

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 VI09**

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 9 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 e Gestione delle Varianti  
Piazz. Italia, 100 - 00187 Roma  
Direzione degli Investimenti della Provincia di Roma  
N° 22/19

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 .....	9
3.3 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	10
3.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	18
4. PALIFICATE DI FONDAZIONE .....	19
4.1 CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	19
4.1.1 <i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo</i> .....	19
4.1.2 <i>Calcolo della capacità portante</i> .....	19
4.2 MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO .....	23
4.3 PARAMETRO $A_M$ E ANDAMENTO DEL MOMENTO LUNGO IL PALO.....	23
4.4 CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI.....	25
5. VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....	26
6. APPENDICE A: VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI. TABULATI DI CALCOLO PAL ..	28
6.1 PALO D=1200 MM P9.....	28
7. APPENDICE B: PARAMETRO $A_M$ E MOMENTO LUNGO IL PALO. TABULATI DI CALCOLO LPAL .....	33
7.1 D=1200 MM .....	33

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	3 di 33

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la caratterizzazione geotecnica finalizzata alla verifica delle fondazioni del Viadotto esistente La Copeta (VI09) 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;
- [DC1]. IA5F03D09RGVI0000001A – Relazione descrittiva sulle fondazioni.
- [DC2]. B1. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Relazione geologica geotecnica idrogeologica sugli studi per la scelta del tracciato e per il progetto definitivo. Dicembre, 1984.
- [DC3]. B2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Planimetria ubicazione tracciati ed indagini. Dicembre, 1984.
- [DC4]. B5.1. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Stratigrafie dei sondaggi A. Dicembre, 1984.
- [DC5]. B5.2. Linea Ferrandina – Matera Centrale. Stratigrafie dei sondaggi S. Dicembre, 1984.
- [DC6]. 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 16+190.296 e km 16+790.238.

In corrispondenza dell'opera è disponibile un sondaggio della vecchia campagna indagine del 1984 (S12) ed una indagine sismica Masw12.

Per meglio definire i parametri geotecnici di progetto ed il livello di falda sono documentati anche i sondaggi della campagna integrativa del 2018/2019, elencati nella seguente tabella.

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
S10 DH 50	30.0	140.949	1	4	3	2	1	-	DH [30]
S12 PZ 30	30.0	187.135	4	-	9	2	2	-	TA[3;12]
S9 PZ 30	30.0	146.967	3	1	7	2	1	1	TA[1;6]
S11 DH 50	50.0	134.58	-	7	1	2	-	2	DH [50]
S CH VII1	24.0	176.856	2	1	7	2	1	-	CH [24]
Masw12	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Non si hanno misure piezometriche nelle vicinanze del viadotto.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi di riferimento.

**PROGETTO DEFINITIVO**

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
 VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	6 di 33

**Tabella 1 – Laboratorio indagini 2018/2019**

Sondaggio	-	S12_PZ_30	S12_PZ_30	S12_PZ_30	S12_PZ_30	S12_PZ_30	S12_PZ_30	S9_PZ_30	S9_PZ_30	S9_PZ_30	S9_PZ_30	S9_PZ_30
<b>Campione</b>	-	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Spt1	Spt2	Cl1	Cl2	Cl3	spt3	CR1
<b>Tipo</b>	-	ind	ind	ind	ind	rim	rim	ind	ind	ind	rim	rim
<b>Unità</b>	-	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	ASP	GRA
<b>Prof.</b>	m	3.30	12.15	18.15	27.15	1.70	4.70	3.20	12.35	21.10	0.00	15.58
<b>Granulometria</b>												
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	
S	%	1.0	1.0	1.0	3.0	2.0	2.0	19.0	2.0	4.0	3.0	
L +A	%	99.0	99.0	99.0	97.0	98.0	98.0	78.0	98.0	96.0	97.0	
L	%	40.0	48.0	47.0	47.0	42.0	44.0	40.0	52.0	47.0	42.0	
A	%	59.0	51.0	52.0	50.0	56.0	54.0	38.0	46.0	49.0	55.0	
<b>Limiti di Atterberg</b>												
W <sub>L</sub>	%	66.0	57.0	57.0	61.0			37.0	49.0	51.0		
W <sub>P</sub>	%	31.0	30.0	29.0	30.0			20.0	22.0	30.0		
I <sub>L</sub>	-	1.06	1.20	1.15	1.21			1.05	0.90	1.32		
I <sub>P</sub>	%	35.0	27.0	28.0	31.0			17.0	27.0	21.0		
<b>Caratteristiche fisiche</b>												
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	18.7	19.5	19.5	19.7			18.8	19.1	19.6		
w <sub>N</sub>	%	28.9	24.6	24.8	23.6			19.1	24.7	23.4		
e	-											
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>												
σ <sub>c</sub>	MPa											2.8
<b>Resistenza non drenata</b>												
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa			210.2					234.8			
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa											
<b>Resistenza drenata</b>												
(TD) c	kPa	26.7		30.9	33.7			23.3				
(TD) f	°	20.7		21.2	21.0			23.7				
(TX-CIU) c	kPa									42.1		
(TX-CIU) f	°									25.1		

Sondaggio	-	S10_DH_50						
<b>Campione</b>	-	Cl1	SPT1	SPT2	CR1	CR2	CR3	CR4
<b>Tipo</b>	-	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim
<b>Unità</b>	-	ASP	ASP	ASP	GRA	Cc	Cc	Cc
<b>Prof.</b>	m	3.00	1.50	4.50	8.20	14.45	18.65	26.30
<b>Granulometria</b>								
G	%	0.0	0.0	0.0				
S	%	4.0	1.0	4.0				
L +A	%	96.0	99.0	96.0				
L	%	46.0	48.0	41.0				
A	%	50.0	51.0	55.0				
<b>Limiti di Atterberg</b>								
W <sub>L</sub>	%	57.0						
W <sub>P</sub>	%	28.0						
I <sub>L</sub>	-	1.17						
I <sub>P</sub>	%	28.5						
<b>Caratteristiche fisiche</b>								
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.7			23.8	25.9	26.6	26.1
w <sub>N</sub>	%	23.5						
e	-	0.660						
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>								
σ <sub>c</sub>	MPa				18.6		52.2	41.4
<b>Resistenza non drenata</b>								
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa							
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa							
<b>Resistenza drenata</b>								
(TD) c	kPa							
(TD) f	°							
(TX-CIU) c	kPa	32.1						
(TX-CIU) f	°	24.3						

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	7 di 33

Sondaggio	-	S14_DH_50	S14_DH_50	S_CH_VI11	S_CH_VI11	S_CH_VI11	S14_DH_50	S14_DH_50	S14_DH_50	S14_DH_50	S14_DH_50
Campione	-	CR1	CR2	Cl1	Cl2	CR1	Cl1	Cl2	Cl3	Spt1	Spt2
Tipo	-	rim	rim	ind	ind	rim	ind	ind	ind	rim	rim
Unità	-	GRA	GRA	ASP							
Prof.	m	26.50	37.15	3.20	12.20	20.60	3.20	12.20	18.10	0.00	0.00

**Granulometria**

G	%			0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0
S	%			1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	4.0	5.0	2.0
L + A	%			99.0	99.0	99.0	96.0	99.0	96.0	95.0	97.0
L	%			41.0	41.0		42.0			48.0	
A	%			58.0	58.0		54.0			47.0	

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%			64.0	61.0		65.0	61.0	50.0		
$W_P$	%			31.0	31.0		30.0	31.0	27.0		
$I_G$	-			0.90	1.12		0.98	1.14			
$I_P$	%			33.0	30.0		35.0	30.0			

**Caratteristiche fisiche**

$\gamma_N$	kN/m <sup>3</sup>	19.6	19.4	17.8	19.0	20.4	18.2	19.0	20.3		
$w_N$	%			34.2	27.5	20.7	30.7	26.9	20.6		

**Resistenza a compressione monoassiale**

$\sigma_c$	MPa	0.7									
------------	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Resistenza non drenata**

(TX-UU) $c_u$	kPa				143.3				207.4		
(TX-ELL) $c_u$	kPa					217.9					

**Resistenza drenata**

(TD) c	kPa			30.7	32.8			31.1			
(TD) f	°			21.0	21.4			21.2			
(TX-CIU) c	kPa						37.3				
(TX-CIU) f	°						24.9				

(segue da pagina precedente)

