

**Autostrada SA-RC**

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA E DI DIFESA DELLE OPERE AUTOSTRADALI  
RELATIVAMENTE ALL'INTERAZIONE VIARIA CON IL FIUME MESIMA, NEL TRATTO  
COMPRESO TRA IL KM 369+800 E IL KM 378+500 DELL'AUTOSTRADA SA-RC**

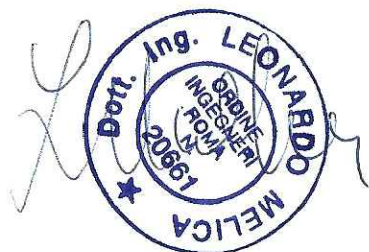
**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTAZIONE:



**MSM Ingegneria S.r.l.**  
Via della Meloria, 61 - 00136 ROMA

Ing. Leonardo Melica



GEOLOGIA:

Dott. Geol. Andrea Rondinara

Albo dei Geologi del Lazio n. 921

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

*Dott. Ing. Francesco Bianco*

RESPONSABILE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI E  
COORDINATORE TERRITORIALE

*Dott. Ing. Giuseppe Ferrara*

**OPERE DI SISTEMAZIONE E DI DIFESA IDRAULICA  
IN CORRISPONDENZA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI  
VIADOTTO MESIMA 1  
RELAZIONE DI CALCOLO**

CODICE ELABORATO

REVISIONE

SCALA:


V I A R T 0 2

0

3					
2					
1					
0	EMISSIONE	APRILE 2020	T. Salvago de Gennaro	A. Salvago de Gennaro	L. Melica
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1	Documenti e normativa di riferimento .....	2
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>5</b>
4.1	Sondaggi geognostici a carotaggio continuo.....	6
4.2	Lecture piezometriche .....	6
4.3	Prove SPT.....	7
4.4	Prove DPSH.....	10
4.5	Prove MASW .....	16
4.6	Prove di laboratorio.....	18
4.6.1	Analisi granulometriche.....	18
4.6.2	Caratterizzazione fisica.....	19
4.6.3	Limiti di Atterberg .....	19
4.6.4	Prove di taglio diretto .....	20
4.6.5	Prove di compressione edometrica .....	25
4.6.6	Riepilogo prove di caratterizzazione meccanica .....	25
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO .....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA E COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO .....</b>	<b>29</b>
7.1	Valutazione del livello di pericolosità sismica atteso sull'opera.....	29
7.2	Calcolo dei coefficienti sismici .....	31
7.2.1	Coefficienti sismici per le analisi di stabilità globale .....	31
<b>8</b>	<b>SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE .....</b>	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>34</b>
9.1	Gabbioni di pietrame.....	34
<b>10</b>	<b>VERIFICHE DI SICUREZZA.....</b>	<b>35</b>
10.1	Falda 1 condizione statica SLU (A2+M2+R2) .....	35
10.2	Falda 1 condizione Sismica SLV (1+1+1.2) .....	36
10.3	Falda 2 condizione statica SLU (A2+M2+R2) .....	37
10.4	Sintesi dei risultati.....	38
<b>11</b>	<b>FASCICOLO DEI CALCOLI.....</b>	<b>39</b>

	Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC
	<b>Relazione descrittiva e di calcolo</b>

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione descrittiva e di calcolo si inserisce nell'ambito della *“Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC.”*

La relazione è stata redatta al fine di valutare la stabilità degli interventi di sistemazione e di difesa idraulica in corrispondenza del viadotto Mesima 1, in relazione all'interazione con il versante di monte.

### 1.1 Documenti e normativa di riferimento

Nella redazione della presente relazione geologico-geotecnica sono stati presi in considerazione i seguenti documenti di riferimento:

- CNR – Commissione per le norme di ingegneria geotecnica – Definizioni di termini geotecnici;
- DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (nel seguito indicate come NTC18);
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (nel seguito indicate come “CNTC 2019”).

## 2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

La "Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC" interessa il tratto compreso all'interno della valle del Fiume Mesima nel tratto che va dallo svincolo di Mileto della Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria e il km 378+500 della stessa. In questo tratto l'autostrada corre sul fondovalle del fiume Mesima attraversandolo in quattro punti con quattro viadotti: Mesima 1, Mesima 2, Mesima 3 e Mesima 4.

Il tratto che è oggetto della presente relazione si trova in corrispondenza del viadotto *Mesima 1*; esso è ubicato a sud dello svincolo di Mileto ad una distanza di circa 1,5 km.

In quel tratto, l'alveo del fiume Mesima passa tra le pile della nuova infrastruttura autostradale e il sedime della vecchia sede della SA-RC ubicata più ad ovest.



Figura 2.1 Inquadramento su Ortofoto

### 3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto in corrispondenza del viadotto Mesima 1 prevede una serie di interventi di sistemazione e difesa idraulica tesi a riordinare l'alveo di piena e l'alveo di magra del corso d'acqua. In particolare, le opere in progetto consentiranno di reindirizzare il flusso idrico, allontanando, per quanto possibile, le parti sede del deflusso dai punti maggiormente critici. Le opere spondali previste per il presidio e la definizione dell'alveo sono costituite da gabbioni di pietraie presenti su tutto lo sviluppo della sistemazione ambo i lati.

Nel prosieguo della presente relazione sarà esperita l'analisi di stabilità delle opere spondali poste in destra idraulica che sono costituite da una sistemazione in gabbioni posta al piede del sovrastante versante naturale.

Si premette che il versante naturale in parola è caratterizzato da note condizioni di instabilità, come si evince dalle carte del PAI che lo classificano tra le aree con media ed alta pericolosità di frana, come evidenziato nell'elaborato GEO\_CT\_04\_2 contenuto nello studio geologico facente parte del presente progetto.

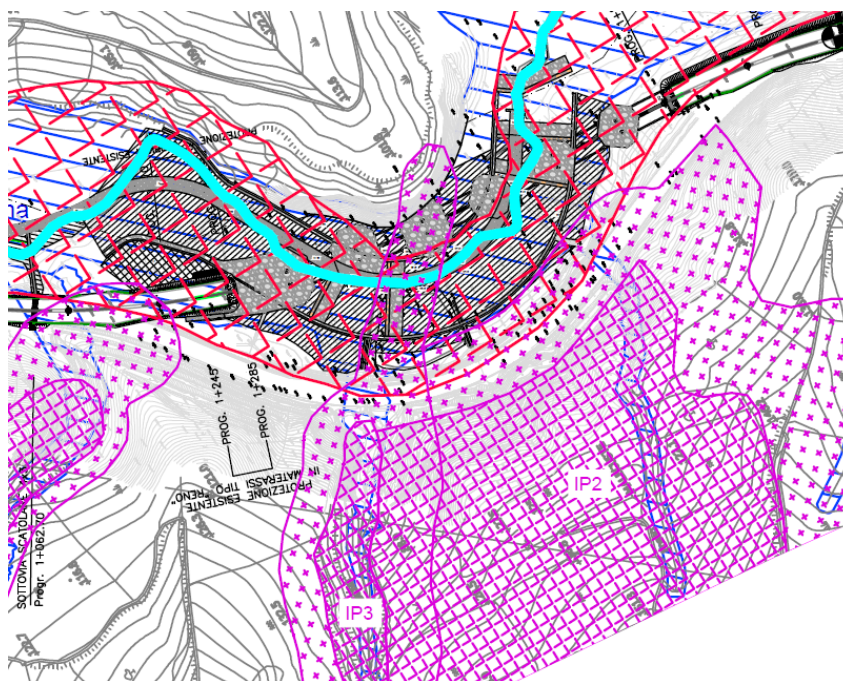


Figura 3.1 Piano di assetto idrogeologico Mesima 1

Premesso quanto sopra, si tiene a rimarcare che “la stabilizzazione” del versante nel suo complesso e la risoluzione delle predette condizioni di instabilità non sono oggetto del presente progetto e che, quindi, le verifiche di stabilità condotte hanno carattere esclusivamente locale.

## 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di permettere una caratterizzazione del sito in esame e ricostruire un modello geotecnico affidabile per il dimensionamento degli interventi previsti in situ secondo normativa di riferimento vigente è stata condotta una campagna di indagini geognostiche consistente in:

- n.4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n.5 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- n.2 prove Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) in corrispondenza dei sondaggi S1N e S2N
- prove penetrometriche standard SPT;
- analisi di laboratorio su campioni sia disturbati che non prelevati nel corso dei sondaggi;
- letture piezometriche.

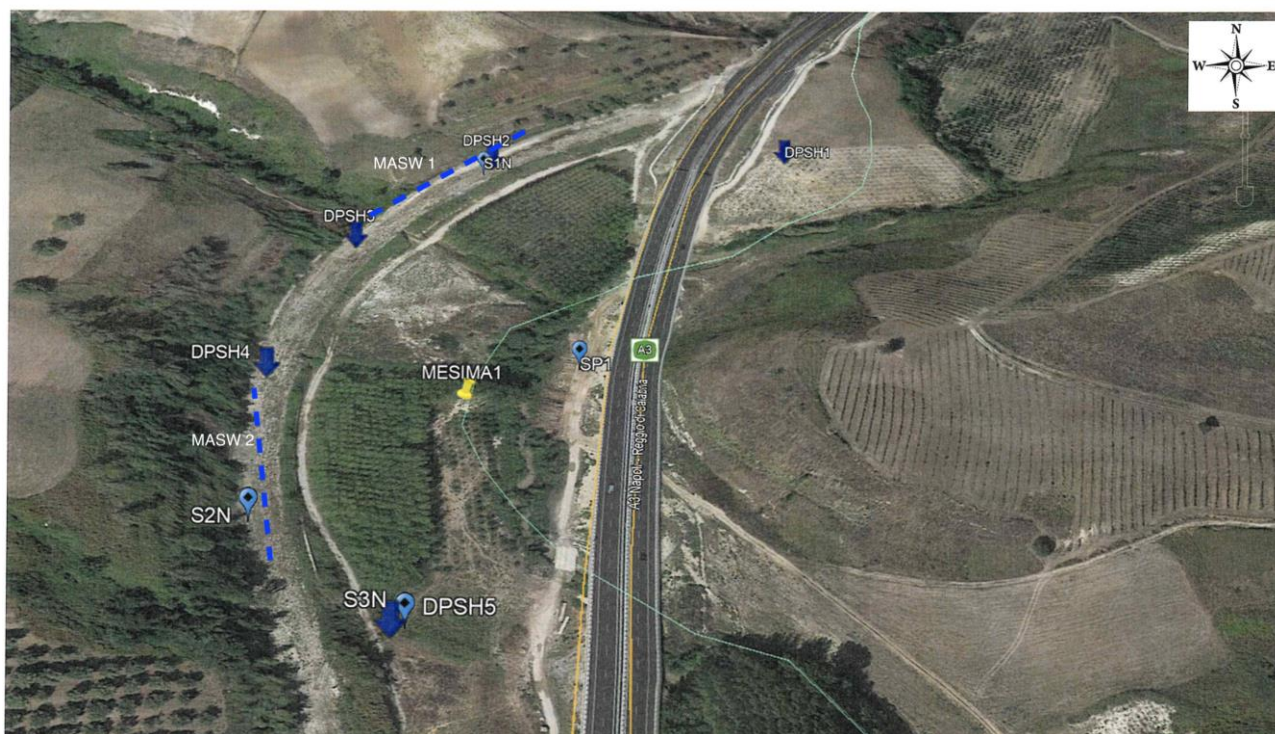


Figura 4.1 Disposizione planimetrica dei sondaggi

## 4.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

Sono stati effettuati n4 sondaggi verticali a carotaggio continuo con prelievo del materiale estratto e catalogazione ordinata del materiale all'interno di apposite cassette catalogatrici. I sondaggi sono stati eseguiti con sistema a rotazione mediante sonda CMV 600. In appendice alla presente si mostrano le colonne stratigrafiche con descrizione visiva dei litotipi riscontrati e la documentazione fotografica del materiale estratto. A seguire un report delle profondità raggiunte.

Sondaggio	prof. [m]
S1N	20
S2N	20
S3N	30
SP1	15

## 4.2 Letture piezometriche


I sondaggi S1N, S2N e S3N sono stati dotati di piezometri per il rilevamento della quota di falda.

A seguire si mostrano i risultati ottenuti.

Dati del piezometro		Risultati	
Sondaggio	S1N	Data	Lettura
Diametro	50.8 mm	27/06/19	-7.30 m
Tipo di piez.	tubo aperto	28/06/19	-7.28 m
Lunghezza tubo	20 m	03/07/19	-7.27 m
quota boccaforo	+ 75.5 s.l.m.		

Dati del piezometro		Risultati	
Sondaggio	S2N	Data	Lettura
Diametro	50.8 mm	27/06/19	9.80 m
Tipo di piez.	tubo aperto	03/07/19	9.75 m
Lunghezza tubo	20 m		
quota boccaforo	+ 78.0 s.l.m.		

Dati del piezometro		Risultati	
Sondaggio	S3N	Data	Lettura
Diametro	50.8 mm	02/07/19	4.90 m
Tipo di piez.	tubo aperto	03/07/19	4.84 m
Lunghezza tubo	20 m		
quota boccaforo	+ 71.0 s.l.m.		

	Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC
	<b>Relazione descrittiva e di calcolo</b>

### 4.3 Prove SPT

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite Prove Penetrometriche Dinamiche del tipo S.P.T. (Standard Penetration Test) secondo quanto indicato nelle "Raccomandazioni AGI, 1977".

L'attrezzatura impiegata è riassumibile come di seguito:

- campionatore Raymond;
- punta conica Ø 50,8 mm e angolo di punta pari 60°;
- massa battente del peso di 63,5 Kg;
- batteria di aste collegabili al campionatore aventi un peso di 6,5 Kg al metro lineare con un'oscillazione massima di 0,5 Kg/ml;
- dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio all'altezza di 75 cm; centratore di guida disposto tra la testa di battuta ed il piano campagna;
- tubazione provvisoria di rivestimento con diametro interno superiore a quello esterno delle aste di un valore massimo di 6 cm.

La prova consiste nel far penetrare il campionatore posato in fondo al foro, per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi {N1,N2,N3}, ogni prova viene preceduta dalla pulizia del fondo foro. Con il primo tratto "di avviamento" si supera la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto compatto con N1 = 50 ed avanzamento minore di 15 cm, l'infissione deve essere sospesa: la prova è dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977, e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 0,15 a 0,30 e da 0,30 a 0,45 m) fino ad un limite complessivo di 100 colpi (N2 + N3) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto. Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto, è definito come somma di N2 e N3 pari a N<sub>spt</sub> ed esprime il numero di colpi per 30 cm utili di penetrazione.

Nel caso dell'interpretazione dei risultati di prove penetrometriche standard (SPT) è disponibile una vastissima letteratura di correlazioni empiriche, che consente di determinare per via indiretta i parametri di resistenza al taglio, di deformabilità e di resistenza alla liquefazione di un terreno non coesivo. Nello specifico, per terreni a grana fina (sabbie fini, sabbie limose) e mista (elementi a grana grossa in matrice fina), in presenza di falda, i valori di NSPT da introdurre nelle relazioni empiriche di correlazione, si otterranno correggendo i valori di NSPT ottenuti dalla prova mediante l'espressione (Terzaghi e Peck, 1948):

$$N'_{SPT} = 15 + 0,5(N_{SPT} - 15)$$

La correzione è da applicarsi per valori di N<sub>SPT</sub> maggiori di 15.

