

Nuova S.S.125/133bis "Olbia-Palau"  
Tratta Arzachena Nord – Palau,  
Stralcio 2 da Arzachena Sud allo svincolo di Arzachena Nord e stralcio 3 dal km 351 dell'attuale S.S.125 – 1° stralcio, fino a Palau.

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. **CA366**

**PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG**

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

RESPONSABILI D'AREA:

Responsabile Tracciato stradale: Dott. Ing. Massimo Caporaso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)  
Responsabile Strutture: Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)  
Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: Dott. Ing. Sebastiano Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)  
Responsabile Ambiente: Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)



GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Francesco Ruggieri

**GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA**  
**Relazione geotecnica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. ANNO		CA366_T00GE00GETRE01_A			
DPCA0366	D 22	CODICE ELAB.	T00GE00GETRE01	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B					
A	EMISSIONE	MAG 2024	S.G. NARSETE	M. CUCCARO	G. PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
3	CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO .....	7
4	INDAGINI GEOTECNICHE .....	10
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	11
5.1	Generalità .....	11
5.2	Terreni - Criteri di elaborazione delle prove .....	12
	Prove SPT.....	12
	Prove Geotecniche di Laboratorio .....	19
5.3	Rocce - Criteri di elaborazione delle prove.....	20
	Rilievo geomeccanico .....	20
	Prove Geotecniche di Laboratorio .....	22
5.4	Alluvioni a grana grossa (ALG) .....	23
5.5	Sabbia con ghiaia limosa (S) .....	24
5.6	Granito rosa (G).....	30
5.7	Sintesi dei risultati.....	37
6	RAPPORTI OPERE-TERRENO .....	38
6.1	Generalità .....	38
6.2	Viadotti .....	39
	Viadotto – VI 01 (AP01).....	39
	Viadotto – VI 02 (AP01).....	39
	Viadotto – VI 03 (AP01).....	39
	Viadotto – VI 04 (AP02).....	39
	Viadotto – VI 05 (AP02).....	40
	Viadotto – VI 06 (AP02).....	40
6.3	Rilevati.....	40

6.4	Tratti in trincea .....	41
7	QUESTIONI GEOTECNICHE .....	42
8	CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI .....	43
8.1	Generalità .....	43
8.2	Modello geotecnico.....	43
8.3	Calcolo dei cedimenti in terreni a grana grossa (S).....	44
8.4	Risultati dei calcoli .....	45
9	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE .....	47
9.1	Generalità .....	47
9.2	Azioni sismiche.....	48
9.3	Caratteristiche geotecniche dei terreni.....	49
9.4	Codice di calcolo.....	49
9.5	Risultati delle verifiche .....	49
	APPENDICE A – TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITÀ' .....	54

## Indice figure

Figura 1-1 -Corografia generale (in rosso PP generale del 2003; in giallo strade esistenti).....	5
Figura 3-1 – Stralcio della Carta Geologica d’Italia – Foglio 428 ISPRA in scala 1:50.000; in rosso il tracciato in progetto. ....	9
Figura 5-1: Diagramma $\varphi^{\prime}$ - $D_R$ (Schmertmann’s 1977) .....	14
Figura 5-2 $G/G_0$ vs deformazioni a taglio.....	17
Figura 5-3 – Terreni S - Distribuzione delle classi granulometriche nei campioni di S analizzati. ...	24
Figura 5-4 –Terreni S.- peso per unità di volume. ....	25
Figura 5-5 –Terreni S.- indice dei vuoti. ....	25
Figura 5-6 –Terreni S.- contenuto naturale d’acqua. ....	26
Figura 5-7 – Terreni S - Elaborazioni valori di $N_{30}$ da prove SPT.....	28
Figura 5-8 – Terreni S - Elaborazioni valori di $D_R$ da prove SPT.....	28
Figura 5-9 – Terreni S - Elaborazioni valori di $\phi$ da prove SPT.....	29
Figura 5-10 – Terreni S - Elaborazioni valori di $E'_{op}$ da prove SPT. ....	29
Figura 5-11 –Risultati delle prove di taglio diretto CD.....	30
Figura 5-12 –Valori di peso per unità di volume $\gamma$ in funzione della profondità da prove di laboratorio.....	34
Figura 5-15 – Valori di $I_{s50\%}$ in funzione della profondità da prove di Point Load Test.....	34
Figura 5-16 – Valori di $\sigma'_{ci}$ in funzione della profondità da prove di compressione UX. ....	35
Figura 5-17 – Valori di $E_{s50\%}$ in funzione della profondità da prove di compressione UX.....	35
Figura 5-18 – Valori di $E_{t50\%}$ in funzione della profondità da prove di compressione UX.....	36
Figura 8-1- modello geotecnico calcolo cedimenti (disegno non in scala). ....	43
Figura 8-2 - schema di geometrico rilevato calcolo cedimenti. ....	44
Figura 9-1 – schema di calcolo stabilità rilevato $H=10m$ , Spessore $S= 9 m$ .....	50
Figura 9-2 – schema di calcolo stabilità scavo in sabbia S - $H=10m$ - 1:1. ....	50
Figura 9-3 – Superficie di scivolamento critica rilevato $H=10 m$ su sabbia S – condizioni statiche.	51
Figura 9-4 – Superficie di scivolamento critica rilevato $H=10m$ su sabbia S – condizioni sismiche. ....	52
Figura 9-5 – Superficie di scivolamento critica scavo a breve e lungo termine in sabbia $H=7m$ – condizioni statiche.....	52
Figura 9-6 – Superficie di scivolamento critica scavo a lungo termine in sabbia $H=7m$ – condizioni sismiche.....	53

## Indice tabelle

Tabella 5-1 – Caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce.....	11
Tabella 5-2 Costanti a, b correlate alla dimensione delle particelle e al grado di consolidazione (Schmertmann, 1977). .....	12
Tabella 5-3 Classificazione di Bieniawski – Punteggi calcolo RMR. ....	21
Tabella 5-4: Risultati prove SPT.....	26
Tabella 5-5: Prove di carico su piastra. ....	30
Tabella 5-7 Granito G - Prove di laboratorio.....	31
Tabella 5-9 Principali parametri fisico-meccanici dei terreni.....	37
Tabella 6-1 Opere d'arte tracciati AP01 ed AP02. ....	38
Tabella 7-1 – scotico e bonifica.....	42
Tabella 8-1 Parametri di calcolo analisi dei cedimenti .....	44
Tabella 8-2 Parametri di calcolo - modello Burland&Burbridge.....	45
Tabella 8-3 – Andamento dei cedimenti nel tempo – modello Burland&Burbridge.....	45
Tabella 9-1: Coefficienti parziali per le azioni (Tabella 6.2.I - D.M. 17/01/2018) .....	47
Tabella 9-2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II - D.M. 17/01/2018).....	48
Tabella 9-3: Coefficiente parziale di resistenza $\gamma_{R2}$ (Tabella 6.8.I - D.M. 17/01/2018) .....	48
Tabella 9-4 caratteristiche geotecniche dei terreni. ....	49
Tabella 9-5 Risultati analisi di stabilità.....	51

## 1 PREMESSA

L'intervento di cui al presente Progetto Definitivo si inserisce nel più ampio progetto di miglioramento della S.S. 125, S.S. 133 e S.S. 133bis nel tratto Olbia (dall'innesto S.P. 16 per Golfo Aranci) – Arzachena – Palau – Santa Teresa di Gallura, ed è ricompreso nel primo programma per le infrastrutture strategiche di Legge Obiettivo (CIPE 121/2001).

Il progetto preliminare della tratta da Olbia Nord a Palau è stato redatto dalla Regione Sardegna ed inoltrato al CIPE a settembre 2003 per le procedure approvative che, tuttavia, non sono state mai concluse con la Delibera, in relazione alla mancanza dei finanziamenti necessari. L'intervento in argomento, limitatamente alla tratta da Arzachena Nord al km 351+000 dell'attuale S.S.125, è stato inserito nel Contratto di Programma 2016-2020 sottoscritto tra Ministero delle Infrastrutture ed Anas, e confermato nell'Atto aggiuntivo al Contratto di Programma 2016-2020 sottoscritto tra Ministero delle Infrastrutture ed Anas, approvato con Delibera CIPESS n. 43/2022, pubblicata sulla gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2023.



Figura 1-1 -Corografia generale (in rosso PP generale del 2003; in giallo strade esistenti)

Lo stralcio funzionale oggetto della presente relazione riguarda, in particolare, il tratto che va dalla zona della Rotatoria di Arzachena Nord (da realizzare) posizionato lungo la strada provinciale 115, fino al km 351 dell'attuale S.S. 125; nel dettaglio il tracciato è stato suddiviso in due sotto-tracciati denominati:

- AP01 da 0+000 a 2+518;
- AP02 da 0+000 a 3+695.

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (G.U. Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
- Circolare Ministero dei LL.PP. 21/01/19 n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Nuove Norme tecniche per le costruzioni»».
- D.M. 14/01/2008 - «Nuove Norme tecniche per le costruzioni».
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.»; modificata dall'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005.
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.
- Eurocodice 8 (1998). Progettazione delle strutture per la resistenza sismica.
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI.
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione».
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione».

### 3 CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

L'area di interesse è inserita nel settore orientale della Sardegna settentrionale, contraddistinto da un insieme di aspetti geomorfologici e paesaggistici comuni negli ambienti granitici di raccordo tra quelli montani e quelli pianeggianti.

L'eredità strutturale ha svolto un ruolo importante nel modellamento dell'area dato che la maggior parte delle valli si approfondisce lungo le faglie e le fratture della tettonica alpina, orientate prevalentemente NE-SW. La morfologia si presenta quindi poco aspra, con forme prevalentemente morbide in corrispondenza di litologie a composizione monzogranitica e granodioritica, e sub-planare lungo le piane alluvionali: la morfologia collinare viene interrotta solo localmente da ampie distese di depositi detritici di fondovalle. Le valli sono quindi poco approfondite e riempite di depositi prevalentemente eluvio colluviali. Sono inoltre molto diffuse tutte le morfologie connesse all'arenizzazione dei graniti ed alla successiva erosione differenziata dei blocchi da parte delle acque correnti superficiali e del ruscellamento diffuso.

La morfologia dell'area studiata rappresenta una diretta conseguenza dell'evoluzione geologica e geostrutturale dell'intera isola, caratterizzata dal susseguirsi di mutamenti legati ai movimenti tettonici che hanno ripetutamente interessato l'isola stessa e che sono ora rappresentati da evidenze della presenza di faglie, frammentazioni e dislocazioni degli ammassi e, nel terziario, dalla messa in posto di terreni di genesi vulcanica. Tali mutamenti tettonici hanno causato l'alternanza di fasi di continentalità e fasi di ingressione marina.

Dall'esame della cartografia del PAI della Sardegna, limitatamente alle aree interessate da Pericolosità per Frana, recentemente aggiornate secondo la variante adottata nel 2010, si è verificata l'interferenza del tracciato con le aree classificate con grado di pericolosità media Hg2. Nel caso specifico tale area a pericolosità media di frana è stata dedotta dagli strumenti urbanistici del comune di Arzachena dato che il geoportale della regione Sardegna non riporta le perimetrazioni del PAI. L'area è osservabile dalla progressiva 1+950 alla 2+040 circa, in prossimità del viadotto 05 sull'asse AP2.

Le stesse aree sono circa associate con il contatto tra la litologia degli affioramenti granitoidi e le alluvioni.

Il tracciato interferisce con alcune aree riconosciute a pericolosità Hg1 (Pericolosità Moderata da Frana) alternando aree soggette alla perimetrazione Hg1 con aree libere da indicazioni di pericolosità.

Tale area risulta inserita in un contesto agro-forestale prevalentemente dominato da bosco naturale e piccoli appezzamenti coltivati, in cui, localmente, sono ben visibili affioramenti granitici talora rappresentati da blocchi da decimetrici a metrici fratturati e/o frammentati.

È stato comunque osservato in maniera molto evidente nei rilievi di campagna che tutta l'area è oggettivamente libera da potenziali di frana date le caratteristiche litologiche delle rocce affioranti e delle alterazioni delle stesse.

Inoltre le morfologie incontrate dal percorso sono assai morbide e le pendenze blande e omogenee. Pertanto tale contesto è da ritenersi libero da aree di potenziale dissesto geomorfologico così come indicato dagli strumenti urbanistici ma anche come indicato dai rilievi geologici di dettaglio.

In Sardegna è quindi possibile riconoscere in affioramento rocce appartenenti a tre grandi complessi geologici: il basamento metamorfico paleozoico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le coperture sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche.

A grande scala, l'area di studio si configura, in questo quadro, come un alto strutturale sviluppatosi in questo periodo, ed essa è stata interessata da un diffuso vulcanismo alcalino e da due fasi tettoniche relative all'Orogenesi Pirenaica e Nord-Appenninica. Gli episodi vulcanici, che hanno interessato l'intera Sardegna settentrionale dall'Oligocene al Miocene Inferiore, sono stati caratterizzati principalmente da flussi piroclastici sviluppatosi in una sequenza di fasi eruttive intervallate da periodi di quiete. Allo stesso tempo, i processi sedimentari sono stati caratterizzati da ambienti deposizionali continentali (conoidi e piane alluvionali), da ambienti di transizione (delta dei fiumi) fino ad arrivare agli ambienti di sedimentazione marina di piattaforma.

La figura di seguito rappresenta uno stralcio della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:50.000, stralcio della Carta Geologica d'Italia – ISPRA, Foglio n. 428 Arzachena. In essa è possibile riconoscere i termini geologici relativi a molte delle fasi che hanno contraddistinto la storia geologica dell'isola, precedentemente descritte.

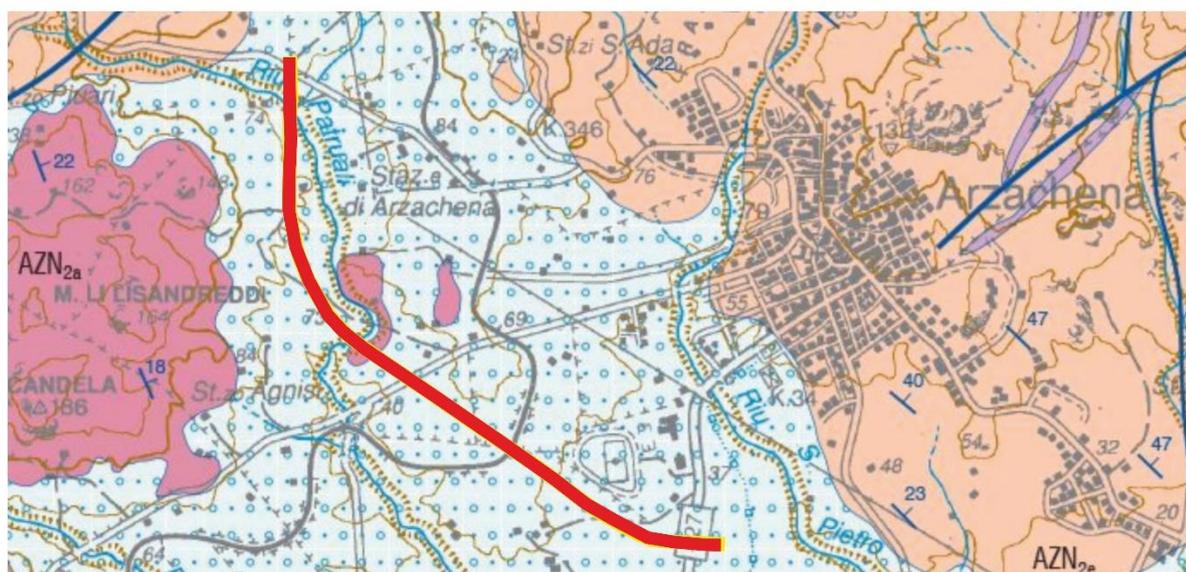
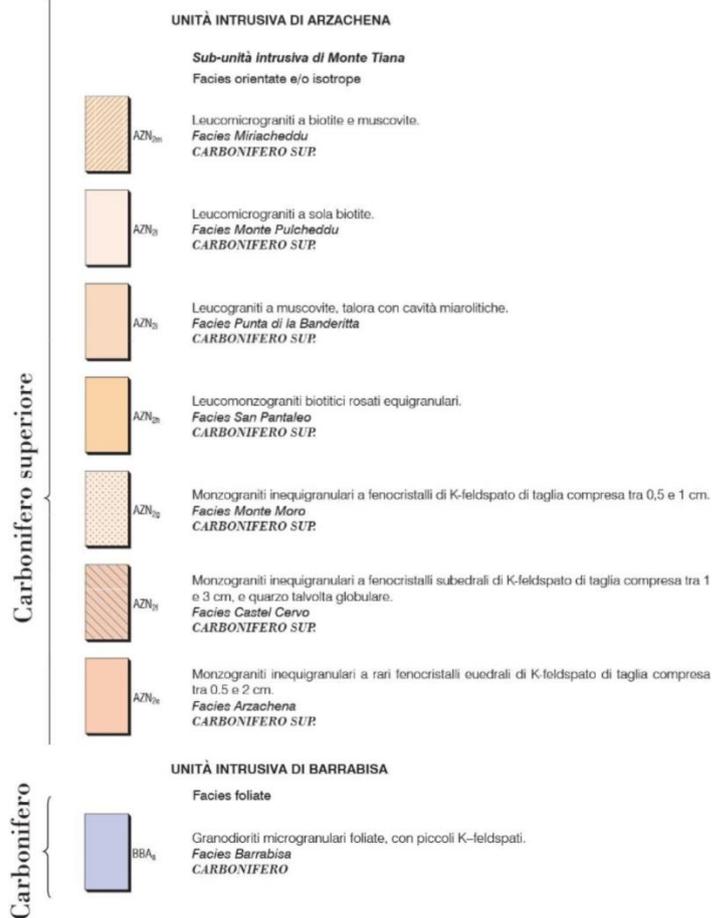


Figura 3-1 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio 428 ISPRA in scala 1:50.000; in rosso il tracciato in progetto.

#### 4 INDAGINI GEOTECNICHE

Per lo sviluppo della progettazione delle opere sono state eseguite indagini di carattere geotecnico finalizzate:

- al riconoscimento ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, allo scopo di fornire i parametri fisico-meccanici per l'esecuzione dei calcoli strutturali e geotecnici delle opere d'arte;
- alla ricostruzione dei rapporti opere-terreni finalizzata alla progettazione delle fondazioni delle opere d'arte (viadotti, ponti); alla definizione degli interventi dei tratti in trincea e rilevato; alla progettazione del rivestimento dei tratti in gallerie.

Le caratteristiche dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato sono state investigate con la campagna di indagini geotecniche svolta nel 2023. La posizione dei punti di indagine è riportata nelle Tavole di progetto.

Nel seguito si descrivono le principali attività svolte durante la campagna:

- n. 19 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, di cui
  - n. 4 condizionati con tubo piezometrico
  - n. 4 con tubo per l'esecuzione di prove down hole.
- n. 34 prove penetrometriche SPT;
- n. 2 pozzetti esplorativi spinti alla profondità max di 3 m dal p.c. nei quali sono stati eseguiti n. 2 prove di carico su piastra;
- n.6 prove di permeabilità, di cui n.3 di tipo Lefranc ed n.3 di tipo Lugeon.

In laboratorio si è proceduto all'esecuzione di cicli completi di prove di identificazione e prove meccaniche (prove di taglio diretto consolidate drenate CD, prove di compressione monoassiale e *point load test*).

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

### 5.1 Generalità

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato stradale si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini, descritta al paragrafo precedente, ed a conoscenze acquisite nel corso di diverse indagini geotecniche svolte nel territorio e a dati di letteratura.

Tabella 5-1 – Caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce.

