

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**LINEA LAMEZIA T. - CATANZARO L.**

**U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**GEOTECNICA**

**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE**

SCALA:

-

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

RC0Y 00 R 10 RH GE0006 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva							
B	Emissione definitiva	S. Corti	Mar. 2021	A. Ciavarella	Mar. 2021	I. D'Amore	Mar. 2021	
C	Emissione per istruttoria RFI	S. Paoloni	Ott. 2021	L. Giannini	Ott. 2021	I. D'Amore	Ott. 2021	

File: RC0Y00R10RHGE0006001C

n. Elab.:

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE.....	5
2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	6
2.3 BIBLIOGRAFIA.....	7
3. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	11
4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE.....	12
4.1 PREMESSA.....	12
4.2 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	13
4.3 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO.....	14
4.4 ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO.....	15
4.5 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	19
5. ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	21
5.1 GENERALITÀ.....	21
5.2 CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DA VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	22
5.3 METODO DI ANALISI.....	25
5.3.1 CRR da correlazioni su prove SPT.....	26
5.3.2 Calcolo del fattore di sicurezza.....	29
5.3.3 Indice di potenziale di liquefazione.....	29
5.4 SINTESI DEL RISULTATO DELLE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE.....	31

## 1. INTRODUZIONE

Il presente Progetto di Fattibilità Tecnico Economica ha come oggetto la velocizzazione della tratta Lamezia Terme – Settingiano mediante rettifiche di tracciato.

Il collegamento Lamezia Terme – Settingiano ha uno sviluppo complessivo pari a circa 29 km, mentre gli interventi di velocizzazione (oggetto del presente PFTE) sono limitati a tre segmenti compresi tra le progressive chilometriche 10+000 – 13+000, 19+000 - 24+0000 e 27+000 – 29+000.

Nei suddetti segmenti la velocizzazione della tratta è ottenuta o prevedendo varianti plano-altimetriche di tracciato o per mezzo di sole modifiche della sopraelevazione. Nella tabella seguente è indicato, per ogni tratta di intervento, il nome della variante di progetto e il numero della curva della linea storica (LS) interessata dalla variante:

VELOCIZZAZIONE TRAMITE AUMENTO DELLA SOPRAELEVAZIONE				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva LS	Pk LS inizio - fine	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
km 10+000 - 13+000	VARIANTE 10	CURVA 7	10+096 - 10+490	80/90
		CURVA8	10+825 - 11+425	
		CURVA9	11+455 – 11+740	
		CURVA 10	12+137 – 12+843	
VELOCIZZAZIONE TRAMITE VARIANTI DI TRACCIATO				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva compresa nell'intervento	Sviluppo intervento (m)	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
Km 19+000-24+000	VARIANTE 5	CURVA 20a e 20b	19+888 - 20+068 / 20+156-20+237	30 / 110-140
	VARIANTE 6	CURVA21	21+922 - 22+201	80 / 140
	VARIANTE 7	CURVE 22, 23 e 24	22+894 - 23+802	80 / 140
Km 27+000-29+000	VARIANTE 8	CURVA 27	27+139 - 27+291	80 / 140
	VARIANTE 9	CURVE 28 e 29		80 / 140

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 4 di 47

Gli interventi di velocizzazione operati con le modifiche di tracciato di cui alla Tabella precedente hanno compreso, la valutazione della sicurezza della linea sia dal punto di vista idraulica, sia geotecnico e sia strutturale. Nelle tre tratte di progetto sono previsti infatti sia interventi volti ad assicurare la sicurezza della sede ferroviaria rispetto agli incrementi delle sollecitazioni conseguenti alla velocizzazione o a fenomeni di dissesto presenti, sia ad assicurare la compatibilità della linea con riferimento al rischio idraulico esistente.

Il presente documento analizza la suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti lungo le tratte in esame, sviluppate attraverso l'interpretazione delle prove SPT disponibili.

In sintesi, nei paragrafi seguenti, dopo l'elencazione dei documenti e delle normative riferimento e una breve descrizione del tracciato in esame sono riportati:

- al capitolo 4 riporta l'inquadramento sismico con definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento;
- al capitolo 5 verifica la stabilità dei siti nei confronti del rischio di liquefazione.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b></p>						
<p><b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 5 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 5 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 5 di 47		

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto e di base

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti utilizzati per la stesura della presente relazione:

- [1] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione geologica – (Doc. Rif. – RC0Y00F69RGGE0005001B)
- [2] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Profilo geotecnico al 5000 (Doc. da RC0Y00R10F5GE0006001A a RC0Y00R10F5GE0006004A)
- [3] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Profilo geotecnico al 2000 (Doc. da RC0Y00R10F6GE0006001A a RC0Y00R10F6GE0006002A)
- [4] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Sezioni geotecniche (Doc. da RC0Y00R10WZGE0006001A a RC0Y00R10WZGE0006004A)
- [5] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Tipologico interventi sui dissesti e sulla piattaforma ferroviaria (Doc. RC0Y00R10PZGE0006001B)
- [6] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Inquadramento planimetrico e sezioni geotecniche e degli interventi (Doc. da RC0Y00R10PZGE0006002A a RC2Y00R10PZGE0006008A)
- [7] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione geotecnica generale – (Doc. Rif. – RC0Y00R10GEGE0006001B)

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 6 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 6 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 6 di 47		

- [8] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione descrittiva e di calcolo sui dissesti (Doc. RC0Y00R10RHGE0006002B)
- [9] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione di predimensionamento fondazioni profonde (Doc. RC0Y00R10RHGE0006003B)
- [10] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione di calcolo rilevati e trincee ferroviarie (Doc. RC0Y00R10RHGE0006004B)

## 2.2 Normativa e standard di riferimento

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [11] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.
- [12] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [13] RFI DTC SI MA IFS 001 E del 2021- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.
- [14] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [15] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [16] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”.
- [17] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>  <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b>  <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b></p>						
<p><b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 7 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 7 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 7 di 47		

- [18] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [19] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [20] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- [21] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.

### 2.3 Bibliografia

- [22] Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) “Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT” Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
- [23] Balmer G. (1952) “A general analytical solution for Mohr’s envelope” ASTM, 52.
- [24] Bolton (1986) “The strength and dilatancy of sands” Geotechnique 36 , n° 1.
- [25] Boulanger, R. W. and Idriss, I. M. (2004). State normalization of penetration resistances and the effect of overburden stress on liquefaction resistance, in Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., eds., Stallion Press, Vol. 2, pp. 484–91.
- [26] Burland, J.B. (1990). On the compressibility and shear strength of natural clays. Géotechnique 40, n° 3, 329-378.
- [27] Clayton C.R.I. (1995) “The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use” CIRIA Report n° 143, 1995.
- [28] Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) “Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils” Soils and Foundations, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO RC0Y        00 R 10    RH        GE0000 001    C        8 di 47

- [29] Durgunoglu H.T., Mitchell J.K. (1975) "Static penetration resistance of soils, I -Analyses, II - Evaluation of the theory and interpretation for practice" ASCE Specialty Conference on in Situ Measurements of Soil Properties, Raleigh NC, V.I..
- [30] Elson W.K. (1984) "Design of laterally-loaded piles" CIRIA Report 103.
- [31] Fahey M. (1992) "Shear modulus of cohesionless soil: variation with stress and strain level" Canadian Geotechnical Journal, n°30.
- [32] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes", MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [33] Ishihara, K. and Yoshimine, M., (1992), Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes: Soils and Foundations, 32(1), p.173-188.
- [34] Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" Proceedings In-situ 2001, Bali.
- [35] Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., Yasuda S. and Sado H. (1982). "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", Vol III, Proc. 3rd Intl. Conf. on Microzonation, Seattle, pp. 1319-1330.
- [36] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [37] Ladd C.C., Foot R. (1974) "A new design procedure for stability of soft clays" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.100, n° 7.
- [38] Ladd C.C., Foot R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G. (1977) "Stress deformation and strength characteristics" S.O.A. Report, Proc. IX Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, Vol. 2.
- [39] Lo Presti D.C.F. (1989) "Proprietà dinamiche dei terreni" Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, 14th Ciclo, Comportamento dei terreni e delle fondazioni in campo dinamico.
- [40] Marchetti S. (1985) "On the field determination of  $k_0$  in sand" Discussion Session 2A, 11th ICSMFE, S. Francisco.




	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 9 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 9 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 9 di 47		

- [41] Matlock, H., Reese, L.C. (1960). "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, V.86, No.SM5, pp.63-91.
- [42] Mayne, P. W., (2006), In-situ test calibrations for evaluating soil parameters, Overview paper, Characterization and Engineering Properties of Natural Soils II (Proc. Singapore Workshop), Taylor & Francis Group, London, United Kingdom.
- [43] Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.6.
- [44] Rocchi G.F. (2003) "Correlazione empirica tra coefficiente di permeabilità, indice dei vuoti e caratteristiche di plasticità in argille e limi" Documento interno Studio Geotecnico Italiano.
- [45] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [46] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [47] Seed, R.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, L.M. (1985), "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), pp.1425-1445.
- [48] Simpson B., Calabresi G., Sommer H., Wallays M. (1979) "Design parameters for stiff clays" General Report, Proc. 7th ECSMF, Brighton.
- [49] Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n° 3.
- [50] Somerville S.H. (1986) "Control of groundwater for temporary works" CIRIA Report 113.
- [51] Sonmez H. (2003), "Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction prone area (Inegol, Turkey)", Environ. Geology, vol 44, n° 7, pp. 862-871.
- [52] Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPT I.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 10 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 10 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 10 di 47		

- [53] Stroud M.A. (1988) “The Standard Penetration Test – Its application and interpretation” Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- [54] Sykora, D. E., Stokoe K. H. (1983). Correlations of in situ measurements in sands of shear wave velocity. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 20: 125 – 136.
- [55] Tokimatsu K., Yoshimi Y. (1983) “Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content” *Soils and Foundations* 23, n° 4.
- [56] Vucetic M., Dobry R. (1991) “Effect of soil plasticity on cyclic response” *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 117, n° 1, pp. 89-107.
- [57] Yoshimine M., Nishizaki H., Amano K. and Hosono Y. (2006). “Flow deformation of liquefied sand under constant shear load and its application to analysis of flow slide in infinite slope”. *Soil dynamics and earthquake Eng.*, vol. 26, pp. 253-264.
- [58] Youd T.D. (1972) “Factors controlling maximum and minimum density of sands” *Proceedings of Symposium on Eval. Dens.*, ASTM STP 523.
- [59] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), “Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 127, n° 10, pp.817-833
- [60] Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E.; 2008. A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 11 di 47
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>						

### 3. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

La linea ferroviaria oggetto di velocizzazione è ubicata nella regione Calabria, lungo la tratta ferroviaria Lamezia Terme (CZ) – Catanzaro Lido della linea Ionica, la quale unisce il versante ionico calabrese con quello tirrenico.

