>	<b>64</b>
<b>6.6</b>	<b>PROPRIETÀ INDICE E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI</b>	<b>65</b>
<b>7.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>67</b>
<b>7.1</b>	<b>PREMESSE E CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GENERALE</b>	<b>67</b>
<b>7.2</b>	<b>UNITÀ 1 (TERRENO DI RIPORTO) – UID</b>	<b>68</b>
<b>7.3</b>	<b>UNITÀ 2, UNITÀ 3, E UNITÀ 4 (TERRENO GHIAIOSO SABBIOSO CON CEMENTAZIONE SPARSA E TERRENO GHIAIOSO SABBIOSO ALTERATO) – AFR E INS</b>	<b>70</b>
7.3.1	OSSERVAZIONI	79
7.3.2	COESIONE (UNITÀ 2)	82
7.3.3	COESIONE (UNITÀ 3 E 4)	84
7.3.4	MODULO DI DEFORMAZIONE (UNITÀ 2) - MODULO OPERATIVO	84
<b>7.4</b>	<b>UNITÀ 6 (UNITÀ GEOLOGICA SFR)</b>	<b>85</b>
<b>7.5</b>	<b>UNITÀ 5 (UNITÀ GEOLOGICA FAA) E UNITÀ 7 (UNITÀ GEOLOGICA SAF)</b>	<b>87</b>
7.5.1	POTENZIALE DI RIGONFIAMENTO	90
7.5.2	MODULI DI DEFORMAZIONE	91
<b>7.6</b>	<b>PERMEABILITÀ DEI TERRENI</b>	<b>95</b>
<b>7.7</b>	<b>MISURE PIEZOMETRICHE</b>	<b>98</b>
<b>7.8</b>	<b>GRADO DI CEMENTAZIONE</b>	<b>104</b>
7.8.1	INTERPRETAZIONE DELLE DIAGRAFIE	107
7.8.2	INTERPRETAZIONE DELLE PROVE MASW NEI RIGUARDI DELLA CEMENTAZIONE	110
7.8.3	SINTESI DEI PARAMETRI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	111
<b>8.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO</b>	<b>113</b>
<b>8.1</b>	<b>STAZIONE POLITECNICO</b>	<b>117</b>
<b>8.2</b>	<b>STAZIONE PASTRENGO</b>	<b>117</b>
<b>8.3</b>	<b>STAZIONE MOLE</b>	<b>117</b>
<b>8.4</b>	<b>STAZIONE VERONA</b>	<b>117</b>
<b>8.5</b>	<b>STAZIONE NOVARA</b>	<b>118</b>
<b>8.6</b>	<b>STAZIONE BOLOGNA</b>	<b>118</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

<b>8.7</b>	<b>STAZIONE CIMAROSA-TABACCHI</b>	<b>118</b>
<b>8.8</b>	<b>STAZIONE CORELLI</b>	<b>119</b>
<b>8.9</b>	<b>STAZIONE SAN GIOVANI BOSCO</b>	<b>119</b>
<b>8.10</b>	<b>STAZIONE GIULIO CESARE</b>	<b>119</b>
<b>8.11</b>	<b>DEPOSITO</b>	<b>120</b>
<b>8.12</b>	<b>STAZIONE PORTA NUOVA E STAZIONE CARLO ALBERTO</b>	<b>120</b>
<b>8.13</b>	<b>TRATTI DI LINEA TRA LE STAZIONI (GALLERIE ARTIFICIALI, GALLERIE NATURALI E GALLERIA SCAVATA CON TBM)</b>	<b>129</b>
<b>9.</b>	<b>VALUTAZIONE DEL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE</b>	<b>129</b>
<b>10.</b>	<b>RISCHI DI NATURA GEOTECNICA</b>	<b>140</b>
<b>10.1</b>	<b>POTENZIALE DI OSTRUZIONE (CLOGGING)</b>	<b>140</b>
<b>10.2</b>	<b>PRESENZA DI GAS</b>	<b>141</b>
<b>10.3</b>	<b>INTERFERENZA STRUTTURE IN CUT&amp;COVER CON L'ACQUIFERO SUPERFICIALE</b>	<b>141</b>
<b>10.4</b>	<b>PRESENZA DI BLOCCHI E CIOTTOLI NEI DEPOSITI FLUVIO-GLACIALI (AFR)</b>	<b>142</b>
<b>10.5</b>	<b>PROBLEMATICHE DI ESECUZIONE DEI DIAFRAMMI CON IDROFRESA</b>	<b>144</b>
<b>11.</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b>	<b>145</b>

## **ALLEGATO 1 – Interpretazione delle prove edometriche**

## **ALLEGATO 2 – Analisi del pericolo della liquefazione**

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 1. Descrizione del tracciato e caratteristiche	12
Tabella 2. Elenco dei sondaggi a carotaggio continuo con relative caratteristiche (2018)	26
Tabella 3. Elenco delle perforazioni a distruzione di nucleo (2018)	28
Tabella 4. Sintesi risultati prove SPT (indagine 2018)	30
Tabella 5. Valori delle permeabilità ottenuti da prove Lefranc (indagine 2018)	33
Tabella 6. Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica (numero e tipo) anno 2018	34
Tabella 7. Sondaggi e caratteristiche	37
Tabella 8. Valori di $N_{SPT}$ misurati nei sondaggi	42
Tabella 9. Prove Lefranc (Indagine 2021)	46

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Tabella 10. Prove MASW e posizione (indagine 2021)	48
Tabella 11. Sommario prove di laboratorio (Indagine 2021)	49
Tabella 12. Risultati delle prove sui campioni indisturbati (Proprietà indice)	53
Tabella 13. Risultati delle prove triassiali (TX)	54
Tabella 14. Risultati delle prove di taglio diretto (TD)	55
Tabella 15. Risultati delle prove Edometriche (ED)	56
Tabella 16. Proprietà indice e stima dei parametri geotecnici	66
Tabella 17. Prove SPT nel riporto eterogeneo (Unità 1)	69
Tabella 18. Parametri geotecnici e grado di cementazione (da Cardu e Oreste, 2013)	77
Tabella 19. Caratterizzazione geotecnica e grado di cementazione (da Barla & Barla, 2012)	77
Figura 17. Correlazioni tra $N_{SPT}$ e $V_S$	78
Figura 18. Densità relativa DR dai risultati delle prove SPT nel terreno dell'Unità 2B	82
Figura 19. Valori di $\phi'$ dai risultati prove SPT nel terreno dell'Unità 2B	82
Figura 20. Calcolo dell'altezza di scavo H	83
Tabella 20. Valori del modulo di deformazione nelle Unità 2 – Unità 3 – Unità 4	85
Tabella 21. Risultati delle prove di laboratorio (Unità 6)	86
Tabella 22. Prove di laboratorio e risultati per l'Unità 5 (FAA)	87
Tabella 23. Riassunto dei valori caratteristici dell'Unità 5	88
Tabella 24. Prove di laboratorio e risultati per l'Unità 7 (SAF)	89
Tabella 25. Correlazione tra le proprietà del terreno e il potenziale di rigonfiamento	91
Figura 21. Modulo edometrico M (SC) in funzione della profondità (Unità 6 e 7)	92
Figura 22. Indice di ricomprensione Cr in funzione della profondità per le Unità 6 e 7	93
Tabella 26. Indice di ricomprensione stimato dalle proprietà indice (Unità 6 e 7)	93
Figura 23. Valori di Cr stimati dalle proprietà indice (Unità 6 e Unità 7)	94
Tabella 27. Prove Lefranc e individuazione dello strato di appartenenza	96
Tabella 28. Misure piezometriche	99
Tabella 29. Misure piezometriche indagine 2021 (Lotto 1)	101
Tabella 30. Misure piezometriche indagine 2021 (Lotto 2)	102
Tabella 31. Livelli piezometrici 2018 e 2021 in corrispondenza delle stazioni	103
Tabella 32. Sondaggi e cementazione	105
Tabella 33. Individuazione degli strati cementati (diagrafie) e sondaggio adiacente	108
Figura 24. Variazione del grado di cementazione con l'energia specifica	109
Tabella 34. Livelli di cementazione delle unità 2,3 e 4	110
Figura 25. Campi di velocità e tipo di terreno	110
Tabella 35. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno	112
Tabella 36. Riassunto dei risultati delle prove geofisiche	114
Tabella 37. Prove Masw e velocità $V_{S,eq}$ (progetto di fattibilità)	114
Tabella 38. Valori del parametro $V_{S,eq}$ e categoria sismica del terreno (doc. 08_MTL2T1A0INDGENR002)	116
Tabella 39. Calcolo di $V_S$ a partire dai valori medi di $N_{SPT}$	120
Figura 26. Confronto tra i valori di $N_{SPT}$ misurati per le Stazioni SPN e SPO	123
Figura 27. Modelli di velocità delle onde di taglio Stazione Politecnico	123

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Figura 28. Confronto tra i valori di $N_{SPT}$ misurati per le Stazioni SPN e SPA	124
Figura 29. Modelli della MASW 2 D eseguita in fase di PFTE in prossimità della Stazione Porta Nuova per scopi Archeologici	125
Figura 30. Confronto tra i valori di $N_{SPT}$ misurati per le Stazioni SPO e SCA	126
Figura 31. Confronto tra i valori di $N_{SPT}$ misurati per le Stazioni SMO e SPN	128
Figura 32. Gruppo n. 1 dei fusi granulometrici (Unità 2)	130
Figura 33. Gruppo n. 2 dei fusi granulometrici (Unità 2)	131
Figura 34. Liquefazione da $V_s$ (cross hole) zona Politecnico	132
Figura 35. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Bologna	133
Figura 36. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Mole-Giardini	134
Figura 37. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Giulio Cesare	135
Figura 38. Criterio per il calcolo del pericolo della liquefazione	136
Figura 39. Criterio semiempirico per la definizione del pericolo della liquefazione	136
Figura 40. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Mole-Giardini (falda a – 4.5 m)	137
Figura 41. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Giulio Cesare (falda a – 4.5 m)	138
Figura 42. Liquefazione da NSPT Stazioni Porta Nuova e Carlo Alberto (falda a – 4.5 m)	139
Figura 43. Potenziale di ostruzione definito in base alle prove di laboratorio (aggiornato)	140
Tabella 40. Risultati delle prove di laboratorio per la valutazione della fresabilità	143

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Key-plan della linea 2 – Tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo	9
Figura 2. Pianura torinese. Configurazione della superficie piezometrica della falda libera superficiale nel Complesso ghiaioso-sabbioso e sua direzione di flusso	20
Figura 3. Sondaggio SP-D05 in cui si osservano carote rappresentative delle caratteristiche litologiche dell'Unità 2B, che è stata distinta tra 21,7 e 26 m circa ed è costituita da prevalenti sabbie-limose addensate e minori livelli di ghiaie	57
Figura 4. Contatto tra ghiaie sabbiose e orizzonti sabbie-limose addensate in livelli spessi fino a 80cm e continui alternate a meno frequenti ghiaie nel sondaggio SP-D14	57
Figura 5. Carta della distribuzione del substrato (da Festa et al., 2009) che mostra le possibili eterogeneità in corrispondenza del tracciato dell'opera	58
Figura 6. Sondaggio SP-D15 mostrante contatto a -13,2m (linea rossa) tra ghiaie sabbiose ed alternanze di ghiaie e sabbie-limose addensate in livelli fino a 50-70 cm di spessore	59
Figura 7. Dettaglio del sondaggio SP-D22 in cui a 17 metri sono presenti livelli di argilla grigio-scura intervallati a sottili ghiaie	59
Figura 8. Carote alle profondità 10-15m nel sondaggio SP-D32, rappresentative delle ghiaie e sabbie corrispondenti all'Unità 2 nel Profilo geotecnico	60
Figura 9. Dettaglio del sondaggio SP-D35 che mostra da 18,5m a 24m livelli pluridecimetrici di sabbie e limi bruno rossicci con poco frequenti ghiaie. Si nota che prove idrogeologiche su campione prelevato a circa -19m ha dato $K=5.31 \cdot 10^{-8}$ .	60
Figura 10. Valori di $N_{1,60}$ misurati nell' Unità geologica AFR	72

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

Figura 11. Densità relativa in funzione della profondità nell' Unità geologica AFR	73
Figura 12. Valori di $\phi'$ con la profondità nell'unità geologica AFR (Hatanaka e Uchida)	74
Figura 13. Valori di $N_{1,60}$ misurati nell'unità geologica INS	75
Figura 14. Densità relativa in funzione della profondità nell'unità geologica INS	75
Figura 15. Valori di $\phi'$ con la profondità nell'unità geologica INS (da Ohsaki et al.)	76
Figura 16. Sezione litologica orizzontale del comune di Torino e gradi di cementazione (da Cardu e Oreste, 2013)	77
Figura 17. Correlazioni tra $N_{SPT}$ e $V_s$	79
Figura 18. Densità relativa DR dai risultati delle prove SPT nel terreno dell'Unità 2B	83
Figura 19. Valori di $\phi'$ dai risultati prove SPT nel terreno dell'Unità 2B	83
Figura 20. Calcolo dell'altezza di scavo H	83
Figura 21. Modulo edometrico M (SC) in funzione della profondità (Unità 6 e 7)	92
Figura 22. Indice di ricompressione $C_r$ in funzione della profondità per le Unità 6 e 7	93
Figura 23. Valori di $C_r$ stimati dalle proprietà indice (Unità 6 e Unità 7)	94
Figura 24. Variazione del grado di cementazione con l'energia specifica	109
Figura 25. Campi di velocità e tipo di terreno	110
Figura 26. Gruppo n. 1 dei fusi granulometrici (Unità 2)	130
Figura 27. Gruppo n. 2 dei fusi granulometrici (Unità 2)	131
Figura 28. Liquefazione da $V_s$ (cross hole) zona Politecnico	132
Figura 29. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Bologna	133
Figura 30. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Mole-Giardini	134
Figura 31. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Giulio Cesare	135
Figura 32. Criterio per il calcolo del pericolo della liquefazione	136
Figura 33. Criterio semiempirico per la definizione del pericolo della liquefazione	136
Figura 34. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Mole-Giardini (falda a – 4.5 m)	137
Figura 35. Liquefazione da $V_s$ (Masw) zona Stazione Giulio Cesare (falda a – 4.5 m)	138
Figura 36. Liquefazione da NSPT Stazioni Porta Nuova e Carlo Alberto (falda a – 4.5 m)	139
Figura 37. Potenziale di ostruzione definito in base alle prove di laboratorio (aggiornato)	140

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Generalità

La presente relazione si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto lo studio dal punto di vista geotecnico (indagini, prove e interpretazioni) dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera.

La prima tratta funzionale della Linea 2 della Metropolitana di Torino (Figura 1), inclusa tra le stazioni Rebaudengo e Politecnico, si colloca interamente nel territorio comunale di Torino, presenta una lunghezza di circa 9,7 km, e, procedendo da nord verso sud, si sviluppa a partire dalla stazione di corrispondenza con la stazione F.S. Rebaudengo-Fossata, proseguendo poi lungo la ex trincea ferroviaria posta tra via Gottardo e via Sempione. Il tracciato, a partire dalla fermata Corelli passa lungo via Bologna, al fine di servire meglio gli insediamenti dell'area interessata esistenti e futuri con le fermate intermedie Cimarosa-Tabacchi, Bologna e Novara. Dopo la fermata Novara, il tracciato si allontana dall'asse di Via Bologna mediante una curva in direzione sud-est e si immette sotto l'asse di Corso Verona fino alla Stazione Verona ubicata in Largo Verona. Dopo la fermata Verona, sotto attraversato il fiume Dora e Corso Regina Margherita, la linea entra nel centro storico della città con le fermate Mole/Giardini Reali e Carlo Alberto, portandosi poi in corrispondenza di via Lagrange, sino ad arrivare alla stazione Porta Nuova, posta lungo via Nizza, che sarà di corrispondenza sia con la linea F.S. che con la Linea 1 della metropolitana di Torino.

Dalla fermata Porta Nuova il tracciato prosegue lungo l'allineamento di via Pastrengo, per poi portarsi su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

La prima tratta funzionale è costituita dalle seguenti opere:

- 13 stazioni sotterranee,
- 12 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi,
- la galleria di linea costituita da:
  - un tratto in galleria naturale realizzato con scavo tradizionale per una lunghezza di 135 m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo;
  - un tratto in galleria artificiale in cut & cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0 km che collega le stazioni Rebaudengo, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
  - un tratto in galleria naturale realizzato con scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Borin Machine) avente diametro di circa 10,00 m, che scaverà la galleria di linea dal



manufatto in retrostazione Bologna fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5,6 km;

- un pozzo terminale di fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico;
- il manufatto in retrostazione Rebaudengo, avente la funzione di deposito-officina, per la manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio;
- la predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.

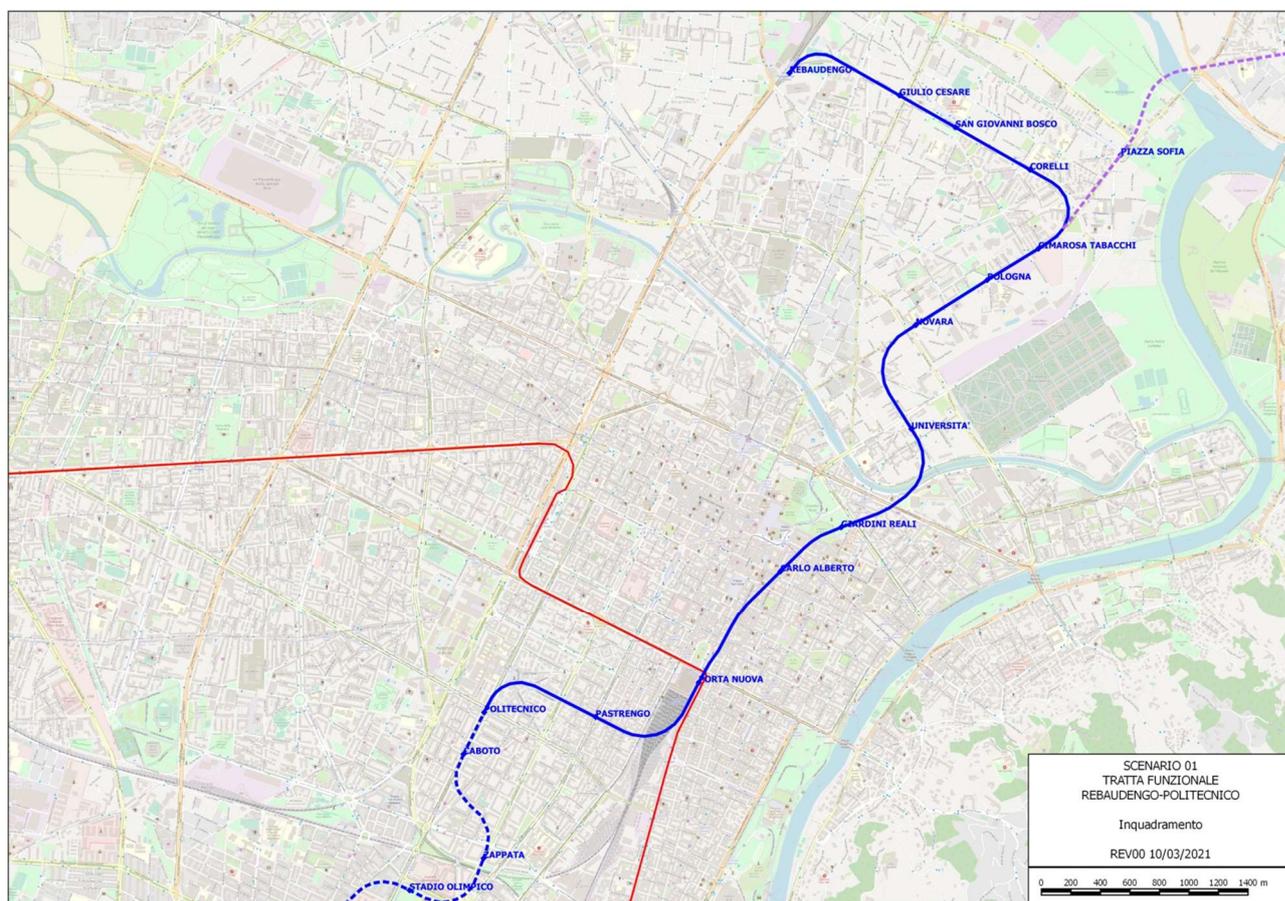


Figura 1. Key-plan della linea 2 – Tratta funzionale 1 – “Politecnico-Rebaudengo”

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

## 1.2 Documenti di riferimento

Il lavoro è basato essenzialmente su quanto contenuto nei seguenti documenti di riferimento:

- Rapporti ed elaborati tecnici del progetto di fattibilità tecnica ed economica (Relazione geologica, Monitoraggio piezometrico, planimetrie e profili associati, planimetrie e profili geologici, Rilievi ambientali, Sondaggi e prove in sito, Prove di laboratorio, Piezometrie):
  - MTO2PFTCGEOCOMR003 Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica
  - MTO2PFTCGEOCOMR004 Esiti monitoraggio piezometrico
  - MTO2PFTCGEOCOMT005 Planimetria e profilo geologico - Tav da 1 a 8
  - MTO2PFTCGEOCOMT006 Planimetria e profilo idrologico - Tav da 1 a 8
  - MTO2PFTCGEOCOMR005 Sondaggi geognostici - Risultati prove di laboratorio
  - MTO2PFTCGEOCOMR006 Relazione geotecnica
  - MTO2PFTCGEOCOMT007 Profilo geotecnico - Tav da 1 a 12
  - MTO2PFTCGEOCOMT008 Planimetria con indicazione dei sondaggi - Tav da 1 a 12
  - MTO2PFTCGEOCOMR002 Relazione tecnica - Esiti indagini e prove in situ
  - MTO2PFTCGEOCOMR005 Sondaggi geognostici – Risultati prove di laboratorio
- Rapporti ed elaborati tecnici del progetto definitivo (Relazioni sulle indagini geologiche-geotecniche, risultati delle prove in sito, risultati delle prove sismiche, Relazione geologica, Carte e profili geologici):
  - MTL2T1A0DINDGENR002 Indagini geognostiche - Relazione tecnica-descrittiva delle indagini geognostiche eseguite
  - MTL2T1A0DINDGENT002.1 - MTL2T1A0DINDGENT002.6 Relazione tecnica-descrittiva delle indagini geognostiche eseguite - Tavole da 1 a 6
  - MTL2T1A0DGEOGENR001 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica
  - MTL2T1A0DGEOAGENT001.1 - MTL2T1A0DGEOAGENT001.6 Carta e sezione geologica – Tavole da 1 a 6
  - MTL2T1A0DGEOAGENT002.1 - MTL2T1A0DGEOAGENT002.6 Carta e sezione idrogeologica – Tavole da 1 a 6
  - MTL2T1A0DGEOAGENT003.1 - MTL2T1A0DGEOAGENT003.6 Profilo geotecnico - Tavole da 1 a 6

Gli elaborati su menzionati riportano l'inquadramento cartografico del tracciato di progetto, l'ubicazione delle indagini geognostiche e le sezioni geologico-tecniche, oltre a tutti i risultati delle indagini in sito e di laboratorio per ciascuna delle due fasi progettuali.

## 2. PIANO DELLA RELAZIONE

La presente relazione è così strutturata.

Il **Capitolo 3** riporta un breve inquadramento dell'opera.

Il **Capitolo 4** riporta l'inquadramento geologico e stratigrafico.

Il **Capitolo 5** riporta l'inquadramento idrogeologico.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Il **Capitolo 6** presenta le indagini geognostiche e le prove geotecniche in sito e in laboratorio eseguite per la caratterizzazione geotecnica del terreno (perforazioni a carotaggio continuo, diagrafie, prove penetrometriche dinamiche (SPT), indagini geofisiche, prove di laboratorio).

Il **Capitolo 7** descrive le metodologie e criteri di interpretazione dei dati acquisiti mediante le indagini, nonché la caratterizzazione geotecnica in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità) delle formazioni individuate.

Il **Capitolo 8** elenca la caratterizzazione dal punto di vista sismico dei terreni presenti.

Il **Capitolo 9** riporta la valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti.

Il **Capitolo 10** riporta alcune considerazioni in merito ai rischi di natura geotecnica connessi allo scavo meccanizzato.

Il **Capitolo 11** elenca i principali riferimenti bibliografici.

### 3. BREVE DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il progetto della nuova linea metropolitana (Linea 2) nella tratta centrale, tra le stazioni Anselmetti e Rebaudengo, collega il settore Nord della città con quello Sud, intersecando la Linea 1 a Porta Nuova. La lunghezza del tratto è pari a circa 15.7 km e prevede n. 23 stazioni. Partendo dalla Stazione Rebaudengo (e relativo collegamento al Passante Ferroviario), la linea si sviluppa in galleria artificiale seguendo l'esistente trincea ferroviaria tra le vie Gottardo e Sempione, fino a raggiungere l'ex scalo Vanchiglia. Da qui il tracciato si approfondisce, essendo realizzato con la tecnica del cut and cover, fino alla stazione Bologna, per poi proseguire in galleria naturale (scavo meccanizzato) fino al termine (Stazione Anselmetti). La Figura 1, ripresa dalla relazione geotecnica del progetto di fattibilità, mostra il tracciato in esame (linea di colore blu).

Il tracciato della L2, una volta superata via Bologna, oltrepassa la Dora ed attraversa i Giardini Reali verso Piazza Carlo Alberto. Dopo aver attraversato il centro storico passando per Piazza Carlo Alberto e via Lagrange, la Linea 2 incrocerà la Linea 1 in corrispondenza della Stazione Porta Nuova e, dopo un'ampia curva sotto il fascio binari della stazione, imboccherà via Pastrengo, risalendo fino a corso Duca degli Abruzzi. Da qui il tracciato proseguirà verso Corso Orbassano dopo un'ampia deviazione realizzata per consentire un interscambio con la linea ferroviaria al quadrivio Zappata in corrispondenza di corso Galileo Ferraris (stazione Zappata).

Nella Tabella 1 (ripresa dalla relazione geotecnica del progetto di fattibilità) si riportano i dati geometrici principali relativi ad ogni stazione e tratta compresa tra due stazioni.

**Tabella 1. Descrizione del tracciato e caratteristiche**

<b>Tipo di Opera</b>	<b>Dalla progressiva</b>	<b>Alla progressiva</b>	<b>Lunghezza parziale [m]</b>	<b>Copertura [m]</b>	<b>Max. Pendenza [%]</b>
galleria TBM - GT8	5+925.75	6+131.45	205.7	17 (14-19)	4.0%
Stazione - Politecnico	6+131.45	6+205.05	73.6	-	0.0%
galleria TBM – GT7	6+205.05	7+035.05	830	20 (13-25)	-3.9% / 3.3%
Stazione - Pastrengo	7+035.05	7+099.44	64.4	-	0.0%
galleria TBM – GT6	7+099.44	7+941.62	842.18	24 (19-26)	-4.0% / 0.7%
Stazione - Porta Nuova	7+941.62	8+030.22	88.6	-	0.0%
galleria TBM – GT5	8+030.22	8+899.97	869.75	24 (19-29)	-4.0% / 3.0%
Stazione - Carlo Alberto	8+899.97	8+973.57	73.6	-	0.0%
galleria TBM – GT4	8+973.57	9+496.52	522.95	21 (19-23)	-2.7%
Stazione – Mole / Giardini Reali	9+496.52	9+560.82	64.3	-	0.0%
galleria TBM – GT3	9+560.82	10+487.44	926.62	20 (13-26)	-3.2% / 4.0%
Stazione - Verona	10+487.44	10+561.04	73.6	-	0.0%
galleria TBM – GT2	10+561.04	11+217.66	656.62	17 (13-19)	-0.8% / 0.0%
Stazione - Novara	11+217.66	11+281.96	64.3	-	0.0%
galleria TBM – GT1	11+281.96	11+602.34	320.38	15 (7-19)	0.0% / 3.0%
Pozzo Partenza TBM - PNO	11+602.34	11+630.34	28	-	3.0%



Tipo di Opera	Dalla progressiva	Alla progressiva	Lunghezza parziale [m]	Copertura [m]	Max. Pendenza [%]
Galleria C&C – GA6	11+630.34	11+838.94	208.6	-	2.15% / -1.2%
Stazione - Bologna	11+838.94	11+956.53	117.59	-	0.0%
galleria C&C – GA5	11+956.53	12+268.56	312.03	-	2.15% / -1.2%
Stazione - Cimaraosa/Tabacchi	12+268.56	12+398.84	130.28	-	0.0%
galleria C&C – GA4	12+398.84	13+032.99	634.15	-	0.0%/3.3%
Stazione - Corelli	13+032.99	13+122.58	89.59	-	0.0%
galleria scatolare – GA3	13+122.58	13+605.13	482.55	-	1.0%
Stazione - San Giovanni Bosco	13+605.13	13+693.32	88.19	-	0.0%
galleria scatolare – GA2	13+693.32	14+062.29	368.97	-	1.0%
Stazione - Giulio Cesare	14+062.29	14+151.04	88.75	-	0.0%
galleria scatolare – GA1	14+151.04	14+533.80	382.96	-	0.6%
Pozzo Terminale GA – PT2	14+533.80	14+561.22	27.42	-	0.0%
Galleria naturale – GN2	14+561.22	14+853.85	292.63	6.5 (5-8)	0.6%
Stazione - Rebaudengo	14+853.85	14+957.25	103.40	-	0.0%
Galleria naturale – GN2	14+957.25	15+236.86	279.61	8 (7.2-8.8)	0.6%
Deposito Officina Rebaudengo	15+236.86	15+589.47	352.61	-	0.0%

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

La minima copertura prevista rispetto alla superficie del terreno è di circa 7÷8 m a ridosso della stazione Bologna, da cui inizia il settore in *cut and cover*.

Ad eccezione dei luoghi e degli edifici di grande rilevanza, di cui occorrerà tener conto durante l'esecuzione degli scavi, di particolare impegno sono da considerare i passaggi sotto le strutture interrato già esistenti.

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 4.1 Assetto morfologico

Il tracciato dell'opera si sviluppa interamente all'interno dell'area urbana di Torino. Il settore, caratterizzato da un assetto pianeggiante della topografia con quota variabile tra 230 m slm e 255 m slm, rappresenta un lembo residuo dell'originario "livello fondamentale della pianura" degradante con limitatissime inclinazioni dall'area cuneese sino a nord della Collina di Torino. La successiva attività di modellamento esplicita dalla rete idrografica principale ha comportato l'incisione e la conseguente separazione in varie porzioni di questa superficie, che attualmente risulta posta a quote sensibilmente superiori e non più in relazione con i corsi d'acqua. L'area di interesse, in particolare, corrisponde al margine Est del settore esteso tra Rivoli ed il nucleo originario di Torino, delimitato dalle incisioni della Stura di Lanzo, a Nord-Est, del T. Sangone a Sud, e dal corso del F. Po a ridosso del versante della Collina. In corrispondenza di questi fiumi, i margini del livello fondamentale della pianura posti a quote di 220 ÷ 235 m slm sono rimarcati da scarpate naturali con altezze generalmente variabili tra 10 ÷ 15 m. L'assetto originario delle scarpate, in origine ben evidenti e piuttosto acclivi risulta attualmente rimodellato più o meno intensamente a seguito degli interventi di urbanizzazione e di sistemazione delle sponde fluviali.

La superficie riferibile al livello fondamentale immerge verso est degradando molto blandamente verso il corso del F. Po. Le quote variano da 290 m (Grugliasco), a 260 m (Villa della Tesoriera), 250 m (La Crocetta), 235 m (Via Nizza), sino ai 230 m circa di Corso Massimo d'Azeglio. Il gradiente medio è dell'ordine dell'8 per mille. Nel dettaglio, precedentemente all'espansione delle aree urbanizzate, presentava un assetto articolato con sviluppo di modeste ondulazioni riferibili alle direttrici di scorrimento delle acque superficiali provenienti da limitati bacini imbriferi. Attualmente questo assetto è riconoscibile con difficoltà solo nei tratti esterni alla città.

In relazione all'assetto della rete idrografica principale, che svolge il ruolo di collettore delle acque di scorrimento superficiale e drenante della circolazione profonda, ed alla permeabilità generalmente medio-alta delle coperture superficiali, non sono presenti corsi d'acqua naturali in questo tratto di pianura. Il reticolo secondario è riferibile interamente alla rete di canali irrigui o a servizio delle attività manifatturiere che sino alla metà del Novecento si estendevano con continuità attorno alla Città.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

## 4.2 Stratigrafia generale dell'area cittadina

Nel settore di pianura compreso tra i corsi del F. Stura di Lanzo ed il T. Sangone sono presenti, in affioramento e sino a profondità superiori a quelle di interesse progettuale, depositi continentali di età quaternaria relativi a diversi tipi di ambiente (fluviale, fluvio-glaciale ed eolico), poggianti su un substrato locale costituito da depositi marini di età pliocenica. Sulla base dei dati diretti di superficie, integrati con i risultati delle indagini disponibili (sondaggi e pozzi per acqua), è possibile suddividere il sottosuolo della pianura torinese nell'ambito di interesse in complessi con caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche omogenee.

Procedendo dall'alto verso il basso, in particolare, sono state individuate le seguenti unità:

1. **Depositi alluvionali indifferenziati (età Olocene).** Costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie più o meno grossolane con lenti sabbioso-argillose e, localmente, livelli cementati. Questi terreni, affioranti lungo le fasce di meandrazione della Dora Riparia e del T. Stura di Lanzo, costituiscono una serie di depositi permeabili terrazzati. L'età di formazione risulta via via più recente procedendo dalle superfici poste a quote superiori verso gli accumuli posti a quote prossime agli alvei attuali. Lo spessore è generalmente compreso tra 20 e 40 ÷ 50 m. La permeabilità relativa per porosità è elevata. I depositi alluvionali ospitano una falda freatica, la cui superficie, variabile stagionalmente, è in connessione con il regime idraulico dei corsi d'acqua costituenti il recapito finale.  
*L'unità non interessa direttamente l'area di progetto.*
2. **Depositi fluvio-glaciali (età Pleistocene medio-superiore).** Prevalenti ghiaie e sabbie con interstrati limoso-argillosi ed estesi orizzonti cementati, presenti in modo più o meno continuo su gran parte del sottosuolo urbano di Torino. Lo spessore complessivo noto può raggiungere i 70 m. I depositi fluvio-glaciali, costituenti il margine delle estese conoidi della Dora Riparia e dello Stura di Lanzo, risultano in posizione altimetrica rilevata rispetto al reticolo idrografico, che costituisce il locale livello di base. Incisi più o meno profondamente dal reticolo idrografico attuale, risultano ricoperti localmente dai più recenti depositi alluvionali indifferenziati. La permeabilità relativa, per porosità nei terreni incoerenti e per fratturazione negli orizzonti cementati, può variare da valori medio-alti a medio-bassi. La falda ospitata all'interno dell'unità ha soggiacenza variabile in funzione del contesto morfo-altimetrico. Posta ad una profondità di oltre 40 m dal piano campagna nell'ambito di alta pianura (al di fuori dell'area urbana), passa progressivamente a valori minori nella fascia medio-bassa di pianura, e nell'area urbana, sino a raccordarsi con la falda idrica presente nei depositi alluvionali più recenti, fiancheggianti la Dora Riparia e lo Stura di Lanzo.
3. **Depositi fluvio-lacustri in facies "Villafranchiana" (età Pliocene sup.- Pleistocene inf).** Alternanze di sedimenti di ambiente fluviale (ghiaie e sabbie) e di ambiente lacustre-palustre (limi e argille, con resti vegetali). Nei depositi grossolani e ben permeabili è contenuto un complesso di falde idriche in pressione, confinate dai livelli limoso-argillosi che funzionano

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

da setti impermeabili. L'unità nota nei settori adiacenti del sottosuolo della Città, non era stata individuata con precisione prima dell'avvio della presente campagna di indagine.

4. **Depositi marini (età Pliocene).** Sabbie giallastre fossilifere (*facies* "astiana", discretamente permeabili per porosità, passanti verso il basso a depositi argilloso fossiliferi di colore azzurro (*facies* "piacenziana"), nell'insieme a permeabilità bassa-molto bassa per porosità, che svolgono la funzione di diaframma impermeabile.

I depositi del Villafranchiano sono presenti a partire da profondità dell'ordine dei 50 m dal p.c. sino ad almeno 80 m (dati desunti dalle perforazioni per acqua eseguite nelle zone circostanti). Il substrato locale costituito dalla successione sabbioso-argillosa miocenica affiora al margine della Collina di Torino. La superficie sommitale, di tipo erosivo e variamente articolata del substrato locale, degrada molto rapidamente procedendo dal corso del F. Po verso Ovest, in relazione all'assetto strutturale della collina. Il tetto delle argille, posto a circa 205 m slm in sponda destra del fiume, all'altezza di Corso Massimo d'Azeglio è stato riscontrato a circa 198 m slm e, in corrispondenza del centro cittadino si dispone al disotto dei 150 m slm (ovvero a profondità superiori ai 100 m dal p.c.).

### 4.3 Assetto del sottosuolo nell'area di progetto

L'assetto del sottosuolo in corrispondenza dello sviluppo del tracciato è stato indagato sino alle profondità di interesse progettuale attraverso la campagna d'indagine geotecnica e idrogeologica condotta nel periodo da giugno a settembre del 2018, per la redazione del progetto di fattibilità. Successivamente, in sede di progetto definitivo, tali indagini sono state integrate nel periodo giugno-agosto del 2021. Qui di seguito le formazioni individuate sono nominate con riferimento alla Relazione geologica.

Sinteticamente, la sequenza litologico-stratigrafica si compone, procedendo dalla superficie del suolo verso il basso, dei seguenti termini:

- a) strato antropico;
- b) depositi fluvio-glaciali (Pleistocene medio-superiore)
- c) depositi fluvio-lacustri (Villafranchiano)

#### 4.3.1 Strato antropico (Unità geologica UID)

Lo strato antropico comprende, a partire dal piano campagna attuale, i materiali ed i terreni rimaneggiati dalle attività antropiche più significative che hanno interessato le aree a partire dall'espansione urbanistica della Città nella seconda metà dell'Ottocento sino agli ultimi anni.

In generale, questo strato è costituito da ciottoli, ghiaie e sabbia scarsamente addensati e non coesivi, non alterati. Molto spesso sono presenti frammenti di laterizi.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

Facendo riferimento ai dati dell'indagine del progetto definitivo, nei sondaggi da SP-D01 a SP-D07 (vale a dire nel tratto compreso tra la zona Politecnico alla zona di via Sacchi), lo spessore del riporto è limitato ai primi 2 metri. A partire dal sondaggio SP-D08 (via Saluzzo) e fino al sondaggio SP-D11 (via Lagrange), lo strato antropico raggiunge lo spessore di 5 metri. Sempre nella zona del centro storico, a partire dal sondaggio SP-D12 (via Maria Vittoria), fino al sondaggio SD-P16 lo spessore del riporto è variabile da 1.5 metri a circa 4 metri. Nella tratta compresa tra SP-D16 (Mole Antonelliana-Giardini Reali) e SP-D18 (progr. km 10+034), lo spessore del riporto antropico è di 6 metri. Da lì, fino al termine del tratto di linea in progetto (Stazione Rebaudengo e aree adiacenti), lo spessore del riporto varia da 1 metro a 5 metri circa, con l'eccezione del sondaggio SP-D32 (progr. km 13+920), in cui lo spessore antropico è risultato pari a 8 metri.

Gli spessori sopra riportati, basati sull'indagine dell'anno 2021 si accordano con quelli desunti dall'indagine del progetto di fattibilità, in cui questi variano tra 1 e 10 metri e oltre.

#### **4.3.2 Depositi fluvio glaciali (Unità geologica AFR)**

Il sito di progetto si colloca in posizione distale rispetto ai limiti raggiunti dagli apparati glaciali allo sbocco delle vallate alpine nella pianura torinese. La potenza di questa unità risulta pertanto intermedia tra gli spessori massimi noti lungo il margine pedalpino e quelli minori rilevabili lungo il corso del F. Po.

La sequenza fluvio-glaciale nell'area torinese è riferibile nell'insieme al Pleistocene medio-superiore. La porzione affiorante in corrispondenza della Città e del settore di pianura posto ad ovest, in particolare, secondo i recenti rilevamenti condotti per la stesura della nuova Carta Geologica d'Italia a scala 1: 50.000 (F. 155 – Torino Ovest) è databile alla parte sommitale del Pleistocene superiore.

La chiusura della successione sedimentaria che ha portato alla costruzione di questo tratto della pianura torinese è connessa ai processi erosivi e sedimentari afferenti al Bacino del Fiume Dora Riparia. Secondo la revisione condotta per il Foglio 155 - Torino Ovest i terreni affioranti sono stati attribuiti all'unità deposizionale del Sintema di Frassinere.

Lo spessore dei terreni della copertura a granulometria grossolana depositatisi in ambienti di tipo fluvio-glaciale, riscontrato con le indagini, è di poco superiore ai 40 m, con la superficie di appoggio basale che si colloca a profondità (riferite al piano campagna attuale) comprese generalmente tra 40 e 41,5 m. La variabilità riscontrata nell'andamento altimetrico, relativamente elevata in riferimento all'areale indagato, è direttamente connessa all'origine della superficie, di tipo erosivo, modellata in ambiente continentale. La netta discontinuità compositiva che caratterizza il limite con i depositi fini sottostanti è stata riscontrata in quasi tutte le perforazioni, condotte sia a carotaggio che a distruzione.

I depositi comprendono ghiaie, sabbie e ciottoli con presenza nella porzione inferiore dell'unità di orizzonti a grado di cementazione variabile, che risultano a tratti prevalenti. Al loro interno è possibile distinguere due complessi sedimentari: il primo, in posizione geometrica superiore, costituito da sabbie e ghiaie localmente con ciottoli, il secondo a maggiori profondità comprendente orizzonti conglomeratici a grado di cementazione variabile alternati a ghiaie, ciottoli e sabbie.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

Il complesso sabbioso-ghiaioso superiore, più recente e riferibile all'ultima fase di modellamento fluvio-glaciale della pianura torinese, comprende esclusivamente terreni incoerenti che presentano nell'insieme una granulometria inferiore rispetto a quelli sottostanti, ed una maggiore presenza della matrice sabbioso-limosa. Questo termine corrisponderebbe all'unità deposizionale del Sintema di Frassinere, attribuita cronologicamente alla parte sommitale del Pleistocene superiore. L'architettura deposizionale è riferibile, procedendo dall'alto verso il basso, ad un'alternanza di orizzonti e lenti con spessore metrico comprendenti nella situazione tipo:

- sabbie medio fini, con abbondante ghiaia e ghiaietto a elementi poligenici, debolmente limosa, e rari ciottoli;
- ghiaie gradate, con sabbia media e rari ciottoli;
- sabbie medio fini, debolmente limose;
- ghiaie gradate con sabbia debolmente limosa;
- sabbie limose, con ghiaia gradata e rari ciottoli.

Il complesso conglomeratico-ghiaioso è costituito da un'alternanza irregolare di corpi conglomeratici con interposti orizzonti incoerenti composti prevalentemente da ghiaie sabbiose e ciottoli. Nell'insieme la sequenza è riferibile cronologicamente al Pleistocene medio-superiore, non disponendo di elementi di datazione specifici.

In generale, sebbene lo spessore complessivo dei depositi fluvio-glaciali risulti piuttosto costante, il confronto tra le varie perforazioni che hanno interessato l'intero spessore dell'unità evidenzia una significativa variabilità laterale nella composizione granulometrica, negli spessori dei livelli principali, nella continuità e nel grado della cementazione.

Nel tratto centrale e meridionale dell'opera i dati emersi indicando il letto dei depositi fluvioglaciali ad una profondità media di circa 30-35 metri dal piano campagna: questo contatto si superficializza procedendo verso nord e più generalmente avvicinandosi al Fiume Po, arrivando anche a circa 10 metri dal p.c. nelle vicinanze dell'alveo attivo ai piedi della collina. Il contatto è più superficiale (circa 20 metri) anche in corrispondenza delle aree a ridosso del Fiume Dora Riparia.

### **4.3.3 Depositi Incertae Sedis (Unità geologica INS)**

Questi depositi presentano caratteristiche piuttosto simili a quelle dei soprastanti depositi fluvioglaciali, da cui si differenziano principalmente per un grado di alterazione maggiore. Si tratta di depositi di colore bruno-rossiccio, costituiti da ghiaie eterometriche da fini a grosse, con clasti poligenici generalmente centimetrici ma localmente decimetrici e raramente metrici, immersi in matrice sabbioso-limoso-argillosa. Sono presenti intercalazioni centimetriche di sabbie fini e sabbie limose, e di livelli ciottolosi. Come i depositi fluvioglaciali, sono generalmente poco coesivi, sebbene localmente si osservino livelli centimetrico-decimetrici a grado di cementazione da basso a medio, raramente alto, generato dalla presenza di matrice fine o di cemento carbonatico. Laddove possibile, nel profilo sono state indicate le principali intercalazioni fini (sabbie fini e sabbie limose) o grossolane (livelli a ciottoli) e i livelli cementati.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

#### **4.3.4 Depositi fluvio-lacustri in facies "Villafranchiana" (Unità geologica SFR)**

Le profondità raggiunte con le indagini consentono di definire con precisione la posizione e la composizione dei terreni in facies "Villafranchiana" costituenti nell'area in esame il sottosuolo della pianura torinese, in precedenza riconosciuti solo genericamente attraverso le vecchie perforazioni condotte per ricerche idriche. Si tratta di una sequenza terrigena di ambiente continentale, di tipo fluvio-lacustre, con composizione granulometrica nettamente differenziata rispetto ai depositi sovrastanti. Nell'ambito delle profondità indagate i terreni comprendono un'alternanza di livelli con spessore metrico di sabbie medio-fini, limi sabbiosi, argille limoso-sabbiose.

L'esame macroscopico diretto, unitamente alle determinazioni speditive delle caratteristiche fisiche e meccaniche (granulometria, resistenza alla punta), hanno permesso di riferire la sequenza interamente ai depositi continentali "Villafranchiani". Sulla base delle analogie stratigrafiche con i depositi individuati nel sottosuolo poco a sud di Torino, la sequenza è riferibile cronologicamente al Pleistocene inferiore.

#### **4.3.5 Argille azzurre di Lugagnano (Unità geologica FAA)**

Questa unità è costituita da limi argillosi e argille limose grigie e grigio-azzurre, molto compatte, plastiche, con livelli centimetrici sabbioso - limosi e ghiaioso – limosi con rari ciottoli. Tali depositi sono stati rinvenuti direttamente al di sotto dei depositi *incertae sedis* nei sondaggi realizzati in prossimità della Stazione porta Nuova e nel sondaggio presso la futura Stazione Novara, a circa 27 metri dal piano campagna. Il contatto con i soprastanti depositi è di natura erosionale, ed è caratterizzato dalla presenza di ciottoli in scarsa matrice sabbioso-ghiaiosa. I primi centimetri di questa formazione assumono un colore giallastro.

#### **4.3.6 Marne di Sant'Agata Fossili (Unità geologica SAF)**

I sondaggi più profondi realizzati nella parte di tracciato più vicina al Fiume Dora Riparia hanno intercettato, a profondità di circa 25 m e direttamente al di sotto dei depositi *incertae sedis*, dei terreni costituiti da Argille limose di colore grigio molto compatte, localmente litificate. Dal punto di vista cronostratigrafico, la datazione attraverso i fossili attribuisce questi depositi al Miocene superiore, e più precisamente al Tortoniano; sono state interpretate quindi come *Marne di S. Agata Fossili*.

## **5. ASSETTO IDROGEOLOGICO**

### **5.1 Inquadramento dell'area torinese**

Il tratto di pianura in cui si localizza la Città di Torino risulta compreso tra la Collina, ad Est, e l'apparato morenico di Rivoli, verso Ovest. In prossimità del rilievo collinare, lungo il margine orientale dell'area, scorre il Fiume Po che con i tributari provenienti dalla porzione di bacino in sinistra idrografica (T. Chisola, T. Sangone, F. Dora Riparia, T. Stura di Lanzo con l'affluente T.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

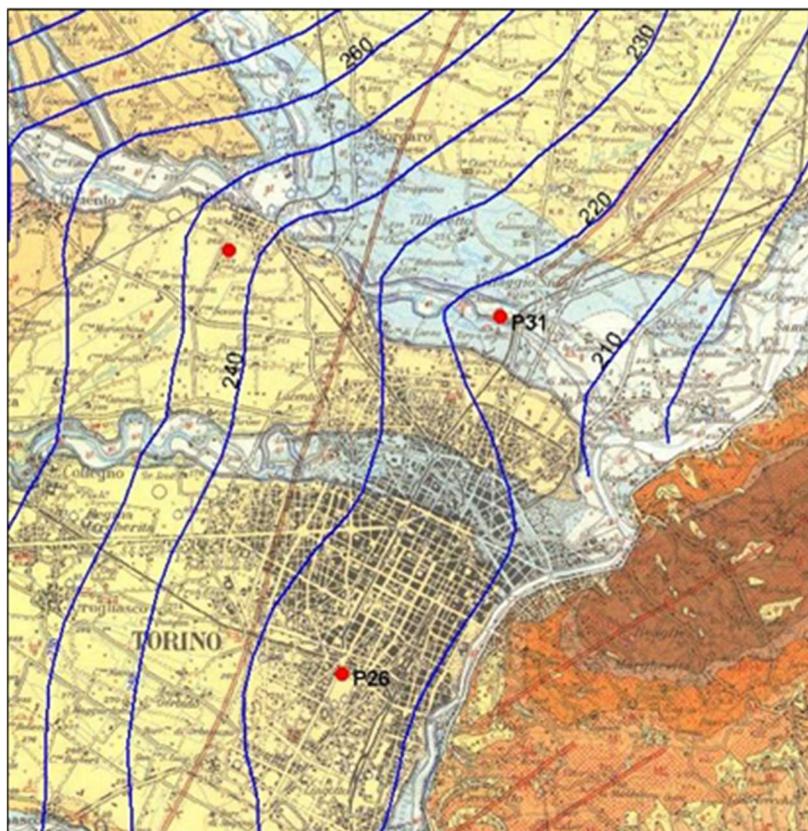
Ceronda), impronta in modo fondamentale l'assetto idrogeologico generale (vedere la Figura 2 che riporta l'andamento della superficie piezometrica della falda libera).

Come descritto al capitolo precedente, nell'area si individuano le tre unità strutturali principali, diverse per età, ambiente deposizionale, composizione delle sequenze litologiche e assetto strutturale, alle quali corrispondono altrettanti complessi idrogeologici (Civita & Pizzo, 2001), di seguito elencati a partire dal più antico:

- Complesso arenaceo-marnoso. Sequenza di ambiente marino, età Miocene;
- Complesso delle alternanze. Sequenze di depositi di ambiente marino marginale e fluvio-lacustre, età Pliocene;
- Complesso ghiaioso-sabbioso. Depositivi fluviali e fluvio-glaciali, età Quaternario.

L'unità strutturale più antica è quella Miocenica, costituita da conglomerati, arenarie e marne, limitate superiormente dai depositi evaporitici della serie gessoso-solfifera messiniana, relative nell'insieme alla sequenza molassica del Bacino Terziario Piemontese. Questa serie corrisponde al Complesso marnoso-arenaceo, nel settore di pianura sepolto sotto la sequenza alluvionale quaternaria (non raggiunto con le indagini nell'area di progetto), ma affiorante estesamente sul bordo occidentale della Collina di Torino. In profondità l'unità presenta una complessa struttura a piega anticlinale, con asse disposto in direzione NE-SO e notevolmente inclinato verso SO, troncata ed erosa nella successiva fase di modellamento quaternario. Il Complesso, caratterizzato da una permeabilità relativa da media a scarsa, svolge un ruolo di limite di permeabilità che condiziona la circolazione idrica nel complesso superiore quaternario. La potenza complessiva è molto elevata, potendo superare il migliaio di metri.

L'Unità Pliocenica, in posizione intermedia, è differenziabile in due ambienti deposizionali principali: una sequenza marino-marginale e una fluvio-lacustre. La prima è composta da sabbie con intercalazioni argillose ricche in fossili marini o da sabbie quarzoso-micacee con scarso contenuto fossilifero. Individuata sulla base delle perforazioni idriche profonde, si dispone a quote inferiori a quelle raggiunte con le indagini. Questi terreni risultano in eteropia laterale e frontale con la seconda sequenza comprendente depositi fluvio-lacustri "villafranchiani" con prevalenti orizzonti argillosi e subordinate intercalazioni sabbioso-ghiaiose. Tali successioni, riferite globalmente al Complesso delle alternanze, sono intercettate dai sondaggi che superano la coltre alluvionale quaternaria, a profondità compresa tra 10 e 70 m.



**Figura 2. Pianura torinese. Configurazione della superficie piezometrica della falda libera superficiale nel Complesso ghiaioso-sabbioso e sua direzione di flusso.**

Nell'area progettuale la sequenza fluvio-lacustre "villafranchiana" è stata individuata con le indagini dirette a profondità comprese tra 40,0 m e 43,2 m dal p.c., ovvero a quote assolute inferiori ai 247,7 m slm.

Il Complesso delle alternanze è presente in affioramento nell'ambito della pianura. Le giaciture evidenziano una rilevante variabilità, passando da limitate inclinazioni verso E-SE nella zona occidentale a valori maggiori e immersione opposta alla precedente nei settori prossimi alla struttura sepolta deformata della Collina. La potenza del complesso è elevata, nel territorio di Venaria Reale (a NO di Torino), pozzi profondi hanno riscontrato spessori localmente superiori ai 200 metri.

L'unità superiore, è quella Quaternaria, comprendente depositi fluviali e fluvio-glaciali con ghiaie prevalenti e sabbie talvolta limose, formanti un apparato di blande conoidi interdigitate dai principali corsi d'acqua che confluiscono verso Est nel F. Po. Questi sedimenti sono riferibili al Complesso ghiaioso-sabbioso e costituiscono una serie di successioni blandamente terrazzate di età crescente con la quota. La giacitura è sub-orizzontale, poggiate sulle unità sottostanti (Complesso marnoso-arenaceo e Complesso delle alternanze) mediante una superficie erosionale blandamente inclinata verso Est.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

Il Complesso ghiaioso-sabbioso affiora diffusamente nell'intera area di pianura, sia pure con potenze significativamente variabili. L'unità comprende i depositi alluvionali interglaciali ed i depositi glaciali affioranti in corrispondenza dell'ampio apparato morenico della Dora Riparia e i depositi alluvionali dal Pleistocene superiore sino ai sedimenti attuali. Nell'insieme gli spessori decrescono procedendo da O verso E ed E-NE. I valori più elevati, circa 70 m, si riscontrano in prossimità di Grugliasco e Collegno, dove l'ampia conoide della Dora Riparia assume il maggiore sviluppo, mentre gli spessori minori, dell'ordine dei 6 m, si rilevano in corrispondenza dell'attuale corso del F. Po. Lo spessore medio nella zona centrale della pianura è compreso tra 30 ÷ 40 m, mentre nel settore più settentrionale, e in particolare nell'area di Settimo Torinese, raramente supera i 20 m.

## 5.2 Modello idrogeologico concettuale

Gli elementi principali che condizionano il quadro idro-strutturale del sottosuolo torinese comprendono:

- rapporti giaciture e assetto geometrico dei Complessi idrogeologici individuati;
- la presenza sul lato occidentale dell'apparato morenico di Rivoli che si raccorda lateralmente al sistema delle conoidi fluvio-glaciali;
- la chiusura frontale della pianura che sul margine est, appena oltre il corso del Po, è delimitata dai rilievi della Collina di Torino. La funzione di sbarramento svolta dall'apparato anticlinalico prosegue verso sud, oltre La Loggia – Moncalieri, dove la struttura prosegue in sotterraneo coperta dalle più recenti unità plio-quadernarie.

### 5.2.1 Acquifero libero superficiale

L'affioramento con continuità del Complesso ghiaioso-sabbioso comporta la presenza di un primo acquifero superficiale, libero, alimentato in gran parte dagli apporti dei principali corsi d'acqua con direzione di deflusso verso il F. Po. Al di sotto sono presenti il Complesso delle alternanze e quello marnoso-arenaceo, che per la significativa differenza di permeabilità relativa, svolgono nell'insieme la funzione di limite di permeabilità ben definito. L'acquifero libero è limitato da una serie di superfici d'erosione che troncano le sequenze plioceniche e mioceniche sottostanti, condizionando anche le direzioni di flusso sotterraneo ed il pannello piezometrico.

La potenza dell'acquifero libero è condizionata dalla geometria del colmamento della conoide della Dora Riparia, con spessori che raggiungono i 30 ÷ 40 metri lungo una fascia con andamento E – O, disposta tra lo sbocco della Valle di Susa (Rivoli) ed il centro della Città. Gli spessori diminuiscono gradatamente spostandosi da tale depocentro, per raggiungere valori dell'ordine dei 20 m, verso NE, nei territori di Leinì, S. Mauro e Settimo Torinese, e verso S-E nei Comuni di Candiolo e Vinovo.

La conducibilità idraulica media è dell'ordine di  $10^{-4}$  m/s per i depositi costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose, ghiaie sabbioso-limose e conglomerati. La presenza di orizzonti a granulometria fine, sabbie e limi, condiziona in misura rilevante la variabilità del parametro.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

Gli studi e i rilevamenti condotti negli ultimi decenni e recentemente rielaborati organicamente (Civita & Pizzo, 2001) hanno consentito di ricostruire dettagliatamente il campo di moto dell'acquifero libero su tutto il territorio cittadino e in un'ampia zona periferica circostante. L'andamento piezometrico mostra una generale tendenza dei deflussi sotterranei verso il livello di base locale rappresentato dall'alveo del F. Po. I vari tributari presenti in sinistra idrografica, al contrario, possono svolgere ruoli notevolmente diversi in funzione del loro stato idrometrico, drenandolo in situazioni di magra, o alimentandolo durante le fasi di piena.

La soggiacenza varia da circa 60 m nella zona di alta pianura (margine NO), in prossimità dell'apparato morenico della Dora Riparia e dell'affiorare del basamento cristallino lungo il margine alpino, sino a pochi metri nei settori inferiori della piana.

A partire da NE, la superficie piezometrica in sinistra del T. Stura è di tipo radiale complesso, con profilo iperbolico divergente. L'azione di drenaggio operata dall'alveo dello Stura appare dominante dai territori di Caselle e Borgaro, sin quasi alla confluenza con il F. Po al margine settentrionale della Città. In destra idrografica, la presenza di un importante asse di drenaggio che raccoglie i contributi della Dora e del T. Ceronda evidenzia anche in sponda destra la rilevanza dell'azione drenante esercitata dallo Stura sull'acquifero libero.

La Dora Riparia nel tratto da Collegno alla confluenza nel F. Po alimenta in destra l'acquifero sino allo spartiacque sotterraneo mobile individuato sulla direttrice Grugliasco – F. Po con andamento quasi E-O. A sud di questo elemento, in sinistra del T. Sangone, si ripropone una situazione analoga, con un asse drenante sepolto alimentato in gran parte dallo stesso corso d'acqua. In sponda destra, invece, il T. Sangone drena una porzione rilevante dell'acquifero compreso nei comuni di Orbassano e Nichelino, sino ad un altro spartiacque sotterraneo mobile che divide tali flussi da quelli richiamati in direzione opposta dal T. Chisola, tra Volvera e Vinovo.

### **5.2.2 Sistema multiacquifero in pressione**

Al di sotto del complesso ghiaioso-sabbioso contenente l'acquifero libero è presente il Complesso delle alternanze, a sua volta sovrapposto al Complesso marnoso-arenaceo miocenico. La giacitura, blandamente discordante rispetto ai depositi quaternari, porta all'individuazione di una zona di transizione caratterizzata da livelli acquiferi in parte in connessione idraulica con il sovrastante acquifero libero. Il Complesso marnoso-arenaceo si riscontra nella zona della Collina di Torino e in prossimità della fascia pedecollinare. I livelli acquiferi presenti risultano in pressione, ma sono caratterizzati in genere da scarsa produttività. Il Complesso delle alternanze costituisce, invece, una riserva idrica di buona qualità, data la protezione operata dai potenti banchi limoso-argillosi intercalati ai livelli produttivi a granulometria sabbioso-ghiaiosa.

La ricarica degli acquiferi profondi avviene in gran parte per travasi dall'acquifero libero. Di conseguenza, soprattutto per gli orizzonti più profondi, essa è limitata e si esplica su tempi molto lunghi.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

### 5.3 Andamento attuale della falda

La circolazione idrica sotterranea è relativa esclusivamente alla falda freatica ospitata nell'acquifero superficiale. Il modello idrogeologico ottenuto consente di evidenziare i principali aspetti della falda nelle aree di progetto:

- le isopiezometriche risultano disposte in modo sub-parallelo al corso fluviale del fiume Po, nel tratto di interesse con andamento complessivo circa Nord-Sud;
- la direzione di deflusso è diretta nell'insieme da Nord-Ovest verso Sud-Est, con un gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0,5 %;
- l'acquifero superficiale ha uno spessore decrescente da Ovest verso Est; il livello impermeabile di base è costituito dalle argille gialle presenti al tetto della sequenza fluvio-lacustre (facies "Villafranchiana");
- il livello statico della falda superficiale, nell'ambito dell'area di interesse progettuale si dispone a profondità variabili, come nel seguito specificato, in base alle misure piezometriche recenti.
- in generale la posizione della falda risulta molto prossima alla superficie (5-10 metri, talora inferiore ai 5 metri) per i settori prossimi alla Dora. Nella parte sudoccidentale dell'area esaminata la soggiacenza è in genere superiore ai 20 metri, mentre si attesta intorno a valori tra 10 e 20 metri nell'area centrale (Porta Nuova – centro) e nella parte più settentrionale.

La campagna di indagine per la caratterizzazione geologica e geotecnica, condotta in fase di fattibilità, ha reso disponibile l'installazione di piezometri per la misura della falda libera, distribuita sull'intero tracciato di progetto. La strumentazione messa in opera comprende n. 39 piezometri a tubo aperto, installati in altrettanti sondaggi; di essi, 15 piezometri fanno parte dell'indagine ambientale. Nell'ambito della campagna di indagine per il progetto definitivo, sono stati installati (indagini di tipo ambientale) n. 20 piezometri a tubo aperto e n. 1 piezometri tipo Casagrande. Inoltre sono stati installati n. 18 piezometri nel corso dei sondaggi geognostici, di cui n. 3 di tipo elettrico. I dati acquisiti saranno esaminati in dettaglio nei capitoli seguenti; in generale si può osservare che:

- le misure riguardano nel complesso le formazioni definite con le sigle AFR e INS, vale a dire i depositi fluvio-glaciali e i depositi Incertae Sedis; lo spessore è variabile da 15÷20 metri a più di 40 metri; esso rappresenta la sede dell'acquifero principale a superficie libera. Granulometricamente si tratta di ghiaie eterometriche da fini a grosse, con clasti poligenici centimetrici localmente decimetrici, immersi in matrice sabbioso-limosa che diventa limoso argilloso con l'aumentare della profondità.
- questo complesso costituisce l'acquifero sede della falda superficiale, misurata durante le campagne piezometriche del 2018 e del 2021. La maggior parte dell'opera in progetto si svilupperà all'interno di tale acquifero.
- con riferimento ai dati dell'indagine del progetto di fattibilità, il valore minore della soggiacenza è stato misurato nel sondaggio SP16, in corrispondenza della progressiva km 10+100 (Stazione Verona), pari a circa 8 metri; il valore maggiore è stato misurato nel piezometro in SP02, eseguito nell'area della Stazione Mirafiori, che mostra una soggiacenza di circa 27.7 metri.
- relativamente ai dati del progetto definitivo, i valori di soggiacenza minima e massima sono rispettivamente pari a 8.90 metri (sondaggio SP-D20, alla progressiva km 10+890 circa) e 20.50 metri (sondaggio SP-D02, alla progressiva km 0+510 circa, stazione Politecnico).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

## 6. INDAGINI GEOTECNICHE

### 6.1 Generalità

L'indagine geognostica è stata mirata all'affinamento dell'inquadramento geologico e della caratterizzazione geotecnica acquisita nella fase di progetto di fattibilità. Lo studio è stato rivolto, in particolare:

- all'approfondimento del grado di conoscenza dei terreni presenti, in termini di ricostruzione della successione stratigrafica, e di individuazione delle unità geotecniche (con particolare riferimento alla distribuzione spaziale e al grado di intensità della cementazione diffusa nei depositi fluvio-glaciali);
- alla caratterizzazione geotecnica dei terreni,
- alla valutazione dei terreni, in rapporto sia alla scelta delle tipologie esecutive più idonee per le fondazioni e per le opere di sostegno sia alle tecnologie di scavo da utilizzare,
- alla verifica della situazione idrogeologica e delle caratteristiche della falda (posizione attuale e caratteristiche di permeabilità).

Nel seguito sono esposti i contenuti delle indagini e delle prove eseguite nel corso della campagna del 2021 (progetto definitivo); sono inoltre riportati i principali dati e risultati della precedente campagna (progetto di fattibilità, anno 2018). L'interpretazione dei risultati è descritta nel capitolo 7.

### 6.2 Campagna di indagini anno 2018

In sede di progetto di fattibilità, è stata condotta una campagna preliminare di indagini geotecniche che ha compreso:

- N° 25 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prove in foro quali SPT (Standard Penetration Test), prove pressiometriche e prove di permeabilità. Tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometri (ad eccezione del sondaggio SP-09bis e nei fori in cui si sono eseguite le prove geo-fisiche di Cross-Hole, sondaggi SP-05 e SP-11) per rilevare la soggiacenza della falda intercettata.
- Prove geotecniche di laboratorio quali analisi granulometriche, determinazione del contenuto d'acqua, determinazione del peso di volume e del peso specifico dei grani, determinazione dei Limiti di Atterberg, prova di taglio diretto e prove triassiali di tipo consolidate drenate e consolidata non drenate). Le prove di laboratorio includono procedure per valutare anche le dimensioni e le caratteristiche di resistenza meccanica dei ciottoli/trovanti e le caratteristiche di perforabilità.
- N° 25 diagrafie (DAC Test) con il fine di correlare i parametri di perforazione dei sondaggi a distruzione di nucleo con il grado di cementazione dei depositi fluvio-glaciali (AFR).
- N° 6 indagini sismiche con esecuzione di prove per onde superficiali (MASW) al fine di valutare la velocità delle onde di taglio ( $V_{S30}$ ).
- N. 4 prove geofisiche tipo Down-Hole e due di tipo Cross-Hole. Entrambi i metodi permettono la misura in sito della velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali  $V_p$  e di quelle



trasversali  $V_s$ , al fine di determinare i parametri di deformabilità in condizioni dinamiche dei terreni.

- Analisi chimiche per valutare il grado di aggressività delle acque sotterranee

### 6.2.1 Indagini in sito

Di seguito si riportano i dati principali della campagna di indagine suddetta, rimandando alla Relazione geologica/geotecnica del progetto di fattibilità per maggiori dettagli.

#### 6.2.1.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Tra i mesi di aprile e di agosto del 2018 sono stati realizzati 25 sondaggi geognostici a carotaggio continuo fino alla profondità massima di 56 m. Le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti sono riassunte nella seguente Tabella 2.

**Tabella 2. Elenco dei sondaggi a carotaggio continuo con relative caratteristiche (2018)**

ID del sondaggio	Progressiva indicativa	Quota del terreno [m slm]	Profondità falda (1) [m da p.c.]	Profondità [m da p.c.]	Piezometro	Esecuzione prove SPT
SP-01	-1+657.3	260,0	26,85	28,0	SI	SI
SP-02	-0+817.5	257,8	27,71	29,0	SI	SI
SP-03	-0+015.3	255,7	26,67	29,0	SI	SI
SP-04	0+613.8	253,9	25,62	29,0	SI	SI
SP-05	1+005.9	253,0	21,24	29,0	NO	SI
SP-06	1+671.2	251,3	23,1	29,0	SI	SI
SP-07	2+208.7	250,2	22,25	30,0	SI	SI
SP-08	3+071.0	247,9	22,26	30,0	SI	SI
SP-09	3+728.5	245,2	19,53	45,0	SI	SI
SP-09 bis	3+582.6	245,4	-	56,0	NO	NO



ID del sondaggio	Progressiva indicativa	Quota del terreno [m slm]	Profondità falda (1) [m da p.c.]	Profondità [m da p.c.]	Piezometro	Esecuzione prove SPT
SP-10	4+603.6	245,1	18,58	30,0	SI	SI
SP-11	4+894.0	246,8	19,45	30,0	NO	SI
SP-12	5+773.9	241,2	16,32	36,0	SI	SI
SP-13	6+721.0	238,0	16,61	39,0	SI	SI
SP-14	7+602.3	236,0	16,24	35,5	SI	SI
SP-15	8+096.0	233,0	14,28	31,0	SI	SI
SP-15 bis	8+590.7	225,3	9,78	40,0	SI	SI
SP-16	9+086,6	222,9	8,08	30,0	SI	SI
SP-17	10+028.9	226,4	12,13	30,0	SI	SI
SP-18	10+466.1	225,2	11,96	25,0	SI	SI
SP-19	11+131.1	221,8	10,04	26,0	SI	SI
SP-20	11+790.1	226,6	14,17	17,0	SI	SI
SP-21	12+308.8	229,3	15,54	17,0	SI	SI
SP-22	12+808.1	232,3	16,34	17,0	SI	SI
SP-23	13+529.8	236,0	14,87	17,0	SI	SI

### 6.2.1.2 Sondaggi a distruzione di nucleo

Lungo il tracciato della Linea 2 sono state eseguite 25 perforazioni a distruzione di nucleo con registrazione dei parametri di perforazione, finalizzate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni applicando la metodologia del DAC TEST; le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti sono riassunte nella Tabella 3.

**Tabella 3. Elenco delle perforazioni a distruzione di nucleo  
(2018)**

<b>ID del sondaggio</b>	<b>Progressiva indicativa</b>	<b>Quota del terreno [m slm]</b>	<b>Profondità [m da p.c.]</b>
DIA-1	-1+187	258,8	30,5
DIA-2	-0+385.0	256,7	28,0
DIA-3	0+200.4	255,2	30,0
DIA-4	0+773.5	253,3	29,0
DIA-5	1+392.5	231,3	30,0
DIA-6	1+843.2	251,0	30,0
DIA-7	2+565.0	249,3	35,6
DIA-8	3+361.5	244,9	35,7
DIA-9	4+121.1	245,5	35,9
DIA-10	4+676.3	246,3	31,1
DIA-11	5+378.1	244,0	34,7
DIA-12	6+058.8	239,1	36,4
DIA-13	6+715.6	238,0	39,0
DIA-14	7.311.7	236,5	41,1
DIA-15	8+579.1	225,2	36,0
DIA-16	9+500.9	225,6	37,1
DIA-17	10+243.5	225,7	27,8



ID del sondaggio	Progressiva indicativa	Quota del terreno [m slm]	Profondità [m da p.c.]
DIA-18	7+850.9	235,7	38,7
DIA-19	11+162.3	221,8	26,1
DIA-20	12.027.1	227,2	16,7
DIA-21	12+543.8	230,7	16,5
DIA-22	13+099.8	233,5	19,9
DIA-23	13+523.4	236,0	17,2
DIA-24	4+889.9	244,0	30,5
DIA-25	1+001.8	253,0	34,0

### 6.2.1.3 Prove SPT

Nei fori di sondaggio della campagna di indagini per il progetto di fattibilità sono state eseguite complessivamente n. 89 prove SPT. I valori misurati sono riportati, distinti per sondaggio e profondità, nella Tabella 4. I valori a rifiuto ( $N_{SPT} > 100$  colpi) sono indicati con la lettera "R". Come specificato alla fine della tabella, di 88 prove SPT solo 11 hanno dato un valore inferiore a rifiuto, e queste riguardano in pratica lo strato del terreno superficiale, caratterizzato nei primi 4÷8 metri da terreno di riporto. Le altre prove, più profonde, riguardano invece la formazione non coesiva, denominata Unità 2, Unità 3 o Unità 4. Inoltre si consideri che tutte le prove SPT sono state eseguite con punta chiusa: tale scelta, dovuta certamente all'elevata resistenza del terreno, rende ancora più incerta l'interpretazione dei risultati.

Per questa ragione, nel seguito, le prove SPT della campagna di indagine del 2018 non saranno utilizzate per la caratterizzazione geotecnica del terreno delle Unità 2, 3 e 4 (densità relativa e resistenza al taglio).



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

**Tabella 4. Sintesi risultati prove SPT (indagine 2018)**

Profondità (m)	4.0	4.5	8.0	12.0	9.0	13.50	16.0	16.50	18.0	22.5	24.0	27.0	31.5
Sondaggio SP1		R				R			R	R		R	R
Sondaggio SP2			R		21					R		R	
Sondaggio SP3		R				R			R	R		R	
Sondaggio SP4												R	
Sondaggio SP5		R			R	R			R	R		R	
Sondaggio SP6		R			R	R			R				
Sondaggio SP7		69			R								
Sondaggio SP8		R			R	R			R				
Sondaggio SP9		R			R	R			R	R		R	
Sondaggio SP9bis	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sondaggio SP10		R			R								



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto  
Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGENR002-0-4

Profondità (m)	4.0	4.5	8.0	12.0	9.0	13.50	16.0	16.50	18.0	22.5	24.0	27.0	31.5
Sondaggio SP11		R			R	R							
Sondaggio SP12		R			R	R							
Sondaggio SP13		55			R	R							
Sondaggio SP14		23			R	R							
Sondaggio SP15		11			R	R			R	66		55	
Sondaggio SP15bis									R		R		
Sondaggio SP16		R			R	R			R	R		R	
Sondaggio SP17		16			R	R							
Sondaggio SP18		R			33	R			R	R			
Sondaggio SP19		37			R					R			
Sondaggio SP20	R		R	R			R						
Sondaggio SP21	R		R					24					



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto  
Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Profondità (m)	4.0	4.5	8.0	12.0	9.0	13.50	16.0	16.50	18.0	22.5	24.0	27.0	31.5
Sondaggio SP22	39			R									
Sondaggio SP23		R			R								

**NOTA: su un totale di 88 prove SPT, solo 11 prove non hanno dato rifiuto R; queste si limitano quasi totalmente allo strato superficiale di riporto. Pertanto le prove SPT non saranno oggetto di interpretazione**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

#### 6.2.1.4 Indagini idrogeologiche

Le prove sono state eseguite unicamente nei depositi del Pleistocene, costituiti principalmente da ghiaie con clasti in matrice sabbioso-limosa, all'interno delle quali possono apparire localmente intercalazioni di sabbie e livelli a ciottoli.

**Tabella 5. Valori delle permeabilità ottenuti da prove Lefranc (indagine 2018)**

Sondaggio	Profondità [m dal p.c.]	Unità geotecnica	Permeabilità [m/s]
SP01	22.0	2	1.07E-05
SP06	22.7	2	6.33E-06
SP08	23.3	2	3.00E-05
SP19	22.5	3	3.90E-05
SP21	14.0	3	3.80E-05
SP22	12.8	3	6.40E-05
SP15	23.0	2	1.40E-05
SP18	23.0	4	4.10E-05
SP09	24.0	2	4.20E-05
SP02	23.0	2	2.36E-06
SP03	23.0	2	1.20E-05
SP04	23.0	2	6.45E-05
SP05	23.0	2	9.30E-06
SP17	23.0	3	2.10E-05
SP07	22.5	2	1.30E-04



Sondaggio	Profondità [m dal p.c.]	Unità geotecnica	Permeabilità [m/s]
SP11	23.0	4	2.90E-05
SP13	29.5	2	1.10E-04
SP12	23.0	2	1.00E-04
SP14	30.6	4	3.90E-03
SP10	23.7	2	2.10E-05
SP20	13.3	2	3.50E-05
SP23	13.9	2	3.10E-05
SP15 bis	22.0	2b	2.60E-05
SP16	23.0	2	3.30E-05

### 6.2.2 Prove di Laboratorio

Durante i carotaggi sono stati prelevati n. 91 campioni di terreno rimaneggiati da cui sono state eseguite n. 86 analisi granulometriche e le altre prove elencate in Tabella 6. Inoltre, sono stati prelevati n. 7 campioni di terreno indisturbati al fine di eseguire prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza (prove triassiali e prove di taglio diretto).

**Tabella 6. Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica (numero e tipo) anno 2018**

ID del sondaggio	Profondità (m)	Unità geotecnica	Analisi granulometriche		Limiti di Atterberg	Prova di taglio diretto	Prova triassiale (*)		
			con setaccio	con aerometro			UU	CU	CD
SP-01	9.0, 22.5, 27.0	--	3						
SP-02	4.5, 13.5, 18.0, 27.0	--	4						



ID del sondaggio	Profondità (m)	Unità geotecnica	Analisi granulometriche		Limiti di Atterberg	Prova di taglio diretto	Prova triassiale (*)		
			con setaccio	con aerometro			UU	CU	CD
SP-03	9.0, 18.0, 22.5, 27.0	--	4						
SP-04	9.0, 13.5, 22.5, 27.0	--	4						
SP-05	9.0, 13.5, 22.5, 27.0	--	4						
SP-06	4.5, 13.5, 18.0, 27.0	--	4						
SP-07	9.0, 13.5, 18.0, 22.5, 27.0	--	5						
SP-08	9.0, 18.0, 22.5, 27.0, 36.0	--	5	1	1				1
SP-09	4.5, 13.5, 18.0, 27.0, 31.5, 40.5, 46.0	--	8	1	2			1	1
SP-09 bis	46.0	--	1	1	1			1	
SP-10	9.0, 13.5, 18.0, 27.0,	2	3						
SP-11	4.5, 13.5, 22.5, 27.0	2, 3, 4, 3	4						
SP-12	9.0, 18.0, 27.0, 31.5	2, 3, 2, 2	4						
SP-13	4.5, 13.5, 22.5, 27.0,	2, 3&4, 3&4, 2, 2, 6, 5	7	3	3	1	1		



ID del sondaggio	Profondità (m)	Unità geotecnica	Analisi granulometriche		Limiti di Atterberg	Prova di taglio diretto	Prova triassiale (*)		
			con setaccio	con aerometro			UU	CU	CD
	31.5, 33.5, 36.0								
SP-14	4.5, 13.5, 22.5, 33.0	1, 2, 2, 4	4						
SP-15	9.0, 13.5, 27.0	3, 3, 2	3						
SP-15 bis	24.0, 30.0	2B, 7	2	1	1				1
SP-16	4.5, 18.0, 22.5, 27.0	2, 2, 2, 7	4						
SP-17	4.5, 13.5, 18, 27.0,	2, 3&4, 3&4, 2	4	2	2	1			
SP-18	4.5, 9.0, 18.0, 22.5	2, 2, 2, 4	3	1	1	1			
SP-19	9.0, 18.0, 22.5,	2, 2, 3	3						
SP-20	4.0, 12.0, 16.0	2, 2, 3	3						
SP-21	8.0, 12.0, 16.0	2, 2, 3	3						
SP-22	4.0, 8.0, 16.0	2, 2, 2	3						
SP-23	4.5, 9.0, 13.5	2, 2, 3	2						
Totale:	--	--	94	10	11	3	1	2	3

(\*) UU: prova non consolidata e non drenata; CU: prova consolidata e non drenata; CD: prova consolidata drenata

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

## 6.3 Campagna di indagine anno 2021

### 6.3.1 Indagini in sito

La campagna di indagine per il progetto definitivo è consistita in:

- N. 38 sondaggi (da SP-D01 a SP-D38) di tipo geotecnico, eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità comprese tra 15 e 40 metri. Nel corso della perforazione sono stati prelevati campioni rimaneggiati e campioni indisturbati negli strati coesivi e sono state eseguite, a quote definite, prove Standard Penetration Test (SPT),
- N. 22 fori a distruzione di nucleo, spinti a profondità variabili tra 15 metri e 41 metri circa, per la misurazione dei parametri di perforazione (Diagrafie) con la misura dei 5 parametri (velocità di avanzamento, spinta sull'utensile, coppia di rotazione, numero di giri, pressione del fluido), denominate da DIA-01 a DIA-22,
- N. 78 prove di permeabilità tipo Lefranc, sia a carico variabile sia a carico costante, per la misura del coefficiente di permeabilità del terreno, eseguite in 35 dei 37 sondaggi,
- N. 365 prove SPT eseguite a varie profondità nei 37 sondaggi geotecnici, in parte con il campionatore Raymond (a punta aperta) in parte a punta chiusa, data la presenza frequente dei ciottoli e degli strati cementati,
- N. 29 piezometri a tubo aperto di diametro interno di 4", e 6 piezometri a cella Casagrande, per il monitoraggio della falda,
- N. 24 sondaggi ambientali, eseguiti a carotaggio continuo, spinti fino a profondità variabili tra 15 metri e 40 metri; nel corso dei sondaggi sono stati prelevati, a scopo di indagine di tipo chimico-fisico, n. 98 campioni di materiale. Sono stati installati nei fori n. 21 tubi microfessurati per la misura della falda e n. 1 cella Casagrande.
- N. 20 prove MASW, ubicate lungo il tracciato della linea, per la misura della velocità delle onde di taglio nel terreno.

Uno stralcio planimetrico con indicazione dell'ubicazione delle indagini eseguite è riportato nelle Tavole "Profilo geotecnico". La Tabella 7 riporta l'elenco dei sondaggi (geotecnici e ambientali), con le caratteristiche principali (profondità, numero di prove SPT, numero prove Lefranc, installazione e tipo del piezometro).

**Tabella 7. Sondaggi e caratteristiche**

<b>Sondaggio</b> (-)	<b>Profondità</b> (m)	<b>SPT</b> (n°)	<b>Campioni</b> (n°)	<b>Lefranc</b> (n°)	<b>Piezometro</b> (tipo)
SP-D01	35.0	11	10	2	TA
SP-D02	35.0	11	11	2	TA
SP-D03	35.0	11	11	2	TA



<b>Sondaggio (-)</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>SPT (n°)</b>	<b>Campioni (n°)</b>	<b>Lefranc (n°)</b>	<b>Piezometro (tipo)</b>
SP-D04	40.0	13	14	2	TA
SP-D05	40.0	13	14	2	TA
SP-D06	40.0	13	13	2	TA
SP-D07	40.0	13	13	2	TA
SP-D08	35.0	11	11	2	CA
SP-D09	35.0	11	11	2	TA
SP-D11/SA-D05	40.0	12	15	4	CA
SP-D12	35.0	11	11	2	TA
SP-D13	40.0	13	13	2	CA
SP-D14/SA-D06	35.0	10	13	2	TA
SP-D15	40.0	13	10	2	TA
SP-D16	40.0	13	10	3	TA
SP-D17	40.0	13	11	3	TA
SP-D18	40.0	13	10	2	TA
SP-D19	35.0	11	9	2	TA
SP-D20	40.5	13	13	2	TA
SP-D21	40.0	13	14	3	CA
SP-D22	40.0	13	14	3	TA
SP-D23	40.0	13	14	2	CA



<b>Sondaggio (-)</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>SPT (n°)</b>	<b>Campioni (n°)</b>	<b>Lefranc (n°)</b>	<b>Piezometro (tipo)</b>
SP-D23bis	6.2	-	-	-	-
SP-D24	30.0	10	10	2	CA
SP-D25	25.0	8	8	2	TA
SP-D26	25.0	8	8	2	TA
SP-D27	30.0	10	11	2	TA
SP-D28	25.0	8	8	2	TA
SP-D29	20.0	6	6	3	TA
SP-D30	20.0	6	6	2	TA
SP-D31	15.5	5	5	2	TA
SP-D32	20.0	6	6	2	TA
SP-D33	15.5	5	3	2	-
SP-D34	20.0	6	6	1	TA
SP-D35	25.0	8	8	3	TA
SP-D36	35.0	12	13	2	TA
SP-D37	40.0	13	14	2	TA
SP-D38	30÷35	1	1	2	-
SA-D01	30.0	-	3	-	TA
SA-D02	30.0	-	3	-	TA
SA-D03	35.0	-	3	-	TA



Sondaggio (-)	Profondità (m)	SPT (n°)	Campioni (n°)	Lefranc (n°)	Piezometro (tipo)
SA-D04	40.0	-	3	-	TA
SA-D05	Vedere SP-D11				
SA-D06	Vedere SP-D14				
SA-D07	30.0	-	2	-	TA
SA-D08	35.0	-	2	-	TA
SA-D09	35.0	-	3	-	TA
SA-D10	35.0	-	3	-	TA
SA-D11	25.0	-	3	-	TA
SA-D12	25.0	-	3	-	TA
SA-D13	20.0	-	3	-	TA
SA-D14	25.0	-	3	-	TA
SA-D15	20.0	-	3	-	TA
SA-D16	15.0	-	3	-	TA
SA-D17	21.0	-	3	-	TA
SA-D18	15.0	-	3	-	TA
SA-D19	23.0	-	3	-	TA
SA-D20	20.0	-	3	-	TA
SA-D21	20.0	-	3	-	TA
SA-D22	35.0	-	3	-	Down hole



Sondaggio (-)	Profondità (m)	SPT (n°)	Campioni (n°)	Lefranc (n°)	Piezometro (tipo)
SA-D23	20.0	-	3	-	TA
SA-D24	20.0	-	3	-	TA

### 6.3.1.1 Prove Standard Penetration Test (SPT)

Le 365 prove SPT eseguite nei 38 sondaggi geotecnici, sia negli strati non coesivi superiori sia nello strato coesivo profondo, sono interpretate nel Capitolo 7. Qui di seguito sono riportati, sondaggio per sondaggio, i valori misurati di  $N_{SPT}$  (numero di colpi/30 cm di penetrazione dell'utensile). Date le caratteristiche del terreno non coesivo (presenza di grossi ciottoli e cementazione diffusa), molte delle prove SPT sono state eseguite con punta chiusa. Vedere a questo proposito le precisazioni fatte nel seguito.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto  
Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

**Tabella 8. Valori di  $N_{SPT}$  misurati nei sondaggi**

Profondità (m)	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	23.6	24.0	24.9	25.0	27.0	29.0	30.0	30.6	31.5	33.0	34.5	36.0	37.4	39.0	39.2	40.0	
Sondaggio SP-D01	18	50	55	60	75	70	29	70						37			41							
Sondaggio SP-D02	22	28	55	60	65	70	14		32			38		36			39							
Sondaggio SP-D03	25	66	55	60	65	70	23		49			70		68			70							
Sondaggio SP-D04	37	50	55	60	65	70	<b>25</b>		62			70		70			70							
Sondaggio SP-D05	19	50	55	60	65	30	31		28			31		30			70		70		70			
Sondaggio SP-D06	40	50	55	60	65	70	30		70			70		36			25		70		11			
Sondaggio SP-D07	19	50	55	41	65	18	27		29			70		70			70		34		70			
Sondaggio SP-D08	7	41	55	60	65	70	70		29			70		27			29							
Sondaggio SP-D09	8	35	55	60	36	28	70		70			38		70			41							



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto  
Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Profondità (m)	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	23.6	24.0	24.9	25.0	27.0	29.0	30.0	30.6	31.5	33.0	34.5	36.0	37.4	39.0	39.2	40.0	
Sondaggio SP-D11	3	16	24	60	37	12	22		12															
Sondaggio SP-D12	13	25	55	60	65	70	27		27			70		70			70							
Sondaggio SP-D13	15	21	55	60	65	33	70		70			23		70			70					70		
Sondaggio SP-D14	3	18	55	26	13	5	7																	
Sondaggio SP-D15	8	20	55	80	70	46	77			70		70		70			70		70					70
Sondaggio SP-D16	9	14	62	60	43	92	96		100			70			70		70				70	70		
Sondaggio SP-D17	37	54	94	21	36	40	30		65			94		70			70		70			70		
Sondaggio SP-D18	17	7	98	86	72	70	70	70				64				70	70		70			70		
Sondaggio SP-D19	50	50	63	83	65	72	70	70				70			70		70							
Sondaggio SP-D20	6	50	55	71	47	32	65		37			21		24			70		70					40



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto  
Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Profondità (m)	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	23.6	24.0	24.9	25.0	27.0	29.0	30.0	30.6	31.5	33.0	34.5	36.0	37.4	39.0	39.2	40.0	
Sondaggio SP-D21	50	50	55	65	41	58	34		58			59		67			48		32			63		
Sondaggio SP-D22	34	41	59	31	39	6	9		18			39		75			77		58		52			
Sondaggio SP-D23	18	50	55	60	65	70	70		60			30		29			31		32		70			
Sondaggio SP-D24	56	69	81	87	87	83	78		91			84	92											
Sondaggio SP-D25	22	50	55	68	75	67	65		98															
Sondaggio SP-D26	99	53	84	58	73	70	70		73															
Sondaggio SP-D27	9	29	38	60	56	62	65		64			72		70										
Sondaggio SP-D28	7	78	55	60	65	59	70				77													
Sondaggio SP-D29	28	67	61	56	65	83																		
Sondaggio SP-D30	54	53	68	79	59	38																		
Sondaggio SP-D31	21	45	53	64	57																			



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto  
Generale: Politecnico – Rebaudengo

Relazione geotecnica e sismica

07\_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Profondità (m)	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	23.6	24.0	24.9	25.0	27.0	29.0	30.0	30.6	31.5	33.0	34.5	36.0	37.4	39.0	39.2	40.0	
Sondaggio SP-D32	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>68</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>70</b>																		
Sondaggio SP-D33	<b>3</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>49</b>	<b>59</b>																			
Sondaggio SP-D34	<b>14</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>63</b>	<b>66</b>	<b>66</b>																		
Sondaggio SP-D35	17	31	27	32	32	<b>48</b>	<b>42</b>		<b>70</b>															
Sondaggio SP-D36	22	27	26	27	65	<b>31</b>	<b>48</b>		30			70		<b>59</b>			<b>70</b>	<b>70</b>						
Sondaggio SP-D37	16	50	55	60	17	18	<b>12</b>		70			70		70			<b>70</b>		<b>78</b>		<b>70</b>			
Sondaggio SP-D38															70									

NOTA: a proposito dei valori di  $N_{SPT}$  riportati sopra, va precisato che:

- 1) I valori  $N_{SPT}$  delle prove fatte con la punta aperta sono riportati così come misurati. Essi sono scritti in neretto e si riferiscono ai sondaggi eseguiti dalla società SONDEDILE.
- 2) I valori  $N_{SPT}$  delle prove fatte con la punta chiusa sono stati divisi per due, e sono scritti in carattere normale e si riferiscono alla società CITIEMME (salvo rare eccezioni).
- 3) Nel caso delle prove che hanno dato rifiuto ( $N_{SPT} > 100$  colpi/30 cm) si considera un valore pari a 50 colpi/30 cm a 6 metri, a 55 colpi/30 cm a 9 metri, a 60 colpi/30 cm a 12 metri, a 65 colpi/30 cm a 15 metri, a 70 colpi/30 cm a 18 metri. Il valore di 70 colpi/30 cm viene applicato anche alle profondità maggiori di 18 metri.
- 4) Quanto sopra stabilito per i valori a rifiuto è applicato sia per le prove fatte a punta chiusa sia a punta aperta
- 5) I valori riportati negli elenchi sopra (misurati o ritenuti rappresentativi) saranno successivamente corretti con il criterio di Whitman (1986), per tener conto dell'effetto profondità.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

### 6.3.1.2 Prove Lefranc in foro di sondaggio

Nella Tabella 7 sono state riportate le quantità delle prove Lefranc eseguite nei vari sondaggi geotecnici. La Tabella 9 riporta, per ciascuna di esse, la profondità di esecuzione e la modalità di prova (a carico costante, CC, o a carico variabile, CV), nonché il valore del coefficiente di permeabilità misurato.

