

## S.S.195 "SULCITANA"

**COMPLETAMENTO ITINERARIO CAGLIARI - PULA LOTTO 2**  
**COLLEGAMENTO CON LA S.S 130 E AEROPORTO CAGLIARI ELMAS**  
**DAL Km 21+488,70 AL Km 23+900,00**  
**RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. CA12

PROGETTAZIONE: ANAS – DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

**PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. M. RASIMELLI  
 Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

Ing. D. BONADIES                      Ing. M. TANZINI  
 Ing. P. LOSPENNATO                Ing. A. LUCIA  
 Ing. S. PELLEGRINI  
 Ing. A. POLLI  
 Ing. C. CASTELLANO  
 Ing. G.N. GUERRINI

**IL GEOLOGO**

Dott. S. PIAZZOLI

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Ing. L. IOVINE

**VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO**

Ing. M. COGHE

PROTOCOLLO

DATA:

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**



MANDATARIA



MANDANTE



MANDANTE

## GEOTECNICA

### Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO

NOME FILE  
T00GE00GETRE02A.doc

REVISIONE

PAG.

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

D P C A 1 2    D    2 0 0 1

CODICE ELAB.

T 0 0    G E 0 0    G E T    R E 0 1

A

1 di 61



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D					
C					
B					
A	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2020	A. LUCIA	M. TANZINI	M. RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 2 di 61</b></p>
--	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
1.1	OGGETTO E SCOPO	4
1.2	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
2.1.1.	Normative e raccomandazioni	6
2.1.2.	Bibliografia	6
<b>3</b>	<b>INDAGINI GEOTECNICHE EFFETTUATE</b>	<b>9</b>
3.1	CAMPAGNA GEOTECNICA 2003	9
3.2	CAMPAGNA GEOTECNICA INTEGRATIVA 2018	9
3.2.1.	Descrizione dell'indagine effettuata	9
3.2.2.	Prove di laboratorio	10
<b>4</b>	<b>CRITERI DI INTERPRETAZIONE ADOTTATI</b>	<b>12</b>
4.1	DENSITÀ RELATIVA	12
4.2	ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	12
4.3	MODULO DI DEFORMABILITÀ	14
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>SISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>20</b>
7.1	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	20
7.2	VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO	20
7.3	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	22
<b>8</b>	<b>UNITA' GEOTECNICHE</b>	<b>23</b>
8.1	UNITÀ GEOTECNICA N. 1 – ALLUVIONI ANTICHE GROSSOLANE, ROSSASTRE, FORTEMENTE ADDENSATE, IN MATRICE ARGILLOSA	23
8.1.1.	Granulometria	23
8.1.2.	Prove penetrometriche dinamiche	24
8.1.3.	Prove di laboratorio	32
8.1.4.	Parametri geotecnici Unità 1	33
8.2	UNITÀ GEOTECNICA N. 2 – DEPOSITI VULCANICI DI NATURA ANDESITICA, NON ALTERATI, DI CONSISTENZA LAPIDEA	36

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 3 di 61</b></p>
--	--

8.2.1.	Parametri geotecnici Unità 2	38
8.3	UNITÀ GEOTECNICA N. 2A – DEPOSITI VULCANICI: TUF E TUFITI DI NATURA ANDESITICA A LUOGHI ALTERATI FINO AD ARGILLIFICATI	39
8.3.1.	Granulometria	39
8.3.2.	Prove penetrometriche	40
8.3.3.	Prove di laboratorio	41
8.3.4.	Parametri geotecnici Unità 2a	44
8.4	UNITÀ GEOTECNICA N. 3 – RILEVATI RIPORTI E RIEMPIMENTI	45
8.4.1.	Granulometria	45
8.4.2.	Prove penetrometriche dinamiche	47
1.1.1	Parametri geotecnici Rilevati	54
<b>9</b>	<b>STRATIGRAFIE LUNGO IL TRACCIATO</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>ANDAMENTO DELLA FALDA</b>	<b>59</b>
<b>11</b>	<b>INDAGINE GEOFISICA</b>	<b>60</b>

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 4 di 61</b></p>
--	--

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Oggetto e scopo

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica dei terreni finalizzata al Progetto Definitivo di adeguamento al tipo B del secondo lotto stralcio 2 C della S.S. 195 "Sulcitana" nel tratto Pula – Cagliari da progressiva 21+489 a progressiva 23+900.

La presente caratterizzazione è stata effettuata sia sulla base dei risultati delle indagini, in sito e di laboratorio, svolte nella campagna geognostica del 2003, sia sulla base dei dati relativi alla campagna geognostica integrativa per il Progetto Definitivo, condotta a fine 2018.

Il documento è articolato come segue:

Il presente capitolo presenta (paragrafo 1.2) sinteticamente le opere al cui progetto è finalizzata la presente caratterizzazione ed elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento (paragrafo 1.3).

Il capitolo 2 riporta un riepilogo delle indagini geotecniche disponibili e che sono state utilizzate per la caratterizzazione geotecnica delle diverse opere.

Il capitolo 3 descrive i criteri di interpretazione delle indagini geotecniche.

Il capitolo 4 riporta un breve inquadramento geologico dell'area del progetto.

Il capitolo 5 riporta un breve inquadramento idrogeologico

Il capitolo 6 descrive la sismicità dell'area.

Il capitolo 7 descrive le diverse unità geotecniche e ne riporta tutti i dati derivanti dalla campagna geognostica condotta.

Il capitolo 8 descrive i risultati delle prove geofisiche.

### 1.2 Breve descrizione del progetto

Il tracciato del lotto 2C della S.S.195 si sviluppa da progressiva 21+489 a progressiva 23+900 per una lunghezza totale di circa 2411 m e costituisce uno dei principali itinerari di collegamento della zona denominata Sulcis Iglesiente, collegando l'area metropolitana a Ovest di Cagliari e gli agglomerati industriali della zona di Sarroch, inserendosi inoltre nell'importante contesto ad elevato carattere turistico di Pula, Chia e Santa Margherita.

Il tracciato si sviluppa lungo il medesimo percorso dell'attuale sede stradale, di cui è previsto l'adeguamento alla sezione B "extraurbana principale". Il tracciato esistente presenta una sezione tipo CNR III caratterizzata da due corsie da 3.50 m, una banchina da 1.75 m e uno spartitraffico da 1.10m, per una larghezza totale della carreggiata di 18.60m.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 5 di 61</b></p>
--	--

Nello stralcio 2C sono presenti opere d'arte minori con funzioni di scavalco (cavalcavia e sottovia) e opere per il deflusso delle acque (scatolari).

Sono state condotte le verifiche plano-altimetriche sul tracciato attuale che hanno evidenziato una serie di criticità ed elaborata una proposta progettuale finalizzata alla loro risoluzione che comprende:

- L'adeguamento del tracciato stradale alla sezione tipo B "extraurbana principale" secondo le indicazioni della nuova normativa sulle strade DM.05.11.2001, per un allargamento di 1.70 m di pavimentato per ciascuna carreggiata;
- L'adeguamento di opere d'arte di scavalco e opere minori, a causa dell'adeguamento della piattaforma stradale;
- L'adeguamento delle corsie specializzate d'immissione e diversione dall'area di servizio;
- L'adeguamento dello svincolo Saras (km 23+200 circa), le cui corsie di accelerazione e decelerazione risultano inadeguate alle indicazioni normative.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 6 di 61</b></p>
--	--

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nel seguito si riportano i documenti di riferimento utilizzati per la stesura del presente documento:

T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	1	A	Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	2	A	Documentazione indagini geognostiche pregresse anno 2003
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	3	A	Documentazione indagini geognostiche
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	4	A	Documentazione indagini di caratterizzazione ambientale
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	1	A	Carta geologica generale
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	2	A	Carta geomorfologica
T	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0	1	A	Carta idrogeologica
T	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0	1	A	Profilo geologico
T	0	0	GE	0	0	GEO	SG	0	1	A	Sezioni geologiche - tav. 1 di 2
T	0	0	GE	0	0	GEO	SG	0	2	A	Sezioni geologiche - tav. 2 di 2
T	0	0	GE	0	0	GEO	PU	0	1	A	Planimetria ubicazione indagini geognostiche - Tav.1
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	5	A	Indagini geognostiche e risultati prove di laboratorio
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	6	A	Indagini di progetto definitivo - Risultati prove ambientali
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	7	A	Relazione bilancio terre

T	0	0	GE	0	0	GET	RE	0	1	A	Relazione geotecnica
T	0	0	GE	0	0	GET	FG	0	1	A	Profilo geotecnico - tav.1 di 2
T	0	0	GE	0	0	GET	SG	0	1	A	Sezioni geotecniche trasversali - Tav 1 di 2
T	0	0	GE	0	0	GET	SG	0	2	A	Sezioni geotecniche trasversali - Tav 2 di 2

### 2.1.1. Normative e raccomandazioni

- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzione per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

### 2.1.2. Bibliografia

- Atkinson, J. H. (2000). Non - linear soil stiffness in routine design. Géotechnique 50, No. 5, 487-508.
- Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
- Balmer G. (1952) "A general analytical solution for Mohr's envelope" ASTM, 52.
- Berardi R. (1999) "Non linear elastic approaches in foundation design" Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, Balkema.
- Bieniawski Z.T. (1989) – Engineering rock mass classification. Wiley Interscience Publ., pp. 249.
- Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" Geotechnique 36 , n° 1.
- Bowles – "Fondazioni" – Mc Graw- Hill, 1991
- Burland, J.B. (1990). On the compressibility and shear strength of natural clays. Géotechnique 40, n° 3, 329-378.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 7 di 61</b></p>
--	--

- Byrne P.M., Salgado F.M., Howie J.A. (1990) "Relationship between the unload shear modulus from pressuremeter tests and the maximum shear modulus for sand" Proc. III International Symposium on pressuremeter (ISP3), Oxford, Thomas Telford, London.
- Chandler R.J., de Freitas M.H., Marinos P. (2004) "Geotechnical characterisation of soils and rocks: a geological perspective" Advances in Geotechnical Engineering, The Skempton Conference, 2004, Thomas Telford, London.
- Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995.
- Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils" Soils and Foundations, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.
- Durgunoglu H.T., Mitchell J.K. (1975) "Static penetration resistance of soils, I -Analyses, II - Evaluation of the theory and interpretation for practice" aSCE Specialty Conference on in Situ Measurements of Soil Properties, Raleigh NC, V.I..
- Elson W.K. (1984) "Design of laterally-loaded piles" CIRIA Report 103.
- Fahey M. (1992) "Shear modulus of cohesionless soil: variation with stress and strain level" Canadian Geotechnical Journal, n°30.
- Fahey M., Carter J.P. (1993) "A finite element study of the pressuremeter test in sand using a nonlinear elastic plastic model" Canadian Geotechnical Journal, n°29.
- Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" Proceedings In-situ 2001, Bali.
- Jaky, J. 1944. "The coefficient of earth pressure at rest. In Hungarian A nyugalmi nyomas tenyezoje." J. Soc. Hung. Eng. Arch. (Magyar Mernok es Epitesz-Egylet Kozlonye), 355–358.
- Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- Japan Road Association (1990). Specification for Highway Bridges, Part IV
- Ladd C.C., Foot R. (1974) "A new design procedure for stability of soft clays" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.100, n° 7.
- Ladd C.C., Foot R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G. (1977) "Stress deformation and strength characteristics" S.O.A. Report, Proc. IX Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, Vol. 2.
- Lo Presti D.C.F. (1989) "Proprietà dinamiche dei terreni" Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, 14th Ciclo, Comportamento dei terreni e delle fondazioni in campo dinamico.
- Marchetti S. (1985) "On the field determination of ko in sand" Discussion Session 2A, 11th ICSMFE, S. Francisco.
- Morgenstern N.R. (1990) "Instability mechanism in stiff soils and weak rocks" Proc. X Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, vol.2, pag.27.
- Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.6.
- Peck R.B., Hanson W.E., e Thornburn T.H. (1953). Foundation Engineering. J. Wiley & Sons Inc., New York
- Rocchi G.F. (2003) "Correlazione empirica tra coefficiente di permeabilità, indice dei vuoti e caratteristiche di plasticità in argille e limi" Documento interno Studio Geotecnico Italiano.
- Schmertmann JH (1975) State of the art paper: measure of in situ strength. Proceedings of ASCE Conference on in situ Measurements of Soil Properties, Raleigh, North Carolina, pp. 57–138.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 8 di 61</b></p>
--	--

- Seed, H. Bolton (1970). Soil moduli and dumping factors for dynamic response analyses. Report No. EERC 70-10. Earthquake Engineering Research Center. College of Engineering, University of California, Berkeley, California.
- Serafim J.L., Pereira J.P. (1983) "Considerations of the geomechanic classification of Bieniawski" Proc. Int. Symp. On Engg, Geol. And Underground Constr. (L.N.E.C., Lisb. Portugal), Vol.1, Section 2, pp.33-42.
- Simpson B., Calabresi G., Sommer H., Wallays M. (1979) "Design parameters for stiff clays" General Report, Proc. 7th ECSMFE, Brighton.
- Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n° 3.
- Somerville S.H. (1986) "Control of groundwater for temporary works" CIRIA Report 113.
- Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPT I.
- Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- Terzaghi Peck (1948), Soil Mechanics In Engineering Practice – Jhon Wiley & sons, inc.
- Terzaghi, K., Peck, R.G., and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., pp. 549.
- Tokimatsu K., Yoshimi Y. (1983) "Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content" Soils and Foundations 23, n° 4.
- Vucetic M., Dobry R. (1991) "Effect of soil plasticity on cyclic response" Journal of Geotechnical Engineering, vol. 117, n° 1, pp. 89-107.
- Youd T.D. (1972) "Factors controlling maximum and minimum density of sands" Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 9 di 61</b></p>
--	--

### 3 INDAGINI GEOTECNICHE EFFETTUATE

Per la caratterizzazione geologica e geotecnica del sito è stata condotta 1 campagna geognostica nel 2003 e una campagna integrativa nel 2018 per l'aggiornamento della progettazione definitiva.

#### 3.1 Campagna geotecnica 2003

Per la campagna geognostica condotta tra Aprile e Luglio del 2003, nello stralcio 2C oggetto del presente documento, sono state effettuate:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove penetrometriche (S31 e S32) dinamiche con prelievo di campioni disturbati su cui sono state eseguite analisi granulometriche e determinati i limiti di Atterberg.
- 9 pozzetti esplorativi (C3, C4, C5, e da P1, P2, P3, P5, P6 e P8) sui cui campioni di terreno prelevati sono state eseguite analisi granulometriche e limiti di Atterberg.

#### 3.2 Campagna geotecnica integrativa 2018

##### 3.2.1. Descrizione dell'indagine effettuata

Per l'aggiornamento della progettazione definitiva dell'intervento relativo al secondo lotto della S.S. 195 "Sulcitana" nel tratto Pula – Cagliari, nei mesi di novembre e dicembre 2018 è stata condotta una indagine geotecnica integrativa comprendente:

- n. 9 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo; in tutti i sondaggi sono state effettuate sistematicamente prove penetrometriche SPT per un totale di 62 prove;
- Installazione in 2 sondaggi di piezometri a tubo aperto da 2";
- n. 3 prove geofisiche down-hole condotte in corrispondenza di 3 sondaggi a carotaggio continuo
- n. 77 prelievi di campioni di cui n. 13 indisturbati, n. 10 litoidi e n. 54 rimaneggiati, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- n. 2 prove di permeabilità Lefranc;
- n. 7 pozzetti esplorativi geotecnici;
- n. 4 prove di carico su piastra in corrispondenza dei pozzetti esplorativi;
- n. 1 prova geofisica MASW.

Nella seguente Tabella 1 sono riepilogati tutti i sondaggi effettuati.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 10 di 61</b></p>
--	---

Tabella 1 - Riepilogo campagna geotecnica integrativa condotta nel 2018 Lotto 2 stralcio 2C.

Sigla sondaggio	Prof. (m dal p.c.)	SPT (n.)	Campioni Indisturbati (n.)	Campioni Rimaneggiati (n.)	Campioni di roccia (n.)	Down – Hole	Piezometro a tubo aperto del diametro di 2"	Prove Lefranc (n.)
S04	15	7	4	3				
S05_PZ	20	5	3	4			2"	1
S06_DH	30	10		10		x		
S07	15	9	2	5				
S08_PZ	30	7	2	10	1	x		1
S09_PZ	20	8	1	7			2"	
S10_DH	15	5		3	7	x		
S11	15	6	1	7				
S12	10	5		5	2			

Per quanto concerne i pozzetti geotecnici ne sono stati realizzati 3 (denominati Pz5, Pz6 e Pz8) su terreno naturale, spinti fino ad una profondità massima di circa 2.00 m dal p.c., allo scopo di: (1) verificare in dettaglio la stratigrafia degli strati più superficiali; (2) eseguire prove di carico su piastra circolare al di sotto dello spessore di terreno di scotico di 0.30 metri; (3) prelevare dei campioni rimaneggiati alla profondità compresa tra 0.30 e 0.50 metri sui quali eseguire prove di laboratorio (analisi granulometrica e limiti di Atterberg) atte a definire il gruppo di appartenenza dei terreni nell'ambito della classificazione di una terra ad uso stradale.

Le prove Down Hole effettuate in 3 sondaggi hanno permesso di ottenere la velocità delle onde di taglio,  $V_s$  e, conseguentemente, i valori del modulo di taglio,  $G_0$ , e di Young,  $E_0$ , a piccolissime deformazioni.

I 2 piezometri a tubo aperto installati nei sondaggi S05\_PZ e S09\_PZ hanno consentito di misurare il livello della falda.

### 3.2.2. Prove di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni sia rimaneggiati, in corrispondenza delle prove SPT, sui quali sono state effettuate delle analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione, sia campioni indisturbati, prelevati dai livelli più coesivi sui quali sono state effettuate delle determinazioni dei limiti di Atterberg, delle prove triassiali, di taglio diretto ed edometriche. Inoltre, sono stati prelevati anche campioni di roccia sui quali sono state effettuate delle prove di compressione monoassiale.

ANAS S.p.A.

S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la  
S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2

RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 11 di 61**

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 12 di 61</b></p>
--	---

## 4 CRITERI DI INTERPRETAZIONE ADOTTATI

Le prove penetrometriche dinamiche SPT hanno consentito di ricavare i valori di resistenza al taglio e deformabilità, adottando le correlazioni di letteratura riportate nel seguito.

### 4.1 Densità relativa

Correlazione di Skempton (1986).

In accordo a quanto indicato da Skempton (1986) la densità relativa  $D_r$  di sabbie silicee, non cementate può essere correlata al valore  $N$  con la seguente relazione:

$$D_r = \left( \frac{1}{A + B \cdot \sigma'_{v0}} \cdot N \right)^{0.5}$$

dove:

$A, B$  = costanti empiriche indicate nella seguente Tabella 2.

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace in sito alla quota della prova SPT espressa in  $\text{kg/cm}^2$

$N$  = numero di colpi per 30 cm di infissione

$(K_0)_{nc}$  = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati= assunto pari a 0.5

$(K_0)_{sc}$  = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovraconsolidati=  $0.5 (GSC)^{0.5}$

GSC = grado di sovraconsolidazione

$D_r$  = densità relativa

Tabella 2 - Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986).

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27.5	27.5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43.3	21.7
Sabbie sovraconsolidate	27.5÷43.3	$(21.7 \div 27.5) \cdot \frac{1+2 \cdot (k_0)_{sc}}{1+2 \cdot (k_0)_{nc}}$

### 4.2 Angolo di resistenza al taglio

Correlazione di Bolton

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 13 di 61</b></p>
--	---

In accordo a Bolton (1986) l'angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'$  può essere stimato sulla base delle seguenti equazioni:

$$\phi' = \phi'_{cv} + m \cdot DI$$

con

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p'_f)] - 1$$

essendo:

$D_r$  = densità relativa

$Q$  = 10 (per particelle di natura silicea)

$p'_f$  = pressione efficace media a rottura (kPa) =  $1.4 \sigma'_{ff}$  (Jamiokowski et al. ,1988)

$\sigma'_{ff}$  = tensione normale alla superficie di rottura in condizioni di rottura

$m$  = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione (vedi Tabella 3)

$\phi'_{cv}$  = angolo di attrito a volume costante, determinabile da prove di laboratorio o stimabile, nel caso di sabbie, sulla base di quanto indicato in Tabella 4

In accordo all'involuppo curvilineo proposto da Baligh (1975) fino a valori di  $\sigma'_{ff} = 272$  kPa l'angolo di attrito di picco  $\phi'$  può essere determinato adottando  $p'_f = 1.4 \sigma'_{ff} = 1.4 \times 272 = 380$  kPa.

Per valori superiori di  $\sigma'_{ff}$ , l'angolo di attrito  $\phi'$  tenderà invece a diminuire; esso andrà determinato caso per caso sulla base dell'effettivo valore di  $\sigma'_{ff}$  o di  $p'_f$ , associabile allo specifico problema in esame.

