



Anas Spa

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

S.S. 131 di "Carlo Felice" Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131 Risoluzione dei nodi critici – 1° stralcio dal km 158+000 al km 162+700

PROGETTO ESECUTIVO

CA283

PROGETTAZIONE: ANAS–Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

PROGETTISTI:

Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI Dott. Ing. Alessandro MICHELI
Ordine Ing. di Roma n. 19116 Ordine Ing. di Roma n. 19645

IL GEOLOGO
Dott. Geol. Serena MAJETTA
Ordine Geol. Lazio n. 928

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Geom. Fabio QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Salvatore FRASCA

PROTOCOLLO	DATA

GEOTECNICA Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. L O P L S P E 1 7 0 1	T00GE00GETRE01A CODICE ELAB. T 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 1	A	-
D			
C			
B			
A	EMISSIONE	ing. A. Mangiola	ing. E. Mittiga
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO VERIFICATO APPROVATO

S.S. 131 di “Carlo Felice”

Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131

Risoluzione di nodi critici – 1° stralcio

Dal km 158+000 al km 162+700

Relazione geotecnica generale

INDICE

1. INTRODUZIONE	6
2. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	7
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PROGETTUALE.....	7
2.3 SOFTWARE.....	7
3. OPERE D'ARTE	8
4. ELEMENTI GEOLOGICI DI INQUADRAMENTO	10
4.1 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE.....	10
5. INDAGINI GEOTECNICHE	11
5.1 SVINCOLO DI BONORVA SUD.....	11
5.1.1 <i>Indagini geognostiche pregresse</i>	11
5.1.2 <i>Indagini geognostiche a base del PD del 2015</i>	11
5.2 SVINCOLO DI BONORVA NORD	14
5.2.1 <i>Indagini geognostiche pregresse</i>	14
5.2.2 <i>Indagini geognostiche a base del PD del 2015</i>	20
5.2.3 <i>Indagini geognostiche a base del PE del 2017</i>	25
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	30
6.1 CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI	30
6.1.1 <i>Depositi incoerenti</i>	30
6.1.2 <i>Depositi coesivi</i>	35
6.1.3 <i>Materiali lapidei</i>	38

6.2	SVINCOLO DI BONORVA SUD	43
6.2.1	<i>Unità geotecniche</i>	43
6.2.2	<i>Unità Rv – terreno vegetale</i>	43
6.2.3	<i>Unità Ra – riporto antropico (rilevato stradale)</i>	43
6.2.4	<i>Unità Gs – coltre superficiale ghiaioso sabbioso</i>	43
6.2.5	<i>Unità Ba – Basalto di Campeda</i>	44
6.2.6	<i>Sintesi parametri geotecnici di progetto – svincolo Bonorva Sud</i>	61
6.3	SVINCOLO DI BONORVA NORD	62
6.3.1	<i>Unità geotecniche</i>	62
6.3.2	<i>Unità Rv – terreno vegetale</i>	62
6.3.3	<i>Unità Ra – riporto antropico</i>	62
6.3.4	<i>Unità LAS – limo argilloso sabbioso</i>	63
6.3.5	<i>Unità GS – ghiaia sabbiosa</i>	65
6.3.6	<i>Unità M, Si, C, Ar – Formazione di Mores marnosa, siliosa, calcarenitica, arenacea</i>	66
6.3.7	<i>Unità Ba – Basalti del Lugudoro</i>	69
6.3.8	<i>Sintesi parametri geotecnici di progetto – svincolo Bonorva Nord</i>	121
6.4	ADEGUAMENTO S.P. 125	123
6.4.1	<i>Unità geotecniche</i>	126
7.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA OPERE	127
7.1	SVINCOLO DI BONORVA NORD	127
7.1.1	<i>Muro di sottoscarpa OS03 SS 131 da pk 0+091.25 a pk 0+190.77</i>	127

7.1.2	Muro di sottoscarpa OS05 Rampa B da 0+083.63 a pk 0+308.53.....	129
7.1.3	Muri di controtiripa OS06 Rampa C da pk 0+003.000 a pk 0+312.926.....	138
7.1.4	Muro di sottoscarpa OS07 Rampa D da pk 0+155.45 a pk 0+522.83 e muro di sottoscarpa OS08 Viabilità Interpodereale 1 da pk 0+300.00 a pk 0+513.31.....	144
7.1.5	Sottovia Scatolare - Muri Andatori OS09 da pk 0+959.00 a pk 1+028.33 e da pk 0+981.72 a pk 1+110.06, Muro di sottoscarpa OS10 da pk 0+126.80 a pk 0+177.32.....	158
7.1.6	Paratia di controtiripa Rampa A OS04 da pk 0+074.80 a pk 0+107.94.....	167
7.1.7	Muro di controtiripa OS15 da pk 0+058.97 a pk 0+074.96.....	168
7.1.8	Muro di sottoscarpa OS16 da pk 0+270.00 a pk 0+351.48.....	168
7.1.9	Rafforzamento corticale OS14 da km 1+373.59 a km 1+650.00.....	169
7.2	ADEGUAMENTO S.P. 125.....	170
7.2.1	Muro di sottoscarpa OS11 SP125 da pk 3+712.83 a pk 3+750.00.....	170
7.2.2	OS12 SP125 da pk 4+117.74 a pk 4+189.49 e muro di sottoscarpa OS02 SP125 da pk 4+227.713 a pk 4+345.210.....	176
7.2.3	Paratia di Controtiripa OS01 da pk 3+687.14 a pk 3+876.12.....	189
8.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	194
8.1	RISPOSTA SISMICA.....	194
8.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	195
8.3	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO.....	196
9.	ANALISI DEI CEDIMENTI E DEL LORO DECORSO NEL TEMPO	197
9.1	PREMESSA.....	197
9.2	SEZIONI DI CALCOLO.....	197

9.3	RISULTATI	198
10.	ANALISI DI STABILITA'	199
10.1	PREMESSA.....	199
10.2	METODOLOGIE DI CALCOLO VERIFICA DI STABILITÀ.....	199
10.3	AZIONI SISMICHE PER ANALISI DI STABILITÀ.....	200
10.4	SEZIONI DI CALCOLO	200
10.5	RISULTATI	201
11.	PIANO DI POSA	206
12.	APPENDICE A. ANALISI DEI CEDIMENTI. METODOLOGIE DI CALCOLO E TABULATI CED ..	207
12.1	METODOLOGIE DI CALCOLO, ANALISI DEI CEDIMENTI PER RILEVATI	207
12.2	CEDIMENTI TOTALI RILEVATO	208
12.3	CEDIMENTI IMMEDIATI RILEVATO	212
13.	APPENDICE B. ANALISI DI STABILITA' , METODOLOGIE E TABULATI DI CALCOLO SLIDE .	215
13.1	RILEVATO – ANALISI DI STABILITÀ STATICA SLU	215
13.2	RILEVATO – ANALISI DI STABILITÀ SISMICA SLU	225
13.3	TRINCEA SEZ 103 SS131 – ANALISI DI STABILITÀ STATICA SLU CON CHIODATURA	235
13.4	TRINCEA SEZ 104 SS131 – ANALISI DI STABILITÀ SISMICA SLU CON CHIODATURA	242

1. INTRODUZIONE

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica generale per il Progetto Esecutivo denominato "Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131 "Carlo Felice", dal km 158+000 al km 162+700, con risoluzione dei nodi critici - 1° stralcio". Lo stralcio progettuale oggetto di questo studio ricade in località Bonorva, interessando i due svincoli di Bonorva Sud e Bonorva Nord, sull'asse principale della S.S. 131, e l'adeguamento, nel tratto da essi sotteso, della S.P. 125.

Quindi nel seguito verranno affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico;
 - descrizione delle indagini geotecniche in sito ed in laboratorio;
 - descrizione dei criteri di interpretazione delle indagini;
 - definizione delle unità geotecniche intercettate, elaborazione dei risultati delle indagini in sito ed in laboratorio, definizione dei parametri geotecnici di progetto;
 - caratterizzazione geotecnica (definizione stratigrafia e parametri geotecnici di progetto) per le singole opere;
 - caratterizzazione sismica;
 - analisi dei cedimenti dei rilevati e decorso nel tempo;
 - analisi di stabilità rilevati e trincee;
 - piano di posa.
- La normativa di riferimento per il progetto in esame è quella di cui alle NTC 2008.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

2.1 Normativa di riferimento

- [N1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [N2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [N3] Delibera Regione Autonoma della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004 "Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.3.2003".

2.2 Documenti di riferimento progettuale

- [D.1]. T00_GE00_GEO_RE07_A - "Relazione geologica e idrogeologica".
- [D.2]. T00_GE00_GEO_PU01_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 01/04".
- [D.3]. T00_GE00_GEO_PU02_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 02/04".
- [D.4]. T00_GE00_GEO_PU03_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 03/04".
- [D.5]. T00_GE00_GEO_PU04_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 04/04".
- [D.6]. T00_GE00_GEO_RE01_A - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti".
- [D.7]. T00_GE00_GEO_RE02_A - "Documentazione indagini geofisiche preesistenti".
- [D.8]. T00_GE00_GEO_RE03_A - "Certificati prove di laboratorio preesistenti".
- [D.9]. T00_GE00_GEO_RE04_A - "Documentazione indagini geognostiche".
- [D.10]. T00_GE00_GEO_RE05_A - "Documentazione indagini geofisiche".
- [D.11]. T00_GE00_GEO_RE06_A - "Certificati prove di laboratorio".
- [D.12]. T00_GE00_GEO_RE08_A - "Relazione geostutturale".
- [D.13]. T00_GE00_GEO_CG01_A - "Carta geologica generale".
- [D.14]. T00_GE00_GEO_CG02_A÷ T00_GE00_GEO_CG05_A - "Carta geologica di dettaglio".
- [D.15]. T00GE00GETRE02_A - "Relazione sismica".
- [D.16]. Indagine geognostica – Marzo 2017. "– Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131 di Carlo Felice. Risoluzione dei nodi critici – 1° stralcio dal km 158+000 al km 162+700. Dr. Antonello Angius.
- [D.17]. Relazione tecnica sulle indagini – Prospezione geofisica con sismica a rifrazione. Gepservice S.a.s. 204/04/2017.

2.3 Software

- Rockscience - Slide 7. Il programma di calcolo è stato adottato per le verifiche di stabilità, è prodotto da

- Rocscience. E' validato ed utilizzato in svariati ambiti progettuali (Italferr, Autostrade, ecc.). In accordo a quanto prescritto nel paragrafo 10.2 del D.M. 14/01/2008, il progettista certifica la affidabilità del suddetto codice di calcolo e l'idoneità di utilizzo nel caso specifico.
- Rocscience –Rocklab. Determinazione parametri di resistenza della roccia in base al criterio di rottura di Hoek-Brown.
 - CED (G. Guiducci, versione 1999). Il programma di calcolo è stato adottato per la valutazione dei cedimenti.
- E' validato ed utilizzato in svariati ambiti progettuali (Italferr, Autostrade, ecc.).

3. OPERE D'ARTE

Gli interventi previsti nella tratta interessata dall'intervento (nuovi svincoli, adeguamento di svincoli e riqualificazione della S.P. 125) hanno comportato l'introduzione nuove opere d'arte o la sostituzione delle esistenti da ammodernare. In considerazione della natura dei terreni, della morfologia dei luoghi e dell'entità dei carichi attesi, queste opere avranno delle fondazioni come riportate nella seguente tabella.

Opera d'arte	Parte d'opera	Tipo fondazione
Cavalcavia Svincolo Bonorva Sud	Spalle	Diretta
Cavalcavia Svincolo Bonorva Sud	Muri di Risvolto	Diretta
Sottovia Svincolo Bonorva Nord	Scatolare	Diretta

A sostegno delle rampe di svincolo, della viabilità interferita e della strada provinciale da riqualificare sono previste delle opere di sostegno in c.a. di altezza variabile con fondazione diretta e profonda su micropali a seconda della natura dei terreni, della morfologia dei luoghi e delle altezze. Nella seguente tabella si riporta una sintesi delle in opere di sostegno.

n.	Asse	Codice	Tipo	dal km	al km	Sviluppo (m)
1	SP125	OS01	Paratia di controripa	3+687	3+876	177
2	SP125	OS12	Rafforzamento corticale	4+118	4+189	60
3	SP125	OS02	Muro di Sottoscarpa	4+228	4+345	140
4	SP125	OS11	Muro di Sottoscarpa	3+713	3+750	40
5	SS131	OS03	Muro di Sottoscarpa	0+091	0+191	103
6	SS131	OS03	Paratia provvisoria	0+077	0+200	124
7	Rampa A Bonorva Nord	OS04	Paratia di Controripa	0+075	0+108	35
8	Rampa B Bonorva Nord	OS05	Muro di Sottoscarpa	0+084	0+309	222
9	Rampa C Bonorva Nord	OS06	Muro di Controripa	0+003	0+313	310
10	Rampa D Bonorva Nord	OS07	Muro di Sottoscarpa	0+155	523	373
11	Interpoderele 1	OS08	Muro di Sottoscarpa	0+300	0+513	208
12	SS131 muri andatori sottovia	OS09	Muri andatori	0+959	1+028	58+40+13+29
13	SS131 muri andatori cavalcavia Bonorva Sud	CV01	Muri di risvolto spalle			7+7+7+7
14	SS131	OS10	Muro di sottoscarpa	0+127	0+177	82
15	SP125	OS13	Barriere paramassi	3+190	3+800	680
16	SS131	OS14	Rafforzamento corticale	1+374	1+650	245 dx +164 sx
17	SS131	OS15	Muro di controripa	0+059	0+075	16
18	SS131	OS16	Muro di sottoscarpa	0+270	0+351	86

4. ELEMENTI GEOLOGICI DI INQUADRAMENTO

L'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale del sito è ricavabile dalla documentazione geologica di progetto e, in particolare, dalla relazione geologica ed idrogeologica (cfr. [D.1]). Un inquadramento a grande scala è ricavabile dall'esame della Carta Geologica generale di progetto.

4.1 Assetto geologico locale

L'area all'interno della quale si collocano gli interventi in progetto ricade nel Foglio n. 193 "Bonorva", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. I terreni affioranti lungo il tratto studiato sono stati accorpati all'interno di diversi complessi geologici, di natura da sedimentaria marina a continentale a vulcanica, a loro volta comprendenti diverse unità formazionali, che coprono un intervallo di tempo che va dal Cambriano all'Attuale, e di seguito elencati dal più antico al più recente.

Successione sedimentaria Oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese:

- Formazione di Mores

Basalti della Campeda-Planargia:

- Subunità di Campeda

Basalti del Logudoro:

- Subunità di Semestene
- Coltri eluvio-colluviali
- Depositi antropici

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geologica ed idrogeologica (cfr. [D.1]).

5. INDAGINI GEOTECNICHE

5.1 Svincolo di Bonorva Sud

Per l'adeguamento e messa in sicurezza della SS 131 "Carlo Felice" svincolo Bonorva Sud, sono state eseguite le seguenti campagne geognostiche:

- indagini pregresse : campagna geognostica del 1997 Soltecnica s.r.l. di Nuoro;
- indagini a base del P.D.: campagna geognostica del 2015.

5.1.1 Indagini geognostiche pregresse

Durante la campagna geognostica del 1997 sono state eseguite nell'area le seguenti indagini in sito:

- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato F19dx;
 - n. 3 pozzetti esplorativi spinti fino al raggiungimento del substrato lapideo.
- Nel corso della campagna geognostica sono state svolte le seguenti attività:
- rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
 - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - rilievo del livello di falda a 24 ore da fine esecuzione sondaggio, con indicazione dell'eventuale livello rilevato sulla stratigrafia del sondaggio.

Tabella 1 – Indagini in sito campagna 1997 – Bonorva Sud

Sondaggio / pozzetto	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]
F19dx	20.0	1	-	-	-
PF16dx	0.61	-	1	-	-
PF17sx	0.41	-	1	-	-
PF18sx	0.51	-	-	-	-

5.1.2 Indagini geognostiche a base del PD del 2015

Dalla ditta Sondedile s.r.l. sono stati eseguite le seguenti indagini:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo denominati S6Pz, S7 spinti fino a 20 m.
- n. 4 pozzetti esplorativi: (Pz34, Pz34bis, Pz35, Pz36) con prelievo di un campione rimaneggiato ciascuno ed una prova di carico su piastra (solo su Pz36).

Tabella 2 – Indagini in sito campagna 2015 – Bonorva Sud

Sondaggio / pozzetto	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]	Strumentazione
S6Pz	20.0	1	-	-	4	TA [3÷20]
S7	20.0	2	3	-	4	-
PZ34	0.30		1	-	-	-
PZ34bis	0.20		1	-	-	-
PZ35	0.35		1	-	-	-
PZ36	1.00		1	-	-	-
TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto filtrante]						

Regime delle pressioni neutre

Le indagini eseguite in situ hanno evidenziato, come riportato in tabella seguente la presenza di falda sotterranea a circa 15 m di profondità da piano campagna.

SONDAGGIO	TIPO DI PIEZOMETRO	PROFONDITA' (m da pc)	DATA DI INSTALLAZ.	LETTURE PIEZOMETRICHE	
				metri da p.c.	Data
S6	tubo aperto	20.00	12/06/2015	14.89	10/07/2015

Laboratorio indagini campagna 2015:

Nelle seguenti tabelle si riportano i risultati delle prove di laboratorio:

prove di laboratorio nei terreni:

- analisi granulometriche;
- limiti di Atterberg,
- determinazione peso di volume naturale;
- determinazione contenuto naturale d'acqua;
- prove di taglio diretto;

prove di laboratorio nelle rocce:

- determinazione peso di volume naturale;
- prove a compressione monoassiale;
- prove di Point Load Test.

Tabella 3 – Laboratorio campagna 2015 – Bonorva Sud

Sondaggio	-	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015
Campione	-	L11	L12	L13	L14	spt1	spt1	spt2	CR1	L11	L12	L13	L14		
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	GS	GS	GS	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba
Prof.	m	0,80	4,20	9,60	15,20	2,60	6,15	4,25	7,15	9,85	13,65	17,60			
Granulometria															
G	%						58,0	91,0	59,0						
S	%						30,0	7,0	14,0						
L +A	%						12,0	2,0	16,0						
L	%						12,0	2,0							
A	%						0,0	0,0							
Limiti di Atterberg															
W _L	%								64,2						
W _P	%								29,0						
I _p	-								0,89						
I _p	%								35,2						
Caratteristiche fisiche															
γ_N	kN/m ³						24,7		17,0						
W _N	%								32,9						
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)															
E _{50d}	kPa														
c _v	m ² /s														
c _v	-														
Resistenza a compressione monossiale															
q _v	MPa						71,1								
Resistenza non drenata															
(TX-UU) c _v	kPa														
Resistenza drenata															
(TD) c	kPa								0,0						
(TD) f	°								38,4						
Point Load Test															
Is	MPa	4,0	4,2	3,9	3,3	2,9	4,3	6,0	0,3	0,4	0,2	7,2	6,5	6,2	
Sondaggio	-	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S6Pz-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015	S7-2015
Campione	-	L13a	L13b	L13c	L13d	L4a	L4b	L4c	L2a	L2b	L2c	L4a	L4b	L4c	
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba
Prof.	m	9,40	9,48	9,56	9,64	15,00	15,27	15,37	9,75	9,83	9,91	17,44	17,52	17,59	

5.2 Svincolo di Bonorva Nord

Per l'adeguamento e messa in sicurezza della SS 131 "Carlo Felice", sono state eseguite le seguenti campagne geognostiche:

- indagini pregresse:
 - campagna geognostica del 1992 ing. Piero Porcu;
 - campagna geognostica del 1998 Micropali s.a.s.;
 - campagna geognostica del 1998 Fondedile s.r.l.;
 - campagna geognostica del 1998 Sardadrill s.r.l.;
- indagini a base del P.D.: campagna geognostica del 2015
- indagini a base del P.E.: campagna geognostica del 2017.

5.2.1 Indagini geognostiche pregresse

Le indagini pregresse che si sono succedute dal 1992 al 1998, sono consistite in indagini in sito (sondaggi e prove penetrometriche statiche) e prove di laboratorio; in particolare nella seguente tabella vengono citate le indagini più vicine alle opere in progetto e quindi utilizzate per definire la stratigrafia ed i parametri geotecnici.

Per la **campagna geognostica del 1992** (ing Piero Porcu, eseguite da Cieffe di Cagliari) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 4):

- 3 sondaggi a carotaggio continuo.
- Nel corso della campagna geognostica del 1992 sono state svolte le seguenti attività:
 - rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
 - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - prelievo di campioni rimaneggiati;
 - rilievo del livello di falda a termine sondaggio.

Tabella 4 – Indagini in sito campagna 1992 (ing. Piero Porcu) – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	Livello falda [m]
S7	20,5	3	5	9,2
S8	21,0	2	4	13,1
S9	20,0	2	3	12,5

Laboratorio campagna 1992 (ing. Piero Porcu):

Nelle seguenti tabelle si riportano i risultati delle prove di laboratorio:

- prove di laboratorio nei terreni:
- analisi granulometriche;
 - limiti di Atterberg,
 - determinazione peso di volume naturale;
 - determinazione contenuto naturale d'acqua;
 - prove di taglio diretto.

Tabella 5 – Laboratorio campagna 1992 (Ing. Piero Porcu) – Bonorva Nord

Sondaggio	-	S8-1992	S8-1992	S9-1992	S9-1992	S7-1992	S7-1992	S7-1992
Campione	-	A	B	A	B	A	B	C
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	LAS	M	SI	SI	SI	SI	SI
Prof.	m	1,35	3,90	3,45	5,50	1,20	2,90	4,10
Granulometria								
G	%	5,0	46,2	1,0		0,7	0,2	
S	%	7,0	11,4	26,4		16,1	15,7	
L+A	%	88,0	42,4	72,6		83,2	84,1	
L	%							
A	%							
Limiti di Atterberg								
W _L	%					36,0		
W _P	%					17,0		
I _p	-					1,21		
I _p	%					17,0		
Caratteristiche fisiche								
γ_N	kN/m ³					20,0	19,0	19,0
w _N	%					15,5		18,6
Resistenza a compressione monoassiale								
σ_c	MPa							
Resistenza drenata								
(TD) c	KPa					12,0	56,0	24,0
(TD) f	°					39,5	28,6	32,5

Per la campagna geognostica del 1998 Sardadrill s.r.l. sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 6):

- 2 sondaggi a carotaggio continuo.
 - basi sismiche a rifrazione A, B, C, D, E, (onde sismiche longitudinali Vp).
- Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state svolte le seguenti attività:
- rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
 - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - prelievo di campioni rimaneggiati;

Tabella 6 – Indagini in sito campagna 1998 (Sardadrill s.r.l.) – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]
S5	18.0	1	3
S6	20.0	1	3
S35	20.0	-	2
S36	20.0	-	3

Le 5 basi sismiche a rifrazione sono state disposte nello svincolo di Bonorva nord, partendo dal settore meridionale in prossimità del sondaggio S26 e proseguendo verso nord fino al sondaggio S35. Le basi sono nominate in successione con le lettere da A ed E e sono consecutive fra loro. Lo spessore della coltre superficiale è nell'ordine dei 5 m con Vp compresa fra 600 e 800 m/s; localmente è assente (base C e in parte D). Il substrato tufaceo ha velocità maggiori si 3000 m/s.

Laboratorio campagna 1998 (Sardadrill s.r.l.):

Nelle seguenti tabelle si riportano i risultati delle prove di laboratorio:

- analisi granulometriche;
- limiti di Atterberg,
- prove di Point Load Test.

Tabella 7 – Laboratorio campagna 1998 (Sardadrill s.r.l.) - Bonorva Nord

Sondaggio	-	S5	S5	S6	S6	S6	S6	S5
Campione	-	L1	L2	L1	L2	L3	L3	c1
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M	M	M	M
Prof.	m	3.00	10.00	5.00	10.00	15.00	15.00	9.00

Granulometria									
G	%		0.3						0.0
S	%		6.8						9.8
L +A	%		92.9						90.2
L	%								
A	%								

Limiti di Atterberg									
W _L	%		39.0						32.0
W _p	%		28.0						30.0
I _p	%		11.0						2.0

Point Load Test									
IS(50)	MPa	3.3	0.1	0.1	2.6	2.6			
Sondaggio	-	S35-1998	S36-1998	S36-1998	S35-1998	S36-1998			
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim			
Unità	-	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba			
Prof.	m	10.00	5.50	5.50	5.00	10.00			

Point Load Test									
IS(50)	MPa	2.0	0.5	0.2	0.8	1.7			

Per la campagna geognostica del 1998 (Fondedile s.r.l.) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 8):

- 5 sondaggi a carotaggio continuo;
- 1 prova penetrometrica statica CPT.

Nel corso della campagna geognostica del 1998 (Fondedile s.r.l.) sono state svolte le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- prelievo di campioni rimaneggiati;
- rilievo del livello di falda a 24 ore da fine esecuzione sondaggio, con indicazione dell'eventuale livello rilevato sulla stratigrafia del sondaggio.

Tabella 8 – Indagini in sito campagna 1998 (Fondedile s.r.l.) – Bonorva Nord

Sondaggio / CPT	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]
S7	30.0	1	1
S9	30.0	1	-
S11	30.0	1	1
S15a	30.0	2	-
S26a	28.0	1	-
PP3	1.4	-	-

Nota: falda assente in tutti i sondaggi

Laboratorio campagna 1998 (Fondedile s.r.l.):

Nelle seguenti tabelle si riportano i risultati delle prove di laboratorio:

- peso di volume naturale;
- prove di taglio diretto.

Tabella 9 – Laboratorio campagna 1998 (Fondedile s.r.l.) - Bonorva Nord

Sondaggio	-	S11-1998-FE	S7-1998-FE	S26a-1998-FE
Tipo	-	rim	rim	rim
Unità	-	LAS	LAS	GS
Prof.	m	1,35	1,35	1,50

Caratteristiche fisiche				
γ_n	kN/m ³	17,4	17,1	17,6
Resistenza drenata				
(TD) c	kPa	17,7	23,5	7,9
(TD) f	°	32,0	27,3	34,6

Per la campagna geognostica del 1998 (Micropali S.a.s.) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 10):

- 7 sondaggi a carotaggio continuo;
 - 4 prove penetrometriche statiche.
- Nel corso della campagna geognostica del 1998 (Micropali S.a.s.) sono state svolte le seguenti attività:
- rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
 - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - prelievo di campioni rimaneggiati;
 - rilievo del livello di falda a 24-48 ore da fine esecuzione sondaggio, con indicazione dell'eventuale livello rilevato sulla stratigrafia del sondaggio.

Tabella 10 – Indagini in sito campagna 1998 (Micropali s.a.s.) – Bonorva Nord

Sondaggio / CPT	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]
S28	40.0	1	-
S28a	15.0	-	1
S29	30.0	-	-
S30	45.0	1	1
S32	35.0	2	-
S33	20.0	2	-
S34	25.0	3	2
PP1	1.8	-	-
PP2	2.6	-	-
PP3	4.8	-	-
PP4	1.8	-	-

Nota: falda assente in tutti i sondaggi

Laboratorio indagini campagna 1998 (Micropali s.a.s.):

prove di laboratorio nei terreni:

- peso di volume naturale;
 - classificazione terre CNR UNI;
 - prove di taglio diretto;
 - analisi granulometriche;
 - contenuto naturale d'acqua;
- prove di laboratorio nelle rocce:
- prove a compressione monoassiale;
 - prove di Point Load Test.

Tabella 11 – Laboratorio campagna 1998 (Micropali s.a.s.) – Bonorva Nord

Sondaggio	-	S28A	S34	S34	S30
Campione	-	1.00	2.00	1.00	1.00
Tipo	-	rim	rim	rim	rim
Unità	-	LAS	Ba	Ba	LAS
Prof.	m	2.35	15.35	4.50	4.50
Granulometria					
G	%	13.3	0.5	8.4	
S	%	32.3	23.2	73.9	
L +A	%	54.4	76.3	17.7	
L	%				
A	%				
Limiti di Atterberg					
W_L	%		40.0		
W_P	%		16.0		
I_p	-				
I_p	%		26.0		
Caratteristiche fisiche					
γ_N	kN/m³	17.5	15.6	18.8	18.8
w_N	%	16.6		24.9	21.8
Resistenza a compressione monoassiale					
q_c	MPa				
Resistenza non drenata					
(TX-UU) c _u	kPa				
(TX-ELL) c _u	kPa				
Resistenza drenata					
(TD) c	kPa	39.2	31.4		19.6
(TD) f	°	31.0	28.6	37.6	30.2
Sondaggio	-	S30	S30	S30	S30
Campione	-	E7	E8	E10	E12
Tipo	-	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M
Prof.	m	23.80	25.10	29.70	32.70
					34.10
					36.10
					39.10
					40.40
					13.30
					15.10
					20.15
Resistenza a compressione monoassiale					
q_c	MPa	9.5	9.0	10.1	11.0
					10.5
					10.6
					9.9
					8.6
					10.1
					10.5
					9.9
Sondaggio	-	S28A	S28A	S28A	S29
Campione	-	D1	D2	D3	D4
Tipo	-	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M
Prof.	m	6.20	9.20	11.90	12.85
					5.70
					5.90
					13.15
					17.80
					18.85
					25.80
					27.30
					28.70
Resistenza a compressione monoassiale					
q_c	MPa	9.2	9.4	8.5	10.2
					18.6
					23.5
					20.0
					19.9
					8.4
					9.1
					9.0
					8.7
Sondaggio	-	S32	S32	S32	S32
Campione	-	A2	A3	A5	A6
Tipo	-	rim	rim	rim	rim
Unità	-	Ba	Ar	Ar	Ar
Prof.	m	2.30	9.90	18.15	18.45
					23.90
					28.40
					29.15
					32.70
					33.30
					33.70
Resistenza a compressione monoassiale					
q_c	MPa	48.2	9.6	9.1	8.6
					10.0
					9.3
					9.7
					11.8
					12.4
					10.0

Sondaggio	-	S33	S33	S33	S33	S33	S33	S33	S33	S33	S33	S34	S34
Campione	-	1.00	2.00	4.00	6.00	7.00	10.00	12.00	14.00	B3	B5		
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	Ba	Ba	Ba
Prof.	m	8.40	8.70	11.60	12.40	12.60	15.55	17.90	19.90	12.40	20.55		

Resistenza a compressione monoassiale												
σ_c	MPa	8.4	8.1	9.2	8.3	8.9	14.5	13.3	22.6	2.5	6.8	

Sondaggio	-	S28	S28	S28	S28	S28	S28	S28	S28	S28	S28	S32	S32	S32	S33	S33
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	Ba	Ar	C	C	M
Prof.	m	5.20	5.60	12.30	15.50	22.30	30.30	33.50	2.10	14.70	23.60	32.60	10.80	11.85		

Point Load Test														
IS(50)	MPa	0.8	0.9	0.4	1.1	1.0	0.8	0.6	3.2	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4

Sondaggio	-	S33	S33	S33	S33	S34	S34	S34	S34	S29	S29	S29	S29	S29	S29	S30	S30	S30	S30	S30	S30	S30	S30	
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M	Ba	Ba	Ba	Ba	M	M	M	M	M	C	C	M	M	M	M	M	M	M	M
Prof.	m	14.20	14.40	15.85	18.10	10.85	12.20	20.10	5.50	14.85	20.10	20.30	24.85	25.20	13.10	13.50	15.30	25.30	29.90					
Point Load Test	IS(50)	MPa	1.1	1.0	1.4	1.5	3.4	0.2	0.4	1.3	1.5	0.5	1.1	0.5	1.1	1.0	0.8	0.9	0.7	1.1				

(*) segue da pagina precedente.

5.2.2 Indagini geognostiche a base del PD del 2015

Dalla ditta Sondedile s.r.l. sono stati eseguite le seguenti indagini:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo denominati S9, S10, S11, S24.
- n. 3 pozzetti geognostici (Pz37, Pz38, Pz39) con prelievo di un campione rimaneggiato e una prova di carico su piastra.

Dalla ditta Progeo s.r.l. è stata eseguita l'indagine sismica consistita in:

- n. 1 base sismica a rifrazione: (LS7).

Nel corso dei sondaggi sono state svolte le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- prelievo di campioni rimaneggiati;
- prove di Pocket Penetrometer nei livelli coesivi.

Tabella 12 – Indagini in sito campagna 2015 – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]
S9	23.8	3	4	2	4
S10	20.0	1	1	-	2
S11	40.0	2	5	1	2
S24	18.7	2	4	-	4
PZ37	0.7	-	1	-	-
PZ38	1.4	-	1	-	-
PZ39	2.0	-	1	-	-

Indagini sismiche

Nelle seguenti figure è mostrata l'ubicazione della sezione LS7 ed i risultati delle velocità delle onde di taglio (V_s) che mostrano valori abbastanza bassi, indice di un materiale probabilmente granulare a ridotto addensamento. Sul lato meridionale della sezione (fine sezione L7) appare un elemento a maggiore velocità ($V_p \sim 1400$ m/s e $V_s \sim 540$ m/s) che potrebbe appartenere alla formazione più rigida sottostante. L'aspetto della sezione indica la possibile presenza di una forma morfologica sepolta (paleovalveo) nel quale si ritrovano i parametri elastici più ridotti ($V_p < 1.0$ e $V_s < 0.35$ km/sec) con uno spessore che giunge ad oltre 10 m. Come riferimento per la stratigrafia si può considerare che il sondaggio S11 è circa in corrispondenza del punto 12.

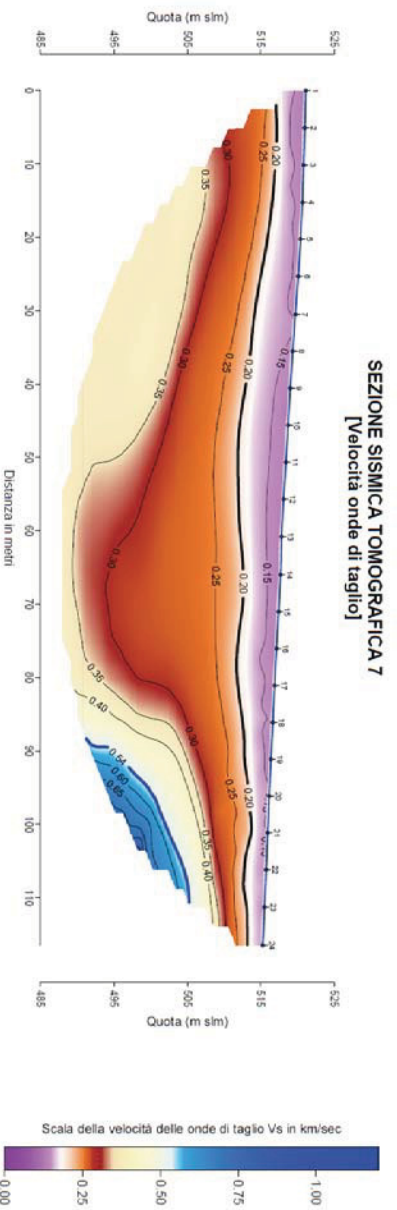
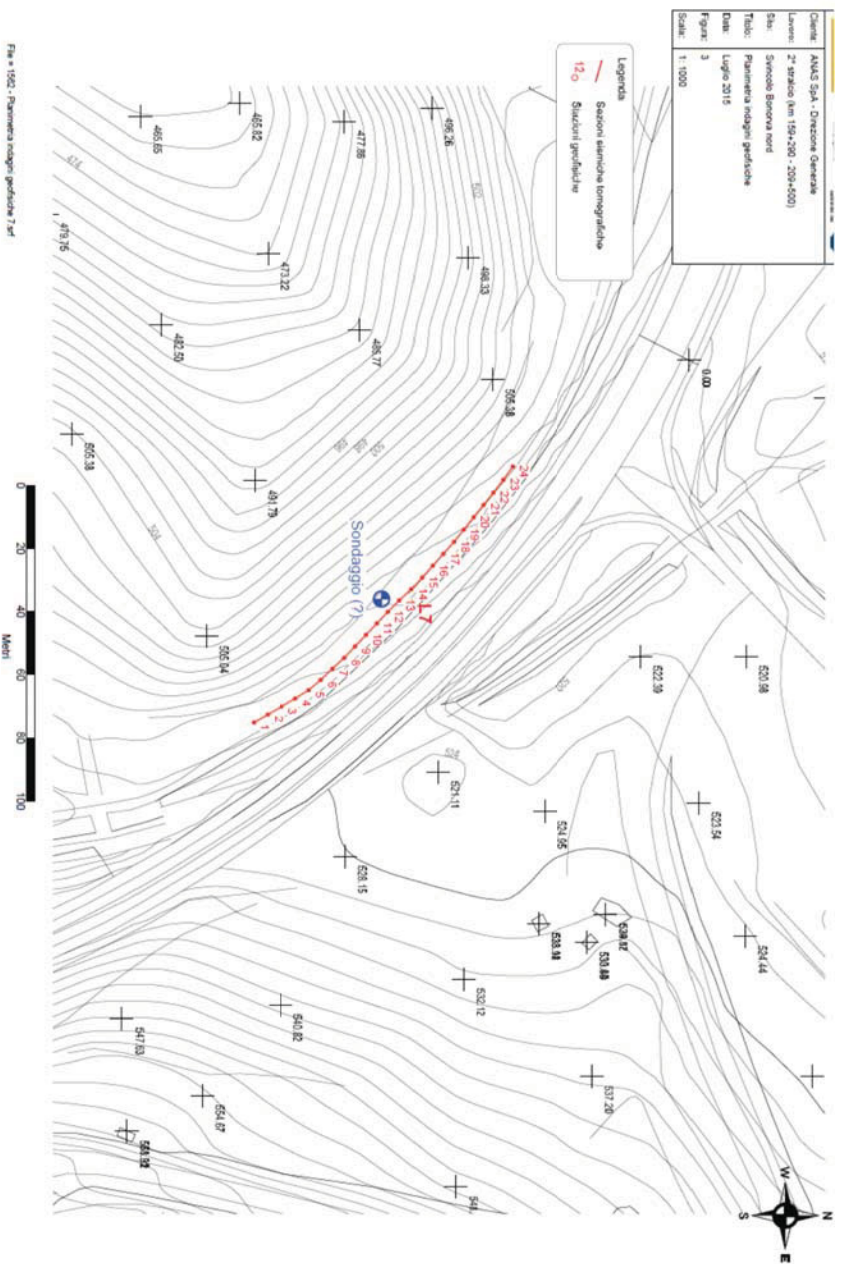


Figura 1: Indagine sismica LS7

Prove di laboratorio

In laboratorio sono state eseguite le prove, i cui risultati sono riportati nelle seguenti tabelle:

- prove di laboratorio nei terreni:
 - determinazione del peso di volume naturale;
 - analisi granulometriche;
 - determinazione dei limiti di consistenza e del contenuto naturale d'acqua;
 - classificazione terre CNR UNI;
 - prove di taglio diretto;
 - prova triassiale non consolidata non drenata.
- prove di laboratorio nelle rocce:
- determinazione del peso di volume naturale;
 - prove a compressione monoassiale ;
 - prove di Point Load Test.

Tabella 13 – Laboratorio campagna 2015 – Bonorva Nord

Sondaggio	-	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S10-2015	S10-2015	S10-2015	S10-2015
Campione	-	C11	C22	sp11	sp13	CR1	LI1	LI2	LI3	LI4	sp11	LI1	LI2
Tipo	-	ind	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	m	LAS	LAS	GS	GS	LAS	Ar	Ar	Ar	M	LAS	C	C
Prof.	m	4,79	10,65	3,20	12,00	9,55	14,30	16,15	19,40	21,65	2,70	4,60	6,10
Granulometria													
G	%	0,0	0,0	29,0	73,0	0,0					4,0		
S	%	9,0	29,0	14,0	13,0	24,0					22,0		
L+4	%	97,0	71,0	57,0	14,0	76,0					74,0		
L	%	65,0	48,0		14,0						51,0		
A	%	26,0	23,0		0,0						23,0		
Limiti di Atterberg													
W_l	%	57,0	47,0			47,4					41,8		
W_p	%	27,0	27,0			27,5					22,0		
I_p	-	1,03	1,25			1,01							
I_p	%	30,0	20,0			19,9					19,8		
Caratteristiche fisiche													
γ_N	kN/m ³	19,0	18,8			17,6						22,6	24,3
W_N	%	26,0	22,0			27,3							
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)													
E_{ult}	kPa	8845	15607										
c_v	mm ² /s	4,80E-07											
c_v	-	8,00E-02											
Resistenza a compressione monoassiale													
σ₁	MPa											25,6	42,1
Resistenza non drenata													
(TX-U)₀	kPa	183,0											
Resistenza drenata													
(TD)₀	kPa		34,3			17,3							
(TD)_f	°		35,6			28,1							

Sondaggio	-	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015
Campione	-	spt1	spt2	Cl1	CR1	CR2	CR3	L11	L12	spt1	CR1	CR2			
Tipo	-	rim	rim	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	Ra	Ra	Ra	Ra	Ar	Ar	Ar	Ar	GS	GS	GS	GS	GS	GS
Prof.	m	1,50	4,70	3,15	9,55	26,85	31,50	35,80	39,35	1,70	0,75	2,85			

Granulometria															
G	%	3,0	11,0	3,0	21,0	8,0	13,0								
S	%	45,0	27,0	28,0	20,0	34,0	27,0								
L+A	%	52,0	62,0	69,0	59,0	68,0	60,0								
L	%	38,0	45,0	50,0	38,0	36,0	39,0								
A	%	14,0	17,0	19,0	21,0	22,0	21,0								

Limiti di Atterberg															
W _L	%	34,9	39,3	44,0	30,3	32,0	47,6								
W _p	%	27,5	23,5	23,0	21,6	22,5	20,9								
L	%	-	-	1,10	-	-	-								
I _p	%	7,4	15,8	21,0	8,7	9,5	26,7								

Caratteristiche fisiche															
γ _N	kN/m ³			18,6	17,2	17,2									
W _N	%			21,0											

Prove edometriche (Valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{u0}	kPa			8400											
σ _v	m ² /s														
σ _v	-														

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa														
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) _c	kPa														
----------------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza drenata

(TD) _c	kPa			21,0	1,0	0,0									
(TD) _f	°			30,2	32,6	34,1									

Sondaggio	-	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S11-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015
Campione	-	spt1	spt2	Cl1	CR1	CR2	CR3	L11	L12	spt1	CR1	CR2			
Tipo	-	rim	rim	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	Ra	Ra	Ra	Ra	Ar	Ar	Ar	Ar	GS	GS	GS	GS	GS	Ar
Prof.	m	1,50	4,70	3,15	9,55	25,85	31,50	35,80	39,35	1,70	0,75	2,85			

Granulometria															
G	%	3,0	11,0	3,0	21,0	8,0	13,0								
S	%	45,0	27,0	28,0	20,0	34,0	27,0								
L+A	%	52,0	62,0	69,0	59,0	68,0	60,0								
L	%	38,0	45,0	50,0	38,0	36,0	39,0								
A	%	14,0	17,0	19,0	21,0	22,0	21,0								

Limiti di Atterberg

W _L	%	34,9	39,3	44,0	30,3	32,0	47,6								
W _p	%	27,5	23,5	23,0	21,6	22,5	20,9								
L	%	-	-	1,10	-	-	-								
I _p	%	7,4	15,8	21,0	8,7	9,5	26,7								

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³			18,6	17,2	17,2									
W _N	%			21,0											

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{u0}	kPa			8400											
σ _v	m ² /s														
σ _v	-														

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa														
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) _c	kPa														
----------------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza drenata

(TD) _c	kPa			21,0	1,0	0,0									
(TD) _f	°			30,2	32,6	34,1									

Point Load Test

IS(50)	MPa														
--------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(*) segue da pagina precedente.

Sondaggio	-	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S11-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015
Campione	-	L2	L3	L4	L2b	L2a	L2d	L1f	L1a	L2a	L2b	L2c	L3a	L3b	L3c
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	C	M	M	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	C	C	C	M	M	M
Prof.	m	8.10	14.15	17.25	16.08	16.00	16.00	16.23	35.71	8.75	8.83	8.91	14.00	14.08	14.16
Resistenza a compressione monoassiale															
σ_c	MPa														
Point Load Test															
IS(50)	MPa				4.1	2.1	1.2	0.7	1.4	1.2	1.6	0.6	0.8	0.8	

Sondaggio	-	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015	S24-2015
Campione	-	L3d	L3e	L4a	L4b	L4c	L4d	L4e	L4f	L4f	L4f
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Prof.	m	14.24	14.32	17.00	17.08	17.16	17.24	17.32	17.40	17.40	17.40

Resistenza a compressione monoassiale															
σ_c	MPa														

Point Load Test															
IS(50)	MPa	0.2	0.8	1.7	1.8	0.9	0.1	0.1	0.2						

Sondaggio	-	PZ34-2015	PZ34bis-2015	PZ35-2015	PZ36-2015	PZ37-2015	PZ38-2015	PZ39-2015
Campione	-	CR1	CR1	CR1	CR1	CR1	CR1	CR1
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	Gs	TV	Gs	Gs	GS	LAS	GS
Prof.	m	0.20	0.10	0.20	0.75	0.40	0.70	0.55
Granulometria								
G	%	4.0	1.0	62.0			25.0	17.0
S	%	14.0	12.0	14.0			36.0	56.0
L +A	%	83.0	87.0	24.0			38.0	27.0
L	%						28.0	5.0
A	%						10.0	22.0
Limiti di Atterberg								
W _L	%	57.9	67.9	55.7	43.9	38.8	36.7	63.4
W _p	%	30.9	35.8	31.9	25.6	30.1	27.0	26.7
I	-							
I _p	%	27.0	32.1	23.8	18.3	8.7	9.7	36.7

(*) segue da pagina precedente.

5.2.3 Indagini geognostiche a base del PE del 2017

Dalla ditta Dr Antonello Angius (Cagliari) sono stati eseguite le seguenti indagini:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo di profondità da 15 a 30 m.

Dalla ditta Geoservice s.a.s. è stata eseguita l'indagine sismica consistita in:

- n. 5 stendimenti sismici a rifrazione con restituzione tomografica in onde P e S: (BS1, BS2, BS3, BS5, BS6).

Nel corso dei sondaggi sono state svolte le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico con descrizione dei materiali intercettati, indicazione di RQD in roccia, documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici;
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- prelievo di campioni per prove di laboratorio.

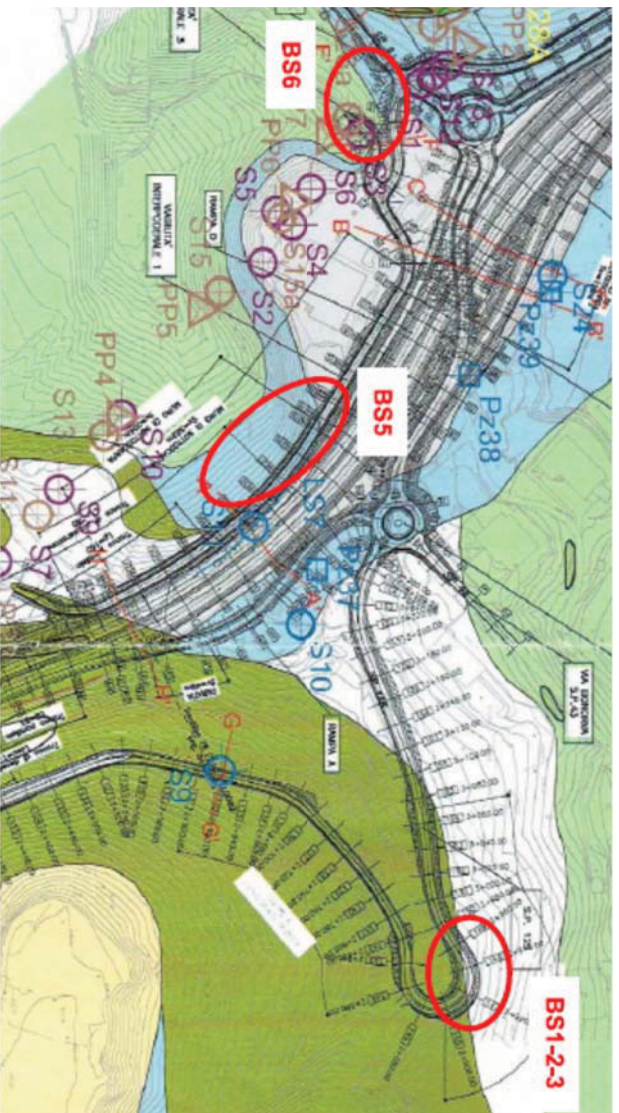
Tabella 14 – Indagini in sito campagna 2017 – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]
S1	29.8	4	3	-	2
S2	15.0	2	1	-	4
S3	18.4	4	-	1	3
S4	25.0	3	2	1	3
S5	27.0	7	-	-	3

Indagini sismiche

Le indagini sismiche sono state localizzate in tre zone, come si evince dalla seguente figura. Dalle indagini sismiche eseguite in generale si possono distinguere tre sismostrati a differenti velocità:

- Sismostrato A: terreni di copertura con spessori compresi tra 0.5 e 8 m circa e velocità $V_p = 500 \div 1000$ m/s, $V_s = 250 \div 600$ m/s;
- Sismostrato B: unità delle rocce fratturate con velocità mediamente pari a $V_p = 1500$ m/s e $V_s = 750$ m/s;
- Sismostrato C: unità delle rocce integre o poco fratturate con velocità mediamente pari a $V_p > 1800$ m/s e $V_s > 900$ m/s.



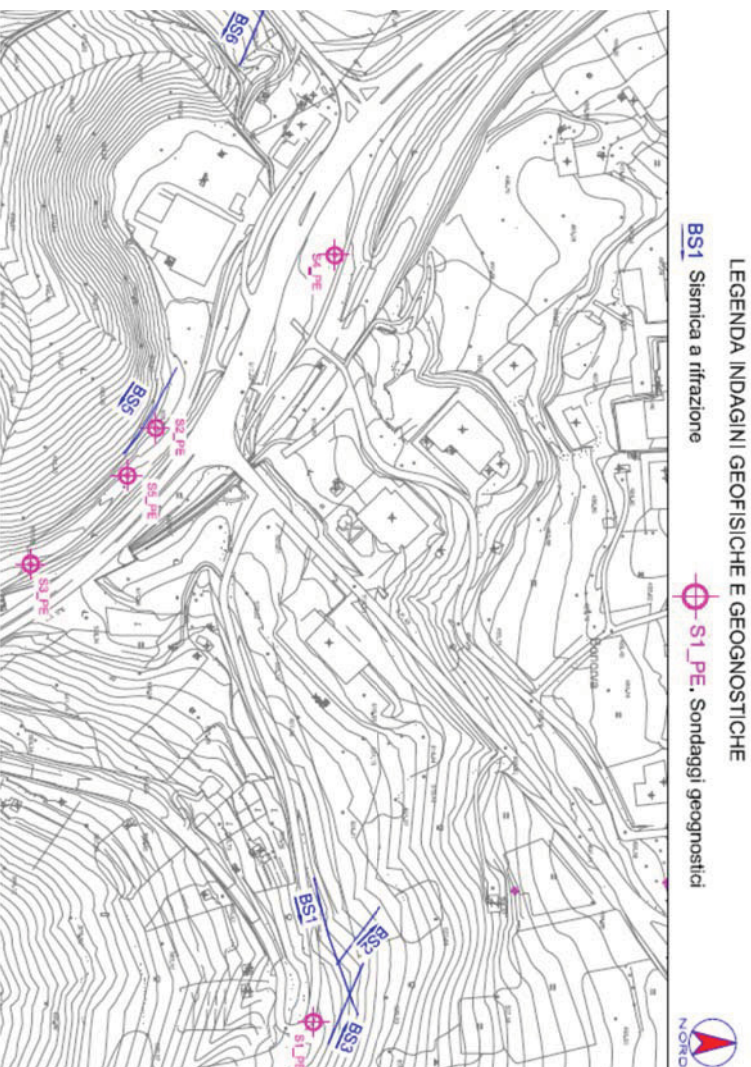


Figura 2: Indagine sismica 2017

Prove di laboratorio

In laboratorio sono state eseguite le prove, i cui risultati sono riportati nelle seguenti tabelle:
prove di laboratorio nei terreni:

- determinazione del peso di volume naturale;
 - analisi granulometriche;
 - determinazione dei limiti di consistenza e del contenuto naturale d'acqua;
 - classificazione terre CNR UNI;
 - prove di taglio diretto;
 - prove ad espansione laterale libera;
 - prova triassiale non consolidata non drenata.
- prove di laboratorio nelle rocce:
- determinazione del peso di volume naturale;
 - prove a compressione monoassiale ;
 - prove di Point Load Test.

Tabella 15 – Laboratorio campagna 2017 – Bonorva Nord

Sondaggio	-	S1-2017	S1-2017	S1-2017	S2-2017	S3-2017	S4-2017	S4-2017	S4-2017	S4-2017	S5-2017	S5-2017	S5-2017	S5-2017
Campione	-	CR1	CR2	CR3	CR1	CI1	CR1	CI1	CR2	CR1	CR1	CR2	CR3	CR3
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	LAS	LAS	LAS	Ra	LAS	Ra	LAS	LAS	LAS	Ra	Ra	Ra	Ra
Prof.	m	2,45	5,60	8,55	2,60	4,30	2,65	4,50	5,65	4,60	8,25	21,25		
Granulometria														
G	%	16,6	14,7		56,3	6,1	62,4	34,8	40,1		7,2	49,6		
S	%	19,5	21,5		29,5	34,1	29,2	28,5	25,2		33,5	32,1		
L +A	%	63,9	63,8		14,2	59,8	18,4	36,7	34,7		59,3	18,3		
L	%	43,8			12,4	41,3	15,0	25,6			41,5			
A	%	20,1			1,8	18,5	3,4	11,1			17,8			
Limiti di Atterberg														
W_L	%	53,6	51,9	40,0	26,0	41,9	33,2	48,1	54,0	38,8	41,3	29,5		
W_P	%	23,2	22,2	31,1	21,8	25,9	24,2	24,6	26,8	23,4	24,7	24,7		
I_p	-	1,07		2,15		1,16		0,94						
I_p	%	30,4	29,7	8,9	4,2	16,0	9,0	23,5	27,2	15,4	16,6	4,8		
Caratteristiche fisiche														
γ_N	kN/m ³	17,8		18,2		19,4		18,2						
w_N	%	21,2		20,9		23,4		25,9						
Resistenza a compressione monoassiale														
q_d	MPa													
Resistenza non drenata														
(TX-UU) c_u	kPa													
(TX-EL) c_d	kPa			32,5										
Resistenza drenata														
(TD) c	kPa	36,4	1,4		35,0	38,8		42,0	34,0	19,7	11,5	27,9		
(TD) f	°	19,7	28,1		37,9	29,0		22,0	25,8	28,0	31,3	37,2		
Sondaggio														
Cam piane	-	S1-2017	S1-2017	S2-2017	S2-2017	S3-2017	S3-2017	S4-2017	S2-2017	S2-2017	S2-2017	S2-2017		
Tipo	-	CL1	CL2	CL1	CL3	CL1	CL3	CL1	CL2	CL2b	CL4			
Unità	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim			
Prof.	m	10,25	16,20	4,95	9,15	7,10	18,10	8,75	7,00	7,10	11,30			
Caratteristiche fisiche														
γ_N	kN/m ³	18,1	18,4	24,1	23,7	22,5	23,6	24,1						
w_N	%													
Resistenza a compressione monoassiale														
q_s	MPa	11,0	16,5	56,5	60,9	41,3	66,2	58,0						
Point Load Test														
IS(50)	MPa								3,5	3,3	2,9			

Sondaggio	-	S3-2017	S3-2017	S4-2017	S4-2017	S4-2017	S4-2017	S4-2017
Campione	-	CL2	CL2	CL2	CL2	CL2	CL2	CL3
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	C	C	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
Prof.	m	8,20	8,40	12,20	12,30	12,40	12,40	17,50
Caratteristiche fisiche								
γ_N	KN/m ³							
w_N	%							
Resistenza a compressione monoassiale								
q_d	MPa							
Point Load Test								
IS(50)	MPa	3,2	2,7	1,2	0,6	1,2		0,5

(*) segue da pagina precedente.

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nei paragrafi seguenti si riporta la caratterizzazione geotecnica delle opere che riguardano i due svincoli di Bonorva Sud e Bonorva Nord, sull'asse principale della S.S. 131, e l'adeguamento, nel tratto da essi sotteso, della S.P. 125.

6.1 Criteri di interpretazione delle indagini

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;
- indagini sismiche.

6.1.1 *Depositi incoerenti*

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità sono stati stimati principalmente sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Per quanto riguarda la stima della densità relativa dalle prove SPT, sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte (correlazioni di Skempton, Gibbs e Holtz, Bazaraa, Terzaghi e Peck).

Stato di addensamento

Correlazione di Skempton

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986), la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{sPT} con la seguente legge:

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

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in tabella seguente

ovo' = pressione verticale efficace alla quota della prova SPT (kg/cm²);

N_{sPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 16 – 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	$(21,7 \cdot 27,5)^{\frac{1+2 \cdot (k_0)_{sc}}{1+2 \cdot (k_0)_{nc}}}$

Nel caso in esame, cautelativamente per le unità incoerenti (GS, Ra, Gs), sono state cautelativamente considerate le costanti empiriche relative a sabbie fini normal consolidate.

Correlazione di Gibbs e Holtz

In accordo a quanto indicato da Gibbs e Holtz (1957) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_r = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(16 + 23 \cdot \sigma'_{vo})}}$$

Correlazione di Bazaraa

In accordo a quanto indicato da Bazaraa (1967) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_r = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{vo})}} \quad \text{per } \sigma'_{vo} \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

$$D_r = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{vo})}} \quad \text{per } \sigma'_{vo} > 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

essendo:

D_r = densità relativa (-);

σ'_{vo} = pressione verticale efficace in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²);

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione.

Correlazione di Terzaghi & Peck

In accordo a quanto indicato da Terzaghi e Peck (1948) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_r = (10.297 + N_{SPT}^{-2.4142}) \cdot (N_{SPT})^2 \cdot 0.0181$$

Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate diverse correlazioni (Bolton;

Schmertmann, De Mello) di seguito illustrate. Generalmente per i terreni in esame, la correlazione di Bolton ha fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio inferiori, rispetto alla correlazione di Schmertmann. Nei grafici dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per terreni incoerenti, cautelativamente si riportano i valori minimi ottenuti dalle due correlazioni (Bolton; Schmertmann). Inoltre è stato anche rappresentato il grafico della correlazione di De Mello, in cui i valori di N_{spt} sono in funzione della tensione verticale efficace in sito.

Correlazione di Schmertmann

L'angolo di resistenza al taglio (φ') stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) correla l'angolo di resistenza al taglio alla densità relativa attraverso la seguente relazione:

$$\varphi' = 38.5 + 0.108 \cdot D_r \quad \text{valida per sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

$$\varphi' = 34.5 + 0.10 \cdot D_r \quad \text{sabbia grossa—media uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi' = 31.5 + 0.115 \cdot D_r \quad \text{sabbia medio-fine uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi' = 28.0 + 0.14 \cdot D_r \quad \text{sabbia fine uniforme}$$

essendo: D_r = densità relativa

Nel caso in esame si è considerata, cautelativamente, per le unità incoerenti (GS, Ra, Cs), la correlazione valida per la sabbia fine uniforme.

Correlazione di Bolton

L'angolo di resistenza al taglio di picco φ' è stato determinato in accordo al metodo proposto da Bolton (1986):

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

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

essendo:

φ' = angolo di attrito di picco riferito a pressioni di 272 kPa (°);

Q = fattore che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle di sabbia, valore consigliato = 10;

φ'_{cv} = 1.4-off' kPa (vedasi Jamickowski et al., 1988; in accordo a quanto proposto da Baligh, 1975, si assume

$\varphi'_{cv} = 1.4 \cdot 272 = 380$ kPa);

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti (vedasi tabella seguente).

Nel nostro caso si assume m=3;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 17 – Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

Condizioni di rottura	m
Tipo prova triassiale di compressione ($\sigma_2 = \sigma_3$)	3
Tipo prova triassiale in estensione o di deformazione piana ($\sigma_2 \neq \sigma_3$)	5

σ_2' = tensione principale efficace intermedia
 σ_3' = tensione principale efficace minore

I valori dell'angolo di attrito ϕ_{cv}' sono stati ricavati in base a quanto indicato nella tabella seguente (Youd, 1972; Stroud, 1988) e sulla base delle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati. Nel caso specifico per l'angolo di attrito ϕ_{cv}' delle unità GS, Ra, Cs, si è assunto $\phi_{cv}' = 30^\circ$.

Tabella 18 – Valori dell'angolo di attrito ϕ_{cv}' per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

Sabbie a spigoli vivi	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie a spigoli arrotondati	$\phi_{cv}' = 38^\circ$ $\phi_{cv}' = 33^\circ$	$\phi_{cv}' = 34^\circ$ $\phi_{cv}' = 30^\circ$

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate, in ordine di importanza:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito;
- dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Il modulo di taglio iniziale (G_0) e quello di Young iniziale (E_0), associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) utilizzando le seguenti correlazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma'_t}{9,81} \cdot (V_s')^2 \quad (\text{kPa})$$

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

essendo:

γ'_t = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m³,

ν = coefficiente di Poisson del terreno (assunto pari a 0.3);

V_s = velocità delle onde di taglio in m/sec.

La velocità delle onde di taglio (V_s) può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove geofisiche in foro di sondaggio o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT attraverso la correlazione di Ohta e Goto (1978) o la correlazione di Yoshida e al. (1988).

Correlazione di Ohta e Goto (1978)

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{50\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/sec)}$$

essendo:

$$C = 53.3;$$

z = profondità dal p.c. in metri;

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 19);

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 20).

Tabella 19 – Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f _A	Olocene	Pleistocene
	1.0	1.3

Tabella 20 – Relazione Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G (funzione della granulometrica del deposito)

f _G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Nel caso in esame, per le unità GS, Ra, Cs, è stato assunto:

$$f_A = 1.3;$$

$$f_G = 1.14.$$

Correlazione di Yoshida et al. (1988)

$$v_s = C \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot (\sigma'_v)^{0.14} \text{ (m/sec)}$$

essendo:

C=56 per sabbie (unità GS, Ra, Cs);

C=60 per ghiaie sabbiose

σ_v' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova.

I moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale (E₀).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale (E_{0p}' = E₀/10).

6.1.2 Depositi coesivi

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito, anche dai risultati delle prove di laboratorio.

Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale e secco;
- contenuti d'acqua naturale;
- limiti di Atterberg.

Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati principalmente sui risultati delle prove di laboratorio che sono essenzialmente prove:

- Taglio diretto per la resistenza in tensioni efficaci;
- Triassiale non consolidata non drenata (TXUU) e prove a compressione assiale semplice (ELL) per la resistenza in condizioni non drenate.

Inoltre, seppur come indicazione, è possibile utilizzare la correlazione proposta da Peck (1953) per i litotipi di natura incoerente che presentano una forte componente limosa. In questo senso l'angolo d'attrito risulta limitatamente influenzato dalla densità relativa per cui si suppone che quello di picco e quello a volume costante in tale caso coincidano:

$$\phi'_p (\text{°}) = \phi'_{\alpha'} (\text{°}) = 0.30 N_{SPT} + 20$$

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata anche dalle prove speditive di Pocket Penetrometer (PP) e/o Torvane (TV) e delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (5.0 \div 5.5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{KPa})$$

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito;
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- da correlazioni di letteratura.

Per quanto concerne le prove sismiche in sito, le caratteristiche di deformabilità vengono individuate con le stesse relazioni precedentemente indicate per i terreni incoerenti. Questi valori sono stati confrontati poi con i risultati derivanti dalle correlazioni per l'interpretazione delle prove in sito SPT.

Il valore del modulo di deformazione elastico (E_v) per terreni coesivi sovraconsolidati può anche essere stimato con la seguente correlazione (Stroud, 1974):

$$E_v = 130 \cdot c_u = 130 \cdot f_1 \cdot N \quad [\text{KPa}]$$

Dove:

E_v = modulo di deformazione operativo (KPa)

c_u = resistenza al taglio non drenata (KPa);

f_1 = fattore in funzione dell'indice di plasticità I_P , (vedasi figura seguente), assunto pari a 5;

N = valori di N_{SPR} .

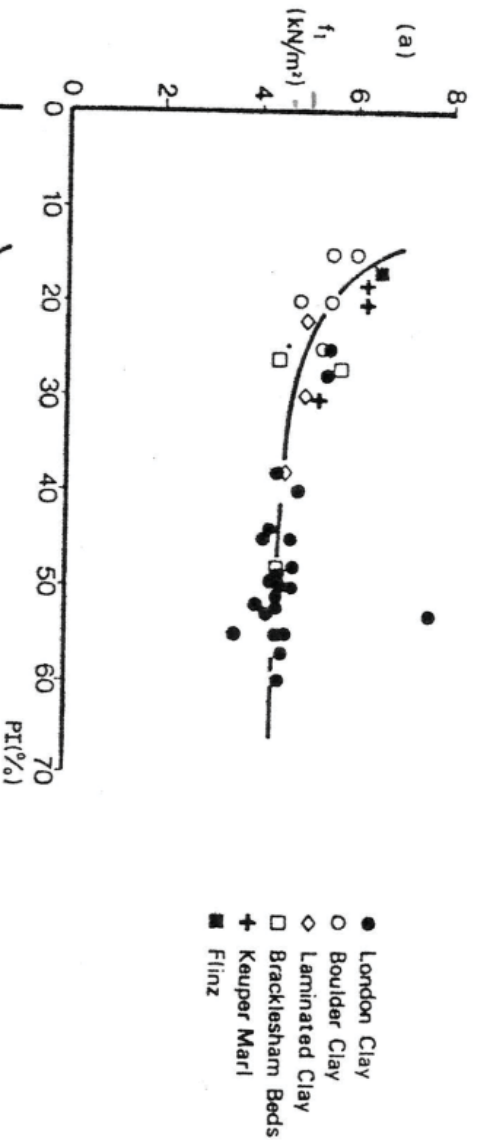


Figura 3: Fattore f_1 in funzione di I_P

Sulla base di quanto riportato in Simpson et al. (1979) il modulo di taglio iniziale (G_0) può essere stimato anche sulla base della seguente equazione:

$$G_0 = (500 \div 700) \cdot c_u \quad (\text{KPa})$$

essendo:

c_u = resistenza al taglio non drenata.

I moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale (E_0).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

Nella valutazione dei cedimenti immediati dei rilevati il modulo di deformazione in condizioni non drenate (E_u) può essere stimato sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976) $E_u = k \cdot c_u$; il coefficiente k è valutato con il grafico di figura seguente:

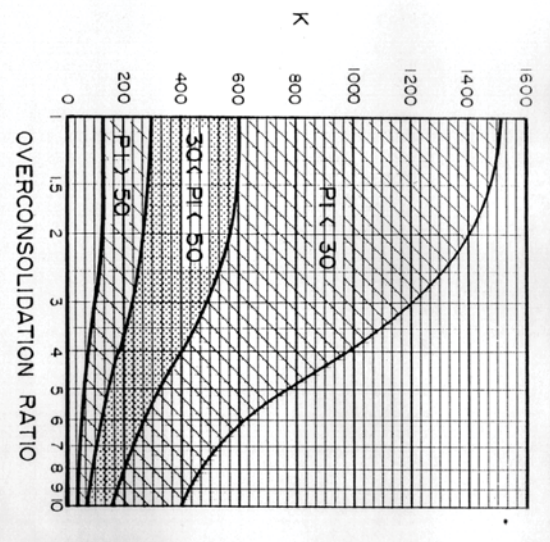


Figura 4: Duncan & Buchigani

Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono determinati dalle prove edometriche di laboratorio e con correlazioni empiriche in funzione del limite liquido (LL), vedasi ad esempio la seguente:

$$cv = 0.009 (LL - 0.1) [cm^2/s] \text{ NAVFAC-DM 7.1. (1971)}$$

Il coefficiente di consolidazione secondaria, è stimato con la correlazione proposta nel NAVFAC-DM 7.1 (1982, vedasi figura seguente), in funzione del contenuto naturale di acqua (wn).

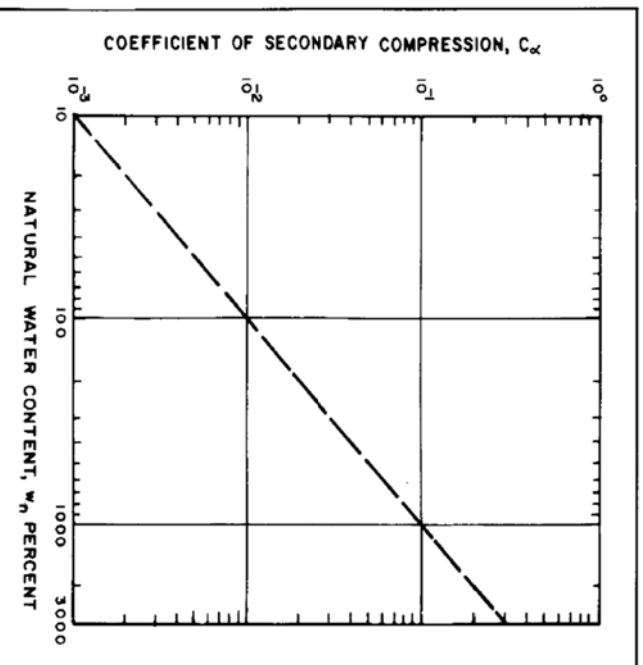


Figura 5: Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n (NAVFAC, 1982)

6.1.3 Materiali lapidei

La resistenza degli ammassi rocciosi dipende sia dalle caratteristiche della roccia intatta, sia dalla posizione, dal numero e dall'orientazione delle discontinuità. L'importanza relativa di questi due fattori è legata al rapporto tra la spaziatura delle discontinuità e l'estensione della zona interessata dall'opera.

Per grado di fratturazione elevato e uniformemente diffuso nell'ammasso, è prassi corrente fare ricorso nella caratterizzazione geotecnica ad un modello di continuo equivalente, ottenuto scalando opportunamente le proprietà in funzione delle caratteristiche e della frequenza delle fratture.

In particolare, Hoek e Brown (2002) hanno proposto un criterio di resistenza per ammassi rocciosi fratturati nel quale compaiono tre parametri:

- σ_{ci} , ovvero la resistenza a compressione uniaassiale della roccia intatta, per caratterizzare la resistenza del materiale lapideo;
 - "m" ed "s", che tengono conto del grado di fratturazione del volume di materiale interagente con l'opera.
- Nel piano delle tensioni principali il criterio di resistenza di Hoek e Brown è espresso dall'equazione:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

La stima del parametro σ_3 è stata effettuata in base alle indicazioni provenienti dalle prove di laboratorio. I parametri "m" ed "s" ed "a" possono essere correlati all'indice "Geological Strength Index" (GSI, Figura 6) secondo le espressioni (Hoek et al., 2002):

$$m = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Risulta semplice, ponendo rispettivamente nella (1) $\sigma_3 = 0$ e $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_t$ ricavare rispettivamente la resistenza a compressione della roccia σ_c e la resistenza a trazione σ_t .

Il valore di mi è stato ricavato da indicazioni di letteratura per rocce simili a quelle ritrovate nel corso delle indagini. Il coefficiente D che varia tra 0 ed 1, e rappresenta quantitativamente il disturbo arrecato alla roccia dalle operazioni di asportazione da scavo e dallo scarico tensionale che ne consegue. Per rocce indisturbate si può porre $D = 0$, mentre per scavi in roccia con mezzi meccanici e senza uso di esplosivi si può porre $D = 0.5$ (Figura 7).

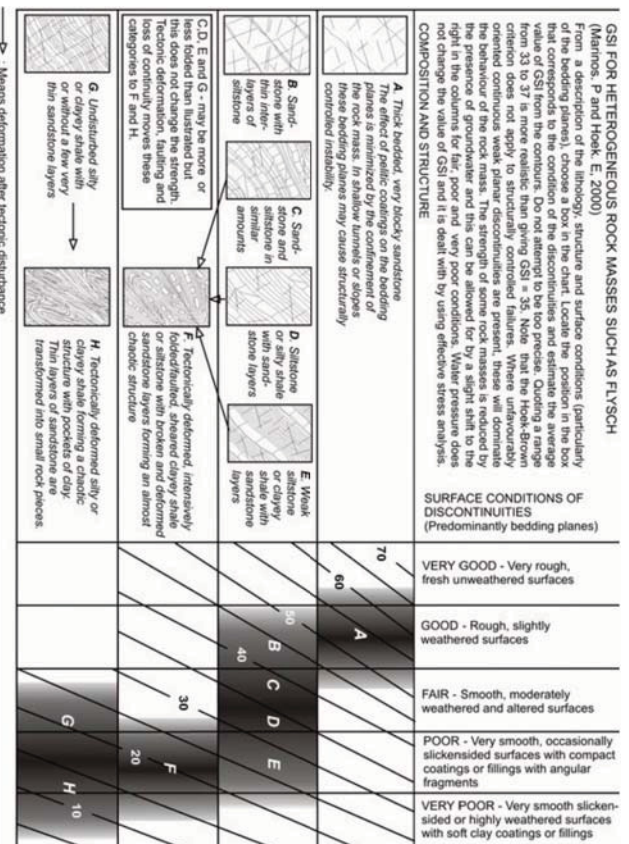


Figura 6: Tabella per la valutazione del GSI




Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$

Figura 7: Tabella per la valutazione del parametro D

I parametri del criterio di rottura di Hoek e Brown possono essere correlati ai valori della coesione e dell'angolo di attrito del criterio di Mohr Coulomb linearizzando (linea blu Figura 8) nel piano delle tensioni principali (σ_1 ; σ_3) il dominio di rottura di Hoek e Brown (linea rossa sempre Figura 8) in un intervallo:

$$\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3, \max}$$

L'angolo d'attrito φ essere in queste ipotesi calcolato come:

$$\varphi = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n}^1)^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n}^1)^{a-1}} \right]$$

e la coesione può essere invece ricavata dall'espressione:

$$c^1 = \frac{\sigma_{ci}^1 \left[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}^1 \right] (s + m_b\sigma_{3n}^1)^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n}^1)^{a-1}}} / \left[(1+a)(2+a) \right]$$

in cui

$$\sigma_{3n}^1 = \sigma_{3\max}^1 / \sigma_{ci}^1$$

Hoek e Brown (2002) indicano un criterio razionale per scegliere il valore adeguato di $\sigma_{3, \max}$ che in generale è funzione del tipo di problema esaminato (stabilità di pendii in roccia o studio del comportamento di una galleria) e della profondità dello scavo (o altezza della scarpata).

Deformabilità

La caratterizzazione del modulo elastico dell'ammasso, viene eseguita integrando i dati sperimentali, con ulteriori dati stimati empiricamente per i provini. La relazione proposta da Serafim e Pereira (1983), modificata da Hoek (2002) prevede che il modulo di elasticità si esprime come:

$$E(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{100}\right)} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$

Successivamente, Hoek e Diederichs (2005), hanno proposto una relazione, recentemente implementata in Roclab, secondo cui c'è una proporzionalità empirica tra il modulo di elasticità della roccia intatta e la tensione di rottura in compressione triassiale della roccia intatta:

$$E_i = MR \sigma_{ci}$$

indicata per i casi in cui non si ha una misura diretta di E_i . Il coefficiente MR_i è interpolato sulla base di un ampio spettro di prove sperimentali ed assume valori differenti in relazione al tipo di roccia.

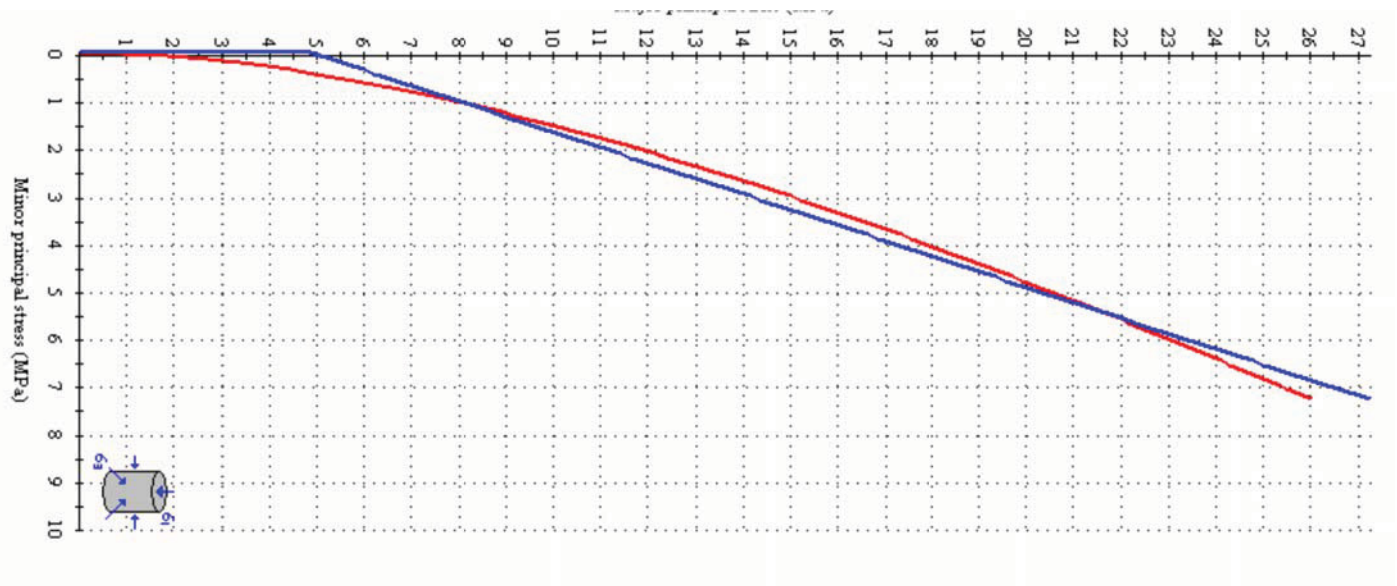


Figura 8: Linearizzazione del dominio di rottura di Hoek e Brown

6.2 Svincolo di Bonorva Sud

6.2.1 Unità geotecniche

Le unità geotecniche intercettate sono le seguenti:

Unità Rv – coltre vegetale: si tratta della coltre di terreno vegetale

Unità Ra – riporto antropico: si tratta del terreno costituente i rilevati stradali esistenti.

Unità Cs - coltre superficiale ghiaioso sabbiosa: si tratta della coltre di alterazione della formazione di base, costituita da materiale prevalentemente incoerente, ghiaia sabbiosa con clasti, ciottoli.

Unità Ba – Basalti di Campeda: substrato costituito da roccia basaltica a struttura vacuolare.

6.2.2 Unità Rv – terreno vegetale

Si tratta della coltre di terreno vegetale con spessore massimo 0.3 – 0.5 m e verrà localmente asportata per la realizzazione delle opere in progetto.

6.2.3 Unità Ra – riporto antropico (rilevato stradale)

Si tratta del terreno costituente i rilevati stradali esistenti.

Per il materiale da rilevato si assumono i seguenti parametri geotecnici di progetto.

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

6.2.4 Unità Cs – coltre superficiale ghiaioso sabbiosa

Si tratta della coltre di alterazione della formazione rocciosa basaltica e quindi è costituita prevalentemente da ghiaia con sabbia, talvolta limosa con clasti basaltici.

Nel sondaggio S7-2015 è stata intercettata fino ad una profondità di 6 m dal p.c., nel sondaggio F19dx fino a 3 m.

In corrispondenza dell'unità sono state eseguite due prove SPT che hanno dato valori tra 30 colpi/30 cm e rifiuto strumentale (vedasi Figura 9).

La densità relativa stimata dalle prove SPT è tra 65 e 70% (vedasi Figura 10).

In corrispondenza dell'unità sono stati prelevati campioni rimaneggiati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si ha (vedasi Figura 17):

- Percentuale di ghiaia tra 4 e 91% (valore medio 54%);
- Percentuale di sabbia tra 7 e 30% (valore medio 17%);
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 2 e 83% (valore medio 28%) di cui argilla tra 0 e 36% (12%) e limo tra 2 e 47% (17%).

In alcuni casi è stato possibile eseguire i limiti di consistenza (vedasi Figura 18) che hanno fornito valori di limite

liquido tra 44 e 64% (media 55%), limite plastico tra 25 e 32% (media 29%) ed indice di plasticità tra 18 e 35% (media 26%).

Per il peso di volume naturale si ha una sola misura che ha dato 17 kN/m³ (vedasi **Figura 16**) e viene assunto come valore di progetto.

Parametri di resistenza

Dalle prove SPT si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio compresi fra 37 e 38° (vedasi **Figura 11**), maggiori di 40° con la correlazione di De Mello (vedasi **Figura 12**).

In laboratorio è stata eseguita una prova di taglio diretto su un campione rimaneggiato, ricostituito per la prova (sondaggio S7-2015 campione a 4 m di profondità), che ha fornito un angolo di resistenza al taglio compreso 38° e coesione drenata 0 kPa.

Per l'unità si assumono i seguenti valori di parametri di resistenza di progetto:

$$\begin{aligned}\phi' &= 35^\circ & \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' &= 0 \text{ kPa} & \text{coesione drenata}\end{aligned}$$

Parametri di deformabilità

I parametri di deformabilità sono stati stimati dall'interpretazione delle prove SPT (vedasi **Figura 13**, **Figura 14**, **Figura 15**).

$$\begin{aligned}V_s &= 150 \div 300 \text{ m/s} & \text{velocità delle onde di taglio} \\ G_o &= 50 \div 160 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)} \\ E_o &= 130 \div 400 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)}\end{aligned}$$

6.2.5 Unità Ba – Basalto di Campeda

Il substrato dell'area è rappresentato dalla Formazione basaltica di Campeda: si tratta di basalto a struttura vacuolare da alterato a molto fratturato. I valori di RQD (da stratigrafie sondaggi) variano da 50 a 85%.

In laboratorio sono state eseguite le seguenti prove sui campioni litoidi:

- determinazione peso di volume;
- resistenza a compressione monoassiale;
- Point Load Test.

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i risultati delle prove di laboratorio su roccia.

Il peso di volume misurato è 24.69 kN/m³ (vedasi **Figura 16**).

