

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**  
**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale**

**MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA - MATERA**

**GEOTECNICA**

*Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni VI04*

SCALA:

-
---

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

I A 5 F    0 3    D    0 9    G E    V I 0 4 0 0    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	S.Gasperoni	Aprile 2019	M.E.D'Effremo	Aprile 2019	F. Gernone	Aprile 2019	A. Vittozzi Aprile 2019
								ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili, Gestione delle varianti per la nuova linea ferroviaria ad alta velocità in Provincia di Roma n° 1207/18

INDICE1. ....	PREMESSA
3	
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
3.1 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	5
3.2 STRATIGRAFIA .....	5
3.3 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	8
3.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	14
4. PALIFICATE DI FONDAZIONE .....	16
4.1 CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	16
4.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....	16
4.1.2 Calcolo della capacità portante .....	16
4.2 MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO .....	19
4.3 PARAMETRO $A_M$ E ANDAMENTO DEL MOMENTO LUNGO IL PALO.....	20
4.4 CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI.....	22
5. VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....	23
6. APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	25
6.1 PALO D=1200 MM – PILA P17.....	25
7. APPENDICE B: PARAMETRO $A_M$ E MOMENTO LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO LPAL .....	30
7.1 D=1200 MM .....	30

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	3 di 30

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la caratterizzazione geotecnica finalizzata alla verifica delle fondazioni del Viadotto esistente Sinatra (VI04) nell'ambito del miglioramento sismico dei viadotti esistenti della linea Ferrandina – Matera.

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

- condizioni geotecniche: stratigrafia, parametri geotecnici e falda;
- valutazione della capacità portante verticale dei pali di fondazione;
- definizione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno;
- valutazione del parametro alfa (rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita) e andamento del momento e taglio lungo il palo;
- valutazione del carico limite orizzontale dei pali;
- verifica rischio potenziale liquefazione dei terreni.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 17/01/2018).

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normativa di riferimento

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [N.2]. DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- [N.3]. Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

### 2.2 Documenti di riferimento

- [DC1]. IA5F03D09RHVI0000001A – Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni;
- [DC2]. IA5F03D09RGVI0000001A – Relazione descrittiva sulle fondazioni.
- [DC1]. B1. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Relazione geologica geotecnica idrogeologica sugli studi per la scelta del tracciato e per il progetto definitivo. Dicembre, 1984.
- [DC2]. B2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Planimetria ubicazione tracciati ed indagini. Dicembre, 1984.
- [DC3]. B5.1. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Stratigrafie dei sondaggi A. Dicembre, 1984.
- [DC4]. B5.2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Stratigrafie dei sondaggi S. Dicembre, 1984.
- [DC5]. B6.1 e B6.2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Profilo geologico del tracciato definitivo Tav. 1 e Tav. 2. Dicembre, 1984.

### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica per il viadotto in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità dell'opera. In generale lungo la linea Ferrandina – Matera sono disponibili le indagini del progetto del 1984 e le nuove indagini integrative eseguite per il presente progetto del 2018/2019 (ancora in fase di completamento).

#### 3.1 Indagini geotecniche eseguite

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 12+133.235 e km 12+703.063.

Sono disponibili le indagini integrative del 2018/2019 elencate nella seguente tabella. In particolare si osserva che:

- il sondaggio S5\_DH\_50 è eseguito in corrispondenza della pila 17 viadotto;
- il sondaggio S6\_PZ\_30 è ubicato prima dell'inizio del viadotto, mentre S4\_10 è ubicato dopo la fine del viadotto; queste indagini verranno utilizzate per meglio caratterizzare geotecnicamente le unità intercettate.

Sondaggi / indagini sismiche	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	n. prove Lefranc /Lugeon	n. prove pressiometriche	n. prove dilatometriche	Piezometro TA; CC / Prova DH/CH
S6_PZ_30	30.0	135.616	5	-	9	2	1	-	TA [1.5;6]
S5_DH_50	50.0	118.161	1	-	6	2	1	1	DH[50]
S4_10	10.0	126.476	2	-	4	-	-	-	-
Masw 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DH [m]: prova Down Hole [profondità prova]  
 TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]

Il sondaggio S6\_PZ\_30 indica un livello di falda a circa 1 m da p.c. (S6\_PZ\_30), a quota + 134.656 m s.l.m..

Il sondaggio S5\_DH\_50, eseguito in corrispondenza della pila P17 dell'opera, indica un livello di falda a a 2.5 m da p.c. in fase di perforazione del sondaggio.

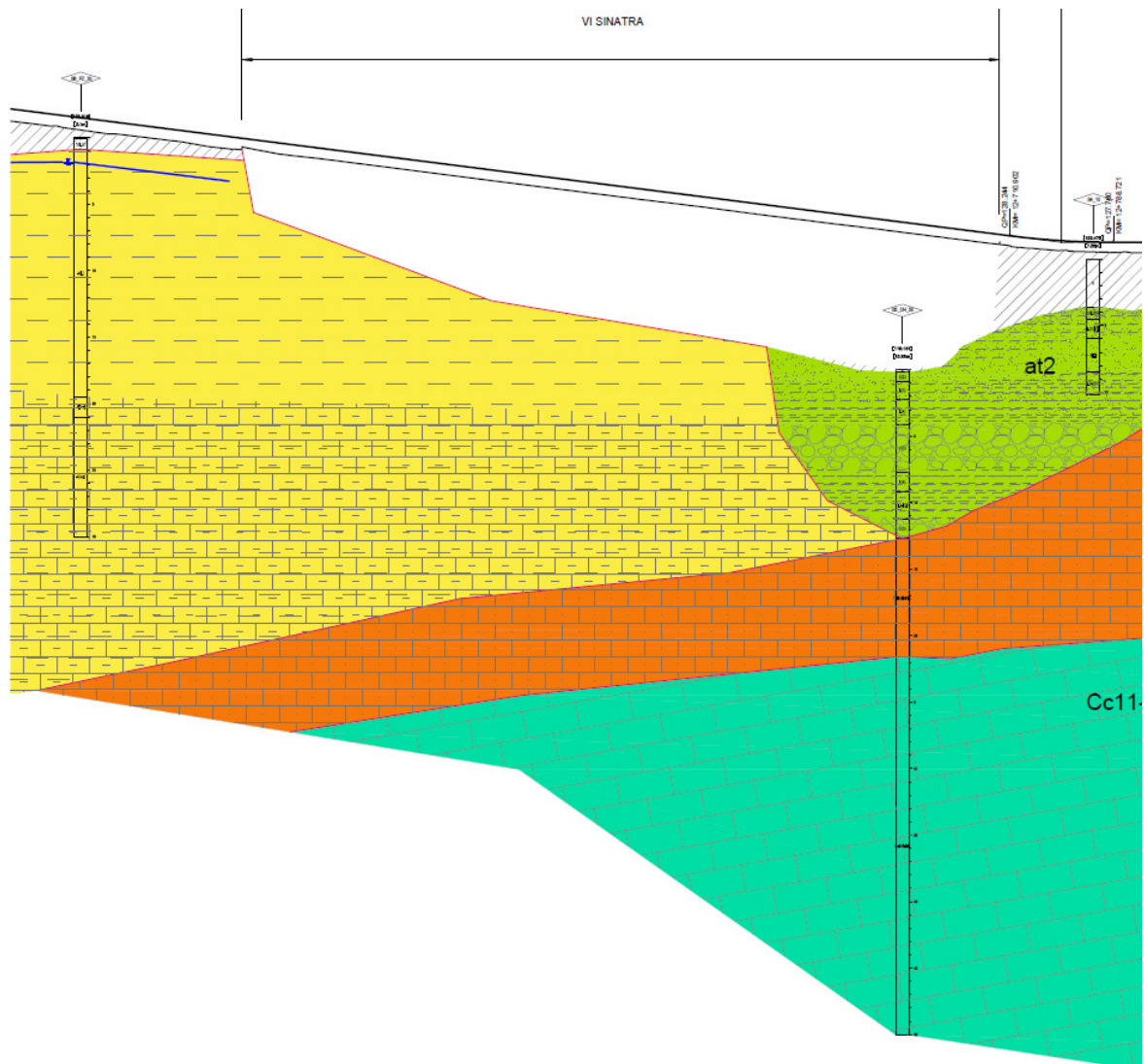
#### 3.2 Stratigrafia

I sondaggi hanno consentito di ricostruire la stratigrafia, evidenziando, nella prima parte del viadotto, la predominanza di argille limose e argilloso marnose da molto consistenti a dure dell'unità ASP (Argille subappennine) fino alla massima profondità investigata (30 m). Il sondaggio S5\_DH\_50 (eseguito in vicinanza pila P17) ha intercettato una copertura di alluvioni terrazzate con alternanza di strati limosi argillosi e strati incoerenti grossolani (unità at2) fino a 13 m circa ed a seguire le calcareniti di Gravina (unità GRA) con RQD da 40 a 90% fino a 22 m e poi calcilutite compatta (unità Cc – Calcere di Altamura) con alterazione da moderata ad elevata con RQD da 50 a 80% fino alla massima profondità investigata (50 m).

