

AUTOSTRADA (A11) : FIRENZE-PISA NORD

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA DEL TRATTO FIRENZE - PISTOIA

PROGETTO DEFINITIVO

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Tiziano Collotta Ord. Ingg. Lecco N. 122 RESPONSABILE UFFICIO APE	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Andrea Tanzi Ord. Ingg. Parma N. 1154 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO FIRENZE	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
---	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO					DATA: NOVEMBRE 2007	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE				n.	data
GT	codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	SCALA: -	1	GENNAIO 2008
1	11	110702		APE2001-2			2	DICEMBRE 2008

 ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Luca Scarafia	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	-
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	-
CONSULENZA A CURA DI :	-	UFFICIO GEI	-

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

SPEA Ingegneria Europea

SVINCOLO TERMINALE DI PERETOLA

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



INDICE

1	Introduzione	3
2	Documenti di riferimento	4
2.1	Elaborati di progetto	4
2.2	Normativa Tecnica	4
2.3	Bibliografia	4
3	Indagini geognostiche	6
3.1	Premessa	6
3.2	Indagini geotecniche disponibili	6
3.3	Indagini e prove in sito e prove di laboratorio	6
3.4	Criteri metodologici di interpretazione	8
3.4.1	Interpretazione della prove penetrometriche dinamiche (SPT)	8
3.4.2	Interpretazione delle prove penetrometriche statiche (CPTe)	9
4	Azione sismica	12
4.1	Categorie di suolo di fondazione	12
5	Caratterizzazione geotecnica	14
5.1	Viadotto Palagio – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento	14
5.2	Viadotto Indiano – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento	22
5.3	Sottovia ramapa asse m – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento	30
6	Appendice: Viadotto Palagio	36
6.1	V. Palagio, terreni coesivi	36
6.2	V. Palagio, terreni incoerenti	42
7	APPENDICE: Viadotto Indiano	45
7.1	V. Indiano, terreni coesivi	45
7.2	V. Indiano, terreni incoerenti	51
8	APPENDICE: Sottovia rampa asse “M”	54
8.1	Sottovia rampa, terreni coesivi	54
8.2	Sottovia rampa, terreni incoerenti	60

1 Introduzione

La presente relazione geotecnica illustra ed interpreta i risultati delle indagini geotecniche disponibili per il Progetto Definitivo lungo il tracciato dell'autostrada A1 Milano - Napoli, nel tratto dello Svincolo terminale di Peretola, interessato dalla realizzazione del Viadotto denominato "Palagio", del Viadotto denominato "Indiano", e del Sottovia denominato "rampa asse m".

Lo studio e la programmazione delle indagini geotecniche in sito ed in laboratorio sono state finalizzate:

- alla ricostruzione della stratigrafia in corrispondenza delle opere d'arte ed alla determinazione delle caratteristiche meccaniche ed idrauliche dei terreni, investigati fino ad una profondità coerente con la natura degli interventi;
- alla definizione del comportamento dei terreni di fondazione per sollecitazioni sia statiche che dinamiche;
- alla ricostruzione di un modello geotecnico del sottosuolo.

Per la descrizione delle caratteristiche delle opere si rimanda alle singole Relazioni Geotecniche.

2 Documenti di riferimento

2.1 Elaborati di progetto

GTA 002 Planimetria e profilo geologico;

2.2 Normativa Tecnica

[NT_1]. D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

[NT_2]. Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.

[NT_3]. Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 1 – "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"

[NT_4]. Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 4 – "Norme Tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni"

[NT_5]. Ordinanza n.3316 - Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03

[NT_6]. EN 1997 Eurocodice 7 "Geotechnical Design"

- Part 1: General rules
- Part 2: Standards for laboratory testing
- Part 3: Standards for field testing.

2.3 Bibliografia

[B1]. ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA [1984] - "Raccomandazioni sui pali di fondazione"

[B2]. BUSTAMANTE M. & DOIX B. (1985) - "Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés" Bulletin Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, n°140, nov.-déc., ref. 3047

[B3]. GROUP 6.0 for windows [2000] – Technical & User's manual – Ensoft Inc.

[B4]. LANCELLOTTA R. [1991] " Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.

[B5]. BOWLES J. E. [1991] - "Fondazioni – Progetto e Analisi" - Editore McGraw – Hill.

[B6]. PARATIE 6.2 for Windows – Manuale di riferimento – CEAS.

- [B7]. Duncan J.M. e Buchigani A.L. (1976) “*An Engineering Manuel for Settlement Studies*” Geotechnical Report of Civil Engineering Departement, university of California, Berkeley.
- [B8]. Mayne P.W. e G.J. Rix (1993) “*G_{max}-q_c Relationships for Clays*” Geotechnical Testing Journal ASTM, Vol. 16, 54-60.

3 Indagini geognostiche

3.1 Premessa

La ricostruzione delle caratteristiche geotecniche delle aree di intervento è stata acquisita sia dallo studio delle indagini geotecniche realizzate sul territorio, sia dai risultati della campagna di prove in sito ed in laboratorio specificatamente programmata.

3.2 Indagini geotecniche disponibili

I dati riportati nella presente relazione, nei profili e nelle sezioni stratigrafico-geotecniche/e sono stati desunti dai risultati delle indagini geotecniche condotte nell'area durante:

- le campagne di indagine pregresse del Progetto STRALCIO "GRANDE GIUBILEO 2000" (v. RELAZIONE GEOTECNICA SV-G01 del 10/98);
- la campagna di indagine pregresse del Progetto PROGETTO DEL PARCHEGGIO ATTREZZATO SERVIZI INFORMAZIONE INCONTRI STAZIONE AUTOLINEE FIRENZE NORD (v. RELAZIONE GEOTECNICA RG02 del 10/98);
- la nuova campagna di indagine integrativa effettuata nel 2007 in fase di Progetto Definitivo dello SVINCOLO DI PERETOLA.

3.3 Indagini e prove in sito e prove di laboratorio

Il programma della indagini in sito è illustrato nelle tavole di cui al Rif. 2.1.

In particolare la campagna d'indagine, eseguita dalla ditta Gea S.n.c. di Chiesina Uzzanese, consiste nella esecuzione di:

- n. 10 prove penetrometriche in avanzamento statico (CPT) di profondità massima pari a 15 m per complessivi 120 m lineari; sono contraddistinte dagli identificativi da P24 a P33 per distinguerle da quelle eseguite in precedenza contraddistinte dagli identificativi da P1 a P23;
la prova CPT consiste nella misura della resistenza alla punta e laterale all'infissione di una punta standard ogni 20 cm di profondità;
- n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (da S1 a S5) di profondità massima pari a 36 m per complessivi 165 m lineari;
le carote di terreno recuperate nel corso dei sondaggi sono state disposte in apposite cassette catalogatrici;

- n. 32 prove penetrometriche dinamiche SPT in avanzamento a fondo foro;
la prova SPT consiste nella misura del numero di colpi necessario all'infissione di un campionatore standard nel terreno per una profondità di 30 cm;
- n. 16 campioni indisturbati di terreno prelevati a varie profondità mediante idoneo campionatore infisso a pressione in corrispondenza dei sondaggi geognostici (n. 15 campioni) o in verticali adiacenti a quelle delle prove penetrometriche (n. 1 campione);
- n. 8 piezometri a "tubo aperto" installati in corrispondenza delle perforazioni di sondaggio (n. 5 piezometri) o penetrometriche (n. 3 piezometri) fino ad una profondità massima di 35 m dal p.c. per un totale di 175 m lineari; i piezometri sono stati protetti in superficie con appositi pozzetti di ispezione.

Le prove di laboratorio sui campioni prelevati, eseguite dalla Igetecma S.a.s. di Firenze, sono consistite in:

- n. 16 determinazioni del peso di volume naturale e secco;
- n. 6 determinazioni dei limiti di consistenza e delle proprietà indice;
- n. 4 analisi granulometriche;
- n. 12 prove di compressione ad espansione laterale libera (EEL);
- n. 3 prove di taglio diretto consolidato drenato (CD);
- n. 6 prove edometriche.

Di seguito si riassumono:

**CARATTERISTICHE
DEI SONDAGGI (S) E DELLE PENETROMETRIE STATICHE (P)**

N. PROVA	TIPO PROVA	PROFONDITA'. DAL BOCCAFFORO (m dal p.c.)	QUOTA DEL BOCCAFFORO (m s.l.m.)	PIEZOMETRO (profondità finestatura dal p.c.. in m)	n. CAMPIONI PRELEVATI
S1	S	36	38	6-35	4
S2	S	35	38	6-35	2
S3	S	35	38.5	6-28	2
S4	S	35	38.5	6-32	4
S5	S	24	37	6-20	3
P24	P	10	38	-	-
P25	P	10	37	-	-
P26	P	10	37	2-10	-
P27	P	10	38	-	-
P28	P	10	38.5	2-9	-
P29	P	15	38.5	1-6	-

P30	P	15	37	-	-
P31	P	15	38.5	-	1
P32	P	15	38	-	-
P33	P	10	37.5	-	-

3.4 Criteri metodologici di interpretazione

3.4.1 Interpretazione della prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Attraverso l'interpretazione dei dati delle prove dinamiche sono stati studiati e definiti i parametri dei terreni incoerenti.

I valori di NSPT misurati sono stati normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace in modo da ottenere N_1 , ovvero quello che corrisponde ad una s'_{vo} di 1 bar = 98 kPa; e rispetto all'effettivo rendimento energetico del sistema di battitura determinando $(N_1)_{60}$. Le suddette normalizzazioni sono effettuate utilizzando la seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \frac{ER}{60};$$

dove: NSPT=valore misurato; ER=rendimento energetico di battitura (ER = 60 % - adottato da Skempton 1986); C_N = coefficiente che normalizza il valore misurato alla pressione verticale efficace di 1 bar.

I valori di C_N possono essere valutati sulla base dei criteri formulati da Seed et al. 1983 e Liao e Withman (1986), in particolare Liao e Whitman (1986) propongono la seguente formula:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^{1/2};$$

con p_a pressione atmosferica.

Denver (1982) osserva che esistono diverse correlazioni tra NSPT ed il modulo di Young e che quelle più comunemente note sono una relazione lineare espressa dalla equazione:

$$E = s_1 N_{SPT} + s_2;$$

dove s_1 ed s_2 sono costanti. Nel presente caso di terreni incoerenti come sabbia e ghiaie non sono state prese in considerazione le seguenti costanti, secondo D'Appolonia et Al., 1970:

$$s_1 = 0.756 [MPa];$$

$$s_2 = 18.75 [MPa].$$

L'angolo di resistenza al taglio del materiale è stato valutato attraverso la correlazione diretta secondo quanto utilizzato dalle Road Bridge Specification (Yukitake Shioi e Jiro Fuhuni, 1982):

$$\varphi = \sqrt{15N_{SPT}} + 15.$$

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986) la Densità Relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} secondo la legge:

$$D_r (\%) = 100 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{32 + 0.288 \cdot \sigma'_{v0}}};$$

con σ'_{v0} è la pressione efficace e N_{SPT} numero dei colpi.

3.4.2 Interpretazione delle prove penetrometriche statiche (CPTe)

I valori delle resistenze alla punta per le prove CPTe eseguite sono riportati in APPENDICE 6, 7 e 8.

Per ciascuna delle prove penetrometriche statiche, a seconda del materiale incontrato, sono stati elaborati i grafici relativi ai parametri caratteristici:

- Materiali coesivi: coesione non drenata (C_u);
modulo di deformazione in condizioni non drenate (E_u);
modulo di Young (E');
modulo Edometrico (E_{ed});
modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0);
velocità onda di taglio V_s .

Il valore di resistenza al taglio in condizioni non drenate (C_u) per i terreni poco permeabili a grana fine è stato ricavato dalla:

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_c} \approx \frac{q_c}{20};$$

dove σ_v è la tensione litostatica verticale totale alla profondità della punta, ed N_c un coefficiente che in genere assume valori compresi tra 15 e 25.

Dal valore C_u della resistenza in sito è stato analizzato il grado di preconsolidazione OCR tramite la relazione (Koutsoftas e Ladd, 1985):

$$\frac{C_u}{\sigma_{v0}} = (0.22 \pm 0.03) \cdot OCR^{0.8}$$

Il modulo di deformazione in condizioni non drenate (E_u) è stato ricavato in accordo alla seguente correlazione (*Duncan J.M. e Buchigani A.L. (1976)*) Figura 1:

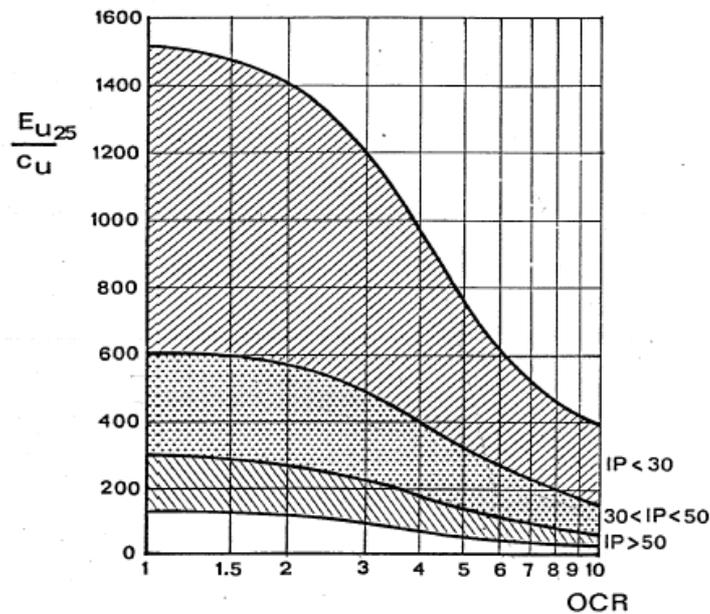


Figura 1: Variazione del rapporto E_u/C_u al variare dell'OCR

Il modulo elastico (E') è stato ricavato dalla correlazione (*Meigh e Corbett, 1969; Mitchell e Gardner, 1975*):

$$E' = \alpha \cdot q_c;$$

essendo α un fattore empirico compreso tra 5 ÷ 7. Nel presente studio α è stato assunto pari a 4,5, valore desunto dal confronto dei risultati dell'interpretazione delle prove con quelli dei test di laboratorio.

Il modulo edometrico (E_{ed}) è stato dedotto dal valore di modulo elastico attraverso la correazione:

$$E_{ed} = \frac{(1-\nu)E'}{(1+\nu)(1-2\nu)};$$

con ν coefficiente di Poisson = 0,15 ÷ 0,20.

La velocità delle onde di taglio nei terreni può essere ricavata in accordo alle seguenti relazioni che legano il modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0) alla resistenza alla punta q_c del penetrometro statico:

$$G_0 = 406(q_c)^{0.695} e^{-1.13} \quad (\text{Mayne P.W. e G.J. Rix (1993)}).$$

Nota G_0 e poi possibile ricavare V_s mediante il legame:

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.5};$$

con ρ densità del terreno.

Il modulo iniziale di Young è stato ricavato attraverso la:

$$E_{o1} = G_{o1} \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

con ν coefficiente di Poisson = 0,15 ÷ 0,20.

4 Azione sismica

La tratta in oggetto ricade nel territorio del Comune di Firenze, classificato in zona sismica 2, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3274 del 2003 e successive modifiche e integrazioni, contenute nell'ordinanza P.C.M. N° 3316.

Per il presente Comune si riporta di seguito i valori dell'accelerazione orizzontale a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da utilizzare nelle verifiche geotecniche in condizioni sismiche:

- FIRENZE (Cod. ISTAT 2001 09048017): 0.25 g.

Il valore di accelerazione assunto nel progetto dell'opera è $a_g = 0.15$ g.

4.1 Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

In mancanza di studi si può utilizzare la classificazione dei terreni descritta nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3274 del 2003, paragrafo 3.1.

La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_s . In particolare è di riferimento la V_{s30} , velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \left(\frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \right);$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Nella seguente Tabella 1 sono indicati i valori di V_{s30} dedotti dai dati a disposizione della velocità delle onde V_s di taglio.

Viadotto Palagio	$V_{s30} = f[G_0(\text{CPTE3})]$	$V_{s30} = f[G_0(\text{CPTE5})]$
Categoria suolo: B	507 (m/sec)	647 (m/sec)
Viadotto Indiano	$V_{s30} = f[G_0(\text{P32})]$	$V_{s30} = f[G_0(\text{P29})]$

Categoria suolo: C	231(m/sec)	251 (m/sec)
Sottovia rampa asse M	$V_{s30} = f[G_0(\text{CPT}1/1\text{bis})]$	$V_{s30} = f[G_0(\text{P}25)]$
Categoria suolo: B	439 (m/sec)	497 (m/sec)

Tabella 1: Vs30

Nella valutazione dell'azione sismica è stato assunto comunemente il coefficiente $S = 1,25$.

5 Caratterizzazione geotecnica

L'analisi delle indagini in sito e di laboratorio disponibili consente di firmulare la schematizzazione geotecnica di seguito illustrata.

5.1 Viadotto Palagio – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento

La stratigrafia di riferimento adottata per il dimensionamento e le verifiche geotecniche delle spalle e delle pile e muri andatori del **Viadotto Palagio** sono state ricavate, con richiamo alle indicazioni contenute negli elaborati di progetto di riferimento [par.2.1], e con richiamo alle indagini geotecniche eseguite in corrispondenza dell'opera, sintetizzate nella seguente Tabella 2.

