

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 2

LOTTO 3

ELABORATI GENERALI - GEOTECNICA - GE

Relazione degli interventi di mitigazione liquefazione

SCALA:

-

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

RS3H 03 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 <i>Catania Toraldo</i>	Marzo 2020	S.Vanfiori <i>S. Vanfiori</i>	Marzo 2020	D.Tiberti <i>D. Tiberti</i> Marzo 2020

File: RS3H.0.3.D.78.RH.GE.00.0.5.002.A

n. Elab.:

Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10176

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 2

LOTTO 3

ELABORATI GENERALI – GEOTECNICA-GE

Relazione degli interventi di mitigazione liquefazione

SCALA:

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

R S 3 H 0 3 D 7 8 R H G E 0 0 0 5 0 0 2 A

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	EMISSIONE	L.Nani	Febbraio 2020	C.Toraldo	Febbraio 2020	S.Vanfiori	Febbraio 2020	D. Tiberti Febbraio 2020

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	10
4.1	STIMA DEI CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE	12
4.1.1	<i>RI12, RI13 e opere maggiori VI04, GA03, NW03, NW04</i>	13
4.1.2	<i>RI05</i>	19
4.2	VERIFICHE DI STABILITA' IN CASO DI LIQUEFAZIONE	27
4.2.1	<i>RI12</i>	28
4.2.2	<i>RI05</i>	31
4.3	INFLUENZA DELLA LIQUEFAZIONE SUI PALI DI FONDAZIONE	32
5	INTERVENTI DI MITIGAZIONE	34
5.1	SCOPO E ENTITA' DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	34
5.2	TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO	34
5.3	ANALISI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE POST- INTERVENTO	36
5.3.1	<i>Metodologia di valutazione rischio liquefazione in presenza di consolidamento con colonne di inerte vibrocompattate</i>	36
5.3.2	<i>Risultati RI05</i>	37
5.3.3	<i>Risultati RI12, RI13</i>	40
6	APPENDICE A – ANALISI DI STABILITÀ IN CONDIZIONI POST-SISMICHE. TABULATI DI CALCOLO SLIDE	41
6.1	RI12 - SEZIONE 12 AL KM 0+550	41
6.2	RI05 - SEZIONE 43 AL KM 2+100	49



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	3 di 55

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 3.

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 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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	4 di 55

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. RS3H03D78RHGE0005001 – Progetto Definitivo. Relazione geotecnica.

D.2. RS3H03D78RHGE0005003 – Progetto Definitivo. Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo cedimenti.

D.3. RS3H.0.3.D.78.CL.NW.00.0.0.004. NW03, NW04. Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni.

D.4. RS3H.0.3.D.78.CL.NW.00.0.0.002. GA03 farfalla stradale NV06 intersezione con ramo Palermo Siracusa km 0+750 circa. Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni.

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 rinvencono 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 rinvencono 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 rinvencono 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 rinvencono 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



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	7 di 55

$G_o = 20 \div 90$ MPa modulo di deformazione a taglio iniziale
 $E_o = 60 \div 225$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale
 $k = 2 \cdot 10^{-6}$ m/s permeabilità (valore medio)

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

$\gamma = 18.5 \div 19.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $c' = 10 \div 20$ kPa coesione drenata
 $\varphi' = 20 \div 26^\circ$ 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/m³ peso di volume naturale
 $c' = 0 \div 10$ kPa coesione drenata
 $\varphi' = 29 \div 33^\circ$ 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/m³ peso di volume naturale
 $c' = 5 \div 20$ kPa coesione drenata
 $\varphi' = 20 \div 26^\circ$ 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/m³ 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/m³ 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



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	9 di 55

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.

4 POSSIBILI CONSEGUENZE DELLA LIQUEFAZIONE

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. RI12, RI13 e opere maggiori VI04, GA03, NW03, NW04: da km 0+475 a km 0+530, da km 0+675 a 0+695 e da km 0+735 a 0+970;
2. RI05: da 1+620 a 2+075 e da 2+075 a km 2+475.

Nel caso 1) si tratta di rilevati e opere maggiori su pali in terreni con strato liquefacibile di spessore variabile. Nella zona è stata eseguita una sola prova penetrometrica statica (CPT6), che è preferibile per la stima della liquefazione, rispetto alla prova SPT, in quanto fornisce misurazioni in continuo sulla verticale. La prova CPT indica rischio di liquefazione basso in quanto lo spessore liquefacibile è piccolo, come confermato anche dall'adiacente sondaggio SD27. Quindi le palificate delle opere GA03, NW03 e NW04 (che si trovano vicino a queste indagini), verranno dimensionate considerando la presenza di terreno liquefacibile.

Le altre verticali di indagine della zona (SD19 e SD34) indicano spessore di terreno liquefacibile importante (riapprossimativamente 3 e 7 m) pertanto è necessario prevedere intervento di mitigazione alla liquefazione.

Relativamente alla presenza di terreni potenzialmente liquefacibili in corrispondenza delle fondazioni dei viadotti (NW03, NW04, pile GA03) è stata valutata l'interazione dei pali di fondazione con gli strati potenzialmente liquefacibili, in relazione ai due aspetti sopra riportati. I pali di fondazione in presenza di terreni liquefacibili saranno dimensionati secondo i seguenti punti:

- trascurando la portata laterale e di base nello strato potenzialmente liquefacibile;
- con valutazione del momento adimensionale lungo il palo e del parametro alfa, considerando reazione del terreno nulla, nello strato liquefacibile;
- è stata eseguita una apposita analisi a carico limite orizzontale considerando reazione nulla nello strato potenzialmente liquefacibile.
- verifica dei cedimenti del singolo palo in presenza di attrito negativo, indotto dai cedimenti di post liquefazione.

In particolare queste analisi sono oggetto di apposito documento D.3, D.4.

Relativamente alle problematiche di liquefazione e dimensionamento palificate VI04, si rimanda alla relazione di calcolo del viadotto.

Nel caso 2) le indagini che ricadono nel rilevato RI05, mostrano 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 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 questo tratto sono presenti muri su fondazione diretta che poggeranno 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+075 circa è necessario un intervento di mitigazione alla liquefazione.

4.1 Stima dei cedimenti post-liquefazione

Sulla base dei risultati delle prove eseguite in sito (CPT e SPT) 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 e SPT.

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) γ_{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

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

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

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

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1,1 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{46} \right)^{0.5} \right)^3 \geq 0 \quad (2)$$

(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:

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

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

4.1.1 RI12, RI13 e opere maggiori VI04, GA03, NW03, NW04

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.

Maggior peso è stato dato alla prova penetrometrica statica CPT6 in quanto essendo una prova in continuo è maggiormente rappresentativa del comportamento del terreno nel suo complesso, rispetto ai singoli dati puntuali delle prove SPT in foro di sondaggio.

Relativamente alla prova CPT6 è stato individuato uno spessore massimo di 0.1 m di terreno potenzialmente liquefacibile tra le profondità di 5.7 e 9.6 m da p.c., con indice di potenziale liquefazione IPL=0.42 (come si evince da Figura 1).

In Figura 2 si riporta l'andamento del cedimento stimato post-liquefazione dalla prova CPT6. 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 i rilevati, che per le palificate di fondazione. Queste ultime andranno comunque dimensionate considerando lo spessore di terreno liquefacibile. Cautelativamente il dimensionamento verrà fatto considerando il cedimento di 5 cm valutato dal sondaggio SD27 (vicino alla CPT6), vedasi Figura 3.

Il dimensionamento delle palificate in presenza di terreno liquefacibile sono riportate nel documento D.3, D.4.

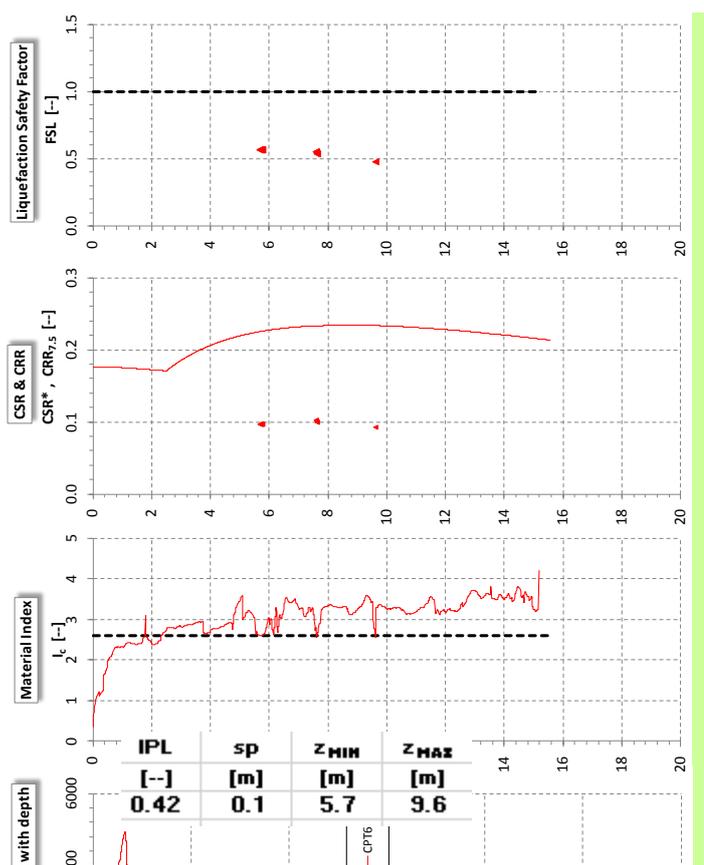


Figura 1 – CPT6 – Analisi di liquefazione

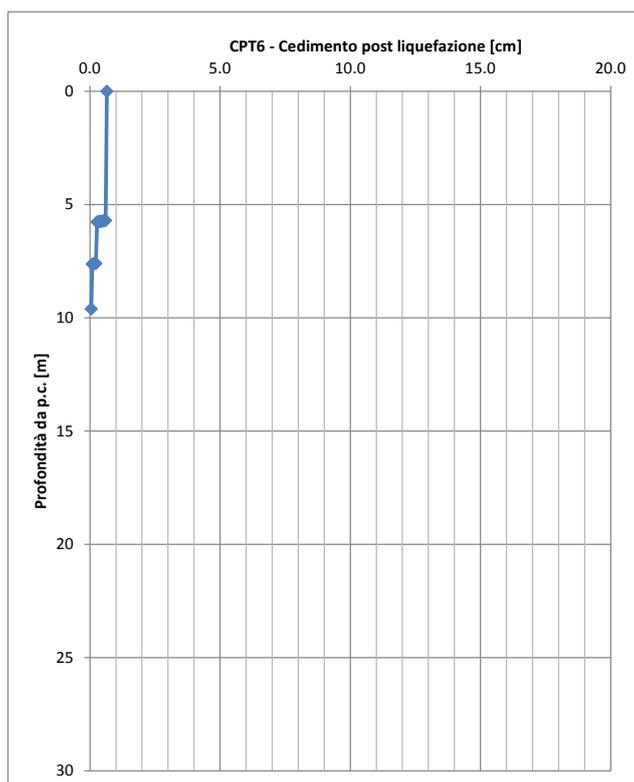


Figura 2 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT6 (cedimento post-sismico = 0.7 cm)

