

S.S.16 "Adriatica"
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica"
con il Porto di Ancona

Opera commissariata ai sensi dell'art.4 della Legge 55/2019

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AN255

PROGETTAZIONE: VIA INGEGNERIA S.R.L.

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giulio Filippucci (Ord. Ing. Prov. Roma 14711)

RESPONSABILI D'AREA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso*

(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)

Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza*

(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE



GEOLOGO:

Dott. Geol. Maurizio Lanzini (Ord. Geo. Regione Lazio 385)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Nicchiarelli (Ord. Ing. Prov. Roma 14711)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Vincenzo Catone

GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA
GEOTECNICA

Relazione geotecnica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00GE00GETRE01A			
COAN0099	D 22	CODICE ELAB.	T00GE00GETRE01	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	APR. 2022	G. FURLANI	G. PIAZZA	G. FILIPPUCCI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
	2.1 Normativa di riferimento	4
	2.2 Documenti di riferimento	4
	2.3 Programmi di calcolo	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO	6
4	INDAGINI GEOTECNICHE	7
	4.1 Prove di carico su piastra	8
	4.2 Prove di laboratorio	8
	4.3 Prove pressiometriche	12
	4.4 Indagini sismiche	13
	4.5 Piezometri e letture	14
	4.6 Letture inclinometriche	14
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
	5.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate	15
	5.2 Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche	15
	5.2.1 <i>Depositi coesivi</i>	15
	5.3 Unità Ra, Rv - Riporto antropico e riporto vegetale	18
	5.4 Unità C – Limo argilloso (deposito colluviale)	18
	5.5 Unità S – argilla limosa grigia (substrato) e Sa – argilla limosa marrone (substrato alterato)	
	29	
	5.6 Unità FL – argille e limi (deposito fluvio-lacustre)	48
	5.7 Parametri geotecnici caratteristici	50
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	52
	6.1 Categoria di sottosuolo sismica	52
	6.2 Azioni sismiche	52
7	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	53
	7.1 Premessa	53
	7.2 Criteri di valutazione dei cedimenti	53
	7.2.1 <i>Determinazione della zona compressibile Hc</i>	53
	7.2.2 <i>Terreni sabbiosi</i>	53
	7.2.3 <i>Terreni argillosi e/o stratificati</i>	54

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

7.2.4	Tipi di cedimento	54
7.2.5	Valutazione teorica dei vari tipi di cedimento.....	56
7.2.6	Determinazione teorica dell'andamento nel tempo dei cedimenti.....	56
7.3	Valutazione dei cedimenti dei rilevati	58
8	ANALISI DI STABILITÀ DI SCARPATE DEI RILEVATI.....	64
8.1	Premessa.....	64
8.2	Metodologie di calcolo	64
8.3	Carichi	65
8.4	Azione sismica.....	65
8.5	Sezioni di calcolo.....	65
8.6	Risultati delle analisi di stabilità	66
9	ANALISI RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	69
10	PIANI DI POSA	71
11	APPENDICE A. ANALISI DEI CEDIMENTI. TABULATI DI CALCOLO CED	72
11.1	Rilevato sezione 113– cedimento totale.....	72
11.2	Rilevato sezione 113– cedimento immediato.....	75
11.3	Rilevato sezione 113– decorso cedimenti nel tempo	78
11.4	Rilevato sezione spalla B VI01– cedimento totale	79
11.5	Rilevato sezione spalla B VI01– cedimento immediato	82
11.6	Rilevato sezione spalla B VI01 – decorso cedimenti nel tempo.....	85
12	APPENDICE B. ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO SLIDE 2018	86
12.1	Rilevato spalla B VI01 al km 3+431.5 – Analisi statica SLU.....	86
12.2	Rilevato spalla B VI01 al km 3+431.5 – Analisi sismica SLV.....	91

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

1 INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica generale è relativa al Progetto Definitivo dei lavori dell'Intervento AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona. L'opera riguarda la realizzazione di un nuovo collegamento viario di estensione pari a circa 3.5 km, tra il Porto di Ancona e la S.S. n. 16 "Adriatica" all'altezza della frazione di Torrette, in corrispondenza del tratto della statale per la quale Anas ha in corso di esecuzione i lavori di raddoppio, da 2 a 4 corsie. Per fare "spazio" alla nuova infrastruttura è previsto lo spostamento della strada statale S.S. 3 Flaminia per un tratto di 1.8 km. Quindi nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico, morfologico;
- descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio, rilievo del livello di falda;
- definizione delle unità geotecniche interferenti con le opere;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche; interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le varie unità geotecniche;
- definizione della categoria sottosuolo sismica e delle azioni sismiche di progetto;
- analisi del rischio di potenziale liquefazione dei terreni;
- Verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati;
- Analisi dei cedimenti dei rilevati e loro decorso nel tempo;
- Piano di posa.

AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		 anas GRUPPO FS ITALIANE
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

2 DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018).
- [N.2]. Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, Ministero delle Infrastrutture e Trasporti. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

2.2 Documenti di riferimento

I documenti presi a riferimento per la stesura del presente elaborato sono i seguenti.

- [N.3]. T00GE00 GEO RE01A - Relazione geologica.
- [N.4]. T00GE00 GEO RE02A - Relazione sismica.
- [N.5]. T00GE00 GEO FG01A – Profilo geologico.
- [N.6]. T00GE00 GET FP01A – Profilo geotecnico generale 1 di 2.
- [N.7]. T00GE00 GET FP02A – Profilo geotecnico generale 2 di 2.
- [N.8]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Certificato 05/2022. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), febbraio 2022.
- [N.9]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Indagini sismiche. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), febbraio 2022.
- [N.10]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Indagini sismiche Down Hole. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), febbraio 2022.
- [N.11]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Prove di carico su piastra. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), febbraio 2022.
- [N.12]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Prove pressiometriche. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), febbraio 2022.

AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		 anas GRUPPO FS ITALIANE
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

- [N.13]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Letture inclinometriche Rapporto 1. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), febbraio 2022.
- [N.14]. Lavori di esecuzione delle indagini geognostiche, geotecniche ed ambientali. AN255 "SS 16 Adriatica-Nuovo collegamento viario della SS 16 Adriatica con il porto di Ancona". CIG: 90505806E2 CUP: F37H17002370001. Letture inclinometriche Rapporto 2. Albanese perforazioni. Ripalimosani (CB), Aprile 2022.
- [N.15]. Risultati prove di laboratorio. Laboratorio per la conoscenza delle scienze tecniche Brainst Ormers s.r.l. Potenza (PZ). Marzo 2022.
- [N.16]. The Second Hans Cloos Lecture. Experience draw from the great Ancona landslide of 1982. V. Cotecchia. 10 February 2006 (published).

2.3 Programmi di calcolo

Sono stati utilizzati i seguenti programmi di calcolo.

- Slide 2018, Rocscience. Programma per il calcolo della stabilità di scavi e rilevati
- CED (G. Guiducci, 1999). Rimini (RN), Italia. Programma per l'analisi dei cedimenti per aree di carico di rigidità nulla.

Per i programmi citati, con riferimento al paragrafo 10.2 del D.M. 14.01.2018 e relativa Circolare esplicativa, si dichiara che:

- i risultati dei calcoli eseguiti con l'utilizzo del calcolatore sono stati verificati dal progettista;
- i risultati presentati nelle forme allegate al progetto ne garantiscano la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità;
- l'affidabilità dei codici utilizzati è stata verificata attraverso esame preliminare, di valutazione dell'affidabilità e soprattutto dell'idoneità del programma nel caso specifico di applicazione;
- la validazione dei codici di calcolo è stata verificata sia per confronto con soluzioni semplificate con metodi tradizionali, sia dall'esame della documentazione fornita dal produttore/distributore sulle modalità e procedure seguite per la validazione generale del codice.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO

Il tracciato del nuovo collegamento stradale si sviluppa ad Ovest di Ancona, nella zona collinare prospiciente il mare Adriatico.

A partire dalla nuova rotonda sulla SS16 Adriatica, un primo tratto di circa 1,5 km si sviluppa a mezza costa, tra le quote 70 m e 40 m circa s.l.m., nei versanti collinari di natura argillosa esposti a Nord e Nord-Ovest ai piedi dei quali è situato l'Ospedale Regionale di Torrette. Tali versanti mostrano deboli pendenze del 10-12% (6°-7°).

Il secondo tratto di circa 2,0 km, una volta attraversato in galleria artificiale il rilievo collinare di via della Grotta, scende fino al piede del versante costiero, seguendo la strada Flaminia, che corre parallelamente alla costa, fino all'imbocco dell'attuale bretella per il Porto.

Questo tratto rientra nel perimetro della cosiddetta "Grande frana di Ancona", avvenuta il 13 Dicembre 1982, che ha segnato profondamente la Città di Ancona, determinando numerosi e ingenti danni al suo patrimonio edilizio ed infrastrutturale.

Relativamente alle potenziali problematiche geomorfologiche si rimanda a quanto dettagliato nella relazione geologica di progetto [N.3].

Il substrato è formato dai depositi marini plio-pleistocenici costituiti essenzialmente da due successioni: quella più antica si sarebbe deposta nel Pliocene inferiore e medio, mentre quella più recente è pleistocenica.

Il tracciato interessa la Formazione delle Argille azzurre (FAA) che è quella più monotona a livello litologico, mentre quella pleistocenica è stata divisa in cinque unità informali che rappresentano cicli deposizionali trasgressivo -regressivi, costituiti da un membro basale pelitico e da un soprastante membro che può essere pelitico-arenaceo, arenaceo-pelitico o arenaceo-conglomeratico.

La Formazione delle Argille azzurre è costituita da argille marnose in strati da qualche decimetro a un metro di spessore, sia massivi che sottilmente laminati. La stratificazione è poco evidente ed è marcata da sottili interstrati limoso-sabbiosi.

Dal punto di vista geologico-strutturale i terreni plio-pleistocenici risultano blandamente deformati con inclinazioni degli strati di 5° - 10°. L'area costiera è caratterizzata dalla cosiddetta "sinclinale di Tavernelle", con asse pressochè parallelo alla costa e strati poco inclinati, strutturatasi alla fine del Pliocene medio. Non sono evidenti faglie e/o fratture.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

4 INDAGINI GEOTECNICHE

Al fine di caratterizzare i terreni presenti nell'area di intervento è stata eseguita una apposita campagna geognostica svolta tra febbraio e marzo 2022.

La suddetta campagna di indagini è consistita in:

- n.15 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino alla profondità massima di 70 m, di cui n.6 attrezzati con tubo piezometrico (S2, S4, S5, S7, S15, S16), n.4 con tubo inclinometrico (S3, S10, S12bis, S14) e n.5 con tubazione per prova sismica Down-Hole (S6, S8, S11, 13);
- n. 5 sondaggi a distruzione di nucleo, spinti fino alla profondità massima di 40 m, di cui n.2 attrezzati con tubo piezometrico (S10bis, S12), n.2 con tubo inclinometrico (S5bis, S7bis), n.1 con tubazione per prova sismica Down-Hole (S2bis).
- prove pressiometriche Menard;
- n. 30 prelievi di campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- n. 15 prelievi di campioni ambientali;
- n. 3 pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra.

Tabella 1: Sondaggi - Indagini 2022

SONDAGGIO	TIPO DI SONDAGGIO	PROFONDITÀ (m)	PIEZOMETRO (m)	INCLINOMETRO (m)	DOWN HOLE (m)	CAMPIONI SHELBY	CAMPIONI AMBIENTALI	PROVE PRESSIOMETRICHE
S1	Carotaggio continuo	40				2	3	
S2	Carotaggio continuo	40	40			2	3	1
S2bis	Distruzione	40			40			
S3	Carotaggio continuo	70		70		2		2
S4	Carotaggio continuo	40	40			2		1
S5	Carotaggio continuo	40	40			2	3	1
S5bis	Distruzione	40		40				
S6	Carotaggio continuo	40			40	2		
S7	Carotaggio continuo	30	30			3		1
S7bis	Distruzione	30		30				
S8	Carotaggio continuo	30			30	2	3	
S10	Carotaggio continuo	30		30		3		1
S10bis	Distruzione	30	30					
S11	Carotaggio continuo	40			40	3		1
S12	Distruzione	40	40					1
S12bis	Carotaggio continuo	40		40		3	3	
S13	Carotaggio continuo	40			40	3		1
S14	Carotaggio continuo	25		25		1		1
S15	Carotaggio continuo	20	20					
S16	Carotaggio continuo	20	20					

Tabella 2: Pozzetti esplorativi

Sigla	Profondità
	<i>m da p.c.</i>
PZ01	2.00
PZ02	2.00
PZ03	2.00

AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		 GRUPPO FS ITALIANE
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

4.1 Prove di carico su piastra

Sui pozzetti esplorativi sono state effettuate prove di carico su piastra alla profondità di 1.5 m da p.c.. Durante la prova è stato ricavato il modulo di deformazione nell'intervallo di carico 50-150 kPa per il primo ciclo di carico (Md1) e il modulo di deformazione (Md2) al secondo ciclo di carico tra 50 e 150 kPa ed il grado di compattazione mediante il rapporto Md1/Md2. Si riporta di seguito una tabella riepilogativa con i valori di modulo Md1 ed Md2 riscontrati nel corso delle prove e del rapporto Md1/Md2.

Tabella 3: Prove di carico su piastra nei pozzetti esplorativi

Sigla	Md1	Md2	Md1/Md2	Descrizione terreno
	[MPa]	[MPa]	-	-
PZ01	13.39	48.39	0.28	Limi argillosi debolmente sabbiosi
PZ02	11.49	53.57	0.21	Limi argillosi debolmente sabbiosi
PZ03	13.82	47.62	0.29	Limi argillosi debolmente sabbiosi

4.2 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio geotecnico:

- aperture e descrizioni del campione;
- determinazioni delle proprietà fisiche (peso di volume, contenuto naturale d'acqua);
- analisi granulometriche (setacci ed aerometria);
- determinazione dei Limiti di Atterberg;
- prove di taglio diretto (TD);
- prove triassiali consolidate isotropicamente drenate (TX CID);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (TX CIU);
- prove triassiali non consolidate non drenate (TX UU);
- prove edometriche;
- classificazione terre.

Nella seguente tabella si riporta un riepilogo dei risultati delle prove di laboratorio geotecnico eseguite.

Tabella 4: Risultati prove di laboratorio

Sondaggio	-	S1	S1	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5
Campione	-	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	Sa	S	S	S	S	S	C	Sa	C	C
Prof.	m	6.00	20.00	5.00	11.50	6.50	16.50	5.50	12.00	5.30	12.00
Granulometria											
G	%	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.5	0.0
S	%	13.2	0.4	0.3	0.2	1.4	0.5	1.9	1.4	0.9	2.6
L+A	%	85.9	99.6	99.7	99.8	98.6	99.5	97.4	98.6	98.6	97.4
L	%	43.4	49.3	46.0	38.0	37.8	49.7	48.2	51.3	47.9	42.5
A	%	42.5	50.3	53.7	61.8	60.8	49.9	49.1	47.4	50.7	54.9
Limiti di Atterberg											
W _L	%	54.1	90.3	62.4	76.1	66.6	62.5	62.5	74.0	71.8	66.0
W _P	%	20.1	23.9	20.2	22.0	21.0	20.9	22.0	22.5	20.0	21.8
I _c	-	0.79	1.00	0.92	0.95	0.75	0.96	1.00	0.91	0.96	0.74
I _p	%	34.0	66.4	42.2	54.1	45.6	41.6	40.5	51.5	51.8	44.2
Caratteristiche fisiche											
γ _N	kN/m ³	19.5	19.7	19.8	19.3	18.7	19.9	19.4	19.4	19.6	18.5
w _N	%	27.1	23.8	23.7	24.8	32.4	22.6	21.9	27.0	22.1	33.4
e	-	0.740	0.700	0.680	0.710	0.900	0.660	0.690	0.770	0.670	0.950
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)											
E _{ed}	kPa	8209.0									
c _v	m ² /s	3.69E-08									
k	m/s	2.97E-07									
Resistenza non drenata											
(TX-UU) c _u	kPa		449.0							301.4	
Resistenza drenata											
(TD) c	kPa	16.4			12.2						13.4
(TD) f	°	24.4			20.1						21.6
(TD) c _r	kPa				0.0						0.0
(TD) f _r	°				11.8						10.6
(TX-CIU) c	kPa			1.2			1.2		1.2	20.7	
(TX-CIU) f	°			29.9			28.0		29.7	24.8	
(TX-CID) c	kPa					1.3		14.5			
(TX-CID) f	°					25.4		27.9			
Classificazione											
UNI CNR 10006	[-]	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6

AN255 - SS 16 "Adriatica"

Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona



AN255

Relazione Geotecnica Generale

Sondaggio	-	S6	S6	S7	S7	S7	S8	S8	S10	S10	S10
Campione	-	1.00	2.00	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	1.00	2.00	3.00
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	C	C	S	S	S	Sa	Sa	Sa	S	S
Prof.	m	2.00	5.50	6.00	9.00	13.00	13.00	15.00	3.00	9.00	19.00
Granulometria											
G	%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	1.9	3.6	0.6	0.4	0.2	3.1	0.7	2.9	0.3	0.4
L + A	%	98.1	96.3	99.4	99.6	99.8	96.9	99.3	97.1	99.7	99.6
L	%	37.1	42.5	37.7	36.4	36.4	61.8	50.1	55.1	36.6	61.1
A	%	61.0	53.8	61.7	63.2	63.4	35.1	49.3	42.0	63.1	38.5
Limiti di Atterberg											
W _L	%	63.5	72.1	63.1	68.8	68.8	47.1	62.0	66.5	69.6	86.3
W _P	%	21.6	21.0	22.0	20.4	20.7	19.9	19.4	21.4	21.4	24.2
I _c	-	0.96	0.82	0.89	0.90	0.91	0.68	0.83	0.72	0.86	1.00
I _p	%	41.9	51.1	41.1	48.4	48.1	27.2	42.6	45.1	48.2	62.1
Caratteristiche fisiche											
γ _N	kN/m ³	19.2	19.1	19.3	19.0	19.2	18.9	19.3	18.4	19.1	19.5
w _N	%	23.4	30.4	26.7	25.3	25.2	28.6	26.6	33.9	28.2	24.5
e	-	0.720	0.850	0.770	0.770	0.750	0.830	0.760	0.960	0.800	0.710
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)											
E _{ed}	kPa		9478.0								
c _v	m ² /s		4.03E-08								
k	m/s		3.75E-07								
Resistenza non drenata											
(TX-UU) c _u	kPa	180.6		305.2		331.4			158.9		249.4
Resistenza drenata											
(TD) c	kPa	18.8		13.2						15.2	
(TD) f	°	21.9		23.1						19.9	
(TD) c _r	kPa	0.0		0.0	0.0	0.0				0.0	0.0
(TD) f _r	°	14.2		12.0	12.0	12.0				11.2	12.0
(TX-CIU) c	kPa		20.6		30.4		12.6	5.9		32.1	
(TX-CIU) f	°		25.2		27.6		26.4	30.5		26.6	
(TX-CID) c	kPa						15.3				
(TX-CID) f	°						25.6				
Classificazione											
UNI CNR 10006	[-]	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6

(segue da pagina precedente)

Sondaggio	-	S11	S11	S11	S12	S12	S12	S13	S13	S13	S14
Campione	-	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	3.00	1.00
Tipo	-	ind									
Unità	-	Sa	S	S	S	S	S	Sa	S	S	Sa
Prof.	m	4.30	8.20	16.00	6.00	9.30	16.00	4.50	9.00	16.00	11.50
Granulometria											
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	2.4	1.4	0.2	0.3	0.2	0.4	1.3	0.2	0.7	1.6
L +A	%	97.6	98.6	99.8	99.7	99.8	99.6	98.7	99.8	99.4	98.4
L	%	47.4	36.2	38.5	48.3	39.8	50.2	49.0	44.5	38.1	58.6
A	%	50.1	62.4	61.3	51.5	60.1	49.4	49.7	55.3	61.2	39.8
Limiti di Atterberg											
W _L	%	70.7	69.0	88.4	71.8	70.6	61.4	75.7	74.4	83.6	57.8
W _P	%	20.1	19.9	21.4	20.5	21.0	19.5	23.7	21.4	19.8	18.4
I _c	-	0.82	0.85	0.95	0.87	0.89	0.74	0.95	0.85	0.93	0.93
I _p	%	50.6	49.1	67.0	51.3	49.6	41.9	52.0	53.0	63.8	39.4
Caratteristiche fisiche											
γ _N	kN/m ³	19.1	19.0	19.7	18.9	19.1	18.7	19.5	19.1	19.2	19.7
w _N	%	29.0	27.2	24.6	27.4	26.6	30.3	26.1	29.3	24.5	21.3
e	-	0.810	0.800	0.710	0.810	0.780	0.870	0.740	0.850	0.740	0.650
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)											
E _{ed}	kPa										
c _v	m ² /s										
k	m/s										
Resistenza non drenata											
(TX-UU) c _u	kPa	201.9			199.2				285.5		
Resistenza drenata											
(TD) c	kPa										12.3
(TD) f	°										23.9
(TD) c _r	kPa										0.0
(TD) f _r	°										20.5
(TX-CIU) c	kPa		37.8			33.9	3.2	19.3		23.0	
(TX-CIU) f	°		25.2			25.9	27.1	24.9		25.8	
(TX-CID) c	kPa			55.2							
(TX-CID) f	°			20.1							
Classificazione											
UNI CNR 10006	[-]	A7-6									

(segue da pagina precedente)

Inoltre nei certificati di laboratorio sono disponibili i risultati sui campioni ambientali.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

4.3 Prove pressiometriche

Nel corso della campagna di indagine sono state eseguite prove pressiometriche tipo Menard. I risultati di suddette prove sono elencati in tabella seguente, dove sono riportati i valori del modulo pressiometrico (E_p), del modulo di deformazione di Young (E), della pressione limite (PI), della pressione limite netta (PI') ed una stima dei parametri di resistenza (resistenza al taglio non drenata nei depositi coesivi).

Tabella 5: Risultati prove pressiometriche Menard - Indagini 2022

Sondaggio	Prova	profondità da p.c. [m]	E_p [kPa]- modulo pressiometrico	E [kPa]-modulo di Young	E [MPa]-modulo di Young	PI [kPa]-pressione limite	PI' [kPa]-pressione limite netta	cu [kPa]	Unità geotecnica
S2	1	14.4	10191	15210	15.2	760	629	114.36	S
S3	1	9.5	9756	14561	14.6	596	466	84.73	S
S3	2	28.5	20036	29905	29.9	455	383	70.00	S
S4	1	37.2	11291	16852	16.9	515	50	9.00	S
S5	1	18.0	11615	17336	17.3	550	415	75.00	FL
S6	1	9.0	15681	23405	23.4	818	705	128.00	C
S7	1	15.4	10388	15504	15.5	777	701	104.00	S
S8	1	13.0	9183	13706	13.7	752	600	109.00	Sa
S10	2	17.0	13970	20850	20.9	921	701	127.00	S
S11	1	20.0	14832	22137	22.1	749	642	117.00	S
S12bis	1	20.0	43010	64194	64.2	848	748	136.00	S
S13	1	18.0	30255	45157	45.2	988	892	162.00	S
S14	1	17.4	22079	32954	33.0	800	752	137.00	S

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

4.4 Indagini sismiche

Nell'area di interesse sono state eseguite le seguenti indagini sismiche:

- n. 5 indagini sismiche di tipo Down-Hole nei fori di sondaggio (S2bis, S6, S8, S11, S13);
- indagini sismiche a rifrazione in onde P e S (denominate BS in figura seguente).

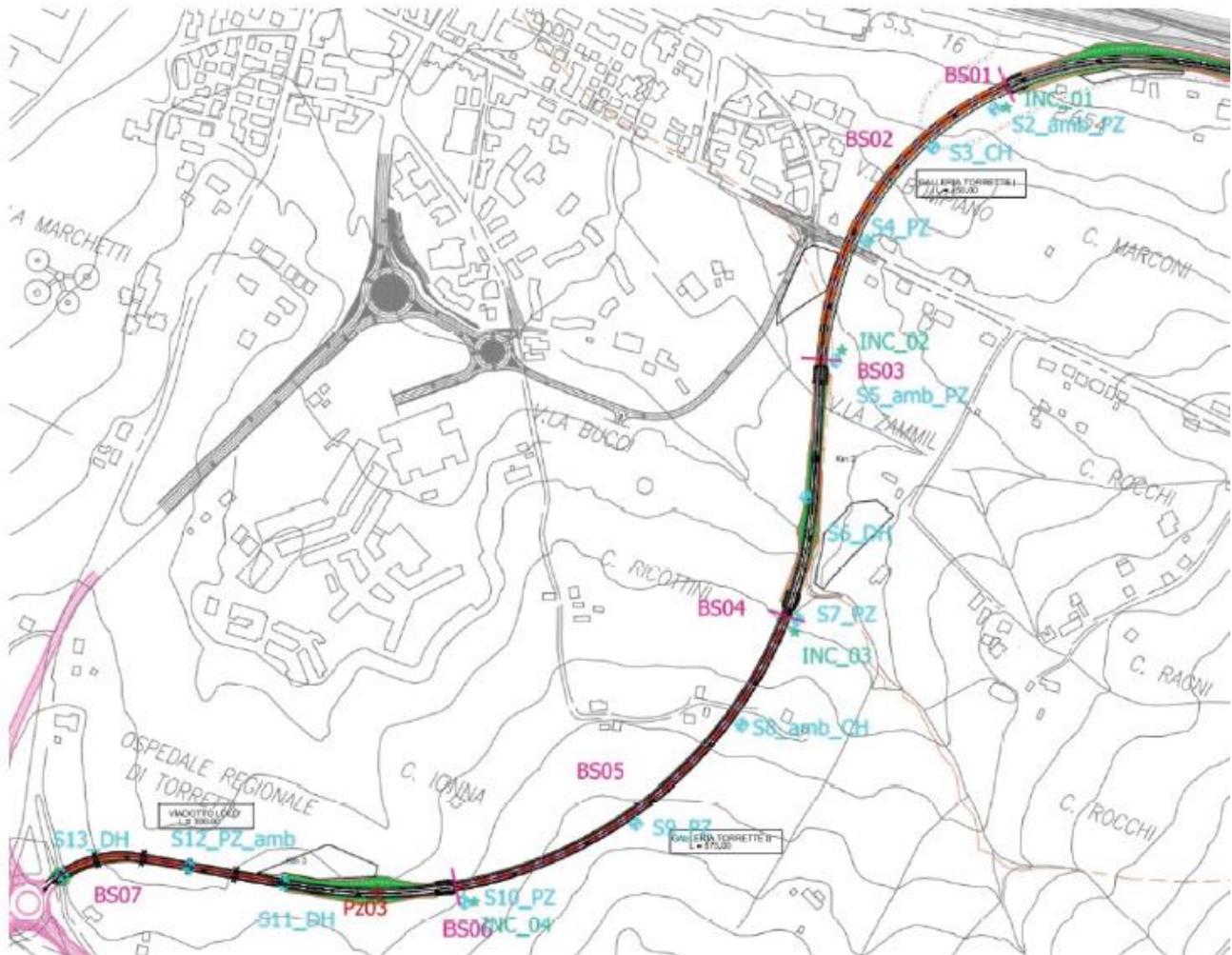


Figura 1 – Ubicazione indagini sismiche

Gli attuali risultati delle indagini Down-Hole forniscono valori piuttosto anomali delle velocità delle onde di taglio con la profondità (vedasi Figura 29), inoltre dal report di restituzione dati le tabelle dei risultati non sempre sono congruenti con i relativi grafici. Al momento della stesura del presente elaborato sono in corso verifiche dei risultati di tutte le prove Down-Hole.

Inoltre da dati bibliografici ("Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS – 2011") sono stati recuperati i risultati di 3 prove sismiche MASW (A34, B15, A02) dalla quale è stata stimata la $V_{s,eq}$ per la definizione della categoria di sottosuolo sismica (vedasi Figura 29).

AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		 GRUPPO FS ITALIANE
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

Tabella 6: Indagini Down-Hole e Masw

Prova sismica	Profondità [m]	Vs,eq [m/s]	Categoria di sottosuolo
S2bis	40.0	-	-
S6	40.0	-	-
S8	30.0	-	-
S11	40.0	-	-
S13	40.0	-	-
MASW A34	150	190	C
MASW B15	150	233	C
MASW A02	100	249	C

4.5 Piezometri e letture

Nella tabella seguente sono mostrate le letture piezometriche eseguite sulle strumentazioni installate.

Tabella 7: Letture piezometriche

BRETELLA SS16 - PORTO DI ANCONA												
PIEZOMETRI A TUBO APERTO												
PIEZ. N.	Quota m s.m.	H boccaforo (m)	03/02/2022		15/03/2022		24/03/2022		14/04/2022		26/04/2022	
			Prof. dal boccaforo (m)	Quota m s.m.	Prof. dal boccaforo (m)	Quota m s.m.	Prof. dal boccaforo (m)	Quota m s.m.	Prof. dal boccaf	Quota m s.m.	Prof. dal boccaforo (m)	Quota m s.m.
S2-PZ	26.17	0.25	9.90	16.52	10.50	15.92	-	-	-	-	10.70	15.72
S4-PZ	50.58	0.30	11.80	39.08	11.50	39.38	-	-	-	-	11.75	39.13
S5-PZ	37.07	0.30	10.20	27.17	-	-	-	-	2.80	34.57	-	-
S7-PZ*	39.52	0.26	-	-	-	-	0.11	39.67	0.26	39.52	-	-
S8-PZ	62.50	0.20	-	-	1.50	61.20	-	-	-	-	-	-
S10-PZ	63.50	0.30	-	-	8.10	55.70	-	-	7.90	55.90	-	-
S12-PZ	54.50	0.38	-	-	-	-	7.70	47.18	7.08	47.80	-	-
S15-PZ	60.00	0.20	-	-	6.10	54.10	-	-	6.20	54.00	-	-
S16-PZ	97.00	0.35	-	-	12.35	85.00	-	-	-	-	-	-

(*) - acqua in pressione

4.6 Letture inclinometriche

Le strumentazioni inclinometriche sono state installate nei fori S3, S5bis, S7bis, S10, S12bis, S14. Le letture di zero sono state eseguite in data 05/03/2022, quindi al momento della stesura del presente elaborato il periodo di monitoraggio è molto breve ed è disponibile una sola lettura (14/04/2022) oltre quella di zero. Dall'unica lettura eseguita, non si hanno evidenze di spostamenti.

AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica generale, valutata sulla base dell'interpretazione di tutte le indagini geotecniche svolte in sito ed in laboratorio.

Dopo aver individuato le principali unità geotecniche intercettate, verranno interpretati i risultati delle indagini geotecniche sulla base dei criteri di seguito esposti e quindi verranno definiti i parametri geotecnici di progetto.

Nei profili geotecnici generali [N.6], [N.7] sono riportati in forma grafica i risultati delle indagini e sono mostrate le correlazioni stratigrafiche con indicazione delle unità geotecniche intercettate; è anche indicato il livello di falda massimo rilevato da letture piezometriche ed il livello di falda di progetto.

5.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Dalle indagini eseguite nell'area in esame, sono state intercettate le seguenti unità geotecniche:

- **Unità Ra, Rv:** Riporto antropico (a) e riporto vegetale (v).
- **Unità C:** limo argilloso (deposito colluviale)
- **Unità Sa:** argilla limosa marrone (substrato alterato)
- **Unità S:** argilla limosa grigia (substrato)
- **Unità FL:** argille e limi (deposito fluvio-lacustre)

5.2 Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche

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

- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove sismiche (Down-Hole e MASW);
- prove pressiometriche.

5.2.1 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;

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

- 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 di taglio diretto e prove triassiali per la resistenza in tensioni efficaci e triassiali non consolidate non drenate per resistenza in condizioni non drenate.

La resistenza al taglio in condizioni non drenate, oltre che da prove di laboratorio, è stata valutata anche dalle prove speditive di Pocket Penetometer (PP).

I valori sono stati poi riportati nello stesso grafico, con indicato anche l'andamento della resistenza al taglio per un terreno normal consolidato ricavato dalla seguente relazione: $c_{UNC} = 0.23 \cdot \sigma'v$.

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimate:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (prove Down-Hole e Masw);
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- da prove pressiometriche.

Per quanto concerne le prove sismiche in sito, le caratteristiche di deformabilità vengono individuate con le seguenti relazioni:

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/s.

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.

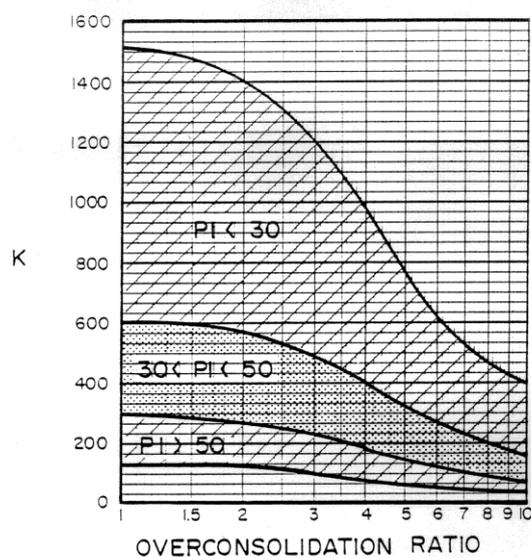
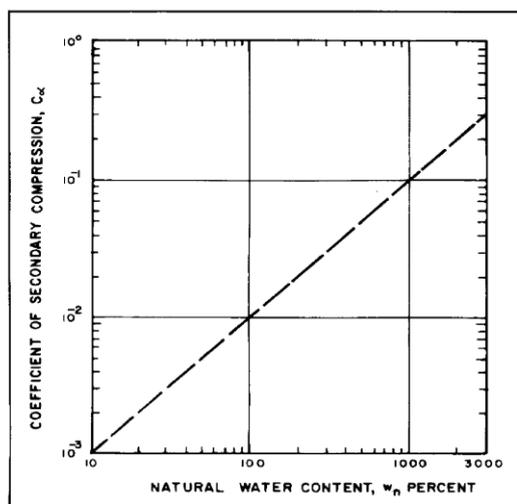


Figura 2 - Duncan & Buchigani

Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) sono stati determinati dalle prove edometriche di laboratorio.

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

Figura 3 - Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n (NAVFAC, 1982)

Nei paragrafi che seguono verranno riportati a confronto per le varie unità geotecniche tutti i risultati delle prove in sito e dell'interpretazione delle prove eseguite.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

5.3 Unità Ra, Rv - Riporto antropico e riporto vegetale

L'unità geotecnica dei terreni di riporto antropico (Ra) e dei terreni vegetali (Rv) è costituita rispettivamente dai materiali costituenti i rilevati stradali esistenti ed il materiale di copertura limoso argilloso con resti vegetali.

Il terreno vegetale, ove interferente con le opere verrà rimosso.

Per il riporto antropico costituente il materiale del rilevato stradale si assumono i seguenti parametri geotecnici:

Unità Ra - rilevato

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

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

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

5.4 Unità C – Limo argilloso (deposito colluviale)

Si tratta di terreno limoso argilloso costituente la copertura colluviale, individuato dai sondaggi con spessori variabili tra 1 m e 15 m.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è compreso fra 18.5 e 19.5 kN/m³, con valore medio pari a 19.0 kN/m³ (vedasi Figura 4).

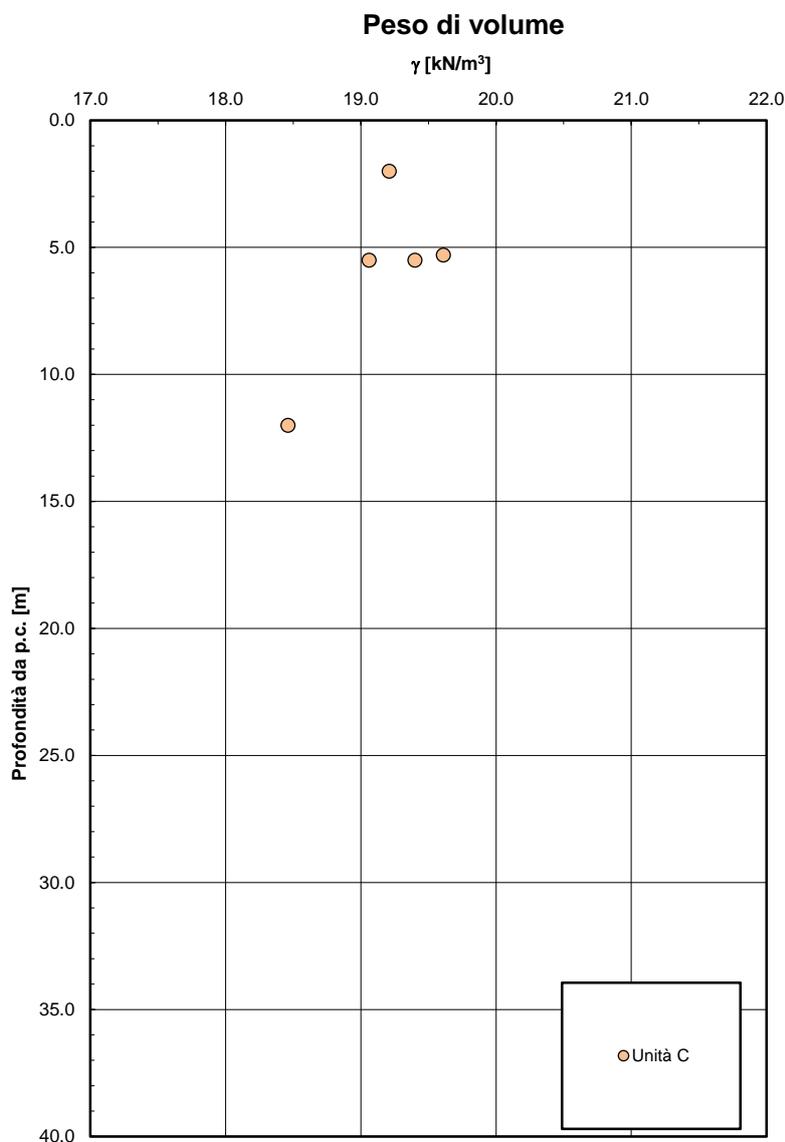


Figura 4: Peso di volume – Unità C

Dall'analisi granulometrica si ha (vedasi Figura 5):

- percentuale di ghiaia generalmente compresa tra 0 e 0.8%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 0.9 e 3.6% (media 2.2%);
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa fra 96 e 99% (media 98%) con argilla compresa fra 49 e 61% e limo tra 37 e 48%.

Granulometria unità C

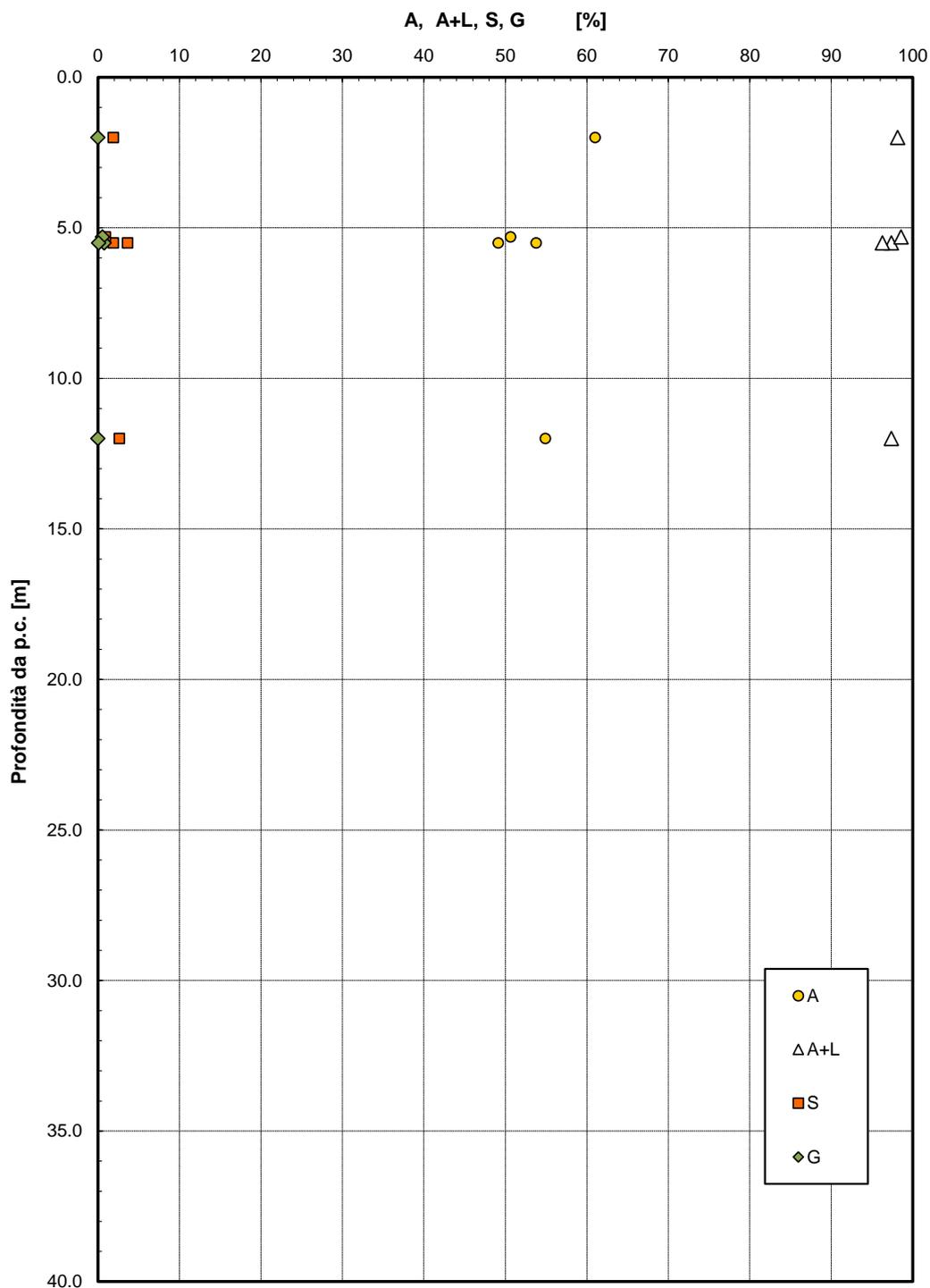


Figura 5: Granulometria – Unità C

Il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 22 e 33% (media 26%). Relativamente ai limiti di Atterberg il limite liquido è compreso tra 63 e 72 % (valore medio di 67%) e del limite plastico tra 20 e 22% (media di 21%); l'indice plastico varia tra 41 e 52% (media del 46%) (vedasi Figura 6).

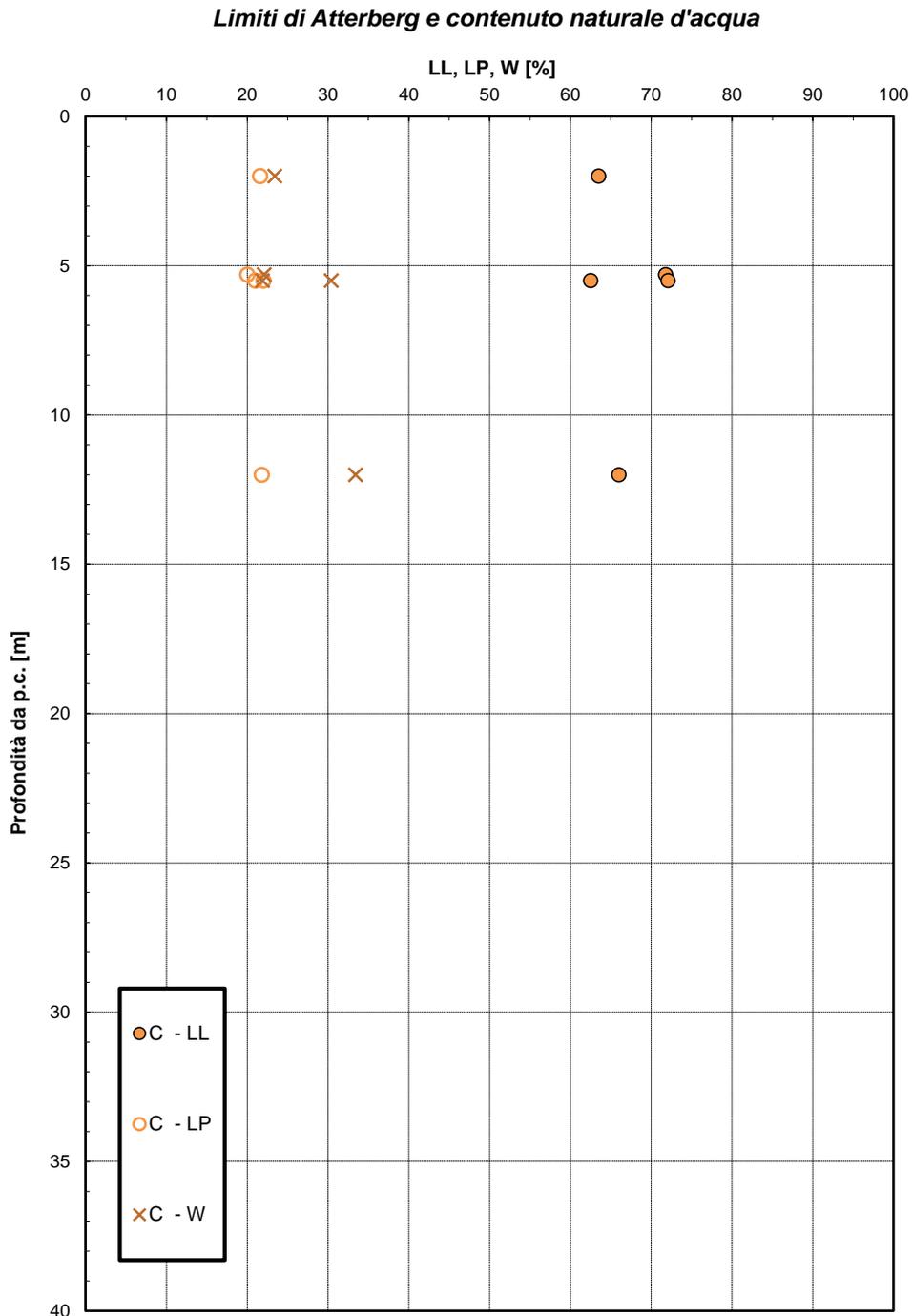


Figura 6: Limiti di Atterberg e contenuto natura d'acqua – Unità C

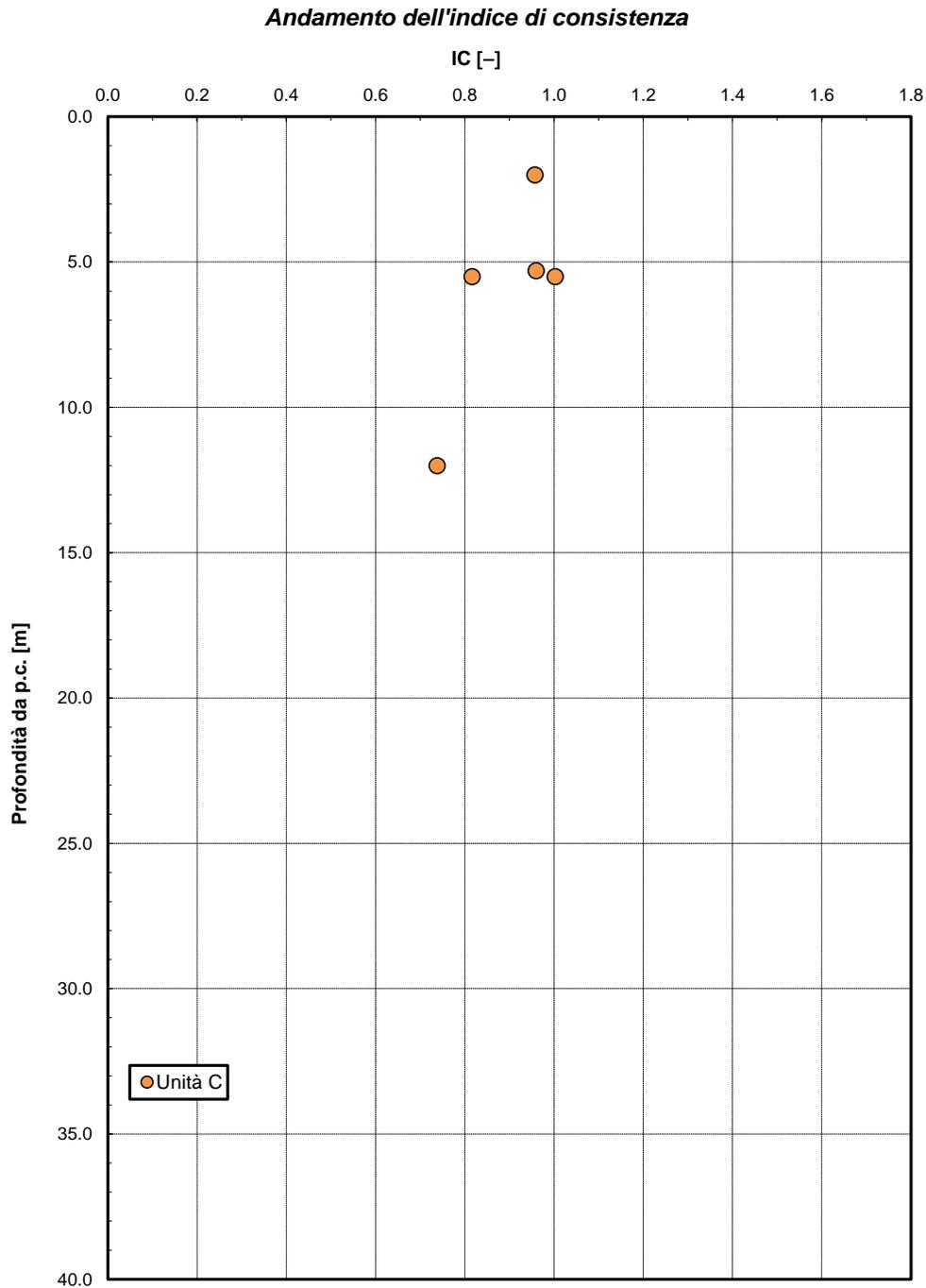


Figura 7: Andamento dell'indice di consistenza – Unità C

Dalla carta di plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona de argille inorganiche di alta plasticità (vedasi Figura 8).

Carta di Plasticità di Casagrande

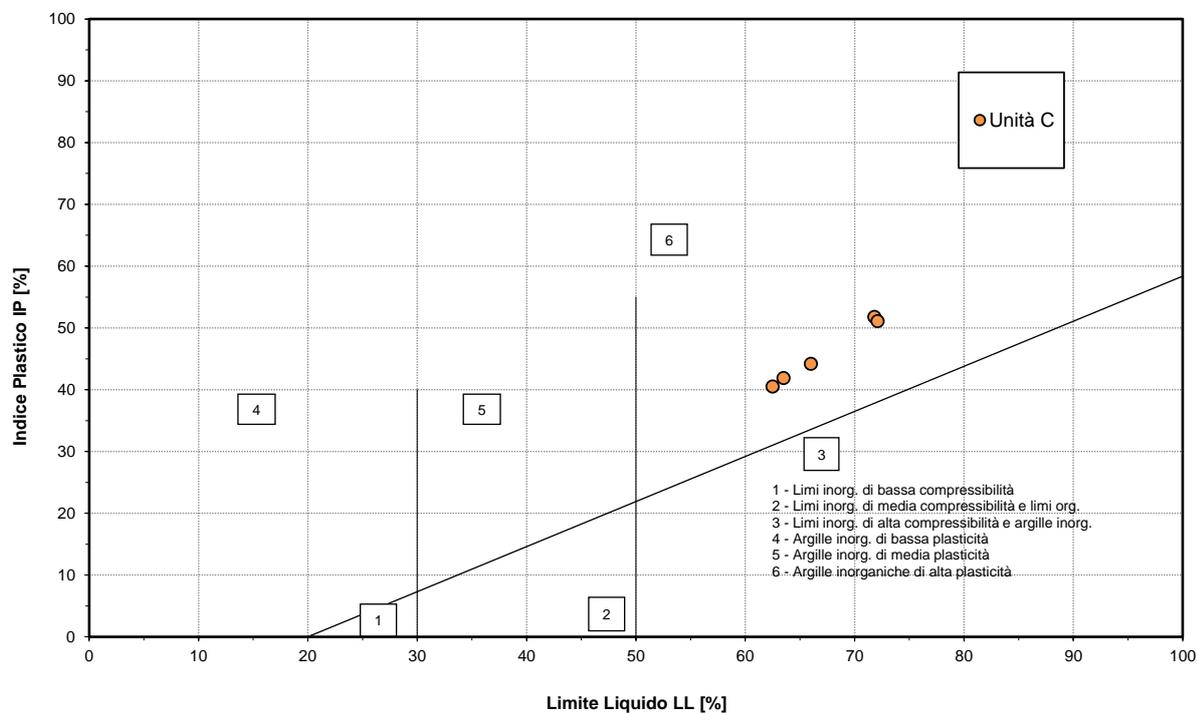


Figura 8: Carta di plasticità di Casagrande – Unità C

Parametri di resistenza:

Sono disponibili i risultati di prove di laboratorio che hanno dato valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco tra 21.6 e 27.9° con coesione drenata tra 13.4 e 20.7 kPa; dalle prove di taglio diretto sono stati ottenuti valori dell'angolo di attrito residuo tra 11 e 14° (vedasi Figura 9).

In Figura 9 sono sintetizzati i risultati delle prove di laboratorio ed Figura 10 sono graficati coesione ed angolo di resistenza al taglio in funzione della profondità.

In Figura 11 sono mostrati i risultati delle prove di resistenza nel piano τ - σ e nel piano t-s' e sono indicati i range dei valori di progetto assunti per i parametri di resistenza dell'unità in esame:

$$\varphi' = 23 \div 26^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

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

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

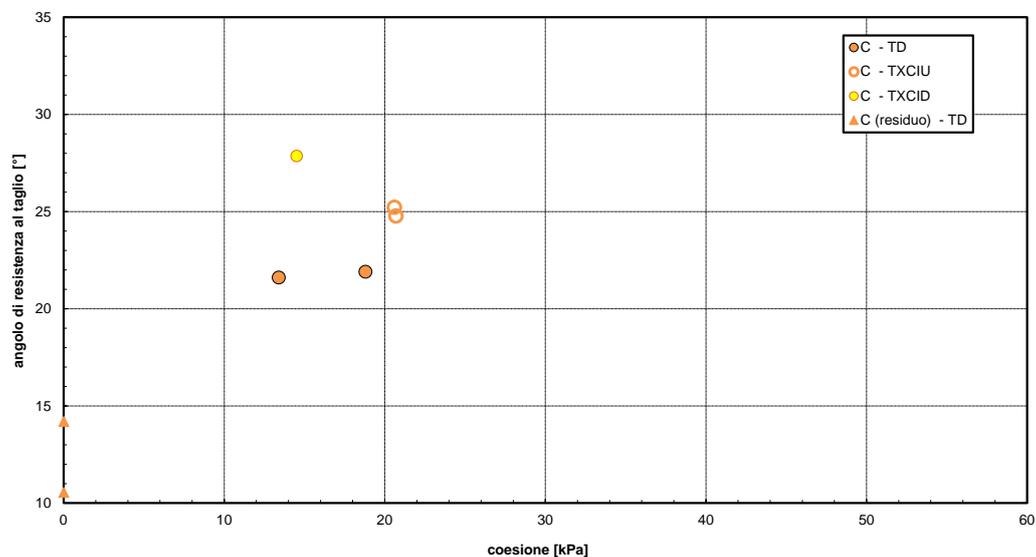
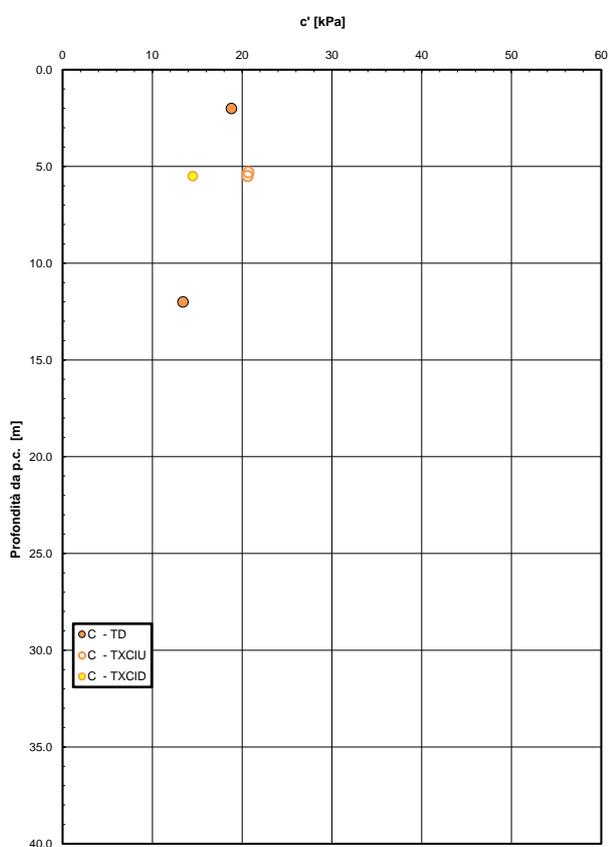


Figura 9: Coesione drenata ed angolo di resistenza al taglio – Unità C

Andamento della coesione drenata con la profondità



Andamento della resistenza al taglio con la profondità

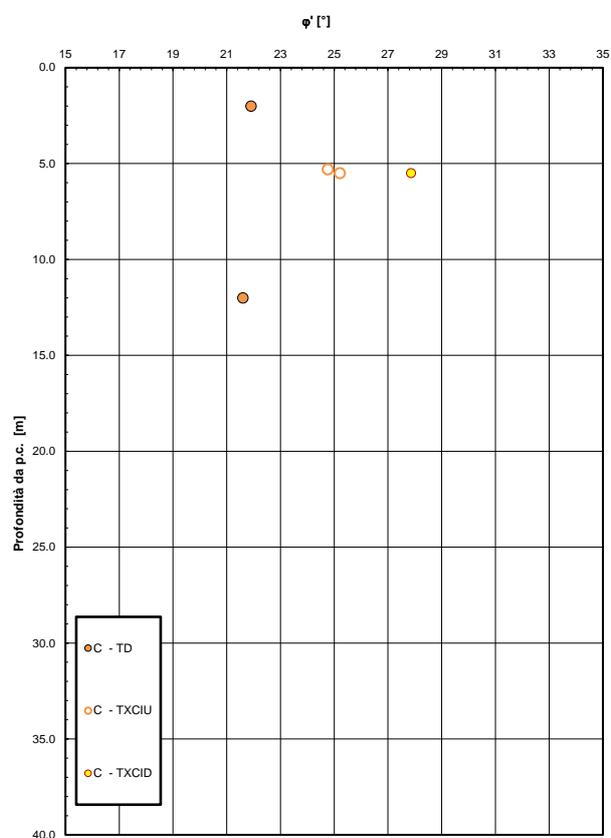


Figura 10: Andamento con la profondità della coesione drenata e dell'angolo di resistenza al taglio – Unità C