Tabella 3 - Valori della costante empirica  $m$  secondo Bolton (1986).

Condizioni di deformazione	$m$ (-)
Tipiche di prove triassiali di compressione (problemi di carico in condizioni assialsimmetriche)	3
Tipiche di prove di taglio semplice (problemi in condizioni di deformazione piana)	5

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 14 di 61</b></p>
--	---

Tabella 4 - Valori dell'angolo a volume costante in accordo a Stroud (1988) e Youd (1972).

Tipo di terreno	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie con spigoli vivi	38°	34°
Sabbie con spigoli arrotondati	33°	30°

Nel caso delle ghiaie si potrà assumere mediamente  $\phi'_{cv} = 35^\circ \div 36^\circ$ .

Di seguito si presentano altre 3 correlazioni che sono state utilizzate per confronto con la correlazione appena citata.

#### Correlazione di Schmertmann (1975)

$$\varphi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{spt}}{\left( 12.2 + 20.3 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)} \right]^{0.34}$$

#### Correlazione della Japan Road Association (1990)

$$\varphi' = \sqrt{15 \cdot N_{spt} + 15}$$

#### Correlazione di Peck (1953)

$$\varphi' = 0.3 \cdot N_{spt} + 20$$

### 4.3 Modulo di deformabilità

Per la determinazione del modulo di deformabilità ci si è basati sia sulle prove down-hole che sulle correlazioni derivanti dalle prove SPT.

Le prove Down Hole effettuate in 3 sondaggi hanno permesso di ottenere la velocità delle onde di taglio,  $V_s$  e, conseguentemente, i valori del modulo di taglio,  $G_0$ , e di Young,  $E_0$ , a piccole deformazioni.

Per la determinazione del modulo viene innanzitutto ricavata la velocità delle onde di taglio  $V_s$  adottando la correlazione, di seguito riportata, proposta da Ohta & Goto (1978); sulla base di tale valore di  $V_s$  si determina il modulo di taglio ( $G_0$ ) e quello di Young ( $E_0$ ) iniziali, associabili a piccole deformazioni utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{Y_t}{9.81} (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 15 di 61</b></p>
--	---

essendo:

$\gamma_t$  = peso dell'unità di volume naturale del terreno in  $\text{kN/m}^3$

$\nu'$  = rapporto di Poisson del terreno =  $0.15 \div 0.20$

$V_s$  = velocità delle onde di taglio in  $\text{m/sec}$

Una volta ricavato il modulo di taglio e di Young a piccole deformazioni il modulo di deformabilità "operativo" per il calcolo dei cedimenti dei rilevati viene assunto pari a:  $E_{op} = E_0 / 10$ .

Di seguito si presentano invece le correlazioni per il calcolo del modulo di Young dalle prove penetrometriche dinamiche SPT.

#### **Correlazione di Stroud (1988)**

Un approccio valido è quello proposto da Stroud in cui il valore del modulo elastico è direttamente correlabile con il valore di  $N_{spt}$ :

$$E = N_{spt} \quad (\text{MPa})$$

#### **Correlazione di Jamiolkowski (1988)**

Un secondo tipo di approccio è quello di Jamiolkowski et al. (1988). Secondo tale metodo, il modulo di Young "operativo" può essere assunto pari a quello corrispondente a tensioni dell'ordine del 25% di quelle a rottura. Gli autori hanno proposto la seguente correlazione valida per terreni normalconsolidati:

$$E'_{25} = (1,5 - 3,5 \cdot D_R) \cdot N_{spt}$$

#### **Correlazione di Terzaghi**

Il valore del modulo di Young è stato determinato anche con la formula di Terzaghi:

$$E' = 7 \cdot \sqrt{N_{spt}}$$

#### **Correlazione di Bowles (1991)**

Infine, una stima attendibile del modulo elastico  $E'$  a partire dai risultati delle prove SPT, si ottiene con la relazione seguente:  $E' = C_1 \cdot (N'_{55} + C_2)$

$$E' = C_1 \cdot (N'_{55} + C_2)$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 16 di 61</b></p>
--	---

dove  $C_1$  ed  $C_2$  sono coefficienti variabili in funzione del tipo di terreno ed  $N'_{55}$  (Valore di  $N_{spt}$  nell'ipotesi che l'energia trasmessa alle aste sia pari al 55%) si ricava a partire dal numero di colpi standard  $N'_{70}$  (Valore di  $N_{spt}$  nell'ipotesi che l'energia trasmessa alle aste sia pari al 70%), calcolato, a partire dal valore  $N_{SPT}$  (in Italia si assume che il valore di energia trasmesso alle aste sia pari a 60%):

$$N'_{70} = C_N \cdot N_{SPT} \cdot \frac{60}{70}$$

$$N'_{55} = N'_{70} \cdot \frac{70}{55}$$

In corrispondenza di terreni ghiaiosi-sabbiosi, per  $N_{SPT} > 15$ , il modulo elastico  $E'$  si ricava mediante la seguente relazione (Tabella 5):

$$E' = 600 \cdot (N'_{55} + 6) + 2000 \quad [\text{kPa}]$$

Per le sabbie limose viene invece adottata la relazione (Tabella 5):

$$E' = 300 \cdot (N'_{55} + 6) \quad [\text{kPa}]$$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 17 di 61</b></p>
--	---

Tabella 5: Parametri per la stima del modulo Elastico secondo Bowles (1991)

**Equations for stress-strain modulus  $E_s$  by several test methods**

$E_s$  in kPa for SPT and units of  $q_c$  for CPT; divide kPa by 50 to obtain ksf. The  $N$  values should be estimated as  $N_{55}$  and not  $N_{70}$ . Refer also to Tables 2-7 and 2-8.

Soil	SPT	CPT
Sand (normally consolidated)	$E_s = 500(N + 15)$ $= 7000 \sqrt{N}$ $= 6000N$ — — — $\ddagger E_s = (15\,000 \text{ to } 22\,000) \cdot \ln N$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_u$ $= 8000 \sqrt{q_c}$ — — — $E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$ $*E_s = (1 + D_r^2)q_c$
Sand (saturated)	$E_s = 250(N + 15)$	$E_s = Fq_c$ $e = 1.0 \quad F = 3.5$ $e = 0.6 \quad F = 7.0$
Sands, all (norm. consol.)	$\%E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Sand (overconsolidated)	$\ddagger E_s = 40\,000 + 1050N$ $E_{s(\text{OCR})} \approx E_{s,nc} \sqrt{\text{OCR}}$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
Gravelly sand	$E_s = 1200(N + 6)$ $= 600(N + 6) \quad N \leq 15$ $= 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Clayey sand	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Silts, sandy silt, or clayey silt	$E_s = 300(N + 6)$ If $q_c < 2500$ kPa use $^{\$}E'_s = 2.5q_c$ 2500 < $q_c$ < 5000 use $E'_s = 4q_c + 5000$ where $E'_s = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} = \frac{1}{m_v}$	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$
Soft clay or clayey silt		$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 18 di 61</b></p>
--	--

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Ai margini dello stagno di Santa Gilla, nella fascia di terreni che delimita ad Ovest la laguna, dai monti di Capoterra fino a Macchiareddu, la serie stratigrafica di Santa Gilla si sovrappone o si appoggia ad una potente formazione alluvionale del quaternario antico, in gran parte ferritizzata. Si tratta di ghiaie ad elementi di rocce paleozoiche (graniti e scisti), con intercalazioni sabbiose-argillose, molto costipate e ad abbondanti ossidi di ferro, bruno rossastre o giallo-grigio-verdastre, in cui mancano completamente i livelli marini o salmastri.

Superato lo Stagno di Santa Gilla il tracciato della nuova SS 195 si sviluppa parallelamente alla costa ad una distanza variabile di 1-2 km dal mare per poi allontanarsi decisamente a Ovest dell'abitato di Sarroch.

La morfologia della piana di Capoterra-Sarroch-Pula su cui si sviluppa questa parte del tracciato rappresenta un settore mediamente sprofondato tra la fossa tettonica (Graben) campidanese verso mare ed il rispettivo pilastro (Horst) paleozoico a monte.

Alla base della scarpata si sviluppano, in direzione della costa, conoidi alluvionali e depositi di pendio del quaternario modellati a glacis.

A valle i depositi di glacis sfumano talvolta nelle piane alluvionali generate dalle esondazioni antiche e recenti dei corsi d'acqua principali, altre volte giungono sino al mare in modo più o meno graduale.

I depositi fluviali sono suddivisibili in 2 tipi:

alluvioni antiche terrazzate: si tratta di alluvioni bruno-rossastre costituite da ciottoli arrotondati eterometrici di scisto, porfido, granito, a matrice sabbioso-argillosa, di granulometria variabile dai 10 ai 50-60 cm. Di solito sono ben addensate ed a luoghi cementate ed hanno una potenza variabile tra 1 e 15 m.

alluvioni recenti: sono costituite da ciottoli ben arrotondati litologicamente simili ai precedenti, la componente sabbiosa non presenta arrossamenti e solo localmente è leggermente addensata. Si rinvencono lungo gli alvei dei fiumi.

Verso il mare, quasi all'estremità nord-orientale della regione in esame, svettanti sulla planarità dei depositi quaternari appena descritti, si ergono i rilievi andesitici oligomiocenici di Sarroch.

Si tratta di termini vulcanici ascrivibili al terziario. Esse sono affioranti soprattutto nella seconda metà del tracciato, e sono ben osservabili lungo la trincea esistente al km 23+800 circa. Le andesiti sono intercettate in tutti i sondaggi eseguiti fra il km 22+500 e la fine della tratta. Si tratta generalmente di rocce a consistenza lapidea le quali, però spesso mostrano bande di alterazione spesse 2-3 metri. In alcune zone, l'alterazione ha provocato la formazione di vere e proprie brecce andesitiche. Le andesiti hanno spesso una tipica giacitura cupoliforme, ben rilevabile sul terreno L'abitato di Sarroch e di Pula, sono infatti caratterizzate da tali morfologie particolari. Nel comune di Sarroch, alcune cave di materiale lapideo sono coltivate nei livelli a consistenza lapidea.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 19 di 61</b></p>
--	---

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area è caratterizzata dalla presenza di terreni che in generale presentano una permeabilità modesta ma che localmente può aumentare in funzione della granulometria o dello stato di fratturazione.

Nella Carta Idrogeologica sono riportate le classi di permeabilità in relazione ai terreni presenti. In essa sono state individuate tre classi di permeabilità:

Complessi alluvionali quaternari recenti a media permeabilità. A questa classe appartengono i complessi alluvionali quaternari recenti, depositi a più riprese, non affetti da ferrettizzazione. Tali depositi in generale hanno conservato una certa permeabilità e possono contenere falde più o meno profonde in pressione, oltre la falda freatica. Sono acquifere quindi le colmate alluvionali del Rio Mannu. I pozzi trivellati in queste zone possono avere portate fra i 5 e 15 l/s.

Complessi alluvionali quaternari antichi (glacis) a bassa o nulla permeabilità. A questa classe appartengono i complessi alluvionali quaternari antichi, depositi a più riprese, che constano generalmente di alternanze ciottoloso-sabbiose e limo-argillose. La permeabilità di questi depositi, nell'insieme, non è mai elevata. Gli stessi ciottolati, spesso ferrettizzati ed arrossati, con diffusa matrice argillosa, appaiono adensati, ma presentano caratteristiche di permeabilità assai variabili. Costituendo con continuità i depositi sui quali si sviluppa l'asse stradale, le trincee stradali che interessano tale formazione, presentano fenomeni risorgivi, seppur effimeri e legati direttamente agli eventi meteorici, che interferiscono in maniera negativa sulla stabilità delle scarpate, nonché sulla tenuta dell'infrastruttura in genere. La regimentazione delle acque sia di superficie (fossi, briglie, traverse, ecc.) sia sotterranee (trincee drenanti), è prevista laddove l'infrastruttura interagisce con tale formazione, soprattutto in corrispondenza dei tratti in trincea.

Complessi vulcanici terziari a bassa o media permeabilità. Si tratta di complessi vulcanici costituiti da lave e breccie andesitiche a permeabilità per fessurazione variabile, mai elevata, talora pressoché nulla, spesso intercalati formazioni sedimentarie alluvionali.

Complesso granitico-scistoso paleozoico a bassa permeabilità. Appartengono a questa classe gli ammassi granitici e scistosi del basamento caledoniano ercinico. Le sorgenti presenti in tali litotipi raramente presentano portate superiori ai 2 l/s. D'altra parte la bassa permeabilità del complesso è documentata dalla presenza di serbatoi artificiali. Fenomeni di permeabilità secondaria si riscontrano nelle aree maggiormente diaclasate: la presenza di faglie, breccie di frizione, corpi filoniani eruttivi favorisce l'infiltrazione delle acque e può dar luogo ad accumuli idrici di discreta entità. Tuttavia la circolazione idrica che si può instaurare, comporta, a lungo andare, un'alterazione dei minerali costituenti il Granito verso termini argillosi che possono ridurre la circolazione idrica. Per quanto riguarda i litotipi scistosi essi in generale sono impermeabili.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 20 di 61</b></p>
--	---

## 7 SISMICITA' DELL'AREA

### 7.1 Definizione della pericolosità sismica di base

Per quanto riguarda la definizione della pericolosità sismica di base, in accordo all'Allegato B delle NTC2008 cui fa riferimento NTC2018, nella Figura 0-1 sono riportate tutte le informazioni sulla pericolosità sismica della zona nella quale è situato lo Stralcio 2c della S.S. 195 "Sulcitana" nel tratto Pula – Cagliari. Tali informazioni, relativamente all'accelerazione orizzontale massima del terreno, sono state ottenute dal sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

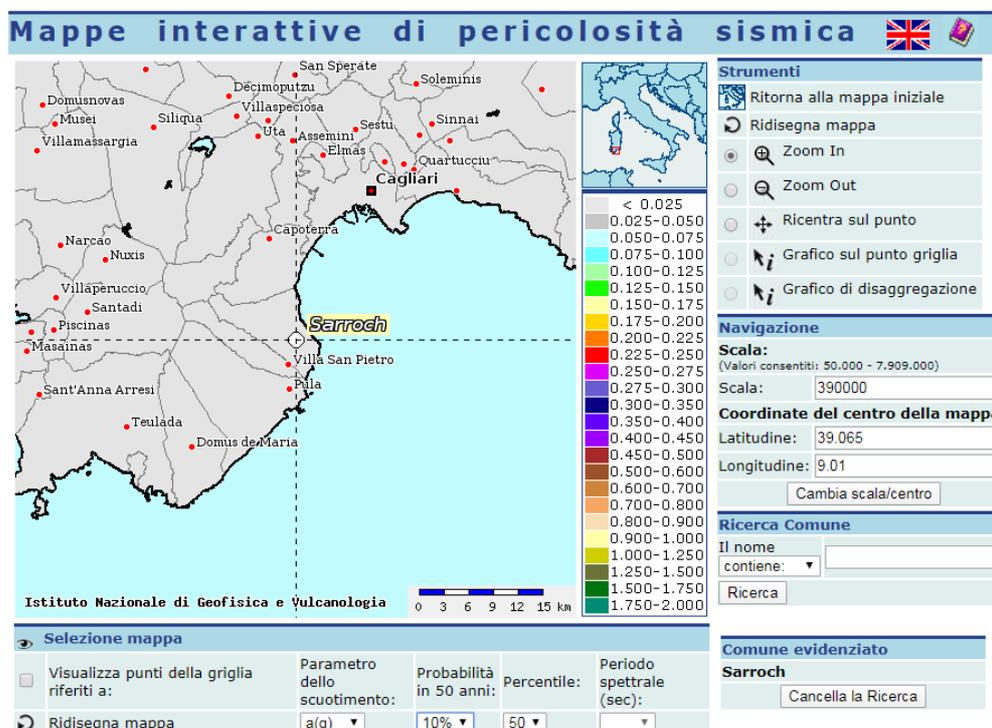


Figura 0-1: Maglia del reticolo di riferimento per il sito di Sarroch, con indicati i valori di ag con probabilità di occorrenza del 10% in 50 anni

Come mostrato in Figura 0-1, nell'area del progetto si ha un valore dell'accelerazione orizzontale massima del terreno compresa tra 0.025 g e 0.05 g (TR=475 anni).

### 7.2 Valutazione degli effetti di sito

Per la valutazione della categoria di sottosuolo, il valore di  $V_{s,eq}$  – (ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, calcolata imponendo l'equivalenza dei tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente) è stato calcolato utilizzando i valori dei risultati delle 3 prove "down – hole" relative alla campagna geotecnica integrativa 2008.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:****T00GE00GETRE01A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 21 di 61**

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Dove:

 $h_i$ =spessore dello strato i-esimo; $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N= numero di strati;

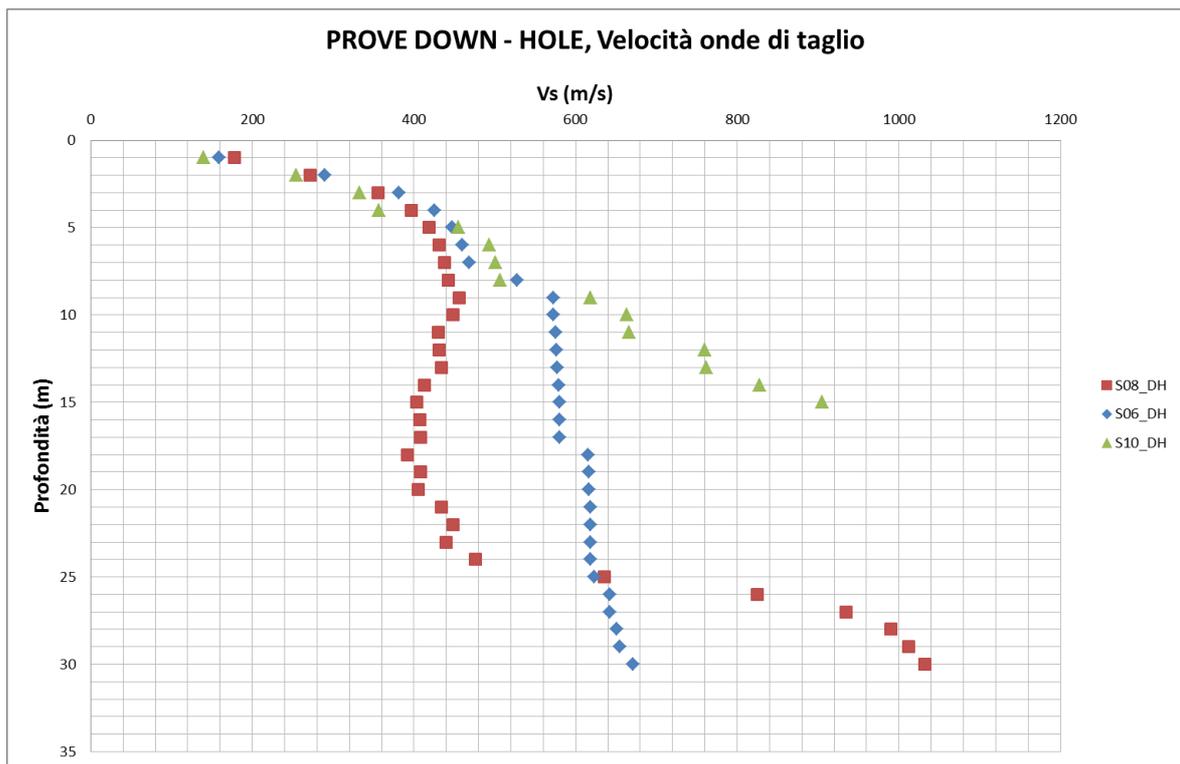
H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Figura 0-2 – Velocità delle onde di taglio derivanti dalle prove down hole

Ne deriva che la  $V_{s,eq}$  è pari a 505 m/s nel sondaggio S6\_DH, 440 m/s nel sondaggio S8\_DH e 432 nel sondaggio S10\_DH, pertanto corrispondente alla categoria di sottosuolo B ( $V_{s,eq}$  comprese tra 360 m/s e 800 m/s) come da indicazioni del DM 17/01/2018.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 22 di 61</b></p>
--	---

### 7.3 Definizione dell'azione sismica di riferimento

Sulla base delle indicazioni delle NTC2018 si assumono i seguenti valori per determinare l'azione sismica di riferimento nel comune interessato dall'opera ossia Sarroch.

#### 5.3.1. Comune di Sarroch

- o vita nominale:  $V_N = 50$  anni (Costruzioni con livelli di prestazione ordinari)
- o coefficiente d'uso:  $C_U = 2$
- o periodo di riferimento:  $V_R = V_N \times C_U = 100$  anni:
- o stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV
- o probabilità di superamento associata allo stato limite SLV:  $PVR = 10\%$
- o periodo di ritorno:  $TR = -V_R / \ln(1 - PVR) = 949$  anni
- o categoria di sottosuolo: B (paragrafo 5.2),  $S_s=1.2$
- o categoria topografica: T1

I parametri sismici principali sono riassunti nella seguente tabella (le accelerazioni di riferimento sono riportate all'allegato 2 del DM2008 cui il DM2018 rimanda).