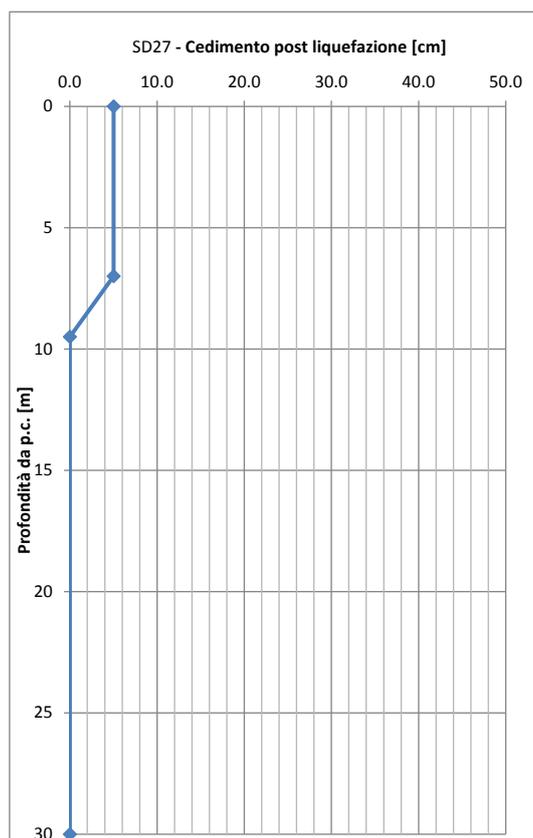


Figura 3 – Cedimento stimato post-liquefazione - SD27 (cedimento post-sismico = 5 cm)

Dalle prove SPT del sondaggio SD19 e del sondaggio SD34 sono stati individuati strati potenzialmente liquefacibili di spessore rilevante e quindi anche i cedimenti post-liquefazione, stimati da queste indagini, sono elevati (rispettivamente 10 e 40 cm). Nelle seguenti figure si riportano i valori di cedimento stimati da queste indagini.

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008						
													FL	γ_{lim}	$F\alpha$	γ_{max}	ec	ced	
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	7.5	2.3	18.5	139	1	138	7.7	7.7	0.86	1.501	0.23	0.15	0.67	0.61	0.95	0.61	4.31	9.8	
2	10.50	0.9	18.5	194	31	164	18.8	18.8	0.78	1.501	0.25	0.16	1.17	0.18	0.58	0.02	0.63	0.6	

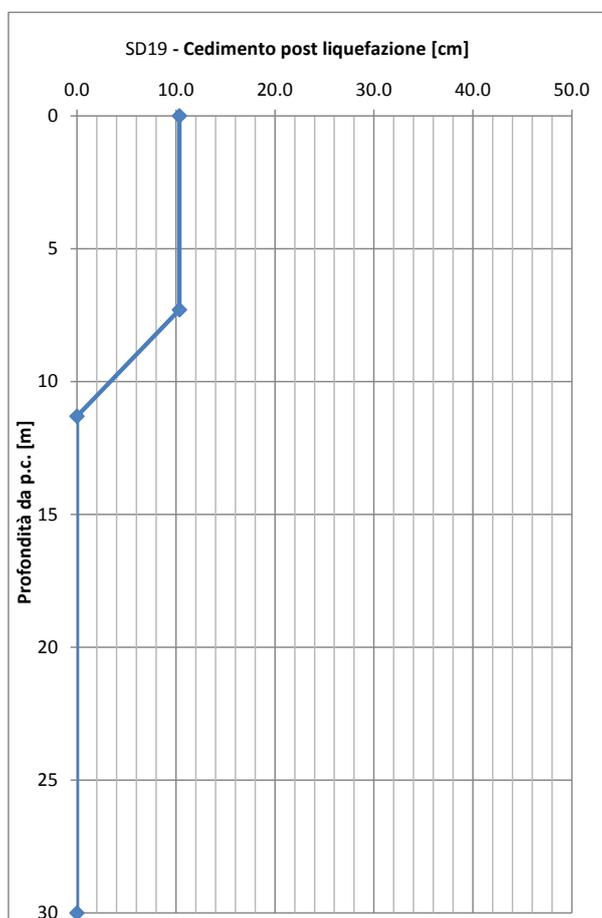


Figura 4 – Cedimento stimato post-liquefazione - SD19 (cedimento post-sismico = 10 cm)

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008					
													FL	γ'_{lim}	$F\alpha$	γ'_{max}	ec	ced
1	7.5	3.5	18.5	139	25	114	3.8	3.8	0.86	1.501	0.28	0.18	0.43	1.00	0.88	1.00	5.85	20.5
2	10.50	3.5	18.5	194	55	139	4.2	4.2	0.78	1.501	0.29	0.19	0.42	0.94	0.90	0.94	5.63	19.7

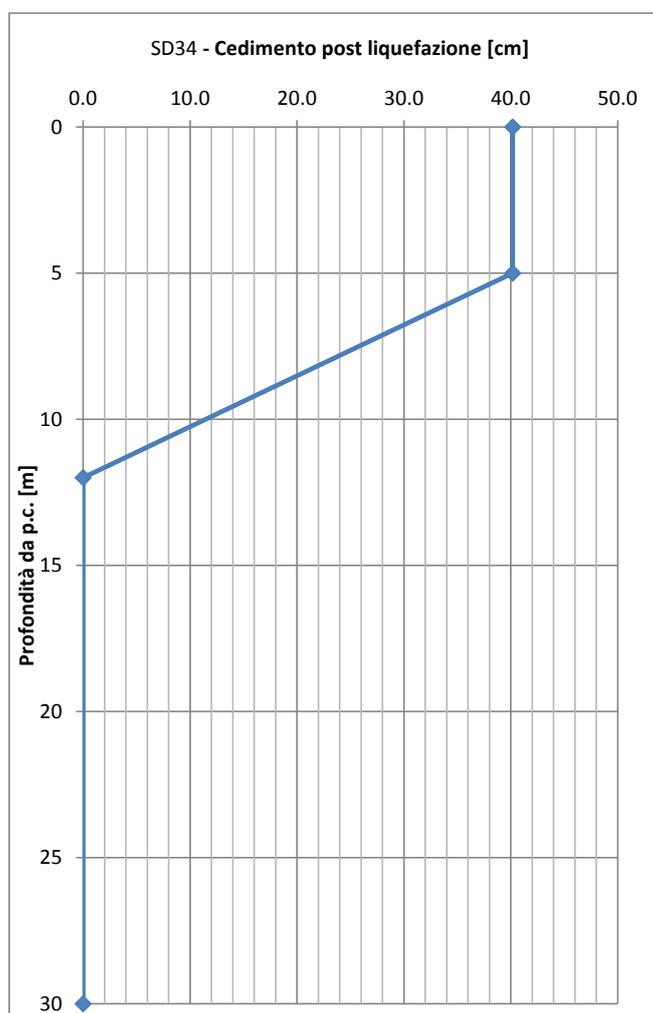


Figura 5 – Cedimento stimato post-liquefazione - SD34 (cedimento post-sismico = 40 cm)



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	19 di 55

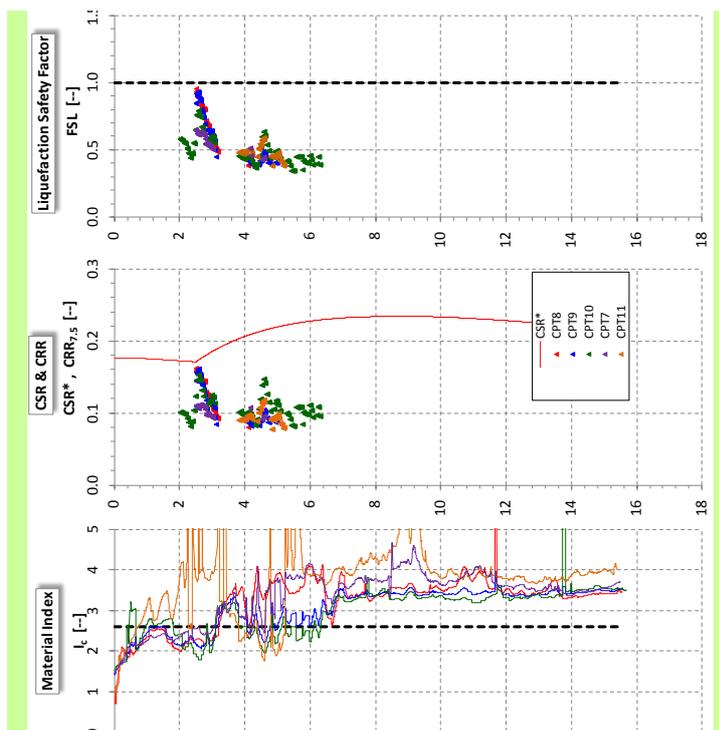
4.1.2 RI05

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 ed il sondaggio SD21.

In Figura 6 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 e che quindi presenta un rischio più alto ($IPL=12.87$).

Nelle successive figure (Figura 7÷Figura 12) 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.