La valutazione dell'angolo di resistenza a taglio (di picco)  $\varphi'$  è eseguita con riferimento alle seguenti correlazioni disponibili in letteratura:

$$\varphi' = \sqrt{15 N_{SPT} + 15}$$

*De Mello*

Progettisti: MSM INGEGNERIA S.r.l.		Pag.7 di 39
---------------------------------------	---	-------------



$$\varphi' = 0,3 N_{SPT} + 27$$

*Shioi Fukuni*

$$\varphi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{SPT}}{12,2 + 20,3 \frac{\sigma'_v}{p_a}} \right]^{0,34} \quad p_a = 101,325 \text{ kPa} \quad \text{Metodo razionale}$$

Il valore della coesione non drenata per terreni a grana fina può essere valutato con la seguente espressione (Terzaghi e Peck, 1948):

$$c_u = 6,7 N_{SPT} \quad \text{Terzaghi e Peck (1948)}$$

Il modulo di elasticità in condizioni drenate, invece, è da valutare con le correlazioni riportate di seguito, in funzione del tipo di terreno da caratterizzare.

**Terreni a grana grossa** (Jamiolkowski et al., 1988)

Il modulo "operativo" può essere assunto pari a quello corrispondente a tensioni dell'ordine del 25% di quelle a rottura, valutabili come segue:

$$E' = E'_{25} = 100 * (10,5 - 3,5 * Dr) \times N_{SPT} \quad \text{per terreni normal consolidati [kPa]}$$

$$E' = E'_{25} = 100 * (52,5 - 3,5 * Dr) \times N_{SPT} \quad \text{per terreni sovraconsolidati [kPa]}$$

**Terreni a grana fina**

$$E' = N_{SPT} * 900 \quad [\text{kPa}]$$

Per il valore del modulo di elasticità in condizione non drenate (terreni a grana fine) è possibile ricorrere alla correlazione seguente (Stroud, 1989).

$$E_u = 100 * N_{SPT} * m \quad [\text{kPa}]$$

in cui il parametro m varia fra 6,3 e 10,4 (cautelativamente si assumerà m = 6,3).

Per il calcolo della densità relativa  $D_R$  (terreni a grana grossa o frazione grossa nei terreni a grana mista) si potranno infine impiegare le correlazioni seguenti.

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{17 + 24 \times \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}}} \quad \text{Gibbz e Holtz (1953,1957)}$$

$$D_R (\%) = \sqrt{\frac{C_N \times N_{SPT}}{n}} \quad c_N = \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,5} \quad \text{Kulhawy \& Mayne (1990)}$$

in cui il parametro n, variabile da circa 70 a circa 93, è stato valutato sulla base delle indicazioni di Kulhawy & Mayne in funzione dell'efficienza del sistema di battitura, assunta pari al 60% del diametro della perforazione eseguita e della profondità di esecuzione della prova.

$$D_R^2 = \frac{N_{30}}{20 \times (1 + 4,1 \times \sigma'_{v0})} \quad \sigma'_{v0} \leq 73,2 \text{ kPa} \quad \text{Bazaraa (1967)}$$

$$D_R^2 = \frac{N_{30}}{20 \times (3,24 + 1,024 \times \sigma'_{v0})} \quad \sigma'_{v0} > 73,2 \text{ kPa} \quad \text{Bazaraa (1967)}$$

In tabella a seguire i risultati ottenuti.

SONDAGGIO	PROFONDITA' PROVA [m]	CAMPIONATORE RAYMOND [R] O PUNTA CONICA [C]	PROFONDITA' FALDA [m]	TERRENO A GRANA GROSSA (G), FINE (F), MISTA (M)	OCR (indicare NC o SC)	NUMERO COLPI REGISTRATI			N <sub>60</sub> =N <sub>2</sub> +N <sub>3</sub> per punta cava N <sub>60</sub> =(N <sub>2</sub> +N <sub>3</sub> )x0,8 per punta conica	N30c corretto per presenza di falda solo in sabbie fini o sabbie limose	TENSIONE VERTICALE EFFICACE σ'v [kPa]
						N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>			
S1N	0.0	R	7.2	F	NC	0	0	0	0	0	0
S1N	4.5	R	7.2	F	NC	3	6	8	14	14	77
S1N	8.5	R	7.2	F	NC	5	7	9	16	16	134
S1N	14.5	R	7.2	F	NC	6	9	9	18	17	188
S1N	18.0	R	7.2	F	NC	7	9	13	22	19	220
S2N	0.0	R	9.7	F	NC	0	0	0	0	0	0
S2N	3.0	R	9.7	F	NC	4	7	7	14	14	51
S2N	6.5	R	9.7	F	NC	5	8	7	15	15	111
S2N	11.5	R	9.7	F	NC	7	9	12	21	18	181
S2N	14.5	R	9.7	F	NC	10	12	16	28	22	208
S2N	16.5	R	9.7	F	NC	10	12	14	26	21	226
S3N	0.0	R	4.8	F	NC	0	0	0	0	0	0
S3N	2.5	R	4.8	F	NC	7	9	11	20	18	43
S3N	6.0	R	4.8	F	NC	9	14	16	30	23	92
S3N	10.5	R	4.8	F	NC	4	5	7	12	12	133
S3N	16.0	R	4.8	F	NC	10	13	18	31	23	182
S3N	23.5	R	4.8	F	NC	22	26	33	59	37	250
SP1	0.0	R	0.0	M	NC	0	0	0	0	0	0
SP1	3.0	R	0.0	M	NC	2	3	3	6	6	27
SP1	6.0	R	0.0	M	NC	3	5	7	12	12	54
SP1	9.5	R	0.0	M	NC	5	5	5	10	10	86
SP1	12.0	R	0.0	M	NC	3	6	6	12	12	108

**Relazione descrittiva e di calcolo**

SONDAGGIO	PROFONDITA' PROVA [m]	ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO DI PICCO				DENSITA' RELATIVA				MODULO DI ELASTICITA' DI YOUNG IN COND. DRENATE				MODULO DI YOUNG NON DRENATO (Stroud, 1989)	COESIONE NON DRENATA (Terzaghi e Peck, 1948)					
		Metodo 1 (De Mello, 1971)		Metodo 2 (Shioji e Fukuni, 1982)		Metodo 3 (Schmertmann, 1975)		MEDIA	Metodo 1 (Bazaraa, 1967)		Metodo 2 (Gibbs e Holtz, 1953)		Metodo 3 (Kulhawy e Mayne, 1990)			MEDIA	Metodo 1 grana grossa o mista (Jamiołkowski, 1988)	Metodo 2 grana grossa o mista (Shultz e Stroud, 1989)	MEDIA	
		φ'	φ'	φ'	φ'	D <sub>r</sub>	D <sub>r</sub>		D <sub>r</sub>	D <sub>r</sub>	E'	E'	E'							E'
		[°]	[°]	[°]	[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]			
S1N	0.0	15	27	0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0			
S1N	4.5	29	31	38	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E+04	1.26E+04	8.82E+04	94			
S1N	8.5	30	32	36	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40E+04	1.40E+04	9.77E+04	104			
S1N	14.5	31	32	34	32	-	-	-	-	-	-	-	-	1.49E+04	1.49E+04	1.04E+05	111			
S1N	18.0	32	33	34	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67E+04	1.67E+04	1.17E+05	124			
S2N	0.0	15	27	0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0			
S2N	3.0	29	31	40	34	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E+04	1.26E+04	8.82E+04	94			
S2N	6.5	30	32	37	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1.35E+04	1.35E+04	9.45E+04	101			
S2N	11.5	31	32	36	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1.62E+04	1.62E+04	1.13E+05	121			
S2N	14.5	33	33	36	34	-	-	-	-	-	-	-	-	1.94E+04	1.94E+04	1.35E+05	144			
S2N	16.5	33	33	35	34	-	-	-	-	-	-	-	-	1.85E+04	1.85E+04	1.29E+05	137			
S3N	0.0	15	27	0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0			
S3N	2.5	31	32	43	36	-	-	-	-	-	-	-	-	1.58E+04	1.58E+04	1.10E+05	117			
S3N	6.0	33	34	42	36	-	-	-	-	-	-	-	-	2.03E+04	2.03E+04	1.42E+05	151			
S3N	10.5	28	31	34	31	-	-	-	-	-	-	-	-	1.08E+04	1.08E+04	7.56E+04	80			
S3N	16.0	34	34	38	35	-	-	-	-	-	-	-	-	2.07E+04	2.07E+04	1.45E+05	154			
S3N	23.5	39	38	40	39	-	-	-	-	-	-	-	-	3.33E+04	3.33E+04	2.33E+05	248			
SP1	0.0	15	27	0	14	0.00	0.00	#DIV/0!	#####	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00E+00	#DIV/0!	0.00E+00	0.00E+00	0				
SP1	3.0	24	29	35	29	0.38	0.51	0.38	0.42	5,415	10,770	5.40E+03	7.20E+03	3.78E+04	40					
SP1	6.0	28	31	39	33	0.43	0.63	0.45	0.51	10,473	13,934	1.08E+04	1.17E+04	7.56E+04	80					
SP1	9.5	27	30	35	31	0.35	0.52	0.37	0.41	9,059	12,879	9.00E+03	1.03E+04	6.30E+04	67					
SP1	12.0	28	31	35	31	0.37	0.53	0.38	0.43	10,804	13,934	1.08E+04	1.18E+04	7.56E+04	80					

#### 4.4 Prove DPSH

Le prove penetrometriche dinamiche dpsh sono prove geotecniche puntuali e consistono nell'infingere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio.

Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche dpsh scpt sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione. Il campo di utilizzazione è molto vasto, potendo essere eseguita praticamente in tutti i tipi di terreno e fornendo una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

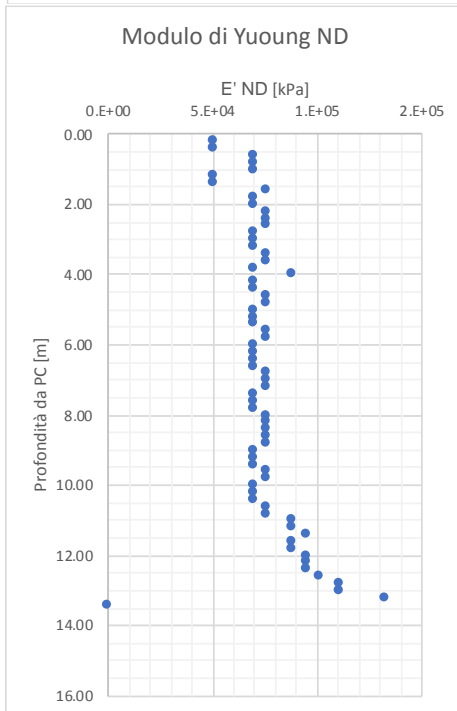
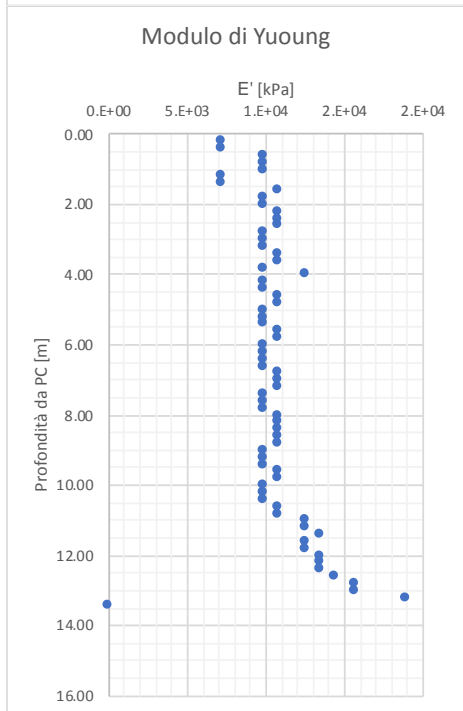
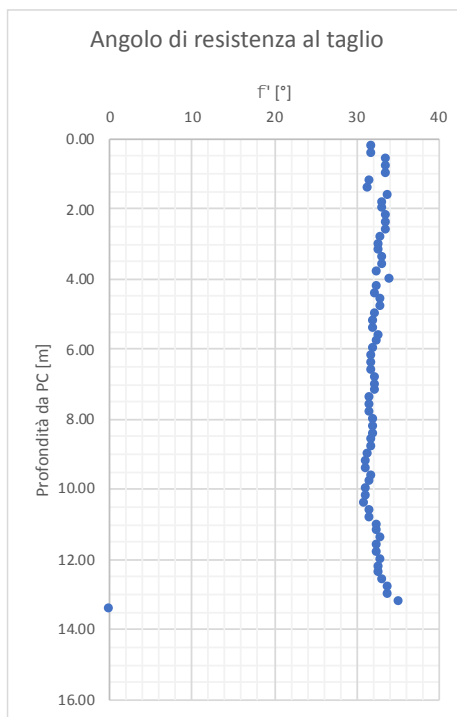
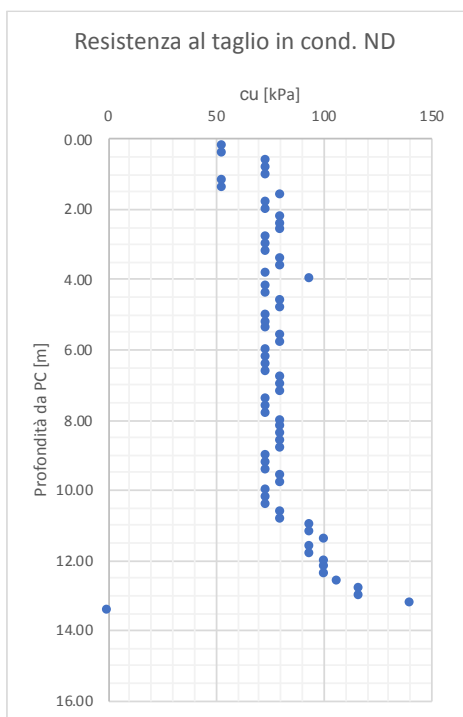
La prova restituisce il numero di colpi necessari all'avanzamento standard pari a 20 cm. Al fine di elaborare i risultati ottenuti è stata utilizzata la relazione seguente proposta dagli autori LaCroiz & Horn (1973) che permette di risalire al valore equivalente N<sub>SPT</sub> e quindi procedendo alle elaborazioni descritte al paragrafo precedente ed a seguire presentate in diagrammi.

$$N_{SPT} = \frac{W H}{6.2 D^2 L} N \quad \text{LaCroiz \& Horn (1973)}$$

In cui W è il peso del maglio in kg, H è l'altezza di caduta in cm, D è il diametro del cono in cm<sup>2</sup> L è la penetrazione standard in cm ed N è il numero di colpi registrato all'i-esima profondità.