Tabella 21 – Risultati prove resistenza a compressione monoassiale su roccia

Roccia	Sondaggio	Campione	Profondità media	σ_c	$E_{\text{un},50\%}$
[-]	[-]	[-]	[m]	[MPa]	[MPa]
Ba	S6PZ	Li4	15,24	71	24700

Tabella 22 – Risultati Point Load Test

Id campione	Profondità	Roccia	D	Carico	De	De ²	Is	F	IS(50)	σ_c
[-]	[m]	[-]	[mm]	[N]	[mm]	[mm ²]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]
S6pz_Li3_a	9,40	basalto	77,94	19908	77,94	6075	3,277	1,2211	4,00	88,04
S6pz_Li3_b	9,48	basalto	77,94	20773	77,94	6075	3,420	1,2211	4,18	91,87
S6pz_Li3_c	9,56	basalto	77,78	19331	77,78	6050	3,195	1,2200	3,90	85,76
S6pz_Li3_d	9,64	basalto	77,75	16157	77,75	6045	2,673	1,2198	3,26	71,72
S6pz_Li4_a	15,00	basalto	78,10	14426	78,10	6100	2,365	1,2222	2,89	63,60
S6pz_Li4_b	15,27	basalto	78,02	21639	78,02	6087	3,555	1,2217	4,34	95,54
S6pz_Li4_c	15,37	basalto	78,14	29718	78,14	6106	4,867	1,2225	5,95	130,90
S7_Li2_a	9,75	basalto	77,71	1443	77,71	6039	0,239	1,2195	0,29	6,41
S7_Li2_b	9,83	basalto	78,32	1875	78,32	6134	0,306	1,2238	0,37	8,23
S7_Li2_c	9,91	basalto	78,05	1154	78,05	6092	0,189	1,2219	0,23	5,09
S7_Li4_a	17,44	basalto	78,59	36498	78,59	6176	5,909	1,2257	7,24	159,34
S7_Li4_b	17,52	basalto	78,66	32747	78,66	6187	5,293	1,2262	6,49	142,77
S7_Li4_c	17,59	basalto	78,65	31449	78,65	6186	5,084	1,2261	6,23	137,14

Nella precedente tabella sono riportati anche i valori di resistenza a compressione stimati dalla prova Point Load Test, ottenuti moltiplicando l'indice Is(50) per il fattore moltiplicativo $K = 22$, valore specifico per le rocce balsatiche (Bruschi, 2004).

In Figura 19 è riportata la resistenza a compressione monoassiale con la profondità, i valori sono compresi fra 6 e 159 MPa con valore medio circa $\sigma_{cm} = 70$ MPa e decimo percentile $\sigma_{c10} = 7$ MPa.

Nelle seguenti tabelle si riporta la classificazione con il metodo di Bieniawski (1989) e con il Metodo GSI (Hoek et al., 1995), rispettivamente per il sondaggio S6Pz ed il sondaggio S7.

Tabella 23 – Indici RMR e GSI – sondaggio S6Pz

Campione	PLT_Li3	PLT_Li4	Li4
1. σ_c	84,35	96,68	71,1
2. RQD	65	85	85
3. Spaziatura delle discontinuità (m)	0,1	0,1	0,1
4. Condizione di scabrezza delle discontinuità	<p>piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm</p>	<p>piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm</p>	<p>piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm</p>
5. Condizione Idraulica delle discontinuità	umida	forti venute	forti venute
6. Orientamento delle discontinuità	medioce	medioce	medioce
Valori numerici derivati dalle grandezze sopra riportate:			
A1: $4/44,5 * \sigma_c + 1$ per $\sigma_c \leq 44,5$	8,22	9,22	7,14
A1: $4/49,25 * \sigma_c + 1,368$ per $\sigma_c (44,5 - 93,75)$			
A2: $(5/23,4) * RQD - 1,367$ per $RQD > 76,6$;	12,84	16,80	16,80
A2: $(7/37,6) * RQD + 0,739$ per RQD compreso nell'intervallo $[39 \div 76,6]$;			
A3: $10s + 6$;	7,00	7,00	7,00
A4: parametro di misura della condizione dei giunti	10	10	10
A5: parametro di misura della condizione idraulica dei giunti	10	0	0
A6: parametro di misura dell'orientamento delle disc.	-7	-7	-7
RMR	41	36	34
GSI	36	31	29

Tabella 24 – Indici RMR e GSI – sondaggio S6Pz

Campione		PLT_Li2	PLT_Li4
1. σ_c	MPa	6,58	146,52
2. RQD	%	47	80
3. Spaziatura delle discontinuità (m)		0,2	0,2
4. Condizione di scabrezza delle discontinuità		piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm	piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm
5. Condizione Idraulica delle discontinuità		umida	forti venute
6. Orientamento delle discontinuità		mediocore	mediocore
Valori numerici derivati dalle grandezze sopra riportate:			
A1: 4/44,5* σ_c +1 per $\sigma_c \leq 44,5$		1,59	13,27
A1: 4/49,25* σ_c +1,368 per $\sigma_c (44,5 - 93,75)$			
A2: (5/23,4)*RQD - 1,367 per RQD > 76,6;		8,68	15,73
A2: (7/37,6)*RQD+0,739 per RQD compreso nell'intervallo [39 ÷ 76,6];			
A3: 15s + 5; 7,752s+ 5,9		7,45	7,45
A4: parametro di misura della condizione dei giunti		10	10
A5: parametro di misura della condizione idraulica dei giunti		10	0
A6: parametro di misura dell'orientamento delle disc.		-7	-7
RMR		31	39
GSI		26	34

L'approssimazione lineare dell'inviluppo di rottura secondo il criterio di Hoek e Brown attraverso il criterio di Mohr-Coulomb è stata eseguita mediante l'ausilio del programma Roclab (rocsience) che richiede seguenti dati di input:

- tensione di rottura σ_c da prove a compressione monoassiale ($\sigma_{c10}=7$ MPa) ed il valore medio ($\sigma_{cm}=70$ MPa), al fine di individuare un intervallo dei parametri di resistenza di progetto;
- indice GSI , in particolare si è assunto il valore minimo di 26% e medio di 30%;
- parametro m_i - assunto per il basalto pari a 25;
- parametro D - assunto, cautelativamente, pari a 1;

La linearizzazione dell'inviluppo (vedasi **Figura 20**, **Figura 21**) è stata valutata considerando le tensioni ad una profondità media di 10-15 m (considerando le condizioni generali delle tensioni per le opere in progetto), con peso di volume 25 kN/m³.

Per le caratteristiche di deformazione della formazione si ha un risultato di una prova di laboratorio che su roccia integra ha dato $E_{t50\%}=24700$ MPa; la stima delle deformazioni è stata fatta considerando la relazione implementata in

Roclab, ($MR^* \sigma_v$), con $MR = 350$, valore consigliato per basalto.

In **Figura 20** e **Figura 21** è mostrato un riepilogo delle valutazioni svolte per la stima dei parametri, da cui si perviene ai seguenti parametri di progetto per l'unità Ba-basalto:

$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 26 \div 42^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 26 \div 96 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 63 \div 700 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

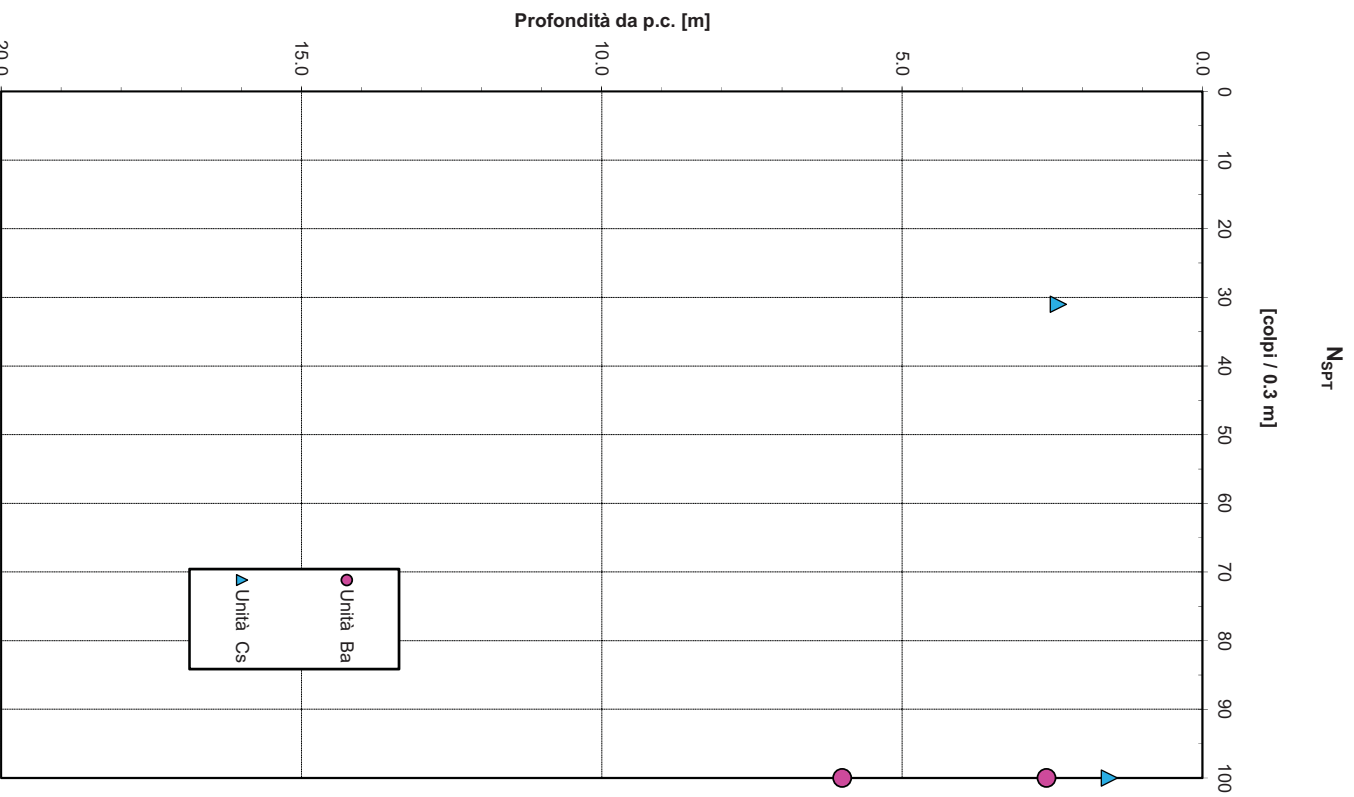


Figura 9: Valori di N_{spt} – svincolo Bonorva Sud

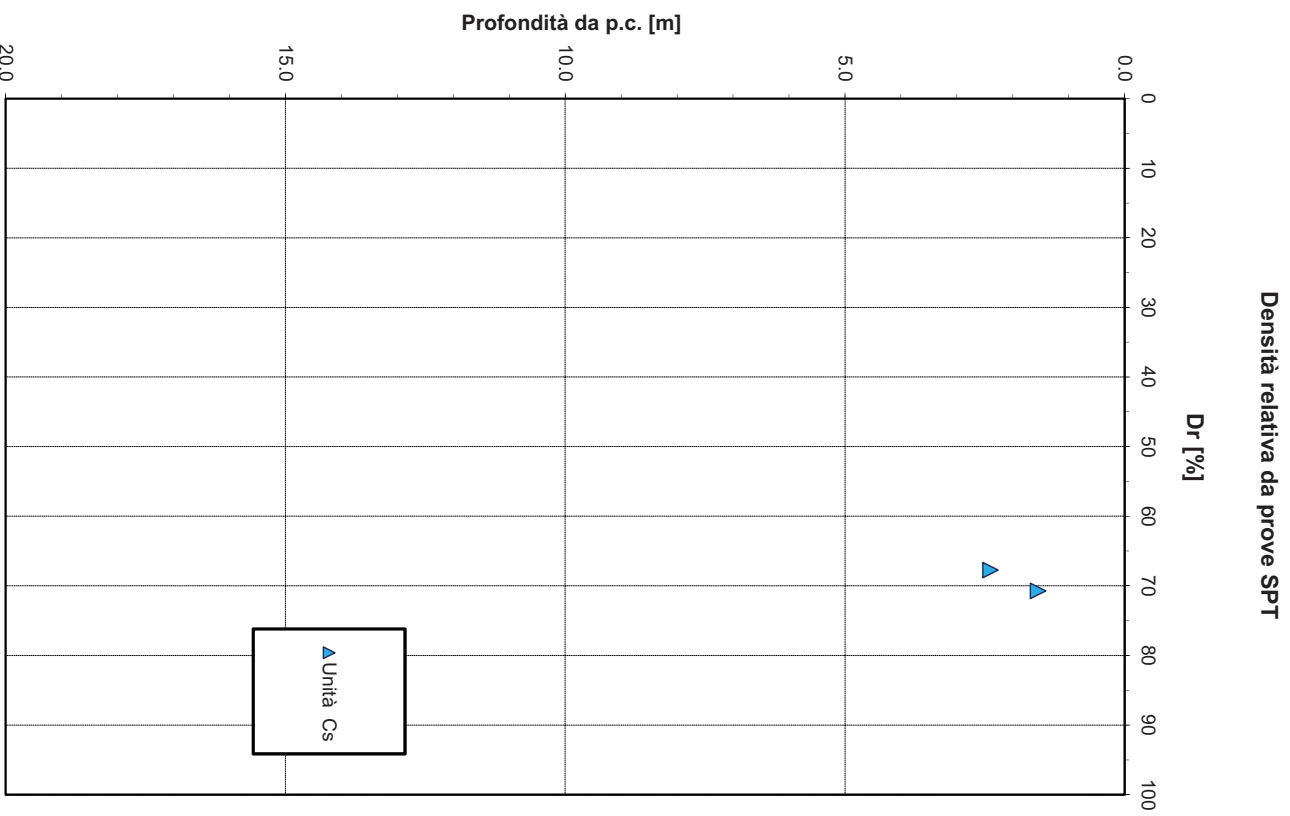


Figura 10: Densità relativa da prove SPT – svincolo Bonorva Sud

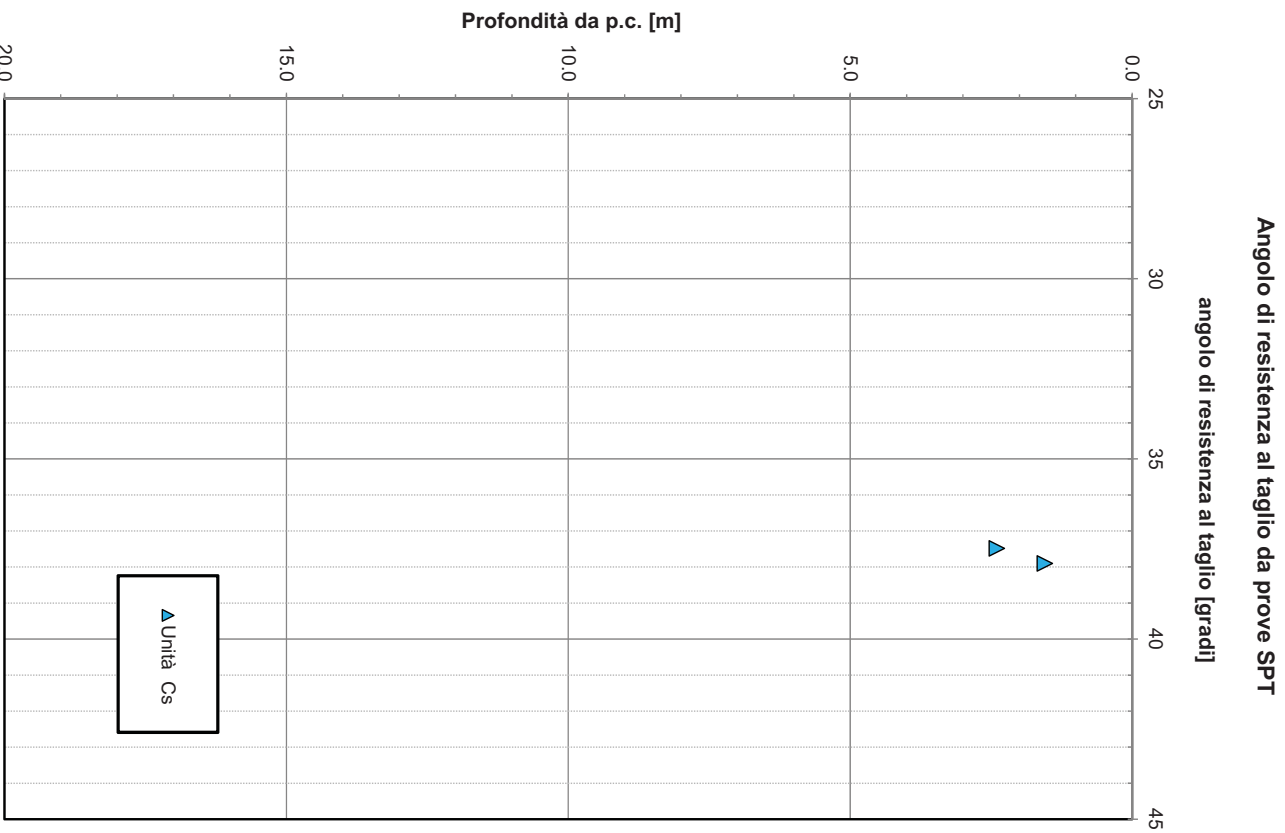


Figura 11: Angolo di resistenza al taglio da prova SPT – unità Cs – svincolo Bonorva Sud

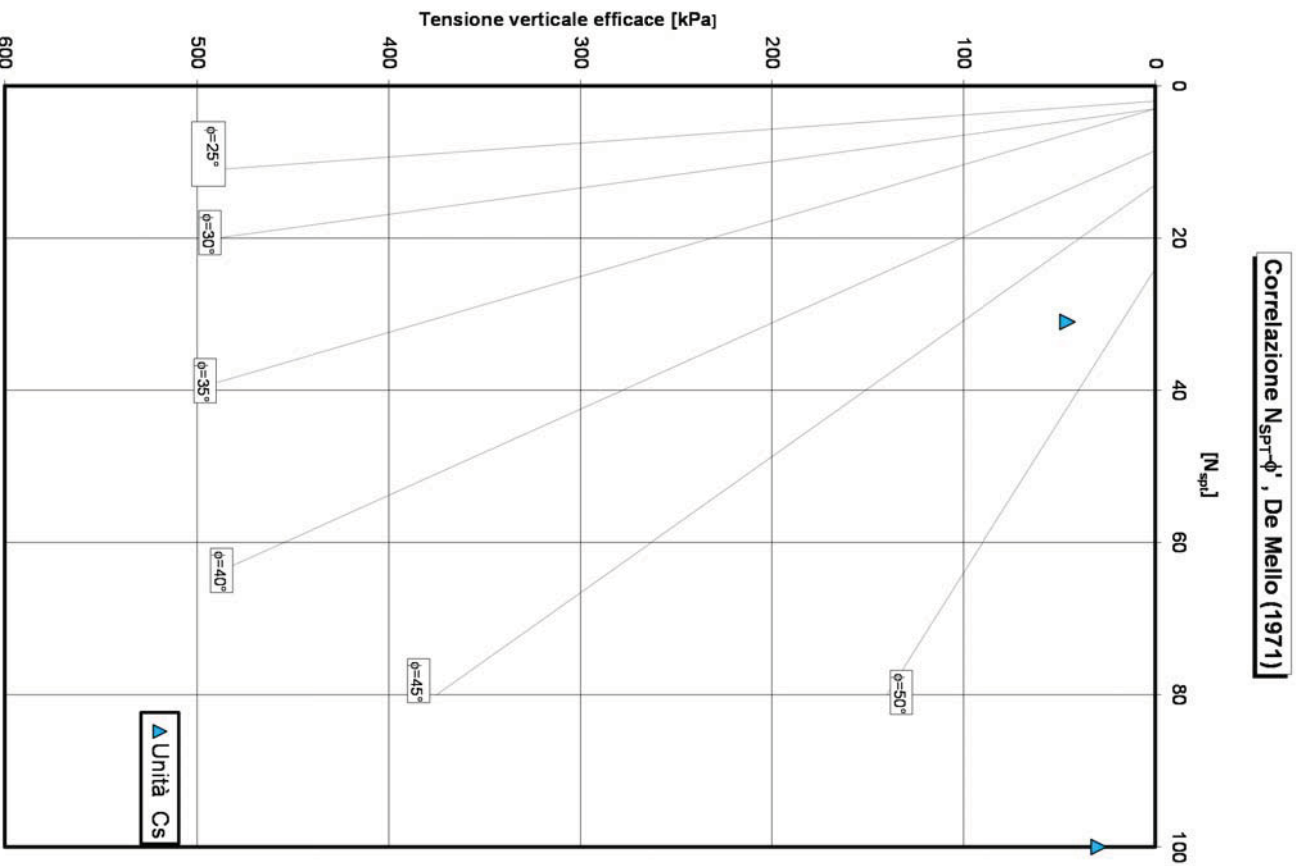


Figura 12: Angolo di resistenza al taglio da prova SPT – De Mello – unità Cs – svincolo Bonorva Sud

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

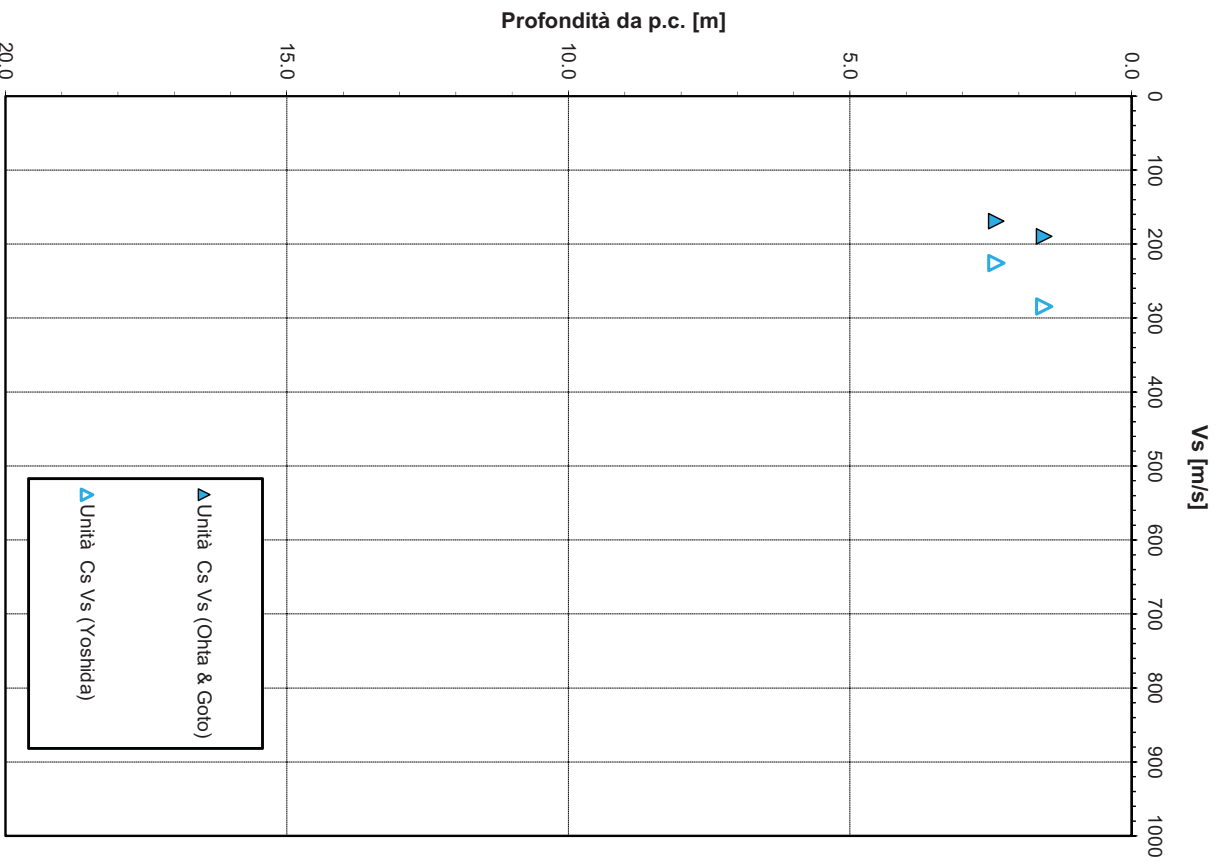


Figura 13: Velocità delle onde di taglio da prove SPT – unità Cs – svincolo Bonorva Sud

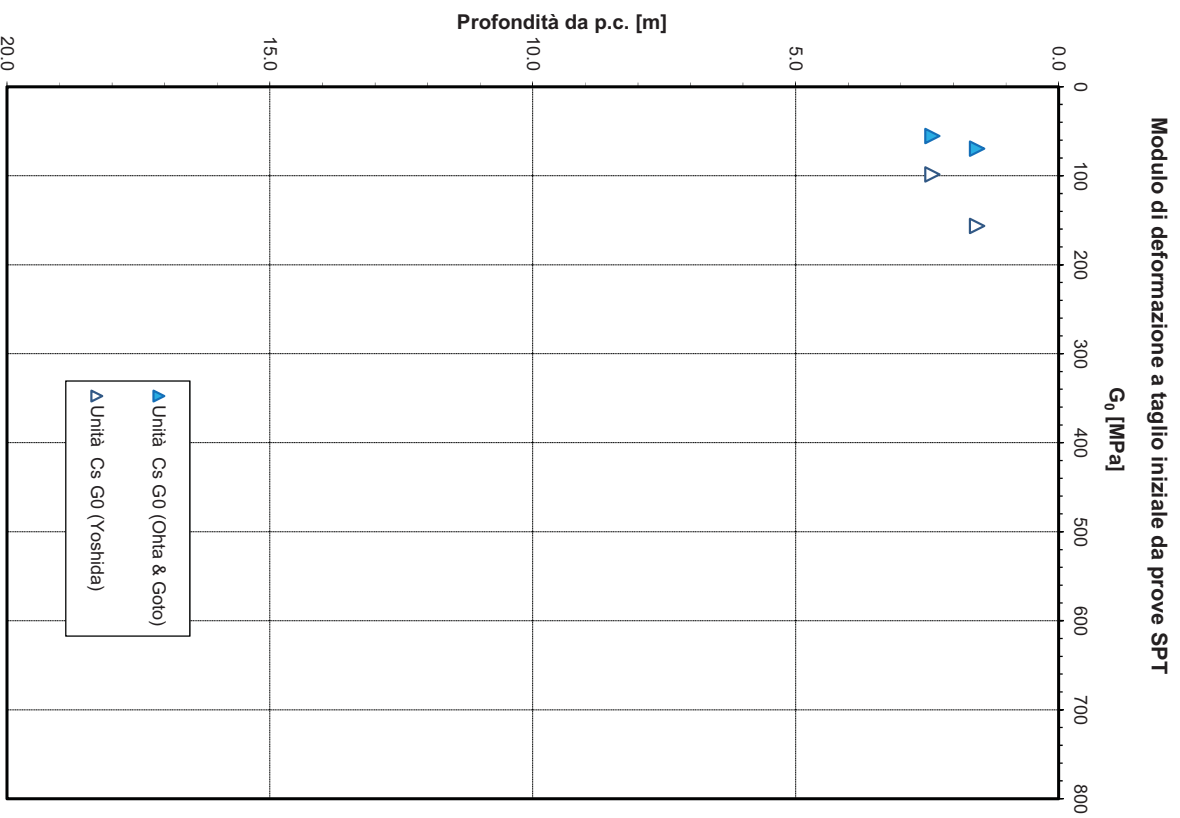


Figura 14: Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT – unità Cs – svincolo Bonorva Sud

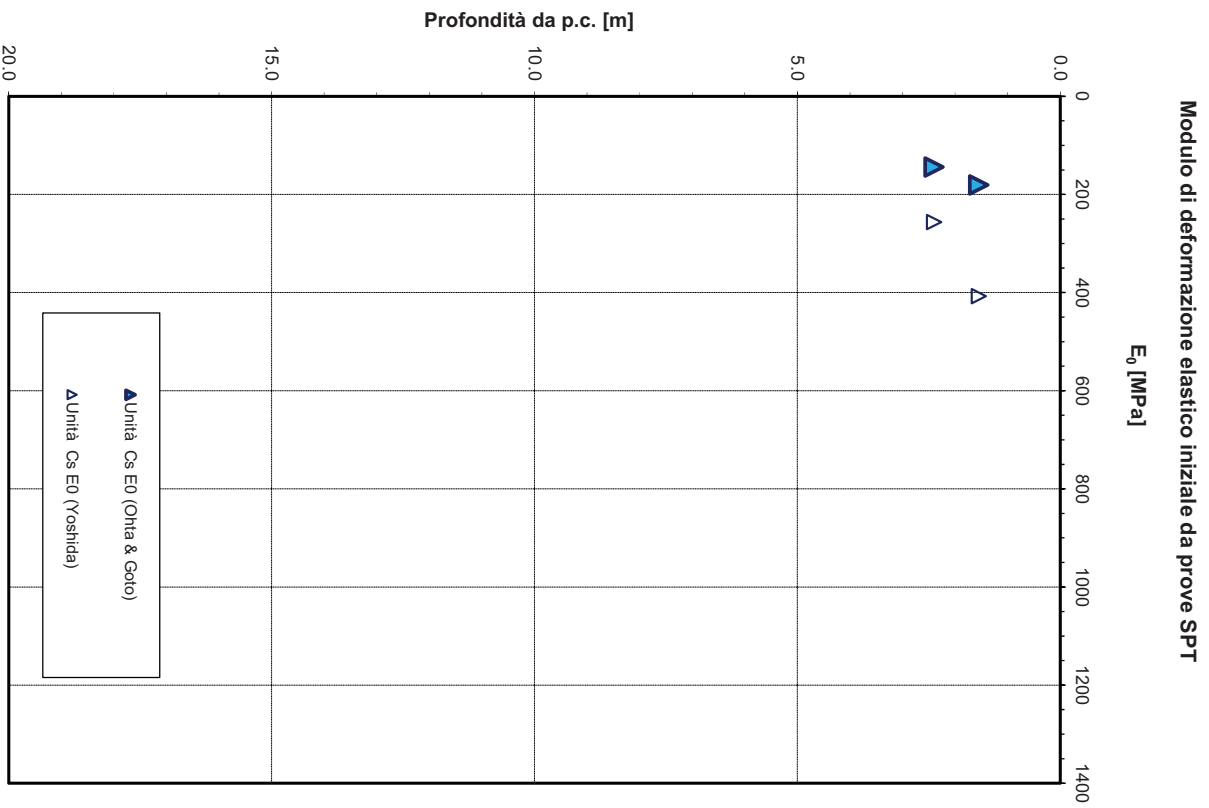


Figura 15: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – unità Cs – svincolo Bonorva Sud

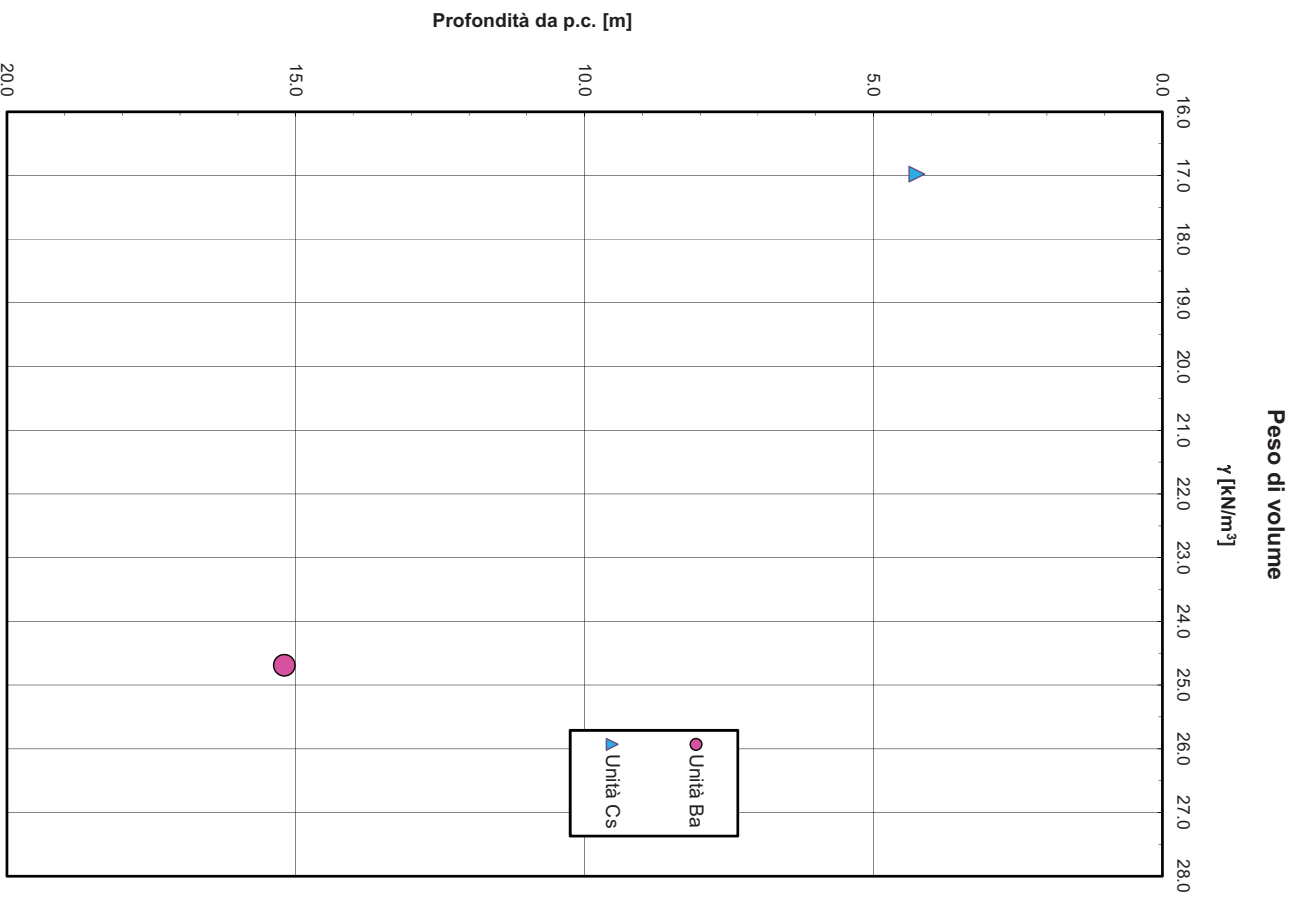


Figura 16: Peso di volume naturale – svincolo Bonorva Sud

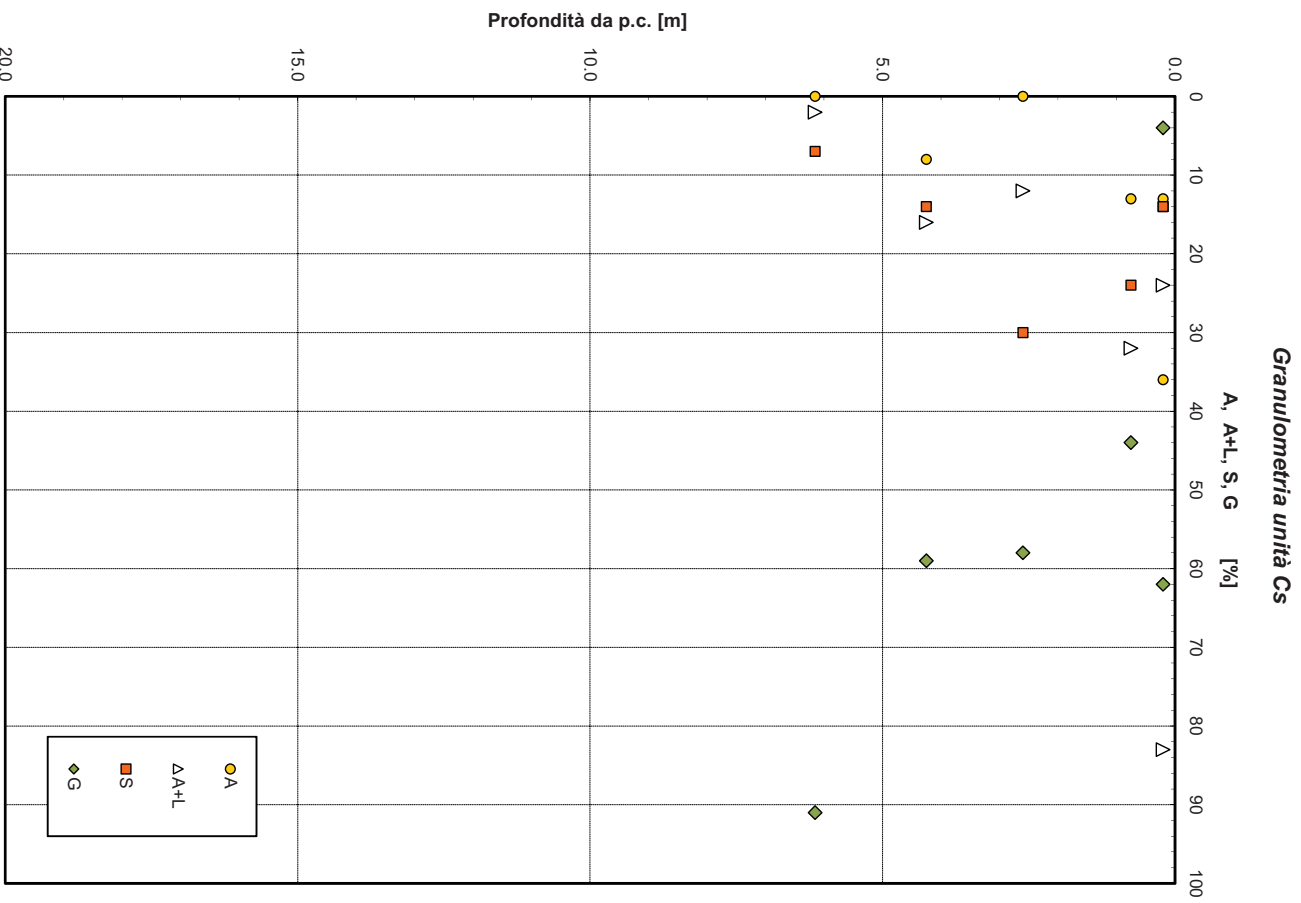


Figura 17: Analisi granulometrica – unità Cs – svincolo Bonorva Sud

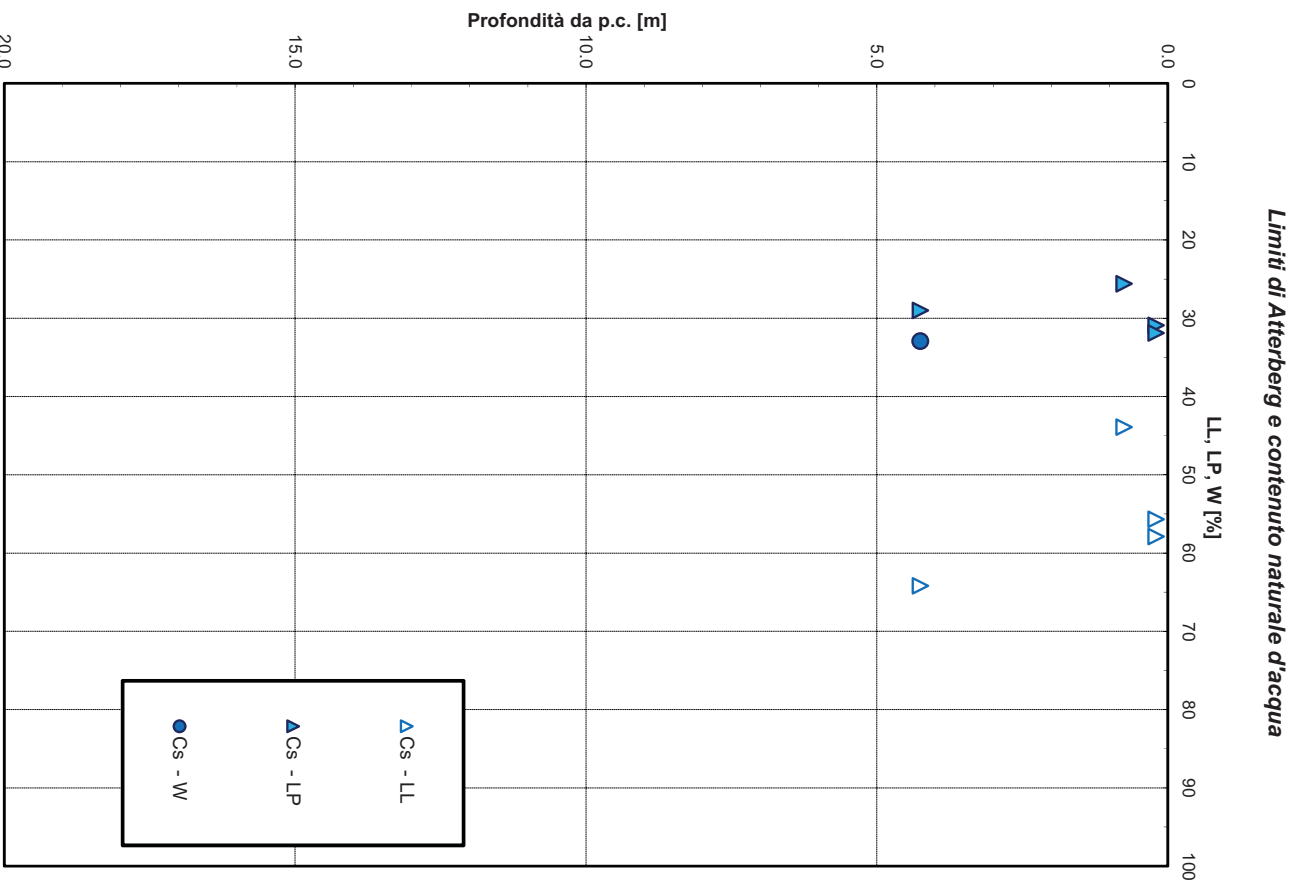


Figura 18: Limiti di consistenza e contenuto naturale d'acqua – unità Cs – svincolo Bonoriva Sud

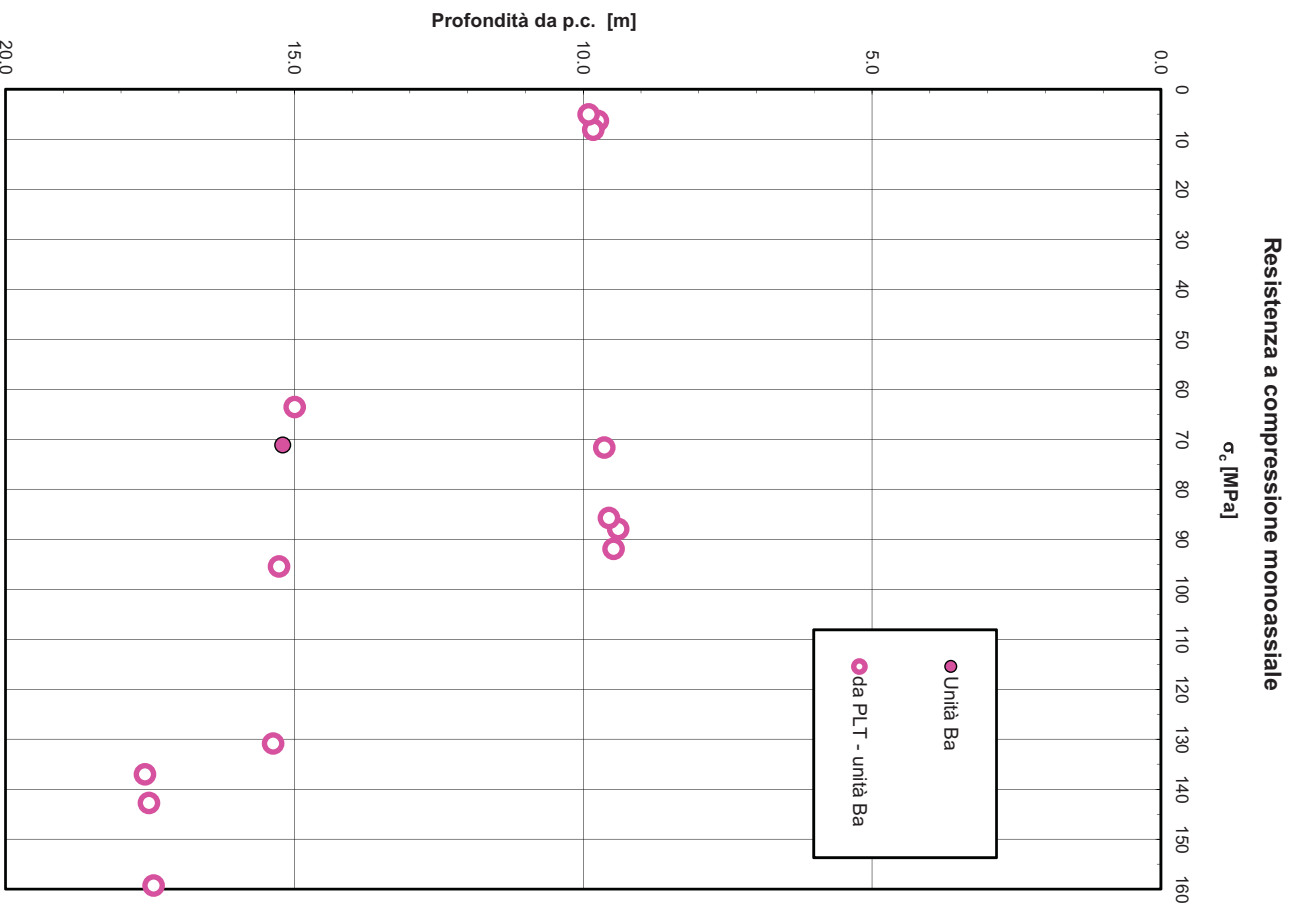


Figura 19: Resistenza a compressione monoassiale – svincolo Bonorva Sud

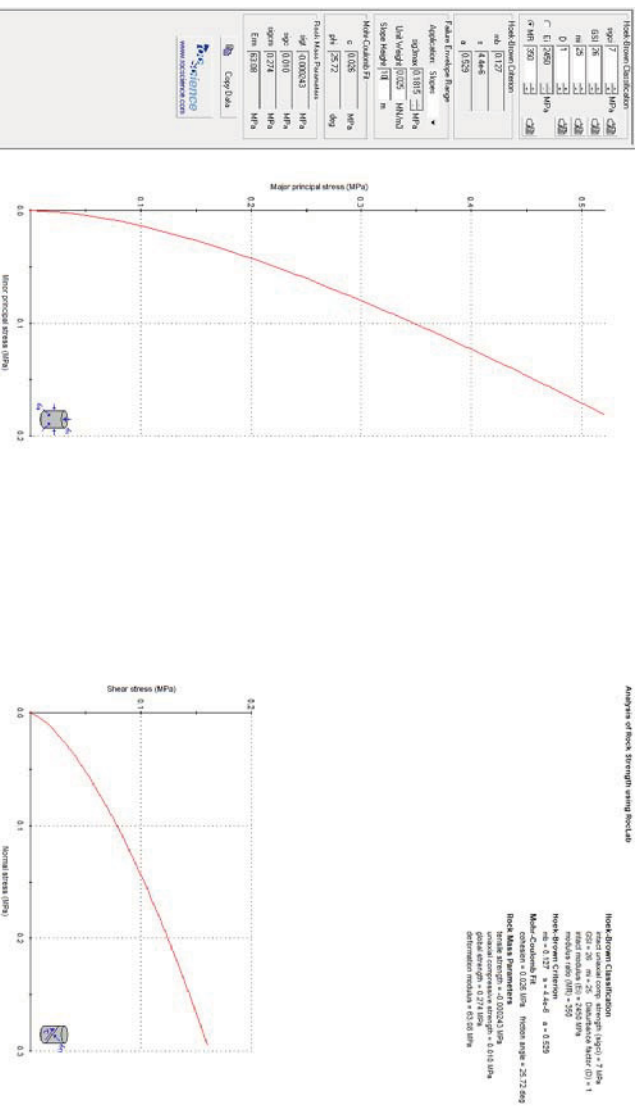


Figura 20: Parametri di resistenza (Roclab) – unità Ba (basalto) • c = 7 MPa – svincolo Bonorva Sud

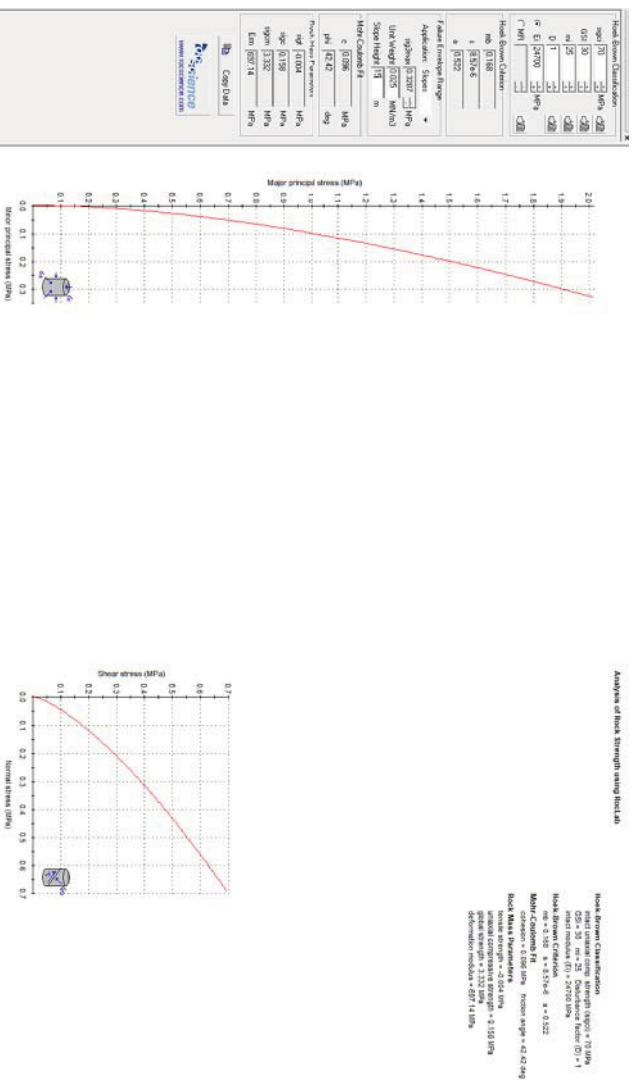


Figura 21: Parametri di resistenza (Roclab) – unità Ba (basalto) • c = 70 MPa – svincolo Bonorva Sud

6.2.6 Sintesi parametri geotecnici di progetto – svincolo Bonorra Sud

Per le unità geotecniche intercettate si assumono i seguenti parametri caratteristici di progetto.

Unità Ra – riparto antropico (rilevato stradale)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

Unità Cs – coltre superficiale ghiaioso sabbiosa

$\gamma = 17.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$V_s = 150 \div 300 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 50 \div 160 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)
$E_0 = 130 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità Ba – Basalto di Campeda

$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 26 \div 42^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 26 \div 96 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 63 \div 700 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

6.3 Svincolo di Bonorva Nord

6.3.1 Unità geotecniche

Le unità geotecniche intercettate sono le seguenti:

Unità Rv – coltre vegetale: si tratta della coltre di terreno vegetale

Unità Ra – riporto antropico: si tratta del terreno costituente i rilevati stradali esistenti ed il materiale molto eterogeneo, prevalentemente incoerente, derivante da materiale di cava, costituito da ghiaia sabbiosa limosa e sabbia con clasti.

Unità LAS – limo argilloso sabbioso: si tratta della coltre di alterazione della formazione di Mores, costituita da materiale prevalentemente fine coesivo, limo argilloso talvolta sabbioso.

Unità GS- ghiaia sabbiosa: si tratta della coltre di alterazione della formazione di Mores, costituita da materiale prevalentemente incoerente, ghiaia sabbiosa con clasti, ciottoli.

Unità M – Formazione di Mores marnosa, siltiti: substrato costituito da marna, marna argillosa, siltite, siltite marnosa.

Unità C - Formazione di Mores calcarenitica: substrato costituito da calcarenite;

Unità Ar - Formazione di Mores arenacea: substrato costituito da arenaria.

Unità Ba – Basalti del Lugudoro: formazione basaltica.

Nel profilo stratigrafico longitudinale e nelle sezioni geotecniche, in conformità con gli elaborati geologici, sono distinti con due diverse tonalità di verde le due principali distinzioni della Formazione di Mores:

- la facies costituita da una matrice più fine marnosa, siltitica (unità tipo M): rappresentate in colore verde scuro;
- Calcareniti e arenarie (Unità C, Ar): rappresentate in colore verde chiaro.

6.3.2 Unità Rv – terreno vegetale

Si tratta della coltre di terreno vegetale con spessore massimo 0.3 – 0.5 m e verrà localmente asportata per la realizzazione delle opere in progetto.

6.3.3 Unità Ra – riporto antropico

Si tratta del terreno costituente i rilevati stradali esistenti ed il materiale molto eterogeneo, prevalentemente incoerente, derivante da materiale di cava, costituito da ghiaia sabbiosa limosa e sabbia con clasti.

In corrispondenza dell'unità sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori tra 5 e 60 colpi/30 cm con un rifiuto strumentale, ad indicare l'elevata variabilità nello stato di addensamento del materiale (vedasi **Figura 22**).

La densità relativa stimata dalle prove SPT è tra 20 e 85% (vedasi **Figura 23**).

In corrispondenza dell'unità sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed alcuni indisturbati (dove c'era una maggiore componente fine) su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si conferma la estrema variabilità nella composizione del materiale (vedasi **Figura 30**):

- Percentuale di ghiaia tra 3 e 56% (valore medio 24%);

- Percentuale di sabbia tra 20 e 45% (valore medio 31%);
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 14 e 69% (valore medio 46%) di cui argilla tra 1 e 21% (13%) e limo tra 12 e 50% (33%).

In alcuni casi è stato possibile eseguire i limiti di consistenza che hanno fornito valori di limite liquido tra 26 e 44% (media 35%), limite plastico tra 22 e 28% (media 24%) ed indice di plasticità tra 4 e 21% (media 11%), vedasi **Figura 32**.

Dalla carta di plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona dei limi inorganici a media plasticità (vedasi **Figura 31**).

Il peso di volume naturale misurato è compreso fra 17 e 18.6 kN/m³, si assume in progetto un valore di 18.5 kN/m³ (vedasi **Figura 29**).

Parametri di resistenza

Dalle prove SPT si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio compresi fra 31 e 39° (vedasi **Figura 24, Figura 25**).

Sui campioni prelevati (anche su provini rimaneggiati ricostituiti in laboratorio) sono state eseguite prove di taglio diretto che hanno fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio compreso fra 28 e 37° (valore medio 33°) e coesione drenata tra 1 e 35 kPa (vedasi **Figura 33, Figura 35, Figura 36**).

Nella figura sono mostrati nel grafico t-s i risultati delle prove di laboratorio e sono rappresentati gli involuipi di resistenza minimi e massimi dei parametri di resistenza di progetto (vedasi **Figura 34**):

$$\begin{array}{ll} \varphi' = 30 \div 35^\circ & \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' = 0 \div 5 \text{ kPa} & \text{coesione drenata} \end{array}$$

Parametri di deformabilità

I parametri di deformabilità sono stati stimati dall'interpretazione delle prove SPT e dall'indagine sismica eseguita nel 2015 (LS7). In **Figura 26** sono rappresentati i valori delle velocità delle onde stimati dalle prove SPT e dell'indagine sismica LS7 in corrispondenza della verticale del sondaggio S11. Dalla figura si osserva che i risultati delle prove in sito SPT e LS7 sono in buon accordo fra loro. Dalle velocità delle onde di taglio si stimano i valori dei moduli di deformazione (vedasi **Figura 27, Figura 28**) in base alle correlazioni precedentemente illustrate.

$$\begin{array}{ll} V_s = 135 \div 360 \text{ m/s} & \text{velocità delle onde di taglio} \\ G_0 = 30 \div 250 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)} \\ E_0 = 80 \div 600 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)} \end{array}$$

6.3.4 Unità LAS – limo argilloso sabbioso

Si tratta della coltre di alterazione della formazione di Mores, costituita da materiale prevalentemente fine coesivo, limo argilloso talvolta sabbioso.

In corrispondenza dell'unità sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori tra 10 e rifiuto strumentale, con

valore medio di 22 colpi/30 cm (vedasi **Figura 37**).

In corrispondenza dell'unità sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si ha (vedasi **Figura 43**):

- Percentuale di ghiaia tra 0 e 40% (valore medio 13%);
- Percentuale di sabbia tra 7 e 44% (valore medio 26%);
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 35 e 91% (valore medio 61%) di cui argilla tra 10 e 26% (18%) e limo tra 17 e 65% (41%).

In alcuni casi è stato possibile eseguire i limiti di consistenza che hanno fornito valori di limite liquido tra 37 e 57% (media 47%), limite plastico tra 22 e 31% (media 26%) ed indice di plasticità tra 10 e 30% (media 21%), vedasi **Figura 45**. Il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 17 e 26% (media 24%). L'indice di consistenza è compreso fra 0.9 e 2.

Dalla Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona dei limi argillosi di medio-alta plasticità (vedasi **Figura 44**).

Il peso di volume naturale misurato è compreso fra 17 e 19.4 kN/m³, con valore medio di 18.5 kN/m³ (vedasi **Figura 42**).

Parametri di resistenza

Sui campioni prelevati (anche su provini rimaneggiati ricostituiti in laboratorio) sono state eseguite prove di taglio diretto che hanno fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio generalmente compreso fra 20 e 32° (valore medio 28°) e coesione drenata tra 1 e 42 kPa (valore medio 25 kPa), vedasi **Figura 46**, **Figura 48**, **Figura 49**.

Nella figura sono mostrati nel grafico t-s i risultati delle prove di laboratorio e sono rappresentati gli inviluppi di resistenza minimi e massimi dei parametri di resistenza di progetto (vedasi **Figura 47**):

$$\begin{array}{ll} \varphi' = 28\div 30^\circ & \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' = 5\div 10 \text{ kPa} & \text{coesione drenata} \end{array}$$

In **Figura 50** sono riportati i valori della resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio, da Pocket Penetrometer e da SPT. Nel grafico è anche rappresentata la retta della normal consolidazione ($c_{uNC} = 0.23 \cdot \sigma'_v$). La resistenza al taglio non drenata è compresa generalmente tra 40 e 180 MPa.

Parametri di deformabilità

I parametri di deformabilità sono stati stimati dall'interpretazione delle prove SPT (Simpson et al.) e dall'indagine sismica eseguita nel 2017 (BS1-BS2-BS3 entro 7 m circa di profondità da p.c.): In **Figura 38** sono riportati i valori delle velocità delle onde. I valori dei moduli di deformazione sono mostrati in **Figura 39** e **Figura 40**; i valori stimati dalle indagini sismiche sono generalmente maggiori rispetto a quelli stimati dall'interpretazione delle prove SPT.

$$\begin{array}{ll} V_s = 250\div 400 \text{ m/s} & \text{velocità delle onde di taglio} \\ G_0 = 35\div 300 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)} \end{array}$$

$E_0 = 70 \div 650$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Sono inoltre disponibili i risultati di due prove edometriche di laboratorio che hanno fornito un modulo edometrico di 8.8 e 15.6 MPa rispettivamente a 5 ed a 11 m di profondità da p.c. (sondaggio S9-2015).

In **Figura 41** sono riportati i valori del modulo di deformazione elastico operativo ($E_0/10$) stimati dalle prove SPT con due diverse correlazioni empiriche; si osservano valori tra 6 e 90 MPa.

Il modulo di deformazione in condizioni non drenate è stimato dalla correlazione di Duncan & Buchigani (1976) considerando un indice plastico medio del 20% e $OCR=10 \div 12$ (da prove edometriche), da cui si ha $E_u/c_u = 200$.

Quindi si stima $E_u = 8000 \div 36000$ kPa.

Dalle prove edometriche inoltre si ha:

$c_v = 5 \cdot E^{-07}$ m²/s coefficiente di consolidazione verticale
 $c_a = 0.08$ coefficiente di consolidazione secondario.

Dalle correlazioni empiriche si stima (limite liquido medio=47%, contenuto naturale d'acqua medio = 24%:

$c_v = 3 \cdot E^{-07}$ m²/s coefficiente di consolidazione verticale
 $c_a = 0.002$ coefficiente di consolidazione secondario.

6.3.5 Unità GS – ghiaia sabbiosa

Si tratta della coltre di alterazione della formazione di Mores, costituita da materiale prevalentemente incoerente, ghiaia sabbiosa con clasti, ciottoli.

In corrispondenza dell'unità sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori tra 30 colpi/30 cm e rifiuto strumentale (vedasi **Figura 51**).

La densità relativa stimata dalle prove SPT è tra 65 e 90% (vedasi **Figura 52**).

In corrispondenza dell'unità sono stati prelevati campioni rimaneggiati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si ha (vedasi **Figura 58**):

- Percentuale di ghiaia tra 17 e 73% (valore medio 34%);
- Percentuale di sabbia tra 13 e 59% (valore medio 38%);
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 5 e 36% (valore medio 15%) di cui argilla tra 0 e 22% (13%) e limo tra 5 e 36% (15%).

In alcuni casi è stato possibile eseguire i limiti di consistenza che hanno fornito valori di limite liquido tra 20 e 63% (media 42%), limite plastico tra 13 e 30% (media 23%) ed indice di plasticità tra 6 e 37% (media 19%).

Per il peso di volume naturale si ha una sola misura che ha dato 17.55 kN/m³; si assume in progetto un valore di 18.5 kN/m³.

Parametri di resistenza

Dalle prove SPT si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio compresi fra 37 e 40° (vedasi **Figura 53**) con valori superiori a 40° dalla correlazione di De Mello (**Figura 54**).

In laboratorio è stata eseguita una prova di taglio diretto su un campione rimaneggiato, ricostituito per la prova

(sondaggio S26a del 1998 Fondedile), che ha fornito un angolo di resistenza al taglio compreso 34,6° e coesione drenata 8 kPa.

Quindi per l'unità si assumono i seguenti valori di parametri di resistenza di progetto:

$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0$ kPa	coesione drenata

Parametri di deformabilità

I parametri di deformabilità sono stati stimati dall'interpretazione delle prove SPT (vedasi **Figura 55**, **Figura 56**, **Figura 57**)

$V_s = 150 \div 350$ m/s	velocità delle onde di taglio
$G_o = 50 \div 230$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)
$E_o = 130 \div 600$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

6.3.6 *Unità M, Si, C, Ar – Formazione di Mores marnosa, siltosa, calcarenitica, arenacea*

Il substrato dell'area è rappresentato dalla Formazione di Mores che nella parte iniziale dello svincolo (zona sud-est) si presenta come marna, siltite, poi come calcarenite e arenaria.

Le prove SPT eseguite in corrispondenza della formazione di base sono andate quasi tutte a rifiuto, ad eccezione di alcune prove eseguite nella siltite tenera argilloso sabbiosa più superficiale (sondaggi S7, S8, S9 del 1992), che hanno dato valori tra 15 e 75 colpi/30 cm (vedasi **Figura 59**).

In corrispondenza della formazione sono stati prelevati spezzoni di roccia nelle parti litoidi e campioni rimaneggiati nelle parti più terrose (siltite) su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Nella seguente tabella si riporta la classificazione dell'ammasso roccioso rispettivamente per il sondaggio S6Pz ed il sondaggio S7, con determinazione prima di RMR (Bieniawski 1984) e poi di GSI (=RMR-5, con il Metodo GSI (Hoek et al. 1998)).

Tabella 25 – Indici RMR e GSI – sondaggi 2017

Sond.	Profondità (m)	σ _c (Mpa)	P1	ROD %	P2	spartitura discontinuità		condizioni discontinuità		P4	P5	P6	RMR	GSI	Unità	
						P3	continuità	apertura	scabrezza							riempimento
S1	10,10	11	2	100	20	0,2-0,6m	10	2	1	1	1	6	58	53	C	
S1	16,00	16	2	100	20	0,6-2m	15	4	1	1	4	5	15	62	C	
S2	4,85	56	7		0	60-200mm	8	6	1	1	6	5	19	44	39	C
S2	9,00	61	7		0	60-200mm	8	4	1	1	4	5	15	5	53	Ar
S3	7,60	41	7	50	13	0,2-0,6m	10	4	1	1	4	3	13	40	35	Ar
S3	18,00	66	7	80	17	0,2-0,6m	10	4	1	1	6	6	18	62	57	C
S4	8,60	58	7	85	17	0,2-0,6m	10	4	1	5	5	6	17	61	56	C
S4	12,25	9	2	90	17	60-200mm	8	2	1	1	6	6	16	53	48	Ar
S4	17,40	5	2	90	17	60-200mm	8	2	1	1	6	6	16	53	48	Ar

Siltite

Dalle prove di laboratorio (sondaggi S7, S8, S9 del 1992) sono stati ottenuti i seguenti risultati.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- Percentuale di ghiaia tra 0 e 1%;
- Percentuale di sabbia tra 15 e 26% ;
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 73 e 84%.

Il peso di volume naturale misurato è compreso fra 19 e 20 kN/m³ (vedasi Figura 60).

Sono disponibili tre prove di taglio diretto che hanno dato valori dell'angolo di resistenza al taglio compresi fra 28,6 e 39,5° e coesione drenata tra 12 e 56 kPa.

Marne

In laboratorio sono disponibili numerosi campioni litoidi su cui sono state eseguite prove di resistenza a compressione monoassiale e Point Load Test e tre campioni rimaneggiati terrosi (prelevati nelle parti più sfatte) su cui sono state eseguite analisi granulometriche e misure dei limiti di consistenza.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- Percentuale di ghiaia tra 0 e 46% (media 15%);
- Percentuale di sabbia tra 6 e 11% (media 9%);
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 42 e 92% (media 75%).

Il limite liquido è compreso tra 32 e 39%, il limite plastico fra 28 e 30%, l'indice plastico tra 2 e 11%.

La resistenza a compressione monoassiale misurata sui provini litoidi è compresa fra 9 e 24 MPa, con valore medio 12 MPa e decimo percentile 8 MPa (vedasi Figura 61).

L'indice I_{s(50)} da prova Point Load Test è compreso tra 0,1 e 3,3 MPa, da cui si stima una resistenza a compressione monoassiale tra 1 e 33 MPa, con valore medio 10 MPa (vedasi Figura 61), (valori ottenuti moltiplicando l'indice I_{s(50)} per il fattore moltiplicativo K =10, valore specifico per le rocce calcarenitiche, Bruschi, 2004).

In Figura 67 e in Figura 68 si riporta la valutazione dei parametri di resistenza Mohr – Coulomb con il programma Roclab, considerando i seguenti dati:

- dati generali: GSI_{min} = 40%, mi=7, MR=375, D=1, γ = 22 kN/m³, involucro di rottura valutato per opzione "slopes" in cui le tensioni sono riferite ad una profondità media di 10 m.
- in Figura 67 σ_{c,10 percentile} = 8 MPa, in Figura 68 σ_{c,m} = 12 MPa, al fine di individuare un intervallo di parametri

di resistenza di progetto.

Si considerano quindi i seguenti parametri di progetto:

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\varphi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Calcareniti

Dalla descrizione stratigrafica si tratta di calcarenite a struttura granulare fine e medio-fine con fossili inclusioni calcaree, medio dure con RQD tra 85 e 100%.

In laboratorio sono disponibili numerosi campioni litoidi su cui sono state eseguite prove di resistenza a compressione monoassiale, Point Load Test e misure del peso di volume.

Il peso di volume naturale è compreso tra 18 e 24 kN/m³ (vedasi **Figura 60**).

La resistenza a compressione monoassiale misurata sui provini litoidi è compresa fra 9 e 66 MPa, con valore medio 20 MPa e decimo percentile 9 MPa (vedasi **Figura 61**).

Il modulo di deformazione tangente al 50% di sc (misurato dalla prova di resistenza a compressione monoassiale con controllo deformazioni) è tra 5180 e 11176 MPa.

L'indice $I_{s(50)}$ da prova Point Load Test è compreso tra 1.2 e 3.5 MPa, da cui si stima una resistenza a compressione monoassiale tra 12 e 35 MPa, con valore medio 20 MPa (vedasi **Figura 61**), (valori ottenuti moltiplicando l'indice $I_{s(50)}$ per il fattore moltiplicativo $K = 10$, valore specifico per le rocce calcarenitiche, Bruschi, 2004)).

In **Figura 63** e in **Figura 64** si riporta la valutazione dei parametri di resistenza Mohr – Coulomb con il programma Roclab, considerando i seguenti dati:

- dati generali: $GSI_{min} = 40\%$, $mi=8$, $D=1$, $\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$, involucro di rottura valutato per opzione "slopes" in cui le tensioni sono riferite ad una profondità media di 10 m.
- in **Figura 63** $\sigma_{c10 \text{ percentile}} = 9 \text{ MPa}$, $E_i=5200 \text{ MPa}$, in **Figura 64** $\sigma_{c,m} = 20 \text{ MPa}$, $E_i=8500 \text{ MPa}$

Si considerano quindi i seguenti parametri di progetto:

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\varphi' = 28 \div 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 32 \div 47 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 200 \div 340 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Arenarie

In laboratorio sono disponibili numerosi campioni litoidi su cui sono state eseguite prove di resistenza a compressione monoassiale, Point Load Test e misure del peso di volume, e due campioni rimaneggiati terrosi (prelevati nelle parti più sfatte) su cui sono state eseguite analisi granulometriche, misure dei limiti di consistenza ed una prova di taglio diretto.

Il peso di volume naturale è compreso tra 17 e 23.7 kN/m³ (vedasi **Figura 60**).

Dall'analisi granulometrica si ha:

- Percentuale di ghiaia tra 0 e 13%;
- Percentuale di sabbia tra 27 e 34%;
- Percentuale di fine (limo+argilla) tra 58 e 60%, limo 36-39%, argilla 21-22%.

Il limite liquido è compreso tra 32 e 48%, il limite plastico fra 21 e 23%, l'indice plastico tra 10 e 27%.

La prova di taglio diretto ha dato valori dell'angolo di resistenza al taglio 34° e coesione drenata 0 kPa.

La resistenza a compressione monoassiale misurata sui provini litoidi è compresa fra 8 e 66 MPa, con valore medio 20 MPa e decimo percentile 8 MPa (vedasi **Figura 61**).

Il modulo di deformazione tangente al 50% di sc (misurato da una sola prova di resistenza a compressione monoassiale con controllo deformazioni) è 14150 MPa.

L'indice $I_s(50)$ da prova Point Load Test è compreso tra 0.2 e 2.9 MPa, da cui si stima una resistenza a compressione monoassiale tra 2 e 29 MPa, con valore medio 15 MPa (vedasi **Figura 61**), (valori ottenuti moltiplicando l'indice $I_s(50)$ per il fattore moltiplicativo $K=10$, valore specifico per le rocce calcarenitiche (Bruschi, 2004).

In **Figura 65** e in **Figura 66** si riporta la valutazione dei parametri di resistenza Mohr – Coulomb con il programma Roclab, considerando i seguenti dati:

- dati generali: $GSI_{min} = 35\%$, $m_i=14$, $D=1$, $\gamma = 22.5$ kN/m³, inviluppo di rottura valutato per opzione "slopes" in cui le tensioni sono riferite ad una profondità media di 10 m.
- in **Figura 65** $\sigma_{c,10\text{percentile}} = 8$ MPa, $MR=350$, in **Figura 66** $\sigma_{c,m} = 15$ MPa, $E_i=14000$ MPa.

Si considerano quindi i seguenti parametri di progetto:

$\gamma = 22.5$ kN/m ³	peso di volume
$\phi' = 29 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 30 \div 39$ kPa	coesione drenata
$E = 90 \div 460$ MPa	modulo di deformazione

6.3.7 Unità Ba – Basalti del Lugudoro

Nella parte più a nord del tracciato le indagini hanno intercettato roccia basaltica (vedasi sondaggi S32, S33, S34 della campagna 1998 Micropali e sondaggi S35, S36 del 1998 Sardadrill). Dalle indagini la formazione affiora a p.c. al di sotto della coltre vegetale e/o di uno spessore di terreno sabbioso argilloso con frammenti litoidi di spessore circa 2÷5 m (come confermato anche dalle indagini sismiche del 1998 – basi A, B, C, D, E). La formazione si presenta spesso alterata e argillificata con frammenti litoidi (RQD=0%) alternata a strati di basalto lapideo duro e compatto (RQD variabile da 20 a 60%) ed a strati di terreno sciolto sabbioso fine con frammenti lapidei di spessore 1-1.5 m. Nei sondaggi S35 e S36 (Sardadrill), di cui si dispone anche di documentazione fotografica, la roccia sembra avere caratteristiche migliori di quanto indicato dalle stratigrafie dei sondaggi della campagna Micropali.

Nell'unità sono disponibili alcuni valori di N_{spt}, che vanno da 40 a rifiuto strumentale (vedasi **Figura 69**), ad indicare la variabilità nello stato di addensamento/cementazione.

Sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati per prove di laboratorio.

Sui campioni terrosi sono state eseguite due analisi granulometriche che hanno dato:

- percentuale di ghiaia tra 1 e 8%;
- percentuale di sabbia tra 23 e 74%;
- percentuale di limo+argilla tra 76 e 18%.

Il peso di volume naturale misurato varia da 16 a 19 kN/m³ (vedasi **Figura 70**).

Sono disponibili due prove di taglio diretto che hanno dato valori di coesione drenata di 0 e 31 kPa ed angolo di resistenza al taglio rispettivamente di 37.6 e 28.6° (vedasi **Figura 71**).

Nei campioni litoidi sono state eseguite prove di resistenza a compressione monoassiale e Point Load Test (vedasi

Figura 72):

- la resistenza a compressione è compresa tra 2.5 e 48 MPa;
- l'indice $I_{s(50)}$ da prova Point Load Test è compreso tra 0.2 e 3.4 MPa, da cui si stima una resistenza a compressione (valori ottenuti moltiplicando l'indice $I_{s(50)}$ per il fattore moltiplicativo $K = 22$, valore specifico per le rocce basaltiche) tra 3.6 e 70 MPa.

Quindi il valore medio della resistenza a compressione è 20 MPa ed il decimo percentile è circa 3 MPa.

In **Figura 73** e in **Figura 74** si riporta la valutazione dei parametri di resistenza Mohr – Coulomb con il programma

Roclab, considerando i seguenti dati:

- dati generali: $GSI = 25 \div 35\%$, $m_i=25$, $D=1$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $MR=350$, involucro di rottura valutato per opzione "slopes" in cui le tensioni sono riferite ad una profondità di 8 – 15 m).
- in fig **Figura 73** $\sigma_{c;10 \text{ percentile}} = 3 \text{ MPa}$, in **Figura 75** in $\sigma_c = 5 \text{ MPa}$ (sezione in trincea tratto finale tracciato); in **Figura 74** $\sigma_{c, \text{ media}} = 20 \text{ MPa}$.