Tabella 2: V. Palagio: indagini geognostiche di riferimento

sigla sondaggio/ prove in sito	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione TIPO
SV3	INTEGRATIVE	+39,173	40	sondaggio
SV4	INTEGRATIVE	+38,794	40	sondaggio
CPT3	INTEGRATIVE	+38,988	24	sondaggio/CPT
CPT5	INTEGRATIVE	+39,019	22	sondaggio/CPT
S3	NOV. 1998	-	35	sondaggio
S4	NOV. 1998	-	35	sondaggio
P28	NOV. 1998	-	10	CPT
P29	NOV. 1998	-	15	CPT
P31	NOV. 1998	-	15	CPT
P33	NOV. 1998	-	10	CPT

Le indagini geotecniche di riferimento sono riportate nella planimetria con ubicazione indagini e nel profilo geotecnico di caratterizzazione stratigrafica par 2.1.

Dall'osservazione del profilo stratigrafico longitudinale, in corrispondenza dell'opera è stata riscontrata la presenza delle seguenti formazioni:

- Strato 1: limoso sabbioso argilloso;
- Strato 2a: sabbia e ghiaia
- Strato 3: limo argilloso

- Strato 2b: ghiaia sabbiosa
- Strato 4: argilla molto consistente.

Utilizzando i sondaggi e le prove penetrometriche statiche in sito stata definita la seguente stratigrafia generale di progetto:

- Strato 1: da 0,0 a 3,5 m da p.c.:* Limo sabbio argilloso molto consistente con valori di $N_{SPT} = 9 \div 19$ colpi/30 cm e valor medio di 13 colpi/30 cm e valori di $q_c = 30 \div 50$ Kg/cm² e media di 35 Kg/cm². I valori di Pocket Penetrometer (P.P.) oscillano tra 2,2 e 6,0 Kg/cm² con una media di 3,7 Kg/cm²;
- Strato 2a: da 3,5 a 9,0/12,0 m da p.c.:* Sabbia e ghiaia sub arrotondata con valori di $N_{SPT} = 5 \div 44$ colpi/30 cm e valor medio di 13 colpi/30 cm; la $q_c = 180 \div 200$ Kg/cm²;
- Strato 3: da 9,0/12,0 a 23,5 m da p.c.:* Limo argilloso molto consistente con valori di $N_{SPT} = 6 \div 50$ colpi/30 cm e valor medio di 34 colpi/30 cm (17 valori); $q_c = 60 \div 50$ Kg/cm² (fino a – 15 m da p.c.). I valori di P.P. = 2,5 ÷ 5,6 Kg/cm² e valor medio di 4,2 Kg/cm²;
- Strato 2b: da 23,5 m a 28,5 m da p.c.:* Ghiaia media e fine addensata in matrice sabbiosa con 1 solo valore di $N_{SPT} = 77$ colpi/30cm;
- Strato 4: da 28,5 m a 40,0 m da p.c.:* Argilla grigia molto consistente con valori di P.P. = 2,9 ÷ 6,0 Kg/cm² e valor medio di 4,7 Kg/cm².

Il livello di falda assunto risulta cautelativamente a 4 ÷ 5 m dal piano campagna.

L'analisi dei dati a disposizione conduce alle successioni stratigrafiche riportate nelle seguenti Tabella 3 e Tabella 4, sviluppate sino alle profondità di interesse progettuale.

Per le verifiche di fondazione, la quota intradosso plinto è a +36,52 m. s l.m. per la Spalla A, e a +36,38 m. s l.m. per la Spalla B; per le pile la corrispondente quota di riferimento a base plinto è Pila 3 +36,78 m. s l.m...

Tabella 3: V. Palagio: Spalla, caratterizzazione stratigrafico geotecnica

Quota assoluta di riferimento: piano campagna + 36,38 m. s l.m.			
quota assoluta da p.c. [m. s l.m.]	profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
+38,9 ÷ +35,38	0 ÷ 3,5	3,5	Strato 1
+35,38 ÷ +27,88	3,5 ÷ 11	7,5	Strato 2a
+27,88 ÷ +15,38	11 ÷ 23,5	12,5	Strato 3
sotto quota +15,38	> 23,5	...	Strato 2b

Tabella 4: V. Palagio: Pila, caratterizzazione stratigrafico geotecnica

Quota assoluta di riferimento: piano campagna + 39,30 m. s l.m.			
quota assoluta da p.c. [m. s l.m.]	profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
+39,30 ÷ +35,80	0 ÷ 3,5	3,5	Strato 1
+35,80 ÷ +28,30	3,5 ÷ 11	7,5	Strato 2a
+28,30 ÷ +15,80	11 ÷ 23,5	12,5	Strato 3
sotto quota +15,80	> 23,5	...	Strato 2b

Tuttavia dall'osservazione dei documenti a disposizione le fondazioni su pali, nonché lo studio dei cedimenti indotti dai rilevati di approccio, sono stati verificati e dimensionati sulla base di una nuova stratigrafia. La stratigrafia di progetto adottata, e di seguito illustrata (Tabella 20), risulta unica per le fondazioni delle spalle e delle pile, ed adotta una parametrizzazione più conservativa.

Tabella 5: V. Palagio: Spalla e Pila, caratterizzazione stratigrafico geotecnica di progetto

Quota assoluta di riferimento in trado spalla + 38,88 m. s l.m.		
Quota assoluta di riferimento in trado pila + 39,30 m. s l.m.		
profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
0 ÷ 6,0	6,0	Strato 1
6,0 ÷ 12	6	Strato 2a
> 12,0	...	Strato 3

Analizzando tutte le indagini in sito e di laboratorio della campagna del 1998 e del 2007 è stato possibile definire tutti i parametri geotecnici di interesse.

Seguono i parametri geotecnici (Tabella 6, Tabella 7, Tabella 8, Tabella 9, Tabella 10):

Strato	γ	Granulometria	Limiti di Atterberg		Classificazione
			LL %	IP	
N°	KN/m ³	Arg.+Limo %			
1	19	60	30-32	11-13	CL
2a	20	16-17	18-22	3-2	-
3	20	74 ÷ 90	50 ÷ 70	26 ÷ 47	CH-CL
2b	20*	30	-	-	-
4	20	74	67	39	CL
* Dato estrapolato					

Tabella 6: V. Palagio: Caratteristiche generali

Strato		$C_u = f(N_{SPT})$ (NAV-FAC '82)	$C_u = f(P.P.)$	$C_u = q_{c/Nc}$	$C_u = f(\text{press.})$	$C_u = f(\text{lab.})$	Cu di prog.
N°		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	Intervallo	0,6 ÷ 1,2	1,1 ÷ 3,0	1,5 ÷ 2,5	-	-	
	media	0,9	1,8	1,7			1,5
3	Intervallo	0,7 ÷ >2,0	1,2 ÷ 3,0				
	media	2,0	2,1	3,0	2,2	1,9	2,0
4	Intervallo	-	1,5 ÷ 3,0	-	-		
	media		2,3			1,6	1,9

Tabella 7: V. Palagio: Parametri di resistenza al taglio non drenata dei terreni prevalentemente coesivi

Strato		$\Phi = f(N_{SPT})$ (Peck, Hanson e Thornburn '53)	$\Phi = f(q_c)$ Trefimenkov '74)	Φ di prog.	$E = f(N_{SPT})$ (D'Appolonia '70)	Kh (da prove Lefranc)
N°					t/m ²	cm/sec
2a	Intervallo	28° ÷ 40°	34° ÷ 36°		2.000 ÷ 4.300	
	media	35°	35°	35°	3.000	1*10 ⁻²
2b	Intervallo		-			
	media	40°		38°	5.000	7*10 ⁻³

Tabella 8: V. Palagio: Parametri di resistenza al taglio, deformabilità e permeabilità dei terreni prevalentemente granulari

Strato		$E = f(N_{SPT})$ (Begemann '74)	$E = f(\text{press.})$	$E = 0.8 E_{ed.}$	E di prog.
N°		t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²
1	Intervallo	450 ÷ 800	-	520 ÷ 560	
	media	600		540	600
3	Intervallo	360 ÷ 1700			
	media	1.250	3.150	720	1.200

4	Intervallo media	-	-	-	1.000*
* Dato estrapolato					

Tabella 9: V. Palagio: Parametri di deformabilità dei terreni prevalentemente coesivi

Strato	Cv	k	OCR(prove edometriche)	
N°	cm ² /sec	cm/sec	Prof. m da p.c.	Valore
1	1,0 ÷ 2,2*10 ⁻³	1,5 ÷ 4,0 *10 ⁻⁸	3.2	8.0
3	2,0*10 ⁻³ *	2,5*10 ⁻⁸ *	31.0	0.6
* Dato estrapolato				

Tabella 10: V. Palagio: Stato tensionale

Seguono i richiami delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi presenti (Tabella 11,

Tabella 12,

Tabella 13,

Tabella 14 e Tabella 15), e dei terreni-tipo utilizzati nelle valutazioni di progetto (Tabella 16):

Tabella 11: V. Palagio: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato1

γ_t (kN/m ³)	18,5
C _u (kPa)	120 (costante)
E (MPa)	6
Cv (cm ² /s)	1,5·10 ⁻³
k (cm/s)	2,1·10 ⁻⁸

Tabella 12: V. Palagio: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato2a

γ_t (kN/m ³)	19
ϕ' (°)	32 ÷ 35
c' (kPa)	0
E' (MPa)	25 ÷ 30
Kh (cm/sec)	$1 \cdot 10^{-2}$

Tabella 13: V. Palagio: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato3

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	16 - 24
c' (kPa)	10 - 25
c_u (kPa)	170 ÷ 250 ($C_u = 7z + 90$)
E (MPa)	12
C_v (cm ² /s)	$2 \cdot 10^{-3}$
k (cm/s)	$2,5 \cdot 10^{-8}$

Tabella 14: V. Palagio: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato2b

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	35 ÷ 38
c' (kPa)	0
E' (MPa)	50
Kh (cm/sec)	$7 \cdot 10^{-3}$

Tabella 15: V. Palagio: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato4

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	19
c' (kPa)	8
c_u (kPa)	190
E (MPa)	10
C_v (cm ² /s)	$2 \cdot 10^{-3}$
k (cm/s)	$2,5 \cdot 10^{-8}$

Tabella 16: V. Palagio: Spalle e Pile, caratterizzazione geotecnica di progetto

Strato 1, da 0 m a 6 m da piano imposta fondazione	
γ_t (kN/m ³)	19
ϕ' (°)	24
c' (KPa)	0
C_u (kPa)	60
E_u (MPa)	36
CR	0,10
RR	0,02
C_v (m ² /sec)	$1,5 * 10^{-7}$
Strato 2a, da 6 m a 12 m da piano imposta fondazione	
γ_t (kN/m ³)	19
ϕ' (°)	32
c' (KPa)	0
N_{SPT} (colpi/piede)	20
E' (MPa)	40
Strato 3, > 12 m da piano imposta fondazione	

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	24
c' (KPa)	(0) ÷ 10
C_u (kPa)	150
E_u (MPa)	60
CR	0,09
RR	0,025
C_v (m ² /sec)	$2,0 \cdot 10^{-7}$

con

γ = peso di volume;

ϕ' = angolo d'attrito;

c' = coesione intercetta;

C_u = coesione non drenata;

E' = modulo di Young operativo;

E_u = modulo elastico non drenato;

k = permeabilità;

C_v = coefficiente di consolidazione verticale;

CR = rapporto di compressione;

RR = rapporto di ricomprensione.

Ai fini delle verifiche geotecniche, i parametri indicati vengono considerati come:

- “parametri di progetto”, per le verifiche a fattore di sicurezza globale ai sensi della normativa previgente e in particolare ai sensi del DM 11.03.88 ([NT_1])
- “parametri caratteristici” per le verifiche agli stati limite, ai sensi degli Eurocodici 7 e 8, nonché della O.P.C.M. 3274.

In APPENDICE 6 si riportano in forma grafica i risultati dell'elaborazione dei dati di caratterizzazione per i terreni coesivi e per i terreni incoerenti, e il loro andamento con la profondità.

5.2 Viadotto Indiano – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento

La stratigrafia di riferimento adottata per il dimensionamento e le verifiche geotecniche delle spalle e delle pile e muri andatori del **Viadotto Indiano** sono state ricavate, con richiamo alle indicazioni contenute negli elaborati di progetto di riferimento [par.2.1], con richiamo alle indagini geotecniche eseguite in corrispondenza dell'opera, sintetizzate nella seguente Tabella 17.

Tabella 17: V. Indiano: indagini geognostiche di riferimento

sigla sondaggio/ prove in sito	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione TIPO
SV4	INTEGRATIVE	+38,794	40	sondaggio
SV5	INTEGRATIVE	+38,721	40	sondaggio
SV5bis	INTEGRATIVE	+38,547	20	sondaggio
SV6	INTEGRATIVE	+38,798	35	sondaggio
SV7	INTEGRATIVE	+38,561	35	sondaggio
S1	NOV. 1998	-	36	sondaggio
S2	NOV. 1998	-	35	sondaggio
S4	NOV. 1998	-	35	sondaggio
P29	NOV. 1998	-	15	CPT
P32	NOV. 1998	-	15	CPT

Le indagini geotecniche di riferimento sono riportate nella planimetria con ubicazione indagini e nel profilo geotecnico di caratterizzazione stratigrafica par 2.1.

Dall'osservazione del profilo stratigrafico longitudinale, in corrispondenza dell'opera è stata riscontrata la presenza delle seguenti formazioni:

- Strato 1: limo argilloso
- Strato 2a: sabbia e ghiaia
- Strato 3: limo argilloso
- Strato 2b: ghiaia sabbiosa
- Strato 4: argilla molto consistente.

Utilizzando i sondaggi e le prove penetrometriche statiche in sito stata definita la seguente stratigrafia generale di progetto:

Strato 1: da 0,0 a 2,0/4,0 m da p.c.: Limo sabbioso molto consistente con valori di $N_{SPT} = 5 \div 73$ colpi/30 cm e valor medio di 26 colpi/30 cm e valori di $q_c = 30 \div 40$ Kg/cm². I valori di Pocket Penetrometer (P.P.) oscillano tra 1,5 e 4,3 Kg/cm² con una media di 2,8 Kg/cm²;

Strato 2a: da 2,0/4,0 a 11,0 m da p.c.: Sabbia e ghiaia sub arrotondata con valori di $N_{SPT} = 5 \div 63$ colpi/30 cm e valor medio di 32 colpi/30 cm; la $q_c = 180 \div 200$ Kg/cm²;

Strato 3: da 11,0 a 22,0 m da p.c.: Limo argilloso molto consistente con valori di $N_{SPT} = 18 \div 64$ colpi/30 cm e valor medio di 40 colpi/30 cm (16 valori); $q_c = 50$ Kg/cm² (fino a – 15 m da p.c.). I valori di P.P. = 2,2 ÷ 6,0 Kg/cm² e valor medio di 4,6 Kg/cm²;

Strato 2b da 22,0 m a 27,0 m da p.c.: Ghiaia addensata in matrice sabbiosa con valori di $N_{SPT} = 61$ colpi/30cm ÷ Rif.;

Strato 4 da 27,0 m a 40,0 m da p.c.: Argilla grigia molto consistente con valori di P.P. = 2,9 ÷ 6,0 Kg/cm² e valor medio di 4,7 Kg/cm².

Il livello di falda assunto risulta cautelativamente a 4 ÷ 5 m dal piano campagna.

L'analisi dei dati a disposizione conduce alle successioni stratigrafiche riportate nelle seguenti Tabella 18 e Tabella 19, sviluppate sino alle profondità di interesse progettuale.

Per le verifiche di fondazione, la quota intradosso plinto è a +35,85 m. s l.m. per la Spalla A, e a +35,71 m. s l.m. per la Spalla B; per le pile la corrispondente quota di riferimento a base plinto è +37,86 m. s l.m..

Tabella 18: V. Indiano: Spalla, caratterizzazione stratigrafico geotecnica

Quota assoluta di riferimento: piano campagna + 38,20 m. s l.m.			
quota assoluta da p.c. [m. s l.m.]	profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
+38,2 ÷ +35,2	0 ÷ 3,0	3,0	Strato 1

+35,2 ÷ +27,2	3,0 ÷ 11,0	8,0	Strato 2a
+27,2 ÷ +16,2	11,0 ÷ 22,0	11,0	Strato 3
+26,2 ÷ +11,2	22,0 ÷ 27,0	5,0	Strato 2b

Tabella 19: V. Indiano: Pila, caratterizzazione stratigrafico geotecnica

Quota assoluta di riferimento: piano campagna + 37,90 m. s l.m.			
quota assoluta da p.c. [m. s l.m.]	profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
+37,9 ÷ +34,9	0 ÷ 3,0	3,0	Strato 1
+34,9 ÷ +26,9	3,0 ÷ 11,0	8,0	Strato 2a
+26,9 ÷ +15,9	11,0 ÷ 22,0	11,0	Strato 3
+15,9 ÷ +10,9	22,0 ÷ 27,0	5,0	Strato 2b

Tuttavia dall'osservazione dei documenti a disposizione le fondazioni su pali, nonché lo studio dei cedimenti indotti dai rilevati di approccio, sono stati verificati e dimensionati sulla base di una nuova stratigrafia. La stratigrafia di progetto adottata, e di seguito illustrata (Tabella 20), risulta unica per le fondazioni delle spalle e delle pile, ed adotta una parametrizzazione più conservativa.