SIGLA	DESCRIZIONE
<b>ALG</b>	Alluvioni a grana grossa. Ghiaia e sabbia limosa.
<b>S</b>	Sabbia con ghiaia, estremamente addensata, derivante da alterazione avanzata del granito di base (arenitizzato); colore da avana a marrone. Presenza di frammenti di quarzo del $d_{max} \cong 5$ cm, a spigoli vivi .
<b>G</b>	Granito di colore rosa mediamente fratturato. Le fratture sono prevalentemente da sub-verticali a 45°, con superfici mediamente scabre, piane, talora ondulate o irregolari, spesso alterate di colore rossastro; non è presente materiale di riempimento. A tratti fortemente fratturato e generalmente prelevato in frammenti delle dimensioni della ghiaia e dei blocchi.

I terreni e le rocce che ricadono nel volume di terreno significativo, ai fini geotecnici, sono stati classificati in due unità principali che si riscontrano con continuità lungo il tracciato (S e G) ed una secondaria (ALG) che si presenta solo in corrispondenza di alcune incisioni attraversate dal tracciato. Si rimanda ai successivi paragrafi per una descrizione più dettagliata delle caratteristiche fisico-meccaniche e dei rapporti tra le unità geotecniche e le opere (*Rapporti Opere-Terreno*).

## 5.2 Terreni - Criteri di elaborazione delle prove

### Prove SPT

Per l'elaborazione delle prove SPT sono state prese in considerazione le seguenti relazione di Letteratura utilizzate e per singola prova è stato poi preso il minimo tra i valori ottenuti:

### **Densità relativa (terreni incoerenti)**

La densità relativa ( $D_R$ ) dei terreni coesivi può essere stimata in base ai risultati delle prove SPT mediante le seguenti correlazioni dipendenti dal tipo di terreno.

#### Sabbie

Per i terreni costituiti principalmente da sabbia, la densità relativa ( $D_R$ ) può essere valutata utilizzando la seguente espressione (Skempton, 1986):

$$D_r = \left| \frac{(N_1)_{60}}{a + b \cdot \sigma'_{v0}} \right|^{0.5}$$

dove:

- $(N_1)_{60}$  è il valore di  $N_{SPT}$  (risultato della prova SPT) normalizzato a una pressione di riferimento di  $1 \text{ kg/cm}^2$  ( $\cong 100 \text{ kPa}$ ), per un'efficienza energetica delle barre di perforazione pari al 60% del valore teorico.
- $\sigma'_{v0}$  = sforzo verticale efficace espresso in  $\text{kg/cm}^2$ .
- a, b = costanti adimensionali legate alla dimensione delle particelle dei terreni e al loro grado di consolidazione (v. tabella seguente).

Tabella 5-2 Costanti a, b correlate alla dimensione delle particelle e al grado di consolidazione (Schmertmann, 1977).

Tipo di terreno	a	b
Sabbie fini normalconsolidate (NC)	27.5	27.5
Sabbie grossolane normalconsolidate (NC)	43.3	21.7
Sabbie grossolane sovraconsolidate (OC)	24.7	$35.3 \cdot \frac{[1 + 2 \cdot k_0(OC)]}{[1 + 2 \cdot k_0(NC)]}$ [1] $k_0(OC) = k_0(NC) \cdot \sqrt{OCR}$ [2]

### Sabbia con ghiaia e Ghiaia con sabbia

Per i terreni costituiti principalmente da ghiaia e sabbia, la densità relativa ( $D_R$ ) può essere valutata partendo dal valore  $N_{SPT}$  (risultato della prova SPT) impiegando l'espressione proposta da Meyerhof (1957) utilizzando i dati di prova ottenuti da Gibbs e Holtz (1957):

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{60}}{\left(17 + 24 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_{atm}}\right)}}$$

dove:

- $N_{60}$  = è il valore di  $N_{SPT}$  normalizzato per un'efficienza energetica delle barre di perforazione pari al 60% del valore teorico;
- $\sigma'_{v0}$  = sforzo verticale efficace espresso in  $\text{kg/cm}^2$ ;
- $p_{atm}$  = pressione di riferimento in  $\text{kg/cm}^2$  ( $1 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ kPa}$ ).

### Sabbie (da fini a ghiaiose)

La densità relativa delle sabbie può anche essere valutata mediante la seguente espressione proposta da Schultze e Mezenbach (1961):

$$\ln(D_R \%) = 0.478 * \ln(N_{SPT}) - 0.262 * \ln(\sigma'_{v0}) + 2.84$$

dove

- $N_{SPT}$  = è il risultato della prova SPT;
- $\sigma'_{v0}$  = sforzo verticale efficace espresso in  $\text{kg/cm}^2$ .

L'espressione sopra riportata si applica a qualsiasi valore di sforzo verticale efficace in depositi normalmente consolidati, e il valore di  $D_R$  è generalmente sovrastimato per depositi ghiaiosi e sottostimato per depositi limosi.

### **Angolo di resistenza al taglio**

L'angolo di attrito massimo  $\varphi'$  dei terreni privi di coesione può essere valutato mediante le correlazioni di Schmertmann (1977) mostrate nel seguente diagramma, in relazione al tipo di terreno e alla sua densità relativa.

Le correlazioni indicate nel diagramma possono essere espresse come segue:

1.  $\varphi' = 38 + 0.08 D_R$
2.  $\varphi' = 34.5 + 0.10 D_R$
3.  $\varphi' = 31.5 + 0.115 D_R$
4.  $\varphi' = 28 + 0.14 D_R$

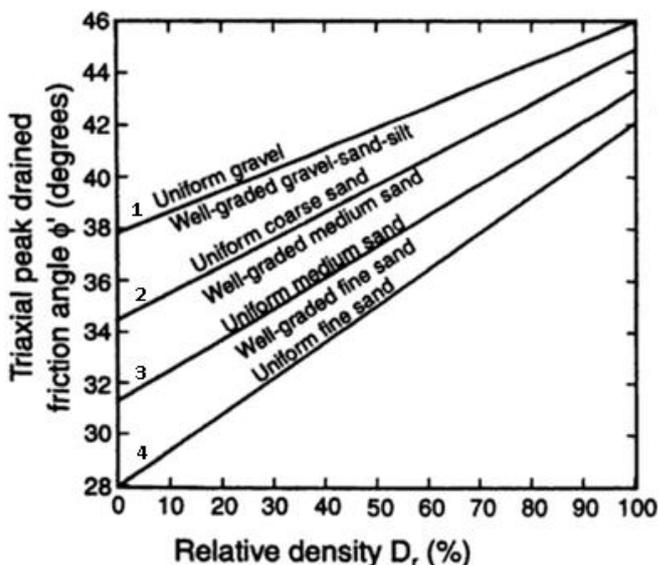


Figura 5-1: Diagramma  $\phi'$ - $D_r$  (Schmertmann's 1977)

Sabbie fini o limose (American Road Bridge Association):

$$\phi'_P = 15 + \sqrt{15 \cdot N_{60}}$$

Sabbie e ghiaie, da medio-grosse a sabbie ghiaiose e ghiaie (Shioi and Fukuni, 1982):

$$\phi'_P = 0.3 \cdot N_{60} + 27$$

Sabbie, da medie a grosse o leggermente ghiaiose (Owasaki and Iwasaki):

$$\phi'_P = 15 + \sqrt{20 \cdot N_{60}}$$

Le condizioni ottimali per l'applicabilità delle correlazioni sopra indicate sono costituite da una profondità di prova > 8-10 m (se al di sopra della falda) e > 15 m (se all'interno della falda), che implicano uno sforzo verticale efficace di circa 150-200 kPa.

Sabbia con contenuto di limo (Meyerhof, 1965)

$$\phi'_P = 29.47 + 0.46 \cdot N_{60} - 0.004 \cdot N_{60}^2 \quad \text{per contenuto di limo} < 5\%$$

$$\phi'_P = 23.70 + 0.57 \cdot N_{60} - 0.006 \cdot N_{60}^2 \quad \text{per contenuto di limo} > 5\%$$

Le condizioni ottimali per l'applicabilità delle correlazioni sopra indicate sono costituite da una profondità di prova < 4 m (se al di sopra della falda) e < 7 m (se all'interno della falda), che implicano uno sforzo verticale efficace di circa 50-80 kPa.

Sabbie e Ghiaie (Peck, Hanson and Thornburn, 1956)

$$\phi_P' = 0.28 \cdot N_{SPT} + 27.2$$

valido a profondità di prova < 5 m.

**Velocità delle onde di taglio**

La velocità delle onde di taglio  $V_S$  può essere mediante il metodo proposto da Ohta e Goto (1978) attraverso la seguente correlazione:

$$V_S = C_S \cdot (N_{60})^{0.171} \cdot z^{0.199} \cdot \alpha \cdot \beta$$

dove:

- $C_S = 67,3$  (costante);
- $z$  = profondità di prova;
- $N_{60}$  = è il valore di  $N_{SPT}$  (risultato della prova SPT) normalizzato per un'efficienza energetica delle barre di perforazione pari al 60% del valore teorico.
- $\alpha$  = coefficiente correlato all'età geologica dei depositi (v. tabella successiva);

Età Geologica	$\alpha$
Holocene	1.0
Pleistocene	1.3

- $\beta$  = coefficiente correlato alla composizione delle dimensioni delle particelle (v. tabella successiva);

Granulometria	$\beta$
Sabbie fini	1.09
Sabbie medie	1.07
Sabbie grossolane	1.14
Sabbie ghiaiose	1.15
Ghiaia	1.45

Un'altra correlazione proposta da Ohta e Goto (1978) che può essere utilizzata è la seguente (espressa in m/s):

$$V_S = C_S \cdot (N_{60})^{0.173} \cdot \left( \frac{z}{0.3048} \right)^{0.193} \cdot \alpha \cdot \beta$$

dove:

- $C_S = 54,33$  (costante);

- $N_{60}$  = è il valore di  $N_{SPT}$  (risultato della prova SPT) normalizzato per un'efficienza energetica delle barre di perforazione pari al 60% del valore teorico.
- $\alpha$  = coefficiente correlato all'età geologica dei depositi (v. tabella successiva);

Età Geologica	$\alpha$
Holocene	1.0
Pleistocene	1.303

- $\beta$  = coefficiente correlato alla composizione delle dimensioni delle particelle (v. tabella successiva);

Granulometria	$\beta$
Sabbie	1.0

- $z$  = profondità del test SPT dal livello del terreno;

### **Modulo di taglio**

Una volta nota la velocità delle onde di taglio  $V_s$ , è possibile stimare il modulo di taglio iniziale  $G_0$  (associato a piccole deformazioni) e il relativo modulo elastico iniziale  $E_0$  mediante le seguenti espressioni (entrambe in kPa):

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

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu_{dyn})$$

dove:

- $\gamma_t$  = peso specifico del terreno espresso in  $\text{kN/m}^3$ ;
- $\nu_{dyn}$  = coefficiente di Poisson dinamico;
- $V_s$  = velocità delle onde di taglio espresso in  $\text{m/s}$ .

Il rapporto di Poisson dinamico  $\nu_{dyn}$  può essere ottenuto mediante misurazioni delle onde sismiche (onde di taglio  $V_s$  e onde longitudinali  $V_p$ ) secondo l'equazione seguente:

$$\frac{V_s}{V_p} = \left( \frac{0.5 - \nu_{dyn}}{1 - \nu_{dyn}} \right)^{0.5}$$

Il rapporto di Poisson dinamico può essere determinato anche con la tecnica della colonna risonante, considerando la velocità delle onde longitudinali strettamente longitudinali in un mezzo delimitato ( $V_{rod}$ ):

$$v_{dyn} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{rod}^2}{V_s^2} - 1$$

Il modulo di taglio iniziale  $G_0$  ottenuto dalla velocità delle onde di taglio può essere confrontato con i valori stimati a partire dai risultati delle prove SPT mediante le seguenti correlazioni (tutte espresse in MPa):

**Sabbie**

$$G_0 = 6.5 \cdot (N_{60})^{0.94} \quad \text{(Ohsaki and Iwasaki)}$$

$$G_0 = 11.82 \cdot (N_{60})^{0.76} \quad \text{(Ohsaki and Iwasaki)}$$

$$G_0 = 7.94 \cdot (N_{60})^{0.611} \quad \text{(Crespellani and Vannucchi)}$$

**Modulo elastico**

Il modulo elastico  $E$  dipende dal livello di deformazione a taglio associato indotto nel terreno e dalla resistenza al taglio correlata. E' generalmente preferibile definire un valore di progetto come un "modulo elastico operativo  $E_{op}$ ", che dipende dal livello specifico di deformazione a taglio (*shear strain*, v. figura successiva) che induce il sistema, fornendo un intervallo di  $E_{op}$  tipicamente compreso tra 1/3 e 1/10 del modulo elastico iniziale  $E_0$ . Come si nota dalla figura successiva al crescere delle deformazioni indotte si riduce il rapporto tra  $G$  (operativo) e  $G_0$  e quindi anche i correlati valori di  $E_{op}$  e  $E_0$ .

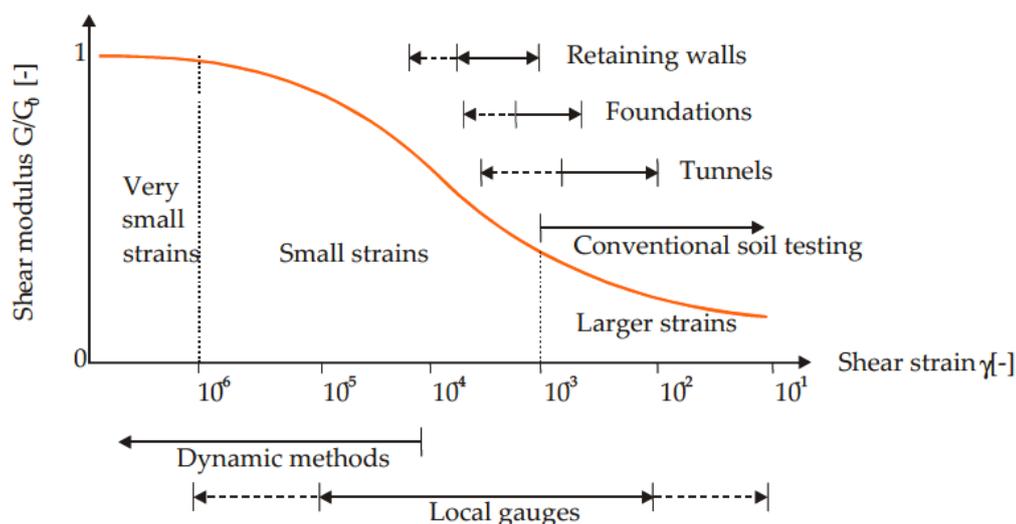


Figura 5-2  $G/G_0$  vs deformazioni a taglio.

Sono disponibili numerose correlazioni con i risultati delle prove SPT che possono essere utilizzate per la valutazione del modulo elastico operativo di Young e il confronto con i valori ottenuti dal modulo iniziale. Tali correlazioni sono elencate di seguito:

Terreni incoerenti (Burland and Burbidge, 1985):

$$E'_{0.1} = \left[ 0.9044 \cdot (N_{60})^{0.4019} \right] \cdot N_{60}$$

$$E'_{0.1} = \left[ 1.3664 \cdot (N_{60})^{0.4041} \right] \cdot N_{60}$$

Sabbie (Schmertmann)

$$E'_{op} = 0.8 \cdot N_{60}$$

Sabbie fini

$$E'_{op} = 1.2 \cdot N_{60}$$

Sabbie medie

$$E'_{op} = 2.0 \cdot N_{60}$$

Sabbie grossolane

Sabbie e Ghiaie (D'Appolonia et al., 1971)

$$E'_{op} = 18.57 + 0.765 \cdot N_{60} \cdot (1 - \nu^2)$$

Sabbie normalconsolidate

$$E'_{op} = \frac{375 + 10.63 \cdot N_{60}}{10}$$

Sabbie sovraconsolidate

$$E'_{op} = \frac{191 + 7.71 \cdot N_{60}}{10}$$

Sabbia normalconsolidata con ghiaia

$$E'_{op} = 42.39 + 0.978 \cdot N_{60} \cdot (1 - \nu^2)$$

Sabbie e ghiaie sovraconsolidate

Sabbie e ghiaie (European Conference on SPT, 1974)

$$E'_{op} = 15 \cdot \ln \left( \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$$

Sabbie normalconsolidate (min)

$$E'_{op} = 22 \cdot \ln \left( \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$$

Sabbie normalconsolidate (max)

$$E'_{op} = 0.25 \cdot \left( 15 + \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$$

Sabbie sature

$$E'_{op} = 1.2 \cdot \left( 6 + \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$$

Sabbie con ghiaia

$$E'_{op} = 0.6 \cdot \left( 6 + \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$$

Sabbie con ghiaia (min)

$$E'_{op} = 2 + 0.6 \cdot \left( 6 + \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$$

Sabbie con ghiaia (max)

### Prove Geotecniche di Laboratorio

L'elaborazione delle prove di laboratorio, le cui tipologie e numero sono descritte al paragrafo di descrizione delle indagini, è finalizzata a determinare principalmente i seguenti parametri:

- caratteristiche fisiche e composizione granulometriche;
- resistenza al taglio;
- deformabilità;
- permeabilità.

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei risultati delle prove ci si è basati sugli usuali criteri della Geotecnica e, più in generale, dell'Ingegneria (Mohr-Coulomb, Teoria dell'Elasticità, legami costitutivi tensioni-deformazioni, etc.).

### 5.3 Rocce - Criteri di elaborazione delle prove

#### Rilievo geomeccanico

- indice RQD (Rock Quality Designation) dai rilievi in situ sulle carote contenute nelle cassette catalogatrici;
- indice GSI (Geological Strength Index), che può essere calcolato tramite la conoscenza dei parametri RMR (*classificazione di Bieniawski*).

#### **Classificazione di Bieniawski**

Il parametro RMR è la somma di diversi fattori che dipendono dai fattori sopra esposti.

$$RMR = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

tali fattori sono calcolabili tramite l'utilizzo della tabella proposta dallo stesso Bieniawski (Tabella 5-3).

#### *Calcolo $R_1$ , $R_2$ e $R_3$*

per tali parametri è stato posto un punteggio in funzione, rispettivamente, della resistenza a compressione della roccia, del valore di RQD e delle spaziature tra le discontinuità secondo le tabelle esposte da Bieniawski.

#### *Calcolo $R_4$*

il parametro  $R_4$  è sintesi di più grandezze, secondo i punteggi descritti nella sezione "E. Guidelines for classification of discontinuity conditions"

$$R_4 = R_{4,1} + R_{4,2} + R_{4,3} + R_{4,4} + R_{4,5}$$

#### *Calcolo $R_5$*

il parametro  $R_5$  tiene conto della presenza o meno di acqua fra le discontinuità. Per l'area in esame è ragionevole considerare presenza di falda solo in corrispondenza delle aree di alluvionali nelle quali sono state registrate venute di acqua quasi al livello del piano campagna, ma a livello di sicurezza si impone un punteggio pari a 7 e relativo alla roccia "bagnata" ("wet") per tutto l'ammasso.

#### *Calcolo $R_6$*

tale parametro, funzione del fronte di scavo di avanzamento, tiene conto del fatto che le discontinuità principali rispetto alla direzione di avanzamento possono essere favorevoli o sfavorevoli. In questa sede si considerano entrambe le situazioni definendo un  $GSI_{min}$  e  $GSI_{max}$ , ovvero, rispettivamente, i valori di GSI in corrispondenza di un fronte di scavo con inclinazione delle discontinuità sfavorevoli e favorevole.

Tabella 5-3 Classificazione di Bieniawski – Punteggi calcolo RMR.

Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10MPa	4 – 10MPa	2 – 4MPa	1 – 2MPa	For this low range – uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compression strength	>250MPa	100 – 250MPa	50 – 100MPa	25 – 50MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Spacing of discontinuities	>2m	0.6 – 2m	200 – 600mm	60 – 200mm	<60mm			
	Rating	20	15	10	8	5			
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces	Slightly rough surfaces	Slightly rough surfaces	Slickensided surfaces or gouge <5mm thick or Separation 1-5mm continuous	Soft gouge >5mm thick or Separation >5mm continuous			
		Not continuous No separation Unweathered wall rock	Separation <1mm Slightly weathered walls	Separation <1mm Highly weathered walls					
Rating	30	25	20	10	0				
5	Ground water	Inflow per 10m tunnel length (l/m)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		(Joint water press)/(major principal $\sigma$ )	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			

**B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)**

Strike and dip orientations		Very Favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels and mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

**C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS**

Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	<21
Class number	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

**D. MEANING OF ROCK CLASSES**

Class number	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yrs for 15m span	1 year for 10m span	1 week for 5m span	10 hrs for 2.5m span	30 min for 1m span
Cohesion of rock mass (kPa)	>400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	<100
Friction angle of rock mass (deg)	>45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	<15

**E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY CONDITIONS**

Discontinuity length (persistence)	<1m	1.3m	3 – 10m	10 – 20m	>20m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	<0.1mm	0.1 – 1.0mm	1 – 5mm	>5mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard filling <5mm	Hard filling >5mm	Soft filling <5mm	Soft filling >5mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

### Prove Geotecniche di Laboratorio

L'elaborazione delle prove di laboratorio, le cui tipologie e numero sono descritte al paragrafo di descrizione delle indagini, è finalizzata a determinare principalmente i seguenti parametri:

- Peso per unità di volume;
- resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_{ci}$  ottenuta da prove di resistenza a compressione monoassiale (UCS) e da prove di carico puntuale;

Inoltre, tramite anche dal rilievo geo-meccanico, avvalendosi del criterio di *Hoek-Brown* è possibile desumere le caratteristiche meccaniche rappresentative dell'ammasso.

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

$$c' = \frac{\sigma_{ci}((1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n})(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{(6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})}{((1+a)(2+a))}}}$$

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

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

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

con:

- a, s costanti per l'ammasso roccioso calcolati sulla base del GSI e del grado di disturbo D;
- $m_b$ , valore ridotto dell' $m_i$  per l'ammasso;
- $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$ .

Tali relazioni sono state implementate tramite il software di calcolo *RocLab* fornito da *Rocscience Inc.*

#### 5.4 Alluvioni a grana grossa (ALG)

Ghiaie da grossolane a medie, con elementi lapidei di varia natura, di forma prevalentemente tondeggiante, a spigoli sub-arrotondati. Sono immerse in una matrice sabbioso limoso proveniente dallo strato di alterazione del granito (S).

Il suo comportamento fisico-meccanico è attribuibile a quello di un terreno incoerente con alti valori di angolo di resistenza al taglio e coesione nulla; tuttavia, per terreni di questo tipo, è stato osservato sia in applicazioni pratiche che teoriche che possono instaurarsi fenomeni di coesione apparente (interlocking) dovuto all'addensamento dei grani di varia pezzatura che risultano interconnessi tra loro. Tale coesione assume solitamente valori dell'ordine di 2-3 kPa.

Nella campagna indagine non sono presenti prove di laboratorio o in situ che diano informazioni sul terreno in questione, ma ai fini dei dimensionamenti è possibile utilizzare i seguenti range di variazione dei principali parametri fisico-meccanici, desunti sulla base della natura dei terreni.

- $\gamma_s = 17,5-19,0$  [kN/m<sup>3</sup>]
- $c' = 2-3$  [kPa];
- $\varphi' = 33-35$  [°];
- $E'_{op} = 20-40$  [MPa].

Le elaborazioni delle prove Down-Hole forniscono i seguenti valori di velocità di onda di taglio  $V_s$ , del modulo di taglio  $G_0$  e del modulo elastico  $E'_0$  per piccole deformazioni e quindi il modulo elastico operativo  $E'_{op}$ :

Tabella 5-4: Elaborazioni prove Down-Hole.

Prova	Terreno	Profondità [m]	$V_s$ [m/s]	$\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_w$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$G_0$ [MPa]	$\nu$	$E'_0$	$E'_{op}$	
S18	ALG	5	313	19	9,81	200	0,45	579	58	193
<i>MEDIA</i>			<i>313</i>			<i>200</i>	<i>0,45</i>	<i>579</i>	<i>58</i>	<i>193</i>

### 5.5 Sabbia con ghiaia limosa (S)

Sabbia con ghiaia limosa derivante da alterazione avanzata del granito di base (arenitizzato); colore da avana a marrone. Presenza di frammenti di quarzo del  $d_{max}$  di circa 5 cm, a spigoli vivi.

Si è riscontrato in sommità su tutti i sondaggi eseguiti.

La granulometria è compresa tra la ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa e la sabbia con ghiaia limosa argillosa. La percentuale della frazione ghiaiosa è compresa tra 2 % e 75 %, quella della sabbia tra 10 % e 78 %, quella del limo tra il 2% e il 36% con una frazione argillosa varia tra il 1 % e il 17 %.

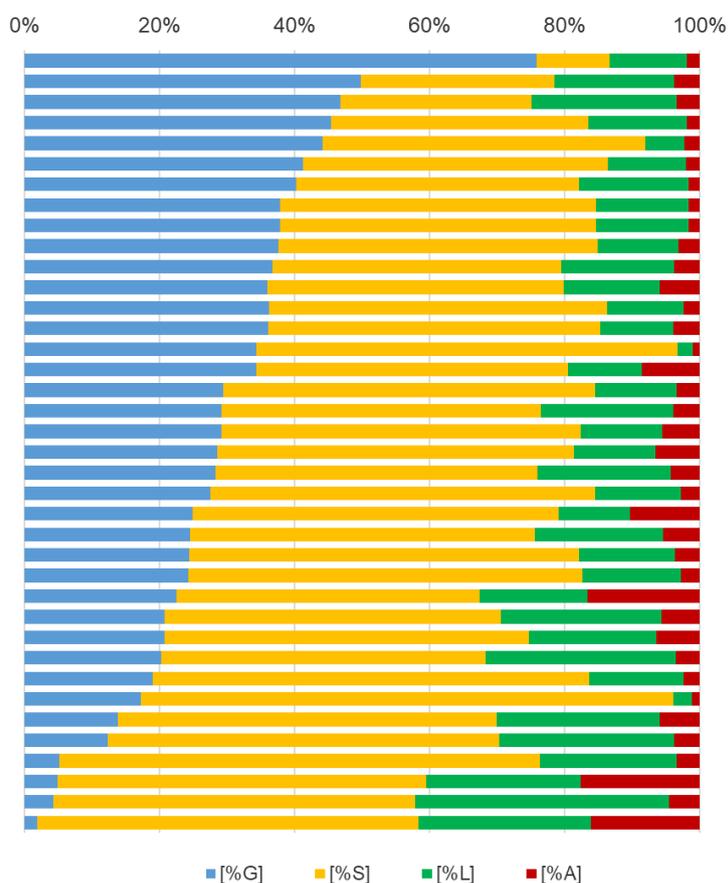


Figura 5-3 – Terreni S - Distribuzione delle classi granulometriche nei campioni di S analizzati.

Per quanto concerne i valori di peso per unità di volume è possibile desumere il range di variazione dai risultati ottenuti durante la prova di taglio CD; in particolare:

- $\gamma_s = 17,0-20,0$  [kN/m<sup>3</sup>]

Analogo discorso per i valori di indice dei vuoti  $e_0$  e contenuto naturale d'acqua  $W_n$ .

- $e_0 = 0,4-0,6$  [-]
- $W_n = 6,0-10,0$  [%]

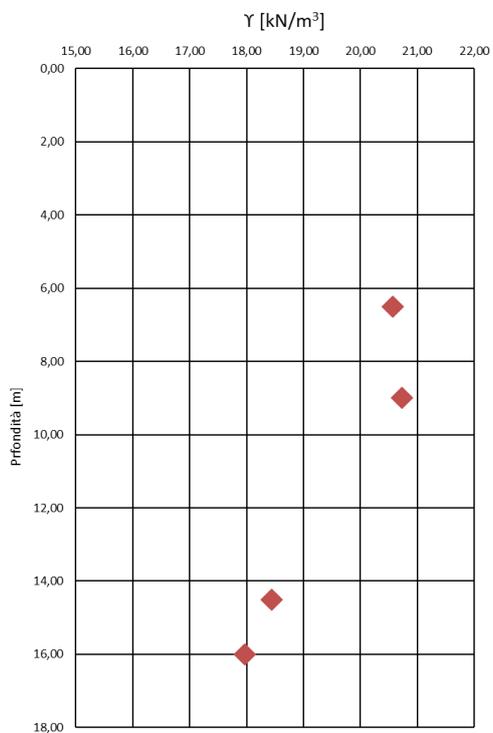


Figura 5-4 – Terreni S.- peso per unità di volume.

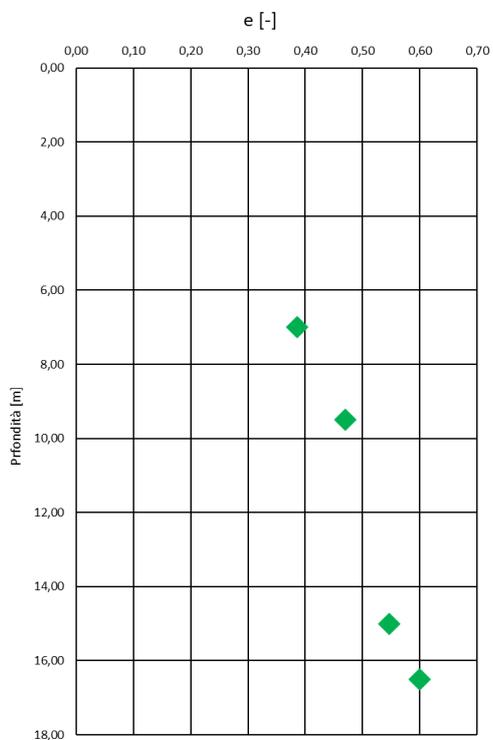


Figura 5-5 – Terreni S.- indice dei vuoti.

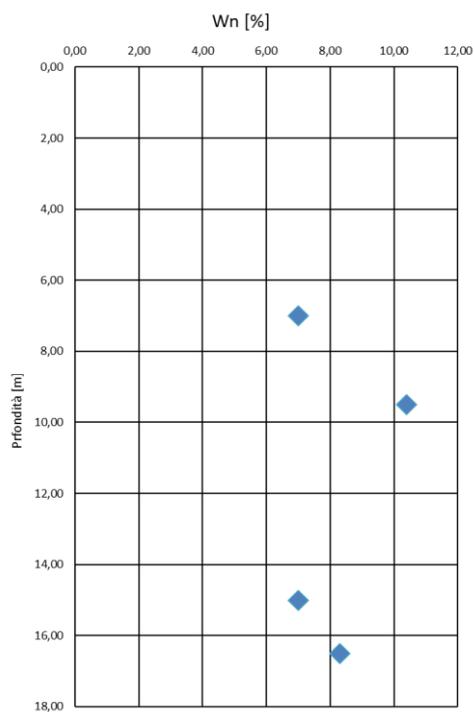


Figura 5-6 – Terreni S. - contenuto naturale d'acqua.

Di seguito i risultati delle prove SPT svolte.

Tabella 5-5: Risultati prove SPT.

Sondaggio	$N_{30}$
S01-PZ	76
S01-PZ	R
S03-DH	R
S06-DH	R
S08-PZ	70
S08-PZ	R
S09-PZ	67
S09-PZ	80
S10-DH	74
S10-DH	67
S11-PZ	55
S11-PZ	63
S12-DH	R
S12-DH	R
S13-PZ	R
S13-PZ	77

CA366

**Relazione Generale**

Sondaggio	N <sub>30</sub>
S14-DH	80
S14-DH	74
S15-PZ	70
S15-PZ	23
S15-PZ	R
S16-PZ	R
S16-PZ	R
S16-PZ	65
S16-PZ	74
S17-DH	75
S17-DH	72
S18-DH	R
S18-DH	R
S21-PZ	67
S21-PZ	R
S22-PZ	45
S22-PZ	69
S23-PZ	69

Tramite le relazioni di letteratura espresse al paragrafo precedente, si sono ottenuti i seguenti range di variazione dei seguenti parametri:

- Valore  $N_{30} = 23 \div 50$ ;
- Densità relativa  $D_r = 46-100\%$ , decrescente con la profondità;
- Angolo di resistenza a taglio  $\varphi' = 32^\circ \div 39^\circ$ ;
- Modulo elastico operativo  $E'_{op\ SPT} = 20 \div 40$  MPa

Di seguito si riportano i grafici che illustrano la variazione delle suddette grandezze in funzione della profondità di prova.

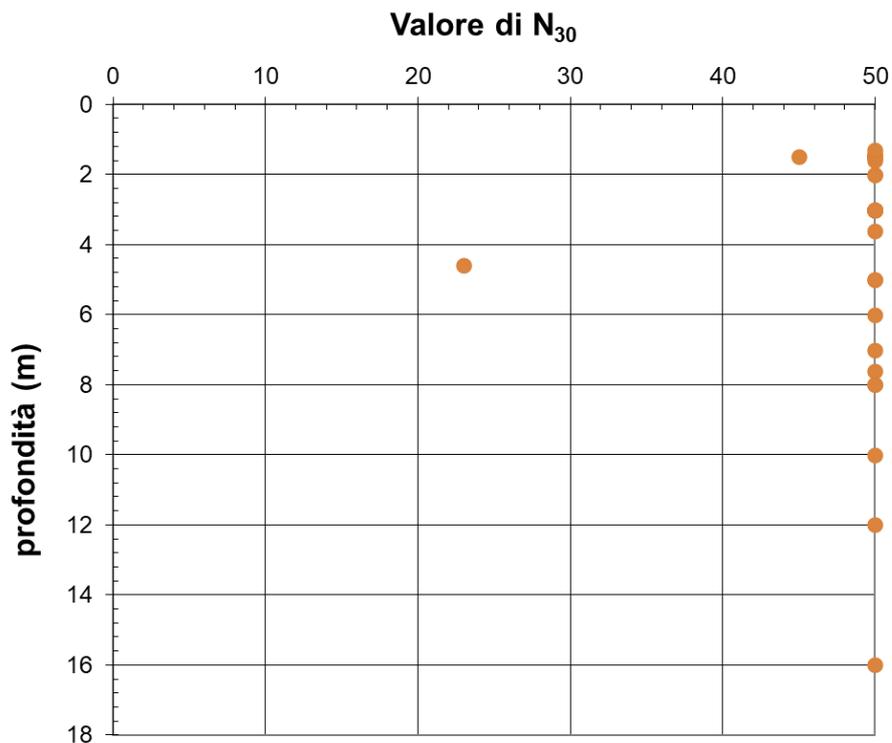


Figura 5-7 – Terreni S - Elaborazioni valori di  $N_{30}$  da prove SPT.

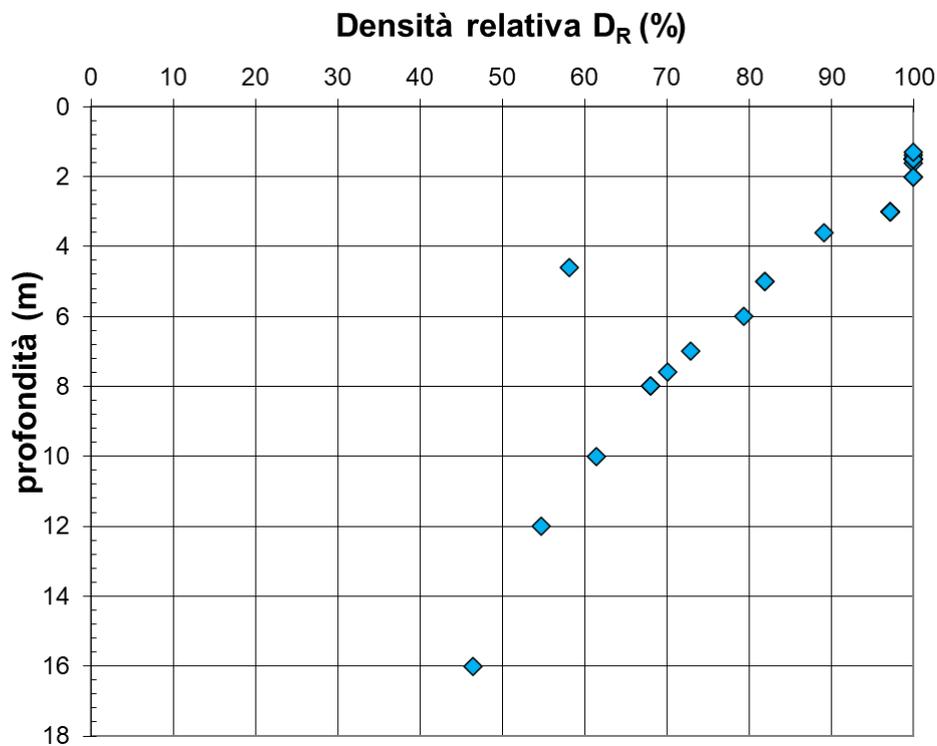


Figura 5-8 – Terreni S - Elaborazioni valori di  $D_R$  da prove SPT.

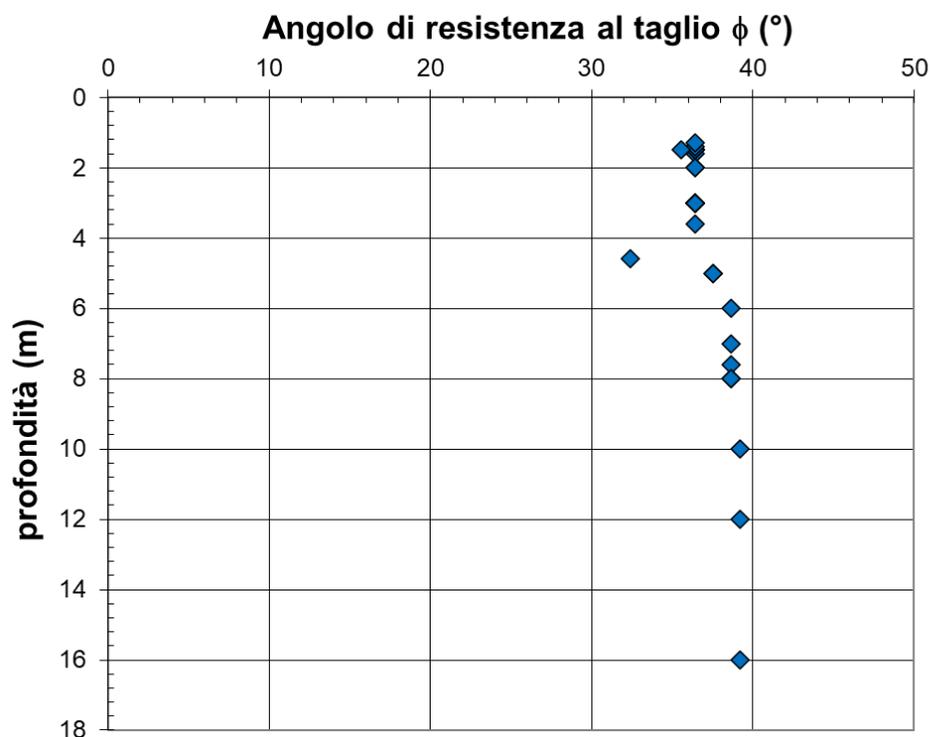


Figura 5-9 – Terreni S - Elaborazioni valori di  $\phi$  da prove SPT.