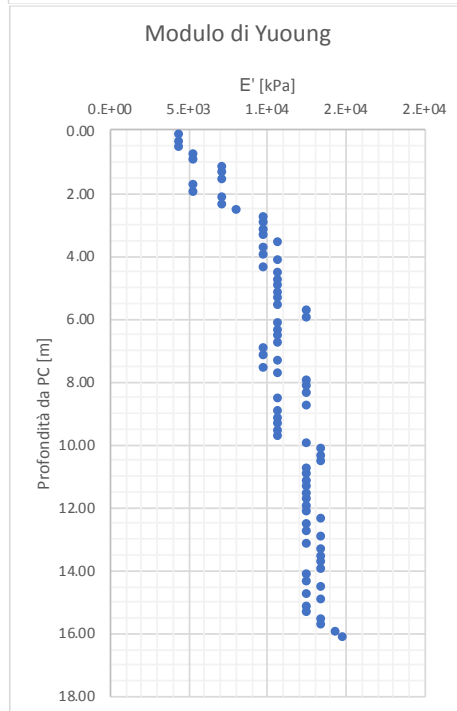
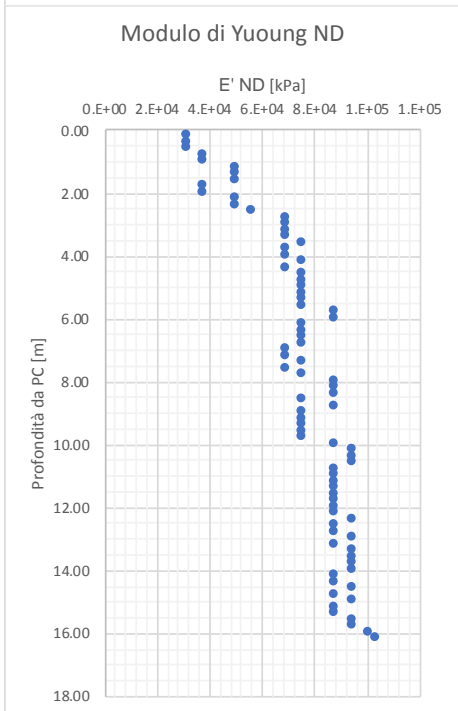
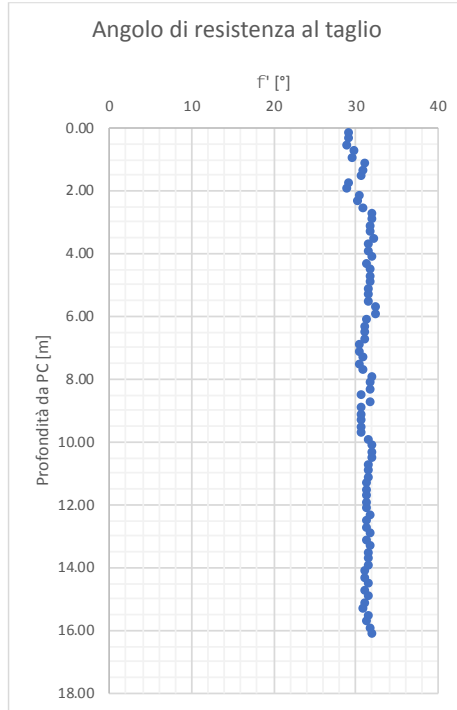
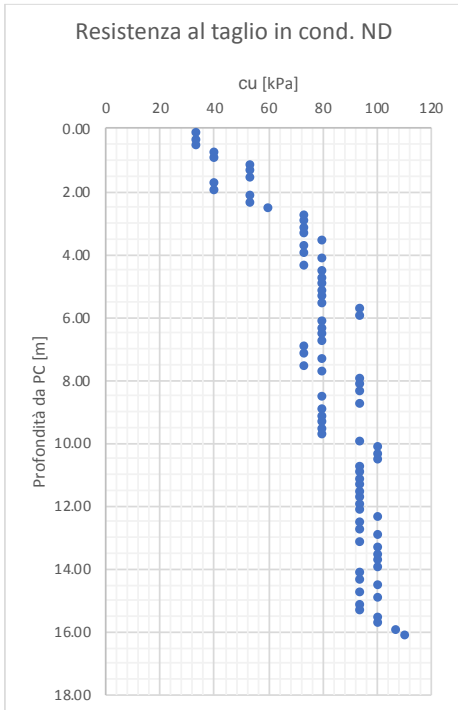
**Caratteristiche di prova**

prova **DPSH 1** denominazione della prova  
 $\varnothing$  [cm] **5.05** diametro del cono  
W [kg] **63.5** peso del maglio  
H [cm] **75** altezza di caduta  
L [cm] **20** penetrazione standard  
hw [m] **0.0** profondità della falda da PC



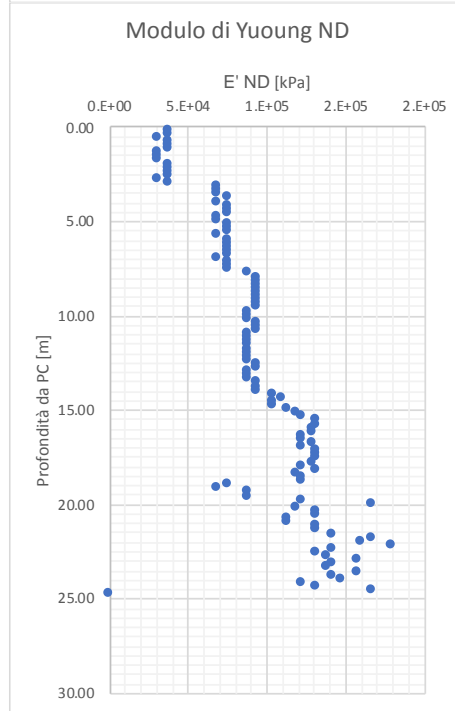
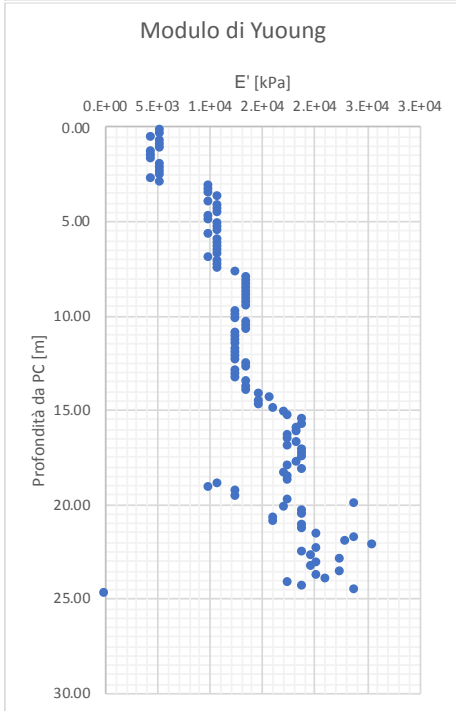
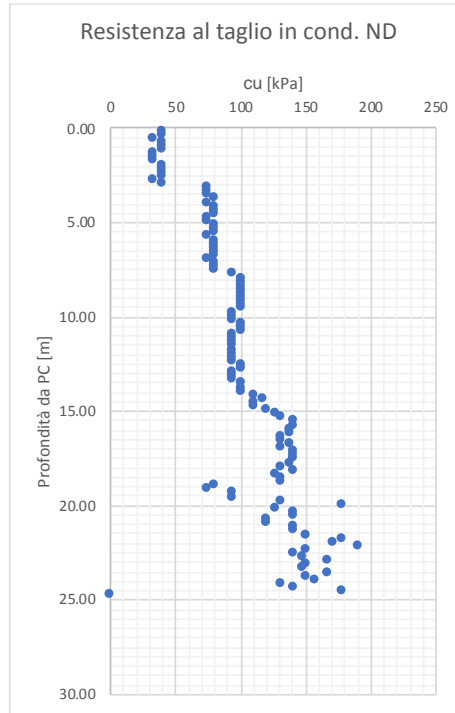
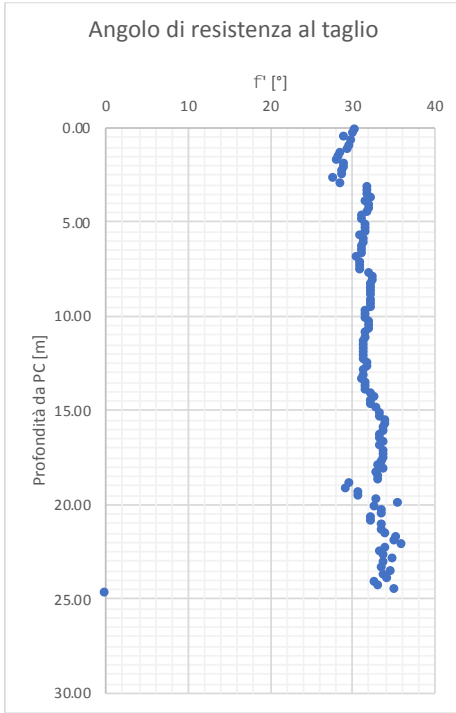
**Caratteristiche di prova**

prova	DPSH 2	denominazione della prova
Ø [cm]	5.05	diametro del cono
W [kg]	63.5	peso del maglio
H [cm]	75	altezza di caduta
L [cm]	20	penetrazione standard
hw [m]	7.2	profondità della falda da PC



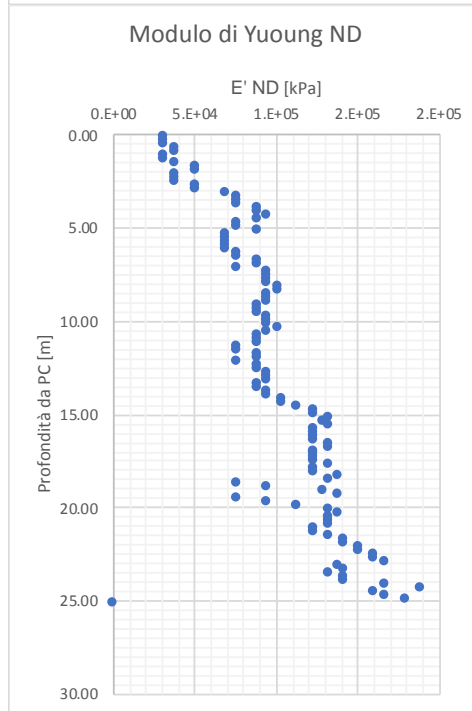
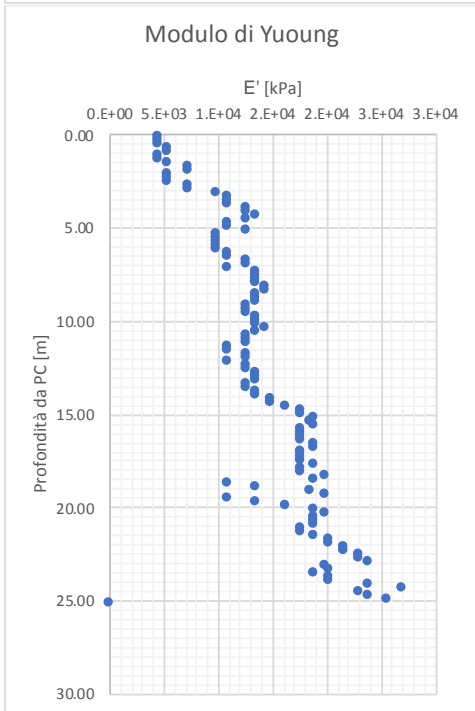
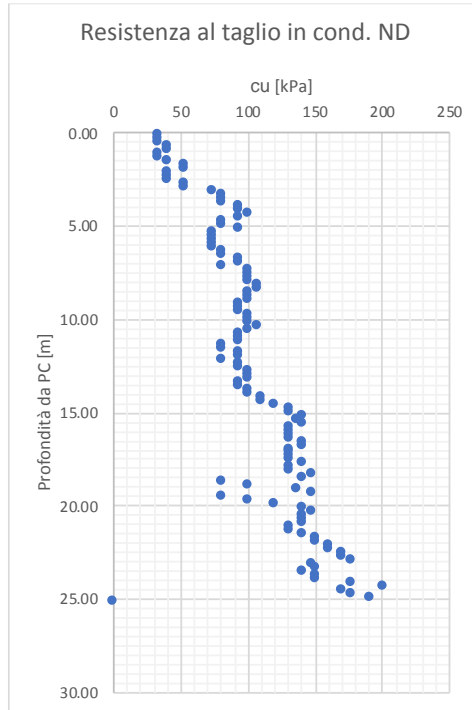
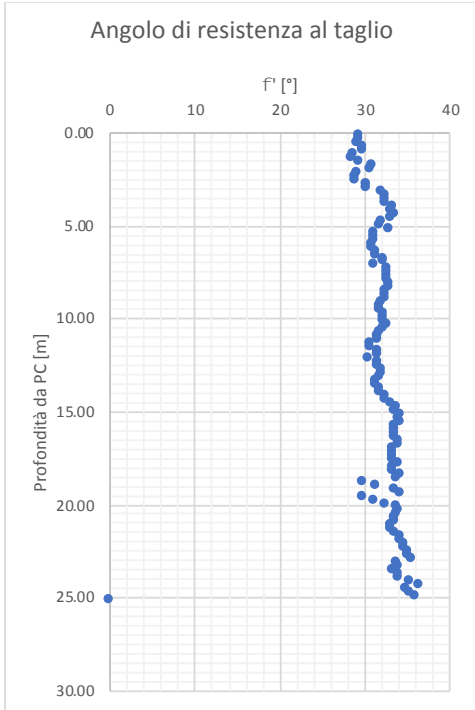
**Caratteristiche di prova**

prova **DPSH 3** denominazione della prova  
 $\varnothing$  [cm] **5.05** diametro del cono  
W [kg] **63.5** peso del maglio  
H [cm] **75** altezza di caduta  
L [cm] **20** penetrazione standard  
hw [m] **7.2** profondità della falda da PC



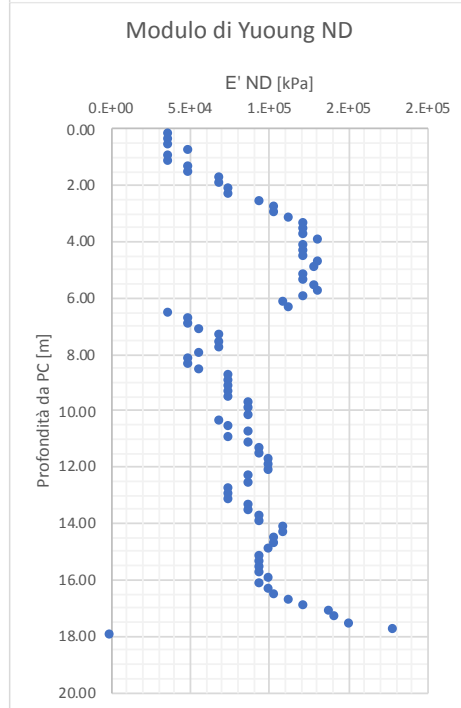
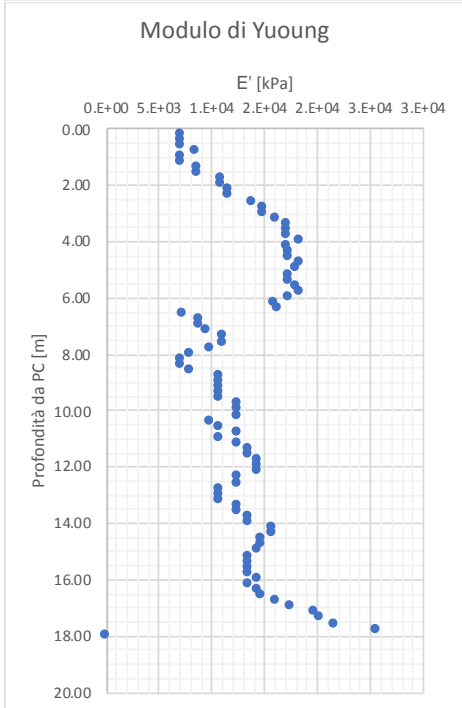
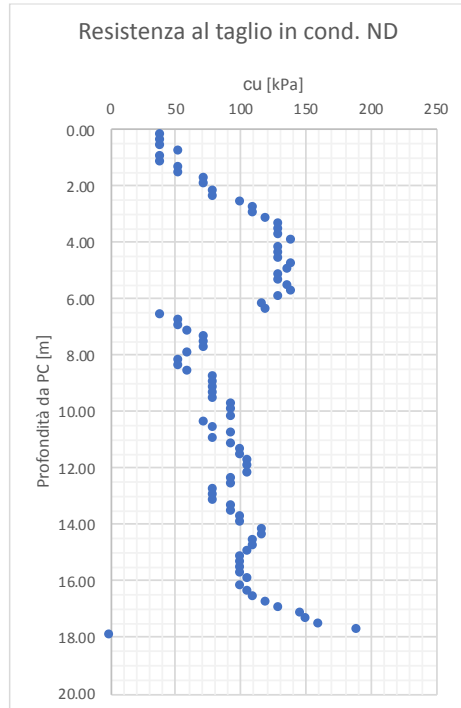
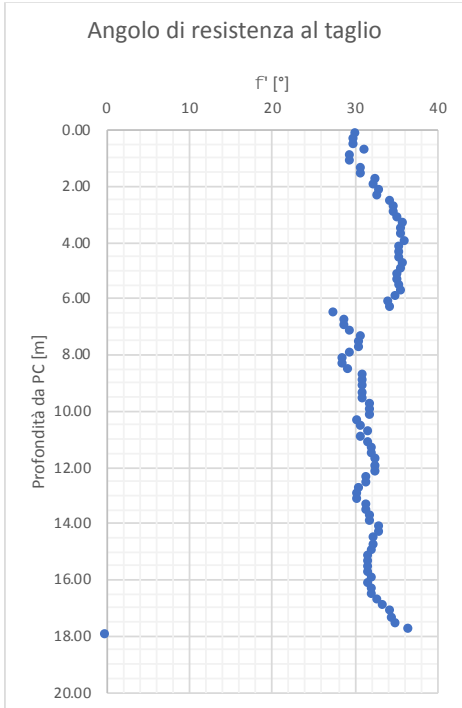
**Caratteristiche di prova**

prova **DPSH 4** denominazione della prova  
 $\varnothing$  [cm] **5.05** diametro del cono  
W [kg] **63.5** peso del maglio  
H [cm] **75** altezza di caduta  
L [cm] **20** penetrazione standard  
hw [m] **7.2** profondità della falda da PC




**Caratteristiche di prova**

prova **DPSH 5** denominazione della prova  
 $\varnothing$  [cm] **5.05** diametro del cono  
 W [kg] **63.5** peso del maglio  
 H [cm] **75** altezza di caduta  
 L [cm] **20** penetrazione standard  
 hw [m] **4.8** profondità della falda da PC





	Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC
	<b>Relazione descrittiva e di calcolo</b>

## 4.5 Prove MASW

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente.