Il sondaggio S6\_PZ\_30 indica un livello di falda a circa 1 m da p.c. (S6\_PZ\_30), a quota + 134.656 m s.l.m..

Il sondaggio S5\_DH\_50, eseguito in corrispondenza della pila P17 dell'opera, indica un livello di falda a a 2.5 m da p.c. in fase di perforazione del sondaggio.

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geologico basato su tutte le informazioni ad oggi disponibili e quello del progetto (1984).

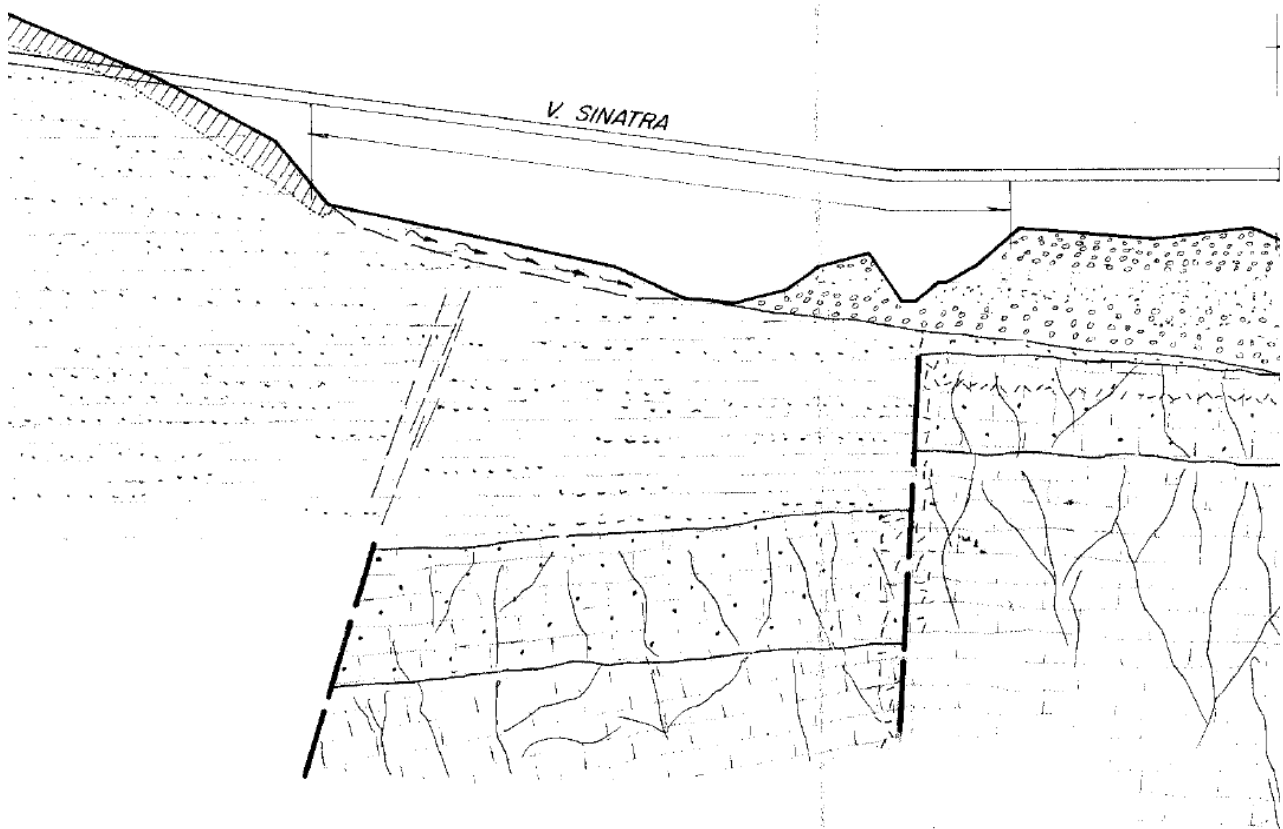


**Figura 1 – Profilo geologico**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	7 di 30



**Figura 2 Profilo geologico 1984**

### 3.3 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

Nelle figure seguenti si riportano i principali risultati delle indagini eseguite per la definizione dei parametri geotecnici di progetto.

Per la definizione dei parametri di resistenza drenati dell'unità ASP e della resistenza a compressione monoassiale dell'unità GRA, si fa riferimento all'insieme di tutti i risultati di laboratorio dei sondaggi dell'intero tracciato.

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

#### Unità at2(I) – Alluvioni terrazzate incoerenti

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio per sabbie
$\phi' = 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio per ghiaie sabbiose

#### Unità at2 – Alluvioni terrazzate coesive

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c_u = 50 \div 200 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate

#### Unità ASP – Argille subappennine

$\gamma = 19.0 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 20 \div 25 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 23 \div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 100 \div 400 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 200 \div 600 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 25 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1+\nu)$	modulo di deformazione elastico iniziale

#### Unità GRA – Calcareniti di Gravina

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\sigma_c = 0.7 \div 5 (2.5) \text{ MPa}$	resistenza a compressione monoassiale (valore medio)

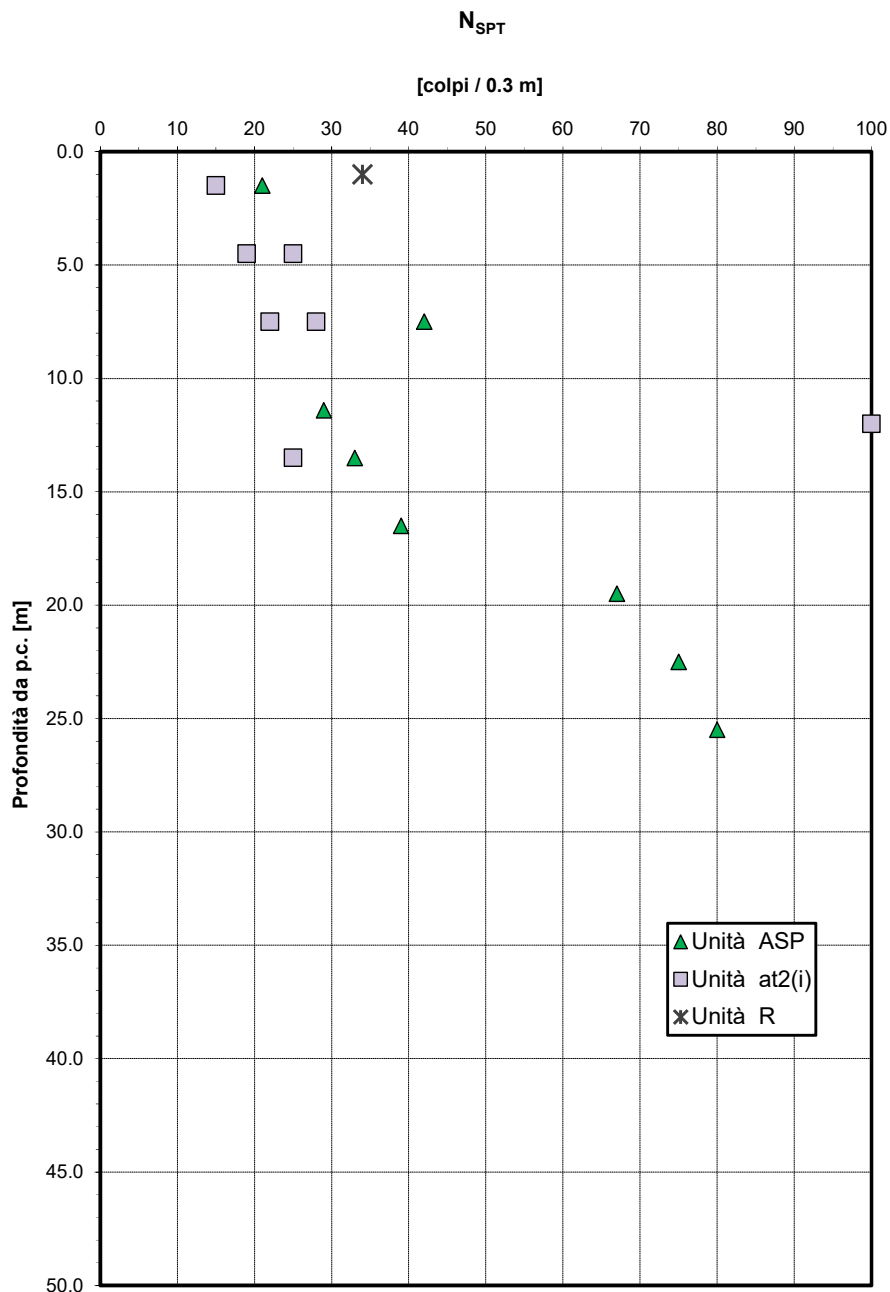
Relativamente all'unità Cc (Calcere di Altamura) non è stato caratterizzato, in quanto è intercettato a profondità maggiore di quella di interesse progettuale.