**Tabella 9. Prove Lefranc (Indagine 2021)**

Sondaggio (-)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Prof. prova (m) e k (m/s)
SP-D01	18.0/3.7·10 <sup>-5</sup> (CC)	24/3.05·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D02	18.0/3.7·10 <sup>-5</sup> (CC)	24/3.21·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D03	16.5/1.64·10 <sup>-5</sup> (CC)	25.5/3.5·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D04	16.5/3.06·10 <sup>-6</sup> (CC)	25.5/3.3·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D05	15.0/4.13·10 <sup>-6</sup> (CC)	24.0/3.2·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D06	15.0/2.01·10 <sup>-6</sup> (CC)	22.5/4.06·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D07	13.5/2.1·10 <sup>-5</sup> (CC)	22.5/4.6610 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D08	13.5/8.23·10 <sup>-6</sup> (CC)	22.5/4.02·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D09	13.5/2.13·10 <sup>-5</sup> (CC)	22.5/4.5·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D12	15.0/6.95·10 <sup>-6</sup> (CC)	24.0/2.07·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D13	15.0/2.42·10 <sup>-5</sup> (CC)	22.5/3.27·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D15	7.5/2.24·10 <sup>-5</sup> (CC)	33.0/1.4·10 <sup>-6</sup> (CV)	----
SP-D16	6.0/5.46·10 <sup>-5</sup> (CC)	18.0/5.54·10 <sup>-5</sup> (CC)	29.5/4.0·10 <sup>-6</sup> (CV)
SP-D17	8.0/2.37·10 <sup>-5</sup> (CC)	18.0/1.32·10 <sup>-5</sup> (CC)	27.0/1.78·10 <sup>-6</sup> (CV)
SP-D18	16.5/3.38·10 <sup>-5</sup> (CC)	25.5/1.97·10 <sup>-6</sup> (CV)	-----



Sondaggio (-)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Prof. prova (m) e k (m/s)
SP-D19	9.0/5.59·10 <sup>-5</sup> (CC)	30.5/2.77·10 <sup>-6</sup> (CV)	----
SP-D20	30.0/3.69·10 <sup>-5</sup> (CV)	37.5/6.6·10 <sup>-5</sup> (CV)	----
SP-D21	7.5/2.48·10 <sup>-5</sup> (CC)	21.0/1.54·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D22	31.5/1.98·10 <sup>-5</sup> (CC)	39.1/2.48·10 <sup>-5</sup> (CV)	----
SP-D23	7.5/3.98·10 <sup>-5</sup> (CC)	33.0/5.75·10 <sup>-5</sup> (CV)	39.0/1.57·10 <sup>-5</sup> (CV)
SP-D23bis	10.5/7.7·10 <sup>-6</sup> (CC)	15.0/2.87·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D24	6.0/1.45·10 <sup>-5</sup> (CC)	27.0/3.93·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D25	7.5/1.08·10 <sup>-5</sup> (CC)	21.0/6.92·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D26	12.0/6.510 <sup>-5</sup> (CC)	21.0/1.45·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D27	8.1/4.84·10 <sup>-5</sup> (CC)	20.0/1.93·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D28	12.5/1.66·10 <sup>-5</sup> (CC)	22.5/2.83·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D29	4.0/3.92·10 <sup>-5</sup> (CC)	12.0/6.4·10 <sup>-5</sup> (CC)	16.0/7.23·10 <sup>-5</sup> (CC)
SP-D30	9.0/7.24·10 <sup>-5</sup> (CC)	19.5/1.53·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D31	9.0/1.38·10 <sup>-4</sup> (CV)	13.5/3.6·10 <sup>-5</sup> (CV)	----
SP-D32	12.0/2.54·10 <sup>-5</sup> (CC)	19.0/1.89·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D33	9.0/6.53·10 <sup>-5</sup> (CC)	12.0/1.56·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D34	10.0/4.21·10 <sup>-5</sup> (CV)	----	----
SP-D35	7.5/5.17·10 <sup>-6</sup> (CC)	13.0/3.27·10 <sup>-5</sup> (CC)	19.5/5.3·10 <sup>-8</sup> (CV)
SP-D35	24.0/2.9·10 <sup>-7</sup> (CV)	----	----



Sondaggio (-)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Prof. prova (m) e k (m/s)
SP-D36	10.5/5.25·10 <sup>-5</sup> (CC)	18.0/2.94·10 <sup>-8</sup> (CV)	----
SP-D37	10.5/3.16·10 <sup>-6</sup> (CC)	18.0/5.46·10 <sup>-5</sup> (CC)	----
SP-D38	30.0/1.29·10 <sup>-5</sup> (CV)	34.0/2.87·10 <sup>-6</sup> (CV)	----

### 6.3.1.3 Fori a distruzione di nucleo (Diagrafie)

Sono stati eseguiti n. 22 fori a distruzione di nucleo, spinti a profondità variabili tra 15 metri e 41 metri circa, per la misurazione dei parametri di perforazione (diagrafie) misurando nel corso della perforazione 5 parametri significativi ai fini delle caratteristiche meccaniche del materiale (velocità di avanzamento, spinta sull'utensile, pressione del fluido, coppia di rotazione, velocità di rotazione). Tali fori sono denominati DIA-D01÷DIA-D22.

### 6.3.1.4 Prove MASW

La Tabella 10 riporta le caratteristiche delle 20 prove eseguite lungo il percorso della linea in progetto (sigla di prova, posizione, sondaggi di riferimento).

**Tabella 10. Prove MASW e posizione (indagine 2021)**

N. progressivo	Prova	Posizione	Sondaggi
1	A1-A2	Politecnico	SP-D01/SP-D02
2	A3-A4	Politecnico	SP-11
3	B1-B2	Stazione Pastrengo	SP-12/ SP-D06
4	C1-C2	Stazione Pastrengo	SP-12/ SP-D06
5	C3-C4	Stazione Pastrengo	SP-12
6	D1-D2	Stazione Mole-G. Reali	SP-D15
7	D3-D4	Stazione Mole-G. Reali	SP-D16
8	E1-E2	Stazione Mole-G. Reali	SP-15
9	E3-E4	Stazione Mole-G. Reali	SP-D16
10	F1-F2	Stazione Verona	SP-16/ SP-D19



N. progressivo	Prova	Posizione	Sondaggi
11	G1-G2	Stazione Novara	SP-D21
12	G3-G4	Stazione Novara	SP-17
13	H1-H2	Stazione Novara	SP-D22
14	H3-H4	Stazione Novara	SP-D23
15	L1-L2	Stazione Bologna	SP-D24,25,26/ SP-18
16	M1-M2	Stazione Cimarosa/Tabacchi	SP-D27/ SP-19
17	N1-N2	Stazione Corelli	SP-20/ SP-D29
18	P1-P2	Stazione S. Giovanni Bosco	SP-D31/ SP-21
19	Q1-Q2	Stazione G. Cesare	SP-D33/ SP-22
20	R1-R2	Deposito	SP-D37

### 6.3.2 Prove di laboratorio

I campioni di terreno prelevati nel corso dei sondaggi sono stati impiegati per l'esecuzione delle prove di laboratorio, a partire dai campioni rimaneggiati e da quelli indisturbati. La Tabella 11 riassume i dati di tali prove, distinte per sondaggio.

**Tabella 11. Sommario prove di laboratorio (Indagine 2021)**

Sondaggio	Granulom.	Proprietà indice	Taglio diretto	Prova triassiale	Prova di permeab.	Prova edometrica
SP-D01	11					
SP-D02	11					
SP-D03	6					
SP-D04	9					
SP-D05	13					
SP-D06	7	1				1



<b>Sondaggio</b>	<b>Granulom.</b>	<b>Proprietà indice</b>	<b>Taglio diretto</b>	<b>Prova triassiale</b>	<b>Prova di permeab.</b>	<b>Prova edometrica</b>
SP-D07	15	2	2			2
SP-D08	11					
SP-D09	11					
SP-D11	16	3	3			3
SP-D12	11					
SP-D13	13					
SP-D14	11	2	2	3 <sup>(*)</sup>		2
SP-D15	10	2	2	3 <sup>(*)</sup>		2
SP-D16	10	2	2	6 <sup>(*)</sup>		2
SP-D17	11	2	2	6 <sup>(*)</sup>		2
SP-D18	10	2	2	6 <sup>(*)</sup>		2
SP-D19	9	1	1	3 <sup>(*)</sup>		
SP-D20	13					
SP-D21	14	1	1	3 <sup>(*)</sup>	1	1
SP-D22	14	1	1	3 <sup>(*)</sup>		1
SP-D23	13					
SP-D24	10					
SP-D25	8					
SP-D26	8					



Sondaggio	Granulom.	Proprietà indice	Taglio diretto	Prova triassiale	Prova di permeab.	Prova edometrica
SP-D27	11					
SP-D28	7					
SP-D29	6					
SP-D30	6					
SP-D31	5					
SP-D32	6					
SP-D33	3					
SP-D34	6					
SP-D35	8					
SP-D36	12					
SP-D37	14					
SP-D38	1	1		3 <sup>(*)</sup>	1	1

(\*) 3 = una prova triassiale UU, una prova CU, una prova CD; 6 = due prove triassiali UU, due prove CU, due prove CD a due profondità diverse

In totale si hanno:

- 360 prove granulometriche,
- 20 determinazioni delle proprietà indice,
- 17 serie di prove di taglio diretto (TD),
- 36 serie di prove triassiali (TX),
- 2 prove di permeabilità,
- 19 prove edometriche (ED).

Mentre le prove granulometriche riguardano per la massima parte gli strati superiori non coesivi e grossolani, le altre prove (di classificazione e di tipo meccanico) riguardano gli strati coesivi profondi e sono state condotte a partire da campioni indisturbati. Per quanto riguarda i terreni non coesivi, essi sono costituiti da ghiaie sabbiose più o meno limose, in subordinate sabbie limose

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

argillose: per questo tipo di terreno la caratterizzazione geotecnica (Capitolo 7) viene definita sulla base dei risultati delle prove Standard Penetration Test (SPT).

Sulla base dei risultati delle prove condotte sul terreno coesivo profondo, si ricavano i risultati esposti nelle Tabella 12, Tabella 13, Tabella 14 e Tabella 15. L'elenco dei simboli impiegati è riportato alla fine delle succitate tabelle.

**Tabella 12. Risultati delle prove sui campioni indisturbati  
(Proprietà indice)**

Sondaggio (n.)	Profondità (m)	Unità	Campione (n.)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> (%)	Frazione fine (%)	IP (%)	w <sub>p</sub> (%)	w <sub>n</sub> -w <sub>p</sub> (* (%)
SP-D06	39.5	6	CSI-1	2.07	21.7	67.9	6	25	< 0
SP-D07	37.0	2	SI-1	2.04	20.3	59	4	24	<0
SP-D07	39.6	6	SI-2	2.04	23.2	50	2	24	<0
SP-D11	37.0	5	CI-1	2.04	20.2	57	16	18	1.8
SP-D11	38.2	5	SI-1	2.02	19.8	87	18	20	<0
SP-D11	39.0	5	SI-2	2.06	18.8	83	17	19	<0
SP-D14	23.5	2B	C1-S	2.06	20.6	91	16	22	<0
SP-D14	33.0	5	C3-S	2.02	23	94	12	23	=0
SP-D15	24.5	2	CI-1	2.02	22.4	99	38	19	3.4
SP-D15	28.5	7	CI-2	2.04	21.1	96	25	20	1.1
SP-D16	28.0	7	CI-1	2.05	22.8	99.2	32	20	2.8
SP-D16	36.0	7	CI-2	2.04	22.9	94.5	27	19	3.9
SP-D17	28.0	7	CI-1	2.06	20.9	91	21	23	<0
SP-D17	36.0	7	CI-2	2.05	22.7	97.6	25	21	1.7
SP-D18	25.5	7	CI-1	2.05	21.1	98.1	24	33	< 0
SP-D18	30.0	7	CI-2	2.04	20.9	97.6	21	24	< 0



Sondaggio (n.)	Profondità (m)	Unità	Campione (n.)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	$w_n$ (%)	Frazione fine (%)	IP (%)	$w_p$ (%)	$w_n - w_p$ (* (%)
SP-D19	29.2	7	CI-1	2.05	22.3	98.5	26	22	0.3
SP-D21	37.6	5	CI-1	2.03	23.8	96.2	18	19	4.8
SP-D22	21.45	2B	CI-1	2.12	17.2	60.0	6	16	1.2
SP-D36	16.0	2B	CI-1	2.12	17.1	44.7	9	23	<0
SP-D37	19.5	2B	CI-1	2.09	16.9	71.8	12	22	< 0
SP-D38	32.2	--	CI-1	2.02	23.1	35.1	9	15	8.1

(\* )  $w_n - w_p < 0$  indica un terreno molto duro

**Tabella 13. Risultati delle prove triassiali (TX)**

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Unità	Campione (n.)	TX-UU (-)	$c_u$ kPa	TX-CU	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (gradi)	TX-CD	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (gradi)
SP-D14	33.0	5	C3-S	X	218	X	41	25	X	48	27
SP-D15	28.5	7	CI-2	X	227	X	79	15	X	82	18
SP-D16	28.0	7	CI-1	X	213	X	53	26	X	52	22
SP-D16	36.0	7	CI-2	X	222	X	82	20	X	96	19
SP-D17	28.5	7	CI-1	X	240	X	69	16	X	70	16
SP-D17	36.0	7	CI-2	X	250	X	76	17	X	81	16
SP-D18	25.5	7	CI-1	X	242	X	42	15	X	132	11



Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Unità	Campione (n.)	TX-UU (-)	$c_u$ kPa	TX-CU	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (gradi)	TX-CD	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (gradi)
SP-D18	30.0	7	CI-2	X	233	X	45	16	X	92	12
SP-D19	29.2	7	CI-1	X	209	X	85	16	X	103	17
SP-D21	37.65	7	CI-1	X	230	X	20	14	X	16	22
SP-D22	21.45	2B	CI-1	X	183	X	27	36	X	20	28
SP-D38	32.2	--	CI-1	X	117	X	29	18	X	12	29

Tabella 14. Risultati delle prove di taglio diretto (TD)

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Unità	Campione (n.)	$c'$ (kPa)	$\phi'_P$ (gradi)	$\phi'_{residuo}$ (gradi)
SP-D07	37.0	2	SI-1	56	22	19
SP-D07	39.6	6	SI-2	38	26	24
SP-D11	37.0	5	CI-1	44	33	29
SP-D11	38.2	5	SI-1	44	20	16
SP-D11	39.0	5	SI-2	34	18	15
SP-D14	23.5	2B	C1-S	59	24	22
SP-D14	33.0	5	C3-S	43	23	20
SP-D15	24.5	2	CI-1	57	10	8
SP-D15	28.5	7	CI-1	90	25	22
SP-D16	28.0	7	CI-1	63	39	21
SP-D16	36.0	7	CI-2	112	27	21



Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Unità	Campione (n.)	c' (kPa)	$\phi'$ P (gradi)	$\phi'$ residuo (gradi)
SP-D17	28.5	7	CI-1	96	30	24
SP-D17	36.0	7	CI-2	82	22	19
SP-D18	25.5	7	CI-1	123	22	20
SP-D18	30.0	7	CI-2	86	22	18
SP-D19	29.2	7	CI-1	130	23	20
SP-D21	37.6	5	CI-1	22	26	24
SP-D22	21.45	2B	CI-1	25	29	25
SP-D36	16.0	2B	CI-1	34	28	20
SP-D37	19.5	2B	CI-1	17	29	22

Tabella 15. Risultati delle prove Edometriche (ED)

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Unità	Campione (n.)	M (SC) (MPa)	C <sub>r</sub> (-)	C <sub>v</sub> (NC) (m <sup>2</sup> /s)	K (NC) (m/s)
SP-D06	39.5	6	CSI-1	10	0.01	1.18E-05	3.52E-10
SP-D07	37.0	2	SI-1	12	0.01	8.41E-06	2.58E-10
SP-D07	39.6	6	SI-2	11	0.05(*)	4.16E-06	1.15E-10
SP-D11	37.0	5	CI-1	8	0.01	7.57E-06	3.21E-10
SP-D11	38.2	5	SI-1	8	0.04	2.28E-06	1.02E-10
SP-D11	39.0	5	SI-2	11	0.02	5.96E-06	1.89E-10
SP-D14	23.5	2B	C1-S	10	0.01	2.14E-05	8.01E-10



Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Unità	Campione (n.)	M (SC) (MPa)	C <sub>r</sub> (-)	C <sub>v</sub> (NC) (m <sup>2</sup> /s)	K (NC) (m/s)
SP-D14	33.0	5	C3-S	12	0.02	2.20E-05	7.96E-10
SP-D15	24.5	2	CI-1	9	0.02	5.49E-06	2.34E-10
SP-D15	28.5	7	CI-2	20	0.015	2.05E-05	5.97E-10
SP-D16	28.0	7	CI-1	9	0.02	2.16E-05	7.01E-10
SP-D16	36.0	7	CI-2	9	0.02	2.09E-05	5.50E-10
SP-D17	28.5	7	CI-1	20	0.015	1.84E-05	4.70E-10
SP-D17	36.0	7	CI-2	20	0.015	1.94E-05	5.06E-10
SP-D18	25.5	7	CI-1	20	0.015	1.82E-05	2.47E-10
SP-D18	30.0	7	CI-2	20	0.015	1.97E-05	3.82E-10
SP-D21	37.6	5	CI-1	13	0.02	1.50E-05	6.50E-10
SP-D22	21.45	2B	CI-1	12	0.01	5.00E-06	1.47E-10
SP-D36	16.0	2B	CI-1	12	0.01	8.23E-06	2.67E-10
SP-D37	19.5	2B	CI-1	10	0.02	4.22E-06	1.56E-10
SP-D38	32.2	--	CI-1	15	0.01	4.26E-06	1.86E-10

NOTA (\*) Risultato incerto

Elenco dei simboli (Tabella 12, Tabella 13, Tabella 14 e Tabella 15)

- $\rho$  (t/m<sup>3</sup>) = densità del terreno
- $w_n$  (%) = contenuto d'acqua naturale
- frazione fine (%) = percentuale passante al setaccio 0.075 mm
- IP (%) = indice plastico
- $w_p$  (%) = limite plastico
- TX-UU = prova triassiale non consolidate non drenata
- TX-CU = prova triassiale consolidate non drenata

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

- TX-CD = prova triassiale consolidata drenata
- $c_u$  (kPa) = resistenza al taglio non drenata
- $c'$  (kPa) = coesione apparente
- $\phi'$  (gradi) = angolo di resistenza al taglio
- $\phi'_p$  (gradi) = angolo di resistenza al taglio di picco
- $\phi_{residuo}$  (gradi) = angolo di resistenza al taglio residuo
- $M$  (SC) (MPa) = modulo edometrico in campo sovraconsolidato
- $C_r$  (-) = indice di compressione in campo sovraconsolidato (SC)
- $c_v$  (NC) ( $m^2/s$ ) = coefficiente di consolidazione in campo normal consolidato
- $k$  (NC) (m/s) = coefficiente di permeabilità in campo normal consolidato.

I diagrammi per l'interpretazione delle prove edometriche sono riportati in Allegato 1

## 6.4 Assetto stratigrafico lungo il tracciato

Di seguito si riporta una breve descrizione dell'assetto stratigrafico lungo il tracciato dell'opera, con particolare riferimento alle i) unità geologico-geotecniche riportate nel profilo geotecnico e alla loro variazione latero-verticale e ii) alla posizione dell'opera nel quadro della stratigrafia generale dell'area. La descrizione sarà suddivisa per tratte a problematiche omogenee, evidenziano per ciascuna di queste il quadro stratigrafico-geotecnico attraversato dall'opera. Le Figure da Figura 3 a Figura 9 mostrano alcuni elementi che caratterizzano il terreno indagato.

- **da inizio tracciato fino a poco dopo la stazione Pastrengo (pk 7+400 circa)** l'opera è prevista interamente all'interno della successione fluvio-glaciale quaternaria, costituita prevalentemente da ghiaie eterometriche e sabbie (Figura 3) riconducibili all'unità geotecnica 2 (vedi profilo geotecnico allegato). Nella tratta in esame, l'Unità 2 mostra corpi lenticolari (Unità 2B nel profilo geotecnico) caratterizzati da sabbie e sabbie-limose addensate (di spessore fino a 50 cm circa), alternate a meno frequenti ghiaie con spessori inferiori (all'incirca 15-20 cm) rispetto ai livelli sabbioso-limosi. Questi corpi sono stati individuati correlando i vari sondaggi adiacenti, nonostante le possibili incertezze per le variazioni latero-verticali di spessore e litologia. Sebbene queste incertezze, la presenza dell'Unità 2B suggerisce una possibile eterogeneità stratigrafica nella tratta in esame. Un altro aspetto significativo di questa tratta è la possibile presenza di corpi lenticolari caratterizzati da un grado di cementazione medio-alto. L'analisi dei risultati delle diagrafie e delle MASW suggeriscono che, seppur con qualche incertezza, i principali orizzonti cementati possano essere presenti a diverse profondità nei pressi della stazione Politecnico, nell'intorno della pk 6+800 e nei pressi della stazione Pastrengo (vedere il profilo geotecnico).
- **dalla progressiva 7+400 fino a poco dopo la stazione Carlo Alberto (pk 9+100 circa)**, l'opera in esame è in gran parte prevista all'interno dell'Unità geotecnica 2. Analogamente al settore descritto in precedenza, lungo tutta la tratta in esame possono essere presenti, a diverse profondità, orizzonti caratterizzati da medio ed alto grado di cementazione, riconducibili alle Unità 3 e 4 (vedi distribuzione Unità 3 e 4 nel profilo geotecnico allegato). Gli orizzonti riconducibili all'Unità 2B (sabbie-limose addensate e frequenti ghiaie) sono stati individuati unicamente nei dintorni della stazione Carlo Alberto (Figura 4), sebbene cautelativamente non si possa escludere la loro presenza in altri settori della tratta considerata.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

In aggiunta, potenziali interazioni della base dell'opera con il substrato pliocenico sono cautelativamente possibili nei dintorni della stazione di Porta Nuova, tra le progressive 7+900 ÷ 8+100 ed 8+300 ÷ 8+650 (vedere il profilo geotecnico). Per quanto riguarda la natura del substrato, si evidenzia in modo cautelativo la possibile presenza della successione Villafranchiana (Sabbie di Ferrere, Unità 6) e della successione Pliocenica inferiore delle Argille Azzurre (Unità 5), che sono costituite rispettivamente da sabbie limose e limi e argille marnose e sabbiose. Nonostante le possibili incertezze, la presenza di un substrato pliocenico eterogeneo è suggerita da dati di letteratura, che individuano variazioni di spessore e di articolazione strutturale del substrato in corrispondenza dei tratti sopra indicati (Figura 5).

- **dalla progressiva 9+100 alla 10+350 (poco prima della stazione Verona)**, l'opera è in gran parte impostata nel substrato pliocenico costituito dalle argille limose delle Marne di Sant'Agata Fossili (Unità 7 nel profilo geotecnico) e localmente (pk 9+300 circa) nelle argille sabbiose della formazione delle Argille Azzurre (Unità 5 nel profilo geotecnico). È significativo notare che, tra le progressive 9.300 e 9.900m, nell'arco rovescio dell'opera non si può del tutto escludere, in modo cautelativo, la presenza di sottili lembi della successione pliocenica (Sabbie di Asti e/o Argille Azzurre), costituita da limi sabbiosi argillosi, in accordo con carte del substrato pubblicate in letteratura. Infine, in corrispondenza della stazione Mole-Giardini Reali, la parte superiore dell'opera è prevista all'interno delle ghiaie e sabbie dell'Unità 2, in cui potrebbero essere presenti orizzonti dell'Unità 2B sopra descritta (Figura 6).
- **nella tratta dalla stazione Verona a Cimarosa-Tabacchi**, l'opera è principalmente localizzata all'interno della successione fluvio-glaciale corrispondente all'Unità 2, sebbene locali interazioni della base dell'opera con il substrato pre-quadernario siano cautelativamente previste nei pressi delle stazioni sopra menzionate. La successione fluvio-glaciale attraversata dall'opera in questa tratta è probabilmente eterogenea per la presenza di orizzonti riconducibili all'Unità geotecnica 2B. Seppur con qualche incertezza, questi orizzonti sono stati cautelativamente riportati nel profilo geotecnico correlando i dati dei sondaggi. Essi sono costituiti da alternanze di sabbie-limose addensate e minori ghiaie. Particolarmente significativo è il settore posto all'incirca tra le progressive 10+900 ÷ 11+200 dove l'Unità 2B potrebbe essere particolarmente estesa e con la locale presenza di livelli argillosi-siltosi (Figura 7). In ultimo, i dati disponibili dalle diagrafie e le prove MASW suggeriscono la presenza di orizzonti stratigrafici con un grado di cementazione da medio ad alto. Questi orizzonti sono stati evidenziati cautelativamente correlando i risultati delle indagini sopra menzionate e sembrano particolarmente presenti nei pressi della stazione Bologna.
- **dalla stazione Cimarosa-Tabacchi a fine tratta** l'opera è prevista interamente all'interno della successione fluvio-glaciale quadernaria (vedi profilo geotecnico), corrispondente in gran parte all'Unità 2. Questa unità è costituita da ghiaie da fini a grossolane e sabbie (Figura 8). Anche in questa tratta, nel profilo geotecnico sono stati cautelativamente indicati, seppur con qualche incertezza interpretativa, gli orizzonti stratigrafici caratterizzati da un grado medio-alto di cementazione e quelli composti da sabbie-limose addensate e minori ghiaie. Quest'ultimi sono particolarmente significativi nei pressi della stazione Rebaudengo, dove sono caratterizzati da sabbie e limi bruno-rossicci in cui, sulla base delle prove idrogeologiche, è stata riscontrata una riduzione della permeabilità (Figura 9).



Figura 3. Sondaggio SP-D05 in cui si osservano carote rappresentative delle caratteristiche litologiche dell'Unità 2B, che è stata distinta tra 21,7 e 26 m circa ed è costituita da prevalenti sabbie-limose addensate e minori livelli di ghiaie.

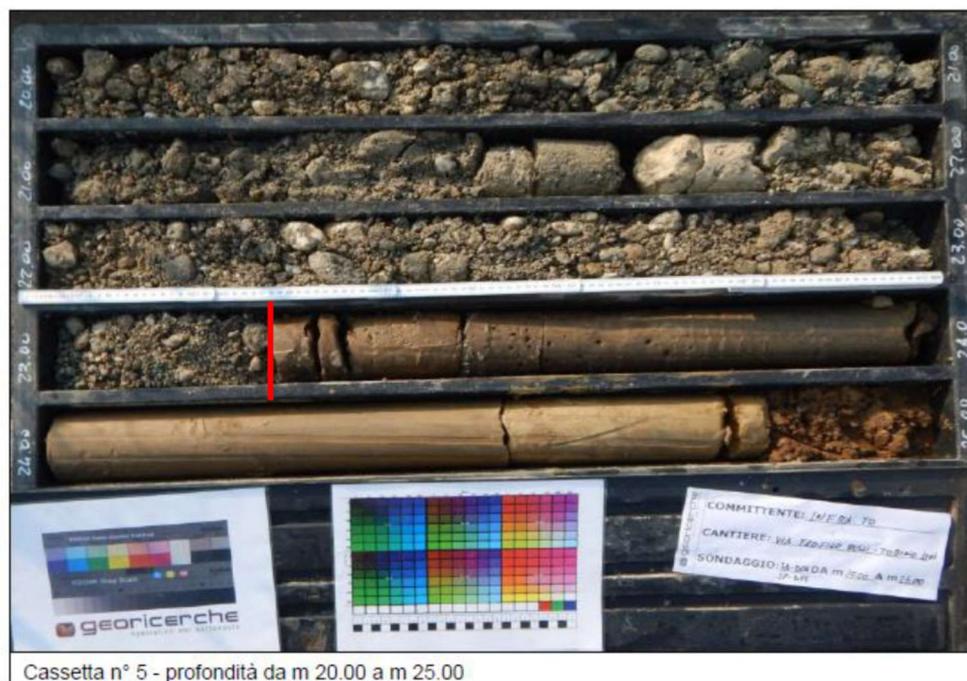


Figura 4. Contatto tra ghiaie sabbiose e orizzonti sabbie-limose addensate in livelli spessi fino a 80cm e continui alternate a meno frequenti ghiaie nel sondaggio SP-D14.



Figura 5. Carta della distribuzione del substrato (da Festa et al., 2009) che mostra le possibili eterogeneità in corrispondenza del tracciato dell'opera.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4



**Figura 6. Sondaggio SP-D15 mostrante contatto a -13,2m (linea rossa) tra ghiaie sabbiose ed alternanze di ghiaie e sabbie-limose addensate in livelli fino a 50-70 cm di spessore.**



**Figura 7. Dettaglio del sondaggio SP-D22 in cui a 17 metri sono presenti livelli di argilla grigio-scura intervallati a sottili ghiaie.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4



**Figura 8. Carote alle profondità 10-15m nel sondaggio SP-D32, rappresentative delle ghiaie e sabbie corrispondenti all'Unità 2 nel Profilo geotecnico.**



**Figura 9. Dettaglio del sondaggio SP-D35 che mostra da 18,5m a 24m livelli pluridecimetrici di sabbie e limi bruno rossicci con poco frequenti ghiaie. Si nota che prove idrogeologiche su campione prelevato a circa -19m ha dato  $K=5.31 \cdot 10^{-8}$ .**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

## 6.5 Considerazioni sui risultati delle indagini in sito e di laboratorio

A seguito delle indagini eseguite nella fase definitiva della progettazione, integrate con i risultati delle precedenti campagne del progetto di fattibilità, sono stati acquisiti gli elementi di natura geologico-geotecnica che consentiranno la progettazione esecutiva dell'opera; in estrema sintesi, e con riferimento alla nomenclatura utilizzata nelle tavole con le sezioni geotecniche, la successione stratigrafica può essere rappresentata da tre strati o unità geologiche caratteristiche, vale a dire, dall'alto verso il basso:

- Unità 1 (Unità geologica UID), costituito da terreno di riporto o materiale rimaneggiato, con inclusi elementi di laterizio; il suo spessore varia sensibilmente da zona a zona, ed è compreso tra 1 e 10 metri al massimo;
- Unità 2, 3 e 4 (Unità geologiche AFR e INS), costituita da ghiaie eterometriche da fini a grosse, contenenti clasti poligenici, con intercalazioni centimetriche di sabbie fini, e ghiaie eterometriche da fini a grosse, con alterazione diffusa, di colore rossastro;
- Unità 6, Unità 5, Unità 7 (Unità geologiche SFR, FAA, SAF), al di sotto dei depositi fluvio glaciali sopra definiti, costituito da terreni a granulometria più fine, di diversa origine geologica (fluviali e/o marini): nella prima parte del tracciato (zona Politecnico), prevalgono le sabbie giallo bruno medio fini, addensate (SFR), sostituite dalle Argille di Lugagnano, a partire dal sondaggio SP-D08, costituite da limi argillosi o argille limose grigio azzurre (FAA), mentre dal sondaggio SP-D14 in poi lo Strato 4 è costituito in prevalenza da argille limose di colore grigio molto compatte e localmente litificate (SAF), che a tratti sono sostituite dalla formazione FAA. Nella parte finale del tracciato (da SP-D29 fino alla Stazione Rebaudengo, SP-D37), il manufatto in progetto è molto vicino alla superficie del terreno. Per questo, i sondaggi risultano meno profondi e la formazione che costituisce l'Unità 6 (SFR) è meno definita.
- Per quanto riguarda la superficie piezometrica, lungo tutta la parte iniziale del tracciato, fino a SP-D14, la soggiacenza è pari a circa 15÷18 metri da piano campagna, per portarsi a quote variabili tra 10 e 16 metri nella parte restante del tracciato, a causa dell'abbassamento della quota del terreno.

Sulla caratterizzazione geotecnica del terreno, l'esame complessivo dei dati di campagna e delle prove di laboratorio, porta a stabilire che:

- il grado di addensamento delle Unità 2, 3 e 4 (Unità geologiche AFR e INS) è da medio a elevato: infatti i valori della resistenza alla penetrazione  $N_{SPT}$  sono in genere molto alti. In particolare, quelli misurati nella formazione AFR sono maggiori di quelli della formazione INS, a motivo della presenza diffusa, nel primo, di sottostrati più cementati. Va osservato che in entrambi i casi i valori di  $N_{SPT}$  possono essere influenzati dalla presenza diffusa dei ciottoli, anche di dimensione decimetrica, i quali provocano un incremento della resistenza penetrometrica non legato necessariamente al grado di addensamento del terreno non coesivo.
- Per quanto riguarda le formazioni sottostanti, esse nella parte iniziale del tracciato è costituito dalle sabbie giallo bruno medio fini dell'Unità 6 (SFR), addensate. Nella parte restante del tracciato, dove prevalgono le formazioni più coesive (limi argillosi e argille limose dell'Unità 5

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

e dell'Unità 7 (FAA e SAF), la caratterizzazione geotecnica si basa prevalentemente sui risultati delle prove di laboratorio (vedere le tabelle 12, 13, 14,15); in entrambi i casi questi terreni risultano fortemente sovraconsolidati, molto compatti se non decisamente duri. Tale caratteristica è confermata anche dai valori di  $N_{SPT}$ , che sono quasi sempre molto elevati se non a rifiuto.

Le 22 diagrafie sono state distribuite lungo l'intero tracciato con lo scopo di individuare e quantificare la presenza degli strati cementati che caratterizzano le Unità 2, 3 e 4.

Le considerazioni che si possono trarre da questo tipo di indagine sono svolte nel Capitolo 7 (caratterizzazione geotecnica del terreno). In generale si osserva che:

- gli strati cementati non sono facilmente individuabili: occorre mettere a confronto la singola diagrafia con il sondaggio più vicino, in modo da individuare la possibile presenza di manufatti interrati che incrementano l'energia specifica in vicinanza della superficie del terreno ma che nulla hanno a che fare con la cementazione del terreno non coesivo nei primi 3÷8 metri;
- alla luce delle diagrafie, la cementazione sembra essere maggiormente diffusa nell'ambito dei primi 10-15 metri; la sua individuazione è resa difficoltosa anche a causa della presenza di grossi ciottoli, che localmente incrementano l'energia specifica;
- tenendo conto di queste difficoltà interpretative, sembra che gli strati cementati abbiano spessore modesto, dell'ordine di poche decine di centimetri, se non di pochi centimetri.

Infine, a sintesi dei risultati delle prove MASW eseguite lungo il tracciato (si veda a questo riguardo la Tabella 10), l'esame dei diagrammi della velocità  $V_s$  (m/s) consente di individuare chiaramente lo spessore del terreno di origine antropica e mette in evidenza la presenza di strati di terreno non coesivo cementato. Essi sono individuati da zone di terreno in cui la velocità  $V_s$  è maggiore di 600 m/s ed oltre; in assenza di cementazione, la velocità misurata negli strati 2 e 3 definiti sopra è dell'ordine di 300÷500 m/s. Sulla base delle prove MASW gli strati cementati sono individuabili soprattutto tra 10 metri e 20 metri, sporadicamente oltre 20 metri. Questa indicazione contrasta con i risultati dell'interpretazione delle diagrafie e costituisce un aspetto da approfondire con l'esame congiunto di tutti gli elementi conoscitivi (Capitolo 7).

## 6.6 Proprietà indice e stima dei parametri geotecnici

La Tabella 16 riporta la sintesi dei risultati delle prove inerenti alle proprietà indice determinate sui campioni di terreno coesivo (Unità 5, Unità 6, Unità 7). Esse, in parte, sono già state riportate nella Tabella 12; i valori di queste grandezze sono qui impiegati per valutare le caratteristiche di deformabilità in condizioni di deformazione laterale impedita (edometrica) e quelle di resistenza al taglio ( $\phi'$ ), adottando le correlazioni empiriche sotto esposte.

Stima dell'indice di compressibilità  $C_c$  in base al valore dell'indice di ricompressione,  $C_r$

$$C_c = 0.009 (LL-10) \quad (\text{Terzaghi-Peck, 1948})$$

Stima dell'indice di ricompressione  $C_r$  dal valore di LL e di  $G_s$ , essendo questo il peso specifico dei grani:

$$C_r = 0.000463 \cdot LL \cdot G_s \quad (\text{Nagarai et al. 1985})$$



Stima dell'angolo di resistenza al taglio per argille sovraconsolidate e valori dell'indice plastico IP compresi tra 4% e 50%:

$$\phi' = 45 - 14 \cdot \log_{10}(\text{IP}) \quad (\text{Sorensen et al. 2013})$$

Stima dell'angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate non drenate sulla base dei valori dell'indice plastico IP:

$$\phi'(\text{TX-CU}) = 45 - [\text{IP}/(0.5+0.04 \cdot \text{IP})]$$

mentre per la stessa grandezza derivata da prove di taglio diretto (TD) si ha:

$$\phi'(\text{TD}) = 31 + 0.0017 \cdot (\text{IP})^2$$

**Tabella 16. Proprietà indice e stima dei parametri geotecnici**

Sondaggio (n.)	Prof (m)	Unità (-)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	C <sub>c</sub> (-)	C <sub>r</sub> (-)	$\phi'$ (gradi)	$\phi'$ (TX) (gradi)	$\phi'$ (TD) (gradi)
SP-13	33.5	6	2.07	28.1	45	27	18	0.32	0.06	27	30	32
SP-D06	39.5	6	2.07	21.7	31	25	6	0.19	0.04	34	37	31
SP-D07	37.0	6	2.04	20.3	28	24	4	0.16	0.03	36	39	31
SP-D07	39.6	6	2.04	23.2	26	24	2	0.14	0.03	--	41	31
SP-D11	37.0	5	2.04	20.2	34	18	16	0.22	0.04	28	31	31
SP-D11	38.2	5	2.02	19.8	38	20	18	0.25	0.05	27	30	31
SP-D11	39.0	5	2.06	18.8	36	19	17	0.23	0.04	28	30	31
SP-D14	23.5	3	2.06	20.6	38	22	16	0.25	0.05	28	31	31
SP-D14	33.0	5	2.02	23	35	23	12	0.22	0.04	30	33	31
SP-D15	24.5	7	2.02	22.4	57	19	38	0.42	0.07	23	26	33
SP-D15	28.5	7	2.04	21.1	45	20	25	0.31	0.04	25	28	32



Sondaggio (n.)	Prof (m)	Unità (-)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	$w_n$ (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$C_c$ (-)	$C_r$ (-)	$\phi'$ (gradi)	$\phi'$ (TX) (gradi)	$\phi'$ (TD) (gradi)
SP-D16	28.0	7	2.05	22.8	52	20	32	0.38	0.06	24	27	33
SP-D16	36.0	7	2.04	22.9	46	19	27	0.32	0.05	25	28	32
SP-D17	28.0	7	2.06	20.9	44	23	21	0.31	0.05	26	29	32
SP-D17	36.0	7	2.05	22.7	46	21	25	0.32	0.05	25	28	32
SP-D18	25.5	7	2.05	21.1	47	23	24	0.33	0.06	26	28	32
SP-D18	30.0	7	2.04	20.9	45	24	21	0.31	0.04	26	29	32
SP-D19	29.2	7	2.05	22.3	48	22	26	0.34	0.06	25	28	32
SP-D21	37.6	5	2.03	23.8	37	19	18	0.24	0.04	27	30	31
SP-D22	21.4	3	2.12	17.2	22	16	6	0.11	0.03	34	37	31
SP-D36	16.0	3	2.12	17.1	32	23	9	0.33	0.06	32	34	31
SP-D37	19.5	3	2.09	16.9	34	22	12	0.22	0.04	30	33	31
SP-D38 <sup>(*)</sup>	32.2	7	2.02	23.1	24	15	9	0.13	0.03	32	34	31

NOTA (\*): SP-D38 eseguito come DIA D18

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 7.1 Premesse e considerazioni di carattere generale

Come già descritto nei capitoli precedenti, il terreno che caratterizza il tracciato dell'opera è caratterizzato dalla presenza di depositi continentali del Pleistocene medio-superiore, di spessore complessivo pari a circa 30÷40 m, poggianti su depositi fluvio-lacustri continentali, più fini, che si estendono fino alla massima profondità investigata con i sondaggi.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

La caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei materiali di origine fluviale e fluvio-glaciale risulta non agevole. Come noto infatti i materiali sabbioso-ghiaiosi risultano, normalmente, non campionabili allo stato indisturbato. Conseguentemente lo stato iniziale rappresentato dall'indice dei vuoti e/o dalla densità relativa può essere determinato solo in modo indiretto ricorrendo all'impiego di correlazioni empiriche. Le correlazioni empiriche più ricorrenti disponibili nella letteratura per l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT (vedere ad esempio Gibbs & Holtz (1957], Marcuson & Bieganouski (1977a e 1977b), Skempton (1986)) sono direttamente applicabili al caso dei terreni ghiaiosi con la dovuta cautela. A rendere ulteriormente difficile l'impiego di tali prove concorrono sia la presenza dei ciottoli sia dei livelli cementati. In particolare, questi fattori hanno fatto sì che in molti casi le prove penetrometriche SPT siano state fatte con l'impiego della punta chiusa, al posto del tradizionale campionatore Raymond.

Per ovviare a tali difficoltà si è adottato un approccio prudenziale, che consiste nel ridurre i valori misurati di  $N_{SPT}$  a rifiuto ( $N_{SPT} > 100$  colpi/30 cm) in funzione della profondità di prova; si veda a questo proposito l'indicazione data alla fine del paragrafo 6.2.1. Questa correzione è stata fatta sia per le prove con campionatore Raymond sia per quelle con punta chiusa. Inoltre, tutti gli altri valori di  $N_{SPT}$  acquisiti con la punta chiusa sono stati divisi per un fattore pari a 2, tenuto conto delle indicazioni (scarse) disponibili in letteratura.

Il grado di addensamento così stimato (da cui si stima a sua volta l'angolo di resistenza al taglio del terreno non coesivo) è stato confrontato con la stima basata sui valori della velocità delle onde di taglio, acquisiti con le prove MASW. L'insieme dei dati ha consentito la definizione delle caratteristiche geotecniche del terreno dell'Unità 1 e delle Unità 2, 3 e 4 (unità geologiche UID e AFR).

La caratterizzazione dei materiali più fini (prevalentemente coesivi), limosi ed argillosi, si basa sui risultati delle prove di laboratorio, che sono state eseguite sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi (Unità 6, 5 e 7, rispettivamente unità geologiche SFR, FAA e SAF). In questi casi i risultati delle prove in sito (prove penetrometriche dinamiche SPT) costituiscono un utile complemento.

Nei paragrafi seguenti vengono presentati i risultati della caratterizzazione geotecnica delle formazioni che caratterizzano il sito.

## 7.2 Unità 1 (Terreno di riporto) – UID

Questo strato è costituito da materiale molto eterogeneo, dove in genere prevale la componente grossolana (sabbia e ghiaia) con una frazione secondaria di terreno fine (limo e argilla). Sia il suo spessore sia le sue caratteristiche geotecniche sono molto variabili. In qualche caso esso contiene al suo interno manufatti di varia fattura e origine. Le caratteristiche geotecniche di impiego progettuale sono desunte dalla descrizione data nei log stratigrafici e dai risultati delle prove Standard Penetration Test. Questi ultimi sono riportati in Tabella 17 in funzione della profondità.

**Tabella 17. Prove SPT nel riporto eterogeneo (Unità 1)**

Sondaggio	Profondità prova (m)	N <sub>SPT</sub> misurato (colpi/30 cm)	N <sub>SPT</sub> corretto (colpi/30 cm)	N <sub>1,60</sub> (colpi/30 cm)
SP-D08	3.0	13 (PC)	7	9
SP-D09	3.0	16 (PC)	8	11
SP-D11	3.0	5 (PC)	3	4
SP-D13	3.0	15 (PA)	15	20
SP-D14	3.0	6 (PC)	3	4
SP-D15	3.0	8 (PA)	8	11
SP-D16	3.0	9 (PA)	9	12
SP-D17	3.0	15 (PA)	15	20
SP-D18	3.0	17 (PA)	17	23
SP-D20	3.0	6 (PA)	6	8
SP-D28	3.0	7 (PA)	7	9
SP-D29	3.0	28 (PA)	28	37
SP-D32	3.0	10 (PA)	10	13

**Nota 1:** (PA) = punta aperta (Raymond); (PC) = punta chiusa

**Nota 2:** N<sub>1,60</sub> valore corretto secondo la correlazione di Liao e Whitman (1986), in funzione della tensione verticale efficace.

Il valore medio dei valori N<sub>1,60</sub> è pari a (con esclusione del valore massimo pari a 37 colpi/30 cm) è pari:

$$N^m_{1,60} = 12 \text{ colpi/30 cm}$$

cui corrisponde, secondo la relazione data da Duncan e Buchigani (1976) uno stato di addensamento medio (densità relativa pari al 35÷65 %), e un angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari ad almeno 32°. Il modulo di deformazione  $E$  del terreno di questo strato viene stimato attraverso le correlazioni di Tan et al. (1991), con riferimento a terreni prevalentemente sabbio-ghiaiosi:

$$E = 600(N_{1,60} + 6) + 2000 \approx 12800 \text{ kPa}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

oppure, con riferimento a terreni sabbiosi contenenti una certa frazione di limo o argilla, attraverso la relazione:

$$E = 320(N_{1,60} + 15) \approx 8640 \text{ kPa}$$

Dato il criterio di stima impiegato, che si basa sulle prove SPT, i valori sopra indicati si riferiscono a livelli di deformazione elevati. Essi vanno corretti per riferirli a valori deformativi minori, pervenendo così alla stima del loro valore medio pari a:

$$E_{op} = 12000 \div 16000 \text{ kPa}$$

I valori del modulo E sopra indicati sono molto prudenziali, in quanto la loro stima deve tener conto che il terreno in esame è eterogeneo e variabile da zona a zona.

Tenendo conto che il terreno di riporto è spesso caratterizzato da un elevato contenuto della frazione fine (limo plastico o argilla), si ritiene che il valore dell'angolo di resistenza al taglio debba essere convenientemente ridotto a:

$$\varphi' = 29^\circ \div 30^\circ$$

assumendo sempre la coesione pari a zero.

### **7.3 Unità 2, Unità 3, e Unità 4 (Terreno ghiaioso sabbioso con cementazione sparsa e Terreno ghiaioso sabbioso alterato) – AFR e INS**

Al di sotto dell'Unità 1 sono presenti l'Unità 2, l'Unità 3 e l'Unità 4, non coesive e molto grossolane. Lo spessore complessivo varia da un minimo di 12÷13 metri ad un massimo di circa 30 metri.

I valori di  $N_{SPT}$  misurati e corretti secondo i criteri definiti in precedenza sono stati tabulati al paragrafo 6.2.1; tenendo conto dei soli valori che si riferiscono all'unità geologica AFR, si ottiene quanto rappresentato in Figura 10. L'interpretazione di tali risultati che viene nel seguito riportata si riferisce prevalentemente all'Unità 2, in quanto considera il terreno non cementato o poco cementato. Le Unità 3 e 4 sono caratterizzate da una cementazione dei grani non trascurabile, tale da modificarne in parte la caratterizzazione geotecnica nel seguito esposta. A tal fine le due Unità sopra menzionate, pur appartenendo alla formazione AFR di origine fluvio glaciale, rappresentano, ai fini progettuali ed esecutivi, terreni che vanno distinti.

Mentre l'effetto della cementazione ha una notevole influenza sul valore della coesione del terreno, nei riguardi dell'angolo di resistenza al taglio tale influenza è certamente minore. Di tale aspetto viene tenuto conto nel seguito, differenziando i parametri geotecnici all'interno delle tre Unità sopra definite.

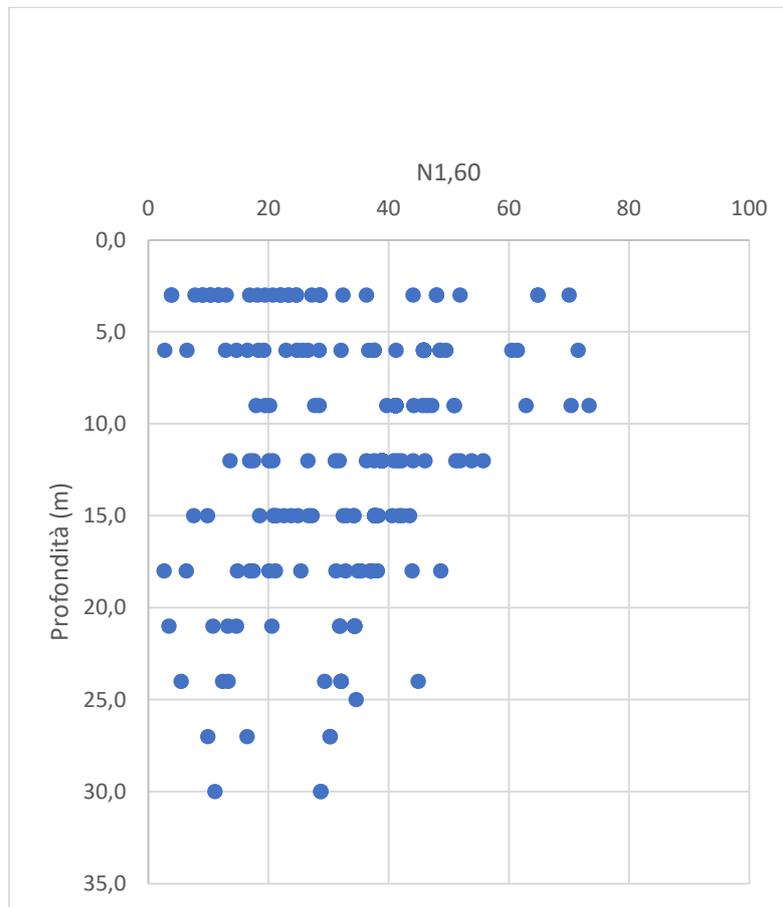
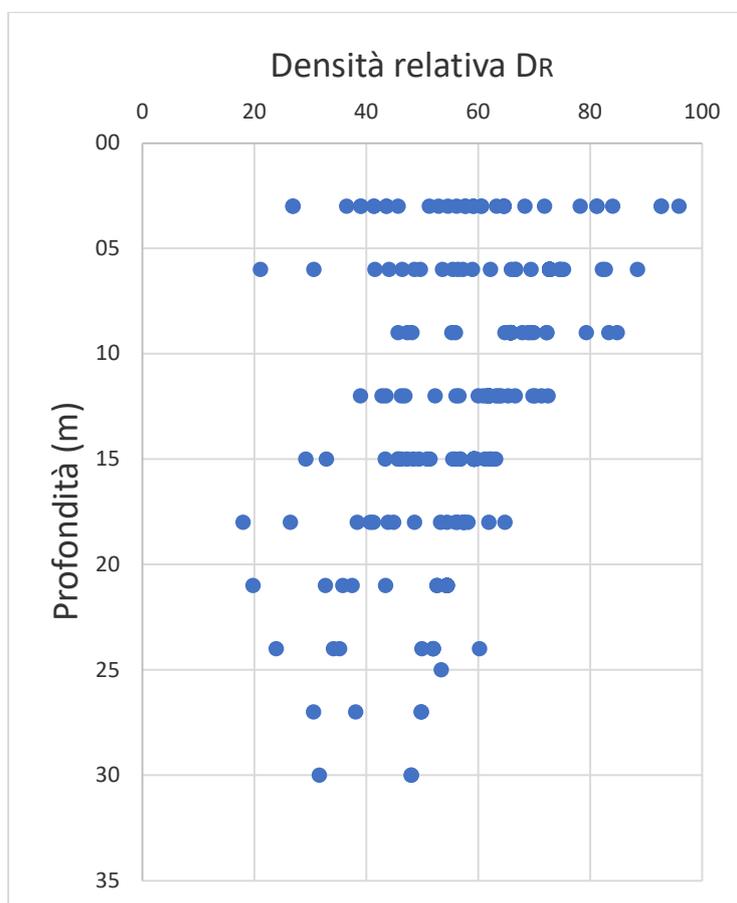


Figura 10. Valori di N<sub>1,60</sub> misurati nell' Unità geologica AFR

La Figura 10 mostra i valori di N<sub>1,60</sub> misurati alle varie profondità (in genere ogni 3 metri di avanzamento del sondaggio). Si osserva facilmente che, a parte l'ovvia dispersione dei dati di misura, la tendenza è quella per cui i valori si riducono con la profondità: ciò è probabilmente dovuto al fatto che i livelli cementati sono presenti soprattutto nei primi 15 metri, così come il contenuto di ciottoli. Come si vedrà nel seguito, tutti questi elementi portano a valutare le caratteristiche di resistenza con una certa cautela. I valori di N<sub>1,60</sub> sono utilizzati per stimare la densità relativa del terreno D<sub>R</sub> e quindi l'angolo di resistenza al taglio, φ'. La Figura 11 rappresenta i valori di D<sub>R</sub>, calcolati con la relazione di Ioshida e Ikemi (1988), valida per terreni ghiaiosi e sabbiosi, con la frazione di ghiaia di circa il 50%.

$$D_R = 25 \cdot N_{1,60}^{0.44} \cdot \sigma'_{vo}{}^{-0.13}$$

dove  $\sigma'_{vo}$  è la tensione verticale efficace calcolata alla profondità della prova SPT, in base ad un valore del peso di volume del terreno  $\gamma$  pari a 19 kN/m<sup>3</sup>.

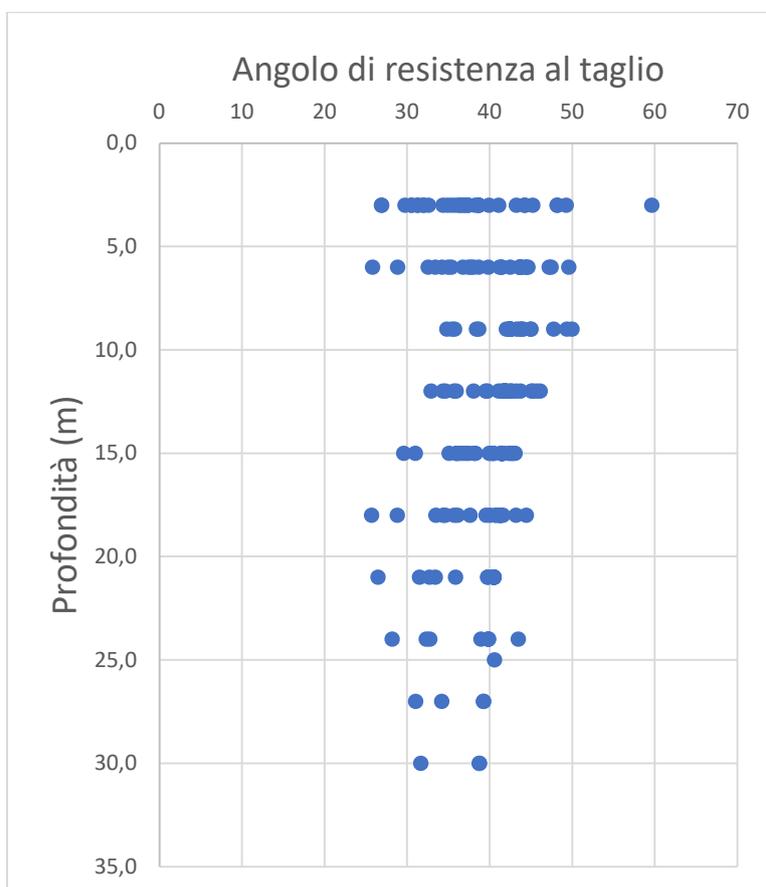


**Figura 11. Densità relativa in funzione della profondità nell' Unità geologica AFR**

L'andamento di  $D_R$  con la profondità rispecchia quello dei valori di  $N_{SPT}$ ; fino a circa 10 metri il suo valore medio è di circa 60%, mentre da 10 a 25 metri esso è pari a circa il 50%. Il terreno dell'Unità 2 viene quindi classificato come un terreno non coesivo, mediamente addensato. Il valore del corrispondente angolo di resistenza al taglio, calcolato secondo la relazione di Hatanaka e Uchida (1996) sotto riportata, è mostrato in Figura 12:

$$\phi' = (20 \cdot N_{1,60})^{0.5} + 20$$

da cui si stima la fascia dei valori dell'angolo di resistenza al taglio compresa tra un minimo di 35° e 40°. Si tenga presente che i valori maggiori potrebbero essere influenzati dalla presenza dei grossi ciottoli.



**Figura 12. Valori di  $\phi'$  con la profondità nell'unità geologica AFR (Hatanaka e Uchida)**

Considerando inoltre che i valori di  $\phi'$  nei primi 10 metri sono certamente influenzati dalla cementazione diffusa, si stima un valore rappresentativo di questo parametro nell'ambito dell'intera Unità 2 pari a:

$$\phi' = 36^\circ \div 38^\circ.$$

Con analoghi criteri di interpretazione, per i materiali appartenenti all'unità geologica INS si ottiene quanto rappresentato nelle Figura 13, Figura 14 e Figura 15.

Per quanto riguarda i valori di  $N_{1,60}$  essi risultano mediamente inferiori di quelli misurati nell'ambito dei materiali descritti precedentemente; ciò si riflette sui valori calcolati della densità relativa, che in questo strato varia tipicamente tra il 40% e il 50%. Il terreno di questo strato è ancora classificabile (cautelativamente) come mediamente addensato. I valori dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  sono riportati nella Figura 15. Per essi è stata utilizzata la correlazione di Ohsaki et al. (1959), che meglio si adatta ai terreni prevalentemente sabbiosi.

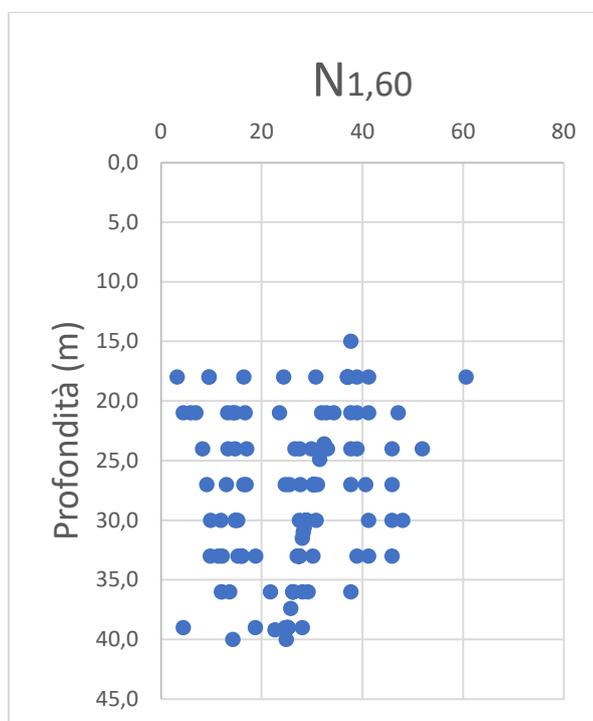


Figura 13. Valori di  $N_{1,60}$  misurati nell'unità geologica INS

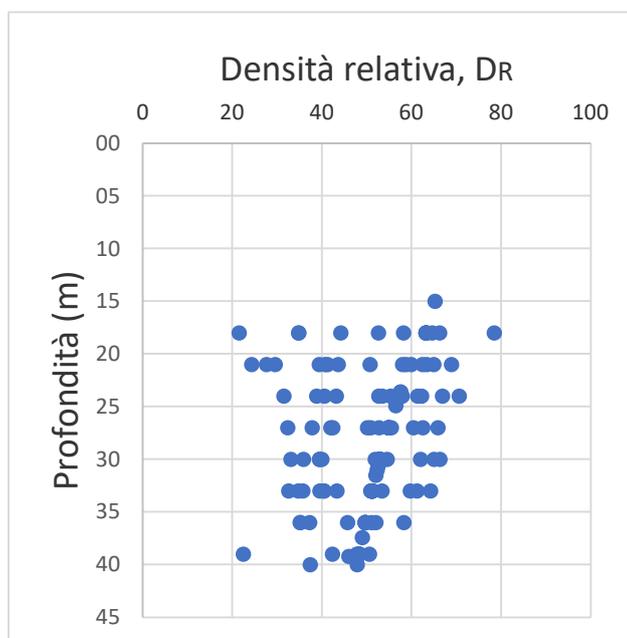


Figura 14. Densità relativa in funzione della profondità nell'unità geologica INS

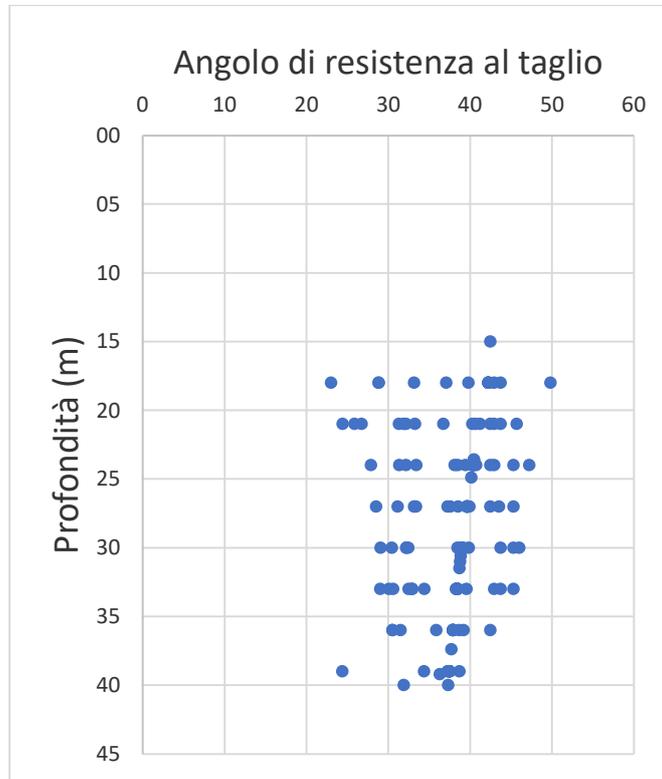


Figura 15. Valori di  $\phi'$  con la profondità nell'unità geologica INS (da Ohsaki et al.)

La relazione impiegata per valutare l'angolo di resistenza al taglio, diagrammata in Figura 15, è sotto riportata:

$$\phi' = (20N_{1,60})^{0.5} + 15$$

La maggior parte dei valori di  $\phi'$  ricade tra i valori  $32^\circ$  e  $43^\circ$ , per cui, come nel caso precedente, appare giustificata l'assunzione di un valore rappresentativo di tale grandezza, pari a:

$$\phi' = 36^\circ \div 38^\circ$$

potendosi, anche in questo caso, fare le osservazioni fatte in precedenza a proposito della dispersione dei valori di  $N_{SPT}$  di partenza.

Da quanto sopra riportato si evince che le unità geologiche AFR e INS sono caratterizzate da valori assolutamente confrontabili delle caratteristiche di resistenza per cui non si è ritenuto necessario distinguerle a livello geotecnico.



Per quanto riguarda il valore dell'angolo di resistenza al taglio che caratterizza in particolare le Unità 3 e 4, nelle quali la cementazione costituisce un aspetto rilevante, esso può essere stimato pari a:

$$38^{\circ} \div 40^{\circ}$$

e quindi incrementato rispetto a quelli che caratterizzano l'Unità 2. La presenza diffusa di questi strati di materiale grossolano cementato caratterizza l'intero territorio del Comune di Torino. Si faccia riferimento, a questo proposito, alla Figura 16.

*M. Cardu and P. Oreste*



**Figura 16. Sezione litologica orizzontale del comune di Torino e gradi di cementazione (da Cardu e Oreste, 2013)**

L'area di interesse progettuale ricade all'interno delle classi di cementazione C2 e C3; ogni classe di cementazione è correlata ad un dato intervallo del grado di cementazione. Sulla base della conoscenza delle caratteristiche geotecniche accumulate nel corso degli ultimi anni, vari autori, tra cui quelli citati in Figura 16, hanno definito quanto riportato in Tabella 17.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

**Tabella 18. Parametri geotecnici e grado di cementazione (da Cardu e Oreste, 2013)**

	C1 class	C2 class	C3 class
Cohesion (MPa)	0.01	0.03	0.1
Friction angle (°)	36	38	40
Elastic modulus (MPa)	150	190	230
Poisson ratio (-)	0.25	0.25	0.25
Specific weight (kN/m <sup>3</sup> )	20	21	22

I dati sopra mostrati traggono origine dalla pubblicazione di Barla & Barla (2012), nella quale sono riportate le caratteristiche geotecniche delle formazioni alluvionali nel territorio di Torino in funzione del grado di cementazione; si veda a questo proposito la Tabella 19, tratta dalla pubblicazione originale.

**Tabella 19. Caratterizzazione geotecnica e grado di cementazione (da Barla & Barla, 2012)**

Geotechnical Unit	C% [%]	D <sub>R</sub> [%]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	E <sub>d</sub> [MPa]	ν [-]	σ <sub>c</sub> [MPa]	m [-]	c [kPa]	φ [°]
GU1	-	50 - 60	17 - 19	10 - 20	0.35	0	-	0	36 - 37
GU2	0 - 25	50 - 70	18 - 21	190 - 240	0.30	0 - 0.03	3 - 4.8	0 - 30	37 - 39
GU3	25 - 50	60 - 80	19 - 22	240 - 300	0.30	0.03 - 0.14	4.8 - 7.8	15 - 80	37 - 42
GU4	50 - 75	60 - 80	19 - 22	300 - 370	0.30	0.14 - 0.67	7.8 - 12.5	50 - 200	39 - 48

L'unità geotecnica definita in Tabella 19 come GU2 alla quale corrisponde un grado di cementazione che va da 0 al 25% è caratterizzata da un valore della densità relativa che varia dal 50% al 70% e da un valore dell'angolo di resistenza al taglio da 37° a 39°. Il corrispondente valore della coesione (c) è valutabile pari a circa 30 kPa (grado di cementazione del 25%).

L'unità geotecnica GU3 ha grado di cementazione che varia dal 25% al 50% e coesione c dell'ordine di 15÷80 kPa. Essa corrisponde a quella che nella presente relazione è detta Unità 3. L'Unità 4 qui definita viene assimilata all'unità GU4 di Tabella 19, caratterizzabile da un grado di cementazione variabile dal 50% al 75%. Per essa i valori dei due parametri in esame sono di conseguenza molto elevati. Tenuto conto della notevole erraticità della posizione delle Unità in esame e l'incertezza legata alla caratterizzazione geotecnica, si ritiene di non dover superare, per l'angolo di resistenza al taglio, il valore indicato sopra, compreso tra 38° e 40°.

Per quanto riguarda la coesione che caratterizza le due Unità in esame si veda il paragrafo 7.3.2.

I risultati delle prove SPT possono essere interpretati empiricamente per ricavare una stima dei valori della velocità delle onde di taglio nel terreno, V<sub>s</sub>. A questo proposito si osserva che le correlazioni impiegate hanno validità limitata, sia perché la presenza dei ciottoli influenza sensibilmente il risultato della prova SPT, sia perché ogni relazione tra le due grandezze non ha



validità generale, essendo riferita ad un particolare deposito non coesivo. A chiarimento di tale limitazione si veda quanto riportato in Figura 17, dove sono mostrate le varie curve reperibili in letteratura che legano i valori di  $N_{SPT}$  a quelli della velocità  $V_s$ . A rendere ancora più incerto il risultato offerto da questo criterio è la scarsa coerenza nel rappresentare i valori di  $N_{SPT}$ , che in alcuni casi sono i valori misurati, in altri i valori corretti per tener conto della profondità della prova e dell'efficienza energetica.

### DEFINIZIONE VELOCITA' ONDE DI TAGLIO ( $V_s$ )

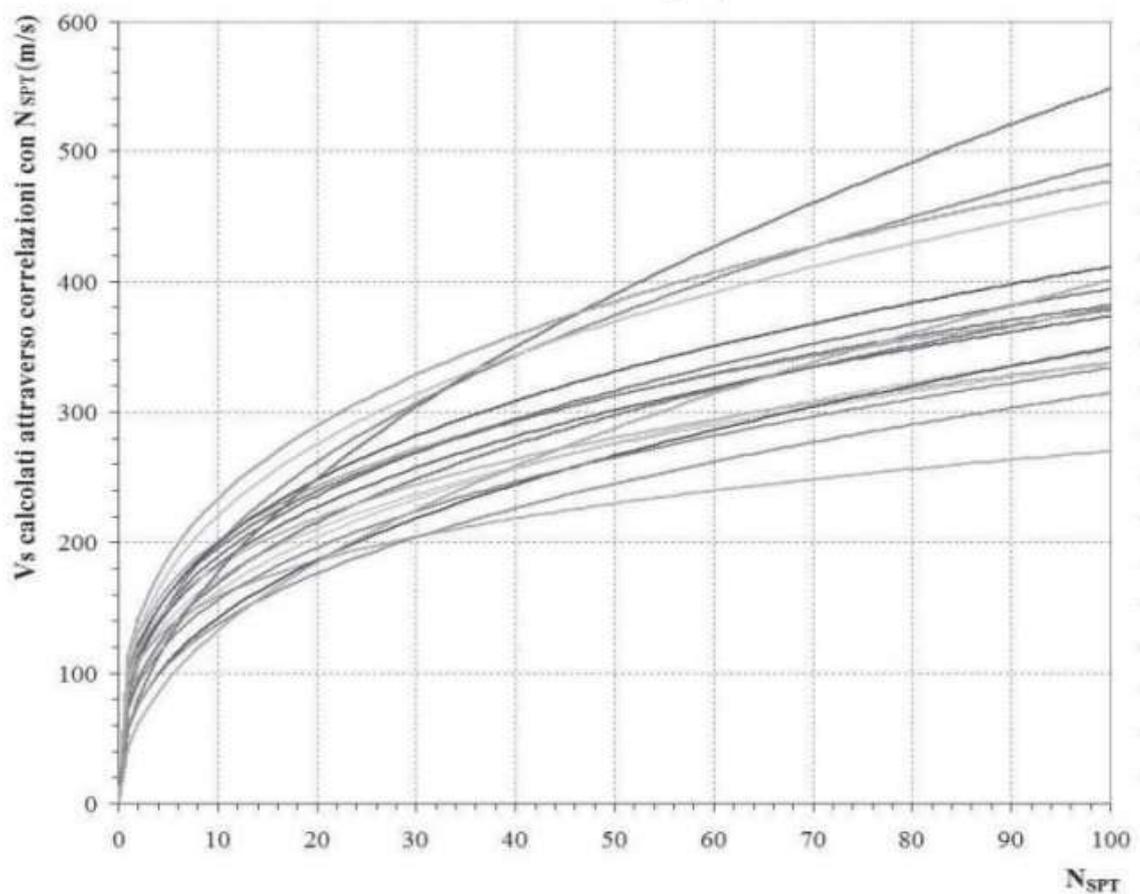


Figura 17. Correlazioni tra  $N_{SPT}$  e  $V_s$

Nel caso in esame si fa riferimento al criterio proposto da Yoshida et al. (1988) che viene rappresentato dalle relazioni sotto riportate per tre diversi tipi di terreno non coesivo:

Sabbia fine:

$$V_s = 49 \cdot N^{0.25} \cdot \sigma'_{vo}{}^{0.14}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

#### Ghiaia:

$$V_S = 56 \cdot N^{0.25} \cdot \sigma'_{vo}{}^{0.14}$$

#### Ghiaia grossolana:

$$V_S = 60 \cdot N^{0.25} \cdot \sigma'_{vo}{}^{0.14}$$

con  $V_S$  espresso in m/s ed  $N \equiv N_{SPT}$ .

Da queste si può ottenere una relazione di validità generale (media) per tutti i terreni non coesivi quali quelli in esame per le tre unità:

$$V_S = 55 \cdot N^{0.25} \cdot \sigma'_{vo}{}^{0.14}$$

relazione che applicata ai valori misurati e non corretti di  $N_{SPT}$  comporta i seguenti valori stimati della velocità  $V_S$  per tre profondità significative:

#### Unità AFR

$\sigma'_{vo}$  (z = 5 m) = 96 kPa, N = 37 colpi/30 cm,  $V_S \approx 256$  m/s

$\sigma'_{vo}$  (z = 15 m) = 255 kPa, N = 50 colpi/30 cm,  $V_S \approx 318$  m/s

$\sigma'_{vo}$  (z = 30 m) = 381 kPa, N = 50 colpi/30 cm,  $V_S \approx 336$  m/s

valori che fanno riferimento alla soggiacenza della falda di 12 metri e ad un peso di volume pari a 19 kN/m<sup>3</sup>.

#### Unità INS

$\sigma'_{vo}$  (z = 18 m) = 282 kPa, N = 50 colpi/30 cm,  $V_S \approx 322$  m/s

$\sigma'_{vo}$  (z = 30 m) = 381 kPa, N = 50 colpi/30 cm,  $V_S \approx 336$  m/s

$\sigma'_{vo}$  (z = 40 m) = 480 kPa, N = 48 colpi/30 cm,  $V_S \approx 344$  m/s

**NOTA:** nelle due serie di calcoli i valori di  $N_{SPT}$  maggiori di 50 colpi/30 cm sono stati posti pari a 50 colpi/30 cm.

Nelle tre unità in esame i valori di  $V_S$  alle varie profondità variano da un minimo di circa 250 m/s ad un massimo di circa 350 m/s. Essi risultano pertanto inferiori ai valori di  $V_{S30}$  ricavati attraverso le prove MASW, che rappresentano il dato rappresentativo (pesato) nell'ambito dei primi 30 metri di profondità. Da tale confronto in termini di velocità delle onde di taglio si deduce che l'approccio seguito per la stima dei parametri geotecnici delle unità 2, 3 e 4 (densità relativa  $D_R$ , angolo di resistenza al taglio  $E'$ ) è cautelativo.

### **7.3.1 Osservazioni**

Le grandezze sopra definite per l'Unità 2, l'Unità 3 e l'Unità 4 (unità geologiche AFR e INS) sono congruenti con un'interpretazione cautelativa delle prove Standard Penetration Test. Tale cautela

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

è insita sia nella correzione adottata nel passaggio dai valori misurati con punta chiusa ai valori con punta aperta, sia nelle relazioni che legano tali valori alla densità relativa e all'angolo di resistenza al taglio. A giustificazione di tale approccio va tuttavia osservato che:

- la presenza di strati cementati e di ciottoli di grandi dimensioni (maggiori in molti casi a 10 cm), incrementa sensibilmente i valori della resistenza penetrometrica SPT senza che ciò rifletta un effettivo incremento del grado di addensamento.
- La variabilità stratigrafica riscontrata lungo il tracciato alle varie profondità impone l'assunzione di valori dei parametri geotecnici prudenziali, in modo da poter essere rappresentativi anche di quelle situazioni dove il terreno potrebbe risultare più scadente. La grande dispersione dei valori di  $N_{SPT}$  misurati a tutte le profondità testimonia di tale variabilità.
- Il valore dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  qui assunto, pari a  $36^\circ \div 38^\circ$  (Unità 2) è maggiore del valore caratteristico a volume costante,  $\phi'_{cv}$ , in corrispondenza della rottura, per un rapporto tra la tensione di taglio e la tensione efficace pressoché costante. Esso è rappresentativo nei problemi quali la spinta dei terreni e la capacità portante delle fondazioni, nei quali si manifesta il fenomeno della rottura progressiva, indipendentemente dal grado di addensamento del terreno non coesivo.

La sottounità 2B riportata sulle tavole del profilo geotecnico è caratterizzata da corpi lenticolari, costituiti principalmente da limi sabbiosi e sabbie limose. Si vedano a tale riguardo le stratigrafie dei sondaggi SP-D36 e SP-D37, in cui lo spessore di tali intercalazioni è maggiore. In essi sono state eseguite prove Standard Penetration Test e sono stati prelevati campioni indisturbati. Dalle analisi granulometriche risulta che il terreno è costituito da limo sabbioso, con valori dell'indice plastico variabile da 9% a 12%; in base a questi valori si può stimare un angolo di resistenza al taglio di circa 31-32 gradi (si vedano le correlazioni riportate al paragrafo 6.6).

Valori di tale parametro sono stati misurati a seguito delle prove di taglio diretto: in questo caso si ha un valore dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  compreso tra  $28^\circ$  e  $30^\circ$ , abbinati a valori di coesione dell'ordine di 20-30 kPa. Tenuto conto del tipo di prova si tende a dare maggior credito ai valori maggiori di  $\phi'$ .

Da un punto di vista progettuale le intercalazioni limoso sabbiose qui richiamate non sono significative, principalmente grazie al loro ridotto spessore. Per questo possono essere trascurate ai fini della caratterizzazione geotecnica generale, adottando però, ove presenti, valori dell'angolo  $\phi'$  corrispondenti al limite inferiore di tale grandezza, vale a dire il valore di  $36^\circ$ .

Nel sondaggio SP-D22, in zona Stazione Novara, lo strato limoso-sabbioso ha uno spessore di 7 metri, accertato tra le profondità di 17 metri e di 24 metri; in esso sono state eseguite prove SPT, prove speditive sulle carote estratte, per la misura della resistenza al taglio non drenata,  $c_u$ , prove triassiali di tipo UU, CIU, CD e una prova di taglio diretto. Le prove speditive sulle carote di terreno evidenziano l'elevato disturbo causato dal carotaggio; in base ai risultati delle prove di laboratorio si ha quanto segue: 1) la granulometria del terreno è in prevalenza di tipo limoso sabbioso, con contenuto di argilla pari a circa il 15%; la coesione non drenata misurata con le prove triassiali UU è pari a circa 200 kPa, caratteristica di un terreno coesivo molto consistente. 2) in base alle

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

prove triassiali di tipo CIU si misura un angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a  $36^\circ$  e una coesione apparente di 27 kPa; le stesse grandezze, misurate con una prove di tipo CID (drenata), sono risultate pari rispettivamente a  $28^\circ$  e 20 kPa; questi ultimi sono stati confermati anche dai risultati della prova di taglio diretto, che ha fornito valori pari a  $29^\circ$  e 25 kPa. 3) l'indice plastico è risultato pari a 6%, coerentemente all'elevato contenuto di sabbia fine.

Per quanto riguarda i risultati delle prove SPT, vengono presi in considerazione i sondaggi SP-D20, SP-D22, SD-17, eseguiti nella zona adiacente alla Stazione Novara, nei quali è risultata particolarmente frequente la presenza delle numerose intercalazioni limose tipiche dell'Unità 2B. In corrispondenza di questi orizzonti sono diagrammati in Figura 18 e Figura 19 le interpretazioni dei risultati, per ricavare i valori della densità relativa DR e dell'angolo di resistenza al taglio,  $\phi'$ . Da esse si può osservare che la fascia dei valori ricavati per queste due grandezze non si discosta dalle stime fatte per la formazione non coesiva che caratterizza l'Unità 2 nel suo insieme.

In definitiva, l'insieme dei risultati disponibili porta a osservare che:

- la struttura del terreno dello strato coesivo in esame è sottilmente stratificata, potendo passare da un materiale prevalentemente sabbio-limoso a un materiale in cui la componente fine è prevalente; ciò giustifica la differenza di valori misurati di  $\phi'$  e di  $c'$ ,
- anche in condizioni non drenate la resistenza al taglio è elevata, a conferma delle buone caratteristiche del terreno di questo strato,
- quanto sopra è indirettamente confermato anche dai risultati delle prove MASW, eseguite nella zona della Stazione Novara: in esse il valore della velocità delle onde di taglio è sempre maggiore di 400 m/s, tra 15 metri e 25 metri, mentre il valore di  $V_{s,30}$  è pari a circa 500 m/s.

Da quanto sopra descritto si conclude che, nei riguardi dei parametri geotecnici significativi per il calcolo delle opere, si possono confermare i valori dei parametri geotecnici esposti al paragrafo 7.3 per l'Unità 2, in cui, per tener conto dell'influenza della componente limosa là dove essa è effettivamente più frequente, si farà riferimento al valore inferiore dell'angolo  $\phi'$ , vale a dire al valore di  $36^\circ$ . La possibile sovrastima di tale parametro sarà compensata dalla corrispondente sottostima della coesione apparente,  $c'$ .

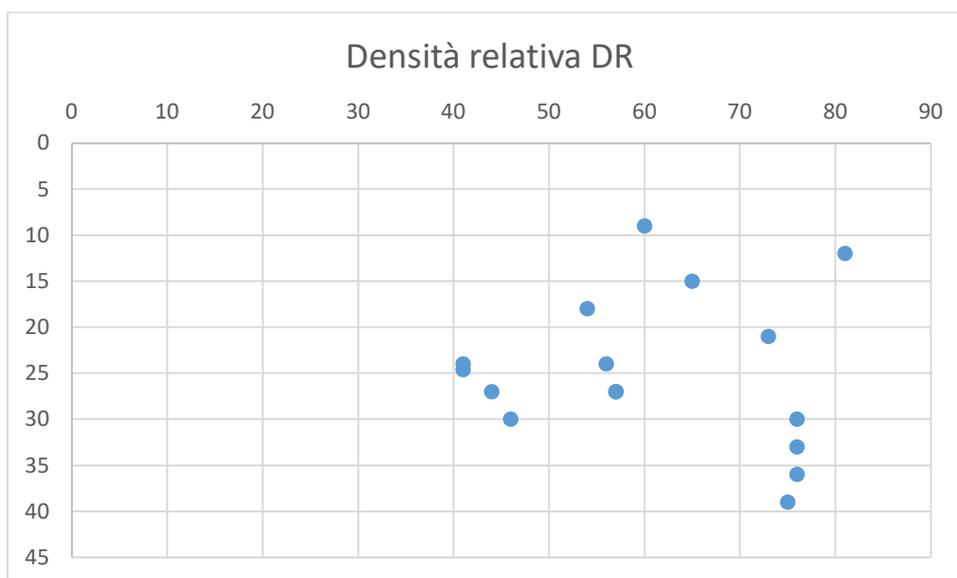


Figura 18. Densità relativa DR dai risultati delle prove SPT nel terreno dell'Unità 2B

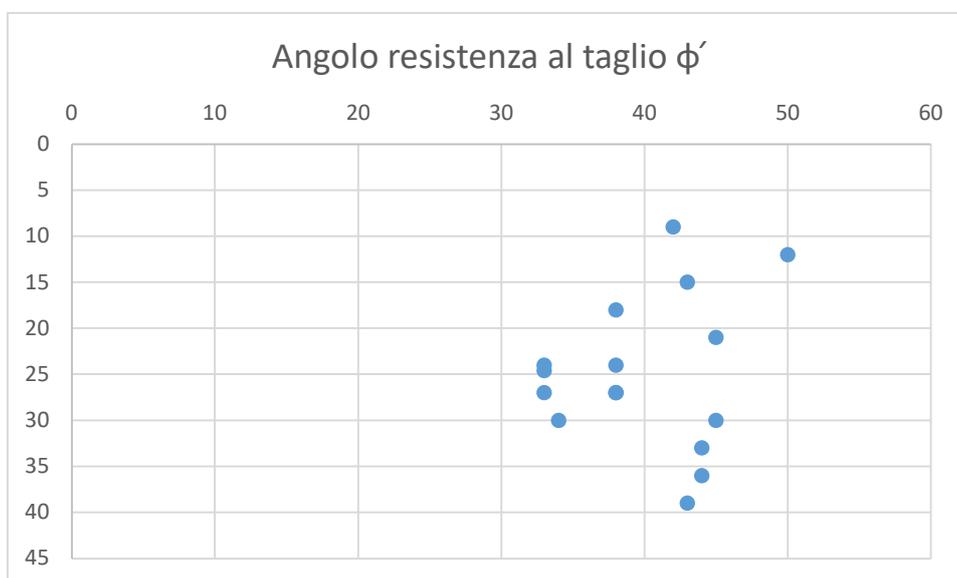


Figura 19. Valori di  $\phi'$  dai risultati prove SPT nel terreno dell'Unità 2B

### 7.3.2 Coesione (Unità 2)

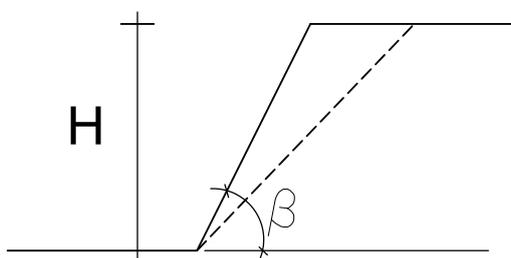
Come discusso al Capitolo 6 a proposito delle diagrafie e della loro interpretazione, per la valutazione del grado di cementazione, le incertezze insite in questo metodo appaiono evidenti. Inoltre, nel caso specifico gli spessori degli strati cementati sembrano molto sottili. Per questo, si

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

ritiene più rappresentativo individuare il valore della coesione del terreno di queste Unità non coesive e grossolane attraverso valutazioni di carattere empirico, certamente cautelative.