Tabella 20: V. Indiano: Spalla e Pila, caratterizzazione stratigrafico geotecnica di progetto

Quota assoluta di riferimento intradosso spalla + 38,20 m. s l.m.		
Quota assoluta di riferimento intradosso pila + 37,90 m. s l.m.		
profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
0 ÷ 6,0	6,0	Strato 1
6,0 ÷ 11	5	Strato 2a
> 11,0	...	Strato 3

Analizzando tutte le indagini in sito e di laboratorio della campagna del 1998 e del 2007 è stato possibile definire tutti i parametri geotecnici di interesse.

Seguono i parametri geotecnici (Tabella 21, Tabella 22, Tabella 23, Tabella 24, Tabella 25):

Strato N°	γ KN/m ³	Granulometria Arg.+Limo %	Limiti di Atterberg		Classificazione
			LL %	IP	
1	19	91-98	45-56	17-32	CL-ML

2a	20	17-50	-	-	-
3	20	42 ÷ 94	42 ÷ 60	17 ÷ 45	CL-CH
2b	20*	-	-	-	-
4	20	94	57-67	30-41	CH
* Dato estrapolato					

Tabella 21: V. Indiano: Caratteristiche generali

Strato		$C_u = f(N_{SPT})$ (NAV-FAC '82)	$C_u = f(P.P.)$	$C_u = q_{c/Nc}$	$C_u = f(\text{press.})$	$C_u = f(\text{lab.})$	C_u di prog.
N°		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	Intervallo	0,3 ÷ >2,0	0,6 ÷ 2,1	1,5 ÷ 2,0	-	-	
	media	1,5	1,4	1,7			1,5
3	Intervallo	1,2 ÷ >2,0	1,1 ÷ 3,0			3,0-1,8-1,0-1,1- 1,3-1,5-1,6-0,8- 2,0	
	media	2,0	2,1	2,5	1,6	2,3	2,0
4	Intervallo	-	1,0 ÷ 3,0	-		1,2-1,4	
	media		2,2		1,9	1,3	1,5

Tabella 22: V. Indiano: Parametri di resistenza al taglio non drenata dei terreni prevalentemente coesivi

Strato		$\Phi = f(N_{SPT})$ (Peck,Hanson e Thornburn '53)	$\Phi = f(q_c)$ Trefimenkov '74)	Φ di prog.	$E = f(N_{SPT})$ (D'Appolonia '70)	Kh (da prove Lefranc)
N°					t/m ²	cm/sec
2a	Intervallo	28° ÷ 40°	34° ÷ 36°		2.000 ÷ 4.300	
	media	35°	35°	35°	3.000	1-1.6*10 ⁻²
2b	Intervallo		-			
	media	40°		38°	5.000	7*10 ⁻³

Tabella 23: V. Indiano: Parametri di resistenza al taglio, deformabilità e permeabilità dei terreni prevalentemente granulari

Strato		E = f(N _{SPT}) (Begemann '74)	E = f(press.)	E = 0.8 E _{Eed}	E di prog.
N°		t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²
1	Intervallo media	330 ÷ 2.400 1.000	-	-	800
3	Intervallo media	360 ÷ 2.140 1.420	2.000	880-680-640 730	1.200
4	Intervallo media	-	2.620	880-910 900	1.100

Tabella 24: V. Indiano: Parametri di deformabilità dei terreni prevalentemente coesivi

Strato	Cv	k	OCR (prove edometriche)	
N°	cm ² /sec	cm/sec	Prof. m da p.c.	Valore
1	1,5*10 ⁻³ *	2,5*10 ⁻⁸ *	3.2	7.9
3	0,15 - 6,0*10 ⁻⁴	0,5-1,3*10 ⁻⁸	13.0	1.5-1.9
4	1,9 - 5.8*10 ⁻⁴	1,7-5,0*10 ⁻⁹	28.0	1.1
			28.6	1.3
* Dato estrapolato				

Tabella 25: V. Indiano: Stato tensionale

Seguono i richiami delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi presenti (Tabella 26,

Tabella 27,

Tabella 28, Tabella 29 e Tabella 30), e dei terreni-tipo utilizzati nelle valutazioni di progetto (Tabella 31):

Tabella 26: V. Indiano: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato1

γ_t (kN/m ³)	19,0
---------------------------------	------

C _u (kPa)	80 (costante)
E (MPa)	8,0
C _v (cm ² /s)	1,5·10 ⁻³
k (cm/s)	2,5·10 ⁻⁸

Tabella 27: V. Indiano: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato2a

γ _t (kN/m ³)	19
φ' (°)	35
c' (kPa)	0
E (MPa)	30
k (cm/s)	1·10 ⁻²

Tabella 28: V. Indiano: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato3

γ _t (kN/m ³)	20
φ' (°)	19 ÷ 24
c' (kPa)	6.6 ÷ 23
c _u (kPa)	155÷225 (C _u = 7z + 70)
E (MPa)	12
C _v (cm ² /s)	3·10 ⁻³
k (cm/s)	1,0·10 ⁻⁸

Tabella 29: V. Indiano: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato2b

γ _t (kN/m ³)	20
-------------------------------------	----

ϕ' (°)	35 - 38
c' (kPa)	0
E (MPa)	50
k (cm/s)	$7 \cdot 10^{-3}$

Tabella 30: V. Indiano: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato4

γ_t (kN/m ³)	22
ϕ' (°)	19
c' (kPa)	8
c_u (kPa)	150
E (MPa)	11
C_v (cm ² /s)	$3 \cdot 10^{-4}$
k (cm/s)	$3,0 \cdot 10^{-9}$

Tabella 31: V. Indiano: Spalle e Pile, caratterizzazione geotecnica di progetto

Strato 1, da 0 m a 6 m da piano imposta fondazione	
γ_t (kN/m ³)	19
ϕ' (°)	24
c' (kPa)	0
c_u (kPa)	60
E_u (MPa)	36
CR	0,10
RR	0,02
C_v (m ² /sec)	$1,5 \cdot 10^{-7}$
Strato 2a, da 6 m a 11 m da piano imposta fondazione	

γ_t (kN/m ³)	19
ϕ' (°)	32
c'(KPa)	0
N _{SPT} (colpi/piede)	20
E' (MPa)	40
Strato 3, > 11 m da piano imposta fondazione	
γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	24
c'(KPa)	(0) ÷ 10
Cu (kPa)	150
Eu (MPa)	60
CR	0,09
RR	0,025
Cv (m ² /sec)	2,0 * 10 ⁻⁷

con

γ = peso di volume;

ϕ' = angolo d'attrito;

c' = coesione intercetta;

Cu = coesione non drenata;

E' = modulo di Young operativo;

Eu = modulo elastico non drenato;

k = permeabilità;

Cv = coefficiente di consolidazione verticale;

CR = rapporto di compressione;

RR = rapporto di ricomprensione.

Ai fini delle verifiche geotecniche, i parametri indicati vengono considerati come:

- “parametri di progetto”, per le verifiche a fattore di sicurezza globale ai sensi della normativa previgente e in particolare ai sensi del DM 11.03.88 ([NT_1])
- “parametri caratteristici” per le verifiche agli stati limite, ai sensi degli Eurocodici 7 e 8, nonché della O.P.C.M. 3274.

In APPENDICE 7 si riportano in forma grafica i risultati dell'elaborazione dei dati di caratterizzazione per i terreni coesivi e per i terreni incoerenti, e il loro andamento con la profondità.

5.3 Sottovia rampa asse m – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento

La stratigrafia di riferimento adottata per il dimensionamento e le verifiche geotecniche delle paratie a setto del **sottovia rampa “asse m”** sono state ricavate, con richiamo alle indicazioni contenute negli elaborati di progetto di riferimento [par.2.1], con riferimento alle indagini geotecniche eseguite in corrispondenza dell'opera, sintetizzate nella seguente Tabella 32.

Tabella 32: Sottovia: indagini geognostiche di riferimento

sigla sondaggio/ prove in sito	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione TIPO
SV1	INTEGRATIVE	+38,218	40	sondaggio
SV2	INTEGRATIVE	+36,803	35	sondaggio
CPTe1	INTEGRATIVE	+37,307	22	CPT
S5	NOV. 1998	-	24	sondaggio
P24	NOV. 1998	-	10	CPT
P25	NOV. 1998	-	10	CPT

Le indagini geotecniche di riferimento sono riportate nella planimetria con ubicazione indagini e nel profilo geotecnico di caratterizzazione stratigrafica par 2.1.

Dall'osservazione del profilo stratigrafico longitudinale, in corrispondenza dell'opera è stata riscontrata la presenza delle seguenti formazioni:

- Strato 1: limo argilloso;
- Strato 2: ghiaia sabbiosa;
- Strato 3: limo argilloso sabbioso

- Strato 4: argilla consistente.

Utilizzando i sondaggi e le prove penetrometriche statiche in sito stata definita la seguente stratigrafia generale di progetto:

Strato 1: da 0,0 a 24,0 m da p.c.: Limo argilloso molto consistente con valori di $N_{SPT} = 16 \div 31$ colpi/30 cm e valor medio di 25 colpi/30 cm (su 29 prove) e valori di $q_c = 40$ Kg/cm² (fino a – 10 m da p.c.). I valori di Pocket Penetrometer (P.P.) oscillano tra 2,2 e 6,0 Kg/cm² con una media di 4,8 Kg/cm²;

Strato 2: da 24,0 a 28,0 m da p.c.: Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa con valori di $N_{SPT} = 39$ colpi/30 cm e rifiuto;

Strato 3: da 28,0 a 33,0 m da p.c.: Limo argillo sabbioso con valori di P.P. = 2,0 ÷ 6,0 Kg/cm² e valor medio di 3,4 Kg/cm²;

Strato 4: da 33,0 m a 40 m da p.c.: Argilla grigia consistente con valori di P.P. = 2,3 ÷ 6,0 Kg/cm² e valor medio di 4,2 Kg/cm².

Il livello di falda assunto risulta cautelativamente a 4 ÷ 5 m dal piano campagna.

L'analisi dei dati a disposizione conduce alle successioni stratigrafiche di progetto riportate nella seguente Tabella 33, sviluppate sino alle profondità di interesse progettuale.

Tabella 33: Sottovia: caratterizzazione stratigrafico geotecnica

Quota assoluta di riferimento: piano campagna + 37,20 m. s l.m.			
quota assoluta da p.c. [m. s l.m.]	profondità da p.c. [m]	spessore strato [m]	sigla
+37,2 ÷ +13,2	0 ÷ 24,0	24,0	Strato 1
+13,2 ÷ +9,2	24,0 ÷ 28,0	4,0	Strato 2
+9,2 ÷ +4,2	28,0 ÷ 33,0	5,0	Strato 3

Tuttavia dall'esame dei documenti a disposizione le paratie a sbalzo e con copertura del Sottovia Rampa Asse "M" sono state verificate e dimensionate sulla base di una stratigrafia uniforme ed omogenea dalla risposta comportamentale sulla struttura più cautelativa.

Analizzando tutte le indagini in sito e di laboratorio della campagna del 1998 e del 2007 è stato possibile definire tutti i parametri geotecnici di interesse.

Seguono i parametri geotecnici (Tabella 34, Tabella 35, Tabella 36, Tabella 37, Tabella 38):

Strato N°	γ KN/m ³	Granulometria Arg.+Limo %	Limiti di Atterberg		Classificazione
			LL %	IP	
1	20	86-91	59-55-56-50	33-32-31-24	CH-CL
2	20	-	-	-	-
3	20	50-98	41-49	19-25	CL
4	20	83	44	21	CL

Tabella 34: Sottovia rampa: Caratteristiche generali

Strato N°		Cu = f(N _{SPT}) (NAV-FAC '82)	Cu = f(P.P.)	Cu = q _{c/Nc}	Cu = f(press.)	Cu = f(lab.)	Cu di prog.
		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	Intervallo	1,0 ÷ 2,0	1,1 ÷ 3,0	1,0 ÷ 3,0	1,4 ÷ 1,6	1,0 ÷ 1,4	
	media	1,6	2,4	2,0	1,5	1,1	1,5
3	Intervallo	-	1,0 ÷ 3,0	-	-	1,0 ÷ 1,1	
	media		1,7			1,0	1,7
4	Intervallo	-	1,1 ÷ 3,0	-	1,9	1,0 ÷ 1,0	
	media		2,1			1,0	1,9

Tabella 35: Sottovia rampa: Parametri di resistenza al taglio non drenata dei terreni prevalentemente coesivi

Strato N°	$\Phi = f(N_{SPT})$ (Peck,Hanson e Thornburn '53)	Φ di prog.	$E = f(N_{SPT})$ (D'Appolonia '70)	Kh (da prove Lefranc)
			t/m ²	cm/sec
2	38°	38°	4.300	9*10 ⁻³

Tabella 36: Sottovia rampa: Parametri di resistenza al taglio, deformabilità e permeabilità dei terreni prevalentemente granulari

Strato		$E = f(N_{SPT})$ (Begemann '74)	$E = f(\text{press.})$	$E = 0.8 E_{ed}$	E di prog.
N°		t/m ²	t/m ²	t/m ²	t/m ²
1	Intervallo media	700 ÷ 1.150 1.000	2.600 ÷ 3.270 2.900	660 ÷ 980 850	1.000
3	Intervallo media	-	-	670 ÷ 760 700	700
4	Intervallo media	-	2.850	760	1.000

Tabella 37: Sottovia rampa: Parametri di deformabilità dei terreni prevalentemente coesivi

Strato	Cv	k	OCR (prove edometriche)	
			Prof. m da p.c.	Valore
1	1,29 ÷ 3,3*10 ⁻⁴	0,95 ÷ 2,98*10 ⁻⁹	4.5	3.3
			14.0	1.8
			24	0.8
3	1,78 ÷ 2,14*10 ⁻³	1,83 ÷ 2,47*10 ⁻⁸	31	0.6

Tabella 38: Sottovia rampa: Stato tensionale

Segue la sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni presenti (Tabella 39,

Tabella 40,

Tabella 41 e Tabella 42), e dei litotipi utilizzati nelle valutazioni progettuali (Tabella 43):

Tabella 39: Sottovia: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato1

γ_t (kN/m ³)	20,0
ϕ' (°)	26
c'(KPa)	10

C_u (kPa)	80÷225 ($C_u = 6z + 80$)
E' (MPa)	15
C_v (cm ² /s)	$2 \cdot 10^{-4}$
k (cm/s)	$2 \cdot 10^{-9}$

Tabella 40: Sottovia: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato2

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	32 - 38
c' (kPa)	0
E' (MPa)	30 - 43
k (cm/s)	$9 \cdot 10^{-3}$

Tabella 41: Sottovia: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato3

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	26
c' (kPa)	7
c_u (kPa)	150 - 170
E' (Mpa)	12
k (cm/s)	$2 \cdot 10^{-8}$
C_v (cm ² /s)	$2 \cdot 10^{-3}$

Tabella 42: Sottovia: Caratterizzazione geotecnica dei materiali Strato4

γ_t (kN/m ³)	20
ϕ' (°)	26
c' (kPa)	5,5
c_u (kPa)	190
E' (Mpa)	10

Tabella 43: Sottovia: Caratterizzazione geotecnica dei materiali dello Strato Uniforme

γ_t (kN/m ³)	19
ϕ' (°)	26
c' (kPa)	10
E' (Mpa)	30

con

γ = peso di volume;

ϕ' = angolo d'attrito;

c' = coesione intercetta;

C_u = coesione non drenata;

k = permeabilità;

C_v = coefficiente di consolidazione verticale;

E = modulo di Young operativo.

Ai fini delle verifiche geotecniche, i parametri indicati vengono considerati come:

- “parametri di progetto”, per le verifiche a fattore di sicurezza globale ai sensi della normativa previgente e in particolare ai sensi del DM 11.03.88 ([NT_1])
- “parametri caratteristici” per le verifiche agli stati limite, ai sensi degli Eurocodici 7 e 8, nonché della O.P.C.M. 3274.

In APPENDICE 8si riportano in forma grafica i risultati dell'elaborazione dei dati di caratterizzazione per i terreni coesivi e per i terreni incoerenti, e il loro andamento con la profondità.