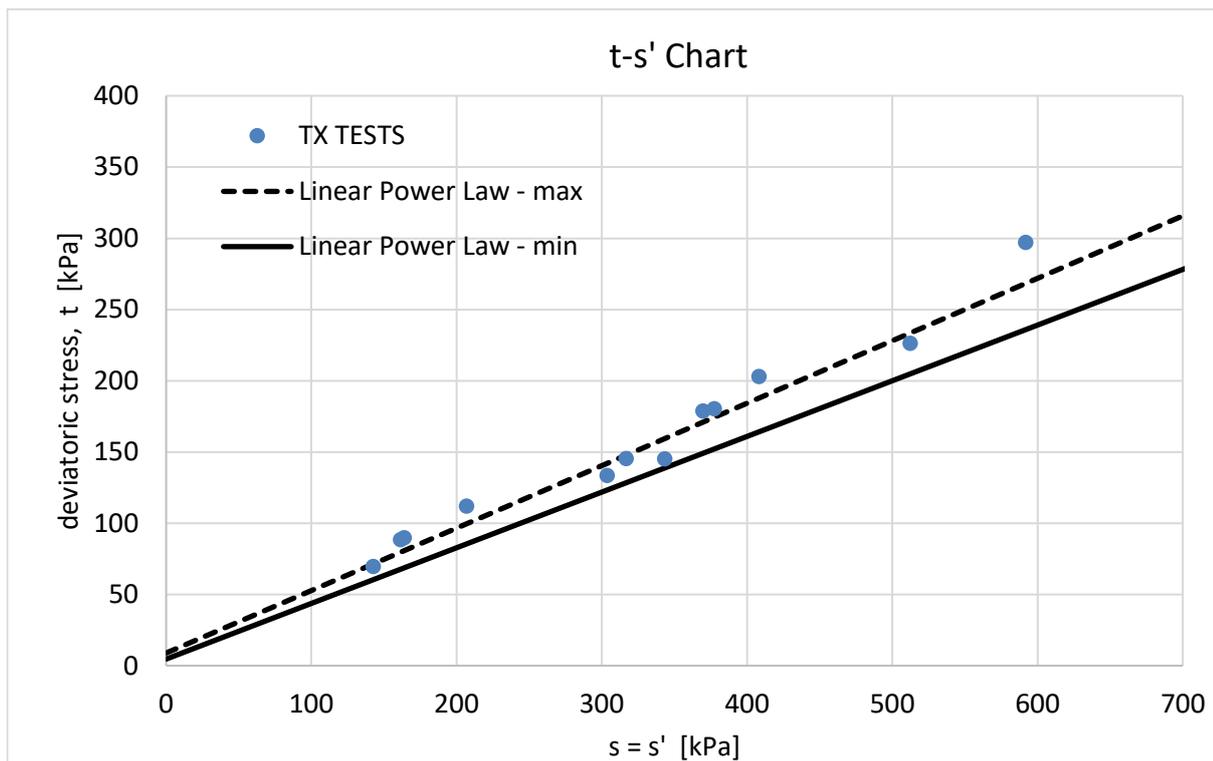
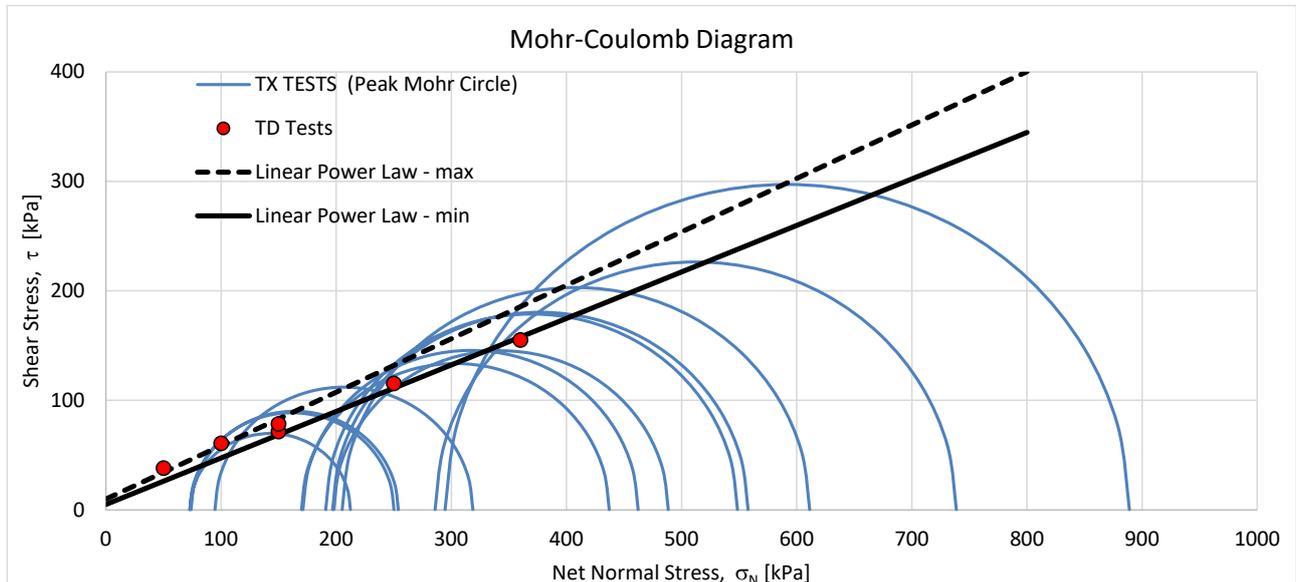


Figura 11: Parametri di resistenza al taglio – Unità C

Nella seguente figura si riporta l'angolo di resistenza al taglio in funzione dell'indice di plasticità; da cui si osserva che l'intervallo di valori di progetto dell'angolo di resistenza al taglio ($\varphi' = 23\div 26^\circ$) ben si correla con l'indice di plasticità del materiale (IP tra 40 e 50%) (correlazione di Jamiolkowski et al. 1979).

Angolo di resistenza al taglio e indice di plasticità (Jamiolkowski et al., 1979)

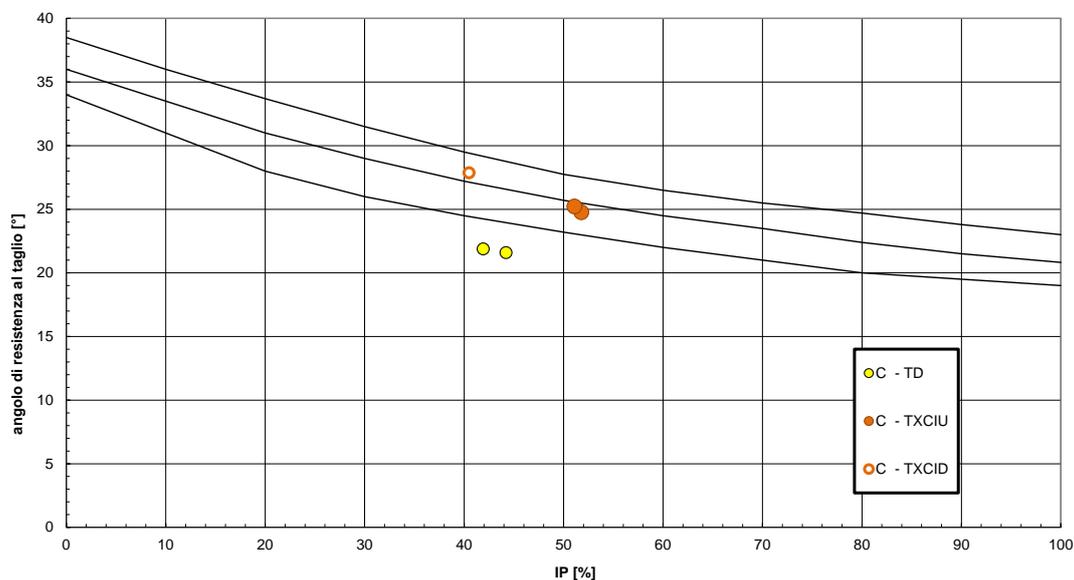


Figura 12: angolo di resistenza al taglio ed indice di plasticità – Unità C

In Figura 13 sono riportati i valori di resistenza al taglio non drenata ottenuta da Pocket Penetrometer e da prove di laboratorio triassiali non consolidate e non drenate (TXUU). In figura sono indicati anche i range di progetto:

$$c_u = 100 + 6.7 \cdot z \quad \text{kPa} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate – valori medi}$$

$$c_u = 70 + 7.2 \cdot z \quad \text{kPa} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate – valori minimi}$$

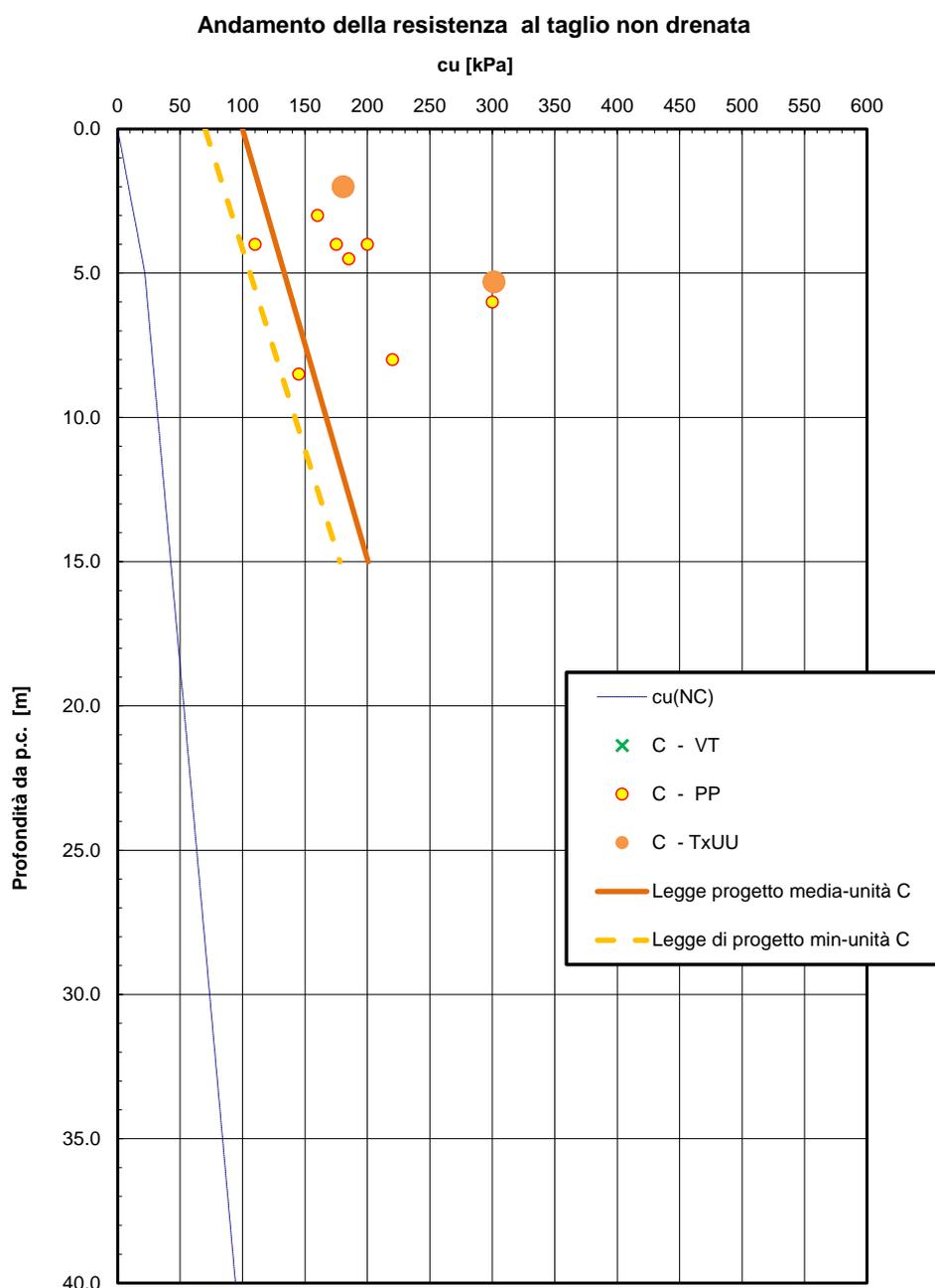


Figura 13: Andamento della resistenza al taglio non drenata – Unità C

Parametri di deformabilità:

I parametri di deformabilità possono essere stati stimati dalle indagini sismiche. Gli attuali risultati delle indagini Down-Hole forniscono valori piuttosto anomali delle velocità delle onde di taglio con la profondità (vedasi Figura 29). Al momento della stesura del presente elaborato sono in corso verifiche dei risultati di tutte le prove Down-Hole.

Da dati bibliografici ("Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS – 2011") sono stati recuperati i risultati di 3 prove sismiche MASW (A34, B15, A02) i cui risultati sono graficati in Figura 29.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

Nell'ambito delle profondità di interesse progettuale (entro i 40 m da p.c.), si osservano valori di velocità delle onde di taglio variabili da 100 a 450 m/s, crescenti con la profondità.

Quindi per i terreni del sito si stimano i seguenti parametri:

$V_s = 100 \div 450$ m/s velocità delle onde di taglio

$G_o = 40 + (3.5 \cdot z)$ MPa modulo di deformazione a taglio iniziale (vedasi Figura 30)

z = profondità da p.c.

$E_o = 2.6 \cdot G_o$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (vedasi Figura 31)

Su un campione indisturbato è stata condotta una prova edometrica che ha restituito i seguenti valori:

$E_{ED} = 9478$ kPa modulo di deformazione edometrico

$c_v = 4.0E^{-8}$ m²/s coefficiente di consolidazione verticale.

Sull'unità è stata eseguita una prova pressiometriche (sondaggio S6 a 9 m di profondità da p.c.), da cui si stima un valore del modulo pressiometrico $E_p = 15.7$ MPa e del modulo di deformazione di Young $E' = 23.4$ MPa.

5.5 Unità S – argilla limosa grigia (substrato) e Sa – argilla limosa marrone (substrato alterato)

La formazione del substrato predominante nel sito è costituita da argille limose grigie con consistenza medio-alta (unità S), che presentano in genere una fascia superficiale di alterazione (unità Sa) con spessore variabile tra 1.5 m e 19 m.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Per l'unità S il peso di volume naturale è compreso fra 18.7 e 19.9 kN/m³, con valore medio pari a 19.3 kN/m³ (vedasi Figura 14). Per l'unità Sa il peso di volume naturale è compreso fra 18.4 e 19.7 kN/m³, con valore medio pari a 19.2 kN/m³ (vedasi Figura 14).

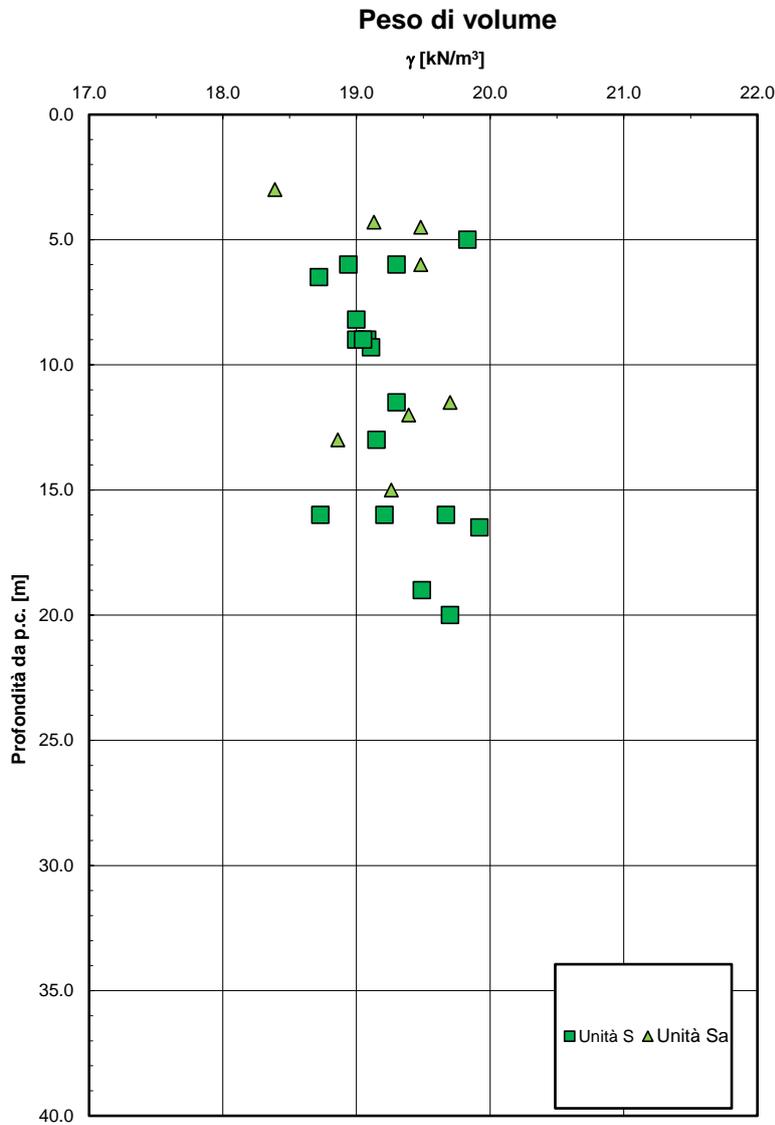


Figura 14: Peso di volume – Unità S

Per l'unità S, dall'analisi granulometrica si ha (vedasi Figura 15):

- percentuale di ghiaia pari a 0%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 0 e 1.4% (media 0.5%);
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa fra 98.6 e 99.8% (media 99.5%) con argilla compresa fra 39 e 63% e limo tra 36 e 61%,

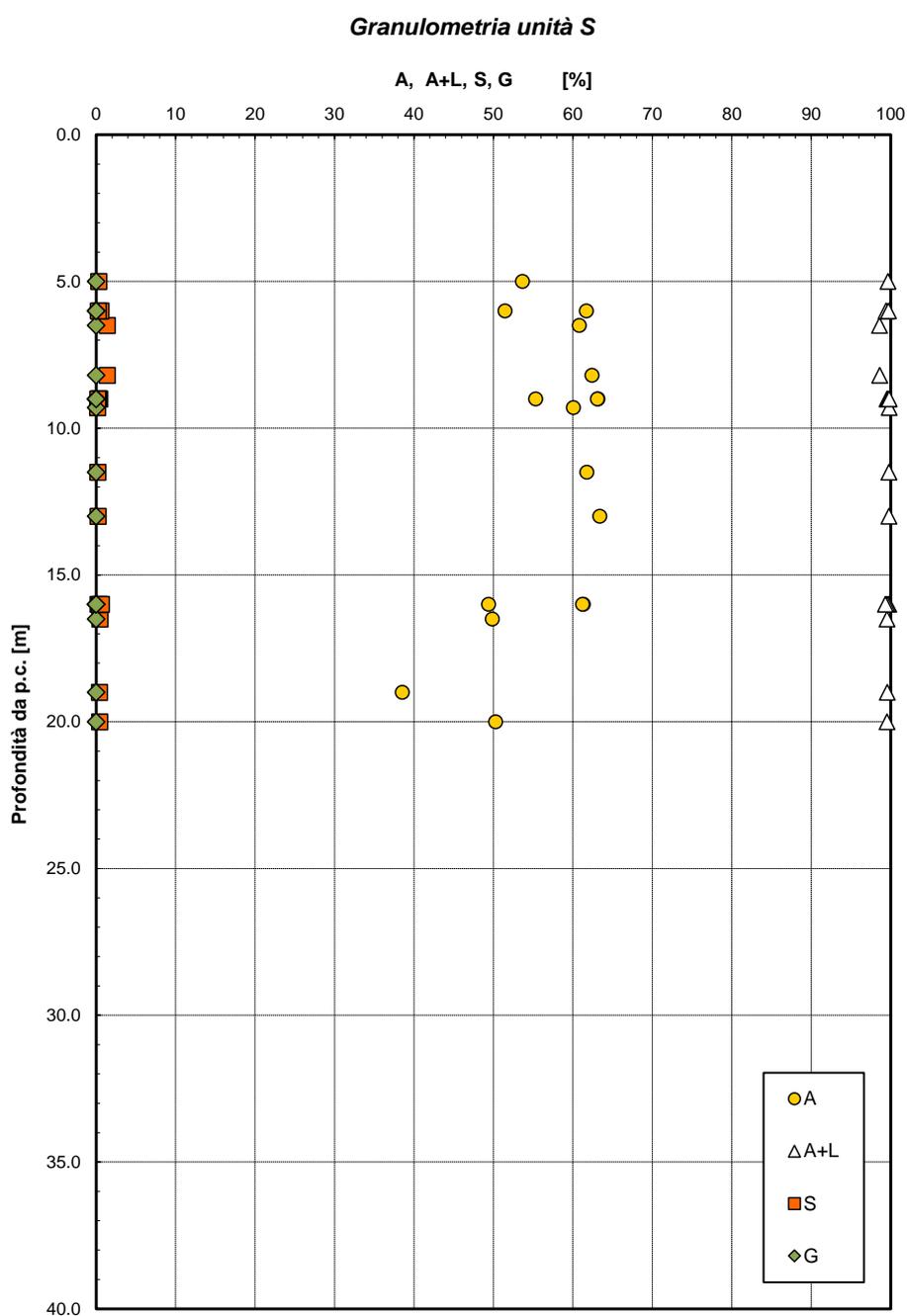


Figura 15: Granulometria – Unità S

Per l'unità Sa, dall'analisi granulometrica si ha (vedasi Figura 16):

- percentuale di ghiaia compresa tra 0 e 0.9% (media 0.1%);
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 0.7 e 13.2% (media 3.3%);
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa fra 85.9 e 99.3% (media 96.6%) con argilla compresa fra 35 e 50% e limo tra 43 e 62%,

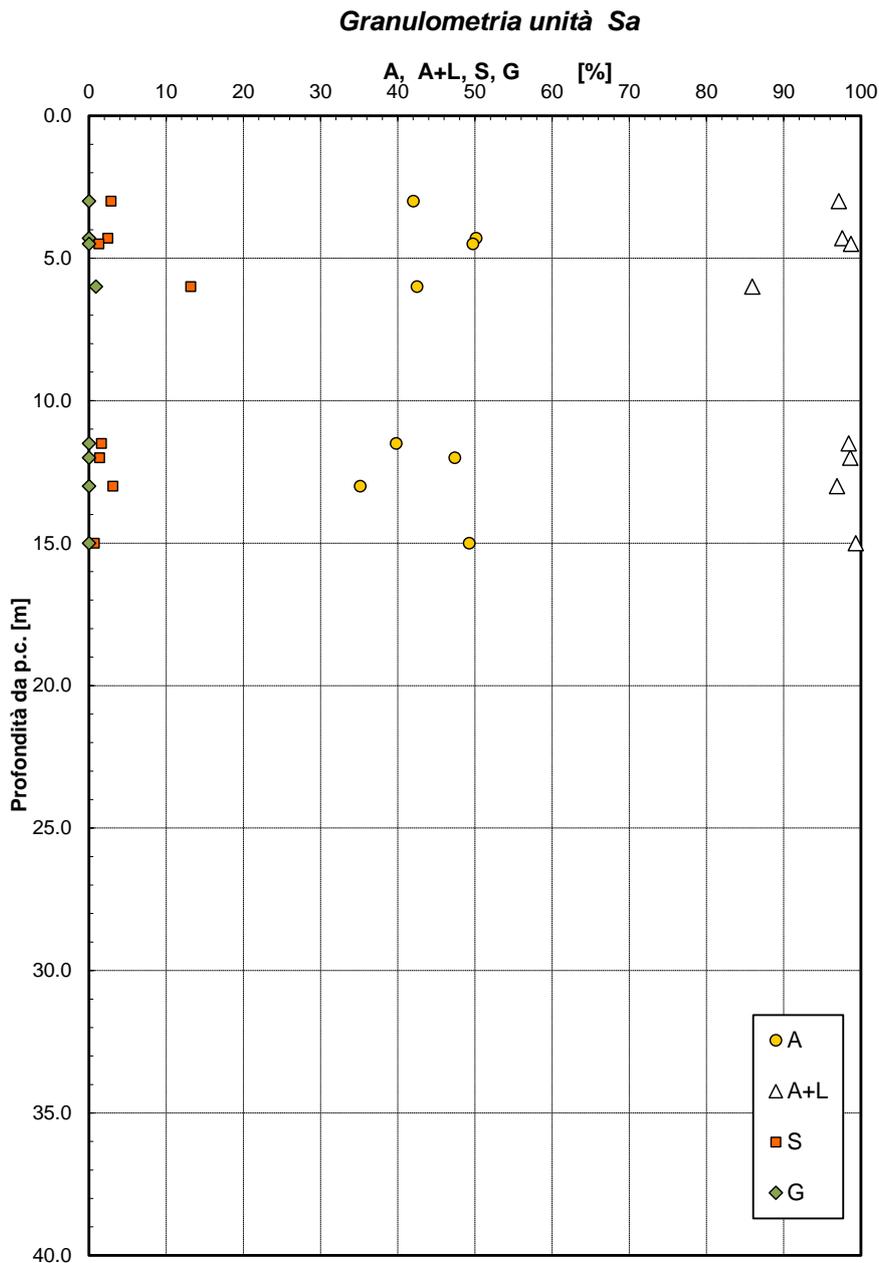


Figura 16: Granulometria – Unità Sa

Per l'unità S, il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 23 e 32% (media 26%); relativamente ai limiti di Atterberg il limite liquido è compreso tra 61 e 90 % (valore medio di 67%), il limite plastico tra 20 e 24% (media di 21%), l'indice plastico tra 41 e 67% (media del 51%) (vedasi Figura 17). L'indice di consistenza è compreso fra 0.7 e 1.0 (vedasi Figura 18).