A questo fine si osserva che:

- il deposito alluvionale che costituisce gli strati in esame è caratterizzato da una distribuzione granulometrica estesa, con valori del coefficiente di uniformità sempre abbondantemente maggiori di 10,
- data l'origine geologica, la formazione del terreno è avvenuta per trasporto e sedimentazione in acqua, cioè in condizioni nelle quali la forza prevalente era quella gravitazionale. Ciò ha comportato una struttura dell'ammasso particellare di tipo orientato in direzione orizzontale, conferendo al deposito una elevata anisotropia; da qui l'esistenza di una componente di "coesione" nei riguardi di superfici di rottura (ipotetiche) a prevalente direzione verticale o subverticale, componente che si sovrappone a quella dovuta all'attrito.
- una valutazione molto prudente dell'entità della componente di coesione può essere basata sul semplice modello rappresentato in Figura 20, in cui viene idealizzata una superficie di rottura di tipo rettilineo che interseca la base del dislivello del terreno.



**Figura 20. Calcolo dell'altezza di scavo H**

Nel terreno considerato omogeneo, di peso di volume  $\gamma$ , angolo di resistenza  $\varphi'$ , la coesione corrispondente ad un'altezza H di scavo verticale è pari a ( $\beta = 90^\circ$ ,  $\varphi = 36^\circ$ , fuori falda):

$$c = \frac{\gamma H}{4} \left[ \frac{1 - \cos(\beta - \varphi)}{\sin \beta \cdot \cos \varphi} \right]$$

da cui, per ottenere un'altezza H pari a 4 metri, occorre poter mobilitare una coesione pari a circa 10 kPa (assumendo un peso di volume efficace pari a 19 kPa). Il valore di H calcolato è concorde con quanto si può osservare in sito, durante lo scavo di un pozzo esplorativo in un terreno grossolano e abbastanza addensato.

Appare quindi plausibile assegnare al terreno fuori falda una coesione c pari a (Unità 2):

$$c = 10 \div 15 \text{ kPa.}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

### 7.3.3 Coesione (Unità 3 e 4)

In questo caso la coesione è dominata dal grado cementazione. Esso, come è stato possibile dedurre dai risultati della campagna di indagine del progetto di fattibilità, varia sensibilmente in funzione non solo della profondità, ma anche della posizione in pianta. Come viene discusso al capitolo 7, paragrafo 7.9, il grado di cementazione, deducibile dai risultati delle prove Dac test, è molto variabile, potendo andare dal 25% (valore minimo, ma significativo ai fini geotecnici) ad un massimo del 75% (valore che attiene al campo delle rocce tenere). In considerazione anche della variabilità, si definisce un valore della coesione del terreno appartenente alle Unità 3 e 4 cautelativo, che fa quindi riferimento ad un grado di cementazione dell'ordine, rispettivamente, del 25÷50% e 50÷75%. Esso viene valutato pari a (vedere anche i dati di tabella 19):

$$\text{Unità 3: } c = 30 \div 50 \text{ kPa}$$

$$\text{Unità 4: } c = 50 \div 100 \text{ kPa}$$

valori pur sempre cautelativi, ma che tengono conto della difficile individuazione della continuità degli strati cementati, oltre che del grado di cementazione che li caratterizza.

### 7.3.4 Modulo di deformazione (Unità 2) - Modulo operativo

La deformabilità degli strati in esame viene valutata attraverso i risultati delle prove in sito, distinguendo il livello deformativo di riferimento. Questo modulo ( $E_0$ ), riferito allo stato tensionale geostatico, può essere valutato sulla base dei valori di velocità delle onde di taglio  $V_s$  misurate con le prove MASW; data la natura di queste misure, che differisce da quella più validata derivabile dalle prove cross hole, al risultato ottenuto verrà applicato un fattore di incertezza. L'espressione che fornisce il valore di  $E_0$  è:

$$E_0 = 2(1 + \nu) \left( \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot V_s^2 \right)$$

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale pari a 19 kN/m<sup>3</sup>

$\nu$  = coefficiente di Poisson, pari a 0.25

Adottando per  $V_s$  un valore pari a 300 - 320 m/s (valori minori tra quelli misurati), si ottiene il valore di riferimento del modulo  $E_0$ :

$$E_0 = 435 - 495 \text{ MPa}$$

Volendo utilizzare la grandezza in esame per lo studio del comportamento delle fondazioni e delle opere di sostegno (problemi che sono legati al cedimento immediato in formazioni non coesive di tali opere), occorre tener conto della non linearità del comportamento del terreno, e quindi della dipendenza del modulo dal livello tensionale e dal livello delle deformazioni indotte (maggiori di  $10^{-5}$ ). La loro tenuta in conto comporta una drastica riduzione del valore del modulo, che porta alla definizione del modulo operativo  $E_{op}$ , valutabile come:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

$$E_{op} = 0.35 \cdot E_0$$

da cui si stima:

$$E_{op} \approx 150 - 170 \text{ MPa}$$

risultato basato sui valori di  $V_s$  prudenziali, alla luce delle incertezze legate alle misure della velocità delle onde di taglio attraverso le prove MASW. Inoltre si deve tener conto che lungo il tracciato l'andamento della velocità  $V_s$  con la profondità varia sensibilmente da zona a zona.

I valori indicati sopra per l'Unità 2 sono confermati anche dall'interpretazione delle caratteristiche di deformabilità basata sulla correlazione tra il modulo del terreno cementato ed il suo grado di cementazione (si veda quanto riportato nella relazione geotecnica del Progetto di fattibilità), espressa nella forma:

$$E_{op} = 150 + 250 \cdot e^{\left(\frac{C\% - 100}{30}\right)}$$

dove C% è il grado di cementazione espresso in percentuale. L'applicazione di tale relazione ha portato a valutare il valore di  $E_d$  come indicato in Tabella 20.

**Tabella 20. Valori del modulo di deformazione nelle Unità 2 – Unità 3 – Unità 4**

Unità geotecnica	Cementazione [%]	Modulo di deformazione [MPa]
U2	0÷25	150÷170
U3	25÷50	170÷200
U4	50÷75	200÷260

## 7.4 Unità 6 (Unità geologica SFR)

Questo terreno è costituito prevalentemente da sabbie da grossolane a fini e da ghiaie fini, addensate; sono presenti livelli limoso-argillosi molto frequenti. Si osserva che la presenza di questo strato è limitata alla prima parte del tracciato, in pratica dal sondaggio SP-D01 al sondaggio SP-D08 escluso, cioè fino alla progressiva km 7+978.

In questo tratto nessuno dei sondaggi eseguiti, sia nella fase di fattibilità sia in quella definitiva, ha raggiunto lo strato in esame, per cui la sua presenza viene ipotizzata per continuità con quanto accertato con i sondaggi SP-09, SP-09bis e SA-D04. L'interesse progettuale di questo strato è di scarsa rilevanza, in quanto nel tratto in esame l'opera è collocata completamente al di sopra di esso, per almeno 5 metri; solo in corrispondenza della zona dei sondaggi SP-D07 e SA-D04 la base dell'opera in progetto arriva a lambire l'Unità 6. La Tabella 21 riporta i risultati delle prove di laboratorio sui campioni prelevati nello strato.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

**Tabella 21. Risultati delle prove di laboratorio (Unità 6)**

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Densità (t/m <sup>3</sup> )	c <sub>u</sub> (PP) (kPa)	w <sub>n</sub> -w <sub>p</sub> (%)	<ASTM 200 (%)	TX-CIU	c' (kPa)	φ' (gradi)	TX- CD	c' (kPa)	φ' (gradi)
SP-09(*)	31.5		230	--	26.2	--	--	--	--	--	--
SP-09(*)	36.0	2.02	270	4.8	88.9	--	--	--	X	7	26.2
SP-09 bis(*)	46.0	2.13	230	< 0	70.5	X	5	26	--	--	--
SP-D06	39.5	2.07	--	< 0	67.9	--	--	--	--		
SP-D07	37.0	2.04	--	< 0	59	--	--	--	X	56	22
SP-D07	39.6	2.04	--	< 0	50	--	--	--	X	38	26

**(\*) Questi sondaggi fanno parte dell'indagine per il Progetto di fattibilità**

**(\*)(\*) c<sub>u</sub> (PP) = resistenza al taglio non drenata da prove pocket penetrometer**

Come si osserva dalla percentuale di passante al setaccio 200 ASTM, il contenuto della frazione fine è molto variabile a seconda della profondità; essa può essere quasi assente (SP-09 campione a 31.5 metri), oppure essere la frazione predominante. Le prove triassiali fatte sui due campioni più coesivi mostrano che l'angolo di resistenza al taglio φ' è pari in entrambi i casi a 26°; anche i valori di coesione sono abbastanza concordi, pur essendo modesti (circa 6 kPa). Va tenuto presente che la componente principale di questo strato è quella grossolana, appartenente al campo delle sabbie. I campioni da cui sono stati ricavati i provini sopra citati rappresentano il terreno con una significativa componente di fine, appartenenti a strati dello spessore di circa 2 metri; per questo, si è del parere che il valore dell'angolo di resistenza al taglio φ' rappresentativo dell'intero strato sia pari ad almeno:

$$\varphi' = 30^\circ \div 32^\circ$$

in considerazione del valore della densità del terreno (maggiore di 2 t/m<sup>3</sup>). Questa assunzione è inoltre aderente a quanto si considera al paragrafo 6.6 (Tabella 16) a proposito delle proprietà indice e dei relativi parametri. Più incerto è il valore rappresentativo della coesione: è ragionevole assumere per essa un valore di 20 kPa in considerazione della diffusa presenza di strati secondari più coesivi sopra richiamata (significativi dal punto di vista progettuale) e dell'elevata resistenza N<sub>SPT</sub>, che testimonia un altrettanto elevato grado di addensamento, in assenza di ciottoli che ne possono falsare il valore. Per questo si assumerà in questo strato:

$$c = 15 \div 25 \text{ kPa}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Più incerta è la valutazione del modulo di deformazione: per esso si stima un valore minimo, sulla base del valore di questo parametro assegnato agli strati non coesivi superiori, aventi pari densità relativa ma in parte cementati. Si ottiene quindi un valore del modulo di deformazione E pari a:

$$E \geq 90 \text{ MPa}$$

## 7.5 Unità 5 (Unità geologica FAA) e Unità 7 (Unità geologica SAF)

A partire dal sondaggio SP-08, alla progressiva km 7+990 e fino alla fine della tratta in progetto (sondaggio SP-D37), l'opera viene ad interagire, in alcuni punti, con questi strati. L'Unità 5 è costituita da limi argillosi e argille limose da grigio a grigio azzurre, mentre l'Unità 7 è costituita dalle argille limose molto dure (Marne di Sant'Agata). In particolare, lo scavo interesserà l'Unità 5 in corrispondenza del sondaggio SP-D11 (progr. km 8+537) e l'Unità 7 nella zona tra i sondaggi SP-D15 (Stazione Mole) e poco prima della Stazione Verona (progr. km 10+400).

Al centro di quest'ultimo la galleria è totalmente collocata nell'Unità 7.

I sondaggi in cui è stata accertata la presenza dell'Unità 5 ed i campioni in esso prelevati sono elencati in Tabella 22 (con riferimento all'indagine del progetto di fattibilità e al definitivo), unitamente alle grandezze geotecniche misurate in laboratorio.

**Tabella 22. Prove di laboratorio e risultati per l'Unità 5 (FAA)**

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Densità (t/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> -w <sub>p</sub> (%)	c <sub>u</sub> (UU) (kPa)	c' (TD) (kPa)	φ' (TD) (gradi)	c' (CIU) (kPa)	φ' (CIU) (gradi)	c' (CD) (kPa)	φ' (CD) (gradi)
SP 13	33.5	2.0	1.1	320	--	--	--	--	--	--
SP 13	36.0	2.0	< 0	--	21.7	30	--	--	--	--
SP-D14	33.00	2.0	--	210	43	23	41	25	--	--
SP-D21	37.65	2.0	4.8	230	--	--	20	14	16	22

L'Unità 5 (FAA) è stata individuata anche nel sondaggio SP13 dell'indagine del progetto di fattibilità (Tabella 22); il campione disturbato prelevato a 31.5 metri di profondità è caratterizzato da un contenuto di fine (passante al setaccio ASTM n. 200) di circa il 19%. Esso non viene considerato rappresentativo delle caratteristiche di questo strato (coesivo).

Nella Tabella 22 sono riuniti i valori dei parametri geotecnici misurati con le prove di laboratorio e quelli stimati attraverso le correlazioni empiriche (vedere la Tabella 22) per l'Unità 5.

**Tabella 23. Riassunto dei valori caratteristici dell'Unità 5**

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Densità (t/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> -w <sub>p</sub> (%)	c <sub>u</sub> (UU) (kPa)	c' (TD) (kPa)	φ' (TD) (gradi)	c' (CIU) (kPa)	φ' (CIU) (gradi)	c' (CD) (kPa)	φ' (CD) (gradi)
SP 13	33.5	2.0	1.1	320	--	--	--	--	--	--
SP 13	36.0	2.0	< 0	--	21.7	30	--	--	--	--
SP-D14	33.0	2.0	--	210	43	23	41	25	--	--
SP-D21	37.65	2.0	4.8	230	--	--	20	14	16	22
<b>SP-D11</b>	<b>37.0</b>	<b>2.04</b>	<b>2.2</b>	--	--	<b>31</b>	--	<b>28</b>	--	--
<b>SP-D11</b>	<b>38.2</b>	<b>2.02</b>	<b>&lt; 0</b>	--	--	<b>31</b>	--	<b>30</b>	--	--
<b>SP-D11</b>	<b>39.0</b>	<b>2.06</b>	<b>&lt; 0</b>	--	--	<b>31</b>	--	<b>30</b>	--	--
<b>SP-D14</b>	<b>33.0</b>	<b>2.02</b>	<b>11</b>	--	--	<b>31</b>	--	<b>33</b>	--	--
<b>SP-D21</b>	<b>37.6</b>	<b>2.03</b>	<b>5.8</b>	--	--	<b>31</b>	--	<b>30</b>	--	--

**NOTA:** Nella Tabella 22 i valori in neretto riportano i valori caratteristici stimati in base alle proprietà indice, mentre i valori in testo normale sono il risultato delle prove di laboratorio.

Da un punto di vista qualitativo, è accertato che il terreno dell'Unità 5 è costituito da terreno coesivo molto sovra consolidato. Ciò si desume sia dall'elevato valore della densità totale, sempre pari o superiore a 2 t/m<sup>3</sup>, sia dal basso contenuto d'acqua (il cui valore è molto prossimo al limite plastico, se non inferiore), sia infine dalla resistenza al taglio non drenata, c<sub>u</sub>. I suoi valori, misurati con le prove triassiali non consolidate non drenate, sono almeno pari a circa tre volte il valore del corrispondente terreno nello stato normalconsolidato. Tenendo inoltre conto di quanto è reperibile in bibliografia, si è del parere che la coesione apparente c' (valore in sito) sia superiore a quella derivata dall'interpretazione delle prove triassiali. In definitiva si assumono per l'Unità 5 i valori caratteristici sotto definiti, tenuto anche conto di quanto si riporta al paragrafo 6.6 (vedere la Tabella 17):

$$\begin{aligned} \text{coesione } c' &= 35 \div 40 \text{ kPa} \\ \text{angolo di resistenza al taglio } \phi' &= 22 \div 26^\circ \end{aligned}$$

La stima del valore dell'angolo di resistenza al taglio si basa essenzialmente su quanto misurato in laboratorio, piuttosto che sulle valutazioni offerte dall'interpretazione delle prove di classificazione.



Per quanto riguarda l'Unità 7, i sondaggi e i campioni prelevati sono elencati nella Tabella 24, sempre con riferimento all'indagine della fase definitiva. Nella stessa tabella sono riportati i risultati delle prove di laboratorio. Come nel caso dell'Unità 5, ai risultati delle prove di laboratorio riportati in tabella sono aggiunte le stime ricavate dall'interpretazione delle prove di classificazione, già esposte nella Tabella 17 del paragrafo 6.6. Queste sono segnate in neretto.

**Tabella 24. Prove di laboratorio e risultati per l'Unità 7 (SAF)**

Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Densità (t/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> -w <sub>p</sub> (%)	c <sub>u</sub> (UU) (kPa)	c' (TD) (kPa)	φ' (TD) (gradi)	c' (CIU) (kPa)	φ' (CIU) (gradi)	c' (CD) (kPa)	φ' (CD) (gradi)
SP-D15	24.5	2.0	--	---	57	10	--	--	--	--
SP-D15	28.5	2.0	--	227	90	22	79	15	82	18
SP-D16	28.0	2.0	< 0	---	---	---	---	---	52	22
SP-D16	36.0	2.0	< 0	--	--	--	--	--	96	19
SP-D17	28.5	2.0	--	--	--	--	--	--	70	16
SP-D17	36.0	2.0	2	--	--	--	76	17	81	16
SP-D18	25.5	2.0	< 0	242	123	22	42	15	132	11
SP-D18	30.0	2.0	< 0	233	86	22	45	16	92	12
SP-D19	29.2	2.0	0	--	--	--	--	--	103	17
<b>SP-D15</b>	<b>24.5</b>	<b>2.02</b>	<b>3.4</b>	--	--	<b>33</b>	--	<b>26</b>	--	<b>23</b>
<b>SP-D15</b>	<b>28.5</b>	<b>2.04</b>	<b>&lt; 0</b>	--	--	<b>32</b>	--	<b>28</b>	--	<b>25</b>
<b>SP-D16</b>	<b>28.0</b>	<b>2.05</b>	<b>&lt; 0</b>	--	--	<b>33</b>	--	<b>27</b>	--	<b>24</b>
<b>SP-D16</b>	<b>36.0</b>	<b>2.04</b>	<b>&lt; 0</b>	--	--	<b>32</b>	--	<b>28</b>	--	<b>25</b>
<b>SP-D17</b>	<b>28.0</b>	<b>2.06</b>	<b>&lt; 0</b>	--	--	<b>32</b>	--	<b>29</b>	--	<b>26</b>
<b>SP-D17</b>	<b>36.0</b>	<b>2.05</b>	<b>1.7</b>	--	--	<b>32</b>	--	<b>28</b>	--	<b>25</b>



Sondaggio (n.)	Prof. (m)	Densità (t/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> -w <sub>p</sub> (%)	c <sub>u</sub> (UU) (kPa)	c' (TD) (kPa)	φ' (TD) (gradi)	c' (CIU) (kPa)	φ' (CIU) (gradi)	c' (CD) (kPa)	φ' (CD) (gradi)
SP-D18	25.5	2.05	1.9	--	--	32	--	28	--	26
SP-D18	30.0	2.04	< 0	--	--	32	--	29	--	26
SP-D19	29.2	2.05	0.3	--	--	32	--	28	--	25
SP-D38(*)	32.2	2.02	8.1	--	--	31	--	34	--	32

Per l'Unità 7 si osserva che:

- anche in questo caso, come per l'Unità 5, il terreno è sovraconsolidato ed è caratterizzato da elevati valori di densità totale e bassi valori di contenuto d'acqua (quasi sempre inferiore al limite plastico).
- Il valore dell'indice plastico IP varia, per i campioni analizzati, tra il 21% e il 32 %, con un valore medio di circa 26 % (Tabella 12).
- Sulla base della relazione di tipo statistico:  $\phi' = 43 - 10 \cdot \log_{10} \cdot IP$  (gradi) e per il valore medio dell'indice plastico IP sopra dedotto si ottiene una stima del valore dell'angolo  $\phi'$  pari a circa 28 gradi, valore maggiore dei valori ricavati dalle prove triassiali e anche dalle prove di taglio diretto,
- i valori dell'angolo  $\phi'$  dedotto dalle prove triassiali è sorprendentemente basso, inferiore anche ai valori ricavati delle prove di taglio diretto (Tabella 24). Si osservi che in genere, per un terreno coesivo, il valore  $\phi'(TX)$  è sempre superiore al valore  $\phi'(TD)$ ,
- al contrario, l'ordine di grandezza dei valori della coesione  $c'$  sembra coerente con la natura del terreno, molto compatto se non duro. In definitiva, tenuto conto degli aspetti sopra citati, si definiscono i seguenti parametri caratteristici dell'Unità 7:

$$\text{Coesione, } c' = 25 \div 50 \text{ kPa}$$

$$\text{Angolo di resistenza al taglio, } \phi' = 26 \div 28^\circ.$$

Le due unità in esame hanno peso di volume elevato, in considerazione di quanto misurato sui campioni indisturbati testati in laboratorio. Per questa grandezza si assumerà quindi:

$$\gamma = 20 \div 21 \text{ kN/m}^3$$

in funzione della profondità.

### 7.5.1 Potenziale di rigonfiamento

Per quanto riguarda eventuali problematiche inerenti al rigonfiamento, i valori dell'indice plastico IP per le due formazioni in esame è di circa 10-25%, per cui si ricade nell'ambito delle argille a potenziale di rigonfiamento medio-basso, come evidenziato nella seguente Tabella 17 (Day 2000).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Inoltre, anche considerando la modesta profondità in cui si opererà, il detensionamento che ne deriva in conseguenza dello scavo è modesto, per cui anche sotto tale riguardo il rigonfiamento dei terreni coesivi non porrà problemi.

**Tabella 25. Correlazione tra le proprietà del terreno e il potenziale di rigonfiamento**

	Potenziale di rigonfiamento				
	molto basso	basso	medio	alto	molto alto
Indice di rigonfiamento (*)	0-20	20-50	50-90	90-130	>130
Contenuto in argilla	0-10%	10-15%	15-25%	25-35%	35-100%
Indice di Plasticità	0-10	10-15	15-25	25-35	>35
% di rigonfiamento alla pressione di 0.028 kg/cmq	0-3%	3-5%	5-10%	10-15%	>15%
% di rigonfiamento alla pressione di 0.069 kg/cmq	0-2%	2-4%	4-7%	7-12%	>12%
% di rigonfiamento alla pressione di 0.31 kg/cmq	0%	0-1%	1-4%	4-6%	>6%

(\*) : secondo: "Uniform Building Code Standard 18-2, Expansion Index Test" (1998).

## 7.5.2 Moduli di deformazione

Il modulo di deformazione del terreno dell'Unità 5 (formazione FAA) è stimato sulla base dei risultati delle prove di laboratorio. Le prove di classificazione indicano che si tratta di terreno a bassa plasticità ( $IP \approx 16 \div 18\%$ ), molto compatto (densità totale pari a  $2 \text{ t/m}^3$ ) il cui contenuto d'acqua è molto vicino all'indice plastico, se non inferiore. Questi dati concorrono a definire un materiale molto consistente, il cui modulo di deformazione può essere stimato in base ai dati di letteratura oltre che derivato dal valore della resistenza al taglio non drenata.

Stimando che il rapporto tra il modulo non drenato  $E_u$  e la resistenza al taglio  $c_u$  sia dell'ordine di  $200 \div 400$  a seconda del livello dello sforzo di taglio, si ha un modulo non drenato pari orientativamente a:

$$E_u = 200 \cdot c_u \div 400 \cdot c_u = (200 \div 400) \cdot 270 = 54 \text{ MPa} \div 108 \text{ MPa}$$

da cui il valore stimato del modulo elastico  $E$  pari a:

$$E = E_u / 1.15 = 47 \div 94 \text{ MPa}$$

in funzione del fattore di sicurezza calcolato sullo sforzo di taglio. Per quanto riguarda la definizione del modulo di deformazione del terreno dell'Unità 7 (SAF) con il criterio visto sopra, si osserva che i valori della resistenza al taglio non drenata ricavati dalle prove di laboratorio appaiono sottostimati. Si tratta infatti di terreno duro, a volte semi litoide, la cui resistenza al taglio non drenata è certamente superiore a quanto misurato.

Le caratteristiche di deformazione dell'Unità 6 e dell'Unità 7 sono valutabili dai risultati delle prove edometriche condotte su campioni virtualmente indisturbati. I risultati di queste prove sono stati riportati in dettaglio al paragrafo 6.3.2. L'interpretazione delle prove è riportata in Allegato 1. I diagrammi delle Figura 21 e Figura 22 mostrano l'andamento dei valori del modulo edometrico  $M$  in campo sovraconsolidato e dell'indice di ricompressione  $C_r$ . I valori più frequenti sono compresi tra:

$$M (SC) \approx 10 \div 20 \text{ MPa}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

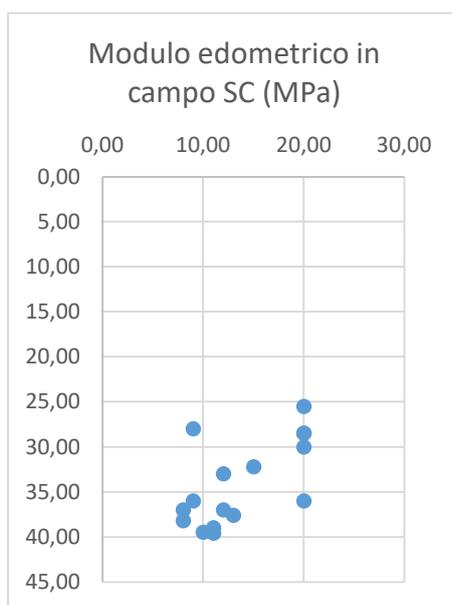
$$C_r \approx 0.01 \div 0.02$$

Per confronto, si considerano anche i valori di  $C_r$  stimati in base alle relazioni empiriche esposte al paragrafo 6.6; essi sono stati riportati nella Tabella 17 e nella Figura 23, in funzione della profondità (limitatamente alle Unità 6 e 7 in esame). Da essa si osserva che la fascia di variazione significativa dell'indice di ricomprensione  $C_r$  è pari a:

$$C_r \approx 0.01 \div 0.06$$

con i valori sensibilmente decrescenti all'aumentare della profondità e quindi con l'incremento dello stato tensionale efficace. Tale andamento non trova riscontro nei valori della stessa grandezza misurati con le prove edometriche (Figura 22), per i quali si individua un valore medio di  $C_r$  pari a circa:

$$C_r \approx 0.015$$



**Figura 21. Modulo edometrico M (SC) in funzione della profondità (Unità 6 e 7)**

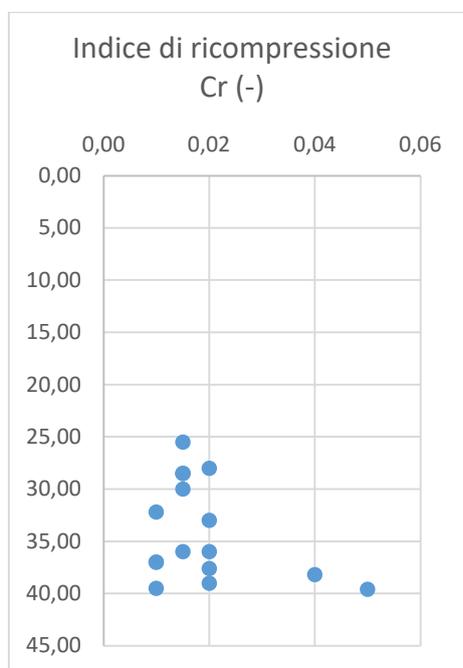
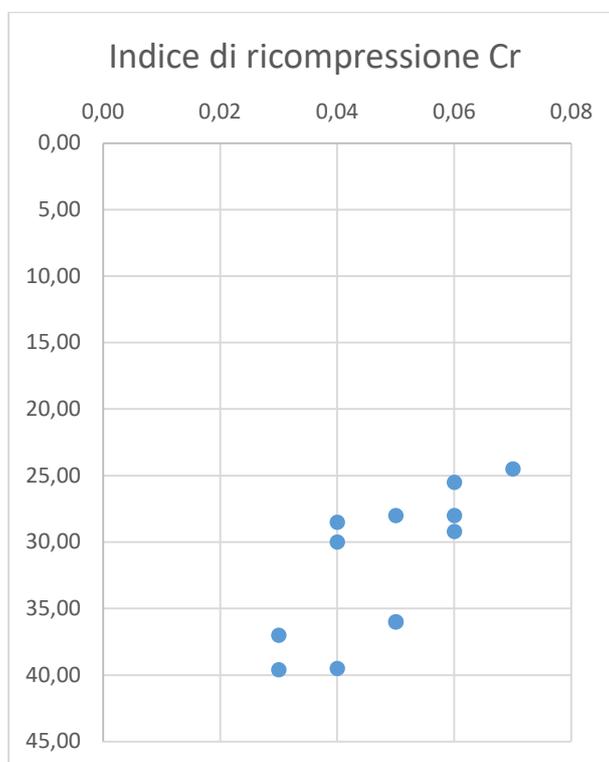


Figura 22. Indice di ricompressione Cr in funzione della profondità per le Unità 6 e 7

Tabella 26. Indice di ricompressione stimato dalle proprietà indice (Unità 6 e 7)

Sondaggio n.	Prof. campione	Unità	Cr
SP-D16	28.00	7	0.06
SP-D16	36.00	7	0.05
SP-D17	28.00	7	0.05
SP-D17	36.00	7	0.05
SP-D18	25.50	7	0.06
SP-D18	30.00	7	0.04
SP-D19	29.20	7	0.06
SP-D06	39.50	6	0.04
SP-D07	37.00	6	0.03
SP-D07	39.60	6	0.03
SP-D15	24.50	7	0.07
SP-D15	28.50	7	0.04



**Figura 23. Valori di Cr stimati dalle proprietà indice (Unità 6 e Unità 7)**

Le considerazioni sopra riportate si riferiscono al comportamento del terreno in condizioni di scarico tensionale (valori stimati nel tratto sovra consolidato); in campo normalconsolidato si fa riferimento ai risultati delle prove pressiometriche, eseguite nel corso dell'indagine della fase di fattibilità del progetto. Questa prova, con cui si misura il modulo pressiometrico  $E_M$ , è stata eseguita nei sondaggi ed alle profondità sotto specificate:

- SP 09: prof. prova 41.50 metri; risultato non affidabile,
- SP 12: prof. prova 33 metri; modulo  $E_M = 38.7$  MPa (carico),  $E_M = 141.2$  (ricarico),
- SP 13: prof. prova 35.5 metri; modulo  $E_M = 20.3$  MPa (carico),  $E_M = 50.5$  (ricarico),
- SP 15: prof. prova 27.5 metri; modulo  $E_M = 56.8$  MPa (carico),  $E_M = 110.2$  (ricarico),

Seguendo le indicazioni della normativa francese si pone:

$$E = 3 \cdot E_M$$

da cui, assumendo per  $E_M$  a riferimento il valore di 50 MPa, si ottiene:

$$E = 150 \text{ MPa}$$

non considerando il valore inferiore di  $E_M$  tra quelli misurati e tenendo conto che il passaggio dal modulo pressiometrico a quello elastico, attraverso la costante indicata, è stato ricavato in relazione a problemi inerenti il cedimento di fondazioni superficiali.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGENR002-0-4

## 7.6 Permeabilità dei terreni

Questa caratteristica è stata misurata sia nei terreni non coesivi, per mezzo delle prove Lefranc fatte durante l'esecuzione dei sondaggi, sia nei terreni coesivi, per mezzo delle prove edometriche. I valori del coefficiente di permeabilità  $k$  misurati sono riportati nelle Tabella 5 e Tabella 9 (prove Lefranc di entrambe le campagne di indagine) e nella Tabella 15 (prove edometriche). Per queste ultime, va considerato che i valori si riferiscono agli strati coesivi (Unità 5, FAA e Unità 7, SAF), in base ai risultati ottenuti in laboratorio a partire dai campioni indisturbati.

I valori del coefficiente di permeabilità  $k$  misurati con le prove Lefranc durante i sondaggi si riferiscono all' Unità 2 (AFR e INS), costituita da terreno in genere molto grossolano. La maggior parte delle prove è stata condotta a carico costante (CC), e solo una parte minoritaria è stata condotta a carico variabile (CV), metodologia, questa, più adatta ai terreni di media permeabilità.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti con le prove Lefranc essi vengono commentati con l'ausilio di quanto riportato in Tabella 27.

**Tabella 27. Prove Lefranc e individuazione dello strato di appartenenza**

Sondaggio (-)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Strato (--)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Unità (--)	Prof. prova (m) e k (m/s)	Strato (--)
SP-D01	18.0/3.7·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	24/3.05·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D02	18.0/3.7·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	24/3.21·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D03	16.5/1.64·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	25.5/3.5·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D04	16.5/3.06·10 <sup>-6</sup>	2 (AFR)	25.5/3.3·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D05	15.0/4.13·10 <sup>-6</sup>	3 (INS)	24.0/3.2·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D06	15.0/2.01·10 <sup>-6</sup>	3 (INS)	22.5/4.06·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D07	13.5/2.1·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	22.5/4.66·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D08	13.5/8.23·10 <sup>-6</sup>	2 (AFR)	22.5/4.02·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D09	13.5/2.13·10 <sup>-5</sup>	2(ADR)	22.5/4.5·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D12	15.0/6.95·10 <sup>-6</sup>	2 (AFR)	24.0/2.07·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D13	15.0/2.42·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	22.5/3.27·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D15	7.5/2.24·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	33.0/1.4·10 <sup>-6</sup>	7 (SAF)	----	----
SP-D16	6.0/5.46·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	18.0/5.54·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	29.5/4.0·10 <sup>-6</sup>	6 (SAF)
SP-D17	8.0/2.37·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	18.0/1.32·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	27.0/1.78·10 <sup>-6</sup>	6 (SAF)
SP-D18	16.5/3.38·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	25.5/1.97·10 <sup>-6</sup>	7 (SAF)	----	----
SP-D19	9.0/5.59·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	30.5/2.77·10 <sup>-6</sup>	7 (SAF)	----	----
SP-D20	30.0/3.69·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	37.5/6.6·10 <sup>-5</sup>	2 (INS)	----	----
SP-D21	7.5/2.48·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	21.0/1.54·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----



SP-D22	31.5/1.98·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	39.1/2.48·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D23	7.5/3.98·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	33.0/5.75·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	39.0/1.57·10 <sup>-5</sup>	3
SP-D23bis	10.5/7.7·10 <sup>-6</sup>	2 (AFR)	15.0/2.87·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D24	6.0/1.45·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	27.0/3.93·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D25	7.5/1.08·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	21.0/6.92·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D26	12.0/6.51·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	21.0/1.45·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D27	8.1/4.84·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	20.0/1.93·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D28	12.5/1.66·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	22.5/2.83·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D29	4.0/3.92·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	12.0/6.4·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	16.0/7.23·10 <sup>-5</sup>	2 (INS)
SP-D30	9.0/7.24·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	19.5/1.53·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D31	9.0/1.38·10 <sup>-4</sup>	2 (AFR)	13.5/3.6·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D32	12.0/2.54·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	19.0/1.89·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D33	9.0/6.53·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	12.0/1.56·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----
SP-D34	10.0/4.21·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	----	----	----	----
SP-D35	7.5/5.17·10 <sup>-6</sup>	2 (AFR)	13.0/3.27·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	19.5/5.3·10 <sup>-8</sup>	3 (INS)
SP-D35	24.0/2.9·10 <sup>-7</sup>	3 (INS)	----	----	----	----
SP-D36	10.5/5.25·10 <sup>-5</sup>	2 (AFR)	18.0/2.94·10 <sup>-8</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D37	10.5/3.16·10 <sup>-6</sup>	2 (AFR)	18.0/5.46·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	----	----
SP-D38	30.0/1.29·10 <sup>-5</sup>	3 (INS)	34.0/2.87·10 <sup>-6</sup>	5 (FAA)	----	----

In questa tabella, accanto ad ogni risultato della prova Lefranc, è riportato lo strato di appartenenza. Si osserva che:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

- nell'Unità 2, il coefficiente di permeabilità non risulta granché differenziato tra unità geologica AFR e unità geologica INS. In generale esso varia da  $2 \cdot 10^{-5}$  a  $8 \cdot 10^{-6}$  m/s,
- non viene individuata una variazione significativa dei valori di k nei confronti della profondità,
- le prove eseguite nello strato più profondo, oltre i 25 metri (sondaggi SP-15, SP-18, SP-19), forniscono un coefficiente di permeabilità k dell'Unità 7 (SAF) di circa due ordini di grandezza inferiore dei valori che caratterizzano gli strati di terreno superiori,
- stessa osservazione vale per la prova eseguita nell'Unità 5 (FAA), altrettanto coesivo (sondaggio SP-D38),
- la contenuta differenza in termini di permeabilità osservata nei due tipi di terreno (non coesivo superiore e coesivo inferiore) appare poco giustificabile: è ragionevole ipotizzare che nei terreni coesivi profondi la perforazione abbia causato un tale disturbo nell'intorno del foro da innalzare il valore del coefficiente di permeabilità con la prova Lefranc. A conferma di questa ipotesi si vedano i risultati di Tabella 15, inerenti alle misure del coefficiente di permeabilità k attraverso la prova edometrica.

Queste sono state condotte tutte a partire dai campioni prelevati negli strati coesivi (campioni indisturbati). Il coefficiente di permeabilità k calcolato, ricavato dal valore del coefficiente di consolidazione, assume valori intorno a  $(2 \div 6) \cdot 10^{-10}$  m/s. Questo valore viene attribuito dal laboratorio prove al tratto normalconsolidato della curva di compressione edometrica. Tenuto conto che il valore di k nel campo sovraconsolidato (terreno in sito) è di circa 1 ordine di grandezza superiore di quello che si misura nel campo normalmente consolidato, si può fare riferimento, a livello operativo, ad un valore di questo parametro pari a (terreni coesivi profondi):

$$k \approx (2 \div 6) \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$

potendosi così concludere che il rapporto R dei valori del coefficiente di permeabilità misurato negli strati non coesivi e in quelli coesivi è all'incirca pari a:

$$R \approx 10^{-5}/10^{-9} \approx 4 \text{ ordini di grandezza.}$$

## 7.7 Misure piezometriche

L'indagine del progetto definitivo si avvale di n. 35 piezometri, installati in altrettanti fori di sondaggio. Di essi 6 piezometri sono di tipo Casagrande (cella porosa posta a profondità definita), gli altri 29 piezometri sono del tipo a tubo aperto, finestrato.

Per quanto riguarda i sondaggi dell'indagine di progetto di fattibilità, sono stati installati nei relativi sondaggi n. 22 piezometri, tutti del tipo a tubo aperto. Inoltre, nel corso di questa prima indagine, sono stati installati piezometri dello stesso tipo anche nei sondaggi di tipo ambientale (denominati SA negli elaborati descrittivi); questi piezometri sono in numero di 15.

Nel seguito sono considerati i dati di misura più recenti e quelli dell'indagine del 2018. Le misure più recenti sono state fatte nel mese di ottobre 2021. Il dato considerato è la profondità in metri sotto il piano campagna locale, considerando questo coincidente con boccaforo.



Tabella 28. Misure piezometriche

Sondaggio n.	Quota testa foro (metri)	Profondità (metri)	
		Nov. 2018	Ott. 2021
SA08	249.67	19.06(*)	
SA09	247.60	21.37(*)	
SA10	245.80	19.75(*)	
SA11	246.07	18.65	
SA12	246,76	19.55(*)	19.91(*)
SA13	241,41	16.50	
SA14	238,44	16.70	
SA15	236,42	16.57	
SA16	228,415	9.93	10.75
SA17	224,97	9.88	10.82
SA18	226,24	11.70	12.48
SA19	224,71	11.63	
SA20	223,37	10.90	
SA21	226,10	13.65	
SA25	225,94	9.51	10.44
SP01	260.01	26.85(*)	
SP02	257.77	27.71(*)	20.37
SP03	255.65	26.67(*)	
SP04	253.92	25.62(*)	
SP05	252.96	21.24	
SP06	251.35		
SP07	250.21	23.10(*)	
SP08	247.93	22.26(*)	



Sondaggio n.	Quota testa foro (metri)	Profondità (metri)	
		Nov. 2018	Ott. 2021
SP09	245.18	19.53	
SP10	245.09	18.58	
SP11	246.77	19.45	
SP12	241.22	16.32	
SP13	238.03	16.61	17.04
SP14	235.95	16.24	16.76
SP15	232.96	14.28	
SP15bis	225.25	9.78	
SP16	222.87	8.08	
SP17	226.43	12.13	12.90
SP18	225.23	11.96	
SP19	221.77	10.04	10.66
SP20	226.59	14.17	
SP21	229.34	15.54	
SP22	232.32	15.54	
SP23	236.03	16.34	

Con riferimento alla Tabella 28 si osserva che: 1) alcuni dati sono indicati con asterisco, in quanto la misura è poco realistica; 2) il confronto tra le letture piezometriche fatte nel 2018 nel mese di ottobre e nel mese di novembre non segnala in alcun caso variazioni significative del livello dell'acqua.

Per quanto riguarda l'indagine del progetto definitivo (anno 2021) nella Tabella 29 sono riportati i dati di misura alla data del mese di ottobre 2021 (Lotto 1, ricavati dalla relazione "Elaborato finale lotto 1, impresa Citiemme).

**Tabella 29. Misure piezometriche indagine 2021 (Lotto 1)**

SONDAGGIO	DATA MISURA	SOGGIACENZA FALDA (m da p.c.)	FRANCO P.C. – T.T. (cm) (*)
SP-D01	11/10/21	19.72 m	- 20 cm
SP-D02	05/10/21	20.50 m	- 12 cm
SP-D03	11/10/21	19.78 m	- 11 cm
SP-D04	11/10/21	18.60 m	- 14 cm
SP-D05	11/10/21	17.94 m	- 13 cm
SP-D06	11/10/21	17.21 m	- 18 cm
SP-D07	13/10/21	16,05 m	- 8 cm
SP-D08	-	piezometro elettrico	-
SP-D09	15/10/21	15,95 m	- 10 cm
SP-D11	-	piezometro elettrico	-
SP-D12	-	piezometro non accessibile	-
SP-D13	-	piezometro elettrico	-
SP-D15	11/10/21	9.56 m	- 26 cm
SP-D16	12/10/21	9.40 m	- 10 cm
SP-D17	12/10/21	9.65 m	- 14 cm
SP-D18	12/10/21	9.21 m	- 11 cm
SP-D19	15/10/21	10,50 m	- 16 cm
SP-D20	18/10/21	8,90 m	- 22 cm

(\*) Differenza tra quota piano campagna (p.c.) e quota testa tubo piezometrico (t.t.)

La Tabella 30 riporta gli stessi dati piezometrici per il lotto 2, rilevati a ottobre 2021 (rapporto impresa Sondedile).

**Tabella 30. Misure piezometriche indagine 2021 (Lotto 2)**

SONDAGGIO	DATA MISURA	SOGGIACENZA FALDA (m da p.c.)	FRANCO P.C. – T.T. (cm) (*)
SP-D21	-	piezometro elettrico	-
SP-D22	12/10/21	10.50 m	- 14 cm
SP-D23	-	piezometro elettrico	-
SP-D24	-	piezometro elettrico	-
SP-D25	11/10/21	12.12 m	- 12 cm
SP-D26	12/10/21	11.79 m	- 31 cm
SP-D27	11/10/21	11.31 m	- 16 cm
SP-D28	12/10/21	13.77 m	- 12 cm
SP-D29	12/10/21	14.35 m	- 11 cm
SP-D30	-	piezometro non accessibile	-
SP-D32	-	piezometro non accessibile	-
SP-D34	20/10/21	14.00 m	- 23 cm
SP-D35	05/10/21	14.11 m	- 15 cm
SP-D36	05/10/21	13.08 m	- 12 cm
SP-D37	05/10/21	13.57 m	- 17 cm
DIA-D10	11/10/21	12.60 m	- 15 cm

(\*) Differenza tra quota piano campagna (p.c.) e quota testa tubo piezometrico (t.t.)

L'esame delle letture dei piezometri mostra che la soggiacenza della superficie piezometrica varia da un minimo di circa 9 metri ad un massimo di circa 20 metri, in funzione della zona e quindi, prioritariamente, del livello del piano campagna.

La Tabella 31 riporta il livello piezometrico 2018 e quello 2021 in corrispondenza delle stazioni e il livello piezometrico di riferimento utilizzato per il Design, coincidente con quello 2018. Il confronto evidenzia che i livelli piezometrici del 2018 sono generalmente maggiori di quelli del 2021. Solo in corrispondenza della stazione Novara e della stazione Giulio Cesare sono stati misurati leggeri incrementi del livello piezometrico nel 2021 rispetto al 2018; tali incrementi sono comunque ampiamente assorbiti dall'oscillazione della falda, stabilita nella misura di 150cm.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

**Tabella 31. Livelli piezometrici 2018 e 2021 in corrispondenza delle stazioni**

<b>Tipo di Opera</b>	<b>Livello piezometrico 2018</b> <b>m slm</b>	<b>Livello piezometrico 2021</b> <b>m slm</b>	<b>Livello piezometrico Design</b> <b>m slm</b>
Stazione - Politecnico	227,45	226,53	227,45
Stazione - Pastrengo	224,77	224,38	224,77
Stazione - Porta Nuova	221,56	221,35	221,56
Stazione - Carlo Alberto	220,00	219,25	220,00
Stazione – Mole / Giardini Reali	217,58	216,82	217,58
Stazione - Verona	215,20	213,89	215,20
Stazione - Novara	214,55	214,67	214,55
Stazione - Bologna	213,05	212,87	213,05
Stazione - Cimarosa/Tabacchi	212,17	210,95	217,17
Stazione - Corelli	212,57	211,33	212,57
Stazione - San Giovanni Bosco	213,25	213,29	213,25
Stazione - Giulio Cesare	216,18	216,91	216,18
Stazione - Rebaudengo	222,25	221,61	222,25
Deposito Rebaudengo	224,67	222,76	224,67

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

## 7.8 Grado di cementazione

La cementazione tra i granuli a seguito del contenuto di calcare è stata rilevata in tutte le indagini che riguardano le Unità non coesive superiori. Ai fini della caratterizzazione geotecnica di questi strati è indispensabile poter valutare il grado e l'estensione di questa caratteristica. Per questo si può fare riferimento sia all'ispezione visiva delle carote di terreno estratte sia alla descrizione di cantiere sia ai risultati delle diagrafie, eseguite a tale scopo lungo il tracciato. Per quanto riguarda la descrizione sommaria data nel corso dei sondaggi, si rileva che mentre una delle imprese (Citiemme) ha sempre segnalato la presenza di strati secondari cementati, l'altra impresa non ne fa cenno. Quando segnalata, la cementazione viene attribuita preferibilmente allo strato non coesivo superiore (AFR), mentre in quello inferiore essa è quasi assente. Tipicamente, lo strato che mostra il maggior grado di cementazione si estende dalla fine del riporto alla profondità di circa 15÷20 metri. La Tabella 32 riporta sondaggio per sondaggio (indagine progetto definitivo) l'intervallo di profondità in cui è segnalata la cementazione più o meno intensa.

**Tabella 32. Sondaggi e cementazione**

Sondaggio (-)	Profondità (m)	Impresa esecutrice	Cementazione da metri a metri
SP-D01	35.0	Citiemme	5÷15
SP-D02	35.0	Citiemme	5÷17
SP-D03	35.0	Citiemme	3÷20
SP-D04	40.0	Citiemme	3÷18
SP-D05	40.0	Citiemme	2÷18
SP-D06	40.0	Citiemme	5÷15
SP-D07	40.0	Citiemme	2÷15
SP-D08	35.0	Citiemme	5÷18
SP-D09	35.0	Citiemme	5÷33
SP-D11/SA-D05	40.0	Georicerche	----
SP-D12	35.0	Citiemme	5÷30
SP-D13	40.0	Citiemme	6÷25
SP-D14/SA-D06	35.0	Georicerche	----
SP-D15	40.0	Sondedile	----
SP-D16	40.0	Sondedile	----
SP-D17	40.0	Sondedile	----
SP-D18	40.0	Sondedile	----
SP-D19	35.0	Sondedile	----
SP-D20	40.5	Sondedile	6.2÷6.5
SP-D21	40.0	Sondedile	----
SP-D22	40.0	Sondedile	----
SP-D23	40.0	Citiemme	5÷18
SP-D23bis	6.2	Sondedile	----



Sondaggio (-)	Profondità (m)	Impresa esecutrice	Cementazione da metri a metri
SP-D24	30.0	Sondedile	----
SP-D25	25.0	Sondedile	----
SP-D26	25.0	Sondedile	----
SP-D27	30.0	Sondedile	----
SP-D28	25.0	Sondedile	----
SP-D29	20.0	Sondedile	----
SP-D30	20.0	Sondedile	----
SP-D31	15.5	Sondedile	----
SP-D32	20.0	Sondedile	----
SP-D33	15.5	Sondedile	----
SP-D34	20.0	Sondedile	----
SP-D35	25.0	Citiemme	3÷15
SP-D36	35.0	Citiemme	26÷30
SP-D37	40.0	Citiemme	3÷15

**(NOTA) Nei sondaggi a cura Citiemme si segnalano in molti casi strati leggermente cementati anche a profondità maggiori di quelle indicate in tabella**

In nessuno dei sondaggi a scopo ambientale (sigla SA) è stata menzionata, nei relativi log stratigrafici, la presenza di cementazione.

Tenuto conto delle considerazioni già esposte nella relazione geotecnica del progetto di fattibilità e dall'esame della Tabella 32, viene confermata in linea di massima la presenza di una diffusa cementazione di vario grado in tutta la formazione non coesiva superiore, ad eccezione ovviamente dello strato di riporto. Questa osservazione è avvalorata anche dalle altre indagini in sito, diagrafie e prove Masw, di cui si espone qui di seguito.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

### 7.8.1 Interpretazione delle diagrafie

La loro interpretazione si basa sui dati disponibili. Essa, a seguito dei risultati dell'indagine del progetto di fattibilità, ha consentito di trarre utili indicazioni sul grado di cementazione, potendone stimare il valore in base a quello dell'energia specifica, al variare della profondità.

L'energia specifica  $E_s$ , calcolata ogni 2 cm di avanzamento, è funzione di:

- Velocità di avanzamento,
- Pressione di spinta,
- Pressione di circolazione dell'acqua,
- Coppia di rotazione,
- Velocità di rotazione.

Le cinque variabili definiscono il valore dell'energia specifica, definita come:

$$E_s = \frac{(F \cdot v + C \cdot w) \cdot \frac{s}{v}}{A \cdot s} = \frac{F}{A} + \frac{C \cdot w}{A \cdot v}$$

essendo:

F = spinta assiale applicata in testa, in kN

A = area della sezione del foro di perforazione, in m<sup>2</sup>

C = coppia applicata, in kN/m,

w = velocità di rotazione, in rad/s,

v = velocità di avanzamento, in m/s.

In termini relativi è possibile trarre alcune indicazioni.

1. Incrementi del 200%÷400% del valore di  $E_s$  sono certamente legati alla presenza della cementazione del terreno,
2. Laddove questi incrementi sono limitati a pochi centimetri di avanzamento, è possibile che essi siano legati non solo alla cementazione, ma anche o solo alla presenza di grossi ciottoli o trovanti; in questi casi i valori dell'energia E non forniscono adeguata certezza,
3. Limitando l'esame della variabile  $E_s$  ai soli casi in cui il suo incremento è diffuso entro un certo intervallo di profondità, è possibile individuare gli intervalli dove la cementazione è presente. Secondo questo criterio è stata redatta la Tabella 33, in cui sono riportati, per ogni diagrafia significativa, gli intervalli di profondità che evidenziano un terreno cementato; a fianco è riportato il sondaggio geotecnico vicino al foro eseguito per la diagrafia, in modo da consentire un controllo incrociato.

**Tabella 33. Individuazione degli strati cementati (diagrafie) e sondaggio adiacente**

Diagrafia	da metri a metri	Sondaggio	da metri a metri	da metri a metri			
DIA-D01	3.0÷6.0	18.0÷22.0	---	---	SP-D02	5÷17	---
DIA-24	11.0÷25.0	---	---	---	---	---	---
DIA-D05	5.0÷8.0	---	---	---	---	---	---
DIA-15	7.3÷7.8	8.0÷8.2	---	---	SP-D17	---	---
DIA-D06	9.0÷11.0	---	---	---	SP-D18	---	---
DIA-D07	4.0÷6.0	9.0÷11.0	12.5÷13.5	---	SP-D19	---	---
DIA-D09	4.0÷7.0	14÷15	21÷22.5	---	SP-D24	---	---
DIA-17	---	---	---	---	---	---	---
DIA-D11	3.5÷4.0	---	---	---	SP-D25	---	---
DIA-D12	3.0÷4.0	26.5÷27.0	---	---	SP-D27	---	---
DIA-19	16.5÷17.0	19.3÷19.5	---	---	SP-19	---	---
DIA-D13	7.0÷8.0	---	---	---	SP-D29	---	---
DIA-D14	5.5÷9.0	10.0÷11.0	13.5÷14.0	---	SP-D31	---	---
DIA-D15	3.5÷4.0	4.5÷5.0	5.7÷6.3	13.0÷14.0	SP-D33	---	---
DIA-D19	2.0÷2.5	4.5÷5.0	---	---	SP-D36	26.0÷30.0	---
DIA-D20	7.0÷8.0	30.0÷30.5	---	---	SP-D37	3.0÷15.0	---
DIA-D21	10.0÷11.0	---	---	---	SP-D37	3.0÷15.0	---
DIA-D22	3.0÷4.0	---	---	---	SP-D37	3.0÷15.0	---

**NOTE:**

- 1) Nella tabella, le DIA e il sondaggio su fondo verde appartengono all'indagine della fase di fattibilità,
- 2) La DIA su fondo verde è vicina alla DIA più vicina dell'indagine di progetto definitivo,
- 3) Relativamente ai dati delle DIA, le caselle vuote indicano che non si ritiene individuabile uno strato cementato, in base ai valori dell'energia specifica E,
- 4) Relativamente ai casi per i quali nessun strato cementato è indicato, ciò significa che non vengono date informazioni sulla cementazione (vedere la Tabella 32),
- 5) Per quanto riguarda le DIA della fase di progetto di fattibilità, si segnala che sono disponibili i dati delle sole DIA riportate in Tabella 33 (su fondo verde),
- 6) I sondaggi SA dell'indagine di fattibilità non danno mai informazioni sulla cementazione.



Sulla base dell'esame dei dati che sono riassunti nelle Tabella 32 e Tabella 33 si può concludere che:

- 1) i livelli cementati sono diffusamente presenti negli strati non coesivi superiori,
- 2) nonostante la difficoltà di individuare con prove indirette la presenza della cementazione, non pare sia individuabile la presenza di strati cementati continui e molto estesi in profondità;
- 3) il grado di cementazione del terreno può essere valutato con riferimento agli intervalli di profondità, senza pervenire al suo valore locale. A questo proposito si ritiene importante segnalare due aspetti, entrambi legati al progetto dell'opera, e cioè:

Nell'ambito dell'utilizzo delle diagrafie per la valutazione del grado di cementazione, riveste interesse il grafico rappresentato in Figura 24, ripresa della relazione geologica del progetto di fattibilità: esso mostra il grado di cementazione C (%) correlato al valore dell'energia specifica  $E_s$ , espressa in  $\text{MJ/m}^3$ .

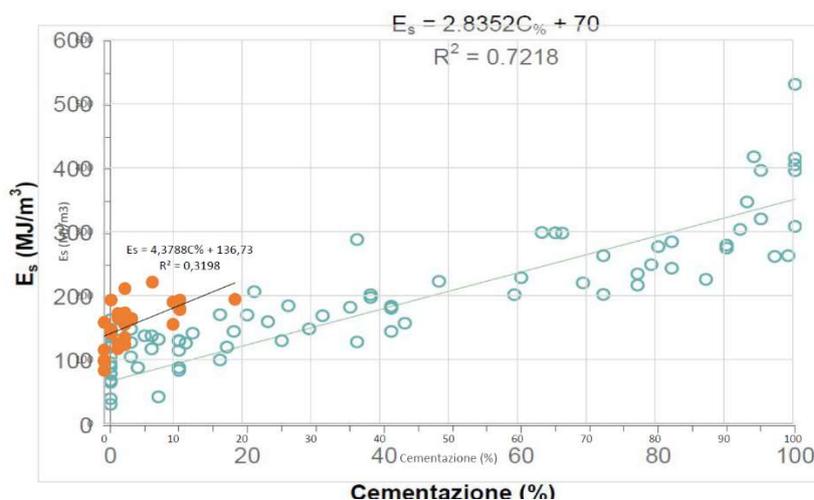


Figura 24. Variazione del grado di cementazione con l'energia specifica

In questa figura i dati di colore arancio rappresentano i risultati ricavati dalle diagrafie eseguite nel corso del progetto di fattibilità, mentre quelli azzurri si riferiscono ai dati ricavati dall'esperienza della linea di metropolitana Metro 1. Il valore del fattore di correlazione delle due interpolazioni, oltre al numero di dati interpretati, fa ritenere più affidabile la correlazione ricavata dalla Metro 1, esprimibile con l'equazione:

$$E_s = 2.8 \cdot C\% + 70 \quad (R^2 = 0.72)$$

Sulla base dei risultati delle diagrafie eseguite nella fase di progetto di fattibilità, è possibile ricavare il valore del grado di cementazione. Con riferimento alle tre classi di cementazione indicate nella Tabella 34 sottostante, viene quindi definito il "livello di cementazione".

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

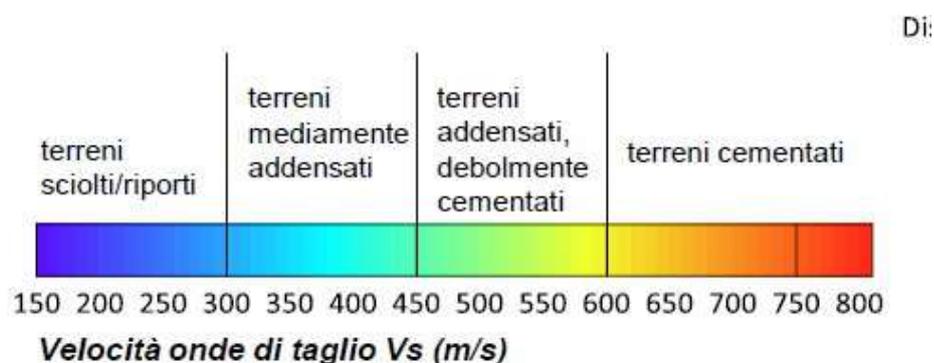
**Tabella 34. Livelli di cementazione delle unità 2,3 e 4**

Cementazione [%]	Es [MJ/m <sup>3</sup> ]	Livello di cementazione
0-25	70-140	Assente-tracce
25-50	140-210	Tracce-diffusa
50-75	210-280	Diffusa-elevata

## 7.8.2 Interpretazione delle prove MASW nei riguardi della cementazione

Per quanto riguarda la valutazione delle zone con terreno cementato, si può fare riferimento anche ai risultati delle prove MASW. Queste sono state eseguite in diverse postazioni lungo il tracciato (si veda la Tabella 10 riassuntiva al paragrafo 6.3.1.4). Per ciascuna prova sono stati forniti i relativi diagrammi con la variazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Per ciascun campo di velocità l'interpretazione fornita definisce il tipo di terreno.

I campi di velocità  $V_s$  con cui sono individuati i terreni in esame sono rappresentati in Figura 25 (vedi doc. 8\_MTL2T1A0DINDGEOR002 "Relazione Tecnica descrittiva delle indagini geognostiche eseguite").



**Figura 25. Campi di velocità e tipo di terreno**

Data la tipologia di prova, la significatività dei valori  $V_s$  dipende dalle condizioni al contorno e dalla variazione della rigidità del sottosuolo al variare della profondità. Nel caso specifico esse sono favorevoli, per cui si assume che i valori di velocità dedotti dalle prove siano molto vicini a quelli deducibili dalle prove cross-hole. Ciò premesso, si osserva che:

- lo strato di terreno di riporto è sempre chiaramente individuabile, ed i valori di velocità sono compresi tra 150 e 300 m/s,
- al di sotto dello strato di riporto, il terreno è sempre addensato, ed i valori di velocità sono compresi tra 450 e 600 m; i valori massimi lasciano supporre la presenza di una discreta cementazione,

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

- oltre il valore di 600 m/s il terreno investigato (e quindi con esclusione degli strati coesivi) è da considerarsi cementato,
- valori di  $V_s$  dell'ordine di 700÷800 m/s individuano un terreno fortemente cementato.

Quest'ultima interpretazione è concorde con quanto si può dedurre dalle prove penetrometriche SPT, per la stima della velocità delle onde di taglio, adottando la relazione proposta da Seed (1983) sotto riportata:

$$V_s = 56.4 \cdot (N_{SPT})^{0.5}$$

con  $V_s$  espresso in m/s e  $N_{SPT}$  il valore misurato della resistenza dinamica (colpi/30 cm). Ad esempio, per valori di  $N_{SPT}$  pari a 50, 60, 70, 80 si ricavano valori di  $V_s$  pari rispettivamente a 400, 440, 470, 500 m/s; oltre questi valori occorrerebbe ipotizzare  $N_{SPT} > 100$  colpi/30 cm per ottenere una velocità  $V_s$  dell'ordine di 600 m/s.

Quanto sopra porta a concludere che le zone con velocità delle onde di taglio  $V_s$  pari a 500÷600 m/s siano cementate, e che valori ancora maggiori di questa grandezza indichino un terreno molto cementato. In sintesi, queste le indicazioni che emergono dai risultati delle prove MASW:

- la cementazione è presente soprattutto tra le profondità di 10 e 25 metri dal piano campagna,
- in questo ambito il terreno è addensato e moderatamente cementato, mentre in alcune zone esso risulta molto cementato ( $V_s > 700$  m/s);
- la posizione delle zone a forte cementazione non ha un andamento regolare, anche se queste predominano nella parte bassa del deposito (da circa 15 metri in poi),
- questa indicazione contrasta con quanto dedotto dai sondaggi da SP-D01 a SP-09 e da SP-D35 a SP-D37; dalle descrizioni dei loro log stratigrafici sembrerebbe che la cementazione sia prevalentemente presente nella parte alta del deposito grossolano, sotto il terreno di riporto. Va però tenuto presente che l'azione distruttiva del carotiere, associata all'aumento della profondità, può falsare questo dato.

La posizione delle prove Masw ed i sondaggi più vicini a ciascuna di esse è riportata nella Tabella 10, al paragrafo 6.3.1.4.

### 7.8.3 Sintesi dei parametri per la caratterizzazione geotecnica

Sulla base di quanto esposto ai paragrafi precedenti, le grandezze che definiscono la caratterizzazione geotecnica dei terreni individuati con le indagini e le prove di laboratorio sono riassunte nella Tabella 35.

**Tabella 35. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno**

Unità	Geologia	Peso di volume ( $\gamma$ )	Coesione $c'$ (kPa)	Angolo resistenza $\phi'$	Modulo (MPa)	Poisson (-)	Coeff. permeabilità (m/s)
1	UID	18÷19	0	29÷31	12÷16	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
2	AFR-INS	18÷19	10÷15	36÷38	150÷170	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
3	AFR-INS	19÷20	30÷50	38÷40	170÷200	0.30	$8 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-6}$
4	AFR-INS	19÷20	50÷100	38÷40	200÷260	0.30	$8 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-6}$
6	SFR	18÷20	15÷25	30÷32	90÷100	0.35	$5 \cdot 10^{-6}$
5	FAA	19÷21	35÷40	22-26	50÷80	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$
7	SAF	20÷21	25÷50	26÷28	100÷200	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$

**NOTE:**

- 1) Il valore del coefficiente di permeabilità nell'Unità 1 (UID) è assimilato a quello degli strati immediatamente inferiori, tenuto conto della sua elevata variabilità granulometrica,
- 2) Lo stesso parametro per l'Unità 2 (AFR e INS) va inteso come valore minimo e per direzione di flusso orizzontale; per direzione di flusso verticale è di circa un ordine di grandezza inferiore.
- 3) Il valore di  $k$  nell'Unità 6 (SFR) è stimato in base alla granulometria del terreno.
- 4) Il valore di  $k$  per le Unità 5 e 7 (FAA e SAF) si basa sui risultati delle prove edometriche, con riferimento al terreno sovraconsolidato.

La sottounità 2B riportata sul Profilo geotecnico individua corpi lenticolari, caratterizzati da sabbie e sabbie-limose addensate alternate a rare ghiaie. Dato il loro ridotto spessore, dell'ordine decimetrico, e le variazioni latero-verticali di spessore e di granulometria, non si ritiene che questa sottounità sia rilevante dal punto di vista del progetto geotecnico.

Infatti, dall'esame dei sondaggi del progetto definitivo SP-D22, SP-D36 e SP-D37, sulla base dei risultati delle prove triassiali e delle prove di taglio diretto, si ricavano valori della coesione efficace variabili da circa 20 a 30 kPa e dell'angolo di resistenza al taglio variabili da circa 29° a 35°. Tenuto conto di quanto sopra detto a proposito della ridotta presenza di tale sottounità e della sua erraticità plano-altimetrica, si è dell'avviso che, ai fini progettuali, i parametri geotecnici significativi siano quelli definiti per l'unità 2 (tenuto anche conto che questi ultimi sono certamente cautelativi).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

## Livello di falda di progetto

Per il livello di falda si è fatto riferimento ai valori di soggiacenza misurati nei piezometri lungo l'area in cui si inserisce l'opera in esame ("Livello piezometrico della falda freatica in ottobre 2021").

Data la necessità di definire un livello di falda superficiale che tenga conto dei possibili innalzamenti sia in tempi relativamente brevi (fase costruttiva) sia nel lungo termine (fase di esercizio dell'opera), sulla base delle valutazioni qualitative e quantitative espresse negli studi sviluppati nell'ambito della progettazione della linea 1, il livello di riferimento della falda superficiale (definito in seguito alle osservazioni del monitoraggio) è aumentato di un differenziale variabile in rapporto alle diverse fasi. In particolare:

*Fase costruttiva.* In ragione delle tempistiche della fase di costruzione dell'opera che si ipotizza inferiore ai 10 anni, i fattori che influenzano la definizione dell'incremento da adottare sono sostanzialmente quelli legati agli input di ricarica stagionale e ai cicli pluriannuali di elevate precipitazioni meteoriche. Come evidenziato dagli studi sopra citati, un periodo pluriennale d'elevata piovosità può determinare un incremento del livello di falda di poco superiore al metro. Pertanto, si assume il livello di falda per la fase costruttiva dell'opera come:

Livello di riferimento + 1.5m

*Fase di esercizio.* Sulla base dei risultati degli studi sopra citati, si assume il livello di falda per la fase di esercizio dell'opera come:

Livello di riferimento + 4.5m

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

La caratterizzazione sismica del terreno si basa sui risultati delle prove dinamiche eseguite sia in fase di progetto di fattibilità sia definitivo. Per quanto riguarda il primo, sono nel seguito considerate le due prove cross hole (SP05-DIA25 presso la Stazione Pitagora e SP11 DIA24 presso la stazione Politecnico), oltre alle prove down hole DIA 14, DIA 15, DIA 08, DIA 23. Quest'ultima è citata ma non verrà utilizzata in quanto la profondità raggiunta è inferiore a 30 metri.

La Tabella 36 riprende la Tabella 14 della Relazione geotecnica del progetto di fattibilità, con l'elenco delle prove in sito di tipo dinamico ed i risultati ottenuti.



Tabella 36. Riassunto dei risultati delle prove geofisiche

Tipo di prova	Sondaggio	Prof. [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Edin [MPa]	Gdin [MPa]
Cross-Hole (L= 29 m)	SP05-DIA25 St. Pitagora	0-8	910	454	1021	385
		8-19	1285	600	2039	752
		19-29	2289	740	3498	1222
	SP11-DIA24 St. Politecnico	0-4	917	500	1227	481
		4-18	1348	729	2775	1079
		18-21	649	867	4101	1567
21-29		2197	926	5271	1897	
Down-Hole	DIA14	0-14	903	436	956	361
		14-22	1053	538	1468	556
		22-29	1099	581	1696	652
		29-40	1216	618	1990	751
	DIA15	0-4	675	330	510	198
		4-25	1081	460	1143	412
		25-35	1419	582	1927	689
	DIA08	0-2	873	258	357	123
		2-12	1007	452	1144	443
		12-20	1328	783	3016	1233
		20-22	1329	730	2741	1067
		22-35	1356	763	2951	1173
	DIA23	0-3	383	212	187	73
		3-13	865	488	1163	460
		13-17	1262	688	2413	939

La Tabella 37 riporta i risultati delle 6 prove MASW (ripresa dalla relazione geotecnica del progetto di fattibilità) eseguite in varie zone del tracciato. L'ubicazione delle prove è riportata nel profilo geotecnico, mentre il valore della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  necessaria alla definizione della categoria sismica del suolo, è riportata nella Tabella 37. In questi casi, sulla base della normativa vigente, il sottosuolo è stato classificato sempre come appartenente alla categoria B, essendo la velocità in esame sempre maggiore di 360 m/s.

Tabella 37. Prove Masw e velocità  $V_{s,eq}$  (progetto di fattibilità)

Identificazione	Ubicazione	Lunghezza dello stendimento / distanza intergeofonica	$V_{s,eq}$ [m/s]
MASW 1	Corso Settembrini – Corso Orbassano	46 m / 2 m	393
MASW 2	Piazza Santa Rita da Cascia	46 m / 2 m	440

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Identificazione	Ubicazione	Lunghezza dello stendimento / distanza intergeofonica	V <sub>S,eq</sub> [m/s]
MASW 3	Via Pastrengo – Corso Re Umberto	23 m / 1 m	445
MASW 4	Corso San Maurizio – Giardini Reali	46 m / 2 m	432
MASW 5	Via Bologna – Corso Novara	46 m / 2 m	374
MASW 6	Via Gottardo – Via Cravero	46 m / 2 m	573

Per quanto riguarda i risultati della campagna di indagine del progetto definitivo, sono state eseguite n. 20 prove MASW (si veda la Tabella 10). Qui di seguito si determina il valore di V<sub>S,eq</sub> per queste prove, a partire dalla rappresentazione grafica della velocità delle onde di taglio. La velocità equivalente V<sub>S,eq</sub> è definita come:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_1^N \frac{h \text{ (strato)}}{V_S \text{ (strato)}}$$

dove N è il numero degli strati individuabili nel terreno, ciascuno di spessore h e dal di velocità valore V<sub>S</sub>, mentre per H si intende la profondità del substrato, vale a dire la formazione di roccia o terreno molto rigido, il cui valore di V<sub>S</sub> è superiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro V<sub>S,30</sub> ottenuto ponendo H = 30 metri nell'espressione precedente e considerando le velocità misurate nel terreno fino a tale profondità.

Con riferimento alla relazione doc. 08\_MTL2T1A0INDGENR002, si considerano i profili di velocità misurati nel corso delle prove MASW. I valori di velocità che sono considerati per ciascun strato individuato sono da intendersi come valori medi, soprattutto nel caso in cui nella stessa zona sono stati testate 2 o più linee di misura.

Delle zone esaminate, solo quelle della Stazione Mole e della Stazione Giulio Cesare, secondo quanto si è interpretato, ricadono in categoria C; le altre ricadono tutte in categoria B.

La Tabella 38 riporta le indicazioni date nella relazione citata (doc. 08\_MTL2T1A0INDGENR002), da cui risulta che il sottosuolo della Stazioni Mole-Giardini Reali (prove Mad2-4a e Mad2-5a), della Stazione Novara (Mad2-8a) e della Stazione Giulio Cesare (Mad2d-112) è classificato in categoria C. Per quanto riguarda la Stazione Novara, solo uno dei 4 stendimenti ha dato un risultato che comporta una categoria di suolo C, mentre gli altri 3 stendimenti indicherebbero un sottosuolo di categoria B.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

**Tabella 38. Valori del parametro  $V_{s,eq}$  e categoria sismica del terreno (doc. 08\_MTL2T1A0INDGENR002)**

Sezione	$V_{s,eq}$ (m/s)	Cat. sismica	Coordinate punto riferimento		Progressiva (km)
			Est (m)	Nord (m)	
MAS2D-1a	506	B	394533	4990388	6.022
MAS2D-1b	549	B	394648	4990605	6.262
MA2D-2	437	B	395320	4990427	7.069
MA2D-3a	420	B	395264	4990467	7.007
MA2D-3b	439	B	395401	4990399	7.152
MA2D-4a	368	B	397046	4991795	9.530
MA2D-4a	352	C	397127	4991677	9.535
MA2D-5a	356	C	397052	4991673	9.530
MA2D-5b	395	B	397137	4991839	9.535
MA2D-6	533	B	397478	4992454	10.508
MA2D-7a	401	B	397393	4992986	11.138
MA2D-7b	469	B	397593	4993102	11.369
MA2D8a	357	C	397439	4993108	11.242
MA2D-8b	526	B	397532	4992957	11.242
MA2D-9	470	B	398040	4993371	11.888
MA2D-10	439	B	386447	4993623	11.362
MA2D-11	380	B	398334	4994120	13.061
MA2D-12	401	B	397784	4994411	13.688
MA2D-13	328	C	397361	4994664	14.180
MA2D-14	424	B	396403	4994410	15.423

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

### 8.1 Stazione Politecnico

Sulla base degli andamenti della velocità  $V_S$  si stimano le seguenti velocità in funzione della profondità (valori medi delle due prove nello stesso sito):

da 0 a 3 metri:  $V_S = 300$  m/s

da 3 a 5 metri:  $V_S = 400$  m/s

da 5 a 10 metri:  $V_S = 550$  m/s

da 10 a 20 metri:  $V_S = 650$  m/s

da 20 a 30 metri:  $V_S = 450 \div 750$  m/s

da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S 30} = 534 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.2 Stazione Pastrengo

Sulla base degli andamenti della velocità  $V_S$  misurati si ottiene in media:

da 0 a 3 metri:  $V_S = 300$  m/s

da 3 a 5 metri:  $V_S = 400$  m/s

da 5 a 10 metri:  $V_S = 600$  m/s

da 10 a 15 metri:  $V_S = 650$  m/s

da 15 a 30 metri:  $V_S = 450$  m/s

da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S 30} = 505 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.3 Stazione Mole

Sulla base degli andamenti della velocità  $V_S$  misurati si ottiene in media:

da 0 a 6 metri:  $V_S = 200$  m/s

da 6 a 10 metri:  $V_S = 350$  m/s

da 10 a 20 metri:  $V_S = 400$  m/s

da 20 a 25 metri:  $V_S = 450$  m/s

da 25 a 30 metri:  $V_S = 450$  m/s

da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S 30} = 338 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica C.

### 8.4 Stazione Verona

Sulla base degli andamenti della velocità  $V_S$  misurati si ottiene in media:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

da 0 a 3 metri:  $V_S = 250$  m/s  
 da 3 a 5 metri:  $V_S = 350$  m/s  
 da 5 a 10 metri:  $V_S = 450$  m/s  
 da 10 a 15 metri:  $V_S = 600$  m/s  
 da 15 a 25 metri:  $V_S = 700$  m/s  
 da 25 a 30 metri:  $V_S = 500$  m/s  
 da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 583 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.5 Stazione Novara

da 0 a 4 metri:  $V_S = 250$  m/s  
 da 4 a 7 metri:  $V_S = 450$  m/s  
 da 7 a 10 metri:  $V_S = 550$  m/s  
 da 10 a 15 metri:  $V_S = 600$  m/s  
 da 15 a 20 metri:  $V_S = 400$  m/s  
 da 25 a 30 metri:  $V_S = 500$  m/s  
 da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 508 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.6 Stazione Bologna

da 0 a 3 metri:  $V_S = 250$  m/s  
 da 3 a 10 metri:  $V_S = 500$  m/s  
 da 10 a 15 metri:  $V_S = 550$  m/s  
 da 15 a 25 metri:  $V_S = 600$  m/s  
 da 25 a 30 metri:  $V_S = 550$  m/s  
 da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 493 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.7 Stazione Cimarosa-Tabacchi

da 0 a 4 metri:  $V_S = 250$  m/s  
 da 4 a 8 metri:  $V_S = 350$  m/s  
 da 8 a 15 metri:  $V_S = 500$  m/s  
 da 15 a 20 metri:  $V_S = 550$  m/s  
 da 20 a 30 metri:  $V_S = 500$  m/s

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

da cui si  $V_S$  a 30 metri < 800 m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 366 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.8 Stazione Corelli

da 0 a 5 metri:  $V_S = 250 \text{ m/s}$

da 5 a 10 metri:  $V_S = 350 \text{ m/s}$

da 10 a 15 metri:  $V_S = 400 \text{ m/s}$

da 15 a 20 metri:  $V_S = 550 \text{ m/s}$

da 20 a 30 metri:  $V_S = 500 \text{ m/s}$

da cui si  $V_S$  a 30 metri < 800 m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 395 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.9 Stazione San Giovanni Bosco

da 0 a 4 metri:  $V_S = 250 \text{ m/s}$

da 4 a 8 metri:  $V_S = 400 \text{ m/s}$

da 8 a 15 metri:  $V_S = 350 \text{ m/s}$

da 15 a 20 metri:  $V_S = 450 \text{ m/s}$

da 20 a 30 metri:  $V_S = 550 \text{ m/s}$

da cui si  $V_S$  a 30 metri < 800 m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 398 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

### 8.10 Stazione Giulio Cesare

da 0 a 3 metri:  $V_S = 200 \text{ m/s}$

da 3 a 10 metri:  $V_S = 350 \text{ m/s}$

da 10 a 15 metri:  $V_S = 300 \text{ m/s}$

da 15 a 25 metri:  $V_S = 400 \text{ m/s}$

da 25 a 30 metri:  $V_S = 350 \text{ m/s}$

da cui si  $V_S$  a 30 metri < 800 m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S\ 30}$  che risulta pari a:

$$V_{S\ 30} = 330 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica C.



## 8.11 Deposito

da 0 a 3 metri:  $V_S = 300$  m/s

da 3 a 7 metri:  $V_S = 350$  m/s

da 7 a 15 metri:  $V_S = 400$  m/s

da 15 a 20 metri:  $V_S = 350$  m/s

da 20 a 25 metri:  $V_S = 450$  m/s

da 25 a 30 metri:  $V_S = 600$  m/s

da cui si  $V_S$  a 30 metri  $< 800$  m/s per cui  $V_{S,eq} = V_{S30}$  che risulta pari a:

$$V_{S30} = 399 \text{ m/s}$$

che indica un sottosuolo di categoria sismica B.

## 8.12 Stazione Porta Nuova e Stazione Carlo Alberto

Presso le due stazioni in esame non sono state eseguite le prove MASW. La categoria sismica del suolo può essere pertanto stabilita attraverso l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT con i criteri esposti al paragrafo 7.3. I sondaggi considerati sono SP-13 e SP-14 dell'indagine dell'anno 2018 ed i sondaggi SP-D08, SP-D12, SP-D13 dell'indagine per il progetto definitivo. La Tabella 39 riporta i valori di  $N_{SPT}$  misurati nel corso di tali sondaggi, il valore medio per ciascuna profondità, il corrispondente valore della tensione verticale efficace a quella profondità (con superficie piezometrica a -12 metri dal pc.), ed infine il valore calcolato di  $V_S$  sulla base della relazione sopra citata.

**Tabella 39. Calcolo di  $V_S$  a partire dai valori medi di  $N_{SPT}$**

Prof. (m)	$N_{SPT}$ SP-13	$N_{SPT}$ SP-14	$N_{SPT}$ SP-D08	$N_{SPT}$ SP-D12	$N_{SPT}$ SP-D13	$N_{SPT}$ medio	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	$V_S$
3.0			14	25	13	17	57	197
4.5	55	23				39	85	256
6.0			82	51	42	48	114	291
9.0	R	R	68	R	R	>50	171	300
12.0			R	R	R	>50	228	313
13.5	R	R				>50	241	315
15.0			R	R	R	>50	255	318
18.0			R	R	66	>50	282	322
21.0			68	55	R	>50	309	326



Prof. (m)	N <sub>SPT</sub> SP-13	N <sub>SPT</sub> SP-14	N <sub>SPT</sub> SP-D08	N <sub>SPT</sub> SP-D12	N <sub>SPT</sub> SP-D13	N <sub>SPT</sub> medio	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	V <sub>s</sub>
24.0			58	55	R	>50	336	330
27.0			70	R	45	48	363	330
30.0			54	R	R	>50	390	337
33.0			58	R	R	>50	417	340
36.0					R	>50	444	342
39.0					R	>50	471	346

Nota: i valori di N<sub>SPT</sub> sono stati tutti misurati con punta chiusa. I valori maggiori di 50 colpi/30 cm sono posti pari a 50.

Sulla base dei valori calcolati di velocità delle onde di taglio V<sub>s</sub> alle varie profondità si ricava un valore di V<sub>s eq</sub> pari a circa 300 m/s, da cui un sottosuolo di categoria sismica C. Tale indicazione risulta sicuramente cautelativa, in base alle considerazioni svolte al paragrafo 7.3 a proposito sia delle prove Standard Penetration Test sia del criterio impiegato. Ulteriori considerazioni però si possono fare da un confronto stratigrafico tra le Stazioni di Porta Nuova e Carlo Alberto con le Stazioni più prossime, ossia le Stazioni Politecnico e Pastrengo che hanno entrambe una categoria di suolo B e la Stazione Mole Giardini che invece ha una categoria di suolo C. Dal punto di vista geotecnico, le stratigrafie delle Stazioni Porta Nuova e Carlo Alberto sono molto simili a quelle di Politecnico e Pastrengo che sono caratterizzate da una successione di qualche metro di terreno di riporto, in genere non più di 3 m, e successivamente dai depositi fluvio-glaciali costituiti da ghiaie da fini a grosse con grado di cementazione non trascurabile e con una potenza superiore ai 30 m. Questi depositi contribuiscono in modo determinate a definire una categoria del sottosuolo di tipo B sulla maggior parte dei siti investigati con le MASW, in quanto sono solitamente caratterizzati, da velocità delle onde di taglio comprese tra i 400 e i 650 m/s. Questa similitudine stratigrafica è ben rappresentata anche dai profili dei valori di N<sub>SPT</sub> misurati con la profondità nei sondaggi eseguiti in prossimità delle stazioni citate. Infatti, prendendo come riferimento i sondaggi SP-D02 (Stazione Politecnico), SP-D06 (Stazione Pastrengo), SP-D08 (Stazione Porta Nuova), SP-D13 (Stazione Carlo Alberto) e SP-D15 e SP-D16 (Stazione Mole-Giardini), si ottengono i profili riportati nelle seguenti figure dove sono stati confrontati i risultati ottenuti in sito.