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	8 di 33

**Tabella 2 - Laboratorio indagini 1984**

SONDAGGIO	m	fs	fsat	γ	ω	LL	IP	Ic	S	Reca qu	totw Cw	G	S	L	A	WFB	WEL Cw	UU Cw	Cw Cw	
A28	15	2.71			18.7	43	24	102			0	29	28	43	A7.6		3.02			
	40	2.69	2.14	2.12	17.4	37	18	106	96		2.7	55	16	25	A6		3.8			
	70	2.74			16.6	44	24.7	108			0	21	30	48	A7.6	0		16	3.6	
	80	2.72	2.2	2.20	15.7	39	22	108	99	>6	>2.7	0	37	25	37	A6	0		15	2.7
	90	2.73	2.17	2.16	12.5	48	28	108	98			0	20	34	46	A7.6	4.24			
	110	2.73	2.19	2.18	16.5	51	33	105	98	>6	>2.7	0	20	33	46	"	0		24	5
A116	80	2.76	2.13	2.12	20	40	22	0.88	98	>6	>2.7	0	20	32	47	A7.6		2.3		
	90	2.75	2.16	2.16	18	50	32	102	98	>6	>2.7	0	17	35	47	"	4.7		15.2	5
	100	2.74	2.19	2.18	17	42	24	1.05	99	>6	>2.7	0	30	28	42	"	1.54			
A27	10	2.75		2.10	20	50	30	0.97		3/6	>2.7	0	16	34	49	A7.6	0		26	1.7
	30	2.76	2.12	2.11	20	48	29	0.98	97	>6	>2.7	0	20	34	45	"	1.07		12	3
	60	2.76	2.20	2.18	16.4	43	24	1.12	96.5	>6	>2.7	0	12	37	50	"	0		28	2.5
	80	2.75	2.17	2.16	17.5	44	25	1.07	97	>6	>2.7	0	16	36	47	"	3.45		17.5	8.4
	100	2.76	2.19	2.18	16.4	45	24	1.17	95.6	>6	>2.7	0	17	36	46	"	0		30	8
A18	10	2.73	2.11	2.11	20.7	50	28	1.06	100	>6	>2.7	0	8	39	52	"	2.82		3.3	3.1
	15	2.76	2.12	2.11	19.7	49	28	1.06	96	>6	>2.7	0	14	35	50	"	0		33	4
	20	2.77			25	51	20	0.83		17/5	0.7/2.5	0	10	36	53	"		0.9		
	30	2.77	2.13	2.12	20	52	30	1.05	99	>6	>2.7	0	12	36	52	"	2.65		13	5.4
	40	2.77	2.09	2.08	21.4	54	32	1.02	96	4.2	>2.7	0	5.8	37	57	"	0		19	3
A26	6	2.76	2.04	2.04	25.3	54	30	0.93	100	>6	>2.7	0	4.7	34	61	"	1.54		28.7	4
	15	2.76	2.08	2.07	21.8	48	28	0.95	96	>6	>2.7	3	16	31	52	"	0		35	>3.1
	30	2.78			20	48	27	1.04		>6	>2.7	0	12	38	49	"	4.5		4.1	5.3
S1	5	2.75	1.99	1.99	28	67	42	0.91	99.8			0	3	39	58	"	0.54		25	1.5
	15	2.75	2.05	2.03	23	48	27	0.89	96	>6	>2.7	0	10	33	57	"	3.50			OK
	25	2.77	2	1.98	26	52	29	0.89	95	4.5	1.5/3	0	6.7	36	57	"	1.6		8.3	2.5
S2	5	2.74	2.04	2.02	24	55	33	0.95	96.4	4.3	1.7	0	13	34	53	"	0.8		23	1.7
	14	2.76	2	1.99	27	54	29	0.92	98	>6	>2.7	0	1	35	64	"	0.28		4.5	>5.2
S10	5	2.78	2.03	2.01	24.5	68	42	1.04	98	>6	>2.7	0	7	36	63	"	3.03		1.5	3.1
	15	2.75	2	1.99	26.7	60	36	0.94	97	>6	>2.7	0	11	34	58	"	0.72		18	1.8
	25	2.77	2.05	2.02	23.6	51	29	0.91	94	>6	>2.7	0	14	30	55		2.9		15	5.3
S12	5	2.76	2	1.98	26	64	39	0.96	96	>6	>2.7	0	13	30	57	"	0		4.3	2
	10	2.74	1.99	1.99	27.1	62	36	0.96	98	>6	>2.7	0	11	35	53	"		5		
	15	2.77	2.10	2.10	21.3	47	25	0.99	100	>6	>2.7	0	4	44	52	"		4.8		
	20	2.75	2.06	2.05	23	51	29	0.95	97	>6	>2.7	0	12	32	55	"	1.2		17	3.5

### 3.2 Stratigrafia

L'unico sondaggio che ricade in corrispondenza del viadotto è quello della campagna d'indagine pregressa (S12), che evidenzia la presenza di argille limose e argilloso marnose dell'unità ASP (Argille subappennine) fino alla profondità di 21 m, come confermato anche dall'indagine sismica MASW12 della campagna di indagine intergrativa 2018/2019 che ha intercettato substrato roccioso (calcareniti di gravina - unità GRA) dai 23 m di profondità dal p.c..

Il livello di falda è assunto a cautelativamente a p.c..

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geologico nuovo con ubicazione del sondaggio S12 (OLD), Figura 1 e del profilo geologico del 1984, Figura 2

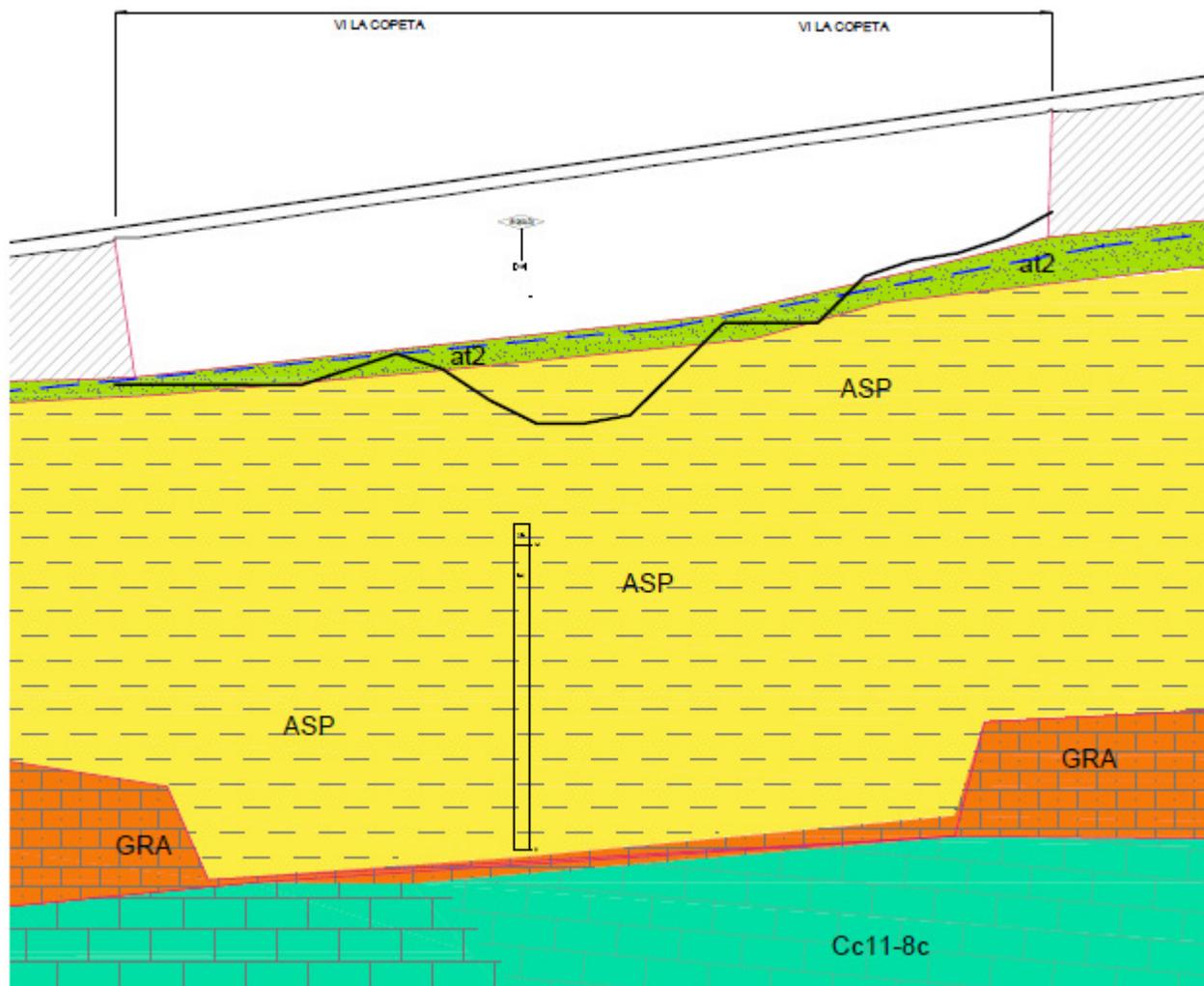
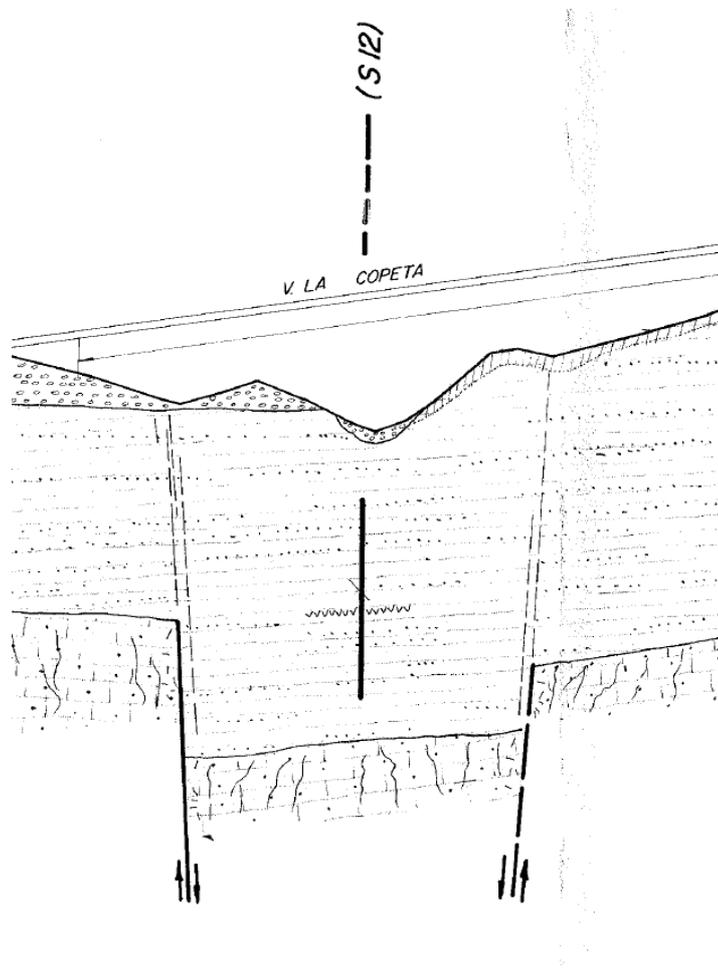


