

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE



U.O. PRODUZIONE SUD E ISOLE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI

VARIANTE LINEA CANCELLO – NAPOLI

GEOTECNICA

Relazione valutazione potenziale liquefazione

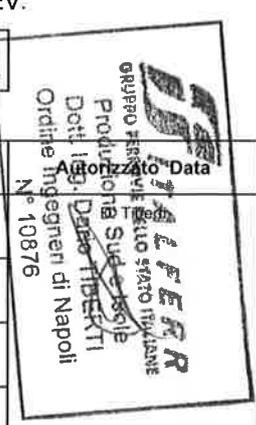
SCALA:

-

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

IF0E 00 D 78 RH GE0005 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
A	Emissione per CdS	S. Gasperoni	20/07/2015	D. Caputo	24/07/2015	D. Aprea	28/07/2015



File IF0E00D78RHGE0005002A n. Elab.: X

100

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	6
3.1	RISPOSTA SISMICA	6
3.1.1	<i>Categoria di sottosuolo.....</i>	6
3.1.2	<i>Azioni sismiche di progetto:.....</i>	8
3.1.3	<i>Magnitudo.....</i>	11
4	CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA.....	13
4.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE	13
4.2	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	13
4.3	FALDA.....	15
5	ANALISI DI LIQUEFAZIONE.....	18
5.1	GENERALE	18
5.2	METODOLOGIE DI ANALISI	24
5.3	ANALISI BASATE SU PROVE SPT.....	25
5.4	ANALISI BASATE SU PROVE CPT	27
5.5	ANALISI BASATE SULLE ONDE DI TAGLIO VS	29
5.6	RISULTATI.....	30
5.6.1	<i>Viadotto VI01.....</i>	30
5.6.2	<i>Viadotto VI02.....</i>	32
5.6.3	<i>Viadotto VI03.....</i>	34
5.6.4	<i>Viadotto VI04.....</i>	36
5.6.5	<i>Tratto finale di linea dalla fine del VI04 a fine tracciato.....</i>	37
5.6.6	<i>Tratto iniziale di linea fino a pk 1+400</i>	39
5.6.7	<i>Tratto da pk 3+500 a VI01.....</i>	42
5.6.8	<i>Tratto in rilevato tra VI01 e VI02</i>	44
5.6.9	<i>Tratto in rilevato tra VI02 e VI03-- Verifica a liquefazione.....</i>	47
5.7	SINTESI RISULTATI	49
6	POSSIBILI CONSEGUENZE DELLA LIQUEFAZIONE.....	50

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 3 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	-------------------

6.1	VERIFICHE DI STABILITA' IN CASO DI LIQUEFAZIONE	50
6.2	STIMA DEI CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE.....	52
6.3	INFLUENZA DELLA LIQUEFAZIONE SUI PALI DI FONDAZIONE.....	56
7	INTERVENTI DI MITIGAZIONE.....	58
7.1	SCOPO E ENTITA' DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	58
7.2	TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO.....	58
8	APPENDICE A. ANALISI DI STABILITA'. TABULATI DI CALCOLO PCSTABL	59
8.1	ANALISI STABILITÀ RILEVATO FERROVIARIO H=5 M.....	59

1 PREMESSA

Il presente documento illustra le valutazioni effettuate in merito alla suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione in relazione alla pericolosità sismica dei siti e gli eventuali interventi di mitigazione relativamente al Progetto Definitivo della Variante linea ferroviaria Napoli-Cancello, Itinerario Napoli-Bari.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- valutazione delle caratteristiche dei terreni con riferimento alla suscettibilità alla liquefazione e definizione dei coefficienti di sicurezza e del potenziale di liquefazione dei terreni a partire dalle azioni sismiche di progetto, tenendo conto anche della categoria di sottosuolo dei terreni interessati dalle opere e delle condizioni topografiche del tracciato;
- valutazione qualitativa dei possibili effetti della liquefazione dei terreni nelle ipotesi di progetto definite sopra;
- scelte progettuali per gli eventuali interventi di mitigazione del potenziale rischio di liquefazione in relazione alla tipologia delle opere.

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. 14-01-08 (NTC-2008).
- [N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- [N.3]. DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni.
- [N.4]. RFI DTC INC SP IFS 008 A - Specifica Tecnica Italferr “Trattamento delle terre con calce”.
- [N.5]. Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

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

- [N.6]. IF0E00D69RGGE0001001A – Progetto Definitivo. Itinerario Napoli-Bari Variante Linea Canello-Napoli. Relazione geologica, geomorfologia ed idrologia. Aprile 2015.
- D.1. IF0E00D69RGGE0002001A – Progetto Definitivo. Itinerario Napoli-Bari Variante Linea Canello-Napoli. Relazione sulla modellazione numerica della falda acquifera superficiale. Aprile 2015.
- D.2. Progetto Definitivo. Itinerario Napoli-Bari Variante Linea Canello-Napoli. Relazione geotecnica.
- D.3. Progetto Definitivo. Itinerario Napoli-Bari Variante Linea Canello-Napoli. Profilo stratigrafico longitudinale.

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 6 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	-------------------

3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

3.1 RISPOSTA SISMICA

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c^* ;
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento $V_{R,TR}$ è esprimibile in funzione di P_{VR} mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove V_N è la vita nominale dell'opera e C_U la classe d'uso.

Per le opere d'arte del presente progetto si ha in linea generale: $V_N=75$ anni e $C_U=1.5$ (classe d'uso III).

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido a_g , l'accelerazione di picco a_{max} è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove S_S è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_T è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Nel seguito viene definita la categoria di sottosuolo e le azioni sismiche di progetto.

3.1.1 Categoria di sottosuolo

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$. Si può ricavare il parametro $V_{s,30}$ mediante la relazione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della $V_{s,30}$, in particolare sono state eseguite prove sismiche di tipo Down-Hole, MASW, RE.MI. (vedasi tabella seguente).

Tabella 1. $V_{s,30}$ da indagini sismiche P.D. e categoria sottosuolo

PROVA	$V_{s,30}$ [m/s]	Categoria sottosuolo
DH - S2	301	C
DH - S7	302	C
DH - S12	369	B
MASW - S4	261	C
MASW - S8	275	C
MASW - S13	299	C
REMI - S11	351	C
REMI - S15	731	B
DH - S23	311	C
DH - S53	395	B
DH - S58	388	B
DH - S59	377	B
DH - S32	340	C
DH - S39	343	C
DH - S34	348	C
DH - S30	343	C
DH - S25	280	C
DH - S28	313	C
DH - S44	300	C
DH - S47	328	C
DH - S50	317	C
DH - S62	338	C

Lungo il tracciato i valori delle velocità delle onde di taglio identificano terreni sia di tipo B, sia di tipo C.

Nel seguito si definiscono le azioni sismiche di progetto considerando cautelativamente una categoria di sottosuolo di tipo C.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina).

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 8 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	-------------------

3.1.2 Azioni sismiche di progetto:

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti, considerando il punto con l'accelerazione massima (tra i vari comuni interessati dal progetto, la massima accelerazione del suolo si ha nel comune di Volla) si ha:

- accelerazioni massime attese al piano campagna pari a $a_{\max} = 0.30 \text{ g}$.

Tabella 2 – Localizzazione sito con ag massima

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 14.3438
LATITUDINE: 40.8794

Ricerca per comune

REGIONE: Campania
PROVINCIA: Napoli
COMUNE: Volva

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- sito esterno al reticolo
- interpolazione su 3 nodi
- interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_n info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_u info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VM} = 81\%$	68
SLD - $P_{VM} = 63\%$	113
Stati limite ultimi - SLU	
SLV - $P_{VM} = 10\%$	1068
SLC - $P_{VM} = 5\%$	2193

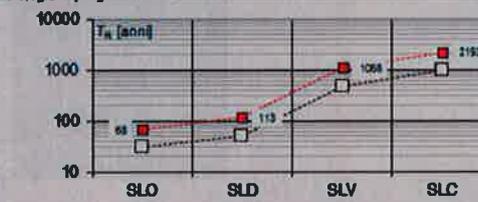
Elaborazioni

Grafici parametri azione
Grafici spettri di risposta
Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

□ Strategie per costruzioni ordinarie
■ Strategie scelte

Strategie di progettazione

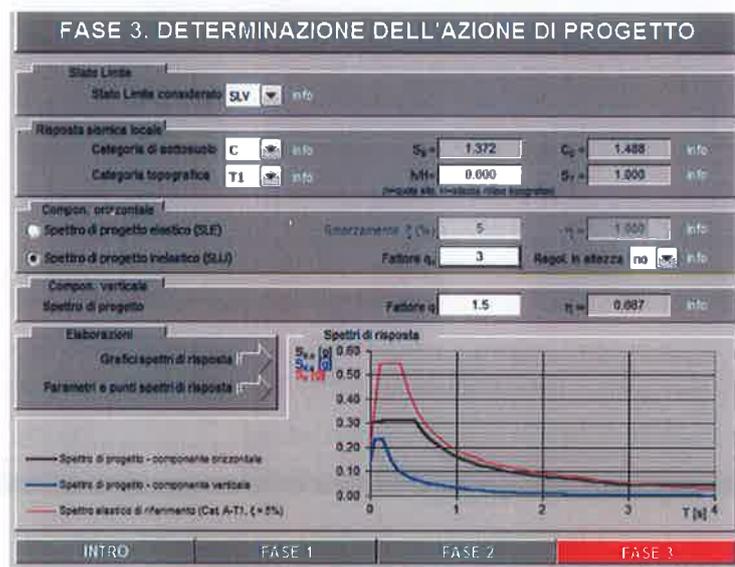


INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Tabella 3 – Parametri sismici

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	68	0.072	2.329	0.321
SLD	113	0.093	2.330	0.330
SLV	1068	0.221	2.472	0.347
SLC	2193	0.272	2.567	0.349

Tabella 4– Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV


Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.221 g
F_0	2.472
T_C	0.347 s
S_s	1.372
C_c	1.488
S_T	1.000
q	2.400

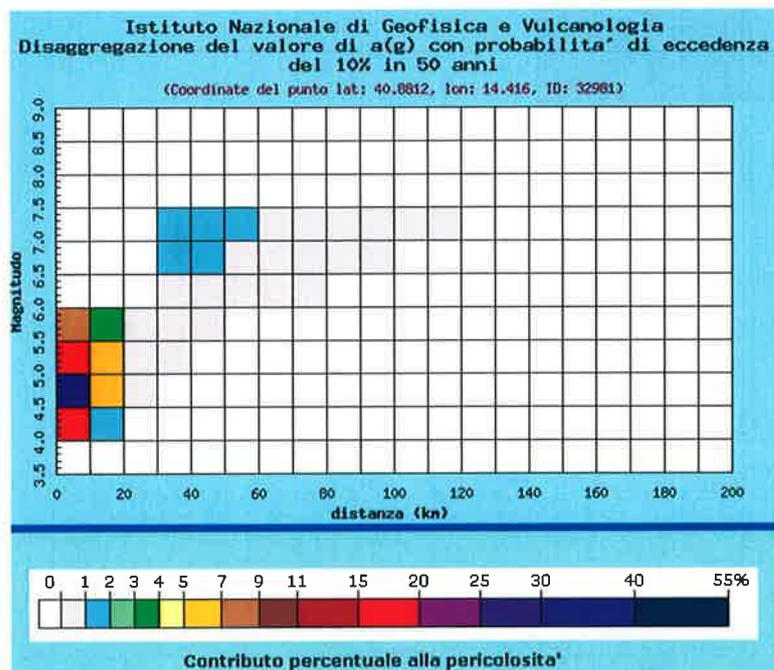
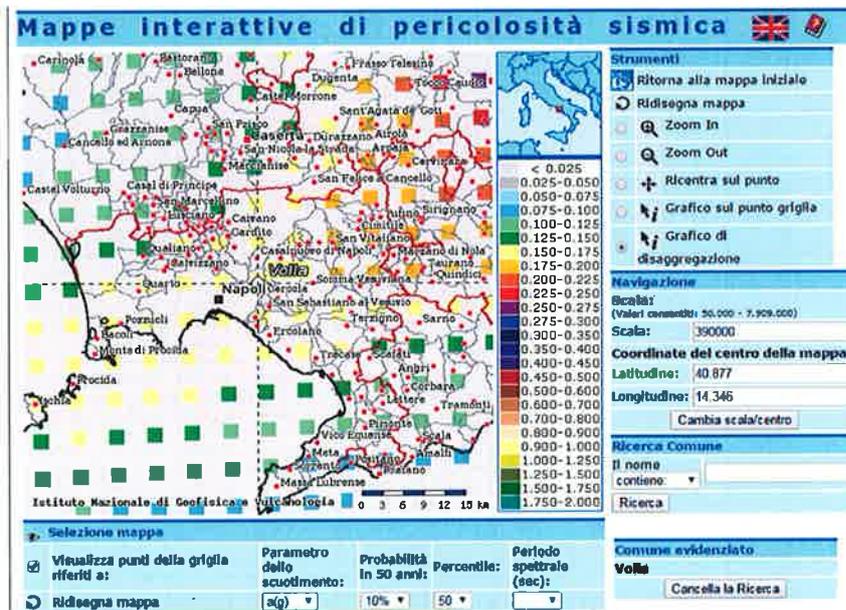
Parametri dipendenti

S	1.372
η	0.417
T_B	0.172 s
T_C	0.517 s
T_D	2.485 s

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 76	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 11 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

3.1.3 Magnitudo

Ai fini della valutazione della suscettibilità alla liquefazione del terreno di fondazione, è stata valutata la magnitudo attraverso il grafico di disaggregazione (del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. In particolare dalle seguenti figure si osserva che la magnitudo a cui è associato un sisma con maggiore percentuale di pericolosità (colore rosso) ha un vale medio di $M = 5.14$.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 40.8812, lon: 14.416, ID: 32981)										
	Magnitudo										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0.000	15.900	30.600	18.200	7.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.450	5.230	5.850	3.560	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.053	0.396	0.445	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.009	0.200	0.544	1.060	1.040	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.594	1.540	1.730	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.194	0.972	1.310	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.463	0.758	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.139	0.290	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.125	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.048	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.140	11.300	1.080

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 13 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

4 CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA

La successione stratigrafica è stata desunta sulla base delle indagini eseguite e dai rilievi e studi geologico-geomorfologici.

Nel seguito vengono definite le unità geotecniche intercettate, nel profilo stratigrafico longitudinale sono mostrati i risultati di tutte le indagini eseguite e sarà utilizzato per la definizione della successione stratigrafica in corrispondenza delle singole opere in progetto e della linea in generale.

4.1 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE

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 e coltre vegetale. Si tratta di terreno di riporto antropico (**Ra**) che costituisce il corpo dei rilevati esistenti e del terreno vegetale (**Rv**) costituito prevalentemente da limo sabbioso debolmente argilloso con resti vegetali e inclusi clasti.

Unità DI: Depositi piroclastici rimaneggiati. Si tratta di sabbie limose piroclastiche rimaneggiate in ambiente continentale per azione di acque fluviali e di antiche conche lacuali e palustri, talora con presenza di orizzonti torbosi e tracce di paleosuoli. L'unità si rinviene al di sotto del riporto nelle piane a ovest e sud-est di Acerra e nella piana del fiume Sebeto.

Unità Po: Depositi piroclastici recenti. Si tratta di depositi piroclastici sabbiosi di età eruttiva flegrea e vesuviana (Olocene storico e recente) formati da lapilli, ceneri vulcaniche, pomici con locali tracce di paleosuoli. Sono costituiti da sabbie da fini a medie a grossolane in matrice limosa debolmente argillosa con presenza di locali livelli ghiaiosi. Si trovano lungo tutto il tracciato sotto il riporto e sotto gli eventuali spessori di depositi piroclastici rimaneggiati e poggiano sull'Ignimbrite Campana.

Unità TL: Tufo litoide e Unità TS – Tufo sfatto: si tratta di tufo eruttato durante il Primo Periodo Flegreo, anche detto "Ignimbrite Campana"; si presenta da litoide con struttura vacuolare (**unità TL**) a sfatto/pseudo litoide (**Unità TS**), costituito da sabbia limosa con clasti.

Unità Pb: Depositi piroclastici di base: si tratta di depositi piroclastici alla base dell'Ignimbrite Campana, sono terreni tufacei scarsamente litoidi in facies cineritica e pomicea, costituiti da sabbie da fini a medie localmente grossolane, in matrice limosa con locale ghiaia.

4.2 SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

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

Unità Rv – coltre vegetale

$\gamma = 17\div 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 50\div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni.

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 14 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Unità Ra – riporto antropico dei rilevati esistenti e delle viabilità secondarie 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 Ra – 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 DI – Piroclastiti rimaneggiate sabbioso limose

$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 30 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 7E-09 \div 1.5 E-04 \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$V_s = 160 \div 270 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 40 \div 120 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_0 = 100 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Po – Piroclastiti recenti sabbioso limose

$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 33 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 7E-09 \div 1.5 E-04 \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$V_s = 200 \div 400 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_0 = 65 \div 260 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_0 = 170 \div 680 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità TL – Tufo litoide

$\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 20 \div 50 \text{ kPa}$	coesione drenata

$\varphi' = 35 \div 41^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\sigma_c = 3 \text{ MPa}$	resistenza a compressione monoassiale
$E'_{op} = 200 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo

Unità Ts – Tufo sfatto

$\gamma = 15 \div 16 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 35 \div 37^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 580 \div 660 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 550 \div 700 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E'_{o} = 1400 \div 1800 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Pb – Piroclastiti di base sabbioso limose

$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 35 \div 37^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 380 \div 550 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 235 \div 490 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E'_{o} = 600 \div 1280 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale

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_0).

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.

4.3 FALDA

Nelle seguenti tabelle si riportano le letture piezometriche disponibili sui piezometri installati nelle diverse campagne d'indagine in profondità da p.c. ed in quota assoluta, inoltre sono stati indicati il valore minimo, massimo ed il valore medio delle letture per ciascun piezometro. Per le indagini pregresse e quelle del P.E. si ha una sola lettura piezometrica a disposizione, per le indagini a base del P.D. al momento della stesura del presente elaborato si ha un periodo di monitoraggio modesto che va da ottobre 2014 a giugno 2015; per quanto fin'ora rilevato non si osservano generalmente oscillazioni rilevanti del livello di falda. Solo per qualche

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 16 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

strumento si ha una oscillazione più rilevante, ad esempio S46 (differenza superiore a 4 m), ma è ubicato vicino ad una pompa antincendio.

Per i dettagli si rimanda agli studi idrogeologici riportati negli elaborati [N.6], D.1.

Nel profilo stratigrafico longitudinale sono riportati in corrispondenza di ciascun piezometro il livello massimo e minimo rilevato ed è rappresentato graficamente l'andamento massimo del livello di progetto lungo il tracciato da considerare per il dimensionamento delle opere definitive a lungo termine.