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 6 – Proce CPT – Analisi liquefazione

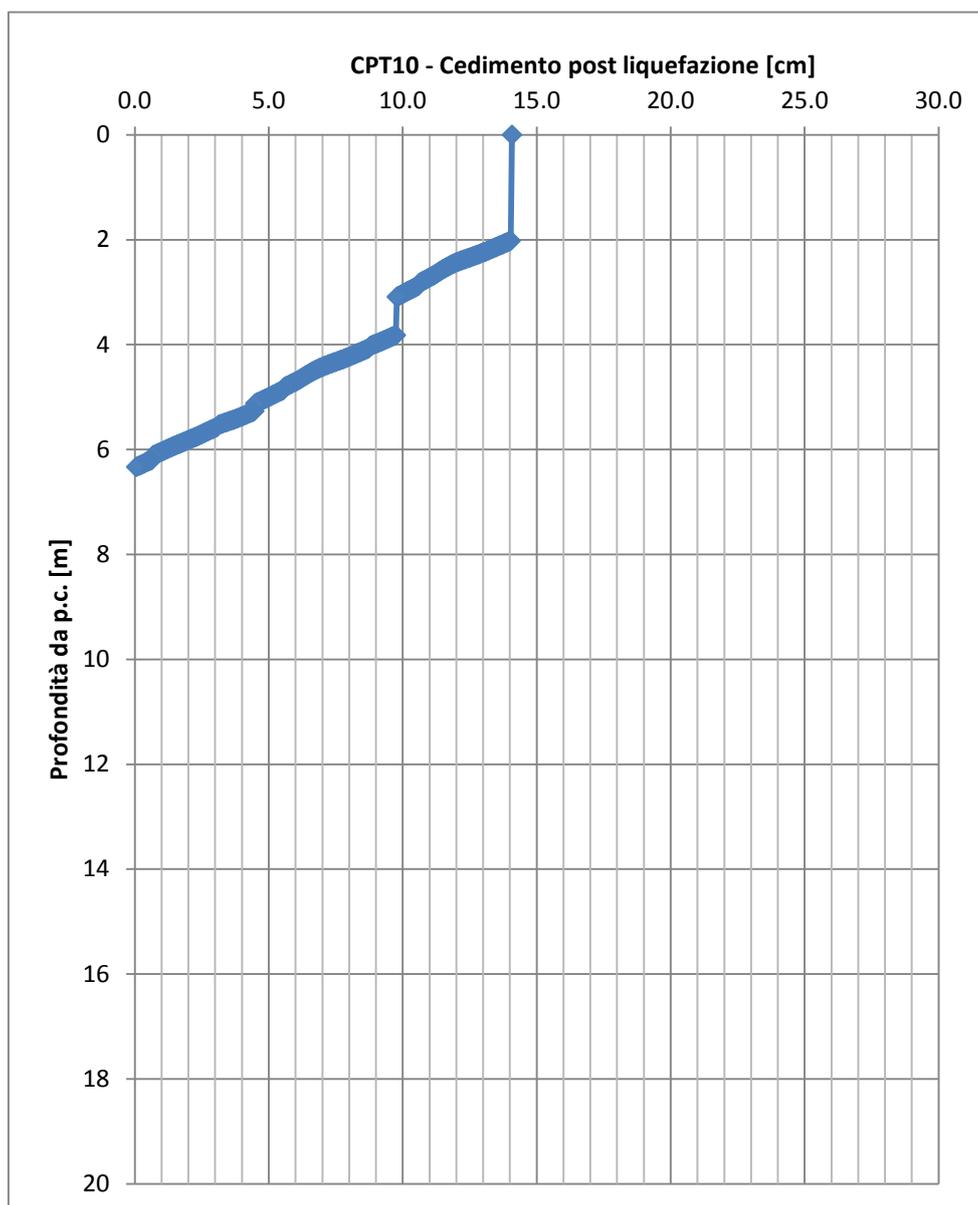


Figura 7 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT10 (cedimento post-sismico = 14 cm)

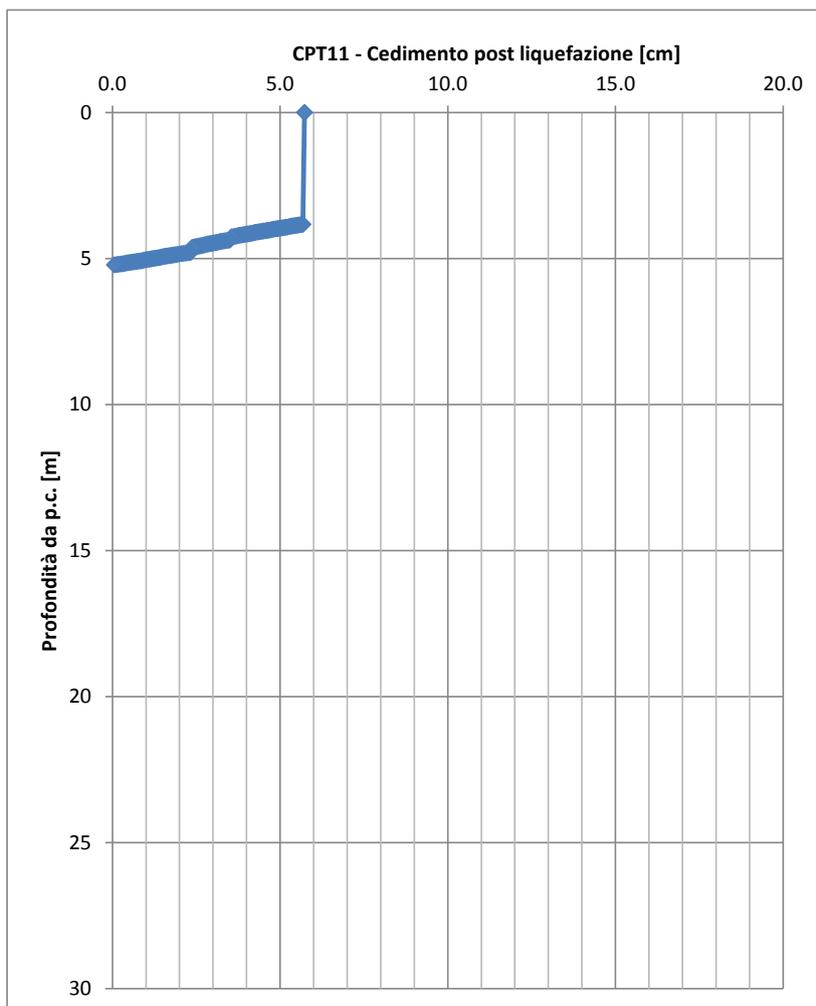


Figura 8 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT11 (cedimento post-sismico = 5.7 cm)

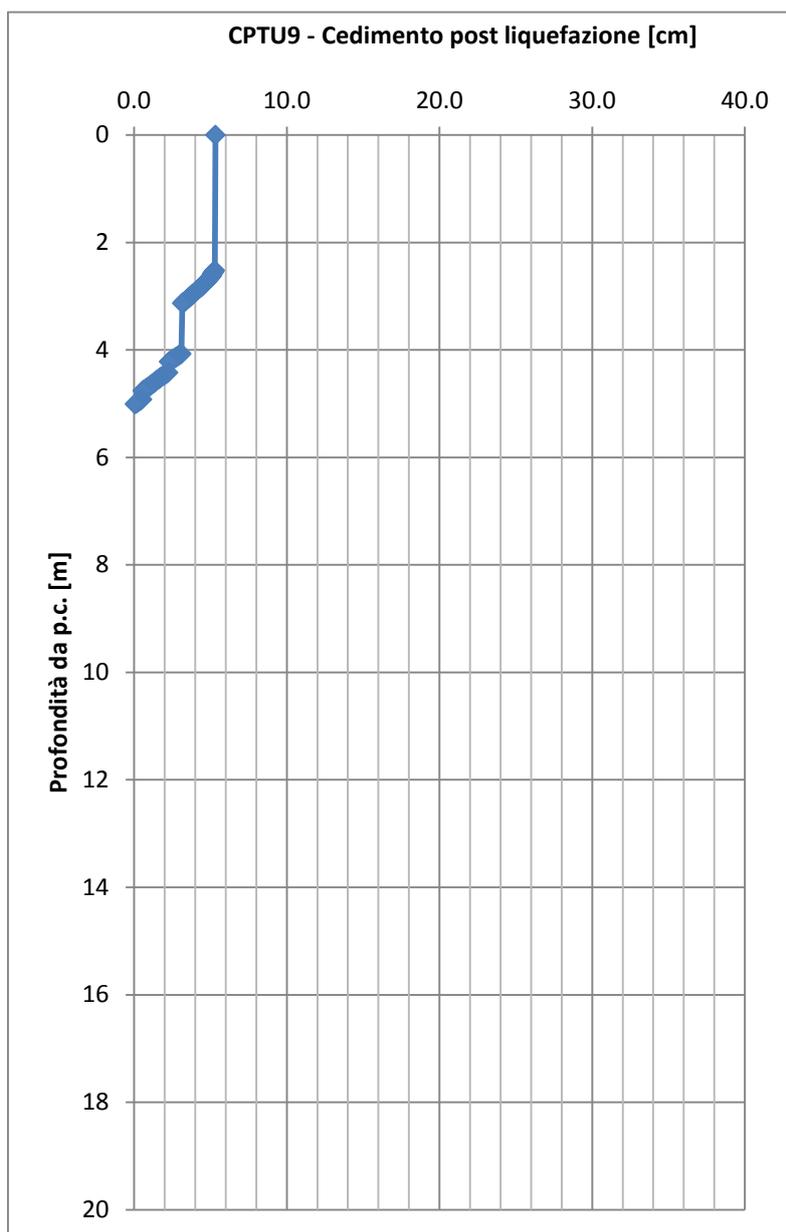


Figura 9 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT9 (cedimento post-sismico = 5 cm)