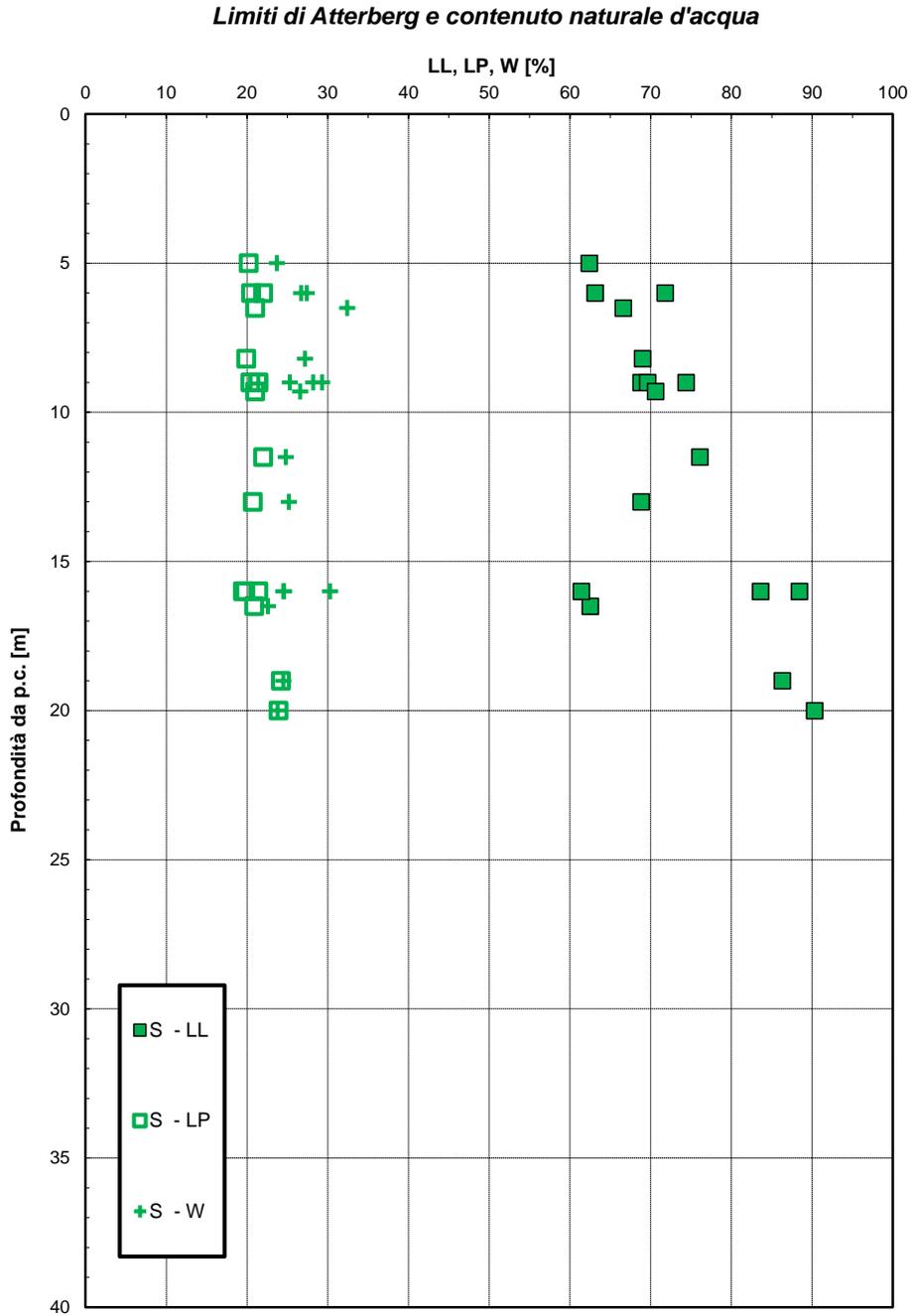


Figura 17: Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua – Unità S

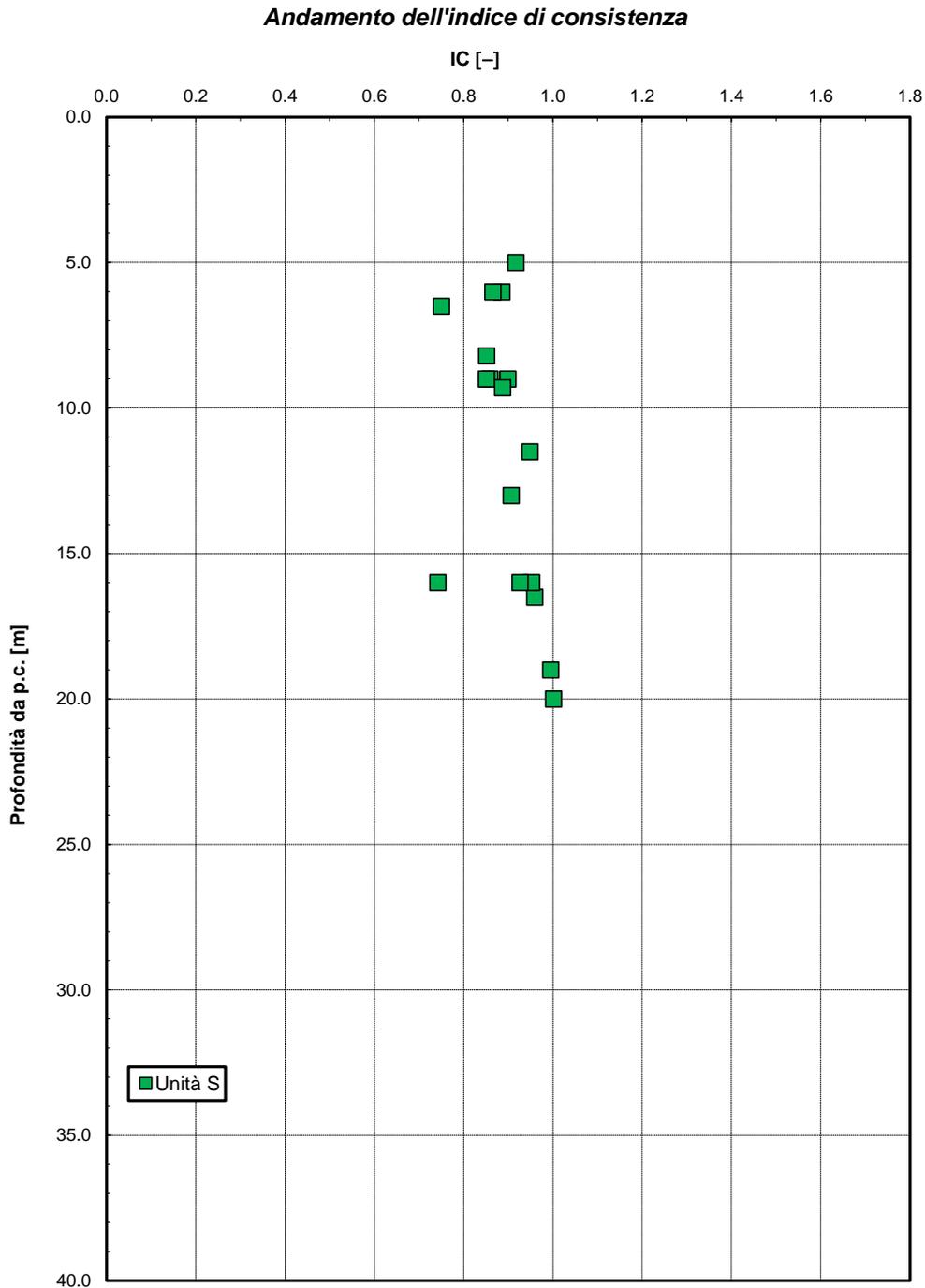


Figura 18: Andamento dell'indice di consistenza – Unità S

Per l'unità Sa, il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 21 e 34% (media 28%); relativamente ai limiti di Atterberg il limite liquido è compreso tra 47 e 76 % (valore medio di 64%), il limite plastico tra 18 e 24% (media di 21%), l'indice plastico varia tra 27 e 52% (media del 43%) (vedasi Figura 19). L'indice di consistenza è compreso fra 0.68 e 0.95 (vedasi Figura 20).

Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua

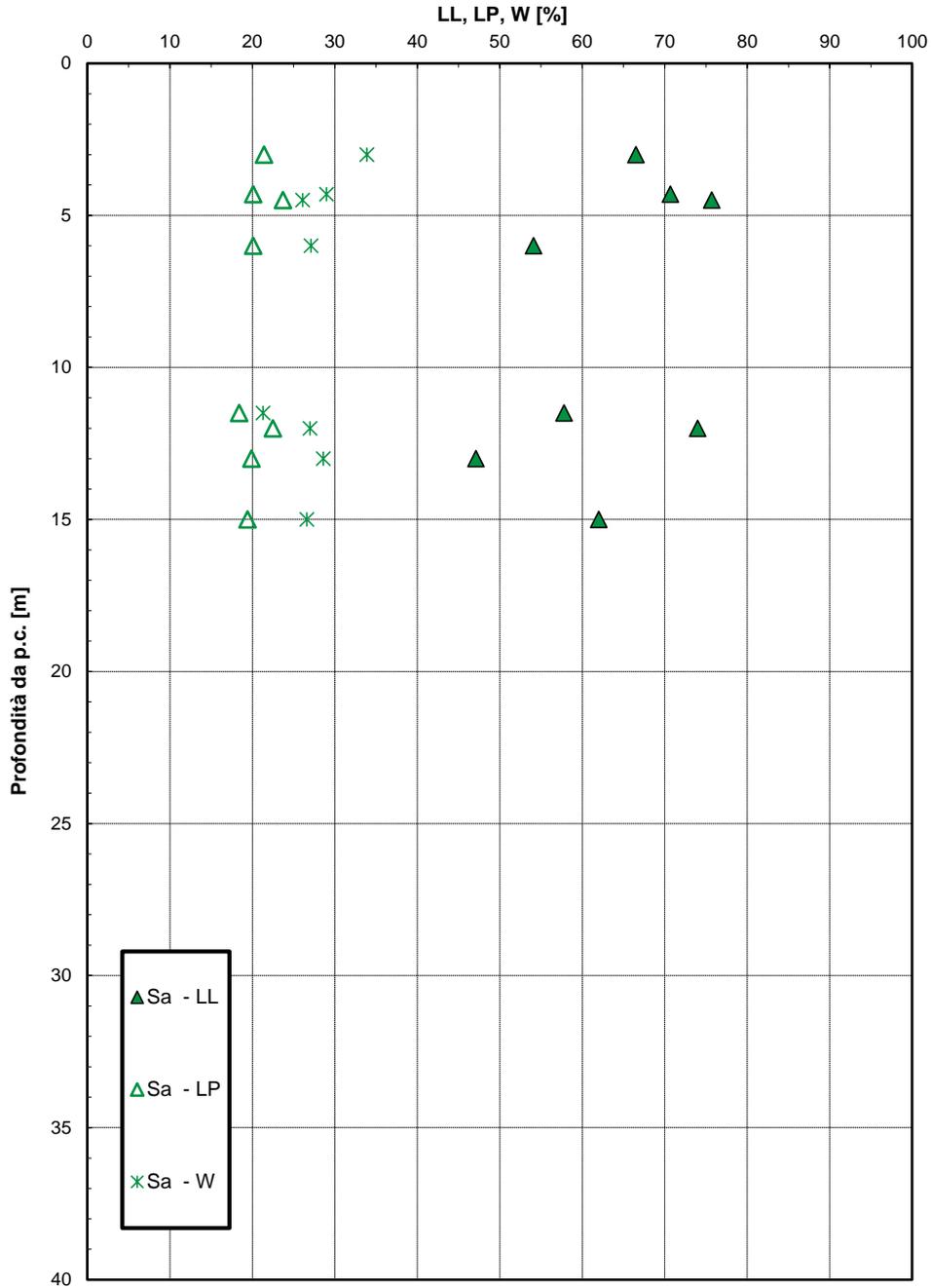


Figura 19: Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua – Unità Sa

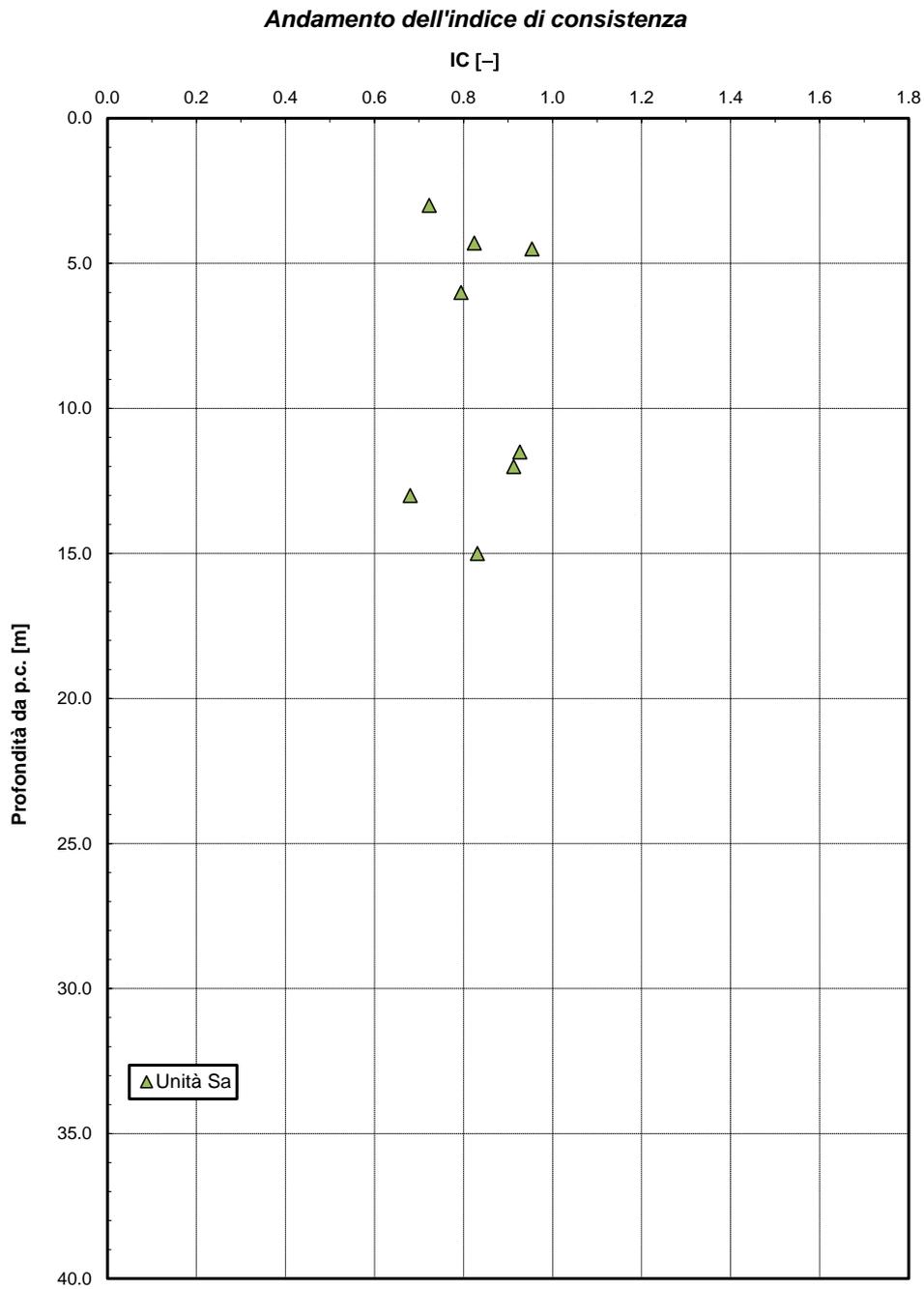


Figura 20: Andamento dell'indice di consistenza – Unità Sa

Dalla carta di plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche di alta plasticità (vedasi Figura 21).

Carta di Plasticità di Casagrande

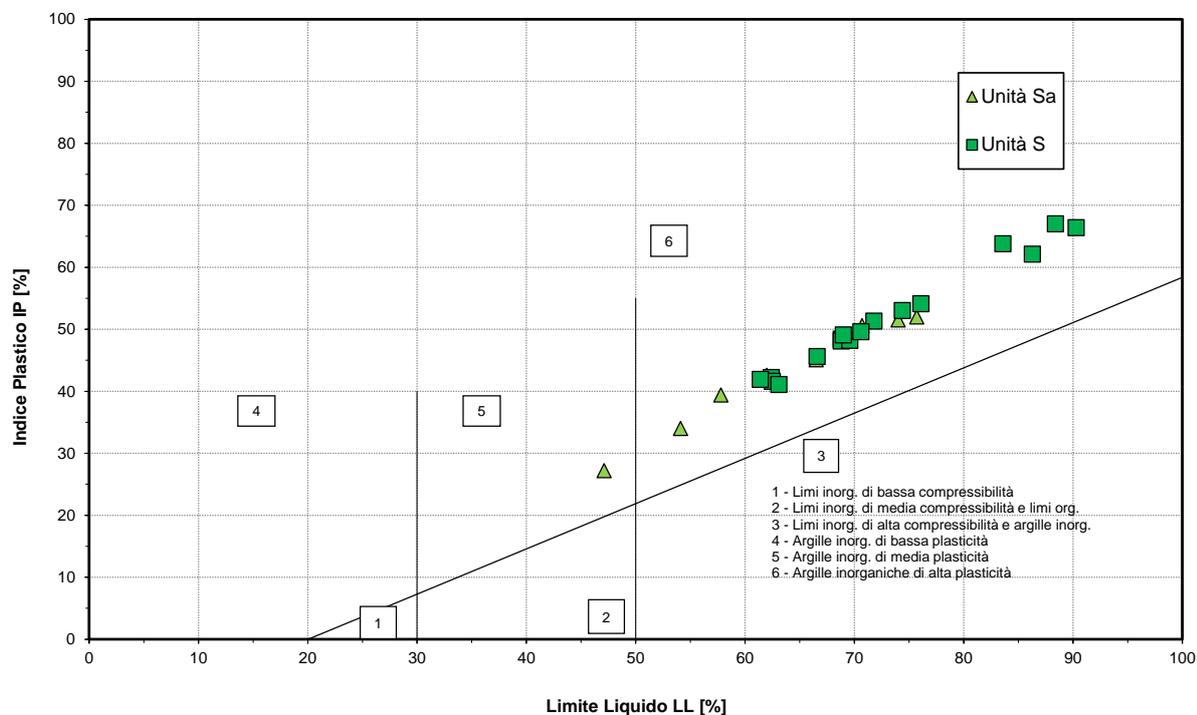


Figura 21: Carta di plasticità di Casagrande – Unità S, Sa

Parametri di resistenza:

Sono disponibili i risultati di prove di laboratorio che hanno dato:

- per l'unità S, valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco tra 19.9 e 29.9° con coesione drenata tra 1.2 e 55.2 kPa; valori dell'angolo di resistenza la taglio residuo compresi fra 11.2 e 12°;
- per l'unità Sa, valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco tra 23.9 e 30.5° con coesione drenata tra 1.2 e 19.3 kPa; valori dell'angolo di resistenza la taglio residuo compresi fra 19.6 e 20.5°.

In Figura 22 sono sintetizzati i risultati delle suddette prove ed in Figura 23 sono mostrati angolo di resistenza al taglio e coesione drenata con la profondità.

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

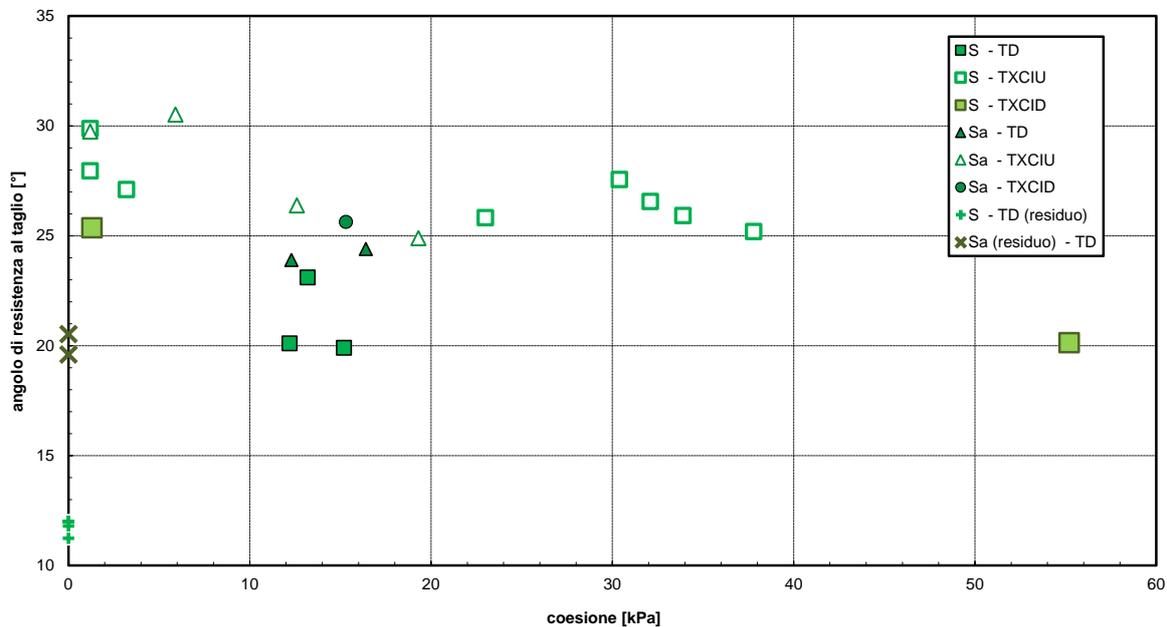
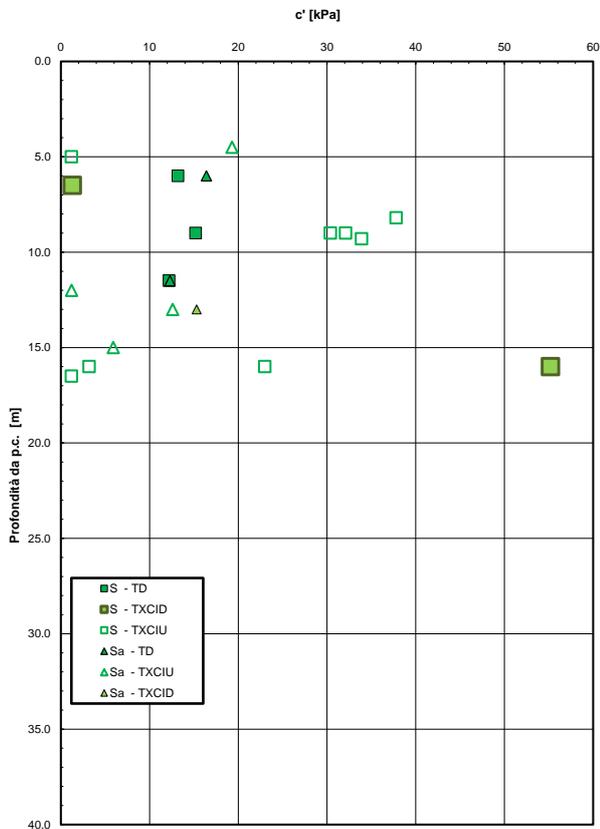


Figura 22: Coesione drenata ed angolo di resistenza al taglio – Unità S, Sa

Andamento della coesione drenata con la profondità



Andamento della resistenza al taglio con la profondità

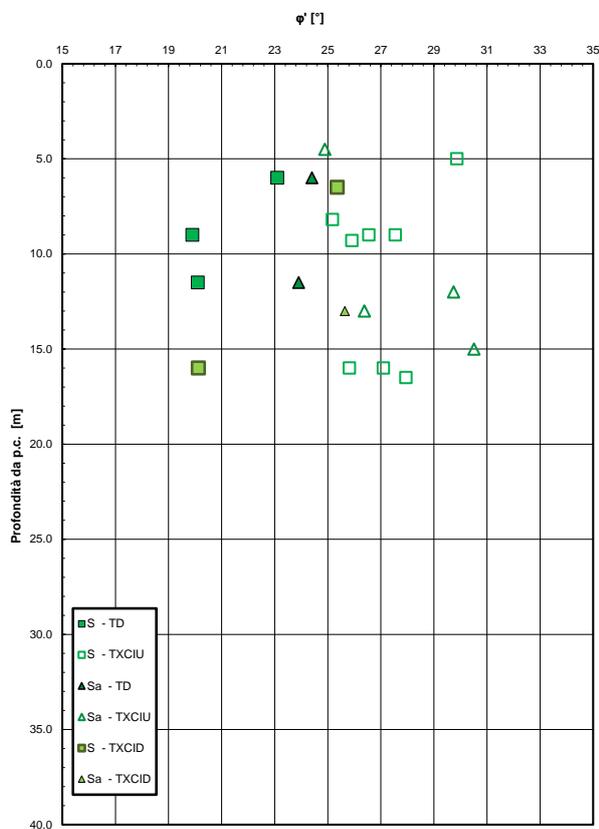


Figura 23: Andamento con la profondità della coesione drenata e dell'angolo di resistenza al taglio – Unità S, Sa

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

In Figura 24 (unità sa) e Figura 25 (unità S) sono mostrati i risultati delle prove di resistenza nel piano τ - σ e nel piano t-s' e sono indicati i range dei valori di progetto assunti per i parametri di resistenza delle unità in esame:

$$\varphi' = 23\div 27^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$c' = 15\div 25 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

In Figura 25 sono stati inseriti anche i risultati delle prove di laboratorio (denominati in legenda: Oversea, Overland) eseguiti su terreni della medesima formazione relativi allo studio della frana di Ancona eseguito dal professore V. Cotecchia [N.16], da cui si evince che per tensioni superiori a 300 kPa i valori di questo studio sono un pò maggiori a quelli ottenuti dalle prove di laboratorio del 2022, mentre per tensioni inferiori a 300 kPa sono abbastanza simili.

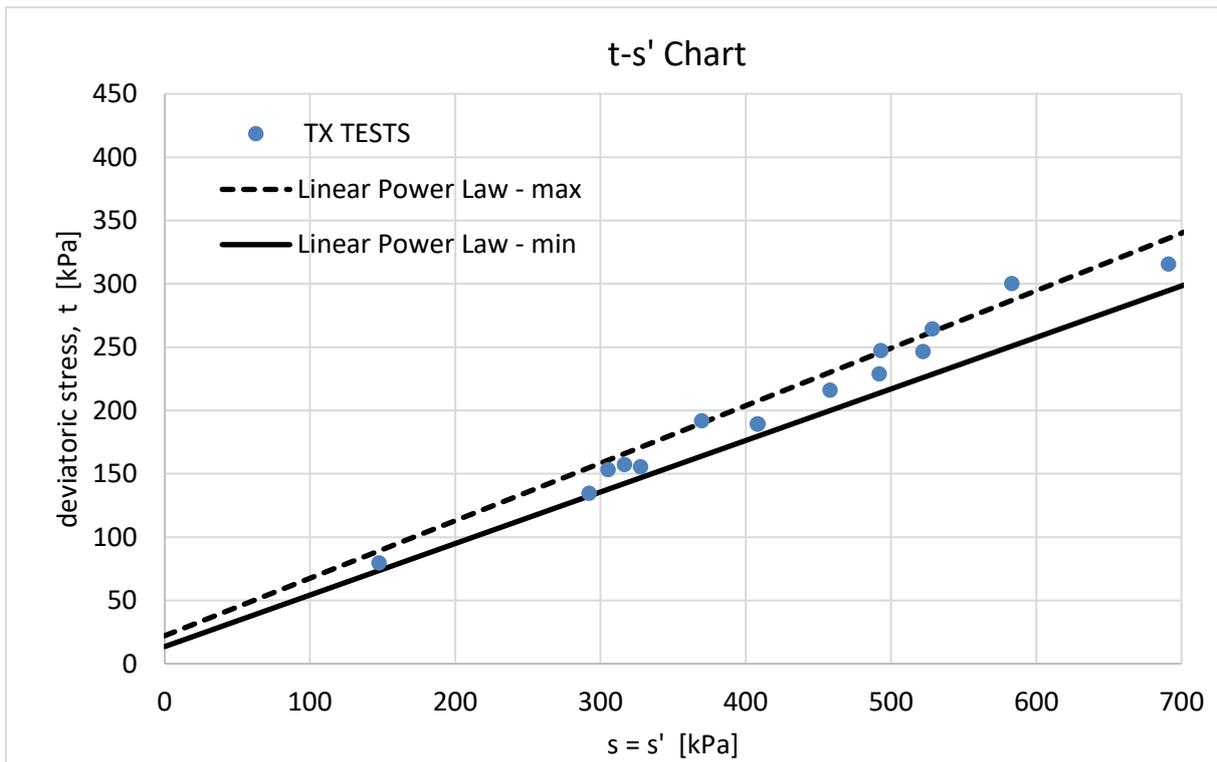
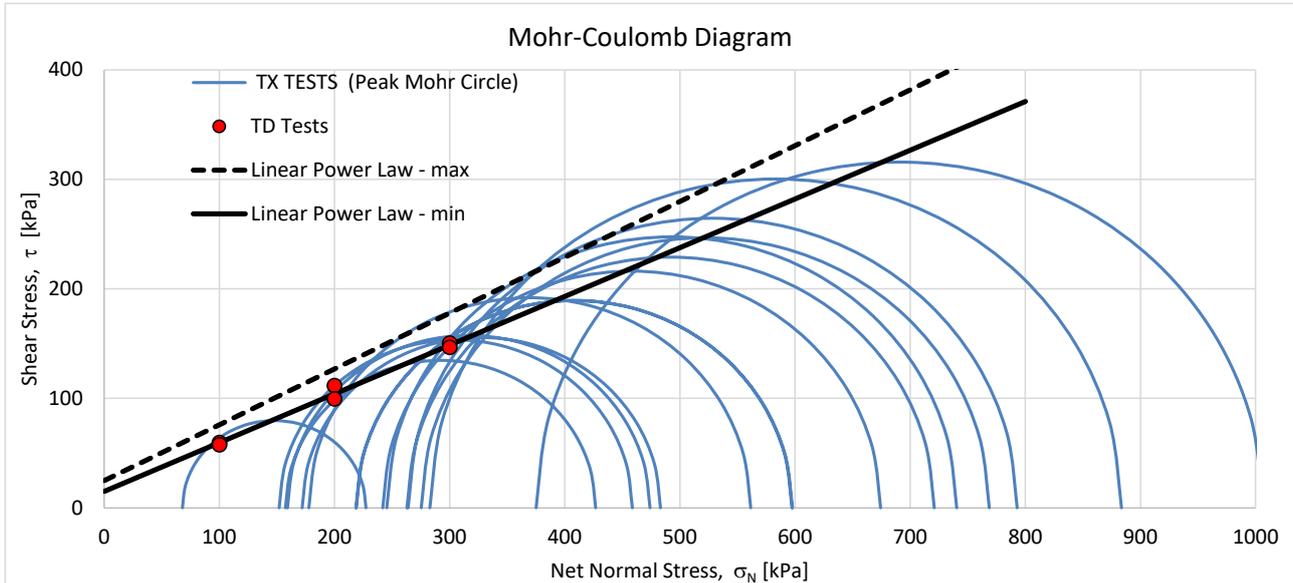


Figura 24: Parametri di resistenza al taglio – Unità Sa

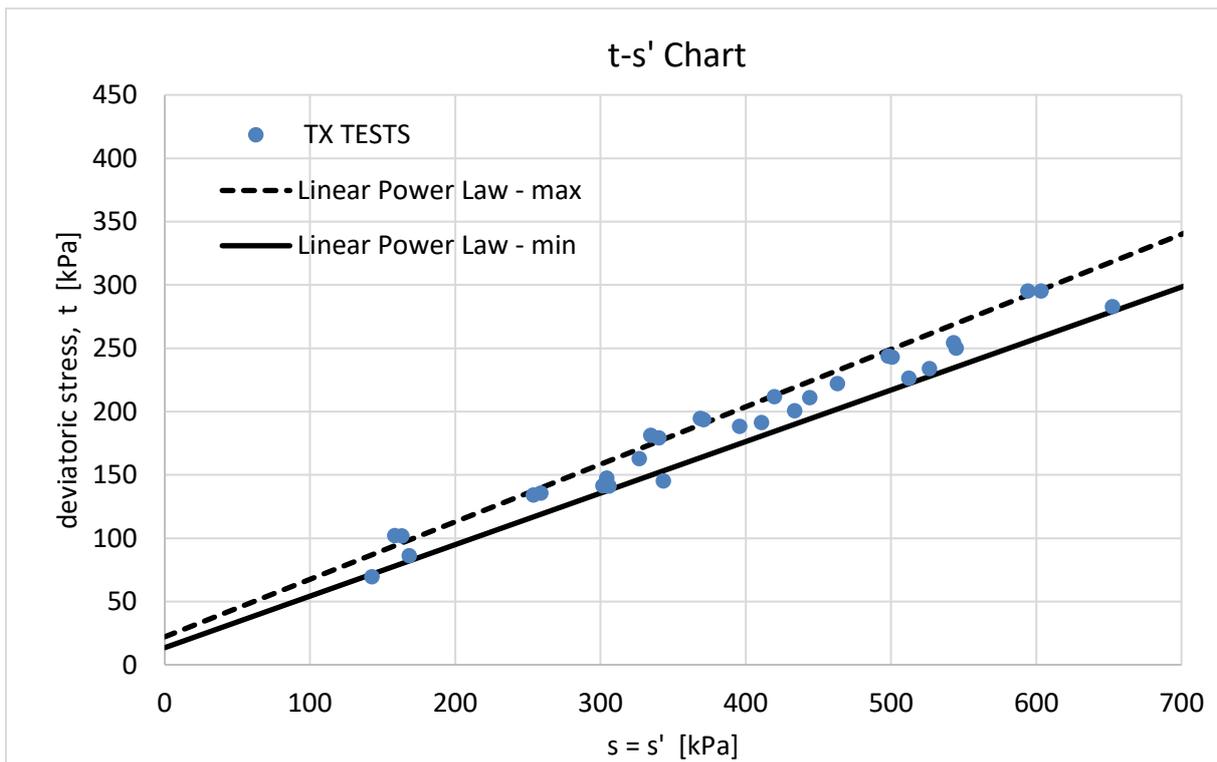
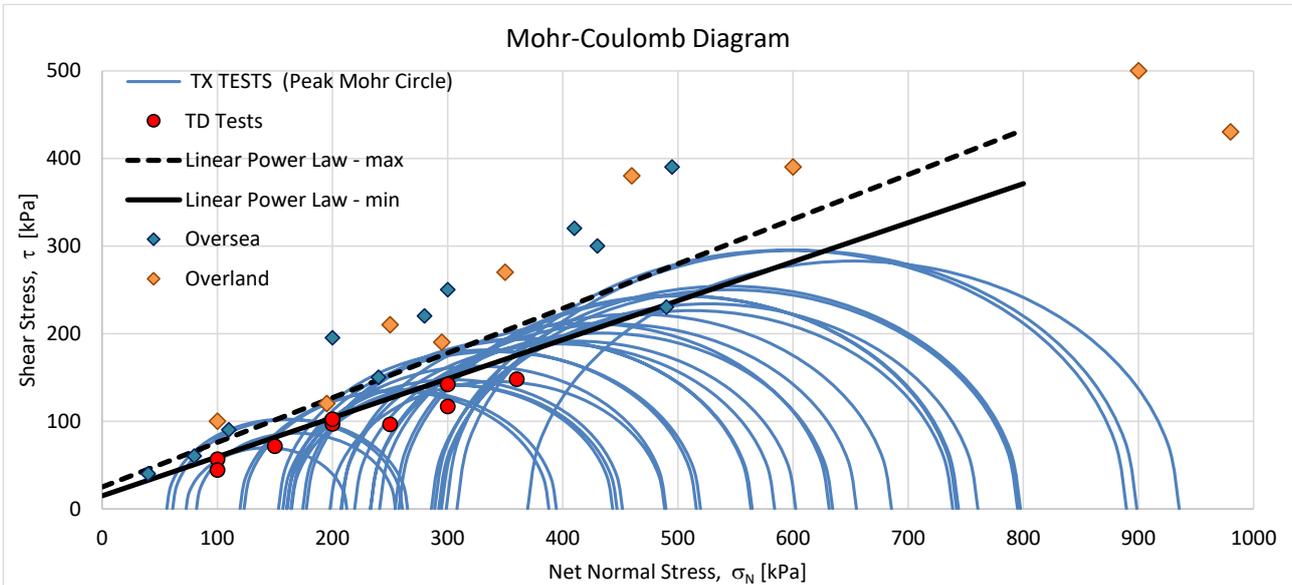


Figura 25: Parametri di resistenza al taglio – Unità S

Nella seguente figura si riporta l'angolo di resistenza al taglio in funzione dell'indice di plasticità; da cui si osserva che l'intervallo di valori di progetto dell'angolo di resistenza al taglio ($\varphi' = 23\div 27^\circ$) ben si correla con l'indice di plasticità del materiale (IP valore medio tra 40 e 50%) (correlazione di Jamiolkowski et al. 1979).