**PROGETTO DEFINITIVO**

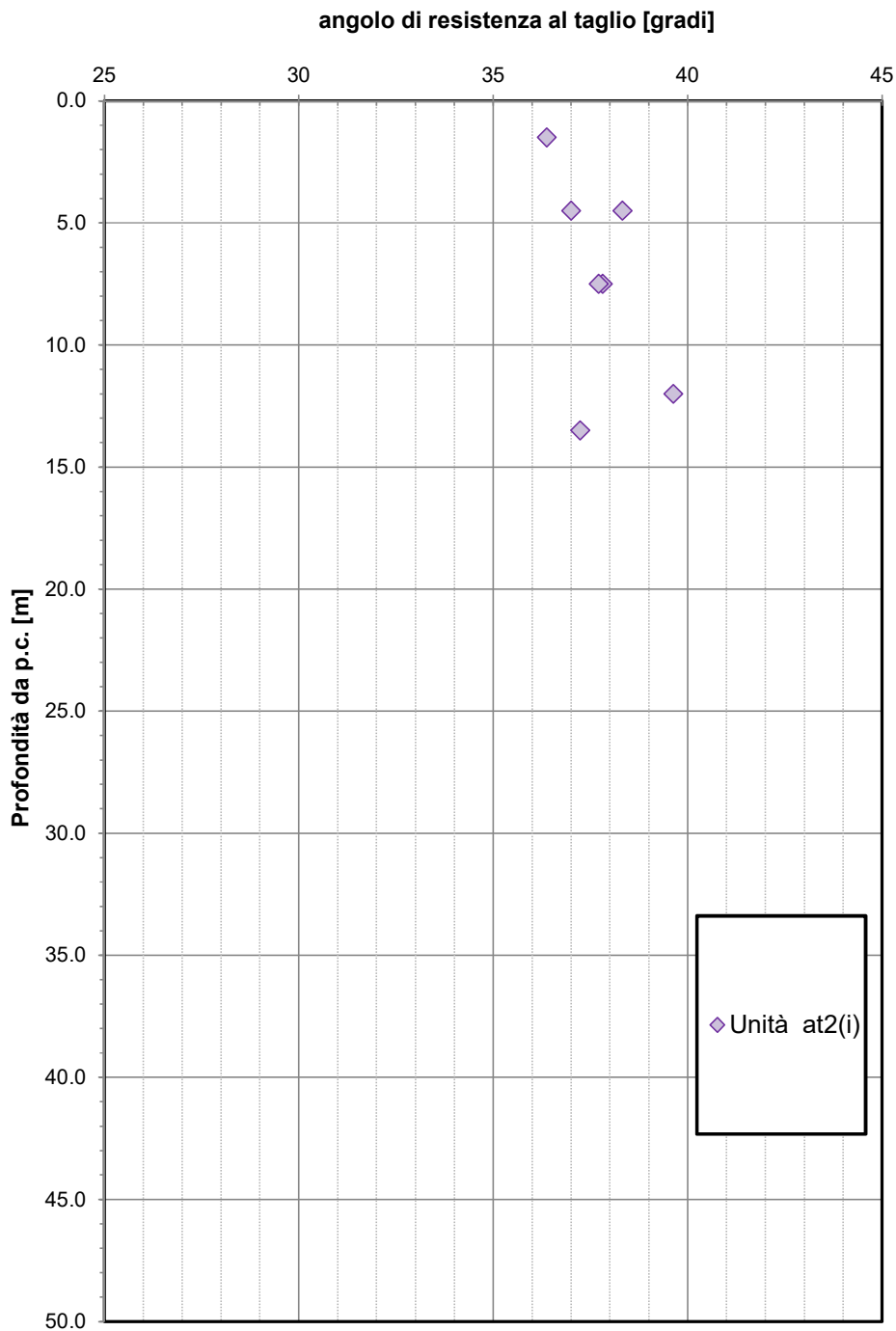
Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	9 di 30



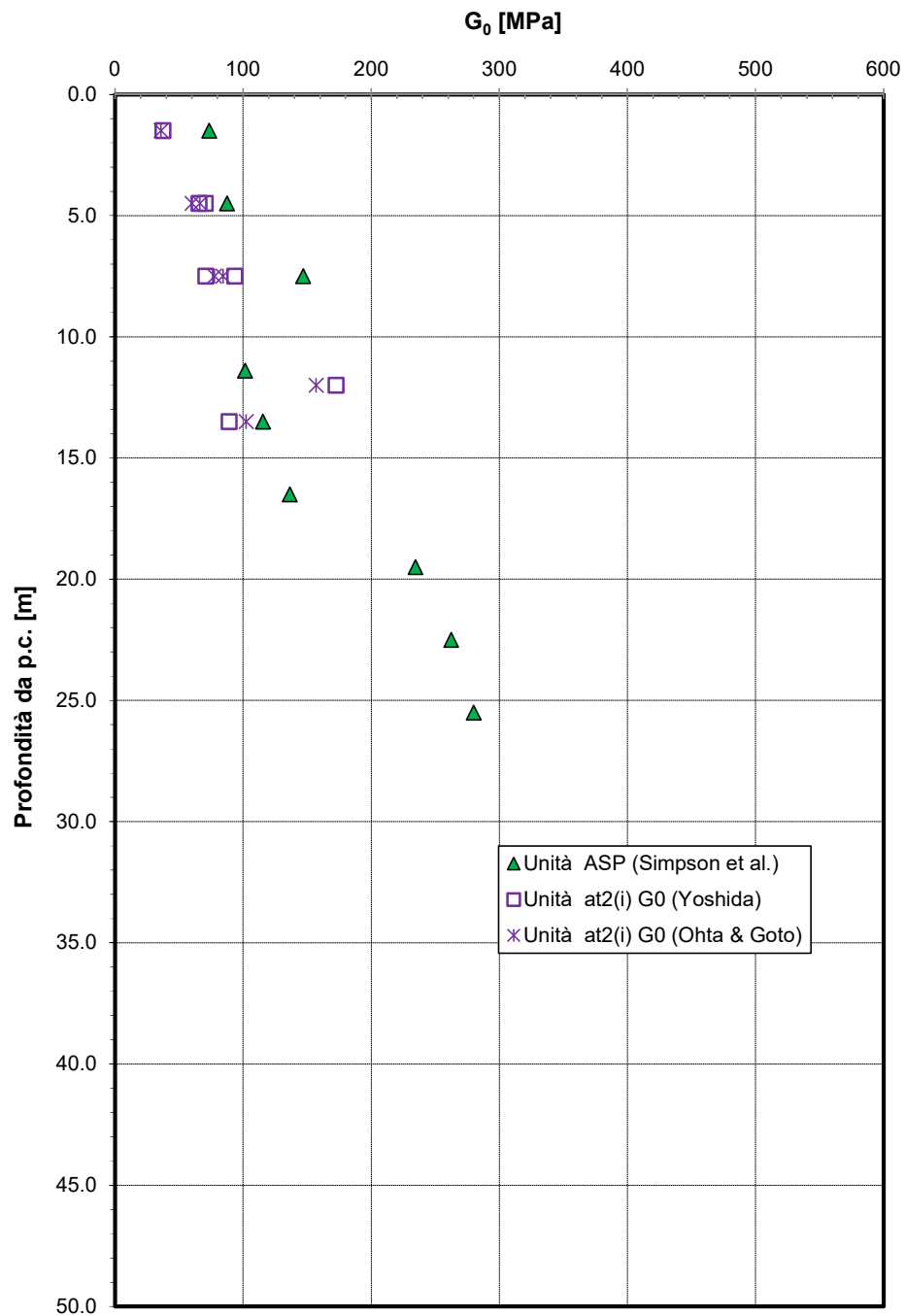
**Figura 3 – Valori di N<sub>SPT</sub>**