Si considerano quindi i seguenti parametri di progetto:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 23 \div 39^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 13 \div 60 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 30 \div 230 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

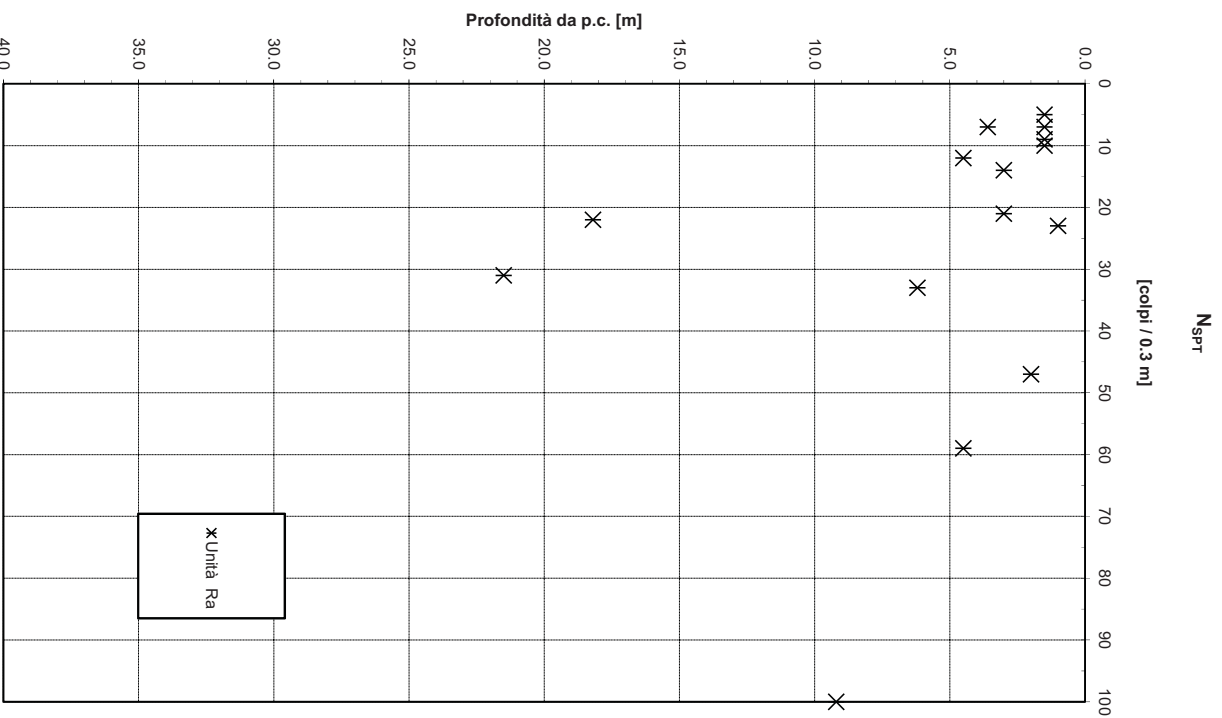


Figura 22: Valori di N_{spt} – unità Ra

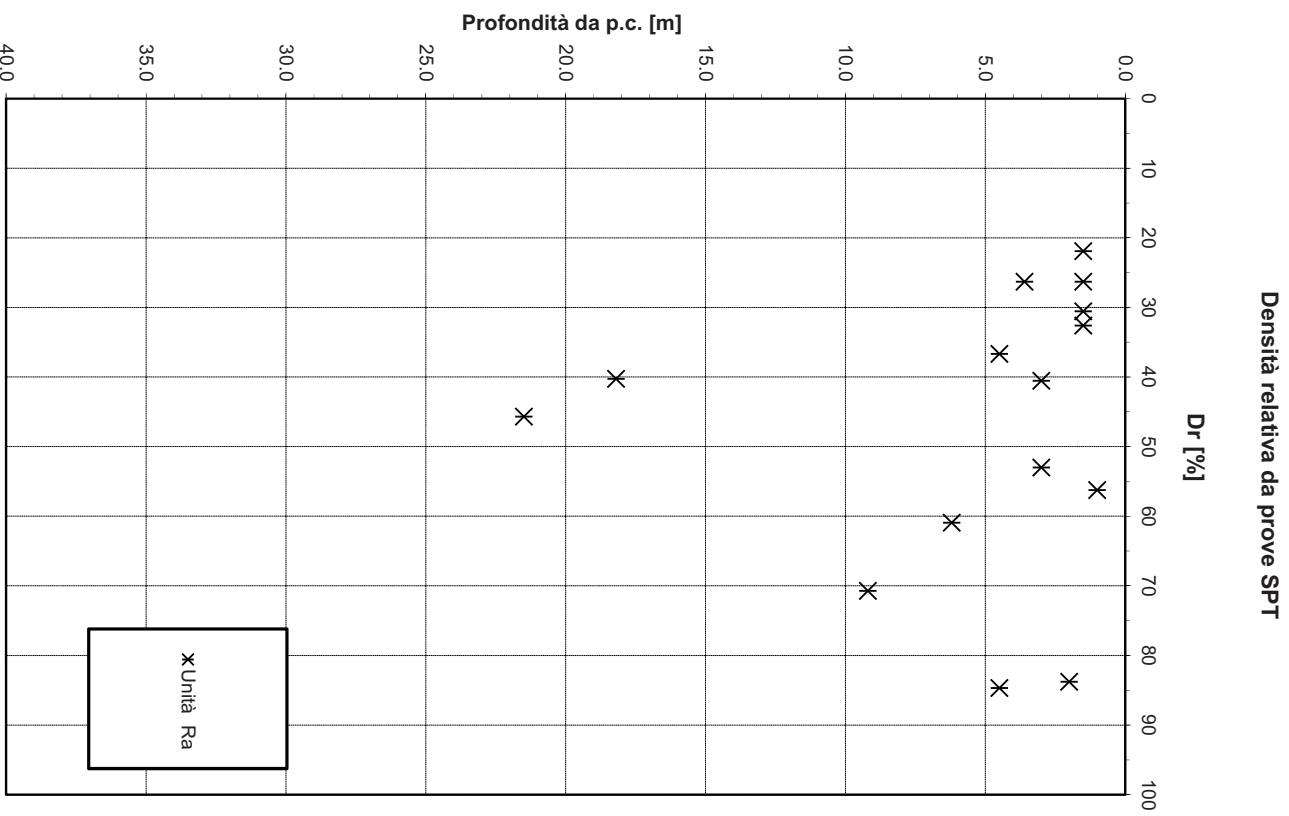


Figura 23: Densità relativa da prove SPT – unità Ra

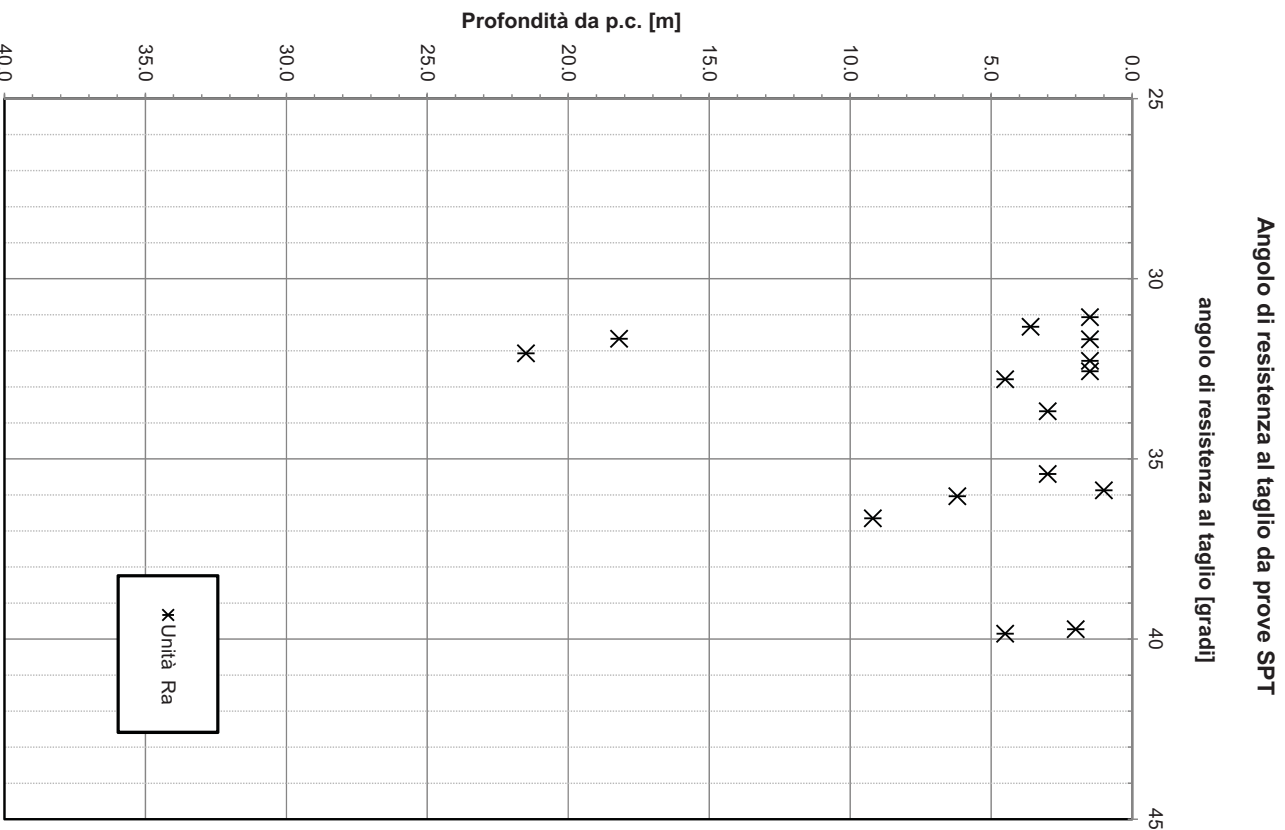


Figura 24: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – unità Ra

Correlazione $N_{SPT}-\phi'$, De Mello (1971)

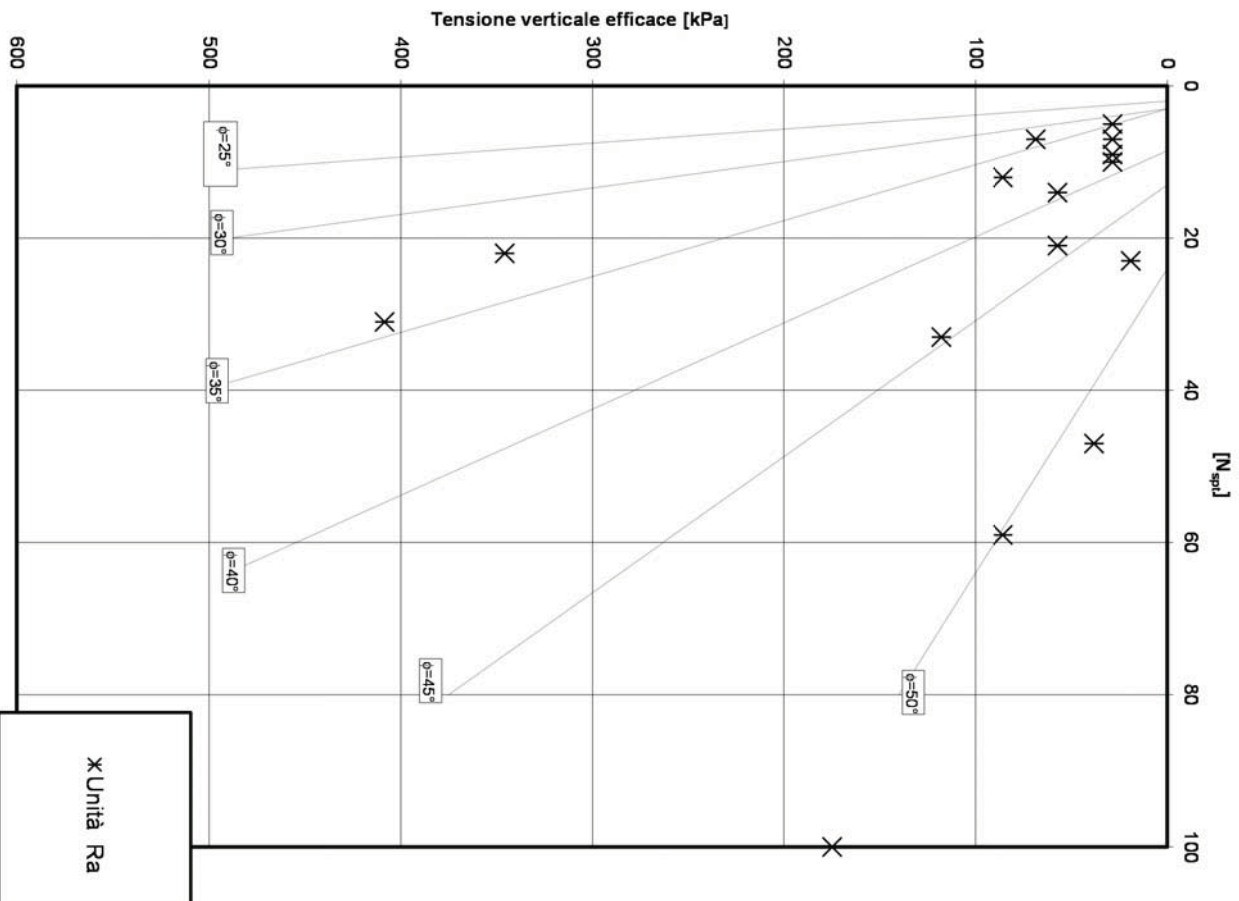


Figura 25: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – De Mello– unità Ra

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

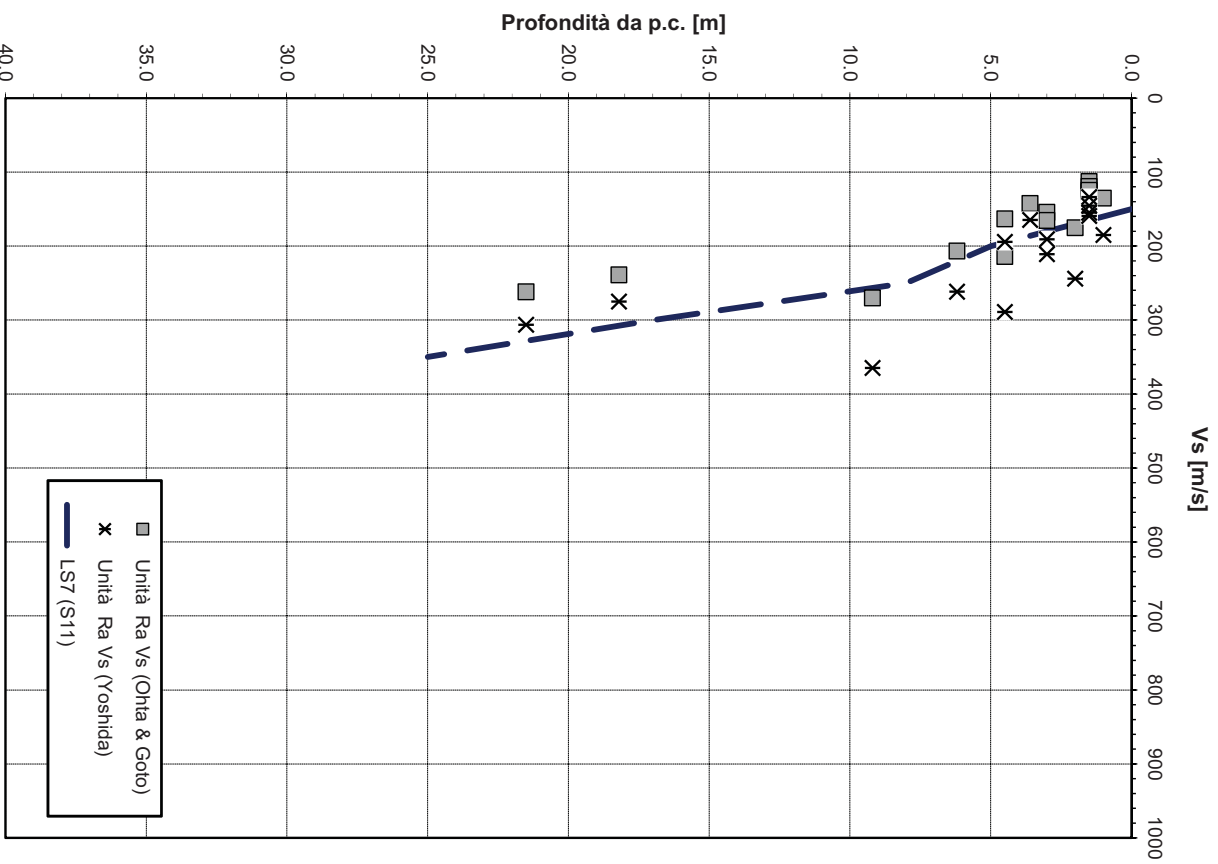


Figura 26: Velocità delle onde di taglio da prove SPT e indagini sismiche

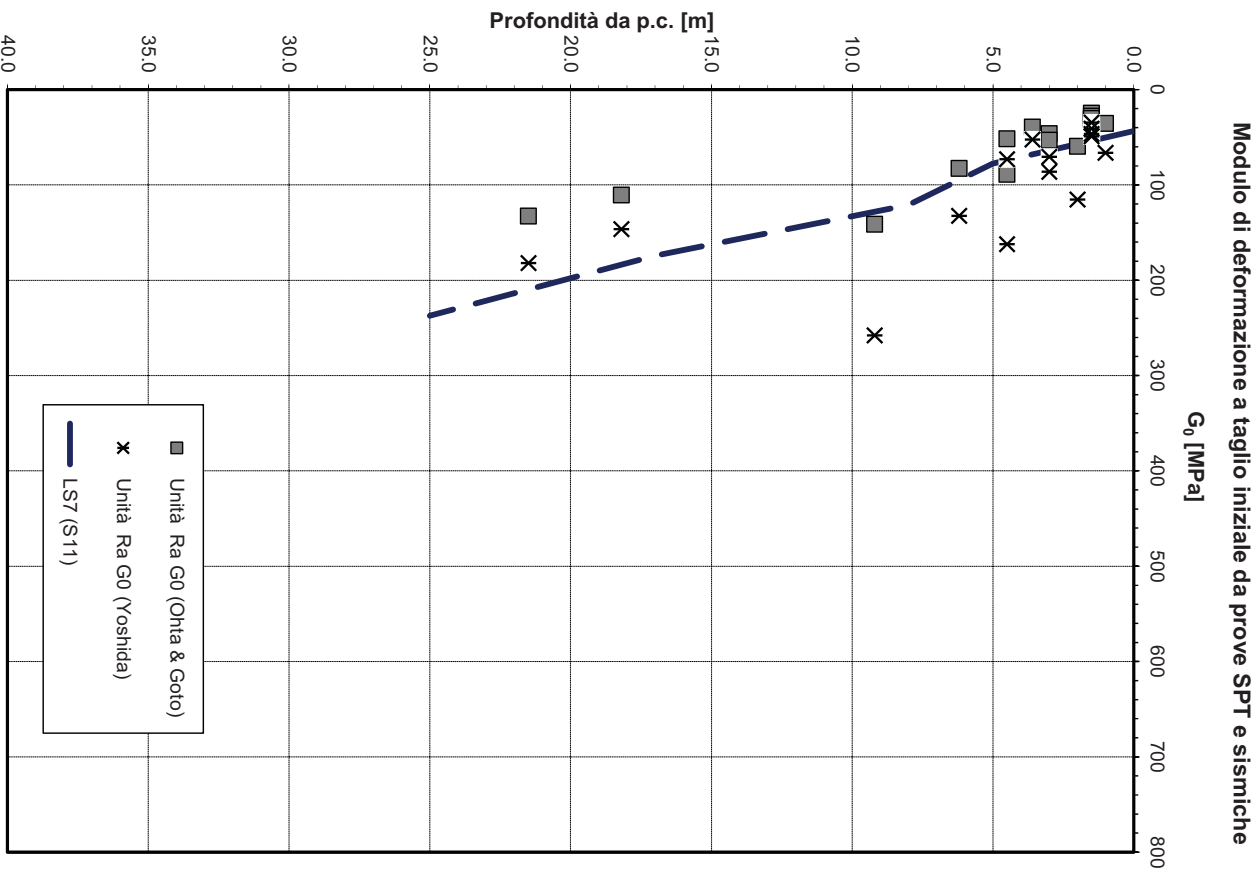


Figura 27: Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e indagini sismiche

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

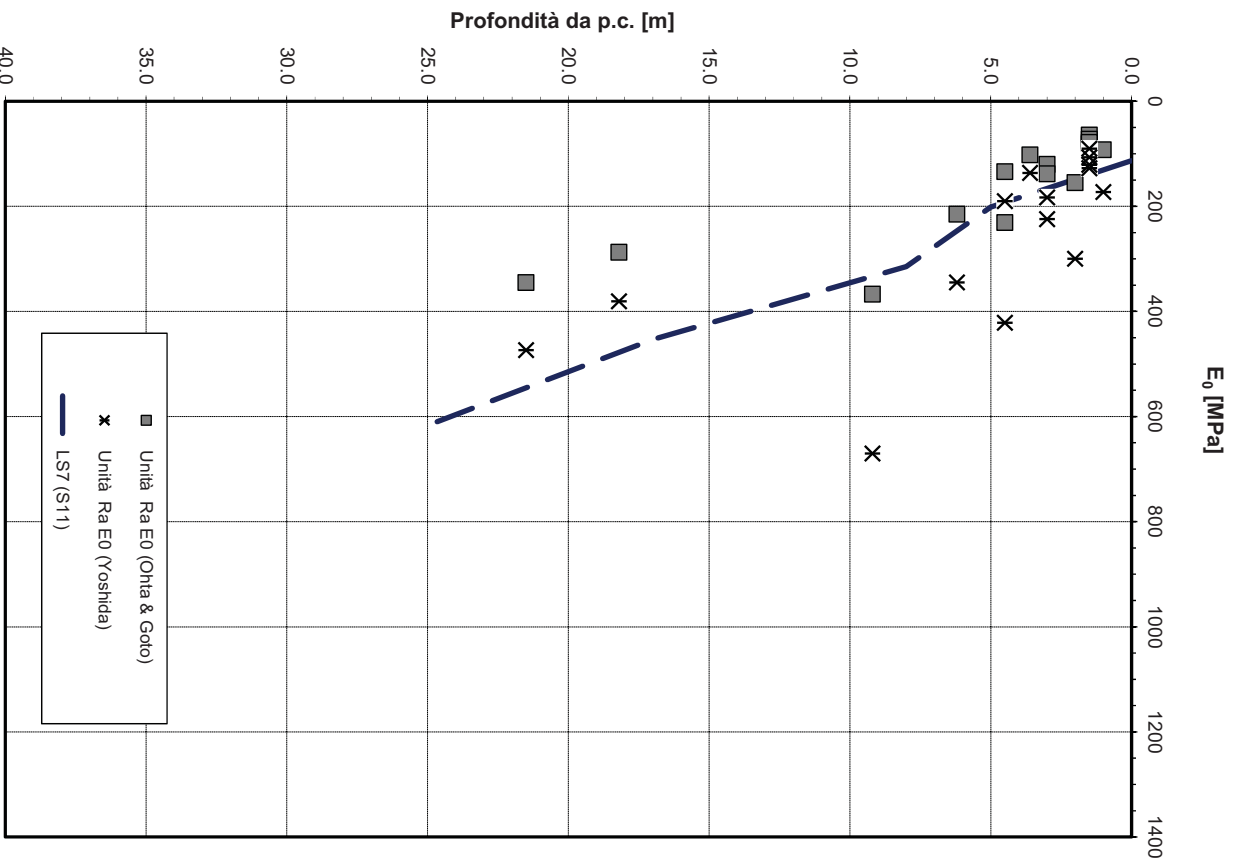


Figura 28: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e indagini sismiche

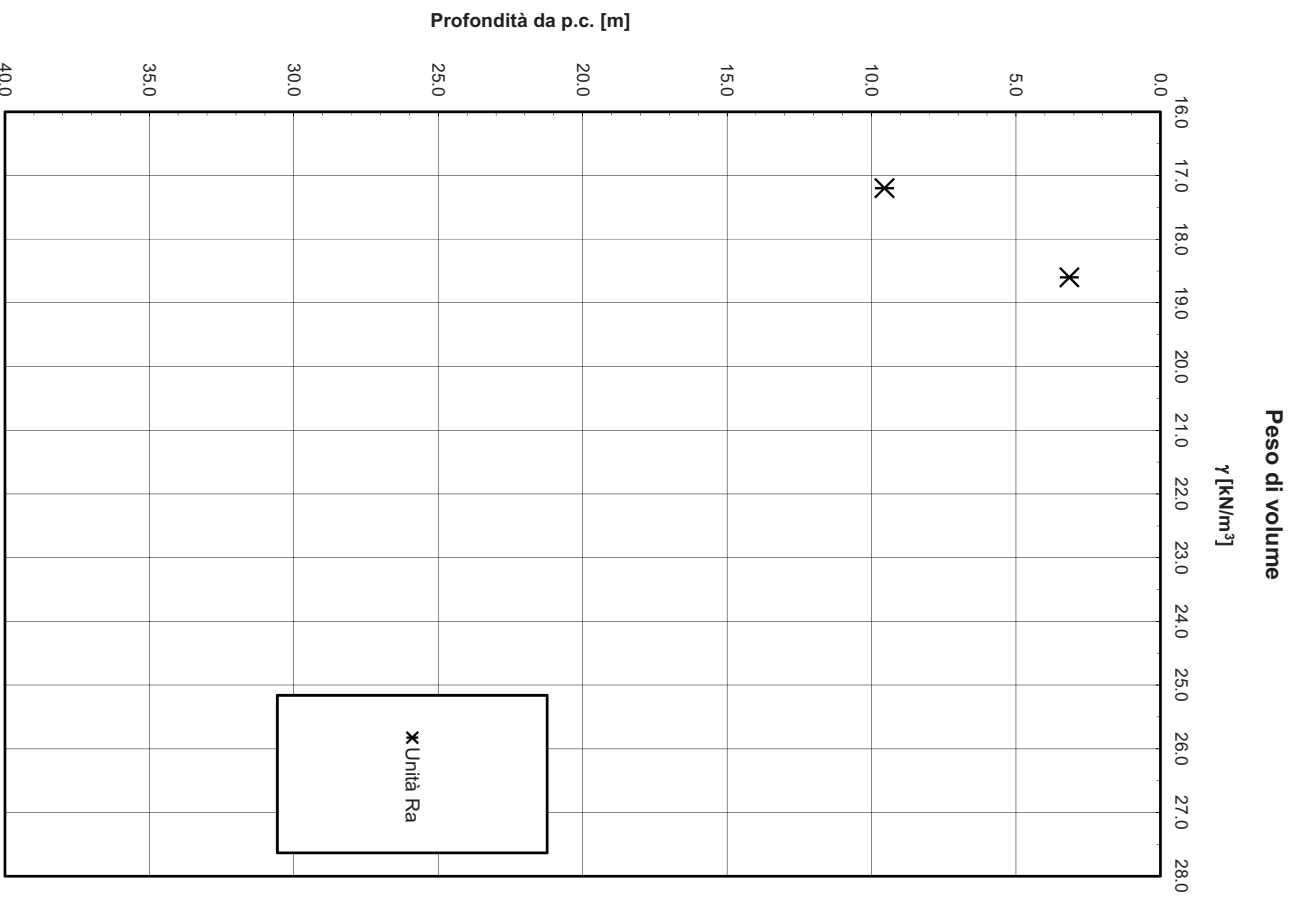


Figura 29: Peso di volume naturale – unità Ra

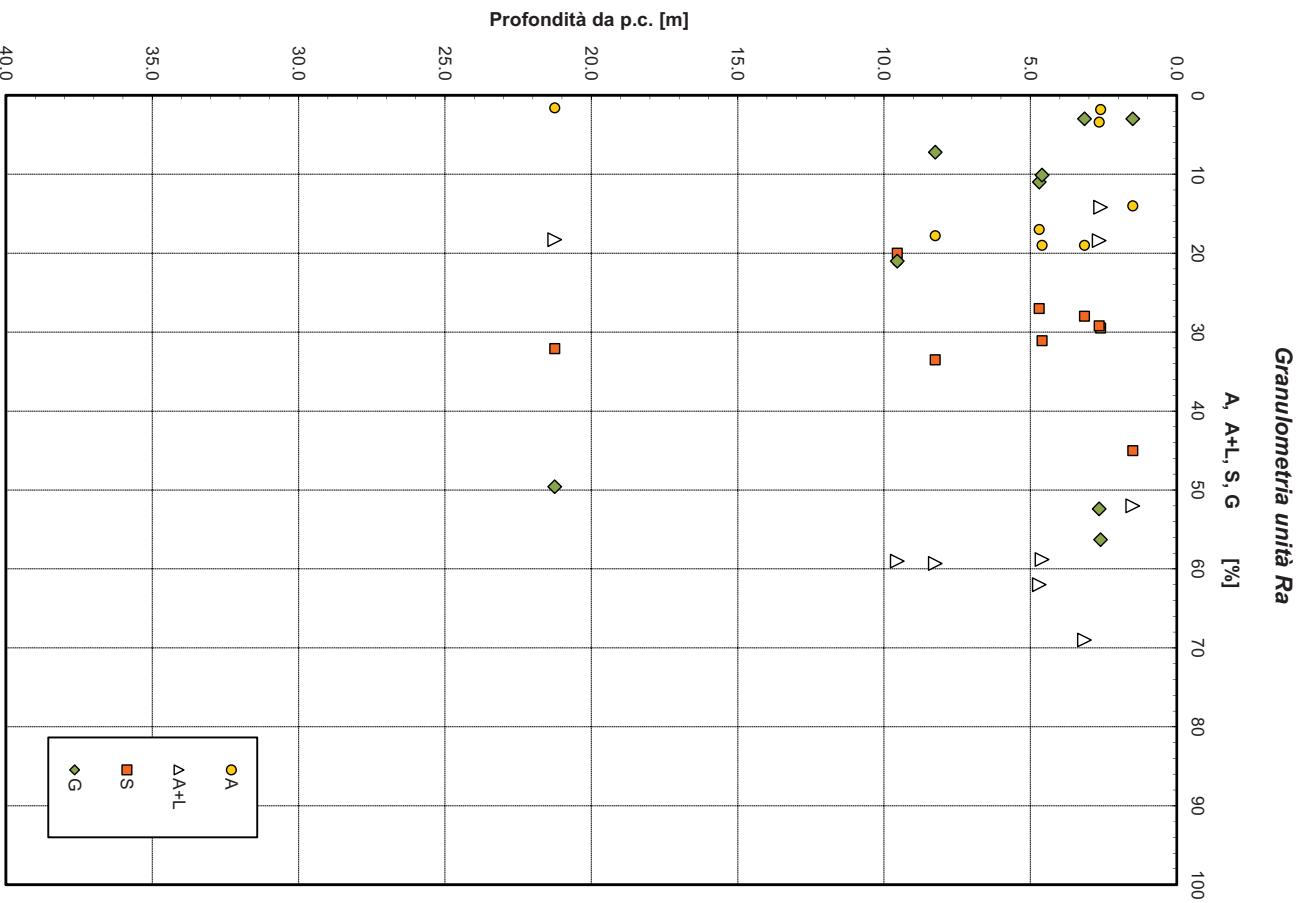


Figura 30: Analisi granulometrica– unità Ra

Carta di Plasticità di Casagrande

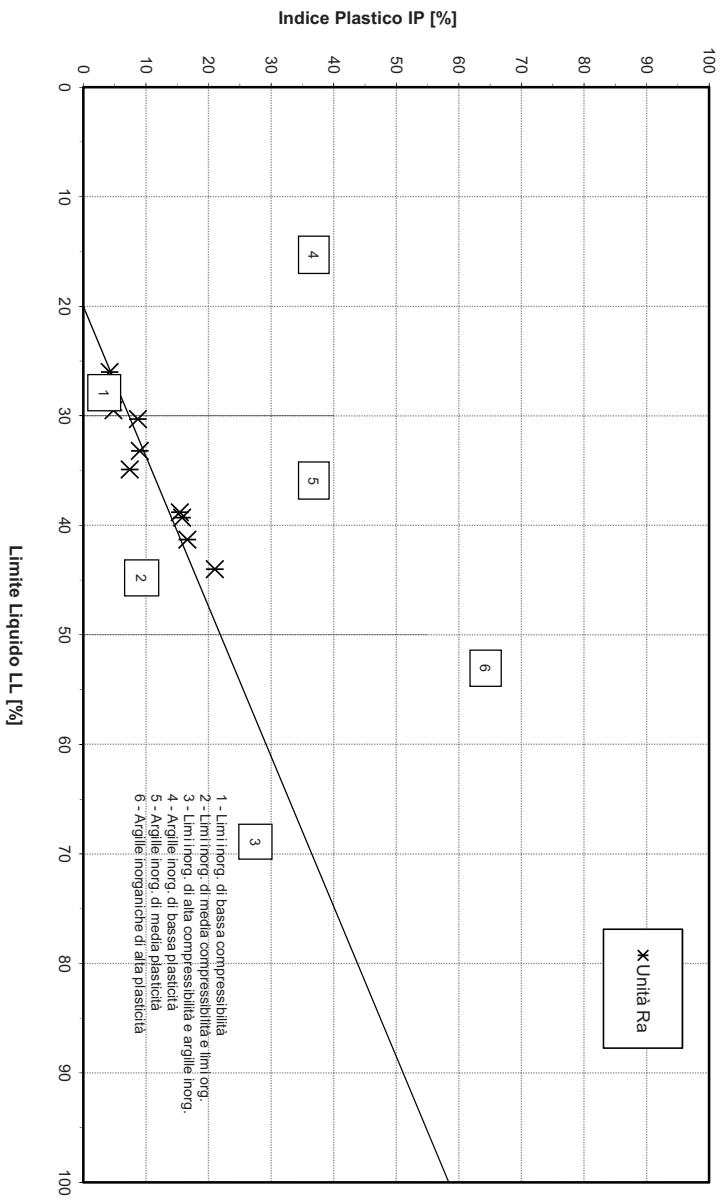


Figura 31: Carta di plasticità di Casagrande – unità Ra

Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua

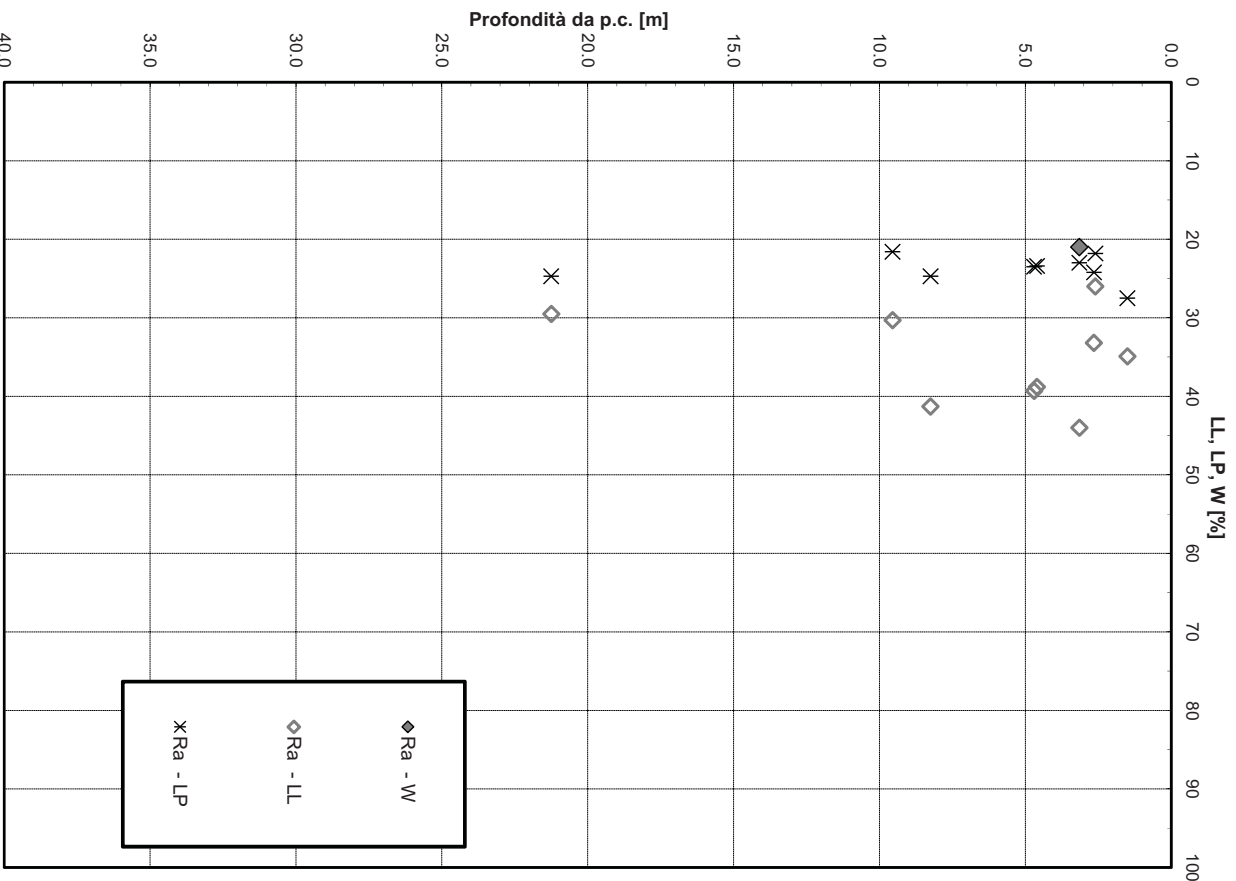


Figura 32: Limiti di consistenza – unità Ra

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

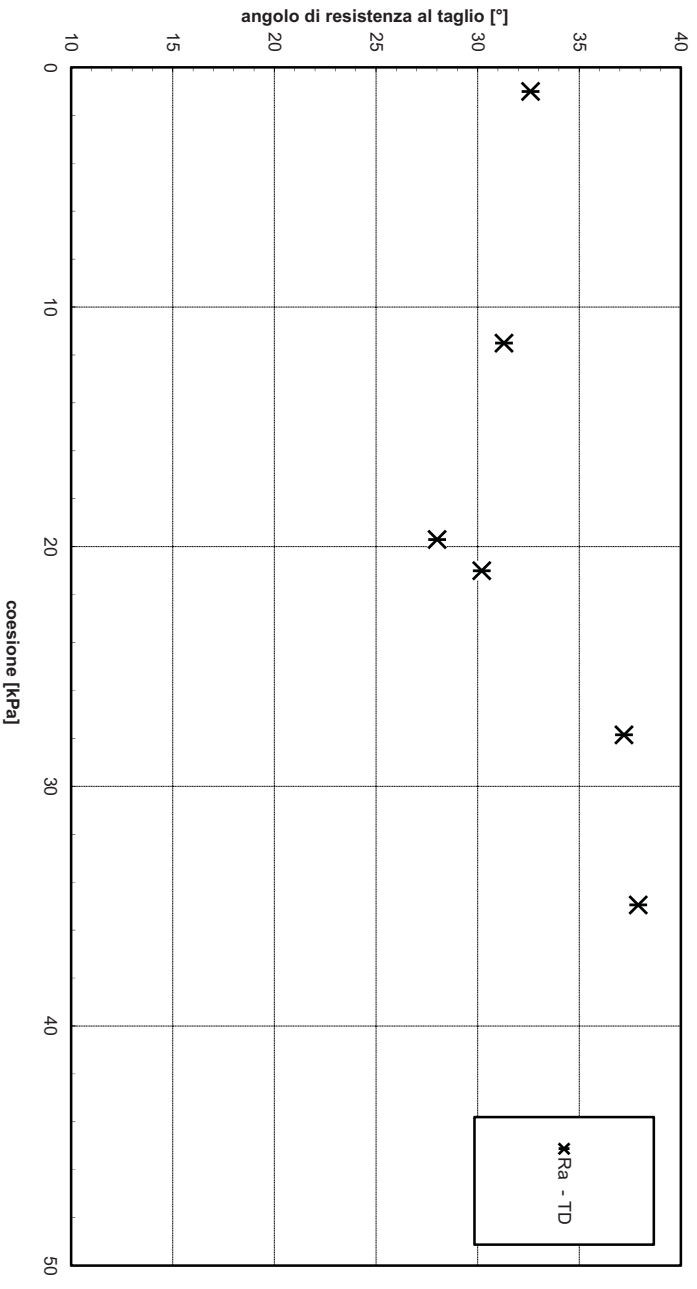


Figura 33: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata - laboratorio – unità Ra

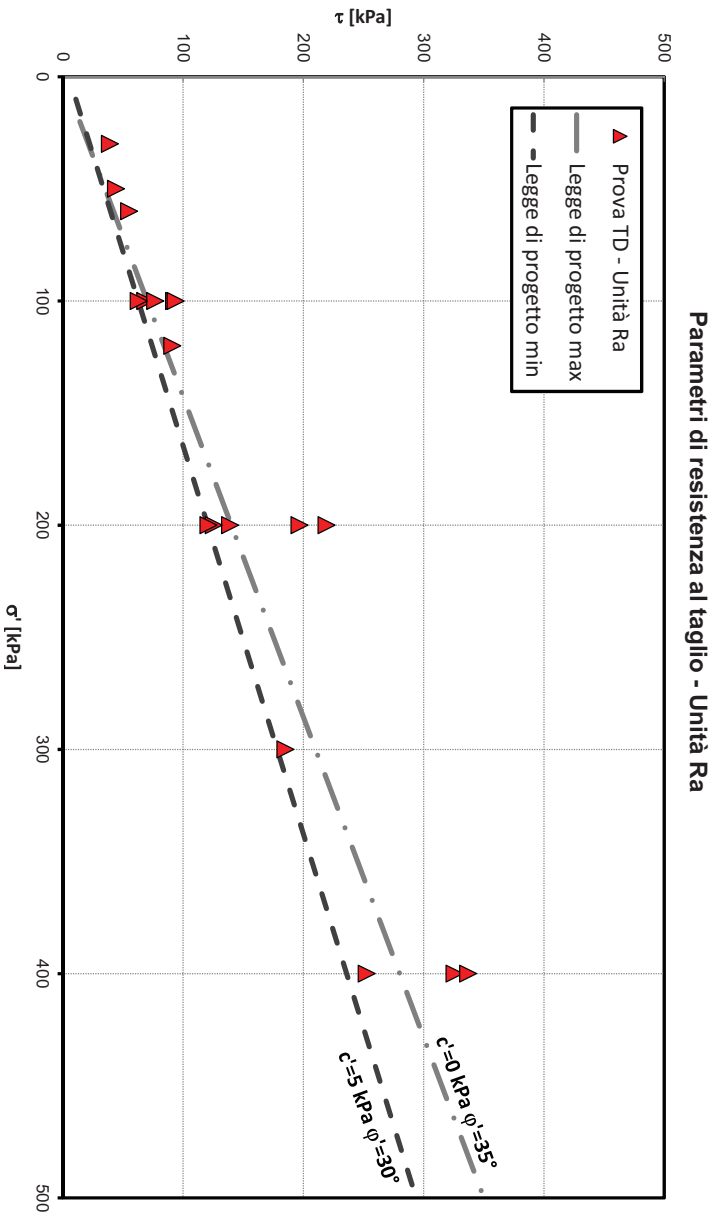


Figura 34: Parametri di resistenza - laboratorio – unità Ra

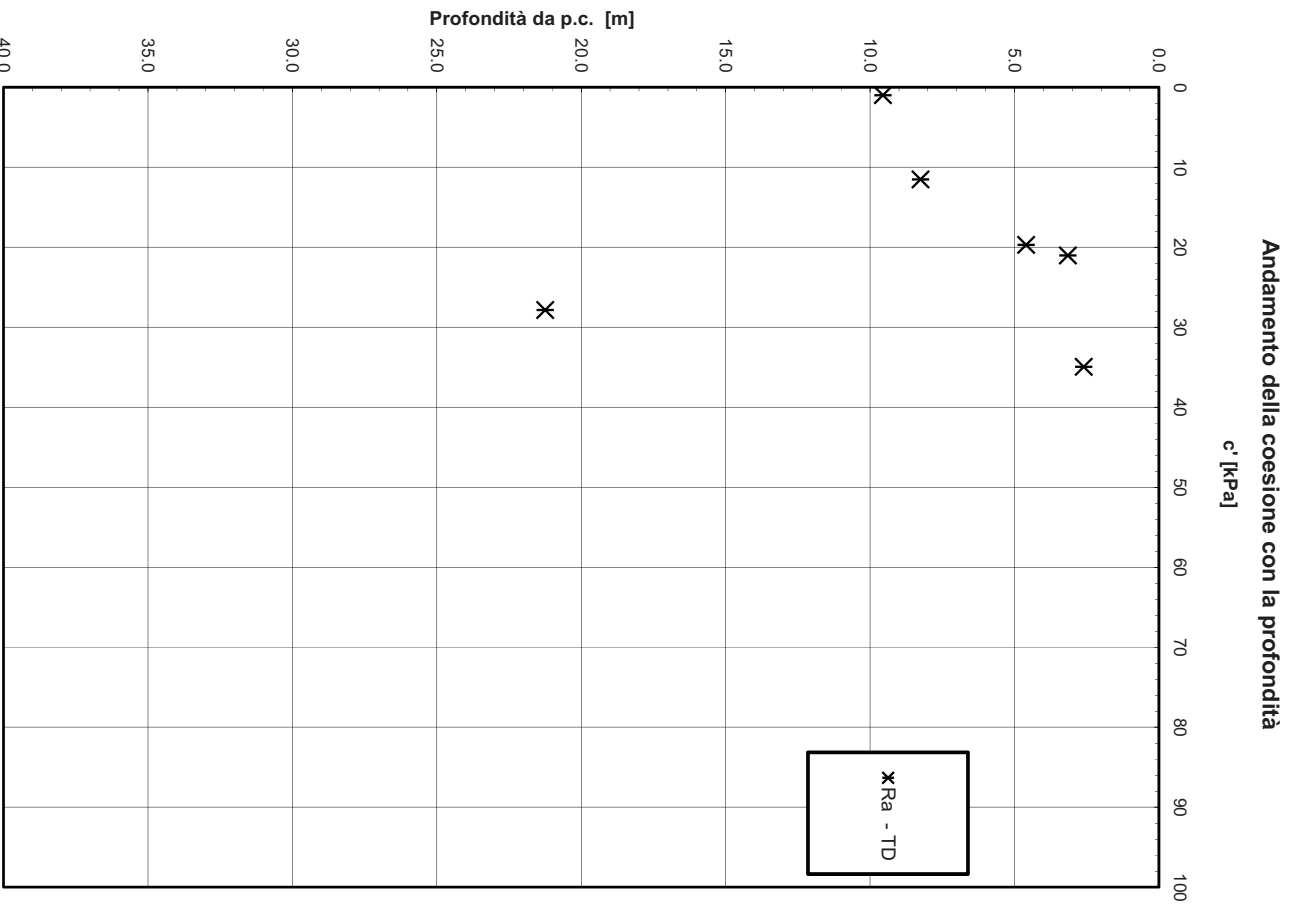


Figura 35: Coesione drenata con la profondità - laboratorio – unità Ra

Andamento della resistenza al taglio con la profondità

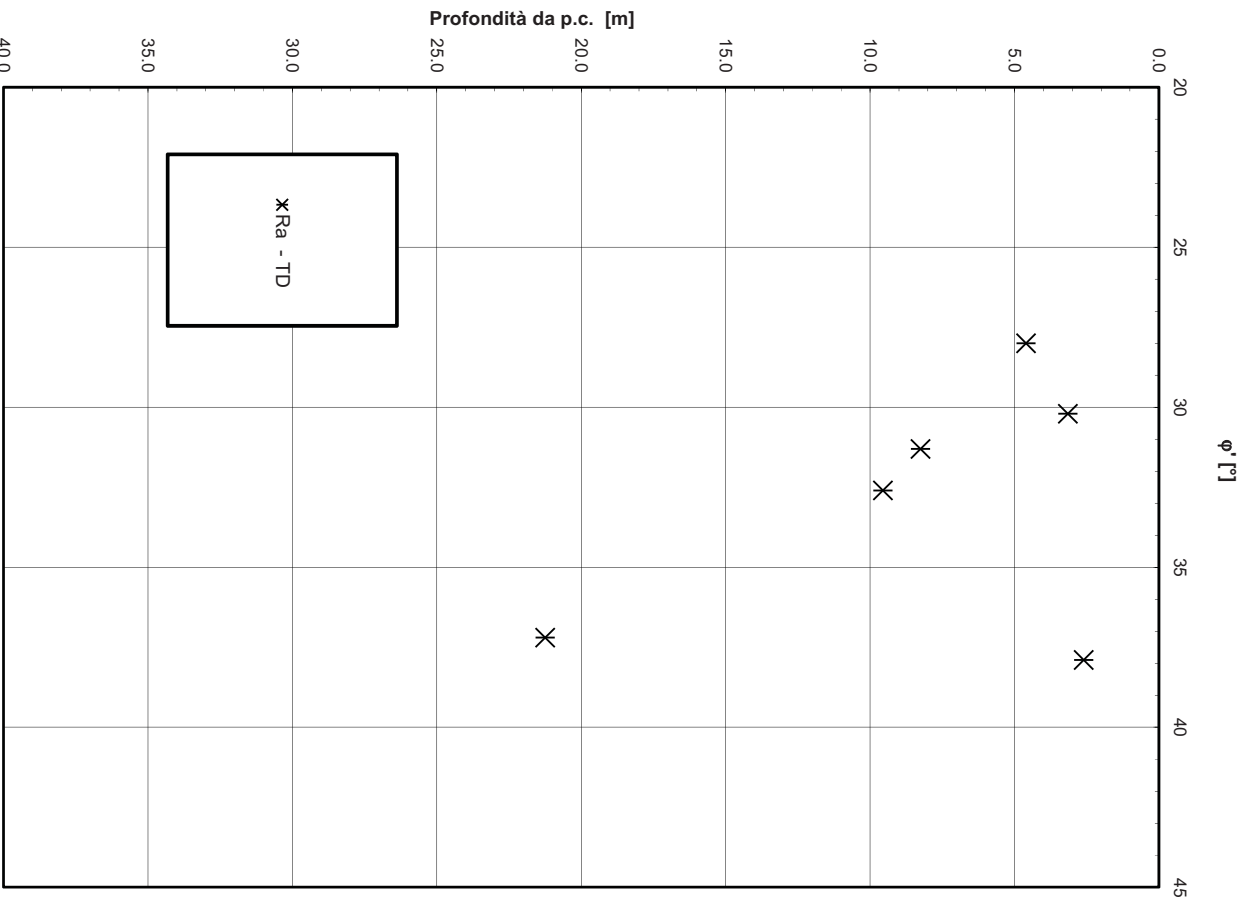


Figura 36: Angolo di resistenza al taglio con la profondità - laboratorio – unità Ra

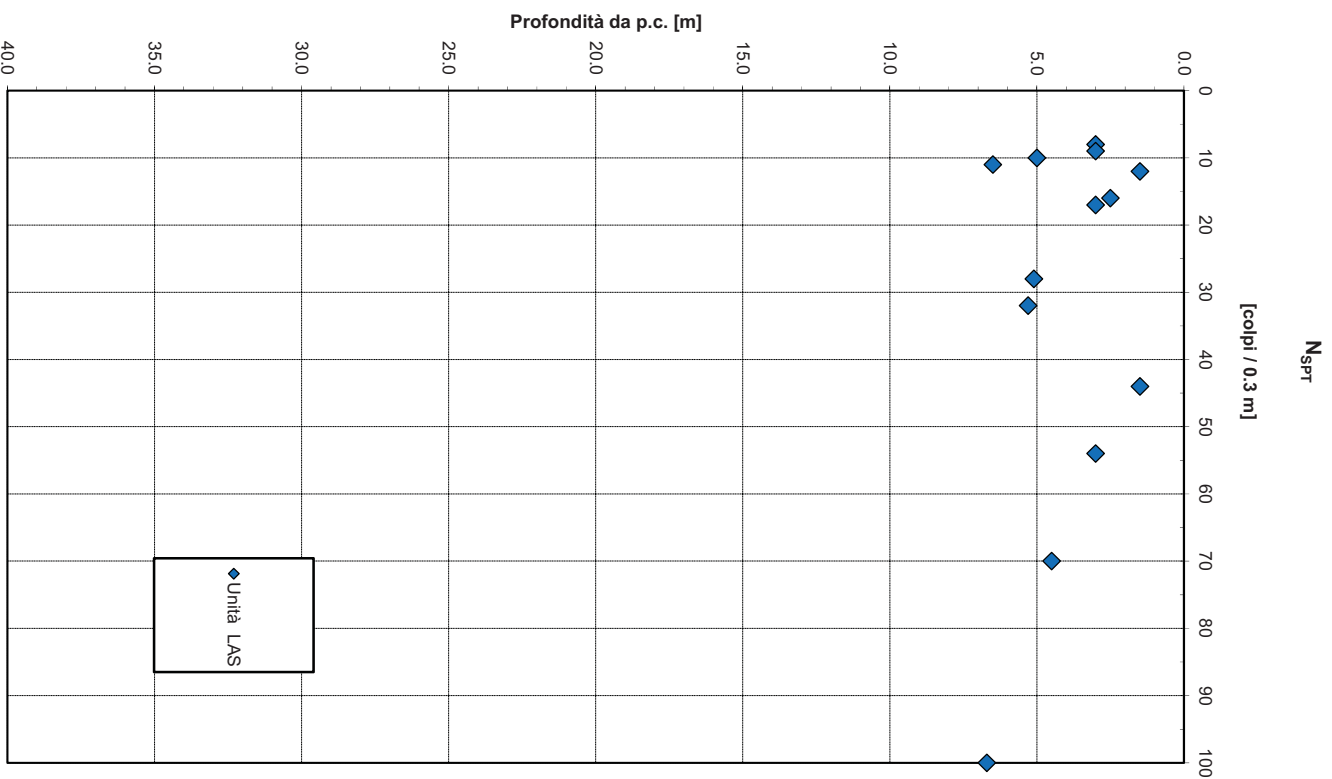


Figura 37: Valori di N_{spt} – unità LAS

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

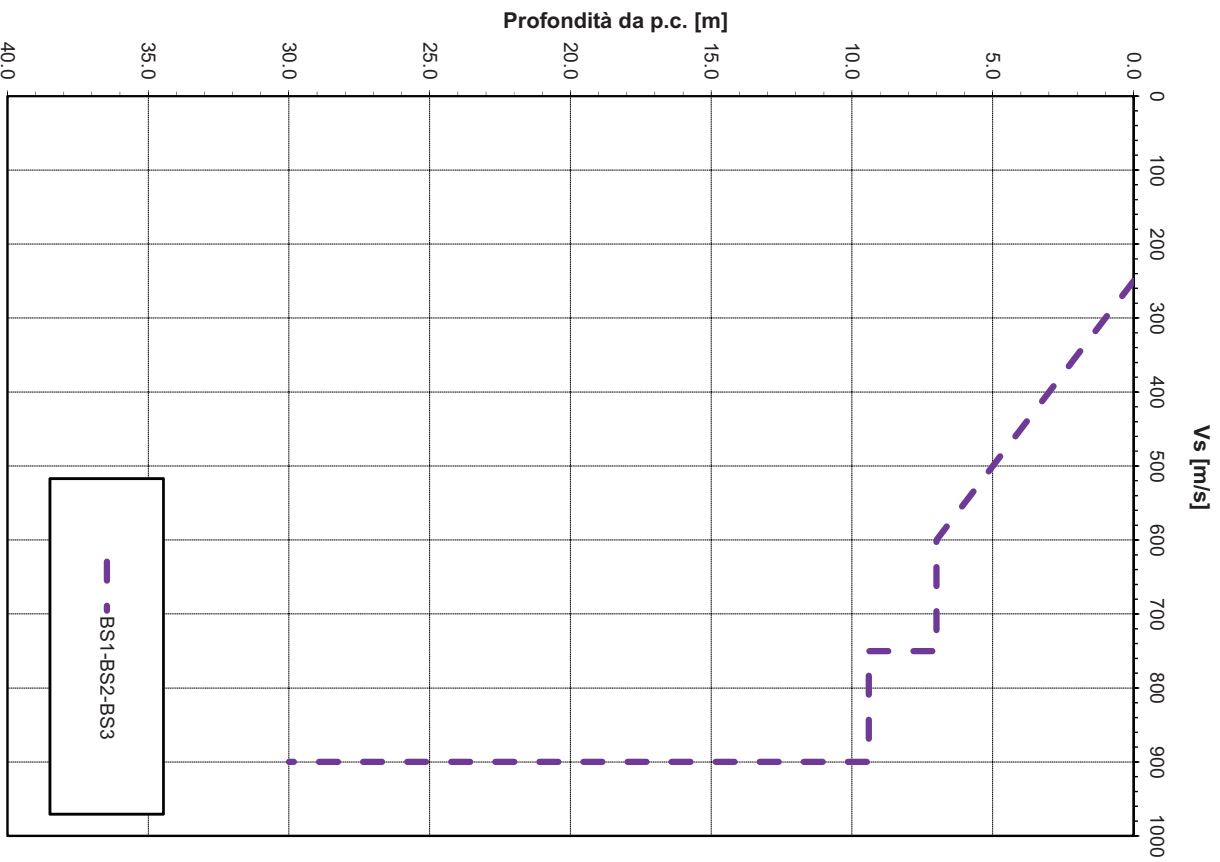


Figura 38: Velocità delle onde di taglio da sismica – unità LAS (da 0 a 7 m circa da p.c.)

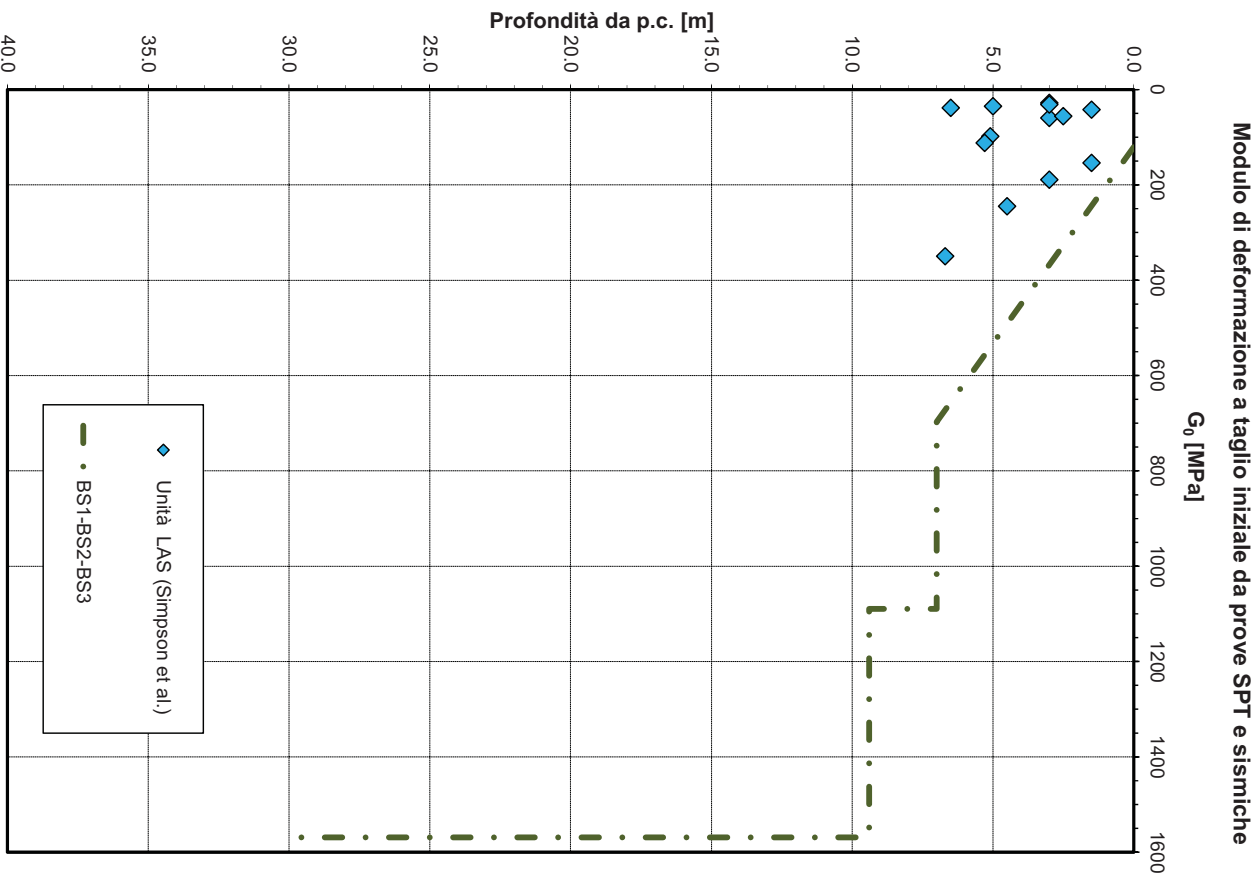


Figura 39: Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove e indagini sismiche – unità LAS

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

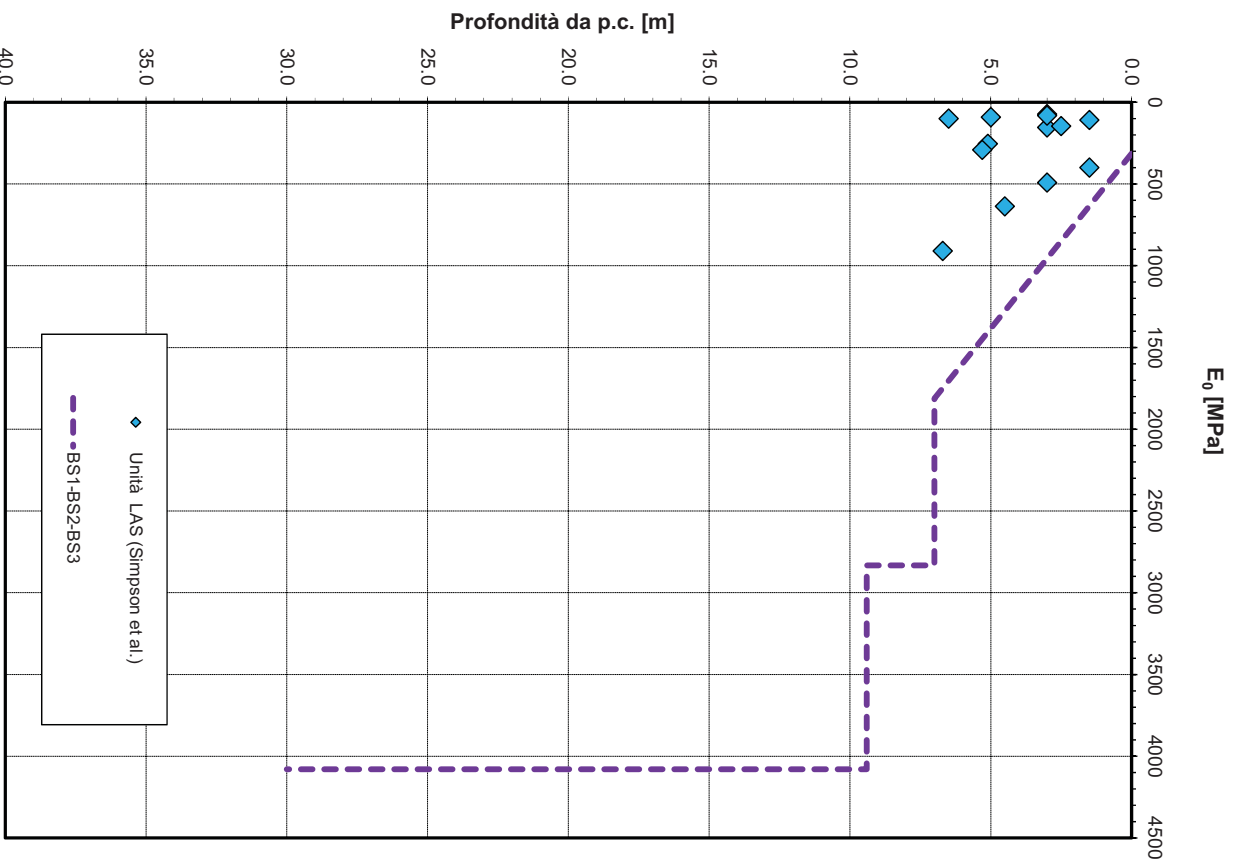


Figura 40: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e indagini sismiche – unità LAS

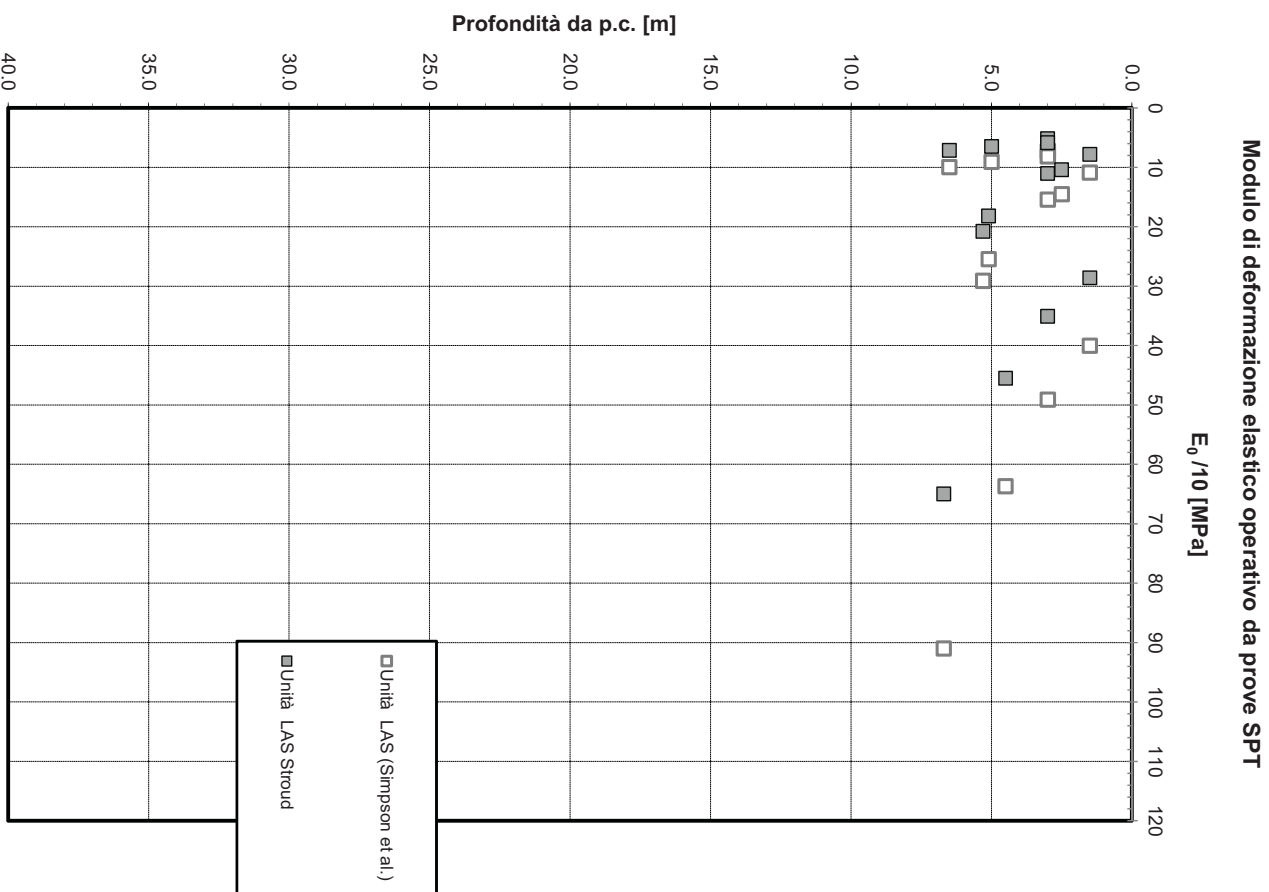


Figura 41: Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT – unità LAS

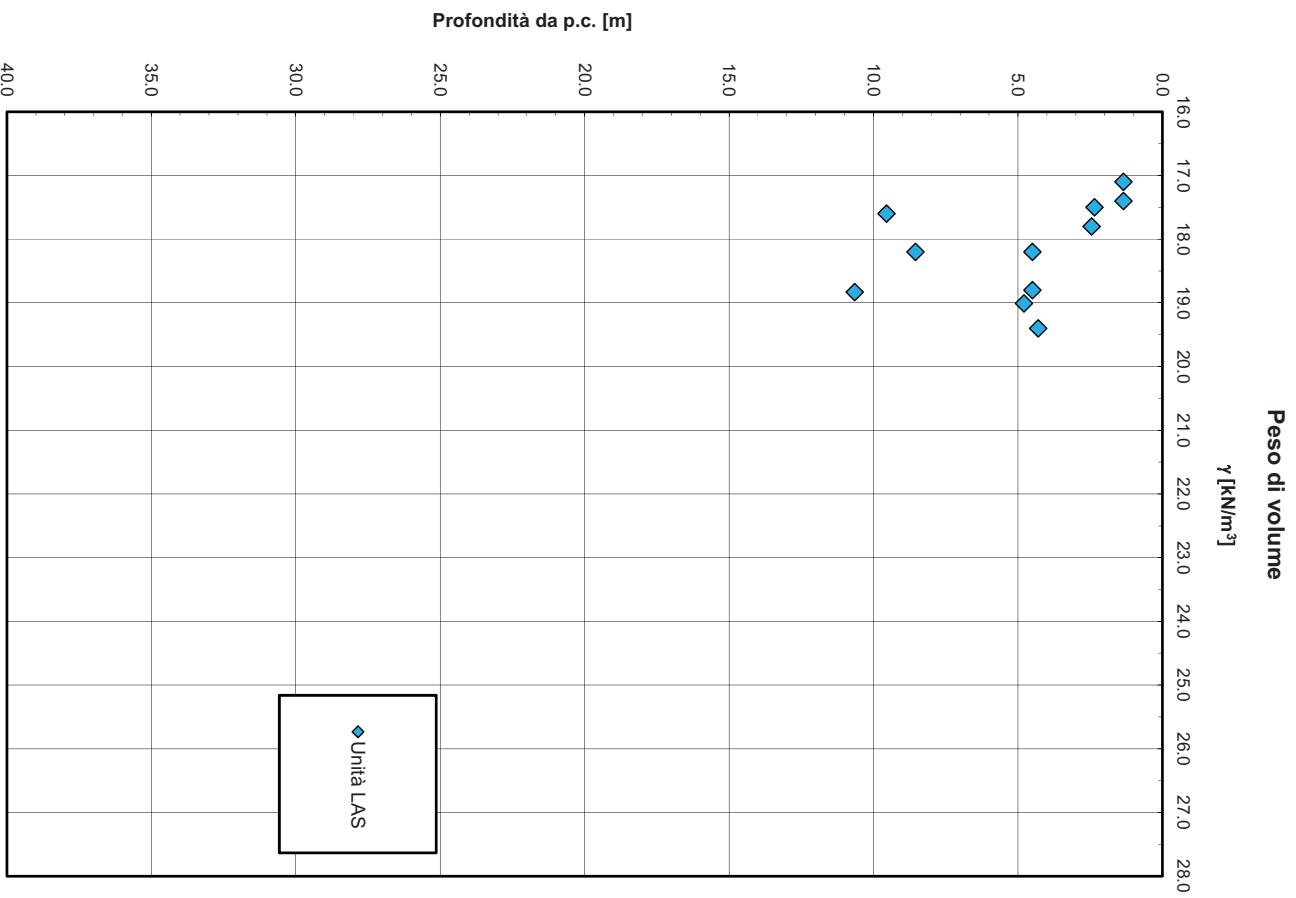


Figura 42: Peso di volume naturale – unità LAS

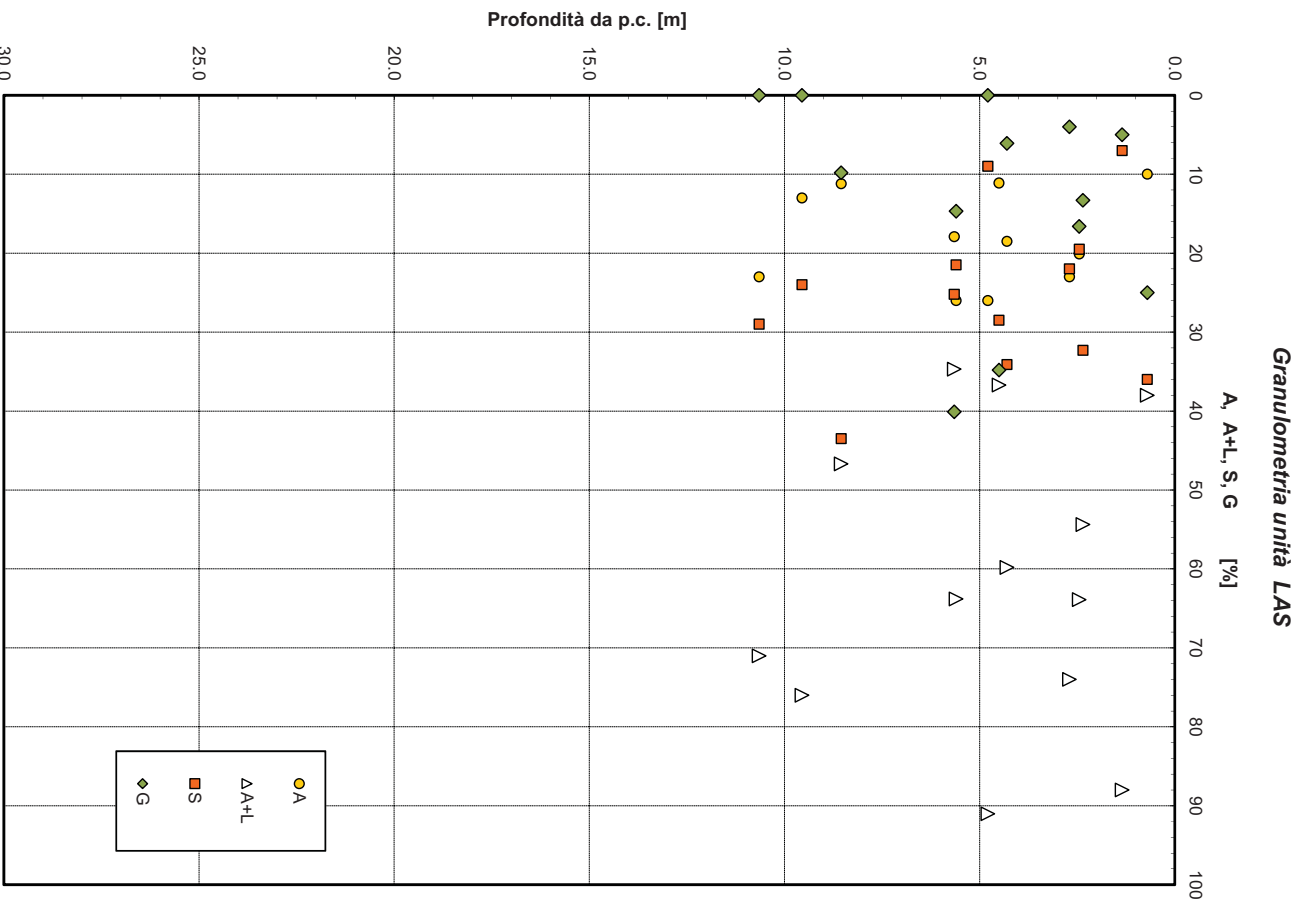


Figura 43: Analisi granulometrica– unità LAS

Carta di Plasticità di Casagrande

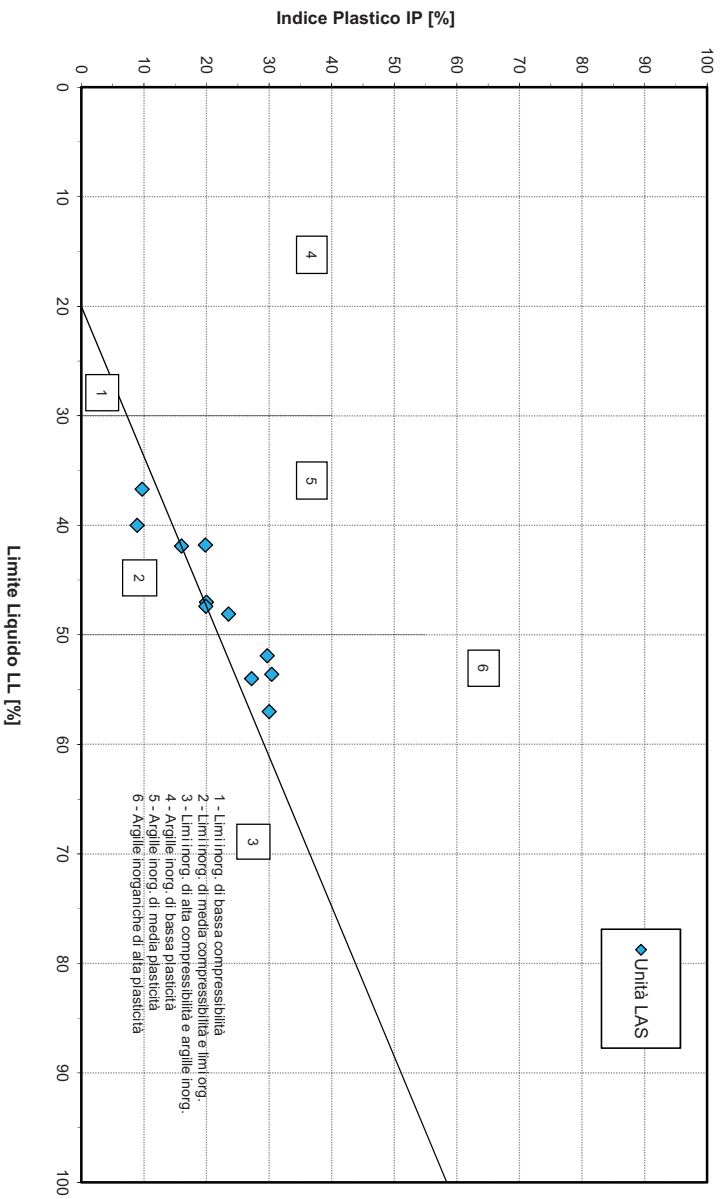


Figura 44: Carta di plasticità di Casagrande – unità LAS

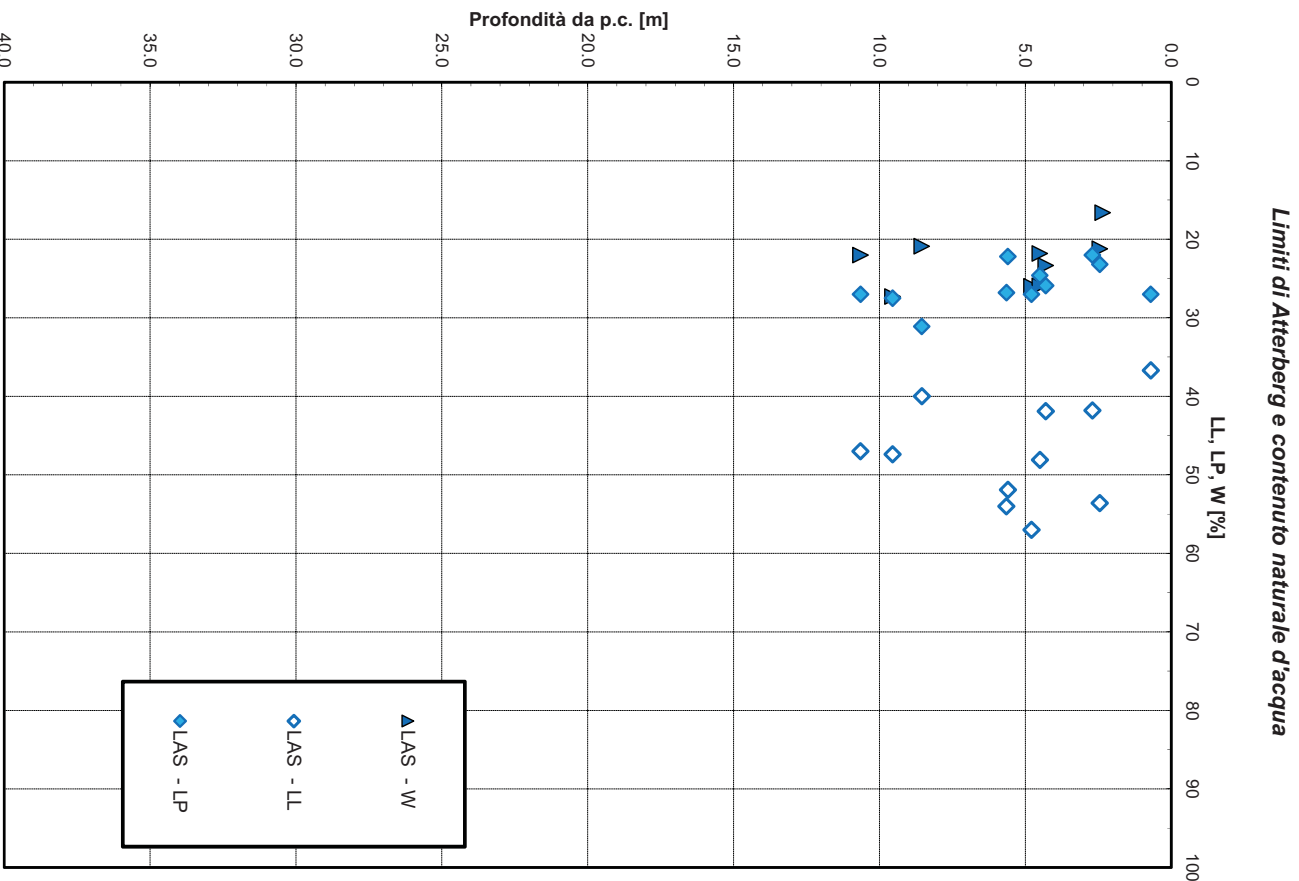


Figura 45: Limiti di consistenza – unità LAS

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

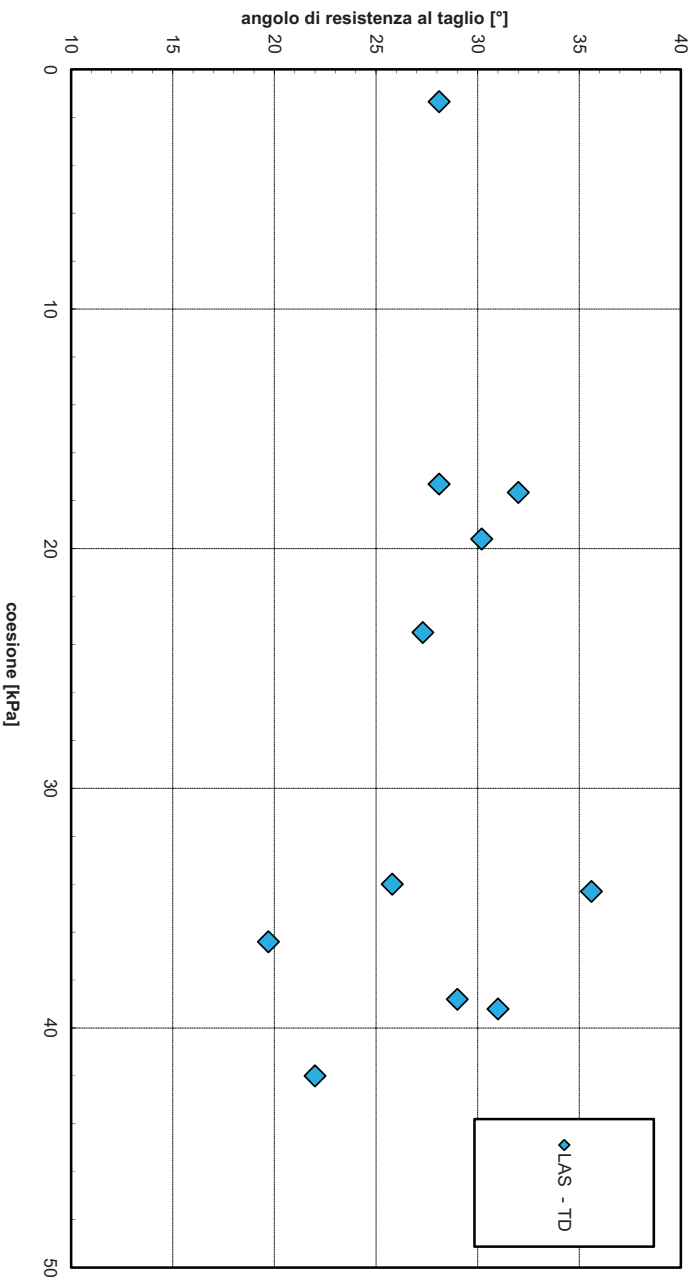


Figura 46: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata - laboratorio – unità LAS

