



SPEA Ingegneria Europea

# AUTOSTRADA A13 - BOLOGNA-PADOVA

Adeguamento alla terza corsia nel tratto Monselice-Padova

## PROGETTO DEFINITIVO

SCHEDE GEOTECNICHE DELLE OPERE

Relazione di Calcolo

APE0010

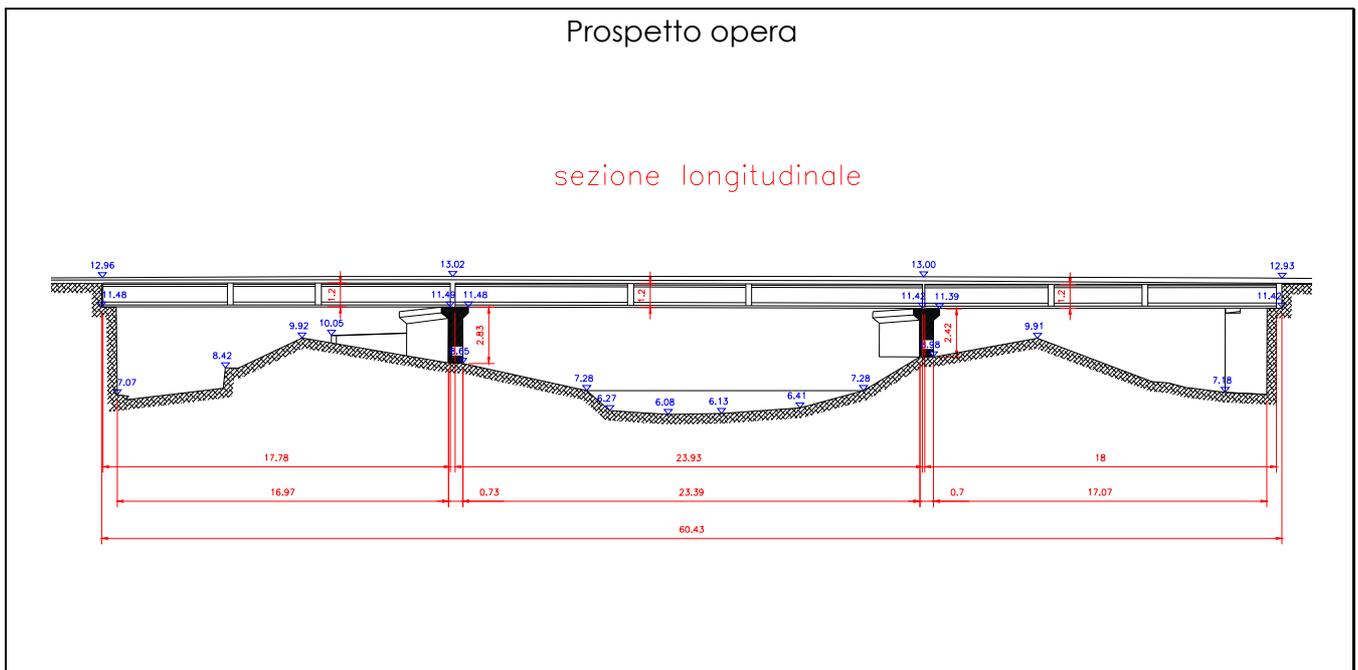


## INDICE

1. AMPLIAMENTO PONTE SUL CANALE BAGNAROLO.....	3
2. AMPLIAMENTO PONTE SUL CANALE BISATTO .....	10
3. AMPLIAMENTO PONTE SULLA FOSSA PALTANA.....	17
4. AMPLIAMENTO PONTE SUL CANALE VIGENZONE .....	23
5. AMPLIAMENTO PONTE CANALE BIANCOLINO .....	33
6. PROLUNGAMENTO SOTTOVIA SP14 VIA PIAVE.....	39
7. PROLUNGAMENTO SOTTOVIA VIA RIVELLA .....	45
8. PROLUNGAMENTO SOTTOVIA SP17 VIA CAMPOLONGO .....	52
9. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA AZERDIMEZZO .....	59
10. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA PERNUMIA.....	65
11. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA GORGHIZZOLO .....	71
12. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA CHIODARE.....	78
13. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA SVINCOLO TERME EUGANEE.....	85
14. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA SP9 VIA MINCANA .....	91
15. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA STRADA CAMPESTRE.....	97
16. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA SAN PELAGIO .....	103
17. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA CUCCARA.....	109
18. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA SP 30 VIA MEZZAVIA.....	116
19. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA VÒ DI PLACCA .....	122
20. DEMOLIZIONE E NUOVO CAVALCAVIA VIA BOLZANI .....	129

# 1. Ampliamento Ponte sul Canale Bagnarolo

**OPERA: Ampliamento Ponte sul Canale Bagnarolo – WBS VI001**  
**progressiva km: da km 90+847.90 a km 90+907.30**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD3	2011	90+845	+7.23	40	C(22.0) - C(33.5)
SD3bis	2011	90+910	+7.63	40	TA (13.5 ÷ 29.5) - C(36.5)
CPTU-PM1	2009	90+930	+7.77	25	-
PZD4	2011	91+015	+6.65	3.0	-
DPSH-D1	2011	90+740	+13.08	15	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella);

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante).

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella IIa:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica – Spalla lato Bologna**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 7.2	0.0 ÷ 10.0	Sabbie e sabbie con limo	A2	1.0	Tabella IV
	10.0 ÷ 11.8	Argille e limi	A1b		Tabella III
	11.8 ÷ 12.0	Torba	T		Tabella V
	12.0 ÷ 14.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	14.0 ÷ 15.0	Torba	T		Tabella V
	15.0 ÷ 23.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.5 ÷ 25.4	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.4 ÷ 26.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.5 ÷ 27.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.0 ÷ 29.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.0 ÷ 29.5	Torba	T		Tabella V
	29.5 ÷ 30.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.0 ÷ 31.0	Torba	T		Tabella V
	31.0 ÷ 33.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	33.0 ÷ 34.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.2 ÷ 34.8	Argille e limi	A1b		Tabella III
	34.8 ÷ 35.0	Torba	T		Tabella V
	35.0 ÷ 40.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	40.5 ÷ 42.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.2 ÷ 45.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	45.2 ÷ 51.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.6 ÷ 52.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	52.5 ÷ 54.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	54.1 ÷ 56.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.0 ÷ 59.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	59.5 ÷ 61.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV

**Tabella IIb:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica – Spalla lato Padova e Pile**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 7.2	0.0 ÷ 2.5	Argille e limi	A1b	1.0	Tabella III
	2.5 ÷ 5.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	5.2 ÷ 7.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	7.2 ÷ 10.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.0 ÷ 11.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	11.5 ÷ 13.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.2 ÷ 16.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	16.3 ÷ 17.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	17.0 ÷ 18.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	18.6 ÷ 19.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	19.6 ÷ 24.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.6 ÷ 27.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.6 ÷ 29.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.3 ÷ 30.8	Torba	T		Tabella V
	30.8 ÷ 32.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	32.0 ÷ 33.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	33.0 ÷ 35.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	35.0 ÷ 38.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	38.0 ÷ 40.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	40.0 ÷ 43.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.0 ÷ 49.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.0 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 54.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	54.0 ÷ 57.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.0 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

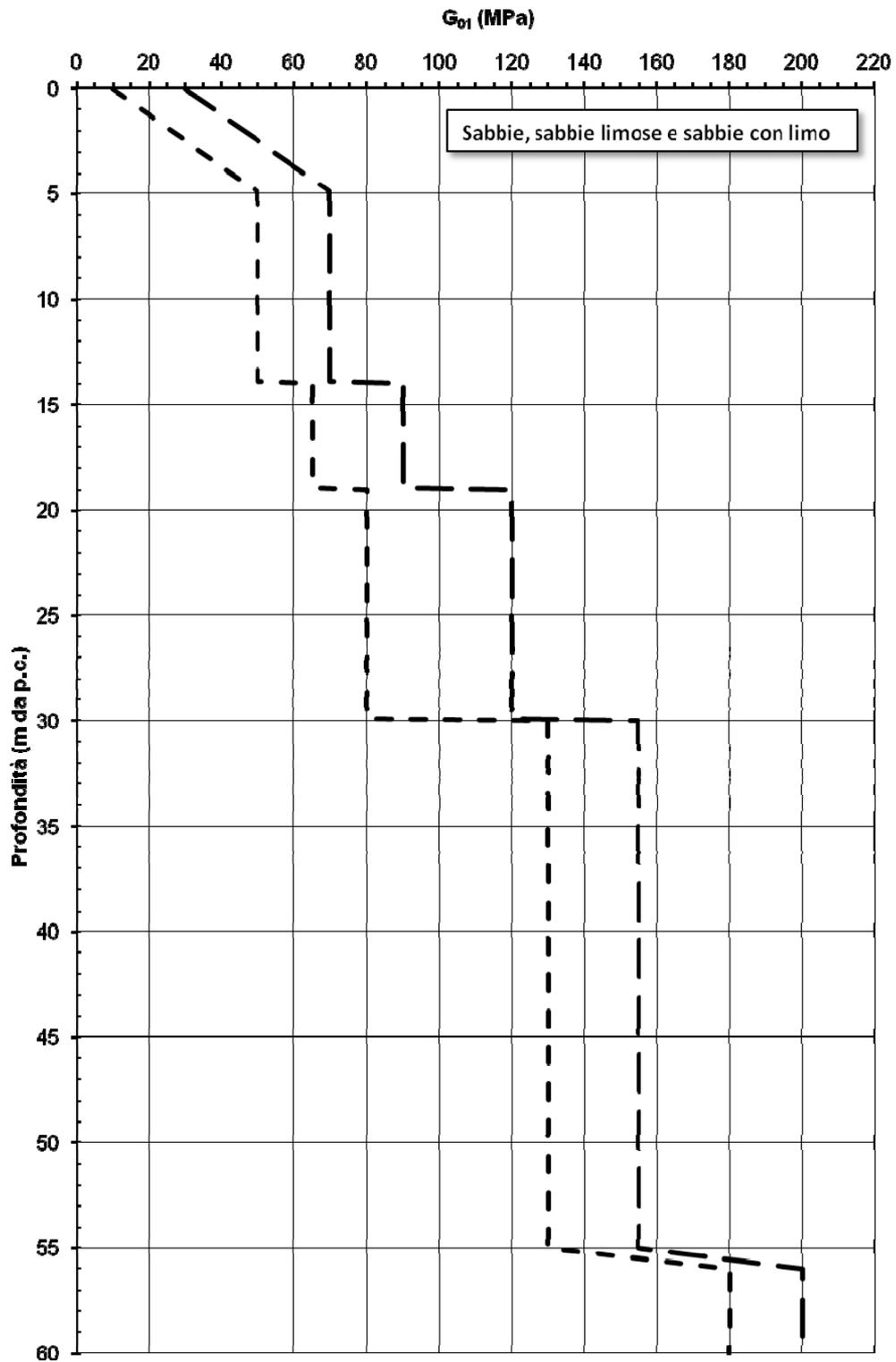


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

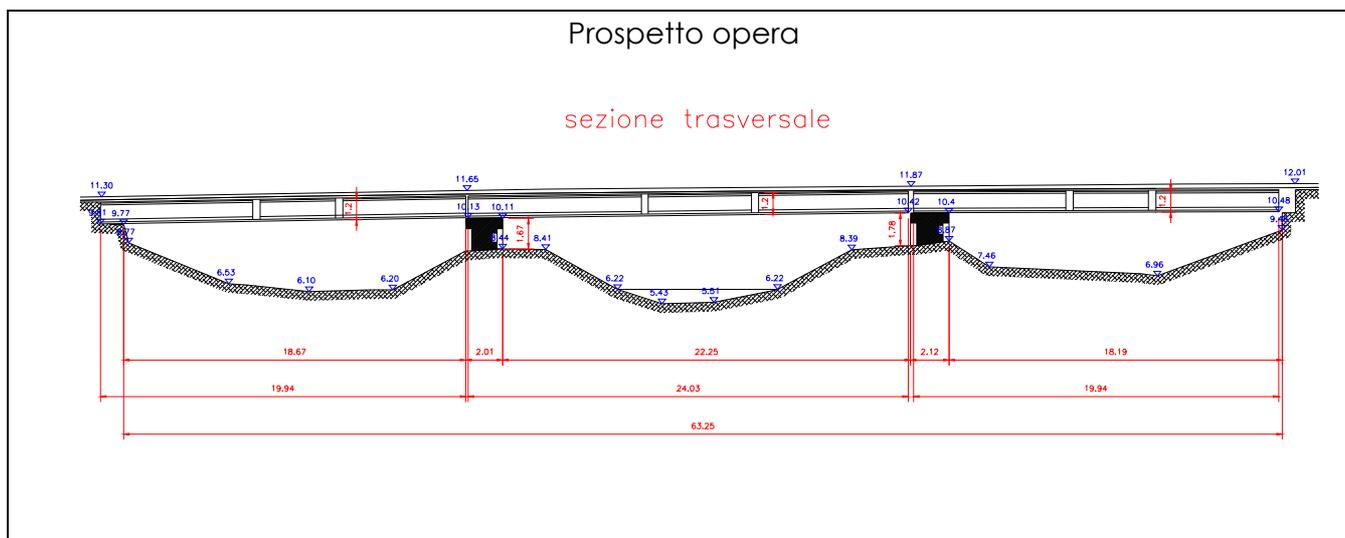
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vmax}'$  = pressione verticale efficace massima subita dal deposito.

## 2. Ampliamento Ponte sul Canale Bisatto

**OPERA: Ampliamento Ponte sul Canale Bisatto - WBS VI002**  
**progressiva km: da km 91+496.40 a km 91+560.43**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD4	2011	91+510	+6.05	40	TA (3 ÷ 40)
CPTU-D2	2011	91+520	+6.33	35	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+6.5	0 ÷ 1.8	Argille e limi	A1b	1.00	Tabella III
	1.8 ÷ 2.2	Torba	T		Tabella V
	2.2 ÷ 2.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	2.5 ÷ 4.8	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	4.8 ÷ 6.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	6.1 ÷ 6.8	Argille e limi	A1b		Tabella III
	6.8 ÷ 7.2	Torba	T		Tabella V
	7.2 ÷ 8.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.0 ÷ 10.0	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.0 ÷ 10.2	Torba	T		Tabella V
	10.2 ÷ 12.0	Argille e limi	A1		Tabella III
	12.0 ÷ 12.2	Torba	T		Tabella V
	12.2 ÷ 13.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.0 ÷ 15.0	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	15.0 ÷ 15.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	15.8 ÷ 16.1	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.1 ÷ 16.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.5 ÷ 17.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	17.0 ÷ 19.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	19.0 ÷ 21.8	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.8 ÷ 22.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.2 ÷ 23.2	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.2 ÷ 23.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	23.6 ÷ 25.2	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	25.2 ÷ 25.7	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.7 ÷ 26.8	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.8 ÷ 26.9	Torba	T		Tabella V
	26.9 ÷ 27.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.5 ÷ 30.0	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.0 ÷ 32.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.0 ÷ 33.0	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	33.0 ÷ 34.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.0 ÷ 35.3	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.3 ÷ 36.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.8 ÷ 39.6	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	39.6 ÷ 41.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	41.4 ÷ 44.2	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	44.2 ÷ 50.2	Argille e limi	A1a		Tabella III

	50.2 ÷ 51.5	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	51.5 ÷ 53.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	53.0 ÷ 54.8	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV
	54.8 ÷ 58.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	58.2 ÷ 60.4	Sabbie e Sabbie con limo	A2		Tabella IV

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

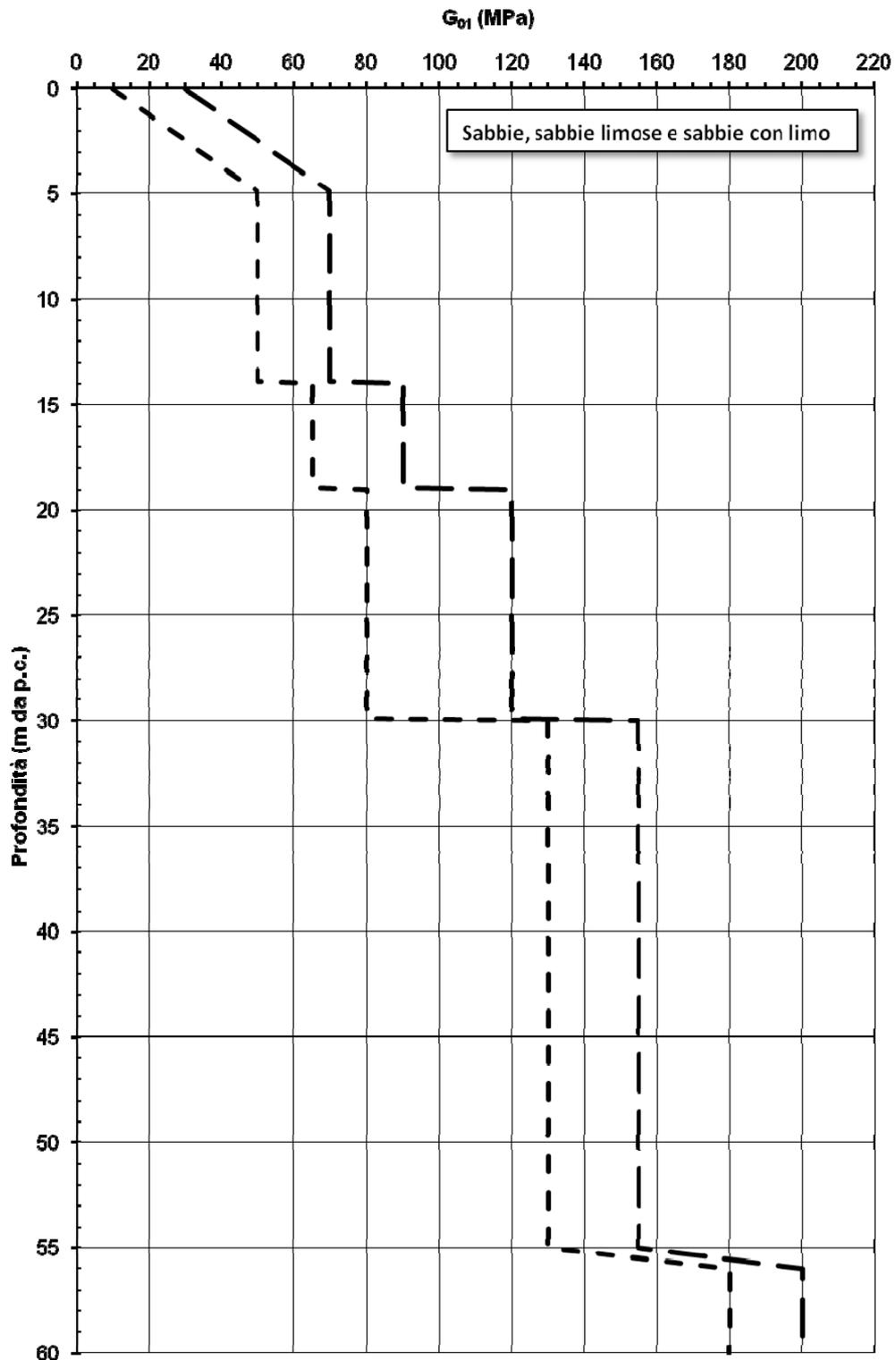


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha e}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

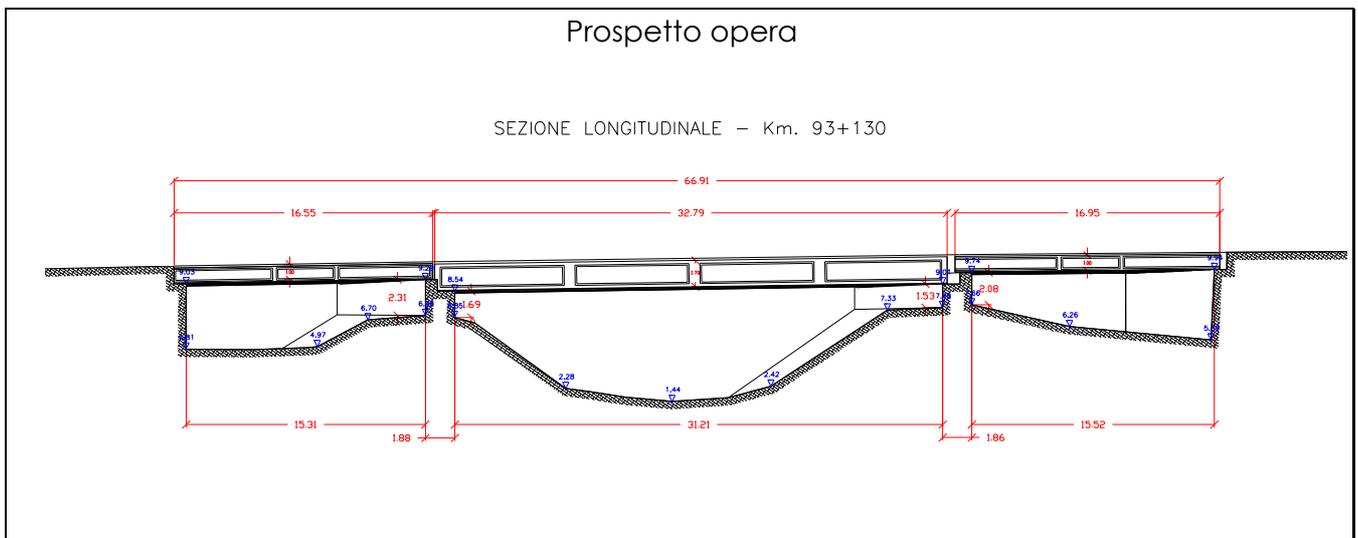
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vmax}'$  = pressione verticale efficace massima subita dal deposito.