6 Appendice: Viadotto Palagio

6.1 V. Palagio, terreni coesivi

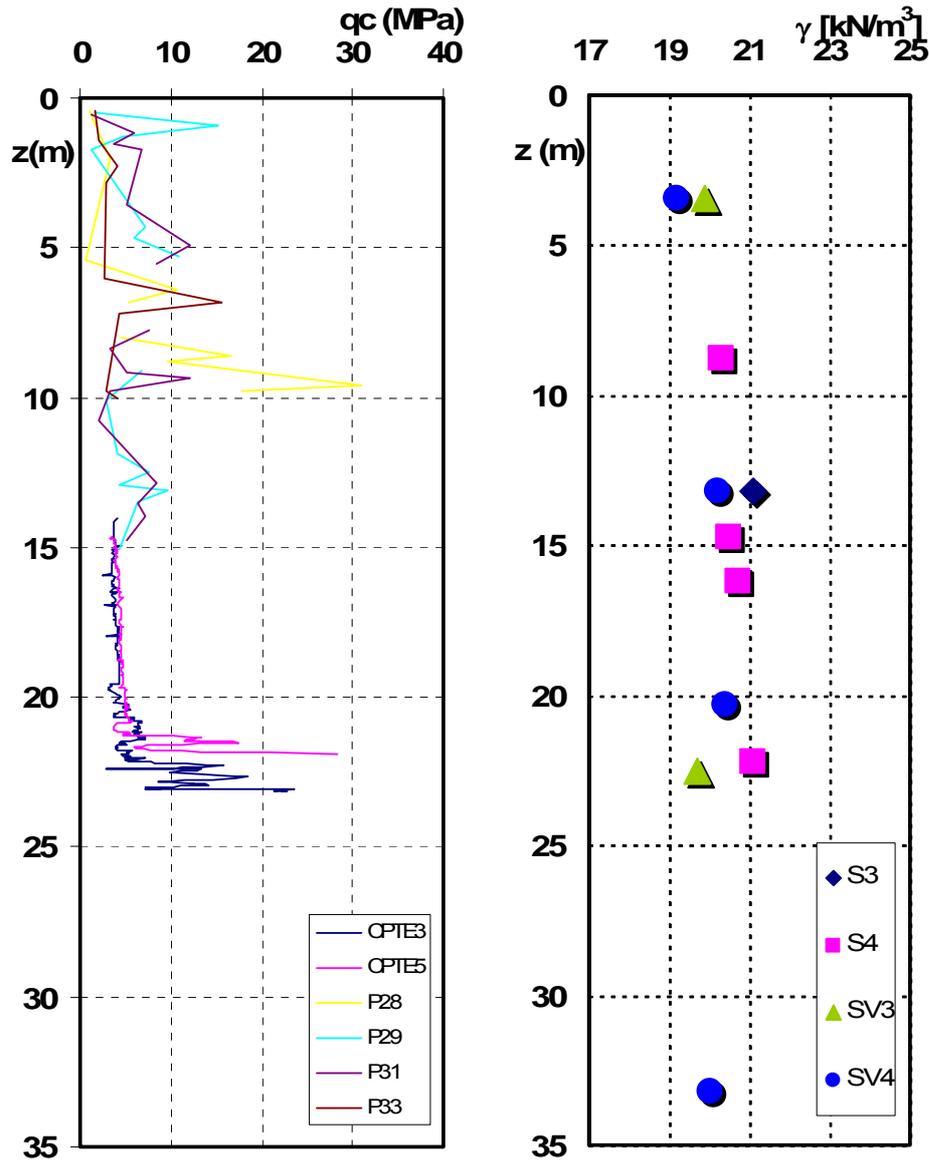


Figura 2: V. Palagio: Resistenze alla punta per le prove CPTe;

