

Ingegneria

Architettura

Energia e Servizi

**Regione Piemonte**

**Provincia di Cuneo**

**CONSORZIO D'IRRIGAZIONE BEALERA MAESTRA - DESTRA STURA**  
con sede in Via Roma, 101 - Bene Vagienna (CN)

**PSRN 2014-2020 - TIPOLOGIA DI OPERAZIONE 4.3.1**  
**INVESTIMENTI IN INFRASTRUTTURE IRRIGUE**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**1° LOTTO FUNZIONALE** DELLE OPERE DI RAZIONALIZZAZIONE, RIORGANIZZAZIONE E RISTRUTTURAZIONE DEGLI IMPIANTI IRRIGUI - COMPENSORI DI CASTELLETTO STURA E MONTANERA

**OGGETTO**

**RELAZIONE GEOTECNICA - SISMICA**

PROGETTAZIONE SPECIALISTICA:


PROGETTAZIONE GENERALE:







**ELABORATO:**  
**02.02**

**DATA 1° LOTTO:**  
giugno 2017

## INDICE

1.	PREMESSA .....	2
2.	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO ED AMMINISTRATIVO DEL SITO .....	3
3.	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	5
3.1.	Generalità .....	5
3.2.	Tattamento ed interpretazione stratigrafica dei dati derivanti dalle prove .....	6
3.3.	Correlazione $N_{30}$ - $N_{SPT}$ .....	8
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	9
4.1.	Definizione delle Unità Litostratigrafiche .....	9
4.2.	Unità litostratigrafica I – Termini di copertura e riporto .....	9
4.2.1.	Densità relativa .....	10
4.2.2.	Parametri di resistenza .....	11
4.2.3.	Parametri di deformazione .....	13
4.2.4.	Valori assunti per i parametri geotecnici fondamentali – Unità I .....	13
4.3.	Unità litologica II - Depositi fluviali pleistocenici (ghiaie con sabbie) .....	13
4.3.1.	Densità relativa .....	13
4.3.2.	Parametri di resistenza .....	15
4.3.3.	Parametri di deformazione .....	16
4.3.4.	Valori assunti per i parametri geotecnici fondamentali – Unità II .....	16
5.	PROFILI STRATIGRAFICI DI PROGETTO .....	17
5.4.	Vasca di carico .....	17
5.5.	Stazione di pompaggio n. 1 di Castelletto Stura – SP1.cas .....	18
5.9.	Stazione di pompaggio n. 1 di Montanera – SP1.mon .....	18
5.11.	Condotta dorsale e condotte irrigue di distribuzione – tratto ricompreso nel 1° lotto funzionale .....	19
6.	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	20
7.	STABILITA' FRONTI DI SCAVO TEMPORANEI – POSA CONDOTTE .....	22
7.1.	Criteri di verifica .....	22
7.1.1.	<i>Valori caratteristici e valori di calcolo</i> .....	23
7.2.	Metodo dell'equilibrio limite globale (LEM) .....	24
7.3.	Definizione delle condizioni di progetto .....	25
7.3.1.	<i>Sezioni tipologiche di verifica</i> .....	25
7.3.2.	<i>Profilo geotecnico di verifica</i> .....	26
7.3.3.	<i>Sovraccarichi</i> .....	27
7.4.	Risultanze delle verifiche .....	28
8.	ALLEGATI STRATIGRAFICI .....	30
8.1.	C1-P1 .....	30
8.2.	C2-P2 (SP.tri) .....	31
8.3.	C3-P3 .....	32
8.4.	Vasca di carico – P4 .....	33
8.5.	SP1.mor – P7 .....	34
8.6.	SP2.mor – P8 .....	34
8.7.	SP1.mon – P9 .....	35
8.8.	SP.alb – P11 .....	36
9.	ALLEGATI – VERIFICHE DI STABILITA' .....	37
Sezione Tipo posa Condotta in Acciaio DN 2200 .....	39	
Sezione Tipo posa Condotta in Acciaio DN 500 .....	43	
Sezione Tipo posa Condotta in Acciaio DN 400 - 250 .....	47	

## 1. PREMESSA

La presente relazione è redatta nell'ambito del progetto di "Razionalizzazione, riorganizzazione e ristrutturazione degli impianti irrigui con contestuale sfruttamento idroelettrico" proposto dal *Consorzio Irriguo di Il Grado Bealera Maestra* (Bene Vagienna, CN) al fine di colmare il deficit irriguo che affligge il comprensorio; nello specifico, fa riferimento al progetto esecutivo dello stralcio relativo al 1° lotto funzionale del suddetto progetto, inerente i comprensori di Castelletto Stura e Montanera.

Il progetto intende promuovere la riorganizzazione e la modernizzazione dei propri impianti di distribuzione dell'acqua, sostituendo il secolare sistema di irrigazione a scorrimento con i nuovi sistemi ad aspersione, con l'obiettivo di ottimizzare l'uso della risorsa idrica e di rendere più razionale ed efficiente la pratica dell'irrigazione.

Nei capitoli che seguono sono illustrati i risultati degli accertamenti geognostici eseguiti in corrispondenza dei principali manufatti in progetto, l'andamento litostratigrafico locale e la caratterizzazione geotecnica dei terreni che andranno ad ospitarli.

## 2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO ED AMMINISTRATIVO DEL SITO

L'ambito territoriale considerato per le finalità del presente studio ricade all'interno del comprensorio agricolo denominato *Consorzio Irriguo di Il Grado Bealera Maestra* che si estende in destra idrografica del T. Stura di Demonte, nel territorio compreso fra quest'ultimo ed il T. Pesio.

Da un punto di vista amministrativo, l'area ricade in provincia di Cuneo, comprendendo i Comuni che vanno da Castelletto Stura fino a Cherasco, includendo Montanera, Morozzo, Trinità, S. Albano Stura, Bene Vagienna, Lequio Tanaro e Narzole, per una superficie totale pari a circa 11.500 ettari.

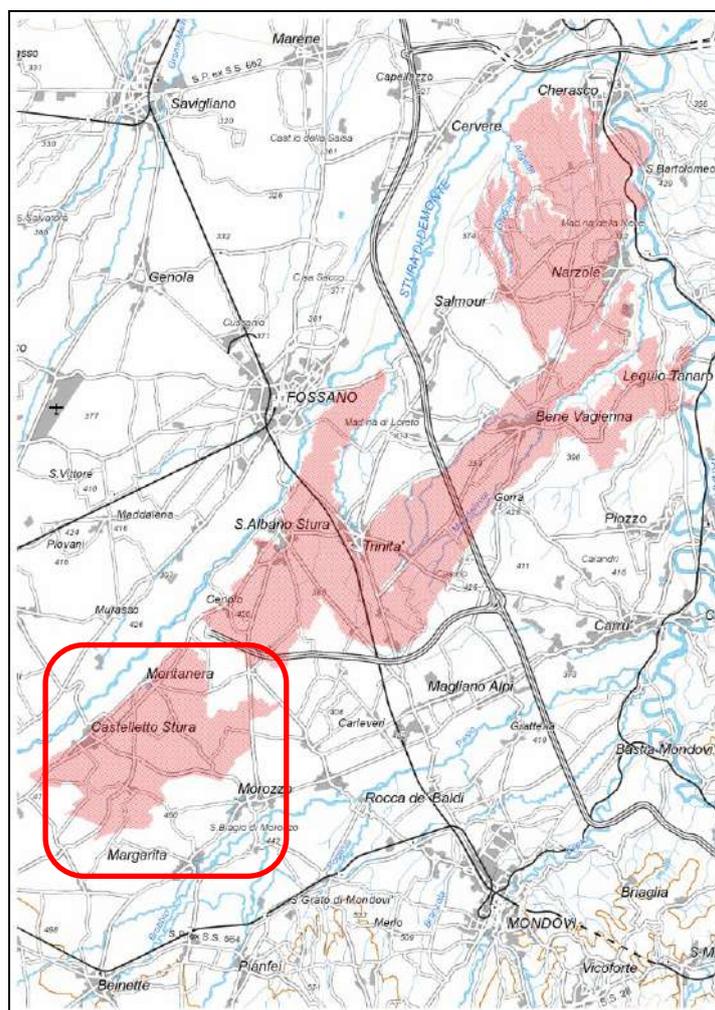


Figura 1: Corografia dell'area consortile (base cartografica: topografia Arpa Piemonte 1:250.000), con evidenziazione del territorio relativo al 1° lotto funzionale (in rosso)

Il *Consorzio Irriguo di Il Grado Bealera Maestra* attualmente accorpa al suo interno i seguenti consorzi di I grado (ripartizione areale dei consorzi di I grado):

- Comune di Bene Vagienna Gestione Speciale delle Bealere Interne (2258 ha),
- Consorzio di Lequio Tanaro, Gestione Speciale delle Bealere Interne (554 ha),

- Consorzio irriguo Tavolera Savella di S. Albano Stura (2020 ha),
- Consorzio irriguo Tavolera di Trinità (1508 ha),
- Consorzio irriguo di miglioramento fondiario 'Bosco Speciale' di Morozzo (871 ha),
- Consorzio irriguo di Castelletto Stura (821 ha),
- Consorzio irriguo di Montanera (790 ha),
- Consorzio di Irrigazione Canale Sarmassa di Cherasco (3213 ha).

Il presente lavoro fa specifico riferimento allo stralcio relativo al 1° lotto funzionale, inerente i comprensori di Castelletto Stura e Montanera.

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1. Generalità

Nei mesi di Gennaio del 2011 ed Ottobre del 2015, a supporto del progetto di “Razionalizzazione, riorganizzazione e ristrutturazione degli impianti irrigui con contestuale sfruttamento idroelettrico”, redatto dallo Studio P.D. S.r.l. per conto del Consorzio d’irrigazione Bealera Maestra, sono state eseguite undici prove penetrometriche dinamiche, finalizzate alla definizione del quadro litostratigrafico locale, in corrispondenza dei punti su cui andranno ad insistere i manufatti accessori agli impianti di irrigazione.

La prova penetrometrica dinamica (DP) consiste nell’infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, posta all’estremità di un’asta d’acciaio prolungabile con l’aggiunta di successive aste. La resistenza del terreno è direttamente proporzionale al numero di colpi inferti da un maglio battente per caduta, contati su una lunghezza di infissione standard.

L’impiego di prove DP ha il duplice vantaggio di cogliere, in funzione di significative variazioni del numero di colpi per unità di infissione, i passaggi stratigrafici del sottosuolo, nonché di permettere una stima appropriata dei parametri di resistenza al taglio del materiale attraversato. La prova si arresta in condizioni di rifiuto, ovvero al superamento di un definito numero di colpi

Nel dettaglio sono state eseguite prove con un penetrometro dinamico superpesante, del tipo “Meardi- AGI”, contraddistinto dalle seguenti caratteristiche tecniche:

- Tipo TG 73-100/200
- Massa battente M = 73,0 kg
- Altezza di caduta h = 0,75 m
- Area punta A = 20,43 cm<sup>2</sup>
- Diametro punta D = 51,0 mm
- Numero colpi punta N = N30 ( $\delta = 30$  cm)
- Rifiuto R = 50 colpi

Le prove sono state distribuite secondo il seguente schema:

- P1 Centrale idroelettrica n. 1 di Montanera (C1)
- P2 Centrale idroelettrica n. 2 di Sant’Albano Stura (C2) + Stazione di pompaggio di Trinità (SP.tri)
- P3 Centrale idroelettrica n. 3 di Bene Vagienna (C3)
- P4 Vasca di carico di Castelletto Stura
- P5 Stazione di pompaggio n. 1 di Castelletto Stura (SP1.cas)

- P6 Stazione di pompaggio n. 2 di Castelletto Stura (SP2.cas)
- P7 Stazione di pompaggio n. 1 di Morozzo (SP1.mor)
- P8 Stazione di pompaggio n. 1 di Morozzo (SP2.mor)
- P9 Stazione di pompaggio n. 1 di Montanera (SP1.mon)
- P10 Stazione di pompaggio n. 2 di Montanera (SP2.mon)
- P11 Stazione di pompaggio di Sant'Albano Stura (SP.alb).

Delle suddette prove quattro (P4, P5, P6, P9) sono state eseguite all'interno, o nelle immediate vicinanze, del settore interessato dagli interventi previsti nel 1° lotto funzionale.

Stante la significativa omogeneità dei risultati ottenuti per l'intero settore indagato si ritiene ragionevole, per lo meno con riferimento alla determinazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali indagati, fare riferimento alle informazioni desumibili dall'intero set di prove; ciò favorirà il trattamento statistico delle osservazioni incrementando di fatto il livello di significatività, in termini statistici, dei risultati.

I risultati originali delle prove sono riportati in allegato. Per una corretta comprensione delle prove sono state richiamate, laddove possibile, le stratigrafie di sondaggi pregressi censiti dalla Banca Dati dell'Arpa Piemonte.

### **3.2. Trattamento ed interpretazione stratigrafica dei dati derivanti dalle prove**

Il primo trattamento dei dati è relativo alle opportune operazioni di filtraggio, volte ad eliminare i picchi dovuti a contingenze locali, quali ciottoli o materiale grossolano, che tendono a falsare in eccesso il numero di colpi.

Successivamente, attraverso una specifica osservazione dei grafici colpi  $N_{30}$  / profondità (m), è possibile osservare come tutte le verticali di prova evidenzino sempre un passaggio netto tra un livello superficiale, costituito da materiali di copertura (e/o riporto), ed un deposito più addensato sottostante.

Nel dettaglio questo passaggio è stato posto alle quote riassunte nella successiva tabella. La stessa individua anche il numero medio dei colpi, i rimanenti metri di terreno indagati nel deposito sottostante ed il corrispettivo numero medio di colpi.

Prova	Riferimento progettuale	Spessore dello strato superficiale [m]	N <sub>30</sub> medio dello strato superficiale	Spessore indagato del secondo strato [m]	N <sub>30</sub> medio del secondo strato
P1	C1	0 ÷ 2,1	7,3 ± 3,2	2,1 ÷ 5,1	32,5 ± 9,4
P2	C2+SP.tri	0 ÷ 2,4	13,0 ± 9,2	2,4 ÷ 5,7	32,1 ± 9,7
P3	C3	0 ÷ 1,2	10,8 ± 8,5	1,2 ÷ 4,8	33,3 ± 7,1
P4	-	0 ÷ 3,3	10,2 ± 6,4	3,3 ÷ 7,5	38,4 ± 7,7
P5	SP1.cas	0 ÷ 2,1	8,0 ± 3,8	2,1 ÷ 5,7	31,4 ± 8,7
P6	SP2.cas	0 ÷ 2,1	9,7 ± 1,9	2,1 ÷ 4,8	29,4 ± 10,3
P7	SP1.mor	0 ÷ 2,4	8,0 ± 2,0	2,4 ÷ 4,2	22,9 ± 13,4
P8	SP2.mor	0 ÷ 3,3	9,0 ± 1,7	3,3 ÷ 5,4	35,2 ± 7,7
P9	SP1.mon	0 ÷ 1,8	9,3 ± 2,2	1,8 ÷ 3,3	32,5 ± 10,4
P10	SP2.mon	0 ÷ 2,1	10,0 ± 1,8	2,1 ÷ 3,6	35,3 ± 8,6
P11	SP.alb	0 ÷ 1,8	20,0 ± 4,6	1,8 ÷ 3,6	40,0 ± 5,0

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche del sottosuolo, durante le prove di gennaio (P1, P2 e P3), realizzate in fregio a canali irrigui, sono state individuate condizioni di spinta saturazione, interpretabili come presenza di una falda di subalveo; durante le prove dell'autunno sono state individuate tracce di umidità senza la presenza di una vera e propria configurazione freatica, a meno della prova P7, contraddistinta da presenza di falda. La successiva tabella riassume i dati idraulici di sottosuolo.