### 3. Ampliamento Ponte sulla Fossa Paltana

**OPERA: Ampliamento Ponte sulla Fossa Paltana – WBS VI003**  
**progressiva km: da km 93+076.17 a km 93.142.23**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
S-PM2	2009	93+070	+5.15	31	C (12) – C (25)
SD5bis	2011	93+140	+6.32	40	C (20.5) – C (33.5)
PZD6	2011	93+050	+5.31	4.0	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60.0	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+6.3	0 ÷ 2.0	Argille e limi	A1b	1.0	Tabella III
	2.0 ÷ 9.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	9.8 ÷ 10.0	Torba	T		Tabella V
	10.0 ÷ 12.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.0 ÷ 13.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	13.0 ÷ 14.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	14.0 ÷ 14.5	Torba	T		Tabella V
	14.5 ÷ 15.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	15.0 ÷ 16.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.0÷ 16.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	16.4÷ 19.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	19.5 ÷ 21.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.3 ÷ 22.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.3 ÷ 24.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.5 ÷ 24.7	Torba	T		Tabella V
	24.7 ÷ 25.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.0 ÷ 25.2	Torba	T		Tabella V
	25.2 ÷ 27.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.6 ÷ 28.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.0 ÷ 28.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	28.5 ÷ 29.4	Torba	T		Tabella V
	29.4 ÷ 30.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	30.5 ÷ 31.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	31.2 ÷ 32.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.0 ÷ 34.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.8 ÷ 36.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.0 ÷ 37.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	37.5 ÷ 38.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	38.5 ÷ 43.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.0÷ 49.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.0 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 54.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	54.0 ÷ 57.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.0 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

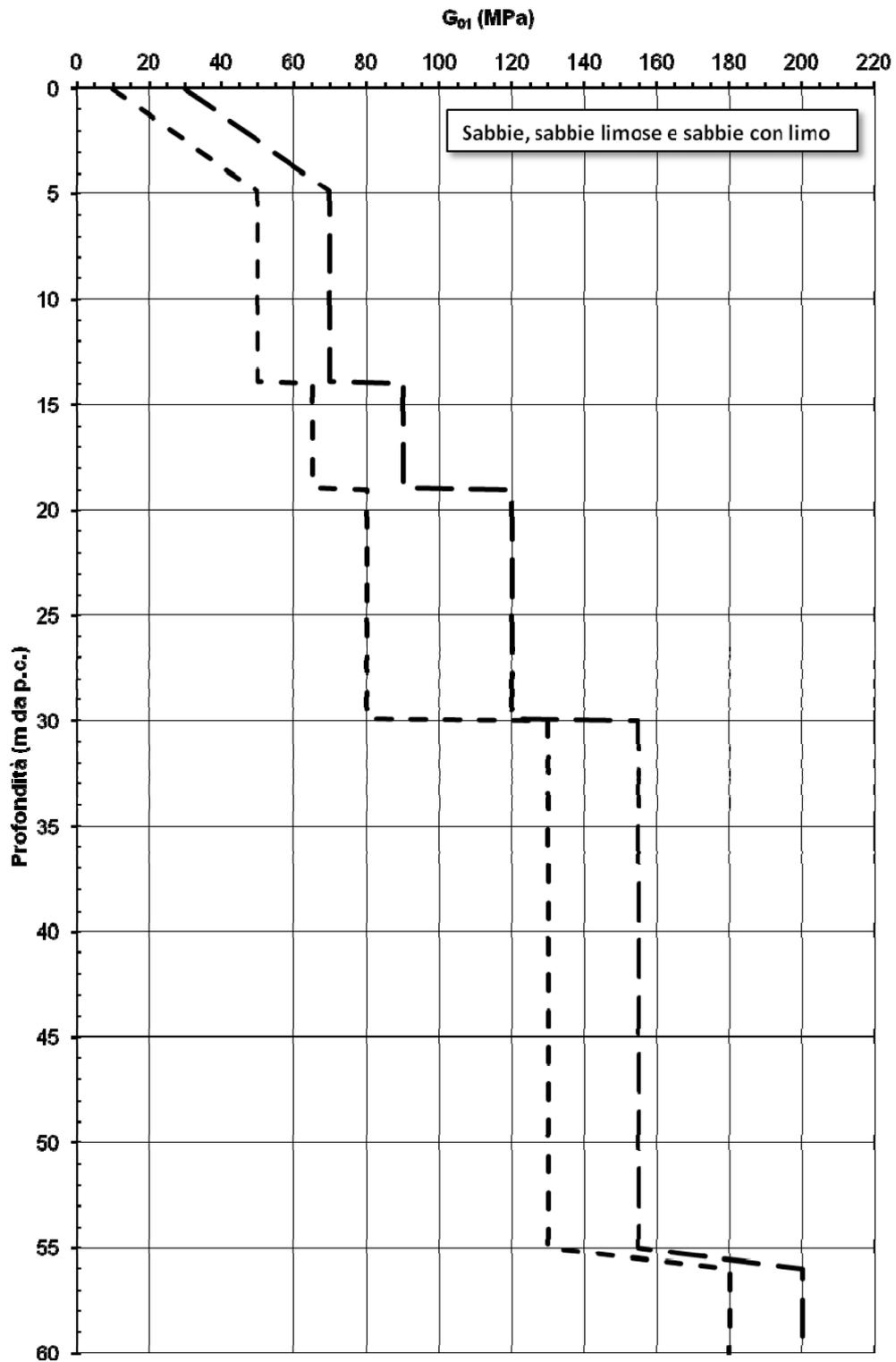


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

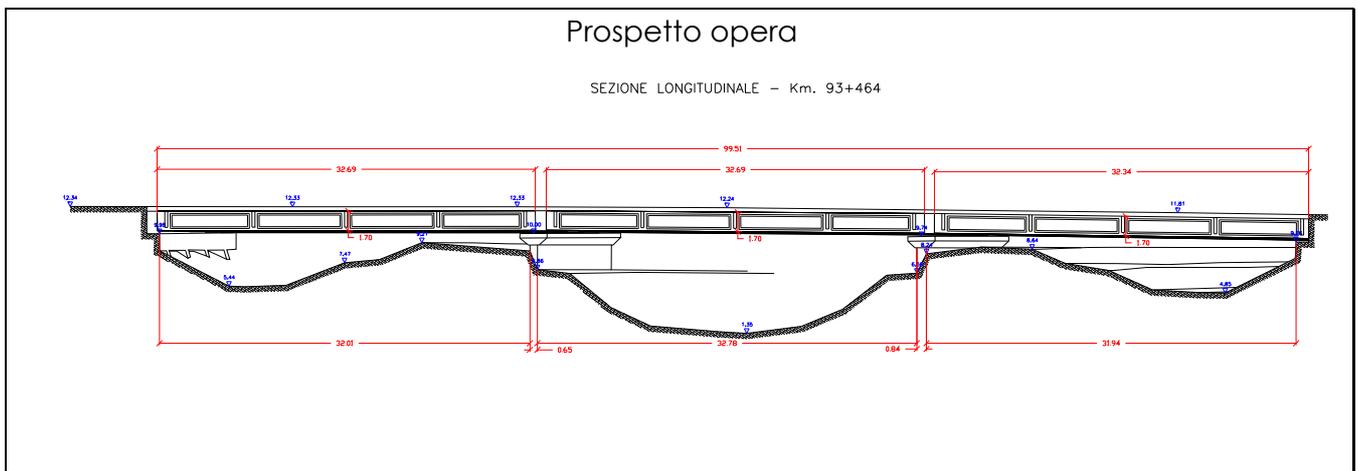
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vmax}'$  = pressione verticale efficace massima subita dal deposito.

## 4. Ampliamento Ponte sul Canale Vigenzone

**OPERA: Ampliamento Ponte sul Canale Vigenzone – WBS VI004**  
**progressiva km: da km 93+403.12 a km 93+502.12**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD6 – SD6bis	2011	93+390	+5.06	60	CH
SD6ter	2011	93+465	+8.52	45	-
SD7	2011	93+500	+5.22	40	C (19.8) – C (27.5)
DPSH-D2	2011	93+305	+12.53	15	-

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica – Spalla lato Bologna**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 5.1	0.0 ÷ 7.8	Argille e limi	A1a	0.5	Tabella III
	7.8 ÷ 8.0	Torba	T		Tabella V
	8.0 ÷ 8.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.6 ÷ 8.8	Torba	T		Tabella V
	8.8 ÷ 11.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.2 ÷ 11.6	Torba	T		Tabella V
	11.6 ÷ 12.9	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	12.9 ÷ 13.4	Torba	T		Tabella V
	13.4 ÷ 14.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	14.0 ÷ 15.0	Argille e limi	A1a		Tabella IV
	15.0 ÷ 17.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	17.2 ÷ 18.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	18.0 ÷ 21.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.2 ÷ 22.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.6 ÷ 22.8	Torba	T		Tabella V
	22.8 ÷ 24.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.0 ÷ 25.5	Torba	T		Tabella V
	25.5 ÷ 29.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.5 ÷ 30.5	Torba	T		Tabella V
	30.5 ÷ 31.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	31.3 ÷ 32.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	32.4 ÷ 33.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	33.0 ÷ 33.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	33.6 ÷ 34.1	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.1 ÷ 35.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	35.5 ÷ 38.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	38.5 ÷ 40.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	40.2 ÷ 42.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	42.8 ÷ 43.0	Torba	T		Tabella V
	43.0 ÷ 49.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.2 ÷ 49.5	Torba	T		Tabella V
	49.5 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 53.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.8 ÷ 57.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.2 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica – Spalla lato Padova**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 5.1	0.0 ÷ 2.2		R	0.5	Tabella
	2.2 ÷ 7.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	7.5 ÷ 9.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	9.0 ÷ 9.4	Torba	T		Tabella V
	9.4 ÷ 10.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.4 ÷ 12.0	Torba	T		Tabella V
	12.0 ÷ 12.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.4 ÷ 12.6	Torba	T		Tabella V
	12.6 ÷ 14.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	14.5 ÷ 15.0	Torba	T		Tabella V
	15.0 ÷ 16.4	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.4 ÷ 17.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	17.2 ÷ 19.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	19.5 ÷ 21.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.0 ÷ 22.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.5 ÷ 23.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.5 ÷ 23.8	Torba	T		Tabella V
	23.8 ÷ 24.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	24.8 ÷ 25.1	Torba	T		Tabella V
	25.1 ÷ 26.4	Argille e limi	A1b		Tabella III
	26.4 ÷ 28.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.5 ÷ 29.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	29.4 ÷ 30.0	Torba	T		Tabella V
	30.0 ÷ 31.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	31.2 ÷ 32.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.9 ÷ 33.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	33.5 ÷ 35.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.0 ÷ 35.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	35.8 ÷ 36.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	36.8 ÷ 40.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	40.2 ÷ 42.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	42.8 ÷ 43.0	Torba	T		Tabella V
	43.0 ÷ 49.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.2 ÷ 49.5	Torba	T		Tabella V
	49.5 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 53.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.8 ÷ 57.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.2 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV

	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
--	-------------	----------------	-----	--	-------------

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica – Pile**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 6.9	0.0 ÷ 10.1	Argille e limi	A1a	2.3	Tabella III
	10.1 ÷ 10.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.4 ÷ 13.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.2 ÷ 13.4	Torba	T		Tabella V
	13.4 ÷ 13.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.9 ÷ 17.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	17.5 ÷ 17.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	17.9 ÷ 18.9	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	18.9 ÷ 19.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	19.9 ÷ 22.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.4 ÷ 23.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	23.5 ÷ 24.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.4 ÷ 25.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.2 ÷ 25.4	Torba	T		Tabella V
	25.4 ÷ 26.9	Argille e limi	A1b		Tabella III
	26.9 ÷ 29.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.6 ÷ 30.8	Torba	T		Tabella V
	30.8 ÷ 31.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	31.0 ÷ 33.1	Argille e limi	A1b		Tabella III
	33.1 ÷ 34.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.5 ÷ 39.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	39.0 ÷ 39.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	39.4 ÷ 40.9	Argille e limi	A1b		Tabella III
	40.9 ÷ 41.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	41.4 ÷ 42.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.1 ÷ 44.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	44.7 ÷ 44.9	Torba	T		Tabella V
	44.9 ÷ 51.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.1 ÷ 51.4	Torba	T		Tabella V
	51.4 ÷ 52.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	52.4 ÷ 53.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	53.9 ÷ 55.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	55.7 ÷ 59.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	59.1 ÷ 61.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	61.4 ÷ 61.9	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 $z^{0.8} \geq 1.1$ <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-10} \div 1 \times 10^{-9}$ z < 15m $1 \times 10^{-9} \div 2 \times 10^{-9}$ z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-8} \div 2 \times 10^{-7}$ z < 15m $2 \times 10^{-7} \div 4 \times 10^{-7}$ z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_0) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
$^{(1)} = G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5} \text{ (kPa)}$ <p>con  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica</p>	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

<b><math>\gamma_t</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	14 ÷ 16
<b><math>c'</math> (kPa)</b>	0
<b><math>\varphi'</math> (°)</b>	13 ÷ 14
<b><math>k_o</math> (-)</b>	0.79
<b><math>e_o</math> (-)</b>	1.5 ÷ 2.0
<b><math>c_{\alpha\epsilon}</math> (%)</b>	1
<b><math>k_v</math> (m/sec)</b>	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
<b><math>K_h</math> (m/sec)</b>	$(7 \div 10) \cdot k_v$
<b><math>c_v</math> (m<sup>2</sup>/sec)</b>	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
<b><math>c_h</math> (m<sup>2</sup>/sec)</b>	$(7 \div 10) \cdot c_v$
<b><math>E_{op1}</math> (kPa)</b>	1500 ÷ 2000
<b><math>E_{op2}</math> (kPa)</b>	1500 ÷ 2000

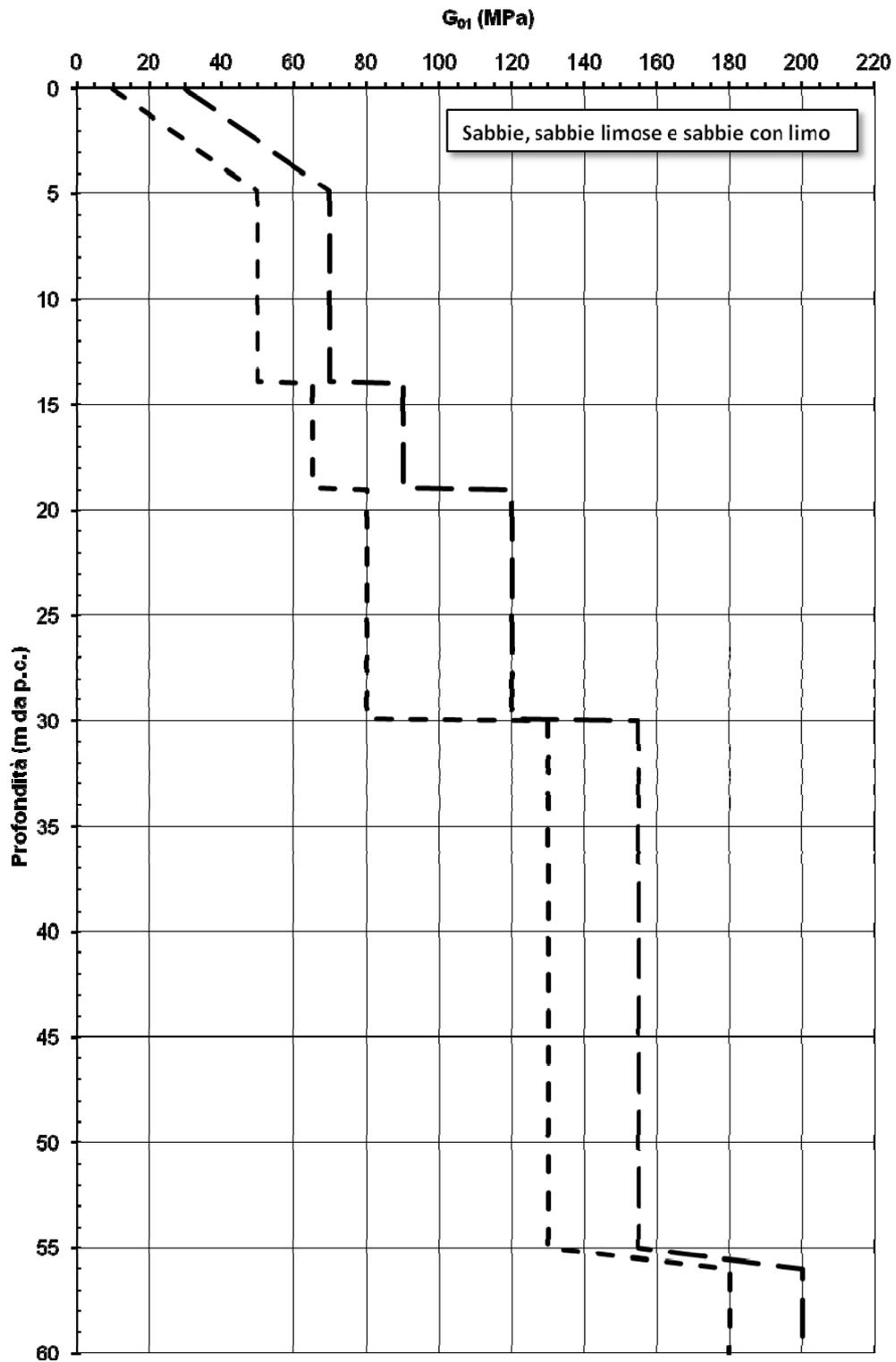


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

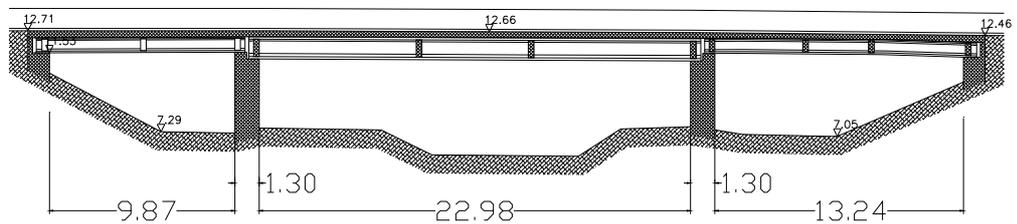
$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 5. Ampliamento Ponte Canale Biancolino

**OPERA: Ampliamento Ponte Canale Biancolino – WBS VI005**  
**progressiva km: da km 96+746.97 a km 96+795.62**

Prospetto opera

SEZIONE 4 (longitudinale) – VIADOTTO km 96+755



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD13 – SD13bis	2011	96+760	+7.21	40	CH
CPTU-PM2	2009	96+785	+7.53	20	-
PZD12	2011	96+885	+7.11	4.0	-
DPSH-D3	2011	96+665	+11.95	15	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella);

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante);

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+7.2	0 ÷ 1.0	Sabbie e sabbie con limo	A2	1.0	Tabella IV
	1.0 ÷ 4.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	4.5 ÷ 5.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	5.5 ÷ 5.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	5.5 ÷ 6.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	6.8 ÷ 7.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	7.5 ÷ 8.7	Argille e limi	A1b		Tabella III
	8.7 ÷ 9.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	9.4 ÷ 9.8	Torba	T		Tabella V
	9.8 ÷ 10.1	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.1 ÷ 11.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.2 ÷ 12.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	12.5 ÷ 14.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	14.0 ÷ 18.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	18.0 ÷ 23.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	23.0 ÷ 24.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.0 ÷ 25.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	25.0 ÷ 25.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	25.5 ÷ 27.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.5 ÷ 28.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.7 ÷ 30.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	30.0 ÷ 32.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	32.5 ÷ 32.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.8 ÷ 33.0	Torba	T		Tabella V
	33.0 ÷ 35.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.0 ÷ 36.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.0 ÷ 38.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	38.2 ÷ 43.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.0 ÷ 49.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.0 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 54.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	54.0 ÷ 57.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.0 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