Angolo di resistenza al taglio e indice di plasticità (Jamiolkowski et al., 1979)

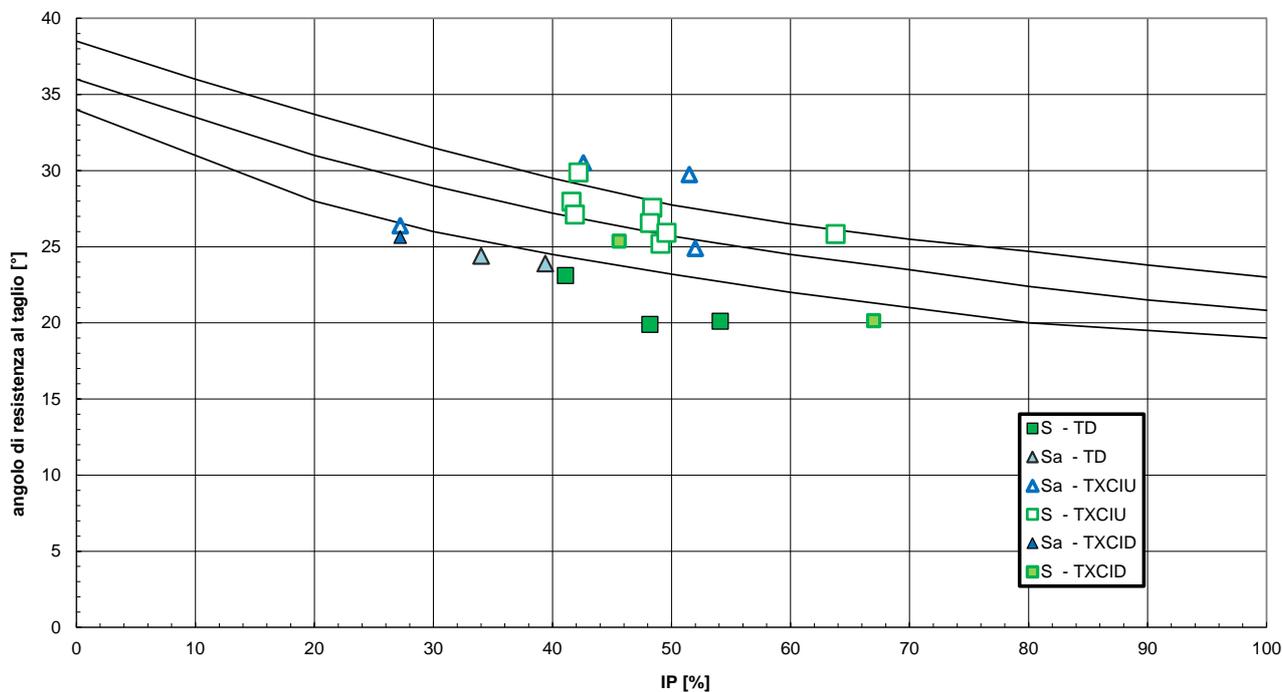


Figura 26: angolo di resistenza al taglio ed indice di plasticità – Unità S

In Figura 27 sono riportati i valori di resistenza al taglio non drenata ottenuta da Pocket Penetrometer e da prove di laboratorio trassiali non consolidate e non drenate (TXUU). In figura sono indicati anche i range di progetto:

$$c_u = 100 + 8 \cdot z < 300 \text{ kPa} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate – valori medi}$$

$$c_u = 70 + 7.2 \cdot z < 250 \text{ kPa} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate – valori minimi}$$

Andamento della resistenza al taglio non drenata

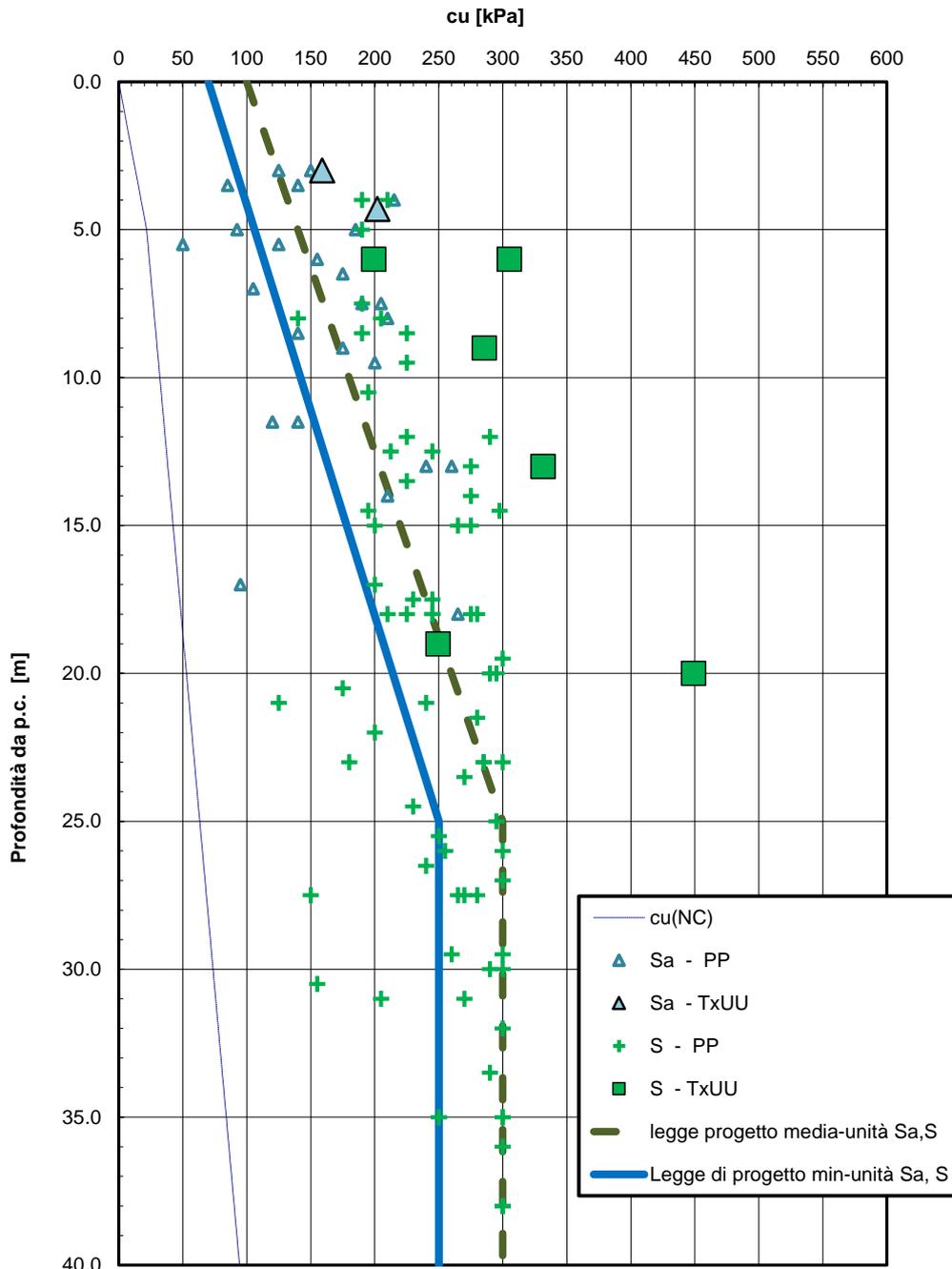


Figura 27: Andamento della resistenza al taglio non drenata – Unità Sa, S

Parametri di deformabilità:

I parametri di deformabilità possono essere stati stimati dalle indagini sismiche. Gli attuali risultati delle indagini Down-Hole forniscono valori piuttosto anomali delle velocità delle onde di taglio con la profondità (vedasi Figura 29). Al momento della stesura del presente elaborato sono in corso verifiche dei risultati di tutte le prove Down-Hole.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

Da dati bibliografici ("Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS – 2011") sono stati recuperati i risultati di 3 prove sismiche MASW (A34, B15, A02) i cui risultati sono graficati in Figura 29. Si osservano valori di velocità delle onde di taglio variabili da 100 a 450 m/s crescenti con la profondità (entro i 40 m da p.c.).

Per l'unità in esame si stimano i seguenti parametri:

$V_s = 100\div 450$ m/s velocità delle onde di taglio

$G_o = 40 + (3.5 \cdot z)$ MPa modulo di deformazione a taglio iniziale (vedasi Figura 30)

z = profondità da p.c.

$E_o = 2.6 \cdot G_o$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (vedasi Figura 31)

Su un campione indisturbato è stata inoltre condotta una prova edometrica che ha restituito i seguenti valori :

$E_{ED} = 8209$ kPa modulo di deformazione edometrico

$c_v = 3.69E^{-8}$ m²/s coefficiente di consolidazione verticale

Sull'unità sono state eseguite prove pressiometriche (vedasi Figura 28), da cui si stima un valore del modulo pressiometrico E_p da 9 a 43 MPa e del modulo di deformazione di Young E' da 14 a 64 MPa.

Modulo di deformazione elastico

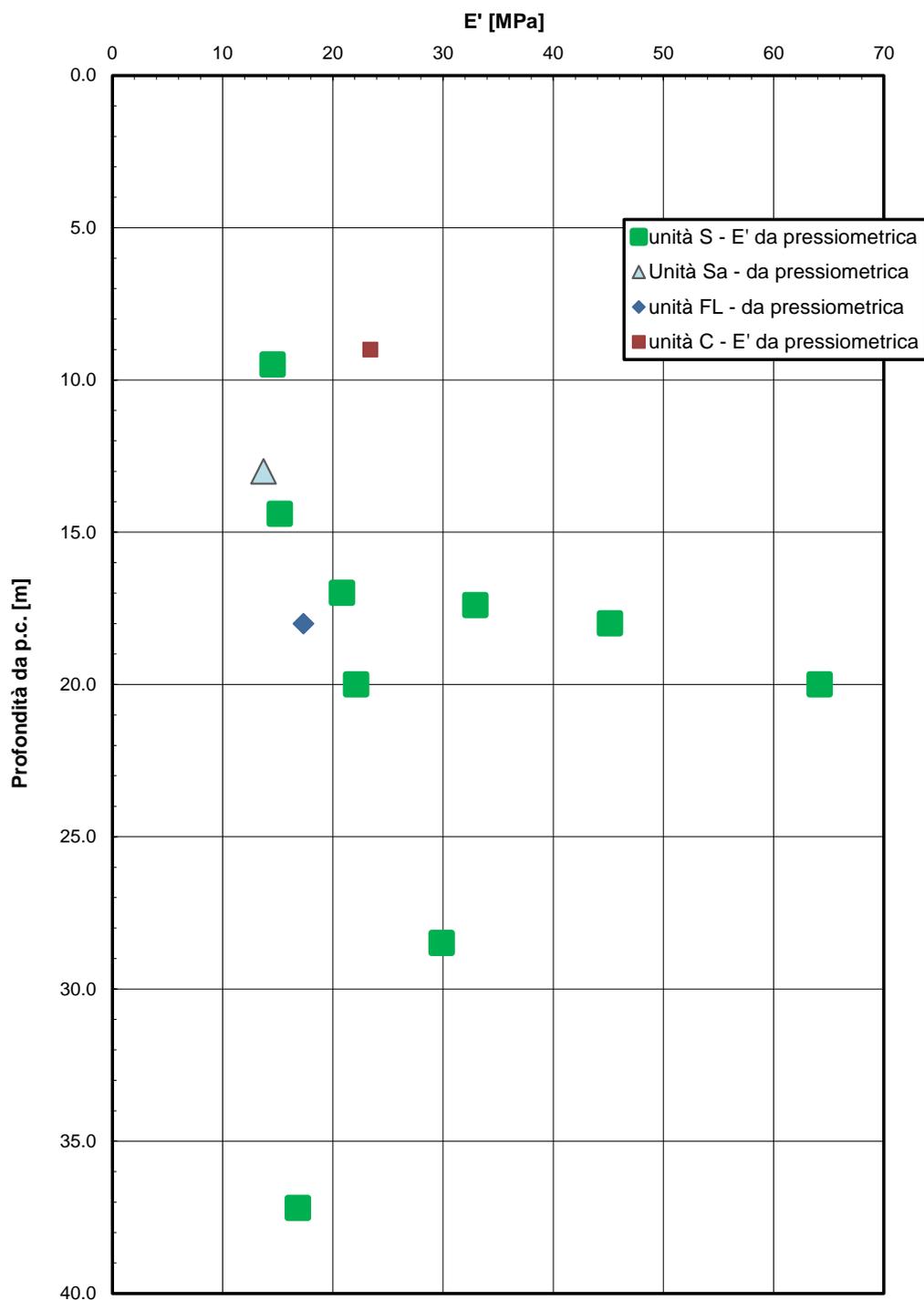


Figura 28: Modulo di deformazione elastico (Young) da prova pressiometrica

Velocità delle onde di taglio da prove sismiche

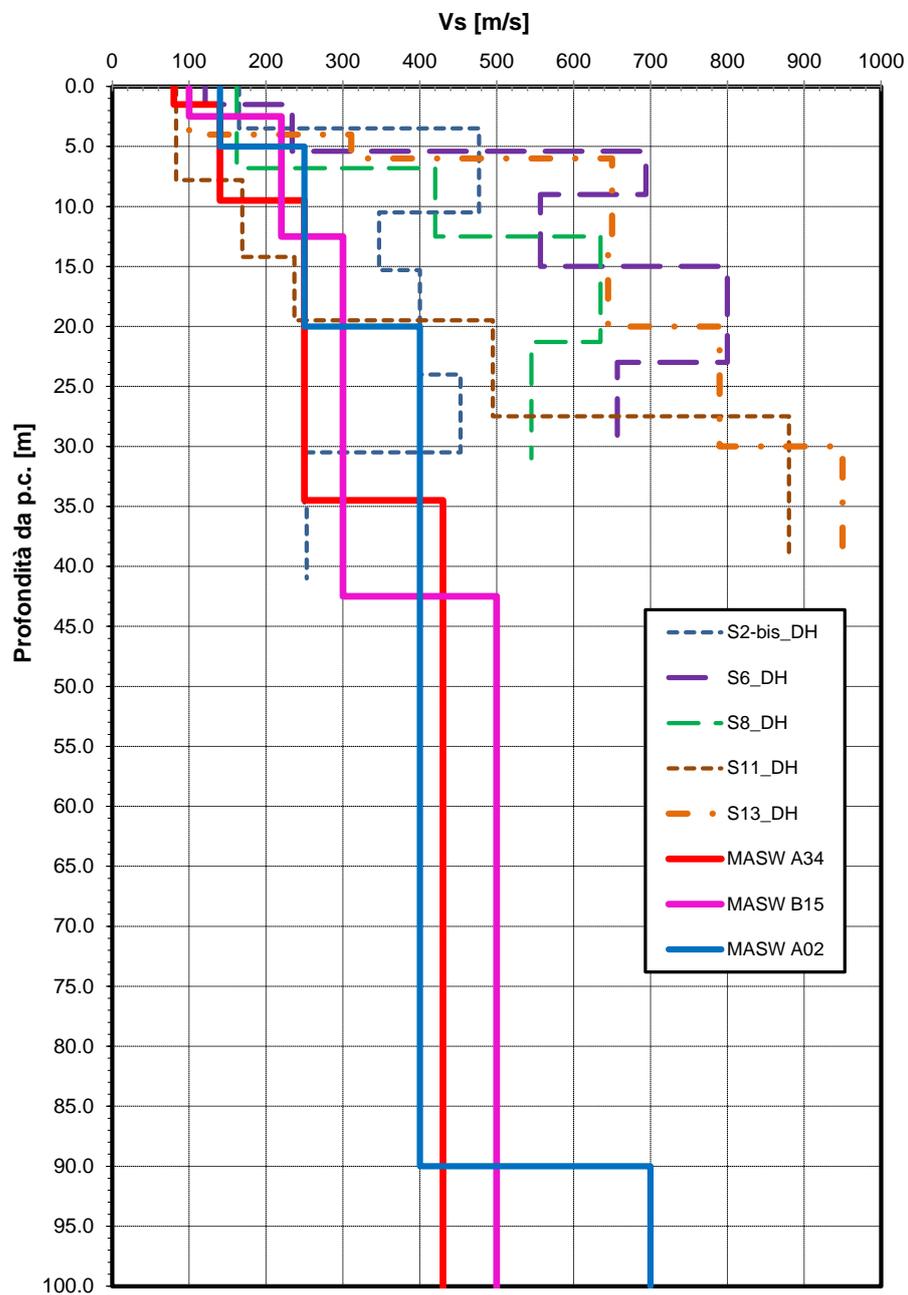
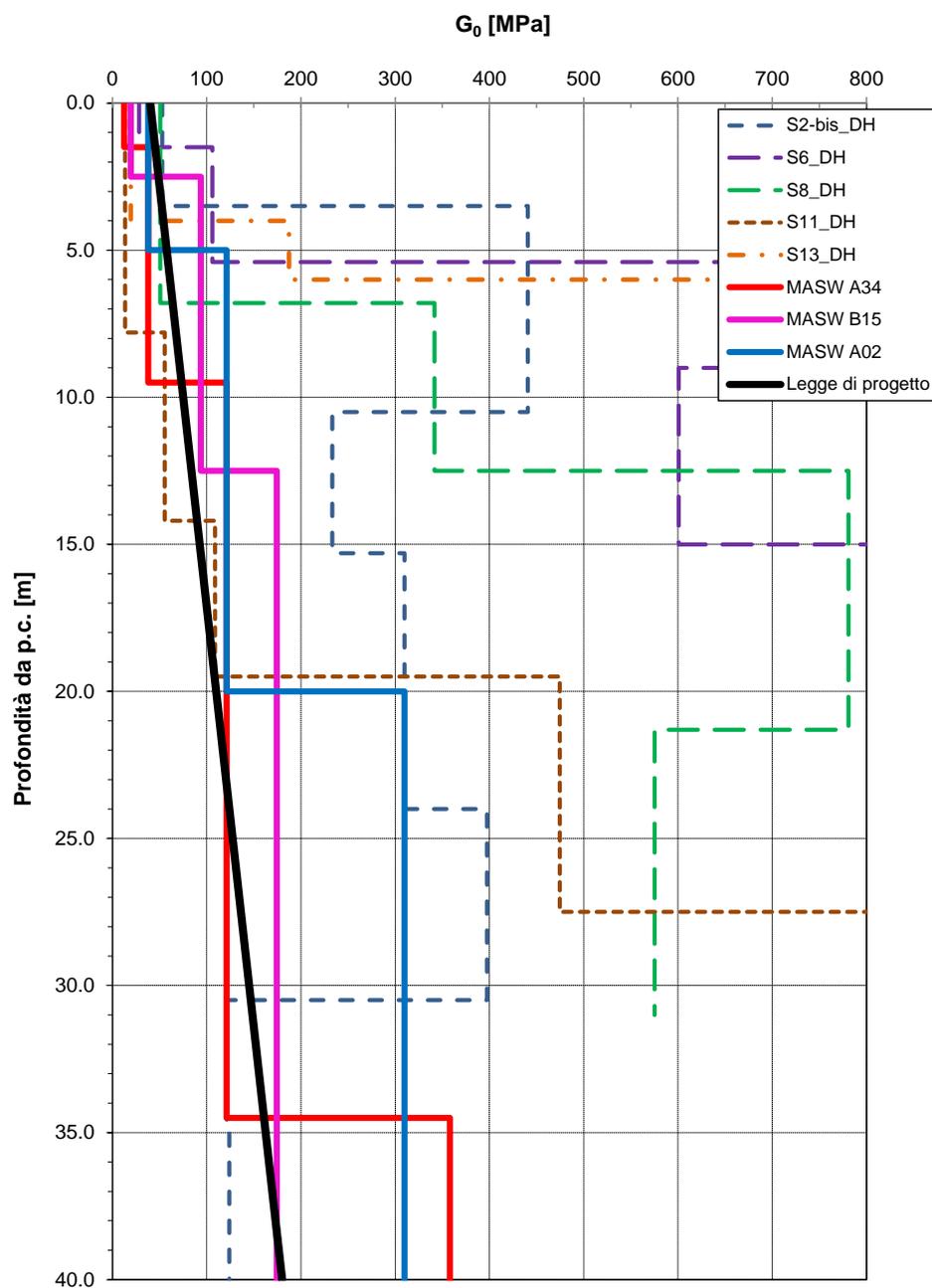
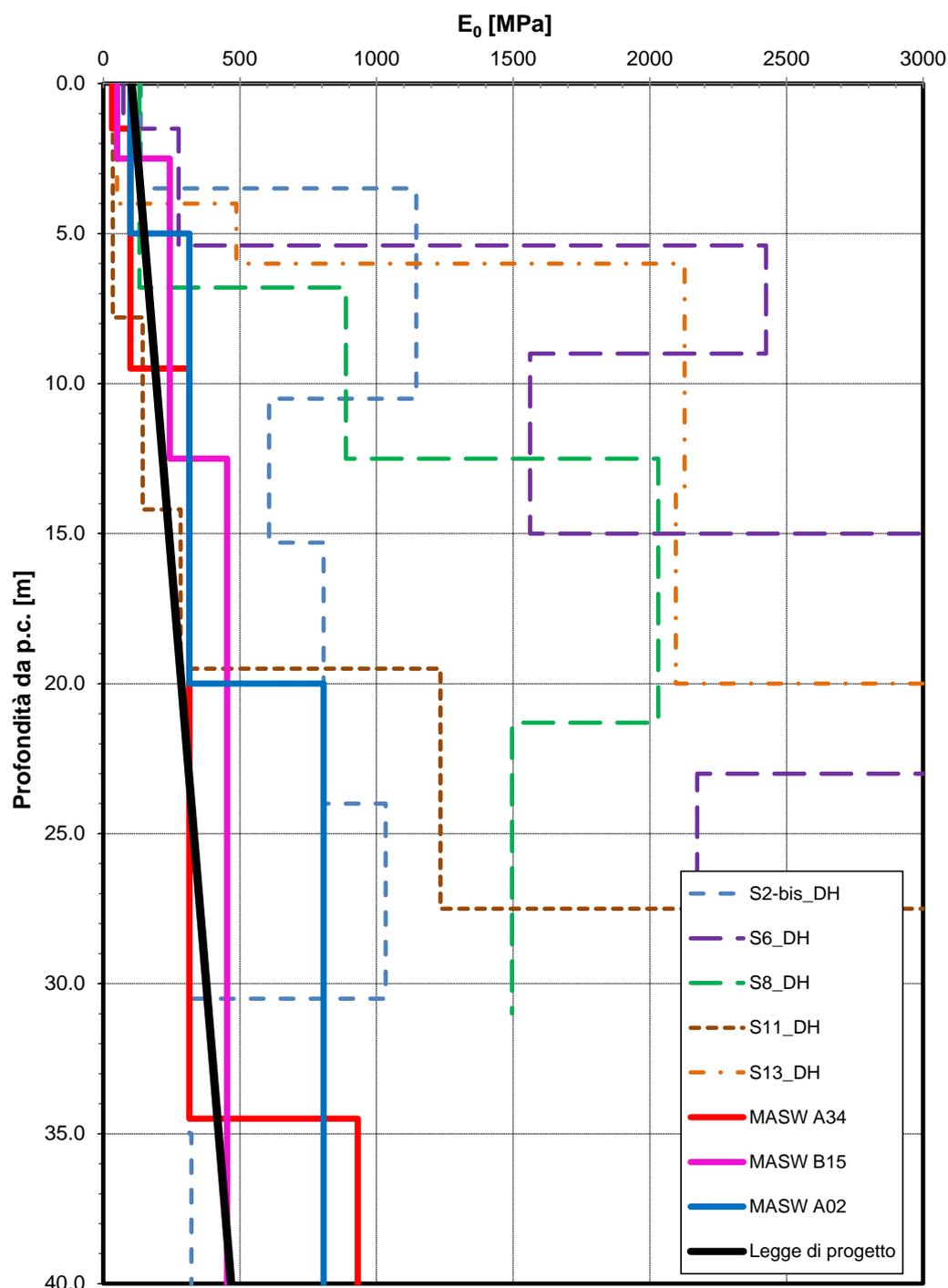


Figura 29: Velocità delle onde di taglio Vs – da indagini sismiche

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove sismiche

Figura 30: Modulo di deformazione a taglio iniziale (piccole deformazioni) G_0 – da indagini sismiche

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove sismiche

Figura 31: Modulo di deformazione elastico iniziale (piccole deformazioni) E_0 – da indagini sismiche

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

5.6 Unità FL – argille e limi (deposito fluvio-lacustre)

Si tratta di argille e limi di origine fluvio lacustre, intercettate dal sondaggio S5 tra i 15 e 30 m di profondità.

Su tale unità non sono stati prelevati campioni per prove di laboratorio.

Sull'unità sono state eseguite misure di Pocket Penetrometer nelle carote di sondaggio, che hanno dato valori di resistenza al taglio in condizioni non drenate compresi tra 200 e 300 kPa (vedasi Figura 32).

Sull'unità è stata eseguita una prova pressiometriche (sondaggio S5 a 18 m di profondità da p.c.), da cui si stima un valore del modulo pressiometrico $E_p=11.6$ MPa e del modulo di deformazione di Young $E' =17.3$ MPa.