La tratta in esame in particolare è compresa tra la stazione ferroviaria di Lamezia Terme e quella di Settingiano, si estende per una lunghezza di circa 30 km, a partire dalla stazione di Lamezia Sant’Eufemia in direzione nord-est sino a Nicastro, per poi deviare in direzione sud-est verso la valle del Fiume Amato, percorrendola in direzione est suino a Marcellinara, deviando nuovamente in direzione sud-est sino a Settingiano (Figura 3-1). Le tratte di interesse sono le seguenti:

- pk 10-13;
- pk 19-24;
- pk 27-29;

Un’ulteriore analisi sarà sviluppata per il ponte alla pk 18+800 circa.



Figura 3-1 – Immagine aerea complessiva tratta ferroviaria Lamezia Terme - Settingiano (in rosso), lungo la quale ricadono le varianti di tracciato in progetto, indicativamente contrassegnate in blu. (Google Earth).

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 12 di 47

## 4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

### 4.1 Premessa

L'azione sismica che governa il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) è qui definita in accordo alle Norme Tecniche 2018 (NTC2018), a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione  $S_e(T)$  corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura.

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica, in base alla classificazione delle opere in progetto. Successivamente, verranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

L'inquadramento sismo-tettonico, sismologico dell'area sono oggetto della relazione geologica a cui qui si fa diretto riferimento. Sempre oggetto della relazione geologica è la definizione della categoria di suolo e topografica di riferimento e della magnitudo sempre di riferimento per la verifica a liquefazione, condotta nel presente studio.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 13 di 47

#### 4.2 Vita Nominale, Classe d'Uso, Periodo di Riferimento per l'Azione Sismica

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:


- $V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale (cfr. Relazione Geologica Doc. Rif. [1]):

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso  $C_U=0.7$ .
- Classe II: ... omissis ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... omissis .... Per le quali  $C_U = 1.0$ .
- Classe III: ... omissis ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... omissis ... Per le quali  $C_U = 1.5$ .
- Classe IV: ... omissis ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 14 di 47
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>						

A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... omissis ... Per le quali  $C_U = 2$ .

Nel caso in esame si assume (cfr. Relazione Geologica Doc. Rif. [1]) un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a:

- $C_U = 1.0$

Il periodo di riferimento  $V_R$  si ottiene moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Nel caso in esame:

- $V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.0 = 75 \text{ anni}$

#### 4.3 Stati limite e relative probabilità di superamento

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$  sopra definito.


Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

Stato Limite Ultimo (SLU):

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Stato limite di Esercizio (SLE):

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

Il tempo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento  $V_R$  ed alla probabilità di superamento  $P_{VR}$  dalla relazione:

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

Nel caso in esame le probabilità di superamento e i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite e classi d'uso delle strutture sono riportati in Tabella 4-1.

Tabella 4-1 – Probabilità di superamento e periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, in funzione delle opere considerate, per i diversi stati limite.

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento $P_{VR}$	Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_R$
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	45
	Stato limite di danno (SLD)	63%	75
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	712
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	1462

#### 4.4 Accelerazione di Riferimento su Suolo Rigido

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) i valori  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale),  $F_o$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_{c^*}$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. In Tabella 4-2, si sono riportati le coordinate dei siti di interesse lungo il tracciato per i quali vengono definiti i valori della pericolosità sismica di base.

In Figura 4-1 si mostra come un esempio, l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica per "Var.1 - Curva 02" tramite l'elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 16 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 16 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 16 di 47		

Il confronto fra i valori del parametro  $a_g$  valutato in corrispondenza dei punti di riferimento lungo il tracciato (cfr. Tabella 4-2, in cui sono stati considerati i punti lungo tutto il tracciato) per diversi stati limite è illustrato in Figura 4-2. Tale confronto mostra come la variabilità dell'input sismico lungo la tratta sede delle opere sia bassa per tutti periodi di ritorno. Sulla base di tale considerazione, i valori leggermente superiori di pericolosità sismica calcolati per il punto P1 (Var.10 s - Curva 07) verranno applicati nel seguito per tutte le opere in progetto, indipendentemente dalla loro collocazione.

I risultati dell'interpolazione per i parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_{c^*}$  per i diversi Stati Limite sono indicati in

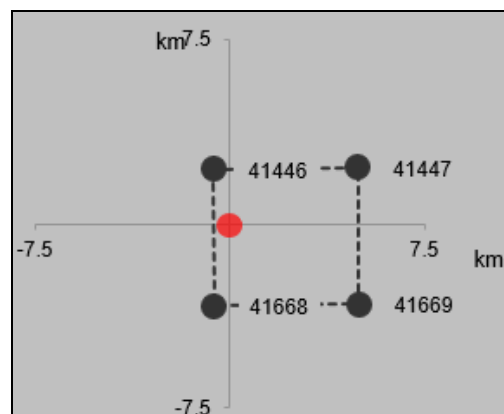


	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

Tabella 4-3.

Tabella 4-2 – Identificazione e coordinate geografiche dei punti di interesse lungo il tracciato per la definizione dell'azione sismica di progetto.

Nome di sito	Longitudine	Latitudine
Var.1 - Curva 02 (km 2 circa)	38.930000	16.25740
Var.2 - Curva 03 (km 5 circa)	38.954013	16.27325
Var.3 - Curva 04 (km 7)	38.962374	16.29114
Var.4 - Curva 05 (km 8 circa)	38.963454	16.31159
Var.10 s - Curva 07	38.964304	16.33155
Var.10 s - Curva 08	38.961447	16.33883
Var.10 s - Curva 09	38.956903	16.33988
Var.10 s - Curva 10	38.949938	16.34515
Var.10 s - Curva 11	38.948012	16.35413
Var.10 s - Curva 16	38.936416	16.38064
Var.10 s - Curva 17	38.927973	16.39635
Var.10 s - Curva 18	38.922627	16.40256
Var.10 s - Curva 19 (km 19 circa)	38.920737	16.40560
Var.5 - Curva 20	38.912358	16.41809
Var.6 - Curva 21	38.914445	16.43797
Var.7 - Curva 22/23/24	38.918175	16.45160
Var.8 - Curva 27	38.911683	16.48945
Var.9 - Curva 28/29	38.904530	16.50531



**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 18 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

Figura 4-1 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno punto "Var.1 - Curva 02". Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

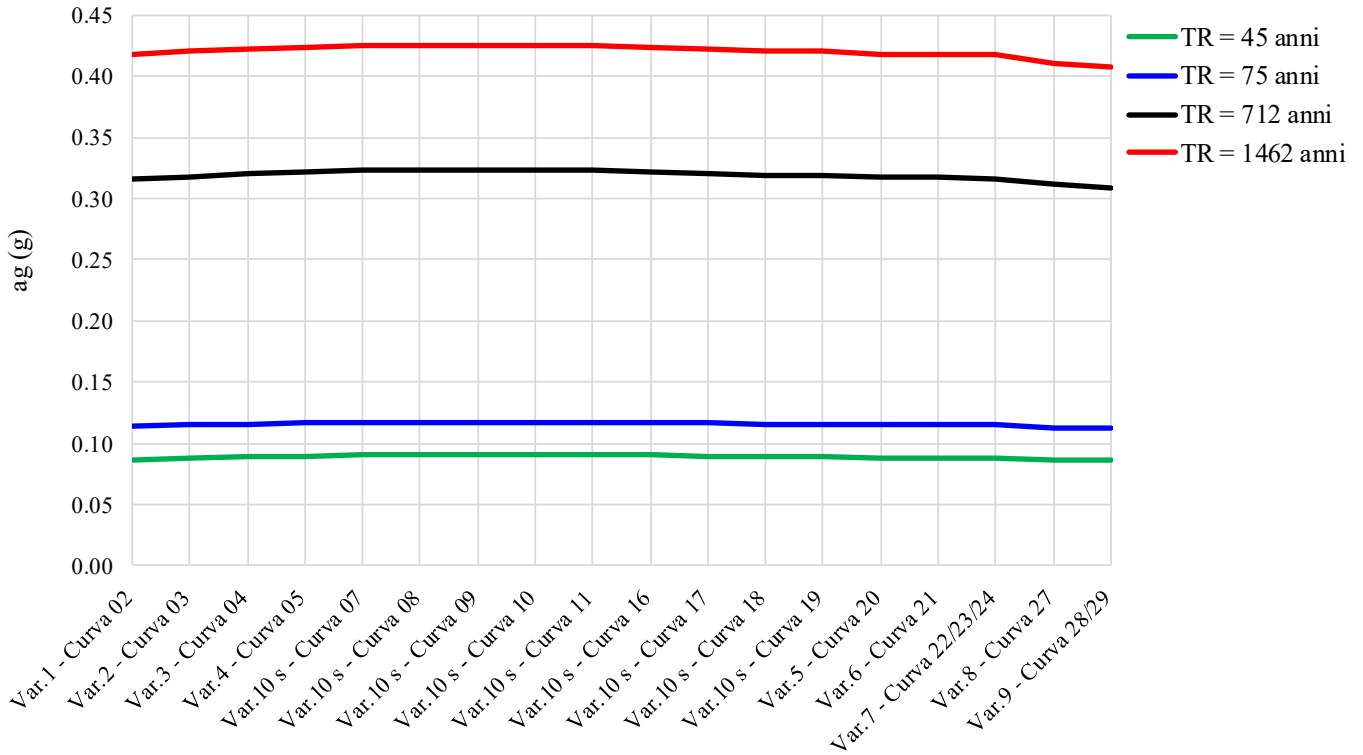


Figura 4-2 – Variazione del parametro di accelerazione su suolo rigido orizzontale ag lungo il tracciato.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

Tabella 4-3 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSSLLPP (2009)) per  $V_R = 75$  anni, per il punto di riferimento P1.

SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
SLO	45	0.090	2.281	0.295
SLD	75	0.117	2.299	0.317
SLV	712	0.323	2.456	0.388
SLC	1462	0.425	2.495	0.421

#### 4.5 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Per i fini del presente studio, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati tramite l'approccio semplificato delle NTC2018, le quali definiscono un fattore di sito  $S$  di amplificazione sismica dipendente della categoria di sottosuolo (attraverso il coefficiente  $S_S$ ) e da quella topografica (attraverso il coefficiente  $S_T$ ):

$$S = S_S \cdot S_T$$

In particolare, il sottosuolo viene classificato a fini sismici in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s) definita come:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

- $h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato;
- $V_{S,i}$  = valore di velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;
- $N$  = numero di strati.
- $H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

Sulla base di quanto osservato, la zona attraversata dal tracciato di interesse, è classificabile nelle categorie di sottosuolo C e B e perciò sono stati individuati due sezioni della linea per la definizione della categoria di suolo:

- Var.5, Var.6, Var.7, Var.8 e Var.9: Categoria di sottosuolo C
- Var.10s: Categoria di sottosuolo B

Il coefficiente  $S_S$  per la categoria di sottosuolo si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.20 \quad (B)$$

$$S_S = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50 \quad (C)$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, sempre sulla base delle informazioni fornite nell'elaborato di Relazione Geologica (Doc. Rif. [1]), il tracciato corre all'interno di un sito sostanzialmente pianeggiante e viene classificato in categoria topografica T1 (Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , v. Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Il fattore di sito  $S$  e l'azione sismica di progetto  $a_{max} = S \cdot a_g$  ottenuti per i diversi periodi di ritorno sono riportati in

Tabella 4-4 – Valori del parametro  $a_g$ , dei coefficienti di sito  $S$  ( $S_T=1$ ) e accelerazione di progetto  $a_{max}$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per  $VR = 75$  anni.

