

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA

TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD

RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS6K 00 R 78 RG GE0600 005 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	G. Ficorella 	Agosto 2022	V. Maccaroni 	Agosto 2022	P. Mosca 	Agosto 2022	Francesco SACCHI Agosto 2022

File: RS6K00R78RGGE0600005A.DOC

n. Elab

ITAFERR SpA
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzioni Tecniche
S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering
Dott. Ing. Francesco Sacchi
Ordine degli Ingegneri Prov. di Roma n. 231725

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.3	PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI	5
3	DECRIZIONE DELLE OPERE	7
4	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE	8
4.1.1	<i>Prove di permeabilità</i>	8
4.1.2	<i>Misure piezometriche</i>	9
4.1.3	<i>Prove di laboratorio</i>	9
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	11
5.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	11
5.2	CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE	11
5.2.1	<i>Depositi incoerenti</i>	11
5.2.2	<i>Depositi coesivi</i>	17
5.3	UNITÀ QCS1 (SABBIE, SABBIE LIMOSE).....	21
5.4	UNITÀ QCS1A (LIMO ARGILLOSO SABBIOSO).....	23
5.5	UNITÀ QA (ARGILLA LIMOSA GRIGIO AZZURRA).....	25
5.6	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	46
5.7	FALDA	47
6	CLASSIFICAZIONE SISMICA	48
6.1	PREMESSA	48
6.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	49

6.3	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO.....	50
6.4	MAGNITUDO.....	50
7	ANALISI RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	51
7.1	PREMESSA	51
8	ANALISI DI STABILITA'	54
8.1	PREMESSA	54
8.2	METODOLOGIE DI CALCOLO	54
8.2.1	<i>Carichi</i>	55
8.2.2	<i>Azioni sismiche per analisi di stabilità</i>	55
8.3	SEZIONI DI CALCOLO	56
8.4	RISULTATI.....	58
9	PIANI DI POSA	60
10	APPENDICE A. ANALISI DI STABILITA'. TABULATI DI CALCOLO SLIDE	61
10.1	ANALISI STATICA SLU	61
10.2	ANALISI SISMICA	67

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica relativa alla viabilità denominata NV03 di accesso al P.M. di Priolo Sottano nell'ambito del Progetto della tratta Caltagirone-Gela. L'intervento è localizzato al km 349+198 della LS, nel comune di Gela (provincia di Caltanissetta) in prossimità dell'imbocco della Galleria naturale Buonfratello ed ha la finalità di garantire l'accesso al piazzale di emergenza e prevede l'adeguamento di un tratto di strata podereale esistente.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- rilievo del livello di falda;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- 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 unità geotecniche intercettate;
- classificazione sismica del sito; analisi del rischio di potenziale liquefazione;
- verifiche di stabilità;
- piani di posa

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- N.1. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018).
- N.2. Circolare applicativa delle Norme Tecniche per le Costruzioni – circolare n. 7 del 21-01-2019.
- N.3. RFI DTC SI CS MA IFS 001 D - Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II- sezione 3. Corpo stradale.
- N.4. RFI DTC SI CS SP IFS 004 D – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili. Parte II – sezione 5. Opere in terra e scavi.

2.2 Documenti di riferimento

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- D.1. RS3K 02 D78RH NV0300001 A – Linea ferroviaria Catania – Gela, tratta Caltagirone-Gela. Progetto Definitivo. Relazione tecnica viabilità NV03.
- D.2. RS3K 02 D78LZ NV0306001 A – Linea ferroviaria Catania – Gela, tratta Caltagirone-Gela. Progetto Definitivo. Planimetria e profilo di progetto - Viabilità NV03.
- D.3. RS4N 00 R69NZ GE0001001 A – Linea ferroviaria Catania – Gela, tratta Caltagirone-Gela. Progetto Definitivo. Carta geologica-geomorfologica e profilo geologico. Viabilità di accesso e piazzale di emergenza Priolo Sottano.
- D.4. RS4N 00 R69NZ GE0002004 A – Linea ferroviaria Catania – Gela, tratta Caltagirone-Gela. Progetto Definitivo. Carta idrogeologica e profilo idrogeologico. Viabilità di accesso e piazzale di emergenza Priolo Sottano.
- D.5. Linea ferroviaria Catania – Gela, tratta Caltagirone-Gela. Progetto Definitivo. Viabilità NV03. Indagini geognostiche in sito. L&R Laboratori e Ricerche Sr.l. San Giovanni La Punta (CT). Gennaio 2021.
- D.6. Linea ferroviaria Catania – Gela, tratta Caltagirone-Gela. Progetto Definitivo. Viabilità NV03. Risultati prove di laboratorio. Sidercem di Caltanissetta certificato n. CBC062682 del 25 marzo 2021.

2.3 Programmi di calcolo utilizzati

- Slide 7 prodotto da Rocscience. Programma di calcolo per le verifiche di stabilità.

In definitiva, 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 allegato 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.

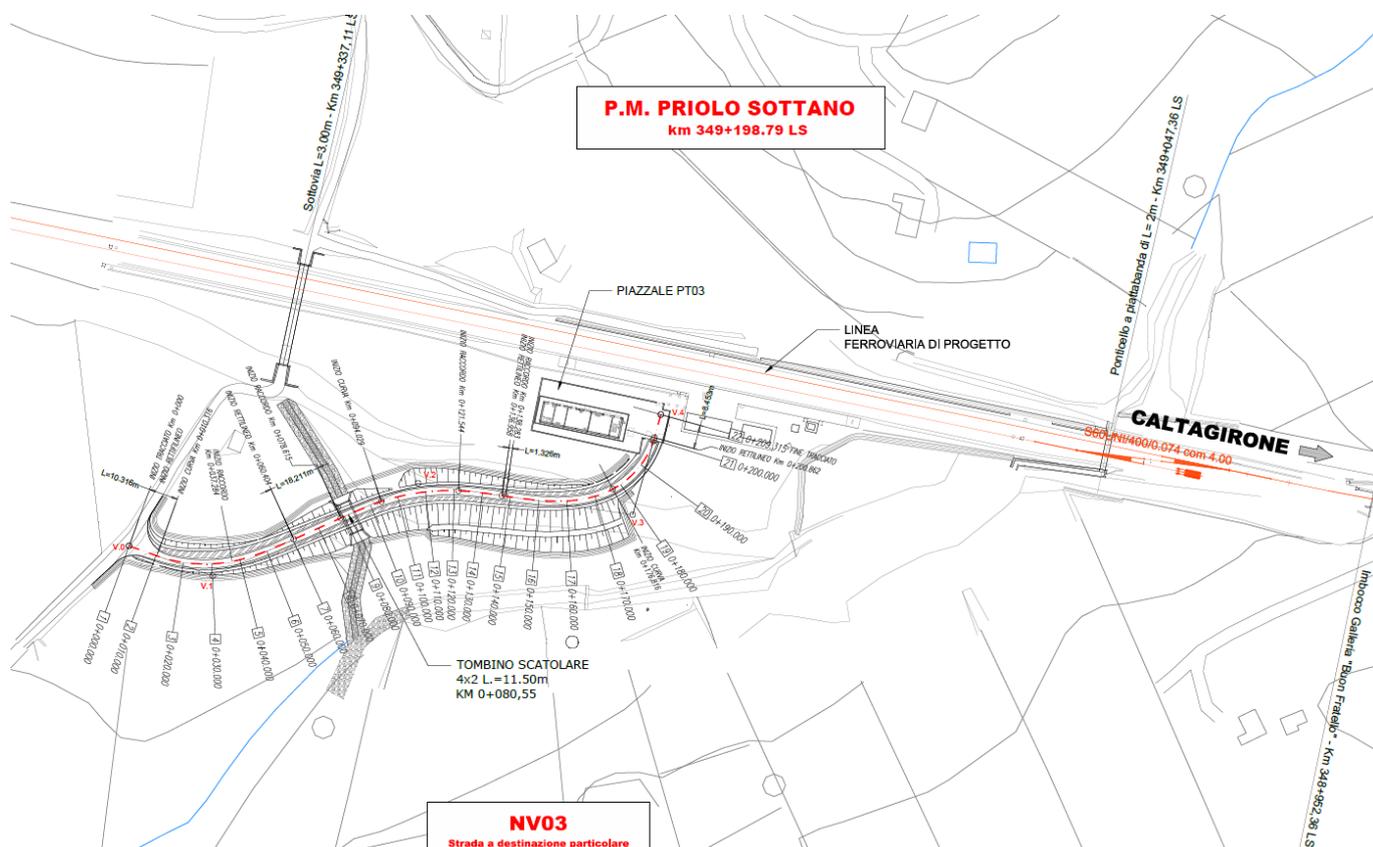
3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Per la viabilità NV03 sono previste le seguenti opere (vedasi figura seguente):

- PT03 - Piazzale Emergenza: recinzione con muro in c.a. su fondazione diretta, fabbricato PM con fondazioni dirette;
- Viabilità con tombino scatolare.

Per quanto concerne la viabilità si tratta di rilevati bassi o comunque di modesta altezza (massimo 3 m) che però localmente sono a mezza costa sulla scarpata naturale del terreno, quindi si prevedono banche di larghezza 2 m per altezze maggiori di 5 m e con scarpate con pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale). Quindi per i rilevati in progetto si escludono problematiche di cedimento sia in relazione alla modesta altezza e soprattutto in quanto i terreni di fondazione hanno buone caratteristiche meccaniche e basse deformazioni. Verrà svolta nel documento una analisi di stabilità per la sezione di rilevato di massima altezza che si addossa alla scarpata esistente (sez 17).

Le fondazioni dei fabbricati/muri/scatolari sono di tipo diretto in relazione alle buone caratteristiche meccaniche e bassa deformabilità dei terreni di fondazione.



4 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Al fine di caratterizzare i terreni presenti in tutta l'area di intervento è stata condotta una campagna geognostica nel gennaio 2021 consistente in un sondaggio a carotaggio continuo di lunghezza 40.0 m con prove in sito e prelievo di campioni per prove di laboratorio. In particolare durante l'esecuzione del sondaggio sono state effettuate le seguenti attività:

- rilievo della stratigrafia con esecuzione di fotografie a colori del materiale depositato in cassetta;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- misure di Pocket Penetrometer e Vane Test nelle carote di sondaggio nei livelli coesivi;
- esecuzione di prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc;
- prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- installazione di piezometro a cella di Casagrande a profondità di 35 m da p.c.;
- rilievo del livello di falda.

In tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito.

Tabella 1 – Riepilogo delle indagini in sito eseguite nella campagna 2021

Sigla	Profondità [m]	N. prove SPT [-]	n. campioni rimaneggiati	n. campioni indisturbati	n. prove Lefranc	Strumentazione
S_RS4N_23	40.0	12	-	10	3	CC [35 m]
CC: piezometro a cella di Casagrande [profondità cella]						

4.1.1 Prove di permeabilità

Nel corso della campagna di indagine sono state eseguite n. 3 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc a carico variabile, i cui risultati sono sintetizzati in tabella seguente.

Tabella 2 – Prove di permeabilità eseguite nella campagna 2021

n. prova	Profondità prova (da m a m)	K (m/s)	Unità investigata
Lefranc n. 1	3 – 4	1.36E-06	Qcs1
Lefranc n. 2	8 – 9	3.73E-08	Qcs1a
Lefranc n. 3	12 – 13	5.57E-07	Qa

4.1.2 Misure piezometriche

Relativamente alla strumentazione installata sono disponibili solo misure del periodo di esecuzione indagine che hanno rilevato falda a 10.55 m da p.c. (vedasi tabella in calce al certificato stratigrafico del sondaggio).

4.1.3 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati nel sondaggio stratigrafico 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 complete;
- determinazione dei Limiti di Atterberg;
- classificazioni USCS e AASHTO;
- prove di taglio diretto (TD);
- prove triassiali consolidate isotropicamente drenate (Tx CID);
- prove di compressibilità edometrica.

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

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

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

5.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Lungo il tracciato dalle indagine eseguite sono state intercettate le seguenti unità geotecniche:

- **Unità Qcs1:** sabbie, sabbie limose di colore giallastro;
- **Unità Qcs1a:** limo argilloso sabbioso di colore giallastro;
- **Unità Qa:** argilla limosa grigio-azzurra talora con intercalazioni sabbiose siltose.

5.2 Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche

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

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

5.2.1 Depositi incoerenti

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

Per quanto riguarda la stima della densità relativa dalle prove SPT, sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte.

Stato di addensamento

Correlazione di Skempton

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

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

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in tabella seguente

σ'_{vo} = pressione verticale efficace alla quota della prova SPT (kg/cm^2);

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

D_r = densità relativa (-).

Tabella 4. Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovraconsolidate	27,5+43,3	$(21,7+27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (ko)_{sc}}{1+2 \cdot (ko)_{nc}}$

Nel caso in esame sono state cautelativamente considerate le costanti empiriche relative a sabbie fini normal consolidate.

Correlazione di Gibbs e Holtz

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

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

Correlazione di Bazaraa

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

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

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

essendo:

D_R = densità relativa (-).

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

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

Correlazione di Terzaghi & Peck

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

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

Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate diverse correlazioni (Bolton; Schmertmann, De Mello) di seguito illustrate. Generalmente, la correlazione di Bolton ha fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio inferiori rispetto alla correlazione di Schmertmann. Cautelativamente per la definizione dei parametri di resistenza di progetto si è fatto riferimento ai valori minimi ottenuti dalle correlazioni.

Correlazione di Schmertmann

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

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

$$\phi = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \quad \text{sabbia grossa-media uniformemente ben gradata}$$

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

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

essendo: D_r = densità relativa

Nel caso in esame si è considerata cautelativamente per l'unità Q_{cs1} la correlazione valida per sabbia fine uniforme.

Correlazione di Bolton

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

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

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

essendo:

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

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

$p'_f = 1.4 \cdot \sigma'_{ff}$ kPa (vedasi Jamiokowski et al., 1988; in accordo a quanto proposto da Baligh, 1975, si assume $p'_f = 1.4 \cdot 272 = 380$ kPa);

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti (vedasi tabella seguente (°)). Nel nostro caso si assume $m=3$;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 5 Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

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

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

I valori dell'angolo di attrito ϕ_{cv}' sono stati ricavati in base a quanto indicato nella tabella seguente (Youd, 1972; Stroud, 1988) e sulla base della relazione riprotata nel "Kulhawy" (vedasi tabella seguente) in base alla descrizione del materiale ed alle prove gralometriche di laboratorio. Nel caso specifico per l'angolo di attrito ϕ_{cv}' si è assunto $\phi_{cv}' = 32^\circ$ per l'unità Qcs1.

Tabella 6 Valori dell'angolo di attrito ϕ'_{cv} per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

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

Tabella 7 Valori dell'angolo di attrito ϕ'_{cv} per sabbie - Kulhawy

$$\bar{\phi}_{cv} = 36^\circ + \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \Delta\phi_3 + \Delta\phi_4 + \Delta\phi_5$$

in which: $\Delta\phi_1$ - correction for particle shape
 $\Delta\phi_1 = -6^\circ$ for high sphericity and subrounded shape
 $\Delta\phi_1 = +2^\circ$ for low sphericity and angular shape
 $\Delta\phi_2$ - correction for particle size (effective size, d_{10})
 $\Delta\phi_2 = -11^\circ$ for $d_{10} > 2.0$ mm (gravel)
 $\Delta\phi_2 = -9^\circ$ for $2.0 > d_{10} > 0.6$ (coarse sand)
 $\Delta\phi_2 = -4^\circ$ for $0.6 > d_{10} > 0.2$ (medium sand)
 $\Delta\phi_2 = 0$ for $0.2 > d_{10} > 0.06$ (fine sand)
 $\Delta\phi_3$ - correction for gradation (uniformity coefficient, C_u)
 $\Delta\phi_3 = -2^\circ$ for $C_u > 2.0$ (well-graded)
 $\Delta\phi_3 = -1^\circ$ for $C_u = 2.0$ (medium graded)
 $\Delta\phi_3 = 0$ for $C_u < 2.0$ (poorly graded)
 $\Delta\phi_4$ - correction for relative density (D_r)
 $\Delta\phi_4 = -1^\circ$ for $0 < D_r < 0.5$ (loose)
 $\Delta\phi_4 = 0$ for $0.5 < D_r < 0.75$ (intermediate)
 $\Delta\phi_4 = +4^\circ$ for $0.75 < D_r < 1.00$ (dense)
 $\Delta\phi_5$ - correction for type of mineral
 $\Delta\phi_5 = 0$ for quartz
 $\Delta\phi_5 = +4^\circ$ for feldspar, calcite, chlorite
 $\Delta\phi_5 = +6^\circ$ for muscovite mica

Caratteristiche di deformabilità

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

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

Il modulo di taglio iniziale (G0) e quello di Young iniziale (E0), associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio (Vs) utilizzando le seguenti correlazioni:

$$G_o = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m³;

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

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

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

Correlazione di Ohta e Goto (1978)

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

essendo:

$C = 53.3$;

z = profondità dal p.c. in metri;

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 8);

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 9).

Tabella 8 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 9 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G (funzione della granulometrica del deposito)

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

Nel caso in esame è stato assunto:

$$f_A = 1.3;$$

$$f_G = 1.14.$$

Correlazione di Yoshida et al. (1988)

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

essendo:

C=49 per sabbie (unità Qcs1);

σ_{v0}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova.