Prova	Riferimento progettuale	Descrizione	Quota di riferimento da p.c. [m]
P1	C1	Terreni saturi	2,3
P2	C2+SP.tri	Terreni saturi	1,5
P3	C3	Terreni saturi	1,3
P4	-	Terreni umidi	5,0
P5	SP1.cas	Terreni umidi	4,5
P6	SP2.cas	Terreni umidi	4,0
P7	SP1.mor	Prof. falda	2,2
P8	SP2.mor	Terreni umidi	1,5
P9	SP1.mon	-	-
P10	SP2.mon	Terreni umidi	3,0
P11	SP.alb	Terreni umidi	2,0

### 3.3. Correlazione $N_{30}$ - $N_{SPT}$

In campo geotecnico, uno dei metodi principali di interpretazione dei risultati è quello di ricavare il valore di  $N_{SPT}$  per via indiretta partendo dal valore  $N_{30}$  ed utilizzare poi le correlazioni messe a punto per  $N_{SPT}$ .

Le esperienze maturate in Italia, per il penetrometro superpesante, conducono ad una correlazione del tipo:

$$N_{SPT} = (1,67 \div 2) N_{30} \text{ (Cestari, 1990).}$$

La relazione di LaCroix e Horn (1973) permette di considerare le energie specifiche legate al tipo di attrezzatura utilizzata:

$$N_{SPT} = [(W * H) / (6,2 * D^2 * L)] N_{30}$$

dove

- W = peso del maglio (kg)
- H = altezza di caduta (cm)
- D = diametro del cono (cm)
- L = penetrazione standard (cm).

Questa seconda relazione risulta più cautelativa e fornisce una costante di correlazione, per il caso in oggetto, pari a 1,13. La successiva tabella riporta il numero medio dei colpi  $N_{SPT}$ , per i livelli individuati al precedente paragrafo.

Prova	Riferimento progettuale	Spessore dello strato superficiale [m]	$N_{SPT}$ medio dello strato superficiale	Spessore indagato del secondo strato [m]	$N_{SPT}$ medio del secondo strato
P1	C1	0 ÷ 2,1	8,2	2,1 ÷ 5,1	36,7
P2	C2+SP.tri	0 ÷ 2,4	14,7	2,4 ÷ 5,7	36,3
P3	C3	0 ÷ 1,2	12,2	1,2 ÷ 4,8	37,6
P4	-	0 ÷ 3,3	11,5	3,3 ÷ 7,5	43,4
P5	SP1.cas	0 ÷ 2,1	9,0	2,1 ÷ 5,7	35,5
P6	SP2.cas	0 ÷ 2,1	11,0	2,1 ÷ 4,8	33,2
P7	SP1.mor	0 ÷ 2,4	9,0	2,4 ÷ 4,2	25,9
P8	SP2.mor	0 ÷ 3,3	10,2	3,3 ÷ 5,4	39,5
P9	SP1.mon	0 ÷ 1,8	10,4	1,8 ÷ 3,3	36,7
P10	SP2.mon	0 ÷ 2,1	11,3	2,1 ÷ 3,6	39,9
P11	SP.alb	0 ÷ 1,8	22,6	1,8 ÷ 3,6	45,7

## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1. Definizione delle Unità Litostratigrafiche

In accordo a quanto definito nell'ambito del progetto definitivo, con riferimento alle tipologie di opere previste dallo stesso ed al conseguente volume geotecnicamente significativo per le medesime, sulla base delle indagini condotte è possibile ricondurre il quadro litostratigrafico locale a due unità distinte aventi differenti caratteristiche litologiche e geotecniche.

Come esplicitato nella *Relazione Geotecnica-Sismica* facente parte del già citato progetto definitivo, e sinteticamente riportato in precedenza, tutte le prove evidenziano il passaggio, a quote comprese tra un minimo di 1,2 m (P3) ed un massimo di 3,3 m (P4,P8), tra materiali di copertura e/o riporto e materiali di origine alluvionale. La transizione stratigrafica è ben marcata dall'aumento netto o graduale dei numeri di colpi registrati durante le prove. I materiali di origine alluvionale sono stati indagati per profondità comprese tra un minimo di 3,3 m (P9) ed un massimo di 7,5 m (P4).

L'assetto stratigrafico emerso dalle indagini geognostiche è, in linea di massima, in accordo con le conoscenze geologiche locali:

- Unità litostratigrafica I (UL I): comprendente i termini superficiali di copertura e/o riporto, costituiti principalmente da sabbie, limi e loro termini intermedi, con intercalazioni di ghiaie, e dotati di non omogenee caratteristiche geotecniche.
- Unità litostratigrafica II (UL II): costituita da termini ghiaiosi addensati in matrice limoso sabbiosa, dotati di buone caratteristiche geotecniche, passanti a ghiaie grossolane e ciottoli, sempre in matrice limoso sabbiosa, molto addensate e dotate di ottime caratteristiche geotecniche.

### 4.2. Unità litostratigrafica I – Termini di copertura e riporto

Per la caratterizzazione geotecnica si farà riferimento ai risultati di tutte le prove penetrometriche disponibili; come anticipato, stante la relativamente elevata omogeneità dei risultati ottenuti per l'intero settore indagato, si ritiene infatti ragionevole tale approccio, che favorisce il trattamento statistico delle osservazioni ed incrementa, di fatto il livello di significatività statistica dei risultati.

Per quanto riguarda il peso di volume, in ragione del grado di addensamento medio basso, si potrà fare riferimento al seguente intervallo di valori pari a  $17 \div 19 \text{ kN/m}^3$ . Ai fini della stabilità a lungo termine si farà riferimento a condizioni drenate.

#### 4.2.1. Densità relativa

Per la stima di tale parametro e con riferimento alle prove penetrometriche SPT, si fa riferimento alla correlazione proposta da Terzaghi e Skempton. (1967-1986) per sabbie fini. L'equazione proposta è la seguente:

$$D_R = 100 * [N_{1(60)} / 55]^{0,5}.$$

Per i materiali dell'UL I sono disponibili 11 prove realizzate a quote variabili, comprese tra 1,2 e 3,3 m di profondità per le quali si sono ricavati valori di  $N_{SPT}$  compresi tra 8,2 e 22,6 colpi/piede. I valori del parametro  $N_{SPT}$  vengono standardizzati al metodo di prova per ottenere il parametro  $N_{60}$ , mediante l'applicazione dei seguenti coefficienti correttivi forniti dalla letteratura:

$$N_{60} = N_{SPT} * C_E * C_B * C_S * C_R$$

dove:

- $C_E$  è la correzione per il rapporto di energia =  $E_R/60$ : con  $E_R$  rendimento del sistema di battuta; per il penetrometro utilizzato (TG73-200) si considera un valore di  $E_R$  pari a 73%, da cui  $C_E = 1,22$ ;
- $C_B$  è la correzione per i diametro del foro:

Diametro del sondaggio [mm]	$C_B$
< 115	1,00
150	1,05
200	1,15

- $C_S$  è la correzione per il metodo di campionamento:

Campionatore	$C_S$
Standard	1,00
Con portacampioni (sabbie dense)	0,8
200 Con portacampioni (sabbie sciolte)	0,9

- $C_R$  è la correzione per la lunghezza delle aste:

Lunghezza aste [m]	$C_R$
3÷4	0,75
4÷6	0,85
6÷10	0,95
> 10	1,00

Il valore di  $N_{60}$  può essere ulteriormente normalizzato alla pressione litostatica efficace, al fine di poter comparare prove eseguite a profondità diverse:

$$N_{1(60)} = N_{60} * C_N.$$

Nel caso specifico, rappresentativo di materiali prevalentemente fini, la normalizzazione potrà essere effettuata con la seguente formulazione secondo Skempton per sabbie limose:

$$C_N = 2 / [1 + (\sigma'_v / p_{atm})].$$

Si ricorda che il valore di  $C_N$  nell'applicazione pratica non può essere superiore a 2 e

preferibilmente non deve essere superiore a 1,5.

Considerando un peso di volume pari a  $18 \text{ kN/m}^3$  e calcolando la pressione litostatica efficace a metà dello strato considerato, per l'UL I si avrà:

Sond.	Limiti strato [m]	Prof. falda [m]	N <sub>SPT</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>B</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>R</sub>	N <sub>60</sub>	$\sigma'_{v}$ [kPa]	C <sub>N</sub> calcolato	C <sub>N</sub> adottato	N <sub>1(60)</sub>
P1	0,0 ÷ - 2,1	2,30	8,2	1,22	1	1	0,75	7,5	18,9	1,68	1,5	11,2
P2	0,0 ÷ - 2,4	1,50	14,7	1,22	1	1	0,75	13,4	14,1	1,75	1,5	20,1
P3	0,0 ÷ - 1,2	1,30	12,2	1,22	1	1	0,75	11,1	10,8	1,80	1,5	16,7
P4	0,0 ÷ - 3,3		11,5	1,22	1	1	0,75	10,5	29,7	1,54	1,5	15,7
P5	0,0 ÷ - 2,1		9,0	1,22	1	1	0,75	8,2	18,9	1,68	1,5	12,3
P6	0,0 ÷ - 2,1		11,0	1,22	1	1	0,75	10,0	18,9	1,68	1,5	15,1
P7	0,0 ÷ - 2,4	2,20	9,0	1,22	1	1	0,75	8,2	10,6	1,80	1,5	12,3
P8	0,0 ÷ - 3,3		10,2	1,22	1	1	0,75	9,3	29,7	1,54	1,5	14,0
P9	0,0 ÷ - 1,8		10,4	1,22	1	1	0,75	9,4	16,2	1,72	1,5	14,2
P10	0,0 ÷ - 2,1		11,3	1,22	1	1	0,75	10,3	18,9	1,68	1,5	15,5
P11	0,0 ÷ - 1,8		22,6	1,22	1	1	0,75	20,6	16,2	1,72	1,5	30,9

da cui:

	N <sub>SPT</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>1(60)</sub>	DR %
min	8,2	7,5	11,2	45,2
max	22,6	20,6	30,9	75,0
medio	11,8	10,8	16,2	53,7
$\sigma_x$	4,0	3,6	5,5	8,2

Trattasi di materiali caratterizzati da un grado di addensamento medio. Per le successive elaborazioni si potrà considerare un parametro rappresentativo di DR = 50%.

#### 4.2.2 Parametri di resistenza

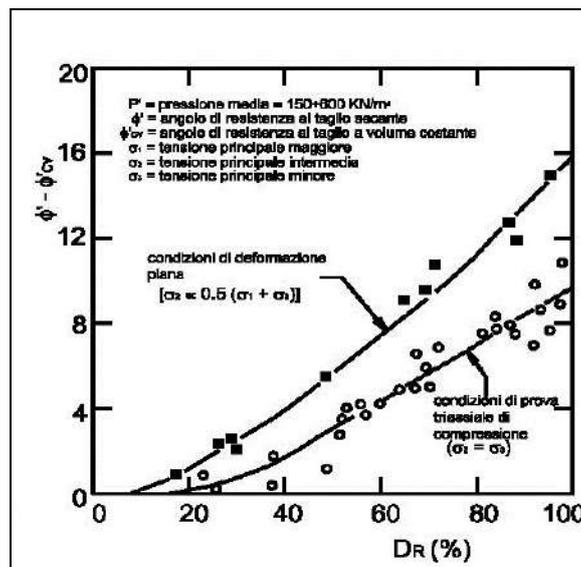
Sulla base delle prove effettuate è possibile, per mezzo delle correlazioni proposte in letteratura, stimare l'angolo di resistenza al taglio di picco. Nel caso specifico, per i depositi di interesse si è ritenuto opportuno utilizzare le correlazioni di Meyerhof (1956) e di Shioi e Fukui (1982), entrambe valide per materiali prevalentemente fini:

- 1) Meyerhof  $\phi' = 19,8 + 4,38 * \ln(N)$ ;
- 2) Shioi e Fukui (Road Bridge Specification)  $\phi' = (15*N)^{0,5} + 15$ ;

da cui:

	1) [°]	2) [°]
min	29	26
max	33	33
medio	30	28
$\sigma_x$	1,2	2,0

Il valore ricavato rappresenta l'angolo di resistenza al taglio di picco; relativamente all'angolo di resistenza al taglio a volume costante ( $\phi_{cv}$ ), la stima di tale parametro è possibile dall'esame del diagramma proposto da Bolton (1986) che per una DR media del 50% prevede una differenza fra  $\phi$  e  $\phi_{cv}$  compresa tra 3° e 5°.



In ragione della presenza di una percentuale di materiali fini è possibile che il deposito presenti un debole contributo di resistenza di tipo coesivo, legata all'umidità del terreno ed a locali legami temporanei di pseudo-cementazione connessi alle oscillazioni di falda, destinata a decadere nel tempo ed in funzione del grado di saturazione indotto dalla falda.

Tale contributo di modesta coesione apparente può essere considerato compatibile e tenuto in conto nelle verifiche a breve termine relative all'apertura di fronti di scavo temporanei di altezza limitata sopra falda.

E' peraltro necessario evidenziare che variazioni positive o negative del grado di saturazione possono avvenire facilmente, per la variazione di condizioni ambientali prodotta dallo stesso scavo (esposizione all'aria, alle precipitazioni e all'insolazione del fronte); con conseguente riduzione o annullamento della coesione apparente ed importanti conseguenze sulla stabilità del fronte.

Al fine di poter usufruire di tale contributo coesivo è quindi indispensabile tener conto degli aspetti esposti sopra nella programmazione e tempistica delle attività, per limitare al minimo il periodo di fronte aperto. In ogni caso sarà necessario, nell'ambito della gestione del cantiere in condizioni di sicurezza, un attento controllo delle condizioni litostratigrafiche e di falda presentatesi all'atto degli scavi, monitorando le condizioni di stabilità dei fronti durante lo sviluppo delle attività di scavo e

posa.