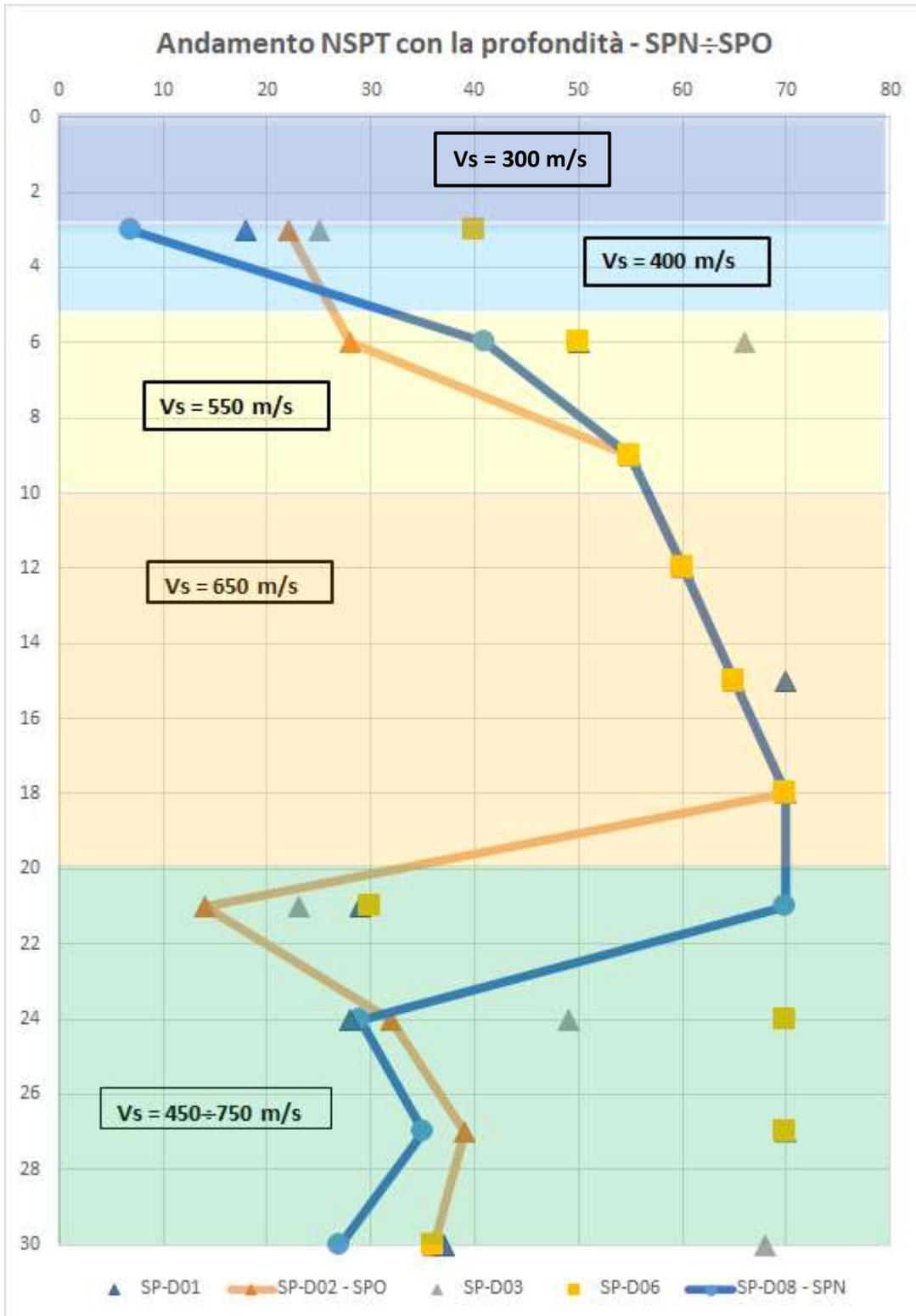




Figura 26. Confronto tra i valori di  $N_{SPT}$  misurati per le Stazioni SPN e SPO

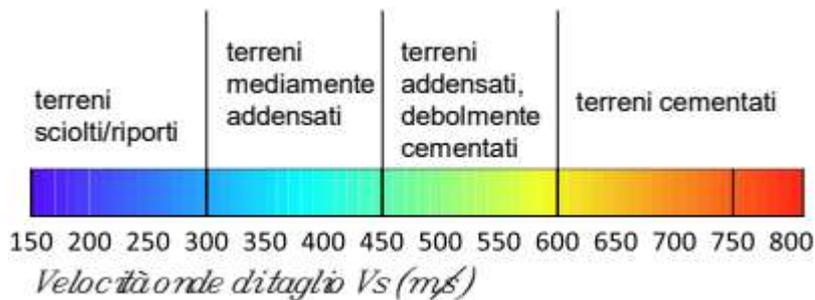
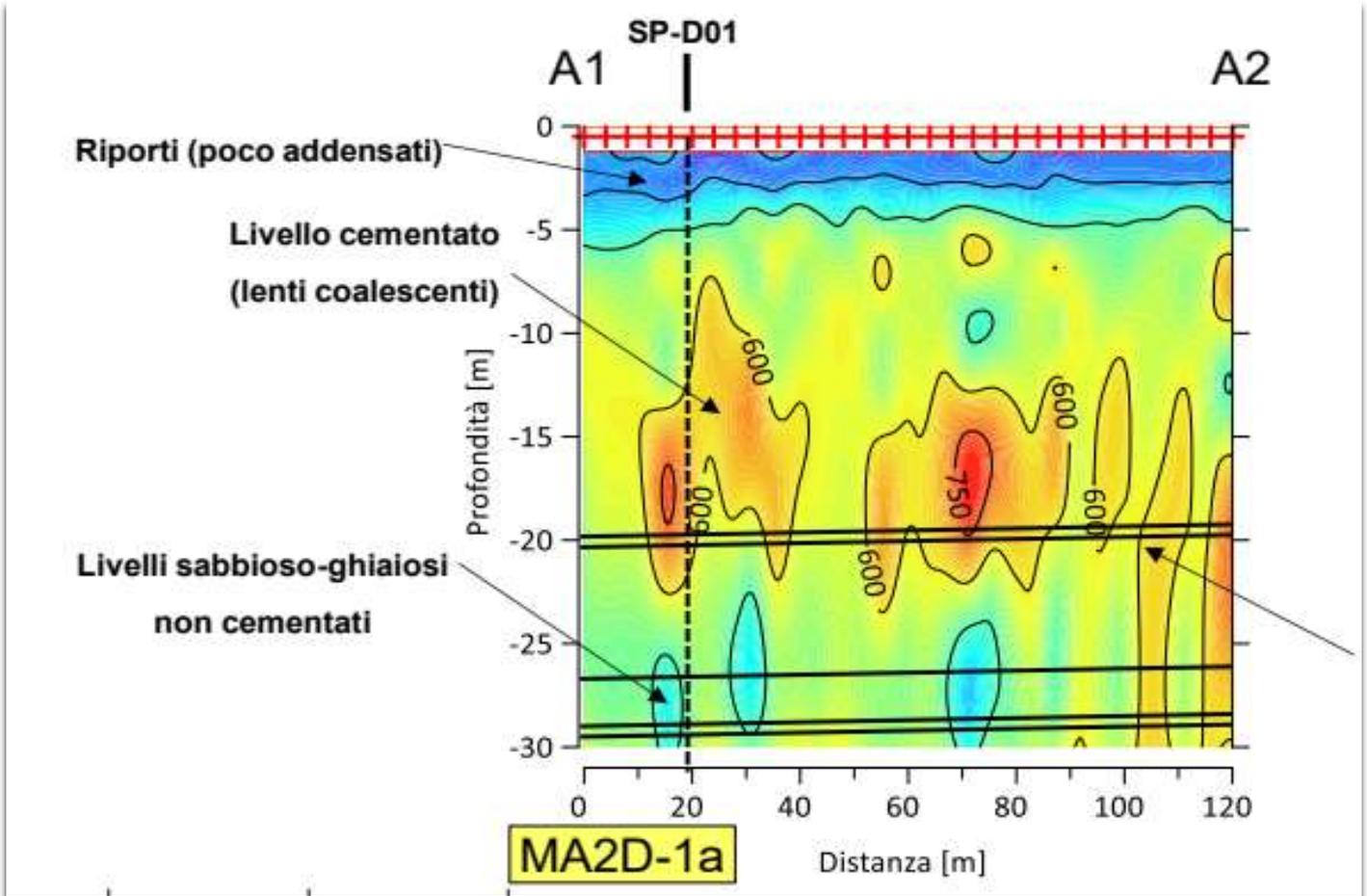


Figura 27. Modelli di velocità delle onde di taglio Stazione Politecnico

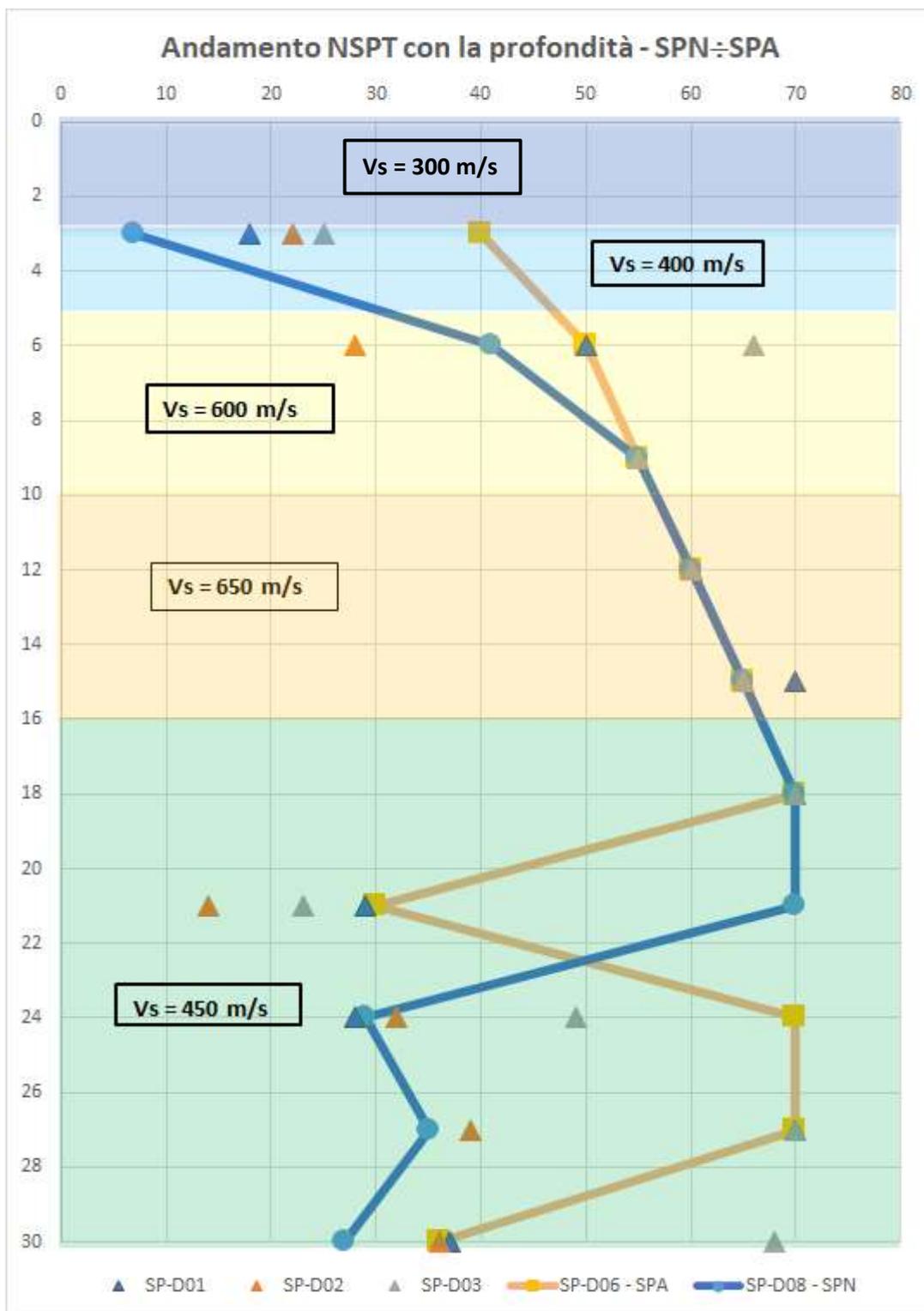
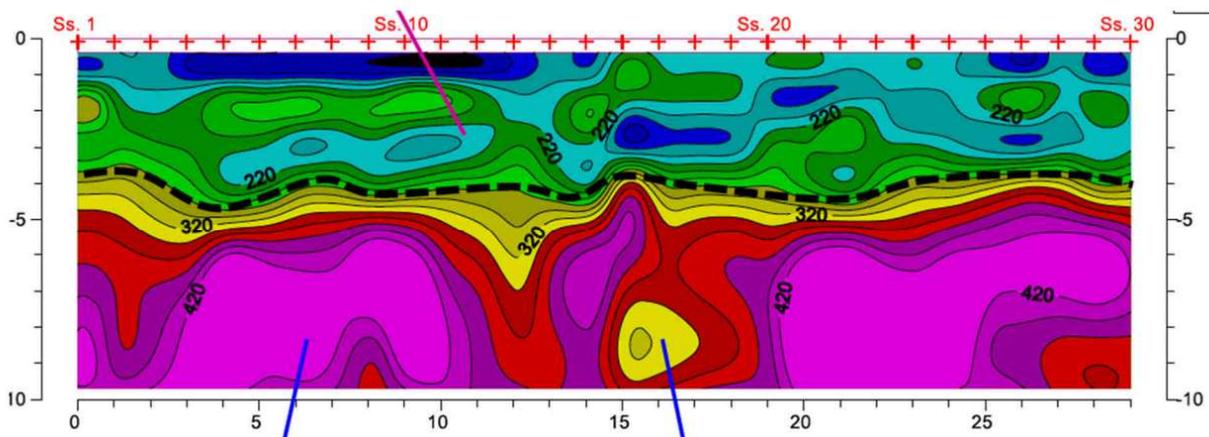


Figura 28. Confronto tra i valori di  $N_{SPT}$  misurati per le Stazioni SPN e SPA



Nelle figure riportate in precedenza, sono raffigurate anche, con colori diversi, le velocità di riferimento delle onde di taglio di ciascun strato desunte dai risultati delle prove MASW eseguite in corrispondenza delle Stazioni esaminate, come ad esempio il modello riportato in **Figura 27**. Dal confronto dei profili di  $N_{SPT}$  risulta evidente che la stratigrafia della Stazione Porta Nuova è molto simile a quella della Stazione Politecnico che ha per le  $V_{S30}$  un valore di riferimento pari a 534 m/s (vedi **Paragrafo 8.1**). Si individua infatti un primo strato di 3-4 m di materiale di riporto più o meno addensato, seguito da uno strato con una potenza di 15-20 m di materiale ghiaioso molto addensato e a tratti cementato, entro il quale numerosi test vanno a rifiuto. Negli ultimi 5-8 m, infine, si individuano dei livelli di materiale più sciolto e più fine che è compatibile con la presenza a profondità superiori ai 35 m di sabbie fini ed argille. La Stazione Pastrengo invece, pur avendo una distribuzione del numero di colpi  $N_{SPT}$  leggermente diversa, ha comunque valori di riferimento delle  $V_{S30}$  simili ( $V_{S30} = 505$  m/s), per cui rientra abbondantemente nella categoria di suolo B. Questo perché i depositi fluvio-glaciali presentano un grado di addensamento e cementazione elevato, come risulta dai valori di  $V_S$  che raggiungono valori pari a 600-650 m/s e dai valori di  $N_{SPT}$  che in questo deposito raggiungono spesso valori di rifiuto. È realistico, pertanto, ritenere che il sottosuolo della Stazione Porta Nuova rientri nella categoria B come sembra confermato anche dalla prova MASW, eseguita durante il PFTE in prossimità della stazione per scopi archeologici (vedi Figura successiva). La prova è stata eseguita fino a 10 m di profondità per cui non è stato possibile misurare le  $V_{S30}$ , però il modello della MASW 2D è simile, nei primi metri di terreno, alla prova MASW effettuata per la Stazione Politecnico. Si misurano velocità delle onde di taglio superiori ai 400 m/s già a partire dai 5 m di profondità.



**Figura 29. Modelli della MASW 2 D eseguita in fase di PFTE in prossimità della Stazione Porta Nuova per scopi Archeologici**

Lo stesso discorso vale anche per la Stazione Carlo Alberto, il cui profilo di  $N_{SPT}$  è analogo a quello della Stazione Politecnico, come riportato nella Figura successiva. Anche in questo caso i valori di  $N_{SPT}$  e la loro distribuzione con la profondità sono compatibili con una Categoria di sottosuolo di tipo B. Infatti, si riscontra, analogamente alla Stazione Politecnico, la presenza di un primo strato di materiale di riporto di 3-4 m più o meno addensato, seguito da uno strato con una potenza di 15-20 m di materiale ghiaioso molto addensato e a tratti cementato, entro il quale numerosi test



vanno a rifiuto. Negli ultimi 5-8 m, infine si individuano dei livelli di materiale più sciolto e più fine, intervallato da livelli più addensati.

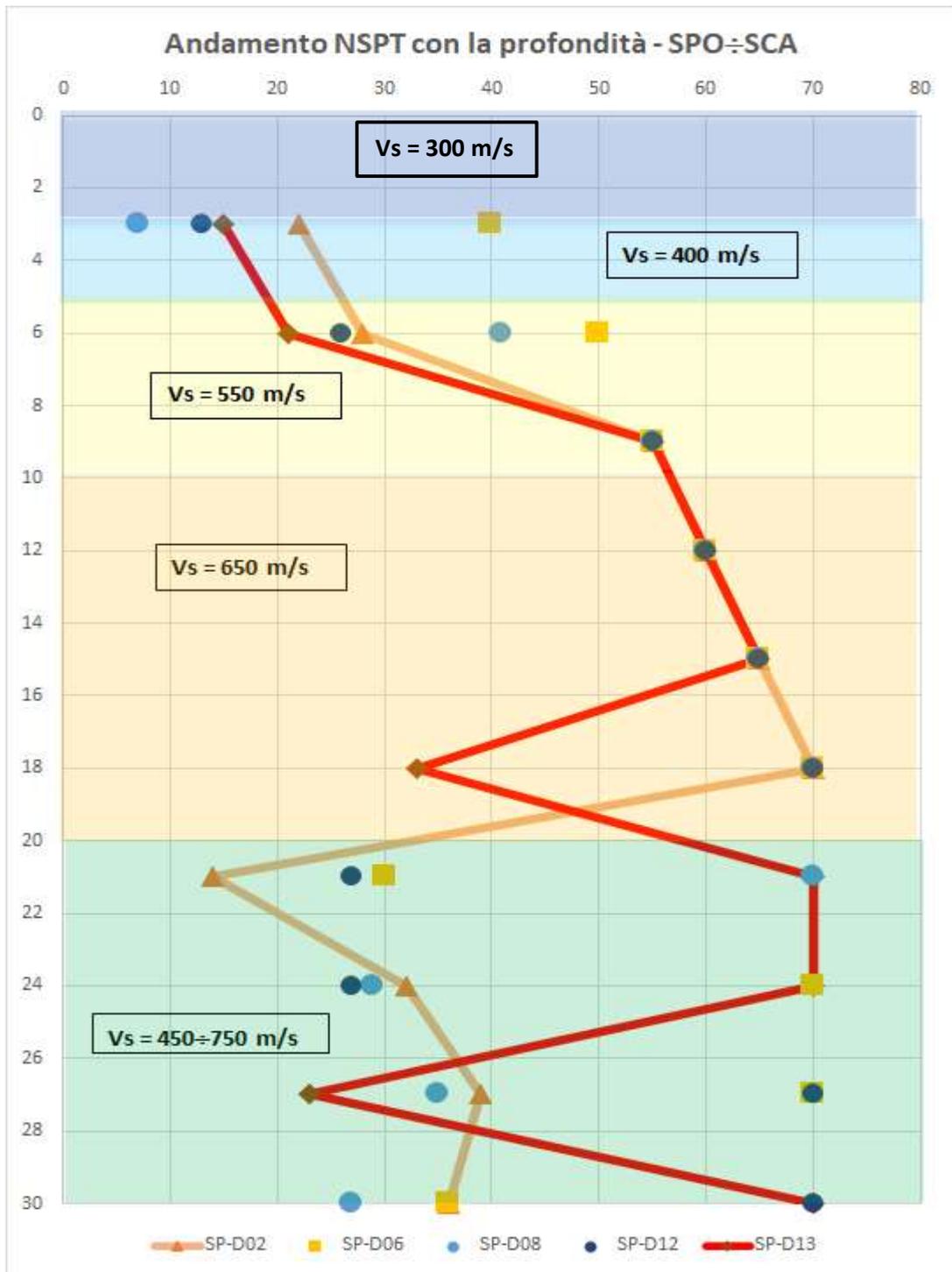


Figura 30. Confronto tra i valori di  $N_{SPT}$  misurati per le Stazioni SPO e SCA

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

Differente invece è la stratigrafia della Stazione Mole-Giardini che è caratterizzata da una categoria del sottosuolo di tipo C. Questa stazione, infatti, è ubicata in corrispondenza di un terrazzamento fluviale ed è caratterizzata in superficie da depositi alluvionali sabbiosi limosi recenti, poco addensati e con una potenza di una decina di metri. Al di sotto di questo deposito alluvionale, è presente la formazione fluvio-glaciale che in questa zona è però intercalata da numerosi livelli poco addensati e più fini che determinano velocità di propagazione delle onde di taglio intorno a 400-450 m/s, ossia valori più bassi rispetto ai valori tipici misurati per la stessa formazione sulla maggior parte dei siti indagati. Questa differenza stratigrafica della Stazione Mole-Giardini è riscontrabile anche dai valori di  $N_{SPT}$  misurati nei sondaggi SP-D15 e SP-D16 che risultano decisamente più bassi rispetto ai valori misurati per le Stazioni Porta Nuova (vedi figura riportata di seguito) e Carlo Alberto in particolar modo nei primi 10 m. È evidente quindi che le formazioni esistenti in corrispondenza delle due stazioni indagate (SPN e SCA) appartengono ad una categoria sismica superiore rispetto alla C.

In base alle considerazioni sopra effettuate, è possibile attribuire una categoria sismica del suolo di Tipo B alle due Stazioni Porta Nuova (SPN) e Carlo Alberto (SCA).

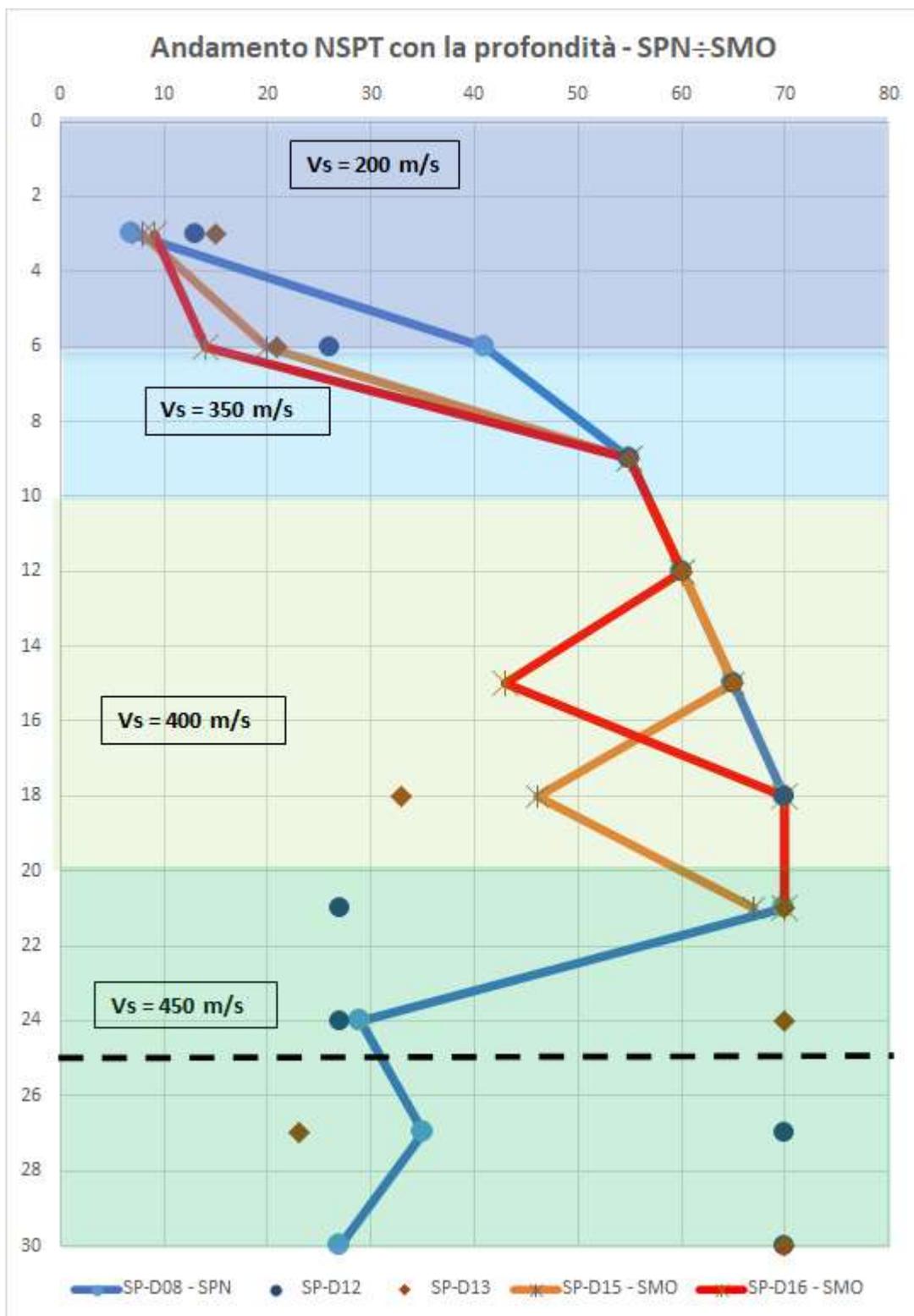


Figura 31. Confronto tra i valori di  $N_{SPT}$  misurati per le Stazioni SMO e SPN

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

### 8.13 Tratti di Linea tra le Stazioni (Gallerie artificiali, Gallerie Naturali e Galleria scavata con TBM)

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del terreno nei tratti compresi tra le stazioni, si può fare riferimento alla Tabella 38, nella quale si elencano le prove Masw eseguite in corrispondenza delle varie tratte con il valore risultante di  $V_{s,eq}$ . Come evidenziato sopra, il terreno risulta sempre di categoria sismica B. Anche considerando i risultati delle prove Down hole (vedere la Tabella 36), da cui si calcolano i valori di  $V_{s,eq}$  relativi alle prove DIA 14, DIA 15, DIA 08, che risultano rispettivamente pari a 493 m/s, 452 m/s, 562 m/s (e quindi > di 360 m/s), si ottiene la stessa valutazione.

## 9. VALUTAZIONE DEL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

La normativa vigente indica che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione inclusi nel paragrafo 7.11.3.4.2 della norma.

Viene di seguito analizzato il problema della possibile liquefazione del terreno in presenza di sollecitazioni dinamiche causate dal sisma. Esso riguarda gli strati non coesivi superiori, appartenenti alle Unità 2 e 3. Uno degli aspetti che concorrono alla sua determinazione è la granulometria del terreno in esame. La Figura 32 e Figura 33 mostrano i fusi granulometrici determinati con le relative prove di laboratorio. Il contenuto di fine (passante al n. 200 della serie ASTM) varia da un minimo dell'8% circa ad un massimo del 30% circa. Solo occasionalmente e per un ristretto numero di campioni tale frazione è minore dell'8%.

Il criterio adottato per l'analisi della liquefazione si basa sui valori della velocità delle onde di taglio,  $V_s$ , misurati con le prove Masw. Poiché la frazione di fine è uno degli elementi che concorrono a determinare il pericolo della liquefazione, si assumeranno il valore minimo e il valore massimo sopra citati. Gli altri elementi di calcolo sono il peso di volume del terreno ( $\gamma = 19 \div 20$  kN/m<sup>3</sup>) e lo spessore significativo dello strato ( $h = 25 \div 30$  metri). La soggiacenza della falda in condizioni statiche è posta a 17 metri dal piano campagna, mentre in presenza di sisma essa viene portata cautelativamente a 12 metri (in assenza di saturazione non si ha mai liquefazione) e a 4.5 metri (assunzione valida in esercizio).



Secondo la classificazione della Regione Piemonte, il suolo di Torino è classificato in categoria 3, con una PGA (Peak Ground Acceleration) pari a 0.15 volte l'accelerazione di gravità  $g$ . Si assume un valore della magnitudo momento  $M_w$  pari a 5.7 (valore massimo statistico). Ai dati sopra definiti viene associato l'andamento del valore di velocità  $V_s$  con la profondità. Esso è basato sulla interpretazione sintetica delle misure delle prove Cross-hole e MASW, individuando un andamento medio cautelativo. Questo approccio è stato ritenuto più affidabile di quello basato sui valori di  $N_{SPT}$ , stante la grande dispersione di questi ultimi e l'incertezza delle misure.

Sono stati individuati quattro andamenti significativi della velocità  $V_s$ , in quanto l'andamento di tale grandezza è notevolmente diverso da zona a zona (e anche rispetto al tipo di prova per la sua misura).

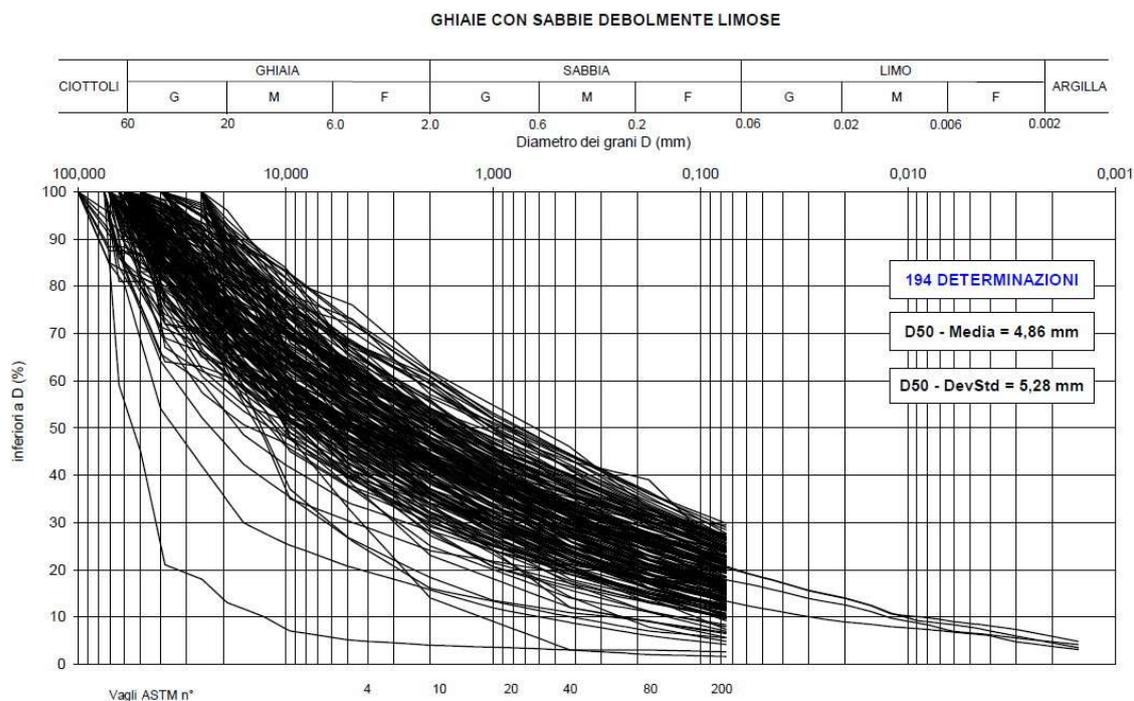
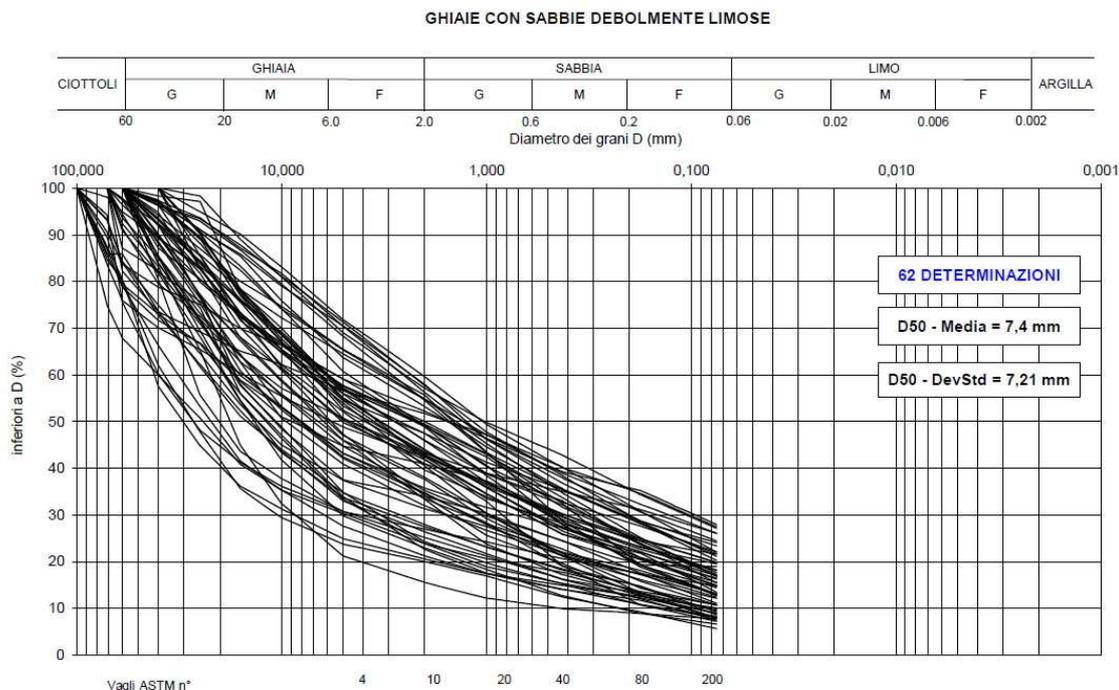


Figura 32. Gruppo n. 1 dei fusi granulometrici (Unità 2)



**Figura 33. Gruppo n. 2 dei fusi granulometrici (Unità 2)**

Questi sono utilizzati per la valutazione del pericolo della liquefazione; in sintesi sono stati elaborati n. 8 casi, per quattro andamenti di velocità e per due valori del contenuto di fine (8% e 30%). Qui di seguito si riportano i casi estremi ottenuti, in termini di fattore di sicurezza nei riguardi della liquefazione: il caso più favorevole è quello relativo alla prova Cross hole in zona Politecnico (indagine per il progetto di fattibilità) mentre il caso più sfavorevole è quello che si basa sui risultati della prova Masw in zona Stazione Bologna, dalla quale sono stati tratti i valori di velocità  $V_s$  inferiori. Entrambi i casi qui esposti si riferiscono ad un contenuto di fine dell'8%, in quanto al suo aumentare il pericolo alla liquefazione si riduce. La Figura 34 e Figura 35 riportano la sintesi dei risultati.



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Torino - Metro 2 Liquefazione

Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

Input parameters and analysis data

In-situ data type: Shear wave velocity
Analysis type: Deterministic
Analysis method: NCEER 1998
Fines correction method: N/A

Depth to water table: 17.00 m
Earthquake magnitude Mw: 5.70
Peak ground acceleration: 0.15 g
User defined F.S.: 1.00

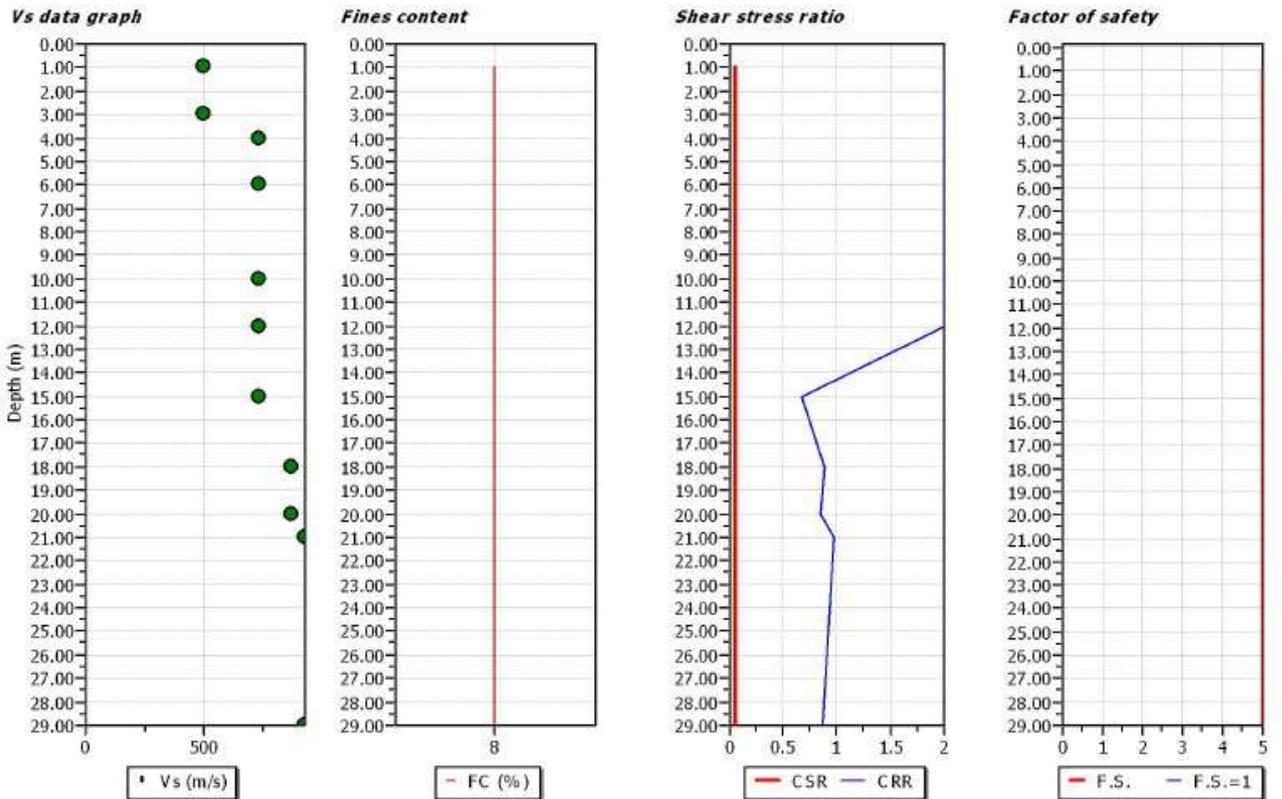


Figura 34. Liquefazione da Vs (cross hole) zona Politecnico



### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

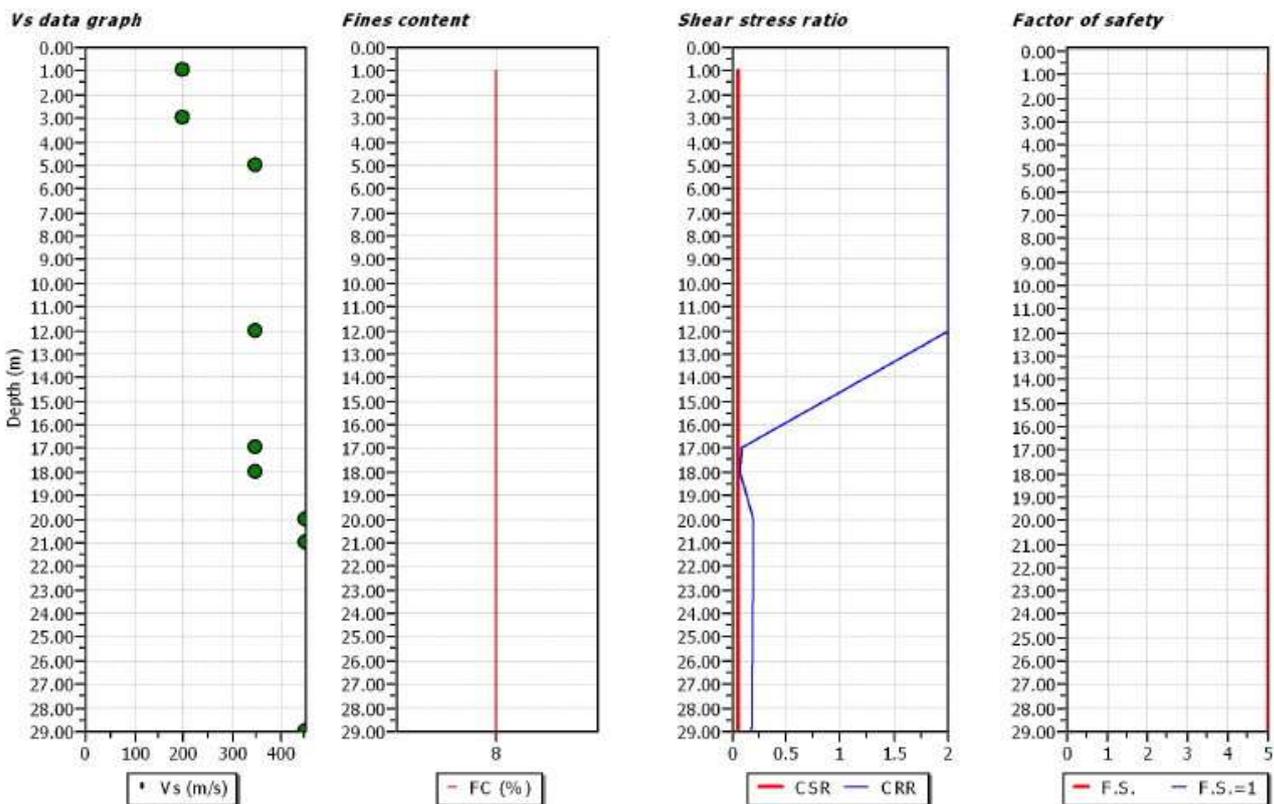
Project title : Torino - Metro 2 Liquefazione

Project subtitle : Calcolo con velocità Vs (da prove Masw) Giardini Reali

#### Input parameters and analysis data

In-situ data type: Shear wave velocity  
 Analysis type: Deterministic  
 Analysis method: NCEER 1998  
 Fines correction method: N/A

Depth to water table: 17.00 m  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 5.70  
 Peak ground acceleration: 0.15 g  
 User defined F.S.: 1.00



$M_w = 7^{1/2}$ ,  $\sigma'_v = 1$  atm base curve

Figura 35. Liquefazione da Vs (Masw) zona Stazione Bologna

Il fattore di sicurezza, valutato al di sotto della superficie piezometrica, è sempre maggiore di 5, anche nel caso in cui si ipotizzi un brusco innalzamento di falda fino alla soggiacenza di 12 metri.

Lo stesso tipo di analisi viene fatto, singolarmente, per i siti delle Stazioni Mole-Giardini e Stazione Giulio Cesare. I risultati sono rappresentati nella Figura 36 e nella Figura 37.



### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Torino - Metro 2 Liquefazione - Stazione Mole Giardini

Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

#### Input parameters and analysis data

In-situ data type: Shear wave velocity  
 Analysis type: Deterministic  
 Analysis method: NCEER 1998  
 Fines correction method: N/A

Depth to water table: 17.00 m  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 5.70  
 Peak ground acceleration: 0.15 g  
 User defined F.S.: 1.00

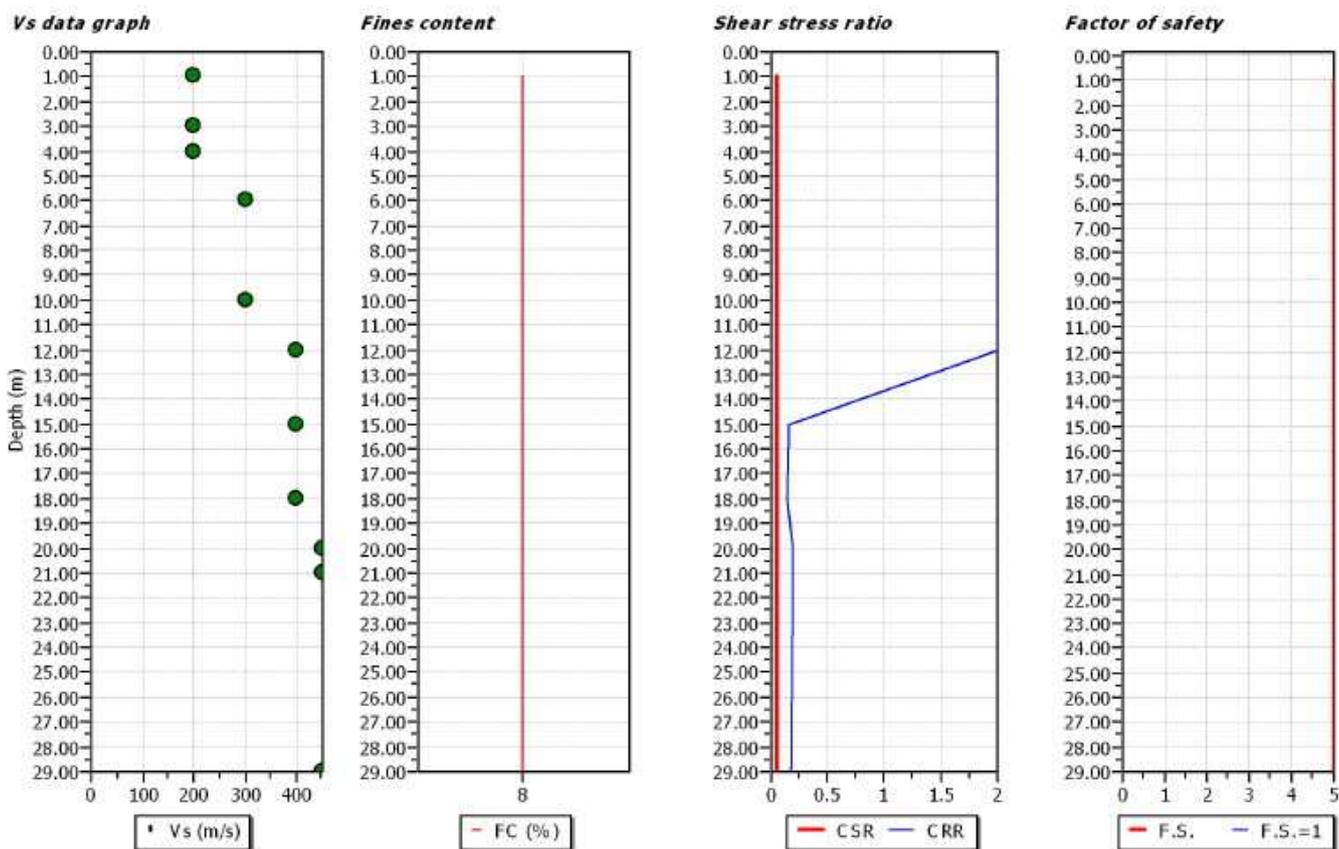


Figura 36. Liquefazione da Vs (Masw) zona Stazione Mole-Giardini



### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Torino - Metro 2 Liquefazione Stazione Giulio Cesare

Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

#### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	17.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00

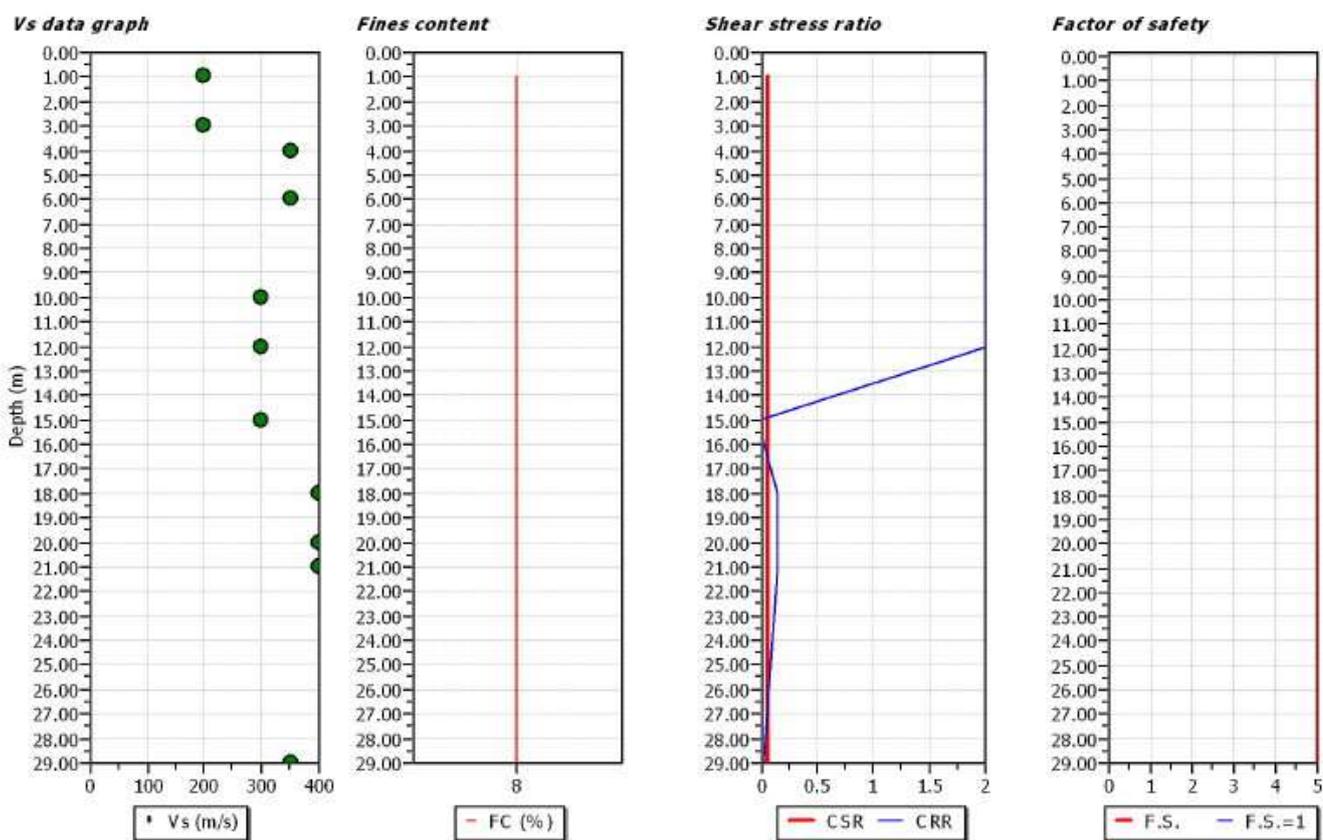


Figura 37. Liquefazione da Vs (Masw) zona Stazione Giulio Cesare

Il rischio della liquefazione è stato analizzato per mezzo del metodo semi empirico o semplificato, in cui si determina il valore del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione, definito da:

$$FS = CRR/CSR$$

dove CSR è lo sforzo di taglio indotto dal terremoto, normalizzato rispetto a  $\sigma'_{vo}$ , calcolato ad una data profondità alla quale si calcola la tensione verticale efficace  $\sigma'_{vo}$ ; CRR è la resistenza al taglio ciclica del terreno, normalizzata rispetto a  $\sigma'_{vo}$ , calcolata alla stessa profondità. Il calcolo a varie



profondità consente di ricavare l'andamento di FSL in base al confronto tra le due grandezze, come schematizzato in Figura 38.



Figura 38. Criterio per il calcolo del pericolo della liquefazione

Concettualmente si perviene ad un grafico del tipo di quello mostrato in Figura 39, in cui viene definita la curva di resistenza alla liquefazione, che divide il piano in due parti: quello in cui si verifica il fenomeno da quello in cui esso non si verifica. In questo grafico sono riportati in ordinata i valori di CRR oppure di CSR, mentre in ascissa sono riportati i valori della grandezza da cui si calcola lo sforzo di taglio ciclico disponibile.

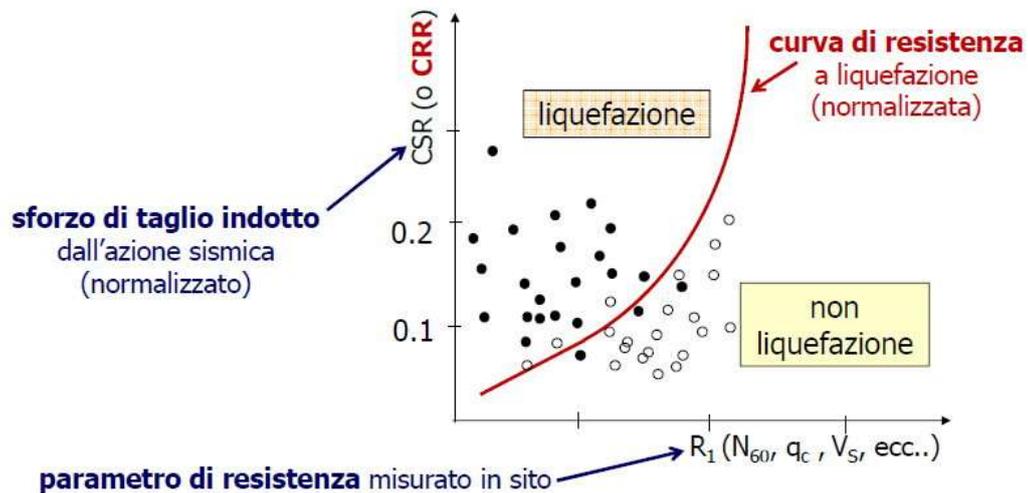


Figura 39. Criterio semiempirico per la definizione del pericolo della liquefazione

Il valore di CSR può essere calcolato attraverso diversi metodi, che dipendono tutti dal valore dell'accelerazione massima al suolo,  $a_{max}$ . Il valore di CRR può essere derivato da diverse prove sul terreno, insieme ad una serie di fattori correttivi per tener conto, ad esempio, del valore della tensione verticale efficace, del contenuto di frazione fine, e soprattutto dal valore della magnitudo M del sisma: se essa è inferiore a 7.5 (che rappresenta il valore di riferimento) si adotta un fattore correttivo di scala sul valore dell'accelerazione di picco. Nelle verifiche sopra riportate si è preso



a riferimento il valore della velocità delle onde di taglio misurato con le prove Masw. A queste è stato associato il valore della magnitudo pari a 5.70 ed un valore dell'accelerazione massima pari a 0.15 g, essendo g l'accelerazione di gravità. In Allegato 2 sono riportati, per ciascuna stazione, i tabulati di calcolo del pericolo di liquefazione e la definizione delle principali grandezze che vi compaiono, sopra descritte.

Lo stesso tipo di analisi è stata fatta con riferimento ad una soggiacenza di 4.5 metri della falda. Le Figura 40 e Figura 41 riportano i risultati ottenuti, lasciando inalterati tutti gli altri elementi che concorrono a definire il rischio di liquefazione del terreno.

### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Metro 2 - Stazione Mole Giardini - Falda a -4.5 metri

Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

#### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	12.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00

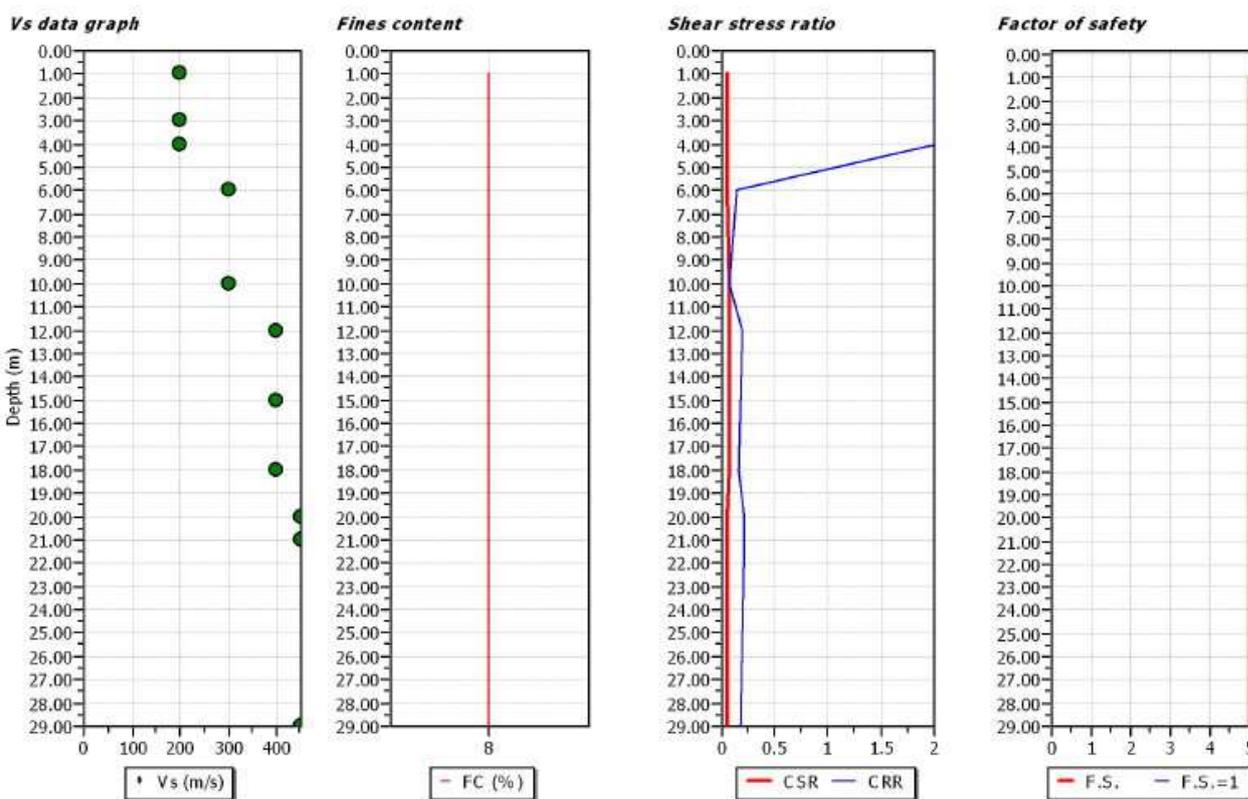
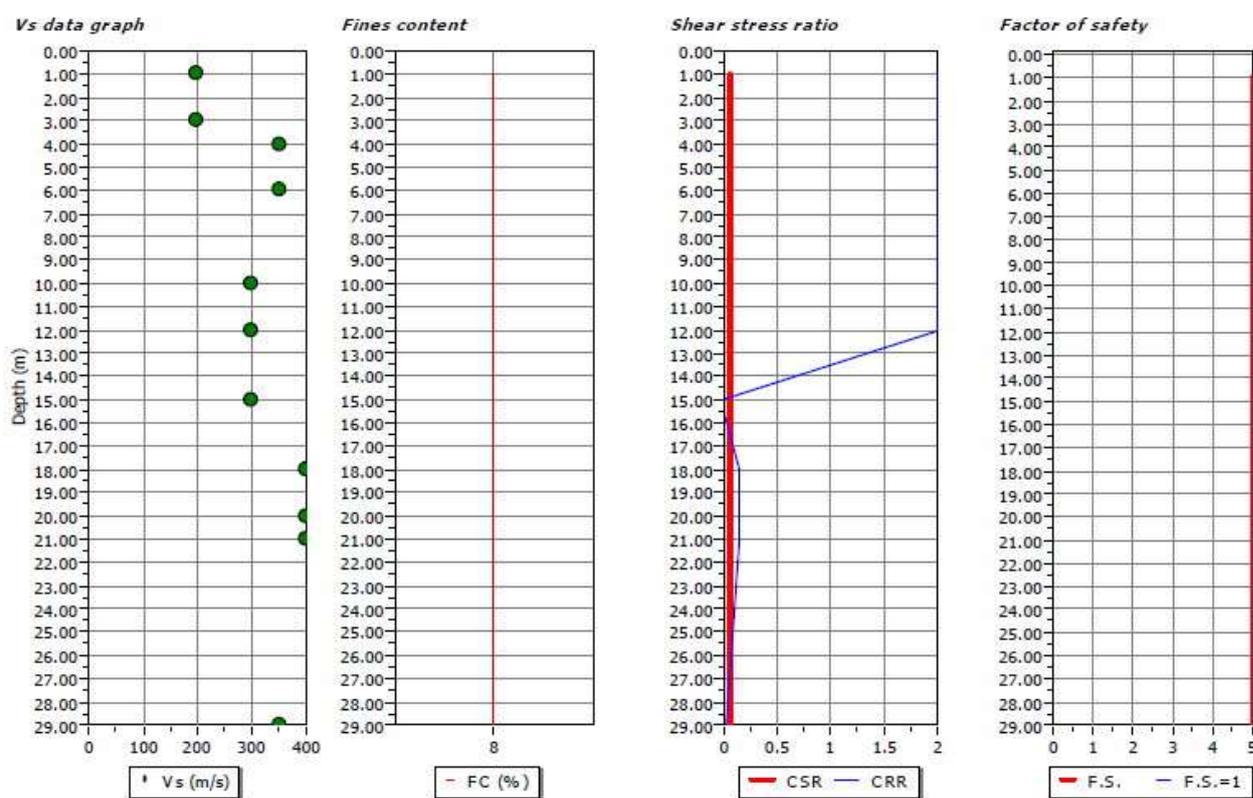


Figura 40. Liquefazione da Vs (Masw) zona Stazione Mole-Giardini (falda a – 4.5 m)

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**
**Project title : Metro 2 Staz. Giulio Cesare Falda a -4.5 metri**
**Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento**
**Input parameters and analysis data**

 In-situ data type: Shear wave velocity  
 Analysis type: Deterministic  
 Analysis method: NCEER 1998  
 Fines correction method: N/A

 Depth to water table: 12.00 m  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 5.70  
 Peak ground acceleration: 0.15 g  
 User defined F.S.: 1.00

**Figura 41. Liquefazione da  $V_s$  (Masw) zona Stazione Giulio Cesare (falda a - 4.5 m)**

Anche con una soggiacenza portata cautelativamente 4.5 metri si ha un fattore di sicurezza nei confronti del pericolo della liquefazione pari ad almeno 5.

Avendo considerato la categoria sismica anche per le Stazioni P. Nuova e C. Alberto sulla base dei valori di  $V_s$  stimati dai risultati delle prove SPT, (categoria sottosuolo C), l'analisi sopra svolta viene fatta anche per esse, utilizzando direttamente ai fini del calcolo della liquefazione i valori di  $N_{SPT}$  (Tabella 38), in corrispondenza di una soggiacenza della falda di 4.5 metri. I risultati ottenuti sono mostrati in Figura 42. Anche in questo caso si ottiene un valore del fattore di sicurezza almeno pari a circa 4. L'Allegato 2 citato riporta tutti i calcoli svolti a tale proposito.



### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

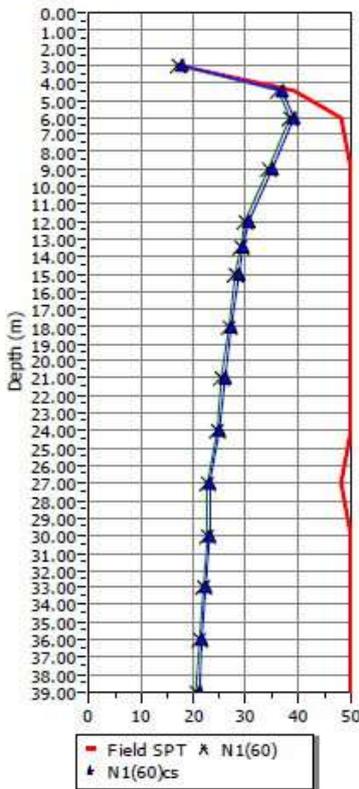
Project title : Metro 2 - Stazioni P. NUova e C. Alberto Falda a - 4.5 metri

Project subtitle : Calcolo basato sui valori di Nsp<sub>t</sub> e su fine 8 per cento

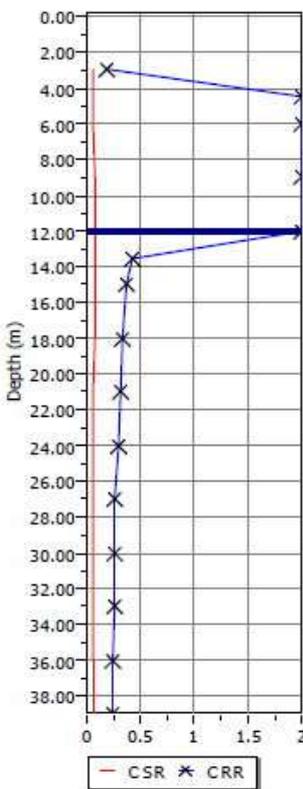
#### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	12.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00

SPT data graph



Shear stress ratio



Factor of safety



Settlements (cm)

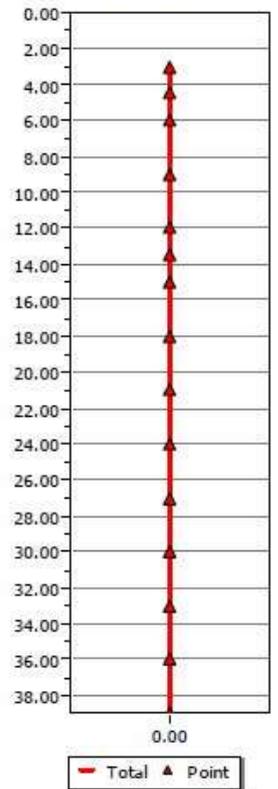


Figura 42. Liquefazione da NSPT Stazioni Porta Nuova e Carlo Alberto (falda a – 4.5 m)



## 10. RISCHI DI NATURA GEOTECNICA

Si descrivono nel seguito alcuni dei principali rischi di natura geotecnica associati allo scavo meccanizzato con fresa di tipo EPB (Earth Pressure Balance). Per i dettagli sulla caratterizzazione sismica e sul rischio di liquefazione, si veda quanto riportato ai capitoli precedenti, integrato da quanto descritto nel documento "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica MTO2PPLGGEOCOMR003-00\_A-Data: 14/12 /2018".

### 10.1 Potenziale di ostruzione (Clogging)

Quando una TBM avanza attraverso materiali plastico-argillosi, potrebbe incontrare difficoltà dovute alla possibile tendenza dell'argilla di aderire al metallo degli utensili di taglio installati sulla testa fresante. Una volta che le particelle di argilla aderiscono sugli utensili di taglio, questi sono resi non operativi e le aperture della testa fresante così come la camera di scavo potrebbero risultare bloccate. È comunque da sottolineare il fatto che grazie ad un opportuno sistema di condizionamento del materiale scavato, i problemi legati al clogging possono essere ridotti/evitati.

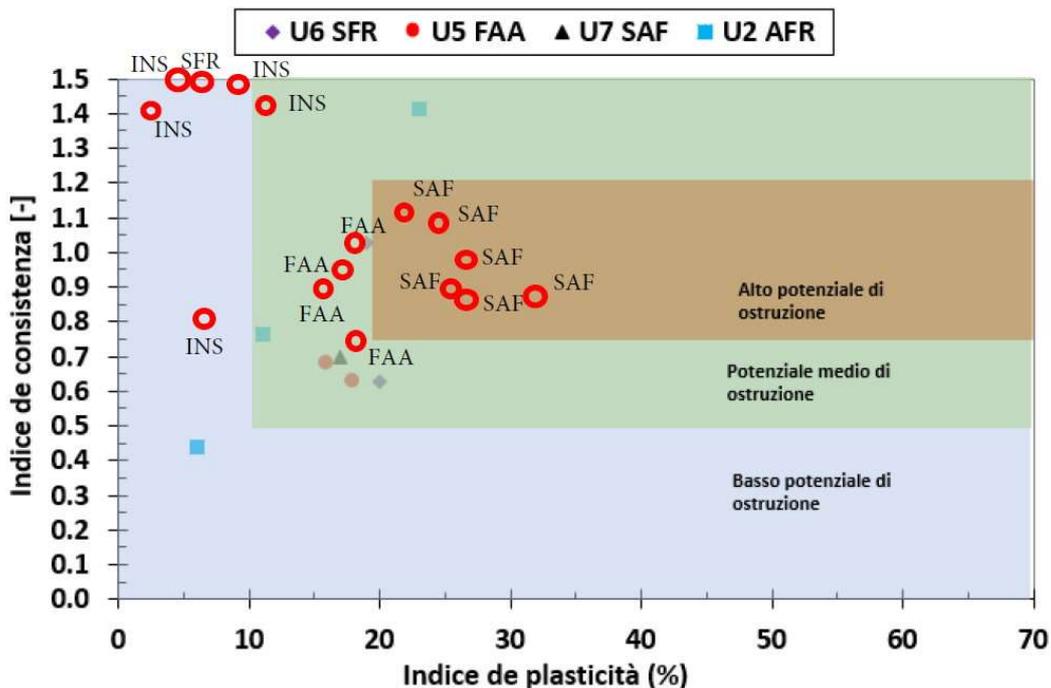


Figura 43. Potenziale di ostruzione definito in base alle prove di laboratorio (aggiornato)

Il potenziale di ostruzione può essere analizzato in funzione dei risultati dei Limiti di Atterberg e del contenuto d'acqua dei provini analizzati, come si mostra nella Figura 43. Ai risultati della fase di fattibilità sono stati aggiunti i risultati della fase definitiva, per un totale di 16 + 8 prove eseguite. Nella Figura 43 accanto a ogni simbolo cerchiato in rosso è indicato il tipo di terreno di

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

appartenenza (INS, SAF, FAA): come si osserva, un elevato potenziale di ostruzione si può verificare nell'ambito dell'Unità 7 (SAF).

L'unità dei depositi fluvio-glaciali è stata anch'essa rappresentata nel grafico, anche se oltre l'80% di questo materiale è formato da materiale granulare, per cui il rischio di clogging è nullo. Per le restanti unità geotecniche (lenti di materiale fine presenti nell'Unità 6 e unità geotecniche completamente coesive, l'Unità 5 e l'Unità 7), di natura più coesiva, il rischio di clogging è definito come "medio". Dalla Figura 43, dove sono stati riportati i valori dell'indice di consistenza e dell'indice di plasticità derivanti dalle prove di laboratorio disponibili, risulta chiaramente che il rischio di clogging si potrà avere nella formazione denominata SAF, vale a dire nell'Unità 7.

## 10.2 Presenza di gas

Dal quadro geologico ed idrogeologico descritto, il sottosuolo di Torino non è sede di gas potenzialmente pericolosi o nocivi per la salute fatta eccezione per la possibile presenza di radiazioni ionizzanti generate dal terreno. La principale radiazione naturale prodotta è il Radon, gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento dell'Uranio, elemento presente (in quantità variabile) in alcune rocce di origine magmatica presenti in Piemonte.

I terreni di origine fluvioglaciale di Torino (Unità 2, Unità 3, Unità 4), avendo inglobato nella matrice ciottoli e trovanti di natura magmatica, possono essere una sorgente di Radon in quantità variabile in relazione alla loro composizione mineralogica, tuttavia soltanto elevate concentrazioni di tale gas possono generare effetti nocivi per la salute. Nel caso specifico del lavoro in ambiente sotterraneo il Radon, essendo più denso dell'aria, può raggiungere elevate concentrazioni in mancanza di adeguata ventilazione.

A tal riguardo il decreto legislativo n.241 del 2000, attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti, impone al datore di lavoro la misurazione della quantità di Radon prodotto sul luogo di lavoro. Viene inoltre definito un limite di legge per la concentrazione del radon nei luoghi di lavoro, pari a 500 Bq/m<sup>3</sup> (Bequerel al metro cubo, valore medio annuale), superato il quale il datore di lavoro è tenuto ad effettuare una serie di interventi (azioni di rimedio o di bonifica) volti a ridurre le concentrazioni al di sotto del limite di legge.

Durante la realizzazione della galleria della Linea 2, la quantità di Radon dovrà essere costantemente monitorata ed il sistema di ventilazione installato dovrà essere sufficiente per l'eventuale diluizione di questo gas in caso ecceda il del valore limite.

## 10.3 Interferenza strutture in Cut&Cover con l'acquifero superficiale

La realizzazione delle strutture in Cut&Cover (stazioni) potrebbe causare una variazione di carico idraulico sul campo di moto dell'acquifero superficiale dovuto al possibile effetto "barriera" di queste opere sul flusso delle acque sotterranee. Infatti il tracciato della Linea 2 (e quindi lo sviluppo longitudinale delle maggior parte delle stazioni) segue una direzione all'incirca parallela al fiume Po e quindi perpendicolare alla direzione del flusso delle acque sotterranee (NW-SE).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

Dagli studi idrogeologici e dalla modellazione effettuata, risulta che tale innalzamento piezometrico è sensibilmente inferiore al metro.

#### **10.4 Presenza di blocchi e ciottoli nei depositi fluvio-glaciali (AFR)**

La scavabilità nei terreni del complesso fluvio-glaciale (AFR), che comprende quindi le Unità 2, 3 e 4, è anche funzione delle caratteristiche meccaniche degli elementi più grandi che compongono la formazione, quali i ciottoli e i blocchi lapidei. Nell'ambito dell'indagine del progetto definitivo, sono state eseguite numerose prove di laboratorio sugli elementi lapidei estratti nel corso delle perforazioni, a varie profondità. Esse sono nel seguito considerate; nel loro insieme vengono a definire il cosiddetto Drilling Rate Index (DRI), vale a dire il parametro che caratterizza la difficoltà di avanzamento dell'utensile di perforazione e il suo deterioramento.

La Tabella 40 di pagina seguente riporta, distinte per sondaggio e profondità, nell'ordine: il litotipo, il risultato della prova Point Load Test espresso in MPa, il risultato della prova di abrasività (Cercar CAI index), la determinazione dell'indice di perforabilità  $S_j$ , il risultato della prova di frammentazione, S20 espresso in %, l'indice ricavato dalla prova Cone Indenter Test e quello della prova Punch test, ed infine il valore del Drilling Rate Index (DRI).

La prova di perforabilità Sievers consente di valutare la durezza superficiale della roccia attraverso il parametro  $S_j$ ; Essa consiste nel misurare la profondità (espressa in decimi di millimetro) di un foro praticato sulla superficie del provino per mezzo di un trapano sottoposto al carico assiale di 20 kg dopo una rotazione impressa di 200 giri. Il valore  $S_j$  è la media di un certo numero di prove. La prova di frammentabilità fornisce attraverso il parametro S20 una misura della resistenza alla frammentazione della roccia, dopo che il materiale naturale è stato frammentato attraverso l'azione di un maglio, misurando la percentuale di passante ad un setaccio normalizzato. L'indice S20 tiene conto dell'effetto dovuto alla dimensione dei grani dopo la loro frammentazione e della resistenza dei legami tra i grani, nel caso di terreni cementati. I risultati delle due prove sopra descritte consentono di ricavare l'indice DRI che esprime la propensione della roccia alla fresabilità, crescente al crescere del valore dell'indice.

Il valore di DRI ottenuto varia da un minimo di 27 ad un massimo di 57: ciò indica una perforabilità media della roccia che costituisce la parte grossolana del terreno fluvio-glaciale (e non, in questo caso, del terreno considerato come ammasso).

I valori dell'indice Cerchar (CAI) sono compresi tra 1 e 5, con la media pari circa 3.3. Ciò indica una materiale da mediamente abrasivo a molto abrasivo.

**Tabella 40. Risultati delle prove di laboratorio per la valutazione della fresabilità**

Sondaggio	Profondità	Litotipo	Point Load Test I <sub>S(50)</sub>	Cerchar (abrasività) CAI Index		Sievers (perforabilità) S <sub>j</sub>	Frammentazione S20	Cone Indenter Test N.C.B.	Punch Test	Drilling Rate Index
(n.)	(m)		(MPa)				(%)			kN/mm
SP-02	4.5	Metamorfiti (serpentinite)	5.86	4.13	estremamente abrasivo	18.1	30.0	6.46		32
SP-03	27.0	Quarziti e metamorfiti (serpentinite)	3.7	3.94	molto abrasivo	3	36.6	6.94		31
SP-05	22.5	Quarziti e metamorfiti (serpentinite)	4.18	4.31	estremamente abrasivo	3.2	32.7	5.82		28
SP-08	22.5	Metamorfiti (serpentinite) e quarziti	3.92	7.06	estremamente abrasivo	22	34.2	5.77		38
SP-10	13.5	Metamorfiti (serpentinite) e quarziti	4.26	4.63	estremamente abrasivo	3.1	32.3	5.62	36.17	27
SP-12	22.5	Metamorfiti (serpentinite) e quarziti	3.18	4.44	estremamente abrasivo	3.1	31.7	5.95		27
SP-13	31.5	Metamorfiti (serpentinite) e quarziti	4.3	4.06	estremamente abrasivo	3.3	31.5	5.78		27
SP-14	31.5	Metamorfiti (serpentinite) e quarziti	3.21	4.25	estremamente abrasivo	14.8	29.4	5.59		31
SP-15bis	24.0	Quarziti e metamorfiti (serpentinite)	2.03	4.13	estremamente abrasivo	3.3	30.6	6.05		27
SP-17	18.0	Quarziti e metamorfiti (serpentinite)	3.99	3.75	molto abrasivo	2.9	36.2	7.59	44.5	31
SP-19	9.0	Quarziti, metamorfiti (serpentinite) e elementi nat. Carbonatica	1.62	4	molto abrasivo	34.6	41.5	5.44		48
SP-20	4.0	Metamorfiti (serpentinite) e quarziti	4.14	4.25	estremamente abrasivo	18.4	30.6	6.24	57.89	32
SP-23	16.5	Quarziti, metamorfiti (serpentinite) e rari elementi nat. Carbonatica	3.6	4.06	estremamente abrasivo	36.7	42.4	5.52	45.02	49
SP-D04	34.0	Peridotiti, serpentinite	6.65	2.44	molto abrasivo	91.6	23.3	10.58	46.82	34
SP-D06	23.5	Peridotiti, serpentinite	7.14	1.13	da mediam. abrasivo ad abrasivo	140.1	26.1	8.88	40.4	45
SP-D08	23.5	Peridotiti, serpentinite	7.36	4.38	estremamente abrasivo	12.1	19	5.91	44.07	20
SP-D12	28.5	Peridotiti, serpentinite	7.17	3.38	molto abrasivo	26.3	19.1	12.2	50.19	24
SP-D19	20.5	Peridotiti, serpentinite	7.47	4.31	estremamente abrasivo	4.7	30.6	7.43	25.25	27
SP-D21	34.5	Peridotiti, serpentinite	6.23	2.44	molto abrasivo	163.9	33.1	7.33	23.12	57
SP-D25	10.5	Peridotiti, serpentinite	8.75	2.69	molto abrasivo	51	22.1	5.97	50.46	31
SP-D27	17.5	Peridotiti, serpentinite	7.01	3.81	molto abrasivo	10.7	29.4	11.56	32.42	30
SP-D29	7.5	Peridotiti, serpentinite	7.88	5	estremamente abrasivo	50	24.8	6.37	14.65	33
SP-D31	8.5	Peridotiti, serpentinite	7	2.56	molto abrasivo	33.7	33.6	2.54	43.9	40
SP-D34	11.5	Peridotiti, serpentinite	6.55	2.63	molto abrasivo	3.3	41	9.94	56.67	36
SP-D36	26.5	Peridotiti, serpentinite	10.69	4.13	molto abrasivo	24.1	30.6	6.84	41.2	35

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

## 10.5 Problematiche di esecuzione dei diaframmi con idrofresa

La realizzazione dei vani interrati a servizio della linea metropolitana comporterà l'esecuzione di diaframmi di cemento armato, la cui lunghezza potrà raggiungere e superare la profondità di 25 metri. A tale scopo dovrà essere utilizzata, per lo scavo dei pannelli, l'idrofresa. Le problematiche associate al tipo di terreno e a tale attrezzatura sono state affrontate in passato nel corso di lavori impegnativi, quali i lavori per la realizzazione del passante ferroviario e la realizzazione del grattacielo Intesa San Paolo. In particolare ci si può riferire ai lavori di scavo dell'interrato del grattacielo Intesa San Paolo, per la cui esecuzione sono stati realizzati diaframmi fino alla profondità di 40-42 metri.

L'esperienza accumulata nei tipi di terreno in esame (materiali grossolani, addensati e a tratti cementati, contenenti grossi ciottoli e talvolta veri e propri blocchi, confinati inferiormente da strati coesivi molto compatti), è stata descritta nella letteratura specializzata. A questo proposito si rimanda agli articoli di Barla G. et al. (1993), Barla G. e Vai L. (1999), Manassero V. et al. (2010).

Data la profondità che si prevede doversi raggiungere con gli scavi per l'esecuzione dei diaframmi in progetto, è utile riferirsi all'esperienza descritta nell'articolo di Manassero V. et al. (2010), da cui si traggono indicazioni sui problemi associati a tale tipo di attività. In particolare:

- la presenza di strati cementati ad elevato grado di cementazione (puddinga) non dovrebbe porre problemi di esecutività, in quanto la tecnologia di scavo con la fresa si presta molto bene ad essere impiegata nei terreni litoidi,
- va precisato tuttavia che tale terreno potrà causare un rallentamento di produzione e una elevata usura degli utensili di scavo,
- la presenza di terreno coesivo molto duro, al di sotto delle formazioni alluvionali più recenti, vale a dire le Unità 6 e 7 di origine fluvio-lacustre, potrà causare problemi di qualità del fluido stabilizzante nelle fasi di scavo e di getto. Infatti le particelle fini liberate durante lo scavo dal materiale argilloso tendono ad arricchire progressivamente il fango bentonitico di particelle non eliminabili con l'azione del dissabbiatore.
- La combinazione di tale appesantimento del fluido di scavo con l'impasto delle ruote fresanti dovuto all'argilla ha generato in passato non solo una riduzione di produttività, ma perfino il blocco dello scavo. Per evitare ciò si sono dovuti impiegare accorgimenti particolari per la rigenerazione dei fanghi di perforazione e per la pulizia degli utensili di scavo.

Quanto sopra potrà causare una riduzione di produzione di cui occorre tenere conto. Nell'articolo citato di Manassero V. et al., in relazione alla realizzazione del grattacielo Intesa San Paolo, si stima che circa il 50% del tempo di lavoro totale sia stato dedicato ad operazioni di manutenzione, spostamento macchine e soste.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

## 11. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

### Geologia

- ALLEGRA P. (1993) - Caratterizzazione geologico-tecnica e cartografia tematica dell'area urbana torinese. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 7-16.
- AMORETTI G. (1996) – La verità storica su Pietro Micca. VII Ed. L'Artistica, Savigliano. 38 pp.
- AMORETTI G. (1998) – Riscoperta e valorizzazione del forte torinese detto "Pastiss". *Atti Congr. Int. di Archeologia, Storia e Architettura Militare*, 31-55. Torino, 11-13 novembre 1998.
- BARLA G., MACCHI A., CAVALLERO G.M., PEDEMONTE S. (1993) - Il Passante ferroviario di Torino. *AGI, XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica, I*, 79-90. Rimini, 1-13 maggio 1993.
- BARLA G., VAI L. (1999) – Indagini geotecniche per la caratterizzazione del sottosuolo di Torino lungo il tracciato del passante ferroviario. *Atti XX Convegno Nazionale di Geotecnica*, 335-342. Parma, 22-25 settembre 1999.
- BIMA C. (1970) – L'acqua a Torino. Grafiche Jemma Ed. Moncalieri. 185 pp.
- BORTOLAMI G., DE LUCA D., FILIPPINI G. (1990) – Le acque sotterranee della pianura di Torino. *Aspetti e problemi. Provincia di Torino, Assessorato all'Ecologia*.
- BORTOLAMI G., MAFFEO B., MARADEI V., RICCI B., SORZANA F. (1976) - Lineamenti di litologia e geoidrologia del settore piemontese della pianura padana. *Quaderni Ist. Ricerca Acque*, 28 (1).
- BOTTINO G., CIVITA M. (1986) - Engineering geological features and mapping of subsurfaces in the metropolitan area of Turin, North Italy. *5th Int. Ass. Eng. Geol.*, Buenos Aires 1986.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R., CAPPELLI V. (1986) - Pianura padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici. *Pubbl. Agip. 73° Congr. Soc. Geol. It. Roma*, 27.
- CASTIGLIA E. (1998) – Il Cisternone della Cittadella esiste ancora ? Le indagini, gli scavi, i programmi per il futuro. *Atti Congr. Int. di Archeologia, Storia e Architettura Militare*, 57-76. Torino, 11-13 novembre 1998.
- CENTRO STUDI E RICERCHE STORICHE SULL'ARCHITETTURA MILITARE DEL PIEMONTE – Relazioni su studi e ricerche.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

- CLARI P., DE LA PIERRE F., NOVARETTI A., TIMPANELLI M. (1994) – La successione oligomiocenica del Monferrato occidentale: confronti e relazioni con il Monferrato orientale e la collina di Torino. Atti Tic. Sc. Terra, serie speciale I, pp. 191-203.
- CIVITA M., PIZZO S. (2001) – L'evoluzione spazio-temporale del livello piezometrico dell'acquifero libero nel sottosuolo di Torino. Geingegneria Ambientale e Mineraria, 104, 185-287.
- FESTA A., DELA PIERRE F., IRACE A., PIANA F., FIORASO G., LUCCHESI S., BOANO P., FORNO M.G., BICCHI E., VIOLANTI D., TRENKWALDER S., OSSELLA L., BELLARDONE G., CAMPUS S., TAMBERLANI F. (2009b) - Note illustrative del Foglio 156 "Torino Est" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici - Dipartimento Difesa del Suolo, Roma, 1-143
- FRANCERI E., BORTOLAMI G., RICCI B. (1980) – Lineamenti geoidrologici della Provincia di Torino con riferimento allo stato idrogeochimico delle falde del sottosuolo dell'area ecologica torinese. Provincia di Torino, Assessorato all'Ecologia, Servizio Protezione e Ambiente.
- FORNO M. G., DE LUCA A., BONASERA M., BUCCI A., GIANOTTI F., LASAGNA M., LUCCHESI S., PELIZZA S., PIANA F. & TADDIA G. (2018) – Synthesis on the Turin subsoil stratigraphy and hydrogeology (NW Italy). Alpine and Mediterranean Quaternary, 31 (2), 147-170
- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) - Carta Topografica d'Italia a scala 1:25.000, Foglio 56 - III SE Torino. Rilievi del 1881 (ex ISTITUTO TOPOGRAFICO MILITARE) aggiornati nel 1895.
- LUCCHESI S. (2001) – Sintesi preliminare dei dati di sottosuolo della pianura piemontese centrale. Geingegneria Ambientale e Mineraria, 103 (2-3), 115-121.
- MACCHI A. (1993) - Passante ferroviario di Torino: note del giornale dei lavori del 1993. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, 41.
- MACCHI A. (1994) - Passante ferroviario di Torino. Sfondamento dell'ultimo diaframma della galleria naturale. Geingegneria Ambientale e Mineraria, XXXI (1), 83-87.
- MILANESIO A. (1826) – Cenni storici sulla città e cittadella di Torino dal 1418 al 1826. Stamperia Favale, Torino.
- REGIONE PIEMONTE (2007) - Rete di Monitoraggio delle Acque sotterranee. Direzione Risorse Idriche.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOENR002-0-4

- SACCO (1905) – Il Piacenziano sotto Torino. Boll. Soc. Geol. It., XXIII (1904), fasc. III, 497-503.
- SACCO F. (1911-12) – Geoidrologia dei pozzi profondi della Valle Padana. Parte I. Ann. R. Acc. Agric. di Torino.
- SACCO F. (1924) – Geoidrologia dei pozzi profondi della Valle Padana. Parte II, Appendice e bibliografia. Min. LL. PP. Serv. Idrografico, Uff. Idrografico del Po, Torino.
- SACCO F. (1933) – Geoidrologia dei pozzi profondi della Valle Padana. Parte III. Min. LL. PP. Serv. Idrografico, Uff. Idrografico del Po, Pubbl. 9, vol. 3. Roma.
- SACCO F. (1933) – L’Astiano sotto la pianura Torinese. Atti R. Accademia delle Scienze di Torino, LXIX, 1933-34, 11 pp.
- SACCO F. (1941) - Il terrazzamento delle fiumane padane a monte di Torino. Ann. R. Acc. Agric. di Torino, 85, 87-97.
- SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA (1969) - Carta Geologica d’Italia a scala 1:100.000. Foglio 56 -Torino, e Note illustrative. Seconda edizione. Ministero dell’Industria, del Commercio e dell’Artigianato.
- ZANNONI F. (1998) – *Le fonti documentarie del Cisternone della Cittadella in relazione con il dato archeologico*. Atti Congresso Internazionale di Archeologia, Storia e architettura militare.. Torino, 11-13 novembre 1998, 77-133.