Figura 1 – Stralcio profilo geologico



**Figura 2 -Stralcio 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.

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate. Relativamente all'unità ASP per la caratterizzazione della resistenza al taglio in condizioni non drenate, ai fini della portanza dei pali esistenti, si è fatto riferimento ai risultati delle indagini di laboratorio del 1984 (vedasi **Tabella 2** e **Figura 8**).

#### 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
$\varphi' = 23 \div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	11 di 33

$c_u = 200 \div 500$  kPa                      resistenza al taglio in condizioni non drenate

$V_s = 200 \div 600$  m/s                      velocità delle onde di taglio

$G_o = 25 \div 350$  MPa                      modulo di deformazione a taglio iniziale

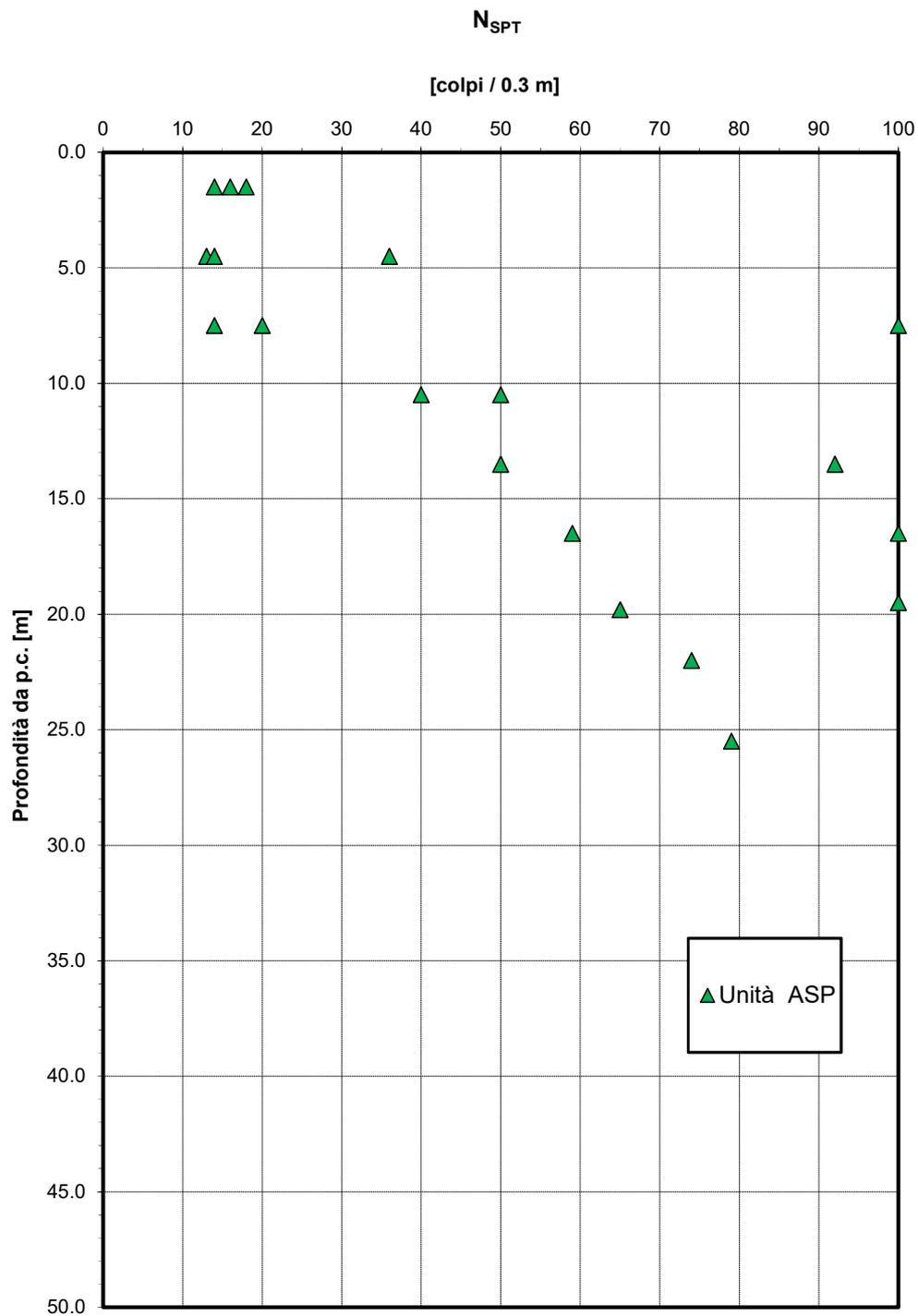
$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1+\nu)$                       modulo di deformazione elastico iniziale

Relativamente all' unità GRA (calcareniti di Gravina) non è stata caratterizzata, in quanto è intercettata a profondità maggiore di quella di interesse progettuale delle fondazioni.

**PROGETTO DEFINITIVO**

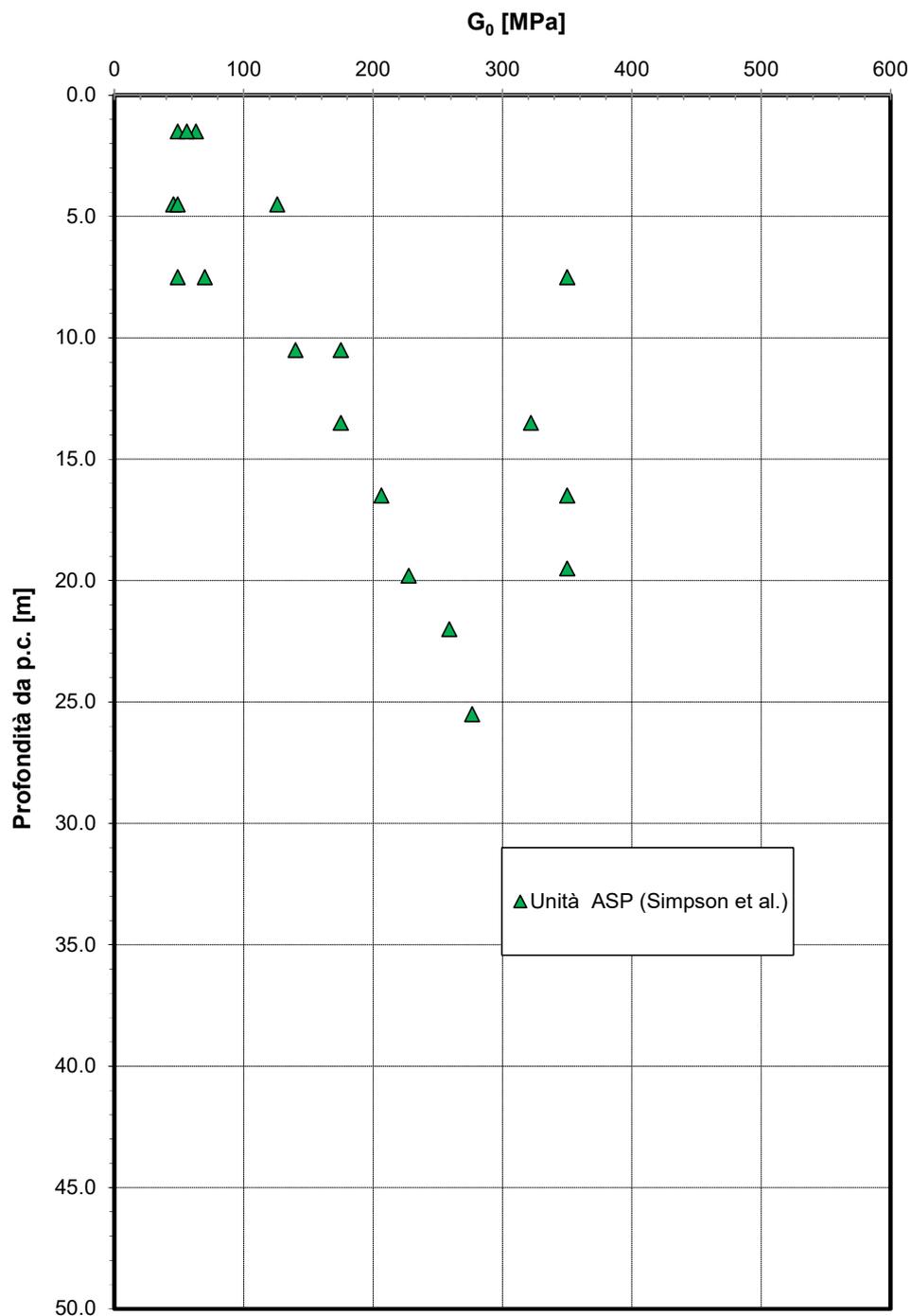
Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	12 di 33