Sito	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$S$ (-)	$a_{max}$ (g)
<b>Var.5, Var.6, Var.7, Var.8 e Var.9</b>	SLO	45	0.090	1.500	0.135
	SLD	75	0.117	1.500	0.176
	SLV	712	0.323	1.225	0.395
	SLC	1462	0.425	1.064	0.452
<b>Var.10s</b>	SLO	45	0.090	1.200	0.108
	SLD	75	0.117	1.200	0.140
	SLV	712	0.323	1.083	0.349
	SLC	1462	0.425	1.000	0.425

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 21 di 47

## 5. ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Generalità

Le NTC 2018, al par. 7.11.3.4.1 stabiliscono che:

*Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.*

*Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.*

*In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.*

Allo scopo di accertare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione, è stata condotta una valutazione di pericolosità attraverso metodi semi-empirici basati sulla resistenza penetrometrica da prove SPT.

Si ricorda come, a causa della breve durata del moto sismico, il terreno reagisca in condizioni sostanzialmente non drenate. In tali condizioni, il comportamento non lineare dei materiali sabbiosi e sabbioso/limosi saturi, sottoposti a carichi ciclici indotti dal terremoto, porta alla generazione di sovrappressioni interstiziali con diminuzione anche significativa di resistenza e rigidità apparente. Alla successiva dissipazione di tali sovrappressioni, corrisponde una riduzione di volume con la generazione di deformazioni permanenti in grado di causare, nello specifico, problematiche di esercizio post-sisma, stabilità dei rilevati, delle opere di sostegno e di attraversamento.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli del moto sismico del suolo, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno a grana grossa, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 22 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 22 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 22 di 47		

è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere del numero di cicli, ossia del valore di magnitudo sismica di riferimento.

Il problema principale che si pone in fase di progettazione è valutare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione quando il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

## 5.2 Condizioni di Esclusione da Verifica a Liquefazione

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr.  $a_{max}$ ) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 5-1 (coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$ ) e Figura 5-2 (coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ ).

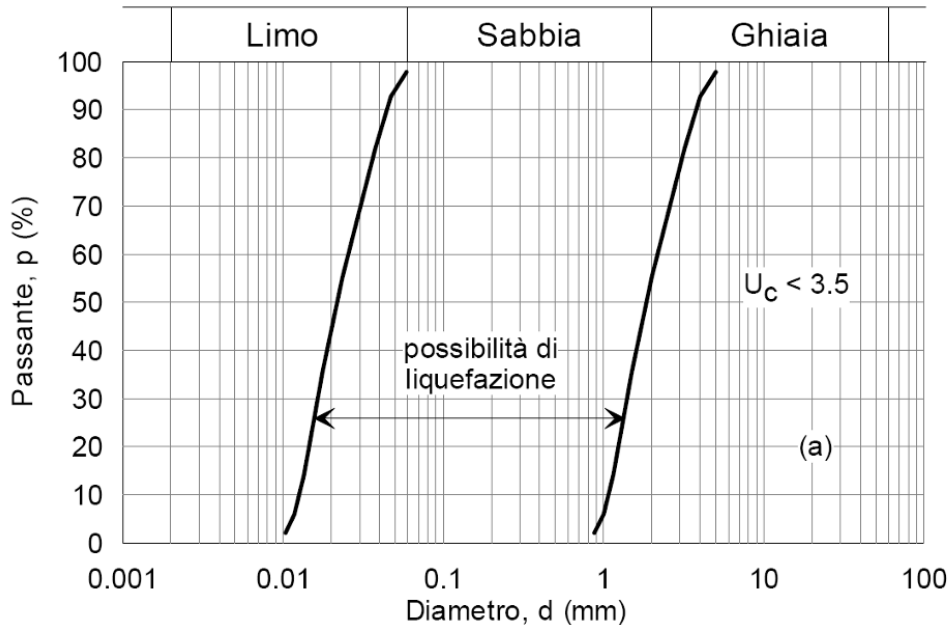


Figura 5-1: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ( $U_c < 3.5$ )

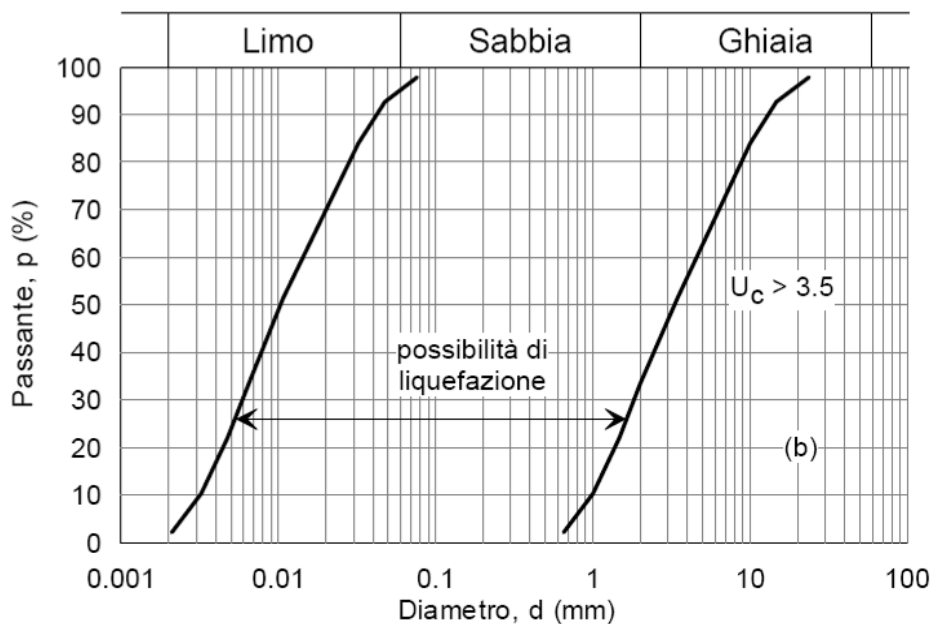


Figura 5-2: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ( $U_c > 3.5$ )

In tutto il tracciato sono attese accelerazioni massime superiori a 0.1g, secondo questo criterio la verifica non può essere omessa. Considerando invece la presunta granulometria del materiale (sulla base della descrizione stratigrafica nel certificato del sondaggio) la verifica a liquefazione in alcune situazioni è stata omessa quando la descrizione stessa lascia intendere la presenza di

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00 R 10</td> <td>CODIFICA RH</td> <td>DOCUMENTO GE0000 001</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 24 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 24 di 47
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 24 di 47		

materiali coesivi. Tale assunzione andrà verificata con adeguate indagini integrative nelle fasi successive di progetto.

Sono state altresì escluse le verifiche nei casi in cui la falda risulta profonda ( $z_w \geq 15\text{m}$ ).

Pertanto, si procederà alla verifica a liquefazione per i sondaggi di seguito elencati, come descritto ai paragrafi seguenti:

- SN4 L1;
- SN5 L2;
- SN9 L2;
- SN11 L2;
- SN13 L2;
- SN14 L2;
- SN16 L2;
- SN17 L2;
- S06;
- S07;
- BH02;
- S38 (Tra i sondaggi eseguiti per il progetto definitivo di Elettrificazione del Lotto 1 della linea Sibari-Lamezia Terme (Italferr 2019));



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

### 5.3 Metodo di analisi

La valutazione del pericolo di liquefazione è stata condotta in accordo al “metodo semplificato” originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

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

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

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un sito a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco  $a_{max}$  come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

dove:

$a_{max}$       accelerazione di picco al sito


$g$             accelerazione di gravità

$\tau_c$           valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

$\sigma_{v0}$         tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

$\sigma'_{v0}$         tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci

$r_d$             coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M. Per  $M \neq 7.5$  (nel caso in esame  $M = 7$ ) è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

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

dove  $CSR_M$  e  $N_M$  rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre  $(CSR)_{M=7.5}$  e  $N_{M=7.5}$  sono riferiti all'evento con  $M=7.5$ .

Nel presente studio (Doc. Rif. [2] è stato identificato un valore di  $MSF = 1.3$  per  $M = 7.0$  in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8 Parte 5, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004).

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlino la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT, come meglio descritto nel seguito.

### 5.3.1 CRR da correlazioni su prove SPT

Il procedimento qui utilizzato si basa sulla relazione riportata in Figura 5-3, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 5-3, la resistenza penetrometrica SPT è espressa come numero di colpi  $N_{1(60)}$  normalizzato ad una pressione verticale efficace di 100 kPa oltre che corretto per il valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale), come segue:

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

In questa espressione:

- $C_N$  = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo  $C_N$ . Qui è stata applicata la relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

$$C_N = \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \leq 1.7$$

in cui  $P_a$  è la pressione atmosferica, pari a 100kPa, e  $\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

- $C_E$  = coefficiente 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:

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

in cui  $ER_m$  è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del meglio 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 si considerano essere eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in Figura 5-3, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di  $N_{1(60)}$  da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con magnitudo 7.5. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

Le curve sono valide per eventi simili di magnitudo pari a 7.5, per cui è necessario introdurre un fattore di scala (MSF) per adattare le curve di CRR alla magnitudo di riferimento per il caso in esame (7.0), come indicato in precedenza.

Si può osservare dalla Figura 5-3 come siano state sviluppate curve di resistenza ciclica per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ( $FC < 5\%$ ).

