



Sensibilité du document / Sensibilità del documento			
NON SENSIBLE		SENSIBLE	
<input checked="" type="checkbox"/> SSI-CO Publique Pubblica	<input type="checkbox"/> SSI-C1 Réserve Riservato	<input type="checkbox"/> SSI-C2 Confidentielle Confidenziale	<input type="checkbox"/> SSI-C3 Secrète Segreta

**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE  
CUP C11J05000030001**

**ÉTUDES D'EXECUTION – PROGETTO ESECUTIVO**

**Élaboration des études d'exécution unitaire des ouvrages nécessaires à la réalisation des installations des chantiers opérationnels aux travaux du 1er lot constructif**

**Attività di progettazione esecutiva unitaria delle opere necessarie alla realizzazione delle cantierizzazioni dei Cantieri operativi relativi ai lavori del 1° Lotto Costruttivo**

**CHANTIERS – CO03 et CO04 - MADDALENA – Général  
Note geotecnique-sismique**

**CANTIERIZZAZIONI – CO03 e CO04 - MADDALENA – Generale  
Relazione geotecnica-sismica**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Elaborato da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	08/07/2021	Première diffusion / Prima consegna	M. MILANO	M. PEPE	V. PEISINO
A	03/09/2021	Revision suite aux commentaires TELT/ Revisione a seguito commenti TELT	M. MILANO	M. PEPE	V. PEISINO
B	02/11/2021	Revision suite aux commentaires TELT/ Revisione a seguito commenti TELT	M. MILANO	M. PEPE	V. PEISINO
C	25/11/2021	Revision suite aux commentaires TELT/ Revisione a seguito commenti TELT	M. MILANO	M. PEPE	V. PEISINO

0	4	0	2	0	8	0	9	1	0	C	N	2	4	A	1
Cantieri Operativo Chantier Opérationnel				Contratto Contrat				Opera Ouvrage				Tratta Tronçon		Parte Partie	

E	R	E	G	N	1	0	0	2	C
Fase Phase		Tipo documento Type de document		Objet		Numero documento Numéro de document		Indice	

**I. G. INGEGNERIA GEOTECNICA s.r.l.**  
 Dott. Ing. Valter PEISINO  
 ORDINE DEGLI INGEGNERI  
 DELLA PROVINCIA DI CUNEO  
 n° 753

Scala / Echelle

A P  
Stato / Statut

Il progettista / Le designer

**IG INGEGNERIA GEOTECNICA s.r.l.**  
 Via Montevideo, 30 - 10129 Torino  
 Tel. (011) 56.181.11/10 (011) 56.0198  
 e-mail: ig@ingegneriagiotecnica.com

Valter PEISINO Ingegnere

L'appaltatore / L'entrepreneur

Il Direttore dei Lavori / Le Maître d'Oeuvre

## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
1.1	Generalità .....	4
1.2	Inquadramento dell’opera.....	4
1.3	Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato.....	5
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
2.1	Documenti di progetto .....	6
2.2	Quadro normativo di riferimento.....	6
2.3	Bibliografia tecnica .....	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	7
3.1	Inquadramento geomorfologico .....	7
3.2	Inquadramento geologico e litologico.....	8
3.3	Assetto idrogeologico .....	9
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	10
4.1	Indagini disponibili.....	10
4.2	Condizioni geotecniche del sito e modello geotecnico di riferimento.....	11
4.3	Livello della falda .....	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE .....	19
5.1	Opere definitive .....	19
5.1.1	Sollecitazione sismica di progetto .....	19
5.1.2	Suscettibilità alla liquefazione .....	23
5.2	Opere provvisorie .....	23
5.2.1	Sollecitazione sismica di progetto .....	23
5.2.2	Suscettibilità alla liquefazione .....	27

## RESUME / RIASSUNTO

Le présent rapport décrit les éléments géotechniques et sismiques de la zone concernée par les chantiers pour l'excavation de la descente Maddalena 2 et pour le stockage des déblais et des segments.

Ils sont situés sous le viaduc autoroutier Clarea de l'A32 "Turin-Bardonecchia".