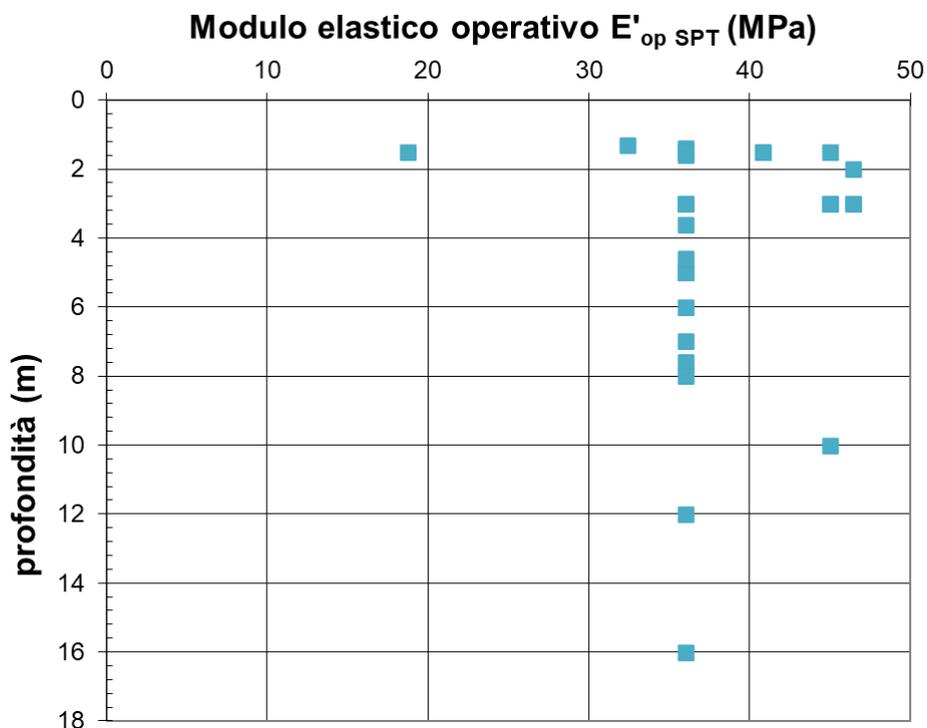


Figura 5-10 – Terreni S - Elaborazioni valori di  $E'_{op}$  da prove SPT.

Da n.5 prove di taglio CD svolta su un campione proveniente dal sondaggio S01-PZ è possibile ottenere i seguenti valori:

$$c' = 8-15 \quad [\text{kPa}]$$

$$\varphi' = 32-43 \quad [^\circ].$$

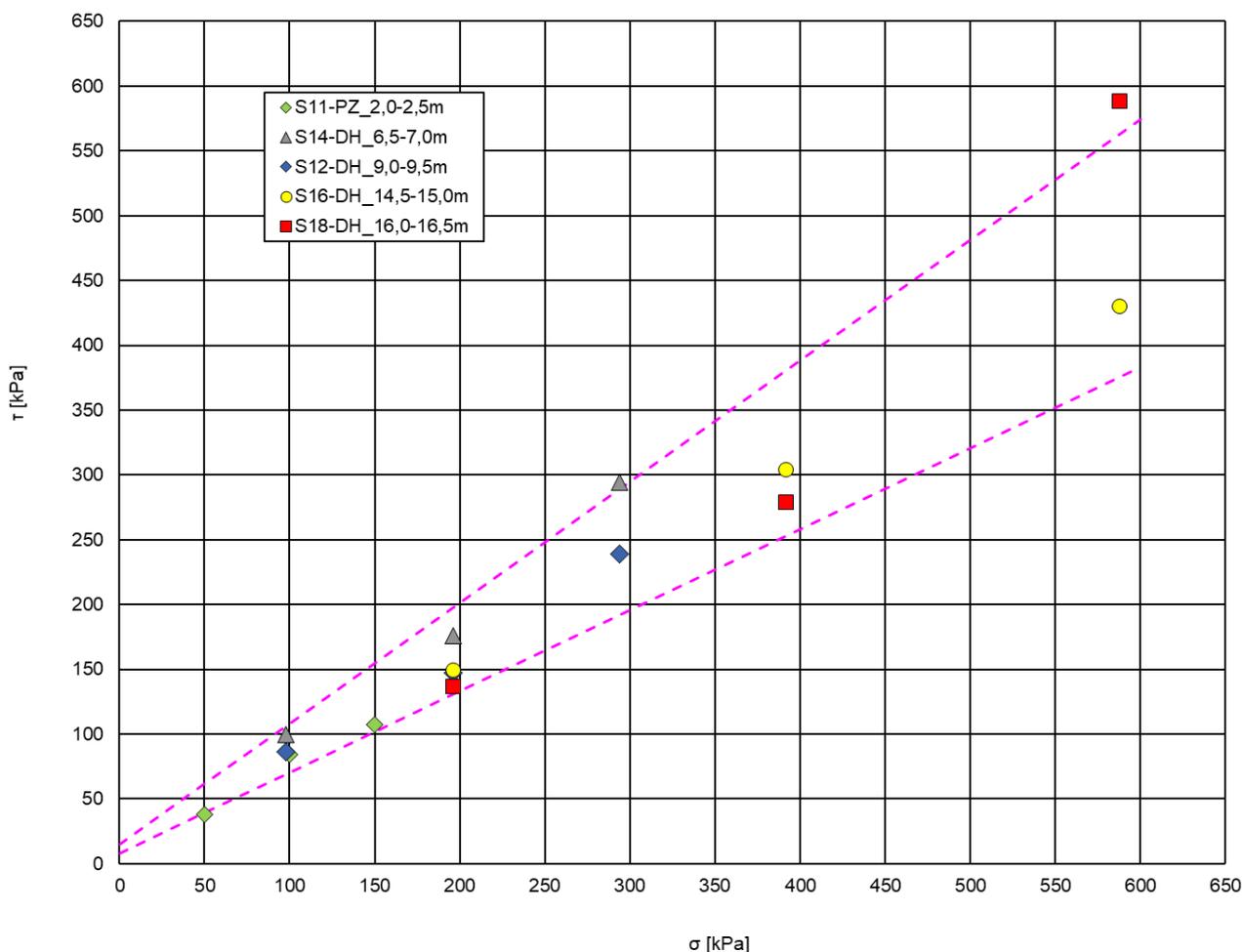


Figura 5-11 –Risultati delle prove di taglio diretto CD.

Dalle prove di carico su piastra fatte nei pozzetti Pz01-02 sono risultati i seguenti valori:

Tabella 5-6: Prove di carico su piastra.

POZZETTO	profondità [m]	terreno	$M_{d1}$ (50-150) [MPa]	$M_{d2}$ (50-150) [MPa]	$M_{d1}/M_{d2}$ [-]
Pz01	0,2	S	143	273	0,5
Pz02	0,2	S	150	429	0,4

Le elaborazioni delle prove Down-Hole forniscono i seguenti valori di velocità di onda di taglio  $V_s$ , del modulo di taglio  $G_0$  e del modulo elastico  $E'_0$  per piccole deformazioni e quindi il modulo elastico operativo  $E'_{op}$ :

Tabella 5-7: Elaborazioni prove Down-Hole.

Prova	Terreno	Profondità [m]	Vs [m/s]	$\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_w$ [kN/m <sup>3</sup> ]	G <sub>0</sub> [MPa]	$\nu$	E' <sub>0</sub>	E' <sub>op</sub>	
									Min	Max
S03	S	2	183	20	9,81	68	0,33	182	18	61
S03	S	3	333	20	9,81	226	0,46	660	66	220
S06	S	3	462	20	9,81	435	0,38	1201	120	400
S10	S	4	385	20	9,81	302	0,35	816	82	272
S10	S	6	698	20	9,81	993	0,39	2761	276	920
S12	S	4	351	20	9,81	251	0,44	723	72	241
S12	S	8	784	20	9,81	1253	0,45	3634	363	1211
S18	S	13	764	20	9,81	1190	0,49	3546	355	1182
S21	S	4	294	20	9,81	176	0,42	500	50	167
S23	S	3	283	20	9,81	163	0,42	464	46	155
S23	S	11	755	20	9,81	1162	0,4	3254	325	1085
<b>MEDIA</b>			<b>481</b>			<b>566</b>	<b>0,41</b>	<b>1613</b>	<b>161</b>	<b>538</b>

## 5.6 Granito rosa (G)

Granito di colore rosa mediamente fratturato. Le fratture sono prevalentemente da sub-verticali a 45°, con superfici mediamente scabre, piane, talora ondulate o irregolari, spesso alterate di colore rossastro; è presente materiale di riempimento. A tratti fortemente fratturato e generalmente prelevato in frammenti delle dimensioni della ghiaia e dei blocchi. Si riscontra Granito G su tutti i sondaggi eseguiti.

Sui campioni provenienti dai sondaggi sono state eseguite le seguenti prove, i cui risultati sono riassunti in Tabella 5-8

Tabella 5-8 Granito G - Prove di laboratorio.

Sondaggio		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{ci}$ [MPa]	I <sub>s50%</sub> [MPa]	E <sub>t50%</sub> [Gpa]	E <sub>s50%</sub> [Gpa]	$\nu$ [50% $\tau_{picco}$ ]
S01-PZ	CL01	11	11,5			3,12	
S01-PZ	CL02	16,7	17			3,47	
S01-PZ	CL03	20	20,5	22,87	32		52,351
S03-DH	CL01	2	2,2			3,12	
S03-DH	CL02	12,3	12,6			2,8	
S03-DH	CL03	17	17,3			2,33	
S03-DH	CL04	23,6	23,9		11		
S03-DH	CL05	28	28,4			1,33	
S06-DH	CL01	4,5	5	26,94	90,12		74,222

CA366

**Relazione Generale**

Sondaggio		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{ci}$ [MPa]	$I_{s50\%}$ [MPa]	$E_{t50\%}$ [Gpa]	$E_{s50\%}$ [Gpa]	$v$ [50% $\tau_{picco}$ ]
S06-DH	CL02	9	9,5	26,78	94,04		82,796
S06-DH	CL03	13,5	13,9			8,88	
S07-PZ	CL01	4,5	5			1,67	
S07-PZ	CL02	9	9,5			5,92	
S07-PZ	CL03	14	14,5			8,59	
S08-PZ	CL01	14,2	14,5			1,21	
S08-PZ	CL02	20,1	20,4			5,09	
S08-PZ	CL03	26,5	26,8			5,39	
S10-DH	CL01	7	7,3			6,64	
S10-DH	CL02	11	11,4			3,62	
S10-DH	CL03	14,6	15			6,35	
S10-DH	CL04	18,1	18,6	26,95	69,03		96,884
S10-DH	CL05	22,5	23			4,81	
S10-DH	CL06	29,6	30			6,81	
S11-PZ	CL01	10,1	10,4	26,53	63,53		91,188
S11-PZ	CL02	15,2	15,7	27,09	79,32		220,334
S11-PZ	CL03	19,4	19,8			7,54	
S12-DH	CL01	13	13,5		99		
S12-DH	CL02	17,4	17,8			7,44	
S12-DH	CL03	22,3	22,6			4,75	
S13-PZ	CL01	16,5	16,8			1,1	
S13-PZ	CL02	21	21,2			0,7	
S13-PZ	CL03	28,2	28,5		25		
S14-DH	CL01	8,6	9		33		
S14-DH	CL02	14,2	14,5			0,4	
S14-DH	CL03	18,6	19			6,15	
S15-PZ	CL01	26,6	27	26,4	48,78		54,962
S15-PZ	CL02	29,6	29,8			6,14	
S16-PZ	CL01	19,5	19,6			0,76	
S16-PZ	CL02	21	21,4		69		
S16-PZ	CL03	29	29,2			7,88	

Sondaggio		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{ci}$ [MPa]	$I_{s50\%}$ [MPa]	$E_{t50\%}$ [Gpa]	$E_{s50\%}$ [Gpa]	$\nu$ [50% $\tau_{picco}$ ]
S17-DH	CL01	11,2	11,7		19		
S17-DH	CL02	17,5	17,8			2,54	
S17-DH	CL03	20,4	20,6			1,9	
S18-DH	CL01	niente					
S18-DH	CL02	27,00	27,40			0,22	
S18-DH	CL03	28,80	29,00			0,29	
S19-PZ	CL01	6,00	6,30			1,29	
S19-PZ	CL02	12,10	12,40			1,24	
S19-PZ	CL03	18,10	18,40			0,74	
S19-PZ	CL04	24,20	24,50		71		
S21-PZ	CL01	17,40	17,60			0,97	
S21-PZ	CL02	21,60	21,80			1,57	
S21-PZ	CL03	26,50	26,80			1,79	
S22-PZ	CL01	8,50	8,70			0,34	
S22-PZ	CL02	12,00	12,40			0,55	
S22-PZ	CL03	17,00	17,50		38		
S22-PZ	CL04	24,60	24,80			1,47	
S23-DH	CL01	14,50	15,00			1,9	
S23-DH	CL02	19,20	19,60		75		
S23-DH	CL03	23,30	23,6			2,53	
S23-DH	CL04	28,70	29,00			3,4	

- $\gamma$  = Peso dell'unità di volume [kN/m<sup>3</sup>];
- $\sigma_c$  = Resistenza a compressione [MPa];
- $I_{s50\%}$  = Indice di resistenza a carico puntuale [MPa];
- $E_{t50}$  = Modulo elastico tangente (50%  $\tau_{picco}$ ) [GPa];
- $E_{s50}$  = Modulo elastico secante (50%  $\tau_{picco}$ ) [GPa];
- $\nu$  = Coefficiente di Poisson [-].

I risultati sopra esposti sono al seguito mostrati graficamente in funzione della profondità di campionamento.

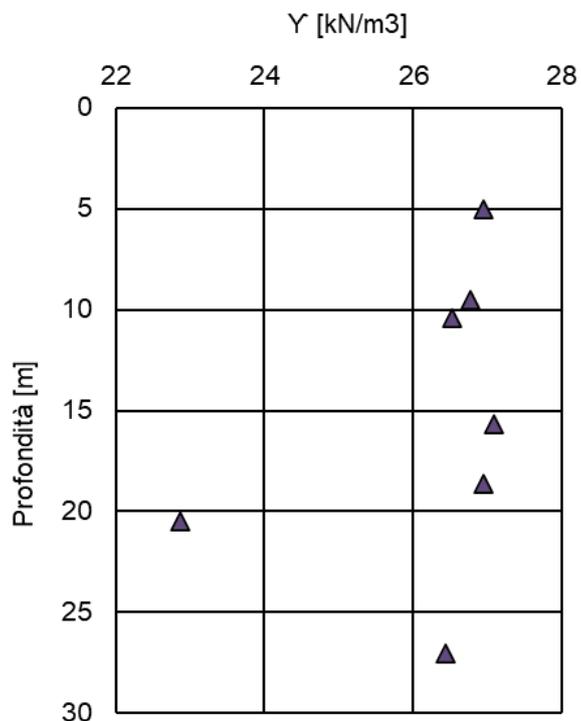


Figura 5-12 – Valori di peso per unità di volume  $\gamma$  in funzione della profondità da prove di laboratorio.

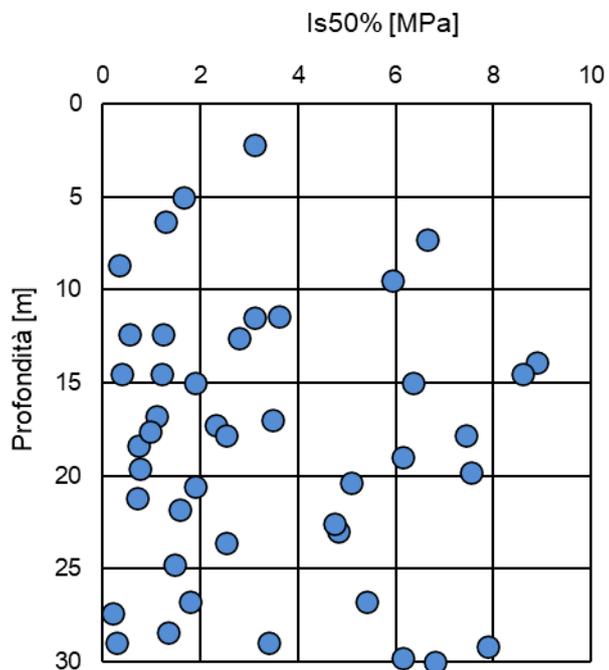


Figura 5-13 – Valori di  $I_{s50\%}$  in funzione della profondità da prove di Point Load Test.

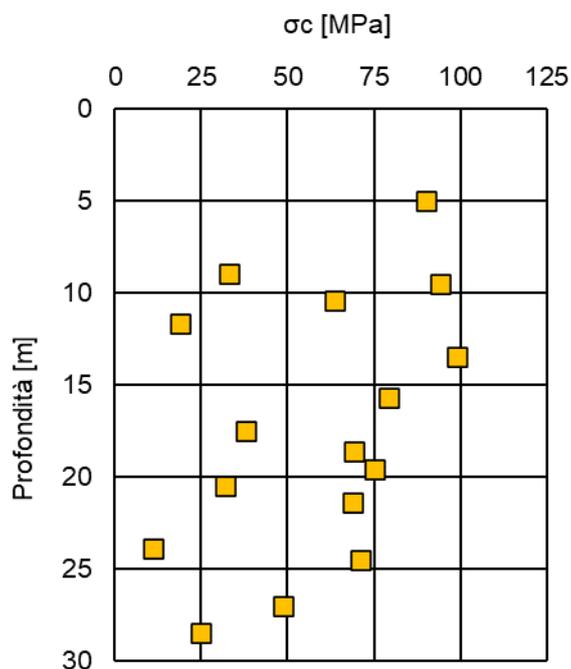


Figura 5-14 – Valori di  $\sigma'_{ci}$  in funzione della profondità da prove di compressione UX.

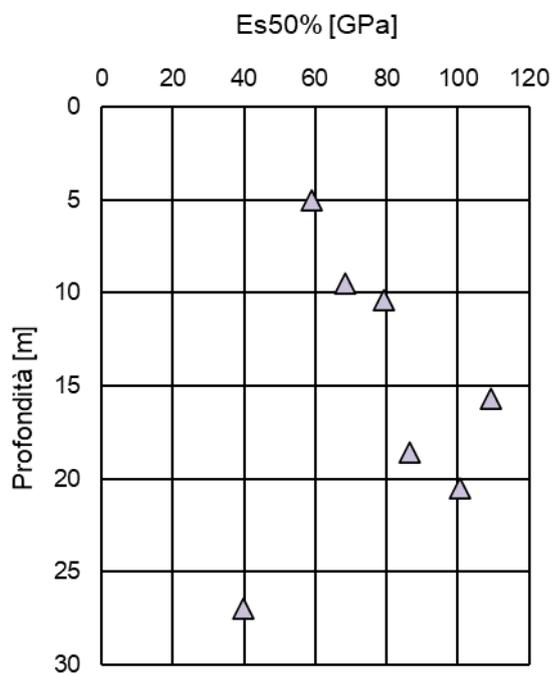


Figura 5-15 – Valori di  $E_{S50\%}$  in funzione della profondità da prove di compressione UX.

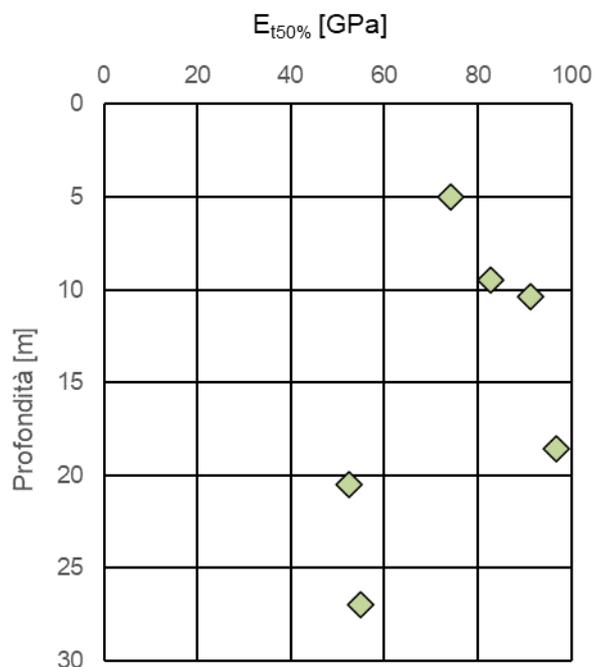


Figura 5-16 – Valori di  $E_{t50\%}$  in funzione della profondità da prove di compressione UX.