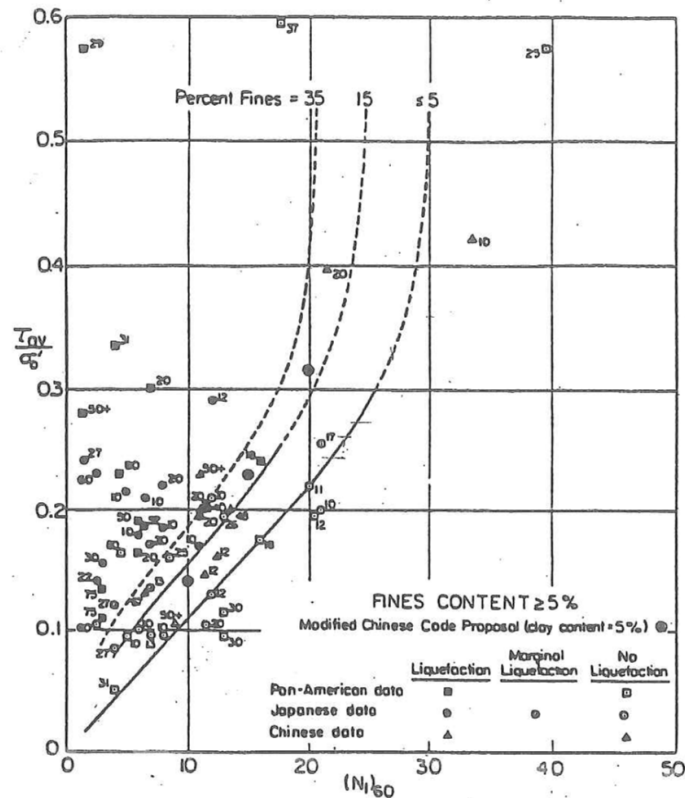


Figura 5-3: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

La curva di riferimento per sabbie pulite è descritta dalla seguente equazione (Rauch, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

L'equazione è valida per  $N_{1(60)} < 30$ . Nel caso in cui sia  $N_{1(60)} \geq 30$ , le sabbie pulite sono classificate come non liquefacibili a seguito del loro elevato stato di addensamento.

L'equazione che segue (Idriss e Seed, come riportato da Youd et al. 2001) viene utilizzata per la correzione di valori di  $N_{1(60)}$  ai valori corrispondenti per sabbia pulita  $N_{1(60)cs}$ :

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60}$$

In cui:

$$\alpha = 0 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/FC^2)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

$$\alpha = 5 \text{ per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\beta = [0.99 + (FC1.5/1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla liquefazione aumenta meno che proporzionalmente al crescere della tensione di confinamento. Una rappresentazione di tale relazione è stata proposta da Hynes e Olsen (1999) e riportata da Youd et al. (2001), elaborata sulla base dei risultati di prove cicliche in laboratorio. In particolare, gli autori raccomandano di utilizzare il seguente coefficiente di correzione:

$$k_{\sigma} = \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{(f-1)} \leq 1$$

dove:

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento

$f$  = fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.

In accordo a Youd et al. (2001) il fattore “f” si può stimare come segue, sia per sabbie pulite o limose e per ghiaie:

$$40\% < DR < 60\% \quad f = 0.7 \div 0.8$$

$$60\% < DR < 80\% \quad f = 0.6 \div 0.7$$


### 5.3.2 Calcolo del fattore di sicurezza

In conclusione, in accordo a Youd et al. (2001) il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_{\sigma}$$

### 5.3.3 Indice di potenziale di liquefazione

Con il fine di fornire una valutazione il più possibile quantitativa della pericolosità a liquefazione associabile ad ogni sondaggio, viene introdotto l'indice di Potenziale di Liquefazione (in letteratura

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 30 di 47
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>						

LPI, Liquefaction Potential Index) in accordo a Iwasaki et al. (1982). Per ogni prova/sondaggio considerati, LPI viene determinato come segue:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz$$

dove  $W(z)$  rappresenta un moltiplicatore (peso) linearmente decrescente con la profondità  $z$  (da 0 a 20 m) in grado di assegnare una maggiore importanza a ciò che avviene all'interno degli strati più superficiali, rispetto a fenomeni di generazione di pressioni interstiziali più profondi:

$$W(z) = 10 - \frac{1}{2}z$$

Nel metodo utilizzato viene altresì definita una funzione  $F(z)$  che lega il valore di LPI al fattore di sicurezza alla liquefazione  $F_L$ , come segue:

$$F_L \geq 1 \quad F(z) = 0$$

$$F_L < 1 \quad F(z) = 1 - F_L$$

Iwasaki et al. (1982) hanno confrontato i valori di LPI calcolati come sopra con le risultanze di osservazioni condotte su un database di 63 siti presso i quali si è avuta liquefazione e 22 caratterizzati dalla sua assenza, a seguito di eventi sismici avvenuti in Giappone; la conclusione è che effetti severi di liquefazione si hanno per  $LPI > 15$ , mentre tali effetti non si osservano per  $LPI < 5$ . Queste considerazioni sono state ulteriormente sviluppate da Sonmez (2003), il quale ha raccomandato la classificazione di pericolosità a liquefazione in funzione di LPI come da Tabella 5-1 .

Tabella 5-1 Classi di pericolosità alla liquefazione in funzione di LPI (Sonmez, 2003)

Indice Potenziale di Liquefazione LPI	Pericolosità
LPI = 0	Nessuna
$0 < LPI \leq 2$	Bassa
$2 < LPI \leq 5$	Moderata
$5 < LPI \leq 15$	Alta
$15 < LPI$	Molto alta

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C

#### 5.4 Sintesi del risultato delle verifiche a liquefazione

Sulla base di quanto sopra esposto sono state condotte le verifiche a liquefazione ed i risultati ottenuti letti alla luce del dato stratigrafico integrato con una ipotesi di valore fine in funzione della descrizione stratigrafica (per dettaglio vedere ALLEGATO A).

In generale, per la falda si è fatto riferimento o al monitoraggio piezometrico, o al livello rappresentato nei profili dove il monitoraggio piezometrico non è disponibile. Per i valori di contenuto di fini.

I risultati della verifica, condotta sulla base delle prove SPT disponibili, sono illustrati in dettaglio nei grafici di ALLEGATO A e comprendono:

- I valori di  $N_{SPT}$  misurati a ciascuna profondità a partire dal piano campagna;
- Il contenuto di fini stimato da descrizione stratigrafica;
- I valori di  $N_{1(60)cs}$ , ovvero del numero di colpi corretto in funzione della tensione verticale in sito, in funzione dell'energia trasmessa in fase di esecuzione della prova e del contenuto di fini. Per i casi con  $N_{1(60)cs} > 30$ , la verifica è stata omessa, come da NTC2018;
- L'andamento con la profondità dello sforzo di taglio ciclico CSR, riferito alla magnitudo di riferimento per l'analisi ( $M=7.0$ ) e i valori puntuali della resistenza allo sforzo di taglio sismico calcolati per tutti i valori  $N_{SPT}$  che non siano stati esclusi dal calcolo di suscettibilità alla liquefazione perché classificati come non liquefacibili (si veda quanto detto al paragrafo precedente);
- Il valore del fattore di sicurezza FL ottenuto come rapporto  $CRR/CSR$  per ogni dato. Si osserva a questo proposito che la verifica alla suscettibilità alla liquefazione deve tener conto del potenziale insorgere di deformazioni anche significative anche per valori di  $FL > 1$  per cui si ritiene giustificato rappresentare la linea  $FL=1.25$  come riferimento per la soglia di verifica. La verifica è stata omessa nel caso di materiale descritto nei certificati stratigrafici come argilloso.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
<b>RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 32 di 47

Sulla base della descrizione dei terreni interessati, delle condizioni idrauliche e dei risultati delle verifiche, può essere generalmente osservato quanto segue:

1. In corrispondenza della variante 10s (curva 8 e ponte a pk 18+800 circa):
  - S06: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione
  - S07: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione
  - SN04 L1: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione
  
2. In corrispondenza della variante 5 (curva 20):
  - BH02: la verifica non risulta rispettata per il solo punto a circa 18 metri di profondità, molto vicino al limite superiore dello strato argilloso di base, comunque con effetti attesi molto limitati.
  - SN05 L2: a profondità di 11.55 m, il dato SPT che porta ad un fattore di sicurezza inferiore a 1 è misurato all'interno di uno strato con spessore di 2.7 m costituito da materiale sabbioso con occasionali ciottoli e trovanti. In ogni caso, per questa verticale, l'indice di potenziale di liquefazione LPI calcolato è pari a 1.2 che porta ad una classe di pericolosità "bassa".

L'area in oggetto, interessata da alluvioni recenti a granulometria anche sabbiosa, merita pertanto nelle fasi progettuali successive tutti gli approfondimenti del caso in termini di indagini e prove di laboratorio finalizzate a meglio interpretare le prime risultanze di cui alla presente relazione, finalizzate anche a prendere nella migliore considerazione, ad esempio nel dimensionamento dei pali di fondazione, possibili effetti legati alla liquefazione;
  
3. In corrispondenza delle varianti 6, 7 e 8 (curve da 21 a 24 e curva 27):
  - SN09 L2: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione
  - SN11 L2: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione
  - SN13 L2: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione



**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 33 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

- SN14 L2: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione
- SN16 L2: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione

4. Nella variante 9 (curve 28 e 29):

- S38: intercetta alluvioni recenti di fondo valle ma la verifica a liquefazione risulta soddisfatta per condizioni idrauliche assunte e per stato di addensamento riscontrato in base ai valori  $N_{SPT}$ ;
- SN17 L2: non si evidenziano particolari problemi legati al rischio liquefazione;

5. Per tutti quei sondaggi con SPT che hanno evidenziato la presenza di materiale avente un elevato contenuto di fine, in accordo con quanto riportato nella descrizione stratigrafica e osservando le cassette catalogatrici, sono state omesse le verifiche a liquefazione;

6. Tutti i risultati e le ipotesi esposte nei punti precedenti andranno confermate a valle di mirate campagne di indagini integrative (possibilmente prove penetrometriche statiche di tipo CPTU) nelle successive fasi del progetto, con particolare riferimento all'area della variante 5 – curva 20.

In Tabella 5-2 sono sintetizzati i risultati delle verifiche a liquefazione ove svolte.