Anno Indagine	SO NDA CECO	Quota baccario in s.l.m.	27-11-1997	02-12-1997	04-12-1997	16-12-1997	30-12-2009	08-10-2014	04-12-2014	16-01-2015	13-02-2015	13-03-2015	17-04-2015	15-05-2015	12-06-2015	MAX (m da p.c.)	MIN (m da p.c.)	MEDIA (m da p.c.)
2009	PNIF2AR01	18,00					2,58									2,58	2,58	2,58
2009	PNIF2AR02	22,00					8,46									8,46	8,46	8,46
2009	PNIF2AR03	30,00					14,86									14,86	14,86	14,86
2009	PNIF2AR04	42,00					25,75									25,75	25,75	25,75
2009	PNIF2AR05	24,00					3,85									5,85	5,85	5,85
2009	PNIF2AR06	25,00					3,19									5,19	5,19	5,19
2009	PNIF2AR07	25,00					3,73									3,73	3,73	3,73
2009	PNIF2AR08	25,00					3,98									3,98	3,98	3,98
2009	PNIF2AR09	27,00					4,47									4,47	4,47	4,47
2009	PNIF2AR10	27,00					4,05									4,05	4,05	4,05
2013 (1a base)	S1	18,75						3,73	3,67	3,70	3,57	3,56	3,56	3,59	3,64	3,57	3,73	3,63
2013 (1a base)	S4	16,63						2,21	2,10	2,15	2,13	2,14	2,11	2,05	2,11	2,05	2,21	2,13
2013 (1a base)	S6	26,83						12,53	12,56	12,52	12,43	12,40	12,37	12,36	12,42	12,36	12,56	12,45
2013 (1a base)	S9	42,60						26,91	26,07	26,96	26,69	26,87	26,77	26,79	26,69	26,77	26,87	26,91
2013 (1a base)	S11	41,80						23,46	23,64	23,81	23,62	23,43	23,35	23,42	23,54	23,35	23,81	23,53
2013 (1a base)	S13	45,31						26,69	26,77	26,77	26,75	26,61	26,52	26,47	26,54	26,47	26,77	26,64
2013 (1a base)	S15	41,61						25,13	25,36	25,22	25,24	24,88	24,95	25,13	24,88	24,56	25,36	25,06
2013 (1a base)	S16	26,80						11,31	11,23	11,23	11,17	10,69	10,61	10,76	10,99	10,61	11,31	10,97
2013 (1a base)	S17	26,70						10,39	10,37	10,37	10,26	9,90	9,75	9,81	10,01	9,75	10,39	10,07
2014 (2a base)	S26	23,70						4,45	4,44	4,37	3,71	3,54	3,76	3,68	3,86	3,54	4,45	4,02
2014 (2a base)	S37	25,60						4,30	5,43	5,35	4,88	4,88	5,05	5,16	5,22	4,88	5,43	5,11
2014 (2a base)	S41	25,00						4,36	5,10	4,25	6,11	6,07	6,05	5,70	4,20	4,20	6,11	5,23
2014 (2a base)	S43	24,50						3,53	3,59	3,29	2,42	2,45	2,74	2,87	3,23	2,42	3,59	3,03
2014 (2a base)	S46	25,10						3,91	7,19	6,49	2,72	6,91	3,05	3,35	3,63	2,72	7,19	4,66
2014 (2a base)	S51	25,90						3,65	3,69	3,44						3,44	3,69	3,59
2014 (2a base)	S54	25,77						4,24	4,31	3,99	2,88	2,85	3,3	3,61	2,84	2,85	4,31	3,52
2014 (2a base)	S56	27,70						4,96	5,05	4,71						4,71	5,05	4,91
2014 (2a base)	S57	27,70						3,00	3,12	2,75	1,49	1,34	1,85	2,28	2,66	1,34	3,12	2,31
2014 (2a base)	S61	26,60						3,21	3,16	2,69	1,77	1,57	2	2,45	2,66	1,57	3,21	2,49
2014 (3a base)	S20	23,76									4,27	4,22	4,51	4,65	3,78	3,78	4,65	4,29
2014 (3a base)	S33	25,64										4,15	4,37	4,53	4,66	4,15	4,66	4,40
2014 (3a base)	S42	24,55										2,71	3,03	3,26	4,23	2,71	4,23	3,31
2014 (3a base)	S48	25,04										2,97	2,66	3,22	3,5	2,66	3,50	3,16
2014 (3a base)	S52	25,16										2,84	2,67	2,91	3,17	2,84	3,17	2,77
2014 (3a base)	S55	25,16										2,33	2,76	2,91	3,17	2,33	3,07	2,92
2014 (3a base)	S21	22,70											3,56	3,75	3,82	3,56	3,82	3,71
2015 (4a base)	S29	23,46											3,74	3,91	3,66	3,74	3,96	3,66
2015 (4a base)	S36	25,43											3,67	3,84	3,9	3,67	3,90	3,60
2015 (4a base)	S38	26,49											6,15	6,26	6,34	6,15	6,34	6,25
2015 (4a base)	S40	24,31											5,09	5,19	5,26	5,09	5,29	5,19
1997	BH-07HS	25,10														8,50	8,50	8,50
1997	BH-08HS	27,23														12,30	12,30	12,30
1997	BH-11HS	37,52											22,00			22,00	22,00	22,00
1997	BH-14HS	43,60														21,00	21,00	21,00
1997	BH-05HS	44,58														31,00	31,00	31,00

Tabella 5. Profondità falda in metri da p.c..

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 18 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

5 ANALISI DI LIQUEFAZIONE

5.1 GENERALE

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni.

La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidità e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovrappinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Le NTC08 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field minori di 0.1 g;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in tabella seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

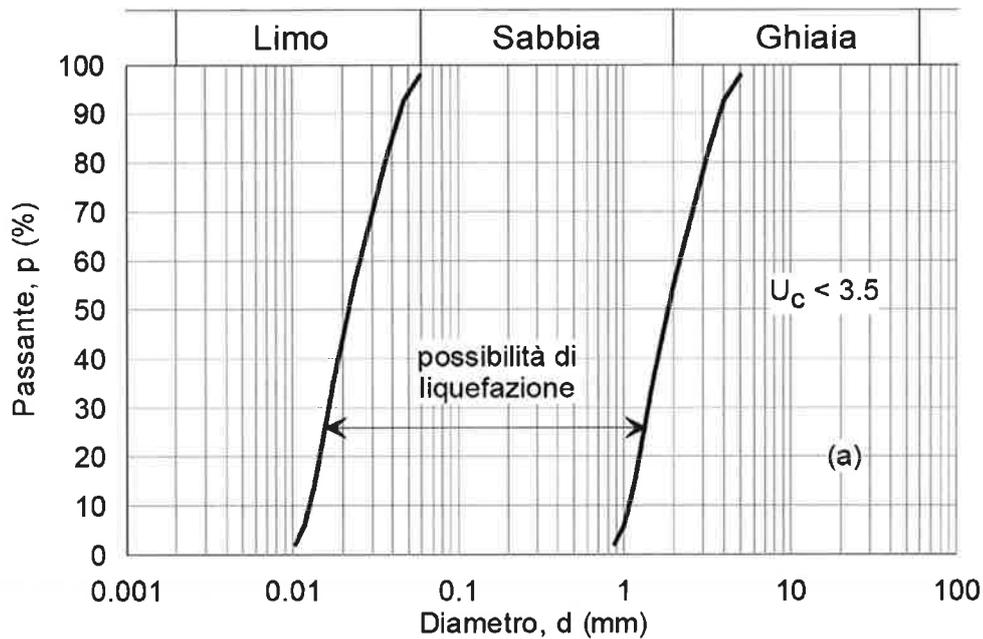


Figura 1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

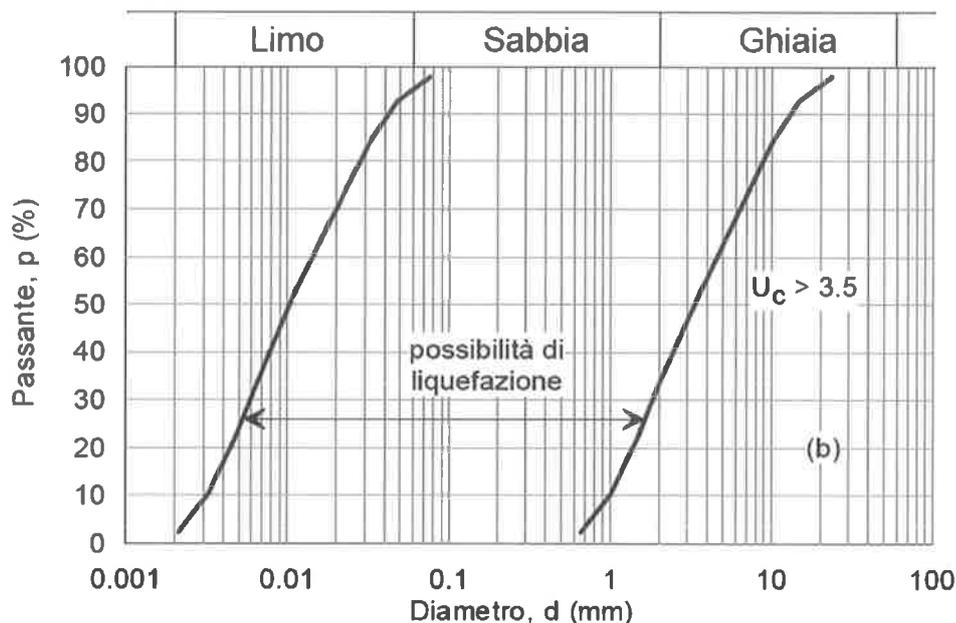


Figura 2- Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti e nella Relazioni Geotecnica, risulta che:

- l'evento sismico atteso è di magnitudo M pari a 5.14;
- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono 0.30;
- la profondità della falda è maggiore di 15 m dal p.c. tra le progressive chilometriche 1+400 e 3+500 circa, per il resto varia tra 4 e 10 m fino ad arrivare ad 1 m da p.c. verso la fine del tracciato;
- sono presenti in alcune zone strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} < 30$.

Quindi per quanto previsto da normativa è possibile escludere a priori la liquefazione nel tratto tra le progressive chilometriche 1+400 e 3+500 circa, per falda a profondità > 15 m dal p.c., altrove è necessario eseguire le dovute verifiche con i dati a disposizione SPT, CPT e V_s .

I problemi di liquefazione interessano principalmente le unità DI e Po per la locale presenza di livelli/lenti di sabbie ricche in pomici, con basso contenuto di fine. L'unità DI e l'unità Po sono caratterizzate da un assortimento granulometrico molto variabile (vedasi grafici delle analisi granulometriche nelle seguenti figure), come anche testimoniato dagli andamenti della resistenza alla punta penetrometrica $-(q_c)$ che ha oscillazioni molto marcate con andamento a zig-zag. Comunque generalmente le unità DI e Po sono caratterizzate da sabbie limose con un contenuto di fine (limo+argilla) medio di 37%, con argilla inferiore al 10% e $IP < 10\%$. All'interno di queste unità però sono anche presenti livelli di ridotto spessore da 0.5 ad 1.0 m circa, prettamente sabbiosi con ridotto contenuto in fine e ricche di pomici: in questi livelli si è rilevato un basso addensamento, come documentato dai bassi valori di $N_{SPT} (< 10$ colpi/30 cm). Anche dalla

documentazione dei sondaggi, in corrispondenza di questi livelli, il materiale si presenta molto sciolto e si denota una certa disomogeneità a confronto della consistenza generale della carota nello strato DI o Po, dove talvolta si sono eseguite anche misure di Pocket Penetrometer.

Per il tracciato in esame la stima del potenziale rischio di liquefazione è stata condotta usando i risultati di diverse indagini: prove SPT, prove CPT e prove sismiche Down-Hole.

Granulometria unità DI

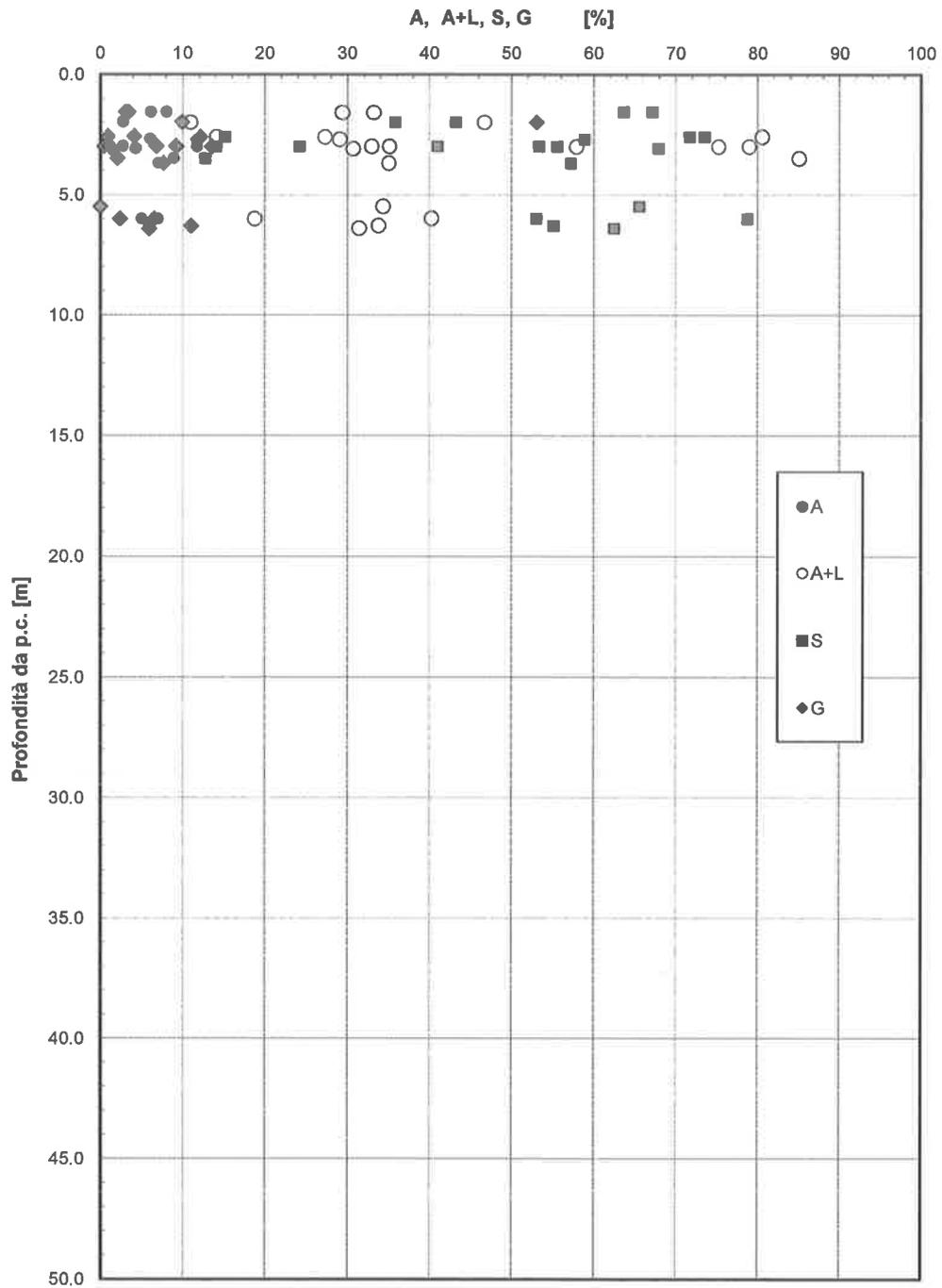


Figura 3. Granulometria unità DI

Granulometria unità Po

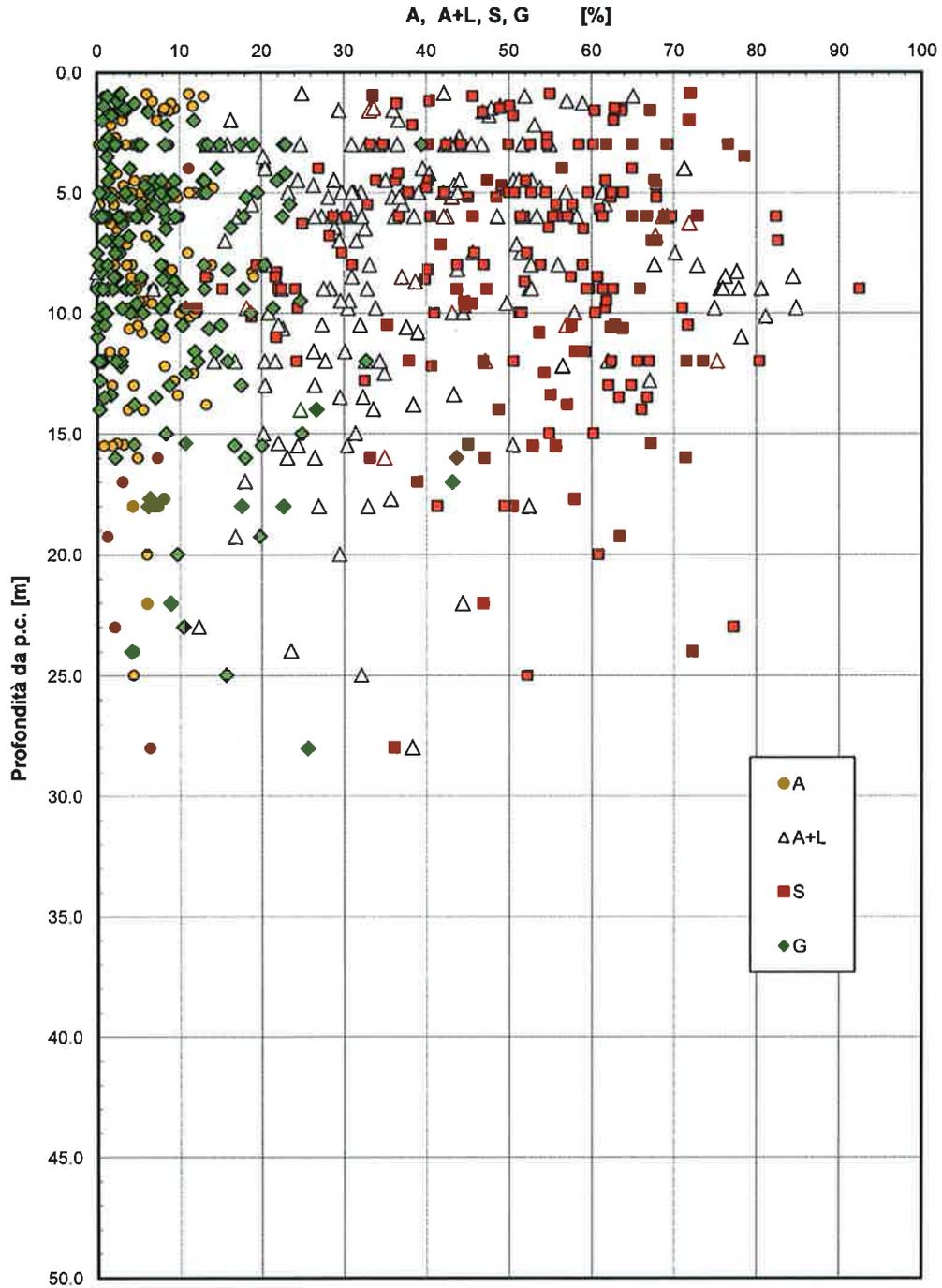


Figura 4. Granulometria unità Po

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 24 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

5.2 METODOLOGIE DI ANALISI

La suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione è stata valutata alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili, mediante un'analisi pseudo-statica in condizioni di free-field, in corrispondenza di un numero adeguato di verticali significative.

La suscettibilità alla liquefazione è stata valutata ricavando il fattore di sicurezza FL nei confronti della liquefazione dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione) e la sollecitazione indotta dall'azione sismica.

Si definisce il rapporto di resistenza ciclica CRR, ovvero il parametro tensionale normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, mentre CSR è il rapporto di tensione ciclica:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

Il termine CSR può essere valutato ad una determinata profondità nel sottosuolo attraverso la seguente relazione semplificata di Seed e Idriss (1971):

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

dove:

- $a_{max,s}$ è l'accelerazione orizzontale di picco a piano campagna del terremoto atteso;
- g è l'accelerazione di gravità;
- σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;
- r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che tiene conto della deformabilità del sottosuolo.

Il coefficiente dell'azione sismica r_d si può ricavare, per profondità dal piano campagna non superiori a 20 m, mediante la seguente espressione di Idriss e Boulanger (2004):

$$r_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

dove:

- z è la profondità dal piano campagna;
- M magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT, CPT o indagini sismiche Down-Hole,, come meglio descritto nel seguito.

I metodi per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica a partire dai risultati di prove in sito sono applicabili nel caso di piano campagna sub-orizzontale e stati tensionali efficaci ridotti. Tuttavia, anche in assenza di tali condizioni, è possibile ottenere una stima approssimata del termine CRR attraverso l'introduzione di opportuni fattori correttivi.

Dato che CRR dipende dal numero di cicli significativi, che a sua volta dipende dalla magnitudo M, è necessario rivalutare CRR per ricondurlo ad un valore costante di M, convenzionalmente preso come M = 5.14, introducendo un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

Il valore di MSF si può ricavare dalla relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$\begin{cases} MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \\ MSF \leq 1.8 \end{cases}$$

Per l'interpretazione dai dati di Vs, la bibliografia suggerisce di utilizzare la seguente correlazione di Andrus e Stock, 1997:

$$MSF = (M/7.5)^{-2.56}$$

5.3 ANALISI BASATE SU PROVE SPT

Avendo a disposizione i risultati delle prove SPT, si è proceduto nel seguente modo:

1. il numero di colpi N_{SPT} è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto $(N_1)_{60}$ mediante la seguente relazione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

2. il coefficiente C_N , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, è stato ricavato per via iterativa dalla relazione di Boulanger e Idriss (2004):

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}}$$

dove p_a è la pressione atmosferica (100 kPa). Tale coefficiente non deve comunque superare il valore di 1.7.

3. il fattore C_E è un fattore correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 26 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionatore, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

- i coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e C_S (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionatore) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).
- il valore della resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC} - \left(\frac{15.7}{FC}\right)^2\right)$$

dove FC è la frazione di fine espressa in percentuale.

Il contenuto di materiali fini (FC) è stato assunto dalle analisi granulometriche eseguite sul campione prelevato in corrispondenza della quota SPT o comunque entro lo strato analizzato; per i valori relativi ai sondaggi del 2011, per i quali non è disponibile il laboratorio, è stato preso un valore di 20% (valore medio da prove granulometriche dell'unità in esame).

- dal valore di $(N_1)_{60}$ può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante l'impiego di abachi di letteratura ottenuti dall'osservazione di casi storici, in cui sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Tali curve possono essere ottenute tramite la seguente relazione in funzione della frazione fine FC:

$$CRR = \exp\left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

Quindi, utilizzando l'espressione sopra riportata, è stato ricavato il valore di CRR.

