

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

ELETTRIFICAZIONE TRATTA CATANZARO-LAMEZIA TERME (Lotto 01)

### RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE Viabilità Mats – Cabina LT – Trincea GA Marcellinara

PFTE da sottoporre all'esame del CSLPP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione»

ITALFERR S.p.A.  
SCALA: **Ordine degli Ingegneri della Provincia di La Spezia**  
**Dott. Ing. Andrea Nardinocchi**  
Codice Professionale  
-----  
COD. N. A1263

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

RC0W 01 D 78 RH GE0006 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Ottobre 2020	G. Ficoletta	Ottobre 2020	S. Vanfiori	Ottobre 2020	10/07/20

File: RC0W01D78RHGE0006003A

n. Elab: 183

Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10076

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO LUNGO LINEA.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>14</b>
5.1	PREMESSA .....	14
5.2	SONDAGGI VERTICALI.....	14
5.3	PROVE GEOFISICHE .....	18
<b>6</b>	<b>CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE .....</b>	<b>19</b>
6.1	DEPOSITI INCOERENTI.....	19
6.2	DEPOSITI COESIVI.....	21
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE AREE DI PROGETTO.....</b>	<b>23</b>
7.1	CABINA TE DI LAMEZIA TERME .....	23
7.1.1	<i>Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo.....</i>	<i>25</i>
7.1.2	<i>Falda di progetto.....</i>	<i>25</i>
7.1.3	<i>Parametri geotecnici di calcolo .....</i>	<i>25</i>
7.2	PIAZZALE MATS PT05 IMBOCCO LATO LT GA PIANOPOLI.....	27
7.2.1	<i>Elaborazione delle prove in sito e laboratorio.....</i>	<i>31</i>
7.2.2	<i>Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo.....</i>	<i>35</i>
7.2.3	<i>Falda di progetto.....</i>	<i>36</i>

7.2.4	<i>Parametri geotecnici di calcolo</i> .....	36
7.3	PIAZZALE MATS PT06 IMBOCCO LATO CZ GA MONTECAVALIERE .....	37
7.3.1	<i>Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo</i> .....	39
7.3.2	<i>Falda di progetto</i> .....	40
7.3.3	<i>Parametri geotecnici di calcolo</i> .....	40
7.4	PIAZZALE MATS PT07 IMBOCCO LATO LT GA MARCELLINARA.....	41
7.4.1	<i>Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo</i> .....	42
7.4.2	<i>Falda di progetto</i> .....	42
7.4.3	<i>Parametri geotecnici di calcolo</i> .....	42
7.5	PIAZZALE MATS PT08.....	44
7.5.1	<i>Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo</i> .....	47
7.5.2	<i>Falda di progetto</i> .....	48
7.5.3	<i>Parametri geotecnici di calcolo</i> .....	48
7.6	IMBOCCO LATO CZ GA MARCELLINARA.....	49
7.6.1	<i>Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo</i> .....	52
7.6.2	<i>Falda di progetto</i> .....	52
7.6.3	<i>Parametri geotecnici di calcolo</i> .....	52
<b>8</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE.....</b>	<b>54</b>
8.1	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	54
8.1.1	<i>Generalità</i> .....	54
8.1.2	<i>Vita utile e classe d'uso</i> .....	54
8.1.3	<i>Risposta sismica locale</i> .....	56

<b>9</b>	<b>ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>59</b>
9.1	METODO DI ANALISI.....	62
9.1.1	<i>CRR da correlazione su prove SPT</i> .....	64
9.2	ANDAMENTO DEI VALORI NSPT PER OGNI SITO .....	67
9.2.1	<i>Calcolo dell'indice di potenziale liquefazione</i> .....	69
9.3	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	70
9.4	CONSIDERAZIONI FINALI.....	71

Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina  
 LT - Trincea GA Marcellinara

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0W	01 D 78	RH	GE0006 003	A	5 di 71

**DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

Relazione geotecnica generale	---	A4	RC0W01D78RHGE0006001
Relazione di caratterizzazione sismica generale	---	A4	RC0W01D78RHGE0006002
Relazione geotecnica Viabilità Mats - Cabina LT - Trincea GA Marcellinara	---	A4	RC0W01D78RHGE0006003
Relazione di caratterizzazione sismica Viabilità Mats - Cabina LT - Trincea GA Marcellinara	---	A4	RC0W01D78RHGE0006004
Rilevati stradali - Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	---	A4	RC0W01D78RHGE0006005
Rilevati stradali - Relazione di calcolo stabilità e cedimenti	---	A4	RC0W01D78RHGE0006006
Profilo Geotecnico - Viabilità accesso piazzale PT06	1:1000	A0	RC0W01D78F7GE0006002
Profilo Geotecnico - Viabilità accesso piazzale PT08	1:1000	A0	RC0W01D78F7GE0006003

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica generale redatto nell'ambito del progetto di elettrificazione del Lotto 01 della linea Jonica, lungo la linea ferroviaria esistente tra Catanzaro Lido e Lamezia Terme.

In particolare, si analizzano gli aspetti geotecnici lungo la linea oggetto di elettrificazione nella tratta di sede storica compresa tra Lamezia Terme e Settingiano (CZ), andando poi ad approfondire la caratterizzazione dei siti interessati dalla realizzazione dei piazzali, e relative viabilità, per i terminali di messa a terra (MAT) ), cabina LT e per la realizzazione di plinti per la installazione della TE lungo la trincea in corrispondenza della GA Marcellinara imbocco Catanzaro.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni derivanti dalle indagini geognostiche eseguite in questa fase progettuale e comprendenti:

- n. 7 sondaggi geognostici spinti sino alla profondità tra 30.0 e 50.0 m dal p.c., con installazione di piezometro a “tubo aperto” e “Casagrande” per il monitoraggio della falda;
- n. 4 prove geofisiche MASW per la definizione dell'azione sismica di progetto.
- n. 1 prova Down-Hole
- n. 5 prove HVSR
- n. 2 prove penetrometriche CPTu
- n. 5 pozzetti esplorativi spinti fino a 3 m di profondità

In sintesi, nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche:

- Inquadramento geografico;
- Modello geologico generale lungo la linea;
- Descrizione delle indagini geognostiche eseguite;
- Inquadramento e modello geotecnico di ogni sito d'intervento;
- Inquadramento sismico generale, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).
- Manuale di progettazione delle opere civili – Documento n° RFI DTC SI PS MA IFS 001 D – dicembre 2019.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	<b>COMMESSA</b> <b>RC0W</b>	<b>LOTTO</b> <b>01 D 78</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GE0006 003</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>8 di 71</b>

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La linea ferroviaria oggetto di elettrificazione è ubicata nella regione Calabria, lungo la tratta ferroviaria Lamezia Terme (CZ) – Catanzaro Lido della linea Jonica, la quale unisce il versante ionico calabrese con quello tirrenico. La tratta in esame, da Catanzaro Lido a Lamezia Terme, si estende per una lunghezza di circa 40 km, inoltrandosi nell’entroterra catanzarese verso nord-ovest dalla costa Ionica e deviando poi verso ovest verso la costa tirrenica sino a Lamezia Terme (Figura 3-1).

Le aree oggetto di studio per la progettazione e realizzazione di piazzali per la messa a terra (MAT), cabina LT e per la realizzazione di pile per la installazione della TE ricadono presso:

- Cabina TE Lamezia Terme
- GA Pianopoli imbocco Lamezia-Terme – piazzale MATS PT05;
- GA Montecavaliere imbocco Catanzaro – piazzale MATS PT06;
- GA Marcellinara lato Lamezia Terme – piazzale MATS PT07;
- GA Marcellinara imbocco lato Catanzaro – piazzale MATS PT08;

In Figura 3-1 viene riportata un’immagine aerea dell’intera tratta, mentre in Figura 3-2 viene riportata l’ubicazione delle aree oggetto di approfondimento con relative indagini geognostiche e geofisiche realizzate a supporto della progettazione.



Figura 3-1 – Immagine aerea della tratta ferroviaria Catanzaro Lido-Lamezia Terme (in rosso, Lotto 1), lungo la quale ricadono le aree di approfondimento oggetto del presente lavoro. (Google Earth).

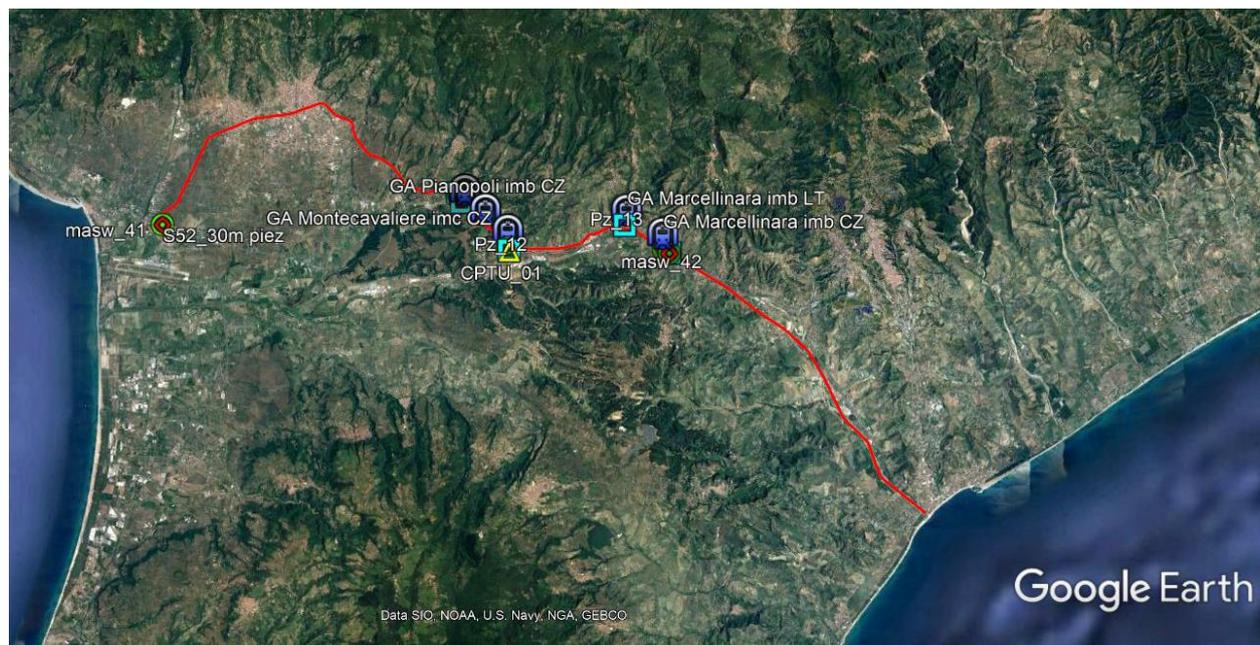


Figura 3-2 – Aree di approfondimento oggetto del presente lavoro da Catanzaro Lido a Lamezia Terme (Lotto 1). (Google Earth).

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
	Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA RC0W	LOTTO 01 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO LUNGO LINEA

Di seguito viene riportata in sintesi la descrizione dei litotipi presenti lungo la tratta in esame. Tali Unità Geologiche sono state utilizzate nella redazione degli elaborati cartografici generali redatti a corredo della relazione geologica generale.

Le Unità poste lungo il tracciato dell'intervento in progetto sono di seguito riassunte:

##### Unità Oloceniche e attuali

- *Depositi alluvionali ciottolosi e sabbiosi (ac)*: Essi rappresentano probabilmente i depositi più recenti della zona: sono legati ai letti dei fiumi attuali e ai litorali costieri e sono continuamente rimodellati dalle variazioni geomorfologiche determinate dalle dinamiche fluviali e marine. (Olocene).
- *Depositi alluvionali (a)*: Questi depositi comprendono i materiali alluvionali attuali e recenti non collegati a dinamica geomorfologica fluviale e/o litorale attiva. Si è scelto di accorpare le classi delle alluvioni fissate (af) e dei prodotti di solifluzione e dilavamento (a), definite nelle diverse legende dei Fogli della Carta Geologica d'Italia considerati. I materiali coinvolti sono simili e comprendono principalmente sabbie, argille e limi. (Olocene).
- *Detriti di versante (dt)*: Comprendono corpi di accumulo gravitativo, generati principalmente per scivolamento complesso di corpi argillosi, e coperture detritiche. (Olocene).
- *Depositi sabbiosi eolici stabilizzati (d)*: Sono comprese in questa classe le dune costiere stabilizzate dalla vegetazione che caratterizzano la porzione Ionica del litorale calabrese. (Olocene).

##### Unità Quaternarie antiche

- *Depositi conglomeratici e sabbiosi di ambiente fluviale (Q)*: Depositi terrazzati derivanti sedimentazione fluviale con ciottoli subarrotondati di materiale prevalentemente cristallino, non presentano fauna microfossile. Si tratta di corpi attualmente in forte erosione a causa della scarsa competenza e facile disgregazione. (Pleistocene).
- *Depositi conglomeratici e sabbiosi di ambiente marino (q)*: Depositi terrazzati derivanti sedimentazione di materiale continentale in ambiente marino costiero e/o poco profondo composti da sabbie, ghiaie, conglomerati e sabbioni. Presente microfauna fossile di tipo planctonico e bentonico. Corpi attualmente in forte erosione a causa della scarsa competenza e facile disgregazione. (Pleistocene).

- *Depositi di conoide antichi (qcls)*: Depositi continentali legati ad antiche conoidi di deiezione presenti alla bocca delle valli fluviali nella zona della Piana di Sant’Eufemia e che ne vanno a costituire il livello fondamentale successivamente rielaborato dalla dinamica Olocenica ed attuale. Litologicamente si presentano come sabbie micacee e conglomerati con ciottoli, da subarrotondati a subangolari di rocce metamorfiche, mal selezionati e di colore bruno rossastro. (Pleistocene).