Figura 3: V. Palagio: peso di volume

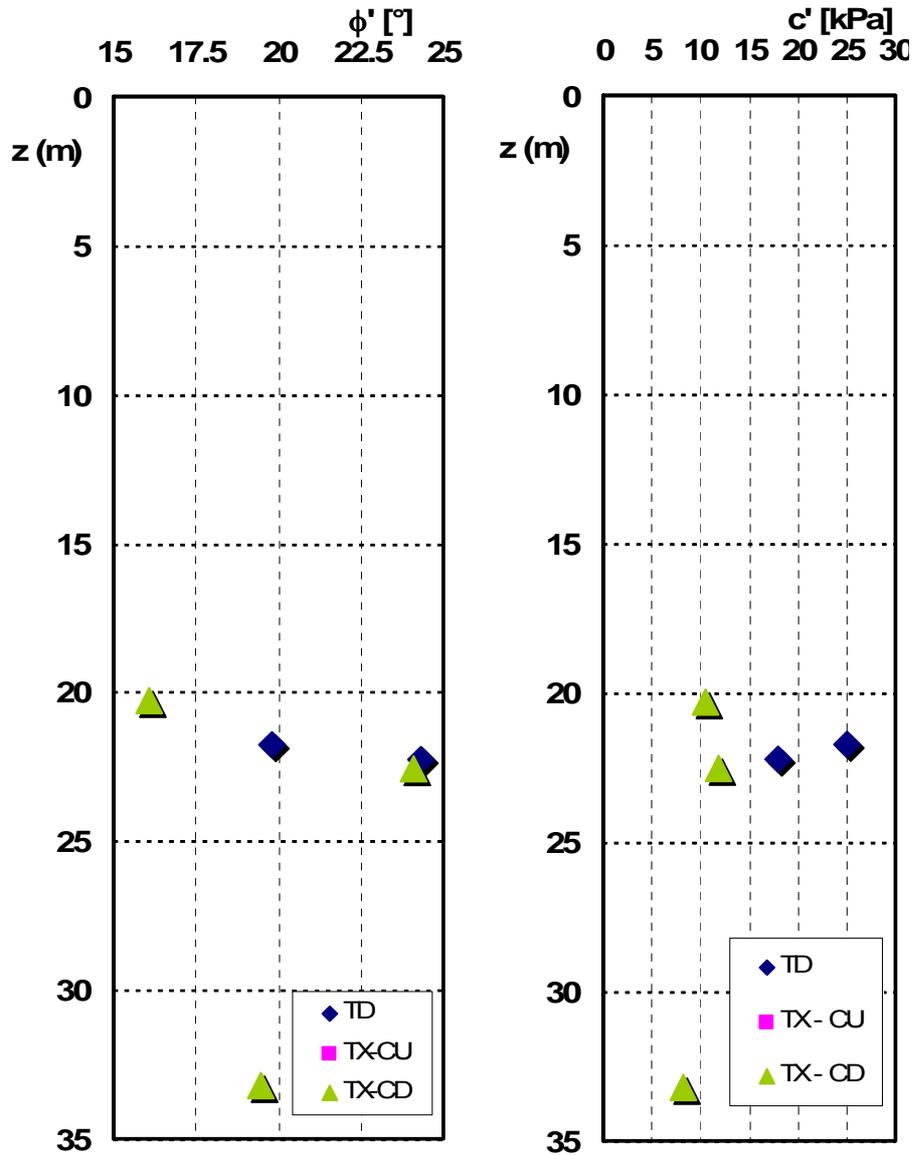


Figura 4: V. Palagio: angolo di attrito

Figura 5: V. Palagio: coesione efficace

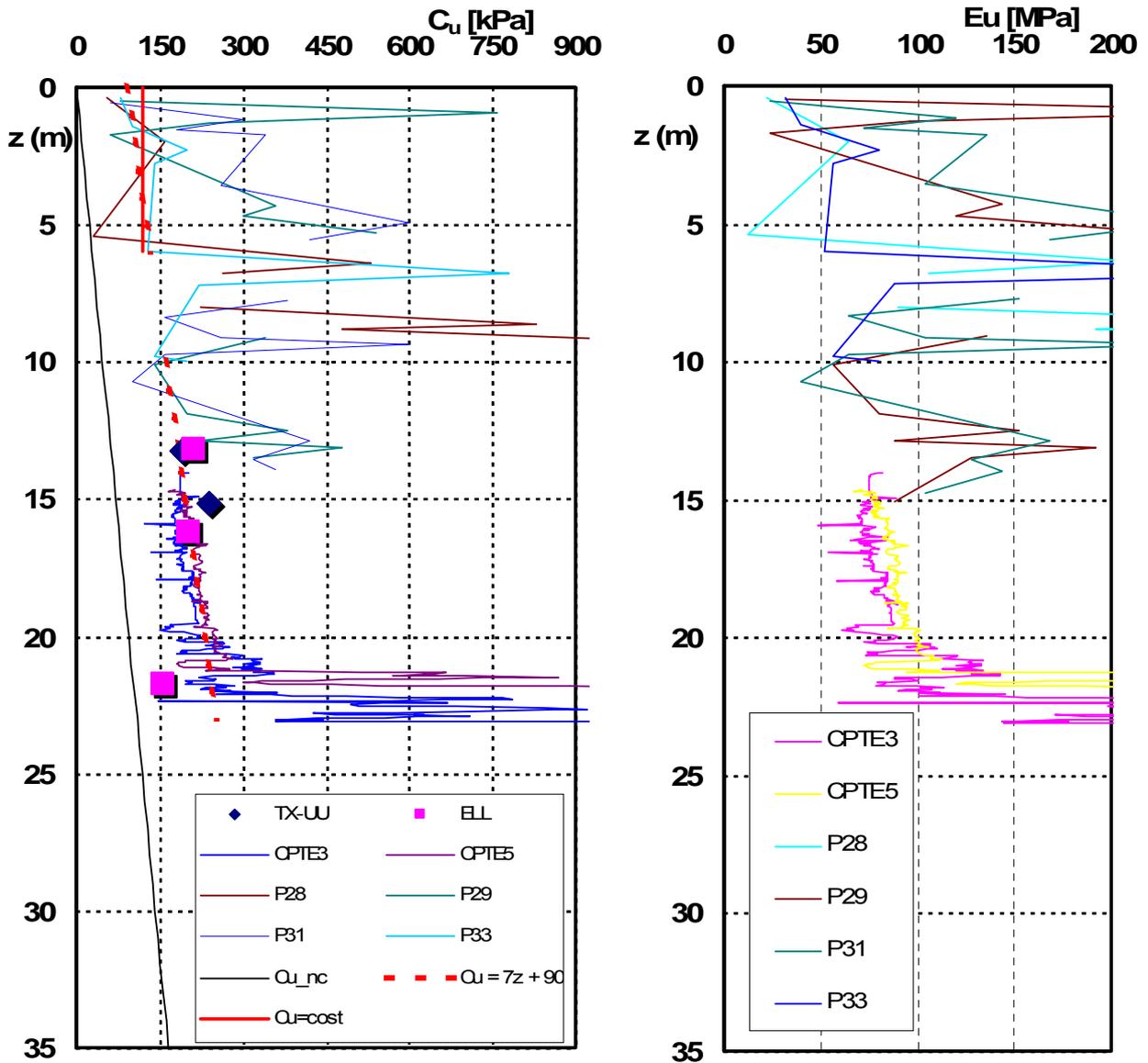


Figura 6: V. Palagio: coesione non drenata

Figura 7: V. Palagio: modulo di deformazione in condizioni non drenate

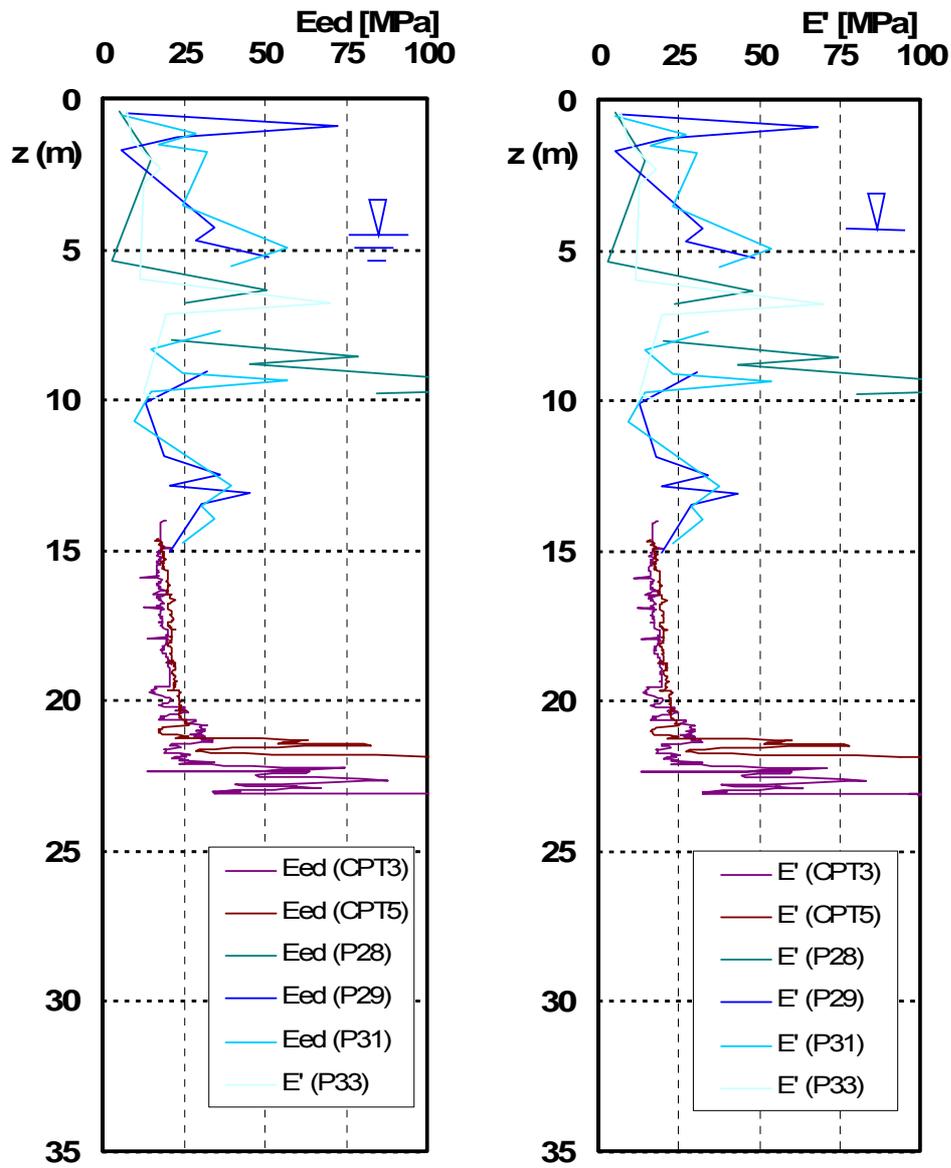


Figura 8: V. Palagio: modulo edometrico

Figura 9: V. Palagio: modulo di Young

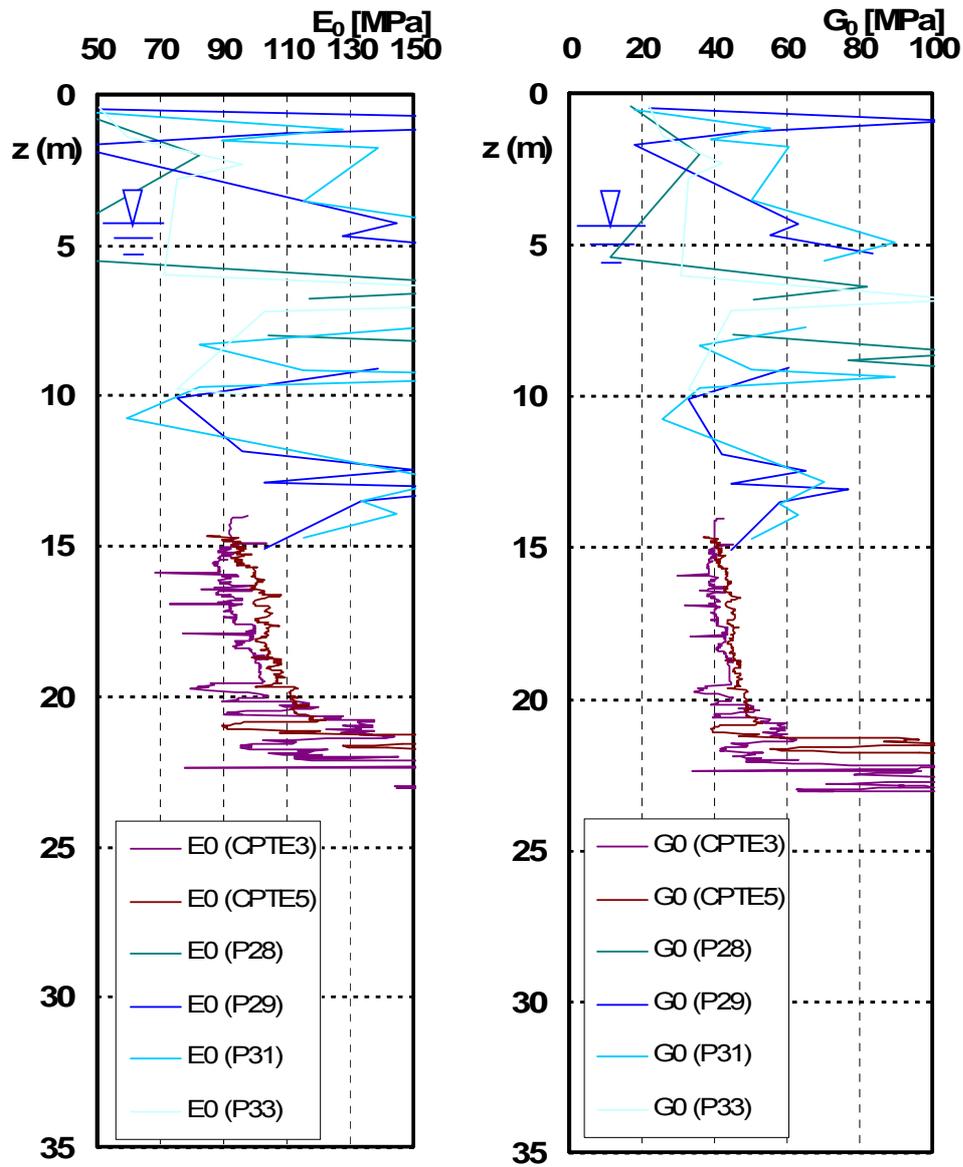


Figura 10: V. Palagio: modulo iniziale di Young

Figura 11: V. Palagio: modulo di taglio alle piccole deformazioni

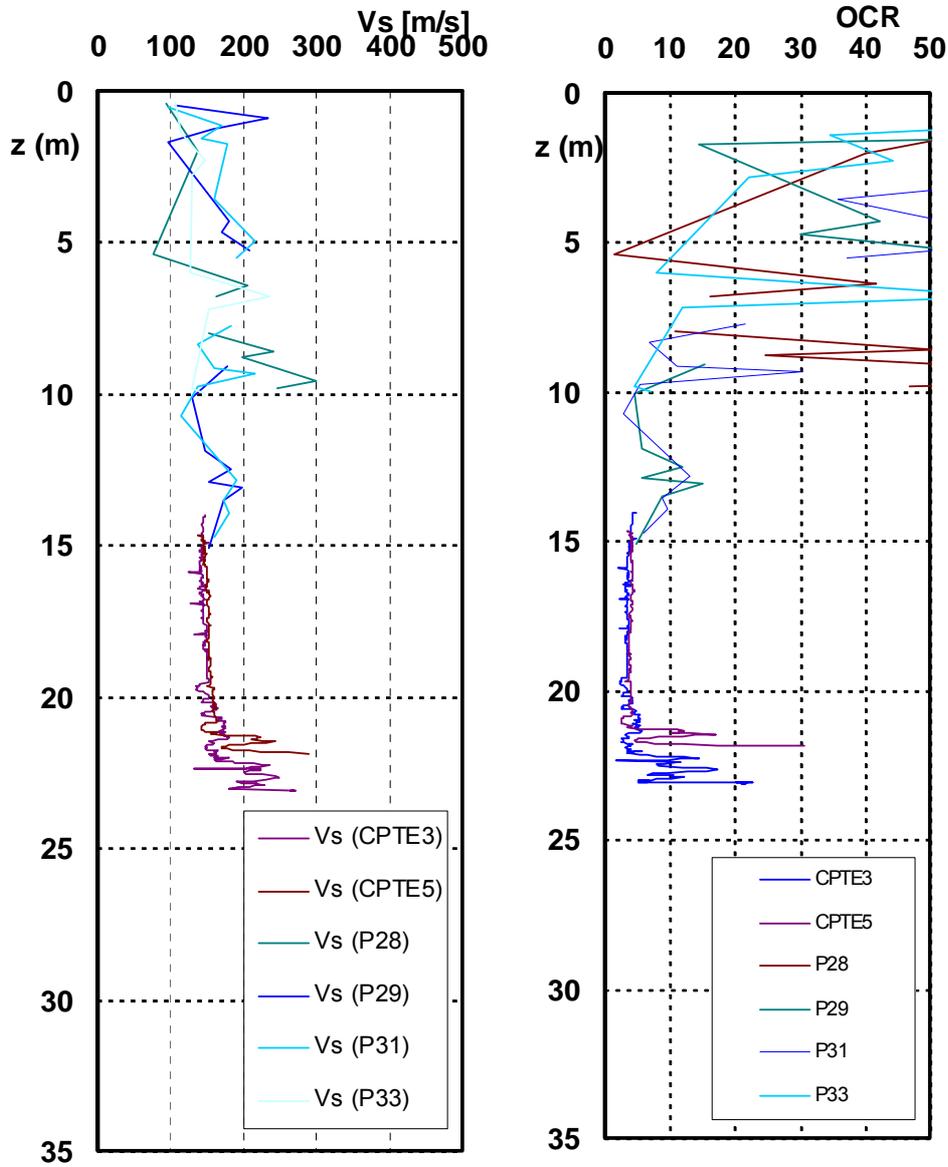


Figura 12: V. Palagio: velocità onde di taglio

Figura 13: V. Palagio: OCR