- La sicurezza nei confronti della liquefazione è stata valutata, alla profondità considerata, mediante il coefficiente di sicurezza FL.

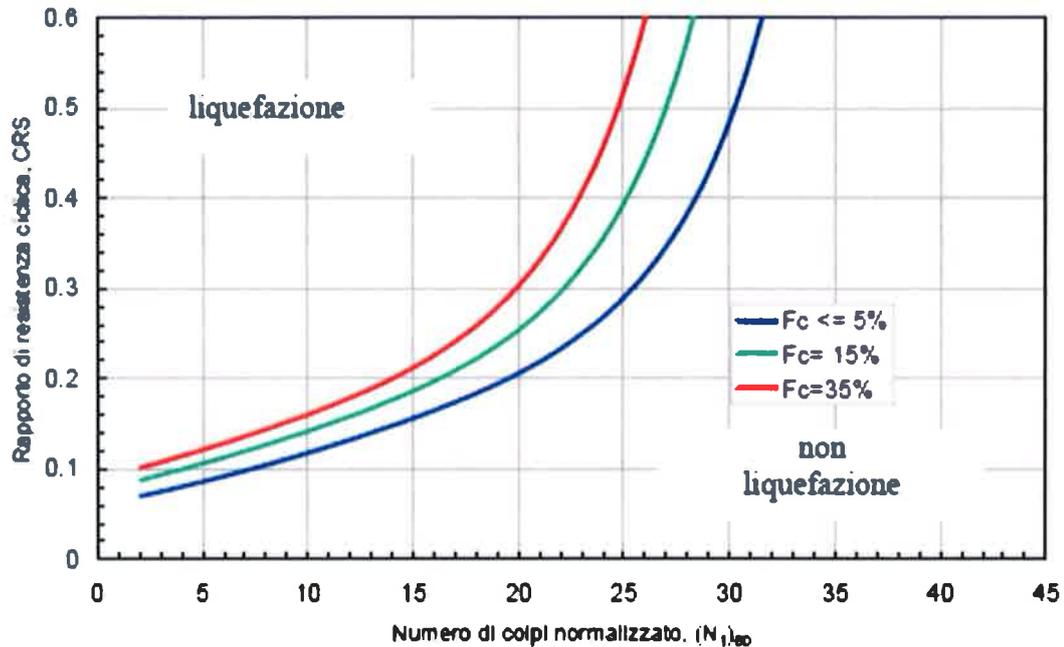


Figura 5 - Curve per il calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR dai risultati di prove SPT

5.4 ANALISI BASATE SU PROVE CPT

Avendo a disposizione i risultati di prove CPT, si è proceduto in maniera del tutto analoga, analizzando ciascuna coppia di valori q_c/f_s , valori tipicamente rilevati a intervalli di 0.2 m, come segue:

1. Il valore della resistenza alla punta q_c è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto q_{c1N} mediante la seguente relazione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c C_N}{p_a}$$

2. il coefficiente C_N , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, è stato ricavato per via iterativa dalla relazione di Boulanger e Idriss (2004):

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}}$$

dove p_a è la pressione atmosferica (100 kPa). Tale coefficiente non deve comunque superare il valore di 1.7.

3. il valore della resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} \cdot k_c$$

dove

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 28 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

$$k_c = -17,88 + 33,75 \cdot I_c - 21,63 \cdot I_c^2 + 5,581 \cdot I_c^3 - 0,403 \cdot I_c^4$$

Il parametro I_c , che riflette il contenuto presunto di fini, viene determinato come descritto nel seguito.

4. dal valore di q_{c1Ncs} può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante l'impiego di abachi di letteratura ottenuti dall'osservazione di casi storici, in cui sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Nella fattispecie, in accordo alle linee guida AGI (2005), si è fatto riferimento alla curva limite proposta da Idriss e Boulanger (2004), che può essere ottenuta tramite la seguente relazione:

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1Ncs}}{540} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Quindi, utilizzando l'espressione sopra riportata, è stato ricavato il valore di CRR. L'analisi è stata condotta tenendo conto del livello medio della falda registrato nel piezometro più vicino.

5. La sicurezza nei confronti della liquefazione è stata valutata, alla profondità considerata, mediante il coefficiente di sicurezza FL.

Il metodo di analisi, descritto compiutamente nelle citate raccomandazioni AGI (2005), tiene conto automaticamente del presunto contenuto di fini mediante il parametro I_c , determinato come segue:

$$I_c = \left[(3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2 \right]^{0,5}$$

dove:

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^n$$

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} \right) \cdot 100\%$$

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore il contenuto presunto di fini. Nell'analisi un valore di $I_c = 2.6$ è considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fini inferiore a 35% e comportamento equivalente a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fini superiore a 35% e comportamento equivalente a quello delle argille.

La distinzione operata nell'analisi tra terreni con comportamento equivalente a quello delle sabbie e terreni con comportamento equivalente a quello delle argille è necessariamente semplicistica e va applicata con giudizio, in quanto la correlazione tra I_c e il contenuto di fini presenta una forte dispersione e può essere considerata affidabile solo dopo attenta calibrazione sito-specifica. L'effettiva transizione tra terreni caratterizzati da un comportamento equivalente a quello delle sabbie e comportamento equivalente a quello delle argille può avvenire anche a valori di $I_c < 2.6$.

D'altra parte, si rileva che anche terreni con contenuto di fini superiore a 35% possono essere suscettibili alla liquefazione con comportamento analogo a quello delle sabbie, se i fini sono non plastici o di bassissima

plasticità.

5.5 ANALISI BASATE SULLE ONDE DI TAGLIO VS

L'utilizzo delle velocità delle onde di taglio V_s per valutare la resistenza alla liquefazione è ugualmente valido perché sia la velocità V_s sia la resistenza alla liquefazione CRR sono similmente influenzate da stessi fattori (rapporto dei vuoti, stato di sforzo, storia dello sforzo, età geologica, ecc.).

Disponendo delle misure di V_s effettuate con prove Down Hole, si è proceduto nel seguente modo:

1. La velocità V_s è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione (Scora, 1987; Kayen et al., 1992; Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

dove

- V_{s1} = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione;
 - V_s = velocità delle onde di taglio misurate in situ da prova;
 - P_a = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa;
 - σ'_{v0} = pressione effettiva iniziale alla stessa unità di misura di P_a .
2. da V_{s1} può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante la seguente equazione (Andrus e Stokoe, 1997):

$$CRR = \left[a \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \cdot \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right]$$

dove

- V_{s1}^* = limite superiore critico del valore della velocità delle onde di taglio necessario per la liquefazione
- a e b = valori usati per tracciare le curve pari rispettivamente a 0.022 e 2.8;
- V_{s1} = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione.

I valori di V_{s1}^* variano linearmente da 200 m/s per suoli con contenuto di fini pari al 35% a 215 m/s per suoli con contenuto di fini del 5% o meno. Il valore di V_{s1}^* è ottenuto dalla seguente formula:

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5)$$

dove

FC = contenuto di fini in percentuale.

Il minimo valore di CRR è uguale a 0.033 per $V_{s1} = 100$ m/s.

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE005 002	REV. A	FOGLIO 30 di 65
------------------------	-------------	------------	---------------	----------	---------------	------------------------	--------	-----------------

5.6 RISULTATI

5.6.1 Viadotto VI01

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 6, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti nelle Tabella 7, Tabella 8, Tabella 9.

Tabella 6 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT - VI01

Sond.	Opera	wl	γ	Unità	z	N _{spt}	FC	σ'_v	u	σ'_v	C_u	Em	C_e	C_b	C_a	C_s	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60,cs}	CSR	rd	CSM	(CSR) ₆₀	FSL
		[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
PNF34V08	VI01	5.0	18.0	Po	8.00	10	25	98	10	88	1.09	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.9	16.3	1.58E-01	0.87	0.19	0.10	1.60
PNF34V05	VI01	5.0	18.0	Po	8.08	13	89	144	40	104	0.98	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.7	36.5	1.55E+00	0.78	0.21	0.12	13.31
PNF34V09	VI01	5.0	18.0	Po	11.75	8	67	188	68	121	0.89	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.4	13.7	1.45E-01	0.70	0.21	0.12	1.73
PNF34V06	VI01	8.0	18.0	Po	15.00	9	24	240	100	140	0.81	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.3	10.7	1.23E-01	0.61	0.20	0.11	1.09
S28	VI01	3.5	18.0	Po	7.80	5	47	125	43	82	1.12	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.6	11.5	1.29E-01	0.81	0.24	0.13	0.96
S11	VI01	3.7	18.0	DI	4.50	3	35	72	8	64	1.27	60	1.0	1.0	1.0	1.0	3.8	6.7	9.61E-02	0.91	0.20	0.11	0.87
S21	VI01	3.7	18.0	DI	8.00	9	35	98	23	73	1.19	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.7	18.7	1.91E-01	0.87	0.22	0.12	1.55
S21	VI01	3.7	18.0	Po	8.50	10	35	138	48	88	1.08	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.8	18.8	1.92E-01	0.79	0.24	0.13	1.45
S21	VI01	3.7	18.0	Po	10.50	15	35	168	68	100	1.00	60	1.0	1.0	1.0	1.0	15.0	26.3	3.23E-01	0.73	0.24	0.13	2.42
S21	VI01	3.7	18.0	Po	12.00	22	35	192	83	100	0.95	60	1.0	1.0	1.0	1.0	20.9	36.6	1.57E+00	0.69	0.24	0.13	11.94
S22	VI01	4.0	18.0	DI	8.80	2	34	109	28	81	1.13	60	1.0	1.0	1.0	1.0	2.3	3.9	7.99E-02	0.84	0.22	0.12	0.65
S23	VI01	4.0	18.0	DI	10.10	9	34	162	61	101	1.00	60	1.0	1.0	1.0	1.0	9.0	15.5	1.60E-01	0.75	0.23	0.13	1.23
S25	VI01	5.0	18.0	Po	8.40	9	35	102	14	88	1.07	60	1.0	1.0	1.0	1.0	9.7	16.9	1.73E-01	0.86	0.19	0.11	1.61
S25	VI01	5.0	18.0	Po	9.00	13	35	144	40	104	0.98	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.7	22.2	2.37E-01	0.78	0.21	0.12	2.03
S25	VI01	5.0	18.0	Po	12.00	16	35	192	70	122	0.89	60	1.0	1.0	1.0	1.0	14.2	24.8	2.85E-01	0.69	0.21	0.12	2.42
S25	VI01	5.0	18.0	Po	13.50	28	35	216	85	131	0.85	60	1.0	1.0	1.0	1.0	22.0	38.5	2.60E+00	0.65	0.21	0.12	22.48
S25	VI01	5.0	18.0	Po	15.00	11	35	240	100	140	0.81	60	1.0	1.0	1.0	1.0	8.9	15.6	1.61E-01	0.61	0.20	0.11	1.43
S28	VI01	3.0	18.0	DI	3.00	9	35	48	0	48	1.44	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.0	22.7	2.44E-01	0.95	0.18	0.10	2.38
S23	VI01	3.0	18.0	DI	6.40	7	31	102	34	68	1.23	60	1.0	1.0	1.0	1.0	8.6	14.2	1.49E-01	0.86	0.25	0.14	1.08
S28	VI01	3.0	18.0	Po	9.00	12	76	144	60	84	1.10	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.2	36.8	1.65E+00	0.78	0.26	0.14	11.41
S28	VI01	3.0	18.0	Po	12.00	12	75	192	80	102	0.99	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.9	32.6	7.11E-01	0.69	0.25	0.14	5.06
S28	VI01	3.7	18.0	Po	3.50	9	20	56	0	56	1.35	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.1	16.7	1.71E-01	0.93	0.18	0.10	1.69
S29	VI01	3.7	18.0	Po	6.50	14	29	104	28	76	1.16	60	1.0	1.0	1.0	1.0	16.3	26.1	3.18E-01	0.85	0.23	0.13	2.52

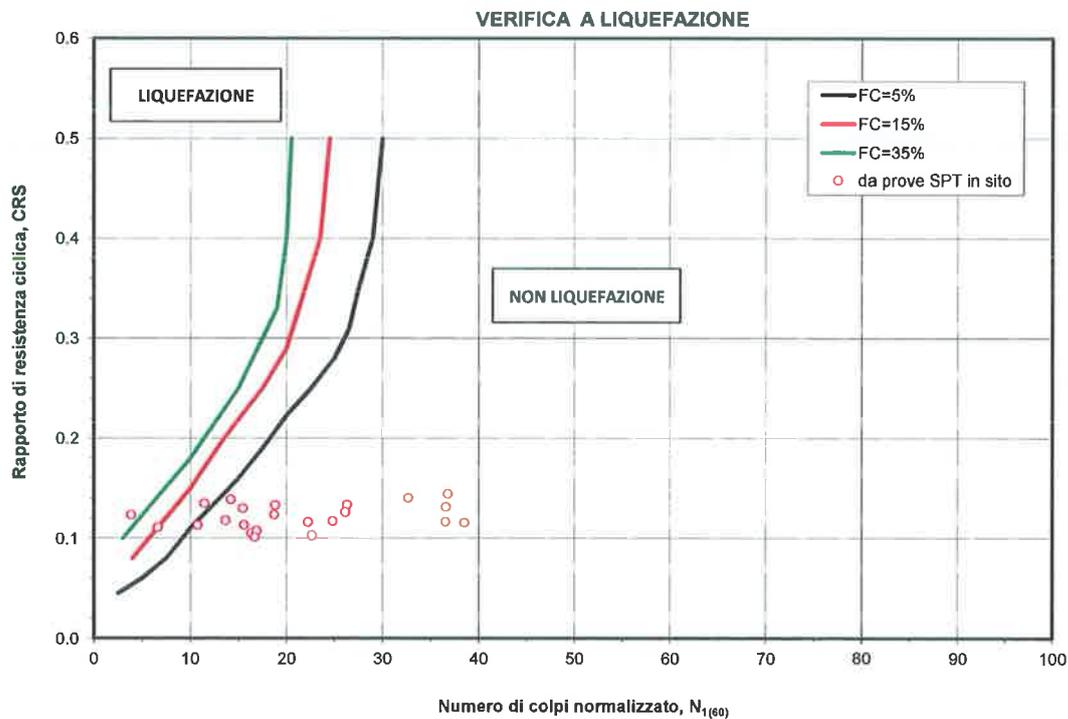


Figura 6 - Verifica a liquefazione - VI01

Dalle prove SPT risulta che per 3 valori $FS < 1.0$ (valori in verde nella tabella) quindi non è possibile escludere la liquefazione e per 2 valori $1 < FS < 1.25$ (valori in arancio nella tabella).

Tabella 7 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S23-DH) – VI01

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	175	2	0	2									
4	175	64	0	64	1.1	195.7	31	202	0.512	0.97	0.189	0.072	7.12
4	267	64	0	64	1.1	298.5	31	202	NO LIQUEF	0.97	0.189	0.072	NO LIQUEF
15	267	240	110	130	0.9	250.0	33	201	NO LIQUEF	0.77	0.278	0.106	NO LIQUEF
15	321	240	110	130	0.9	300.6	33	201	NO LIQUEF	0.77	0.278	0.106	NO LIQUEF
21	321	336	170	166	0.9	282.8	33	201	NO LIQUEF	0.61	0.242	0.092	NO LIQUEF
21	649	336	170	166	0.9	571.8	33	201	NO LIQUEF	0.61	0.242	0.092	NO LIQUEF
30	649	480	260	220	0.8	532.9	33	201	NO LIQUEF	0.55	0.234	0.089	NO LIQUEF

Tabella 8 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S25-DH) – VI01

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	134	2	0	2									
3	134	48	0	48	1.2	161.0	35	200	0.115	0.98	0.191	0.072	1.59
3	294	48	0	48	1.2	353.2	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
6	294	96	10	86	1.0	305.3	35	200	NO LIQUEF	0.95	0.208	0.079	NO LIQUEF
6	252	96	10	86	1.0	261.7	35	200	NO LIQUEF	0.95	0.208	0.079	NO LIQUEF
17	252	272	120	152	0.9	227.0	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.251	0.096	NO LIQUEF
17	547	272	120	152	0.9	492.6	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.251	0.096	NO LIQUEF
24	547	384	190	194	0.8	463.5	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.212	0.081	NO LIQUEF
24	334	384	190	194	0.8	283.0	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.212	0.081	NO LIQUEF
30	334	480	250	230	0.8	271.2	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.224	0.085	NO LIQUEF

Tabella 9 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S28-DH) – VI01

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	149	2	0	2									
3	149	48	0	48	1.2	179.0	25	205	0.165	0.98	0.191	0.072	2.27
3	288	48	0	48	1.2	346.0	25	205	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
7	288	112	35	77	1.1	307.4	31	202	NO LIQUEF	0.95	0.268	0.102	NO LIQUEF
7	260	112	35	77	1.1	277.6	31	202	NO LIQUEF	0.95	0.268	0.102	NO LIQUEF
13	260	208	95	113	1.0	252.2	31	202	NO LIQUEF	0.83	0.297	0.113	NO LIQUEF
13	630	208	95	113	1.0	611.0	31	202	NO LIQUEF	0.83	0.297	0.113	NO LIQUEF
25	630	400	215	185	0.9	540.2	13	211	NO LIQUEF	0.55	0.232	0.088	NO LIQUEF
25	255	400	215	185	0.9	218.6	13	211	NO LIQUEF	0.55	0.232	0.088	NO LIQUEF
30	255	480	265	215	0.8	210.6	29	203	NO LIQUEF	0.55	0.239	0.091	NO LIQUEF

Dalle velocità delle onde di taglio da indagini sismiche Down-Hole si possono escludere problemi di liquefazione.

5.6.2 Viadotto VI02

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 10, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti nelle Tabella 11, Tabella 12, Tabella 13.