### **Geotecnica**

- BERARDI R. (1999) - Non linear elastic approaches in foundation design. Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, Balkema.
- BOLTON (1986) - The strength and dilatancy of sands. Geotechnique 36, n° 1.
- CHARLES J.A. (1989) - Geotechnical properties of coarse grained soils. General Report, Discussion Session 8, Proceedings XII ICSMFE, vol.4, Rio de Janeiro.
- CLAYTON C.R.I. (1995) - The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use. CIRIA Report n° 143, 1995.
- CUBRINOWSKI M., ISHIHARA K. (1998) - Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils with various grain size compositions. Manuscript submitted to the Japanese Geotechnical Society for possible publication in Soils and Foundations as a technical paper.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOPENR002-0-4

- DAY, R. W. (2000) - Geotechnical engineer's portable handbook. Mc Graw Hill
- FOTI S., LAI C.G., LANCELLOTTA R. (2002) - Porosity of fluid saturated porous media from measured seismic wave velocities. Geotechnique, n° 5
- GIBBS H.J., HOLTZ W.G. (1957) - Research on determining the density of sands by spoon penetration testing. Proceedings IV ICSMFE, London, vol.1.
- GOTO S., NISHIO S., YOSHIMI Y. (1994) - Dynamic properties of gravels sampled by ground freezing. Ground failures under seismic conditions. GSP n° 44, ASCE.
- GOTO S., SUZUKI Y., NISHIO S., OHOKA H. (1992) - Mechanical properties of undisturbed Tone-Rover gravel obtained by in situ freezing method. Soil and Foundation n° 3.
- HATANAKA M., UCHIDA A. (1995) - Effects of test method on the cyclic deformation characteristics of high quality undisturbed gravel samples. GSP n° 56, ASCE
- ISHIHARA K. (1996) - Soil behaviour in earthquake geotechnics. Oxford Science Publications
- 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.
- MANASSERO V., GRILLO L., FINZI B., VIAPIANO V. (2010) – L'utilizzo delle idrofresche per la stabilizzazione degli scavi di Fondazione del nuovo grattacielo Intesa Sanpaolo di Torino. Atti del convegno Tecnologia dell'idrofresa per la realizzazione dei diaframmi profondi in terreni difficili, GEAM, Torino
- MARCUSON III W.F., BIEGANOUSKI W.A. (1977a) - Laboratory standard penetration tests on fine sands. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, n° GT6.
- MARCUSON III W.F., BIEGANOUSKI W.A. (1977b) - SPT and relative density in coarse sands. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, n° GT11.
- 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.
- SIMPSON B., CALABRESI G., SOMMER H., WALLAYS M. (1979) - Design parameters for stiff clays. General Report, Proceedings VII ECSMFE, Brighton.
- STROUD M.A. (1974) - The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks. Proceedings ESOPT I.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	07_MTL2T1A0DGEOGENR002-0-4

- STROUD M.A. (1988) - The Standard Penetration Test – Its application and interpretation. Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- YASUDA N., OTHA N., NAKAMURA A. (1994) - Deformation characteristics of undisturbed Riverbed gravel in in situ freezing sampling method. Proceedings Int. Symp. On Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials IS Hokkaido '94 (Shibuya et al eds) Balkema
- YOUNG T.D. (1972) - Factors controlling maximum and minimum density of sands. Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	ALLEGATO 1

## ALLEGATO 1

### PROVE EDOMETRICHE

### DIAGRAMMI SFORZI-DEFORMAZIONE E DEFORMABILITA'

Load-settlement-test

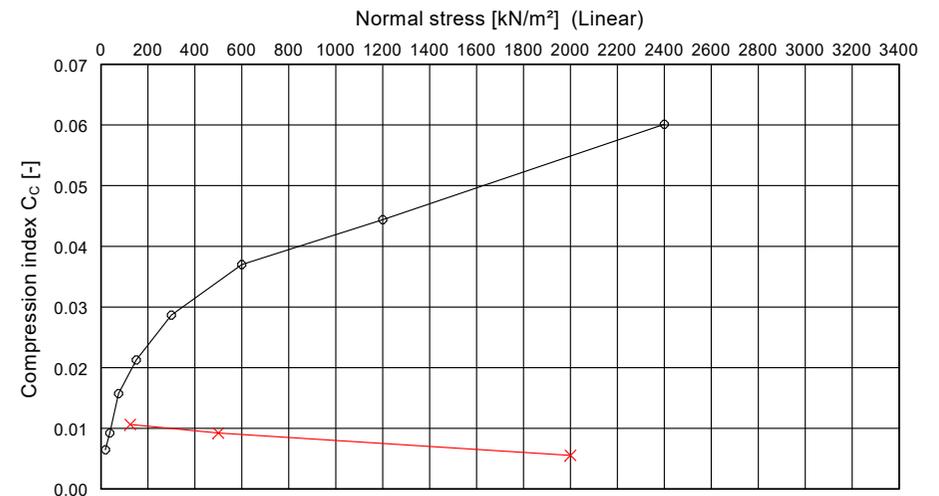
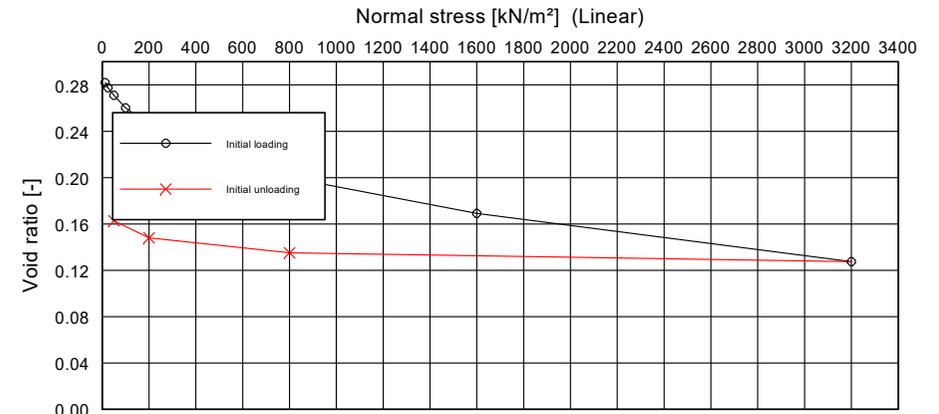
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.2820	0.00647
25.00	0.070	0.2775	
50.00	0.170	0.2711	0.00925
100.00	0.340	0.2602	0.01572
200.00	0.570	0.2454	0.02127
400.00	0.880	0.2256	0.02867
800.00	1.280	0.1999	0.03699
1600.00	1.760	0.1692	0.04439
3200.00	2.410	0.1275	0.06011
800.00	2.290	0.1352	0.05555
200.00	2.090	0.1480	0.00925
50.00	1.860	0.1628	0.01063

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.705
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.282
Wet mass [g] = 106.200	Initial void ratio [-] = 0.2820



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.070	0.170	0.340	0.570	0.880	1.280	1.760	2.410	2.290	2.090	1.860
Compression coeff. [-]		0.0065	0.0092	0.0157	0.0213	0.0287	0.0370	0.0444	0.0601	0.0055	0.0092	0.0106

Load-settlement-test

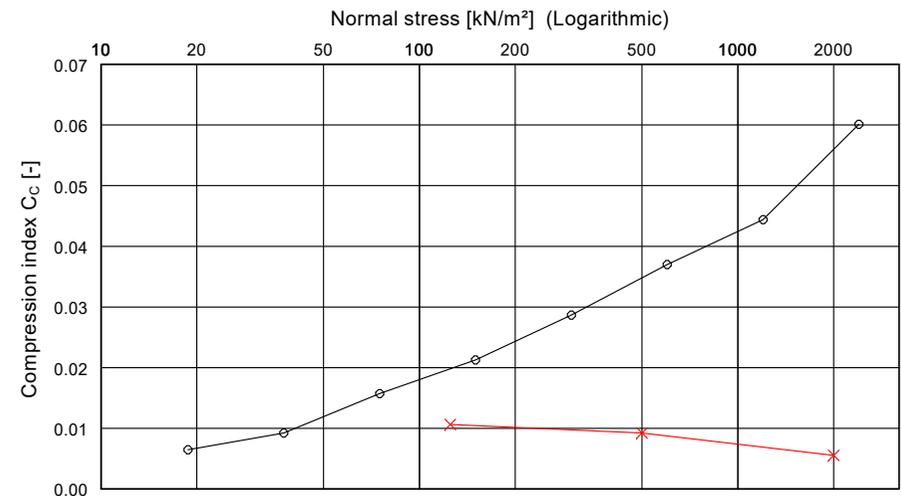
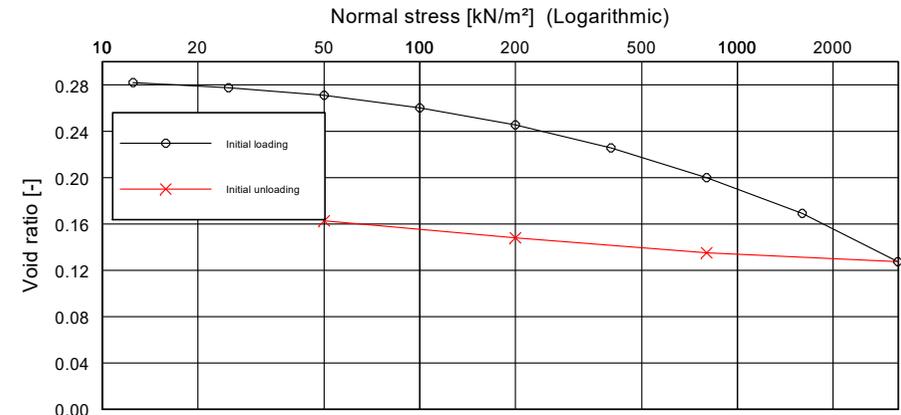
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.2820	0.00647
25.00	0.070	0.2775	
50.00	0.170	0.2711	0.00925
100.00	0.340	0.2602	0.01572
200.00	0.570	0.2454	0.02127
400.00	0.880	0.2256	0.02867
800.00	1.280	0.1999	0.03699
1600.00	1.760	0.1692	0.04439
3200.00	2.410	0.1275	0.06011
800.00	2.290	0.1352	0.00555
200.00	2.090	0.1480	0.00925
50.00	1.860	0.1628	0.01063

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.705
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.282
Wet mass [g] = 106.200	Initial void ratio [-] = 0.2820



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.070	0.170	0.340	0.570	0.880	1.280	1.760	2.410	2.290	2.090	1.860
Compression coeff. [-]		0.0065	0.0092	0.0157	0.0213	0.0287	0.0370	0.0444	0.0601	0.0055	0.0092	0.0106

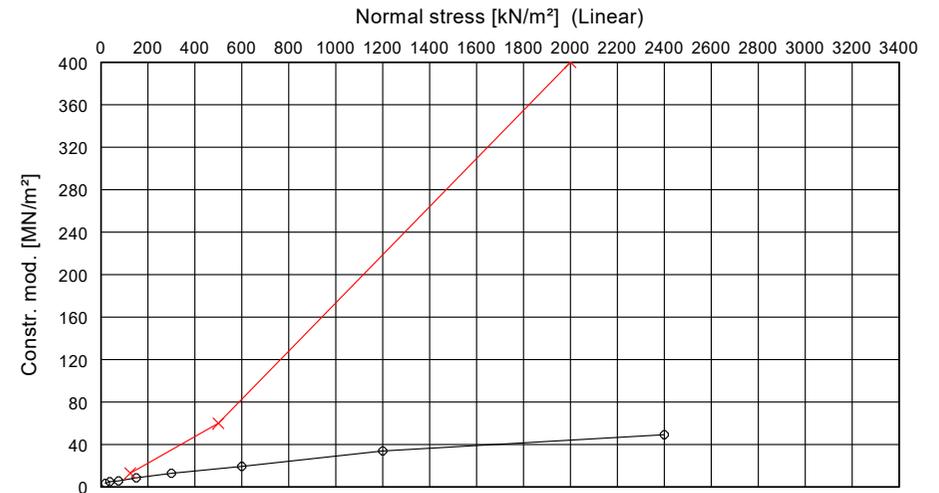
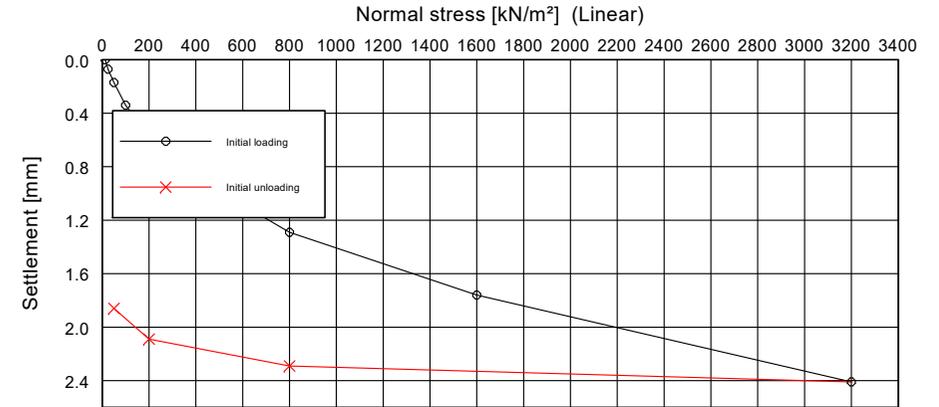
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	3.6
25.00	0.070	0.4	
50.00	0.170	0.9	5.0
100.00	0.340	1.7	5.9
200.00	0.570	2.8	8.7
400.00	0.880	4.4	12.9
800.00	1.290	6.5	19.5
1600.00	1.760	8.8	34.0
3200.00	2.410	12.1	49.2
800.00	2.290	11.4	400.0
200.00	2.090	10.4	60.0
50.00	1.860	9.3	13.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.218
Sample diameter [mm] = 50.8	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.070	0.170	0.340	0.570	0.880	1.290	1.760	2.410	2.290	2.090	1.860
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		3.6	5.0	5.9	8.7	12.9	19.5	34.0	49.2	400.0	60.0	13.0

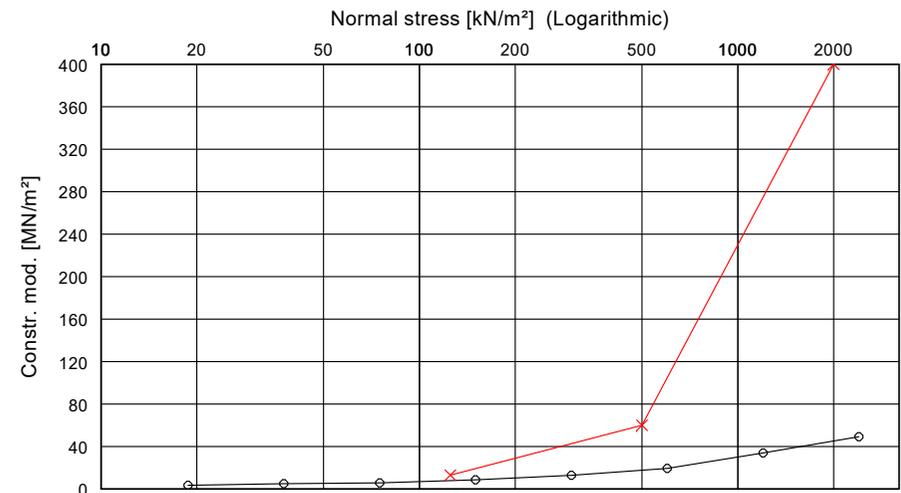
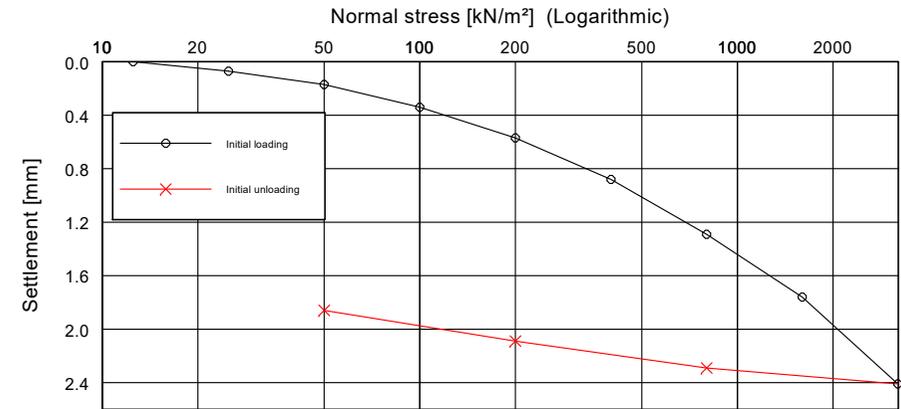
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	3.6
25.00	0.070	0.4	
50.00	0.170	0.9	5.0
100.00	0.340	1.7	5.9
200.00	0.570	2.8	8.7
400.00	0.880	4.4	12.9
800.00	1.290	6.5	19.5
1600.00	1.760	8.8	34.0
3200.00	2.410	12.1	49.2
800.00	2.290	11.4	400.0
200.00	2.090	10.4	60.0
50.00	1.860	9.3	13.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.218
Sample diameter [mm] = 50.8	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.070	0.170	0.340	0.570	0.880	1.290	1.760	2.410	2.290	2.090	1.860
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		3.6	5.0	5.9	8.7	12.9	19.5	34.0	49.2	400.0	60.0	13.0

Load-settlement-test

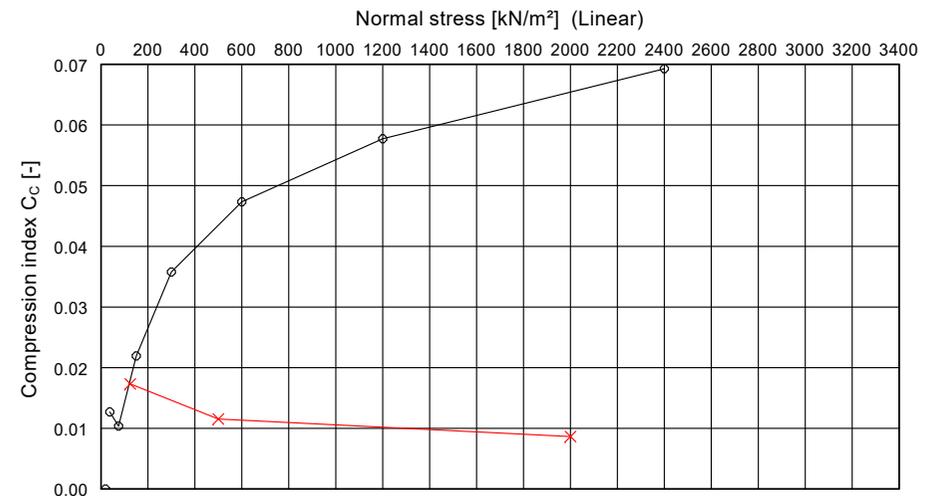
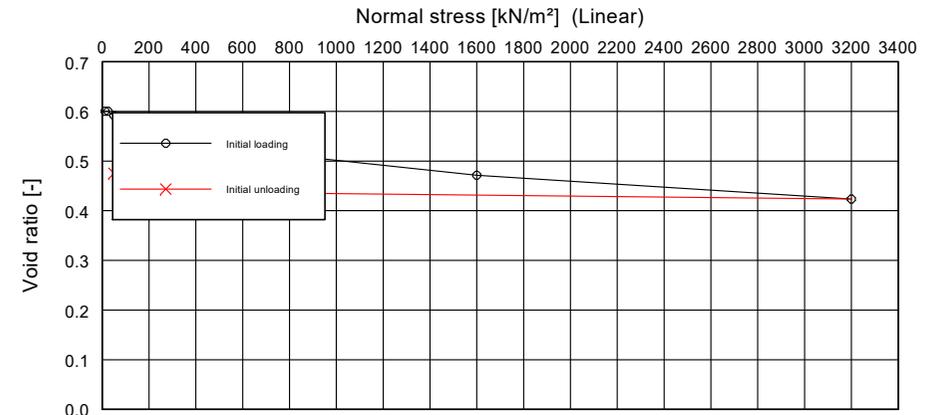
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6003	
25.00	0.000	0.6003	
50.00	0.110	0.5915	0.01270
100.00	0.200	0.5843	0.01039
200.00	0.390	0.5691	0.02193
400.00	0.700	0.5443	0.03579
800.00	1.110	0.5115	0.04733
1600.00	1.610	0.4715	0.05772
3200.00	2.210	0.4235	0.06926
800.00	2.060	0.4355	0.00866
200.00	1.860	0.4515	0.01154
50.00	1.560	0.4755	0.01732

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.210
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.6003



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.200	0.390	0.700	1.110	1.610	2.210	2.060	1.860	1.560
Compression coeff. [-]		-	0.0127	0.0104	0.0219	0.0358	0.0473	0.0577	0.0693	0.0087	0.0115	0.0173

Load-settlement-test

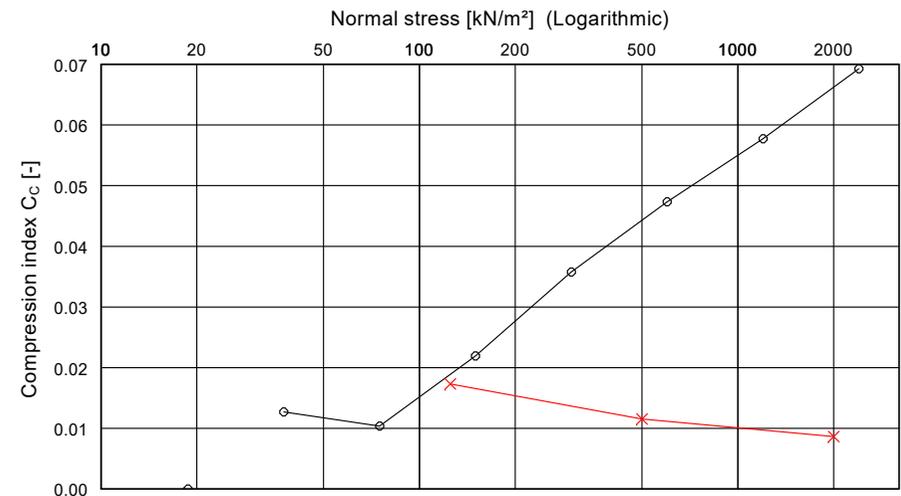
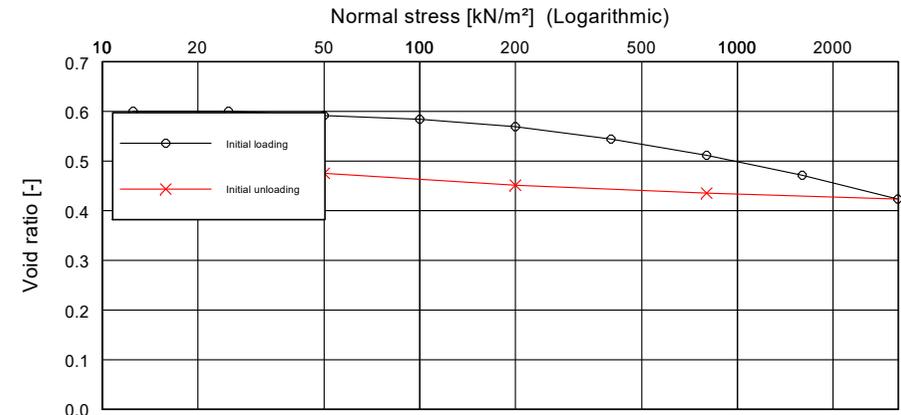
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6003	
25.00	0.000	0.6003	
50.00	0.110	0.5915	0.01270
100.00	0.200	0.5843	0.01039
200.00	0.390	0.5691	0.02193
400.00	0.700	0.5443	0.03579
800.00	1.110	0.5115	0.04733
1600.00	1.610	0.4715	0.05772
3200.00	2.210	0.4235	0.06926
800.00	2.060	0.4355	0.00866
200.00	1.860	0.4515	0.01154
50.00	1.560	0.4755	0.01732

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.210
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.6003



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.200	0.390	0.700	1.110	1.610	2.210	2.060	1.860	1.560
Compression coeff. [-]		-	0.0127	0.0104	0.0219	0.0358	0.0473	0.0577	0.0693	0.0087	0.0115	0.0173

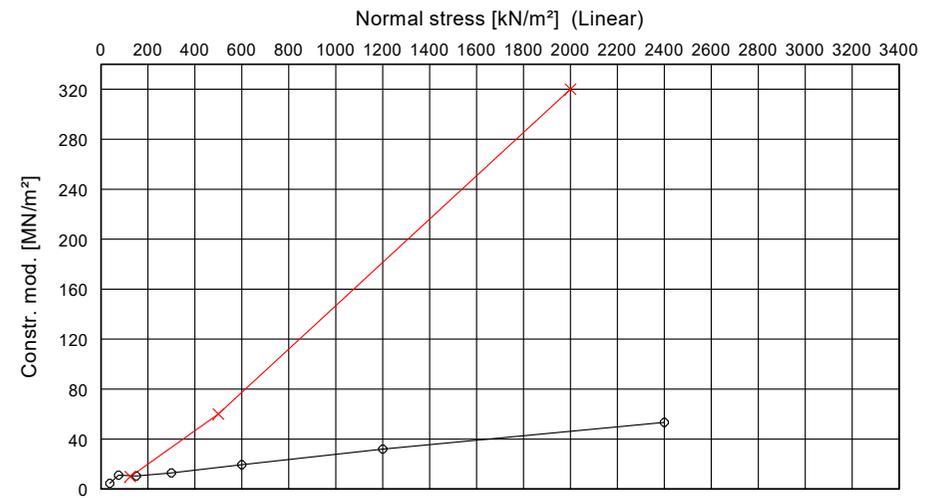
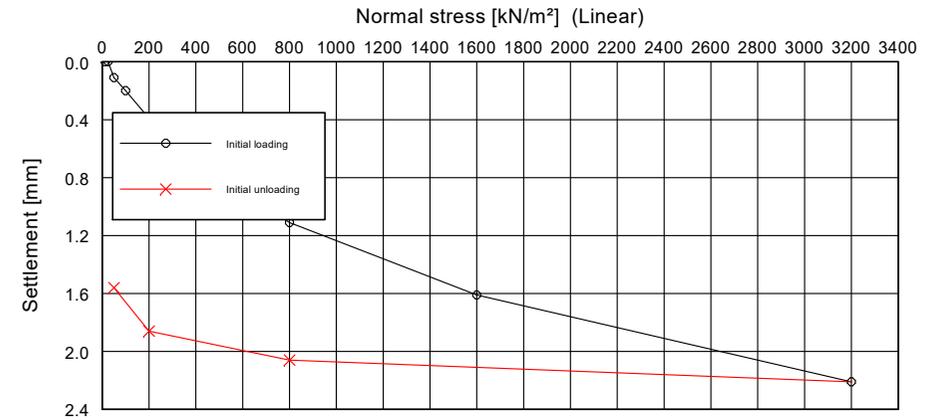
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.110	0.6	4.5
100.00	0.200	1.0	11.1
200.00	0.390	2.0	10.5
400.00	0.700	3.5	12.9
800.00	1.110	5.6	19.5
1600.00	1.610	8.1	32.0
3200.00	2.210	11.1	53.3
800.00	2.060	10.3	320.0
200.00	1.860	9.3	60.0
50.00	1.560	7.8	10.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.210
Sample diameter [mm] = 50.0	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.200	0.390	0.700	1.110	1.610	2.210	2.060	1.860	1.560
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	4.5	11.1	10.5	12.9	19.5	32.0	53.3	320.0	60.0	10.0

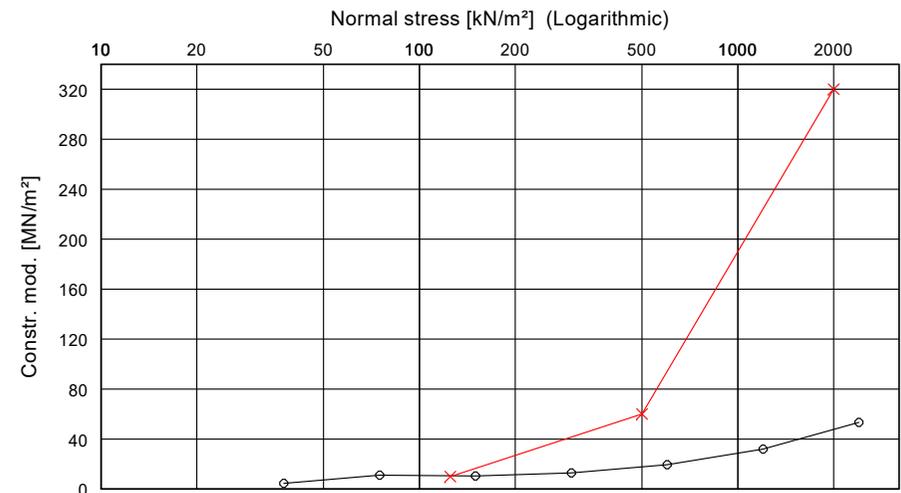
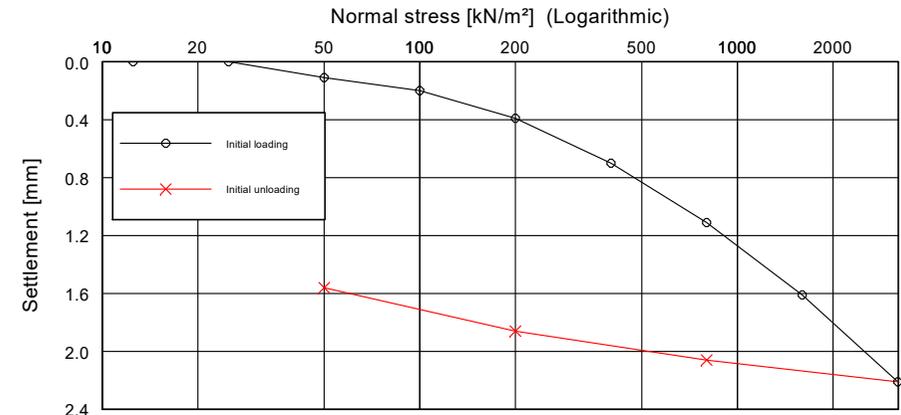
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.110	0.6	4.5
100.00	0.200	1.0	11.1
200.00	0.390	2.0	10.5
400.00	0.700	3.5	12.9
800.00	1.110	5.6	19.5
1600.00	1.610	8.1	32.0
3200.00	2.210	11.1	53.3
800.00	2.060	10.3	320.0
200.00	1.860	9.3	60.0
50.00	1.560	7.8	10.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.210
Sample diameter [mm] = 50.0	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.200	0.390	0.700	1.110	1.610	2.210	2.060	1.860	1.560
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	4.5	11.1	10.5	12.9	19.5	32.0	53.3	320.0	60.0	10.0

Load-settlement-test

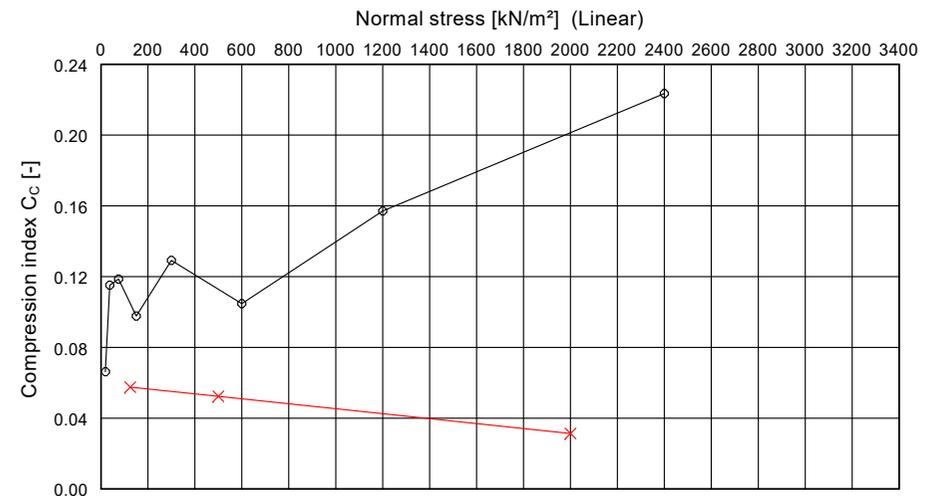
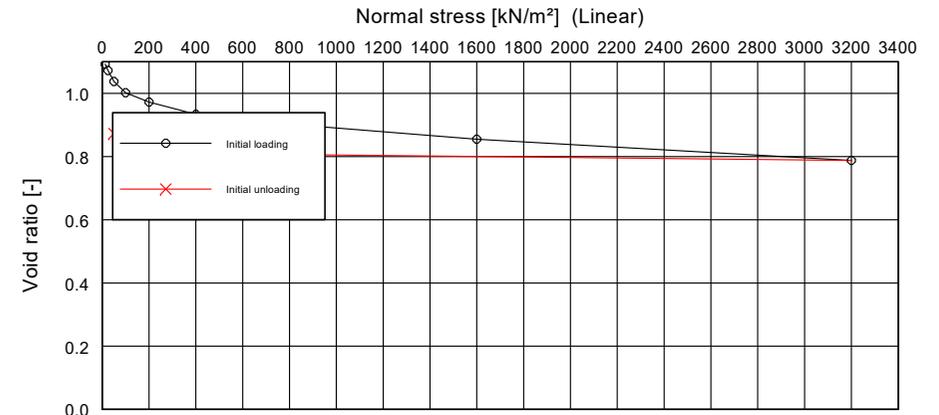
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.090	1.0923	0.06633
25.00	0.280	1.0723	
50.00	0.610	1.0377	0.11520
100.00	0.950	1.0019	0.11869
200.00	1.230	0.9725	0.09775
400.00	1.600	0.9336	0.12916
800.00	1.900	0.9021	0.10473
1600.00	2.350	0.8548	0.15709
3200.00	2.990	0.7875	0.22342
800.00	2.810	0.8065	0.03142
200.00	2.510	0.8380	0.05236
50.00	2.180	0.8727	0.05760

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.746
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 25.000	Initial water content [-] = 0.226
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 1.1018



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.090	0.280	0.610	0.950	1.230	1.600	1.900	2.350	2.990	2.810	2.510	2.180
Compression coeff. [-]		0.0663	0.1152	0.1187	0.0977	0.1292	0.1047	0.1571	0.2234	0.0314	0.0524	0.0576

Load-settlement-test

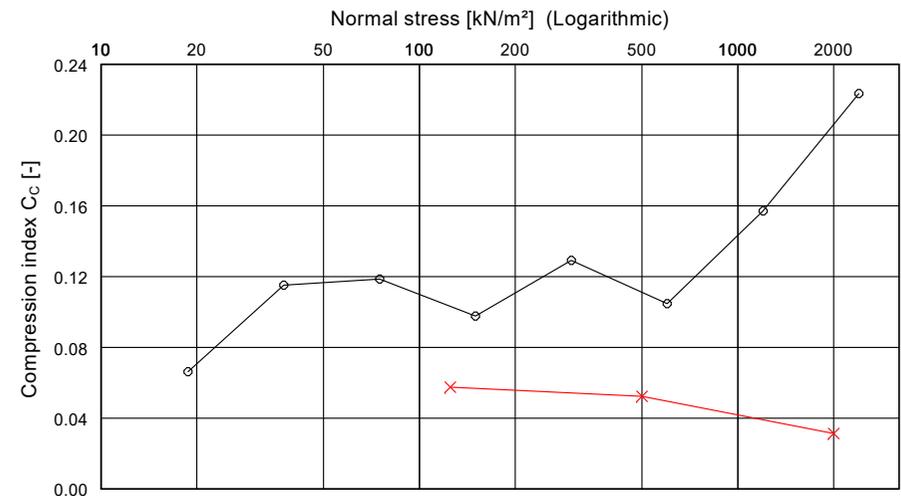
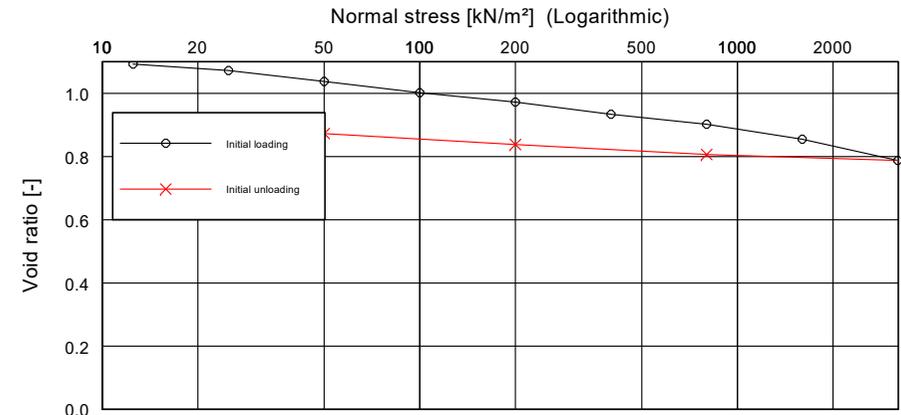
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.090	1.0923	0.06633
25.00	0.280	1.0723	
50.00	0.610	1.0377	0.11520
100.00	0.950	1.0019	0.11869
200.00	1.230	0.9725	0.09775
400.00	1.600	0.9336	0.12916
800.00	1.900	0.9021	0.10473
1600.00	2.350	0.8548	0.15709
3200.00	2.990	0.7875	0.22342
800.00	2.810	0.8065	0.03142
200.00	2.510	0.8380	0.05236
50.00	2.180	0.8727	0.05760

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.746
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 25.000	Initial water content [-] = 0.226
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 1.1018



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.090	0.280	0.610	0.950	1.230	1.600	1.900	2.350	2.990	2.810	2.510	2.180
Compression coeff. [-]		0.0663	0.1152	0.1187	0.0977	0.1292	0.1047	0.1571	0.2234	0.0314	0.0524	0.0576

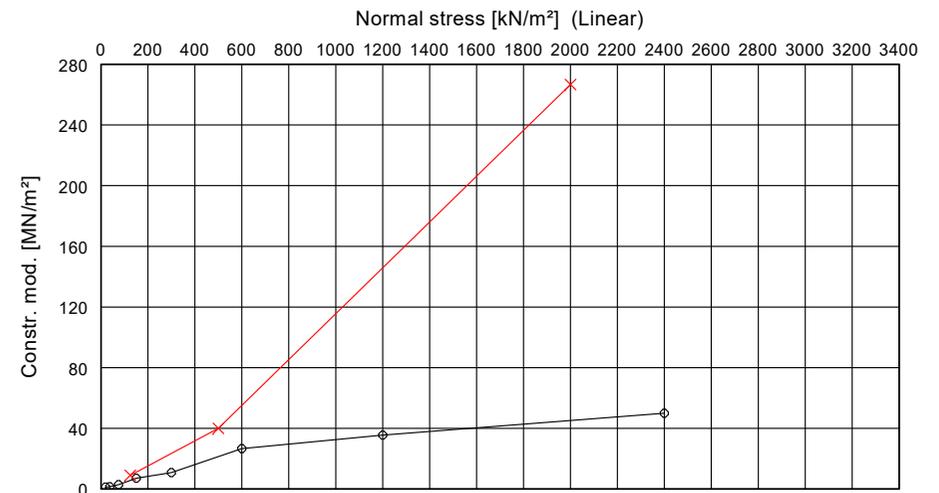
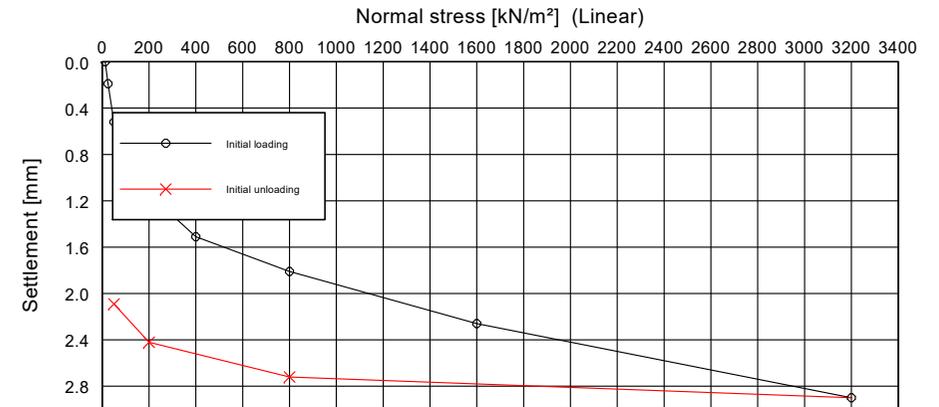
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.090	0.0	1.3
25.00	0.280	1.0	
50.00	0.610	2.6	1.5
100.00	0.950	4.3	2.9
200.00	1.230	5.7	7.1
400.00	1.600	7.6	10.8
800.00	1.900	9.0	26.7
1600.00	2.350	11.3	35.6
3200.00	2.990	14.5	50.0
800.00	2.810	13.6	266.7
200.00	2.510	12.1	40.0
50.00	2.180	10.5	9.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.226
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.090	0.280	0.610	0.950	1.230	1.600	1.900	2.350	2.990	2.810	2.510	2.180
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.3	1.5	2.9	7.1	10.8	26.7	35.6	50.0	266.7	40.0	9.1

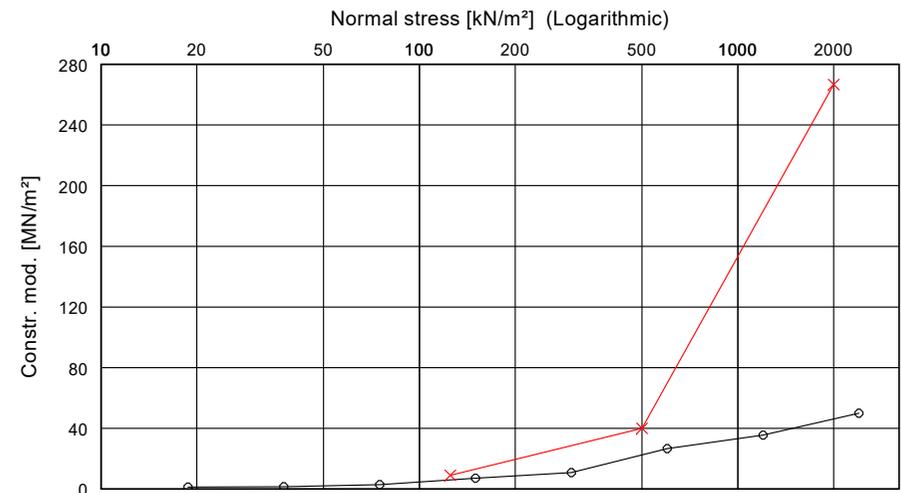
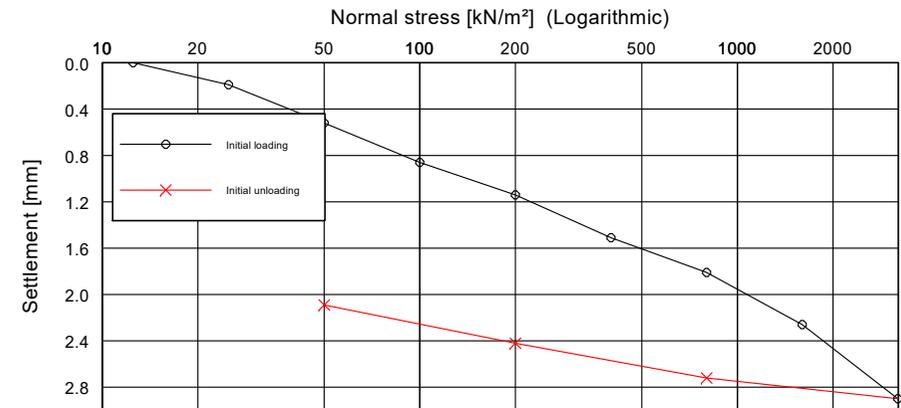
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.090	0.0	1.3
25.00	0.280	1.0	
50.00	0.610	2.6	1.5
100.00	0.950	4.3	2.9
200.00	1.230	5.7	7.1
400.00	1.600	7.6	10.8
800.00	1.900	9.0	26.7
1600.00	2.350	11.3	35.6
3200.00	2.990	14.5	50.0
800.00	2.810	13.6	266.7
200.00	2.510	12.1	40.0
50.00	2.180	10.5	9.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.226
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.090	0.280	0.610	0.950	1.230	1.600	1.900	2.350	2.990	2.810	2.510	2.180
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.3	1.5	2.9	7.1	10.8	26.7	35.6	50.0	266.7	40.0	9.1

Load-settlement-test

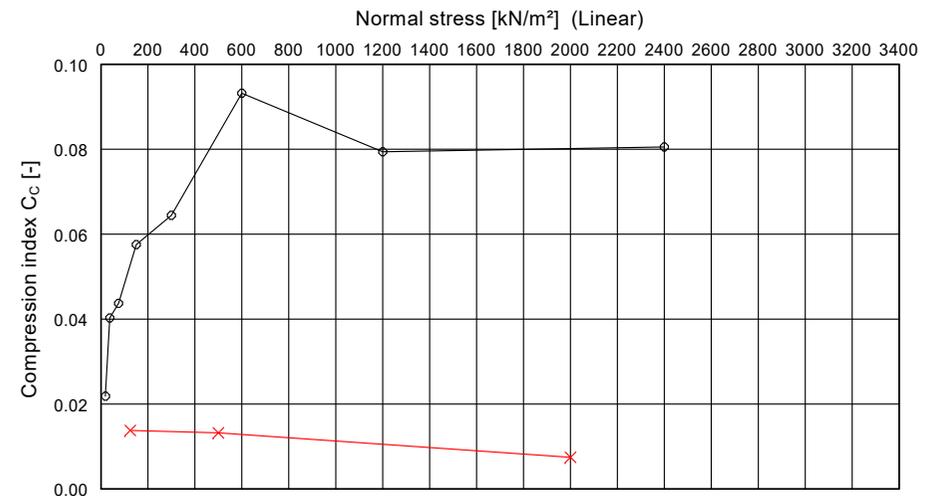
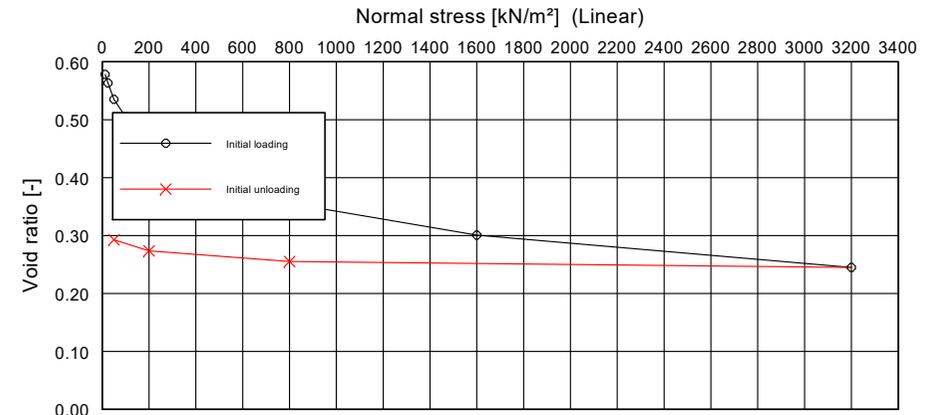
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.210	0.5782	0.02186
25.00	0.400	0.5631	
50.00	0.750	0.5352	0.04027
100.00	1.130	0.5048	0.04372
200.00	1.630	0.4650	0.05753
400.00	2.190	0.4203	0.06443
800.00	3.000	0.3557	0.09319
1600.00	3.690	0.3007	0.07939
3200.00	4.390	0.2449	0.08054
800.00	4.260	0.2552	0.00748
200.00	4.030	0.2736	0.01323
50.00	3.790	0.2927	0.01381

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.705
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.203
Wet mass [g] = 80.100	Initial void ratio [-] = 0.5950



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.210	0.400	0.750	1.130	1.630	2.190	3.000	3.690	4.390	4.260	4.030	3.790
Compression coeff. [-]		0.0219	0.0403	0.0437	0.0575	0.0644	0.0932	0.0794	0.0805	0.0075	0.0132	0.0138

Load-settlement-test

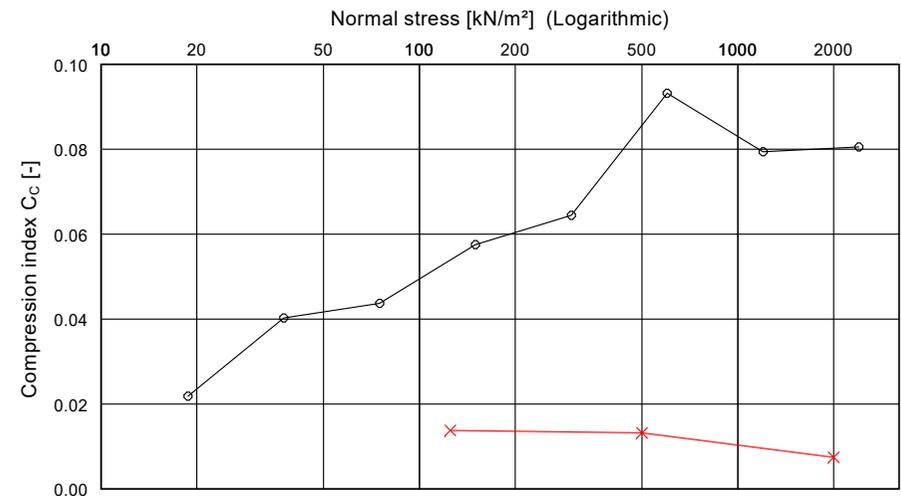
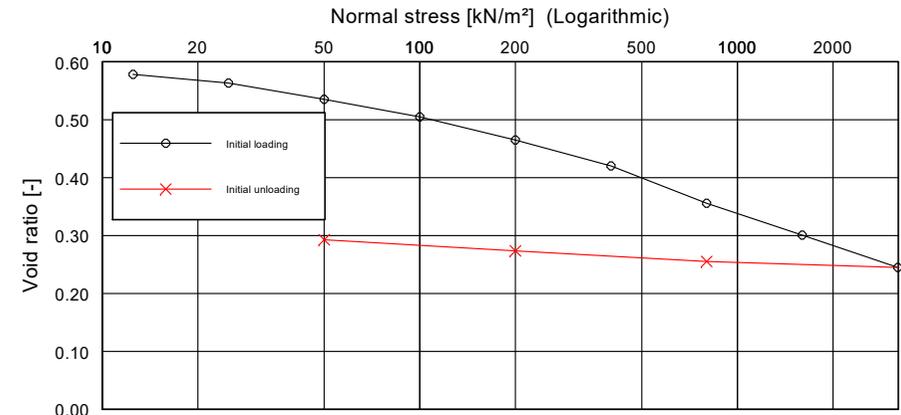
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.210	0.5782	0.02186
25.00	0.400	0.5631	
50.00	0.750	0.5352	0.04027
100.00	1.130	0.5048	0.04372
200.00	1.630	0.4650	0.05753
400.00	2.190	0.4203	0.06443
800.00	3.000	0.3557	0.09319
1600.00	3.690	0.3007	0.07939
3200.00	4.390	0.2449	0.08054
800.00	4.260	0.2552	0.00748
200.00	4.030	0.2736	0.01323
50.00	3.790	0.2927	0.01381

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.705
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.203
Wet mass [g] = 80.100	Initial void ratio [-] = 0.5950



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.210	0.400	0.750	1.130	1.630	2.190	3.000	3.690	4.390	4.260	4.030	3.790
Compression coeff. [-]		0.0219	0.0403	0.0437	0.0575	0.0644	0.0932	0.0794	0.0805	0.0075	0.0132	0.0138

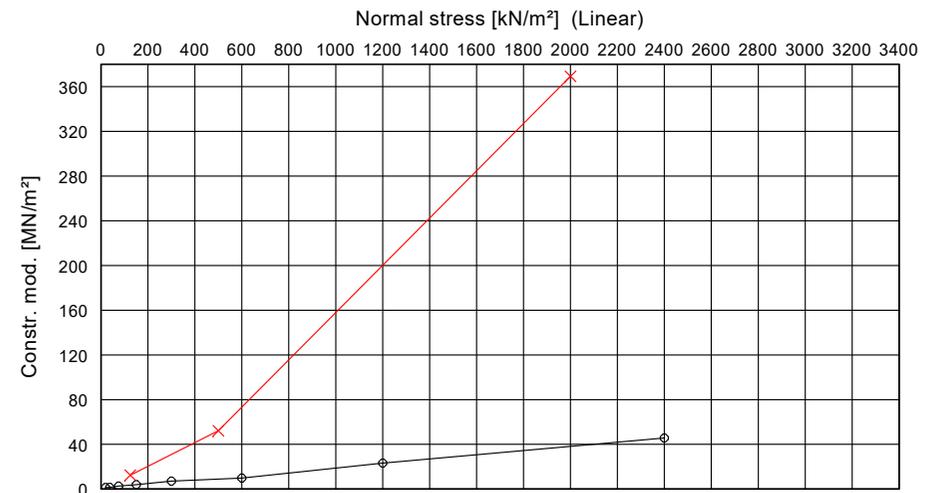
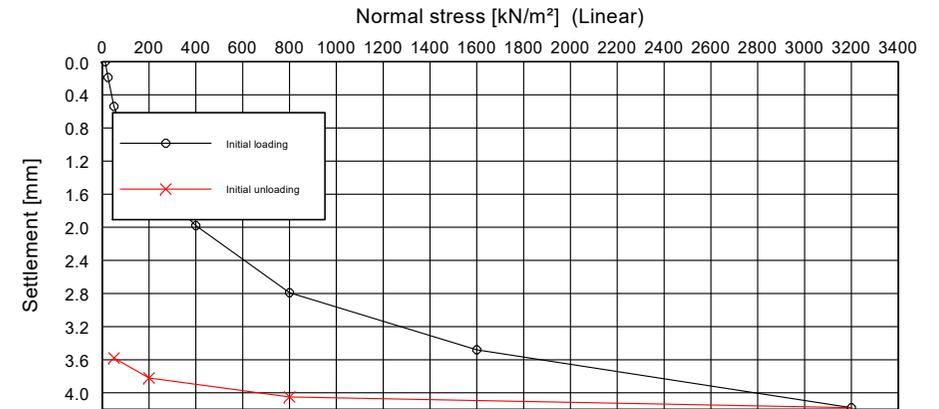
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.210	0.0	1.3
25.00	0.400	1.0	
50.00	0.750	2.7	1.4
100.00	1.130	4.6	2.6
200.00	1.630	7.1	4.0
400.00	2.190	9.9	7.1
800.00	3.000	13.9	9.9
1600.00	3.690	17.4	23.2
3200.00	4.390	20.9	45.7
800.00	4.260	20.3	369.2
200.00	4.030	19.1	52.2
50.00	3.790	17.9	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.203
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.210	0.400	0.750	1.130	1.630	2.190	3.000	3.690	4.390	4.260	4.030	3.790
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.3	1.4	2.6	4.0	7.1	9.9	23.2	45.7	369.2	52.2	12.5

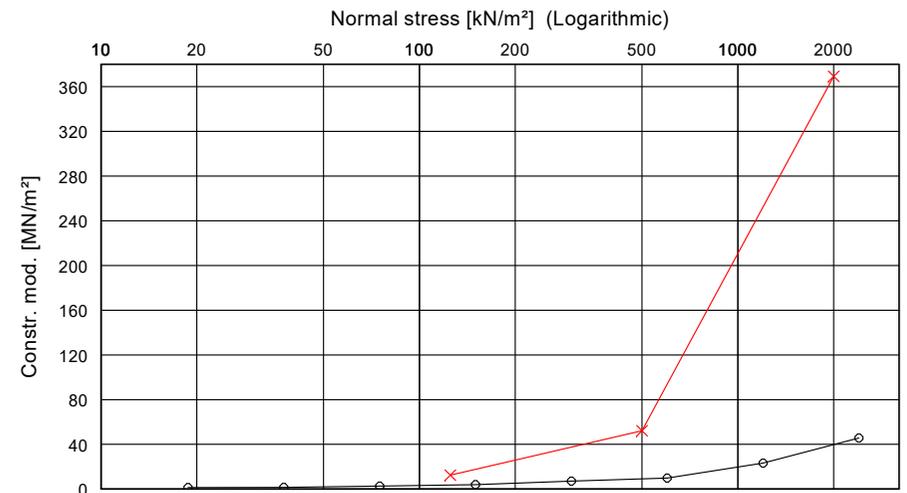
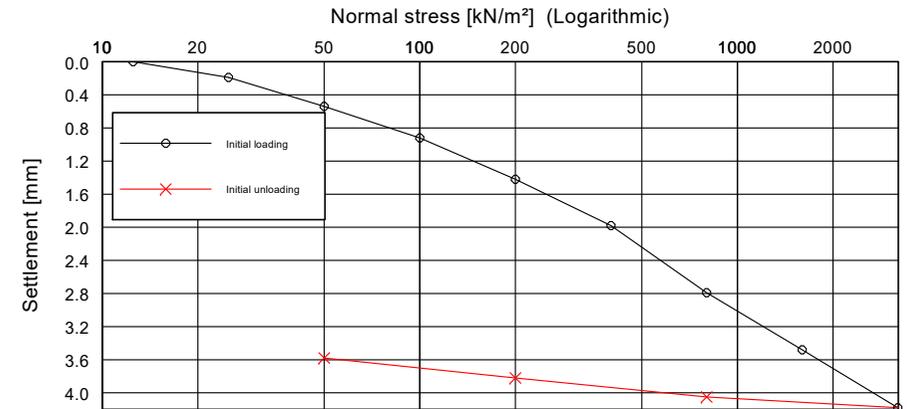
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.210	0.0	1.3
25.00	0.400	1.0	
50.00	0.750	2.7	1.4
100.00	1.130	4.6	2.6
200.00	1.630	7.1	4.0
400.00	2.190	9.9	7.1
800.00	3.000	13.9	9.9
1600.00	3.690	17.4	23.2
3200.00	4.390	20.9	45.7
800.00	4.260	20.3	369.2
200.00	4.030	19.1	52.2
50.00	3.790	17.9	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.203
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.210	0.400	0.750	1.130	1.630	2.190	3.000	3.690	4.390	4.260	4.030	3.790
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.3	1.4	2.6	4.0	7.1	9.9	23.2	45.7	369.2	52.2	12.5

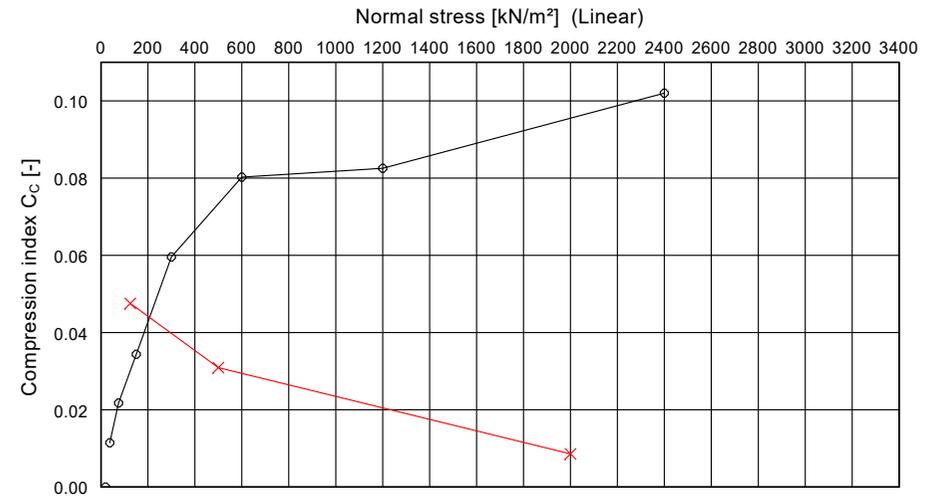
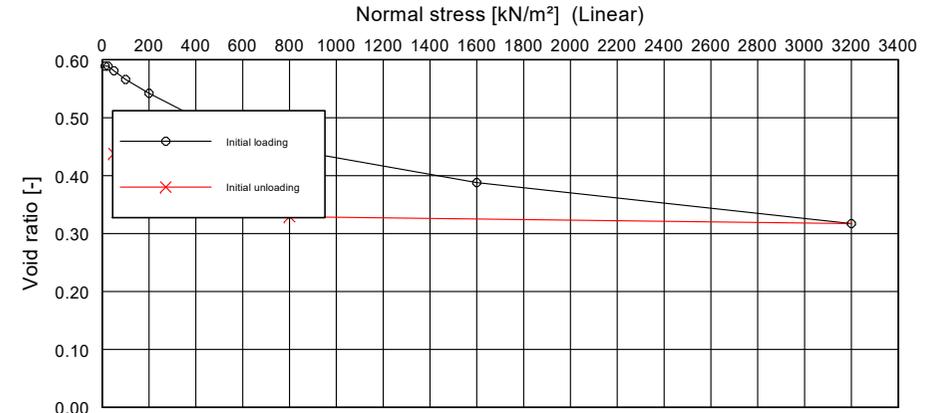
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5890	
25.00	0.000	0.5890	
50.00	0.100	0.5811	0.01146
100.00	0.290	0.5660	0.02178
200.00	0.590	0.5421	0.03439
400.00	1.110	0.5008	0.05960
800.00	1.810	0.4452	0.08024
1600.00	2.530	0.3880	0.08253
3200.00	3.420	0.3173	0.10201
800.00	3.270	0.3292	0.00860
200.00	2.730	0.3721	0.03095
50.00	1.900	0.4381	0.04757



Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.668
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.203
Wet mass [g] = 79.300	Initial void ratio [-] = 0.5890

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.100	0.290	0.590	1.110	1.810	2.530	3.420	3.270	2.730	1.900
Compression coeff. [-]		-	0.0115	0.0218	0.0344	0.0596	0.0802	0.0825	0.1020	0.0086	0.0309	0.0476

Load-settlement-test

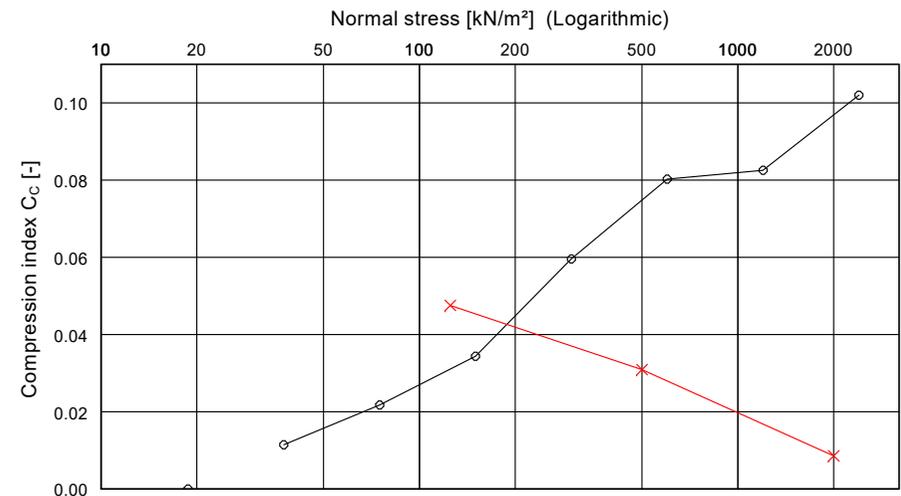
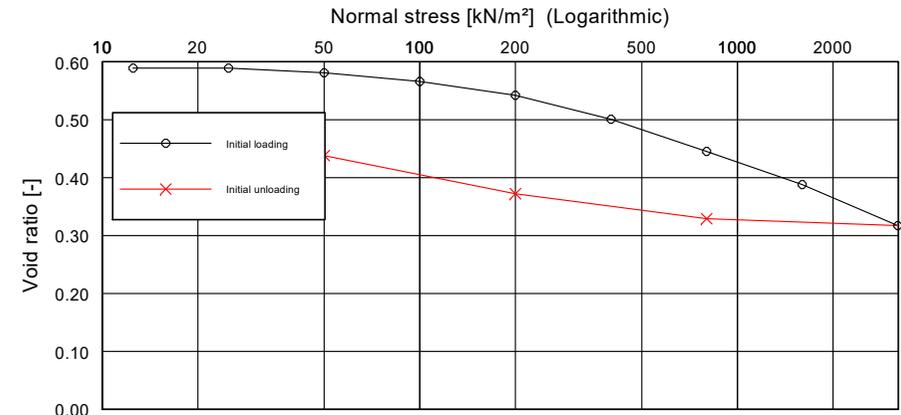
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5890	
25.00	0.000	0.5890	
50.00	0.100	0.5811	0.01146
100.00	0.290	0.5660	0.02178
200.00	0.590	0.5421	0.03439
400.00	1.110	0.5008	0.05960
800.00	1.810	0.4452	0.08024
1600.00	2.530	0.3880	0.08253
3200.00	3.420	0.3173	0.10201
800.00	3.270	0.3292	0.00860
200.00	2.730	0.3721	0.03095
50.00	1.900	0.4381	0.04757

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.668
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.203
Wet mass [g] = 79.300	Initial void ratio [-] = 0.5890



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.100	0.290	0.590	1.110	1.810	2.530	3.420	3.270	2.730	1.900
Compression coeff. [-]		-	0.0115	0.0218	0.0344	0.0596	0.0802	0.0825	0.1020	0.0086	0.0309	0.0476

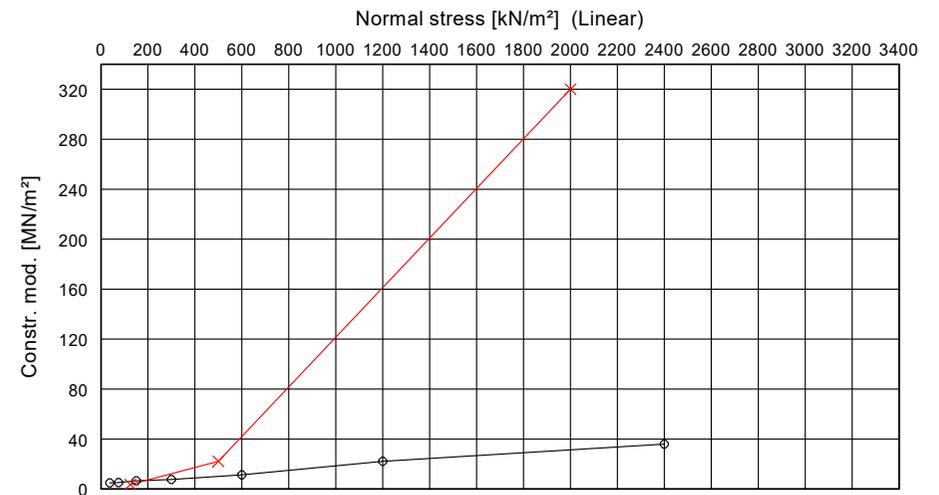
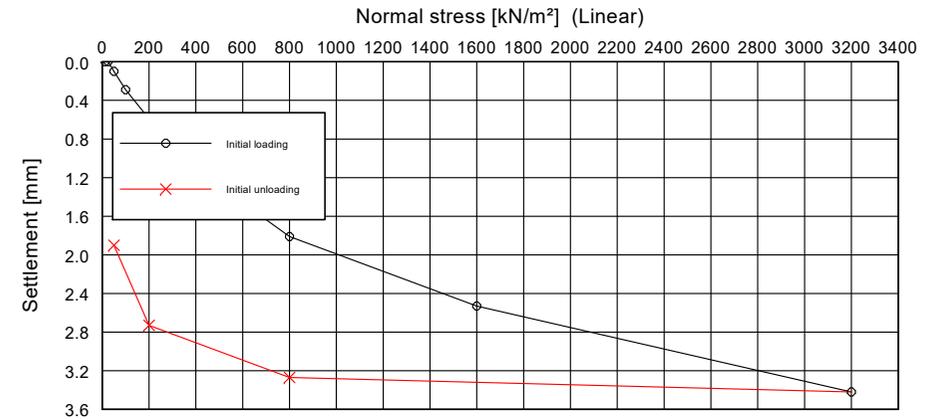
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.100	0.5	5.0
100.00	0.290	1.4	5.3
200.00	0.590	2.9	6.7
400.00	1.110	5.6	7.7
800.00	1.810	9.1	11.4
1600.00	2.530	12.6	22.2
3200.00	3.420	17.1	36.0
800.00	3.270	16.4	320.0
200.00	2.730	13.7	22.2
50.00	1.900	9.5	3.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.203
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.100	0.290	0.590	1.110	1.810	2.530	3.420	3.270	2.730	1.900
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	5.0	5.3	6.7	7.7	11.4	22.2	36.0	320.0	22.2	3.6

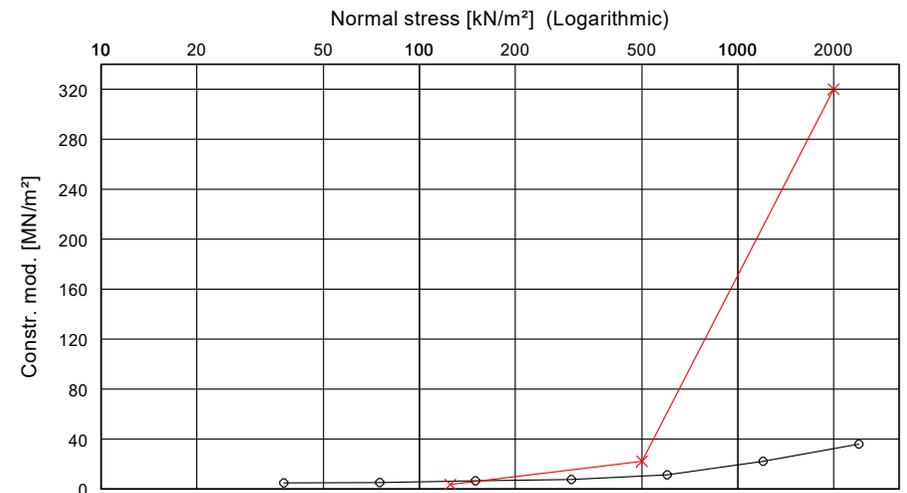
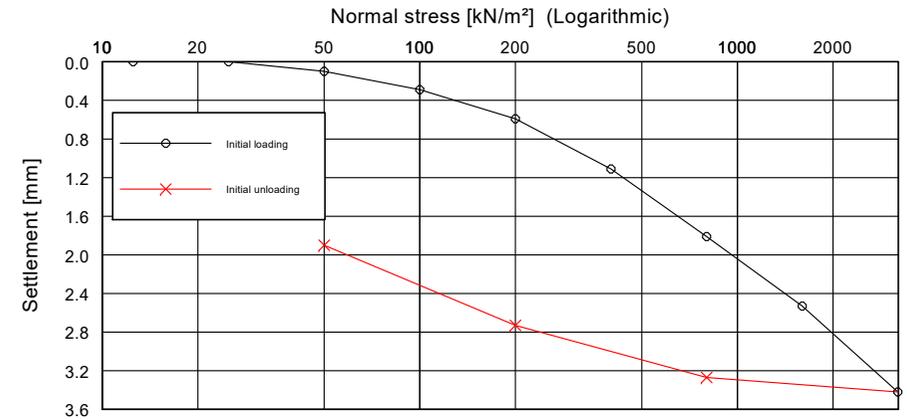
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.100	0.5	5.0
100.00	0.290	1.4	5.3
200.00	0.590	2.9	6.7
400.00	1.110	5.6	7.7
800.00	1.810	9.1	11.4
1600.00	2.530	12.6	22.2
3200.00	3.420	17.1	36.0
800.00	3.270	16.4	320.0
200.00	2.730	13.7	22.2
50.00	1.900	9.5	3.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.203
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.100	0.290	0.590	1.110	1.810	2.530	3.420	3.270	2.730	1.900
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	5.0	5.3	6.7	7.7	11.4	22.2	36.0	320.0	22.2	3.6

Load-settlement-test

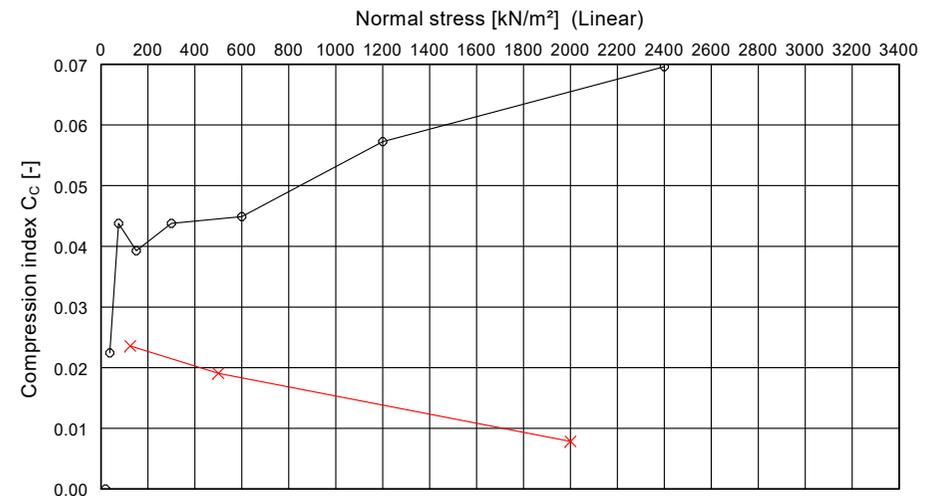
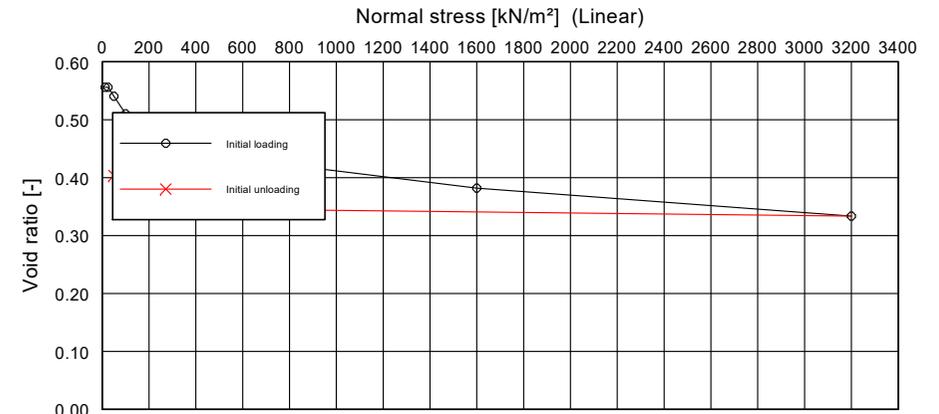
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5561	
25.00	0.000	0.5561	
50.00	0.200	0.5405	0.02245
100.00	0.590	0.5102	0.04378
200.00	0.940	0.4829	0.03929
400.00	1.330	0.4526	0.04378
800.00	1.730	0.4215	0.04490
1600.00	2.240	0.3818	0.05725
3200.00	2.860	0.3335	0.06959
800.00	2.720	0.3444	0.00786
200.00	2.380	0.3709	0.01908
50.00	1.960	0.4036	0.02357

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.676
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.192
Wet mass [g] = 80.480	Initial void ratio [-] = 0.5561



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.200	0.590	0.940	1.330	1.730	2.240	2.860	2.720	2.380	1.960
Compression coeff. [-]		-	0.0224	0.0438	0.0393	0.0438	0.0449	0.0572	0.0696	0.0079	0.0191	0.0236

Load-settlement-test

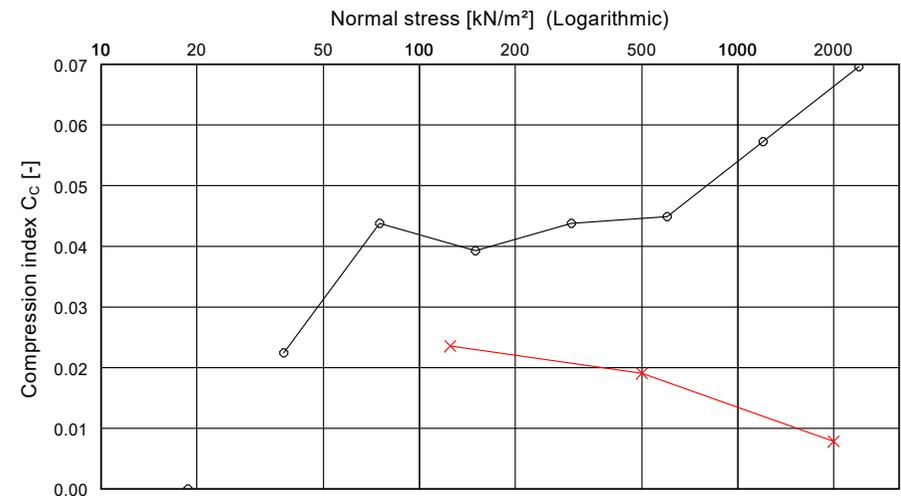
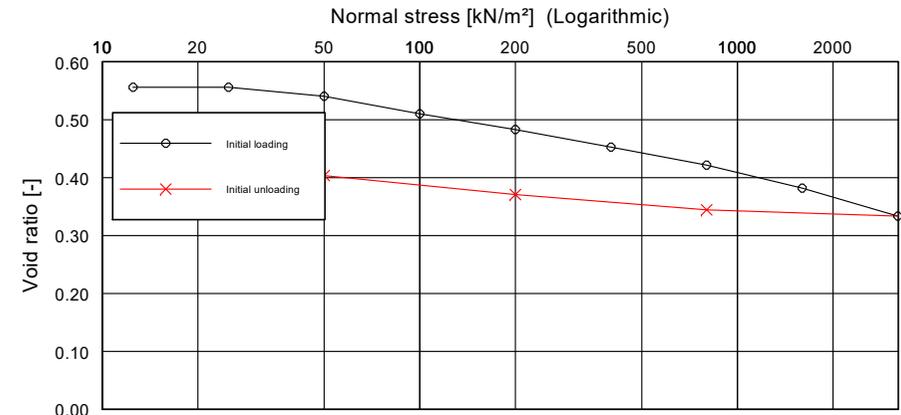
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5561	
25.00	0.000	0.5561	
50.00	0.200	0.5405	0.02245
100.00	0.590	0.5102	0.04378
200.00	0.940	0.4829	0.03929
400.00	1.330	0.4526	0.04378
800.00	1.730	0.4215	0.04490
1600.00	2.240	0.3818	0.05725
3200.00	2.860	0.3335	0.06959
800.00	2.720	0.3444	0.00786
200.00	2.380	0.3709	0.01908
50.00	1.960	0.4036	0.02357

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.676
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.192
Wet mass [g] = 80.480	Initial void ratio [-] = 0.5561



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.200	0.590	0.940	1.330	1.730	2.240	2.860	2.720	2.380	1.960
Compression coeff. [-]		-	0.0224	0.0438	0.0393	0.0438	0.0449	0.0572	0.0696	0.0079	0.0191	0.0236

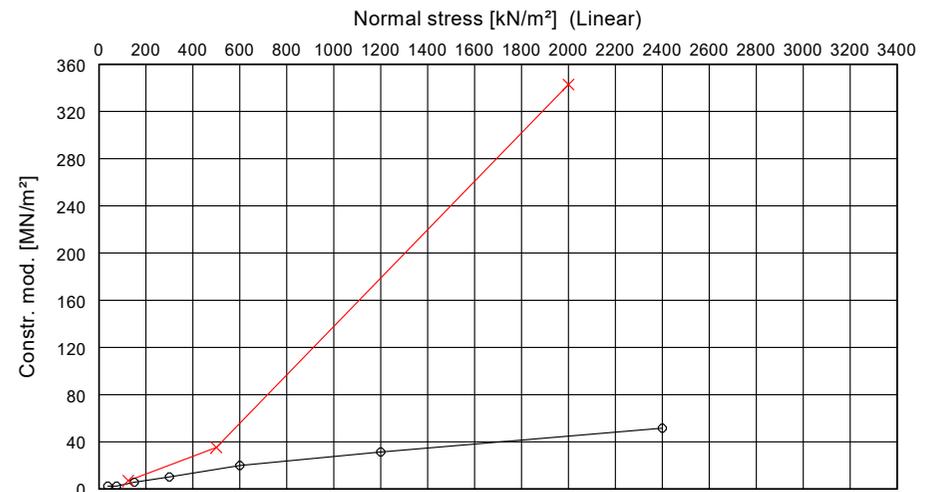
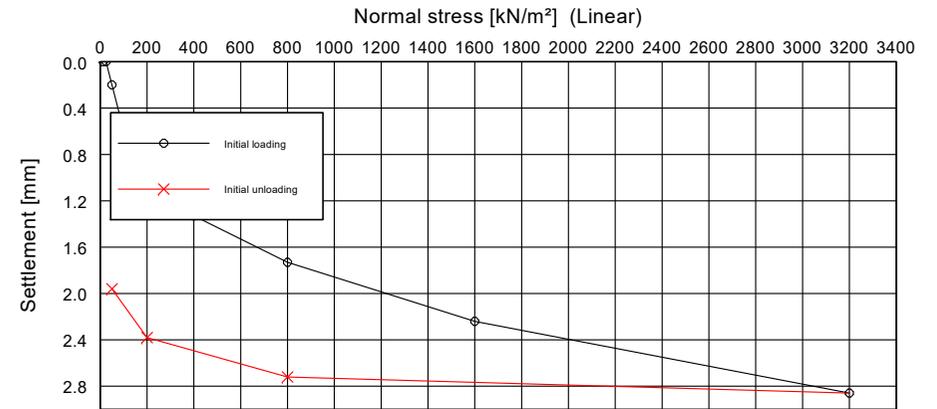
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.200	1.0	2.5
100.00	0.590	2.9	2.6
200.00	0.940	4.7	5.7
400.00	1.330	6.7	10.3
800.00	1.730	8.7	20.0
1600.00	2.240	11.2	31.4
3200.00	2.860	14.3	51.6
800.00	2.720	13.6	342.9
200.00	2.380	11.9	35.3
50.00	1.960	9.8	7.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.192
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.200	0.590	0.940	1.330	1.730	2.240	2.860	2.720	2.380	1.960
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	2.5	2.6	5.7	10.3	20.0	31.4	51.6	342.9	35.3	7.1

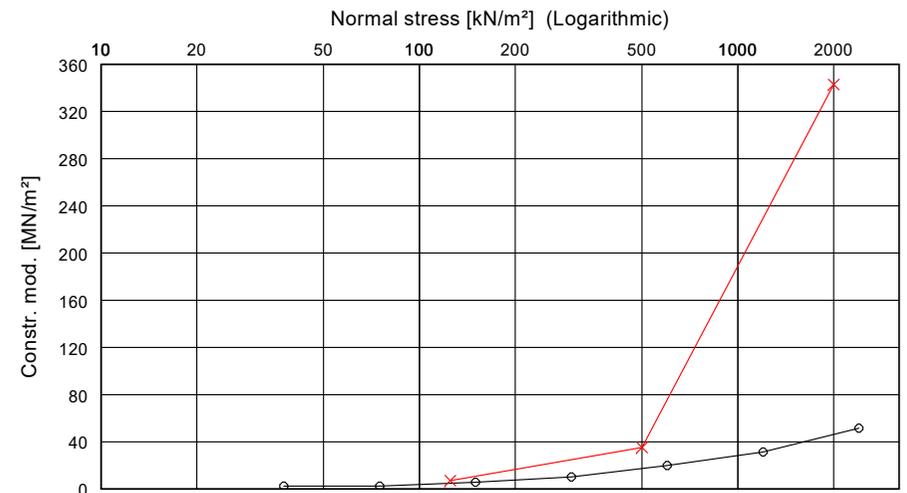
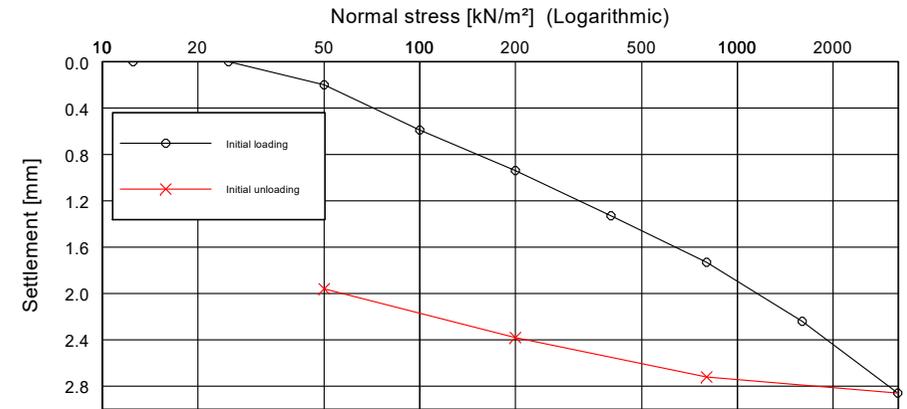
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.200	1.0	2.5
100.00	0.590	2.9	2.6
200.00	0.940	4.7	5.7
400.00	1.330	6.7	10.3
800.00	1.730	8.7	20.0
1600.00	2.240	11.2	31.4
3200.00	2.860	14.3	51.6
800.00	2.720	13.6	342.9
200.00	2.380	11.9	35.3
50.00	1.960	9.8	7.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.192
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.200	0.590	0.940	1.330	1.730	2.240	2.860	2.720	2.380	1.960
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	2.5	2.6	5.7	10.3	20.0	31.4	51.6	342.9	35.3	7.1

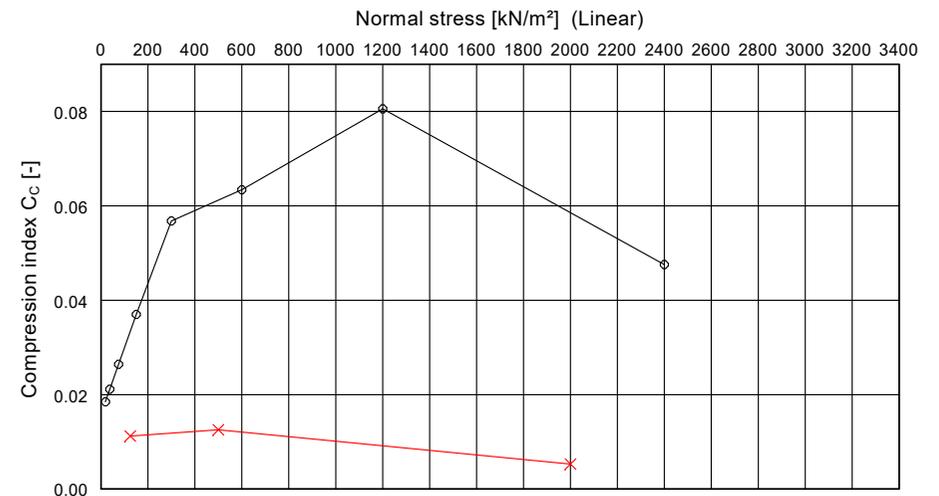
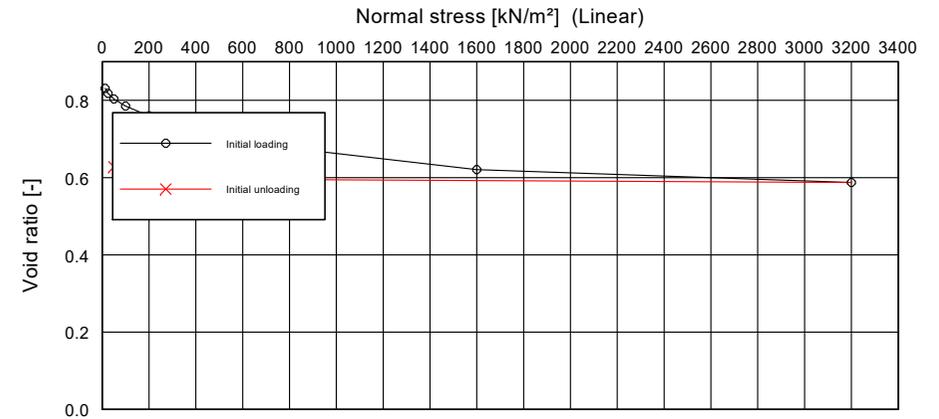
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.8311	0.01849
25.00	0.140	0.8183	
50.00	0.300	0.8036	0.02113
100.00	0.500	0.7853	0.02642
200.00	0.780	0.7597	0.03698
400.00	1.210	0.7203	0.05680
800.00	1.690	0.6763	0.06340
1600.00	2.300	0.6205	0.08057
3200.00	2.660	0.5875	0.04755
800.00	2.580	0.5949	0.00528
200.00	2.390	0.6123	0.01255
50.00	2.220	0.6278	0.01123



Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.642
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.199
Wet mass [g] = 67.920	Initial void ratio [-] = 0.8311

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.140	0.300	0.500	0.780	1.210	1.690	2.300	2.660	2.580	2.390	2.220
Compression coeff. [-]		0.0185	0.0211	0.0264	0.0370	0.0568	0.0634	0.0806	0.0476	0.0053	0.0125	0.0112

Load-settlement-test

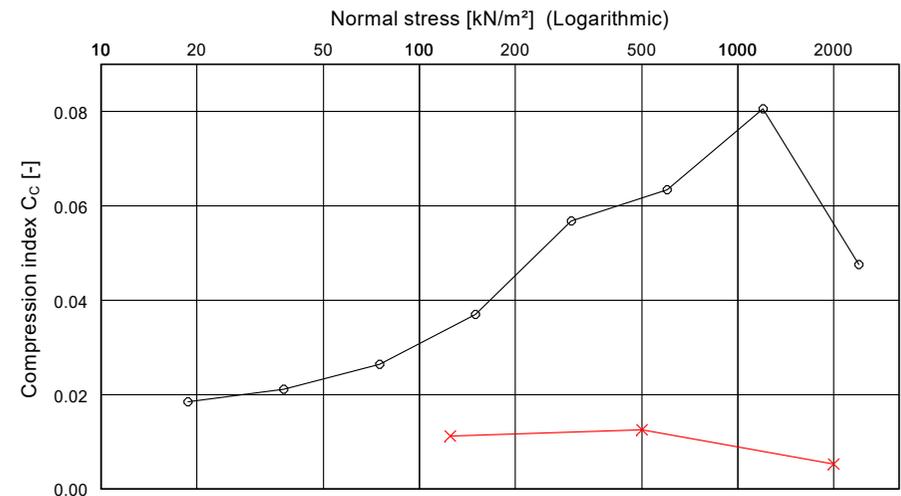
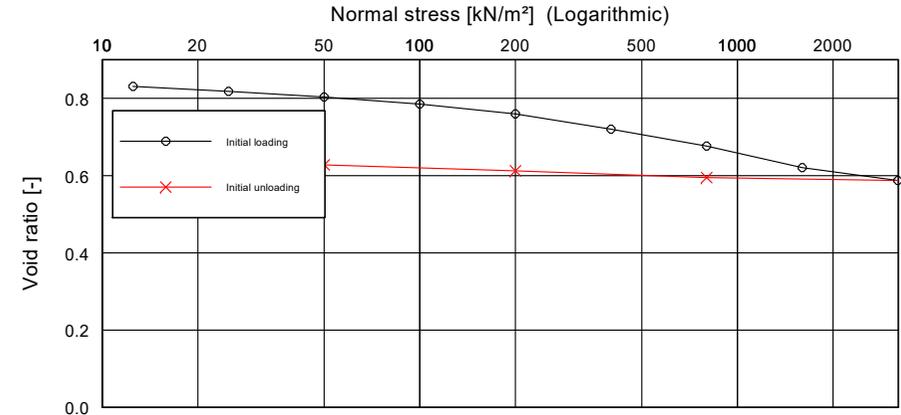
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.8311	0.01849
25.00	0.140	0.8183	
50.00	0.300	0.8036	0.02113
100.00	0.500	0.7853	0.02642
200.00	0.780	0.7597	0.03698
400.00	1.210	0.7203	0.05680
800.00	1.690	0.6763	0.06340
1600.00	2.300	0.6205	0.08057
3200.00	2.660	0.5875	0.04755
800.00	2.580	0.5949	0.00528
200.00	2.390	0.6123	0.01255
50.00	2.220	0.6278	0.01123