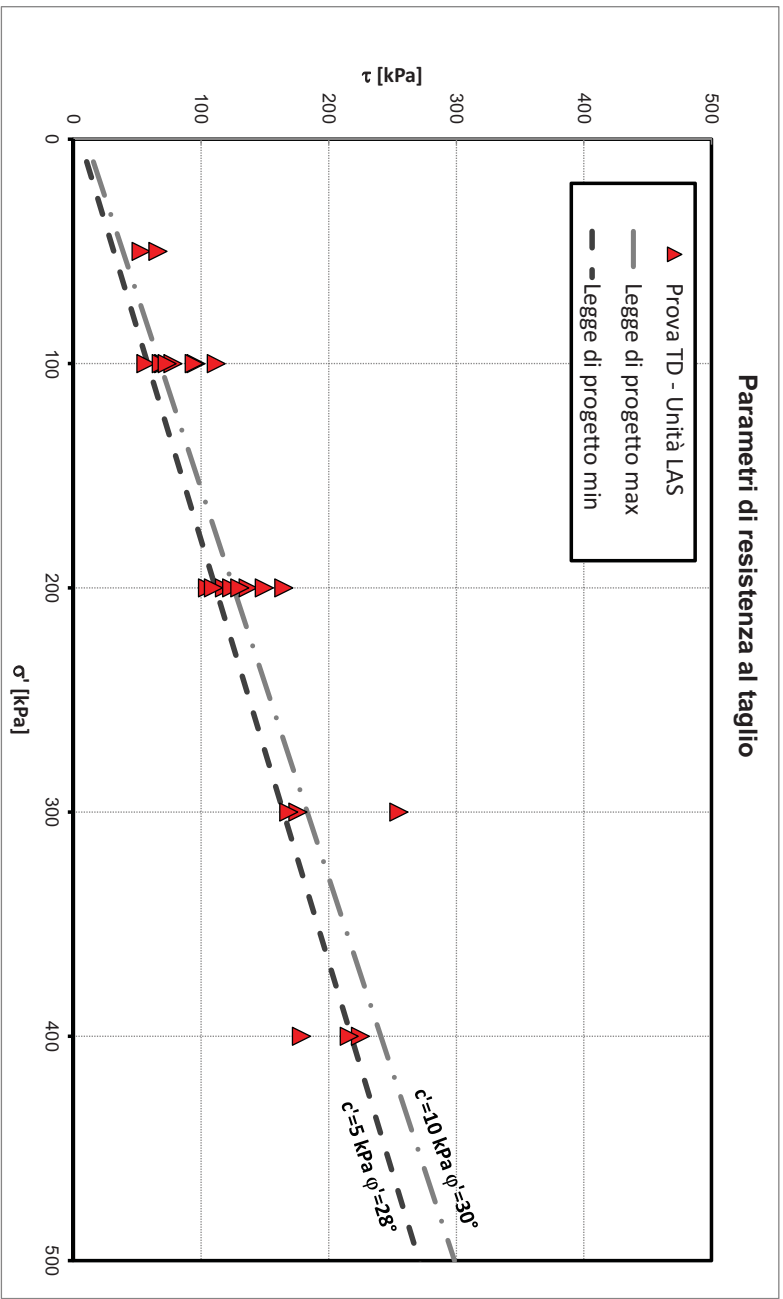


Figura 47: Parametri di resistenza - laboratorio – unit  LAS

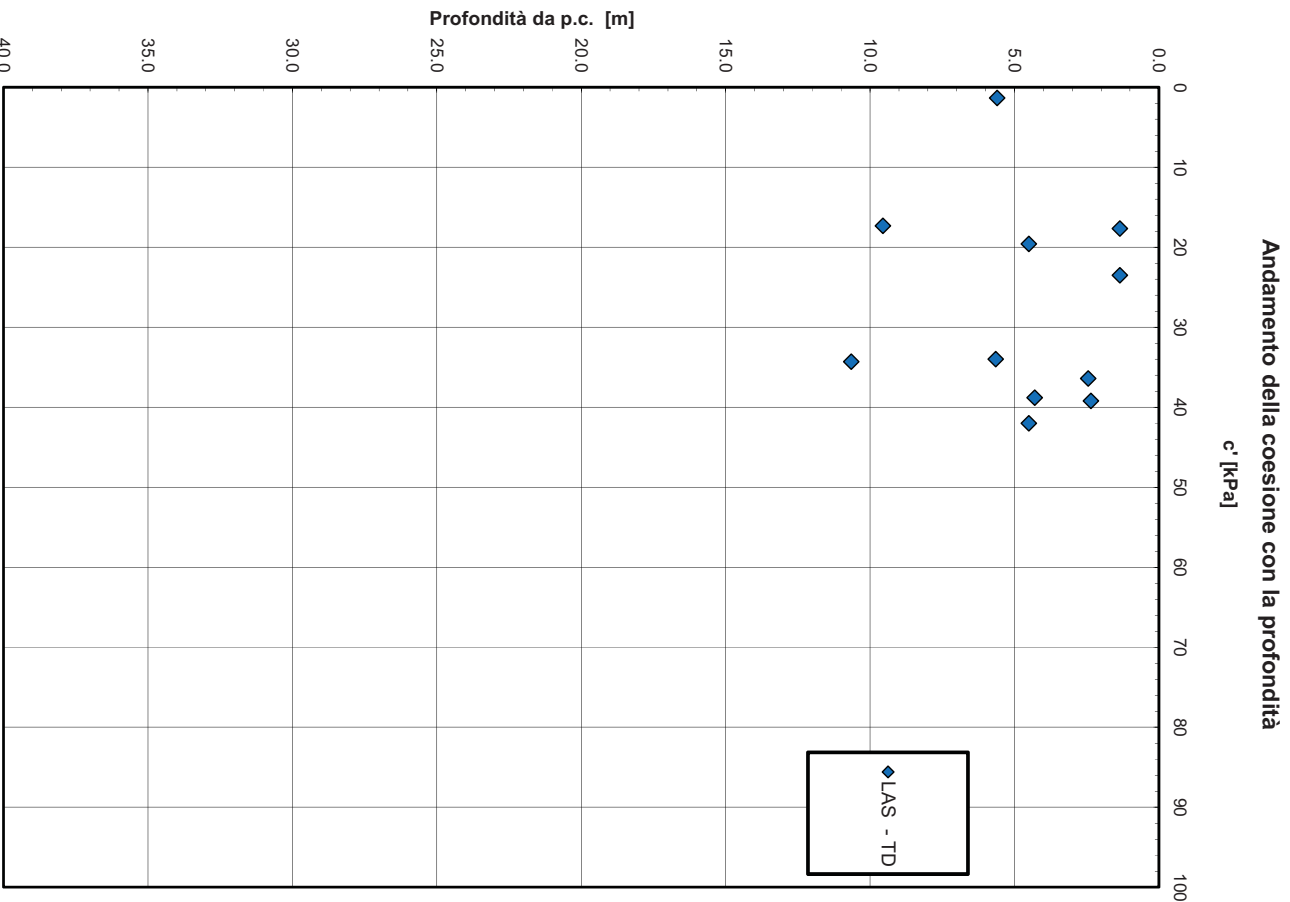


Figura 48: Coesione drenata con la profondità - laboratorio – unità LAS

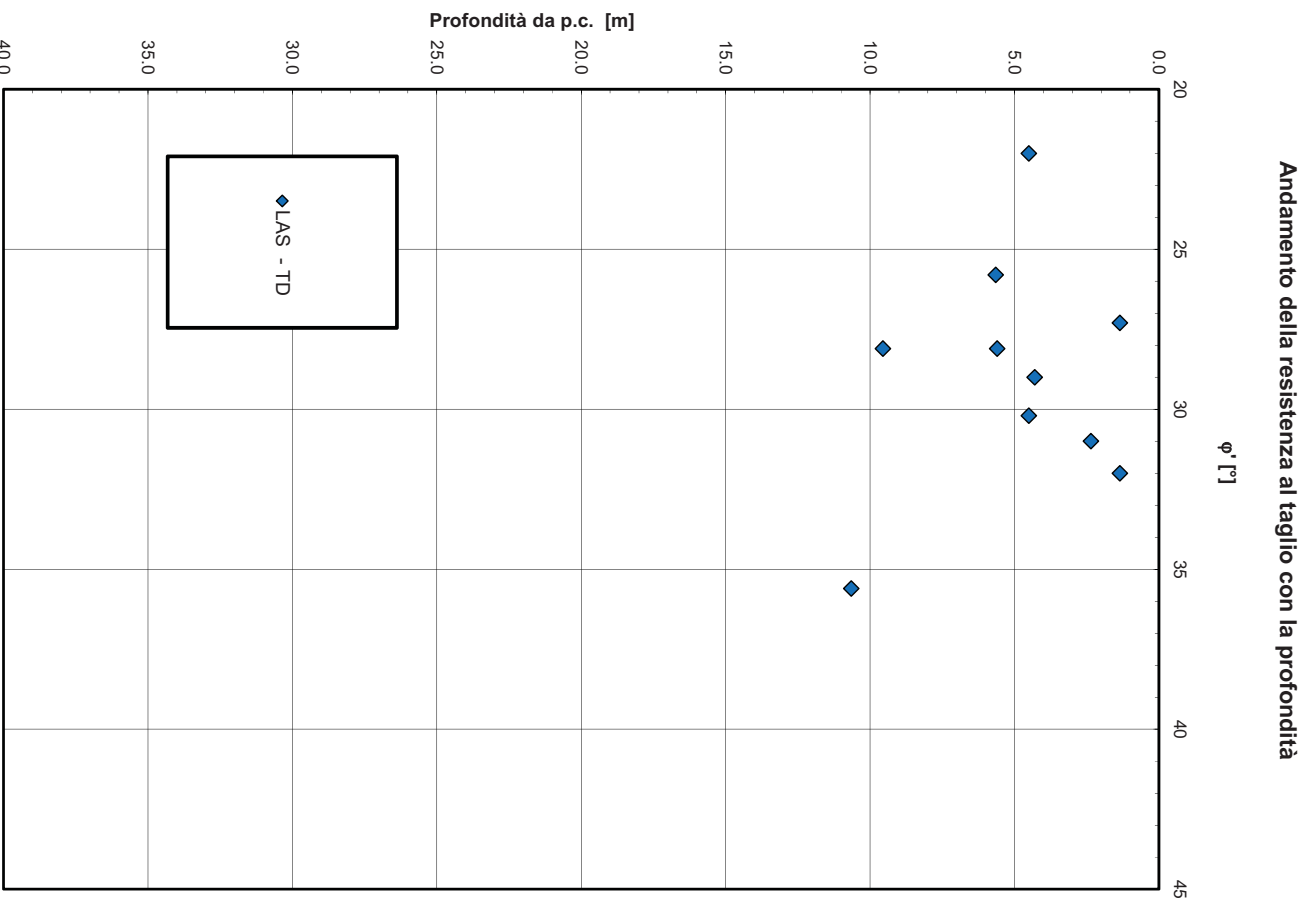


Figura 49: Angolo di resistenza al taglio con la profondità - laboratorio – unità LAS

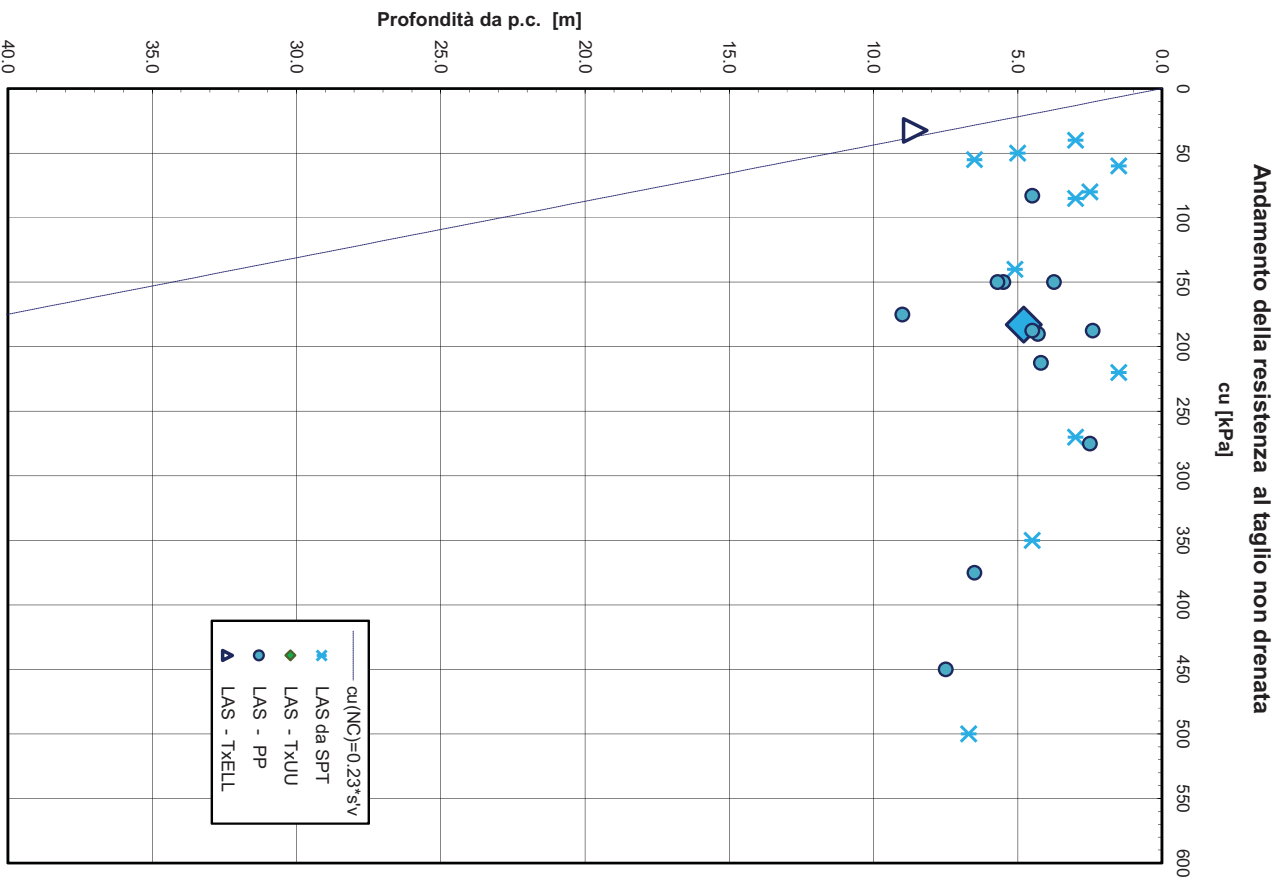


Figura 50: Resistenza al taglio in condizioni non drenate – unità LAS

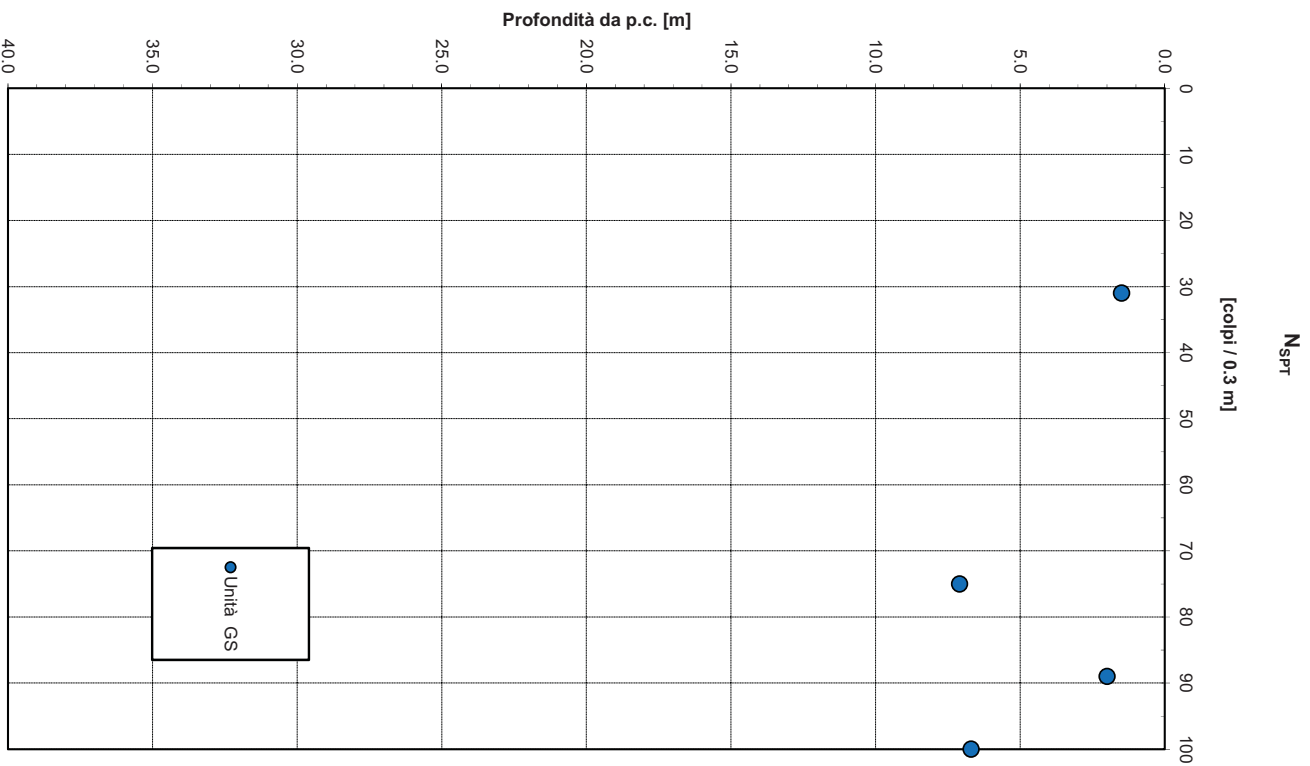


Figura 51: Valori di N_{spt} – unità GS

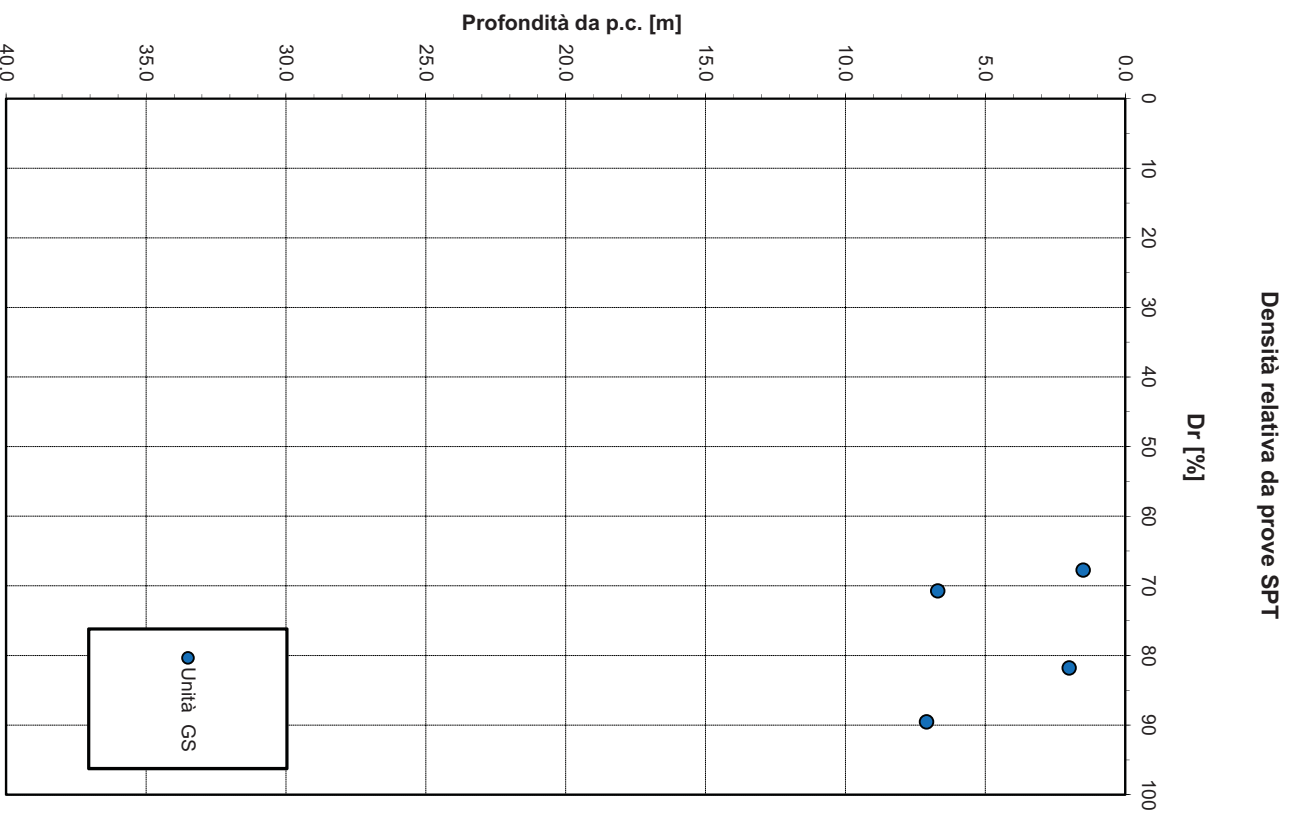


Figura 52: Densità relativa da prove SPT – unità GS

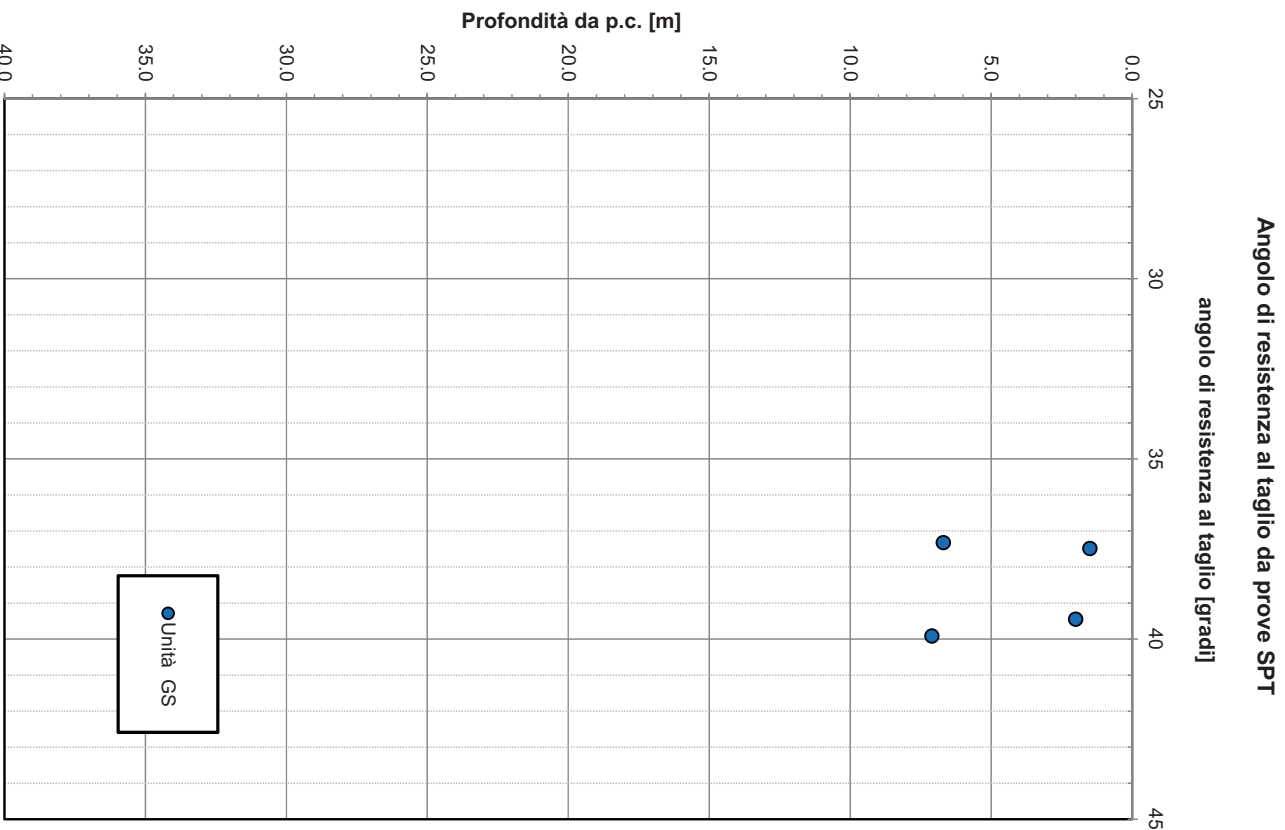


Figura 53: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – unità GS

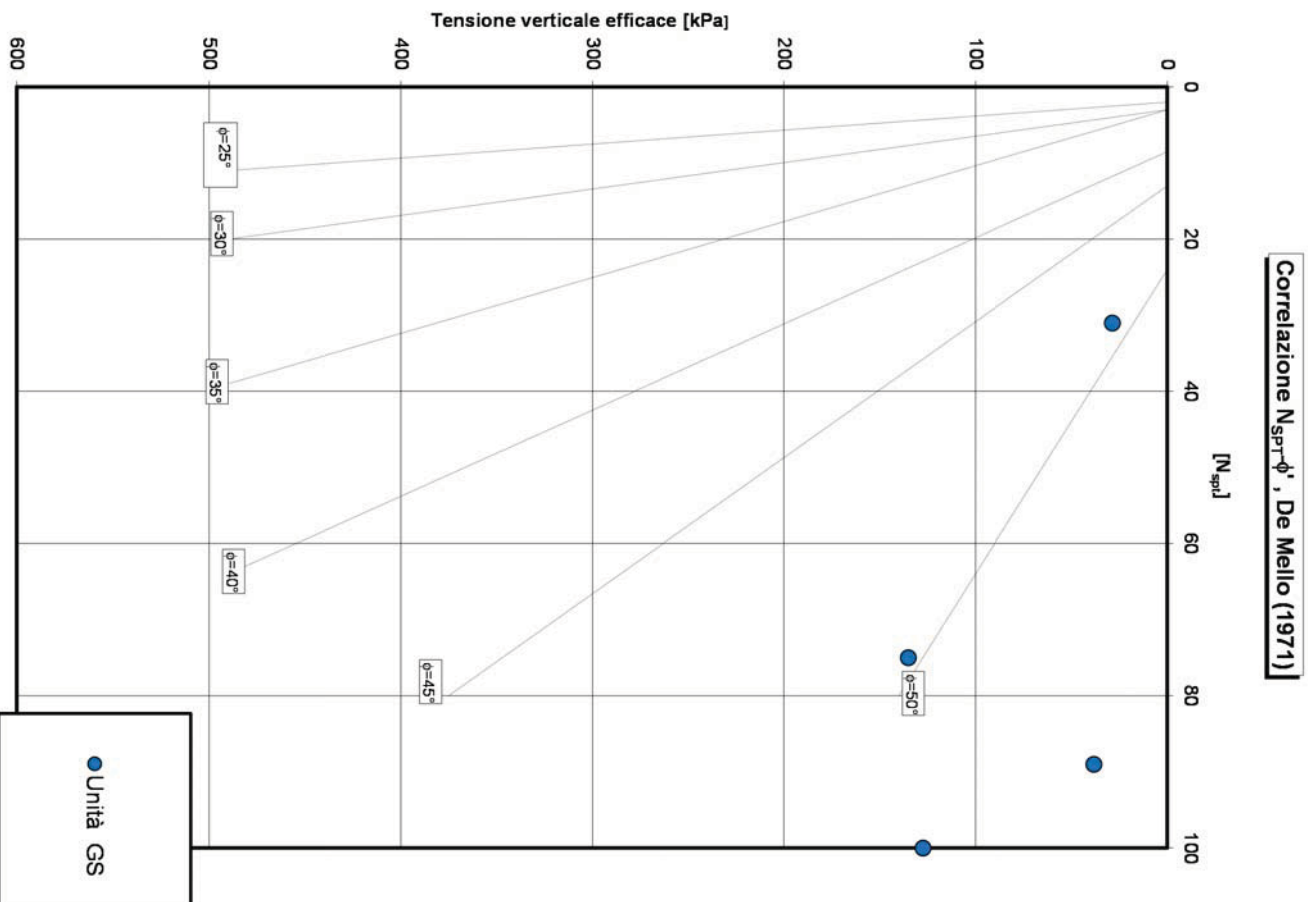


Figura 54: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – De Mello – unità GS

Velocità delle onde di taglio da prove SPT

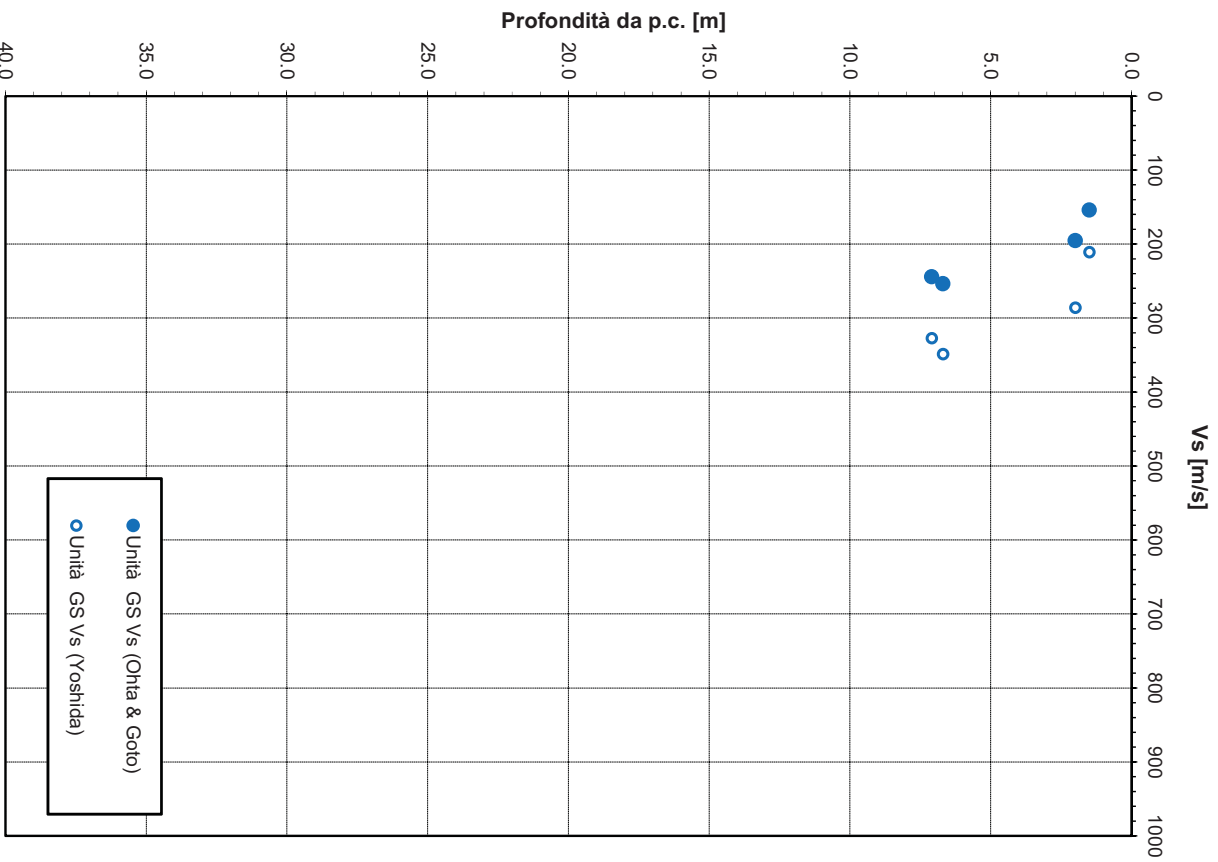


Figura 55: Velocità delle onde di taglio da prove SPT – unità GS

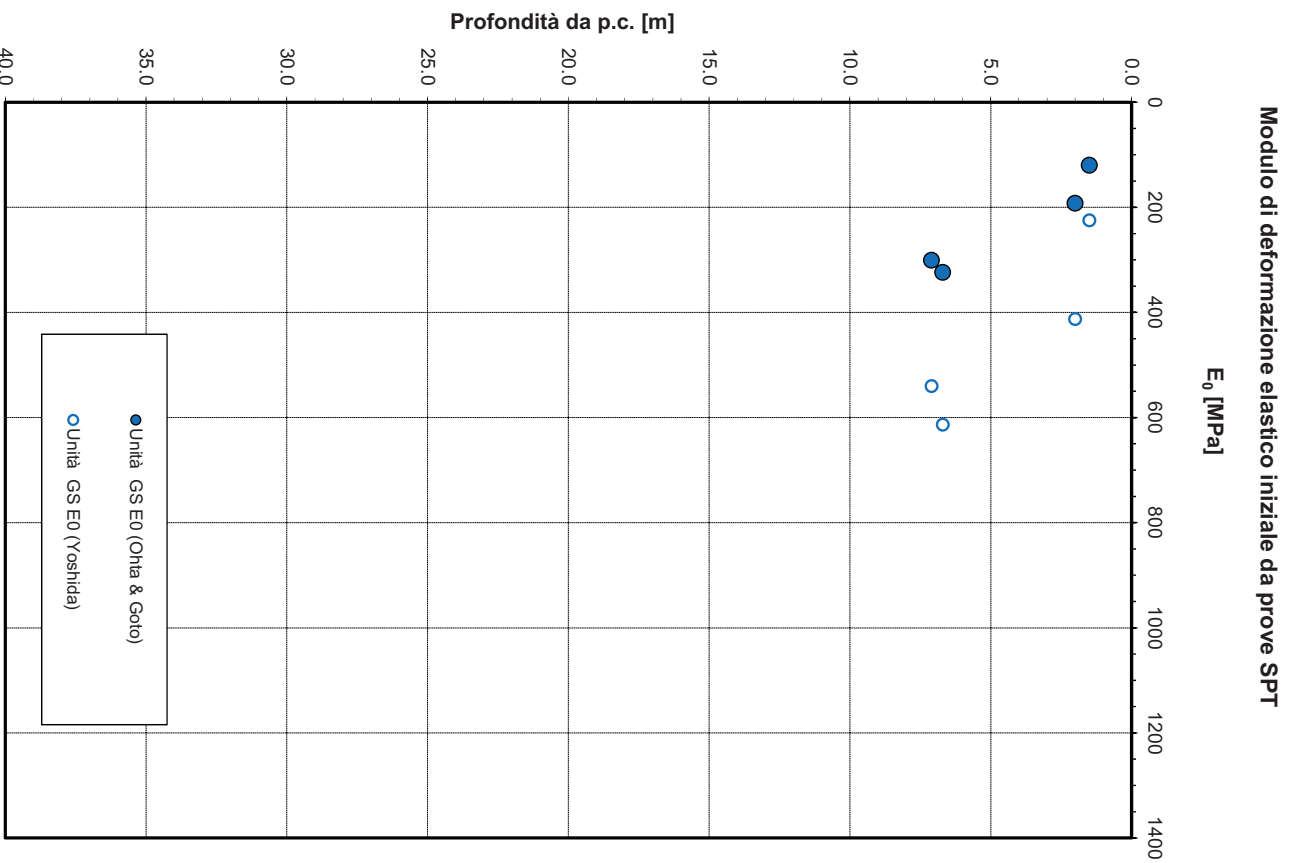


Figura 57: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – unità GS

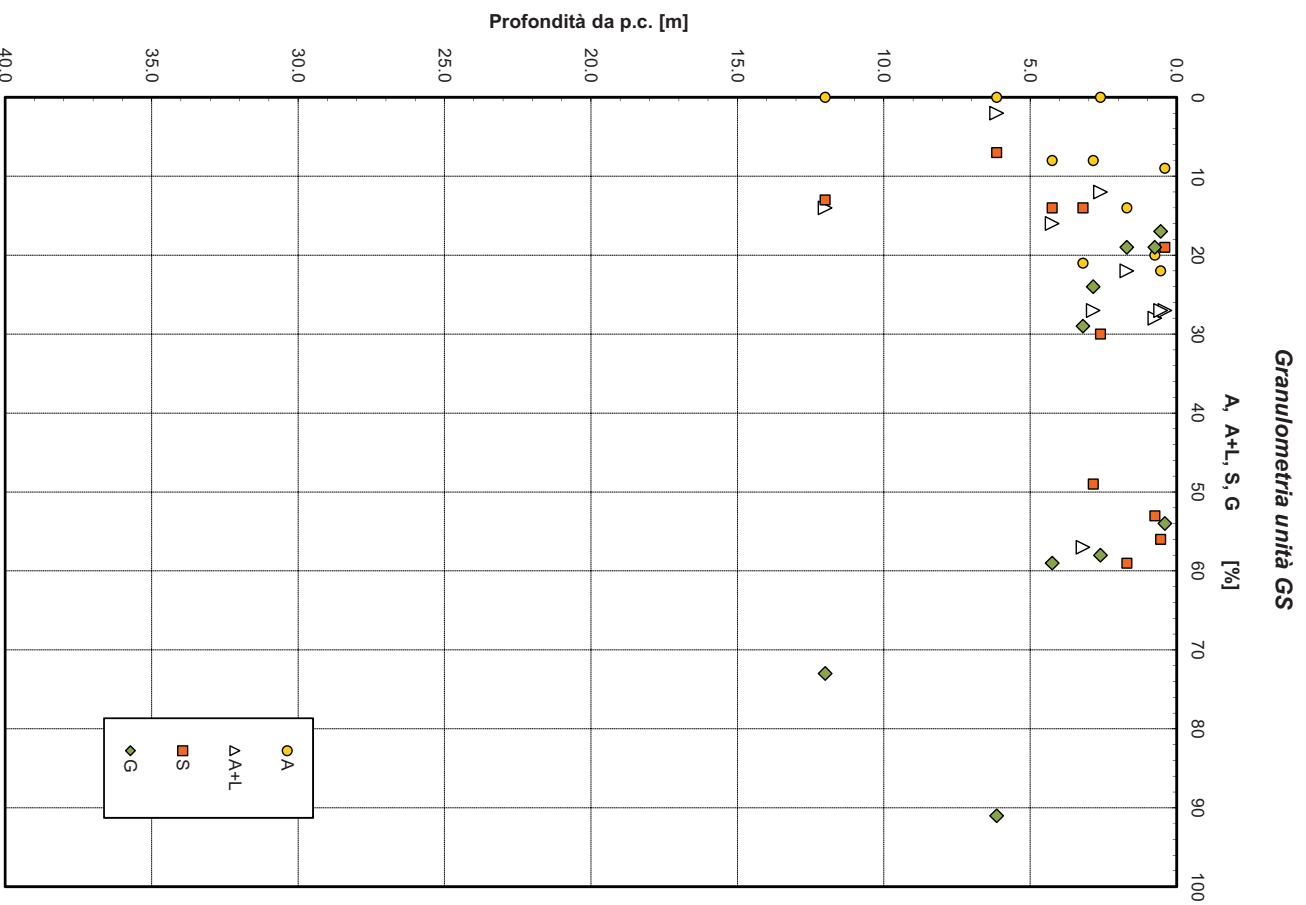


Figura 58: Analisi granulometrica – unità GS

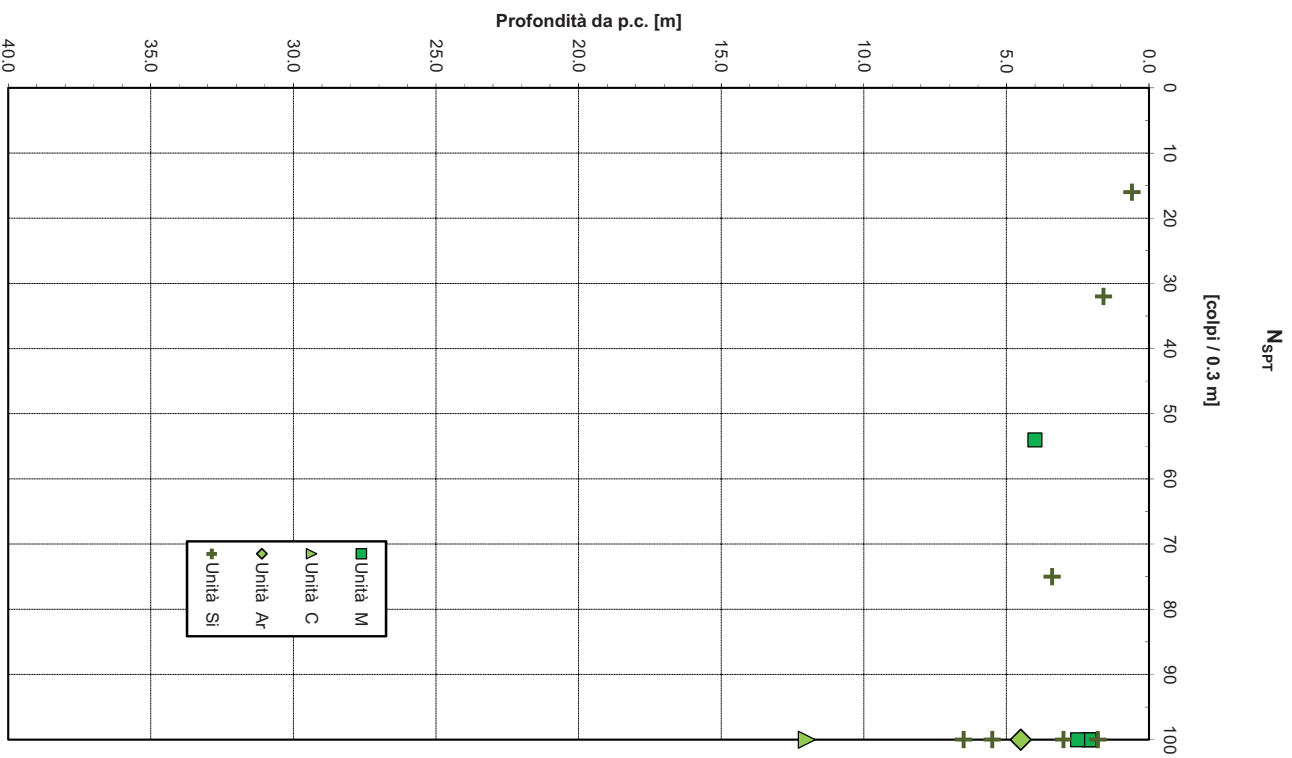


Figura 59: Valori di N_{spt} – Formazione di Mores

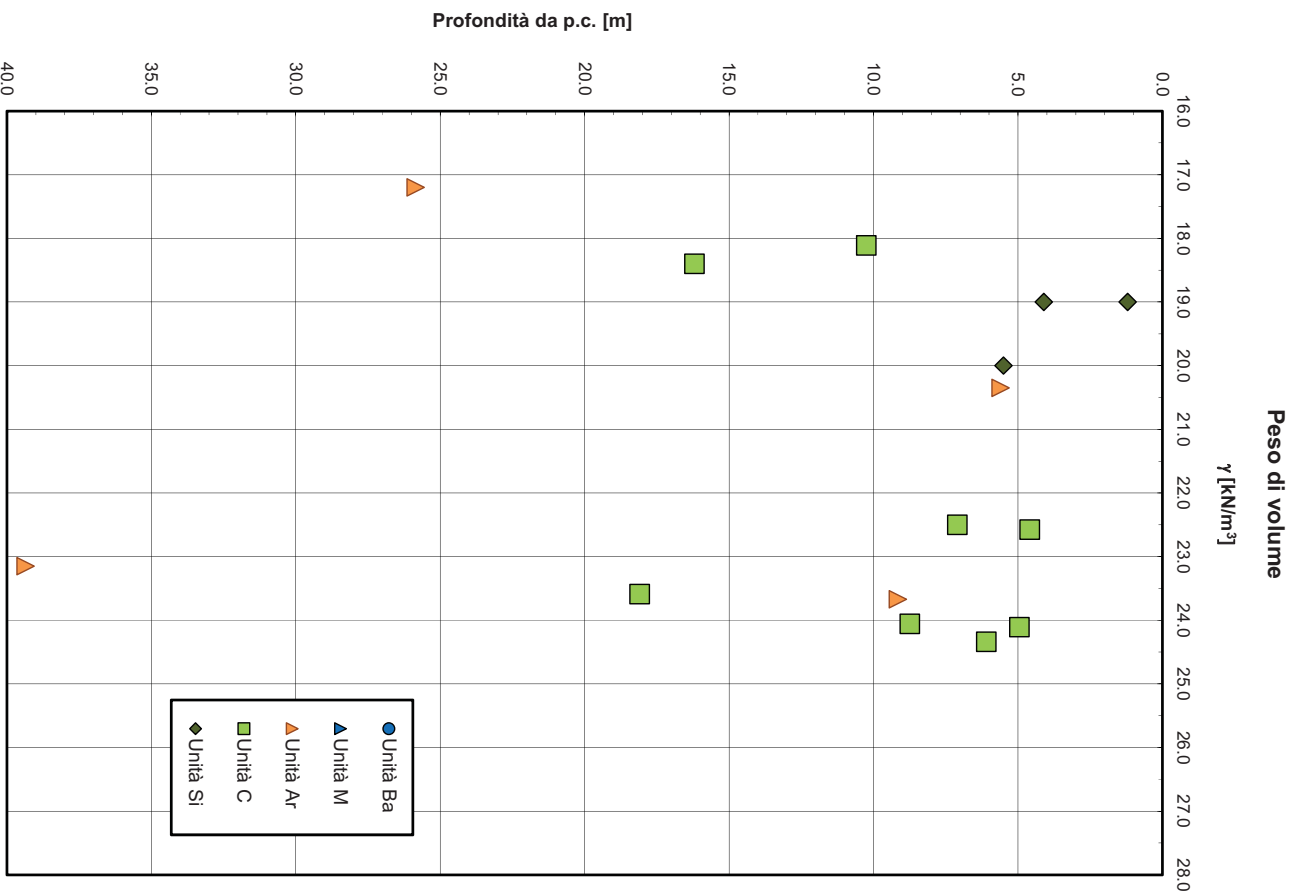


Figura 60: Peso di volume naturale – Formazione di Mores

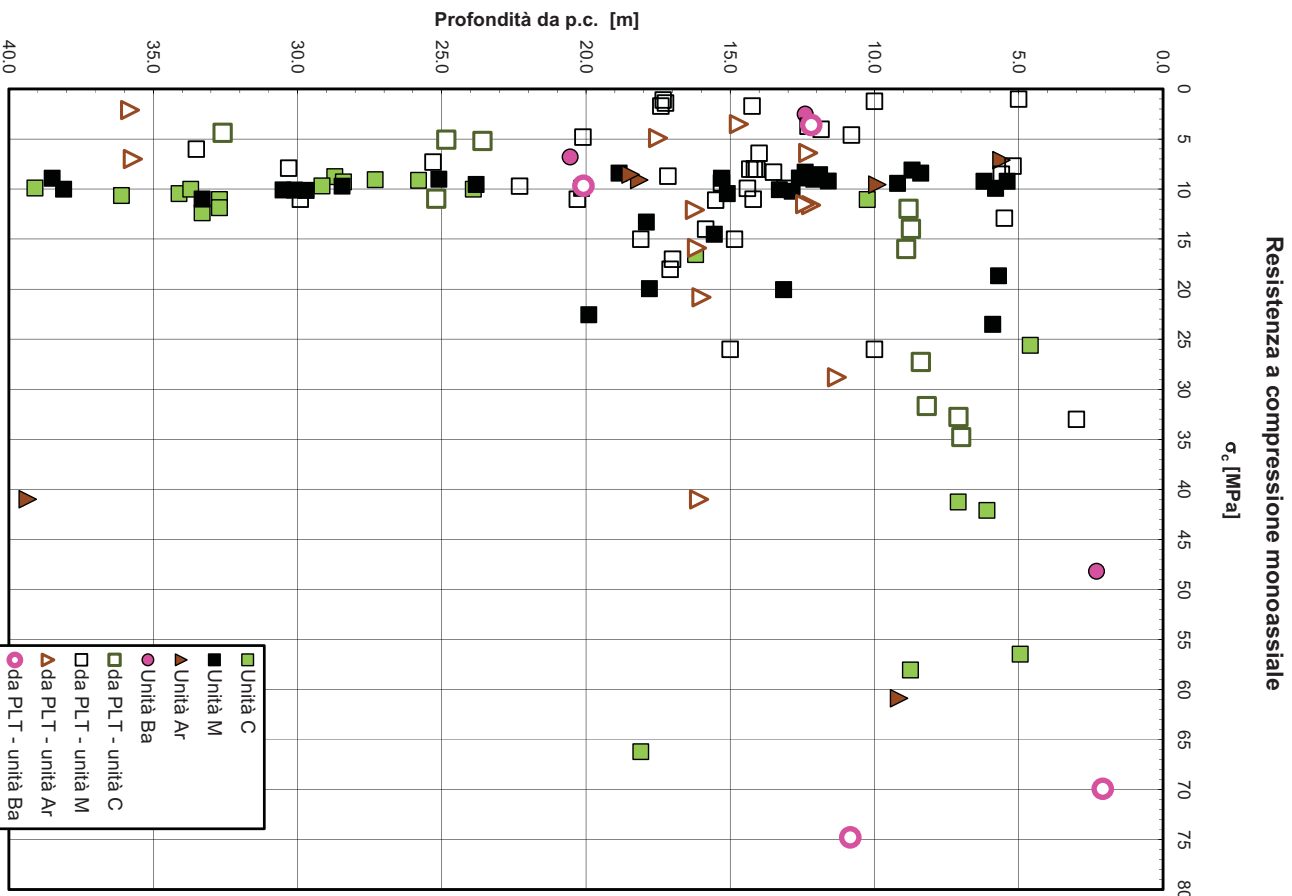


Figura 61: Resistenza a compressione monoassiale – Formazione di Mores

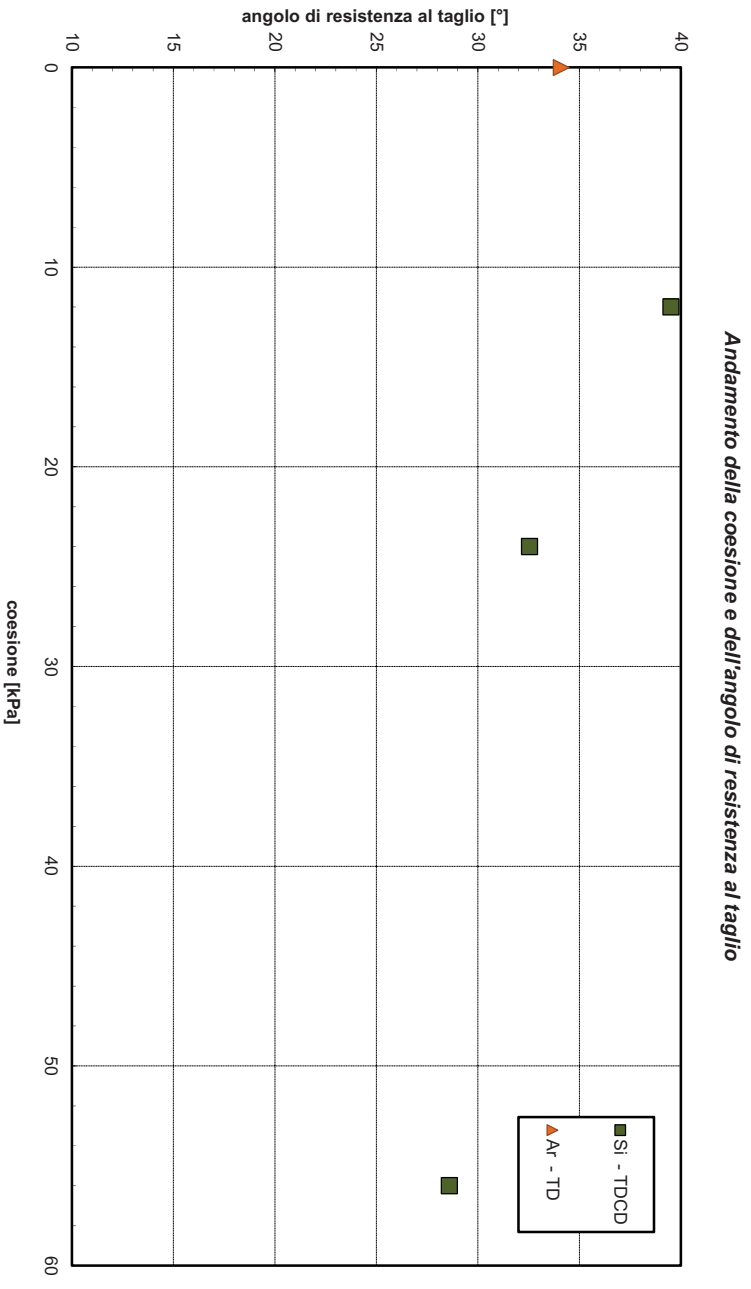


Figura 62: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – Formazione di Mores

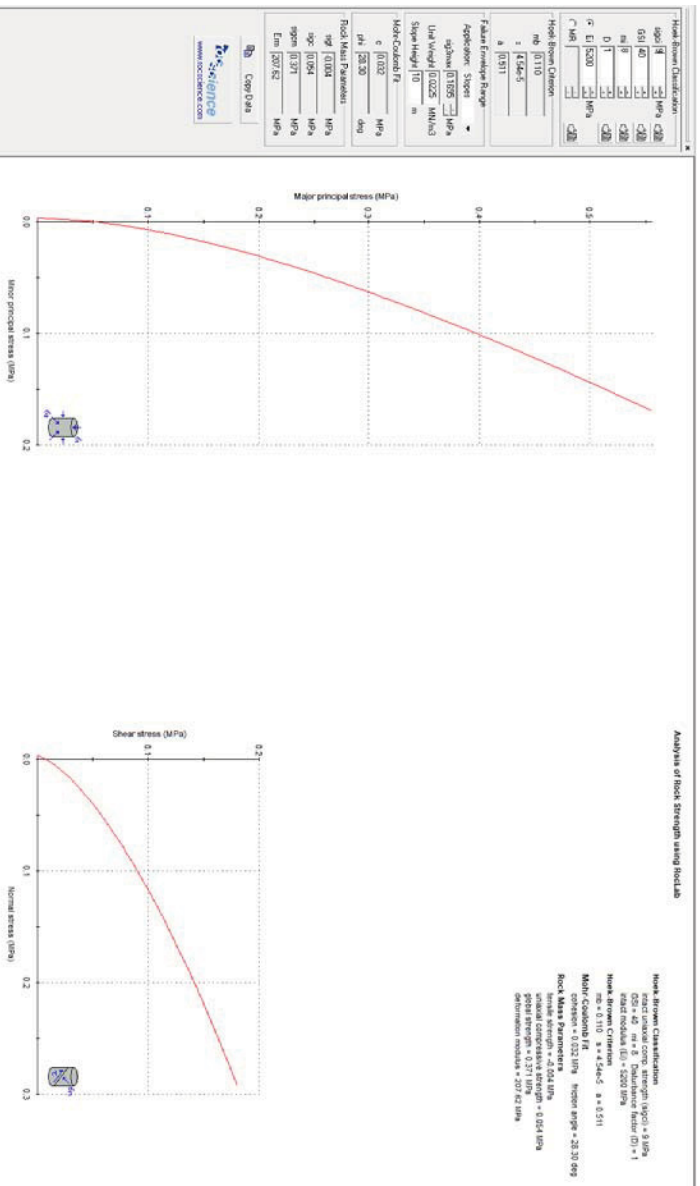


Figura 63: Parametri di resistenza (Roclab) – unità C (calcarenrite) $\sigma_c = 9$ MPa

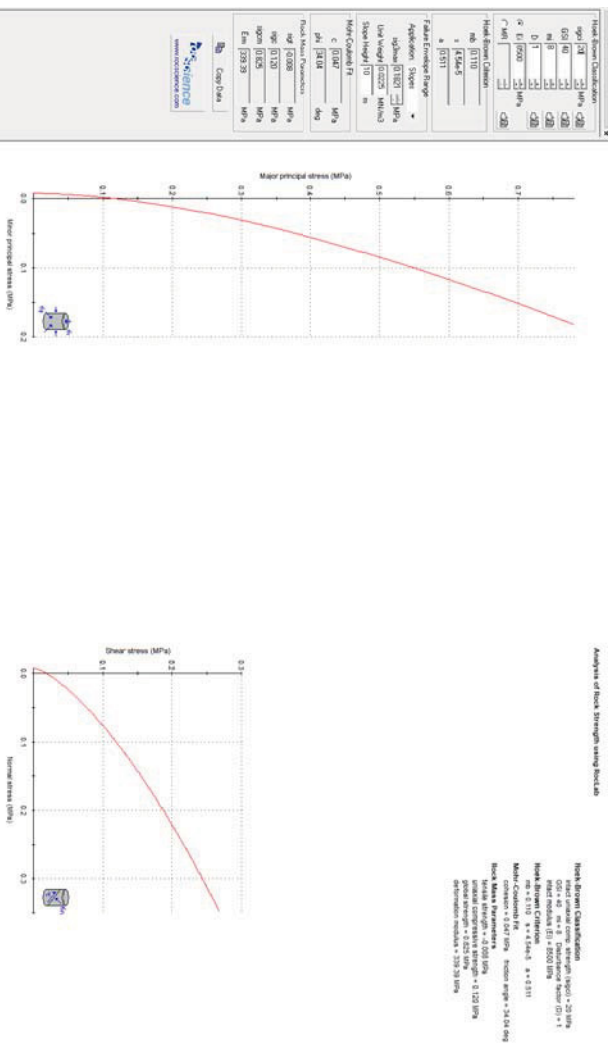


Figura 64: Parametri di resistenza (Roclab) – unità C (calcarenrite) $\sigma_c = 20$ MPa

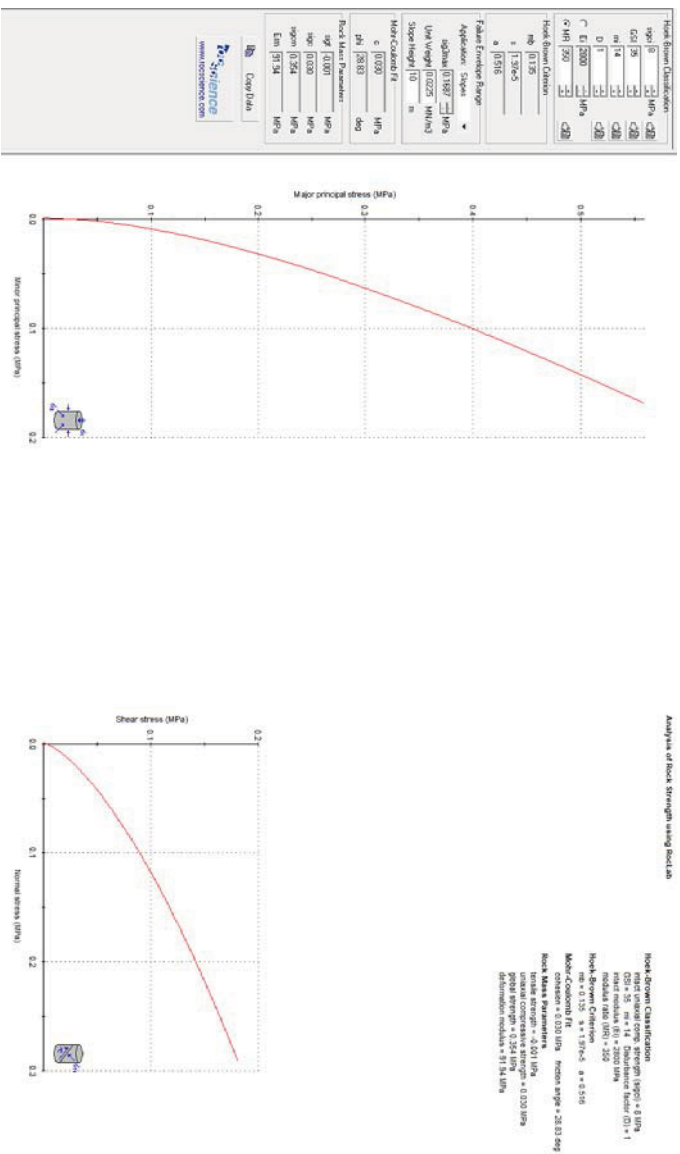


Figura 65: Parametri di resistenza (Rocklab) – unità Ar (arenaria) $\sigma_c = 8$ MPa

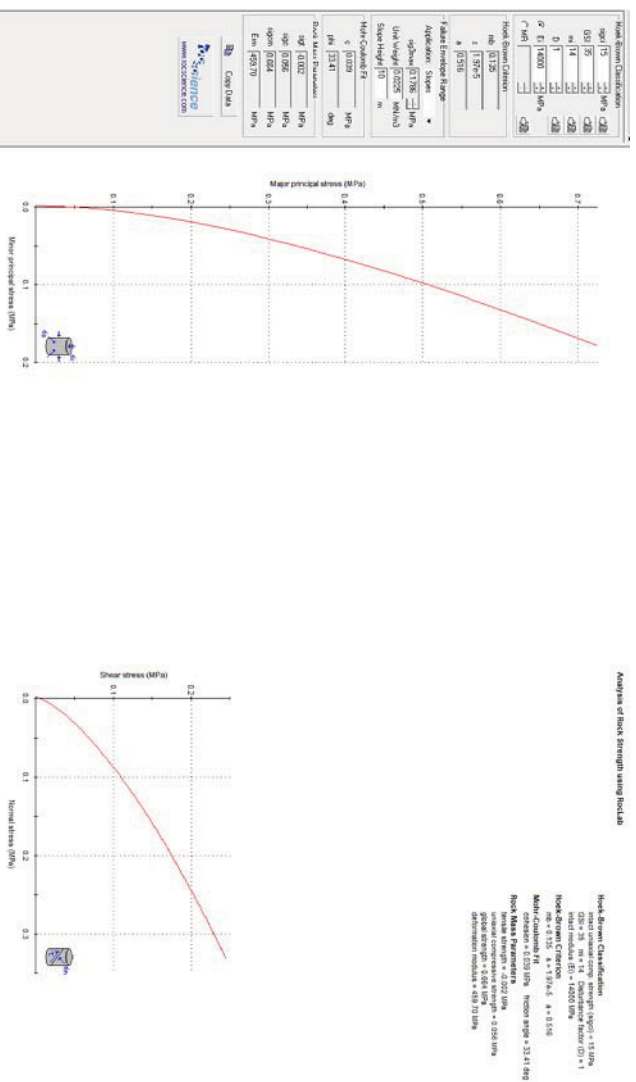


Figura 66: Parametri di resistenza (Rocklab) – unità Ar (arenaria) $\sigma_c = 15$ MPa

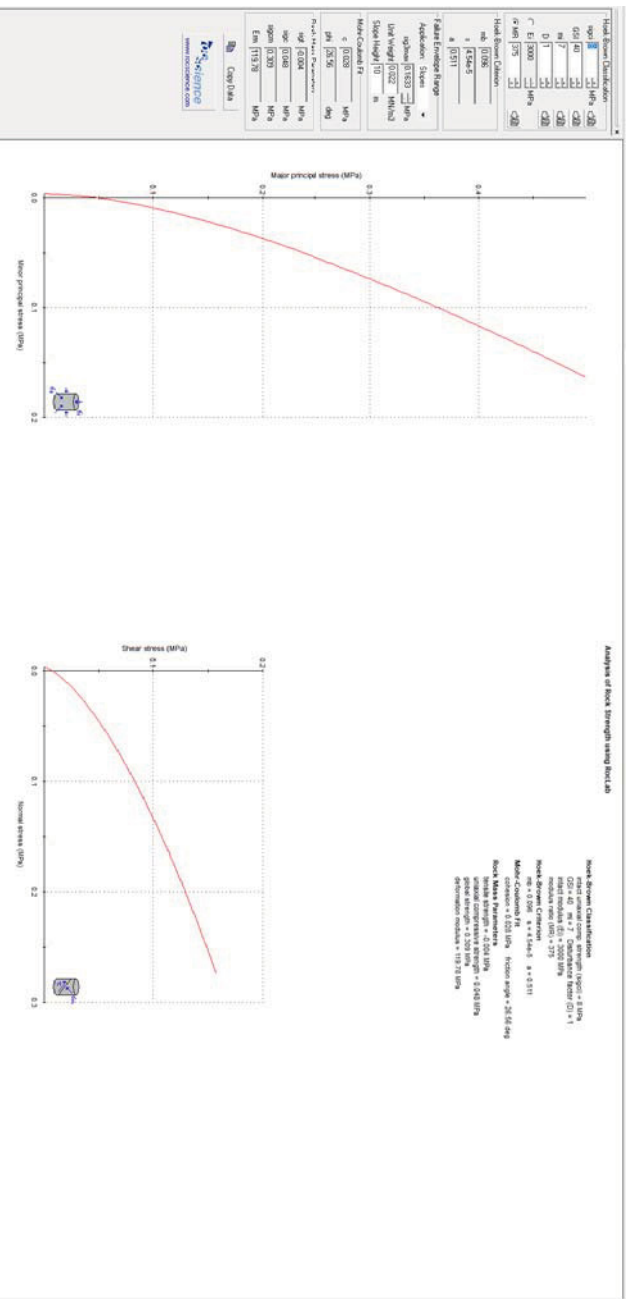


Figura 67: Parametri di resistenza (Roclab) – unità M (marna) $\sigma_c = 8$ MPa

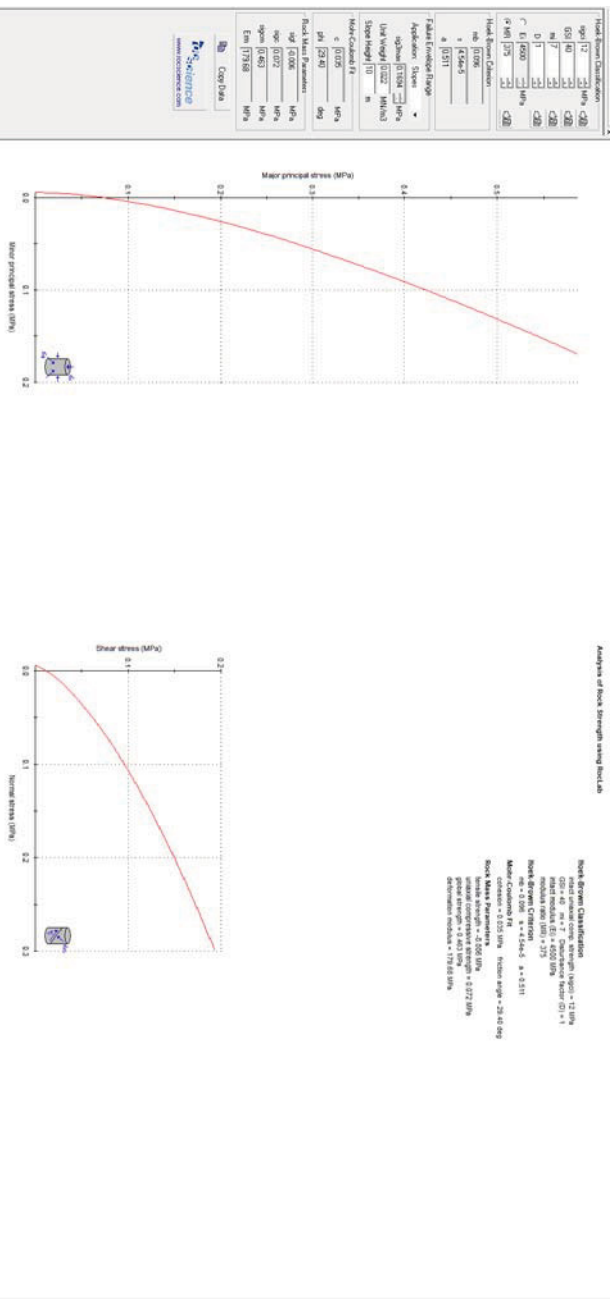


Figura 68: Parametri di resistenza (Roclab) – unità M (marna) $\sigma_c = 12$ MPa

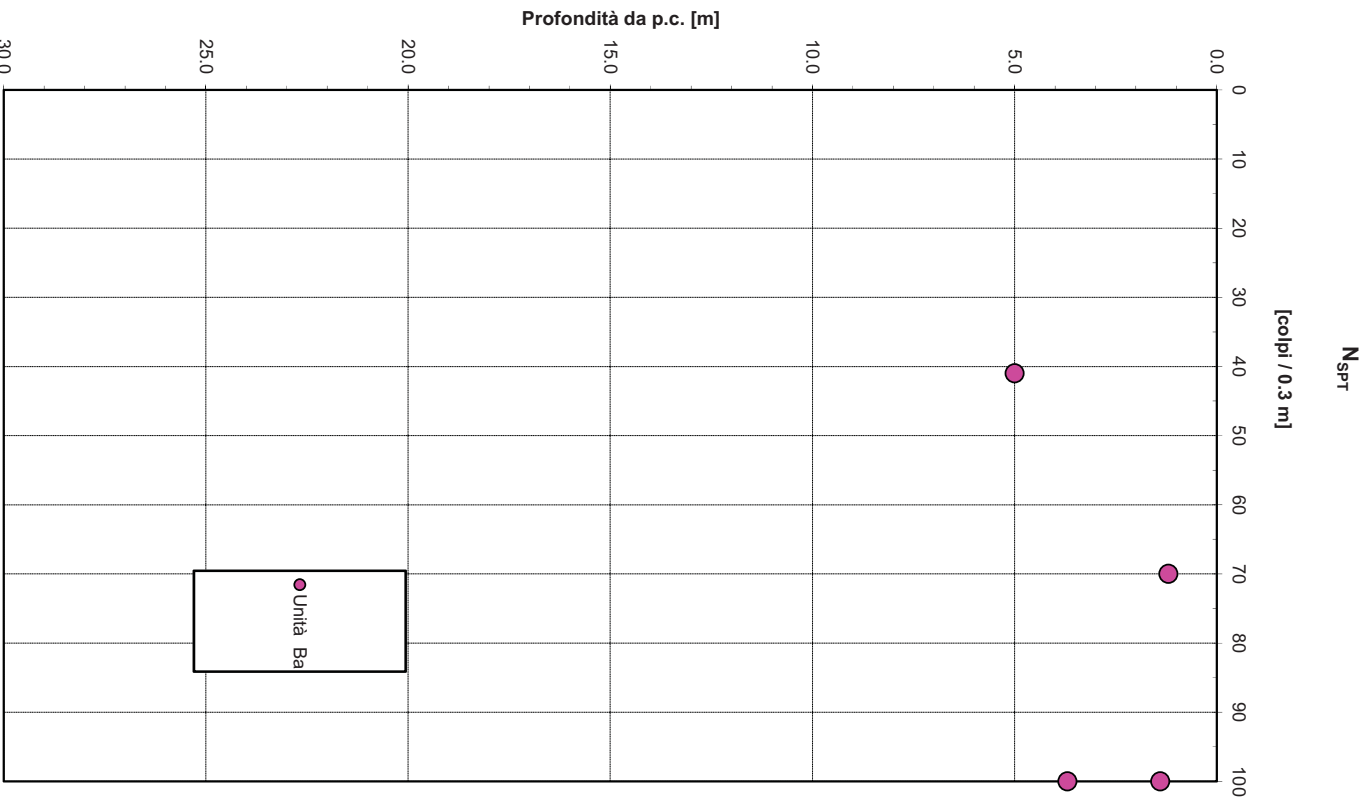


Figura 69: Valori di N_{spt}– Basalto

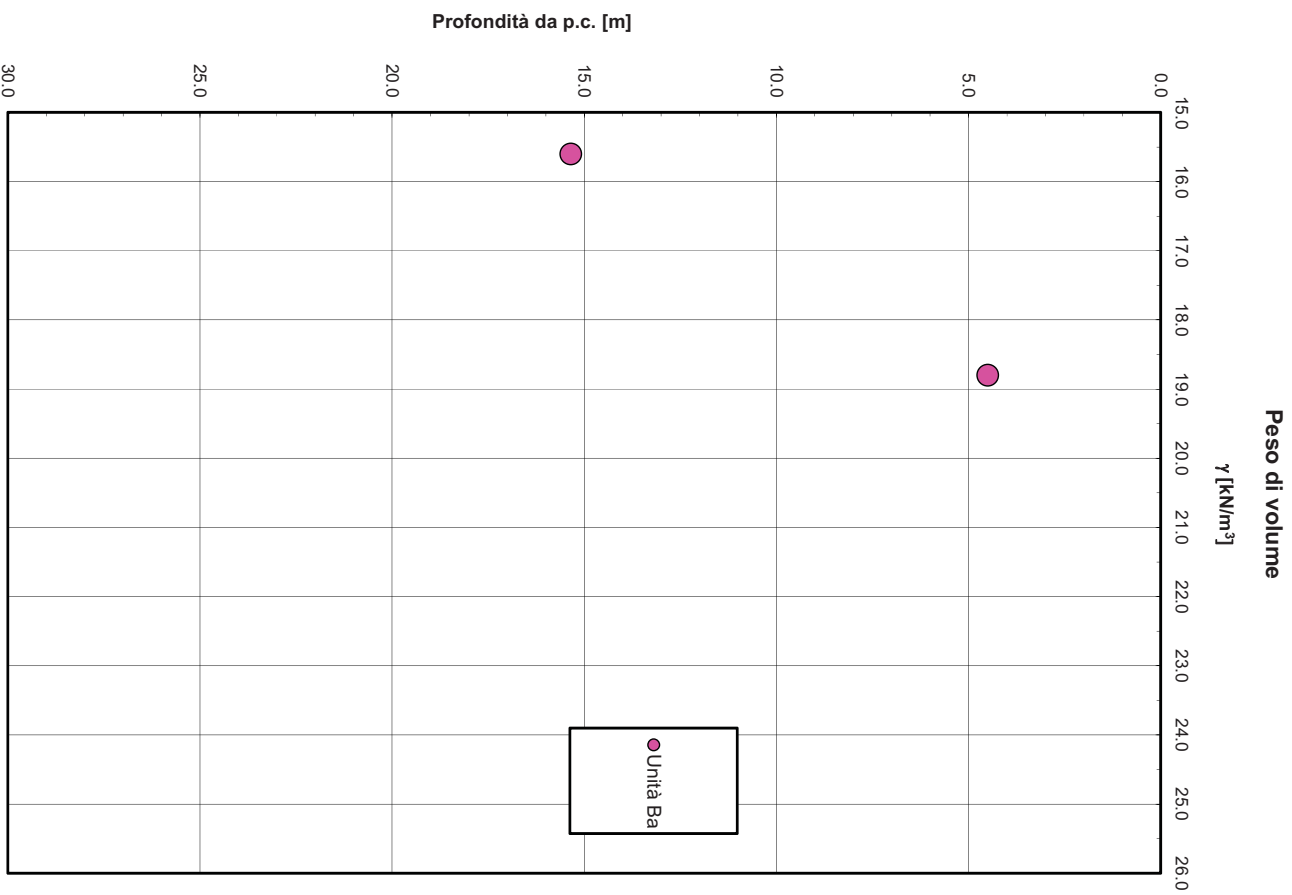


Figura 70: Peso di volume naturale – Basalto

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

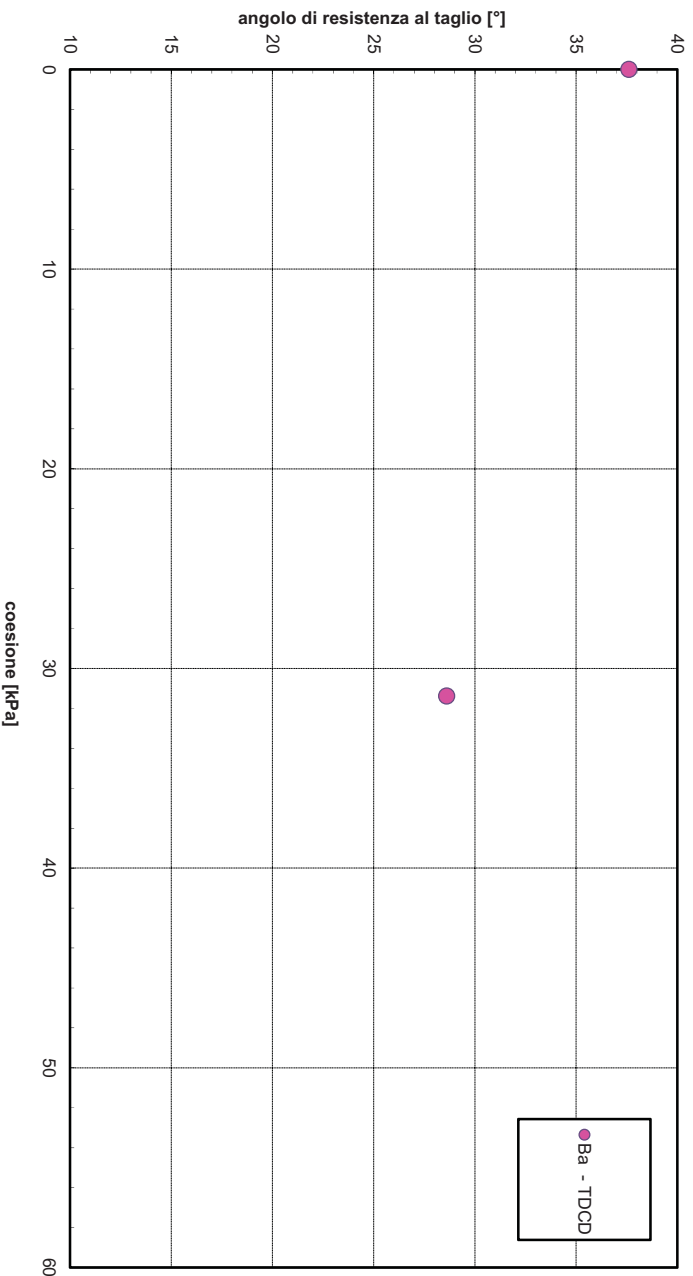


Figura 71: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – Basalto (facies terrosa)

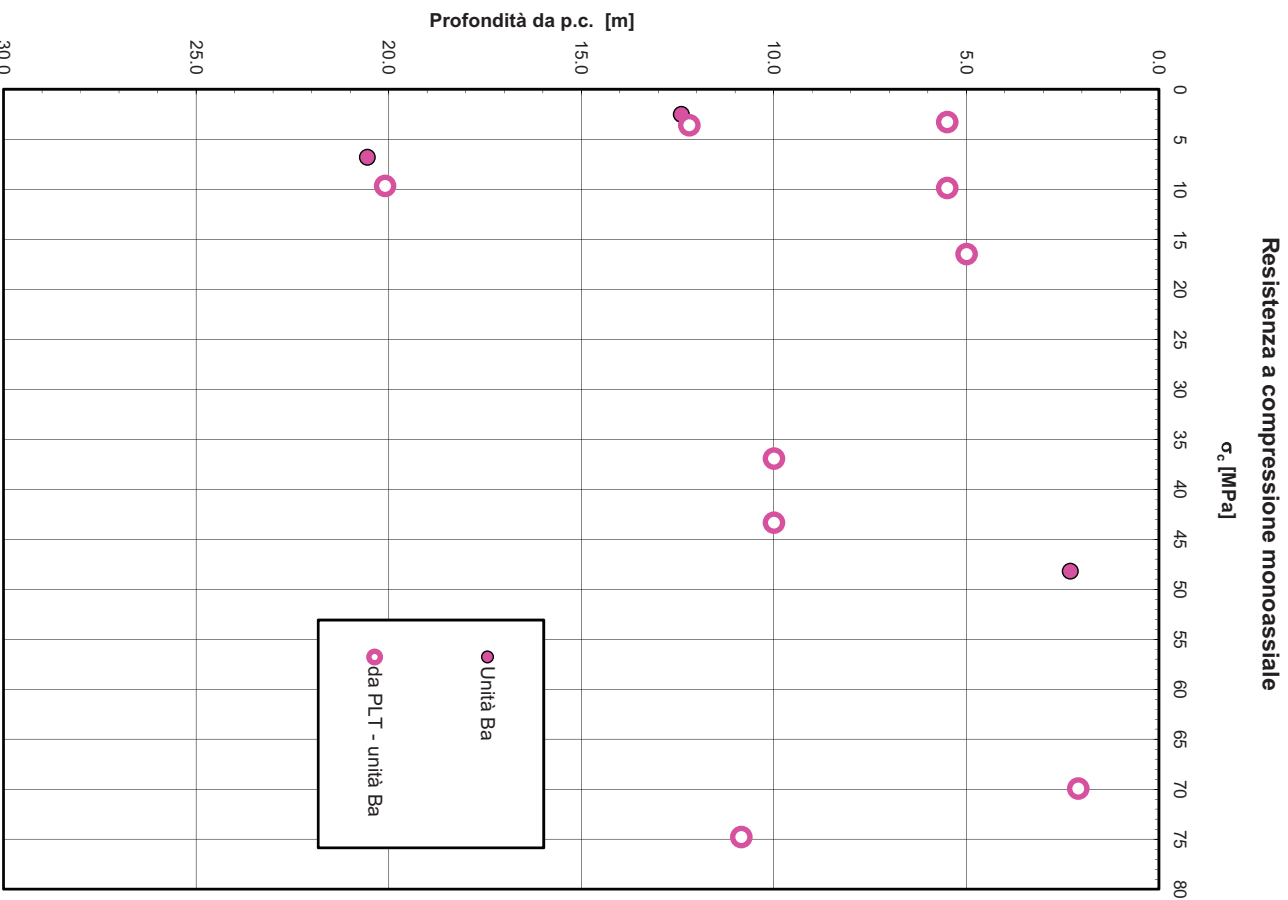


Figura 72: Resistenza a compressione – Basalto

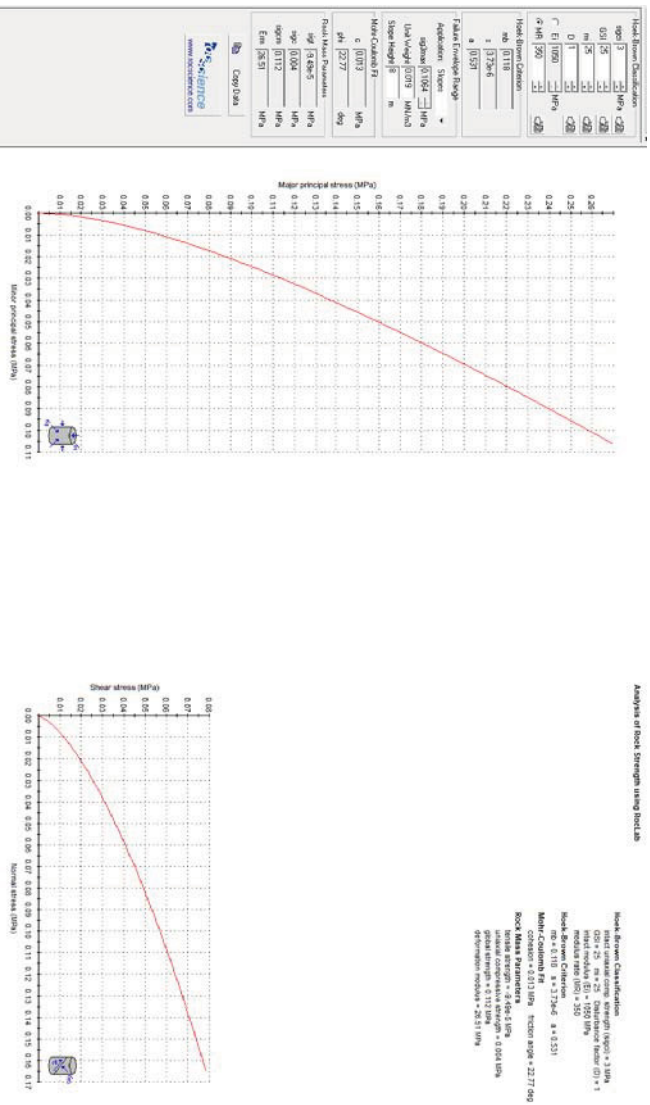


Figura 73: Parametri di resistenza (Roclab) – unità Ba (Loguidoro) $\sigma_c = 3$ MPa

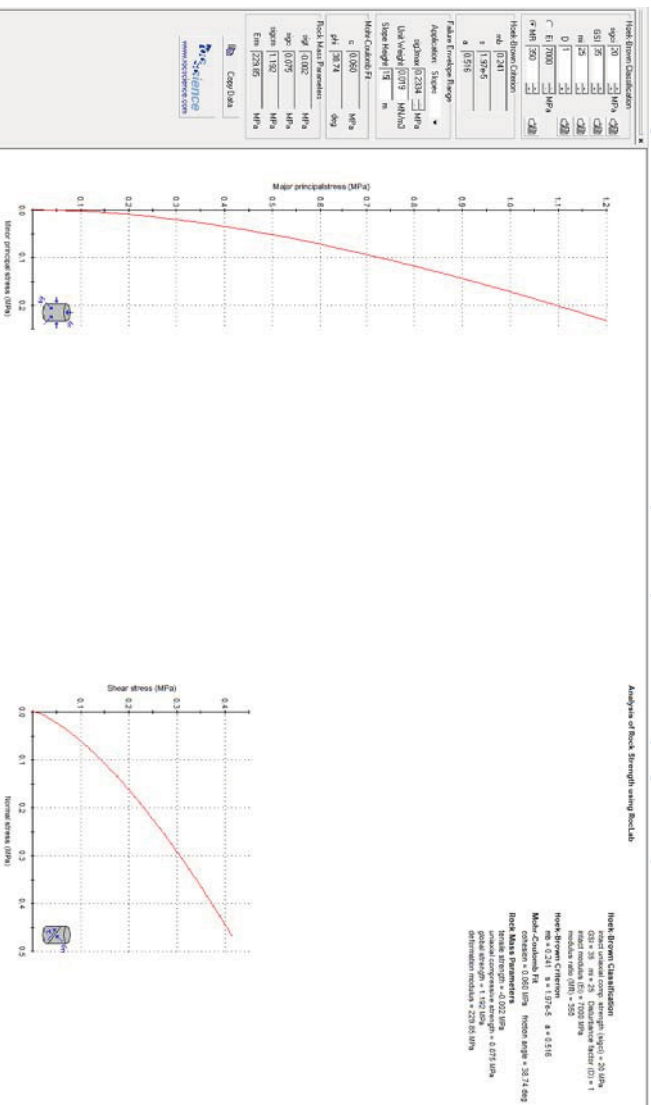


Figura 74: Parametri di resistenza (Roclab) – unità Ba (Loguidoro) $\sigma_c = 20$ MPa

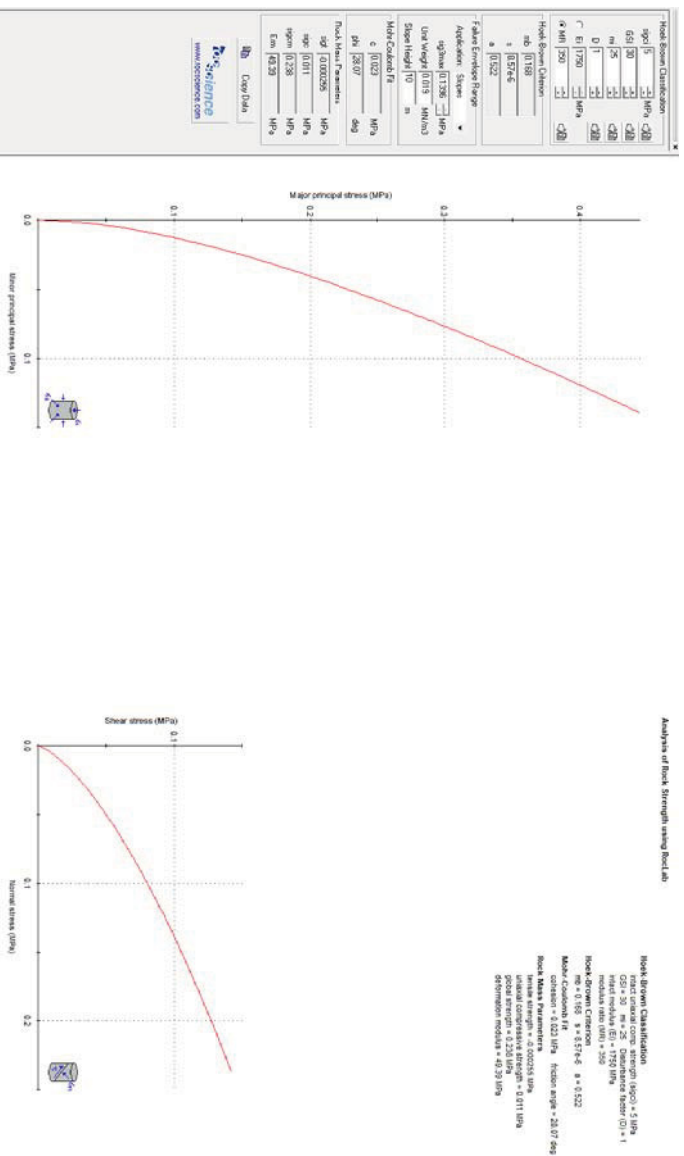


Figura 75: Parametri di resistenza (Rocklab) – unità Ba (Logudoro) $\sigma_c = 5$ MPa

6.3.8 Sintesi parametri geotecnici di progetto – svincolo Bonorva Nord

Per le unità geotecniche intercettate si assumono i seguenti parametri caratteristici di progetto.