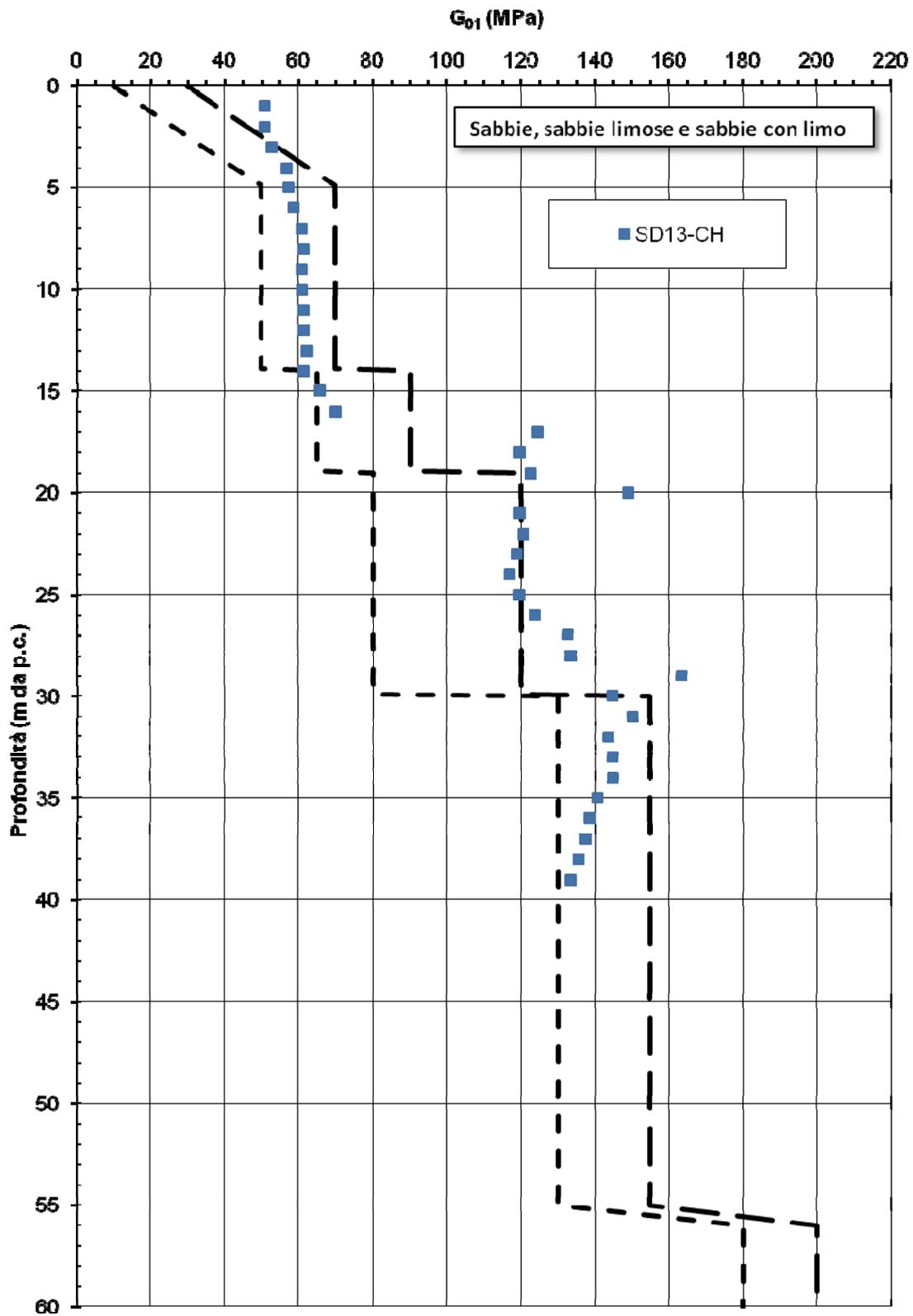


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha e}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vmax}'$  = pressione verticale efficace massima subita dal deposito.

## 6. Prolungamento Sottovia SP14 Via Piave

OPERA: Prolungamento Sottovia SP14 Via Piave – ST001

progressiva km: 90+225.85

Prospetto opera

sezione trasversale

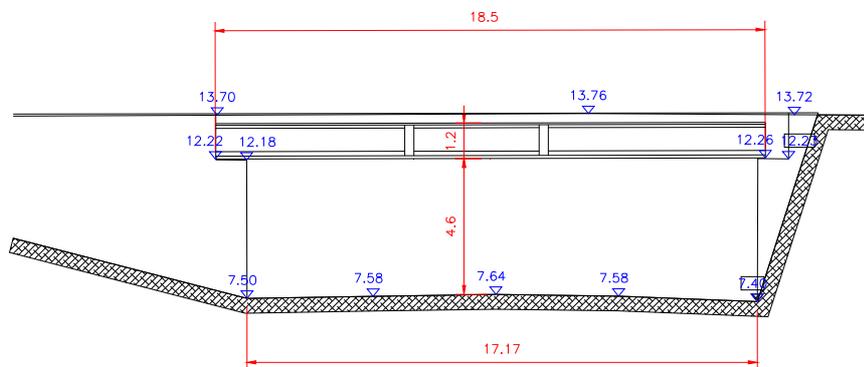


Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD2	2011	90+215	+7.57	40	T.A. (13.5 ÷ 40)
PZD2	2011	90+180	+7.39	2.5	-
PZD3	2011	90+300	+7.17	3.5	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 7.5	0.0 ÷ 1.5	Sabbie e sabbie con limo	A2	2.5	Tabella IV
	1.5 ÷ 2.3	Argille e limi	A1a		Tabella IV
	2.3 ÷ 4.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	4.2 ÷ 5.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	5.1 ÷ 6.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	6.6 ÷ 8.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.0 ÷ 9.0	Torba	T		Tabella V
	9.0 ÷ 12.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.0 ÷ 12.4	Torba	T		Tabella V
	12.4 ÷ 13.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.5 ÷ 15.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	15.4 ÷ 16.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.0 ÷ 18.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	18.4 ÷ 18.6	Torba	T		Tabella V
	18.6 ÷ 19.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	19.0 ÷ 19.9	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	19.9 ÷ 20.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	20.5 ÷ 22.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.0 ÷ 23.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	23.0 ÷ 29.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.8 ÷ 31.1	Torba	T		Tabella V
	31.1 ÷ 33.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	33.4 ÷ 34.0	Torba	T		Tabella V
	34.0 ÷ 41.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	41.0 ÷ 42.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.5 ÷ 45.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	45.5 ÷ 51.5	Argille e limi	A1		Tabella III
	51.5 ÷ 53.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.0 ÷ 54.5	Argille e limi	A1		Tabella III
	54.5 ÷ 56.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.0 ÷ 59.5	Argille e limi	A1		Tabella III
	59.5 ÷ 62.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	62.0 ÷ 62.5	Argille e limi	A1		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

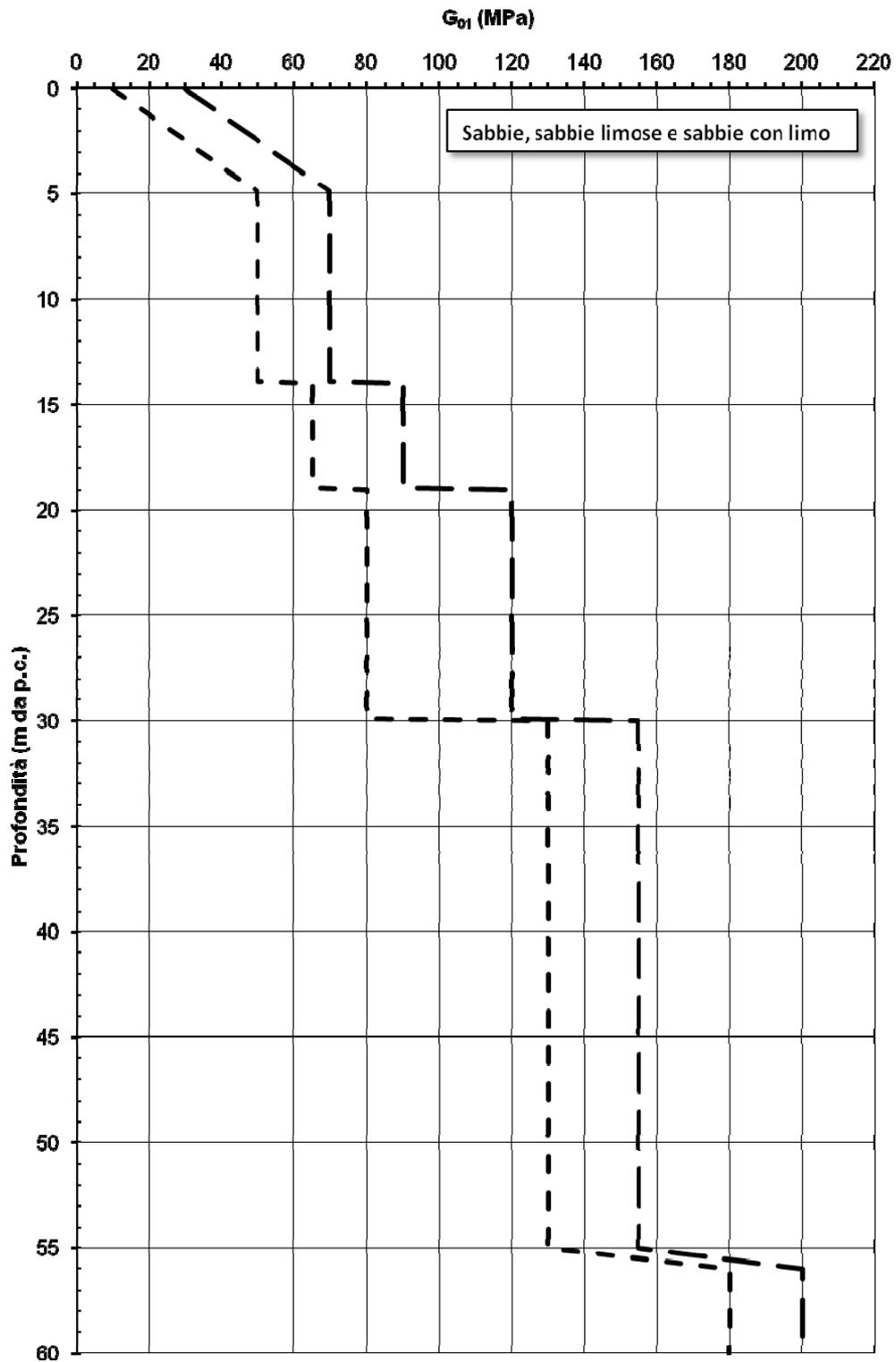


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

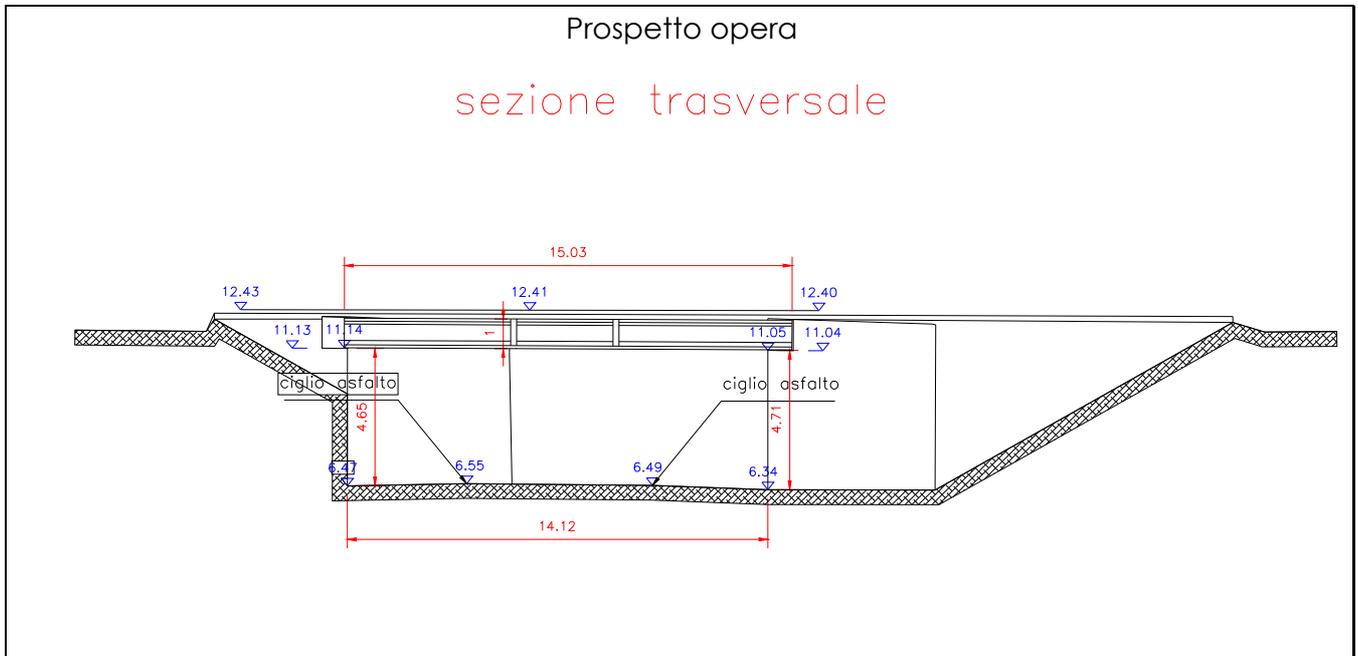
$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 7. Prolungamento Sottovia Via Rivella

OPERA: Prolungamento Sottovia Via Rivella - WBS ST002

progressiva km: 91+689.17



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
CPTU-D3	2011	91+680	+6.21	35	-
SD5	2011	91+715	+6.03	30	C.(13.0) - C. (21.0)
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 6.5	0.0 ÷ 1.7	Argille e limi	A1b	2.0	Tabella III
	1.7 ÷ 2.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	2.4 ÷ 2.6	Torba	T		Tabella V
	2.6 ÷ 3.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.8 ÷ 5.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	5.3 ÷ 6.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	6.3 ÷ 7.5	Torba	T		Tabella V
	7.5 ÷ 10.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.3 ÷ 12.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.3 ÷ 15.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	15.3 ÷ 16.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.1 ÷ 16.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.3 ÷ 16.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.6 ÷ 16.9	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.9 ÷ 19.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	19.3 ÷ 22.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.3 ÷ 22.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.8 ÷ 23.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.4 ÷ 23.9	Argille e limi	A1b		Tabella III
	23.9 ÷ 25.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	25.3 ÷ 25.7	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.7 ÷ 26.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.5 ÷ 27.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.3 ÷ 30.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.0 ÷ 30.5	Torba	T		Tabella V
	30.5 ÷ 32.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	32.3 ÷ 34.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.3 ÷ 35.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.5 ÷ 37.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	37.0 ÷ 40.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	40.0 ÷ 41.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	41.5 ÷ 44.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	44.5 ÷ 50.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	50.5 ÷ 52.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	52.0 ÷ 53.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	53.5 ÷ 55.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	55.0 ÷ 58.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	58.5 ÷ 61.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV

	61.0 ÷ 61.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
--	-------------	----------------	-----	--	-------------

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

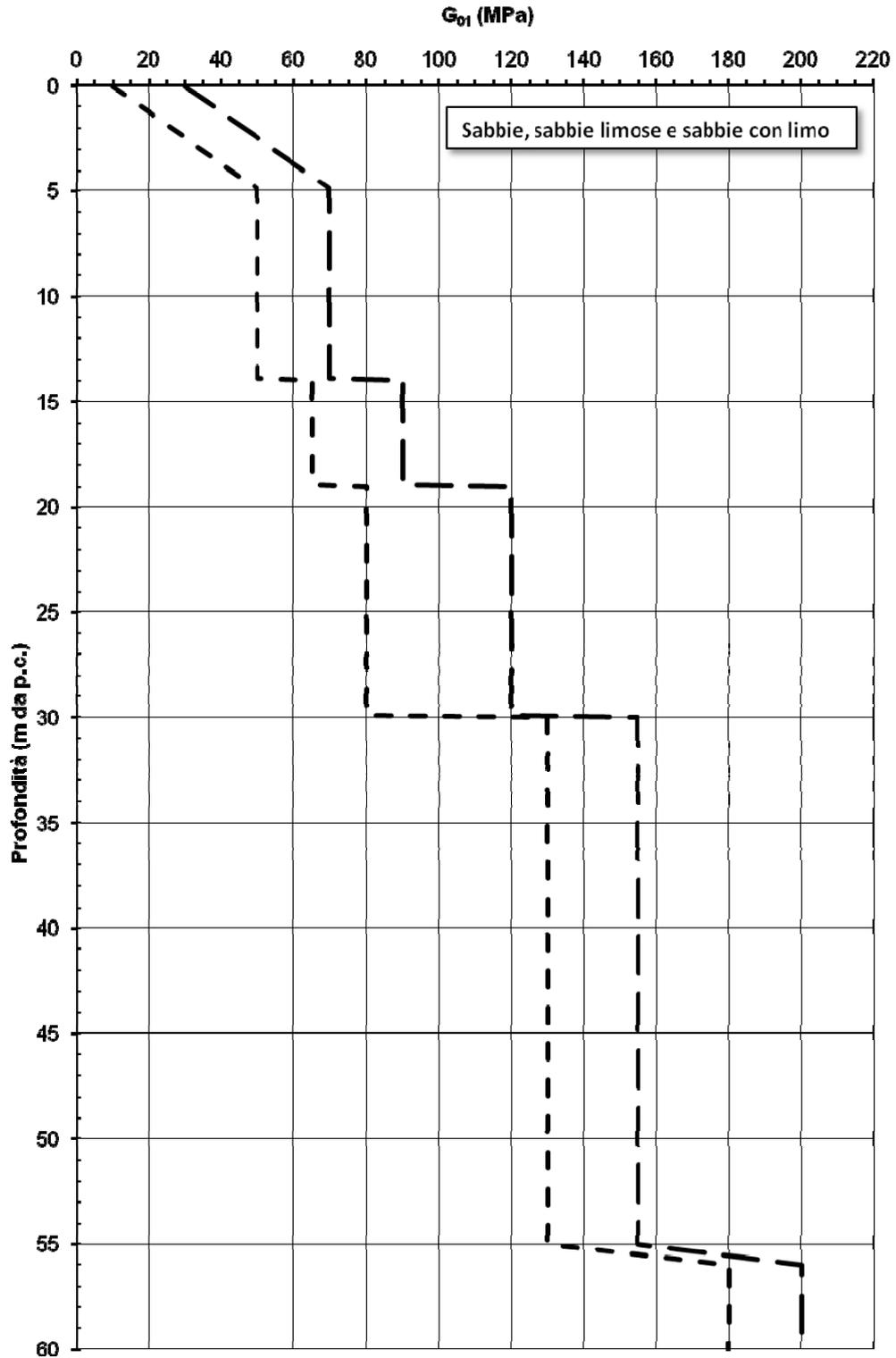


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

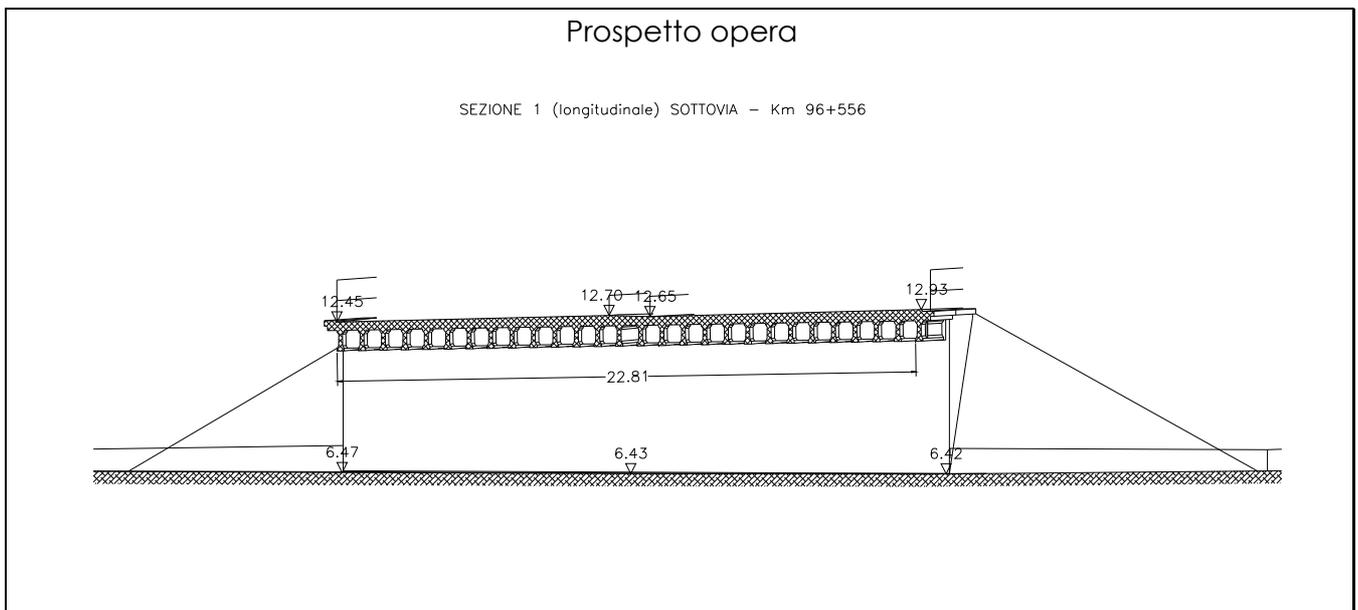
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 8. Prolungamento Sottovia SP17 Via Campolongo

**OPERA: Prolungamento Sottovia SP17 Via Campolongo – WBS ST003**  
**progressiva km: 96+564.03**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
CPTU-D8	2011	96+535	+6.93	35	-
SD12	2011	96+555	+6.65	35	TA (17-35)
PZ-D11	2011	96+460	+7.32	3	-
SD13 – SD13bis <sup>(1)</sup>	2011	96+760	+7.21	40	CH
SD6 – SD6bis <sup>(2)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia fra 35 e 40 m da p.c.