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.642
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.199
Wet mass [g] = 67.920	Initial void ratio [-] = 0.8311



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.140	0.300	0.500	0.780	1.210	1.690	2.300	2.660	2.580	2.390	2.220
Compression coeff. [-]		0.0185	0.0211	0.0264	0.0370	0.0568	0.0634	0.0806	0.0476	0.0053	0.0125	0.0112

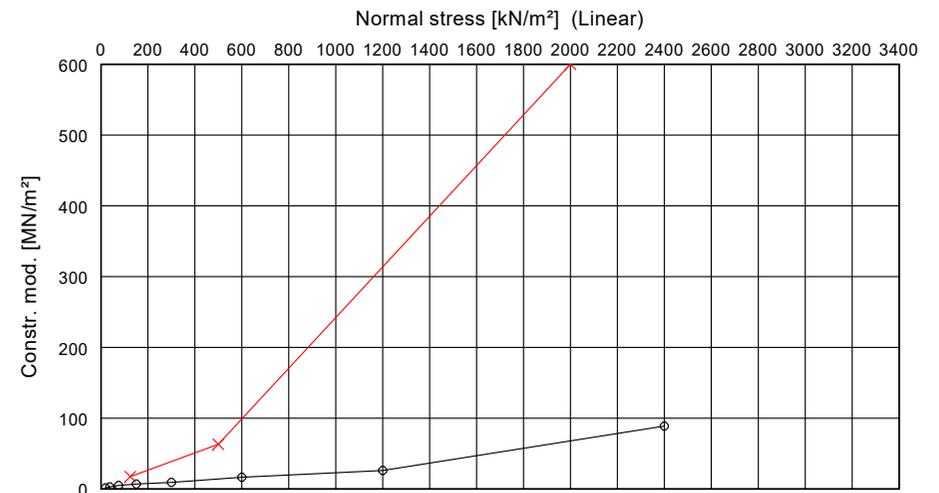
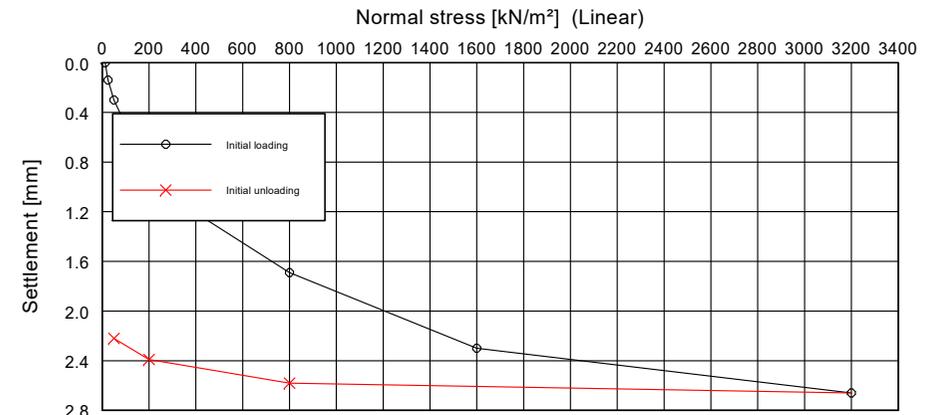
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	1.8
25.00	0.140	0.7	
50.00	0.300	1.5	3.1
100.00	0.500	2.5	5.0
200.00	0.780	3.9	7.1
400.00	1.210	6.0	9.3
800.00	1.690	8.4	16.7
1600.00	2.300	11.5	26.2
3200.00	2.660	13.3	88.9
800.00	2.580	12.9	600.0
200.00	2.390	12.0	63.2
50.00	2.220	11.1	17.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.199
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.140	0.300	0.500	0.780	1.210	1.690	2.300	2.660	2.580	2.390	2.220
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.8	3.1	5.0	7.1	9.3	16.7	26.2	88.9	600.0	63.2	17.6

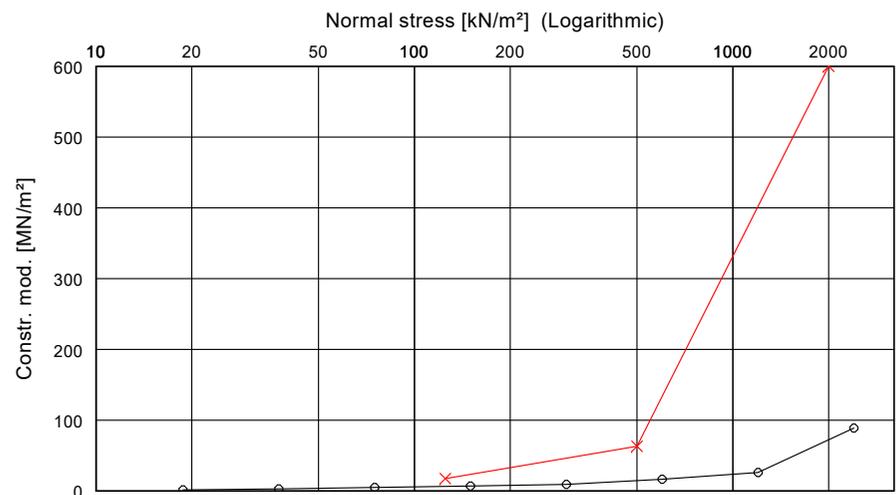
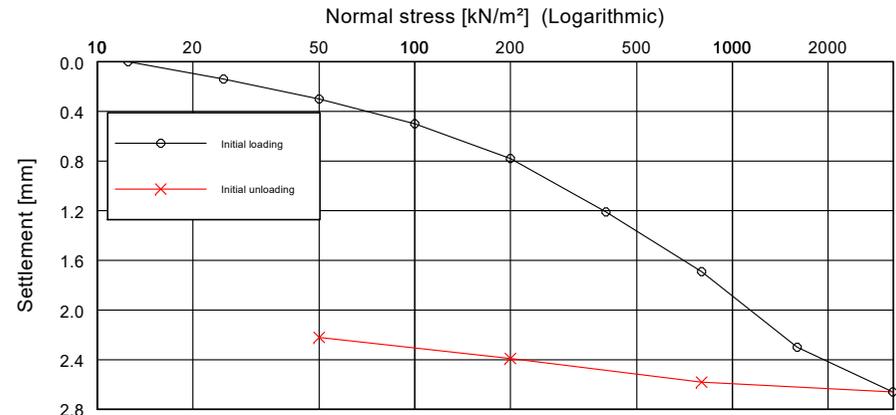
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	1.8
25.00	0.140	0.7	
50.00	0.300	1.5	3.1
100.00	0.500	2.5	5.0
200.00	0.780	3.9	7.1
400.00	1.210	6.0	9.3
800.00	1.690	8.4	16.7
1600.00	2.300	11.5	26.2
3200.00	2.660	13.3	88.9
800.00	2.580	12.9	600.0
200.00	2.390	12.0	63.2
50.00	2.220	11.1	17.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.199
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.140	0.300	0.500	0.780	1.210	1.690	2.300	2.660	2.580	2.390	2.220
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.8	3.1	5.0	7.1	9.3	16.7	26.2	88.9	600.0	63.2	17.6

Load-settlement-test

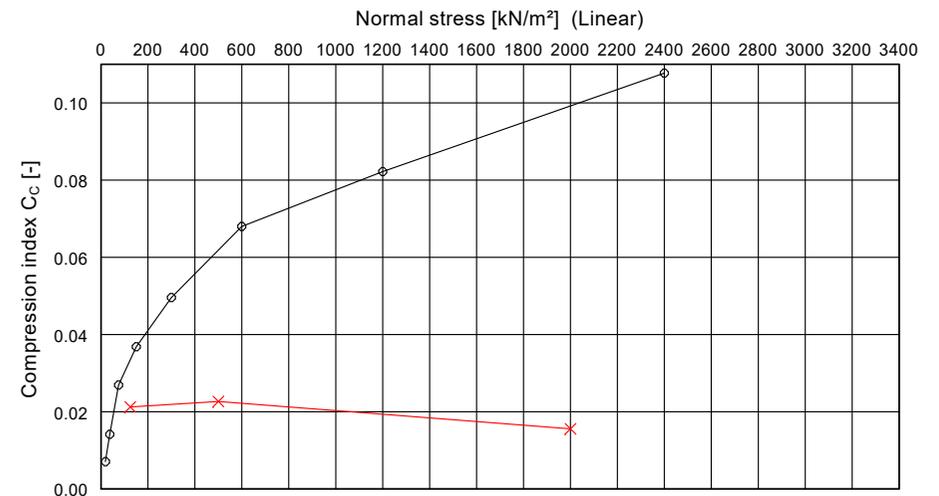
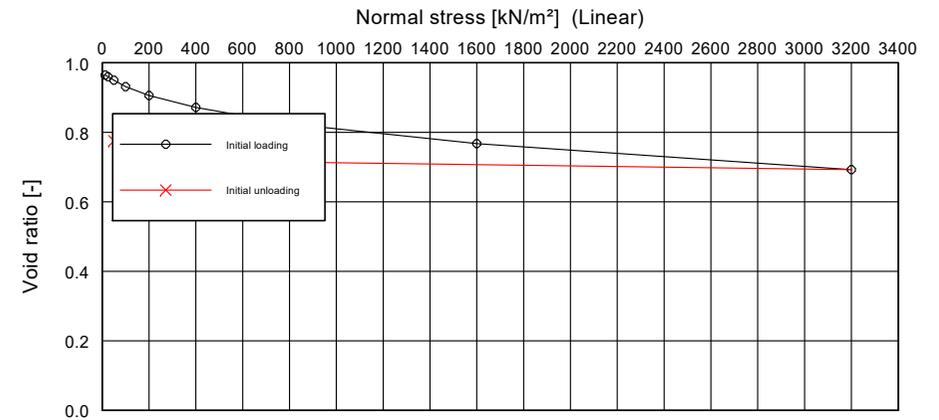
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.9647	0.00709
25.00	0.050	0.9597	
50.00	0.150	0.9499	0.01417
100.00	0.340	0.9313	0.02693
200.00	0.600	0.9057	0.03685
400.00	0.950	0.8713	0.04960
800.00	1.430	0.8242	0.06803
1600.00	2.010	0.7672	0.08220
3200.00	2.770	0.6926	0.10771
800.00	2.550	0.7142	0.01559
200.00	2.230	0.7456	0.02268
50.00	1.930	0.7751	0.02126

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.642
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.227
Wet mass [g] = 64.780	Initial void ratio [-] = 0.9647



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.050	0.150	0.340	0.600	0.950	1.430	2.010	2.770	2.550	2.230	1.930
Compression coeff. [-]		0.0071	0.0142	0.0269	0.0368	0.0496	0.0680	0.0822	0.1077	0.0156	0.0227	0.0213

Load-settlement-test

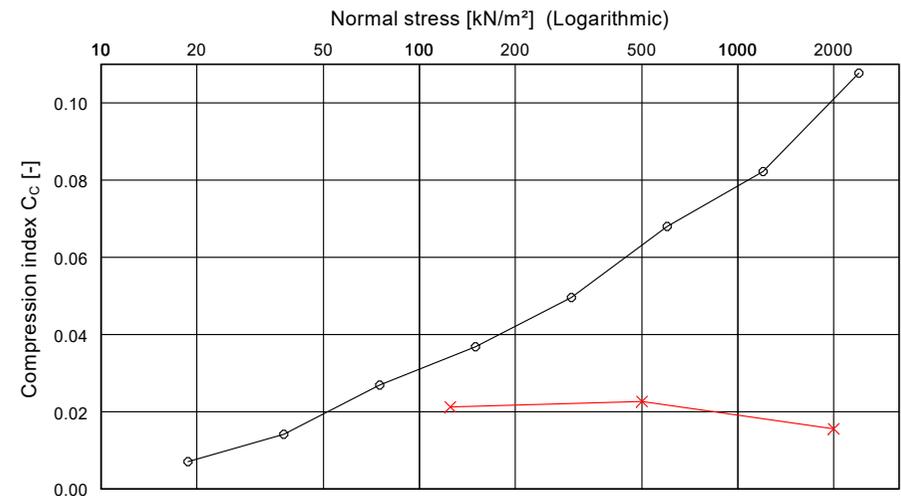
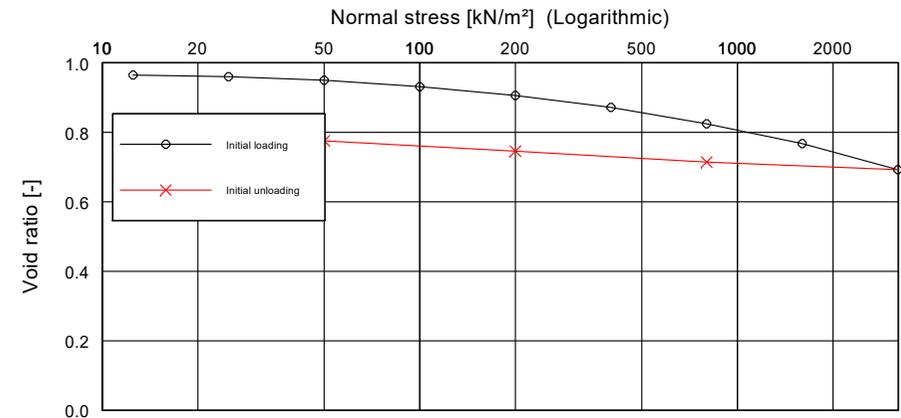
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.9647	0.00709
25.00	0.050	0.9597	
50.00	0.150	0.9499	0.01417
100.00	0.340	0.9313	0.02693
200.00	0.600	0.9057	0.03685
400.00	0.950	0.8713	0.04960
800.00	1.430	0.8242	0.06803
1600.00	2.010	0.7672	0.08220
3200.00	2.770	0.6926	0.10771
800.00	2.550	0.7142	0.01559
200.00	2.230	0.7456	0.02268
50.00	1.930	0.7751	0.02126

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.642
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.227
Wet mass [g] = 64.780	Initial void ratio [-] = 0.9647



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.050	0.150	0.340	0.600	0.950	1.430	2.010	2.770	2.550	2.230	1.930
Compression coeff. [-]		0.0071	0.0142	0.0269	0.0368	0.0496	0.0680	0.0822	0.1077	0.0156	0.0227	0.0213

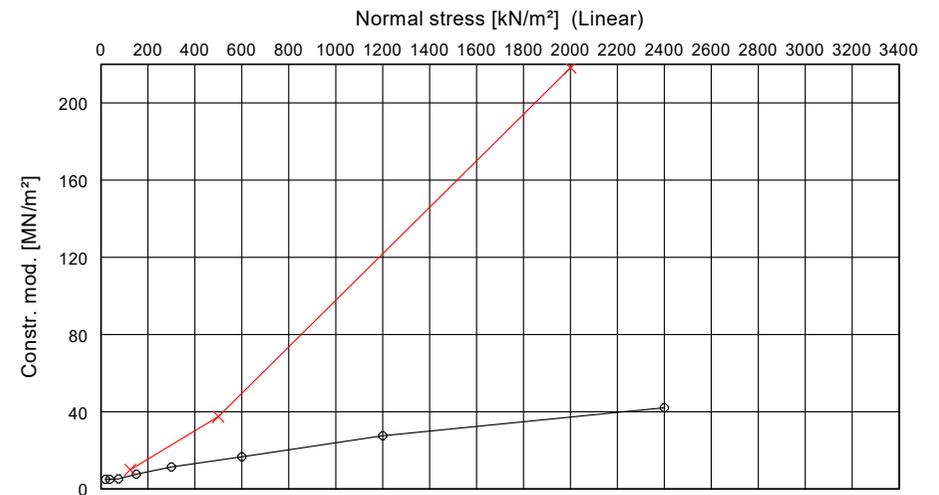
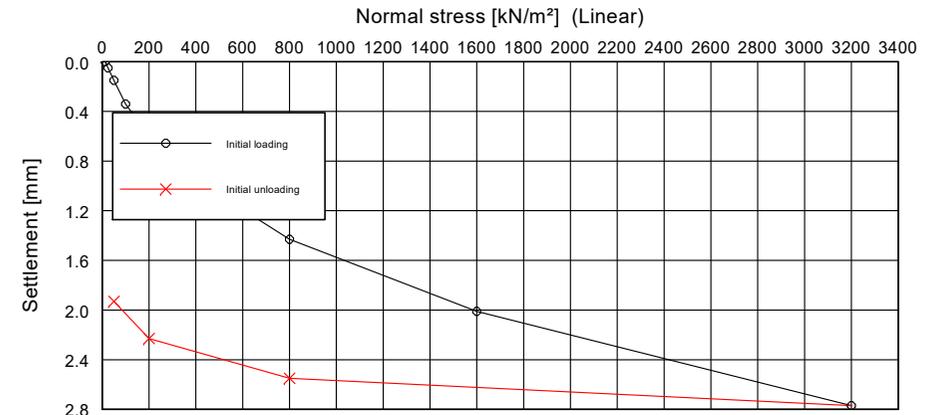
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	5.0
25.00	0.050	0.3	
50.00	0.150	0.8	5.0
100.00	0.340	1.7	5.3
200.00	0.600	3.0	7.7
400.00	0.950	4.8	11.4
800.00	1.430	7.1	16.7
1600.00	2.010	10.0	27.6
3200.00	2.770	13.8	42.1
800.00	2.550	12.8	218.2
200.00	2.230	11.2	37.5
50.00	1.930	9.7	10.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.189
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.050	0.150	0.340	0.600	0.950	1.430	2.010	2.770	2.550	2.230	1.930
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		5.0	5.0	5.3	7.7	11.4	16.7	27.6	42.1	218.2	37.5	10.0

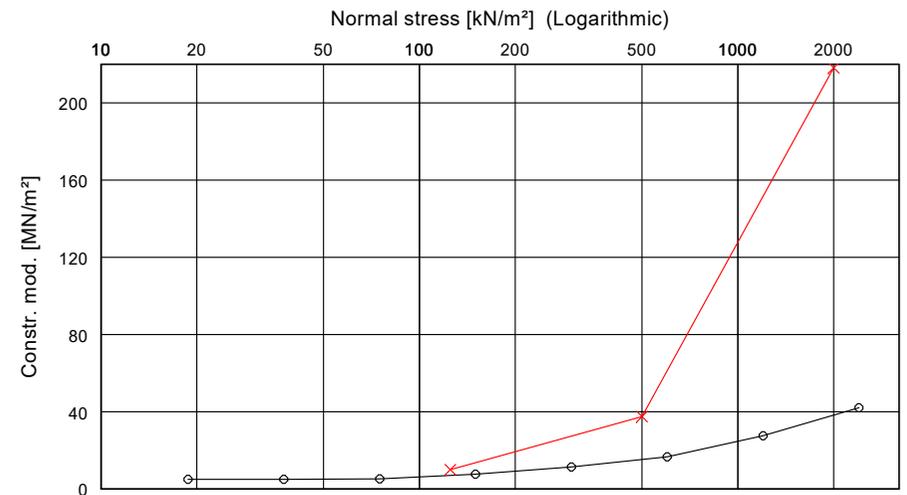
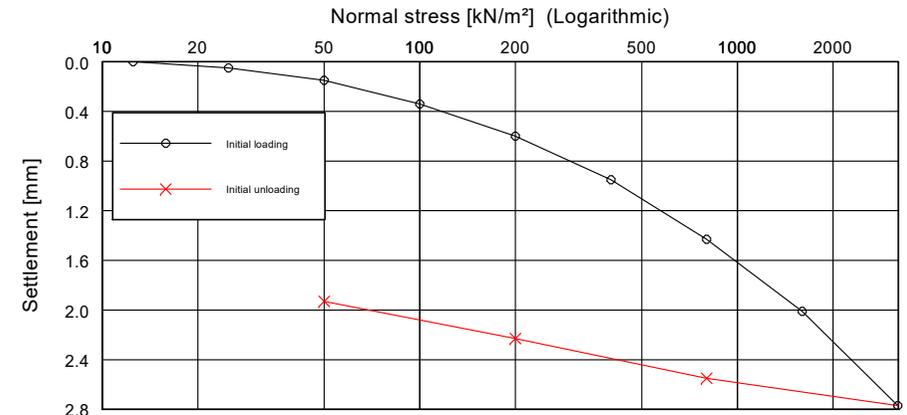
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	5.0
25.00	0.050	0.3	
50.00	0.150	0.8	5.0
100.00	0.340	1.7	5.3
200.00	0.600	3.0	7.7
400.00	0.950	4.8	11.4
800.00	1.430	7.1	16.7
1600.00	2.010	10.0	27.6
3200.00	2.770	13.8	42.1
800.00	2.550	12.8	218.2
200.00	2.230	11.2	37.5
50.00	1.930	9.7	10.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.189
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.050	0.150	0.340	0.600	0.950	1.430	2.010	2.770	2.550	2.230	1.930
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		5.0	5.0	5.3	7.7	11.4	16.7	27.6	42.1	218.2	37.5	10.0

Load-settlement-test

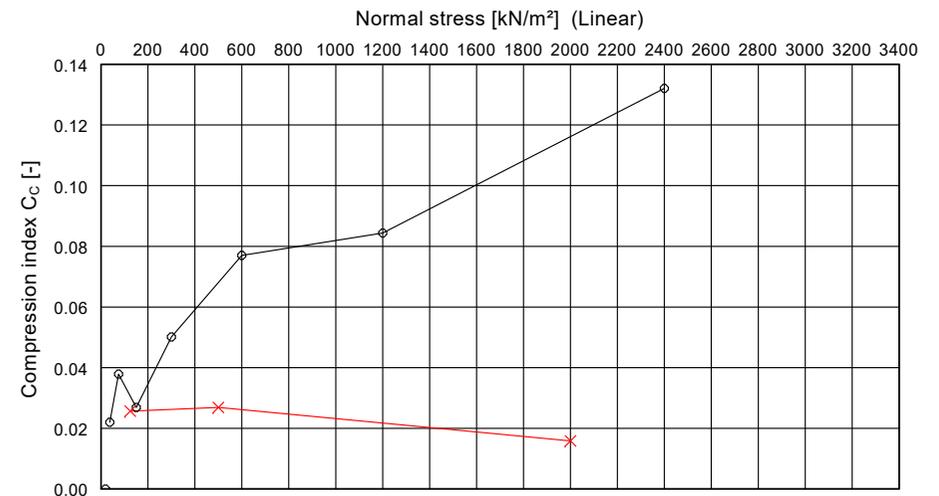
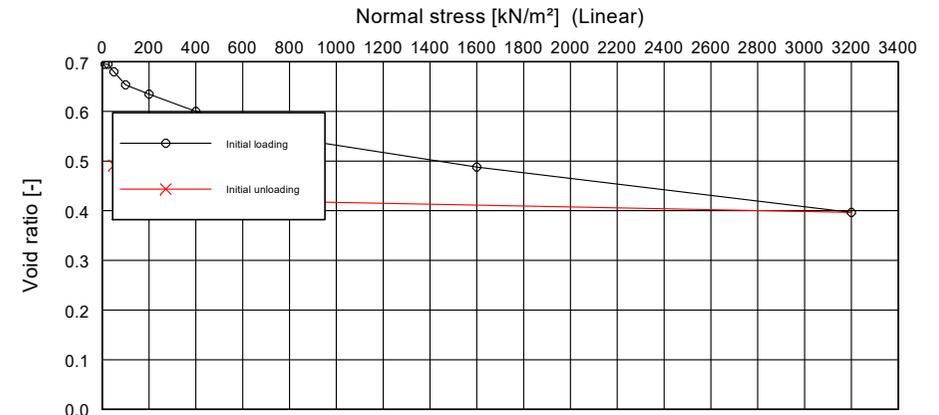
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6949	
25.00	0.000	0.6949	
50.00	0.180	0.6796	0.02201
100.00	0.490	0.6534	0.03790
200.00	0.710	0.6347	0.02690
400.00	1.120	0.6000	0.05013
800.00	1.750	0.5466	0.07702
1600.00	2.440	0.4881	0.08436
3200.00	3.520	0.3966	0.13204
800.00	3.260	0.4186	0.01589
200.00	2.820	0.4559	0.02690
50.00	2.400	0.4915	0.02567

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.642
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.251
Wet mass [g] = 76.560	Initial void ratio [-] = 0.6949



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.180	0.490	0.710	1.120	1.750	2.440	3.520	3.260	2.820	2.400
Compression coeff. [-]		-	0.0220	0.0379	0.0269	0.0501	0.0770	0.0844	0.1320	0.0159	0.0269	0.0257

Load-settlement-test

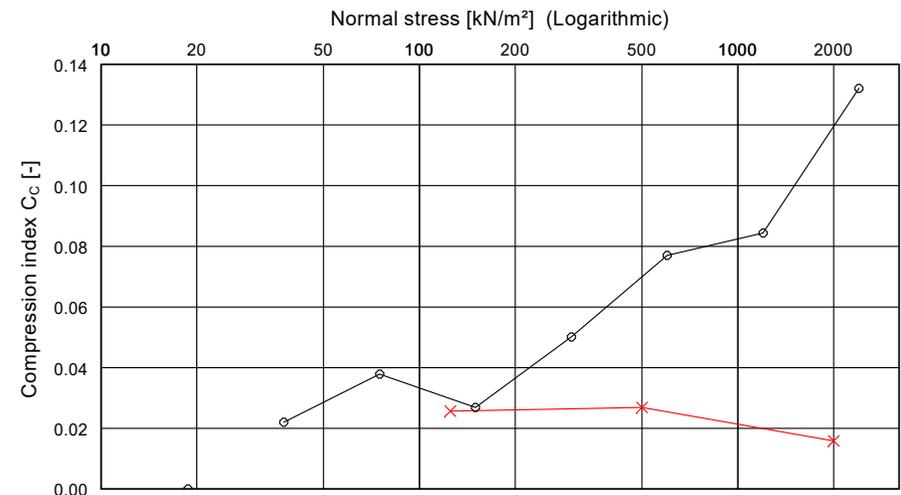
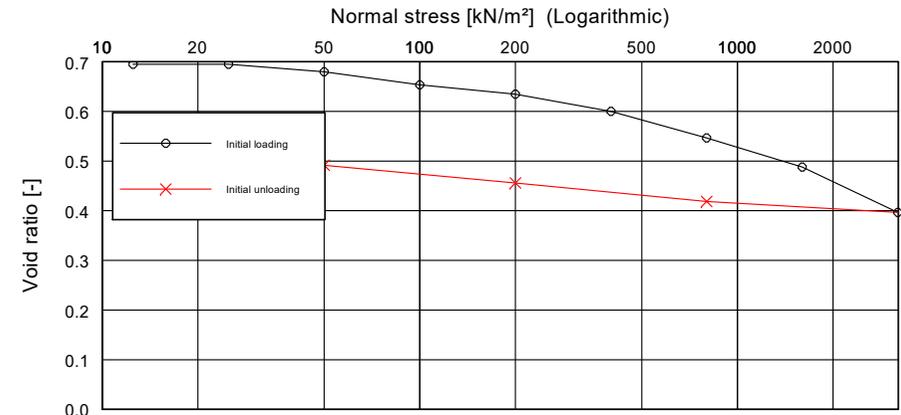
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6949	
25.00	0.000	0.6949	
50.00	0.180	0.6796	0.02201
100.00	0.490	0.6534	0.03790
200.00	0.710	0.6347	0.02690
400.00	1.120	0.6000	0.05013
800.00	1.750	0.5466	0.07702
1600.00	2.440	0.4881	0.08436
3200.00	3.520	0.3966	0.13204
800.00	3.260	0.4186	0.01589
200.00	2.820	0.4559	0.02690
50.00	2.400	0.4915	0.02567

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.642
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.251
Wet mass [g] = 76.560	Initial void ratio [-] = 0.6949



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.180	0.490	0.710	1.120	1.750	2.440	3.520	3.260	2.820	2.400
Compression coeff. [-]		-	0.0220	0.0379	0.0269	0.0501	0.0770	0.0844	0.1320	0.0159	0.0269	0.0257

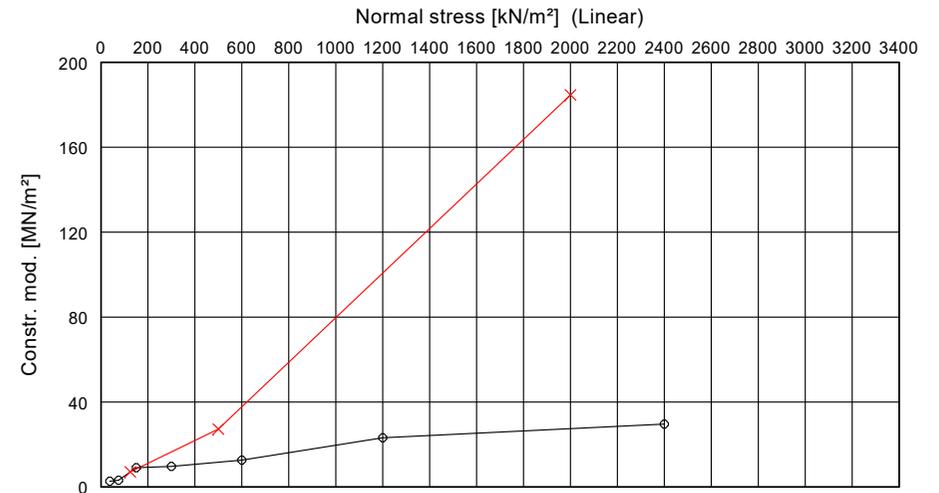
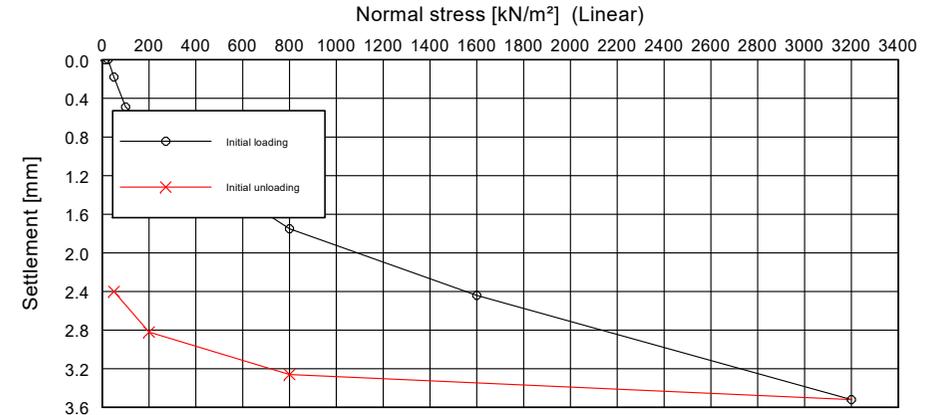
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.180	0.9	2.8
100.00	0.490	2.5	3.2
200.00	0.710	3.5	9.1
400.00	1.120	5.6	9.8
800.00	1.750	8.8	12.7
1600.00	2.440	12.2	23.2
3200.00	3.520	17.6	29.6
800.00	3.260	16.3	184.6
200.00	2.820	14.1	27.3
50.00	2.400	12.0	7.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.251
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.180	0.490	0.710	1.120	1.750	2.440	3.520	3.260	2.820	2.400
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	2.8	3.2	9.1	9.8	12.7	23.2	29.6	184.6	27.3	7.1

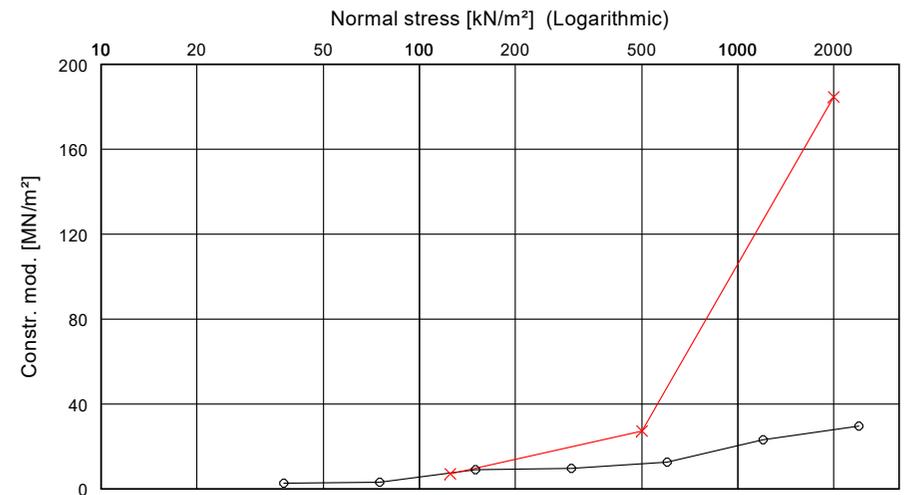
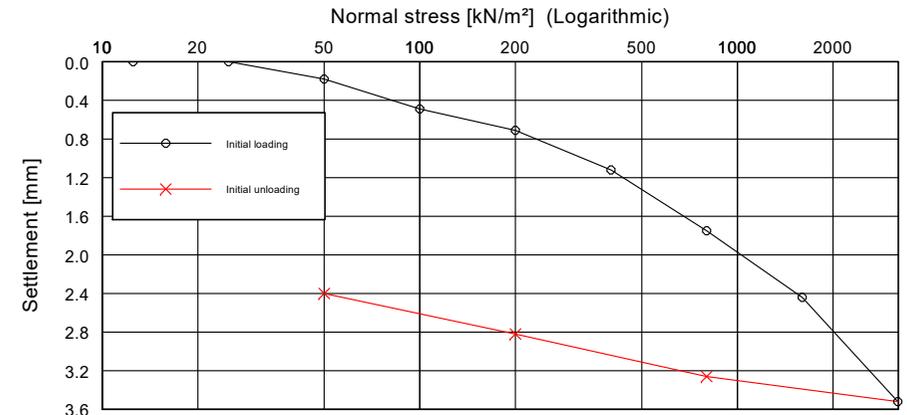
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.180	0.9	2.8
100.00	0.490	2.5	3.2
200.00	0.710	3.5	9.1
400.00	1.120	5.6	9.8
800.00	1.750	8.8	12.7
1600.00	2.440	12.2	23.2
3200.00	3.520	17.6	29.6
800.00	3.260	16.3	184.6
200.00	2.820	14.1	27.3
50.00	2.400	12.0	7.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.251
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.180	0.490	0.710	1.120	1.750	2.440	3.520	3.260	2.820	2.400
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	2.8	3.2	9.1	9.8	12.7	23.2	29.6	184.6	27.3	7.1

Load-settlement-test

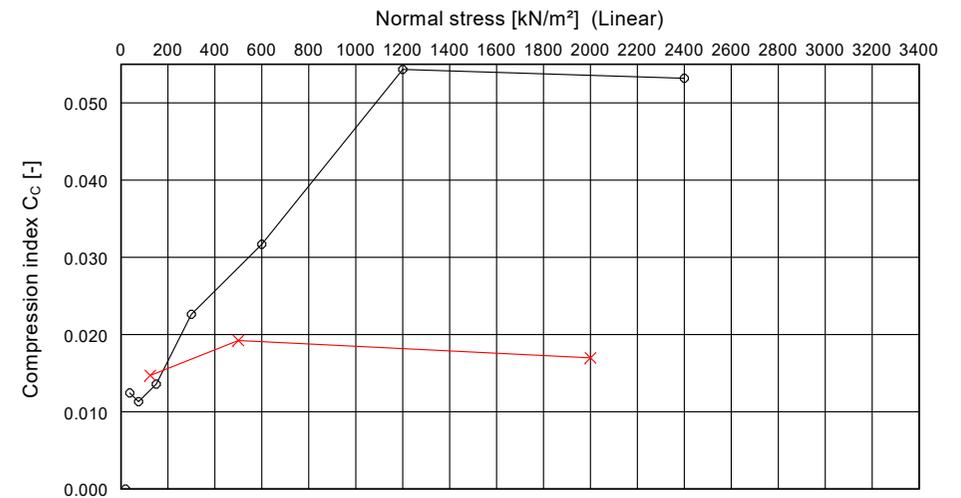
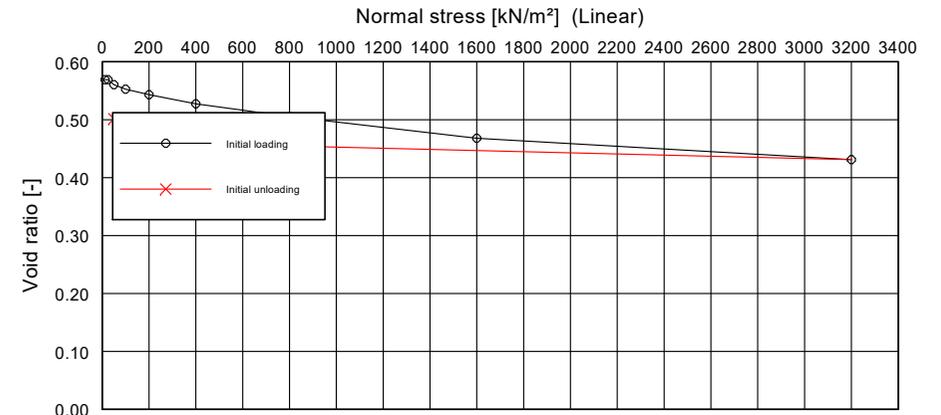
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5691	
25.00	0.000	0.5691	
50.00	0.110	0.5604	0.01245
100.00	0.210	0.5526	0.01132
200.00	0.330	0.5432	0.01358
400.00	0.530	0.5275	0.02264
800.00	0.810	0.5055	0.03169
1600.00	1.290	0.4679	0.05433
3200.00	1.760	0.4310	0.05320
800.00	1.460	0.4545	0.01698
200.00	1.120	0.4812	0.01924
50.00	0.860	0.5016	0.01471

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.641
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.212
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.5691



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.210	0.330	0.530	0.810	1.290	1.760	1.460	1.120	0.860
Compression coeff. [-]		-	0.0125	0.0113	0.0136	0.0226	0.0317	0.0543	0.0532	0.0170	0.0192	0.0147

Load-settlement-test

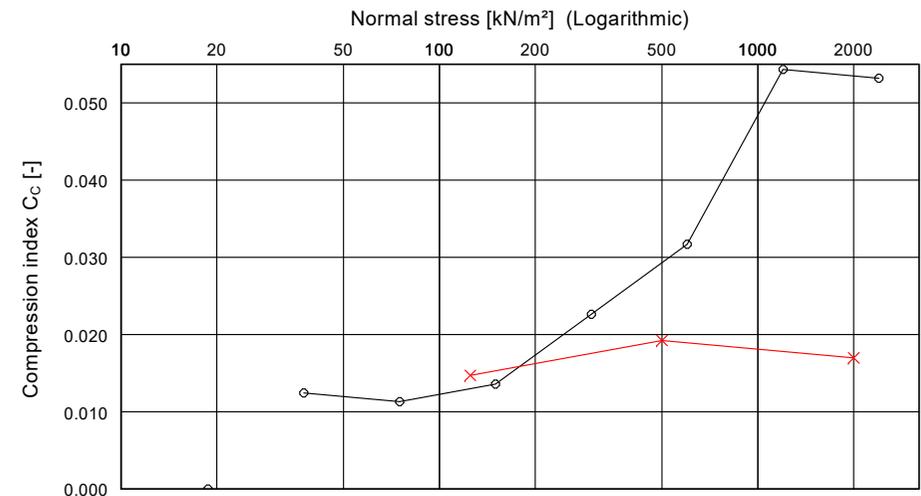
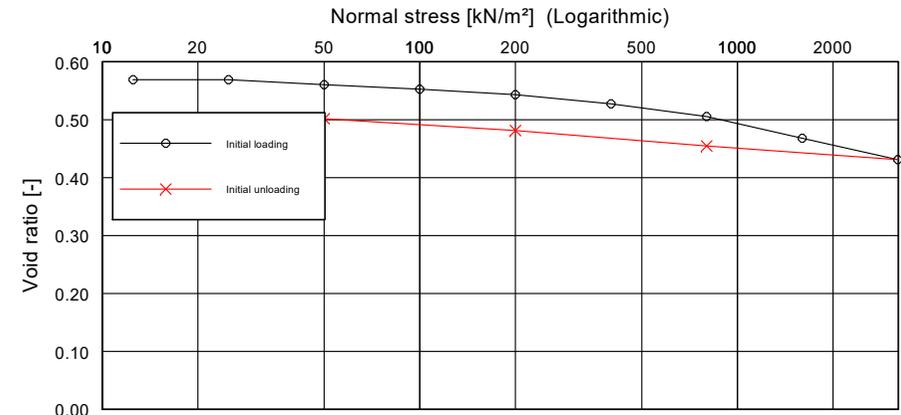
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5691	
25.00	0.000	0.5691	
50.00	0.110	0.5604	0.01245
100.00	0.210	0.5526	0.01132
200.00	0.330	0.5432	0.01358
400.00	0.530	0.5275	0.02264
800.00	0.810	0.5055	0.03169
1600.00	1.290	0.4679	0.05433
3200.00	1.760	0.4310	0.05320
800.00	1.460	0.4545	0.01698
200.00	1.120	0.4812	0.01924
50.00	0.860	0.5016	0.01471

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.641
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.212
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.5691



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.210	0.330	0.530	0.810	1.290	1.760	1.460	1.120	0.860
Compression coeff. [-]		-	0.0125	0.0113	0.0136	0.0226	0.0317	0.0543	0.0532	0.0170	0.0192	0.0147

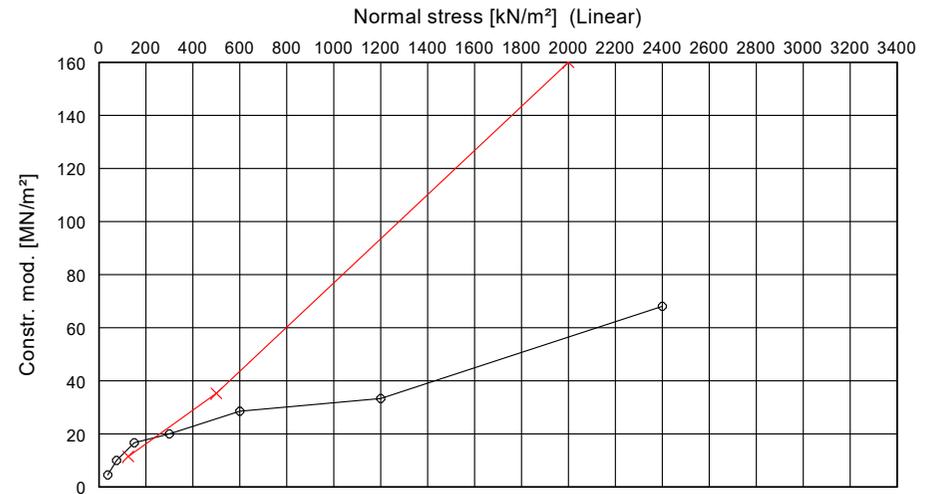
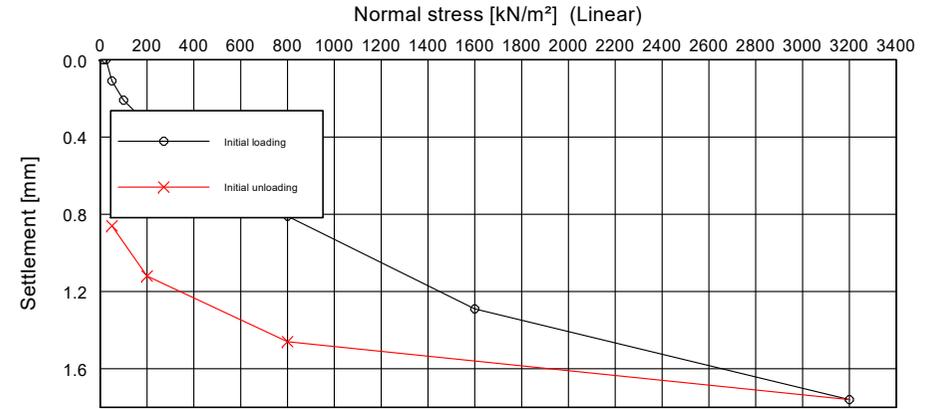
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.110	0.6	4.5
100.00	0.210	1.1	10.0
200.00	0.330	1.7	16.7
400.00	0.530	2.7	20.0
800.00	0.810	4.1	28.6
1600.00	1.290	6.5	33.3
3200.00	1.760	8.8	68.1
800.00	1.460	7.3	160.0
200.00	1.120	5.6	35.3
50.00	0.860	4.3	11.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.212
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.210	0.330	0.530	0.810	1.290	1.760	1.460	1.120	0.860
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	4.5	10.0	16.7	20.0	28.6	33.3	68.1	160.0	35.3	11.5

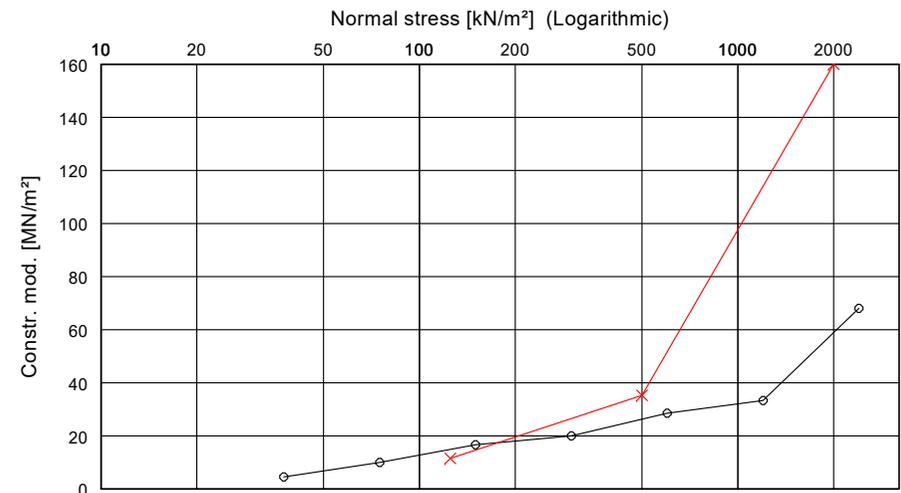
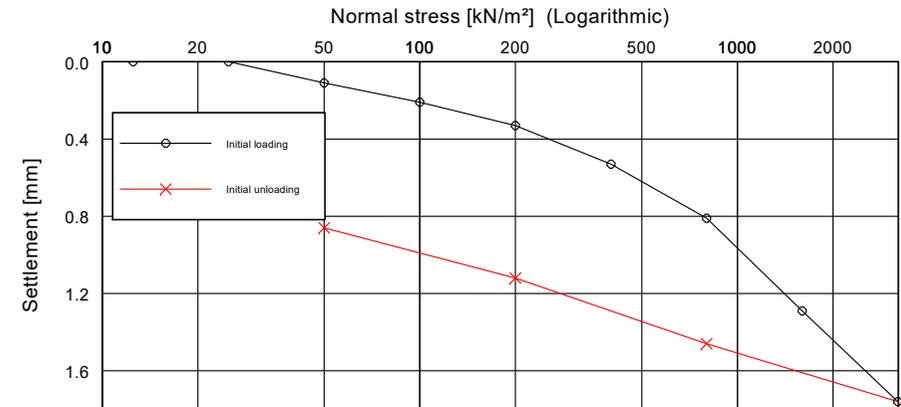
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.110	0.6	4.5
100.00	0.210	1.1	10.0
200.00	0.330	1.7	16.7
400.00	0.530	2.7	20.0
800.00	0.810	4.1	28.6
1600.00	1.290	6.5	33.3
3200.00	1.760	8.8	68.1
800.00	1.460	7.3	160.0
200.00	1.120	5.6	35.3
50.00	0.860	4.3	11.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.212
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.110	0.210	0.330	0.530	0.810	1.290	1.760	1.460	1.120	0.860
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	4.5	10.0	16.7	20.0	28.6	33.3	68.1	160.0	35.3	11.5

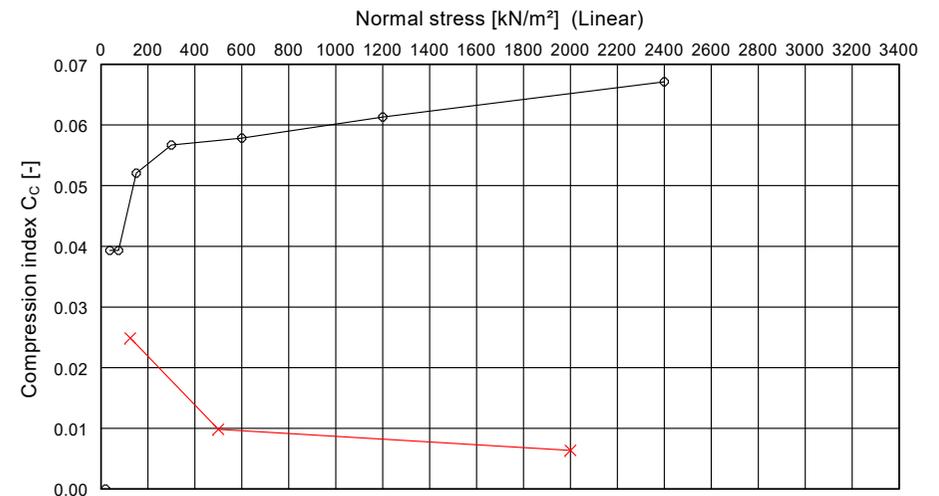
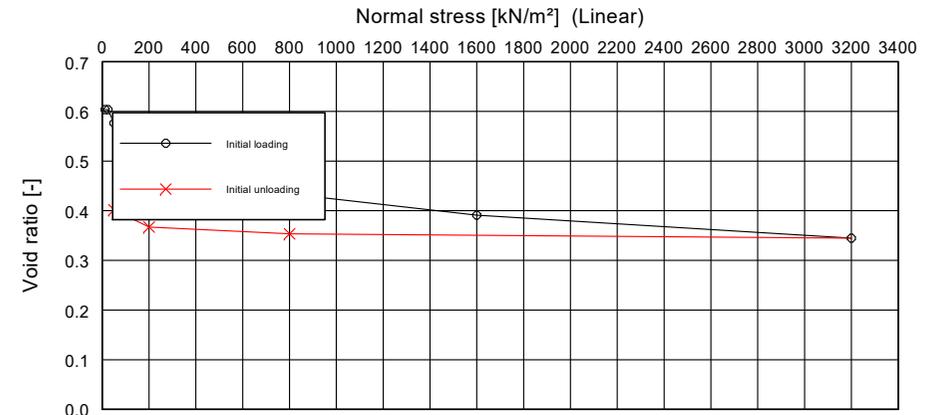
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6037	
25.00	0.000	0.6037	
50.00	0.340	0.5764	0.03933
100.00	0.680	0.5492	0.03933
200.00	1.130	0.5131	0.05206
400.00	1.620	0.4738	0.05668
800.00	2.120	0.4337	0.05784
1600.00	2.650	0.3912	0.06131
3200.00	3.230	0.3447	0.06710
800.00	3.120	0.3535	0.00636
200.00	2.950	0.3672	0.00983
50.00	2.520	0.4016	0.02487



Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.686
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.218
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.6037

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.340	0.680	1.130	1.620	2.120	2.650	3.230	3.120	2.950	2.520
Compression coeff. [-]		-	0.0393	0.0393	0.0521	0.0567	0.0578	0.0613	0.0671	0.0064	0.0098	0.0249

Load-settlement-test

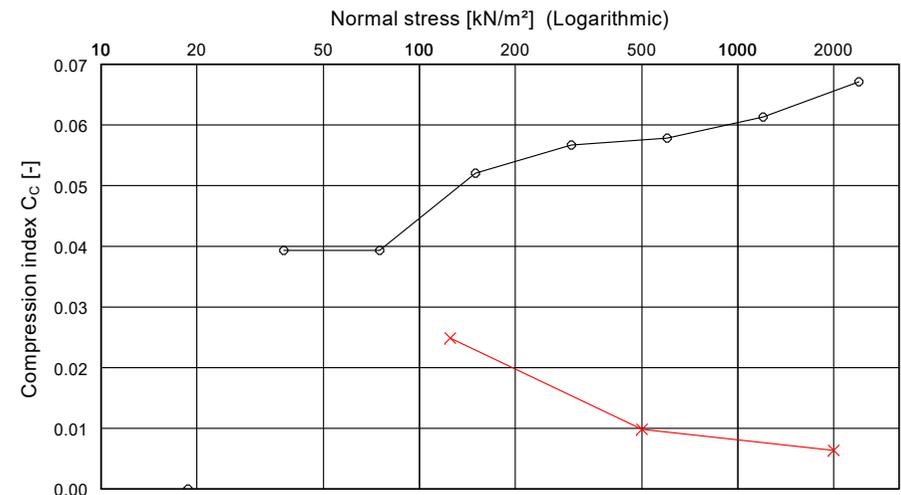
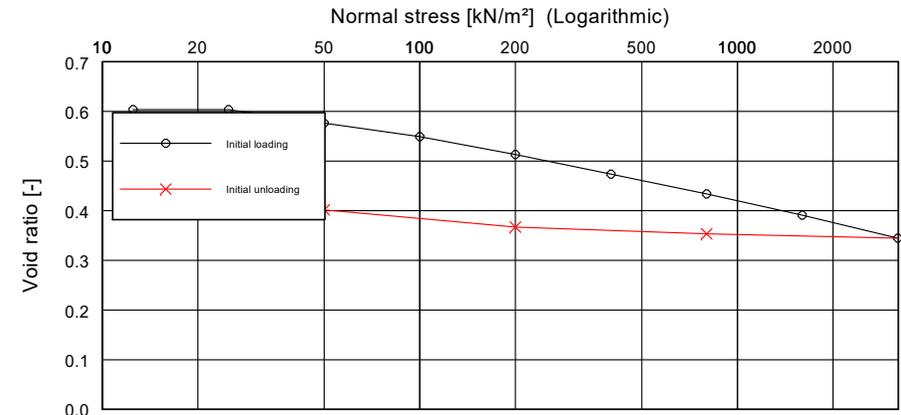
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6037	
25.00	0.000	0.6037	
50.00	0.340	0.5764	0.03933
100.00	0.680	0.5492	0.03933
200.00	1.130	0.5131	0.05206
400.00	1.620	0.4738	0.05668
800.00	2.120	0.4337	0.05784
1600.00	2.650	0.3912	0.06131
3200.00	3.230	0.3447	0.06710
800.00	3.120	0.3535	0.00636
200.00	2.950	0.3672	0.00983
50.00	2.520	0.4016	0.02487

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.686
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.218
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.6037



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.340	0.680	1.130	1.620	2.120	2.650	3.230	3.120	2.950	2.520
Compression coeff. [-]		-	0.0393	0.0393	0.0521	0.0567	0.0578	0.0613	0.0671	0.0064	0.0098	0.0249

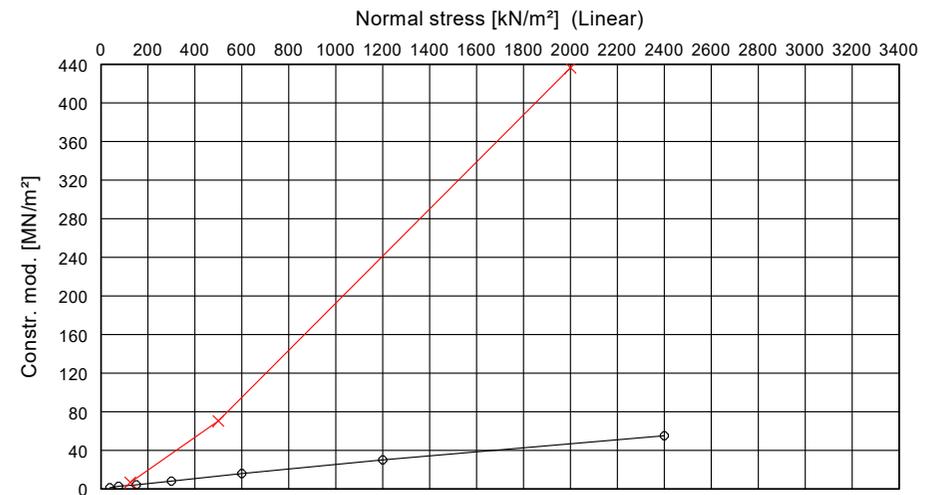
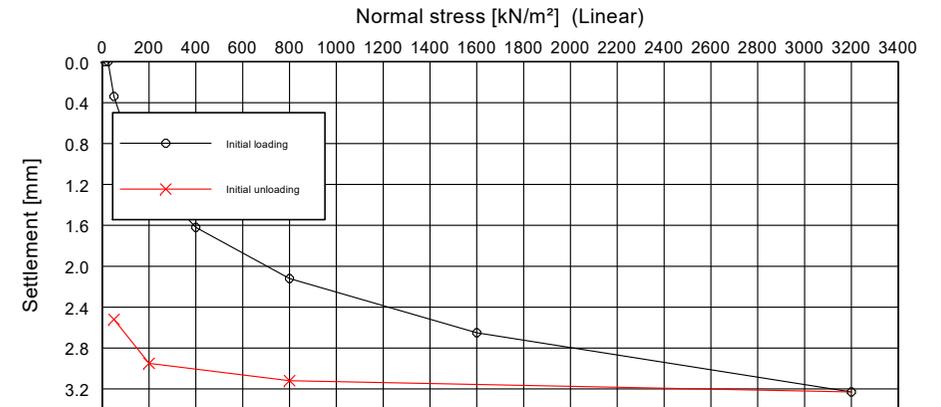
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.340	1.7	1.5
100.00	0.680	3.4	2.9
200.00	1.130	5.6	4.4
400.00	1.620	8.1	8.2
800.00	2.120	10.6	16.0
1600.00	2.650	13.3	30.2
3200.00	3.230	16.1	55.2
800.00	3.120	15.6	436.4
200.00	2.950	14.8	70.6
50.00	2.520	12.6	7.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.218
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.340	0.680	1.130	1.620	2.120	2.650	3.230	3.120	2.950	2.520
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	1.5	2.9	4.4	8.2	16.0	30.2	55.2	436.4	70.6	7.0

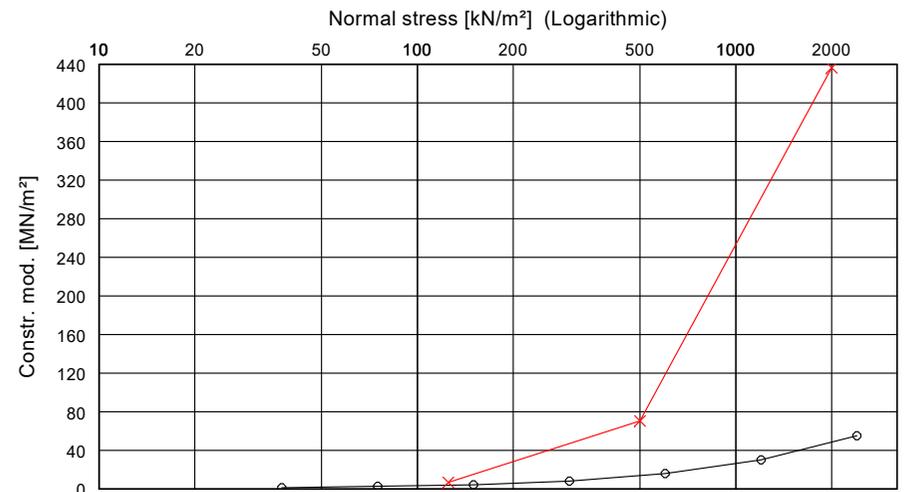
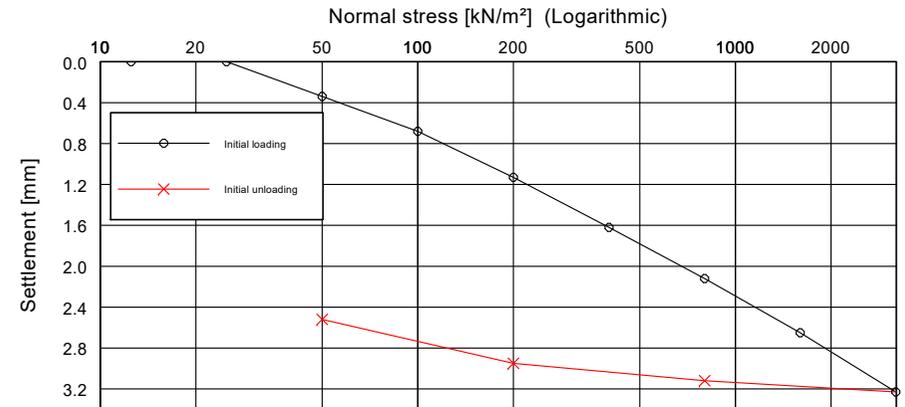
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.340	1.7	1.5
100.00	0.680	3.4	2.9
200.00	1.130	5.6	4.4
400.00	1.620	8.1	8.2
800.00	2.120	10.6	16.0
1600.00	2.650	13.3	30.2
3200.00	3.230	16.1	55.2
800.00	3.120	15.6	436.4
200.00	2.950	14.8	70.6
50.00	2.520	12.6	7.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.218
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.340	0.680	1.130	1.620	2.120	2.650	3.230	3.120	2.950	2.520
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	1.5	2.9	4.4	8.2	16.0	30.2	55.2	436.4	70.6	7.0

Load-settlement-test

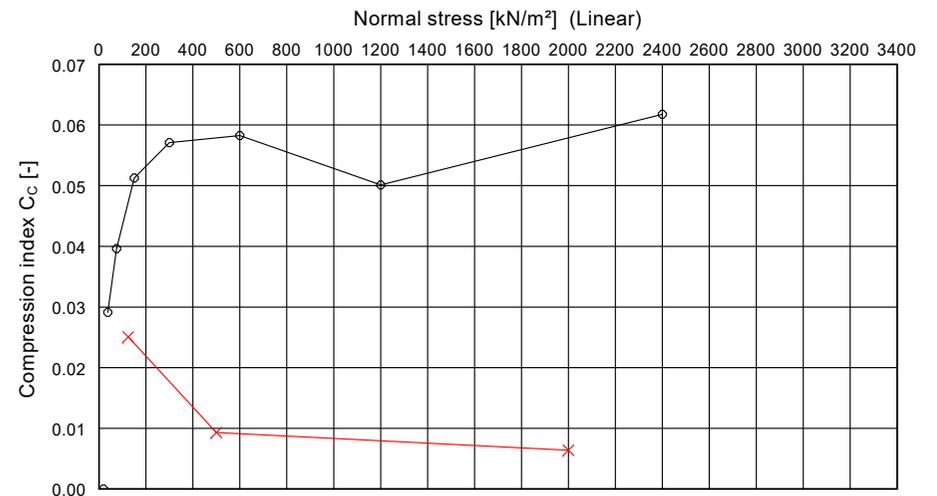
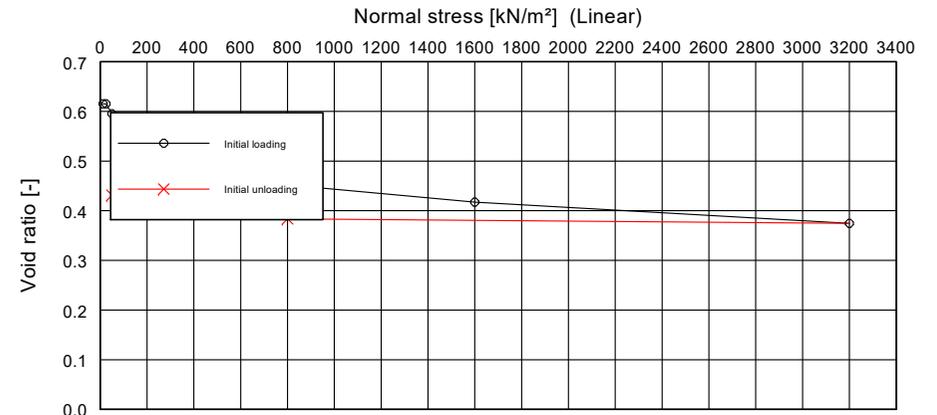
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6153	
25.00	0.000	0.6153	
50.00	0.250	0.5951	0.02913
100.00	0.590	0.5676	0.03962
200.00	1.030	0.5321	0.05127
400.00	1.520	0.4925	0.05709
800.00	2.020	0.4521	0.05826
1600.00	2.450	0.4174	0.05010
3200.00	2.980	0.3746	0.06175
800.00	2.870	0.3835	0.00641
200.00	2.710	0.3964	0.00932
50.00	2.280	0.4311	0.02505

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.679
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.230
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.6153



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.250	0.590	1.030	1.520	2.020	2.450	2.980	2.870	2.710	2.280
Compression coeff. [-]		-	0.0291	0.0396	0.0513	0.0571	0.0583	0.0501	0.0618	0.0064	0.0093	0.0251

Load-settlement-test

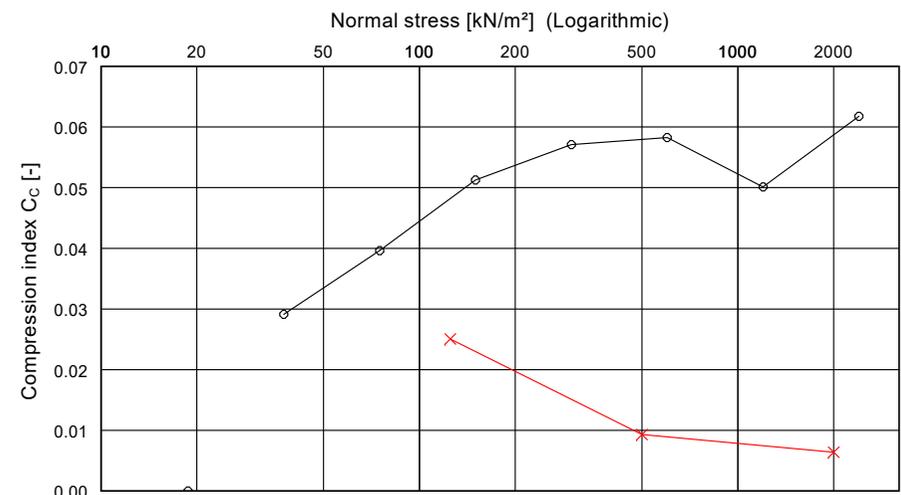
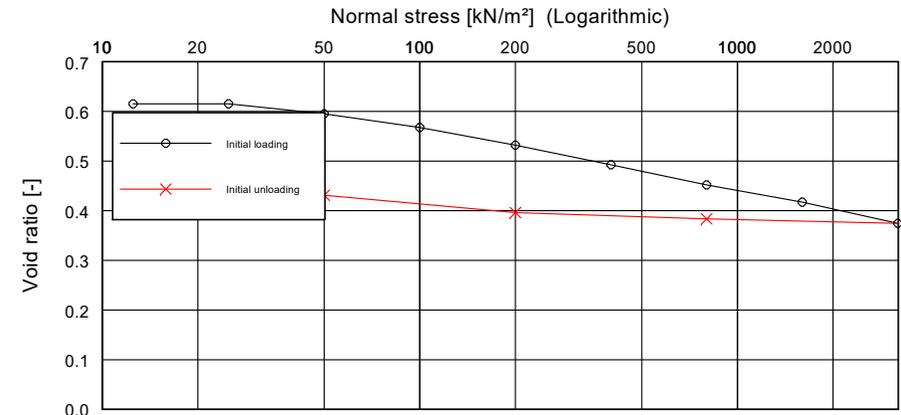
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6153	
25.00	0.000	0.6153	
50.00	0.250	0.5951	0.02913
100.00	0.590	0.5676	0.03962
200.00	1.030	0.5321	0.05127
400.00	1.520	0.4925	0.05709
800.00	2.020	0.4521	0.05826
1600.00	2.450	0.4174	0.05010
3200.00	2.980	0.3746	0.06175
800.00	2.870	0.3835	0.00641
200.00	2.710	0.3964	0.00932
50.00	2.280	0.4311	0.02505

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.679
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.230
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.6153



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.250	0.590	1.030	1.520	2.020	2.450	2.980	2.870	2.710	2.280
Compression coeff. [-]		-	0.0291	0.0396	0.0513	0.0571	0.0583	0.0501	0.0618	0.0064	0.0093	0.0251

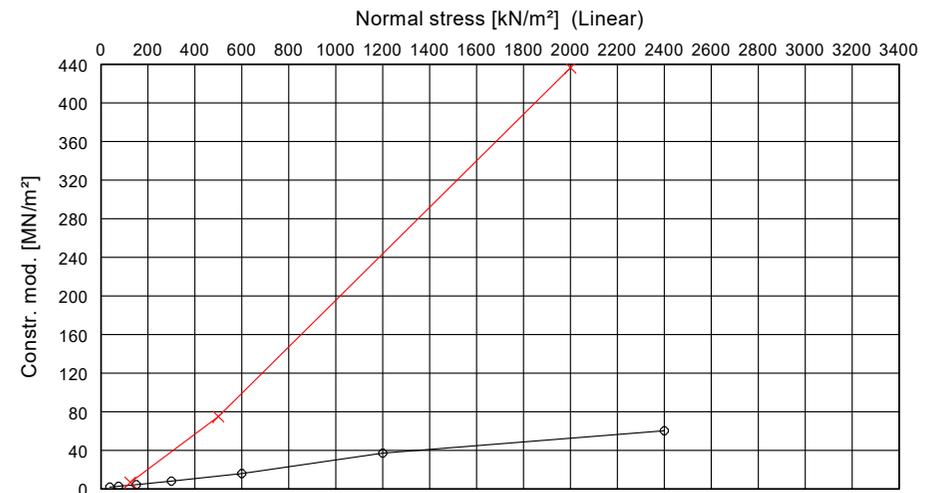
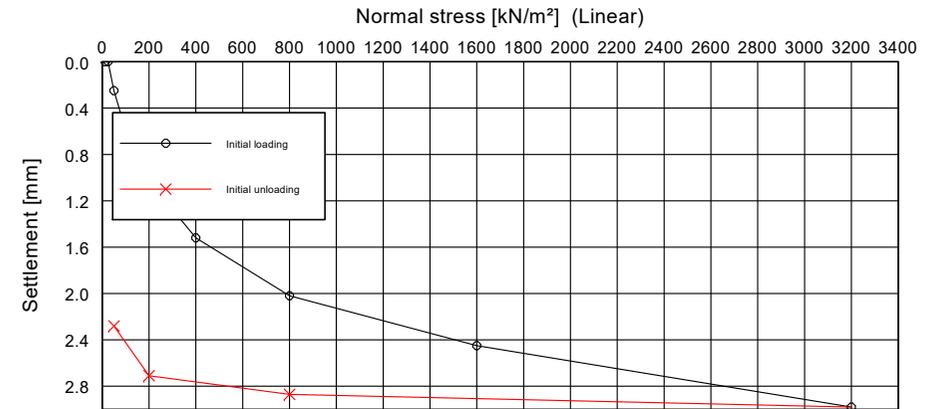
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.250	1.3	2.0
100.00	0.590	2.9	2.9
200.00	1.030	5.2	4.5
400.00	1.520	7.6	8.2
800.00	2.020	10.1	16.0
1600.00	2.450	12.3	37.2
3200.00	2.980	14.9	60.4
800.00	2.870	14.4	436.4
200.00	2.710	13.6	75.0
50.00	2.280	11.4	7.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.23
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.250	0.590	1.030	1.520	2.020	2.450	2.980	2.870	2.710	2.280
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	2.0	2.9	4.5	8.2	16.0	37.2	60.4	436.4	75.0	7.0

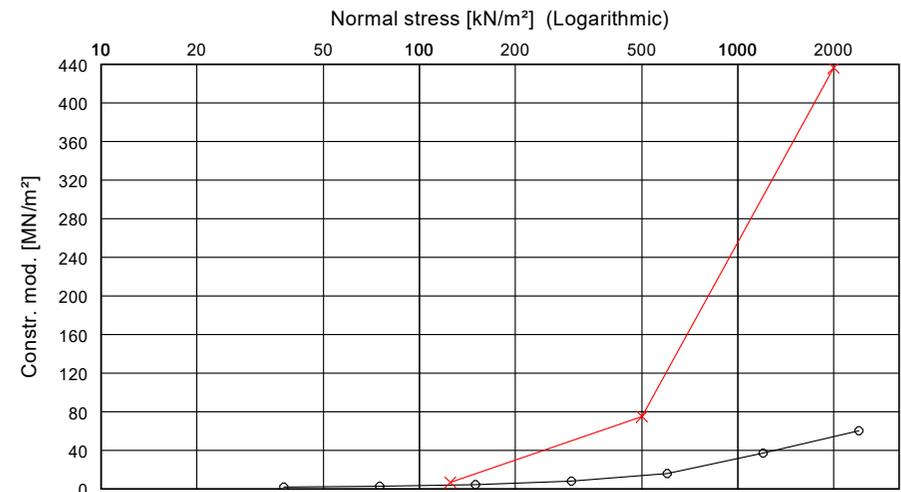
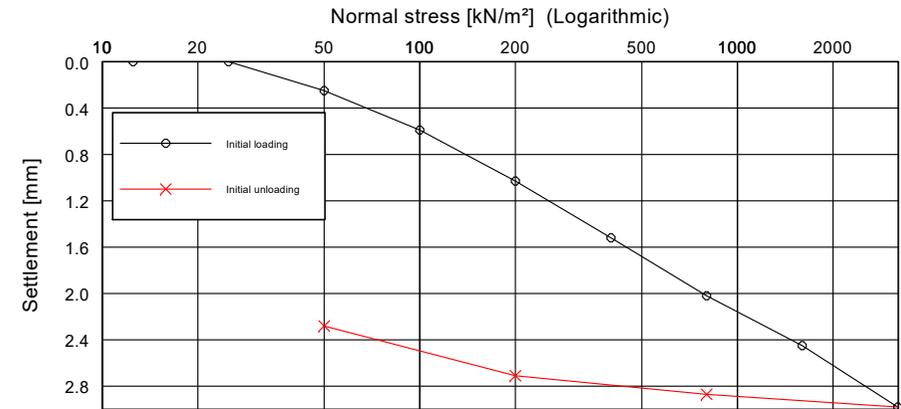
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.250	1.3	2.0
100.00	0.590	2.9	2.9
200.00	1.030	5.2	4.5
400.00	1.520	7.6	8.2
800.00	2.020	10.1	16.0
1600.00	2.450	12.3	37.2
3200.00	2.980	14.9	60.4
800.00	2.870	14.4	436.4
200.00	2.710	13.6	75.0
50.00	2.280	11.4	7.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.23
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.250	0.590	1.030	1.520	2.020	2.450	2.980	2.870	2.710	2.280
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	2.0	2.9	4.5	8.2	16.0	37.2	60.4	436.4	75.0	7.0

Load-settlement-test

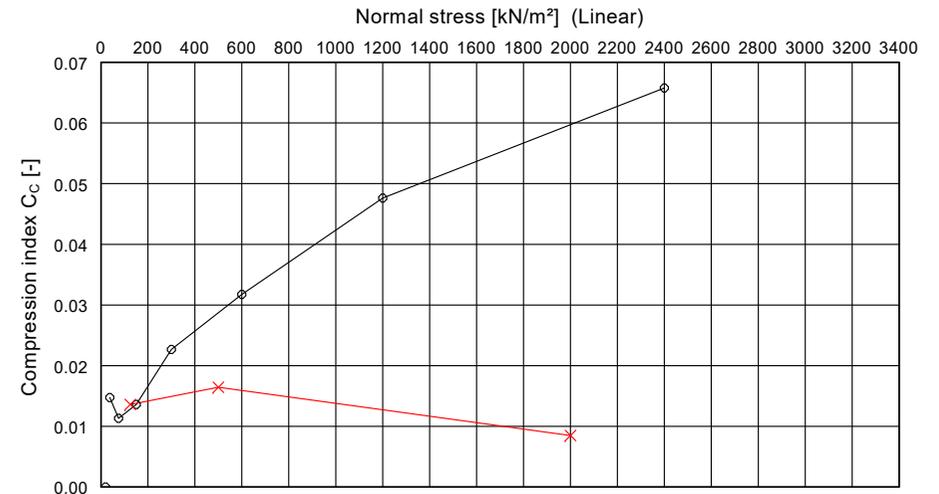
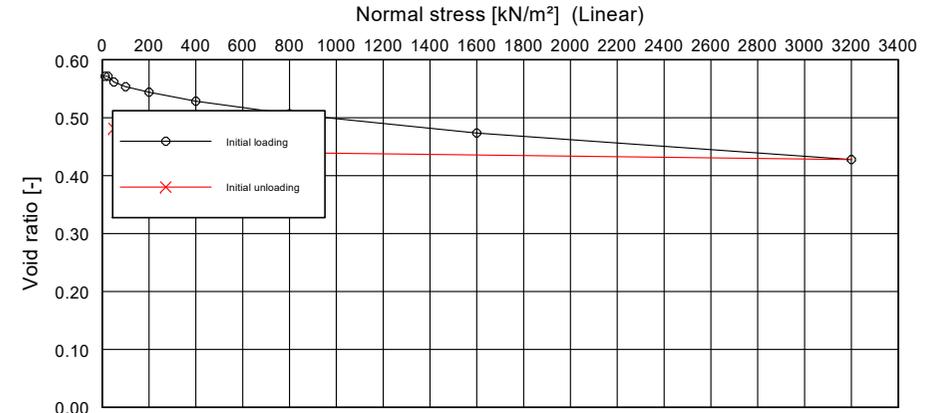
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5716	
25.00	0.000	0.5716	
50.00	0.130	0.5614	0.01474
100.00	0.230	0.5535	0.01134
200.00	0.350	0.5441	0.01360
400.00	0.550	0.5284	0.02267
800.00	0.830	0.5064	0.03174
1600.00	1.250	0.4734	0.04761
3200.00	1.830	0.4278	0.06575
800.00	1.680	0.4396	0.00850
200.00	1.390	0.4624	0.01644
50.00	1.150	0.4812	0.01360

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.678
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.209
Wet mass [g] = 80.880	Initial void ratio [-] = 0.5716



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.130	0.230	0.350	0.550	0.830	1.250	1.830	1.680	1.390	1.150
Compression coeff. [-]		-	0.0147	0.0113	0.0136	0.0227	0.0317	0.0476	0.0658	0.0085	0.0164	0.0136

Load-settlement-test

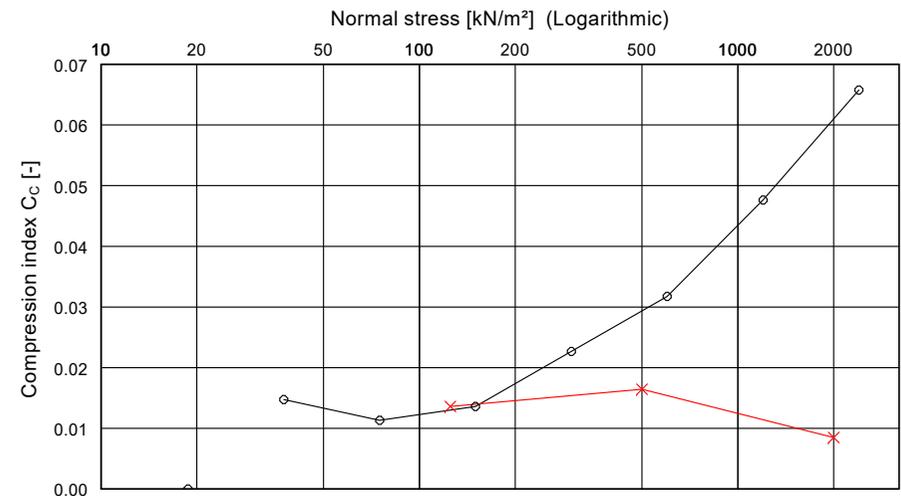
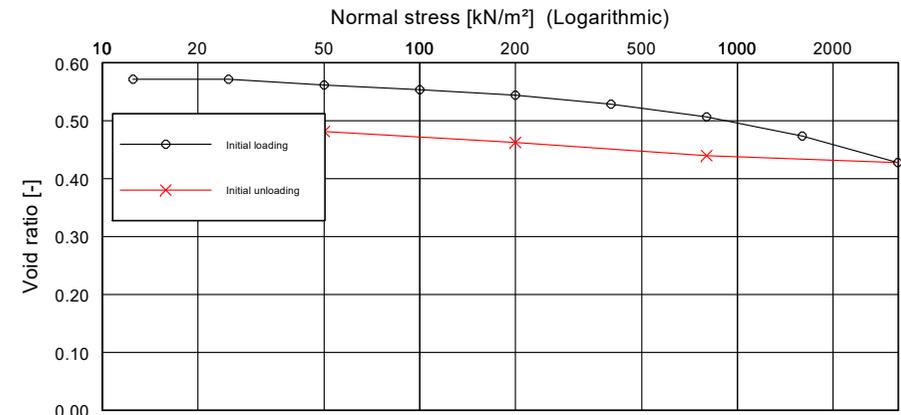
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5716	
25.00	0.000	0.5716	
50.00	0.130	0.5614	0.01474
100.00	0.230	0.5535	0.01134
200.00	0.350	0.5441	0.01360
400.00	0.550	0.5284	0.02267
800.00	0.830	0.5064	0.03174
1600.00	1.250	0.4734	0.04761
3200.00	1.830	0.4278	0.06575
800.00	1.680	0.4396	0.00850
200.00	1.390	0.4624	0.01644
50.00	1.150	0.4812	0.01360

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.678
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.209
Wet mass [g] = 80.880	Initial void ratio [-] = 0.5716



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.130	0.230	0.350	0.550	0.830	1.250	1.830	1.680	1.390	1.150
Compression coeff. [-]		-	0.0147	0.0113	0.0136	0.0227	0.0317	0.0476	0.0658	0.0085	0.0164	0.0136

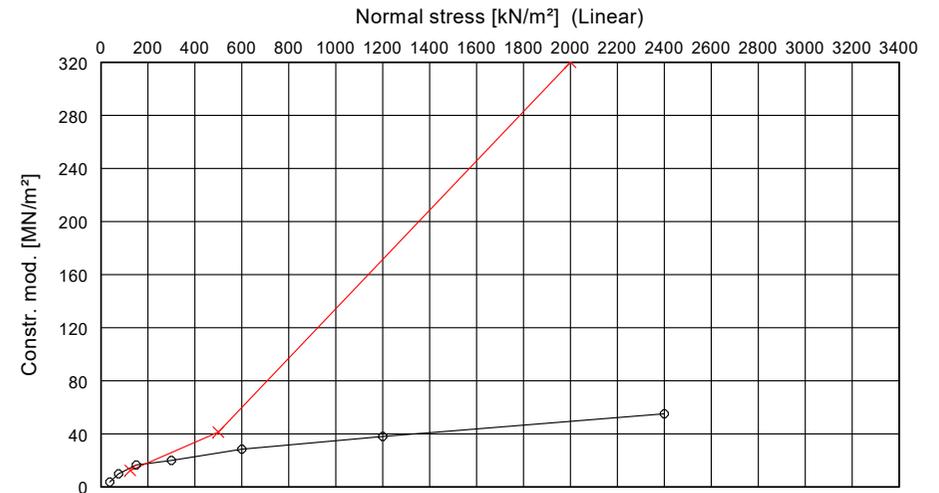
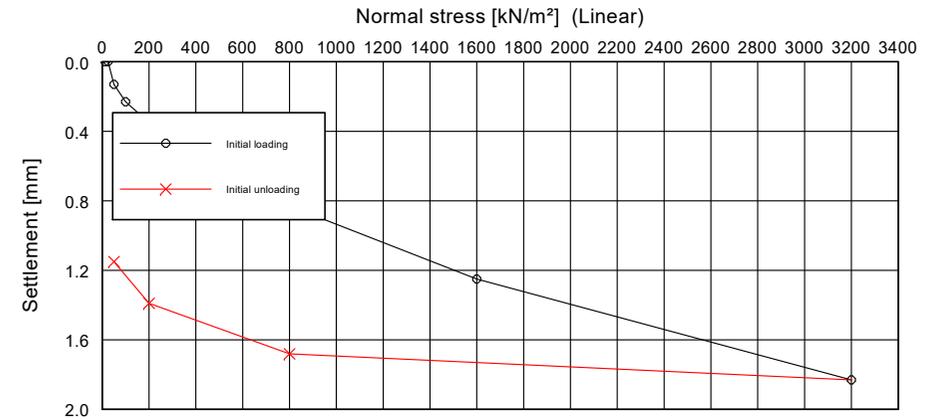
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.130	0.7	3.8
100.00	0.230	1.2	10.0
200.00	0.350	1.8	16.7
400.00	0.550	2.8	20.0
800.00	0.830	4.1	28.6
1600.00	1.250	6.3	38.1
3200.00	1.830	9.2	55.2
800.00	1.680	8.4	320.0
200.00	1.390	6.9	41.4
50.00	1.150	5.8	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.209
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.130	0.230	0.350	0.550	0.830	1.250	1.830	1.680	1.390	1.150
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	3.8	10.0	16.7	20.0	28.6	38.1	55.2	320.0	41.4	12.5

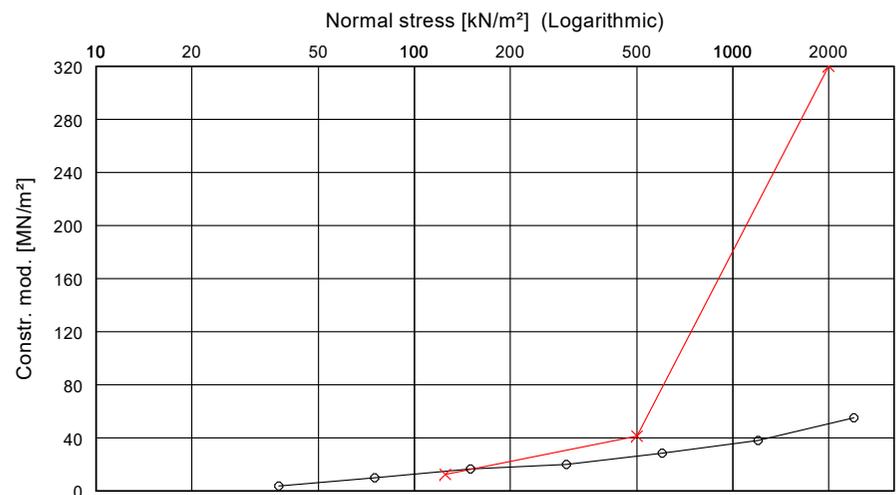
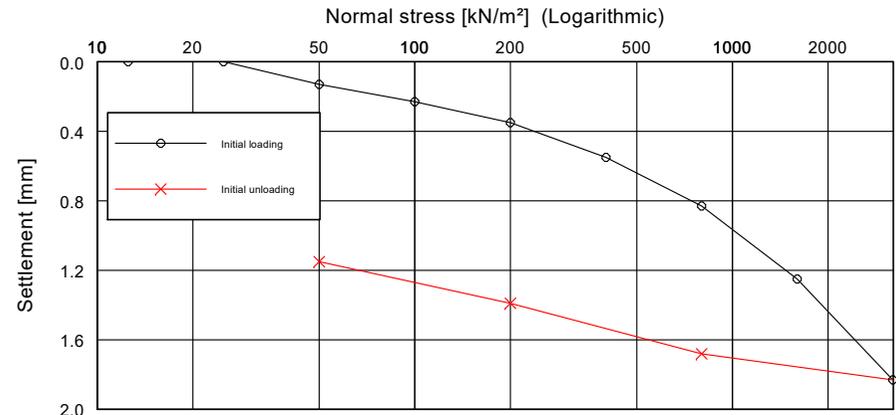
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.130	0.7	3.8
100.00	0.230	1.2	10.0
200.00	0.350	1.8	16.7
400.00	0.550	2.8	20.0
800.00	0.830	4.1	28.6
1600.00	1.250	6.3	38.1
3200.00	1.830	9.2	55.2
800.00	1.680	8.4	320.0
200.00	1.390	6.9	41.4
50.00	1.150	5.8	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.209
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.130	0.230	0.350	0.550	0.830	1.250	1.830	1.680	1.390	1.150
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	3.8	10.0	16.7	20.0	28.6	38.1	55.2	320.0	41.4	12.5