Tabella 6 – Valori dei parametri per la definizione del sismo di progetto

	$P_{VR}$ [%]	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	81%	60	0,0254	2,685	0,300
SLD	63%	101	0,0313	2,730	0,307
SLV	10%	949	0,0599	2,976	0,371
SLC	5%	1950	0,0707	3,061	0,393

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 23 di 61</b></p>
--	---

## 8 UNITA' GEOTECNICHE

L'insieme delle indagini in sito ed in laboratorio ha fornito un quadro esaustivo della situazione litostratigrafica dei terreni interessati dal tracciato ed alle loro caratteristiche tecniche.

I sondaggi e le prove in foro effettuati, unitamente ai rilievi di superficie eseguiti, ci permettono di suddividere i terreni incontrati lungo l'asse (vedi profilo geotecnico), o interessati dalle fondazioni delle opere d'arte, in differenti unità geotecniche. Per quanto riguarda il terreno vegetale ed i livelli pedogenizzati, essi sono stati rilevati sistematicamente durante i sondaggi, con spessori variabili fra 0,2 e 1,0 m. Tale coltre, che maschera quasi totalmente le osservazioni dirette delle varie unità, non è stata riportata nel profilo geotecnico.

Le unità geotecniche individuate sono le seguenti:

Unità geotecnica n. 1 – Alluvioni antiche grossolane, rossastre, fortemente addensate, in matrice argillosa;

Unità geotecnica n. 2 – Depositi vulcanici di natura andesitica, non alterati, di consistenza lapidea;

Unità geotecnica n. 2a – Depositi vulcanici: tufi e tufiti di natura andesitica a luoghi alterati fino ad argillificati;

Unità geotecnica n. 3 – Rilevati riporti e riempimenti.

Di seguito si riportano i dati derivanti dalle campagne geognostiche per ognuna delle unità geotecniche individuate.

### 8.1 Unità geotecnica n. 1 – Alluvioni antiche grossolane, rossastre, fortemente addensate, in matrice argillosa

Si tratta di una delle formazioni più interessate dal tracciato stradale. Tali depositi sono noti anche con il nome di glaciais.

I sondaggi che hanno individuato tale unità sono: S04, S05\_PZ, S06\_DH, S07, S08\_DH, S09\_PZ e i sondaggi della campagna precedente S31 e S32.

#### 8.1.1. Granulometria

Dai campioni esaminati le frazioni limo-argillose sono risultate variabili fra il 20% ed il 30% mentre quella sabbiosa fra il 20 ed il 38%. La frazione ghiaiosa è presente con percentuali variabili fra 38 e 60 % (Figura 0-3).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 24 di 61**

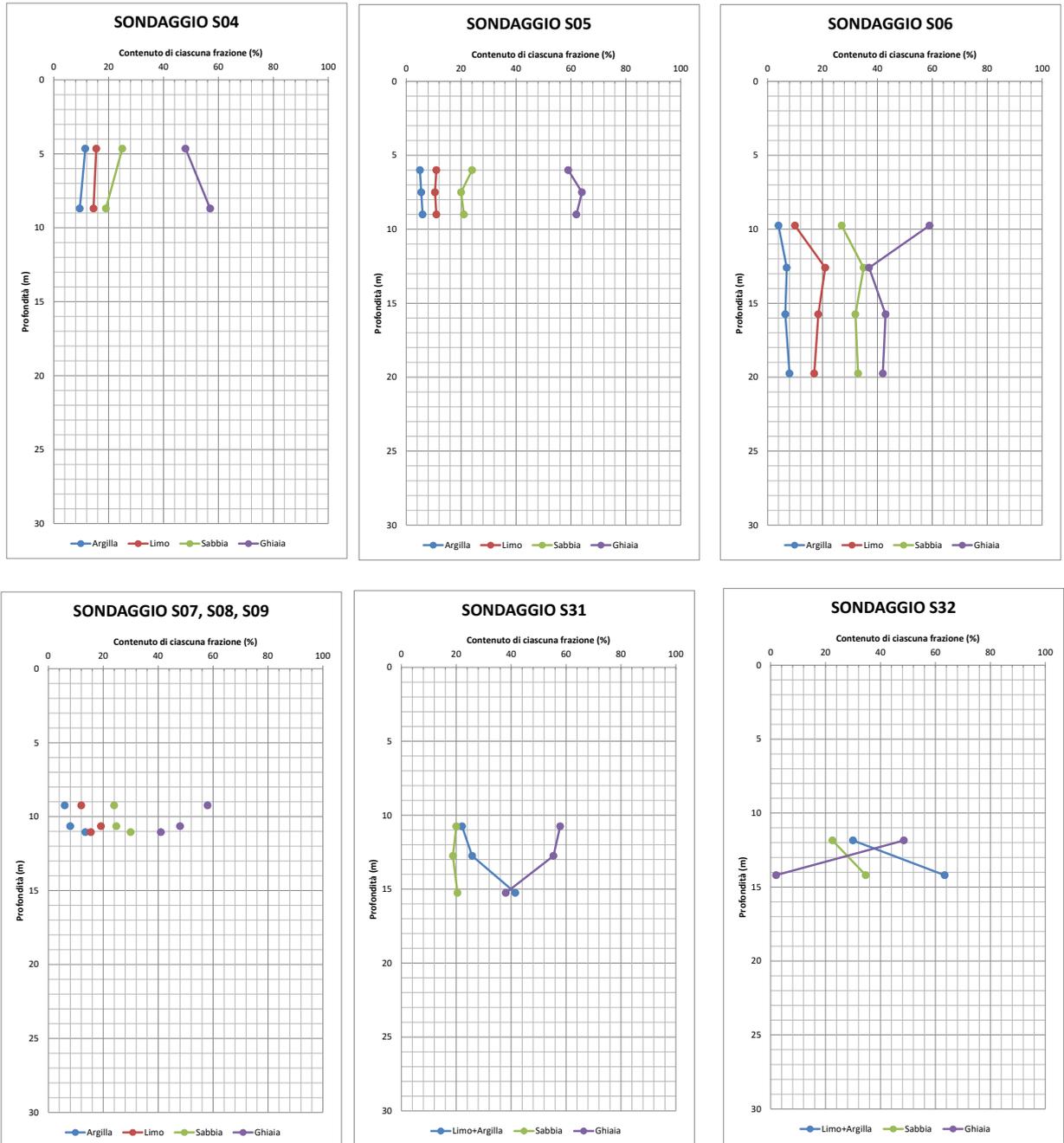


Figura 0-3 – Percentuali delle diverse frazioni granulometriche nell'unità 1

**8.1.2. Prove penetrometriche dinamiche**

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità ci si è basati sui valori derivanti dalle prove penetrometriche eseguite durante le 2 campagne geognostiche.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 25 di 61**

Nei seguenti grafici si illustrano, per l'unità geotecnica in esame, il numero di colpi ogni 30 cm (Figura 0-4) in funzione della densità relativa (Figura 0-5) e dell'angolo d'attrito (da Figura 0-6 a Figura 0-9) secondo le diverse correlazioni di cui al paragrafo 4.2.

Anche per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità si presentano i risultati in termini di modulo di Young derivanti dalle diverse correlazioni presentate al paragrafo 4.3.

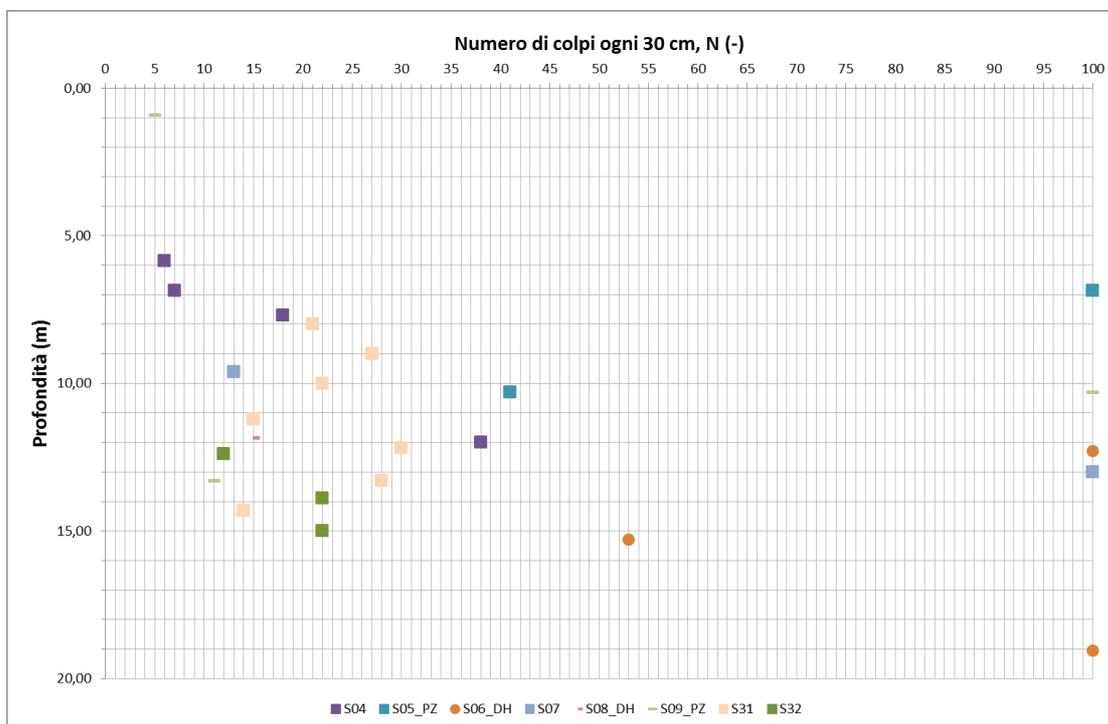


Figura 0-4 – Unità geotecnica 1: Numero di colpi/30 cm

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 26 di 61**

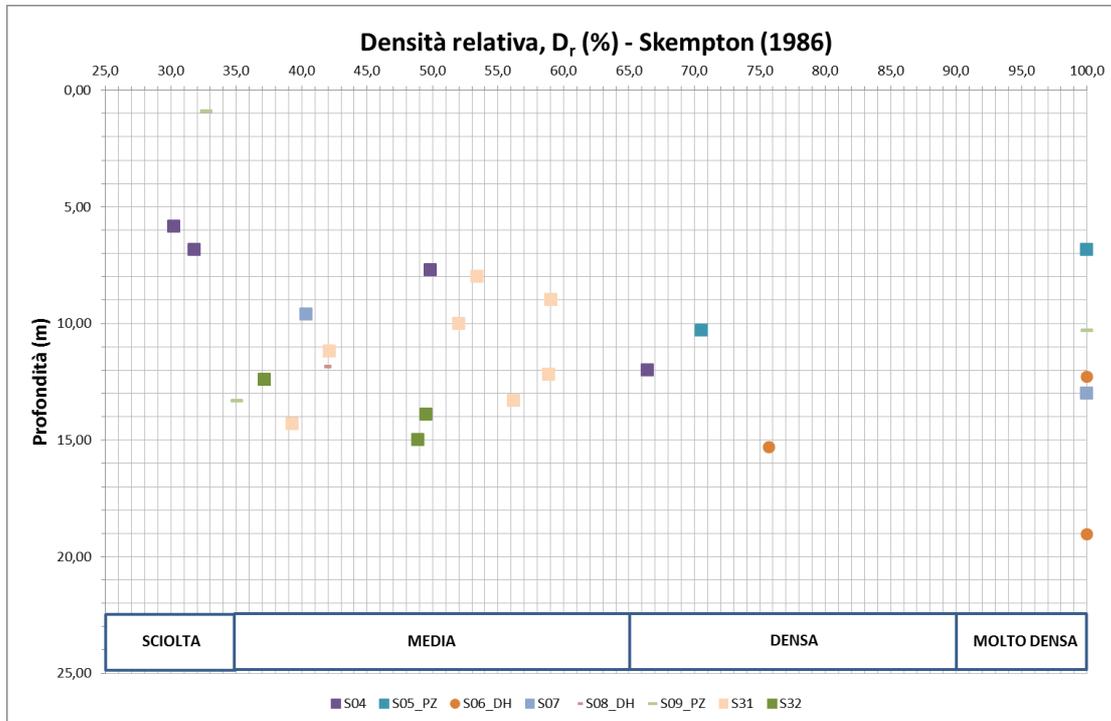


Figura 0-5 – Unità geotecnica 1: Densità relativa da prove SPT

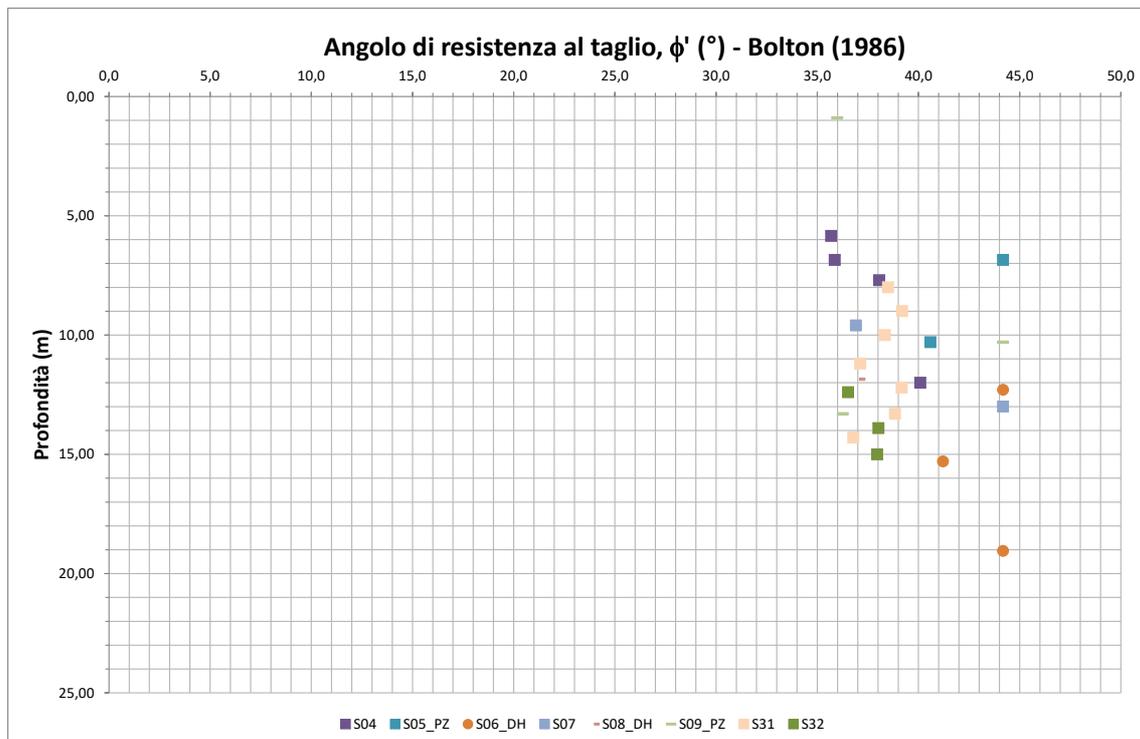


Figura 0-6 – Unità geotecnica 1: Angolo d'attrito secondo Bolton (1986)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 27 di 61**

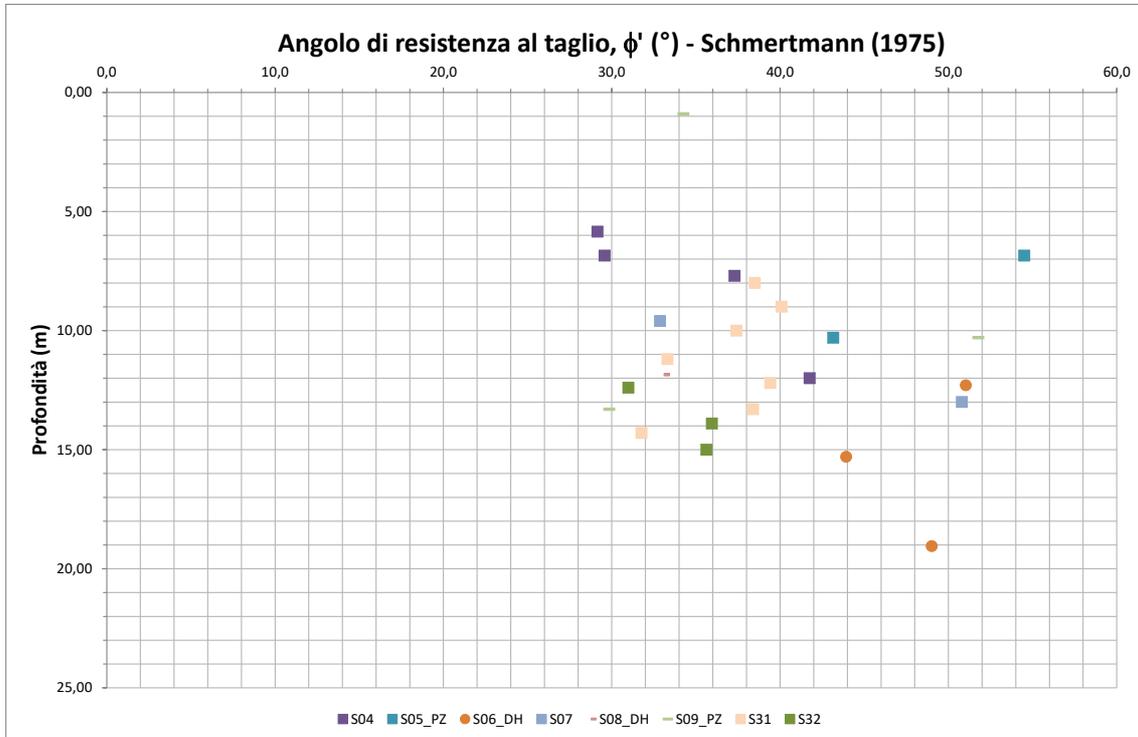


Figura 0-7 – Unità geotecnica 1: Angolo d'attrito secondo Schmertmann (1975)

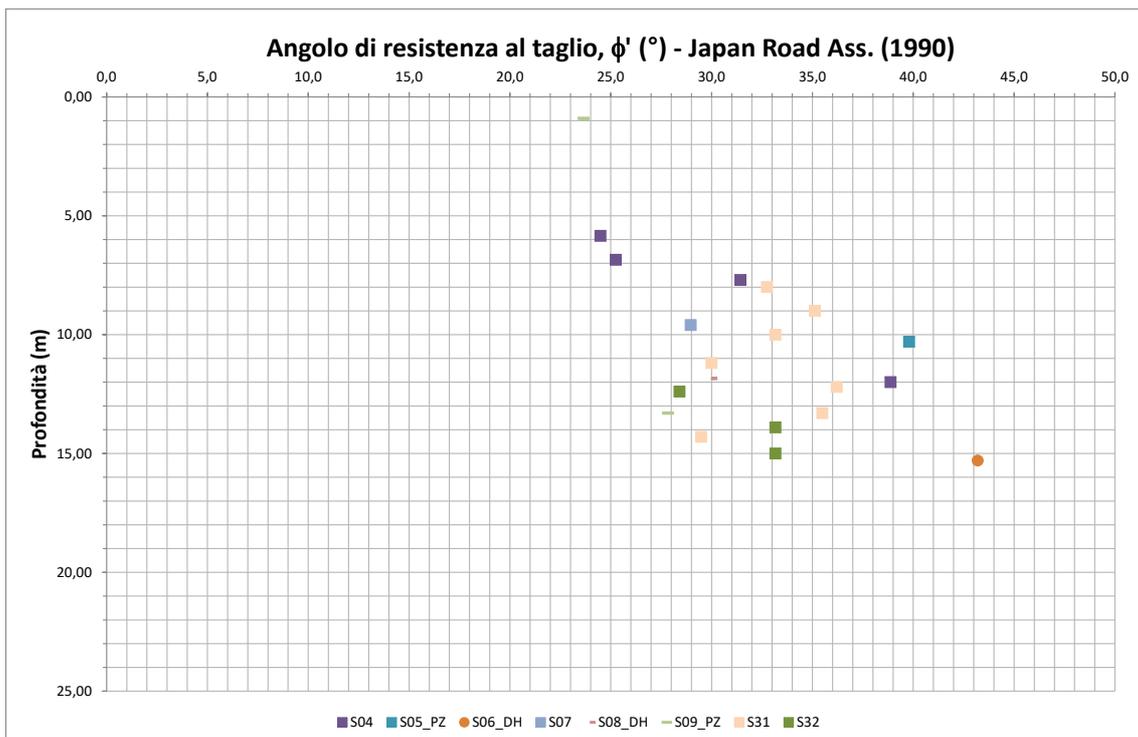


Figura 0-8 – Unità geotecnica 1: Angolo d'attrito secondo Japan Road Ass. (1990)