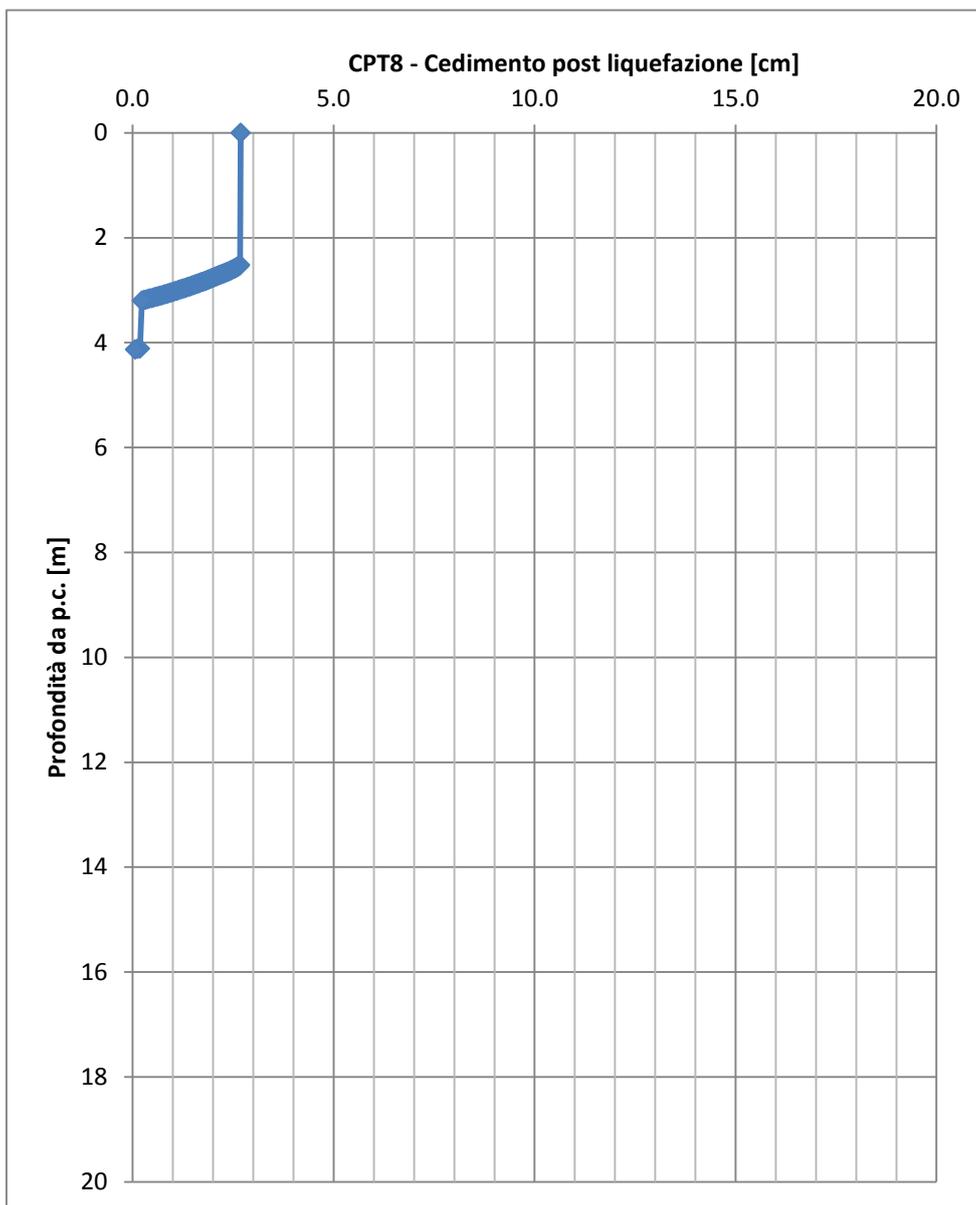


Figura 10 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT8 (cedimento post-sismico = 2.7 cm)

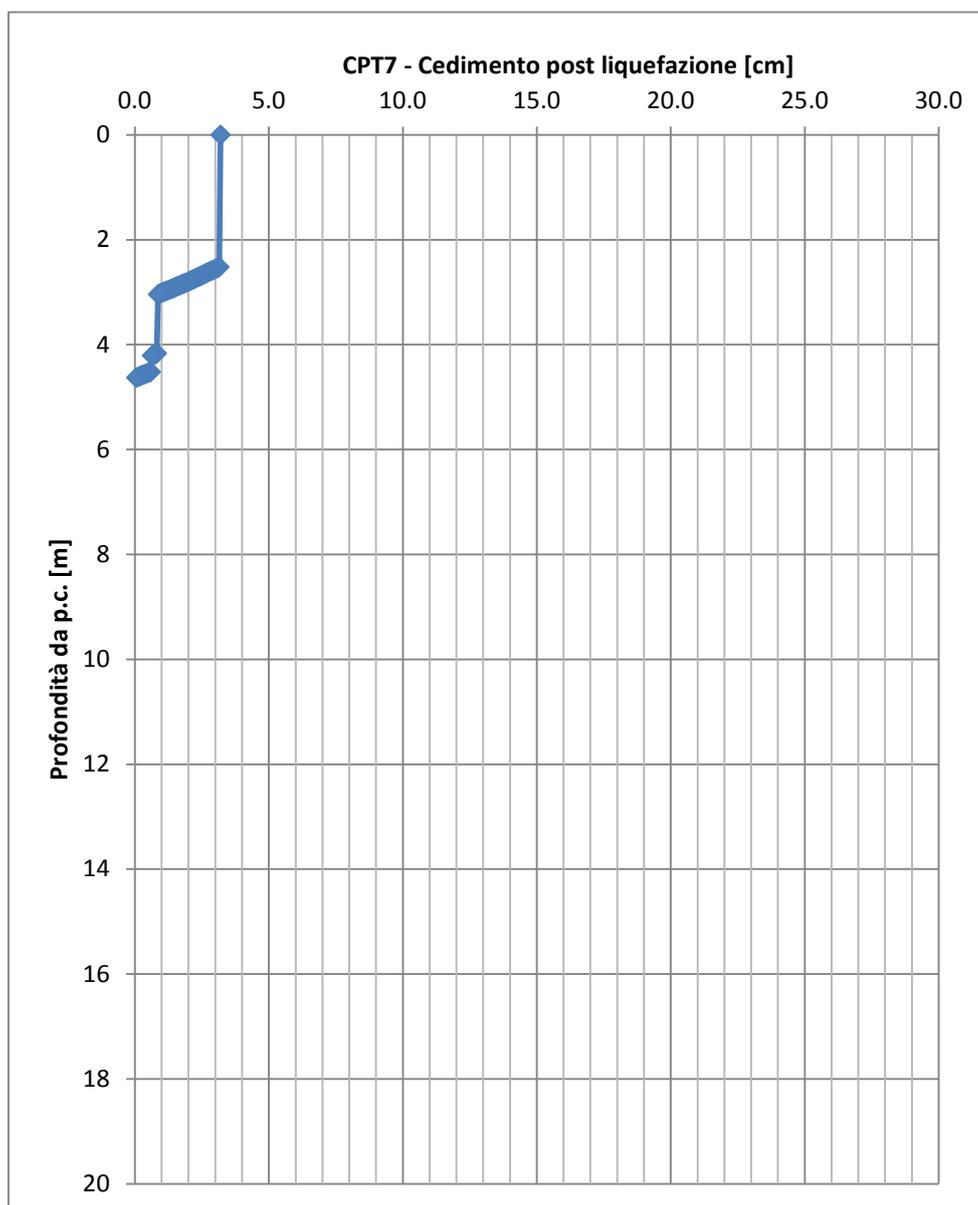


Figura 11 – Cedimento stimato post-liquefazione - CPT7 (cedimento post-sismico = 3.2 cm)

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008						
													FL	γ_{lim}	F_{α}	γ_{max}	ec	ced	
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
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	

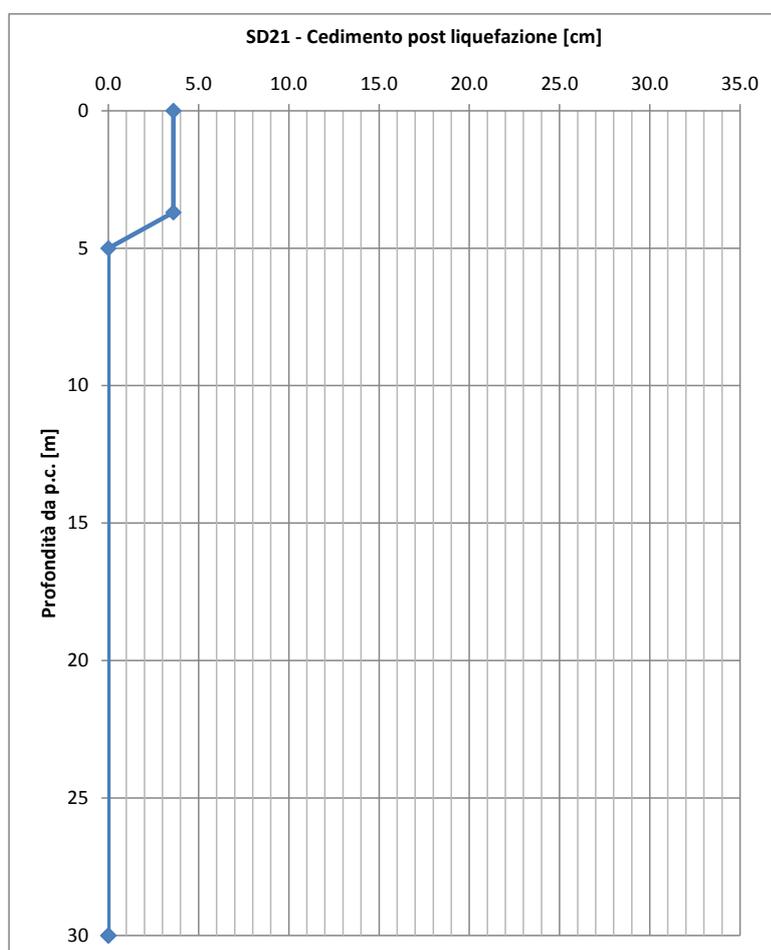


Figura 12 – Cedimento stimato post-liquefazione - SD21 (cedimento post-sismico = 3.6 cm)



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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	27 di 55

4.2 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 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.

$\gamma_{\varphi} = 1.25$ 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:

$\tan(\varphi'_d) = \tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi}'$ 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..

4.2.1 RI12

Nella seguente figura è mostrato il risultato delle analisi di stabilità eseguite per una sezione con rilevato di altezza 4 m (RI12-sezione 12 al km 0+550) con strato di terreno liquefacibile dell'ordine di 3 m tra le profondità di 7 e 10 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 del rilevato tra le pk 0+475 e 0+530 (indagini di riferimento SD19). 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 5.5 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 5.5 m a 7.0 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 7.0 a 10.0 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 10.0 a 13.5 m Unità U2b

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

$\varphi' = 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio

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

Da 13.5 a 17.0 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 17.0 a 20.0 m Unità U2

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

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

$c' = 0$ kPa coesione drenata

Falda: 6 m da p.c.