#### 4.2.3 Parametri di deformazione

Sulla base delle prove effettuate è possibile, per mezzo delle correlazioni proposte in letteratura, stimare il modulo elastico dei terreni in oggetto. Nel caso specifico, per materiali prevalentemente fini, si è ritenuto opportuno utilizzare le correlazioni di Webb (1970), AASHTO (1996) ed O'Neil & Huang (2003):

- |    |                |                              |
|----|----------------|------------------------------|
| 1) | Webb           | $E' = 0,316 \cdot N + 1,58;$ |
| 2) | AASHTO         | $E' = 0,4 \cdot N_{1(60)};$  |
| 3) | O'Neil & Huang | $E' = 0,5 \cdot N_{60};$     |

da cui:

	1) [MPa]	2) [MPa]	3) [MPa]
min	4	4	4
max	9	12	10
medio	5	6	5
$\sigma_x$	1,3	2,2	1,8

#### 4.2.4 Valori assunti per i parametri geotecnici fondamentali – Unità I

In definitiva si potrà far riferimento ai seguenti parametri geotecnici fondamentali:

##### Unità litostratigrafica I – Termini di copertura e riporto

- |  |              |   |                          |
|--|--------------|---|--------------------------|
| - peso di volume                                 | $\gamma$     | = | 17÷19 kN/m <sup>3</sup>  |
| - coesione drenata                               | $c'$         | = | 0÷10 kPa                 |
| - angolo di res. al taglio di picco              | $\phi'_p$    | = | 28÷30 °                  |
| - angolo di res. al taglio a volume costante     | $\phi'_{cv}$ | = | 24÷26 °                  |
| - modulo elastico                                | $E'$         | = | 4÷6 MPa                  |
| - coefficiente di sottofondo (condizioni anidre) | $ks$         | = | 2÷4 kg/cm <sup>3</sup> . |

### **4.3 Unità litologica II - Depositi fluviali pleistocenici (ghiaie con sabbie)**

#### 4.3.1 Densità relativa

Per la stima di tale parametro e con riferimento alle prove penetrometriche SPT, si fa riferimento alla correlazione proposta da Terzaghi e Skempton. (1967-1986) per sabbie grossolane. L'equazione proposta è la seguente:

$$D_R = 100 \cdot [N_{1(60)} / 65]^{0,5}.$$

Per i materiali dell'UL II sono disponibili 11 prove realizzate a quote variabili, comprese tra 3,3 e 7,5 m di profondità per le quali si sono ricavati valori di  $N_{SPT}$  compresi tra 25,9 e 45,7 colpi/piede. I valori del parametro  $N_{SPT}$  vengono standardizzati al metodo di prova per ottenere il parametro  $N_{60}$ , mediante l'applicazione dei già citati coefficienti correttivi forniti dalla letteratura:

$$N_{60} = N_{SPT} * C_E * C_B * C_S * C_R.$$

Nel caso specifico si farà cautelativamente riferimento a valori già proposti al paragrafo precedente.

Il valore di  $N_{60}$  può essere ulteriormente normalizzato alla pressione litostatica efficace, al fine di poter comparare prove eseguite a profondità diverse:

$$N_{1(60)} = N_{60} * C_N.$$

Nel caso specifico, rappresentativo di materiali prevalentemente fini, la normalizzazione potrà essere effettuata con la seguente formulazione secondo Skempton per sabbie ghiaiose:

$$C_N = 3 / [2 + (\sigma'_v / p_{atm})].$$

Si ricorda che il valore di  $C_N$  nell'applicazione pratica non può essere superiore a 2 e preferibilmente non deve essere superiore a 1,5.

Considerando un peso di volume pari a  $20 \text{ kN/m}^3$  e calcolando la pressione litostatica efficace a metà dello strato considerato, per l'UL II si avrà:

Sond.	Limiti strato [m]	Prof. falda [m]	$N_{SPT}$	$C_E$	$C_B$	$C_S$	$C_R$	$N_{60}$	$\sigma'_v$ [kPa]	$C_N$ calcolato	$N_{1(60)}$
P1	da - 2,10	2,30	36,7	1,22	1	1	0,75	33,0	53,8	1,18	38,9
P2	da - 2,40	1,50	36,3	1,22	1	1	0,75	32,7	50,7	1,19	38,9
P3	da - 1,20	1,30	37,6	1,22	1	1	0,75	33,8	39,5	1,25	42,2
P4	da - 3,30		43,4	1,22	1	1	0,75	39,1	102,4	0,99	38,5
P5	da - 2,10		35,5	1,22	1	1	0,75	31,9	73,8	1,09	34,8
P6	da - 2,10		33,2	1,22	1	1	0,75	29,9	64,8	1,13	33,7
P7	da - 2,40	2,20	25,9	1,22	1	1	0,75	23,3	50,2	1,19	27,8
P8	da - 3,30		39,5	1,22	1	1	0,75	35,5	80,4	1,06	37,8
P9	da - 1,80		36,7	1,22	1	1	0,75	33,0	47,4	1,21	39,9
P10	da - 2,10		39,9	1,22	1	1	0,75	35,9	52,8	1,18	42,4
P11	da - 1,80		45,7	1,22	1	1	0,75	41,1	50,4	1,19	49,1

da cui:

	$N_{SPT}$	$N_{60}$	$N_{1(60)}$	DR %
min	25,9	23,3	27,8	65,4
max	45,7	41,1	49,1	80,6
medio	37,3	33,6	38,6	74,7
$\sigma_x$	5,5	4,7	5,4	5,0

Trattasi di materiali addensati. Per le successive elaborazioni si potrà considerare un parametro rappresentativo di  $DR = 75\%$ .

#### 4.3.2 Parametri di resistenza

Sulla base delle prove effettuate è possibile, per mezzo delle correlazioni proposte in letteratura, stimare l'angolo di resistenza al taglio di picco.

Nel caso specifico, per i depositi di interesse si è ritenuto opportuno utilizzare le correlazioni di Meyerhof (1956) e di Shioi e Fukui (1982), entrambe valide per materiali prevalentemente grossolani:

- |    |   |                                 |
|----|---|---------------------------------|
| 1) | Meyerhof                                  | $\phi' = 25,2 + 4,28 * \ln(N);$ |
| 2) | Shioi e Fukui (Japanese National Railway) | $\phi' = 0,3N + 15;$            |

da cui:

	1) [°]	2) [°]
min	39	35
max	42	41
medio	41	38
$\sigma_x$	0,6	1,6

Il valore ricavato rappresenta l'angolo di resistenza al taglio di picco; relativamente all'angolo di resistenza al taglio a volume costante ( $\phi_{cv}$ ), la stima di tale parametro è possibile dall'esame del diagramma proposto da Bolton (1986) che per una DR media del 75% prevede una differenza fra  $\phi$  e  $\phi_{cv}$  compresa tra 5° e 8°.

Anche in questo caso, per la presenza di una percentuale di materiali fini è possibile che il deposito presenti un debole contributo di resistenza di tipo coesivo, legata all'umidità del terreno ed a locali legami temporanei di pseudo-cementazione connessi alle oscillazioni di falda, destinata a decadere nel tempo ed in funzione del grado di saturazione indotto dalla falda.

Tale contributo di modesta coesione apparente può essere considerato compatibile e tenuto in conto nelle verifiche a breve termine relative all'apertura di fronti di scavo temporanei di altezza limitata sopra falda.

Come già espresso al punto precedente, è necessario evidenziare che variazioni positive o negative del grado di saturazione possono avvenire facilmente, per la variazione di condizioni ambientali prodotta dallo stesso scavo (esposizione all'aria, alle precipitazioni e all'insolazione del fronte); con conseguente riduzione o annullamento della coesione apparente ed importanti conseguenze sulla stabilità del fronte.

Al fine di poter usufruire di tale contributo coesivo è quindi indispensabile tener conto degli aspetti esposti sopra nella programmazione e tempistica delle attività, per limitare al minimo il periodo di fronte aperto. In ogni caso sarà necessario, nell'ambito della gestione del cantiere in condizioni di sicurezza, un attento controllo delle condizioni litostratigrafiche e di falda presentatesi all'atto degli scavi, monitorando le condizioni di stabilità dei fronti durante lo sviluppo delle attività di scavo e posa.

#### 4.3.3 Parametri di deformazione

Sulla base delle prove effettuate è possibile, per mezzo delle correlazioni proposte in letteratura, stimare il modulo elastico dei terreni in oggetto. Nel caso specifico, per materiali prevalentemente sabbioso ghiaiosi, si è ritenuto opportuno utilizzare le correlazioni di D'Apollonia et al. (1970) ed AASHTO (1996):

- 1) D'Apollonia  $E' = (0,756 * N) + 18,75;$
- 2) AASHTO  $E' = 1,2 * N_{1(60)};$

da cui:

	1) [MPa]	2) [MPa]
min	38	33
max	53	59
medio	47	46
$\sigma_x$	3,9	6,5

#### 4.3.4 Valori assunti per i parametri geotecnici fondamentali – Unità II

In definitiva si potrà far riferimento ai seguenti parametri geotecnici fondamentali:

##### Unità litostratigrafica II – Depositi alluvionali

- peso di volume  $\gamma = 19 \div 21 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$
- angolo di res. al taglio di picco  $\phi'_p = 38 \div 40^\circ$
- angolo di res. al taglio a volume costante  $\phi'_{cv} = 32 \div 33^\circ$
- modulo elastico  $E' = 40 \div 50 \text{ MPa}$
- coefficiente di sottofondo (in falda)  $ks = 6 \div 10 \text{ kg/cm}^3.$

## 5. PROFILI STRATIGRAFICI DI PROGETTO

Le opere in progetto insistono su di un ampio territorio di pianura, che si sviluppa in destra del Torrente Stura. Dal punto di vista geolitologico, i siti di intervento ricadono nell'areale di affioramento dei terreni appartenenti ai depositi alluvionali quaternari (Pleistocene), rappresentati essenzialmente da termini ghiaioso - sabbiosi e ciottolosi, localmente compresi in dominante matrice limoso - sabbiosa.

Lungo la piana in destra Stura, i depositi alluvionali ospitano una falda freatica che drena verso NE, in diretto contatto con lo Stura, da cui è drenata in prossimità dei terrazzi inferiori. La soggiacenza di tale falda è generalmente bassa ed è fortemente condizionata dalla presenza di una importante area di fontanili (in Comune di Morozzo) nonché dalle pratiche irrigue e dalle perdite dei maggiori canali irrigui a pelo libero impostati nei materiali naturali.

Dal punto di vista stratigrafico, l'esame dei dati disponibili (Banca dati geotecnica – Arpa Piemonte) derivanti da sondaggi geognostici e da accertamenti geotecnici in sito, permette di osservare come, al di sotto di un livello superficiale di terreni agrari e/o di riporti (UL I), siano sempre individuabili i depositi alluvionali antichi (UL II). Tali depositi sono presenti per profondità da decametriche a pluridecametriche, quindi sempre superiori a quelle interessate dagli interventi

Per quanto riguarda il deflusso sotterraneo risulta importante segnalare come la presenza di irregolarità locali nella successione stratigrafica della coltre alluvionale, correlabili alle pregresse fasi evolutive della rete idrografica superficiale, condiziona le caratteristiche idrogeologiche locali, ed in particolar modo l'andamento del deflusso sotterraneo stesso e la quota di soggiacenza della falda freatica. Inoltre tutto l'areale è contraddistinto dalla presenza di canali a sezione libera impostati nei depositi di copertura, le cui perdite influenzano in modo sensibile le variazioni locali della falda freatica.

Nel seguito, con specifico riferimento alle opere previste nel 1° lotto funzionale, si riporta l'interpretazione del profilo stratigrafico di progetto, derivante dalle prove eseguite in sito.

### 5.4 Vasca di carico

La vasca di carico è prevista in Comune di Castelletto Stura. Le opere di fondazioni saranno spinte a profondità comprese tra 4,20 e 5,50 m dal p.c. attuale. Il sito è stato indagato mediante la prova P4.

Le stratigrafie di riferimento considerate significative per il sito in oggetto, riportate in allegato, sono contraddistinte dalla sigla ARPA 1148, 1149 e 1225.

I dati disponibili individuano, per l'area di interesse, soggiacenze superiori a 7,5 m. La presenza di perdite da parte dell'adiacente canale irriguo, ipotizzabili dai dati raccolti in fase di indagine (terreni umidi a 5,0 m), consiglia di mantenere un valore di soggiacenza cautelativo nei confronti di potenziali risalite in coincidenza di periodi irrigui associati a precipitazioni a carattere alluvionale.

In definitiva la stratigrafia di progetto per il sito "vasca di carico" prevede:

- 0,0 ÷ 3,3 m UL I;
- 3,3 ÷ N.R. UL II;
- la soggiacenza di progetto viene collocata a 5,0 m dal piano campagna attuale.

### **5.5 Stazione di pompaggio n. 1 di Castelletto Stura – SP1.cas**

La SP1.cas è prevista in Comune di Castelletto Stura. Le opere di fondazioni saranno spinte alla profondità di 5,80 m dal p.c. attuale. Il sito è stato indagato mediante la prova P5.

Non sono state reperite, in un intorno significativo, stratigrafie di riferimento. Pertanto si ipotizza la medesima sequenza stratigrafica del precedente punto, relativo alla vasca di carico in Comune di Castelletto Stura.

I dati disponibili individuano, per l'area di interesse soggiacenze, pari a 5,0 m. I dati relativi a pozzi in funzione mostrano soggiacenze sfavorevoli ( $\cong 3,0$  m) verso Est e soggiacenze favorevoli ( $\cong 8,0$  m) procedendo verso Ovest. L'assenza di canali irrigui di dimensioni significative permette di scongiurare importanti perdite. I dati raccolti in fase di indagine forniscono l'indicazione di terreni umidi a 4,5 m.

In definitiva la stratigrafia di progetto per il sito SP1.cas prevede:

- 0,0 ÷ 2,1 m UL I;
- 2,1 ÷ N.R. UL II;
- la soggiacenza di progetto viene collocata a 5,0 m dal piano campagna attuale.

### **5.9 Stazione di pompaggio n. 1 di Montanera – SP1.mon**

La SP1.mon è prevista in Comune di Castelletto di Stura. Le opere di fondazioni saranno spinte alla profondità di 2,50 m dal p.c. attuale. Il sito è stato indagato mediante la prova P9.

Le stratigrafie di riferimento considerate significative per il sito in oggetto, riportate in allegato, sono contraddistinte dalla sigla ARPA 1145, 1218, 1219 e 107334.

I dati disponibili individuano, per l'area di interesse soggiacenze, pari a 5,0 m. I dati relativi a pozzi in funzione mostrano soggiacenze sfavorevoli ( $\cong 2,5$  m) verso Est e soggiacenze favorevoli ( $\cong 7,5$  m) procedendo verso Ovest. L'assenza di canali irrigui di dimensioni significative permette di

scongiurare importanti perdite. I dati raccolti in fase di indagine non forniscono nessuna specifica indicazione.

In definitiva la stratigrafia di progetto per il sito SP1.mon prevede:

- 0,0 ÷ 1,8 m UL I;
- 1,8 ÷ N.R. UL II;
- la soggiacenza di progetto viene collocata a 5,0 m dal piano campagna attuale.