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

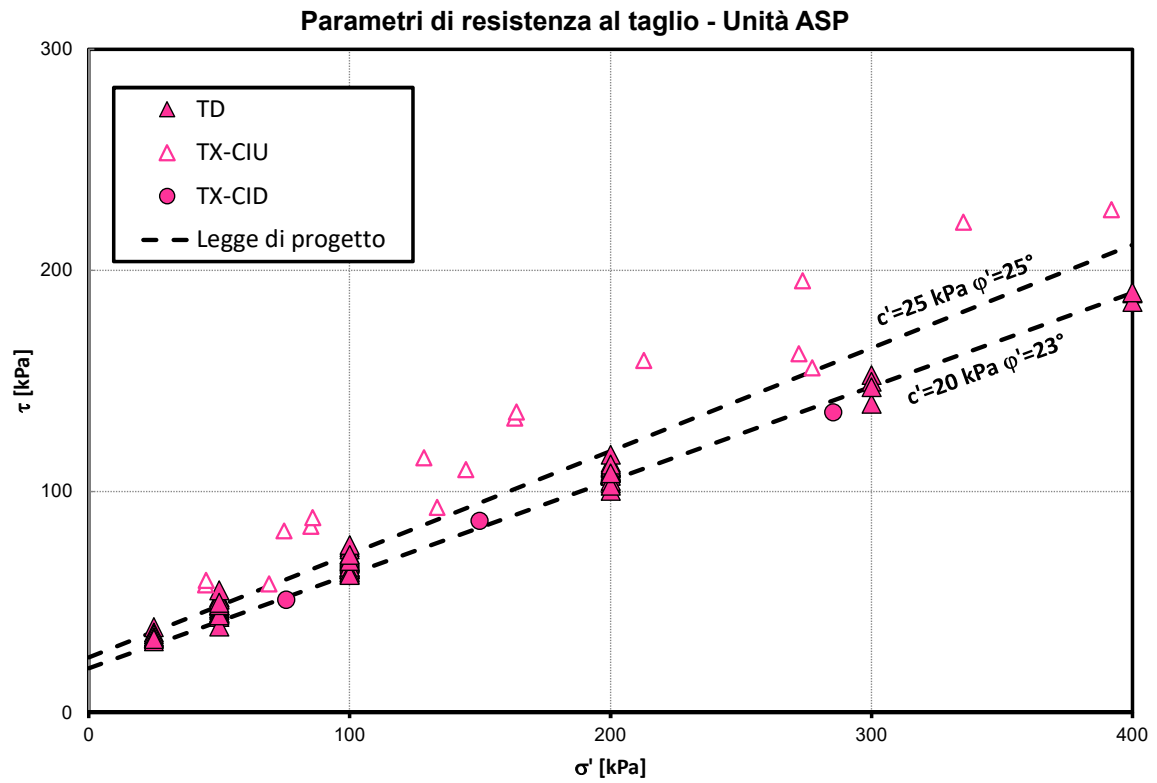


**Figura 4 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

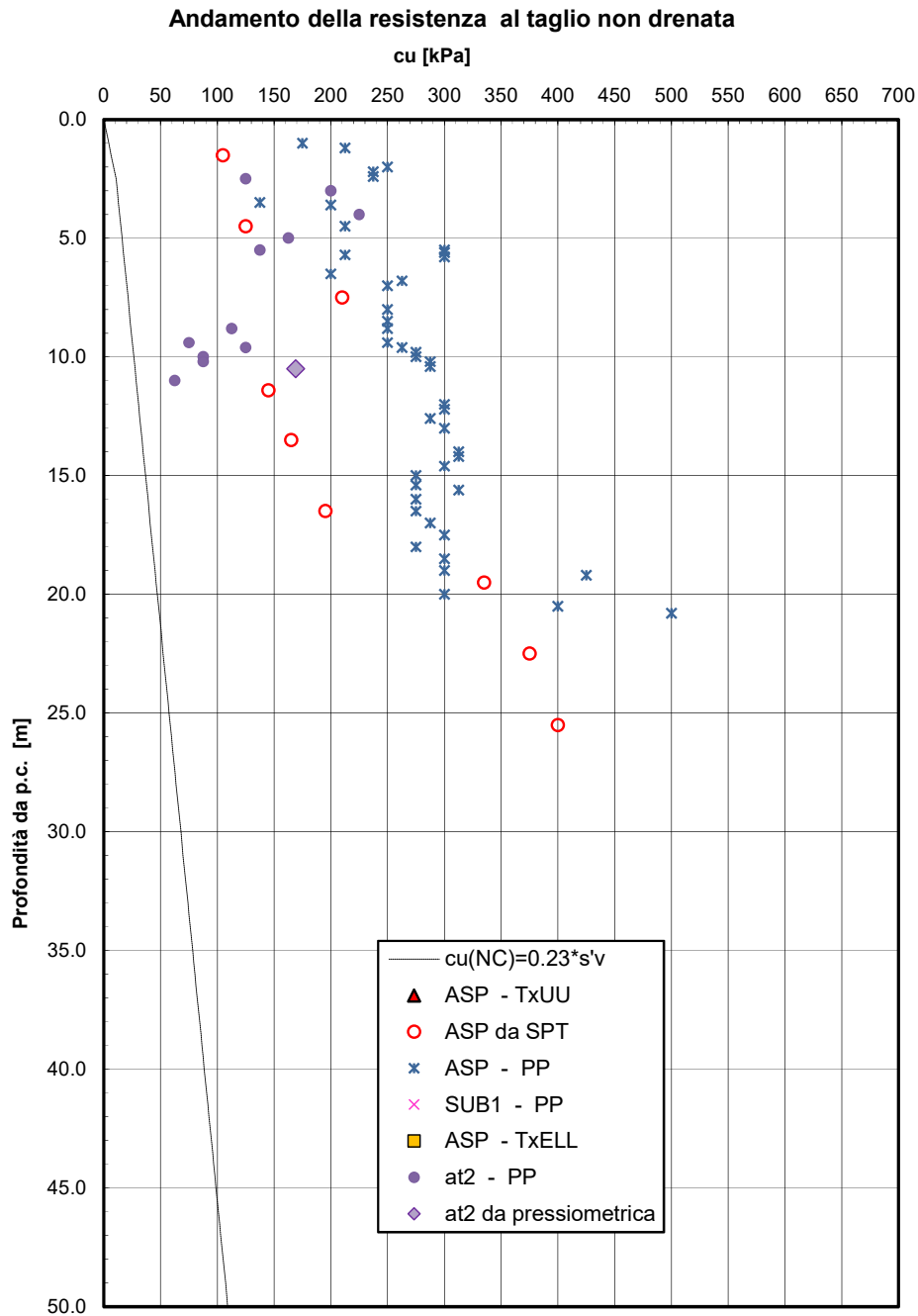
**Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche**



**Figura 5 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT**



**Figura 6 – Parametri di resistenza (tutti i valori dei sondaggi della linea)**



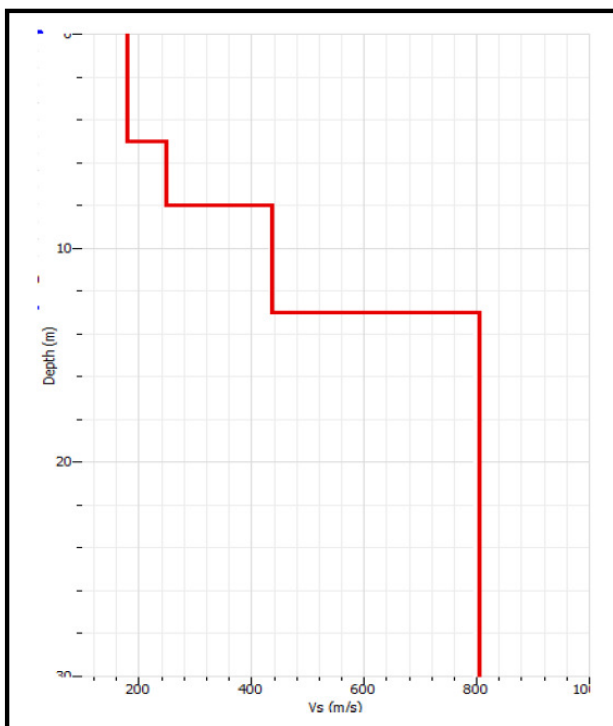
**Figura 7 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate**

### 3.4 Categoria di sottosuolo

Dall'indagine sismica Down-Hole (S5\_DH\_50) e dall'indagine sismica Masw5, si definisce una categoria di sottosuolo sismica di tipo E con valori di  $V_{s,eq}$  rispettivamente di 238 e 253m/s (vedasi tabelle seguenti).

