

## 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

**PINI** PINI SWISS ENGINEERS SA  
 SWISS  
 Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE

**PINI** PINI SWISS ENGINEERS Srl  
 ITALIA  
 Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

## GEOTECNICA

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

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 2

A

1 di 86

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



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 2 di 86</b></p>
--	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	4
2.2	BIBLIOGRAFIA	5
<b>3</b>	<b>CAMPAGNA GEOTECNICA INTEGRATIVA 2018</b>	<b>8</b>
3.1	DESCRIZIONE DELL'INDAGINE EFFETTUATA	8
3.2	CRITERI DI INTERPRETAZIONE ADOTTATI	9
3.3	RISULTATI INDAGINE GEOTECNICA INTEGRATIVA	13
3.3.1.	Rilevato R1 - dal km 21+490 al Km 21+600	13
3.3.2.	Rilevato R2 - dal km 21+900 al Km 22+050	17
3.3.3.	Rilevato R3 - dal km 22+300 al Km 22+650	21
3.3.4.	Rilevato R4 - dal km 23+700 al Km 23+900	25
<b>4</b>	<b>SOLUZIONE PROGETTUALE PROPOSTA</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI DI STABILITA' E VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI</b>	<b>30</b>
5.1	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE	30
5.2	ANALISI DI STABILITÀ DEGLI SCAVI PROVVISORI	39
5.3	ANALISI DEI CEDIMENTI	41
5.3.1.	Rilevato da progressiva km 21+490 a progressiva km 21+600	41
5.3.2.	Rilevato da progressiva km 21+900 a progressiva km 22+050	45
5.3.3.	Rilevato da progressiva km 23+700 a progressiva km 23+900	53
<b>6</b>	<b>ANALISI NUMERICA PER LA VALUTAZIONE DELL'INTERVENTO SUI RILEVATI</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>66</b>
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	66
<b>8</b>	<b>RISULTATI INDAGINI CONDOTTE PER LA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE</b>	<b>71</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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 3 di 86</b></p>
---	---

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha per oggetto i 4 rilevati, appartenenti al secondo lotto stralcio 2 C della S.S. 195 "Sulcitana" nel tratto Pula – Cagliari, riepilogati nella Tabella 1. I risultati proposti nei seguenti paragrafi sono basati sui risultati di una estesa ed approfondita campagna geotecnica integrativa condotta nel 2018, che ha permesso di ricostruire in dettaglio sia le caratteristiche dei materiali che costituiscono i rilevati sia le condizioni stratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione.

A questo riguardo, nel capitolo 2 sono riportati e discussi in dettaglio i risultati della campagna geotecnica integrativa del 2018; nel capitolo 3, alla luce dei risultati dell'indagine geotecnica 2018, è analizzata la stabilità dei rilevati e i cedimenti indotti nei terreni di fondazione dalla presenza dei rilevati; nel capitolo 4 sono riportate le conclusioni delle analisi progettuali effettuate.

Infine, nel capitolo 5 sono riportati i risultati delle indagini condotte, sempre nel corso del 2018, per la caratterizzazione ambientale dei terreni, sulla base di quanto richiesto dal D.P.R. 120/2017.

*Tabella 1 – Rilevati interessati dagli interventi di demolizione e ricostruzione previsti dal Progetto Definitivo 2006 – 2008.*

<b>Rilevato R1</b>	<i>dal km 21+490 al Km 21+600 (L = 135 m)</i>
<b>Rilevato R2</b>	<i>dal km 21+900 al Km 22+050 (L = 125 m)</i>
<b>Rilevato R3</b>	<i>dal km 22+300 al Km 22+650 (L = 325 m)</i>
<b>Rilevato R4</b>	<i>dal km 23+700 al Km 23+900 (L = 275 m)</i>

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 4 di 86</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 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.
- Coefficienti per le azioni

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

- Coefficienti per le resistenze

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 5 di 86</b></p>
--	--

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

- Coefficienti per le verifiche statiche in materiali sciolti e fronti di scavo

**Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

## 2.2 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.
- 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.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 6 di 86</b></p>
---	---

- 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.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 7 di 86</b></p>
---	---

- 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.
- Seed, H. Bolton (1970). Soil moduli and damping 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., Lisbon, 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 – John 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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 8 di 86</b></p>
--	--

### 3 CAMPAGNA GEOTECNICA INTEGRATIVA 2018

#### 3.1 Descrizione dell'indagine effettuata

Per lo sviluppo 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 2 sono riepilogati tutti i sondaggi effettuati.

Tabella 2 - 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



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 9 di 86</b></p>
--	--

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.

Tabella 3 –Rilevati e indagini geotecniche disponibili relativamente alla campagna geognostica 2003-2005 e 2018.

Rilevato - intervento	Indagini geotecniche disponibili
Dal km 21+490 al Km 21+600 (L = 135 m)	Sondaggi S04 e S05_PZ
Dal km 21+900 al Km 22+050 (L = 125 m)	Sondaggio S06_DH, pozzetto Pz5 e sondaggio S31 (campagna geognostica 2003-2006)
Dal km 22+300 al Km 22+650 (L = 325 m)	Sondaggi S7, S08_DH, S09_PZ, pozzetto Pz6 e sondaggio S32 e pozzetti P1, P2 e P3 (campagna geognostica 2003-2006)
Dal km 23+700 al Km 23+900 (L = 275 m).	Sondaggi S11, S12, pozzetto Pz8

### 3.2 Criteri di interpretazione adottati

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,

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 10 di 86</b></p>
--	---

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.

Le prove Down Hole effettuate in 4 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.

I 3 piezometri a tubo aperto installati nei sondaggi S01\_PZ, S05\_PZ e S09\_PZ hanno consentito di misurare il livello della falda che è risultata presente a profondità comprese fra 1 e 6 m dal p.c. originario.

Infine, le prove penetrometriche dinamiche SPT hanno consentito di ricavare i valori di resistenza al taglio e deformabilità, adottando le seguenti correlazioni.

#### 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 4.

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace esistente 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 4 - 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	$(21.7 \div 27.5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (K_0)_{sc}}{1 + 2 \cdot (K_0)_{nc}}$

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 11 di 86</b></p>
--	---

Angolo di resistenza al taglio

Correlazione di Bolton

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 5)

$\phi'_{cv}$  = angolo di attrito a volume costante, determinabile da prove di laboratorio o stimabile, nel caso di sabbie, sulla base di quanto indicato in Tabella 6

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.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 12 di 86</b></p>
--	--

Tabella 5 - 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

Tabella 6 - Valori dell'angolo  $\alpha$  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  $\alpha'_{cv} = 35^\circ \div 36^\circ$ .

### Modulo di deformabilità

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:

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

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

essendo:

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

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

$V_s$  = 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:  $E_{op} = E_0 / 10$ .

Per quanto concerne la velocità delle onde di taglio da prove SPT è stata adottata la seguente correlazione proposta da Ohta & Goto (1978):

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 13 di 86</b></p>
--	--

$$V_s = C \cdot N^{0.171} \cdot z^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/sec)}$$

essendo:

C = 67.3

Z = profondità dal p.c. in metri

f<sub>G</sub> = coefficiente funzione della composizione granulometrica (tabella 4)

f<sub>A</sub> = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (tabella 5).

Tabella 7 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f<sub>A</sub> (funzione dell'epoca geologica del deposito).

f <sub>A</sub>	Olocene	Pleistocene
	1.0	1.3

Tabella 8 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f<sub>G</sub> (funzione della granulometrica del deposito).

f <sub>G</sub>	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1.45	1.15	1.14	1.07	1.09

### 3.3 Risultati indagine geotecnica integrativa

#### 3.3.1. Rilevato R1 - dal km 21+490 al Km 21+600

In corrispondenza di tale primo rilevato interessato dall'intervento di demolizione e ricostruzione sono stati effettuati i sondaggi S04 e S05\_PZ. Nel sondaggio S05\_PZ è stato installato un piezometro a tubo aperto che ha riscontrato la presenza della falda a 11 m da bocca foro overrosia a 6 m di profondità dal p.c. originario.

Il sondaggio S04 ha individuato la presenza di materiale di riporto costituente il corpo del rilevato per uno spessore di 4.2 m mentre il sondaggio S05\_PZ per uno spessore di 5 m. Tale materiale costituente il rilevato è costituito da ghiaia di natura vulcanica in matrice da sabbiosa a limo sabbiosa. Al di sotto del rilevato sono stati incontrati nel sondaggio S04 dei limi argillo - sabbiosi e della roccia vulcanica (andesi-te) molto alterata, da argillificata a limo sabbiosa. Nel sondaggio S05\_PZ sono state attraversate delle ghiaie medio grossolane in matrice sabbioso – limosa e nella parte più profonda del sondaggio, da 17.50 a 20 m di profondità dei terreni costituiti da argille limose a limi argillo – sabbiosi.

<b>ANAS S.p.A.</b> S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 <b>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>T00GE00GETRE02A</b> <i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i>	<b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b>  <b>Data: Giugno 2020</b>  <b>Pag. 14 di 86</b>
--	--

Le analisi granulometriche dei campioni prelevati nel corpo del rilevato, adottando il sistema di classificazione AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), recepito anche dalla norma CNR UNI 10006 e dal Capitolato di ANAS, appartengono prevalentemente ai gruppi A1-a e A1-b, materiali pertanto del tutto idonei per la realizzazione di rilevati strutturali. A questo riguardo, i materiali riscontrati nei rilevati sono di fatto conformi alle norme CNR 10006 e al Capitolato Anas, che prescrive per i rilevati stradali di utilizzare materiali appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, e materiale appartenente al gruppo A3 con un coefficiente di uniformità maggiore o uguale a 7. Inoltre, sempre il Capitolato ANAS indica che possono essere impiegate terre appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7 solo se provenienti dagli scavi e comunque da utilizzare per la formazione di rilevati di altezza inferiore di 2,0 m dal piano di posa della fondazione della pavimentazione stradale.

Tabella 9 - Sistema di classificazione AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e CNR UNI 10006.

CLASSIFICAZIONE GENERALE	MATERIALI GRANULARI (percentuale di particelle inferiori a 0.075 mm, vaglio n. 200 ≤ al 35%)							LIMI - ARGILLE (percentuale di particelle superiori a			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Analisi granulometrica:											
2.00 mm (setaccio n. 10)	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425 mm (setaccio n. 40)	≤ 30	≤ 50	≥ 51	-	-	-	-	-	-	-	-
0.075 mm (setaccio n. 200)	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Caratteristica delle particelle											
Limite liquido ( $w_L$ in %)	-	-	-	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
Indice di plasticità (PI in %)	≤ 6	0	N.P.	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11 (*)
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20
Materiale costituente	Ghiaia (pietrame)		Sabbia	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi		Argille	
Materiale come sottofondo	Da eccellente a buono							Da buono a scarso			
(*) Se l'indice di plasticità PI è uguale o inferiore al limite liquido $w_L$ meno 30, il terreno viene classificato come <b>A-7-5</b>											
(*) Se l'indice di plasticità PI è superiore al limite liquido $w_L$ meno 30, il terreno viene classificato come <b>A-7-6</b>											

Nelle seguenti Figure sono riportati i valori delle prove SPT e la loro interpretazione in termini di densità relativa, angolo di resistenza al taglio e modulo di deformabilità.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 15 di 86**

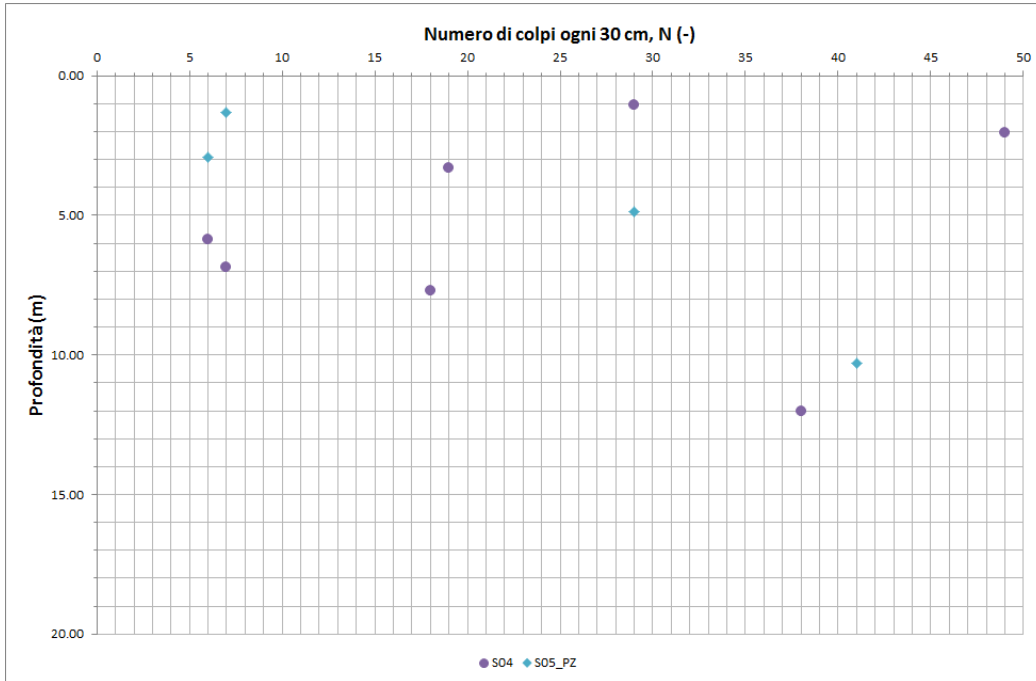


Figura 1. Rilevato n.1, sondaggi S04 e S05\_PZ, valori di SPT.

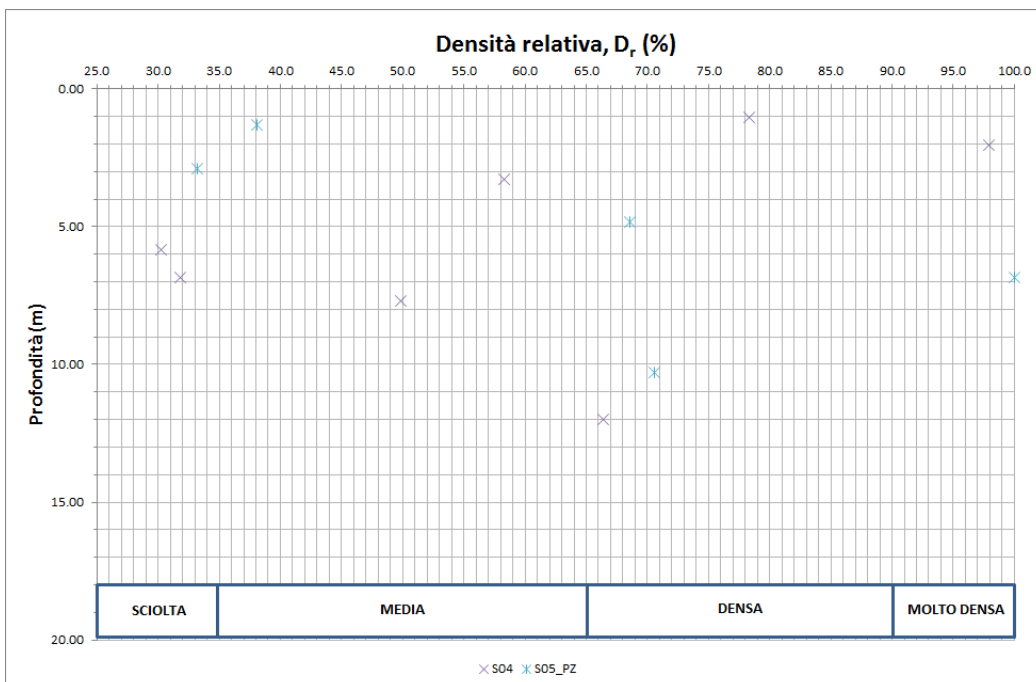


Figura 2. Rilevato n.1, sondaggi S04 e S05\_PZ, valori della densità relativa.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 16 di 86**

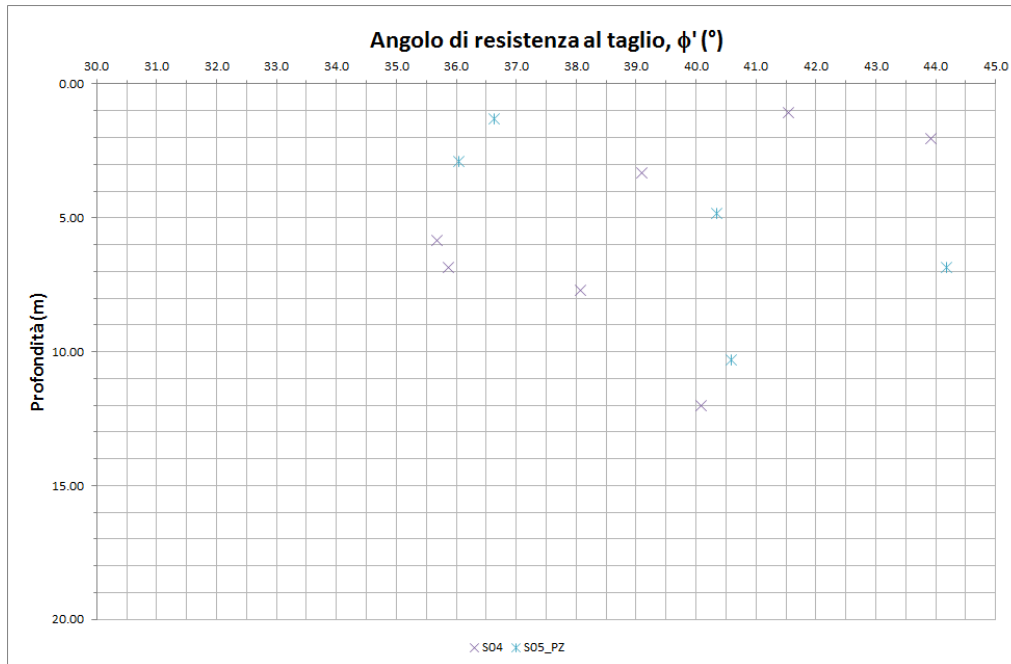


Figura 3. Rilevato n.1, sondaggi S04 e S05\_PZ, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

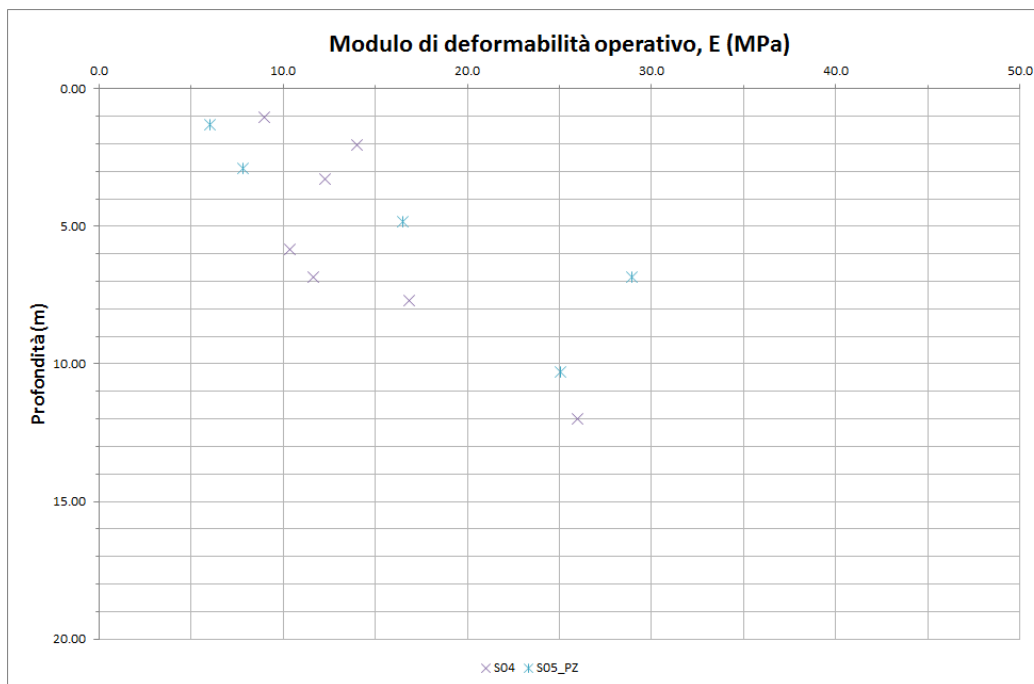


Figura 4. Rilevato n.1, sondaggi S04 e S05\_PZ, valori del modulo di deformabilità.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 17 di 86</b></p>
---	--

### **3.3.2. Rilevato R2 - dal km 21+900 al Km 22+050**

In corrispondenza del secondo rilevato interessato dall'intervento di demolizione e ricostruzione sono stati effettuati, per la campagna integrativa 2018, il sondaggio S06\_DH e il pozzetto Pz5 mentre per la campagna geognostica 2006-2008, il sondaggio S31.

Il sondaggio S06\_DH si è spinto fino ad una profondità di 30 m dal p.c. e ha attraversato nei primi 9 metri il corpo del rilevato costituito da ghiaia di natura vulcanica in matrice da limo – sabbioso-argillosa a limo sabbiosa. Nei terreni di fondazione il sondaggio ha attraversato, fino ad una profondità di 22 m, una alternanza di livelli di ghiaia e di ghiaia in matrice sabbiosa e sabbio – limosa. Da 22 m di profondità fino alla massima profondità raggiunta di 30 m è presente uno strato di limo argillo sabbioso. Il sondaggio S31, che ha raggiunto una profondità di 18.30 m, ha attraversato nei primi 7.5 m il corpo del rilevato costituito da un misto granulare in matrice argillosa e in fondazione delle ghiaie in matrice prevalentemente argillosa ben addensata. I campioni prelevati dal sondaggio S06\_DH nel corpo del rilevato sui quali sono state condotte delle analisi granulometriche hanno evidenziato la presenza di terreni appartenenti ai gruppi: A1-b (2 determinazioni); A2-4 (2 determinazioni); A3-7 (3 determinazioni), quest'ultimi con una percentuale del passante al setaccio n. 200 (terreni a grana fine) significativa e tipica di ghiaie e sabbie limose e argillose.

Nelle seguenti Figure sono riportati i valori delle prove SPT e la loro interpretazione in termini di densità relativa, angolo di resistenza al taglio e modulo di deformabilità. Infine, nella Figura 9 e nella Figura 10 sono riportati i valori salienti ottenuti dalla prova geofisica down – hole S06\_DH.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 18 di 86**

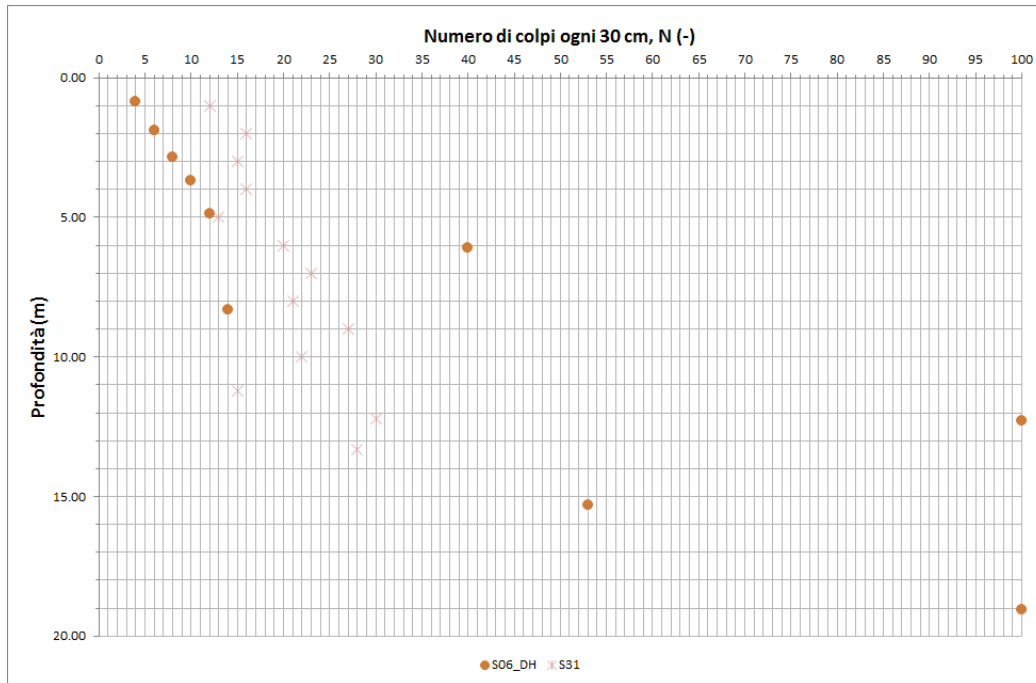


Figura 5. Rilevato n.2, sondaggi S06\_DH e S31, valori di SPT.

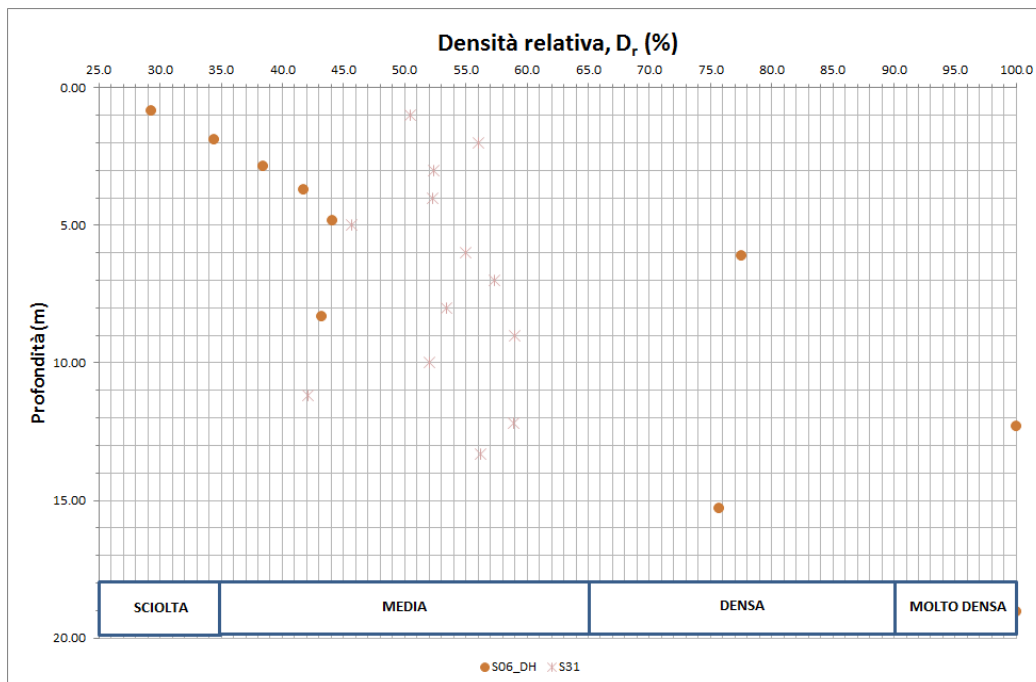


Figura 6. Rilevato n.2, sondaggi S06\_DH e S31, valori della densità relativa.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 19 di 86**

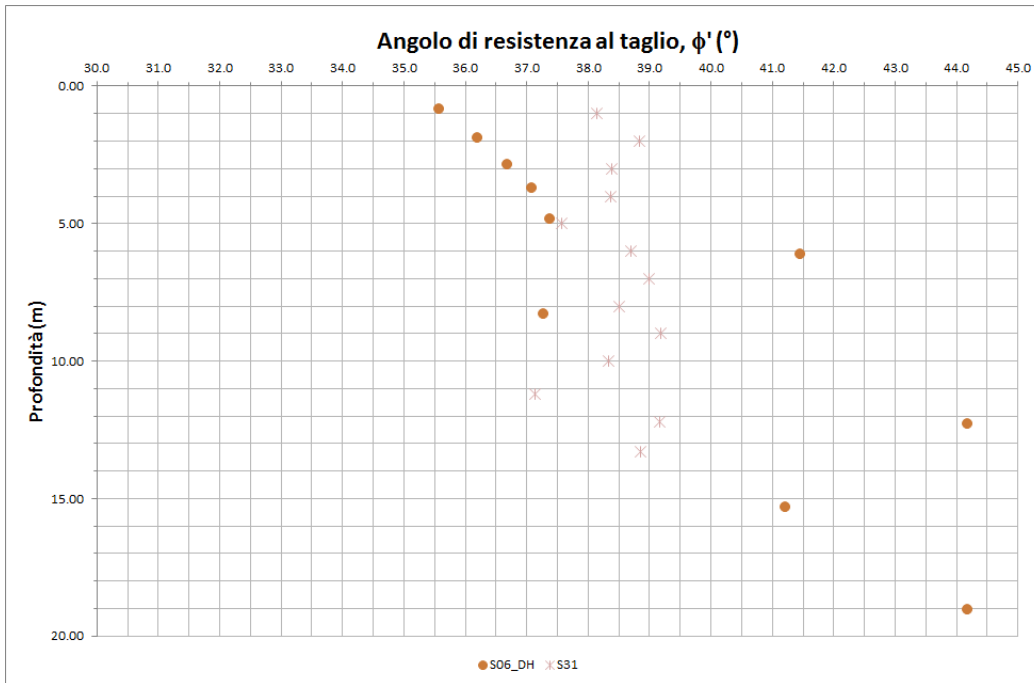


Figura 7. Rilevato n.2, sondaggi S06\_DH e S31, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

