

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NODO DI CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA
DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL
TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 2

ELABORATI GENERALI - GEOTECNICA - GE

Relazione degli interventi di mitigazione liquefazione

SCALA:

-

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

RS3H 02 D 78 RH GE0005 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Nani	Marzo 2020	C.Toraldo	Marzo 2020	S.Vanfiori	Marzo 2020	D.Tiberti

File: RS3H.0.2.D.78.RH.GE.00.0.5.002.A

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Regionale
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Danilo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
4	POSSIBILI CONSEGUENZE DELLA LIQUEFAZIONE.....	9
4.1	PREMESSA	9
4.2	STIMA DEI CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE	11
4.2.1	RI02 e TR03 (lotto 2 Interramento Palermo-Catania).....	12
4.2.2	RI05 (lotto 2 Linea Catania-Siracusa).....	15
4.2.3	Rotatoria viabilità NV08	22
4.3	VERIFICHE DI STABILITA' IN CASO DI LIQUEFAZIONE	24
4.3.1	RI02	25
4.3.2	TR03	27
4.3.3	RI05	29
5	INTERVENTI DI MITIGAZIONE.....	32
5.1	SCOPO E ENTITA' DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE.....	32
5.2	TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO	32
5.3	ANALISI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE POST- INTERVENTO	33
5.3.1	Metodologia di valutazione rischio liquefazione in presenza di consolidamento con colonne di inerte vibrocompattate.....	34
5.3.2	Risultati RI05.....	35
6	APPENDICE A – ANALISI DI STABILITÀ IN CONDIZIONI POST-SISMICHE. TABULATI DI CALCOLO SLIDE.....	37
6.1	RI02 - SEZIONE 51 AL KM 2+500.....	37
6.2	TR03 - SEZIONE 45 AL KM 2+200.....	44
6.3	RI05 - SEZIONE 43 AL KM 2+150.....	53



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
2 di 60

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 3 di 60

1 PREMESSA

Il presente documento riporta il dimensionamento degli interventi di mitigazione del fenomeno della liquefazione dei terreni relativamente al Progetto Definitivo del nodo di Catania - interrimento linea per il prolungamento della pista dell'aeroporto di Fontanarossa – Lotto 2.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- valutazione qualitativa dei possibili effetti della liquefazione dei terreni in relazione alle opere in progetto;
- scelte progettuali per gli eventuali interventi di mitigazione del potenziale rischio di liquefazione in relazione alla tipologia delle opere.

Le valutazioni del rischio di potenziale liquefazione dei terreni e la sintesi dei risultati di elaborazione delle indagini sono riportati in apposito documento a cui si rimanda.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 4 di 60

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018).

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

[N.3]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2.

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

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

D.1. RS3H02D78RHGE0005001 –Progetto Definitivo. Relazione geotecnica.

D.2. RS3H02D78RHGE0005003 –Progetto Definitivo. Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo cedimenti.

D.3. RS3H02D78RHGE0005004 –Progetto Definitivo. Rilevati stradali - Relazione di stabilità e calcolo cedimenti.

3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica di seguito riportata è assunta in accordo a quanto indicato nella relazione geotecnica generale D.1.

3.1 UNITÀ GEOTECNICHE

Lungo il tracciato dalle indagine eseguite sono state intercettate le seguenti unità geotecniche procedendo a partire dal p.c. fino alla massima profondità investigata (50.0 m):

Unità R - Terreni di riporto. Si tratta di terreno di riporto antropico (**Ra**) che costituisce il corpo dei rilevati.

Unità U1: Depositi alluvionali recenti – bb2: Si tratta di sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone e grigio, a struttura indistinta, con rare tracce di ghiaia poligenica da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rivengono passaggi di limi argilloso-sabbioso giallastri e livelli di limi argillosi grigi.

Unità U1a: Depositi alluvionali recenti – bb3: Si tratta di argille limose e limi argillosi di colore marrone nocciola, a struttura indistinta o laminata, con sporadiche ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; si rinvenengono frequenti e sottili passaggi di sabbie limose e limi sabbiosi grigi (Olocene tardo).

Unità U2: Depositi alluvionali antichi – bn2: si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore nocciola, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con locali ciottoli e ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; si rinvenengono livelli di limi argillosi grigi e lenti di ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa di colore grigio.

Unità U2a: Depositi alluvionali antichi – bn3: si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da limi debolmente argillosi ad argillosi di colore grigio chiaro, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con rare ghiaie e locali livelli grigio-scuri e nerastrati; si rinvenengono livelli di sabbie limose grigie e paleosuoli poco evoluti (Olocene).

Unità U2b: Depositi alluvionali antichi – bn1: si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso limosa di colore bruno, marrone e giallastro; sono presenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro.

Unità U3: Formazione delle Argille grigio-azzurre - FAG: si tratta di depositi marini di piattaforma neritica e pro-delta regressivo, costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-limosa. Sono argille limose, limi argillosi e argille limoso-marnose di colore grigio-azzurro e grigio-verdastro, a struttura indistinta, a tratti con laminazione incrociata e stratificazione sub-parallela; si rinvenengono lenti e/o livelli di sabbie fini e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e giallastro, in strati da molto sottili a sottili, con rare ghiaie poligeniche ed eterometriche da sub-arrotondate ad arrotondate, più frequenti verso l'alto stratigrafico (Pleistocene medio-inferiore).

Le principali caratteristiche delle unità geotecniche intercettate, si presentano praticamente omogenee (nell'ambito della normale variabilità geotecnica) lungo tutto lo sviluppo del tracciato.

A valle dell'interpretazione delle prove geotecniche in sito e dell'elaborazione dei risultati delle prove di laboratorio si riportano nel successivo paragrafo le caratteristiche fisiche e meccaniche delle unità geotecniche.

3.2 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Nel seguito si sintetizzano i valori dei parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche intercettate.

Unità Ra1 – riporto antropico dei rilevati delle viabilità in progetto

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 300 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni.

Unità Ra2 – riporto antropico dei rilevati ferroviari in progetto

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 300 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni

Unità U1 – Sabbie Limose (bb2 - depositi alluvionali recenti)

$\gamma = 18 \div 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio (30° valore medio)
$c' = 0 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$N_{spt} = 3 \div 23$	numero di colpi da prova SPT
$G_0 = 20 \div 90 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_0 = 60 \div 225 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	permeabilità (valore medio)

Unità U1a – Argille limose e limi argillosi (bb3 - depositi alluvionali recenti)

$\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
--	-------------------------

$c' = 10 \div 20$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 20 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 20 \div 100$ kPa	coesione non drenata
$N_{spt} = 6 \div 23$	numero di colpi da prova SPT
$G_o = 30 \div 90$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 80 \div 260$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 7 \cdot 10^{-7}$ m/s	permeabilità (valore medio)

Unità U2 – Sabbia, sabbia limosa (bn2 - depositi alluvionali antichi)

$\gamma = 19 \div 20$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 29 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$N_{spt} = 4 \div 56$	numero di colpi da prova SPT
$G_o = 85 \div 420$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 150 \div 1200$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 3 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità (valore medio)

Unità U2a – Limi argillosi (bn3 - depositi alluvionali antichi)

$\gamma = 18.0 \div 20.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 20 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 40 \div 150$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$N_{spt} = 6 \div 46$	numero di colpi da prova SPT
$G_o = 45 \div 200$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 120 \div 520$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 5 \cdot 10^{-7}$ m/s	permeabilità (valore medio)

Unità U2b – Ghiaia sabbiosa (bn1 - depositi alluvionali antichi)

$\gamma = 19 \div 20$ kN/m ³	peso di volume naturale
---	-------------------------

$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 33 \div 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$N_{spt} = 16 \div R$	numero di colpi da prova SPT
$G_o = 80 \div 250$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 700$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s	permeabilità (valore medio)

Unità U3 – Argilla limosa (FAG - Formazione delle argille grigio-azzurre)

$\gamma = 20 \div 21$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 15 \div 25$ kPa	coesione drenata
$c_u = 70 \div 150$ kPa	coesione non drenata
$\phi' = 18 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$N_{spt} = 16 \div 50$	numero di colpi da prova SPT
$G_o = 90 \div 160$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 230 \div 420$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 2 \cdot 10^{-7}$ m/s	permeabilità (valore medio)

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale (E_o).

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

I valori delle proprietà geotecniche indicate sono da intendersi come range di valori guida per la progettazione; resta inteso che nelle analisi geotecniche di dettaglio delle varie opere andranno calibrati sulla base delle condizioni geotecniche locali, delle specifiche situazioni locali, oltre che rapportati alla tipologia di opere (fondazioni pali o opere di sostegno), alle ipotesi di calcolo assunte.

3.3 FALDA

Il livello di falda è desunto dal profilo stratigrafico longitudinale e dalle letture piezometriche delle strumentazioni installate.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 9 di 60

4 POSSIBILI CONSEGUENZE DELLA LIQUEFAZIONE

4.1 Premessa

Nel caso si verificasse, le conseguenze principali della liquefazione potrebbero essere:

- rischio di perdita di stabilità del corpo del rilevato, con deformazioni orizzontali e verticali significative;
- rischio di cedimenti di consolidazione nelle zone dove sono presenti i maggiori spessori di materiale sabbioso potenzialmente liquefacibile. Tali cedimenti possono interessare direttamente i rilevati, le opere su fondazioni dirette, nonché opere su fondazioni profonde che penetrino solo parzialmente o affatto gli strati potenzialmente suscettibili di liquefazione.
- rischio di perdita di resistenza di fondazioni profonde (pali). Tali perdite possono essere sia temporanee (riduzione della portata di base e dell'attrito laterale durante la fase in cui avviene la liquefazione), sia permanenti in caso i pali siano soggetti ad attrito negativo dovuti ai cedimenti post-liquefazione.
- rischio di eccessivi carichi orizzontali durante il sisma su fondazioni profonde.

I tratti di linea interessati da terreni potenzialmente liquefacibili sono:

1. RI02: da km 2+199 a km 2+703.56 (lotto 2 linea interramento Palermo-Catania);
2. GA01: da km 1+685 a km 1+837 (lotto 2 linea interramento Palermo-Catania);
3. TR03: da km 1+837 a km 2+199 (lotto 2 linea interramento Palermo-Catania);
4. RI05: circa da 1+725 a km 2+720 (lotto 2 linea Catania-Siracusa);
5. RI06: km 3+190 (lotto 2 linea Catania-Siracusa);
6. Rotatoria viabilità NV08.

Nel caso 1) si tratta di rilevati bassi (altezza massima 1 m) su terreni con strato liquefacibile di modesto spessore (sondaggio CPT1, BH5), pertanto i cedimenti stimati post liquefazione sono bassi (< 5 cm) le verifiche di stabilità del rilevato post-liquefazione sono soddisfatte, quindi non si prevedono interventi di mitigazione.

Nel caso 2) la galleria artificiale è prevista con diaframmi, quindi in relazione alla tipologia di opera, allo spessore del terreno liquefacibile ed alla sua posizione (sopra il fondo scavo, entro il terreno scavato), non si prevedono interventi di mitigazione.

Nel caso 3) si tratta di una trincea di modesta altezza (2 m), in cui la prova penetrometrica CPT1 ha individuato uno spessore liquefacibile tra 3.5 e 4.2 m da p.c.; i cedimenti stimati post liquefazione sono bassi (1 cm) e le verifiche di stabilità del rilevato post-liquefazione sono soddisfatte, quindi non si prevedono interventi di

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA						
	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.						
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	MACROFASE FUNZIONALE 1						
	LOTTO 02.						
	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 10 di 60	

mitigazione.

Nel caso 4) le indagini che ricadono nel tratto di progressive indicato, mostrato uno strato sabbioso potenzialmente liquefacibile con spessore variabile. In particolare da alcune prove CPT (CPT7, CPT8, CPT9) lo spessore di terreno liquefacibile è basso e l'indice di potenziale liquefazione è rispettivamente $IPL=2.69$, 1.9, 4.3 (rischio basso). Da queste prove il cedimento post- liquefazione è $< 5\text{cm}$ e non si evidenziano problemi di stabilità rilevato. Quindi per i rilevati di questo tratto le verifiche dei cedimenti e di stabilità globale sono comunque soddisfatte anche in presenza di liquefazione. Tuttavia in questa zona sono presenti muri su fondazione diretta che poggierebbero proprio sullo strato liquefacibile, quindi sarà necessario eseguire un intervento di mitigazione alla liquefazione sotto l'ingombro della fondazione di suddetti muri di sostegno.

Dalle prove CPT10 e CPT11 lo spessore di terreno liquefacibile e l'indice di potenziale liquefazione sono maggiori, in particolare dalla CPT10 si ha uno spessore di 3.2 m e $IPL=12.9$. Da cui si stimano cedimenti post-liquefazione rilevanti (14 cm). Quindi dal km 2+174 è necessario un intervento di mitigazione alla liquefazione.

Relativamente al caso 5), il sondaggio SD22 ha intercettato uno strato potenzialmente liquefacibile a partire da p.c. con spessore 1 m. In questa zona è presente un rilevato per il quale si prevederà scotico+bonifica di 0.5 m+ 0.5 m, al fine di asportare il terreno potenzialmente liquefacibile.

Nel caso 6) il sondaggio SD36, eseguito fuori asse rispetto al tracciato ferroviario ed in adiacenza alla rotatoria della viabilità NV08, ha evidenziato un livello di sabbia debolmente limosa tra 3 e 4 m di profondità da p.c.. I cedimenti post-liquefazione stimati da questa indagine sono di 3.8 cm, quindi compatibili con la funzionalità dei rilevati stradali previsti in zona (che sono comunque bassi); pertanto non si prevedono interventi.

Per il lotto 2 non si rilevano terreni potenzialmente liquefacibili in corrispondenza delle palificate dei viadotti/ponti.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 11 di 60

4.2 Stima dei cedimenti post-liquefazione

Sulla base dei risultati delle prove eseguite in sito (CPT) è possibile stimare, seppure su basi empiriche e con una certa approssimazione, i cedimenti permanenti potenzialmente indotti dalla dissipazione delle sovrappressioni generate dalla liquefazione (a meno di maggiori deformazioni dovuti a instabilità e spandimento laterale).

In particolare, per la stima di tali cedimenti, nel seguito si farà riferimento al metodo proposto da Idriss and Boulanger (2008) a partire dai dati di prove CPT.

La stima dei cedimenti nel caso in esame è stata svolta per alcune indagini in corrispondenza delle opere ai fini delle analisi/verifiche che verranno di seguito eseguite per i dimensionamenti delle palificate in presenza di liquefazione dei terreni.

Metodo proposto da Idriss and Boulanger (2008)

La stima dei cedimenti verticali post-liquefazione S_v è stata eseguita a partire dai risultati delle prove CPT ed SPT secondo le procedure proposte da Idriss and Boulanger (2008) sulla base delle relazioni inizialmente sviluppate da Ishihara e Yoshimine (1992) che, sulla base di numerose prove di laboratorio, osservarono come le deformazioni volumetriche ε_v , che hanno luogo durante la riconsolidazione post-liquefazione dei campioni di sabbia siano correlabili direttamente alle deformazioni di taglio massime sopportate dal campione durante lo scuotimento (carico ciclico non drenato) $\gamma_{\max}$ e alla densità relativa D_R del campione. Gli stessi autori hanno inoltre osservato come le deformazioni di taglio massime sopportate dal campione durante lo scuotimento siano correlabili al coefficiente di sicurezza alla liquefazione FL e alla densità relativa del terreno.