### Depositi Neogenici

- *Sabbie e arenarie tenere (Psar)*: Sabbie ed arenarie tenere bruno-giallastre, a grana da media a grossolana, frequentemente a stratificazione incrociata. Le sabbie contengono una microfauna di foraminiferi abbondante sia planctonica che bentonica e una macrofauna ben espressa. Presenti locali intercalazioni di argille siltose. La resistenza all’erosione di questa litologia è fortemente correlata alla presenza di zone cementate: in alcune zone (per esempio Monte Arenoso) le sabbie sono completamente sciolte e danno origine a colate. Questa formazione si trova stratigraficamente al di sopra della successiva formazione di argille grigio-azzurre e corrispondente alle Argille marnose di Cutro (KCR). L’originale ambiguità della datazione al Pliocene medio – Calabriano utilizzata nella Carta Geologica della Calabria è stata quindi affinata utilizzando la datazione al Piacenziano – Calabriano della formazione delle Argille marnose di Cutro. L’unità geologica descritta è necessariamente di età almeno uguale se non più giovane della formazione di Cutro, data la sua posizione stratigrafica superiore.
- *Argille marnose di Cutro (KCR)*: Argille, argille marnose e siltiti, da grigie a brune con stratificazione non sempre evidente. Il contenuto macro e micropaleontologico rivela un ambiente di deposizione batiale e un’associazione di foraminiferi dal Piacenziano al Calabriano. L’unità passa per alternanza all’Arenaria di Scandale. Lo spessore è dell’ordine dei 400-500m. Si presume un ambiente di piattaforma. (Piacenziano – Calabriano).
  - *Arenarie di Scandale (Mar)*: Intercalazioni di sabbie e silt identificabili alla base della formazione delle argille marnose di Cutro. (Piacenziano – Calabriano).
- *Argille policrome (Mac)*: Argille policrome caotiche, con frequenti frammenti di rocce calcaree e arenacee. Argille prevalentemente rosse e verdi, microfauna sporadica con foraminiferi agglutinati bentonici. (Miocene medio – Superiore).
- *Formazione Gessoso-Solfifera (Ma)*: Argille e silts, per lo più non fossiliferi, localmente con intercalazioni sabbiose e lenti di gesso microcristallino. Possibile analogia con il membro di Torre Conidi (FDS<sub>3</sub>) della Formazione di Staletti descritto nel Foglio 580 “Soverato”. (Tortoniano – Messiniano).

- *Argilliti e siltiti grigie (Ms)*: Argille e silts grigi con intercalazione di arenarie tenere. Possibile analogia con il membro di Tre Monti (FDS<sub>2</sub>) della Formazione di Staletti descritto nel Foglio 580 “Soverato”. (Tortoniano – Messiniano).
  - *Intercalazioni di arenarie tenere (Ar)*: Intercalazioni di arenarie tenere e sabbie grigio-brunastre a grana da media a grossolana. Microfauna non significativa. (Tortoniano – Messiniano).
- *Gessi macrocristallini (Mg)*: Massicci o fini, sabbiosi e in strati sottili. Possibile analogia con il livello di gesso decametrico alla base del membro di Tre Monti (FDS<sub>2</sub>) della Formazione di Staletti descritto nel Foglio 580 “Soverato”. (Tortoniano – Messiniano).
- *Calccare evaporitico (Mt)*: bianco giallastro, perlopiù vacuolare e con locali intercalazioni di argilla marnosa. Possibile analogia con la formazione Tripoli (TPL) descritta nel Foglio 580 “Soverato”. (Tortoniano – Messiniano).
- *Conglomerati poligenici (Mc)*: conglomerati poligenici con ciottoli solitamente ben arrotondati e ghiaie, generalmente costipati. (Miocene Superiore).
- *Gruppo delle Argille Variegate (AV)*: Successione di argille scagliose dal rosso al blu al verde con intercalati strati di calcilutiti, calcareniti, arenarie e marne. La successione risulta intensamente deformata e lo spessore da dati di pozzo è superiore ai 500 m, il limite inferiore non è affiorante. (Cretacico – Eocene).
- *Scisti filladici nerastri (svf)*: con intrusioni di masse, filoni e vene di granito e porfido. Il metamorfismo di contatto ha determinato in alcune zone la formazione di scisti cornubianitici. (Paleozoico).
- *Calcari cristallini intercalati (Cc)*: lenti di marmi identificabili all’interno degli scisti filladici neri. Sia questi corpi che svf hanno una somiglianza con alcune delle facies descritte per le Metamorfiti di alto grado di Cenadi, descritte nel Foglio 580 “Soverato”. (Paleozoico).

Dal punto di vista generale, l’inquadramento geologico della linea può essere descritto come segue:

- tratta Catanzaro Lido – Catanzaro in questa tratta affiorano i depositi alluvionali recenti e attuali (a) riscontrati nella campagna di indagine fino a oltre 30 m di profondità.
- Tratta Catanzaro - Settingiano: procedendo verso Settingiano lungo la linea affiorano le formazioni di base (Argille marnose di Cutro (KCR) e Arenarie di Scandale (Mar)), ad eccezione delle incisioni di fiumi e fossi dove affiorano i depositi alluvionali (a).

- Tratta Settingiano - Marcellinara: nell'area di progetto Settingiano affiorano generalmente conglomerati poco consistenti (Mc) al di sotto dei quali sono state rinvenute le argilliti e siltiti (Ms) e la formazione gessoso-solfifera (Ma) anch'essa formata da argille siltose dure. Le argille limoso-marnose (Ma) sono state rinvenute anche in corrispondenza dell'area di progetto Marcellinara. In questa tratta in corrispondenza delle incisioni di fiumi e fossi affiorano i depositi alluvionali (a).
- Tratta Massaro – Contrada Gabella: nell'area di progetto Feroletto affiorano i depositi terrazzati in ambiente marino (q), composti da sabbie e ghiaie, fino ad una profondità di circa 10 m, ricoprenti la formazione basale delle argille di Cutro (KCR). In corrispondenza dell'area di progetto Quote Barile (Ponte Canello), al di sotto dei depositi superficiali (alluvioni (a) e depositi terrazzati (q)) si osserva il passaggio tra le argille di Cutro (KCR) e le sabbie e arenarie tenere (Psar) spesso affioranti fino al fosso Ippolito. Successivamente, in corrispondenza dell'area di progetto Feroletto, le argille di Cutro (KCR) sono state rinvenute al di sotto di alluvioni (a) e depositi terrazzati (q) affioranti. In località Contrada Gabella i depositi terrazzati (q) costituiti da ghiaie e sabbie più o meno limose, sono stati rinvenuti fino alla profondità di 20m.
- Tratta Nicastro – Lamezia Terme: in questa tratta affiorano principalmente antichi depositi di conoide (qcls) costituiti principalmente da ghiaie e sabbie, a luoghi ricoperti dai depositi alluvionali recenti (a). I depositi superficiali sono stati rinvenuti fino a 17 m in corrispondenza dell'area di progetto Nicastro, ove il sondaggio, spinto fino a 30m, ha rinvenuto la formazione basale delle argille di Cutro (KCR).

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 5.1 Premessa

Le indagini oggetto del presente documento costituiscono una integrazione delle indagini condotte per la progettazione definitiva dell'elettrificazione del Lotto I della tratta Lamezia Terme – Catanzaro Lido, e comprendono:

- n. 7 sondaggi geognostici spinti sino alla profondità tra 30.0 e 50.0 m dal p.c., con installazione di piezometro a “tubo aperto” e “Casagrande” per il monitoraggio della falda;
- n. 4 prove geofisiche MASW per la definizione dell'azione sismica di progetto.
- n. 1 prova Down-Hole
- n. 5 prove HVSR
- n. 2 prove penetrometriche CPTu
- n. 5 pozzetti esplorativi spinti fino a 3 m di profondità

Delle suddette indagini, solo alcune risultano disponibili al momento della stesura del presente elaborato. I risultati di queste vengono riportati sinteticamente in questo paragrafo.

Inoltre, per i piazzali MATS PT06 e PT07 sono stati utilizzati i dati relativi alla campagna di indagine 2019 eseguita nell'ambito del progetto di elettrificazione del suddetto lotto, e comprendono

- n.3 sondaggi geognostici spinti sino alla profondità pari a 30.0 m dal p.c., con installazione di piezometro a “tubo aperto” e “Casagrande” per il monitoraggio della falda;
- n. 1 prove geofisiche MASW.
- n. 1 prova Down-Hole

### 5.2 Sondaggi verticali

In Tabella 5-1 si riporta identificativo, profondità, data di esecuzione, quota, progetto e coordinate dei sondaggi eseguiti nei mesi di luglio 2019 e di Giugno/Luglio 2020 a supporto del presente studio.



Profondità (m da p.c.)	S30	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57
10,0	-	18	-	-	-	-	-	-	-
10,5	76	-	-	28	-	-	14	66	29
13,0	-	30	41	-	-	-	-	-	-
13,5	R	-	-	36	-	-	26	25	-
14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	34
16,5	-	-	-	72	-	-	28	45	-
16,9	-	-	-	-	-	-	-	-	31
17,5	89	-	31	-	-	-	-	-	-
18,0	-	26	-	-	-	-	-	-	-
19,5	-	-	-	18	-	-	33	40	28
21,6	-	21	-	-	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	38	-	-	29	-	27
22,7	-	-	18	-	-	-	-	-	-
23,1	-	-	-	-	-	-	-	32	-
25,0	-	32	-	-	-	-	-	-	-
25,5	-	-	-	38	-	-	39	36	62
28,5	-	-	-	40	-	-	58	49	R
31,0	-	-	-	-	-	-	-	-	69
31,5	-	-	-	-	-	-	30	75	-
34,0	-	-	-	-	-	-	-	-	R
34,5	-	-	-	-	-	-	R	R	-

**Tabella 5-3 – Risultati delle prove SPT eseguite durante la perforazione dei sondaggi.**

In Tabella 5-4 si riportano i risultati delle prove d'acqua (Lefranc e Lugeon) eseguite nei fori di sondaggio.

ID	Lefranc		Lugeon	
	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S30	6.00-7.00	6.559E-5	-	-
S50	5-6	7,189E-06	-	-
S51	5-6	2,425E-06	-	-
S52	4.50-6.00	9.56E-06	-	-
	27.00-28.50	3.5E-05	-	-
S53	3.00-4.50	1.01E-06	15.50-18.00	3.1E-08
S54	-	-	4.00-8.00	5.9E-09
	-	-	27.00-30.00	7.7E-8
S55	4.50-5.50	5.16E-05	-	-
	15.00-16.00	2.58E-05	-	-
	24.00-25.50	1.97E-04	-	-
S56	3.00-4.50	2.93E-05	-	-
	15.00-16.50	3.80E-04	-	-
	30.00-31.50	5.03E-05	-	-
S57	4.50-6.00	5.33E-05	-	-
	16.50-19.50	2.78E-05	-	-
	26.00-28.50	4.20E-05	-	-

**Tabella 5-4 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc e Lugeon eseguite in foro di sondaggio.**

### 5.3 Prove geofisiche

La campagna di indagini geofisiche consiste nelle seguenti indagini:

- N. 4 (2020) + 1 (2019) indagini tipo MASW
- N. 1 (2020) +1 (2019) indagine tipo Down Hole
- N. 5 indagini di tipo HVSR

La figura seguente riporta la posizione delle indagini eseguite, per i dettagli delle quali si rimanda alle relazioni dedicate (RC0W01D69IGGE0005001; RC0W01D69IGGE0005002).

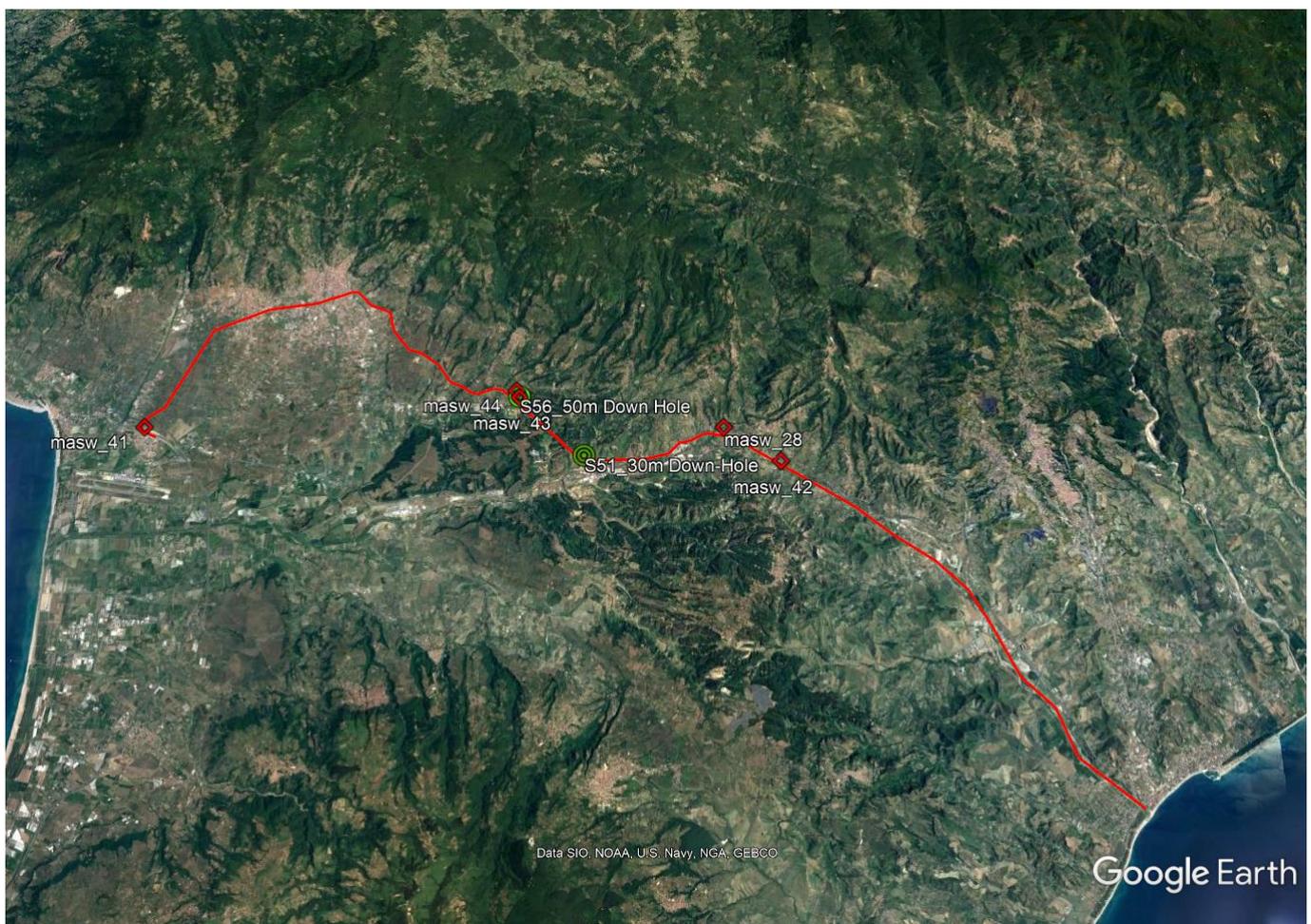


Figura 5-1 – Ubicazione delle indagini geofisiche (Google Earth).