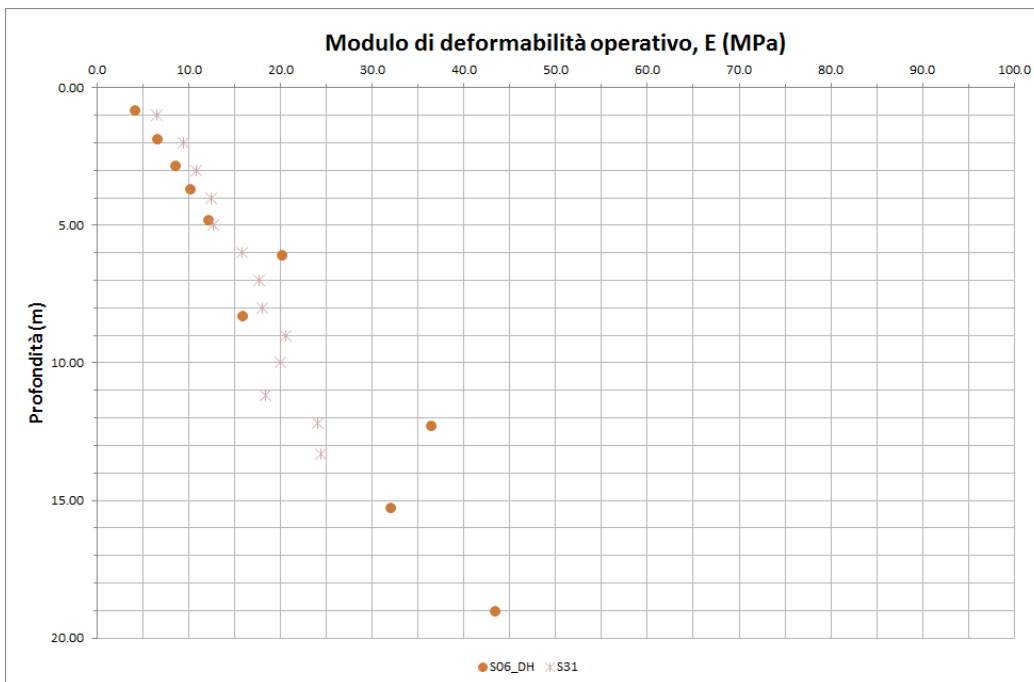


Figura 8. Rilevato n.2, sondaggi S06\_DH e S31, valori del modulo di deformabilità.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 20 di 86**

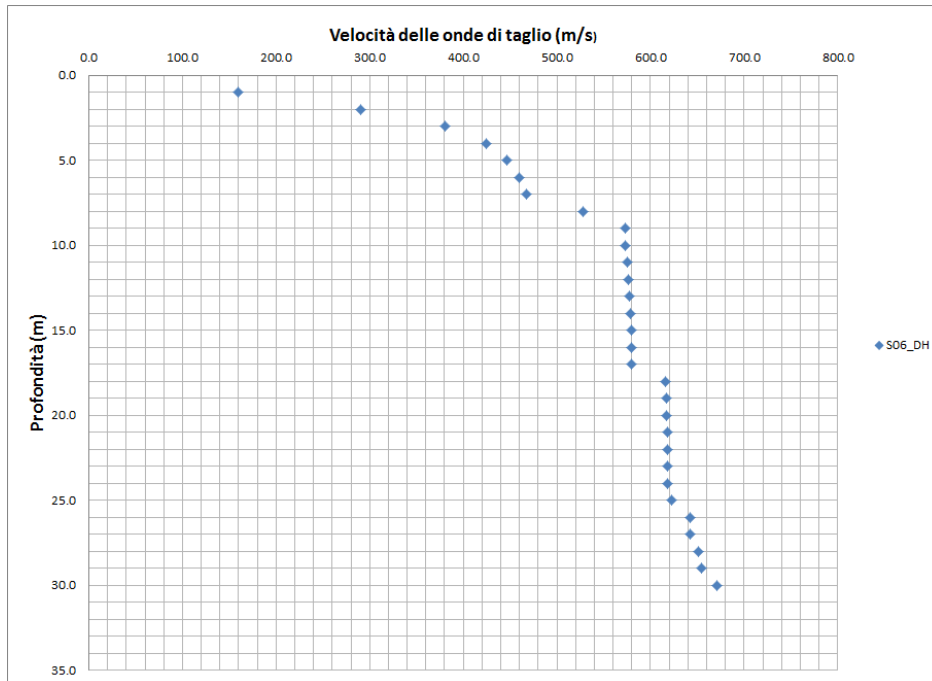


Figura 9. Sondaggio S06\_DH, risultati prova down – hole in termini di velocità delle onde di taglio.

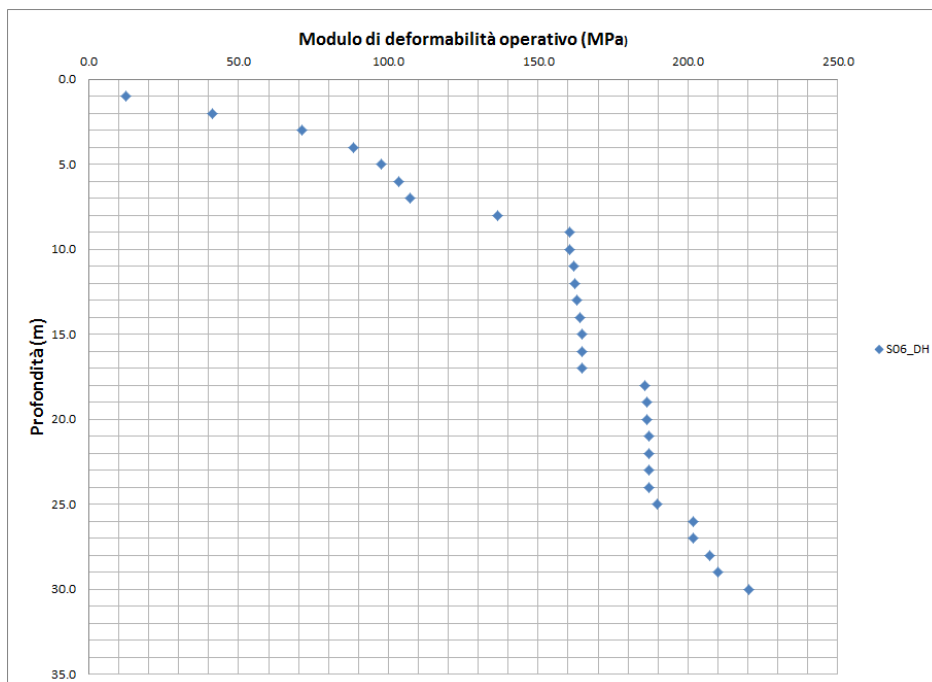


Figura 10. Sondaggio S06\_DH, interpretazione della prova down – hole in termini di modulo di deformabilità operativo.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 21 di 86</b></p>
---	--

### **3.3.3. Rilevato R3 - dal km 22+300 al Km 22+650**

In corrispondenza del terzo rilevato interessato dall'intervento di demolizione e ricostruzione sono stati effettuati, per la campagna integrativa 2018, i sondaggi S7, S8\_DH e il pozzetto Pz6 mentre per la campagna geognostica 2006-2008, il sondaggio S32 e i pozzetti P1, P2 e P3.

Il sondaggio S07 si è spinto fino ad una profondità di 15 m e nei primi 9.5 m ha attraversato il corpo del rilevato costituito da ghiaia di natura vulcanica talvolta alterata e ossidata in matrice da limo – sabbiosa a limo – sabbio – argillosa. Infine, da piano campagna fino alla massima profondità di 15 m è stato attraversato uno strato di limo sabbioso – argilloso inglobante frammenti lapidei di natura vulcanica.

Il sondaggio S08\_DH, della lunghezza di 30 m e nel quale è stata effettuata una prova geofisica down – hole, analogamente al sondaggio S07, ha attraversato nei primi 10.50 m il corpo del rilevato costituito nei primi 5 m da ghiaie di natura vulcanica e nei restanti 5.5 m da un limo sabbioso da debolmente argilloso ad argilloso. Al di sotto nei terreni di fondazione è stato incontrato uno strato dello spessore di 1.1 m di sabbia limosa al di sotto del quale fino ad una profondità di 28 m è stata incontrata dell'andesite completamente alterata da argillificata a limo sabbiosa; negli ultimi 2 m del sondaggio, dalla profondità di 28 e 30 m, è stato incontrato il substrato roccioso costituito da andesite.

Il sondaggio S09\_PZ, della lunghezza di 20 m, nel quale è stato installato un piezometro a tubo aperto che ha individuato una falda alla profondità di 11 m da bocca foro ovvero sia ad una profondità di 2 m dal piano campagna ha attraversato il corpo del rilevato per uno spessore di 9 m costituito da ghiaie di natura vulcanica. Al di sotto del rilevato nel terreno di fondazione sono state attraversate delle alternanze di limo sabbioso, ghiaia e andesite alterata. Negli ultimi 80 cm del sondaggio, dalla profondità di 19.20 fino a 20 m è stata incontrato il probabile substrato roccioso.

Infine, il sondaggio S32, effettuato nella campagna geognostica 2003 – 2006, della lunghezza di 17 m ha attraversato per i primi 10 m il corpo del rilevato costituito da un misto granulare in matrice argillosa, al di sotto del quale, nei terreni di fondazione sono state attraversate delle ghiaie in matrice prevalentemente argillosa. Negli ultimi 2 m da 15 a 17 m di profondità sono state incontrate delle tufiti alterate.

Per quanto concerne i campioni prelevati nel corpo del rilevato dai sondaggi S7, S08: DH e S09\_PZ le analisi granulometriche hanno evidenziato che i materiali appartengono ai seguenti gruppi: A1-a (3 determinazioni); A1-b (12 determinazioni); A2-4 (3 determinazioni); A2-6 (1 determinazione); A2-7 (1 determinazione); A7-6 /1 determinazione).

Nelle seguenti Figure sono riportati i valori delle prove SPT e la loro interpretazione in termini di densità relativa, angolo di resistenza al taglio e modulo di deformabilità. Infine, nella Figura 15 e nella Figura 16 sono riportati i valori salienti della prova geofisica down – hole effettuata nel sondaggio P08\_DH.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 22 di 86**

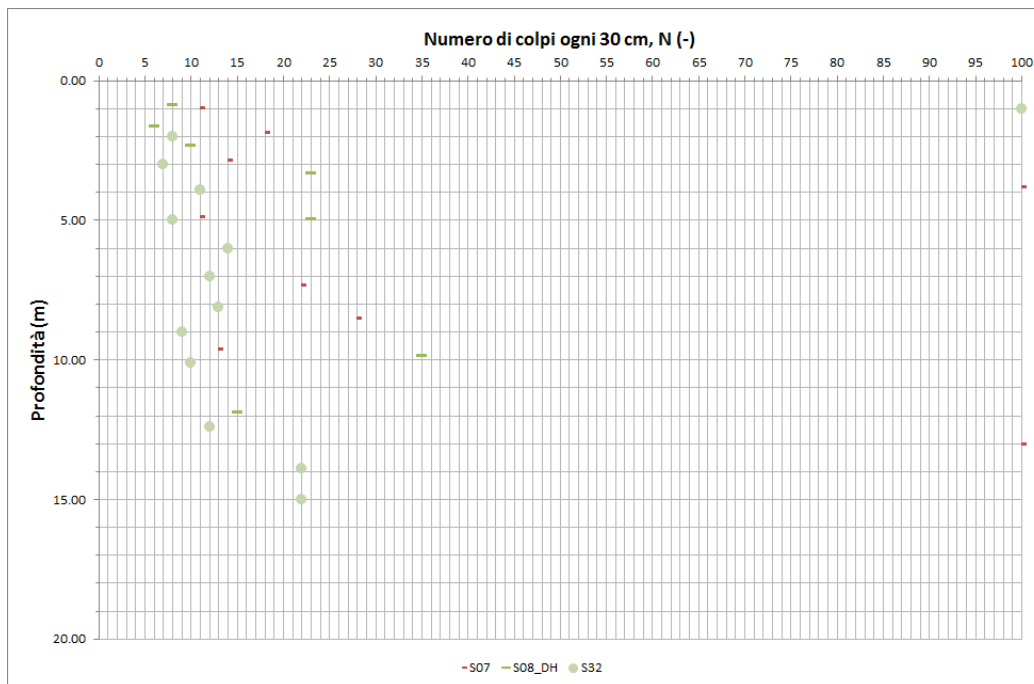


Figura 11. Rilevato n.3, sondaggi S07, S08\_DH, S09\_PZ e S32, valori di SPT.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 23 di 86**

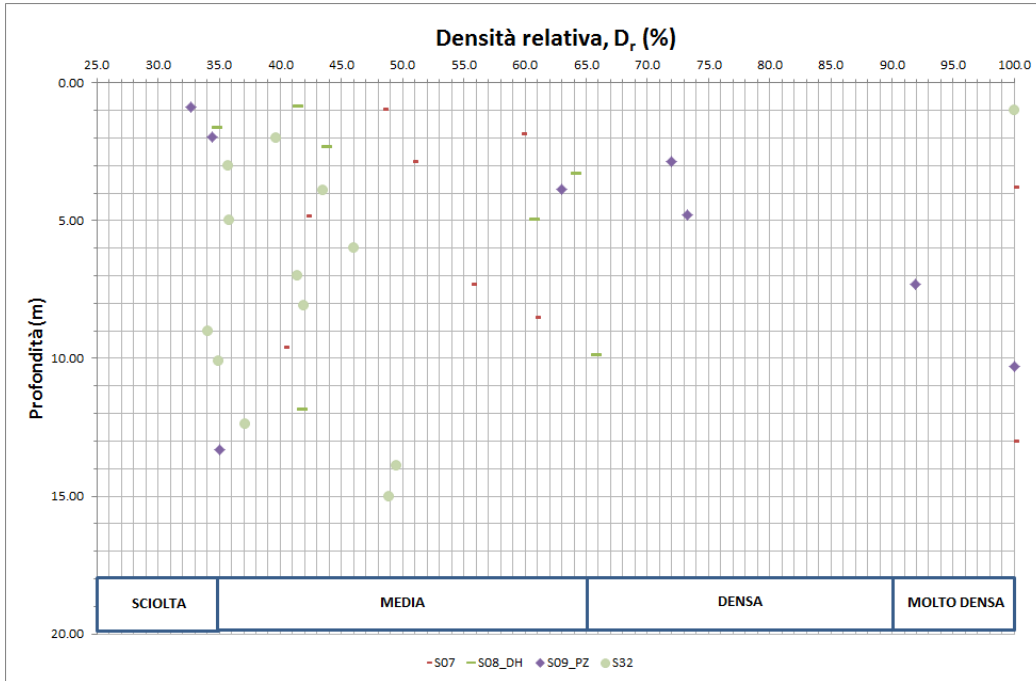


Figura 12. Rilevato n.3, sondaggi S07, S08\_DH, S09\_PZ e S32, valori della densità relativa.

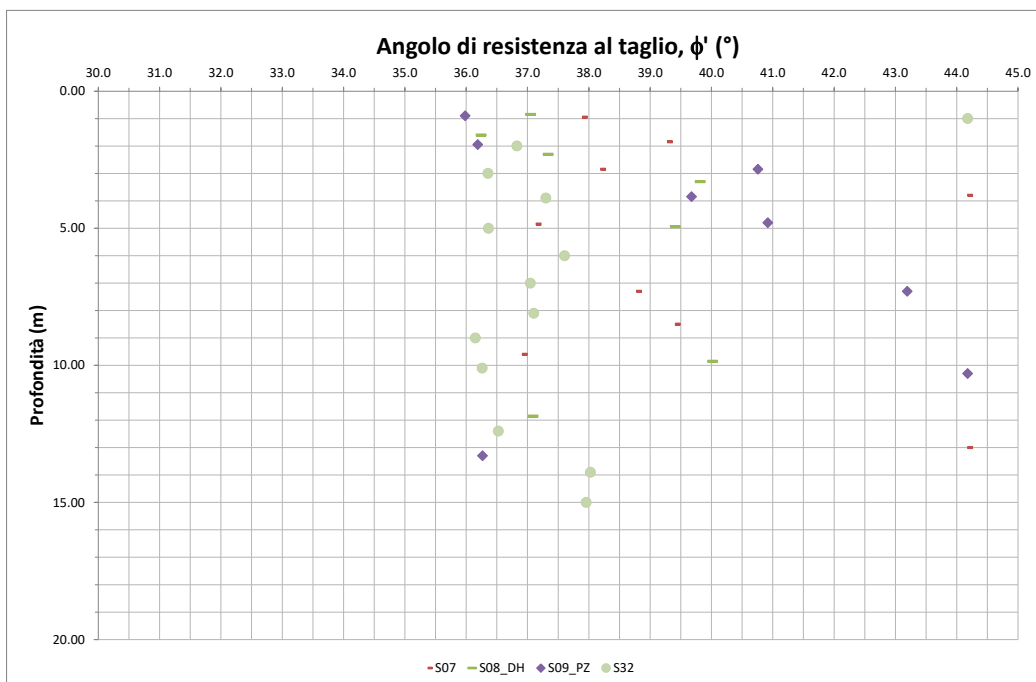


Figura 13. Rilevato n.3, sondaggi S07, S08\_DH, S09\_PZ e S32, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 24 di 86**

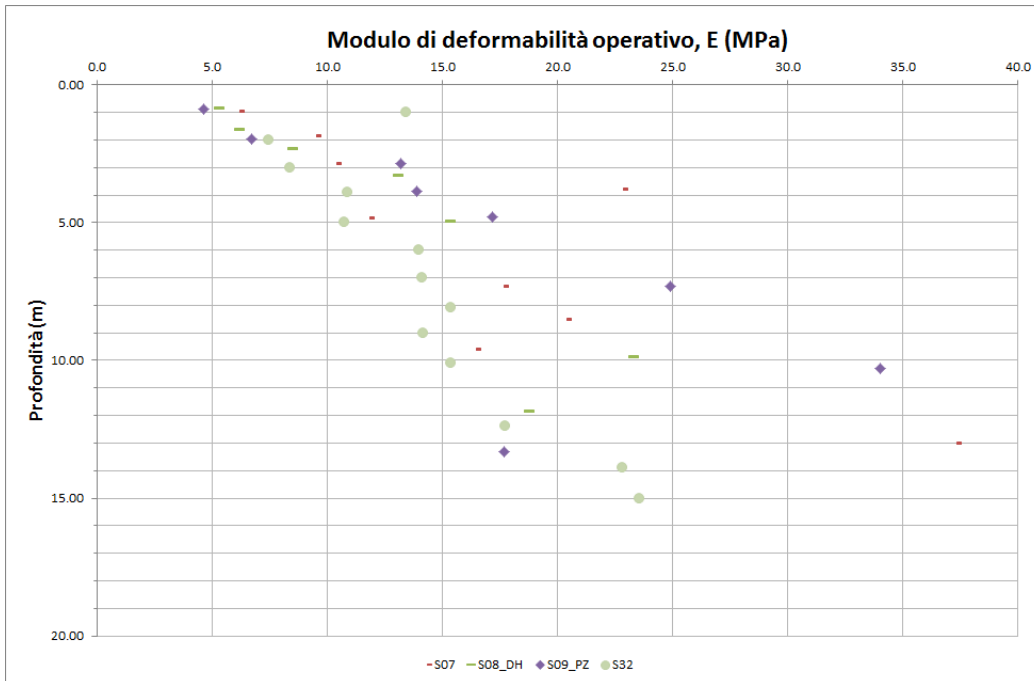


Figura 14. Rilevato n.3, sondaggi S07, S08\_DH, S09\_PZ e S32, valori del modulo di deformabilità.

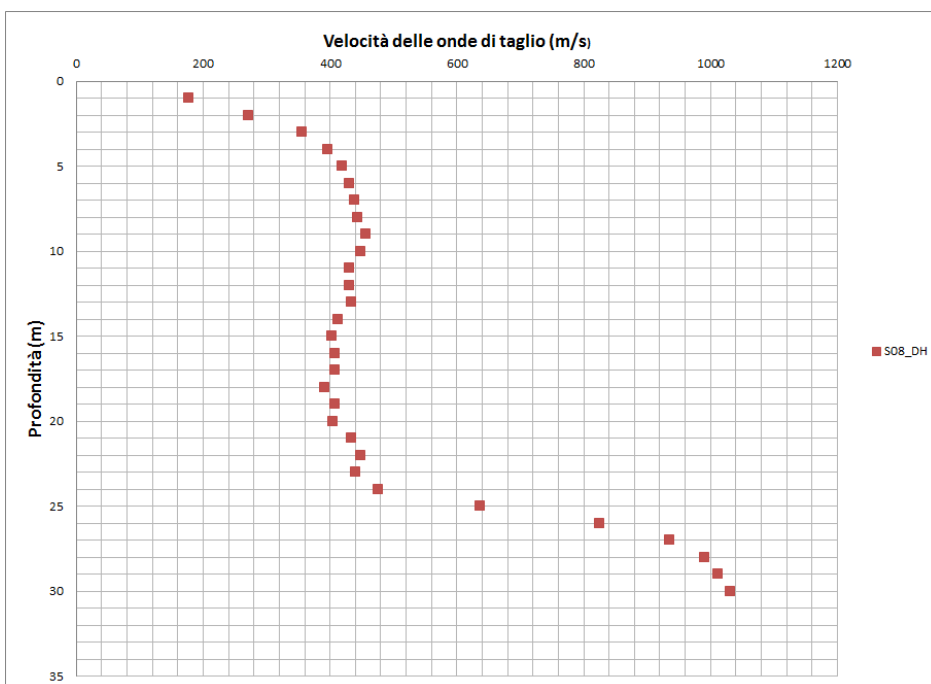


Figura 15. Sondaggio S08\_DH, risultati prova down – hole in termini di velocità delle onde di taglio.



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

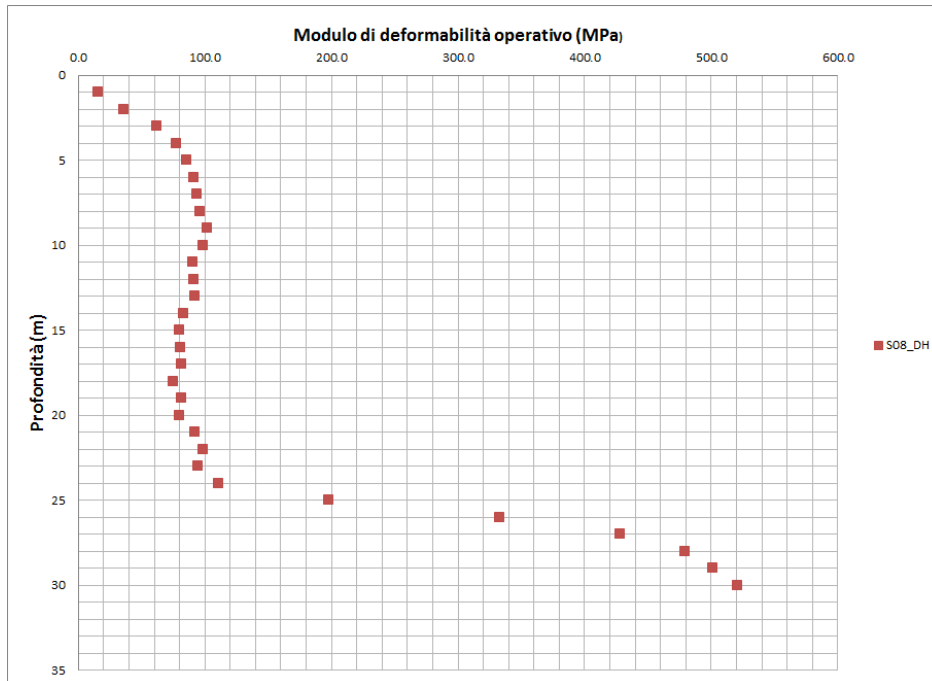
**File:****T00GE00GETRE02A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 25 di 86**

Figura 16. Sondaggio S08\_DH, interpretazione della prova down – hole in termini di modulo di deformabilità operativo.

### 3.3.4. Rilevato R4 - dal km 23+700 al Km 23+900

In corrispondenza del quarto ed ultimo rilevato interessato dall'intervento di demolizione e ricostruzione sono stati effettuati per la campagna integrativa 2018 i sondaggi S11 ed S12 e il pozzetto Pz8.

Il sondaggio S11 della lunghezza di 15 metri ha attraversato il corpo del rilevato per uno spessore di 6.5 m, costituito da un riporto ghiaioso grossolano di natura prevalentemente granitica in matrice sabbiosa. Nel terreno di fondazione, al di sotto del rilevato, fino alla massima profondità sono state attraversate delle andesiti fortemente alterate da argillificate a limo sabbiose.

Analogamente, il sondaggio S12 della lunghezza di 10 m ha attraversato il corpo del rilevato per uno spessore di 5.8 m, costituito da ghiaia in matrice sabbiosa nei primi 3 m e in matrice limo sabbiosa e argillosa nei restanti 2.8 m; al di sotto del rilevato e fino alla massima profondità di 10 m è stato incontrato il substrato roccioso costituito da andesiti a tratti alterate.

Per quanto riguarda i campioni prelevati nel corpo del rilevato dai sondaggi S11 e S12, le analisi granulometriche hanno individuato che i materiali appartengono ai seguenti gruppi: A1a (3 determinazioni); A1-b (3 determinazioni); A2-4 (3 determinazioni).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 26 di 86**

Nelle seguenti Figure sono riportati i valori delle prove SPT e la loro interpretazione in termini di densità relativa, angolo di resistenza al taglio e modulo di deformabilità.

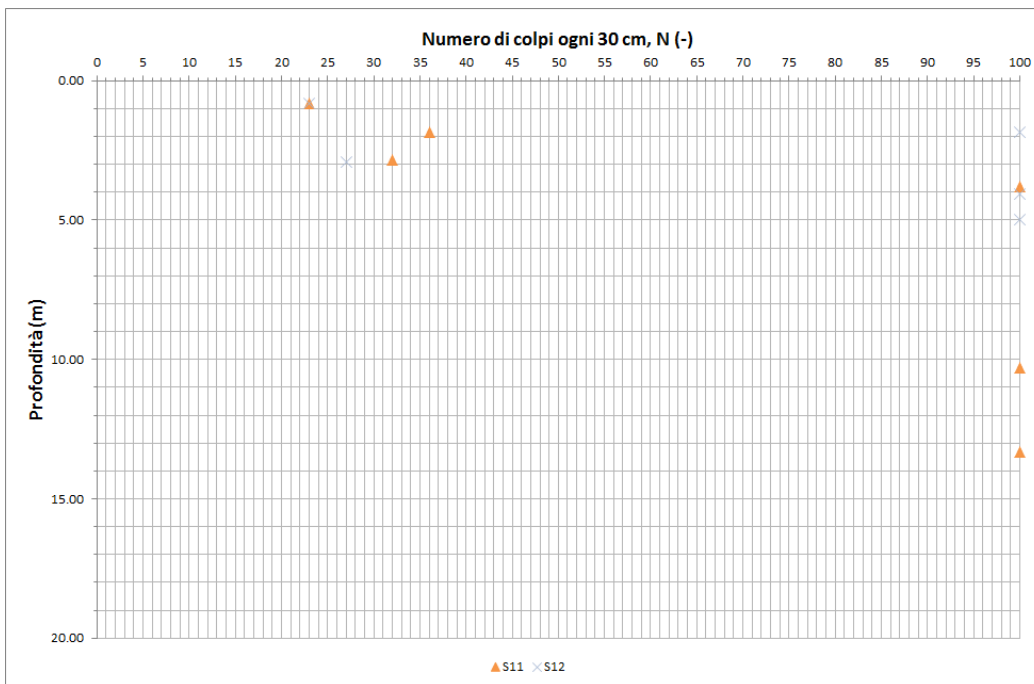
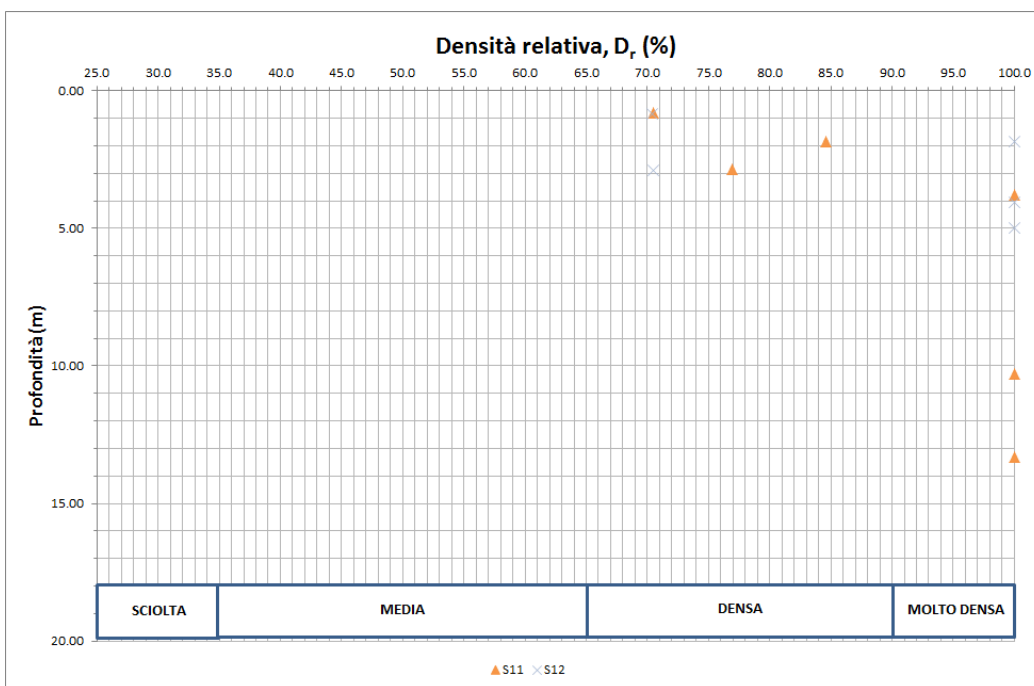


Figura 17. Rilevato n. 4, sondaggi S11 e S12, valori di SPT.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 27 di 86</b></p>
--	---

Figura 18. Rilevato n. 4, sondaggi S11 e S12, valori della densità relativa.