Les ouvrages se situent principalement au droit de dépôts glaciaires non différenciés de composition sablo-limoneuse et limono-sableuse avec graviers. Localement, ces ouvrages concernent également les dépôts de cônes alluvionnaires et mixtes essentiellement constitués de sable graveleux et de gravier sableux avec limon.

Les paramètres sismiques du site ont été déterminés en accord avec les NTC 2018 dont le DM 20.02.2018.

La presente relazione descrive gli aspetti geotecnici e sismici delle aree interessate dai piazzali per lo scavo della discenderia Maddalena 2 e per lo stoccaggio dello smarino e dei conci.

Sono ubicati al di sotto del viadotto Clarea dell'Autostrada A32 "Torino-Bardonecchia".

Le opere interesseranno principalmente i depositi glaciali indifferenziati a composizione sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa con ghiaia e, localmente, i depositi di conoide alluvionale/misto essenzialmente costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con limo.

I parametri sismici dell'area sono stati definiti in accordo alle NTC 2018 di cui al DM 20.02.2018.

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Generalità

Il presente documento riporta lo studio, dal punto di vista geotecnico-sismico dell'area denominata CO03 e CO04 – MADDALENA con riferimento all'inquadramento geologico individuato nell'elaborato "Relazione Geologica e Idrogeologica" (doc. 040\_2080910\_CN--\_0\_0\_E\_RE\_GE\_0103).

La relazione descrive il modello geotecnico che è stato definito sulla base delle indagini geognostiche disponibili, le caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti nell'area e i parametri sismici da adottare nella progettazione delle opere ricadenti nell'area in esame (muri di sostegno e paratie berlinesi relative alle aree interessate dai piazzali per lo scavo della discenderia Maddalena 2 e per lo stoccaggio dello smarino e dei conci).

In relazione a quanto previsto dalla normativa vigente in ordine alla responsabilità della parametrizzazione geotecnica (p.to 6.2.2 delle NTC) si evidenzia che quanto trattato nella presente Relazione è da ritenersi valido per le sole opere oggetto del Progetto esecutivo delle cantierizzazioni di prima fase. Eventuali introduzioni di modifiche progettuali e/o progetto di altre opere dovrà essere oggetto di verifica del modello geotecnico e della parametrizzazione geotecnica a cura e responsabilità del progettista dell'Appaltatore.

Il documento è così organizzato:

- documenti e normativa di riferimento (capitolo 2);
- inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico (capitolo 3);
- definizione del modello geotecnico di riferimento (capitolo 4);
- valutazione della suscettibilità alla liquefazione (capitolo 5).

### 1.2 Inquadramento dell'opera

Le aree di cantiere CO03 e CO04 si situano ai piedi del versante in destra idrografica del Torrente Clarea, immediatamente a monte della sua confluenza nella Dora Riparia, al di sotto del viadotto dell'Autostrada A32 "Torino-Bardonecchia" (Figura 1), al centro di un'ampia depressione morfologica modellata a conca entro depositi quaternari prevalentemente di origine fluviale, glaciale e fluvio-glaciale.

Le lavorazioni previste all'interno del cantiere di Maddalena, sono relative all'allargamento delle aree di cantiere per realizzare la viabilità perimetrale in uso alle Forze dell'Ordine e l'esecuzione di diverse opere di sostegno (muri in c.a. e berlinesi) per poter realizzare i piazzali necessari allo scavo della discenderia Maddalena e allo stoccaggio dello smarino e dei conci prefabbricati.



**Figura 1-** Ripresa aerea area cantiere Co03 / CO04 Maddalena

### 1.3 Approfondimenti esecutivi rispetto al Progetto Definitivo approvato

L'inserimento della galleria Maddalena 2 nell'area di imbocco porta ad avere, ai fini della realizzazione della centrale di ventilazione specifica a questa galleria, un piazzale di cantiere su due livelli. Tra il livello superiore (per Maddalena 1) ed il livello inferiore (per Maddalena 2) si realizza una berlinese. Sul lato della berlinese esistente verso Nord, si realizzerà una parete chiodata in cls proiettato di consolidamento. Inoltre la berlinese esistente sarà prolungata nella sua estremità Nord verso il Torrente Clarea.