L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali ( $v_s$ ) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico. L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono: l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo.

Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento. Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio ( $v_s$ ), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume ( $v_p$ ).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh, a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Le Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing. In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in funzione della profondità ed il calcolo della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità definita dall'espressione seguente (§3.2.2 delle NTC 2018):

Progettisti: MSM INGEGNERIA S.r.l.		Pag.16 di 39
---------------------------------------	---	--------------

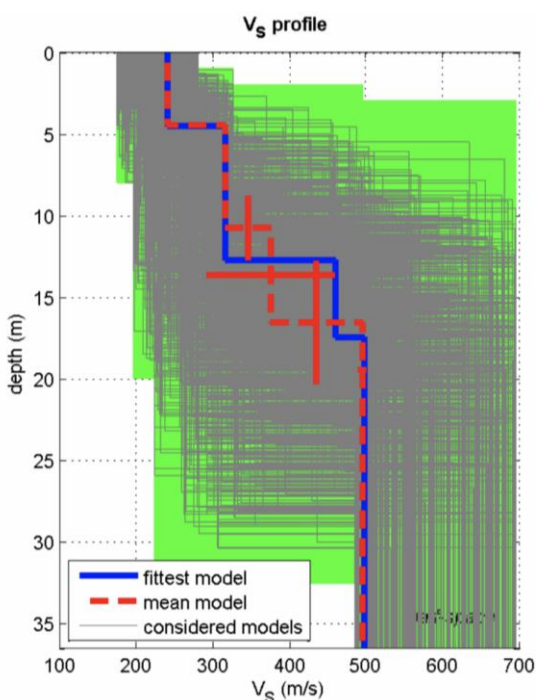
$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [m/s]$$

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo a 24 canali della PASI di Torino, modello 16SG24, con processore Pentium IV, display VGA a colori in LCD-TFT 10.4" TouchScreen, trattamento del segnale a 16 bit, trattamento dei dati Floating Point 32 bit, supporto di memorizzazione mediante Hard-Disk da 40 Gb, con funzione di incremento multiplo del segnale ad opzione per l'inversione di polarità, attivazione di filtri "passa alto", "passa basso" e "notch" in acquisizione o post-acquisizione. I guadagni sono selezionabili da software manualmente per ogni canale o in modo automatico e le acquisizioni sono automaticamente registrate sullo strumento. Sono stati 24 geofoni da 4,5 Hz e, come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 5 Kg battuta su una piastra metallica.

Per quanto concerne la stesa MASW 1, gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una Vs30 (al piano campagna) pari a **370 m/sec** individuando, insieme alle valutazioni litologiche, per il sito in esame un **suolo B** (§3.2.2 delle NTC 2018).

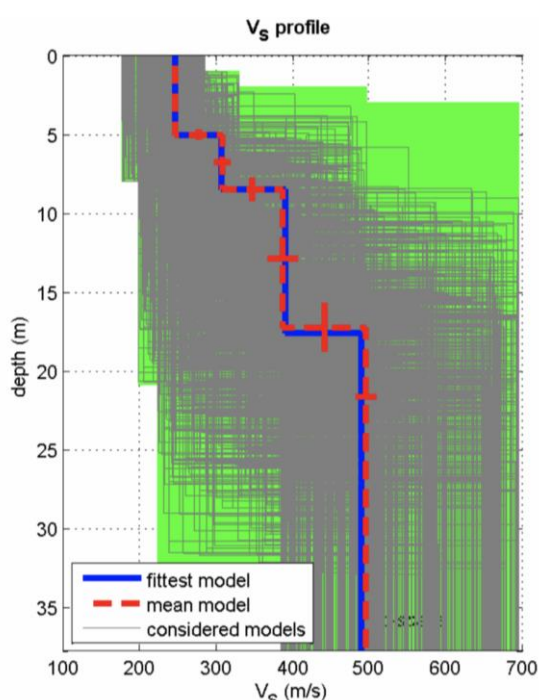
Per quanto concerne la stesa MASW 2, gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una Vs30 (al piano campagna) pari a **374 m/sec**, individuando, insieme alle valutazioni litologiche, per il sito in esame un **suolo B** (§3.2.2 delle NTC 2018).

Di seguito si riportano i risultati delle prove eseguite.



dataset: mes1-5.DAT  
dispersion curve: mes-1b.cdp  
Vs30 (best model): 374 m/s  
Vs30 (mean model): 370 m/s

Figura 4.2 Profili indagine MASW1



dataset: mes2-5.DAT  
dispersion curve: mes-2.cdp  
Vs30 (best model): 373 m/s  
Vs30 (mean model): 374 m/s

Figura 4.3 Profili indagine MASW2

## 4.6 Prove di laboratorio

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati dei campioni di tipo disturbato e non, quindi portati in laboratorio dove sono state condotte delle analisi propedeutiche alla caratterizzazione fisico meccanica dei materiali.

A seguire si riporta un quadro generale dei campioni prelevati e relative prove cui sono stati sottoposti.

sondaggio	Campione	Tipo	Prof. [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n	w <sub>n</sub> [%]	Analisi granulom.	Limi di Atterberg	TD	ELL	ED
S1N	T1	IND	3.3	■	■	■	■	■	■	■	-	-
S1N	T2	IND	6.8	■	■	■	■	■	■	-	-	-
S1N	T3	IND	12.3	■	■	■	■	■	■	-	■	-
S1N	T5	CR	4.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S1N	T6	CR	8.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S1N	T7	CR	14.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S1N	T8	CR	18.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S2N	T9	CR	3.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S2N	T10	CR	6.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S2N	T11	CR	14.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S2N	T12	CR	16.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S3N	T3	CR	2.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S3N	T4	CR	6.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S3N	T1	IND	8.3	■	■	■	■	■	■	■	-	■
S3N	T5	CR	10.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S3N	T2	IND	10.3	■	■	■	■	■	■	■	■	-
S3N	T6	CR	16.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-
S3N	T7	CR	23.7	-	■	-	■	■	■	-	-	-
SP1	T14	CR	3.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-
SP1	T13	IND	9.3	■	■	■	■	■	■	■	■	-
SP1	T15	CR	9.5	-	■	-	■	■	■	-	-	-
SP1	T16	CR	12.2	-	■	-	■	■	■	-	-	-

### 4.6.1 Analisi granulometriche

sondaggio	Campione	Tipo	Prof. [m]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	denominazione
S1N	T1	IND	3.3	0.00	46.35	21.34	32.31	sabbia con argilla limosa
S1N	T2	IND	6.8	0.00	43.61	27.36	29.03	sabbia con argilla con limo
S1N	T3	IND	12.3	0.00	27.41	30.08	42.50	argilla con limo con sabbia
S1N	T5	CR	4.7	3.80	70.62	15.37	10.21	sabbia debolmente limosa debolmente argillosa
S1N	T6	CR	8.7	0.00	35.04	29.07	35.89	argilla e sabbia con limo
S1N	T7	CR	14.7	0.00	28.35	30.62	41.02	argilla con limo con sabbia
S1N	T8	CR	18.2	0.00	26.45	32.96	40.59	argilla con limo con sabbia
S2N	T9	CR	3.2	0.00	22.86	33.24	43.90	argilla con limo sabbiosa
S2N	T10	CR	6.7	0.00	24.33	33.72	41.95	argilla con limo sabbiosa
S2N	T11	CR	14.7	0.34	75.41	13.94	10.31	sabbia debolmente limosa debolmente argillosa
S2N	T12	CR	16.7	0.00	36.44	27.61	35.95	sabbia e argilla con limo
S3N	T3	CR	2.7	2.88	71.87	15.09	10.16	sabbia limosa debolmente argillosa
S3N	T4	CR	6.2	5.44	83.23	5.78	5.55	sabbia
S3N	T1	IND	8.3	0.00	37.98	27.91	34.11	sabbia e argilla con limo
S3N	T5	CR	10.2	0.00	34.42	30.83	34.85	argilla e sabbia e limo
S3N	T2	IND	10.3	0.00	38.29	26.21	35.50	sabbia e argilla con limo
S3N	T6	CR	16.2	22.46	35.48	24.34	17.72	sabbia con limo ghiaiosa argillosa
S3N	T7	CR	23.7	0.00	38.34	25.35	36.31	sabbia e argilla con limo
SP1	T14	CR	3.2	0.64	92.71	0.49	6.16	sabbia
SP1	T13	IND	9.3	0.00	31.06	45.03	23.91	limo con sabbia argillosa
SP1	T15	CR	9.5	0.00	72.47	15.62	11.91	sabbia limosa argillosa
SP1	T16	CR	12.2	0.00	90.43	1.81	7.76	sabbia

#### 4.6.2 Caratterizzazione fisica

sondaggio	Campione	Tipo	Prof. [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
S1N	T1	IND	3.3	18.4	26.5	0.47	14.1	18.8
S1N	T2	IND	6.8	18.5	26.5	0.47	14.1	18.8
S1N	T3	IND	12.3	18.0	26.5	0.48	13.7	18.5
S1N	T5	CR	4.7	-	27.2	-	-	-
S1N	T6	CR	8.7	-	26.6	-	-	-
S1N	T7	CR	14.7	-	26.6	-	-	-
S1N	T8	CR	18.2	-	26.6	-	-	-
S2N	T9	CR	3.2	-	26.5	-	-	-
S2N	T10	CR	6.7	-	26.8	-	-	-
S2N	T11	CR	14.7	-	27.1	-	-	-
S2N	T12	CR	16.7	-	26.6	-	-	-
S3N	T3	CR	2.7	-	27.1	-	-	-
S3N	T4	CR	6.2	-	26.7	-	-	-
S3N	T1	IND	8.3	18.6	26.4	0.48	13.8	18.6
S3N	T5	CR	10.2	-	26.5	-	-	-
S3N	T2	IND	10.3	18.5	26.5	0.47	14.0	18.7
S3N	T6	CR	16.2	-	26.6	-	-	-
S3N	T7	CR	23.7	-	26.7	-	-	-
SP1	T14	CR	3.2	-	26.6	-	-	-
SP1	T13	IND	9.3	19.6	26.8	0.43	15.4	19.7
SP1	T15	CR	9.5	-	26.4	-	-	-
SP1	T16	CR	12.2	-	-	-	-	-

#### 4.6.3 Limiti di Atterberg

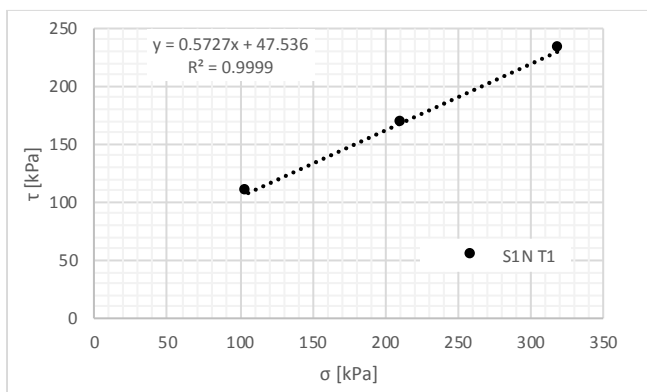
sondaggio	Campione	Tipo	Prof. [m]	$w_n$ [%]	$w_l$ [%]	$w_p$ [%]	$I_p$ [%]	$I_L$	$I_c$	Tipo di Consistenza
S1N	T1	IND	3.3	30	34	23	11	0.66	0.34	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S1N	T2	IND	6.8	31	36	23	13	0.61	0.39	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S1N	T3	IND	12.3	31	40	25	15	0.41	0.59	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S1N	T5	CR	4.7	30	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico
S1N	T6	CR	8.7	30	39	25	14	0.38	0.62	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S1N	T7	CR	14.7	30	34	23	11	0.60	0.40	poco plastico, stato plastico, plastico
S1N	T8	CR	18.2	28	34	24	10	0.43	0.57	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S2N	T9	CR	3.2	29	38	21	17	0.48	0.52	plastico, stato plastico, plastico
S2N	T10	CR	6.7	29	33	22	11	0.68	0.32	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S2N	T11	CR	14.7	30	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico
S2N	T12	CR	16.7	31	40	25	15	0.37	0.63	poco plastico, stato plastico, molle plastico
S3N	T3	CR	2.7	10	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico
S3N	T4	CR	6.2	17	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico
S3N	T1	IND	8.3	34	35	22	13	0.94	0.06	poco plastico, stato plastico, fluido plastico
S3N	T5	CR	10.2	41	35	23	12	1.46	-0.46	poco plastico, stato plastico, fluido
S3N	T2	IND	10.3	32	36	22	14	0.75	0.25	poco plastico, stato plastico, fluido plastico
S3N	T6	CR	16.2	22	34	23	11	-0.06	1.06	poco plastico, stato semisolido, stato semisolido
S3N	T7	CR	23.7	16	42	25	17	-0.50	1.50	plastico, stato semisolido, stato semisolido
SP1	T14	CR	3.2	27	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico
SP1	T13	IND	9.3	27	28	21	7	0.90	0.10	poco plastico, stato plastico, fluido plastico
SP1	T15	CR	9.5	30	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico
SP1	T16	CR	12.2	30	ND	ND	ND	ND	ND	non plastico

#### 4.6.4 Prove di taglio diretto

##### Campione S1N T1

###### Prova di taglio diretto

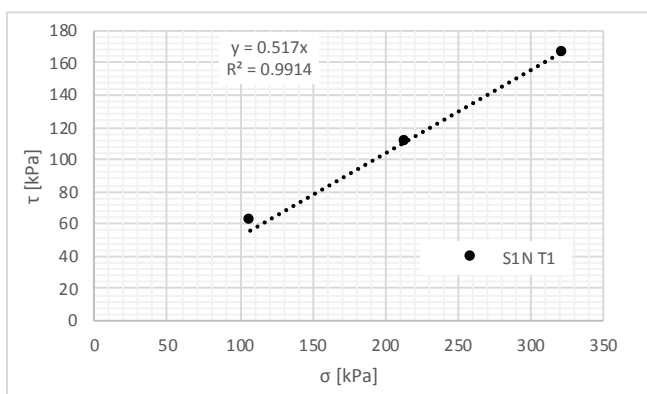
Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S1N	T1	3.25	indist.	prova 1	16.7	100.0	0.36	102.80	3.00	0.37	105.26	108.21
				prova 2	18.4	200.0	0.72	158.60	3.45	0.57	212.20	168.28
				prova 3	18.9	300.0	1.08	216.70	3.79	0.78	320.23	231.31



a 0.57 tangente interpolazione lineare  
 b 47.50 intercetta interpolazione lineare  
 $\phi'$  [°] 29 angolo di resistenza al taglio  
 c' [kPa] 47 coesione intercetta