*Tabella 5-2 – Sintesi risultati verifiche a liquefazione*

Variante	Indagini di riferimento	Profondità falda di progetto	Spessore materiale potenzialmente liquefacibile	LPI (*) Classe di pericolosità
		[m]	[m]	[-]
10s	S06	6.0	-	- (Nessuna)
10s	S07	7.0	-	- (Nessuna)
10s	SN04 L1	3.4	-	- (Nessuna)
5	BH-02	6.5	7.0	0.3 (Bassa)
5	SN05 L2	3.4	2.7	1.2 (Bassa)
6	SN09 L2	7.6	-	- (Nessuna)
7	SN11 L2	2.0	-	- (Nessuna)
7	SN13 L2	3.7	-	- (Nessuna)
7	SN14 L2	5.2	-	- (Nessuna)
8	SN16 L2	4.4	-	- (Nessuna)
9	S38	4.5	5.0-6.0	- (Nessuna)
9	SN17 L2	5.0	-	- (Nessuna)



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

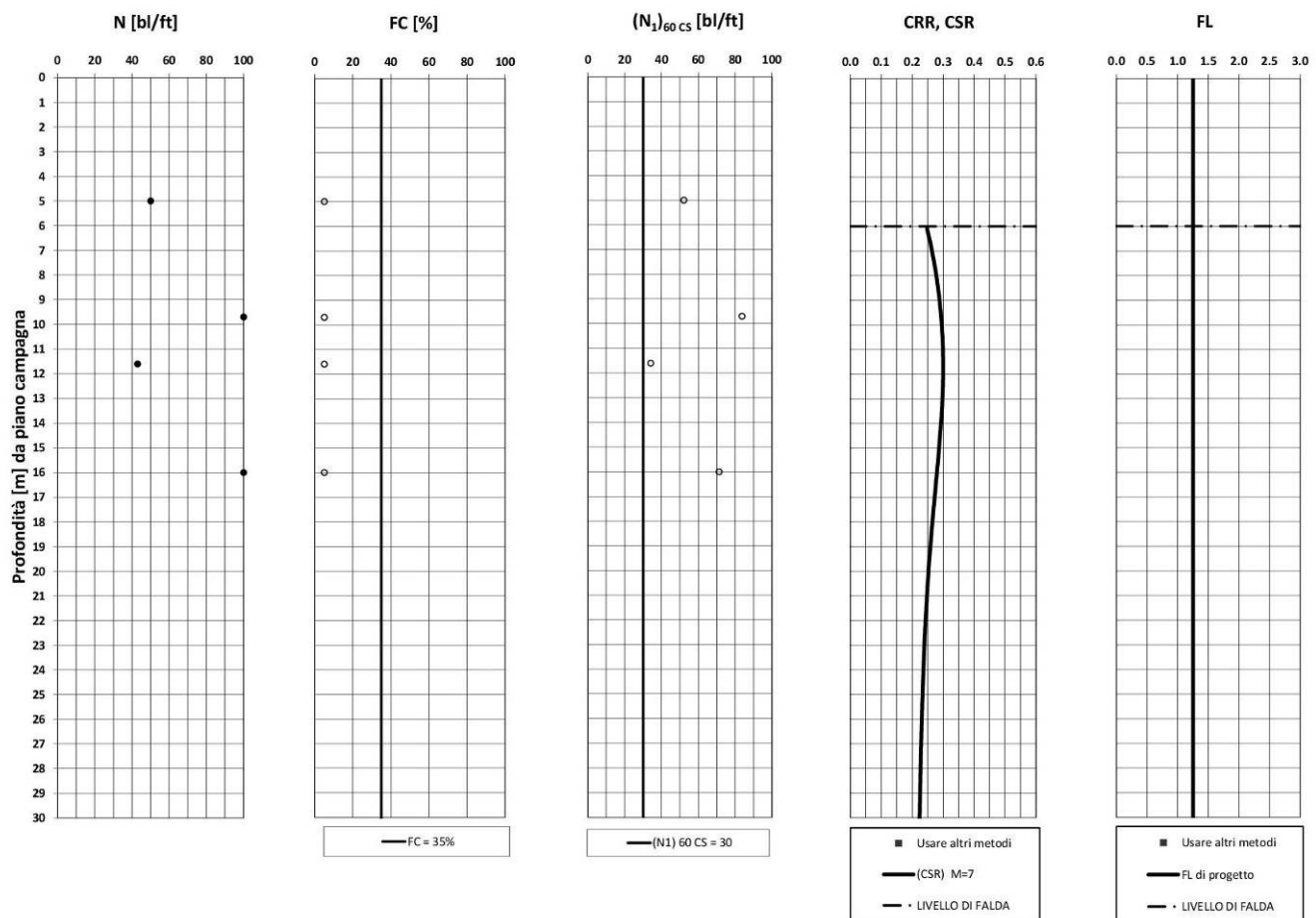
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 R 10	RH	GE0000 001	C	35 di 47

ALLEGATO A  
Verifiche a liquefazione su prove SPT

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova S\_06**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



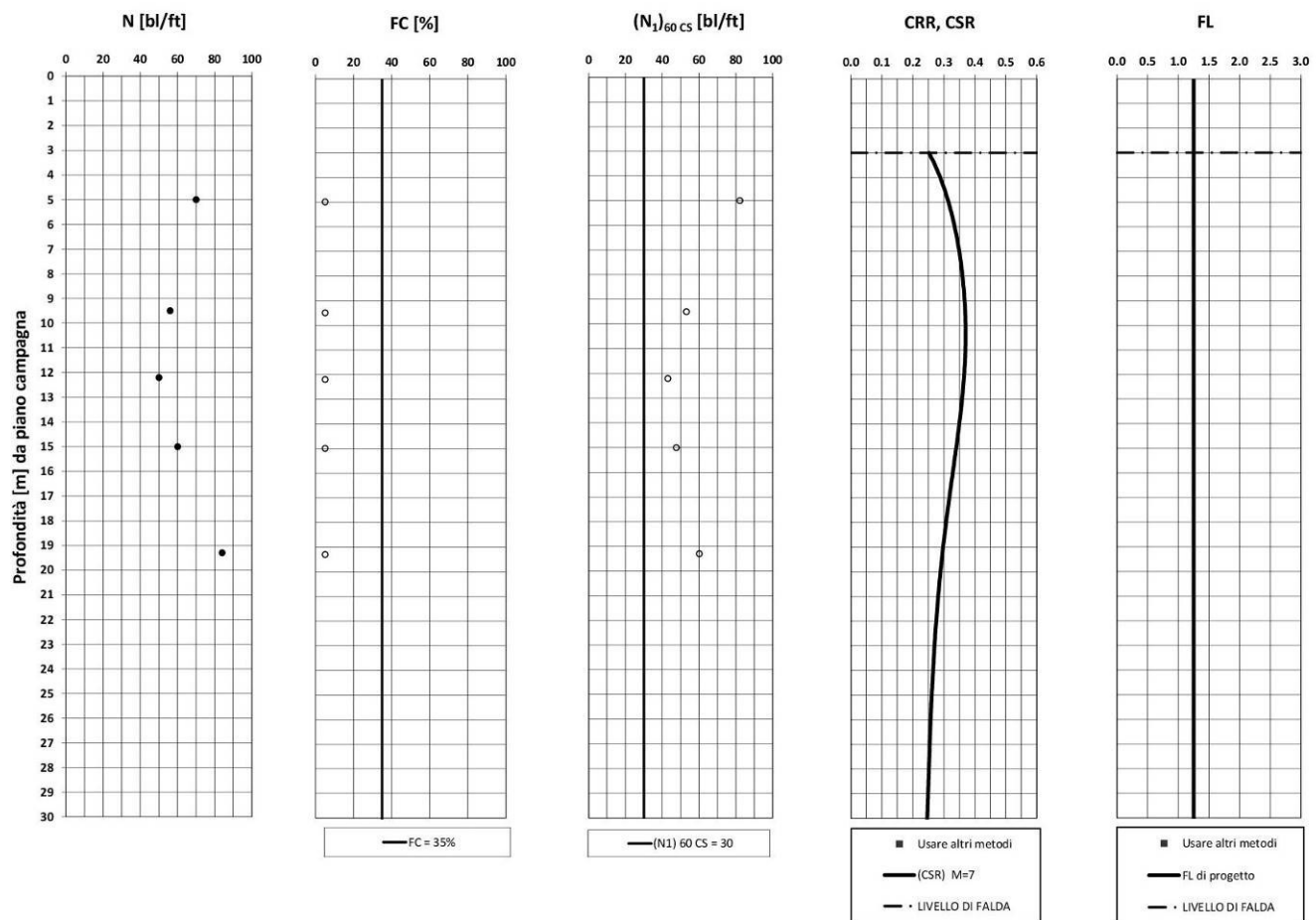
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 37 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova S\_07**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



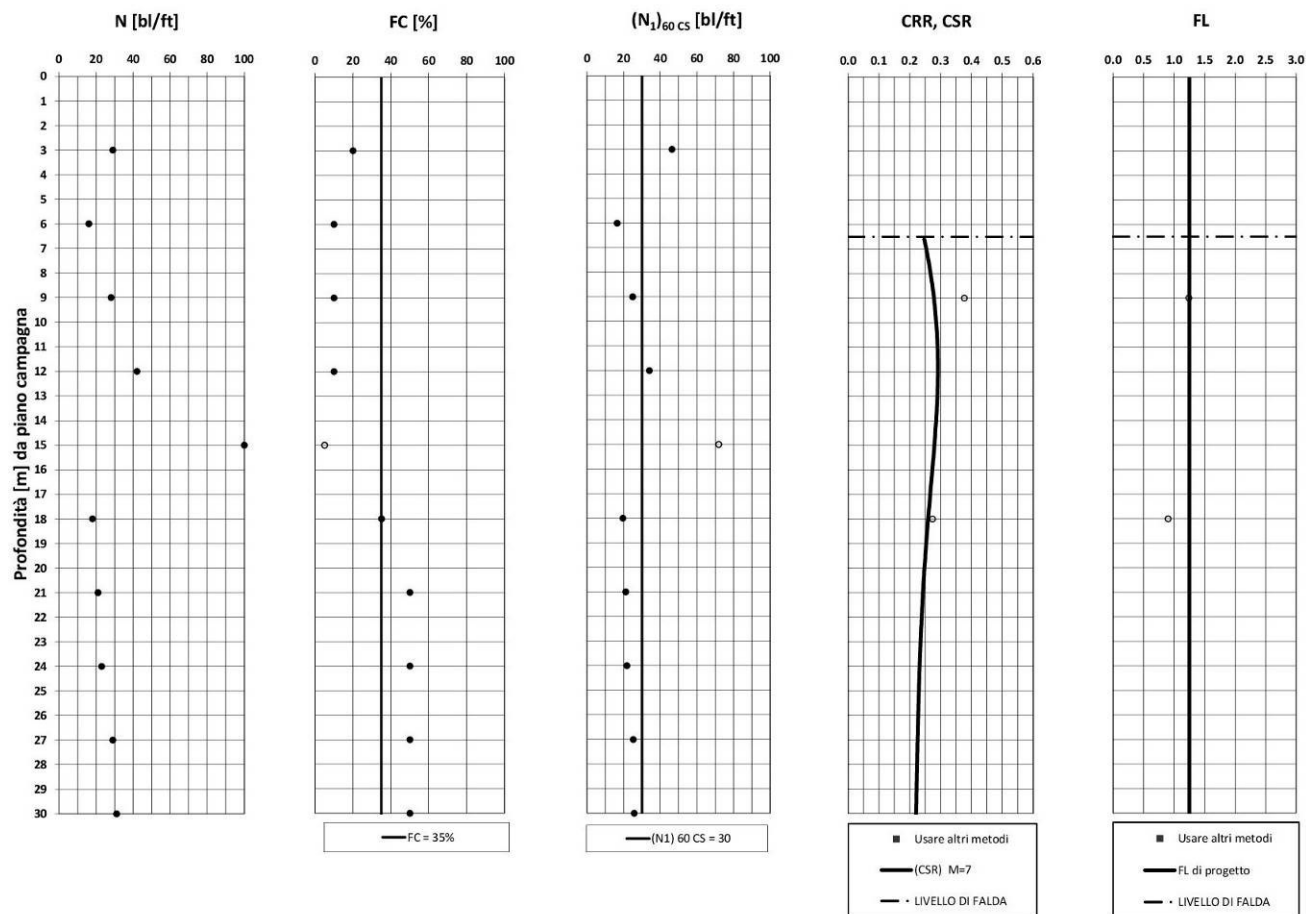
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RC0Y 00 R 10 RH GE0000 001 C 38 di 47