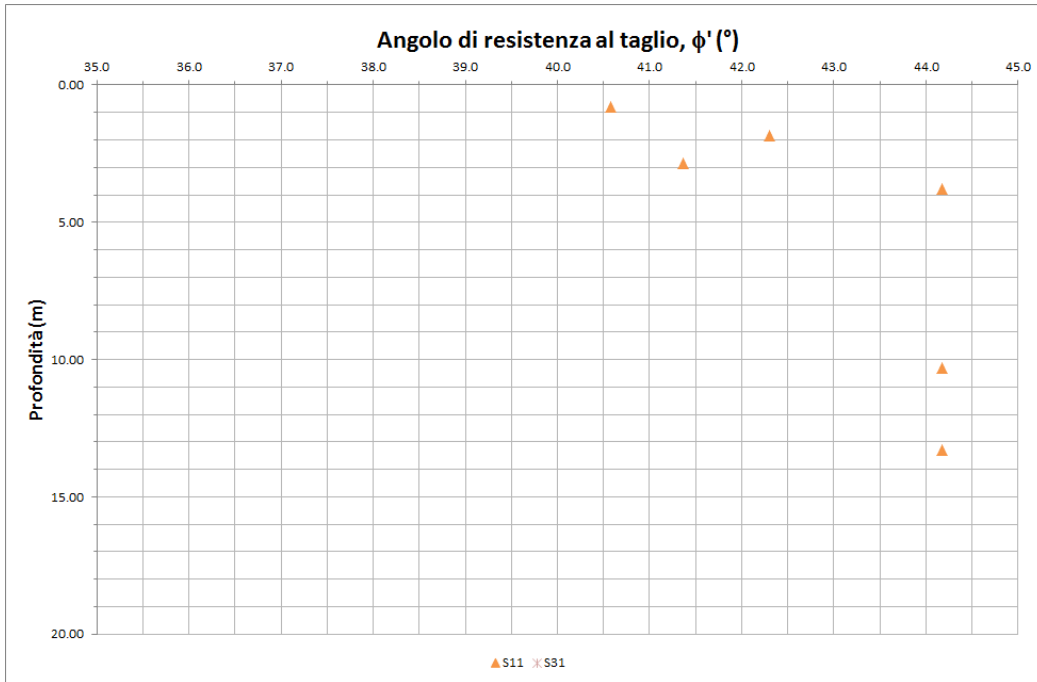


Figura 19. Rilevato n. 4, sondaggi S11 e S12, valori dell'angolo di resistenza al taglio.

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**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 28 di 86**

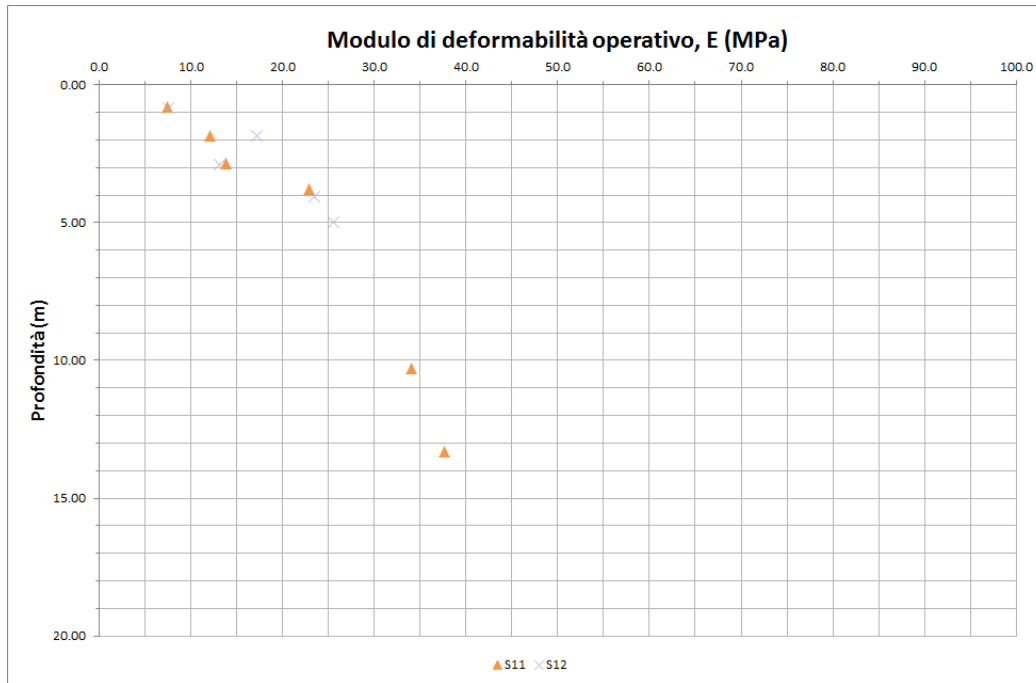


Figura 20. Rilevato n. 4, sondaggi S11 e S12, valori del modulo di deformabilità.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 29 di 86</b></p>
--	---

#### 4 SOLUZIONE PROGETTUALE PROPOSTA

Nel seguente paragrafo viene pertanto descritta la soluzione proposta che esclude la necessità della demolizione e ricostruzione dei rilevati, proponendo il semplice rifacimento della parte sommitale dei rilevati e la realizzazione della piattaforma stradale.

La soluzione proposta prevede la bonifica superficiale della parte di sommità dei rilevati esistenti, al di sotto della attuale piattaforma stradale, con la realizzazione di uno strato di spessore pari a 1 m.

Tale strato sarà costituito da terreni appartenenti al gruppo A1, compattati in strati dello spessore di  $0\div 0.3$  m, con un rullo da 20 ton.

Le modalità di compattazione e le prove di controllo del modulo di deformabilità saranno prese in accordo al capitolato Anas.

Al di sopra di tale strato sarà realizzata la pavimentazione tipo D comprendente uno spessore di 30cm di misto granulare non legato e uno spessore di 20 cm di misto cementato fibrorinforzato.

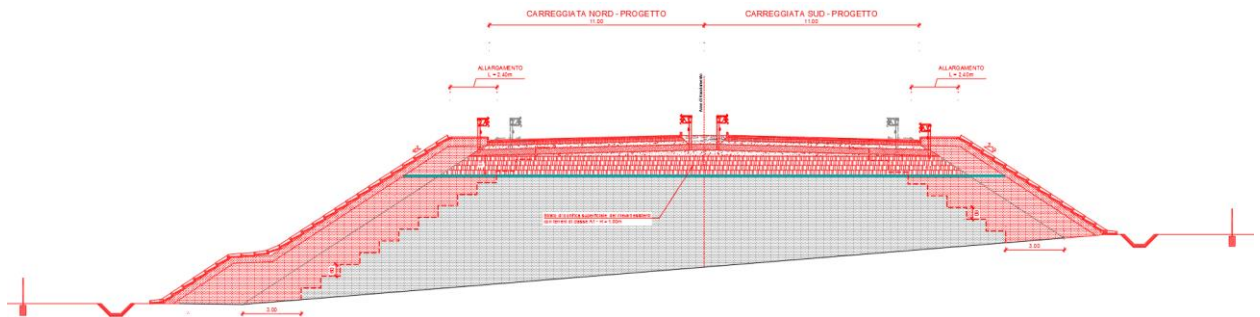


Figura 21. Sezione trasversale dei rilevati con l'indicazione dell'intervento di rifacimento della parte sommitale dei rilevati e della fondazione della piattaforma stradale.

Di seguito si riportano tutte le opportune analisi di sicurezza e funzionalità a supporto di tale soluzione sulla base delle campagne geotecniche effettuate.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 30 di 86</b></p>
--	---

## 5 ANALISI DI STABILITA' E VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

### 5.1 Analisi di stabilità globale

Nel presente paragrafo è analizzata la stabilità sia del corpo del rilevato sia dell'insieme rilevato – terreno di fondazione. A tale riguardo è stata scelta una sezione rappresentativa dei 4 rilevati in oggetto, con riferimento alle massime altezze e alle condizioni geotecniche dei terreni.

La sezione analizzata è ubicata alla progressiva km 22+550.00 (Figura 22) e appartiene al rilevato compreso fra le progressive km 22+300 e km 22+650 con una altezza massima, in asse al rilevato, di 8 m.

Sulla base dell'interpretazione delle indagini effettuate, riportate nel paragrafo 1.3.3, nella seguente tabella sono riportati i valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati per le verifiche di stabilità. La falda è stata assunta ad una profondità di 2 m dal p.c.

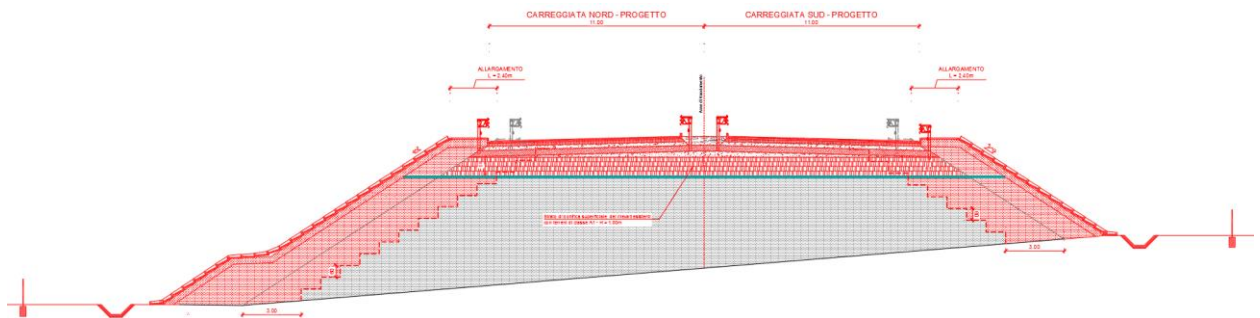


Figura 22. Sezione alla progressiva km 22+550.

Tabella 10 - Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici di calcolo per la sezione alla progr. 22+550

Profondità in metri (dalla sommità del rilevato)	Terreno	Valore caratteristico del peso dell'unità di volume, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Valore caratteristico della coesione efficace, $c'_k$ (kPa)	Valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi_k$ (°)
0 - 8	Materiale di riporto costituente il rilevato classificato appartenente ai gruppi A1-a, A1-b, A2- 4 e A2-6	20	0	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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 31 di 86</b></p>
--	---

8 -13	Sabbia limosa	19	0	37
13 - 30	Limo sabbioso - argilloso	17.5	0	38
Allargamento rilevato e strato di bonifica	Materiale da rilevato	20	0	38

Con riferimento alla normativa (Norme Tecniche per le Costruzioni "NTC2018"), le verifiche di stabilità sono state condotte secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, assumendo pertanto i seguenti valori dei coefficienti parziali:

$\gamma_{G1} = 1$  e  $\gamma_{Q1} = 1.3$  (gruppo A2) per le azioni;

$\gamma_c = 1.25$  e  $\gamma_\psi = 1.25$  (gruppo M2) per la coesione efficace e la tangente dell'angolo di resistenza al taglio;

$\gamma_R = 1.1$  per il valore della resistenza (gruppo R2 della tabella 6.8.I delle NTC 2018).

Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo ParatiePlus (licenza numero 1625087040) modulo per le analisi di stabilità VSP, distribuito da Harpaceas.

Il programma si basa sull'applicazione di diversi metodi dell'equilibrio limite in condizioni bidimensionali quali il metodo di Bishop semplificato (1955), quello di Janbu semplificato (1973) e quello di Morgenstern-Price (1965).

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica" (ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza  $F_s$  minimo).

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno. Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella delle forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc).

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in conci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificatrici sulle forze reciproche tra i conci.

Il metodo consente di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo:

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 32 di 86</b></p>
--	---

$(\tau_{ult})_m$  = resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento;

$\tau_m$  = tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

Il programma ricerca automaticamente la superficie di scorrimento "critica" con un procedimento iterativo basato sul tracciamento automatico delle superfici circolari e sul successivo calcolo del coefficiente di sicurezza di ciascuna di esse. Prendendo in esame un numero molto elevato di superfici di scivolamento, per ciascuna di esse viene eseguito il calcolo del coefficiente di sicurezza ed il valore più piccolo tra quelli ottenuti è assegnato all'intero pendio.

L'analisi di stabilità è stata condotta assumendo i valori di progetto della coesione efficace (assunta cautelativamente pari a zero anche per i terreni di fondazione) e dell'angolo di resistenza al taglio ricavati da quelli caratteristici indicati nella Tabella 10 applicando i coefficienti parziali del gruppo M2 della normativa. Infine, in sommità al rilevato in corrispondenza della piattaforma stradale, è stato considerato un sovraccarico  $q = 20$  kPa amplificato adottando un coefficiente parziale pari a 1.3 in fase statica (coeff. A2) e 1 in fase sismica.

Si presenta di seguito il modello:

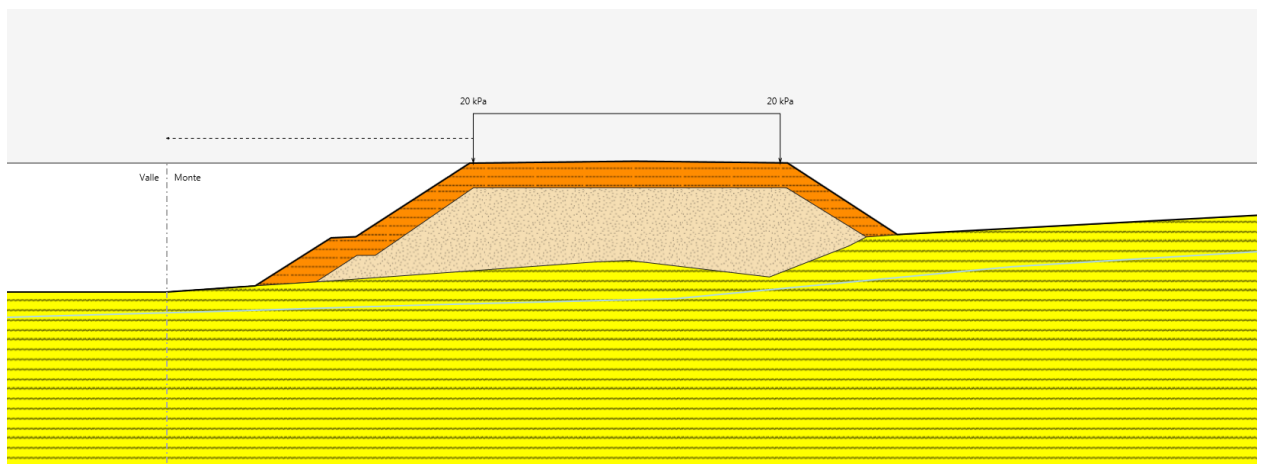


Figura 23. Modello di calcolo stabilità rilevati.

Nella Figura 24 e nella Figura 25 sono riportati i risultati della analisi di stabilità effettuate in condizioni statiche e come si può notare la superficie più critica fornisce un coefficiente di sicurezza pari a 1.15 e a 2.34, rispettivamente per superfici di potenziale scorrimento situate nel corpo del rilevato e nell'insieme corpo del rilevato – terreno di fondazione.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 33 di 86</b></p>
--	---

Avendo come coefficiente di riferimento 1.1 (approccio DA1-C2, coefficiente di sicurezza parziale R2 della tabella 6.8.I delle NTC 2018), si ottiene il seguente grado di utilizzazione:

$$\Lambda_{GEO,1} = \frac{1.1}{1.15} = 97 \% \quad (\text{superficie pi\`u critica di potenziale scorrimento situata nel corpo del rilevato})$$

$$\Lambda_{GEO,1} = \frac{1.1}{2.30} = 48 \% \quad (\text{superficie pi\`u critica di potenziale scorrimento che attraversa l'insieme corpo del rilevato – terreno di fondazione})$$

Essendo il grado di utilizzazione inferiore al 100%, la verifica di stabilit\`a \`e soddisfatta.

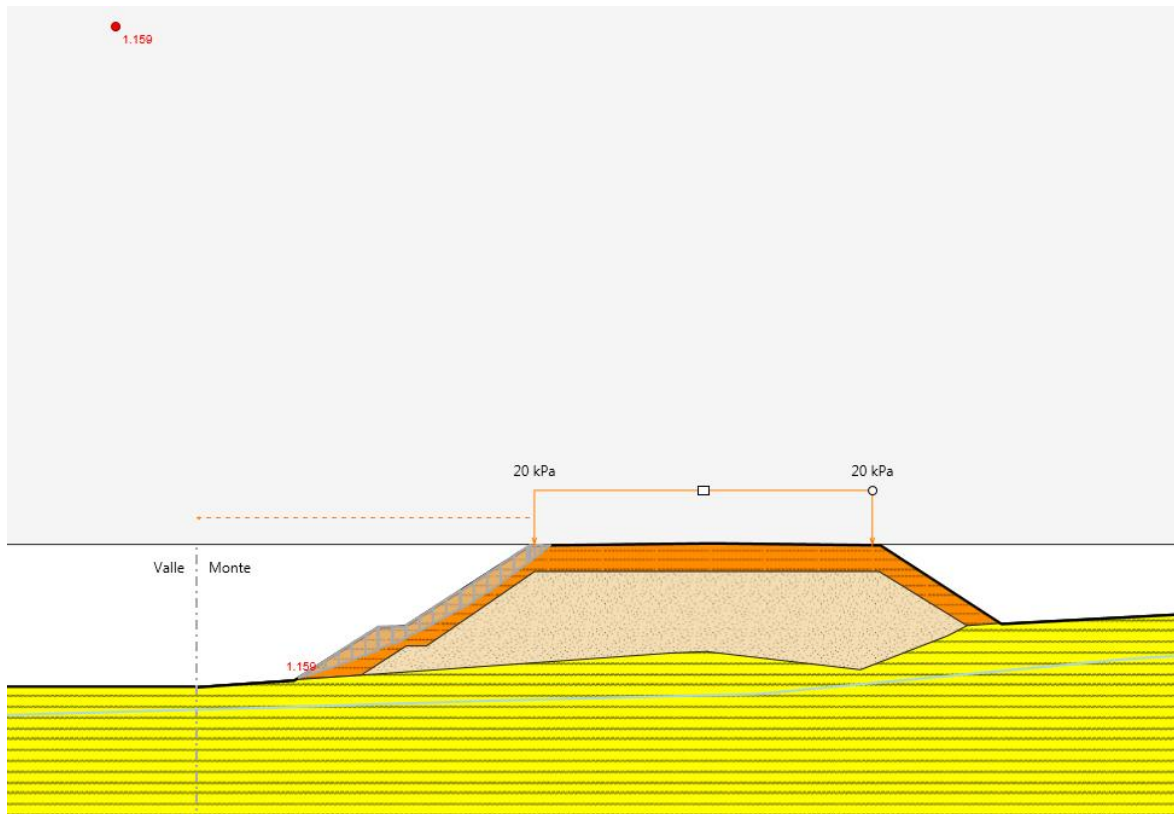


Figura 24. Sezione alla progressiva km 22+550.00, risultati analisi di stabilit\`a in condizioni statiche del solo corpo del rilevato, relativamente alla superficie di potenziale scorrimento pi\`u critica ( $F_s = 1.15$ ).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 34 di 86**

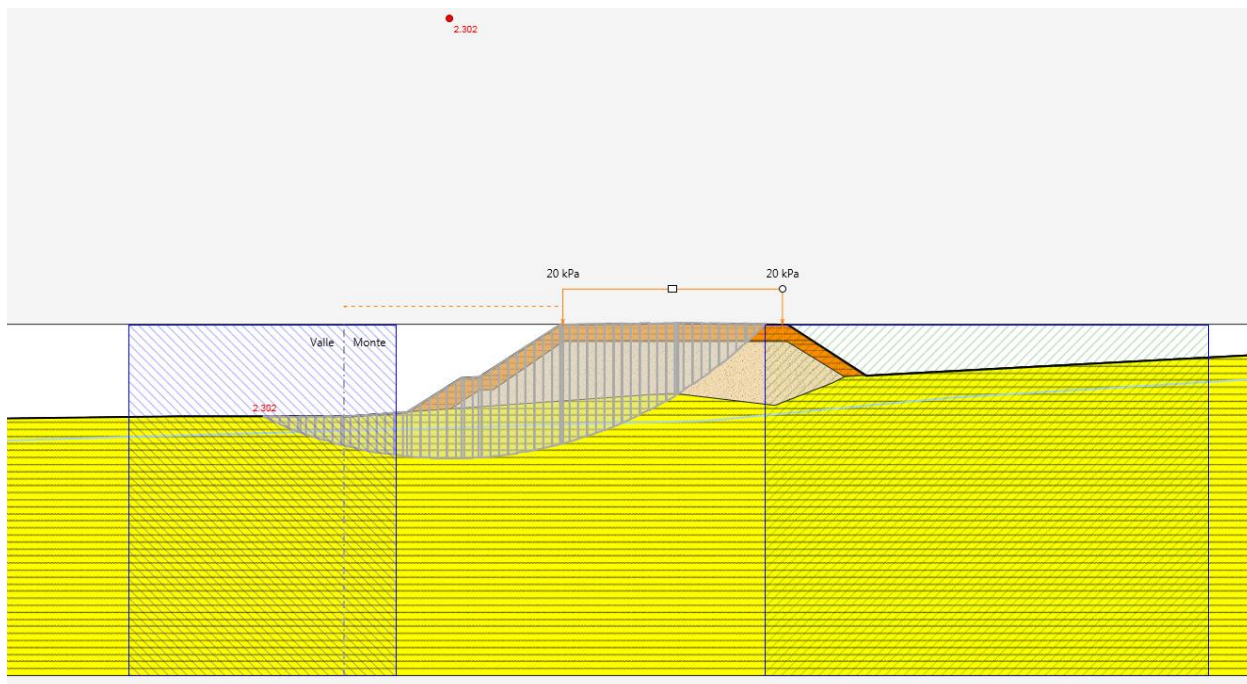
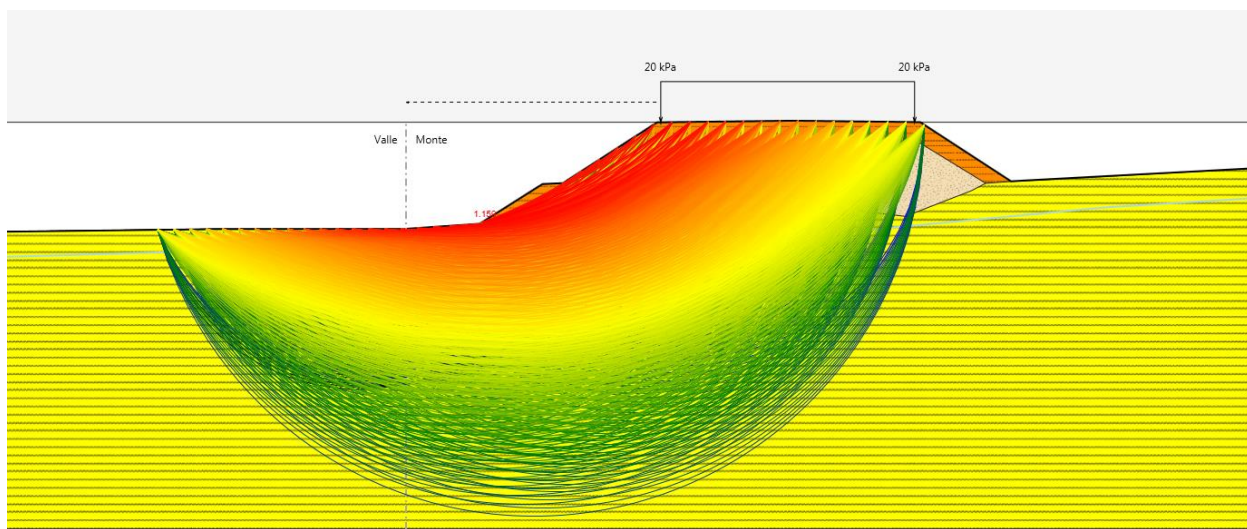


Figura 25. Sezione alla progressiva km 22+550.00, risultati analisi di stabilità in condizioni statiche dell'insieme corpo del rilevato – terreno di fondazione, relativamente alla superficie di potenziale scorrimento più critica ( $F_s = 2.30$ ).

Di seguito si riportano tutte superfici di scorrimento indagate nell'analisi di stabilità.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 35 di 86</b></p>
--	---

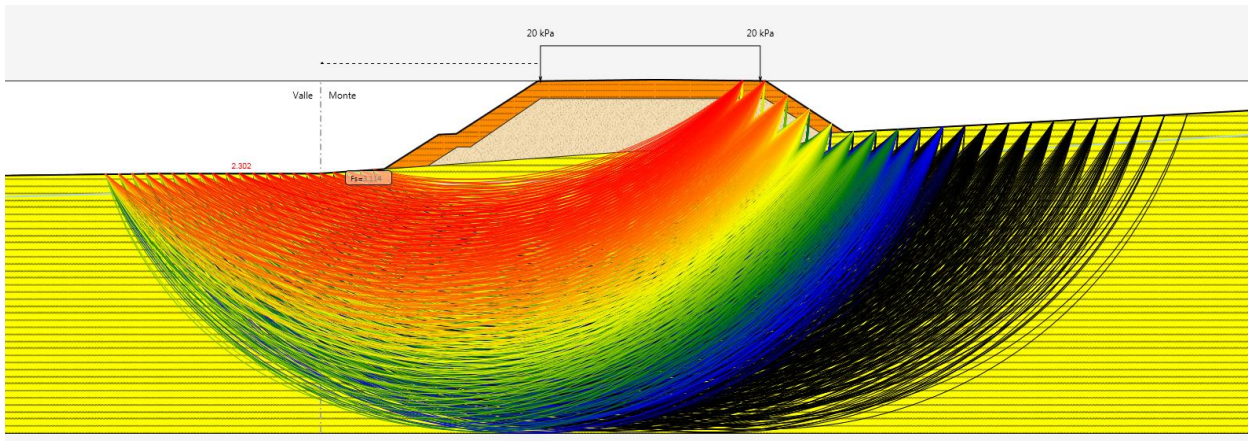


Figura 26. Sezione alla progressiva km 22+550.00, superfici di scorrimento indagate.

Si presenta inoltre la verifica sismica della stabilità del sistema rilevato-terreno. L'analisi sismica è stata valutata sulla base delle indicazioni di cui al paragrafo del DM2018 secondo cui i valori dei coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono posti pari a 1 e impiegando un fattore riduttivo delle resistenze  $\gamma_R$  pari a 1.2.

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.

vita nominale:  $V_N = 50$  anni

coefficiente d'uso:  $C_U = 2$

periodo di riferimento:  $V_R = V_N \times C_U = 100$  anni:

stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV

probabilità di superamento associata allo stato limite SLV:  $PVR = 10\%$

periodo di ritorno:  $TR = -V_R / \ln(1 - PVR) = 949$  anni

categoria di sottosuolo: B,  $S_s=1.2$

categoria topografica: T1

I parametri sismici principali sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 11 – Valori dei parametri per la definizione del sisma di progetto

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 36 di 86</b></p>
--	---

	P <sub>VR</sub> [%]	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [-]	T <sub>C</sub> * [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

L'accelerazione massima attesa è pari a:

$$a_{max} = a_g \cdot S = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

I coefficienti sismici orizzontali e verticali sono pari a:

$$k_h = \frac{a_{max}}{g} \cdot \beta_s = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Dove  $\beta_s$  è posto pari a 0.38 nei rilevati (par. 7.11.4 DM2018).