Per la caratterizzazione geotecnica dell'unità si è quindi fatto riferimento ad esperienze maturate su terreni simili; inoltre dall'esame visivo delle carote di sondaggio, dalla descrizione del materiale e dai pochi risultati di prova disponibili, si assumono cautelativamente i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma = 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 15$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 150\div 200$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 200\div 300$ MPa	modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni

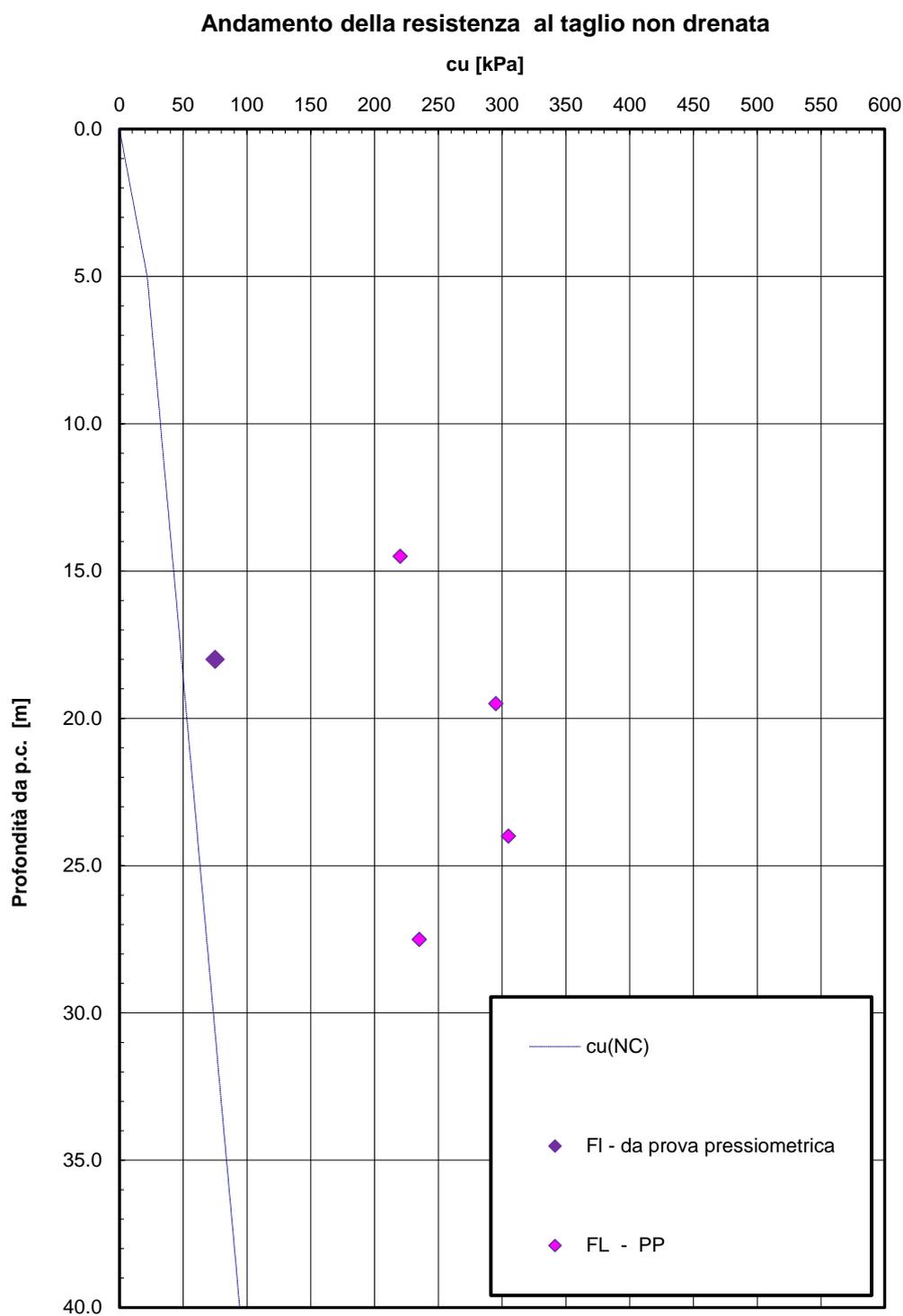


Figura 32: Andamento della resistenza al taglio non drenata – Unità FL

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

5.7 Parametri geotecnici caratteristici

Nel seguito si sintetizzano i parametri geotecnici caratteristici per le unità geotecniche in oggetto.

Unità C - limo argilloso (deposito colluviale)

$\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 23 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi_r' = 12 \div 14^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 100 + 6.7 \cdot z \quad \text{kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valori medi)
$c_u = 70 + 7.2 \cdot z \quad \text{kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valori minimi)
$G_o = 40 + 3.5 \cdot z \quad \text{MPa}$	modulo di deformazione a taglio a piccole deformazioni
(z = profondità da p.c. in m)	

Unità Sa - argilla limosa (substrato alterato)

$\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 15 \div 25 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 23 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi_r' = 12 \div 14^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 100 + 8 \cdot z \leq 300 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valori medi)
$c_u = 70 + 7.2 \cdot z \leq 250 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valori minimi)
$G_o = 40 + 3.5 \cdot z \quad \text{MPa}$	modulo di deformazione a taglio a piccole deformazioni
(z = profondità da p.c. in m)	

Unità S - argilla limosa grigia (substrato)

$\gamma = 18.5 \div 19.9 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 15 \div 25 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 23 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi_r' = 12 \div 14^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 100 + 8 \cdot z \leq 300 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valori medi)
$c_u = 70 + 7.2 \cdot z \leq 250 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valori minimi)
$G_o = 40 + 3.5 \cdot z \quad \text{MPa}$	modulo di deformazione a taglio a piccole deformazioni
(z = profondità da p.c. in m)	

Unità FL – argille e limi (deposito fluvio-lacustre)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
--------------------------------	-------------------------

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

$c' = 15 \text{ kPa}$

coesione drenata

$\phi' = 25^\circ$

angolo di resistenza al taglio

$C_u = 150 \div 200 \text{ kPa}$

resistenza al taglio in condizioni non drenate

$E_o = 200 \div 300 \text{ MPa}$

modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni

$E_o = 2.6 \cdot G_o$

modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni

I moduli di deformabilità "operativi" da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni (E_{op1}'), saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale (E_o): $E_{op1}' = E_o / 5$.

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati (E_{op2}'), i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale ($E_{op2}' = E_o / 10$).

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

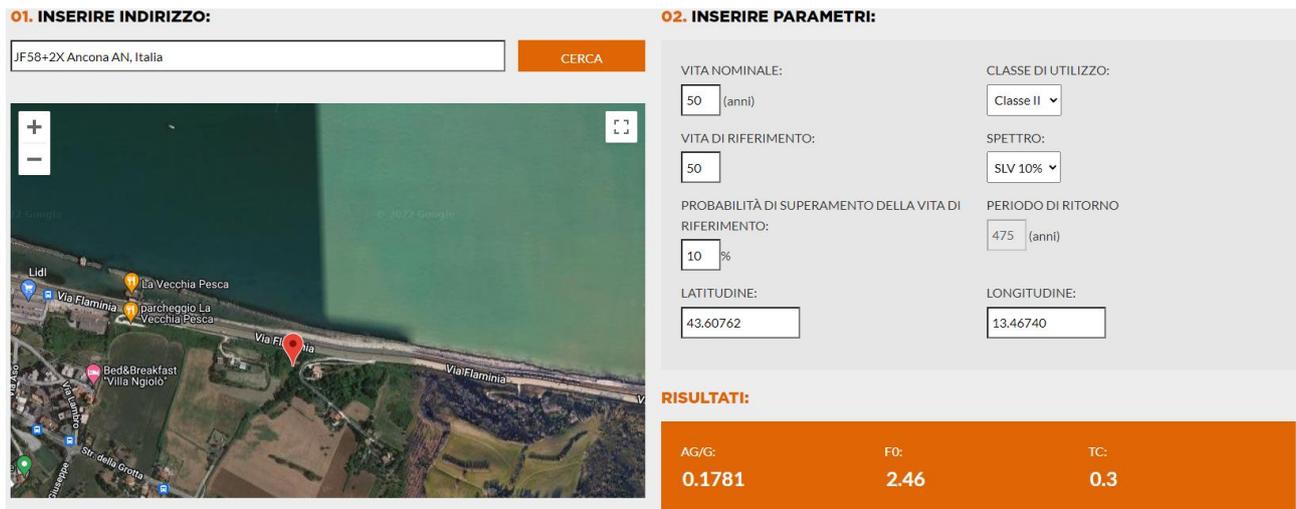
6.1 Categoria di sottosuolo sismica

Dalle analisi sismiche eseguite nel sito si definisce categoria di sottosuolo sismica tipo C (vedasi Tabella 6)..

6.2 Azioni sismiche

In accordo a quanto indicato dalla normativa vigente si individuano i parametri di definizione dell'azione sismica in base ai seguenti dati di base:

- Coordinate punto medio del tracciato: long. 13.46740, lat. 43.60762;
- Classe d'uso: II, $c_U = 1.0$;
- Vita nominale per opere ordinarie permanenti: $V_N = 50$ anni;
- Categoria di sottosuolo C



01. INSERIRE INDIRIZZO:

JF58+2X Ancona AN, Italia CERCA

02. INSERIRE PARAMETRI:

VITA NOMINALE: 50 (anni) CLASSE DI UTILIZZO: Classe II

VITA DI RIFERIMENTO: 50 SPETTRO: SLV 10%

PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA VITA DI RIFERIMENTO: 10% PERIODO DI RITORNO: 475 (anni)

LATITUDINE: 43.60762 LONGITUDINE: 13.46740

RISULTATI:

AG/G:	FO:	TC:
0.1781	2.46	0.3

Figura 6-1. Classificazione sismica del sito

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido a_g , l'accelerazione di picco a_{max} è valutata come:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.44 \cdot 1.0 \cdot 0.178 = 0.256g$$

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

7 VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

7.1 Premessa

I rilevati in progetto sono previsti con pendenza delle scarpate 2 (verticale) / 3 (orizzontale) e altezze massime di 5 m.

7.2 Criteri di valutazione dei cedimenti

Si riportano nel seguito le metodologie ed i criteri di calcolo del cedimento.

L'analisi del cedimento è stata effettuata utilizzando il programma CED sviluppato dall'ing. Guiducci per l'analisi delle tensioni indotte nel sottosuolo dai carichi applicati in superficie.

Con il programma di calcolo è possibile analizzare cedimenti di rilevati illimitati sia di rilevati semi-illimitati (quali ad esempio i rilevati di approccio ad eventuali spalle dei viadotti di linea).

Nel caso di rilevati semi-illimitati il cedimento viene valutato in condizione di area di carico semi – infinita; quindi si può individuare l'andamento del cedimento in asse rilevato in direzione longitudinale (tenendo eventualmente anche conto della pendenza longitudinale del rilevato), al fine di determinare la posizione (rispetto alla spalla) della sezione con cedimento massimo.

Nel caso particolare sono stati valutati i cedimenti di rilevati in ipotesi illimitata ed il calcolo è stato effettuato in corrispondenza dell'asse del rilevato (cedimento massimo).

7.2.1 Determinazione della zona compressibile Hc

Viene definita convenzionalmente zona compressibile (Hc) la profondità oltre la quale l'incremento delle tensioni verticali ($\delta\sigma_z$) risulti inferiore a $(0.10) \cdot (\sigma'_{vo})$ (essendo σ'_{vo} la tensione verticale efficace litostatica) e il contributo al cedimento può essere considerato trascurabile.

7.2.2 Terreni sabbiosi

Il cedimento dei rilevati poggianti su terreni sabbiosi può essere determinato ricorrendo alla teoria dell'elasticità ed alla seguente espressione:

essendo:

$$s_t = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta\sigma_z - \nu' \cdot (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot h_i}{E_i'}$$

s_t = cedimento totale

$\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$ = tensioni indotte dal carico

h_i = altezza dello strato i-esimo

n = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile (H_c)

E_i' = modulo di deformazione elastico drenato dello strato i-esimo

ν = rapporto di Poisson = 0.3

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

Il comportamento dei terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) risulta macroscopicamente diverso da quello dei terreni a grana fine (limi e argille), in virtù della marcata differenza esistente tra i valori del coefficiente di permeabilità. Avendo infatti elevata permeabilità essi si comportano come un sistema aperto con libero flusso dell'acqua e l'eventuale sovrappressione dell'acqua interstiziale, generata da una qualunque causa che ne disturbi l'equilibrio originario, si dissipa in tempi estremamente brevi. Ne consegue che, ai fini pratici, si può trascurare il moto di filtrazione transitorio e fare riferimento direttamente alle condizioni di equilibrio finale.

Il decorso del cedimento nel tempo può essere pertanto considerato rapido, praticamente contemporaneo alla costruzione dell'opera.

7.2.3 Terreni argillosi e/o stratificati

Nel presente paragrafo vengono illustrati i criteri utilizzati per la valutazione dei cedimenti di rilevati in terreni costituiti prevalentemente da materiali argillosi saturi e in terreni stratificati, ovvero costituiti da materiali argillosi intercalati da lenti sabbiose.

L'analisi relativa ai cedimenti viene sviluppata con riferimento ai seguenti aspetti principali:

- descrizione dei diversi tipi di cedimento (immediato, di consolidazione primaria, secondario);
- descrizione delle ipotesi di lavoro;
- determinazione teorica dell'entità dei diversi tipi di cedimento;
- determinazione teorica dell'andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione primaria e secondaria, assenza o presenza di dreni verticali.

7.2.4 Tipi di cedimento

L'applicazione di un carico di dimensioni finite su un deposito costituito da materiali argillosi saturi comporta un processo deformativo nel terreno che tradizionalmente viene schematizzato come illustrato nella Figura 2 (vedasi ad esempio Perloff [1975]):

- a) Data la bassa permeabilità (k) del terreno, la fase di carico avviene in condizioni non drenate con generazione di sovrappressioni interstiziali (Δu); i materiali argillosi si deformano allora a volume costante ed il cedimento che ne consegue è indicato come cedimento immediato.
- b) Il trasferimento del carico dall'acqua allo scheletro solido comporta ulteriori cedimenti, la cui velocità nel tempo è legata principalmente alle caratteristiche di permeabilità dell'argilla e alle condizioni di drenaggio. Il processo è noto come consolidazione primaria ed il cedimento conseguente a tale processo è indicato come cedimento di consolidazione primaria.
- c) Ultimato il processo di consolidazione primaria, anche quando le sovrappressioni nell'acqua risultano nulle, continuano a svilupparsi nel tempo assestamenti dovuti a fenomeni di natura plastico-viscosa che avvengono in condizioni drenate; il cedimento conseguente è noto come cedimento secondario.

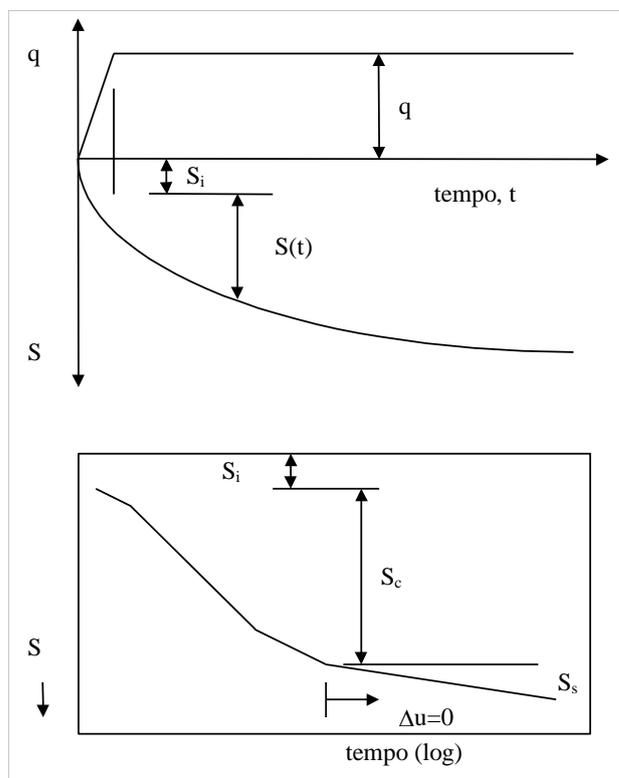


Figura 2 – Cedimenti totali, immediati e di consolidazione

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

7.2.5 Valutazione teorica dei vari tipi di cedimento

Cedimento immediato

Con riferimento alla teoria dell'elasticità il cedimento immediato in argille viene stimato con la seguente espressione:

$$s_i = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta\sigma_z - \nu_u \cdot (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot h_i}{E_{ui}}$$

essendo:

- s_i = cedimento immediato
- $\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$ = tensioni indotte dal carico
- h_i = altezza dello strato i-esimo
- n = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile (H_c)
- E_{ui} = modulo di deformazione non drenato dello strato i-esimo
- ν_u = rapporto di Poisson = 0.5

Cedimento totale (immediato e di consolidazione primaria)

Con riferimento alla teoria dell'elasticità il cedimento immediato e di consolidazione primaria nei terreni coesivi viene stimato con la seguente espressione (in analogia a quanto già indicato per i depositi incoerenti):

essendo:

$$s_t = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta\sigma_z - \nu' \cdot (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot h_i}{E_i'}$$

- s_t = cedimento immediato e di consolidazione primaria
- $\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$ = tensioni indotte dal carico
- h_i = altezza dello strato i-esimo
- n = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile (H_c)
- E_i' = modulo di deformazione elastico drenato dello strato i-esimo
- ν = rapporto di Poisson = 0.3

Per definizione il cedimento di consolidazione primaria è dato dalla differenza tra s_t e s_i .

7.2.6 Determinazione teorica dell'andamento nel tempo dei cedimenti

Cedimenti di consolidazione primaria

L'analisi del processo di consolidazione consiste nella previsione del decorso nel tempo della dissipazione della sovrappressione interstiziale e quindi del cedimento.

Si tratta di un problema molto complesso del quale esistono in letteratura delle soluzioni relative a schemi semplificati che possono comunque fornire indicazioni per i problemi pratici.

La prima soluzione al problema monodimensionale è stata ottenuta da Terzaghi (1923) nell'ambito delle seguenti ipotesi:

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

- terreno omogeneo e completamente saturo, con legge sforzi-deformazione di tipo lineare;
- i parametri di compressibilità e di permeabilità sono costanti durante il processo di consolidazione;
- incompressibilità dell'acqua e dello scheletro solido del terreno;
- deformazioni piccole e comportamento del terreno non viscoso;
- il carico è supposto applicato istantaneamente;
- validità della legge di Darcy.

L'equazione differenziale che regola il fenomeno in regime transitorio è:

$$c_v \frac{d^2u}{dz^2} = \frac{du}{dt}$$

dove:

- c_v = coefficiente di consolidazione verticale;
- u = sovrappressione interstiziale: $u(z,t)$;
- z = dimensione (verticale);
- t = tempo;
- d = simbolo per derivata parziale.

La soluzione dell'equazione dipende dalle condizioni iniziali:

- distribuzione delle sovrappressioni interstiziali all'atto dell'applicazione del carico;
- condizioni di drenaggio al contorno.

La soluzione è generalmente espressa in termini del parametro adimensionale "grado di consolidazione" U_v definito dal rapporto fra la sovrappressione dissipata e quella iniziale:

$$U_v(z,t) = \frac{u_0 - u(z,t)}{u_0} = 1 - \frac{u(z,t)}{u_0} = \frac{s_c(t)}{s_c}$$

dove:

- u_0 = sovrappressione iniziale;
- $u(z,t)$ = sovrappressione durante il transitorio;
- $s_c(t)$ = cedimento (per consolidazione) nel generico istante t ;
- s_c = cedimento al termine del processo.

Una funzione che approssima la soluzione dell'equazione differenziale è stata proposta da Sivaram e Swamee - 1977 (vedasi "Geotecnica" di R. Lancellotta).

$$U_v = (4 \cdot T_v / \pi)^{0.5} / [1 + (4 \cdot T_v / \pi)^{2.8}]^{0.179}$$

dove:

- $T_v = c_v \cdot t / L_v^2$ fattore di tempo adimensionale
- $c_v = k_v \cdot E_d / \gamma_w$ coefficiente di consolidazione verticale
- k_v = coefficiente di permeabilità verticale
- E_d = modulo di compressibilità edometrica

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

γ_w = peso di volume dell'acqua

t = istante di tempo generico

L_v = massimo percorso di drenaggio.

Cedimento secondario

Il cedimento secondario nei terreni coesivi è convenzionalmente calcolato facendo riferimento alla seguente equazione:

$$s_s = \sum_1^n \log \left(\frac{t}{t_{100,i}} \right) \cdot c_{\alpha i} \cdot h_i$$

essendo:

s_s = cedimento secondario;

t = tempo generico a partire dall'applicazione del carico;

$t_{100,i}$ = tempo necessario all'esaurimento della consolidazione primaria nello strato argilloso i-esimo, separato da altri strati argillosi da lenti sabbiose continue;

h_i = altezza dello strato argilloso i-esimo separato da altri strati argillosi da lenti sabbiose continue;

n = numero di strati argillosi separati tra loro da lenti sabbiose continue;

$c_{\alpha i}$ = coefficiente di consolidazione secondaria nello strato i-esimo misurato da prove edometriche di laboratorio.

Nell'impiego della relazione sono implicite le seguenti ipotesi:

- monodimensionalità del problema;
- il cedimento secondario inizia dopo l'esaurimento del cedimento di consolidazione primaria;
- il valore di α è costante durante l'evolversi del cedimento secondario;
- il valore di α è indipendente dal valore dello spessore dello strato i-esimo h_i , anche se tale spessore influenza l'entità del t_{100} ;
- il valore di α è indipendente dal rapporto $\Delta\sigma_z/\sigma'_{vo}$.

Nel caso di profili caratterizzati da più strati argillosi separati da lenti sabbiose non continue, il calcolo del cedimento secondario viene eseguito con riferimento al monostrato e ad un coefficiente di consolidazione secondaria medio pesato tra quelli relativi ai singoli strati.

7.3 Valutazione dei cedimenti dei rilevati

La valutazione dei cedimenti viene svolta per le sezioni ritenute più significative sia in relazione alla successione stratigrafica, che alla geometria dei rilevati (altezza, larghezza sommitale). In particolare sono state analizzate le seguenti sezioni:

- Sezione 113 al km 2+240: rilevato di altezza 3.7 m e larghezza sommitale di 15.5 m (vedasi Figura 3).

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

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 verticale risulta maggiore o uguale a 0.1 volte la tensione geostatica efficace.

Il calcolo dei cedimenti dei rilevati è stato eseguito considerando ciascuna sezione di rilevato come da figura seguente con pendenza scarpate 2 (verticale) / 3 (orizzontale), con l'altezza massima, valutata come distanza tra quota di progetto della sede stradale e piano campagna (vedasi H_{ril}, calcolo nella figura seguente) e la larghezza sommitale del rilevato (larghezza massima della piattaforma stradale, dimensione B indicata in figura seguente).

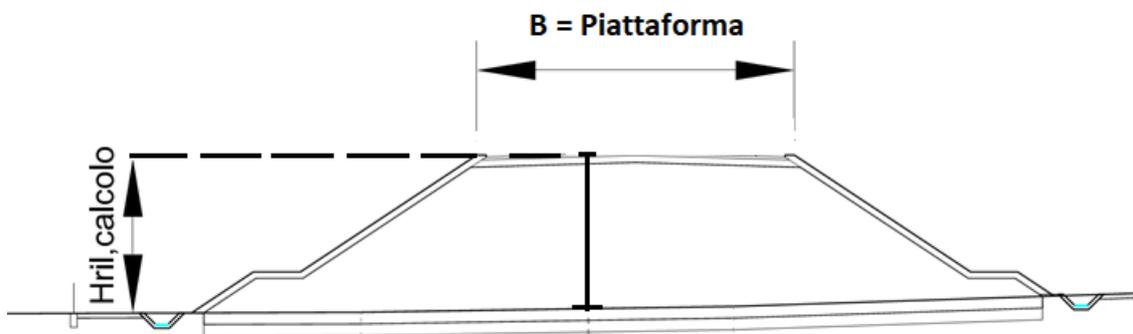


Figura 5 – Schema di calcolo

La stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto delle formazioni sono state dedotte sulla base delle indagini più vicine (elencate nelle tabelle che seguono).

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 elastico iniziale (E_0) è stato considerato l'andamento con la profondità definito al paragrafo 5.7 (Figura 31).

Il valore del modulo di deformazione in condizioni non drenate (E_u), in accordo a quanto indicato nella relazione geotecnica generale, è stato stimato con la correlazione di Duncan & Buchigani (1976): $E_u = k \cdot c_u$, dove c_u è la resistenza al taglio non drenata ed è stato assunto $k = 350$ per le formazioni argillose in esame (vedasi Figura 2).

Il valore del coefficiente di consolidazione verticale (c_v) è stato stimato da prove di laboratorio, che hanno dato i valori mostrati in Figura 6; si assume quindi $4E^{-08} \text{ m}^2/\text{s}$.

Il coefficiente di consolidazione secondario (c_α) è stimato in base alla correlazione Navfac (vedasi Figura 3) in funzione del contenuto naturale d'acqua; assumendo un valore medio di $W_n = 27 \%$, si ha $c_\alpha = 0.0025$.

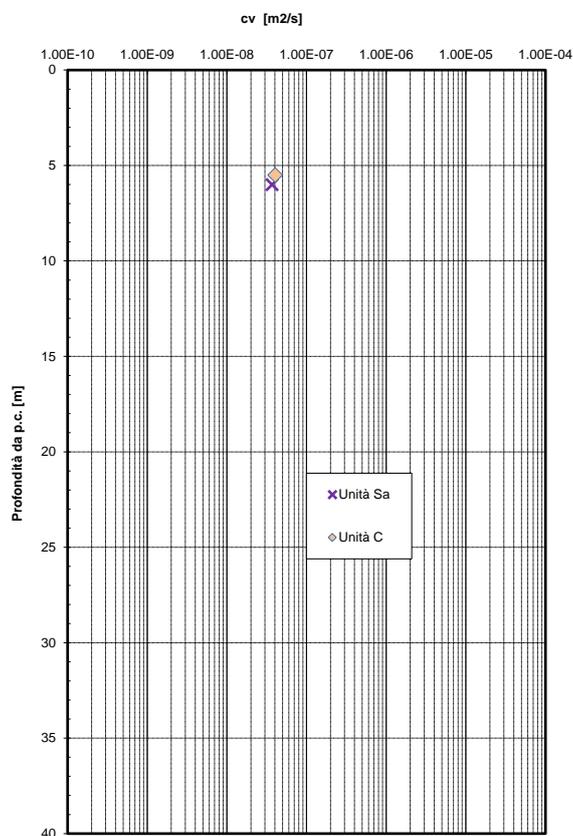


Figura 6 – Coefficiente di consolidazione verticale (cv) da prove edometriche

Tabella 8 – Stratigrafia e parametri geotecnici – sezioni di calcolo

Sezione di calcolo 113 - km 2+240					
Indagini di riferimento: S6, S7					
Profondità da p.c.[m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	E' [MPa]	Eu [MPa]
0.0÷5.5	C	19.0	100÷137	10.4÷15.4	35÷47.95
5.5÷25.0	S	19.0	144÷300	15.4÷46.8	50.4÷105
25.0÷40.0	S	19.0	300		105
Falda: a 4.5 m da p.c.					

Sezione di calcolo spalla B VI01 - km 3+431.5					
Indagini di riferimento: S13					
Profondità da p.c.[m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	E' [MPa]	Eu [MPa]
0.0÷7.0	C	19.0	100÷147	10.4÷16.7	35÷51.45
7.0÷13.5	Sa	19.0	156÷300	16.7÷22.7	54.6÷105
13.5÷25.0	S	19.0		22.7÷46.8	
25.0÷40.0	S	19.0	300		105
Falda: a 8.0 m da p.c.					

Nella seguente tabella si sintetizzano i risultati dei calcoli dei cedimenti. In Appendice A si riportano i tabulati di calcolo completi.

Sezione	H rilevato [m]	Cedimento totale [mm]	Cedimento immediato [mm]	Cedimento di consolidazione [mm]
Sez 113 – km 2+240	3.7	70.1	11.5	58.6
Sez spalla B – km 3+431.5	5.0	100.8	16.6	84.2

Dalle analisi eseguite si stima un cedimento totale massimo di 10 cm per la sezione di massima altezza (rilevato di approccio alla spalla B), di cui 2 cm circa immediati e 8 cm di consolidazione primaria. Nelle figure seguenti (Figura 7, Figura 8) si riporta il decorso dei cedimenti nel tempo per le due sezioni analizzate. Si tratta di cedimenti modesti e comunque il cedimento residuo valutato tra fine costruzione opera (1 anno circa) e la vita utile dell'opera (50 anni) è 1.5-1.7 cm, sempre inferiore a 5 cm come prescritto da Capitolato, Si tratta di valori sicuramente compatibili con la funzionalità dell'opera.