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova BH-02**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001  $MSF = 1.3$

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

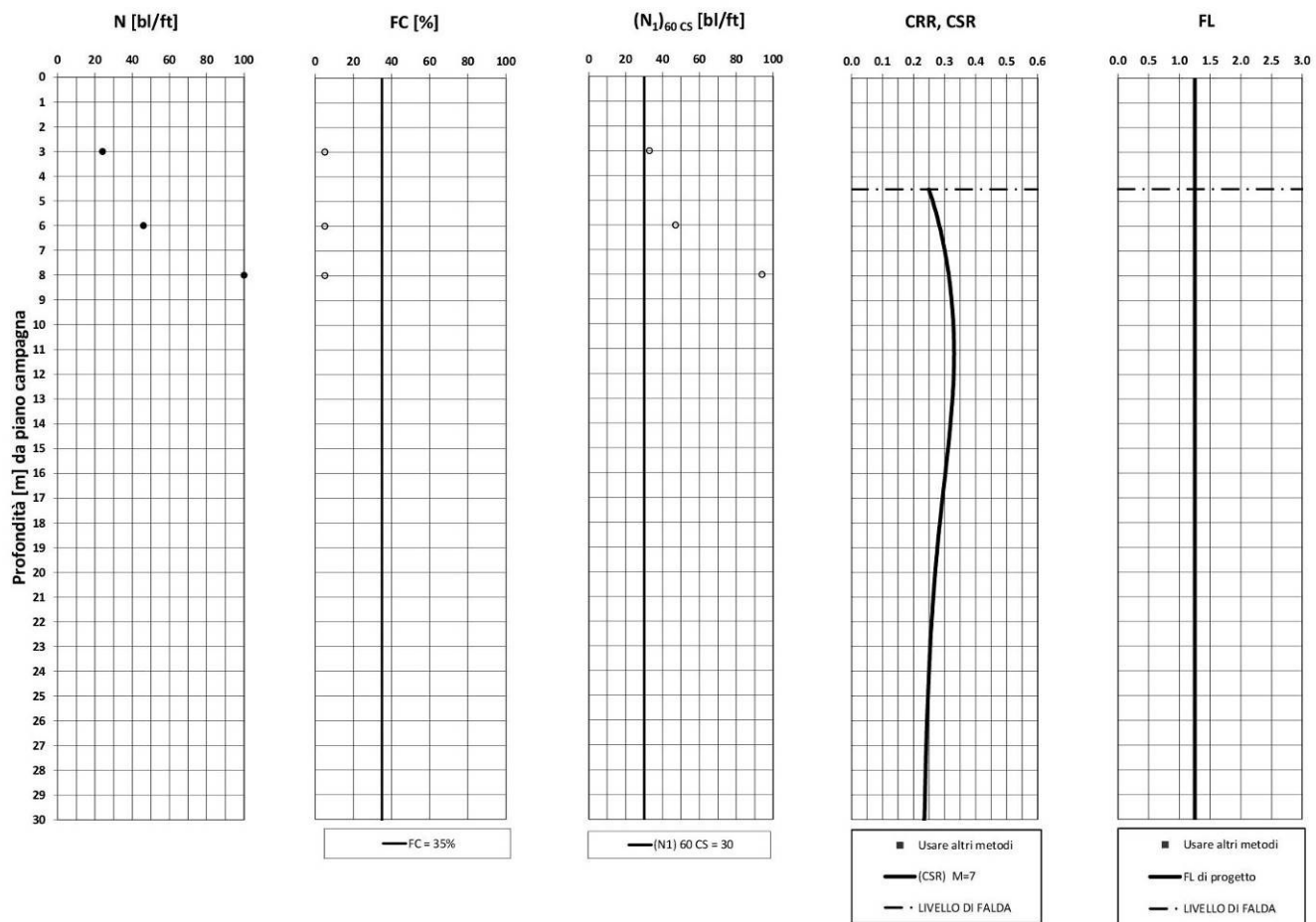
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 39 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova S\_38**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001  $MSF = 1.3$

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

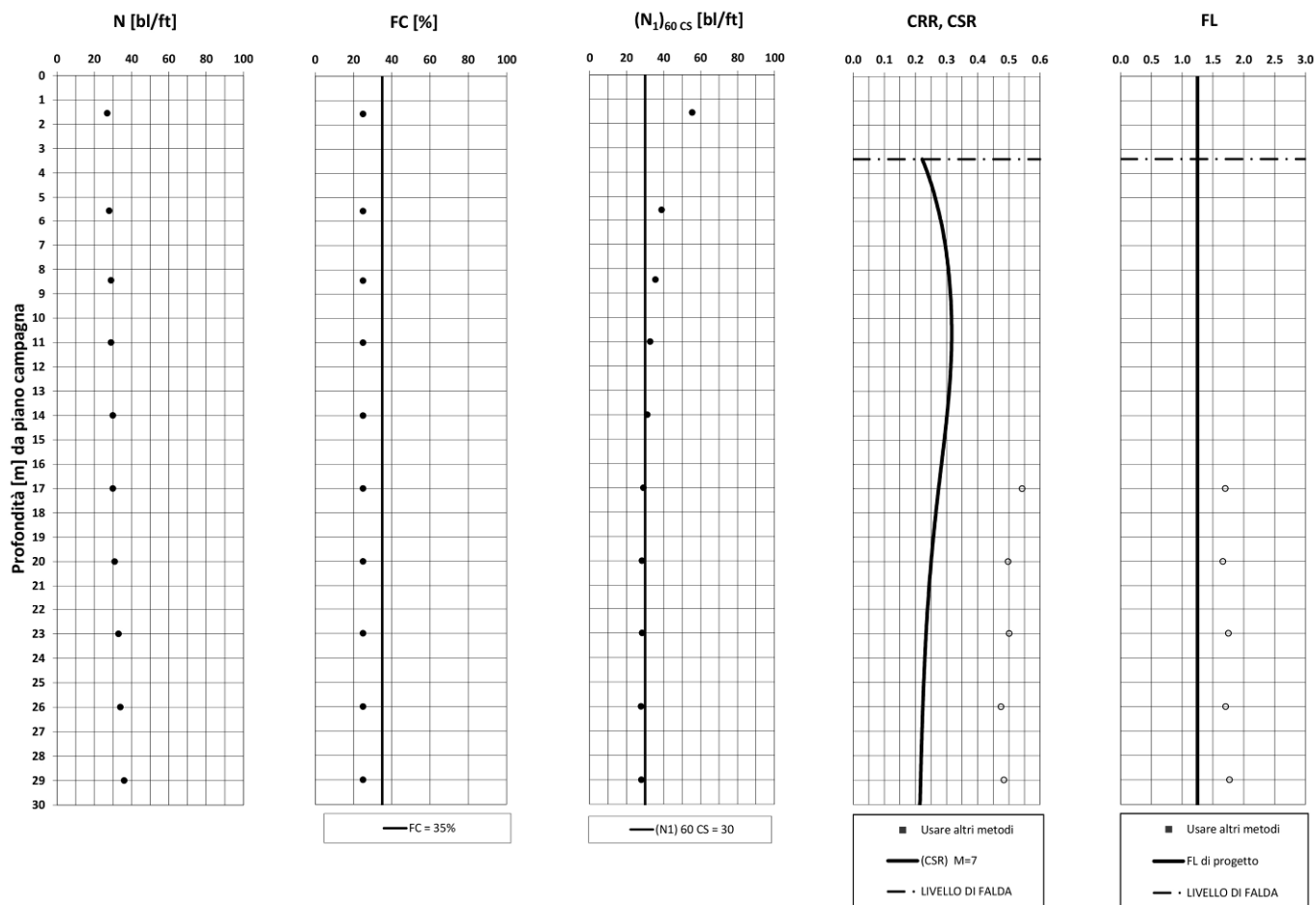
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 40 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN04 L1**

$A_{max\_calc} / g = 0.349$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato



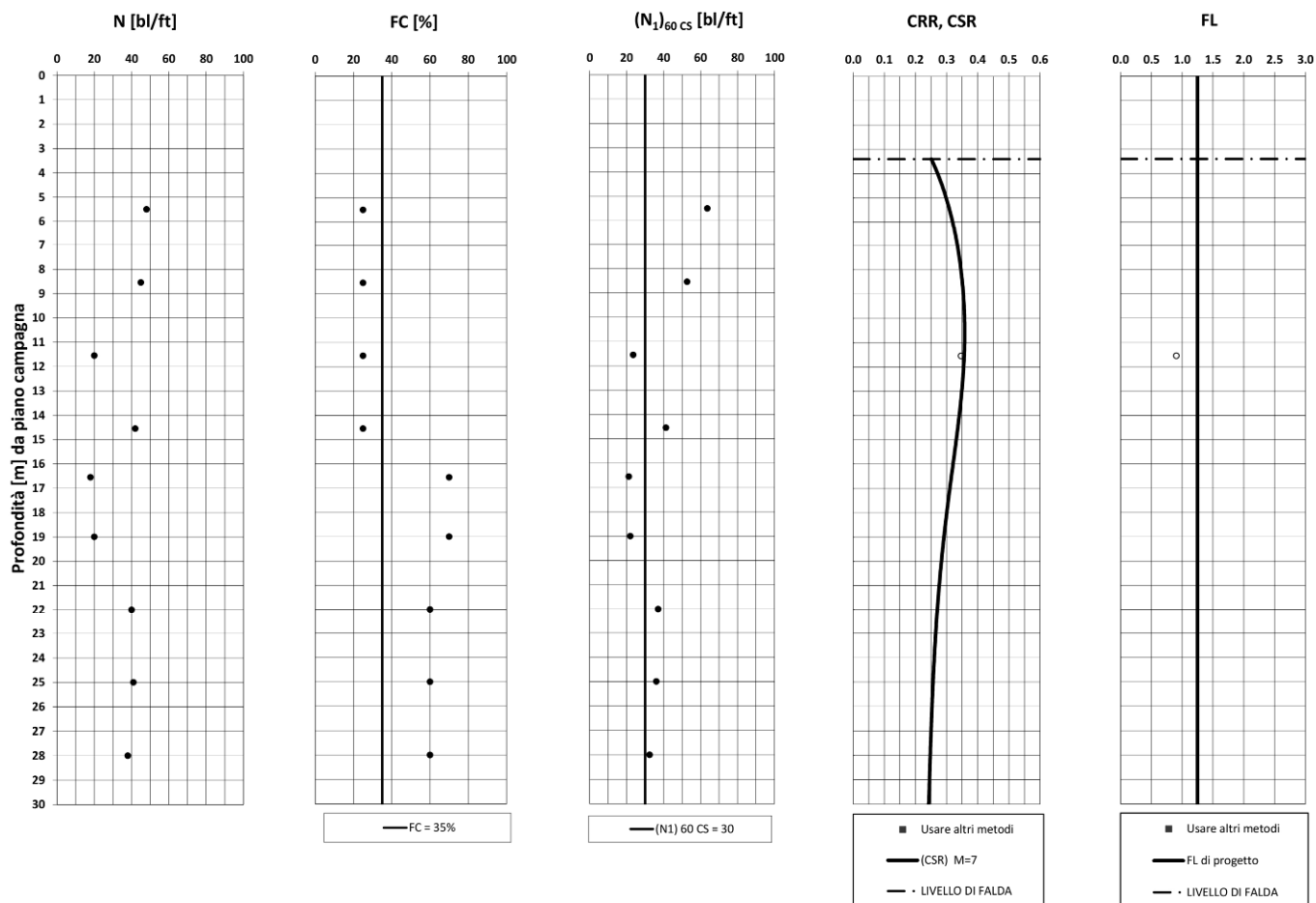
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 41 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN05 L2**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