6.2 V.Palagio, terreni incoerenti

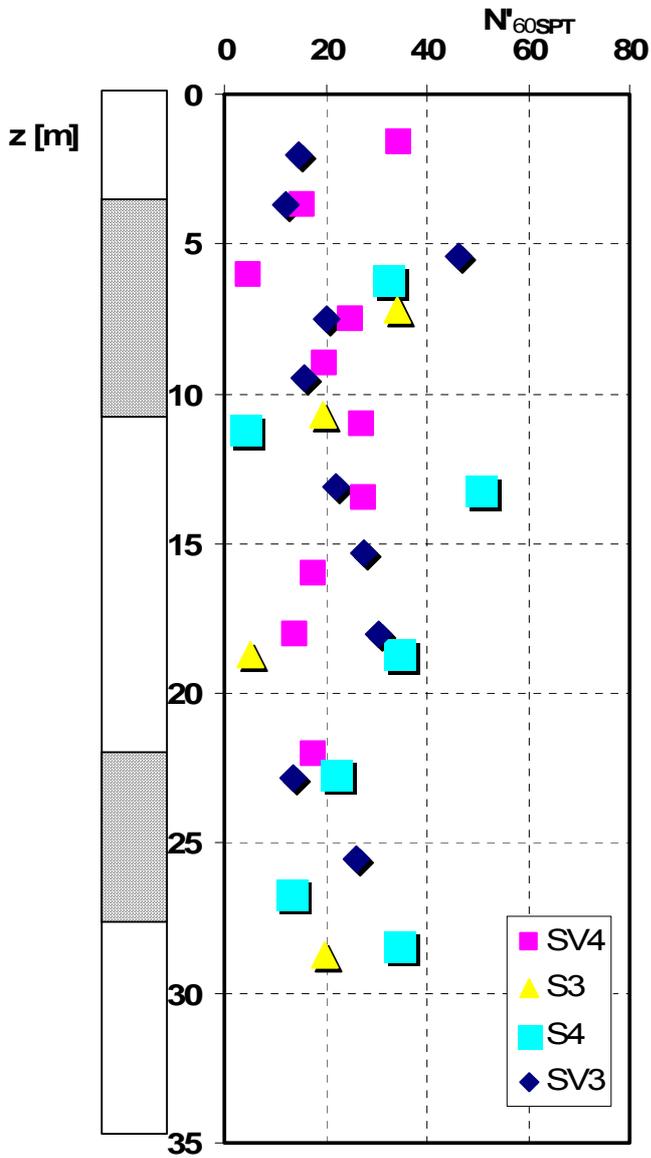


Figura 14: V. Palagio: valori $(N1)_{60}$ delle SPT

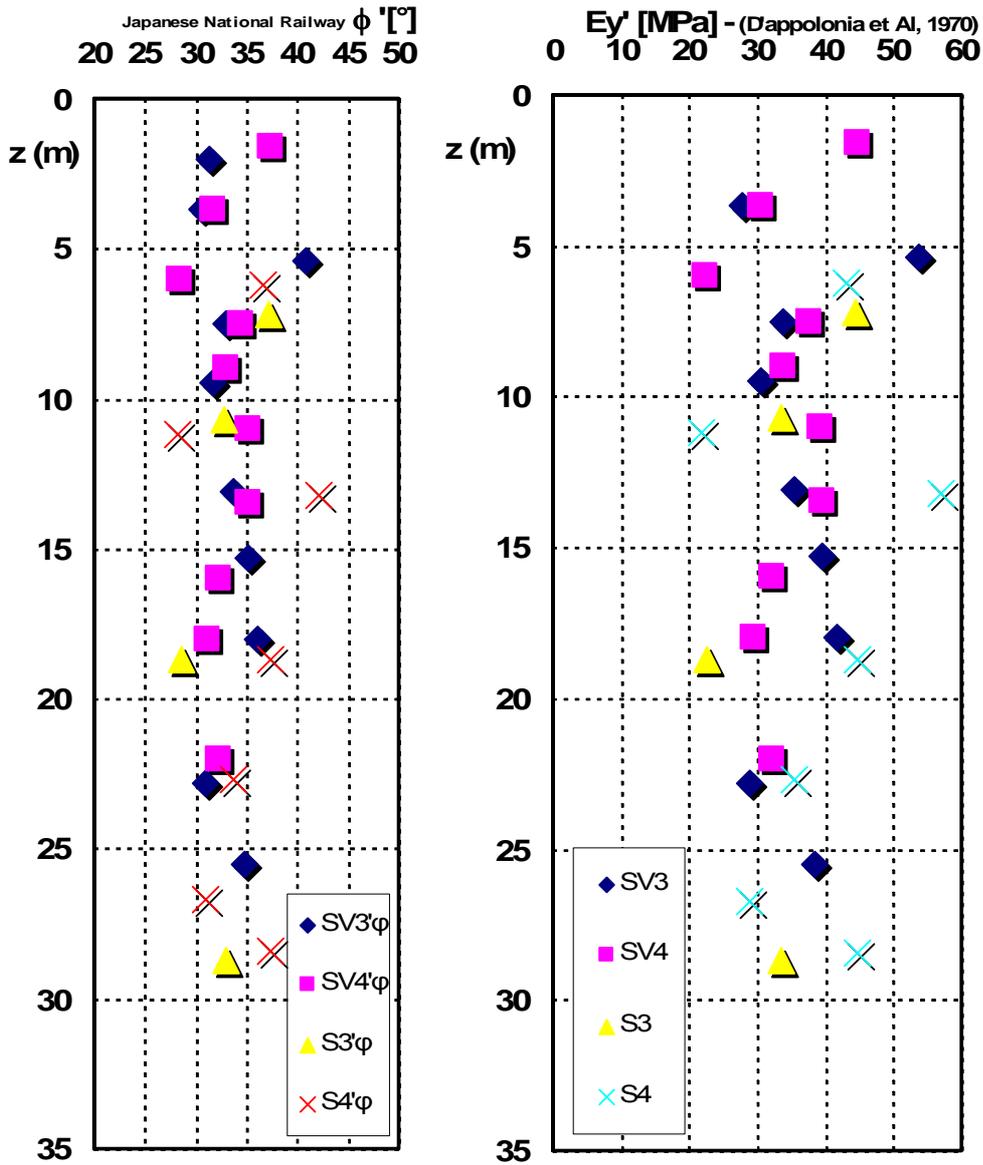


Figura 15: V. Palagio: angolo di attrito

Figura 16: V. Palagio: modulo elastico

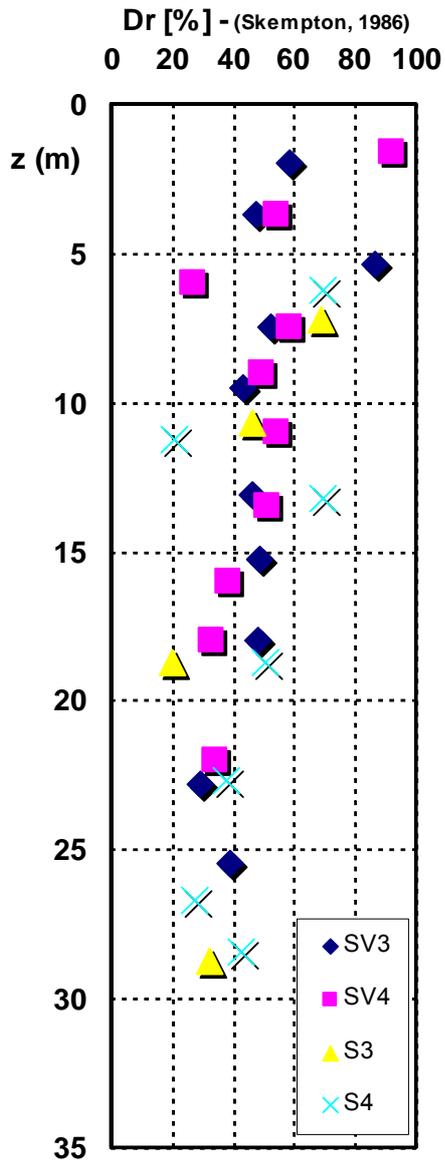


Figura 17: V. Palagio: densità relativa

7 APPENDICE: Viadotto Indiano

7.1 V. Indiano, terreni coesivi

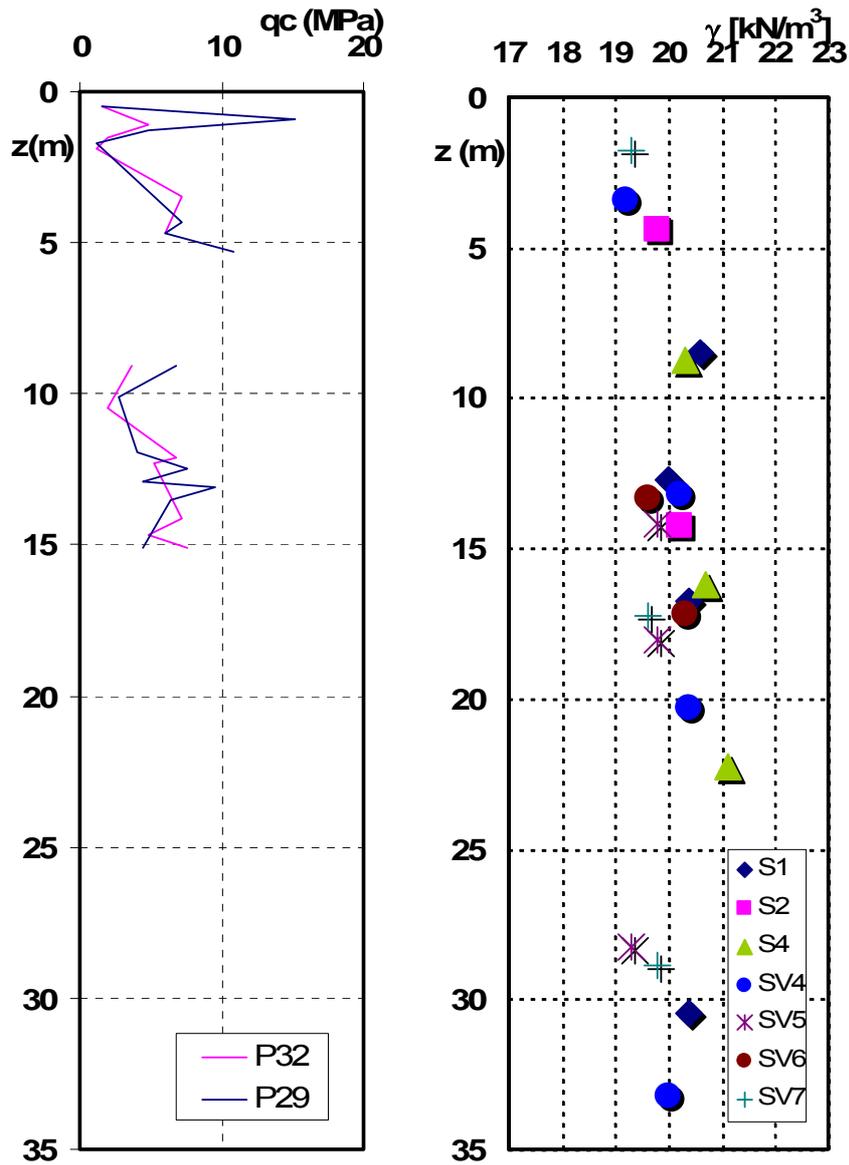


Figura 18: V. Indiano: resistenze alla punta per le prove CPTe

Figura 19: V. Indiano: peso di volume

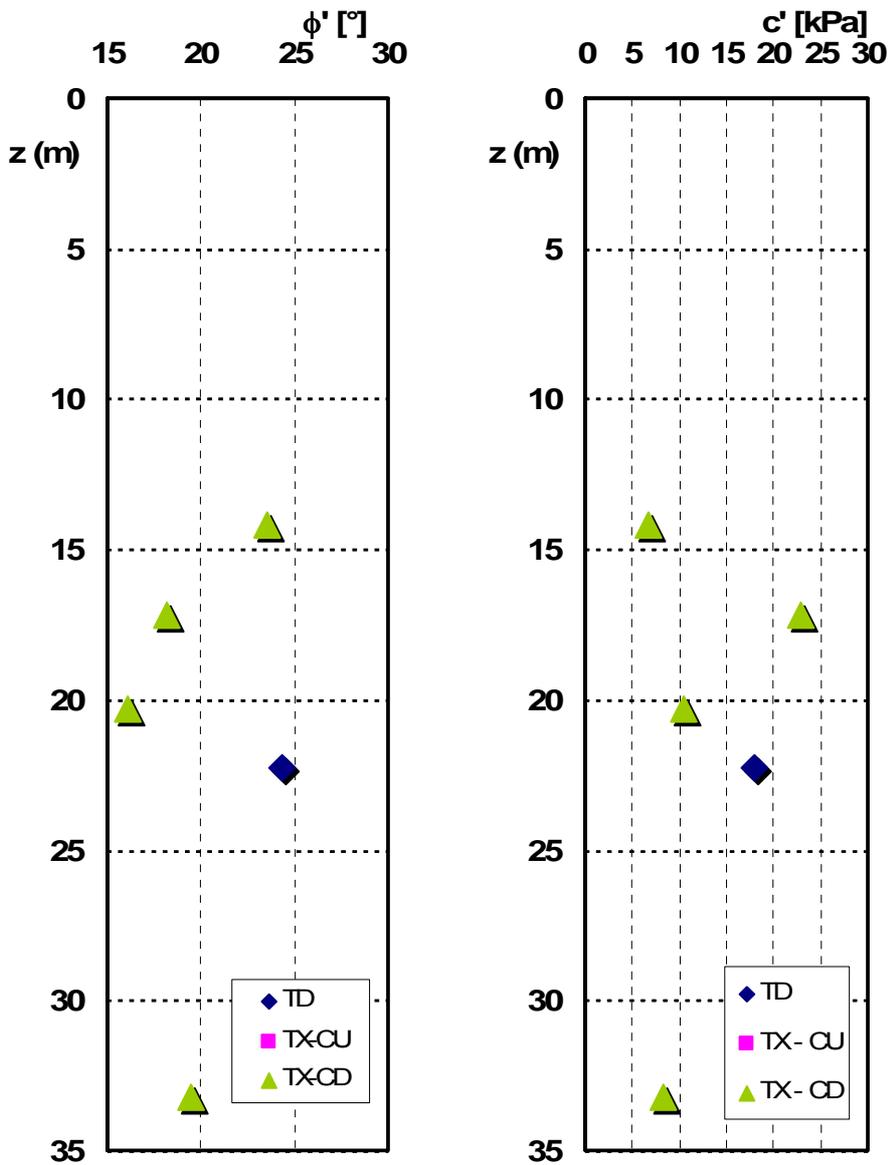


Figura 20: V. Indiano: angolo di attrito

Figura 21: V. Indiano: coesione efficace

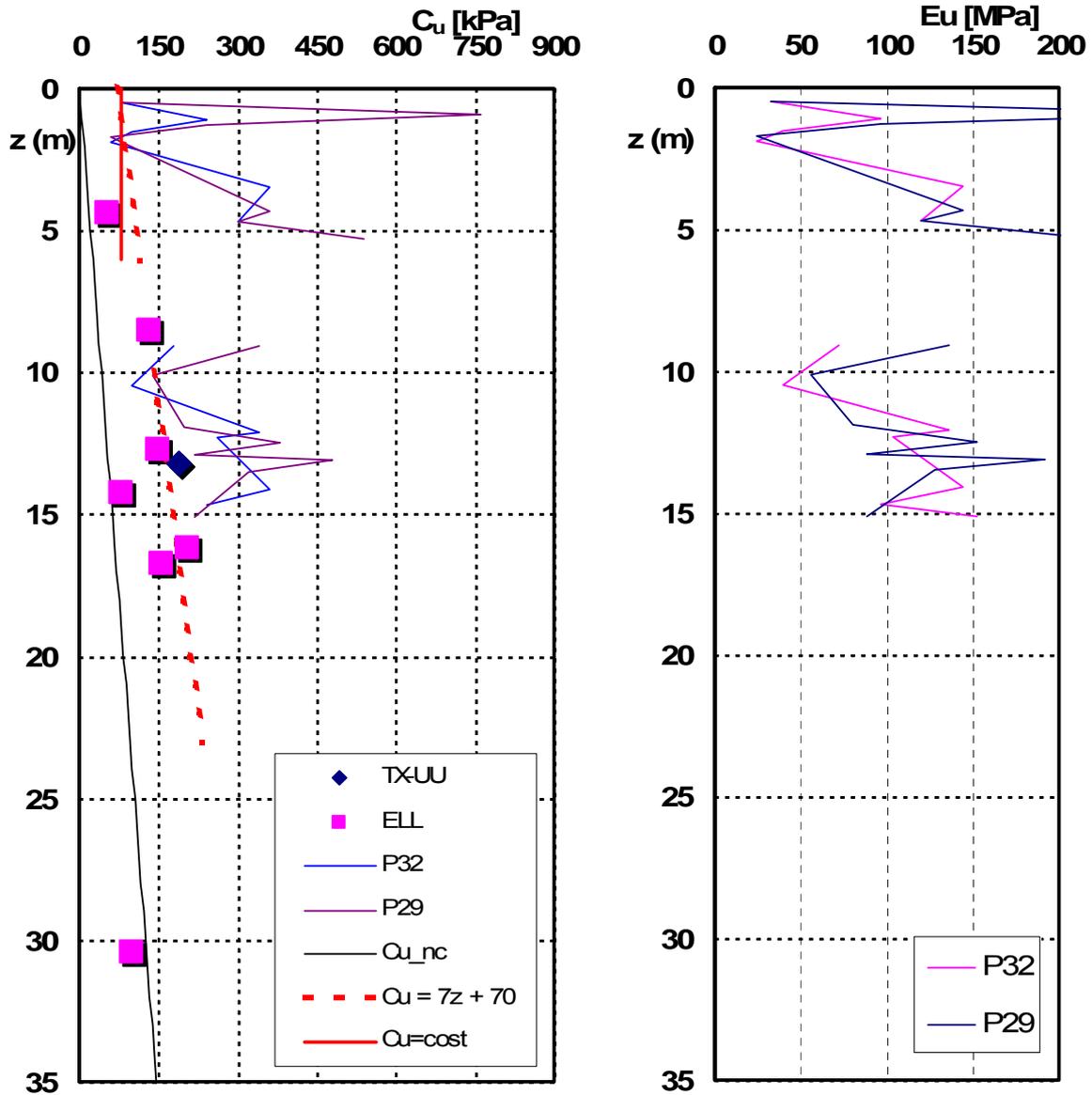