Tabella 10 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – VI02

Sond.	Opera	wl	γ	Unità	z	Napil	FC	σ_v	u	σ'_v	C_u	Emm	C_e	C_p	C_q	C_s	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,cs}$	CRR	rd	CSR	$(CSR)_{lim}$	FSL
		[m]	[kNm ⁻³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
PNF 34V02	VI02	5.0	16.0	Po	5.08	5	35	80	0	80	1.13	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.7	9.9	1.17E-01	0.89	0.17	0.10	1.21
PNF 34V04	VI02	5.0	16.0	Po	8.19	7	23	130	31	99	1.01	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.1	10.2	1.20E-01	0.81	0.21	0.11	1.04
S37	VI02	4.5	16.0	Po	4.50	2	39	72	0	72	1.20	60	1.0	1.0	1.0	1.0	2.4	4.4	8.29E-02	0.91	0.18	0.10	0.84
S37	VI02	4.5	16.0	Po	9.00	8	39	144	45	99	1.01	60	1.0	1.0	1.0	1.0	8.0	14.9	1.55E-01	0.78	0.22	0.12	1.27
S37	VI02	4.5	16.0	Po	14.00	22	39	224	95	129	0.85	60	1.0	1.0	1.0	1.0	18.8	34.8	1.06E+00	0.63	0.21	0.12	8.86
S32	VI02	4.4	16.0	Po	8.00	6	69	66	16	80	1.13	60	1.0	1.0	1.0	1.0	6.8	17.7	1.80E-01	0.87	0.20	0.11	1.60
S34	VI02	4.5	16.0	Po	8.00	4	38	96	15	81	1.13	60	1.0	1.0	1.0	1.0	4.5	10.5	1.21E-01	0.87	0.20	0.11	1.09
S39	VI02	4.0	16.0	Po	6.00	4	53	96	20	76	1.16	60	1.0	1.0	1.0	1.0	4.7	10.2	1.20E-01	0.87	0.21	0.12	1.01
S39	VI02	5.9	16.0	Po	10.50	15	22	168	46	122	0.89	60	1.0	1.0	1.0	1.0	14.2	20.2	2.08E-01	0.73	0.20	0.11	1.90
S36	VI02	3.8	16.0	DI	4.50	4	35	72	7	65	1.26	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	8.8	1.10E-01	0.91	0.20	0.11	1.01
S36	VI02	3.8	16.0	DI	6.00	2	35	96	22	74	1.18	60	1.0	1.0	1.0	1.0	2.4	4.1	8.12E-02	0.87	0.22	0.12	0.67
S35	VI02	3.8	16.0	DI	7.50	5	35	120	37	83	1.11	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.6	9.7	1.16E-01	0.82	0.23	0.13	0.90
S36	VI02	3.8	16.0	Po	9.00	11	35	144	52	92	1.05	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.5	20.2	2.08E-01	0.78	0.24	0.13	1.58
S38	VI02	3.8	16.0	Po	12.00	23	35	192	82	110	0.94	60	1.0	1.0	1.0	1.0	21.7	38.0	2.28E+00	0.69	0.23	0.13	17.49
S33	VI02	4.4	16.0	Po	9.00	15	22	144	48	96	1.01	60	1.0	1.0	1.0	1.0	15.2	21.6	2.28E-01	0.78	0.22	0.12	1.84
S38	VI02	8.0	16.0	Po	8.00	7	19	96	0	96	1.02	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.2	9.7	1.16E-01	0.87	0.17	0.09	1.23
S38	VI02	8.0	16.0	Po	9.00	14	29	144	30	114	0.92	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.9	20.9	2.17E-01	0.78	0.19	0.11	2.04
S38	VI02	8.0	16.0	Po	12.00	20	30	192	60	132	0.84	60	1.0	1.0	1.0	1.0	16.8	27.4	3.59E-01	0.69	0.20	0.11	3.30
S40	VI02	5.0	16.0	Po	4.50	4	38	72	0	72	1.20	60	1.0	1.0	1.0	1.0	4.8	8.4	1.07E-01	0.91	0.18	0.10	1.09
S40	VI02	5.0	16.0	Po	7.00	11	35	112	20	92	1.05	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.5	20.2	2.08E-01	0.84	0.20	0.11	1.89
S40	VI02	5.0	16.0	Po	10.50	19	35	168	55	113	0.93	60	1.0	1.0	1.0	1.0	17.7	30.9	5.46E-01	0.73	0.21	0.12	4.62
S40	VI02	5.0	16.0	Po	12.00	27	38	192	70	122	0.89	60	1.0	1.0	1.0	1.0	23.9	41.8	7.90E+00	0.69	0.21	0.12	67.13

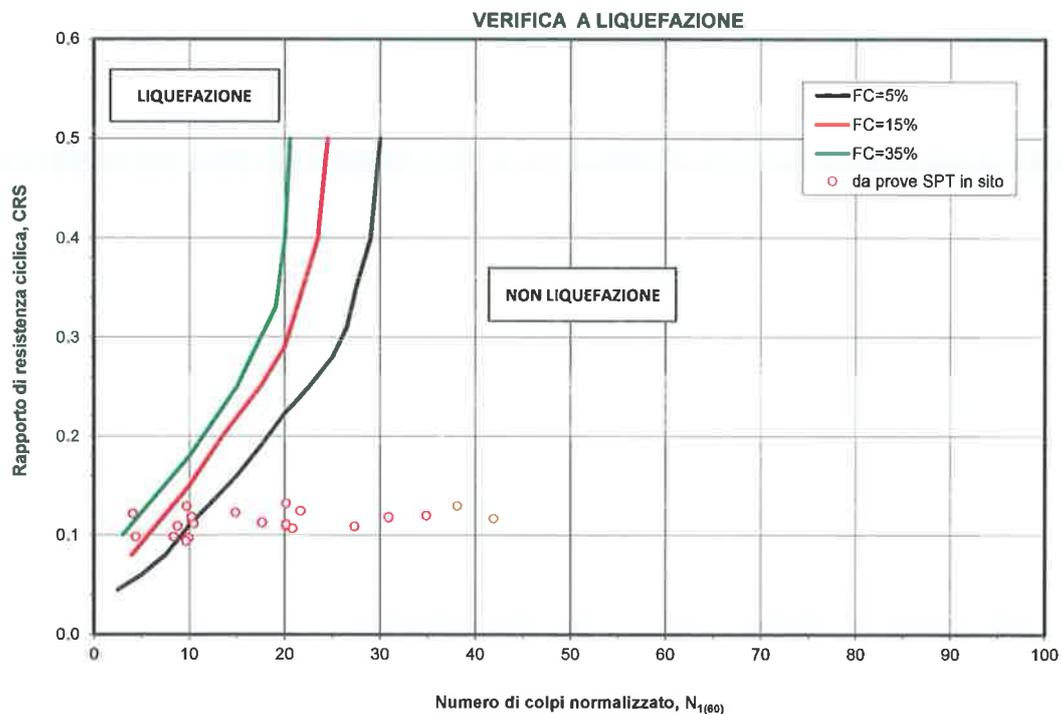


Figura 7- Verifica a liquefazione – VI02

Dalle prove SPT risulta che per 3 valori FS < 1.0 (valori in verde nella tabella) quindi non è possibile escludere la liquefazione e per 7 valori 1 < FS < 1.25 (valori in arancio nella tabella).

Tabella 11 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S32-DH) – VI02

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	151	2	0	2									
3	151	48	0	48	1.2	181.4	31	202	0.195	0.98	0.191	0.072	2.69
3	236	48	0	48	1.2	283.5	31	202	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
9	236	144	50	94	1.0	239.7	70	182.5	NO LIQUEF	0.93	0.278	0.106	NO LIQUEF
9	471	144	50	94	1.0	478.3	22	206.5	NO LIQUEF	0.93	0.278	0.106	NO LIQUEF
21	471	336	170	166	0.9	414.9	22	206.5	NO LIQUEF	0.61	0.242	0.092	NO LIQUEF
21	518	336	170	166	0.9	456.4	22	206.5	NO LIQUEF	0.61	0.242	0.092	NO LIQUEF
30	518	480	260	220	0.8	425.3	20	207.5	NO LIQUEF	0.55	0.234	0.089	NO LIQUEF

Tabella 12 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S39-DH) – VI02

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	217	2	0	2									
4	217	64	10	54	1.2	253.1	18	208.5	NO LIQUEF	0.97	0.224	0.085	NO LIQUEF
4	268	64	10	54	1.2	312.6	18	208.5	NO LIQUEF	0.97	0.224	0.085	NO LIQUEF
10	268	160	70	90	1.0	275.2	22	206.5	NO LIQUEF	0.91	0.314	0.120	NO LIQUEF
10	352	160	70	90	1.0	361.4	23	206	NO LIQUEF	0.91	0.314	0.120	NO LIQUEF
16	352	256	130	126	0.9	332.2	23	206	NO LIQUEF	0.75	0.296	0.112	NO LIQUEF
16	432	256	130	126	0.9	407.7	23	206	NO LIQUEF	0.75	0.296	0.112	NO LIQUEF
22	432	352	190	162	0.9	382.9	23	206	NO LIQUEF	0.59	0.249	0.094	NO LIQUEF
22	512	352	190	162	0.9	453.8	47	194	NO LIQUEF	0.59	0.249	0.094	NO LIQUEF
30	512	480	270	210	0.8	425.3	47	194	NO LIQUEF	0.55	0.245	0.093	NO LIQUEF

Tabella 13 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S34-DH) – VI02

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	174	2	0	2									
3	174	48	0	48	1.2	209.0	24	205.5	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
3	244	48	0	48	1.2	293.1	24	205.5	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
7	244	112	30	82	1.1	256.4	35	200	NO LIQUEF	0.95	0.252	0.096	NO LIQUEF
7	336	112	30	82	1.1	353.1	35	200	NO LIQUEF	0.95	0.252	0.096	NO LIQUEF
12	336	192	80	112	1.0	326.6	20	207.5	NO LIQUEF	0.85	0.285	0.108	NO LIQUEF
12	411	192	80	112	1.0	399.5	20	207.5	NO LIQUEF	0.85	0.285	0.108	NO LIQUEF
17	411	272	130	142	0.9	376.5	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.269	0.102	NO LIQUEF
17	511	272	130	142	0.9	468.1	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.269	0.102	NO LIQUEF
30	511	480	260	220	0.8	419.6	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.234	0.089	NO LIQUEF

Dalle velocità delle onde di taglio da indagini sismiche Down-Hole si possono escludere problemi di liquefazione.

5.6.3 Viadotto VI03

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 14, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti nelle Tabella 15, Tabella 16, Tabella 17.

Tabella 14 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – VI03

Sond.	Opera	wl	γ	Unità	z	N ₆₀	FC	σ'_v	u	σ'_v	C _u	Em	C _v	C _h	C _h	C _v	(N ₁) _{cs}	(N ₁) _{cs}	CRR	rd	CSR	(CSR) _{lim}	FSL
		[m]	[kNm/m ³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
PNF34V02	VI03	4.0	18.0	Po	8.10	6	37	98	21	76	1.16	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.0	12.5	1.37E-01	0.86	0.22	0.12	1.14
PNF34V08	VI03	4.0	18.0	Po	8.90	15	37	142	49	93	1.04	60	1.0	1.0	1.0	1.0	15.6	28.1	3.87E-01	0.78	0.23	0.13	3.00
S43	VI03	3.0	18.0	Po	3.70	4	35	59	7	52	1.39	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.6	9.7	1.16E-01	0.93	0.21	0.11	1.02
S43	VI03	3.0	18.0	Po	8.90	10	35	110	39	71	1.20	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.0	21.0	2.19E-01	0.84	0.25	0.14	1.56
S43	VI03	3.0	18.0	Po	10.70	23	35	171	77	94	1.04	60	1.0	1.0	1.0	1.0	23.8	41.7	7.42E+00	0.73	0.26	0.14	51.79
S46	VI03	3.0	18.0	Po	4.40	4	35	70	14	56	1.34	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.4	9.4	1.14E-01	0.91	0.22	0.12	0.93
S46	VI03	3.0	18.0	Po	8.10	9	36	130	51	79	1.14	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.3	18.0	1.84E-01	0.81	0.26	0.14	1.78
S48	VI03	3.0	18.0	Dk	3.00	7	27	48	0	48	1.45	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.1	15.7	1.62E-01	0.95	0.19	0.10	1.56
S48	VI03	3.0	18.0	Po	8.00	14	27	98	31	88	1.25	60	1.0	1.0	1.0	1.0	17.6	27.2	3.54E-01	0.87	0.25	0.14	2.57
S44	VI03	3.0	18.0	Po	3.00	5	43	48	0	48	1.44	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.2	14.0	1.48E-01	0.95	0.18	0.10	1.45
S44	VI03	3.0	18.0	Po	8.00	11	29	98	30	66	1.25	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.8	22.0	2.33E-01	0.87	0.25	0.14	1.71
S47	VI03	3.0	18.0	Po	3.00	4	15	48	0	48	1.44	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.8	7.2	9.95E-02	0.95	0.18	0.10	0.97
S47	VI03	3.0	18.0	Po	8.00	5	42	96	30	66	1.25	60	1.0	1.0	1.0	1.0	6.3	12.0	1.33E-01	0.87	0.25	0.14	0.97
S58	VI03	2.9	18.0	Po	3.00	5	33	48	1	47	1.45	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.3	12.4	1.35E-01	0.95	0.19	0.10	1.29
S50	VI03	2.9	14.0	Po	8.00	2	32	98	31	65	1.26	60	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	4.2	8.17E-02	0.87	0.25	0.14	0.59

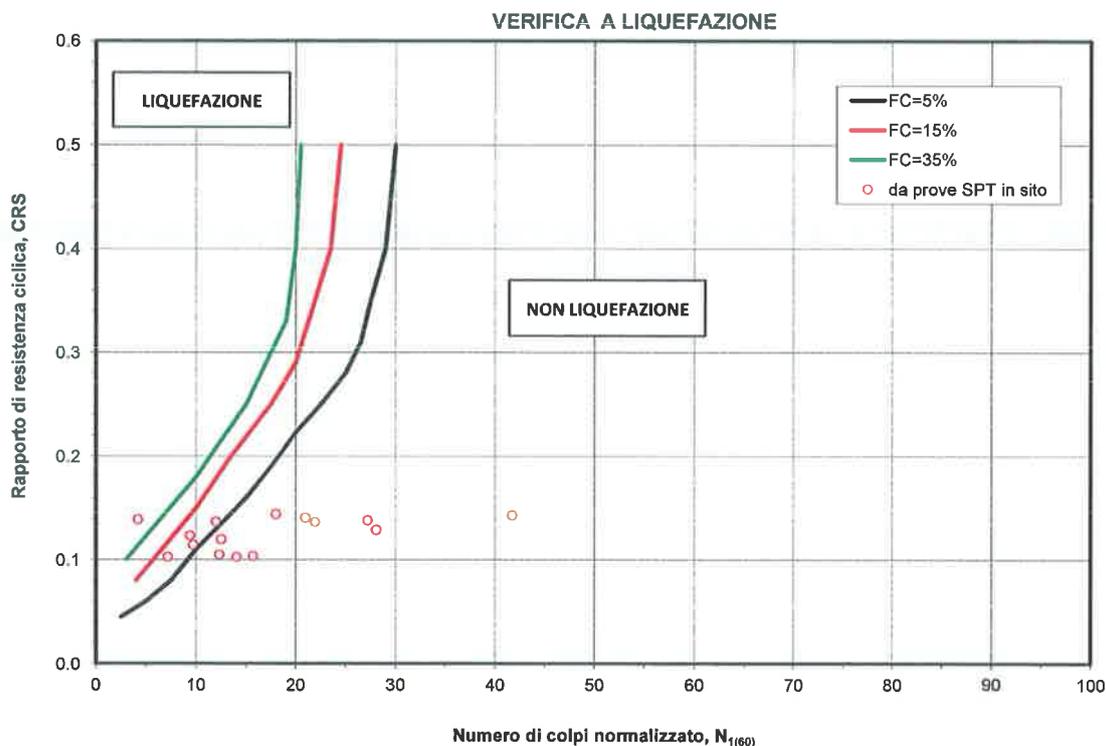


Figura 8 - Verifica a liquefazione – VI03

Dalle prove SPT risulta che per 5 valori FS < 1.0 (valori in verde nella tabella) quindi non è possibile escludere la liquefazione e per 1 valore 1 < FS < 1.25 (valori in arancio nella tabella).

Tabella 15 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S44-DH) – VI03

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
1	109	16	0	16									
3	109	48	5	43	1.2	134.6	35	200	0.069	0.98	0.213	0.081	0.85
3	259	48	5	43	1.2	319.8	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.213	0.081	NO LIQUEF
9	259	144	65	79	1.1	274.7	31	202	NO LIQUEF	0.93	0.331	0.126	NO LIQUEF
9	601	144	65	79	1.1	637.5	31	202	NO LIQUEF	0.93	0.331	0.126	NO LIQUEF
20	601	320	175	145	0.9	547.7	30	202.5	NO LIQUEF	0.64	0.275	0.105	NO LIQUEF
20	325	320	175	145	0.9	296.2	30	202.5	NO LIQUEF	0.64	0.275	0.105	NO LIQUEF
30	325	480	275	205	0.8	271.6	33	201	NO LIQUEF	0.55	0.251	0.095	NO LIQUEF

Tabella 16 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S47-DH) – VI03

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
1	113	16	0	16									
3	113	48	5	43	1.2	139.5	15	210	0.069	0.98	0.213	0.081	0.85
3	208	48	5	43	1.2	256.9	15	210	NO LIQUEF	0.98	0.213	0.081	NO LIQUEF
9	208	144	65	79	1.1	220.6	28	203.5	NO LIQUEF	0.93	0.331	0.126	NO LIQUEF
9	624	144	65	79	1.1	661.9	28	203.5	NO LIQUEF	0.93	0.331	0.126	NO LIQUEF
19	624	304	165	139	0.9	574.7	8	213.5	NO LIQUEF	0.67	0.284	0.108	NO LIQUEF
19	549	304	165	139	0.9	505.6	8	213.5	NO LIQUEF	0.67	0.284	0.108	NO LIQUEF
30	549	480	275	205	0.8	458.8	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.251	0.095	NO LIQUEF

Tabella 17 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S50-DH) – VI03

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	107	2	0	2									
3	107	48	1	47	1.2	129.2	33	201	0.062	0.98	0.195	0.074	0.84
3	184	48	1	47	1.2	222.2	33	201	NO LIQUEF	0.98	0.195	0.074	NO LIQUEF
7	184	112	41	71	1.1	200.4	32	201.5	2.738	0.95	0.291	0.111	24.74
7	663	112	41	71	1.1	722.3	32	201.5	NO LIQUEF	0.95	0.291	0.111	NO LIQUEF
17	663	272	141	131	0.9	619.7	21	207	NO LIQUEF	0.72	0.292	0.111	NO LIQUEF
17	438	272	141	131	0.9	409.4	21	207	NO LIQUEF	0.72	0.292	0.111	NO LIQUEF
30	438	480	271	209	0.8	364.3	33	201	NO LIQUEF	0.55	0.246	0.094	NO LIQUEF

Dalle velocità delle onde di taglio da indagini sismiche Down-Hole si conferma una possibile problematica di liquefazione nei primi 3 m di profondità da p.c..

5.6.4 Viadotto VI04

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 18, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti in Tabella 19.

Tabella 18 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – VI04

Sond.	Opera	wl	γ	Unità	z	N _{sp}	FC	σ'_v	u	σ'_v	C _u	Em	C _c	C _e	C _n	C _s	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60,cs}	CRRI	rd	CSR	(CSR) _{lim}	FS	FSL
		[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[N]	[kPa]		[kPa]	[-]	[N]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
FMF S1V03	VI04	4.5	18.0	Po	8.00	7	28	98	15	81	1.13	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.9	10.9	1.24E-01	0.87	0.20	0.11	1.11	
S93	VI04	2.7	18.0	Po	3.20	5	44	51	8	48	1.47	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.3	14.5	1.52E-01	0.94	0.21	0.11	1.33	
S93	VI04	2.3	18.0	DI	3.00	4	26	48	7	41	1.53	60	1.0	1.0	1.0	1.0	6.1	9.3	1.14E-01	0.95	0.22	0.12	0.95	
S93	VI04	2.3	18.0	Po	8.00	8	26	98	37	59	1.32	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.5	16.1	1.65E-01	0.87	0.28	0.15	1.08	
SS2	VI04	2.3	18.0	Po	9.00	22	29	144	67	77	1.16	60	1.0	1.0	1.0	1.0	25.4	40.1	4.23E+00	0.78	0.28	0.16	26.83	

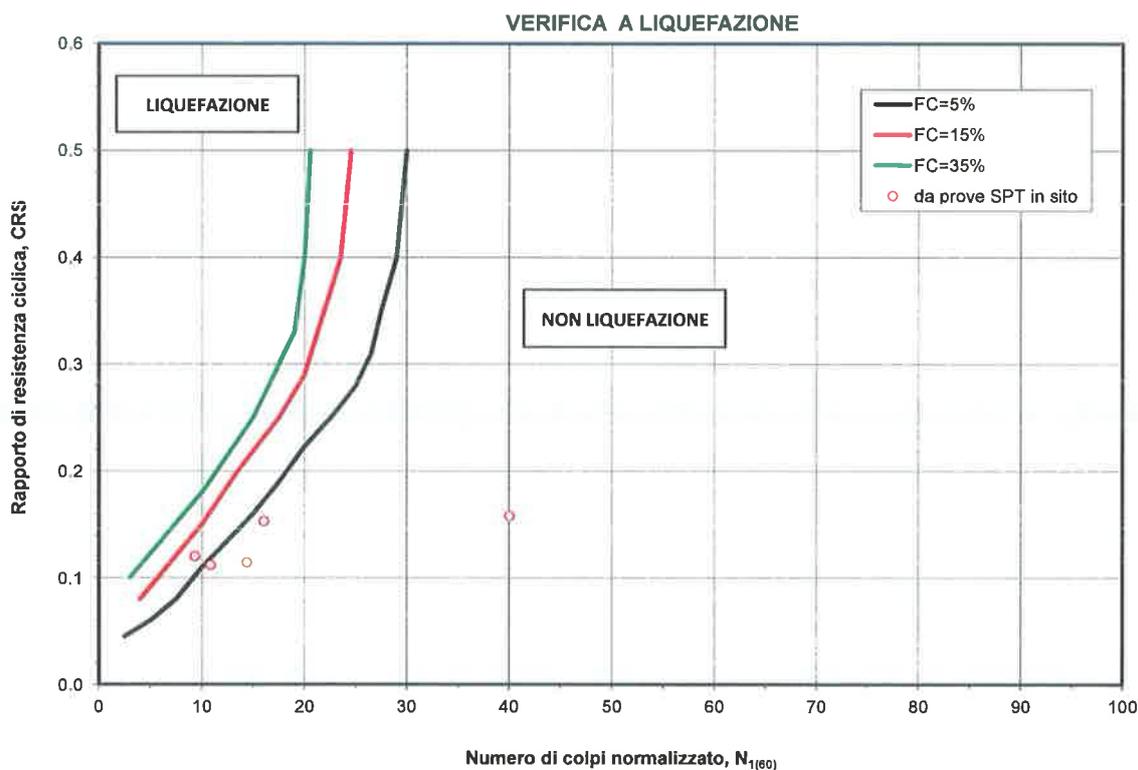


Figura 9 - Verifica a liquefazione – VI04

Dalle prove SPT risulta che un valore FS < 1.0 (in verde nella tabella).