I moduli di deformabilità "operativi" (E'_{op1}) 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 ($E'_{op2} = E_0/10$).

5.2.2 Depositi coesivi

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

Classificazione

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

- Analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale e secco;

- contenuti d'acqua naturale;
- limiti di Atterberg.

Caratteristiche di resistenza

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

- Taglio diretto e prove triassiali per la resistenza in tensioni efficaci;
- Triassiale non consolidata non drenata (TXUU) per la resistenza in condizioni non drenate.

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

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

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 stimati:

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

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

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

$$G_o = (500 \div 700) \cdot c_u \text{ (kPa)}$$

essendo:

c_u = resistenza al taglio non drenata.

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

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

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

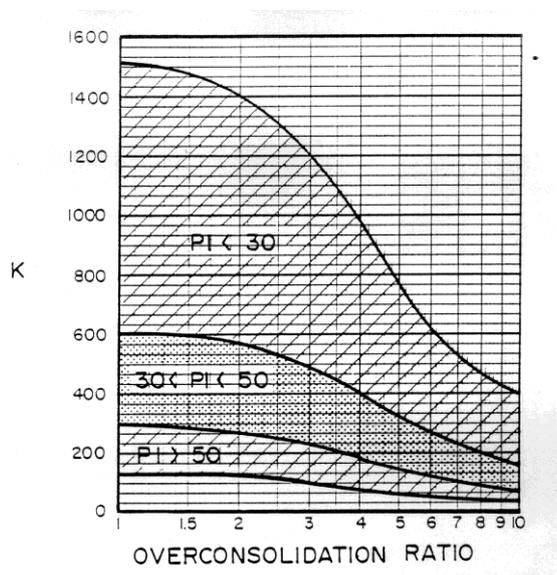


Figura 1 – Duncan & Buchignani

Caratteristiche di consolidazione

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

$$c_v = \exp [-10.552 + (164.074/LL)] \quad [\text{cm}^2/\text{s}]$$

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA								
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA								
RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	20 di 75

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

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).

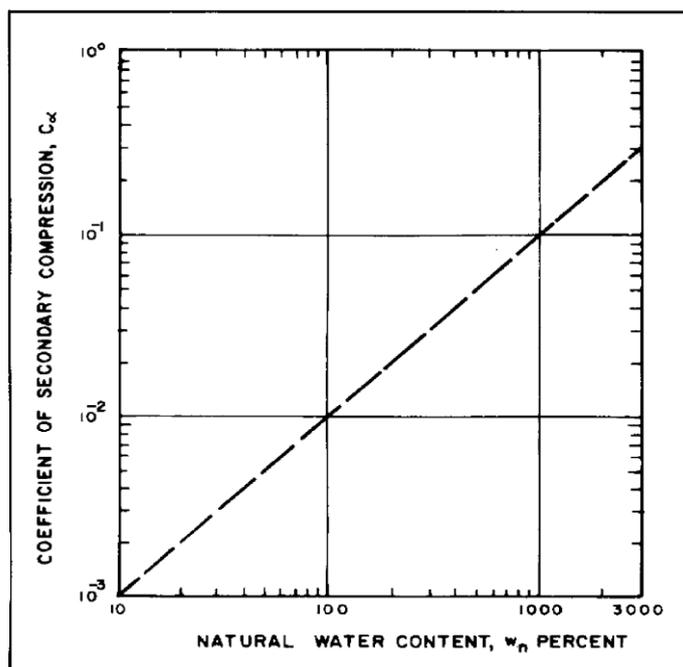


Figura 2 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n (NAVFAC, 1982)

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.

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA								
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA								
RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	21 di 75

5.3 Unità Qcs1 (sabbie, sabbie limose)

Si tratta di sabbie, sabbie limose, fossilifere, di colore giallastro. Si rinvencono nel sondaggio da p.c. fino a 3.3 circa (vedasi Figura 3).



Figura 3 – Documentazione fotografica cassetta catalogatrice da 0.0 a 5.0 m (unità Qcs1)

Le prove SPT hanno fornito valori di 31 colpi/30 cm (vedasi [Figura 5](#)).

La densità relativa stimata dalle prove SPT è 65 % (vedasi [Figura 6](#)).

Nell'unità geotecnica è stato prelevato un campione indisturbato, probabilmente nella zona con maggior contenuto di fine, infatti dall'analisi granulometrica si ha (vedasi [Figura 11](#)):

- percentuale di ghiaia 0.3%;
- percentuale di sabbia del 29%;

- percentuale di fine (limo+argilla) compresa del 70% con percentuale di limo 44 % e percentuale di argilla 26%.

Il peso di volume naturale misurato è 19.9 kN/m³ (vedasi [Figura 14](#)).

Parametri di resistenza:

Dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT si ottiene un valore dell'angolo di resistenza al taglio di 37.5° (vedasi [Figura 7](#)).

Sul campione indisturbato prelevato è stata eseguita una prova di taglio diretto che ha dato angolo di resistenza al taglio 31° e coesione drenata 40 kPa (vedasi [Figura 19](#)).

In [Figura 20](#) si riportano i parametri di resistenza delle prove di laboratorio nel piano τ - σ' .

Per l'unità geotecnica si assume il seguente range dei valori di resistenza caratteristici

$$\begin{aligned} \varphi' &= 34 \div 37^\circ && \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' &= 0 \div 5 \text{ kPa} && \text{coesione drenata} \\ \varphi'_{cv} &= 32^\circ && \text{angolo di resistenza al taglio a volume costante} \end{aligned}$$

Parametri di deformabilità:

I parametri di deformazione sono stati stimati principalmente dalle correlazioni in base alle prove SPT (vedasi [Figura 8](#), [Figura 9](#), [Figura 10](#)). Per l'unità in esame si stima:

$$\begin{aligned} V_s &= 150 \div 200 \text{ m/s} && \text{velocità delle onde di taglio} \\ G_0 &= 50 \div 80 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione a taglio iniziale} \\ E_0 &= 130 \div 200 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)} \end{aligned}$$

Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità è disponibile una prova di permeabilità Lefranc che ha dato valore di permeabilità di $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (vedasi [Figura 23](#)).

5.4 Unità Qcs1a (limo argilloso sabbioso)

Si tratta di limo argilloso sabbioso di colore giallastro intercettato da 3.3 a 11.4 m di profondità dal p.c. (vedasi figura seguente).



Figura 4 – Documentazione fotografica cassetta catalogatrice da 5.0 a 10.0 m (unità Qcs1a)

Le prove SPT hanno fornito valori tra 16 e 45 colpi/30 cm (vedasi [Figura 5](#)) ad indicare una consistenza da media ad alta.

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

Dalle analisi granulometriche si ha (vedasi [Figura 13](#)):

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 4%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 17 e 40% (media 29%);

- percentuale di fine (limo + argilla) compresa fra 57 e 82% (media 69%) con percentuale di limo compresa fra 30 e 46% (media 36%) e percentuale di argilla compresa fra 28 e 36% (media 32%).

Il limite liquido è compreso generalmente fra 32 e 40% (media 37%); il limite plastico è 18-22 (media 20%); l'indice di plasticità è tra 15 e 19 % (media 17%). Il contenuto naturale d'acqua è tra 14 e 20% (media 18%) (vedasi [Figura 15](#)). L'indice di consistenza è tra 0.8 e 1.3 (vedasi [Figura 17](#)). Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche di media plasticità (vedasi [Figura 16](#)).

Il peso di volume naturale è compreso tra 19 e 20 kN/m³ (vedasi [Figura 14](#)).

Parametri di resistenza:

I valori dei parametri di resistenza sono stati ottenuti dalle prove di laboratorio, i cui risultati sono riportati in [Figura 19](#): $c' = 23 \div 25$ kPa, $\varphi' = 24.6 \div 31^\circ$. In [Figura 22](#) sono mostrati i valori dell'angolo di resistenza al taglio in funzione dell'indice plastico del terreno secondo la correlazione di Jamiolkowski et al. (1979).

In [Figura 21](#) si riportano i parametri di resistenza delle prove di laboratorio nel piano τ - σ' , ed il range dei valori di resistenza assunti in progetto:

$$\varphi' = 26 \div 31^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

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

In [Figura 18](#) sono riportati i valori di resistenza al taglio non drenata dall'interpretazione delle prove SPT, dalle prove Pocket Penetrometer, Vane Test. Si osservano valori di resistenza al taglio non drenata compresi tra 50 e 150 kPa.

Parametri di deformabilità:

I parametri di deformazione sono stati stimati principalmente dalle correlazioni in base alle prove SPT (vedasi [Figura 9](#), [Figura 10](#)). Per l'unità in esame si osserva un range piuttosto disperso, ciò è riconducibile al diverso contenuto di sabbia all'interno del deposito:

$$G_0 = 50 \div 150 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$

$$E_0 = 140 \div 400 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)}$$

Dall'unica prova edometrica di laboratorio eseguita su un campione di questa unità geotecnica, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- $M = 3 \text{ MPa}$ modulo di deformazione edometrico
- $cv = 1.3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ coefficiente di consolidazione primaria verticale

Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità è disponibile una prova di permeabilità Lefranc che ha dato valore di permeabilità di $3.7 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ (vedasi [Figura 23](#)).

5.5 Unità Qa (argilla limosa grigio azzurra)

Si tratta di argille limose sabbiose e/o limi sabbiosi argillosi grigio azzurre che costituiscono il substrato. Sono state intercettate a partire da 11.4 m di profondità dal p.c..

Le prove SPT hanno fornito valori tra 13 e 40 colpi/30 cm (vedasi [Figura 5](#)) ad indicare una consistenza da media ad alta.

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

Dalle analisi granulometriche si ha (vedasi [Figura 13](#)):

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 0.4%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 8 e 65% (media 40%);
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa fra 34 e 91% (media 60%) con percentuale di limo compresa fra 16 e 35% (media 25%) e percentuale di argilla compresa fra 18 e 61% (media 33%).

Il limite liquido è compreso generalmente fra 34 e 40% (media 38%); il limite plastico è 20%; l'indice di plasticità è tra 14 e 20 % (media 17%). Il contenuto naturale d'acqua è tra 21 e 25% (media 23%) (vedasi [Figura 15](#)). L'indice di consistenza è tra 0.8 e 0.95 (vedasi [Figura 17](#)). Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche di media plasticità (vedasi [Figura 16](#)).

Il peso di volume naturale è compreso tra 19.5 e 20.5 kN/m^3 (vedasi [Figura 14](#)).

Parametri di resistenza:

I valori dei parametri di resistenza sono stati ottenuti dalle prove di laboratorio, i cui risultati sono riportati in [Figura 19](#): $c' = 5 \div 40$ kPa, $\varphi' = 24.6 \div 38^\circ$. In [Figura 22](#) sono mostrati i valori dell'angolo di resistenza al taglio in funzione dell'indice plastico del terreno secondo la correlazione di Jamiolkowski et al. (1979).

In [Figura 21](#) si riportano i parametri di resistenza delle prove di laboratorio nel piano τ - σ' , ed il range dei valori di resistenza assunti in progetto:

$$\varphi' = 27 \div 35^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$
$$c' = 5 \div 10 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

In [Figura 18](#) sono riportati i valori di resistenza al taglio non drenata dall'interpretazione delle prove SPT, dalle prove Pocket Penetrometer, Vane Test. Si osservano valori di resistenza al taglio non drenata compresi tra 50 e 200 kPa.

Parametri di deformabilità:

I parametri di deformazione sono stati stimati principalmente dalle correlazioni in base alle prove SPT (vedasi [Figura 9](#), [Figura 10](#)). Per l'unità in esame si stima:

$$G_0 = 45 \div 140 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$
$$E_0 = 120 \div 360 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)}$$

Dall'unica prova edometrica di laboratorio eseguita, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- $M = 9 \text{ MPa}$ modulo di deformazione edometrico
- $c_v = 6.7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ coefficiente di consolidazione primaria verticale

Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità è disponibile una prova di permeabilità Lefranc che ha dato valori di permeabilità di $5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (vedasi [Figura 23](#)).