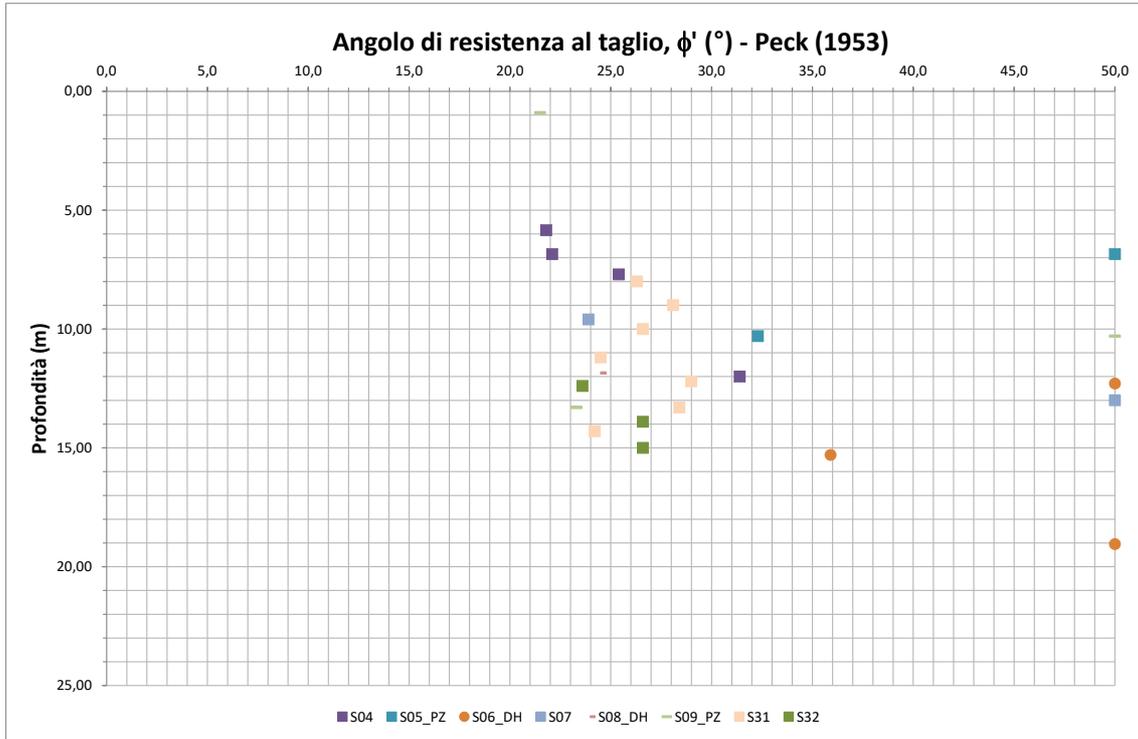


Figura 0-9 – Unità geotecnica 1: Angolo d'attrito da SPT secondo Peck (1953)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 29 di 61**

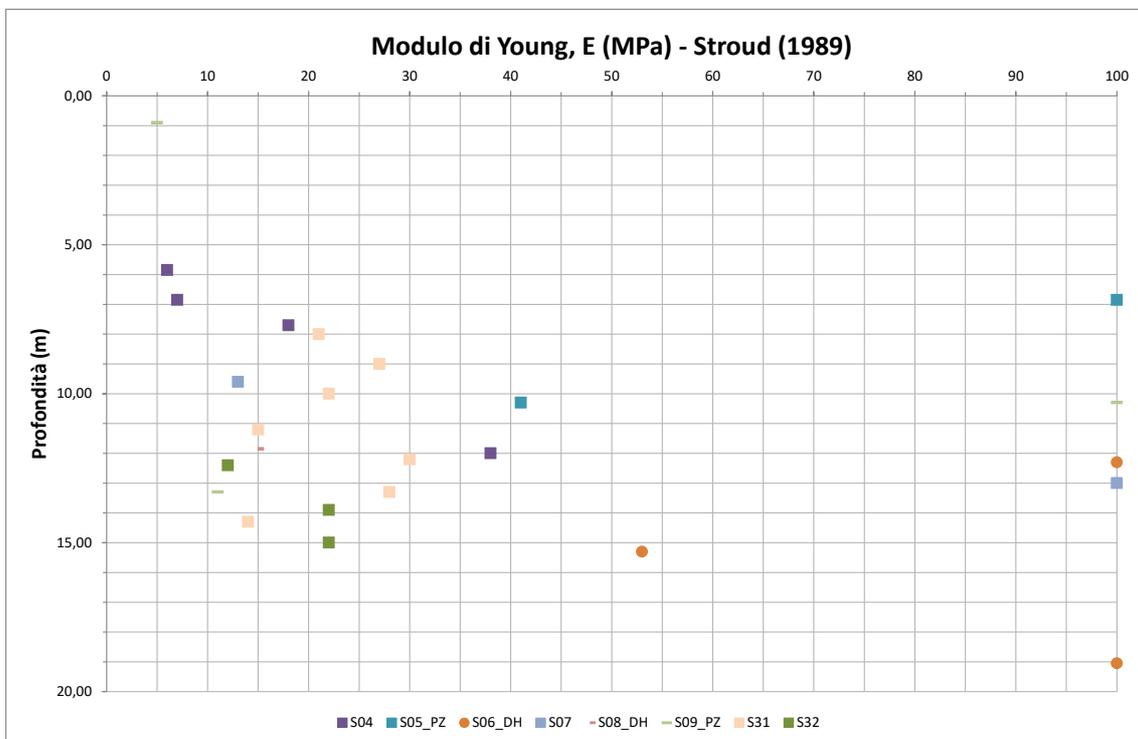


Figura 0-10 – Unità geotecnica 1: Modulo di Young secondo Stroud (1989)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 30 di 61**

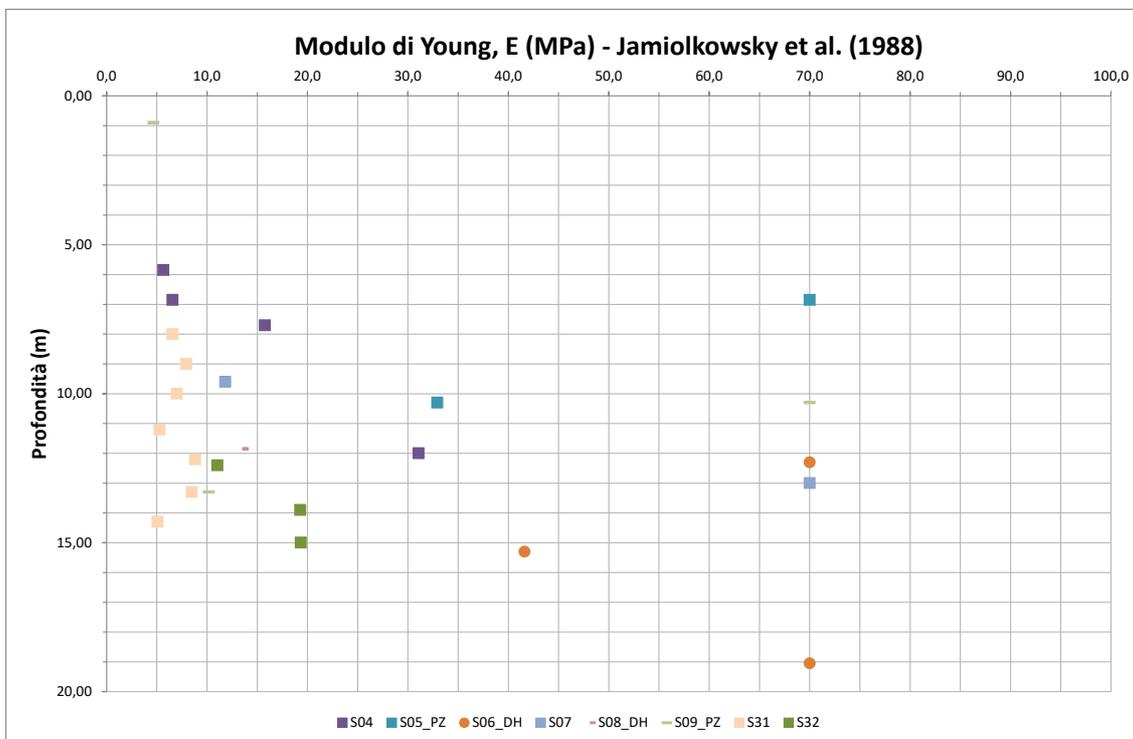


Figura 0-11 – Unità geotecnica 1: Modulo di Young secondo Jamiolkowsky et al. (1988)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 31 di 61**

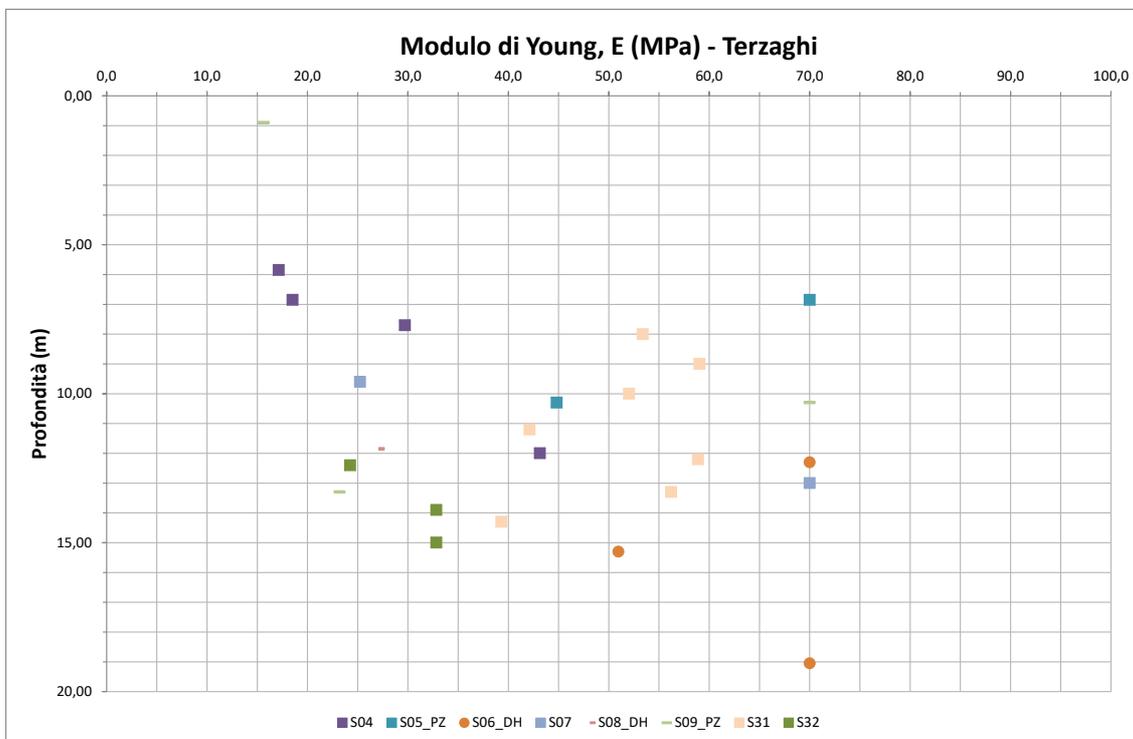


Figura 0-12 – Unità geotecnica 1: Modulo di Young secondo Terzaghi

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

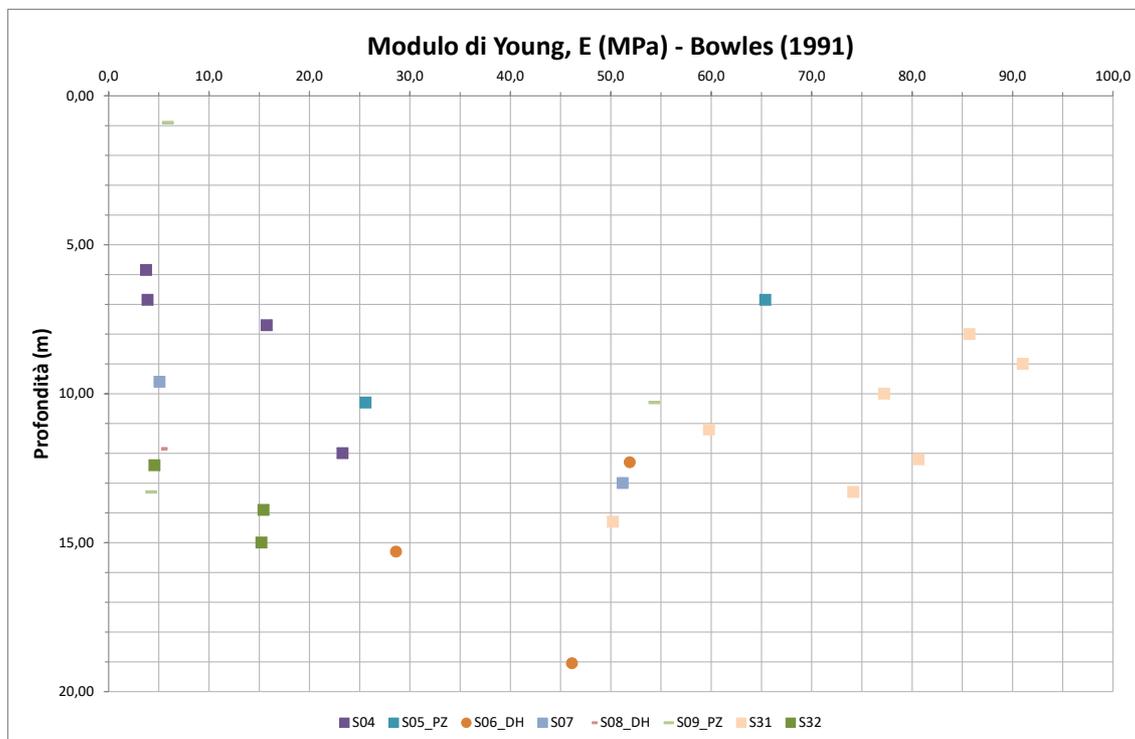
**File:****T00GE00GETRE01A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 32 di 61**

Figura 0-13 – Unità geotecnica 1: Modulo di Young secondo Bowles et al. (1991)

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità si prenderanno come riferimento rispettivamente i risultati derivanti dalle correlazioni di Bolton e Stroud.

**8.1.3. Prove di laboratorio**

Per l'Unità 1 in esame sono state eseguite diverse prove di laboratorio. Oltre alle analisi granulometriche presentate al paragrafo 8.1.1, sono state eseguite determinazioni di peso di volume naturale, secco e contenuto naturale d'acqua (Figura 0-14). Per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità sono state eseguite due prove edometriche nel sondaggio S04 i cui risultati vengono presentati in Tabella 7.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 33 di 61**

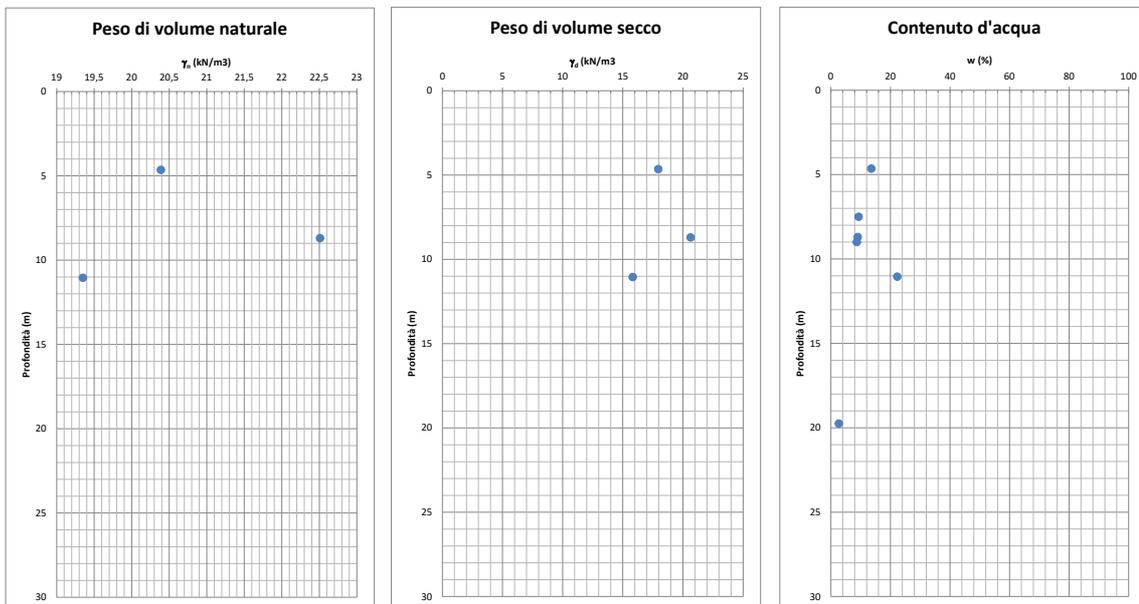


Figura 0-14 – Unità 1: Determinazione del peso di volume naturale, secco e contenuto d’acqua nell’unità 1

Tabella 7 – Unità 1: Risultati prova edometrica

		Coefficiente di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione primaria
Sondaggio	m da p.c.	$m_v$ (MPa)	$E_{ed}$ (MPa)	$k$ (cm/sec)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)
S04	4,65	2,81E-01	3,6	5,07E-06	1,80E-01
S04	10,35	2,32E-01	4,3	1,02E-05	4,40E-01

**8.1.4. Parametri geotecnici Unità 1**

Si riportano di seguito in Figura 0-15 i valori dell’angolo di resistenza a taglio mentre in Figura 0-16 i valori del modulo elastico individuati dalle diverse correlazioni con il valore di  $N_{spt}$  derivanti dalle diverse correlazioni illustrate al capitolo 0.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 34 di 61**

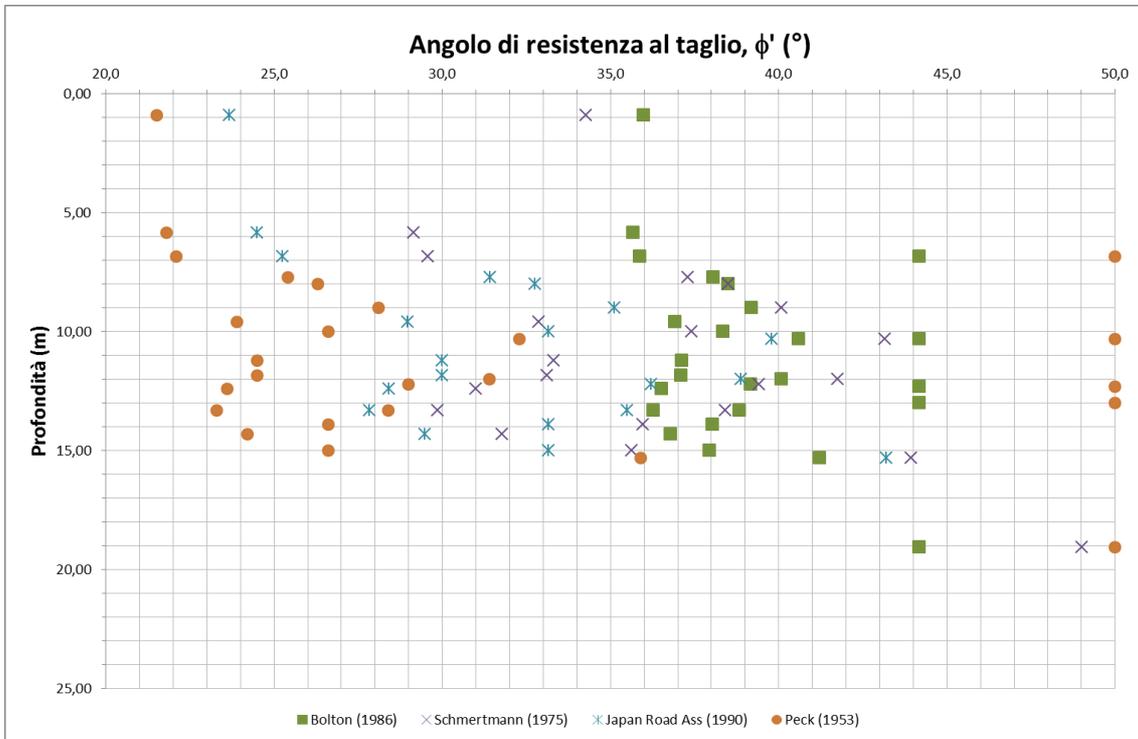
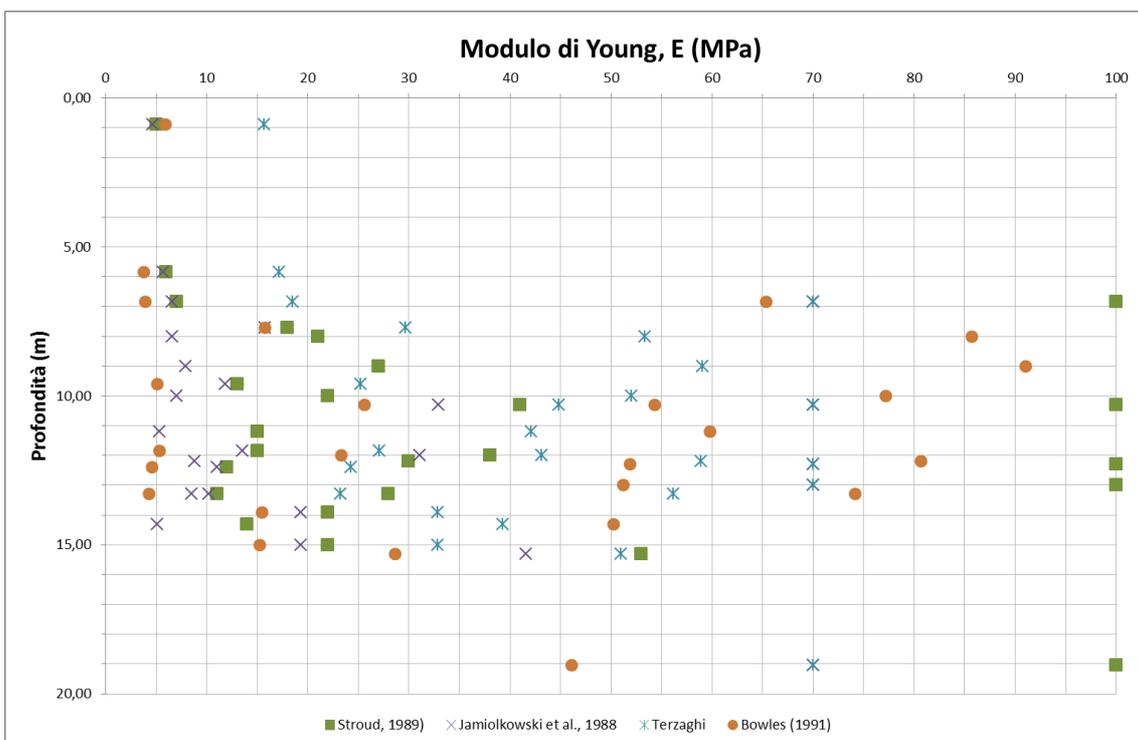


Figura 0-15 – Unità 1: valori dell'angolo d'attrito derivanti dalle diverse correlazioni



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 35 di 61</b></p>
--	--

Figura 0-16 – Unità 1: valori del modulo elastico derivanti dalle diverse correlazioni

Come si può notare le correlazioni adottate portano ad una notevole dispersione nei valori ottenuti sia per l'angolo di resistenza al taglio sia per il modulo elastico. Tuttavia per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio, tenendo anche conto della granulometria dei terreni (prevalentemente ghiaie e sabbie), la correlazione di Bolton anche alla luce di più recenti studi ed esperienze sperimentali è considerata tra le più attendibili e pertanto ad essa si farà riferimento per la definizione dei valori caratteristici.