Ne risulta che:

$$k_h = 0.027$$

$$k_v = 0.013$$

Di seguito si presentano le verifiche in condizioni sismiche:

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**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 37 di 86**

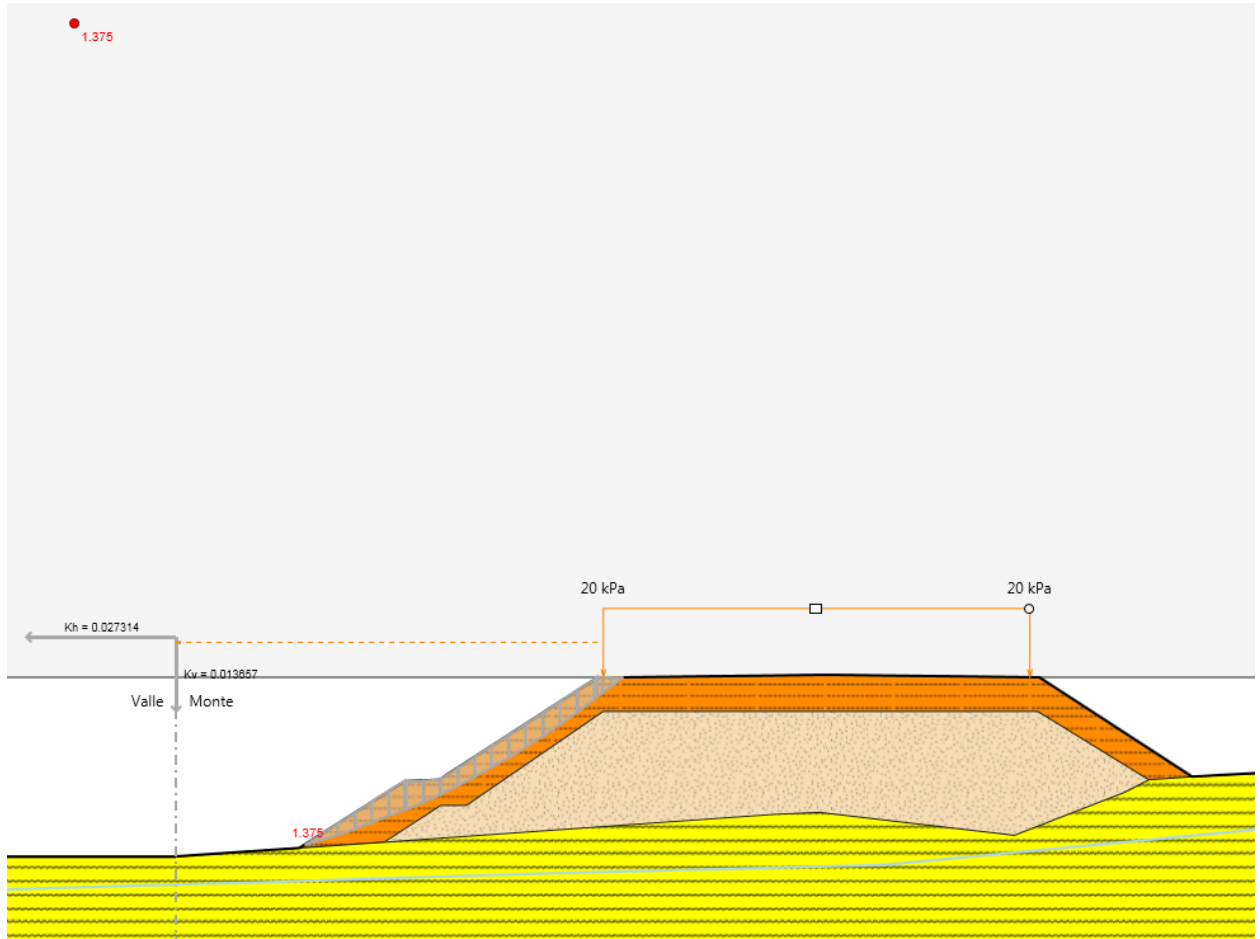


Figura 27. Sezione alla progressiva km 22+550.00, risultati analisi di stabilità in condizioni sismiche del solo corpo del rilevato, relativamente alla superficie di potenziale scorrimento più critica ( $F_s = 1.375$ ).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

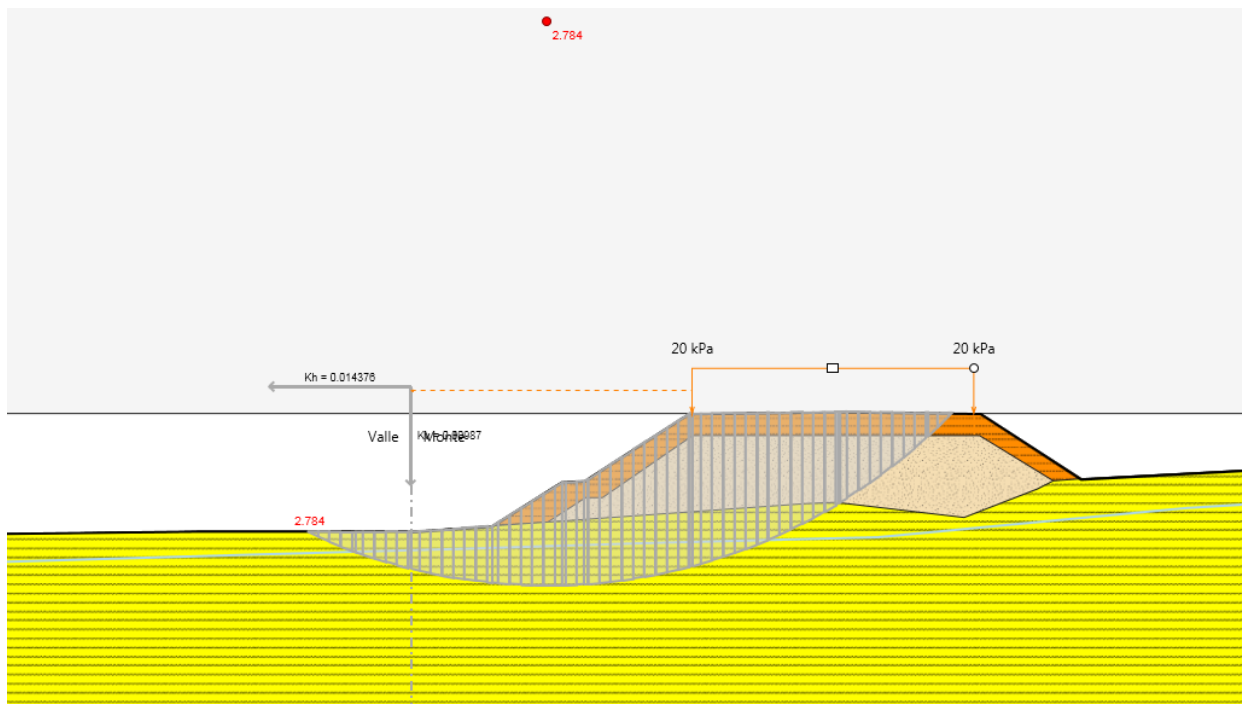
**File:****T00GE00GETRE02A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 38 di 86**

Figura 28. Sezione alla progressiva km 22+550.00, risultati analisi di stabilità in condizioni sismiche dell'insieme corpo del rilevato – terreno di fondazione, relativamente alla superficie di potenziale scorrimento più critica ( $F_s = 2.78$ ).

Considerando un  $\gamma_R$  pari a 1.2 (par. 7.11.4 DM2018) si ottiene il seguente grado di utilizzazione:

$$\Lambda_{SISMA} = \frac{1.2}{1.375} = 87 \% \quad (\text{nel corpo del rilevato})$$

$$\Lambda_{SISMA} = \frac{1.2}{2.78} = 43 \% \quad (\text{per le superfici che attraversano la fondazione del rilevato})$$

Essendo il grado di utilizzazione inferiore al 100%, la verifica di stabilità è soddisfatta.

Le superfici di scorrimento indagate sono le medesime dell'analisi statica.

Sulla base dei risultati delle verifiche di stabilità, i valori dei coefficienti di sicurezza delle superfici di potenziale scorrimento più critiche, sia per quanto concerne il corpo del rilevato sia l'insieme corpo del rilevato – terreno di fondazione, per una sezione che è stata scelta per essere la più rappresentativa per le condizioni geotecniche presenti avendo assunto cautelativamente la massima altezza degli stessi rilevati, sono da ritenersi soddisfacenti e superiori a quelli minimi indicati dalle normative.

Questo era prevedibile dati i buoni valori di resistenza al taglio sia dei terreni di fondazione dei rilevati sia che dei rilevati stessi, come mostrato dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche e dalle ana-

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 39 di 86</b></p>
---	--

lisi granulometriche effettuate. Anche la classificazione dei terreni costituenti i rilevati conferma, a meno di qualche raro caso oltre una certa profondità da p.c., l'idoneità e le buone caratteristiche geomeccaniche dei terreni costituenti i rilevati.

Solo le superfici corticali del corpo del rilevato hanno valori dei coefficienti di sicurezza prossimi ai limiti della normativa mentre le superfici di potenziale scorrimento che interessano i terreni di fondazione hanno valori del coefficiente di sicurezza superiori a 2.

Non si ritiene pertanto necessario prevedere particolari opere di rinforzo (paratie di pali e/o muri di sostegno) al piede del rilevato 3 compreso fra le progressive km 22+360 e km 22+650.

Si vuole inoltre evidenziare che le analisi di stabilità effettuate non hanno tenuto conto, a favore di sicurezza, della contropendenza del terreno a valle messo in luce dal rilievo integrativo, assumendo un piano campagna sub-orizzontale.

Tale analisi risulta pertanto dimensionante per tutti i rilevati in quanto presenta la massima potenza di scavo e altezza di rilevato e i parametri geotecnici del rilevato e della formazione di base cautelativi rispetto a tutta la tratta.

In ogni caso, una volta terminati i lavori di allargamento dei rilevati, è previsto un apposito piano di monitoraggio geotecnico comprendente anche inclinometri ed estenso – inclinometri che consentiranno durante l'esercizio di monitorare il comportamento dei rilevati e, conseguentemente, nel caso di criticità, adottare interventi di consolidamenti che tuttavia sulla base dei dati geotecnici e delle verifiche di stabilità effettuate sono da escludersi, prevedendo assestamenti verticali e spostamenti orizzontali residui di entità millimetrica e ogni caso non superiore a 20-30 mm.

## **5.2 Analisi di stabilità degli scavi provvisori**

Nel presente paragrafo si analizza la stabilità degli scavi che si rendono necessari in fase provvisoria per la bonifica del rilevato al di sotto della piattaforma stradale.

La stabilità degli scavi necessari alla gradonatura non viene indagata in quanto l'intervento viene eseguito mantenendo la pendenza media del rilevato esistente, valgono dunque le verifiche effettuate al paragrafo 5.1. Per garantire maggiore stabilità del rilevato si prescriverà di eseguire lo scavo dall'alto verso il basso.

Si effettua la verifica di stabilità dello scavo con pendenza 1/1 adiacente alla corsia in esercizio.

Si considerano i parametri geotecnici indicati nel paragrafo precedente per quanto riguarda il rilevato e si tiene conto cautelativamente di uno strato di 60 cm corrispondente al pacchetto stradale avente una coesione di 10kPa e stesso angolo di attrito del rilevato.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 40 di 86**

Le verifiche di stabilità vengono eseguite nella combinazione A2+M2 considerando un carico da traffico pari a 15 kPa incrementato del fattore A2 che per i carichi variabili è pari a 1,3.

Si presenta di seguito il modello:

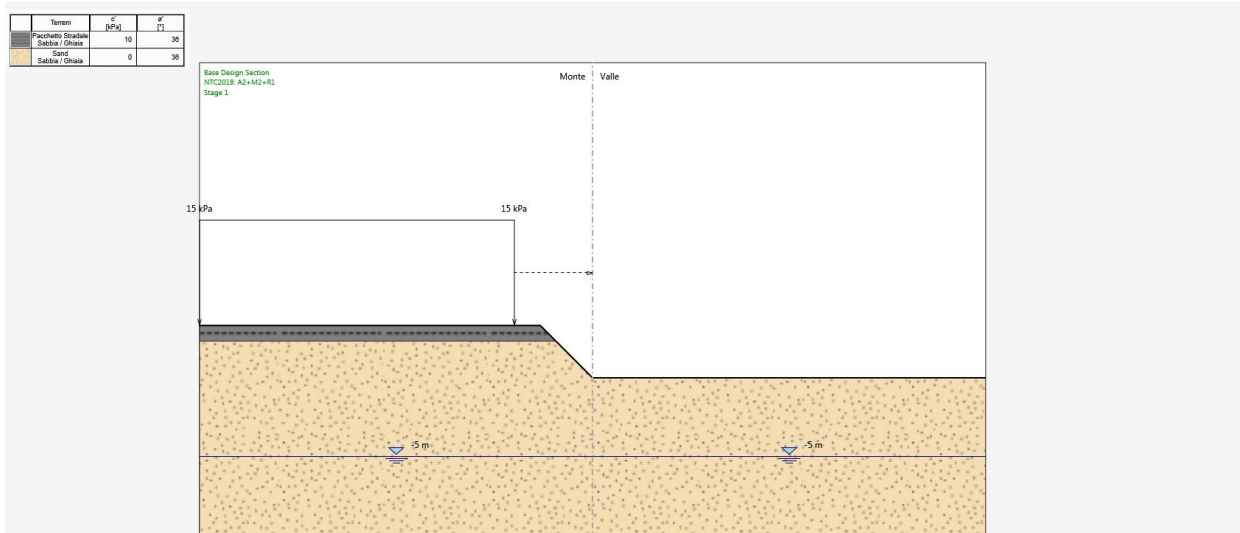


Figura 29. Modello di calcolo scavi provvisori 1/1.

Di seguito si presenta il risultato dell'analisi di stabilità.

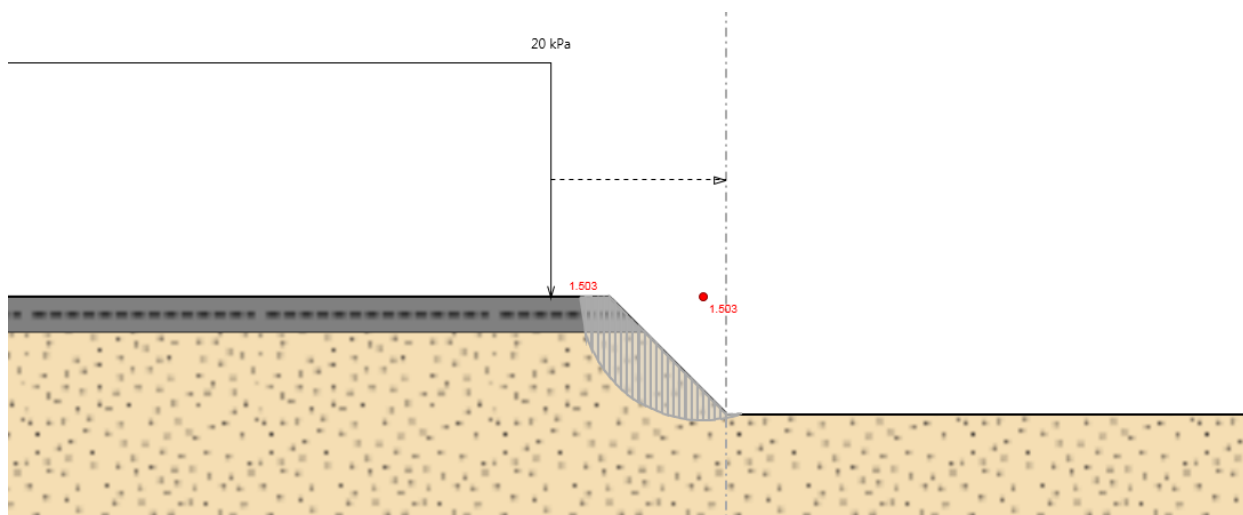


Figura 30. Analisi di stabilità - Risultati.

Ne risulta che il fattore di sicurezza minimo è pari a 1,5 maggiore di 1,1 indicato come limite normativo.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 41 di 86</b></p>
--	--

### 5.3 Analisi dei cedimenti

Sulla base della caratterizzazione geotecnica, riportata nel precedente capitolo, condotta sulla base delle indagini geotecniche della campagna 2018, nel presente capitolo sono riportati i risultati di alcune analisi dei cedimenti effettuate su alcune sezioni, di massima altezza, scelte come rappresentative dei 4 rilevati, oggetto della presente nota geotecnica – progettuale preliminare.

La stima dei cedimenti attesi è stata eseguita in corrispondenza delle sezioni ritenute rappresentative delle condizioni più critiche.

Le analisi dei cedimenti presentate nel seguito sono state eseguite facendo riferimento al "metodo elastico", utilizzando l'espressione del cedimento monodimensionale:

$$\delta = K_r \sum_i \frac{\Delta\sigma_{vi} \Delta H_i}{E_i}$$

in cui:

$K_r$  = coefficiente di rigidezza della fondazione (assunto pari a 1.0, in presenza di una fondazione "flessibile", caso applicabile per un rilevato);

$\Delta H_i$  = spessore dello strato i-esimo in cui, ai fini del calcolo, è stato suddiviso il terreno di fondazione;

$\Delta\sigma_{vi}$  = incremento di pressione verticale medio nello strato i-esimo causato dai carichi esterni attesi;

$E_i$  = modulo elastico medio nello strato i-esimo.

La sommatoria dei cedimenti viene teoricamente estesa alla profondità ove l'incremento di pressione verticale imposto dai carichi esterni ( $\Delta\sigma'_{vi}$ ) risulta inferiore a circa il 10% della pressione verticale efficace preesistente.

L'incremento di pressione verticale sotto l'impronta di carico è valutato utilizzando la teoria del semi-spazio elastico, isotropo e omogeneo di Boussinesq.

Si precisa che l'incremento di carico è stato considerato con riferimento alla condizione del piano campagna originale, trascurando pertanto i volumi corrispondenti alla porzione di "scavo" necessario per la posa.

#### 5.3.1. Rilevato da progressiva km 21+490 a progressiva km 21+600

Dalle informazioni disponibili tale rilevato presenta un'altezza di circa 3 m in corrispondenza della sezione 21+550 come mostrato in Figura 31.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

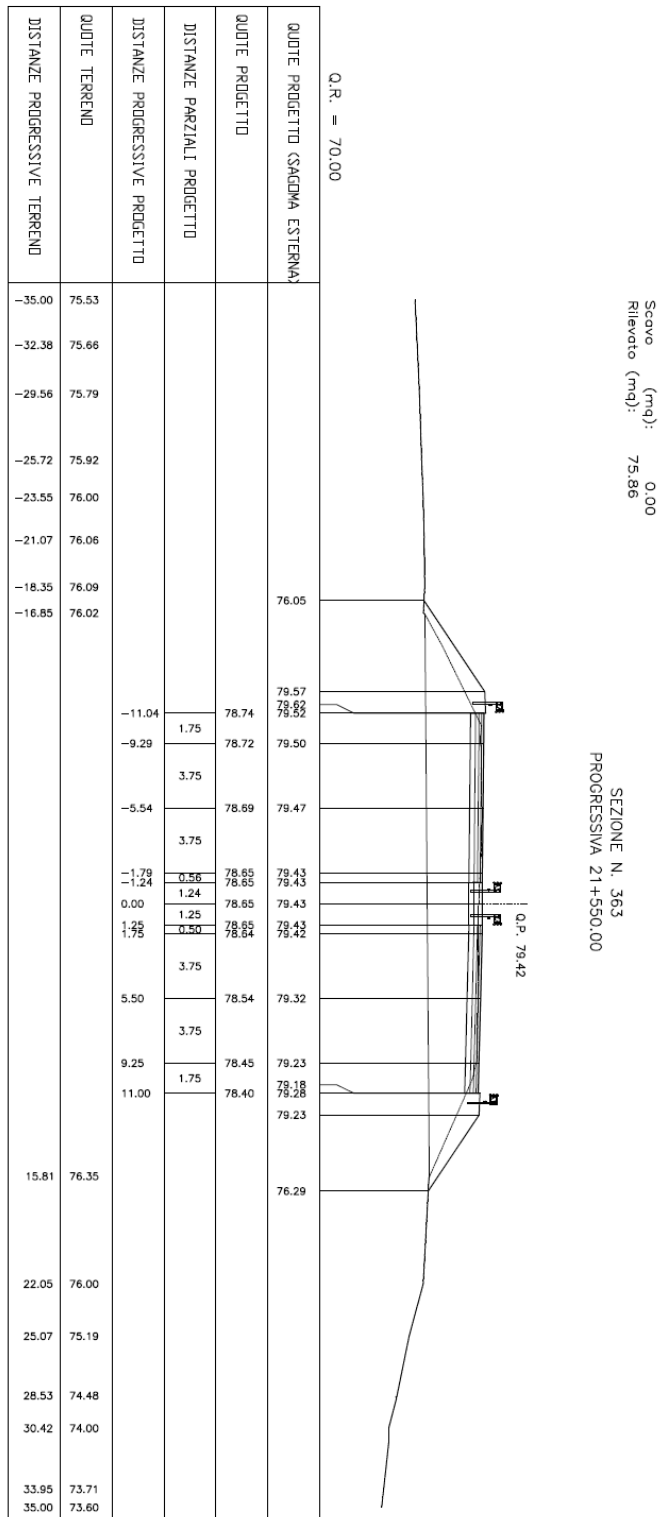
Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 42 di 86**



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 43 di 86</b></p>
--	---

Figura 31. Sezione n. 363 in corrispondenza del rilevato da progr. 21+490 a 21+600

Il rilevato nella sua interezza presenta la seguente impronta planimetrica; il rilevato si sviluppa per una lunghezza di 110 m circa e supera di poco i 3 m di altezza.

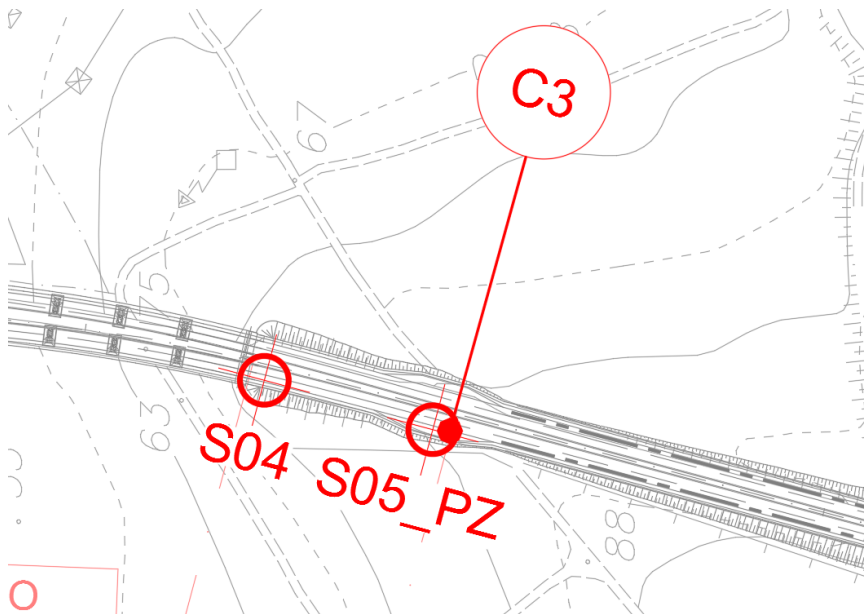


Figura 32. Inquadramento planimetrico del rilevato da progr. 21+490 a progr. 21+600

Nella seguente Figura 33, sono riportati (linea tratteggiata) i valori del modulo di deformabilità adottati per la valutazione dei cedimenti.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 44 di 86**

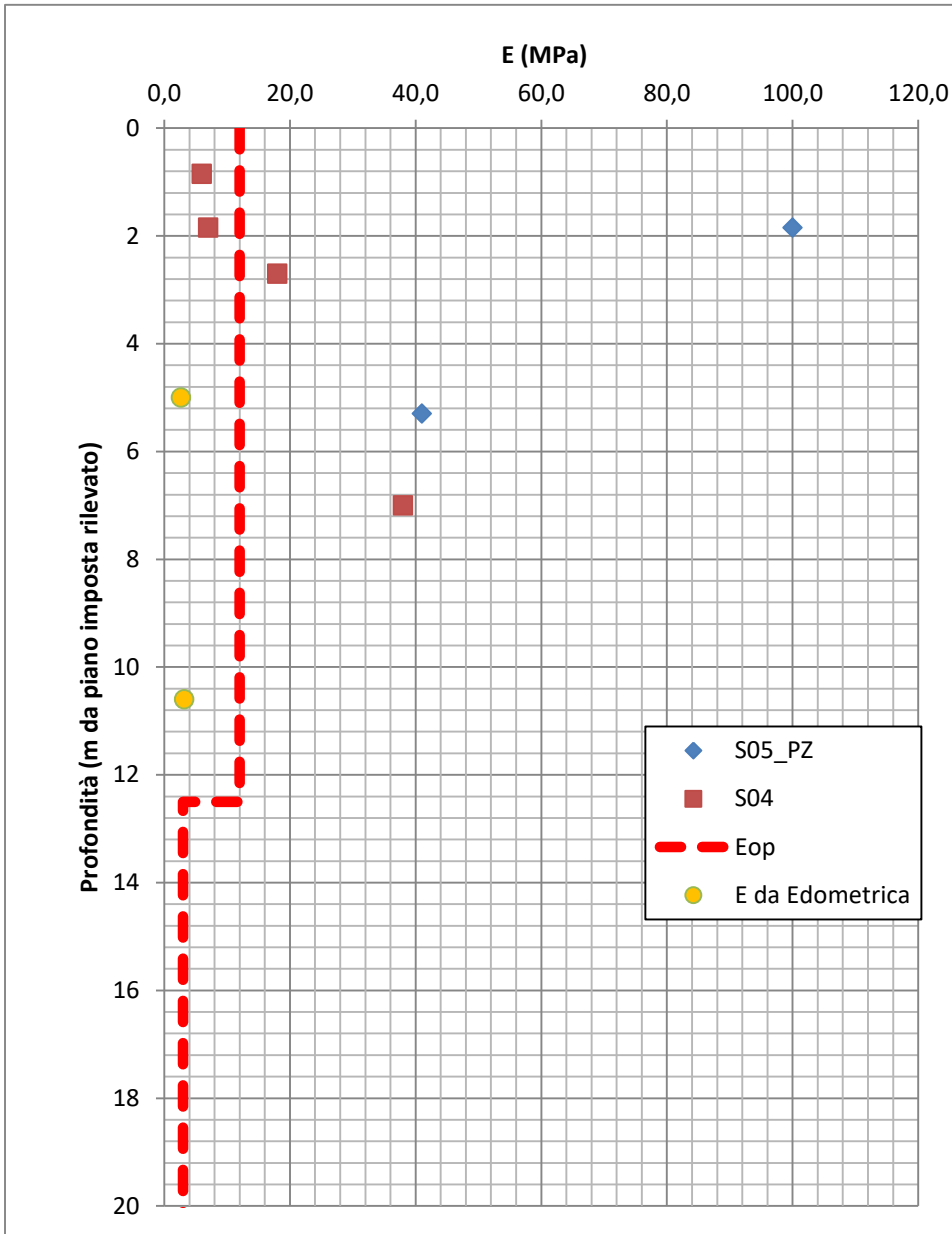


Figura 33. Valori dei moduli elastici individuati dalla campagna geognostica e discretizzazione adottata nel calcolo dei cedimenti

Nella seguente Tabella 12, si riporta la stratigrafia di progetto adottata con i valori dei moduli elastici e del peso di volume per ogni strato.

Tabella 12 - Stratigrafia e parametri di calcolo per la sezione alla progr. 21+550

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 45 di 86</b></p>
--	---

Stratigrafia				
Da (m da p.i.r.)	A (m da p.i.r.)	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)
0	8	Ghiaia medio grossa in matrice sabbioso limosa	19	12
8	30	Argilla da limosa a limo argillo-sabbioso	17	5

p.i.r.= piano imposta rilevato

Nella seguente Figura 34, sono riportati i risultati dell'analisi dei cedimenti. Come di può vedere lo spostamento totale è pari a circa 42,8 cm e si concentra principalmente nello strato argilloso presente dalla profondità di 8 m.

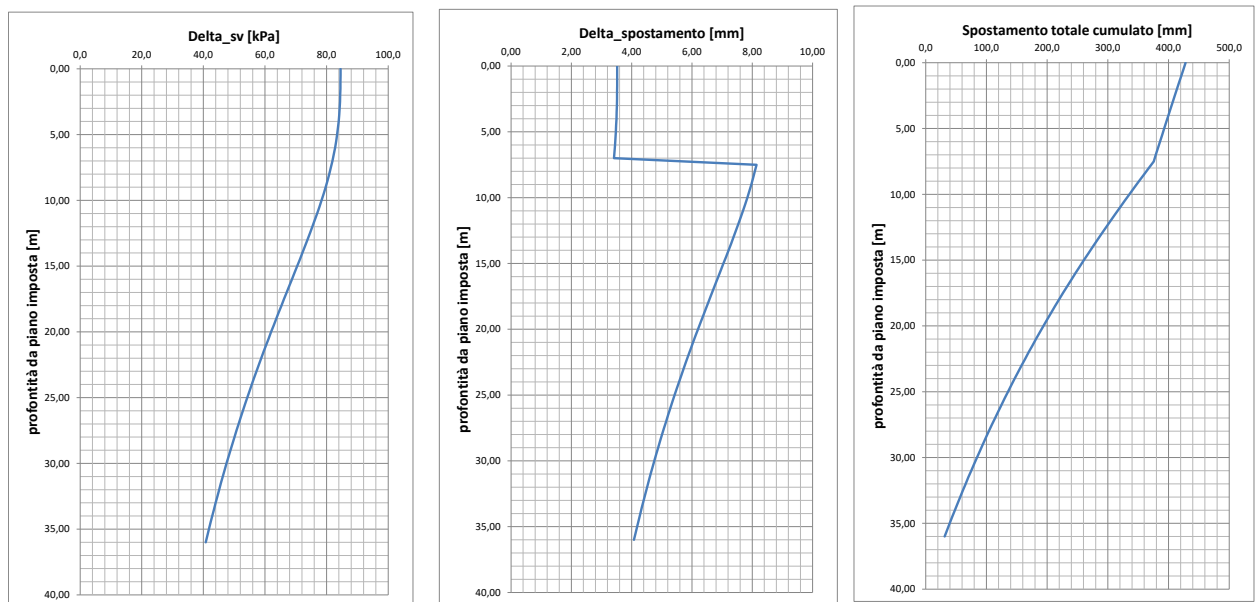


Figura 34. Variazione dello sforzo verticale, cedimento per ogni strato e cedimento cumulato al variare della profondità

### 5.3.2. Rilevato da progressiva km 21+900 a progressiva km 22+050

Tale rilevato ha uno sviluppo di 105 m e presenta un'altezza massima pari a circa 6 m (Figura 35).