Combinando tali relazioni si ha (Yoshimine et al., 2006; Idriss and Boulanger, 2008):

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(2.551 - 1.147(q_{c1Ncs})^{0.264}\right) \cdot \min(0.08; \gamma_{\max}) \quad (1)$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(-0.369 \cdot ((N_1)_{60cs})^{0.5}\right) \cdot \min(0.08; \gamma_{\max}) \quad (2)$$

dove, posti

$$F_\alpha = -11.74 + 8.34(q_{c1Ncs})^{0.264} - 1.371(q_{c1Ncs})^{0.528} \quad (1)$$

$$F_\alpha = 0.032 + 0.69 \cdot ((N_1)_{60cs})^{0.5} - 0.13 \cdot (N_1)_{60cs} \quad (2)$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 12 di 60

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(2.163 - 0.478 (q_{c1Ncs})^{0.264} \right)^3 \geq 0 \quad (1)$$

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1.1 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{46} \right)^{0.5} \right)^3 \geq 0 \quad (2)$$

(1) calcolo da prove CPT

(2) calcolo da prove SPT

per $FL > 2$ $\gamma_{max} = 0$; per $FL < F_\alpha$ $\gamma_{max} = \gamma_{lim}$ e per $2 > FL > F_\alpha$ γ_{max} è dato dalla seguente espressione:

$$\gamma_{max} = \min \left(\gamma_{lim}, 0.035 (2 - FL) \left(\frac{1 - F_\alpha}{FL - F_\alpha} \right) \right)$$

Nei paragrafi seguenti è riportata la stima dei cedimenti eseguita per le zone individuate come potenzialmente suscettibili a liquefazione.

4.2.1 RI02 e TR03 (lotto 2 Interramento Palermo-Catania)

L'analisi dei cedimenti post liquefazione, finalizzata alla valutazione dell'interazione palo-terreno (attrito negativo), è stata svolta cautelativamente considerando il cedimento massimo valutato sulle verticali di indagine maggiormente rappresentative.

In particolare per il tratto in esame è stata considerata la prova penetrometrica statica CPT1 in quanto essendo una prova in continuo è maggiormente rappresentativa del comportamento del terreno nel suo complesso.

Relativamente alla prova CPT1 è stato individuato uno spessore massimo di 0.4 m di terreno potenzialmente liquefacibile tra le profondità di 3.5 e 4.2 m da p.c., con indice di potenziale liquefazione IPL=1.28 (come si evince da Figura 1).

In Figura 2 si riporta l'andamento del cedimento stimato post-liquefazione. Il valore di cedimento massimo stimato è a p.c. ed avrà andamento decrescente con la profondità, fino ad annullarsi al piede dello strato potenzialmente liquefacibile. Si tratta di un valore molto basso e quindi compatibile con la funzionalità delle opere, sia per la trincea, che per il rilevato.

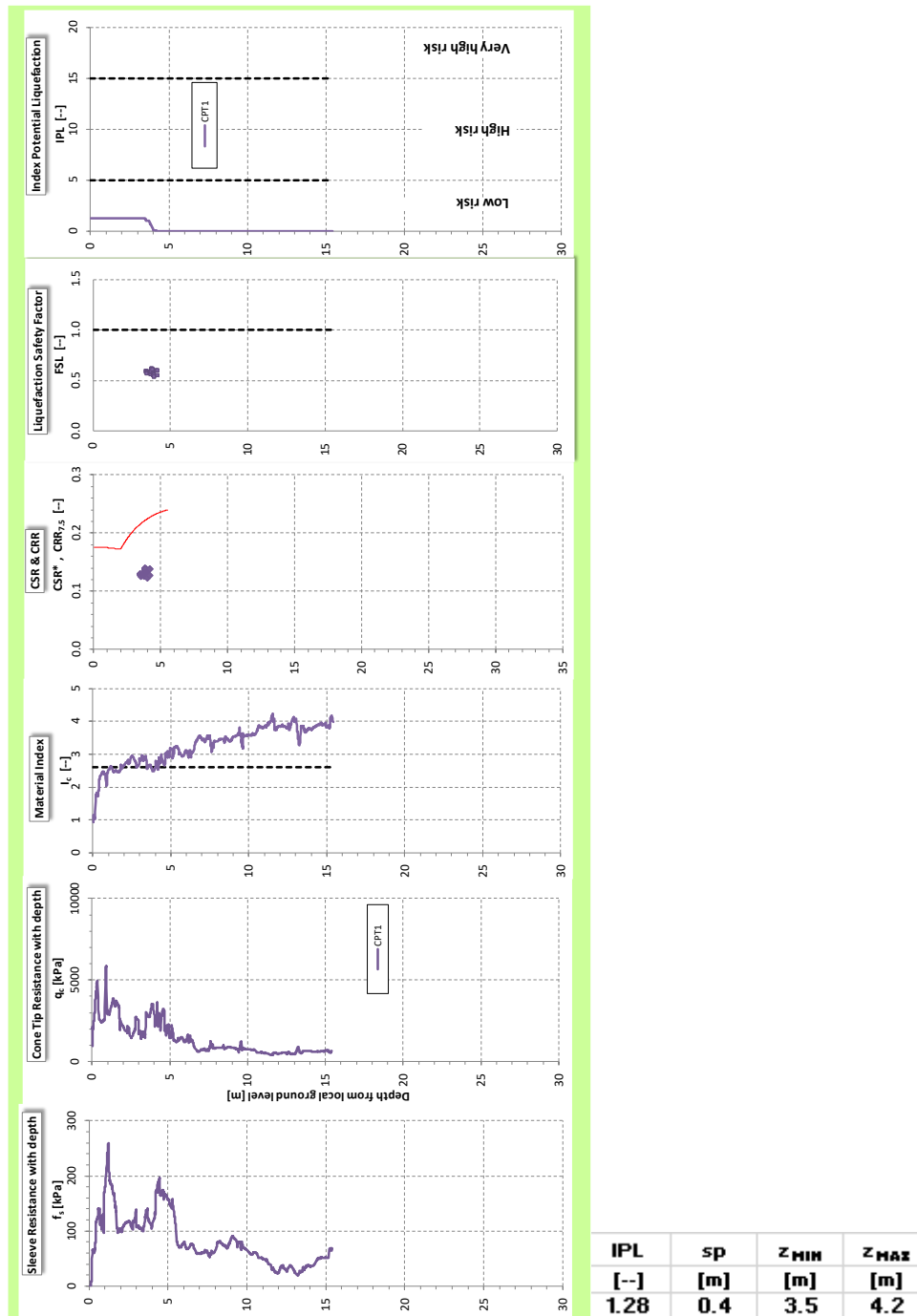


Figura 1 – Analisi di liquefazione - CPT1

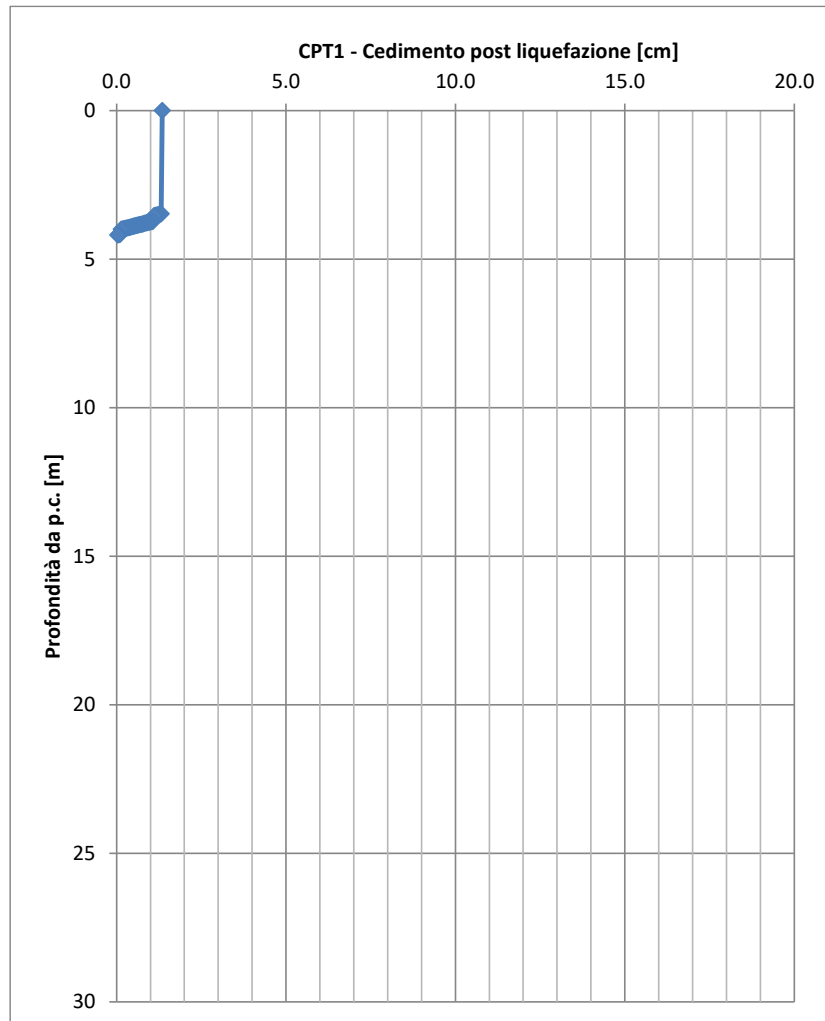


Figura 2 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT1 (cedimento post-sismico = 1.4 cm)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 15 di 60

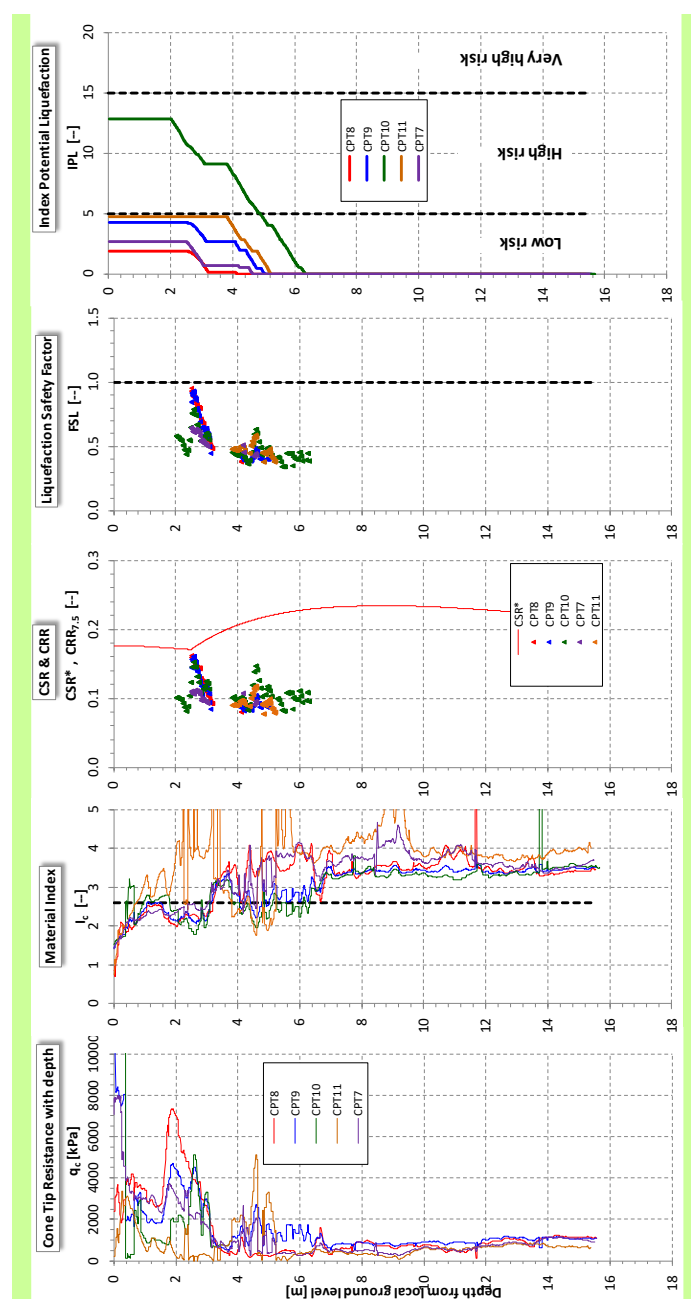
4.2.2 RI05 (lotto 2 Linea Catania-Siracusa)

L'analisi dei cedimenti post liquefazione, finalizzata alla valutazione dell'interazione palo-terreno (attrito negativo), è stata svolta cautelativamente considerando il cedimento massimo valutato sulle verticali di indagine maggiormente rappresentative.

In particolare per il tratto in esame sono state considerate le prove penetrometriche statiche CPT7, CPT8, CPT9, CPT10, CPT11 e sondaggio SD21.

In Figura 3 sono mostrati i risultati dell'analisi di liquefazione e nella sottostante tabella sono sintetizzati i valori dell'indice di potenziale liquefazione, lo spessore complessivo del terreno liquefacibile e la profondità minima e massima a cui è presente terreno liquefacibile per ciascuna prova CPT. Da cui si evince che la prova CPT10 è quella che intercetta lo spessore maggiore di terreno liquefacibile, infatti presenta un rischio più alto di liquefazione con un valore dell'indice di potenziale liquefazione pari a $IPL=12.87$.

Nelle successive figure (Figura 4÷Figura 9) si riporta l'andamento del cedimento stimato post-liquefazione per ciascuna verticale di indagine. Da cui si osserva che il cedimento maggiore post-liquefazione si ha in corrispondenza della CPT10 con un cedimento di 14 cm, e per la CPT10 è 5.7 cm, mentre nelle altre verticali il cedimento è ≤ 5 cm. Quindi dalle verticali di indagine CPT10 e CPT11 è necessario intervento di mitigazione al fenomeno della liquefazione.