Dal punto di vista geotecnico-sismico, non vi sono particolari evoluzioni rispetto al Progetto Definitivo Approvato con delibera CIPE 19/2015 (nel seguito PD2) e al Progetto Definitivo di Variante (PRV), approvato con Delibere CIPE 30 e 39/2018, in quanto anche le ultime campagne di indagine confermano sostanzialmente il quadro delineato nelle fasi progettuali precedenti.

Inoltre non vi sono evoluzioni significative nel quadro normativo vigente. I contenuti sono dunque rimasti invariati.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documenti di Progetto Esecutivo

- 040\_2080910\_CN--\_0\_0\_E\_RE\_GE\_0103 - Relazione geologica e idrogeologica
- 04C\_208001A\_CT00\_0\_0\_B\_PL\_GE\_0001\_0 – Planimetria sondaggi geotecnici; Stratigrafia sondaggi geotecnici; Report fotografico sondaggi geotecnici
- 04C\_208001A\_CT00\_0\_0\_B\_RE\_GE\_0002\_0 - Planimetria sondaggi geotecnici; Tabella riassuntiva parametri geotecnici; Certificati di laboratorio geotecnico.
- 04C\_208001A\_CT00\_0\_0\_B\_RE\_GE\_0003\_0 - Report indagini geofisiche
- 040\_2080910\_CN24\_A\_1\_E\_PL\_GE\_0110\_0 - Planimetria ubicazione indagini geognostiche Maddalena

### 2.2 Quadro normativo di riferimento

- D.M. 17.01.2018 – “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l’applicazione delle “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- UNI EN 1998-1:2005 Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

### 2.3 Bibliografia tecnica

- Atkinson J. H. & Salfors G. (1991): “Experimental determination of stress – strain – time characteristics in laboratory and in situ tests”. Proc. 10th Eur. Conf. Soil Mech. Found. Engng, Firenze 3,915 – 956
- Bolton M.C. (1986) "The strength and dilatancy of sands" Geotechnique, n° 1.
- Cubrinowski M., Ishihara K. (1998) “Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils with various grain size compositions” Manuscript submitted to the Japanese Geotechnical Society for possible publication in Soils and Foundations as a technical paper.
- Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), “Influence of confining stress on liquefaction resistance”, Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes”. In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- Ishihara K. (1996): “Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics”; Clarendon Press, pp 350

- 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.
- Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.6.
- P.J. Sabatini, R.C. Bachus, P.W. Mayne, J.A. Schneider, T.E. Zettler April 2002 FHWA-IF-02-034: Geotechnical Engineering Circular NO. 5: Evaluation of Soil and Rock Properties
- Seed H.B. and Idriss I.M. (1970): "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis", Report No. UCB/EERC-70/10, University of California, Berkeley, December
- 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.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- 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.
- Seed H.B. and Sun J.H. (1989): "Implication of site effects in the Mexico City earthquake of September 19, 1985 for earthquake-resistance-design criteria in the San Francisco Bay Area of California". Report No. UCB/EERC-89/03, University of California, Berkeley, California
- 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.
- 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.

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

#### 3.1 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico l'area del cantiere è compresa all'interno di una depressione morfologica, a quota circa 700 m s.l.m., in prossimità della confluenza tra il Torrente Clarea e la Dora Riparia, i cui alvei in questo settore defluiscono rispettivamente tra le quote 700 m e 610 m e tra 630 e 610 m. L'area s'impone in un settore compreso tra la fascia fluviale di

pertinenza del Torrente Clarea (conoide alluvionale in prossimità della confluenza con la Dora Riparia) e una grande zona di accumulo di una frana di crollo, ubicata a monte del sito.

Per quanto riguarda l'attività torrentizia, l'ubicazione dell'area interessa parte dell'apparato di conoide alluvionale del Torrente Clarea, che il PAI classifica come conoide attivo – Ca. Principalmente nel tratto a monte del ponte di strada delle Gallie, nel corso dell'evento alluvionale del 2000 e del 2008, il torrente Clarea è stato caratterizzato da localizzati fenomeni di trasporto e deposizione di materiale grossolano lungo l'asta torrentizia e da colamenti della coltre superficiale lungo i versanti.