Load-settlement-test

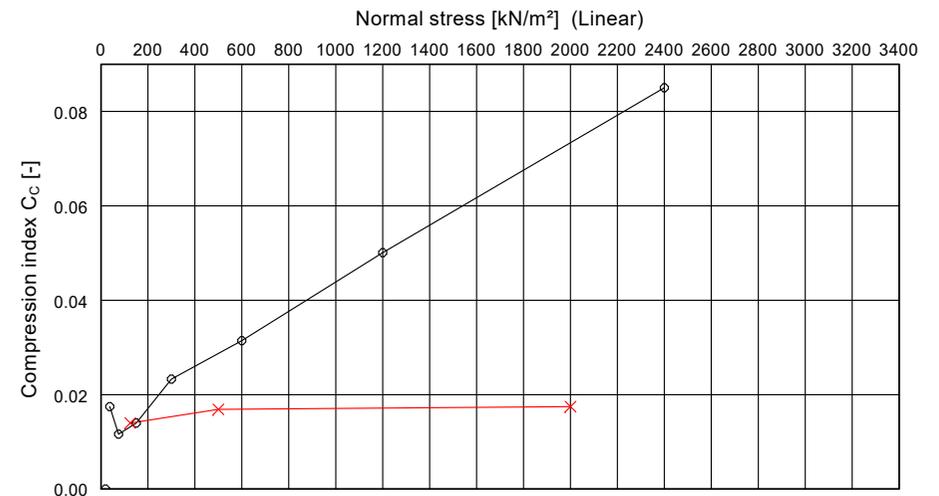
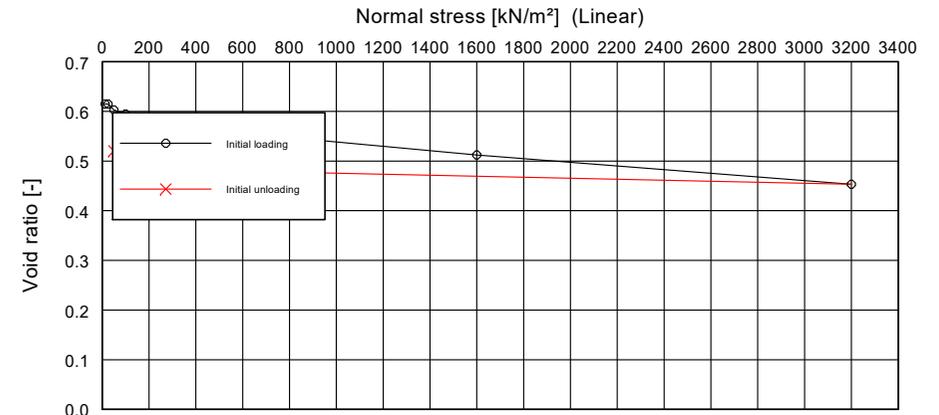
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6149	
25.00	0.000	0.6149	
50.00	0.150	0.6028	0.01747
100.00	0.250	0.5947	0.01165
200.00	0.370	0.5850	0.01398
400.00	0.570	0.5689	0.02330
800.00	0.840	0.5471	0.03145
1600.00	1.270	0.5124	0.05009
3200.00	2.000	0.4534	0.08504
800.00	1.700	0.4776	0.01747
200.00	1.410	0.5011	0.01689
50.00	1.170	0.5204	0.01398

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.227
Wet mass [g] = 80.480	Initial void ratio [-] = 0.6149



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.150	0.250	0.370	0.570	0.840	1.270	2.000	1.700	1.410	1.170
Compression coeff. [-]		-	0.0175	0.0116	0.0140	0.0233	0.0315	0.0501	0.0850	0.0175	0.0169	0.0140

Load-settlement-test

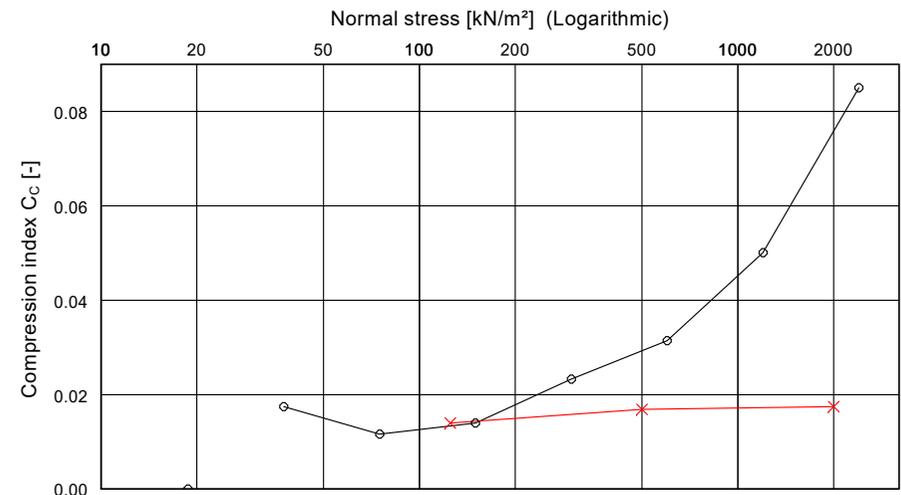
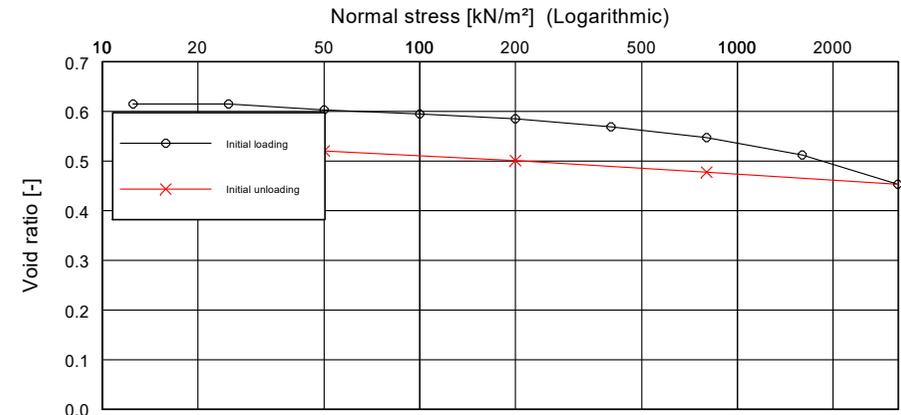
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6149	
25.00	0.000	0.6149	
50.00	0.150	0.6028	0.01747
100.00	0.250	0.5947	0.01165
200.00	0.370	0.5850	0.01398
400.00	0.570	0.5689	0.02330
800.00	0.840	0.5471	0.03145
1600.00	1.270	0.5124	0.05009
3200.00	2.000	0.4534	0.08504
800.00	1.700	0.4776	0.01747
200.00	1.410	0.5011	0.01689
50.00	1.170	0.5204	0.01398

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.227
Wet mass [g] = 80.480	Initial void ratio [-] = 0.6149



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.150	0.250	0.370	0.570	0.840	1.270	2.000	1.700	1.410	1.170
Compression coeff. [-]		-	0.0175	0.0116	0.0140	0.0233	0.0315	0.0501	0.0850	0.0175	0.0169	0.0140

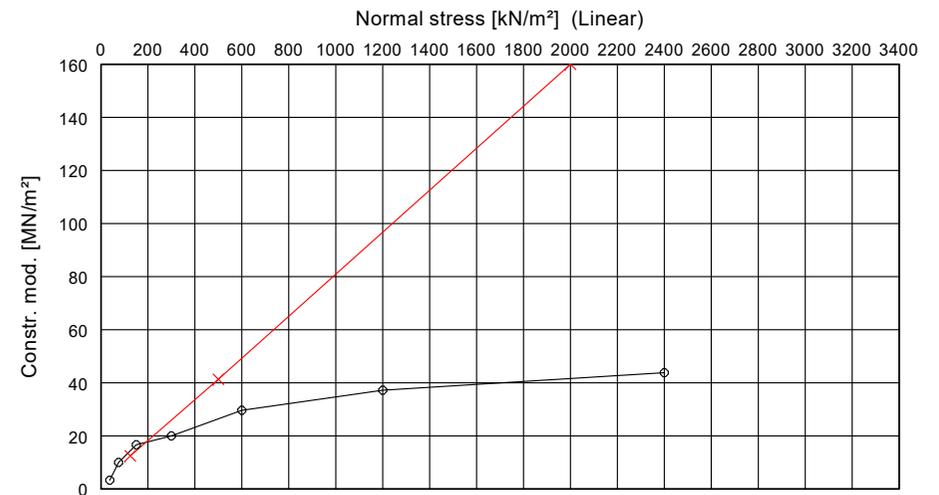
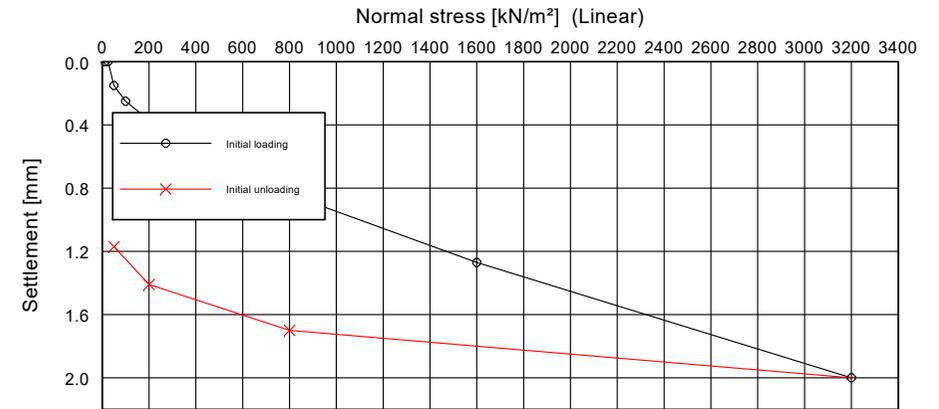
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.150	0.8	3.3
100.00	0.250	1.3	10.0
200.00	0.370	1.9	16.7
400.00	0.570	2.8	20.0
800.00	0.840	4.2	29.6
1600.00	1.270	6.3	37.2
3200.00	2.000	10.0	43.8
800.00	1.700	8.5	160.0
200.00	1.410	7.0	41.4
50.00	1.170	5.8	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.227
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.150	0.250	0.370	0.570	0.840	1.270	2.000	1.700	1.410	1.170
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	3.3	10.0	16.7	20.0	29.6	37.2	43.8	160.0	41.4	12.5

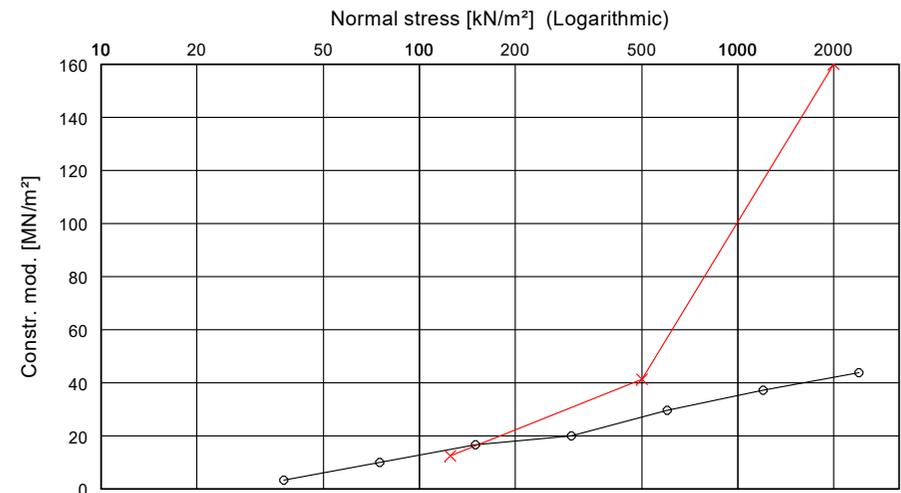
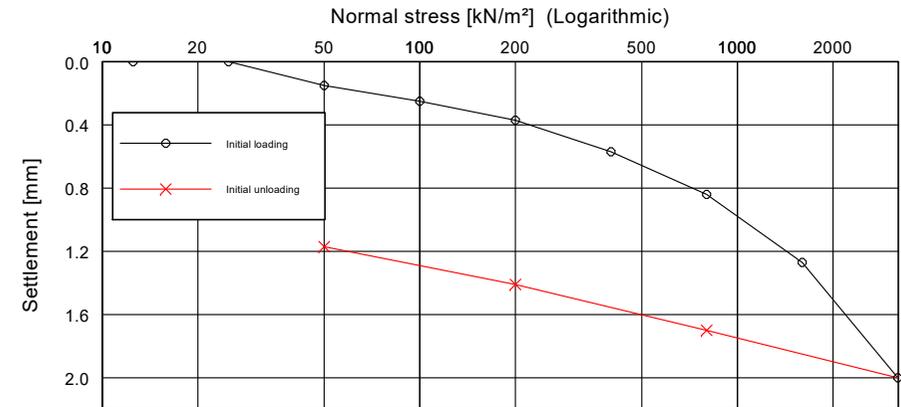
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.150	0.8	3.3
100.00	0.250	1.3	10.0
200.00	0.370	1.9	16.7
400.00	0.570	2.8	20.0
800.00	0.840	4.2	29.6
1600.00	1.270	6.3	37.2
3200.00	2.000	10.0	43.8
800.00	1.700	8.5	160.0
200.00	1.410	7.0	41.4
50.00	1.170	5.8	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.227
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.150	0.250	0.370	0.570	0.840	1.270	2.000	1.700	1.410	1.170
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	3.3	10.0	16.7	20.0	29.6	37.2	43.8	160.0	41.4	12.5

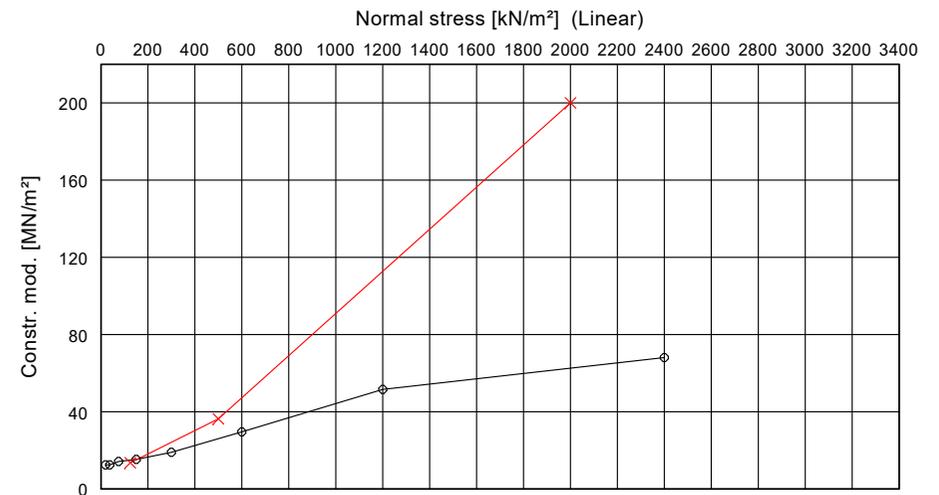
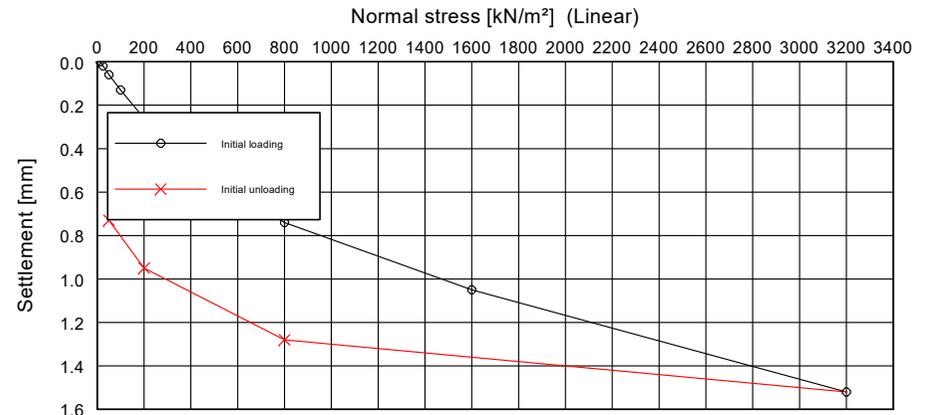
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	12.5
25.00	0.020	0.1	
50.00	0.060	0.3	12.5
100.00	0.130	0.7	14.3
200.00	0.260	1.3	15.4
400.00	0.470	2.3	19.0
800.00	0.740	3.7	29.6
1600.00	1.050	5.3	51.6
3200.00	1.520	7.6	68.1
800.00	1.280	6.4	200.0
200.00	0.950	4.8	36.4
50.00	0.730	3.6	13.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.207
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.020	0.060	0.130	0.260	0.470	0.740	1.050	1.520	1.280	0.950	0.730
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		12.5	12.5	14.3	15.4	19.0	29.6	51.6	68.1	200.0	36.4	13.6

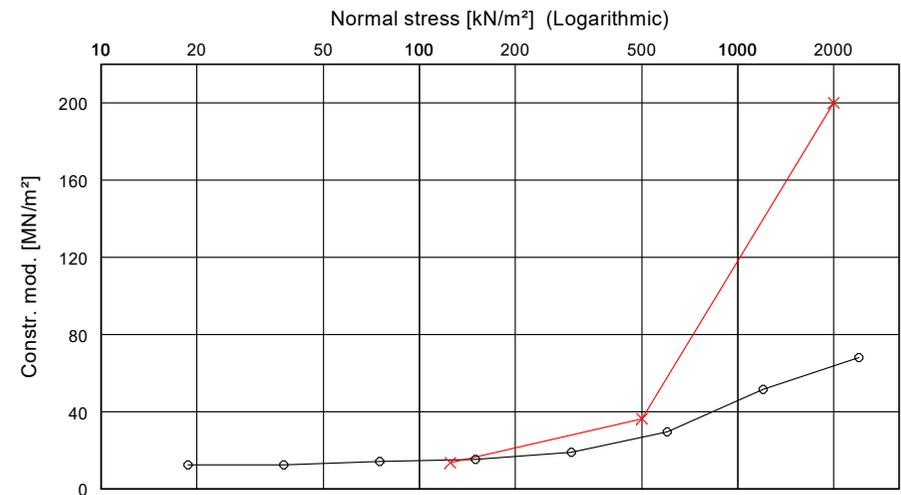
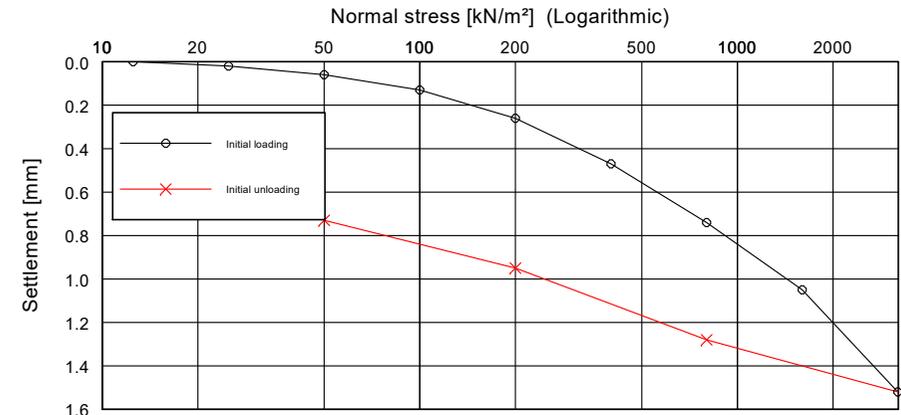
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	12.5
25.00	0.020	0.1	
50.00	0.060	0.3	12.5
100.00	0.130	0.7	14.3
200.00	0.260	1.3	15.4
400.00	0.470	2.3	19.0
800.00	0.740	3.7	29.6
1600.00	1.050	5.3	51.6
3200.00	1.520	7.6	68.1
800.00	1.280	6.4	200.0
200.00	0.950	4.8	36.4
50.00	0.730	3.6	13.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.207
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.020	0.060	0.130	0.260	0.470	0.740	1.050	1.520	1.280	0.950	0.730
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		12.5	12.5	14.3	15.4	19.0	29.6	51.6	68.1	200.0	36.4	13.6

Load-settlement-test

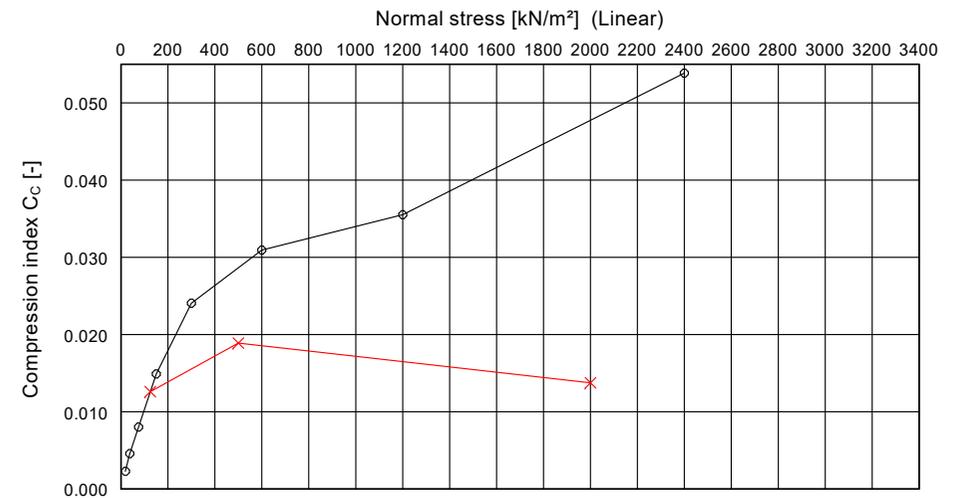
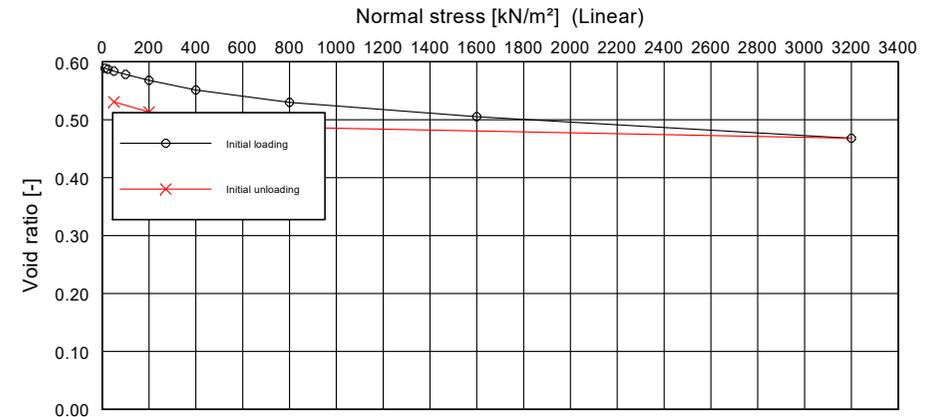
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5886	0.00229
25.00	0.020	0.5870	
50.00	0.060	0.5838	0.00458
100.00	0.130	0.5783	0.00802
200.00	0.260	0.5679	0.01490
400.00	0.470	0.5513	0.02406
800.00	0.740	0.5298	0.03094
1600.00	1.050	0.5052	0.03552
3200.00	1.520	0.4679	0.05386
800.00	1.280	0.4869	0.01375
200.00	0.950	0.5131	0.01891
50.00	0.730	0.5306	0.01261

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.207
Wet mass [g] = 80.480	Initial void ratio [-] = 0.5886



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.020	0.060	0.130	0.260	0.470	0.740	1.050	1.520	1.280	0.950	0.730
Compression coeff. [-]		0.0023	0.0046	0.0080	0.0149	0.0241	0.0309	0.0355	0.0539	0.0138	0.0189	0.0126

Load-settlement-test

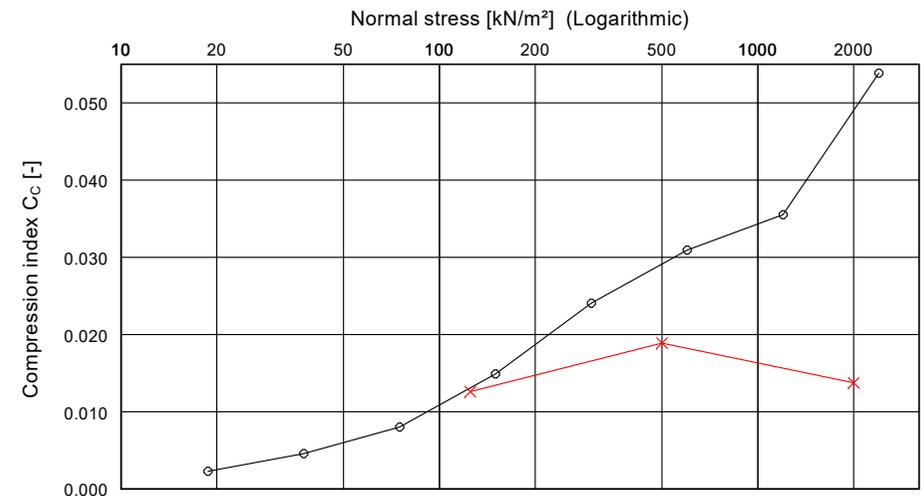
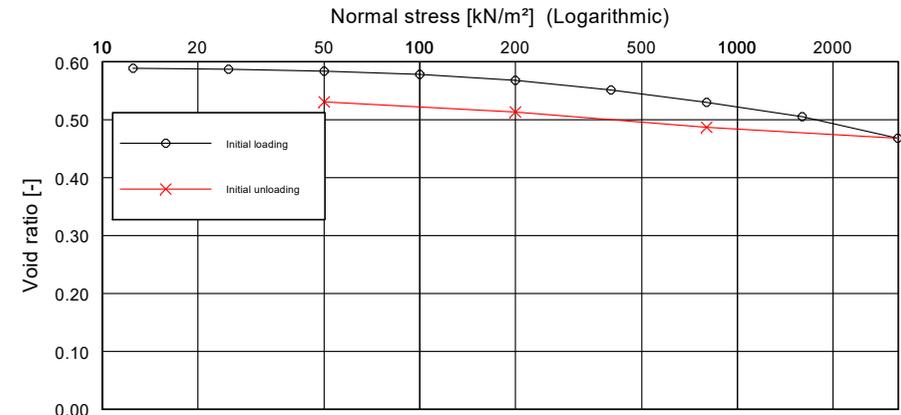
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5886	0.00229
25.00	0.020	0.5870	
50.00	0.060	0.5838	0.00458
100.00	0.130	0.5783	0.00802
200.00	0.260	0.5679	0.01490
400.00	0.470	0.5513	0.02406
800.00	0.740	0.5298	0.03094
1600.00	1.050	0.5052	0.03552
3200.00	1.520	0.4679	0.05386
800.00	1.280	0.4869	0.01375
200.00	0.950	0.5131	0.01891
50.00	0.730	0.5306	0.01261

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.207
Wet mass [g] = 80.480	Initial void ratio [-] = 0.5886



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.020	0.060	0.130	0.260	0.470	0.740	1.050	1.520	1.280	0.950	0.730
Compression coeff. [-]		0.0023	0.0046	0.0080	0.0149	0.0241	0.0309	0.0355	0.0539	0.0138	0.0189	0.0126

Load-settlement-test

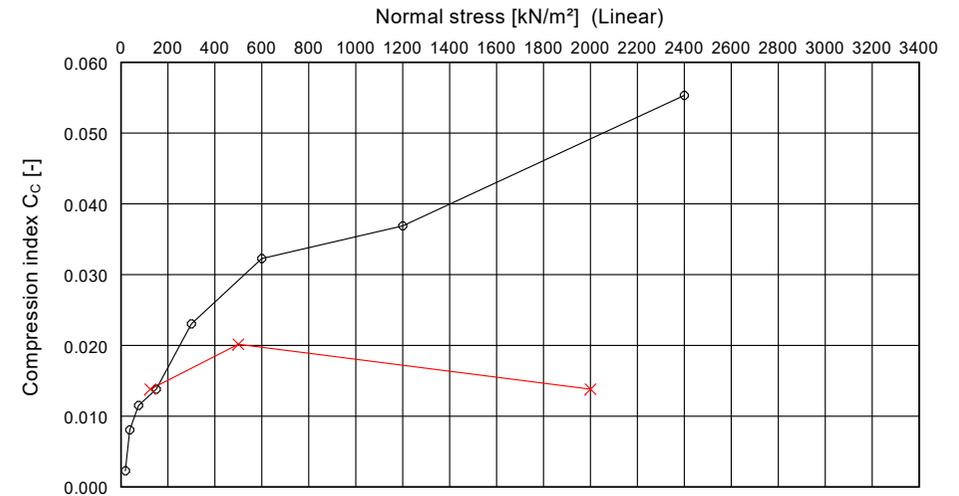
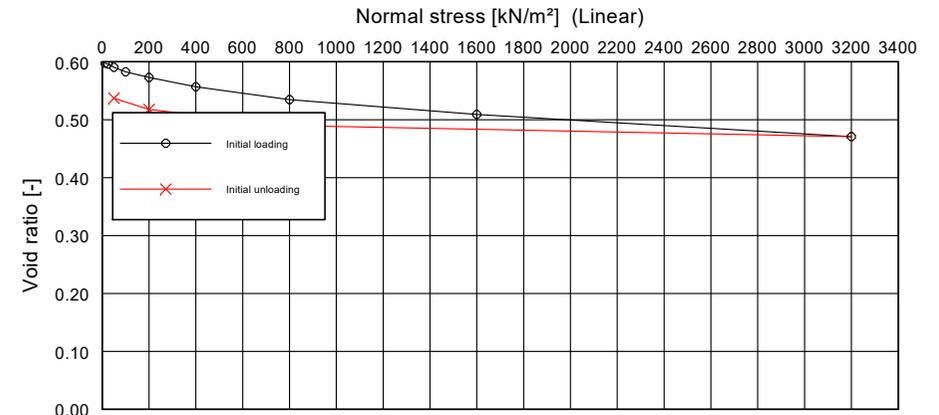
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5976	0.00230
25.00	0.020	0.5960	
50.00	0.090	0.5905	0.00807
100.00	0.190	0.5825	0.01152
200.00	0.310	0.5729	0.01383
400.00	0.510	0.5569	0.02305
800.00	0.790	0.5345	0.03227
1600.00	1.110	0.5090	0.03688
3200.00	1.590	0.4706	0.05532
800.00	1.350	0.4898	0.01383
200.00	1.000	0.5178	0.02017
50.00	0.760	0.5369	0.01383

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.208
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.5976



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.020	0.090	0.190	0.310	0.510	0.790	1.110	1.590	1.350	1.000	0.760
Compression coeff. [-]		0.0023	0.0081	0.0115	0.0138	0.0230	0.0323	0.0369	0.0553	0.0138	0.0202	0.0138

Load-settlement-test

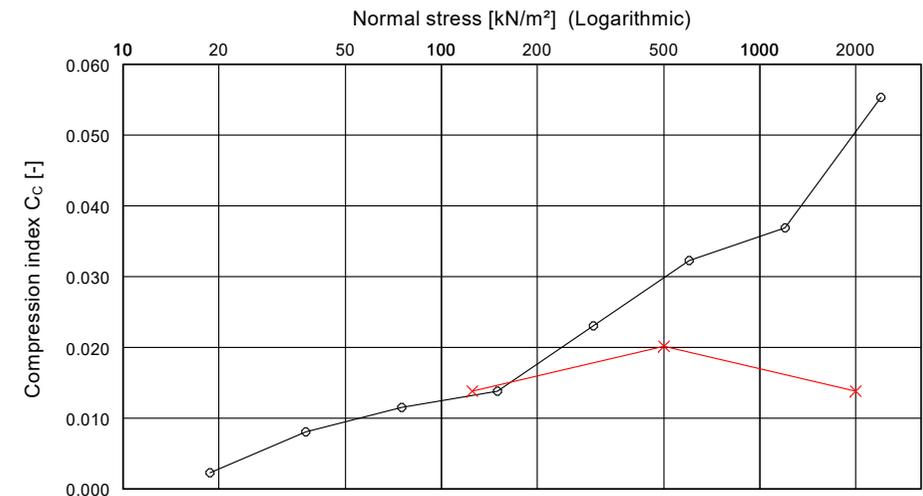
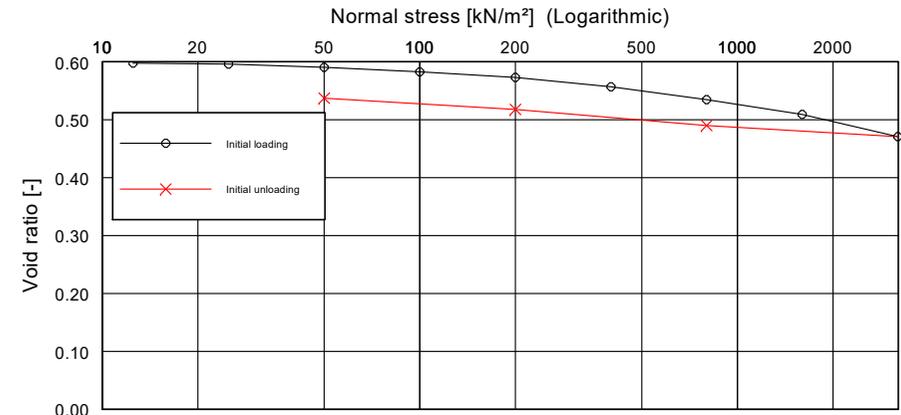
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.5976	0.00230
25.00	0.020	0.5960	
50.00	0.090	0.5905	0.00807
100.00	0.190	0.5825	0.01152
200.00	0.310	0.5729	0.01383
400.00	0.510	0.5569	0.02305
800.00	0.790	0.5345	0.03227
1600.00	1.110	0.5090	0.03688
3200.00	1.590	0.4706	0.05532
800.00	1.350	0.4898	0.01383
200.00	1.000	0.5178	0.02017
50.00	0.760	0.5369	0.01383

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.208
Wet mass [g] = 80.090	Initial void ratio [-] = 0.5976



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.020	0.090	0.190	0.310	0.510	0.790	1.110	1.590	1.350	1.000	0.760
Compression coeff. [-]		0.0023	0.0081	0.0115	0.0138	0.0230	0.0323	0.0369	0.0553	0.0138	0.0202	0.0138

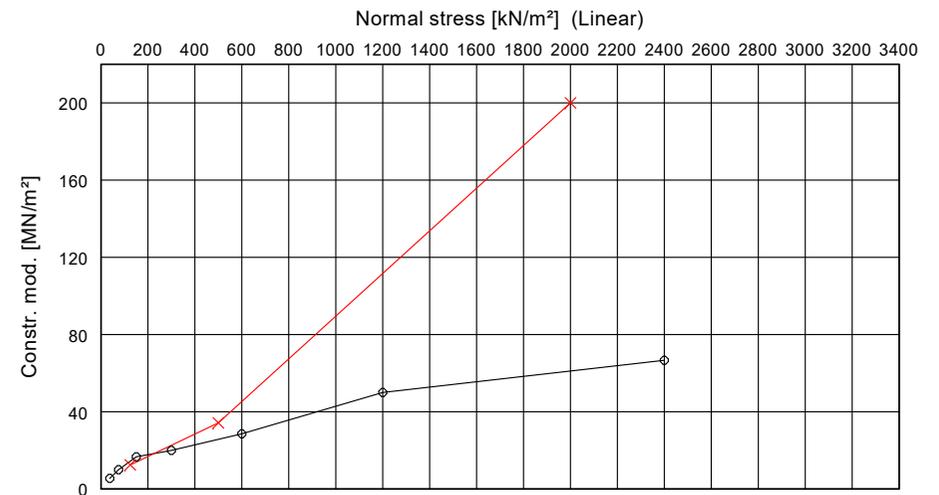
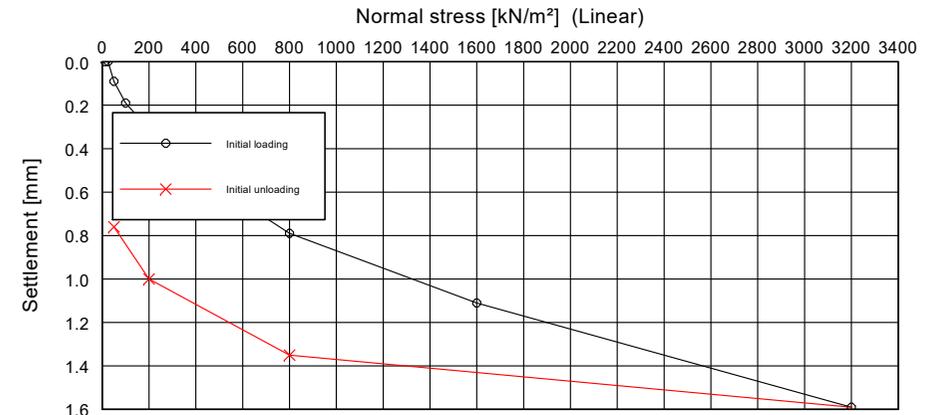
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.090	0.5	5.6
100.00	0.190	1.0	10.0
200.00	0.310	1.6	16.7
400.00	0.510	2.5	20.0
800.00	0.790	4.0	28.6
1600.00	1.110	5.6	50.0
3200.00	1.590	8.0	66.7
800.00	1.350	6.8	200.0
200.00	1.000	5.0	34.3
50.00	0.760	3.8	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.208
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.090	0.190	0.310	0.510	0.790	1.110	1.590	1.350	1.000	0.760
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	5.6	10.0	16.7	20.0	28.6	50.0	66.7	200.0	34.3	12.5

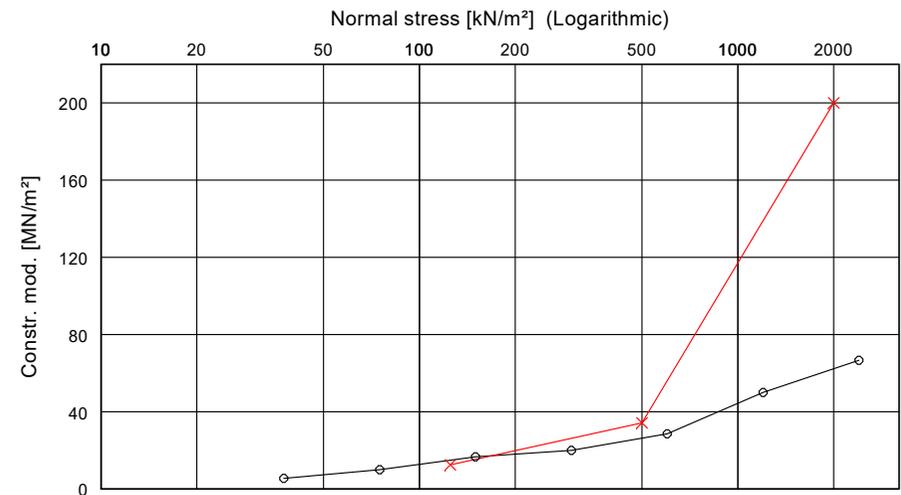
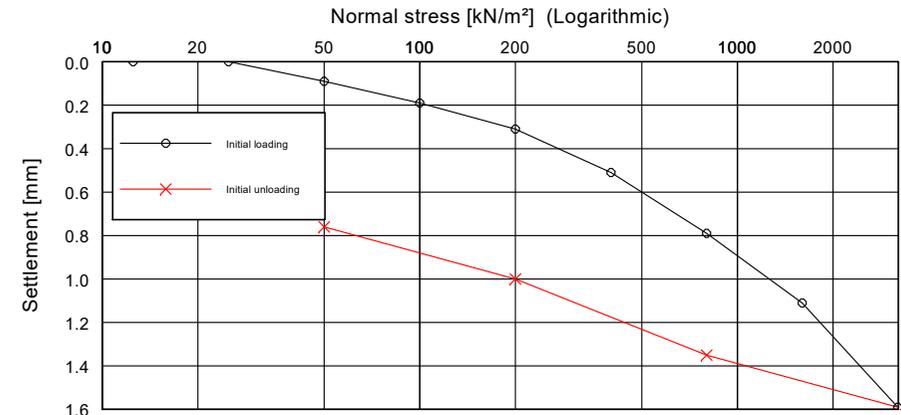
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.090	0.5	5.6
100.00	0.190	1.0	10.0
200.00	0.310	1.6	16.7
400.00	0.510	2.5	20.0
800.00	0.790	4.0	28.6
1600.00	1.110	5.6	50.0
3200.00	1.590	8.0	66.7
800.00	1.350	6.8	200.0
200.00	1.000	5.0	34.3
50.00	0.760	3.8	12.5



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.208
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.090	0.190	0.310	0.510	0.790	1.110	1.590	1.350	1.000	0.760
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	5.6	10.0	16.7	20.0	28.6	50.0	66.7	200.0	34.3	12.5

Load-settlement-test

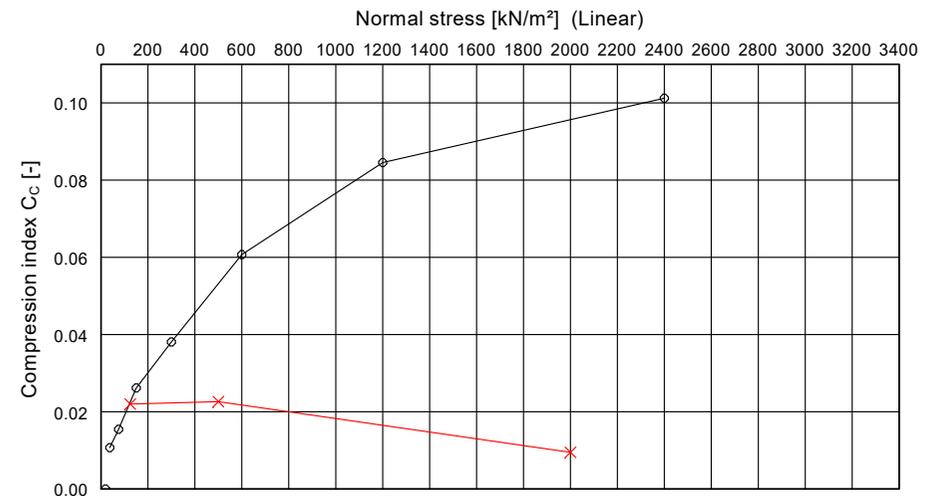
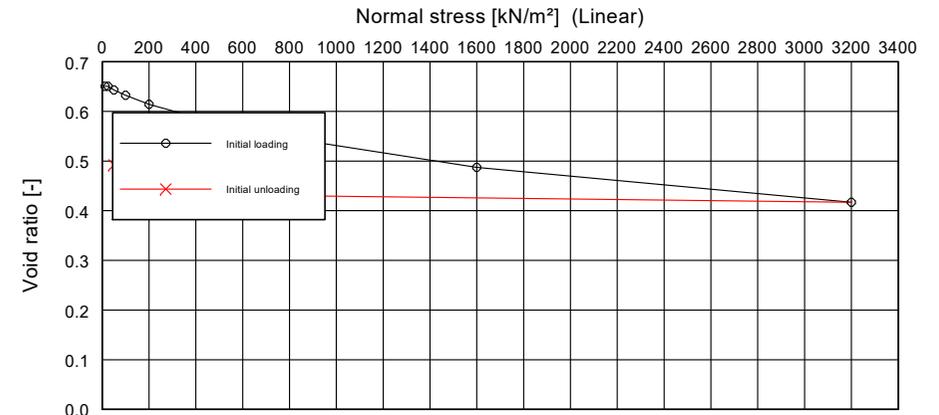
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6507	
25.00	0.000	0.6507	
50.00	0.090	0.6432	0.01072
100.00	0.220	0.6325	0.01548
200.00	0.440	0.6143	0.02620
400.00	0.760	0.5879	0.03810
800.00	1.270	0.5458	0.06073
1600.00	1.980	0.4872	0.08454
3200.00	2.830	0.4171	0.10121
800.00	2.670	0.4303	0.00953
200.00	2.290	0.4617	0.02262
50.00	1.920	0.4922	0.02203

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.242
Wet mass [g] = 79.700	Initial void ratio [-] = 0.6507



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.090	0.220	0.440	0.760	1.270	1.980	2.830	2.670	2.290	1.920
Compression coeff. [-]		-	0.0107	0.0155	0.0262	0.0381	0.0607	0.0845	0.1012	0.0095	0.0226	0.0220

Load-settlement-test

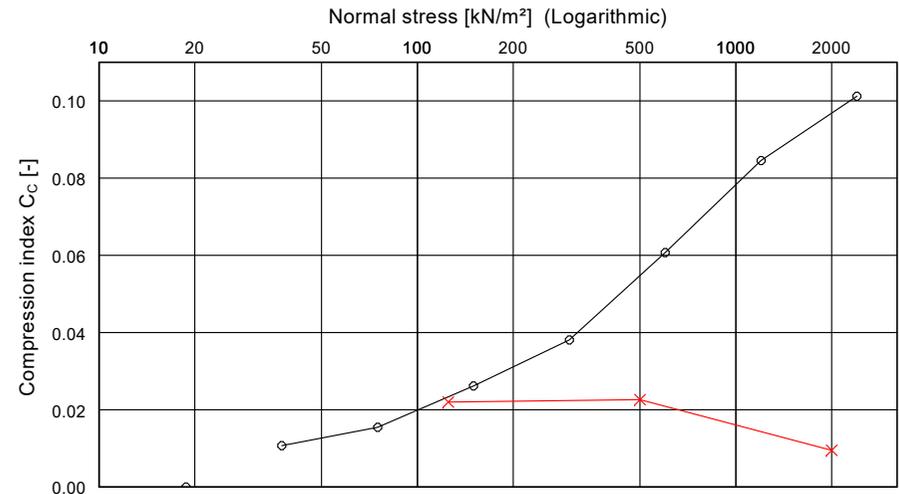
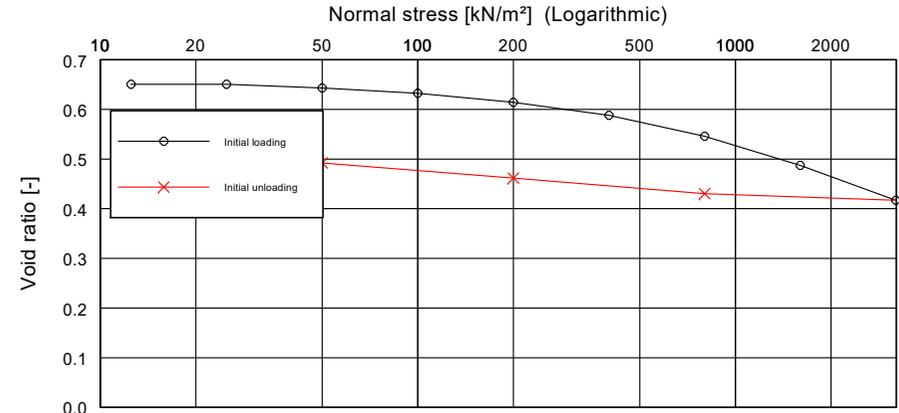
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.6507	
25.00	0.000	0.6507	
50.00	0.090	0.6432	0.01072
100.00	0.220	0.6325	0.01548
200.00	0.440	0.6143	0.02620
400.00	0.760	0.5879	0.03810
800.00	1.270	0.5458	0.06073
1600.00	1.980	0.4872	0.08454
3200.00	2.830	0.4171	0.10121
800.00	2.670	0.4303	0.00953
200.00	2.290	0.4617	0.02262
50.00	1.920	0.4922	0.02203

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.242
Wet mass [g] = 79.700	Initial void ratio [-] = 0.6507



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.090	0.220	0.440	0.760	1.270	1.980	2.830	2.670	2.290	1.920
Compression coeff. [-]		-	0.0107	0.0155	0.0262	0.0381	0.0607	0.0845	0.1012	0.0095	0.0226	0.0220

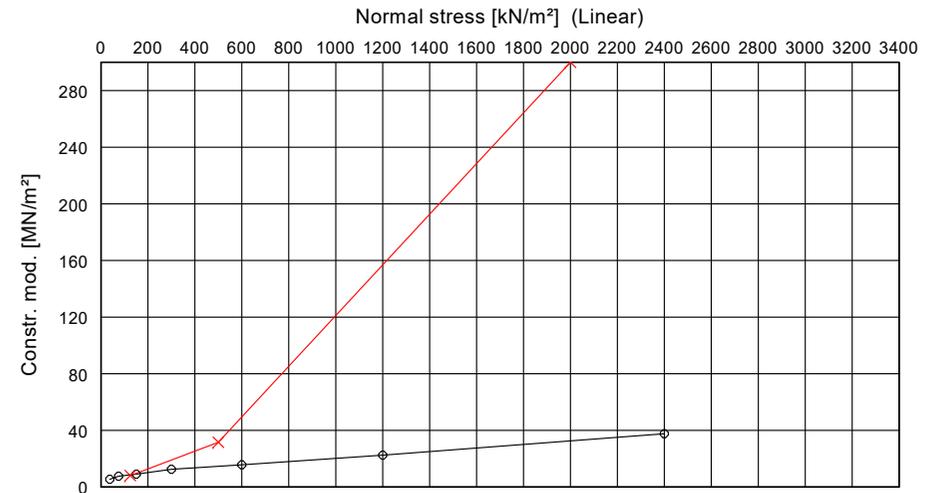
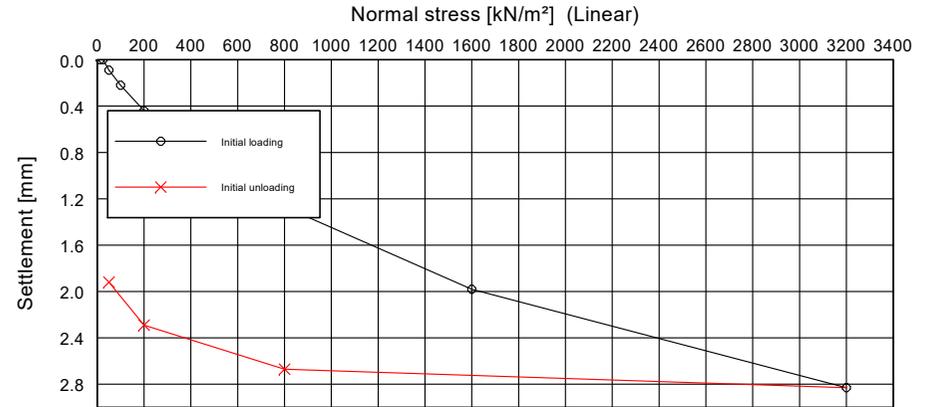
Load-settlement-test

Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.090	0.5	5.6
100.00	0.220	1.1	7.7
200.00	0.440	2.2	9.1
400.00	0.760	3.8	12.5
800.00	1.270	6.3	15.7
1600.00	1.980	9.9	22.5
3200.00	2.830	14.2	37.6
800.00	2.670	13.3	300.0
200.00	2.290	11.4	31.6
50.00	1.920	9.6	8.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.242
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.090	0.220	0.440	0.760	1.270	1.980	2.830	2.670	2.290	1.920
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	5.6	7.7	9.1	12.5	15.7	22.5	37.6	300.0	31.6	8.1

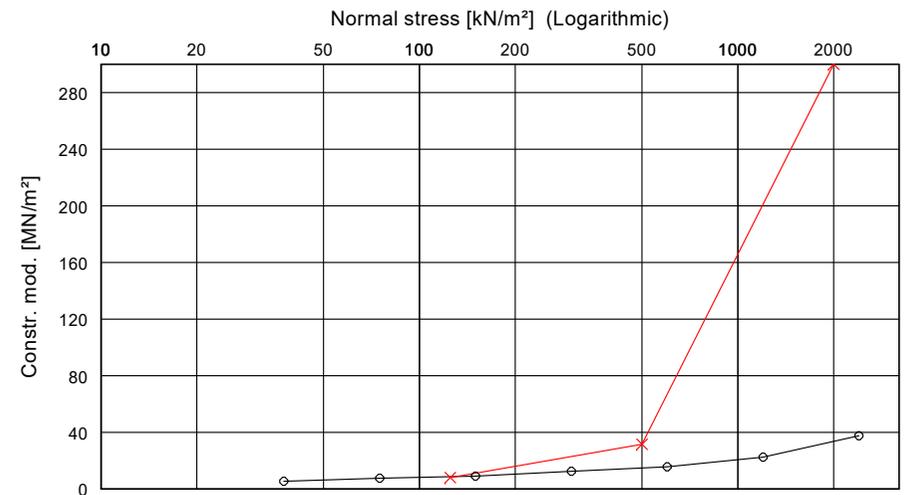
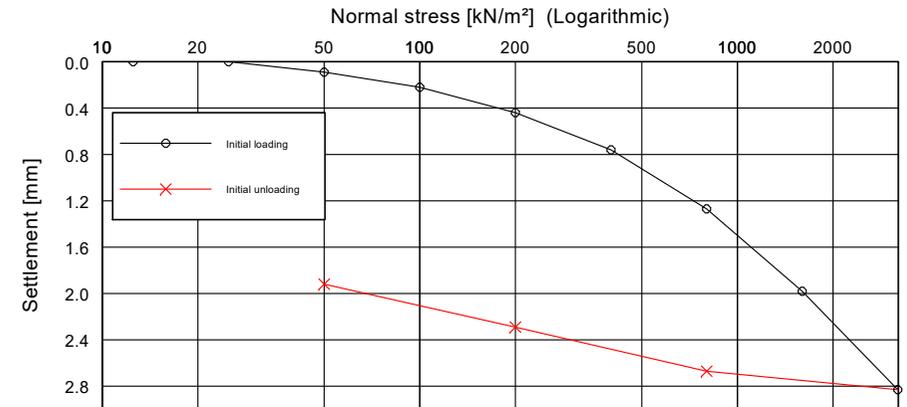
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	
25.00	0.000	0.0	
50.00	0.090	0.5	5.6
100.00	0.220	1.1	7.7
200.00	0.440	2.2	9.1
400.00	0.760	3.8	12.5
800.00	1.270	6.3	15.7
1600.00	1.980	9.9	22.5
3200.00	2.830	14.2	37.6
800.00	2.670	13.3	300.0
200.00	2.290	11.4	31.6
50.00	1.920	9.6	8.1



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.242
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.000	0.090	0.220	0.440	0.760	1.270	1.980	2.830	2.670	2.290	1.920
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		-	5.6	7.7	9.1	12.5	15.7	22.5	37.6	300.0	31.6	8.1

Load-settlement-test

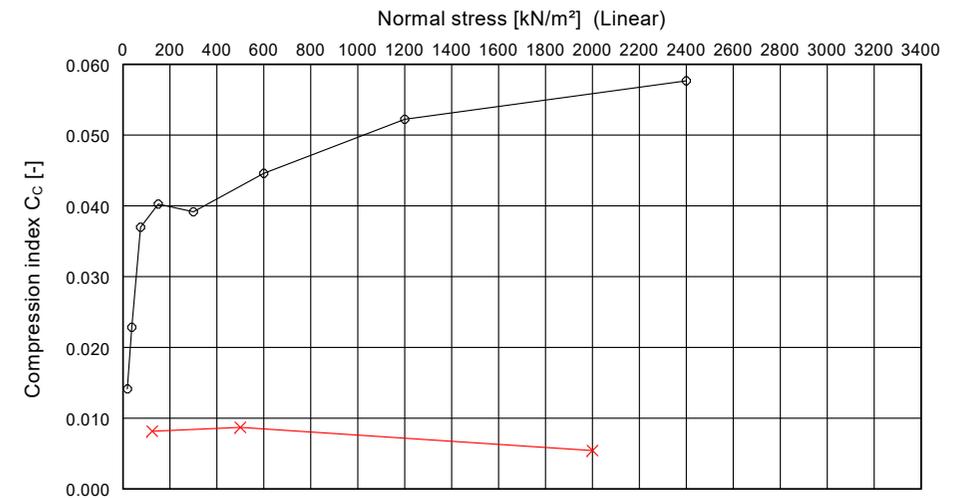
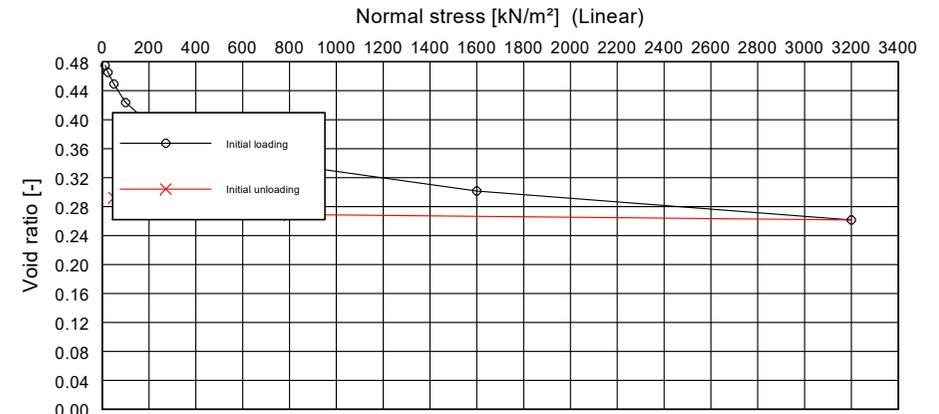
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.440	0.4749	0.01414
25.00	0.570	0.4651	
50.00	0.780	0.4493	0.02285
100.00	1.120	0.4236	0.03699
200.00	1.490	0.3957	0.04025
400.00	1.850	0.3686	0.03916
800.00	2.260	0.3377	0.04460
1600.00	2.740	0.3015	0.05222
3200.00	3.270	0.2615	0.05766
800.00	3.170	0.2691	0.00544
200.00	3.010	0.2811	0.00870
50.00	2.860	0.2924	0.00816

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.185
Wet mass [g] = 83.230	Initial void ratio [-] = 0.5081



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.440	0.570	0.780	1.120	1.490	1.850	2.260	2.740	3.270	3.170	3.010	2.860
Compression coeff. [-]		0.0141	0.0228	0.0370	0.0403	0.0392	0.0446	0.0522	0.0577	0.0054	0.0087	0.0082

Load-settlement-test

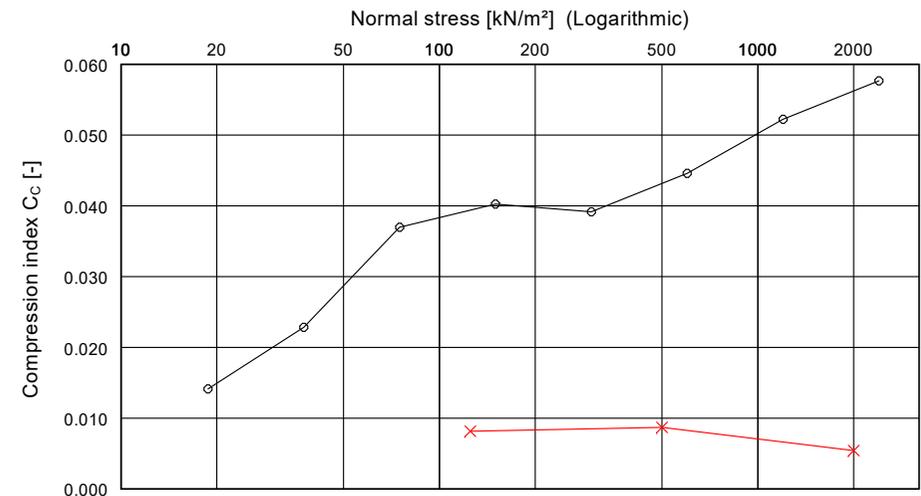
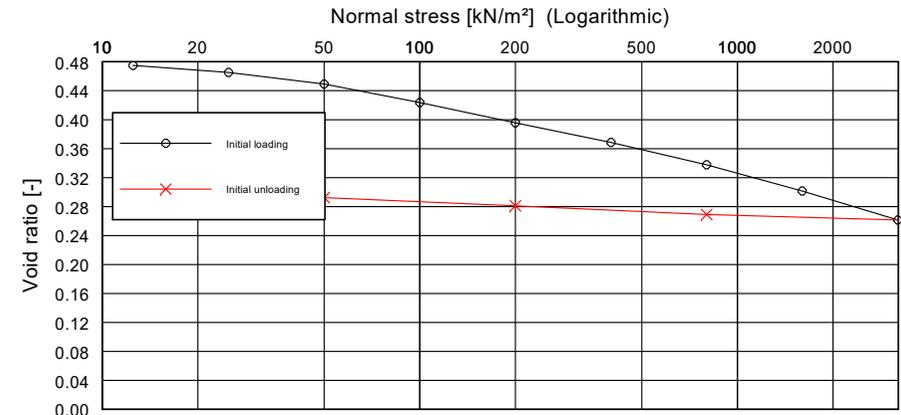
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.440	0.4749	0.01414
25.00	0.570	0.4651	
50.00	0.780	0.4493	0.02285
100.00	1.120	0.4236	0.03699
200.00	1.490	0.3957	0.04025
400.00	1.850	0.3686	0.03916
800.00	2.260	0.3377	0.04460
1600.00	2.740	0.3015	0.05222
3200.00	3.270	0.2615	0.05766
800.00	3.170	0.2691	0.00544
200.00	3.010	0.2811	0.00870
50.00	2.860	0.2924	0.00816

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.185
Wet mass [g] = 83.230	Initial void ratio [-] = 0.5081



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.440	0.570	0.780	1.120	1.490	1.850	2.260	2.740	3.270	3.170	3.010	2.860
Compression coeff. [-]		0.0141	0.0228	0.0370	0.0403	0.0392	0.0446	0.0522	0.0577	0.0054	0.0087	0.0082

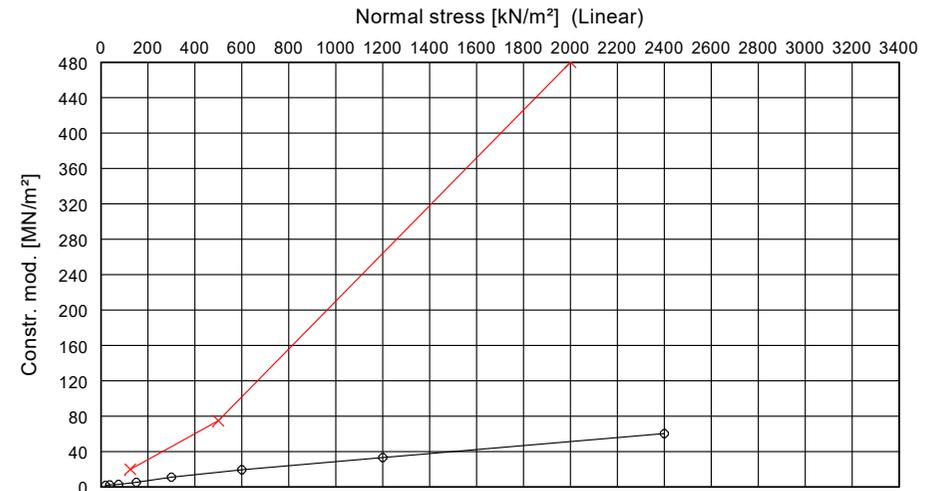
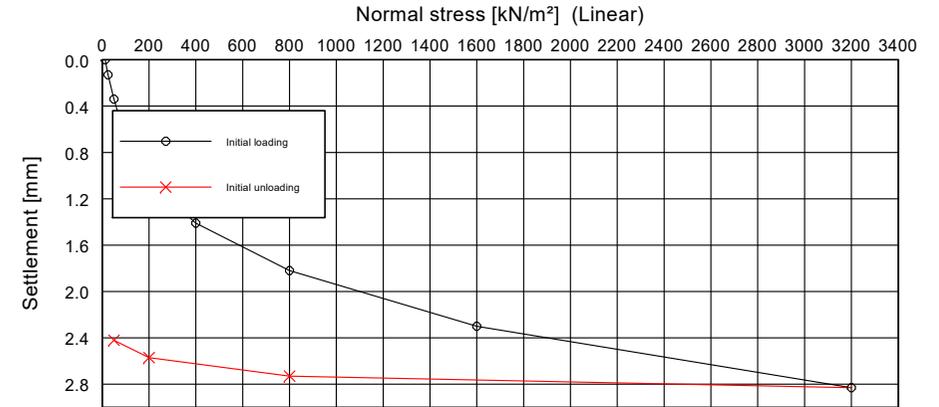
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.440	0.0	1.9
25.00	0.570	0.6	
50.00	0.780	1.7	2.4
100.00	1.120	3.4	2.9
200.00	1.490	5.3	5.4
400.00	1.850	7.1	11.1
800.00	2.260	9.1	19.5
1600.00	2.740	11.5	33.3
3200.00	3.270	14.2	60.4
800.00	3.170	13.7	480.0
200.00	3.010	12.8	75.0
50.00	2.860	12.1	20.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.185
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.440	0.570	0.780	1.120	1.490	1.850	2.260	2.740	3.270	3.170	3.010	2.860
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.9	2.4	2.9	5.4	11.1	19.5	33.3	60.4	480.0	75.0	20.0

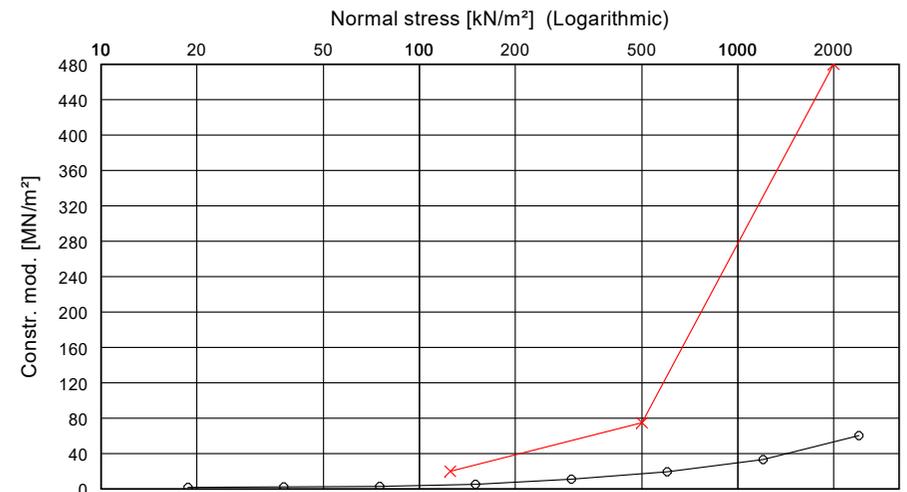
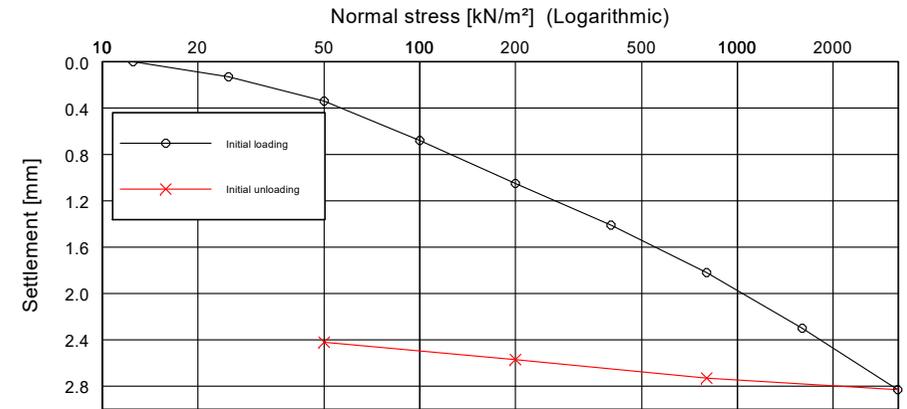
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.440	0.0	1.9
25.00	0.570	0.6	
50.00	0.780	1.7	2.4
100.00	1.120	3.4	2.9
200.00	1.490	5.3	5.4
400.00	1.850	7.1	11.1
800.00	2.260	9.1	19.5
1600.00	2.740	11.5	33.3
3200.00	3.270	14.2	60.4
800.00	3.170	13.7	480.0
200.00	3.010	12.8	75.0
50.00	2.860	12.1	20.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.185
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.440	0.570	0.780	1.120	1.490	1.850	2.260	2.740	3.270	3.170	3.010	2.860
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		1.9	2.4	2.9	5.4	11.1	19.5	33.3	60.4	480.0	75.0	20.0

Load-settlement-test

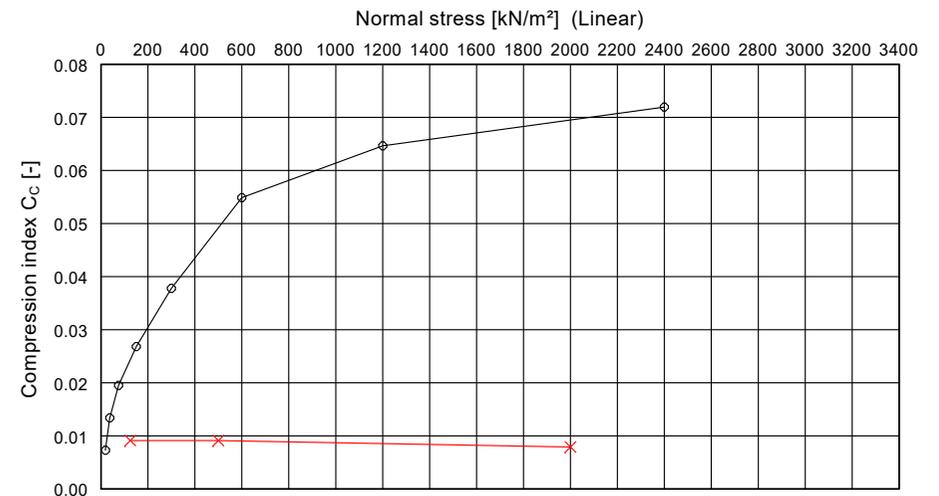
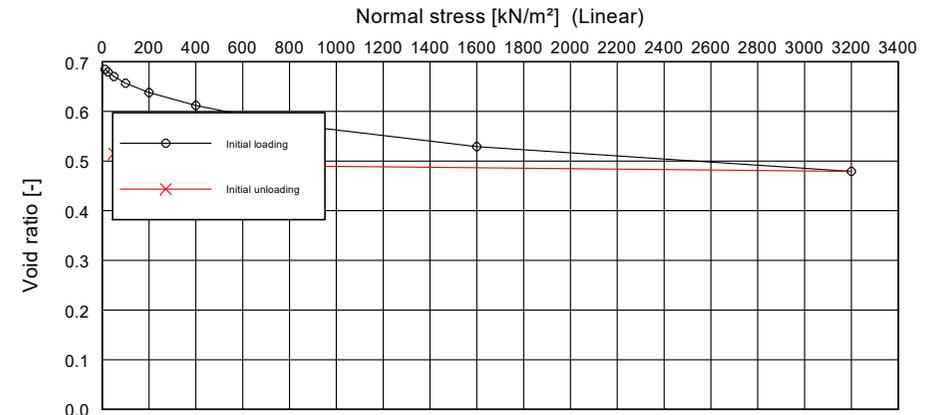
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.070	0.6846	0.00732
25.00	0.130	0.6795	
50.00	0.240	0.6702	0.01341
100.00	0.400	0.6567	0.01951
200.00	0.620	0.6381	0.02683
400.00	0.930	0.6119	0.03780
800.00	1.380	0.5738	0.05487
1600.00	1.910	0.5290	0.06463
3200.00	2.500	0.4792	0.07195
800.00	2.370	0.4901	0.00793
200.00	2.220	0.5028	0.00915
50.00	2.070	0.5155	0.00915

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.634
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.168
Wet mass [g] = 71.450	Initial void ratio [-] = 0.6905



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.070	0.130	0.240	0.400	0.620	0.930	1.380	1.910	2.500	2.370	2.220	2.070
Compression coeff. [-]		0.0073	0.0134	0.0195	0.0268	0.0378	0.0549	0.0646	0.0719	0.0079	0.0091	0.0091

Load-settlement-test

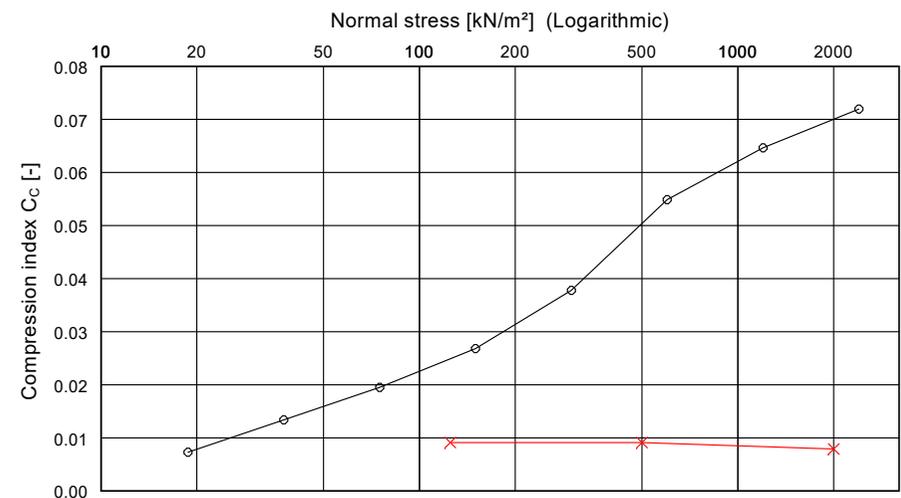
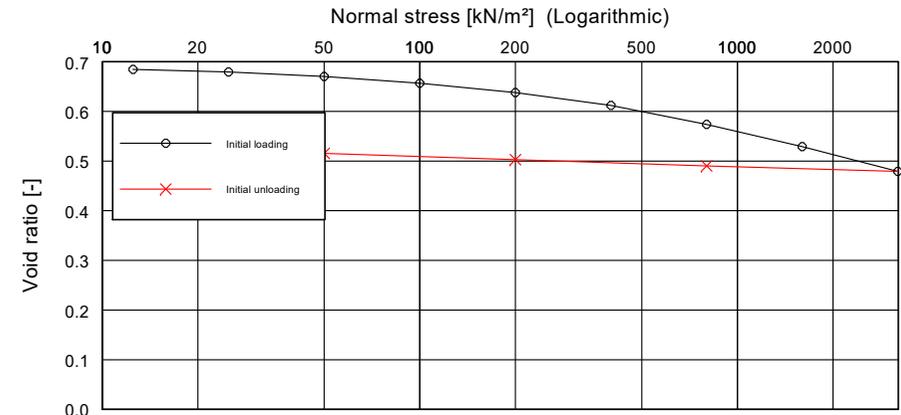
Test number:  
Sampling point:  
Depth:  
Soil type:  
Type of sampling:  
Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.070	0.6846	0.00732
25.00	0.130	0.6795	
50.00	0.240	0.6702	0.01341
100.00	0.400	0.6567	0.01951
200.00	0.620	0.6381	0.02683
400.00	0.930	0.6119	0.03780
800.00	1.380	0.5738	0.05487
1600.00	1.910	0.5290	0.06463
3200.00	2.500	0.4792	0.07195
800.00	2.370	0.4901	0.00793
200.00	2.220	0.5028	0.00915
50.00	2.070	0.5155	0.00915

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.634
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.168
Wet mass [g] = 71.450	Initial void ratio [-] = 0.6905



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.070	0.130	0.240	0.400	0.620	0.930	1.380	1.910	2.500	2.370	2.220	2.070
Compression coeff. [-]		0.0073	0.0134	0.0195	0.0268	0.0378	0.0549	0.0646	0.0719	0.0079	0.0091	0.0091

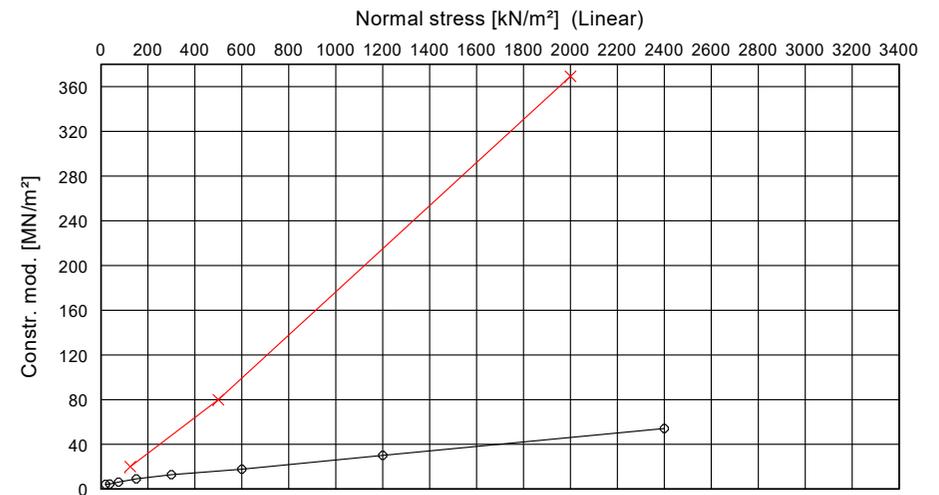
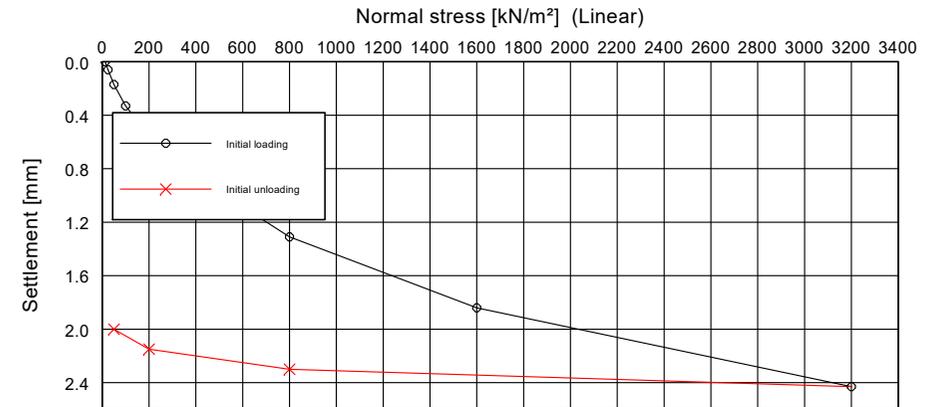
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.070	0.0	4.2
25.00	0.130	0.3	
50.00	0.240	0.8	4.5
100.00	0.400	1.7	6.2
200.00	0.620	2.8	9.1
400.00	0.930	4.3	12.9
800.00	1.380	6.5	17.8
1600.00	1.910	9.2	30.2
3200.00	2.500	12.2	54.2
800.00	2.370	11.5	369.2
200.00	2.220	10.8	80.0
50.00	2.070	10.0	20.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.218
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.070	0.130	0.240	0.400	0.620	0.930	1.380	1.910	2.500	2.370	2.220	2.070
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		4.2	4.5	6.2	9.1	12.9	17.8	30.2	54.2	369.2	80.0	20.0

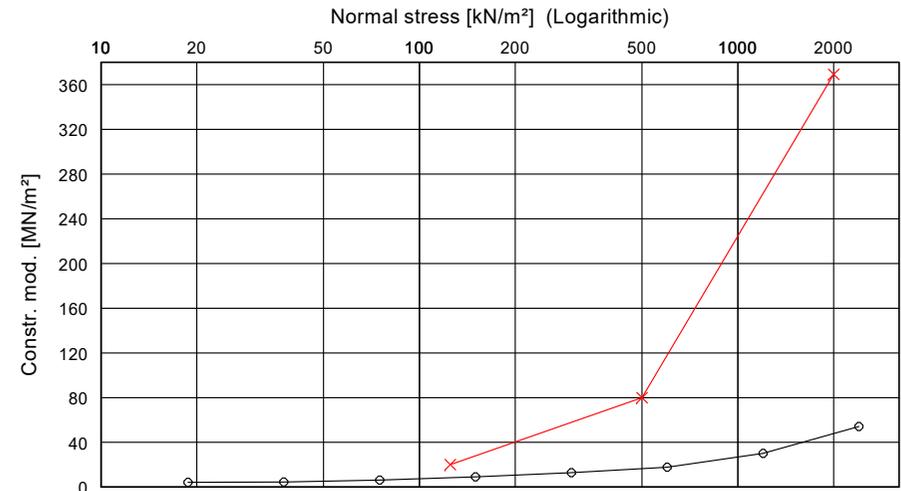
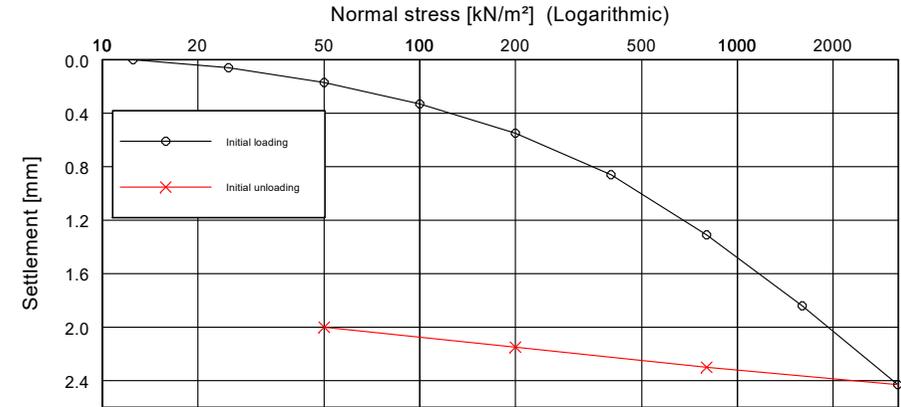
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.070	0.0	4.2
25.00	0.130	0.3	
50.00	0.240	0.8	4.5
100.00	0.400	1.7	6.2
200.00	0.620	2.8	9.1
400.00	0.930	4.3	12.9
800.00	1.380	6.5	17.8
1600.00	1.910	9.2	30.2
3200.00	2.500	12.2	54.2
800.00	2.370	11.5	369.2
200.00	2.220	10.8	80.0
50.00	2.070	10.0	20.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.218
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.070	0.130	0.240	0.400	0.620	0.930	1.380	1.910	2.500	2.370	2.220	2.070
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		4.2	4.5	6.2	9.1	12.9	17.8	30.2	54.2	369.2	80.0	20.0

Load-settlement-test

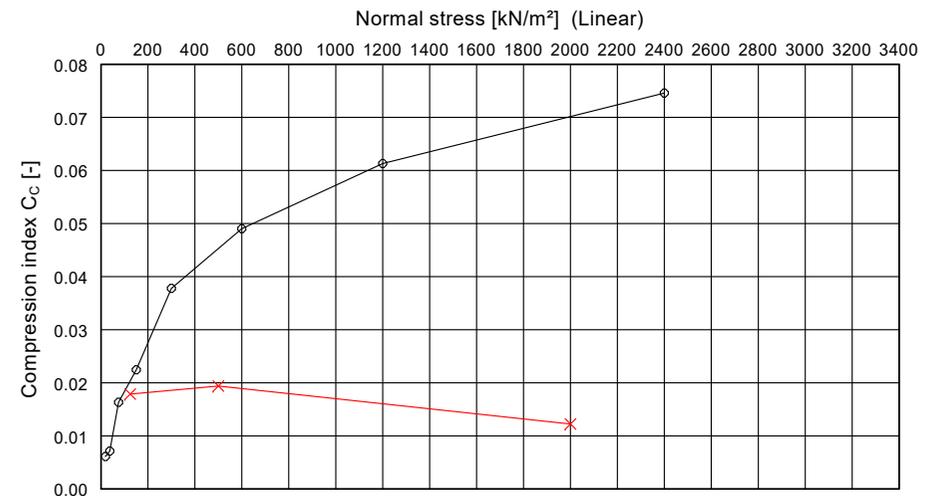
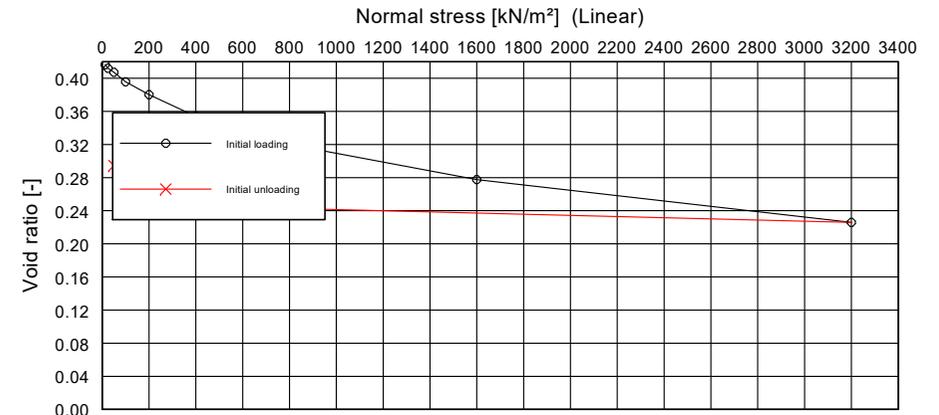
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.4164	0.00613
25.00	0.060	0.4121	
50.00	0.130	0.4072	0.00715
100.00	0.290	0.3958	0.01635
200.00	0.510	0.3803	0.02248
400.00	0.880	0.3540	0.03780
800.00	1.360	0.3201	0.04904
1600.00	1.960	0.2776	0.06130
3200.00	2.690	0.2259	0.07458
800.00	2.450	0.2429	0.01226
200.00	2.070	0.2698	0.01941
50.00	1.720	0.2946	0.01788

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.565
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.165
Wet mass [g] = 82.830	Initial void ratio [-] = 0.4164



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.060	0.130	0.290	0.510	0.880	1.360	1.960	2.690	2.450	2.070	1.720
Compression coeff. [-]		0.0061	0.0072	0.0163	0.0225	0.0378	0.0490	0.0613	0.0746	0.0123	0.0194	0.0179