###### Prova di taglio residuo

Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S1N	T1	3.25	indist.	prova 1	16.7	100.0	0.36	57.80	3.96	0.21	107.07	61.88
				prova 2	18.4	200.0	0.72	102.80	4.12	0.37	214.75	110.38
				prova 3	18.9	300.0	1.08	153.50	4.26	0.55	322.93	165.23

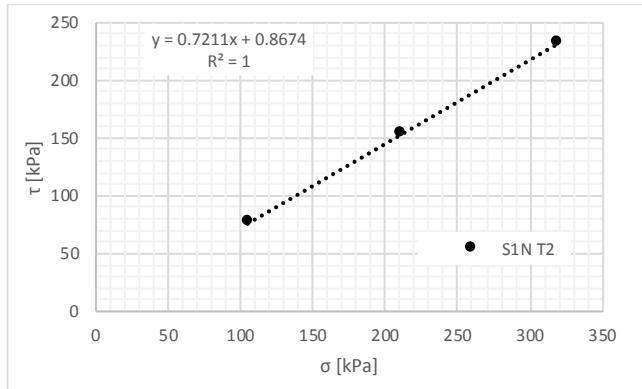


a 0.52 tangente interpolazione lineare  
 $\phi'_r$  [°] 27 angolo di resistenza al taglio

Campione S1N T2

**Prova di taglio diretto**

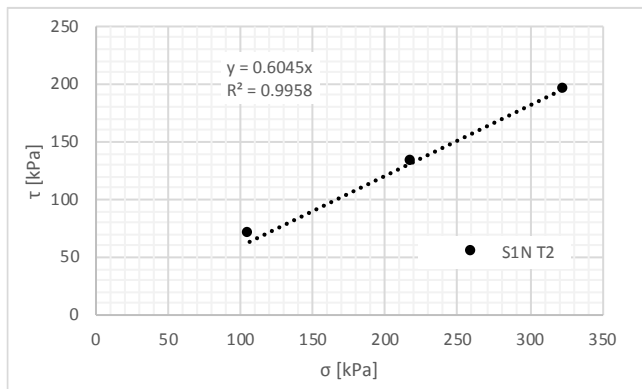
Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S1N	T2	6.75	indist.	prova 1	17.5	100.0	0.36	73.00	2.81	0.26	104.91	76.59
				prova 2	18.4	200.0	0.72	144.90	3.24	0.52	211.42	153.17
				prova 3	18.5	300.0	1.08	217.20	3.55	0.78	318.87	230.86



a           0.72   tangente interpolazione lineare  
 b           0.86   intercetta interpolazione lineare  
 $\phi'$  [°]     35   angolo di resistenza al taglio  
 c' [kPa]    0    coesione intercetta

**Prova di taglio residuo**

Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S1N	T2	6.75	indist.	prova 1	17.5	100.0	0.36	65.60	3.46	0.24	106.11	69.61
				prova 2	18.4	200.0	0.72	120.30	5.02	0.43	218.26	131.28
				prova 3	18.5	300.0	1.08	180.10	4.26	0.65	322.93	193.86

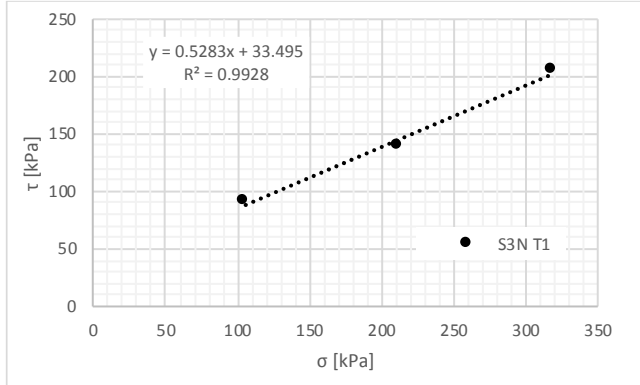


a           0.60   tangente interpolazione lineare  
 $\phi'_r$  [°]    30   angolo di resistenza al taglio

Campione S3N T1

**Prova di taglio diretto**

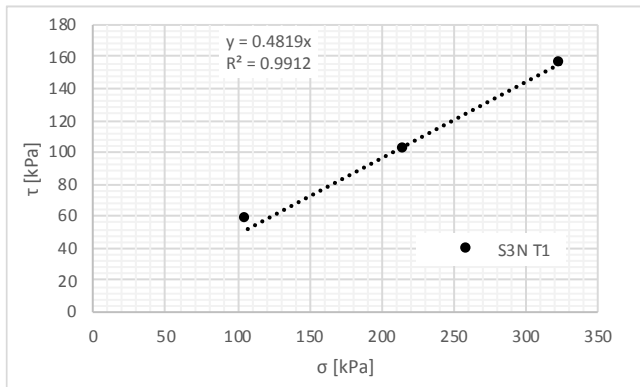
Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S3N	T1	8.25	indist.	prova 1	18.6	100.0	0.36	87.40	2.83	0.31	104.95	91.73
				prova 2	18.7	200.0	0.72	132.10	3.25	0.48	211.45	139.67
				prova 3	17.9	300.0	1.08	192.60	3.56	0.69	318.92	204.75



a            0.52    tangente interpolazione lineare  
 b            33.50    intercetta interpolazione lineare  
 $\phi'$  [°]       27        angolo di resistenza al taglio  
 c' [kPa]     33        coesione intercetta

**Prova di taglio residuo**

Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S3N	T1	8.25	indist.	prova 1	18.6	100.0	0.36	53.90	3.83	0.19	106.82	57.58
				prova 2	18.7	200.0	0.72	94.30	4.38	0.34	215.74	101.72
				prova 3	17.9	300.0	1.08	144.10	4.52	0.52	324.44	155.84

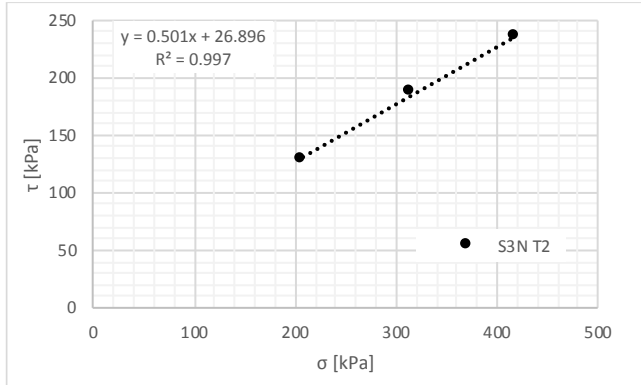


a            0.48    tangente interpolazione lineare  
 $\phi'_r$  [°]       25        angolo di resistenza al taglio

Campione S3N T2

**Prova di taglio diretto**

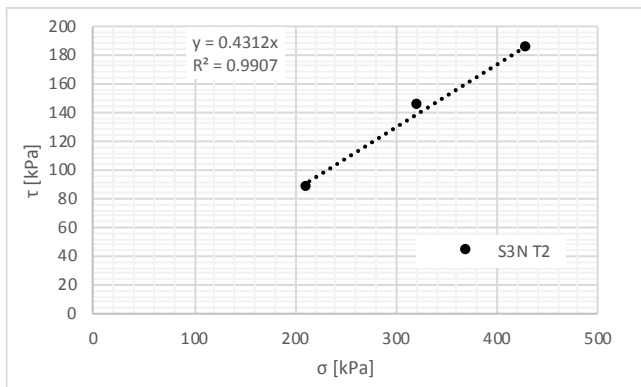
Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S3N	T2	10.25	indist.	prova 1	18.1	200.0	0.72	124.60	2.02	0.45	206.95	128.93
				prova 2	18.2	300.0	1.08	179.20	2.73	0.65	314.30	187.74
				prova 3	18,2	400.0	1.44	224.50	2.63	0.81	418.34	234.79



a 0.50 tangente interpolazione lineare  
 b 26.90 intercetta interpolazione lineare  
 $\phi'$  [°] 26 angolo di resistenza al taglio  
 c' [kPa] 26 coesione intercetta

**Prova di taglio residuo**

Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
S3N	T2	10.25	indist.	prova 1	18.1	200.0	0.72	82.00	3.82	0.30	213.60	87.58
				prova 2	18.2	300.0	1.08	133.70	4.13	0.48	322.18	143.58
				prova 3	18,2	400.0	1.44	171.30	4.23	0.62	430.34	184.29



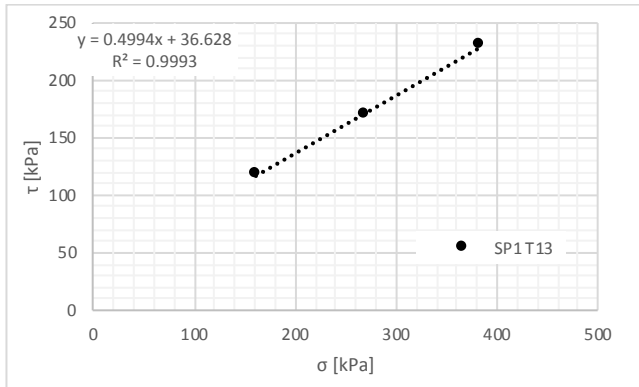
a 0.43 tangente interpolazione lineare  
 $\phi'_r$  [°] 23 angolo di resistenza al taglio



Campione SP1 T3

**Prova di taglio diretto**

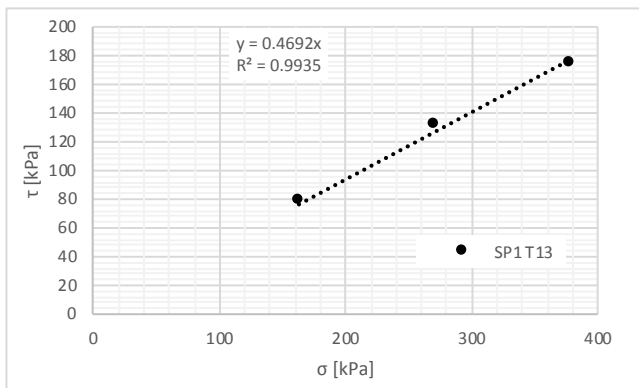
Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
SP1	T13	9.25	indist.	prova 1	19,2	150.0	0.54	109.70	4.38	0.39	161.81	118.34
				prova 2	19,1	250.0	0.90	157.10	4.53	0.57	270.42	169.93
				prova 3	19,3	350.0	1.26	208.90	5.41	0.75	384.69	229.60



a 0.50 tangente interpolazione lineare  
 b 36.62 intercetta interpolazione lineare  
 $\phi'$  [°] 26 angolo di resistenza al taglio  
 c' [kPa] 36 coesione intercetta

**Prova di taglio residuo**

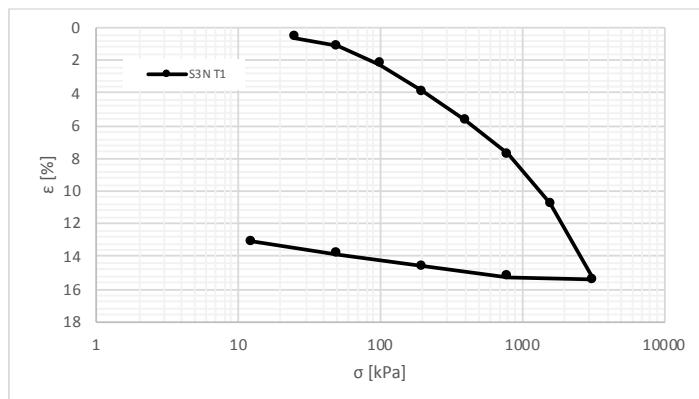
Sondaggio	Campione	prof. [m]	Tipo di campione	ID prova	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_i$ [kPa]	$F_v$ [kN]	$\tau_p$ [kPa]	$\delta_p$ [mm]	$F_{np}$ [kN]	$\sigma_p$ [kPa]	$\tau_{p,adj}$ [kPa]
SP1	T13	9.25	indist.	prova 1	19,2	150.0	0.54	71.70	4.77	0.26	162.95	77.89
				prova 2	19,1	250.0	0.90	121.00	4.79	0.44	271.69	131.50
				prova 3	19,3	350.0	1.26	161.00	4.57	0.58	378.86	174.27



a 0.47 tangente interpolazione lineare  
 $\phi'_r$  [°] 25 angolo di resistenza al taglio

#### 4.6.5 Prove di compressione edometrica

Sondaggio	Campione	Falda	prof. [m]	Tipo	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n	$e_0$	$\sigma$ [kPa]	DI [mm/100]	$\varepsilon$ [%]	$E_{ed}$ [MPa]	$\sigma_{ref}$ [kPa]	$E_{ed}$ [MPa]
S3N	T1	si	8.25	indist.	17.74	13.23	0.49	0.96	25.0	12	0.6	-	92	4.70
									50.0	23	1.2	4.7		
									100.0	44	2.2	4.7		
									200.0	78	3.9	5.9		
									400.0	113	5.6	11.6		
									800.0	155	7.7	19.1		
									1600.0	215	10.8	26.4		
									3200.0	309	15.4	34.2		
									800.0	306	15.3			
									200.0	292	14.6			
									50.0	278	13.9			
									12.5	262	13.1			



#### 4.6.6 Riepilogo prove di caratterizzazione meccanica

A seguire si mostra un riepilogo delle prove di laboratorio relativamente alla caratterizzazione meccanica dei campioni elaborate ai paragrafi precedenti e con inclusi i risultati delle prove di compressione ELL cui si ricava la resistenza in condizioni non drenate.

sondaggio	Campione	Tipo	Prof. [m]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$E_{ed}$ [MPa]	$\phi'_r$ [°]
S1N	T1	IND	3.3	29	47	-	-	27
S1N	T2	IND	6.8	35	0	-	-	30
S1N	T3	IND	12.3	-	-	103	-	-
S1N	T5	CR	4.7	-	-	-	-	-
S1N	T6	CR	8.7	-	-	-	-	-
S1N	T7	CR	14.7	-	-	-	-	-
S1N	T8	CR	18.2	-	-	-	-	-
S2N	T9	CR	3.2	-	-	-	-	-
S2N	T10	CR	6.7	-	-	-	-	-
S2N	T11	CR	14.7	-	-	-	-	-
S2N	T12	CR	16.7	-	-	-	-	-
S3N	T3	CR	2.7	-	-	-	-	-
S3N	T4	CR	6.2	-	-	-	-	-
S3N	T1	IND	8.3	27	33	-	4.7	25
S3N	T5	CR	10.2	-	-	-	-	-
S3N	T2	IND	10.3	26	26	37	-	23
S3N	T6	CR	16.2	-	-	-	-	-
S3N	T7	CR	23.7	-	-	-	-	-
SP1	T14	CR	3.2	-	-	-	-	-
SP1	T13	IND	9.3	26	36	11	-	25
SP1	T15	CR	9.5	-	-	-	-	-
SP1	T16	CR	12.2	-	-	-	-	-

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In relazione ai risultati ottenuti dalle prove in situ ed in laboratorio è possibile definire le seguenti macro unità geotecniche di riferimento per la costruzione del modello geotecnico di calcolo:

- SL sabbie limose, presenti nella zona d'alveo del fiume Mesima con altezza del banco variabile e che va riducendosi verso le pendici laterali sino a scomparire. È caratterizzata da una granulometria che va dalle sabbie limose sino a trovanti della dimensione dei ciottoli e di colore marrone. Si presentano con una coesione praticamente nulla ed in forma non plastica. La frazione di sabbia è predominante rispetto alle altre.
- AL argille limose, costituente il substrato nella zona d'alveo ma affiorante a piano campagna nella zona a monte dello stesso. È caratterizzata da una granulometria fine con la frazione argillosa predominante e visibile anche nel colore grigio. Si presentano quasi sempre in condizioni di stato plastico e consistenza da molle a semisolida in profondità. Al suo interno si trovano comunque livelli sparsi in cui la frazione delle sabbie cresce sino a diventare paragonabile a quella delle argille.