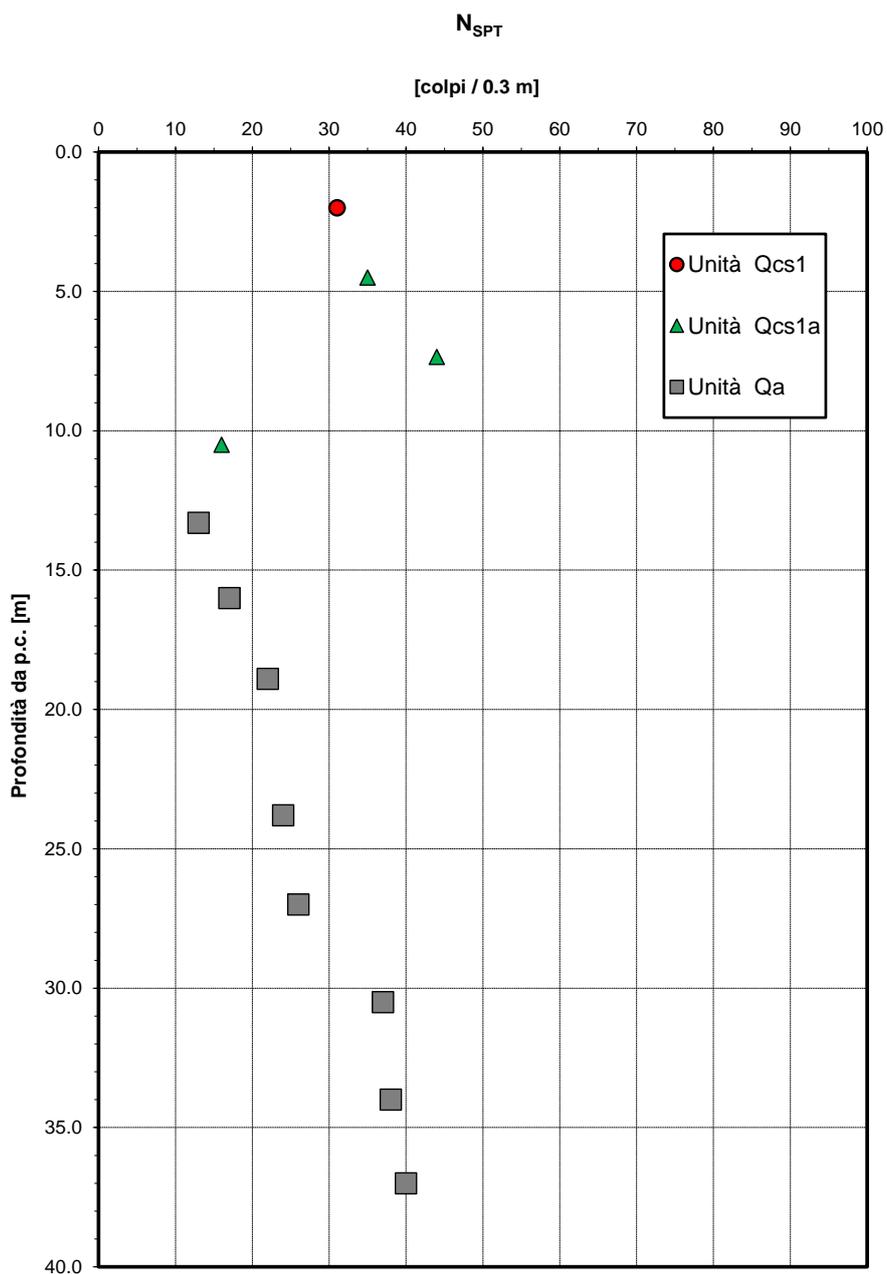


Figura 5 – Valori di N_{SPT}

Densità relativa da prove SPT

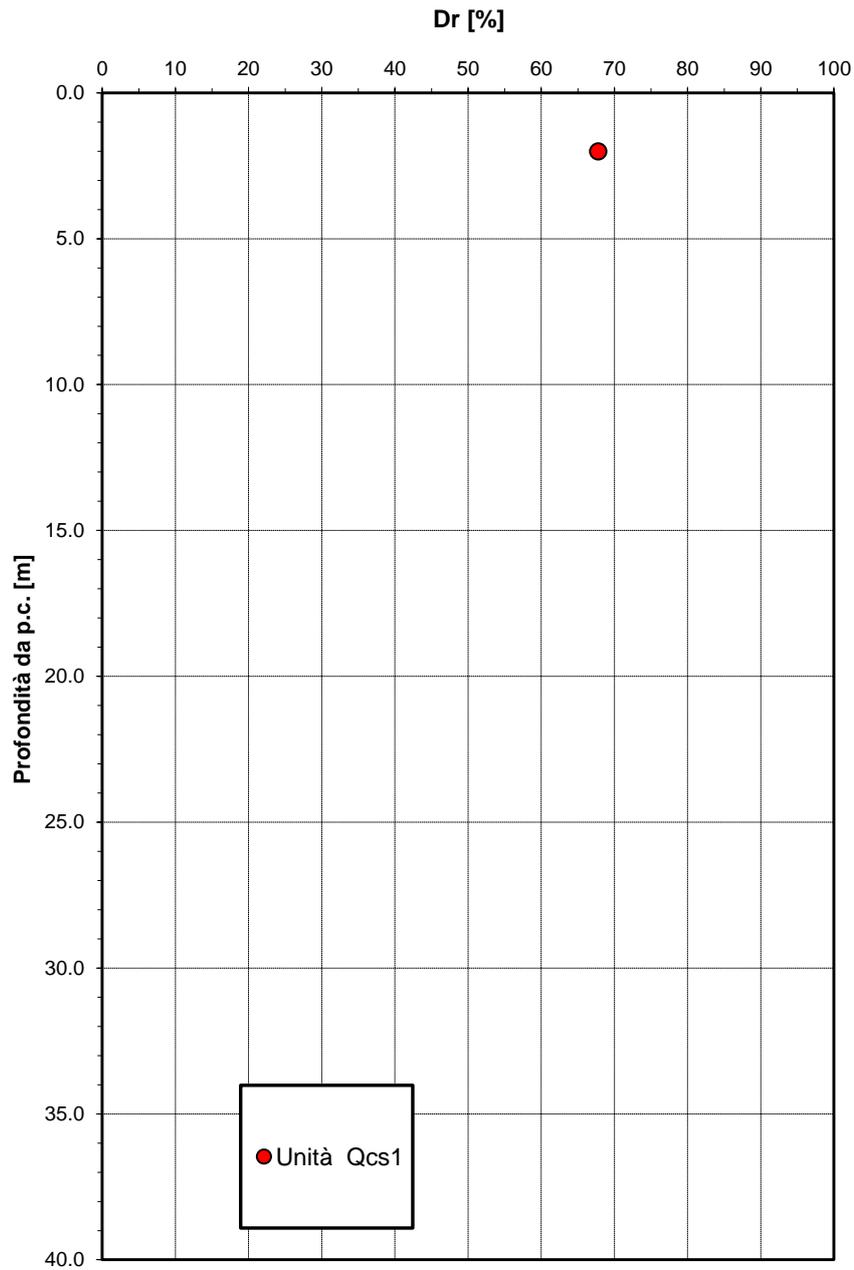


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

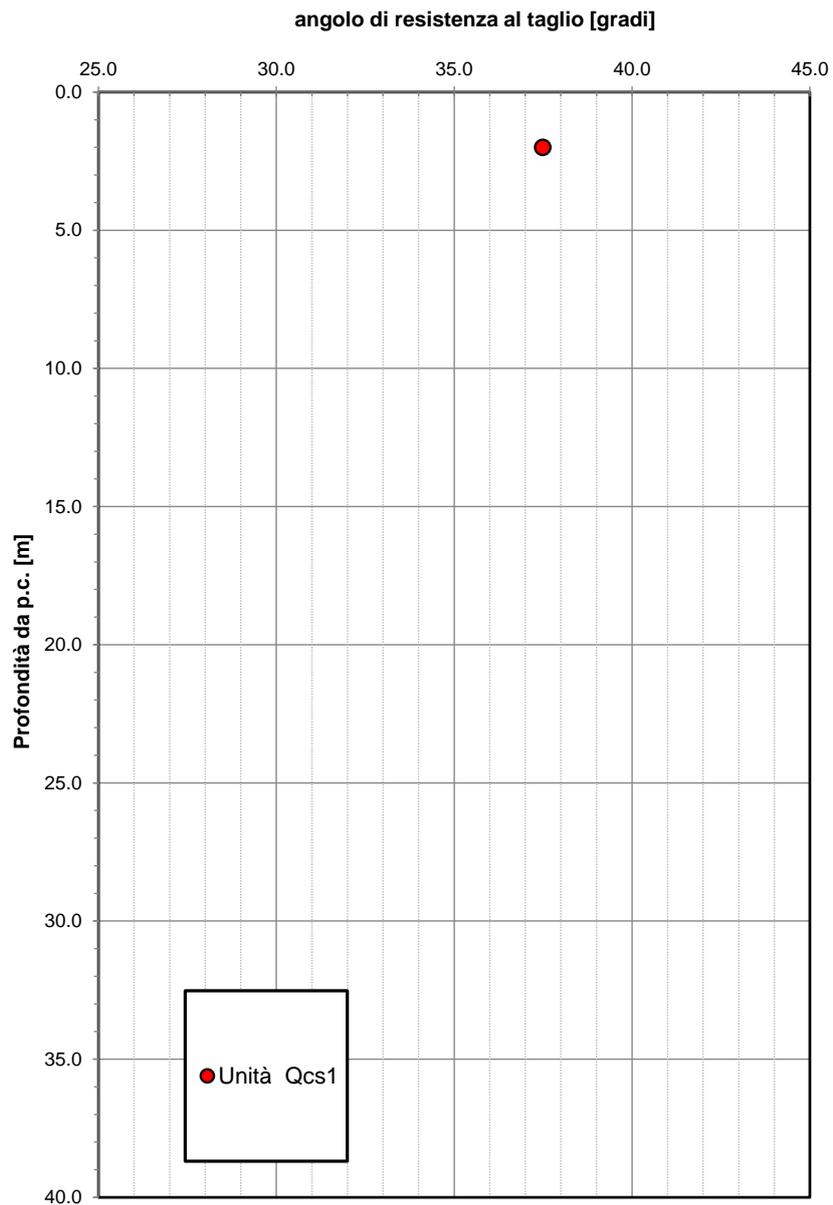


Figura 7 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

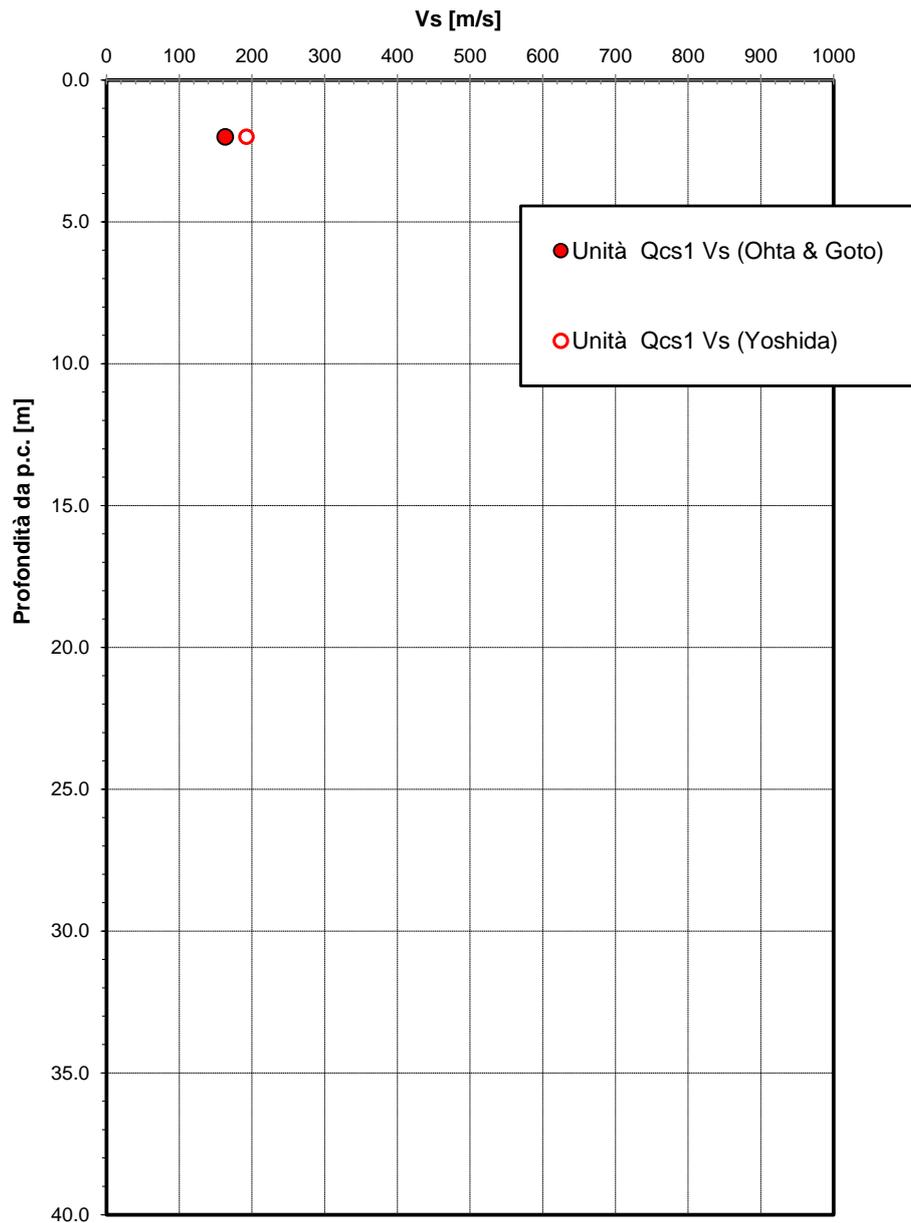


Figura 8 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT

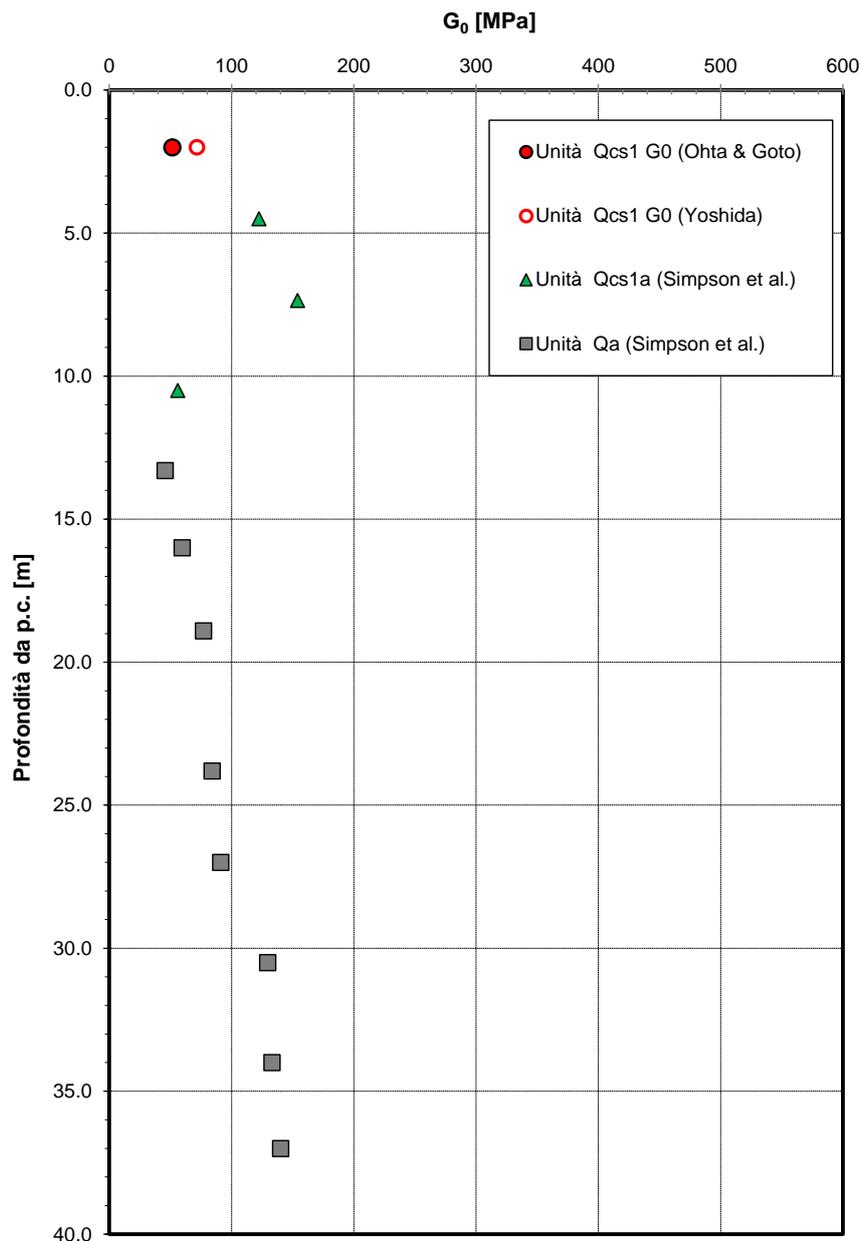


Figura 9 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT

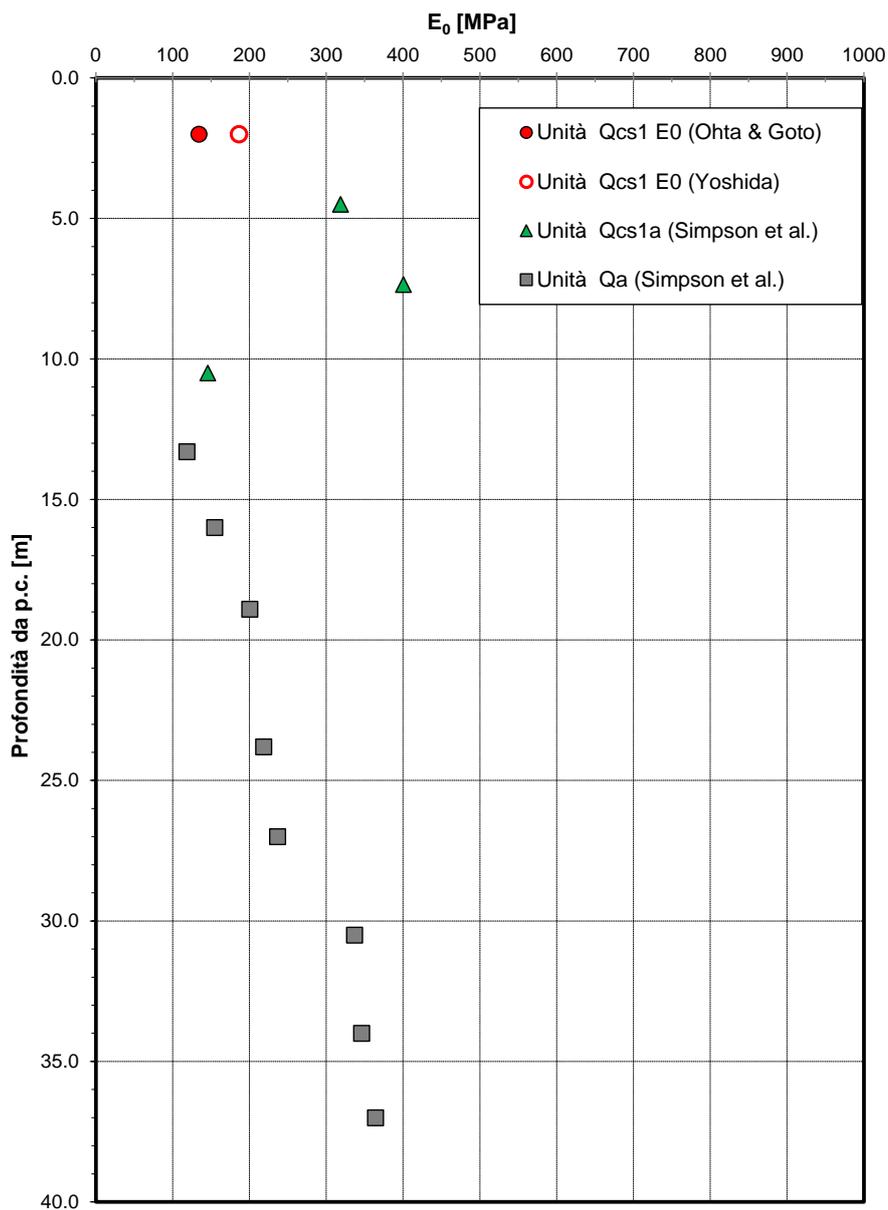