CPT	IPL [-]	Sp [m]	Profondità min [m]	Profondità max [m]
CPT7	2.69	0.7	2.5	4.6
CPT8	1.91	0.7	2.5	4.1
CPT9	4.28	1.2	2.5	5.0
CPT10	12.87	3.2	2.0	6.3
CPT11	4.72	1.2	3.8	5.2

Figura 3 – Prove CPT7-CPT11 – Analisi liquefazione

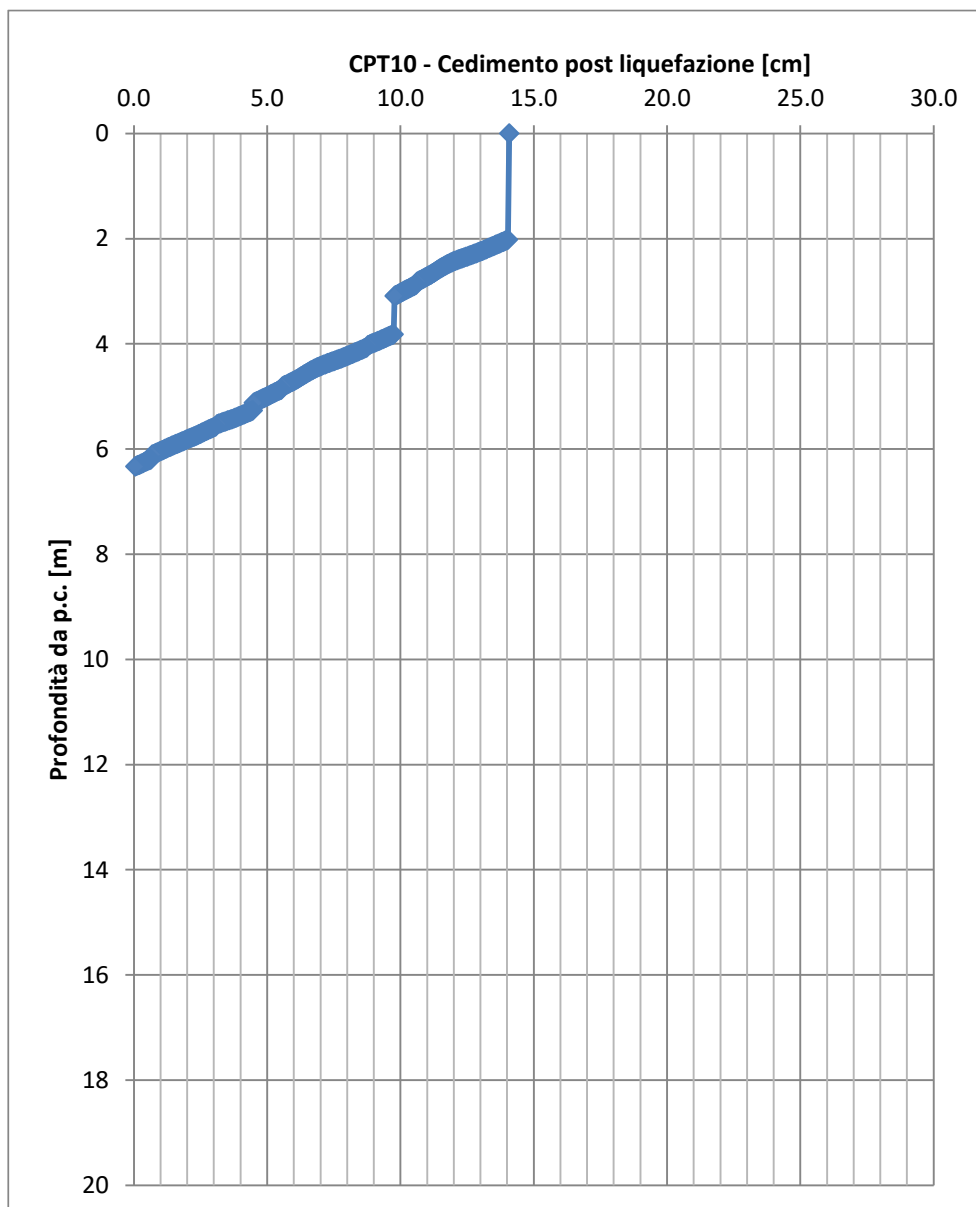


Figura 4 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT10 (cedimento post-sismico = 14 cm)

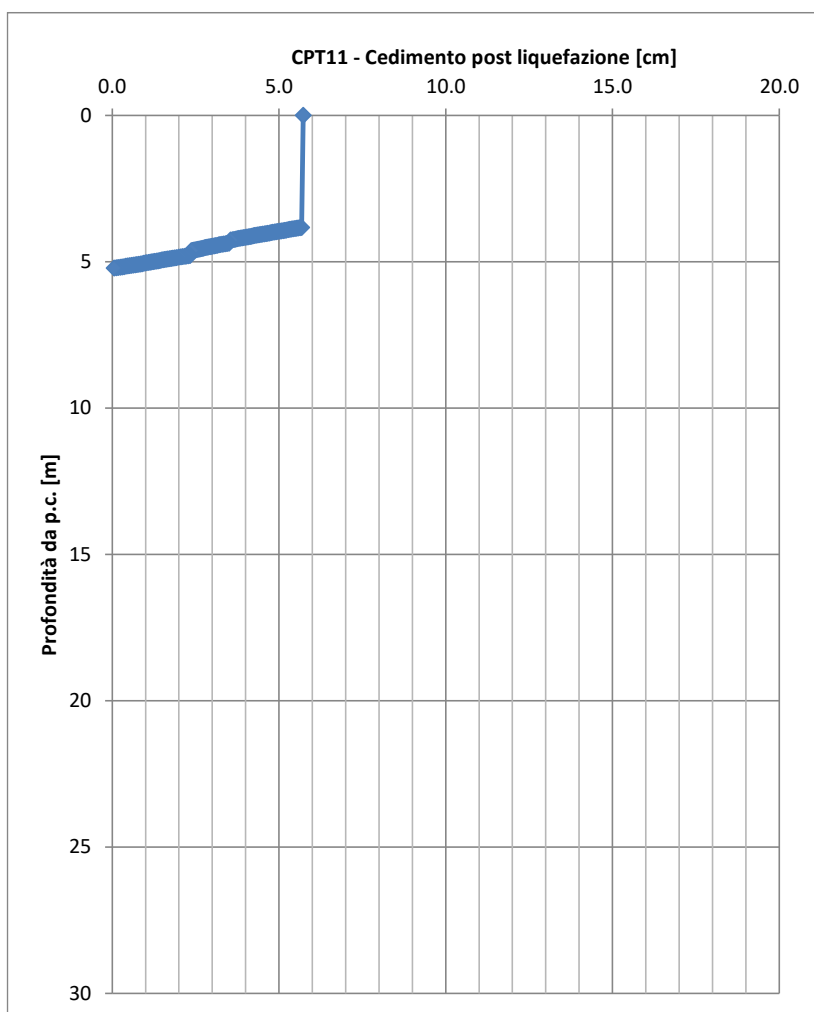


Figura 5 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT11 (cedimento post-sismico = 5.7 cm)

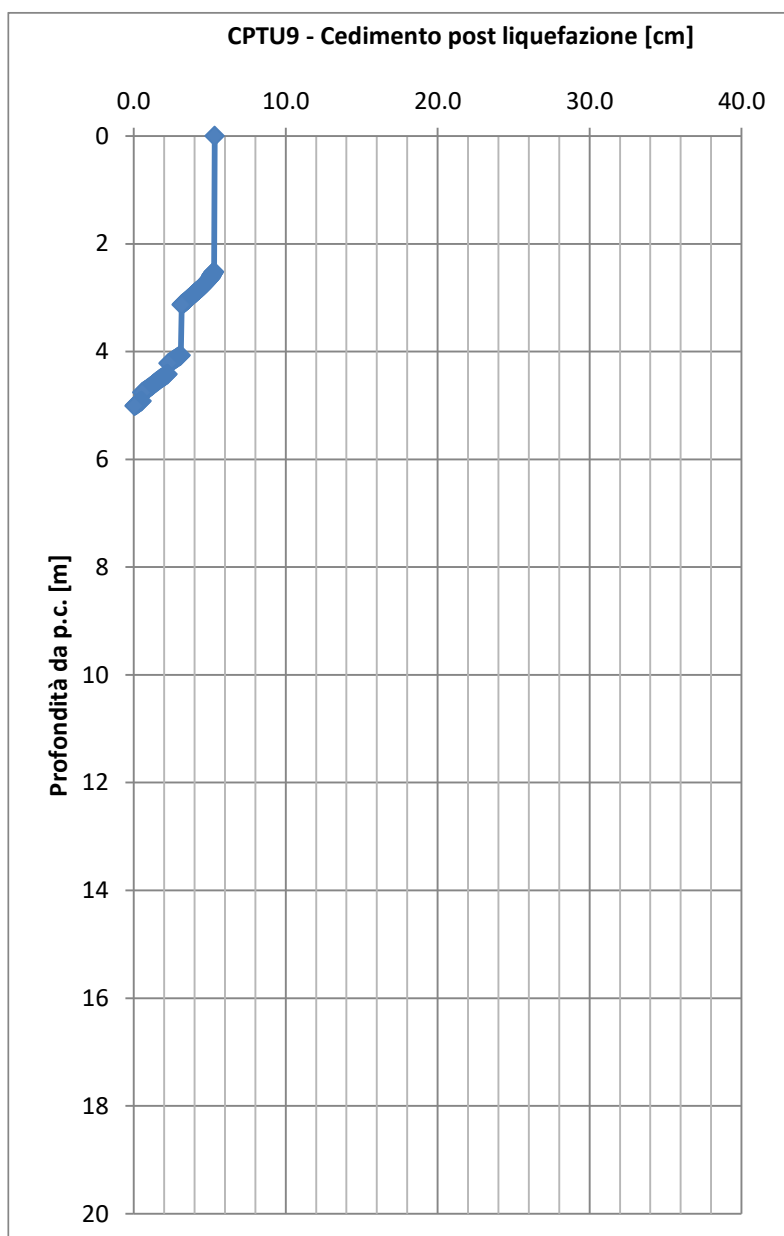


Figura 6 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT9 (cedimento post-sismico = 5 cm)

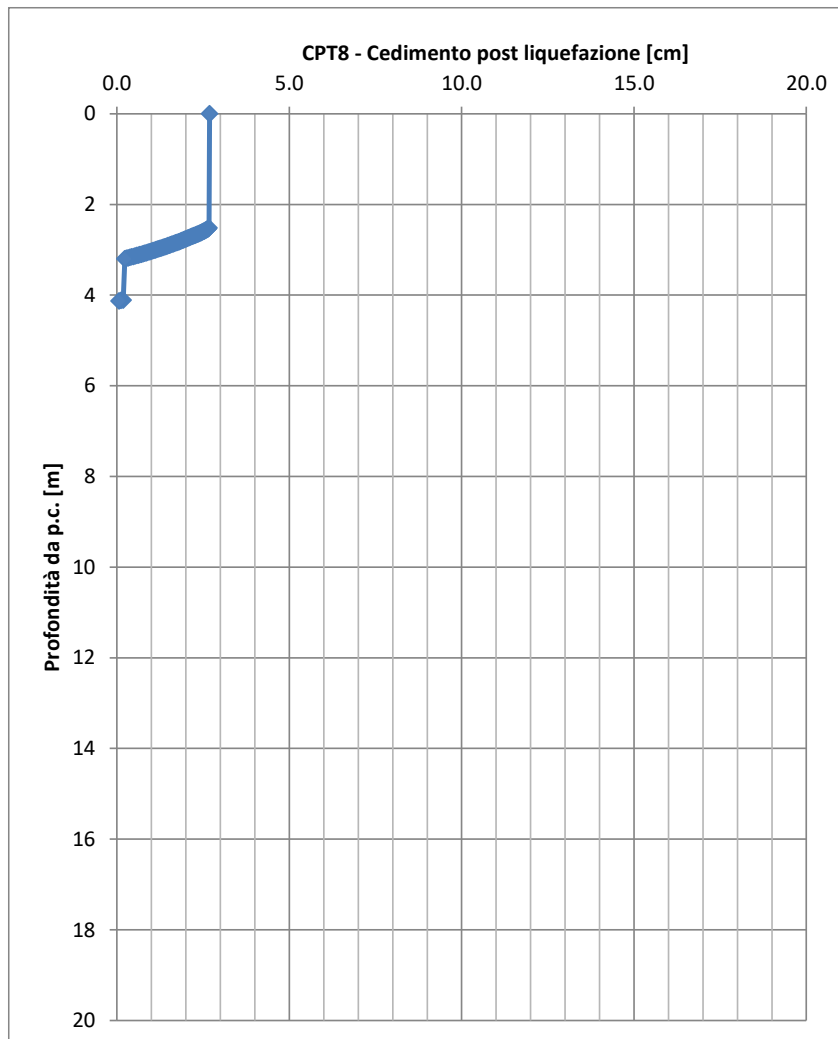


Figura 7 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT8 (cedimento post-sismico = 2.7 cm)

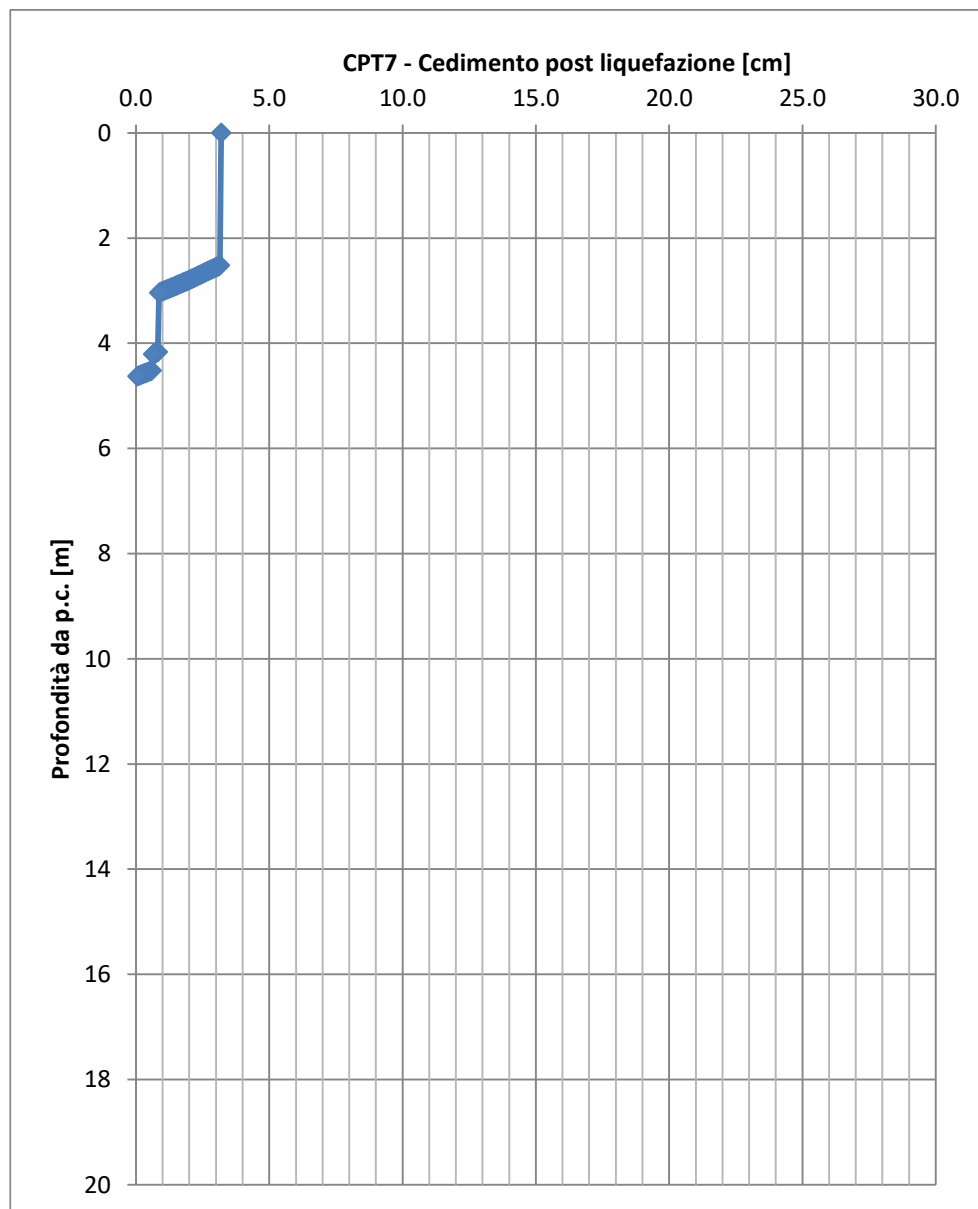


Figura 8 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT7 (cedimento post-sismico = 3.2 cm)