In aggiunta alle unità geotecniche presenti in situ si considera la sostituzione di un cuneo di materiale in adiacenza ai gabbioni costituendo un opportuno rinfiacco dopo la loro messa in opera.

A seguire si riporta una visione delle unità geotecniche disposte nei sondaggi geognostici presentati ai paragrafi precedenti e quindi i parametri fisico meccanici di riferimento.

### Unità geotecnica

- AL Argille limose
- SL Sabbie limose
- RIP Materiale di rinfiacco

U.G.	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{ed}$ [MPa]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	k [m/s]	k [m/d]
AL	26.5	0.44	14.8	19.2	5	27	25	100	1.0E-07	8.6E-03
SL	27.0	0.40	16.20	20.2	15	30	0	-	1.0E-06	8.6E-02
RIP	26.0	0.30	18.2	21.2	20.0	40	0	-	1.0E-04	8.6E+00
GAB	26.00	0.35	16.9	20.4	-	-	-	-	-	-

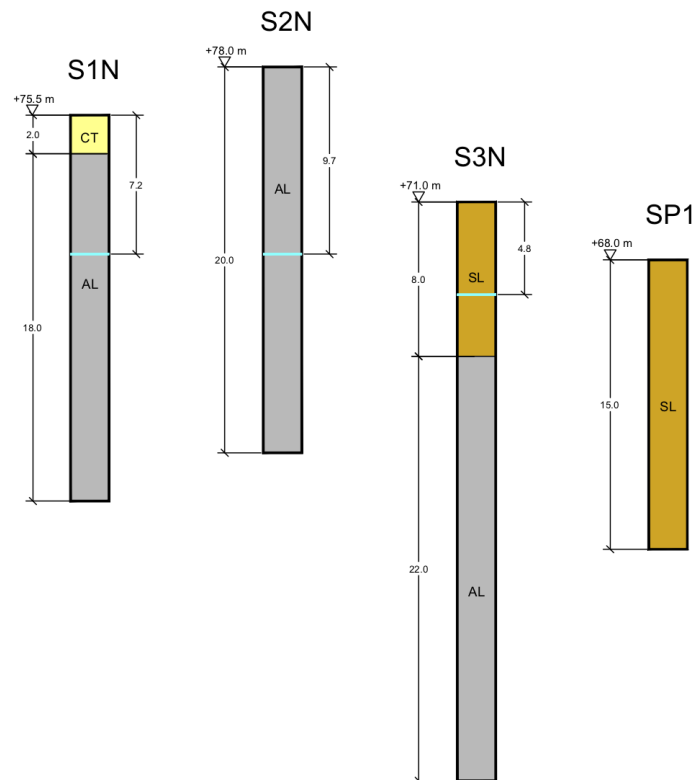


Figura 5.1 Schematizzazione dei sondaggi geognostici con indicazione delle unità geotecniche

## 6 MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO

In figura si mostra il modello di calcolo utilizzato per le verifiche esposte nei paragrafi a seguire.

Saranno eseguite verifiche di sicurezza in condizioni statiche e sismiche nelle condizioni di magra (Falda 1) ed in aggiunta sarà esaminata la condizione statica associata al passaggio della piena e falda a monte innalzata a causa di un eventuale evento di pioggia intensa associato (Falda 2)



Figura 6.1 modello geotecnico di calcolo in condizioni di magra (Falda 1)

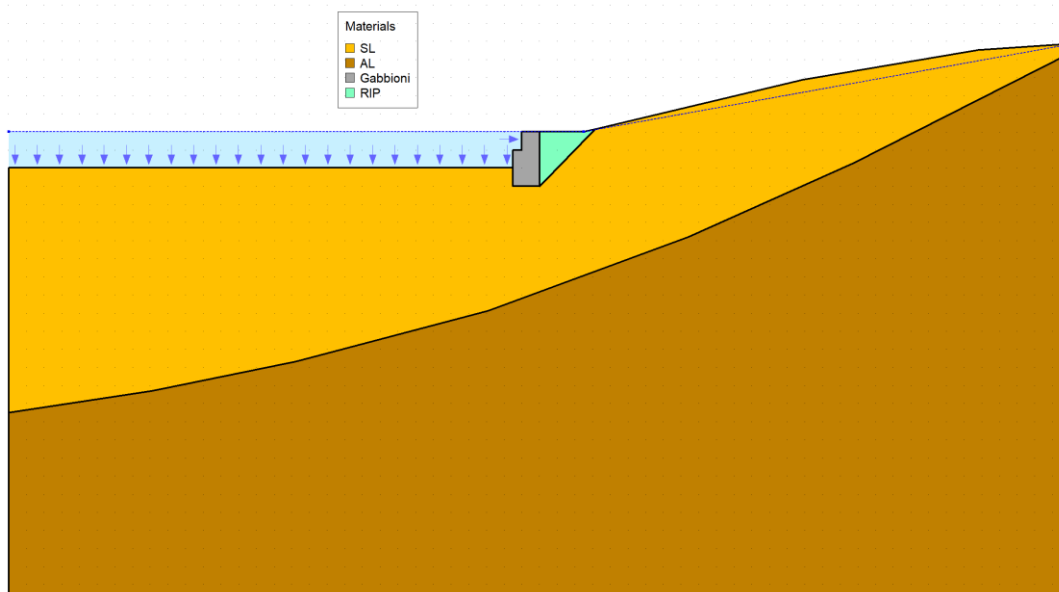



Figura 6.2 modello geotecnico di calcolo in condizioni di piena duecentennale (Falda 2)

	Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC
	<b>Relazione descrittiva e di calcolo</b>

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA E COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO

### 7.1 Valutazione del livello di pericolosità sismica atteso sull'opera

La valutazione della pericolosità sismica attesa su un manufatto, finalizzata alla valutazione dell'azione sismica di progetto su esso, secondo il §3.2 delle NTC 2018 è funzione del tipo di Stato limite oggetto della valutazione, delle caratteristiche di vita nominale e d'uso del manufatto stesso nonché della tipologia di suolo su cui esso è fondato.

La valutazione del set di accelerazioni attese per i vari Stati limite di riferimento, in funzione della pericolosità del sito, è effettuata attraverso il software Spettri di risposta (ver. 1.03) del CSLPP. I parametri utilizzati per il calcolo delle accelerazioni massime orizzontali attese al sito sul suolo di riferimento rigido sono i seguenti:

Latitudine	38.55571
Longitudine	16.068917
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso	2
Vita di riferimento	100 anni
categoria sottosuolo	C
categoria topografica	T1

Nelle calcolazioni a seguire, per le verifiche progettuali si farà riferimento ai seguenti stati limite:

- **SLV**, Stato limite vita utilizzato per le verifiche in condizioni sismiche allo stato limite ultimo, in cui a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

A seguire si riportano gli spettri di risposta determinati per i quattro stati limite indicati dalla normativa vigente.

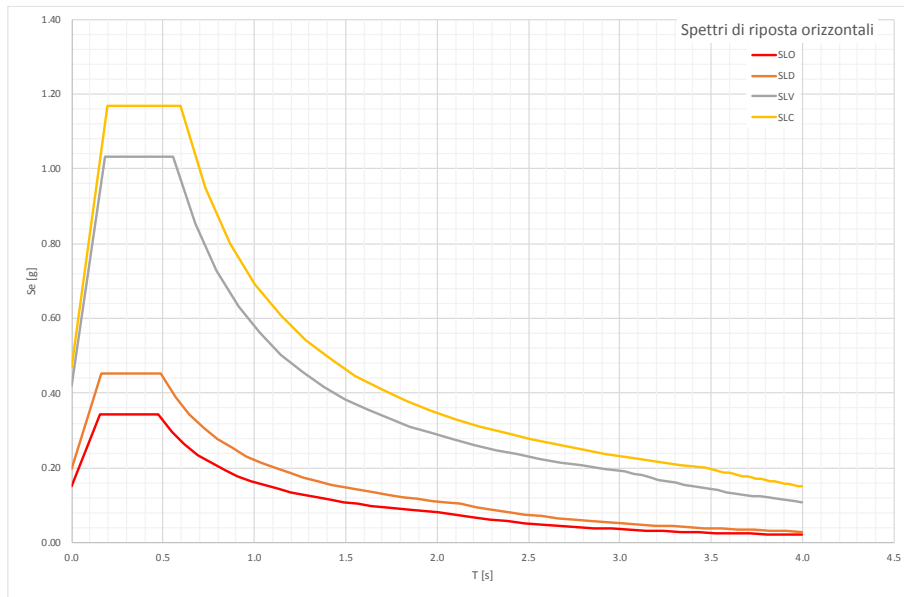


Figura 7.1 Spettri di risposta orizzontali

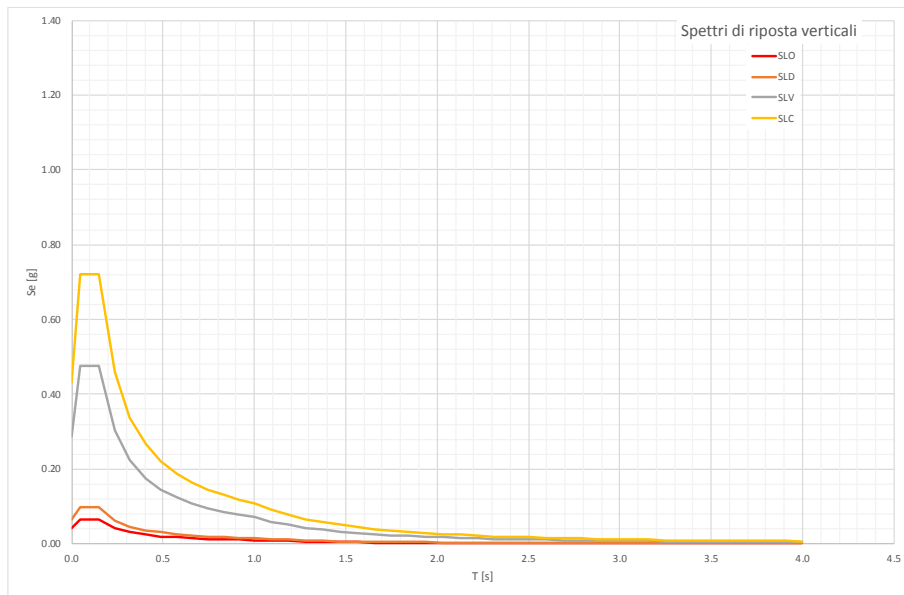



Figura 7.2 Spettri di risposta verticali

A seguire si indicano i parametri fondamentali per il calcolo delle azioni sismiche equivalenti:

	Progettazione definitiva degli interventi di sistemazione idraulica e di difesa delle opere autostradali relativamente all'interazione dell'infrastruttura viaria con il fiume Mesima, nel tratto compreso fra il km 369+800 e il km 378+500 dell'autostrada SA-RC
	<b>Relazione descrittiva e di calcolo</b>

## 7.2 Calcolo dei coefficienti sismici

In relazione al tipo di opere di cui a seguire la progettazione, è possibile, circa le metodologie di calcolo, seguire le procedure indicate delle NTC2018.

Le analisi saranno condotte mediante metodi pseudostatici in cui, definiti i parametri sismici di riferimento per lo stato limite considerato, si ricavano due coefficienti sismici orizzontale e verticale  $k_h$  e  $k_v$ . Tali coefficienti, moltiplicati per le forze inerziali, porteranno alla definizione di forze statiche equivalenti da impiegare nelle verifiche che permetteranno di tener conto dello stato di sollecitazione indotto sulla struttura per effetto del sisma. Si illustrano a seguire le procedure utilizzate per la determinazione dei coefficienti sismici.

### 7.2.1 Coefficienti sismici per le analisi di stabilità globale

#### Parametri per analisi sismica (NTC 2018 7.11.6.2.2)

$a_g/g$	0.357	accelerazione orizzontale massima attesa al sito su suolo di riferimento rigido
Cat.	C	categoria di sottosuolo (cfr. NTC2018 tab. 3.2.II)
Ss	1.171	coefficiente di amplificazione stratigrafica
St	1.0	coefficiente di amplificazione topografica
$\beta_s$	0.38	Tab 7.11.I e §7.11.4 NTC2018
$a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	4.103	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_h$	0.1589	coefficiente orizzontale per analisi pseudostatica
$k_v$	0.0795	coefficiente verticale per analisi pseudostatica

Progettisti:

MSM INGEGNERIA S.r.l.



Pag.31 di 39



## 8 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

La normativa tecnica di riferimento prevede che siano considerate nelle analisi più scenari di calcolo ovvero combinazioni di carico ottenute sulla base delle azioni di riferimento. Tali azioni consistono nel peso proprio di elementi strutturali e non, azioni variabili e forze inerziali di tipo sismico. Classificando le azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo, nel caso specifico, sono state considerate:

- **azioni permanenti (G)**, ovvero le azioni che agiscono durante tutta la vita della costruzione e la loro variazione di intensità nel tempo è così modesta e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo. Le azioni G comprendono il peso proprio della struttura ed eventuali componenti non strutturali ma comunque permanenti ( $G_1$  e  $G_2$ );
- **azioni variabili (Q)**, ovvero le azioni che agiscono sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi tra loro e che comprendono la classe dei carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera. Le azioni Q comprendono i carichi variabili e le azioni a esse connesse intese come effetti diretti sulla struttura.
- **azione sismica (E)**, determinata nel rispetto di quanto illustrato ai paragrafi precedenti.

Per lo Stato Limite Ultimo la combinazione fondamentale è valutata mediante la seguente espressione:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3}$$

dove  $G_i$  è il valore caratteristico della  $i$ -esima azione permanente strutturale e non,  $Q_{ki}$ , è il valore caratteristico dell'azione variabile di base e  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qi}$  sono i coefficienti parziali di sicurezza rispettivamente per i carichi permanenti e variabili;

Per le verifiche in condizioni sismiche, si utilizza la combinazione seguente:

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3+...}$$

in cui  $E$  è comprensiva di tutte le azioni correlabili all'azione sismica agente sul modello di calcolo.

Per ogni stato limite ultimo descritto, deve essere rispettata la condizione di sicurezza  $E_d \leq R_d$ , essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o l'effetto dell'azione e  $R_d$  il valore di progetto della resistenza del sistema terreno-struttura. La sollecitazione di calcolo può esprimersi nella seguente forma generale:

$$E_d = \gamma_E E \left( F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

dove  $\gamma_E$  è il coefficiente parziale di amplificazione delle azioni  $E$  date dalle azioni caratteristiche  $F_k$ ,  $\gamma_M$  è il coefficiente parziale di riduzione della resistenza caratteristica dei materiali  $X_k$  e  $a_d$  è infine l'accelerazione sismica di progetto.

La resistenza di calcolo può altresì esprimersi nella forma:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R (\gamma_F F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$$

La verifica della suddetta condizione di sicurezza deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti ed alternativi.

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto. Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti. I coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma_F$  e  $\gamma_M$ , rispettivamente sulle azioni e sulle resistenze sono definiti nelle tabelle a seguire.

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

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

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

**Tab. 6.2.III** – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

## **9 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

### **9.1 Gabbioni di pietrame**

Si predisporranno gabbioni riempiti di pietrame chiusi con reti metalliche con peso dell'unità di volume minimo di 16.9 kN/m<sup>3</sup> e porosità di 0.35.

## 10 VERIFICHE DI SICUREZZA

Nei paragrafi seguenti si mostrano i risultati ottenuti. Si vuol precisare che i coefficienti di sicurezza mostrati sono già da intendersi abbattuti dei valori R2 pari a 1.1 per la condizione statica e per il coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.2 in condizioni sismiche.

### 10.1 Falda 1 condizione statica SLU (A2+M2+R2)

A seguire si mostrano i risultati ottenuti per con evidenziata la superficie di scivolamento critica cui è associato un coefficiente di sicurezza pari a 1.340, maggiore dell'unità, quindi la verifica di sicurezza è da intendersi soddisfatta.