Unità R – Terreno da rilevato

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

Unità Ra – riperto antropico

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 30 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$V_s = 135 \div 360 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 30 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)
$E_0 = 80 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità LAS – limo argilloso sabbioso

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 28 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 40 \div 180 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 250 \div 400 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 35 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)
$E_0 = 70 \div 650 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità GS – ghiaia sabbiosa

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$V_s = 150 \div 350 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 50 \div 230 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)
$E_0 = 130 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M – Formazione di Mores marrosa

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Unità C – Formazione di Mores calcarenite

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 28 \div 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 32 \div 47 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 200 \div 340 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Unità Ar – Formazione di Mores arenaria

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 29 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 30 \div 39 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 90 \div 460 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Unità Ba – Basalto di Lugudoro

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 23 \div 39^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 13 \div 60 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 30 \div 230 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

6.4 Adeguamento S.P. 125

Lungo lo sviluppo del tracciato di adeguamento della S.P. 125 sono stati eseguite le seguenti indagini:

- S9 della campagna geognostica del 2015;
- S1 della campagna geognostica del 2017.

Nella parte più a sud del tracciato fino ad arrivare al sondaggio S9-2015, affiora il substrato della formazione di Mores in facies marnosa con una copertura di qualche metro di limo argilloso sabbioso (unità LAS) (vedasi ad esempio sondaggi S5, S6 del 1998 Sardadrill s.r.l. e S7 del 1998 Fondedile s.r.l.). In corrispondenza di sondaggio S9 del 2015, si intercetta una copertura limosa argillosa sabbiosa di 12 m (unità LAS) che sovrasta la formazione di Mores costituita da un'alternanza di strati calcarenitici ed arenacei fino a 21 m, poi siltite arenacea fino a 24 m. Proseguendo poi verso nord, in corrispondenza del sondaggio S1 e stese sismiche BS1, BS2, BS3 del 2017, si ha una copertura limosa argillosa sabbiosa di circa 9 m (unità LAS), poi calcarenite marnosa.

Nella seguente tabella si riporta la classificazione dell'ammasso roccioso per il sondaggio S1 del 2017, con determinazione prima di RMR (Bieniawski 1984) e poi di GSI (=RMR-5, con il Metodo GSI (Hoek et al. 1998).

Tabella 26 – Indici RMR e GSI – sondaggi 2017

Sond.	Profondità (m)	sc (Mpa)	P1	ROD %	P2	spaziature discontinuità		condizioni discontinuità				P4	P5	P6	RMR	GSI	Unità
						P3	continuità	apertura	scabrezza	infillamento	alterazione						
S1	10-10	11	2	100	20	10	2	1	1	6	6	16	15	-5	58	53	C
S1	16-00	16	2	100	20	15	4	1	1	4	5	15	15	-5	62	57	C

Nelle seguenti tabelle si riporta la classificazione con il metodo di Bieniawski (1989) e con il Metodo GSI (Hoek et al., 1995) per il sondaggio S9 del 2015.

Tabella 27 – Indici RMR e GSI – sondaggio S6Pz

Campione	S9_PLT_Li2	S11_PLT_Li1	S11_Li2
1. σ_c	Mpa 22,46	4,54	41,00
2. RQD	% 100	90	80
3. Spaziatura delle discontinuità (m)	0,6	0,6	0,6
4. Condizione di scabrezza delle discontinuità	Continue Apertura > 5 mm Riempimento > 5 mm	piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm	piane o lisce Continue Apertura 1 - 5 mm Riempimento < 5 mm
5. Condizione Idraulica delle discontinuità	asciutta	asciutta	asciutta
6. Orientamento delle discontinuità	mediocre	mediocre	mediocre
Valori numerici derivati dalle grandezze sopra riportate:			
A1: 4/44,5* σ_c +1 per $\sigma_c \leq 44,5$			
A1: 4/49,25* σ_c +1,368 per $\sigma_c (44,5 - 93,75)$	3,02	1,41	4,69
A2: (5/23,4)*RQD - 1,367 per RQD > 76,6; A2: (7/37,6)*RQD+0,739 per RQD compreso nell'intervallo [39 ÷ 76,6];	20,00	17,49	15,63
A3: 10s + 6;	14,00	10,55	10,55
A4: parametro di misura della condizione dei giunti	0	10	10
A5: parametro di misura della condizione idraulica dei giunti	15	15	15
A6: parametro di misura dell'orientamento delle disc.	-7	-7	-7
RMR	45	47	49
GSI	40	42	44

Nelle seguenti tabelle si sintetizzano i risultati delle prove di laboratorio eseguite per i campioni prelevati nei sondaggi eseguiti lungo la SP 125.

Sondaggio	-	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015	S9-2015
Campione	-	C1	C2	sp1	sp3	CR1	L1	L2	L3	L4	L2b	L2a	L2d	Ar
Tipo	-	Ind	Ind	rim	rim	rim	Ar	rim	rim	rim	rim	rim	rim	Ar
Unità	-	LAS	LAS	GS	GS	LAS	Ar	Ar	Ar	M	Ar	Ar	Ar	Ar
Prof.	m	4.79	10.65	3.20	12.00	9.55	14.30	16.15	19.40	21.65	16.08	16.00	16.23	16.23

Granulometria		G	S	L +A	L	A
%		0.0	0.0	29.0	73.0	0.0
%		9.0	29.0	14.0	13.0	24.0
%		91.0	71.0	57.0	14.0	76.0
%		65.0	48.0		14.0	
%		26.0	23.0		0.0	

Limiti di Atterberg		W _L	W _P	I	U
%		57.0	47.0		47.4
%		27.0	27.0		27.5
%		1.03	1.25		1.01
%		30.0	20.0		19.9

Caratteristiche fisiche		γ _A	γ _N
KN/m ³		19.0	18.8
%		26.0	22.0
			17.6
			27.3

Prove edometriche (Valori riferiti alla tensione geostatica in sito)		E _{sw}	c _v
KPa		8845	15607
m ² /s		4.80E-07	
-		8.00E-02	

Resistenza a compressione monoassiale		q _v
MPa		
(TX-UU) c	KPa	183.0
(TX-EL) c	KPa	

Resistenza drenata		(TD) c	(TD) f
KPa		34.3	17.3
°		35.6	28.1

Point Load Test		Is(50)	MPa
Sondaggio	-	S1-2017	S1-2017
Camplione	-	QR1	QR2
Tipo	-	rim	rim
Unità	-	LAS	LAS
Prof.	m	2.45	5.60

Granulometria		G	S	L +A	L	A
%		16.6	14.7			
%		19.5	21.5			
%		63.9	63.8			
%		43.8				
%		20.1				

Limiti di Atterberg		W _L	W _P	I	U
%		53.6	51.9		40.0
%		23.2	22.2		31.1
%		1.07	1.07		2.15
%		30.4	29.7		8.9

Caratteristiche fisiche		γ _A	γ _N
KN/m ³		17.8	18.2
%		21.2	20.9

Resistenza a compressione monoassiale		c _v	MPa
Resistenza non drenata			11.0
(TX-UU) c	KPa		
(TX-EL) c	KPa		32.5
Resistenza drenata			
(TD) c	KPa		36.4
(TD) f	°		19.7

6.4.1 *Unità geotecniche*

Le unità geotecniche intercettate sono le seguenti:

Unità Rv – coltre vegetale: si tratta della coltre di terreno vegetale

Unità Ra – riporto antropico: si tratta del terreno costituente i rilevati stradali esistenti ed il materiale molto eterogeneo, prevalentemente incoerente, derivante da materiale di cava, costituito da ghiaia sabbiosa limosa e sabbia con clasti.

Unità LAS – limo argilloso sabbioso: si tratta della coltre di alterazione della formazione di Mores, costituita da materiale prevalentemente fine coesivo, limo argilloso talvolta sabbioso.

Unità M – Formazione di Mores marnosa, siltiti: substrato costituito da marna, marna argillosa, siltite, siltite marnosa.

Unità C - Formazione di Mores calcarenitica: substrato costituito da calcarenite;

Nel profilo stratigrafico longitudinale e nelle sezioni geotecniche, in conformità con gli elaborati geologici, sono distinti con due diverse tonalità di verde le due principali distinzioni della Formazione di Mores:

- la facies costituita da una matrice più fine marnosa, siltitica (unità tipo M): rappresentate in colore verde scuro;
- Calcareniti e arenarie (Unità C, Ar): rappresentate in colore verde chiaro.

La caratterizzazione geotecnica verrà svolta nel dettaglio per le singole opere d'arte con riferimento all'indagine appositamente eseguita (vedasi paragrafo 7.2), tenendo comunque in considerazione l'intervallo dei parametri definiti per le unità geotecniche della SS 131.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA OPERE

7.1 Svincolo di Bonorva Nord

7.1.1 Muro di sottoscarpa OS03 SS 131 da pk 0+091.25 a pk 0+190.77

In corrispondenza dell'opera è stato eseguito il sondaggio S5 della campagna geognostica Sardadrill S.r.l. del 1998, spinto fino ad una profondità di 18.0 m. Il sondaggio ha evidenziato la presenza di coltre alterata della formazione del substrato per i primi 2 m di spessore da p.c. (unità LAS) ed a seguire roccia della formazione di Mores in facies marnosa limosa argillosa (unità M/Si) fino alla massima profondità indagata.

Sul sondaggio sono disponibili:

- N. 1 prova SPT, eseguita alla profondità di 2 m che ha dato valore di rifiuto strumentale;
- N. 2 prove di laboratorio di Point Load Test eseguite su spezzoni litoidi prelevati a 3 e 10 m di profondità da p.c. che hanno dato valori di $l_{s(50)}$ di 3.3 e 0.12 MPa;
- N. 2 analisi granulometriche e limiti di Atterberg eseguite su campioni rimaneggiati prelevati a 9 e 10 m (limo+argilla = 90÷93%, sabbia = 7÷10%, ghiaia = 0%);
- N. 2 determinazioni dei limiti di Atterberg (: limite liquido 32÷39%, limite plastico: 28÷30%, indice di plasticità $IP=2\div11\%$).

Nella seguente figura si riporta la sezione stratigrafica di riferimento.

Sez. SS131 - km 0+120

S5

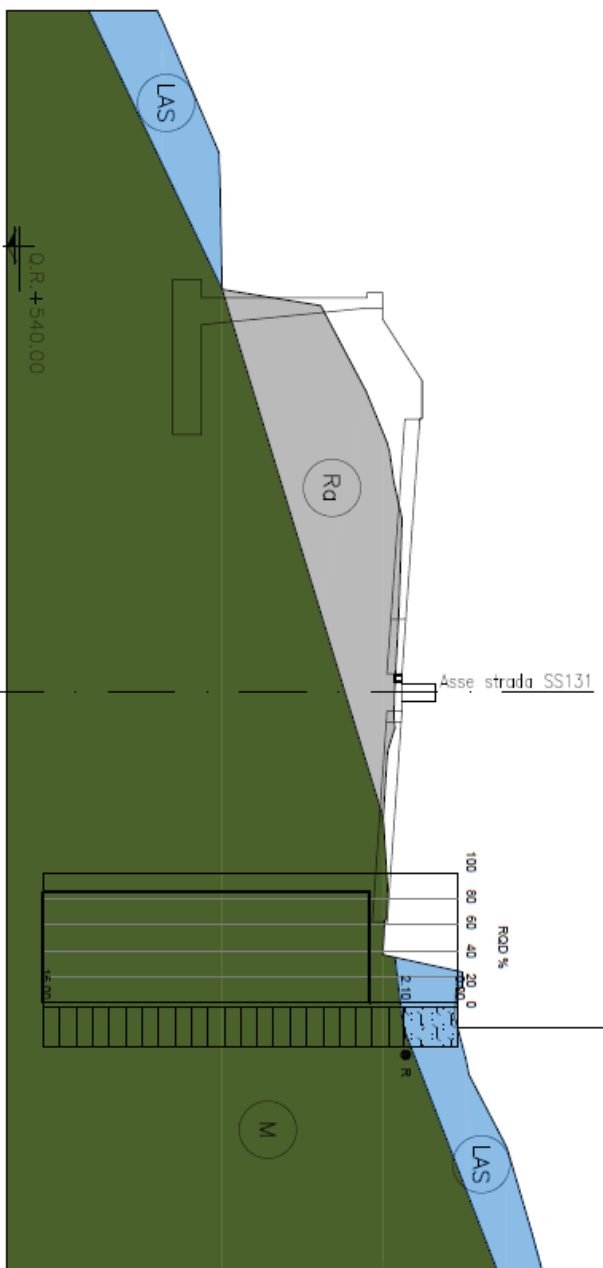


Figura 76: Sezione geotecnica di riferimento

Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Unità LAS (limo argilloso sabbioso) da 0.0 a 2.0 m di profondità da p.c.

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 28 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E_0 = 70 \div 100 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M (Formazione di Mores marnosa) da 2.0 a 18.0 m di profondità da p.c.

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume

$\varphi' = 26 \div 29^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$ modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

7.1.2 Muro di sottoscarpa OS05 Rampa B da 0+083.63 a pk 0+308.53

Nelle vicinanze dell'opera sono stati eseguiti i sondaggi S24 della campagna geognostica del 2015 e S4 del 2017. Le indagini hanno evidenziato la presenza di terreno di riporto antropico, costituito da materiale eterogeneo, prevalentemente incoerente, derivante da rilevati stradali e/o ferroviari preesistenti e da materiale di cava. A seguire si intercetta una coltre alterata prevalentemente limoso argilloso sabbiosa di spessore 2- 3 m ed infine la formazione di Mores in facies prevalentemente arenacea e calcarenitica fino a 12 m da p.c. (S24-2015) poi marna calcarea. Nel sondaggio S24, l'arenaria è stata intercettata fino a 5 m molto alterata, sfatta, carotata come sabbia con livelli debolmente cementati.

Nella seguente figura si riporta la sezione stratigrafica di riferimento.

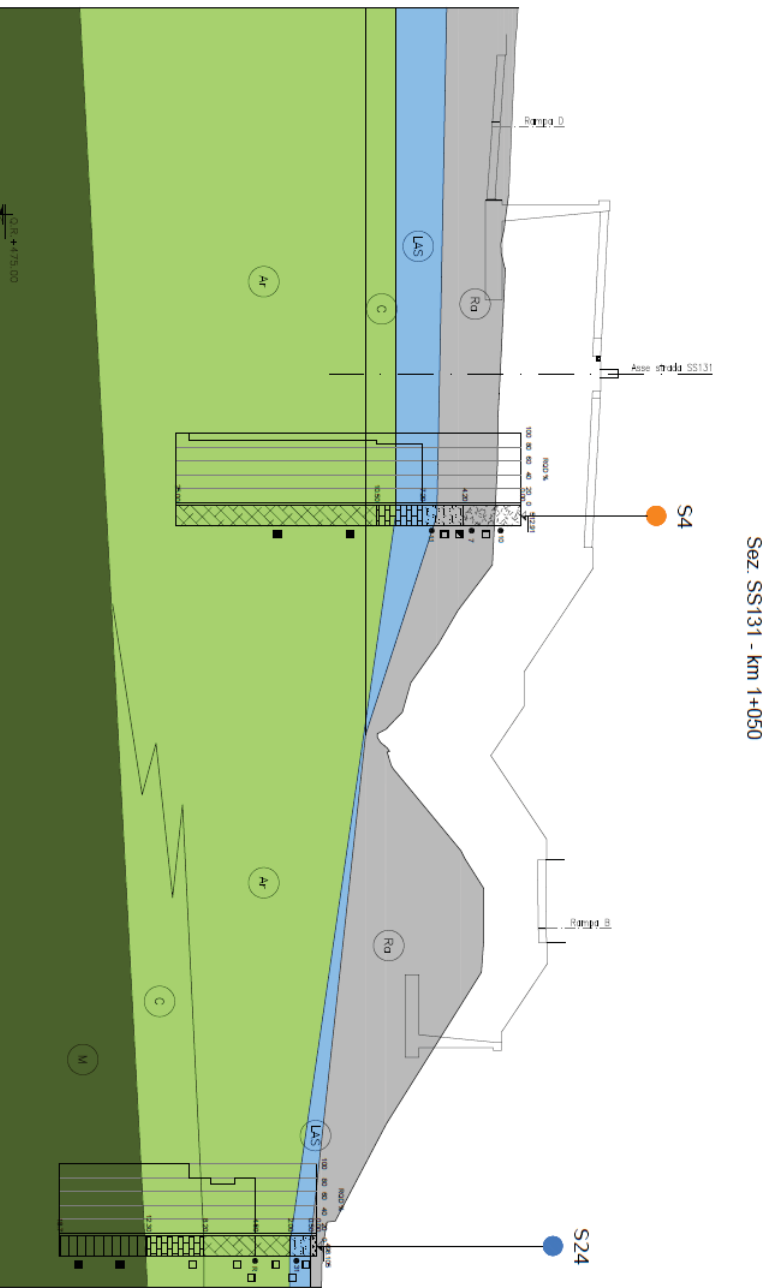


Figura 77: Sezione geotecnica di riferimento

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati.

Parametri geotecnici di progetto

Unità Ra (riporto antropico)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 30 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 100 \div 150 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità LAS (limo argilloso sabbioso)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 100 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M (Formazione di Mores marnosa):

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\varphi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Unità C (Formazione di Mores calcarenitica):

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 32 \div 47 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 200 \div 340 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

Unità Ar (Formazione di Mores arenacea):

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\varphi' = 29 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 30 \div 39 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 90 \div 460 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

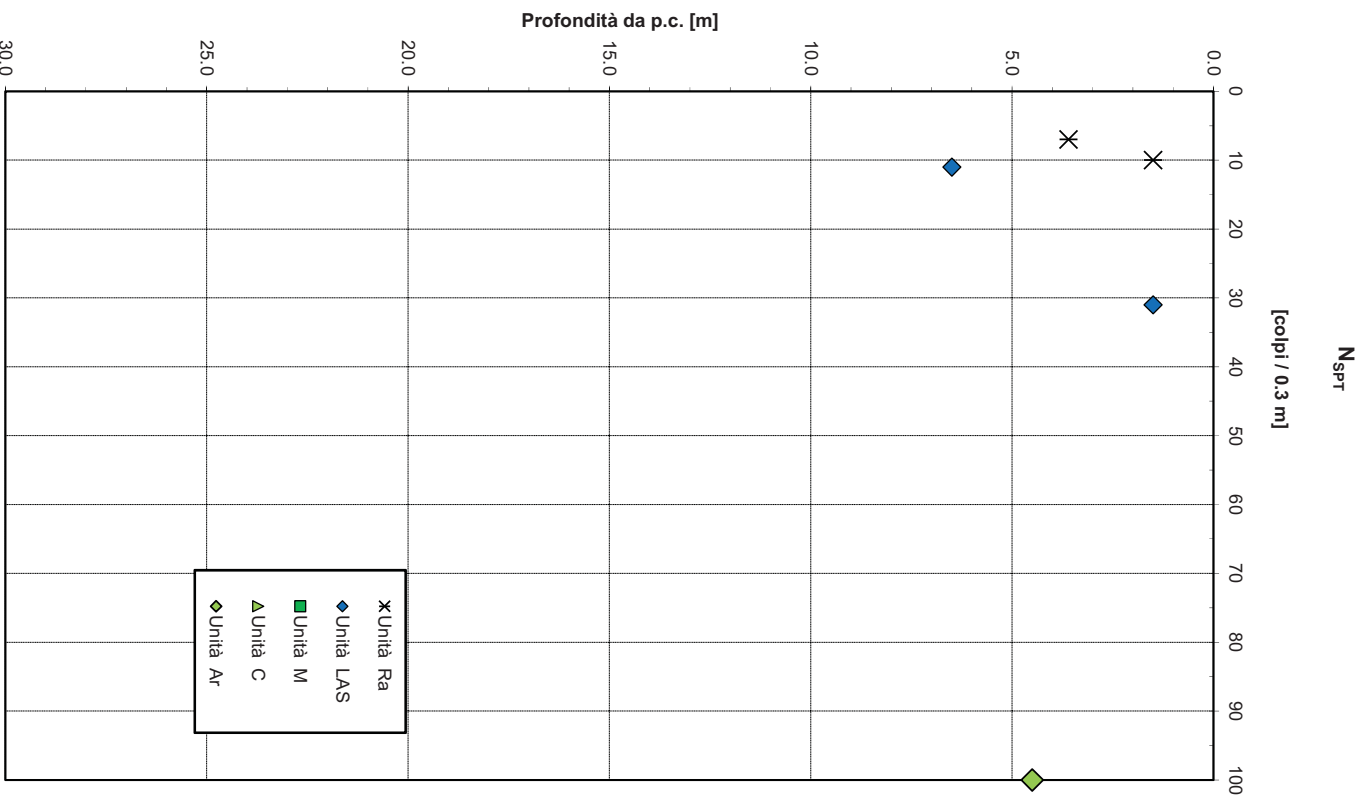


Figura 78: valori di N_{spt} (sondaggi S4-2017, S24-2015)

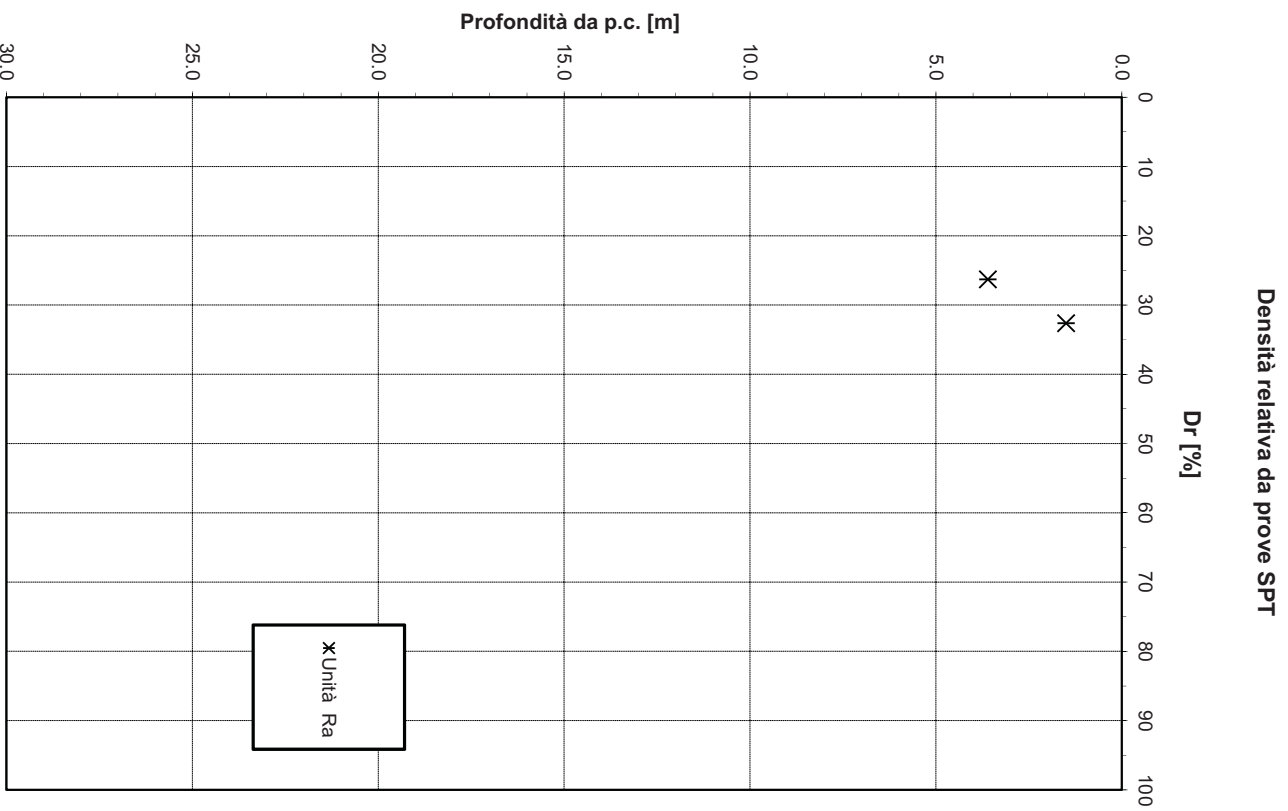


Figura 79: Densità relativa da prove SPT (sondaggi S4-2017, S24-2015)

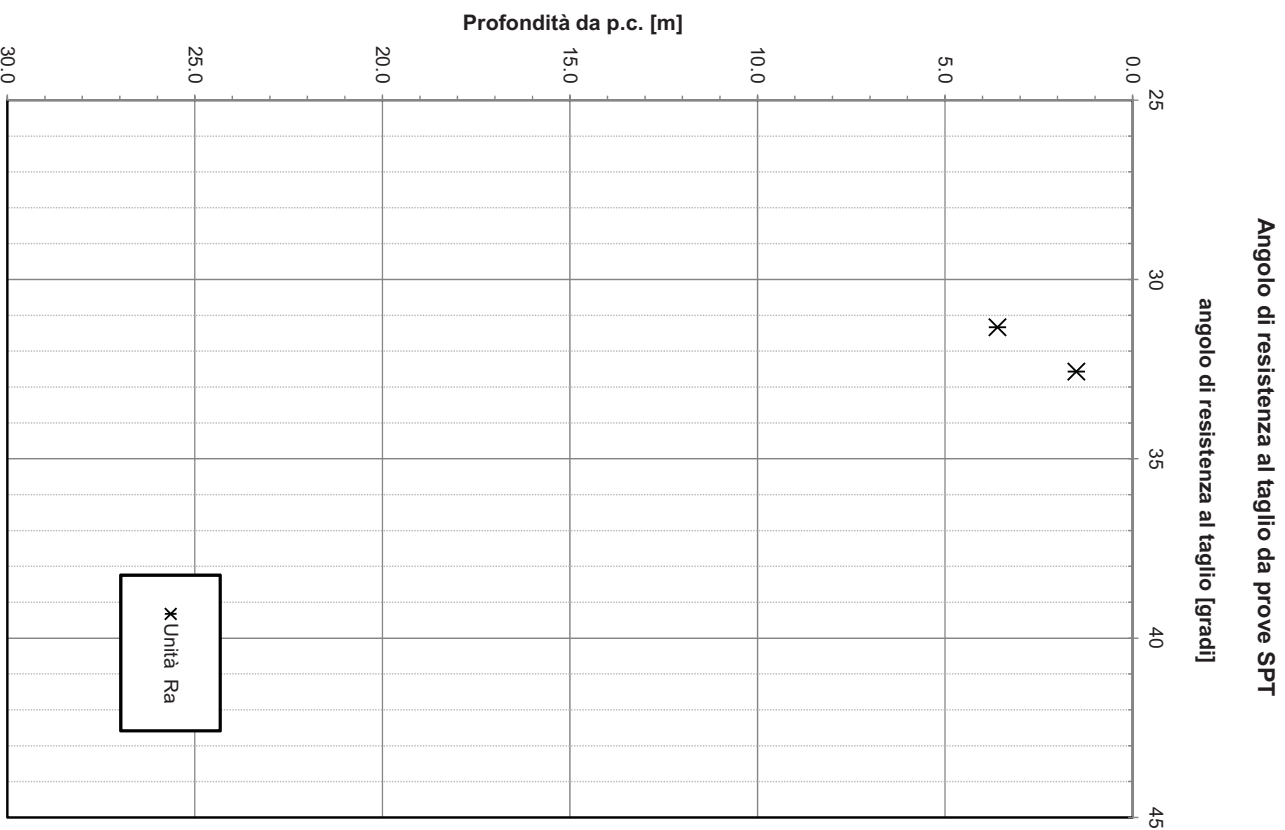


Figura 80: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggi S4-2017, S24-2015)

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT

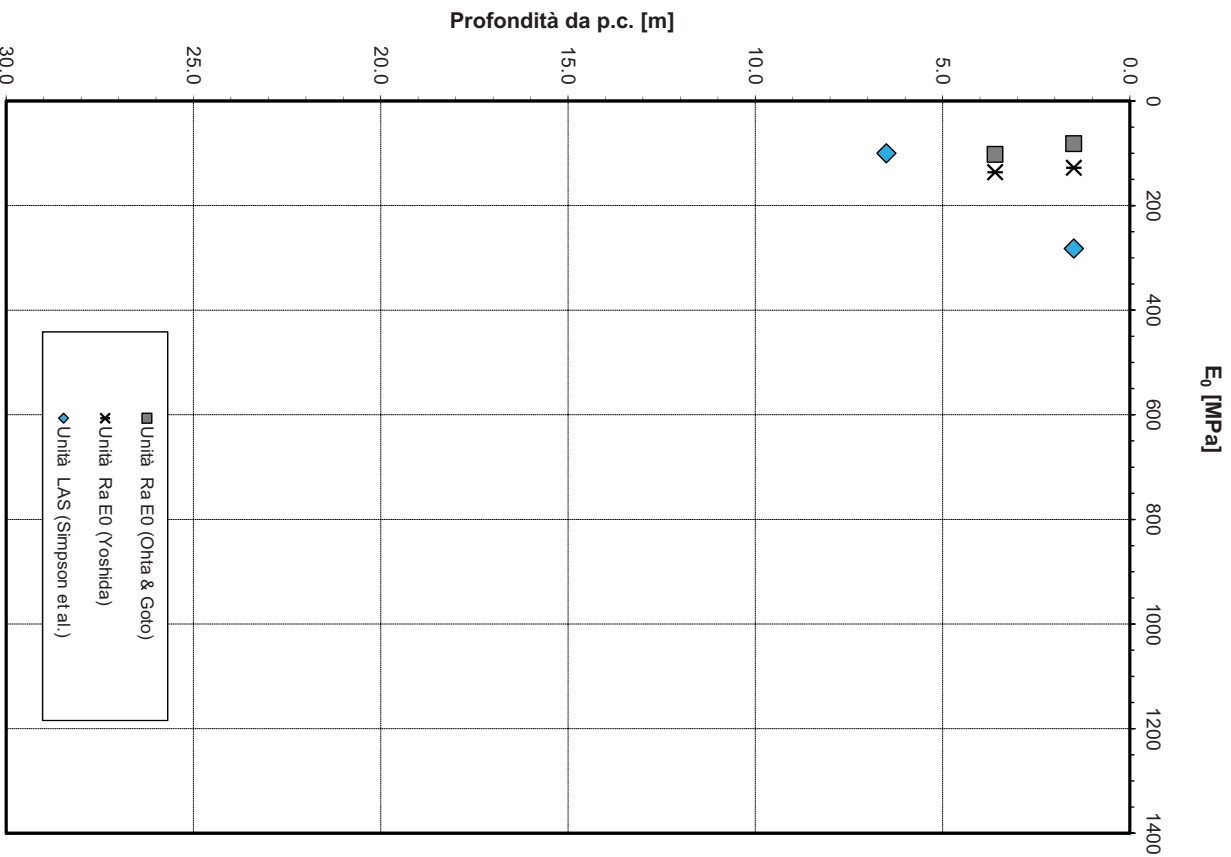


Figura 81: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT (sondaggi S4-2017, S24-2015)

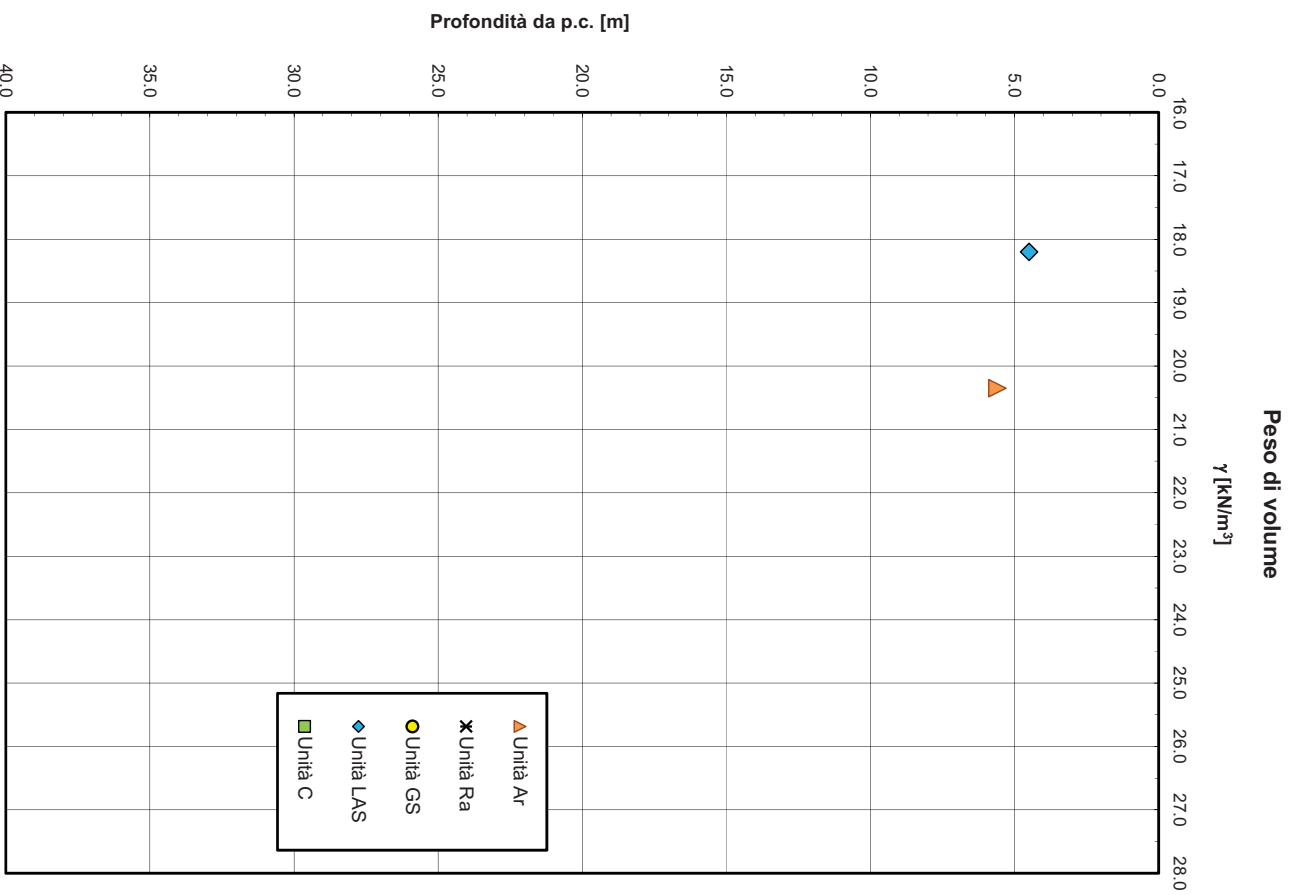


Figura 82: Peso di volume naturale (sondaggi S4-2017, S24-2015)

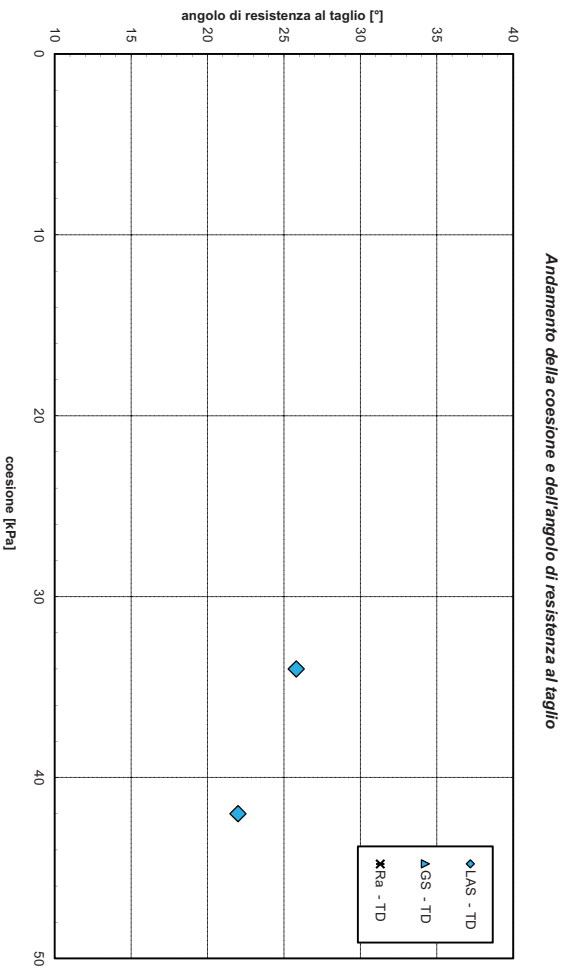


Figura 83: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata (sondaggi S4-2017, S24-2015)

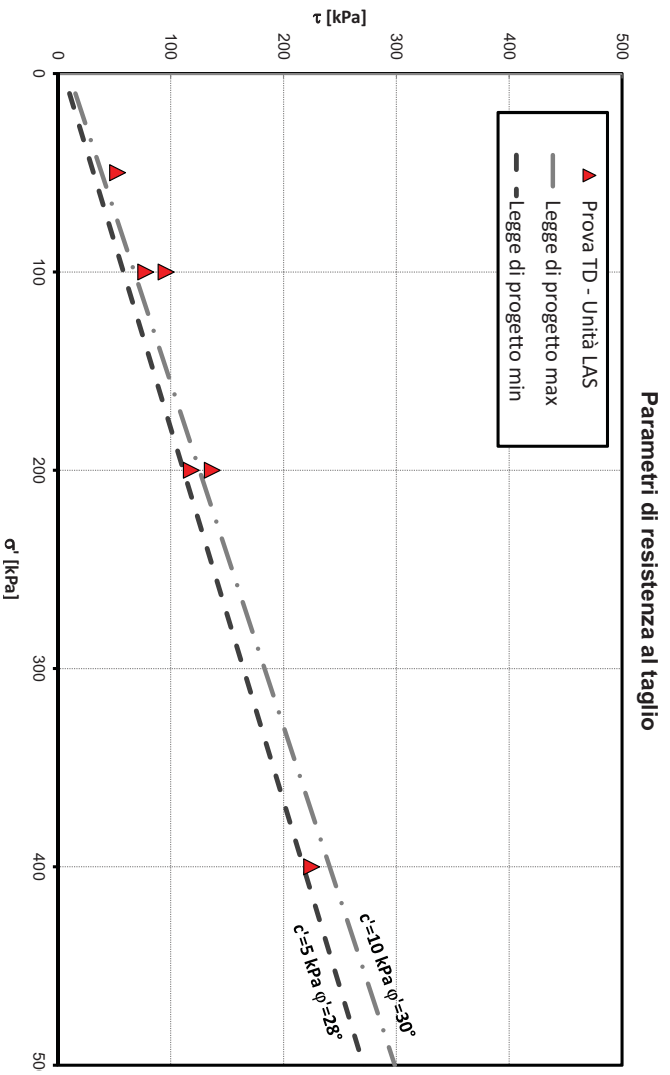


Figura 84: Parametri di resistenza (sondaggi S4-2017, S24-2015)

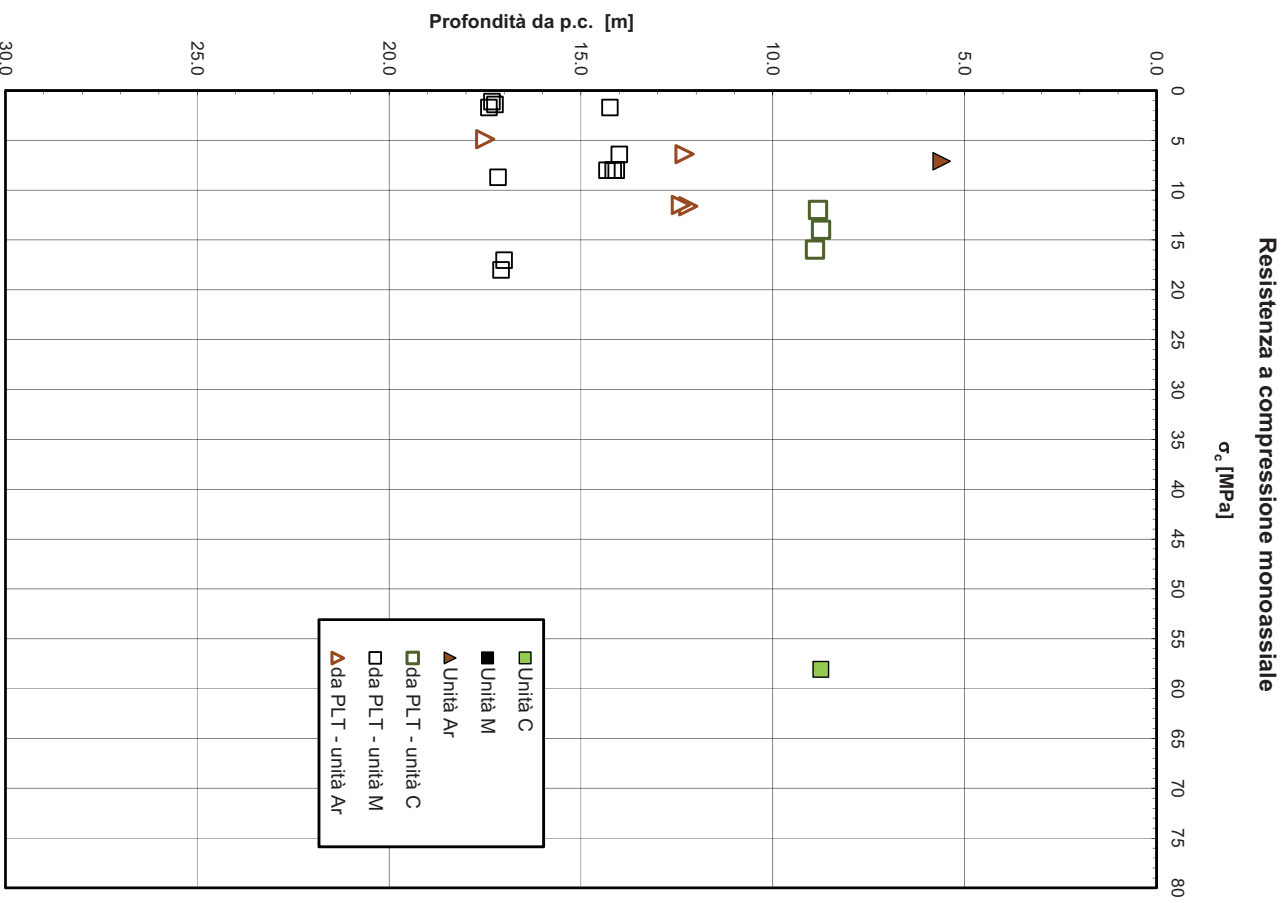


Figura 85: Resistenza a compressione monoassiale (sondaggi S4-2017, S24-2015)

7.1.3 Muri di contropipa OS06 Rampa C da pk 0+003.000 a pk 0+312.926

Nella zona sono stati eseguiti i sondaggi S28, S28A, S29, S30, S32, S33 della campagna del 1998 (Micropali s.a.s.). Le indagini hanno consentito la ricostruzione stratigrafica, evidenziando la presenza di una coltre superficiale limoso argillosa sabbiosa (unità LAS) di spessore 3-6 m ed a seguire la formazione di Mores marnosa (unità M) fino a quota +512.5 m s.l.m., poi calcarenitica (unità C) fino a quota +503 m e poi arenacea (unità Ar) fino alla massima profondità indagata (vedasi sezione stratigrafica di riferimento mostrata nella seguente figura). Nella parte finale dell'opera, come si evince dai sondaggi S33, S34 (vedasi profilo stratigrafico), affiora la formazione dei basalti di Luguidoro che si presentano particolarmente sfatti, alterati, argillificati, almeno per uno spessore di 5.5 m circa da p.c. (ROD=0).

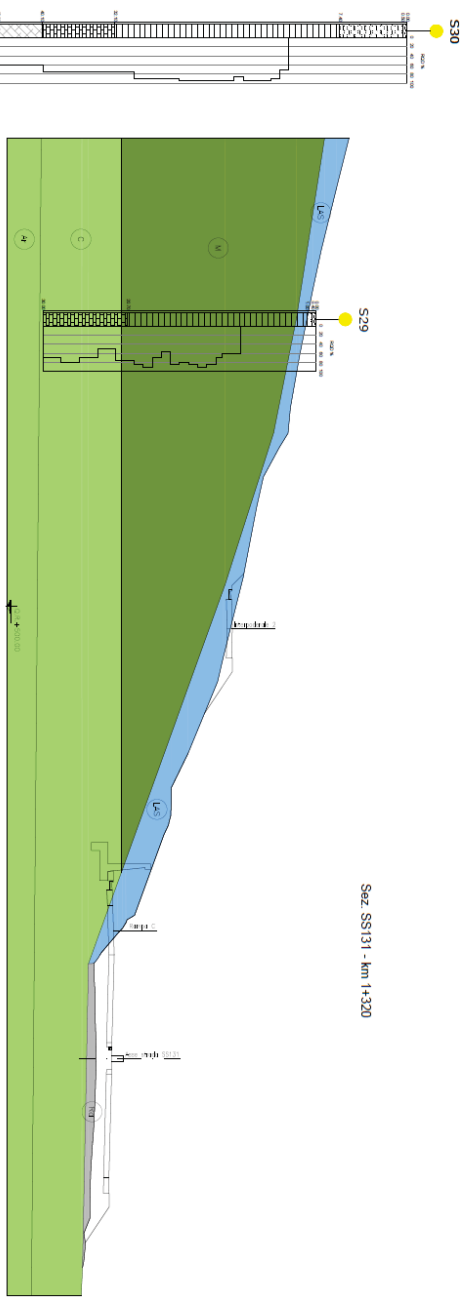


Figura 86: Sezione geotecnica di riferimento

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati.

Parametri geotecnici di progetto

Unità LAS (limo argilloso sabbioso)

$$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 28 \div 30^\circ$$

$$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$$

$$E_0 = 70 \div 250 \text{ MPa}$$

Unità M (Formazione di Mores marnosa):

$$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 26 \div 29^\circ$$

peso di volume naturale

angolo di resistenza al taglio

coesione drenata

modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

peso di volume

angolo di resistenza al taglio

$c' = 28 \div 35$ kPa

coesione drenata

$E = 120 \div 180$ MPa

modulo di deformazione

Unità C (Formazione di Mores calcarenitica):

$\gamma = 22.5$ kN/m³

peso di volume naturale

$\phi' = 28 \div 34^\circ$

angolo di resistenza al taglio

$c' = 32 \div 47$ kPa

coesione drenata

$E = 200 \div 340$ MPa

modulo di deformazione

Unità Ba (Formazione Basalti del Luguitoro):

$\gamma = 19$ kN/m³

peso di volume

$\phi' = 23 \div 39^\circ$

angolo di resistenza al taglio

$c' = 13 \div 60$ kPa

coesione drenata

$E = 30 \div 230$ MPa

modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

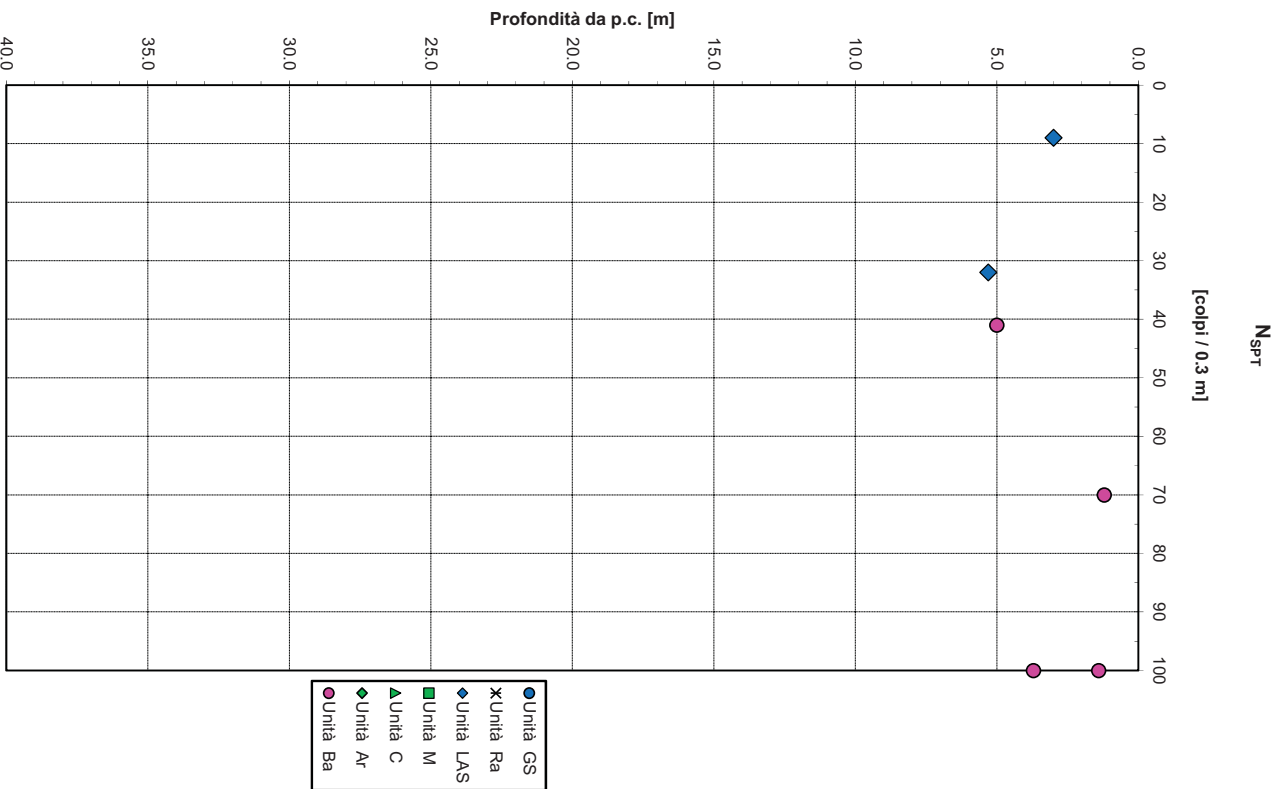


Figura 87: Valori di N_{spt} (sondaggi S28, S28A, S29, S30, S32, S33-1998 Micropali s.a.s.)

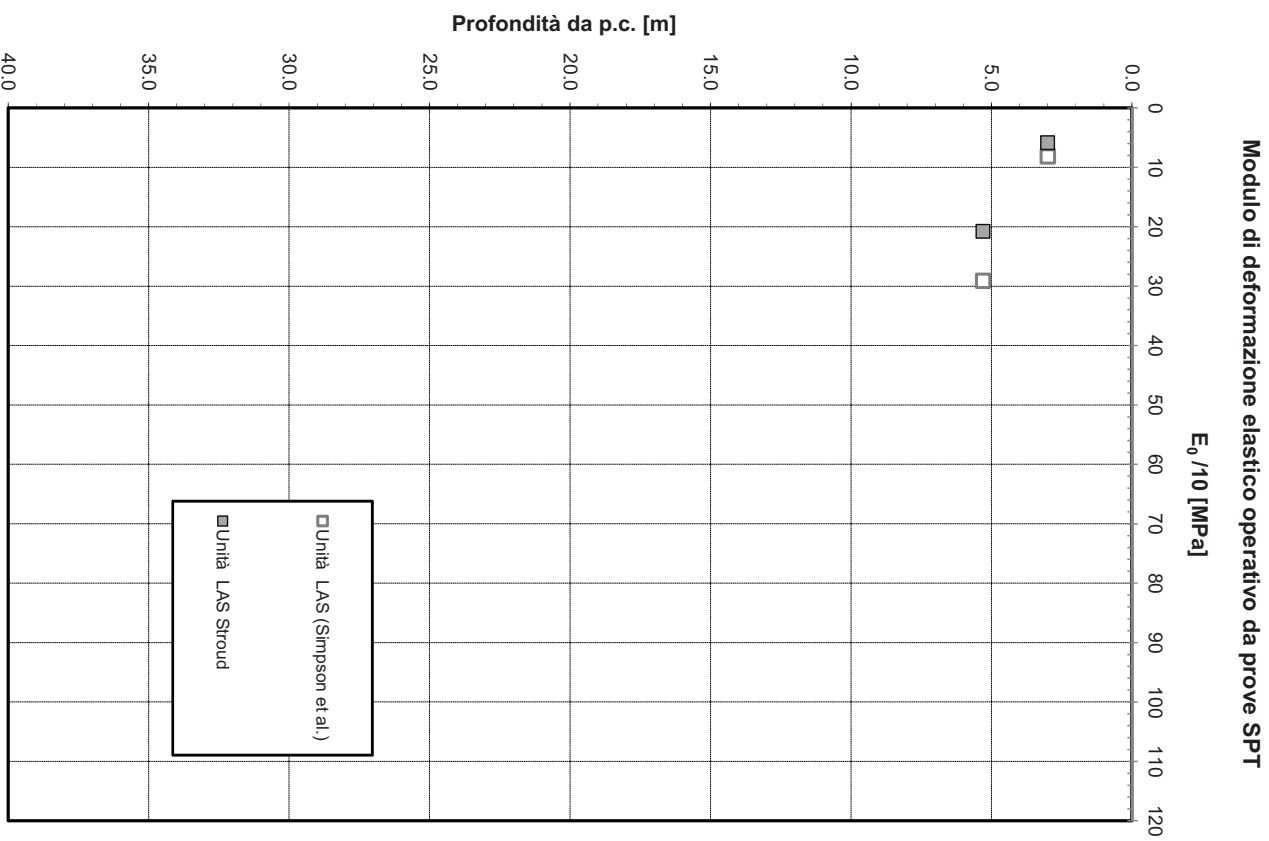


Figura 88: Modulo di deformazione operativo $E_0/10$ (sondaggi S28, S28A, S29, S30, S32, S33-1998 Micropali s.a.s.)

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

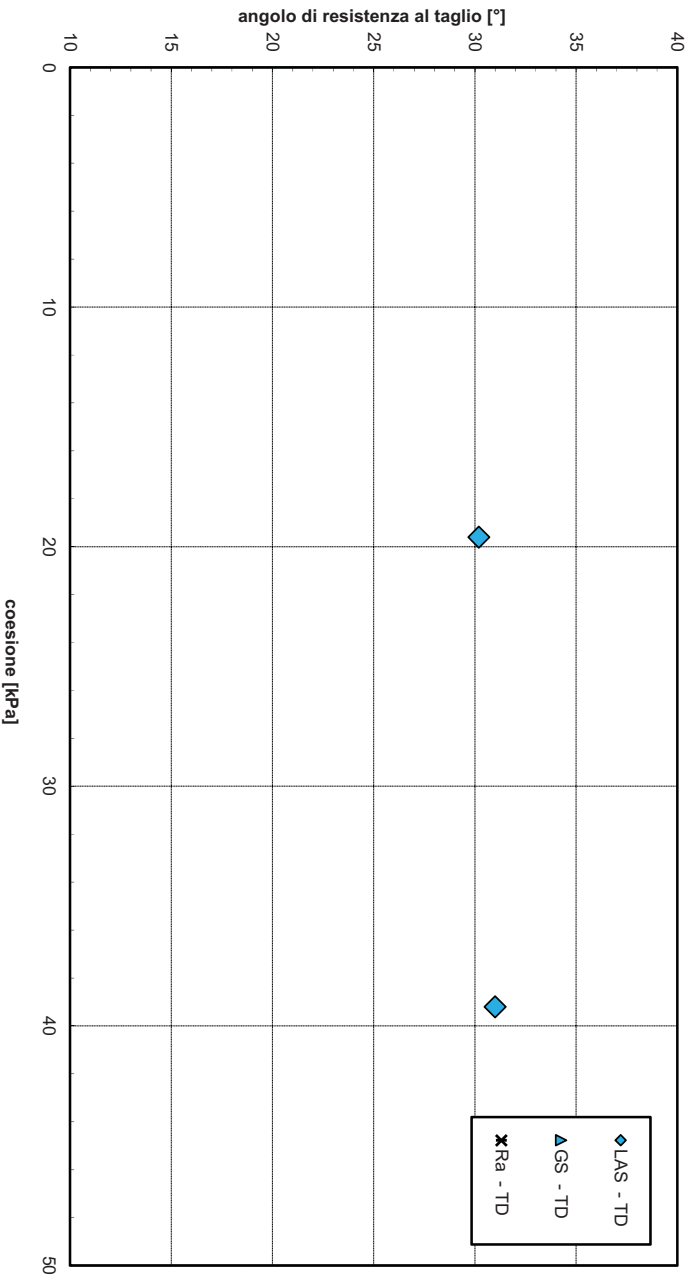


Figura 89: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata da laboratorio (sondaggi S28, S28A, S29, S30, S32, S33-1998 Micropali s.a.s.)

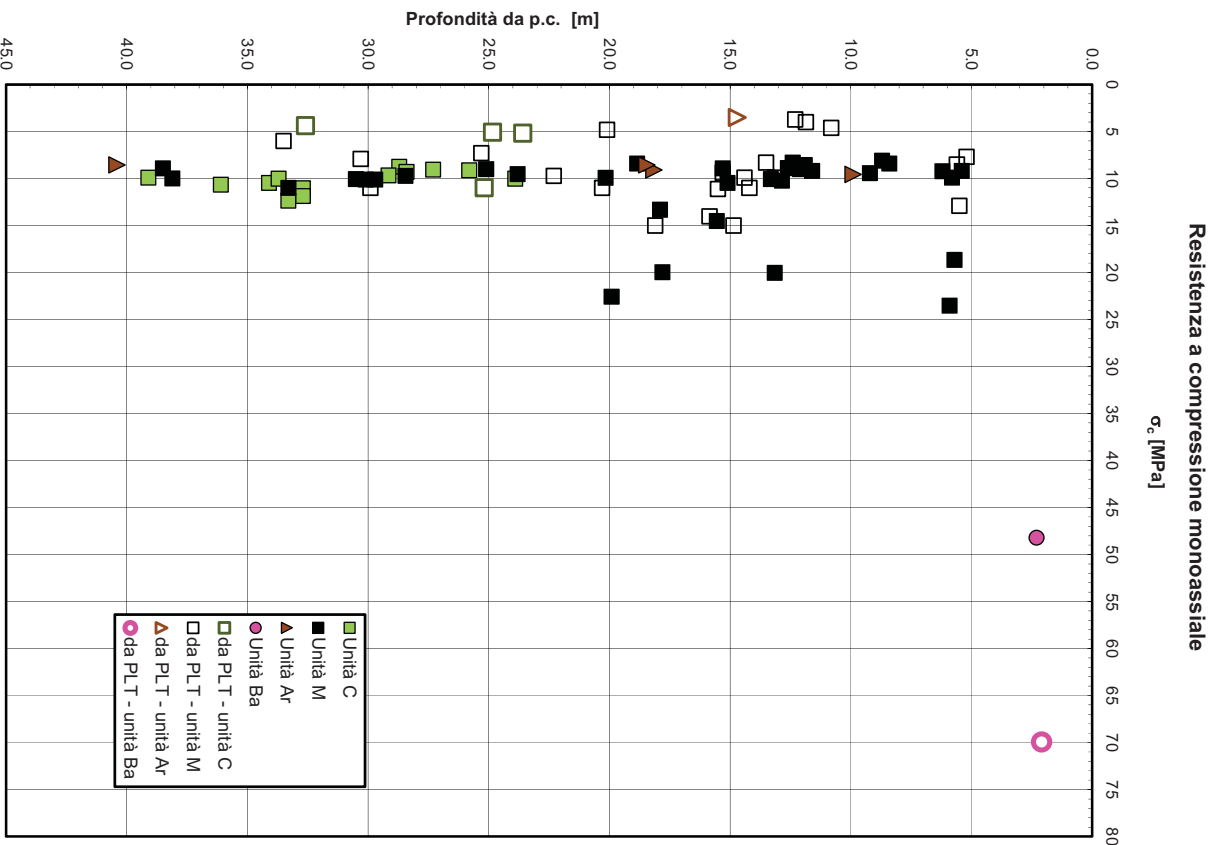


Figura 90: Resistenza a compressione monoassiale (sondaggi S28, S28A, S29, S30, S32, S33-1998 Micropali s.a.s.)

7.1.4 Muro di sottoscarpa OS07 Rampa D da pk 0+155.45 a pk 0+522.83 e muro di sottoscarpa OS08 Viabilità Interpodereale 1 da pk 0+300.00 a pk 0+513.31

In corrispondenza di queste opere sono state eseguite le seguenti indagini:

- campagna geognostica del 2017: sondaggi S2, S3, S5 e stesa sismica a rifrazione BSS;
- campagna geognostica del 2015: sondaggio S11 e stesa sismica a rifrazione LST7.

Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di terreno di riporto antropico molto eterogeneo (unità Ra) costituito da sabbia limoso ghiaioso con clasti, ciottoli, talvolta blocchi litoidi, generalmente poco addensata; lo spessore è variabile da 3 m (S3 del 2017) a 25 m (S11 del 2015). Segue uno spessore di limo argilloso sabbioso (unità LAS) di circa 3 m che ricopre la formazione di Mores. La formazione di base è stata intercettata in facies marnosa fino al km 0+645 circa (vedasi carta geologica e sondaggio S9 del 1992 posizionato più a valle), poi proseguendo verso nord è in facies arenacea e calcarenitica.

Nelle seguenti figure si riportano le sezioni stratigrafiche di riferimento maggiormente significative lungo lo sviluppo della viabilità.

Sez. SS131 - km 0+690

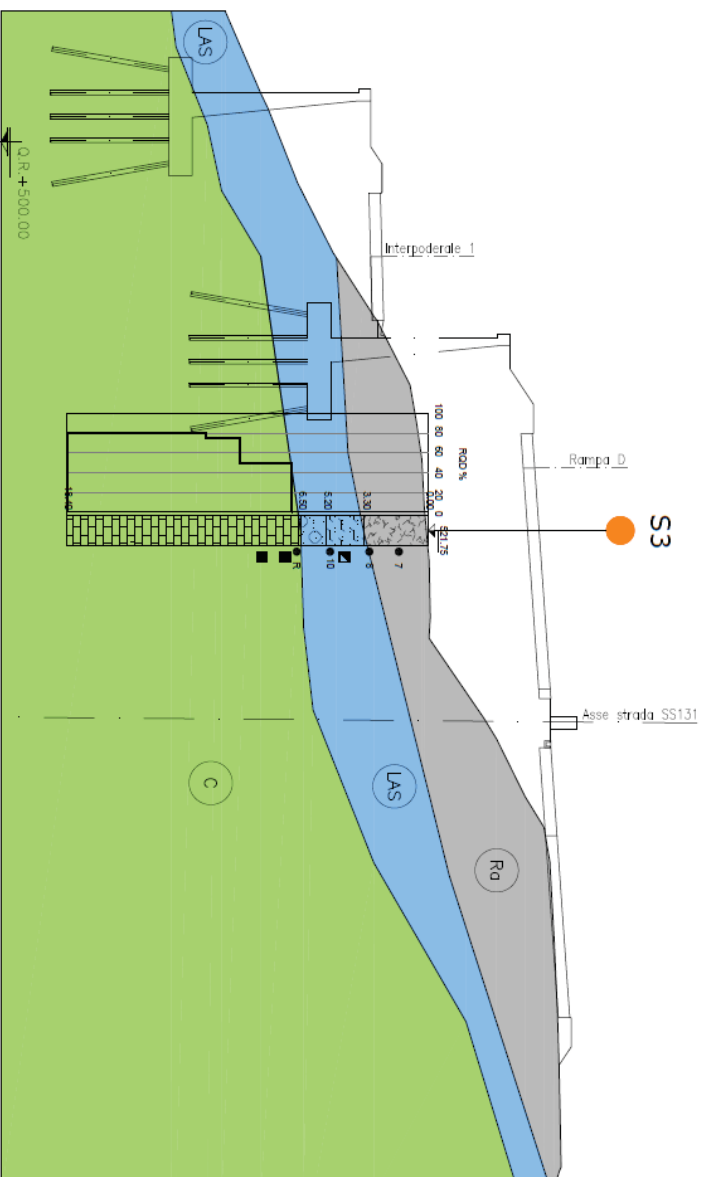


Figura 91: Sezione geotecnica di riferimento

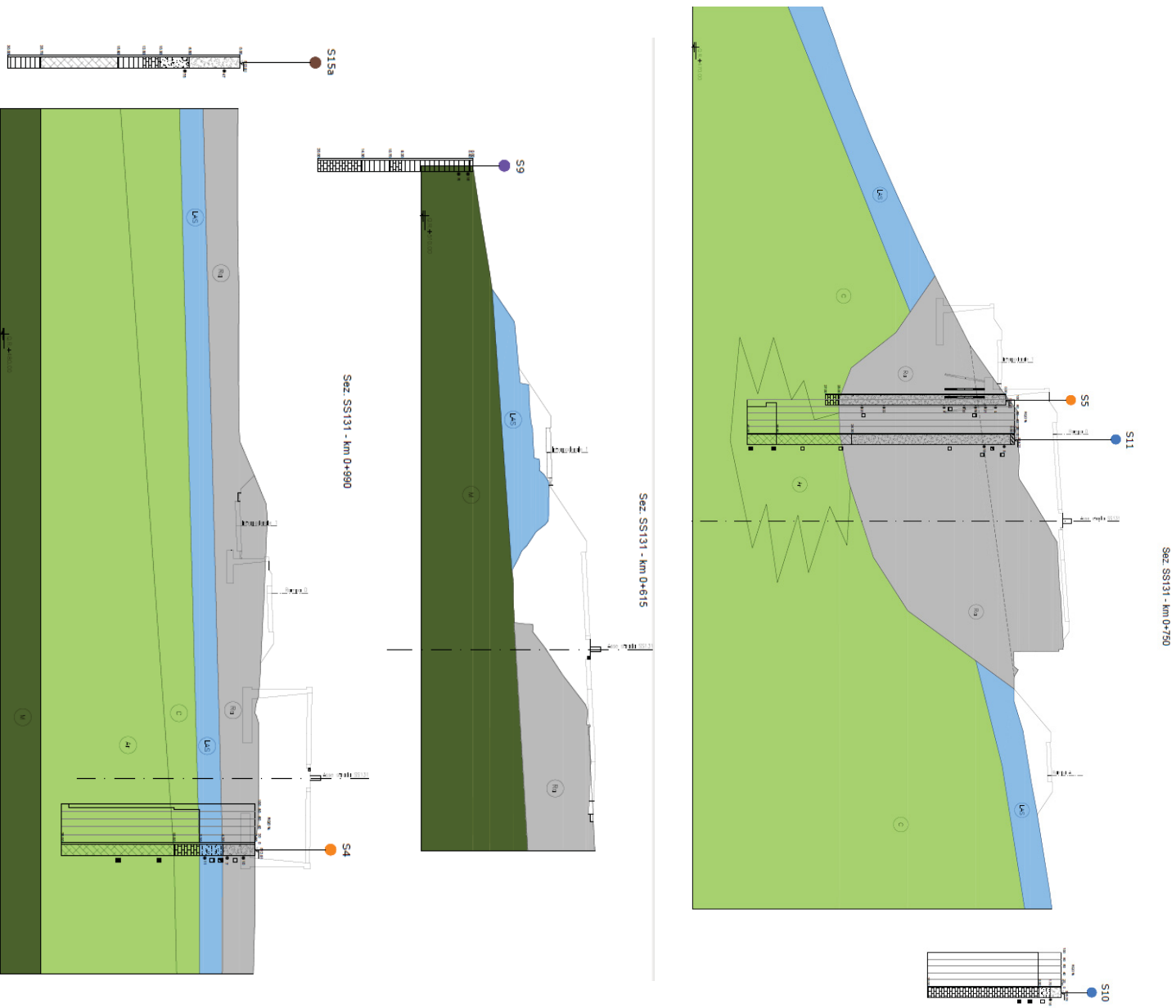


Figura 92: Sezioni geotecniche di riferimento
Relazione 145 di 248

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati.

Parametri geotecnici di progetto

Unità Ra (riporto antropico).