Pertanto, ai fini della definizione dei valori caratteristici dell'angolo di attrito, si considera valevole la correlazione di Bolton mentre per il Modulo Elastico si prenderanno come riferimento i valori derivanti dalla formulazione di Stroud.

Alla luce dei risultati di cui ai paragrafi precedenti per l'unità 1 si individuano i seguenti valori caratteristici per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza e deformabilità:

Tabella 8 – Unità 1: parametri caratteristici

	$\gamma_n$ [kPa]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	E [MPa]
Unità 1	19÷20	0÷5	35-39	10÷30

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE01A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 36 di 61</b></p>
--	---

## 8.2 Unità geotecnica n. 2 – Depositi vulcanici di natura andesitica, non alterati, di consistenza lapidea

Tale unità interessa la parte finale del tracciato. Si tratta di lave andesitiche, spesso sovrastate da breccie andesitiche in matrice limo argillosa rossastra.

La presenza di tale formazione è stata incontrata nei seguenti sondaggi della nuova campagna integrativa:

S8\_DH da 26m fino a 30m (fondo foro);

S10\_DH da 6m a 15m (fondo foro);

S12 da 6m a 10m (fondo foro).

In tali sondaggi oltre al rilievo del RQD (Rock Quality Designation) sono stati eseguiti 10 prelievi di campioni litoidi e 9 di questi sono stati sottoposti a prove ad espansione laterale libera (3 con rilievo dei moduli di deformabilità) ed 1 Point Load Test.

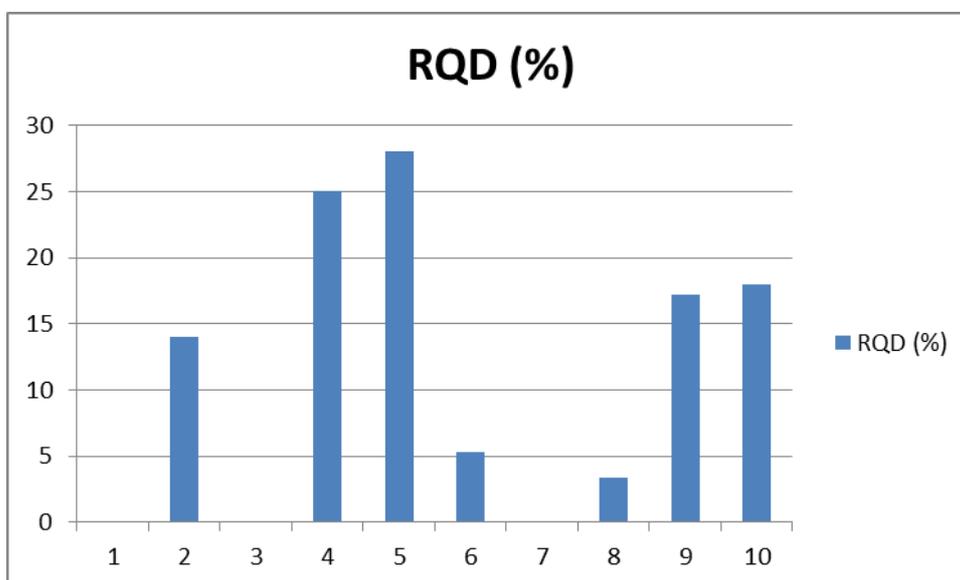


Figura 0-17 Unità 2: valori di RQD nei campioni litoidi

Alla luce di tali valori di RQD secondo la classificazione di Bieniawski (1989) la roccia viene classificata in classe IV di qualità scadente.

Sono stati dunque misurati i valori di resistenza a compressione a rottura e i moduli di deformabilità secante e tangente al 50% che vengono riportati rispettivamente in Figura 0-18 e in Figura 0-19.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 37 di 61**

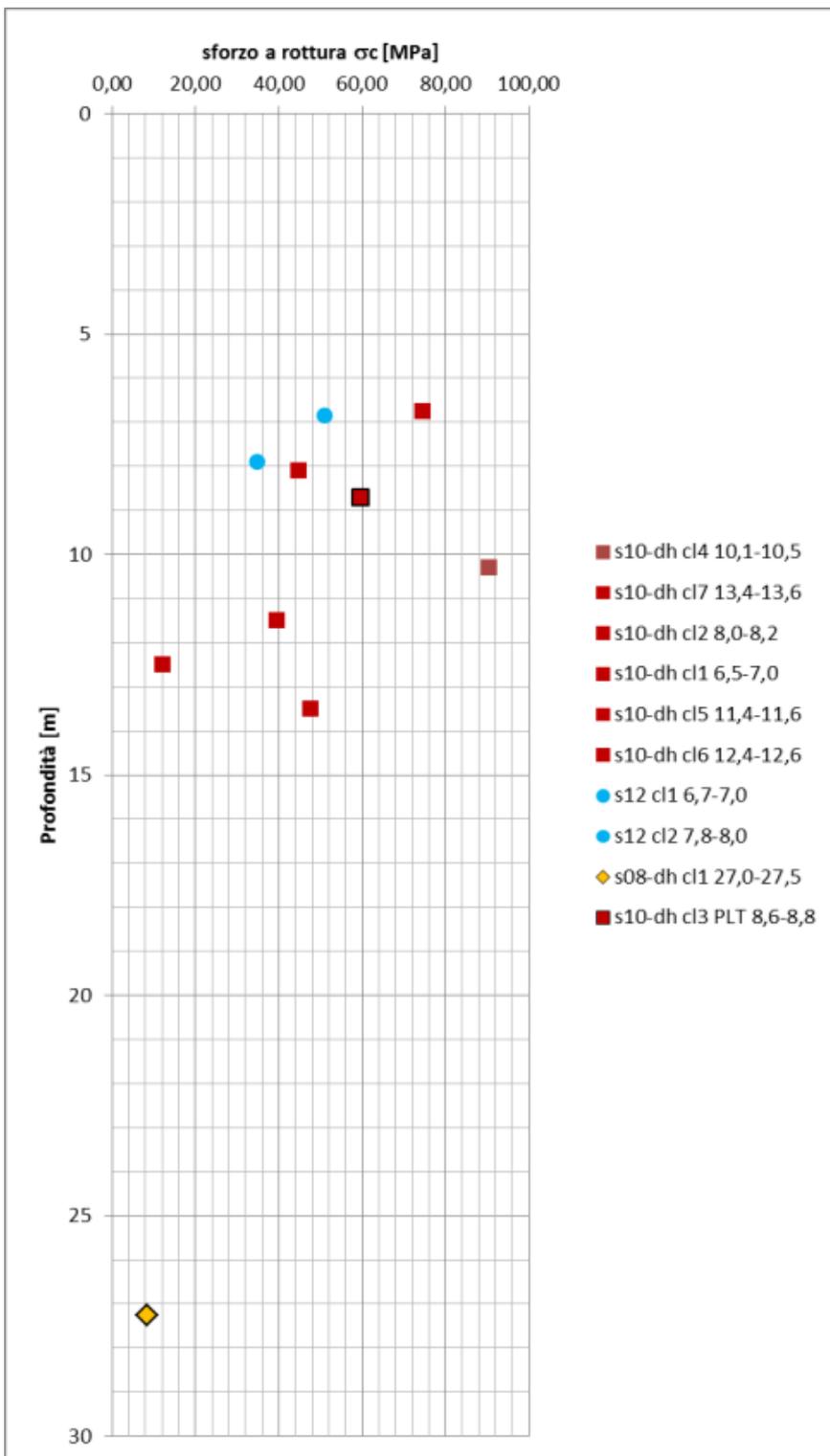


Figura 0-18 Unità 2: valori di resistenza a compressione nei campioni litoidi

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 38 di 61**

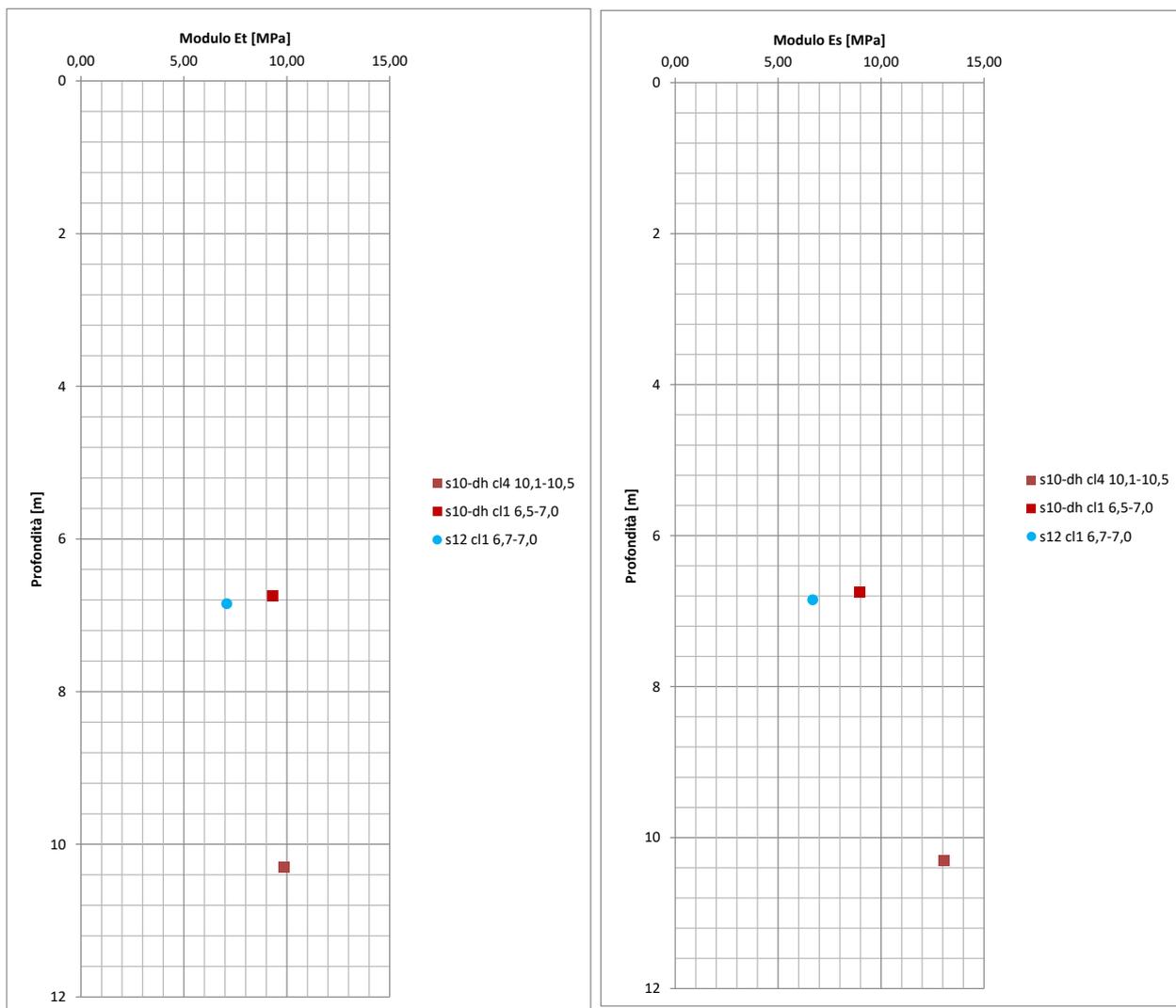


Figura 0-19 Unità 2: valori modulo di deformabilità tangente ( $E_t$ ) e secante ( $E_s$ )

**8.2.1. Parametri geotecnici Unità 2**

I valori caratteristici dei parametri geotecnici adottati sono i seguenti:

$\gamma = 27.0 \text{ kN/m}^3$ ;

$\phi'_k = 40^\circ$ ;

$c'_k = 350 \text{ kPa}$

$E'_k = 500 \text{ MPa}$

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 39 di 61</b></p>
--	---

### **8.3 Unità geotecnica n. 2a – Depositi vulcanici: tufi e tufiti di natura andesitica a luoghi alterati fino ad argillificati**

Tale unità geotecnica che rappresenta l'alterazione della roccia andesitica di base è stata rinvenuta nei sondaggi S04, S08\_DH, S09\_PZ della nuova campagna di indagine e nel sondaggio S32 dell'ultima campagna.

#### **8.3.1. Granulometria**

Dai campioni esaminati le frazioni limo-argillose sono risultate variabili fra il 35% ed il 90% mentre quella sabbiosa fra il 3 ed il 54%. La frazione ghiaiosa è presente con percentuali quasi nulle .

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 40 di 61**

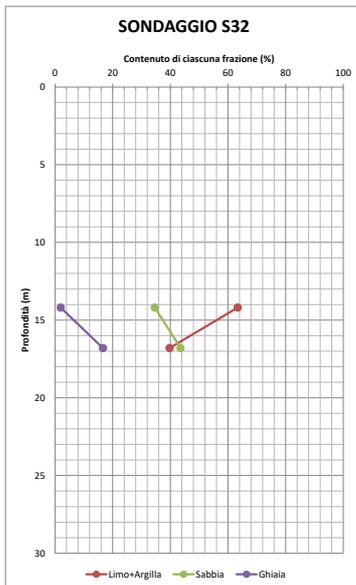
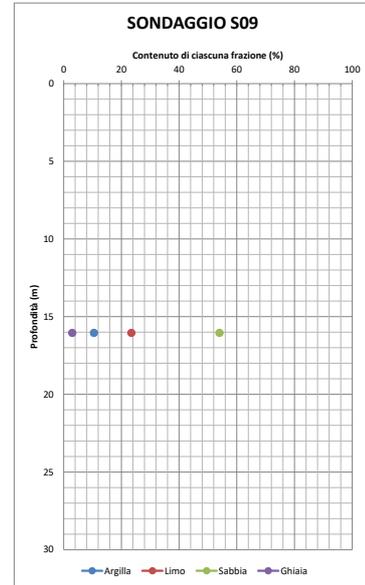
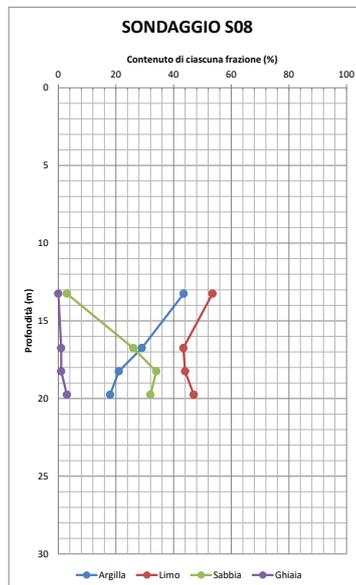
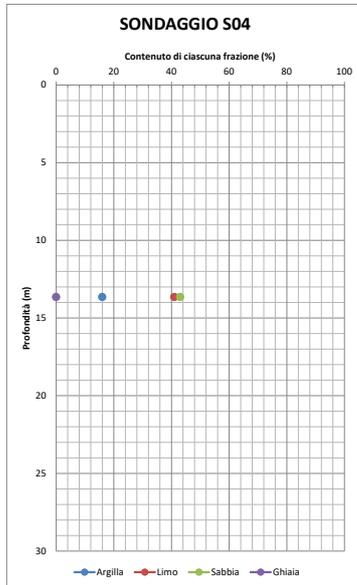


Figura 0-20 – Percentuali delle diverse frazioni granulometriche nell'unità 2°

**8.3.2. Prove penetrometriche**

Nell'unità 2A sono state eseguite solo tre prove penetrometriche SPT di cui due sono andate a rifiuto nel sondaggio S11 e 1 nel sondaggio S04 che ha rilevato un valore di  $N_{spt}$  pari a 38. Dalla relazione di Stroud (1974) in cui il valore della coesione non drenata è pari a circa 5 volte il valore di  $N_{spt}$  se ne deduce che tali formazioni hanno un valore di coesione non drenata maggiore o uguale a circa 190kPa.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:****T00GE00GETRE01A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 41 di 61**

## Prove di laboratorio

Nell'unità geotecnica in esame, oltre alle analisi granulometriche presentate al paragrafo precedente, sono state eseguite determinazioni di peso di volume naturale, secco e contenuto naturale d'acqua oltre che una prova edometrica nel sondaggio S08\_DH e una prova triassiale consolidata non drenata (C.I.U.) i cui risultati vengono presentati di seguito. Sono stati inoltre determinati il limite liquido, plastico ed è stato derivato l'indice di plasticità.