## 6 CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;
- indagini sismiche (prove MASW e Down-Hole).

### 6.1 Depositi incoerenti

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio sono stati stimati principalmente sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Per quanto riguarda la stima della densità relativa dalle prove SPT, sono stati considerati i valori minimi ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte.

#### Stato di addensamento

##### a) Correlazione di Skempton

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986), la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente legge:

$$D_r = \left( \frac{1}{A + B \cdot \sigma'_{vo}} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in tabella seguente

$\sigma'_{vo}$  = pressione verticale efficace alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>);

$N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione ;

$D_r$  = densità relativa (-).

**Tabella 6-1–Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)**

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovraconsolidate	27,5÷43,3	$(21,7÷27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (ko)_{sc}}{1+2 \cdot (ko)_{nc}}$

Nel caso in esame sono state cautelativamente considerate le costanti empiriche relative a sabbie fini normal consolidate.

**b) Correlazione di Gibbs e Holtz (1957)**

$$D_R = 1.5 \cdot \left( \frac{N_{spt}}{F} \right)^{0.222} - 0.6$$

$$F = 0.65 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^2 + 16.8 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) + 14$$

Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT è stata utilizzata la correlazione di Schmertmann (1977) di seguito illustrata. Cautelativamente per la definizione dei parametri di resistenza di progetto si è fatto riferimento ai valori minimi ottenuti dalle correlazioni.

**Correlazione di Schmertmann**

L'angolo di resistenza al taglio ( $\varphi'$ ) stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) correla l'angolo di resistenza al taglio alla densità relativa attraverso la seguente relazione:

$$\varphi = 38.5 + 0.108 \cdot D_R \quad \text{sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

$$\varphi = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \quad \text{sabbia grossa–media uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \quad \text{sabbia medio-fine uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi = 28.0 + 0.14 \cdot D_R \quad \text{sabbia fine uniforme}$$

essendo:  $D_r$  = densità relativa

### Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti sono state stimate per mezzo delle indagini sismiche in sito (prove Down-Hole e MASW).

I moduli di deformabilità “operativi” ( $E'$ ) da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle 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 ( $E_{op}' = E_0/10$ ).

## **6.2 Depositi coesivi**

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito, anche dai risultati delle prove di laboratorio.

### Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometriche;
- Pesi di volume naturale e secco;
- Contenuti d'acqua naturale;
- Limiti di Atterberg.

### Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati principalmente sui risultati delle prove di laboratorio ovvero:

- Prove di taglio diretto TD
- prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (TxUU)
- prove di compressione triassiale consolidata isotropicamente non drenata (TxCIU) e drenata (TxCID)

I risultati delle prove di laboratorio sono stati anche confrontati con i valori ottenuti dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata stimata anche per mezzo prove speditive di Pocket Penetrometer (PP) e delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (5.0 \div .5) \times N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

I valori sono stati poi riportati nello stesso grafico, con indicato anche l'andamento della resistenza al taglio per un terreno normal-consolidato ricavato dalla seguente relazione:  $c_{uNC} = 0.23 \cdot \sigma'_v$ .

### Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi sono state stimate:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (MASW);
  - I moduli di deformabilità “operativi” ( $E'$ ) da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle 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 ( $E_{op}' = E_0/10$ ).

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE AREE DI PROGETTO

In questo paragrafo, verranno descritte le principali caratteristiche geotecniche di dettaglio a livello locale per le aree di progetto delle viabilità di accesso piazzali “PT06”, “PT07” e “PT08”, “cabina LT” e “GA Marcellinara” in base all’interpretazione delle indagini disponibili.

### 7.1 Cabina TE di Lamezia Terme

Le indagini eseguite in corrispondenza del piazzale della cabina TE di Lamezia Terme sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

ID	PROFONDITA'	DATA	Quota	Coordinate UTM Zone 33 S		Strumentazione
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	(m s.l.m.)	E	N	
S52	30.00	10-16/06/2020	-	608446.44	4308994.18	Piezometro a tubo aperto

**Tabella 7-1 – Sondaggi effettuati nell’area di progetto “Cabina TE Lamezia Terme”**

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub>
1.5	20
4.5	21
7.5	39
10.5	28
13.5	36
16.5	72
19.5	18
22.5	38
25.5	38
28.5	40

**Tabella 7-2 – Risultati delle prove SPT**

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S52	4.50-6.00	9.56E-06
	27.00-28.50	3.5E-05

**Tabella 7-3 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

ID	DATA ESECUZIONE	Coordinate UTM Zone 33 S		Vs eq.	Categoria di suolo (NTC 2018)
		E	N		
MASW 41	Maggio 2020	608453.74	4308990.93	392	B

**Tabella 7-4 – Prove MASW eseguite per la definizione dell'azione sismica di progetto**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA					ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
						G	S	L	A	L+A	WI	Ip		USCS	c (kPa)	
S52_CI1	3.00	22.30	2.00		2.68	14.29	24.49	36.23	24.98		44	23		33	TD	20
	3.20					10.56	25.26	26.51	37.67							
S52_CI2	6.00	15.96			2.63	48.67	29.68	14.72	6.94		33	15				
	6.35					42.28	233.64	13.03	11.05							
S52_CI3	9.00	20.39	2.05		2.66	25.89	26.20	37.77	10.15		32	12		0	CID	25
	9.40					25.17	22.67	30.78	21.37							
S52_CR1	12.30	12.44	2.19		2.70	30.16	54.21	13.10	2.54		23	3				
	12.60					24.35	58.17	12.17	5.31							
S52_CR2	15.00	11.04	2.15		2.69	10.13	64.02	20.69	5.16		23	5				
	15.30					5.21	66.30	17.84	10.65							
S52_CR3	17.20	12.30	2.18		2.67	5.86	71.91	18.28	3.95		ND	NP				
	17.50					4.25	71.30	16.14	8.31							
S52_CR4	23.50	12.80	2.21		2.65	0.08	76.63	19.78	3.52		ND	NP				
	23.80					0	70.54	21.08	8.38							
S52_CR5	28.00	14.57	2.16		2.66	0.03	79.00	17.31	3.66		ND	NP				
	28.30					0	74.44	19.07	6.49							

**Tabella 7-5 – Prove di laboratorio Sondaggio S52 (blu = classificazione AGI; verde=classificazione ASTM)**

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
	Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA RC0W	LOTTO 01 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

### 7.1.1 Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo

L'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (S52) ha consentito di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame riportata nella seguente tabella

STRATO	Da	A	Descrizione
	[m da p.c. orig.]		
L(S)	0.0	5.9	Limi sabbiosi e sabbie limose
S/Ar	5.9	30	Sabbie e/o arenarie grossolane

**Tabella 7-6 – Cabina TE Lamezia Terme, stratigrafia**

### 7.1.2 Falda di progetto

Sulla base delle informazioni di monitoraggio piezometrico (-9.92 in data 14/10/2020), la falda viene assunta ad una quota pari a circa 10m da boccapozzo.

### 7.1.3 Parametri geotecnici di calcolo

Non essendo disponibili prove di laboratorio, eccetto granulometrie e limiti di Atterberg, e avendo le prove SPT fornito valori sempre a rifiuto al di sotto della copertura alluvionale, si è proceduto ad una stima cautelativa dei parametri di resistenza delle formazioni incontrate lungo il sondaggio:

STRATO	Da	A	Spessore [m]	Angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace [kPa]	Coesione non drenata [kPa]	Peso unità di volume	Permeab. [m/s]		
	[m da p.c. orig.]			$\phi'_k$ [°]			$c'_k$ [kPa]		$c_{uk}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
	L(S)	0.0		5.9			5.9		20-30	30-0
S/Ar	5.9	30	23.1	24-32	0	-	20.1	3E-05		

**Tabella 7-7 – Parametri geotecnici di calcolo**

STRATO	Da	A	Modulo elastico dinamico	Modulo di Young operativo 1	Modulo di Young operativo 2
			$E_0$	$E_{op,1} = E_0 / 10$	$E_{op,2} = E_0 / 5$
			[m da p.c. orig.]	[MPa]	[MPa]
L(S)	0.0	5.9	500-560	50-56	100-112
S/Ar	5.9	30	560-2100	56-210	112-420

**Tabella 7-8 –moduli di deformabilità dei terreni**

## 7.2 Piazzale Mats PT05 Imbocco lato LT GA Pianopoli

Non si hanno indagini eseguite in corrispondenza del piazzale PT05. Per la caratterizzazione sono state considerate le indagini pianificate in base alla precedente ipotesi progettuale che prevedeva una viabilità di accesso allo stesso piazzale con scavalco del Fosso Ippolito. I risultati di tali indagini, poste a distanza compresa tra 150 e 350 m dalla sede attuale del PT05, sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

ID	PROFONDITA'	DATA	Coordinate UTM Zona 33S		Strumentazione	SITO
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	E	N		
S55	50.00	17-19/06/2020	620557.65	4310330.37	Piezometro di Casagrande	Piazzale Mats PT05 Imbocco lato LT GA Pianopoli
S56	50.00	30/06- 03/07/2020	620562.50	4310225.01	Tubo PVC Down-Hole	
S57	50.00	20-24 /06/2020	620487.57	4310437.97	Piezometro a tubo aperto	

**Tabella 7-9 – Sondaggi effettuati nell’area di progetto “PT05”**

ID	PROFONDITA'	QUOTA	DATA	Coordinate UTM Zona 33S		SITO
	(m dal p.c.)	(m s.l.m.)	ESECUZIONE	E	N	
PZ10	3.00	111.788	06/07/2020	620412.69	4310494.32	Piazzale Mats PT05 Imbocco lato LT GA Pianopoli
PZ11	3.00	110.580	07/07/2020	620579.35	4310126.11	

**Tabella 7-10–Pozzetti effettuati nell’area di progetto “PT05”**

Profondità (m da p.c.)	S55	S56	S57
1,5	19	11	21
3,5	-	-	-
4,5	23	R	34
5,6	-	-	-
7,5	7	63	-
8,1	-	-	25
10,0	-	-	-
10,5	14	66	29
13,0	-	-	-
13,5	26	25	-
14,1	-	-	34
16,5	28	45	-
16.9	-	-	31

Profondità (m da p.c.)	S55	S56	S57
17,5	-	-	-
18,0	-	-	-
19,5	33	40	28
21,6	-	-	-
22,5	29	-	27
22,7	-	-	-
23,1	-	32	-
25,0	-	-	-
25,5	39	36	62
28,5	58	49	R
31,0	-	-	69
31,5	30	75	-
34,0	-	-	R
34,5	R	R	-

**Tabella 7-11 –Risultati delle prove SPT**

ID	Lefranc	
ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S55	4.50-5.50	5.16E-05
	15.00-16.00	2.58E-05
	24.00-25.50	1.97E-04
S56	3.00-4.50	2.93E-05
	15.00-16.50	3.80E-04
	30.00-31.50	5.03E-05
S57	4.50-6.00	5.33E-05
	16.50-19.50	2.78E-05
	26.00-28.50	4.20E-05

**Tabella 7-12 –Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CI1	6.00-6.45	23.50	19.5	26.6	0.00	5.62	50.64	43.74	48	22	Limo con argilla deb sabbioso	21	TD	31
CI2	12.00-12.50	21.43	20.1	27.0	0.00	22.70	57.22	20.08	32	12	Limo sabbioso-argilloso	7	CID	33
CR1	9.50-9.80	18.72	18.9	26.9	0.00	83.13	12.76	4.11	-	NP	Sabbia limosa	-	-	-
CR2	11.30-11.70	25.08	19.2	27.0	0.00	61.79	27.61	10.60	21	4	Sabbia con limo argillosa	-	-	-
CR3	14.70-15.00	21.01	20.1	26.7	0.00	75.05	20.07	4.88	-	NP	Sabbia limosa	-	-	-
CR4	18.70-19.00	18.67	19.2	26.6	0.00	30.61	49.07	20.32	28	7	Limo con sabbia argilloso	-	-	-
CR5	23.60-23.90	20.71	19.2	26.8	0.00	39.82	43.79	16.39	292	6	Limo con sabbia argilloso	-	-	-
CR6	29.70-30.00	17.42	17.5	26.7	0.00	37.62	42.65	19.73	29	7	Limo con sabbia argilloso	-	-	-
CR7	32.7-33.00	20.47	20.3	26.9	0.00	8.87	50.59	40.54	42	21	Limo con argilla deb sabbioo	-	-	-
CR8	36.00-36.30	16.79	19.3	27.5	4.54	58.87	24.44	12.15	24	5	Sabbia con limo argillosa	-	-	-
CR9	43.70-44.00	17.94	19.8	26.7	1.91	43.93	36.17	17.99	29	7	Sabbia con limo argillosa	-	-	-
CR10	47.50-47.80	15.03	19.7	27.0	1.44	54.15	29.49	14.92	25	6	Sabbia con limo argillosa	-	-	-

**Tabella 7-13 – Prove di laboratorio (Sondaggio S55)**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CI1	3.00-3.32	5.76	24.7	27.0	63.10	22.82	10.34	3.71	-	-	Ghiaia sabbiosa-limosa	-	-	-
CI2	22.50-23.20	23.19	20.3	27.1	0.00	32.19	55.54	12.27	31	6	Limo con sabbia argillosa	-	-	-
CR1	6.30-6.60	4.78	24.9	26.9	64.31	24.25	8.30	3.14	-	-	Ghiaia sabbiosa deb limosa	-	-	-
CR2	9.00-9.32	16.76	-	26.6	0.19	92.70	4.79	2.32	-	-	Sabbia	-	-	-
CR3	11.70-12.00	14.31	19.7	26.7	0.20	87.50	9.71	2.59	-	-	Sabbia deb limosa	-	-	-
CR4	14.70-15.00	21.23	19.9	26.7	0.00	52.36	33.47	14.17	-	-	Sabbia con limo argillosa	-	-	-
CR5	18.00-18.30	14.15	20.2	26.9	23.43	54.49	17.19	4.88	-	-	Sabbia con ghiaia limosa	-	-	-
CR6	27.00-27.30	22.19	19.8	26.5	0.17	86.96	9.95	2.92	-	-	Sabbia deb limosa	-	-	-
CR7	32.50-32.80	13.59	20.2	26.4	0.16	87.50	6.54	5.80	-	-	Sabbia deb limosa	-	-	-