Figura 22: V. Indiano: coesione non drenata

Figura 23: V. indiano: modulo di deformazione in condizioni non drenate

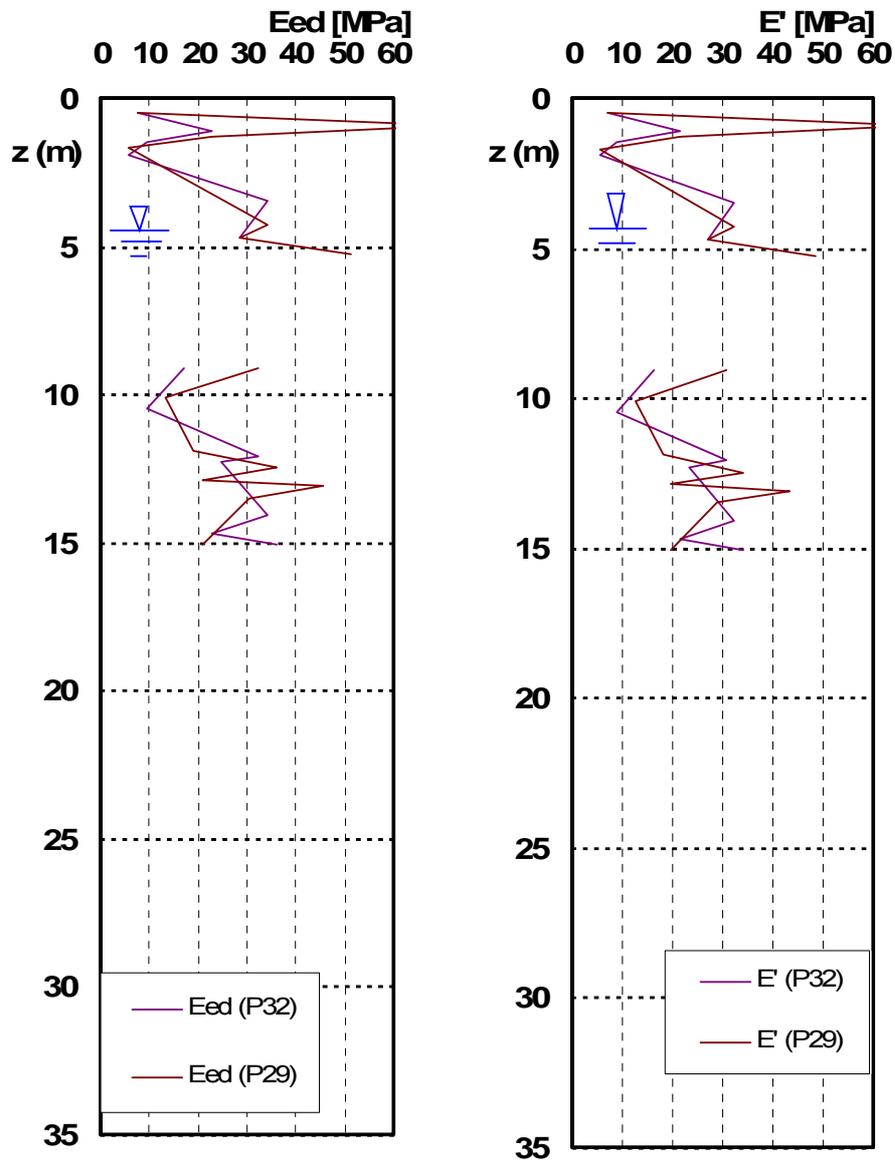


Figura 24: V. Indiano: modulo edometrico

Figura 25: V. Indiano: modulo di Young

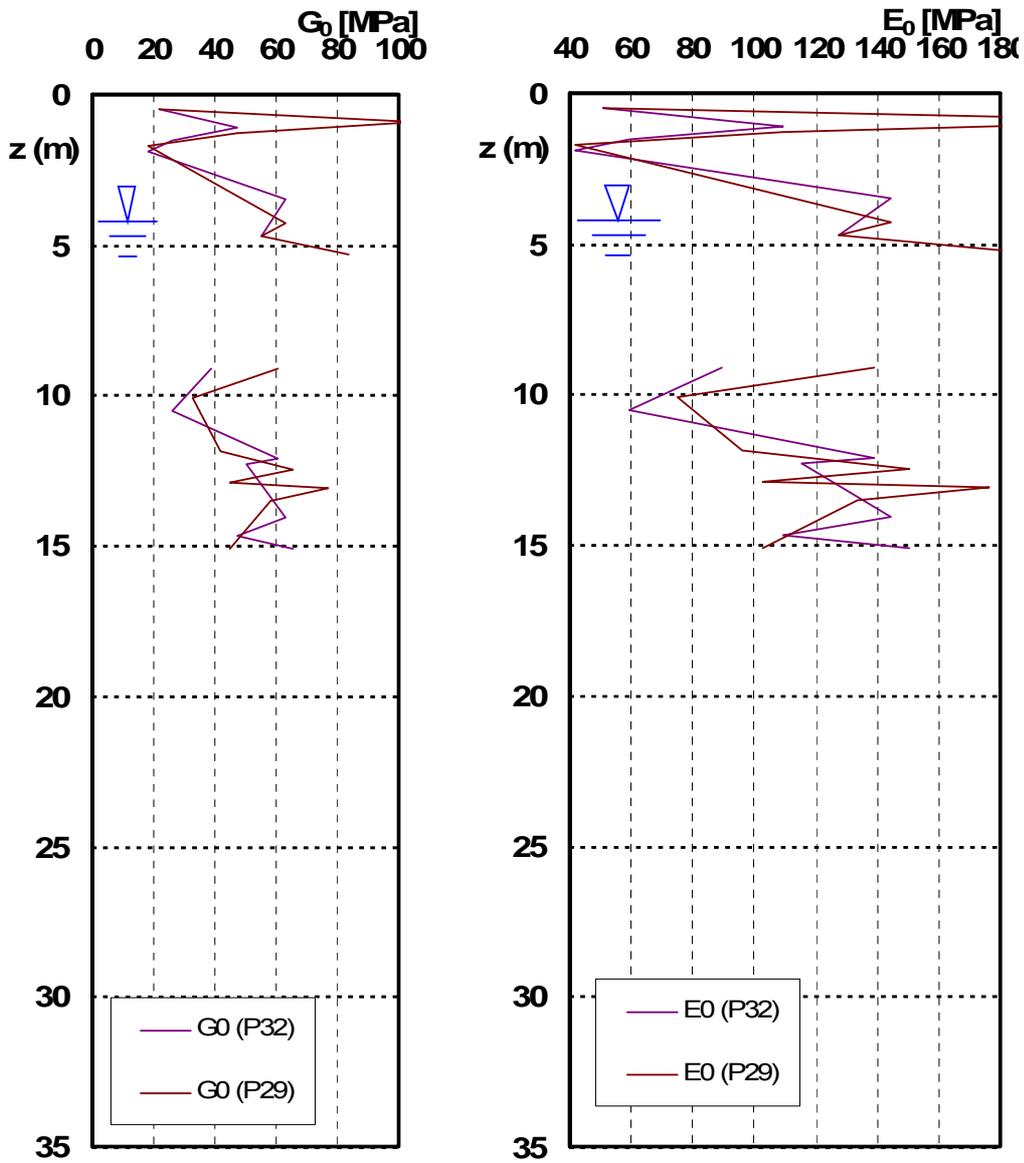


Figura 26: V. Indiano: modulo di taglio alle piccole deformazioni

Figura 27: V. Indiano: modulo iniziale di Young

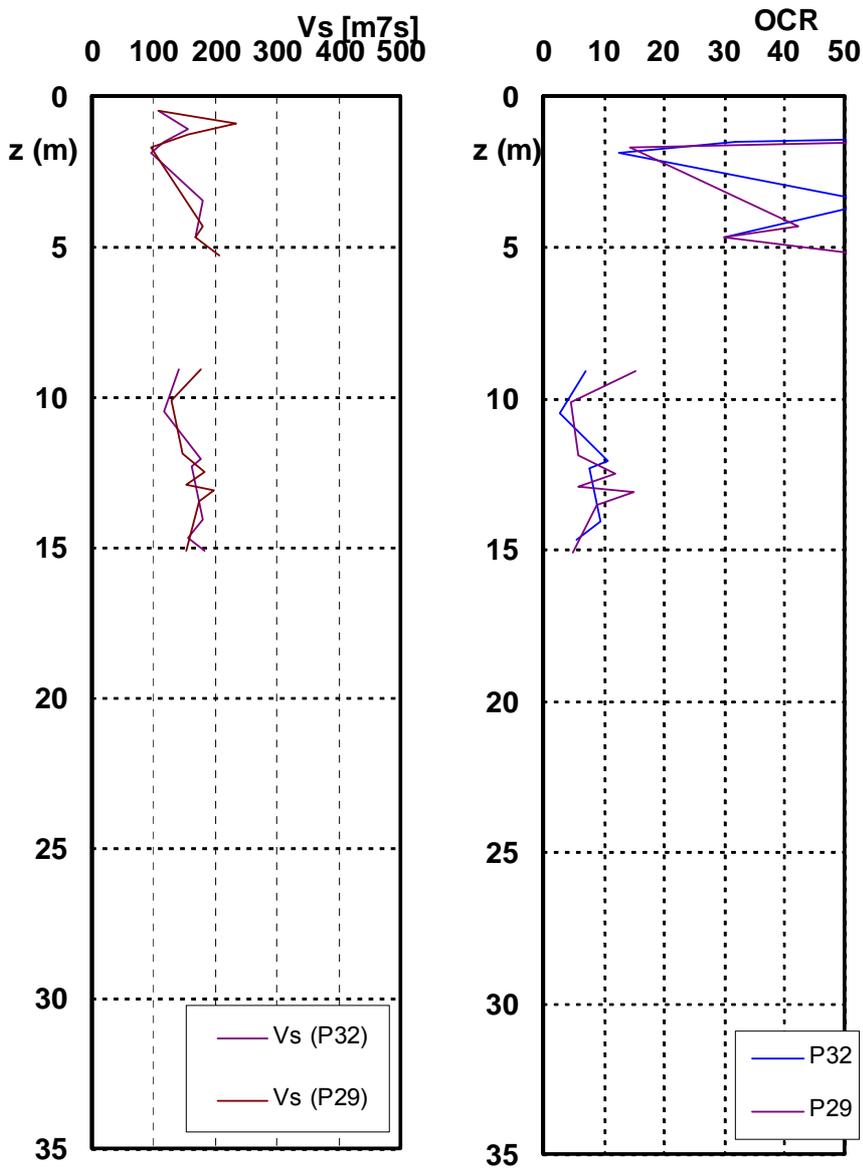


Figura 28: V. Indiano: velocità onde di taglio

Figura 29: V. Indiano: OCR

7.2 V. Indiano, terreni incoerenti

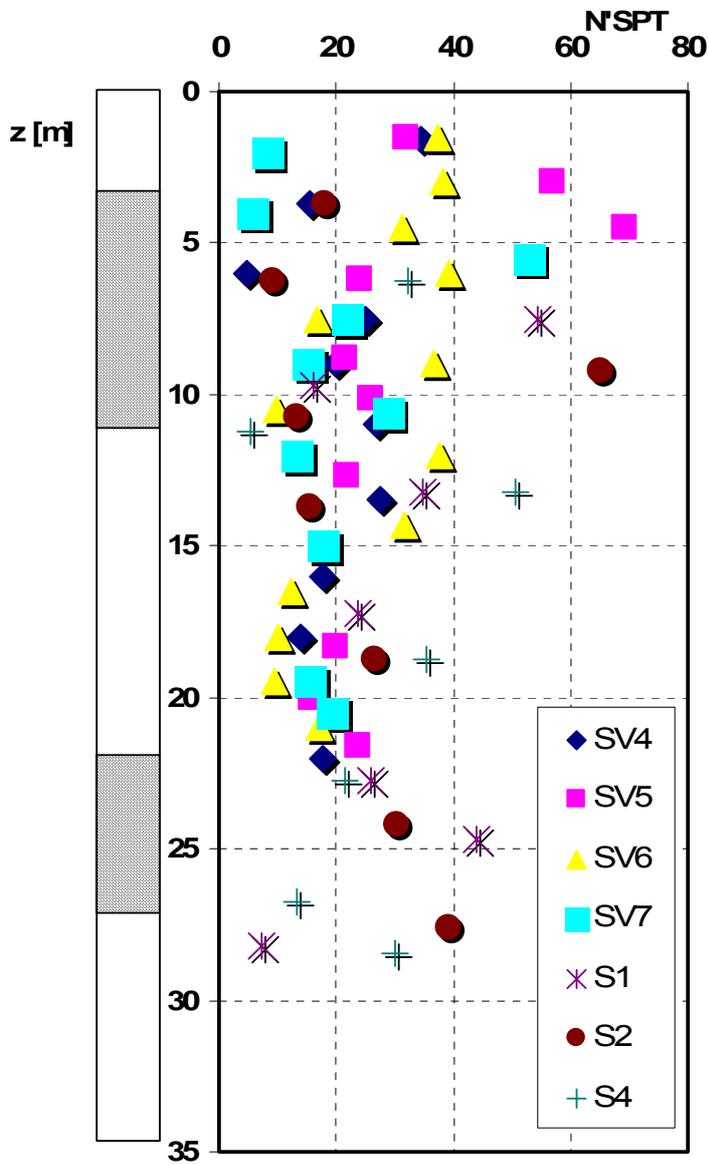


Figura 30: V. Indiano: valori (N1)60 delle SPT

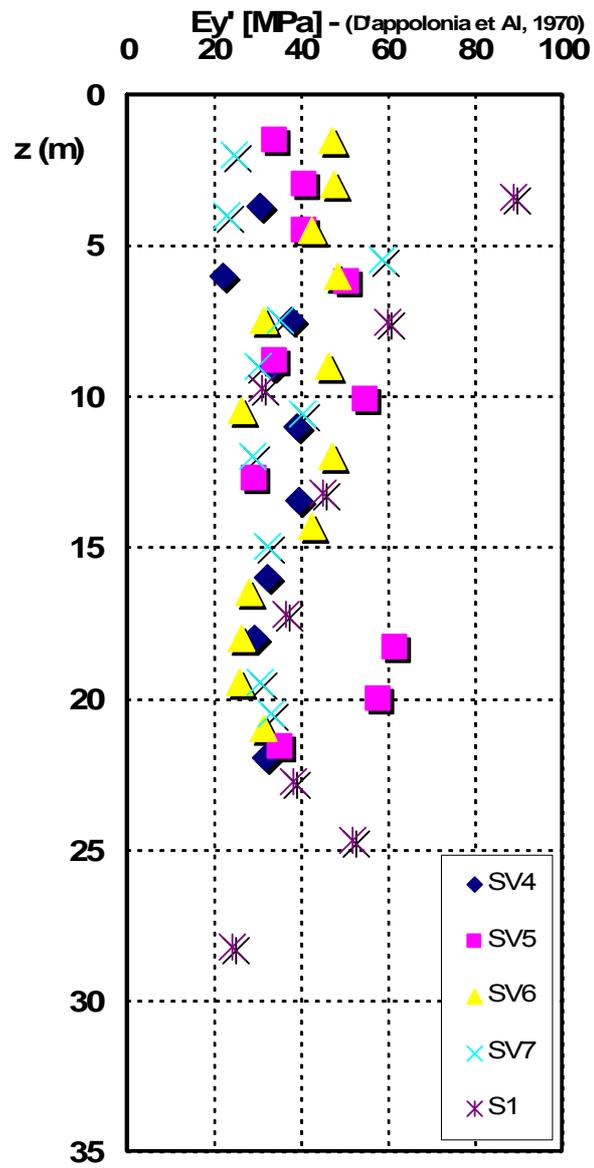
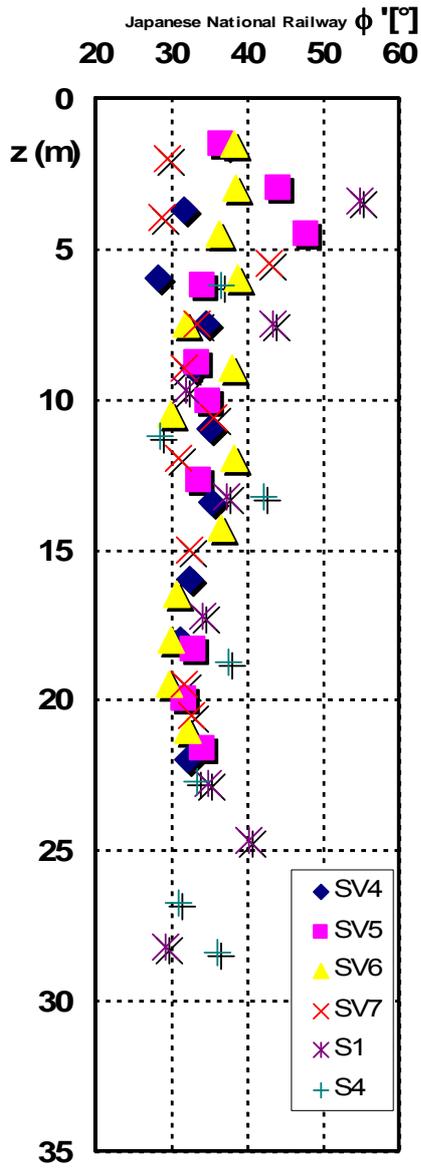