Le elaborazioni dei risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio, sopra riportate, hanno fornito i seguenti parametri geotecnici e geo-meccanici:

- $\gamma_s = 25,0-26,0$  [kN/m<sup>3</sup>]
- $I_{s50\%} = 0,2-9$  [MPa]
- $\sigma'_{Cl} = 10-100$  [MPa];
- $E_{s50\%} = 40-110$  [GPa];
- $E_{t50\%} = 40-95$  [GPa].

Le elaborazioni delle prove Down-Hole forniscono i seguenti valori di velocità di onda di taglio  $V_s$ , del modulo di taglio  $G_0$  e del modulo elastico  $E'_0$  per piccole deformazioni e quindi il modulo elastico operativo  $E'_{op}$ :

Tabella 5-9: Elaborazioni prove Down-Hole.

Prova	Terreno	Profondità [m]	$V_s$ [m/s]	$\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_w$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$G_0$ [MPa]	$\nu$	$E'_0$	$E'_{op}$	
									Min	Max
S03	G	8	595	20	9,81	722	0,45	2093	209	698
S03	G	30	995	20	9,81	2018	0,44	5813	581	1938
S06	G	15	923	20	9,81	1737	0,46	5072	507	1691
S10	G	10	1182	20	9,81	2848	0,3	7406	741	2469
S12	G	18	1190	20	9,81	2887	0,44	8315	831	2772
S18	G	30	1182	20	9,81	2848	0,45	8260	826	2753
S21	G	17	793	20	9,81	1282	0,46	3744	374	1248

Prova	Terreno	Profondità [m]	Vs [m/s]	$\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_w$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$G_0$ [MPa]	$\nu$	$E'_0$	$E'_{op}$	
									Min	Max
S21	G	30	1193	20	9,81	2902	0,4	8125	812	2708
S23	G	30	1776	20	9,81	6431	0,42	18263	1826	6088
<b>MEDIA</b>			<b>481</b>			<b>566</b>	<b>0,41</b>	<b>1613</b>	<b>161</b>	<b>538</b>

## 5.7 Sintesi dei risultati

In Tabella 5-10 si riportano i valori dei parametri fisico-meccanici dei terreni da utilizzare per il dimensionamento geotecnico e strutturale delle fondazioni delle opere d'arte.

Tali valori sono stati ricavati sia sulla base delle specifiche prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati nel corso delle campagne di indagine prese in esame.

Nelle tabelle che seguono si riportano i valori minimo e massimo dei parametri fisico-meccanici dei terreni.

In particolare, si riportano i valori delle seguenti grandezze:

- peso dell'unità di volume  $\gamma$ ;
- coesione effettiva  $c'$ ;
- angolo d'attrito effettivo  $\varphi'$ ;
- Modulo elastico operativo  $E'_{op}$ .

Tabella 5-10 Principali parametri fisico-meccanici dei terreni.

Sigla	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$E'_{op}$ [MPa]
ALG	17,5-19	2-3	33-35	20-40
S	17-19	8-15	32-43	20-50
G*	25-26,5	15-25	40-45	5000-50000

\*Per la definizione dei parametri meccanici  $c'$  e  $\varphi'$  ci si è avvalsi dell'ausilio del software di calcolo *RocLab* fornito da *Rocscience Inc* in cui sono implementate tutte le formule fornite dal modello di Hoek-Brown per la modellazione del comportamento fisico-meccanico della roccia.

## 6 RAPPORTI OPERE-TERRENO

### 6.1 Generalità

Le conoscenze sui terreni di fondazione acquisite con i rilievi e le indagini hanno consentito di ricostruire con sufficiente dettaglio i rapporti tra le opere in progetto e i terreni di fondazione.

Con riferimento alla classificazione geotecnica riportata nel capitolo precedente, nelle tavole relative ai profili geotecnici allegati al presente progetto, si illustrano i terreni di fondazione presenti lungo il profilo longitudinale in asse del tracciato. Nelle stesse tavole sono riportate la posizione e la colonnina schematica dei sondaggi.

Nel seguito si illustrano i rapporti tra le opere ed i terreni con riferimento ai viadotti, ai cavalcavia, ai sottovia ed ai tratti in trincea; in Tabella 6-1 sono riportate le pk. di riferimento per le singole opere e il tracciato di riferimento (se AP01 o AP02).

*Tabella 6-1 Opere d'arte tracciate AP01 ed AP02.*

OPERA		Tracciato	da [km]	a [km]
<b>VI01</b>	Viadotto	AP01	0+440	0+700
<b>ST01</b>	Sottovia	AP01	0+710	
<b>VI02</b>	Viadotto	AP01	1+159	1+499
<b>CV01</b>	Cavalcavia	AP01	2+025	
<b>VI03</b>	Viadotto	AP01	2+425	2+476
<b>VI04</b>	Viadotto	AP02	0+106	0+246
<b>CV02</b>	Cavalcavia	AP02	0+740	
<b>VI05</b>	Viadotto	AP02	1+996	2+036
<b>VI06</b>	Viadotto	AP02	3+595	3+635

## 6.2 Viadotti

### Viadotto – VI 01 (AP01)

I terreni di fondazione e i loro spessori sono stati desunti dal profilo geologico allegato al presente progetto e da consultazione del sondaggio S03\_DH, ubicato tra la pila 5 e pila 6 del viadotto. Secondo tale ricostruzione, i rapporti che intercorrono tra il viadotto VI 01 e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico e descritti al seguito.

Il piano di posa delle fondazioni delle spalle e pile ricadono interamente nella sabbia (S) fino a profondità di 7-11 m, i pali di fondazione di conseguenza dopo un primo tratto di sabbia si innestano nello strato roccioso del granito (G).

Non risulta presenza di falda dalle prove geognostiche e rilievi di campo.

### Viadotto – VI 02 (AP01)

I terreni di fondazione e i loro spessori sono stati desunti dal profilo geologico allegato al presente progetto e da consultazione del sondaggio S06\_DH, ubicato in corrispondenza della spalla B del viadotto. Secondo tale ricostruzione, i rapporti che intercorrono tra il viadotto VI 02 e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico e descritti al seguito.

Il piano di posa delle fondazioni della spalla A ricade per intero nello strato alterato del granito (S), i relativi pali dopo 6-7 m raggiungono e si innestano nel granito intatto (G)

Il resto degli elementi ricade interamente nello strato roccioso del granito (G).

Non risulta presenza di falda dalle prove geognostiche e rilievi di campo.

### Viadotto – VI 03 (AP01)

I terreni di fondazione e i loro spessori sono stati desunti dal profilo geologico allegato al presente progetto. Secondo tale ricostruzione, i rapporti che intercorrono tra il viadotto VI 03 e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico e descritti al seguito.

Il piano di posa delle fondazioni delle spalle e pile ricadono interamente nella sabbia (S) fino a profondità di 7-8 m, i pali di fondazione di conseguenza dopo un primo tratto di sabbia si innestano nello strato roccioso del granito (G).

Non risulta presenza di falda dalle prove geognostiche e rilievi di campo.

### Viadotto – VI 04 (AP02)

I terreni di fondazione e i loro spessori sono stati desunti dal profilo geologico allegato al presente progetto e da consultazione del sondaggio S10\_DH, ubicato in corrispondenza della spalla A del viadotto. Secondo tale ricostruzione, i rapporti che intercorrono tra il viadotto VI 04 e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico e descritti al seguito.

Il piano di posa delle fondazioni delle spalle e delle pile ricade per intero nello strato alterato del granito (S); i relativi pali, dopo uno strato tra 0,5 e 4 di sabbia, raggiungono e si innestano nel granito (G). Non risulta presenza di falda dalle prove geognostiche e rilievi di campo.

#### Viadotto – VI 05 (AP02)

I terreni di fondazione e i loro spessori sono stati desunti dal profilo geologico allegato al presente progetto e da consultazione del sondaggio S18\_DH, ubicato in corrispondenza della spalla A del viadotto. Secondo tale ricostruzione, i rapporti che intercorrono tra il viadotto VI 05 e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico e descritti al seguito.

Il piano di posa delle fondazioni delle spalle ricade per intero nello strato alterato del granito (S) compresi i relativi pali, qui la formazione rocciosa (G) è presente al di sotto dei 20-25 m dal p.c. Non risulta presenza di falda dalle prove geognostiche e rilievi di campo.

#### Viadotto – VI 06 (AP02)

I terreni di fondazione e i loro spessori sono stati desunti dal profilo geologico allegato al presente progetto e da consultazione del sondaggio S18\_DH, ubicato in corrispondenza della spalla A del viadotto. Secondo tale ricostruzione, i rapporti che intercorrono tra il viadotto VI 05 e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico e descritti al seguito.

Il piano di posa delle fondazioni delle spalle ricade per intero nello strato alterato del granito (S), e come nella maggior parte dei precedenti casi, i relativi pali raggiungono e si innestano nel granito (G) a profondità di 4-6 m dal p.c.

### 6.3 Rilevati

Da come è possibile notare dai paragrafi precedenti e dalla consultazione dei profili geotecnici, allegati al presente progetto, i terreni che interessano le opere del tracciato sono distribuiti in maniera abbastanza uniforme con continuità.

La successione tipica dei terreni di fondazione dei rilevati presenti è rappresentata da un primo strato di spessori variabili tra 3 e 15 m di sabbia S a copertura della formazione di base del granito G. Sporadicamente lungo il tracciato 4 è presente una coltre superficiale di deposito alluvionale ALG, sopra lo strato di sabbia S, con spessori variabili tra 1 e 3 m.

Il rilevato di altezza ( $h=10$ ) e spessore comprimibile terreno di fondazioni ( $H_s=9m$ ) massima è ubicato tra 0+700-0+760 AP01.

#### 6.4 Tratti in trincea

Lungo i tratti di viabilità in trincea, da come è possibile desumere dai profili geotecnici, i terreni di scavo sono principalmente le sabbie S, in alcuni tratti le alluvioni ALG, e, sporadicamente, dove si raggiungono le profondità maggiori, anche il granito G di base.

Lo scavo di profondità massima (h=7m) è ubicato tra 0+700-0+760 AP02.

## 7 QUESTIONI GEOTECNICHE

Le principali questioni di carattere geotecnico connesse con la progettazione delle opere riguardano la scelta del tipo di fondazione delle pile e delle spalle dei viadotti, la scelta del piano di posa dei tratti in rilevato e gli interventi per limitare i cedimenti nel tempo, la stabilità degli scavi a breve e lungo termine.

In relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, ai rapporti tra questi ultimi e le opere ed ai carichi trasmessi dalle strutture, la scelta delle fondazioni delle pile e delle spalle dei viadotti e cavalcavia ricade su fondazioni profonde, costituite da pali di c.a. di diametro  $\phi 300$  mm e di lunghezza 8 m in corrispondenza delle spalle e 9m in corrispondenza delle pile.

Per il dimensionamento delle strutture di fondazione si è fatto riferimento ai rapporti tra le opere e i terreni descritti in un precedente paragrafo. I risultati dei calcoli strutturali e geotecnici, corredati da particolari costruttivi, sono riportati per ciascun viadotto in specifici elaborati.

L'apertura degli scavi provvisionali per raggiungere i piani di posa dei plinti di fondazione e di quelli a lungo termine (trincee) procederanno con pendenza 1/1.

Per quanto riguarda i tratti in rilevato a valle delle analisi effettuate sui campioni e sui pozzetti esplorativi, si prevede, secondo le indicazioni del CSA, il solo scotico dei primi 20 cm di terreno a partire dal piano di campagna nei tratti in rilevato, riportati nella tabella successiva.

Tabella 7-1 – scotico e bonifica.

PROFILO	da [km]	a [km]	scotico [cm]	bonifica [cm]
AP01	0+000	0+106	20	-
AP01	0+246	0+560	20	-
AP01	1+060	1+700	20	-
AP01	1+960	1+996	20	-
AP01	2+036	3+340	20	-
AP02	0+000	0+440	20	-
AP02	0+700	1+160	20	-
AP02	1+640	1+860	20	-
AP02	2+200	2+245	20	-
AP02	2+470	2+518	20	-

## 8 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

### 8.1 Generalità

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle verifiche dei cedimenti dei rilevati in condizioni di esercizio (SLE), dovuti alla deformazione dei terreni di fondazione e delle opere.

Le verifiche dei cedimenti sono finalizzate a valutare l'entità del cedimento totale del nuovo rilevato a fine costruzione e a lungo termine.

I calcoli esposti più avanti mostrano come, anche in assenza di provvedimenti specifici, a causa della natura dei terreni, l'evoluzione dei cedimenti nel tempo sarebbe tale da garantire la funzionalità delle opere.

### 8.2 Modello geotecnico

Come mostra il Profilo Geotecnico, i rilevati poggiano maggiormente su terreni S e sporadicamente sulle alluvioni ALG, che a loro volta ricoprono terreni di natura lapidea (granito G).

Dal punto di vista dei parametri di deformabilità, secondo quanto definito dalla Tabella 5-10, tali terreni hanno un comportamento simile nei confronti dei cedimenti indotti dal sovraccarico dei rilevati. L'altezza massima raggiunta dai rilevati è di circa 10 m con una larghezza sommitale di circa 7,50 m. I tratti di rilevato presi in esame risultano essere i tratti più critici, ovvero caratterizzati dalle condizioni di maggiore altezza del rilevato ( $h = 10$  m) e spessori di strati comprimibili maggiori ( $H_s = 9$  m). Secondo quanto detto sopra il modello geotecnico è seguente:

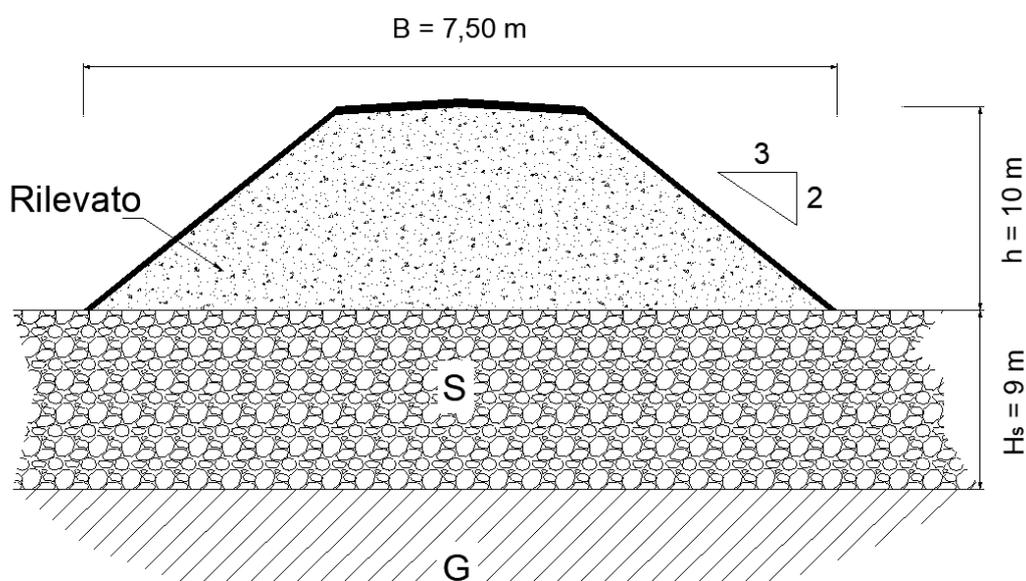


Figura 8-1- modello geotecnico calcolo cedimenti (disegno non in scala).

Lo strato sottostante di granito viene ipotizzato come strato indeformabile e ininfluenza nel calcolo del cedimento totale.

A vantaggio di sicurezza si considererà, inoltre, un rilevato di area maggiore non considerando lo scarico indotto dalle berme, considerando uno schema così costruito:

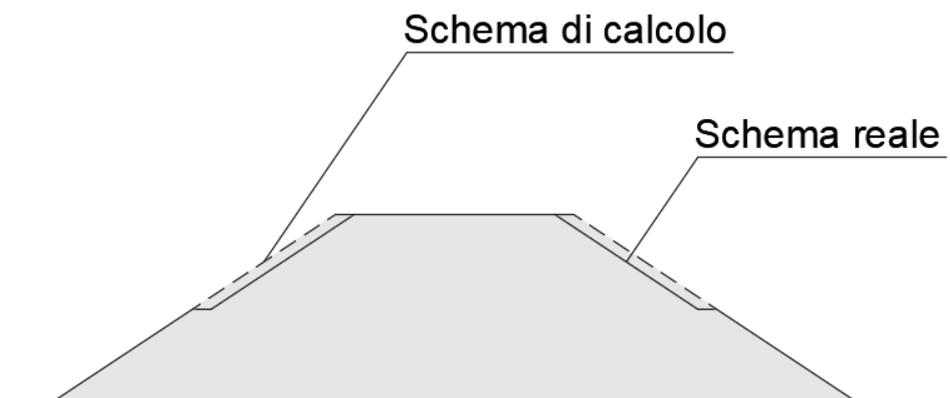


Figura 8-2 - schema di geometrico rilevato calcolo cedimenti.

Dall'esame delle proprietà geotecniche desunte dalle prove in sito e di laboratorio e dallo schema in Figura 8-1 si sono evidenziati i seguenti parametri utili per il calcolo dei cedimenti.

N <sub>30</sub> (med)	B [m]	H <sub>s</sub> [m]
50	37,5	9

Tabella 8-1 Parametri di calcolo analisi dei cedimenti

### 8.3 Calcolo dei cedimenti in terreni a grana grossa (S)

Per i terreni a grana grossa il calcolo dei cedimenti è stato effettuato secondo la formula sperimentale di *Burland & Burbridge* (1985), che hanno studiato il fenomeno sulla base di oltre 200 casi ben documentati.

Tale formula permette di calcolare il cedimento S come segue e noti che siano i valori provenienti dalle prove SPT (mediati lungo tutto lo strato di spessore comprimibile) e le geometrie del modello e le condizioni litostatiche:

$$S = f_s \cdot f_t \cdot f_t \cdot B^{0,7} \cdot I_c \left( q' - \frac{2}{3} \cdot \sigma'_{v0} \right)$$

Con

- q' l'incremento di carico dovuto alla costruzione del rilevato in kPa;
- B larghezza della fondazione in m;
- I<sub>c</sub> indice di compressibilità;

- $f_l$  fattore di spessore, diverso da 1 se  $H < Z_l$ ;
- $f_t$  fattore di tempo, che tiene conto del decorso del tempo;
- $f_s$  fattore di forma quando  $L/B \gg 1$  **pari 1,56 (carichi nastriformi)**.

Per il calcolo di dei parametri sopra elencati gli autori suggeriscono le seguenti relazione:

$$I_c = \frac{1,706}{N^{1,4}}$$

$$f_l = \frac{H_s}{z_l} \left( 2 - \frac{H_s}{z_l} \right) \quad f_s = \left( \frac{1,25 \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0,25} \right)^2 \quad f_t = 1 + R_3 + R_t \cdot \log \left( \frac{t}{3} \right)$$

in cui:

- $Z_l = B^{0,763}$ ;
- $N$  è pari a  $1,25 N_{30,medio}$ , per i depositi sabbiosi ghiaiosi;
- $R_3$  pari a 0,3 (per carichi fissi) o 0,7 (per carichi ciclici o dinamici);
- $R_t$  pari a 0,2 (per carichi fissi) o 0,8 (per carichi ciclici o dinamici);
- $t$  istante temporale in cui calcolare il cedimento.