<sup>(2)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 6.4	0.0 ÷ 1.0	Sabbie e sabbie con limo	A2	1.00	Tabella IV
	1.0 ÷ 2.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	2.5 ÷ 4.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	4.5 ÷ 7.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	7.0 ÷ 9.75	Argille e limi	A1a		Tabella III
	9.75 ÷ 10.05	Torba	T		Tabella V
	10.05 ÷ 11.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.5 ÷ 13.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	13.5 ÷ 14.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	14.5 ÷ 16.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	16.5 ÷ 16.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.8 ÷ 20.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	20.0 ÷ 21.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	21.5 ÷ 22.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.3 ÷ 23.1	Argille e limi	A1b		Tabella III
	23.1 ÷ 24.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.3 ÷ 26.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	26.3 ÷ 26.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	26.5 ÷ 29.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.0 ÷ 31.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	31.5 ÷ 33.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	33.0 ÷ 37.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	37.0 ÷ 39.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	39.5 ÷ 41.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	41.5 ÷ 44.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	44.5 ÷ 50.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	50.5 ÷ 52.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	52.0 ÷ 53.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	53.5 ÷ 55.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	55.0 ÷ 58.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	58.5 ÷ 61.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	61.0 ÷ 61.5	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_0) / (3 \div 5)^{(1)}$
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
$^{(1)} = G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5} \text{ (kPa)}$ <p>con  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica</p>	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

<b><math>\gamma_t</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	14 ÷ 16
<b><math>c'</math> (kPa)</b>	0
<b><math>\varphi'</math> (°)</b>	13 ÷ 14
<b><math>k_o</math> (-)</b>	0.79
<b><math>e_o</math> (-)</b>	1.5 ÷ 2.0
<b><math>c_{\alpha\beta}</math> (%)</b>	1
<b><math>k_v</math> (m/sec)</b>	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
<b><math>K_h</math> (m/sec)</b>	$(7 \div 10) \cdot k_v$
<b><math>c_v</math> (m<sup>2</sup>/sec)</b>	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
<b><math>c_h</math> (m<sup>2</sup>/sec)</b>	$(7 \div 10) \cdot c_v$
<b><math>E_{op1}</math> (kPa)</b>	1500 ÷ 2000
<b><math>E_{op2}</math> (kPa)</b>	1500 ÷ 2000

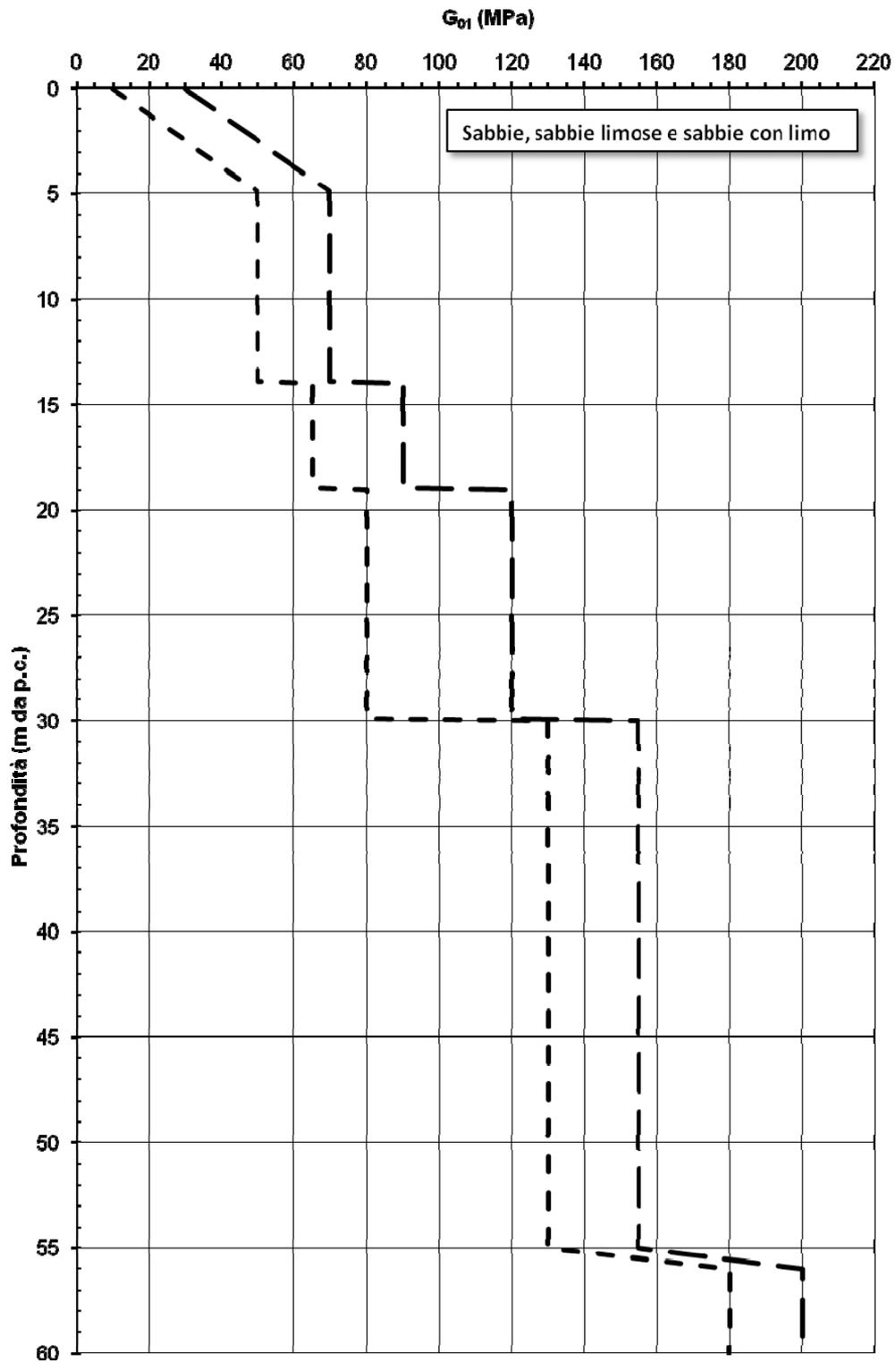


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

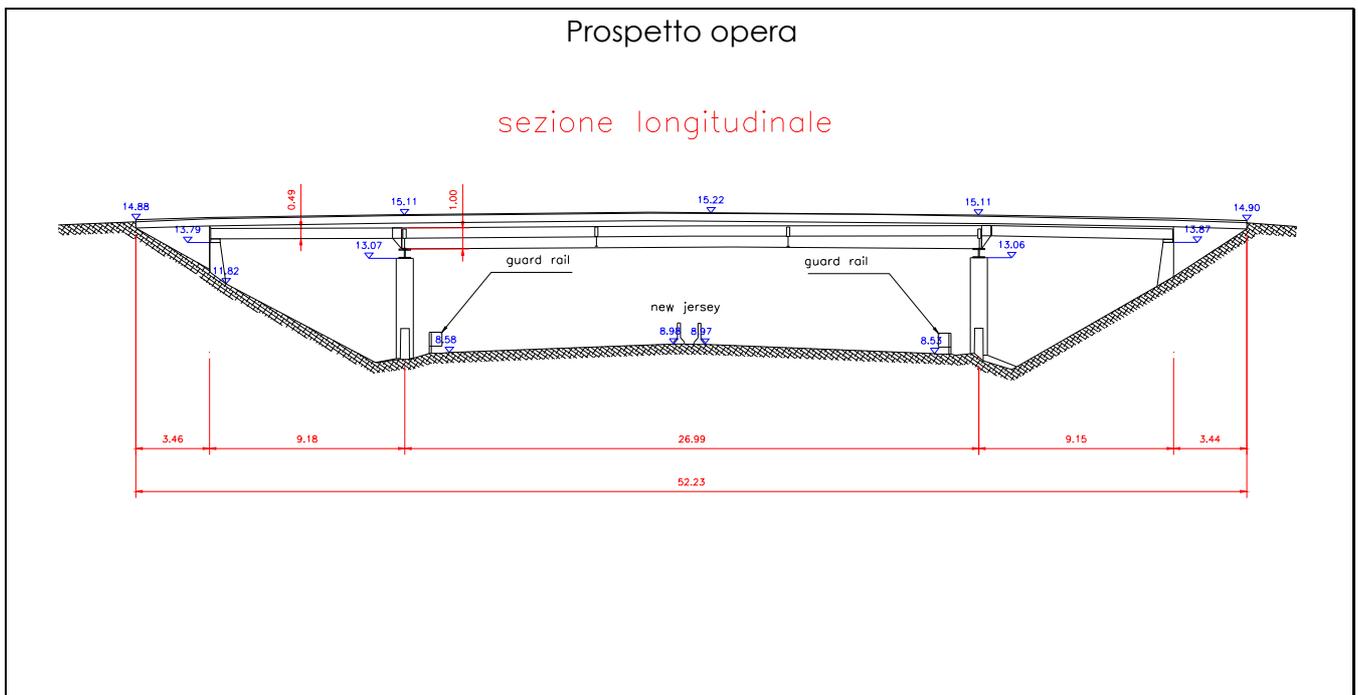
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 9. Demolizione e nuovo Cavalcavia via Azerdimezzo

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia via Azerdimezzo – WBS CV001**  
**progressiva km: 89+080.55**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
S-PM1	2009	89+060	+6.82	40	C (3.75) – C (29.75)
CPTU-D1	2011	89+095	+6.64	35	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+6.8	0.0 ÷ 3.2	Sabbie e sabbie con limo	A2	1.5	Tabella IV
	3.2 ÷ 4.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	4.5 ÷ 7.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	7.0 ÷ 10.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.8 ÷ 11.2	Torba	T		Tabella V
	11.2 ÷ 12.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	12.2 ÷ 13.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.0 ÷ 15.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	15.7 ÷ 16.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.1 ÷ 36.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	36.0 ÷ 37.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	37.0 ÷ 38.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	38.5 ÷ 38.7	Torba	T		Tabella V
	38.7 ÷ 42.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.0 ÷ 44.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	44.5 ÷ 51.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.0 ÷ 52.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	52.0 ÷ 53.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	53.5 ÷ 55.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	55.5 ÷ 59.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	59.0 ÷ 61.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	61.0 ÷ 61.5	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

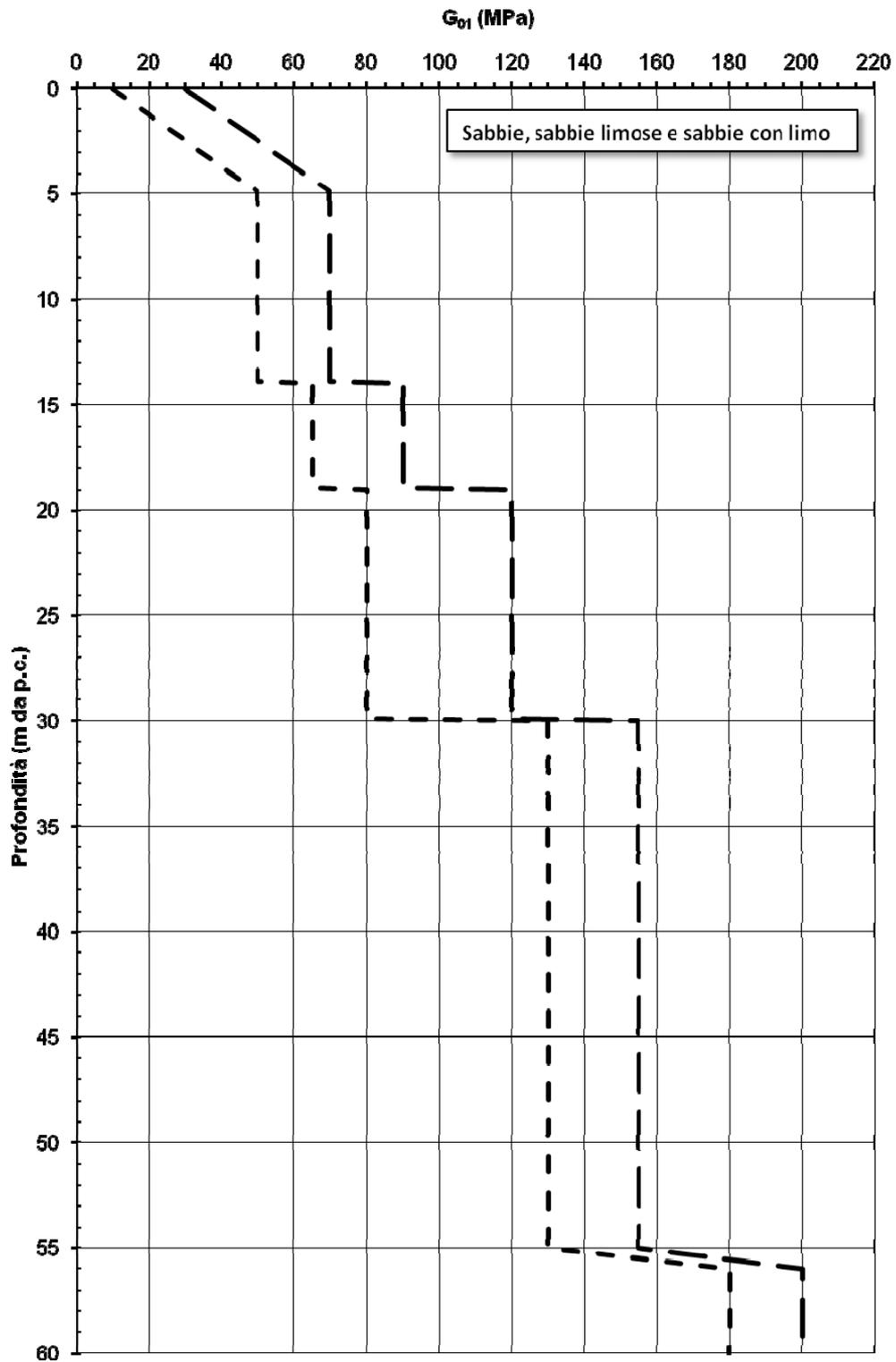


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

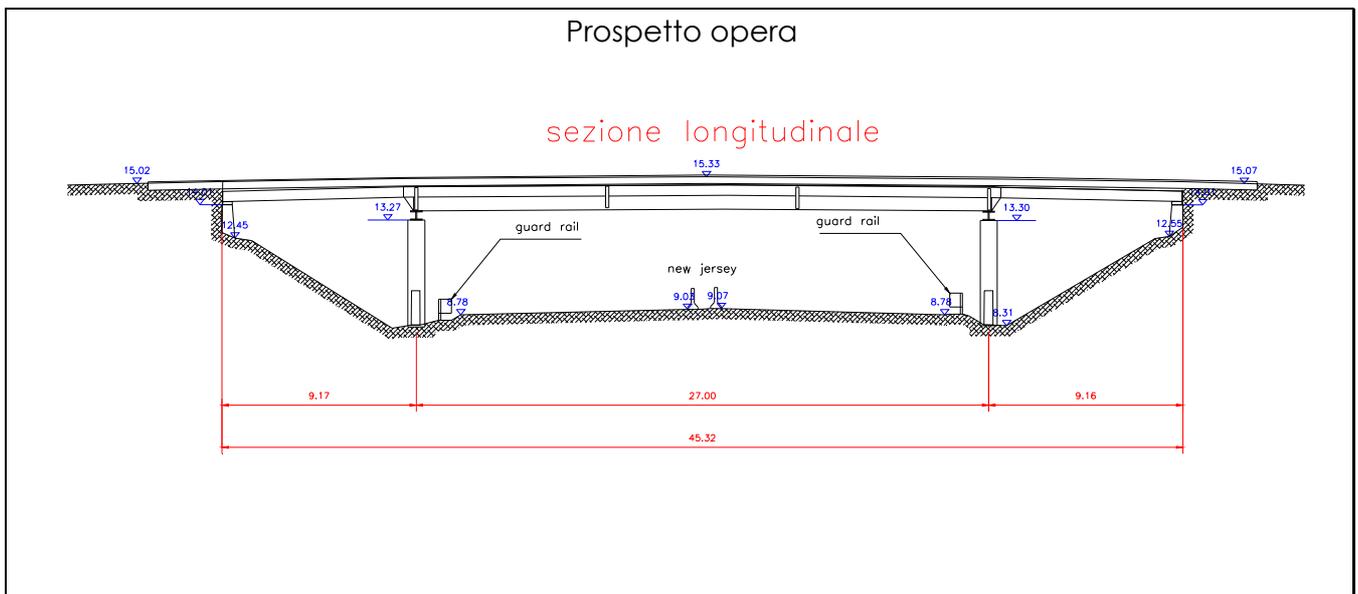
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 10. Demolizione e nuovo Cavalcavia via Pernumia

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia via Pernumia – WBS CV002**  
**progressiva km: 89+407.59**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD1	2011	89+400	+7.25	40	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+7.2	0.0 ÷ 6.5	Sabbie e sabbie con limo	A2	1.5	Tabella IV
	6.5 ÷ 10.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.5 ÷ 35.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.0 ÷ 36.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.0 ÷ 40.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	40.5 ÷ 42.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.3 ÷ 45.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	45.0 ÷ 51.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.3 ÷ 52.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	52.5 ÷ 54.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	54.0 ÷ 56.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.0 ÷ 59.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	59.3 ÷ 61.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	61.5 ÷ 62.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