(*) strato liquefacibile tra 7 e 10 m da p.c. ($\varphi'_d = 6.8^\circ$)

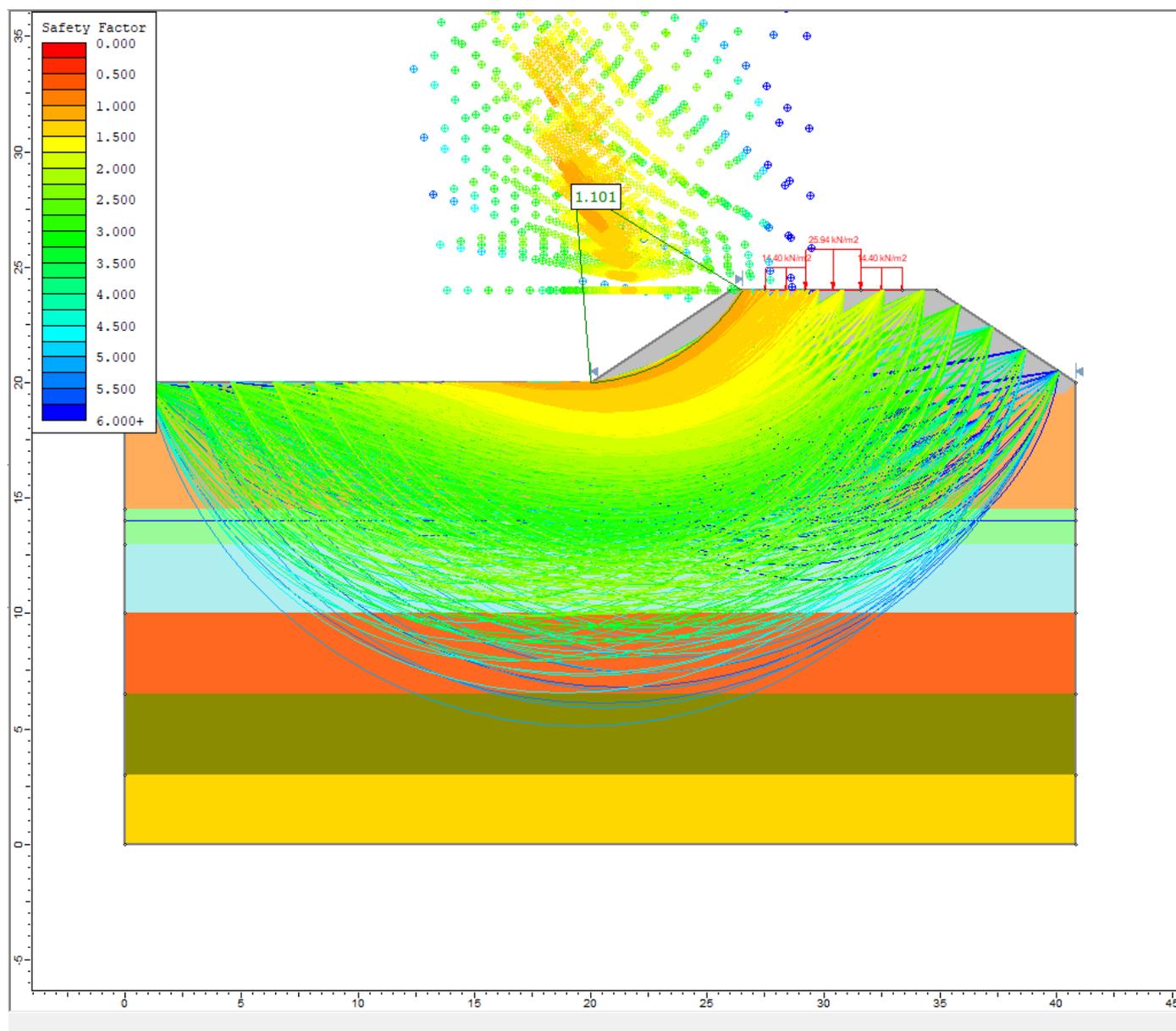


Figura 13– Verifica di stabilità rilevato ferroviario H=4 m RI12 sez 12 al km 0+550 – post liquefazione

4.2.2 RI05

Nella seguente figura è mostrato il risultato delle analisi di stabilità eseguite per una sezione con rilevato di altezza 3.5 m (RI05-sezione 43 al km 2+100) 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+620 e 2+075 (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. ($\varphi'_d = 6.8^\circ$)

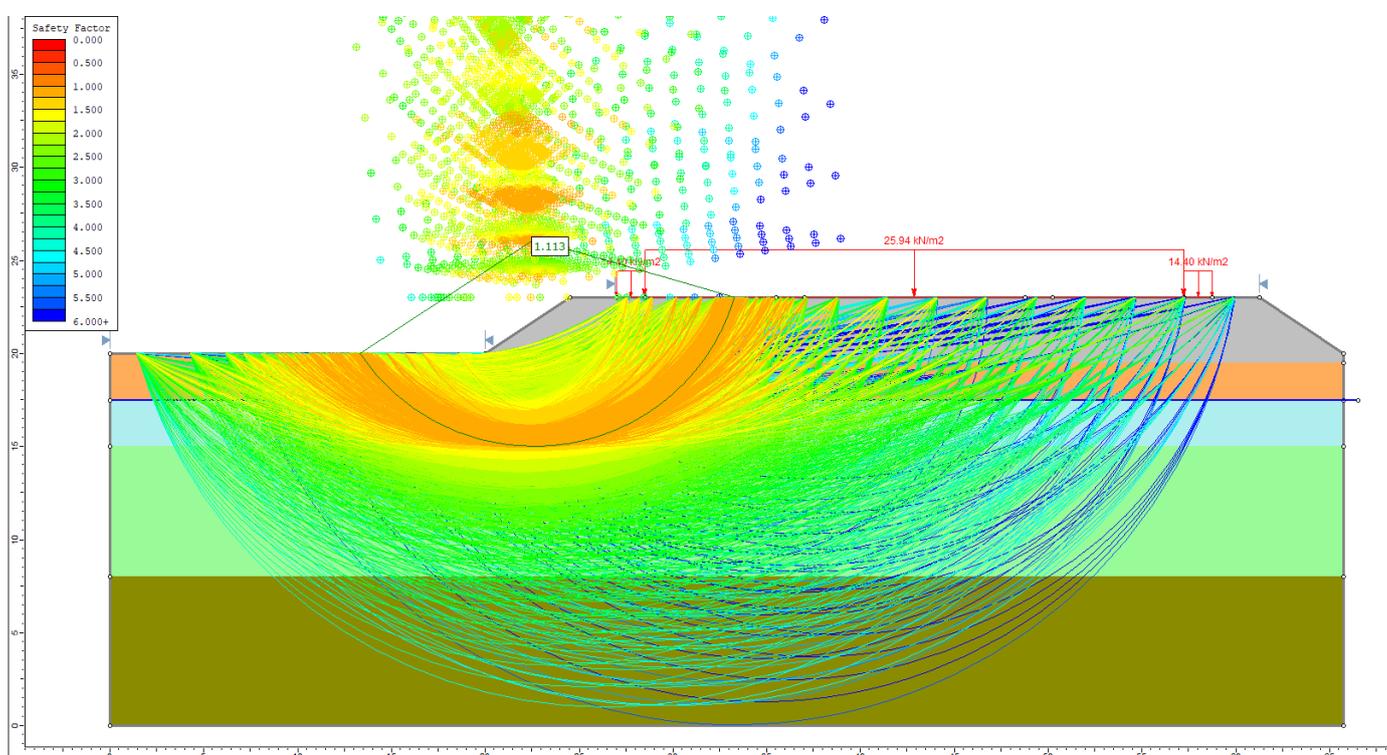


Figura 14– Verifica di stabilità rilevato ferroviario H=3.5 m RI05 sez 43 al km 2+100 – post liquefazione

4.3 Influenza della liquefazione sui pali di fondazione

Le indagini eseguite lungo la tratta ferroviaria Termoli-Ripalta hanno individuato alcuni strati di terreni sabbiosi potenzialmente liquefacibili in corrispondenza dei viadotti VI04, NW03, NW04 e pile GA03 come mostrato nel profilo stratigrafico longitudinale con retino puntinato magenta.

Per il VI04 si prevede un intervento di mitigazione della liquefazione in quanto i cedimenti stimati post-liquefazione sono rilevanti (> 5 cm).

Per le palificate NW03, NW04 e pile GA03, poiché gli strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili sono abbastanza superficiali e di modesto spessore, non è stato previsto intervento di consolidamento ed è stato

eseguito il dimensionamento dei pali considerando la presenza di terreno liquefacibile.

La presenza di strati di terreno potenzialmente liquefacibili in corrispondenza delle fondazioni delle pile, influenza il dimensionamento dei pali. Pertanto le successive valutazioni sui pali saranno finalizzate:

- alla eventuale perdita di resistenza laterale nello strato potenzialmente liquefacibile;
- all'eventuale sviluppo di attrito negativo lungo il fusto del palo; quindi a verifiche dei cedimenti del palo in presenza di attrito negativo;
- valutazione delle sollecitazioni di taglio e momento sui pali considerando tenendo conto della perdita di resistenza del terreno nello strato liquefacibile.

I pali in questione, si estendono ben oltre lo spessore liquefacibile e quindi sicuramente si possono escludere problemi di perdita di portanza alla base per problemi di liquefazione.

Quindi per il dimensionamento delle palificate ubicate in corrispondenza di strati potenzialmente liquefacibili, si procede nel seguente modo:

- Valutazione della capacità portante dei pali, trascurando il contributo di portata laterale e di base nello strato liquefacibile;
- Valutazione del parametro alfa a testa palo (pari al rapporto momento / taglio), considerando un modulo di reazione nullo nello strato potenzialmente liquefacibile.
- Valutazione dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo (dato dal terreno nello strato potenzialmente liquefacibile) e quindi valutazione della curva carico - cedimento in presenza di attrito negativo, al fine di verificare che i cedimenti ai carichi di esercizio siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture anche in presenza di attrito negativo.
- Verifica a carico limite orizzontale considerando reazione nulla del terreno nello strato liquefacibile.

Le suddette analisi/verifiche delle palificate in presenza di terreno liquefacibile sono svolte nei documenti D.3, D.4.



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	34 di 55

5 INTERVENTI DI MITIGAZIONE

5.1 Scopo e entità degli interventi di mitigazione

Per i tratti di rilevato ferroviario tra le progressive chilometriche 2+138 e 2+475 (RI05) e tra le progressive 0+475 e 0+530 (RI12), tra 0+735 e 0+970 (RI13), 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.

Per il tratto di rilevato tra 0+675 e 0+695 (RI12) in approccio alla GA03, si prevede comunque intervento di consolidamento in fondazione, per uniformare il comportamento deformativo in approccio alla GA03 (limitare i cedimenti differenziali della struttura), considerato che per l'altro rilevato di approccio (RI13) è necessario intervento di consolidamento.