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	FL	γ_{lim}	Fa	γ_{max}	ec	ced
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]	[cm]
1	4.3	1.3	19	80	18	62	10.2	15.8	0.93	1.501	0.32	0.21	0.68	0.25	0.72	0.25	2.77	3.6

Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008

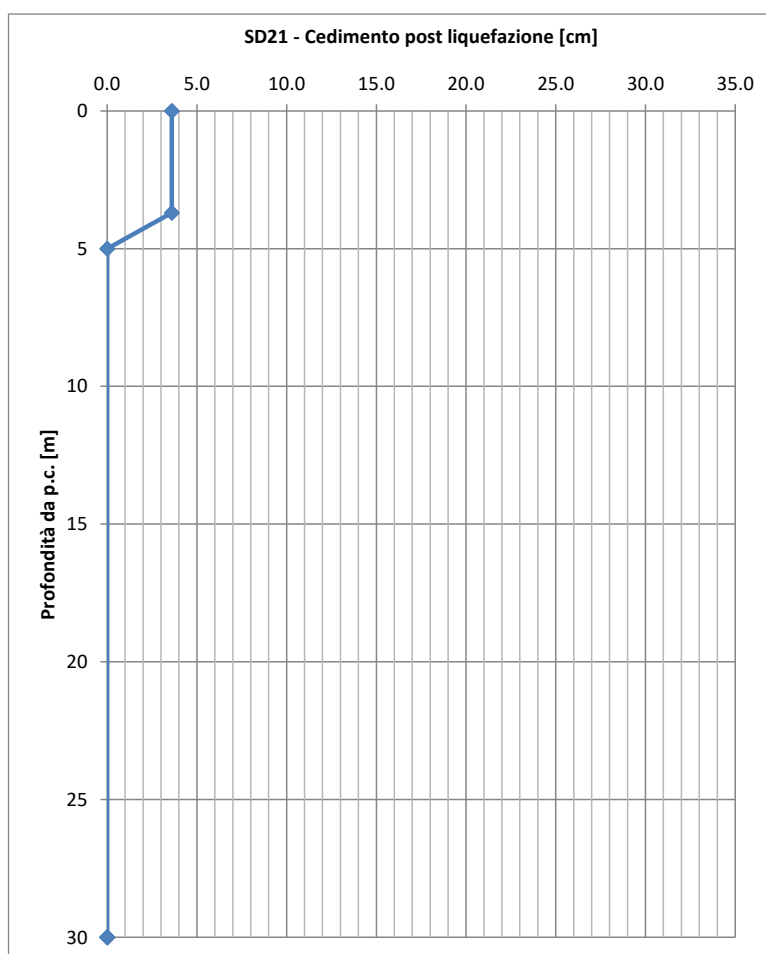


Figura 9 – Cedimento stimato post-liquefazione - SD21 (cedimento post-sismico = 3.6 cm)

4.2.3 Rotatoria viabilità NV08

L'analisi dei cedimenti post liquefazione, finalizzata alla valutazione dell'interazione palo-terreno (attrito negativo), è stata svolta cautelativamente considerando il cedimento massimo valutato sulle verticali di indagine maggiormente rappresentative.

In particolare nell'area è stata considerato il sondaggio SD36 ed i relativi valori di prova SPT. Il sondaggio SD36, eseguito fuori asse rispetto al tracciato ferroviario ed in adiacenza alla rotatoria della viabilità NV08, ha evidenziato un livello di sabbia debolmente limosa tra 3 e 4 m di profondità da p.c.. I cedimenti post-liquefazione stimati da questa indagine sono di 3.8 cm (vedasi figura seguente), quindi compatibili con la funzionalità dei rilevati stradali previsti in zona (che sono comunque bassi).

Sondaggio	SD36																		
Falda:	2.8	m																	
Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008																			
Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	FL	ylim	F α	ymax	ec	ced	
[--]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[--]	[--]	[--]	[--]	[--]	[--]	[--]	[--]	[--]	[%]	[cm]		
1	4.3	1.0	19	82	15	67	9.8	9.8	0.93	1.501	0.30	0.20	0.58	0.48	0.92	0.48	3.78	3.8	

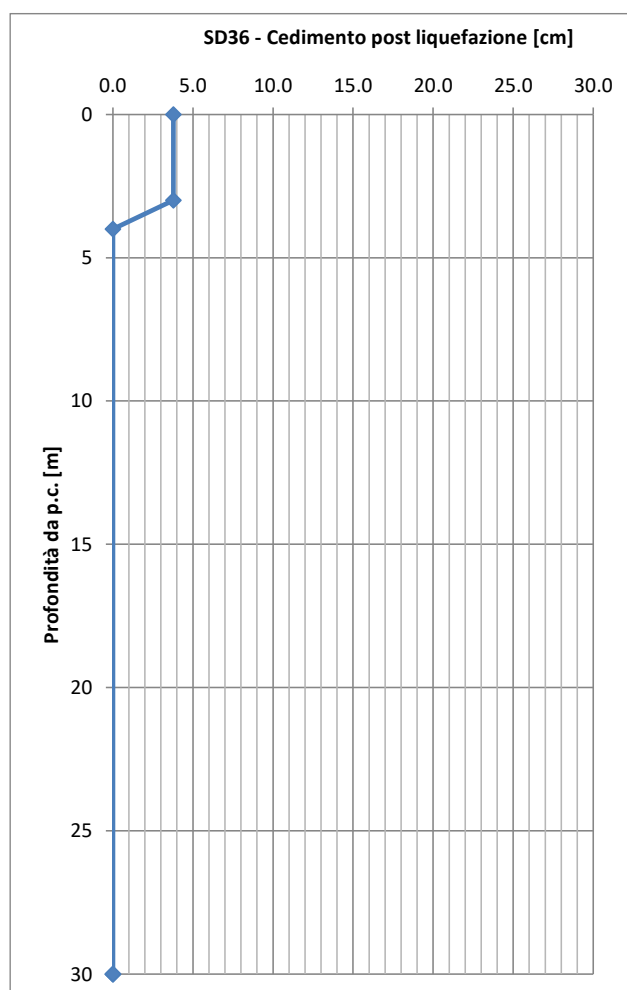


Figura 10 – Cedimento stimato post-liquefazione - SD36 (cedimento post-sismico = 3.8 cm)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 24 di 60

4.3 VERIFICHE DI STABILITA' IN CASO DI LIQUEFAZIONE

Tali analisi sono finalizzate esclusivamente a valutare l'eventuale impatto della potenziale liquefazione sulla stabilità dei rilevati, rimandando alla apposita relazione di calcolo sulla stabilità statica e sismica dei rilevati per una valutazione esaustiva del tema.

Nelle analisi sono state considerate le seguenti situazioni rappresentative:

- Condizioni post-sismiche, ipotizzando che nel terreno potenzialmente liquefacibile i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua; adoperando la relazione tra q_{c1Ncs} e resistenza residua S_r proposta da Idriss e Boulanger (2008) e considerando, valori di q_{c1Ncs} tipicamente compresi tra 75 e 100, si ipotizza che a seguito della liquefazione i terreni in esame siano caratterizzati da valori di $S_r = 0.15 \sigma'_v$.

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato un codice di calcolo denominato Slide v.7.0 in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop modificato che prevede l'utilizzo di superfici di scorrimento circolari.

Nelle analisi sono state ovviamente tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

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

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

In accordo alla normativa vigente per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 25 di 60

condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Secondo la normativa quindi i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

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

$\gamma_c' = 1.25$ coefficiente parziale per la coesione drenata

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

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

$c'_d = c'_k / \gamma_c'$ coesione drenata

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

Per le analisi eseguite, stabilità in condizioni di post liquefazione, sono stati applicati sul rilevato ferroviario i carichi delle condizioni statiche, valutati in accordo a quanto riportato nel documento D.2. Ai carichi accidentali è stato applicato il fattore parziale 0.20 per eventi eccezionali.

L'analisi di stabilità del rilevato in condizioni post-sismiche è stata valutata per una sezione rappresentativa delle condizioni più critiche in relazione all'altezza del rilevato, allo spessore degli strati liquefacibili ed alla distanza di questi rispetto al p.c..

4.3.1 RI02

Nella seguente figura è mostrato il risultato delle analisi di stabilità eseguite per una sezione con rilevato di altezza 1 m (RI02-sezione 51 al km 2+500) con strato di terreno liquefacibile dell'ordine di 4m a partire da una profondità minima del p.c. di 2.5 m. La sezione di calcolo è rappresentativa delle condizioni peggiori con strati liquefacibili più vicini al p.c. in relazione all'altezza del rilevato. Come si vede dalla figura, le ipotetiche superfici di scorrimento (in colore azzurrino lo strato di terreno liquefacibile) mostrano un fattore di sicurezza minimo sempre > 1.1 , quindi le verifiche di stabilità in condizioni post-liquefazione, sono soddisfatte.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in Appendice A.

Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

Unità Ra – terreno rilevato ferroviario

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

Da 0.0 a 6.5 m da p.c. Unità U1 (*)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

Da 6.5 m a 10.0 m Unità U2a

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata

Da 10.0 a 15.5 m Unità U2

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 31^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

Falda: 2.5 m da p.c.

(*) strato liquefacibile tra 2.5 e 6.5 m da p.c. ($\varphi'_d = 6.8^\circ$)

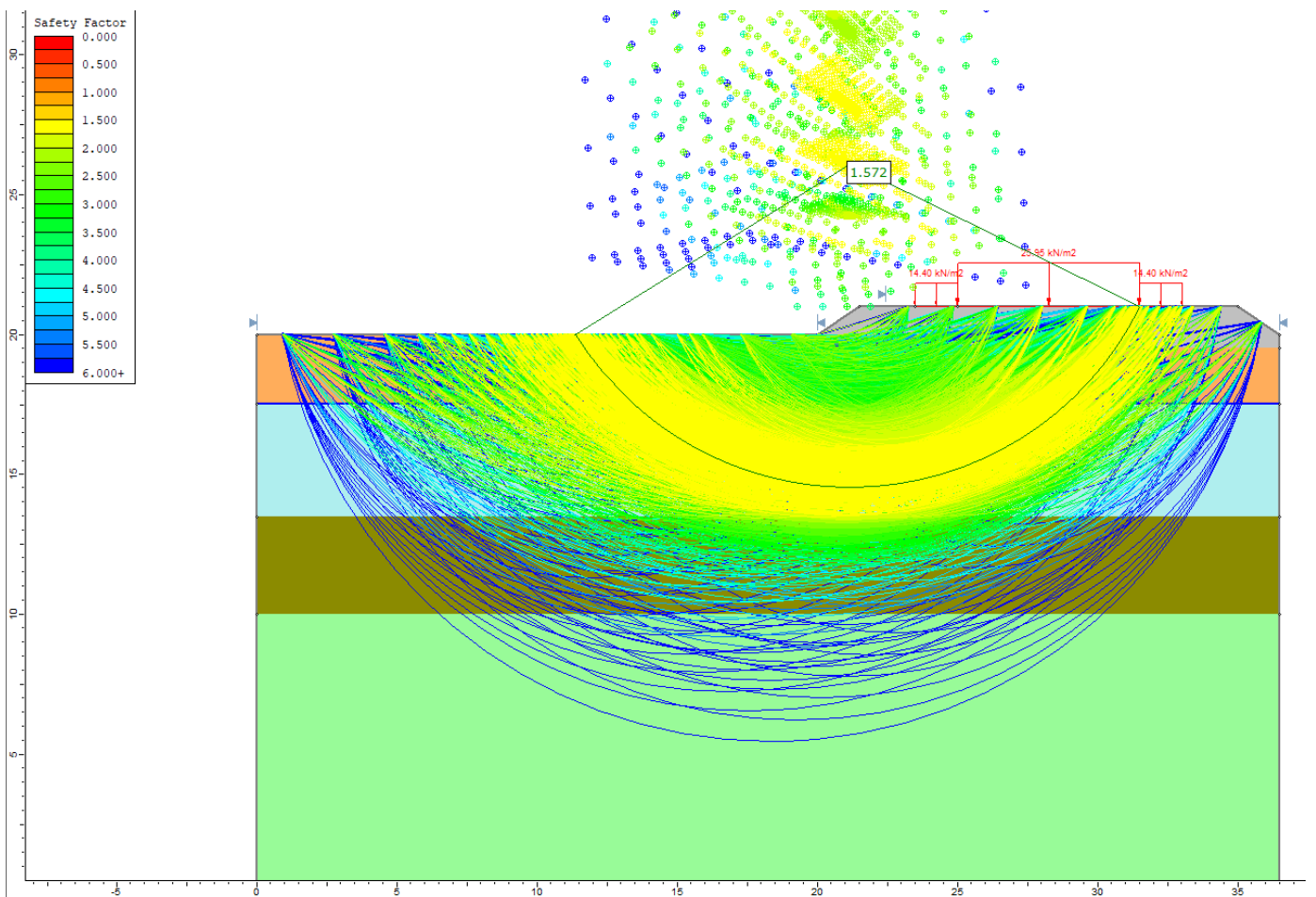


Figura 11– Verifica di stabilità rilevato ferroviario H=1 m RI02 sez 51 al km 2+500 – post liquefazione

4.3.2 TR03

Nella seguente figura è mostrato il risultato delle analisi di stabilità eseguite per una sezione con trincea con massimo scavo di 2 m (TR03-sezione 45 al km 2+200) con strato di terreno liquefacibile tra 3.5 e 4.2 m da p.c.. La sezione di calcolo è rappresentativa delle condizioni peggiori con strati liquefacibili più vicini al p.c. in relazione all'altezza di scavo. Come si vede dalla figura, le ipotetiche superfici di scorrimento (in colore azzurrino lo strato di terreno liquefacibile) mostrano un fattore di sicurezza minimo sempre > 1.1 , quindi le verifiche di stabilità in condizioni post-liquefazione, sono soddisfatte.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in Appendice A.

Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

Da 0.0 a 7.5 m da p.c. Unità U1 (*)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Da 7.5 m a 10.5 m Unità U2a

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

$\varphi' = 24^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Da 10.5 a 15.0 m Unità U2

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 31^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Falda: 2.5 m da p.c.

(*) strato liquefacibile tra 3.5 e 4.2 m da p.c. ($\varphi'_d = 6.8^\circ$)

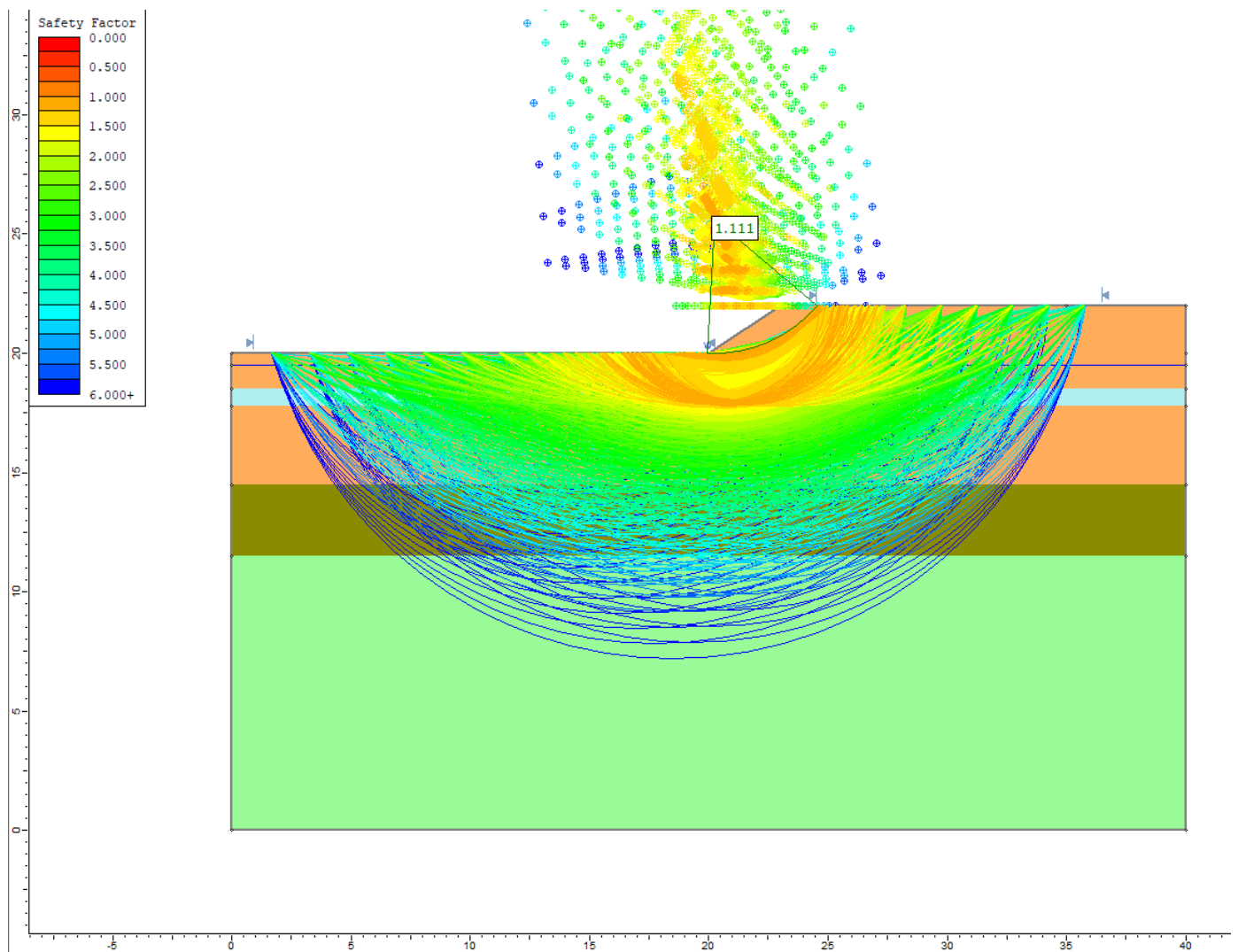


Figura 12– Verifica di stabilità trincea ferroviaria H=2 m TR03 sez 45 al km 2+200 – post liquefazione

4.3.3 RI05

Nella seguente figura è mostrato il risultato delle analisi di stabilità eseguite per una sezione con rilevato di altezza 3 m (RI05-sezione 43 al km 2+150) con strato di terreno liquefacibile dell'ordine di 2.5m a partire da una profondità minima del p.c. di 2.5 m. La sezione di calcolo è rappresentativa delle condizioni peggiori con strati liquefacibili più vicini al p.c. in relazione all'altezza del rilevato tra le pk 1+725 e 2+175 (indagini di riferimento CPT7, CPT8, CPT9). Come si vede dalla figura, le ipotetiche superfici di scorrimento (in colore azzurrino lo strato di terreno liquefacibile) mostrano un fattore di sicurezza minimo sempre > 1.1 , quindi le

verifiche di stabilità in condizioni post-liquefazione, sono soddisfatte. I tabulati sono riportati in Appendice A.

Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

Unità Ra – terreno rilevato ferroviario

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 38^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Da 0.0 a 5.0 m da p.c. Unità U1 (*)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Da 5.0 m a 12.0 m Unità U1a

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

$\varphi' = 24^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Da 12.0 a 26.5 m Unità U2a

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

$\varphi' = 24^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Falda: 2.5 m da p.c.

(*) strato liquefacibile tra 2.5 e 5.0 m da p.c. ($\varphi'_d = 6.8^\circ$)

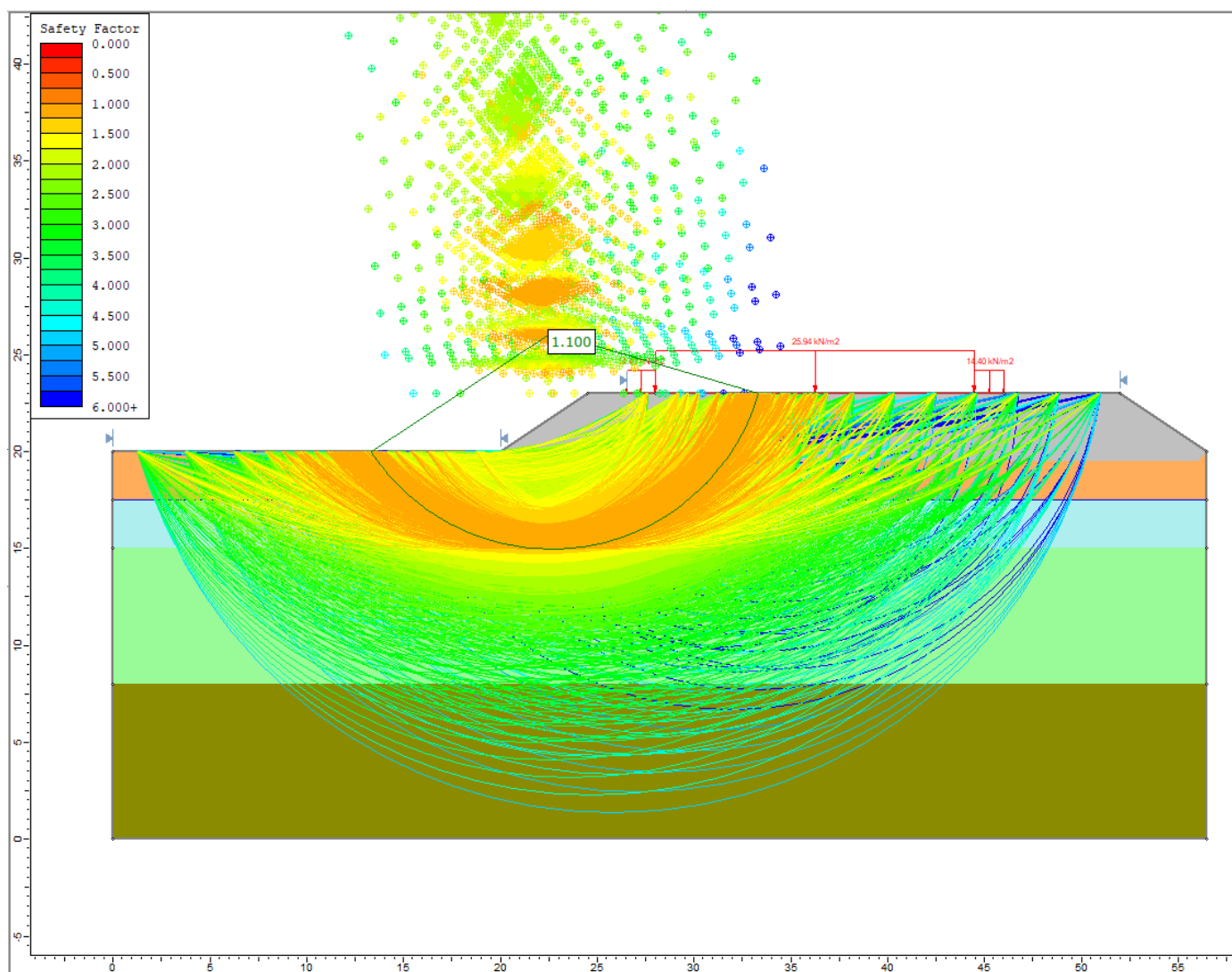


Figura 13– Verifica di stabilità rilevato ferroviario H=3 m RI05 sez 43 al km 2+150 – post liquefazione

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 32 di 60

5 INTERVENTI DI MITIGAZIONE

5.1 Scopo e entità degli interventi di mitigazione

Per i tratti di rilevato ferroviario tra le progressive chilometriche 2+240 e 2+575 (RI05), considerata la pericolosità sismica di base, la suscettibilità dei terreni alla liquefazione e le possibili conseguenze descritte al precedente capitolo, è necessario intervenire per mitigare il rischio di liquefazione, al fine di scongiurare eccessivi cedimenti del corpo del rilevato, oltre al rischio concreto di danni diretti ai convogli in circolazione, ed ai problemi connessi con una interruzione dell'esercizio prolungata, presumibilmente non compatibile con le esigenze del servizio. Analogo intervento è previsto per il tratto di rilevato stradale della viabilità NV08 che corre parallela alla linea ferroviaria.

Per il tratto di linea ferroviaria tra le progressive chilometriche 1+725 e 2+025, tra 2+173.5 e 2+240, è necessario prevedere un intervento di consolidamento al di sotto del piano di posa della fondazione diretta dei muri di sostegno (rispettivamente MU03 e MU05), in quanto il terreno potenzialmente liquefacibile è posto al piano di posa delle fondazioni e non consente di soddisfare le verifiche geotecniche in fondazione.

Inoltre un intervento con pali in ghiaia è previsto anche in corrispondenza del rilevato RI06 in approccio al viadotto VI02 ed al rilevato della viabilità NV08 che corre parallelamente alla linea in questo tratto, finalizzato ad accelerare il decorso dei cedimenti nel tempo.

5.2 Tipologia di trattamento

Per il trattamento dello strato liquefacibile si prevede la realizzazione di colonne di ghiaia vibrocompattate, che consente un duplice effetto: migliora l'addensamento del terreno ed incrementa il potenziale di drenaggio. Sulla base della geometria dei rilevati, dello spessore da trattare si ipotizza un trattamento con colonne in ghiaia di diametro 800 mm, con maglia quadrata ad interasse (i) e lunghezza (Lc) come specificato nella seguente tabella.

Nella seguente tabella sono sintetizzati anche gli interventi previsti in corrispondenza del rilevato RI06 in approccio al viadotto VI02 ed al rilevato della viabilità NV08 che corre parallelamente alla linea in questo tratto, finalizzati ad accelerare il decorso dei cedimenti nel tempo.

Interventi per mitigazione rischio liquefazione	da km	a km	intervento	maglia [m]	Lc [m]	larghezza estensione intervento [m]
muro MU03	1+725	2+025	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	6	4
muro MU05	2+173.5	2+240	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	6	4
RI05	2+240	2+265	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	7	35
RI05+piazzale FA06-FA07	2+265	2+350	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	7	57
RI05	2+350	2+575	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	7	35
viabilità NV08 Rilevato+muro MU07	0+140	0+415	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	7	15
Interventi per accelerare cedimenti	da km	a km	intervento	maglia [m]	Lc [m]	larghezza estensione intervento [m]
RI06	2+870	2+918	colonne ghiaia D=800 mm	2.0x2.0	12	26
RI06	2+955	3+050	colonne ghiaia D=800 mm	2.0x2.0	12	26
Rilevato viabilità NV08 (in appoggio a NW01)	0+710	0+760	colonne ghiaia D=800 mm	2.0x2.0	12	26
RI viabilità NV08 (in appoggio al viadotto NW01)	0+794	0+900	colonne ghiaia D=800 mm	2.0x2.0	12	26

5.3 ANALISI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE POST- INTERVENTO

La valutazione della mitigazione del rischio di potenziale liquefazione in relazione all'intervento di consolidamento previsto con riferimento ai pali in ghiaia, viene eseguita per le zone, indicate nella precedente tabella, in cui le analisi hanno evidenziato un rischio di liquefazione non trascurabile e per le quali è stato previsto intervento di consolidamento.

Nel seguito viene esposta la metodologia di calcolo in presenza di colonne in ghiaia ed a seguire i risultati delle analisi, da cui si evince che in presenza dell'intervento di consolidamento in progetto, il fattore di sicurezza alla liquefazione è sufficientemente maggiore dell'unità, ovvero l'intervento è idoneo a escludere il rischio di potenziale liquefazione.

La metodologia di calcolo sotto esposta (Priebe, 1998), considera una riduzione del livello tensionale dovuta alla presenza delle colonne. Tale ipotesi è sicuramente cautelativa per la presenza delle colonne di ghiaia che costituiscono non solo elementi di rinforzo, ma anche elementi drenanti per la dissipazione delle sovra-pressioni generate dal terremoto, inoltre trascura cautelativamente l'effetto addensante sul terreno dovuto alla realizzazione delle colonne stesse mediante vibrocompattazione.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 34 di 60

5.3.1 Metodologia di valutazione rischio liquefazione in presenza di consolidamento con colonne di inerte vibrocompattate

La presenza di un consolidamento con Colonne in Ghiaia Vibrocompattate, è valutata come un coefficiente riduttivo α del rapporto di tensione ciclica, CSR (Priebe, 1998):

$$\alpha = \frac{p_s}{p} = \frac{1}{n_0} = \frac{k_{a,c} \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)}{\frac{A_c}{A} + k_{a,c} \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)^2}$$

dove:

A_c = è l'area della sezione della colonna di consolidamento

A = è l'area di influenza della singola colonna di consolidamento

$K_{ac} = \tan^2 (45^\circ - \varphi_c/2)$ = è il coefficiente di spinta attiva delle colonne

φ_c = è l'angolo di resistenza al taglio del materiale di consolidamento

a = è inteso come il rapporto tra il livello tensionale rimanente sul terreno tra le colonne di consolidamento p_s , e la sovrappressione totale p ; tale rapporto può essere anche interpretato come l'inverso del fattore di miglioramento apportato dalle colonne n_0 .