#### **5.11 Condotta dorsale e condotte irrigue di distribuzione – tratto ricompreso nel 1° lotto funzionale**

Nell'ambito del 1° lotto funzionale è prevista la realizzazione del tratto di condotta dorsale compresa tra la vasca di carico ubicata in Comune di Castelletto Stura, in prossimità del confine con il Comune di Cuneo (T.to del Prete), e la prima stazione di pompaggio di Montanera (SP1-mon). La posa della condotta avverrà all'interno di uno scavo in trincea approfondito di circa 4,40 m rispetto al piano campagna.

Nell'ambito del 1° lotto funzionale è inoltre prevista la posa di alcune condotte di distribuzione; per la posa è previsto lo scavo in trincea con profondità compresa tra 2,00 e 2,30 m.

In ragione del contesto in esame, risultato sostanzialmente omogeneo dal punto di vista litostratigrafico, si ritiene verosimile fare riferimento all'assetto stratigrafico definito per le stazioni di pompaggio previste in progetto in tale settore, per le quali sono disponibili i risultati delle prove penetrometriche condotte. Eventuali situazioni difformi rispetto a quanto ipotizzato allo stato attuale dovranno essere eventualmente valutate in fase di esecuzione degli scavi.

I dati disponibili individuano, per l'area di interesse soggiacenze inferiori a 5,0 m. La presenza di perdite da parte dei limitrofi canali irrigui, ipotizzabili dai dati raccolti in fase di indagine (terreni umidi a 2,0 m), consiglia di mantenere un valore di soggiacenza cautelativo nei confronti di potenziali risalite in coincidenza di periodi irrigui associati a precipitazioni a carattere alluvionale.

In definitiva la stratigrafia di progetto per il settore interessato dalla posa delle condotte prevede:

- 0,0 ÷ 1,8 - 3,30 m UL I;
- 1,8 ÷ N.R. UL II;
- la soggiacenza di progetto viene collocata ad una profondità di 5,0 m dal piano campagna attuale.

## 6. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con riferimento alla classificazione delle zone sismiche di cui all'OPCM n. 3274 del 20/03/2003 ed alla D.G.R. n. 1362 del 19/11/2010 "D.M. 14.01.2008 Norme Tecniche per le Costruzioni.", nonché delle modifiche introdotte dalle D.G.R. n. 11-13085/2010 e n. 4-3084/2011 emesse dalla Regione Piemonte, il livello di sismicità dei Comuni della Provincia di Cuneo interessati dalle opere ricomprese nel 1° lotto funzionale è il seguente:

Comune	Zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g$ ]
Castelletto Stura	3	0,05 ÷ 0,15 g	0,15 g
Montanera	3	0,05 ÷ 0,15 g	0,15 g

In adempimento al D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", si è fatto riferimento alla mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3519 del 28/04/2006, da cui il Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ed aggiornata all'interno dell'Allegato 1 della D.G.R. n. 1362 di cui in precedenza.

Di seguito si riportano, per i territori comunali di interesse, i valori dei parametri sismici  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per il periodo di ritorno  $T_R$  associato ad ogni Stato Limite, ipotizzando una vita nominale di riferimento dell'opera  $V_N = 50$  anni, una classe d'uso II, da cui un coefficiente d'uso  $C_U = 1,0$  ed un periodo di riferimento  $V_R = 50$  anni.

### Comune di Castelletto Stura:

("Spettri di risposta" versione 1.0.3., Identificativo celle di riferimento INGV: 16233, 16234, 16455, 16456; longitudine: 7,6403; latitudine: 44,4448).

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.032	2.467	0.198
SLD	50	0.041	2.514	0.215
SLV	475	0.099	2.553	0.286
SLC	975	0.124	2.577	0.298

### Comune di Montanera:

("Spettri di risposta" versione 1.0.3., Identificativo celle di riferimento INGV: 16233, 16234, 16455, 16456; longitudine: 7,6667; latitudine: 44,4632).

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.031	2.468	0.199
SLD	50	0.039	2.536	0.214
SLV	475	0.090	2.586	0.288
SLC	975	0.112	2.610	0.302

Per definire l'effetto della risposta sismica locale occorre considerare la categoria di suolo e la categoria topografica.

L'attribuzione ad una specifica categoria di sottosuolo può essere basata sulla stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio  $V_{S30}$  (velocità media di propagazione entro 30 m di profondità), ovvero sul numero medio di colpi  $N_{SPT}$ , ottenuti, nel corso di prove penetrometriche dinamiche, per terreni prevalentemente granulari, ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$ , per terreni prevalentemente coesivi.

Dall'esame dei dati stratigrafici e geotecnici rilevati e considerando le prevedibili profondità di imposta dei manufatti di fondazione delle strutture in progetto, per le aree in esame, il locale profilo stratigrafico del sottosuolo risulta essere, in via cautelativa, classificabile in Categoria C [*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)*].

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, trattandosi ovunque di terreni pianeggianti si considera la categoria T1 [*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ].

In conclusione si potrà far riferimento ai seguenti parametri:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica:  $S_S = 1,5$  [-];
- coefficiente di amplificazione topografica:  $S_T = 1,0$  [-].

## 7 STABILITA' FRONTI DI SCAVO TEMPORANEI – POSA CONDOTTE

Nell'ambito del 1° lotto funzionale si prevede, tra l'altro, la realizzazione di un tratto di condotta in acciaio interrata con diametro 2200 mm (condotta dorsale) e diversi tratti di condotte di irrigazione con diametro compreso tra 200 e 500 mm. Per la posa delle tubazioni si prevede l'esecuzione di scavi in trincea non sostenuti; sono state previste tre differenti sezioni tipologiche di scavo, approfondite rispettivamente di 4,40 m, 2,30m e 2,00m rispetto al piano campagna.

Al fine di valutare il grado di stabilità delle scarpate di scavo sono state condotte più serie di analisi numeriche al fine di soddisfare i fattori di sicurezza richiesti dalla normativa vigente (D.M. 14.01.08).

Le verifiche sono volte a valutare la stabilità temporanea dei fronti di scavo, ovvero per il tempo necessario per la posa delle condotte; in accordo a quanto previsto dal D.M. 14/01/08 si omettono le verifiche in condizioni sismiche, trattandosi di opere temporanee con durata inferiore a 2 anni..

### 7.1 Criteri di verifica

I calcoli di verifica sono stati condotti con riferimento all'approccio agli stati limite in campo geotecnico trattato dagli Eurocodici, che viene introdotto a livello di normativa nazionale attraverso il "Testo unico – Norme Tecniche per le Costruzioni – Gennaio 2008".

Per Stato Limite Ultimo (SLU) si intende lo stato al superamento del quale si ha il collasso strutturale, crolli, perdita di equilibrio, dissesti gravi, ovvero fenomeni che mettono fuori servizio in modo irreversibile la struttura.

Nell'ambito del metodo agli stati limite, la misura della sicurezza si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti Parziali" di sicurezza espresso dalla relazione:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

$R_d$  = valore di progetto della resistenza del terreno

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni, nelle combinazioni di carico di cui ai punti successivi.

La resistenza  $R_d$  è determinata:

- in modo analitico, con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici di resistenza (angolo di attrito, coesione, etc.) divisi per un coefficiente parziale  $\gamma_m$ ;
- sulla base di misure dirette, tenendo conto di specifici coefficienti parziali.

L'azione  $E_d$  è determinata, a partire da un valore caratteristico, amplificandolo mediante i coefficienti parziali  $\gamma_f$ .

Le sollecitazioni/azioni nelle strutture andranno fattorizzate amplificando le sollecitazioni/azioni in accordo ai coefficienti parziali previsti dalla normativa vigente (NTC 08).

$$E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_P + S(\psi_{2i} \cdot \gamma_Q \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_K$  = carichi permanenti al loro valore caratteristico;  
 $P_K$  = valore caratteristico dell'azione di precompressione;  
 $\Psi_{2i}$  = coefficiente di combinazione delle azioni variabili;  
 $\gamma_E \gamma_G \gamma_P \gamma_Q$  = coefficienti parziali;  
 $Q_{Ki}$  = valore caratteristico dell'azione variabile.

### 7.1.1 Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo con riferimento agli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo A1-M1 nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo A2-M2 nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi.

In accordo a quanto previsto dal § 6.8.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, le verifiche sono state condotte secondo l'approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) adottando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 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	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coazione 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	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

## 7.2 Metodo dell'equilibrio limite globale (LEM)

Il grado di stabilità delle scarpate e dei pendii è in genere espresso numericamente dal fattore di sicurezza, che si ottiene come rapporto tra le forze resistenti e la forze instabilizzanti. Valori inferiori all'unità indicano condizioni di instabilità, valori superiori a indicano condizioni di stabilità.

Per la determinazione del grado di stabilità delle scarpate di scavo analizzate, si sono condotte svariate analisi adottando i metodi fondati sulla teoria dell'equilibrio limite e sul criterio di resistenza di Coulomb.

I metodi basati sul concetto dell'equilibrio limite hanno in comune le assunzioni evidenziate nel seguito (Lancellotta, 1987):

- le superfici di scivolamento sono definite e l'analisi di stabilità è effettuata considerando l'equilibrio della massa di terreno individuata da tali superfici, sottoposte alle forze al contorno;
- la resistenza al taglio necessaria all'equilibrio e agente lungo la superficie di scivolamento (ipotizzata o reale) è calcolata attraverso equazioni della statica.
- l'analisi è effettuata in condizioni di deformazione piane;
- la massa del pendio è suddivisa in un conveniente numero di conci;
- il grado di stabilità delle scarpate e dei pendii è in genere espresso numericamente dal fattore di sicurezza, che si ottiene come rapporto tra le forze resistenti e la forze instabilizzanti; esso è inteso come il fattore per il quale possono essere divisi i parametri di resistenza per portare il pendio alle condizioni di equilibrio limite (rottura), ed è implicitamente assunto costante lungo tutta la superficie di scivolamento. Valori inferiori all'unità indicano condizioni di instabilità, valori superiori a indicano condizioni di stabilità.

Per la determinazione del fattore di sicurezza e quindi del grado di stabilità del settore di versante analizzato, si sono condotte analisi adottando i metodi proposti da Janbu, Bishop, Spencer e Morgenstern & Price, fondati sulla teoria dell'equilibrio limite; si è ipotizzato un modello comportamentale per il terreno rigido-perfettamente plastico e caratterizzato a rottura dal criterio di Mohr-Coulomb. L'impiego di superfici di scorrimento anche circolari discende dalle ipotesi di comportamento adottate per i litotipi presenti.

Nel caso specifico il metodo verrà applicato mediante l'impiego del programma di calcolo SLIDE, 5.039 proposto dalla ROCSCIENCE Inc., Toronto, Ontario CANADA.

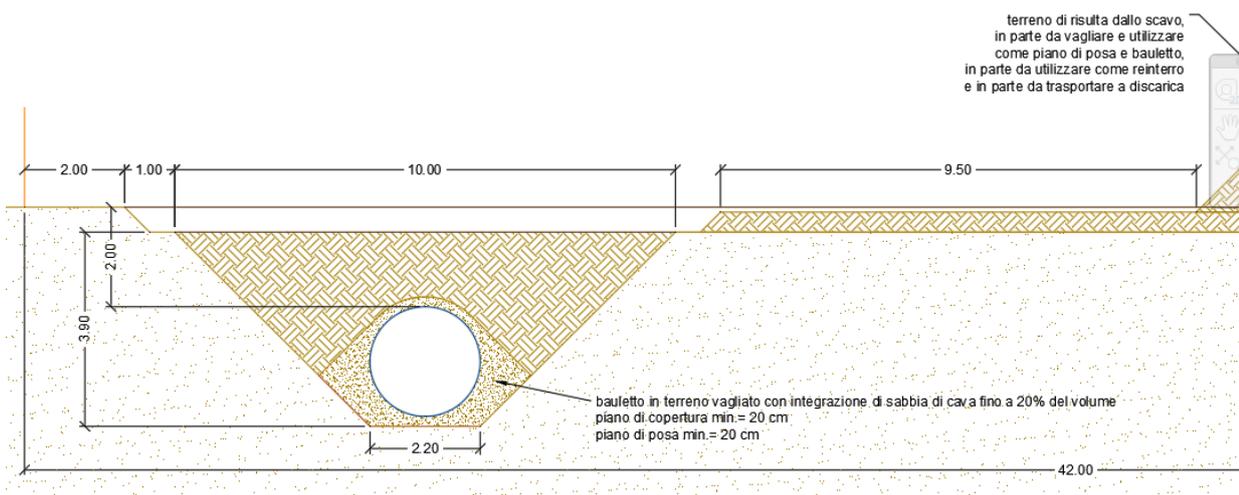
## 7.3 Definizione delle condizioni di progetto

### 7.3.1 Sezioni tipologiche di verifica

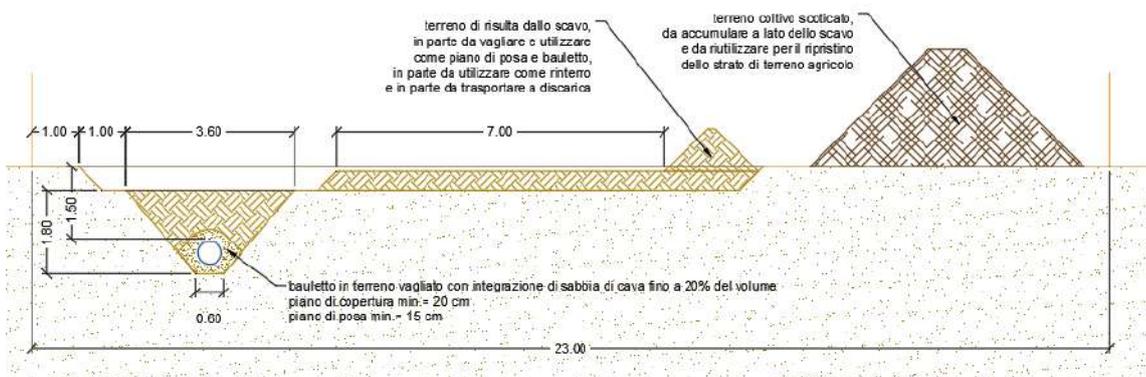
Come anticipato, per la posa delle condotte si prevede l'esecuzione di scavi in trincea con approfondimento variabile tra 2,00 m e 4,40 m; sono state ipotizzate tre sezioni tipologiche di scavo, cui si è fatto riferimento per le verifiche condotte, di cui si riporta una schematizzazione nelle figure seguenti.

È previsto l'accumulo del materiale scavato per il successivo reinterro delle condotte in loco; è fondamentale che il materiale proveniente dallo scavo venga accumulato ad una distanza tale da non interferire con gli scavi.