#### 8.4 Risultati dei calcoli

Applicando la formulazione di Burland & Burbridge per terreni a grana grossa, tenendo conto dei parametri di input in Tabella 8-2, per rilevati di larghezza di fondazione  $B$  di 37,5 m e di altezza  $H$  pari a 10 m su uno spessore dei terreni di fondazione ( $S$ ) di 9 m, si è ottenuto un valore di cedimento immediato (fine costruzione, stimato a 4 anni) di 6,2 mm e di cedimento totale (100 anni) di 7,0 mm. Al seguito si riportano i valori ottenuti in fase di calcolo:

Tabella 8-2 Parametri di calcolo - modello Burland&Burbridge.

$H_s$ [m]	$N$	$R_t$	$R_3$	$q'$ [kPa]	$\sigma'_{v0}$ [kPa]	$I_c$	$f_s$	$Z_l$	$f_l$
9	63	0,2	0,3	114	0	0,005163	0,72431	12,64218	0,917

Tabella 8-3 – Andamento dei cedimenti nel tempo – modello Burland&Burbridge

$t$ [anni]	$f_T$	Cedimento $S$ [cm]
4	1,32	6,2
100	1,60	7

Nuova S.S.125/133bis Olbia-Palau  
Tratta Arzachena Nord - Palau, dallo svincolo di  
Arzachena Nord al km 351 dell'attuale S.S.125 - 1° stralcio Progetto Definitivo



CA366

*Relazione Generale*

I risultati dei cedimenti forniscono valori congruenti con i terreni considerati nell'opera ed accettabili poiché entro i limiti imposti da capitolato (<5cm), inoltre si conferma la compatibilità dei cedimenti indotti dalla realizzazione dei rilevati con la funzionalità di manufatti/edifici esistenti.

## 9 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

### 9.1 Generalità

Le verifiche di stabilità globale hanno riguardato i tratti in rilevato, i tratti in trincea non sostenuti da opere di sostegno e gli scavi provvisionali per raggiungere il piano di posa dei plinti dei viadotti. Le verifiche di stabilità dei rimanenti tratti in trincea sono allegare alle verifiche delle opere di sostegno. È stato esaminato il rilevato di altezza massima individuato in corrispondenza della tratta 0+720-0+740. Questa rappresenta la sezione più critica con altezza  $h = 10$  m (altezza massima tra i rilevati dell'intero tracciato) e poggia sullo strato di terreno S con maggiore spessore fino ad una profondità di 9 m; la falda è assente.

Nei confronti degli scavi provvisionali ed a lungo termine sono state eseguite delle verifiche per scavi a pendenza 1:1. I terreni interessati in questo caso sono il granito arenizzato S, presente sia negli scavi a lungo termine dei tratti in trincea del tracciato sia in quelli provvisionali; in alcuni casi la porzione sommitale di circa 0,5-1 m può essere composta da terreni alluvionali ALG, soprattutto durante gli scavi per le fondazioni delle pile dei viadotti, ma quest'ultima rispetto alla stabilità globale del singolo scavo risulta non influente e si trascura.

La profondità massima di scavo raggiunta è di circa

Le verifiche di stabilità dei tratti in rilevato, trincea e per gli scavi provvisionali sono state eseguite secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2) in condizioni statiche e secondo l'Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R3) in condizione sismiche, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del D.M. 17.01.2018.

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

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

Tabella 9-1: Coefficienti parziali per le azioni (Tabella 6.2.I - D.M. 17/01/2018)

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

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

Tabella 9-2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II - D.M. 17/01/2018)

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

Tabella 9-3: Coefficiente parziale di resistenza  $\gamma R2$  (Tabella 6.8.I - D.M. 17/01/2018)

Le verifiche dei tratti in rilevato e trincea sono state eseguite sia in condizioni statiche, sia in condizioni sismiche.

## 9.2 Azioni sismiche

Per quanto concerne tutte le analisi ed elaborazioni volte allo studio sismico dell'area in oggetto si rimanda alla relazione sismica nella quale sono definite le principali quantità.

L'effetto sismico è stato simulato con il metodo pseudo-statico, in cui gli effetti di un evento sismico in un pendio sono rappresentati da un'azione statica equivalente.

L'analisi consiste nel valutare il coefficiente di sicurezza introducendo le componenti orizzontale e verticale del coefficiente sismico equivalente: la componente orizzontale è generalmente scelta come aliquota della componente orizzontale della massima accelerazione sismica attesa in sito, mentre la componente verticale è invece assunta pari a una frazione di quella orizzontale.

In accordo al D.M. 17.01.2018, le forze di inerzia dovute all'azione sismica sono state calcolate con le seguenti espressioni:

$$F_h = k_h \times W$$

$$F_v = k_v \times W$$

dove:

- $F_h$  ed  $F_v$  sono, rispettivamente, la risultante verticale ed orizzontale delle forze di inerzia applicate al baricentro della massa potenzialmente instabile;
- $W$  è il peso della massa stessa;
- $k_h$  e  $k_v$  sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale, calcolabili tramite le seguenti relazioni

$$k_h = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

con  $a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito,  $g$  accelerazione di gravità e  $\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (valori provenienti dalla relazione sismica).

Considerando per la tipologia di opera in oggetto una classe d'uso IV – Opere Strategiche, una Vita nominale VN pari a 50 anni e con riferimento allo Stato Limite di Vita (S.L.V.), risulta:

$$k_h = 0,014$$

$$k_v = 0,007$$

### 9.3 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Per l'esecuzione delle verifiche sono stati utilizzati i parametri geotecnici derivanti dai risultati delle indagini (v. paragrafo 5.4): I materiali che costituiscono il rilevato sono stati caratterizzati con i valori desunti da sperimentazioni effettuate per altri lavori stradali su campioni di cava (classificazione HRB A1a, A1b, A2-4, A2-5) costipati con tecnica AASHO Standard. Si sottolinea, inoltre, che essendo di fronte a terreni incoerenti, il modello costitutivo impiegato per le stabilità a breve termine coincide con quella a lungo termine.

Tabella 9-4 caratteristiche geotecniche dei terreni.

Sigla	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
S	19,0	8	32
G	26,5	15	40
Rilevato	19,0	0	35

### 9.4 Codice di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state sviluppate utilizzando il codice di calcolo SLOPE/W della Geo-Slope 2023 International Ltd e facendo ricorso al metodo di Morgenstern-Price.

Il programma svolge l'analisi all'equilibrio limite esaminando, per varie superfici di scorrimento, il relativo coefficiente di sicurezza e individuando quella critica, cioè quella con il fattore di sicurezza minore.

All'interno del programma sono implementati diversi metodi per definire le superfici di scivolamento. Nel caso in esame, le analisi sono state eseguite attraverso la modalità chiamata "Entry and exit", in cui vengono fissate dall'operatore le zone di attivazione in testa ed al piede delle potenziali superfici di scorrimento.

### 9.5 Risultati delle verifiche

Gli schemi di calcolo utilizzati per le analisi sono i seguenti:

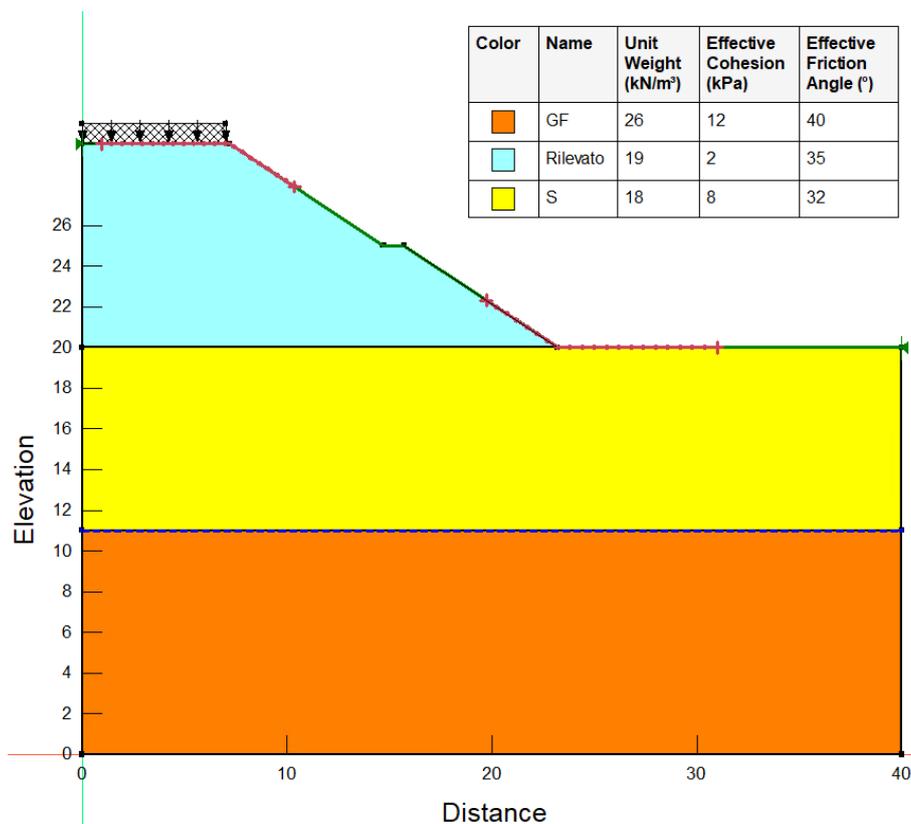


Figura 9-1 – schema di calcolo stabilità rilevato H=10m, Spessore S= 9 m

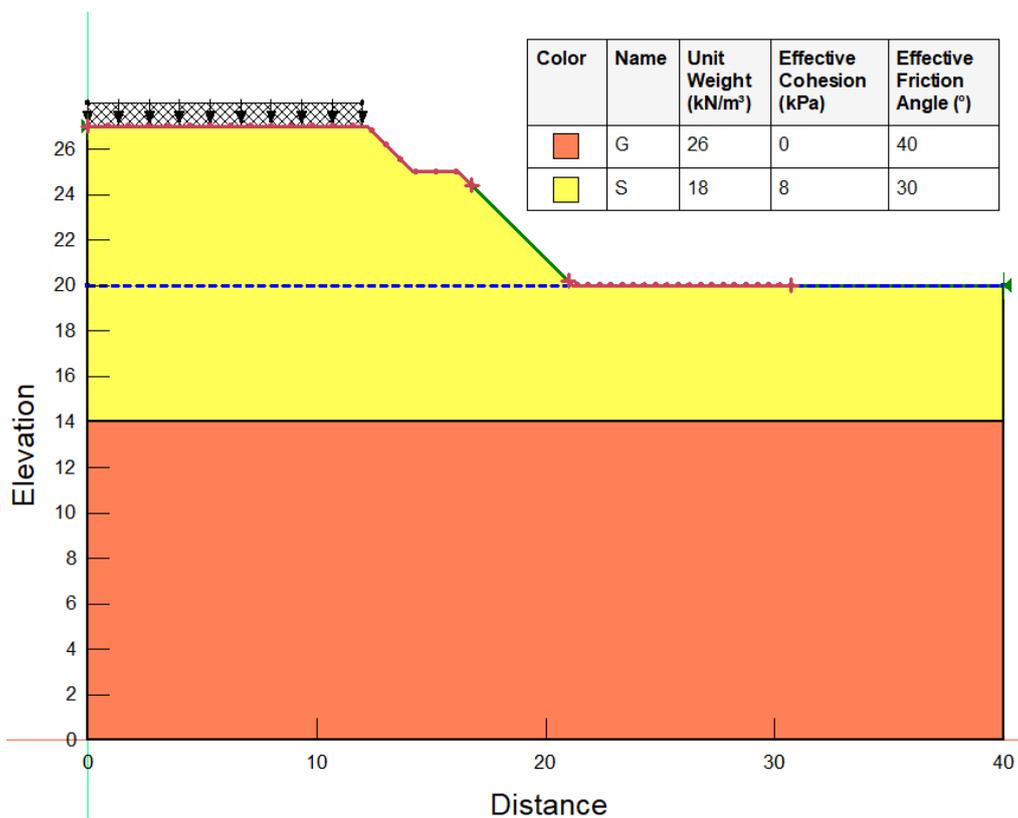


Figura 9-2 – schema di calcolo stabilità scavo in sabbia S - H=10m - 1:1.

Nella Tabella 9-5 si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo  $F_{min}$ , in condizioni statiche e sismiche, ottenuti con i calcoli di stabilità.

**Si noti come il coefficiente  $F_{min}$  risulta sempre maggiore del coefficiente di sicurezza  $F$  imposto dalla norma pari ad 1,1 per le condizioni statiche e 1,2 per le condizioni sismiche. Secondo tali affermazioni si può dire che risultano accettabili i risultati ottenuti per le condizioni in progetto e le opere ad esso connesse.**

Tabella 9-5 Risultati analisi di stabilità.

Opera	$F_{min}$	
	Condizione statica (1,1)	Condizione sismica (1,2)
Rilevato H=10 m	1,10	1,32
Trincee/Scavo provvisorio in S – Scavo 7 m	1,21	1,43

Si mostrano, altresì, le mappe di concentrazione che forniscono informazioni sulla distribuzione del coefficiente di sicurezza lungo le superficie di rottura analizzate e sulla superficie critica di scorrimento (tracciata in bianco).

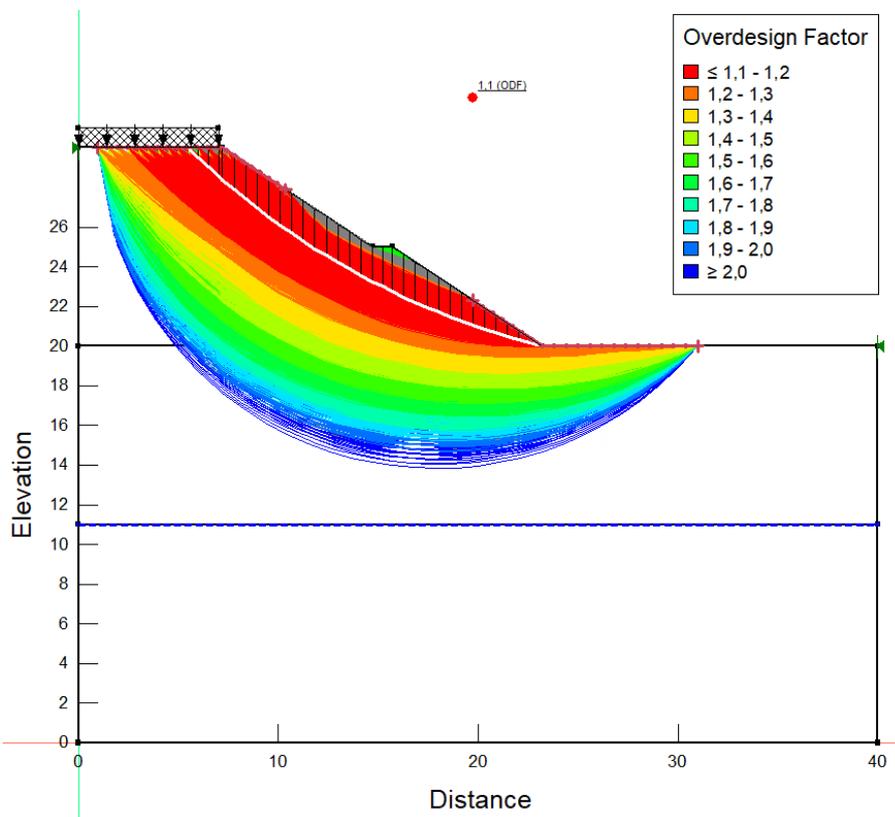


Figura 9-3 – Superficie di scivolamento critica rilevato H=10 m su sabbia S – condizioni statiche.

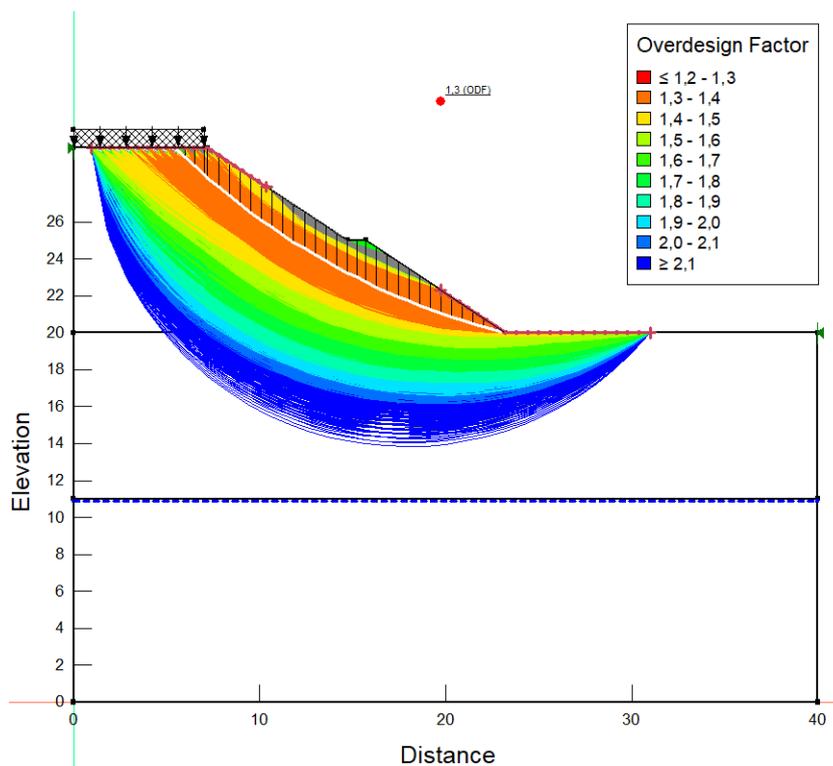


Figura 9-4 – Superficie di scivolamento critica rilevato H=10m su sabbia S – condizioni sismiche.

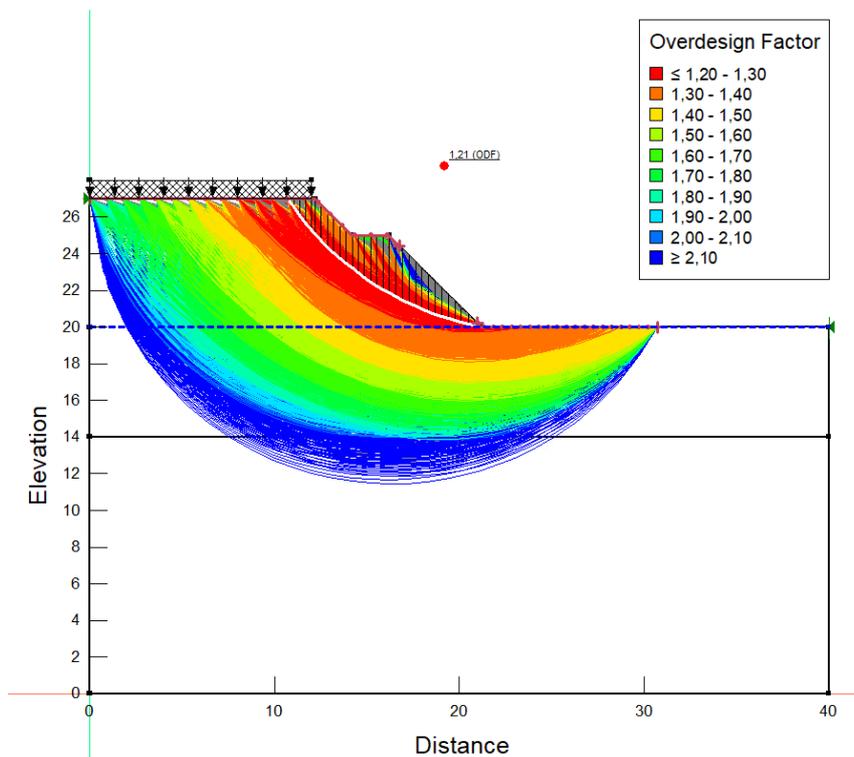


Figura 9-5 – Superficie di scivolamento critica scavo a breve e lungo termine in sabbia H=7m – condizioni statiche.