Figura 10 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT

Granulometria unità Qcs1

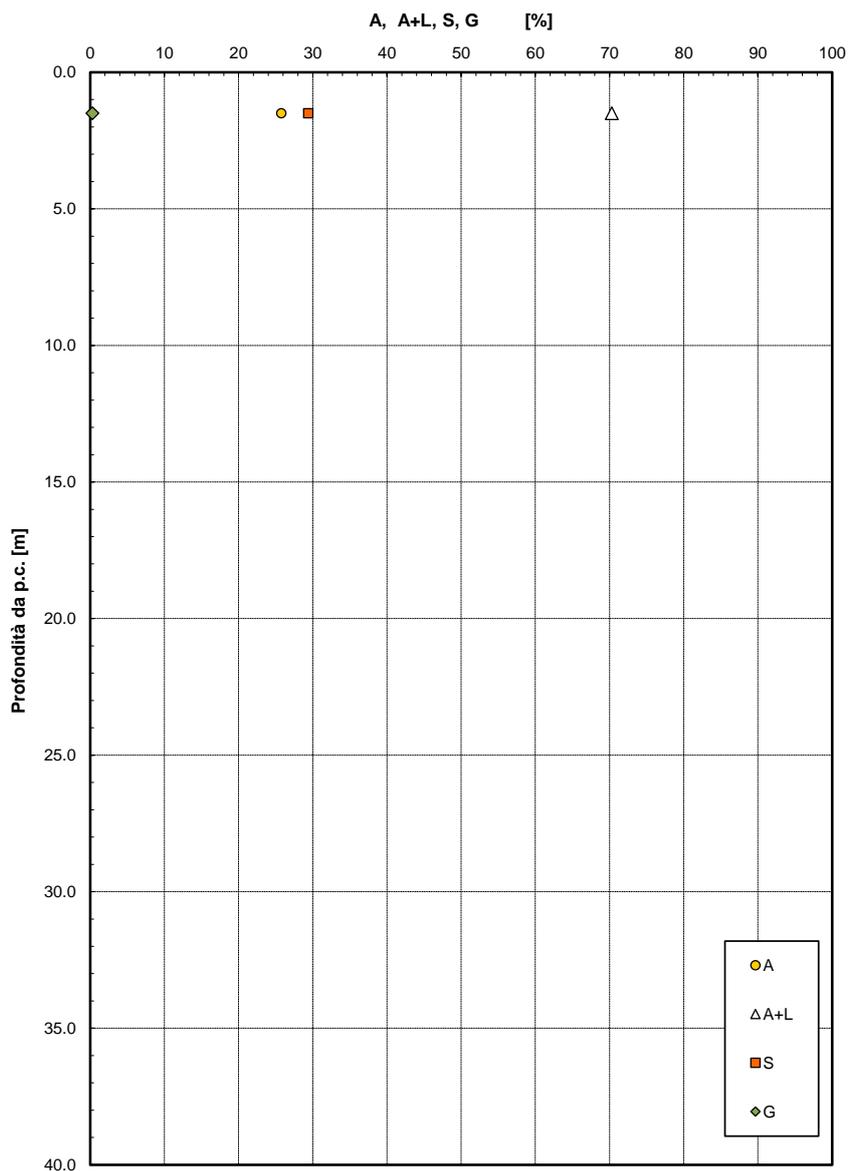


Figura 11 – Analisi granulometrica – Unità Qcs1

Granulometria unità Qcs1a

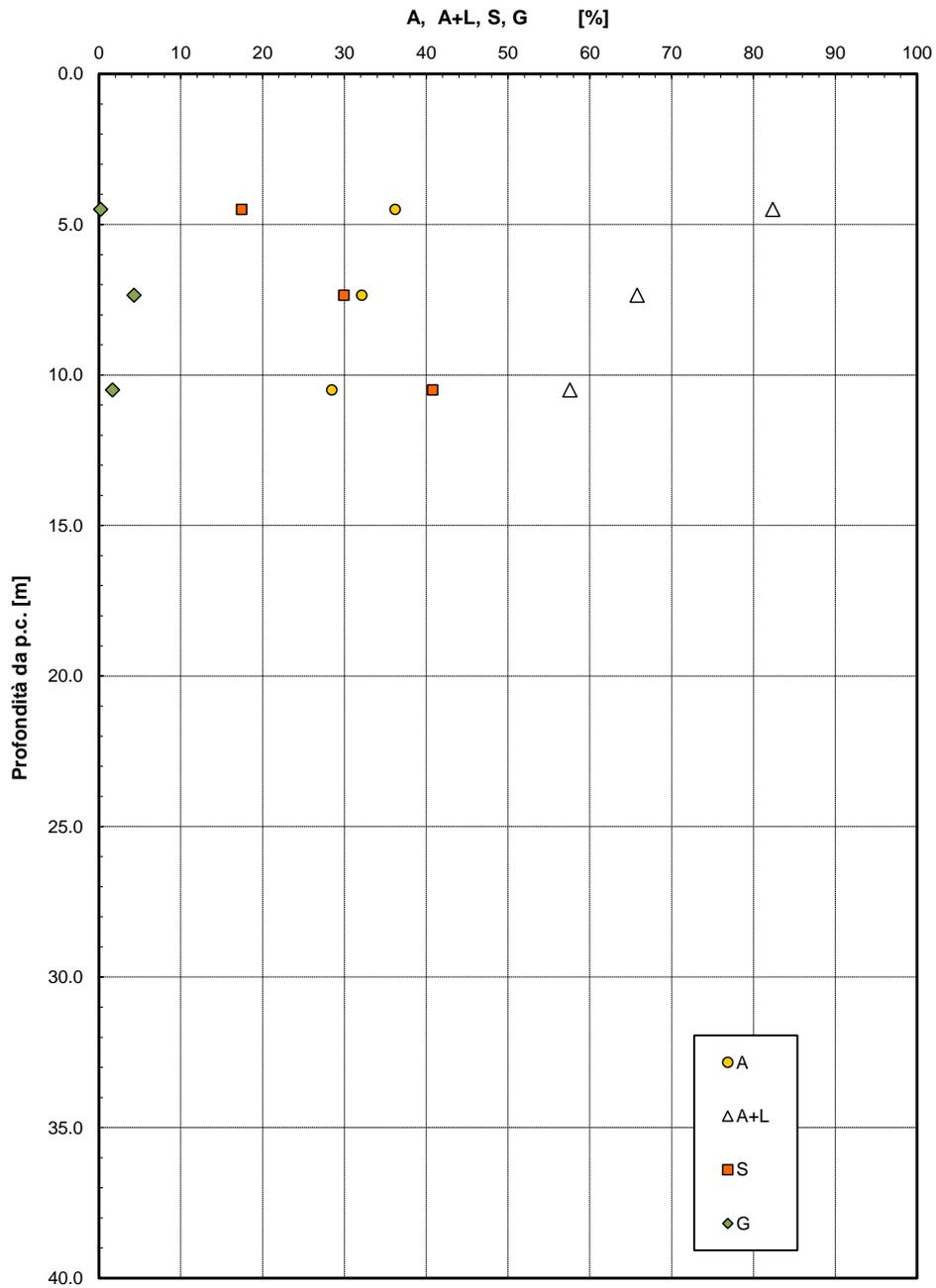


Figura 12 – Analisi granulometrica – Unità Qcs1a

Granulometria unità Qa

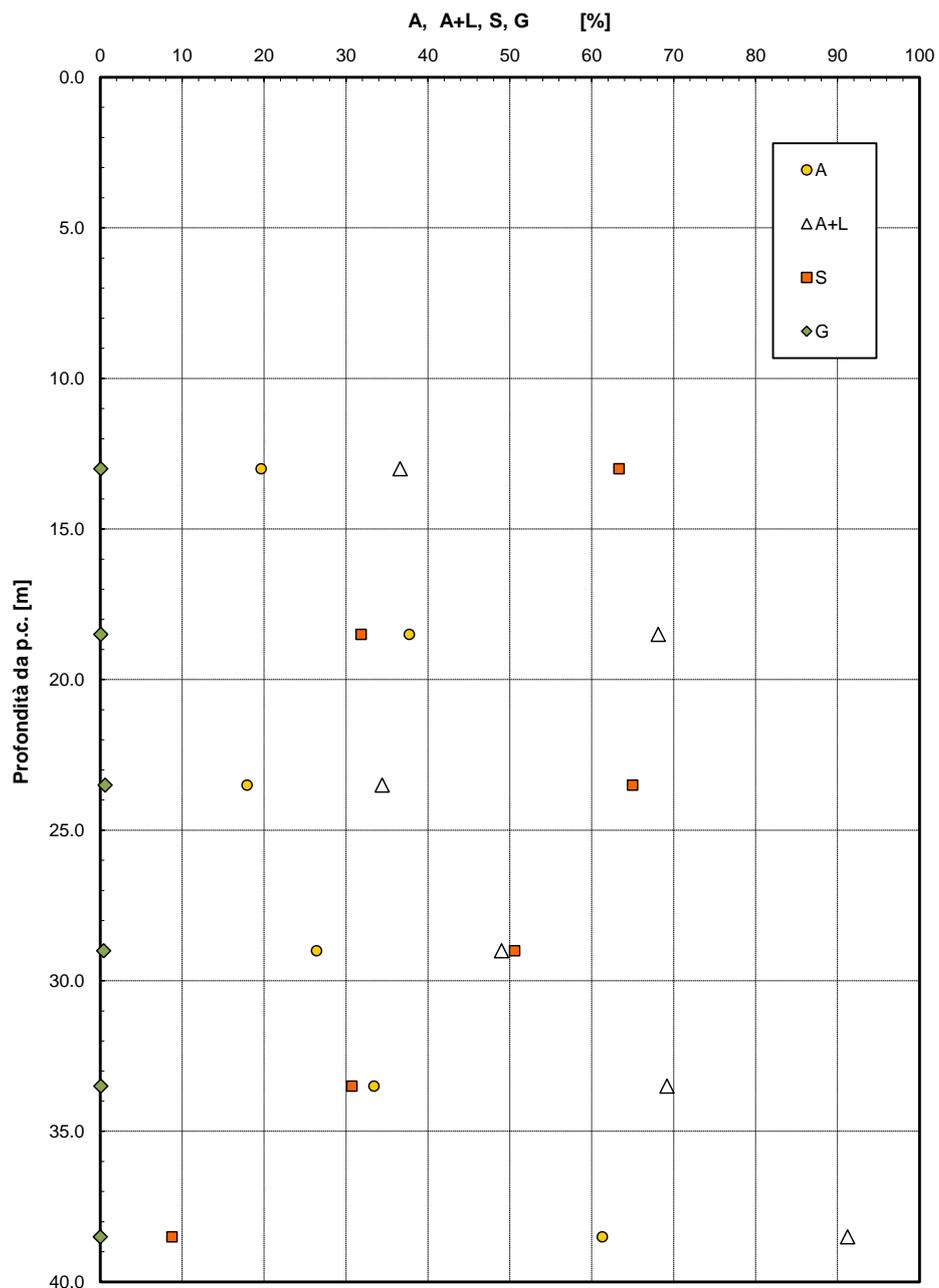


Figura 13 – Analisi granulometrica – Unità Qa

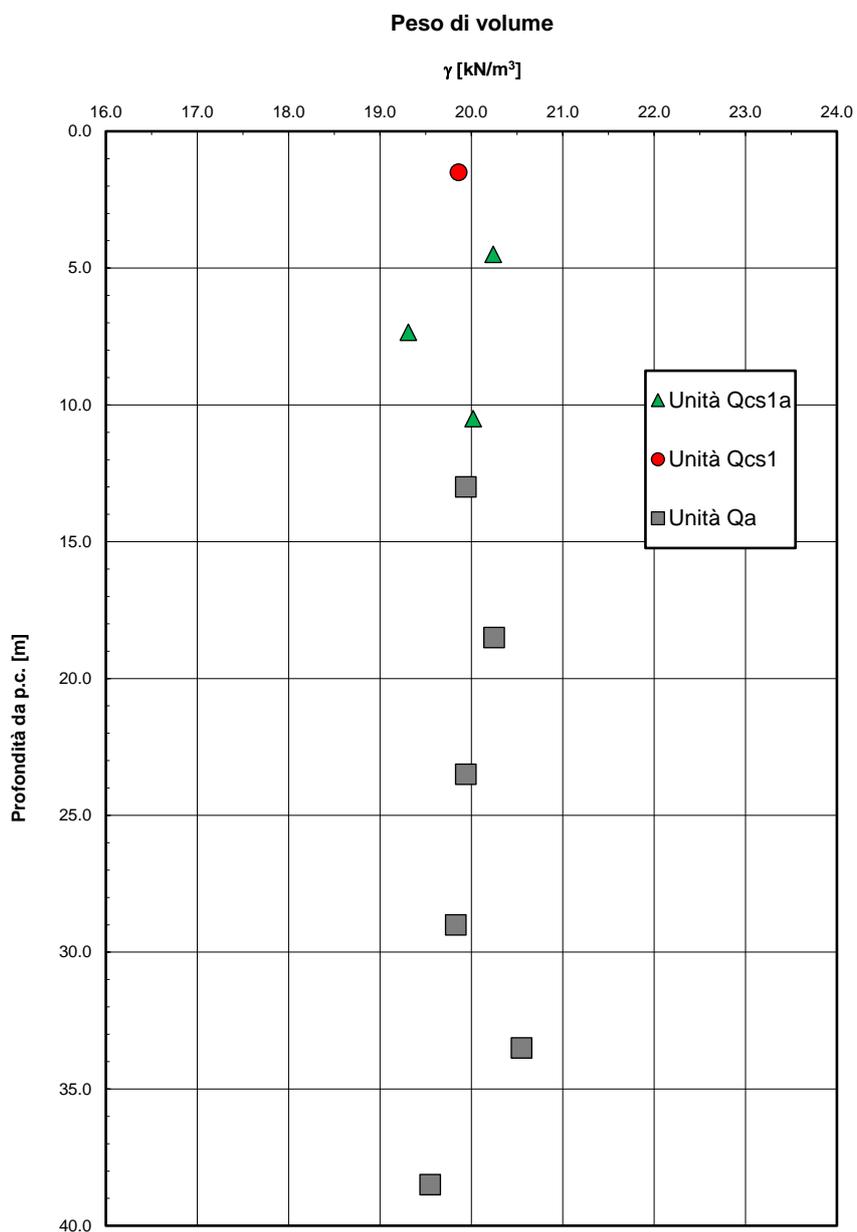


Figura 14 – Peso di volume naturale

Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua

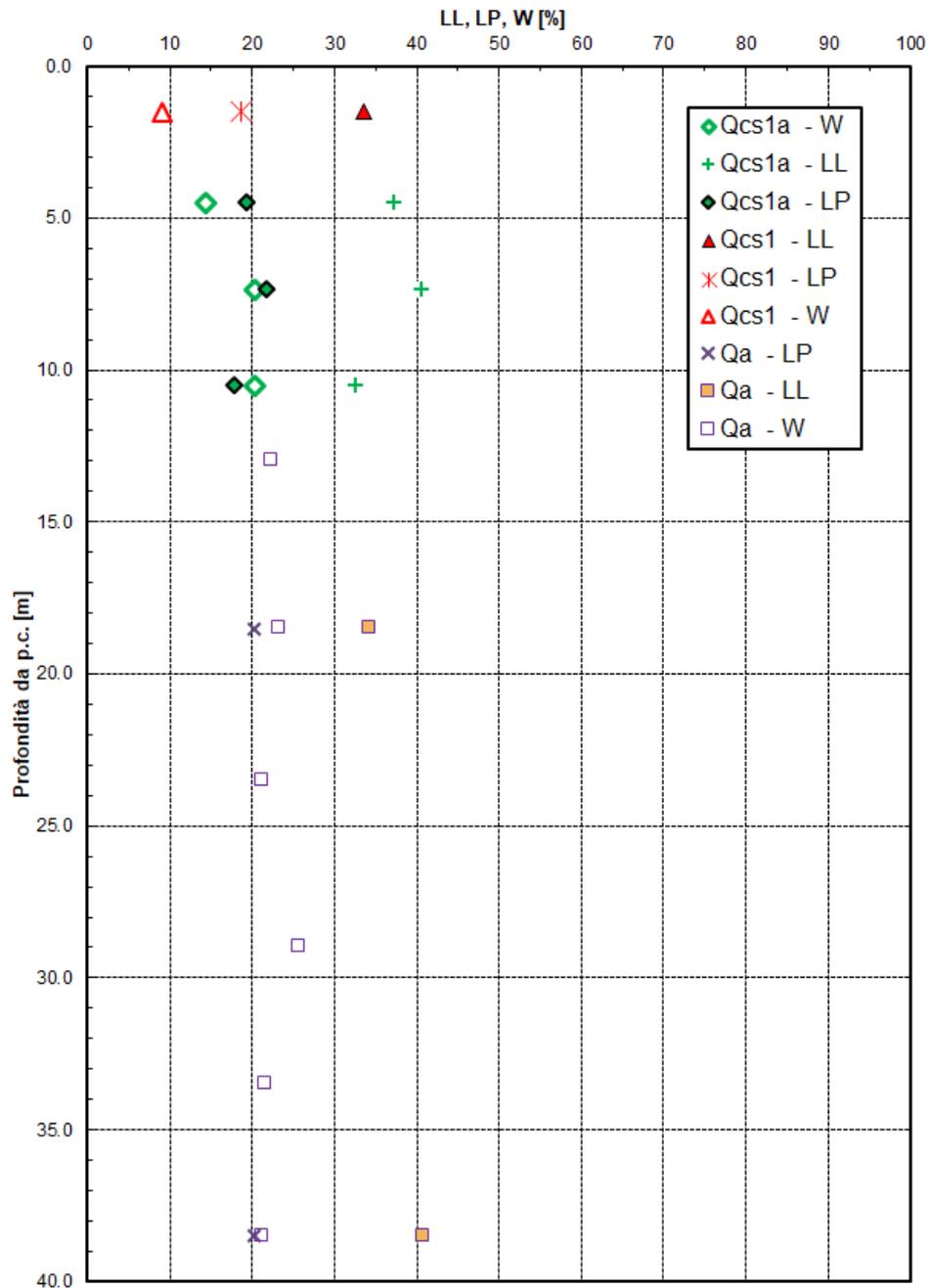


Figura 15 – Contenuto naturale d'acqua e limiti di consistenza

Carta di Plasticità di Casagrande

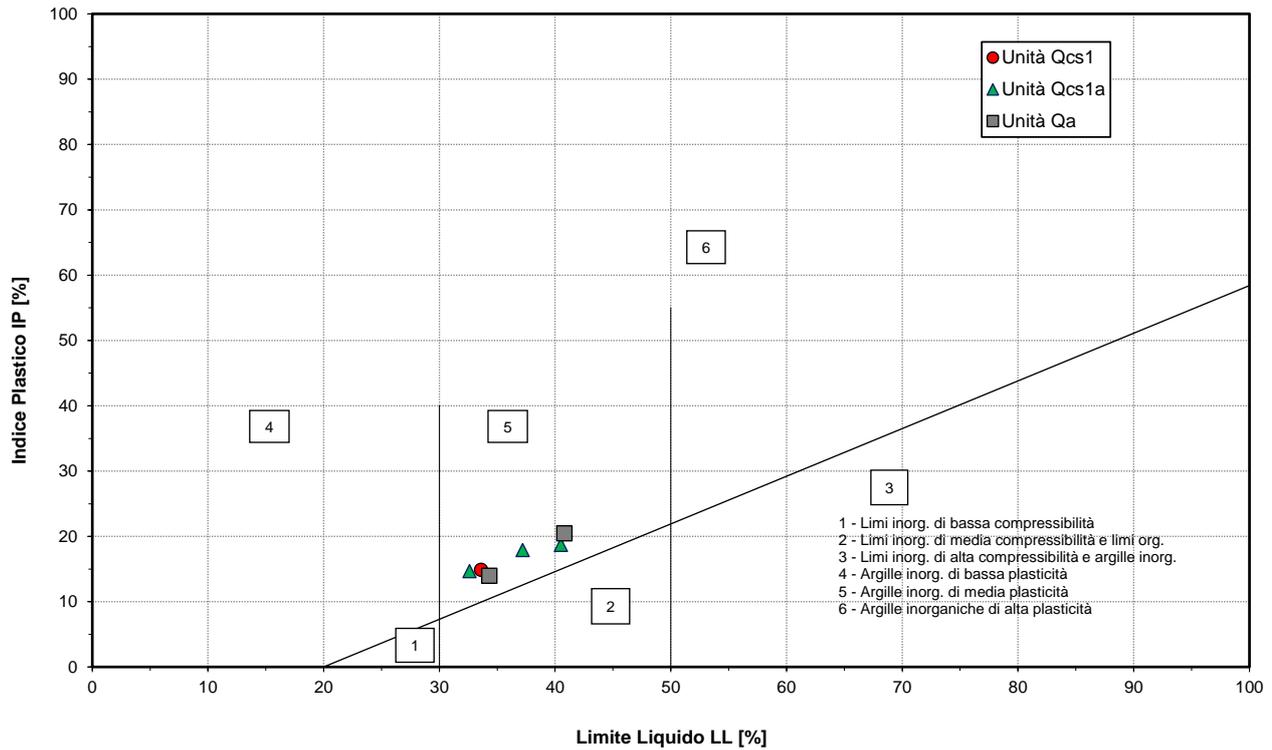


Figura 16 – Carta di plasticità di Casagrande

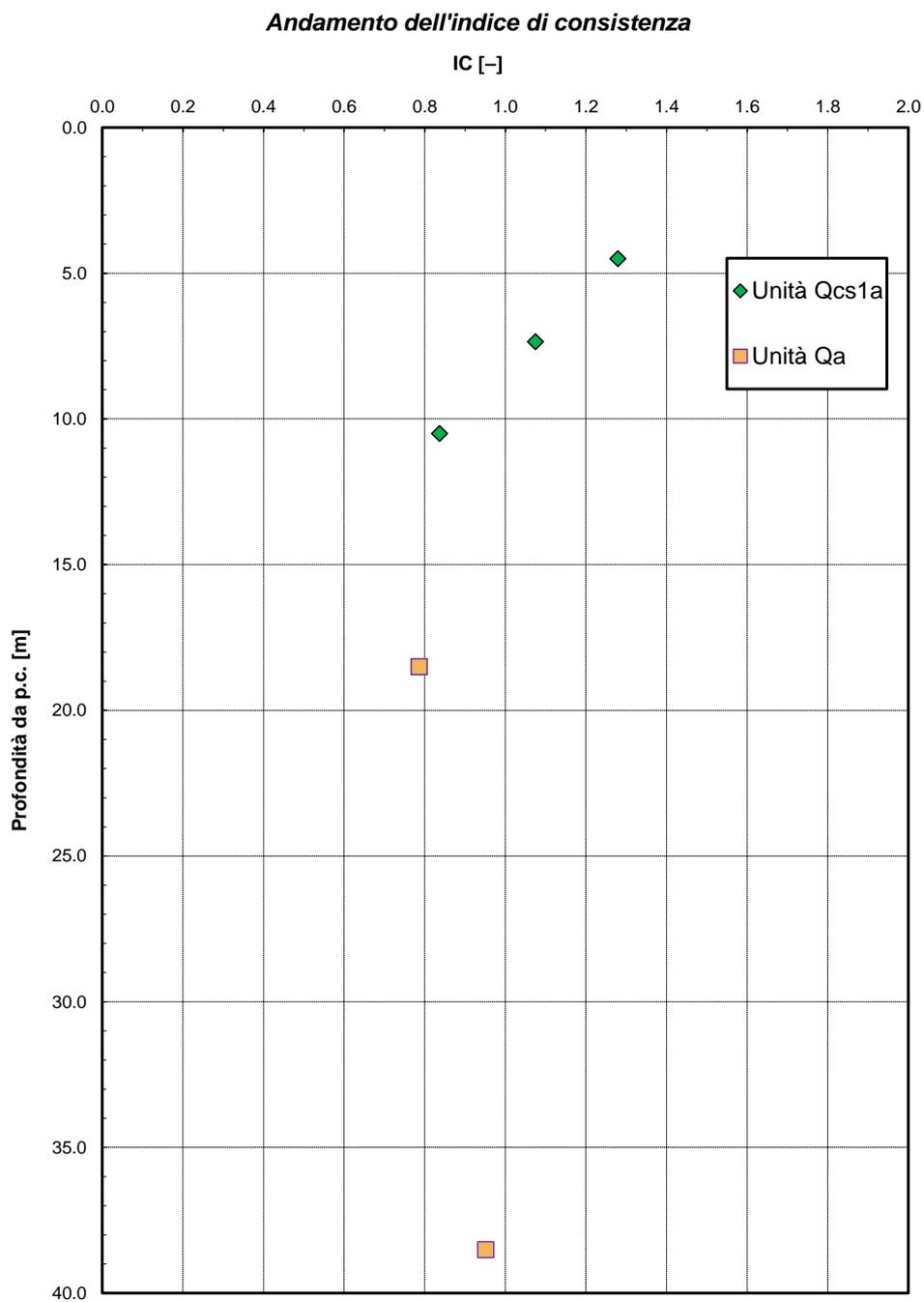


Figura 17 – Indice di consistenza

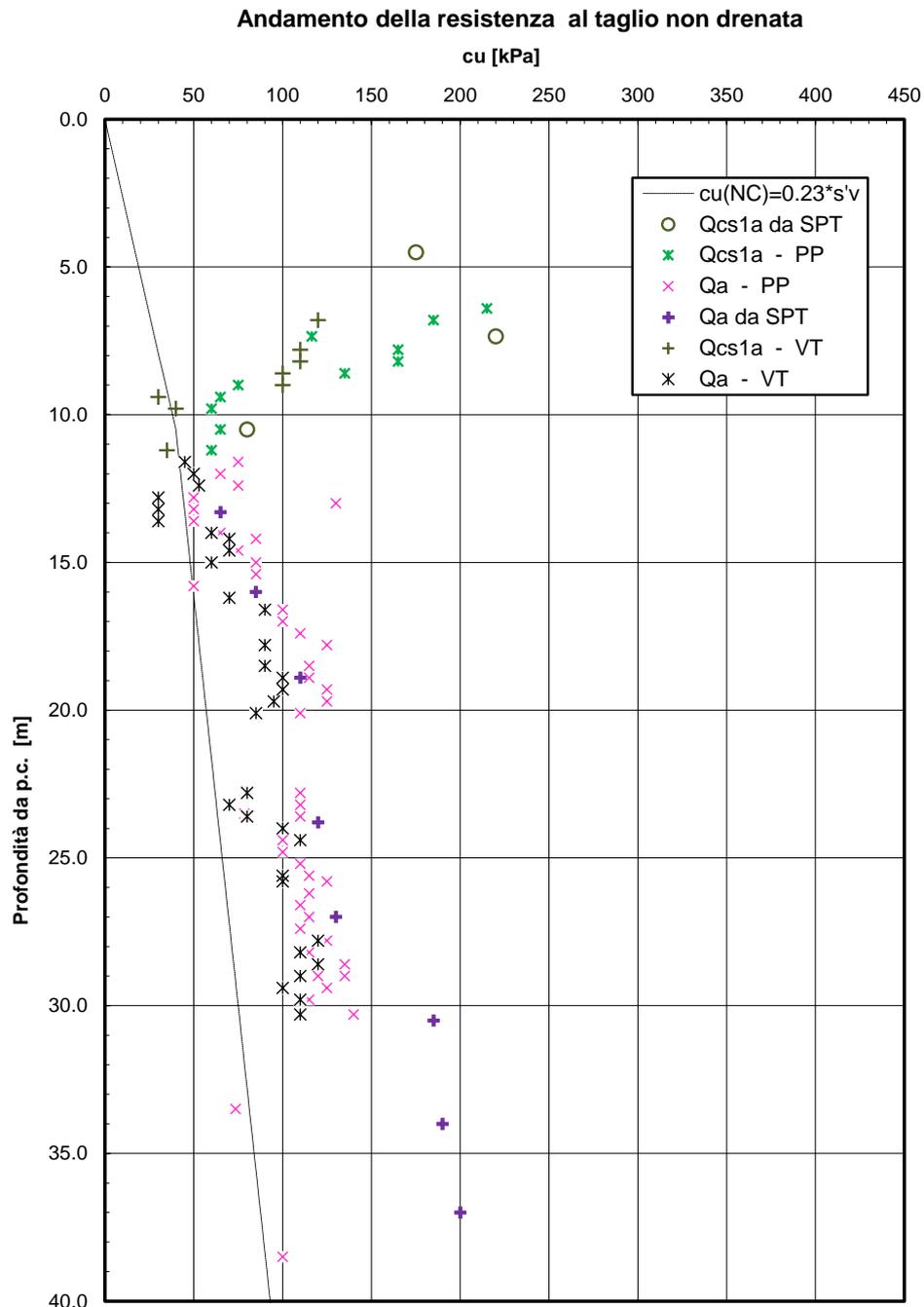


Figura 18 – Resistenza al taglio non drenata

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

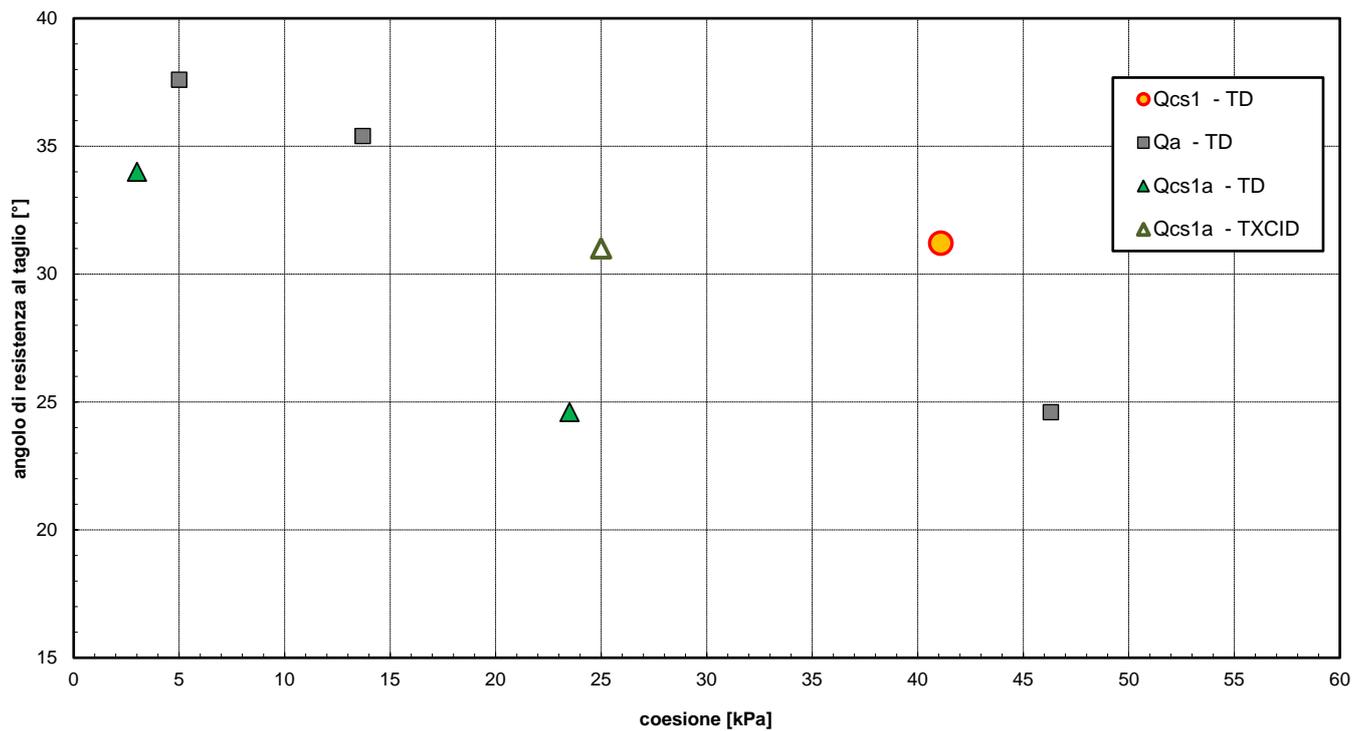


Figura 19 – Resistenza al taglio e coesione drenata (laboratorio)