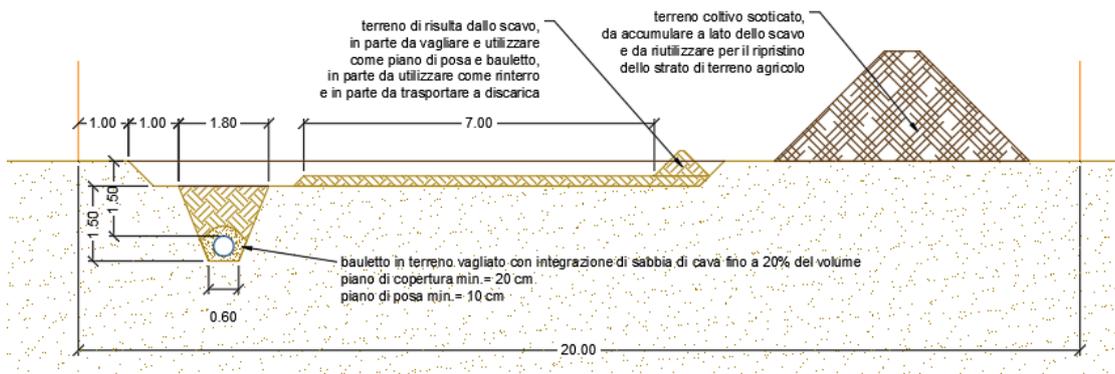
**SEZIONE TIPO POSA CONDOTTE IN ACCIAIO DN 2200  
IN TERRENI COLTIVI**



**SEZIONE TIPO POSA CONDOTTE IN ACCIAIO DN 500  
IN TERRENI COLTIVI**



SEZIONE TIPO POSA CONDOTTE IN ACCIAIO DA DN 400 A 300 O PEAD DA 250 A 200 mm  
IN TERRENI COLTIVI



### 7.3.2 Profilo geotecnico di verifica

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento ai profili stratigrafici definiti in precedenza; cautelativamente si è fatto riferimento alle condizioni stratigrafiche più gravose ipotizzate lungo lo sviluppo della condotta che prevedono la presenza dei termini di copertura superficiale (UL I) sino ad una profondità di 3,30 m. Si evidenzia per altro che, con riferimento al settore di interesse, tale condizione è stata riscontrata, sulla base delle indagini condotte, unicamente in corrispondenza della vasca di carico della dorsale (prova penetrometrica P4), le restanti indagini eseguite in tale settore evidenziano per tale unità stratigrafica (UL I) potenze comprese tra 1,80 m e 2,10 m con andamento decrescente procedendo in direzione Montanera.

Le verifiche in ottemperanza al D.M. 14/01/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni sono state condotte secondo l'approccio 1 – condizione 2 (A2+M2+R2) secondo quanto descritto in precedenza.

I parametri geotecnici caratteristici di riferimento sono i seguenti:

#### UL I – Termini di copertura e riporto

- peso di volume	$\gamma$	=	18,0 kN/m <sup>3</sup>
- angolo di resistenza al taglio di calcolo	$\phi_k$	=	29,00°
- coesione efficace di calcolo	$c_k$	=	5,00 kPa

#### UL II – Depositi fluviali pleistocenici (ghiaie con sabbie)

- peso di volume	$\gamma$	=	20,0 kN/m <sup>3</sup>
- angolo di resistenza al taglio di calcolo	$\phi_k$	=	39,00°
- coesione efficace di calcolo	$c_k$	=	3,00 kPa

I parametri geotecnici utilizzati per le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) sono i seguenti:

*Approccio 1 – combinazione A2+ M2*

UL I – Riporti sabbiosi e sabbioso limosi

- peso di volume	$\gamma * 1,0$	=	18,0 kN/m <sup>3</sup>
- tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\text{tg}\phi / 1,25$	=	0,4434
- angolo di resistenza al taglio di calcolo	$\phi_d$	=	23,91°
- coesione efficace di calcolo	$c_d = c' / 1,25$	=	4,00 kPa

UL II – Depositi fluviali pleistocenici (ghiaie con sabbie)

- peso di volume	$\gamma * 1,0$	=	20,0 kN/m <sup>3</sup>
- tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\text{tg}\phi / 1,25$	=	0,6478
- angolo di resistenza al taglio di calcolo	$\phi_d$	=	32,94°
- coesione efficace di calcolo	$c_d = c' / 1,25$	=	2,40 kPa

Per quanto concerne le condizioni di falda del settore in esame, con riferimento alle indagini effettuate, si è osservato che:

- In corrispondenza del tracciato della condotta dorsale la soggiacenza minima è compresa tra circa 11,5 m, in corrispondenza del tratto iniziale in prossimità della vasca di carico in Comune di Castelletto Stura, ad un valore minimo di circa 5,50 m nel tratto terminale previsto nel presente lotto. Con riferimento alla sezione tipologica ipotizzata per la posa della condotta dorsale, si prevede un approfondimento degli scavi pari a circa 4,40 m dunque non in interferenza con la falda.
- nella porzione più meridionale del settore interessato dagli interventi per la posa delle condotte di distribuzione sono state registrate soggiacenze minime pari a circa 2,00 m; con riferimento alla sezione tipologica per la posa delle condotte DN 500, che prevede un approfondimento di circa 2,30 m rispetto al piano campagna, è prevedibile una possibile interferenza con la falda. Per le verifiche è stato ipotizzato un modesto abbattimento della falda in corrispondenza dello scavo.

### 7.3.3 Sovraccarichi

Nelle analisi condotte al fine di simulare l'azione dovuta ai mezzi di scavo si è assunto un sovraccarico uniformemente distribuito pari a 10 kPa, posto ad una distanza minima di 1,0 metri dal ciglio della scarpata. In accordo a quanto previsto dall'approccio progettuale seguito, e sintetizzato in precedenza, il medesimo è stato amplificato adottando un coefficiente pari a  $\gamma_Q = 1,3$ .

Riassumendo i sovraccarichi considerati sono i seguenti:

condizioni statiche

- mezzi di scavo	$q * 1,3$	=	13,0 kPa
------------------	-----------	---	----------

## 7.4 Risultanze delle verifiche

Nella tabella seguente si riportano i fattori di sicurezza minimi ottenuti per le diverse condizioni di calcolo considerate; per le verifiche sono stati ottenuti fattori di sicurezza minimi superiori al valore di 1,1 previsto dalla Normativa vigente.

	Bishop semplificato	Janbu corretto	Spencer	Morgenstern & Price
Sezione tipologica DN 2200	1,106	1,117	1,114	1,119
Sezione tipologica DN 500	1,410	1,372	1,402	1,405
Sezione tipologica DN 2200	1,226	1,324	1,308	1,316

Nel seguito si riportano in forma grafica i risultati della verifica eseguita; il dettaglio dei risultati numerici è riportato in allegato.

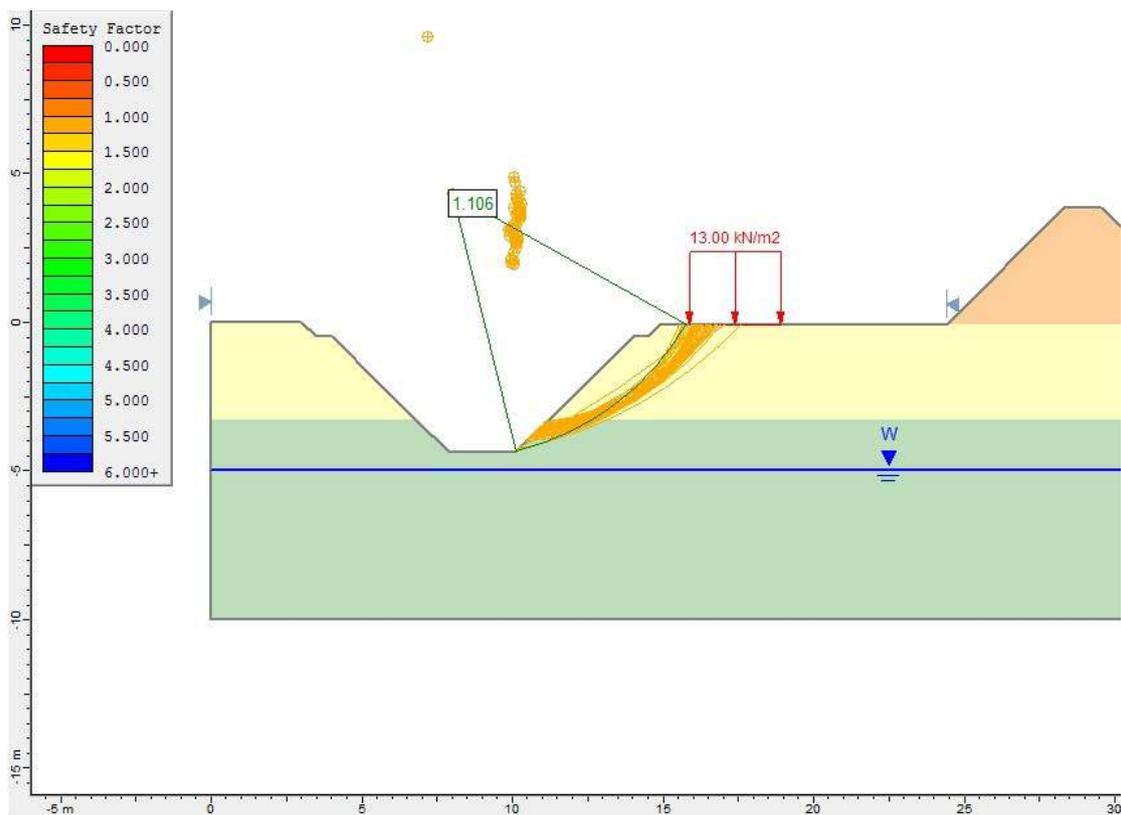


Figura 2: Verifica stabilità fronti di scavo – Sezione tipo posa condotta in acciaio DN 2200. Metodo di Bishop semplificato. Si evidenziano le 50 superficie caratterizzate da  $F_s$  minimo.

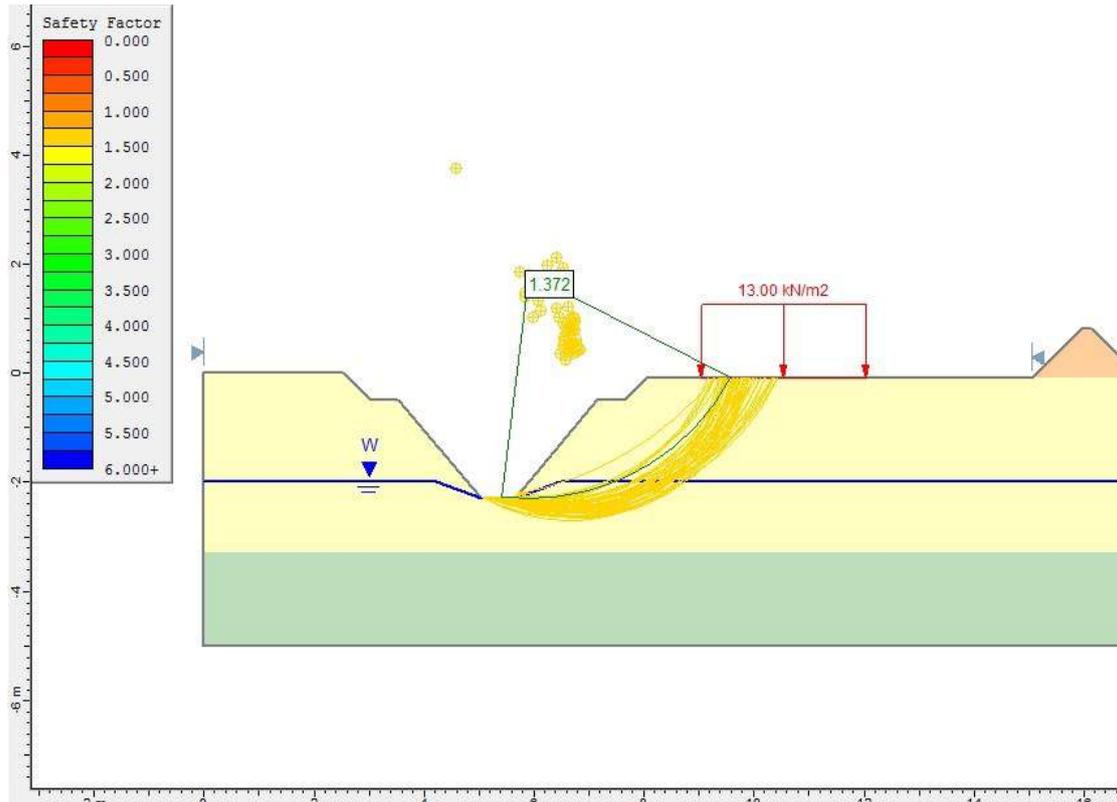


Figura 3: Verifica stabilità fronti di scavo – Sezione tipo posa condotta in acciaio DN 500. Metodo di Janbu corretto. Si evidenziano le 50 superficie caratterizzate da Fs minimo.

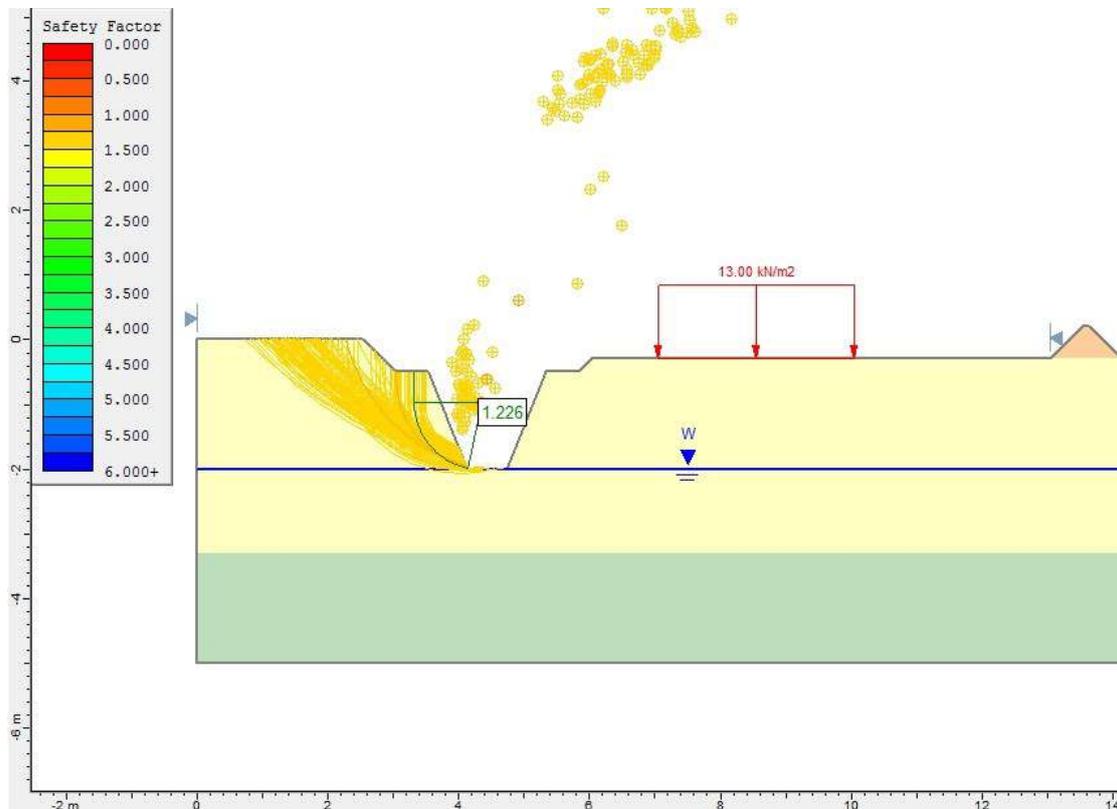


Figura 4: Verifica stabilità fronti di scavo – Sezione tipo posa condotta in acciaio DN 400 o 300. Metodo di Bishop semplificato. Si evidenziano le 50 superficie caratterizzate da Fs minimo.