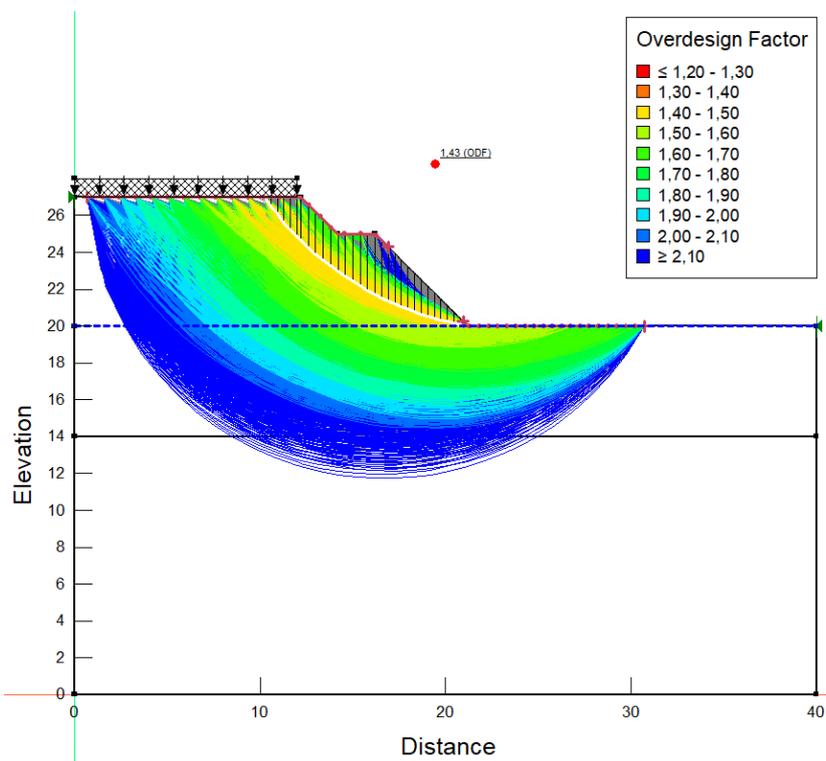


Figura 9-6 – Superficie di scivolamento critica scavo a lungo termine in sabbia H=7m – condizioni sismiche.

Nuova S.S.125/133bis Olbia-Palau  
Tratta Arzachena Nord - Palau, dallo svincolo di  
Arzachena Nord al km 351 dell'attuale S.S.125 - 1° stralcio Progetto Definitivo



CA366

*Relazione Generale*

**APPENDICE A –  
TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITA’**

## Rilevato di altezza massima – condizione statica

# Rilevato\_10m\_statica

Report generated using GeoStudio 2023.1.0. Copyright © 2023 Bentley Systems, Incorporated.

## 10 FILE INFORMATION

File Version: 11.05  
Title: Verifiche di stabilità  
Revision Number: 50  
Date: 20/06/2024  
Time: 15:29:49  
Tool Version: 23.1.0.520  
File Name: Rilevato.gsz  
Last Solved Date: 20/06/2024  
Last Solved Time: 15:29:56

## 11 PROJECT SETTINGS

Unit System: International System of Units (SI)

## 12 ANALYSIS SETTINGS

### 12.1 Rilevato\_10m\_statica

Kind: SLOPE/W  
Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings  
Side Function  
Intercolumn force function option: Half-Sine  
PWP Conditions from: Piezometric Surfaces  
Apply Phreatic Correction: No  
Use Staged Rapid Drawdown: No  
Staged Pseudo Static Analysis Option: Effective Stress Strengths  
Limit State Design Approach: A1+M1  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>  
Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack Option: (none)  
Distribution

ODF Calculation Option: **Constant**

Convergence

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: **1 m**

Minimum Slip Surface Volume: **10 m<sup>3</sup>**

Number of Columns: **30**

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: **100**

Tolerable difference in ODF: **0,01**

Solution Settings

Search Method: **Root Finder**

Tolerable difference between starting and converged ODF: **3**

Maximum iterations to calculate converged lambda: **20**

Max Absolute Lambda: **2**

## 13 MATERIALS

### 13.1 Rilevato

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **19 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **0 kPa**

Effective Friction Angle: **35 °**

Phi-B: **0 °**

Cohesion R: **0 kPa**

Phi R: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: **1**

### 13.2 S

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **18 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **8 kPa**

Effective Friction Angle: **32 °**

Phi-B: **0 °**

Cohesion R: **0 kPa**

Phi R: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: **1**

### 13.3 GF

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **26 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **12 kPa**

Effective Friction Angle: **40 °**

CA366

**Relazione Generale**

Phi-B: 0 °  
Cohesion R: 0 kPa  
Phi R: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Surface: 1

## 14 SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (0,944314; 30) m  
Left-Zone Right Coordinate: (10,35837; 27,89442) m  
Left-Zone Increment: 20  
Right Type: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (19,733846; 22,310769) m  
Right-Zone Right Coordinate: (31; 20) m  
Right-Zone Increment: 20  
Radius Increments: 20

## 15 SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 30) m  
Right Coordinate: (40; 20) m

## 16 PIEZOMETRIC SURFACES

### 16.1 Piezometric Surface 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	10,884799 m
Coordinate 2	40 m	10,884799 m

## 17 SEISMIC COEFFICIENTS

Horz Seismic Coef.: 0,014  
Vert Seismic Coef.: 0,007

## 18 SURCHARGE LOADS

## 18.1 Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m<sup>3</sup>

Direction: Vertical

Mode: Variable

Coordinates

	X	Y
	0 m	31 m
	7 m	31 m

## 19 DESIGN FACTOR SET: A1+M1

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1.3

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.5

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

## 20 GEOMETRY

Name: Rilevato\_10m

### 20.1 Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

### 20.2 Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	7,2 m	30 m
Point 3	14,7 m	25 m
Point 4	15,7 m	25 m
Point 5	23,2 m	20 m

Point 6	40 m	20 m
Point 7	40 m	0 m
Point 8	0 m	30 m
Point 9	0 m	20 m
Point 10	0 m	11 m
Point 11	40 m	11 m
Point 12	0 m	31 m
Point 13	7 m	31 m

### 20.3 Regions

	Material	Points	Area
Region 1	Rilevato	4;3;2;8;9;5	152 m <sup>2</sup>
Region 2	GF	1;7;11;10	440 m <sup>2</sup>
Region 3	S	6;5;9;10;11	360 m <sup>2</sup>

## 21 SLIP RESULTS

Slip Surfaces Analysed: 7169 of 9261 converged

## 22 CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 4.121  
 Overdesign Factor: 1,3  
 Degree of Utilization: 0,8  
 Volume: 27,205471 m<sup>3</sup>  
 Weight: 516,90395 kN  
 Resisting Moment: 14.893,983 kN·m  
 Activating Moment: 11.314,129 kN·m  
 Resisting Force: 331,25424 kN  
 Activating Force: 251,98672 kN  
 Slip Rank: 1 of 9.261 slip surfaces  
 Exit: (23,186553; 20,008964) m  
 Entry: (5,4675224; 30) m  
 Radius: 38,580559 m  
 Center: (32,605943; 57,421991) m

### 22.1 Slip Columns

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 1	5,722935 m	29,75185 3 m	- 185,0292 kPa	21,50772 9 kPa	0 kPa	17,21004 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 2	6,233761 m	29,26448 7 m	- 180,2496 kPa	27,25209 1 kPa	0 kPa	21,03326 6 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 3	6,744587 m	28,79453 5 m	- 175,6407 8 kPa	32,71924 6 kPa	0 kPa	24,67015 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 4	7,100000 m	28,47568 6 m	- 172,5138 3 kPa	17,03615 6 kPa	0 kPa	13,61869 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 5	7,488462 m	28,14013 4 m	- 169,2230 7 kPa	18,75879 7 kPa	0 kPa	14,79126 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 6	8,065385 m	27,65488 3 m	- 164,4642 2 kPa	20,00538 5 kPa	0 kPa	15,62761 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 7	8,642308 m	27,18843 1 m	- 159,8897 2 kPa	21,12541 4 kPa	0 kPa	16,38807 7 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 8	9,219231 m	26,73991 8 m	- 155,4911 5 kPa	22,13182 5 kPa	0 kPa	17,08732 5 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 9	9,796154 m	26,30856 9 m	- 151,2609 1 kPa	23,03300 3 kPa	0 kPa	17,73518 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 10	10,37307 7 m	25,89367 8 m	- 147,1920 7 kPa	23,83605 7 kPa	0 kPa	18,33679 4 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 11	10,95000 0 m	25,49460 3 m	- 143,2783 5 kPa	24,54737 kPa	0 kPa	18,89268 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 12	11,52692 3 m	25,11075 8 m	- 139,5139 8 kPa	25,17071 9 kPa	0 kPa	19,39877 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 13	12,10384 6 m	24,74160 7 m	- 135,8937 1 kPa	25,70420 7 kPa	0 kPa	19,84649 5 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 14	12,68076 9 m	24,38665 5 m	- 132,4127 kPa	26,13757 8 kPa	0 kPa	20,22293 7 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 15	13,25769 2 m	24,04545 0 m	- 129,0665 1 kPa	26,45100 5 kPa	0 kPa	20,51108 2 kPa	0 kPa	Rilevat o

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 16	13,83461 5 m	23,71757 4 m	- 125,8510 3 kPa	26,61573 1 kPa	0 kPa	20,69017 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 17	14,41153 8 m	23,40264 2 m	- 122,7624 9 kPa	26,59622 7 kPa	0 kPa	20,73623 6 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 18	14,95000 0 m	23,11968 7 m	- 119,9875 4 kPa	28,88097 5 kPa	0 kPa	22,39311 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 19	15,45000 0 m	22,86688 8 m	- 117,5083 4 kPa	33,61258 9 kPa	0 kPa	25,76851 3 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 20	15,98794 4 m	22,60533 1 m	- 114,9432 6 kPa	35,66618 8 kPa	0 kPa	27,27007 7 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 21	16,56383 3 m	22,33624 0 m	- 112,3042 8 kPa	34,81700 8 kPa	0 kPa	26,73021 5 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 22	17,13972 2 m	22,07858 0 m	- 109,7774 1 kPa	33,59060 9 kPa	0 kPa	25,91635 6 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 23	17,71561 1 m	21,83210 4 m	- 107,3602 2 kPa	31,96028 1 kPa	0 kPa	24,80598 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 24	18,29149 9 m	21,59658 1 m	- 105,0504 4 kPa	29,91231 9 kPa	0 kPa	23,38587 9 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 25	18,86738 8 m	21,37179 5 m	- 102,8459 7 kPa	27,44836 2 kPa	0 kPa	21,65445 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 26	19,44327 7 m	21,15754 8 m	- 100,7448 5 kPa	24,58667 2 kPa	0 kPa	19,62322 8 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 27	20,01916 5 m	20,95365 3 m	- 98,74524 8 kPa	21,36186 4 kPa	0 kPa	17,31720 2 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 28	20,59505 4 m	20,75993 7 m	- 96,84547 9 kPa	17,82280 2 kPa	0 kPa	14,77381 9 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 29	21,17094 3 m	20,57624 0 m	- 95,04396 6 kPa	14,02871 7 kPa	0 kPa	12,04057 7 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 30	21,74683 2 m	20,40241 4 m	- 93,33924 6 kPa	10,044 kPa	0 kPa	9,171440 2 kPa	0 kPa	Rilevat o

Nuova S.S.125/133bis Olbia-Palau  
 Tratta Arzachena Nord - Palau, dallo svincolo di  
 Arzachena Nord al km 351 dell'attuale S.S.125 - 1° stralcio Progetto Definitivo



CA366

**Relazione Generale**

Colum n 31	22,32272 0 m	20,23831 8 m	- 91,72996 1 kPa	5,932432 4 kPa	0 kPa	6,222459 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 32	22,89860 9 m	20,08382 5 m	- 90,21485 1 kPa	1,751762 5 kPa	0 kPa	3,247164 2 kPa	0 kPa	Rilevat o

## Rilevato di altezza massima – condizione sismica

# Rilevato\_10m\_sismica

Report generated using GeoStudio 2023.1.0. Copyright © 2023 Bentley Systems, Incorporated.

## 23 FILE INFORMATION

File Version: 11.05  
Title: Verifiche di stabilità  
Revision Number: 50  
Date: 20/06/2024  
Time: 15:29:49  
Tool Version: 23.1.0.520  
Last Solved Date: 20/06/2024  
Last Solved Time: 15:29:52

## 24 PROJECT SETTINGS

Unit System: International System of Units (SI)

## 25 ANALYSIS SETTINGS

### 25.1 Rilevato\_10m\_sismica

Kind: SLOPE/W  
Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings  
Side Function  
Intercolumn force function option: Half-Sine  
PWP Conditions from: Piezometric Surfaces  
Apply Phreatic Correction: No  
Use Staged Rapid Drawdown: No  
Limit State Design Approach: A2+M2  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>  
Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack Option: (none)  
Distribution  
ODF Calculation Option: Constant  
Convergence

#### Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 1 m

Minimum Slip Surface Volume: 10 m<sup>3</sup>

Number of Columns: 30

#### Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,01

#### Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

## 26 MATERIALS

### 26.1 Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 0 kPa

Effective Friction Angle: 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: 1

### 26.2 S

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 8 kPa

Effective Friction Angle: 32 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: 1

### 26.3 GF

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 26 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 12 kPa

Effective Friction Angle: 40 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: 1

## 27 SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: *Range*  
 Left-Zone Left Coordinate: (0,944314; 30) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (10,35837; 27,89442) m  
 Left-Zone Increment: 20  
 Right Type: *Range*  
 Right-Zone Left Coordinate: (19,733846; 22,310769) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (31; 20) m  
 Right-Zone Increment: 20  
 Radius Increments: 20

## 28 SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 30) m  
 Right Coordinate: (40; 20) m

## 29 PIEZOMETRIC SURFACES

### 29.1 Piezometric Surface 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	10,974846 m
Coordinate 2	40 m	10,974846 m

## 30 SURCHARGE LOADS

### 30.1 Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: *Vertical*  
 Mode: *Variable*

Coordinates

	X	Y
	0 m	31 m
	7 m	31 m

## 31 DESIGN FACTOR SET: A2+M2

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.3

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1,25

Effective Coefficient of Friction: 1,25

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

## 32 GEOMETRY

Name: Rilevato\_10m

### 32.1 Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

### 32.2 Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	7,2 m	30 m
Point 3	14,7 m	25 m
Point 4	15,7 m	25 m
Point 5	23,2 m	20 m
Point 6	40 m	20 m
Point 7	40 m	0 m
Point 8	0 m	30 m
Point 9	0 m	20 m
Point 10	0 m	11 m
Point 11	40 m	11 m
Point 12	0 m	31 m
Point 13	7 m	31 m

### 32.3 Regions

	Material	Points	Area
--	----------	--------	------

Region 1	Rilevato	4;3;2;8;9;5	152 m <sup>2</sup>
Region 2	GF	1;7;11;10	440 m <sup>2</sup>
Region 3	S	6;5;9;10;11	360 m <sup>2</sup>

## 33 SLIP RESULTS

Slip Surfaces Analysed: 7897 of 9261 converged

## 34 CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 4.121

Overdesign Factor: 1,1

Degree of Utilization: 0,9

Volume: 27,205471 m<sup>3</sup>

Weight: 516,90395 kN

Resisting Moment: 11.809,893 kN·m

Activating Moment: 10.849,657 kN·m

Resisting Force: 262,80031 kN

Activating Force: 241,46404 kN

Slip Rank: 1 of 9.261 slip surfaces

Exit: (23,186553; 20,008964) m

Entry: (5,4675224; 30) m

Radius: 38,580559 m

Center: (32,605943; 57,421991) m

### 34.1 Slip Columns

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Column 1	5,72293 5 m	29,7518 53 m	- 184,146 11 kPa	19,2139 11 kPa	10,7629 8 kPa	16,31678 kPa	0 kPa	Rilevato
Column 2	6,23376 1 m	29,2644 87 m	- 179,366 51 kPa	24,8852 67 kPa	13,9398 81 kPa	4,335684 1 kPa	0 kPa	Rilevato
Column 3	6,74458 7 m	28,7945 35 m	- 174,757 69 kPa	30,2921 7 kPa	16,9686 45 kPa	5,216191 kPa	0 kPa	Rilevato
Column 4	7,10000 0 m	28,4756 86 m	- 171,630 74 kPa	17,0477 65 kPa	9,54957 88 kPa	5,570022 4 kPa	0 kPa	Rilevato
Column 5	7,48846 2 m	28,1401 34 m	- 168,339 98 kPa	18,7647 32 kPa	10,5113 65 kPa	5,861113 kPa	0 kPa	Rilevato

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 6	8,06538 5 m	27,6548 83 m	- 163,581 13 kPa	20,0064 68 kPa	11,2069 44 kPa	6,089099 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 7	8,64230 8 m	27,1884 31 m	- 159,006 63 kPa	21,1319 39 kPa	11,8373 95 kPa	6,253774 5 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 8	9,21923 1 m	26,7399 18 m	- 154,608 06 kPa	22,1570 24 kPa	12,4116 12 kPa	6,355096 3 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 9	9,79615 4 m	26,3085 69 m	- 150,377 82 kPa	23,0903 21 kPa	12,9344 14 kPa	6,393181 8 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 10	10,3730 77 m	25,8936 78 m	- 146,308 98 kPa	23,9345 54 kPa	13,4073 24 kPa	6,368296 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 11	10,9500 00 m	25,4946 03 m	- 142,395 26 kPa	24,6875 2 kPa	13,8291 1 kPa	6,280831 7 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 12	11,5269 23 m	25,1107 58 m	- 138,630 89 kPa	25,3426 12 kPa	14,1960 71 kPa	6,131282 8 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 13	12,1038 46 m	24,7416 07 m	- 135,010 62 kPa	25,8889 86 kPa	14,5021 3 kPa	5,920212 4 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 14	12,6807 69 m	24,3866 55 m	- 131,529 61 kPa	26,3115 33 kPa	14,7388 27 kPa	5,648216 9 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 15	13,2576 92 m	24,0454 50 m	- 128,183 41 kPa	26,5908 47 kPa	14,8952 89 kPa	5,315889 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 16	13,8346 15 m	23,7175 74 m	- 124,967 94 kPa	26,7033 58 kPa	14,9583 14 kPa	6,587510 1 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 17	14,4115 38 m	23,4026 42 m	- 121,879 4 kPa	26,6218 17 kPa	14,9126 38 kPa	9,486702 8 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 18	14,9500 00 m	23,1196 87 m	- 119,104 45 kPa	28,8523 58 kPa	16,1621 11 kPa	10,68524 9 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 19	15,4500 00 m	22,8668 88 m	- 116,625 25 kPa	33,5359 33 kPa	18,7856 9 kPa	10,16111 3 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 20	15,9879 44 m	22,6053 31 m	- 114,060 17 kPa	35,5386 97 kPa	19,9075 71 kPa	9,580310 2 kPa	0 kPa	Rilevat o

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 21	16,5638 33 m	22,3362 40 m	- 111,421 19 kPa	34,6524 99 kPa	19,4111 53 kPa	8,943072 3 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 22	17,1397 22 m	22,0785 80 m	- 108,894 32 kPa	33,4136 36 kPa	18,7171 84 kPa	8,249415 9 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 23	17,7156 11 m	21,8321 04 m	- 106,477 13 kPa	31,7968 93 kPa	17,8115 39 kPa	7,499134 3 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 24	18,2914 99 m	21,5965 81 m	- 104,167 35 kPa	29,7868 07 kPa	16,6855 57 kPa	6,691798 4 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 25	18,8673 88 m	21,3717 95 m	- 101,962 88 kPa	27,3798 14 kPa	15,3372 42 kPa	5,826766 9 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 26	19,4432 77 m	21,1575 48 m	- 99,8617 56 kPa	24,5856 71 kPa	13,7720 58 kPa	4,903205 3 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 27	20,0191 65 m	20,9536 53 m	- 97,8621 57 kPa	21,4279 21 kPa	12,0031 93 kPa	3,920113 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 28	20,5950 54 m	20,7599 37 m	- 95,9623 88 kPa	17,9432 68 kPa	10,0512 09 kPa	2,876359 4 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 29	21,1709 43 m	20,5762 40 m	- 94,1608 75 kPa	14,1798 17 kPa	7,94305 16 kPa	1,770726 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 30	21,7468 32 m	20,4024 14 m	- 92,4561 55 kPa	10,1942 43 kPa	5,71046 85 kPa	0,601955 83 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 31	22,3227 20 m	20,2383 18 m	- 90,8468 7 kPa	6,04808 01 kPa	3,38792 9 kPa	16,31678 kPa	0 kPa	Rilevat o
Colum n 32	22,8986 09 m	20,0838 25 m	- 89,3317 61 kPa	1,80340 98 kPa	1,01020 89 kPa	4,335684 1 kPa	0 kPa	Rilevat o

## Scavi/Trincee provvisionali – condizione statica

# S-1:1-7\_statica

Report generated using GeoStudio 2023.1.0. Copyright © 2023 Bentley Systems, Incorporated.