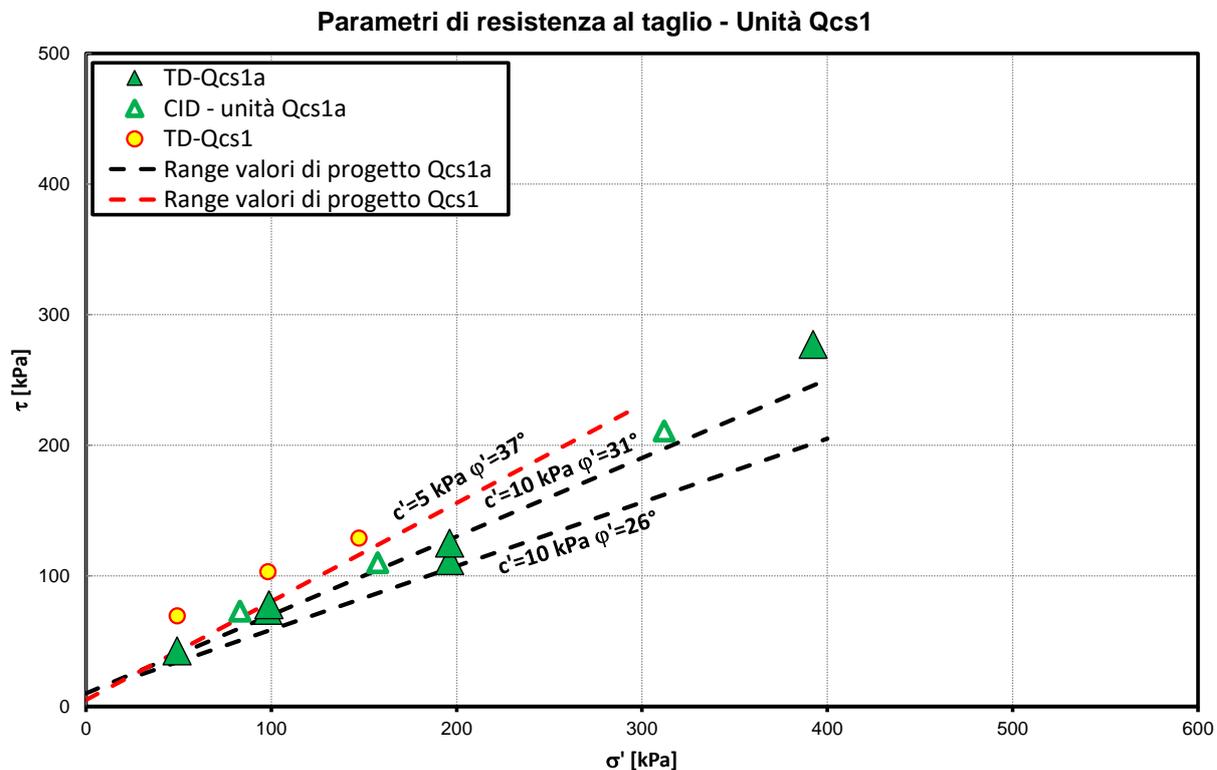


Figura 20 – Parametri di resistenza al taglio – Unità Qcs1

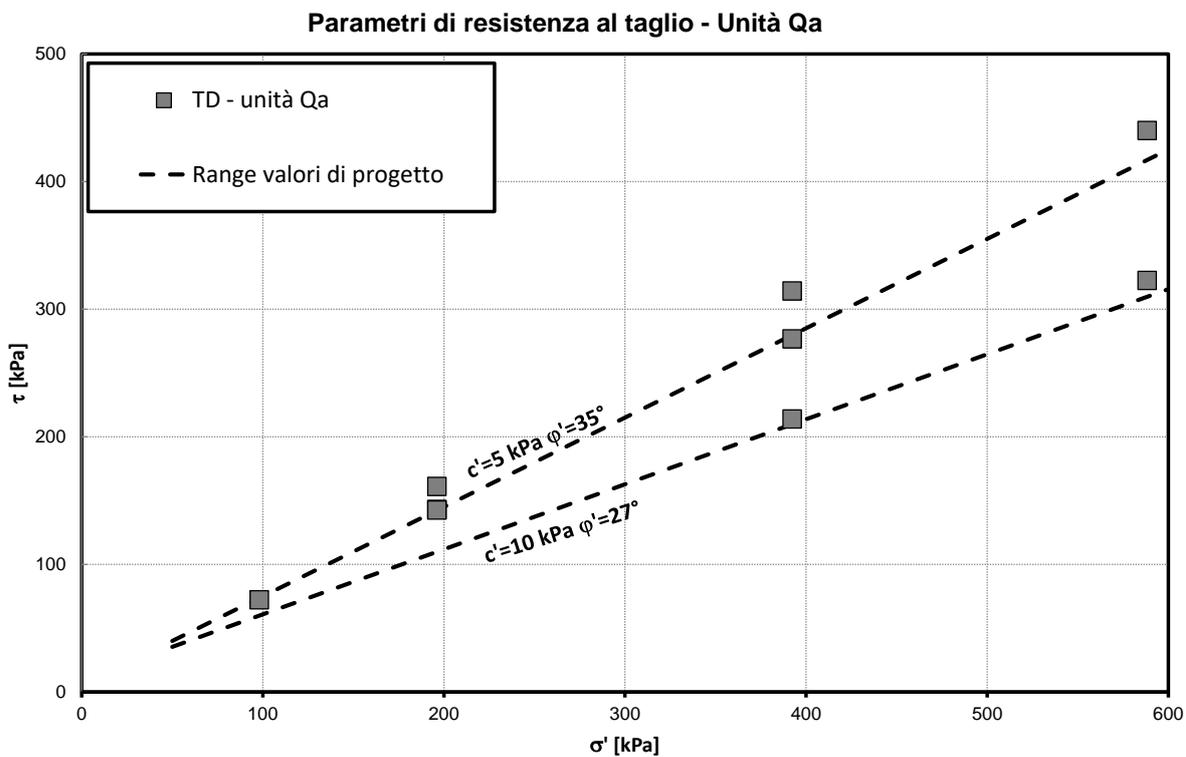


Figura 21 – Parametri di resistenza al taglio) – Unità Qa

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

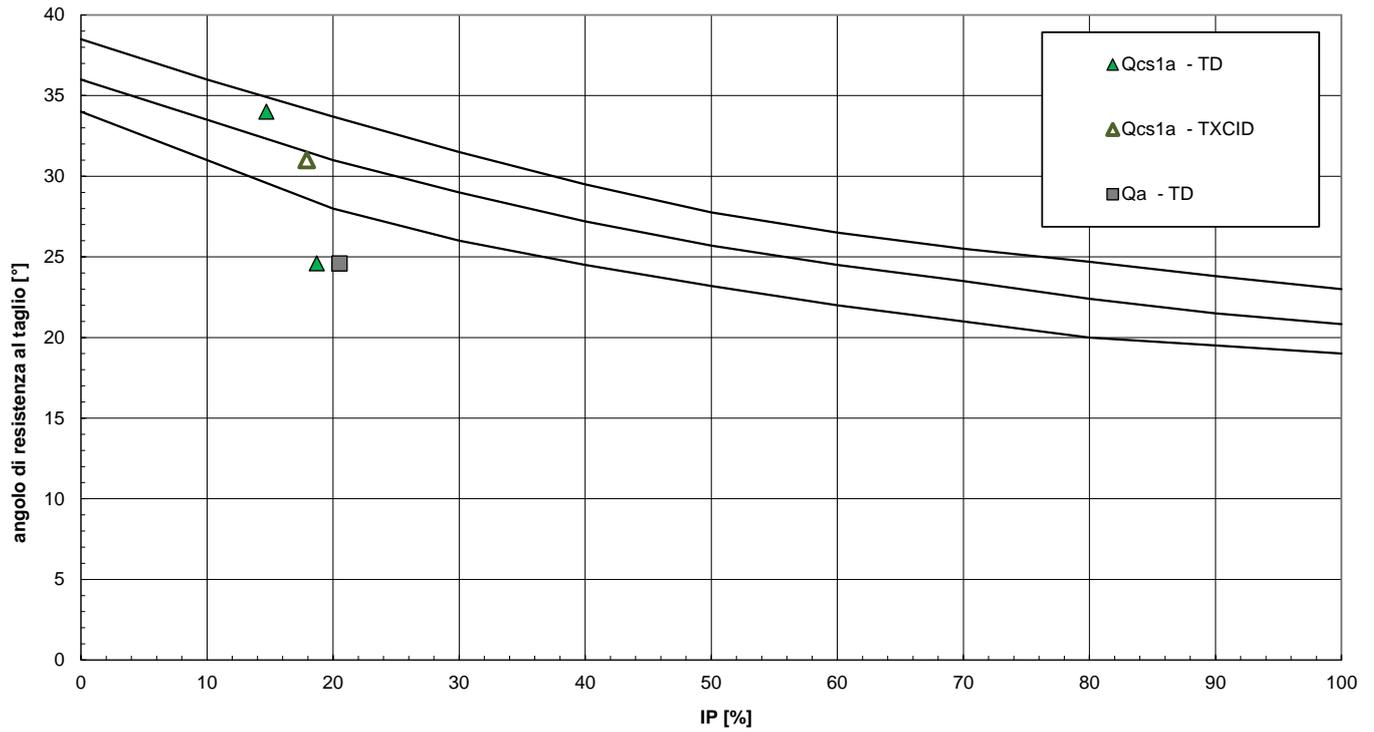


Figura 22 – Angolo di resistenza al taglio e indice di plasticità (Jamiolkowski et al., 1979)

Permeabilità da prove in sito

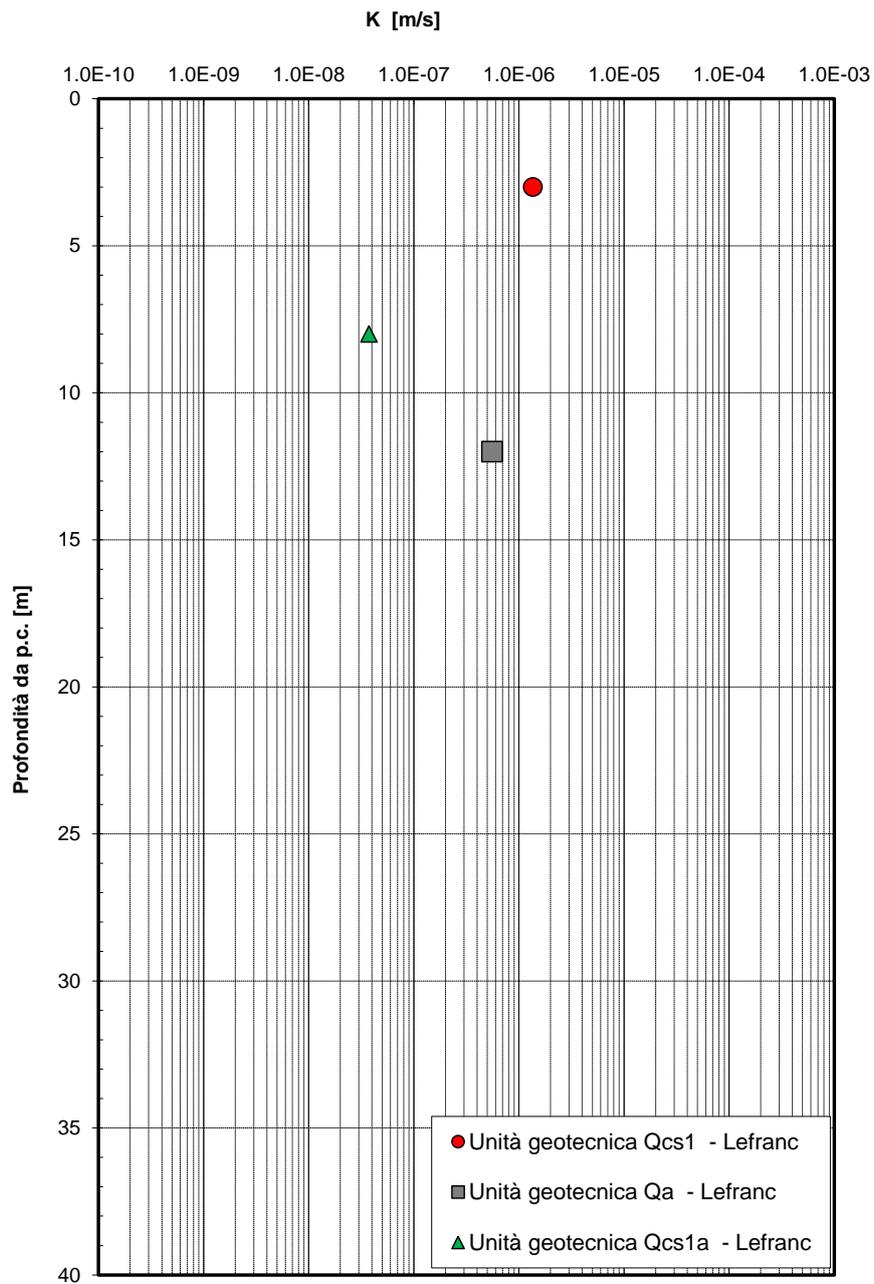


Figura 23 – Permeabilità da prove in sito e di laboratorio

5.6 Sintesi parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si sintetizzano la stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche intercettate.

Unità Qcs1 (sabbia) da 0.0 a 3.0 m

$\gamma = 19.5-20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
Nspt=30	colpi/30cm
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 34 \div 37^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi'_{cv} = 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio a volume costante
$V_s = 150 \div 200 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 130 \div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)
$K = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	permeabilità

Unità Qcs1a (limo argilloso sabbioso) da 3.0 a 11.5 m

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
Nspt=16÷45	colpi/30cm
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 26 \div 31^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 150 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 140 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)
$K = 4 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	permeabilità

Unità Qa (argilla limosa grigia) da 11.5 a 40.0 m

$\gamma = 19.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
Nspt=13÷40	colpi/30cm
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 27 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 200 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 120 \div 360 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)
$K = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	permeabilità



RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	47 di 75

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 ($E_{op2} = E_o/10$).

5.7 Falda

Nel’indagine eseguita, il livello di falda è intercettato a 10.5 m da p.c..

6 CLASSIFICAZIONE SISMICA

6.1 Premessa

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

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

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

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

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{V_R} associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento V_R , T_R è esprimibile in funzione di P_{V_R} mediante l'espressione:

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

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

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

Per il presente progetto si ha: $V_N=50$ anni e $C_U=1.0$ (classe d'uso II).

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ag, l'accelerazione di picco amax è valutata sulla base della risposta sismica locale:

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

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

Nel seguito viene definita la categoria di sottosuolo e le azioni sismiche di progetto.

6.2 Categoria di sottosuolo

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

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

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della $V_{s,eq}$, in particolare per la caratterizzazione sismica del sito si è fatto riferimento ad indagini sismiche eseguite lungo il tracciato nella stessa linea ferroviaria (tipo MASW e prove Down-Hole) i cui risultati sono riportati nella seguente tabella. Cautelativamente per tutte le opera si assume **Categoria di sottosuolo sismica tipo C**.

Tabella 10 – Definizione categoria di sottosuolo sismica da indagini sismiche

Prova Sismica	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo
DH-S18	276	C
MASW-S19	296	C
MASW-S22	408	B

6.3 Azioni sismiche di progetto

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti ed in accordo a quanto esposto nella relazione geologica, si ha:

- per $V_N=50$ anni, $C_U=1.0$, categoria di sottosuolo C: le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_g = 0.18$ g, $S_s = 1.452$, da cui $a_{max} = 0.18 \cdot 1.452 = 0.26$ g

Tabella 11 – Parametri sismici

Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
37.18713131	14.49497076
Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)
37.188806	14.496767
Altitudine (m)	0
Classe dell'edificio	II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti
Vita Nominele Struttura	50
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	50

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività	30	0.034	2.485	0.234
Danno	50	0.046	2.504	0.272
Salvaguardia Vita	475	0.180	2.299	0.419
Prevenzione Colasso	975	0.261	2.353	0.460

a_g [g]	0.180
F_0 [-]	2.299
T_c^* [s]	0.419
S_s [-]	1.452
C_c [-]	1.399
S_r [-]	1.000

6.4 Magnitudo

La Magnitudo di riferimento è assunta pari a $M = 7.29$ in accordo a quanto assunto nel lotto 1.

7 ANALISI RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

7.1 Premessa

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni.

La Normativa tecnica al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti 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 $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ 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 tabella seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

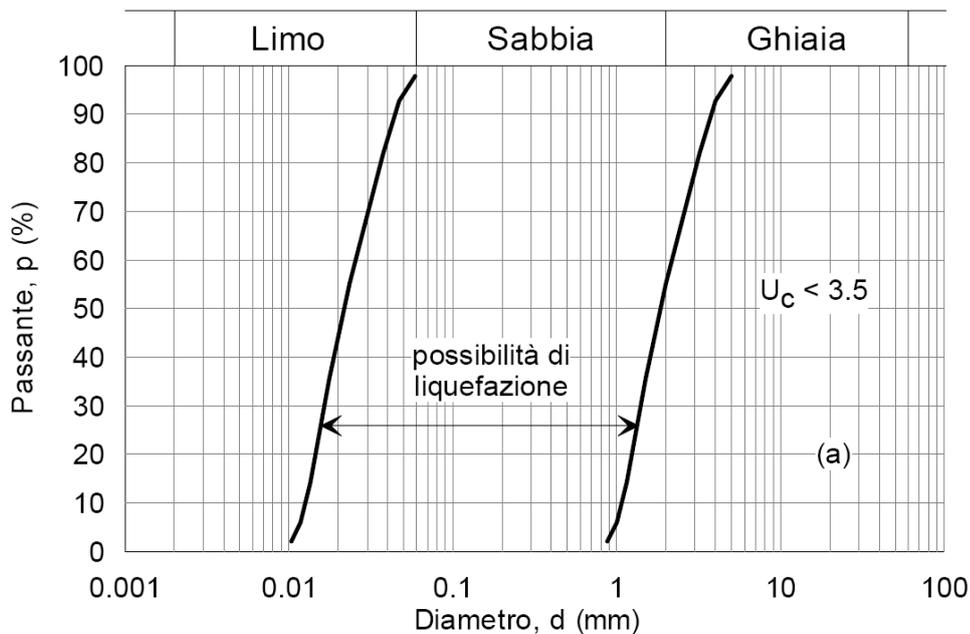


Figura 24- Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

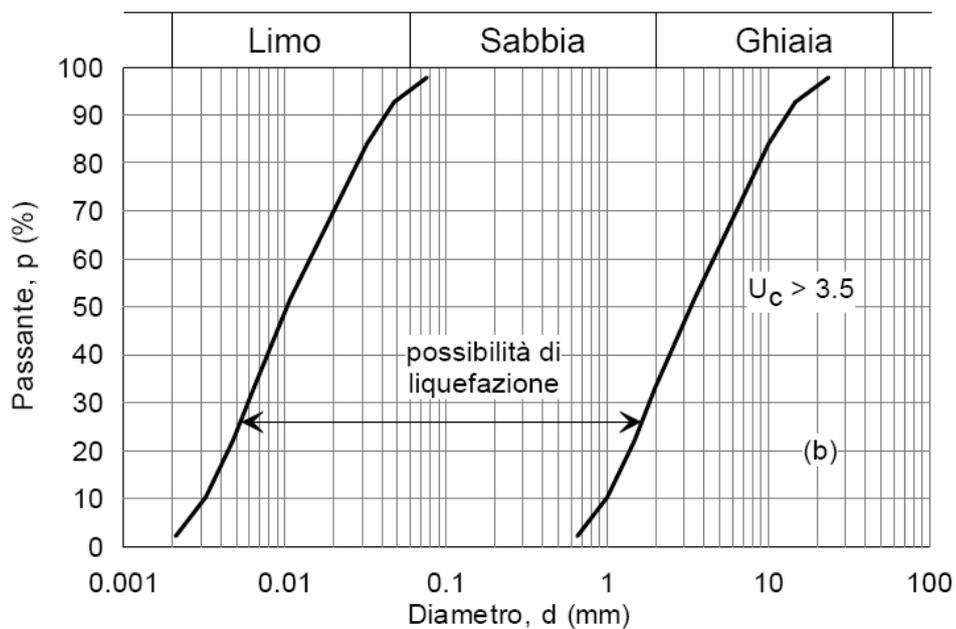


Figura 25- - Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

Per il sito in esame risulta che:

- l'evento sismico atteso è di magnitudo M pari a 7.29;
- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono maggiori di $0.1 \cdot g$;
- profondità della falda 10.5 m di profondità da p.c.;
- non sono presenti strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} < 30$.

In relazione alla tipologia di materiali intercettati dalle indagini, dai risultati delle prove SPT, dal livello di falda, per quanto previsto da normativa è possibile escludere a priori il rischio di potenziale liquefazione dei terreni della viabilità.

8 ANALISI DI STABILITA'

8.1 Premessa

Per la viabilità in esame si prevedono generalmente rilevati bassi con altezza di 3 m al massimo, che in alcuni tratti sono a mezza costa sulla scarpata esistente e quindi si prevede inserimento di una berma di larghezza 2 m per altezze maggiori di 5 m. Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità dei rilevati. Le scarpate in progetto sono previste con pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale).

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 trascurate 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.

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

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

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

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

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

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

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 $\gamma_R = 1.2$.

8.2.1 Carichi

Per le analisi di stabilità dei rilevati delle viabilità è stato considerato il sovraccarico accidentale stradale di 20 kPa già fattorizzato ($\gamma_F = 1.3$, Tabella 5.2.V NTC 2008). In condizioni sismiche al carico accidentale è stato applicato un coefficiente di combinazione pari a 0.2, come da § 2.3.3 delle Specifiche RFI.