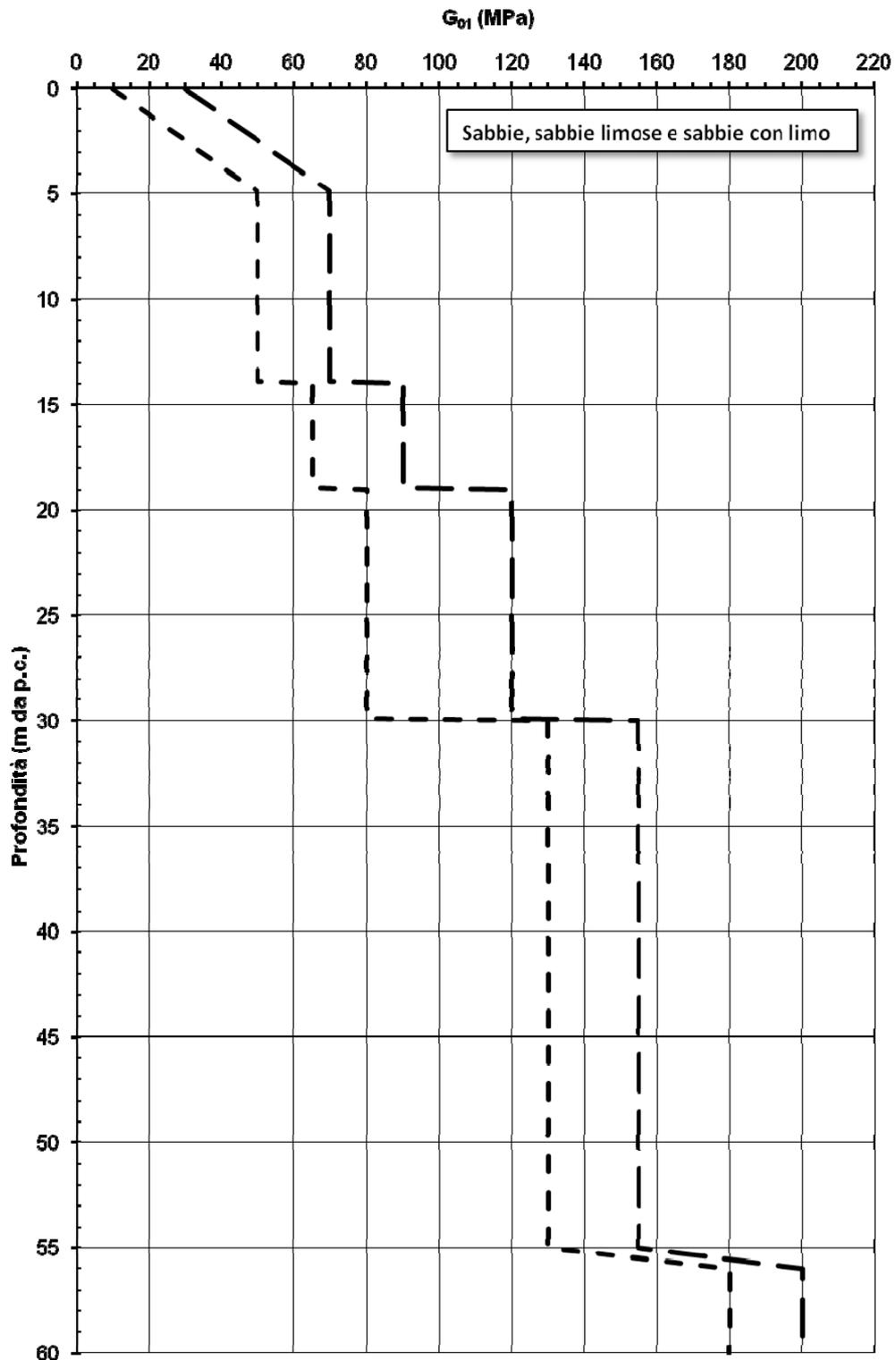


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

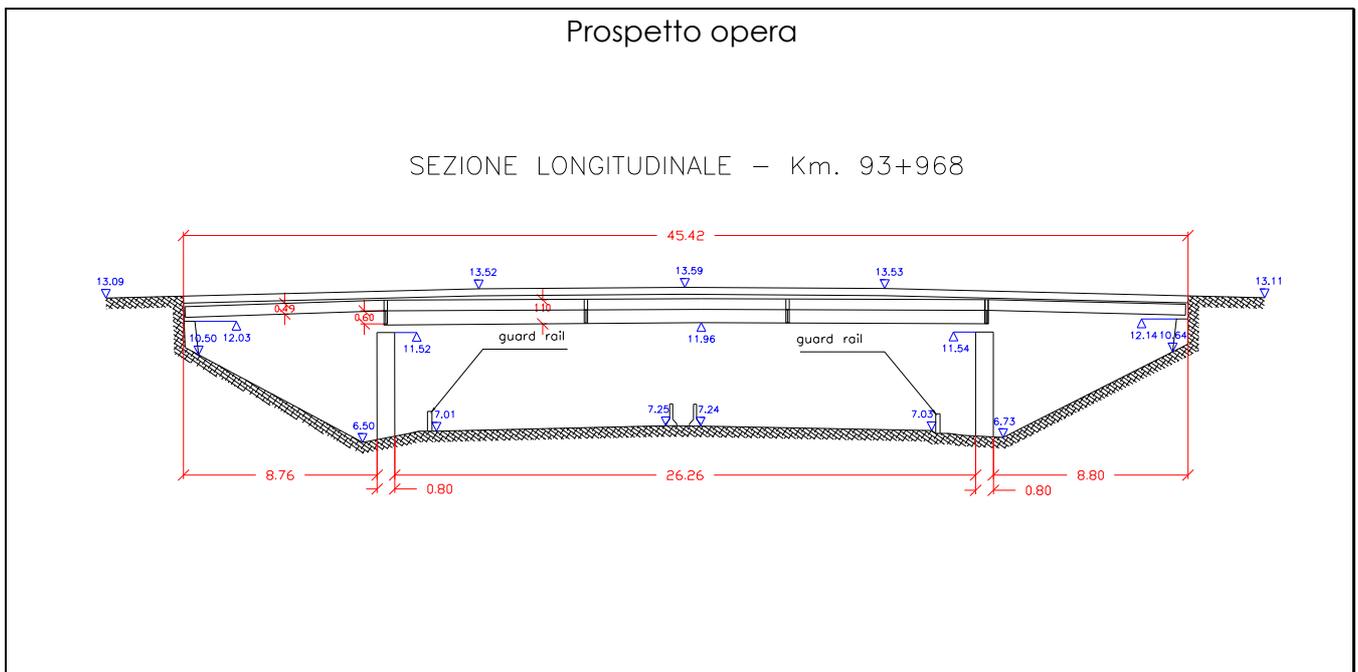
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 11. Demolizione e nuovo Cavalcavia via Gorghizzolo

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia via Gorghizzolo – WBS CV003**  
**progressiva km: 93+966.45**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagini	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD8	2011	93+930	+5.13	40	C (14) – C (35)
CPTU-D5	2011	93+980	+5.42	35	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+5.1	0.0 ÷ 1.2	Sabbie e sabbie con limo	A2	0.3	Tabella IV
	1.2 ÷ 1.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	1.5 ÷ 3.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	3.4 ÷ 3.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.8 ÷ 6.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	6.0 ÷ 8.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.0 ÷ 8.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	8.6 ÷ 9.0	Torba	T		Tabella V
	9.0 ÷ 11.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	11.5 ÷ 12.0	Torba	T		Tabella V
	12.0 ÷ 13.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	13.0 ÷ 13.8	Torba	T		Tabella V
	13.8 ÷ 16.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	16.4 ÷ 18.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	18.0 ÷ 18.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	18.5 ÷ 20.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	20.3 ÷ 21.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	21.0 ÷ 22.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.0 ÷ 22.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	22.6 ÷ 23.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.0 ÷ 25.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.5 ÷ 26.0	Torba	T		Tabella V
	26.0 ÷ 26.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	26.5 ÷ 27.0	Torba	T		Tabella V
	27.0 ÷ 28.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	28.5 ÷ 30.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.5 ÷ 32.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.5 ÷ 33.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	33.5 ÷ 34.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.5 ÷ 36.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	36.2 ÷ 36.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.8 ÷ 37.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	37.7 ÷ 38.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	38.3 ÷ 39.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	39.0 ÷ 39.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	39.5 ÷ 40.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	40.2 ÷ 43.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.0 ÷ 49.2	Argille e limi	A1a		Tabella III

	49.2 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 53.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.8 ÷ 57.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.2 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 $z^{0.8} \geq 1.1$ <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-10} \div 1 \times 10^{-9}$ z < 15m $1 \times 10^{-9} \div 2 \times 10^{-9}$ z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-8} \div 2 \times 10^{-7}$ z < 15m $2 \times 10^{-7} \div 4 \times 10^{-7}$ z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

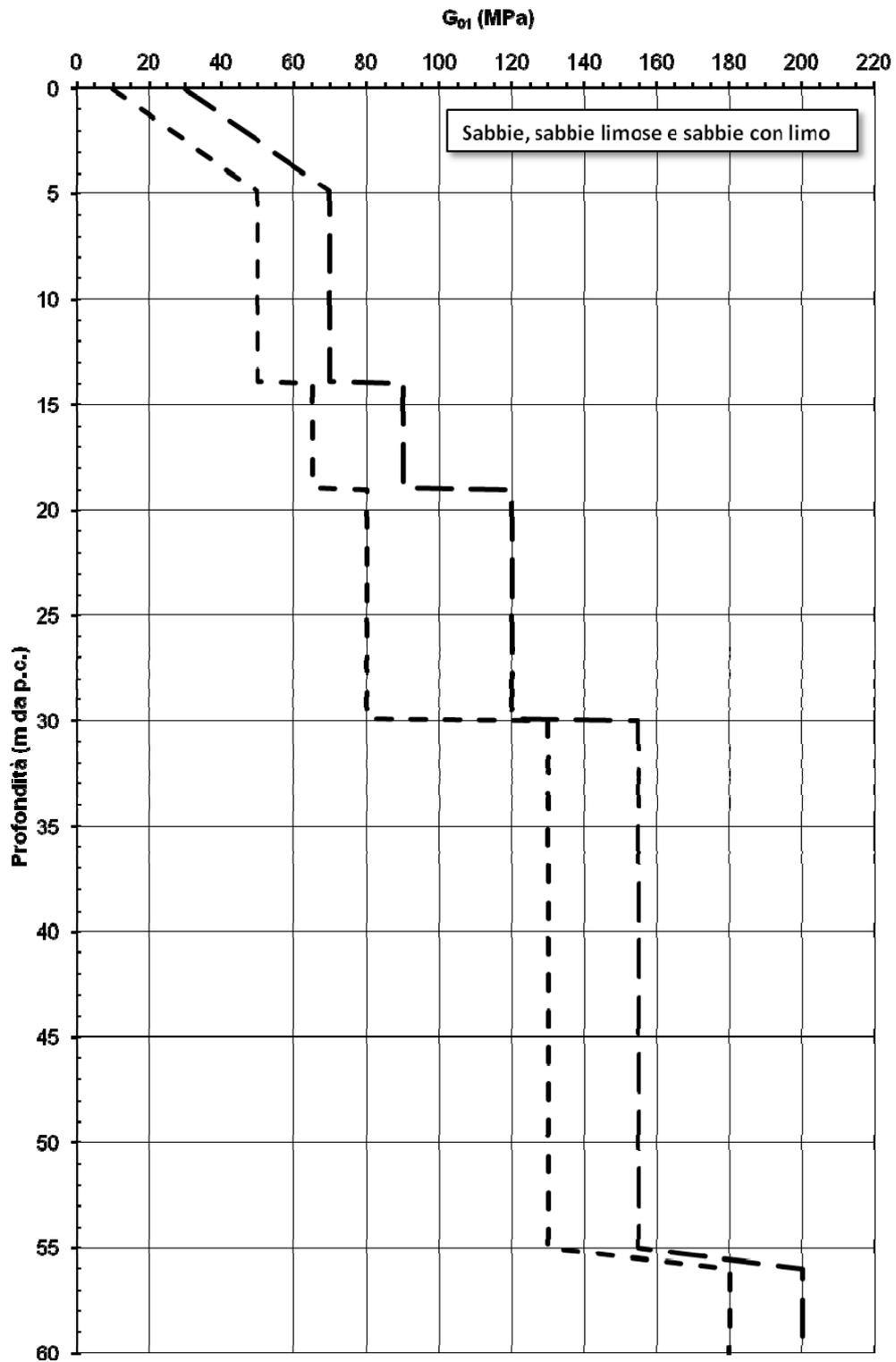


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

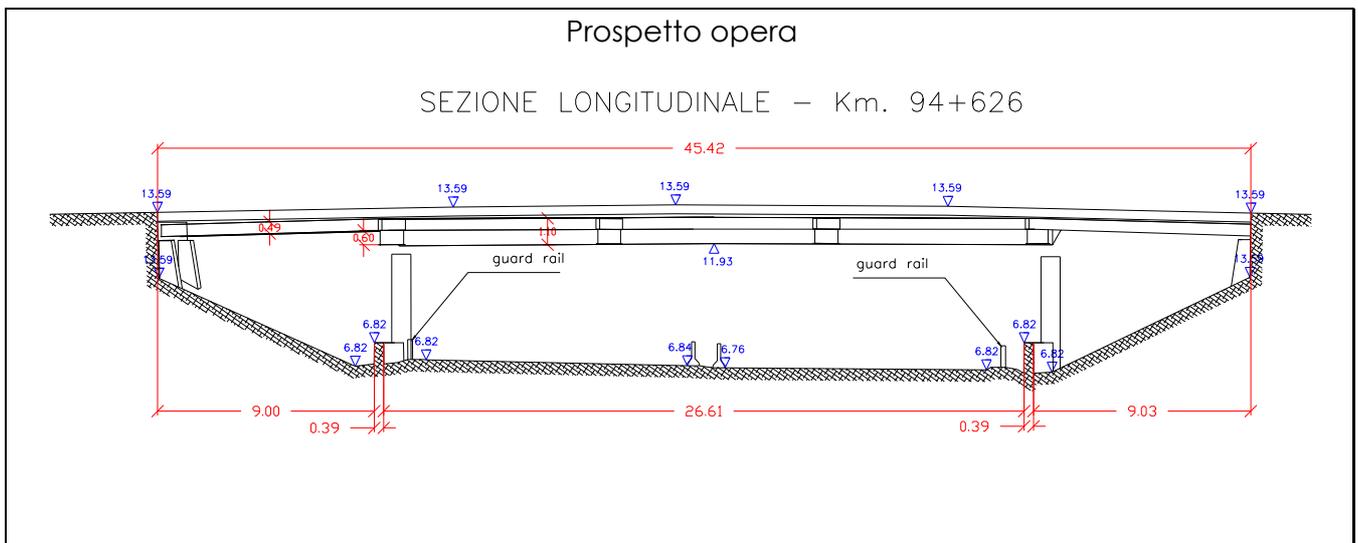
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 12. Demolizione e nuovo Cavalcavia via Chiodare

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia via Chiodare – WBS CV004**  
**progressiva km: 94+608.17**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SPM-3	2009	94+600	+5.30	40	C (29) – C (36.5)
CPTU-D5bis	2011	94+550	+5.05	35	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+5.0	0.0 ÷ 1.0	Sabbie e sabbie con limo	A2	0.3	Tabella IV
	1.0 ÷ 2.8	Argille e limi	A1b		Tabella III
	2.8 ÷ 3.1	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	3.1 ÷ 4.2	Argille e limi	A1b		Tabella IV
	4.2 ÷ 5.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	5.5 ÷ 7.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	7.8 ÷ 8.0	Torba	T		Tabella V
	8.0 ÷ 8.7	Argille e limi	A1b		Tabella III
	8.7 ÷ 10.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.0 ÷ 11.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	11.2 ÷ 11.5	Torba	T		Tabella V
	11.5 ÷ 13.4	Argille e limi	A1b		Tabella III
	13.4 ÷ 13.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	13.7 ÷ 14.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	14.1 ÷ 16.1	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	16.1 ÷ 17.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	17.3 ÷ 18.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	18.0 ÷ 20.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	20.0 ÷ 21.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.3 ÷ 22.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.0 ÷ 24.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.0 ÷ 24.8	Torba	T		Tabella V
	24.8 ÷ 25.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.3 ÷ 26.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.6 ÷ 27.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.2 ÷ 28.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.3 ÷ 28.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	28.9 ÷ 29.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.8 ÷ 30.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	30.4 ÷ 32.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	32.3 ÷ 34.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.3 ÷ 37.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	37.8 ÷ 38.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	38.0 ÷ 43.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.0 ÷ 49.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.0 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 53.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV

	53.7 ÷ 57.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.0 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
$^{(1)} = G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5} \text{ (kPa)}$ <p>con  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica</p>	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

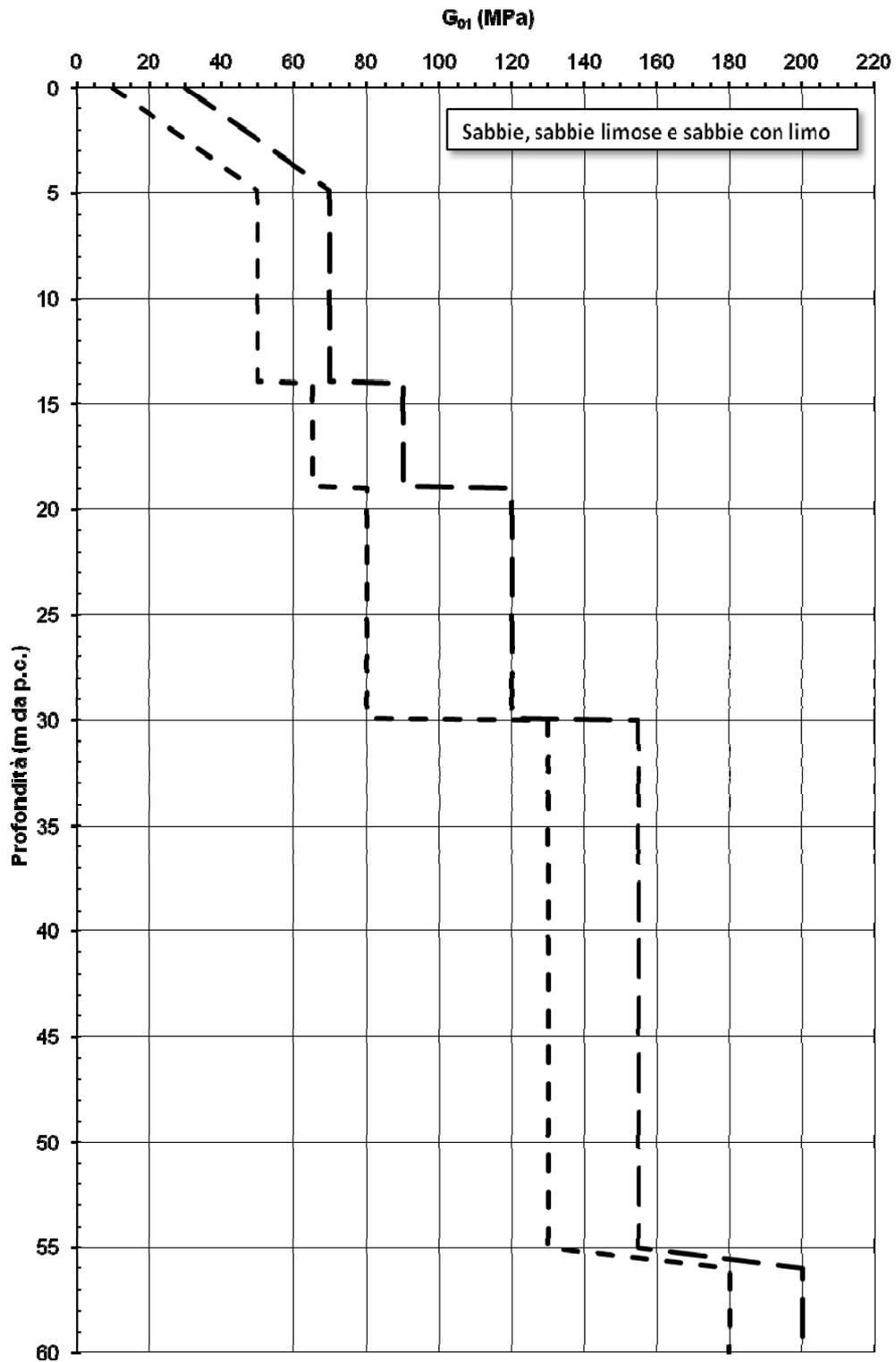


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.

Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.