Tabella 1 – MASW5

#### PROFILO VELOCITA' ONDE DI TAGLIO



#### CALCOLO $V_{S30}$

SPESSORE	PROFONDITA'	$V_s$	SPESSORE/ $V_s$
4.9	0	179	0.027374302
3.1	4.9	248	0.0125
5	8	438	0.011415525
17	13	805	
	30		0.051289827

**$V_{S_{eq13}} = 253$**

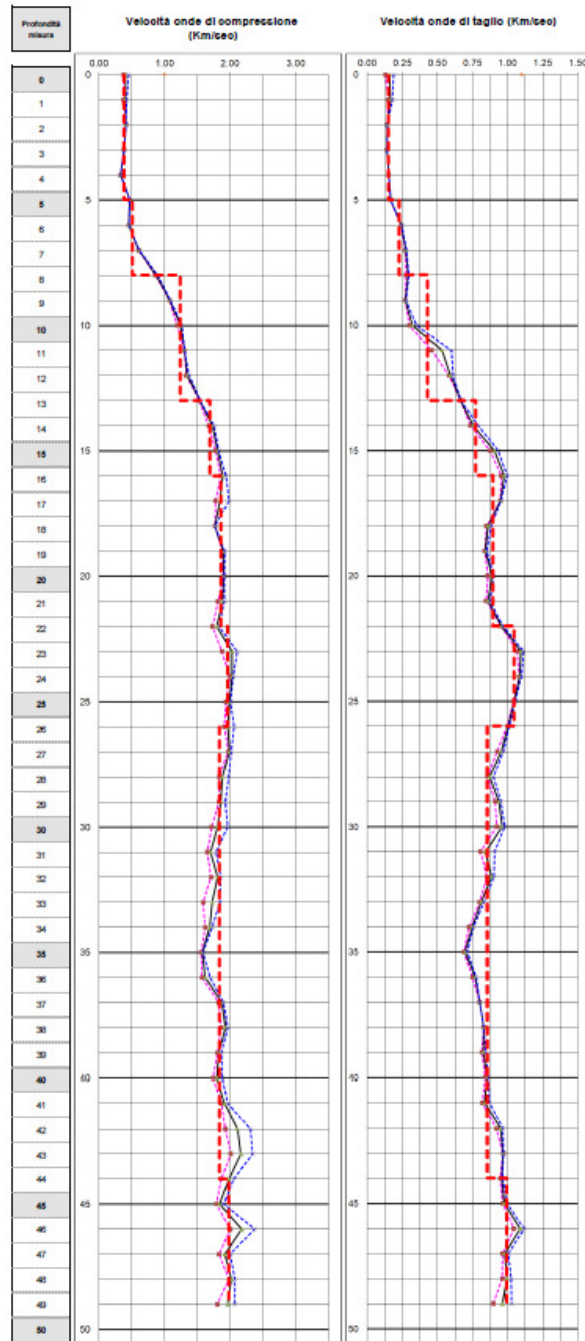
Seismic classification of soils  
(It. D.M. 17/01/2018) **E**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	15 di 30

**Tabella 2 – S5\_DH\_50**



## 4. PALIFICATE DI FONDAZIONE

### 4.1 Capacità portante dei pali

Nel presente capitolo si riporta il calcolo della capacità portante dei pali per l'opera in esame.

Le metodologie di calcolo generali sono illustrate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1] a cui si rimanda.

#### 4.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

La capacità portante è definita sulla base della stratigrafia ricostruita dal sondaggio S15\_DH\_50 (pila P17).

Nella seguente tabella si riporta la stratigrafia ed i parametri geotecnici principali per il calcolo della capacità portante dei pali dell'opera in esame.

**Tabella 3 - VI04 – stratigrafia e parametri di calcolo –Pila P17**

Profondità [m]	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	cu [kPa]	$\phi'$ [°]	$\tau$ [kPa]	qb [kPa]
da 0.0 a 2.0	at2(i)	19.0	-	34	-	$17 \cdot \sigma'v$
da 2.0 a 4.0	at2	19.0	180	-	-	$9 \cdot cu + \sigma v$
da 4.0 a 7.5	at2(i)	19.0	-	38	-	$24 \cdot \sigma'v \leq 5800$
da 7.5 a 11.0	at2	19.0	160	-	-	$9 \cdot cu + \sigma v$
da 11.0 a 15.0	at2(i)	19.0	-	38	-	$24 \cdot \sigma'v \leq 5800$
da 15.0 a 25.0	GRA	19.0	-	-	200	5000

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

qb = portata limite di base

$\tau$  = tensione di adesione laterale limite

$\sigma v$  = tensione verticale totale

$\sigma'v$  = tensione verticale efficace

#### 4.1.2 Calcolo della capacità portante

La capacità portante per le fondazioni del viadotto è stata valutata per pali trivellati D=1200 mm, considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- N. 2 verticali di indagine, da cui  $\xi_3 = 1.65$ ,
- $F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.9$ ).
- $F_{SB}$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.23$ ).



Inoltre si è considerato cautelativamente:

- testa palo a 2.5 m di profondità dal p.c.;
- falda a 2.5 m da p.c..

In **Appendice A** si riportano i tabulati di calcolo completi.

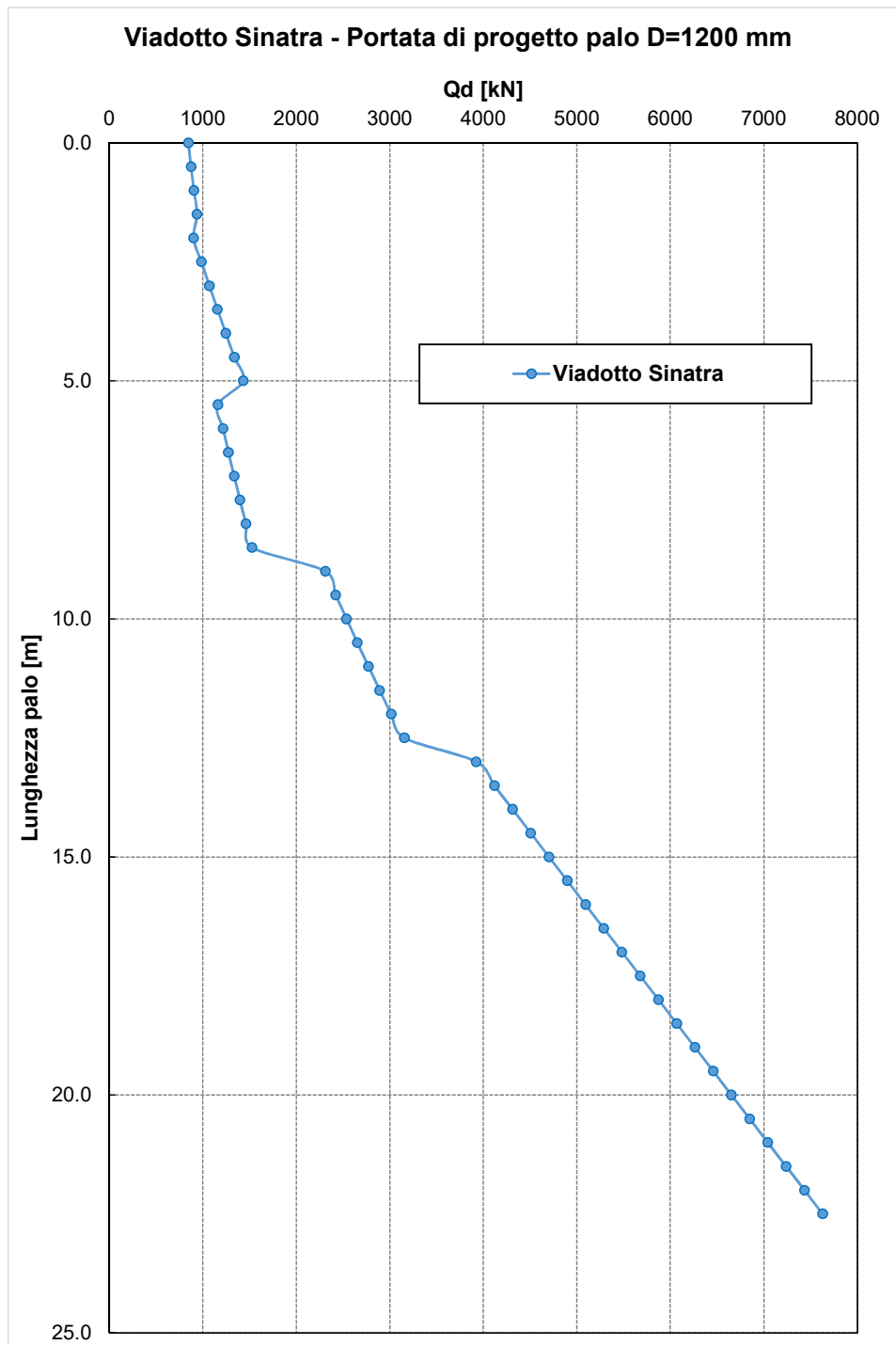
**Tabella 4 – VI04 - Capacità portante palo D=1200 mm - A1+M1+R3 –P17**