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**

T00GE00GETRE02A

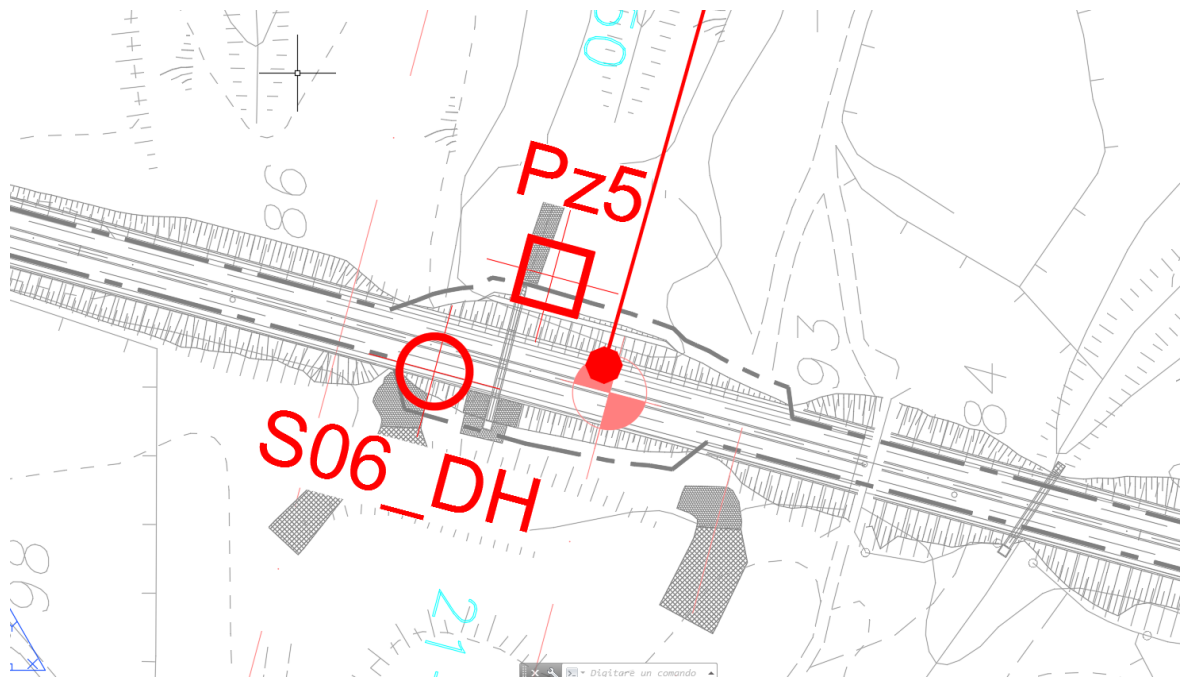
Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 46 di 86**



*Figura 35. Inquadramento planimetrico del rilevato da progr. 21+900 a progr. 22+050*

Il calcolo del cedimento è stato condotto sulla sezione alla progressiva km 21+950. In tale progressiva il rilevato presenta una altezza di circa 6.0 m (Figura 36).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 47 di 86**

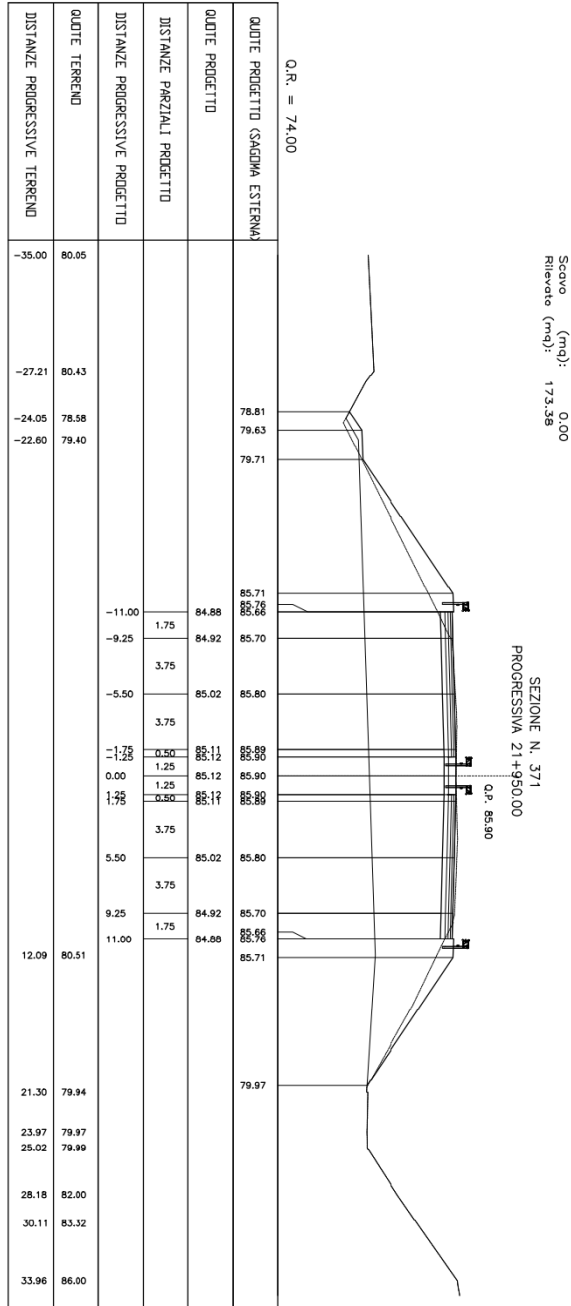


Figura 36. Sezione n. 371 in corrispondenza del rilevato da progr. 21+900 a 22+050.

Nella seguente Figura 37, sono riportati (linea tratteggiata) i valori del modulo di deformabilità adottati per la valutazione dei cedimenti.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 48 di 86**

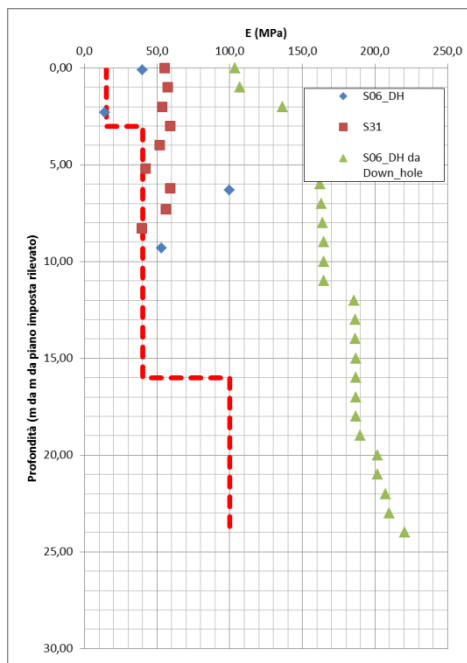


Figura 37. Valori dei moduli elastici individuati dalla campagna geognostica e discretizzazione adottata nel calcolo dei cedimenti

Nella seguente Tabella 13, si riporta la stratigrafia di progetto con i valori dei moduli elastici e del peso di volume per ogni strato, adottati per il calcolo del cedimento.

Tabella 13 - Stratigrafia e parametri di calcolo per la sezione alla progr. 21+950

Stratigrafia				
Da (m da p.i.r.)	A (m da p.i.r.)	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)
0	3	Limo sabbioso e/o argilloso a limo-sabbioso	20	15
3	16	Alternanza tra livelli di ghiaia costituita da materiale lavico a spigoli da sub-vivi a sub-arrotondati con ghiaia in matrice sabbiosa e sabbio-limosa	19	40
16	30	Limo argillo - sabbioso di colore marrone a tratti con sfumature rossicce intense inglobante ghiaia; a luoghi si rilevano livelli di ghiaia grossolana a scarsa matrice.	17	100

p.i.r= piano imposta rilevato

Nella seguente Figura 38 sono riportati i risultati dell'analisi dei cedimenti. Come si può notare il cedimento massimo è circa di 11.8 cm e si concentra principalmente negli strati più superficiali e compressibili.



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 49 di 86**

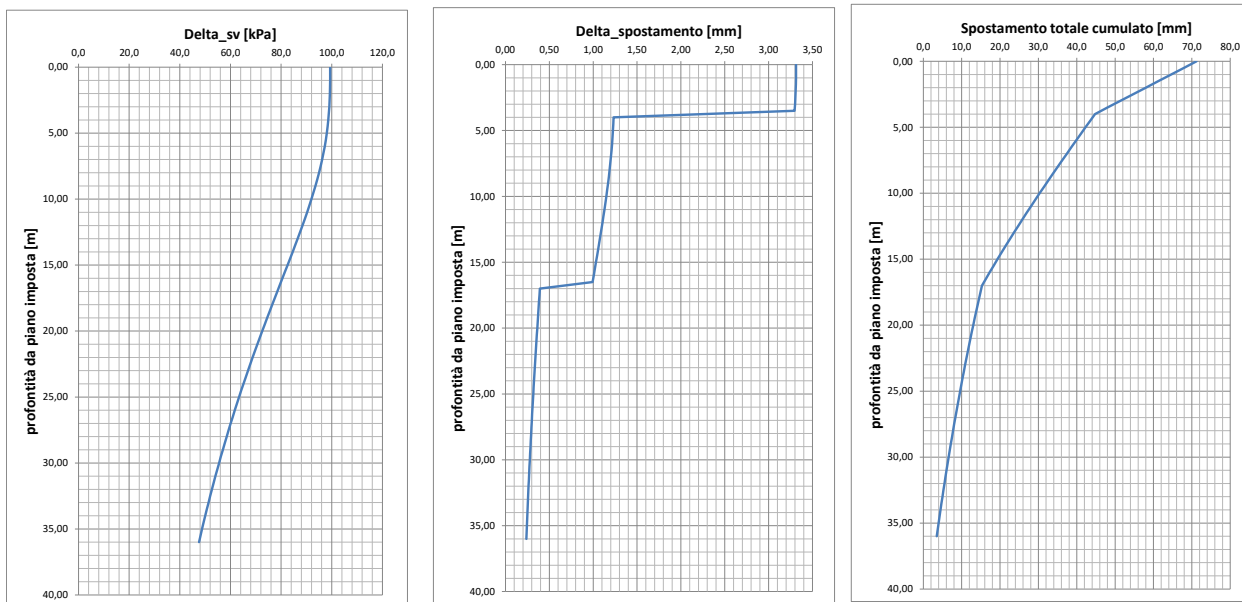


Figura 38. Variazione dello sforzo verticale, cedimento per ogni strato e cedimento cumulato al variare della profondità

**Rilevato da progressiva km 22+300 a progressiva km 22+650**

Il rilevato ha uno sviluppo di 350 m e presenta un'altezza massima pari a circa 8.2 m (Figura 39).

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**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 50 di 86**

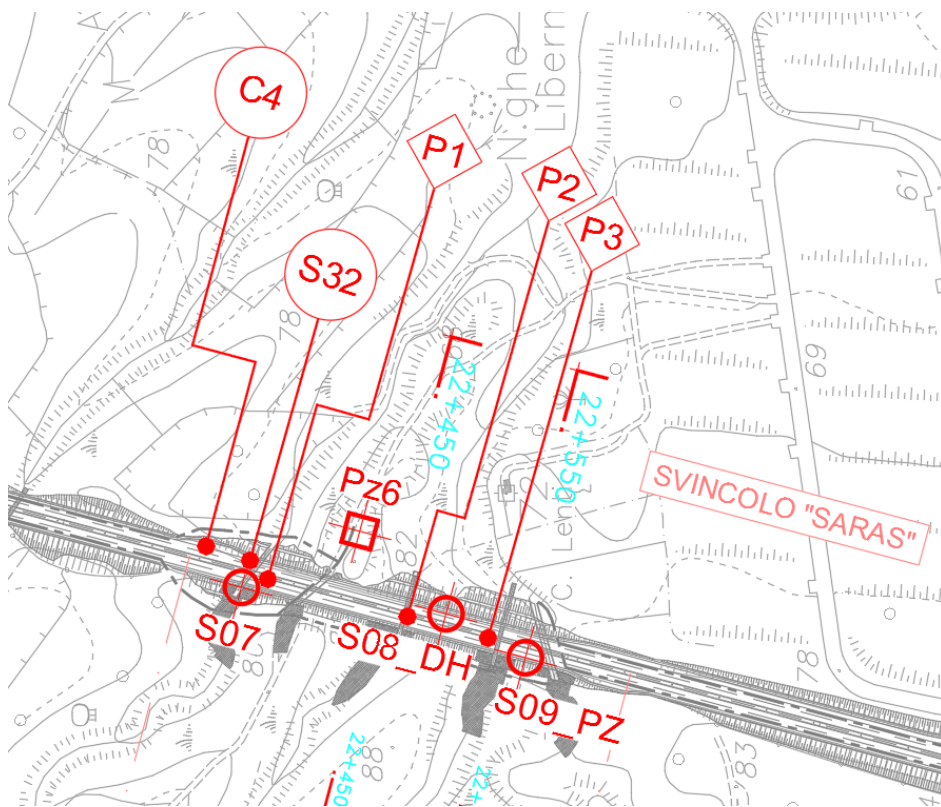


Figura 39. Inquadramento planimetrico del rilevato da progr. 22+300 a progr. 22+650

Il calcolo del cedimento è stato condotto in corrispondenza della sezione situata alla progressiva km 22+550. In tale sezione, il rilevato presenta una altezza pari a circa 8 m (Figura 40).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 51 di 86**

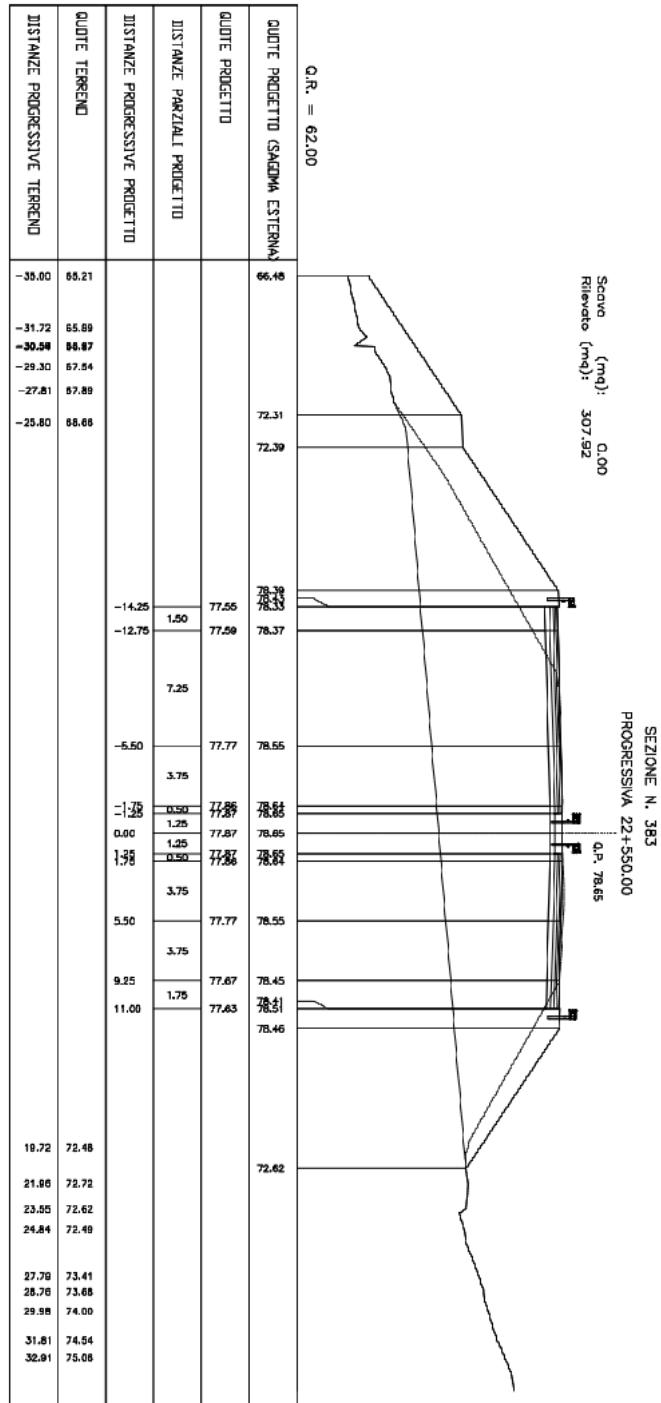


Figura 40. Sezione n. 371 in corrispondenza del rilevato da progr. 22+300 a 22+650

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 52 di 86</b></p>
--	---

Nella seguente Figura 41 sono riportati (linea tratteggiata) i valori del modulo di deformabilità adottati per la valutazione dei cedimenti.

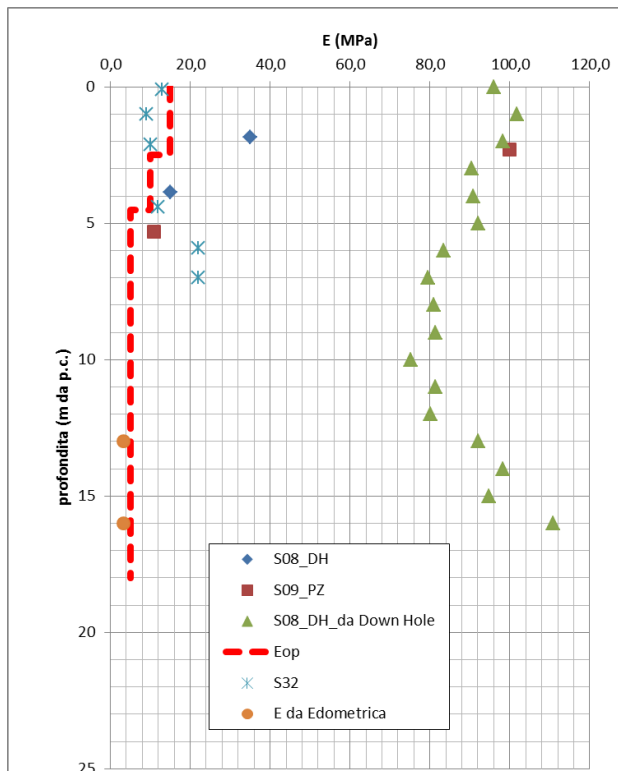


Figura 41. Valori dei moduli elastici individuati dalla campagna geognostica e discretizzazione adottata nel calcolo dei cedimenti

Nella seguente Tabella 14, si riporta la stratigrafia di progetto con i valori dei moduli elastici e del peso di volume per ogni strato, adottati per il calcolo del cedimento.

Tabella 14 - Stratigrafia e parametri di calcolo per la sezione alla progr. 22+550

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 53 di 86</b></p>
--	---

Stratigrafia				
Da (m da p.i.r.)	A (m da p.i.r.)	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)
0	3,5	Limo-sabbioso	20	15
3,5	5,5	Sabbia Limosa	19	10
5,5	19	Andesite alterata argillificata	17	5
19	30	Andesite	23	100
p.i.r.= piano imposta rilevato				

Nella seguente Figura 42 sono riportati i risultati dell'analisi dei cedimenti. Come si può notare il cedimento massimo è pari a circa 36,1 cm.

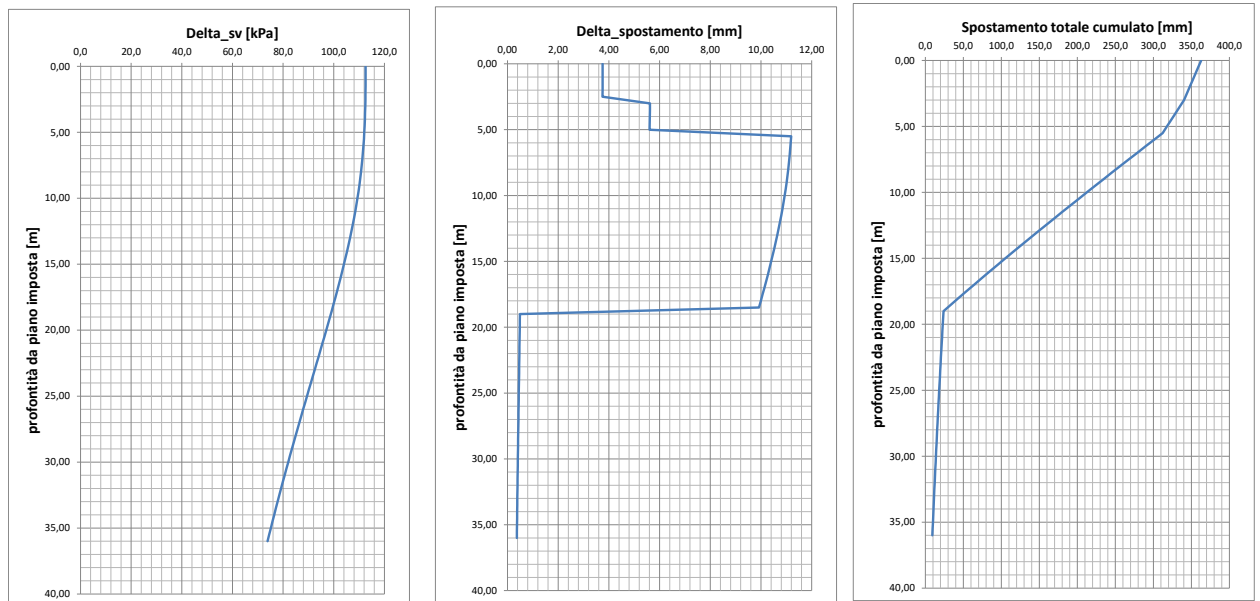


Figura 42. Variazione dello sforzo verticale, cedimento per ogni strato e cedimento cumulato al variare della profondità

### 5.3.3. Rilevato da progressiva km 23+700 a progressiva km 23+900

Il rilevato ha uno sviluppo di 200 m e presenta un'altezza massima pari a circa 7.8 m (Figura 43).

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**

T00GE00GETRE02A

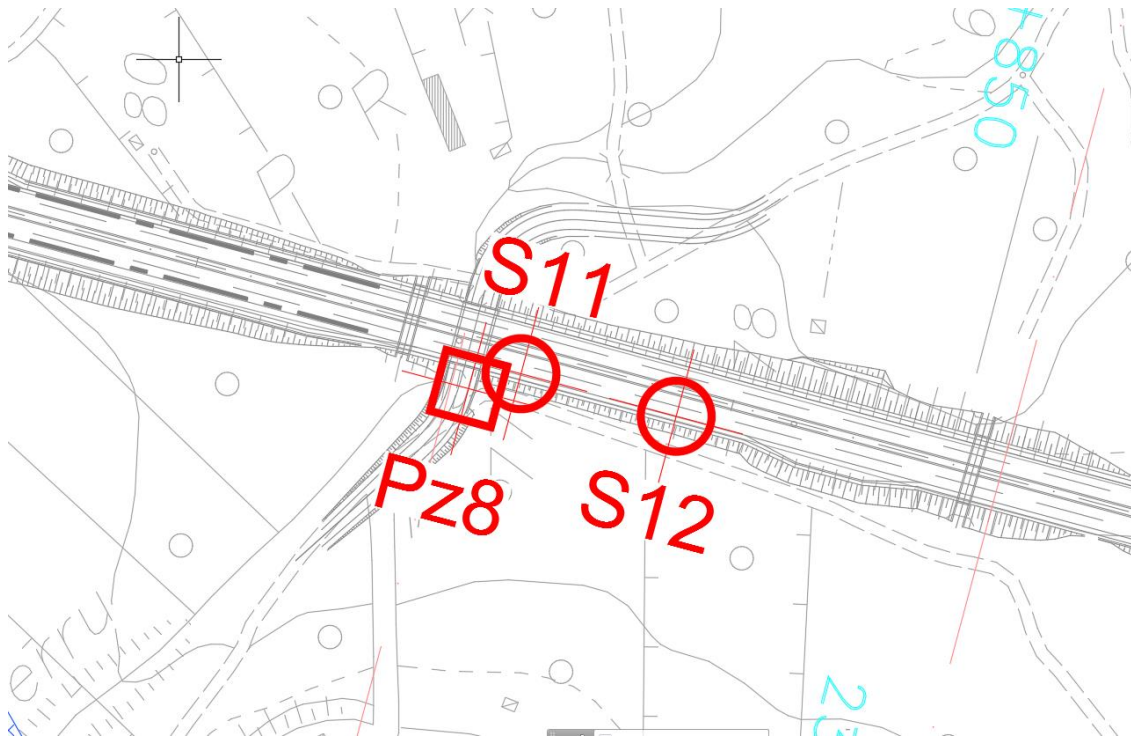
Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 54 di 86**



*Figura 43. Inquadramento planimetrico del rilevato da progr. 23+700 a progr. 23+900*

Il calcolo del cedimento è stato condotto in corrispondenza della sezione situata alla progressiva km 22+850. In tale sezione, il rilevato presenta una altezza pari a circa 7 m (Figura 44).

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 55 di 86**

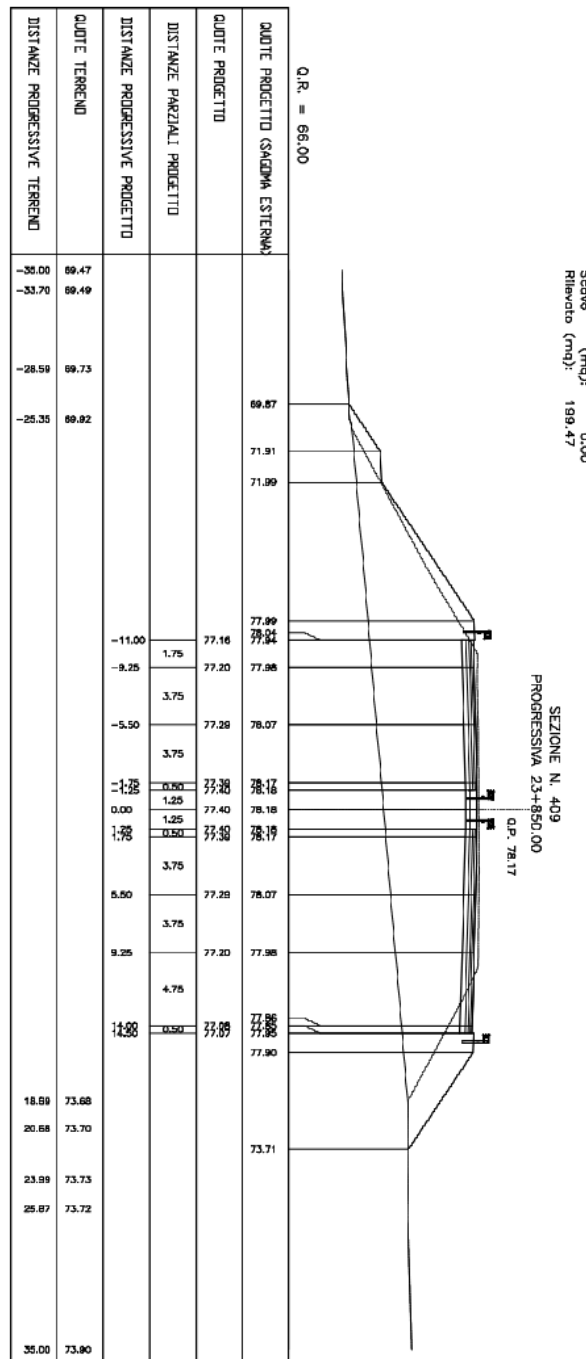


Figura 44. Sezione n. 371 in corrispondenza del rilevato da progr. 23+700 a 23+900

Nella seguente Figura 45 sono riportati (linea tratteggiata) i valori del modulo di deformabilità adottati per la valutazione dei cedimenti.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

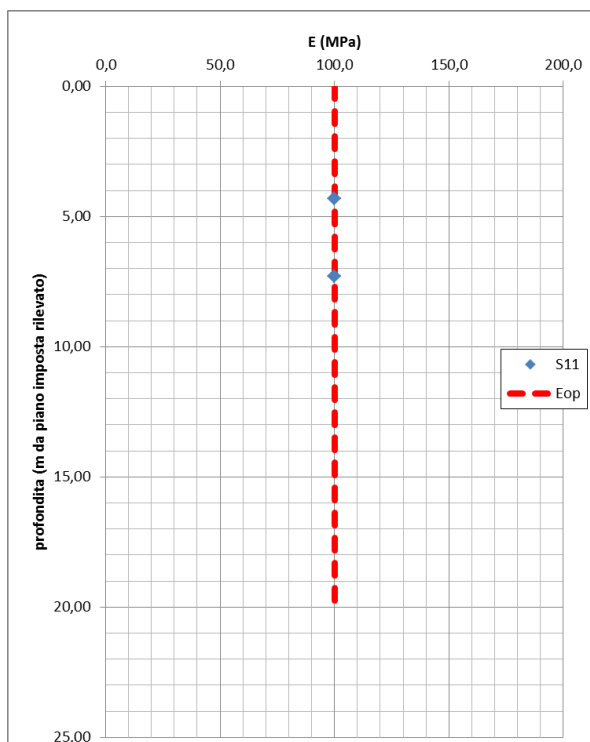
**File:****T00GE00GETRE02A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 56 di 86**

Figura 45. Valori dei moduli elastici individuati dalla campagna geognostica e discretizzazione adottata nel calcolo dei cedimenti

Nella seguente Tabella 15, si riporta la stratigrafia di progetto con i valori dei moduli elastici e del peso di volume per ogni strato, adottati per il calcolo del cedimento.