**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+4.5	0.0 ÷ 0.8	Argille e limi	A1b	0.2	Tabella III
	0.8 ÷ 2.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	2.2 ÷ 3.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.0 ÷ 5.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	5.6 ÷ 8.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	8.5 ÷ 11.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	11.2 ÷ 11.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.6 ÷ 11.8	Torba	T		Tabella V
	11.8 ÷ 12.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.5 ÷ 17.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	17.5 ÷ 19.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	19.5 ÷ 22.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.5 ÷ 23.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	23.0 ÷ 28.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	28.5 ÷ 30.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.0 ÷ 31.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	31.4 ÷ 31.6	Torba	T		Tabella V
	31.6 ÷ 32.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.5 ÷ 37.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	37.5 ÷ 39.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	39.0 ÷ 42.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	42.5 ÷ 48.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	48.5 ÷ 50.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.0 ÷ 51.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.5 ÷ 53.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.2 ÷ 56.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	56.5 ÷ 59.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.0 ÷ 59.5	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

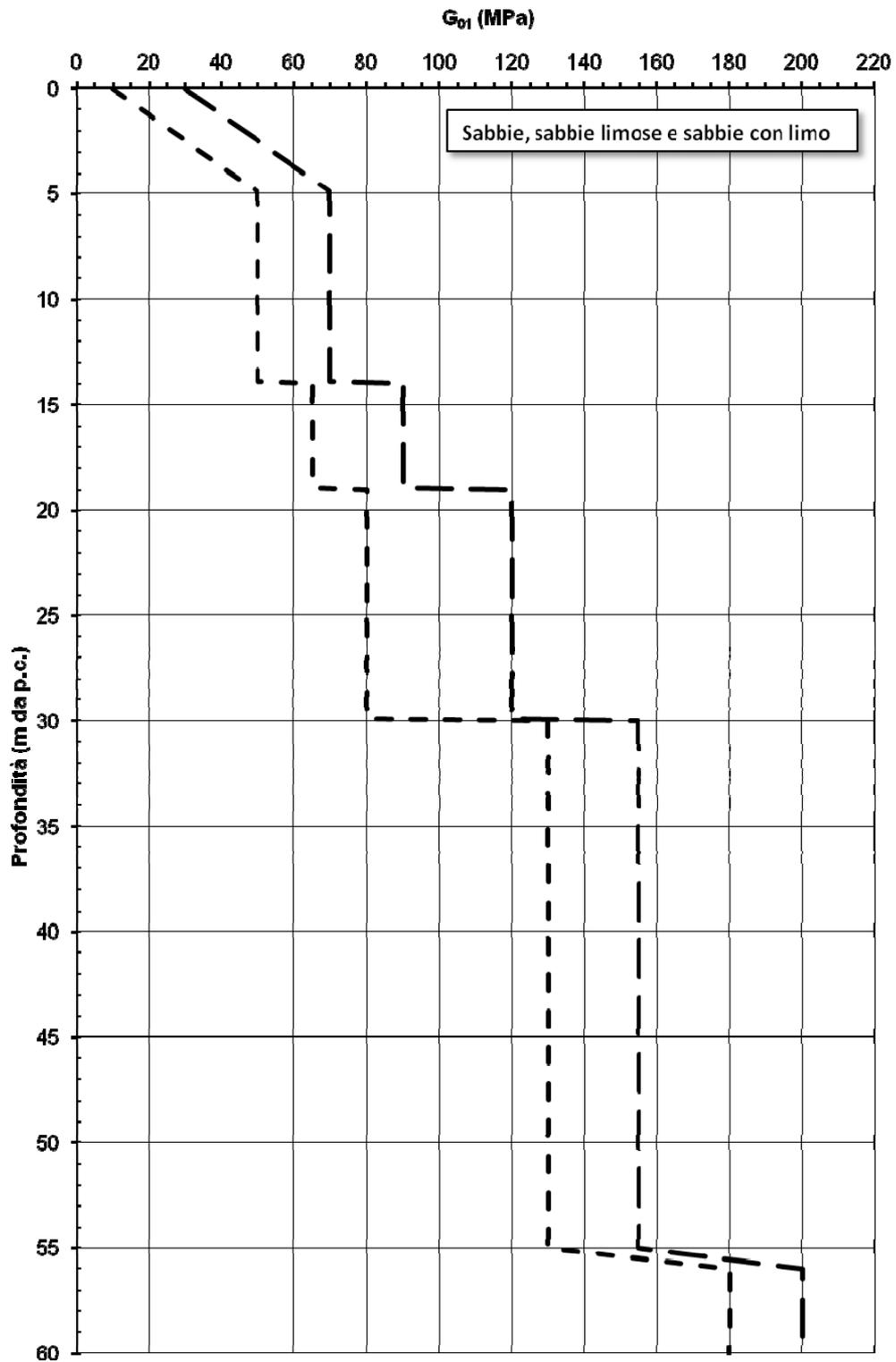


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

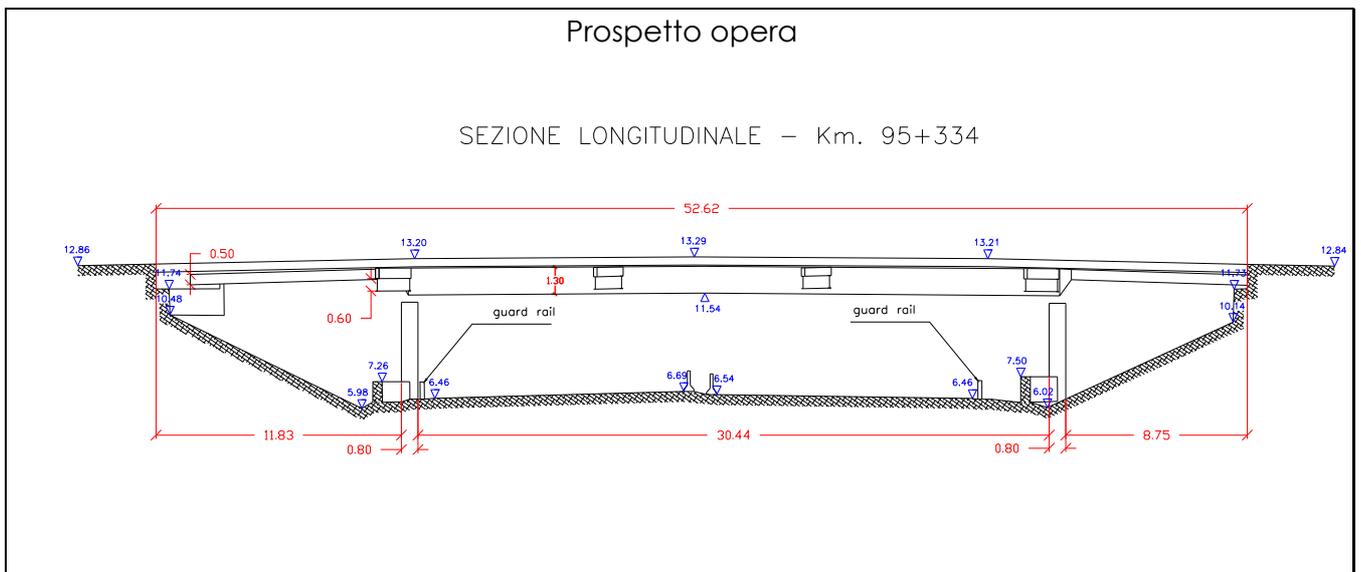
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 14. Demolizione e nuovo Cavalcavia SP9 via Mincana

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia SP9 via Mincana – WBS CV006**  
**progressiva km: 95+369.08**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD10	2011	95+345	+5.18	40	C (20) – C (33.5)
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+5.2	0.0 ÷ 2.0	Argille e limi	A1b	1.0	Tabella III
	2.0 ÷ 2.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	2.6 ÷ 4.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	4.0 ÷ 4.5	Torba	T		Tabella V
	4.5 ÷ 6.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	6.2 ÷ 7.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	7.0 ÷ 8.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	8.5 ÷ 10.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.2 ÷ 11.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	11.0 ÷ 12.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.8 ÷ 13.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	13.0 ÷ 13.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	13.4 ÷ 14.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	14.3 ÷ 15.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	15.3 ÷ 21.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.0 ÷ 21.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	21.4 ÷ 23.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	23.0 ÷ 23.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.3 ÷ 24.3	Torba	T		Tabella V
	24.3 ÷ 24.9	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.9 ÷ 27.3	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.3 ÷ 29.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	29.3 ÷ 31.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	31.0 ÷ 32.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.0 ÷ 33.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	33.0 ÷ 34.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.5 ÷ 35.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	35.5 ÷ 39.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	39.5 ÷ 40.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	40.3 ÷ 43.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.0 ÷ 49.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.3 ÷ 50.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	50.5 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 53.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.8 ÷ 57.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.2 ÷ 59.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	59.5 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\beta}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

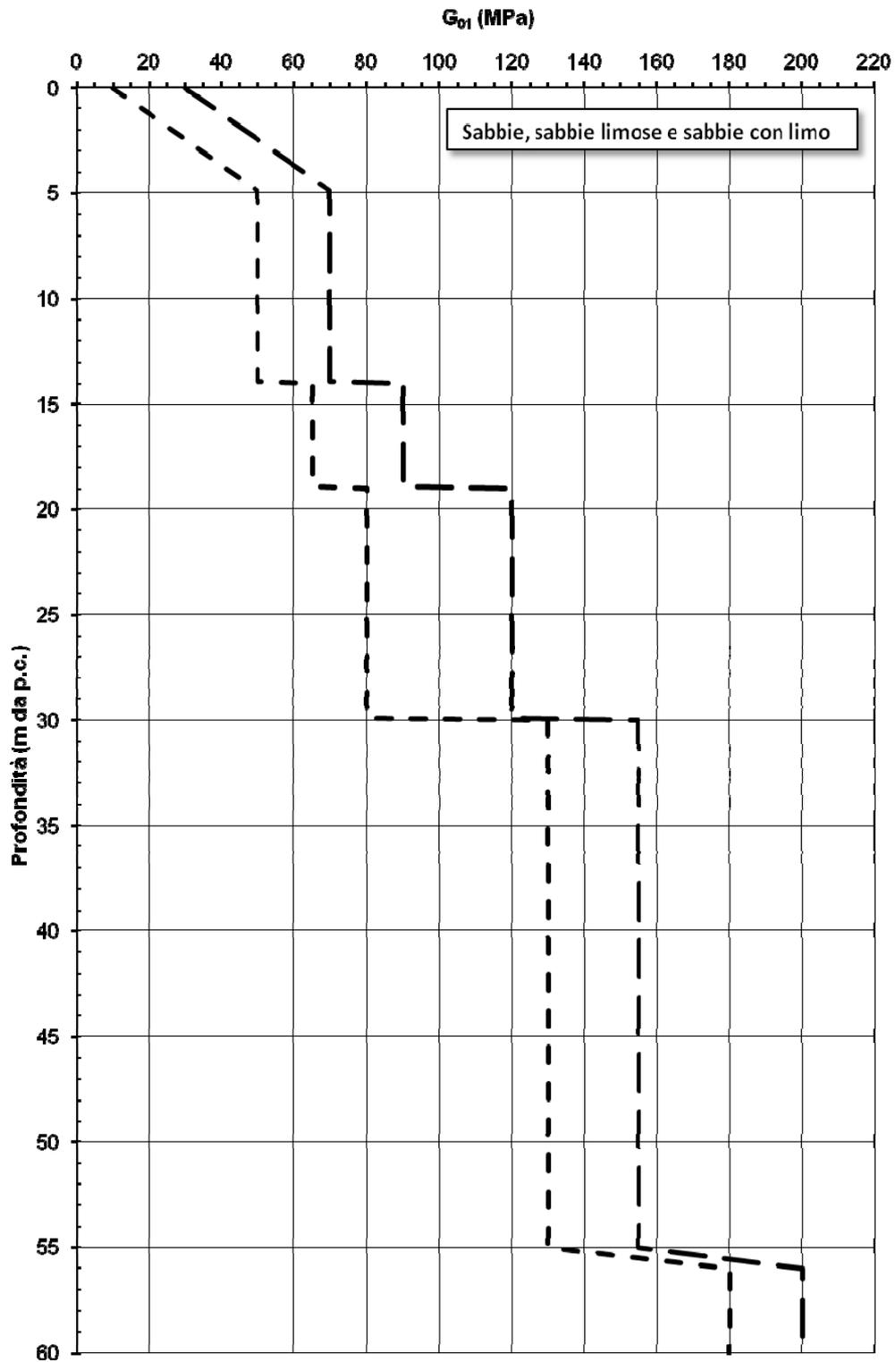


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

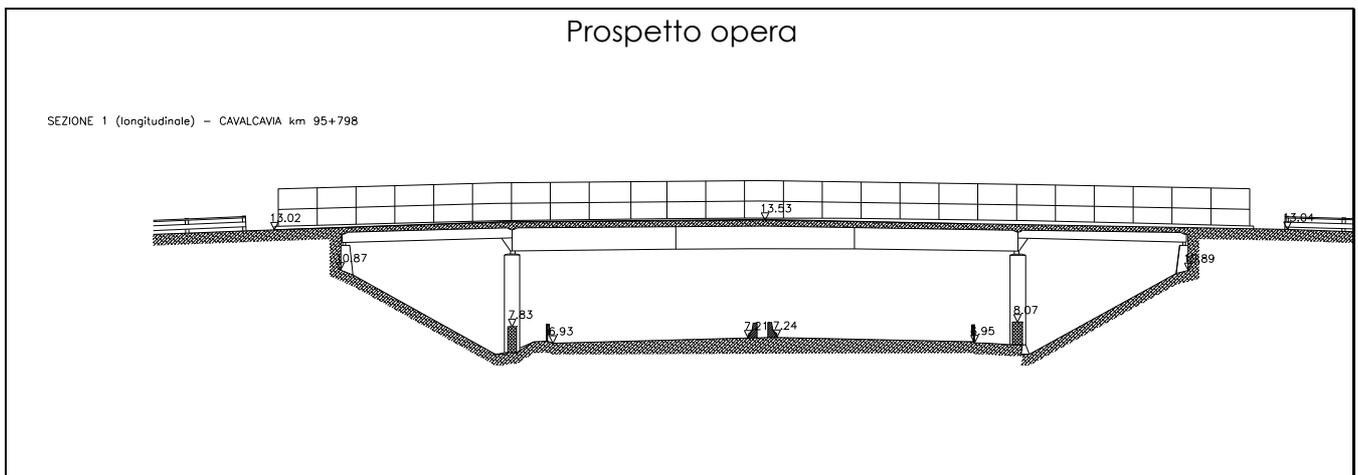
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 15. Demolizione e nuovo Cavalcavia Strada Campestre

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia Strada Campestre – WBS CV007**  
**progressiva km: 95+803.21**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD11	2011	95+785	+5.45	40	C (19.5) – C (33)
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)  
 TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)  
 CH = tubo per misure Cross-hole  
<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+5.5	0.0 ÷ 1.0	Argille e limi	A1a	0.9	Tabella III
	1.0 ÷ 3.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	3.0 ÷ 3.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.4 ÷ 4.0	Torba	T		Tabella V
	4.0 ÷ 4.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	4.5 ÷ 7.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	7.0 ÷ 8.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.2 ÷ 8.8	Torba	T		Tabella V
	8.8 ÷ 10.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.6 ÷ 11.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	11.2 ÷ 12.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.0 ÷ 12.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	12.6 ÷ 13.1	Torba	T		Tabella V
	13.1 ÷ 14.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	14.5 ÷ 17.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	17.3 ÷ 18.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	18.5 ÷ 20.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	20.6 ÷ 21.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	21.6 ÷ 23.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.0 ÷ 24.0	Torba	T		Tabella V
	24.0 ÷ 26.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	26.0 ÷ 26.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	26.5 ÷ 28.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	28.5 ÷ 30.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.0 ÷ 31.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	31.0 ÷ 34.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.0 ÷ 36.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.0 ÷ 40.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	40.0 ÷ 40.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	40.5 ÷ 43.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	43.5 ÷ 49.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	49.5 ÷ 51.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	51.0 ÷ 52.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.5 ÷ 54.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	54.2 ÷ 57.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	57.5 ÷ 60.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	60.0 ÷ 60.5	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m		
60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

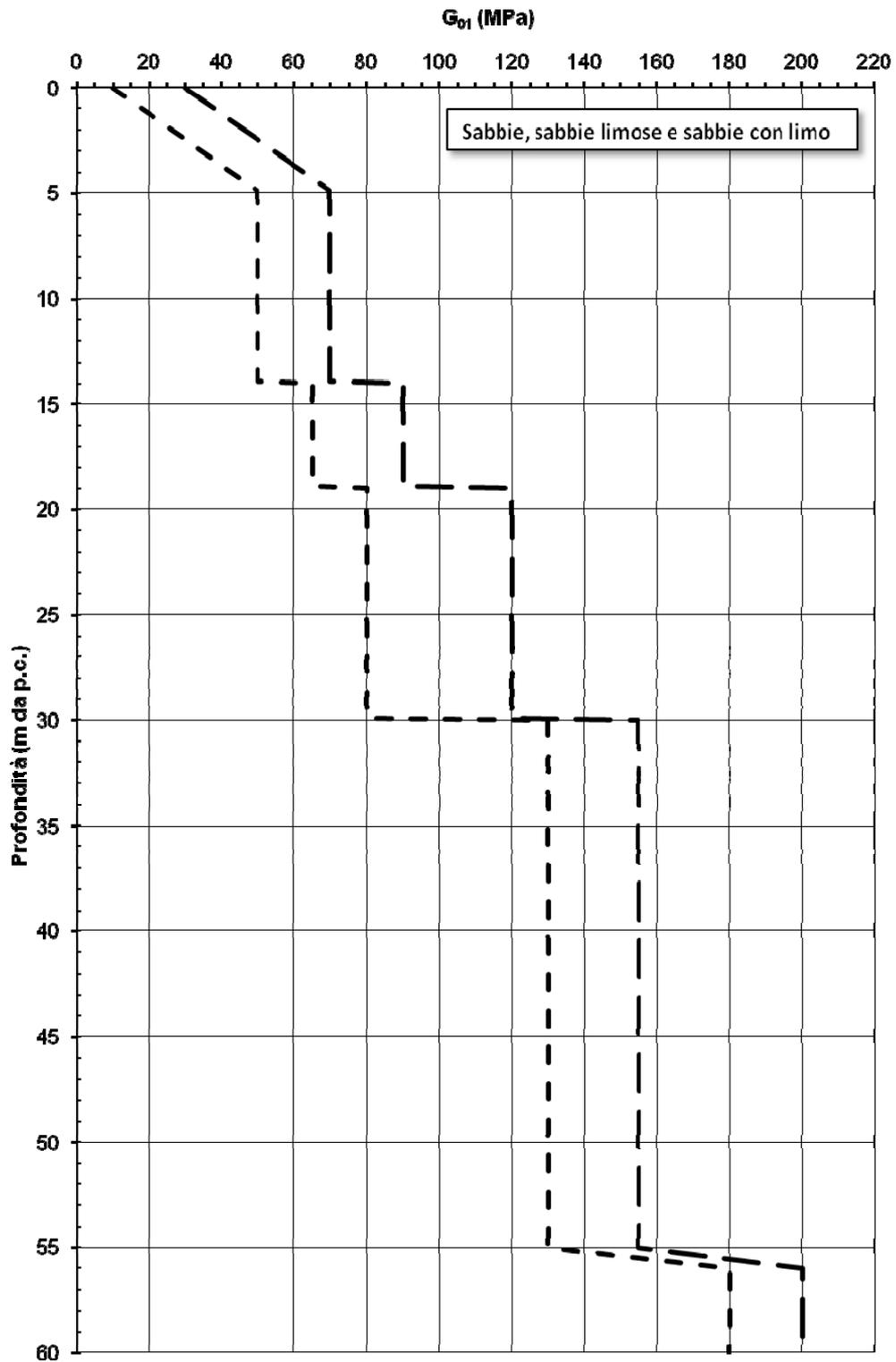


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 16. Demolizione e nuovo Cavalcavia Via San Pelagio

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia Via San Pelagio – WBS CV008**  
**progressiva km: 97+584.16**

Prospetto opera

SEZIONE 1 (longitudinale) – CAVALCAVIA km 97+603

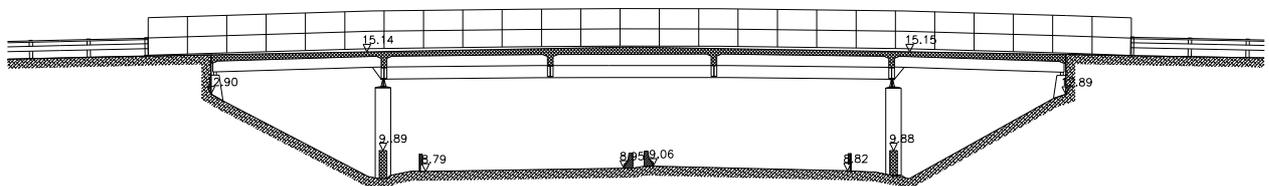


Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD14	2011	97+600	+6.68	35	TA (3 ÷ 35)
CPTU-PM3	2009	97+600	+7.92	30	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+8.0	0.0 ÷ 1.8	Sabbie e sabbie con limo	A2	3.0	Tabella IV
	1.8 ÷ 3.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.3 ÷ 5.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	5.0 ÷ 8.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.4 ÷ 10.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.0 ÷ 11.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.2 ÷ 14.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	14.4 ÷ 15.4	Argille e limi	A1b		Tabella III
	15.4 ÷ 16.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	16.4 ÷ 19.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	19.0 ÷ 19.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	19.5 ÷ 20.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	20.6 ÷ 20.8	Torba	T		Tabella V
	20.8 ÷ 22.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.0 ÷ 22.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.6 ÷ 25.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	25.0 ÷ 25.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	25.4 ÷ 26.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.0 ÷ 27.0	Torba	T		Tabella V
	27.0 ÷ 27.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	27.6 ÷ 28.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.4 ÷ 34.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.8 ÷ 35.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.0 ÷ 35.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	35.3 ÷ 35.5	Torba	T		Tabella IV
	35.5 ÷ 36.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	36.5 ÷ 37.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	37.0 ÷ 38.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	38.5 ÷ 41.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	41.5 ÷ 43.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	43.0 ÷ 46.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	46.0 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	52.0 ÷ 53.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.5 ÷ 55.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	55.0 ÷ 56.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.7 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	60.0 ÷ 62.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	62.5 ÷ 63.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