## 8. ALLEGATI STRATIGRAFICI

## 8.1 C1-P1

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1164	0.50	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto e resti vegetali
1164	5.10	ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli gneissici in matrice sabbiosa medio fine
1164	11.20	ghiaia medio grossolana ghiaietto ciottoli e trovanti in debole matrice sabbiosa
1164	16.00	ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli in abbondante matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa localmente con presenza di livelli di limo sabbioso piccoli trovanti
1164	34.80	sabbia medio fine limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati degradati in sabbia grossolana
1164	40.00	sabbia medio fine limosa con ghiaia ghiaietto ciottoli e rari trovanti localmente alterati degradati in sabbia grossolana

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1166	0.40	riporto sabbia ghiaia rari ciottoli resti di laterizi e vegetali in matrice sabbiosa
1166	1.40	ghiaia medio grossolana in matrice sabbiosa medio fine
1166	3.00	ghiaia medio grossolana rari ciottoli in matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa
1166	10.10	ghiaia medio grossolana rari ciottoli e trovanti gneissici in matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa con presenza di alterazione
1166	30.00	sabbia medio fine debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati degradati in sabbia grossolana livelli di sabbia medio grossolana e di sabbia limosa

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1209	0.90	terreno vegetale sabbia limosa inglobante raro ghiaietto
1209	3.00	sabbia discretamente limosa con ghiaia e ghiaietto
1209	4.80	ghiaia ghiaietto e rari ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa
1209	7.70	ghiaia grossolana ghiaietto e rari ciottoli in matrice sabbiosa medio grossolana
1209	10.00	ciottoli ghiaia grossolana e ghiaietto in matrice sabbiosa
1209	11.20	sabbia con ghiaia e ghiaietto prevalentemente alterati
1209	24.00	sabbia debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati
1209	24.30	limo argilloso
1209	34.30	sabbia debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati
1209	35.00	limo argilloso con presenza di livelli di sabbia limosa
1209	40.00	sabbia debolmente limosa con ghiaia e ghiaietto alterati con presenza di piccoli livelli sabbiosi

## 8.2 C2-P2 (SP.tri)

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1141	0.50	sabbia debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto resti di laterizi e vegetali
1141	3.10	ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati degradati in matrice sabbiosa medio grossolana
1141	8.70	ghiaia ghiaietto ciottoli e rari trovanti in matrice sabbiosa medio grossolana
1141	16.50	ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati degradati in matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa con presenza di livelli sabbiosi
1141	17.80	limo argilloso
1141	19.00	limo debolmente sabbioso con presenza di livelli di sabbia fine limosa
1141	20.30	sabbia fine e media limosa
1141	29.80	ghiaia grossolana ghiaietto ciottoli e rari trovanti localmente alterati degradati in matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa
1141	30.50	sabbia media limosa inglobante rara ghiaia
1141	37.50	ghiaia grossolana ghiaietto ciottoli e rari trovanti localmente alterati degradati in matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa
1141	37.60	limo
1141	39.40	sabbia medio grossolana limosa inglobante rara ghiaia e ghiaietto
1141	40.00	ghiaia grossolana ghiaietto e ciottoli localmente alterati degradati in matrice sabbiosa medio fine debolmente limosa

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1196	0.50	terreno vegetale sabbia limosa
1196	0.80	sabbia limosa con ghiaia e ghiaietto
1196	6.00	sabbia debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli
1196	8.60	sabbia limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli
1196	9.50	limo debolmente sabbioso
1196	10.20	sabbia limosa
1196	12.10	limo debolmente sabbioso localmente sabbioso
1196	13.60	sabbia limosa
1196	14.10	limo sabbioso
1196	14.70	sabbia limosa
1196	18.20	sabbia limosa con ghiaia fine ghiaietto e ciottoli alterati
1196	19.40	sabbia limosa
1196	20.20	limo sabbioso debolmente argilloso
1196	21.10	argilla limosa con tracce torbose
1196	21.90	sabbia limosa con ghiaietto e ghiaia medio grossolana alterati
1196	22.20	limo sabbioso debolmente argilloso
1196	23.60	sabbia medio fine debolmente limosa alterata con presenza di livelli limosi
1196	26.80	sabbia medio grossolana limosa alterata inglobante ghiaia e ghiaietto
1196	29.00	sabbia grossolana e medio fine limosa
1196	29.20	sabbia grossolana
1196	30.10	sabbia fine limosa con tracce di ossidazione

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1197	0.50	terreno vegetale limo sabbioso con resti vegetali
1197	1.50	sabbia limosa inglobante rara ghiaia e ciottoli
1197	3.80	sabbia medio fine limosa con ghiaia medio grossolana e ghiaietto
1197	4.50	sabbia medio grossolana debolmente limosa con ghiaia e ciottoli localmente alterati
1197	6.00	sabbia medio fine da debolmente limosa a limosa con ghiaietto ghiaia e ciottoli poligenici localmente alterati degradati in sabbia
1197	9.80	sabbia media debolmente limosa con ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli poligenici con tracce di ossidazione
1197	10.70	sabbia con ghiaia e ghiaietto localmente alterati
1197	12.90	limo sabbioso debolmente argilloso compatto con livelli limosi con tracce di ossidazione
1197	14.50	sabbia limosa con ghiaia e ghiaietto alterati con tracce di ossidazione
1197	19.70	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli molto alterati degradati in sabbia con tracce di ossidazione
1197	19.90	limo argilloso debolmente sabbioso
1197	24.00	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli molto alterati degradati in sabbia con tracce di ossidazione e livelli limosi
1197	28.60	sabbia debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati degradati in sabbia con tracce di ossidazione e livelli limosi
1197	29.50	argilla limosa debolmente sabbiosa
1197	30.20	limo argilloso

## 8.3 C3-P3

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
107319	1.50	terreno vegetale
107319	9.00	ghiaia con ciottoli
107319	14.00	argilla
107319	15.00	ghiaia sciolta
107319	17.00	argilla
107319	24.00	ghiaia compatta
107319	27.00	sabbia argillosa
107319	29.00	argilla
107319	40.00	argilla sabbiosa
107319	42.00	sabbia
107319	43.00	argilla
107319	46.00	arenaria
107319	48.00	argilla
107319	55.00	sabbia
107319	61.00	argilla
107319	79.00	sabbia
107319	107.00	argilla sabbiosa
107319	109.00	sabbia
107319	116.50	argilla

## 8.4 Vasca di carico – P4

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1148	2.25	riporto sabbia fine debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto e rari ciottoli
1148	3.70	ghiaia ghiaietto e ciottoli in matrice sabbiosa medio fine
1148	5.60	ghiaia ghiaietto ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa medio grossolana
1148	40.00	sabbia medio grossolana con livelli di sabbia limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati in sabbia grossolana con presenza di rari trovanti
Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1149	2.10	ghiaia ghiaietto ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa medio grossolana debolmente limosa
1149	6.70	sabbia medio grossolana limosa inglobante ghiaia ghiaietto ciottoli e rari trovanti con presenza di livelli di sabbia limosa
1149	34.60	sabbia limosa inglobante ghiaia ghiaietto ciottoli e rari trovanti molto alterati in sabbia medio grossolana con presenza di livelli di limo sabbioso
1149	35.00	sabbia media debolmente limosa
Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1225	0.15	asfalto
1225	1.50	riporto sabbia medio fine debolmente limosa con breccia grossolana
1225	3.00	sabbia debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli
1225	4.10	ghiaia ghiaietto e ciottoli poligenici in matrice sabbioso limosa
1225	7.70	sabbia media debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto e rari ciottoli
1225	11.80	sabbia limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli poligenici
1225	14.20	sabbia medio fine da debolmente limosa a limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati
1225	14.40	trovante gneissico
1225	17.80	ghiaia ghiaietto e ciottoli prevalentemente alterati degradati in matrice sabbioso limosa
1225	24.20	sabbia medio fine limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati degradati in sabbia e limo
1225	26.00	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e rari ciottoli alterati
1225	26.60	ghiaia ghiaietto e ciottoli gneissici in matrice sabbioso limosa
1225	33.10	sabbia limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli molto alterati degradati con presenza di piccoli livelli di limo sabbioso
1225	34.20	sabbia limosa inglobante ghiaia e ghiaietto
1225	40.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati degradati con presenza di piccoli livelli di limo sabbioso

## 8.5 SP1.mor – P7

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
109961	0.70	terreno di copertura sabbioso limoso argilloso ghiaioso mediamente consistente
109961	6.50	ghiaia , ciottoli e sabbia
109961	12.00	ghiaia con ciottoli
109961	19.00	ghiaia con ciottoli e sabbia moderatamente consistente
109961	21.00	ghiaia , ciottoli , sabbia , limi con alcuni trovanti
109961	33.00	ghiaia , ciottoli e alcuni trovanti
109961	33.50	ghiaia , limo , argilla parzialmente cementati
109961	40.00	ghiaia , ciottoli e sabbia

## 8.6 SP2.mor – P8

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
106398	0.10	asfalto
106398	0.60	resti di laterizi in matrice limosa debolmente sabbiosa
106398	1.00	limo debolmente sabbioso con ghiaia
106398	2.40	sabbia debolmente limosa con ghiaia e ciottoli poligenici
106398	3.00	ghiaia e ciottoli poligenici in matrice limoso argillosa
106398	3.60	sabbia debolmente limosa con ghiaia e ciottoli poligenici
106398	9.50	sabbia limosa con ghiaia e ciottoli poligenici
106398	11.75	sabbia debolmente limosa con ghiaia e ciottoli poligenici
106398	13.00	argilla limoso sabbiosa
106398	20.00	argilla debolmente limoso sabbiosa

8.7 SP1.mon – P9

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1145	0.60	riporto ghiaia ghiaietto ciottoli e trovanti piccoli in matrice sabbiosa limosa
1145	1.20	riporto sabbia fine limosa
1145	1.50	sabbia medio fine inglobante rara ghiaia
1145	2.50	riporto ghiaia ghiaietto ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa medio grossolana debolmente limosa
1145	14.70	sabbia medio fine debolmente localmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto ciottoli e piccoli trovanti gneissici alterati degradati
1145	16.30	sabbia fine limosa inglobante rara ghiaia e ghiaietto alterati
1145	23.60	sabbia medio fine debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto ciottoli e piccoli trovanti localmente alterati degradati
1145	24.10	sabbia fine limosa
1145	27.50	sabbia medio fine debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto ciottoli e piccoli trovanti localmente alterati degradati
1145	27.70	limo sabbioso inglobante raro ghiaietto
1145	30.00	sabbia medio fine debolmente limosa inglobante ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati degradati

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1218	4.70	ghiaietto ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa medio fine limosa
1218	9.00	ghiaietto ghiaia ciottoli e trovanti prevalentemente granitico gneissici in matrice sabbiosa fine limosa
1218	10.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto e ghiaia
1218	15.40	ghiaietto ghiaia e ciottoli poligenici debolmente alterati in matrice sabbioso limosa localmente con presenza di piccoli livelli di sabbia medio grossolana limosa con tracce di ossidazione
1218	17.90	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e ciottoli alterati degradati
1218	18.30	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto e ghiaia moderatamente alterati
1218	40.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e ciottoli alterati degradati in sabbia con rari piccoli livelli di sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto e ghiaia moderatamente alterati elementi quarzosi

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1219	0.40	terreno vegetale sabbia limosa inglobante raro ghiaietto
1219	3.40	sabbia con ghiaia ghiaietto e ciottoli
1219	3.90	sabbia debolmente limosa con ciottoli ghiaia e ghiaietto alterati
1219	4.20	sabbia con ghiaia ghiaietto e ciottoli
1219	7.80	sabbia debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati
1219	23.30	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati con tracce di ossidazione e livelli alterati
1219	23.70	sabbia limosa con ghiaia e ghiaietto
1219	30.00	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati con tracce di ossidazione

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
107334	0.40	terreno vegetale , ghiaia e sabbia con ciottoli
107334	13.50	ghiaia da sabbiosa a con sabbia , alternata a sabbia con ghiaia , con ciottoli e blocchi
107334	15.00	sabbia ghiaiosa argillosa con ciottoli e blocchi
107334	16.50	argilla sabbiosa ghiaiosa con ciottoli
107334	18.00	ghiaia con sabbia
107334	25.00	sabbia con ghiaia argillosa con alterazione e ciottoli silicei

## 8.8 SP.alb – P11

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1165	1.40	riporto sabbia medio fine con ghiaia resti di laterizi e vegetali
1165	4.50	ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli in matrice sabbiosa medio grossolana con presenza di trovanti gneissici
1165	11.70	ghiaia medio grossolana ghiaietto e ciottoli in matrice sabbiosa medio grossolana
1165	27.40	sabbie medio fine debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati degradati in sabbia grossolana con presenza di livelli di sabbia medio grossolana
1165	28.30	limo argilloso debolmente sabbioso
1165	30.00	sabbia medio fine debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati degradati in sabbia grossolana

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1204	0.40	terreno vegetale limo sabbioso inglobante raro ghiaietto con presenza di laterizi e resti vegetali
1204	1.15	sabbia fine limosa inglobante ghiaietto e ghiaia debolmente alterati
1204	5.40	sabbia medio grossolana limosa inglobante ghiaietto ghiaia e ciottoli poligenici
1204	6.90	sabbia grossolana debolmente limosa inglobante ghiaietto e ghiaia gneissico granitica
1204	7.30	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto fine
1204	12.50	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia ciottoli e trovanti prevalentemente granitico gneissici
1204	13.00	sabbia fine limosa inglobante raro ghiaietto
1204	13.30	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto e trovante
1204	18.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e ciottoli prevalentemente granitico gneissici alterati degradati in sabbia con presenza di piccoli livelli di sabbia medio fine limosa
1204	19.40	sabbia fine limosa con presenza di piccoli rari livelli di limo argilloso
1204	23.20	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e rari ciottoli prevalentemente granitico gneissici alterati degradati in sabbia
1204	25.10	argilla limosa con presenza di piccoli livelli di sabbia fine limosa
1204	25.80	sabbia fine limosa
1204	30.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e ciottoli prevalentemente granitico gneissici alterati degradati in sabbia