Tabella 19 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S53-DH) – VI04

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	158	2	0	2									
3	158	48	5	43	1.2	195.1	35	200	0.643	0.98	0.213	0.081	7.95
3	330	48	5	43	1.2	407.5	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.213	0.081	NO LIQUEF
9	330	144	65	79	1.1	350.0	35	200	NO LIQUEF	0.93	0.331	0.126	NO LIQUEF
9	663	144	65	79	1.1	703.2	35	200	NO LIQUEF	0.93	0.331	0.126	NO LIQUEF
17	663	272	145	127	0.9	624.5	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.301	0.114	NO LIQUEF
17	486	272	145	127	0.9	457.8	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.301	0.114	NO LIQUEF
30	486	480	275	205	0.8	406.2	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.251	0.095	NO LIQUEF

Dalle velocità delle onde di taglio da indagini sismiche Down-Hole si possono escludere problemi di liquefazione.

5.6.5 Tratto finale di linea dalla fine del VI04 a fine tracciato

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 20, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti nelle Tabella 21, Tabella 22, Tabella 23.

Tabella 20 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – dopo VI04 a fine tratta

Sond.	Opera	wl	y	Unità	z	N _{opt}	FC	σ_v	u	σ'_v	C _u	Er _m	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{ms,cs}	ORR	rd	CSR	(CSR) _{lim}	FSL
		[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
S54	finale	3.5	18.0	Po	5.08	8	35	80	15	65	1.26	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.1	17.6	1.80E-01	0.89	0.21	0.12	1.51
S54	finale	3.5	18.0	Po	9.08	18	35	144	55	89	1.07	60	1.0	1.0	1.0	1.0	19.2	33.7	8.56E-01	0.78	0.25	0.14	6.28
S56	finale	4.9	18.0	Po	5.70	2	42	91	8	83	1.11	60	1.0	1.0	1.0	1.0	2.2	4.3	8.20E-02	0.88	0.19	0.10	0.79
S57	finale	2.3	18.0	Po	2.50	2	16	40	2	38	1.57	60	1.0	1.0	1.0	1.0	3.1	4.0	8.06E-02	0.96	0.20	0.11	0.74
S51	finale	1.8	18.0	Po	2.50	2	31	40	9	31	1.68	60	1.0	1.0	1.0	1.0	3.4	5.6	8.94E-02	0.96	0.24	0.13	0.67
S55	finale	2.9	18.0	Po	6.00	6	43	96	31	65	1.26	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.6	14.7	1.54E-01	0.87	0.25	0.14	1.11
S58	finale	2.0	18.0	DI	3.00	6	45	48	10	38	1.57	60	1.0	1.0	1.0	1.0	9.4	18.9	1.93E-01	0.95	0.23	0.13	1.49
S58	finale	2.0	18.0	Po	6.00	12	36	96	40	56	1.35	60	1.0	1.0	1.0	1.0	16.2	28.7	4.16E-01	0.87	0.29	0.16	2.59
S58	finale	2.0	18.0	Po	9.00	18	36	144	70	74	1.18	60	1.0	1.0	1.0	1.0	21.3	37.7	2.11E+00	0.78	0.30	0.16	12.84
S59	finale	0.9	18.0	DI	3.00	2	36	48	21	27	1.75	60	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5	6.2	9.34E-02	0.95	0.33	0.18	0.51
S59	finale	0.9	18.0	Po	6.00	9	31	96	51	45	1.48	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.3	22.0	2.32E-01	0.87	0.36	0.20	1.16
S62	finale	1.0	18.0	Po	3.00	3	36	48	20	28	1.73	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.2	11.7	1.30E-01	0.95	0.32	0.18	0.74
S62	finale	1.0	18.0	Po	6.00	18	29	96	50	46	1.47	60	1.0	1.0	1.0	1.0	26.4	42.2	9.11E+00	0.87	0.35	0.20	46.50

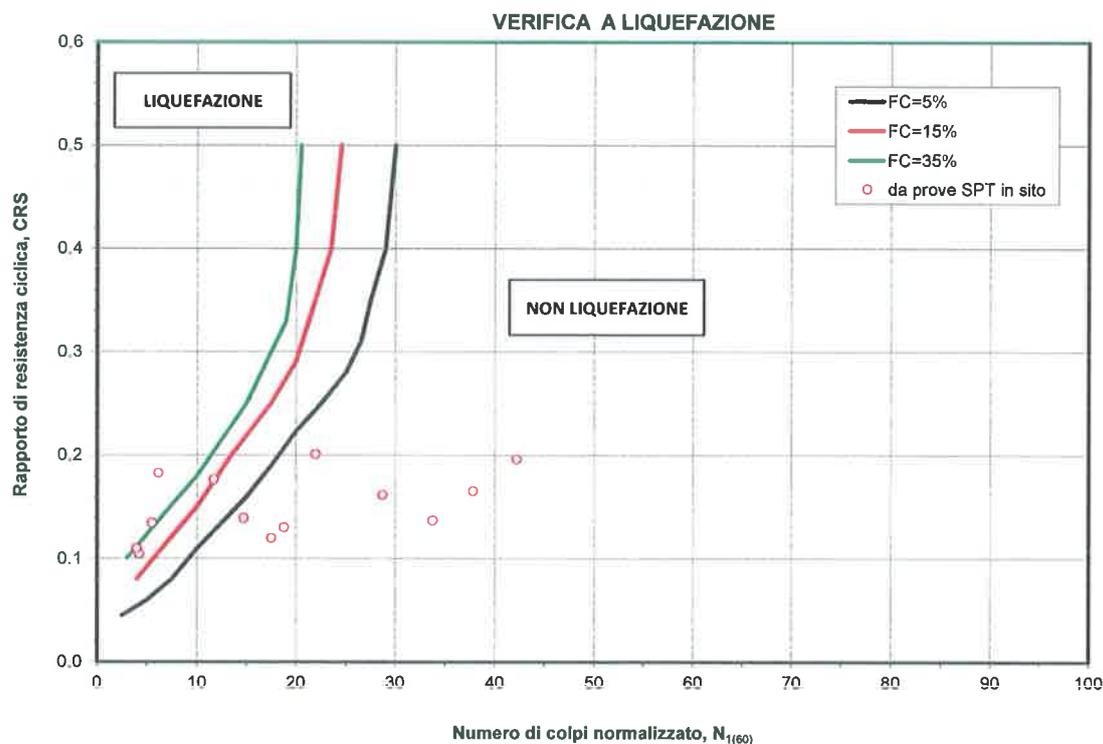


Figura 10 - Verifica a liquefazione – dopo VI04 a fine tratta

Dalle prove SPT risulta che per alcuni valori $FS < 1.0$ (in verde nella tabella); quindi non è possibile escludere la liquefazione e per 2 valori $1 < FS < 1.25$ (valori in arancio nella tabella).

Tabella 21 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S58-DH) – dopo VI04 a fine tratta

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	224	2	0	2									
4	224	64	25	39	1.3	283.5	35	200	NO LIQUEF	0.97	0.310	0.118	NO LIQUEF
4	336	64	25	39	1.3	425.2	35	200	NO LIQUEF	0.97	0.310	0.118	NO LIQUEF
10	336	160	85	75	1.1	361.1	30	202.5	NO LIQUEF	0.91	0.377	0.143	NO LIQUEF
10	415	160	85	75	1.1	445.9	30	202.5	NO LIQUEF	0.91	0.377	0.143	NO LIQUEF
16	415	256	145	111	1.0	404.3	21	207	NO LIQUEF	0.75	0.336	0.128	NO LIQUEF
16	546	256	145	111	1.0	531.9	21	207	NO LIQUEF	0.75	0.336	0.128	NO LIQUEF
22	546	352	205	147	0.9	495.9	21	207	NO LIQUEF	0.59	0.274	0.104	NO LIQUEF
22	494	352	205	147	0.9	448.6	21	207	NO LIQUEF	0.59	0.274	0.104	NO LIQUEF
30	494	480	265	195	0.8	418.0	32	201.5	NO LIQUEF	0.55	0.264	0.100	NO LIQUEF

Tabella 22 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S59-DH) – dopo VI04 a fine tratta

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	137	2	0	2									
3	137	48	25	23	1.4	197.8	35	200	1.361	0.98	0.398	0.151	9.01
3	332	48	25	23	1.4	479.4	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.398	0.151	NO LIQUEF
7	332	112	65	47	1.2	401.0	30	202.5	NO LIQUEF	0.95	0.440	0.167	NO LIQUEF
7	409	112	65	47	1.2	494.0	30	202.5	NO LIQUEF	0.95	0.440	0.167	NO LIQUEF
13	409	208	125	83	1.0	428.5	14	210.5	NO LIQUEF	0.83	0.404	0.154	NO LIQUEF
13	577	208	125	83	1.0	604.5	14	210.5	NO LIQUEF	0.83	0.404	0.154	NO LIQUEF
24	577	384	235	149	0.9	522.3	25	205	NO LIQUEF	0.55	0.276	0.105	NO LIQUEF
24	501	384	235	149	0.9	453.5	26	204.5	NO LIQUEF	0.55	0.276	0.105	NO LIQUEF
30	501	480	295	185	0.9	429.6	27	204	NO LIQUEF	0.55	0.278	0.106	NO LIQUEF

Tabella 23 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S62-DH) – dopo VI04 a fine tratta

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	115	2	0	2									
3	115	48	25	23	1.4	166.1	35	200	0.129	0.98	0.398	0.151	0.85
3	226	48	25	23	1.4	326.3	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.398	0.151	NO LIQUEF
7	226	112	65	47	1.2	273.0	29	203	NO LIQUEF	0.95	0.440	0.167	NO LIQUEF
7	583	112	65	47	1.2	704.1	29	203	NO LIQUEF	0.95	0.440	0.167	NO LIQUEF
14	583	224	135	89	1.0	600.2	27	204	NO LIQUEF	0.80	0.393	0.149	NO LIQUEF
14	621	224	135	89	1.0	639.4	27	204	NO LIQUEF	0.80	0.393	0.149	NO LIQUEF
23	621	368	225	143	0.9	567.9	32	201.5	NO LIQUEF	0.56	0.281	0.107	NO LIQUEF
23	379	368	225	143	0.9	346.6	32	201.5	NO LIQUEF	0.56	0.281	0.107	NO LIQUEF
30	379	480	295	185	0.9	325.0	16	209.5	NO LIQUEF	0.55	0.278	0.106	NO LIQUEF

Dalla indagine sismica Down-Hole S62 si conferma possibile problematica di liquefazione nei primi 3 m di profondità da p.c..

5.6.6 Tratto iniziale di linea fino a pk 1+400

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 24, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti nelle Tabella 25.

Tabella 24 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – da 0+000 a 1+400

Sond.	Opera	wl	γ	Unità	z	N _{apt}	FC	σ_v	u	σ'_v	C _u	E _{rm}	C _v	C _h	C _h	C _h	C _h	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{cs}	CSR	rd	CSR	(CSR) _{lim}	FSL
		[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[N]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[%]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
PMF34B01	no Iniz	2.0	15.0	Po	3.00	16	38	48	10	38	1.57	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	25.2	34.6	1.03E+00	0.95	0.23	0.13	1.22
PMF34B02	no Iniz	8.0	16.0	Po	8.80	18	57	144	10	134	0.83	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	13.3	29.0	4.29E-01	0.78	0.16	0.09	4.73
PMF34B02	no Iniz	8.0	16.0	Po	12.80	9	34	205	48	157	0.75	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.7	11.6	1.30E-01	0.67	0.17	0.09	1.37
PMF34B02	no Iniz	8.0	16.0	Po	18.00	28	34	301	108	193	0.65	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	18.1	31.2	5.75E-01	0.52	0.16	0.09	6.55
S1	no Iniz	3.6	16.0	Po	3.00	10	20	48	0	48	1.44	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	14.4	19.8	2.04E-01	0.95	0.18	0.10	1.98
S1	no Iniz	3.6	16.0	Po	5.00	12	19	63	22	71	1.21	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	14.5	19.6	2.01E-01	0.87	0.22	0.12	1.62
S1	no Iniz	3.6	16.0	Po	8.00	13	28	144	54	90	1.06	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	13.8	21.8	2.29E-01	0.78	0.24	0.13	1.70
S1	no Iniz	3.6	16.0	Po	18.50	20	27	264	129	135	0.83	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	16.6	25.7	3.08E-01	0.57	0.22	0.12	2.55
S1	no Iniz	3.6	16.0	Po	22.50	25	27	390	189	171	0.71	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	17.6	27.3	3.58E-01	0.45	0.19	0.10	3.47
S1	no Iniz	3.6	16.0	Po	28.50	24	27	458	249	207	0.61	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	14.7	22.8	2.46E-01	0.39	0.17	0.09	2.67
S2	no Iniz	2.5	16.0	Po	3.00	4	43	48	5	43	1.50	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.0	11.7	1.30E-01	0.95	0.21	0.11	1.14
S2	no Iniz	2.5	16.0	Po	9.00	3	43	144	65	79	1.14	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.4	6.7	9.62E-02	0.78	0.28	0.15	0.63
S2	no Iniz	2.5	16.0	Po	18	21	42	288	155	133	0.84	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	17.6	20.7	2.14E-01	0.54	0.23	0.13	1.70
S2	no Iniz	2.5	16.0	Po	24	27	42	384	215	169	0.71	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	19.2	22.6	2.42E-01	0.43	0.19	0.11	2.28
S2	no Iniz	2.5	16.0	Po	28.3	28	42	453	258	195	0.64	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	18.0	21.1	2.20E-01	0.39	0.18	0.10	2.25
S3	no Iniz	8.9	16.0	Po	5	8	20	80	0	80	1.13	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.8	9.4	1.14E-01	0.89	0.17	0.10	1.17
S3	no Iniz	8.9	16.0	Po	9.8	9	20	157	9	148	0.78	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	7.0	9.7	1.16E-01	0.75	0.16	0.09	1.33
S3	no Iniz	8.9	16.0	Po	14.6	15	20	234	57	177	0.69	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	10.3	14.2	1.50E-01	0.62	0.16	0.09	1.69
S3	no Iniz	8.9	16.0	Po	18.2	20	20	291	93	198	0.63	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	12.7	17.4	1.78E-01	0.53	0.15	0.08	2.10
S4	no Iniz	2.0	16.0	Po	3	8	40	48	10	38	1.57	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	12.6	23.6	2.61E-01	0.95	0.23	0.13	2.01
S4	no Iniz	2.0	16.0	Po	6	2	40	96	40	56	1.35	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.7	5.1	8.65E-02	0.87	0.29	0.16	0.54
S4	no Iniz	2.0	16.0	Po	9	16	40	144	70	74	1.18	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	18.9	35.4	1.21E+00	0.78	0.30	0.16	7.38
S4	no Iniz	2.0	16.0	Po	18.5	19	40	264	145	119	0.90	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	17.1	32.0	6.89E-01	0.57	0.25	0.14	4.73
S4	no Iniz	2.0	16.0	Po	22.5	19	40	360	205	155	0.76	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	14.4	26.9	3.44E-01	0.45	0.21	0.11	3.02
S5	no Iniz	2.0	16.0	Po	8.80	3	35	141	68	73	1.19	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.6	6.3	9.36E-02	0.78	0.30	0.16	0.57
S5	no Iniz	2.0	16.0	Po	13.30	16	35	213	113	100	1.00	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	16.0	28.0	3.85E-01	0.65	0.27	0.15	2.55
S5	no Iniz	2.0	16.0	Po	18.00	21	35	288	160	128	0.86	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	18.0	31.6	6.02E-01	0.54	0.24	0.13	4.60
S5	no Iniz	2.0	16.0	Po	24.00	27	35	384	220	164	0.73	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	19.6	34.3	9.68E-01	0.43	0.20	0.11	8.84
S8	no Iniz	12.0	16.0	Po	19.50	24	25	312	75	237	0.55	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	13.3	19.9	2.05E-01	0.51	0.13	0.07	2.85
S8	no Iniz	12.0	16.0	Po	23.50	25	25	376	115	261	0.51	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	12.8	19.3	1.97E-01	0.44	0.12	0.07	2.88
S8	no Iniz	12.0	16.0	Po	28.00	25	25	448	160	288	0.47	60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	11.9	17.8	1.82E-01	0.39	0.12	0.07	2.76

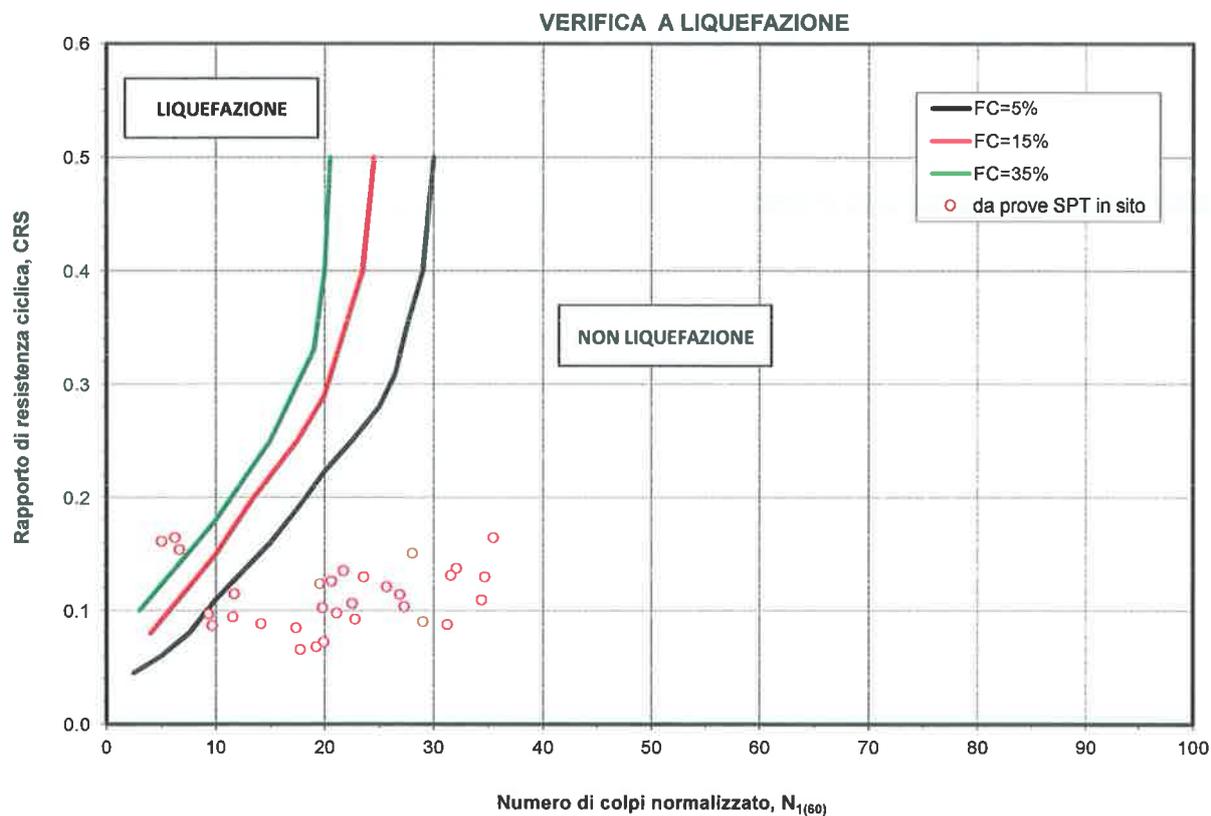


Figura 11 - Verifica a liquefazione – da 0+000 a 1+400

Dalle prove SPT risulta che alcuni valori FS < 1.0 (in verde nella tabella): si tratta di valori locali in

corrispondenza della zona iniziale della GA Casalnuovo.

Tabella 25 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S2-DH) – da 0+000 a 1+400

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vst	FC	Vst*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0,1	160	2	0	2									
2	160	32	0	32	1.3	212.7	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.192	0.073	NO LIQUEF
2	243	32	0	32	1.3	323.1	35	200	NO LIQUEF	0.98	0.192	0.073	NO LIQUEF
10	243	160	78	82	1.1	255.4	35	200	NO LIQUEF	0.91	0.345	0.131	NO LIQUEF
10	349	160	78	82	1.1	366.8	35	200	NO LIQUEF	0.91	0.345	0.131	NO LIQUEF
22	349	352	198	154	0.9	313.3	12	211.5	NO LIQUEF	0.59	0.261	0.099	NO LIQUEF
22	401	352	198	154	0.9	360.0	12	211.5	NO LIQUEF	0.59	0.261	0.099	NO LIQUEF
30	401	480	278	202	0.8	336.4	12	211.5	NO LIQUEF	0.55	0.255	0.097	NO LIQUEF

Dalle velocità delle onde di taglio da indagini sismiche Down-Hole si possono escludere problemi di liquefazione.

E' disponibile una prova CPT eseguita per la progettazione della linea AV Roma-Napoli, da cui si escludono problemi di liquefazione (vedasi figura sottostante).