8.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità

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

$f_h = \gamma \cdot k_h$ forza orizzontale per unità di volume

$f_v = \gamma \cdot k_v$ forza verticale per unità di volume

dove:

γ = peso specifico del volume considerato.

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

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

$$k_v = \pm k_h/2$$

dove:

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

k_v = coefficiente sismico in direzione verticale;

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

β_s = coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito.

Per le analisi di stabilità sismiche SLV di fronti di scavo e rilevati, il coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito va assunto pari a $\beta_s = 0.38$.

Per il sito in esame si ha $a_g = 0.18$, $S_s = 1.452$, $ST = 1.2$ (si assume per la sezione di calcolo in esame un coefficiente parziale associato a categoria topografica T2), quindi si ha:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g = 0.38 \cdot 0.18 \cdot 1.452 \cdot 1.2 = 0.12$$

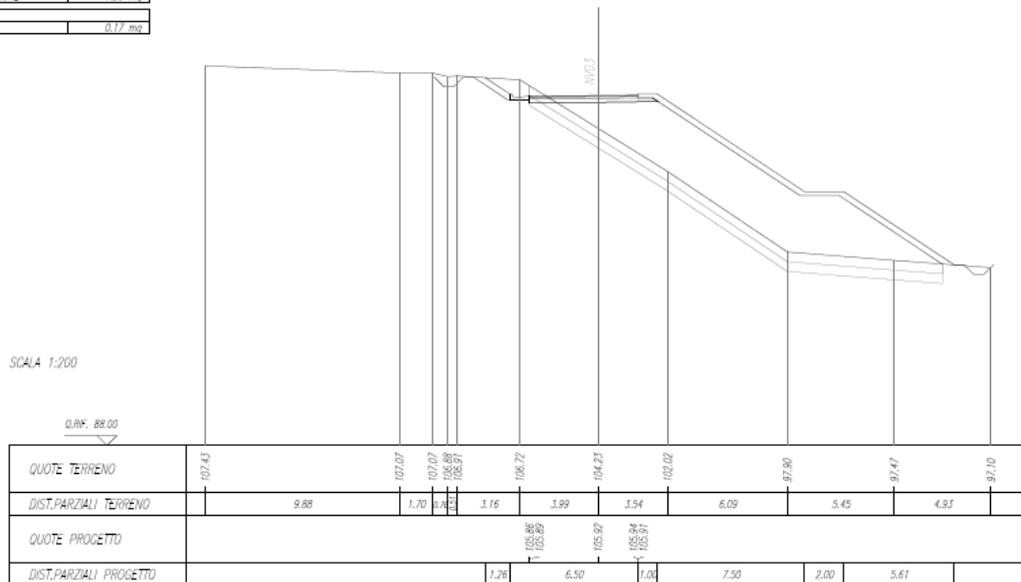
$$k_v = \pm k_h/2 = \pm 0.06$$

8.3 Sezioni di calcolo

La verifica di stabilità è stata condotta per la sezione 17 della viabilità NV03 con rilevato a mezza costa sulla scarpata esistente (vedasi figura seguente).

SCALE E RIFERENZE	
SCALINO	21.54 m
RAMPINIA	21.54 m
FOSSO	0.89 m
CONFINI	
INIZIO	87.14 m
FINISCA	20.28 m
CONFERTESTRADA STRADALE	
SPESORE DI USURA	5.50 m
SPESORE DI BANCHE	5.50 m
SPESORE DI BASE	5.50 m
SPESORE DI FUNDAZIONE	1.28 m
MANUFATTI	
PARALLELA	0.17 m

SEZIONE N. : 17
Q. PROGETTO : 105.920
DIST.PROC. : 0+160.000



Di seguito si riportano i parametri geotecnici utilizzati:

Unità R – Rilevato stradale

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 $\phi' = 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata

Unità Qcs1 – Sabbie

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 $\phi' = 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata

Unità Qcs1a – Limo argilloso sabbioso

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 $\phi' = 31^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 5 \text{ kPa}$ coesione drenata

Unità Qa – Argilla limosa grigia

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata

Nelle analisi di stabilità il livello di falda è stato assunto cautelativamente circa a fondo scavo.

8.4 Risultati

Nella seguente figura si mostra il risultato della verifica di stabilità del rilevato stradale in condizioni statiche e sismiche. I tabulati di calcolo completi sono riportati in AppendiceA.

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 $\gamma_R > 1.2$ per le condizioni sismiche valutate con $\pm kv$); quindi le verifiche di stabilità sono sempre soddisfatte.

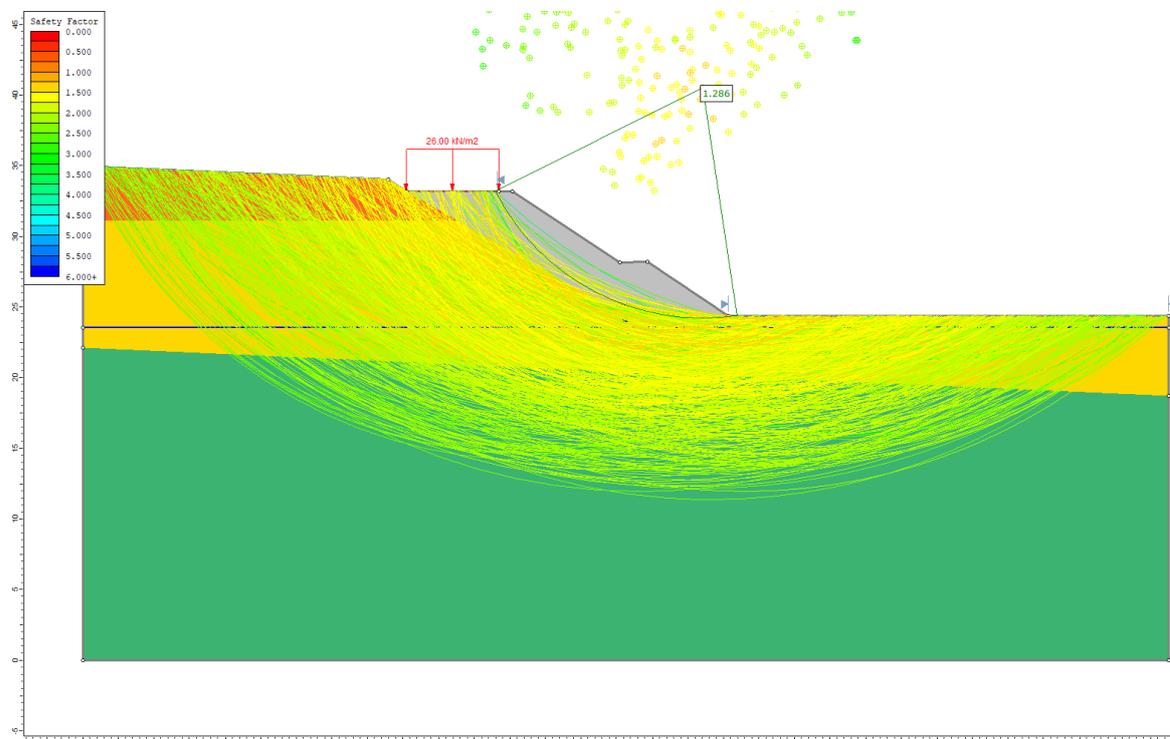


Figura 26. Analisi statica SLU

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	59 di 75

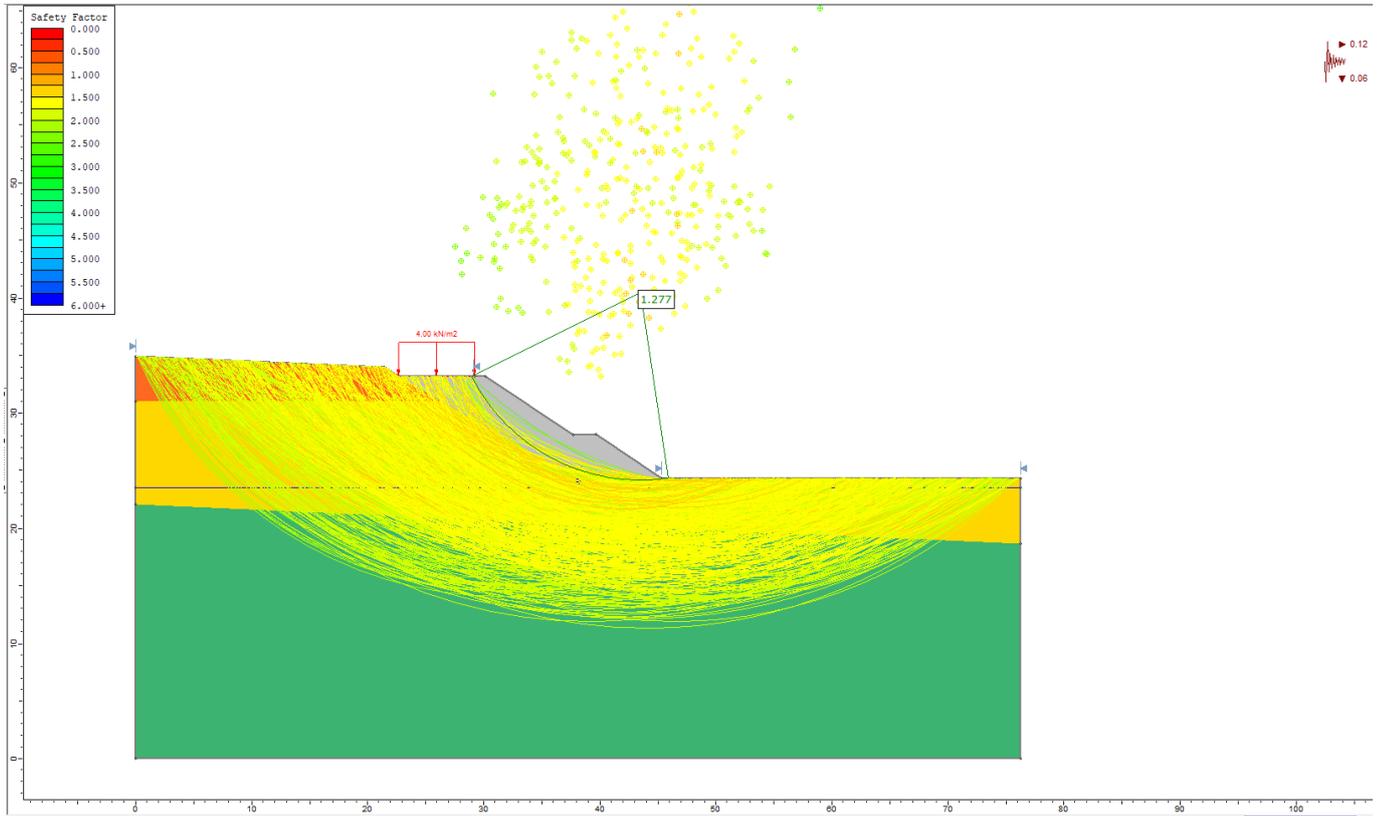


Figura 27. Analisi sismica (+ kv)

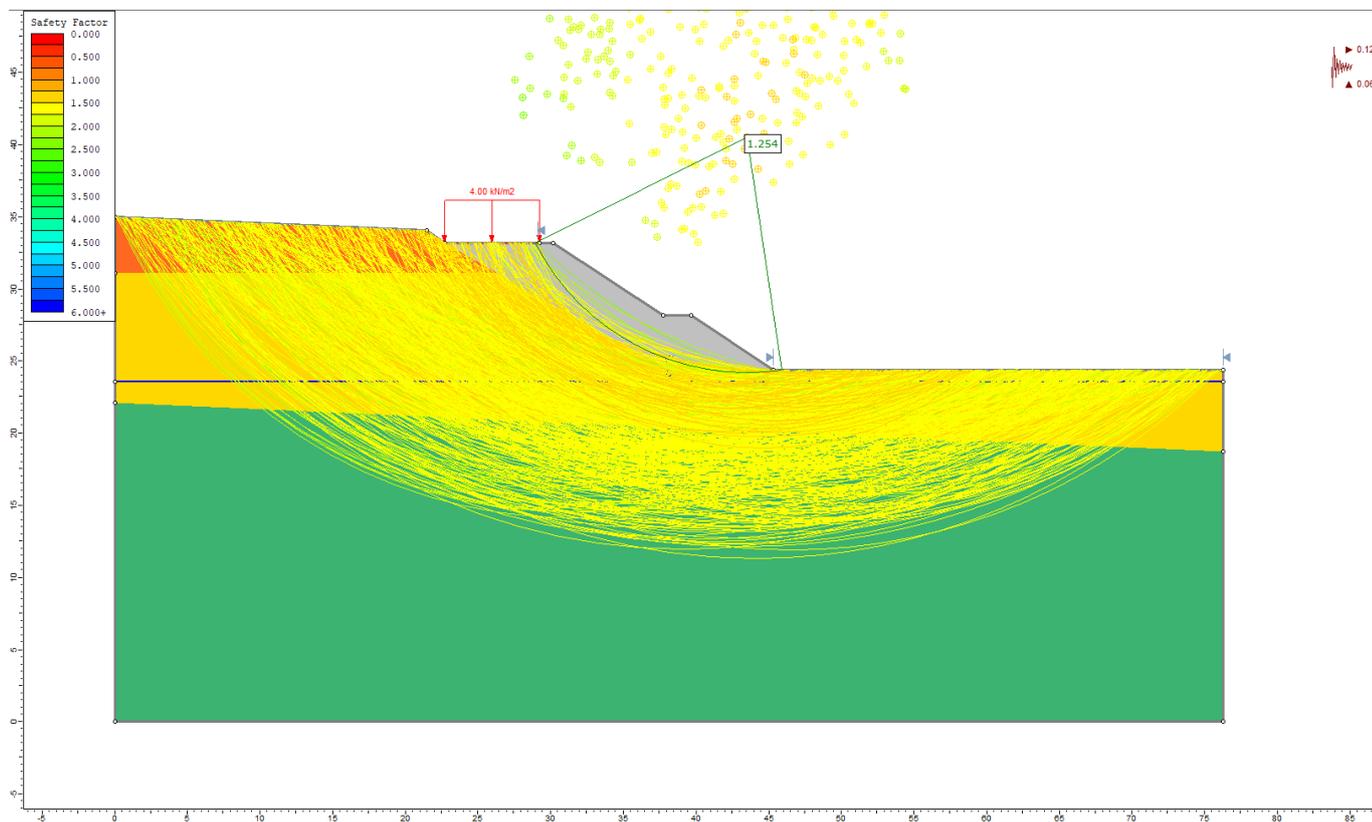


Figura 28. Analisi sismica (-kv)

9 PIANI DI POSA

Per le viabilità in oggetto si prevedono per i piani di posa uno scotico di 0.50 m + bonifica = 0.50 m, in quanto il sondaggio eseguito mostra uno spessore di terreno vegetale di 0.60 m.