Per la palificata della spalla del VI04 è necessario prevedere intervento di consolidamento in quanto, lo spessore di terreno liquefacibile, implica cedimenti post-liquefazione elevati, a tal proposito si rimanda alla relazione di calcolo delle fondazioni del VI04.

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.

Interventi per mitigazione rischio liquefazione						
WBS	da km	a km	intervento	maglia [m]	Lc [m]	larghezza estensione intervento [m]
RI12/spalla VI04	0+475	0+530	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	12	20
RI12	0+675	0+695	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	12	20
RI13	0+735	0+970	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	13	26
RI05 in ammorsamento a Rilevato lotto 2	2+138	2+475	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	7	10
Rilevato viabilità NV10 e spalla NW02	0+050	0+107	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	12	25
Spalla NW03	0+219	0+232	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	10	15
Spalla NW04	0+451	0+438	colonne ghiaia D=800 mm	1.5x1.5	10	17

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.

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_o .

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-pressioni 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 :

$$FS = CRR/CSR$$

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

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

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 $\varphi_c = 40^\circ$, Kac



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 2
LOTTO 03

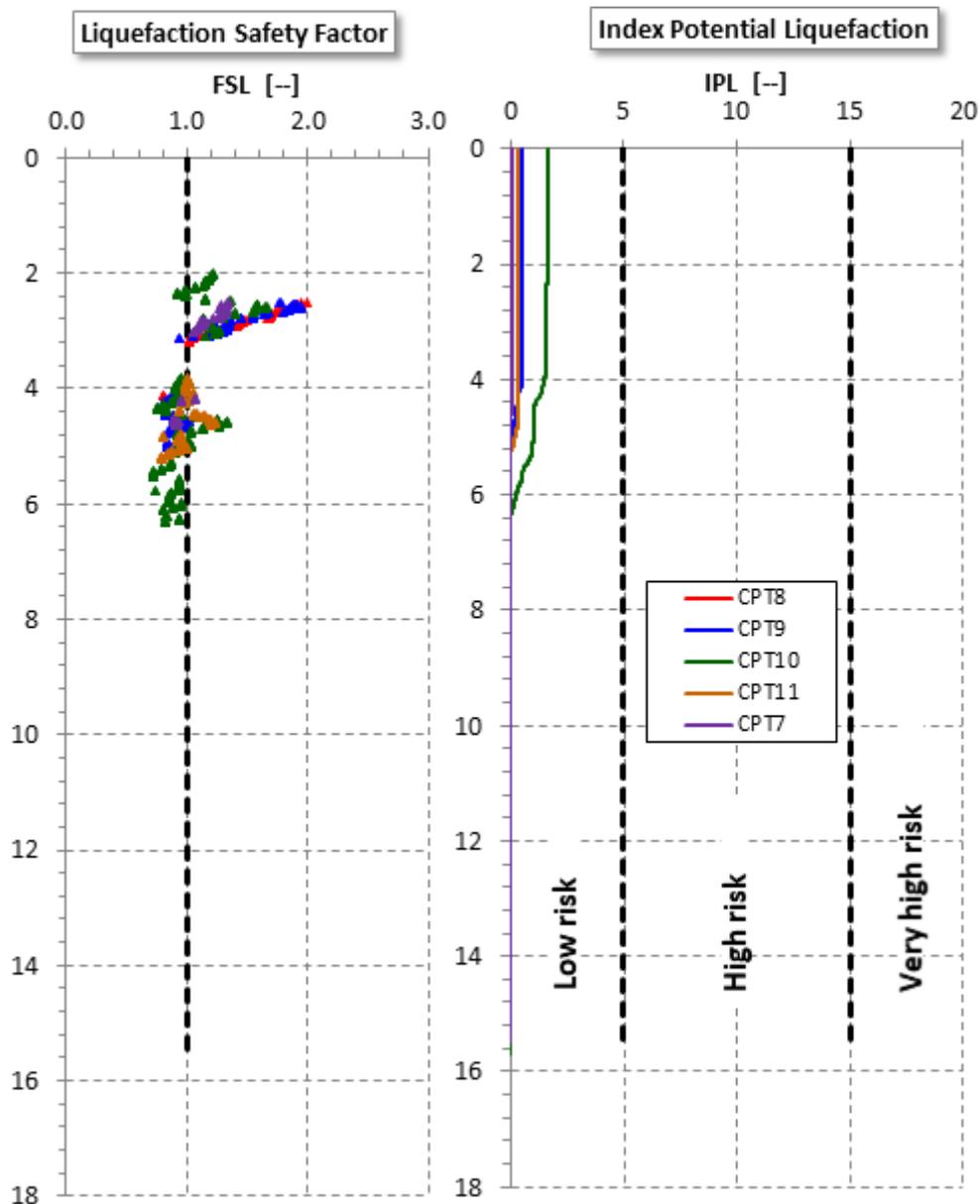
RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	38 di 55

= 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).



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

Figura 15. Sintesi analisi di liquefazione da prove CPT – con intervento di consolidamento

5.3.3 Risultati RI12, RI13

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 SPT dei sondaggi SD19 e SD34, si è valutato il rischio di potenziale liquefazione con l'intervento di consolidamento in presenza di colonne in ghiaia, come da progetto. Nella seguente tabella è mostrato il fattore di sicurezza a liquefazione che passa da valori 0.6÷0.9 senza intervento, a valori FSL > 1.3 con intervento di mitigazione.

Sond.	wl	γ	Unità	z	Nspt	FC	FSL	α	FSL +colonne ghiaia
	[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]
SD34	5.0	18.5	A1	7.5	4	49	0.624	0.48	1.3
SD34	5.0	18.5	A1	10.5	5	49	0.612	0.48	1.3
SD19	7.4	18.5	A1	7.50	9	63	0.919	0.48	1.9

Tabella 1 - Sintesi analisi di liquefazione da prove SPT – 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.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	41 di 55

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

6.1 RI12 - SEZIONE 12 AL KM 0+550

Slide Analysis Information

sez12

Project Summary

File Name: sez12.slmd
Slide Modeler Version: 8.024
Compute Time: 00h:00m:00.529s
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 $m\alpha < 0.2$:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	42 di 55

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
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]: 25.94
 Orientation: Normal to boundary

Materials

Property	Ril	U1	U1_LIQ	U1a	U2a	U2b	U2
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb						
Unit Weight [kN/m ³]	20	18.5	18.5	19	19	19.5	19.5
Cohesion [kPa]	0	0	0	8	8	0	0
Friction Angle [°]	32	24.8	6.8	19.6	19.6	28.4	25.7
Water Surface	Water Table	None					
Hu Value	1	1	1	1	1	1	
Ru Value							0

Global Minimums

Method: bishop simplified



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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	44 di 55

Center: 19.295, 28.433
 Radius: 8.463
 Left Slip Surface Endpoint: 20.000, 20.000
 Right Slip Surface Endpoint: 26.503, 24.000
 Resisting Moment: 535.309 kN-m
 Driving Moment: 486.397 kN-m
 Total Slice Area: 5.68687 m²
 Surface Horizontal Width: 6.503 m
 Surface Average Height: 0.874499 m

Valid/Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 3900
 Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10056

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	0.13006	0.0971932	5.26151	Ril	0	32	0.403222	0.44377	0.71018	0	0.71018	0.747312	0.747312
2	0.13006	0.289053	6.10901	Ril	0	32	1.18959	1.30922	2.09519	0	2.09519	2.22251	2.22251
3	0.13006	0.475734	6.99541	Ril	0	32	1.9416	2.13685	3.41967	0	3.41967	3.65791	3.65791
4	0.13006	0.657097	7.88348	Ril	0	32	2.65955	2.92699	4.68416	0	4.68416	5.05242	5.05242
5	0.13006	0.833109	8.77347	Ril	0	32	3.34402	3.6803	5.88972	0	5.88972	6.40581	6.40581
6	0.13006	1.00373	9.6656	Ril	0	32	3.99558	4.39738	7.03727	0	7.03727	7.71778	7.71778
7	0.13006	1.16893	10.5601	Ril	0	32	4.61471	5.07877	8.12777	0	8.12777	8.98806	8.98806
8	0.13006	1.32865	11.4572	Ril	0	32	5.20189	5.72499	9.16187	0	9.16187	10.2162	10.2162
9	0.13006	1.48285	12.3572	Ril	0	32	5.75752	6.3365	10.1405	0	10.1405	11.4019	11.4019
10	0.13006	1.63147	13.2603	Ril	0	32	6.28201	6.91373	11.0643	0	11.0643	12.5447	12.5447
11	0.13006	1.77445	14.1667	Ril	0	32	6.77571	7.45707	11.9338	0	11.9338	13.6441	13.6441
12	0.13006	1.91173	15.0768	Ril	0	32	7.23892	7.96687	12.7496	0	12.7496	14.6997	14.6997
13	0.13006	2.04322	15.9908	Ril	0	32	7.67195	8.44344	13.5123	0	13.5123	15.7109	15.7109
14	0.13006	2.16887	16.909	Ril	0	32	8.07504	8.88707	14.2223	0	14.2223	16.677	16.677
15	0.13006	2.28857	17.8317	Ril	0	32	8.44843	9.298	14.8799	0	14.8799	17.5975	17.5975
16	0.13006	2.40225	18.7592	Ril	0	32	8.79231	9.67646	15.4856	0	15.4856	18.4718	18.4718
17	0.13006	2.5098	19.6918	Ril	0	32	9.10682	10.0226	16.0396	0	16.0396	19.2988	19.2988
18	0.13006	2.61112	20.6299	Ril	0	32	9.39213	10.3366	16.5421	0	16.5421	20.078	20.078
19	0.13006	2.7061	21.5738	Ril	0	32	9.64836	10.6186	16.9933	0	16.9933	20.8083	20.8083
20	0.13006	2.79461	22.5239	Ril	0	32	9.87561	10.8687	17.3935	0	17.3935	21.4889	21.4889
21	0.13006	2.87652	23.4806	Ril	0	32	10.0739	11.0869	17.7427	0	17.7427	22.1189	22.1189