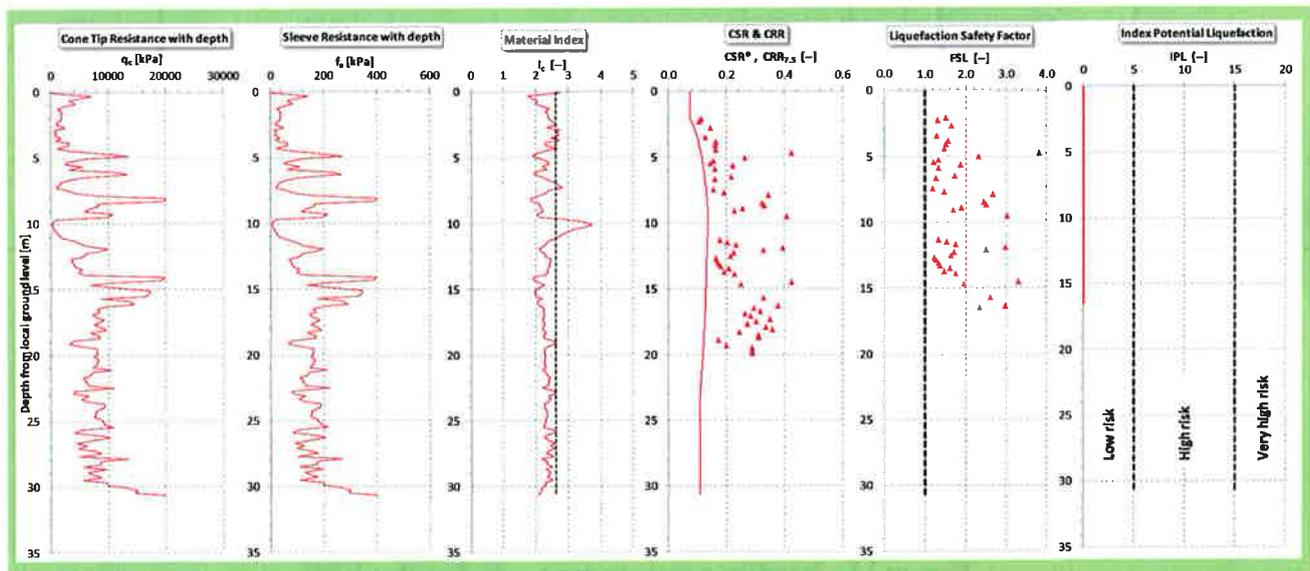


Figura 12 - Analisi di liquefazione da prova CPT – da 0+000 a 1+400

5.6.7 Tratto da pk 3+500 a VI01

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in tabella seguente.

Tabella 26 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – da 3+500 a VI01

Sond.	Opera	wl	γ	Unità	z	N _{sp}	FC	σ'_v	u	σ'_v	C _u	Er _m	C _r	C ₀	C _u	C _r	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60,cs}	CRR	r _d	CSM	(CSR) _{lim}	S	FSL
		[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
S18	tratto 2	5.0	18.0	Po	5.00	8	80	88	5	83	1.11	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.0	28.9	4.17E-01	0.88	0.18	0.10	4.12	
S19	tratto 2	6.0	18.0	Po	9.08	8	88	144	40	104	0.98	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.8	22.5	2.40E-01	0.78	0.21	0.12	2.06	
S20	tratto 2	4.3	18.0	Po	7.50	11	51	120	32	88	1.08	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.8	25.5	3.01E-01	0.82	0.22	0.12	2.48	
S28	tratto 2	4.3	18.0	Po	12.00	12	62	192	77	115	0.92	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.0	26.8	3.38E-01	0.69	0.22	0.12	2.71	
BH1	tratto 2	8.0	18.0	Po	9.50	11	75	152	15	137	0.82	60	1.0	1.0	1.0	1.0	9.0	24.8	2.85E-01	0.76	0.17	0.09	3.12	
BH2	tratto 2	8.0	18.0	Po	8.00	12	85	128	0	128	0.85	60	1.0	1.0	1.0	1.0	10.3	30.9	5.48E-01	0.81	0.16	0.09	6.26	
BH2	tratto 2	8.0	18.0	Po	10.40	14	85	188	24	142	0.80	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.2	33.6	8.45E-01	0.74	0.17	0.09	9.08	
BH3	tratto 2	8.0	18.0	Po	13.00	15	35	208	50	158	0.75	60	1.0	1.0	1.0	1.0	11.2	19.5	2.01E-01	0.66	0.17	0.09	2.13	
BH4	tratto 2	8.0	18.0	Po	1.40	10	52	22	0	22	1.84	60	1.0	1.0	1.0	1.0	18.4	40.0	4.16E+00	0.98	0.19	0.11	39.02	
BH4	tratto 2	8.0	18.0	Po	9.00	5	76	144	10	134	0.83	60	1.0	1.0	1.0	1.0	4.2	11.6	1.29E-01	0.78	0.16	0.09	1.43	
BH5	tratto 2	8.0	18.0	Po	11.00	9	57	178	30	148	0.79	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.1	16.3	1.67E-01	0.72	0.17	0.09	1.78	
BH5	tratto 2	8.0	18.0	Po	16.00	28	30	256	80	176	0.69	60	1.0	1.0	1.0	1.0	19.3	31.4	5.92E-01	0.58	0.17	0.09	6.45	

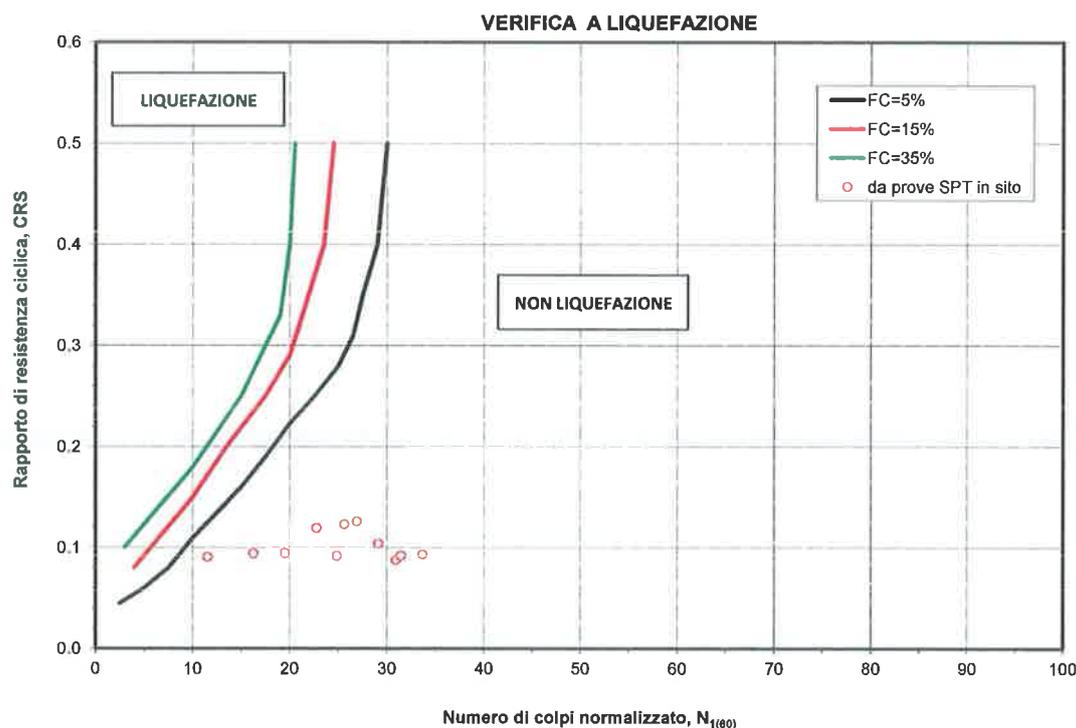


Figura 13 - Verifica a liquefazione – da 3+500 a VI01

Dalle prove SPT si possono escludere problemi di liquefazione.

Non sono state eseguite prove DH in questo tratto ma sono disponibili i risultati di prove penetrometriche statiche eseguite per il progetto della Linea AV Roma-Napoli; in particolare sono state prese a riferimento alcune prove CPT per eseguire le verifiche a liquefazione (CPT26, CPT1-Afragola, CPT33) da cui si escludono problemi di liquefazione (figure 12, 13, 14).

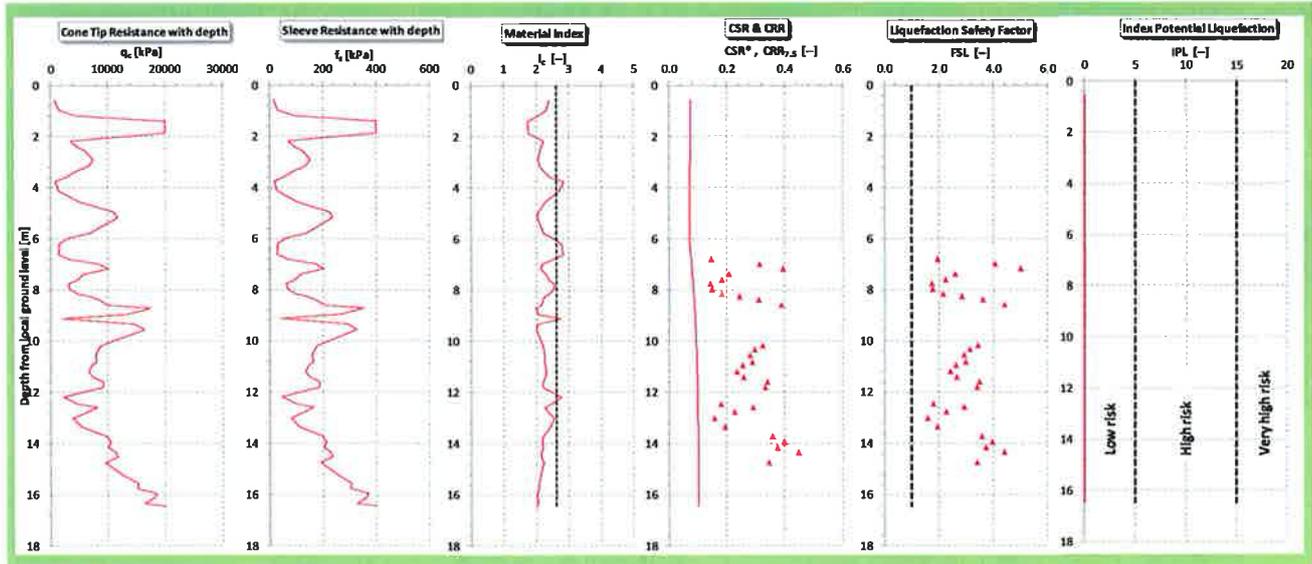


Figura 14 - Analisi di liquefazione da prova CPT (CPT26) – da 3+500 a VI01

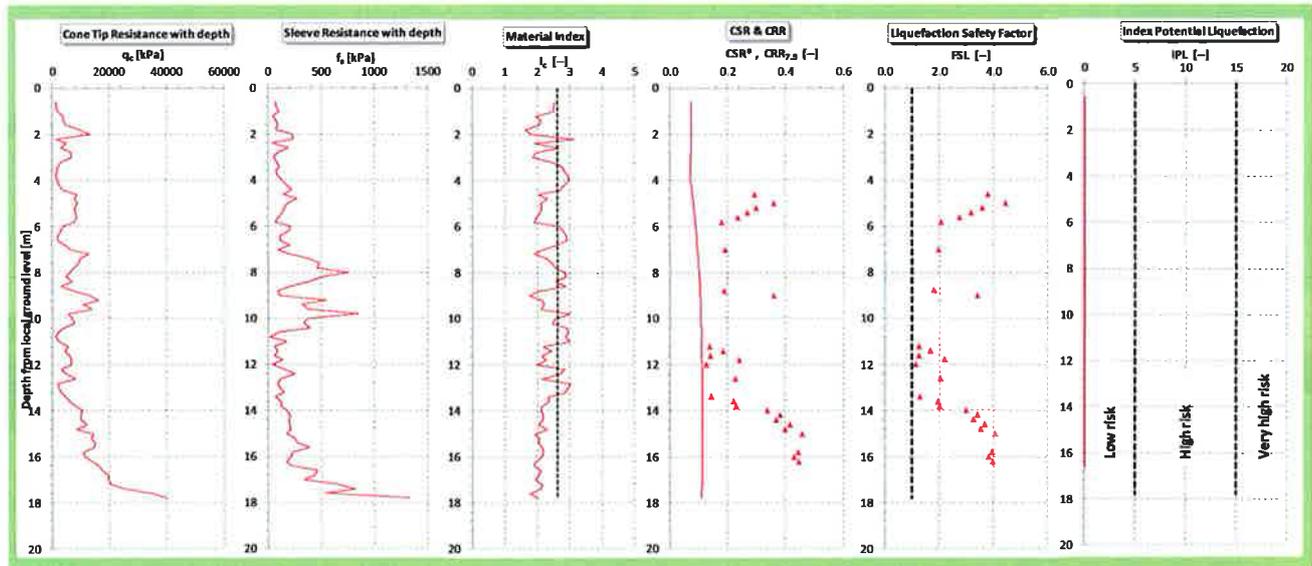


Figura 15 - Analisi di liquefazione da prova CPT (CPT1-Afragola) – da 3+500 a VI01

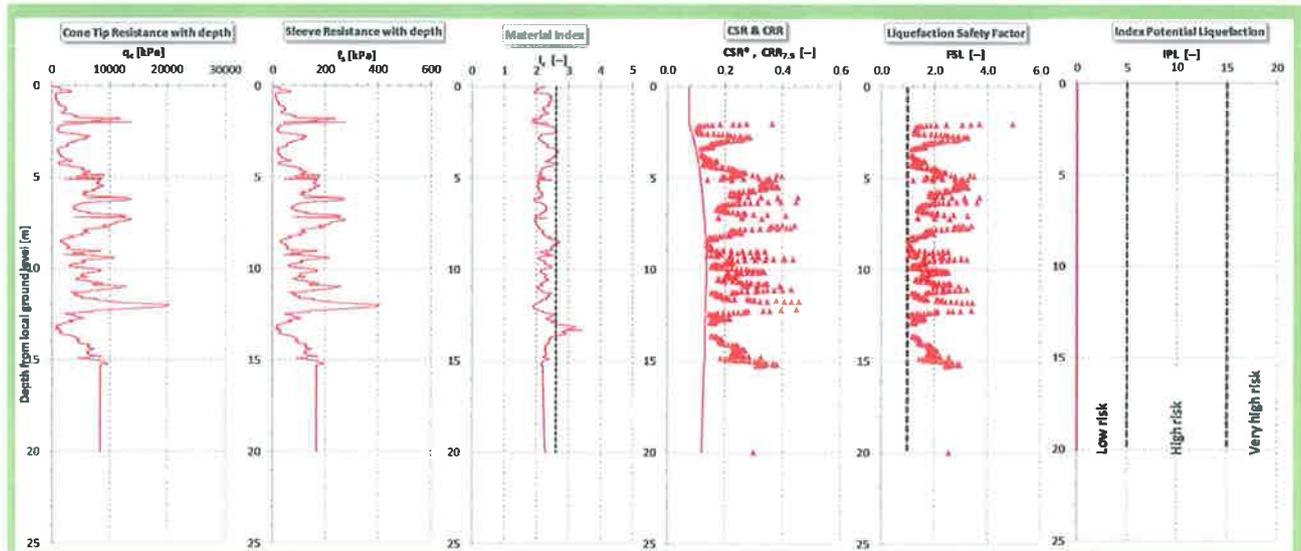


Figura 16 - Analisi di liquefazione da prova CPT (CPT33) – da 3+500 a VI01

5.6.8 Tratto in rilevato tra VI01 e VI02

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in Tabella 27, mentre quelli derivati da indagini sismiche Down-Hole sono riassunti nelle Tabella 28, Tabella 29.

Tabella 27 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – rilevato tra VI01 e VI02

Sond.	Opera	w _l	γ	Unità	z	N _{spt}	FC	σ_v	u	σ'_v	C_u	Er _m	C_c	C_n	C_n	C_n	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,cs}$	CRR	rd	CSR	$(CSR)_{60}$	FSL
		[%]	[kN/m ³]	[m]	[m]	[bl]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
S31	tratto	3.8	18.0	Po	7.30	4	35	117	35	82	1.12	60	1.0	1.0	1.0	1.0	4.5	7.8	1.04E-01	0.83	0.23	0.13	0.81
S31	tratto	3.8	18.0	Po	10.50	5	35	168	67	101	0.99	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	8.7	1.09E-01	0.73	0.24	0.13	0.83
S30	tratto	3.5	18.0	Po	8.00	12	56	128	45	83	1.11	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.3	30.3	5.07E-01	0.81	0.24	0.14	3.75
S30	tratto	3.5	18.0	Po	12.00	13	32	192	85	107	0.96	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.5	20.9	2.18E-01	0.69	0.24	0.13	1.62

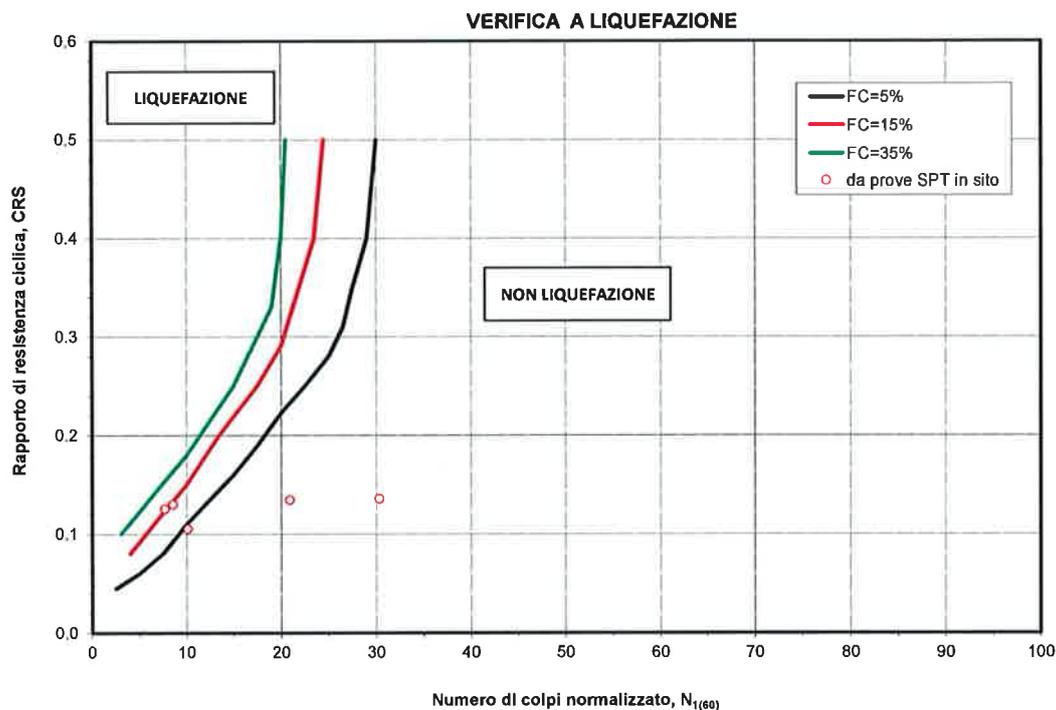


Figura 17 - Verifica a liquefazione – rilevato tra VI01 e VI02

Dalle prove SPT risulta che ci sia uno strato nel sondaggio S31 con 2 valori FS < 1.0 (in verde nella tabella) potenzialmente liquefacibile.

Tabella 28 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S30-DH) – rilevato tra VI01 e VI02

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	157	2	0	2									
4	157	64	5	59	1.1	179.1	35	200	0.191	0.97	0.205	0.078	2.45
4	260	64	5	59	1.1	296.7	32	201.5	NO LIQUEF	0.97	0.205	0.078	NO LIQUEF
11	260	176	75	101	1.0	259.4	32	201.5	NO LIQUEF	0.88	0.299	0.114	NO LIQUEF
11	401	176	75	101	1.0	400.0	35	200	NO LIQUEF	0.88	0.299	0.114	NO LIQUEF
16	401	256	125	131	0.9	374.8	35	200	NO LIQUEF	0.75	0.285	0.108	NO LIQUEF
16	618	256	125	131	0.9	577.7	18	208.5	NO LIQUEF	0.75	0.285	0.108	NO LIQUEF
30	618	480	265	215	0.8	510.4	18	208.5	NO LIQUEF	0.55	0.239	0.091	NO LIQUEF

Tabella 29 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove Down Hole (S34-DH) – rilevato tra VI01 e VI02

z	Vs	σ_v	u	σ'_v	cv	Vs1	FC	Vs1*	CRR,7.5	rd	CRS	CRS,M	FSL
m da p.c.	m/s	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m/s]	[%]	[m/s]					
0.1	174	2	0	2									
3	174	48	0	48	1.2	209.0	24	205.5	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
3	244	48	0	48	1.2	293.1	24	205.5	NO LIQUEF	0.98	0.191	0.072	NO LIQUEF
7	244	112	30	82	1.1	256.4	35	200	NO LIQUEF	0.95	0.252	0.096	NO LIQUEF
7	336	112	30	82	1.1	353.1	35	200	NO LIQUEF	0.95	0.252	0.096	NO LIQUEF
12	336	192	80	112	1.0	326.6	20	207.5	NO LIQUEF	0.85	0.285	0.108	NO LIQUEF
12	411	192	80	112	1.0	399.5	20	207.5	NO LIQUEF	0.85	0.285	0.108	NO LIQUEF
17	411	272	130	142	0.9	376.5	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.269	0.102	NO LIQUEF
17	511	272	130	142	0.9	468.1	35	200	NO LIQUEF	0.72	0.269	0.102	NO LIQUEF
30	511	480	260	220	0.8	419.6	35	200	NO LIQUEF	0.55	0.234	0.089	NO LIQUEF

Le prove Down-Hole escludono liquefazione nei sondaggi adiacenti a S31.