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1886.	0.	1886.	846.
.50	52.	1897.	3.	1945.	874.
1.00	108.	1907.	7.	2008.	905.
1.50	168.	1918.	10.	2076.	938.
2.00	225.	1778.	14.	1989.	902.
2.50	284.	1900.	17.	2168.	985.
3.00	348.	2022.	20.	2350.	1070.
3.50	416.	2144.	24.	2537.	1157.
4.00	488.	2266.	27.	2727.	1246.
4.50	564.	2389.	31.	2922.	1337.
5.00	645.	2511.	34.	3122.	1432.
5.50	742.	1801.	37.	2505.	1160.
6.00	845.	1811.	41.	2615.	1216.
6.50	952.	1822.	44.	2730.	1274.
7.00	1064.	1833.	48.	2850.	1335.
7.50	1181.	1843.	51.	2974.	1397.
8.00	1302.	1854.	54.	3101.	1462.
8.50	1421.	1865.	58.	3228.	1526.
9.00	1534.	3488.	61.	4961.	2310.
9.50	1649.	3610.	64.	5195.	2422.
10.00	1769.	3732.	68.	5433.	2537.
10.50	1892.	3854.	71.	5675.	2653.
11.00	2020.	3977.	75.	5922.	2772.
11.50	2151.	4099.	78.	6172.	2892.
12.00	2287.	4221.	81.	6426.	3015.
12.50	2455.	4343.	85.	6714.	3155.
13.00	2803.	5655.	88.	8370.	3923.
13.50	3180.	5655.	92.	8743.	4118.
14.00	3557.	5655.	95.	9117.	4313.
14.50	3934.	5655.	98.	9490.	4508.
15.00	4311.	5655.	102.	9864.	4703.
15.50	4688.	5655.	105.	10238.	4898.
16.00	5065.	5655.	109.	10611.	5093.
16.50	5442.	5655.	112.	10985.	5288.
17.00	5819.	5655.	115.	11358.	5483.
17.50	6196.	5655.	119.	11732.	5678.
18.00	6573.	5655.	122.	12106.	5873.
18.50	6950.	5655.	126.	12479.	6068.
19.00	7327.	5655.	129.	12853.	6263.
19.50	7704.	5655.	132.	13226.	6458.
20.00	8081.	5655.	136.	13600.	6653.
20.50	8458.	5655.	139.	13974.	6848.
21.00	8835.	5655.	143.	14347.	7043.
21.50	9212.	5655.	146.	14721.	7238.
22.00	9589.	5655.	149.	15094.	7433.
22.50	9966.	5655.	153.	15468.	7628.

Lp = Lunghezza utile del palo  
 Q11 = Portata laterale limite  
 Qb1 = Portata di base limite  
 Wp = Peso efficace del palo  
 Qu = Portata totale limite  
 Qd = Portata di progetto =  $Q11/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$



**Figura 8 – Capacità portante palo D=1200 mm\_P17**

## 4.2 Modulo di reazione orizzontale del terreno

Lo studio dell'interazione tra palo soggetto ai carichi orizzontali ed il terreno viene effettuato ricorrendo alla teoria di Matlock e Reese che si basa sul noto modello di suolo alla Winkler (elastico-lineare), caratterizzato da un modulo di reazione orizzontale del terreno ( $E_{MR}$ ) definito come il rapporto fra la reazione del terreno per unità di lunghezza del palo ( $p$ ) ed il corrispondente spostamento orizzontale ( $y$ ):  $E_{MR} = p / y$ . Definito il coefficiente di sottofondo alla Winkler ( $K_w$ ), per un palo di diametro  $D$ , si ha questa relazione con il modulo di reazione orizzontale palo-terreno:

$$E_{MR} = K_w \cdot D$$

Le metodologie di calcolo sono riportate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1]).

In particolare per la valutazione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, si considera:

- $E_{MR} = kh \cdot z < E_{MR,max}$  con:  $kh = 6000 \text{ kN/m}^3$  per le alluvioni terrazzate, con  $E_{MR,max} = 120000 \text{ kN/m}^2$

Ai fini del calcolo del modulo di reazione orizzontale si considera che per le pile da 1 a 15 è presente l'unità ASP, si considera:

$$E_{MR} = \xi \cdot cu \leq E_{MR,max}$$

dove: nei depositi coesivi  $\xi = 350$ ;

$cu$  delle unità ASP = ;

$$E_{MR,max} = 120000 \text{ kN/m}^2$$

Si riporta di seguito il profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo (senza unità ASP, stratigrafia Tabella 3) per le pile 16-18

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.00	15000.0
9.50	120000.0
40.00	120000.0

Considerando la presenza dell'unità ASP

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.00	35000.0
2.50	52500.0
2.51	70000.0
7.50	70000.0
7.51	52500.0
14.50	70000.0
14.51	94500.0
17.50	94500.0
17.51	120000.0
40.00	120000.0

### 4.3 Parametro $\alpha_m$ e andamento del momento lungo il palo

Per ricavare il parametro  $\alpha_m$  (rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita) si ricorre al metodo di Matlock e Reese (1956) che, utilizzando il metodo delle differenze finite, hanno risolto il problema del palo soggetto ad un carico orizzontale, mediante l'impiego di parametri adimensionali.

Nel caso in esame, considerando l'andamento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno  $E_{MR}$  definito nel precedente paragrafo, si ricava il valore del parametro  $\alpha_m$ :

$$\alpha_m = M_0 / H_0$$

essendo:

$H_0$  = azione tagliante in testa palo [F];

$M_0$  = azione flettente, conseguente ad  $H_0$ , in testa al palo;

$\alpha_m$  = rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita [L];

Le metodologie di calcolo generali sono riportate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1]). Nella seguente tabella si riportano i valori del parametro alfa  $\alpha_m = M_0 / H_0$  ed a seguire l'andamento di taglio e momento lungo il palo.

**Tabella 5 – VI04 - Valori di  $\alpha_m$**

Dpalo	$\alpha_m$ [m]
D=1200mm	-2.40
D=1200mm	-2.11

Il primo valore in tabella per le pile da 16 a SPB, il secondo valore in tabella per le pile da 1 a 15 (con unità ASP).

Nelle seguenti tabelle si riporta l'andamento di taglio e momento lungo il fusto del palo; tutti i tabulati di calcolo sono riportati in **Appendice B**.

**Tabella 6 – Andamento di taglio e momento lungo il palo D=1200 mm – VI04 P16-SPB**

Sollecitazioni, deformazioni e pressioni mobilitate  
lungo il fusto del palo

prof. m	T kN	M kN*m	Yp mm	Rp mRad	Pr kN/m
.00	100.04	-240.36	.636	.000	9.95
.47	94.80	-194.64	.628	.033	12.66
.94	88.43	-151.61	.605	.060	15.35
1.41	80.51	-111.99	.572	.080	17.48
1.88	72.05	-76.21	.531	.095	18.98
2.34	62.73	-44.55	.485	.104	19.82
2.81	53.39	-17.37	.435	.108	20.03
3.28	44.16	5.43	.383	.109	19.66
3.75	34.49	24.03	.333	.107	18.78

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	21 di 30

4.50	21.83	45.24	.255	.098	16.53
5.25	10.50	57.16	.186	.086	13.59
6.00	1.51	61.43	.127	.071	10.35
6.75	-5.03	59.89	.080	.056	7.14
7.50	-9.55	54.32	.043	.042	4.22
8.75	-12.04	40.24	.003	.023	.38
10.00	-10.96	25.43	-.016	.009	-1.89
11.25	-7.86	13.40	-.022	.001	-2.60
13.13	-3.40	2.81	-.019	-.003	-2.24
15.00	.00	.00	-.011	-.004	-1.38

**SPA-P15**

Sollecitazioni, deformazioni e pressioni mobilitate  
lungo il fusto del palo

prof. m	T kN	M kN*m	Yp mm	Rp mRad	Pr kN/m
.00	99.99	-210.86	.501	.000	17.87
.78	85.37	-138.31	.482	.044	19.52
1.56	69.83	-77.66	.436	.072	20.02
2.34	54.41	-29.18	.374	.085	19.20
3.13	37.18	6.77	.305	.088	21.37
3.91	22.33	29.65	.238	.083	16.66
4.69	10.99	42.34	.176	.074	12.35
5.47	2.82	47.45	.123	.062	8.62
6.25	-3.02	47.26	.079	.050	5.55
7.50	-7.28	40.33	.028	.032	1.98
8.75	-8.23	30.23	-.002	.018	-.12
10.00	-7.47	20.25	-.017	.007	-1.01
11.25	-5.96	11.79	-.022	.001	-1.35
12.50	-4.13	5.41	-.020	-.003	-1.32
14.58	-1.81	-.84	-.012	-.004	-1.17
16.67	-.14	-2.48	-.005	-.003	-.47
18.75	.47	-1.95	-.001	-.001	-.09
21.88	.33	-.48	.001	.000	.11
25.00	.00	.00	.001	.000	.09

#### 4.4 Carico limite orizzontale dei pali

Per la valutazione del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo sono riportate nella Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni (doc. rif. [DC1]).