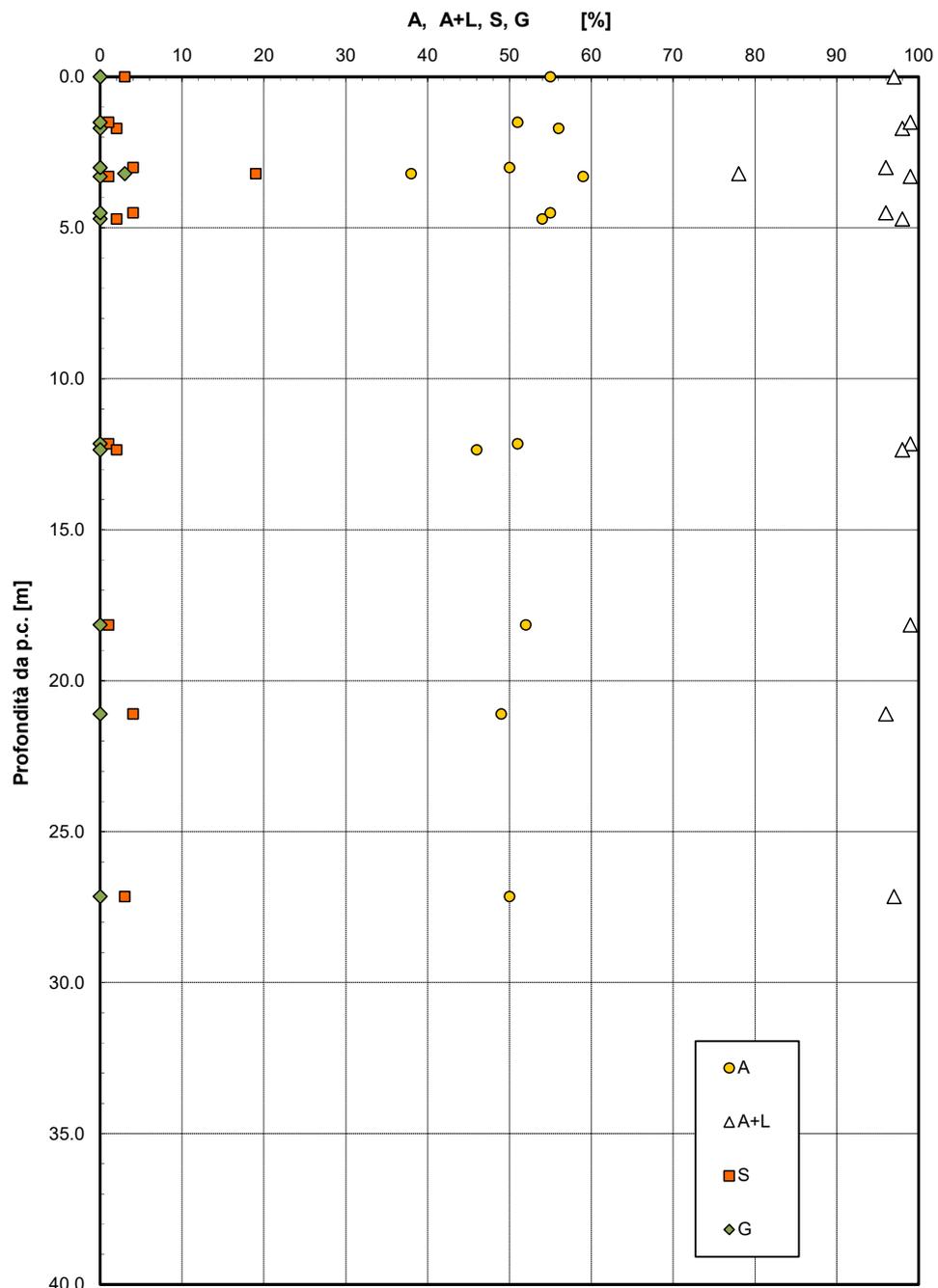
**Figura 3 – Valori di N<sub>SPT</sub>**