## 35 FILE INFORMATION

File Version: 11.05  
Title: Verifiche di stabilità  
Revision Number: 41  
Date: 20/06/2024  
Time: 15:44:47  
Tool Version: 23.1.0.520  
Last Solved Date: 20/06/2024  
Last Solved Time: 15:44:53

## 36 PROJECT SETTINGS

Unit System: International System of Units (SI)

## 37 ANALYSIS SETTINGS

### 37.1 S-1:1-7\_statica

Kind: [SLOPE/W](#)  
Analysis Type: [Morgenstern-Price](#)  
Settings  
Side Function  
Intercolumn force function option: [Half-Sine](#)  
PWP Conditions from: [Piezometric Surfaces](#)  
Apply Phreatic Correction: [No](#)  
Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)  
Limit State Design Approach: [A2+M2](#)  
Unit Weight of Water: [9,807 kN/m<sup>3</sup>](#)  
Slip Surface  
Direction of movement: [Left to Right](#)  
Use Passive Mode: [No](#)  
Slip Surface Option: [Entry and Exit](#)  
Critical slip surfaces saved: [1](#)  
Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)  
Tension Crack Option: [\(none\)](#)  
Distribution

ODF Calculation Option: **Constant**

Convergence

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: **0,3 m**

Minimum Slip Surface Volume: **5 m<sup>3</sup>**

Number of Columns: **30**

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: **100**

Tolerable difference in ODF: **0,01**

Solution Settings

Search Method: **Root Finder**

Tolerable difference between starting and converged ODF: **3**

Maximum iterations to calculate converged lambda: **20**

Max Absolute Lambda: **2**

## 38 MATERIALS

### 38.1 S

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **18 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **8 kPa**

Effective Friction Angle: **32 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: **1**

### 38.2 G

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **26 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **12 kPa**

Effective Friction Angle: **40 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: **1**

## 39 SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: **Range**

Left-Zone Left Coordinate: **(0; 27) m**

Left-Zone Right Coordinate: **(16,770833; 24,429167) m**

Left-Zone Increment: **20**

Right Type: **Range**

Right-Zone Left Coordinate: **(20,979167; 20,220833) m**

Right-Zone Right Coordinate: **(30,736667; 20) m**

CA366

**Relazione Generale**

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 20

## 40 SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 27) m

Right Coordinate: (40; 20) m

## 41 PIEZOMETRIC SURFACES

### 41.1 Piezometric Surface 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	20 m
Coordinate 2	40 m	20 m

## 42 SURCHARGE LOADS

### 42.1 Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m<sup>3</sup>

Direction: Vertical

Mode: Permanent

Coordinates

	X	Y
	0 m	28 m
	12 m	28 m

## 43 DESIGN FACTOR SET: A2+M2

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.3

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1,25

Effective Coefficient of Friction: 1,25

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

## 44 GEOMETRY

Name: Scavo\_(1:1,7m)

### 44.1 Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

### 44.2 Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	21,2 m	20 m
Point 3	0 m	20 m
Point 4	40 m	20 m
Point 5	40 m	0 m
Point 6	0 m	14 m
Point 7	40 m	14 m
Point 8	16,2 m	25 m
Point 9	14,2 m	25 m
Point 10	12,2 m	27 m
Point 11	0 m	27 m
Point 12	0 m	28 m
Point 13	12 m	28 m

### 44.3 Regions

	Material	Points	Area
Region 1	G	1;5;7;6	560 m <sup>2</sup>
Region 2	S	4;2;8;9;10;11;3;6;7	359,9 m <sup>2</sup>

## 45 SLIP RESULTS

Slip Surfaces Analysed: 6058 of 9261 converged

## 46 CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 5.575  
 Overdesign Factor: 1,21  
 Degree of Utilization: 0,83  
 Volume: 18,976858 m<sup>3</sup>  
 Weight: 341,58344 kN  
 Resisting Moment: 3.919,3746 kN·m  
 Activating Moment: 3.233,7723 kN·m  
 Resisting Force: 198,89366 kN  
 Activating Force: 164,19924 kN  
 Slip Rank: 1 of 9.261 slip surfaces  
 Exit: (21,190523; 20,009477) m  
 Entry: (10,701424; 27) m  
 Radius: 16,270623 m  
 Center: (24,26486; 35,987012) m

### 46.1 Slip Columns

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Column 1	10,8637 46 m	26,7641 41 m	- 66,33593 3 kPa	10,1239 2 kPa	5,060902 1 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 2	11,1883 90 m	26,3089 62 m	- 61,87198 6 kPa	15,0862 51 kPa	7,541548 9 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 3	11,5130 34 m	25,8847 46 m	- 57,71170 3 kPa	19,4963 12 kPa	9,746118 3 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 4	11,8376 78 m	25,4877 23 m	- 53,81810 3 kPa	23,5463 18 kPa	11,77069 8 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 5	12,1000 00 m	25,1830 00 m	-50,82968 kPa	15,0743 45 kPa	7,535596 8 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 6	12,3666 67 m	24,8916 77 m	- 47,97268 1 kPa	16,6342 78 kPa	8,315400 3 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 7	12,7000 00 m	24,5445 02 m	- 44,56793 1 kPa	17,1634 05 kPa	8,579908 6 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Column 8	13,0333 33 m	24,2170 12 m	- 41,35623 2 kPa	17,5859 11 kPa	8,791117 7 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 9	13,3666 67 m	23,9076 01 m	- 38,32184 4 kPa	17,9173 04 kPa	8,956779 5 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 10	13,7000 00 m	23,6149 11 m	- 35,45143 6 kPa	18,1662 55 kPa	9,081229 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 11	14,0333 33 m	23,3377 79 m	- 32,73360 3 kPa	18,3339 67 kPa	9,165067 1 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 12	14,3666 67 m	23,0752 02 m	- 30,15850 5 kPa	20,2956 15 kPa	10,14568 6 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 13	14,7000 00 m	22,8263 06 m	- 27,71758 6 kPa	24,1583 77 kPa	12,07666 4 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 14	15,0333 33 m	22,5903 29 m	- 25,40335 5 kPa	28,0926 92 kPa	14,04341 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 15	15,3666 67 m	22,3665 97 m	- 23,20922 1 kPa	32,1216 15 kPa	16,05745 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 16	15,7000 00 m	22,1545 17 m	- 21,12934 9 kPa	36,2564 45 kPa	18,12443 3 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 17	16,0333 33 m	21,9535 59 m	- 19,15855 3 kPa	40,4958 07 kPa	20,24367 1 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 18	16,3782 33 m	21,7570 17 m	- 17,23106 5 kPa	42,5965 25 kPa	21,29381 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 19	16,7346 99 m	21,5651 74 m	-15,34966 kPa	42,2983 81 kPa	21,14476 9 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 20	17,0911 65 m	21,3845 52 m	- 13,57830 3 kPa	41,6736 34 kPa	20,83246 1 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 21	17,4476 31 m	21,2147 40 m	- 11,91295 5 kPa	40,6441 55 kPa	20,31782 9 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 22	17,8040 97 m	21,0553 68 m	- 10,34999 5 kPa	39,1358 08 kPa	19,56381 4 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 23	18,1605 63 m	20,9061 05 m	- 8,886173 9 kPa	37,0850 43 kPa	18,53864 5 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 24	18,5170 28 m	20,7666 54 m	-7,518574 kPa	34,4464 4 kPa	17,21962 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 25	18,8734 94 m	20,6367 46 m	- 6,244570 5 kPa	31,2001 15 kPa	15,59679 6 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 26	19,2299 60 m	20,5161 42 m	- 5,061803 9 kPa	27,3575 93 kPa	13,67593 7 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 27	19,5864 26 m	20,4046 25 m	- 3,968154 5 kPa	22,9647 83 kPa	11,47999 1 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 28	19,9428 92 m	20,3020 01 m	- 2,961720 3 kPa	18,1010 16 kPa	9,048616 2 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 29	20,2993 58 m	20,2080 96 m	- 2,040798 4 kPa	12,8737 45 kPa	6,435527 2 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 30	20,6558 24 m	20,1227 56 m	- 1,203869 5 kPa	7,40929 49 kPa	3,703873 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S
Colum n 31	21,0122 90 m	20,0458 43 m	- 0,449583 89 kPa	1,84085 33 kPa	0,920234 22 kPa	6,4 kPa	0 kPa	S

## Scavi/Trincee provvisionali – condizione sismica

# S-1:1-7\_sismica

Report generated using GeoStudio 2023.1.0. Copyright © 2023 Bentley Systems, Incorporated.

## 47 FILE INFORMATION

File Version: 11.05  
Title: Verifiche di stabilità  
Last Edited By: Salvator Giuliano Narsete  
Revision Number: 41  
Date: 20/06/2024  
Time: 15:44:47  
Tool Version: 23.1.0.520  
File Name: Trincee-Scavi\_Provv.gsz  
Directory: \\dc1\Documenti\Lavori\AQ27\_CA366\_ARZACHENA\Lavorazione\02B\_GEOTECNICA\04\_verifiche di stabilità\Trincee\_scavi\_1su1\  
Last Solved Date: 20/06/2024  
Last Solved Time: 15:44:58

## 48 PROJECT SETTINGS

Unit System: International System of Units (SI)

## 49 ANALYSIS SETTINGS

### 49.1 S-1:1-7\_sismica

Kind: SLOPE/W  
Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings  
Side Function  
Intercolumn force function option: Half-Sine  
PWP Conditions from: Piezometric Surfaces  
Apply Phreatic Correction: No  
Use Staged Rapid Drawdown: No  
Staged Pseudo Static Analysis Option: Effective Stress Strengths  
Limit State Design Approach: A1+M1  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>  
Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: **No**  
Slip Surface Option: **Entry and Exit**  
Critical slip surfaces saved: **1**  
Optimize Critical Slip Surface Location: **No**  
Tension Crack Option: **(none)**

Distribution

ODF Calculation Option: **Constant**

Convergence

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: **0,3 m**

Minimum Slip Surface Volume: **5 m<sup>3</sup>**

Number of Columns: **30**

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: **100**

Tolerable difference in ODF: **0,01**

Solution Settings

Search Method: **Root Finder**

Tolerable difference between starting and converged ODF: **3**

Maximum iterations to calculate converged lambda: **20**

Max Absolute Lambda: **2**

## 50 MATERIALS

### 50.1 S

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **18 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **8 kPa**

Effective Friction Angle: **32 °**

Phi-B: **0 °**

Cohesion R: **0 kPa**

Phi R: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: **1**

### 50.2 G

Slope Stability Material Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **26 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **12 kPa**

Effective Friction Angle: **40 °**

Phi-B: **0 °**

Cohesion R: **0 kPa**

Phi R: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Surface: **1**

## 51 SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: *Range*

Left-Zone Left Coordinate: (0,680556; 27) m

Left-Zone Right Coordinate: (16,893287; 24,306713) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: *Range*

Right-Zone Left Coordinate: (20,95; 20,25) m

Right-Zone Right Coordinate: (30,736667; 20) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 20

## 52 SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 27) m

Right Coordinate: (40; 20) m

## 53 PIEZOMETRIC SURFACES

### 53.1 Piezometric Surface 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	20 m
Coordinate 2	40 m	20 m

## 54 SEISMIC COEFFICIENTS

Horz Seismic Coef.: 0,02

Vert Seismic Coef.: 0,01

## 55 SURCHARGE LOADS

### 55.1 Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m<sup>3</sup>

Direction: *Vertical*

Mode: *Permanent*

## Coordinates

	X	Y
	0 m	28 m
	12 m	28 m

## 56 DESIGN FACTOR SET: A1+M1

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1.3

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.5

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

## 57 GEOMETRY

Name: Scavo\_(1:1,7m)

### 57.1 Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

### 57.2 Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	21,2 m	20 m
Point 3	0 m	20 m
Point 4	40 m	20 m
Point 5	40 m	0 m
Point 6	0 m	14 m
Point 7	40 m	14 m
Point 8	16,2 m	25 m
Point 9	14,2 m	25 m
Point 10	12,2 m	27 m

Point 11	0 m	27 m
Point 12	0 m	28 m
Point 13	12 m	28 m

### 57.3 Regions

	Material	Points	Area
Region 1	G	1;5;7;6	560 m <sup>2</sup>
Region 2	S	4;2;8;9;10;11;3;6;7	359,9 m <sup>2</sup>

## 58 SLIP RESULTS

Slip Surfaces Analysed: 4927 of 9261 converged

## 59 CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 4.880  
 Overdesign Factor: 1,43  
 Degree of Utilization: 0,70  
 Volume: 21,167912 m<sup>3</sup>  
 Weight: 381,02241 kN  
 Resisting Moment: 5.739,0177 kN·m  
 Activating Moment: 4.015,7772 kN·m  
 Resisting Force: 281,23787 kN  
 Activating Force: 197,46271 kN  
 Slip Rank: 1 of 9.261 slip surfaces  
 Exit: (21,171087; 20,028913) m  
 Entry: (10,211136; 27) m  
 Radius: 16,96535 m  
 Center: (24,102635; 36,739063) m

### 59.1 Slip Columns

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Column 1	10,39002 2 m	26,75432 5 m	- 66,23966 6 kPa	13,76835 4 kPa	0 kPa	16,84226 8 kPa	0 kPa	S
Column 2	10,74779 5 m	26,28023 1 m	- 61,59022 3 kPa	19,16675 kPa	0 kPa	20,01386 8 kPa	0 kPa	S
Column 3	11,10556 8 m	25,83851 9 m	-57,25836 kPa	24,01516 kPa	0 kPa	22,87416 1 kPa	0 kPa	S

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 4	11,46334 1 m	25,42538 1 m	- 53,20671 3 kPa	28,49788 9 kPa	0 kPa	25,53999 9 kPa	0 kPa	S
Colum n 5	11,82111 4 m	25,03777 8 m	- 49,40548 7 kPa	32,76232 kPa	0 kPa	28,09522 4 kPa	0 kPa	S
Colum n 6	12,10000 0 m	24,74990 8 m	- 46,58235 3 kPa	20,23760 1 kPa	0 kPa	20,38790 4 kPa	0 kPa	S
Colum n 7	12,40000 0 m	24,45919 7 m	- 43,73134 8 kPa	21,61826 6 kPa	0 kPa	21,25860 4 kPa	0 kPa	S
Colum n 8	12,80000 0 m	24,08988 9 m	- 40,10954 3 kPa	21,92801 1 kPa	0 kPa	21,48393 8 kPa	0 kPa	S
Colum n 9	13,20000 0 m	23,74339 1 m	- 36,71143 5 kPa	22,15765 7 kPa	0 kPa	21,65971 1 kPa	0 kPa	S
Colum n 10	13,60000 0 m	23,41791 9 m	- 33,51952 8 kPa	22,30801 6 kPa	0 kPa	21,78557 9 kPa	0 kPa	S
Colum n 11	14,00000 0 m	23,11196 2 m	- 30,51901 4 kPa	22,36475 1 kPa	0 kPa	21,85324 1 kPa	0 kPa	S
Colum n 12	14,40000 0 m	22,82423 2 m	- 27,69724 4 kPa	24,73051 9 kPa	0 kPa	23,33347 2 kPa	0 kPa	S
Colum n 13	14,80000 0 m	22,55361 7 m	- 25,04332 4 kPa	29,56077 6 kPa	0 kPa	26,33115 9 kPa	0 kPa	S
Colum n 14	15,20000 0 m	22,29915 4 m	- 22,54780 1 kPa	34,48149 7 kPa	0 kPa	29,40257 5 kPa	0 kPa	S
Colum n 15	15,60000 0 m	22,06000 1 m	- 20,20242 7 kPa	39,48980 9 kPa	0 kPa	32,55075 3 kPa	0 kPa	S
Colum n 16	16,00000 0 m	21,83542 0 m	- 17,99996 3 kPa	44,56311 8 kPa	0 kPa	35,76364 kPa	0 kPa	S
Colum n 17	16,37753 9 m	21,63587 7 m	- 16,04304 9 kPa	46,87277 7 kPa	0 kPa	37,28437 kPa	0 kPa	S
Colum n 18	16,73261 6 m	21,45943 4 m	- 14,31266 8 kPa	46,14020 7 kPa	0 kPa	36,92294 7 kPa	0 kPa	S

CA366

**Relazione Generale**

Colum n 19	17,08769 4 m	21,29316 8 m	- 12,68209 7 kPa	45,02709 2 kPa	0 kPa	36,32167 9 kPa	0 kPa	S
Colum n 20	17,44277 2 m	21,13675 4 m	- 11,14814 5 kPa	43,47232 4 kPa	0 kPa	35,43672 6 kPa	0 kPa	S
Colum n 21	17,79784 9 m	20,98989 8 m	-9,707929 kPa	41,42371 6 kPa	0 kPa	34,22956 6 kPa	0 kPa	S
Colum n 22	18,15292 7 m	20,85233 5 m	-8,358849 kPa	38,84348 7 kPa	0 kPa	32,67092 4 kPa	0 kPa	S
Colum n 23	18,50800 5 m	20,72382 5 m	- 7,098554 8 kPa	35,71357 1 kPa	0 kPa	30,74471 4 kPa	0 kPa	S
Colum n 24	18,86308 2 m	20,60415 2 m	- 5,924923 4 kPa	32,03981 1 kPa	0 kPa	28,45137 kPa	0 kPa	S
Colum n 25	19,21816 0 m	20,49312 1 m	- 4,836038 8 kPa	27,85410 1 kPa	0 kPa	25,80992 kPa	0 kPa	S
Colum n 26	19,57323 8 m	20,39055 5 m	- 3,830173 1 kPa	23,21374 8 kPa	0 kPa	22,85825 kPa	0 kPa	S
Colum n 27	19,92831 5 m	20,29629 6 m	- 2,905771 9 kPa	18,19775 kPa	0 kPa	19,65127 3 kPa	0 kPa	S
Colum n 28	20,28339 3 m	20,21020 1 m	- 2,061440 9 kPa	12,90029 9 kPa	0 kPa	16,257 kPa	0 kPa	S
Colum n 29	20,63847 1 m	20,13214 4 m	-1,295934 kPa	7,422385 6 kPa	0 kPa	12,75094 1 kPa	0 kPa	S
Colum n 30	20,99354 8 m	20,06201 1 m	- 0,608143 82 kPa	1,862843 4 kPa	0 kPa	9,209513 5 kPa	0 kPa	S