Tabella 15 - Stratigrafia e parametri di calcolo per la sezione alla progr. 23+850

Stratigrafia				
da (m da p.i.r.)	a (m da p.i.r.)	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)
0	30	Andesite	19	100
p.i.r.= piano imposta rilevato				

Nella seguente Figura 46 sono riportati i risultati dell'analisi dei cedimenti. Come si può notare il cedimento massimo è pari a circa 3.5 cm.



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 57 di 86**

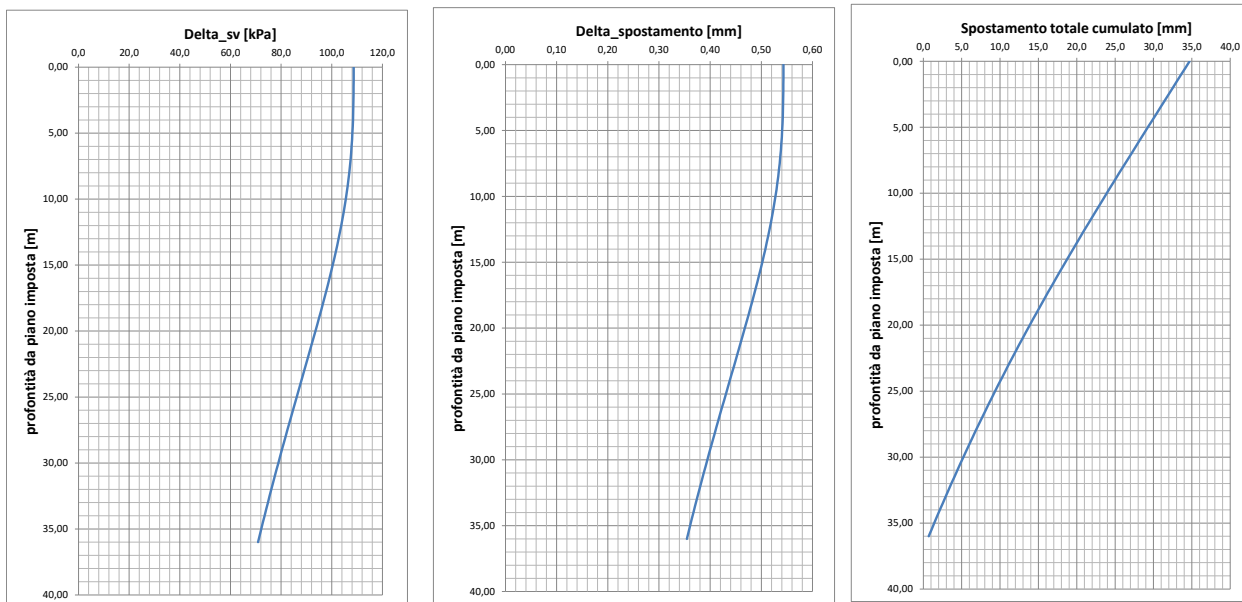


Figura 46. Variazione sforzo verticale, cedimento per ogni strato e cedimento cumulato al variare della profondità

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

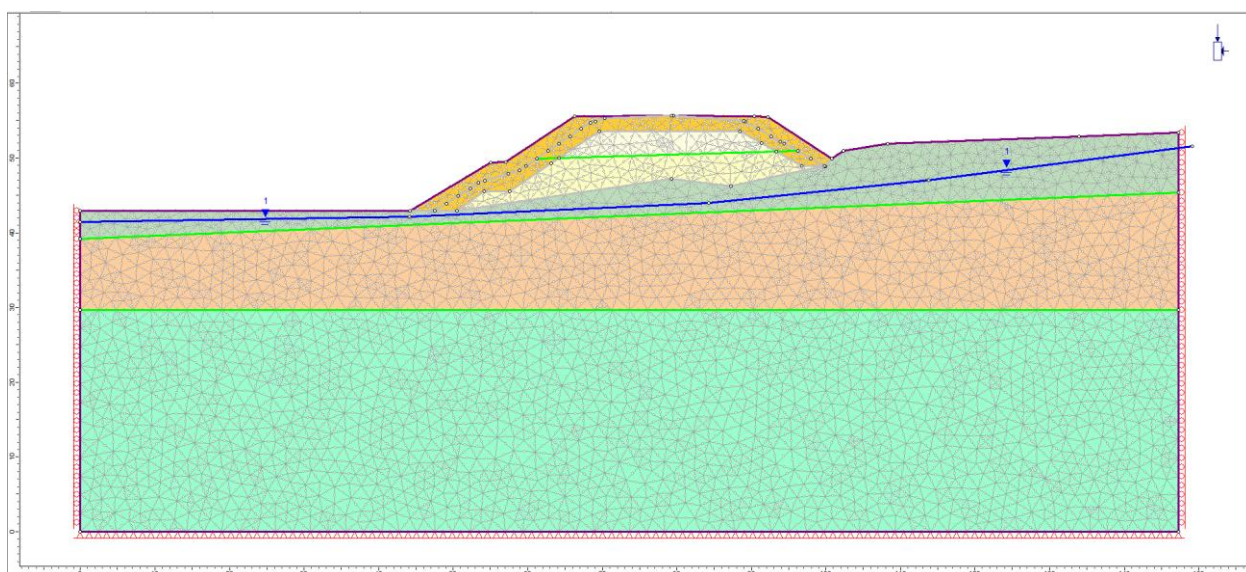
**File:****T00GE00GETRE02A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 58 di 86****6 ANALISI NUMERICA PER LA VALUTAZIONE DELL'INTERVENTO SUI RILEVATI**

Di seguito si presenta una analisi numerica volta a studiare i cedimenti del rilevato 3 (che presenta l'altezza maggiore) considerando in dettaglio la morfologia del piano campagna, la stratigrafia dei terreni di fondazione, le caratteristiche geotecniche nei terreni e le fasi costruttive avendo differenziato la costruzione del rilevato esistente e l'allargo previsto dal processo per l'effetto del pendio su cui è fondato e la variazione dei moduli di deformabilità del terreno di fondazione. Come illustrato nei capitoli precedenti il rilevato è posto tra la pk 22+300 e la pk 22+650, in particolare è stata studiata la sezione alla pk 22+550.

Per tale rilevato è stata effettuata una analisi di sensibilità facendo variare il modulo elastico del terreno maggiormente compressibile (andesite alterata argillificata) nell'intorno dei parametri derivanti dalle interpretazione delle diverse prove in sito e di laboratorio.

Il software utilizzato per l'analisi è RS2 della Rocscience Licenza n° 15674-004.

La quota della falda è posta a circa 1-2m dal piano di imposta dei rilevati.



*Figura 47 – Modello numerico per il calcolo degli spostamenti*

I parametri di resistenza assunti nell'analisi numerica sono presi in accordo alla Tabella 10. Il criterio di resistenza è quello di Morh-Coulomb.

Si è scelto di far variare il valore del modulo elastico dello strato più deformabile corrispondente con lo strato di andesite alterata posta tra 12,5 m e 26 m da piano rilevato.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori del modulo elastico derivante dalle prove di laboratorio e dalle prove Nspt.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 59 di 86</b></p>
--	---

Tabella 16: Modulo elastico derivante dalle prove di laboratorio

	m da p.c.	$E_d$ [Mpa]	$\nu$ [-]	$E'$ [Mpa]
S04	10,35	4,3	0,3	3,2
S08_DH	13,25	4,5	0,3	3,3
S04	4,65	3,6	0,3	2,7

Tabella 17: Modulo elastico dalle prove SPT

Sondaggio	Prof. (m)	Nspt	$E'$ (MPa)
S09_PZ	13,30	11	11,0
S32	12,40	12	12,0
S32	13,90	22	22,0
S32	15,00	22	22,0

Si è scelto di far variare il modulo dal valore medio pari a circa 11 MPa individuato dalla correlazione delle prove Nspt e dalle prove di laboratorio al suo valore caratteristico pari a 5 MPa dato dalla differenza tra il valore medio e la deviazione standard la quale è pari a circa 7 MPa, e di analizzare quali sono gli spostamenti verticali e orizzontali risultanti in tre diverse sezioni del rilevato:

- Sezione A sul piede sinistro del rilevato;
- Sezione B in asse rilevato;
- Sezione C sul piede destro del rilevato;

Oltre a queste tre sezioni si sono analizzati gli spostamenti in superficie del rilevato e del terreno adiacente. Le analisi sono svolte in condizioni di esercizio senza applicare fattori riduttivi dei parametri geotecnici e amplificativi delle azioni.

Per queste tre diverse sezioni si è analizzato il comportamento degli spostamenti a lungo termine conseguenti alle operazioni di allargamento delle carreggiate.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

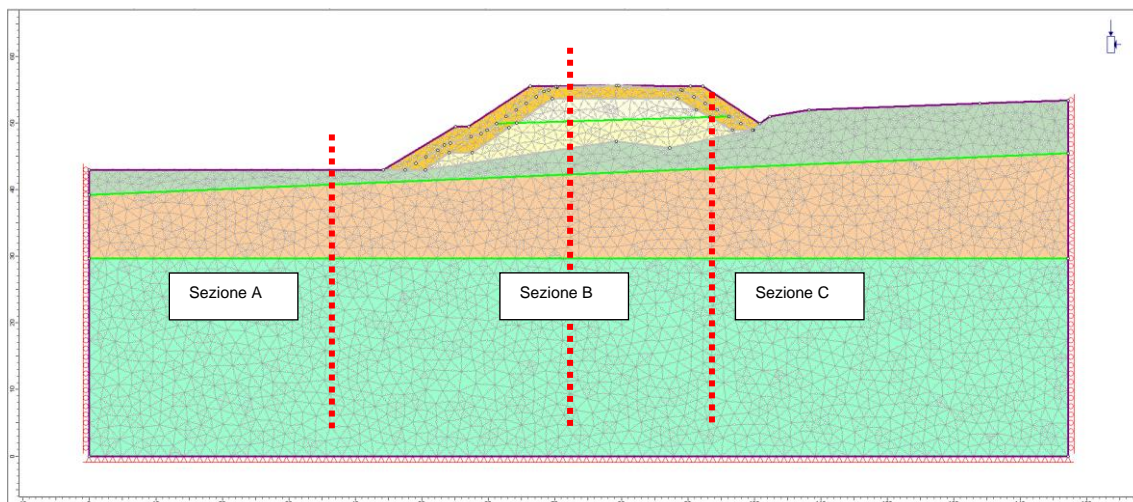
**File:****T00GE00GETRE02A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 60 di 86**

Figura 48 – Modello numerico: indicazione delle sezioni di calcolo degli spostamenti

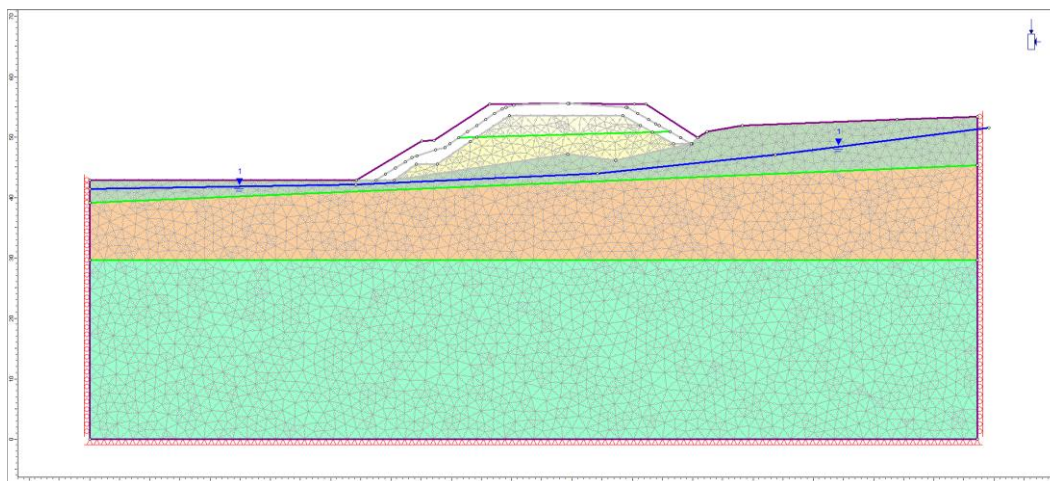
Le fasi di lavorazione che verranno messe in atto sono:

Scavo del rilevato esistente sia sulle pareti laterali che sul piano stradale per fasi in maniera tale da garantire sia un adeguato ammorsamento alla nuova porzione di rilevato che permette l'allargamento delle corsie sia la bonifica del terreno al di sotto del piano strada

Una volta garantito l'ammorsamento verrà realizzata la nuova porzione di rilevato in allargato e verrà per fasi realizzata la bonifica al di sotto del piano stradale garantendo la continuità dell'esercizio;

Le fasi di calcolo saranno dunque semplificate a 2:

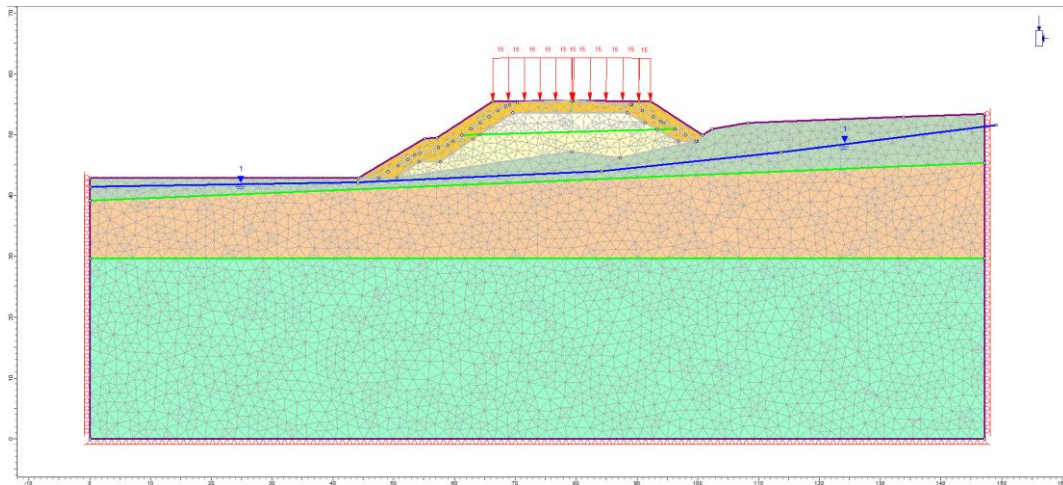
**Prima fase)** Il modello viene inizializzato alla configurazione di scavo dei rilevati esistenti per l'ammorsamento dei rilevati di nuova costruzione (3m circa di ammorsamento). Questa fase rappresenta la fase iniziale per il calcolo degli spostamenti orizzontali e verticali che si verificano a seguito del carico dovuto alla parte di rilevato in allargamento.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 61 di 86</b></p>
--	---

*Figura 49: Prima fase: fase di "zero" per il calcolo dei cedimenti dovuti all'allargamento*

**Seconda fase)** In questa fase il rilevato esistente viene caricato con il nuovo materiale per eseguire le operazioni di allargo, vengono calcolati i cedimenti che il rilevato subisce a seguito del ricarico e che verranno letti dalla strumentazione che verrà installata in sito. In questa fase si considera il carico dovuto al traffico pari a 15 kPa.



*Figura 50: Seconda fase: esecuzione dei lavori di allargamento e calcolo cedimenti*

Di seguito si riportano i cedimenti verticali (Figura 51) e gli spostamenti orizzontali (Figura 52) nelle tre sezioni nell'ipotesi che il modulo elastico dello strato di andesite sia pari al valore medio 11 MPa (curva blu) ed al valore caratteristico pari a 5 MPa (curva tratteggiata rossa):

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 62 di 86**

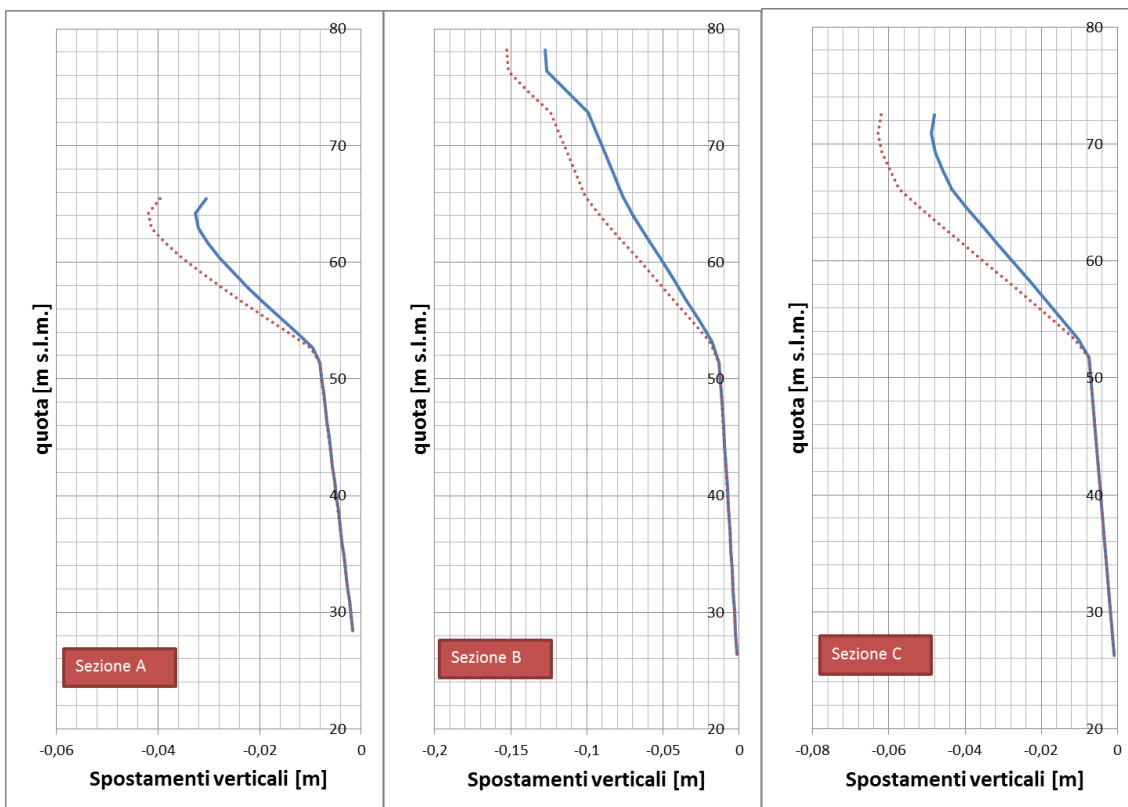


Figura 51: Spostamenti verticali nelle 3 sezioni indagate  $E_{medio}=11$  MPa (curva blu)  $E_k=5$  MPa (curva rossa)

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 63 di 86**

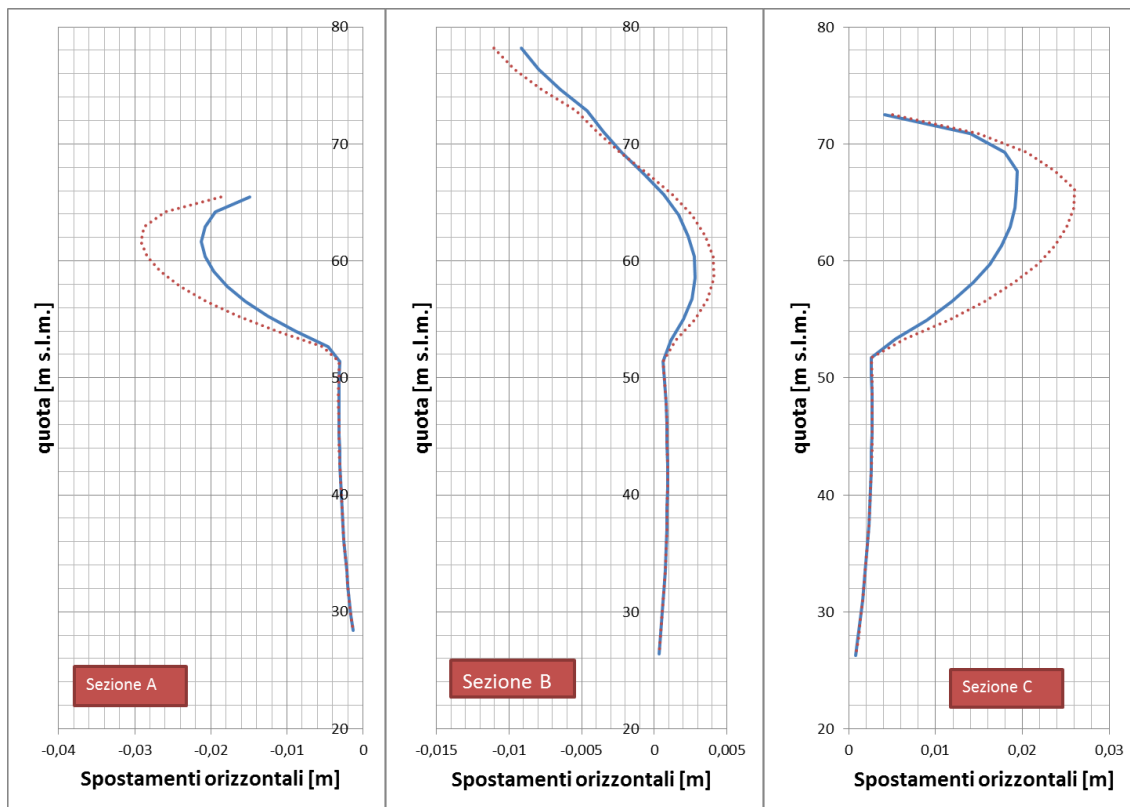


Figura 52: Spostamenti orizzontali nelle 3 sezioni indagate  $E_{medio}=11$  MPa (curva blu)  $E_k=5$  MPa (curva rossa)

Di seguito invece si riportano gli spostamenti verticali e orizzontali della superficie del rilevato e del terreno esistente sempre con le stesse ipotesi sul modulo.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 64 di 86**

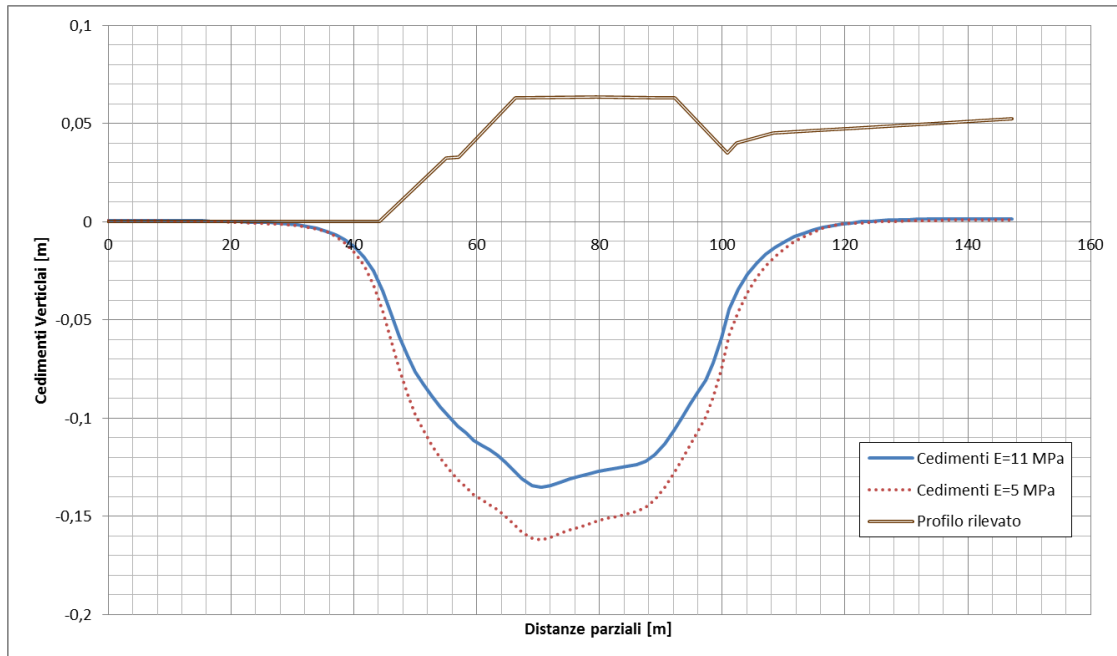


Figura 53: Spostamenti verticali sul piano campagna,  $E_{medio}=11$  MPa (curva blu)  $E_k=5$  MPa (curva rossa)

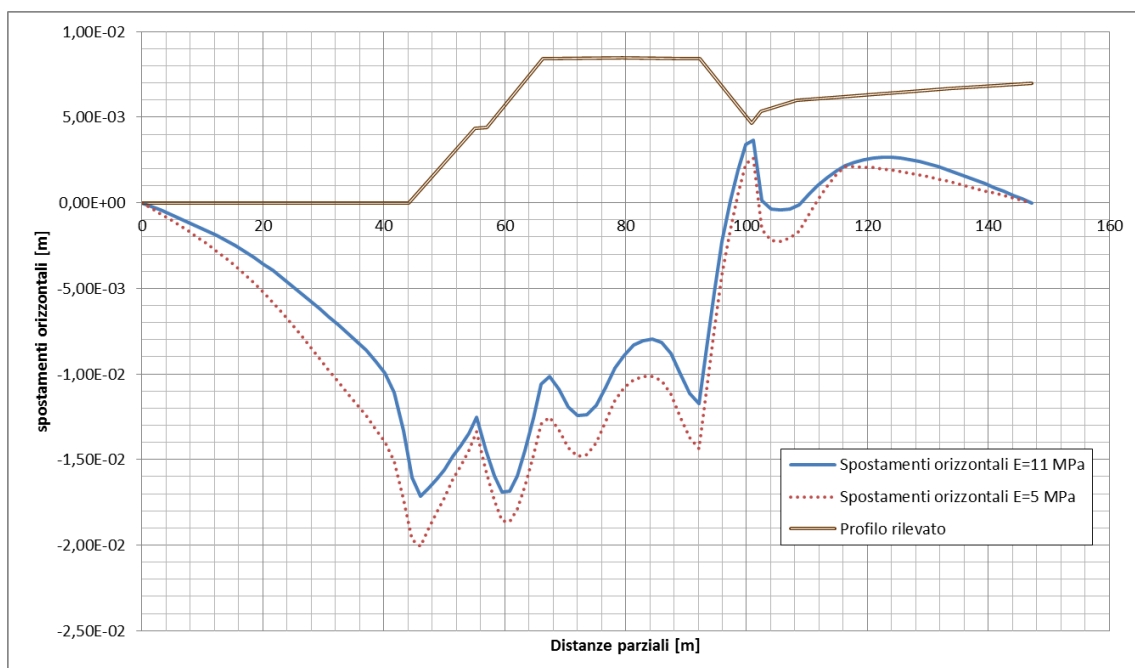


Figura 54: Spostamenti orizzontali sul piano campagna,  $E_{medio}=11$  MPa (curva blu)  $E_k=5$  MPa (curva rossa)

Nelle condizioni di modulo elastico pari al valore caratteristico  $E_k=5$ MPa lo spostamento verticale massimo risultante è pari a circa 16cm ed è posto in corrispondenza del piano strada in corrispondenza



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 65 di 86</b></p>
---	--

dell'asse di mezzzeria della strada mentre Lo spostamento orizzontale massimo e pari a circa 3 cm ed è localizzato nella sezione A a circa 4 metri di profondità dal p.c. Nelle condizioni di modulo  $E_{MEDIO}=11$  MPa i cedimenti verticali sono pari a circa 13 cm mentre lo spostamento orizzontale è pari a circa 2 cm sempre nella sezione a 4 m di profondità.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 66 di 86</b></p>
---	--

## 7 CONCLUSIONI

### 7.1 Considerazioni generali

La campagna geotecnica integrativa condotta negli ultimi mesi del 2018 ha consentito di acquisire un quadro estremamente importante ed esaustivo delle effettive condizioni geotecniche dei rilevati in oggetto, sia per quanto concerne i materiali che costituiscono il corpo dei rilevati, sia per i terreni di fondazione, i quali, in modo particolare per quanto riguarda i sondaggi S06\_DH e S08\_DH nei quali sono state anche eseguite delle prove geofisiche down – hole, sono stati attraversati fino a circa 20 m di profondità dal p.c. originario.