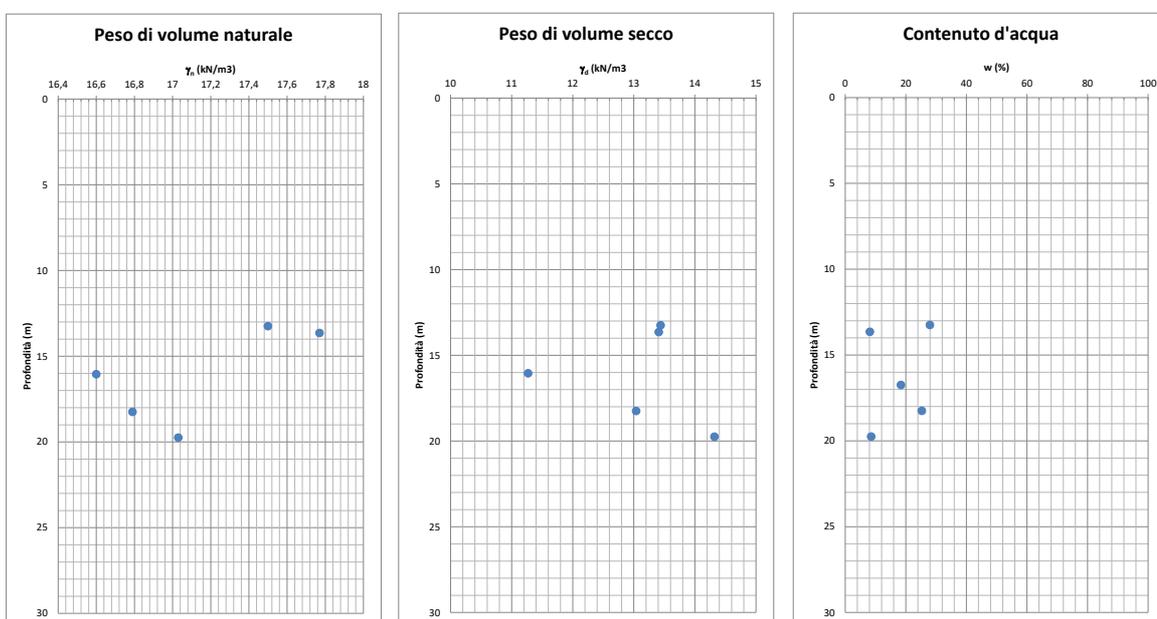


Figura 0-21 – Unità 2A: Determinazione del peso di volume naturale, secco e contenuto d'acqua nell'unità 2°

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 42 di 61**

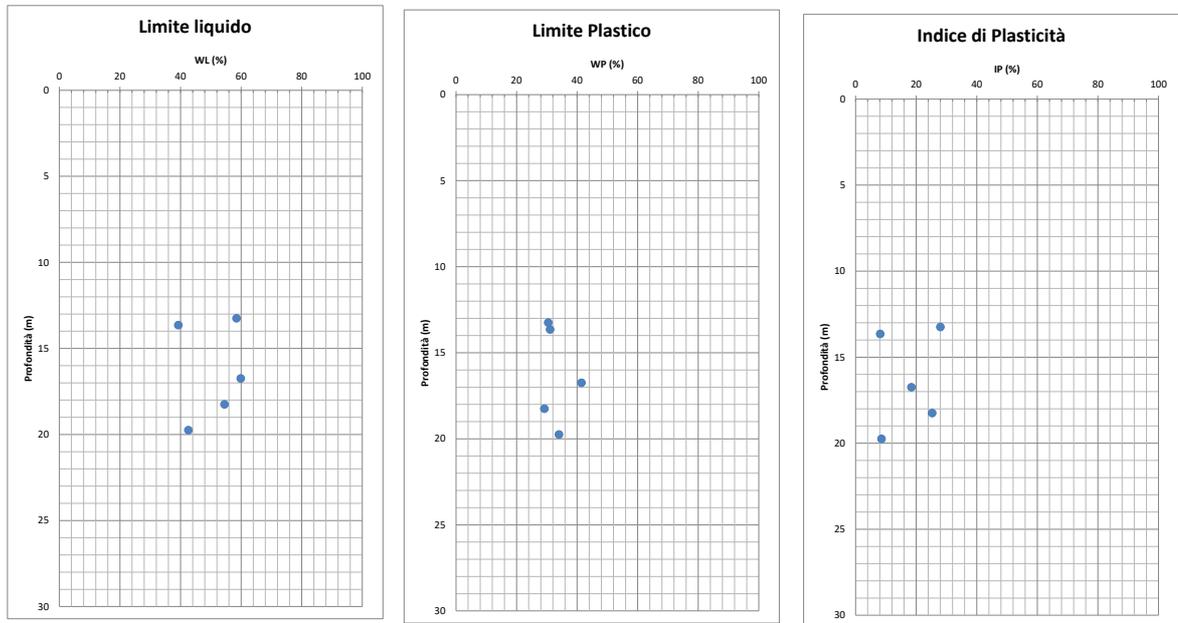


Figura 0-22 – Unità 2A: Determinazione dei limiti di Atterberg nell'unità 2a

Tabella 9 – Unità 2A: Risultati prova edometrica

		Coefficiente di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione primaria
Sondaggio	m da p.c.	$m_v$ (MPa)	$E_{ed}$ (MPa)	$k$ (cm/sec)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)
S08_DH	13,25	1,58E-01	4,5	9,34E-09	4,20E-04

Tabella 10 – Unità 2A: Risultati prove triassiali

			Angolo d'attrito	Coesione efficace
Sondaggio	m da p.c.	PROVA	$\phi'$ (°)	$c$ (kPA)
S04	13,6	CIU	32,03	24,89
S08_DH	13,25	CIU	26,46	38,29
S09_PZ	16,05	CID	33,53	13,37

Sulla base delle esperienze di Terzaghi, Peck, and Mesri (1996) presentate in Figura 0-23, l'indice di plasticità è stato utilizzato per la determinazione del valore dell'angolo di resistenza al taglio (Figura 0-25).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 43 di 61**

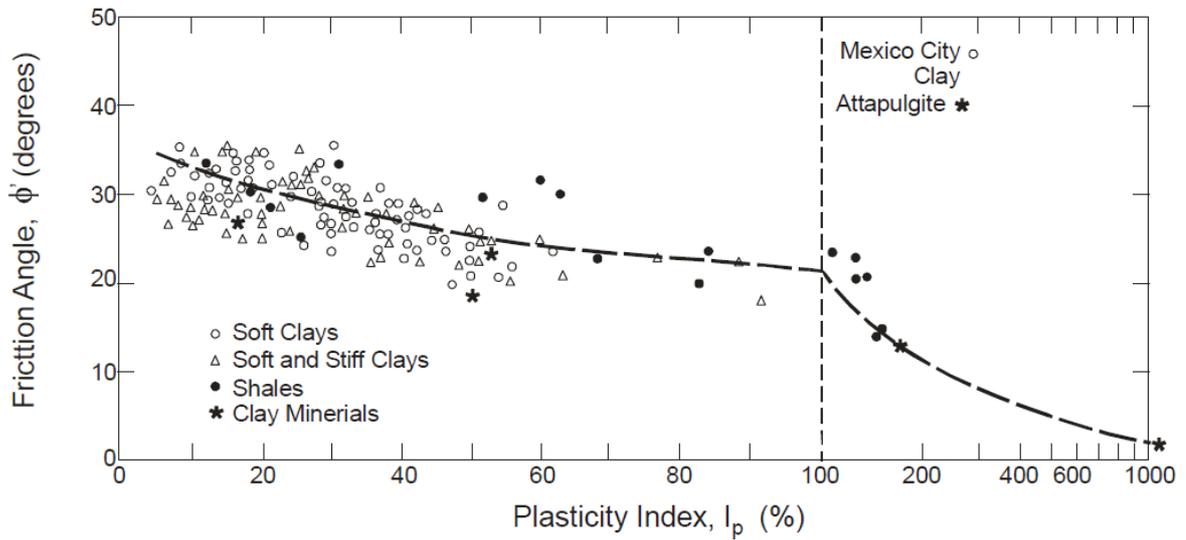


Figura 0-23 – Unità 2A: Correlazione fra  $\phi'$  e  $I_p$  (Terzaghi, Peck, and Mesri, 1996)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 44 di 61**

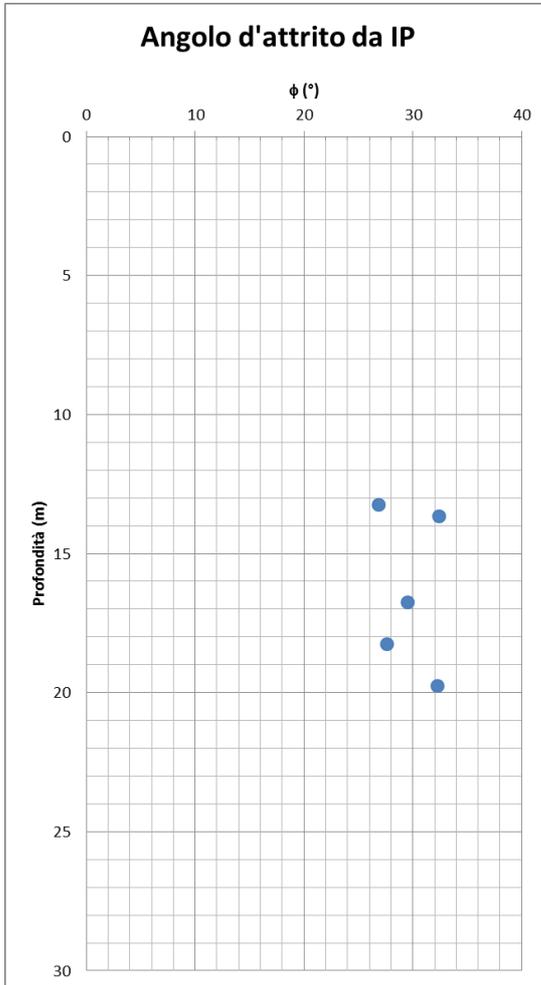


Figura 0-24 – Unità 2A: Angolo di resistenza al taglio ricavato sulla base dell'indice di plasticità

**8.3.3. Parametri geotecnici Unità 2a**

Alla luce dei risultati di cui ai paragrafi precedenti per l'unità 2a si individuano i seguenti valori caratteristici per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza e deformabilità:

Tabella 11 – Unità 2a: parametri caratteristici

	$\gamma_n$ [kPa]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	E [MPa]
Unità 2a	16,5÷18	20÷40	26÷35	4÷15

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 45 di 61</b></p>
--	---

## **8.4 Unità geotecnica n. 3 – Rilevati riporti e riempimenti**

E' costituita essenzialmente dai rilevati esistenti i quali presentano una forte eterogeneità delle caratteristiche geotecniche.

Tutti i 9 nuovi sondaggi hanno interessato i rilevati oltre ai 2 sondaggi della campagna precedente (S31 e S32)

### **8.4.1. Granulometria**

Dai campioni esaminati sono risultate percentuali della frazione argillosa generalmente compresa tra il 6 e il 15% con dei picchi del 26% a quote da piano campagna maggiori di 7 m. La frazione limosa è variabile fra 2% e 30% mentre quella sabbiosa fra il 12 ed il 56 %. Le frazioni ghiaiose variano fra 29 e 85 % con valori minimi localizzati alla base dei rilevati pari a 10%.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

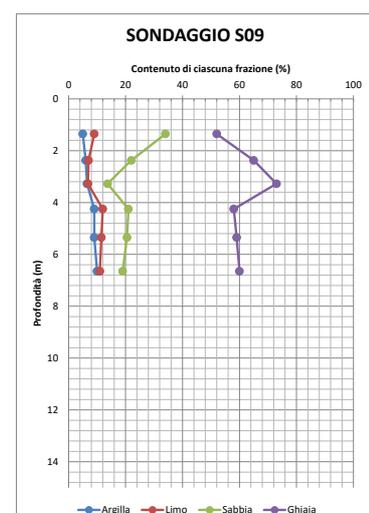
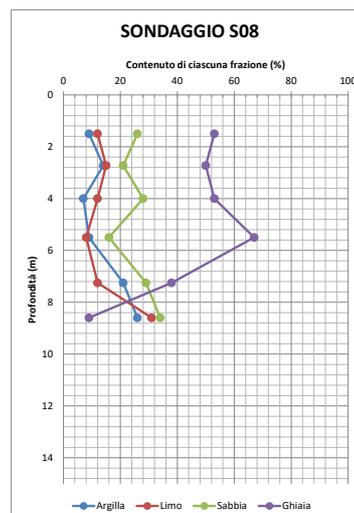
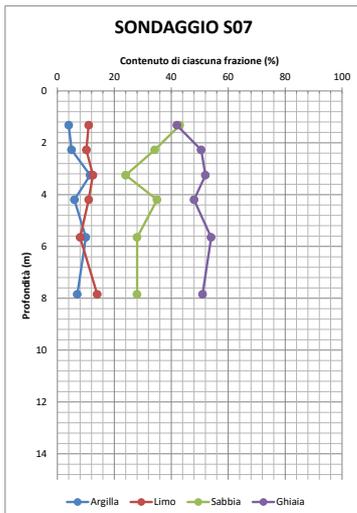
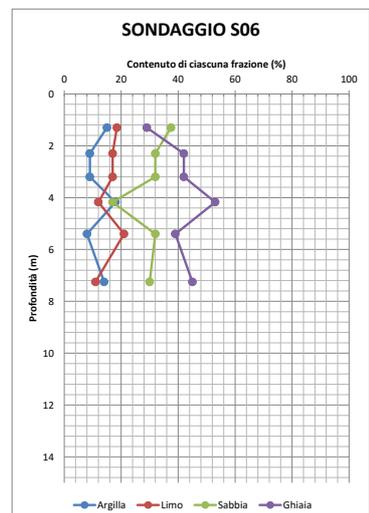
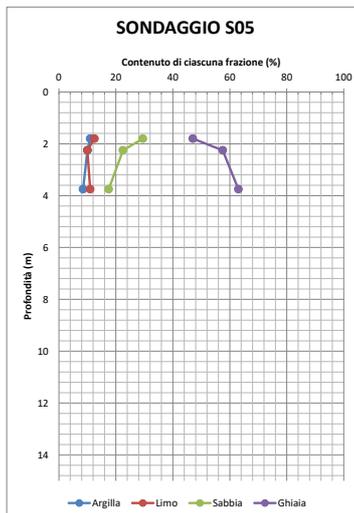
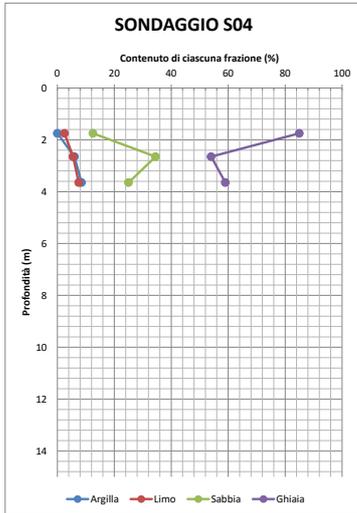
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 46 di 61**



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 47 di 61**

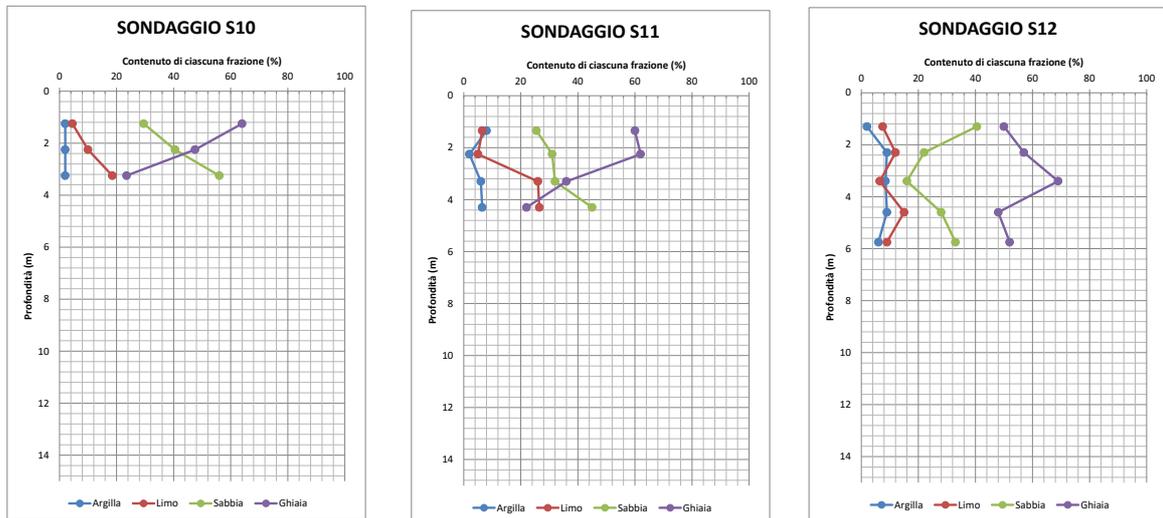


Figura 0-25 – Percentuali delle diverse frazioni granulometriche nei Rilevati

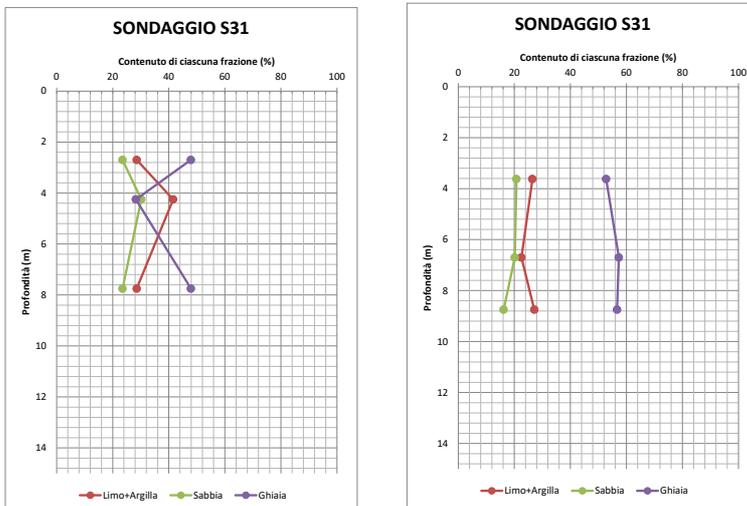


Figura 0-26 – Percentuali delle diverse frazioni granulometriche nei Rilevati nei sondaggi della campagna geognostica del 2003

**8.4.2. Prove penetrometriche dinamiche**

Per le caratteristiche di resistenza ci si è basati sui valori di SPT eseguiti durante i sondaggi a carotaggio continuo.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 48 di 61**

Nei seguenti grafici si illustrano, per l'unità geotecnica in esame, il numero di colpi ogni 30 cm (Figura 0-27) la densità relativa (Figura 0-28) e l'angolo d'attrito (da Figura 0-29 a Figura 0-32) secondo le diverse correlazioni di cui al paragrafo 4.2.

Anche per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità si presentano i risultati in termini di modulo di Young derivanti dalle diverse correlazioni presentate al paragrafo 4.3 (da Figura 0-33 a Figura 0-36).