Tale valutazione si basa sulla prestazionalità meccanica delle colonne di ghiaia addensata per le quali si può considerare un angolo di resistenza al taglio φ_c . La sicurezza risulta inoltre maggior di quella cautelativamente stimata come sopra, per la presenza delle colonne di ghiaia che costituiscono non solo elementi di rinforzo ma anche elementi drenanti per la dissipazione delle sovra-pressure generate dal terremoto.

La sicurezza nei confronti della liquefazione è valutata in termini di un coefficiente di sicurezza FS, definito come il rapporto fra resistenza disponibile alla liquefazione (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione o al manifestarsi di grandi deformazioni plastiche) e sollecitazione indotta dall'azione sismica. Entrambi i parametri tensionali sono normalizzati alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, in modo da definire un rapporto di resistenza ciclica, CRR e un rapporto di tensione ciclica, CSR:

$$FS = CRR/CSR$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO. MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 35 di 60

Il rapporto di tensione ciclica ad una determinata profondità è valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

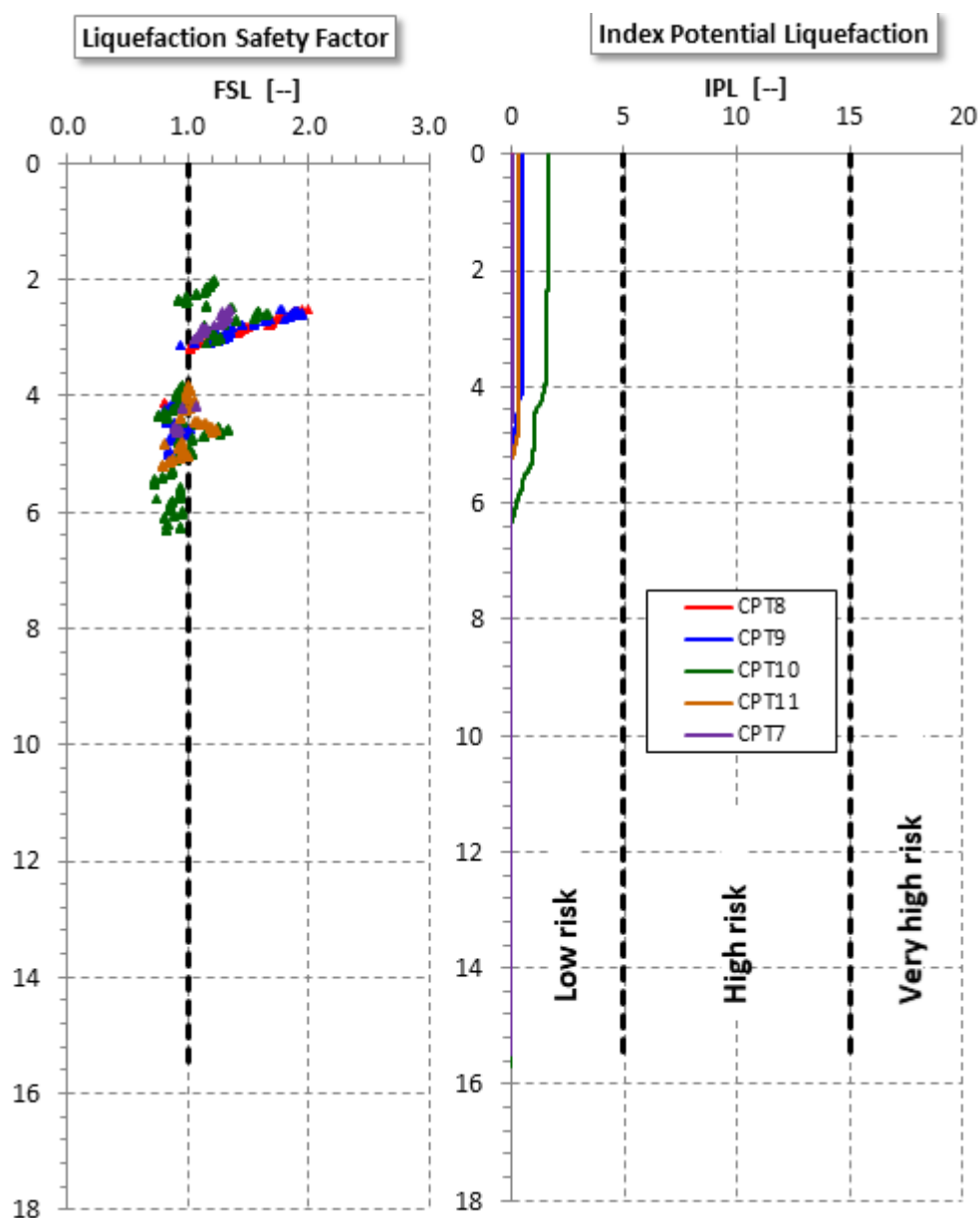
Per la valutazione di questi termini si rimanda alle metodologie illustrate nei paragrafi precedenti.

5.3.2 Risultati RI05

L'intervento previsto da progetto è con pali in ghiaia D=800 mm interasse 1.5 m x 1.5 m. Da cui si ottiene un coefficiente $\alpha = 0.48$ riduttivo del rapporto di tensione ciclica (CSR) (con riferimento a $\phi_c = 40^\circ$, $K_{ac} = 0.217$, $A_c = 0.5 \text{ m}^2$, $A = 2.25 \text{ m}^2$, $A_c / A = 0.22$).

Per le prove CPT7, CPT8, CPT9, CPT10, CPT11, si è valutato il rischio di potenziale liquefazione con l'intervento di consolidamento in presenza di colonne in ghiaia, come da progetto. Nella seguente figura sono mostrati i risultati in termini di fattore di sicurezza (FSL) e indice di potenziale liquefazione (IPL) per le prove in esame con intervento di consolidamento. Dalla figura si osserva che l'intervento previsto da progetto consente di abbassare notevolmente l'indice di potenziale liquefazione: infatti senza intervento per le prove CPT più critiche, IPL era di 4.3 e 12.9 (quindi rischio alto di liquefazione) con intervento di mitigazione alla liquefazione IPL passa a valori di 0.0 - 1.4, quindi il rischio di liquefazione è da nullo a irrilevante (vedasi bibliografia Iwasaky, 1978, 1982, 16984 e richiamata da tutti i riferimenti successivi di letteratura). L'intervento consente di escludere il fenomeno di liquefazione.

I cedimenti dei rilevati saranno quelli stimati per i rilevati standard analizzati nelle relative relazioni (D.2, D.3).



CPT+colonne in ghiaia	IPL [–]
CPT7	0.09
CPT8	0.05
CPT9	0.5
CPT10	1.4
CPT11	0.37

Figura 14. Sintesi analisi di liquefazione da prove CPT – con intervento di consolidamento

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA					
	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	MACROFASE FUNZIONALE 1					
	LOTTO 02.					
	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 37 di 60

6 APPENDICE A – ANALISI DI STABILITÀ IN CONDIZIONI POST-SISMICHE. TABULATI DI CALCOLO SLIDE

6.1 RI02 - SEZIONE 51 AL KM 2+500

Slide Analysis Information

L2sez51

Project Summary

File Name: L2sez51.slmd
Slide Modeler Version: 8.024
Compute Time: 00h:00m:00.873s
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 23/01/2020, 12:20:37

General Settings

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check malpha < 0.2: Yes



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
38 di 60

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

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 20
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic Loading

Advanced seismic analysis: No

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA					
	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.					
	MACROFASE FUNZIONALE 1 LOTTO 02.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 39 di 60

Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 3 Distributed Loads present

Distributed Load 1	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Normal to boundary
Distributed Load 2	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Normal to boundary
Distributed Load 3	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	25.95
Orientation:	Normal to boundary

Materials

Property	Ril	U1	U1_LIQ	U2	U2a
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18.5	18.5	19.5	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	8
Friction Angle [°]	32	24.8	6.8	25.7	19.6
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.571840
----	----------



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1
LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
40 di 60

Center: 21.153, 26.080
Radius: 11.528
Left Slip Surface Endpoint: 11.359, 20.000
Right Slip Surface Endpoint: 31.500, 21.000
Resisting Moment: 3631.41 kN-m
Driving Moment: 2310.28 kN-m
Total Slice Area: 85.7931 m²
Surface Horizontal Width: 20.1416 m
Surface Average Height: 4.2595 m

Valid/Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4528
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57184

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.419038	2.43463	-56.2913	U1	0	24.8	3.05005	4.79419	10.3756	0	10.3756	5.80372	5.80372
2	0.419038	7.00105	-52.6959	U1	0	24.8	7.98981	12.5587	27.1795	0	27.1795	16.6929	16.6929
3	0.419038	11.0264	-49.3776	U1	0	24.8	11.7598	18.4845	40.0042	0	40.0042	26.2946	26.2946
4	0.419038	14.6178	-46.2712	U1	0	24.8	14.7951	23.2555	50.3295	0	50.3295	34.8629	34.8629
5	0.419038	17.8482	-43.3327	U1	0	24.8	17.3168	27.2192	58.9077	0	58.9077	42.5706	42.5706
6	0.394799	19.4955	-40.6083	U1_LIQ	0	6.79998	3.87165	6.08562	52.6958	1.66021	51.0356	49.3765	47.7162
7	0.394799	21.8609	-38.0695	U1_LIQ	0	6.79998	4.07551	6.40605	58.56	4.8372	53.7228	55.3679	50.5307
8	0.394799	24.0229	-35.6161	U1_LIQ	0	6.79998	4.26002	6.69607	63.8961	7.74115	56.1549	60.8444	53.1032
9	0.394799	26.0005	-33.236	U1_LIQ	0	6.79998	4.4271	6.95869	68.7547	10.3973	58.3574	65.8537	55.4564
10	0.394799	27.8088	-30.9191	U1_LIQ	0	6.79998	4.57828	7.19632	73.1763	12.8261	60.3502	70.4342	57.6081
11	0.394799	29.4603	-28.6572	U1_LIQ	0	6.79998	4.71481	7.41093	77.1942	15.0442	62.15	74.6175	59.5733
12	0.394799	30.9653	-26.4432	U1_LIQ	0	6.79998	4.83772	7.60412	80.8357	17.0657	63.77	78.4296	61.3639
13	0.394799	32.3324	-24.271	U1_LIQ	0	6.79998	4.94786	7.77725	84.1239	18.9019	65.222	81.8929	62.991
14	0.394799	33.569	-22.1354	U1_LIQ	0	6.79998	5.04596	7.93144	87.078	20.5628	66.5152	85.0254	64.4626
15	0.394799	34.6811	-20.0317	U1_LIQ	0	6.79998	5.13261	8.06764	89.7138	22.0566	67.6572	87.8425	65.7859
16	0.394799	35.674	-17.9559	U1_LIQ	0	6.79998	5.20833	8.18666	92.0455	23.3902	68.6553	90.3576	66.9674
17	0.394799	36.5521	-15.9042	U1_LIQ	0	6.79998	5.27355	8.28917	94.0846	24.5695	69.5151	92.5819	68.0124
18	0.394799	37.319	-13.8733	U1_LIQ	0	6.79998	5.32863	8.37576	95.8409	25.5996	70.2413	94.5248	68.9252



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
41 di 60

19	0.394799	37.9778	-11.86	U1_LIQ	0	6.79998	5.3739	8.44691	97.3225	26.4845	70.838	96.1939	69.7094
20	0.394799	38.5312	-9.86154	U1_LIQ	0	6.79998	5.4096	8.50302	98.5363	27.2278	71.3085	97.5959	70.3681
21	0.394799	38.9813	-7.87509	U1_LIQ	0	6.79998	5.43593	8.54442	99.4881	27.8323	71.6558	98.7362	70.9039
22	0.394799	39.5332	-5.89815	U1_LIQ	0	6.79998	5.49252	8.63336	100.702	28.3002	72.4016	100.134	71.8341
23	0.394799	41.701	-3.92823	U1_LIQ	0	6.79998	5.87137	9.22885	106.029	28.6332	77.3956	105.626	76.9924
24	0.394799	44.0115	-1.96296	U1_LIQ	0	6.79998	6.28599	9.88057	111.693	28.8326	82.8608	111.478	82.6454
25	0.394799	46.1391	0	U1_LIQ	0	6.79998	6.67345	10.4896	116.867	28.899	87.9684	116.867	87.9684
26	0.394799	47.7682	1.96296	U1_LIQ	0	6.79998	6.97342	10.9611	120.755	28.8326	91.9227	120.994	92.1617
27	0.394799	47.7697	3.92823	U1_LIQ	0	6.79998	6.97068	10.9568	120.52	28.6332	91.8863	120.998	92.365
28	0.394799	47.5217	5.89815	U1_LIQ	0	6.79998	6.93029	10.8933	119.655	28.3002	91.3544	120.371	92.0704
29	0.394799	47.1734	7.87509	U1_LIQ	0	6.79998	6.88098	10.8158	118.537	27.8323	90.7045	119.489	91.6562
30	0.394799	46.7233	9.86154	U1_LIQ	0	6.79998	6.82264	10.7241	117.163	27.2278	89.935	118.349	91.121
31	0.394799	46.1699	11.86	U1_LIQ	0	6.79998	7.35113	11.5548	123.386	26.4845	96.9018	124.93	98.4455
32	0.394799	45.511	13.8733	U1_LIQ	0	6.79998	7.75047	12.1825	127.765	25.5996	102.165	129.679	104.08
33	0.394799	44.7441	15.9042	U1_LIQ	0	6.79998	7.66089	12.0417	125.554	24.5695	100.985	127.737	103.168
34	0.394799	43.8661	17.9559	U1_LIQ	0	6.79998	7.56139	11.8853	123.063	23.3902	99.6729	125.514	102.123
35	0.394799	42.8732	20.0317	U1_LIQ	0	6.79998	8.09529	12.7245	128.767	22.0566	106.711	131.719	109.662
36	0.394799	41.7611	22.1354	U1_LIQ	0	6.79998	8.18111	12.8594	128.405	20.5628	107.842	131.733	111.17
37	0.394799	40.5245	24.271	U1_LIQ	0	6.79998	8.04675	12.6482	124.973	18.9019	106.071	128.601	109.699
38	0.394799	39.1573	26.4432	U1_LIQ	0	6.79998	7.90055	12.4184	121.209	17.0657	104.143	125.138	108.073
39	0.394799	37.6523	28.6572	U1_LIQ	0	6.79998	7.74182	12.1689	117.096	15.0442	102.052	121.327	106.283
40	0.394799	36.0009	30.9191	U1_LIQ	0	6.79998	7.56979	11.8985	112.61	12.8261	99.7843	117.144	104.318
41	0.394799	34.1926	33.236	U1_LIQ	0	6.79998	7.38358	11.6058	107.726	10.3973	97.3288	112.564	102.167
42	0.394799	32.215	35.6161	U1_LIQ	0	6.79998	7.18184	11.2887	102.411	7.74115	94.6699	107.556	99.8147
43	0.394799	30.053	38.0695	U1_LIQ	0	6.79998	6.96324	10.9451	96.626	4.8372	91.7888	102.08	97.2427
44	0.394799	27.6876	40.6083	U1_LIQ	0	6.79998	6.72607	10.5723	90.3223	1.66021	88.6621	96.089	94.4288
45	0.441628	27.8823	43.4118	U1	0	24.8	20.4959	32.2162	69.7221	0	69.7221	89.1121	89.1121
46	0.441628	24.2733	46.518	U1	0	24.8	18.1633	28.5498	61.7876	0	61.7876	80.9397	80.9397
47	0.441628	20.2351	49.8143	U1	0	24.8	15.6562	24.6091	53.2589	0	53.2589	71.795	71.795
48	0.441628	15.674	53.3546	U1	0	24.8	12.9509	20.3567	44.056	0	44.056	61.4655	61.4655
49	0.441375	10.216	57.2201	Ril	0	32	12.0741	18.9786	30.372	0	30.372	49.1218	49.1218
50	0.441375	3.59541	61.5496	Ril	0	32	7.81988	12.2916	19.6706	0	19.6706	34.1028	34.1028