RELAZIONE
LIQUEFAZIONE

VALUTAZIONE

POTENZIALE

COMMESSA
IFOE

LOTTO
00

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
46 di 65

Dalla foto del sondaggio S31 si denota la presenza di uno straterello più incoerente tra 7.3 e 8.2 m (seconda prova SPT); mentre tra le profondità di 10 e 11 m non si vede il materiale carotato. Immediatamente sopra e sotto i due livelli indicati (che potrebbero essere rappresentativi dei due valori di SPT potenzialmente liquefacibili) le carote estratte sono ben compatte ad indicare elevato contenuto di fine e plasticità del materiale.



5.6.9 Tratto in rilevato tra VI02 e VI03- Verifica a liquefazione

I risultati derivanti da prove SPT in terreni potenzialmente liquefacibili sono presentati in tabella seguente.

Tabella 30 - Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT – rilevato tra VI02 e VI03

Sond.	Opera	wl	τ	Unità	z	N _{apt}	FC	σ_v	u	σ'_v	C _u	Em	C _c	C _o	C _e	C _g	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{mscs}	CRR	rd	CSR	(CSR) _{lim}	FSL
[m]	[kN/m ²]	[-]	[m]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
PNIF34R07		3.4	18.0	Po	8.00	14	53	98	25	70	1.21	60	1.0	1.0	1.0	1.0	17.0	37.4	1.94E+00	0.87	0.23	0.13	15.04
PNIF34R07		3.4	18.0	Po	9.00	28	30	144	56	88	1.08	60	1.0	1.0	1.0	1.0	30.1	49.0	2.98E+02	0.78	0.25	0.14	2158.77
S41	tratto 4	5.0	18.0	Po	6.10	7	35	98	11	87	1.09	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.6	13.3	1.42E-01	0.86	0.19	0.11	1.35
S41	tratto 4	5.0	18.0	Po	9.50	17	28	152	45	107	0.96	60	1.0	1.0	1.0	1.0	16.3	25.7	3.08E-01	0.76	0.21	0.12	2.62
S43	VI03	3.0	18.0	Po	3.70	4	35	59	7	52	1.39	60	1.0	1.0	1.0	1.0	5.6	9.7	1.16E-01	0.93	0.21	0.11	1.02
S43	VI03	3.0	18.0	Po	8.90	10	35	110	39	71	1.20	60	1.0	1.0	1.0	1.0	12.0	21.0	2.19E-01	0.84	0.25	0.14	1.56
S43	VI03	3.0	18.0	Po	10.70	23	35	171	77	94	1.04	60	1.0	1.0	1.0	1.0	23.8	41.7	7.42E+00	0.73	0.26	0.14	51.79
S42		2.7	18.0	Po	3.00	12	16	48	3	45	1.48	60	1.0	1.0	1.0	1.0	17.7	22.6	2.43E-01	0.95	0.20	0.11	2.22
S42		2.7	18.0	Po	7.50	15	46	120	48	72	1.20	60	1.0	1.0	1.0	1.0	18.0	36.4	1.50E+00	0.82	0.27	0.15	10.09
S44	VI03	3.0	18.0	Po	3.00	5	43	48	0	48	1.44	60	1.0	1.0	1.0	1.0	7.2	14.0	1.48E-01	0.95	0.18	0.10	1.45
S44	VI03	3.0	18.0	Po	8.00	11	29	96	30	66	1.25	60	1.0	1.0	1.0	1.0	13.8	22.0	2.33E-01	0.87	0.25	0.14	1.71

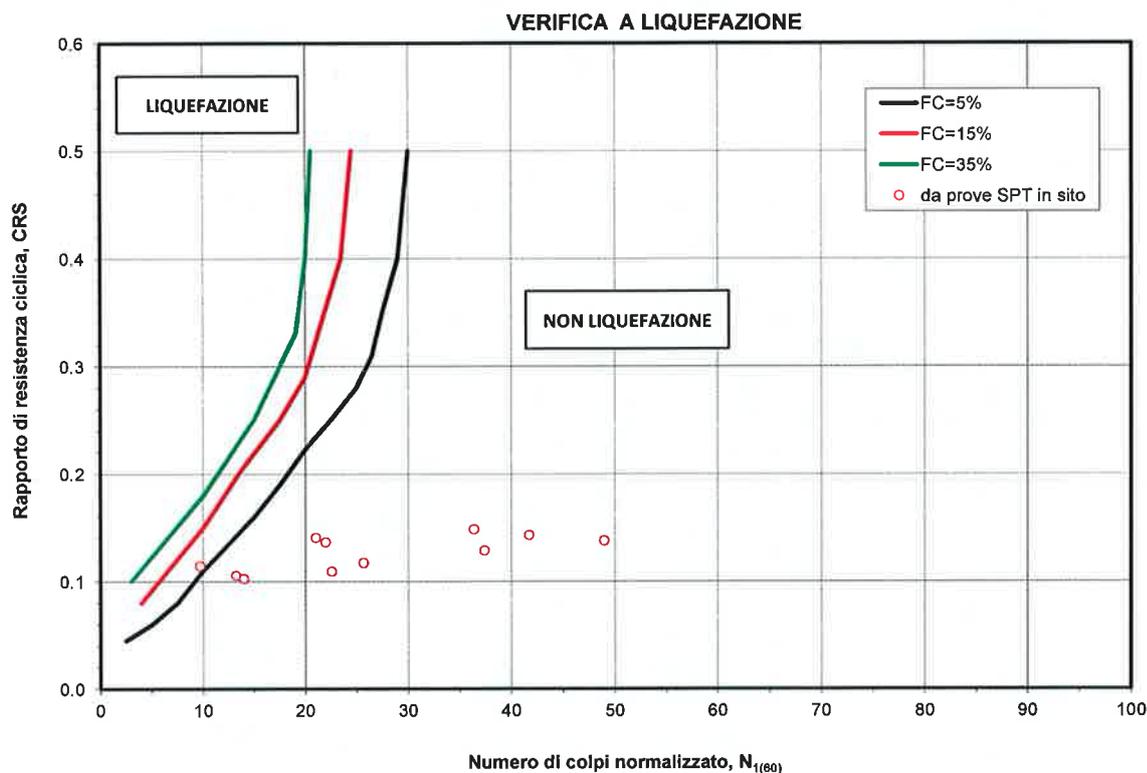


Figura 18 - Verifica a liquefazione – rilevato tra VI02 e VI03

Dalle prove SPT risulta che ci sia 1 valore FS < 1.0 (in verde nella tabella) nel sondaggio S43, di cui non si dispone del laboratorio; comunque osservando le foto dei sondaggi di S43 e di S41 (sempre campagna di fase II) si denota una certa somiglianza nel materiale con carote ben compatte ad indicare elevato contenuto di fine ed una certa plasticità del materiale. L'unica parte che manca dalla foto e su cui potrebbero esserci dubbi si tratta comunque di ridotto spessore da 2.8 a 4.0 m circa.

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 48 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------



Figura 19 - sondaggio S43 tra 0 e 5 m

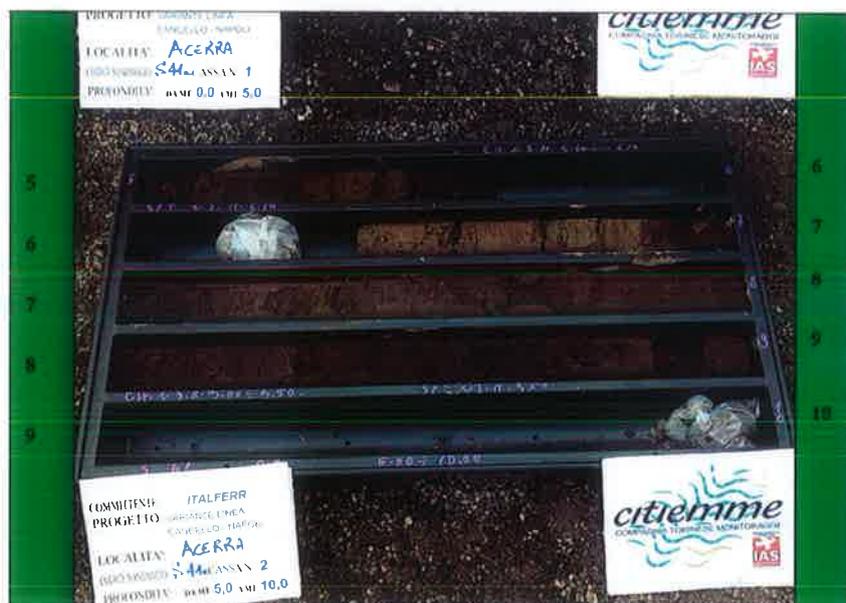


Figure 20 - sondaggio S41 tra 0 e 5 m

5.7 SINTESI RISULTATI

I risultati delle analisi di liquefazione precedentemente illustrate sono sintetizzati sul profilo geotecnico rappresentato negli elaborati grafici, dove si ipotizza il presunto andamento degli strati suscettibili di liquefazione (evidenziati in puntinato fucsia).

Gli strati in cui è evidenziato possibile rischio di liquefazione sono quelli caratterizzati da valori del fattore di sicurezza a liquefazione FLS inferiore all'unità e per cui è stato necessario valutare la possibile interferenza con le opere in progetto.

Nel caso dei livelli potenzialmente liquefacibili intercettati in corrispondenza dei viadotti, il problema potrebbe eventualmente interessare il dimensionamento dei pali.

Per il VI01, in corrispondenza di alcune fondazioni (Spalla S1, Pile da P1 a P12, da P37 a P41) sono stati rilevati livelli potenzialmente liquefacibili all'interno dei terreni piroclastici rimaneggiati e recenti (unità DI) e Po di spessore da 0.5 a 1.7 m ricchi in pomici, poveri di matrice fine, caratterizzati da valori di SPT molto bassi. Questi livelli interessano i pali per uno spessore da 2-3 m da testa palo fino ad un massimo di 5 m circa da testa palo (quindi 7 m da p.c.).

Per il viadotto VI02, in corrispondenza di alcune fondazioni (aa Pila P9 a P27) sono stati rilevati livelli potenzialmente liquefacibili all'interno dei terreni piroclastici rimaneggiati e recenti (unità DI) e Po di spessore da 0.5 a 2 m ricchi in pomici, poveri di matrice fine, caratterizzati da valori di SPT molto bassi. Questi livelli interessano i pali per uno spessore da 1.5-2.0 m da testa palo fino ad un massimo di 5 m circa da testa palo (quindi 7 m da p.c.).

Per il viadotto VI03, in corrispondenza di alcune fondazioni (da Pila P1 a P20, spalla S2) sono stati rilevati livelli di terreni sabbiosi piroclastici, potenzialmente liquefacibili, che interessano i pali fino ad una profondità massima di 7 m circa da p.c. locale.

Per il viadotto VI04, in corrispondenza di alcune fondazioni (Pile P4, P5, P6) è stato rilevato un livello di terreni sabbiosi piroclastici, ricchi in pomici, potenzialmente liquefacibili con spessore 0.5 m, che interessa i pali per spessore da poco sotto la testa palo fino ad una profondità massima, assunta cautelativamente nei calcoli a 5 m dal p.c. locale.

Nella parte iniziale della galleria artificiale sono segnalati alcuni livelli potenzialmente liquefacibili con spessori di 1-2 m, a profondità da 2 m, 7 m da p.c. (sondaggi S2, S4, S); in relazione alle opere previste in questa zona, al ridotto spessore dei livelli ed alla profondità a cui sono posti, si escludono in questo caso problematiche di interferenza con le opere in progetto.

Nel sondaggio S31 sono evidenziati due livelli di terreno potenzialmente liquefacibile di spessore 1 m a profondità maggiore di 7.5 m e 9.0 m dal p.c.. In questa zona il tracciato è in rilevato con altezza di 4.5 m.

Nel sondaggio S51 è evidenziato un livello di terreno potenzialmente liquefacibile di spessore 1 m a profondità di 7.0 m dal p.c.. In questa zona il tracciato è in rilevato con altezza di 5 m.

Nella parte finale del tracciato, i sondaggi S56, S57, S59, S61, S62 hanno evidenziato uno spessore di 1.5-2 m, abbastanza superficiale di terreno potenzialmente liquefacibile; In questa zona il tracciato è in rilevato con altezza che raggiunge anche i 9 m.

Gli eventuali impatti dovuti al potenziale rischio di liquefazione, in termini di stabilità dei rilevati, cedimenti dei rilevati ed interferenze sui pali, sono discussi nel successivo capitolo 6 e sintetizzati nella fincatura presente in basso in ciascuna tavola del profilo stratigrafico longitudinale.

			LINEA NAPOLI - BARI PROGETTO DEFINITIVO VARIANTE LINEA CANCELLO – NAPOLI VI03					
RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 50 di 65

6 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.

In merito al rischio di perdita di stabilità del corpo del rilevato, con particolare riferimento ai sondaggi S31 e S51, si può escludere tale rischio, in relazione alla profondità degli strati suscettibili di liquefazione, oltre i 7 m da p.c., ed allo spessore di tali strati (livelletti metrici). Comunque nel seguito si riporta la verifica di stabilità post-liquefazione eseguita per il rilevato di massima altezza in queste zone (5 m). Da cui si evince che, le ipotetiche superfici di scorrimento non arrivano ad interessare quegli straterelli.

Per quanto riguarda il tratto di rilevato ferroviario tra le progressive chilometriche 14+700 e 15+300, gli spessori di terreno potenzialmente liquefacibili sono abbastanza superficiali, inoltre in questa zona i rilevati hanno altezze rilevanti (superiori ai 6 m), quindi al fine di garantire la stabilità del corpo dei rilevati, si prevede un intervento di consolidamento.

6.1 VERIFICHE DI STABILITA' IN CASO DI LIQUEFAZIONE

Sulla base di quanto emerso dalle analisi di liquefazione, alla luce delle caratteristiche del tratto di linea di interesse è stata condotta la verifica della stabilità del rilevato ferroviario di altezza 5 m con le caratteristiche stratigrafiche delle zone in corrispondenza dei sondaggi S31 e S51.

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_{cINcs} e resistenza residua S_r proposta da Idriss e Boulanger (2008) e considerando, valori di q_{cINcs} tipicamente compresi tra 75 e 100, si ipotizza che a seguito della liquefazione i terreni in esame siano caratterizzati da valori di $S_r = 0.10 \sigma'v$.

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 PCSTASBL5M 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.

$\gamma_\phi = 1.25$ 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:

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

$c'_k = c'_k / \gamma_{c'}$ 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: carico permanente+accidentale pari a 47 kPa ($\gamma_F = 1.25$, Tabella 5.2.V NTC 2008).

Per il terreno di fondazione del rilevato sono stati considerati i parametri minimi di resistenza del range individuato per le unità DI e Po ($c' = 0$ kPa e $\phi' = 33^\circ$), al fine di rendere abbastanza generiche dal punto di vista stratigrafico, le verifiche di stabilità eseguite.

Nella seguente figura è mostrato il risultato delle analisi di stabilità eseguite con raffigurate le superfici di scorrimento con fattore di sicurezza minimo ($FS_{min}=1.12 > 1.1$, verifiche soddisfatte); come si vede dalla figura le ipotetiche superfici di scorrimento non arrivano ad interessare gli strati potenzialmente liquefacibili. Quindi per questi tratti, in corrispondenza dei sondaggi S31 e S1, si escludono problemi di instabilità sui rilevati.

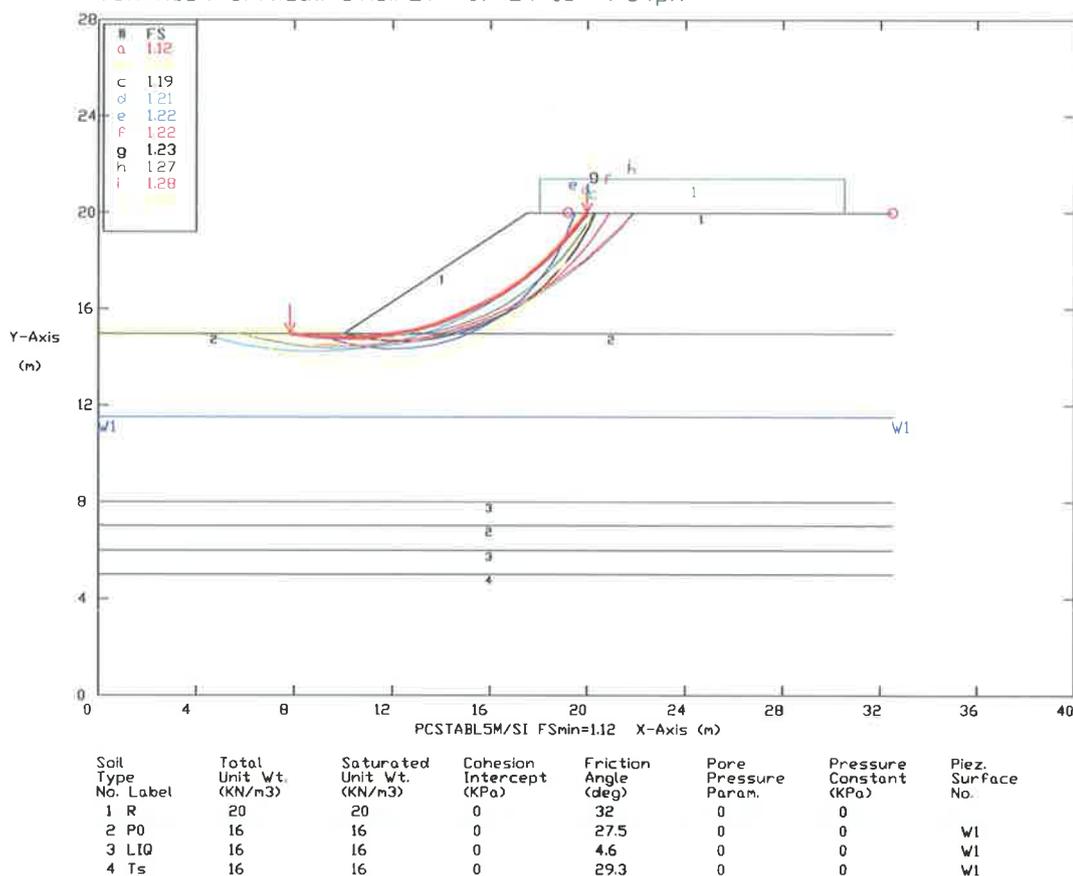
LINEA NAPOLI CANCELLO rilevato H5m Analisi stabilit? SLU post liquefazione
 Ten Most Critical. C:H5.PLT 07-24-15 7:54pm


Figura 21 – Verifica di stabilità rilevato ferroviario H= 5 m – post liquefazione

6.2 STIMA DEI CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE

Sulla base dei risultati delle prove eseguite in sito (SPT, 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 nel seguito si farà riferimento a due metodi per la stima di tali cedimenti:

- Metodo proposto da Idriss and Boulanger (2008) a partire dai dati di prove SPT o CPT;
- metodo proposto da Tokimatsu e Seed (1987) sulla base dei risultati delle prove SPT.

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:

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

Metodo proposto da Tokimatsu e Seed (1987)

Lo sforzo volumetrico (ε_c) in percentuale dopo l'inizio della liquefazione viene stimato dalla seguente figura dopo aver precedentemente valutato i valori di $(N_1)_{60}$ e CSR (τ_{av}/σ'_{vo})_{7.5}, con le stesse relazioni indicate ai precedenti paragrafi.