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 30 \div 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E_0 = 130 \div 600 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità LAS (limo argilloso sabbioso):

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 28 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$ coesione drenata

$c_u = 50 \div 190 \text{ kPa}$ resistenza al taglio non drenata

$E_0 = 70 \div 100 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità C (Formazione di Mores calcarenitica):

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 28 \div 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 32 \div 47 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E = 200 \div 340 \text{ MPa}$ modulo di deformazione

Unità Ar (Formazione di Mores arenacea):

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume

$\phi' = 29 \div 33^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 30 \div 39 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E = 90 \div 460 \text{ MPa}$ modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

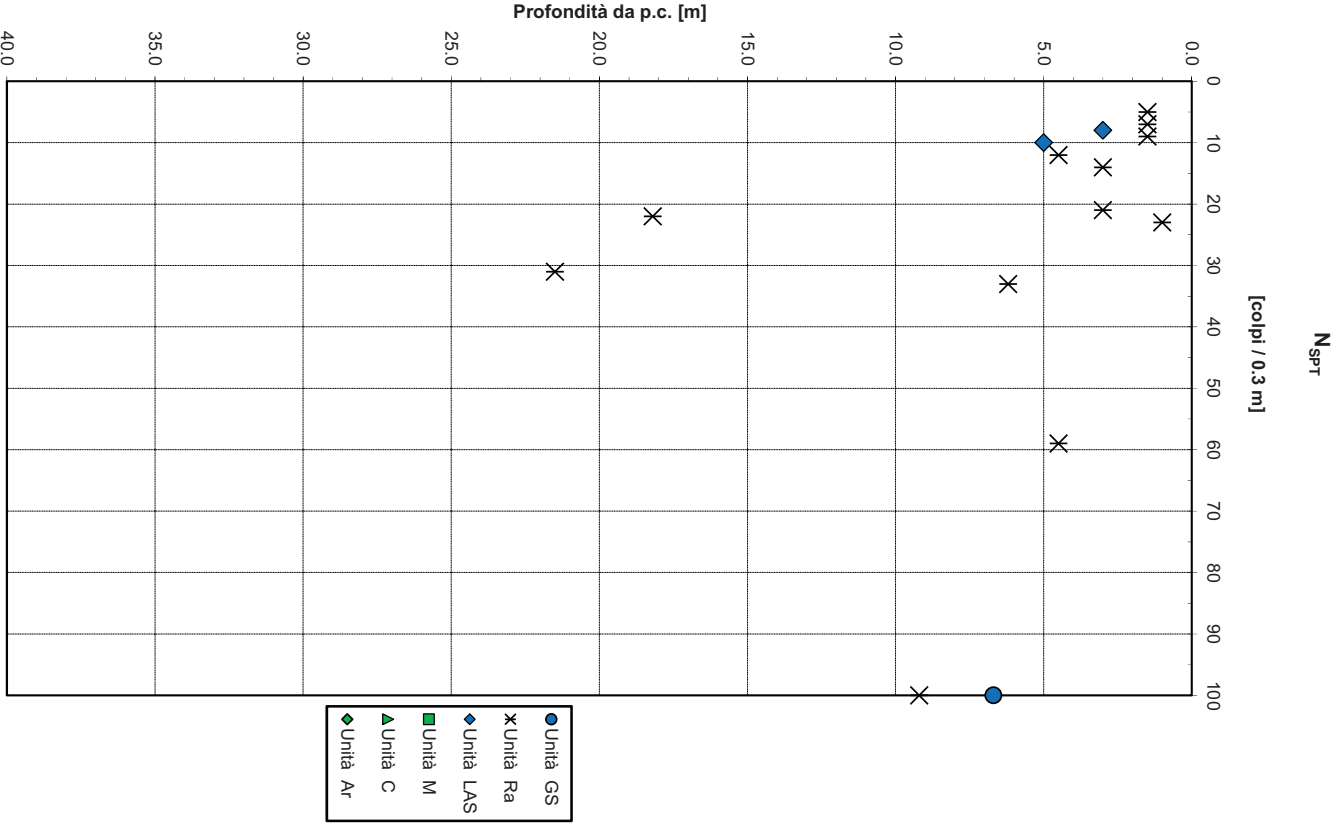


Figura 93: Valori di N_{spt} (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

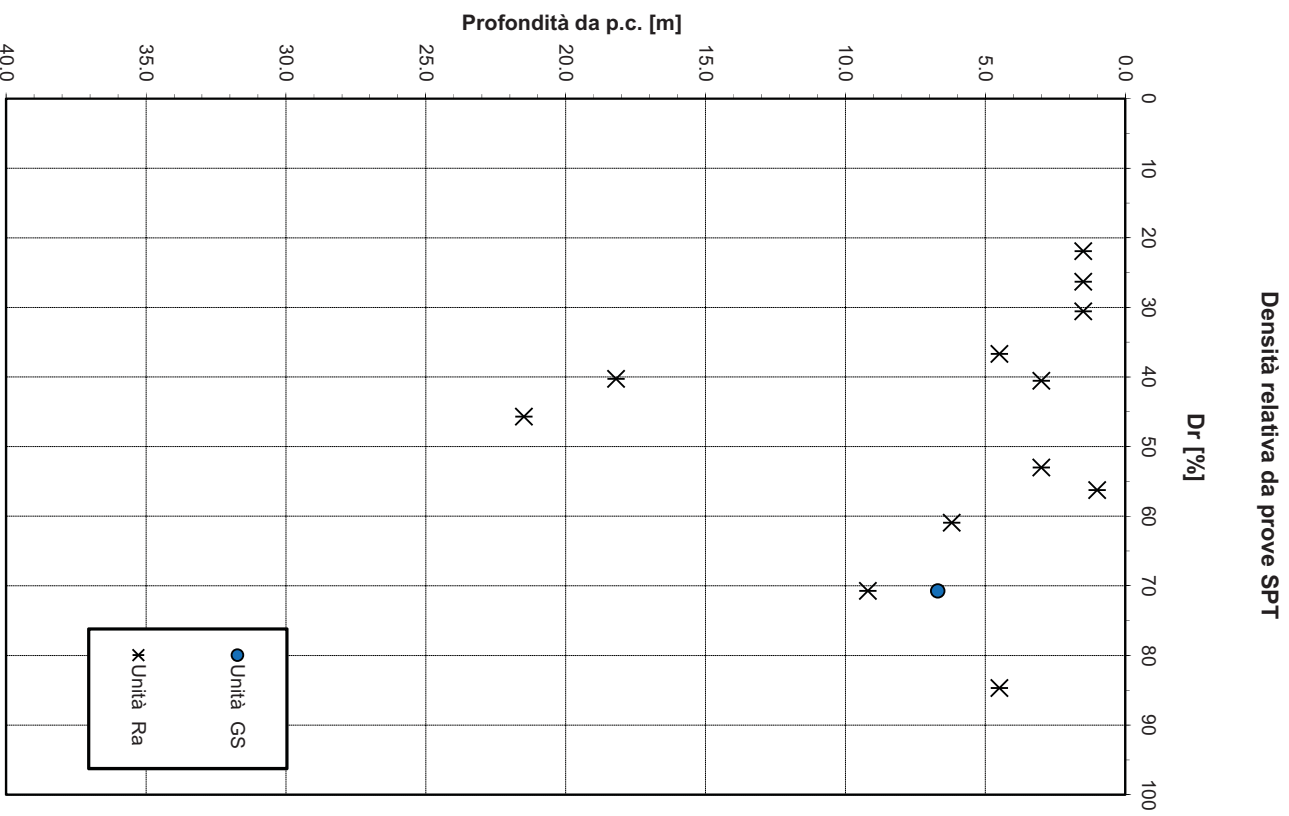


Figura 94: Densità relativa da prove SPT (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

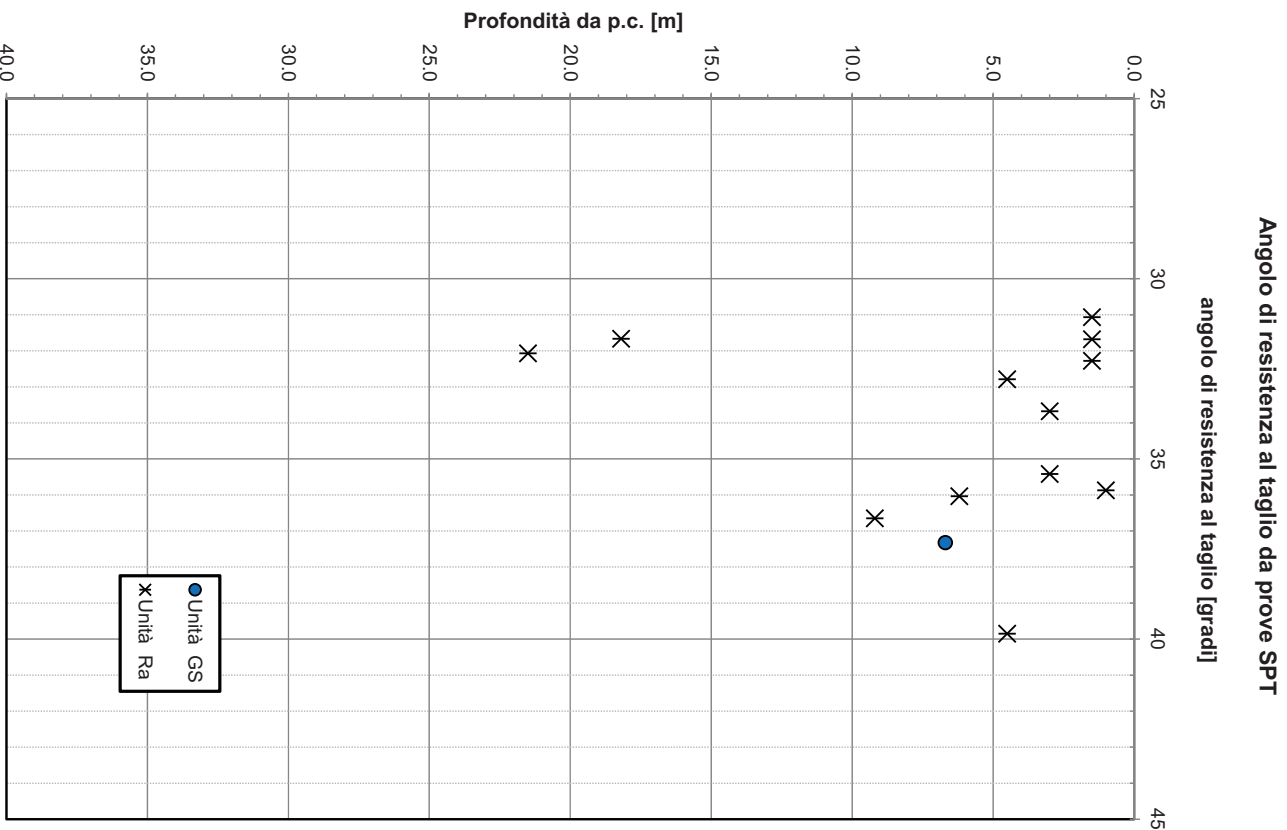


Figura 95: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

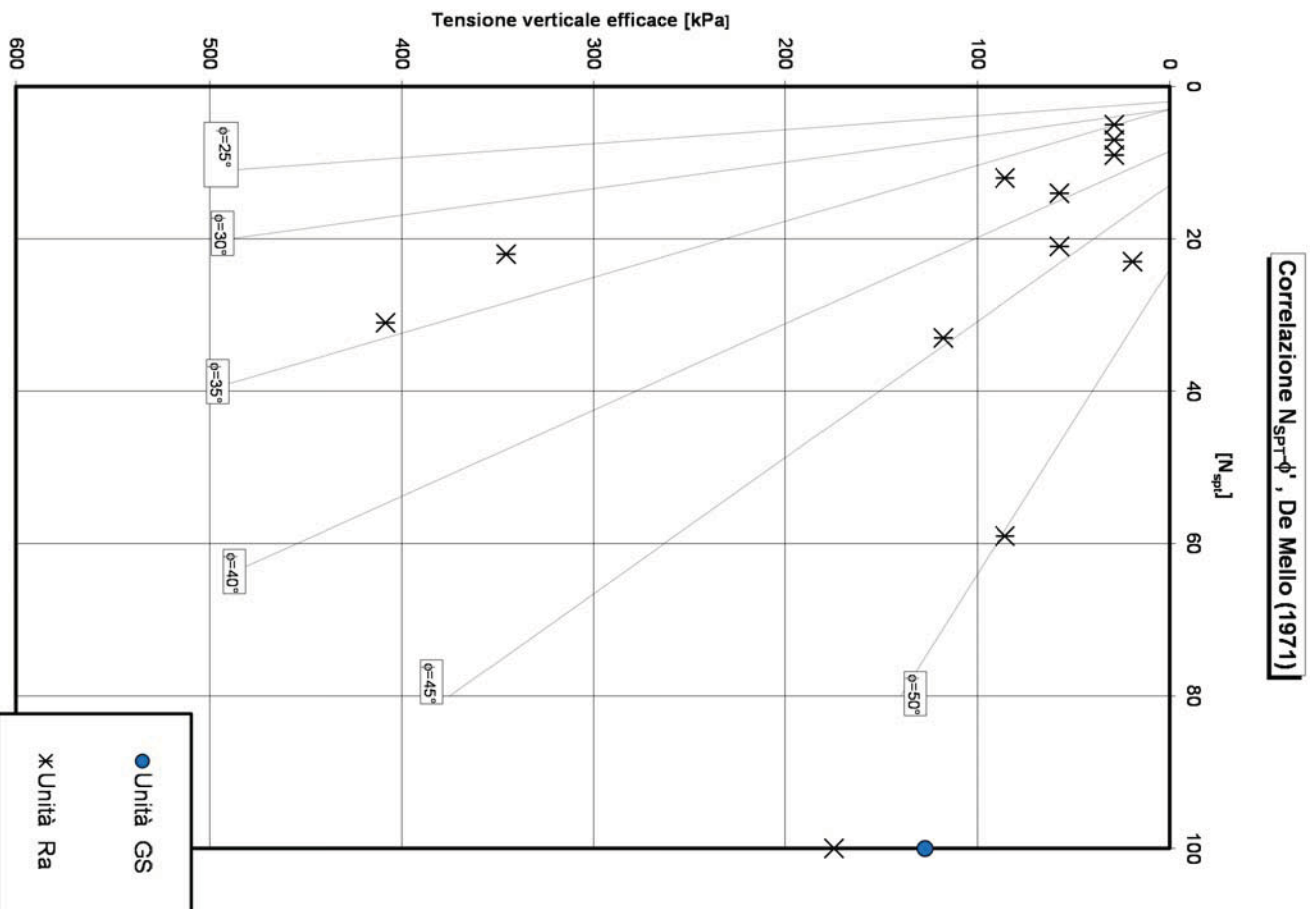


Figura 96: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT, De Mello (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

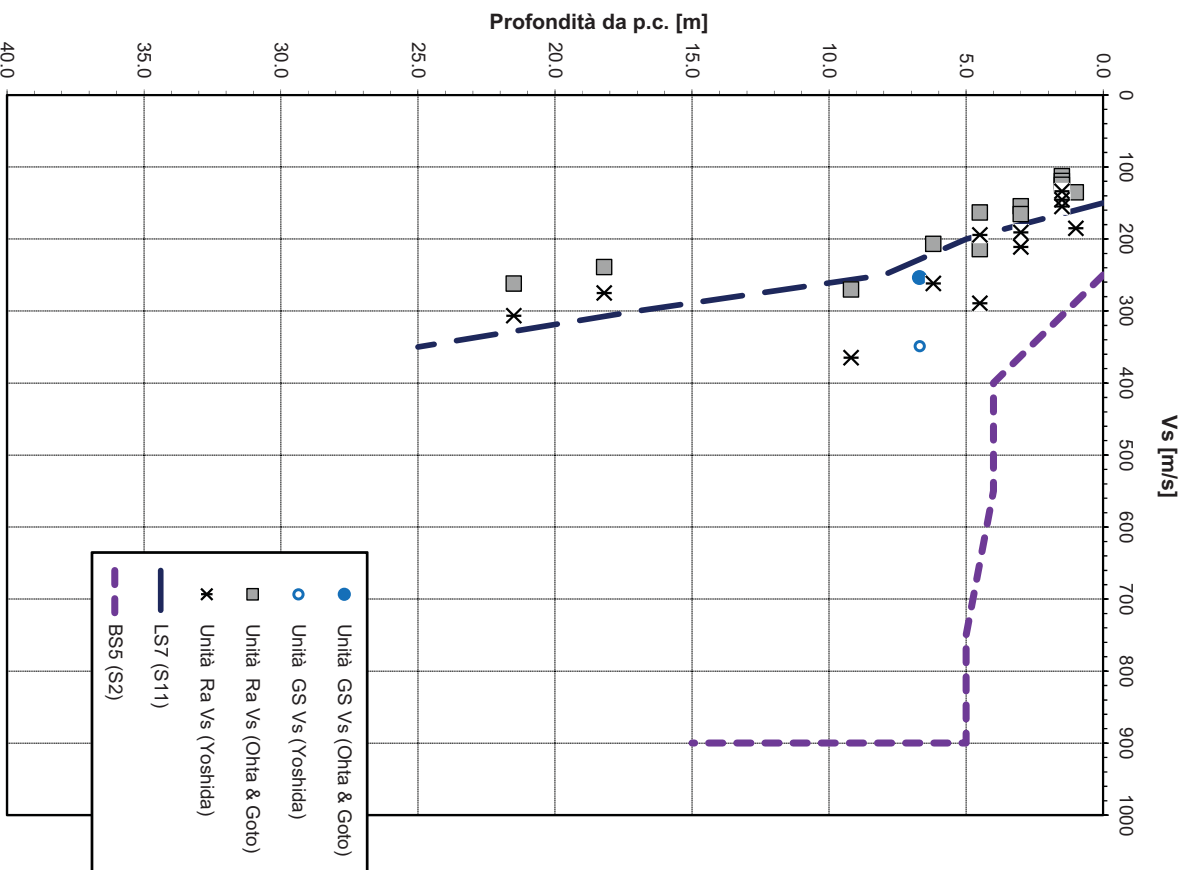


Figura 97: Velocità delle onde di taglio da prove SPT (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015) e indagini sismiche

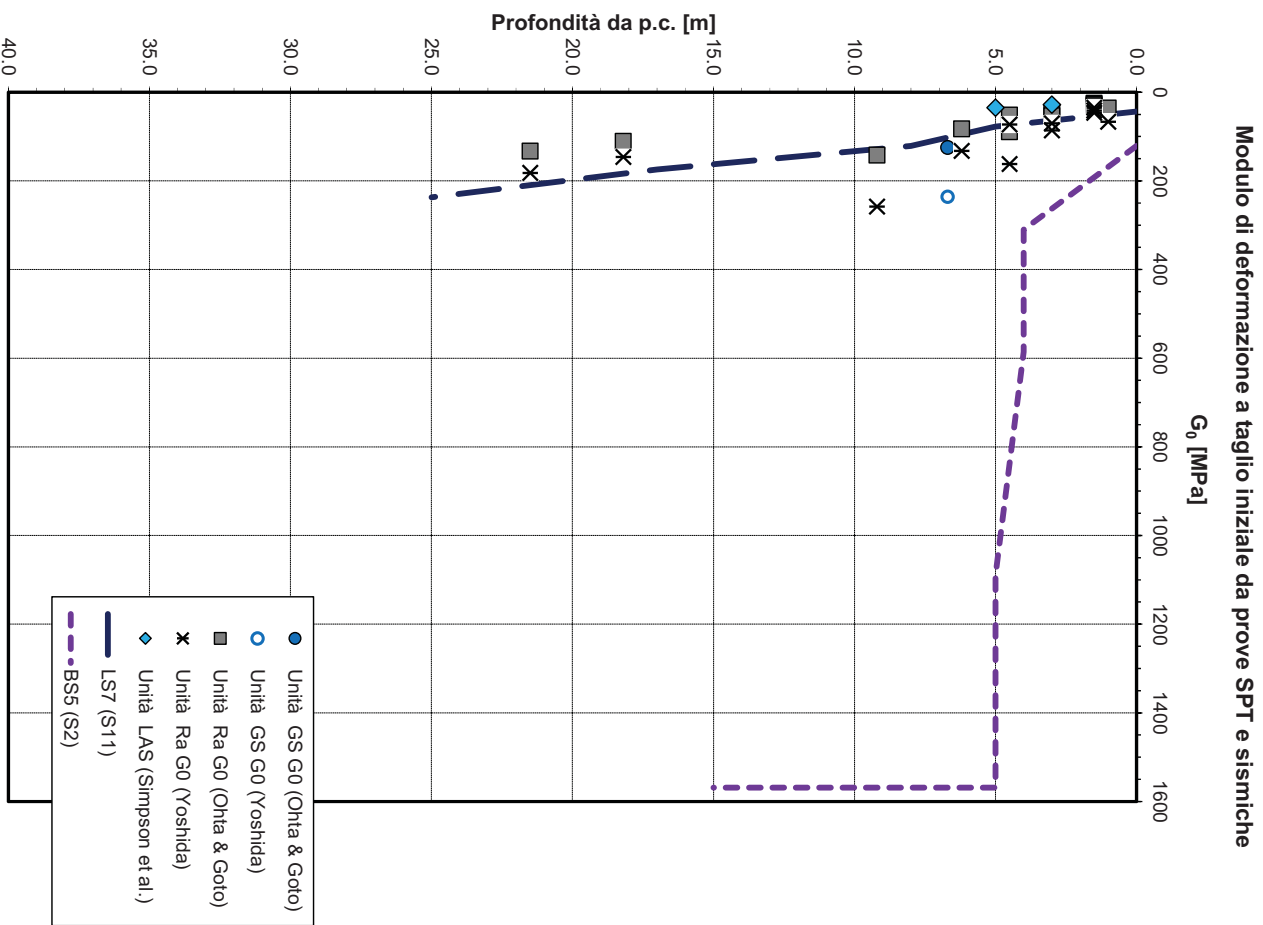


Figura 98: Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015) e indagini sismiche

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

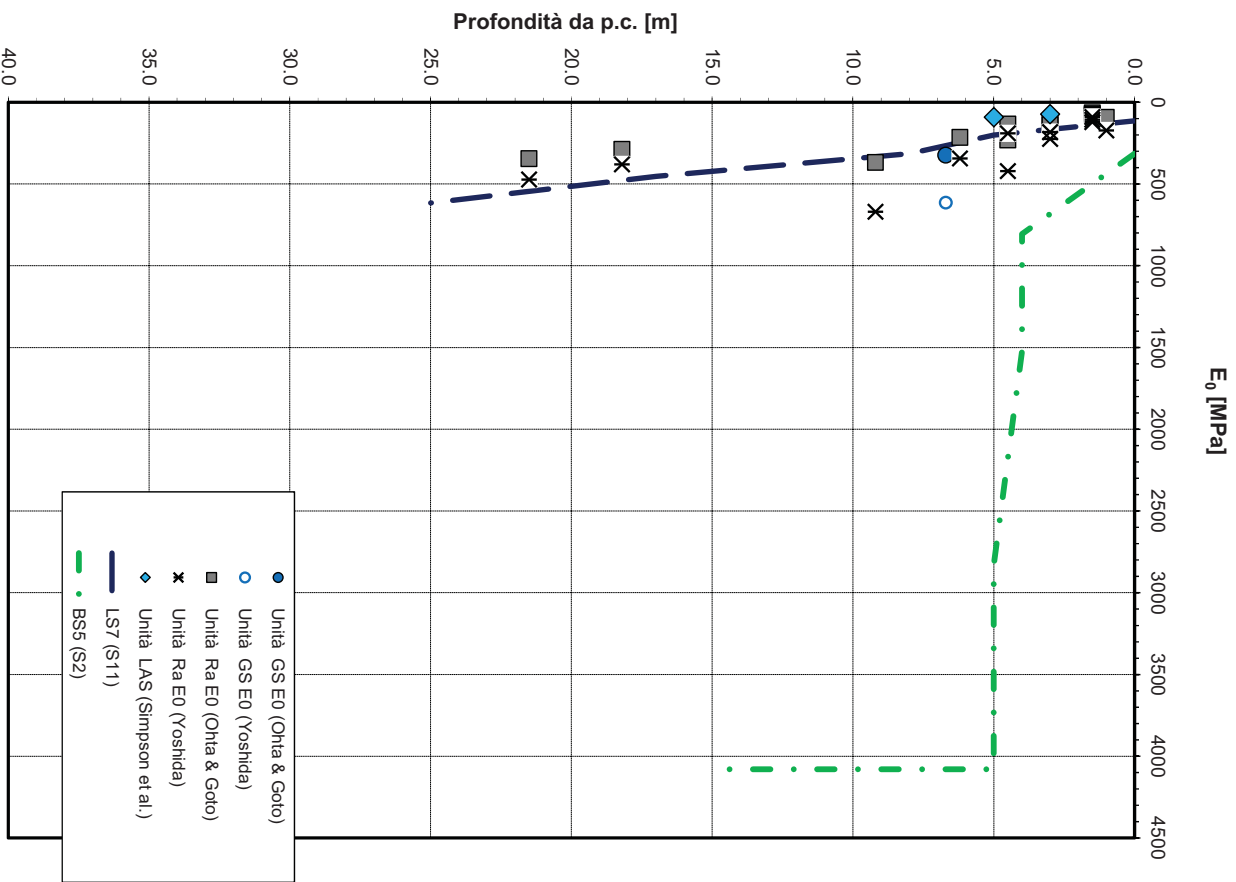


Figura 99: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015) e indagini sismiche

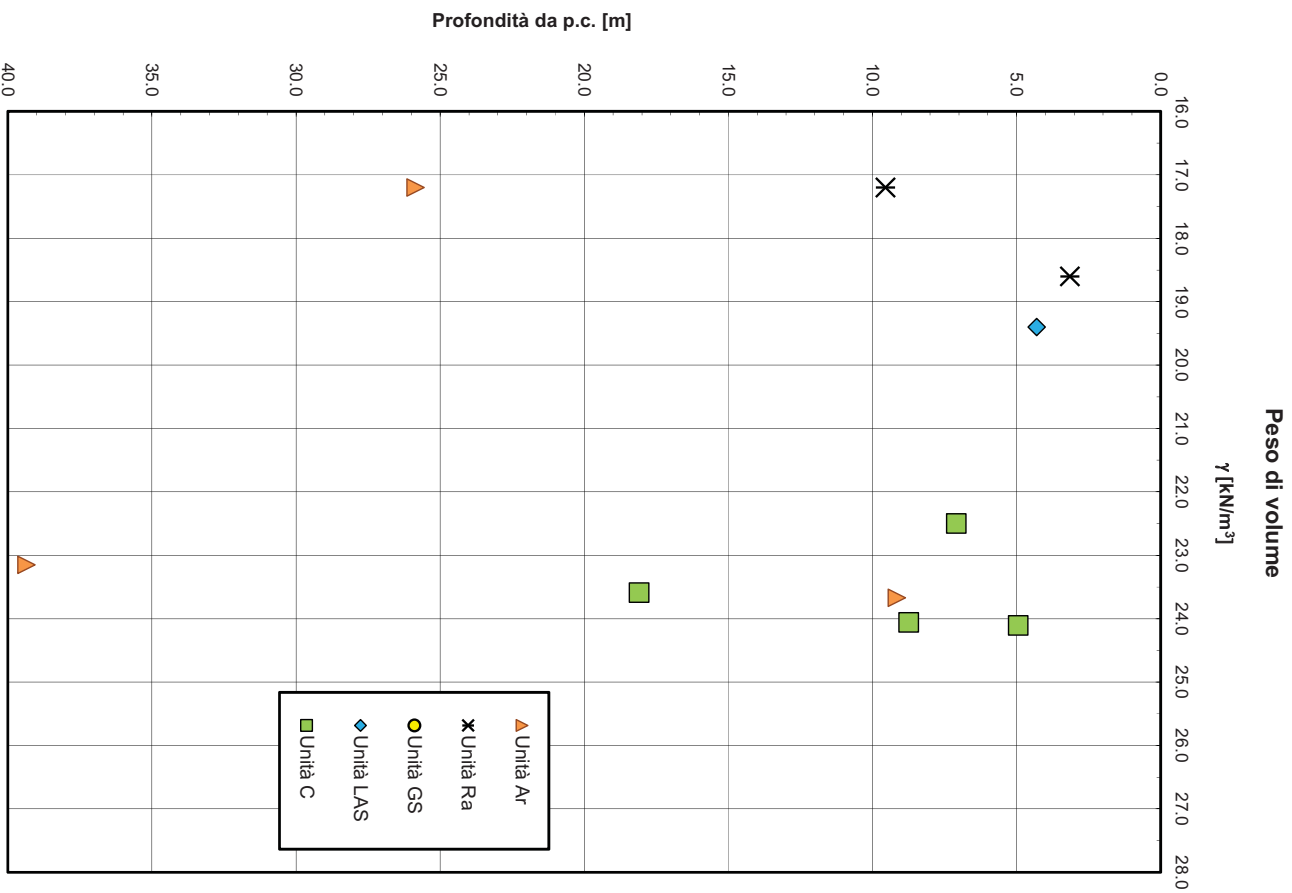


Figura 100: Peso di volume naturale (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

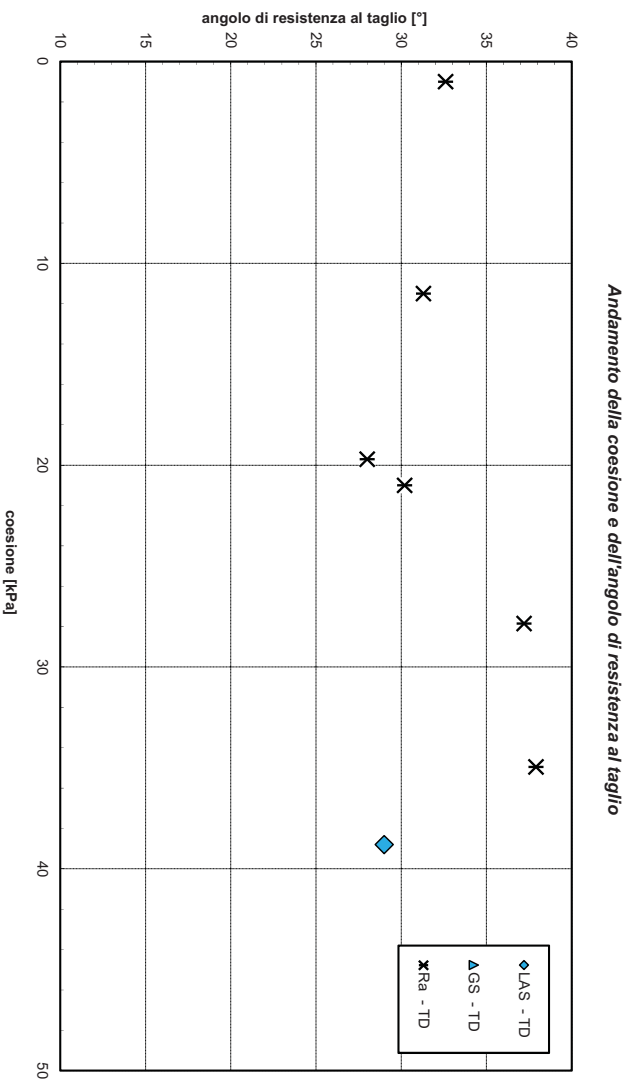


Figura 101: Angolo di resistenza al taglio e coesione da prove di laboratorio (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

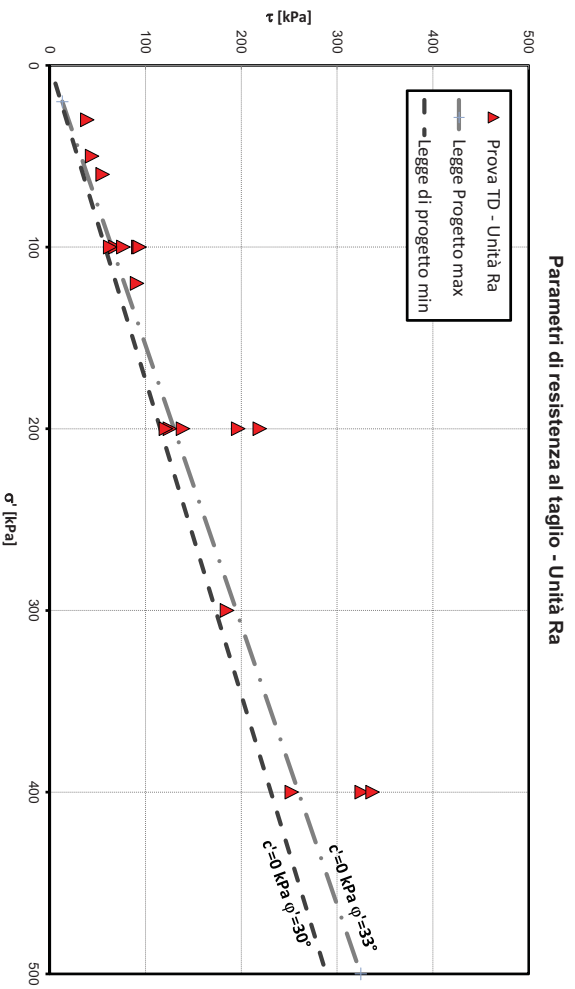


Figura 102: Parametri di resistenza da laboratorio – unità Ra

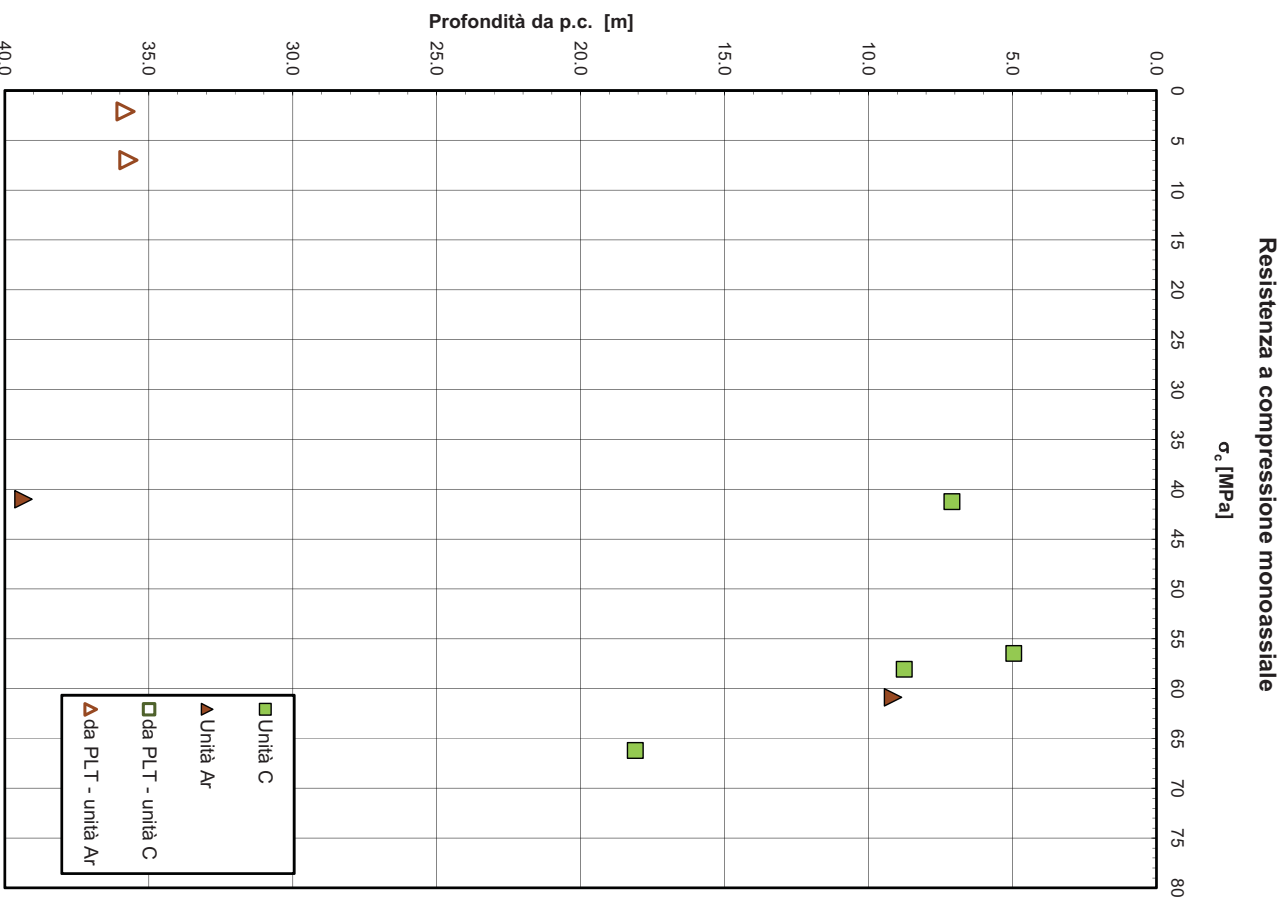


Figura 103: Resistenza a compressione monoassiale (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

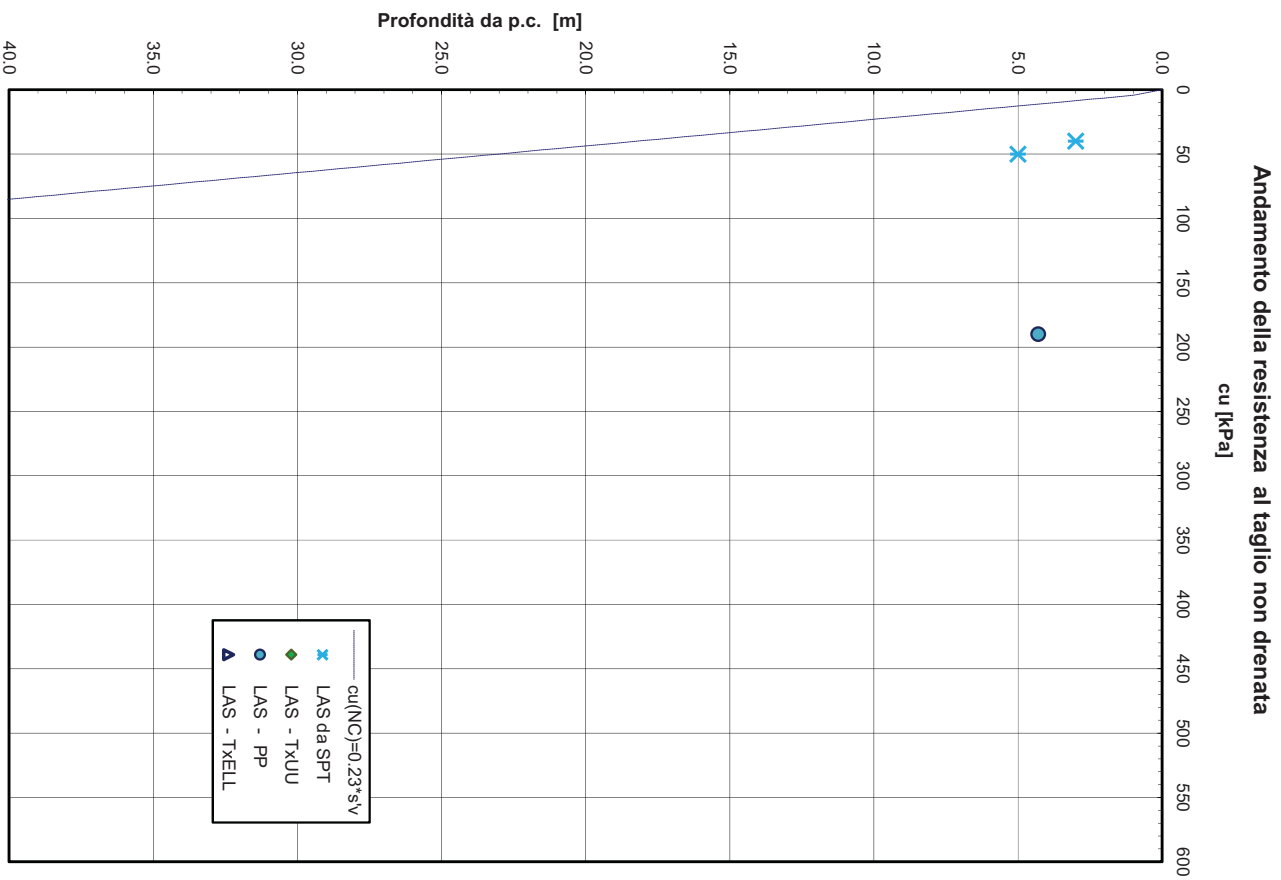


Figura 104: Resistenza al taglio non drenata (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015)

7.1.5 Sottovia Scatolare - Muri Andatori OS09 da pk 0+959.00 a pk 1+028.33 e da pk 0+981.72 a pk 1+110.06, Muro di sottoscarpa OS10 da pk 0+126.80 a pk 0+177.32

In corrispondenza di queste opere è stato eseguito il sondaggio S4 della campagna geognostica del 2017, spinto fino alla profondità di 25 m da p.c.. L'indagine ha evidenziato la presenza in superficie di terreno di riporto antropico con spessore 4 m circa, poi limo argilloso sabbioso con clasti, blocchi fino a 7 m ed a seguire la formazione di Mores calcarenitica fino a 10.5 m poi microconglomerato arenaceo fino a 24 m e di nuovo arenaria fino a fine sondaggio (25 m). Nella seguente figura si riporta la sezione stratigrafica di riferimento.

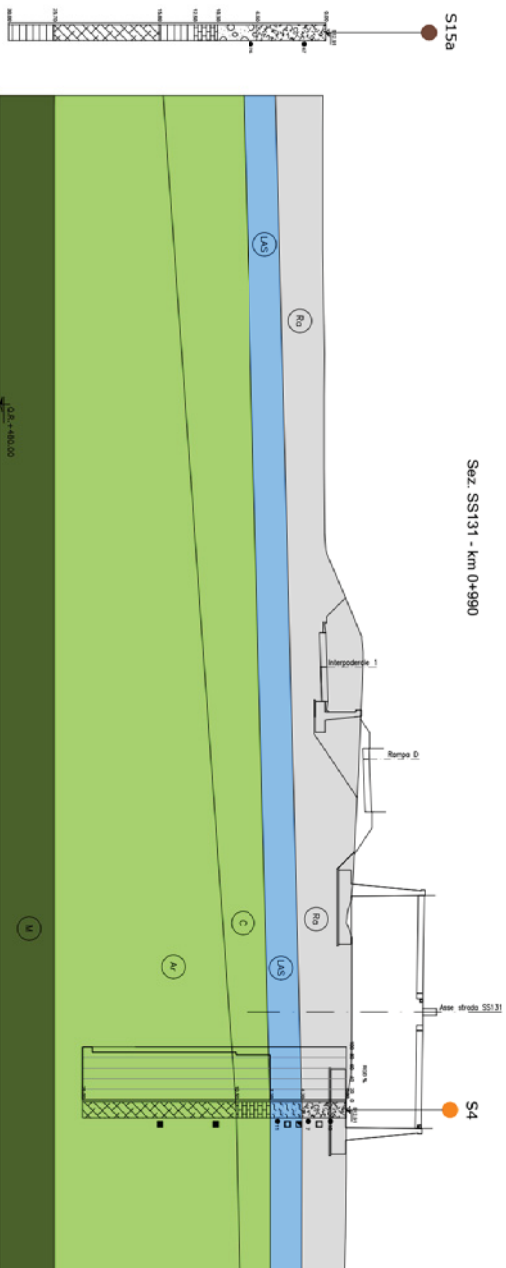


Figura 105: Sezione geotecnica di riferimento'

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati.

Parametri geotecnici di progetto

Unità Ra (riporto antropico)

$$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 30 \div 35^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$E_0 = 80 \div 140 \text{ MPa}$$

Unità LAS (limo argilloso sabbioso)

$$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 28 \div 30^\circ$$

$$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$$

$$cu = 55 \div 80 \text{ kPa}$$

peso di volume naturale

angolo di resistenza al taglio

coesione drenata

modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

peso di volume naturale

angolo di resistenza al taglio

coesione drenata

resistenza al taglio non drenata

$E_0 = 100$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità C (Formazione di Mores calcarenitica):

$\gamma = 22.5$ kN/m³ peso di volume naturale

$\varphi' = 28 \div 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 32 \div 47$ kPa coesione drenata

$E = 200 \div 340$ MPa modulo di deformazione

Unità Ar (Formazione di Mores arenacea):

$\gamma = 22.5$ kN/m³ peso di volume

$\varphi' = 29 \div 33^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 30 \div 39$ kPa coesione drenata

$E = 90 \div 460$ MPa modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

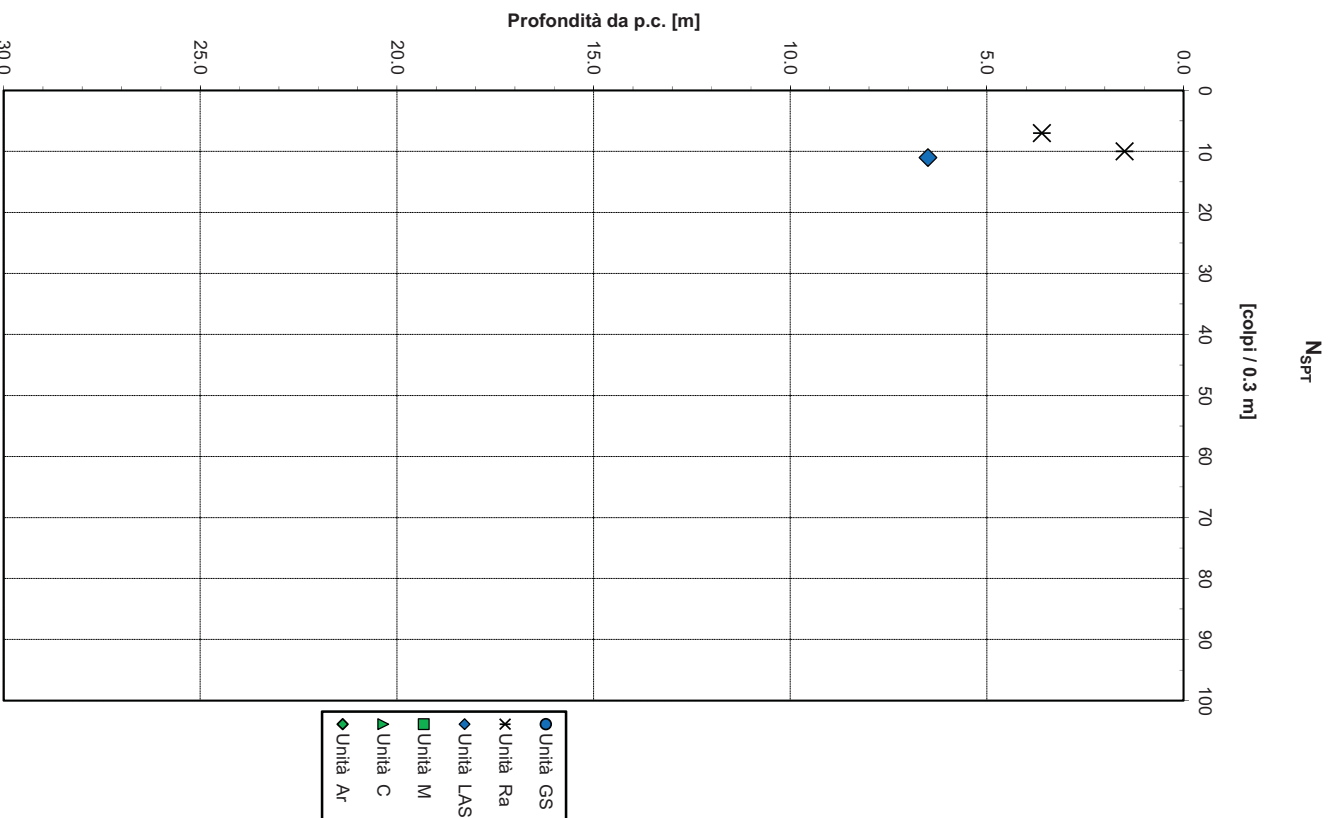


Figura 106: Valori di N_{spt} (sondaggio S4-2017)

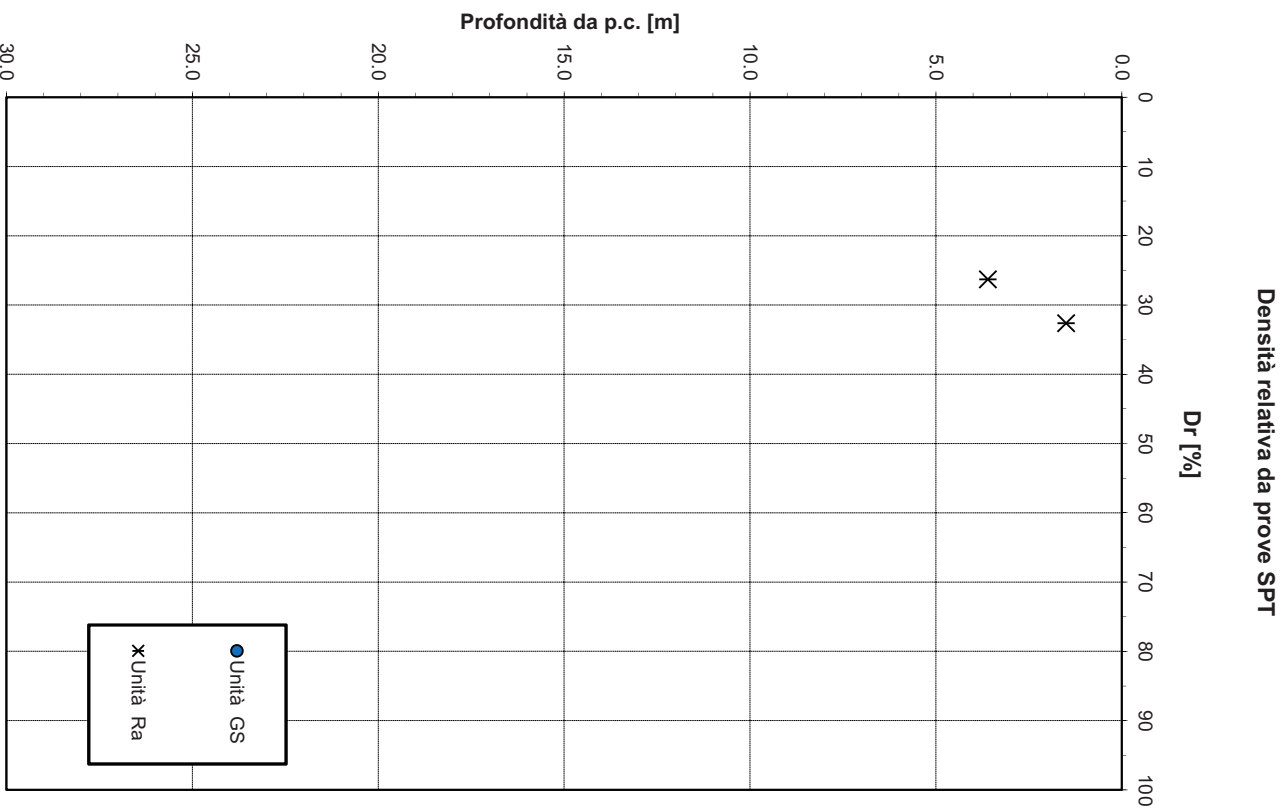


Figura 107: Densità relativa da prove SPT (sondaggio S4-2017)

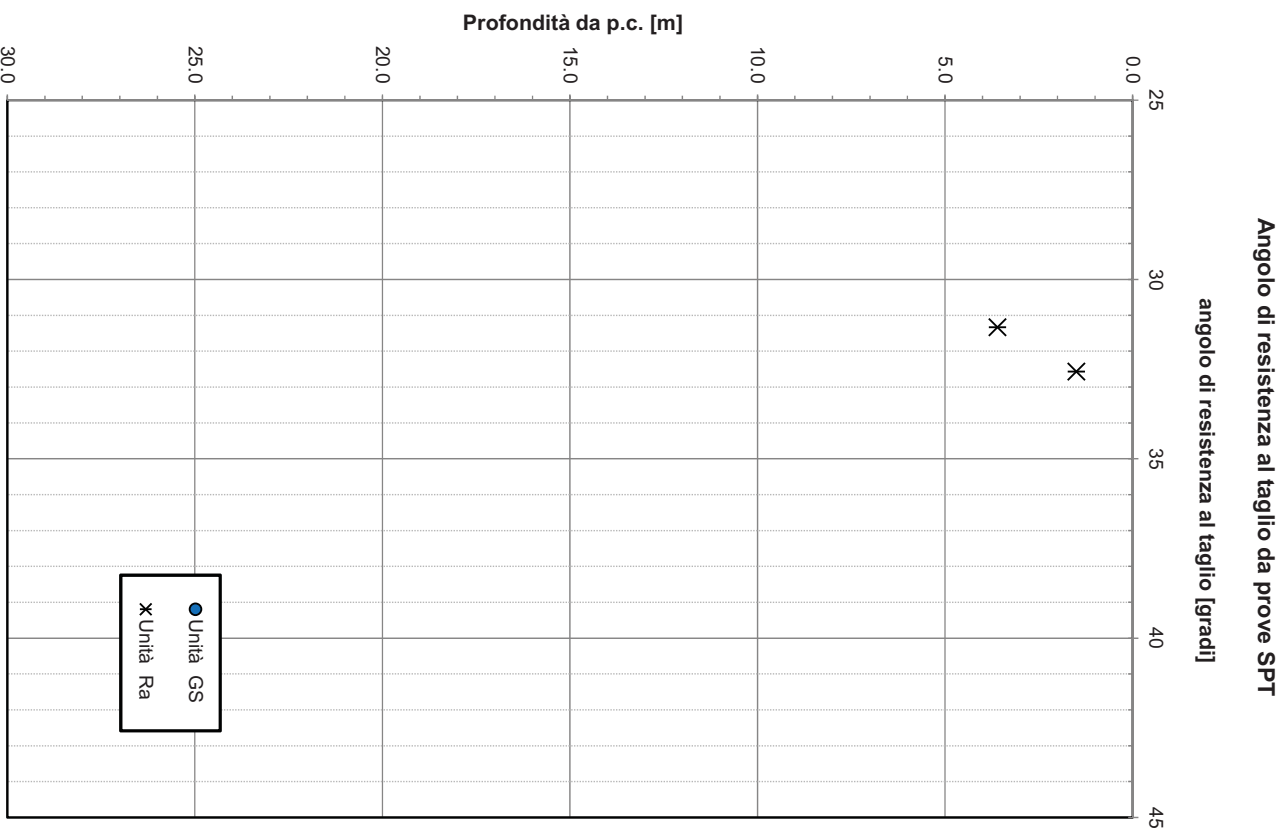


Figura 108: Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggio S4-2017)

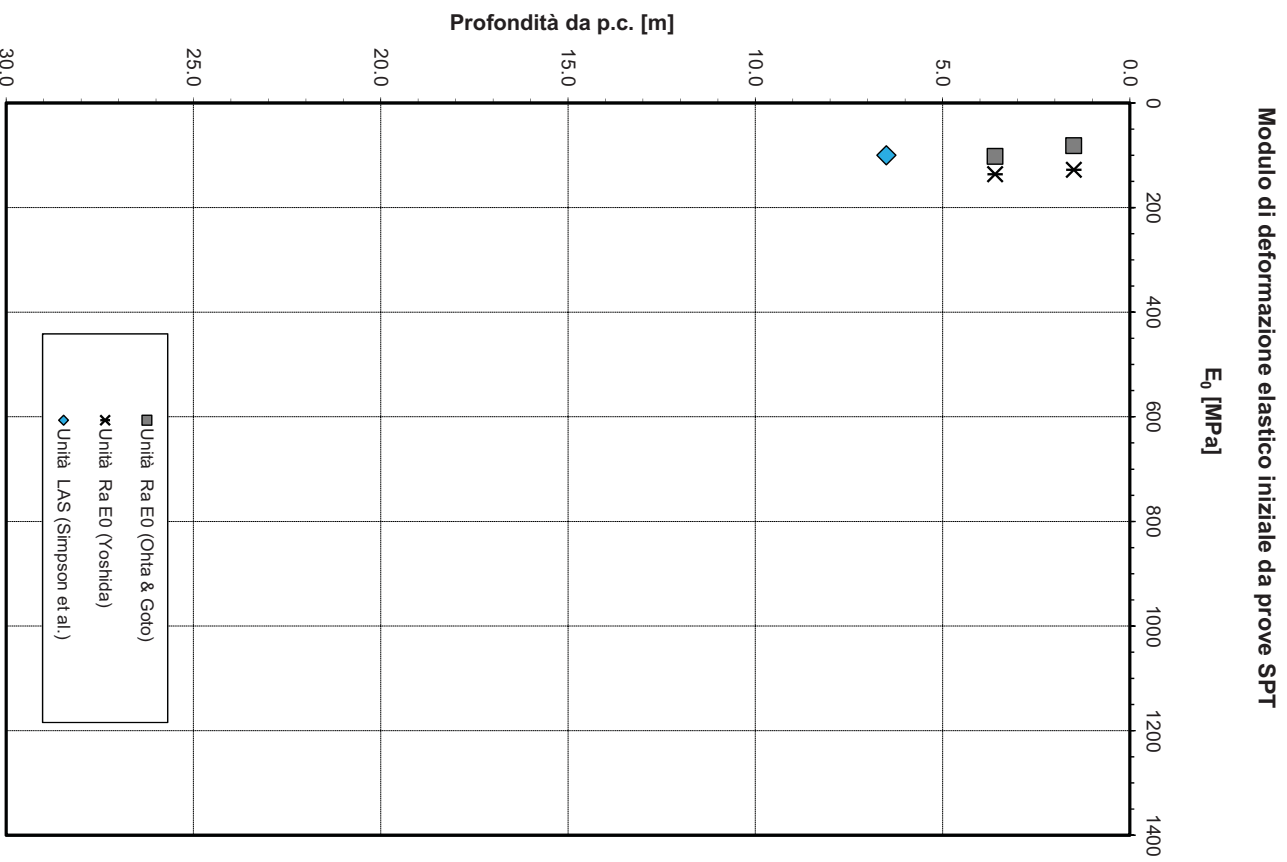


Figura 109: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT (sondaggio S4-2017)

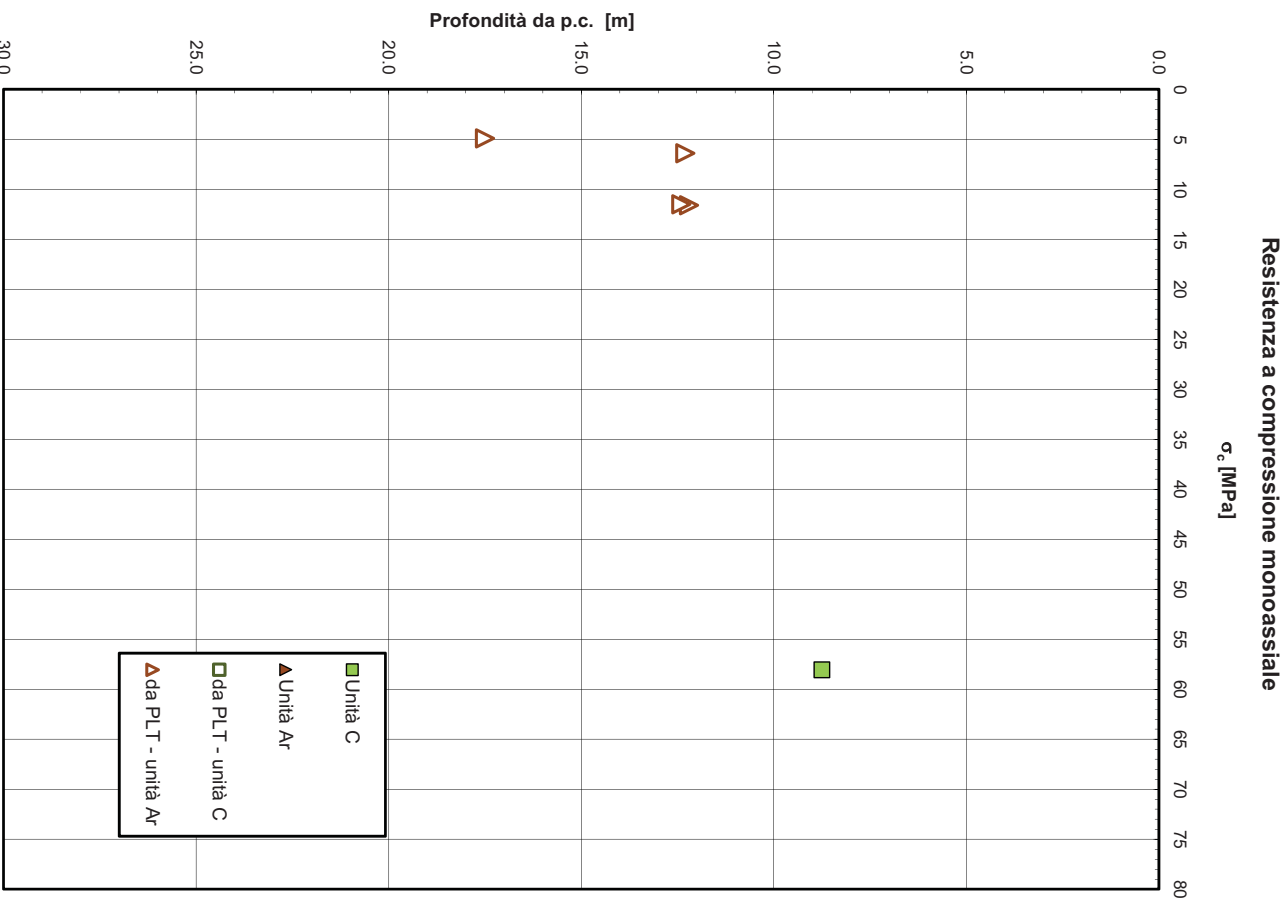


Figura 110: Resistenza a compressione monoassiale (sondaggio S4-2017)

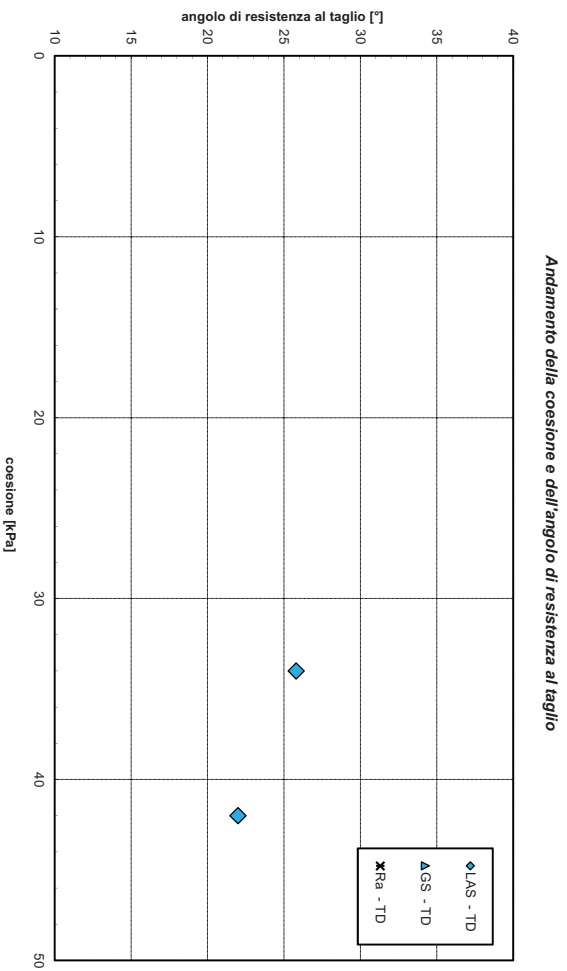


Figura 111: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata (sondaggio S4-2017)

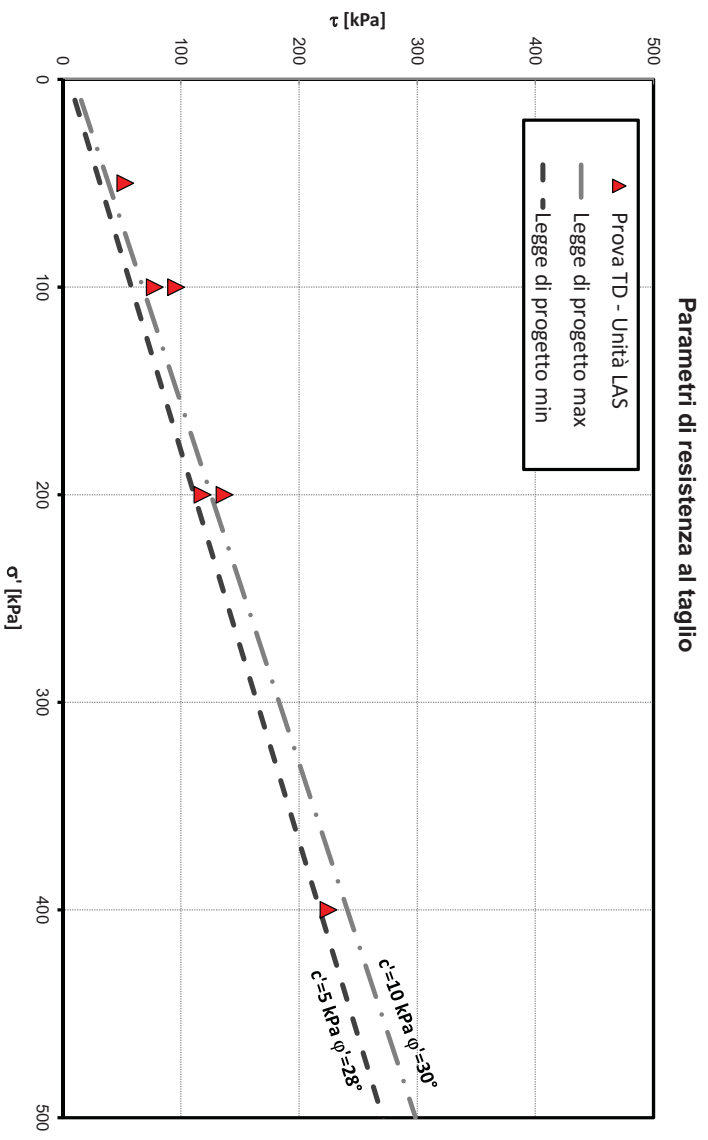


Figura 112: Parametri di resistenza (sondaggio S4-2017)

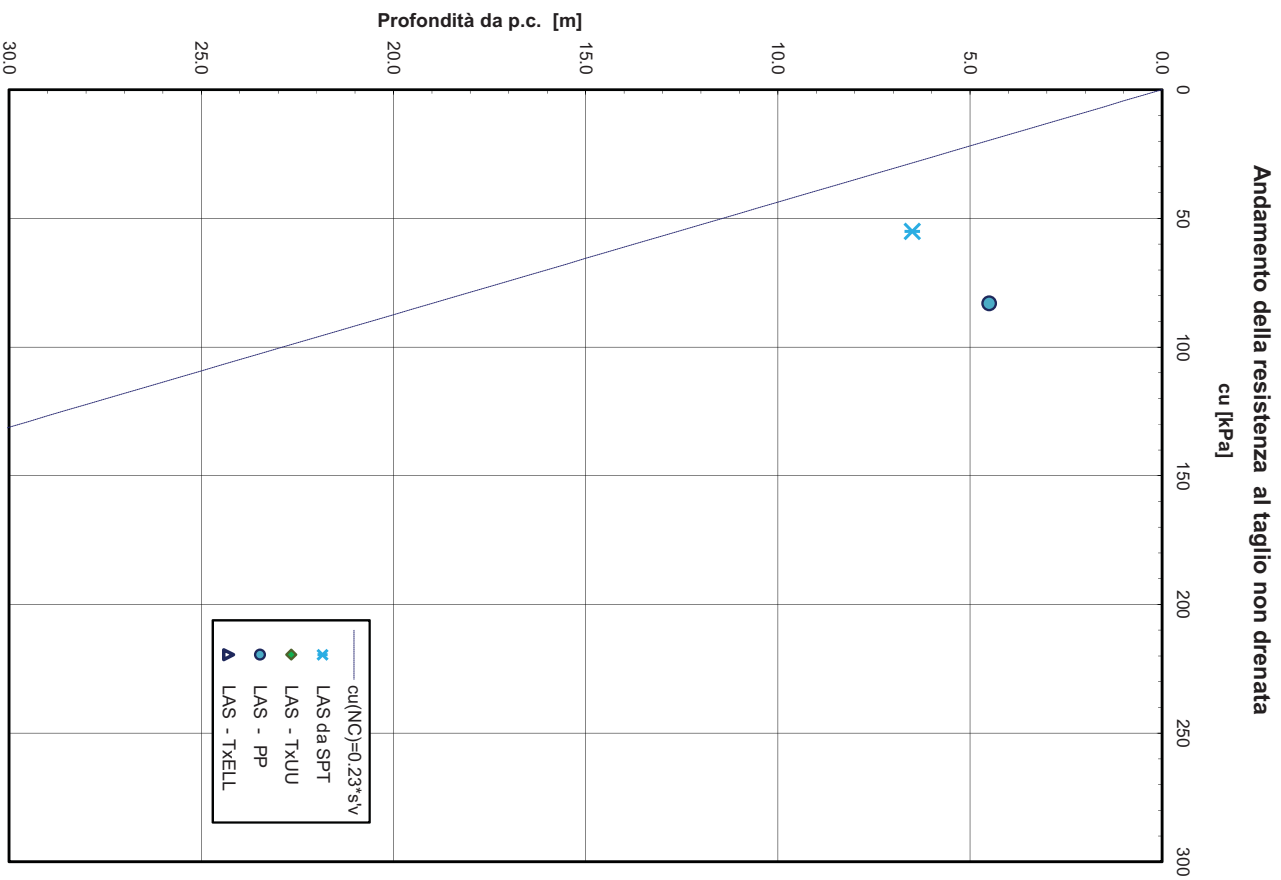


Figura 113: Resistenza al taglio in condizioni non drenate (sondaggio S4-2017)

7.1.6 Paratia di contropia Rampa A OS04 da pk 0+074.80 a pk 0+107.94

In corrispondenza dell'opera non sono state eseguite indagini; la stratigrafia viene desunta sulla base dell'interpretazione dei sondaggi vicini (S10, S9 del 2015 ed S3 del 2017) e della carta geologica. In particolare, dalla documentazione geologica dell'area, si evince che:

- nella parte più a nord della paratia affiorano coltri limose argillose sabbiose (unità LAS), il cui spessore viene assunto pari a quello individuato nel sondaggio S10-2015;
- il substrato è costituito dalla formazione di Mores in facies marnosa (unità M).

Nella seguente figura si riporta la sezione stratigrafica di riferimento.

Sez. Rampa A - km 0+090

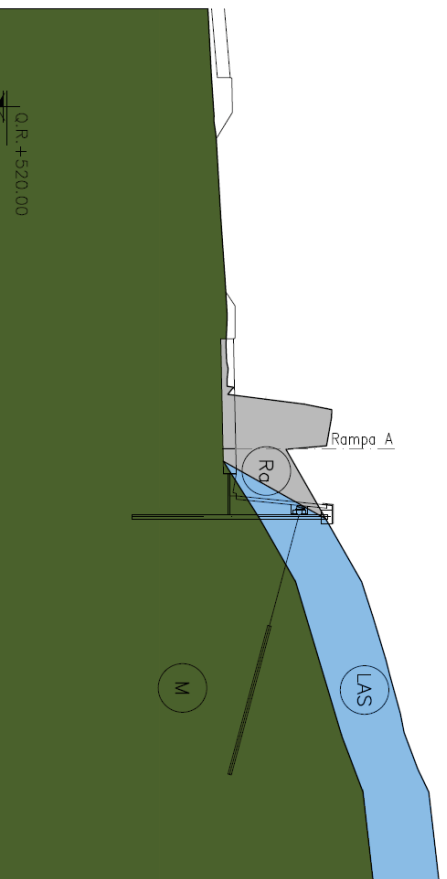


Figura 114: Sezione geotecnica di riferimento

Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Unità LAS (limo argilloso sabbioso) da 0.0 a 3.0 m di profondità da p.c.

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 28 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 70 \div 100 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M (Formazione di Mores marnosa) da 3.0 alla massima profondità di interesse progettuale:

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

7.1.7 Muro di contropipa OS15 da pk 0+058.97 a pk 0+074.96

In corrispondenza dell'opera non sono state eseguite indagini; per delineare la stratigrafia in corrispondenza dell'opera si può fare riferimento alla sezione geotecnica fatta in corrispondenza della Rampa A al km 0+090 finalizzata al dimensionamento dell'opera OS04.

L'opera è interessata dalla coltre superficiale limoso argillosa sabbiosa (unità LAS) con spessore intorno ai 3 m circa, mentre il substrato è costituito dalla formazione di Mores in facies marnosa (unità M).

Unità LAS (limo argilloso sabbioso) da 0.0 a 3.0 m di profondità da p.c.:

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 70 \div 100 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M (Formazione di Mores marnosa) da 3.0 m alla massima profondità di interesse progettuale:

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

7.1.8 Muro di sottoscarpa OS16 da pk 0+270.00 a pk 0+351.48

In corrispondenza dell'opera non sono state eseguite indagini; comunque dalla carta geologica si evince che nell'area è presente la formazione di Mores in facies marnosa limosa argillosa. Per la caratterizzazione geotecnica si farà riferimento al sondaggio S5 della campagna geognostica Sardadrill S.r.l. del 1998 e quindi in analogia all'opera OS03 si assume la seguente stratigrafia e parametri geotecnici di progetto.

Unità LAS (limo argilloso sabbioso) da 0.0 a 2.0 m di profondità da p.c.

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 70 \div 100 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M (Formazione di Mores marnosa) da 2.0 a 18.0 m di profondità da p.c.:

$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\varphi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

7.1.9 Rinforsamento corticale OS14 da km 1+373.59 a km 1+650.00

Nel tratto finale del tracciato della SS131 è presente una trincea definitiva che verrà riprofilata secondo lo schema riportato nella **Figura 136**; l'altezza massima di scavo è di 14 m circa e a monte è presente una stradina sterrata.

Nell'area affiora la formazione del basalto di Lugudoro, con una copertura di terreno alterato (unità LAS) di spessore massimo 2 m circa (sondaggi S33, S34 della campagna 1998 Micropali).

Per la formazione rocciosa sono stati assunti i seguenti parametri di resistenza caratteristici.

Unità Ba – Basalto di Lugudoro

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$\phi' = 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 25 \text{ kPa}$	coesione drenata

La falda è assente alle profondità di interesse progettuale.

Le verifiche di stabilità della trincea definitiva sono riportate nel capitolo 10.

7.2 Adeguamento S.P. 125

7.2.1 Muro di sottoscarpa OS11 SP125 da pk 3+712.83 a pk 3+750.00

In corrispondenza dell'opera non sono state eseguite indagini; la stratigrafia è stata desunta dall'osservazione dei sondaggi vicini e dalla carta geologica. Le indagini più vicine all'opera sono i sondaggi S7 della campagna geognostica 1998 (Fondedile) e S9 del 2015. Dalle indagini si delinea la presenza di una coltre superficiale limoso argilloso sabbioso (unità LAS) che sovrasta la formazione di Mores in facies marnosa (unità M).

Nella seguente figura si riporta la sezione stratigrafica di riferimento.

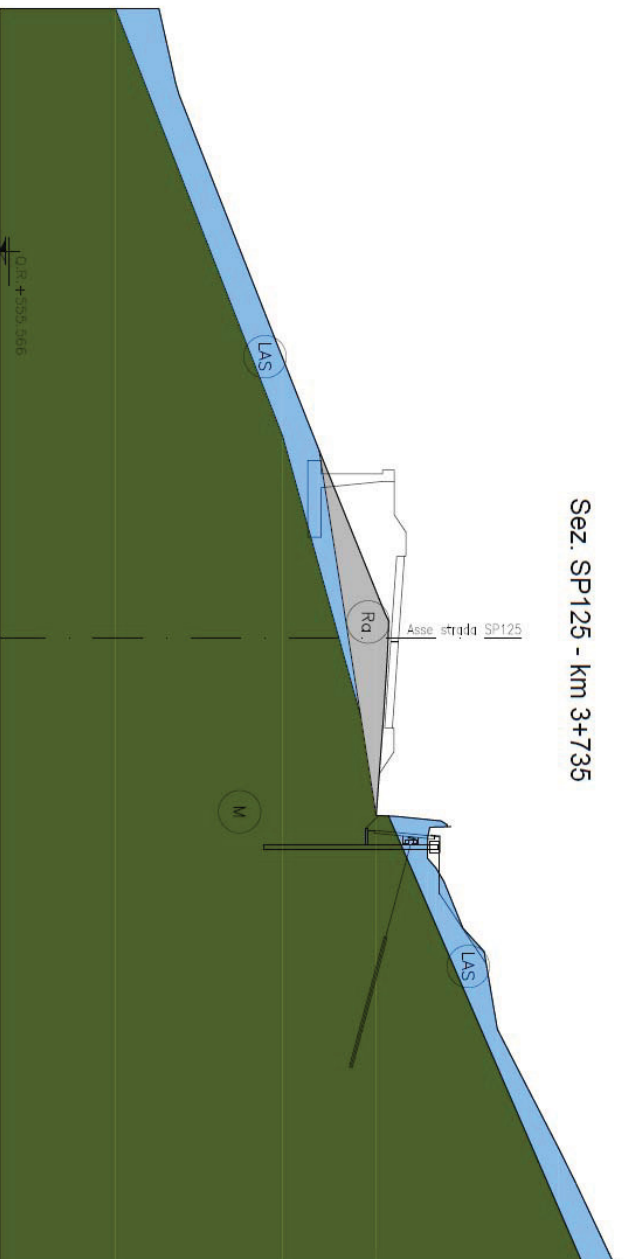


Figura 115: Sezione geologica di riferimento

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati:

Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Unità LAS (limo argilloso sabbioso) da 0.0 a 2.0 m di profondità da p.c.

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 28 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$ coesione drenata

$c_u = 80 \div 180$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $E_0 = 100 \div 350$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)
 Unità M (Formazione di Mores marnosa) da 2.0 alla massima profondità di interesse progettuale:
 $\gamma = 22.0$ kN/m³ peso di volume
 $\phi' = 26 \div 29^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 28 \div 35$ kPa coesione drenata
 $E = 120 \div 180$ MPa modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

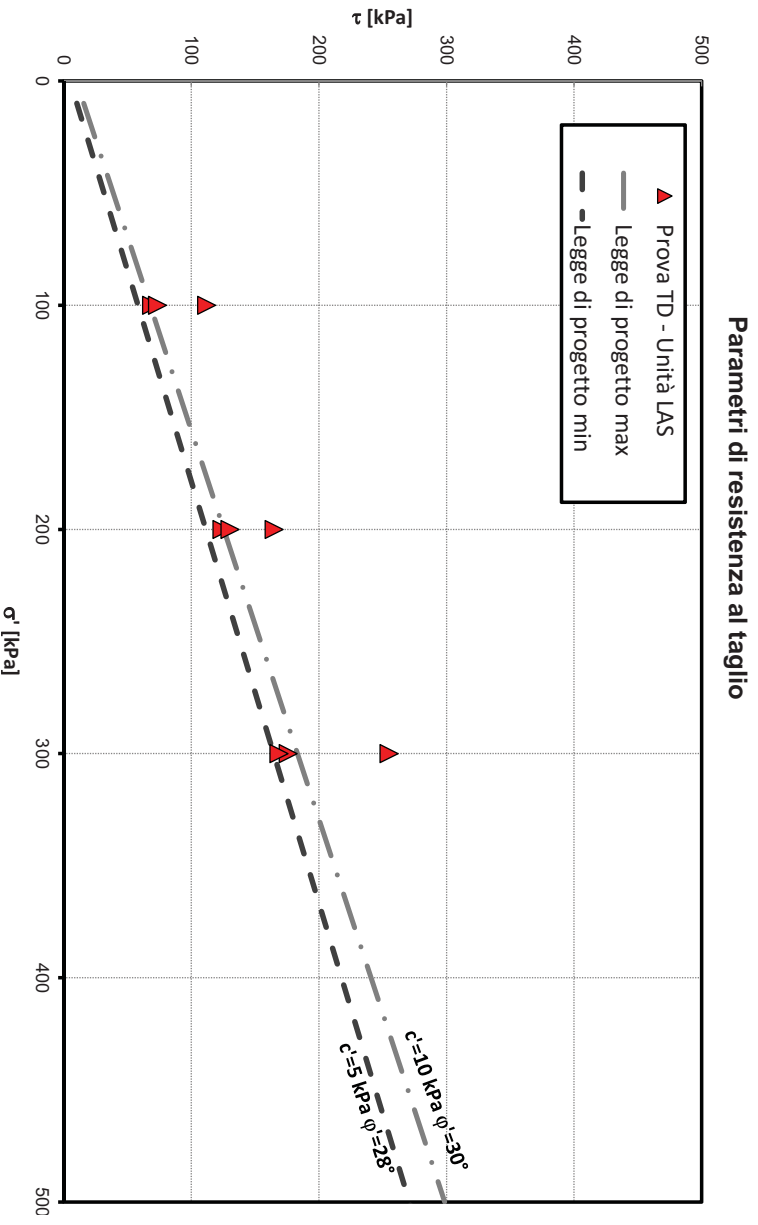


Figura 116: Parametri di resistenza al taglio (sondaggi S7-1998 Fondedile, S9-2015)

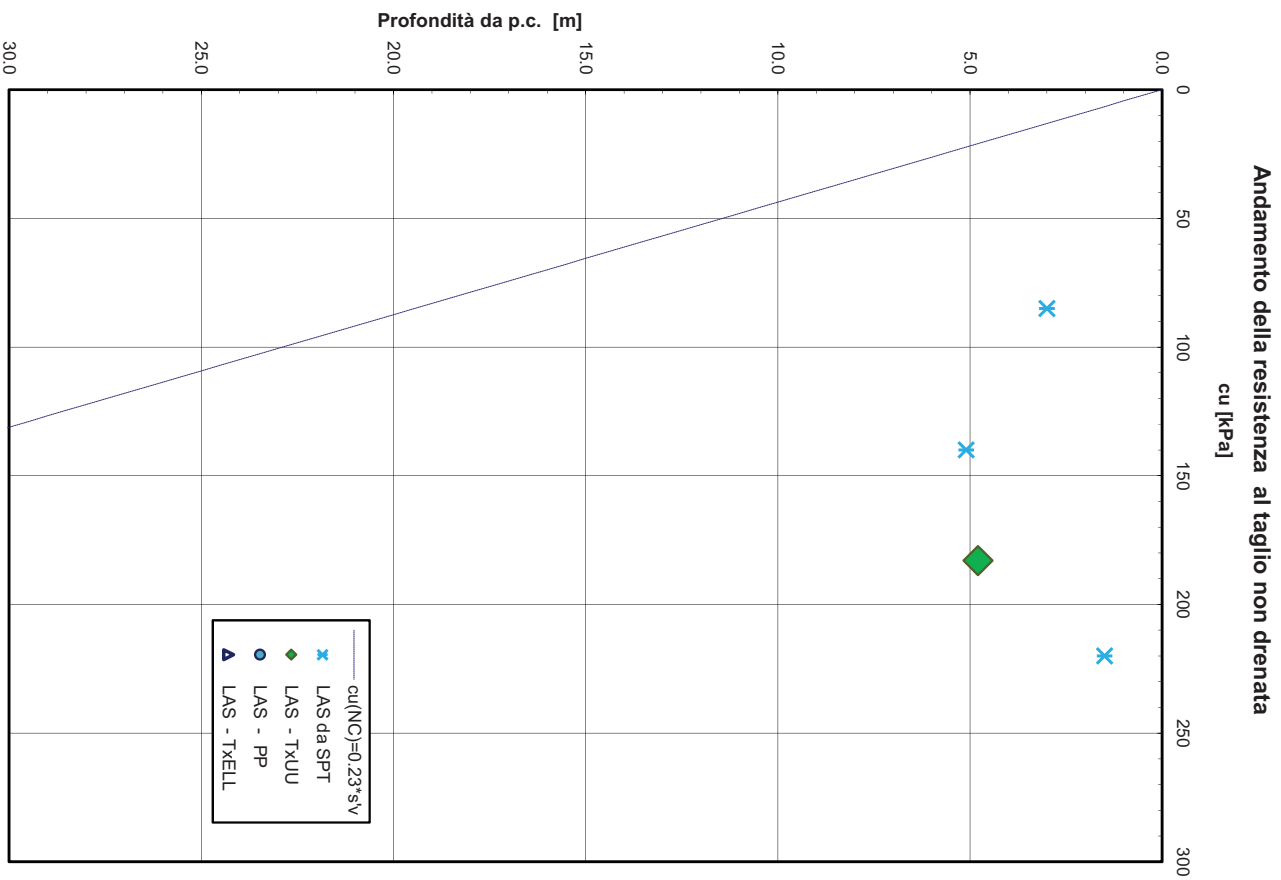


Figura 117: Resistenza al taglio in condizioni non drenate (sondaggi S7-1998 Fondedile, S9-2015)

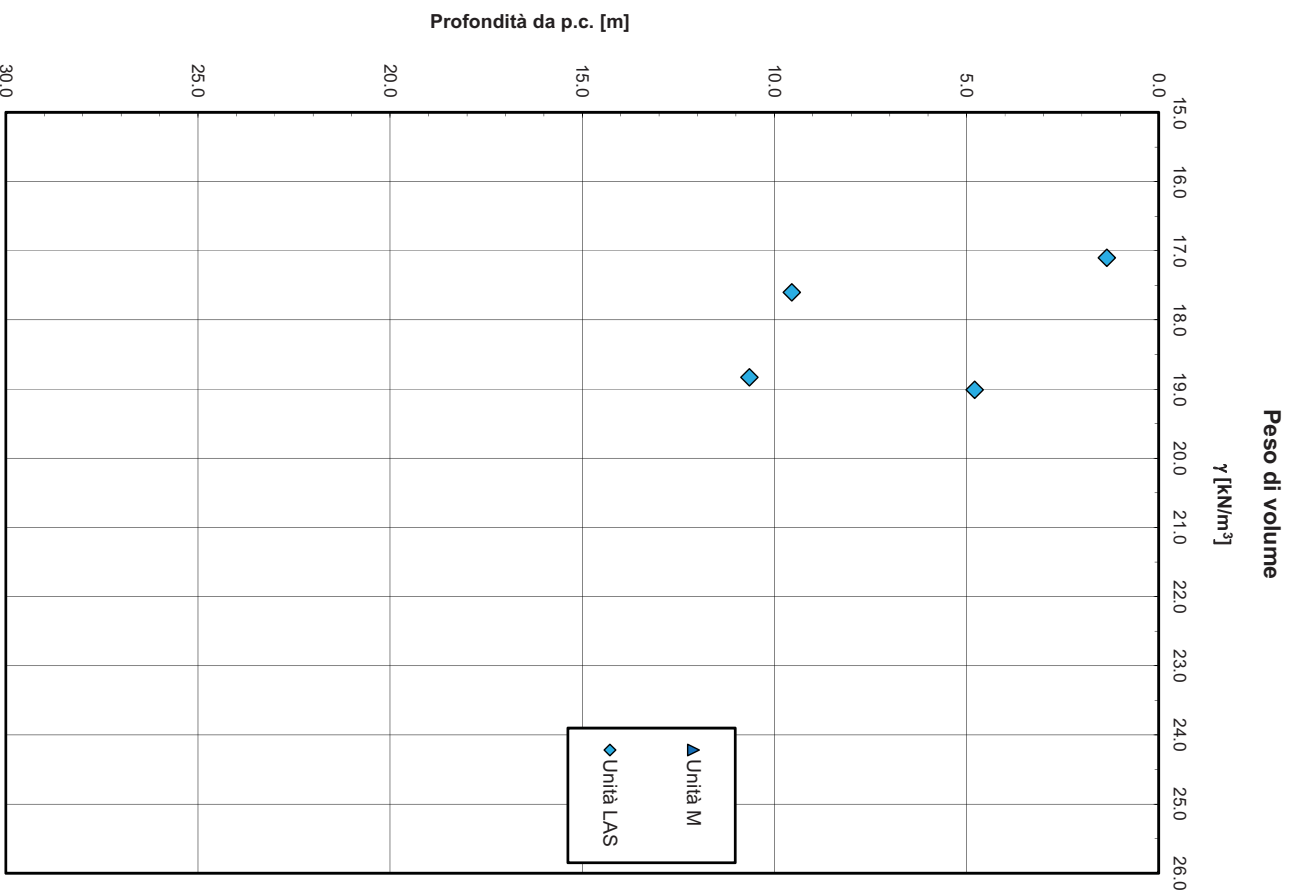


Figura 1.18: Peso di volume naturale (sondaggi S7-1998 Fondedile, S9-2015)

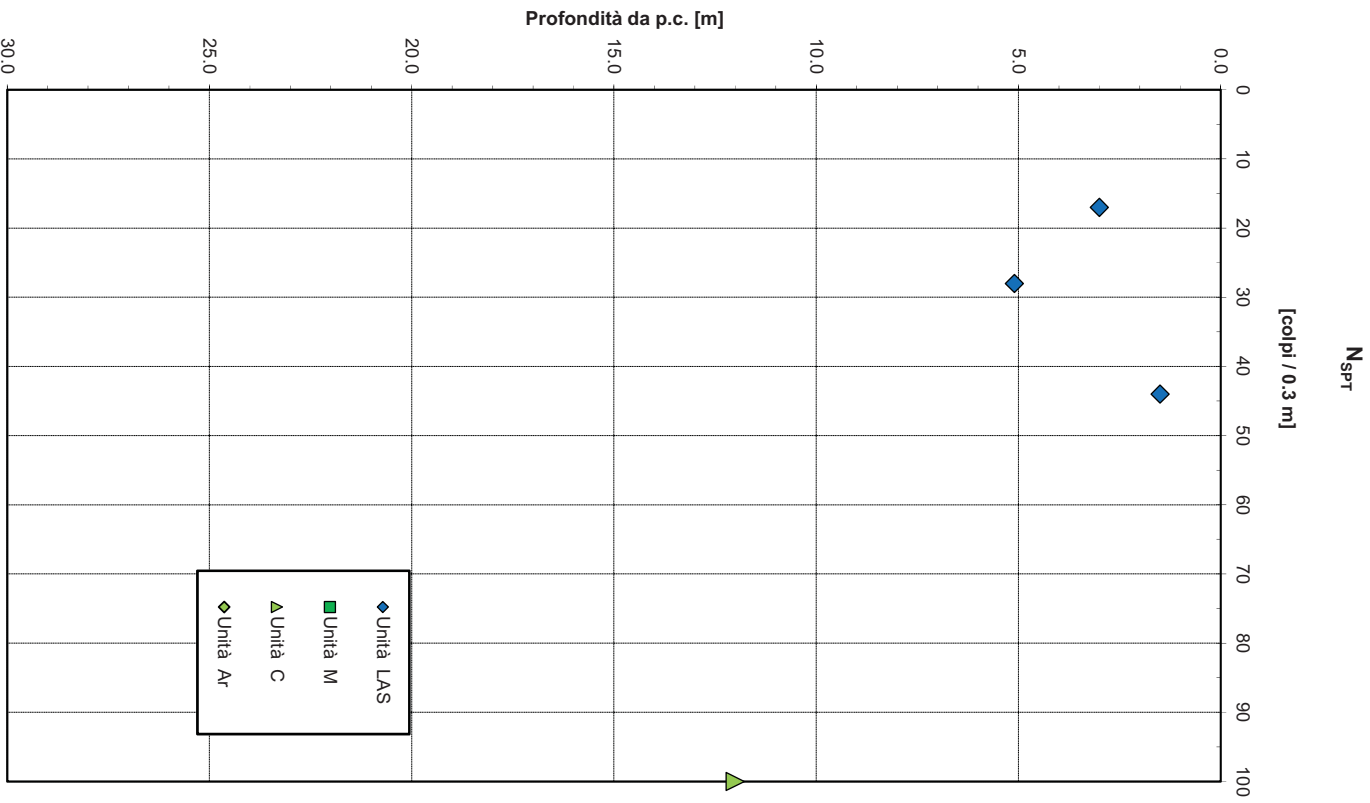


Figura 119: Valori di N_{spt} (sondaggi S7-1998 Fondedile, S9-2015)

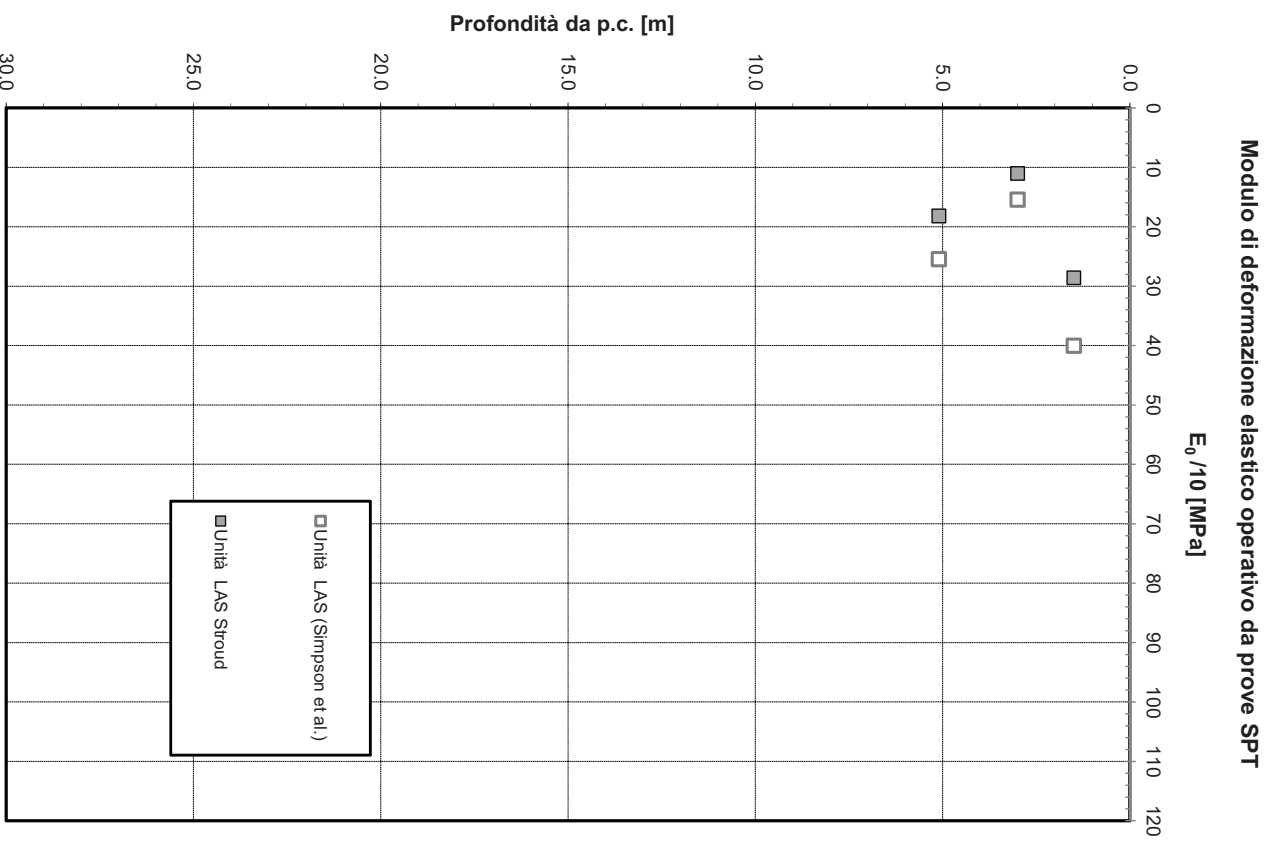


Figura 120: Modulo di deformazione elastico operativo $E_0/10$ da prove SPT (sondaggi S7-1998 Fondedile, S9-2015)

7.2.2 OS12 SP125 da pk 4+117.74 a pk 4+189.49 e muro di sottoscarpa OS02 SP125 da pk 4+227.713 a pk 4+345.210

In corrispondenza delle opere è stato eseguito il sondaggio S1 della campagna del 2017 e le stese sismiche a rifrazione BS1, BS2, BS3. Le indagini hanno evidenziato la presenza di una coltre argilloso limosa sabbiosa superficiale (unità LAS) con spessore 5 m (stese sismiche) fino a 9 m (sondaggio S1) ed a seguire la formazione di Mores calcarenite marnosa (unità C).