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57184

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	11.3589	20	0	0	0
2	11.7779	19.3719	7.79335	0	0
3	12.197	18.8219	26.085	0	0
4	12.616	18.3334	50.5486	0	0
5	13.0351	17.8953	78.7869	0	0
6	13.4541	17.5	109.321	0	0

7	13.8489	17.1615	128.684	0	0
8	14.2437	16.8523	148.399	0	0
9	14.6385	16.5695	168.15	0	0
10	15.0333	16.3108	187.682	0	0
11	15.4281	16.0743	206.79	0	0
12	15.8229	15.8586	225.305	0	0
13	16.2177	15.6622	243.084	0	0
14	16.6125	15.4842	260.011	0	0
15	17.0073	15.3236	275.984	0	0
16	17.4021	15.1796	290.921	0	0
17	17.7969	15.0517	304.751	0	0
18	18.1917	14.9392	317.414	0	0
19	18.5865	14.8417	328.86	0	0
20	18.9813	14.7588	339.048	0	0
21	19.3761	14.6902	347.943	0	0
22	19.7709	14.6356	355.519	0	0
23	20.1657	14.5948	361.792	0	0
24	20.5605	14.5677	366.981	0	0
25	20.9553	14.5541	370.971	0	0
26	21.3501	14.5541	373.602	0	0
27	21.7449	14.5677	374.717	0	0
28	22.1397	14.5948	374.198	0	0
29	22.5345	14.6356	372.05	0	0
30	22.9293	14.6902	368.29	0	0
31	23.3241	14.7588	362.939	0	0
32	23.7189	14.8417	355.607	0	0
33	24.1137	14.9392	346.205	0	0
34	24.5085	15.0517	335.101	0	0
35	24.9033	15.1796	322.337	0	0
36	25.298	15.3236	306.994	0	0
37	25.6928	15.4842	289.598	0	0
38	26.0876	15.6622	270.523	0	0
39	26.4824	15.8586	249.838	0	0
40	26.8772	16.0743	227.626	0	0
41	27.272	16.3108	203.982	0	0
42	27.6668	16.5695	179.024	0	0
43	28.0616	16.8523	152.892	0	0
44	28.4564	17.1615	125.758	0	0
45	28.8512	17.5	97.8376	0	0
46	29.2929	17.9178	77.7467	0	0
47	29.7345	18.3835	56.9843	0	0
48	30.1761	18.9063	36.042	0	0
49	30.6177	19.5	15.5989	0	0
50	31.0591	20.1854	0.103506	0	0
51	31.5005	21	0	0	0



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 43 di 60
--	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Entity Information

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
External Boundary	X	Y
	0	20
	0	17.5
	0	13.5
	0	10
	0	0
	36.5	0
	36.5	10
	36.5	13.5
	36.5	17.5
	36.5	19.5
	36.5	20
	35	21
	33	21
	31.5	21
	25	21
	23.5	21
	21.5	21
	20	20
Material Boundary	X	Y
	20	20
	36.5	20
Material Boundary	X	Y
	20	20
	20.5	19.5
	36.5	19.5
Material Boundary	X	Y
	0	17.5
	36.5	17.5
Material Boundary	X	Y
	0	13.5
	36.5	13.5

Material Boundary	X	Y
	0	10
	36.5	10

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
Assigned to materials:		
Water Table	X	Y
	0	17.5
	36.5	17.5
		Ril U1 U1_LIQ U2 U2a
Distributed Load	X	Y
	25	21
	23.5	21
	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No	
Distributed Load	X	Y
	33	21
	31.5	21
	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No	
Distributed Load	X	Y
	31.5	21
	25	21
	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 25.95 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No	

6.2 TR03 - SEZIONE 45 AL KM 2+200

Slide Analysis Information

L2sez45

Project Summary

File Name:	L2sez45.slmd
Slide Modeler Version:	8.024
Compute Time:	00h:00m:00.738s
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
45 di 60

Date Created: 23/01/2020, 12:20:37

General Settings

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis

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

Random Numbers



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 46 di 60
--	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Auto Refine Search

Divisions along slope: 20

Circles per division: 10

Number of iterations: 10

Divisions to use in next iteration: 50%

Composite Surfaces: Disabled

Minimum Elevation: Not Defined

Minimum Depth [m]: Not Defined

Minimum Area: Not Defined

Minimum Weight: Not Defined

Seismic Loading

Advanced seismic analysis: No

Staged pseudostatic analysis: No

Materials

Property	U1	U1_LIQ	U2	U2a
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18.5	18.5	19.5	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	8
Friction Angle [°]	24.8	6.8	25.7	19.6
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

Global Minimums



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 47 di 60
--	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Method: bishop simplified

FS	1.111400
Center:	20.231, 25.584
Radius:	5.592
Left Slip Surface Endpoint:	19.937, 20.000
Right Slip Surface Endpoint:	24.524, 22.000
Resisting Moment:	155.447 kN-m
Driving Moment:	139.866 kN-m
Total Slice Area:	3.4528 m2
Surface Horizontal Width:	4.5864 m
Surface Average Height:	0.752834 m

Valid/Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 5223

Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1114

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.091728	0.00866414	-2.54467	U1	0	24.8	0.0400086	0.0444656	0.0962324	0	0.0962324	0.0944543	0.0944543
2	0.091728	0.0938522	-1.60416	U1	0	24.8	0.430388	0.478333	1.03521	0	1.03521	1.02315	1.02315
3	0.091728	0.200707	-0.664088	U1	0	24.8	0.91409	1.01592	2.19866	0	2.19866	2.18806	2.18806
4	0.091728	0.305007	0.275806	U1	0	24.8	1.37967	1.53336	3.31849	0	3.31849	3.32513	3.32513
5	0.091728	0.406754	1.21577	U1	0	24.8	1.82746	2.03104	4.39558	0	4.39558	4.43436	4.43436
6	0.091728	0.505945	2.15607	U1	0	24.8	2.25783	2.50935	5.43072	0	5.43072	5.51573	5.51573
7	0.091728	0.602576	3.09695	U1	0	24.8	2.67106	2.96862	6.42468	0	6.42468	6.5692	6.5692



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
48 di 60

8	0.09172 8	0.696643	4.03866	U1	0	24.8	3.06746	3.40918	7.37813	0	7.37813	7.59471	7.59471
9	0.09172 8	0.788137	4.98147	U1	0	24.8	3.44728	3.83131	8.29171	0	8.29171	8.59218	8.59218
10	0.09172 8	0.877048	5.92564	U1	0	24.8	3.81075	4.23527	9.16597	0	9.16597	9.56149	9.56149
11	0.09172 8	0.963364	6.87142	U1	0	24.8	4.1581	4.62131	10.0014	0	10.0014	10.5025	10.5025
12	0.09172 8	1.04707	7.81908	U1	0	24.8	4.48952	4.98965	10.7986	0	10.7986	11.4151	11.4151
13	0.09172 8	1.12815	8.76891	U1	0	24.8	4.80517	5.34047	11.5578	0	11.5578	12.299	12.299
14	0.09172 8	1.20658	9.72117	U1	0	24.8	5.10523	5.67395	12.2796	0	12.2796	13.1542	13.1542
15	0.09172 8	1.28235	10.6762	U1	0	24.8	5.38982	5.99025	12.9641	0	12.9641	13.9802	13.9802
16	0.09172 8	1.35543	11.6341	U1	0	24.8	5.65907	6.28949	13.6117	0	13.6117	14.7768	14.7768
17	0.09172 8	1.42578	12.5954	U1	0	24.8	5.91309	6.57181	14.2227	0	14.2227	15.5439	15.5439
18	0.09172 8	1.49339	13.5604	U1	0	24.8	6.15195	6.83728	14.7972	0	14.7972	16.281	16.281
19	0.09172 8	1.55823	14.5292	U1	0	24.8	6.37574	7.086	15.3355	0	15.3355	16.9879	16.9879
20	0.09172 8	1.62024	15.5024	U1	0	24.8	6.5845	7.31801	15.8376	0	15.8376	17.664	17.664
21	0.09172 8	1.6794	16.4801	U1	0	24.8	6.77827	7.53337	16.3038	0	16.3038	18.309	18.309
22	0.09172 8	1.73566	17.4628	U1	0	24.8	6.95708	7.7321	16.7338	0	16.7338	18.9224	18.9224
23	0.09172 8	1.78899	18.4508	U1	0	24.8	7.12093	7.9142	17.1279	0	17.1279	19.5038	19.5038
24	0.09172 8	1.83932	19.4446	U1	0	24.8	7.26981	8.07967	17.486	0	17.486	20.0524	20.0524
25	0.09172 8	1.8866	20.4444	U1	0	24.8	7.4037	8.22847	17.808	0	17.808	20.568	20.568
26	0.09172 8	1.93078	21.4509	U1	0	24.8	7.52255	8.36056	18.0939	0	18.0939	21.0497	21.0497
27	0.09172 8	1.97179	22.4643	U1	0	24.8	7.62629	8.47586	18.3434	0	18.3434	21.4968	21.4968
28	0.09172 8	2.00956	23.4852	U1	0	24.8	7.71487	8.57431	18.5565	0	18.5565	21.9087	21.9087
29	0.09172 8	2.04403	24.514	U1	0	24.8	7.78818	8.65578	18.7328	0	18.7328	22.2844	22.2844
30	0.09172 8	2.0751	25.5514	U1	0	24.8	7.8461	8.72016	18.8721	0	18.8721	22.6232	22.6232
31	0.09172 8	2.10269	26.5978	U1	0	24.8	7.88852	8.7673	18.9742	0	18.9742	22.924	22.924
32	0.09172 8	2.12671	27.6539	U1	0	24.8	7.91526	8.79702	19.0385	0	19.0385	23.186	23.186
33	0.09172 8	2.14706	28.7203	U1	0	24.8	7.92617	8.80914	19.0647	0	19.0647	23.4078	23.4078



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
49 di 60

34	0.09172 8	2.14423	29.7976	U1	0	24.8	7.85004	8.72454	18.8816	0	18.8816	23.3769	23.3769
35	0.09172 8	2.06094	30.8868	U1	0	24.8	7.48102	8.31441	17.994	0	17.994	22.469	22.469
36	0.09172 8	1.96577	31.9884	U1	0	24.8	7.07338	7.86136	17.0135	0	17.0135	21.4315	21.4315
37	0.09172 8	1.86642	33.1035	U1	0	24.8	6.65572	7.39717	16.009	0	16.009	20.3484	20.3484
38	0.09172 8	1.76272	34.2329	U1	0	24.8	6.22796	6.92175	14.98	0	14.98	19.2178	19.2178
39	0.09172 8	1.65449	35.3776	U1	0	24.8	5.78999	6.43499	13.9266	0	13.9266	18.0379	18.0379
40	0.09172 8	1.54155	36.5388	U1	0	24.8	5.34172	5.93679	12.8484	0	12.8484	16.8066	16.8066
41	0.09172 8	1.42369	37.7178	U1	0	24.8	4.88307	5.42704	11.7452	0	11.7452	15.5217	15.5217
42	0.09172 8	1.30066	38.9159	U1	0	24.8	4.41393	4.90564	10.6168	0	10.6168	14.1804	14.1804
43	0.09172 8	1.17221	40.1345	U1	0	24.8	3.93423	4.3725	9.46299	0	9.46299	12.78	12.78
44	0.09172 8	1.03803	41.3754	U1	0	24.8	3.44389	3.82754	8.28357	0	8.28357	11.3171	11.3171
45	0.09172 8	0.897805	42.6405	U1	0	24.8	2.94285	3.27068	7.0784	0	7.0784	9.78833	9.78833
46	0.09172 8	0.751155	43.9318	U1	0	24.8	2.43107	2.70189	5.84742	0	5.84742	8.18949	8.18949
47	0.09172 8	0.597657	45.2519	U1	0	24.8	1.90854	2.12115	4.5906	0	4.5906	6.51599	6.51599
48	0.09172 8	0.436828	46.6034	U1	0	24.8	1.37531	1.52852	3.30803	0	3.30803	4.76255	4.76255
49	0.09172 8	0.268108	47.9896	U1	0	24.8	0.831484	0.924111	1.99996	0	1.99996	2.92308	2.92308
50	0.09172 8	0.0908506	49.4141	U1	0	24.8	0.277253	0.308139	0.666874	0	0.666874	0.990511	0.990511

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1114

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	19.9373	20	0	0	0
2	20.0291	19.9959	0.00406135	0	0
3	20.1208	19.9934	0.04619	0	0
4	20.2125	19.9923	0.132356	0	0
5	20.3042	19.9927	0.257414	0	0
6	20.396	19.9947	0.416448	0	0
7	20.4877	19.9981	0.60475	0	0
8	20.5794	20.0031	0.817819	0	0

9	20.6711	20.0096	1.05134	0	0
10	20.7629	20.0176	1.30118	0	0
11	20.8546	20.0271	1.56339	0	0
12	20.9463	20.0381	1.83416	0	0
13	21.0381	20.0507	2.10985	0	0
14	21.1298	20.0649	2.38698	0	0
15	21.2215	20.0806	2.6622	0	0
16	21.3132	20.0979	2.9323	0	0
17	21.405	20.1168	3.1942	0	0
18	21.4967	20.1373	3.44496	0	0
19	21.5884	20.1594	3.68176	0	0
20	21.6802	20.1832	3.90189	0	0
21	21.7719	20.2086	4.10279	0	0
22	21.8636	20.2358	4.28197	0	0
23	21.9553	20.2646	4.43711	0	0
24	22.0471	20.2952	4.56596	0	0
25	22.1388	20.3276	4.6664	0	0
26	22.2305	20.3618	4.73644	0	0
27	22.3223	20.3978	4.77417	0	0
28	22.414	20.4358	4.77782	0	0
29	22.5057	20.4756	4.74573	0	0
30	22.5974	20.5174	4.67636	0	0
31	22.6892	20.5613	4.5683	0	0
32	22.7809	20.6072	4.42025	0	0
33	22.8726	20.6553	4.23106	0	0
34	22.9643	20.7056	3.99972	0	0
35	23.0561	20.7581	3.7278	0	0
36	23.1478	20.813	3.42654	0	0
37	23.2395	20.8702	3.10047	0	0
38	23.3313	20.93	2.75343	0	0
39	23.423	20.9925	2.3896	0	0
40	23.5147	21.0576	2.01348	0	0
41	23.6064	21.1256	1.63003	0	0
42	23.6982	21.1965	1.24462	0	0
43	23.7899	21.2706	0.863162	0	0
44	23.8816	21.3479	0.492123	0	0
45	23.9734	21.4287	0.138646	0	0
46	24.0651	21.5132	-0.189373	0	0
47	24.1568	21.6015	-0.483165	0	0
48	24.2485	21.6941	-0.732944	0	0
49	24.3403	21.7911	-0.927735	0	0
50	24.432	21.8929	-1.05515	0	0
51	24.5237	22	0	0	0