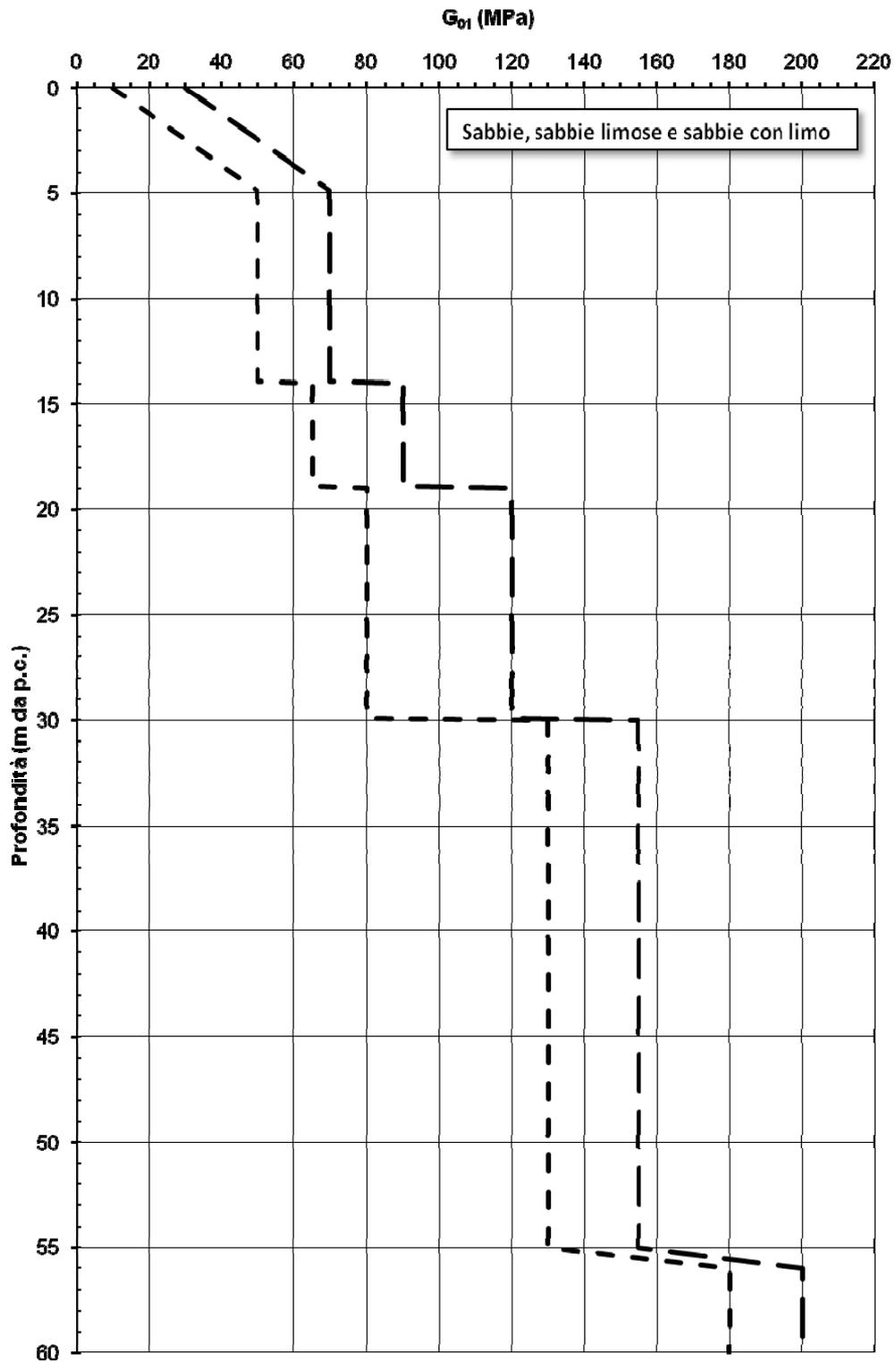


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.

Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

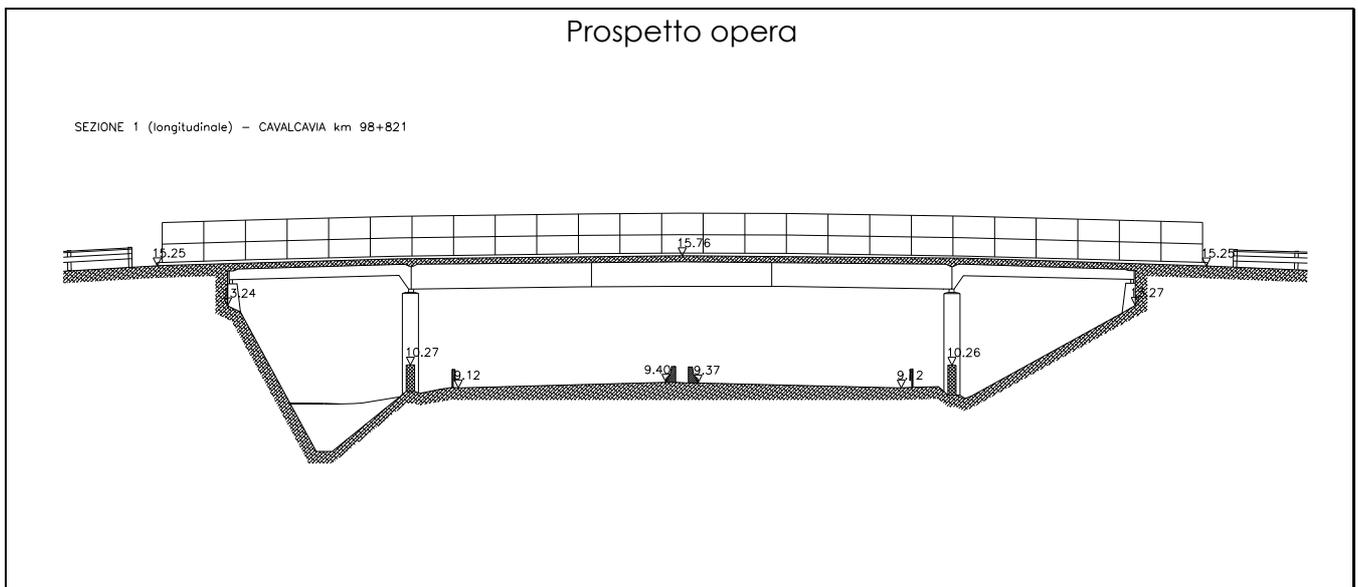
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 17. Demolizione e nuovo Cavalcavia Via Cuccara

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia Via Cuccara – WBS CV009**  
**progressiva km: 98+832.18**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
CPTU-D9	2011	98+845	+6.96	35	-
SPM4	2009	98+850	+8.67	30.5	C (4) – C (27)
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 35 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+7.0	0.0 ÷ 2.5	Argille e limi	A1a	0.4	Tabella III
	2.5 ÷ 3.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	3.0 ÷ 3.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	3.8 ÷ 5.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	5.6 ÷ 7.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	7.2 ÷ 8.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.2 ÷ 8.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	8.8 ÷ 9.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	9.4 ÷ 10.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.0 ÷ 10.7	Torba	T		Tabella V
	10.7 ÷ 12.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	12.0 ÷ 13.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	13.4 ÷ 14.1	Argille e limi	A1a		Tabella III
	14.1 ÷ 14.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	14.8 ÷ 15.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	15.4 ÷ 19.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	19.5 ÷ 20.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	20.5 ÷ 21.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.8 ÷ 22.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.8 ÷ 23.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	23.4 ÷ 24.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	24.2 ÷ 24.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	24.6 ÷ 25.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	25.8 ÷ 26.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	26.3 ÷ 27.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	27.3 ÷ 29.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	29.0 ÷ 29.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.5 ÷ 30.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	30.5 ÷ 34.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.5 ÷ 35.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	35.0 ÷ 35.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	35.5 ÷ 36.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	36.0 ÷ 37.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	37.5 ÷ 40.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	40.5 ÷ 42.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.0 ÷ 45.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	45.0 ÷ 51.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.0 ÷ 52.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV

	52.5 ÷ 54.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	54.0 ÷ 55.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	55.7 ÷ 59.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	59.0 ÷ 61.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	61.5 ÷ 62.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

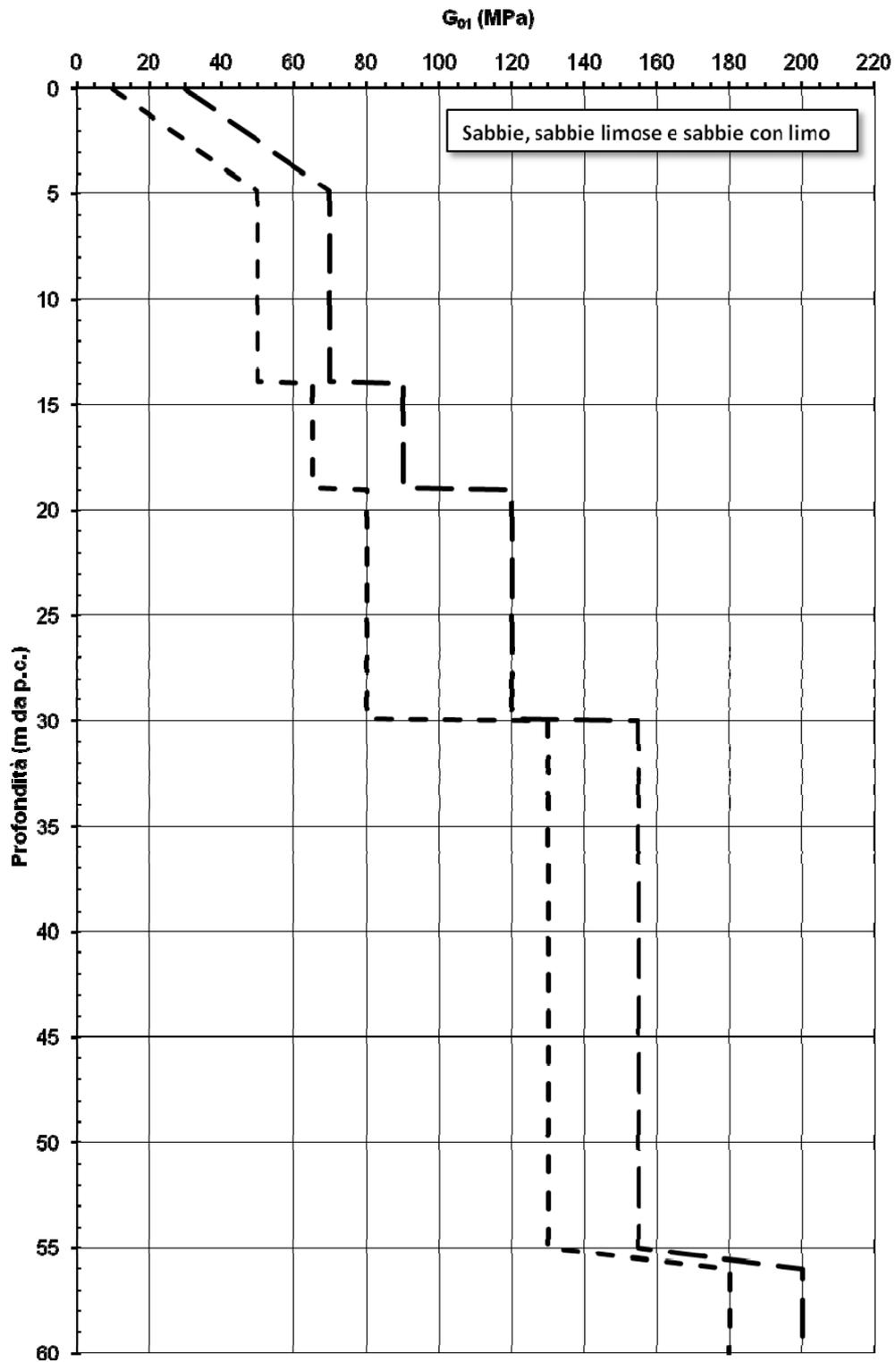


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

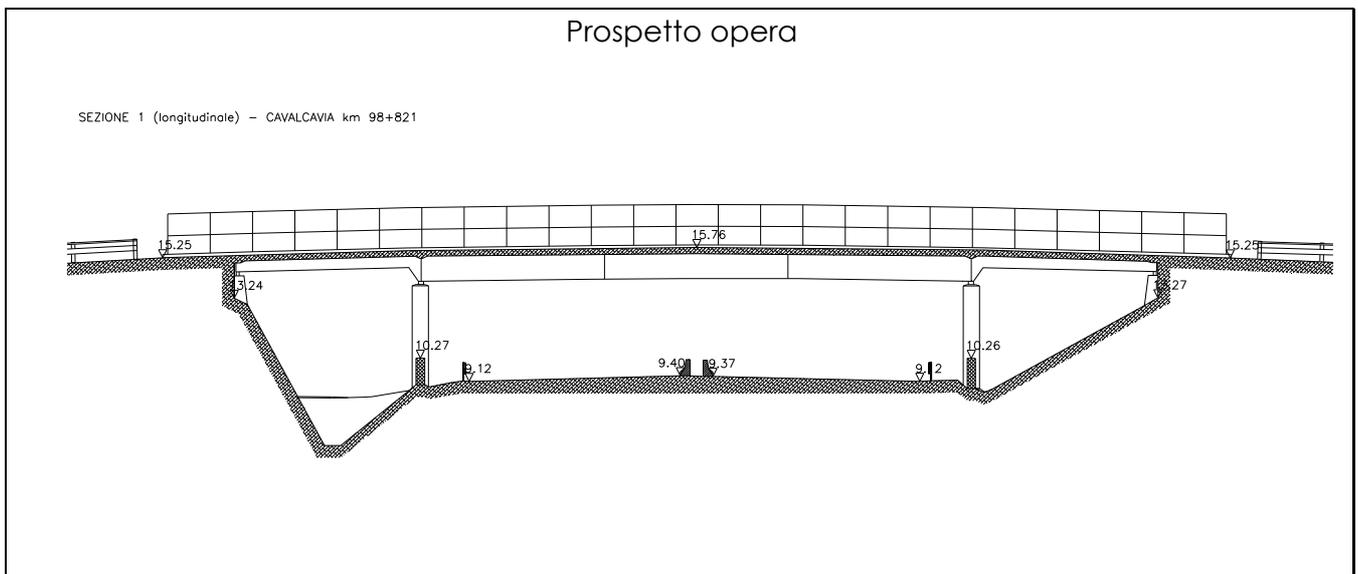
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 18. Demolizione e nuovo Cavalcavia SP 30 Via Mezzavia

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia SP 30 Via Mezzavia – WBS CV010**  
**progressiva km: 99+129.52**



**Tabella I: Indagini geonostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD15	2011	99+090	+7.51	40	C (34)
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+7.5	0.0 ÷ 0.6	Argille e limi	A1a	1.9	Tabella III
	0.6 ÷ 1.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	1.4 ÷ 2.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	2.6 ÷ 3.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	3.0 ÷ 3.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.9 ÷ 4.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	4.4 ÷ 9.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	9.6 ÷ 10.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.0 ÷ 13.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	13.0 ÷ 15.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	15.0 ÷ 17.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	17.0 ÷ 20.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	20.9 ÷ 21.5	Torba	T		Tabella V
	21.5 ÷ 22.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	22.0 ÷ 22.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.4 ÷ 25.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	25.5 ÷ 28.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.2 ÷ 28.4	Torba	T		Tabella V
	28.4 ÷ 29.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	29.0 ÷ 29.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	29.5 ÷ 32.4	Argille e limi	A1b		Tabella III
	32.4 ÷ 34.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	34.8 ÷ 35.1	Argille e limi	A1b		Tabella III
	35.1 ÷ 35.3	Torba	T		Tabella V
	35.3 ÷ 36.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	36.0 ÷ 37.8	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	37.8 ÷ 42.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.5 ÷ 45.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	45.5 ÷ 51.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.5 ÷ 53.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.0 ÷ 54.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	54.5 ÷ 56.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.2 ÷ 59.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	59.5 ÷ 62.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	62.0 ÷ 62.5	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

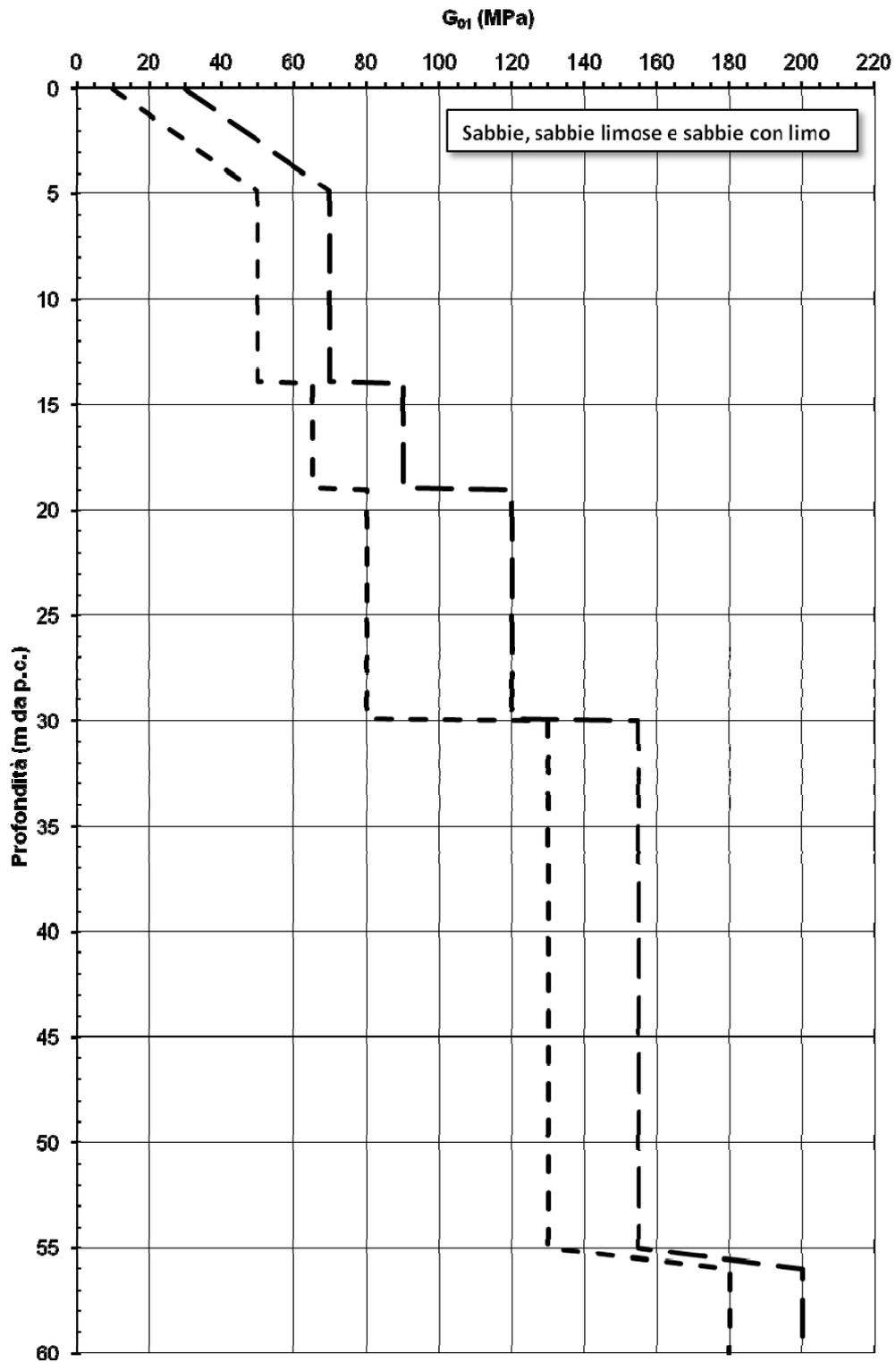


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

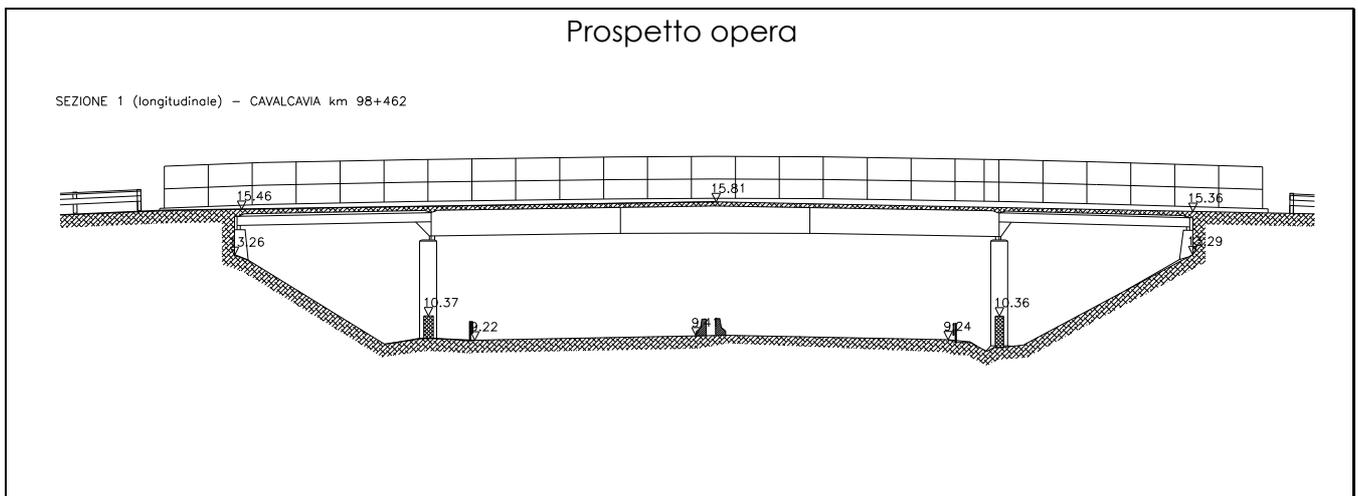
$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 19. Demolizione e nuovo Cavalcavia via Vò di Placca