Al fine di minimizzare il rischio legato all'attività del Torrente Clarea, nell'ambito del Progetto Definitivo è stato operato uno studio idraulico che ha portato alla definizione delle opere di protezione dalle esondazioni previste in progetto (arginatura e strade perimetrali su rilevato).

Il versante a monte dell'area di cantiere è caratterizzato da ampi settori potenzialmente soggetti a crolli in roccia connessi alla presenza di un fenomeno gravitativo complesso di grandi dimensioni, denominato "Frana della Maddalena".

Per una trattazione di dettaglio si rimanda alla "Relazione Geologica e Idrogeologica" (doc. 040\_2080910\_CN--\_A\_1\_E\_RE\_GE\_0103)

### 3.2 Inquadramento geologico e litologico

Il pianoro su cui si localizza il cantiere è costituito da una coltre di depositi misti detritico-colluviali, alluvionali e di origine glaciale e in parte comprendenti anche materiali di origine antropica messi a dimora durante la costruzione delle vicine opere autostradali.

Il substrato roccioso non è praticamente affiorante nell'area.

#### Depositi detritici di versante

A monte dell'area di imbocco il versante è caratterizzato dalla presenza di un ampio accumulo detritico a megablocchi costituenti il corpo di accumulo di una antica frana di crollo. I blocchi sono per lo più monogenici (gneiss) di dimensioni variabili da metrici a ciclopici con volumetrie che possono raggiungere anche i 1000 m<sup>3</sup>.

#### Depositi fluvio-torrentizi

I depositi fluvio-torrentizi sono stati suddivisi in:

- depositi torrentizi del torrente Clarea: si tratta di depositi recenti costituiti prevalentemente da ciottoli e blocchi eterometrici con scarsa o nulla matrice ghiaioso-sabbiosa, presenti con modesto spessore lungo le aste dei tributari minori;
- depositi alluvionali antichi: tali depositi formano un lembo lungo il versante destro del torrente Clarea tra le quote 710 e 750 m s.l.m.; essi sono caratterizzati da una litofacies prevalentemente sabbioso-limosa con subordinata ghiaia e ciottoli ed una facies limoso-sabbiosa subordinata.

#### Depositi di conoide alluvionale (T. Clarea)

Tali depositi sono costituiti da depositi misti di limi sabbiosi e sabbie limose con ghiaia, ghiaie con ciottoli, sabbie ghiaiose e livelli di ciottoli in matrice limoso-sabbiosa. All'interno si rinvencono locali blocchi e trovanti lapidei derivanti dall'erosione del substrato roccioso. Tale

unità occupa prevalentemente la porzione settentrionale dell'area di cantiere, più distante dall'imbocco, vicino all'attuale corso del Torrente Clarea.

#### Depositi detritico – colluviali

Trattasi di depositi detritici sciolti costituiti in prevalenza da sabbia medio fine limosa con ghiaia eterometrica da subarrotondata ad angolare e limi sabbiosi. Possono contenere del materiale antropico. Nell'ambito dell'area studiata affiorano estesamente, occupando la porzione centro-meridionale dell'area con spessori variabili (da decimetrico a pluri-metrico).

#### Depositi glaciali

I depositi glaciali comprendono un'ampia gamma di depositi, tra cui: depositi glaciali di ablazione, caratterizzati dalla presenza di ciottoli e blocchi eterometrici e poligenici, immersi in una matrice fine, di tipo sabbioso-limoso; depositi glaciali di fondo, più fini dei precedenti, di tipo limoso-sabbioso, caratterizzati da una tessitura generalmente di tipo matrix-supported, con scarsi ciottoli; depositi fluvioglaciali; ovvero depositi grossolani costituiti da ghiaia con ciottoli a struttura clast-supported in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa.

Generalmente tale unità giace in appoggio diretto sul basamento e occupa ampie porzioni dell'area in studio; in particolare è stata rinvenuta nei primi metri di scavo dell'imbocco del cunicolo esplorativo e, con elevata probabilità, tali depositi saranno anche presenti all'imbocco della futura galleria di Maddalena 2 e verosimilmente interesseranno i primi 120 m di galleria.