Load-settlement-test

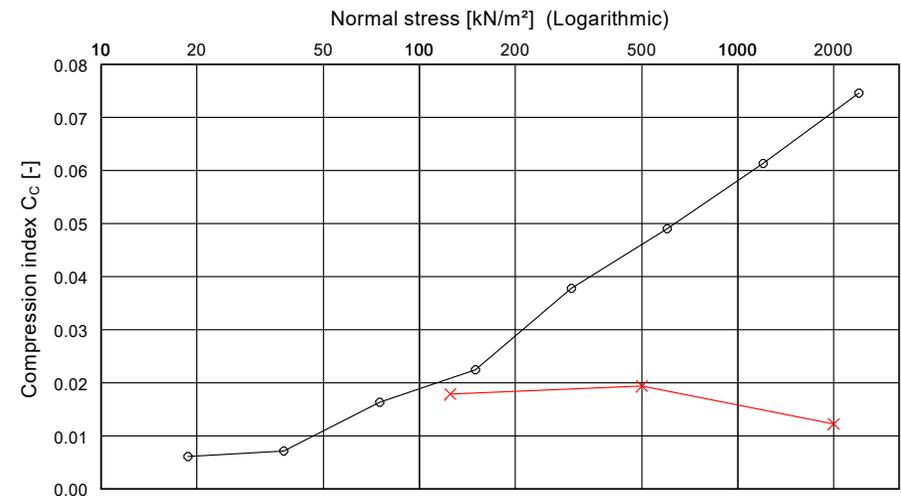
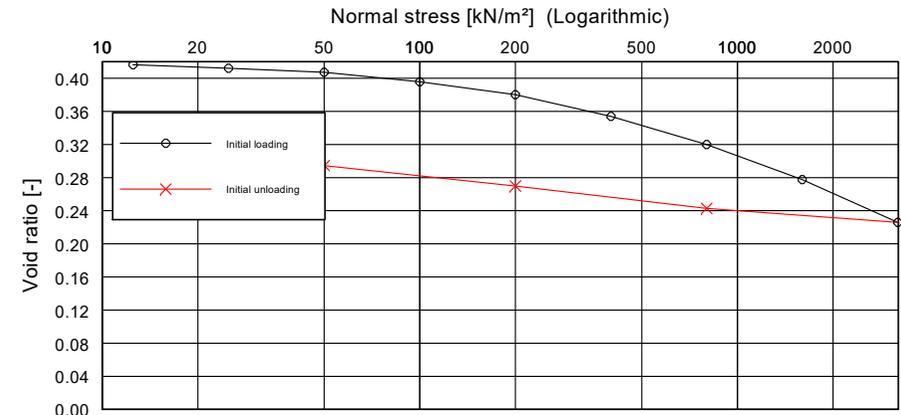
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.000	0.4164	0.00613
25.00	0.060	0.4121	
50.00	0.130	0.4072	0.00715
100.00	0.290	0.3958	0.01635
200.00	0.510	0.3803	0.02248
400.00	0.880	0.3540	0.03780
800.00	1.360	0.3201	0.04904
1600.00	1.960	0.2776	0.06130
3200.00	2.690	0.2259	0.07458
800.00	2.450	0.2429	0.01226
200.00	2.070	0.2698	0.01941
50.00	1.720	0.2946	0.01788

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.565
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.165
Wet mass [g] = 82.830	Initial void ratio [-] = 0.4164



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.060	0.130	0.290	0.510	0.880	1.360	1.960	2.690	2.450	2.070	1.720
Compression coeff. [-]		0.0061	0.0072	0.0163	0.0225	0.0378	0.0490	0.0613	0.0746	0.0123	0.0194	0.0179

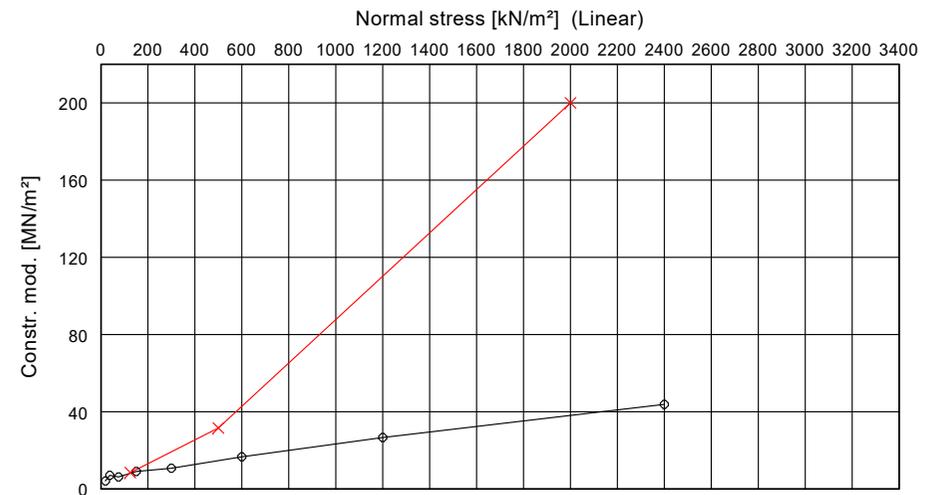
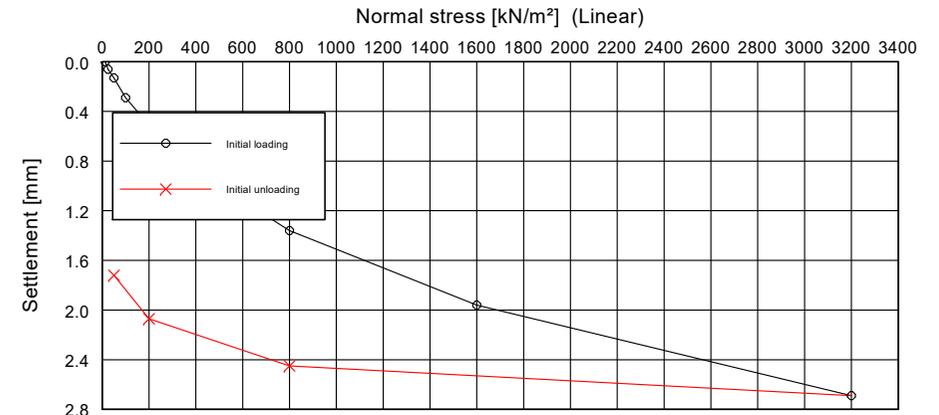
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	4.2
25.00	0.060	0.3	
50.00	0.130	0.7	7.1
100.00	0.290	1.4	6.3
200.00	0.510	2.5	9.1
400.00	0.880	4.4	10.8
800.00	1.360	6.8	16.7
1600.00	1.960	9.8	26.7
3200.00	2.690	13.4	43.8
800.00	2.450	12.3	200.0
200.00	2.070	10.3	31.6
50.00	1.720	8.6	8.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.203
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.060	0.130	0.290	0.510	0.880	1.360	1.960	2.690	2.450	2.070	1.720
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		4.2	7.1	6.3	9.1	10.8	16.7	26.7	43.8	200.0	31.6	8.6

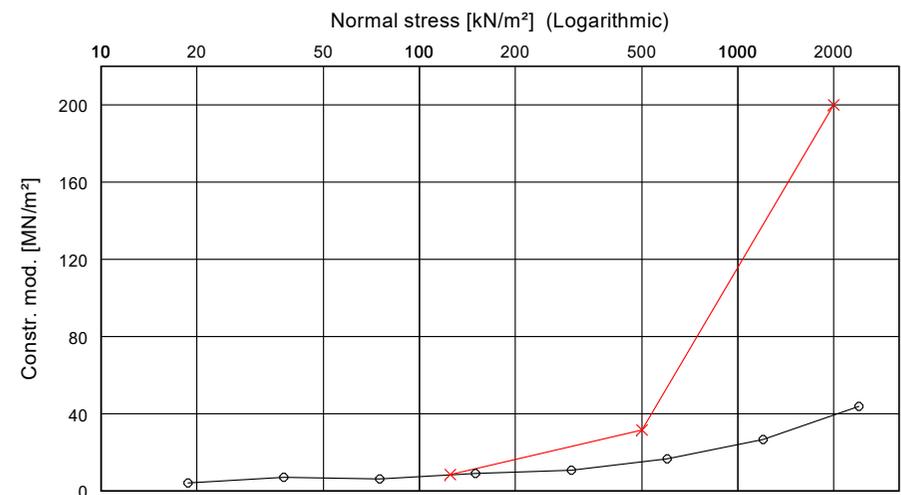
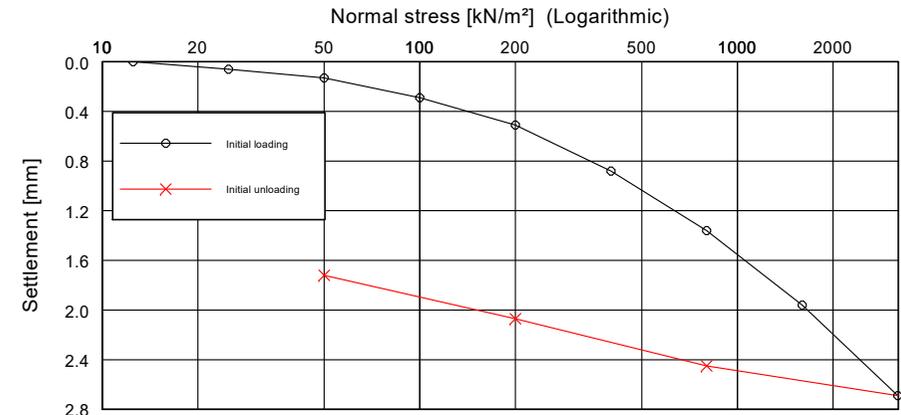
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.000	0.0	4.2
25.00	0.060	0.3	
50.00	0.130	0.7	7.1
100.00	0.290	1.4	6.3
200.00	0.510	2.5	9.1
400.00	0.880	4.4	10.8
800.00	1.360	6.8	16.7
1600.00	1.960	9.8	26.7
3200.00	2.690	13.4	43.8
800.00	2.450	12.3	200.0
200.00	2.070	10.3	31.6
50.00	1.720	8.6	8.6



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.203
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.000	0.060	0.130	0.290	0.510	0.880	1.360	1.960	2.690	2.450	2.070	1.720
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		4.2	7.1	6.3	9.1	10.8	16.7	26.7	43.8	200.0	31.6	8.6

Load-settlement-test

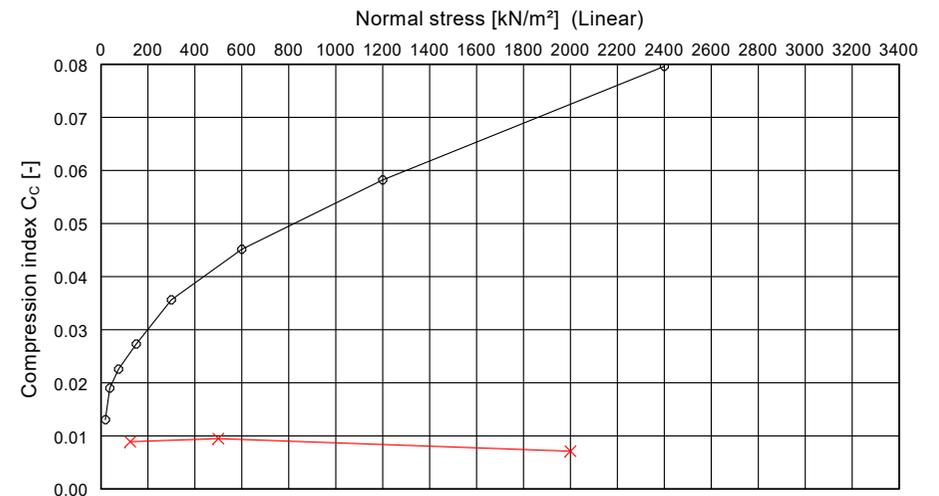
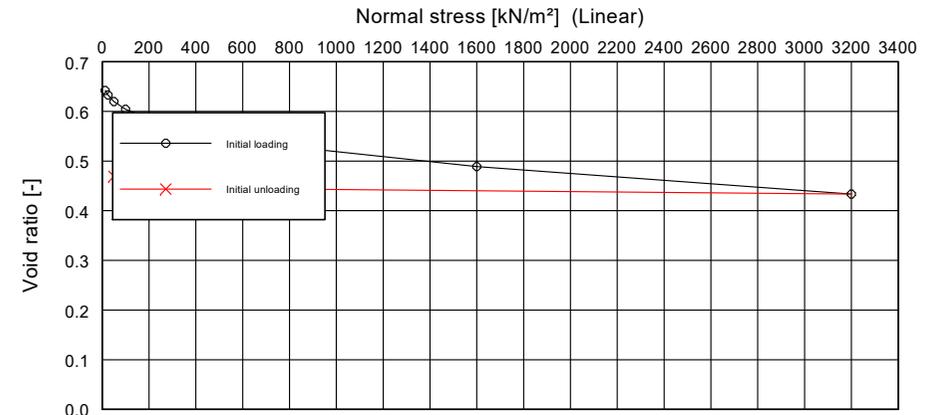
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.060	0.6420	0.01307
25.00	0.170	0.6330	
50.00	0.330	0.6198	0.01901
100.00	0.520	0.6041	0.02257
200.00	0.750	0.5852	0.02732
400.00	1.050	0.5605	0.03564
800.00	1.430	0.5292	0.04515
1600.00	1.920	0.4888	0.05821
3200.00	2.590	0.4337	0.07960
800.00	2.470	0.4436	0.00713
200.00	2.310	0.4567	0.00950
50.00	2.160	0.4691	0.00891

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.233
Wet mass [g] = 79.300	Initial void ratio [-] = 0.6470



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.060	0.170	0.330	0.520	0.750	1.050	1.430	1.920	2.590	2.470	2.310	2.160
Compression coeff. [-]		0.0131	0.0190	0.0226	0.0273	0.0356	0.0451	0.0582	0.0796	0.0071	0.0095	0.0089

Load-settlement-test

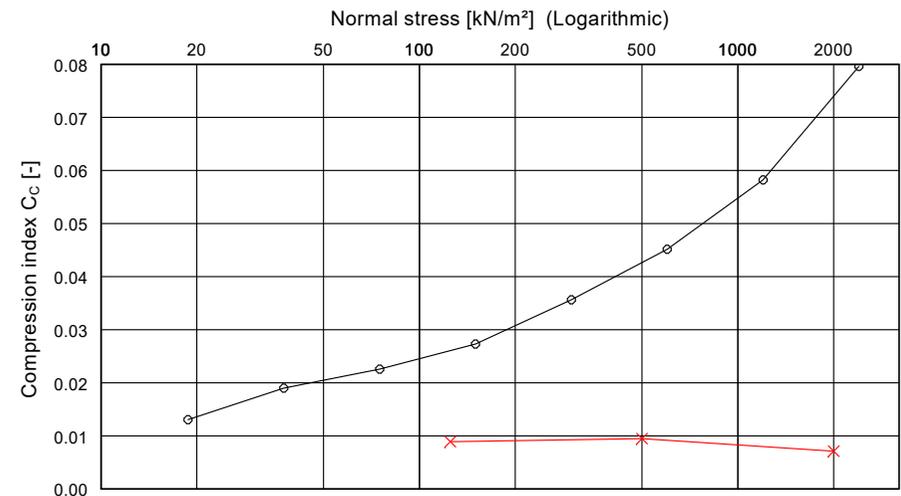
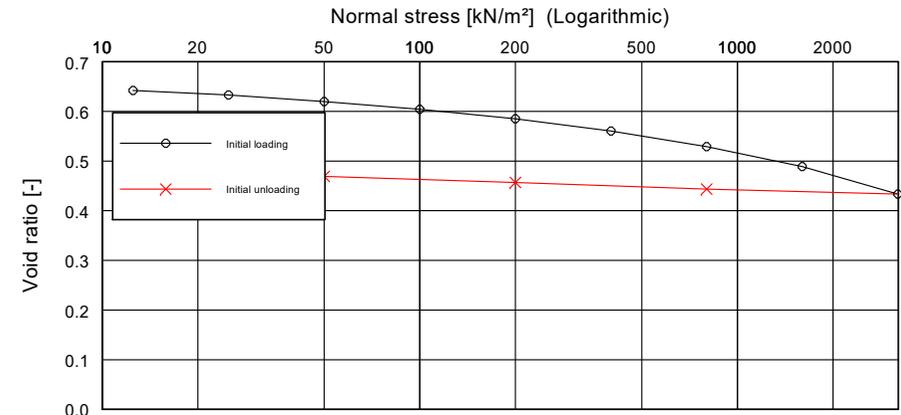
Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Void ratio [-]	C <sub>c</sub> [-]
12.50	0.060	0.6420	0.01307
25.00	0.170	0.6330	
50.00	0.330	0.6198	0.01901
100.00	0.520	0.6041	0.02257
200.00	0.750	0.5852	0.02732
400.00	1.050	0.5605	0.03564
800.00	1.430	0.5292	0.04515
1600.00	1.920	0.4888	0.05821
3200.00	2.590	0.4337	0.07960
800.00	2.470	0.4436	0.00713
200.00	2.310	0.4567	0.00950
50.00	2.160	0.4691	0.00891

Initial height [mm] = 20.000	Grain density [g/cm <sup>3</sup> ] = 2.698
Probenfläche [cm <sup>2</sup> ] = 19.630	Initial water content [-] = 0.233
Wet mass [g] = 79.300	Initial void ratio [-] = 0.6470



Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.060	0.170	0.330	0.520	0.750	1.050	1.430	1.920	2.590	2.470	2.310	2.160
Compression coeff. [-]		0.0131	0.0190	0.0226	0.0273	0.0356	0.0451	0.0582	0.0796	0.0071	0.0095	0.0089

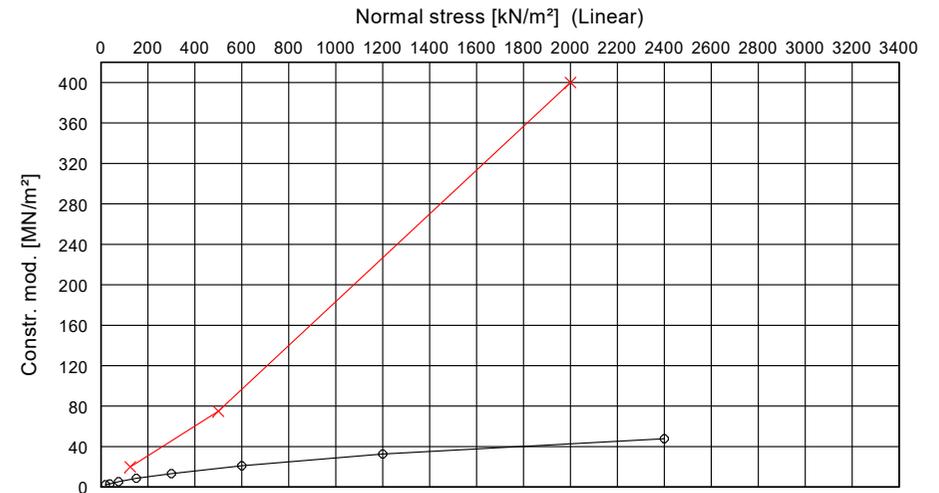
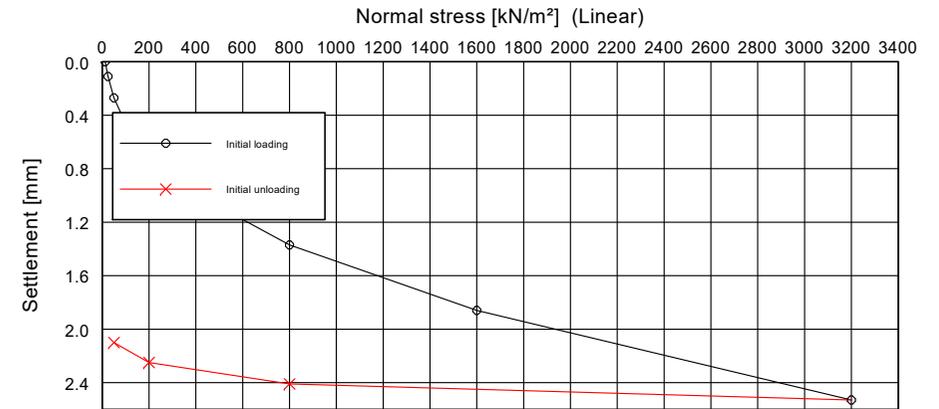
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.060	0.0	2.3
25.00	0.170	0.6	
50.00	0.330	1.4	3.1
100.00	0.520	2.3	5.3
200.00	0.750	3.5	8.7
400.00	1.050	5.0	13.3
800.00	1.430	6.8	21.1
1600.00	1.920	9.3	32.7
3200.00	2.590	12.6	47.8
800.00	2.470	12.1	400.0
200.00	2.310	11.3	75.0
50.00	2.160	10.5	20.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.233
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.060	0.170	0.330	0.520	0.750	1.050	1.430	1.920	2.590	2.470	2.310	2.160
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		2.3	3.1	5.3	8.7	13.3	21.1	32.7	47.8	400.0	75.0	20.0

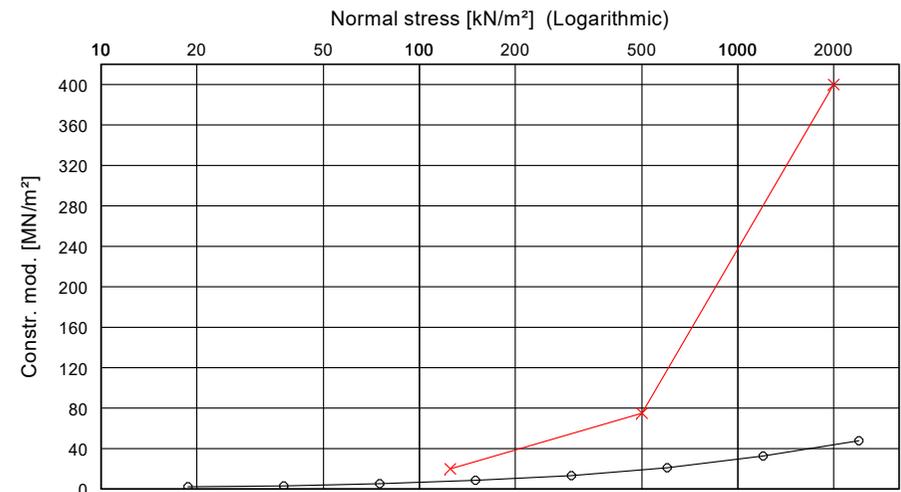
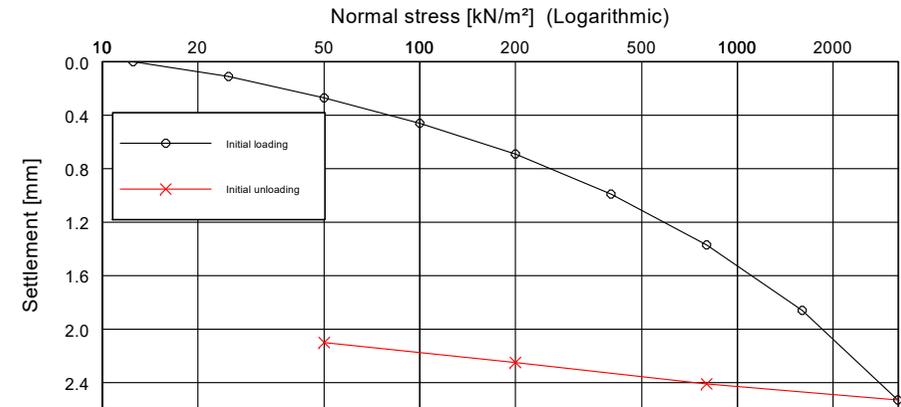
Load-settlement-test

Test number:  
 Sampling point:  
 Depth:  
 Soil type:  
 Type of sampling:  
 Date of sampling:

Edited by:

Date:

Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	Settlement [mm]	Settlement [%]	Constrained mod. [MN/m <sup>2</sup> ]
12.50	0.060	0.0	2.3
25.00	0.170	0.6	
50.00	0.330	1.4	3.1
100.00	0.520	2.3	5.3
200.00	0.750	3.5	8.7
400.00	1.050	5.0	13.3
800.00	1.430	6.8	21.1
1600.00	1.920	9.3	32.7
3200.00	2.590	12.6	47.8
800.00	2.470	12.1	400.0
200.00	2.310	11.3	75.0
50.00	2.160	10.5	20.0



Initial height [mm] = 20.000	w (before) [%] = 0.233
Sample diameter [mm] = 50	w (after) [%] =

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	12.5	25.0	50.0	100.0	200.0	400.0	800.0	1600.0	3200.0	800.0	200.0	50.0
Clock reading [mm]	0.060	0.170	0.330	0.520	0.750	1.050	1.430	1.920	2.590	2.470	2.310	2.160
Constr. mod. [MN/m <sup>2</sup> ]		2.3	3.1	5.3	8.7	13.3	21.1	32.7	47.8	400.0	75.0	20.0

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione geotecnica e sismica	ALLEGATO 2

ALLEGATO 2  
ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

# STAZIONE POLITECNICO

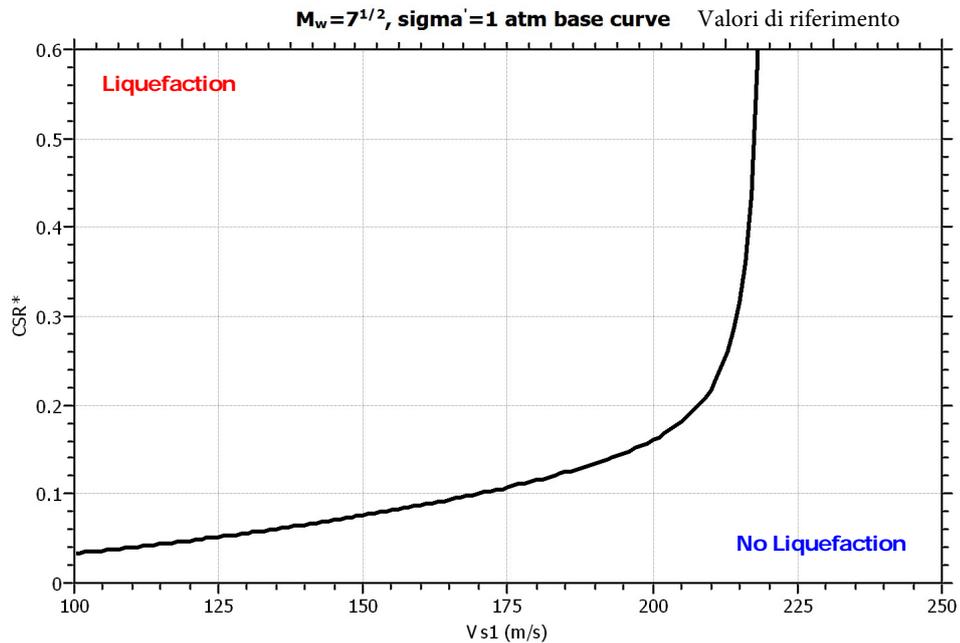
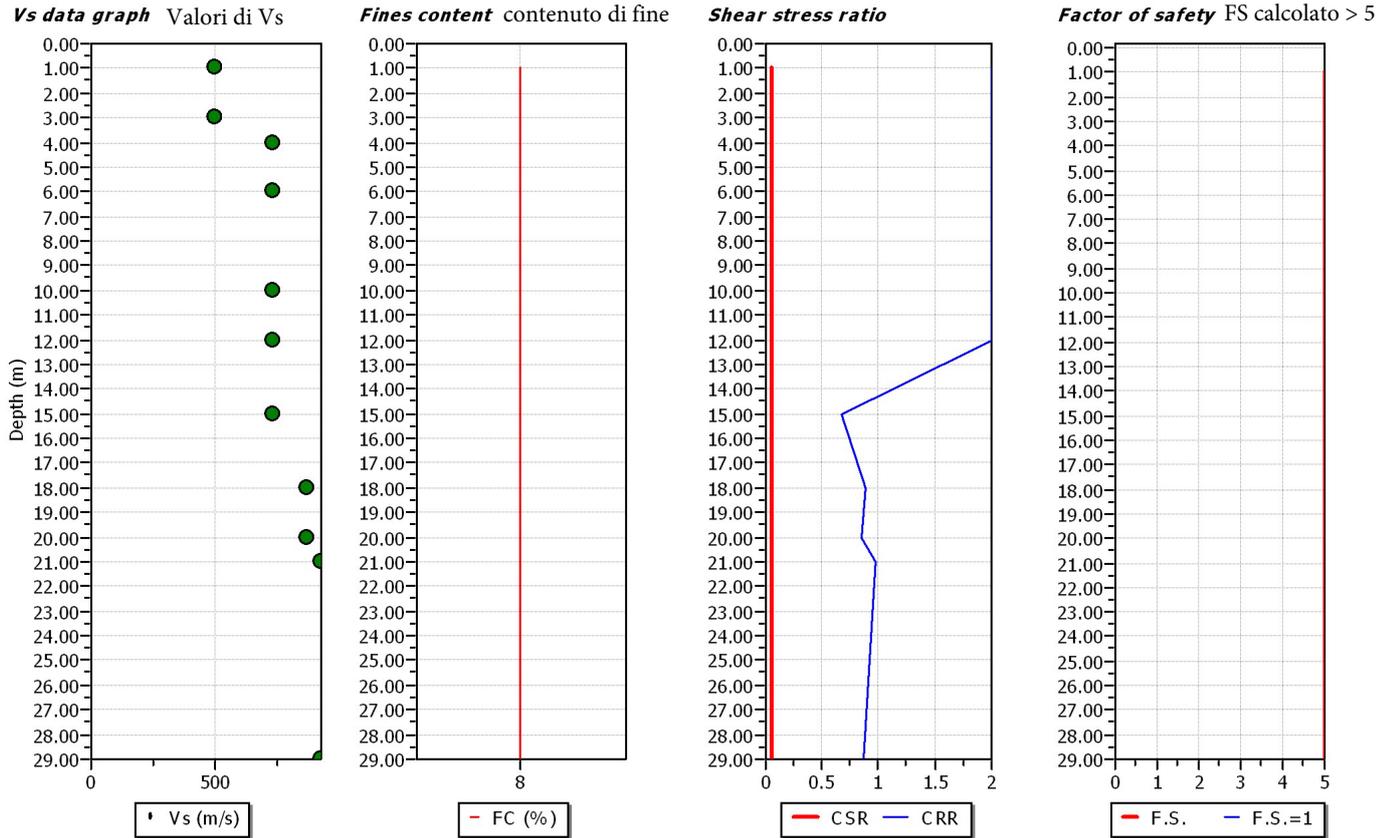
## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

**Project title :** Torino - Metro 2 Politecnico Liquefazione

**Project subtitle :** Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

**Input parameters and analysis data** Dati di ingresso

In-situ data type:	Shear wave velocity Rif. to: valori di Vs	Depth to water table:	17.00 m	Falda
Analysis type:	Deterministic Metodo deterministico	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70	Magnitudo
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g	accelerazione di picco
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00	fattore di sicurezza di rif.to



**:: Field input data ::**

**DATI DI INGRESSO**

Point ID	Depth (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	1.00	500.00	19.00	8.00
2	3.00	500.00	19.00	8.00
3	4.00	729.00	19.00	8.00
4	6.00	729.00	19.00	8.00
5	10.00	729.00	19.00	8.00
6	12.00	729.00	19.00	8.00
7	15.00	729.00	19.00	8.00
8	18.00	867.00	20.00	8.00
9	20.00	867.00	20.00	8.00
10	21.00	926.00	20.00	8.00
11	29.00	926.00	20.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
 V<sub>s</sub> : Measured V<sub>s</sub> (m/s)  
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

**CALCOLO VALORI DI CSR**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	F.S. <sub>user</sub>	CSR*
1	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
2	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
3	4.00	76.00	0.00	76.00	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
4	6.00	114.00	0.00	114.00	0.95	0.09	2.02	0.05	0.97	1.00	0.05
5	10.00	190.00	0.00	190.00	0.91	0.09	2.02	0.04	0.88	1.00	0.05
6	12.00	228.00	0.00	228.00	0.85	0.08	2.02	0.04	0.85	1.00	0.05
7	15.00	285.00	29.43	255.57	0.77	0.08	2.02	0.04	0.83	1.00	0.05
8	18.00	345.00	58.86	286.14	0.69	0.08	2.02	0.04	0.81	1.00	0.05
9	20.00	385.00	78.48	306.52	0.64	0.08	2.02	0.04	0.80	1.00	0.05
10	21.00	405.00	88.29	316.71	0.61	0.08	2.02	0.04	0.79	1.00	0.05
11	29.00	565.00	166.77	398.23	0.51	0.07	2.02	0.04	0.76	1.00	0.05

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 r<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
 K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
 F.S.<sub>user</sub> : User defined CSR factor of safety  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

**CALCOLO VALORI DI CRR (Magnitudo 7.5)**

Point ID	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1C</sub> (m/s)	CRR <sub>7.5</sub>
1	757.32	210.00	2.00
2	575.44	210.00	2.00
3	780.77	210.00	2.00
4	705.51	210.00	2.00
5	620.92	210.00	2.00
6	593.26	210.00	2.00
7	561.07	210.00	0.67
8	640.76	210.00	0.88
9	631.38	210.00	0.86
10	669.59	210.00	0.97
11	636.75	210.00	0.87

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)	$CRR_{7.5}$
----------	-------------------	--------------------	-------------

$V_{S1}$  : Normalized  $V_S$   
 $V_{S1c}$  : Andrus et al. method : Corrected  $V_{S1}$  due to fine contents  
 All other methods : Boundary value of  $V_{S1}$  between contractive and dilative soil behaviour  
 $CRR_{7.5}$  : Cyclic resistance ratio for  $M=7.5$

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki :: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Point ID	F	$w_z$	$I_L$	Point ID	F	$w_z$	$I_L$
1	0.00	9.50	0.00	2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	8.00	0.00	4	0.00	7.00	0.00
5	0.00	5.00	0.00	6	0.00	4.00	0.00
7	0.00	2.50	0.00	8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00				

**Overall potential  $I_L$  : 0.00**      Potenziale di liquefazione globale: zero

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

# STAZIONE BOLOGNA

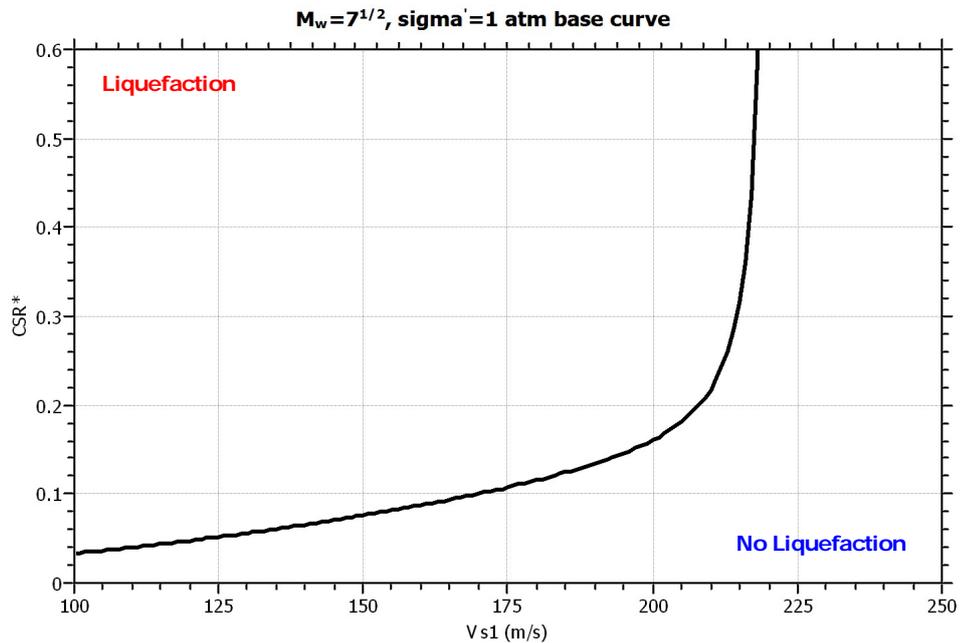
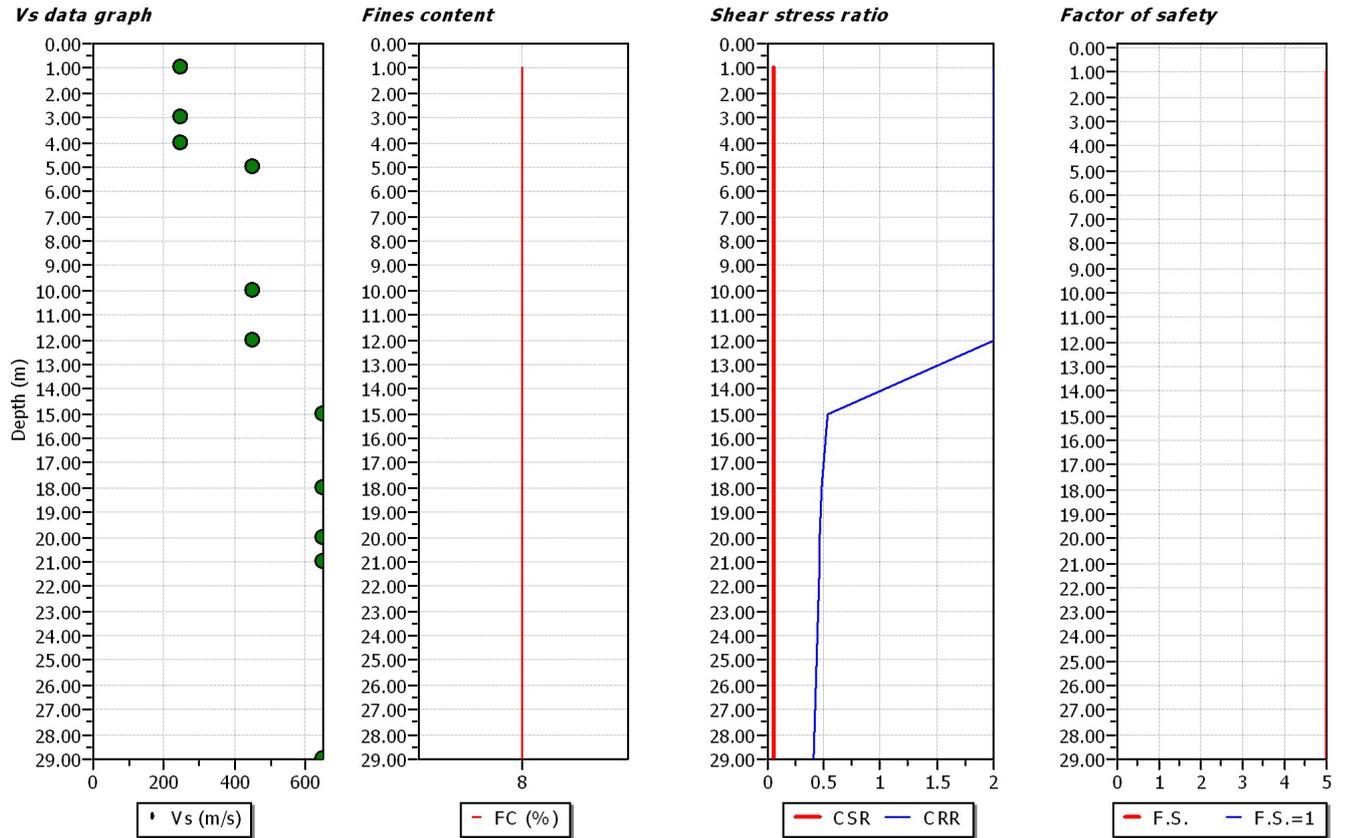
## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Torino - Metro 2 Analisi liquefazione

Project subtitle : Calcolo con velocità Vs (da prove Masw) Stazione Bologna

### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	17.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00



**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	1.00	250.00	19.00	8.00
2	3.00	250.00	19.00	8.00
3	4.00	250.00	19.00	8.00
4	5.00	450.00	19.00	8.00
5	10.00	450.00	19.00	8.00
6	12.00	450.00	19.00	8.00
7	15.00	650.00	19.00	8.00
8	18.00	650.00	20.00	8.00
9	20.00	650.00	20.00	8.00
10	21.00	650.00	20.00	8.00
11	29.00	650.00	20.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
 V<sub>s</sub> : Measured V<sub>s</sub> (m/s)  
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	F.S. <sub>user</sub>	CSR*
1	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
2	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
3	4.00	76.00	0.00	76.00	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
4	5.00	95.00	0.00	95.00	0.96	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
5	10.00	190.00	0.00	190.00	0.91	0.09	2.02	0.04	0.88	1.00	0.05
6	12.00	228.00	0.00	228.00	0.85	0.08	2.02	0.04	0.85	1.00	0.05
7	15.00	285.00	29.43	255.57	0.77	0.08	2.02	0.04	0.83	1.00	0.05
8	18.00	345.00	58.86	286.14	0.69	0.08	2.02	0.04	0.81	1.00	0.05
9	20.00	385.00	78.48	306.52	0.64	0.08	2.02	0.04	0.80	1.00	0.05
10	21.00	405.00	88.29	316.71	0.61	0.08	2.02	0.04	0.79	1.00	0.05
11	29.00	565.00	166.77	398.23	0.51	0.07	2.02	0.04	0.76	1.00	0.05

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 r<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
 K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
 F.S.<sub>user</sub> : User defined CSR factor of safety  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1C</sub> (m/s)	CRR <sub>7.5</sub>
1	378.66	210.00	2.00
2	287.72	210.00	2.00
3	267.75	210.00	2.00
4	455.81	210.00	2.00
5	383.29	210.00	2.00
6	366.21	210.00	2.00
7	500.27	210.00	0.53
8	480.39	210.00	0.48
9	473.35	210.00	0.47
10	470.02	210.00	0.46
11	446.96	210.00	0.41

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)	$CRR_{7.5}$
----------	-------------------	--------------------	-------------

$V_{S1}$  : Normalized  $V_S$   
 $V_{S1c}$  : Andrus et al. method : Corrected  $V_{S1}$  due to fine contents  
 All other methods : Boundary value of  $V_{S1}$  between contractive and dilative soil behaviour  
 $CRR_{7.5}$  : Cyclic resistance ratio for  $M=7.5$

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	$w_z$	$I_L$	Point ID	F	$w_z$	$I_L$
1	0.00	9.50	0.00	2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	8.00	0.00	4	0.00	7.50	0.00
5	0.00	5.00	0.00	6	0.00	4.00	0.00
7	0.00	2.50	0.00	8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00				

**Overall potential  $I_L$  : 0.00** Potenziale di liquefazione globale: zero

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

# STAZIONE MOLE-GIARDINI

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

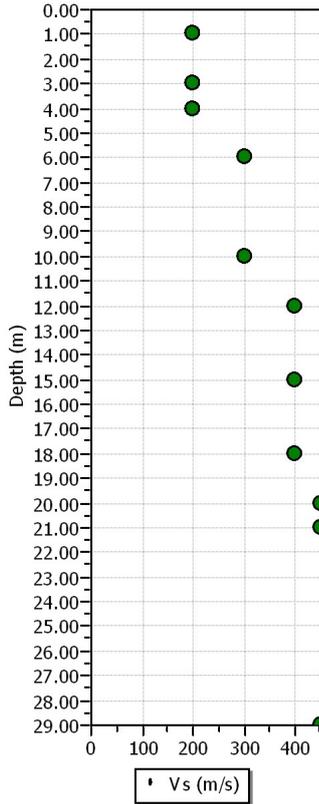
Project title : Torino - Metro 2 Liquefazione - Stazione Mole Giardini

Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

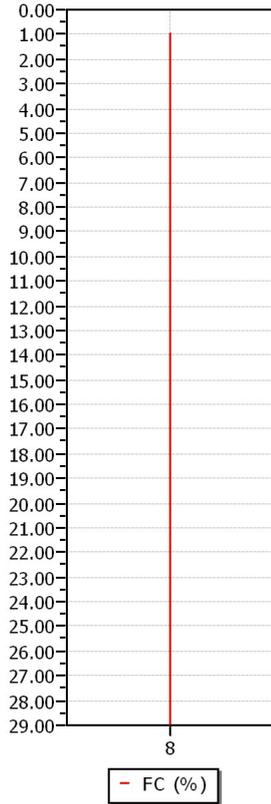
### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	17.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00

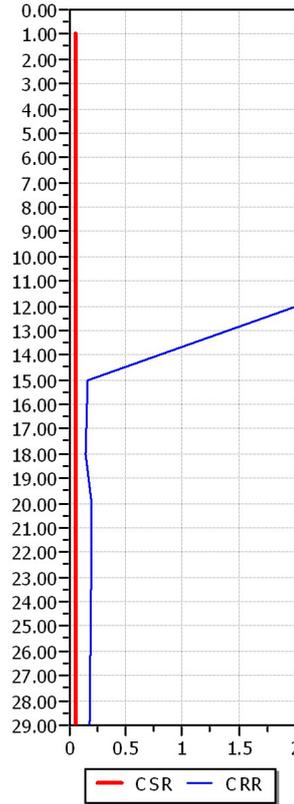
**Vs data graph**



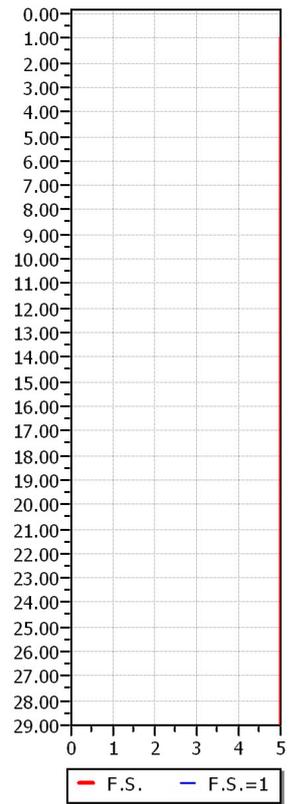
**Fines content**



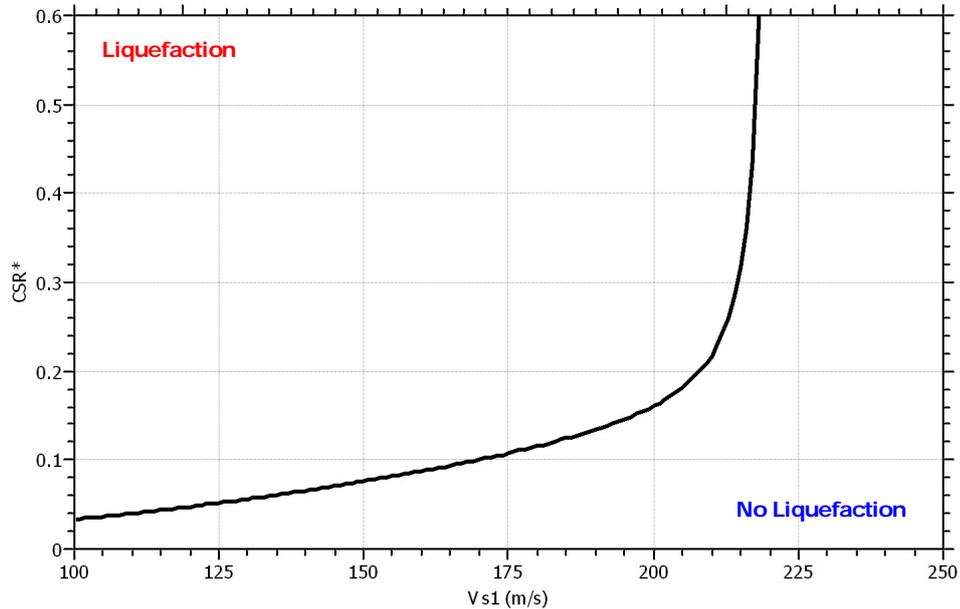
**Shear stress ratio**



**Factor of safety**



**$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma'_v=1$  atm base curve**



**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	1.00	200.00	19.00	8.00
2	3.00	200.00	19.00	8.00
3	4.00	200.00	19.00	8.00
4	6.00	300.00	19.00	8.00
5	10.00	300.00	19.00	8.00
6	12.00	400.00	19.00	8.00
7	15.00	400.00	19.00	8.00
8	18.00	400.00	20.00	8.00
9	20.00	450.00	20.00	8.00
10	21.00	450.00	20.00	8.00
11	29.00	450.00	20.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which V<sub>s</sub> test was performed (m)  
 V<sub>s</sub> : Measured V<sub>s</sub> (m/s)  
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	F.S. <sub>user</sub>	CSR*
1	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
2	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
3	4.00	76.00	0.00	76.00	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
4	6.00	114.00	0.00	114.00	0.95	0.09	2.02	0.05	0.97	1.00	0.05
5	10.00	190.00	0.00	190.00	0.91	0.09	2.02	0.04	0.88	1.00	0.05
6	12.00	228.00	0.00	228.00	0.85	0.08	2.02	0.04	0.85	1.00	0.05
7	15.00	285.00	29.43	255.57	0.77	0.08	2.02	0.04	0.83	1.00	0.05
8	18.00	345.00	58.86	286.14	0.69	0.08	2.02	0.04	0.81	1.00	0.05
9	20.00	385.00	78.48	306.52	0.64	0.08	2.02	0.04	0.80	1.00	0.05
10	21.00	405.00	88.29	316.71	0.61	0.08	2.02	0.04	0.79	1.00	0.05
11	29.00	565.00	166.77	398.23	0.51	0.07	2.02	0.04	0.76	1.00	0.05

Depth : Depth from free surface, at which V<sub>s</sub> test was performed (m)  
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 r<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
 K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
 F.S.<sub>user</sub> : User defined CSR factor of safety  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1C</sub> (m/s)	CRR <sub>7.5</sub>
1	302.93	210.00	2.00
2	230.18	210.00	2.00
3	214.20	210.00	2.00
4	290.33	210.00	2.00
5	255.52	210.00	2.00
6	325.52	210.00	2.00
7	307.86	210.00	0.17
8	295.62	210.00	0.15
9	327.70	210.00	0.20
10	325.40	210.00	0.20
11	309.43	210.00	0.17

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)	$CRR_{7.5}$
----------	-------------------	--------------------	-------------

$V_{S1}$  : Normalized  $V_S$   
 $V_{S1c}$  : Andrus et al. method : Corrected  $V_{S1}$  due to fine contents  
 All other methods : Boundary value of  $V_{S1}$  between contractive and dilative soil behaviour  
 $CRR_{7.5}$  : Cyclic resistance ratio for  $M=7.5$

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	$w_z$	$I_L$	Point ID	F	$w_z$	$I_L$
1	0.00	9.50	0.00	2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	8.00	0.00	4	0.00	7.00	0.00
5	0.00	5.00	0.00	6	0.00	4.00	0.00
7	0.00	2.50	0.00	8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00				

**Overall potential  $I_L$  : 0.00**      Potenziale di liquefazione globale: zero

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

# STAZIONE GIULIO CESARE

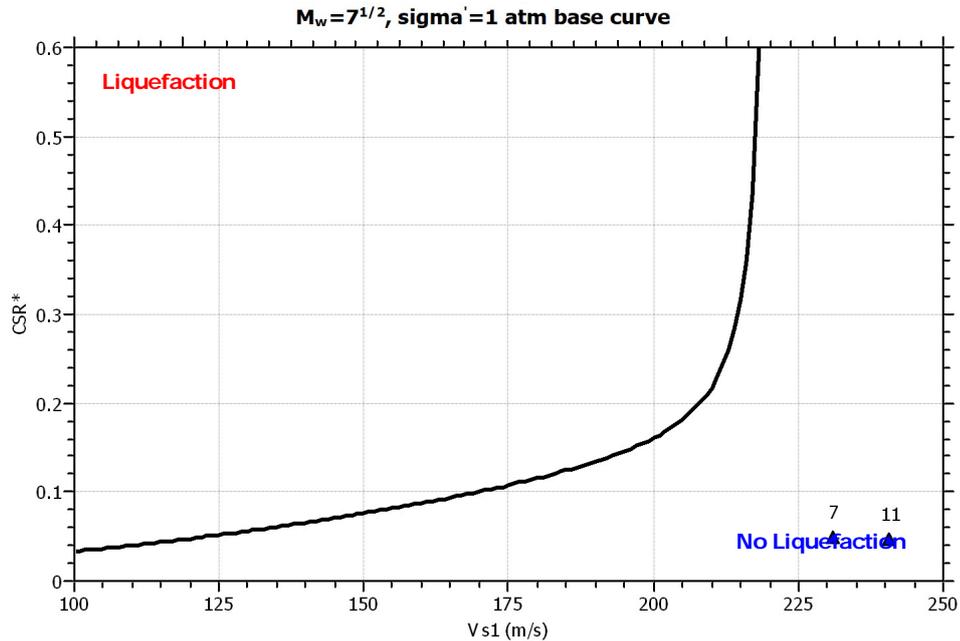
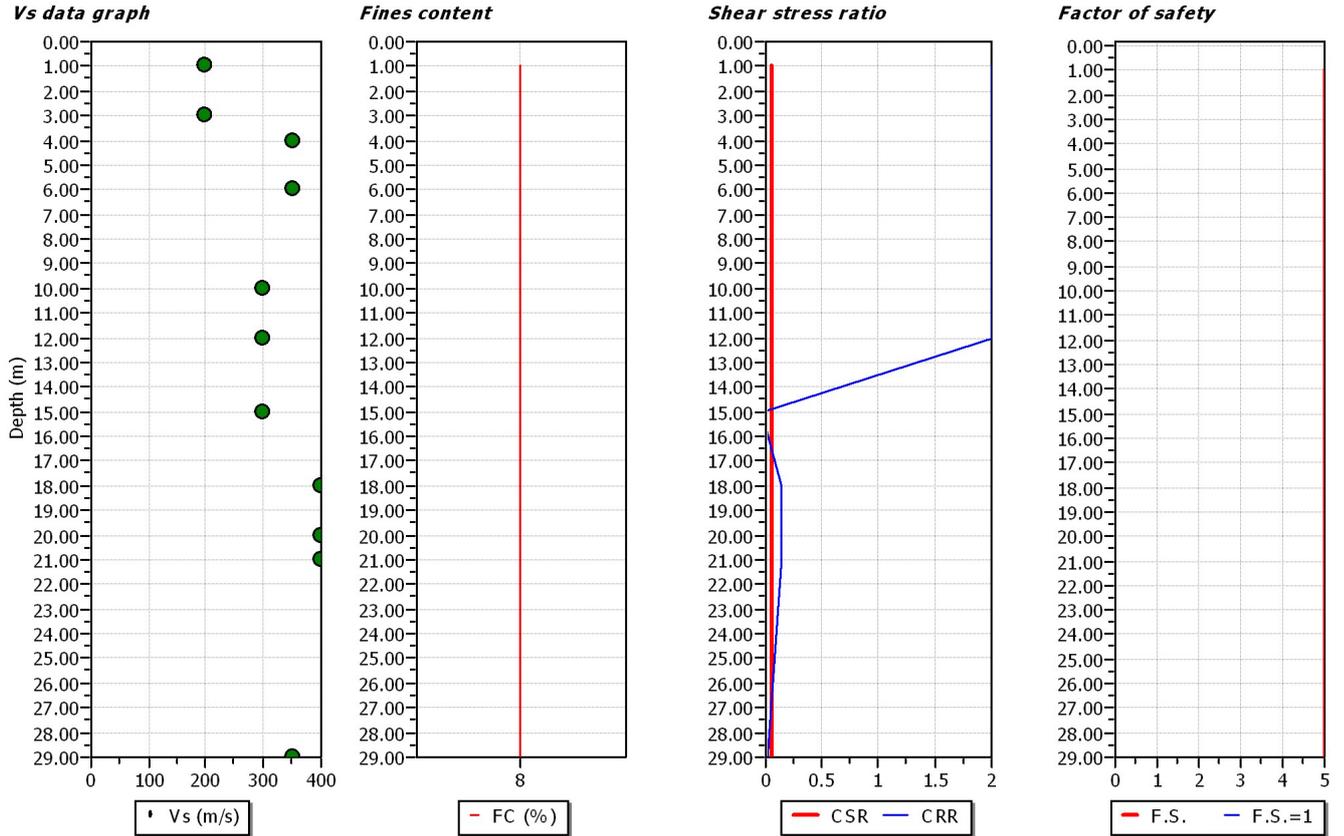
## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Torino - Metro 2 Liquefazione Stazione Giulio Cesare

Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	17.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00



**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	1.00	200.00	19.00	8.00
2	3.00	200.00	19.00	8.00
3	4.00	350.00	19.00	8.00
4	6.00	350.00	19.00	8.00
5	10.00	300.00	19.00	8.00
6	12.00	300.00	19.00	8.00
7	15.00	300.00	19.00	8.00
8	18.00	400.00	20.00	8.00
9	20.00	400.00	20.00	8.00
10	21.00	400.00	20.00	8.00
11	29.00	350.00	20.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
 V<sub>s</sub> : Measured V<sub>s</sub> (m/s)  
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	F.S. <sub>user</sub>	CSR*
1	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
2	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
3	4.00	76.00	0.00	76.00	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
4	6.00	114.00	0.00	114.00	0.95	0.09	2.02	0.05	0.97	1.00	0.05
5	10.00	190.00	0.00	190.00	0.91	0.09	2.02	0.04	0.88	1.00	0.05
6	12.00	228.00	0.00	228.00	0.85	0.08	2.02	0.04	0.85	1.00	0.05
7	15.00	285.00	29.43	255.57	0.77	0.08	2.02	0.04	0.83	1.00	0.05
8	18.00	345.00	58.86	286.14	0.69	0.08	2.02	0.04	0.81	1.00	0.05
9	20.00	385.00	78.48	306.52	0.64	0.08	2.02	0.04	0.80	1.00	0.05
10	21.00	405.00	88.29	316.71	0.61	0.08	2.02	0.04	0.79	1.00	0.05
11	29.00	565.00	166.77	398.23	0.51	0.07	2.02	0.04	0.76	1.00	0.05

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 r<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
 K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
 F.S.<sub>user</sub> : User defined CSR factor of safety  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1C</sub> (m/s)	CRR <sub>7.5</sub>
1	302.93	210.00	2.00
2	230.18	210.00	2.00
3	374.86	210.00	2.00
4	338.72	210.00	2.00
5	255.52	210.00	2.00
6	244.14	210.00	2.00
7	230.89	210.00	-0.03
8	295.62	210.00	0.15
9	291.29	210.00	0.14
10	289.24	210.00	0.14
11	240.67	210.00	0.02

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)	$CRR_{7.5}$
----------	-------------------	--------------------	-------------

$V_{S1}$  : Normalized  $V_S$

$V_{S1c}$  : Andrus et al. method : Corrected  $V_{S1}$  due to fine contents

All other methods : Boundary value of  $V_{S1}$  between contractive and dilative soil behaviour

$CRR_{7.5}$  : Cyclic resistance ratio for  $M=7.5$

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	$w_z$	$I_L$	Point ID	F	$w_z$	$I_L$
1	0.00	9.50	0.00	2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	8.00	0.00	4	0.00	7.00	0.00
5	0.00	5.00	0.00	6	0.00	4.00	0.00
7	0.00	2.50	0.00	8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00				

**Overall potential  $I_L$  : 0.00** Potenziale di liquefazione globale: zero

$I_L = 0.00$  - No liquefaction

$I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable

$I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable

$I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

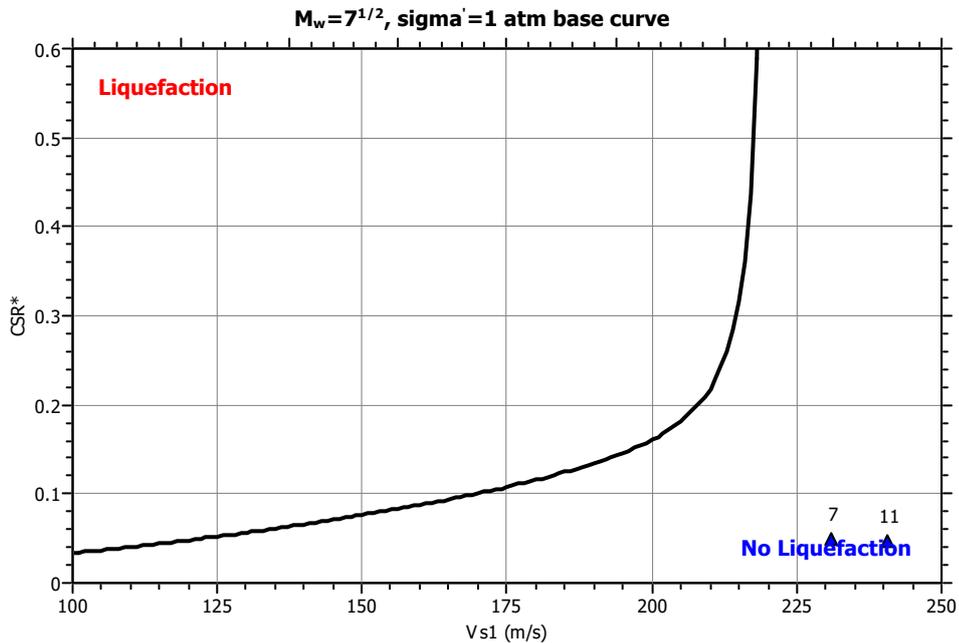
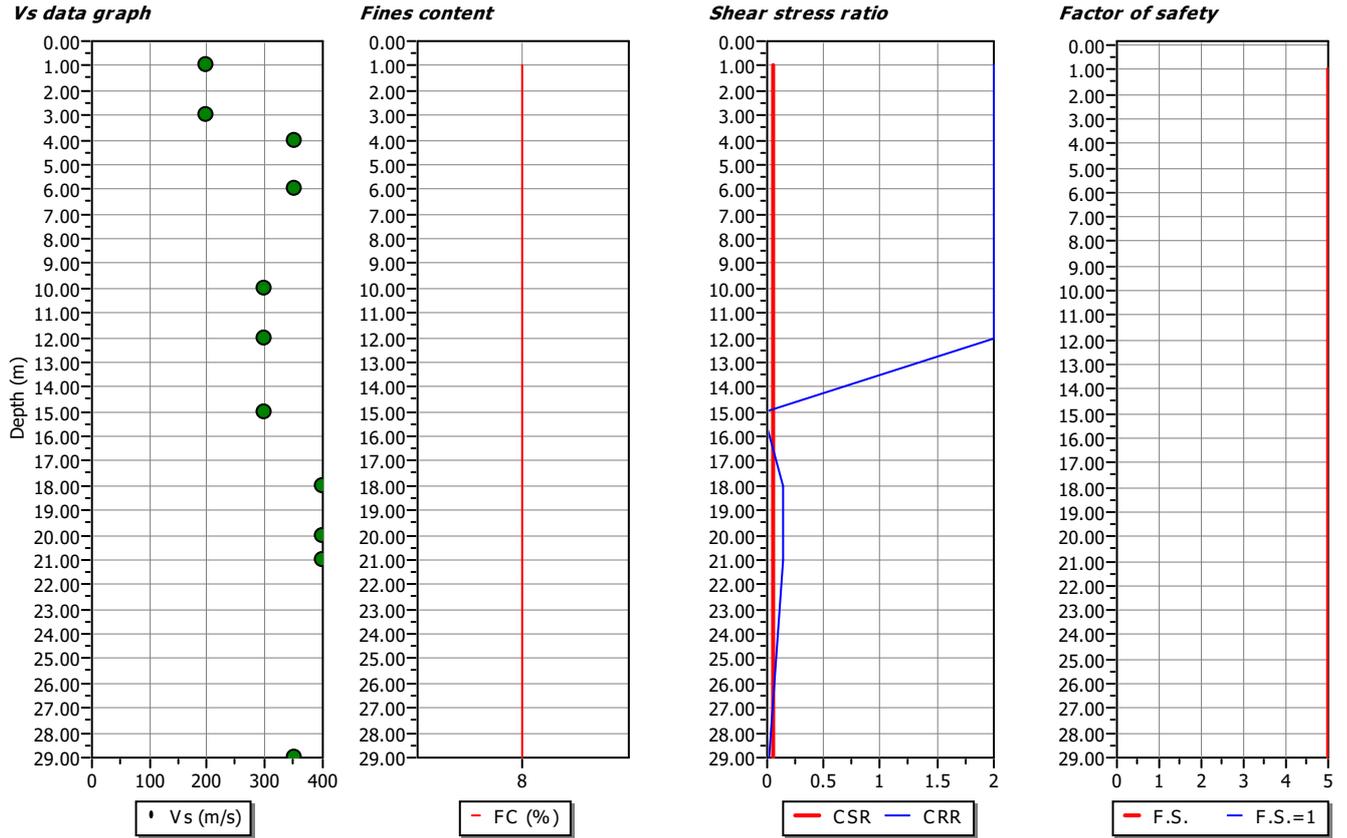
# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

**Project title : Metro 2 Staz. Giulio Cesare Falda a -4.5 metri**

**Project subtitle : Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento**

**Input parameters and analysis data**

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	12.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00



**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	1.00	200.00	19.00	8.00
2	3.00	200.00	19.00	8.00
3	4.00	350.00	19.00	8.00
4	6.00	350.00	19.00	8.00
5	10.00	300.00	19.00	8.00
6	12.00	300.00	19.00	8.00
7	15.00	300.00	19.00	8.00
8	18.00	400.00	20.00	8.00
9	20.00	400.00	20.00	8.00
10	21.00	400.00	20.00	8.00
11	29.00	350.00	20.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which V<sub>s</sub> test was performed (m)  
V<sub>s</sub> : Measured V<sub>s</sub> (m/s)  
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	F.S. <sub>user</sub>	CSR*
1	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
2	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
3	4.00	76.00	0.00	76.00	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
4	6.00	114.00	0.00	114.00	0.95	0.09	2.02	0.05	0.97	1.00	0.05
5	10.00	190.00	0.00	190.00	0.91	0.09	2.02	0.04	0.88	1.00	0.05
6	12.00	228.00	0.00	228.00	0.85	0.08	2.02	0.04	0.85	1.00	0.05
7	15.00	285.00	29.43	255.57	0.77	0.08	2.02	0.04	0.83	1.00	0.05
8	18.00	345.00	58.86	286.14	0.69	0.08	2.02	0.04	0.81	1.00	0.05
9	20.00	385.00	78.48	306.52	0.64	0.08	2.02	0.04	0.80	1.00	0.05
10	21.00	405.00	88.29	316.71	0.61	0.08	2.02	0.04	0.79	1.00	0.05
11	29.00	565.00	166.77	398.23	0.51	0.07	2.02	0.04	0.76	1.00	0.05

Depth : Depth from free surface, at which V<sub>s</sub> test was performed (m)  
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
r<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
CSR : Cyclic Stress Ratio  
MSF : Magnitude Scaling Factor  
CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M=7.5  
K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
F.S.<sub>user</sub> : User defined CSR factor of safety  
CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1C</sub> (m/s)	CRR <sub>7.5</sub>
1	302.93	210.00	2.00
2	230.18	210.00	2.00
3	374.86	210.00	2.00
4	338.72	210.00	2.00
5	255.52	210.00	2.00
6	244.14	210.00	2.00
7	230.89	210.00	-0.03
8	295.62	210.00	0.15
9	291.29	210.00	0.14
10	289.24	210.00	0.14
11	240.67	210.00	0.02

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1C}$ (m/s)	$CRR_{7.5}$
----------	-------------------	--------------------	-------------

$V_{S1}$  : Normalized  $V_S$   
 $V_{S1C}$  : Andrus et al. method : Corrected  $V_{S1}$  due to fine contents  
 All other methods : Boundary value of  $V_{S1}$  between contractive and dilative soil behaviour  
 $CRR_{7.5}$  : Cyclic resistance ratio for  $M=7.5$

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	$w_z$	$I_L$	Point ID	F	$w_z$	$I_L$
1	0.00	9.50	0.00	2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	8.00	0.00	4	0.00	7.00	0.00
5	0.00	5.00	0.00	6	0.00	4.00	0.00
7	0.00	2.50	0.00	8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00				

**Overall potential  $I_L$  : 0.00**

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

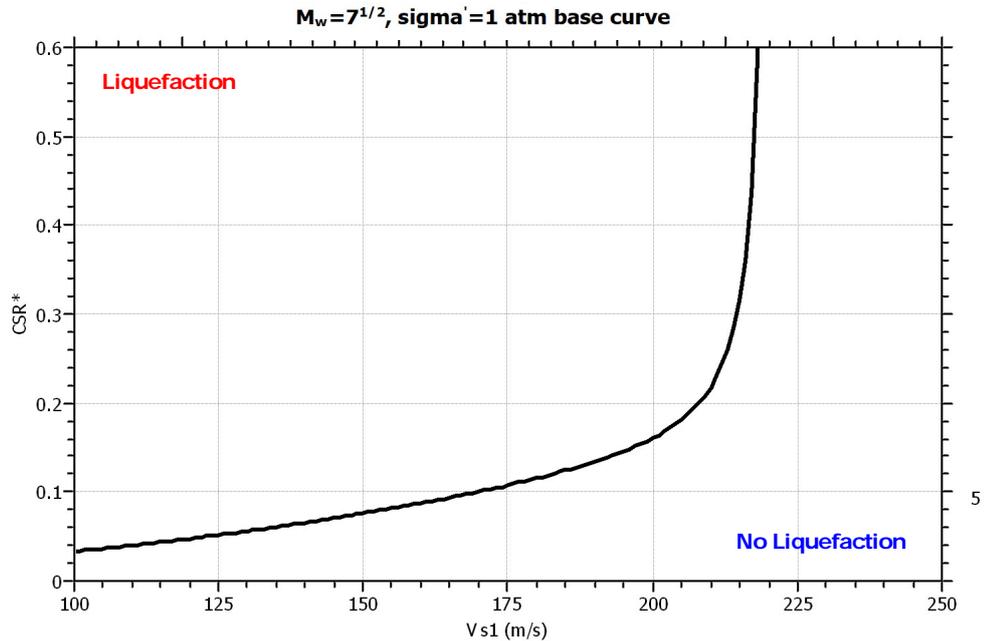
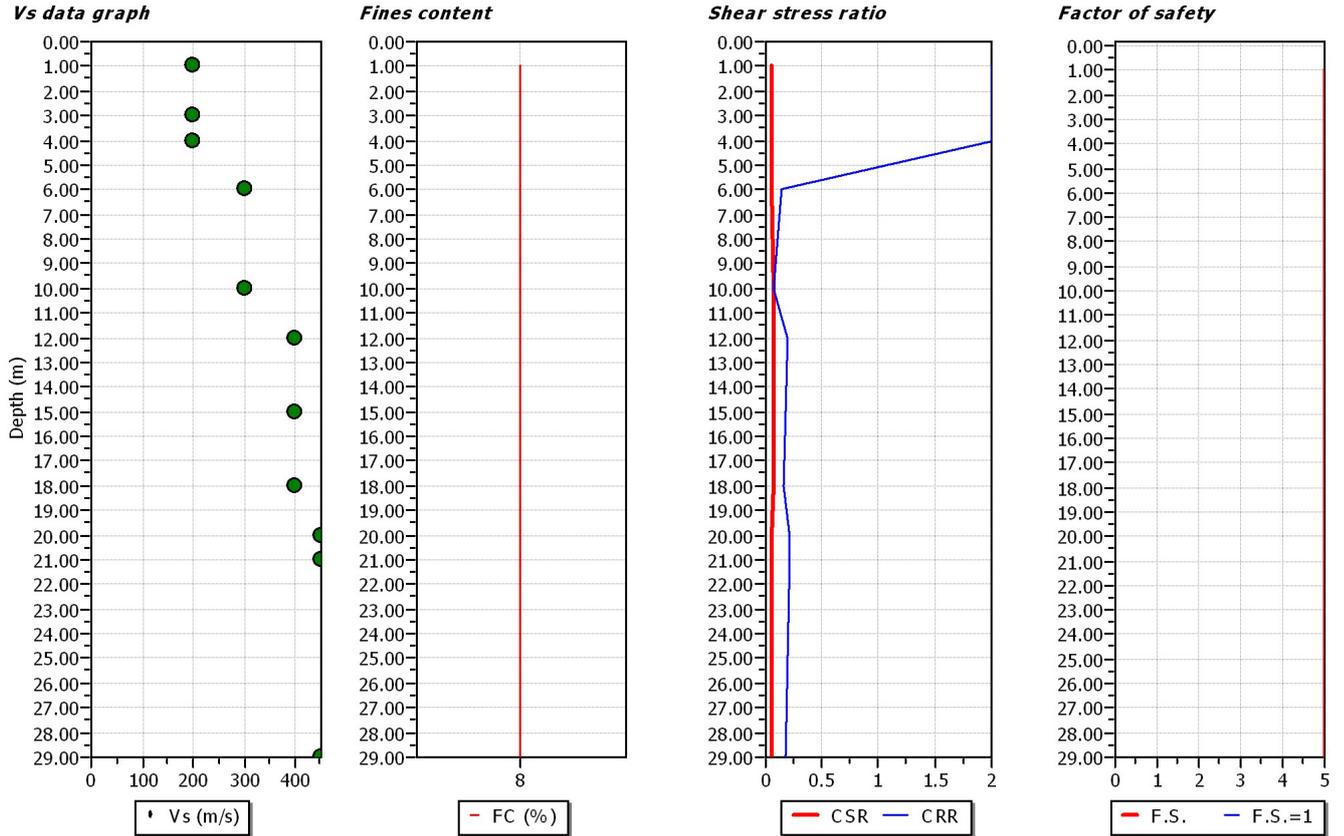
# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

**Project title :** Metro 2 - Stazione Mole Giardini - Falda a -4.5 metri

**Project subtitle :** Calcolo basato su Vs da cross hole 8 per cento

**Input parameters and analysis data**

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	12.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00



**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	1.00	200.00	19.00	8.00
2	3.00	200.00	19.00	8.00
3	4.00	200.00	19.00	8.00
4	6.00	300.00	19.00	8.00
5	10.00	300.00	19.00	8.00
6	12.00	400.00	19.00	8.00
7	15.00	400.00	19.00	8.00
8	18.00	400.00	20.00	8.00
9	20.00	450.00	20.00	8.00
10	21.00	450.00	20.00	8.00
11	29.00	450.00	20.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
V<sub>s</sub> : Measured V<sub>s</sub> (m/s)  
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	F.S. <sub>user</sub>	CSR*
1	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
2	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
3	4.00	76.00	0.00	76.00	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
4	6.00	114.00	14.71	99.28	0.95	0.11	2.02	0.05	1.00	1.00	0.05
5	10.00	190.00	53.95	136.04	0.91	0.12	2.02	0.06	0.94	1.00	0.07
6	12.00	228.00	73.58	154.43	0.85	0.12	2.02	0.06	0.92	1.00	0.07
7	15.00	285.00	103.00	182.00	0.77	0.12	2.02	0.06	0.89	1.00	0.07
8	18.00	345.00	132.44	212.56	0.69	0.11	2.02	0.05	0.86	1.00	0.06
9	20.00	385.00	152.06	232.94	0.64	0.10	2.02	0.05	0.84	1.00	0.06
10	21.00	405.00	161.87	243.13	0.61	0.10	2.02	0.05	0.84	1.00	0.06
11	29.00	565.00	240.34	324.65	0.51	0.09	2.02	0.04	0.79	1.00	0.05

Depth : Depth from free surface, at which Vs test was performed (m)  
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
r<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
CSR : Cyclic Stress Ratio  
MSF : Magnitude Scaling Factor  
CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
F.S.<sub>user</sub> : User defined CSR factor of safety  
CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1C</sub> (m/s)	CRR <sub>7.5</sub>
1	302.93	210.00	2.00
2	230.18	210.00	2.00
3	214.20	210.00	2.00
4	290.33	210.00	0.14
5	255.52	210.00	0.07
6	325.52	210.00	0.20
7	316.36	210.00	0.18
8	307.55	210.00	0.17
9	340.09	210.00	0.22
10	337.32	210.00	0.22
11	318.55	210.00	0.18

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)	$CRR_{7.5}$
----------	-------------------	--------------------	-------------

$V_{S1}$  : Normalized  $V_S$   
 $V_{S1c}$  : Andrus et al. method : Corrected  $V_{S1}$  due to fine contents  
 All other methods : Boundary value of  $V_{S1}$  between contractive and dilative soil behaviour  
 $CRR_{7.5}$  : Cyclic resistance ratio for  $M=7.5$

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	$w_z$	$I_L$	Point ID	F	$w_z$	$I_L$
1	0.00	9.50	0.00	2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	8.00	0.00	4	0.00	7.00	0.00
5	0.00	5.00	0.00	6	0.00	4.00	0.00
7	0.00	2.50	0.00	8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00				

**Overall potential  $I_L$  : 0.00**

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

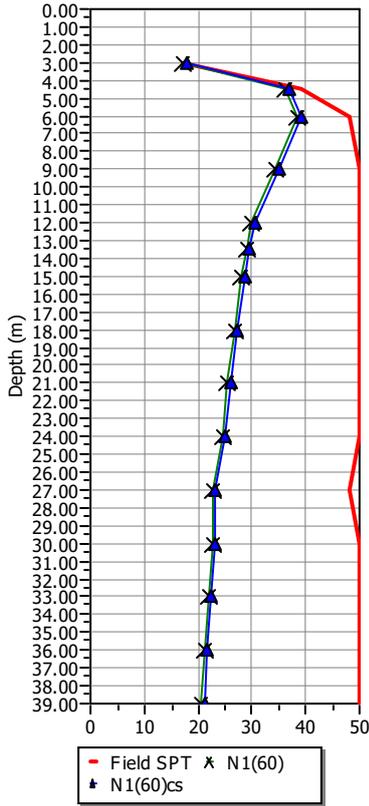
**Project title :** Metro 2 - Stazioni P. NUova e C. Alberto Falda a - 4.5 metri

**Project subtitle :** Calcolo basato sui valori di N<sub>spt</sub> e su fine 8 per cento

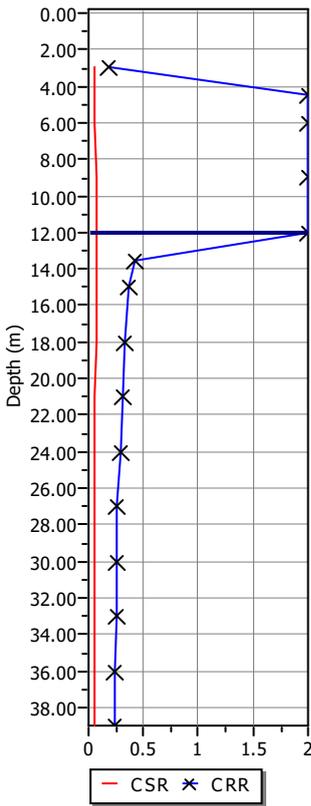
**Input parameters and analysis data**

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	12.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.70
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.15 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00

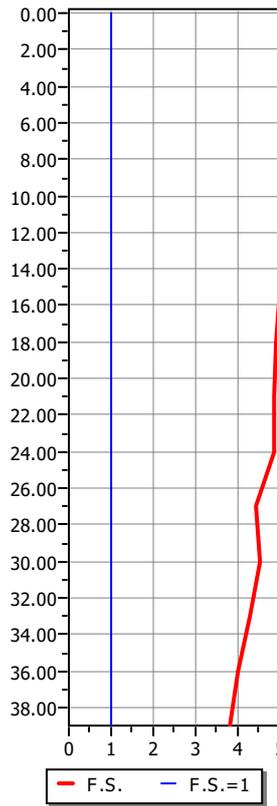
**SPT data graph**



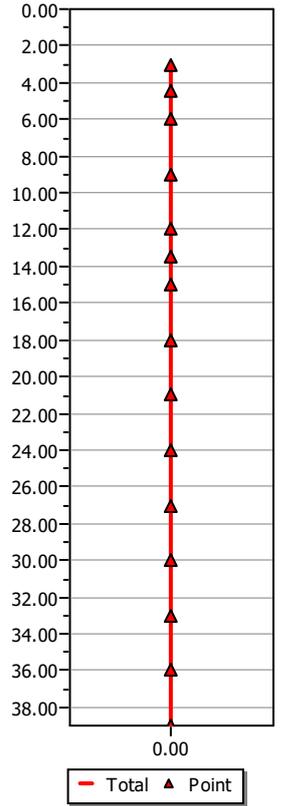
**Shear stress ratio**



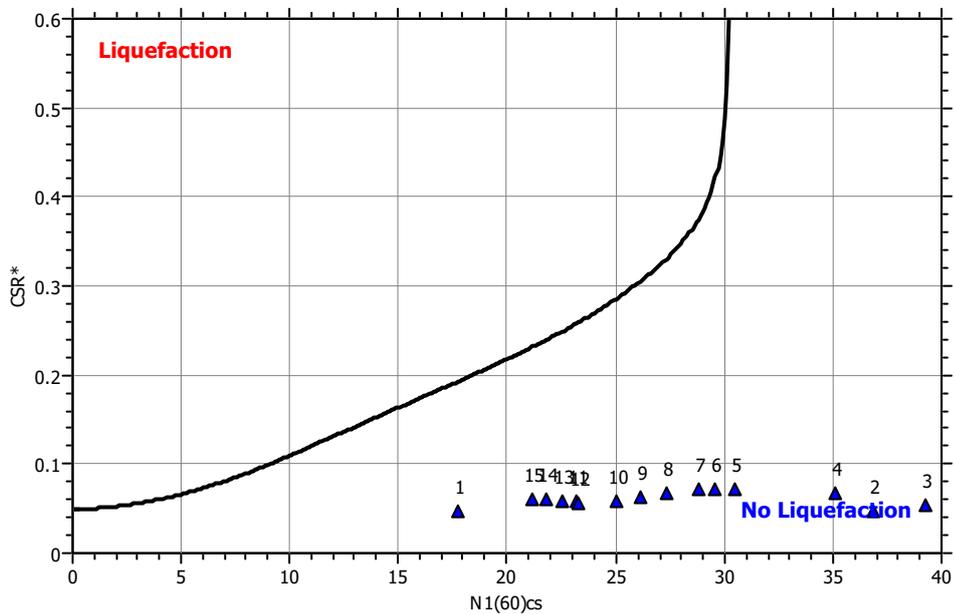
**Factor of safety**



**Settlements (cm)**



**M<sub>w</sub>=7<sup>1/2</sup>, sigma' = 1 atm base curve**



**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	Field $N_{SPT}$ (blows/30 cm)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	3.00	17.00	19.00	8.00
2	4.50	39.00	19.00	8.00
3	6.00	48.00	19.00	8.00
4	9.00	50.00	19.00	8.00
5	12.00	50.00	19.00	8.00
6	13.50	50.00	19.00	8.00
7	15.00	50.00	19.00	8.00
8	18.00	50.00	19.00	8.00
9	21.00	50.00	19.00	8.00
10	24.00	50.00	19.00	8.00
11	27.00	48.00	19.00	8.00
12	30.00	50.00	19.00	8.00
13	33.00	50.00	19.00	8.00
14	36.00	50.00	19.00	8.00
15	39.00	50.00	19.00	8.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)  
 Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)  
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	$r_d$	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	$K_{sigma}$	CSR*
1	3.00	57.00	0.00	57.00	0.98	0.10	2.02	0.05	1.00	0.05
2	4.50	85.50	0.00	85.50	0.97	0.09	2.02	0.05	1.00	0.05
3	6.00	114.00	14.71	99.28	0.95	0.11	2.02	0.05	0.97	0.05
4	9.00	171.00	44.15	126.86	0.93	0.12	2.02	0.06	0.90	0.07
5	12.00	228.00	73.58	154.43	0.85	0.12	2.02	0.06	0.85	0.07
6	13.50	256.50	88.29	168.21	0.81	0.12	2.02	0.06	0.84	0.07
7	15.00	285.00	103.00	182.00	0.77	0.12	2.02	0.06	0.83	0.07
8	18.00	342.00	132.44	209.56	0.69	0.11	2.02	0.05	0.81	0.07
9	21.00	399.00	161.87	237.13	0.61	0.10	2.02	0.05	0.80	0.06
10	24.00	456.00	191.29	264.70	0.55	0.09	2.02	0.05	0.78	0.06
11	27.00	513.00	220.72	292.27	0.53	0.09	2.02	0.04	0.77	0.06
12	30.00	570.00	250.16	319.85	0.50	0.09	2.02	0.04	0.76	0.06
13	33.00	627.00	279.58	347.42	0.50	0.09	2.02	0.04	0.75	0.06
14	36.00	684.00	309.01	374.99	0.50	0.09	2.02	0.04	0.74	0.06
15	39.00	741.00	338.44	402.56	0.50	0.09	2.02	0.04	0.73	0.06

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)  
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 $r_d$  : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 $CSR_{eq,M=7.5}$  : CSR adjusted for M=7.5  
 $K_{sigma}$  : Effective overburden stress factor  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation  $CRR_{7.5}$  ::**

Point ID	Field SPT	$C_n$	$C_e$	$C_b$	$C_r$	$C_s$	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	17.00	1.32	0.90	1.00	0.85	1.00	17.23	0.52	17.74	0.19
2	39.00	1.08	0.90	1.00	0.95	1.00	36.06	0.75	36.82	2.00
3	48.00	0.94	0.90	1.00	0.95	1.00	38.44	0.78	39.22	2.00
4	50.00	0.76	0.90	1.00	1.00	1.00	34.41	0.73	35.15	2.00

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	Field SPT	C <sub>n</sub>	C <sub>e</sub>	C <sub>b</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>s</sub>	N <sub>1(60)</sub>	DeltaN	N <sub>1(60)cs</sub>	CRR <sub>7.5</sub>
5	50.00	0.66	0.90	1.00	1.00	1.00	29.80	0.67	30.48	2.00
6	50.00	0.64	0.90	1.00	1.00	1.00	28.94	0.66	29.60	0.42
7	50.00	0.63	0.90	1.00	1.00	1.00	28.15	0.65	28.80	0.37
8	50.00	0.59	0.90	1.00	1.00	1.00	26.74	0.64	27.38	0.33
9	50.00	0.57	0.90	1.00	1.00	1.00	25.53	0.62	26.15	0.31
10	50.00	0.54	0.90	1.00	1.00	1.00	24.47	0.61	25.07	0.29
11	48.00	0.52	0.90	1.00	1.00	1.00	22.59	0.58	23.17	0.26
12	50.00	0.50	0.90	1.00	1.00	1.00	22.69	0.59	23.27	0.26
13	50.00	0.49	0.90	1.00	1.00	1.00	21.93	0.58	22.51	0.25
14	50.00	0.47	0.90	1.00	1.00	1.00	21.25	0.57	21.81	0.24
15	50.00	0.46	0.90	1.00	1.00	1.00	20.62	0.56	21.18	0.23

C<sub>n</sub> : Overburden correction factor  
 C<sub>e</sub> : Energy correction factor  
 C<sub>b</sub> : Borehole diameter correction factor  
 C<sub>r</sub> : Rod length correction factor  
 C<sub>s</sub> : Liner correction factor  
 N<sub>1(60)</sub> : Corrected N<sub>SPT</sub>  
 DeltaN : Addition to corrected N<sub>SPT</sub> value due to the presence of fines  
 N<sub>1(60)cs</sub> : Corrected N<sub>1(60)</sub> value for fines  
 CRR<sub>7.5</sub> : Cyclic resistance ratio for M=7.5

**:: Settlements calculation for saturated sands ::**

Point ID	N <sub>1(60)</sub>	N <sub>1</sub>	FS <sub>L</sub>	e <sub>v</sub> (%)	Settle. (cm)
1	17.74	14.78	5.00	0.00	0.00
2	36.82	30.68	5.00	0.00	0.00
3	39.22	32.68	5.00	0.00	0.00
4	35.15	29.29	5.00	0.00	0.00
5	30.48	25.40	5.00	0.00	0.00
6	29.60	24.67	5.00	0.00	0.00
7	28.80	24.00	5.00	0.00	0.00
8	27.38	22.82	4.92	0.00	0.00
9	26.15	21.79	4.88	0.00	0.00
10	25.07	20.90	4.88	0.00	0.00
11	23.17	19.31	4.43	0.00	0.00
12	23.27	19.39	4.53	0.00	0.00
13	22.51	18.76	4.27	0.00	0.00
14	21.81	18.18	4.02	0.00	0.00
15	21.18	17.65	3.81	0.00	0.00

**Total settlement : 0.00**

N<sub>1(60)</sub> : Stress normalized and corrected SPT blow count  
 N<sub>1</sub> : Japanese equivalent corrected value  
 FS<sub>L</sub> : Calculated factor of safety  
 e<sub>v</sub> : Post-liquefaction volumetric strain (%)  
 Settle. : Calculated settlement (cm)

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	w <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>
1	0.00	8.50	0.00
2	0.00	7.75	0.00
3	0.00	7.00	0.00
4	0.00	5.50	0.00
5	0.00	4.00	0.00
6	0.00	3.25	0.00
7	0.00	2.50	0.00

---

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

---

Point ID	F	w <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>
8	0.00	1.00	0.00

---

**Overall potential I<sub>L</sub> : 0.00**

I<sub>L</sub> = 0.00 - No liquefaction

I<sub>L</sub> between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable

I<sub>L</sub> between 5 and 15 - Liquefaction probable

I<sub>L</sub> > 15 - Liquefaction certain