Il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.65 = 2.145$  (da normativa vigente per verifica A1+M1+R3). Quindi la resistenza di progetto è valutata a partire dalla resistenza caratteristica (calcolata con Broms), fattorizzata con FS, da cui:  $H_d = H_{lim} / 2.145$ .

Il valore caratteristico della resistenza ( $H_{lim}$ ) è stato valutato con riferimento ai seguenti momenti di plasticizzazione:

- Spalle (D=1200mm, armatura 28 $\phi$ 30):  $M_y$  pari a 3925.7 kNm
- Pile (D=1200mm, armatura 18 $\phi$ 24):  $M_y$  pari a 1777.7 kNm

Nella seguente tabella si riportano i valori di progetto del carico limite orizzontale ( $H_{lim}$ ) e del carico limite di progetto ( $H_d$ ), valutati per diverse lunghezze palo.

Fondazioni	Diametro palo [mm]	L palo [m]	$C_u$ [kPa] (media)	$H_{lim}$ [kN]	$H_d$ [kN]
SPALLA A con unità ASP	1200	30.8	260	3290.68	1534.1
PILE con unità ASP	1200	20.0	215	1649.66	769.1
PILE P16-P18 Tabella 3 Tabella 2	1200	15.0	175	1599.3	745.6
SPALLA B Tabella 3	1200	17.0	205	3131.52	1459.9

## 5. VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In questo capitolo si valuta il rischio di potenziale liquefazione dei terreni del sito in esame, problematica che si pone quando la falda freatica si trova in prossimità del piano campagna ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

Le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di free-field-campo libero) minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{cIN} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 9 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 10 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

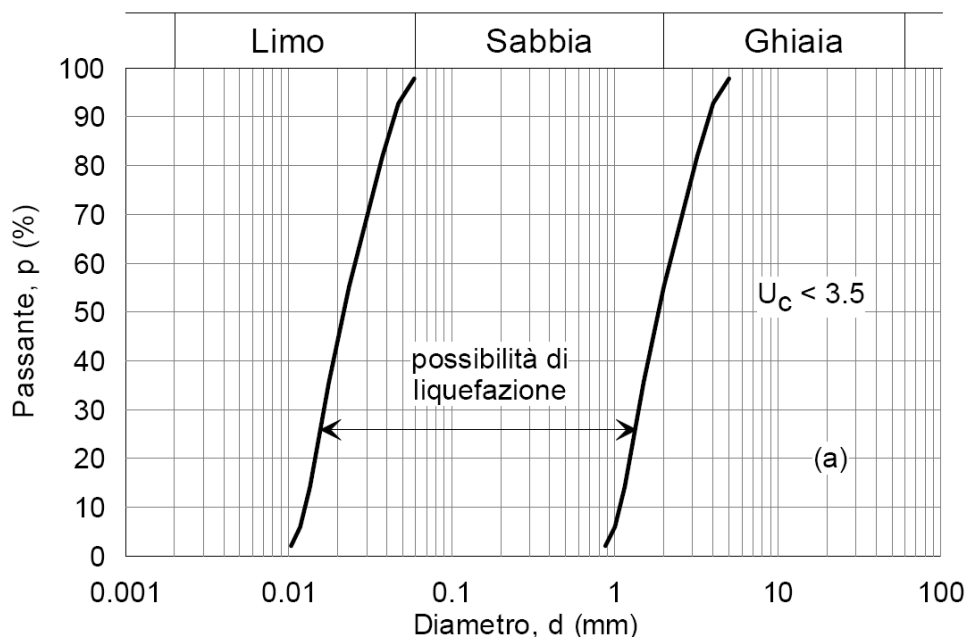
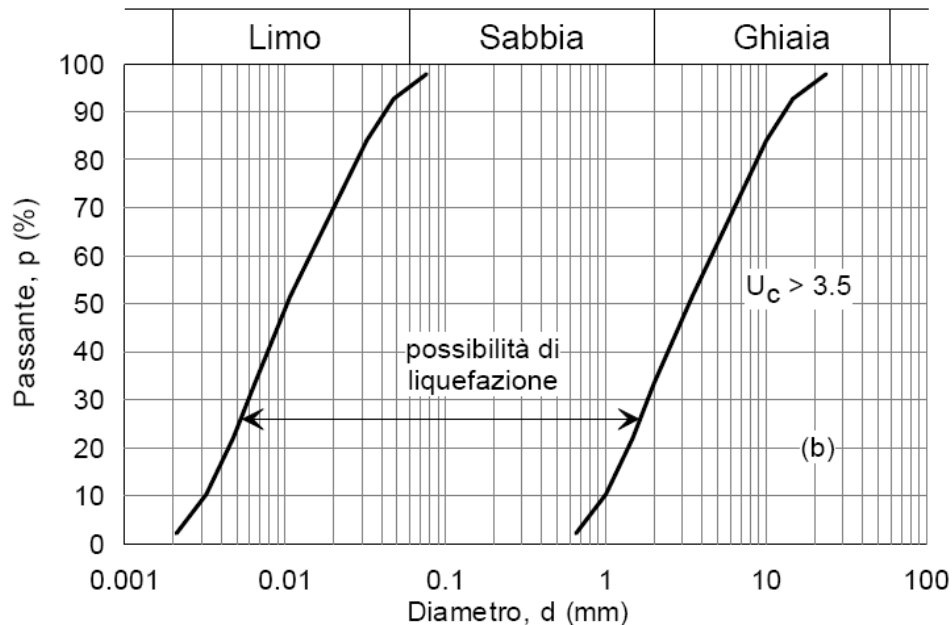


Figura 9. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c < 3.5$



**Figura 10. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c > 3.5$**

Per il sito in esame si può escludere il rischio di potenziale liquefazione in quanto l'unico strato di sabbie limose è presente da piano campagna a 2.2 m di profondità e quindi non è sotto falda. I terreni a profondità maggiori, sotto falda, sono ghiaie con alti valori di  $N_{spt}$  ed argille limose consistenti ed a seguire sono intercettate formazioni rocciose. Inoltre si sottolinea che queste coperture sono costituite da depositi terrazzati e non da alluvioni attuali e/o recenti e quindi anche l'origine geologica porta ad escludere il rischio di potenziale liquefazione di questi depositi.

Anche dal sondaggio, ubicato prima della spalla si può escludere rischio di liquefazione in quanto ha intercettato argille subappenniniche da p.c. alla massima profondità investigata.



**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	25 di 30

## 6. APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL

### 6.1 Palo D=1200 mm – Pila P17

\*\*\* P A L \*\*\*  
Programma per l'analisi della capacita' portante  
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)  
ottobre 2006

pag./ 2

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c. = 2.50 m  
Quota falda da p.c. = 2.50 m  
Peso di volume del palo = 6.00 kN/m3  
Fattore di sicurezza portata laterale = 1.90 (FS,l)  
Fattore di sicurezza portata di base = 2.23 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

pag./ 3

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "at2 " (Incoerente) da .00 a 2.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau = K \* tan(delta) \* S'v < 150.0 kPa  
K = .60 delta = 34.0 deg

Qb = 17.0 \* S'v

Strato 2 "at2 " (Coesivo) da 2.00 a 4.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau = alfa \* Cu < 120.0 kPa Criterio alfa(Cu) nel seguito

Tau > .23 \* S'v  
Tau < .55 \* S'v

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	26 di 30

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

Cu variabile lin. da 180.0 a 180.0 kPa

Strato 3 "at2 " (Incoerente) da 4.00 a 7.50 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$T_{\tau} = K * \tan(\Delta) * S'_{v'} < 150.0 \text{ kPa}$$

$$K = .60 \quad \Delta = 38.0 \text{ deg}$$

$$Q_b = 24.0 * S'_{v'} < 5800. \text{ kPa}$$

Strato 4 "at2 " (Coesivo) da 7.50 a 11.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$T_{\tau} = \alpha * C_u < 120.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$T_{\tau} > .23 * S'_{v'}$$

$$T_{\tau} < .55 * S'_{v'}$$

$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$

Cu variabile lin. da 160.0 a 160.0 kPa

Strato 5 "at2 " (Incoerente) da 11.00 a 15.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$T_{\tau} = K * \tan(\Delta) * S'_{v'} < 150.0 \text{ kPa}$$

$$K = .60 \quad \Delta = 38.0 \text{ deg}$$

$$Q_b = 24.0 * S'_{v'} < 5800. \text{ kPa}$$

Strato 6 "GRA " (Incoerente) da 15.00 a 25.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