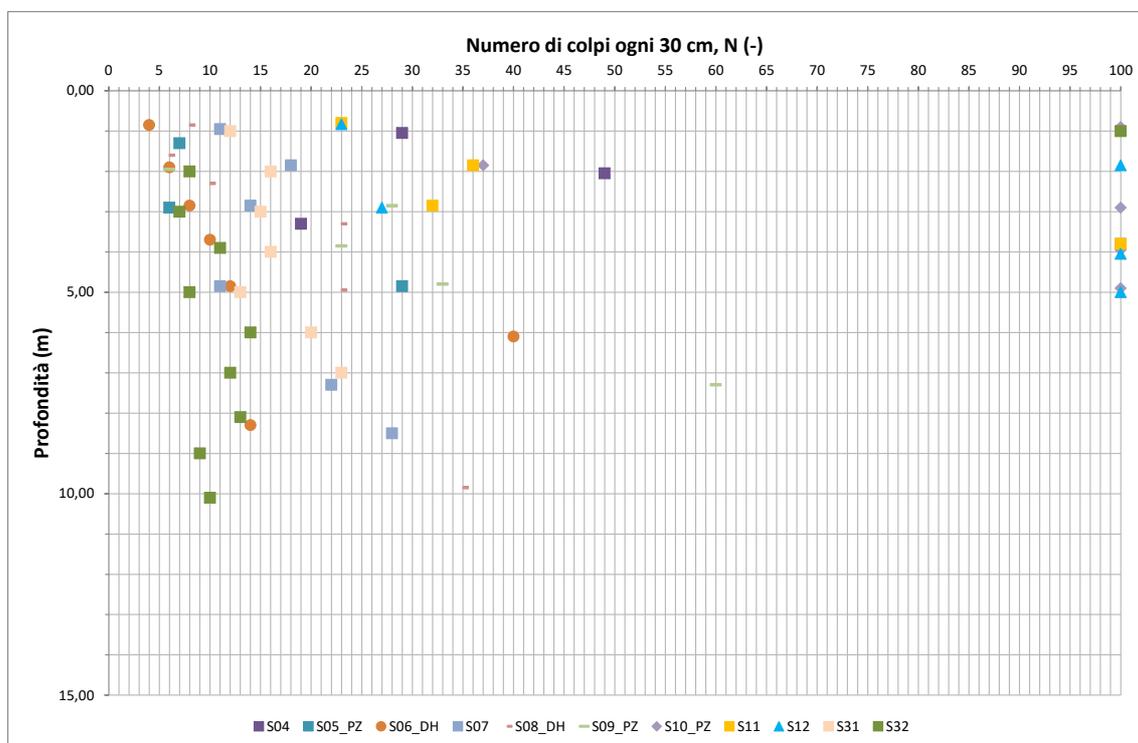


Figura 0-27 – Rilevati: Numero di colpi/30 cm

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 49 di 61**

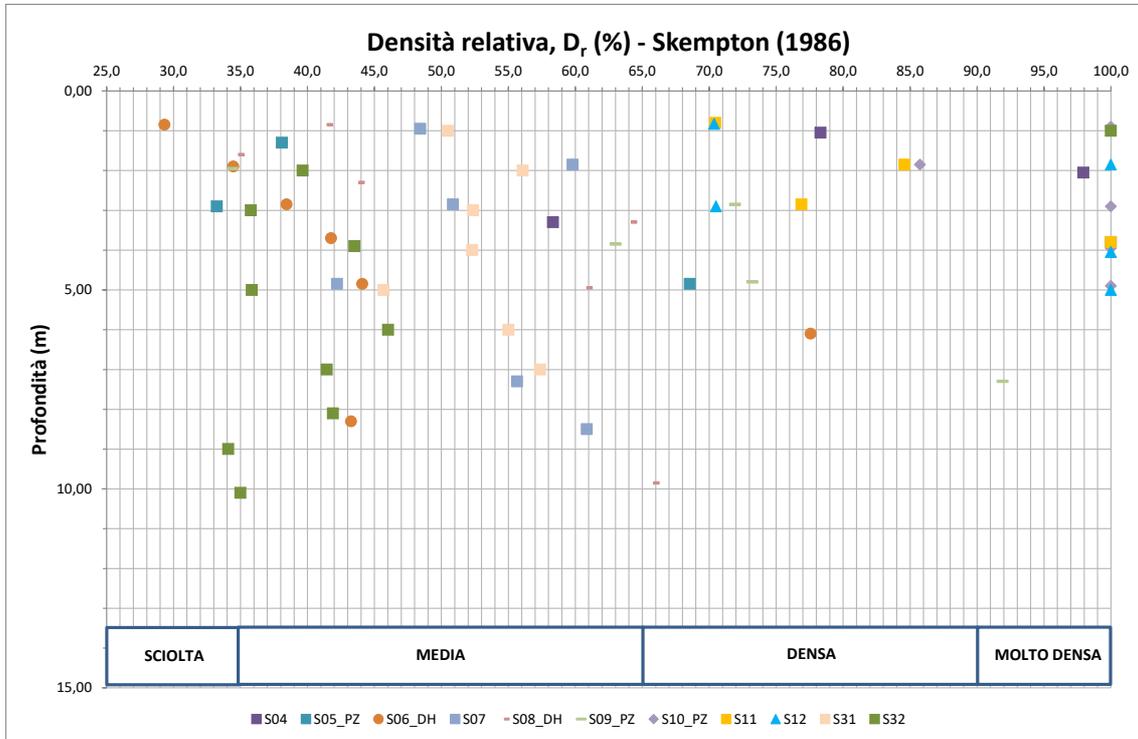


Figura 0-28 – Rilevati: Densità relativa da prove SPT

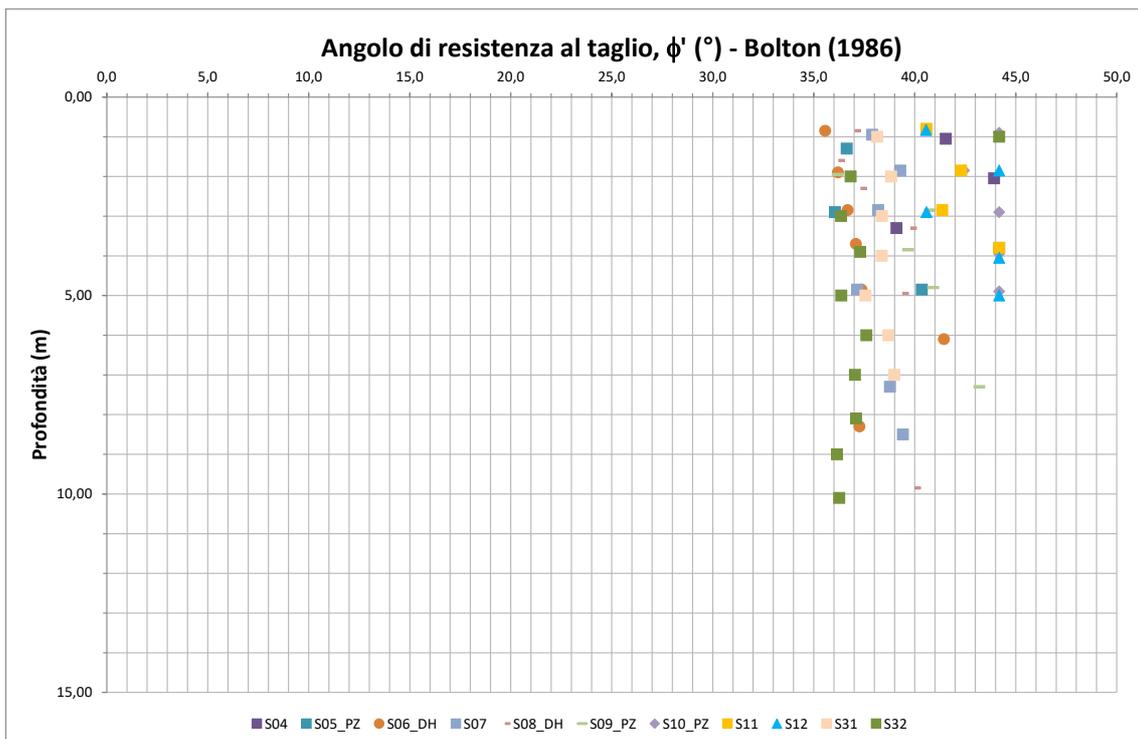


Figura 0-29 – Rilevati: Angolo d'attrito secondo Bolton (1986)

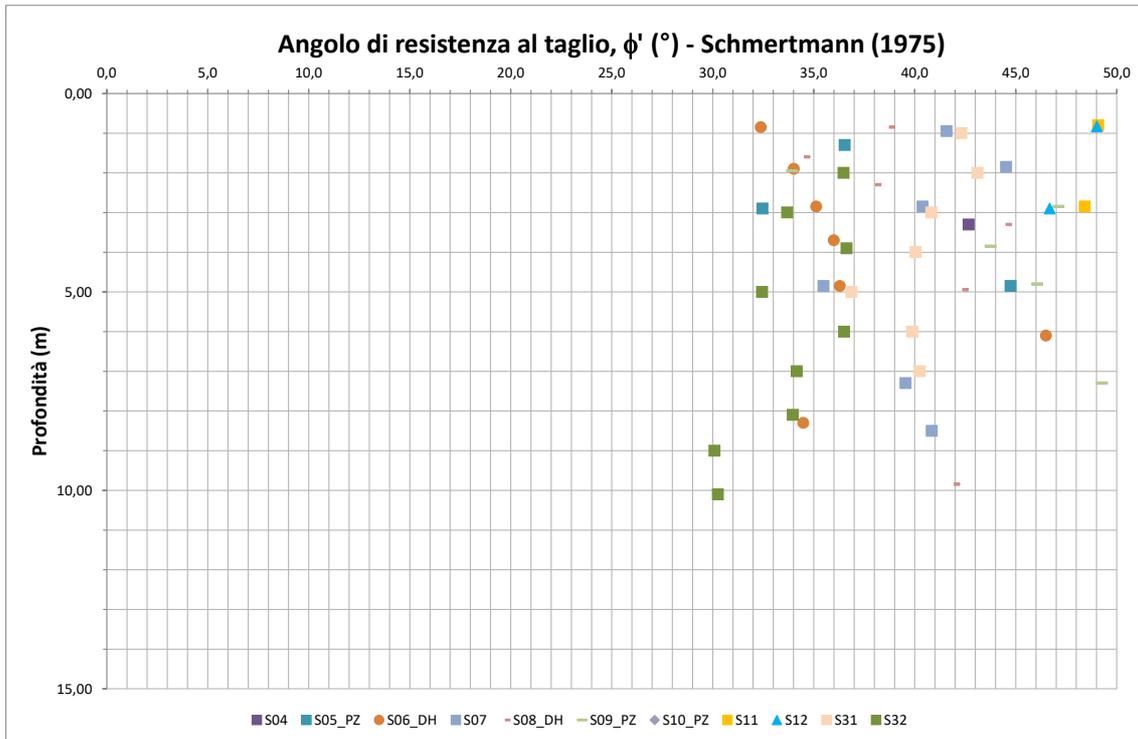


Figura 0-30 – Rilevati: Angolo d'attrito secondo Schmertmann (1975)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 51 di 61**

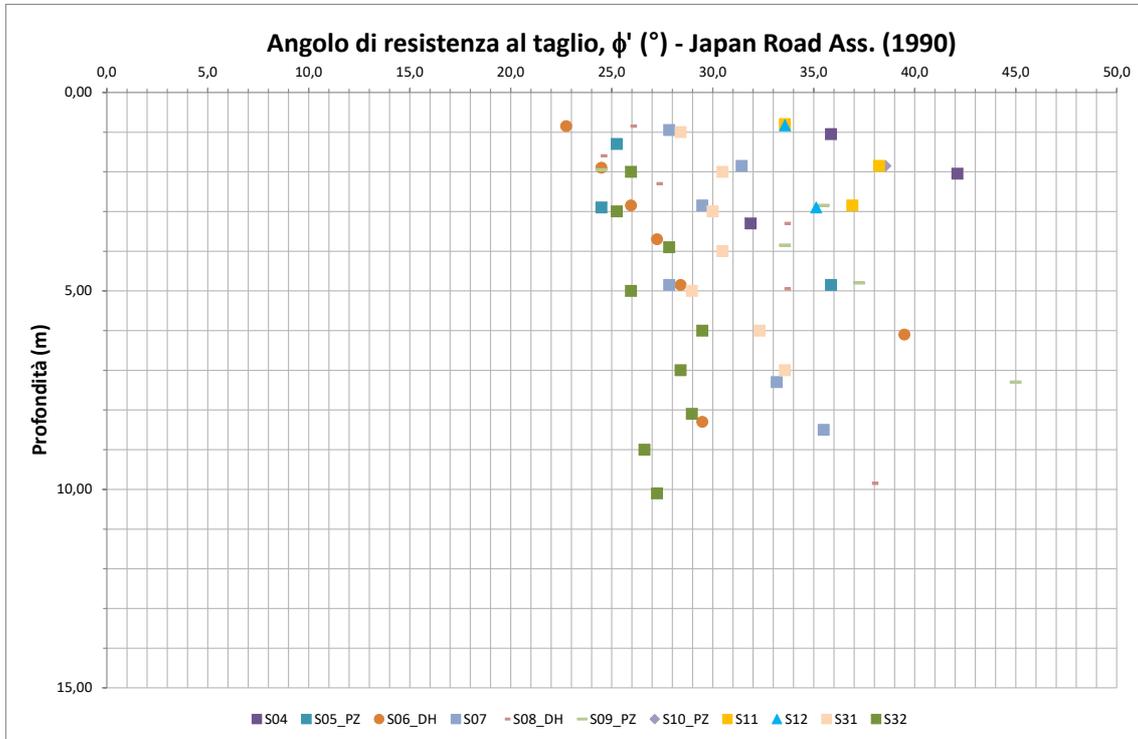
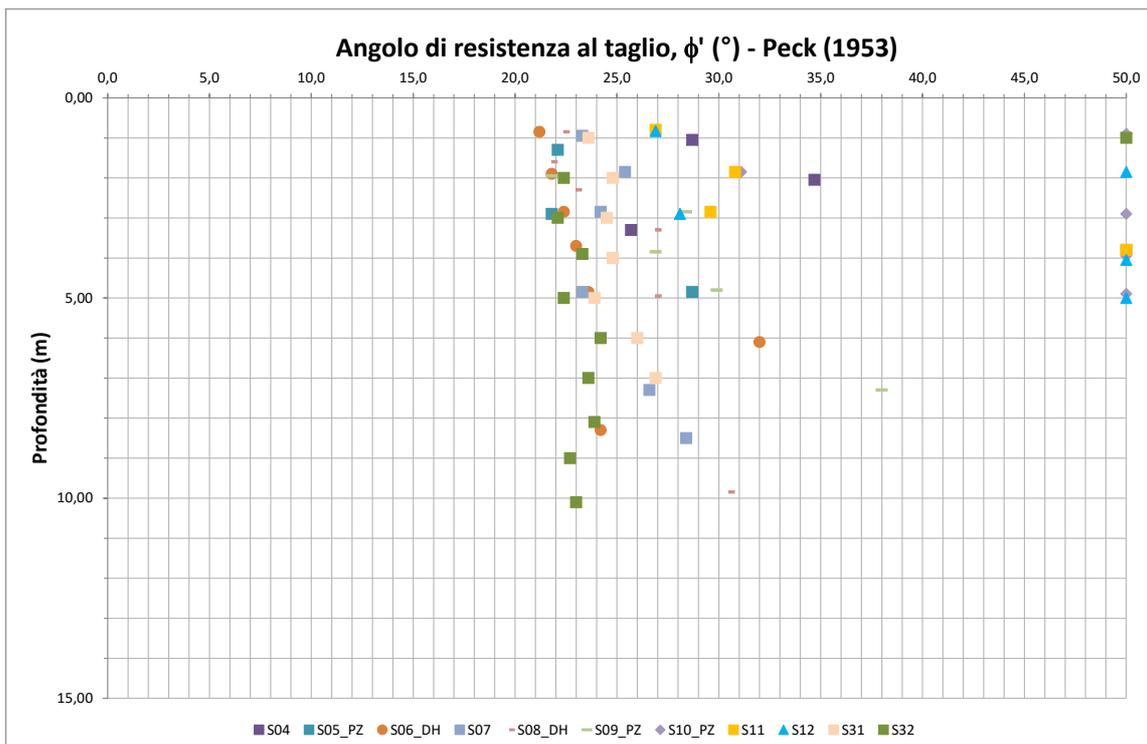


Figura 0-31 – Rilevati: Angolo d’attrito secondo Japan Road Ass. (1990)



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 52 di 61**

Figura 0-32 – Rilevati: Angolo d'attrito da SPT secondo Peck (1953)

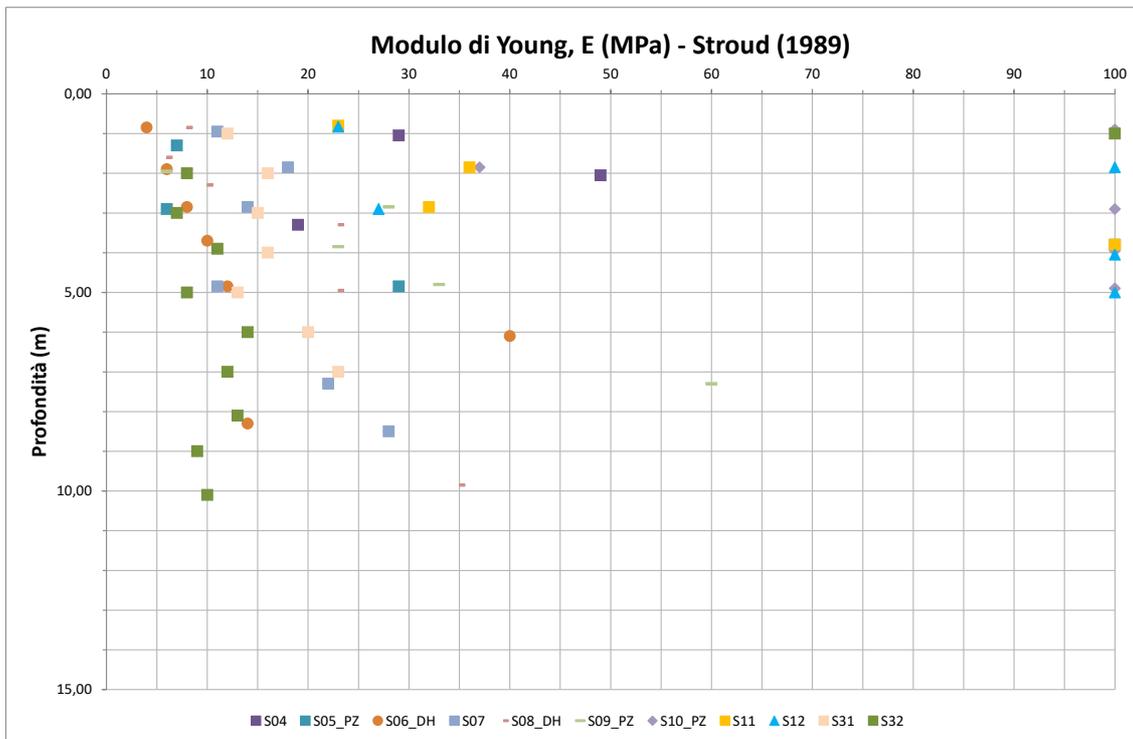


Figura 0-33 – Rilevati: Modulo di Young secondo Stroud (1989)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 53 di 61**

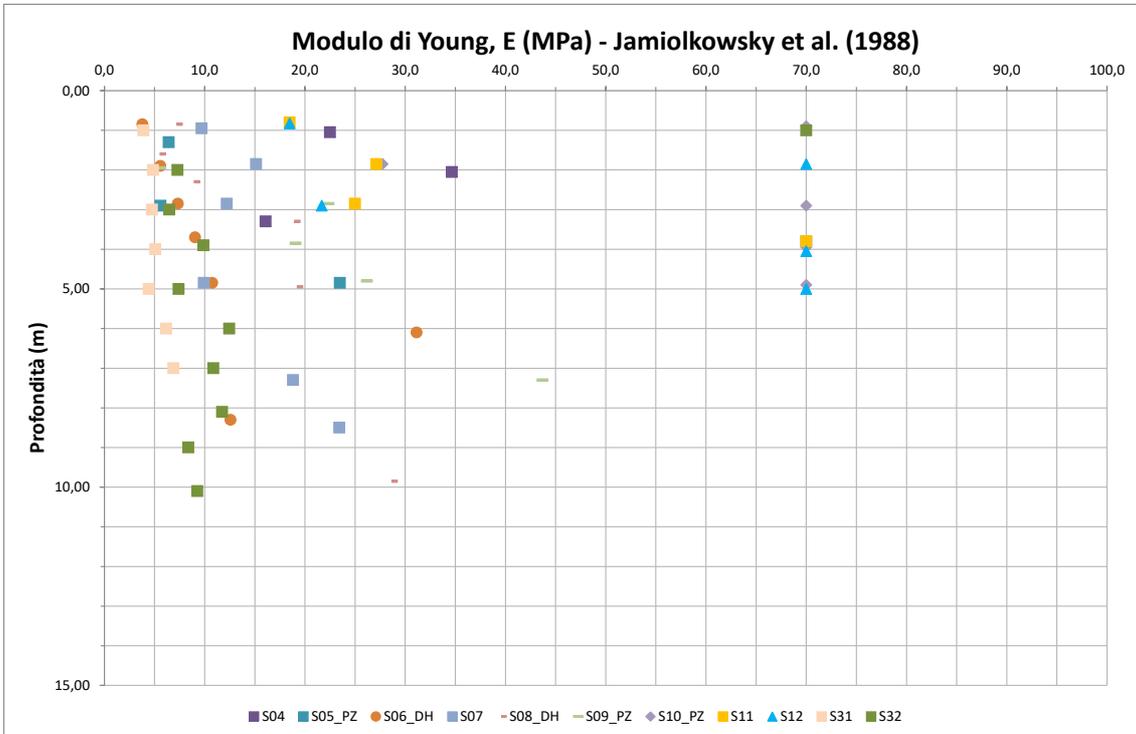


Figura 0-34 – Rilevati: Modulo di Young secondo Jamiolkowsky et al. (1988)