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia via Vò di Placca – WBS CV011**  
**progressiva km: 99+452.2**



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
CPTU-D10	2011	99+430	+7.65	35	-
SD16	2011	99+435	+7.81	40	TA (9÷28.5) – C
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	(38.5) CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+7.7	0.0 ÷ 1.4		R	1.9	Tabella IV
	1.4 ÷ 2.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	2.2 ÷ 4.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	4.4 ÷ 7.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	7.0 ÷ 7.4	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	7.4 ÷ 8.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	8.2 ÷ 10.1	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	10.1 ÷ 10.3	Torba	T		Tabella V
	10.3 ÷ 11.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.0 ÷ 15.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	15.5 ÷ 15.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	15.9 ÷ 16.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.5 ÷ 18.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	18.0 ÷ 20.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	20.0 ÷ 21.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	21.0 ÷ 21.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	21.5 ÷ 22.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	22.0 ÷ 22.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.6 ÷ 23.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	23.2 ÷ 23.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	23.6 ÷ 24.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	24.5 ÷ 25.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	25.0 ÷ 26.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.2 ÷ 26.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	26.8 ÷ 28.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	28.0 ÷ 28.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	28.5 ÷ 30.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.0 ÷ 31.6	Argille e limi	A1a		Tabella III
	31.6 ÷ 39.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	39.0 ÷ 40.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	40.0 ÷ 41.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	41.0 ÷ 42.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	42.8 ÷ 45.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	45.5 ÷ 51.8	Argille e limi	A1a		Tabella III
	51.8 ÷ 53.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.0 ÷ 54.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	54.5 ÷ 56.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.5 ÷ 59.8	Argille e limi	A1a		Tabella III

	59.8 ÷ 62.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	62.0 ÷ 62.5	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a)	
	28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup>	
	0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m	
	1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m	
	2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con p' = pressione efficace media corrente p_o' = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

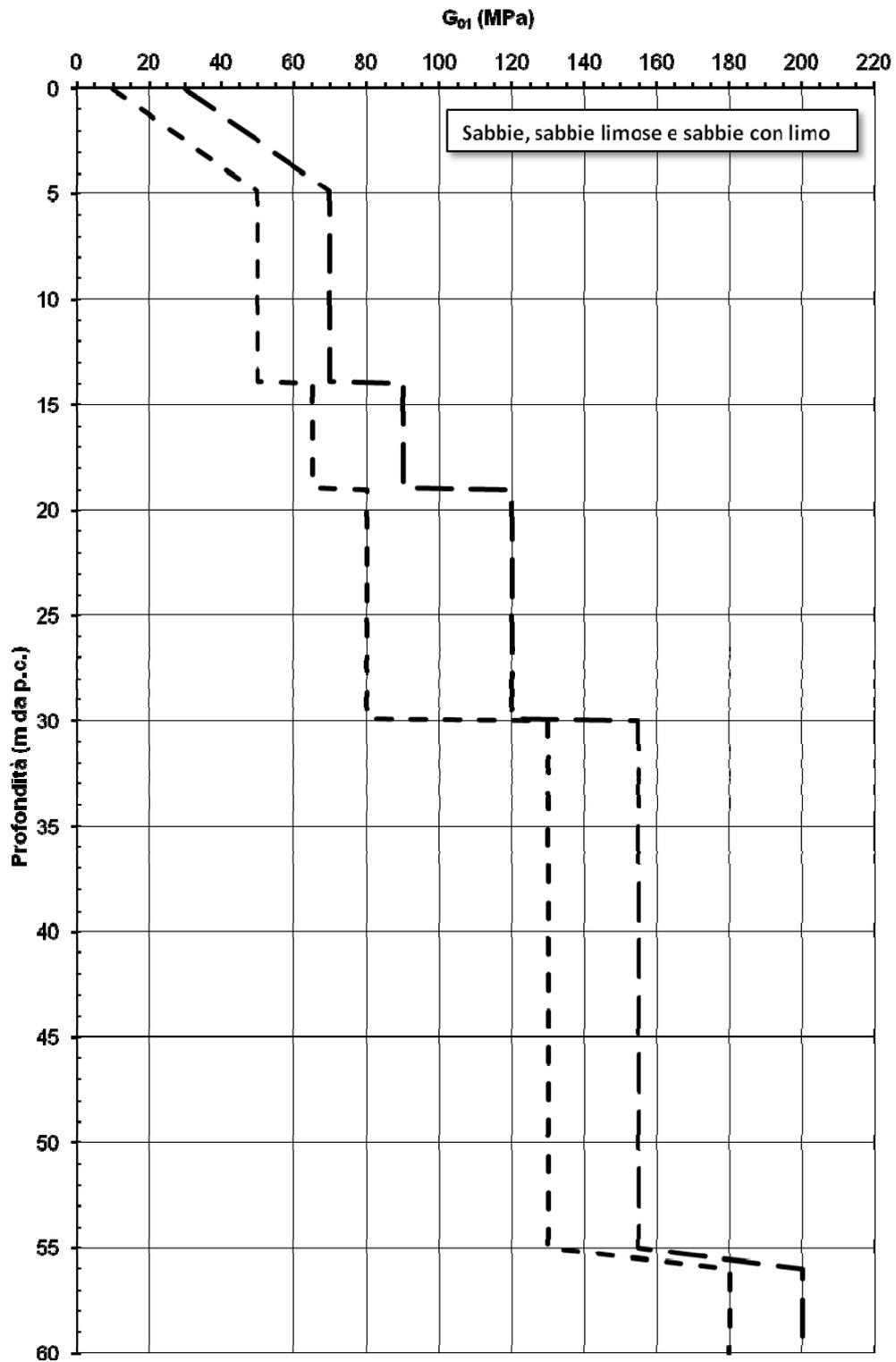


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha e}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

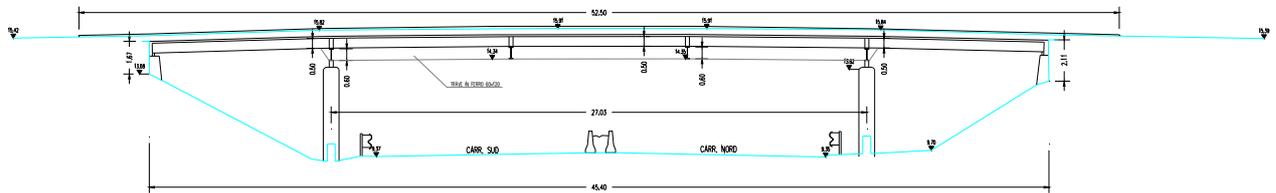
$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

## 20. Demolizione e nuovo Cavalcavia Via Bolzani

**OPERA: Demolizione e nuovo Cavalcavia Via Bolzani – WBS CV012**  
**progressiva km: 100+068.66**

Prospetto opera

CA 04 – SEZIONE LONGITUDINALE



**Tabella I: Indagini geognostiche di riferimento**

sigla sond./pozz./prova	campagna di indagine	progressiva (km)	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
SD17	2011	100+050	+7.32	40	C(8) – C (29)
CPTU-D11	2011	100+090	+7.99	35	-
SD6 – SD6bis <sup>(1)</sup>	2011	93+390	+5.06	60	CH

C (...) = cella piezometrica Casagrande (profondità cella)

TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CH = tubo per misure Cross-hole

<sup>(1)</sup> per la definizione della stratigrafia al di sotto dei 40 m da p.c.

**Tabella II:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica**

<b>Quota p.c. (m s.l.m.m.)</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>descrizione</b>	<b>sigla</b>	<b>Z<sub>w</sub> (m da p.c.)</b>	<b>Parametri medi caratteristici</b>
+ 8.0	0.0 ÷ 1.6		R	2.2	Tabella IV
	1.6 ÷ 2.2	Argille e limi	A1b		Tabella III
	2.2 ÷ 3.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	3.5 ÷ 5.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	5.5 ÷ 6.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	6.0 ÷ 6.3	Argille e limi	A1a		Tabella III
	6.3 ÷ 7.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	7.6 ÷ 10.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	10.0 ÷ 11.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	11.0 ÷ 11.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	11.5 ÷ 12.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	12.0 ÷ 13.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	13.0 ÷ 14.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	14.0 ÷ 15.0	Argille e limi	A1b		Tabella III
	15.0 ÷ 15.9	Argille e limi	A1a		Tabella III
	15.9 ÷ 16.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	16.6 ÷ 19.4	Argille e limi	A1a		Tabella III
	19.4 ÷ 20.5	Argille e limi	A1b		Tabella III
	20.5 ÷ 21.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	21.0 ÷ 22.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	22.5 ÷ 23.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	23.2 ÷ 24.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	24.5 ÷ 25.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	25.0 ÷ 26.6	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	26.6 ÷ 27.8	Argille e limi	A1b		Tabella III
	27.8 ÷ 28.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	28.5 ÷ 30.3	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	30.3 ÷ 32.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	32.2 ÷ 32.6	Argille e limi	A1b		Tabella III
	32.6 ÷ 34.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	34.0 ÷ 35.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	35.5 ÷ 37.5	Argille e limi	A1a		Tabella III
	37.5 ÷ 38.2	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	38.2 ÷ 39.2	Argille e limi	A1a		Tabella III
	39.2 ÷ 41.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	41.5 ÷ 43.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	43.0 ÷ 46.0	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	46.0 ÷ 52.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

	52.0 ÷ 53.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	53.5 ÷ 55.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	55.0 ÷ 56.7	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	56.7 ÷ 60.0	Argille e limi	A1a		Tabella III
	60.0 ÷ 62.5	Sabbie e sabbie con limo	A2		Tabella IV
	62.5 ÷ 63.0	Argille e limi	A1a		Tabella III

**Tabella III: Parametri medi caratteristici dei materiali argillosi e limosi (A1)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19 ÷ 20    z < 15m 18 ÷ 19.5    z ≥ 15m	
$q_c$ (MPa)	0.5 ÷ 1    z < 15m 1.5 ÷ 2    z ≥ 15m	
$c_u$ (kPa)	Valori 'lower bound'	
	20    z < 15 m 20 + 2.5 (z-15)    z ≥ 15 m	
	Valori medi caratteristici	fino a Km.93+800
		da Km.93+800
45    z < 15 m 45 + 4.0 (z-15)    z ≥ 15 m 60    z < 15 m 60 + 3.5 (z-15)    z ≥ 15 m		
$c'$ (kPa)	0 ÷ 10	
$\varphi'$ (°)	24 ÷ 27    livelli con CA ≥ 35% (A1a) 28 ÷ 32    livelli con CA < 35% (A1b)	
$GSC = \sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$ (-)	7.380 z <sup>-0.8</sup> ≥ 1.1 <sup>(1)</sup>	
$k_o$ (-)	$(0.45 \div 0.60) \cdot \sqrt{GSC}$	
$e_o$ (-)	0.60 ÷ 1.0	
$C_c$ (-)	0.20 ÷ 0.30	
$C_r$ (-)	$C_c / 5$	
$c_{\alpha\beta}$ (%)	0.20 ÷ 0.40 <sup>(2)</sup> 0.05 ÷ 0.10 <sup>(3)</sup>	
$k_v$ (m/sec)	2x10 <sup>-10</sup> ÷ 1x10 <sup>-9</sup> z < 15m 1x10 <sup>-9</sup> ÷ 2x10 <sup>-9</sup> z ≥ 15m	
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) k_v$	
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	2.5x10 <sup>-8</sup> ÷ 2x10 <sup>-7</sup> z < 15m 2x10 <sup>-7</sup> ÷ 4x10 <sup>-7</sup> z ≥ 15m	
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$	
$G_{o1}$ (kPa)	$300 \cdot p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right)^{0.60}$	
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$	
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$ <sup>(5)</sup>	
<p><sup>(1)</sup> = valore cautelativo riferito ai livelli più argillosi.  <sup>(2)</sup> = Valore applicabile al tratto caratterizzato da pressioni superiori a <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(3)</sup> = Valore applicabile al tratto compreso tra <math>\sigma_{vo}'</math> e <math>\sigma_{vp}'</math>  <sup>(4)</sup> = <math>G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5}</math> (kPa) con:  <math>p'</math> = pressione efficace media corrente  <math>p_o'</math> = pressione efficace media geostatica  <sup>(5)</sup> = solo nel caso in cui le tensioni verticali efficaci (reostatiche + indotte dalla costruzione dell'opera) sono inferiori a quelle massime di preconsolidazione <math>\sigma_{vp}'</math></p>		

**Tabella IV: Parametri medi caratteristici dei materiali sabbiosi e sabbioso-limosi (A2)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	18 ÷ 20
$q_c$ (MPa)	min 5 ÷ 7 max 10 ÷ 20
$D_r$ (%)	min 40 ÷ 60 max 60 ÷ 80
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 37
<b>GSC</b>	1
$k_o$ (-)	0.40 ÷ 0.44
$K_v = k_h$ (m/sec)	$5 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-5}$
$G_{o1}$ (kPa)	Nell'intervallo indicato in Figura I
$V_s$ (m/sec)	$\sqrt{\frac{G_{o1} \cdot 9.81}{\gamma_t}}$
$E_{op1}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_o) / (3 \div 5)$ <sup>(1)</sup>
$E_{op2}$ (kPa)	$(2.3 \cdot G_{o1}) / 10$
<sup>(1)</sup> = $G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o}\right)^{0.5}$ (kPa) con $p'$ = pressione efficace media corrente $p_o'$ = pressione efficace media geostatica	

**Tabella V: Parametri medi caratteristici dei livelli torbosi (T)**

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14 ÷ 16
$c'$ (kPa)	0
$\varphi'$ (°)	13 ÷ 14
$k_o$ (-)	0.79
$e_o$ (-)	1.5 ÷ 2.0
$c_{\alpha\epsilon}$ (%)	1
$k_v$ (m/sec)	$2 \times 10^{-9} \div 5 \times 10^{-9}$
$K_h$ (m/sec)	$(7 \div 10) \cdot k_v$
$c_v$ (m <sup>2</sup> /sec)	$2.5 \times 10^{-7} \div 6 \times 10^{-7}$
$c_h$ (m <sup>2</sup> /sec)	$(7 \div 10) \cdot c_v$
$E_{op1}$ (kPa)	1500 ÷ 2000
$E_{op2}$ (kPa)	1500 ÷ 2000

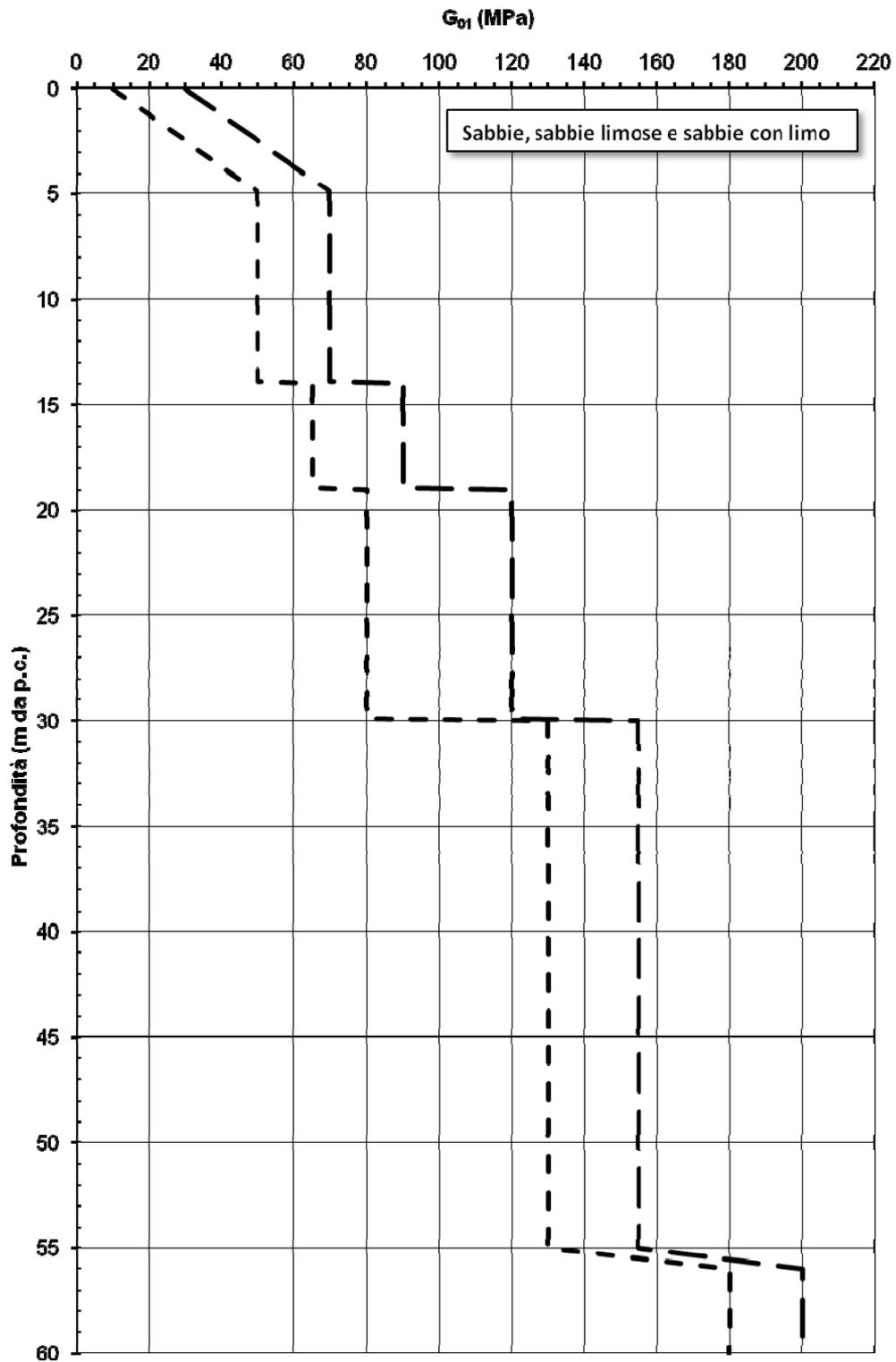


Figura I - Sabbie, sabbie limose e sabbie con limo.  
 Modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche

## Simbologia

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo lungo superfici di rottura;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale;

$C_c$  = indice di compressione edometrico per pressioni superiori a  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_r$  = indice di compressione edometrico per pressioni comprese tra  $\sigma_{vo}'$  e  $\sigma_{vmax}'$ ;

$C_{\alpha\epsilon}$  = coefficiente di consolidazione secondaria;

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale;

$k_h$  = coefficiente di permeabilità orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso principalmente nella direzione orizzontale;

$c_v$  = coefficiente di consolidazione primaria verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione verticale;

$c_h$  = coefficiente di consolidazione primaria orizzontale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di consolidazione principalmente nella direzione orizzontale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_{o1}$  = modulo di taglio iniziale riferito a pressioni efficaci pari a quelle geostatiche;

$G_o$  = modulo di taglio a piccole deformazioni riferito alle pressioni efficaci medie correnti;

$E_{op1}$  = modulo di Young secante per l'analisi di fondazioni (cedimenti delle fondazioni inferiori a  $0.01 \cdot B$ ) e di opere di sostegno;

$E_{op2}$  = modulo di Young secante per l'analisi dei cedimenti dei rilevati;

$B$  = dimensione minore della fondazione (m);

$p_a$  = 100 kPa = pressione atmosferica di riferimento;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vp}'$  = pressione verticale efficace massima di preconsolidazione.