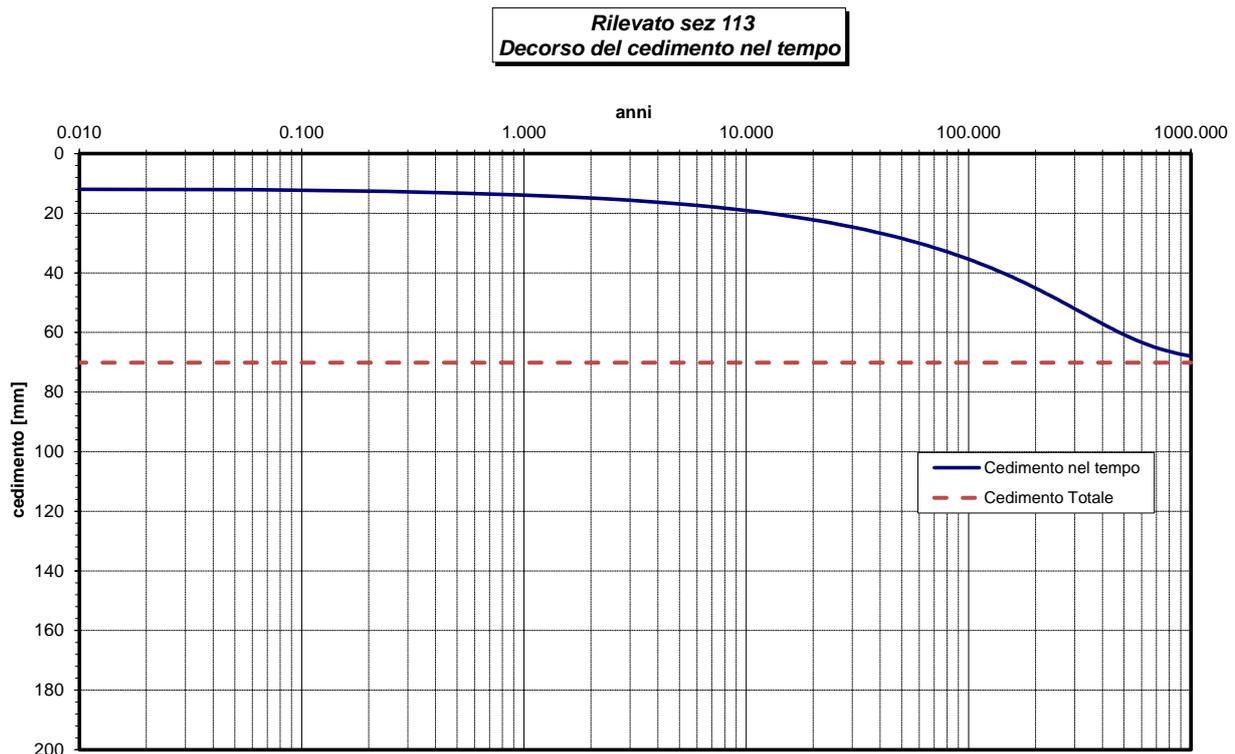


Figura 7 – Sezione 113 – km 2+240 Decorso dei cedimenti nel tempo

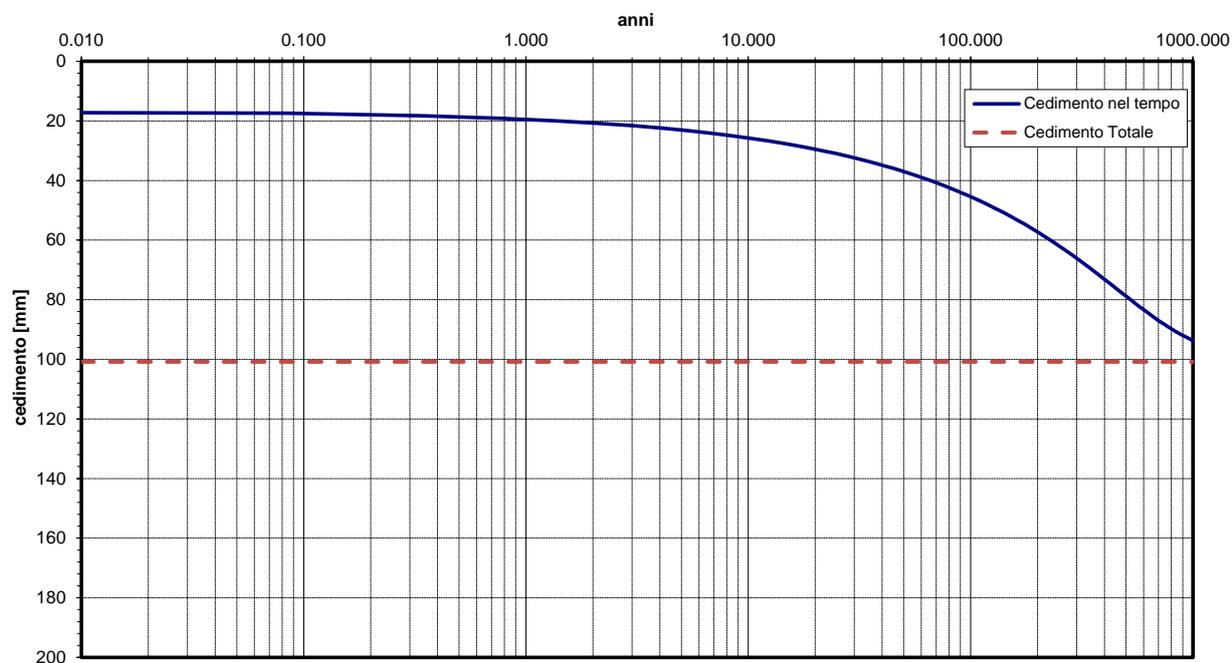
Rilevato sez spalla B
Decorso del cedimento nel tempo

Figura 8 - Sezione spalla B – km 3+431.5 Decorso dei cedimenti nel tempo

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

8 ANALISI DI STABILITÀ DI SCARPATE DEI RILEVATI

8.1 Premessa

Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati che sono previste con pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale) ed altezza inferiore ai 5 m.

8.2 Metodologie di calcolo

Le verifiche di stabilità per le scarpate definitive sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche in accordo a quanto previsto da normativa vigente.

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il codice di calcolo denominato 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. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni. Nelle analisi sono state ovviamente tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

In accordo alla normativa vigente per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Secondo quanto previsto da normativa, per le analisi di stabilità in condizioni statiche SLU, i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

$$\gamma_{\varphi} = 1.25 \quad \text{coefficiente parziale per l'angolo di resistenza al taglio}$$

$$\gamma_{c'} = 1.25 \quad \text{coefficiente parziale per la coesione drenata}$$

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

$$\tan(\varphi'_k) = \tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi} \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$c'_k = c'_k / \gamma_{c'} \quad \text{coesione drenata}$$

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) in condizioni SLU statiche, quindi il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è $FS \geq 1.1$.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

In condizioni sismiche le verifiche di sicurezza sono mirate a controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione $E_d < R_d$ [6.2.1] delle NTC 2018) impiegando lo stesso approccio delle condizioni statiche SLU (§ 6.8.2 delle NTC 2018) Combinazione (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 delle NTC 2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

8.3 Carichi

Per le analisi di stabilità è stato considerato il sovraccarico accidentale stradale di 20 kPa; in condizioni sismiche al carico accidentale è stato applicato un coefficiente di combinazione pari a 0.2.

8.4 Azione sismica

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:

$$f_h = \gamma \cdot k_h \quad \text{forza orizzontale per unità di volume}$$

$$f_v = \gamma \cdot k_v \quad \text{forza verticale per unità di volume}$$

dove:

$$\gamma = \text{peso specifico del volume considerato.}$$

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;

a_{max} = accelerazione massima attesa al sito; g = accelerazione di gravità;

$\beta_s = 0.38$ (SLV) coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito.

Di seguito si riportano i parametri sismici per le scarpate dei rilevati per le categoria di sottosuolo C:

$$k_h = 0.38 \cdot 0.256 = 0.097$$

$$k_v = \pm 0.049$$

8.5 Sezioni di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state condotte per le sezioni ritenute rappresentative delle condizioni più gravose sia in relazione alla stratigrafia che alle altezze di rilevato. In particolare è stata analizzata la

AN255 - SS 16 "Adriatica" Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

sezione di rilevato di altezza massima, essendo i terreni in fondazione sempre coesivi con copertura eluvio colluviale ed a seguite substrato delle argille limose:

- Rilevato spalla B VI01 al km 3+431.5 di altezza H=5 m.

I parametri geotecnici utilizzati nelle analisi sono i seguenti.

Unità R - Riporto

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

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

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

Unità C - limo argilloso (deposito colluviale)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

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

$\phi' = 25^\circ$ angolo di resistenza al taglio

Unità Sa - argilla limosa (substrato alterato)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$c' = 15 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\phi' = 25^\circ$ angolo di resistenza al taglio

Unità S - argilla limosa (substrato)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$c' = 20 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\phi' = 25^\circ$ angolo di resistenza al taglio

8.6 Risultati delle analisi di stabilità

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità in condizioni statiche SLU e sismiche SLV (valutate con $\pm K_v$). I fattori di sicurezza minimi ottenuti dalle verifiche sono sempre maggiori di quanto prescritto da normativa ($\gamma_R \geq 1.1$ per le analisi statiche SLU e $\gamma_R \geq 1.2$ per le analisi sismiche SLV); quindi le verifiche di stabilità sono sempre soddisfatte. I tabulati di calcolo completi sono riportati in Appendice B.

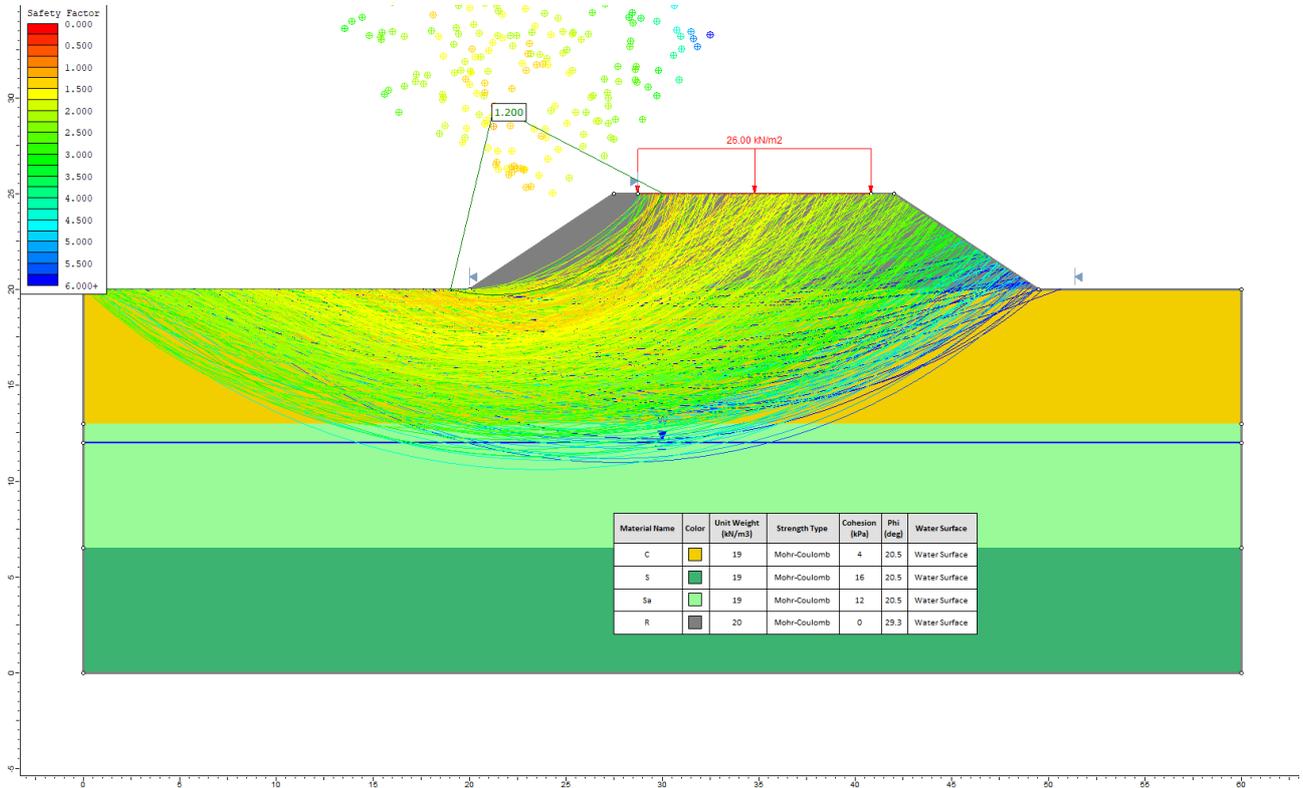


Figura 9. Rilevato al km 3+431.5 – SLU

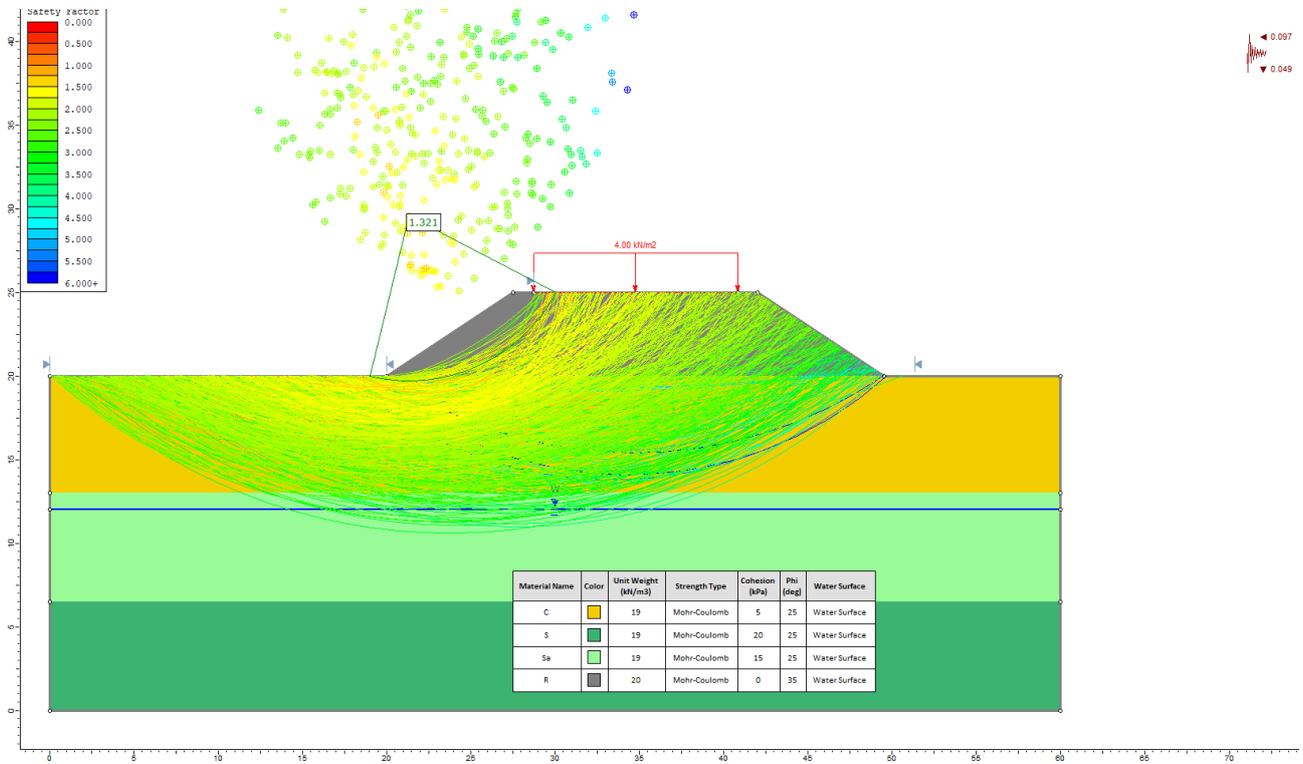


Figura 10. Rilevato al km 3+431.5 – SLV (Kv+)

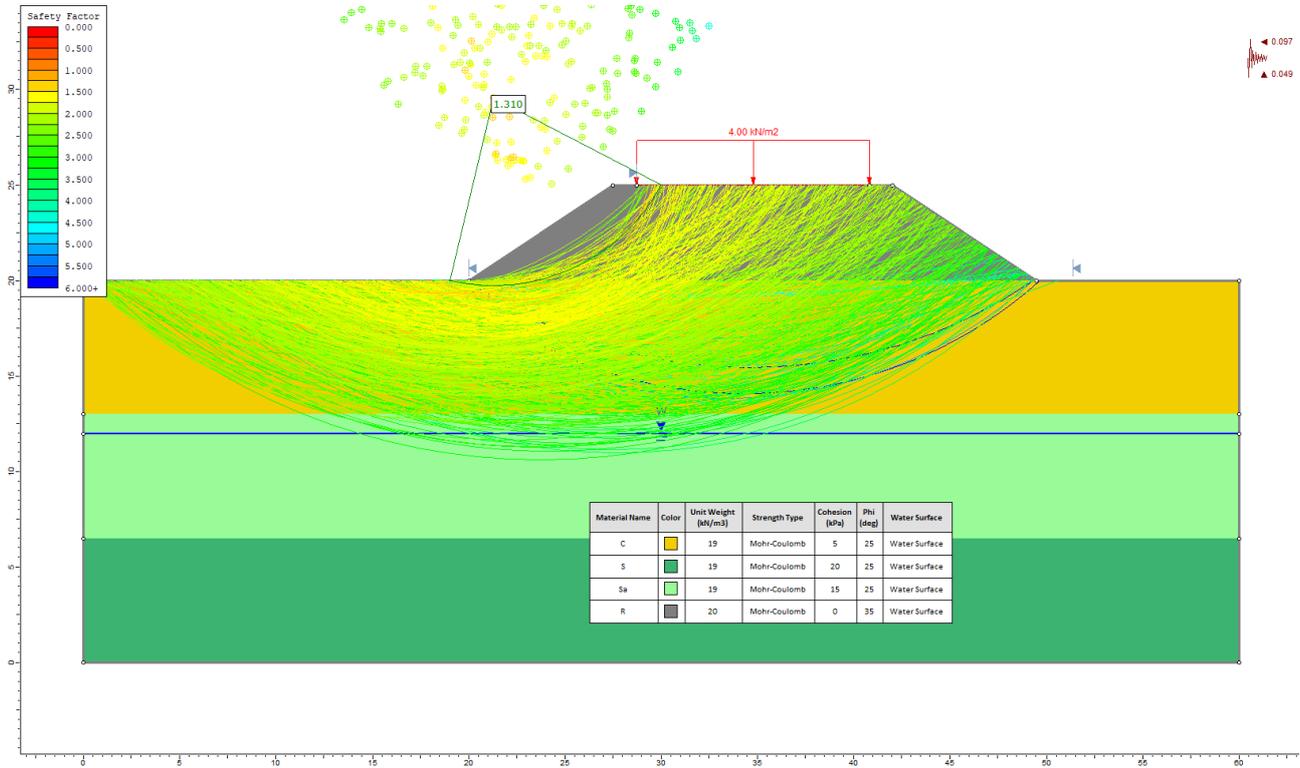


Figura 11. Rilevato al km 3+431.5 – SLV (Kv-)

9 ANALISI RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La Normativa tecnica al paragrafo 7.11.3.4.2 afferma che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in figura seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

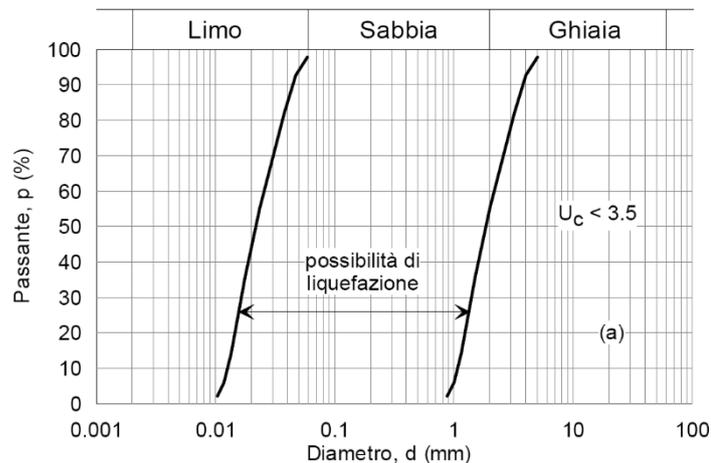


Figura 12 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

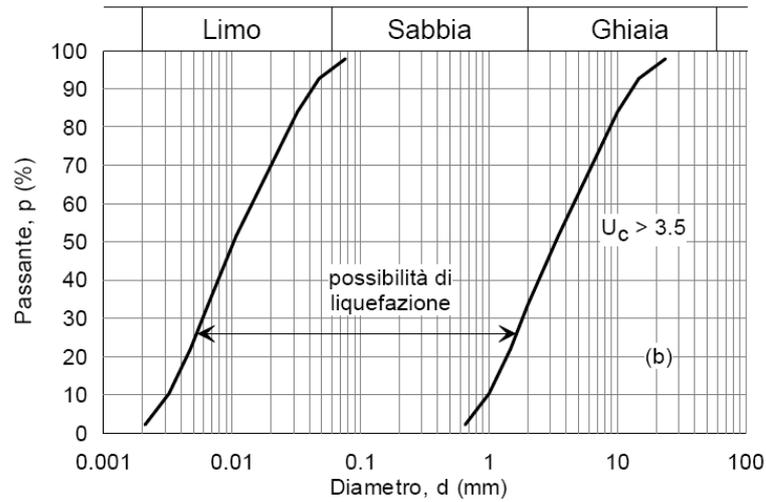


Figura 13 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

Per il sito in esame risulta che:

- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono maggiori di 0.1·g;
- il livello di falda è variabile circa da 1.5 m a 8 m da p.c.;
- nel tracciato predominano terreni coesivi argilloso limosi sia per le coltri colluviali (unità C), sia per le formazioni del substrato (unità S ed FL).

Quindi poiché non sono stati intercettati terreni sabbiosi o limoso sabbiosi, sotto falda, per quanto previsto da normativa vigente, si può escludere il rischio di potenziale liquefazione dei terreni nel sito del tracciato in progetto.

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

10 PIANI DI POSA

Le indagini eseguite in sito (sondaggi a carotaggio continuo e pozzetti esplorativi) hanno consentito di individuare lo spessore del terreno vegetale (unità Rv), che generalmente va da 0.3 a 1.0 m (vedasi profilo geotecnico).

In Tabella 3 sono riportati i valori del modulo di carico su piastra eseguiti a 1.50 m nei tre pozzetti esplorativi, da cui si osservano valori del modulo di deformazione su piastra al primo ciclo di carico (Md1) tra 11 e 14 MPa. Si tratta di valori piuttosto modesti, riconducibili al tipo di materiale su cui sono state eseguite le prove, (dai certificati si evince che generalmente si tratta di limo argilloso debolmente sabbioso). Inoltre, nella Tabella 3 è indicato anche il rapporto tra il modulo di piastra al primo ed al secondo ciclo di carico (Md1 / Md2), tale rapporto indica che il materiale ha una certa propensione al costipamento per rullatura del terreno.

Quindi per i piani di posa si prevede:

- scotico: 0.20 m
- bonifica: 1.30 m

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

11 APPENDICE A. ANALISI DEI CEDIMENTI. TABULATI DI CALCOLO CED

11.1 Rilevato sezione 113- cedimento totale

*** CED ***
 Programma per l'analisi dei cedimenti
 per aree di carico di rigidità nulla

(C) G.Guiducci - aprile 1999

pag./ 1

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento totale sez 113

Coefficiente di Frolich = 4
 S'z a quota piano di posa = .0 kPa
 Profondità falda = 4.5 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/m ³	G eff kN/m ³	N dv
1	.0	5.5	10400.	15400.	19.0	9.0	11
2	5.5	40.0	15400.	46800.	19.0	9.0	18

S'z = tensione verticale efficace litostatica
 Z in = profondità' inizio strato
 Z fin = profondità' 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 = 3.7 m
 Larghezza sommita' = 15.5 m
 Pendenza scarpate = .667 (vert/orizz)
 Peso di volume = 20.0 kN/m³
 Sovraccarico in sommita' = .0 kPa

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

pag./ 2

AN255 SS 16 ADRIATICA
Rilevato illimitato - cedimento totale sez 113

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	14.8	.00	.00	25.49	841.89	317.542
2	14.8	.00	.00	23.27	841.89	289.895
3	14.8	.00	.00	21.05	841.89	262.248
4	14.8	.00	.00	18.83	841.89	234.600
5	14.8	.00	.00	16.61	841.89	206.953
Carico totale =						1311.238 MN

pag./ 3

AN255 SS 16 ADRIATICA
Rilevato illimitato - cedimento totale sez 113

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	74.0	37.0	37.0	.5	10627.
.8	74.0	36.7	36.9	1.4	11082.
1.3	74.0	36.2	36.7	2.4	11536.
1.8	74.0	35.4	36.5	3.3	11991.
2.3	73.9	34.5	36.1	4.3	12445.
2.8	73.9	33.3	35.7	5.2	12900.
3.3	73.7	32.0	35.3	6.2	13355.
3.8	73.6	30.6	34.7	7.1	13809.
4.3	73.3	29.2	34.2	8.1	14264.
4.8	73.0	27.7	33.6	8.8	14718.
5.3	72.6	26.2	32.9	9.2	15173.
6.5	71.4	22.6	31.3	10.3	16272.
8.4	68.7	17.5	28.7	12.0	18017.
10.3	65.3	13.4	26.2	13.8	19761.
12.2	61.6	10.3	24.0	15.5	21506.
14.1	57.9	7.9	21.9	17.2	23250.
16.0	54.3	6.2	20.2	18.9	24994.
18.0	50.9	4.9	18.6	20.7	26739.
19.9	47.8	3.9	17.2	22.4	28483.
21.8	44.9	3.1	16.0	24.1	30228.
23.7	42.3	2.6	14.9	25.8	31972.
25.6	39.9	2.1	14.0	27.6	33717.
27.5	37.7	1.7	13.2	29.3	35461.
29.5	35.7	1.5	12.4	31.0	37206.
31.4	33.9	1.2	11.7	32.7	38950.

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

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

pag./ 4

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento totale sez 113

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	70.1			
.5	67.7	.0	.5	2.4
1.0	65.4	.5	1.0	2.3
1.5	63.1	1.0	1.5	2.3
2.0	60.9	1.5	2.0	2.2
2.5	58.8	2.0	2.5	2.1
3.0	56.7	2.5	3.0	2.1
3.5	54.7	3.0	3.5	2.0
4.0	52.8	3.5	4.0	2.0
4.5	50.9	4.0	4.5	1.9
5.0	49.0	4.5	5.0	1.9
5.5	47.2	5.0	5.5	1.8
7.4	40.7	5.5	7.4	6.5
9.3	34.9	7.4	9.3	5.8
11.3	29.7	9.3	11.3	5.2
13.2	25.1	11.3	13.2	4.6
15.1	21.1	13.2	15.1	4.0
17.0	17.5	15.1	17.0	3.6
18.9	14.4	17.0	18.9	3.1
20.8	11.6	18.9	20.8	2.8
22.8	9.1	20.8	22.8	2.5
24.7	6.9	22.8	24.7	2.2
26.6	4.9	24.7	26.6	2.0
28.5	3.1	26.6	28.5	1.8
30.4	1.5	28.5	30.4	1.6
32.3	.0	30.4	32.3	1.5

Cedimento totale = 70.1 mm

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

11.2 Rilevato sezione 113- cedimento immediato

*** CED ***
 Programma per l'analisi dei cedimenti
 per aree di carico di rigidità nulla

(C) G.Guiducci - aprile 1999

pag./ 1

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento immediato sez 113

Coefficiente di Frolich = 3
 S'z a quota piano di posa = .0 kPa
 Profondità falda = 4.5 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/m ³	G eff kN/m ³	N dv
1	.0	5.5	35000.	47950.	19.0	9.0	11
2	5.5	25.0	50400.	105000.	19.0	9.0	10
3	25.0	40.0	105000.	105000.	19.0	9.0	18

S'z = tensione verticale efficace litostatica
 Z in = profondità' inizio strato
 Z fin = profondità' 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 = 3.7 m
 Larghezza sommità' = 15.5 m
 Pendenza scarpate = .667 (vert/orizz)
 Peso di volume = 20.0 kN/m³
 Sovraccarico in sommità' = .0 kPa

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

pag./ 2

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento immediato sez 113

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	14.8	.00	.00	25.49	841.89	317.542
2	14.8	.00	.00	23.27	841.89	289.895
3	14.8	.00	.00	21.05	841.89	262.248
4	14.8	.00	.00	18.83	841.89	234.600
5	14.8	.00	.00	16.61	841.89	206.953
Carico totale =						1311.238 MN

pag./ 3

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento immediato sez 113

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	74.0	71.7	72.9	.5	35589.
.8	74.0	67.2	70.6	1.4	36766.
1.3	73.9	62.7	68.3	2.4	37943.
1.8	73.8	58.3	66.1	3.3	39120.
2.3	73.7	54.1	63.9	4.3	40298.
2.8	73.4	50.0	61.7	5.2	41475.
3.3	73.1	46.2	59.6	6.2	42652.
3.8	72.6	42.5	57.6	7.1	43830.
4.3	72.1	39.1	55.6	8.1	45007.
4.8	71.5	35.9	53.7	8.8	46184.
5.3	70.7	33.0	51.8	9.2	47361.
6.5	68.7	26.7	47.6	10.3	53130.
8.4	64.7	19.1	41.8	12.1	58590.
10.4	60.4	13.8	37.0	13.8	64050.
12.3	56.1	10.1	33.0	15.6	69510.
14.3	52.0	7.5	29.7	17.3	74970.
16.2	48.2	5.7	26.9	19.1	80430.
18.2	44.8	4.4	24.5	20.9	85890.
20.1	41.8	3.5	22.5	22.6	91350.
22.1	39.0	2.8	20.8	24.4	96810.
24.0	36.6	2.2	19.3	26.1	102270.
25.4	35.0	1.9	18.3	27.4	105000.
26.3	34.1	1.8	17.8	28.1	105000.
27.1	33.2	1.6	17.3	28.9	105000.
27.9	32.4	1.5	16.8	29.6	105000.
28.8	31.6	1.4	16.4	30.4	105000.
29.6	30.8	1.3	15.9	31.1	105000.