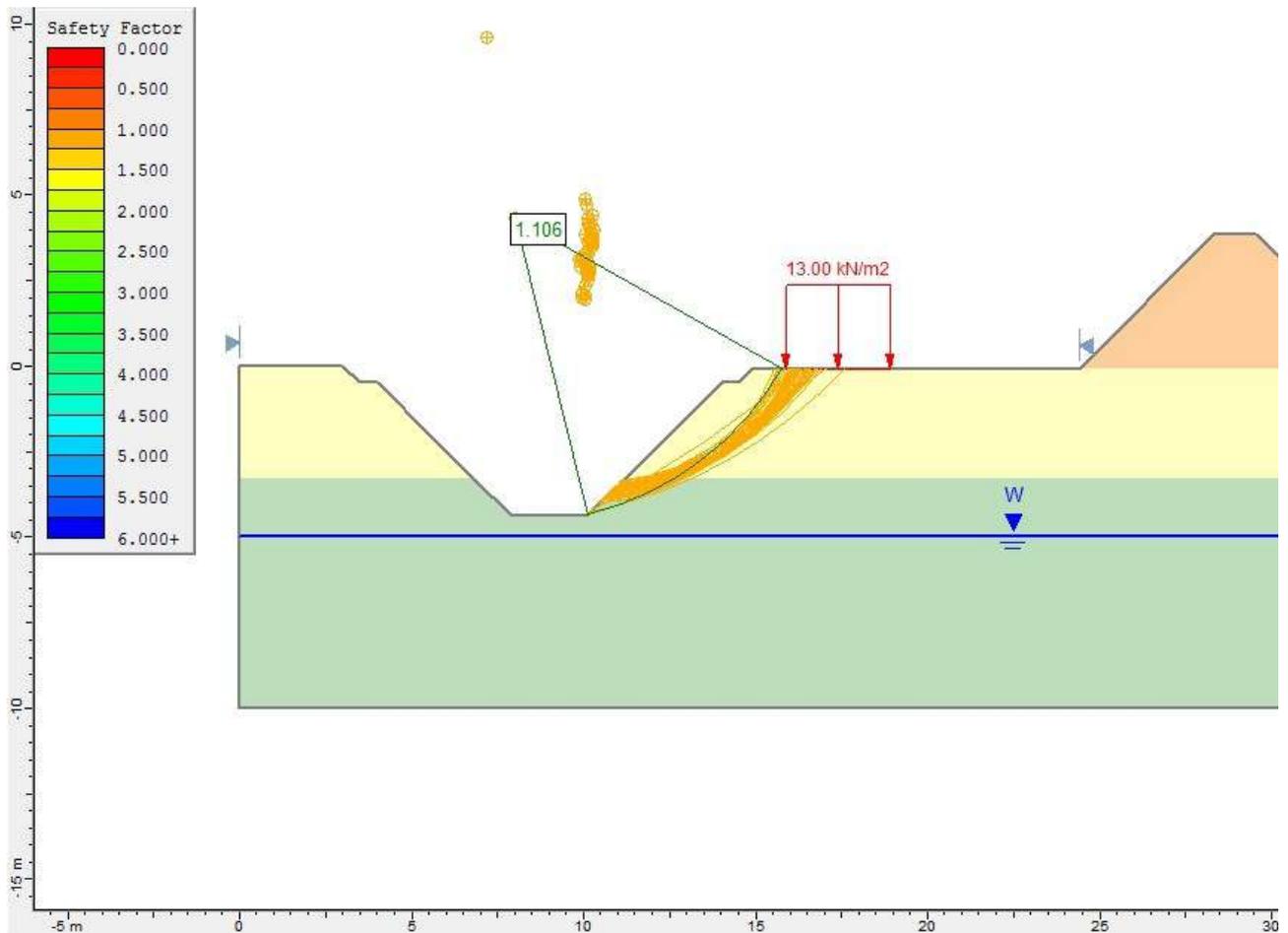
Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1205	0.50	riporto ghiaietto ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa debolmente limosa
1205	1.50	riporto sabbia fine limosa inglobante ghiaietto e breccia fine
1205	2.50	sabbia fine limosa inglobante ghiaietto e ghiaia
1205	4.80	ghiaietto ghiaia e ciottoli granitico gneissici in matrice sabbiosa debolmente limosa
1205	5.50	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto e ghiaia debolmente alterati
1205	8.90	ghiaietto ghiaia e ciottoli debolmente alterati in matrice sabbiosa medio grossolana debolmente limosa
1205	11.60	sabbia medio grossolana limosa inglobante ghiaietto e ghiaia debolmente alterati
1205	15.20	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e rari ciottoli prevalentemente granitico gneissici alterati degradati in sabbia con presenza di trovanti quarzosi
1205	16.10	limo sabbioso localmente argilloso con presenza di piccoli livelli sabbiosi
1205	17.30	sabbia fine limosa
1205	23.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia rari ciottoli prevalentemente granitico gneissici alterati degradati in sabbia con presenza di elementi quarzosi
1205	29.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto ghiaia e ciottoli prevalentemente granitico gneissici alterati degradati in sabbia con presenza di rari resti torbosi
1205	30.00	sabbia medio fine limosa inglobante ghiaietto alterato degradato

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
1206	1.20	terreno vegetale sabbia limosa con resti vegetali
1206	2.00	sabbia limosa con ghiaia e ghiaietto
1206	7.50	sabbia medio grossolana debolmente limosa con ghiaia e ghiaietto
1206	9.00	sabbia media debolmente limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli localmente alterati
1206	16.40	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati
1206	17.10	sabbia limosa alterata
1206	18.60	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati
1206	19.10	limo sabbioso
1206	20.00	sabbia limosa con ghiaia ghiaietto e ciottoli alterati

## **9. ALLEGATI – VERIFICHE DI STABILITA'**



**Sezione Tipo posa Condotta in Acciaio DN 2200**



**Slide Analysis Information**

**Document Name**

File Name: Sezione Tipo\_DN 2200\_rev\_A2.sli

**Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Failure Direction: Right to Left  
 Units of Measurement: SI Units  
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
 Groundwater Method: Water Surfaces  
 Data Output: Standard  
 Calculate Excess Pore Pressure: Off  
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
 Random Numbers: Pseudo-random Seed  
 Random Number Seed: 10116  
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
 Bishop simplified  
 GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Janbu corrected  
 Spencer

Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

**Surface Options**

Surface Type: Circular  
Search Method: Slope Search  
Number of Surfaces: 5000  
Upper Angle: Not Defined  
Lower Angle: Not Defined  
Composite Surfaces: Disabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth: 0.5

### **Loading**

1 Distributed Load present:  
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 13 kN/m<sup>2</sup>

### **Material Properties**

#### Material: UL I

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 4 kPa  
Friction Angle: 23.91 degrees  
Water Surface: Water Table  
Custom Hu value: 1

#### Material: UL II

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 2.4 kPa  
Friction Angle: 32.94 degrees  
Water Surface: Water Table  
Hu value: automatically calculated

#### Material: Cumulo

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Friction Angle: 34 degrees  
Water Surface: None

### **Global Minimums**

#### Method: bishop simplified

FS: 1.106390  
Center: 7.988, 4.334  
Radius: 8.977  
Left Slip Surface Endpoint: 10.112, -4.388  
Right Slip Surface Endpoint: 15.793, -0.100  
Resisting Moment=665.755 kN-m  
Driving Moment=601.734 kN-m

#### Method: janbu corrected

FS: 1.116690  
Center: 7.988, 4.334  
Radius: 8.977  
Left Slip Surface Endpoint: 10.112, -4.388  
Right Slip Surface Endpoint: 15.793, -0.100  
Resisting Horizontal Force=60.8393 kN  
Driving Horizontal Force=54.4817 kN

#### Method: spencer

FS: 1.114460  
Center: 7.988, 4.334  
Radius: 8.977  
Left Slip Surface Endpoint: 10.112, -4.388  
Right Slip Surface Endpoint: 15.793, -0.100  
Resisting Moment=670.607 kN-m  
Driving Moment=601.734 kN-m  
Resisting Horizontal Force=59.9017 kN  
Driving Horizontal Force=53.7497 kN

#### Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.119250  
Center: 7.988, 4.334  
Radius: 8.977

Left Slip Surface Endpoint: 10.112, -4.388  
 Right Slip Surface Endpoint: 15.793, -0.100  
 Resisting Moment=673.491 kN-m  
 Driving Moment=601.734 kN-m  
 Resisting Horizontal Force=60.158 kN  
 Driving Horizontal Force=53.7485 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4849

Number of Invalid Surfaces: 151

Error Codes:

Error Code -106 reported for 2 surfaces  
 Error Code -107 reported for 110 surfaces  
 Error Code -109 reported for 12 surfaces  
 Error Code -112 reported for 2 surfaces  
 Error Code -115 reported for 25 surfaces

#### Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 4848

Number of Invalid Surfaces: 152

Error Codes:

Error Code -106 reported for 2 surfaces  
 Error Code -107 reported for 110 surfaces  
 Error Code -108 reported for 3 surfaces  
 Error Code -109 reported for 12 surfaces  
 Error Code -115 reported for 25 surfaces

#### Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 4528

Number of Invalid Surfaces: 472

Error Codes:

Error Code -106 reported for 2 surfaces  
 Error Code -107 reported for 110 surfaces  
 Error Code -108 reported for 14 surfaces  
 Error Code -109 reported for 12 surfaces  
 Error Code -111 reported for 307 surfaces  
 Error Code -112 reported for 2 surfaces  
 Error Code -115 reported for 25 surfaces

#### Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4829

Number of Invalid Surfaces: 171

Error Codes:

Error Code -106 reported for 2 surfaces  
 Error Code -107 reported for 110 surfaces  
 Error Code -108 reported for 13 surfaces  
 Error Code -109 reported for 12 surfaces  
 Error Code -111 reported for 7 surfaces  
 Error Code -112 reported for 2 surfaces  
 Error Code -115 reported for 25 surfaces

### **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-106 = Average slice width is less than  
 0.0001 \* (maximum horizontal extent of soil region).  
 This limitation is imposed to avoid numerical errors  
 which may result from too many slices, or too  
 small a slip region.

-107 = Total driving moment or  
 total driving force is negative. This will occur  
 if the wrong failure direction is specified,  
 or if high external or anchor loads are applied  
 against the failure direction.

-108 = Total driving moment  
 or total driving force < 0.1. This is to  
 limit the calculation of extremely high safety  
 factors if the driving force is very small  
 (0.1 is an arbitrary number).

-109 = Soiltype for slice base not

located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.

-111 = safety factor equation did not converge

-112 = The coefficient  $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F$  < 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

-115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

### **List of All Coordinates**

#### Material Boundary

24.400	-0.100
33.490	-0.100

#### Material Boundary

0.000	-3.300
2.454	-3.300
6.800	-3.300

#### Material Boundary

11.200	-3.300
45.000	-3.300

#### External Boundary

0.000	-10.000
45.000	-10.000
45.000	-3.300
45.000	-2.100
45.000	0.000
33.590	0.000
33.490	-0.100
29.570	3.820
28.320	3.820
24.400	-0.100
14.900	-0.100
14.500	-0.500
14.000	-0.500
12.400	-2.100
11.200	-3.300
10.100	-4.400
7.900	-4.400
6.800	-3.300
5.600	-2.100
4.000	-0.500
3.500	-0.500
3.000	0.000
0.000	0.000
0.000	-2.100
0.000	-3.300

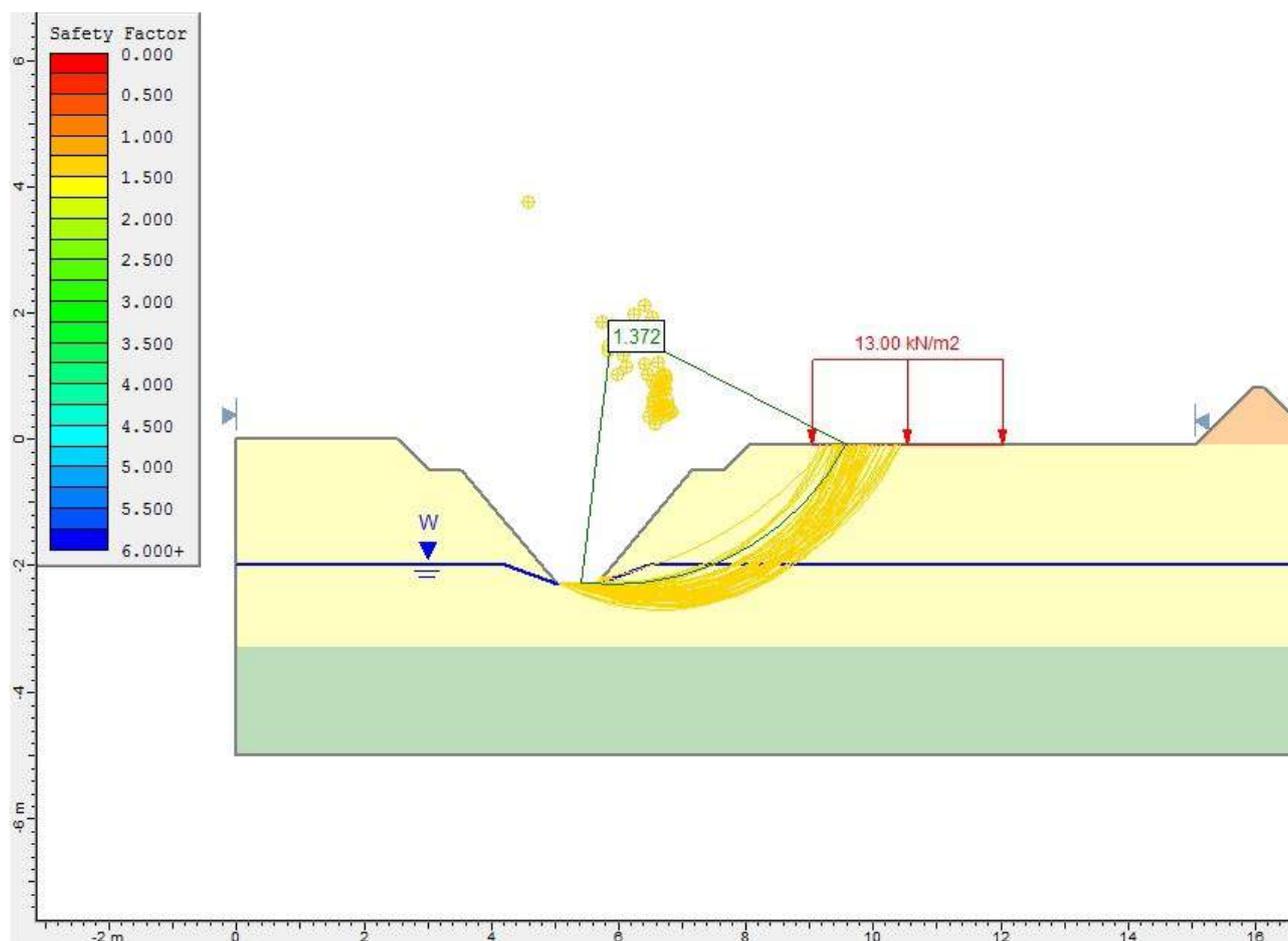
#### Water Table

0.000	-5.000
45.000	-5.000

#### Distributed Load

18.900	-0.100
15.900	-0.100

## Sezione Tipo posa Condotta in Acciaio DN 500



### Slide Analysis Information

#### Document Name

File Name: Sezione Tipo\_DN 500\_rev\_A2.sli

#### Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Failure Direction: Right to Left  
 Units of Measurement: SI Units  
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
 Groundwater Method: Water Surfaces  
 Data Output: Standard  
 Calculate Excess Pore Pressure: Off  
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
 Random Numbers: Pseudo-random Seed  
 Random Number Seed: 10116  
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Analysis Methods