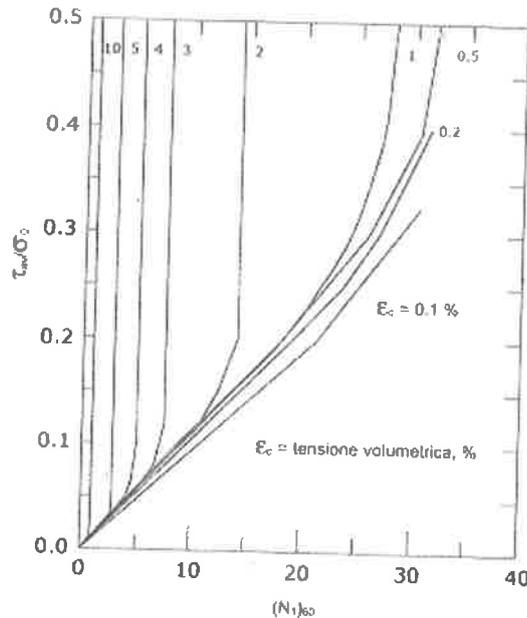


Figura 22 – correlazione di Tokimatsu e Seed (1987)

In entrambe le metodologie, i cedimenti post-liquefazione sono dati dall'integrazione lungo la verticale considerata delle deformazioni verticali ε_v calcolate con le relazioni sopra esposte:

$$ced_{,tot} = \sum_{j=1}^n (\varepsilon_c / 100) \cdot h_j \quad (\text{cm})$$

Dove: h_j è lo spessore di ciascuno degli strati potenzialmente liquefacibili in metri.

Nel caso particolare sono state utilizzate le correlazioni relative alla prova SPT, in quanto le prove CPT che sono state recuperate dalle indagini pregresse della linea A.V. Roma-Napoli, sono ubicate nella parte iniziale del tracciato, lontano dalle zone, dove è stato evidenziato possibile rischio di liquefazione.

I cedimenti post-liquefazione sono dati dall'integrazione lungo la verticale considerata delle deformazioni verticali ε_v calcolate con le relazioni sopra esposte; in generale la metodologia di Idriss e Boulanger ha fornito una stima più cautelativa dei cedimenti, comunque tra i due metodi le differenze sono minime.

Nelle seguenti tabelle sono presentati i risultati delle stime dei cedimenti post liquefazione per le zone in corrispondenza dei sondaggi S31 e S51.

RELAZIONE
LIQUEFAZIONE

VALUTAZIONE

POTENZIALE

COMMESSA
IFOE

LOTTO
00

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
55 di 65

Stratigrafia **S31**
Falda: **3.8** m

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	Tokimatsu e Seed, 1987					Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008														
							$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	ec	ced	FL	γ_{lim}	F_a	γ_{max}	ec	ced						
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	7.3	0.8	16	117	35	82	4.5	7.8	0.8	1.8	0.23	0.13	3	2.4	0.81	0.60	0.94	-0.02	3.3	2.6						
2	10.5	1.0	16	168	67	101	5.0	8.7	0.7	1.8	0.24	0.13	3	3.0	0.83	0.55	0.94	-0.02	3.0	3.0						

dtot= 5.4 cm

dtot= 5.6 cm

Stratigrafia **S51**
Falda: **3.6** m

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	Tokimatsu e Seed, 1987					Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008															
							$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	ec	ced	FL	γ_{lim}	F_a	γ_{max}	ec	ced							
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
1	5.0	0.5	16	80	14	66	6.3	10.9	0.9	1.8	0.21	0.12	0.1	0.1	1.06	0.43	0.89	0.02	0.1	0.1							
2	9.0	1.1	16	144	54	90	3.2	5.6	0.8	1.8	0.24	0.14	3.8	4.2	0.66	0.79	0.94	-0.01	5.0	5.5							

dtot= 4.2 cm

dtot= 5.6 cm

Per quanto riguarda l'analisi dei cedimenti post liquefazione in corrispondenza dei viadotti finalizzata alla valutazione dell'interazione palo-terreno (attrito negativo), è stata svolta cautelativamente considerando nell'ambito dello spessore medio di strato potenzialmente liquefacibile lungo il viadotto i valori di SPT delle varie verticali di indagine (se presenti più valori alla stessa profondità, sono stati presi i valori minimi di $(N_1)_{60}$).

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i risultati ottenuti per i viadotti; i valori di cedimento stimato post-liquefazione sono piuttosto alti, ma ricordiamo che sono sicuramente una stima molto cautelativa ed è comunque finalizzata alla sola valutazione d'interazione palo-terreno. Il valore di cedimento massimo stimato è a p.c. ed avrà andamento lineare, decrescente con la profondità, fino ad annullarsi al piede dello strato potenzialmente liquefacibile.

Nella figura seguente si riporta sinteticamente l'andamento valutato per uno dei viadotti esaminati.

Stratigrafia **VI01**
Falda: **3.5** m

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	Tokimatsu e Seed, 1987					Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008														
							$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	ec	ced	FL	γ_{lim}	F_a	γ_{max}	ec	ced						
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	4.5	4.5	16	72	10	62	3.9	6.8	0.9	1.8	0.20	0.11	3.3	14.9	0.95	0.68	0.95	0.68	4.58	20.6						
2	6.4	1.9	16	102	29	73	8.6	14.2	0.9	1.8	0.25	0.14	1.8	3.4	1.03	0.30	0.79	0.03	1.11	2.1						
3	6.8	0.4	16	109	33	76	2.3	3.9	0.8	1.8	0.22	0.12	5	2.0	0.89	0.98	0.89	0.98	5.79	2.3						
4	7.8	1.0	16	125	43	82	5.6	11.5	0.8	1.8	0.24	0.13	2	2.0	1.89	0.40	0.88	0.00	0.02	0.0						

dtot= 22.3 cm

dtot= 25.1 cm

Stratigrafia **VI02**
Falda: **3.8** m

Prova SPT	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	Tokimatsu e Seed, 1987					Yoshimine et al. 2006; Idriss and Boulanger, 2008														
							$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	ec	ced	FL	γ_{lim}	F_a	γ_{max}	ec	ced						
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	4.5	4.5	16	72	7	65	4.2	7.4	0.9	1.8	0.19	0.11	3	13.5	0.95	0.63	0.95	0.63	4.40	19.8						
2	6.0	1.5	16	96	22	74	4.6	8.4	0.9	1.8	0.19	0.11	2.9	4.4	1.03	0.56	0.94	0.02	1.17	1.7						
3	7.5	1.5	16	120	37	83	5.6	9.8	0.8	1.8	0.23	0.13	2.5	3.8	0.89	0.48	0.92	-0.11	3.78	5.7						

dtot= 21.6 cm

dtot= 27.2 cm

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 56 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Stratigrafia VI03
Folde: 2.7 m

Prova SP ¹	Prof.	spess	γ	σ_v	u	σ'_v	Tokimatsu e Seed, 1987						Yoshimine et al, 2006; Idriss and Boulanger, 2008												
							$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	rd	MSF	CSR	$(CSR)_M$	ec	ced	FL	γ_{lim}	F _α	γ_{max}	ec	ced					
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	3.0	3.0	16	48	3	45	5.8	7.2	1.0	1.8	0.18	0.10	4	12.0	0.97	0.65	0.95	0.08	4.46	13.4					
2	4.4	1.4	16	70	17	53	5.5	9.6	0.9	1.8	0.23	0.13	4	5.6	0.89	0.49	0.92	-0.10	3.83	5.4					
3	6.0	1.6	16	96	33	63	4.4	8.1	0.9	1.8	0.25	0.14	5	8.0	0.59	0.59	0.94	-0.01	4.20	6.7					
4	7.0	1.0	16	112	43	69	7.0	12.5	0.9	1.8	0.22	0.12	2	2.0	1.14	0.36	0.85	0.02	0.64	0.6					

dtot= 27.6 cm

dtot= 26.1 cm

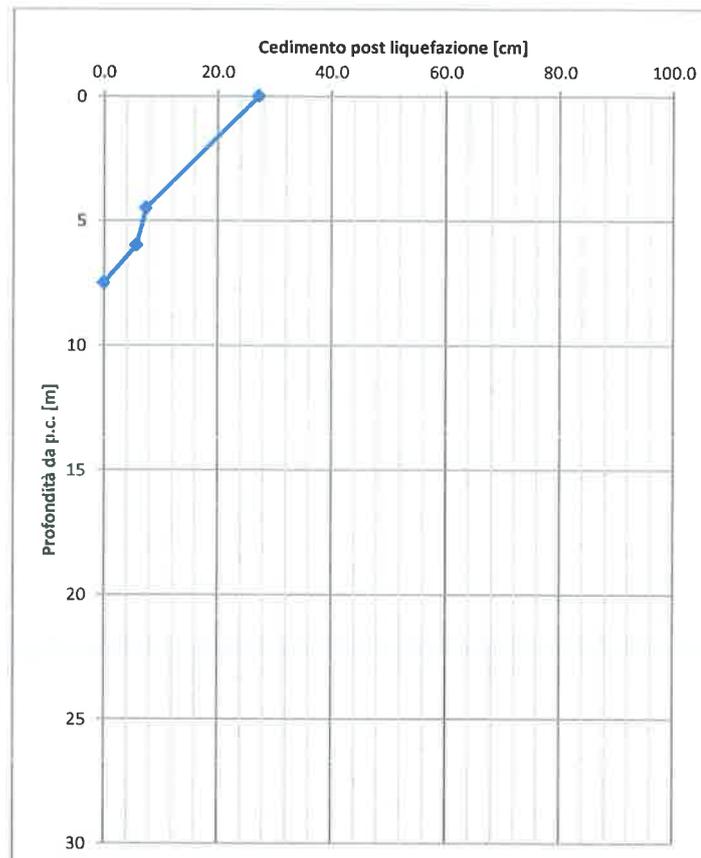


Figura 23 – Cedimento stimato post-liquefazione - VI02

6.3 INFLUENZA DELLA LIQUEFAZIONE SUI PALI DI FONDAZIONE

Gli strati potenzialmente liquefacibili intercettati lungo lo sviluppo dei viadotti, sono abbastanza superficiali, comunque contenuti entro i 7 m dal p.c. e quindi sicuramente non indurranno perdite di resistenza alla base dei pali. Pertanto, le 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.

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 nello strato liquefacibile;
- Valutazione del momento adimensionale lungo il palo e del parametro alfa (per rapporto momento / taglio), considerando un abbattimento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno nello strato liquefacibile; nel caso particolare di strato liquefacibile posto ad almeno 2 m da testa palo, si considera un abbattimento di almeno un quarto del modulo di reazione, nel caso di testa palo nello strato liquefacibile, il modulo di reazione viene considerato nullo nello strato potenzialmente liquefacibile.
- Valutazione dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo (dato dal terreno nello strato potenzialmente liquefacibile e del terreno sovrastante fino a testa palo) 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.

In particolare per i viadotti in esame, sulla base delle analisi di liquefazione riportate nei precedenti paragrafi, nel dimensionamento delle fondazioni in presenza di terreni potenzialmente liquefacibili, è stato valutato cautelativamente uno spessore medio di 7 m da p.c. del terreno liquefacibile per i viadotti Vi01, VI02, VI03 e di 5 m da p.c. per il VI04.

In questo strato è stata annullata la portata laterale del palo ed è stato abbattuto il valore del modulo di reazione orizzontale per la valutazione del momento lungo il palo.

Nella seguente tabella sono riepilogate le palificate di fondazione per cui è necessario tener conto del possibile rischio di liquefazione.

VI01	Spalla S1+Pila da P1 a P12, da P37 a P41
VI02	Da Pila P9 a P27
VI03	Da Pila P1 a P20+spalla S2
VI04	Pila P4, P5, P6

7 INTERVENTI DI MITIGAZIONE

7.1 SCOPO E ENTITA' DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Per quanto riguarda il tratto di rilevato ferroviario tra le progressive chilometriche 14+700 e 15+300, 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, almeno nello strato più "superficiale" (fino a 6 m di profondità), al fine di scongiurare l'eventuale perdita di stabilità del corpo del rilevato. Oltre al rischio concreto di danni diretti ai convogli in circolazione, quasi sicuramente la perdita di stabilità del rilevato ferroviario comporterebbe una interruzione dell'esercizio prolungata, presumibilmente non compatibile con le esigenze del servizio.

Un intervento atto a mitigare il rischio di liquefazione nello strato più "superficiale" (fino a circa 6 m di profondità), permetterebbe inoltre di limitare in modo significativo i cedimenti post-liquefazione entro valori tutto sommato "gestibili". Si ritiene infatti non essenziale e antieconomico trattare strati localizzati di spessore modesto a grande profondità in quanto il rischio residuo è sostanzialmente quello di cedimenti post-sismici dell'ordine di pochi centimetri. Tale eventualità è più utilmente affrontata predisponendo una idonea procedura di ispezione e pronto intervento che permetta di ripristinare in un tempo relativamente breve (dell'ordine di alcuni giorni) una geometria di binario accettabile nel caso di soli cedimenti verticali senza perdita di stabilità.

7.2 TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO

I livelli di terreno potenzialmente suscettibile di liquefazione e quindi da trattare sono superficiali, ben individuabili e di spessore generalmente limitato (1.5-2 m).

Per il trattamento dello strato liquefacibile si prevede in linea generale la realizzazione delle colonne di ghiaia 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 diametro 800 mm, interasse 2.5 m e lunghezza 6 m.

Per il tratto dove il rilevato in progetto è in ampliamento rispetto all'esistente, si prevede di realizzare sotto l'ingombro del rilevati esistenti colonne jet grouting e colonne in ghiaia nell'ingombro del nuovo rilevato.

8 APPENDICE A. ANALISI DI STABILITA'. TABULATI DI CALCOLO PCSTABL

8.1 ANALISI STABILITÀ RILEVATO FERROVIARIO H=5 M

** PCSTABL5M **

by
Purdue University

1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

Run Date: 07-24-15
Time of Run: 7:54pm
Run By:
Input Data Filename: C:H5.SI
Output Filename: C:H5.OUT
Unit: SI
Plotted Output Filename: C:H5.PLT

PROBLEM DESCRIPTION LINEA NAPOLI CANCELLO rilevato H5m
Analisi stabilit... SLU post liquefazione

BOUNDARY COORDINATES
3 Top Boundaries
8 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	.00	15.00	10.00	15.00	2
2	10.00	15.00	17.50	20.00	1
3	17.50	20.00	32.50	20.00	1
4	10.00	15.00	32.50	15.00	2
5	.00	8.00	32.50	8.00	3
6	.00	7.00	32.50	7.00	2
7	.00	6.00	32.50	6.00	3
8	.00	5.00	32.50	5.00	4

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

4 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1	20.0	20.0	.0	32.0	.00	.0	0
2	16.0	16.0	.0	27.5	.00	.0	1
3	16.0	16.0	.0	4.6	.00	.0	1
4	16.0	16.0	.0	29.3	.00	.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	.00	11.50

RELAZIONE
LIQUEFAZIONE

VALUTAZIONE

POTENZIALE

COMMESSA
IFOE

LOTTO
00

CODIFICA
D 78

DOCUMENTO
RH GE0005 002

REV.
A

FOGLIO
61 di 65

Slice No.	Width (m)	Weight (N)	Force				Force		Surcharge Load (N)
			Top (N)	Bot (N)	Norm (N)	Tan (N)	Hor (N)	Ver (N)	
1	1.0	354.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2	1.0	872.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
3	.2	201.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
4	.8	2093.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
5	1.0	5942.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
6	.5	4102.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
7	.5	5003.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
8	1.0	11449.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
9	.9	13029.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
10	.9	13866.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
11	.9	13985.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
12	.8	13439.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
13	.2	3514.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
14	.5	7404.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
15	.1	760.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	811.9
16	.7	8023.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	10298.3
17	.7	4444.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	9434.0
18	.5	1201.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	7724.8

Failure Surface Specified By 18 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	5.73	15.00
2	6.70	14.77
3	7.69	14.61
4	8.69	14.53
5	9.69	14.53
6	10.69	14.60
7	11.68	14.75
8	12.65	14.97
9	13.61	15.27
10	14.54	15.63
11	15.43	16.07
12	16.30	16.58
13	17.12	17.15
14	17.90	17.78
15	18.62	18.46
16	19.29	19.21
17	19.91	20.00
18	19.91	20.00

Circle Center At X = 9.2 ; Y = 27.6 and Radius, 13.1

*** 1.144 ***

1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	9.90	15.00
2	10.89	14.87
3	11.89	14.84
4	12.89	14.92
5	13.87	15.09
6	14.83	15.37
7	15.76	15.74
8	16.65	16.21
9	17.48	16.77
10	18.25	17.40
11	18.95	18.12



LINEA NAPOLI - BARI
 PROGETTO DEFINITIVO
 VARIANTE LINEA CANCELLO - NAPOLI
 VI03

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 62 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

12 19.58 18.90
 13 20.12 19.74
 14 20.25 20.00
 Circle Center At X = 11.7 ; Y = 24.6 and Radius, 9.7

*** 1.186 ***

Failure Surface Specified By 19 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	4.17	15.00
2	5.12	14.70
3	6.10	14.47
4	7.08	14.31
5	8.08	14.22
6	9.08	14.21
7	10.08	14.27
8	11.07	14.40
9	12.05	14.60
10	13.01	14.87
11	13.95	15.21
12	14.86	15.62
13	15.74	16.09
14	16.59	16.63
15	17.39	17.22
16	18.15	17.88
17	18.86	18.58
18	19.51	19.34
19	20.01	20.00

Circle Center At X = 8.8 ; Y = 28.0 and Radius, 13.8

*** 1.214 ***

1

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	8.86	15.00
2	9.79	14.65
3	10.77	14.42
4	11.76	14.33
5	12.76	14.36
6	13.75	14.52
7	14.71	14.80
8	15.62	15.21
9	16.48	15.73
10	17.25	16.36
11	17.94	17.08
12	18.54	17.89
13	19.02	18.77
14	19.39	19.70
15	19.46	20.00

Circle Center At X = 12.0 ; Y = 22.1 and Radius, 7.7

*** 1.221 ***

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
-----------	------------	------------

RELAZIONE VALUTAZIONE POTENZIALE
LIQUEFAZIONE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IFOE 00 D 78 RH GE0005 002 A 63 di 65

1	9.38	15.00
2	10.36	14.80
3	11.35	14.69
4	12.35	14.68
5	13.35	14.77
6	14.33	14.96
7	15.29	15.24
8	16.22	15.61
9	17.10	16.08
10	17.94	16.63
11	18.72	17.25
12	19.43	17.95
13	20.08	18.72
14	20.64	19.55
15	20.89	20.00

Circle Center At X = 11.9 ; Y = 24.9 and Radius, 10.2

*** 1.222 ***

1 Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	9.90	15.00
2	10.87	14.77
3	11.87	14.66
4	12.87	14.66
5	13.86	14.78
6	14.83	15.01
7	15.77	15.36
8	16.67	15.81
9	17.50	16.36
10	18.27	17.00
11	18.95	17.73
12	19.55	18.53
13	20.05	19.40
14	20.31	20.00

Circle Center At X = 12.3 ; Y = 23.2 and Radius, 8.6

*** 1.229 ***

Failure Surface Specified By 19 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	5.73	15.00
2	6.70	14.75
3	7.68	14.56
4	8.67	14.44
5	9.67	14.38
6	10.67	14.39
7	11.67	14.46
8	12.66	14.60
9	13.64	14.80
10	14.60	15.07
11	15.55	15.40
12	16.47	15.79
13	17.36	16.24
14	18.22	16.75
15	19.05	17.31
16	19.84	17.93

RELAZIONE LIQUEFAZIONE	VALUTAZIONE	POTENZIALE	COMMESSA IFOE	LOTTO 00	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RH GE0005 002	REV. A	FOGLIO 64 di 65
---------------------------	-------------	------------	------------------	-------------	------------------	----------------------------	-----------	--------------------

17 20.58 18.59
18 21.28 19.31
19 21.88 20.00
Circle Center At X = 10.1 ; Y = 29.6 and Radius, 15.3

*** 1.274 ***

1

Failure Surface Specified By 19 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	5.73	15.00
2	6.70	14.77
3	7.69	14.60
4	8.68	14.49
5	9.68	14.45
6	10.68	14.47
7	11.68	14.55
8	12.67	14.69
9	13.65	14.90
10	14.61	15.17
11	15.55	15.50
12	16.48	15.89
13	17.37	16.33
14	18.24	16.84
15	19.07	17.39
16	19.86	18.00
17	20.62	18.65
18	21.33	19.36
19	21.91	20.00

Circle Center At X = 9.9 ; Y = 30.3 and Radius, 15.8

*** 1.277 ***

Failure Surface Specified By 19 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	5.73	15.00
2	6.61	14.53
3	7.54	14.15
4	8.50	13.86
5	9.48	13.67
6	10.48	13.59
7	11.48	13.60
8	12.47	13.71
9	13.45	13.92
10	14.40	14.22
11	15.31	14.63
12	16.19	15.12
13	17.00	15.69
14	17.76	16.34
15	18.45	17.07
16	19.06	17.86
17	19.59	18.71
18	20.03	19.61
19	20.17	20.00

Circle Center At X = 10.9 ; Y = 23.6 and Radius, 10.0

*** 1.281 ***