Tau variabile lin. da 200.0 a 200.0 kPa

Qb variabile lin. da 5000. a 5000. kPa

pag./ 5

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

MULTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "at2 "	1.00	1.00	-
2 "at2 "	1.00	1.00	1.00
3 "at2 "	1.00	1.00	-
4 "at2 "	1.00	1.00	1.00
5 "at2 "	1.00	1.00	-
6 "GRA "	1.00	1.00	-

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni superiori o inferiori dei parametri

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	27 di 30

Per terreni coesivi: Criterio  $\tau = \alpha \cdot C_u$

Cu kPa	alfa -
.0	.90
25.0	.90
25.1	.80
50.0	.80
51.0	.60
75.0	.60
75.1	.40
300.0	.40

pag./ 6

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
2.50	47.5	47.5	180.0	.55	26.1	1668.
3.00	52.0	57.0	180.0	.55	28.6	1677.
3.50	56.5	66.5	180.0	.55	31.1	1687.
4.00	61.0	76.0	180.0	.51	31.1	1696.
4.50	65.5	85.5	--	.47	30.7	1572.
5.00	70.0	95.0	--	.47	32.8	1680.
5.50	74.5	104.5	--	.47	34.9	1788.
6.00	79.0	114.0	--	.47	37.0	1896.
6.50	83.5	123.5	--	.47	39.1	2004.
7.00	88.0	133.0	--	.47	41.3	2112.
7.50	92.5	142.5	--	.51	47.1	2220.
8.00	97.0	152.0	160.0	.55	53.4	1592.
8.50	101.5	161.5	160.0	.55	55.8	1602.
9.00	106.0	171.0	160.0	.55	58.3	1611.
9.50	110.5	180.5	160.0	.55	60.8	1621.
10.00	115.0	190.0	160.0	.55	63.3	1630.
10.50	119.5	199.5	160.0	.54	64.0	1640.
11.00	124.0	209.0	160.0	.49	61.1	1649.
11.50	128.5	218.5	--	.47	60.2	3084.
12.00	133.0	228.0	--	.47	62.3	3192.
12.50	137.5	237.5	--	.47	64.5	3300.
13.00	142.0	247.0	--	.47	66.6	3408.
13.50	146.5	256.5	--	.47	68.7	3516.
14.00	151.0	266.0	--	.47	70.8	3624.
14.50	155.5	275.5	--	.47	72.9	3732.
15.00	160.0	285.0	--	.86	137.5	3840.
15.50	164.5	294.5	--	1.22	200.0	5000.
16.00	169.0	304.0	--	1.18	200.0	5000.
16.50	173.5	313.5	--	1.15	200.0	5000.
17.00	178.0	323.0	--	1.12	200.0	5000.

pag./ 7

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	28 di 30

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
17.50	182.5	332.5	--	1.10	200.0	5000.
18.00	187.0	342.0	--	1.07	200.0	5000.
18.50	191.5	351.5	--	1.04	200.0	5000.
19.00	196.0	361.0	--	1.02	200.0	5000.
19.50	200.5	370.5	--	1.00	200.0	5000.
20.00	205.0	380.0	--	.98	200.0	5000.
20.50	209.5	389.5	--	.95	200.0	5000.
21.00	214.0	399.0	--	.93	200.0	5000.
21.50	218.5	408.5	--	.92	200.0	5000.
22.00	223.0	418.0	--	.90	200.0	5000.
22.50	227.5	427.5	--	.88	200.0	5000.
23.00	232.0	437.0	--	.86	200.0	5000.
23.50	236.5	446.5	--	.85	200.0	5000.
24.00	241.0	456.0	--	.83	200.0	5000.
24.50	245.5	465.5	--	.81	200.0	5000.
25.00	250.0	475.0	--	.80	200.0	5000.

zz = Profondita' da piano campagna  
S'v = Tensione verticale efficace  
Sv = Tensione verticale totale  
Cu = Coesione non drenata  
Tau = Tensione di adesione laterale limite  
qb = Portata di base limite unitaria

pag./ 8

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	1886.	0.	1886.	846.
.50	52.	1897.	3.	1945.	874.
1.00	108.	1907.	7.	2008.	905.
1.50	168.	1918.	10.	2076.	938.
2.00	225.	1778.	14.	1989.	902.
2.50	284.	1900.	17.	2168.	985.
3.00	348.	2022.	20.	2350.	1070.
3.50	416.	2144.	24.	2537.	1157.
4.00	488.	2266.	27.	2727.	1246.
4.50	564.	2389.	31.	2922.	1337.
5.00	645.	2511.	34.	3122.	1432.
5.50	742.	1801.	37.	2505.	1160.
6.00	845.	1811.	41.	2615.	1216.
6.50	952.	1822.	44.	2730.	1274.
7.00	1064.	1833.	48.	2850.	1335.
7.50	1181.	1843.	51.	2974.	1397.
8.00	1302.	1854.	54.	3101.	1462.
8.50	1421.	1865.	58.	3228.	1526.
9.00	1534.	3488.	61.	4961.	2310.
9.50	1649.	3610.	64.	5195.	2422.
10.00	1769.	3732.	68.	5433.	2537.
10.50	1892.	3854.	71.	5675.	2653.
11.00	2020.	3977.	75.	5922.	2772.
11.50	2151.	4099.	78.	6172.	2892.
12.00	2287.	4221.	81.	6426.	3015.
12.50	2455.	4343.	85.	6714.	3155.
13.00	2803.	5655.	88.	8370.	3923.
13.50	3180.	5655.	92.	8743.	4118.

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI04

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0400001	A	29 di 30

14.00	3557.	5655.	95.	9117.	4313.
14.50	3934.	5655.	98.	9490.	4508.

pag./ 9

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO SINATRA stratigrafia 2 PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	4311.	5655.	102.	9864.	4703.
15.50	4688.	5655.	105.	10238.	4898.
16.00	5065.	5655.	109.	10611.	5093.
16.50	5442.	5655.	112.	10985.	5288.
17.00	5819.	5655.	115.	11358.	5483.
17.50	6196.	5655.	119.	11732.	5678.
18.00	6573.	5655.	122.	12106.	5873.
18.50	6950.	5655.	126.	12479.	6068.
19.00	7327.	5655.	129.	12853.	6263.
19.50	7704.	5655.	132.	13226.	6458.
20.00	8081.	5655.	136.	13600.	6653.
20.50	8458.	5655.	139.	13974.	6848.
21.00	8835.	5655.	143.	14347.	7043.
21.50	9212.	5655.	146.	14721.	7238.
22.00	9589.	5655.	149.	15094.	7433.
22.50	9966.	5655.	153.	15468.	7628.

Lp = Lunghezza utile del palo  
 Ql1 = Portata laterale limite  
 Qb1 = Portata di base limite  
 Wp = Peso efficace del palo  
 Qu = Portata totale limite  
 Qd = Portata di progetto =  $Ql1/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

## 7. APPENDICE B: PARAMETRO $\alpha_M$ E MOMENTO LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO LPAL

### 7.1 D=1200 mm

LINEA FERRANDINA MATERA  
VI SINATRA stratigrafia 2 D1200

Lunghezza palo Lp = 15.00 m  
 Diametro palo D = 1.20 m  
 Modulo elastico palo Ep = 30000000. kPa  
 Rigidezza flessionale palo EJ = 3053629. kN\*m<sup>2</sup>

Definizione del modulo di reazione del terreno E

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.00	15000.0
9.50	120000.0
40.00	120000.0

Azioni/Spostamenti a testa palo

Forza orizzontale To = 100.00 kN  
 Rigidezza a traslazione Kyo = 0. kN/m  
 Rotazione Rpo = .000 mRad

Sollecitazioni, deformazioni e pressioni mobilitate  
lungo il fusto del palo

prof. m	T kN	M kN*m	Yp mm	Rp mRad	Pr kN/m
.00	100.04	-240.36	.636	.000	9.95
.47	94.80	-194.64	.628	.033	12.66
.94	88.43	-151.61	.605	.060	15.35
1.41	80.51	-111.99	.572	.080	17.48
1.88	72.05	-76.21	.531	.095	18.98
2.34	62.73	-44.55	.485	.104	19.82
2.81	53.39	-17.37	.435	.108	20.03
3.28	44.16	5.43	.383	.109	19.66
3.75	34.49	24.03	.333	.107	18.78
4.50	21.83	45.24	.255	.098	16.53
5.25	10.50	57.16	.186	.086	13.59
6.00	1.51	61.43	.127	.071	10.35
6.75	-5.03	59.89	.080	.056	7.14
7.50	-9.55	54.32	.043	.042	4.22
8.75	-12.04	40.24	.003	.023	.38
10.00	-10.96	25.43	-.016	.009	-1.89
11.25	-7.86	13.40	-.022	.001	-2.60
13.13	-3.40	2.81	-.019	-.003	-2.24
15.00	.00	.00	-.011	-.004	-1.38