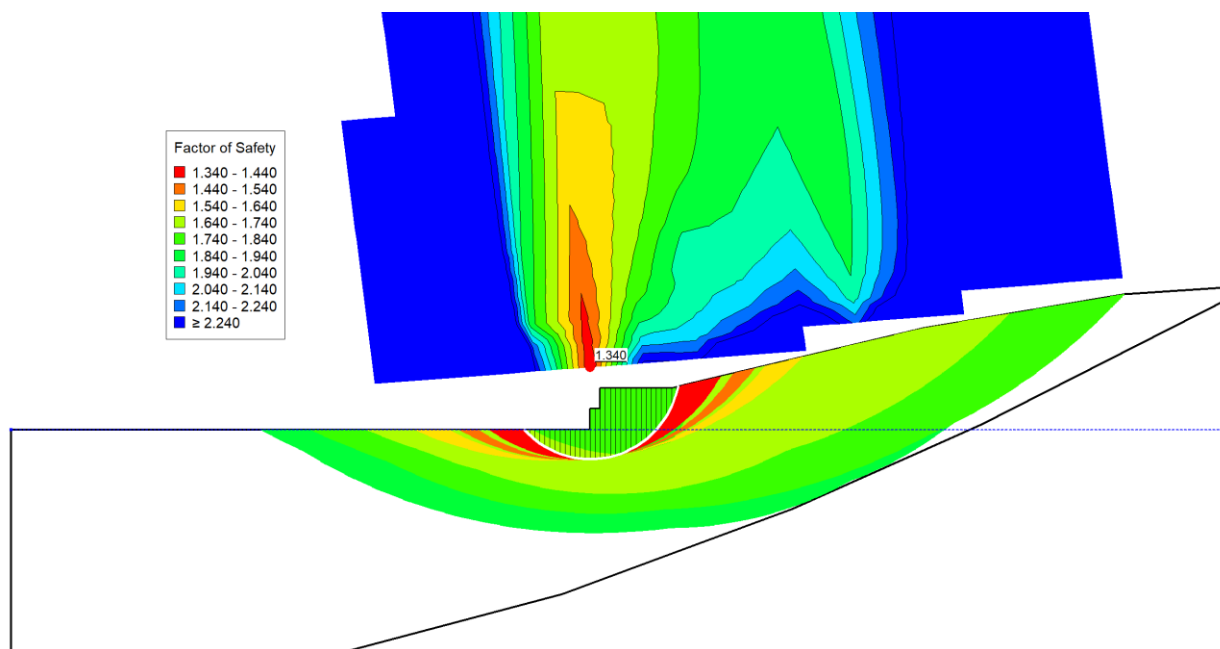


Figura 10.1 Particolare risultati ottenuti

## 10.2 Falda 1 condizione Sismica SLV (1+1+1.2)

A seguire si mostrano i risultati ottenuti per con evidenziata la superficie di scivolamento critica cui è associato un coefficiente di sicurezza pari a 1.022, maggiore dell'unità, quindi la verifica di sicurezza è da intendersi soddisfatta.

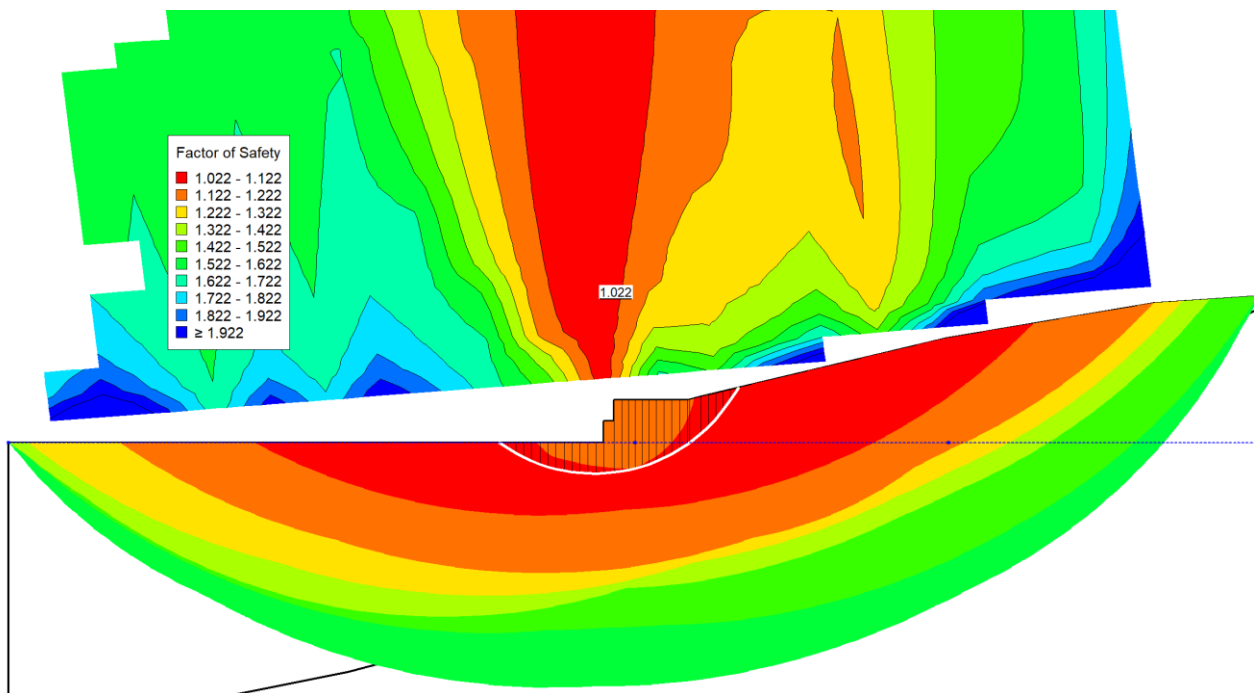


Figura 10.2 Particolare risultati ottenuti

### 10.3 Falda 2 condizione statica SLU (A2+M2+R2)

A seguire si mostrano i risultati ottenuti per con evidenziata la superficie di scivolamento critica cui è associato un coefficiente di sicurezza pari a 1.322, maggiore dell'unità, quindi la verifica di sicurezza è da intendersi soddisfatta.

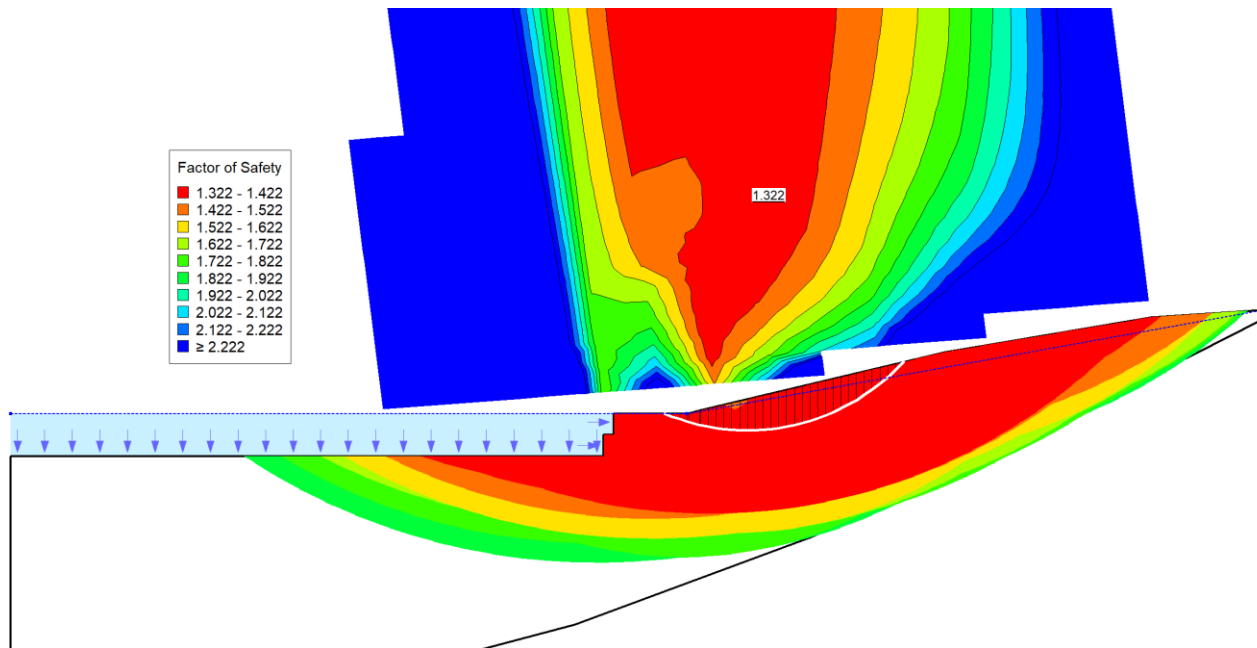


Figura 10.3 Particolare risultati ottenuti

## 10.4 Sintesi dei risultati

A seguire si mostra una sintesi dei risultati ottenuti. I valori di FS sono da intendersi già scontati dei coefficienti R2 pari a 1.1 in condizioni statiche e 1.2 in condizioni sismiche.

Le verifiche di sicurezza sono pertanto da intendersi soddisfatte.

### Riepilogo dei risultati ottenuti

cmb.	caso	FS min
falda 1	statica	1.340
falda 1	sismica	1.022
falda 2	statica	1.322

Le verifiche svolte in questa relazione sono da considerarsi riferite alle opere in progetto. Non sono state svolte verifiche sul versante posto a monte, in quanto la stabilizzazione di tali fenomeni esula dalle finalità del presente progetto che volge il suo sguardo alla definizione dell'alveo e non a stabilizzare quanto presente a monte.

Visto il contesto delicato, ed al fine di evitare qualsiasi risentimento al contorno, si prescrive la realizzazione dell'opera di difesa in gabbioni per conci discreti aventi lunghezza planimetrica di 4 m ciascuno.

## 11 FASCICOLO DEI CALCOLI



**falda 1 statica****Project Settings**

Length(L) Units:Meters  
 Time(t) Units:Seconds  
 Force(F) Units:Kilonewtons  
 Pressure(p) Units:kPa  
 Strength Units:kPa  
 Unit Weight of Water:9.807 kN/m<sup>3</sup>  
 View: 2D  
 Element Thickness:1

**Analysis Settings****falda 1 statica**

Method: Bishop

## Settings

PWP Conditions Source:Piezometric Line  
 Apply Phreatic Correction:Yes  
 Use Staged Rapid Drawdown:No  
 Limit State Design Approach:A2+M2+R2

## Slip Surface

Direction of movement:Right to Left  
 Use Passive Mode:No  
 Slip Surface Option:Grid and Radius  
 Critical slip surfaces saved:1  
 Resisting Side Maximum Convex Angle1 °  
 Driving Side Maximum Convex Angle5 °  
 Optimize Critical Slip Surface LocationNo  
 Tension Crack  
 Tension Crack Option:(none)

## F of S Distribution

F of S Calculation Option:Constant

## Advanced

Number of Slices:30  
 F of S Tolerance:0.001  
 Minimum Slip Surface Depth:0.1 m

**Materials****SL**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 0 kPa  
 Phi': 30 °  
 Phi-B: 0 °  
 Constant Unit Wt. Above Water Table16.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line:1

**AL**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 19.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 25 kPa  
 Phi': 27 °  
 Phi-B: 0 °  
 Constant Unit Wt. Above Water Table16.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line:1

**Gabbioni**

Model: High Strength  
 Unit Weight: 20.4 kN/m<sup>3</sup>  
 Constant Unit Wt. Above Water Table: 16.9 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

**RIP**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 21.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 40 °  
 Phi-B: 0 °  
 Constant Unit Wt. Above Water Table: 18.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

**Design Factor Set: A2+M2+R2**

Permanent Point Loads & Surcharge Loads Favorable = 0.8, Unfavorable = 1.  
 Variable Point Loads & Surcharge Loads Favorable = 0, Unfavorable = 1.5  
 Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
 Effective Cohesion: 1.25  
 Effective Coefficient of Friction: 1.25  
 Undrained Strength: 1.4  
 Shear Strength (Other Models): 1  
 Pullout Resistance: 1  
 Shear Force: 1  
 Tensile Strength: 1  
 Compressive Strength: 1  
 Seismic Coefficients: 1  
 Earth Resistance: 1.1

**Slip Surface Grid**

Upper Left: (-1; 24) m  
 Lower Left: (2; 1) m  
 Lower Right: (55; 5) m  
 Grid Horizontal Increment: 20  
 Grid Vertical Increment: 20  
 Left Projection Angle: 0 °  
 Right Projection Angle: 0 °

**Slip Surface Radius**

Upper Left Coordinate: (5; 0) m  
 Upper Right Coordinate: (58; 7) m  
 Lower Left Coordinate: (6; -15) m  
 Lower Right Coordinate: (58; -15) m  
 Number of Increments: 20  
 Left Projection: No  
 Left Projection Angle: 135 °  
 Right Projection: No  
 Right Projection Angle: 45 °

**Slip Surface Limits**

Left Coordinate: (0; 0) m  
 Right Coordinate: (60; 6.875065) m

**Piezometric Lines**

**Piezometric Line 1**

**Coordinates**

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0	0

Coordinate 2	60	0
--------------	----	---

Maximum Suction:0 kPa

**Points**

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	28.500127	0
Point 3	28.500127	-1
Point 4	30.000127	-1
Point 5	33.152156	2.152035
Point 6	44.869585	4.884188
Point 7	54.794632	6.519944
Point 8	60	6.875065
Point 9	60	6.354907
Point 10	47.757336	0.28669
Point 11	38.428623	-3.795912
Point 12	27.105195	-7.878514
Point 13	16.229068	-10.693152
Point 14	8.114534	-12.294016
Point 15	0	-13.507791
Point 16	30.000127	2
Point 17	29.000127	2
Point 18	29.000127	1
Point 19	28.500127	1
Point 20	60	-23.645099
Point 21	0	-23.645099
Point 22	32.500127	2

**Regions**

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	SL	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15	473.75
Region 2	Gabbioni	16;17;18;19;2;3;4	4
Region 3	AL	15;14;13;12;11;10;9;20;21	1,078
Region 4	RIP	22;5;4;16	4.538

**Current Slip Surface**

Slip Surface: 216

F of S: 1.340

Volume: 13.582183 m³

Weight: 279.64323 kN

Resisting Moment: 422.91086 kN-m

Activating Moment: 315.59386 kN-m

F of S Rank (Analysis): 1 of 9,261 slip surfaces

F of S Rank (Query): 1 of 9,261 slip surfaces

Exit: (25.261906; 0) m

Entry: (32.815912; 2.073633) m

Radius: 4.4142105 m

Center: (28.5; 3) m

**Slip Slices**

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	25.386453	-0.12412505	1.2172944	3.0935608	0.78782758	0
Slice 2	25.635546	-0.35459915	3.4775538	8.5101325	2.1131352	0
Slice 3	25.884639	-0.5526363	5.4197045	12.886592	3.1352794	0
Slice 4	26.133733	-0.7234739	7.0951086	16.484955	3.9427145	0