Dalle analisi svolte nel corso della campagna 2003-2005, sono disponibili i soli sondaggi S31 ed S32, spinti all'interno dei terreni della fondazione per pochi metri, rispettivamente per circa 11 m per il sondaggio S31 e per circa 5 m per il sondaggio S32.

Per quanto concerne i materiali del corpo dei rilevati, in tutti i sondaggi condotti per la campagna geotecnica 2018 sono stati prelevati sistematicamente, in corrispondenza delle prove SPT, dei campioni sui quali sono state effettuate tutte le prove necessarie per la determinazione delle proprietà fisiche dei terreni (peso specifico dei grani, distribuzione granulometrica, etc.), che hanno consentito di classificare i materiali secondo la norma CNR UNI 10006.

I risultati sono già stati esposti nei precedenti capitoli. Nella seguente Figura 55 sono riepilogati i risultati delle prove relativamente all'identificazione, per ciascun campione prelevato nel corpo dei rilevati, del gruppo di appartenenza per il sistema di classificazione CNR UNI 10006.

Come si può notare, i materiali rientrano nelle classi usuali e previste dai capitolati per la costruzione di rilevati strutturali; ovverosia si tratta principalmente di terreni a grana grossa con assenza di percentuali significative di terreni fini e argillosi.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 67 di 86</b></p>
--	---

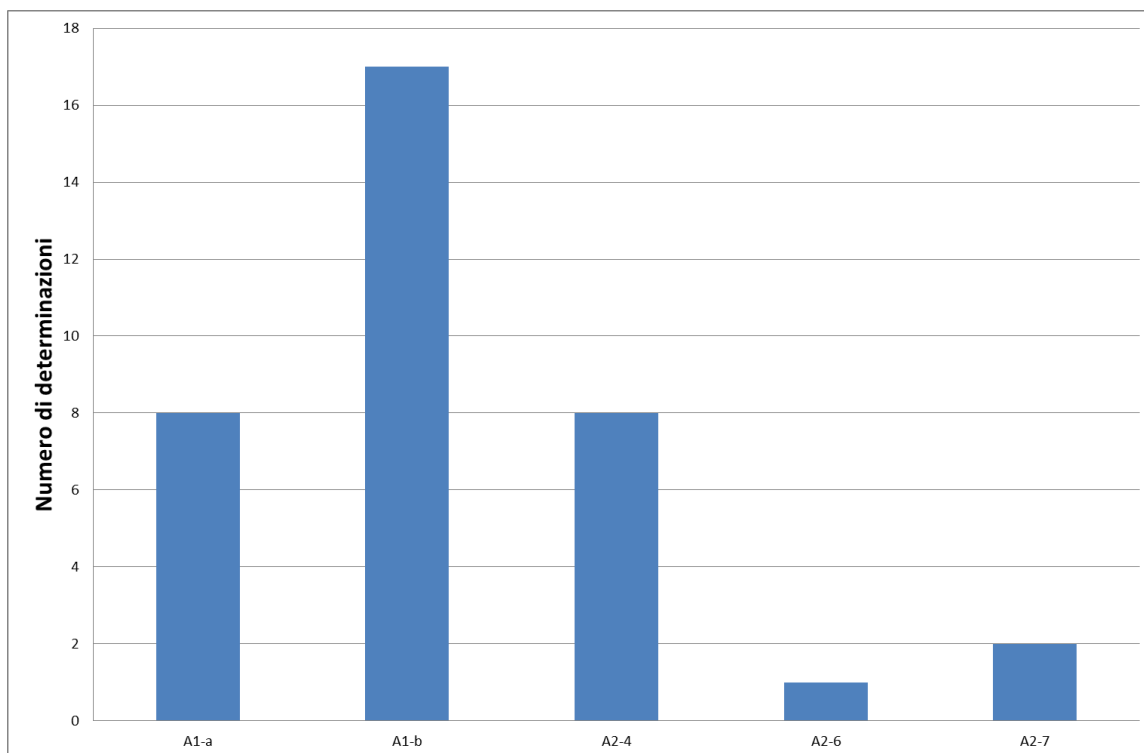


Figura 55. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio effettuate sui campioni prelevati nel corpo dei rilevati relativamente alla classificazione secondo la norma CNR UNI 10006,

Inoltre, tutte le prove penetrometriche SPT effettuate nel corpo rilevato mostrano localmente delle zone in cui il materiale è poco addensato, come riportato nelle seguenti Figure di sintesi; tuttavia, tenendo conto della natura granulare dei terreni, lo scarso addensamento riscontrato in alcune prove può avere causato degli assestamenti nel tempo della piattaforma stradale ma di entità non particolarmente elevata e dovrebbero avere raggiunto, nell'ormai lungo tempo di esercizio dei rilevati, un sufficientemente grado di addensamento.

L'indagine geotecnica integrativa 2018 ha mostrato, grazie ai piezometri installati nei sondaggi S01\_PZ, S05\_PZ ed S09\_PZ, la presenza della falda a pochi metri dal p.c. originario.

Inoltre, nei terreni di fondazione sono presenti strati anche importanti di terreni argillosi e limo sabbiosi 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 foro e pertanto da non escludere che abbia uno spessore maggiore;

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 68 di 86</b></p>
--	---

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 10.9 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 15 m (fondo foro) di andesite fortemente alterata da argillificata a limo sabbiosa.

I calcoli dei cedimenti riportati nel capitolo 2 mostrano che tali strati a grana fine apportano un contributo percentuale rilevante ai cedimenti indotti dal peso dei rilevanti in fondazione e sono sicuramente più rilevanti del contributo di cedimento all'interno del corpo del rilevato, negli strati dove i valori di  $N_{SPT}$  hanno indicato la presenza di un materiale poco addensato.

In tali strati coesivi è stato inoltre possibile prelevare dei campioni indisturbati, su 4 dei quali sono state effettuate delle prove edometriche. Nella seguente Tabella 18 sono riportati i risultati più importanti ottenuti da tali prove edometriche.

Tabella 18 – Sintesi dei risultati delle prove edometriche.

Sondaggio	Campione	Modulo edometrico, Ed (MPa)	Coefficiente di permeabilità k (cm/sec)	Coefficiente di consolidazione primaria, Cv (cm <sup>2</sup> /sec)
S04	CI01, da 4.30 a 5.00 m	3.6	5.07 E-06	1.80E-01
S04	CI03, da 10.1 a 10.6 m	4.3	1.02E-05	4.40E-01
S08_DH	CI02, da 13.00 a 13.50 m	4-5	9.34E-09	4.20E-04
S09_PZ	CI01, da 15.8 a 16.3	4.4	8.20E-07	3.60E-02

Come si può notare dai valori riportati in Tabella 18, i valori del modulo edometrico, della permeabilità e dei coefficienti di consolidazione sono bassi ovvero sia i cedimenti che sono stati riportati nel precedente

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:****T00GE00GETRE02A.doc****Data: Giugno 2020****Pag. 69 di 86**

capitolo e che per gli strati coesivi sono da intendersi come dei cedimenti a breve termine hanno poi nel tempo una quota parte di ulteriore cedimento, dovuto alla consolidazione primaria e anche secondaria, elevati che possono spiegare gli assestamenti che tali rilevati hanno manifestato nel tempo in funzione del grado di consolidazione raggiunto.

Infatti, dai risultati delle prove edometriche, i valori ottenuti per il coefficiente di consolidazione primaria  $C_v$  porterebbero, nelle condizioni peggiori ottenute dai sondaggi effettuati, al raggiungimento di un grado di consolidazione medio di quasi il 100%, nella durata di circa 14 anni; oververosia anche i cedimenti di consolidazione dei rilevati esistenti, di entità ragguardevole, dovrebbero essersi esauriti quasi del tutto (Figura 56).

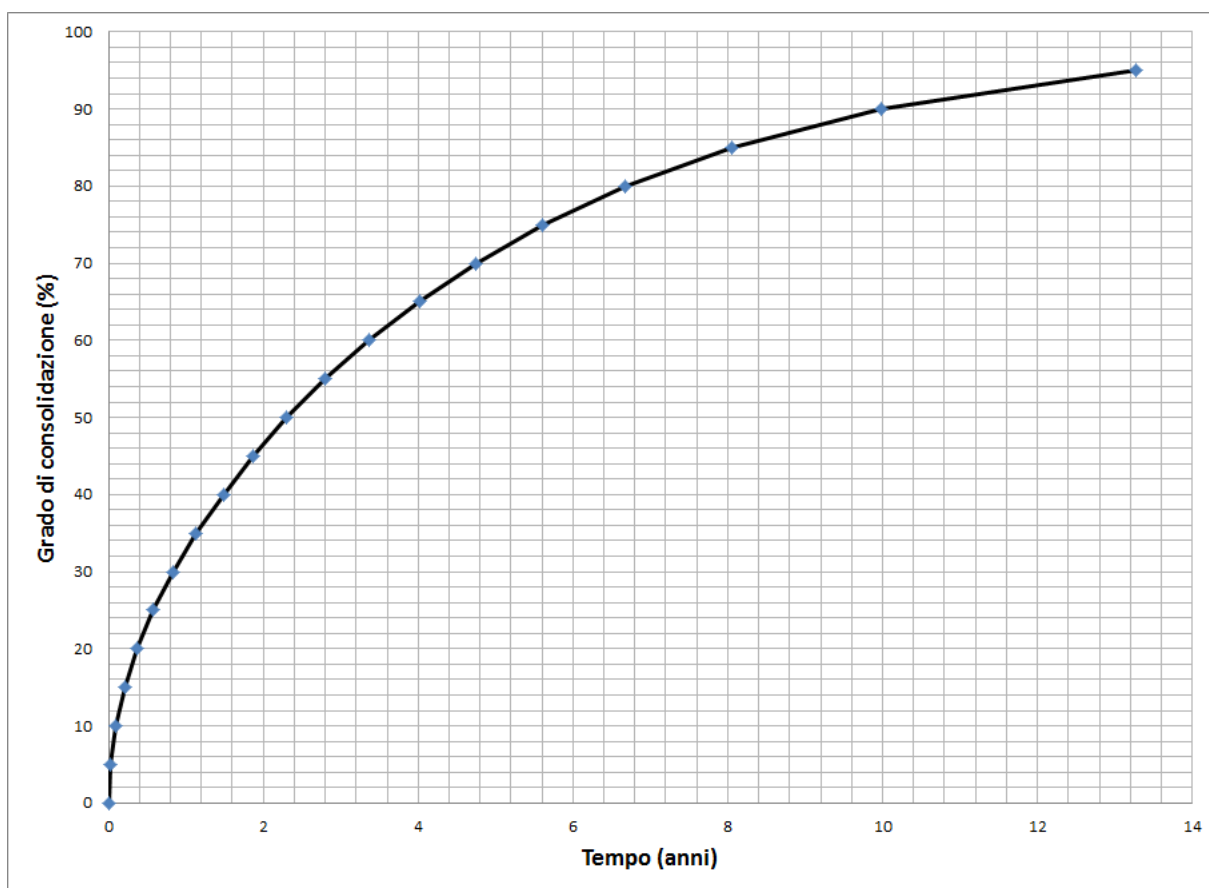


Figura 56. Risultati prove edometriche di laboratorio, valutazione qualitativa del grado di consolidazione degli strati coesivi presenti nei terreni di fondazione dei rilevati.

<p style="text-align: center;"><i>ANAS S.p.A.</i></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;"><i>T00GE00GETRE02A</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b><i>T00GE00GETRE02A.doc</i></b></p> <p><b>Data:</b> <b><i>Giugno 2020</i></b></p> <p><b>Pag. 70 di 86</b></p>
---	---

In conclusione, gli approfondimenti dei risultati dell'indagine geotecnica effettuata nel 2018 hanno evidenziato come sicuramente la quota parte più importante dei cedimenti registrati nel tempo siano stati causati da cedimenti nei terreni di fondazione e non nel corpo del rilevato.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 71 di 86</b></p>
--	---

## 8 RISULTATI INDAGINI CONDOTTE PER LA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Per la caratterizzazione ambientale dei materiali di scavo ai sensi del D.P.R. 120/2017 nonché per la loro ammissibilità in impianto di recupero e/o discarica e ai fini della determinazione dell'aggressività al calcestruzzo, è stata condotta durante l'esecuzione dei sondaggi e pozzetti geotecnici una apposita indagine comprendente il prelievo di campioni di terreno e delle acque di falda.

Il campionamento è stato effettuato attraverso l'esecuzione di n. 5 pozzetti esplorativi approfonditi fino ad un massimo di 2.00 m dal p.c. nel corso dei quali, oltre ai rilievi stratigrafici, è stato eseguito il prelievo di n. 2 campioni di terreno rappresentativi del primo e del secondo metro, i quali successivamente sono stati sottoposti alle determinazioni chimiche. Oltre ai campioni prelevati dai pozzetti, si è proceduto anche al prelievo di campioni da n. 7 sondaggi geognostici e di acque sotterranee da n. 2 piezometri. Nella

Tabella 19 e Tabella 20, è mostrato, rispettivamente per i pozzetti e i sondaggi, lo schema di campionamento eseguito.

*Tabella 19 – Pozzetti e campioni prelevati per la caratterizzazione ambientale dei terreni e delle acque di falda.*

SS195 Indagini Ambientali	TERRE						ACQUA		
	POZZETTI								
sigla campione	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	CLS1	CRIF	PA1	PCLAS1
PZ1	0,00-1,00	1,00-2,00							
PZ3	0,00-1,00	1,00-2,00					0,00-2,00		
PZ4	0,00-1,00	1,00-2,00							
PZ5	0,00-1,00	1,00-2,00							
PZ8	0,00-1,00	1,00-2,00							

*Tabella 20 – Sondaggi e campioni prelevati per la caratterizzazione ambientale dei terreni e delle acque di falda.*

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> T00GE00GETRE02A.doc</p> <p><b>Data:</b> Giugno 2020</p> <p><b>Pag. 72 di 86</b></p>
--	---

SS195 Indagini Ambientali		TERRE					ACQUA		
POZZETTI									
sigla campione	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	CLS1	CRIF	PA1	PCLAS1
SONDAGGI									
S1PZ	0,50-1,00	4,00-5,00	8,50-9,00				0,00-9,00	X	
S3	0,50-1,00	6,00-7,00	12,00-13,00						
S5PZ	0,00-0,50	2,50-3,50	4,00-5,00	5,00-6,00	6,00-7,00	0,00-7,00	0,00-7,00		
S6DH	0,00-1,00	4,50-5,00	8,00-9,00						
S9PZ	0,00-1,00	4,50-5,00	8,00-9,00				0,00-9,00	X	X
S10DH	0,00-1,00	1,50-2,00							
S12	0,00-1,00	1,60-2,00							

In un apposito documento sono riportati in dettaglio tutti i risultati ottenuti; di seguito si riportano le conclusioni relativamente alle indicazioni del D.P.R. 120/2017.

I campioni di terreno prelevati sono stati sottoposti a caratterizzazione ambientale ai sensi del D.P.R. 120/2017. Dall'osservazione delle risultanze si evince che sussistono i seguenti superamenti dei limiti normativi relativi al D.Lgs. 152/06 All.5 alla parte IV – Tab. 1 – Col. A e B:

**Idrocarburi pesanti:** superamento in Col. A per i campioni S3 CA1(0.5 - 1.0 m), S3 CA2 (6.0 - 7.0 m), S5PZ CA1(0.0 - 0.5 m), S5PZ CA4(5.0 - 6.0m), S9PZ CA1 (0.0 - 1.0 m), S10DH CA1 (0.0 - 1.0 m) e S12 CA1 (0.0 - 1.0 m); superamento in Col. B per il campione S6DH CA1 (0.0 - 1.0 m).

Dalle determinazioni analitiche effettuate ai fini della classificazione dei materiali come rifiuti, tutti i campioni di terreno sono rientrati nel Codice CER 17 05 04 che comprende «Terra e rocce da scavo, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03\*».

L'esecuzione di test di cessione ha messo in evidenza che in tutti i casi i terreni sono ammissibili in discariche per rifiuti non pericolosi, mentre nel caso dei campioni S1PZ, S5PZ e S9 non sono ammissibili in discarica per inerti a causa del superamento del parametro Fluoruri. I materiali risultano, tranne il caso di S5PZ, gestibili secondo procedure di recupero completo.

Inoltre, l'esecuzione di test di cessione su n. 19 campioni prelevati da sondaggi, il cui risultato è stato confrontato con i valori derivati da Test di cessione con i limiti D.Lgs. 152/06 Tab. 2 per le acque sotterranee, al fine di valutare la possibilità di lisciviazione in falda, ha mostrato negli 8 campioni S1PZ-CA2, S3-CA1S3-CA2, S5PZ-CA2, S5PZ-CA3, S5PZ-CA4, S5PZ-CA5, S6DHCA2 e S12-CA2 il superamento dei limiti imposti dal D.Lg. 152/06 All.5 alla parte IV – Tab.2 per le acque di falda per i parametri Cromo totale, Nichel e Fluoruri. Si specifica, tuttavia, che il risultato dei Fluoruri dei campioni S3-CA2 e S12-CA2 può essere considerato non conforme in virtù dell'incertezza di misura riportata nei relativi certificati.



<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 73 di 86</b></p>
---	--

## 9 CRITERI PER IL RIUTILIZZO DELLE TERRE DA SCAVO

Ai sensi della vigente normativa, le terre e rocce da scavo possono considerarsi un "sottoprodotto" dei processi lavorativi, e quindi essere riutilizzate sia nell'ambito che al di fuori dei lavori oggetto dell'appalto, alle seguenti condizioni:

- a) sono generate durante la realizzazione di un'opera, di cui costituiscono parte integrante e il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;
- b) il loro utilizzo è conforme alle disposizioni del piano di utilizzo e si realizza:
  - 1) nel corso dell'esecuzione della stessa opera nella quale è stato generato o di un'opera diversa, per la realizzazione di rinterrati, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, miglioramenti fondiari o viari, recuperi ambientali oppure altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali;
  - 2) in processi produttivi, in sostituzione di materiali di cava; c) sono idonee ad essere utilizzate direttamente, ossia senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
  - d) soddisfano i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal Capo II o dal Capo III o dal Capo IV del presente regolamento, per le modalità di utilizzo specifico di cui alla lettera b).

Condizione indispensabile per il riutilizzo è comunque che il materiale non provenga da siti contaminati o sottoposti a procedimenti di bonifica.

Nella eventualità in cui si riscontri la presenza di aliquote di materiale che non soddisfano alle predette condizioni, devono essere trattate come rifiuto. Nei casi in cui le terre e rocce da scavo contengano materiali di riporto, la componente di materiali di origine antropica frammisti ai materiali di origine naturale non può superare la quantità massima del 20% in peso.

Alla luce di quanto sopra indicato, per le terre e rocce provenienti dalle attività di scavo nell'appalto in esame si possono prefigurare sostanzialmente quattro possibilità:

- 1) il reimpiego nell'ambito dei lavori per la costruzione dei rilevati;
- 2) il reimpiego nell'ambito dei lavori per l'esecuzione di rinterrati e riempimenti;
- 3) il reimpiego all'interno dei processi produttivi del cantiere, in sostituzione dei materiali di cava come gli aggregati costituenti il misto stabilizzato granulare ed il misto cementato;
- 4) il conferimento del materiale in esubero a soggetti esterni autorizzati al ricevimento dello stesso.

La sequenza concettuale che porta alla scelta tra queste possibilità può essere così sintetizzata:

- determinazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali: sono infatti tali proprietà a condizionare le possibili modalità di impiego dei materiali come sottoprodotti. Le indagini di laboratorio consentiranno

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 74 di 86</b></p>
---	--

di classificare i materiali provenienti dai vari siti in un'ideale graduatoria, di qualità dei materiali: dai più pregiati ai meno;

- determinazione delle concentrazioni di sostanze contaminanti: la caratterizzazione va eseguita su tutti i materiali soggetti a riutilizzo, sia che vengano reimpiegati nei processi di produzione dei materiali da costruzione, sia che vengano utilizzati per rinterri o riempimenti, sia che debbano essere conferiti a discarica;
- valutazione della distanza tra il sito di produzione ed i potenziali siti di utilizzo/conferimento. Il trasporto dei materiali comporta infatti un costo che va confrontato con i benefici dell'attività di riutilizzo, sia in termini economici, sia in termini di impatto sull'ambiente antropico e naturale.

Le caratteristiche geotecniche che i materiali inerti debbono possedere per la realizzazione delle opere stradali sono dettagliate nelle Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto.

I materiali per la realizzazione dei rilevati stradali non dovranno essere di natura argillosa scistosa, non gelivi, non dovranno contenere componenti vegetali od organiche. Saranno inoltre classificati in funzione del fuso granulometrico secondo la classificazione delle terre UNI-EN 13242:2004 (C.N.R.-U.N.I. 10006), in base alla quale saranno destinati a formare le diverse parti del rilevato.

Gli aggregati per la produzione sia del misto granulare stabilizzato sia del misto cementato oltre ad avere opportuno fuso granulometrico dovranno possedere le proprietà specifiche degli inerti costituenti tali materiali come la proprietà di resistenza all'abrasione (prova Los Angeles), non dovranno contenere argilla, sostanze organiche e non dovranno contenere i minerali definiti dannosi.

Le indagini eseguite per il progetto definitivo hanno confermato le indicazioni emerse dai primi studi geologici. L'intera fascia di territorio interessata dal progetto è formata da terreni a grana grossa appartenenti. I sondaggi hanno attraversato quasi esclusivamente terreni a granulometria prevalentemente ghiaiosa, con matrice a grana sabbioso-limosa.

Nella tabella seguente si riassumono le caratteristiche granulometriche determinate in laboratorio sui campioni di terreni sciolti prelevati nel corso delle indagini e la classificazione secondo CNR UNI 10006/1963 (di riferimento per il Capitolato ANAS). I campioni sono classificabili nel gruppo A1 (spesso nel sottogruppo A1-a) e sono quindi idonei alla formazione di rilevati ai sensi del capitolato.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p><i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i></p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 75 di 86</b></p>
---	--

	da [m]	a [m]	Argilla [%]	Limo [%]	Sabbia [%]	Ghiaia [%]	Classificazione UNI 10006
S04	1.5	2	0	2.5	12.5	85	A1-a
S05	1.6	2	11	12.5	29.5	47	A1-b
S06	1	1.6	15	18.5	37.5	29	A2-7
S07	1.1	1.55	4	11	43	42	A1-b
S08	1	2	9	12	26	53	A1-b
S09	1.05	1.65	5	9	34	52	A1-a
S10	1	1.5	2	4.5	29.5	64.4	A1-a
S11	1	1.7	8	6.5	25.5	60	A1-a
S12	1	1.6	2	7.5	40.5	50	A1-a

<b>ANAS S.p.A.</b>  S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2  <b>RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>T00GE00GETRE02A</b>  <i>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</i>	<b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b>  <b>Data: Giugno 2020</b>  <b>Pag. 76 di 86</b>
---	--

<b>CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE C.N.R. - UNI 10006/1963</b>													
Prospetto I - Classificazione delle terre													
Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose							Terre limo-argillose				Torbe e terre organiche palustri	
	Fazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 ≤ 35							Fazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 > 35%					
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	Al-a	Al-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica. Frazione passante allo staccio													
2 UNI 2332 %	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 50	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 15	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido													
Indice di plasticità	-	-	-	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	> 40
	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10 <sub>max</sub>	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	> 10	> 10
Indice di gruppo	0		0	0				≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o braccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi poco compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torba di recente o remota fondazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono							Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nulla o lieve			Media				Molto elevata	Media	Elevata	Media		
Ritiro o rigonfiamento	Nulla			Nulla o lieve				Lieve o medio	Elevato	Elevato	Molto elevato		
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa				Scarsa o nulla					
Identificazione dei terreni in sito	Facilmente individuabile a vista		Aspri al tatto incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alla prova di scuotimento* - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido.	Non reagiscono alla prova di scuotimento*. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido				Fibrosi di color bruno o nero. Facilmente individuabili a vista

\* Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi dalla argilla. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita

Le curve granulometriche determinate su questi terreni sono riportate nelle figure seguenti.

Analogamente sono stati valutati i risultati derivanti dai pozzetti per la determinazione della eventuale bonifica del terreno in sito.

<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>T00GE00GETRE02A</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale</p>	<p><b>File:</b> <b>T00GE00GETRE02A.doc</b></p> <p><b>Data: Giugno 2020</b></p> <p><b>Pag. 77 di 86</b></p>
--	--

Spessori di scotico e bonifica in corrispondenza della fondazione della parte in allargò dei rilevati							
pk inizio	pk fine	spessore scotico [cm]	spessore Bonifica [cm]	ID Pozzetto di riferimento	Pk pozzetto	Classificazione UNI 10006 a 40cm da p.c.	Modulo di primo carico prova di carico su piastra nell'intervallo 50-150 kPa
21+488	21+927	20 cm	30 cm	PZ5	21+970	A1-a	5,3 MPa
22+030	22+295	20 cm	30 cm	PZ5 / PZ6	21+970/22+420	A1-a/A2-4	5,3 MPa/-
22+650	23+665	20 cm	30 cm	PZ8	23+706	A1-a	6,99 MPa

Nota: Gli spessori di scotico e bonifica sono stati stabiliti sulla base delle analisi granulometriche e delle prove di carico su piastra eseguite sui pozzetti esplorativi. Lo spessore di bonifica si rende necessario alla luce dei valori di modulo di primo carico risultanti dalle prove di carico su piastra.

Sulla base dei risultati derivanti dai pozzetti integrativi e dai sondaggi in particolare dalle analisi granulometriche e dalle prove di carico su piastra si riportano in tabella gli spessori di scotico e bonifica necessari per assicurare una buona base di appoggio alla parte in allargò del rilevato.

Dall'analisi delle granulometrie si deduce che i rilevati esistenti sono costruiti con materiali idonei secondo le indicazioni del capitolato Anas (A1 e A2-4 e A2-7). I materiali costituenti la fascia di ammorsamento che verranno scavati possono dunque essere trasportati ad un impianto mobile per essere vagliati e riutilizzati in maniera da separare la frazione plastica e migliorare ulteriormente il materiale destinato ai riempimenti.

L'ottimizzazione delle scelte progettuali ha riguardato anche il bilancio dei movimenti di materie, in modo da ridurre al minimo sia l'approvvigionamento degli aggregati da cave di prestito, sia il trasporto a rifiuto delle materie scavate.

L'approccio progettuale adottato è stato quindi quello di limitare tale fabbisogno limitando l'impiego di materiale di provenienza esterna e impiegando il più possibile le terre provenienti dagli scavi, attraverso un processo di frantumazione e vagliatura in cantiere si riesce ad ottenere un significativo miglioramento geotecnico dei materiali scavati, a tal punto che essi possono essere riutilizzati quasi totalmente entro il corpo del rilevato senza dover ricorrere a più onerose forniture da cava e senza rischiare di dover smaltire a discarica migliaia di metri cubi di terre senza destinazione utile prevista in progetto.

Il materiale scavato viene trasportato con gli autocarri ad un sito appositamente predisposto ed accumulato nei pressi del complesso di frantumazione e vagliatura sistemato in maniera ottimale rispetto all'area di azione di un escavatore a cucchiaio rovescio che ha il compito di: a) gestire il materiale in arrivo; b) ridurlo ad idonea pezzatura (max 50 cm) per evitare problemi nella camera di frantumazione (incidenza di 12 h); c) alimentare il frantoio-vaglio.