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	45 di 55

22	0.13006	2.95168	24.4443	Ril	0	32	10.2431	11.2732	18.0409	0	18.0409	22.6969	22.6969
23	0.13006	3.01996	25.4154	Ril	0	32	10.3835	11.4277	18.2882	0	18.2882	23.222	23.222
24	0.13006	3.08117	26.3943	Ril	0	32	10.4949	11.5503	18.4844	0	18.4844	23.6928	23.6928
25	0.13006	3.13515	27.3817	Ril	0	32	10.5773	11.641	18.6295	0	18.6295	24.108	24.108
26	0.13006	3.1817	28.378	Ril	0	32	10.6306	11.6996	18.7233	0	18.7233	24.466	24.466
27	0.13006	3.22061	29.3837	Ril	0	32	10.6547	11.7261	18.7657	0	18.7657	24.7653	24.7653
28	0.13006	3.25166	30.3995	Ril	0	32	10.6494	11.7203	18.7564	0	18.7564	25.0042	25.0042
29	0.13006	3.2746	31.4259	Ril	0	32	10.6145	11.6819	18.6949	0	18.6949	25.1806	25.1806
30	0.13006	3.28917	32.4637	Ril	0	32	10.5499	11.6108	18.5812	0	18.5812	25.2928	25.2928
31	0.13006	3.29508	33.5136	Ril	0	32	10.4553	11.5067	18.4145	0	18.4145	25.3383	25.3383
32	0.13006	3.29201	34.5765	Ril	0	32	10.3304	11.3692	18.1946	0	18.1946	25.3148	25.3148
33	0.13006	3.27962	35.653	Ril	0	32	10.175	11.1982	17.9208	0	17.9208	25.2197	25.2197
34	0.13006	3.25753	36.7444	Ril	0	32	9.98864	10.9931	17.5926	0	17.5926	25.0499	25.0499
35	0.13006	3.22533	37.8514	Ril	0	32	9.77093	10.7535	17.2092	0	17.2092	24.8024	24.8024
36	0.13006	3.18256	38.9754	Ril	0	32	9.52152	10.479	16.7699	0	16.7699	24.4735	24.4735
37	0.13006	3.12871	40.1175	Ril	0	32	9.23993	10.1691	16.2739	0	16.2739	24.0595	24.0595
38	0.13006	3.06322	41.2791	Ril	0	32	8.92565	9.82321	15.7204	0	15.7204	23.556	23.556
39	0.13006	2.98547	42.4618	Ril	0	32	8.57811	9.44073	15.1083	0	15.1083	22.9582	22.9582
40	0.13006	2.89475	43.6673	Ril	0	32	8.19675	9.02102	14.4366	0	14.4366	22.2607	22.2607
41	0.13006	2.79028	44.8975	Ril	0	32	7.78091	8.56336	13.7042	0	13.7042	21.4574	21.4574
42	0.13006	2.67115	46.1547	Ril	0	32	7.32991	8.06701	12.9099	0	12.9099	20.5414	20.5414
43	0.13006	2.53635	47.4413	Ril	0	32	6.84303	7.53116	12.0524	0	12.0524	19.5049	19.5049
44	0.13006	2.38472	48.7602	Ril	0	32	6.31949	6.95498	11.1303	0	11.1303	18.3389	18.3389
45	0.13006	2.21489	50.1147	Ril	0	32	5.75851	6.33759	10.1422	0	10.1422	17.033	17.033
46	0.13006	2.02529	51.5088	Ril	0	32	5.15929	5.67811	9.08689	0	9.08689	15.575	15.575
47	0.13006	1.72921	52.9469	Ril	0	32	4.30952	4.74288	7.59022	0	7.59022	13.2981	13.2981
48	0.13006	1.27057	54.4346	Ril	0	32	3.09228	3.40324	5.4463	0	5.4463	9.77107	9.77107
49	0.13006	0.783408	55.9785	Ril	0	32	1.85797	2.04481	3.27238	0	3.27238	6.02471	6.02471
50	0.13006	0.266413	57.5869	Ril	0	32	0.614119	0.675875	1.08163	0	1.08163	2.04883	2.04883

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10056

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	20	20	0	0	0
2	20.1301	20.012	0.0439126	0	0
3	20.2601	20.0259	0.169394	0	0
4	20.3902	20.0419	0.367227	0	0
5	20.5202	20.0599	0.628609	0	0
6	20.6503	20.0799	0.945108	0	0
7	20.7804	20.1021	1.30865	0	0
8	20.9104	20.1263	1.71149	0	0
9	21.0405	20.1527	2.14623	0	0
10	21.1705	20.1812	2.60576	0	0
11	21.3006	20.2118	3.0833	0	0
12	21.4307	20.2447	3.57235	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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	46 di 55

13	21.5607	20.2797	4.06671	0	0
14	21.6908	20.317	4.56043	0	0
15	21.8208	20.3565	5.04787	0	0
16	21.9509	20.3984	5.52363	0	0
17	22.081	20.4425	5.98258	0	0
18	22.211	20.4891	6.41987	0	0
19	22.3411	20.538	6.83088	0	0
20	22.4711	20.5895	7.21128	0	0
21	22.6012	20.6434	7.55696	0	0
22	22.7313	20.6999	7.8641	0	0
23	22.8613	20.759	8.12914	0	0
24	22.9914	20.8208	8.34879	0	0
25	23.1214	20.8854	8.52003	0	0
26	23.2515	20.9527	8.64012	0	0
27	23.3816	21.023	8.70662	0	0
28	23.5116	21.0962	8.71739	0	0
29	23.6417	21.1725	8.67062	0	0
30	23.7717	21.252	8.56481	0	0
31	23.9018	21.3347	8.39886	0	0
32	24.0319	21.4209	8.17201	0	0
33	24.1619	21.5105	7.88393	0	0
34	24.292	21.6038	7.53473	0	0
35	24.422	21.7009	7.12499	0	0
36	24.5521	21.802	6.65584	0	0
37	24.6822	21.9072	6.12897	0	0
38	24.8122	22.0168	5.54671	0	0
39	24.9423	22.131	4.91214	0	0
40	25.0723	22.25	4.22911	0	0
41	25.2024	22.3741	3.50243	0	0
42	25.3325	22.5037	2.73793	0	0
43	25.4625	22.6391	1.94267	0	0
44	25.5926	22.7808	1.12512	0	0
45	25.7226	22.9291	0.295374	0	0
46	25.8527	23.0848	-0.534477	0	0
47	25.9828	23.2483	-1.35001	0	0
48	26.1128	23.4206	-2.09729	0	0
49	26.2429	23.6025	-2.68597	0	0
50	26.3729	23.7952	-3.07491	0	0
51	26.503	24	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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
 LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	47 di 55

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	20
	0	14.5
	0	13
	0	10
	0	6.5
	0	3
	0	0
	40.85	0
	40.85	3
	40.85	6.5
	40.85	10
	40.85	13
	40.85	14.5
	40.85	20
	34.85	24
	33.4	24
	31.6	24
29.25	24	
27.5	24	
26	24	
20	20	
Material Boundary	X	Y
	20	20
Material Boundary	X	Y
	20	20
	20.5	19.5
Material Boundary	X	Y
	40.35	19.5
Material Boundary	X	Y
	40.85	20
Material Boundary	X	Y
	0	10
Material Boundary	X	Y
	40.85	10
Material Boundary	X	Y
	0	6.5
Material Boundary	X	Y
	40.85	6.5



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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	48 di 55

Material Boundary	X	Y
	0	3
	40.85	3
Material Boundary	X	Y
	0	14.5
	40.85	14.5
Material Boundary	X	Y
	0	13
	40.85	13

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
		Assigned to materials:
Water Table	X	
	Y	
	0	
	14	
	40.85	
	14	
Distributed Load	X	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
	Y	
	29.25	
	24	
	27.5	
	24	
Distributed Load	X	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
	Y	
	33.4	
	24	
	31.6	
	24	
Distributed Load	X	Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 25.94 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
	Y	
	31.6	
	24	
	29.25	
	24	



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	49 di 55

6.2 RI05 - SEZIONE 43 AL KM 2+100

Slide Analysis Information

sez43L3tutto

Project Summary

File Name: sez43L3tutto.slmd
Slide Modeler Version: 8.024
Compute Time: 00h:00m:00.943s
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 $m\alpha < 0.2$: 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



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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	50 di 55

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

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



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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
 LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	51 di 55

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	1.112690
Center:	22.603, 26.121
Radius:	11.125
Left Slip Surface Endpoint:	13.313, 20.000
Right Slip Surface Endpoint:	33.281, 23.000
Resisting Moment:	4625.83 kN-m
Driving Moment:	4157.34 kN-m
Total Slice Area:	96.6537 m2
Surface Horizontal Width:	19.9675 m
Surface Average Height:	4.84055 m

Valid/Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	7544
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11269

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	0.376338	1.86633	-54.9329	U1	0	24.8	5.06158	5.63197	12.1887	0	12.1887	4.97801	4.97801
2	0.376338	5.39048	-51.6826	U1	0	24.8	12.5716	13.9883	30.2735	0	30.2735	14.365	14.365
3	0.376338	8.53702	-48.6522	U1	0	24.8	17.8793	19.8941	43.0547	0	43.0547	22.7373	22.7373
4	0.376338	11.3727	-45.7949	U1	0	24.8	21.9416	24.4142	52.8371	0	52.8371	30.2781	30.2781
5	0.376338	13.9446	-43.0779	U1	0	24.8	25.1964	28.0358	60.675	0	60.675	37.1148	37.1148
6	0.376338	16.2876	-40.4768	U1	0	24.8	27.8776	31.0191	67.1314	0	67.1314	43.3413	43.3413



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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3H 03 D 78 RH GE0005 002 A 52 di 55