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 51 di 60
--	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
External Boundary	X	Y
	0	20
	0	18.5
	0	17.8
	0	14.5
	0	11.5
	0	0
	40	0
	40	11.5
	40	14.5
	40	17.8
	40	18.5
	40	20
	40	22
	35	22
	24	22
	23	22
	20	20
Material Boundary	X	Y
	0	18.5
	40	18.5
Material Boundary	X	Y
	0	17.8
	40	17.8
Material Boundary	X	Y
	0	14.5
	40	14.5
Material Boundary	X	Y
	0	11.5
	40	11.5

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
------	-------------	-----------------



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
52 di 60

Assigned to materials:

Water Table	X	Y	 U1
	0	19.5	
	40	19.5	
			 U1_LIQ
			 U2
			 U2a

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA					
	INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.					
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	MACROFASE FUNZIONALE 1					
	LOTTO 02.					
	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 53 di 60

6.3 RI05 - SEZIONE 43 AL KM 2+150

Slide Analysis Information

sez43

Project Summary

File Name: sez43.slmd
Slide Modeler Version: 8.024
Compute Time: 00h:00m:00.885s
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 23/01/2020, 12:20:37

General Settings

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check malpha < 0.2: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
54 di 60

Groundwater Analysis

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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 20
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic Loading

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 3 Distributed Loads present



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1
LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
55 di 60

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary

Distributed Load 2

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 25.94
Orientation: Normal to boundary

Materials

Property	Ril	U1	U1_LIQ	U1a	U2a
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18.5	18.5	19	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	8	8
Friction Angle [°]	32	24.8	6.8	19.6	19.6
Water Surface	None	None	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value			1	1	1
Ru Value	0	0			

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.100150
Center:	22.628, 26.120
Radius:	11.124
Left Slip Surface Endpoint:	13.339, 20.000
Right Slip Surface Endpoint:	33.305, 23.000
Resisting Moment:	4644.45 kN-m
Driving Moment:	4221.64 kN-m



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
56 di 60

Total Slice Area: 96.717 m²
Surface Horizontal Width: 19.9663 m
Surface Average Height: 4.84401 m

Valid/Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 7394
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10015

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.376359	1.86647	-54.9319	U1	0	24.8	5.20215	5.72315	12.386	0	12.386	4.97537	4.97537
2	0.376359	5.39087	-51.6813	U1	0	24.8	12.8714	14.1605	30.6461	0	30.6461	14.359	14.359
3	0.376359	8.53761	-48.6506	U1	0	24.8	18.2621	20.091	43.4808	0	43.4808	22.7297	22.7297
4	0.376359	11.3734	-45.7931	U1	0	24.8	22.3743	24.6151	53.2719	0	53.2719	30.2695	30.2695
5	0.376359	13.9455	-43.0758	U1	0	24.8	25.6618	28.2318	61.0993	0	61.0993	37.1058	37.1058
6	0.376359	16.2886	-40.4745	U1	0	24.8	28.3654	31.2062	67.5363	0	67.5363	43.3318	43.3318
7	0.397031	19.498	-37.9043	U1_LIQ	0	6.79998	5.6351	6.19946	53.5065	1.51619	51.9903	49.119	47.6028
8	0.397031	21.6677	-35.3546	U1_LIQ	0	6.79998	5.89073	6.48069	58.7629	4.41411	54.3487	54.5836	50.1694
9	0.397031	23.6449	-32.8831	U1_LIQ	0	6.79998	6.12009	6.73302	63.5196	7.0548	56.4648	59.5629	52.5081
10	0.397031	25.4458	-30.479	U1_LIQ	0	6.79998	6.32564	6.95915	67.8211	9.46001	58.3611	64.0981	54.6381
11	0.397031	27.0836	-28.1329	U1_LIQ	0	6.79998	6.50931	7.16122	71.7033	11.6474	60.0559	68.2228	56.5754
12	0.397031	28.5693	-25.8372	U1_LIQ	0	6.79998	6.67274	7.34102	75.1954	13.6317	61.5637	71.9643	58.3326
13	0.397031	29.9119	-23.5854	U1_LIQ	0	6.79998	6.81724	7.49999	78.3218	15.4249	62.8969	75.3455	59.9206
14	0.397031	31.1191	-21.3716	U1_LIQ	0	6.79998	6.94391	7.63934	81.1027	17.0372	64.0655	78.3854	61.3482
15	0.397031	32.1972	-19.1908	U1_LIQ	0	6.79998	7.05367	7.7601	83.5552	18.4771	65.0781	81.1001	62.623
16	0.397031	33.1516	-17.0386	U1_LIQ	0	6.79998	7.14731	7.86311	85.6937	19.7518	65.9419	83.5033	63.7515
17	0.397031	33.9867	-14.911	U1_LIQ	0	6.79998	7.22547	7.9491	87.5304	20.8672	66.6632	85.6064	64.7392
18	0.397031	35.6764	-12.8042	U1_LIQ	0	6.79998	7.56021	8.31737	91.5799	21.8283	69.7516	89.8617	68.0334
19	0.397031	38.5624	-10.7149	U1_LIQ	0	6.79998	8.24297	9.0685	98.6902	22.6394	76.0508	97.1305	74.4911
20	0.397031	41.1761	-8.63993	U1_LIQ	0	6.79998	8.86128	9.74874	105.059	23.3038	81.7555	103.713	80.4091
21	0.397031	43.6675	-6.57635	U1_LIQ	0	6.79998	9.45716	10.4043	111.078	23.8243	87.2534	109.987	86.1631
22	0.397031	46.0527	-4.52132	U1_LIQ	0	6.79998	10.0351	11.0401	116.788	24.2028	92.5852	115.994	91.7916
23	0.397031	48.3327	-2.4721	U1_LIQ	0	6.79998	10.5952	11.6563	122.194	24.4408	97.7529	121.736	97.2955
24	0.562438	72.1554	0	U1_LIQ	0	6.79998	11.2469	12.3733	128.29	24.5249	103.765	128.29	103.765



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA
RS3H

LOTTO
02

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
57 di 60

25	0.397031	53.4119	2.4721	U1_LIQ	0	6.79998	11.8765	13.0659	134.014	24.4408	109.573	134.527	110.086
26	0.397031	55.3354	4.52132	U1_LIQ	0	6.79998	12.3768	13.6163	138.392	24.2028	114.189	139.371	115.168
27	0.397031	57.1538	6.57635	U1_LIQ	0	6.79998	12.8594	14.1473	142.467	23.8243	118.643	143.95	120.126
28	0.397031	58.8659	8.63993	U1_LIQ	0	6.79998	13.3244	14.6588	146.236	23.3038	122.933	148.261	124.957
29	0.397031	59.4332	10.7149	U1_LIQ	0	6.79998	13.4938	14.8452	147.135	22.6394	124.496	149.689	127.049
30	0.397031	58.826	12.8042	U1_LIQ	0	6.79998	13.3635	14.7018	145.121	21.8283	123.293	148.158	126.33
31	0.397031	58.1063	14.911	U1_LIQ	0	6.79998	13.2187	14.5425	142.825	20.8672	121.957	146.344	125.477
32	0.397031	57.2712	17.0386	U1_LIQ	0	6.79998	13.0592	14.3671	140.238	19.7518	120.486	144.24	124.488
33	0.397031	56.3168	19.1908	U1_LIQ	0	6.79998	12.8844	14.1748	137.351	18.4771	118.874	141.835	123.358
34	0.397031	55.2387	21.3716	U1_LIQ	0	6.79998	14.125	15.5396	147.356	17.0372	130.319	152.884	135.847
35	0.397031	54.0315	23.5854	U1_LIQ	0	6.79998	13.9765	15.3762	144.374	15.4249	128.949	150.476	135.051
36	0.397031	52.6889	25.8372	U1_LIQ	0	6.79998	13.7442	15.1207	140.438	13.6317	126.806	147.093	133.461
37	0.397031	51.2032	28.1329	U1_LIQ	0	6.79998	13.7033	15.0757	138.076	11.6474	126.428	145.403	133.755
38	0.397031	49.5654	30.479	U1_LIQ	0	6.79998	14.3969	15.8388	142.288	9.46001	132.828	150.762	141.302
39	0.397031	47.7646	32.8831	U1_LIQ	0	6.79998	14.0965	15.5083	137.111	7.0548	130.056	146.224	139.17
40	0.397031	45.7874	35.3546	U1_LIQ	0	6.79998	13.7716	15.1508	131.473	4.41411	127.059	141.243	136.829
41	0.397031	43.6176	37.9043	U1_LIQ	0	6.79998	13.4197	14.7637	125.328	1.51619	123.812	135.777	134.261
42	0.381735	39.6947	40.4931	U1	0	24.8	40.1416	44.1618	95.5748	0	95.5748	129.851	129.851
43	0.381735	37.2809	43.1332	U1	0	24.8	37.2312	40.9599	88.6452	0	88.6452	123.526	123.526
44	0.381735	34.6275	45.893	U1	0	24.8	34.1599	37.581	81.3326	0	81.3326	116.574	116.574
45	0.381735	31.6972	48.7983	U1	0	24.8	30.9091	34.0047	73.593	0	73.593	108.898	108.898
46	0.381735	28.4395	51.8838	U1	0	24.8	27.4555	30.2052	65.3699	0	65.3699	100.365	100.365
47	0.434491	27.6727	55.4501	Ril	0	32	27.8696	30.6607	49.0673	0	49.0673	89.5422	89.5422
48	0.434491	21.7084	59.6377	Ril	0	32	21.8656	24.0554	38.4967	0	38.4967	75.822	75.822
49	0.434491	14.5374	64.447	Ril	0	32	15.4014	16.9438	27.1158	0	27.1158	59.3286	59.3286
50	0.434491	5.29444	70.3755	Ril	0	32	8.34032	9.1756	14.684	0	14.684	38.0747	38.0747

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10015

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	13.3391	20	0	0	0
2	13.7155	19.4639	8.60277	0	0
3	14.0918	18.9876	28.0523	0	0
4	14.4682	18.56	53.5352	0	0
5	14.8446	18.173	82.5865	0	0
6	15.2209	17.8212	113.766	0	0
7	15.5973	17.5	146.154	0	0
8	15.9943	17.1909	164.937	0	0
9	16.3913	16.9092	183.833	0	0
10	16.7884	16.6525	202.573	0	0
11	17.1854	16.4188	220.937	0	0
12	17.5824	16.2065	238.749	0	0

13	17.9795	16.0143	255.861	0	0
14	18.3765	15.841	272.149	0	0
15	18.7735	15.6856	287.513	0	0
16	19.1706	15.5474	301.866	0	0
17	19.5676	15.4257	315.137	0	0
18	19.9646	15.32	327.266	0	0
19	20.3617	15.2298	338.538	0	0
20	20.7587	15.1546	349.232	0	0
21	21.1557	15.0943	359.096	0	0
22	21.5527	15.0485	367.943	0	0
23	21.9498	15.0171	375.602	0	0
24	22.3468	15	381.913	0	0
25	22.9092	15	388.252	0	0
26	23.3063	15.0171	390.68	0	0
27	23.7033	15.0485	391.26	0	0
28	24.1003	15.0943	389.856	0	0
29	24.4974	15.1546	386.335	0	0
30	24.8944	15.2298	380.65	0	0
31	25.2914	15.32	372.873	0	0
32	25.6885	15.4257	363.033	0	0
33	26.0855	15.5474	351.165	0	0
34	26.4825	15.6856	337.311	0	0
35	26.8796	15.841	320.037	0	0
36	27.2766	16.0143	300.573	0	0
37	27.6736	16.2065	279.042	0	0
38	28.0706	16.4188	255.183	0	0
39	28.4677	16.6525	227.662	0	0
40	28.8647	16.9092	198.077	0	0
41	29.2617	17.1909	166.523	0	0
42	29.6588	17.5	133.12	0	0
43	30.0405	17.826	117.324	0	0
44	30.4222	18.1836	99.8643	0	0
45	30.804	18.5774	80.9018	0	0
46	31.1857	19.0134	60.6381	0	0
47	31.5674	19.5	39.3351	0	0
48	32.0019	20.131	20.5085	0	0
49	32.4364	20.8727	1.47688	0	0
50	32.8709	21.7815	-16.4586	0	0
51	33.3054	23	0	0	0



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 02.

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS3H	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 59 di 60
--	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
External Boundary	X	Y
	0	20
	0	17.5
	0	15
	0	8
	0	0
	56.5	0
	56.5	8
	56.5	15
	56.5	17.5
	56.5	20
	52	23
	46	23
	44.5	23
	28	23
	26.5	23
	24.5	23
	20	20
Material Boundary	X	Y
	20	20
	56.5	20
Material Boundary	X	Y
	20	20
	20.5	19.5
	56	19.5
	56.5	20
Material Boundary	X	Y
	0	17.5
	56.5	17.5
Material Boundary	X	Y
	0	15
	56.5	15
Material Boundary	X	Y
	0	8
	56.5	8

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario												
Assigned to materials:														
Water Table	<table><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>17.5</td></tr><tr><td>56.5</td><td>17.5</td></tr></table>	X	Y	0	17.5	56.5	17.5	<table><tr><td></td><td>U1_LIQ</td></tr><tr><td></td><td>U1a</td></tr><tr><td></td><td>U2a</td></tr></table>		U1_LIQ		U1a		U2a
X	Y													
0	17.5													
56.5	17.5													
	U1_LIQ													
	U1a													
	U2a													
Distributed Load	<table><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>28</td><td>23</td></tr><tr><td>26.5</td><td>23</td></tr></table>	X	Y	28	23	26.5	23	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No						
X	Y													
28	23													
26.5	23													
Distributed Load	<table><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>46</td><td>23</td></tr><tr><td>44.5</td><td>23</td></tr></table>	X	Y	46	23	44.5	23	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No						
X	Y													
46	23													
44.5	23													
Distributed Load	<table><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>44.5</td><td>23</td></tr><tr><td>28</td><td>23</td></tr></table>	X	Y	44.5	23	28	23	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 25.94 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No						
X	Y													
44.5	23													
28	23													