CR8	37.70-38.00	10.98	20.9	10.98	0.14	87.71	9.22	2.92	-	-	Sabbia deb limosa	-	-	-
CR9	44.00-44.30	11.53	20.3	11.53	16.79	60.28	17.94	4.99	-	-	Sabbia limoso-ghiaiosa	-	-	-

**Tabella 7-14 – Prove di laboratorio (Sondaggio S56)**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CI1	7.50-8.10	33.08	18.3	26.3	0.00	4.41	57.14	38.45	53	24	Limo con argilla	1	TD	17
CI2	13.50-14.10	21.29	20.2	26.7	0.00	20.94	61.34	17.72	31	7	Limo sabbioso-argilloso	326.62	UU	-
CI3	16.50-16.90	27.90	19.3	26.8	0.00	86.66	9.16	4.18	-	-	Sabbia deb limosa	1	CID	34
CR1	5.70-6.00	13.95	20.3	26.8	0.00	75.62	18.23	6.15	-	-	Sabbia limosa	-	-	-
CR2	24.70-25.00	15.50	21.6	26.8	6.45	72.65	14.12	6.78	-	-	Sabbia limosa deb ghiaiosa-argillosa	-	-	-
CR3	26.40-26.70	16.51	20.7	26.4	9.58	50.53	26.92	12.96	28	8	Sabbia con limo argillosa deb ghiaiosa	-	-	-
CR4	36.70-37.00	16.21	19.5	27.1	2.39	62.17	26.12	9.31	25	5	Sabbia con limo deb argillosa	-	-	-
CR5	43.50-43.80	16.00	21.0	26.5	1.35	42.87	34.78	21.00	-	-	Sabbia con limo argillosa	-	-	-
CR6	46.00-46.30	16.79	19.4	26.6	0.00	37.94	43.72	18.34	-	-	Limo con sabbia argilloso	-	-	-

**Tabella 7-15 – Prove di laboratorio (Sondaggio S57)**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CR1	0.50-0.80	14.66	-	27.6	53.70	35.00	11.30		-	-	Ghiaia con sabbia	-	-	-
CR2	1.70-2.00	13.36	-	27.4	57.30	31.60	11.10		-	-	Ghiaia con sabbia	-	-	-

**Tabella 7-16 – Prove di laboratorio (pozzetto PZ10)**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CR3	0.80-1.00	15.74	-	27.1	0.70	19.40	80.00		31	9	Argilla e limo sabbiosa	-	-	-
CR4	2.20-2.50	14.82	-	26.9	2.10	18.40	79.60		32	11	Argilla e limo sabbiosa	-	-	-

**Tabella 7-17 – Prove di laboratorio (pozzetto PZ11)**

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA RC0W	LOTTO 01 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 31 di 71

### 7.2.1 Elaborazione delle prove in sito e laboratorio

Il materiale rinvenuto nell'area di progetto PT05 appartiene in generale ai materiali alluvionali dei letti fluviali (unità geologica “ac” e “a”), ai depositi derivanti dalla sedimentazione fluviale (unità geologica “Q”) e alle sabbie e arenarie tenere (unità geologica “Psar”).

Sono generalmente costituiti da materiale sciolto o scarsamente coesivo, ad eccezione degli orizzonti a prevalente composizione fine, generalmente privo di plasticità o poco plastico, e caratterizzato da uno stato di addensamento crescente con la profondità, da moderatamente addensato ad addensato, localmente duro. In base alla descrizione stratigrafica dei sondaggi, la frazione più grossolana sembra essere prevalente nei primi metri da p.c.

Dalle analisi granulometriche, riportate nella **Figura 7-1**, si ottiene:

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 64 %;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 4 e 93 %;
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa tra 7 e il 96% con percentuale di limo compresa fra 5 e 61% e percentuale di argilla compresa fra 2 e 44%.

I valori dei limiti di Atterberg illustrati nella **Figura 7-2** sono

- Limite liquido è compreso tra 5 e 33% (media 18%),
- Limite plastico tra 17 e 29% (media 22%),
- Indice plastico tra 4 e 24% (media 10%)

In base alla carta di plasticità (**Figura 7-3**) i campioni elaborati sono in maggior parte ascrivibili alle “Argille e limi inorganici di bassa e media plasticità” (CL-ML)

Il peso unità di volume è compreso fra 17.5 e 24.7 (media 20.1 kN/m<sup>3</sup>), (**Figura 7-4**).

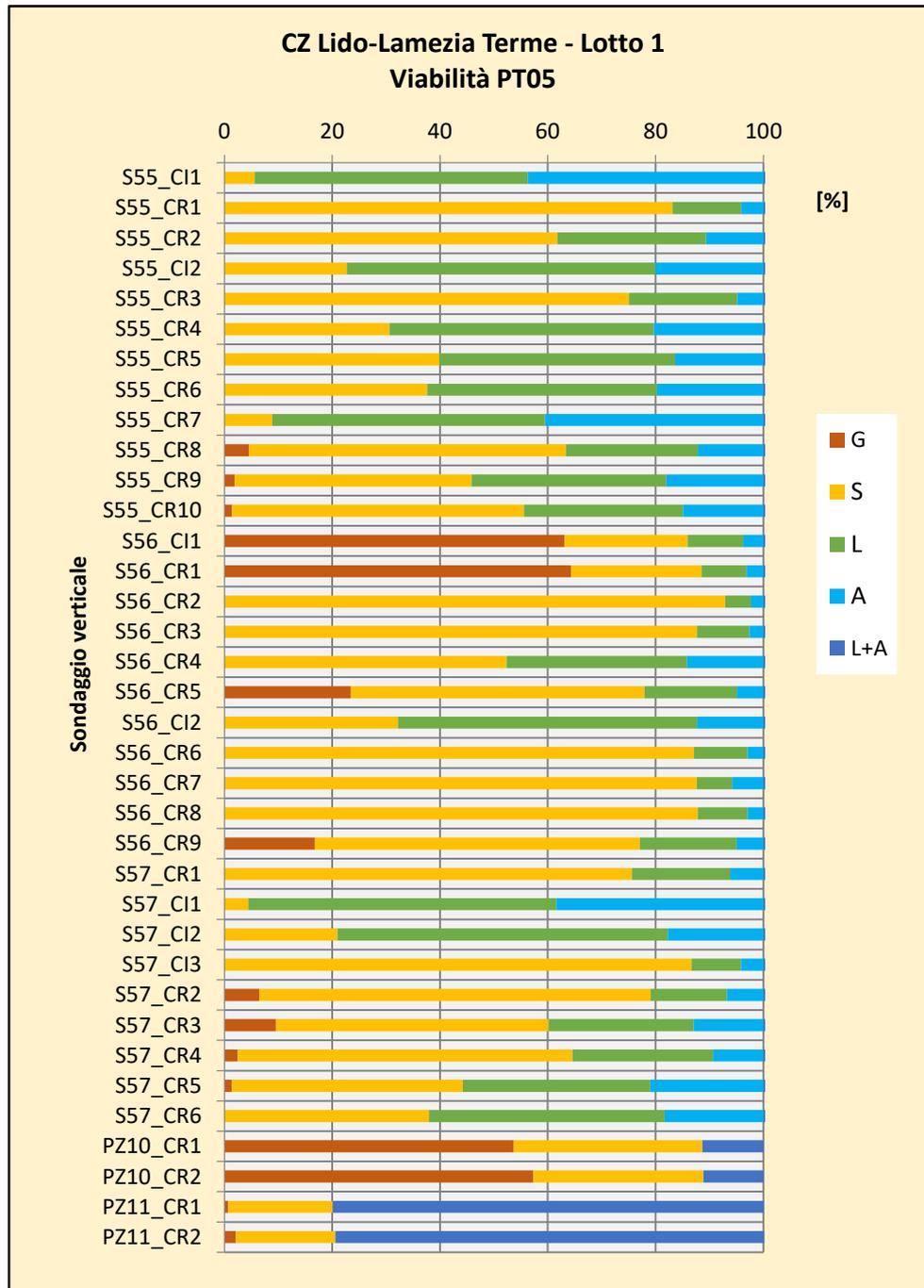


Figura 7-1 – PT05, risultati dell'analisi granulometrica

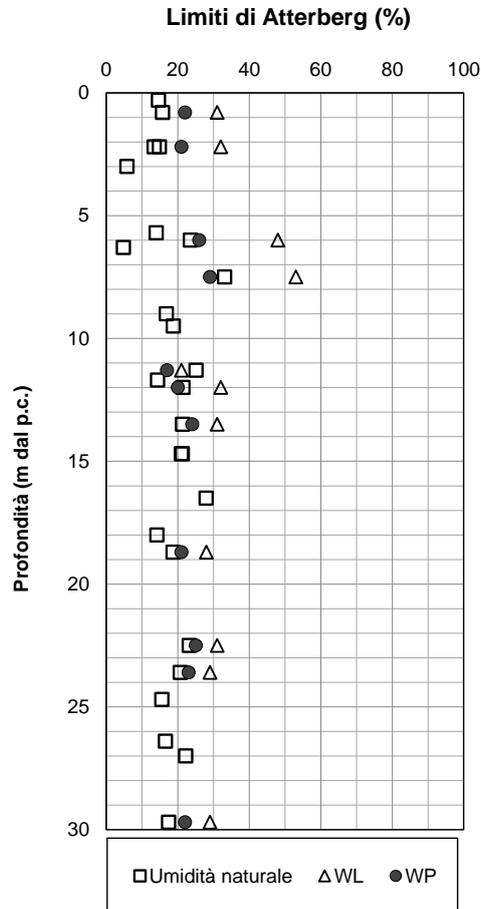


Figura 7-2 – PT05, Limiti di Atterberg

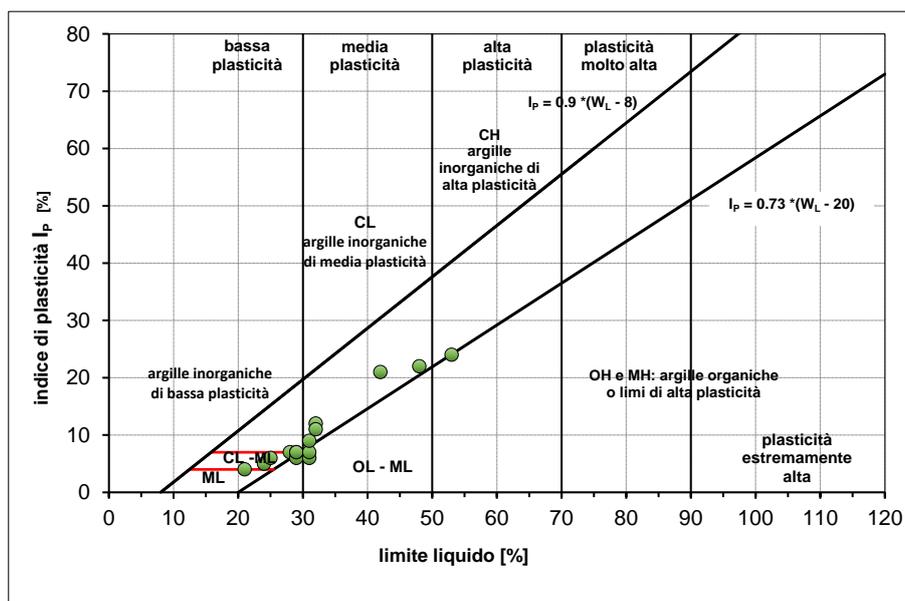
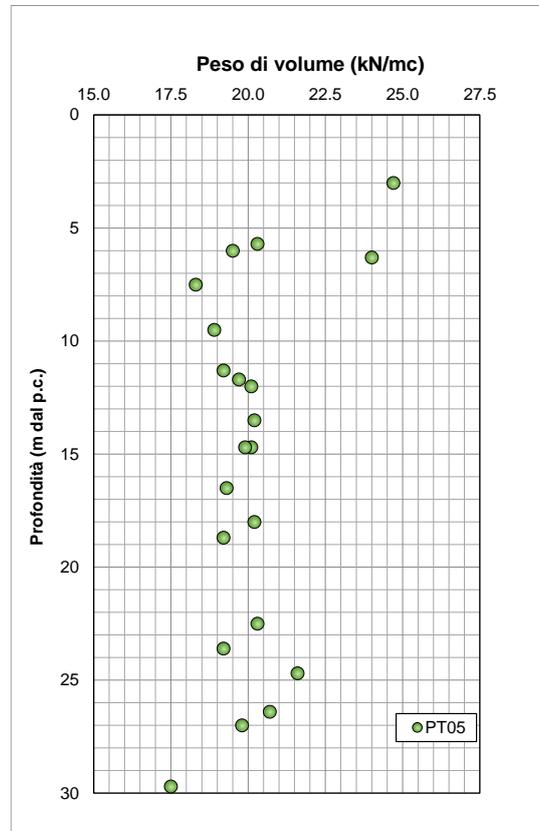


Figura 7-3 – PT05, carta di plasticità di Casagrande



**Figura 7-4 – PT05, peso unità di volume**

Sui campioni sono state eseguite alcune prove di taglio diretto e triassiali che hanno fornito i seguenti valori dei parametri di resistenza

$c' = 1.0 \div 21.0$  (kPa) coesione drenata

$\varphi' = 17 \div 34.0$  (°) angolo di resistenza al taglio

$c_u = 326$  (kPa) coesione non drenata

I campioni testati sono classificabili come limi con argilla e limi sabbioso-argillosi e come tali associabili alle porzioni più fini del materiale rinvenuto nell'area di progetto.

Le prove penetrometriche dinamiche (SPT) forniscono valori dei parametri misurati rappresentativi di un materiale piuttosto consistente con un aumento crescente della resistenza alla penetrazione con la profondità (**Figura 7-5**): il numero di colpi  $N_{SPT}$  per un avanzamento del carotiere di 30 cm è compreso tra 7 e 49, escludendo valori  $N_{SPT} > 50$

considerati valori a rifiuto. Nella stessa figura sono riportati i risultati delle prove di laboratorio solo in termini di angolo di attrito che risulta leggermente inferiore rispetto alla stima ricavata dalle prove in sito.