7	0.396108	19.4502	-37.9096	U1_LIQ	0	6.79998	5.56579	6.193	53.4489	1.51294	51.936	49.1145	47.6016
8	0.396108	21.6105	-35.3657	U1_LIQ	0	6.79998	5.81834	6.47401	58.6976	4.40498	54.2926	54.568	50.163
9	0.396108	23.5795	-32.8998	U1_LIQ	0	6.79998	6.04504	6.72626	63.4491	7.0409	56.4082	59.5384	52.4975
10	0.396108	25.3734	-30.5008	U1_LIQ	0	6.79998	6.2483	6.95242	67.7471	9.44231	58.3048	64.0664	54.6241
11	0.396108	27.0052	-28.1598	U1_LIQ	0	6.79998	6.43003	7.15463	71.6274	11.6268	60.0006	68.1854	56.5586
12	0.396108	28.4858	-25.869	U1_LIQ	0	6.79998	6.59181	7.33464	75.1192	13.609	61.5102	71.9228	58.3138
13	0.396108	29.8243	-23.6219	U1_LIQ	0	6.79998	6.73496	7.49392	78.2467	15.4008	62.8459	75.3012	59.9004
14	0.396108	31.0282	-21.4128	U1_LIQ	0	6.79998	6.86054	7.63365	81.0301	17.0125	64.0176	78.3398	61.3273
15	0.396108	32.1038	-19.2366	U1_LIQ	0	6.79998	6.96947	7.75486	83.4867	18.4524	65.0343	81.0547	62.6023
16	0.396108	33.0564	-17.0889	U1_LIQ	0	6.79998	7.06252	7.85839	85.6301	19.7276	65.9025	83.4588	63.7312
17	0.396108	33.8906	-14.9658	U1_LIQ	0	6.79998	7.14031	7.94495	87.4726	20.8443	66.6283	85.5639	64.7196
18	0.396108	35.3924	-12.8635	U1_LIQ	0	6.79998	7.42042	8.25663	91.0495	21.8074	69.2421	89.3549	67.5475
19	0.396108	38.2532	-10.7787	U1_LIQ	0	6.79998	8.09064	9.00237	98.117	22.6209	75.4961	96.5767	73.9558
20	0.396108	40.8669	-8.7083	U1_LIQ	0	6.79998	8.70397	9.68482	104.508	23.2884	81.2194	103.175	79.8862
21	0.396108	43.3504	-6.64929	U1_LIQ	0	6.79998	9.29288	10.3401	110.527	23.8125	86.7146	109.444	85.6313
22	0.396108	45.7283	-4.59889	U1_LIQ	0	6.79998	9.86402	10.9756	116.24	24.1953	92.0443	115.446	91.2509
23	0.396108	48.0018	-2.55438	U1_LIQ	0	6.79998	10.4178	11.5918	121.65	24.4382	97.2115	121.185	96.7468
24	0.595332	76.1768	0	U1_LIQ	0	6.79998	11.0844	12.3335	127.957	24.5249	103.432	127.957	103.432
25	0.396108	53.238	2.55438	U1_LIQ	0	6.79998	11.7283	13.05	133.878	24.4382	109.44	134.402	109.963
26	0.396108	55.1486	4.59889	U1_LIQ	0	6.79998	12.2218	13.5991	138.241	24.1953	114.045	139.224	115.028
27	0.396108	56.9546	6.64929	U1_LIQ	0	6.79998	12.6981	14.129	142.302	23.8125	118.489	143.782	119.97
28	0.396108	58.6552	8.7083	U1_LIQ	0	6.79998	13.1568	14.6394	146.058	23.2884	122.77	148.074	124.785
29	0.396108	59.2797	10.7787	U1_LIQ	0	6.79998	13.3409	14.8443	147.109	22.6209	124.488	149.649	127.028
30	0.396108	58.6735	12.8635	U1_LIQ	0	6.79998	13.2128	14.7018	145.1	21.8074	123.293	148.117	126.31
31	0.396108	57.9541	14.9658	U1_LIQ	0	6.79998	13.0702	14.5431	142.806	20.8443	121.962	146.3	125.456
32	0.396108	57.12	17.0889	U1_LIQ	0	6.79998	12.913	14.3682	140.223	19.7276	120.495	144.193	124.465
33	0.396108	56.1673	19.2366	U1_LIQ	0	6.79998	12.7408	14.1766	137.341	18.4524	118.888	141.787	123.334
34	0.396108	55.0917	21.4128	U1_LIQ	0	6.79998	12.5529	13.9675	134.147	17.0125	117.135	139.07	122.057
35	0.396108	53.8879	23.6219	U1_LIQ	0	6.79998	13.3081	14.8078	139.582	15.4008	124.182	145.403	130.002
36	0.396108	52.5494	25.869	U1_LIQ	0	6.79998	13.5936	15.1255	140.456	13.609	126.847	147.047	133.438
37	0.396108	51.0687	28.1598	U1_LIQ	0	6.79998	13.3461	14.8501	136.164	11.6268	124.537	143.308	131.681
38	0.396108	49.4369	30.5008	U1_LIQ	0	6.79998	13.0786	14.5524	131.483	9.44231	122.04	139.187	129.744
39	0.396108	47.6431	32.8998	U1_LIQ	0	6.79998	13.7887	15.3425	135.707	7.0409	128.666	144.627	137.586
40	0.396108	45.6741	35.3657	U1_LIQ	0	6.79998	13.6257	15.1612	131.551	4.40498	127.146	141.222	136.817
41	0.396108	43.5137	37.9096	U1_LIQ	0	6.79998	13.2792	14.7756	125.425	1.51294	123.912	135.766	134.253
42	0.381712	39.6923	40.4953	U1	0	24.8	39.8024	44.2877	95.8475	0	95.8475	129.836	129.836
43	0.381712	37.2786	43.1352	U1	0	24.8	36.924	41.085	88.9159	0	88.9159	123.511	123.511
44	0.381712	34.6253	45.8948	U1	0	24.8	33.8854	37.7039	81.5988	0	81.5988	116.559	116.559
45	0.381712	31.6952	48.7998	U1	0	24.8	30.6681	34.1241	73.8514	0	73.8514	108.883	108.883
46	0.381712	28.4378	51.885	U1	0	24.8	27.2487	30.3194	65.6172	0	65.6172	100.35	100.35
47	0.434481	27.672	55.4511	Ril	0	32	27.6907	30.8112	49.3082	0	49.3082	89.5249	89.5249
48	0.434481	21.7078	59.6385	Ril	0	32	21.7348	24.1841	38.7027	0	38.7027	75.8059	75.8059
49	0.434481	14.5369	64.4475	Ril	0	32	15.3177	17.0439	27.2759	0	27.2759	59.3146	59.3146
50	0.434481	5.29424	70.3756	Ril	0	32	8.30157	9.23707	14.7824	0	14.7824	38.0646	38.0646

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11269

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	13.3135	20	0	0	0
2	13.6898	19.4639	8.44456	0	0
3	14.0662	18.9876	27.6052	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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	53 di 55

4	14.4425	18.56	52.764	0	0
5	14.8188	18.1731	81.4872	0	0
6	15.1952	17.8212	112.346	0	0
7	15.5715	17.5	144.424	0	0
8	15.9676	17.1915	163.122	0	0
9	16.3637	16.9104	181.935	0	0
10	16.7598	16.6541	200.595	0	0
11	17.1559	16.4208	218.884	0	0
12	17.5521	16.2088	236.625	0	0
13	17.9482	16.0167	253.671	0	0
14	18.3443	15.8435	269.901	0	0
15	18.7404	15.6881	285.212	0	0
16	19.1365	15.5499	299.52	0	0
17	19.5326	15.4281	312.752	0	0
18	19.9287	15.3222	324.85	0	0
19	20.3248	15.2318	336.033	0	0
20	20.7209	15.1564	346.645	0	0
21	21.117	15.0957	356.442	0	0
22	21.5131	15.0495	365.237	0	0
23	21.9092	15.0177	372.858	0	0
24	22.3053	15	379.145	0	0
25	22.9007	15	385.761	0	0
26	23.2968	15.0177	388.053	0	0
27	23.6929	15.0495	388.502	0	0
28	24.089	15.0957	386.974	0	0
29	24.4851	15.1564	383.337	0	0
30	24.8812	15.2318	377.542	0	0
31	25.2773	15.3222	369.664	0	0
32	25.6734	15.4281	359.734	0	0
33	26.0695	15.5499	347.787	0	0
34	26.4656	15.6881	333.863	0	0
35	26.8618	15.8435	318.011	0	0
36	27.2579	16.0167	299.115	0	0
37	27.654	16.2088	277.536	0	0
38	28.0501	16.4208	253.965	0	0
39	28.4462	16.6541	228.48	0	0
40	28.8423	16.9104	199.181	0	0
41	29.2384	17.1915	167.608	0	0
42	29.6345	17.5	134.192	0	0
43	30.0162	17.826	118.182	0	0
44	30.3979	18.1836	100.513	0	0
45	30.7796	18.5774	81.3456	0	0
46	31.1614	19.0134	60.8816	0	0
47	31.5431	19.5	39.3836	0	0
48	31.9775	20.131	20.3316	0	0
49	32.412	20.8727	1.09395	0	0
50	32.8465	21.7815	-17.0208	0	0
51	33.281	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 2
LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	54 di 55

Group: Group 1

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	20
	0	17.5
	0	15
	0	8
	0	0
	65.75	0
	65.75	8
	65.75	15
	65.75	17.5
	65.75	19.5
	65.75	20
	61.25	23
	58.75	23
	57.25	23
	50.25	23
	48.75	23
Material Boundary	37	23
	35.5	23
Material Boundary	28.5	23
	27	23
Material Boundary	24.5	23
	20	20
Material Boundary	20	20
	65.75	20
Material Boundary	20	20
	20.5	19.5
	65.75	19.5
Material Boundary	0	17.5
	65.75	17.5
Material Boundary	0	15
	65.75	15
Material Boundary	0	8
	65.75	8



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 2
 LOTTO 03

RELAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE
 LIQUEFAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	RH GE0005 002	A	55 di 55

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario														
		Assigned to materials:														
Water Table	<table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>17.5</td></tr><tr><td>66.5</td><td>17.5</td></tr></table>	X	Y	0	17.5	66.5	17.5									
	X	Y														
0	17.5															
66.5	17.5															
Distributed Load	<table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>28.5</td><td>23</td></tr><tr><td>27</td><td>23</td></tr></table> <p>Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m² Creates Excess Pore Pressure: No</p>	X	Y	28.5	23	27	23									
X	Y															
28.5	23															
27	23															
Distributed Load	<table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>58.75</td><td>23</td></tr><tr><td>57.25</td><td>23</td></tr></table> <p>Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m² Creates Excess Pore Pressure: No</p>	X	Y	58.75	23	57.25	23									
X	Y															
58.75	23															
57.25	23															
Distributed Load	<table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>57.25</td><td>23</td></tr><tr><td>50.25</td><td>23</td></tr><tr><td>48.75</td><td>23</td></tr><tr><td>37</td><td>23</td></tr><tr><td>35.5</td><td>23</td></tr><tr><td>28.5</td><td>23</td></tr></table> <p>Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 25.94 kN/m² Creates Excess Pore Pressure: No</p>	X	Y	57.25	23	50.25	23	48.75	23	37	23	35.5	23	28.5	23	
X	Y															
57.25	23															
50.25	23															
48.75	23															
37	23															
35.5	23															
28.5	23															