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

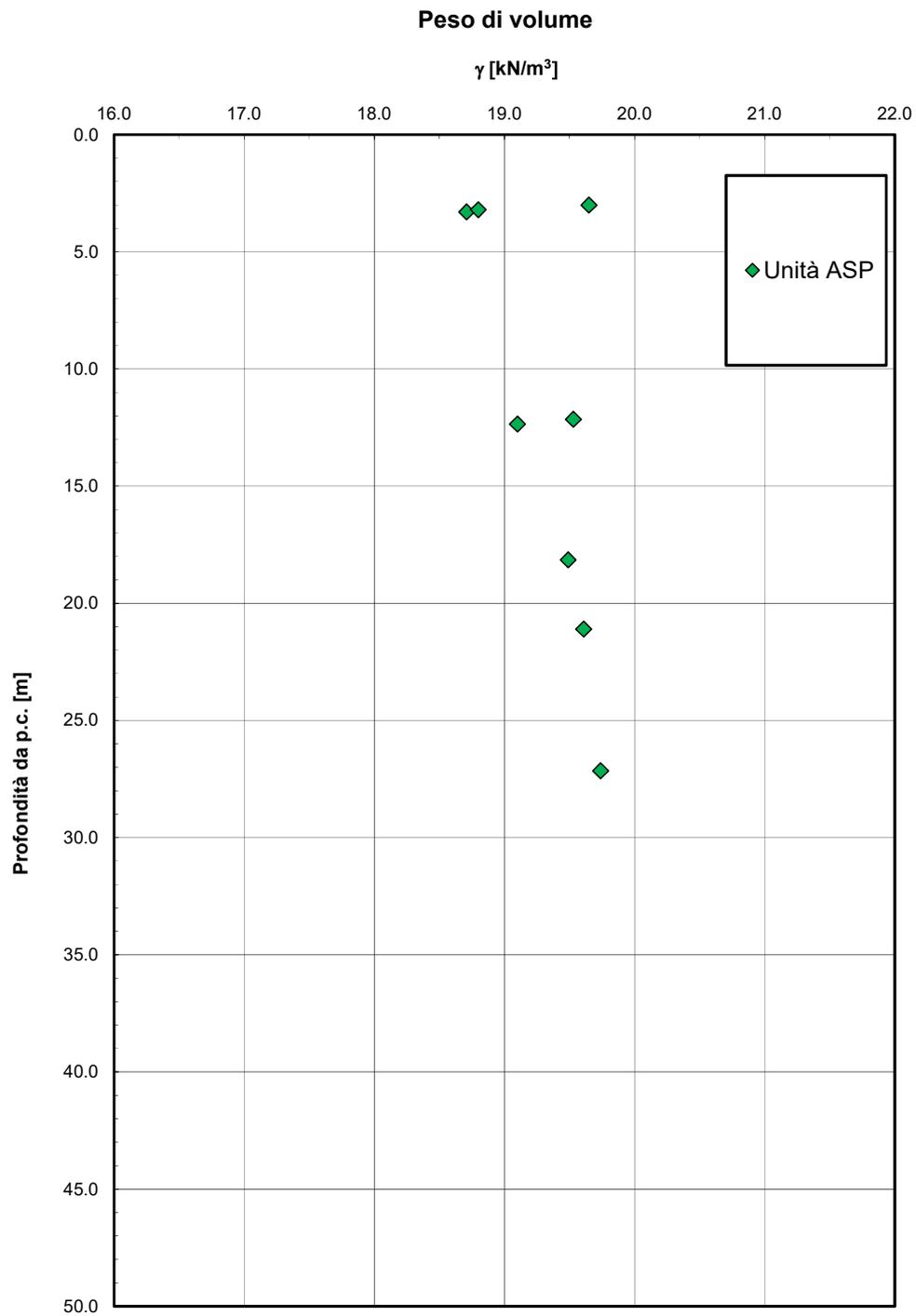


**Figura 4 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT**

**Granulometria unità ASP**



**Figura 5 – Granulometria - Unità ASP**



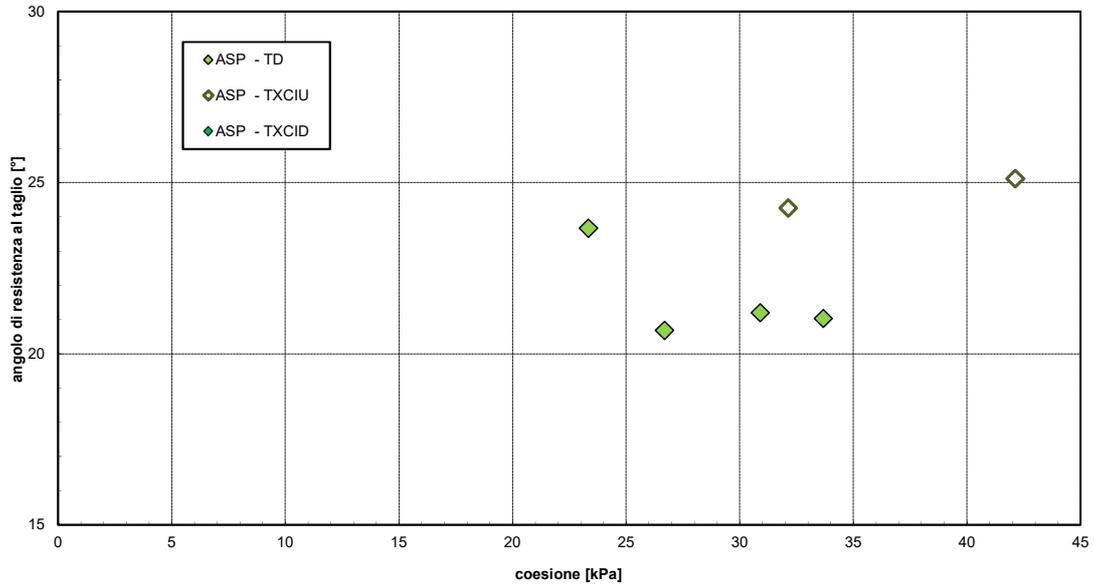
**Figura 6 – Peso di volume**

**PROGETTO DEFINITIVO**

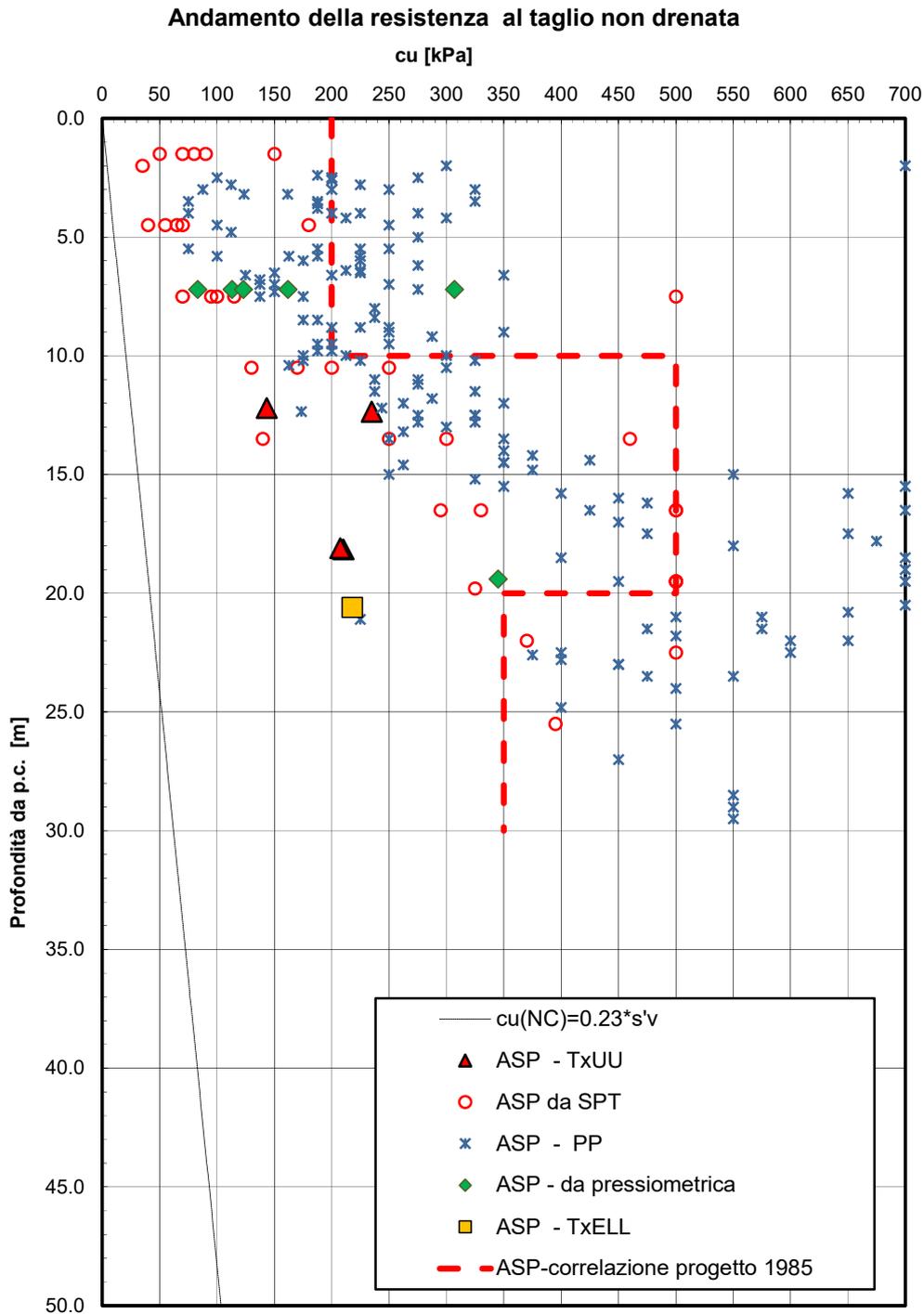
Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	16 di 33

*Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio*



**Figura 7 – Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio**



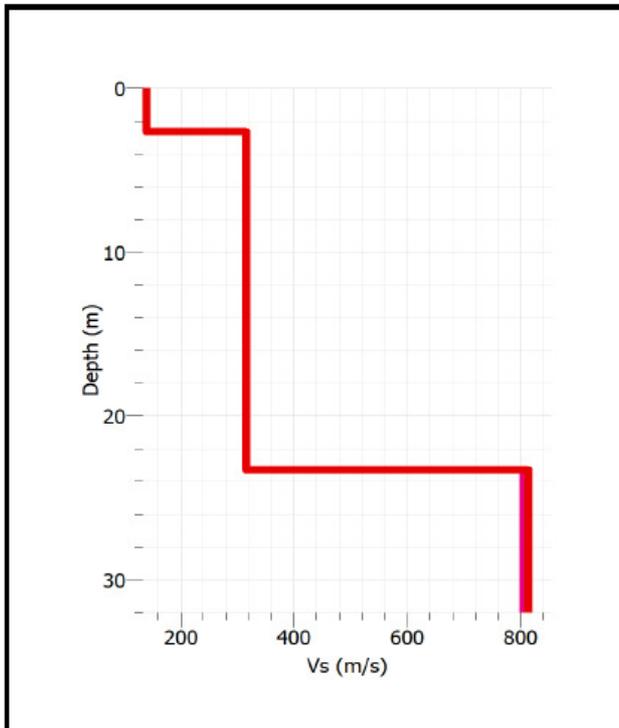
**Figura 8 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate**

### 3.4 Categoria di sottosuolo

Dall'indagine sismica Masw 12 si definisce una categoria di sottosuolo sismica di tipo E con  $V_{s,eq} = 281$  m/s (vedasi tabella seguente).

Tabella 3 – Masw12

#### PROFILO VELOCITA' ONDE DI TAGLIO



#### CALCOLO VS<sub>30</sub>

SPESSORE	PROFONDITA'	Vs	SPESSORE/Vs
2.5	0	140	0.017857143
20.5	2.5	320	0.0640625
	23		
			0.081919643

**$V_{Seq23} = 281$**

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

#### 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 dall'unico sondaggio eseguito in corrispondenza dell'opera S12 (campagna pregressa del 1984), ubicato vicino alla pila P9, che individua la presenza delle argille subappenniniche fino alla massima profondità investigata (21 m) e comunque confermata dalla sismica Masw12, che intercetta il substrato ( $V_s > 800$  m/s) a profondità di 23 m.