Nella seguente figura è mostrata la documentazione fotografica dei campioni litoidi prelevati nel sondaggio e sottoposti a prove di compressione monoassiale e le foto delle relative cassette. A partire dai 9.4 m di profondità, RQD è sempre pari a 100%. La resistenza a compressione monoassiale da laboratorio è 11 e 16 MPa.





Nelle seguenti figure sono mostrate le sezioni stratigrafiche di riferimento.

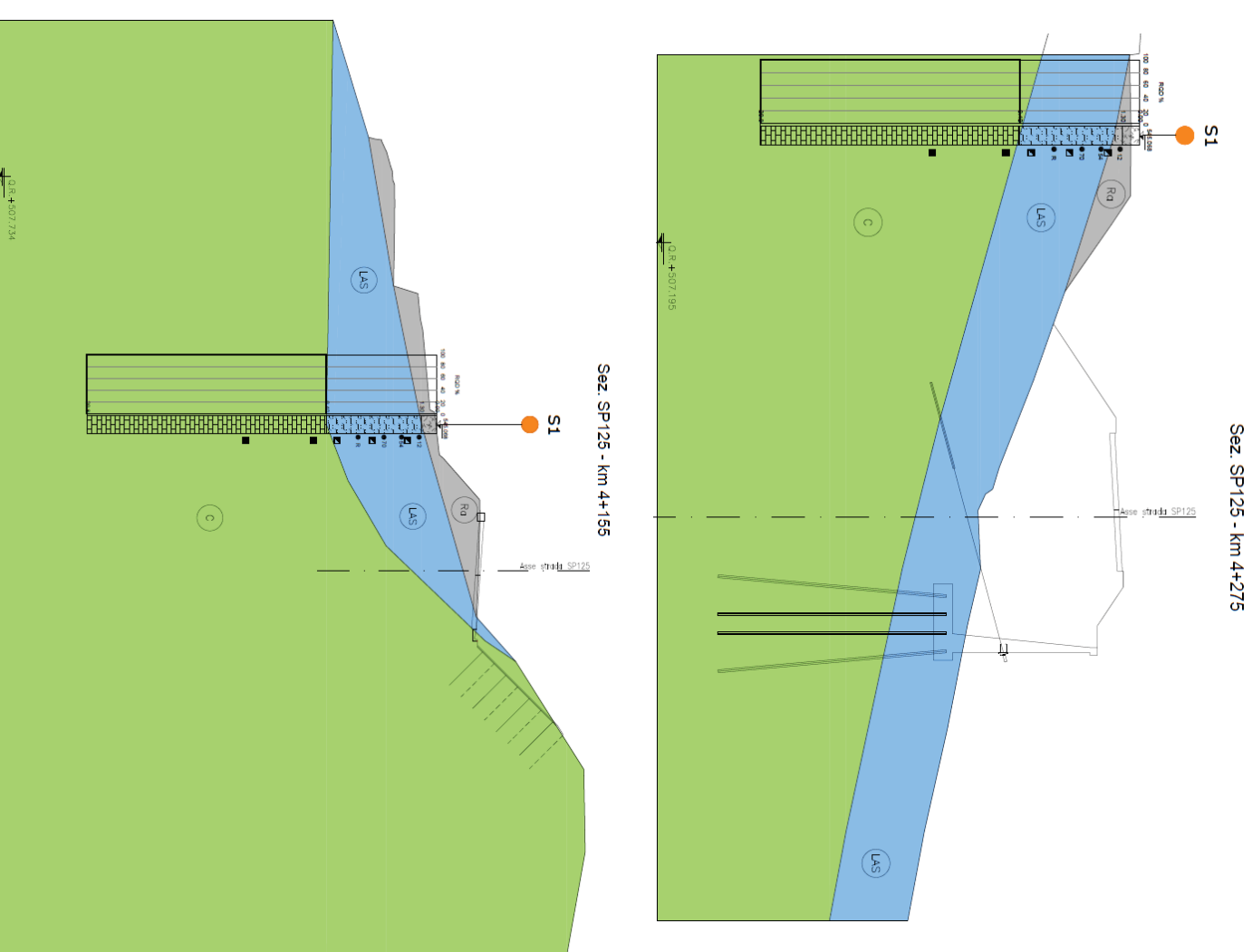


Figura 121: Sezioni geotecniche di riferimento

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati.

Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Unità LAS (limo argilloso sabbioso)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 28 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$ coesione drenata

$c_u = 30 \div 180 \text{ kPa}$ resistenza al taglio non drenata

$E_0 = 100 \div 600 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità C (Formazione di Mores calcarenitica marnosa):

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 33 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\sigma_c = 11 \div 16 \text{ MPa}$ resistenza a compressione

$E = 300 \text{ MPa}$ modulo di deformazione

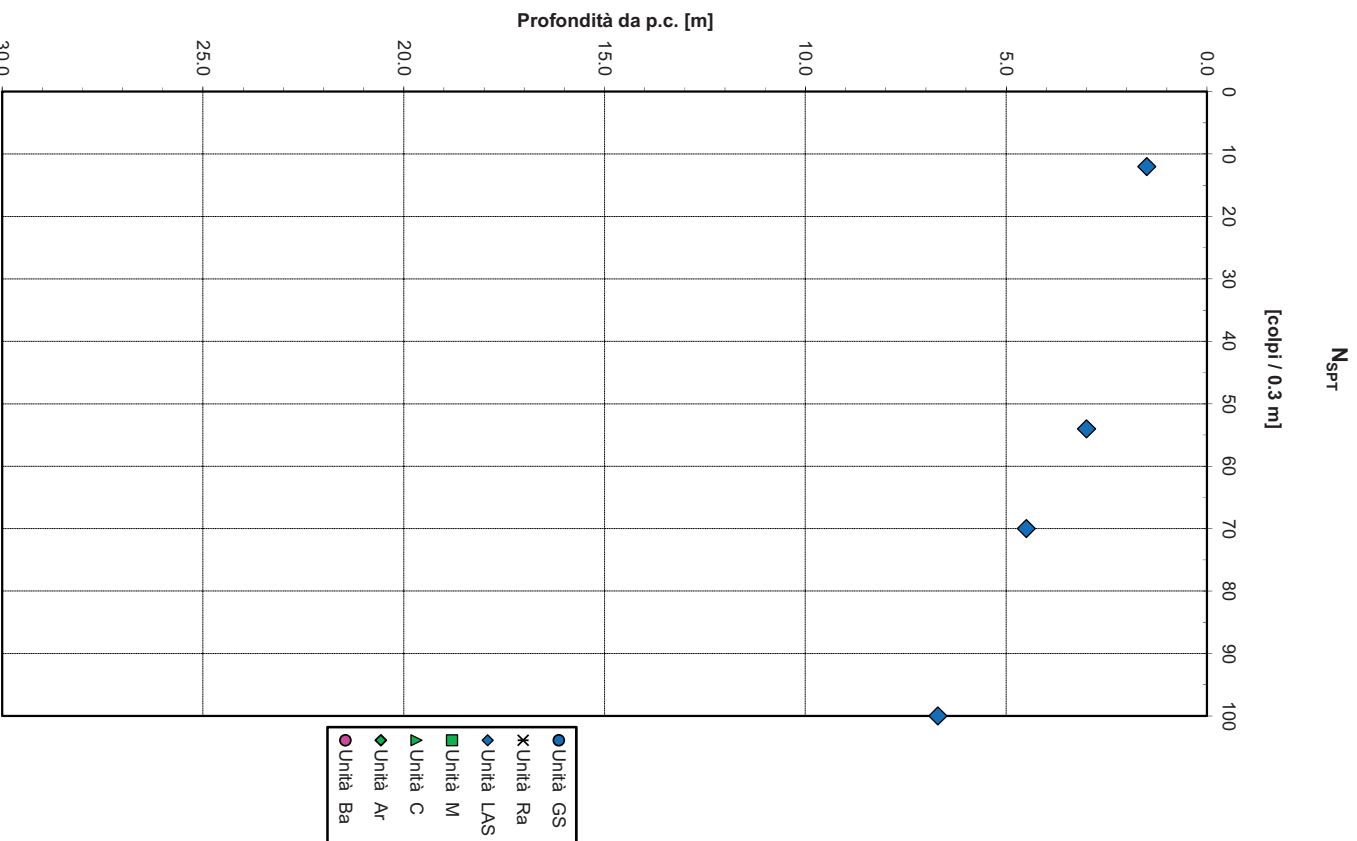


Figura 122: Valori di N_{spt} (sondaggio S1-2017)

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

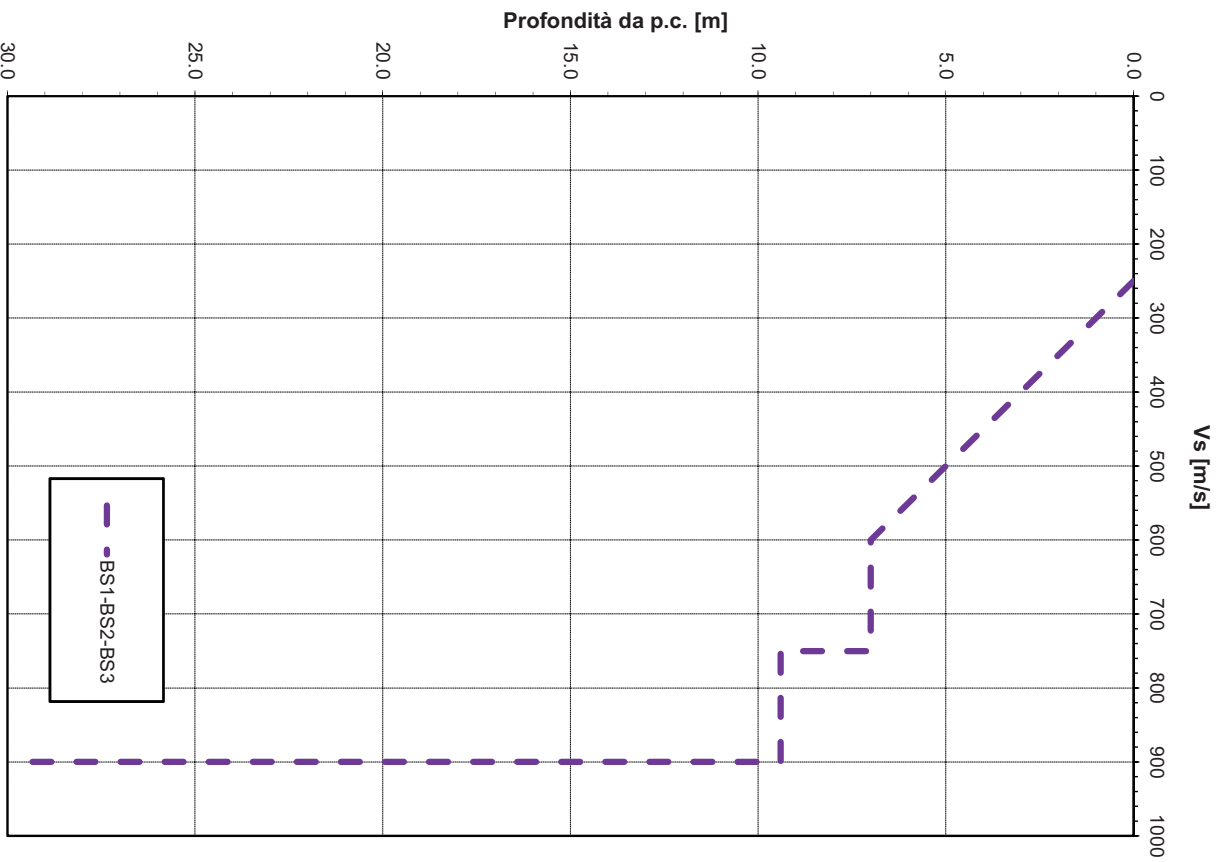


Figura 123: Velocità delle onde di taglio da prove SPT (sondaggi S2-2017, S3-2017, S5-2017, S11-2015) e indagini sismiche

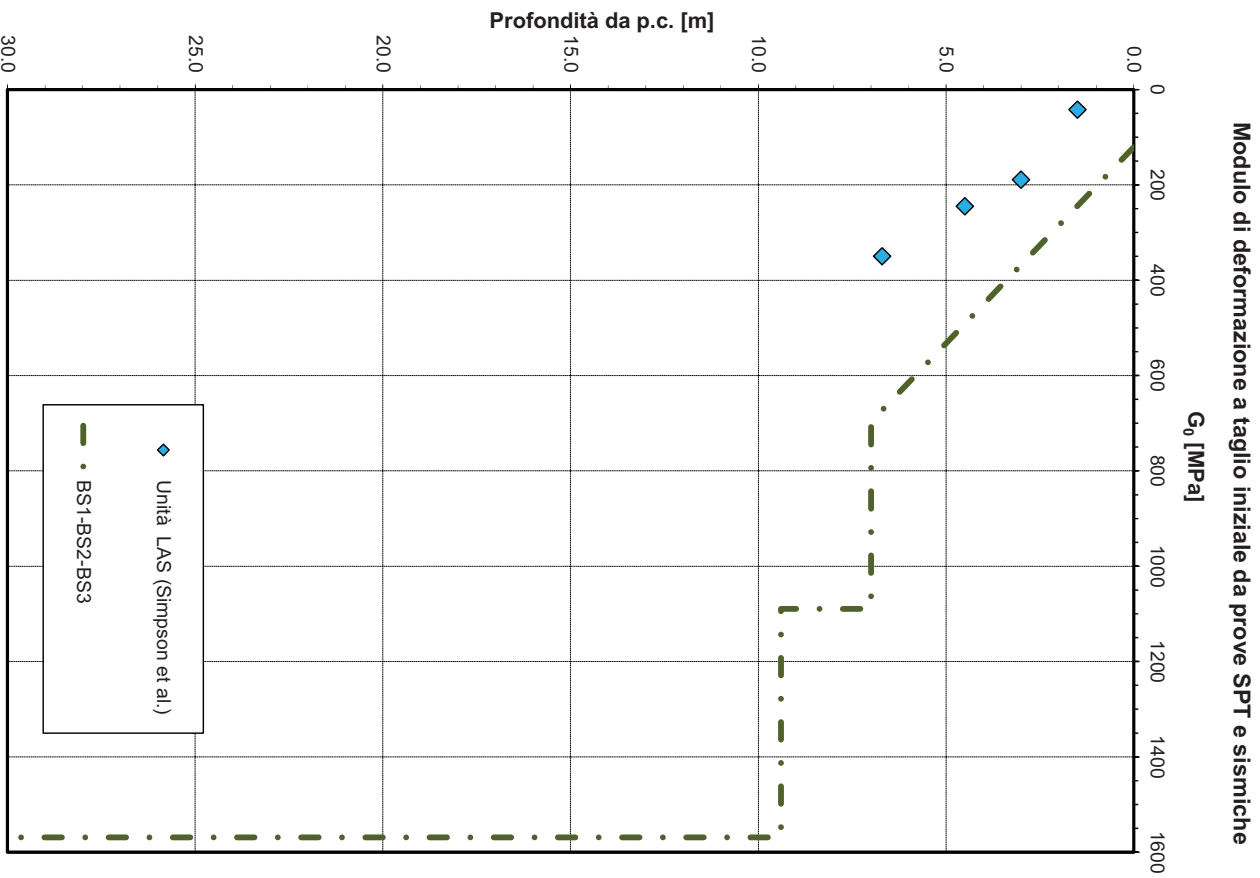


Figura 124: Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT (sondaggio S1-2017) e indagini sismiche

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

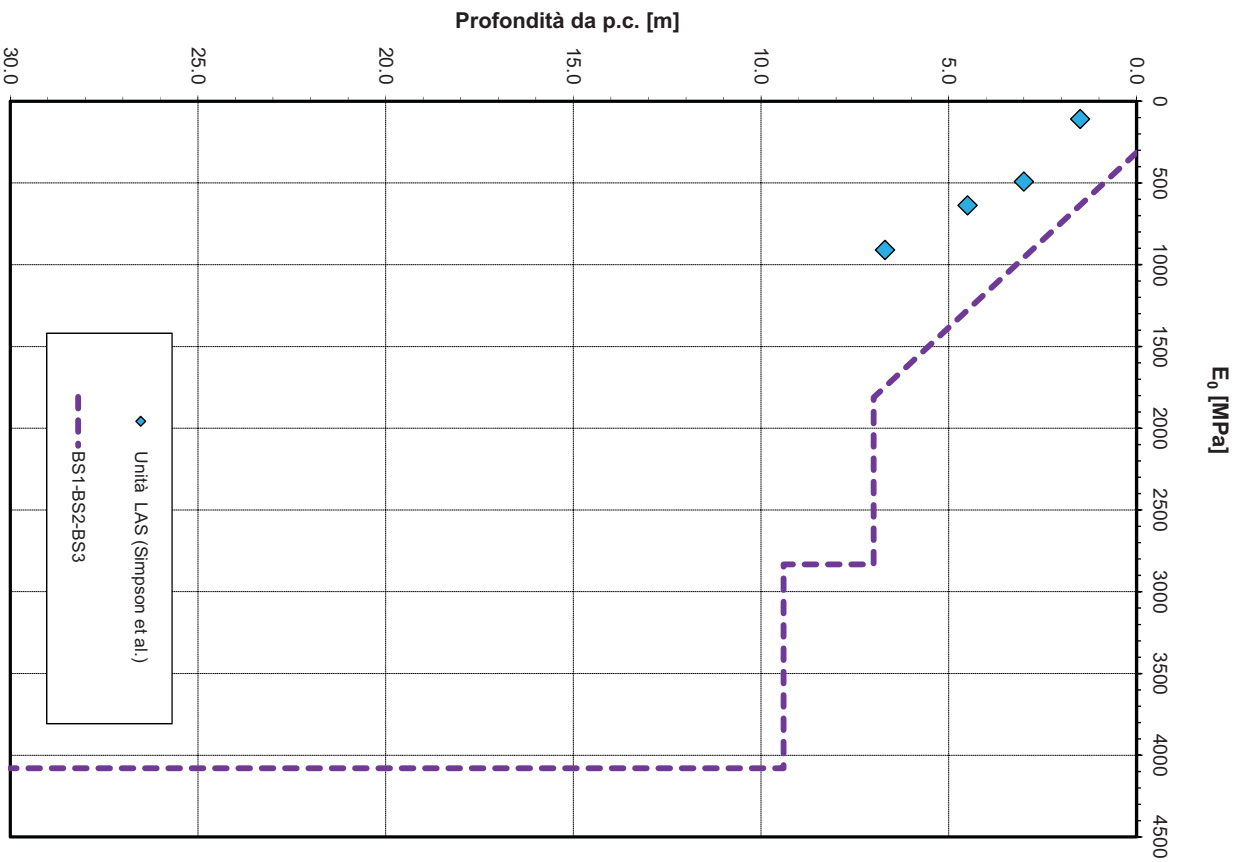


Figura 125: Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT (sondaggio S1-2017) e indagini sismiche

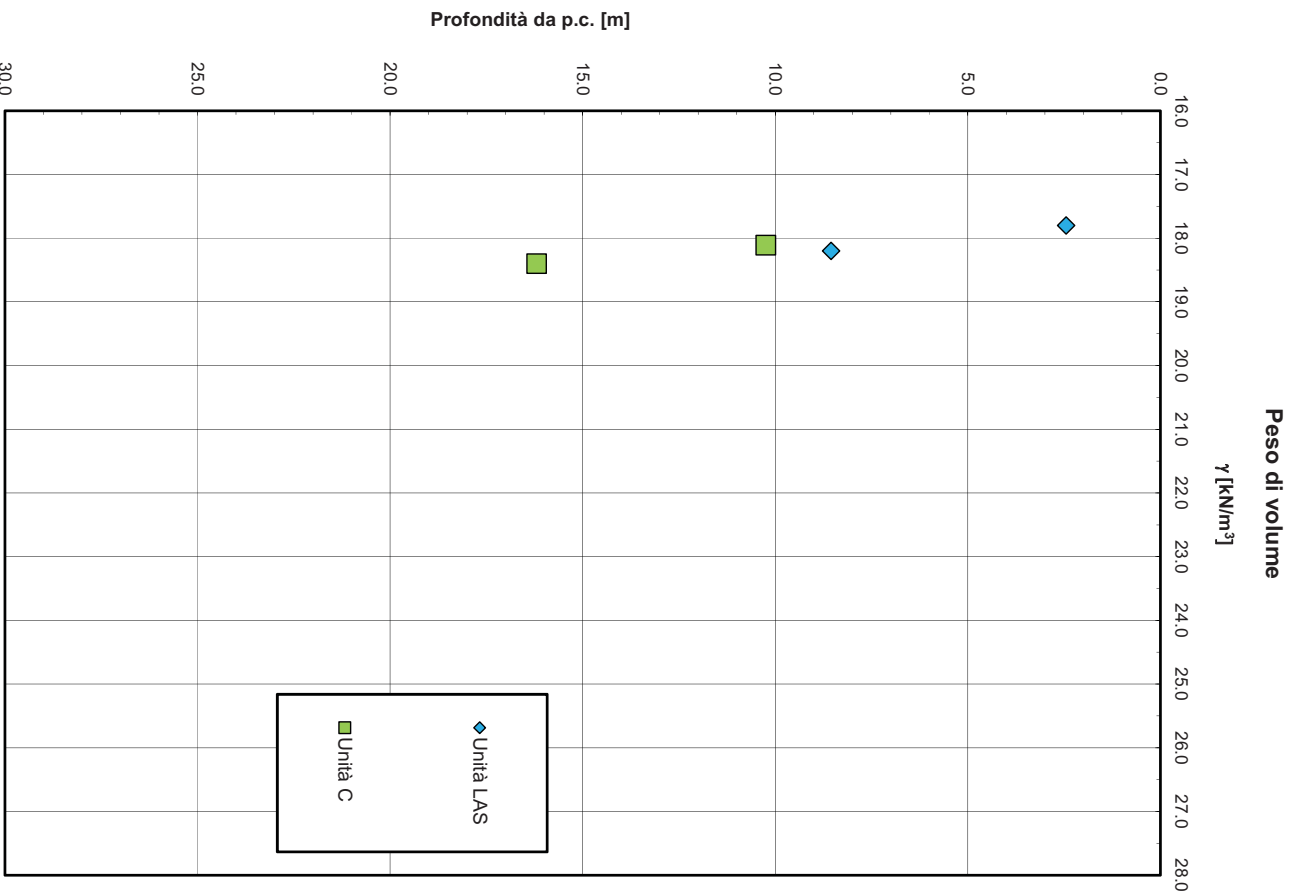


Figura 126: Peso di volume naturale (sondaggio S1-2017)

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

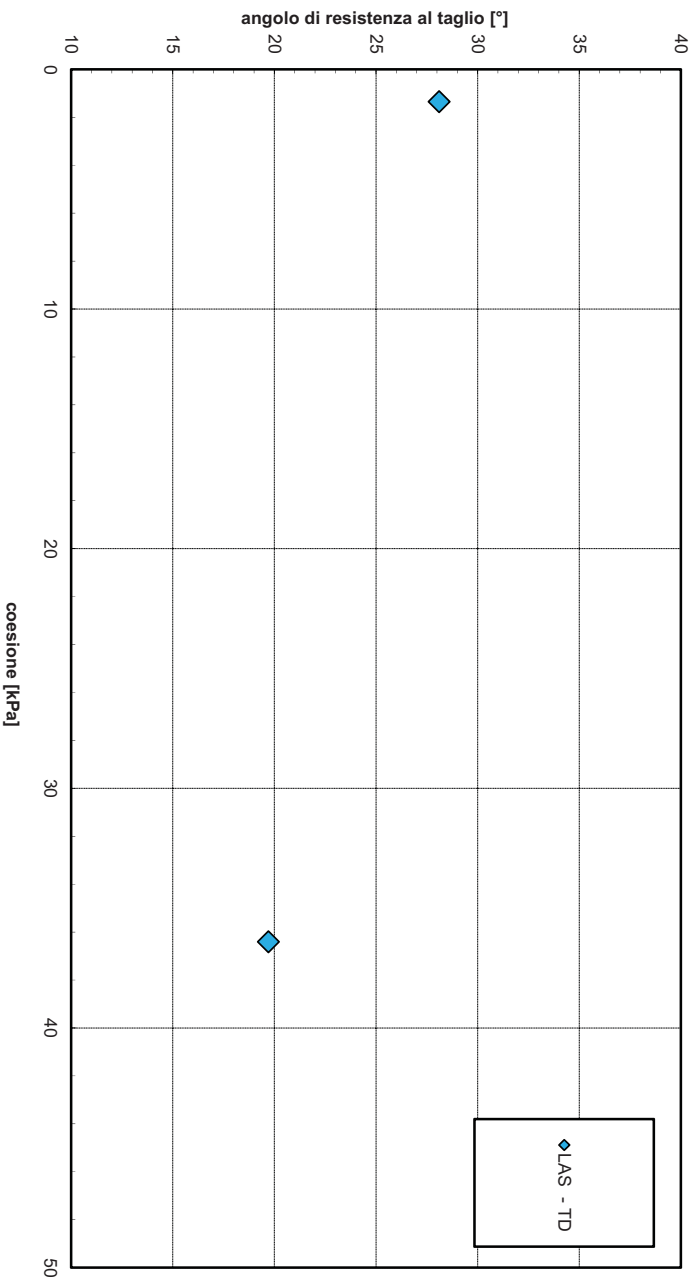


Figura 127: Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata da laboratorio (sondaggio S1-2017)

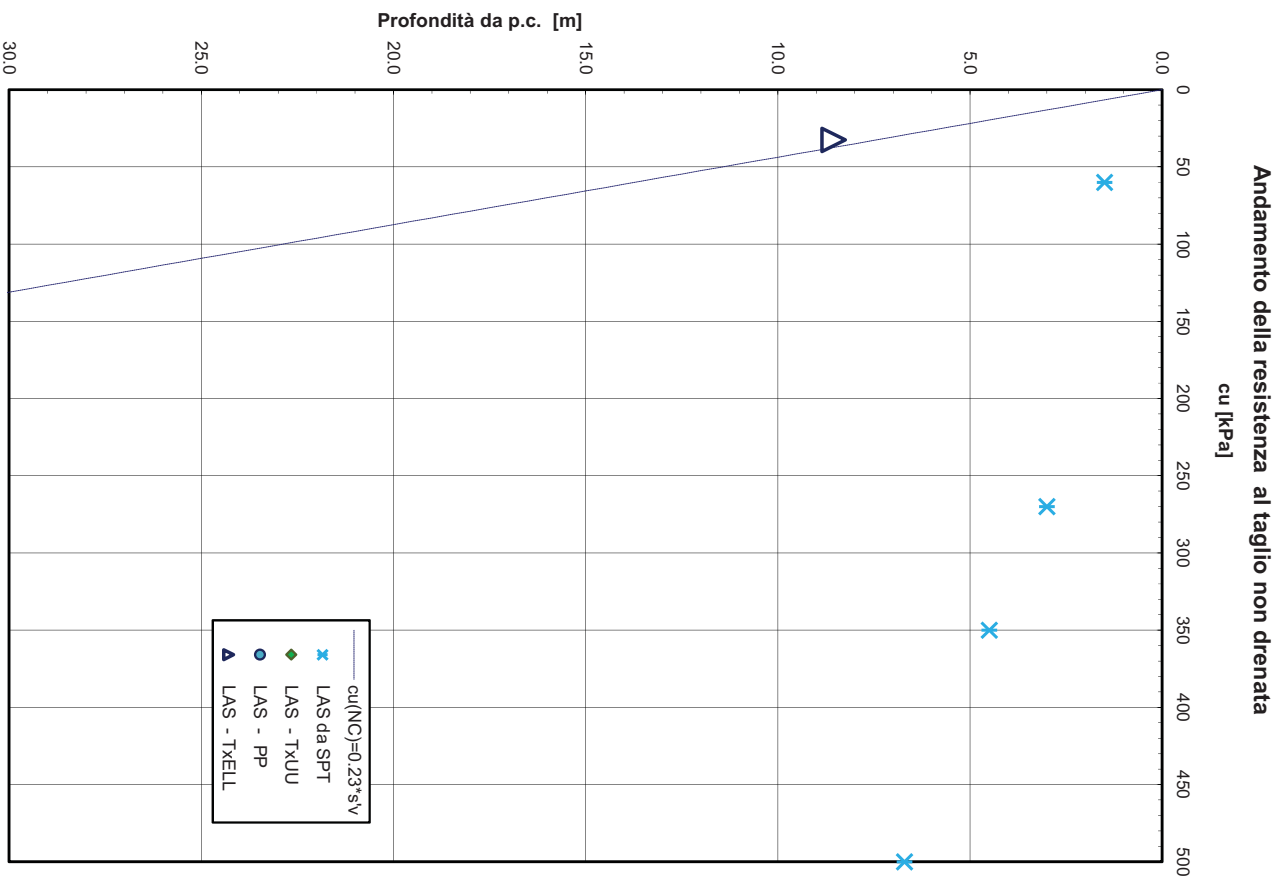


Figura 128: Resistenza al taglio in condizioni non drenate (sondaggio S1-2017)

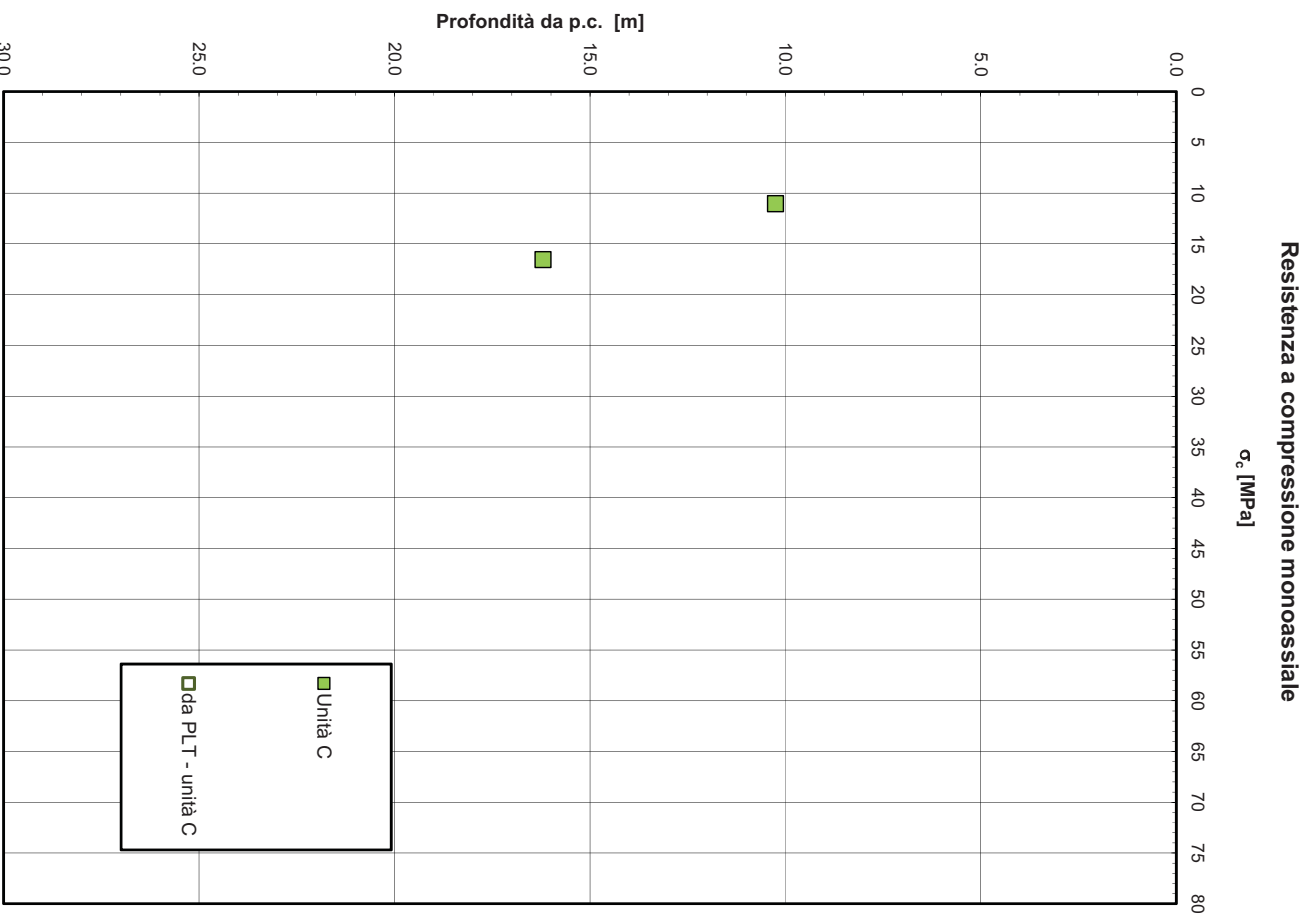


Figura 129: Resistenza a compressione monoassiale (sondaggio S1-2017)

Hook-Brown Classification


sgol: 11 MPa
 GSI: 40
 m: 8
 D: 1
 C: E1: 7700 MPa
 G: MR: 700 MPa

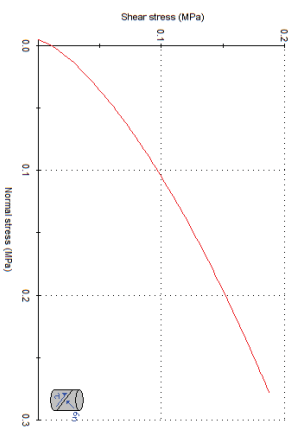
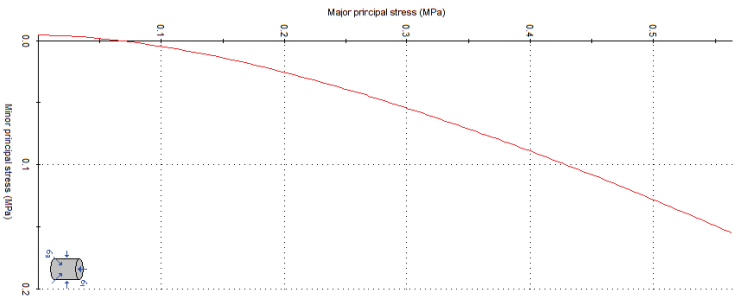
Hook-Brown Orientation
 mb: 0.110
 s: 4.54e-5
 a: 0.511

Failure Envelope Range
 Application: Slopes
 sig3max: 0.1750 MPa
 UnitWeight: 0.02 MN/m3
 Slope Height: 10 m

Mohr-Coulomb Fit
 c: 0.023 MPa
 phi: 30.57 deg

Rock Mass Parameters
 nu: 0.005 MPa
 sigc: 0.005 MPa
 sigpm: 0.454 MPa
 Em: 307.44 MPa

Cap Data

 www.rockscience.com



Analysis of Rock Strength using Rocklab

Hook-Brown Classification
 input uniaxial comp. strength (sgol) = 11 MPa
 GSI = 40 m = 8 Disturbance factor (D) = 1
 intact modulus (E1) = 7700 MPa
 rock modulus (E2) = 700 MPa
 Hook-Brown Orientation
 mb = 0.110 s = 4.54e-5 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.023 MPa friction angle = 30.57 deg

Rock Mass Parameters
 in situ strength = 0.005 MPa
 global strength = 0.454 MPa
 deformation modulus = 307.44 MPa

Figura 130: Parametri di resistenza (Rocklab) – calcareniti marnose

7.2.3 Paratia di Controripa OS01 da pk 3+687.14 a pk 3+876.12

In corrispondenza dell'opera non è stata eseguita nessuna indagine e quindi si fa riferimento alle indagini più vicine:

- sondaggio S9 della campagna geognostica del 2015;
- sondaggio S7, S9 della campagna geognostica del 1998 Fondedile;
- sondaggio S8 della campagna geognostica del 1992.

Il sondaggio S9 del 2015 è ubicato più a nord dell'opera ed ha evidenziato uno spessore notevole di terreni di copertura del substrato (12 m) costituiti prevalentemente da limo argilloso sabbioso con inclusi e talvolta ghiaia (unità LAS). Il substrato è costituito da una alternanza di livelli calcarenitici ed arenacei fino a 20.8 m, a seguire da siltite arenacea. Gli altri sondaggi delle campagne pregresse, sono ubicati a sud-ovest, a valle della SS131, la copertura limoso argillosa è minore (3 m al massimo) ed il substrato è costituito da siltiti e marne.

Per la definizione della stratigrafia, cautelativamente come spessore di unità LAS si prende il valore massimo intercettato dalle indagini e per la formazione di base si assume la facies marnosa (unità M), in accordo a quanto rappresentato nella carta geologica in corrispondenza dell'area.

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati dell'elaborazione di tutte le prove in sito e di laboratorio eseguite sulle indagini in corrispondenza di quest'opera, utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto, di seguito sintetizzati.

Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Unità LAS (limo argilloso sabbioso) da 0.0 a 7.0 m di profondità da p.c.

$\gamma = 18.5 \text{ KN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata

$E_0 = 70 \div 350 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Unità M (Formazione di Mores marnosa) da 7.0 m alla massima profondità di interesse progettuale.

$\gamma = 22.0 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\varphi' = 26 \div 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 28 \div 35 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E = 120 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione

La falda è assente alle profondità di interesse.

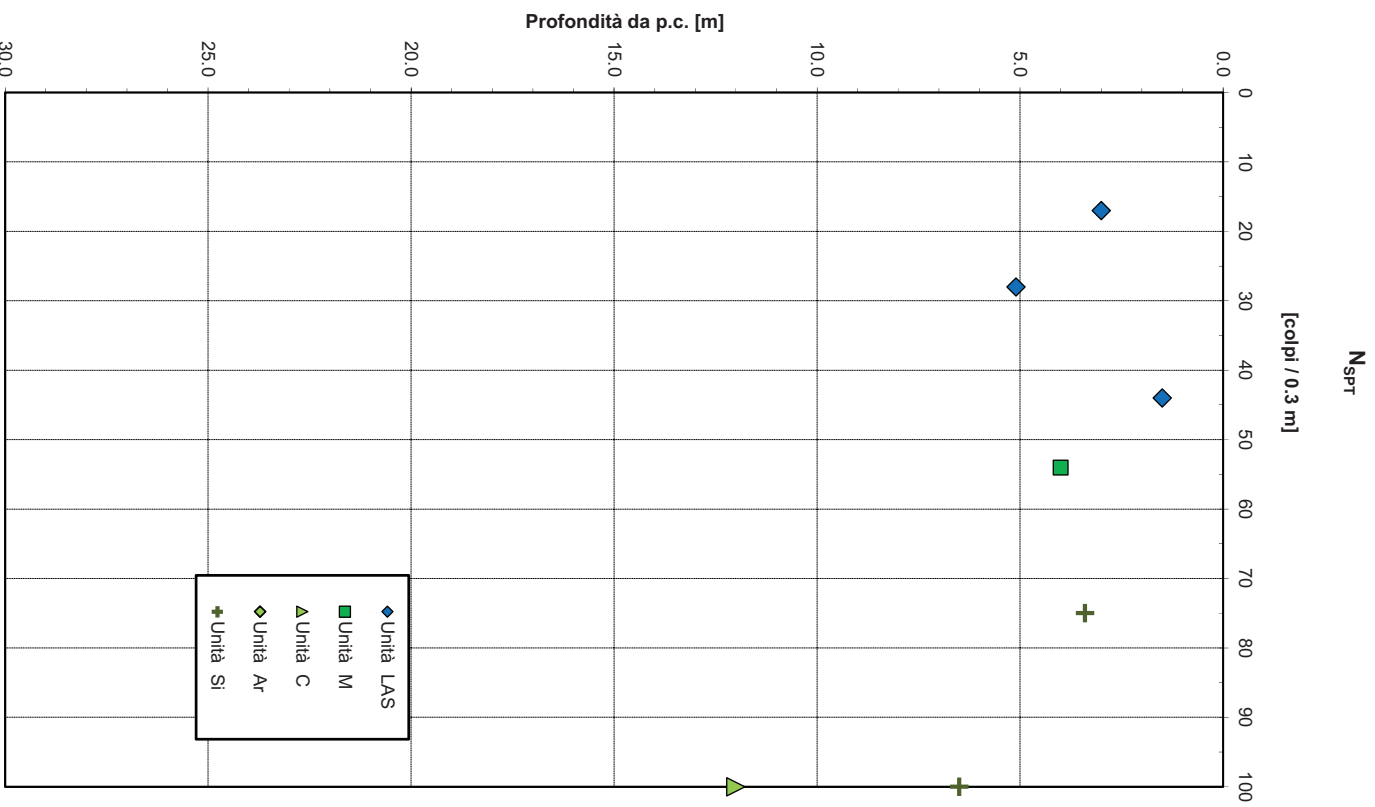


Figura 131: Valori N_{spt} (sondaggi S9-2015, S8-1992, S7 e S9-1998 Fondedile)

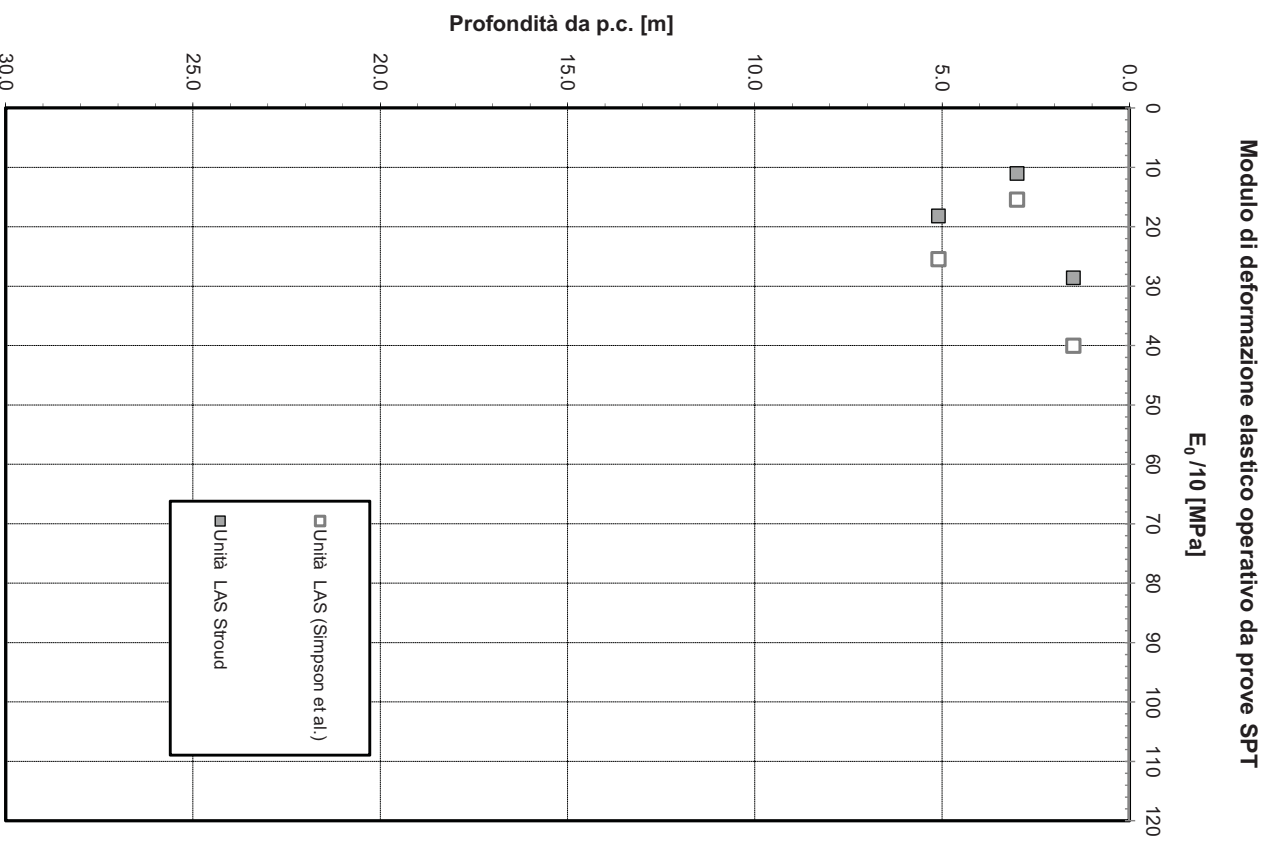


Figura 132: Modulo di deformazione elastico operativo $E_0/10$ da SPT (sondaggi S9-2015, S8-1992, S7 e S9-1998 Fondedile)

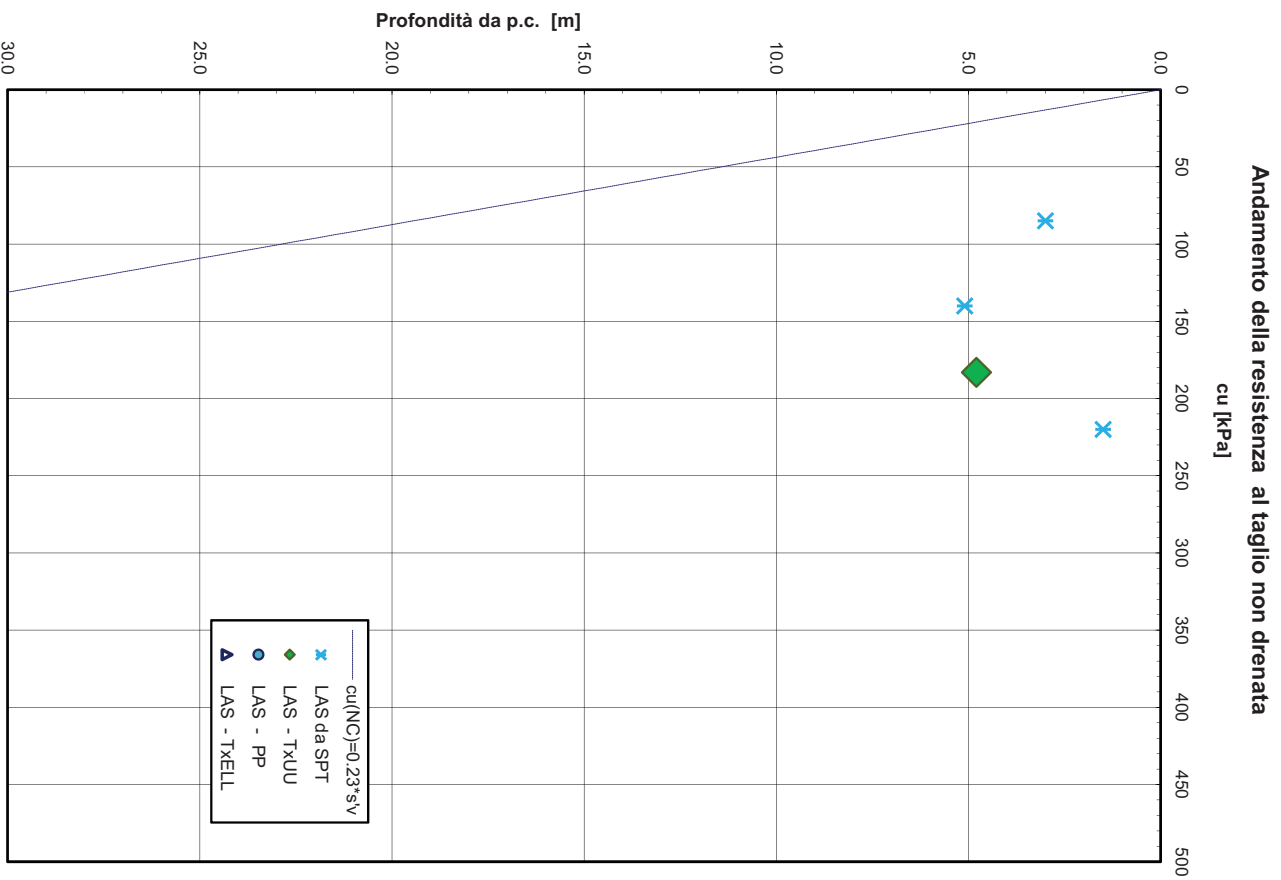


Figura 133: Resistenza a compressione monoassiale (sondaggi S9-2015, S8-1992, S7 e S9-1998 Fondedile)

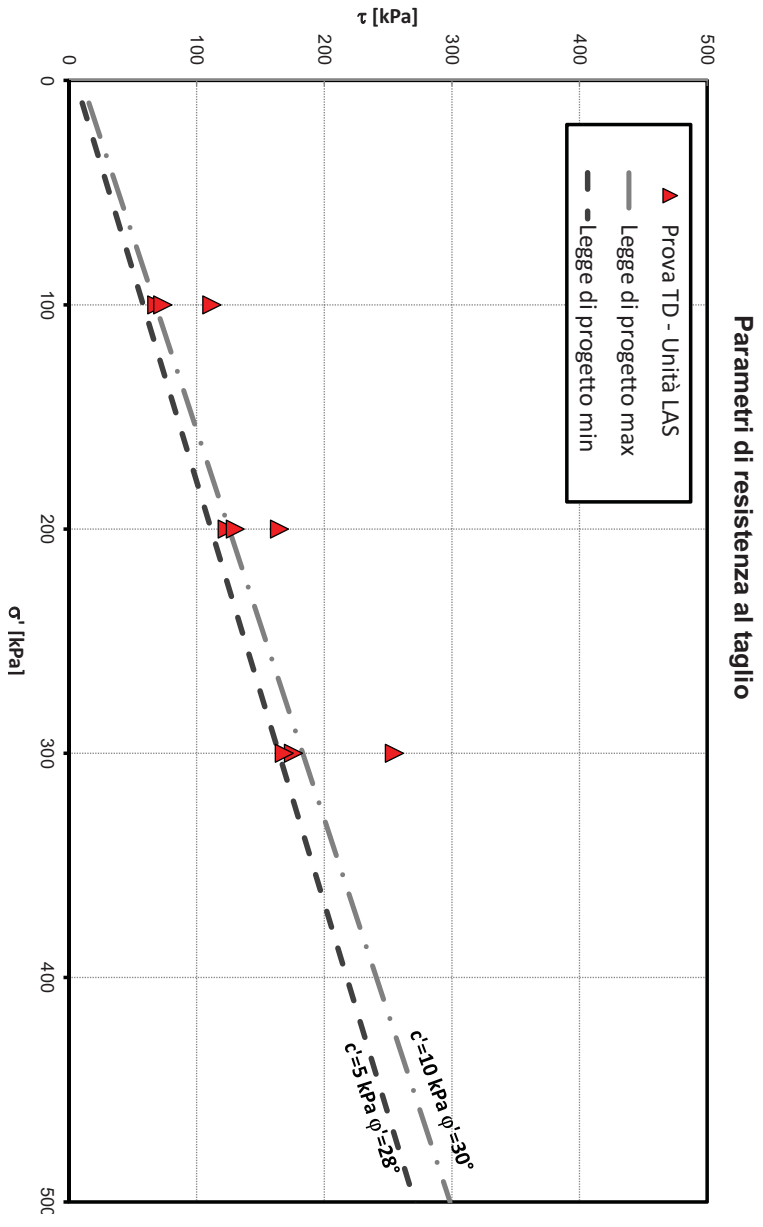


Figura 134: Parametri di resistenza (sondaggi S9-2015, S8-1992, S7 e S9-1998 Fondedille)

8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

8.1 Risposta sismica

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_{c^*} ,
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento $P_{V_{VR}}$ associate a ciascuno degli stati limite considerati.
- Infatti, fissata la vita di riferimento $V_{R,TR}$ è esprimibile in funzione di $P_{V_{VR}}$ mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove V_N è la vita nominale dell'opera e C_U la classe d'uso.

Per le opere d'arte del presente progetto si ha in linea generale: **$V_N=50$ anni e $C_U=2.0$ (classe d'uso IV)**, $V_R = 100$ anni, $TR = 949$.

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido a_g , l'accelerazione di picco a_{max} è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove S_s è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_T è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

La Sardegna, come definito all'Allegato B di cui al D.M. 14/01/2008, è caratterizzata da una macrozonazione sismica omogenea (medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a parità di tempo di ritorno dell'azione sismica di progetto). La tabella 2, dell'Allegato B dell'NTC2008, riporta i valori di a_g , F_0 , e T_c per le isole (con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri), costanti su tutto il territorio di ciascuna isola (vedasi tabella seguente).

Tabella 28 – Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC 2008 in cui vengono riportati i valori di a_g , F_0 , e T_c per i diversi tempi di ritorno TR validi per tutte le isole ad eccezione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri e costanti su tutto il territorio di ciascuna isola

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c
Andrèago T'eddu, B'ar'igori, P'ariferria, S'ardegna, L'arzesza, L'urru, P'izu, P'ariferria, Z'arere	0.180	2.61	0.273	0.251	2.61	0.292	0.274	2.70	0.300	0.318	2.73	0.307	0.323	2.78	0.319	0.393	2.82	0.322	0.350	2.88	0.346	0.008	2.98	0.372	0.347	3.09	0.400
Verdeinu, S'arri, S'arri	0.220	2.61	0.245	0.300	2.61	0.272	0.347	2.81	0.298	0.389	2.69	0.328	0.420	2.69	0.365	0.481	2.71	0.403	0.600	2.92	0.478	0.297	3.07	0.517	0.832	3.27	0.564
Urbia, T'arri	0.420	2.20	0.400	0.214	2.20	0.402	0.681	2.20	0.400	0.776	2.20	0.400	0.803	2.20	0.400	1.204	2.20	0.400	1.500	2.20	0.400	1.987	2.20	0.400	2.725	2.20	0.400
ANCIU, P'aridi	0.130	2.70	0.400	0.338	2.70	0.402	0.307	2.70	0.400	1.030	2.70	0.400	1.318	2.70	0.400	1.460	2.70	0.400	1.471	2.70	0.400	1.212	2.70	0.400	4.677	2.70	0.400
P'aradu, S'arvudu, L'arri, V'aridu, S'arri	0.618	2.05	0.287	0.817	2.18	0.290	0.983	2.51	0.291	1.166	2.23	0.293	1.374	2.26	0.290	1.380	2.26	0.290	1.200	2.18	0.296	2.831	2.55	0.316	3.708	2.26	0.331

Dalla tabella si ha:

$a_g = 0.060g$ (accelerazione orizzontale massima del terreno);

$F_0 = 2.98$ (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale);

$T_C^* = 0.372$ s (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

8.2 Categoria di sottosuolo

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$. Si può ricavare il parametro $V_{S,30}$ mediante la relazione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della $V_{s,30}$, in particolare sono state eseguite nello svincolo di Bonorva Nord indagini sismiche a rifrazione: uno stendimento, denominato L57, della campagna geognostica del 2015 e 5 stendimenti, denominati "BS", della campagna del 2017 con restituzione tomografica anche in onde S.

In relazione a quanto emerso dalle indagini, le formazioni presenti nei settori di intervento possono essere caratterizzati con categorie di sottosuolo di tipo C e B. In generale, la categoria di sottosuolo C si rinviene nei settori in cui sono presenti gli spessori maggiori dei depositi di copertura (unità LAS, GS) o dei terreni di riporto antropico (unità Ra). Negli elaborati grafici di pertinenza (planimetrie sismiche) sono individuabili le aree con la relativa categoria di sottosuolo.

Per lo svincolo di Bonorva Sud le indagini hanno intercettato substrato roccioso basaltico generalmente a partire da 1 m da p.c., localmente 6 m nel sondaggio S7-2015, quindi la categoria di sottosuolo è B.

8.3 Azioni sismiche di progetto

L'accelerazione di picco a_{max} , valutata sulla base della risposta sismica locale, vale:

$$a_{max} = S_s \cdot S_r \cdot a_g$$

dove S_s è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_r è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Quindi per il sito in esame si ha:

- con riferimento a $V_N=50$ anni, $C_U=2.0$, categoria tipo C: $S_s = 1.50$, quindi l'accelerazione massima attesa al piano campagna è $a_{max} = 0.090$ g.
- con riferimento a $V_N=50$ anni, $C_U=2.0$ e categoria tipo B: $S_s = 1.20$ accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_{max} = 0.072$ g.

Per ogni opera va inoltre applicato il fattore amplificativo dell'azione topografica S_r in funzione dell'ubicazione dell'opera/intervento, come indicato da normativa ($S_r = 1.0$ per T1 e $S_r = 1.2$ per T2).

9. ANALISI DEI CEDIMENTI E DEL LORO DECORSO NEL TEMPO

9.1 Premessa

Nel presente capitolo si riportano le valutazioni dei cedimenti dei rilevati e la stima del decorso nel tempo. L'opera in progetto è un adeguamento di una viabilità esistente e quindi i rilevati sono generalmente in ampliamento all'esistente per l'asse principale e nuovi in particolare per le rampe e le viabilità secondarie.

La valutazione dei cedimenti è stata eseguita per la sezione con maggiore ingombro di rilevato (massima altezza e/o massima estensione trasversale) ed in relazione alla situazione stratigrafica peggiore lungo lo sviluppo del tracciato. Per i rilevati si prevedono scarpate a pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale) con berna di larghezza 2,5 m per altezze di scavo maggiori di 6 m.

La valutazione dei cedimenti dei rilevati è stata effettuata con il programma di calcolo CED (G. Guiducci) considerando l'ipotesi di rilevato illimitato.

Nella valutazione dei cedimenti e quindi nella determinazione dello spessore compressibile, si sono considerati i contributi degli strati in corrispondenza dei quali l'incremento della tensione ottaedrica risulta superiore o uguale a 10 volte la tensione geostatica efficace.

Le metodologie di calcolo sono riportate in Appendice A.

9.2 Sezioni di calcolo

La sezione di calcolo analizzata è la n. 60 dell'asse al km 0+885 che è affiancata da un lato dal rilevato della rampa D e dall'altro lato da via Maggiore Bonorva e rampa B. Nella seguente figura è mostrata la sezione di calcolo analizzata, rappresentative sia per le dimensioni maggiori di rilevato, sia per le condizioni stratigrafiche più gravose, per la stima dei cedimenti. Nel calcolo è stata modellata un'area rettangolare di altezza 6 m e larghezza 75 m avente area equivalente alla sagoma reale complessiva dei rilevati e con impronta di carico circa uguale alla reale.

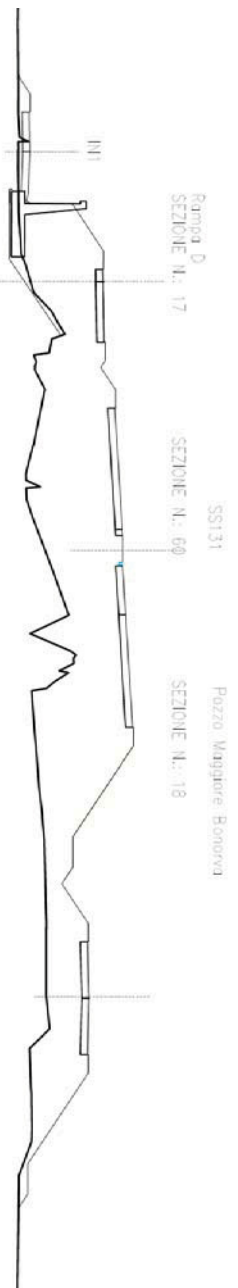


Figura 135: Sezione n. 9 rilevato var SS95 al km 0+160

In corrispondenza dei rilevati di maggiore altezza, lo spessore di terreno che sovrasta la formazione rocciosa di base è di circa 5 m. Nella seguente tabella si riassume la stratigrafia ed i parametri geotecnici utilizzati per l'analisi. La falda

è a profondità elevate, non è stata intercettata dalle indagini.

Il modulo di deformazione elastico operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati (E') è stato valutato dal modulo di deformazione elastico iniziale (E_0), in particolare si è assunto $E' = E_0/10$. Per il valore del modulo di deformazione in condizioni non drenate per il terreno coesivo (unità LAS) si è assunto $E_u = 200 * c_u$.

Tabella 29 – Stratigrafia e parametri geotecnici – sez 60 SS131

Profondità [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	E' [MPa]	E_u [MPa]	c_u [kPa]
0.0÷2.0	Ra	18.5	15	-	-
2.0÷5.0	LAS	18.5	10	14	70
5.0÷8.5	C	22.5	200	-	-
> 8.5	Ar	22.5	150	-	-

9.3 Risultati

In Appendice A, sono riportate le metodologie generali per il calcolo dei cedimenti ed i tabulati di calcolo completi.

Nella seguente tabella si riassumono i principali risultati.

Tabella 30 – Cedimenti in asse rilevato

Sezione	Cedimenti totali [mm]	Cedimenti immediati [mm]	Cedimenti consolidazione [mm]
Sez. N.60 SS131+rampe	66.5	18.5	48.0

I cedimenti totali massimi stimati in asse rilevato sono dell'ordine di 6,65 cm, i cedimenti immediati 1,85 cm e quindi cedimenti di consolidazione inferiori ai 5 cm. Si tratta di cedimenti che si svilupperanno nella quasi totalità durante i tempi di costruzione del rilevato, in quanto si tratta di uno spessore di terreno modesto (5 m) che sovrasta il substrato roccioso.

10. ANALISI DI STABILITA'

10.1 Premessa

Nel presenta capitolo si riportano le verifiche di stabilità delle scarpate di rilevati e di trincee.

10.2 Metodologie di calcolo verifica di stabilità

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta mediante il codice di calcolo SLIDE 7.0, in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{disp}}{\int_S \tau_{mob}} \quad \text{coefficiente di sicurezza}$$

In conformità alla normativa vigente (D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le costruzioni" – NTC2008), l'analisi di stabilità globale deve svolgersi agli SLU: A2+M2+R2.

Secondo la normativa quindi i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati:

$\gamma_\phi = 1.25$ coefficiente parziale per l'angolo di resistenza al taglio

$\gamma_c = 1.25$ coefficiente parziale per la coesione drenata

L'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di calcolo:

$\tan(\phi'd) = \tan(\phi'k) / \gamma_\phi$ angolo di resistenza al taglio

$c'd = c'k / \gamma_c$ coesione drenata

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari ad 1.1 (γ_R) sia in condizioni statiche, che sismiche. Pertanto il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare $FS \geq 1.1$.

I carichi accidentali stradali (pari a 20 kPa) sono stati amplificati secondo i coefficienti richiesti da normativa (A2 – GEO: $\gamma_F = 1.3$). In condizioni sismiche il carico accidentale è nullo.

10.3 Azioni sismiche per analisi di stabilità

In generale, il metodo pseudo-statico modella l'azione sismica considerando in luogo delle azioni dinamiche azioni statiche equivalenti ovvero forze statiche orizzontali f_h e verticali f_v per unità di volume, d'intensità pari al prodotto fra il peso specifico del corpo γ sottoposto all'azione dinamica ed un coefficiente sismico:

$$f_h = \gamma \cdot k_h$$

forza orizzontale per unità di volume

$$f_v = \gamma \cdot k_v$$

forza verticale per unità di volume

dove:

γ = peso specifico del volume considerato.

In accordo alla normativa vigente per le analisi in esame, la componente orizzontale (a_h) dell'accelerazione può essere legata all'accelerazione massima attraverso la seguente relazione:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

dove:

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

k_v = coefficiente sismico in direzione verticale;

β_s = coefficiente di riduzione che dipende dall'accelerazione massima e dalla categoria di suolo (0.20 nel caso in esame).

Nel caso in esame si ha per i rilevati:

- con riferimento a $V_N=50$ anni, $C_U=2.0$, categoria tipo C: $S_s = 1.50$, l'accelerazione massima attesa al piano campagna è $a_{max} = 0.09$ g.
- $k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.20 \cdot 0.09 = 0.018$
- $k_v = \pm 0.009$.

Per la trincea definitiva presente a fine tracciato:

- con riferimento a $V_N=50$ anni, $C_U=2.0$, categoria tipo B: $S_s = 1.20$, $ST=1.2$ l'accelerazione massima attesa al piano campagna è $a_{max} = 0.086$ g.
- $k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.20 \cdot 0.086 = 0.017$
- $k_v = \pm 0.009$.

10.4 Sezioni di calcolo

Per i rilevati viene eseguita la verifica di stabilità di una scarpata di rilevato con altezza massima di 6 m, avente berma di larghezza 2.5 m a 1 m da p.c., considerando cautelativamente per il terreno di fondazione l'unità LAS con i parametri di resistenza minimi.

Nel tratto finale del tracciato della SS131 è presente una scarpata definitiva che verrà riprofilata secondo lo schema riportato nella seguente figura: l'altezza massima di scavo è di 14 m circa e a monte è presente una stradina sterrata

(carico accidentale considerato nelle analisi pari a 10 kPa). Nell'area affiora la formazione del basalto di Lugudoro, con una copertura di terreno alterato (unità LAS) di spessore massimo 2 m circa.

Per la formazione rocciosa sono stati assunti i seguenti parametri di resistenza caratteristici, fattorizzati nelle analisi secondo quanto indicato da normativa.

Unità Ba – Basalto di Lugudoro

$$\varphi' = 28^\circ$$

angolo di resistenza al taglio

$$c' = 25 \text{ kPa}$$

coesione drenata

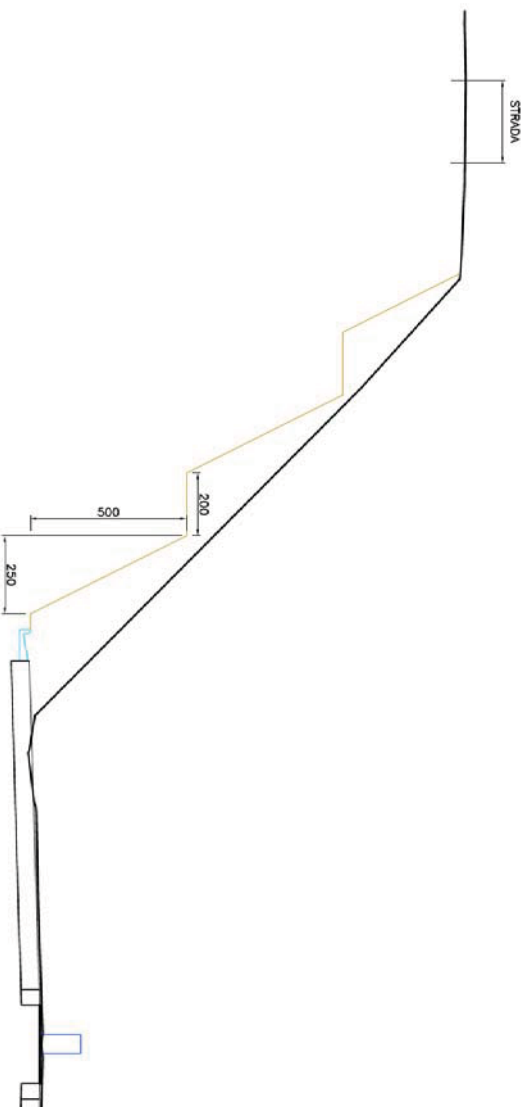


Figura 136: Trincea sez. 103 SS131 al km 1+530

10.5 Risultati

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle verifiche di stabilità per la sezione in rilevato, in condizioni statiche e sismiche; per l'analisi sismica è riportata la figura relativa a -kv, in quanto fornisce i valori minimi. I fattori di sicurezza minimi sono > 1.1 , quindi le verifiche di stabilità sono soddisfatte, secondo quanto previsto da normativa.

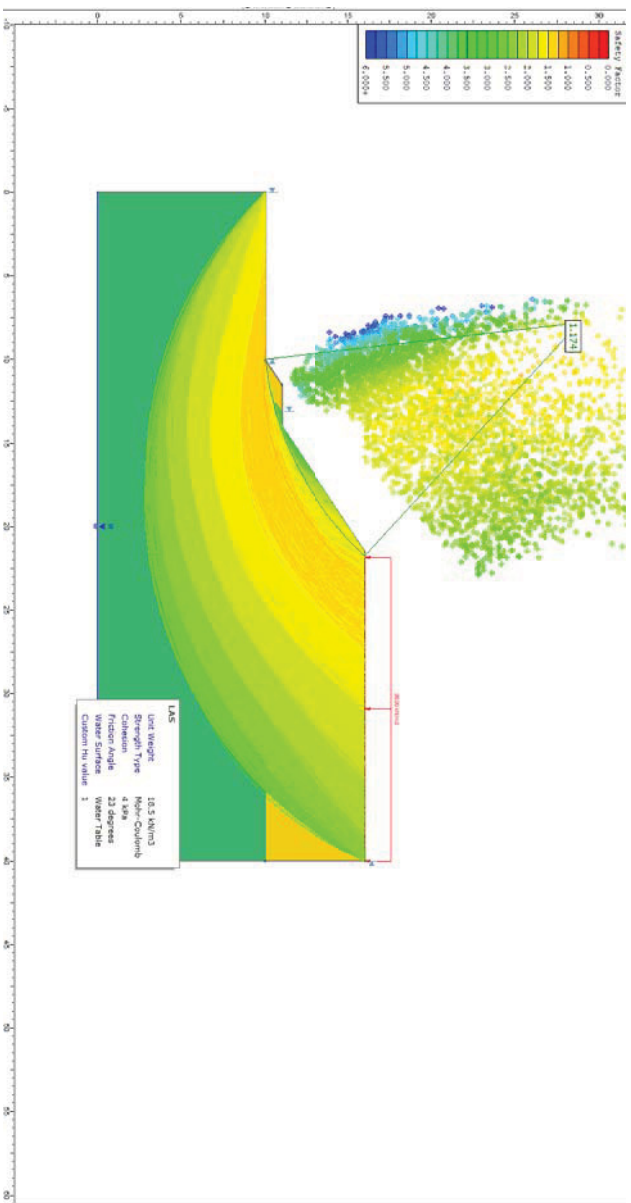


Figura 137: Rilevato H = 6 m Analisi di stabilità statica SLU

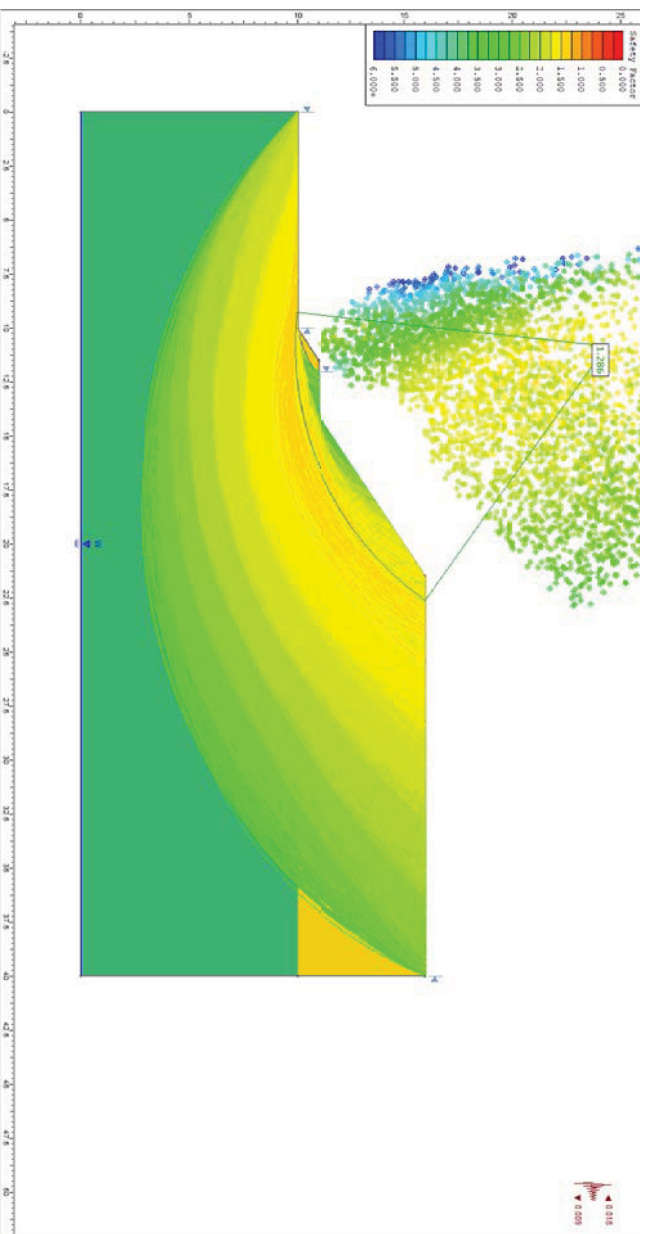


Figura 138: Rilevato H = 6 m Analisi di stabilità sismica SLU

In **Figura 139** e in **Figura 140** si riportano i risultati delle analisi di stabilità per la sezione in trincea senza intervento di consolidamento con chiodature, rispettivamente in condizioni statiche e sismiche SLU; dalle figure si osserva che la verifica di stabilità in condizioni sismiche (senza chiodature) non è soddisfatta. Quindi per il tratto di trincea si prevede un intervento di rafforzamento corticale costituito da chiodature con maglia 2.0 m x 2.0 m, lunghezza chiodi L=4.0 m, barre metalliche f25 mm tipo Gewi con limite snervamento acciaio non minore di 500 MPa, tensione di rottura 550 MPa, perforazione $D_p \geq 50$ mm. La rete metallica è a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10. Le funi metalliche sono previste d'acciaio ad anima metallica con resistenza nominale dei fili elementari di acciaio non inferiore a 1770 n/mm², carico di rottura minimo 40.3 kN (per 16 mm). Per i dettagli dell'intervento si rimanda agli elaborati grafici.

In **Figura 141**, **Figura 142** si riportano i risultati delle verifiche di stabilità per la sezione in trincea con intervento di chiodatura, in condizioni statiche e sismiche; per l'analisi sismica è riportata la figura relativa a -kv, in quanto fornisce i valori minimi. I fattori di sicurezza minimi sono > 1.1, quindi le verifiche di stabilità sono soddisfatte, secondo quanto previsto da normativa.

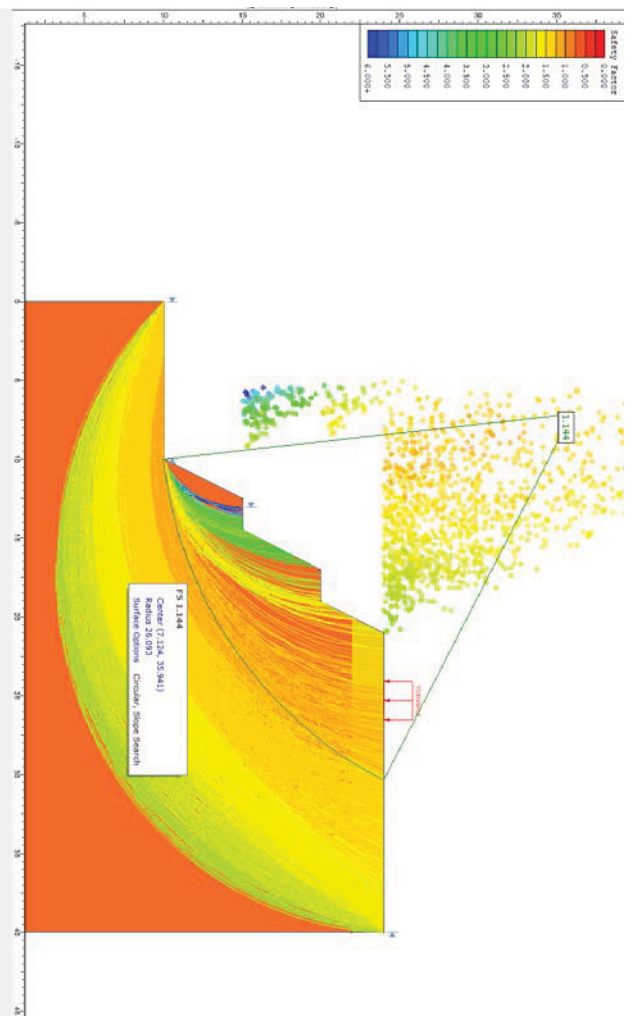


Figura 139: Trincea sez. 103 SS131 – analisi di stabilità statica SLU

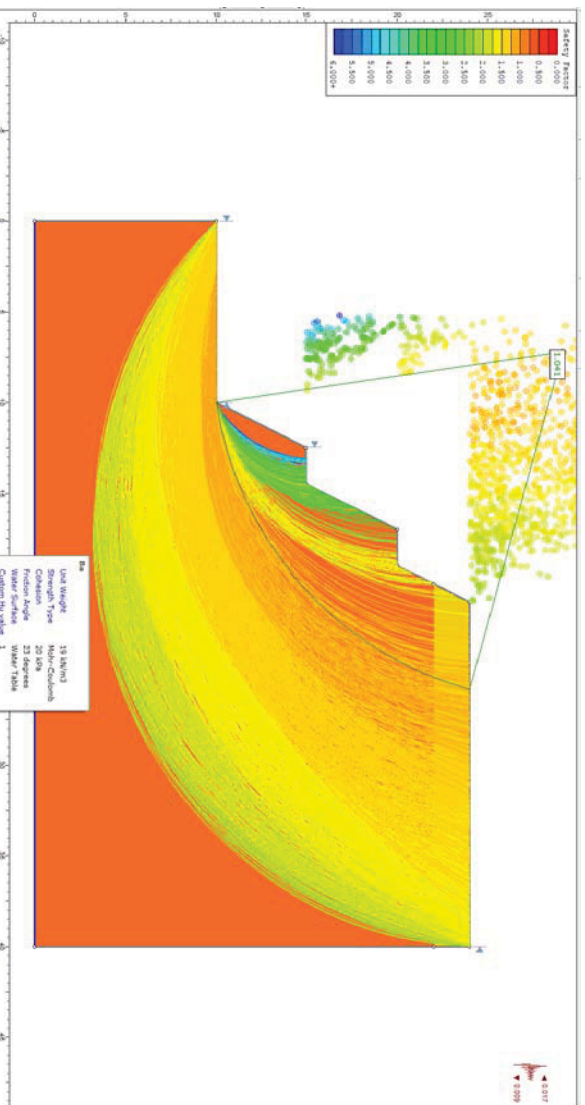


Figura 140: Trincea sez. 103 SS131 – analisi di stabilità sismica SLU

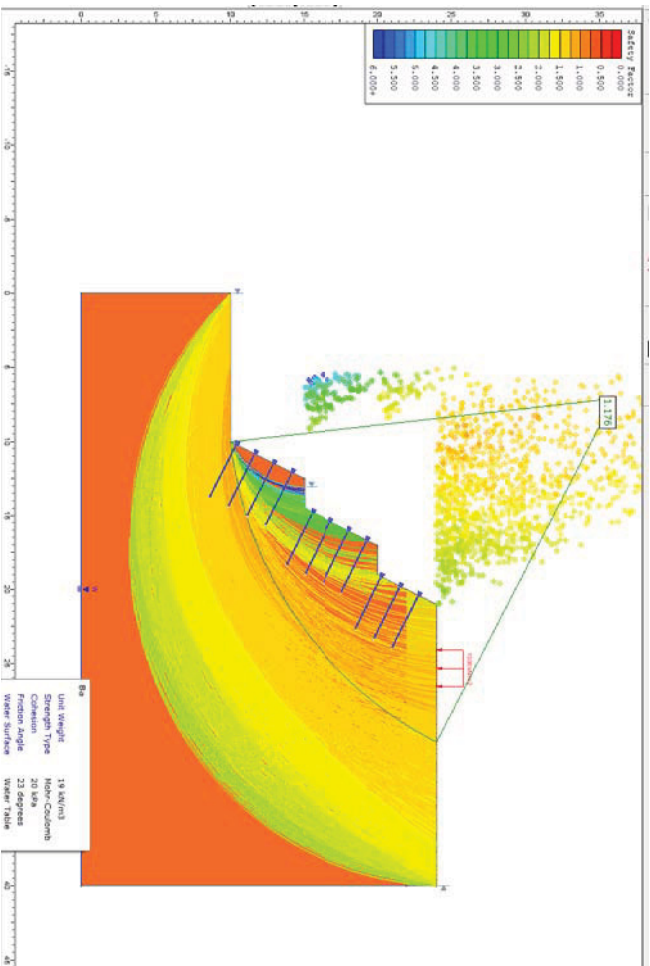


Figura 141: Trincea sez. 103 SS131 con intervento di chiodatura – analisi di stabilità statica SLU

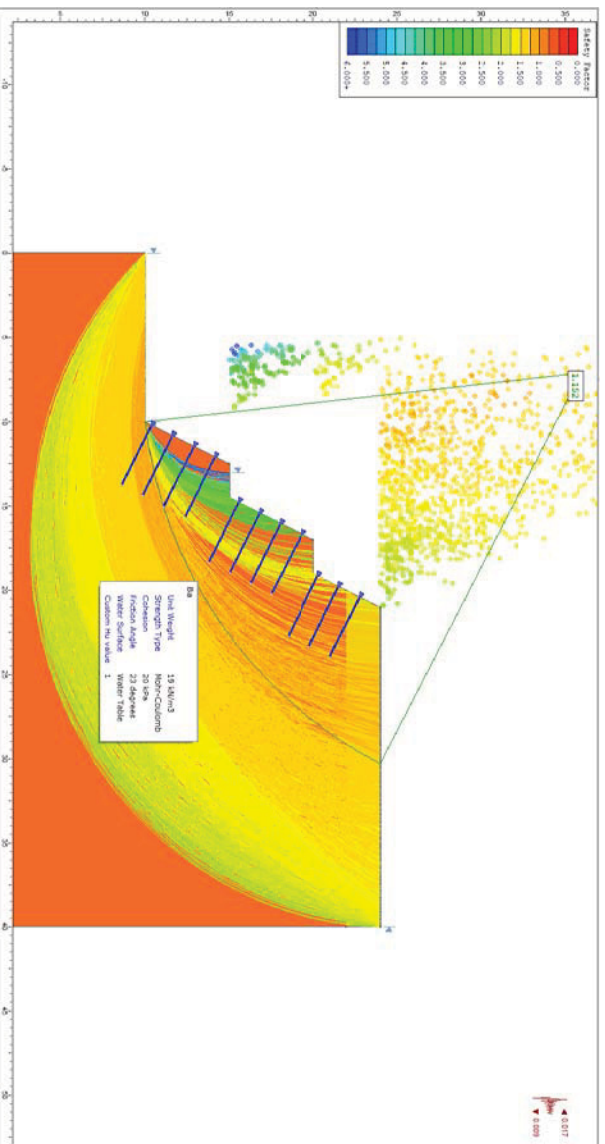


Figura 142: Trincea sez. 103 SS131 con intervento di chiodatura – analisi di stabilità sismica SLU

1.1. PIANO DI POSA

Sulla base delle indagini disponibili, lo spessore di vegetale è variabile da 0.2 a 0.8 m, localmente 1 m.