Analysis Methods used:  
 Bishop simplified  
 GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Janbu corrected  
 Spencer

Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

#### Surface Options

Consorzio di Irrigazione Bealera Maestra Destra Stura. Razionalizzazione, riorganizzazione e ristrutturazione degli impianti irrigui con contestuale sfruttamento idroelettrico. Stralcio Lotto 1. RELAZIONE GEOTECNICA

Surface Type: Circular  
Search Method: Slope Search  
Number of Surfaces: 5000  
Upper Angle: Not Defined  
Lower Angle: Not Defined  
Composite Surfaces: Disabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth: Not Defined

### **Loading**

1 Distributed Load present:  
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 13 kN/m<sup>2</sup>

### **Material Properties**

#### Material: UL I

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 4 kPa  
Friction Angle: 23.91 degrees  
Water Surface: Water Table  
Custom Hu value: 1

#### Material: UL II

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 2.4 kPa  
Friction Angle: 32.94 degrees  
Water Surface: Water Table  
Hu value: automatically calculated

#### Material: Cumulo

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Friction Angle: 34 degrees  
Water Surface: Water Table  
Custom Hu value: 1

### **Global Minimums**

#### Method: bishop simplified

FS: 1.409800  
Center: 5.907, 1.814  
Radius: 4.145  
Left Slip Surface Endpoint: 5.404, -2.300  
Right Slip Surface Endpoint: 9.583, -0.100  
Resisting Moment=219.666 kN-m  
Driving Moment=155.813 kN-m

#### Method: janbu corrected

FS: 1.372390  
Center: 5.907, 1.814  
Radius: 4.145  
Left Slip Surface Endpoint: 5.404, -2.300  
Right Slip Surface Endpoint: 9.583, -0.100  
Resisting Horizontal Force=46.6594 kN  
Driving Horizontal Force=33.9987 kN

#### Method: spencer

FS: 1.401940  
Center: 5.907, 1.814  
Radius: 4.145  
Left Slip Surface Endpoint: 5.404, -2.300  
Right Slip Surface Endpoint: 9.583, -0.100  
Resisting Moment=218.44 kN-m  
Driving Moment=155.813 kN-m  
Resisting Horizontal Force=44.8641 kN  
Driving Horizontal Force=32.0015 kN

#### Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.405360  
Center: 5.907, 1.814

Radius: 4.145  
Left Slip Surface Endpoint: 5.404, -2.300  
Right Slip Surface Endpoint: 9.583, -0.100  
Resisting Moment=218.973 kN-m  
Driving Moment=155.813 kN-m  
Resisting Horizontal Force=44.8765 kN  
Driving Horizontal Force=31.9324 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4662  
Number of Invalid Surfaces: 338  
Error Codes:  
Error Code -106 reported for 24 surfaces  
Error Code -107 reported for 83 surfaces  
Error Code -108 reported for 218 surfaces  
Error Code -109 reported for 13 surfaces

#### Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 4346  
Number of Invalid Surfaces: 654  
Error Codes:  
Error Code -106 reported for 24 surfaces  
Error Code -107 reported for 83 surfaces  
Error Code -108 reported for 472 surfaces  
Error Code -109 reported for 13 surfaces  
Error Code -111 reported for 62 surfaces

#### Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 4175  
Number of Invalid Surfaces: 825  
Error Codes:  
Error Code -106 reported for 24 surfaces  
Error Code -107 reported for 83 surfaces  
Error Code -108 reported for 490 surfaces  
Error Code -109 reported for 13 surfaces  
Error Code -111 reported for 215 surfaces

#### Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4196  
Number of Invalid Surfaces: 804  
Error Codes:  
Error Code -106 reported for 24 surfaces  
Error Code -107 reported for 83 surfaces  
Error Code -108 reported for 480 surfaces  
Error Code -109 reported for 13 surfaces  
Error Code -111 reported for 204 surfaces

### **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-106 = Average slice width is less than  $0.0001 \cdot$  (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.

-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.

-108 = Total driving moment or total driving force  $< 0.1$ . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is

actually outside the soil region,even though  
the slip surface is wholly within the soil region.

-111 = safety factor equation did not converge

### **List of All Coordinates**

#### Material Boundary

15.040	-0.100
17.040	-0.100

#### Material Boundary

0.000	-3.300
20.000	-3.300

#### External Boundary

0.000	-5.000
20.000	-5.000
20.000	-3.300
20.000	-2.000
20.000	0.000
17.140	0.000
17.040	-0.100
16.130	0.820
15.960	0.820
15.040	-0.100
8.040	-0.100
7.640	-0.500
7.140	-0.500
5.807	-2.100
5.640	-2.300
5.040	-2.300
4.873	-2.100
3.540	-0.500
3.040	-0.500
2.540	0.000
0.000	0.000
0.000	-2.100
0.000	-3.300

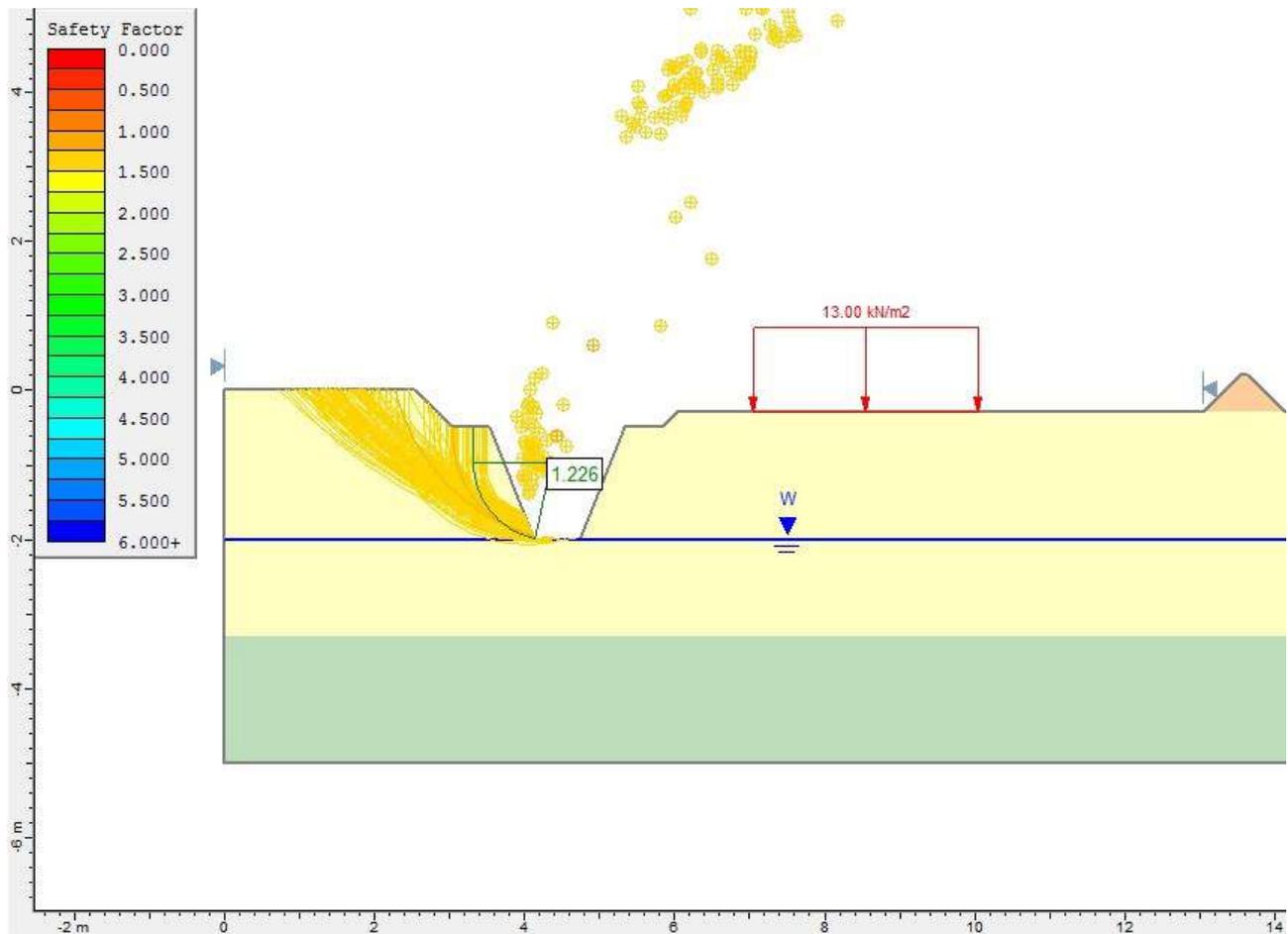
#### Water Table

0.000	-2.000
4.215	-2.000
5.040	-2.300
5.640	-2.300
6.465	-2.000
20.000	-2.000

#### Distributed Load

12.040	-0.100
9.040	-0.100

## Sezione Tipo posa Condotta in Acciaio DN 400 - 250



### Slide Analysis Information

#### Document Name

File Name: Sezione Tipo\_DN 300\_rev\_A2.sli

#### Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Failure Direction: Left to Right  
 Units of Measurement: SI Units  
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
 Groundwater Method: Water Surfaces  
 Data Output: Standard  
 Calculate Excess Pore Pressure: Off  
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
 Random Numbers: Pseudo-random Seed  
 Random Number Seed: 10116  
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Analysis Methods

Analysis Methods used:  
 Bishop simplified  
 GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Janbu corrected  
 Spencer

Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

## **Surface Options**

Surface Type: Circular  
Search Method: Slope Search  
Number of Surfaces: 5000  
Upper Angle: Not Defined  
Lower Angle: Not Defined  
Composite Surfaces: Disabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth: Not Defined

## **Loading**

1 Distributed Load present:  
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 13 kN/m<sup>2</sup>

## **Material Properties**

### Material: UL I

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 4 kPa  
Friction Angle: 23.91 degrees  
Water Surface: Water Table  
Custom Hu value: 1

### Material: UL II

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 2.4 kPa  
Friction Angle: 32.94 degrees  
Water Surface: Water Table  
Hu value: automatically calculated

### Material: Cumulo

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Friction Angle: 34 degrees  
Water Surface: Water Table  
Custom Hu value: 1

## **Global Minimums**

### Method: bishop simplified

FS: 1.226420  
Center: 4.357, -0.979  
Radius: 1.043  
Left Slip Surface Endpoint: 3.314, -0.979  
Right Slip Surface Endpoint: 4.140, -1.999  
Left Slope Intercept: 3.314 -0.500  
Right Slope Intercept: 4.140 -1.999  
Resisting Moment=9.12528 kN-m  
Driving Moment=7.44061 kN-m

### Method: janbu corrected

FS: 1.324460  
Center: 9.210, 5.404  
Radius: 8.970  
Left Slip Surface Endpoint: 2.051, 0.000  
Right Slip Surface Endpoint: 4.137, -1.994  
Resisting Horizontal Force=13.755 kN  
Driving Horizontal Force=10.3854 kN

### Method: spencer

FS: 1.308280  
Center: 6.011, 2.326  
Radius: 4.620  
Left Slip Surface Endpoint: 2.019, 0.000  
Right Slip Surface Endpoint: 4.090, -1.876  
Resisting Moment=89.8661 kN-m  
Driving Moment=68.6901 kN-m  
Resisting Horizontal Force=14.5962 kN  
Driving Horizontal Force=11.1568 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.316180

Center: 7.073, 4.787

Radius: 7.384

Left Slip Surface Endpoint: 1.450, 0.000

Right Slip Surface Endpoint: 4.135, -1.988

Resisting Moment=195.503 kN-m

Driving Moment=148.538 kN-m

Resisting Horizontal Force=21.4319 kN

Driving Horizontal Force=16.2834 kN

**Valid / Invalid Surfaces**Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4215

Number of Invalid Surfaces: 785

Error Codes:

Error Code -101 reported for 1 surface

Error Code -103 reported for 17 surfaces

Error Code -105 reported for 2 surfaces

Error Code -106 reported for 76 surfaces

Error Code -107 reported for 264 surfaces

Error Code -108 reported for 403 surfaces

Error Code -109 reported for 7 surfaces

Error Code -112 reported for 15 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 3654

Number of Invalid Surfaces: 1346

Error Codes:

Error Code -101 reported for 1 surface

Error Code -103 reported for 17 surfaces

Error Code -105 reported for 2 surfaces

Error Code -106 reported for 76 surfaces

Error Code -107 reported for 264 surfaces

Error Code -108 reported for 901 surfaces

Error Code -109 reported for 7 surfaces

Error Code -111 reported for 46 surfaces

Error Code -112 reported for 32 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 3484

Number of Invalid Surfaces: 1516

Error Codes:

Error Code -101 reported for 1 surface

Error Code -103 reported for 17 surfaces

Error Code -105 reported for 2 surfaces

Error Code -106 reported for 76 surfaces

Error Code -107 reported for 264 surfaces

Error Code -108 reported for 905 surfaces

Error Code -109 reported for 7 surfaces

Error Code -111 reported for 212 surfaces

Error Code -112 reported for 32 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3532

Number of Invalid Surfaces: 1468

Error Codes:

Error Code -101 reported for 1 surface

Error Code -103 reported for 17 surfaces

Error Code -105 reported for 2 surfaces

Error Code -106 reported for 76 surfaces

Error Code -107 reported for 264 surfaces

Error Code -108 reported for 905 surfaces

Error Code -109 reported for 7 surfaces

Error Code -111 reported for 164 surfaces

Error Code -112 reported for 32 surfaces

**Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-101 = Only one (or zero)  
surface / slope intersections.

-103 = Two surface / slope intersections,

but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.

-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.

-106 = Average slice width is less than  $0.0001 * (\text{maximum horizontal extent of soil region})$ . This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.

-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.

-108 = Total driving moment or total driving force  $< 0.1$ . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.

-111 = safety factor equation did not converge

-112 = The coefficient  $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F$   $< 0.2$  for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

### **List of All Coordinates**

#### Material Boundary

13.040	-0.300
14.140	-0.300

#### Material Boundary

0.000	-3.300
15.000	-3.300

#### External Boundary

0.000	-5.000
15.000	-5.000
15.000	-3.300
15.000	-2.100
15.000	0.000
14.440	0.000
14.140	-0.300
13.640	0.200
13.540	0.200
13.040	-0.300
6.040	-0.300
5.840	-0.500
5.340	-0.500
4.740	-2.000
4.140	-2.000
3.540	-0.500
3.040	-0.500
2.540	0.000
0.000	0.000
0.000	-2.100
0.000	-3.300

Water Table

0.000	-2.000
15.000	-2.000

Distributed Load

10.040	-0.300
7.040	-0.300