Slice 5	26.382826	-0.87074639	8.5394099	19.462091	4.5863366	0
Slice 6	26.63192	-0.99707779	9.7783419	21.91999	5.0981701	0
Slice 7	26.881013	-1.1044136	10.830984	23.92889	5.4996941	0
Slice 8	27.130107	-1.1942199	11.711714	25.53912	5.8060049	0
Slice 9	27.3792	-1.2676083	12.431435	26.787738	6.0280841	0
Slice 10	27.628294	-1.325418	12.998374	27.702475	6.174121	0
Slice 11	27.877387	-1.3682698	13.418621	28.304206	6.2503247	0
Slice 12	28.126481	-1.3966025	13.696481	28.608548	6.2614441	0
Slice 13	28.375574	-1.410697	13.834706	28.626904	6.2111122	0
Slice 14	28.625121	-1.4106645	13.834387	48.784591	14.67528	0
Slice 15	28.875121	-1.3964531	13.695015	47.893551	14.359661	0
Slice 16	29.125121	-1.367898	13.414976	66.260443	22.189342	0
Slice 17	29.375121	-1.3247142	12.991472	64.492049	21.624634	0
Slice 18	29.625121	-1.2664558	12.420132	62.446411	21.00559	0
Slice 19	29.875121	-1.1924922	11.694771	60.109835	20.329055	0
Slice 20	30.125121	-1.1019701	10.80702	59.488282	20.440829	0
Slice 21	30.375121	-0.99375839	9.7457885	56.253192	19.528045	0
Slice 22	30.625121	-0.86636386	8.4964304	52.664578	18.545813	0
Slice 23	30.875121	-0.71780209	7.0394851	48.683843	17.486095	0
Slice 24	31.123117	-0.54698637	5.3642954	44.29908	16.34837	0
Slice 25	31.369108	-0.35070979	3.4394109	39.448727	15.119991	0
Slice 26	31.615099	-0.12269629	1.2032825	34.004905	13.773109	0
Slice 27	31.865099	0.1499565	0	28.103096	11.80024	0
Slice 28	32.119108	0.48249145	0	21.737675	9.1274563	0
Slice 29	32.373117	0.89922281	0	14.488372	6.0835387	0
Slice 30	32.613297	1.4298639	0	6.8429214	2.8732818	0
Slice 31	32.771193	1.8999926	0	1.2495001	0.76251278	0

**falda 1 sisma****Project Settings**

Length(L) Units:Meters  
 Time(t) Units:Seconds  
 Force(F) Units:Kilonewtons  
 Pressure(p) Units:kPa  
 Strength Units:kPa  
 Unit Weight of Water:9.807 kN/m<sup>3</sup>  
 View: 2D  
 Element Thickness:1

**Analysis Settings****falda 1 sisma**

Method: Bishop  
 Settings  
 PWP Conditions Source:Piezometric Line  
 Apply Phreatic Correction:Yes  
 Use Staged Rapid Drawdown:No  
 Staged Pseudo Static Analysis OptionEffective Stress Strengths  
 Limit State Design Approach:Sisma  
 Slip Surface  
 Direction of movement:Right to Left  
 Use Passive Mode:No  
 Slip Surface Option:Grid and Radius  
 Critical slip surfaces saved:1  
 Resisting Side Maximum Convex Angle1 °  
 Driving Side Maximum Convex Angle5 °  
 Optimize Critical Slip Surface LocationNo  
 Tension Crack  
 Tension Crack Option:(none)  
 F of S Distribution  
 F of S Calculation Option:Constant  
 Advanced  
 Number of Slices:30  
 F of S Tolerance:0.001  
 Minimum Slip Surface Depth:0.1 m

**Materials****SL**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight:20.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 0 kPa  
 Phi': 30 °  
 Phi-B: 0 °  
 Cohesion R: 1 kPa  
 Phi R: 0 °  
 Constant Unit Wt. Above Water Table16.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line:1

**AL**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight:19.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 25 kPa  
 Phi': 27 °  
 Phi-B: 0 °  
 Cohesion R: 100 kPa

Phi R: 0 °

Constant Unit Wt. Above Water Table: 16.2 kN/m<sup>3</sup>

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

**Gabbioni**

Model: High Strength

Unit Weight: 20.4 kN/m<sup>3</sup>

Constant Unit Wt. Above Water Table: 16.9 kN/m<sup>3</sup>

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

**RIP**

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 21.2 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion': 0 kPa

Phi': 40 °

Phi-B: 0 °

Cohesion R: 0 kPa

Phi R: 0 °

Constant Unit Wt. Above Water Table: 18.2 kN/m<sup>3</sup>

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

**Slip Surface Grid**

Upper Left: (-1; 24) m

Lower Left: (2; 1) m

Lower Right: (55; 5) m

Grid Horizontal Increment: 20

Grid Vertical Increment: 20

Left Projection Angle: 0 °

Right Projection Angle: 0 °

**Slip Surface Radius**

Upper Left Coordinate: (5; 0) m

Upper Right Coordinate: (58; 7) m

Lower Left Coordinate: (6; -15) m

Lower Right Coordinate: (58; -15) m

Number of Increments: 20

Left Projection: No

Left Projection Angle: 135 °

Right Projection: No

Right Projection Angle: 45 °

**Slip Surface Limits**

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (60; 6.875065) m

**Piezometric Lines**

**Piezometric Line 1**

**Coordinates**

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0	0
Coordinate 2	30	0
Coordinate 3	45	0
Coordinate 4	60	0

Maximum Suction: 0 kPa

**Seismic Coefficients**

Horz Seismic Coef.: 0.1589

Vert Seismic Coef.: 0.0795

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	28.500121	0
Point 3	28.500121	-1
Point 4	30.000121	-1
Point 5	33.152156	2.152035
Point 6	44.869585	4.884188
Point 7	54.794632	6.519944
Point 8	60	6.875065
Point 9	60	6.354901
Point 10	47.757336	0.28669
Point 11	38.428623	-3.795912
Point 12	27.105195	-7.878514
Point 13	16.229068	-10.693152
Point 14	8.114534	-12.294016
Point 15	0	-13.507791
Point 16	30.000121	2
Point 17	29.000121	2
Point 18	29.000121	1
Point 19	28.500121	1
Point 20	60	-23.645099
Point 21	0	-23.645099
Point 22	32.500121	2

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	SL	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15	473.75
Region 2	Gabbioni	16;17;18;19;2;3;4	4
Region 3	AL	15;14;13;12;11;10;9;20;21	1,078
Region 4	RIP	22;5;4;16	4.538

Current Slip Surface

Slip Surface: 1,539  
 F of S: 1.022  
 Volume: 19.371996 m³  
 Weight: 396.65233 kN  
 Resisting Moment: 1,192.6188 kN-m  
 Activating Moment: 1,167.1382 kN-m  
 F of S Rank (Analysis): 1 of 9,261 slip surfaces  
 F of S Rank (Query): 1 of 9,261 slip surfaces  
 Exit: (23.502664; 0) m  
 Entry: (34.918722; 2.5639451) m  
 Radius: 7.8918161 m  
 Center: (28.05; 6.45) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	23.694874	-0.12727134	1.24815	3.2865301	0	0.78898664
Slice 2	24.079294	-0.36650747	3.5943388	9.2509569	0	2.2083897
Slice 3	24.463714	-0.57657407	5.6544619	14.265039	0	3.388139
Slice 4	24.848134	-0.76003337	7.4536472	18.471015	0	4.3668242
Slice 5	25.232553	-0.91888112	9.0114672	21.972383	0	5.1723216
Slice 6	25.616973	-1.054686	10.343306	24.846627	0	5.825399
Slice 7	26.001393	-1.1686849	11.461289	27.153068	0	6.341884
Slice 8	26.385812	-1.2618464	12.374928	28.937842	0	6.734099

Slice 9	26.770232	-1.334922	13.091581	30.237211	0	7.01172
Slice 10	27.154652	-1.388474	13.616772	31.079828	0	7.182460
Slice 11	27.539072	-1.422903	13.954417	31.488304	0	7.252463
Slice 12	27.923491	-1.438460	14.106978	31.480335	0	7.226631
Slice 13	28.307911	-1.435255	14.075553	31.069495	0	7.108846
Slice 14	28.750121	-1.406691	13.79542	51.471611	0	16.51526
Slice 15	29.166767	-1.360585	13.343266	70.36493	0	25.466026
Slice 16	29.500061	-1.305600	12.804027	68.174128	0	24.895078
Slice 17	29.833354	-1.235775	12.11925	65.697567	0	24.261218
Slice 18	30.000061	-1.197092	11.739887	64.391324	0	23.929689
Slice 19	30.166788	-1.150660	11.284526	65.068603	0	24.55681
Slice 20	30.500121	-1.049795	10.29534	61.646065	0	23.634438
Slice 21	30.833454	-0.9325074	9.1451005	57.928027	0	22.648633
Slice 22	31.187621	-0.7883929	7.7317703	53.628352	0	21.526372
Slice 23	31.562621	-0.6138803	6.0203243	48.692086	0	20.256638
Slice 24	31.937621	-0.4144541	4.0645522	43.323664	0	18.895488
Slice 25	32.312621	-0.1878587	1.8423308	37.492092	0	17.437073
Slice 26	32.548728	-0.03372612	0.33075207	33.836302	0	16.579041
Slice 27	32.874746	0.21465264	0	29.760875	0	14.928715
Slice 28	33.328813	0.58839779	0	24.111361	0	12.348738
Slice 29	33.682126	0.92765881	0	19.318878	0	10.093646
Slice 30	34.035439	1.3136889	0	14.136601	0	7.5720579
Slice 31	34.388752	1.7582186	0	8.5896468	0	4.7538026
Slice 32	34.742065	2.2804163	0	2.7657641	0	1.6035275



**falda 2 statica****Project Settings**

Length(L) Units:Meters  
 Time(t) Units:Seconds  
 Force(F) Units:Kilonewtons  
 Pressure(p) Units:kPa  
 Strength Units:kPa  
 Unit Weight of Water:9.807 kN/m<sup>3</sup>  
 View: 2D  
 Element Thickness:1

**Analysis Settings****falda 2 statica**

Method: Bishop

## Settings

PWP Conditions Source:Piezometric Line

Apply Phreatic Correction:Yes

Use Staged Rapid Drawdown:No

Limit State Design Approach:A2+M2+R2

## Slip Surface

Direction of movement:Right to Left

Use Passive Mode:No

Slip Surface Option:Grid and Radius

Critical slip surfaces saved:1

Resisting Side Maximum Convex Angle1 °

Driving Side Maximum Convex Angle5 °

Optimize Critical Slip Surface LocationNo

Tension Crack

Tension Crack Option:(none)

## F of S Distribution

F of S Calculation Option:Constant

## Advanced

Number of Slices:30

F of S Tolerance:0.001

Minimum Slip Surface Depth:0.1 m

**Materials****SL**

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20.2 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion': 0 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

Constant Unit Wt. Above Water Table16.2 kN/m<sup>3</sup>

Pore Water Pressure

Piezometric Line:1

**AL**

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19.2 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion': 25 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Constant Unit Wt. Above Water Table16.2 kN/m<sup>3</sup>

Pore Water Pressure

Piezometric Line:1

**Gabbioni**

Model: High Strength  
 Unit Weight: 20.4 kN/m<sup>3</sup>  
 Constant Unit Wt. Above Water Table: 16.9 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

**RIP**

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 21.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 0 kPa  
 Phi': 40 °  
 Phi-B: 0 °  
 Constant Unit Wt. Above Water Table: 18.2 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

**Slip Surface Grid**

Upper Left: (-1; 24) m  
 Lower Left: (2; 1) m  
 Lower Right: (55; 5) m  
 Grid Horizontal Increment: 20  
 Grid Vertical Increment: 20  
 Left Projection Angle: 0 °  
 Right Projection Angle: 0 °

**Slip Surface Radius**

Upper Left Coordinate: (5; 0) m  
 Upper Right Coordinate: (58; 7) m  
 Lower Left Coordinate: (6; -15) m  
 Lower Right Coordinate: (58; -15) m  
 Number of Increments: 20  
 Left Projection: No  
 Left Projection Angle: 135 °  
 Right Projection: No  
 Right Projection Angle: 45 °

**Slip Surface Limits**

Left Coordinate: (0; 0) m  
 Right Coordinate: (60; 6.875065) m

**Piezometric Lines**

**Piezometric Line 1**

**Coordinates**

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0	2
Coordinate 2	32.5	2
Coordinate 3	60	6.85

Maximum Suction: 0 kPa

**Points**

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	28.500121	0
Point 3	28.500121	-1
Point 4	30.000121	-1
Point 5	33.152156	2.152035
Point 6	44.869585	4.884188
Point 7	54.794632	6.519944
Point 8	60	6.875065
Point 9	60	6.354901

Point 10	47.757336	0.28669
Point 11	38.428623	-3.795912
Point 12	27.105195	-7.878514
Point 13	16.229068	-10.693152
Point 14	8.114534	-12.294016
Point 15	0	-13.507791
Point 16	30.000121	2
Point 17	29.000121	2
Point 18	29.000121	1
Point 19	28.500121	1
Point 20	60	-23.645099
Point 21	0	-23.645099
Point 22	32.500121	2

Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	SL	1;2;3;4;5;6;7;8;9; 0;11;12;13;14;15	473.75
Region 2	Gabbioni	16;17;18;19;2;3;4	4
Region 3	AL	15;14;13;12;11;10; 20;21	1,078
Region 4	RIP	22;5;4;16	4.538

Current Slip Surface

Slip Surface: 3,364  
 F of S: 1.322  
 Volume: 13.101608 m³  
 Weight: 265.01196 kN  
 Resisting Moment: 734.7444 kN-m  
 Activating Moment: 555.6401 kN-m  
 F of S Rank (Analysis): 1 of 9,261 slip surfaces  
 F of S Rank (Query): 1 of 9,261 slip surfaces  
 Exit: (31.446409; 2) m  
 Entry: (42.925896; 4.4309779) m  
 Radius: 10.428489 m  
 Center: (35.4; 11.65) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	31.622007	1.9317358	0.66946745	1.6171751	0.57834265	0
Slice 2	31.973204	1.8023664	1.9381923	4.620447	1.6368574	0
Slice 3	32.324401	1.6870535	3.0690667	7.2265864	2.5371442	0
Slice 4	32.50006	1.632828	3.6009602	8.4289823	2.9463212	0
Slice 5	32.551842	1.6181263	3.719024	9.049606	3.2530104	0
Slice 6	32.855387	1.5400596	4.9707033	11.731884	2.8389596	0
Slice 7	33.129683	1.4716644	6.0813323	14.231987	3.4223872	0
Slice 8	33.339648	1.4288577	6.8406722	16.082653	3.8806254	0
Slice 9	33.714631	1.3603539	8.1212289	19.218211	4.6595242	0
Slice 10	34.089614	1.3058928	9.2682227	22.020331	5.3544967	0
Slice 11	34.464597	1.2652532	10.283758	24.501155	5.9697584	0
Slice 12	34.83958	1.2382731	11.169376	26.670678	6.5088587	0
Slice 13	35.214563	1.2248462	11.926087	28.537015	6.974781	0
Slice 14	35.589546	1.2249201	12.554389	30.106609	7.3700209	0
Slice 15	35.964529	1.2384951	13.05428	31.384382	7.6966467	0
Slice 16	36.339513	1.2656243	13.425256	32.373855	7.9563481	0
Slice 17	36.714496	1.3064144	13.6663	33.077221	8.1504731	0
Slice 18	37.089479	1.3610281	13.775866	33.495399	8.2800566	0
Slice 19	37.464462	1.4296872	13.751842	33.628045	8.345841	0

Slice 20	37.839445	1.5126774	13.591512	33.473552	8.3482915	0
Slice 21	38.214428	1.6103555	13.291488	33.029	8.2876058	0
Slice 22	38.589411	1.7231548	12.847641	32.290098	8.1637145	0
Slice 23	38.964395	1.8515986	12.254997	31.251076	7.9762847	0
Slice 24	39.339378	1.9963126	11.507603	29.904535	7.724708	0
Slice 25	39.714361	2.1580424	10.59837	28.241261	7.4080931	0
Slice 26	40.089344	2.3376765	9.518847	26.249962	7.0252463	0
Slice 27	40.464327	2.5362759	8.2589407	23.916926	6.5746488	0
Slice 28	40.83931	2.7551144	6.8065373	21.225575	6.0544273	0
Slice 29	41.214293	2.9957319	5.1469905	18.155884	5.4623183	0
Slice 30	41.589276	3.2600085	3.2624178	14.683538	4.7956265	0
Slice 31	41.96426	3.5502693	1.1307059	10.778876	4.0511808	0
Slice 32	42.345287	3.875103	0	6.6174895	2.7786251	0
Slice 33	42.732359	4.239482	0	2.2499484	0.94473333	0