Nella seguente tabella si riporta la stratigrafia ed i parametri geotecnici principali per il calcolo della capacità portante dei pali. Per i valori di progetto della resistenza al taglio non drenata si è fatto riferimento ai risultati del laboratorio del sondaggio S12 del 1984, **Tabella 2**.

**Tabella 4 - VI09 – stratigrafia e parametri di calcolo – pila P9**

Profondità [m]	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$q_b$ [kPa]
da 0.0 a 30.0	ASP	19.0 ( $z < 7$ m) 19.5 ( $z > 7$ m)	200 ( $0.0 < z < 10.0$ m) 500 ( $10.0 < z < 20$ m) 350 ( $20 < z < 30$ m)	-	$9 \cdot c_u + \sigma_v$

Dove:  
 $\gamma$  = peso di volume naturale  
 $c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio  
 $q_b$  = portata limite di base

##### 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:

- $N$ . 1 verticali di indagine, da cui  $\xi_3 = 1.70$ ,
- $F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 1.96$ ).
- $F_{SB}$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.30$ ).

Inoltre si è considerato cautelativamente:

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

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

**Tabella 5 – VI09 - Capacità portante palo P9 D=1200 mm - A1+M1+R3**

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
 VIADOTTO LA COPETA 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.	2089.	0.	2089.	908.
.50	151.	2100.	3.	2248.	987.
1.00	302.	2111.	7.	2406.	1065.
1.50	452.	2122.	10.	2564.	1143.
2.00	603.	2132.	14.	2722.	1221.
2.50	754.	2143.	17.	2880.	1300.
3.00	905.	2154.	20.	3038.	1378.
3.50	1056.	2165.	24.	3197.	1456.
4.00	1206.	2175.	27.	3355.	1534.
4.50	1357.	2186.	31.	3513.	1612.
5.00	1508.	2197.	34.	3671.	1691.
5.50	1659.	2208.	37.	3829.	1769.
6.00	1810.	2218.	41.	3987.	1847.
6.50	1960.	2229.	44.	4145.	1925.
7.00	2111.	2240.	48.	4304.	2003.
7.50	2271.	2251.	51.	4471.	2087.
8.00	2488.	2269.	54.	4632.	2169.
8.50	2714.	2286.	58.	4797.	2250.
9.00	2941.	2302.	61.	4967.	2330.
9.50	3167.	2317.	64.	5142.	2410.
10.00	3393.	2332.	68.	5322.	2490.
10.50	3619.	2347.	71.	5507.	2570.
11.00	3845.	2362.	75.	5697.	2650.
11.50	4072.	2377.	78.	5892.	2730.
12.00	4298.	2392.	81.	6092.	2810.
12.50	4524.	2407.	85.	6297.	2890.
13.00	4750.	2422.	88.	6507.	2970.
13.50	4976.	2437.	92.	6722.	3050.
14.00	5202.	2452.	95.	6942.	3130.
14.50	5429.	2467.	98.	7167.	3210.
15.00	5655.	2482.	102.	7397.	3290.
15.50	5881.	2497.	105.	7632.	3370.
16.00	6107.	2512.	109.	7872.	3450.
16.50	6333.	2527.	112.	8117.	3530.
17.00	6560.	2542.	115.	8367.	3610.
17.50	6786.	2557.	119.	8622.	3690.
18.00	7012.	2572.	122.	8882.	3770.
18.50	7238.	2587.	126.	9147.	3850.
19.00	7464.	2602.	129.	9417.	3930.
19.50	7691.	2617.	132.	9692.	4010.
20.00	7917.	2632.	136.	9972.	4090.
20.50	8143.	2647.	139.	10257.	4170.
21.00	8369.	2662.	143.	10547.	4250.
21.50	8595.	2677.	146.	10842.	4330.
22.00	8822.	2692.	149.	11142.	4410.
22.50	9048.	2707.	153.	11447.	4490.
23.00	9274.	2722.	156.	11757.	4570.
23.50	9500.	2737.	159.	12072.	4650.
24.00	9726.	2752.	163.	12392.	4730.
24.50	9953.	2767.	166.	12717.	4810.
25.00	10179.	2782.	170.	13047.	4890.
25.50	10405.	2797.	173.	13382.	4970.
26.00	10631.	2812.	176.	13722.	5050.
26.50	10857.	2827.	180.	14067.	5130.
27.00	11084.	2842.	183.	14417.	5210.

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	21 di 33

27.50	11310.	4219.	187.	15342.	7418.
28.00	11536.	4230.	190.	15575.	7535.
28.50	11762.	4241.	193.	15809.	7651.
29.00	11988.	4252.	197.	16043.	7768.
29.50	12215.	4263.	200.	16277.	7885.
30.00	12441.	4274.	204.	16511.	8002.
30.50	12667.	4285.	207.	16745.	8119.
31.00	12893.	4296.	210.	16978.	8235.
31.50	13119.	4307.	214.	17212.	8352.
32.00	13345.	4318.	217.	17446.	8469.
32.50	13572.	4329.	221.	17680.	8586.

Lp = Lunghezza utile del palo

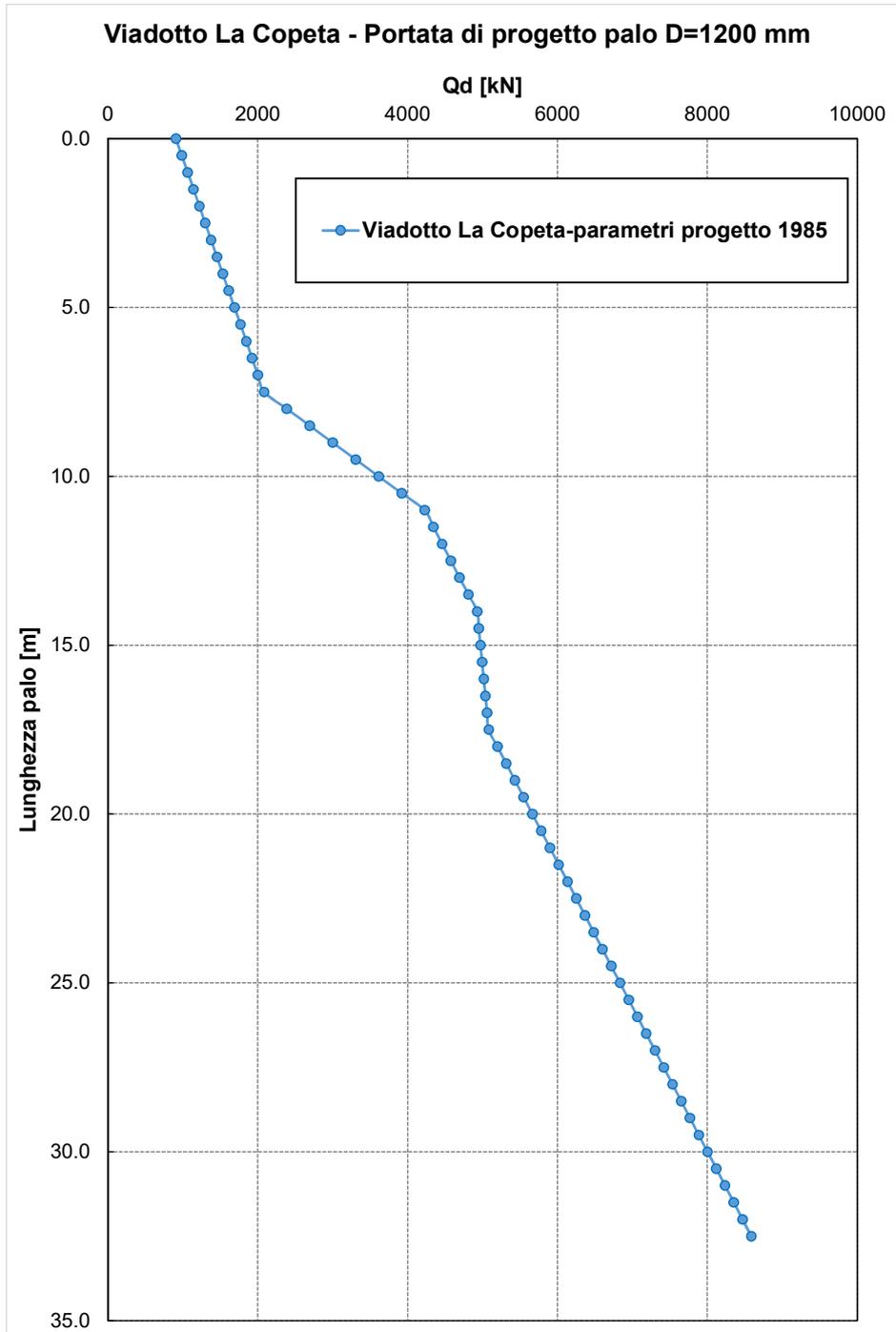
Ql1 = Portata laterale limite

Qb1 = Portata di base limite

Wp = Peso efficace del palo

Qu = Portata totale limite

Qd = Portata di progetto =  $Q_{l1}/FS,1 + Q_{b1}/FS,b - W_p$



**Figura 9 – Capacità portante palo D=1200 mm P9**

## 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:

- nei depositi coesivi:  $E_{MR} = \xi \cdot c_u \leq E_{MR,max}$  con  $\xi = 350$ ;  $c_u =$  definito come da Tabella 4;  $E_{MR,max}: 120000 \text{ kN/m}^2$ .
- Nel substrato roccioso: si assume il valore massimo  $E_{MR,max}: 120000 \text{ kN/m}^2$ .