Figura 31: V. Indiano: angolo di attrito

Figura 32: V. Indiano: modulo di Young

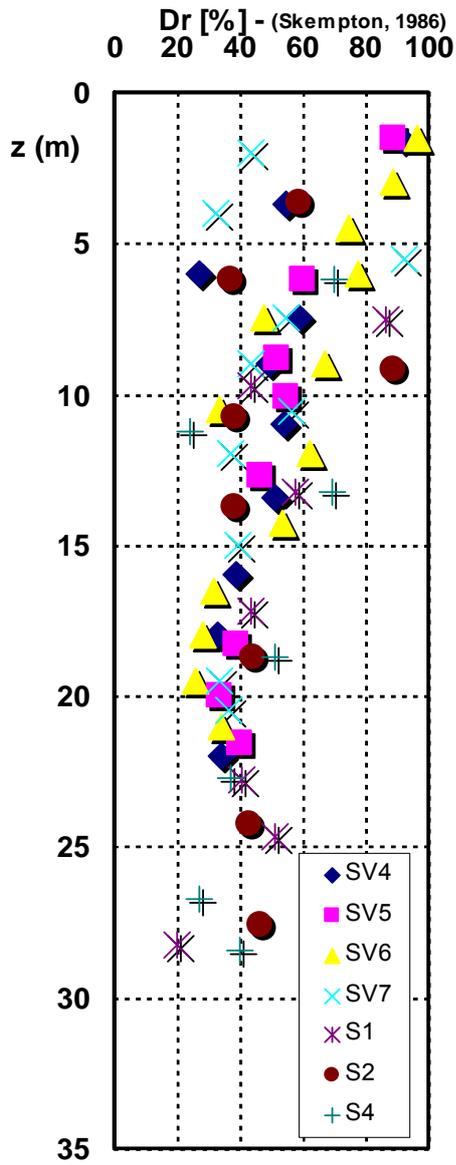


Figura 33: V. Indiano: densità relativa

8 APPENDICE: Sottovia rampa asse "M"

8.1 Sottovia rampa, terreni coesivi

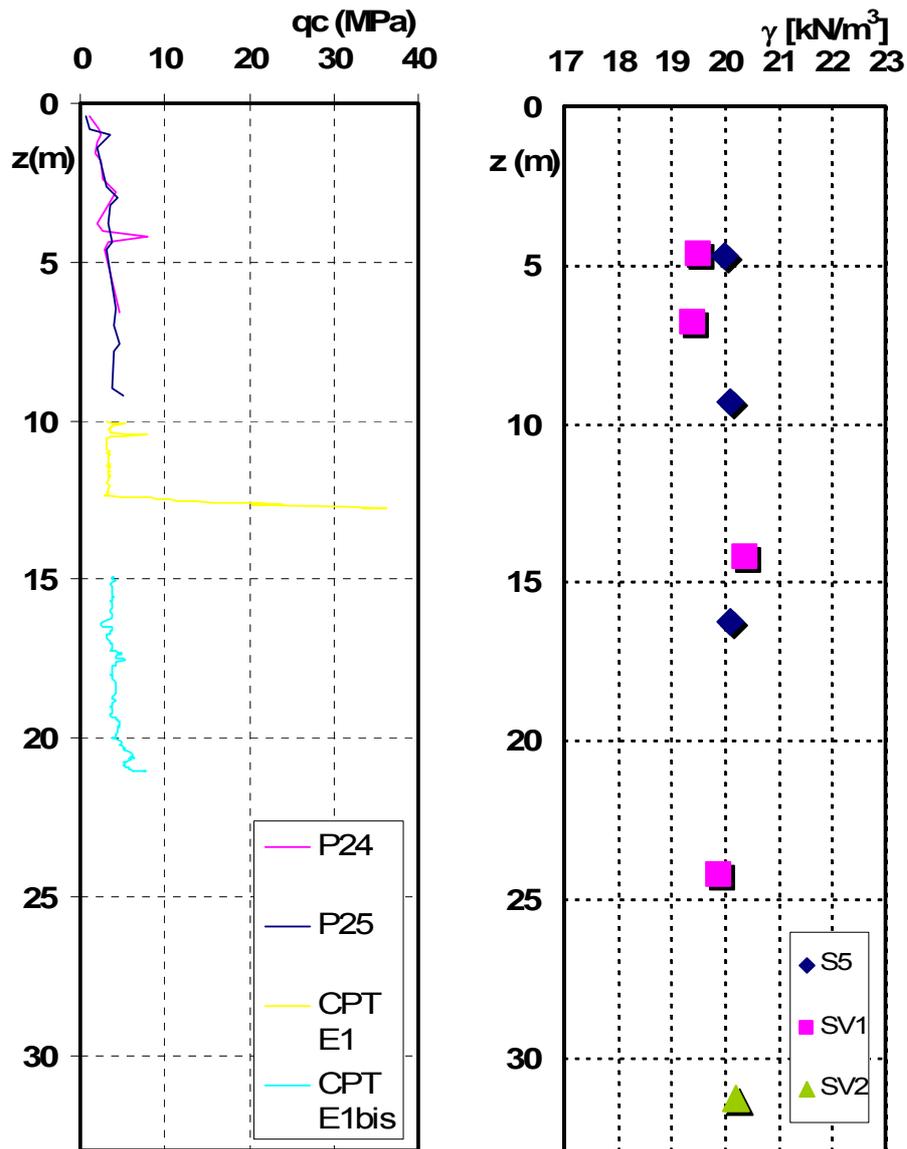


Figura 34: Sottovia rampa: resistenze alla punta per le prove CPTE

Figura 35: Sottovia rampa: peso di volume

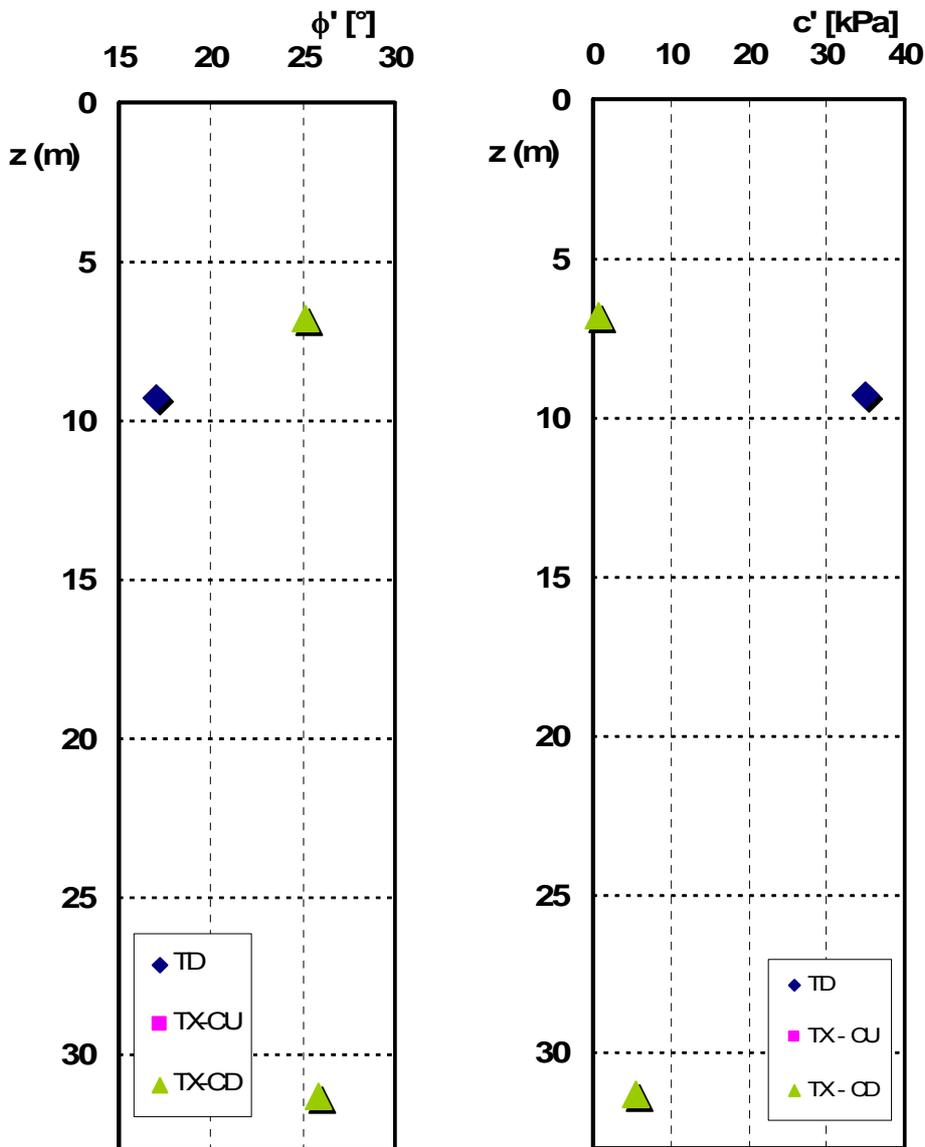


Figura 36: Sottovia rampa: angolo di attrito

Figura 37: Sottovia rampa: coesione efficace

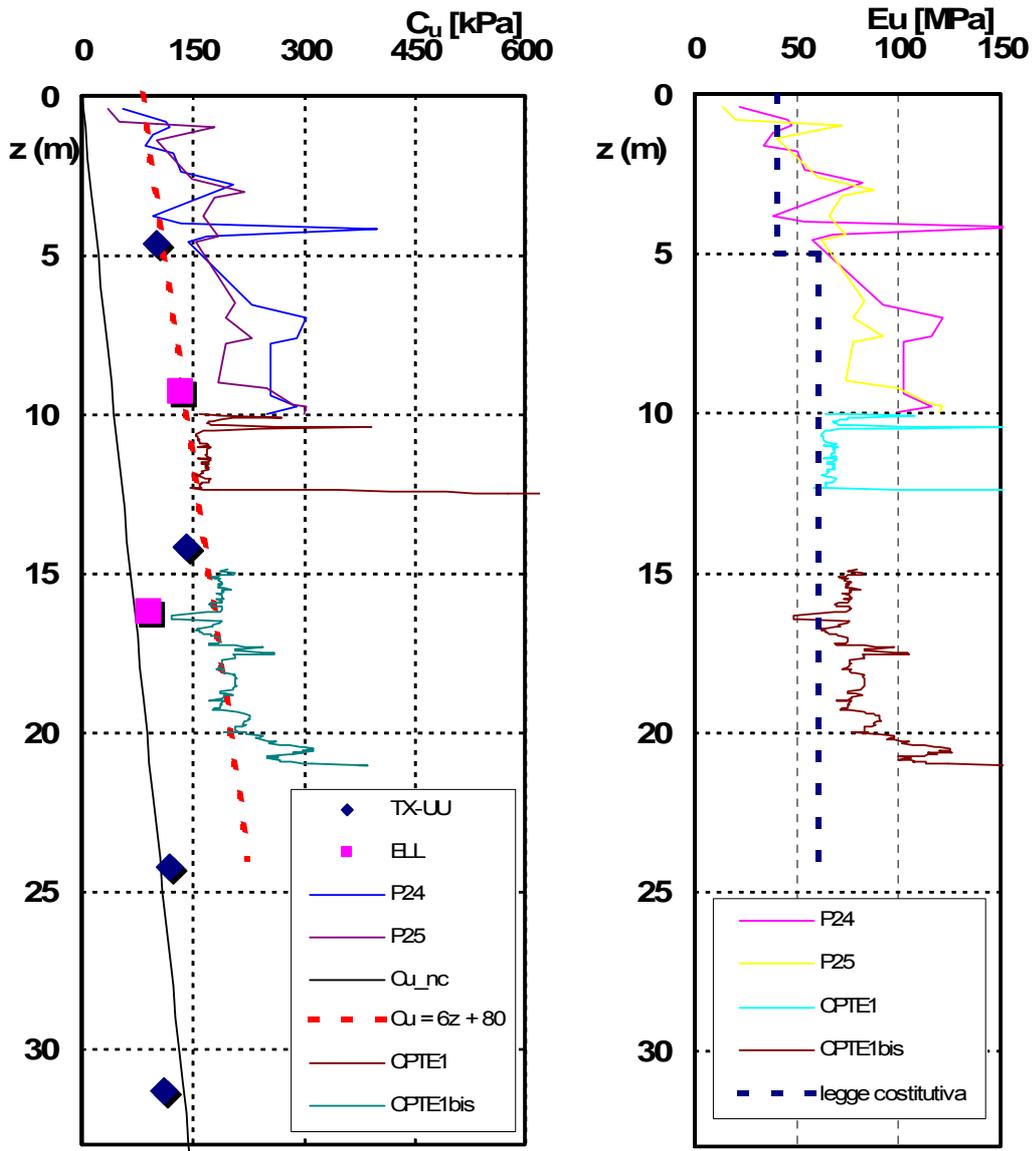


Figura 38: Sottovia rampa: coesione non drenata

Figura 39: Sottovia rampa: modulo di deformazione in condizioni non drenate

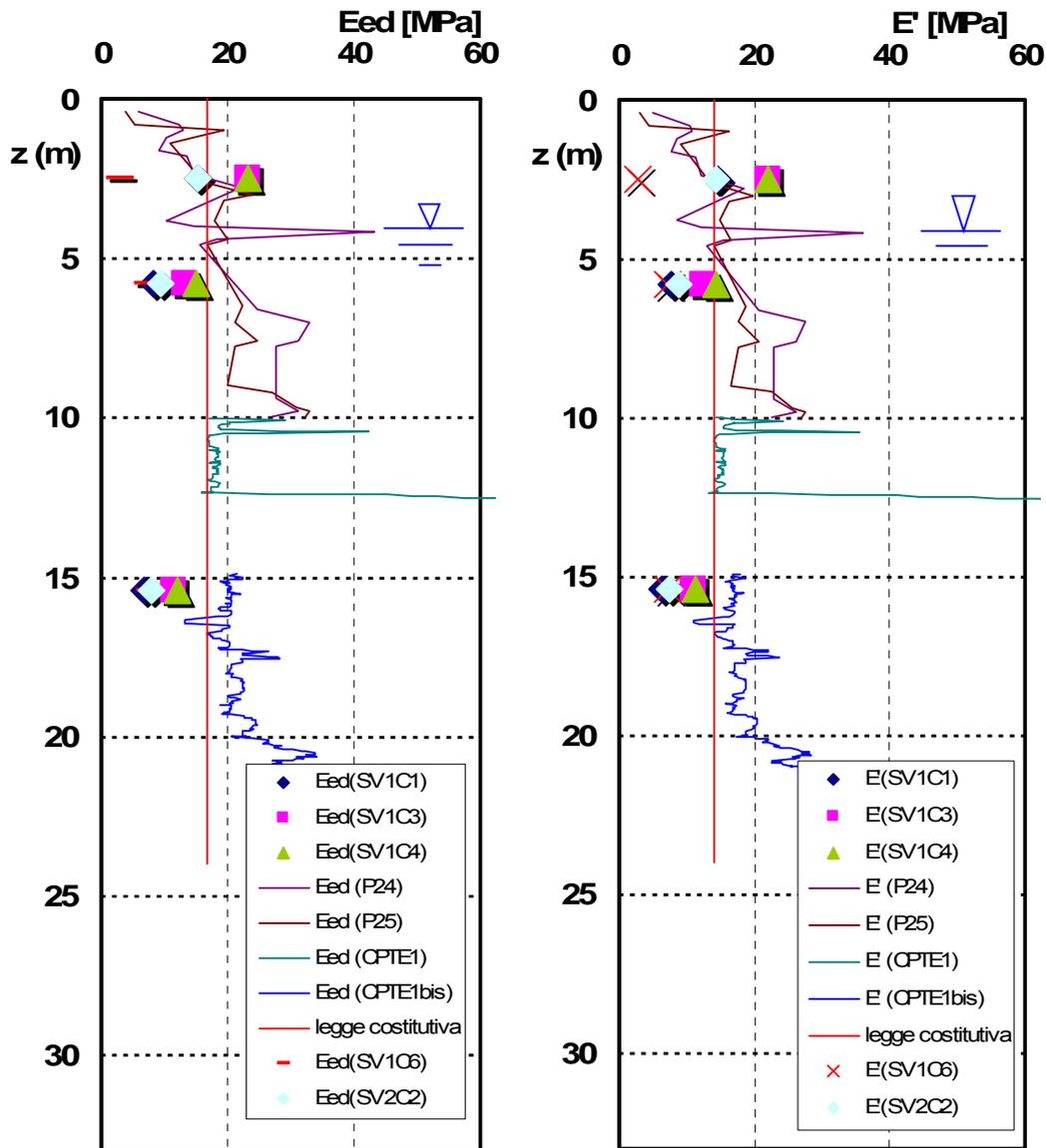


Figura 40: Sottovia rampa: modulo edometrico

Figura 41: Sottovia rampa: modulo di Young

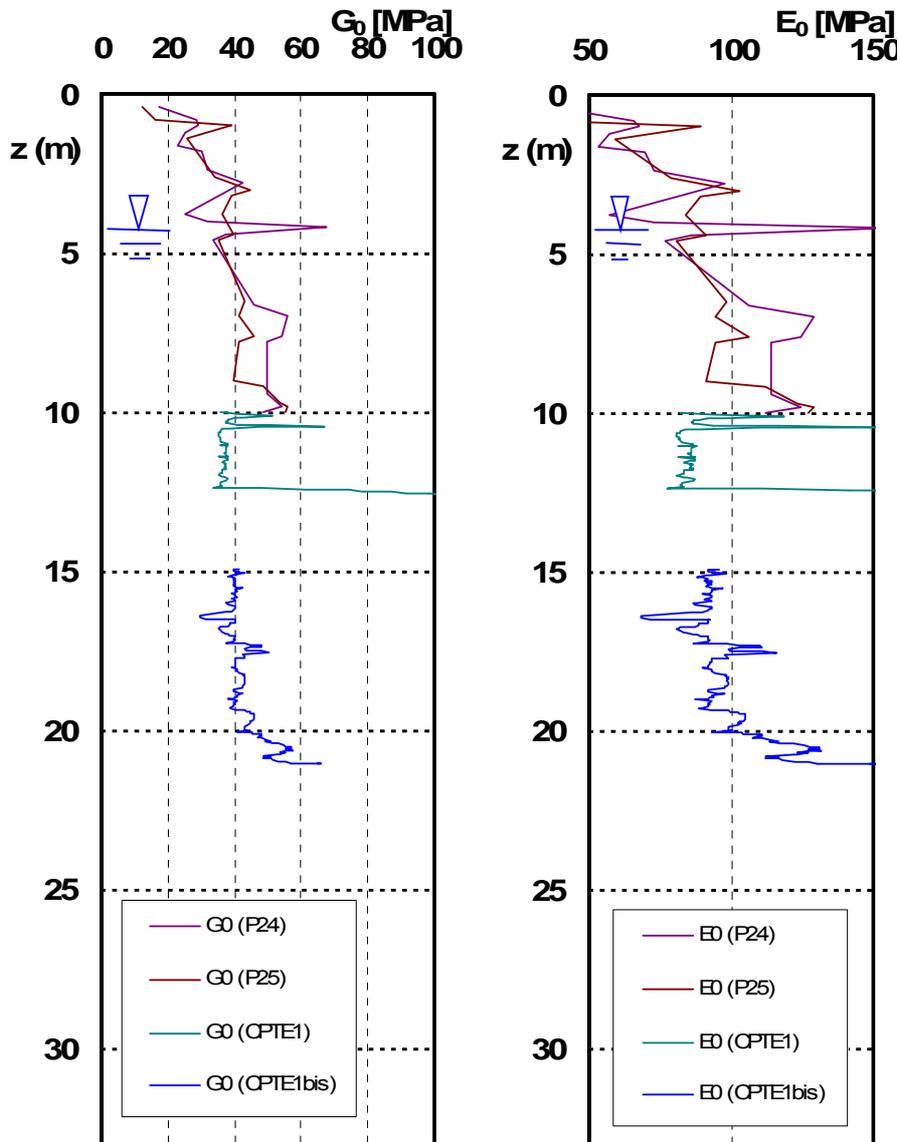


Figura 42: Sottovia rampa: modulo di taglio alle piccole deformazioni

Figura 43: Sottovia rampa: modulo iniziale di Young

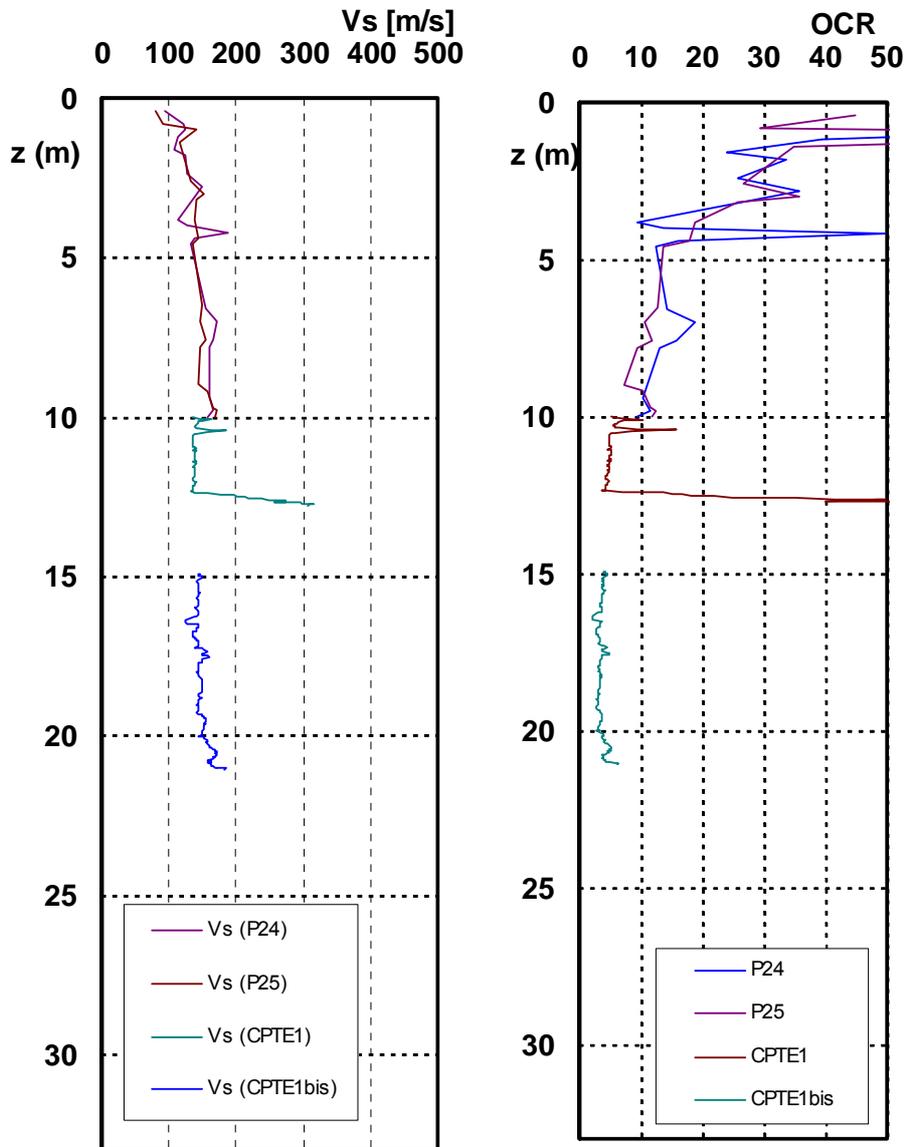


Figura 44: Sottovia rampa: velocità onde di taglio

Figura 45: Sottovia rampa: OCR

8.2 Sottovia rampa, terreni incoerenti

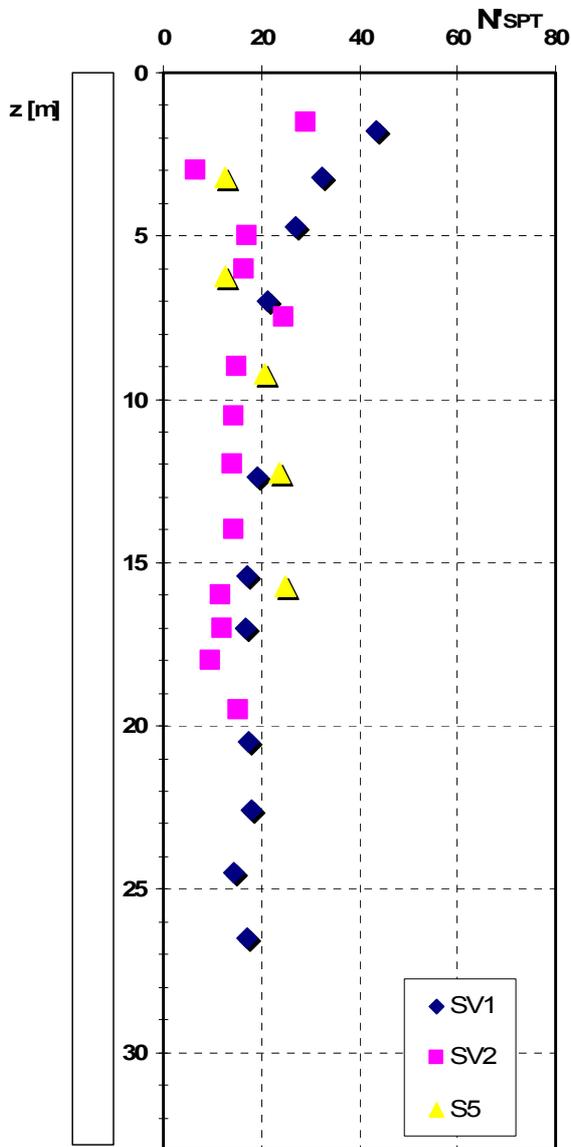


Figura 46: Sottovia rampa: valori (N1)60 delle SPT

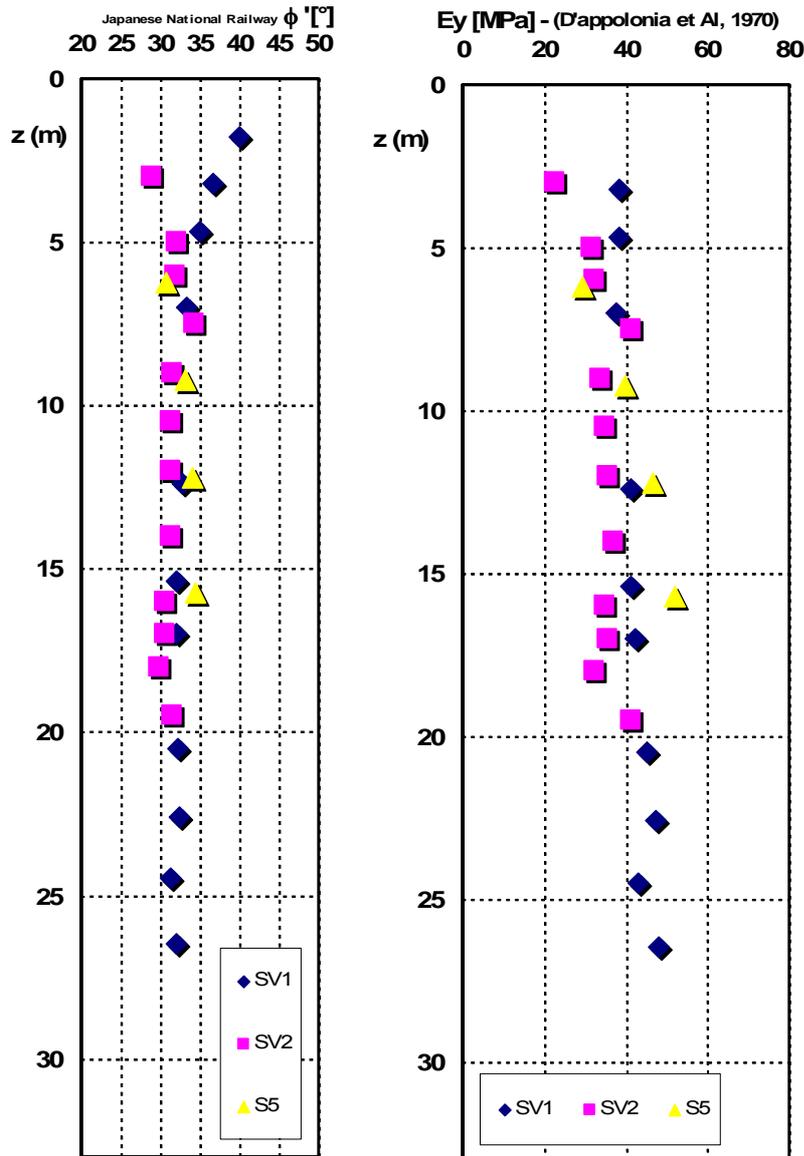


Figura 47: Sottovia rampa: angolo di attrito

Figura 48: Sottovia rampa: modulo di Young

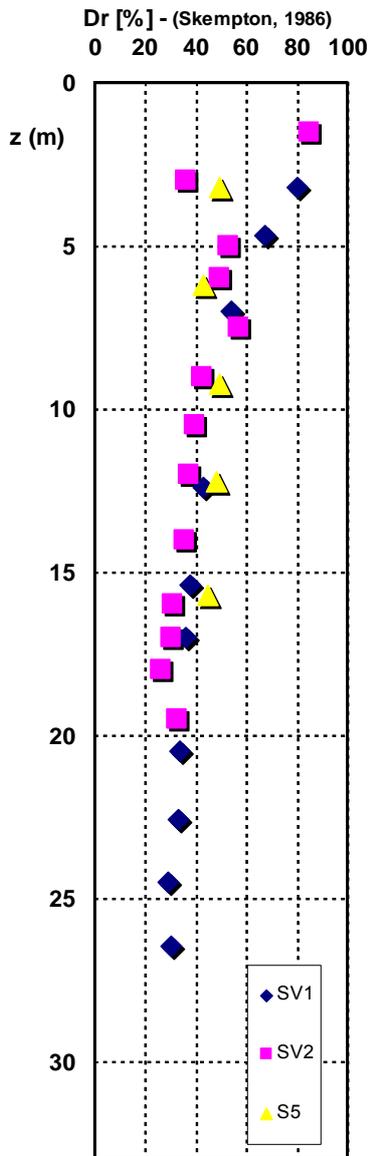


Figura 49: Sottovia rampa: densità relativa