**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

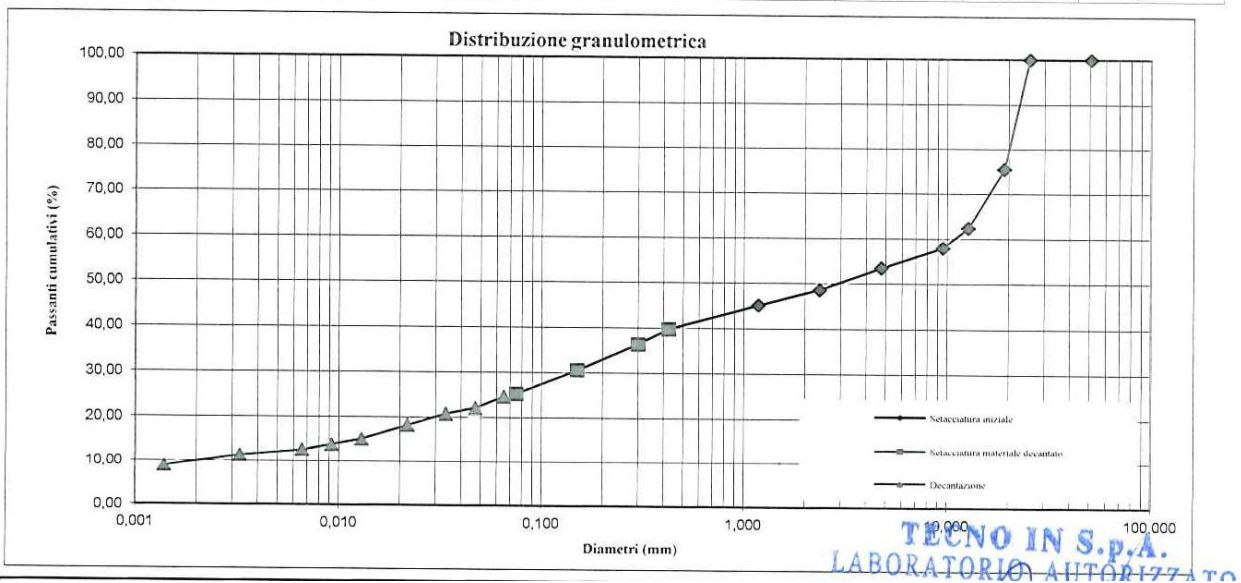
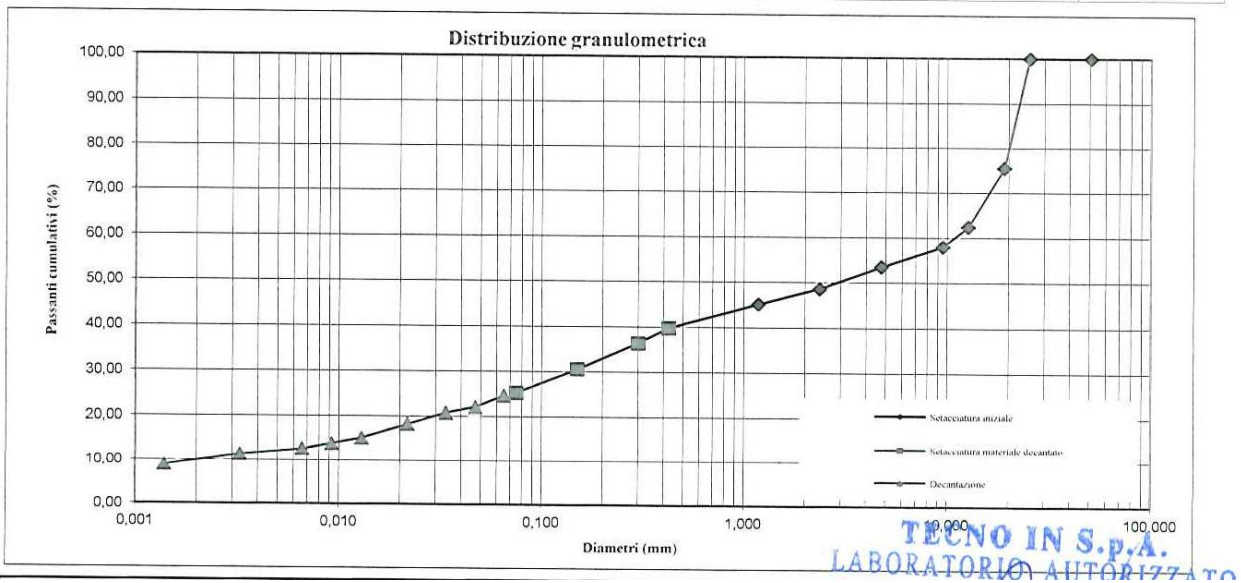
Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 78 di 86**



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**

T00GE00GETRE02A

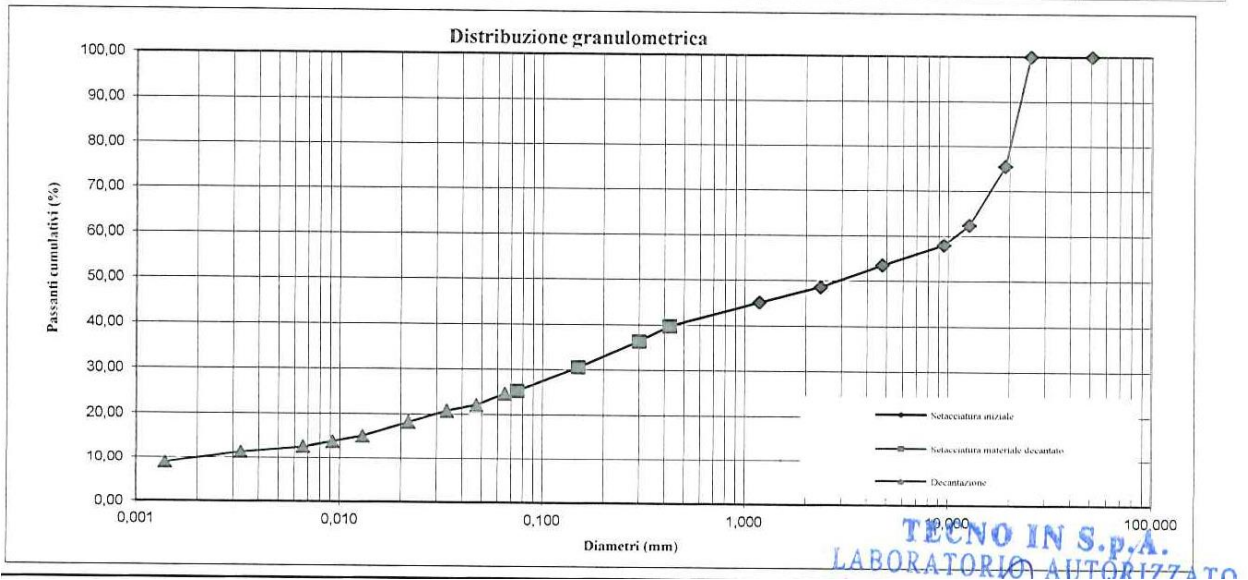
Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 79 di 86**



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**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

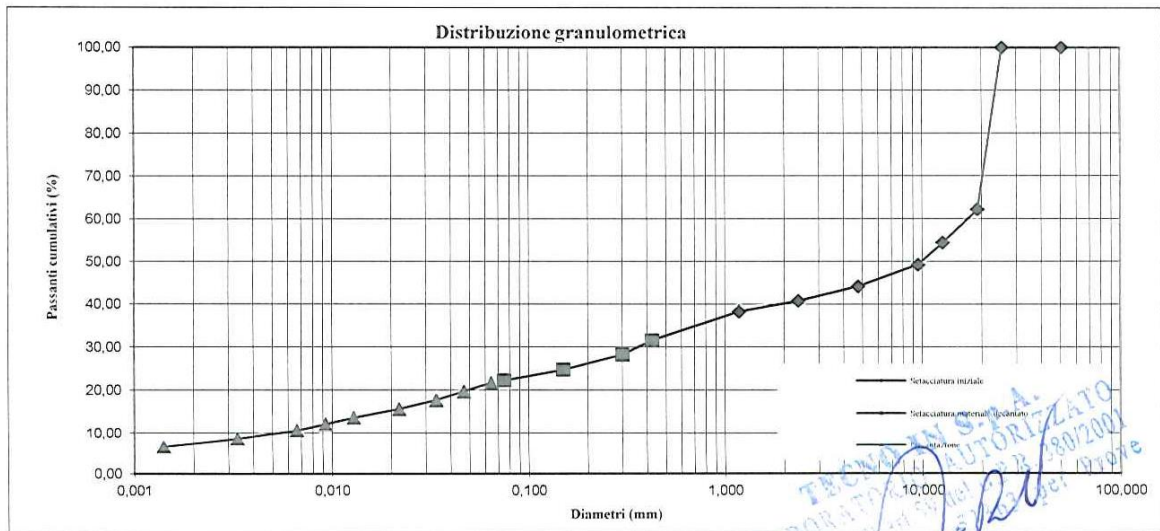
**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 80 di 86**

S01



Distribuzione granulometrica: ghiaia (60,00%) sabbiosa (19,00%), limosa (14,00%) debolmente argillosa (7,00%)



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

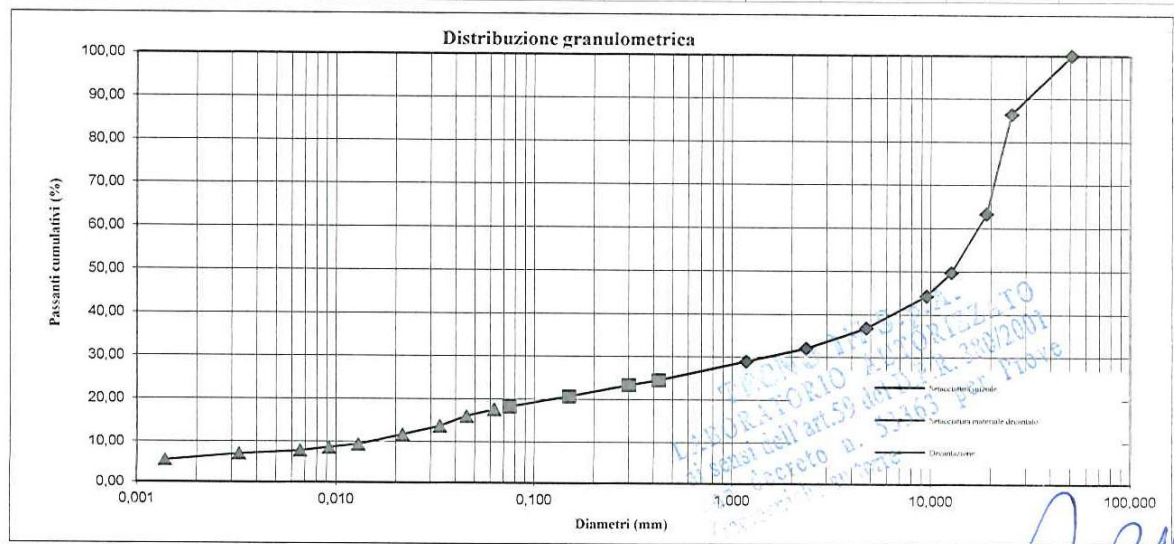
File:

T00GE00GETRE02A.doc

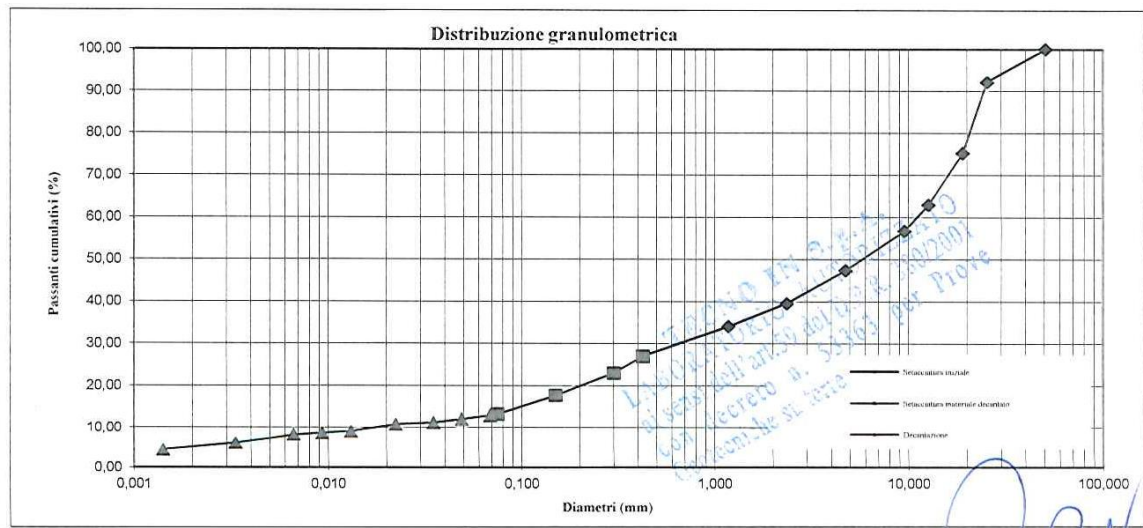
Data: Giugno 2020

Pag. 81 di 86

S02



S03



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

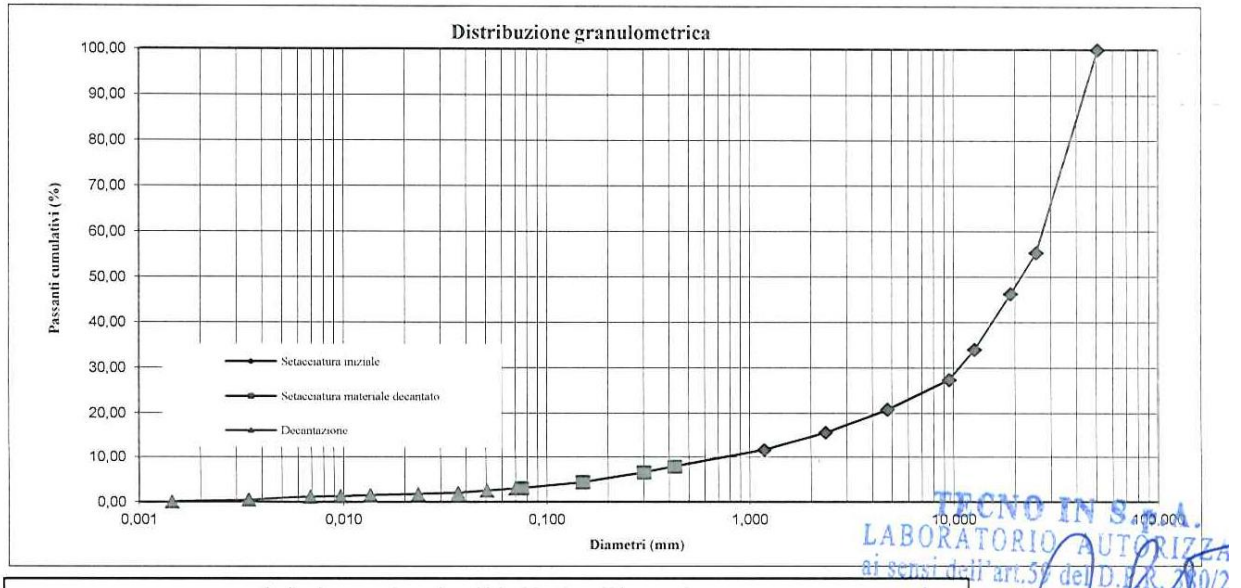
**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

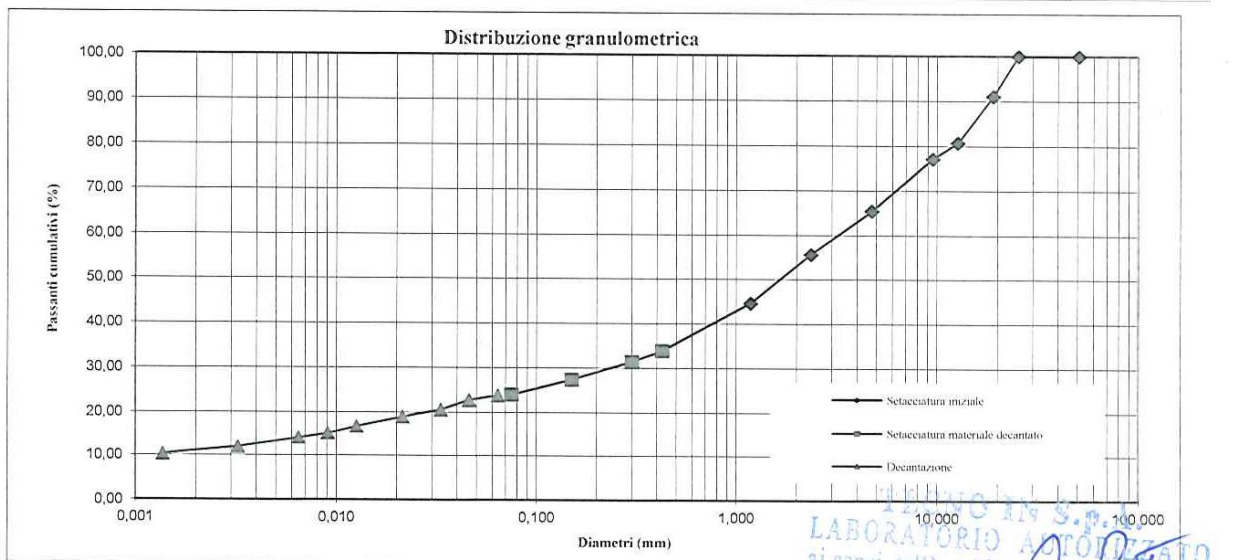
**Data: Giugno 2020**

**Pag. 82 di 86**

S04



S05



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

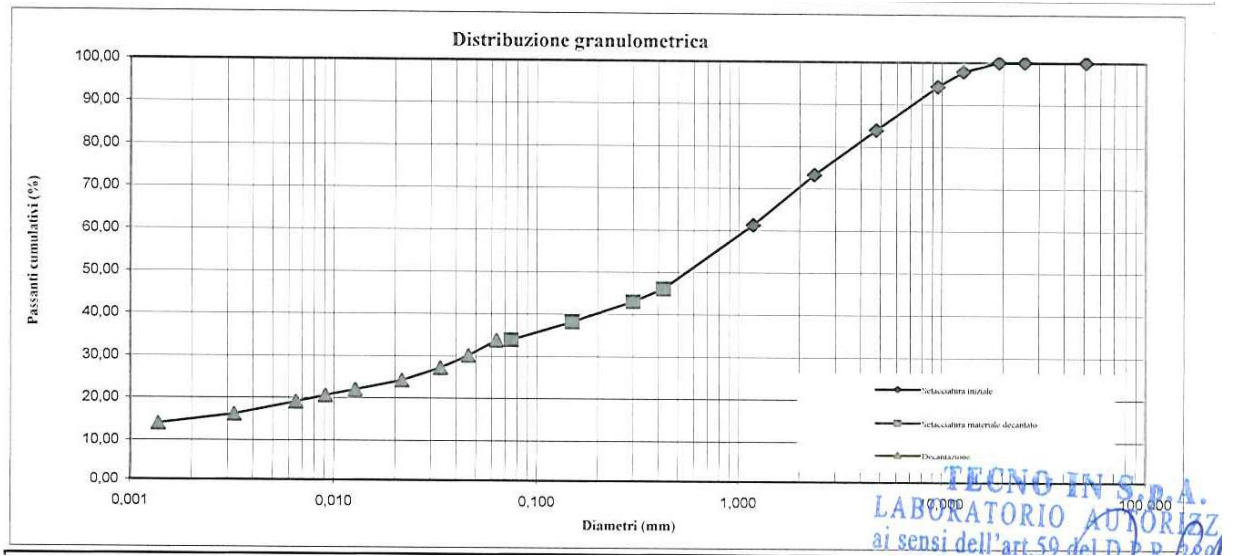
**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

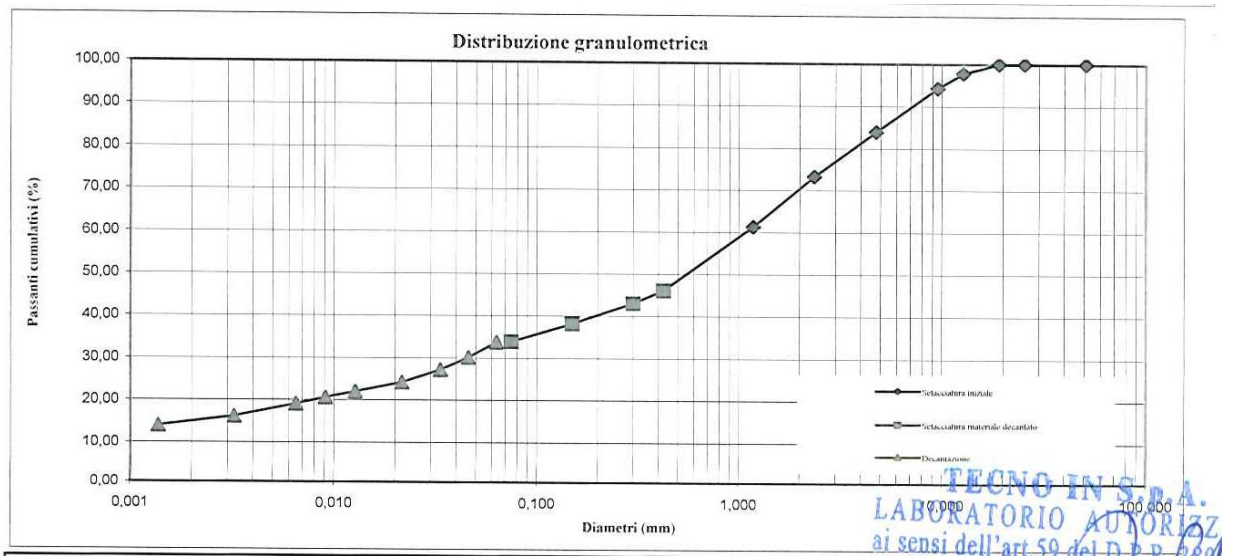
**Data: Giugno 2020**

**Pag. 83 di 86**

S06



S07



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

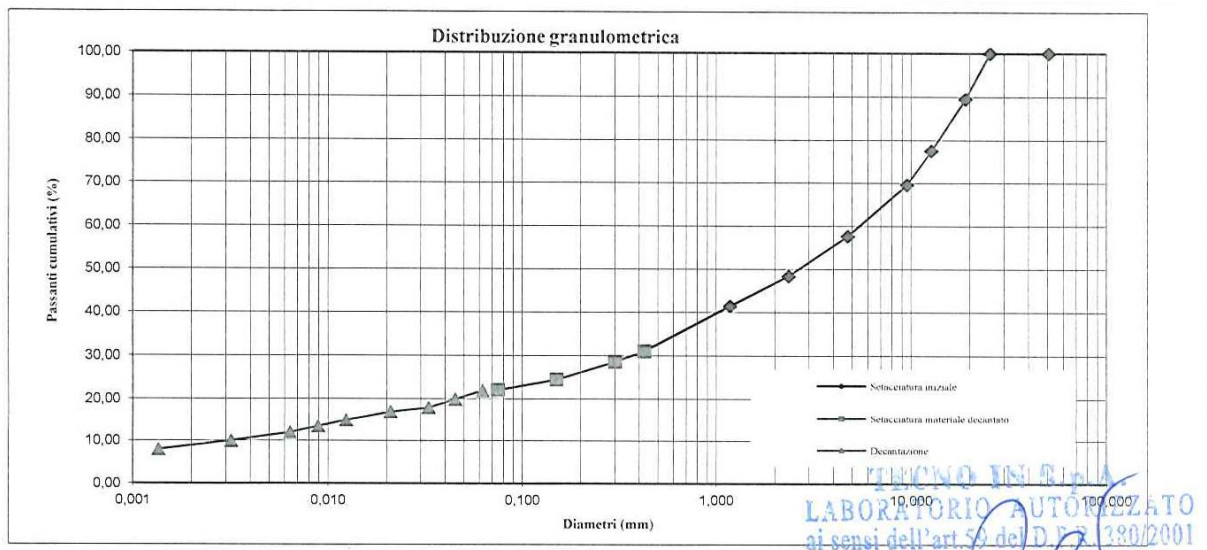
**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

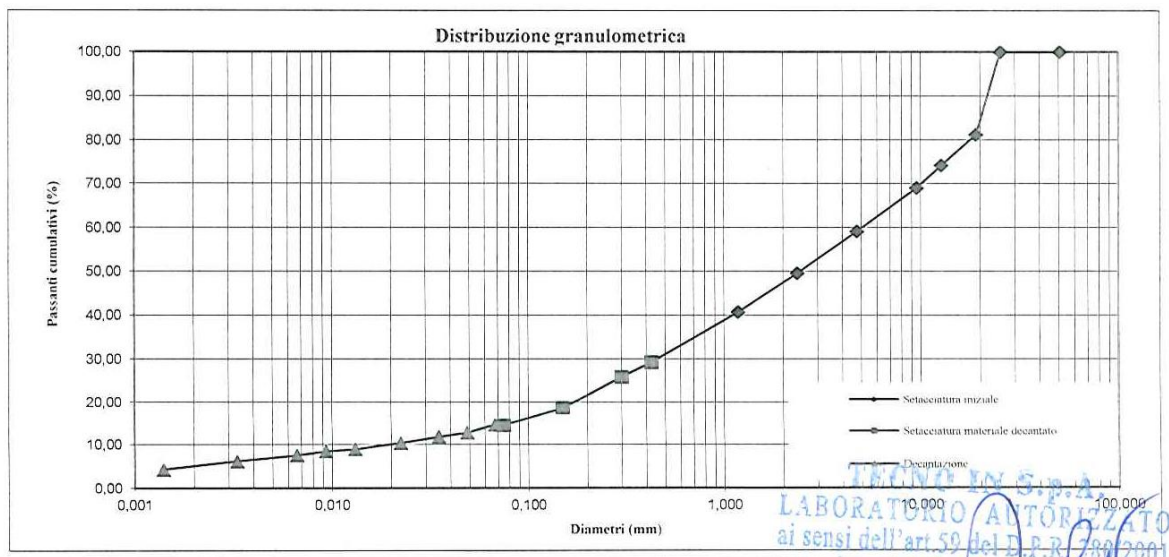
**Data: Giugno 2020**

**Pag. 84 di 86**

S08



S09



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

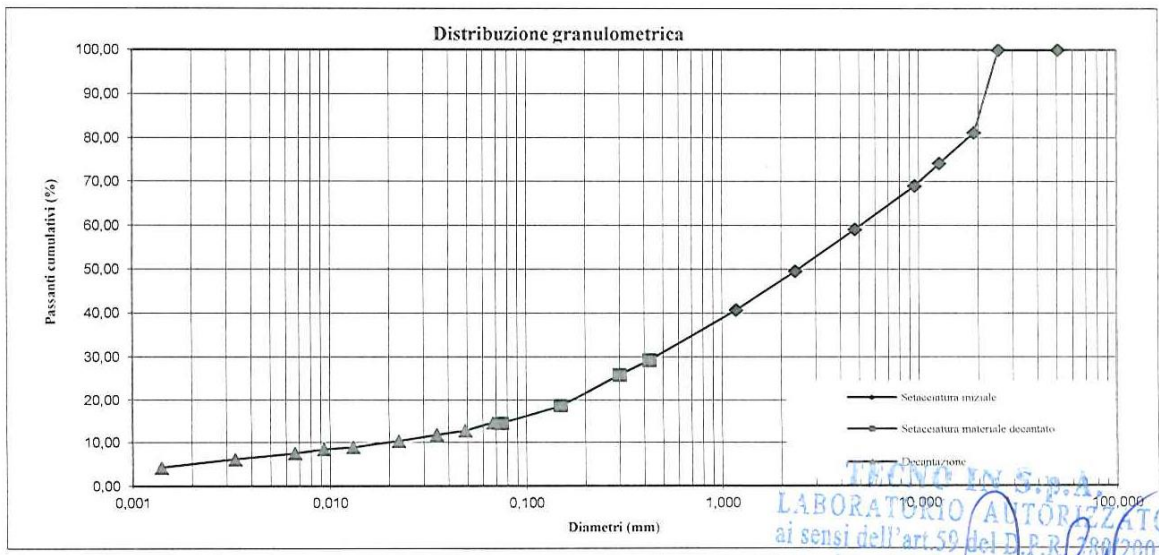
**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

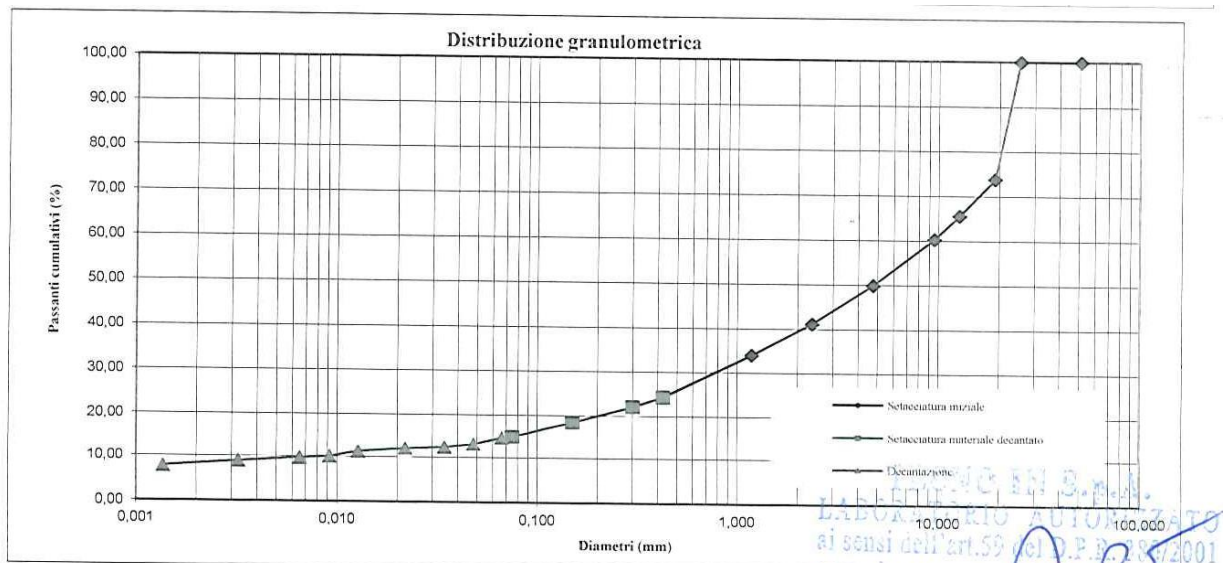
**Data: Giugno 2020**

**Pag. 85 di 86**

S10



S11



**PROGETTO DEFINITIVO**

T00GE00GETRE02A

Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale

**File:**

**T00GE00GETRE02A.doc**

**Data: Giugno 2020**

**Pag. 86 di 86**

S12