Si riporta di seguito il profilo del modulo di reazione orizzontale palo-terreno, definito da testa palo (a 2.5 m da p.c.):

Prof. m	E kN/m <sup>2</sup>
.00	24500.0
2.50	24500.0
2.51	35000.0
11.50	84000.0
11.51	105000.0
17.50	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  $\alpha_m = M_o / H_o$  ed a seguire l'andamento di taglio e momento lungo il palo. La valutazione è stata fatta con riferimento ad una lunghezza palo indicativa di 20 m e applicando un taglio a testa palo  $H_o=100$  kN.

**Tabella 6 – VI09 - Valori di  $\alpha_m$** 

VI09	$\alpha_m$ [m]
D=1200mm	-2.42

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 7 – Andamento di taglio e momento lungo il palo D=1200 mm – VI09**

 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	100.03	-242.16	.731	.000	19.19
.63	88.10	-183.40	.717	.043	18.82
1.25	76.64	-131.97	.679	.076	17.83
1.88	65.93	-87.49	.624	.098	16.39
2.50	56.26	-49.37	.558	.112	14.66
3.13	47.75	-16.97	.486	.119	12.76
3.75	40.38	10.48	.411	.119	10.80
4.38	34.27	33.72	.338	.115	8.87
5.00	21.40	51.99	.269	.106	20.70
6.00	5.46	64.97	.172	.086	13.28
7.00	-4.82	64.56	.097	.065	7.46
8.00	-10.08	56.59	.042	.045	3.25
9.00	-11.85	45.27	.006	.028	.45
10.00	-11.32	33.42	-.016	.015	-1.20
11.67	-8.40	16.56	-.029	.002	-2.21
13.33	-4.81	5.62	-.026	-.004	-2.01
15.00	-1.81	.20	-.018	-.005	-1.38
17.50	.25	-1.16	-.005	-.005	-.40
20.00	.00	.00	.006	-.004	.69

#### 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  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.7 = 2.21$  (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:  $H_d = H_{lim} / 2.21$ .

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 di progetto ( $H_d$ ) valutati per diverse lunghezze palo.

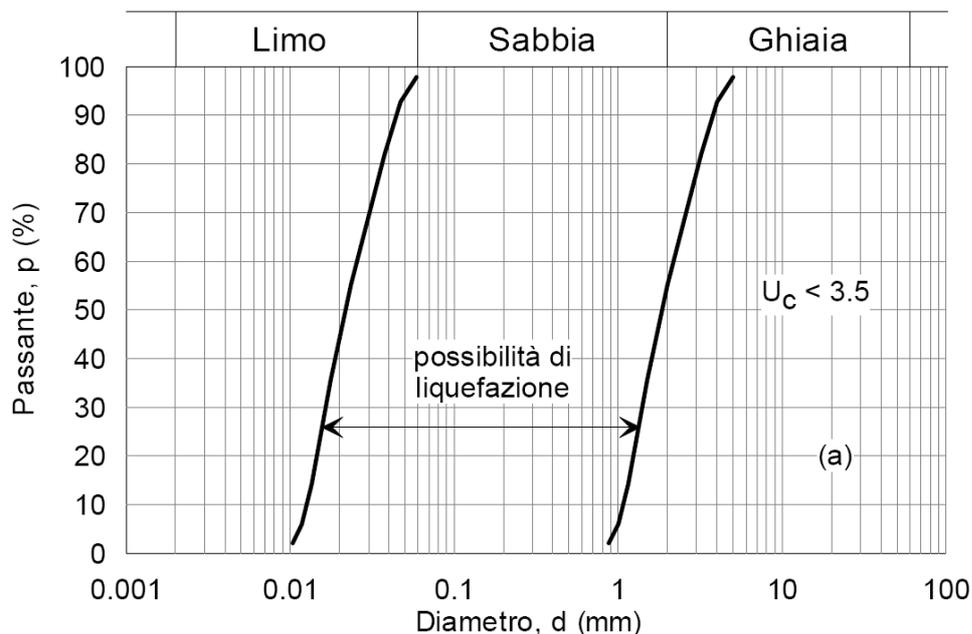
Fondazioni	Diametro palo [mm]	L palo [m]	Cu [kPa] (media)	Hlim [kN]	Hd [kN]
SPALLE	1200	21.0	220	3179.79	1438.8
PILE	1200	15.0	190	1619.97	733.0

## 5. VERIFICA RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

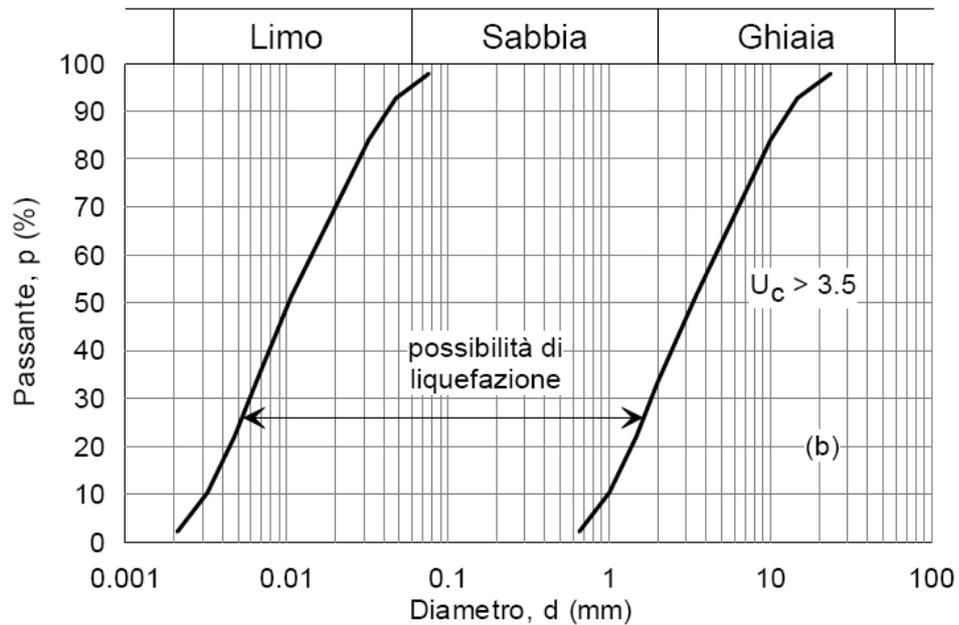
In questo capitolo si valuta il rischio di potenziale liquefazione dei terreni del sito in esame, problematica che si pone quando la falda freatica si trova in prossimità del piano campagna ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti 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 10 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 11 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



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



**Figura 11. 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 i terreni di fondazione sono costituiti prevalentemente da deposito argilloso marnoso da consistente a molto duro ed in profondità da calcareniti.

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

### 6.1 Palo D=1200 mm P9

\*\*\* 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 LA COPETA PORTANZA PALO D=1200- A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c. = 2.50 m  
Quota falda da p.c. = .00 m  
Peso di volume del palo = 6.00 kN/m<sup>3</sup>  
Fattore di sicurezza portata laterale = 1.96 (FS,l)  
Fattore di sicurezza portata di base = 2.30 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"  
quando la  $Q_{b,i}$  ad esso attribuibile e' superiore a quella degli  
strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno:  $3.0 * 1.200 = 3.60$  m  
entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno:  $3.0 * 1.200 = 3.60$  m  
sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di  $Q_b$  viene assunta lineare dal passaggio di strato