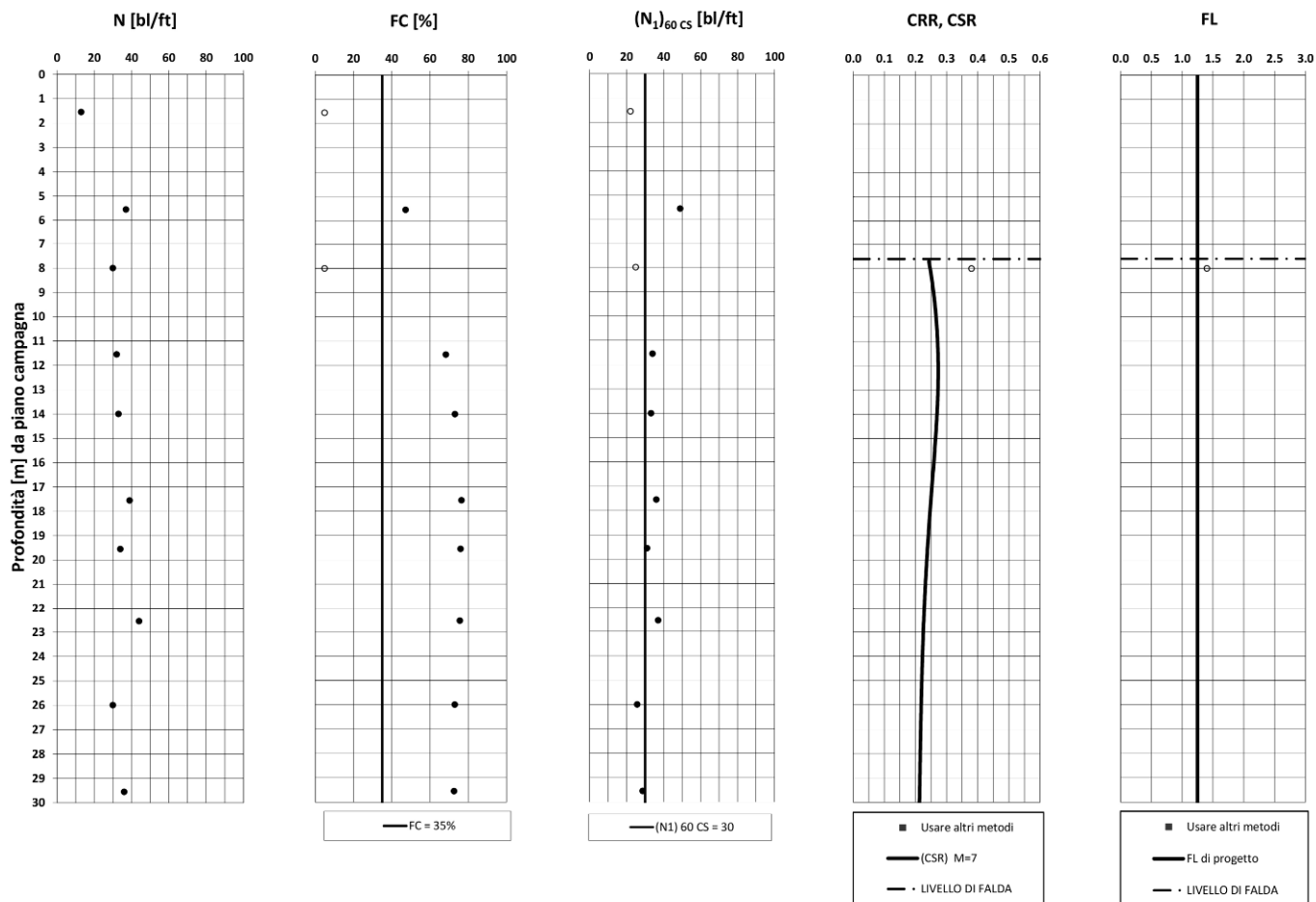
● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN09 L2

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

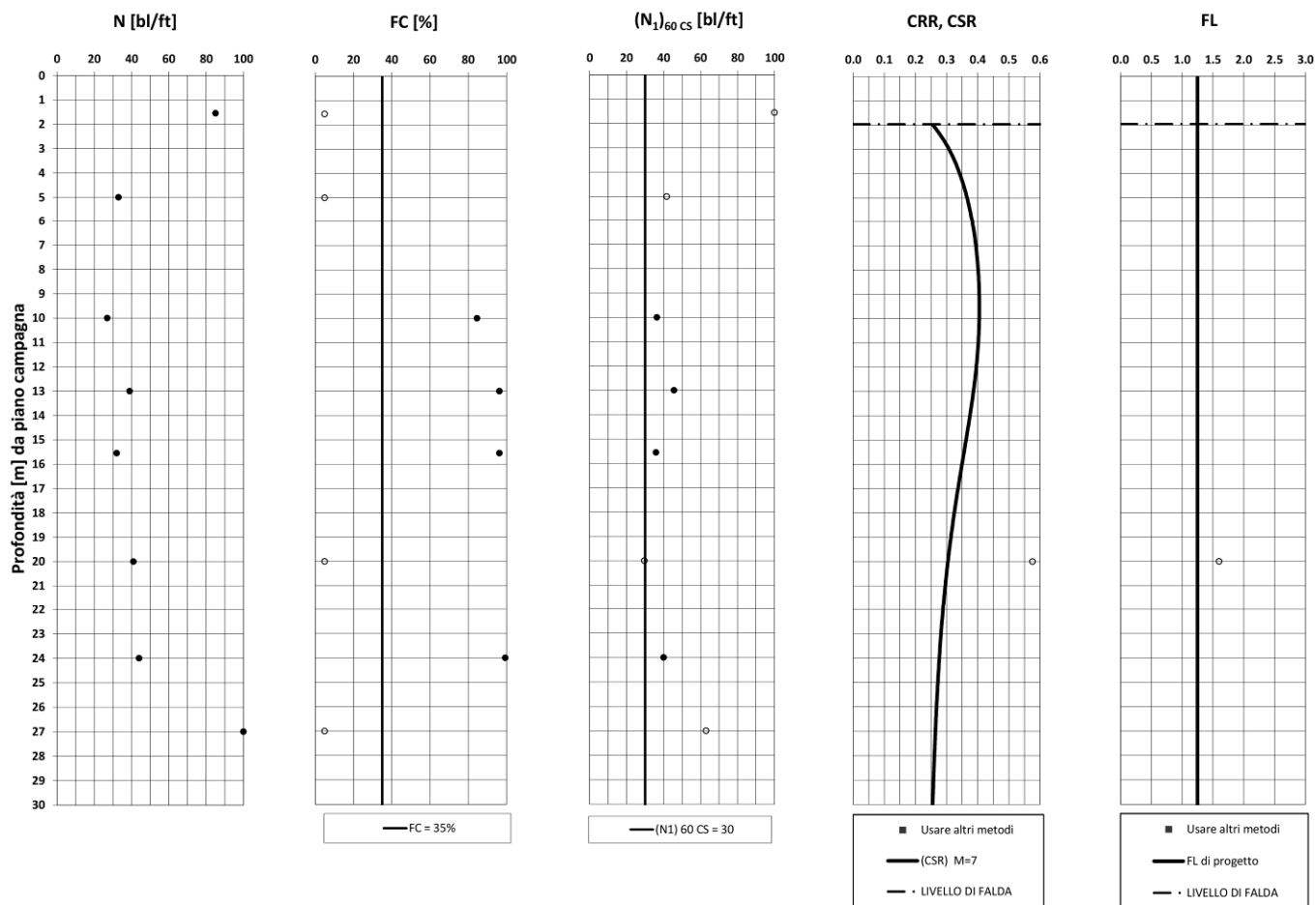
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 43 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN11 L2**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