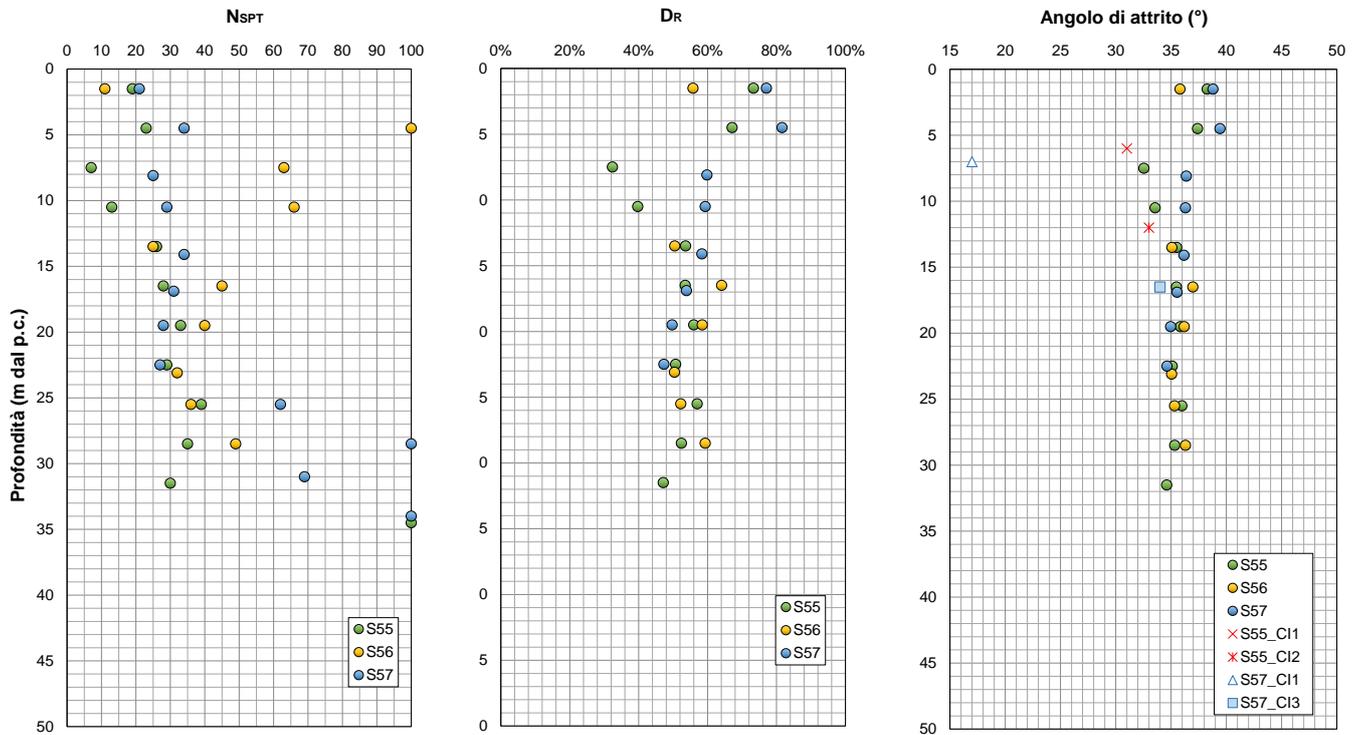


Figura 7-5 – PT05, Prove SPT

### 7.2.2 Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo

In base alla campagna di indagine condotta nell'area prossima al PT05, è stato possibile ricostruire la stratigrafia del sottosuolo riportata nella seguente tabella

STRATO	Da	A	Descrizione
	[m da p.c. orig.]		
G/S	0.0	5.5	GHIAIA SABBIOSA e GHIAIA CON SABBIA, eterometrica, da sub-angolare a sub-arrotondata, da moderatamente addensata ad addensata.
S/L (A)	5.5	30.0	SABBIA fine e SABBIA media ben gradate e LIMO, da ARGILLOSI a DEBOLMENTE ARGILLOSI, con intercalazioni e lenti di ARGILLA LIMOSA., da moderatamente addensata ad addensata.

Tabella 7-18 – PT05, stratigrafia

### 7.2.3 Falda di progetto

Durante il monitoraggio dei piezometri installati nei sondaggi S55 e S57 (n. 1 lettura in data 12/10/2020), la falda è stata rinvenuta a profondità da quota boccaforo rispettivamente pari a 10.73 e 13.59 m che corrisponde approssimativamente ad una quota compresa tra 94 e 97 m slm.

### 7.2.4 Parametri geotecnici di calcolo

Nelle tabelle che seguono si riportano i parametri di calcolo e i moduli di deformabilità:

STRATO	Da	A	Spessore	Angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso unità di volume	Permeab.
	[m da p.c. orig.]		[m]	$\phi'_k$	$c'_k$	$c_{uk}$	$\gamma$	k
				[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m/s]
G/S	0.0	5.5	5.5	35-38	0	-	20.0	5E-05
S/L (A)	5.5	30.0	24.5	32-35	0	-	20.0	5E-05-5E-04-

**Tabella 7-19 –Parametri geotecnici caratteristici PT05**

STRATO	Modulo elastico dinamico	Modulo di Young operativo 1	Modulo di Young operativo 2
	$E_0$	$E_{op.1} = E_0 / 10$	$E_{op.2} = E_0 / 5$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
G/S	220-260	22-26	44-52
S/L (A)	260-1700	26-170	52-340

**Tabella 7-20 –PT08 moduli di deformabilità dei terreni**

### 7.3 Piazzale Mats PT06 Imbocco lato CZ GA Montecavaliere

Le indagini eseguite nei pressi del piazzale Mats PT06 sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

ID	PROFONDITA'	DATA	Quota	Coordinate UTM Zone 33 S		Strumentazione
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	(m s.l.m.)	E	N	
S50	30.00	22-23/07/2019	91.18	622681.38	4308253.21	Piezometro a tubo aperto
S51	30.00	22-23/07/2019	92.26	622734.53	4308241.90	Piezometro a tubo aperto

**Tabella 7-21 – Sondaggi effettuati nell'area di progetto "PT06"**

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>
	S50	S51
1.5	20	9
4.5	21	-
5.6	-	20
7.5	14	-
10.0	18	-
13.0	30	41
17.5	-	31
18.0	26	-
21.6	21	-
22.7	-	18
25.0	32	-

**Tabella 7-22 – Risultati delle prove SPT**

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S50	5-6	7,189E-06
S51	5-6	2,425E-06

**Tabella 7-23 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

ID	DATA ESECUZIONE	Coordinate UTM Zone 33 S		Vs eq.	Categoria di suolo (NTC 2018)
		E	N		
MASW 40	Luglio 2019	622680.59	4308244.81	349	C
DH S51		2642784.02	4308235.19	333	C

**Tabella 7-24 – Prove MASW eseguite per la definizione dell'azione sismica di progetto**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA					ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
						G	S	L	A	L+A	WI	Ip	USCS	c (kPa)		$\phi$ (°)
S50_CR1	1.55					26.26	57.99	12.70	3.05		ND	NP	SM			
	2.00					16.39	66.00	12.80	4.80							
S50_CR2	4.55					17.21	59.47	20.62	2.70		19	NP	SM			
	5.00					10.47	60.56	21.49	7.48							
S50_CII	7.00	21.96	1.97	1.61	2.74	0.29	42.89	38.83	18.02		27	5	CL-ML	54	CD	27.6
	7.60					0.00	35.99	35.90	28.11							
S50_CR3	10.00					3.71	60.58	22.90	12.81		21	2	SM			
	10.45					2.24	57.67	22.02	18.07							
S50_CR4	18.45					3.17	52.75	30.35	13.73		18	NP	SM			
	18.70					1.72	51.21	25.44	21.63							
S50_CII2	21.00	21.30	1.95	1.61		0.76	52.21	31.89	15.14		30	9	CL	185	UU	-
	21.60					0.00	46.09	29.89	24.02							
S51_CR1	1.55					8.95	65.36	20.92	4.77		21	2	SM			
	2.00					6.60	62.06	21.16	10.18							
S51_CR2	5.55					24.84	47.28	20.29	7.59		18	3	SM			
	6.00					19.00	51.64	15.36	13.99							
S51_CR3	13.20					22.24	52.27	18.23	7.26		18	3	SM			
	13.65					11.67	61.48	14.99	11.87							
S51_CR4	17.55					6.74	85.26	-	-	8.00	ND	NP	SW-SM			
	18.00					0.79	90.00	-	-	9.21						
S51_CII	22.00	22.26	1.95	1.60	2.76	0.52	41.82	35.63	22.02		35	14	CL	191	UU	-
	22.60					0.04	33.83	35.10	31.04							

**Tabella 7-25 – Prove di laboratorio Sondaggi S50 e S51 (blu = classificazione AGI; verde=classificazione ASTM)**



### 7.3.2 Falda di progetto

Sulla base delle informazioni riportate nella stratigrafia dei sondaggi S50 e S51, la falda viene assunta ad una quota pari a circa 10.5m da boccapozzo.

### 7.3.3 Parametri geotecnici di calcolo

Sulla base delle prove penetrometriche SPT e delle prove di laboratorio disponibili, si è proceduto ad una stima cautelativa dei parametri di resistenza delle formazioni incontrate lungo il sondaggio:

STRATO	Da	A	Spessore	Angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso unità di volume	Permeab.
	[m da p.c. orig.]		[m]	$\phi'_k$	$c'_k$	$c_{uk}$	$\gamma$	$k$
				[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m/s]
S (L)	0.0	20	20	27÷34	10÷0	0÷70	19.5	5E-06
A (L)	20	30	10	26÷27	10÷20	150÷200	19.7	

**Tabella 7-27 –Parametri geotecnici di calcolo**

STRATO	Modulo elastico dinamico	Modulo di Young operativo 1	Modulo di Young operativo 2
	$E_0$	$E_{op.1} = E_0 / 10$	$E_{op.2} = E_0 / 5$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
S (L)	180÷880	18÷88	36÷176
A (L)	1700÷2500	170÷250	340÷500

**Tabella 7-28 –moduli di deformabilità dei terreni**

#### 7.4 Piazzale Mats PT07 Imbocco lato LT GA Marcellinara

Le indagini eseguite in corrispondenza del piazzale Mats PT07 sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

ID	PROFONDITA'	DATA	Quota	Coordinate UTM Zone 33 S		Strumentazione
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	(m s.l.m.)	E	N	
S30	30.00	19-20/07/2019	148.09	627223.70	4309286.71	Piezometro di Casagrande

**Tabella 7-29 – Sondaggi effettuati nell'area di progetto "PT07"**

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub>
1.5	4
3.5	18
7.5	R
10.5	76
13.5	R
17.5	89

**Tabella 7-30 – Risultati delle prove SPT**

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S30	6-7	6.559E-5

**Tabella 7-31 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

ID	DATA ESECUZIONE	Coordinate UTM Zone 33 S		Vs eq.	Categoria di suolo (NTC 2018)
		E	N		
MASW 28	Luglio 2019	627236.49	4309280.57	359	C

**Tabella 7-32 – Prove MASW eseguite per la definizione dell'azione sismica di progetto**

CAMP.	Prof	PP (kPa)	VT (kPa)	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
								G	S	L	A	Wl	Ip	USCS	c (kPa)		$\phi$ (°)
CR2	3.50							10.28	42.28	32.16	14.76	33	11	CL			
	3.95							3.52	45.51	26.38	24.60						
CR4	13.50							0.47	29.79	57.00	12.73	36	11	ML			
	13.95							0.03	27.22	47.77	24.98						

**Tabella 7-33 – Prove di laboratorio Sondaggio S29 (blu = classificazione AGI; verde=classificazione ASTM)**

#### 7.4.1 Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo

L'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (S30) ha consentito di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame riportata nella seguente tabella

STRATO	Da	A	Descrizione
	[m da p.c. orig.]		
L(S)	0.0	4.5	Limi sabbiosi e sabbie limose
S/Ar	4.5	8.7	Sabbie e/o arenarie grossolane
A(Ma)	8.7	30	Argile marnose con intercalazioni di arenarie

**Tabella 7-34 – PT07, stratigrafia**

#### 7.4.2 Falda di progetto

Sulla base delle informazioni riportate nella stratigrafia del sondaggio S30, la falda viene assunta ad una quota pari a 5.5m da boccapozzo.