10 APPENDICE A. ANALISI DI STABILITA'. TABULATI DI CALCOLO SLIDE

10.1 Analisi statica SLU

Slide Analysis Information

sez17_00

Project Summary

File Name: sez17_00.slmd
Slide Modeler Version: 8.024
Compute Time: 00h:00m:00.116s

General Settings

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

Number of slices: 50

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 75

Check $\alpha < 0.2$: Yes

Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	62 di 75

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Slope Search
Number of Surfaces: 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

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	63 di 75

Distributed Load 1

Distribution: Constant
 Magnitude [kPa]: 26
 Orientation: Normal to boundary

Materials

Property	R	Qa	Qcs1	Qcs1a
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	20	20	19.5	20
Cohesion [kPa]	0	4	0	4
Friction Angle [°]	29.3	23.9	29.3	25.7
Water Surface	None	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1	1
Ru Value	0			

Global Minimums
Method: bishop simplified

FS	1.286120
Center:	43.533, 40.505
Radius:	16.299
Left Slip Surface Endpoint:	28.961, 33.202
Right Slip Surface Endpoint:	45.923, 24.382
Resisting Moment:	7514.17 kN-m
Driving Moment:	5842.51 kN-m
Total Slice Area:	41.8205 m ²
Surface Horizontal Width:	16.9618 m
Surface Average Height:	2.46557 m

Valid/Invalid Surfaces
Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 482
 Number of Invalid Surfaces: 18

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	64 di 75

Slice Data
• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28612

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	0.335547	2.12823	-62.1194	R	0	29.3	6.63286	8.53066	15.2015	0	15.2015	27.7391	27.7391
2	0.335547	6.18243	-59.6895	R	0	29.3	4.60698	5.92513	10.5584	0	10.5584	18.439	18.439
3	0.335547	9.87067	-57.4254	R	0	29.3	7.63231	9.81607	17.492	0	17.492	29.438	29.438
4	0.335547	13.1244	-55.294	R	0	29.3	10.4774	13.4752	24.0125	0	24.0125	39.1404	39.1404
5	0.335547	15.0065	-53.2719	R	0	29.3	12.3213	15.8467	28.2385	0	28.2385	44.752	44.752
6	0.335547	16.4198	-51.3415	R	0	29.3	13.8246	17.7801	31.6837	0	31.6837	48.9653	48.9653
7	0.335547	17.6419	-49.4895	R	0	29.3	15.1948	19.5424	34.8242	0	34.8242	52.6085	52.6085
8	0.335547	18.6942	-47.7051	R	0	29.3	16.439	21.1425	37.6755	0	37.6755	55.7449	55.7449
9	0.335547	19.5937	-45.98	R	0	29.3	17.563	22.5881	40.2517	0	40.2517	58.426	58.426
10	0.335547	20.3547	-44.3071	R	0	29.3	18.5725	23.8864	42.565	0	42.565	60.6936	60.6936
11	0.335547	20.9889	-42.6807	R	0	29.3	19.4721	25.0435	44.6271	0	44.6271	62.5833	62.5833
12	0.335547	21.506	-41.0958	R	0	29.3	20.2664	26.065	46.4472	0	46.4472	64.1241	64.1241
13	0.335547	21.9147	-39.5483	R	0	29.3	20.9589	26.9557	48.0344	0	48.0344	65.3414	65.3414
14	0.335547	22.2221	-38.0347	R	0	29.3	21.5531	27.7199	49.3964	0	49.3964	66.2566	66.2566
15	0.335547	22.4344	-36.5517	R	0	29.3	22.0521	28.3617	50.5398	0	50.5398	66.8883	66.8883
16	0.335547	22.5572	-35.0967	R	0	29.3	22.4585	28.8843	51.4712	0	51.4712	67.2534	67.2534
17	0.335547	22.5952	-33.6673	R	0	29.3	22.7745	29.2908	52.1955	0	52.1955	67.3655	67.3655
18	0.335547	22.5528	-32.2612	R	0	29.3	23.0025	29.584	52.7182	0	52.7182	67.238	67.238
19	0.335547	22.4336	-30.8766	R	0	29.3	23.1442	29.7662	53.0429	0	53.0429	66.8816	66.8816
20	0.335547	22.241	-29.5117	R	0	29.3	23.2012	29.8395	53.1733	0	53.1733	66.3061	66.3061
21	0.335547	21.978	-28.165	R	0	29.3	23.1749	29.8057	53.113	0	53.113	65.521	65.521
22	0.335547	21.6473	-26.8351	R	0	29.3	23.0665	29.6663	52.8649	0	52.8649	64.5344	64.5344
23	0.335547	21.2513	-25.5206	R	0	29.3	22.8772	29.4228	52.4307	0	52.4307	63.3527	63.3527
24	0.335547	20.7922	-24.2204	R	0	29.3	22.6077	29.0762	51.8132	0	51.8132	61.9832	61.9832
25	0.335547	20.2719	-22.9333	R	0	29.3	22.2588	28.6275	51.0137	0	51.0137	60.4314	60.4314
26	0.335547	19.6923	-21.6583	R	0	29.3	21.8311	28.0774	50.0333	0	50.0333	58.7025	58.7025
27	0.335547	19.6648	-20.3946	R	0	29.3	22.0075	28.3043	50.4375	0	50.4375	58.6197	58.6197
28	0.335547	20.5078	-19.1411	R	0	29.3	23.1655	29.7936	53.0914	0	53.0914	61.1318	61.1318
29	0.335547	21.3055	-17.897	R	0	29.3	24.2884	31.2378	55.6652	0	55.6652	63.5088	63.5088
30	0.34433	22.6357	-16.6456	Qcs1a	4	25.7	24.9258	32.0576	58.2995	0	58.2995	65.7518	65.7518
31	0.34433	23.3621	-15.3862	Qcs1a	4	25.7	25.8425	33.2365	60.749	0	60.749	67.8605	67.8605
32	0.34433	24.0085	-14.1344	Qcs1a	4	25.7	26.6908	34.3276	63.0159	0	63.0159	69.7372	69.7372
33	0.34433	23.5468	-12.8894	Qcs1a	4	25.7	26.4396	34.0045	62.3448	0	62.3448	68.3951	68.3951
34	0.34433	22.4668	-11.6506	Qcs1a	4	25.7	25.5575	32.87	59.9874	0	59.9874	65.2571	65.2571
35	0.34433	21.3334	-10.4174	Qcs1a	4	25.7	24.6045	31.6444	57.4408	0	57.4408	61.9643	61.9643
36	0.34433	20.1474	-9.18893	Qcs1a	4	25.7	23.5805	30.3273	54.704	0	54.704	58.5185	58.5185
37	0.34433	18.9093	-7.96475	Qcs1a	4	25.7	22.4847	28.918	51.7757	0	51.7757	54.9216	54.9216
38	0.34433	17.6196	-6.74423	Qcs1a	4	25.7	21.3166	27.4157	48.6543	0	48.6543	51.1751	51.1751
39	0.34433	16.2787	-5.52677	Qcs1a	4	25.7	20.0754	25.8194	45.3372	0	45.3372	47.2797	47.2797

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	65 di 75

40	0.34433	14.887	-4.31181	Qcs1a	4	25.7	18.7602	24.1279	41.8227	0	41.8227	43.2372	43.2372
41	0.34433	13.4448	-3.09879	Qcs1a	4	25.7	17.37	22.3399	38.1075	0	38.1075	39.0479	39.0479
42	0.34433	11.9522	-1.88716	Qcs1a	4	25.7	15.9035	20.4538	34.1884	0	34.1884	34.7124	34.7124
43	0.34433	10.4095	-	Qcs1a	4	25.7	14.3593	18.4678	30.0621	0	30.0621	30.2316	30.2316
			0.676378										
44	0.34433	8.81664	0.534105	Qcs1a	4	25.7	12.736	16.38	25.7237	0	25.7237	25.605	25.605
45	0.34433	7.17367	1.74483	Qcs1a	4	25.7	11.0316	14.188	21.1691	0	21.1691	20.8331	20.8331
46	0.34433	5.48052	2.95633	Qcs1a	4	25.7	9.24442	11.8894	16.393	0	16.393	15.9156	15.9156
47	0.34433	3.73707	4.16916	Qcs1a	4	25.7	7.37212	9.48143	11.3896	0	11.3896	10.8522	10.8522
48	0.34433	1.9431	5.38386	Qcs1a	4	25.7	5.41233	6.9609	6.1523	0	6.1523	5.64222	5.64222
49	0.34433	0.521756	6.60099	Qcs1a	4	25.7	3.84328	4.94291	1.95923	0	1.95923	1.51448	1.51448
50	0.34433	0.162857	7.82113	Qcs1a	4	25.7	3.46489	4.45627	0.948048	0	0.948048	0.472115	0.472115

Interslice Data
• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28612

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	28.9612	33.2022	0	0	0
2	29.2967	32.5679	7.41998	0	0
3	29.6323	31.9939	11.9372	0	0
4	29.9678	31.4687	18.5675	0	0
5	30.3034	30.9843	26.6918	0	0
6	30.6389	30.5346	35.264	0	0
7	30.9745	30.1151	43.9233	0	0
8	31.31	29.7224	52.5103	0	0
9	31.6456	29.3535	60.8999	0	0
10	31.9811	29.0063	68.9936	0	0
11	32.3167	28.6788	76.7141	0	0
12	32.6522	28.3694	84.0007	0	0
13	32.9878	28.0767	90.8064	0	0
14	33.3233	27.7996	97.0956	0	0
15	33.6588	27.5371	102.842	0	0
16	33.9944	27.2884	108.028	0	0
17	34.3299	27.0526	112.643	0	0
18	34.6655	26.8291	116.681	0	0
19	35.001	26.6173	120.142	0	0
20	35.3366	26.4166	123.032	0	0
21	35.6721	26.2267	125.36	0	0
22	36.0077	26.047	127.14	0	0
23	36.3432	25.8773	128.388	0	0
24	36.6788	25.7171	129.125	0	0
25	37.0143	25.5661	129.373	0	0
26	37.3499	25.4242	129.16	0	0
27	37.6854	25.2909	128.515	0	0



RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	66 di 75

28	38.021	25.1662	127.436	0	0
29	38.3565	25.0497	125.86	0	0
30	38.6921	24.9413	123.756	0	0
31	39.0364	24.8384	121.19	0	0
32	39.3807	24.7436	118.064	0	0
33	39.725	24.6569	114.354	0	0
34	40.0694	24.5781	110.179	0	0
35	40.4137	24.5071	105.654	0	0
36	40.758	24.4438	100.833	0	0
37	41.1024	24.3881	95.7752	0	0
38	41.4467	24.34	90.5412	0	0
39	41.791	24.2992	85.1956	0	0
40	42.1354	24.2659	79.8059	0	0
41	42.4797	24.24	74.4435	0	0
42	42.824	24.2213	69.1836	0	0
43	43.1683	24.21	64.1052	0	0
44	43.5127	24.2059	59.2919	0	0
45	43.857	24.2091	54.8318	0	0
46	44.2013	24.2196	50.818	0	0
47	44.5457	24.2374	47.349	0	0
48	44.89	24.2625	44.5293	0	0
49	45.2343	24.2949	42.4693	0	0
50	45.5787	24.3348	41.0703	0	0
51	45.923	24.3821	0	0	0

Entity Information

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	0
	76.259	0
	76.259	18.715
	76.259	24.3821
	45.3278	24.3821
	39.6662	28.1922
	37.7229	28.1549
	30.1616	33.2022
	22.7014	33.2022
	21.4518	34.0411
	0	34.9715

	0	31.0705
	0	22.124
Material Boundary	X	Y
	22.7014	33.2022
	26.2697	31.1535
	36.8138	25.0996
Material Boundary	X	Y
	0	31.0705
Material Boundary	X	Y
	0	22.124
	76.259	18.715

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
Water Table	X	Y
	0	23.5442
	76.259	23.5442
Distributed Load	X	Y
	29.237	33.2022
	22.7014	33.2022
		Assigned to materials:
		 Qa  Qcs1  Qcs1a
		Constant Distribution
		Orientation: Normal to boundary
		Magnitude: 26 kN/m2
		Creates Excess Pore Pressure: No

10.2 Analisi sismica

Slide Analysis Information

sez17sisma_00

Project Summary

File Name: sez17sisma_00.slmd
Slide Modeler Version: 8.024



RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	68 di 75

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Group 1	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.276720	00h:00m:00.111s
	Scenario 2	Bishop Simplified: 1.254360	00h:00m:00.81s

General Settings

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

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 $\alpha < 0.2$:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

All Open Scenarios	
Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	69 di 75

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

Group 1 - Master Scenario

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Group 1 - Scenario 2

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.06 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.06

Loading

All Open Scenarios

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 4
Orientation: Normal to boundary

Materials

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	70 di 75

Property	R	Qa	Qcs1	Qcs1a
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	20	19.5	20
Cohesion [kPa]	0	5	0	5
Friction Angle [°]	35	29	35	31
Water Surface	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario
Hu Value		1	1	1
Ru Value	0			

Materials In Use

Material	Master Scenario	Scenario 2
R		
Qa		
Qcs1		
Qcs1a		

Global Minimums

Group 1 - Master Scenario		Group 1 - Scenario 2	
Method: bishop simplified		Method: bishop simplified	
FS	1.276720	FS	1.254360
Center:	43.533, 40.505	Center:	43.533, 40.505
Radius:	16.299	Radius:	16.299
Left Slip Surface Endpoint:	28.961, 33.202	Left Slip Surface Endpoint:	28.961, 33.202
Right Slip Surface Endpoint:	45.923, 24.382	Right Slip Surface Endpoint:	45.923, 24.382
Resisting Moment:	9407.94 kN-m	Resisting Moment:	8379.32 kN-m
Driving Moment:	7368.85 kN-m	Driving Moment:	6680.17 kN-m
Total Slice Area:	41.8205 m2	Total Slice Area:	41.8205 m2
Surface Horizontal Width:	16.9618 m	Surface Horizontal Width:	16.9618 m
Surface Average Height:	2.46557 m	Surface Average Height:	2.46557 m

Valid/Invalid Surfaces

RELAZIONE GEOTECNICA PRIOLO SOTTANO

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R	78	RG	GE0600	005	A	74 di 75

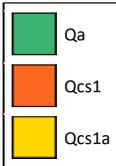
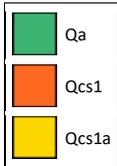
7	30.9745	30.1151	40.9248	0	0	7	30.9745	30.1151	36.6577	0	0
8	31.31	29.7224	50.1446	0	0	8	31.31	29.7224	44.9294	0	0
9	31.6456	29.3535	59.2163	0	0	9	31.6456	29.3535	53.0788	0	0
10	31.9811	29.0063	68.0318	0	0	10	31.9811	29.0063	61.0092	0	0
11	32.3167	28.6788	76.5047	0	0	11	32.3167	28.6788	68.6428	0	0
12	32.6522	28.3694	84.5659	0	0	12	32.6522	28.3694	75.9174	0	0
13	32.9878	28.0767	92.1604	0	0	13	32.9878	28.0767	82.7834	0	0
14	33.3233	27.7996	99.2452	0	0	14	33.3233	27.7996	89.2016	0	0
15	33.6588	27.5371	105.787	0	0	15	33.6588	27.5371	95.1419	0	0
16	33.9944	27.2884	111.762	0	0	16	33.9944	27.2884	100.582	0	0
17	34.3299	27.0526	117.153	0	0	17	34.3299	27.0526	105.506	0	0
18	34.6655	26.8291	121.95	0	0	18	34.6655	26.8291	109.904	0	0
19	35.001	26.6173	126.147	0	0	19	35.001	26.6173	113.771	0	0
20	35.3366	26.4166	129.747	0	0	20	35.3366	26.4166	117.106	0	0
21	35.6721	26.2267	132.753	0	0	21	35.6721	26.2267	119.915	0	0
22	36.0077	26.047	135.176	0	0	22	36.0077	26.047	122.206	0	0
23	36.3432	25.8773	137.03	0	0	23	36.3432	25.8773	123.989	0	0
24	36.6788	25.7171	138.332	0	0	24	36.6788	25.7171	125.28	0	0
25	37.0143	25.5661	139.104	0	0	25	37.0143	25.5661	126.097	0	0
26	37.3499	25.4242	139.369	0	0	26	37.3499	25.4242	126.461	0	0
27	37.6854	25.2909	139.157	0	0	27	37.6854	25.2909	126.397	0	0
28	38.021	25.1662	138.477	0	0	28	38.021	25.1662	125.917	0	0
29	38.3565	25.0497	137.28	0	0	29	38.3565	25.0497	124.984	0	0
30	38.6921	24.9413	135.531	0	0	30	38.6921	24.9413	123.564	0	0
31	39.0364	24.8384	133.371	0	0	31	39.0364	24.8384	121.639	0	0
32	39.3807	24.7436	130.628	0	0	32	39.3807	24.7436	119.2	0	0
33	39.725	24.6569	127.273	0	0	33	39.725	24.6569	116.222	0	0
34	40.0694	24.5781	123.392	0	0	34	40.0694	24.5781	112.773	0	0
35	40.4137	24.5071	119.089	0	0	35	40.4137	24.5071	108.941	0	0
36	40.758	24.4438	114.419	0	0	36	40.758	24.4438	104.774	0	0
37	41.1024	24.3881	109.443	0	0	37	41.1024	24.3881	100.325	0	0
38	41.4467	24.34	104.223	0	0	38	41.4467	24.34	95.6492	0	0
39	41.791	24.2992	98.8269	0	0	39	41.791	24.2992	90.8067	0	0
40	42.1354	24.2659	93.3265	0	0	40	42.1354	24.2659	85.8602	0	0
41	42.4797	24.24	87.7973	0	0	41	42.4797	24.24	80.8766	0	0
42	42.824	24.2213	82.3198	0	0	42	42.824	24.2213	75.9269	0	0
43	43.1683	24.21	76.9791	0	0	43	43.1683	24.21	71.0864	0	0
44	43.5127	24.2059	71.8658	0	0	44	43.5127	24.2059	66.4352	0	0
45	43.857	24.2091	67.0761	0	0	45	43.857	24.2091	62.0587	0	0
46	44.2013	24.2196	62.7124	0	0	46	44.2013	24.2196	58.0474	0	0
47	44.5457	24.2374	58.8836	0	0	47	44.5457	24.2374	54.498	0	0
48	44.89	24.2625	55.706	0	0	48	44.89	24.2625	51.5136	0	0
49	45.2343	24.2949	53.3034	0	0	49	45.2343	24.2949	49.2044	0	0
50	45.5787	24.3348	51.5816	0	0	50	45.5787	24.3348	47.4889	0	0
51	45.923	24.3821	0	0	0	51	45.923	24.3821	0	0	0

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	0
	76.259	0
	76.259	18.715
	76.259	24.3821
	45.3278	24.3821
	39.6662	28.1922
	37.7229	28.1549
	30.1616	33.2022
	22.7014	33.2022
	21.4518	34.0411
Material Boundary	0	34.9715
	0	31.0705
	0	22.124
	22.7014	33.2022
Material Boundary	26.2697	31.1535
	36.8138	25.0996
	45.3278	24.3821
Material Boundary	0	31.0705
	26.2697	31.1535
Material Boundary	0	22.124
	76.259	18.715

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario	Scenario 2						
Water Table	<table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>23.5442</td> </tr> <tr> <td>76.259</td> <td>23.5442</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	0	23.5442	76.259	23.5442	<p>Assigned to materials:</p> 	<p>Assigned to materials:</p> 
	X	Y							
0	23.5442								
76.259	23.5442								
Distributed Load	<table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>29.237</td> <td>33.2022</td> </tr> <tr> <td>22.7014</td> <td>33.2022</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	29.237	33.2022	22.7014	33.2022	<p>Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 4 kN/m² Creates Excess Pore Pressure: No</p>	<p>Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 4 kN/m² Creates Excess Pore Pressure: No</p>
	X	Y							
29.237	33.2022								
22.7014	33.2022								