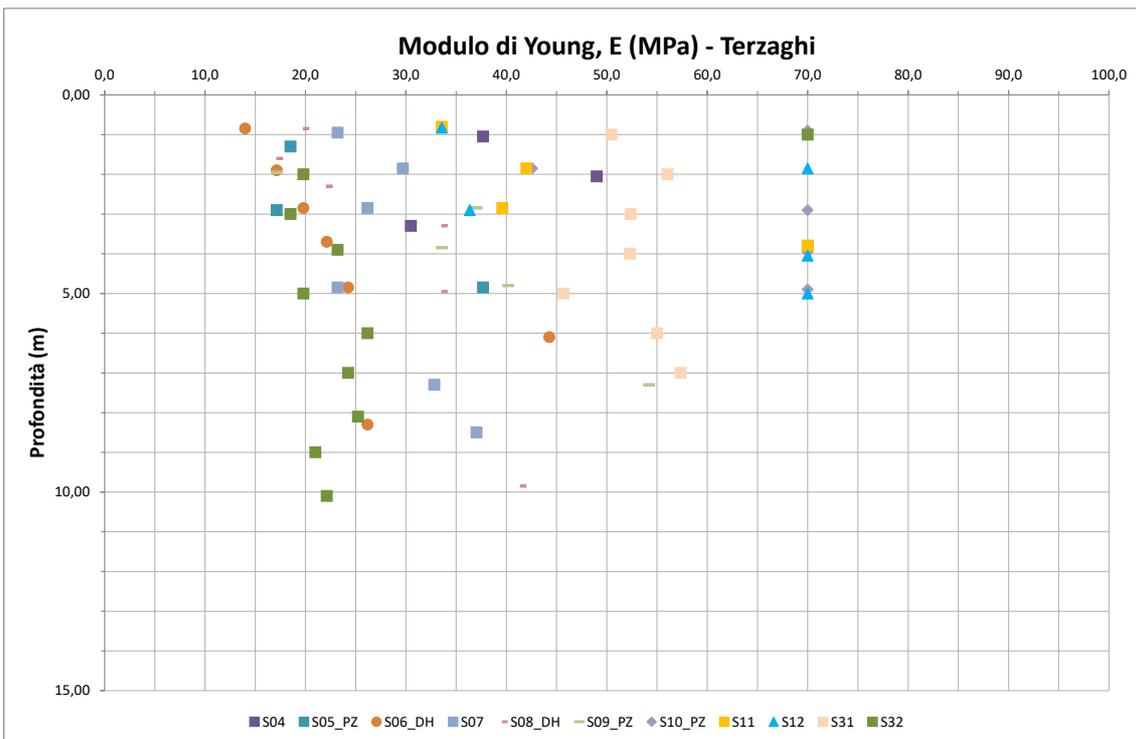


Figura 0-35 – Rilevati: Modulo di Young secondo Terzaghi

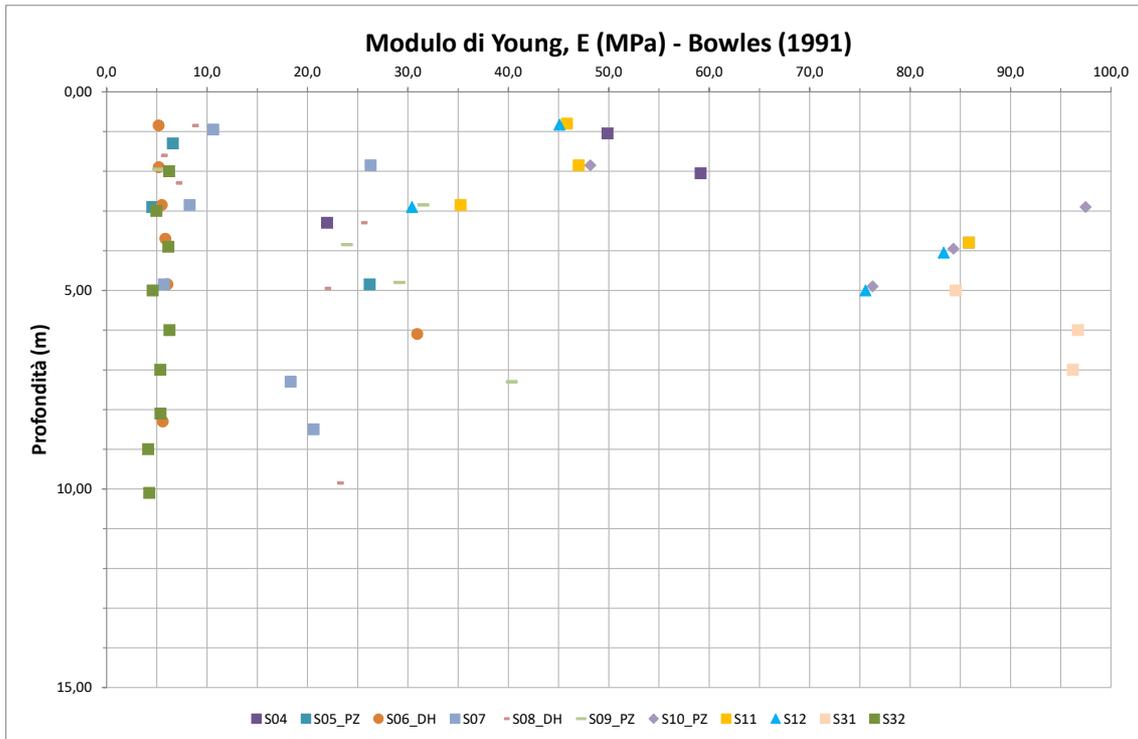


Figura 0-36 – Rilevati: Modulo di Young secondo Bowles et al. (1991)

### 8.4.3. Parametri geotecnici Rilevati

Si riportano di seguito in Figura 0-37 i valori dell'angolo di resistenza a taglio mentre in Figura 0-38 i valori del modulo elastico individuati dalle diverse correlazioni con il valore di  $N_{spt}$  derivanti dalle diverse correlazioni illustrate al capitolo 0.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE01A

Relazione geotecnica generale

**File:**

**T00GE00GETRE01A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 55 di 61**

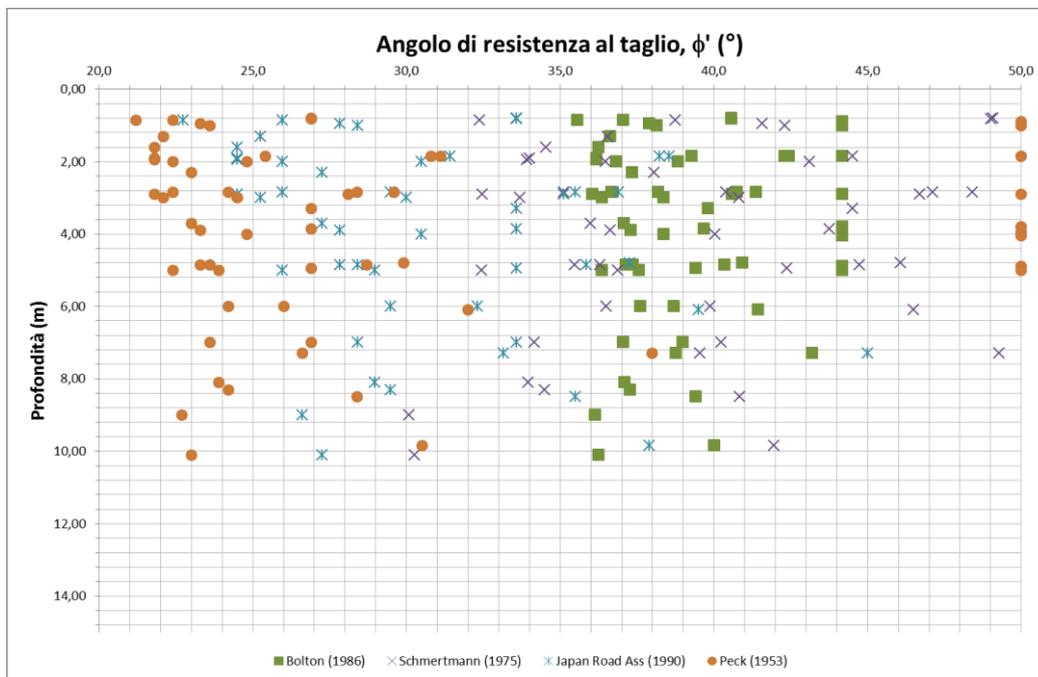


Figura 0-37 – valori dell’angolo d’attrito derivanti dalle diverse correlazioni

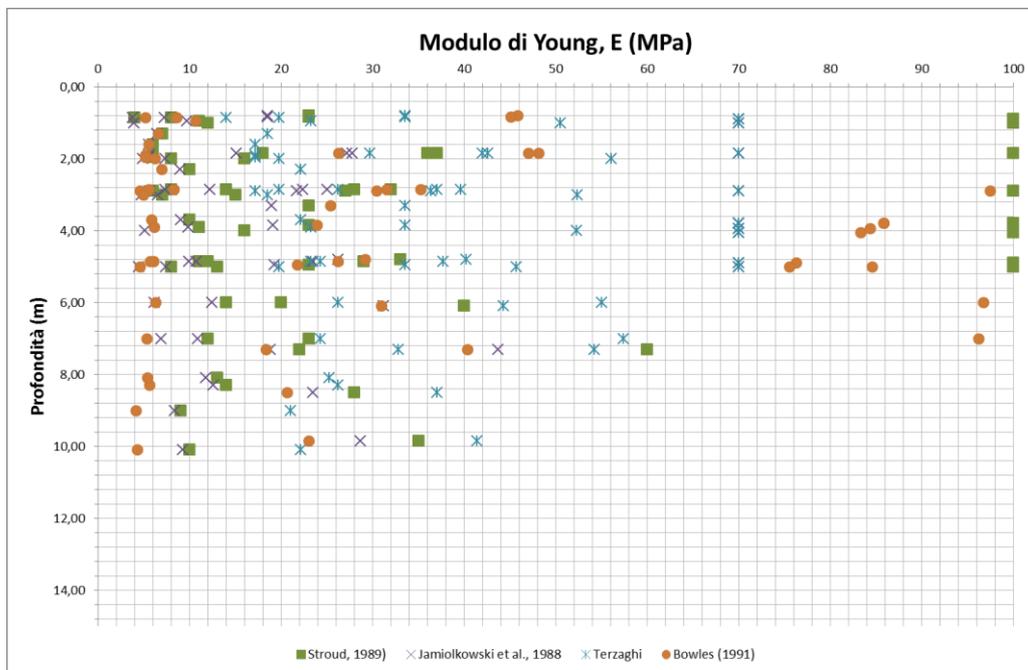


Figura 0-38 – valori del modulo elastico derivanti dalle diverse correlazioni

Analogamente a quanto già discusso al paragrafo 8.1.4 per l’angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ , si adotterà la correlazione di Bolton (1986) per la definizione dei valori caratteristici.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 56 di 61</b></p>
--	---

Alla luce dei risultati di cui ai paragrafi precedenti per i rilevati si individuano i seguenti valori caratteristici per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza e deformabilità:

Tabella 12 – Rilevati: parametri caratteristici

	$\gamma_n$ [kPa]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	E [MPa]
Rilevati	19÷20	0÷5	35÷40	5÷20

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 57 di 61</b></p>
--	---

## 9 STRATIGRAFIE LUNGO IL TRACCIATO

La campagna geognostica condotta alla fine del 2008 ha permesso di integrare le informazioni per la definizione della stratigrafia lungo il tracciato. I sondaggi sono stati eseguiti tutti in corrispondenza dei rilevati e dalle monografie di ogni sondaggio unitamente alle analisi granulometriche stato possibile definire gli spessori dei rilevati stessi.

Dalle informazioni disponibili si è potuto stabilire che tutti i rilevati poggiano generalmente sull'unità 1 ad esclusione del rilevato R4 tra le progressive 23+700 e 23+900 poggiate in parte sulla roccia andesitica di base (Unità 2) e in parte sull'unità 1.

I sondaggi hanno messo in evidenza la presenza, al di sotto dell'unità 1, di terreni argillosi e limo sabbiosi saturi e molto compressibili, dovuti prevalentemente alla completa alterazione del substrato roccioso.

Più in dettaglio, in corrispondenza dei sondaggi eseguiti nei rilevati in oggetto sono stati attraversati i seguenti strati a grana fine:

Sondaggio S04: strato di limo argilloso presente al di sotto del rilevato per uno spessore di 5.3 m;

Sondaggio S05\_PZ: strato di argilla limosa dalla profondità di 17.50 fino a fondo sondaggi e pertanto da non escludere che abbia uno spessore maggiore;

Sondaggio S06\_DH: strato di limo argilloso - sabbioso dalla profondità di 22 m fino alla profondità di 30 m a fondo sondaggio e pertanto da non escludere che abbia uno spessore maggiore;

Sondaggio S07: strato di limo argilloso presente dalla profondità di 9.50 m fino a fondo sondaggio e quindi anche in questo caso da non escludere che abbia uno spessore maggiore;

Sondaggio S08\_DH: uno strato importante da 12.60 a 26 m di profondità di andesite completamente alterata da argillificata a limo sabbiosa;

Sondaggio S09\_DH: strati di limo sabbioso fra 9 e 109 m e fra 15 e 16.1 m di profondità e uno strato di andesite completamente alterata da argillificata a limo sabbiosa;

Sondaggio S11: uno strato dal piano campagna originario fino ad una profondità di 1.5 m (fondo foro) di andesite fortemente alterata da argillificata a limo sabbiosa.

La roccia andesitica di base, di consistenza lapidea è stata individuata dai Sondaggi S08\_DH a circa 26m da p.c., nei sondaggi S10\_DH e S12 a contatto con il rilevato.

Nelle zone in cui non sono presenti i rilevati è generalmente presente con spessori variabili fra 0,2 e 1,0 m uno strato di coltre vegetale, che maschera quasi totalmente le osservazioni dirette delle varie unità.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p style="text-align: center;">T00GE00GETRE01A Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 58 di 61</b></p>
---	--

Il profilo geotecnico, unitamente alle diverse sezioni geotecniche riportano in dettaglio la stratigrafia di progetto delle opere.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>T00GE00GETRE01A</p> <p>Relazione geotecnica generale</p>	<p><b>File:</b></p> <p><b>T00GE00GETRE01A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 59 di 61</b></p>
--	---

## **10 ANDAMENTO DELLA FALDA**

La falda è stata rilevata in corrispondenza dei sondaggi allestiti con piezometro a tubo aperto ossia S05\_PZ e S09 PZ.

Entrambi i sondaggi hanno rilevato una quota di falda a 11 m da boccaforo.

Il che corrisponde ad quota da piano campagna originario pari a -6 m nel caso del sondaggio S05\_PZ e - 2 m nel caso del sondaggio S09\_PZ.

**PROGETTO DEFINITIVO**T00GE00GETRE01A  
Relazione geotecnica generale**File:****T00GE00GETRE01A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 60 di 61****11 INDAGINE GEOFISICA**

Nella zona in esame sono state eseguite 3 prove down-hole in corrispondenza dei sondaggi S6\_DH, S8\_DH e S10\_DH. Le prime due hanno rilevato le velocità di propagazione delle onde fino a 30 m mentre la terza fino a 15 m.

Nelle figure seguenti si riportano le velocità delle onde di taglio  $V_s$  (nei diversi sondaggi e il modulo elastico a piccole deformazioni).

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9.81} (V_s)^2$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

$\gamma_t$  = peso dell'unità di volume naturale del terreno in  $\text{kN/m}^3$

$\nu'$  = rapporto di Poisson del terreno ottenuto dalle prove down - hole

$V_s$  = velocità delle onde di taglio in  $\text{m/sec}$

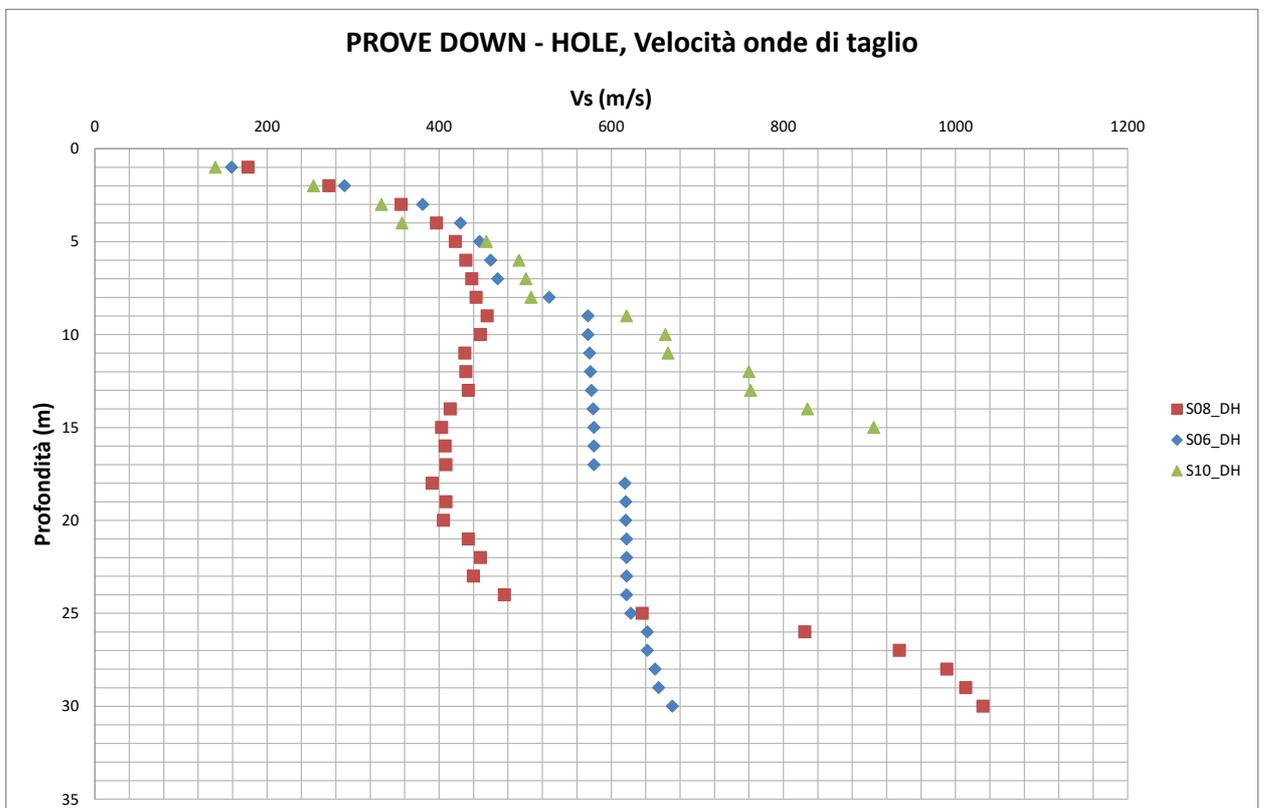


Figura 0-39 – Velocità delle onde di taglio derivante dalle prove down-hole

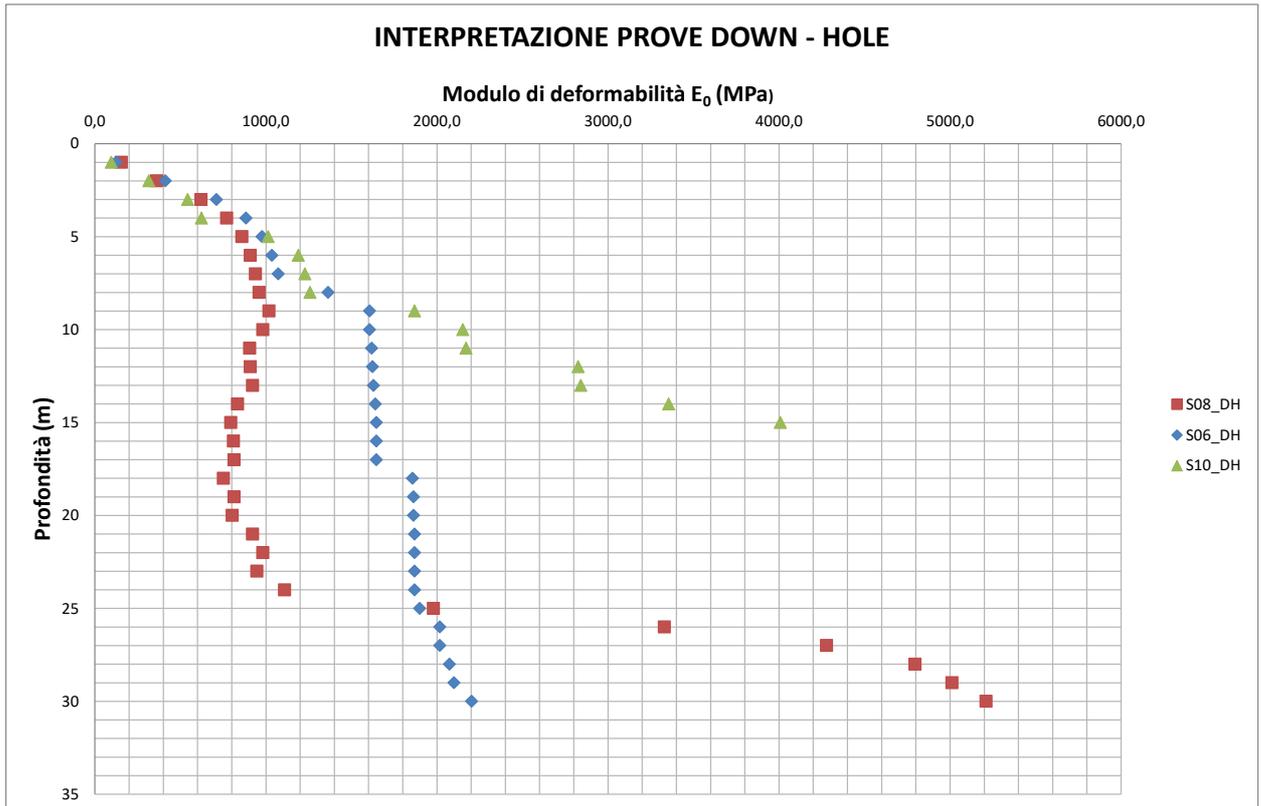


Figura 0-40 – Modulo elastico a piccolissime deformazioni derivante dalle prove down-hole

Per la progettazione delle diverse opere tali valori di modulo elastico dovranno essere opportunamente ridotti al fine di tenere conto del decadimento del modulo in funzione della deformazione a taglio.

Indicativamente i valori di modulo operativo da tenere in conto saranno pari a:

Opere di sostegno, trincee, cavalcavia, tombini:

$$E_{op} = \frac{1}{5} \cdot E_0$$

Rilevati:

$$E_{op} = \frac{1}{10} \cdot E_0$$

Dove  $E_0$  rappresenta il modulo a piccolissime deformazioni.