Quindi si prevede per lo svincolo di Bonorva Nord:

- scottico: 20 cm
- bonifica: vedasi tabella seguente

STRATI DI BONIFICA		SPESORE (cm)
VIABILITA'		
Rampa A	Sezz. 21+37	40
Rampa B	Sezz. 1+20	30
Rampa Pozzomaggiore-Bonorva	Sezz. 14+26	60
Rampa C	Sezz. 13+17	40
Rampa D	Sezz. 4+29	50
	Sezz. 1+10	-
	Sezz. 13+17	20
	Sezz. 24+29	30
	Sezz. 30+72	30
Viabilità interpoderales 1		80
Viabilità interpoderales 2	Sezz. 2+13	60
Viabilità interpoderales 3		60
Rotatoria Sud		60
Rotatoria Nord		40
SP8		40
SP43		40

Per lo svincolo di Bonorva Sud si prevede:

- scottico: 20 cm
- bonifica: vedasi tabella seguente

SPessori BONIFICA	(cm)
S.P.125 Sez.0-7	0
S.P.125 Sez.7-35	20
S.P.125 Sez.36-76	40
RAMPE A,B,C,D	-
	30

Per la SP 125 si prevede:

- scottico: 20 cm
- bonifica: 30 cm.

12. APPENDICE A. ANALISI DEI CEDIMENTI. METODOLOGIE DI CALCOLO E TABULATI CED

12.1 Metodologie di calcolo. Analisi dei cedimenti per rilevati

Analisi delle tensioni indotte nel sottosuolo dai carichi applicati in superficie

La valutazione dell'incremento dello stato tensionale indotto nel terreno dai carichi applicati viene condotta con riferimento a soluzioni basate sulle seguenti ipotesi semplificative:

- il terreno è schematizzato come un semispazio elastico lineare, omogeneo ed isotropo (modello di Boussinesq);
- l'area di carico è posta sulla superficie del semispazio ed è supposta di rigidità nulla.

Per una generica condizione di carico viene eseguita una discretizzazione in un numero finito di superfici rettangolari sulle quali è applicata una pressione uniforme.

Per ogni direttrice di calcolo del cedimento vengono valutati gli incrementi di tensione indotti da ogni singola superficie di carico componendo poi gli effetti.

La soluzione base impiegata è quella di Florin (1959) che fornisce gli incrementi di tensione in corrispondenza di una verticale passante per lo spigolo di un'area di carico rettangolare:

$$\delta\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \cdot \left[\frac{ab}{z R_3} + \frac{abz}{R_3} \cdot \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \right]$$

$$\delta\sigma_x = \frac{q}{2\pi} \cdot \left[\frac{ab}{z R_3} - \frac{abz}{R_1^2 R_3} \right]$$

$$\delta\sigma_y = \frac{q}{2\pi} \cdot \left[\frac{ab}{z R_3} - \frac{abz}{R_2^2 R_3} \right]$$

dove:

$\delta\sigma_z$ = incremento di tensione verticale,

$\delta\sigma_{x,y}$ = incrementi di tensioni orizzontali;

$R_1^2 = (a^2 + z^2)$,

$R_2^2 = (b^2 + z^2)$,

$R_3^2 = (a^2 + b^2 + z^2)$;

q = carico applicato (pressione),

a = semilato dell'area di carico in direzione x

b = semilato dell'area di carico in direzione y

z = asse verticale.

Calcolo dei cedimenti

Il cedimento (s) viene valutato, dopo avere discretizzato l'altezza significativa di terreno in "n" strati, in base alla seguente relazione:

$$s = \sum_{z=0}^{z=Hc} [(\delta\sigma_{z,i} - \nu(\delta\sigma_{x,i} + \delta\sigma_{y,i})) \cdot h_i / E_i]$$

dove:

E_i = modulo di deformazione dello strato i-esimo;

h_i = altezza dello strato i-esimo,

Hc = altezza del volume di terreno significativo,

$\delta\sigma_z$ = incremento di tensione verticale,

$\delta\sigma_{x,y}$ = incrementi di tensioni orizzontali.

Il calcolo dei cedimenti è limitato agli strati di terreno che realisticamente risentono del carico applicato in superficie. Ciò è individuato entro la profondità Hc per cui:

$$\delta\sigma_z / \sigma'_{vo} > 0.10;$$

essendo:

σ'_{vo} = tensione verticale efficace litostatica.

Il cedimento totale dato dagli strati coesivi (di bassa permeabilità) è generalmente dato dalla somma di tre contributi:

$$S_t = S_i + S_c + S_s$$

dove:

S_t = cedimento totale;

S_i = cedimento immediato; esso si sviluppa all'applicazione del carico, viene valutato con il modulo E_u (in condizioni non drenate),

S_c = cedimento per consolidazione, con sviluppo completo al tempo in cui sarà avvenuta la completa dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dai carichi.

S_s = cedimento secondario, dovuto a deformazioni viscosse del terreno con carico costante e pressioni interstiziali stabilizzate.

Il contributo del cedimento secondario diventa importante in pochi casi, quando il cedimento dipende in gran parte da uno strato argilloso di rilevante spessore nel quale il completamento della consolidazione avviene in pochi mesi (inserimento di dreni verticali molto fitti).

Nei casi in cui il cedimento secondario può essere trascurato si valuterà:

S_t , con il modulo E' (in condizioni drenate),

S_i , con il modulo E_u (in condizioni non drenate),

$S_c = S_t - S_i$.

12.2 Cedimenti totali rilevato

*** CED ***

Programma per l'analisi dei

*** CED ***

Programma per l'analisi dei cedimenti
per aree di carico di rigidezza nulla

(C) G.Guiducci - aprile 1999

pag. / 1

SS131 sezione 60
Rilevato cedimento totale

Coefficiente di Frolich = 4
S'z a quota piano di posa = .0 kPa
Profondita' falda = 20.0 m
Coefficiente di Poisson = .30

Caratteristiche stratigrafiche e meccaniche

n.	Z in m	Z fin m	E in kPa	E fin kPa	G nat KN/m3	G eff KN/m3	N dv
1	.0	2.0	15000.	15000.	18.5	8.5	4
2	2.0	5.0	10000.	10000.	18.5	8.5	6
3	5.0	8.5	200000.	200000.	22.5	12.5	6
4	8.5	100.0	150000.	150000.	22.5	12.5	22

S'z = tensione verticale efficace litostatica
Z in = profondita' inizio strato
Z fin = profondita' fine strato
E in = modulo elastico inizio strato
E fin = modulo elastico fine strato
G nat = peso di volume naturale
G eff = peso di volume efficace
N dv = numero suddivisioni dello strato

Dati riguardanti il rilevato (Y - asse longitudinale)

Altezza complessiva = 6.0 m
Larghezza sommita' = 75.0 m
Pendenza scarpe = 1000.000 (vert/orizz)
Peso di volume = 20.0 KN/m3
Sovraccarico in sommita' = .0 kPa

pag. / 2

SS131 sezione 60
Rilevato cedimento totale

Caratteristiche delle aree di carico equivalenti al rilevato

N.	Press. kPa	X c m	Y c m	X lato m	Y lato m	Carico MN
1	24.0	.00	.00	75.01	3000.24	5401.209
2	24.0	.00	.00	75.01	3000.24	5401.037
3	24.0	.00	.00	75.01	3000.24	5400.864
4	24.0	.00	.00	75.00	3000.24	5400.691
5	24.0	.00	.00	75.00	3000.24	5400.518
Carico totale =						27004.320 MN

pag. / 3

SS131 sezione 60
Rilevato cedimento totale

RISULTATI relativi alla direttrice 1

X = .00 m Y = .00 m

Incrementi di tensioni dovuti ai carichi

Prof. m	D S'z kPa	D S'x kPa	D S'y kPa	.10 S'z	E medio
.3	120.0	60.0	60.0	.5	15000.
.8	120.0	60.0	60.0	1.4	15000.
1.3	120.0	59.9	60.0	2.3	15000.
1.8	120.0	59.8	59.9	3.2	15000.
2.3	120.0	59.7	59.9	4.2	10000.
2.8	120.0	59.5	59.8	5.1	10000.
3.3	120.0	59.3	59.8	6.0	10000.
3.8	120.0	59.1	59.7	6.9	10000.
4.3	120.0	58.9	59.6	7.9	10000.
4.8	120.0	58.6	59.5	8.8	10000.
5.3	120.0	58.3	59.4	9.9	200000.
5.9	120.0	57.9	59.3	11.2	200000.
6.5	120.0	57.4	59.1	12.5	200000.
7.0	119.9	57.0	59.0	13.8	200000.
7.6	119.9	56.5	58.8	15.2	200000.
8.2	119.9	55.9	58.6	16.5	200000.
10.6	119.7	53.5	57.7	21.8	150000.
14.7	119.2	48.4	55.8	31.2	150000.
18.9	118.0	42.7	53.6	40.5	150000.
23.1	116.2	37.1	51.1	46.8	150000.
27.2	113.9	31.8	48.6	52.0	150000.
31.4	111.0	27.1	46.0	57.2	150000.
35.5	107.7	23.0	43.6	62.4	150000.
39.7	104.2	19.4	41.2	67.6	150000.
43.9	100.5	16.5	39.0	72.8	150000.
48.0	96.8	14.0	36.9	78.0	150000.
52.2	93.1	11.9	35.0	83.2	150000.
56.3	89.5	10.2	33.2	88.4	150000.

D S'z,x,y = incrementi di tensione indotti dai carichi
S'z = tensione verticale efficace litostatica

pag. / 4

SS131 sezione 60
 Rilevato cedimento totale

RISULTATI relativi alla direttrice 1
 X = .00 m Y = .00 m

Cedimenti totali		Cedimenti parziali		
Prof. m	Cedimento mm	da m	a m	D cedim. mm
0.0	66.5	0.0	.5	2.8
.5	63.7	.5	1.0	2.8
1.0	60.9	1.0	1.5	2.8
1.5	58.1	1.5	2.0	2.8
2.0	55.3	2.0	2.5	4.2
2.5	51.0	2.5	3.0	4.2
3.0	46.8	3.0	3.5	4.2
3.5	42.6	3.5	4.0	4.2
4.0	38.4	4.0	4.5	4.2
4.5	34.2	4.5	5.0	4.2
5.0	30.0	5.0	5.6	.2
5.6	29.7	5.6	6.2	.2
6.2	29.5	6.2	6.8	.2
6.8	29.2	6.8	7.3	.2
7.3	29.0	7.3	7.9	.2
7.9	28.7	7.9	8.5	.2
8.5	28.5	8.5	12.7	2.4
12.7	26.1	12.7	16.8	2.4
16.8	23.6	16.8	21.0	2.5
21.0	21.2	21.0	25.1	2.5
25.1	18.7	25.1	29.3	2.5
29.3	16.2	29.3	33.5	2.5
33.5	13.7	33.5	37.6	2.4
37.6	11.3	37.6	41.8	2.4
41.8	8.9	41.8	45.9	2.3
45.9	6.6	45.9	50.1	2.3
50.1	4.3	50.1	54.3	2.2
54.3	2.1	54.3	58.4	2.2
58.4	.0	58.4		2.1

Cedimento totale = 66.5 mm

12.3 Cedimenti immediati rilevato

*** CED ***
Programma per l'analisi dei cedimenti
per aree di carico di rigidità nulla
(C) G.Guiducci - aprile 1999

pag. / 1

SS131 sezione 60
Rilevato cedimento immediato

Coefficiente di Frolich = 3
S'z a quota piano di posa = .0 kPa
Profondita' falda = 20.0 m
Coefficiente di Poisson = .50

Caratteristiche stratigrafiche e meccaniche

n.	Z in m	Z fin m	E in kPa	E fin kPa	G nat KN/m3	G eff KN/m3	N dv
1	.0	2.0	15000.	15000.	18.5	8.5	4
2	2.0	5.0	14000.	14000.	18.5	8.5	6
3	5.0	8.5	200000.	200000.	22.5	12.5	6
4	8.5	100.0	150000.	150000.	22.5	12.5	22

S'z = tensione verticale efficace litostatica
Z in = profondita' inizio strato
Z fin = profondita' fine strato
E in = modulo elastico inizio strato
E fin = modulo elastico fine strato
G nat = peso di volume naturale
G eff = peso di volume efficace
N dv = numero suddivisioni dello strato

Dati riguardanti il rilevato (Y - asse longitudinale)

Altezza complessiva = 6.0 m
Larghezza sommita' = 75.0 m
Pendenza scarpate = 1000.000 (vert/orizz)
Peso di volume = 20.0 KN/m3
Sovraccarico in sommita' = .0 kPa

Caratteristiche delle aree di carico equivalenti al rilevato

N.	Press. kPa	X c m	Y c m	X lato m	Y lato m	Carico MN
1	24.0	.00	.00	75.01	3000.24	5401.209
2	24.0	.00	.00	75.01	3000.24	5401.037
3	24.0	.00	.00	75.01	3000.24	5400.864
4	24.0	.00	.00	75.00	3000.24	5400.691
5	24.0	.00	.00	75.00	3000.24	5400.518

Carico totale = 27004.320 MN

Relazione 212 di 248

SS131 sezione 60
 Rilevato cedimento immediato

RISULTATI relativi alla direttrice 1
 X = .00 m Y = .00 m

Incrementi di tensioni dovuti ai carichi

Prof. m	D S'z kPa	D S'x kPa	D S'y kPa	.10 S'z	E medio
.3	120.0	119.0	119.5	.5	15000.
.8	120.0	116.9	118.5	1.4	15000.
1.3	120.0	114.9	117.5	2.3	15000.
1.8	120.0	112.9	116.4	3.2	15000.
2.3	120.0	110.9	115.4	4.2	14000.
2.8	120.0	108.8	114.4	5.1	14000.
3.3	120.0	106.8	113.4	6.0	14000.
3.8	119.9	104.8	112.4	6.9	14000.
4.3	119.9	102.8	111.4	7.9	14000.
4.8	119.9	100.9	110.4	8.8	14000.
5.3	119.9	98.7	109.3	9.9	200000.
5.9	119.8	96.4	108.1	11.2	200000.
6.5	119.7	94.2	107.0	12.5	200000.
7.0	119.7	92.0	105.8	13.8	200000.
7.6	119.6	89.8	104.7	15.2	200000.
8.2	119.5	87.6	103.5	16.5	200000.
10.6	119.0	79.0	99.0	21.8	150000.
14.7	117.4	65.4	91.4	31.2	150000.
18.9	115.0	53.6	84.3	40.5	150000.
23.1	112.0	43.8	77.8	46.8	150000.
27.2	108.4	35.7	72.0	52.0	150000.
31.4	104.4	29.2	66.7	57.2	150000.
35.5	100.2	23.9	62.0	62.4	150000.
39.7	96.0	19.7	57.8	67.6	150000.
43.9	91.8	16.3	54.0	72.8	150000.
48.0	87.7	13.6	50.6	78.0	150000.
52.2	83.8	11.4	47.5	83.2	150000.

D S'z,x,y = incrementi di tensione indotti dai carichi
 S'z = tensione verticale efficace litostatica

SS131 sezione 60
 Rilevato cedimento immediato

RISULTATI relativi alla direttrice 1
 X = .00 m Y = .00 m

Cedimenti totali

Cedimenti parziali

Prof. m	Cedimento mm	da m	a m	D cedim. mm
.0	18.5	.0	.5	.0
.5	18.5	.5	1.0	.1
1.0	18.4	1.0	1.5	.1
1.5	18.3	1.5	2.0	.2
2.0	18.1	2.0	2.5	.2
2.5	17.9	2.5	3.0	.3
3.0	17.6	3.0	3.5	.4
3.5	17.2	3.5	4.0	.4
4.0	16.8	4.0	4.5	.5
4.5	16.3	4.5	5.0	.5
5.0	15.8	5.0	5.6	.0
5.6	15.8	5.6	6.2	.1
6.2	15.7	6.2	6.8	.1
6.8	15.7	6.8	7.3	.1
7.3	15.6	7.3	7.9	.1
7.9	15.5	7.9	8.5	.1
8.5	15.5	8.5	12.7	.8
12.7	14.6	12.7	16.8	1.1
16.8	13.6	16.8	21.0	1.3
21.0	12.3	21.0	25.1	1.4
25.1	10.9	25.1	29.3	1.5
29.3	9.4	29.3	33.5	1.6
33.5	7.8	33.5	37.6	1.6
37.6	6.2	37.6	41.8	1.6
41.8	4.6	41.8	45.9	1.6
45.9	3.0	45.9	50.1	1.5
50.1	1.5	50.1	54.3	1.5
54.3	.0	54.3		

Cedimento totale = 18.5 mm

13. APPENDICE B. ANALISI DI STABILITA'. METODOLOGIE E TABULATI DI CALCOLO SLIDE

13.1 Rilevato – analisi di stabilità statica SLU

Slide Analysis Information *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

Project Summary

File Name: Sez_60.slmd - Group 1 - Scenario 1
Slide Modeler Version: 7.026
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 07/08/2017, 11:53:15

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	days
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Right to Left
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Number of slices:	50	Bishop simplified
Tolerance:	0.005	Janbu simplified
Maximum number of iterations:	75	
Check malpha < 0.2:	Yes	
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes	

Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Slope Search
Number of Surfaces: 5000
Upper Angle: Not Defined
Lower Angle: Not Defined
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Invalid Surfaces
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 26
Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	Ra	LAS
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	4
Friction Angle [deg]	30.2	23
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.173700
Center:	7.808, 28.849
Radius:	18.976
Left Slip Surface Endpoint:	10.000, 10.000
Right Slip Surface Endpoint:	21.771, 16.000
Resisting Moment:	1180.6 kN-m
Driving Moment:	1005.87 kN-m
Total Slice Area:	6.33139 m ²
Surface Horizontal Width:	11.7711 m
Surface Average Height:	0.537876 m

Method: janbu simplified

FS	1.123470
Center:	7.808, 28.849
Radius:	18.976
Left Slip Surface Endpoint:	10.000, 10.000
Right Slip Surface Endpoint:	21.771, 16.000
Resisting Horizontal Force:	53.7475 kN
Driving Horizontal Force:	47.8405 kN
Total Slice Area:	6.33139 m2
Surface Horizontal Width:	11.7711 m
Surface Average Height:	0.537876 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4743
Number of Invalid Surfaces: 257

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 4742
Number of Invalid Surfaces: 258

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1737

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.235422	0.278886	6.99388	Ra	0	30.2	0.553775	0.649966	1.11675	0	1.11675	1.18469	1.18469
2	0.235422	0.830138	7.71061	Ra	0	30.2	1.63865	1.92328	3.30452	0	3.30452	3.52638	3.52638
3	0.235422	1.36832	8.42856	Ra	0	30.2	2.68505	3.15144	5.41471	0	5.41471	5.81257	5.81257
4	0.235422	1.89335	9.14784	Ra	0	30.2	3.69341	4.33496	7.44821	0	7.44821	8.04296	8.04296
5	0.235422	2.40517	9.86858	Ra	0	30.2	4.66415	5.47431	9.40581	0	9.40581	10.2172	10.2172
6	0.235422	2.90368	10.5909	Ra	0	30.2	5.59764	6.56995	11.2883	0	11.2883	12.335	12.335
7	0.235422	3.25313	11.3149	Ra	0	30.2	6.23424	7.31713	12.5721	0	12.5721	13.8195	13.8195
8	0.235422	3.08798	12.0408	Ra	0	30.2	5.88272	6.90455	11.8632	0	11.8632	13.118	13.118
9	0.235422	2.86245	12.7686	Ra	0	30.2	5.42073	6.36231	10.9315	0	10.9315	12.16	12.16
10	0.235422	2.6232	13.4986	Ra	0	30.2	4.93811	5.79586	9.95828	0	9.95828	11.1437	11.1437
11	0.235422	2.37012	14.2307	Ra	0	30.2	4.43507	5.20544	8.94382	0	8.94382	10.0686	10.0686
12	0.235422	2.10307	14.9653	Ra	0	30.2	3.91177	4.59125	7.88856	0	7.88856	8.93417	8.93417
13	0.235422	1.8219	15.7024	Ra	0	30.2	3.36842	3.95352	6.79281	0	6.79281	7.73978	7.73978
14	0.235422	1.52648	16.4421	Ra	0	30.2	2.80517	3.29243	5.65698	0	5.65698	6.48483	6.48483
15	0.235422	1.21664	17.1847	Ra	0	30.2	2.22219	2.60819	4.48132	0	4.48132	5.16855	5.16855
16	0.235422	0.892204	17.9303	Ra	0	30.2	1.61966	1.90099	3.26623	0	3.26623	3.79031	3.79031
17	0.235422	0.553039	18.679	Ra	0	30.2	0.997776	1.17109	2.01214	0	2.01214	2.34946	2.34946
18	0.235422	0.547991	19.431	Ra	0	30.2	0.982551	1.15322	1.98142	0	1.98142	2.32803	2.32803
19	0.235422	0.862208	20.1866	Ra	0	30.2	1.53629	1.80314	3.0981	0	3.0981	3.66294	3.66294
20	0.235422	1.16104	20.9458	Ra	0	30.2	2.05571	2.41279	4.1456	0	4.1456	4.93248	4.93248
21	0.235422	1.44425	21.7089	Ra	0	30.2	2.54092	2.98228	5.12408	0	5.12408	6.13569	6.13569
22	0.235422	1.71159	22.4761	Ra	0	30.2	2.99197	3.51167	6.03364	0	6.03364	7.27149	7.27149
23	0.235422	1.96281	23.2476	Ra	0	30.2	3.40889	4.00101	6.87442	0	6.87442	8.33882	8.33882
24	0.235422	2.19763	24.0235	Ra	0	30.2	3.79171	4.45033	7.64645	0	7.64645	9.33649	9.33649
25	0.235422	2.41575	24.8041	Ra	0	30.2	4.14044	4.85963	8.34969	0	8.34969	10.2632	10.2632
26	0.235422	2.61686	25.5897	Ra	0	30.2	4.45505	5.22889	8.98413	0	8.98413	11.1176	11.1176
27	0.235422	2.80062	26.3805	Ra	0	30.2	4.73551	5.55807	9.54972	0	9.54972	11.8984	11.8984
28	0.235422	2.9667	27.1768	Ra	0	30.2	4.98178	5.84711	10.0463	0	10.0463	12.6041	12.6041
29	0.235422	3.11469	27.9787	Ra	0	30.2	5.19375	6.0959	10.4738	0	10.4738	13.2329	13.2329
30	0.235422	3.24422	28.7867	Ra	0	30.2	5.37135	6.30435	10.832	0	10.832	13.7833	13.7833
31	0.235422	3.35484	29.601	Ra	0	30.2	5.51446	6.47232	11.1206	0	11.1206	14.2533	14.2533
32	0.235422	3.4461	30.4219	Ra	0	30.2	5.62294	6.59964	11.3393	0	11.3393	14.6411	14.6411
33	0.235422	3.51752	31.2498	Ra	0	30.2	5.69662	6.68612	11.4879	0	11.4879	14.9447	14.9447
34	0.235422	3.56858	32.085	Ra	0	30.2	5.73534	6.73157	11.566	0	11.566	15.1617	15.1617
35	0.235422	3.59871	32.9279	Ra	0	30.2	5.73889	6.73574	11.5732	0	11.5732	15.2898	15.2898
36	0.235422	3.60733	33.779	Ra	0	30.2	5.70706	6.69838	11.5089	0	11.5089	15.3265	15.3265
37	0.235422	3.59378	34.6386	Ra	0	30.2	5.63959	6.61919	11.3729	0	11.3729	15.269	15.269
38	0.235422	3.55738	35.5071	Ra	0	30.2	5.55623	6.49787	11.1645	0	11.1645	15.1145	15.1145
39	0.235422	3.49739	36.3852	Ra	0	30.2	5.39668	6.33408	10.8831	0	10.8831	14.8597	14.8597
40	0.235422	3.41301	37.2733	Ra	0	30.2	5.22064	6.12746	10.528	0	10.528	14.5012	14.5012
41	0.235422	3.30337	38.1721	Ra	0	30.2	5.00775	5.8776	10.0987	0	10.0987	14.0355	14.0355
42	0.235422	3.16754	39.082	Ra	0	30.2	4.75769	5.5841	9.59446	0	9.59446	13.4585	13.4585
43	0.235422	3.00449	40.0039	Ra	0	30.2	4.47006	5.24651	9.01442	0	9.01442	12.7658	12.7658

Relazione 219 di 248

44	0.235422	2.81312	40.9383	Ra	0	30.2	4.14447	4.86437	8.35783	0	8.35783	11.9527	11.9527
45	0.235422	2.59223	41.8862	Ra	0	30.2	3.7805	4.43717	7.62384	0	7.62384	11.0142	11.0142
46	0.235422	2.34047	42.8484	Ra	0	30.2	3.3777	3.96441	6.81155	0	6.81155	9.94464	9.94464
47	0.235422	2.05642	43.8258	Ra	0	30.2	2.9562	3.44554	5.92002	0	5.92002	8.73772	8.73772
48	0.235422	1.73845	44.8195	Ra	0	30.2	2.4538	2.88002	4.94837	0	4.94837	7.38676	7.38676
49	0.235422	1.3768	45.8306	Ra	0	30.2	1.92056	2.25416	3.87305	0	3.87305	5.85012	5.85012
50	0.235422	0.547091	46.8605	Ra	0	30.2	0.753834	0.884775	1.5202	0	1.5202	2.32465	2.32465

• Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.12347

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.235422	0.278886	6.99388	Ra	0	30.2	0.577024	0.648269	1.11384	0	1.11384	1.18462	1.18462
2	0.235422	0.830138	7.71061	Ra	0	30.2	1.70701	1.91777	3.29506	0	3.29506	3.52618	3.52618
3	0.235422	1.36832	8.42856	Ra	0	30.2	2.79635	3.14162	5.39786	0	5.39786	5.81222	5.81222
4	0.235422	1.89335	9.14784	Ra	0	30.2	3.84556	4.32037	7.42313	0	7.42313	8.04238	8.04238
5	0.235422	2.40517	9.86858	Ra	0	30.2	4.85508	5.45454	9.37183	0	9.37183	10.2164	10.2164
6	0.235422	2.90368	10.5909	Ra	0	30.2	5.82534	6.5446	11.2448	0	11.2448	12.334	12.334
7	0.235422	3.25313	11.3149	Ra	0	30.2	6.48624	7.2871	12.5205	0	12.5205	13.8184	13.8184
8	0.235422	3.08798	12.0408	Ra	0	30.2	6.11902	6.87453	11.8116	0	11.8116	13.1168	13.1168
9	0.235422	2.86245	12.7686	Ra	0	30.2	5.63709	6.3331	10.8814	0	10.8814	12.1588	12.1588
10	0.235422	2.6232	13.4396	Ra	0	30.2	5.13396	5.76785	9.91017	0	9.91017	11.1426	11.1426
11	0.235422	2.37012	14.2307	Ra	0	30.2	4.60985	5.17903	8.89845	0	8.89845	10.0676	10.0676
12	0.235422	2.10307	14.9653	Ra	0	30.2	4.06495	4.56685	7.84662	0	7.84662	8.93318	8.93318
13	0.235422	1.8219	15.7024	Ra	0	30.2	3.49948	3.93156	6.75511	0	6.75511	7.73892	7.73892
14	0.235422	1.52648	16.4421	Ra	0	30.2	2.91361	3.27335	5.62418	0	5.62418	6.48403	6.48403
15	0.235422	1.21664	17.1847	Ra	0	30.2	2.30755	2.59246	4.45429	0	4.45429	5.16792	5.16792
16	0.235422	0.892204	17.9303	Ra	0	30.2	1.68146	1.88907	3.24574	0	3.24574	3.78982	3.78982
17	0.235422	0.553039	18.679	Ra	0	30.2	1.0356	1.16347	1.99904	0	1.99904	2.34915	2.34915
18	0.235422	0.547991	19.431	Ra	0	30.2	1.01955	1.14543	1.96804	0	1.96804	2.3277	2.3277
19	0.235422	0.862208	20.1866	Ra	0	30.2	1.59375	1.79053	3.07644	0	3.07644	3.6624	3.6624
20	0.235422	1.16104	20.9458	Ra	0	30.2	2.1321	2.39535	4.1156	0	4.1156	4.93173	4.93173
21	0.235422	1.44425	21.7089	Ra	0	30.2	2.63469	2.96	5.0858	0	5.0858	6.13475	6.13475
22	0.235422	1.71159	22.4761	Ra	0	30.2	3.10163	3.48459	5.98713	0	5.98713	7.27035	7.27035
23	0.235422	1.96281	23.2476	Ra	0	30.2	3.53297	3.96919	6.81974	0	6.81974	8.33745	8.33745
24	0.235422	2.19763	24.0235	Ra	0	30.2	3.92877	4.41385	7.58375	0	7.58375	9.33488	9.33488
25	0.235422	2.41575	24.8041	Ra	0	30.2	4.28904	4.81861	8.2792	0	8.2792	10.2614	10.2614
26	0.235422	2.61686	25.5897	Ra	0	30.2	4.6138	5.18347	8.90609	0	8.90609	11.1156	11.1156
27	0.235422	2.80062	26.3805	Ra	0	30.2	4.90305	5.50843	9.46444	0	9.46444	11.8963	11.8963
28	0.235422	2.9667	27.1768	Ra	0	30.2	5.15673	5.79343	9.95411	0	9.95411	12.6017	12.6017
29	0.235422	3.11469	27.9787	Ra	0	30.2	5.37479	6.03842	10.375	0	10.375	13.2303	13.2303
30	0.235422	3.24422	28.7867	Ra	0	30.2	5.55718	6.24332	10.7271	0	10.7271	13.7805	13.7805
31	0.235422	3.35484	29.601	Ra	0	30.2	5.70377	6.40801	11.0101	0	11.0101	14.2504	14.2504
32	0.235422	3.4461	30.4219	Ra	0	30.2	5.81446	6.53237	11.2237	0	11.2237	14.638	14.638
33	0.235422	3.51752	31.2498	Ra	0	30.2	5.88912	6.61625	11.3678	0	11.3678	14.9414	14.9414
34	0.235422	3.56858	32.085	Ra	0	30.2	5.92758	6.65946	11.4421	0	11.4421	15.1583	15.1583
35	0.235422	3.59871	32.9279	Ra	0	30.2	5.92966	6.6618	11.4461	0	11.4461	15.2863	15.2863
36	0.235422	3.60733	33.779	Ra	0	30.2	5.89518	6.62306	11.3796	0	11.3796	15.3229	15.3229
37	0.235422	3.59378	34.6386	Ra	0	30.2	5.82388	6.54296	11.2419	0	11.2419	15.2653	15.2653

38	0.235422	3.55738	35.5071	Ra	0	30.2	5.71555	6.42125	11.0328	0	11.0328	15.1108	15.1108
39	0.235422	3.49739	36.3852	Ra	0	30.2	5.5699	6.25762	10.7517	0	10.7517	14.8559	14.8559
40	0.235422	3.41301	37.2733	Ra	0	30.2	5.38666	6.05175	10.3979	0	10.3979	14.4975	14.4975
41	0.235422	3.30337	38.1721	Ra	0	30.2	5.1655	5.80328	9.97103	0	9.97103	14.0318	14.0318
42	0.235422	3.16754	39.082	Ra	0	30.2	4.90609	5.51185	9.47029	0	9.47029	13.4548	13.4548
43	0.235422	3.00449	40.0039	Ra	0	30.2	4.60809	5.17705	8.89507	0	8.89507	12.7622	12.7622
44	0.235422	2.81312	40.9383	Ra	0	30.2	4.27112	4.79847	8.24459	0	8.24459	11.9493	11.9493
45	0.235422	2.59223	41.8862	Ra	0	30.2	3.89478	4.37567	7.51815	0	7.51815	11.011	11.011
46	0.235422	2.34047	42.8484	Ra	0	30.2	3.47867	3.90818	6.71494	0	6.71494	9.94169	9.94169
47	0.235422	2.05642	43.8258	Ra	0	30.2	3.02237	3.39554	5.83412	0	5.83412	8.73508	8.73508
48	0.235422	1.73845	44.8195	Ra	0	30.2	2.52543	2.83725	4.87489	0	4.87489	7.38446	7.38446
49	0.235422	1.3768	45.8306	Ra	0	30.2	1.97594	2.21991	3.81418	0	3.81418	5.84826	5.84826
50	0.235422	0.547091	46.8605	Ra	0	30.2	0.775286	0.871011	1.49655	0	1.49655	2.32389	2.32389

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1737

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	10.0004	10.0002	0	0	0
2	10.2358	10.0291	0.0979933	0	0
3	10.4712	10.061	0.378066	0	0
4	10.7066	10.0959	0.820692	0	0
5	10.9421	10.1338	1.40701	0	0
6	11.1775	10.1748	2.11879	0	0
7	11.4129	10.2188	2.93843	0	0
8	11.6483	10.2659	3.81248	0	0
9	11.8837	10.3161	4.60036	0	0
10	12.1192	10.3694	5.29208	0	0
11	12.3546	10.426	5.89073	0	0
12	12.59	10.4857	6.39985	0	0
13	12.8254	10.5486	6.82347	0	0
14	13.0609	10.6148	7.16613	0	0
15	13.2963	10.6843	7.43287	0	0
16	13.5317	10.7571	7.62926	0	0
17	13.7671	10.8332	7.76138	0	0
18	14.0025	10.9128	7.83591	0	0
19	14.238	10.9959	7.90245	0	0
20	14.4734	11.0824	7.99562	0	0
21	14.7088	11.1725	8.10554	0	0
22	14.9442	11.2663	8.22288	0	0
23	15.1797	11.3637	8.3389	0	0
24	15.4151	11.4648	8.44543	0	0
25	15.6505	11.5697	8.53487	0	0

Relazione 221 di 248

26	15.8859	11.6785	8.60023	0	0	0
27	16.1213	11.7913	8.63514	0	0	0
28	16.3568	11.908	8.63384	0	0	0
29	16.5922	12.0289	8.59124	0	0	0
30	16.8276	12.154	8.50289	0	0	0
31	17.063	12.2833	8.36507	0	0	0
32	17.2984	12.4171	8.17474	0	0	0
33	17.5339	12.5553	7.92966	0	0	0
34	17.7693	12.6982	7.62836	0	0	0
35	18.0047	12.8458	7.27022	0	0	0
36	18.2401	12.9982	6.8555	0	0	0
37	18.4756	13.1557	6.38539	0	0	0
38	18.711	13.3184	5.8621	0	0	0
39	18.9464	13.4863	5.28892	0	0	0
40	19.1818	13.6598	4.67027	0	0	0
41	19.4172	13.839	4.01184	0	0	0
42	19.6527	14.024	3.32064	0	0	0
43	19.8881	14.2152	2.60518	0	0	0
44	20.1235	14.4128	1.87555	0	0	0
45	20.3589	14.617	1.14361	0	0	0
46	20.5944	14.8281	0.423149	0	0	0
47	20.8298	15.0465	-0.269881	0	0	0
48	21.0652	15.2725	-0.917154	0	0	0
49	21.3006	15.5064	-1.49767	0	0	0
50	21.536	15.7488	-1.98459	0	0	0
51	21.7715	16	0	0	0	0

• Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.12347

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	10.0004	10.0002	0	0	0
2	10.2358	10.0291	0.103673	0	0
3	10.4712	10.061	0.400503	0	0
4	10.7066	10.0959	0.870515	0	0
5	10.9421	10.1338	1.49441	0	0
6	11.1775	10.1748	2.25356	0	0
7	11.4129	10.2188	3.12997	0	0
8	11.6483	10.2659	4.06715	0	0
9	11.8837	10.3161	4.91455	0	0
10	12.1192	10.3694	5.66109	0	0
11	12.3546	10.426	6.30965	0	0
12	12.59	10.4857	6.8636	0	0
13	12.8254	10.5486	7.32679	0	0

14	13.0609	10.6148	7.70354	0	0	0
15	13.2963	10.6843	7.99871	0	0	0
16	13.5317	10.7571	8.21765	0	0	0
17	13.7671	10.8332	8.36624	0	0	0
18	14.0025	10.9128	8.45094	0	0	0
19	14.238	10.9959	8.52751	0	0	0
20	14.4734	11.0824	8.63642	0	0	0
21	14.7088	11.1725	8.76748	0	0	0
22	14.9442	11.2663	8.91105	0	0	0
23	15.1797	11.3637	9.05808	0	0	0
24	15.4151	11.4648	9.2001	0	0	0
25	15.6505	11.5697	9.32922	0	0	0
26	15.8859	11.6785	9.43815	0	0	0
27	16.1213	11.7913	9.52022	0	0	0
28	16.3568	11.908	9.56937	0	0	0
29	16.5922	12.0289	9.5802	0	0	0
30	16.8276	12.154	9.54798	0	0	0
31	17.063	12.2833	9.46865	0	0	0
32	17.2984	12.4171	9.33888	0	0	0
33	17.5339	12.5553	9.15611	0	0	0
34	17.7693	12.6982	8.91854	0	0	0
35	18.0047	12.8458	8.62521	0	0	0
36	18.2401	12.9982	8.27603	0	0	0
37	18.4756	13.1557	7.87185	0	0	0
38	18.711	13.3184	7.4145	0	0	0
39	18.9464	13.4863	6.90687	0	0	0
40	19.1818	13.6598	6.35298	0	0	0
41	19.4172	13.839	5.75809	0	0	0
42	19.6527	14.024	5.12877	0	0	0
43	19.8881	14.2152	4.47304	0	0	0
44	20.1235	14.4128	3.80047	0	0	0
45	20.3589	14.617	3.12238	0	0	0
46	20.5944	14.8281	2.45197	0	0	0
47	20.8298	15.0465	1.80455	0	0	0
48	21.0652	15.2725	1.19776	0	0	0
49	21.3006	15.5064	0.651846	0	0	0
50	21.536	15.7488	0.192653	0	0	0
51	21.7715	16	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	0
40	0

Distributed Load

X	Y
40	16
21.8399	16

External Boundary

X	Y
0	0
40	0
40	10
40	16
21.5	16
14	11
11.5	11
10	10
0	10

Material Boundary

X	Y
10	10
40	10

13.2 Rilevato – analisi di stabilità sismica SLU

Slide Analysis Information **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

Project Summary

File Name: Sez_60.slmd - Scenario 2
Slide Modeler Version: 7.026
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 07/08/2017, 12:25:34

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
Janbu simplified
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check malpha < 0.2: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Slope Search
Number of Surfaces: 5000
Upper Angle: Not Defined
Lower Angle: Not Defined
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Invalidd Surfaces
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.018
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.009

Material Properties

Property	Ra	LAS
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	4
Friction Angle [deg]	30.2	23
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.286390
Center:	10.836, 24.349
Radius:	14.433
Left Slip Surface Endpoint:	9.285, 10.000
Right Slip Surface Endpoint:	22.609, 16.000
Resisting Moment:	2436.57 kN-m
Driving Moment:	1894.12 kN-m
Total Slice Area:	15.8039 m ²
Surface Horizontal Width:	13.3241 m
Surface Average Height:	1.18611 m

Method: janbu simplified

FS	1.189250
Center:	10.836, 24.349
Radius:	14.433
Left Slip Surface Endpoint:	9.285, 10.000

Right Slip Surface Endpoint: 22.609, 16.000
Resisting Horizontal Force: 145.597 kN
Driving Horizontal Force: 122.427 kN
Total Slice Area: 15.8039 m²
Surface Horizontal Width: 13.3241 m
Surface Average Height: 1.18611 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4731
Number of Invalid Surfaces: 269

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 4728
Number of Invalid Surfaces: 272

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28639

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.258549	0.061222	-5.65446	LAS	4	23	3.29579	4.23968	0.564645	0	0.564645	0.238327	0.238327
2	0.258549	0.172454	-4.62389	LAS	4	23	3.42273	4.40297	0.949329	0	0.949329	0.672506	0.672506
3	0.258549	0.284067	-3.59481	LAS	4	23	3.54871	4.56503	1.33113	0	1.33113	1.10818	1.10818
4	0.258549	0.933815	-2.5669	LAS	4	23	4.37661	5.63003	3.84011	0	3.84011	3.64391	3.64391
5	0.258549	1.80261	-1.53981	LAS	4	23	5.47928	7.04849	7.18178	0	7.18178	7.03449	7.03449
6	0.258549	2.64922	-0.513214	LAS	4	23	6.54028	8.41335	10.3972	0	10.3972	10.3386	10.3386
7	0.258549	3.47367	0.513214	LAS	4	23	7.56036	9.72557	13.4886	0	13.4886	13.5563	13.5563
8	0.258549	4.27596	1.53981	LAS	4	23	8.54019	10.986	16.458	0	16.458	16.6876	16.6876
9	0.258549	4.97866	2.5669	LAS	4	23	9.38216	12.0691	19.0096	0	19.0096	19.4302	19.4302
10	0.258549	5.04446	3.59481	LAS	4	23	9.4107	12.1058	19.0961	0	19.0961	19.6873	19.6873
11	0.258549	4.9556	4.62389	LAS	4	23	9.24474	11.8923	18.5932	0	18.5932	19.3409	19.3409
12	0.258549	4.84437	5.65446	LAS	4	23	9.05255	11.6451	18.0107	0	18.0107	18.907	18.907
13	0.268989	4.89757	6.70776	Ra	0	30.2	7.89263	10.153	17.4447	0	17.4447	18.3729	18.3729
14	0.268989	4.72737	7.78424	Ra	0	30.2	7.5565	9.7206	16.7017	0	16.7017	17.7347	17.7347
15	0.268989	4.5315	8.86349	Ra	0	30.2	7.18462	9.24222	15.8797	0	15.8797	17.0001	17.0001

Relazione 228 di 248

16	0.268989	4.30977	9.94593	Ra	0	30.2	6.7756	8.71859	14.98	0	14.98	16.1685	16.1685
17	0.268989	4.06193	11.032	Ra	0	30.2	6.33582	8.15034	14.0037	0	14.0037	15.2389	15.2389
18	0.268989	3.78771	12.122	Ra	0	30.2	5.85988	7.53809	12.9517	0	12.9517	14.2103	14.2103
19	0.268989	3.93831	13.2166	Ra	0	30.2	6.04294	7.77358	13.3564	0	13.3564	14.7756	14.7756
20	0.268989	4.50271	14.316	Ra	0	30.2	6.85204	8.8144	15.1447	0	15.1447	16.8933	16.8933
21	0.268989	5.03967	15.4209	Ra	0	30.2	7.60559	9.78376	16.8102	0	16.8102	18.9081	18.9081
22	0.268989	5.54878	16.5317	Ra	0	30.2	8.30394	10.6821	18.3537	0	18.3537	20.8185	20.8185
23	0.268989	6.02957	17.6489	Ra	0	30.2	8.94744	11.5099	19.776	0	19.776	22.6227	22.6227
24	0.268989	6.48151	18.7732	Ra	0	30.2	9.53622	12.2673	21.0773	0	21.0773	24.3187	24.3187
25	0.268989	6.90406	19.9049	Ra	0	30.2	10.0704	12.9545	22.258	0	22.258	25.9044	25.9044
26	0.268989	7.29658	21.0448	Ra	0	30.2	10.5501	13.5715	23.3183	0	23.3183	27.3775	27.3775
27	0.268989	7.6584	22.1935	Ra	0	30.2	10.9753	14.1185	24.258	0	24.258	28.7355	28.7355
28	0.268989	7.98878	23.3517	Ra	0	30.2	11.3459	14.5952	25.0771	0	25.0771	29.9756	29.9756
29	0.268989	8.2869	24.5201	Ra	0	30.2	11.6617	15.0015	25.7752	0	25.7752	31.0946	31.0946
30	0.268989	8.55189	25.6995	Ra	0	30.2	11.9225	15.337	26.3516	0	26.3516	32.0894	32.0894
31	0.268989	8.78276	26.8907	Ra	0	30.2	12.128	15.6013	26.8057	0	26.8057	32.9561	32.9561
32	0.268989	8.97844	28.0946	Ra	0	30.2	12.2777	15.7939	27.1367	0	27.1367	33.6909	33.6909
33	0.268989	9.13777	29.3121	Ra	0	30.2	12.3712	15.9142	27.3434	0	27.3434	34.2893	34.2893
34	0.268989	9.25944	30.5444	Ra	0	30.2	12.408	15.9615	27.4245	0	27.4245	34.7464	34.7464
35	0.268989	9.34203	31.7925	Ra	0	30.2	12.3872	15.9348	27.3786	0	27.3786	35.0568	35.0568
36	0.268989	9.38396	33.0577	Ra	0	30.2	12.3082	15.8331	27.204	0	27.204	35.2147	35.2147
37	0.268989	9.38347	34.3414	Ra	0	30.2	12.17	15.6554	26.8987	0	26.8987	35.2134	35.2134
38	0.268989	9.33863	35.6451	Ra	0	30.2	11.9718	15.4004	26.4605	0	26.4605	35.0457	35.0457
39	0.268989	9.24726	36.9703	Ra	0	30.2	11.7123	15.0666	25.887	0	25.887	34.7034	34.7034
40	0.268989	9.1069	38.3192	Ra	0	30.2	11.3904	14.6525	25.1755	0	25.1755	34.1773	34.1773
41	0.268989	8.91483	39.6936	Ra	0	30.2	11.0046	14.1562	24.3229	0	24.3229	33.457	33.457
42	0.268989	8.66791	41.0959	Ra	0	30.2	10.5536	13.576	23.3258	0	23.3258	32.531	32.531
43	0.268989	8.36262	42.5289	Ra	0	30.2	10.0354	12.9094	22.1806	0	22.1806	31.3857	31.3857
44	0.268989	7.99486	43.9957	Ra	0	30.2	9.44846	12.1544	20.8833	0	20.8833	30.0062	30.0062
45	0.268989	7.55996	45.4996	Ra	0	30.2	8.79057	11.3081	19.4292	0	19.4292	28.3745	28.3745
46	0.268989	7.0456	47.0449	Ra	0	30.2	8.05183	10.3578	17.7964	0	17.7964	26.4445	26.4445
47	0.268989	5.90919	48.6364	Ra	0	30.2	6.62877	8.52718	14.6512	0	14.6512	22.1797	22.1797
48	0.268989	4.34349	50.2799	Ra	0	30.2	4.7756	6.14328	10.5552	0	10.5552	16.3033	16.3033
49	0.268989	2.68182	51.9823	Ra	0	30.2	2.8849	3.71111	6.37633	0	6.37633	10.0665	10.0665
50	0.268989	0.91286	53.7522	Ra	0	30.2	0.958714	1.23328	2.11898	0	2.11898	3.42661	3.42661

• Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.18925

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [Kpa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [Kpa]	Shear Strength [Kpa]	Base Normal Stress [Kpa]	Pore Pressure [Kpa]	Effective Normal Stress [Kpa]	Base Vertical Stress [Kpa]	Effective Vertical Stress [Kpa]
1	0.258549	0.061222	-5.65446	LAS	4	23	3.57507	4.25165	0.592846	0	0.592846	0.238877	0.238877
2	0.258549	0.172454	-4.62389	LAS	4	23	3.71079	4.41305	0.973092	0	0.973092	0.672972	0.672972
3	0.258549	0.284067	-3.59481	LAS	4	23	3.84536	4.5731	1.35014	0	1.35014	1.10856	1.10856
4	0.258549	0.933815	-2.5669	LAS	4	23	4.74004	5.63709	3.85674	0	3.85674	3.64424	3.64424
5	0.258549	1.80261	-1.53981	LAS	4	23	5.93126	7.05375	7.19419	0	7.19419	7.03475	7.03475
6	0.258549	2.64922	-0.513214	LAS	4	23	7.07625	8.41543	10.4021	0	10.4021	10.3387	10.3387
7	0.258549	3.47367	0.513214	LAS	4	23	8.17589	9.72318	13.483	0	13.483	13.5562	13.5562
8	0.258549	4.27596	1.53981	LAS	4	23	9.231	10.978	16.4391	0	16.4391	16.6872	16.6872
9	0.258549	4.97866	2.5669	LAS	4	23	10.1362	12.0545	18.9751	0	18.9751	19.4295	19.4295

10	0.258549	5.04446	3.59481	LAS	4	23	10.1622	12.0854	19.0479	0	19.0479	19.6863	19.6863
11	0.258549	4.9556	4.62389	LAS	4	23	9.97824	11.8666	18.5326	0	18.5326	19.3396	19.3396
12	0.258549	4.84437	5.65446	LAS	4	23	9.76622	11.6145	17.9386	0	17.9386	18.9055	18.9055
13	0.268989	4.89757	6.70776	Ra	0	30.2	8.50149	10.1104	17.3715	0	17.3715	18.3714	18.3714
14	0.268989	4.72737	7.78424	Ra	0	30.2	8.13422	9.67362	16.6209	0	16.6209	17.7329	17.7329
15	0.268989	4.5315	8.86349	Ra	0	30.2	7.729	9.19171	15.7929	0	15.7929	16.9982	16.9982
16	0.268989	4.30977	9.94593	Ra	0	30.2	7.28651	8.66548	14.8888	0	14.8888	16.1665	16.1665
17	0.268989	4.06193	11.032	Ra	0	30.2	6.80733	8.09562	13.9097	0	13.9097	15.2368	15.2368
18	0.268989	3.78771	12.122	Ra	0	30.2	6.29206	7.48283	12.8568	0	12.8568	14.2082	14.2082
19	0.268989	3.93831	13.2166	Ra	0	30.2	6.4846	7.71181	13.2502	0	13.2502	14.7731	14.7731
20	0.268989	4.50271	14.316	Ra	0	30.2	7.3483	8.73897	15.0151	0	15.0151	16.8903	16.8903
21	0.268989	5.03967	15.4209	Ra	0	30.2	8.15141	9.69407	16.6561	0	16.6561	18.9045	18.9045
22	0.268989	5.54878	16.5317	Ra	0	30.2	8.89443	10.5777	18.1743	0	18.1743	20.8143	20.8143
23	0.268989	6.02957	17.6489	Ra	0	30.2	9.57772	11.3903	19.5706	0	19.5706	22.6178	22.6178
24	0.268989	6.48151	18.7732	Ra	0	30.2	10.2017	12.1324	20.8456	0	20.8456	24.3132	24.3132
25	0.268989	6.90406	19.9049	Ra	0	30.2	10.7665	12.8041	21.9997	0	21.9997	25.8982	25.8982
26	0.268989	7.29658	21.0448	Ra	0	30.2	11.2725	13.4058	23.0334	0	23.0334	27.3707	27.3707
27	0.268989	7.6584	22.1935	Ra	0	30.2	11.7195	13.9374	23.9468	0	23.9468	28.7279	28.7279
28	0.268989	7.98878	23.3517	Ra	0	30.2	12.1076	14.399	24.7399	0	24.7399	29.9673	29.9673
29	0.268989	8.2869	24.5201	Ra	0	30.2	12.4368	14.7905	25.4126	0	25.4126	31.0856	31.0856
30	0.268989	8.55189	25.6995	Ra	0	30.2	12.7068	15.1116	25.9644	0	25.9644	32.0796	32.0796
31	0.268989	8.78276	26.8907	Ra	0	30.2	12.9176	15.3622	26.3949	0	26.3949	32.9457	32.9457
32	0.268989	8.97844	28.0946	Ra	0	30.2	13.0686	15.5418	26.7034	0	26.7034	33.6798	33.6798
33	0.268989	9.13777	29.3121	Ra	0	30.2	13.1594	15.6498	26.8891	0	26.8891	34.2775	34.2775
34	0.268989	9.25944	30.5444	Ra	0	30.2	13.1897	15.6858	26.9509	0	26.9509	34.7339	34.7339
35	0.268989	9.34203	31.7925	Ra	0	30.2	13.1586	15.6489	26.8875	0	26.8875	35.0438	35.0438
36	0.268989	9.38396	33.0577	Ra	0	30.2	13.0656	15.5383	26.6975	0	26.6975	35.2011	35.2011
37	0.268989	9.38347	34.3414	Ra	0	30.2	12.9098	15.353	26.3792	0	26.3792	35.1993	35.1993
38	0.268989	9.33853	35.6451	Ra	0	30.2	12.6904	15.092	25.9307	0	25.9307	35.0312	35.0312
39	0.268989	9.24726	36.9703	Ra	0	30.2	12.4061	14.754	25.3498	0	25.3498	34.6885	34.6885
40	0.268989	9.1069	38.3192	Ra	0	30.2	12.0559	14.3375	24.6343	0	24.6343	34.162	34.162
41	0.268989	8.91483	39.6936	Ra	0	30.2	11.6384	13.841	23.7813	0	23.7813	33.4415	33.4415
42	0.268989	8.66791	41.0959	Ra	0	30.2	11.1523	13.2629	22.7879	0	22.7879	32.5153	32.5153
43	0.268989	8.36262	42.5289	Ra	0	30.2	10.5959	12.6012	21.6509	0	21.6509	31.3702	31.3702
44	0.268989	7.99486	43.9957	Ra	0	30.2	9.96737	11.8537	20.3667	0	20.3667	29.9907	29.9907
45	0.268989	7.55996	45.4996	Ra	0	30.2	9.26491	11.0183	18.9314	0	18.9314	28.3593	28.3593
46	0.268989	7.0456	47.0449	Ra	0	30.2	8.4782	10.0827	17.3238	0	17.3238	26.4298	26.4298
47	0.268989	5.90919	48.6364	Ra	0	30.2	6.97277	8.29237	14.2477	0	14.2477	22.1669	22.1669
48	0.268989	4.34349	50.2799	Ra	0	30.2	5.01807	5.96774	10.2536	0	10.2536	16.2936	16.2936
49	0.268989	2.68182	51.9823	Ra	0	30.2	3.02794	3.60098	6.18711	0	6.18711	10.0602	10.0602
50	0.268989	0.91286	53.7522	Ra	0	30.2	1.00502	1.19522	2.0536	0	2.0536	3.42439	3.42439

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28639

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	9.2851	10	0	0	0
2	9.54365	9.9744	0.863918	0	0
3	9.8022	9.95349	1.76399	0	0
4	10.0607	9.93725	2.69634	0	0
5	10.3193	9.92566	3.85354	0	0
6	10.5778	9.91871	5.28508	0	0
7	10.8364	9.91639	6.94936	0	0
8	11.0949	9.91871	8.80674	0	0
9	11.3535	9.92566	10.8194	0	0
10	11.612	9.93725	12.9308	0	0
11	11.8706	9.95349	14.9585	0	0
12	12.1291	9.9744	16.8663	0	0
13	12.3877	10	18.6543	0	0
14	12.6567	10.0316	20.1334	0	0
15	12.9257	10.0684	21.4631	0	0
16	13.1947	10.1104	22.6445	0	0
17	13.4636	10.1575	23.6801	0	0
18	13.7326	10.21	24.5737	0	0
19	14.0016	10.2677	25.3306	0	0
20	14.2706	10.3309	26.0385	0	0
21	14.5396	10.3996	26.7576	0	0
22	14.8086	10.4738	27.4617	0	0
23	15.0776	10.5536	28.126	0	0
24	15.3466	10.6392	28.7274	0	0
25	15.6155	10.7306	29.2441	0	0
26	15.8845	10.828	29.6558	0	0
27	16.1535	10.9315	29.9438	0	0
28	16.4225	11.0412	30.0907	0	0
29	16.6915	11.1574	30.081	0	0
30	16.9605	11.2801	29.9004	0	0
31	17.2295	11.4095	29.5363	0	0
32	17.4985	11.5459	28.978	0	0
33	17.7675	11.6895	28.2162	0	0
34	18.0364	11.8406	27.2439	0	0
35	18.3054	11.9993	26.0557	0	0
36	18.5744	12.166	24.6486	0	0
37	18.8434	12.3411	23.0218	0	0
38	19.1124	12.5249	21.1772	0	0
39	19.3814	12.7178	19.1193	0	0
40	19.6504	12.9202	16.856	0	0
41	19.9194	13.1328	14.3985	0	0

42	20.1884	13.3561	11.7623	0	0
43	20.4573	13.5907	8.96713	0	0
44	20.7263	13.8374	6.03839	0	0
45	20.9953	14.0972	3.00756	0	0
46	21.2643	14.3709	-0.0864655	0	0
47	21.5333	14.6598	-3.19293	0	0
48	21.8023	14.9653	-5.9954	0	0
49	22.0713	15.289	-8.20878	0	0
50	22.3403	15.6331	-9.67636	0	0
51	22.6093	16	0	0	0

• Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.18925

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	9.2851	10	0	0	0
2	9.54365	9.9744	0.938287	0	0
3	9.8022	9.95349	1.91483	0	0
4	10.0607	9.93725	2.92573	0	0
5	10.3193	9.92566	4.179	0	0
6	10.5778	9.91871	5.72988	0	0
7	10.8364	9.91639	7.53561	0	0
8	11.0949	9.91871	9.55546	0	0
9	11.3535	9.92566	11.7506	0	0
10	11.612	9.93725	14.0614	0	0
11	11.8706	9.95349	16.2883	0	0
12	12.1291	9.9744	18.3911	0	0
13	12.3877	10	20.3694	0	0
14	12.6567	10.0316	22.0182	0	0
15	12.9257	10.0684	23.5097	0	0
16	13.1947	10.1104	24.8444	0	0
17	13.4636	10.1575	26.0243	0	0
18	13.7326	10.21	27.0526	0	0
19	14.0016	10.2677	27.9339	0	0
20	14.2706	10.3309	28.77	0	0
21	14.5396	10.3996	29.6347	0	0
22	14.8086	10.4738	30.5005	0	0
23	15.0776	10.5536	31.3417	0	0
24	15.3466	10.6392	32.1343	0	0
25	15.6155	10.7306	32.8555	0	0
26	15.8845	10.828	33.4842	0	0
27	16.1535	10.9315	34.0008	0	0
28	16.4225	11.0412	34.3871	0	0
29	16.6915	11.1574	34.6266	0	0
30	16.9605	11.2801	34.7043	0	0

31	17.2295	11.4095	34.6067	0	0	0
32	17.4985	11.5459	34.3223	0	0	0
33	17.7675	11.6895	33.8411	0	0	0
34	18.0364	11.8406	33.155	0	0	0
35	18.3054	11.9993	32.2579	0	0	0
36	18.5744	12.166	31.1459	0	0	0
37	18.8434	12.3411	29.8171	0	0	0
38	19.1124	12.5249	28.2725	0	0	0
39	19.3814	12.7178	26.5156	0	0	0
40	19.6504	12.9202	24.553	0	0	0
41	19.9194	13.1328	22.3948	0	0	0
42	20.1884	13.3561	20.055	0	0	0
43	20.4573	13.5907	17.5519	0	0	0
44	20.7263	13.8374	14.9092	0	0	0
45	20.9953	14.0972	12.1565	0	0	0
46	21.2643	14.3709	9.33031	0	0	0
47	21.5333	14.6598	6.47875	0	0	0
48	21.8023	14.9653	3.89509	0	0	0
49	22.0713	15.289	1.84677	0	0	0
50	22.3403	15.6331	0.484077	0	0	0
51	22.6093	16	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	0
40	0

External Boundary

X	Y
0	0
40	0
40	10
40	16
21.5	16
14	11
11.5	11



10	10
0	10

Material Boundary

X	Y
10	10
40	10

13.3 Trincea sez 103 SS131 – analisi di stabilità statica SLU con chiodatura

Slide Analysis Information *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

Project Summary

File Name: sez 103chiodi_00.slmd - Group 1 - Scenario 1
Slide Modeler Version: 7.026
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 07/08/2017, 14:36:59

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
Janbu simplified
Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check malpha < 0.2: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 13
Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	LAS	Ba
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	19
Cohesion [kPa]	4	20
Friction Angle [deg]	24.8	23
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Support Properties

Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2.8 m
- Tensile Capacity: 200 kN
- Plate Capacity: 200 kN
- Bond Strength: 18 kN/m

Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.175530
Center:	7.124, 35.941	
Radius:	26.093	
Left Slip Surface Endpoint:	10.004, 10.008	
Right Slip Surface Endpoint:	30.324, 24.000	
Resisting Moment:	35697.2 kN-m	
Driving Moment:	30366.8 kN-m	
Passive Support Moment:	652.005 kN-m	
Total Slice Area:	118.818 m ²	
Surface Horizontal Width:	20.32 m	
Surface Average Height:	5.84736 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1390
Number of Invalid Surfaces: 3610

Slice Data

● Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.17553

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.408004	2.97463	6.78807	Ba	20	23	18.8372	22.1437	5.05018	0	5.05018	7.2924	7.2924
2	0.408004	8.89857	7.69122	Ba	20	23	30.6063	35.9786	37.6432	0	37.6432	41.7766	41.7766
3	0.408004	14.7717	8.5963	Ba	20	23	28.5306	33.5386	31.8952	0	31.8952	36.2081	36.2081
4	0.408004	20.5936	9.50355	Ba	20	23	33.2321	39.0653	44.915	0	44.915	50.4783	50.4783
5	0.408004	26.364	10.4132	Ba	20	23	37.8374	44.479	57.6688	0	57.6688	64.6223	64.6223
6	0.408004	32.0824	11.3255	Ba	20	23	42.3469	49.7801	70.1575	0	70.1575	78.6389	78.6389
7	0.408004	35.2864	12.2408	Ba	20	23	44.7405	52.5938	76.7862	0	76.7862	86.4928	86.4928
8	0.408004	34.6174	13.1592	Ba	20	23	46.9159	55.151	82.8107	0	82.8107	93.7794	93.7794
9	0.408004	33.851	14.0811	Ba	20	23	43.074	50.6348	72.1712	0	72.1712	82.9755	82.9755
10	0.408004	33.0303	15.0067	Ba	20	23	42.1674	49.5691	69.6605	0	69.6605	80.9646	80.9646
11	0.408004	32.1548	15.9363	Ba	20	23	41.224	48.4601	67.0477	0	67.0477	78.819	78.819
12	0.408004	34.2635	16.8703	Ba	20	23	42.6687	50.1583	71.0485	0	71.0485	83.9881	83.9881
13	0.408004	39.6004	17.8089	Ba	20	23	46.6533	54.8424	82.0834	0	82.0834	97.0701	97.0701
14	0.408004	44.8812	18.7525	Ba	20	23	50.543	59.4148	92.8554	0	92.8554	110.015	110.015
15	0.408004	50.1038	19.7014	Ba	20	23	54.3363	63.8739	103.36	0	103.36	122.817	122.817
16	0.408004	55.2671	20.656	Ba	20	23	58.0323	68.2187	113.596	0	113.596	135.474	135.474
17	0.408004	60.37	21.6166	Ba	20	23	61.6305	72.4485	123.561	0	123.561	147.983	147.983
18	0.408004	63.1102	22.5836	Ba	20	23	63.359	74.4804	128.348	0	128.348	154.7	154.7
19	0.408004	61.8313	23.5574	Ba	20	23	61.9844	72.8645	124.541	0	124.541	151.566	151.566
20	0.408004	60.4198	24.5386	Ba	20	23	60.5176	71.1402	120.479	0	120.479	148.107	148.107
21	0.408004	58.9426	25.5274	Ba	20	23	59.0107	69.3689	116.306	0	116.306	144.487	144.487
22	0.408004	57.398	26.5245	Ba	20	23	57.4635	67.5501	112.021	0	112.021	140.702	140.702
23	0.408004	58.6452	27.5303	Ba	20	23	58.0064	68.1883	113.524	0	113.524	143.76	143.76
24	0.408004	63.2788	28.5454	Ba	20	23	61.0365	71.7502	121.916	0	121.916	155.119	155.119
25	0.408004	67.8261	29.5705	Ba	20	23	63.949	75.174	129.982	0	129.982	166.266	166.266
26	0.408004	72.1734	30.606	Ba	20	23	66.6607	78.3616	137.491	0	137.491	176.924	176.924
27	0.408004	76.4149	31.6527	Ba	20	23	69.2409	81.3947	144.637	0	144.637	187.322	187.322
28	0.408004	77.2087	32.7113	Ba	20	23	69.288	81.4501	144.768	0	144.768	189.269	189.269
29	0.408004	75.135	33.7827	Ba	20	23	67.2712	79.0793	139.182	0	139.182	184.187	184.187
30	0.408004	72.9752	34.8676	Ba	20	23	65.2051	76.6505	133.46	0	133.46	178.893	178.893
31	0.408004	70.7257	35.9671	Ba	20	23	63.0886	74.1625	127.599	0	127.599	173.38	173.38
32	0.408004	68.3828	37.0821	Ba	20	23	60.9204	71.6137	121.594	0	121.594	167.638	167.638
33	0.408004	65.9425	38.2138	Ba	20	23	58.6991	69.0025	115.443	0	115.443	161.657	161.657

34	0.408004	63.4001	39.3633	Ba	20	23	56.4231	66.3271	109.14	0	109.14	155.426	155.426
35	0.408004	60.7505	40.5321	Ba	20	23	55.9173	65.7325	107.739	0	107.739	155.551	155.551
36	0.408004	57.9883	41.7217	Ba	20	23	55.2526	64.9511	105.898	0	105.898	155.164	155.164
37	0.408004	55.1069	42.9337	Ba	20	23	52.7656	62.0276	99.0108	0	99.0108	148.102	148.102
38	0.408004	52.0993	44.1701	Ba	20	23	50.2155	59.0298	91.9485	0	91.9485	140.73	140.73
39	0.408004	48.9575	45.4331	Ba	20	23	47.5997	55.9549	84.7045	0	84.7045	133.029	133.029
40	0.408004	45.6723	46.7249	Ba	20	23	44.9159	52.8	77.2718	0	77.2718	124.977	124.977
41	0.408004	42.2333	48.0485	Ba	20	23	40.6698	47.8086	65.5128	0	65.5128	110.758	110.758
42	0.408004	38.6284	49.4071	Ba	20	23	36.0294	42.3536	52.6617	0	52.6617	94.7084	94.7084
43	0.408004	34.8435	50.8044	Ba	20	23	33.1727	38.9955	44.7507	0	44.7507	85.4307	85.4307
44	0.408004	30.8621	52.2448	Ba	20	23	30.2385	35.5463	36.6249	0	36.6249	75.6712	75.6712
45	0.408004	26.6645	53.7338	Ba	20	23	27.2236	32.0022	28.2752	0	28.2752	65.3816	65.3816
46	0.408004	22.227	55.2775	Ba	20	23	24.1245	28.3591	19.6927	0	19.6927	54.5037	54.5037
47	0.408004	17.5206	56.884	Ba	20	23	20.9378	24.613	10.8676	0	10.8676	42.9664	42.9664
48	0.381273	11.9124	58.5052	LAS	4	24.8	9.55691	11.2344	15.6567	0	15.6567	31.2554	31.2554
49	0.381273	7.37468	60.1475	LAS	4	24.8	6.53395	7.68085	7.9661	0	7.9661	19.3508	19.3508
50	0.381273	2.51587	61.8767	LAS	4	24.8	3.4564	4.0631	0.136563	0	0.136563	6.60348	6.60348

• **Interslice Data**

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.17553**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	10.0039	10.0079	0	0	0
2	10.4119	10.0564	7.43457	0	0
3	10.8199	10.1115	34.1411	0	0
4	11.228	10.1732	43.8057	0	0
5	11.636	10.2415	54.2865	0	0
6	12.044	10.3165	65.3886	0	0
7	12.452	10.3982	76.9203	0	0
8	12.86	10.4867	88.3639	0	0
9	13.268	10.5821	106.881	0	0
10	13.676	10.6845	117.056	0	0
11	14.084	10.7938	126.628	0	0
12	14.492	10.9104	135.624	0	0
13	14.9	11.0341	144.229	0	0
14	15.308	11.1651	152.491	0	0
15	15.716	11.3037	160.235	0	0
16	16.124	11.4498	167.286	0	0
17	16.532	11.6036	173.473	0	0
18	16.94	11.7653	178.623	0	0
19	17.348	11.935	182.674	0	0
20	17.756	12.1128	185.79	0	0
21	18.164	12.2991	188.021	0	0
22	18.572	12.494	189.417	0	0
23	18.98	12.6976	190.033	0	0
24	19.388	12.9103	189.539	0	0
25	19.796	13.1322	187.364	0	0
26	20.204	13.3637	183.345	0	0

27	20612	13.6051	177.339	0	0	0
28	21.02	13.8566	169.189	0	0	0
29	21.428	14.1186	159.501	0	0	0
30	21.8361	14.3916	148.937	0	0	0
31	22.2441	14.6759	137.58	0	0	0
32	22.6521	14.972	125.522	0	0	0
33	23.0601	15.2803	112.863	0	0	0
34	23.4681	15.6016	99.7107	0	0	0
35	23.8761	15.9363	86.185	0	0	0
36	24.2841	16.2851	71.3959	0	0	0
37	24.6921	16.6489	55.3969	0	0	0
38	25.1001	17.0285	39.3258	0	0	0
39	25.5081	17.4249	23.3544	0	0	0
40	25.9161	17.8391	7.67448	0	0	0
41	26.3241	18.2724	-7.49853	0	0	0
42	26.7321	18.7263	-20.6544	0	0	0
43	27.1401	19.2025	-31.04	0	0	0
44	27.5481	19.7028	-39.9061	0	0	0
45	27.9561	20.2297	-46.8737	0	0	0
46	28.3641	20.7858	-51.4991	0	0	0
47	28.7721	21.3745	-53.2575	0	0	0
48	29.1801	22	-51.5189	0	0	0
49	29.5614	22.6223	-57.6212	0	0	0
50	29.9427	23.2866	-60.4239	0	0	0
51	30.3239	24	0	0	0	0

• *List Of Coordinates*

Water Table

X	Y
0	0
40	0

Distributed Load

X	Y
26.5504	24
24.0764	24

External Boundary

X	Y
0	0

40	0
40	22
40	24
21	24
20	22
19	20
17	20
14.5	15
12.5	15
10	10
0	10

Material Boundary

X	Y
20	22
40	22

13.4 Trincea sez 104 SS131 – analisi di stabilità simica SLU con chiodatura

Slide Analysis Information **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

Project Summary

File Name: sez 103chiodi_00.slmd - Group 1 - Scenario 2
Slide Modeler Version: 7.026
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 07/08/2017, 14:36:59

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
Janbu simplified
Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check malpha < 0.2: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal):	0.017
Seismic Load Coefficient (Vertical):	0.009

Material Properties

Property	LAS	Ba
----------	-----	----

Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	
Unit Weight [kN/m ³]	18.5		19
Cohesion [kPa]	4		20
Friction Angle [deg]	24.8		23
Water Surface	Water Table		Water Table
Hu Value	1		1

Support Properties

Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2.8 m
- Tensile Capacity: 200 kN
- Plate Capacity: 200 kN
- Bond Strength: 18 kN/m

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.151860
Center:	7.124, 35.941
Radius:	26.093
Left Slip Surface Endpoint:	10.004, 10.008
Right Slip Surface Endpoint:	30.324, 24.000
Resisting Moment:	35418.6 kN-m
Driving Moment:	30748.9 kN-m
Passive Support Moment:	652.005 kN-m
Total Slice Area:	118.818 m ²
Surface Horizontal Width:	20.32 m
Surface Average Height:	5.84736 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1390
Number of Invalid Surfaces: 3610

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15186

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.408004	2.97463	6.78807	Ba	20	23	19.231	22.1515	5.06853	0	5.06853	7.35763	7.35763
2	0.408004	8.89857	7.69122	Ba	20	23	31.4194	36.1907	38.1431	0	38.1431	42.3862	42.3862
3	0.408004	14.7717	8.5963	Ba	20	23	29.1995	33.6337	32.1191	0	32.1191	36.5332	36.5332
4	0.408004	20.5936	9.50355	Ba	20	23	34.0327	39.2009	45.2343	0	45.2343	50.9316	50.9316
5	0.408004	26.364	10.4132	Ba	20	23	38.7659	44.6529	58.0786	0	58.0786	65.2027	65.2027
6	0.408004	32.0824	11.3255	Ba	20	23	43.3998	49.9905	70.6531	0	70.6531	79.3453	79.3453
7	0.408004	35.2864	12.2408	Ba	20	23	45.8569	52.8207	77.3208	0	77.3208	87.2696	87.2696
8	0.408004	34.6174	13.1592	Ba	20	23	48.1247	55.4329	83.4749	0	83.4749	94.7262	94.7262
9	0.408004	33.851	14.0811	Ba	20	23	44.1356	50.838	72.6497	0	72.6497	83.7203	83.7203
10	0.408004	33.0303	15.0067	Ba	20	23	43.1998	49.7601	70.1106	0	70.1106	81.6913	81.6913
11	0.408004	32.1548	15.9363	Ba	20	23	42.2264	48.6389	67.4689	0	67.4689	79.5263	79.5263
12	0.408004	34.2635	16.8703	Ba	20	23	43.7072	50.3446	71.4874	0	71.4874	84.7419	84.7419
13	0.408004	39.6004	17.8089	Ba	20	23	47.7976	55.0561	82.5869	0	82.5869	97.9413	97.9413
14	0.408004	44.8812	18.7525	Ba	20	23	51.7895	59.6542	93.4196	0	93.4196	111.002	111.002
15	0.408004	50.1038	19.7014	Ba	20	23	55.6814	64.1372	103.981	0	103.981	123.919	123.919
16	0.408004	55.2671	20.656	Ba	20	23	59.4727	68.5042	114.269	0	114.269	136.689	136.689
17	0.408004	60.37	21.6166	Ba	20	23	63.1625	72.7544	124.282	0	124.282	149.311	149.311
18	0.408004	63.1102	22.5836	Ba	20	23	64.9314	74.7919	129.082	0	129.082	156.088	156.088
19	0.408004	61.8313	23.5574	Ba	20	23	63.5134	73.1586	125.234	0	125.234	152.926	152.926
20	0.408004	60.4198	24.5386	Ba	20	23	62.001	71.4165	121.13	0	121.13	149.436	149.436
21	0.408004	58.9426	25.5274	Ba	20	23	60.4479	69.6275	116.915	0	116.915	145.783	145.783
22	0.408004	57.398	26.5245	Ba	20	23	58.8535	67.791	112.589	0	112.589	141.963	141.963
23	0.408004	58.6452	27.5303	Ba	20	23	59.4047	68.4259	114.084	0	114.084	145.048	145.048
24	0.408004	63.2788	28.5454	Ba	20	23	62.5081	72.0006	122.506	0	122.506	156.509	156.509
25	0.408004	67.8261	29.5705	Ba	20	23	65.4901	75.4354	130.598	0	130.598	167.757	167.757
26	0.408004	72.1734	30.606	Ba	20	23	68.2651	78.6318	138.128	0	138.128	178.509	178.509
27	0.408004	76.4149	31.6527	Ba	20	23	70.9044	81.6719	145.29	0	145.29	189	189
28	0.408004	77.2087	32.7113	Ba	20	23	70.9447	81.7184	145.399	0	145.399	190.965	190.965
29	0.408004	75.135	33.7827	Ba	20	23	68.8679	79.3262	139.764	0	139.764	185.837	185.837
30	0.408004	72.9752	34.8676	Ba	20	23	66.7411	76.8764	133.992	0	133.992	180.496	180.496
31	0.408004	70.7257	35.9671	Ba	20	23	64.563	74.3675	128.082	0	128.082	174.933	174.933
32	0.408004	68.3828	37.0821	Ba	20	23	62.3321	71.7979	122.028	0	122.028	169.139	169.139

33	0.408004	65.9425	38.2138	Ba	20	23	60.0473	69.1661	115.828	0	115.828	163.104	163.104
34	0.408004	63.4001	39.3633	Ba	20	23	57.707	66.4704	109.477	0	109.477	156.817	156.817
35	0.408004	60.7505	40.5321	Ba	20	23	55.3097	63.709	102.972	0	102.972	150.264	150.264
36	0.408004	57.9883	41.7217	Ba	20	23	52.8534	60.8797	96.3065	0	96.3065	143.433	143.433
37	0.408004	55.1069	42.9337	Ba	20	23	50.3364	57.9805	89.4766	0	89.4766	136.307	136.307
38	0.408004	52.0993	44.1701	Ba	20	23	47.7568	55.0091	82.4762	0	82.4762	128.869	128.869
39	0.408004	48.9575	45.4331	Ba	20	23	45.1122	51.9629	75.2998	0	75.2998	121.099	121.099
40	0.408004	45.6723	46.7249	Ba	20	23	42.4004	48.8393	67.941	0	67.941	112.974	112.974
41	0.408004	42.2333	48.0485	Ba	20	23	39.6188	45.6353	60.3931	0	60.3931	104.469	104.469
42	0.408004	38.6284	49.4071	Ba	20	23	36.7649	42.348	52.6485	0	52.6485	95.5535	95.5535
43	0.408004	34.8435	50.8044	Ba	20	23	33.8356	38.9739	44.6995	0	44.6995	86.1926	86.1926
44	0.408004	30.8621	52.2448	Ba	20	23	30.828	35.5095	36.5381	0	36.5381	76.3456	76.3456
45	0.408004	26.6645	53.7338	Ba	20	23	27.7388	31.9512	28.1552	0	28.1552	65.9637	65.9637
46	0.408004	22.227	55.2775	Ba	20	23	24.5647	28.2951	19.542	0	19.542	54.9883	54.9883
47	0.408004	17.5206	56.884	Ba	20	23	21.3025	24.5375	10.6896	0	10.6896	43.3476	43.3476
48	0.381273	11.9124	58.5052	LAS	4	24.8	9.74314	11.2227	15.6314	0	15.6314	31.534	31.534
49	0.381273	7.37468	60.1475	LAS	4	24.8	6.65364	7.66406	7.92974	0	7.92974	19.523	19.523
50	0.381273	2.51587	61.8767	LAS	4	24.8	3.51033	4.04341	0.0939544	0	0.0939544	6.66178	6.66178

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15186

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	10.0039	10.0079	0	0	0
2	10.4119	10.0564	7.54507	0	0
3	10.8199	10.1115	34.7416	0	0
4	11.228	10.1732	44.416	0	0
5	11.636	10.2415	54.8537	0	0
6	12.044	10.3165	65.8583	0	0
7	12.452	10.3982	77.2364	0	0
8	12.86	10.4867	88.4913	0	0
9	13.268	10.5821	107.002	0	0
10	13.676	10.6845	116.989	0	0
11	14.084	10.7938	126.374	0	0
12	14.492	10.9104	135.186	0	0
13	14.9	11.0341	143.581	0	0
14	15.308	11.1651	151.574	0	0
15	15.716	11.3037	158.988	0	0
16	16.124	11.4498	165.65	0	0
17	16.532	11.6036	171.386	0	0
18	16.94	11.7653	176.022	0	0
19	17.348	11.935	179.521	0	0
20	17.756	12.1128	182.09	0	0
21	18.164	12.2991	183.782	0	0
22	18.572	12.494	184.648	0	0

23	18.98	12.6976	184.744	0	0
24	19.388	12.9103	183.708	0	0
25	19.796	13.1322	180.931	0	0
26	20.204	13.3637	176.249	0	0
27	20.612	13.6051	169.522	0	0
28	21.02	13.8566	160.591	0	0
29	21.428	14.1186	150.106	0	0
30	21.8361	14.3916	138.761	0	0
31	22.2441	14.6759	126.644	0	0
32	22.6521	14.972	113.846	0	0
33	23.0601	15.2803	100.471	0	0
34	23.4681	15.6016	86.6282	0	0
35	23.8761	15.9363	72.4392	0	0
36	24.2841	16.2851	58.0368	0	0
37	24.6921	16.6489	43.567	0	0
38	25.1001	17.0285	29.1914	0	0
39	25.5081	17.4249	15.0897	0	0
40	25.9161	17.8391	1.46213	0	0
41	26.3241	18.2724	-11.4664	0	0
42	26.7321	18.7263	-23.4419	0	0
43	27.1401	19.2025	-34.1754	0	0
44	27.5481	19.7028	-43.3357	0	0
45	27.9561	20.2297	-50.5396	0	0
46	28.3641	20.7858	-55.3395	0	0
47	28.7721	21.3745	-57.2058	0	0
48	29.1801	22	-55.5035	0	0
49	29.5614	22.6223	-61.7209	0	0
50	29.9427	23.2866	-64.5789	0	0
51	30.3239	24	0	0	0

• *List Of Coordinates*

Water Table

X	Y
0	0
40	0

External Boundary

X	Y
0	0

40	0
40	22
40	24
21	24
20	22
19	20
17	20
14.5	15
12.5	15
10	10
0	10

Material Boundary

X	Y
20	22
40	22