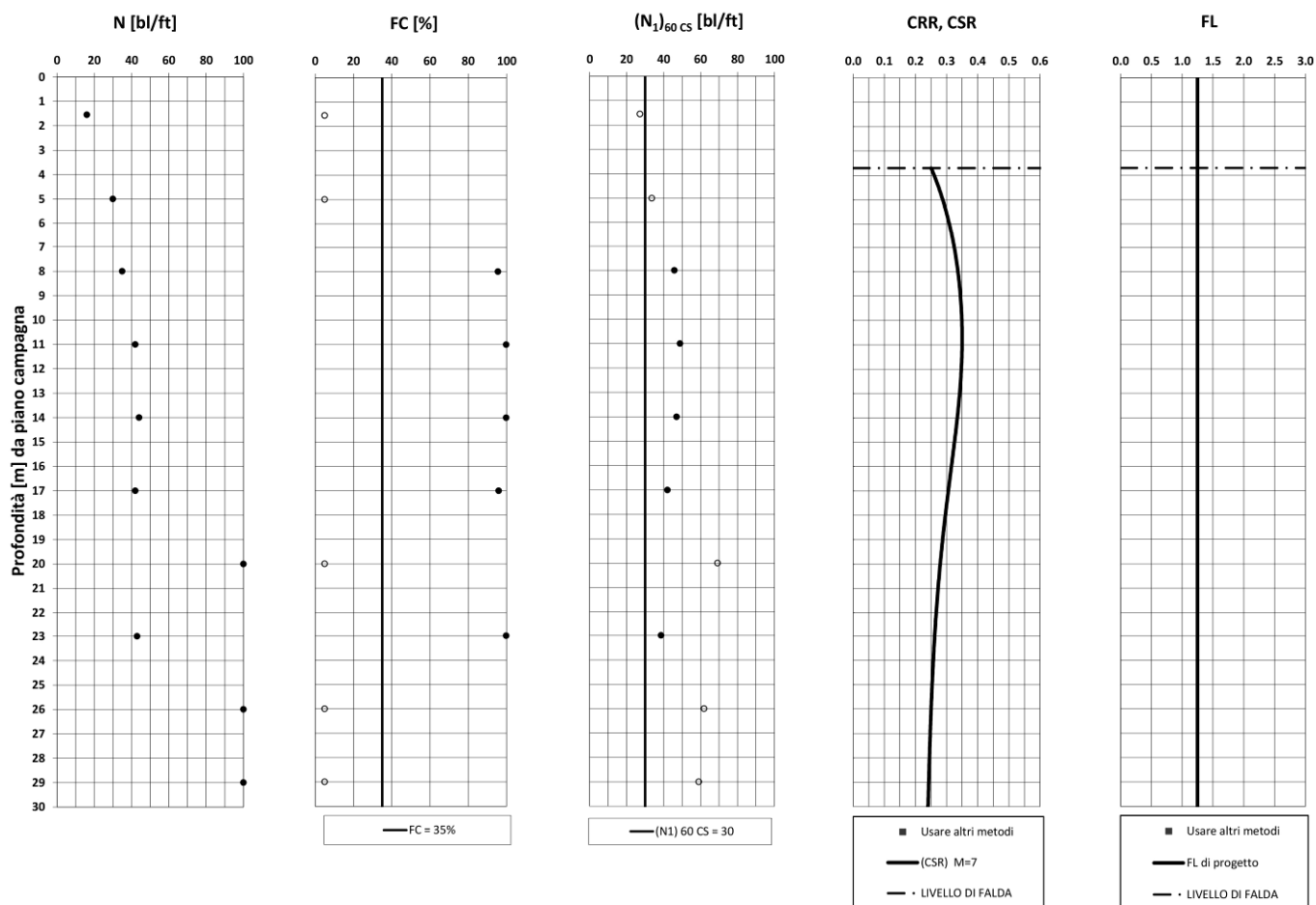
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RC0Y 00 R 10 RH GE0000 001 C 44 di 47

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN13 L2**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

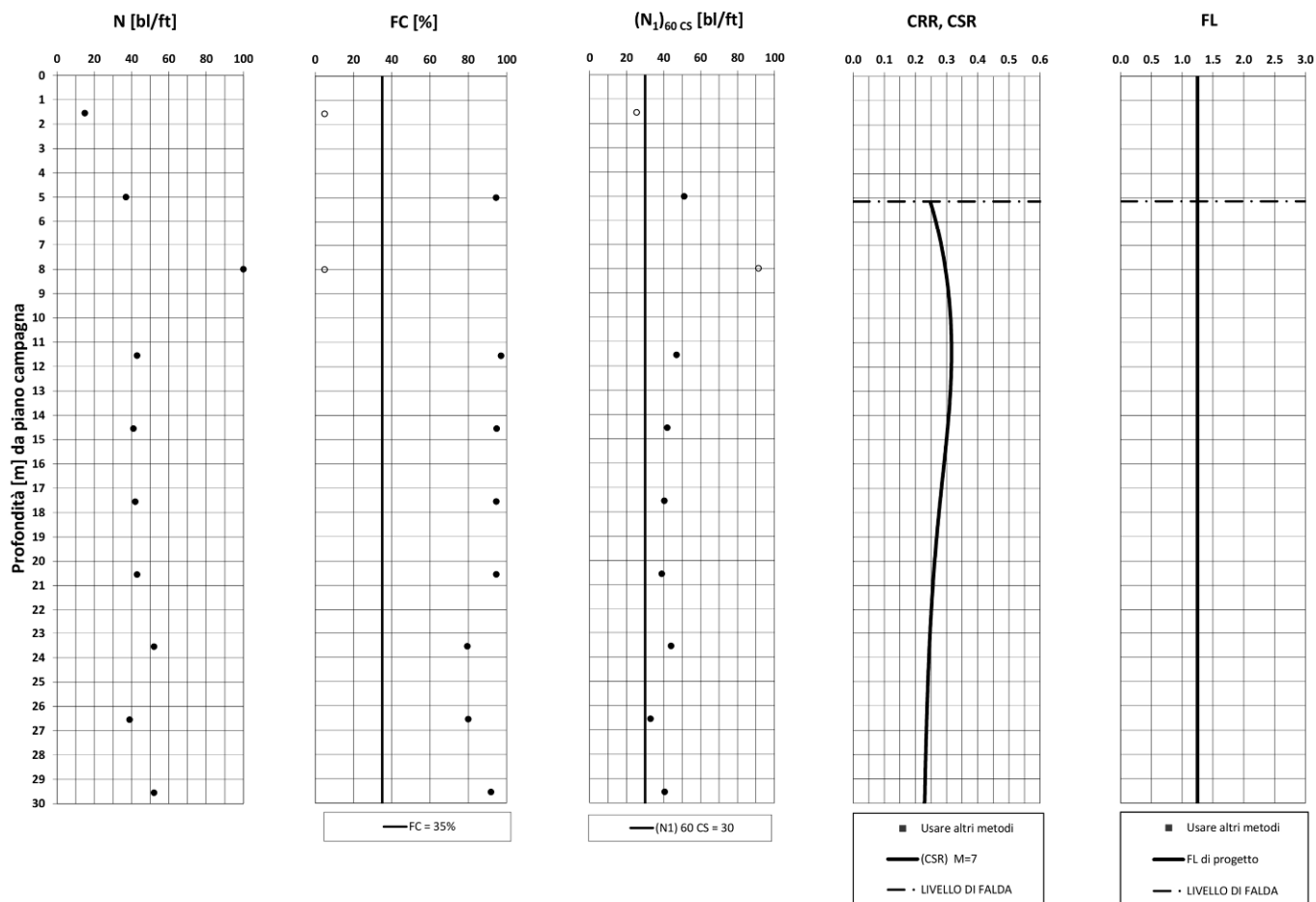
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 R 10	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. C	FOGLIO 45 di 47
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN14 L2**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001  $MSF = 1.3$

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

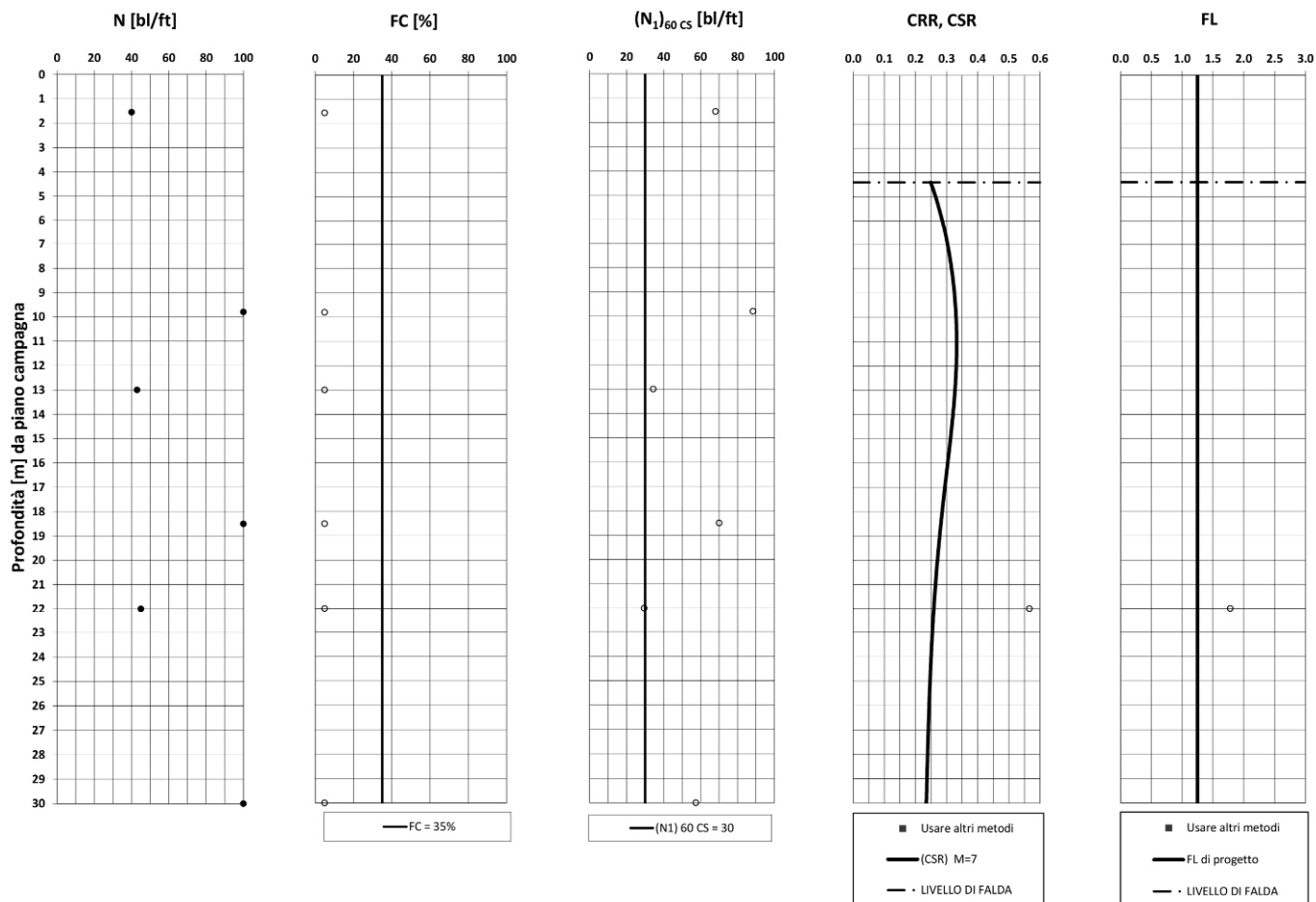
**RELAZIONE SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RC0Y 00 R 10 RH GE0000 001 C 46 di 47

**- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN16 L2**

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette

○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

- PFTE Velocizzazione Collegamento Lamezia T. - Settingiano - Prova SN17 L2

$A_{max\_calc} / g = 0.395$   $M_{calc} = 7$  Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.3

Sovraccarico = 0 kPa