#### 7.4.3 Parametri geotecnici di calcolo

Non essendo disponibili prove di laboratorio, eccetto granulometrie e limiti di Atterberg, e avendo le prove SPT fornito valori sempre a rifiuto al di sotto della copertura alluvionale, si è proceduto ad una stima cautelativa dei parametri di resistenza delle formazioni incontrate lungo il sondaggio:

STRATO	Da	A	Spessore	Angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso unità di volume	Permeab.
	[m da p.c. orig.]		[m]	$\phi'_k$	$c'_k$	$c_{uk}$	$\gamma$	k
				[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m/s]
L(S)	0.0	4.5	4.5	26-30	5-0	-	19.5	
S/Ar	4.5	8.7	4.2	28-32	0	-	19.5	6E-05
A(Ma)	8.7	30	20.3	26-27	10-20	150-200	19.7	

**Tabella 7-35 –Parametri geotecnici di calcolo**

STRATO	Da	A	Modulo elastico dinamico	Modulo di Young operativo 1	Modulo di Young operativo 2
			$E_0$	$E_{op,1} = E_0 / 10$	$E_{op,2} = E_0 / 5$
	[m da p.c. orig.]		[MPa]	[MPa]	[MPa]
L(S)	0.0	4.5	120-170	12-17	24-34
S/Ar	4.5	8.7	450-1120	45-112	90-224
A(Ma)	8.7	30	1120-1600	112-160	224-320

**Tabella 7-36 –moduli di deformabilità dei terreni (ref. MASW 28)**

## 7.5 Piazzale Mats PT08

Le indagini eseguite in corrispondenza della viabilità di accesso al piazzale “PT08” sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

ID	PROFONDITA'	DATA	Coordinate UTM Zona 33S		Strumentazione	SITO
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	E	N		
S53	30.00	04-06/07/2020	629064.23	4308168.14	Piezometro a tubo aperto	PT08

**Tabella 7-37 – Sondaggi effettuati nell’area di progetto “PT08”**

ID	PROFONDITA'	QUOTA	DATA	Coordinate UTM Zona 33S		SITO
	(m dal p.c.)	(m s.l.m.)	ESECUZIONE	E	N	
PZ14	3.00	155.254	08/07/2020	629084.35	4308192.05	PT08

**Tabella 7-38 – Pozzetti effettuati nell’area di progetto “PT08”.**

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub> S50
1.5	10
4.5	R

**Tabella 7-39 – Risultati delle prove SPT**

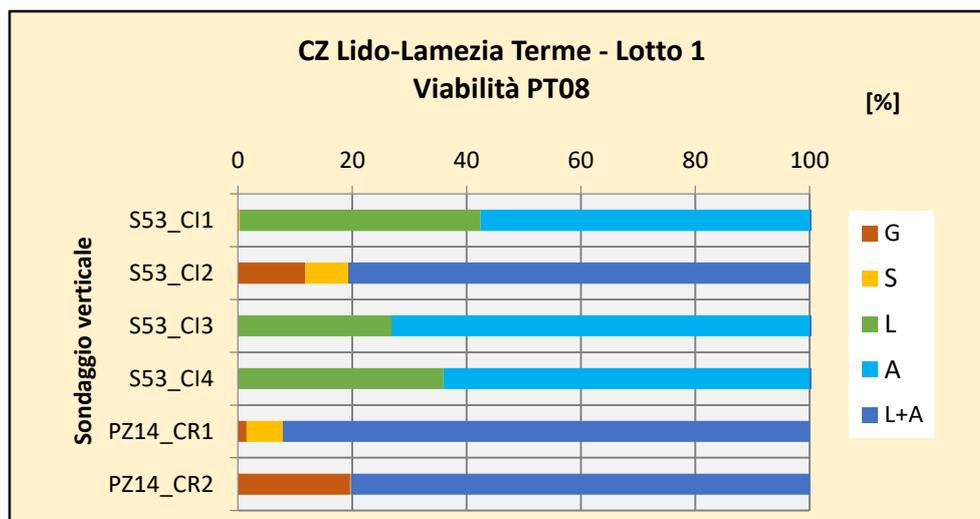
ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S53	3.00-4.50	1.01E-06	15.50-18.00	3.1E-08

**Tabella 7-40 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CI1	3.00-3.35	24.74	20.0	27.0	0.00	0.32	42.07	57.61	56	31	Argilla con limo	45	CID	25
CI2	7.40-8.00	16.36	20.2	26.6	11.80	7.50	80.70		62	33	Argilla e Limo ghiaiosa deb. sabbiosa	57	CID	23
CI3	12.00-12.35	18.20	21.2	27.1	0.00	0.11	26.75	73.14	64	25	Argilla con Limo	-	-	-
CI4	18.00-18.45	17.39	21.2	26.8	0.00	0.00	35.90	64.03	62	34	Argilla con Limo	-	-	-
CI5	24.00-24.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CI6	28.30-28.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabella 7-41 – Prove di laboratorio (Sondaggio S53)**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.		
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	
CR1	0.40-0.70	15.11	19.2	26.8	1.5	6.3	92.2		58	37	Argilla e limo	-	-	-
CR2	1.50-1.80	24.64	19.1	27.3	19.6	0.1	80.3		57	34	Argilla e limo ghiaiosa	-	-	-

**Tabella 7-42 – Prove di laboratorio (pozzetto PZ14)**

**Figura 7-7 – PT08, risultati dell'analisi granulometrica**

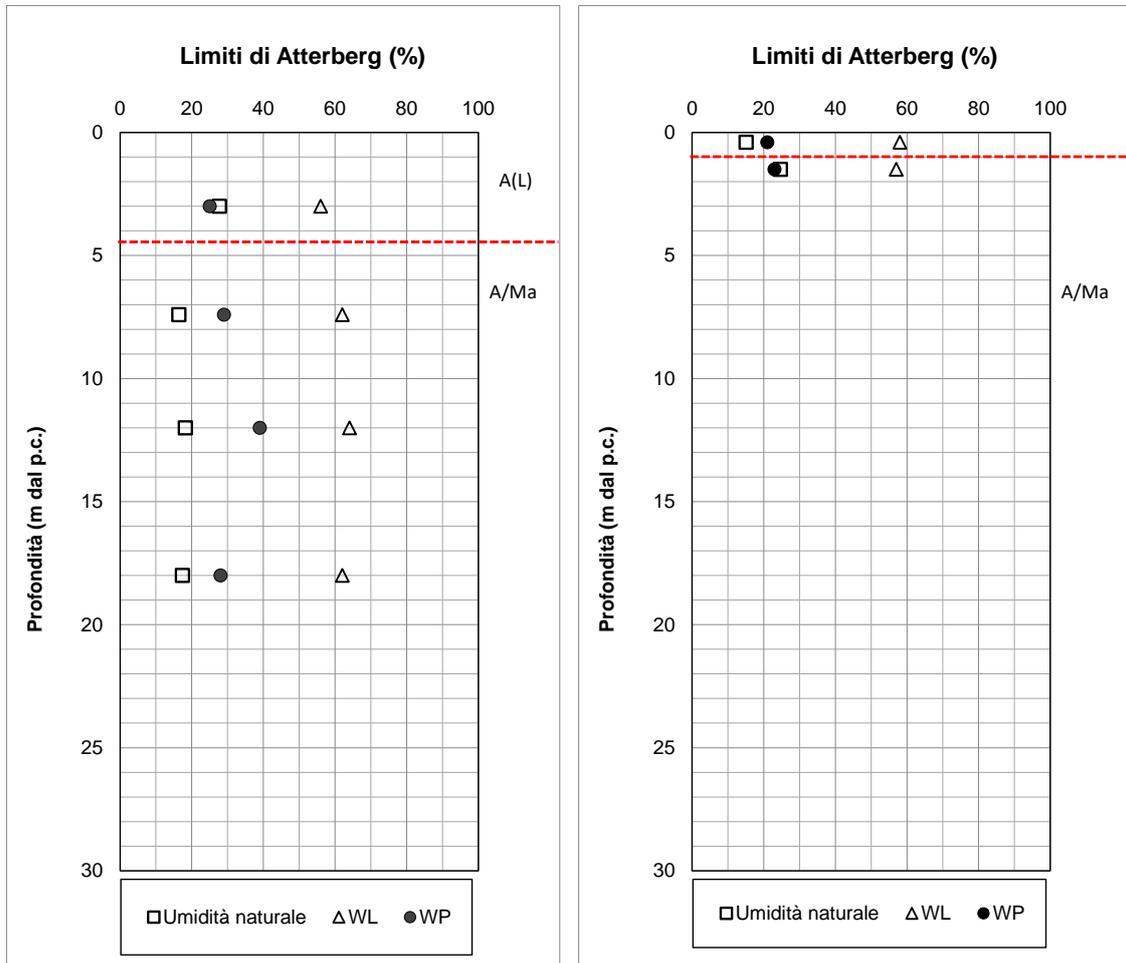


Figura 7-8 – PT08, Limiti di Atterberg (a sx S53, a dx PZ14)

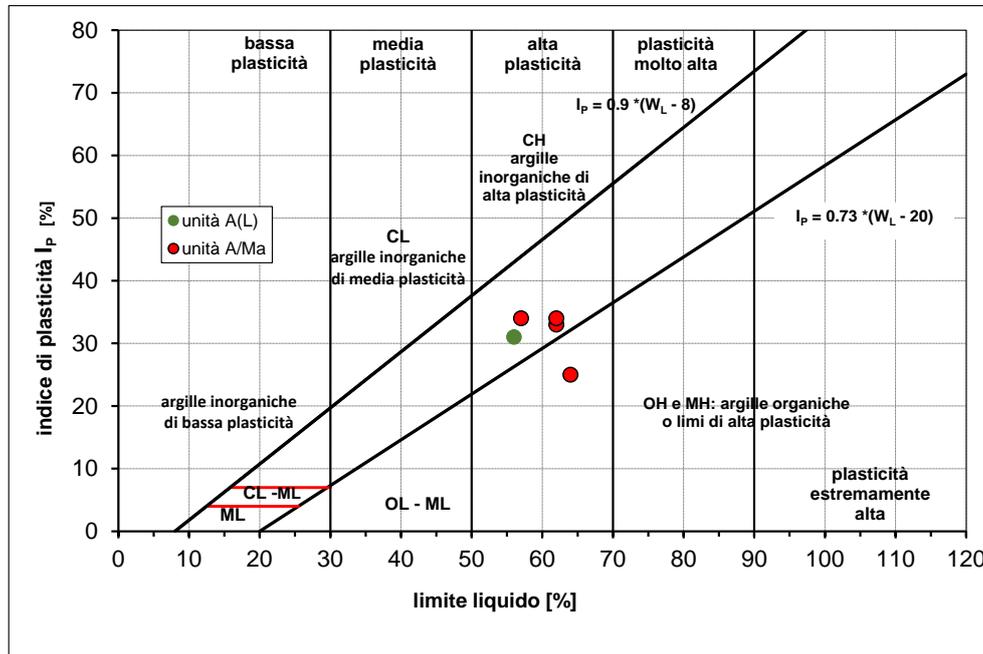


Figura 7-9 – PT08, carta di plasticità di Casagrande

### 7.5.1 Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo

L'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo S53 ha consentito di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame riportata nella seguente tabella

STRATO	Da	A	Descrizione
	[m da p.c. orig.]		
A(L)	0.0	4.4	ARGILLE LIMOSE molto consistenti-dure, grigio-verdastre con livelli da millimetrici a centimetrici debolmente sabbiosi. Da prove lab. Argille inorganiche con limo di alta plasticità.
Gs	4.4	7.0	GESSO biancastro a struttura cristallina da mediamente a molto alterato, fratturato, con argilla di riempimento
A/Ma)	7.0	23.0	ARGILLE MARNOSE grigio-verdastre alternate a livelli di MARNA grigia a luoghi laminata con presenza di clasti di gesso eterometrici. Da prove lab. Argille inorganiche con limo, a luoghi ghiaiose, di alta plasticità.
Gs	23.0	27.3	GESSO biancastro a struttura cristallina da mediamente a molto alterato, fratturato, con argilla di riempimento
A/Ma	27.3	30.0	ARGILLE MARNOSE grigio-verdastre alternate a livelli di MARNA grigia a luoghi laminata con presenza di clasti di gesso eterometrici. Da prove lab. Argille inorganiche con limo, a luoghi ghiaiose, di alta plasticità.

Tabella 7-43 – PT08, stratigrafia (S53)

Si fa presente che nel pozzetto esplorativo PZ14 l'Unità A(L) non è stata rinvenuta.

### 7.5.2 Falda di progetto

Sulla base dei dati di monitoraggio disponibili (n. 1 lettura in data 12/10/2020), la falda viene assunta ad una quota pari a 1.95m da boccapozzo.

### 7.5.3 Parametri geotecnici di calcolo

Nelle tabelle che seguono si riportano i parametri di calcolo e i moduli di deformabilità.

Non essendo state eseguite prove di laboratorio relative all'unità Gs, nella tabella seguente è riportata una stima cautelativa dei i valori dei parametri geotecnici relativi a questa unità.

STRATO	Da	A	Spessore	Angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso unità di volume	Permeab.
	[m da p.c. orig.]		[m]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{uk}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	k [m/s]
	A(L)	0.0	4.4	4.4	24-26	25-35	50-100	20.0
Gs	4.4	7.0	2.6	30-40	50-30	-	20.5	-
A/Ma)	7.0	23.0	16.0	22-24	50-60	150-200	20.5	3E-08
Gs	23.0	27.3	4.3	30-40	50-30	-	20.5	-
A/Ma	27.3	30.0	2.7	22-24	50-60	150-200	20.5	3E-08

Tabella 7-44 –Parametri geotecnici caratteristici PT08

STRATO	Modulo elastico dinamico	Modulo di Young operativo 1	Modulo di Young operativo 2
	$E_0$	$E_{op.1} = E_0 / 10$	$E_{op.2} = E_0 / 5$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A(L)	60-240	6-24	12-48
Gs	320	32	64
A/Ma)	1960	196	392
Gs			
A/Ma			

Tabella 7-45 –PT08 moduli di deformabilità dei terreni (masw 42)

## 7.6 Imbocco lato CZ GA Marcellinara

Le indagini eseguite in corrispondenza dell'imbocco lato CZ della GA Marcellinara sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

ID	PROFONDITA'	DATA	Coordinate UTM Zona 33S		Strumentazione	SITO
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	E	N		
S54	30.00	07/07/2020	628828.99	4308330.29	-	GA Marcellinara imb. Lato CZ

**Tabella 7-46 – Sondaggi effettuati nell'area di progetto "GA Marcellinara imbocco lato CZ"**

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S54	4.00-8.00	5.9E-09	27.00-30.00	7.7E-8

**Tabella 7-47 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lugeon eseguite in foro di sondaggio**

CAMP.	Prof	W (%)	$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIA				ATTERBER LIM		Class	TD / TRIASS.			PLT
					G	S	L	A	Wl	Ip		AGI	c (kPa)	$\phi$ (°)	
CI1	4.00-4.57	0.49	22.4	-	-	-	-	-	-	-	(roccia)	47	TRX	5	-
CI2	8.00-8.50	14.26	21.4	27.5	0.55	20.20	60.85	18.39	76	31	Limo sabbioso-argilloso	64	CID	0	-
CI3	12.50-13.03	2.70	22.9	-	-	-	-	-	-	-	(roccia)	-	-	-	0.87 – 0.71
CI4	19.60-19.95	16.66	21.5	26.8	11.20	20.09	48.21	20.50	57	30	Limo argilloso-sabbioso deb. ghiaioso	-	-	-	-
CI5	23.00-23.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CI6	27.30-27.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabella 7-48 – Prove di laboratorio (Sondaggio S54)**