**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	30 di 33

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./ 5

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO LA COPETA 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	22.5	47.5	200.0	3.56	80.0	1848.
3.00	27.0	57.0	200.0	2.96	80.0	1857.
3.50	31.5	66.5	200.0	2.54	80.0	1867.
4.00	36.0	76.0	200.0	2.22	80.0	1876.
4.50	40.5	85.5	200.0	1.98	80.0	1886.
5.00	45.0	95.0	200.0	1.78	80.0	1895.
5.50	49.5	104.5	200.0	1.62	80.0	1905.
6.00	54.0	114.0	200.0	1.48	80.0	1914.
6.50	58.5	123.5	200.0	1.37	80.0	1924.
7.00	63.0	133.0	200.0	1.27	80.0	1933.
7.50	67.5	142.5	200.0	1.19	80.0	1943.
8.00	72.0	152.0	200.0	1.11	80.0	1952.
8.50	76.5	161.5	200.0	1.05	80.0	1962.
9.00	81.0	171.0	200.0	.99	80.0	1971.
9.50	85.5	180.5	200.0	.94	80.0	1981.
10.00	90.0	190.0	200.0	1.11	100.0	1990.
10.50	94.8	199.8	500.0	1.27	120.0	2385.
11.00	99.5	209.5	500.0	1.21	120.0	2781.
11.50	104.3	219.3	500.0	1.15	120.0	3176.
12.00	109.0	229.0	500.0	1.10	120.0	3572.
12.50	113.8	238.8	500.0	1.05	120.0	3967.
13.00	118.5	248.5	500.0	1.01	120.0	4363.
13.50	123.3	258.3	500.0	.97	120.0	4758.
14.00	128.0	268.0	500.0	.94	120.0	4768.
14.50	132.8	277.8	500.0	.90	120.0	4778.
15.00	137.5	287.5	500.0	.87	120.0	4788.
15.50	142.3	297.3	500.0	.84	120.0	4797.
16.00	147.0	307.0	500.0	.82	120.0	4807.
16.50	151.8	316.8	500.0	.79	120.0	4817.
17.00	156.5	326.5	500.0	.77	120.0	4834.
17.50	161.3	336.3	500.0	.74	120.0	4851.
18.00	166.0	346.0	500.0	.72	120.0	4867.
18.50	170.8	355.8	500.0	.70	120.0	4884.
19.00	175.5	365.5	500.0	.68	120.0	4901.
19.50	180.3	375.3	500.0	.67	120.0	4918.
20.00	185.0	385.0	500.0	.65	120.0	4935.
20.50	189.8	394.8	350.0	.63	120.0	4952.
21.00	194.5	404.5	350.0	.62	120.0	4969.
21.50	199.3	414.3	350.0	.60	120.0	4986.
22.00	204.0	424.0	350.0	.59	120.0	4993.
22.50	208.8	433.8	350.0	.57	120.0	5000.
23.00	213.5	443.5	350.0	.56	120.0	5007.
23.50	218.3	453.3	350.0	.55	120.0	5014.
24.00	223.0	463.0	350.0	.54	120.0	5021.
24.50	227.8	472.8	350.0	.53	120.0	5028.
25.00	232.5	482.5	350.0	.52	120.0	5035.
25.50	237.3	492.3	350.0	.51	120.0	5042.

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	31 di 33

26.00	242.0	502.0	350.0	.50	120.0	3652.
26.50	246.8	511.8	350.0	.49	120.0	3662.
27.00	251.5	521.5	350.0	.48	120.0	3672.
27.50	256.3	531.3	350.0	.47	120.0	3681.
28.00	261.0	541.0	350.0	.46	120.0	3691.
28.50	265.8	550.8	350.0	.45	120.0	3701.
29.00	270.5	560.5	350.0	.44	120.0	3711.
29.50	275.3	570.3	350.0	.44	120.0	3720.
30.00	280.0	580.0	350.0	.43	120.0	3730.
30.50	284.8	589.8	350.0	.42	120.0	3740.
31.00	289.5	599.5	350.0	.41	120.0	3750.
31.50	294.3	609.3	350.0	.41	120.0	3759.
32.00	299.0	619.0	350.0	.40	120.0	3769.

pag./ 7

LINEA FS FERRANDINA MATERA  
VIADOTTO LA COPETA 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
32.50	303.8	628.8	350.0	.40	120.0	3779.
33.00	308.5	638.5	350.0	.39	120.0	3789.
33.50	313.3	648.3	350.0	.38	120.0	3798.
34.00	318.0	658.0	350.0	.38	120.0	3808.
34.50	322.8	667.8	350.0	.37	120.0	3818.
35.00	327.5	677.5	350.0	.37	120.0	3828.

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 LA COPETA 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.	2089.	0.	2089.	908.
.50	151.	2100.	3.	2248.	987.
1.00	302.	2111.	7.	2406.	1065.
1.50	452.	2122.	10.	2564.	1143.
2.00	603.	2132.	14.	2722.	1221.
2.50	754.	2143.	17.	2880.	1300.
3.00	905.	2154.	20.	3038.	1378.
3.50	1056.	2165.	24.	3197.	1456.
4.00	1206.	2175.	27.	3355.	1534.
4.50	1357.	2186.	31.	3513.	1612.
5.00	1508.	2197.	34.	3671.	1691.
5.50	1659.	2208.	37.	3829.	1769.
6.00	1810.	2218.	41.	3987.	1847.
6.50	1960.	2229.	44.	4145.	1925.
7.00	2111.	2240.	48.	4304.	2003.

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	32 di 33

7.50	2271.	2251.	51.	4471.	2087.
8.00	2488.	2698.	54.	5132.	2388.
8.50	2714.	3145.	58.	5802.	2695.
9.00	2941.	3592.	61.	6472.	3001.
9.50	3167.	4040.	64.	7142.	3308.
10.00	3393.	4487.	68.	7812.	3614.
10.50	3619.	4934.	71.	8482.	3921.
11.00	3845.	5381.	75.	9152.	4227.
11.50	4072.	5392.	78.	9386.	4344.
12.00	4298.	5404.	81.	9620.	4461.
12.50	4524.	5415.	85.	9854.	4577.
13.00	4750.	5426.	88.	10087.	4694.
13.50	4976.	5437.	92.	10321.	4811.
14.00	5202.	5448.	95.	10555.	4928.
14.50	5429.	5241.	98.	10571.	4950.
15.00	5655.	5033.	102.	10587.	4972.
15.50	5881.	4826.	105.	10602.	4994.
16.00	6107.	4619.	109.	10618.	5016.
16.50	6333.	4412.	112.	10634.	5038.
17.00	6560.	4205.	115.	10649.	5060.
17.50	6786.	3998.	119.	10665.	5082.
18.00	7012.	4009.	122.	10899.	5198.
18.50	7238.	4020.	126.	11133.	5315.
19.00	7464.	4031.	129.	11367.	5432.
19.50	7691.	4042.	132.	11600.	5549.
20.00	7917.	4053.	136.	11834.	5666.
20.50	8143.	4064.	139.	12068.	5783.
21.00	8369.	4075.	143.	12302.	5899.
21.50	8595.	4086.	146.	12536.	6016.
22.00	8822.	4097.	149.	12770.	6133.
22.50	9048.	4108.	153.	13003.	6250.
23.00	9274.	4119.	156.	13237.	6367.
23.50	9500.	4130.	159.	13471.	6483.
24.00	9726.	4141.	163.	13705.	6600.
24.50	9953.	4152.	166.	13939.	6717.
25.00	10179.	4163.	170.	14173.	6834.
25.50	10405.	4174.	173.	14406.	6951.
26.00	10631.	4185.	176.	14640.	7067.
26.50	10857.	4196.	180.	14874.	7184.
27.00	11084.	4208.	183.	15108.	7301.
27.50	11310.	4219.	187.	15342.	7418.
28.00	11536.	4230.	190.	15575.	7535.
28.50	11762.	4241.	193.	15809.	7651.
29.00	11988.	4252.	197.	16043.	7768.
29.50	12215.	4263.	200.	16277.	7885.
30.00	12441.	4274.	204.	16511.	8002.
30.50	12667.	4285.	207.	16745.	8119.
31.00	12893.	4296.	210.	16978.	8235.
31.50	13119.	4307.	214.	17212.	8352.
32.00	13345.	4318.	217.	17446.	8469.
32.50	13572.	4329.	221.	17680.	8586.

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 =  $Ql1/FS,1 + Qb1/FS,b - Wp$

**PROGETTO DEFINITIVO**

 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni  
 VI09

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	03	D09 GE	VI 0900001	A	33 di 33

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

### 7.1 D=1200 mm

 LINEA FERRANDINA MATERA  
 VI LA COPETA D1200

Lunghezza palo	Lp =	20.00	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	24500.0
2.50	24500.0
2.51	35000.0
11.50	84000.0
11.51	105000.0
17.50	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	100.03	-242.16	.731	.000	19.19
.63	88.10	-183.40	.717	.043	18.82
1.25	76.64	-131.97	.679	.076	17.83
1.88	65.93	-87.49	.624	.098	16.39
2.50	56.26	-49.37	.558	.112	14.66
3.13	47.75	-16.97	.486	.119	12.76
3.75	40.38	10.48	.411	.119	10.80
4.38	34.27	33.72	.338	.115	8.87
5.00	21.40	51.99	.269	.106	20.70
6.00	5.46	64.97	.172	.086	13.28
7.00	-4.82	64.56	.097	.065	7.46
8.00	-10.08	56.59	.042	.045	3.25
9.00	-11.85	45.27	.006	.028	.45
10.00	-11.32	33.42	-.016	.015	-1.20
11.67	-8.40	16.56	-.029	.002	-2.21
13.33	-4.81	5.62	-.026	-.004	-2.01
15.00	-1.81	.20	-.018	-.005	-1.38
17.50	.25	-1.16	-.005	-.005	-.40
20.00	.00	.00	.006	-.004	.69