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

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

pag./ 4

AN255 SS 16 ADRIATICA
Rilevato illimitato - cedimento immediato sez 113

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	11.5			
.5	11.5	.0	.5	.0
1.0	11.4	.5	1.0	.1
1.5	11.3	1.0	1.5	.1
2.0	11.2	1.5	2.0	.1
2.5	11.0	2.0	2.5	.2
3.0	10.8	2.5	3.0	.2
3.5	10.6	3.0	3.5	.2
4.0	10.3	3.5	4.0	.3
4.5	10.0	4.0	4.5	.3
5.0	9.7	4.5	5.0	.3
5.5	9.4	5.0	5.5	.3
7.5	8.3	5.5	7.5	1.2
9.4	7.1	7.5	9.4	1.1
11.4	6.1	9.4	11.4	1.1
13.3	5.1	11.4	13.3	1.0
15.3	4.2	13.3	15.3	.9
17.2	3.5	15.3	17.2	.8
19.2	2.8	17.2	19.2	.7
21.1	2.2	19.2	21.1	.6
23.1	1.6	21.1	23.1	.5
25.0	1.1	23.1	25.0	.5
25.8	.9	25.0	25.8	.2
26.7	.7	25.8	26.7	.2
27.5	.5	26.7	27.5	.2
28.3	.4	27.5	28.3	.2
29.2	.2	28.3	29.2	.2
30.0	.0	29.2	30.0	.2

Cedimento totale = 11.5 mm

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

11.3 Rilevato sezione 113– decorso cedimenti nel tempo

Cedimento Totale	70.10	[mm]
Cedimento immediato	11.50	[mm]
Cedimento di consolidazione	58.60	[mm]
Ceff. di consolidazione - Cv	4.00E-08	[m ² /s]
Percorso di filtrazione - H	31	[m]
Consolidazione secondaria - C _α	2.50E-03	
Altezza per la cons. sec. - H0	31	[m]
Anno iniziale t1	0.5	
Anno finale t2	50	
Cedimento ammissibile	50	[mm]
Calcolo del cedimento a t1 (anni)		
Tv	6.57E-04	
Um	2.89E-02	< 0.95
Cedimento	13.19	[mm]
Calcolo del cedimento a t2 (anni)		
Tv	6.57E-02	
Um	2.89E-01	< 0.95
Cedimento	28.44	[mm]
Cedimento dal t1 a t2 (anni)	15.25	[mm] OK

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

11.4 Rilevato sezione spalla B VI01- cedimento totale

*** CED ***
 Programma per l'analisi dei cedimenti
 per aree di carico di rigidità nulla

(C) G.Guiducci - aprile 1999

pag./ 1

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento totale sez spalla B

Coefficiente di Frolich = 4
 S'z a quota piano di posa = .0 kPa
 Profondità falda = 8.0 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/m ³	G eff kN/m ³	N dv
1	.0	7.0	10400.	16700.	19.0	9.0	14
2	7.0	13.5	16700.	22700.	19.0	9.0	14
3	13.5	40.0	22700.	46800.	19.0	9.0	14
4	40.0	60.0	22700.	65000.	19.0	9.0	14

S'z = tensione verticale efficace litostatica
 Z in = profondità inizio strato
 Z fin = profondità 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 = 5.0 m
 Larghezza sommità = 14.5 m
 Pendenza scarpate = .667 (vert/orizz)
 Peso di volume = 20.0 kN/m³
 Sovraccarico in sommità = .0 kPa

AN255 - SS 16 "Adriatica"

Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona



AN255

Relazione Geotecnica Generale

pag./ 2

AN255 SS 16 ADRIATICA

Rilevato illimitato - cedimento totale sez spalla B

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	20.0	.00	.00	27.99	879.85	492.597
2	20.0	.00	.00	24.99	879.85	439.833
3	20.0	.00	.00	22.00	879.85	387.068
4	20.0	.00	.00	19.00	879.85	334.303
5	20.0	.00	.00	16.00	879.85	281.539
Carico totale =						1935.340 MN

pag./ 3

AN255 SS 16 ADRIATICA

Rilevato illimitato - cedimento totale sez spalla B

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	100.0	50.0	50.0	.5	10625.
.8	100.0	49.6	49.9	1.4	11075.
1.3	100.0	48.9	49.6	2.4	11525.
1.8	100.0	47.9	49.3	3.3	11975.
2.3	99.9	46.7	48.9	4.3	12425.
2.8	99.8	45.2	48.3	5.2	12875.
3.3	99.7	43.5	47.7	6.2	13325.
3.8	99.4	41.7	47.1	7.1	13775.
4.3	99.1	39.9	46.3	8.1	14225.
4.8	98.7	37.9	45.5	9.0	14675.
5.3	98.2	35.9	44.7	10.0	15125.
5.8	97.6	34.0	43.9	10.9	15575.
6.3	96.9	32.1	43.0	11.9	16025.
6.8	96.2	30.2	42.1	12.8	16475.
7.2	95.4	28.4	41.3	13.7	16914.
7.7	94.5	26.8	40.4	14.6	17343.
8.2	93.6	25.3	39.6	15.3	17771.
8.6	92.6	23.8	38.8	15.8	18200.
9.1	91.6	22.4	38.0	16.2	18629.
9.6	90.6	21.1	37.2	16.6	19057.
10.0	89.5	19.9	36.4	17.0	19486.
10.5	88.4	18.7	35.7	17.4	19914.
10.9	87.3	17.6	34.9	17.9	20343.
11.4	86.1	16.5	34.2	18.3	20771.
11.9	84.9	15.6	33.5	18.7	21200.
12.3	83.8	14.6	32.8	19.1	21629.
12.8	82.6	13.8	32.1	19.5	22057.
13.3	81.4	13.0	31.5	19.9	22486.
14.4	78.5	11.2	29.9	21.0	23561.
16.3	73.9	8.9	27.6	22.7	25282.
18.2	69.6	7.1	25.5	24.4	27004.
20.1	65.5	5.7	23.7	26.1	28725.
22.0	61.8	4.7	22.1	27.8	30446.
23.9	58.3	3.8	20.7	29.5	32168.
25.8	55.2	3.2	19.5	31.2	33889.
27.7	52.3	2.7	18.3	32.9	35611.
29.6	49.7	2.3	17.3	34.6	37332.
31.5	47.3	1.9	16.4	36.3	39054.
33.4	45.1	1.6	15.6	38.0	40775.
35.3	43.0	1.4	14.8	39.7	42496.
37.2	41.2	1.2	14.1	41.4	44218.

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

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

pag./ 4

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento totale sez spalla B

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	100.8			
.5	97.5	.0	.5	3.3
1.0	94.3	.5	1.0	3.2
1.5	91.3	1.0	1.5	3.1
2.0	88.3	1.5	2.0	3.0
2.5	85.4	2.0	2.5	2.9
3.0	82.6	2.5	3.0	2.8
3.5	79.9	3.0	3.5	2.7
4.0	77.3	3.5	4.0	2.6
4.5	74.7	4.0	4.5	2.6
5.0	72.2	4.5	5.0	2.5
5.5	69.8	5.0	5.5	2.4
6.0	67.4	5.5	6.0	2.4
6.5	65.1	6.0	6.5	2.3
7.0	62.8	6.5	7.0	2.3
7.5	60.7	7.0	7.5	2.0
7.9	58.8	7.5	7.9	2.0
8.4	56.8	7.9	8.4	1.9
8.9	54.9	8.4	8.9	1.9
9.3	53.1	8.9	9.3	1.8
9.8	51.3	9.3	9.8	1.8
10.3	49.6	9.8	10.3	1.7
10.7	47.9	10.3	10.7	1.7
11.2	46.3	10.7	11.2	1.6
11.6	44.7	11.2	11.6	1.6
12.1	43.2	11.6	12.1	1.5
12.6	41.7	12.1	12.6	1.5
13.0	40.2	12.6	13.0	1.4
13.5	38.8	13.0	13.5	1.4
15.4	33.5	13.5	15.4	5.3
17.3	28.8	15.4	17.3	4.7
19.2	24.6	17.3	19.2	4.2
21.1	20.9	19.2	21.1	3.7
23.0	17.5	21.1	23.0	3.3
24.9	14.5	23.0	24.9	3.0
26.7	11.8	24.9	26.7	2.7
28.6	9.4	26.7	28.6	2.4
30.5	7.1	28.6	30.5	2.2
32.4	5.1	30.5	32.4	2.0
34.3	3.3	32.4	34.3	1.9
36.2	1.6	34.3	36.2	1.7
38.1	.0	36.2	38.1	1.6

Cedimento totale = 100.8 mm

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

11.5 Rilevato sezione spalla B VI01 – cedimento immediato

*** CED ***
 Programma per l'analisi dei cedimenti
 per aree di carico di rigidità nulla

(C) G.Guiducci - aprile 1999

pag./ 1

AN255 SS 16 ADRIATICA
 Rilevato illimitato - cedimento immediato sez spalla B

Coefficiente di Frolich = 3
 S'z a quota piano di posa = .0 kPa
 Profondità falda = 8.0 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/m ³	G eff kN/m ³	N dv
1	.0	7.0	35000.	51450.	19.0	9.0	14
2	7.0	25.0	54600.	105000.	19.0	9.0	9
3	25.0	40.0	105000.	105000.	19.0	9.0	14
4	40.0	60.0	105000.	105000.	19.0	9.0	14

S'z = tensione verticale efficace litostatica
 Z in = profondità' inizio strato
 Z fin = profondità' 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 = 5.0 m
 Larghezza sommità' = 14.5 m
 Pendenza scarpate = .667 (vert/orizz)
 Peso di volume = 20.0 kN/m³
 Sovraccarico in sommità' = .0 kPa

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

pag./ 2

AN255 SS 16 ADRIATICA
Rilevato illimitato - cedimento immediato sez spalla B

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	20.0	.00	.00	27.99	879.85	492.597
2	20.0	.00	.00	24.99	879.85	439.833
3	20.0	.00	.00	22.00	879.85	387.068
4	20.0	.00	.00	19.00	879.85	334.303
5	20.0	.00	.00	16.00	879.85	281.539
Carico totale =						1935.340 MN

pag./ 3

AN255 SS 16 ADRIATICA
Rilevato illimitato - cedimento immediato sez spalla B

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	100.0	97.0	98.5	.5	35588.
.8	100.0	91.0	95.5	1.4	36763.
1.3	99.9	85.1	92.5	2.4	37938.
1.8	99.8	79.4	89.6	3.3	39113.
2.3	99.6	73.8	86.7	4.3	40288.
2.8	99.2	68.5	83.8	5.2	41463.
3.3	98.8	63.4	81.1	6.2	42638.
3.8	98.2	58.6	78.4	7.1	43813.
4.3	97.5	54.1	75.8	8.1	44988.
4.8	96.7	49.9	73.3	9.0	46163.
5.3	95.8	46.0	70.8	10.0	47338.
5.8	94.8	42.3	68.5	10.9	48513.
6.3	93.6	39.0	66.3	11.9	49688.
6.8	92.4	35.9	64.1	12.8	50863.
8.0	89.2	29.3	59.2	15.2	57400.
10.0	83.5	21.2	52.3	17.0	63000.
12.0	77.8	15.6	46.6	18.8	68600.
14.0	72.2	11.7	41.9	20.6	74200.
16.0	67.1	8.9	37.9	22.4	79800.
18.0	62.4	6.9	34.5	24.2	85400.
20.0	58.2	5.4	31.7	26.0	91000.
22.0	54.4	4.3	29.2	27.8	96600.
24.0	51.0	3.4	27.1	29.6	102200.
25.5	48.6	2.9	25.6	31.0	105000.
26.6	47.0	2.6	24.7	31.9	105000.
27.7	45.5	2.4	23.8	32.9	105000.
28.7	44.2	2.2	23.0	33.9	105000.
29.8	42.8	2.0	22.2	34.8	105000.
30.9	41.6	1.8	21.5	35.8	105000.
32.0	40.4	1.6	20.8	36.8	105000.
33.0	39.3	1.5	20.2	37.7	105000.

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

AN255 SS 16 ADRIATICA
Rilevato illimitato - cedimento immediato sez spalla B

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	16.6			
.5	16.6	.0	.5	.0
1.0	16.5	.5	1.0	.1
1.5	16.3	1.0	1.5	.1
2.0	16.1	1.5	2.0	.2
2.5	15.9	2.0	2.5	.2
3.0	15.6	2.5	3.0	.3
3.5	15.3	3.0	3.5	.3
4.0	15.0	3.5	4.0	.3
4.5	14.6	4.0	4.5	.4
5.0	14.2	4.5	5.0	.4
5.5	13.8	5.0	5.5	.4
6.0	13.4	5.5	6.0	.4
6.5	13.0	6.0	6.5	.4
7.0	12.6	6.5	7.0	.4
9.0	11.0	7.0	9.0	1.6
11.0	9.6	9.0	11.0	1.5
13.0	8.2	11.0	13.0	1.4
15.0	7.0	13.0	15.0	1.2
17.0	5.9	15.0	17.0	1.1
19.0	4.9	17.0	19.0	1.0
21.0	4.0	19.0	21.0	.9
23.0	3.2	21.0	23.0	.8
25.0	2.6	23.0	25.0	.7
26.1	2.2	25.0	26.1	.3
27.1	1.9	26.1	27.1	.3
28.2	1.5	27.1	28.2	.3
29.3	1.2	28.2	29.3	.3
30.4	.9	29.3	30.4	.3
31.4	.6	30.4	31.4	.3
32.5	.3	31.4	32.5	.3
33.6	.0	32.5	33.6	.3

Cedimento totale = 16.6 mm

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

11.6 Rilevato sezione spalla B VI01 – decorso cedimenti nel tempo

Cedimento Totale	100.80	[mm]
Cedimento immediato	16.60	[mm]
Cedimento di consolidazione	84.20	[mm]
Ceff. di consolidazione - Cv	4.00E-08	[m ² /s]
Percorso di filtrazione - H	37	[m]
Consolidazione secondaria - C _α	2.50E-03	
Altezza per la cons. sec. - H0	37	[m]
Anno iniziale t1	1	
Anno finale t2	50	
Cedimento ammissibile	50	[mm]
Calcolo del cedimento a t1 (anni)		
Tv	9.22E-04	
Um	3.43E-02	< 0.95
Cedimento	19.49	[mm]
Calcolo del cedimento a t2 (anni)		
Tv	4.61E-02	
Um	2.42E-01	< 0.95
Cedimento	37.00	[mm]
Cedimento dal t1 a t2 (anni)	17.51	[mm] OK

AN255 - SS 16 "Adriatica"		
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	<i>Relazione Geotecnica Generale</i>	

12 APPENDICE B. ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO SLIDE 2018

12.1 Rilevato spalla B VI01 al km 3+431.5 – Analisi statica SLU

Slide Analysis Information

H5_SLU

Project Summary

File Name: H5_SLU.slm
Slide Modeler Version: 8.024
Compute Time: 00h:00m:00.123s
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 27/04/2022, 15:23:48

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Right to Left

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check $m_{\alpha} < 0.2$:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

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: 500
 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 Loading

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

Materials

Property	C	S	Sa	R
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19	19	19	20
Cohesion [kPa]	4	16	12	0
Friction Angle [°]	20.5	20.5	20.5	29.3
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

Global Minimums

AN255

Relazione Geotecnica Generale

Method: bishop simplified

FS	1.199670
Center:	21.309, 29.581
Radius:	9.855
Left Slip Surface Endpoint:	19.002, 20.000
Right Slip Surface Endpoint:	30.034, 25.000
Resisting Moment:	2388.57 kN-m
Driving Moment:	1991.03 kN-m
Total Slice Area:	21.0207 m ²
Surface Horizontal Width:	11.0324 m
Surface Average Height:	1.90537 m

Valid/Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	487
Number of Invalid Surfaces:	13

Error

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.19967

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	0.219709	0.104885	-12.8828	C	4	20.5	3.75005	4.49883	1.33418	0	1.33418	0.476484	0.476484
2	0.219709	0.303701	-11.5757	C	4	20.5	4.0215	4.82447	2.20514	0	2.20514	1.38143	1.38143
3	0.219709	0.480761	-10.2746	C	4	20.5	4.25642	5.1063	2.95894	0	2.95894	2.18736	2.18736
4	0.219709	0.636349	-8.97887	C	4	20.5	4.45612	5.34587	3.59969	0	3.59969	2.89559	2.89559
5	0.219709	0.837599	-7.68775	C	4	20.5	4.72077	5.66337	4.44889	0	4.44889	3.81164	3.81164
6	0.219709	1.4993	-6.40056	C	4	20.5	5.65862	6.78848	7.45815	0	7.45815	6.82338	6.82338
7	0.219709	2.23543	-5.1166	C	4	20.5	6.69174	8.02788	10.7731	0	10.7731	10.1739	10.1739
8	0.219709	2.95086	-3.83521	C	4	20.5	7.68033	9.21386	13.9451	0	13.9451	13.4302	13.4302
9	0.219709	3.6457	-2.55575	C	4	20.5	8.62553	10.3478	16.9779	0	16.9779	16.5929	16.5929
10	0.219709	4.32003	-1.27756	C	4	20.5	9.52835	11.4309	19.8748	0	19.8748	19.6623	19.6623
11	0.219709	4.97388	0	C	4	20.5	10.3897	12.4642	22.6385	0	22.6385	22.6385	22.6385
12	0.219709	5.60728	1.27756	C	4	20.5	11.2103	13.4487	25.2717	0	25.2717	25.5217	25.5217
13	0.219709	6.22021	2.55575	C	4	20.5	11.991	14.3852	27.7765	0	27.7765	28.3117	28.3117
14	0.219709	6.81263	3.83521	C	4	20.5	12.7322	15.2744	30.1549	0	30.1549	31.0084	31.0084
15	0.219709	7.38445	5.1166	C	4	20.5	13.4345	16.117	32.4085	0	32.4085	33.6114	33.6114
16	0.219709	7.93558	6.40056	C	4	20.5	14.0985	16.9135	34.5387	0	34.5387	36.1202	36.1202
17	0.219709	8.46586	7.68775	C	4	20.5	14.7242	17.6642	36.5466	0	36.5466	38.5342	38.5342
18	0.219709	8.97512	8.97887	C	4	20.5	15.3122	18.3696	38.4332	0	38.4332	40.8526	40.8526
19	0.219709	9.46316	10.2746	C	4	20.5	15.8625	19.0298	40.1989	0	40.1989	43.0744	43.0744
20	0.219709	9.92973	11.5757	C	4	20.5	16.3753	19.6449	41.8443	0	41.8443	45.1984	45.1984
21	0.219709	10.3745	12.8828	C	4	20.5	16.8506	20.2152	43.3695	0	43.3695	47.2235	47.2235
22	0.221327	10.8721	14.2017	R	0	29.3	20.5482	24.651	43.9277	0	43.9277	49.1279	49.1279
23	0.221327	11.2651	15.5332	R	0	29.3	21.0719	25.2793	45.0471	0	45.0471	50.904	50.904
24	0.221327	11.6335	16.8733	R	0	29.3	21.5351	25.835	46.0373	0	46.0373	52.5692	52.5692
25	0.221327	11.9768	18.223	R	0	29.3	21.9379	26.3182	46.8986	0	46.8986	54.1211	54.1211
26	0.221327	12.2944	19.5833	R	0	29.3	22.2803	26.729	47.6303	0	47.6303	55.5566	55.5566
27	0.221327	12.5857	20.9552	R	0	29.3	22.5621	27.0671	48.2329	0	48.2329	56.8734	56.8734
28	0.221327	12.8499	22.3398	R	0	29.3	22.7832	27.3323	48.7056	0	48.7056	58.0682	58.0682
29	0.221327	13.0863	23.7383	R	0	29.3	22.9431	27.5242	49.0476	0	49.0476	59.1372	59.1372
30	0.221327	13.294	25.1519	R	0	29.3	23.0413	27.642	49.2576	0	49.2576	60.0764	60.0764
31	0.221327	13.4721	26.5822	R	0	29.3	23.0773	27.6851	49.3341	0	49.3341	60.8813	60.8813
32	0.221327	13.6193	28.0306	R	0	29.3	23.0499	27.6523	49.2758	0	49.2758	61.5475	61.5475

AN255 - SS 16 "Adriatica"
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona



AN255

Relazione Geotecnica Generale

33	0.221327	13.7345	29.4987	R	0	29.3	22.9584	27.5425	49.0802	0	49.0802	62.0688	62.0688
34	0.221327	13.8163	30.9885	R	0	29.3	22.8015	27.3543	48.745	0	48.745	62.4393	62.4393
35	0.221327	13.8632	32.5019	R	0	29.3	22.5779	27.086	48.2668	0	48.2668	62.6516	62.6516
36	0.221327	13.8733	34.0413	R	0	29.3	22.286	26.7358	47.6427	0	47.6427	62.6982	62.6982
37	0.221327	13.8447	35.6091	R	0	29.3	21.9237	26.3012	46.8684	0	46.8684	62.5695	62.5695
38	0.221327	13.7751	37.2084	R	0	29.3	21.4892	25.78	45.9393	0	45.9393	62.2555	62.2555
39	0.221327	13.5959	38.8423	R	0	29.3	20.8788	25.0477	44.6343	0	44.6343	61.4467	61.4467
40	0.221327	12.882	40.5147	R	0	29.3	19.4569	23.3418	41.5947	0	41.5947	58.2211	58.2211
41	0.221327	12.0188	42.23	R	0	29.3	17.8363	21.3977	38.1302	0	38.1302	54.3202	54.3202
42	0.221327	11.1012	43.9933	R	0	29.3	16.1681	19.3964	34.5641	0	34.5641	50.1738	50.1738
43	0.221327	10.1243	45.8107	R	0	29.3	14.4511	17.3365	30.8934	0	30.8934	45.7593	45.7593
44	0.221327	9.08226	47.6897	R	0	29.3	12.9261	15.507	27.6331	0	27.6331	41.8335	41.8335
45	0.221327	7.96774	49.639	R	0	29.3	18.7131	22.4496	40.0047	0	40.0047	62.023	62.023
46	0.221327	6.77176	51.67	R	0	29.3	16.6395	19.9619	35.5718	0	35.5718	56.6184	56.6184
47	0.221327	5.48293	53.7969	R	0	29.3	14.4961	17.3905	30.9897	0	30.9897	50.7938	50.7938
48	0.221327	4.08642	56.038	R	0	29.3	12.2795	14.7314	26.251	0	26.251	44.4822	44.4822
49	0.221327	2.56232	58.4184	R	0	29.3	9.98666	11.9807	21.3493	0	21.3493	37.5941	37.5941
50	0.221327	0.882747	60.9731	R	0	29.3	7.61524	9.13577	16.2798	0	16.2798	30.0028	30.0028

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.19967

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	19.0016	20	0	0	0
2	19.2213	19.9497	0.890101	0	0
3	19.441	19.9047	1.87197	0	0
4	19.6607	19.8649	2.92401	0	0
5	19.8805	19.8302	4.027	0	0
6	20.1002	19.8005	5.19506	0	0
7	20.3199	19.7759	6.62082	0	0
8	20.5396	19.7562	8.30145	0	0
9	20.7593	19.7415	10.1925	0	0
10	20.979	19.7317	12.2521	0	0
11	21.1987	19.7268	14.4408	0	0
12	21.4184	19.7268	16.7211	0	0
13	21.6381	19.7317	19.0577	0	0
14	21.8578	19.7415	21.4171	0	0
15	22.0775	19.7562	23.7674	0	0
16	22.2973	19.7759	26.0784	0	0
17	22.517	19.8005	28.3215	0	0
18	22.7367	19.8302	30.4692	0	0
19	22.9564	19.8649	32.4957	0	0
20	23.1761	19.9047	34.3762	0	0
21	23.3958	19.9497	36.0871	0	0
22	23.6155	20	37.6061	0	0
23	23.8368	20.056	39.6888	0	0
24	24.0582	20.1175	41.5765	0	0
25	24.2795	20.1847	43.2472	0	0
26	24.5008	20.2575	44.6802	0	0
27	24.7221	20.3363	45.8559	0	0
28	24.9435	20.421	46.756	0	0
29	25.1648	20.512	47.3634	0	0
30	25.3861	20.6093	47.6621	0	0
31	25.6075	20.7132	47.6375	0	0
32	25.8288	20.824	47.2762	0	0
33	26.0501	20.9418	46.5661	0	0
34	26.2714	21.067	45.4965	0	0
35	26.4928	21.2	44.0584	0	0

36	26.7141	21.341	42.2441	0	0
37	26.9354	21.4905	40.0479	0	0
38	27.1567	21.649	37.4662	0	0
39	27.3781	21.817	34.4973	0	0
40	27.5994	21.9953	31.1587	0	0
41	27.8207	22.1844	27.5938	0	0
42	28.0421	22.3853	23.877	0	0
43	28.2634	22.599	20.066	0	0
44	28.4847	22.8267	16.2272	0	0
45	28.706	23.0698	12.3662	0	0
46	28.9274	23.3302	6.08564	0	0
47	29.1487	23.6102	-0.193647	0	0
48	29.37	23.9125	-6.35896	0	0
49	29.5913	24.2411	-12.2701	0	0
50	29.8127	24.6012	-17.7483	0	0
51	30.034	25	0	0	0

Entity Information

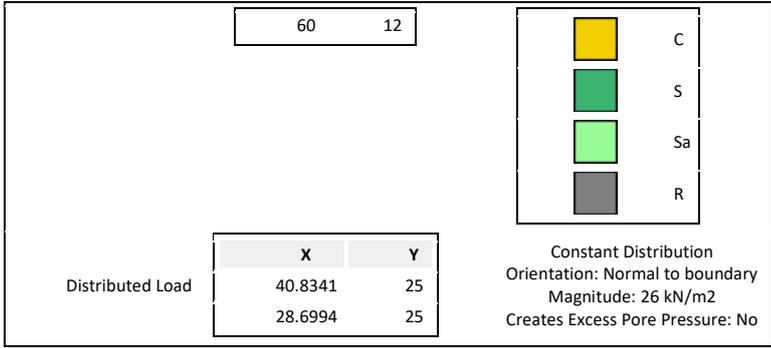
Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	0
	60	0
	60	6.5
	60	13
	60	20
	49.5	20
	42	25
	27.5	25
	20	20
	0	20
Material Boundary	0	13
	0	6.5
Material Boundary	20	20
	49.5	20
Material Boundary	0	13
	60	13
Material Boundary	0	6.5
	60	6.5

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario	
	X	Y	
Water Table	0	12	Assigned to materials:



12.2 Rilevato spalla B VI01 al km 3+431.5 – Analisi sismica SLV

Slide Analysis Information

H5_SLV

Project Summary

File Name: H5_SLV.slm
 Slide Modeler Version: 8.024
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 27/04/2022, 15:23:48

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.321340	00h:00m:00.92s
SLV kv+	SLV_kv-	Bishop Simplified: 1.310380	00h:00m:00.71s

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: days
 Permeability Units: meters/second
 Data Output: Standard
 Failure Direction: Right to Left

Analysis Options

All Open Scenarios	
Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop 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

All Open Scenarios	
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

All Open Scenarios	
Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

All Open Scenarios	
Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	500
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 Loading

SLV kv+ - Master Scenario	SLV kv+ - SLV_kv-
---------------------------	-------------------

AN255 - SS 16 "Adriatica"		 anas GRUPPO FS ITALIANE
Nuovo collegamento viario della S.S. 16 "Adriatica" con il Porto di Ancona		
AN255	Relazione Geotecnica Generale	

Advanced seismic analysis:	No	Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No	Staged pseudostatic analysis:	No
Seismic Load Coefficient (Horizontal):	0.097	Seismic Load Coefficient (Horizontal):	0.097
Seismic Load Coefficient (Vertical):	0.049	Seismic Load Coefficient (Vertical):	-0.049

Loading

All Open Scenarios	
1 Distributed Load present	
Distributed Load 1	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	4
Orientation:	Normal to boundary

Materials

Property	C	S	Sa	R
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19	19	19	20
Cohesion [kPa]	5	20	15	0
Friction Angle [°]	25	25	25	35
Water Surface	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario
Hu Value	1	1	1	1

Materials In Use

Material	Master Scenario	SLV_kv-
C		
S		
Sa		
R		

Global Minimums

SLV kv+ - Master Scenario		SLV kv+ - SLV_kv-	
Method: bishop simplified		Method: bishop simplified	
FS	1.321340	FS	1.310380
Center:	21.309, 29.581	Center:	21.309, 29.581
Radius:	9.855	Radius:	9.855

Left Slip Surface Endpoint:	19.002, 20.000	Left Slip Surface Endpoint:	19.002, 20.000
Right Slip Surface Endpoint:	30.034, 25.000	Right Slip Surface Endpoint:	30.034, 25.000
Resisting Moment:	2824.37 kN-m	Resisting Moment:	2581.16 kN-m
Driving Moment:	2137.5 kN-m	Driving Moment:	1969.78 kN-m
Total Slice Area:	21.0207 m2	Total Slice Area:	21.0207 m2
Surface Horizontal Width:	11.0324 m	Surface Horizontal Width:	11.0324 m
Surface Average Height:	1.90537 m	Surface Average Height:	1.90537 m

Valid/Invalid Surfaces

SLV kv+ - Master Scenario	SLV kv+ - SLV_kv-
Method: bishop simplified	Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 487	Number of Valid Surfaces: 487
Number of Invalid Surfaces: 13	Number of Invalid Surfaces: 13

Entity Information

Group: SLV kv+

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	0
	60	0
	60	6.5
	60	13
	60	20
	49.5	20
	42	25
	27.5	25
	20	20
	0	20
Material Boundary	0	13
	60	13
Material Boundary	0	6.5
	60	6.5

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario	SLV_kv-																						
		Assigned to materials:	Assigned to materials:																						
Water Table	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	0	12	60	12	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td style="background-color: yellow; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>C</td> </tr> <tr> <td style="background-color: green; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>S</td> </tr> <tr> <td style="background-color: lightgreen; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>Sa</td> </tr> <tr> <td style="background-color: gray; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>R</td> </tr> </tbody> </table>		C		S		Sa		R	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td style="background-color: yellow; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>C</td> </tr> <tr> <td style="background-color: green; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>S</td> </tr> <tr> <td style="background-color: lightgreen; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>Sa</td> </tr> <tr> <td style="background-color: gray; width: 20px; height: 20px;"></td> <td>R</td> </tr> </tbody> </table>		C		S		Sa		R
X	Y																								
0	12																								
60	12																								
	C																								
	S																								
	Sa																								
	R																								
	C																								
	S																								
	Sa																								
	R																								
Distributed Load	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40.8341</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>28.6994</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	40.8341	25	28.6994	25	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 4 kN/m ² Creates Excess Pore Pressure: No	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 4 kN/m ² Creates Excess Pore Pressure: No																
X	Y																								
40.8341	25																								
28.6994	25																								