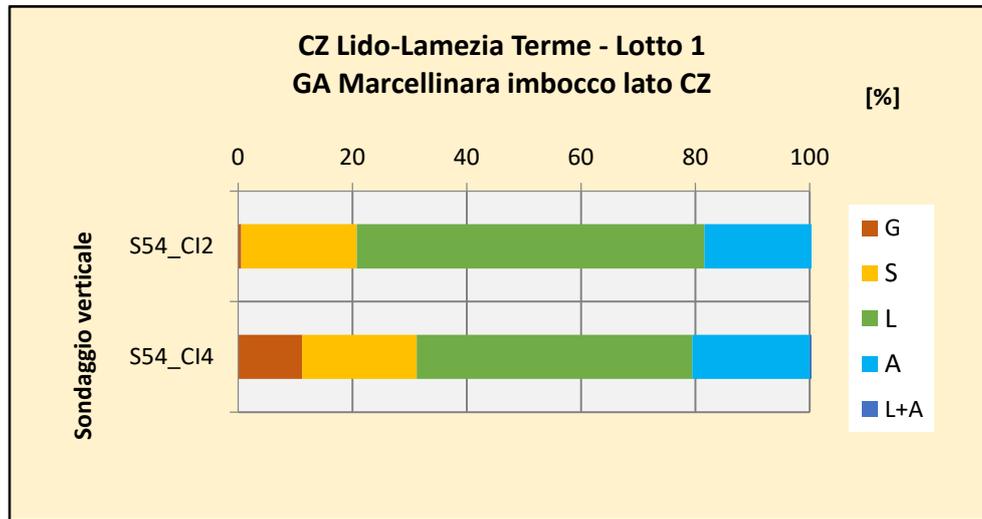


Figura 7-10 – GA Marcellinara imbocco lato CZ, risultati dell’analisi granulometrica

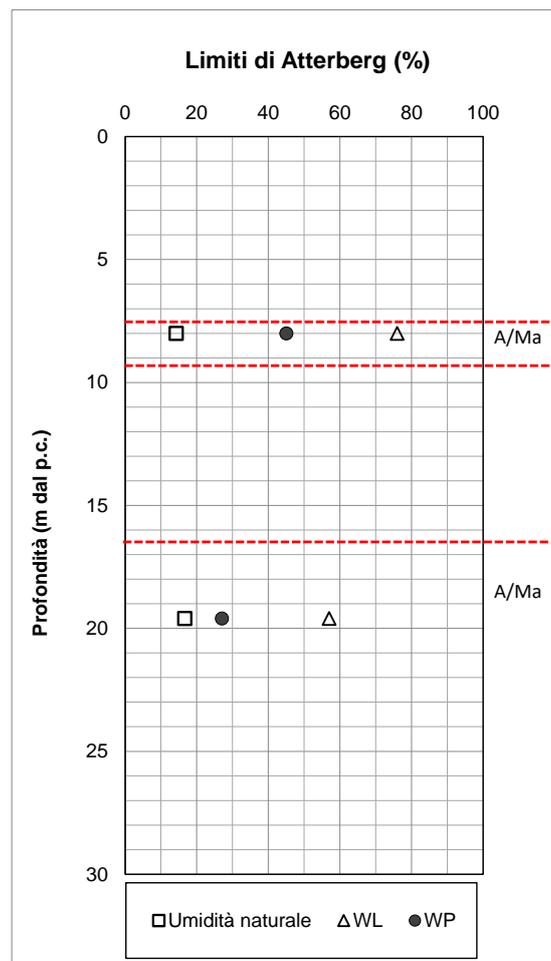


Figura 7-11 – GA Marcellinara imbocco lato CZ, Limiti di Atterberg

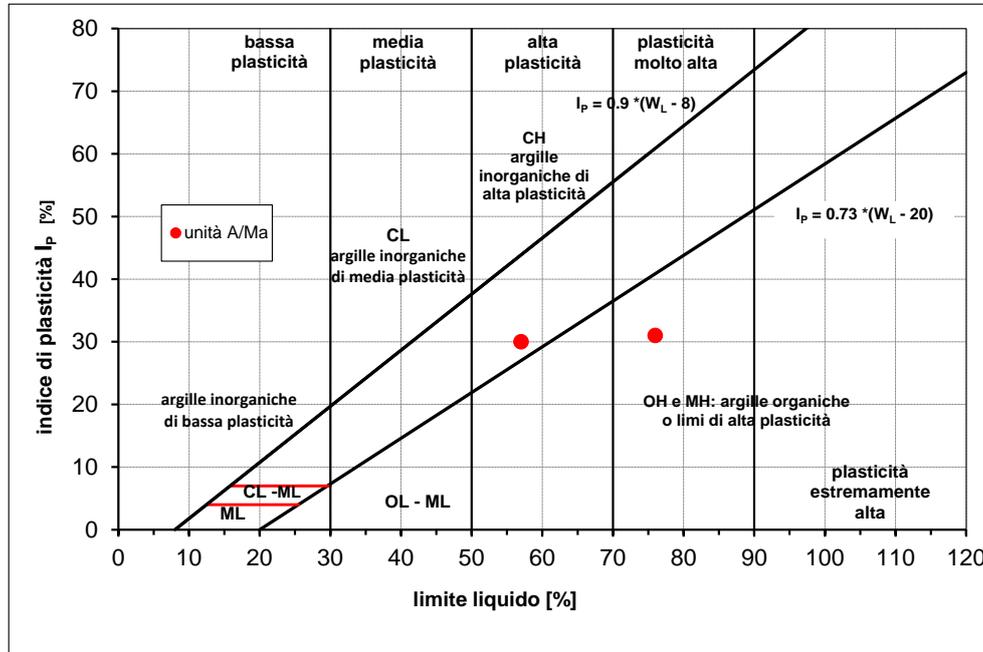


Figura 7-12 – GA Marcellinara imbocco lato CZ, carta di plasticità di Casagrande

Roccia intatta									
Prova Triassiale			Stima dei parametri - criterio di Hoek-Brown						Ei
$\sigma_1$	$\sigma_3$	E	$(\sigma_1 - \sigma_3)^2$	$\sigma_3$	Interc.	pend.	$\sigma_{Ci}$	mi	
(MPa)	(MPa)	(MPa)			(MPa)	(-)	(MPa)	(-)	(MPa)
29.73	1.00	864.0	825.4	1.0	483.8	336.72	22.0	15.3	3123.3
32.79	1.50	6206.0	979.1	1.5					
36.09	2.00	2300.0	1162.1	2.0					

Ammasso					
Stima dei parametri - criterio di Mohr-Coulomb					Erm
GSI	D	$\sigma_{3max}$	c	$\phi$	
		(MPa)	(kPa)	(°)	(MPa)
25.0	0.0	0.1	38.0	61.0	186.9

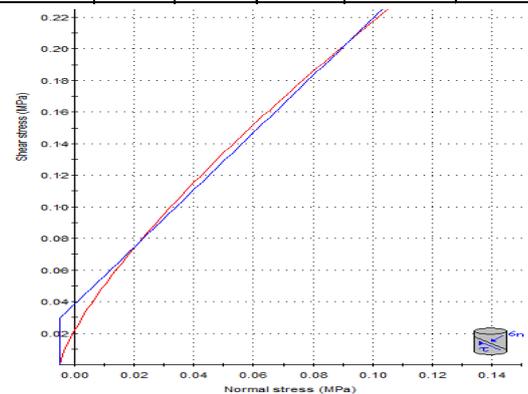
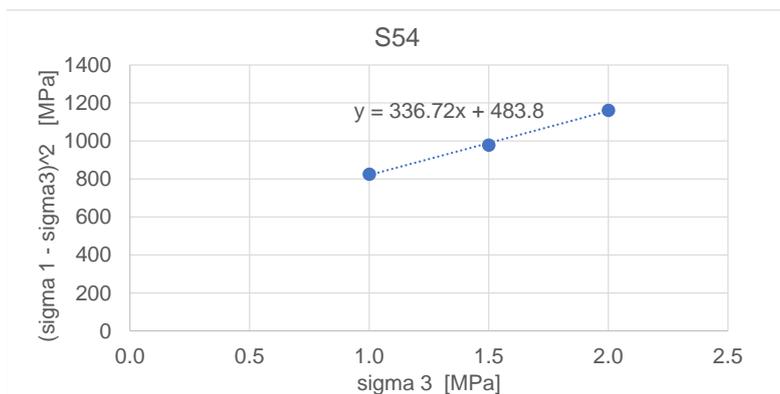


Figura 7-13 – GA Marcellinara imbocco lato CZ, risultati prova triassiale (CI1) e stima dei parametri di resistenza e deformabilità

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
	Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA <b>RC0W</b>	LOTTO <b>01 D 78</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GE0006 003</b>	REV. <b>A</b>

### 7.6.1 Assetto stratigrafico e parametri geotecnici di calcolo

L'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo S54 ha consentito di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame riportata nella seguente tabella.

STRATO	Da	A	Descrizione
	[m da p.c. orig.]		
Gs	0.0	16.3	GESSO biancastro a struttura cristallina da mediamente a mediamente alterato, fratturato, con argilla di riempimento. Presenti livelli da centimetrici a decimetrici di argilla marnosa, da 7.8 a 9.2 argilla marnosa
A/Ma)	16.3	23.0	ARGILLE MARNOSE grigia con presenza di clasti di gesso eterometrici. Da prove lab. Limo argilloso-sabbioso, a luoghi deb. ghiaiose, di alta plasticità.

**Tabella 7-49 – GA Marcellinara imbocco lato CZ, stratigrafia (S54)**

### 7.6.2 Falda di progetto

Non si hanno indicazioni del livello di falda rinvenuto in corso di perforazione né dati di monitoraggio in quanto il sondaggio non è stato richiesto che venisse attrezzato con piezometro. Tale sondaggio doveva servire a dare indicazioni volte alla caratterizzazione dell'ammasso della trincea al fine di valutarne le implicazioni sulla progettazione della fondazione dei blocchi palo della TE lungo lo sviluppo della trincea stessa.

### 7.6.3 Parametri geotecnici di calcolo

Si riportano di seguito i parametri di calcolo di resistenza e deformabilità..

Per le argille marnose vengono assunti i parametri di resistenza ottenuti per il PT08.

STRATO	Da	A	Spessore [m]	Angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace [kPa]	Coesione non drenata [kPa]	Peso unità di volume	Permeab. [m/s]
	[m da p.c. orig.]			$\phi'_k$ [°]			$c'_k$ [kPa]	
	Gs	0.0	16.3	16.3	40-50	30-40	-	22.5
A/Ma)	16.3	30.0	13.7	22-24	50-60	150-200	21.5	7.7E-8

**Tabella 7-50 –Parametri geotecnici caratteristici GA Marcellinara imbocco lato CZ**

Per i moduli di deformabilità dell'unità Gs (Gessi) in base alle prove di laboratorio può assumersi un valore caratteristico  $E = 150-200$  MPa.

Per l'unità A/Ma (Argille e argille marnose) non essendo disponibili prove (per es geofisiche) specifiche per questo sito, fare riferimento ai valori stimati per PT08.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
	Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA RC0W	LOTTO 01 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

## 8 INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE

### 8.1 Definizione dell'azione sismica di progetto

#### 8.1.1 Generalità

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile 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 comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, 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 determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica (par.8.1.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 0 saranno 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 suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti. La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par.8.1.3, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

#### 8.1.2 Vita utile e classe d'uso

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa 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, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame le opere appartengono alla Classe d'Uso II e III (per le opere della viabilità).

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso IV corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a:

$$C_U = 2.0$$

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

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni}$$

### ***Stati limite e probabilità di superamento***

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ .

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

- Stati Limite Ultimi (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.
- Stati 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.

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:

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

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica e le probabilità di superamento per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 8-1.

**Tabella 8-1 –Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto 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%	30
	Stato limite di danno (SLD)	63%	50
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	475
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	975

### 8.1.3 Risposta sismica locale

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito  $S$  come funzione sia della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente  $S_T$ ):

$$S = S_s \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si definisce sulla base delle condizioni stratigrafiche e del valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s) definito dall'espressione:

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

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.

Per il presente studio, è stata considerata la campagna di indagini geofisiche eseguita lungo il tracciato che ha compreso l'esecuzione di prove di tipo MASW. I risultati delle prove sono illustrati nella *Relazione di caratterizzazione Sismica generale*. Nei termini di valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  per i punti di interesse lungo il tracciato. I valori di  $V_{s,eq}$  risultano compresi nell'intervallo 235 – 359 m/s con solo una eccezione di 446 m/s per la stazione di Feroletto. Di conseguenza, si assumerà la categoria di suolo C per le opere di progetto ad eccezione di quelle afferenti alla stazione di Feroletto, in classe B.

Il coefficiente  $S_S$  per le categorie di sottosuolo B e C si ottengono dalle seguenti espressioni (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
	Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA <b>RC0W</b>	LOTTO <b>01 D 78</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GE0006 003</b>	REV. <b>A</b>

**Tabella 8-2 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).**

<b>Suolo</b>	<b>Descrizione geotecnica</b>
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, tutto il tracciato di progetto si colloca su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018), o comunque non attraversa sezioni di cresta o mezza costa. Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

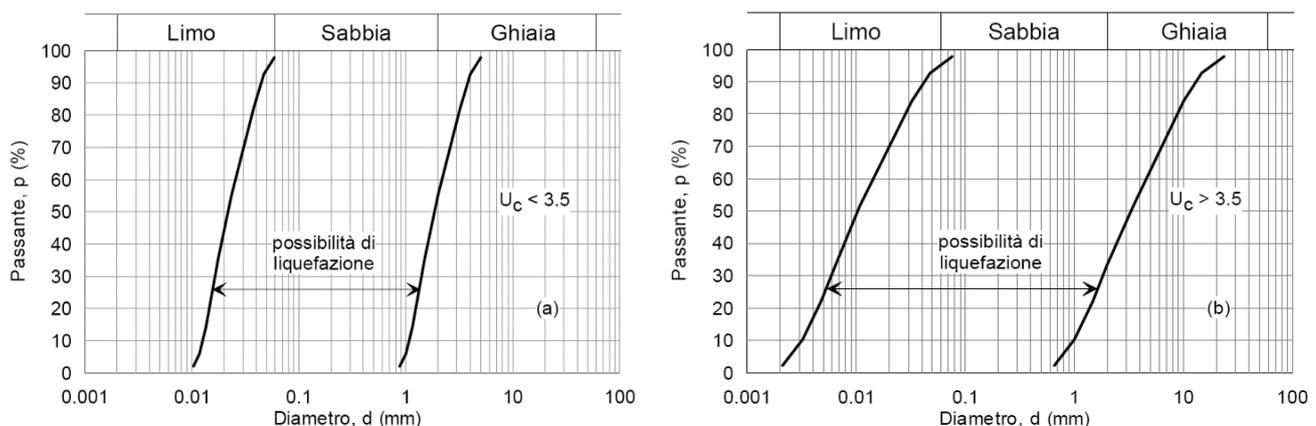
Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto  $a_{\max} = S \cdot a_g$  per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati nelle singole Relazioni Sismiche di progetto.

Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

## 9 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

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

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. 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;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 9-1 per coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



**Figura 9-1 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx:  $U_c < 3.5$ , dx:  $U_c > 3.5$ ).**

Sulla base dell'accelerazione massima, dell'altezza di falda e delle caratteristiche dei terreni, nessuno dei criteri di esclusione di cui sopra è a priori verificato e, pertanto, si dovrà procedere alla verifica a liquefazione basandosi sui dati delle prove SPT effettuate nei sondaggi disponibili lungo il tracciato.

Per la definizione del valore di magnitudo di riferimento per le verifiche a liquefazione, oltre al quadro sismotettonico esposto ai paragrafi precedenti, può essere considerata l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1 (vedi Figura 9-2 come esempio per la stazione di Catanzaro Lido), qui considerata per il periodo di ritorno dell'azione sismica corrispondente a quello dello stato limite ultimo

di verifica (SLV, cfr. i valori di pericolosità sismica al sito riportati nelle relazioni sismiche di progetto). I risultati di queste analisi, svolte per i punti di griglia più prossimi ai siti di interesse per un periodo di ritorno di 475 anni (SLV) sono mostrati nella Tabella 9-12. Tali risultati mostrano come, per la definizione della pericolosità sismica, siano dominanti terremoti con valori di magnitudo attorno a 4.5-6.5 ed epicentro a distanza ridotta (0-10 km).

Tuttavia, sulla base della sismicità storica, le magnitudo in grado di generare terremoti con risentimenti al sito di progetto sono generalmente più elevate. **Tenendo conto dei terremoti storici con maggiore risentimento nell'area (cfr. paragrafi precedenti), è ragionevole assumere una magnitudo di riferimento per la verifica a liquefazione pari a 7.23 per tutti i siti.**

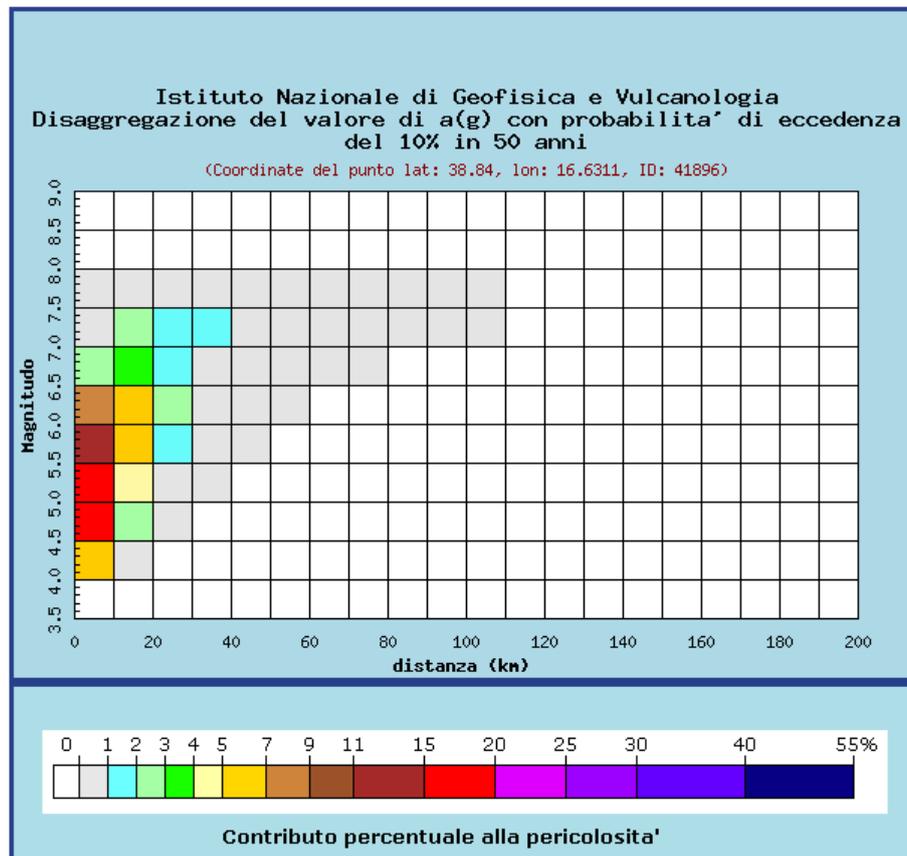


Figura 9-2 – Esempio di analisi di disaggregazione del dato di pericolosità per il punto di griglia 41896 corrispondente alla stazione Catanzaro Lido per  $T_R = 475$  anni (da elaborazioni DPC-INGV S1, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>).

**Tabella 9-1 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSSLPP (2009) ) per le opere caratterizzate da  $VR = 100$  anni**

ID	Tabella valori				
	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
Lamezia Terme	SLO	60	0,101	2,287	0,308
	SLD	101	0,132	2,321	0,324
	SLV	949	0,354	2,474	0,394
	SLC	1950	0,464	2,507	0,431
	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
Pianopoli	SLO	60	0,104	2,284	0,307
	SLD	101	0,135	2,318	0,322
	SLV	949	0,360	2,479	0,394
	SLC	1950	0,470	2,510	0,432
	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
Marcellinara	SLO	60	0,101	2,286	0,307
	SLD	101	0,132	2,305	0,323
	SLV	949	0,351	2,473	0,391
	SLC	1950	0,459	2,502	0,427
	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)

## 9.1 Metodo di Analisi

La valutazione del pericolo di liquefazione è stata condotta in accordo al metodo di Boulanger&Idriss (2014), originariamente proposto da Seed&Idriss (1967), 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 Idriss (1999):

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M. Per  $M \neq 7.5$  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  $M=7.5$ .

In accordo a quanto proposto dagli autori si considera una variabilità di  $MSF_{max}$  con il valore di  $(N_1)_{60cs}$ , per il calcolo del fattore di scala da applicarsi MSF:

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left(8.64 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 1.325\right)$$

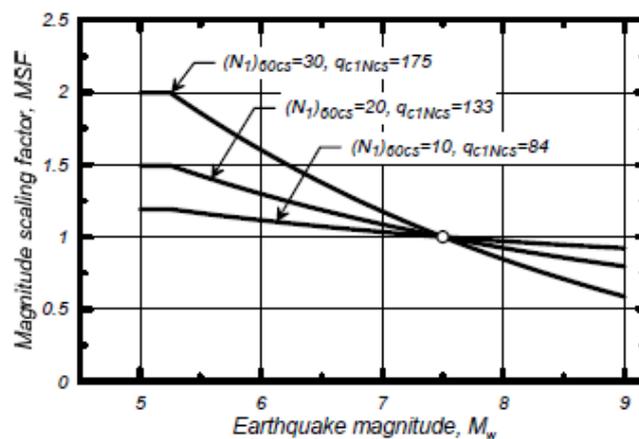


Figure 2.6. Variation in the MSF relationship with  $q_{c1Ncs}$  and with  $(N_1)_{60cs}$  for cohesionless soils

Figura 9-3 – variazione tra MSF e valori di  $(N_1)_{60cs}$

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA RC0W	LOTTO 01 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 64 di 71

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.

### 9.1.1 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento qui utilizzato si basa sulla relazione riportata in Figura 9-4, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e rivisita dagli autori.

In Figura 9-4, la resistenza penetrometrica SPT è espressa come numero corretto di colpi  $N_{1(60)}$ , ossia normalizzato ad una pressione verticale efficace di 100 kPa e corretto per un 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 dagli autori:

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

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 e  $m$  è pari a

$$m = 0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60cs}}$$

(calcolato mediante processo iterativo fino a convergenza)

$C_E$  = 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), 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) mentre  $C_R$  (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) si considera

Rod length	<3 m	$C_R$	0.75
Rod length	3–4 m	$C_R$	0.8
Rod length	4–6 m	$C_R$	0.85
Rod length	6–10 m	$C_R$	0.95
Rod length	10–30 m	$C_R$	1.0

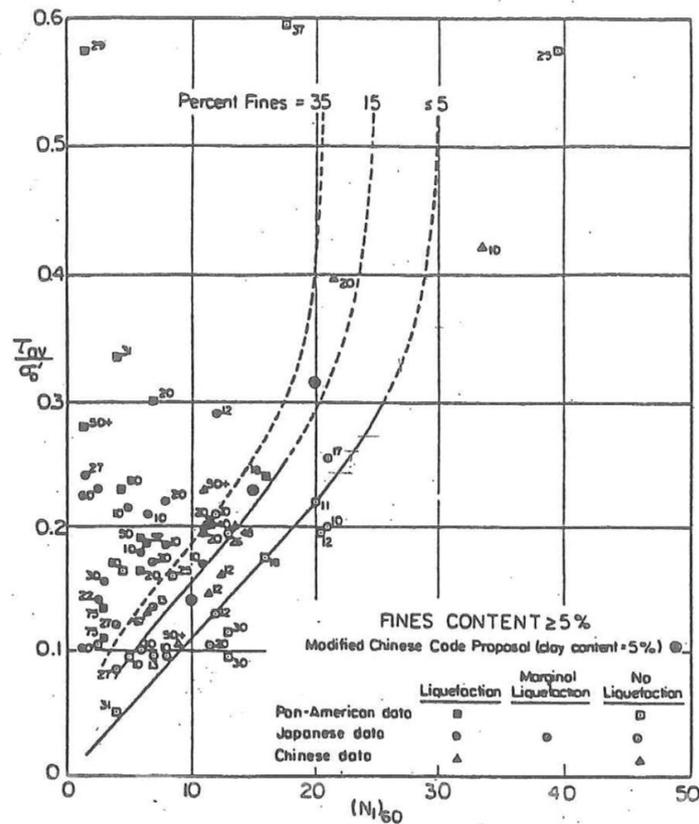


Figura 9-4 – Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

Sempre in Figura 9-4, 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, come indicato in precedenza.

Si può osservare dalla Figura 9-4 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 ( $FC < 5\%$ ).

Per il calcolo del valore CRR, gli autori (2014) propongono la seguente relazione:

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1atm} = \exp \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right)$$

Nella quale  $(N_1)_{60cs}$  per gli autori vale:

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

Con  $\Delta(N_1)_{60}$  funzione della frazione fine FC e pari a :

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp \left( 1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left( \frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right)$$

In conclusione, in accordo agli autori il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

$$CRR_{M, \sigma'_v} = CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1} \cdot MSF$$

## 9.2 Andamento dei valori N<sub>spt</sub> per ogni sito

Di seguito i grafici degli andamenti delle prove N<sub>spt</sub> con la profondità registrati per ogni sito.

### LAMEZIA TERME

Profondità (m da p.c.)	N <sub>spt</sub>
1.5	20
4.5	21
7.5	39
10.5	28
13.5	36
16.5	72
19.5	18
22.5	38
25.5	38
28.5	40

### PT05

Profondità (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> S57
1,5	21
3,5	-
4,5	34
5,6	-
7,5	-
8,1	25
10,0	-
10,5	29
13,0	-
13,5	-
14,1	34
16,5	-
16,9	31
17,5	-
18,0	-
19,5	28
21,6	-
22,5	27
22,7	-
23,1	-

25,0	-
25,5	62
28,5	R
31,0	69
31,5	-
34,0	R
34,5	-

## PT06

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub>	N <sub>SPT</sub>
	S50	S51
1.5	20	9
4.5	21	-
5.6	-	20
7.5	14	-
10.0	18	-
13.0	30	41
17.5	-	31
18.0	26	-
21.6	21	-
22.7	-	18
25.0	32	-

## PT07

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub>
1.5	4
3.5	18
7.5	R
10.5	76
13.5	R
17.5	89

## PT08

Profondità (m da p.c.)	N <sub>SPT</sub>
	S50
1.5	10
4.5	R

 Tabella 9-2 – valori di N<sub>spt</sub> per ogni sito in esame

### 9.2.1 Calcolo dell'indice di potenziale liquefazione

L'indice di potenziale di liquefazione  $I_L$  proposto da Sonmez (2003), è definito da:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove:

$F(z) = 0$	per	$F_L \geq 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$	per	$1.2 > F_L \geq 0.95$
$F(z) = 1 - F_L$	per	$F_L \leq 0.95$

Da cui è possibile valutare la Pericolosità di Liquefazione così definita dall'autore:

Tab. 1 – LPI-based hazard classes [SONMEZ 2003].

Indice del potenziale di liquefazione, LPI	Pericolosità di liquefazione
LPI = 0	Nulla
0 < LPI 2	Bassa
2 < LPI 5	Moderata
5 < LPI 15	Alta
LPI > 15	Molto alta

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. - CATANZARO L. (Lotto 01)					
Relazione geotecnica generale: viabilità Mats, cabina LT - Trincea GA Marcellinara	COMMESSA <b>RC0W</b>	LOTTO <b>01 D 78</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GE0006 003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>70 di 71</b>

### 9.3 Risultati delle verifiche

La verifica alla liquefazione dei terreni presenti lungo la linea e descritta ai paragrafi precedenti è stata condotta sulla base delle prove SPT disponibili nei siti delle SSE in esame. L'analisi è stata sviluppata a delle quote specifiche considerando il volume di terreno potenzialmente interessato dalla futura realizzazione delle fondazioni superficiali delle SSE. Per i siti dell'area di Marcellinara è stato preso in esame solo il PT07 e comunque entrambi prevedono una categoria di suolo tipo B con presenza di materiale pseudolitoide già a quote superficiali.

In particolare, si è fatto riferimento a quanto descritto nei precedenti paragrafi “di sito”, ovvero:

- Valori di SPT misurati a specifiche profondità a partire dal piano campagna. In particolare si sono presi in considerazione i valori di  $N_{spt}$  più bassi disponibili ovvero superficiali e misurati all'interno dello spessore del deposito alluvionale potenzialmente ritenuto liquefacibile.
- Contenuto di fini misurato in laboratorio sui campioni prelevati, oppure il contenuto di fini stimato sulla base dei risultati disponibili dalle altre prove o descrizioni della litologia, per lo stesso orizzonte di terreno.
- Valori di  $N_{1(60)cs}$ , ossia il numero di colpi/30cm corretto in funzione della tensione verticale in sito, in funzione dell'energia trasmessa in fase di esecuzione della prova e del contenuto di fini.
- Il valore del fattore di sicurezza è stato ottenuto come rapporto CRR/CSR per ogni sito. 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  $FS > 1$  per cui l'EC8 suggerisce utilizzare un valore di  $FS > 1.25$ .