#### Depositi antropici

Tali depositi costituiscono i rilevati realizzati per la protezione delle pile dell'autostrada A32 e quelli attribuibili al piazzale dell'attuale cantiere del cunicolo esplorativo.

### **3.3 Assetto idrogeologico**

La condizione idrogeologica dell'area d'interesse è subordinata alle caratteristiche di permeabilità, decisamente differenziate, delle tipologie di materiali presenti in sito:

- depositi quaternari
- basamento roccioso.

I depositi quaternari affiorano con continuità lungo tutta l'area in oggetto e presentano una potenza verticale di almeno 65 m e uno spessore laterale nel settore di imbocco di circa 100 m, in accordo sia con i sondaggi S91 e S92 realizzati durante la campagna indagini LTF per il progetto del Tunnel della Maddalena che con i dati di scavo dello stesso tunnel. Tale unità è costituita da depositi di origine continentale rappresentati da prevalenti ghiaie e sabbie con ridotto contenuto in limo e argilla e da sabbie limose con ghiaia, caratterizzate da permeabilità da media a elevata. Le coperture quaternarie presentano una permeabilità primaria per porosità variabile, legata sia alle caratteristiche granulometriche degli elementi costituenti sia al grado di cementazione dei depositi. Questa unità è sede dell'acquifero libero superficiale. Le informazioni relative alla permeabilità dei terreni sono state ricavate principalmente dalle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio realizzati nel 2011-2012 per il Progetto del Tunnel della Maddalena. Le prove di permeabilità forniscono dei valori del coefficiente di permeabilità variabili tra  $1E-07$  e  $1E-03$  m/s ed un valore di permeabilità medio dell'ordine di circa  $6E-04$  m/s (indicativo di un grado di permeabilità medio-alto).

La quota della falda nei depositi quaternari è stata dedotta sulla base dei dati piezometrici disponibili, che hanno evidenziato nei piezometri D6 e D8 valori di soggiacenza da p.c. dell'ordine di 25 m (D8) e 18 m (D6). La falda si trova in un regime di connessione idraulica e interscambio con i deflussi in alveo del T. Clarea, e dunque avvicinandosi al corso d'acqua essa diviene via via più superficiale.

Per quanto riguarda il substrato roccioso, in condizioni massive o poco fratturate il complesso presenta caratteristiche di permeabilità relativamente bassa. Al contrario, per le porzioni di roccia coinvolte nella zona a scaglie tettoniche e dunque a maggior fratturazione, è ipotizzabile una permeabilità variabile da bassa a media (tra  $1E-08$  e  $1E-06$  m/s).

Va tuttavia sottolineato che durante lo scavo della prima parte del cunicolo esplorativo della Maddalena non è stata riscontrata la presenza d'acqua.

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

L'indagine geognostica si è articolata in varie fasi, in sito ed in laboratorio, eseguite in occasione delle successive fasi di progetto: il settore in oggetto è stato in buona parte indagato da indagini eseguite a suo tempo per l'imbocco del cunicolo esplorativo della Maddalena (denominata anche Galleria della Maddalena 1), alle quali si aggiungono indagini di tipo diretto e indiretto eseguite più estesamente nell'area del previsto cantiere.

Nel dettaglio, sul sito, sono state eseguite le seguenti campagne d'indagine geognostica:

- la campagna d'indagine realizzata nel 2021 ad integrazione della caratterizzazione ambientale e geotecnica del sito. Sono stati eseguiti n. 14 sondaggi a carotaggio continuo, denominati SN1 – SN14, spinti fino alla profondità massima di 30 m dal p.c., e indagini geofisiche, consistite nell'esecuzione di n. 5 prospezioni sismiche di superficie tipo M.A.S.W./Re.Mi., n. 10 misure sismiche passive di tipo H.V.S.R., n. 1 prova in foro del tipo Down-hole nel sondaggio SN5 e n. 7 profili sismici a rifrazione in onde di compressione;
- la campagna d'indagine realizzata nel 2013 per la progettazione e la realizzazione del sito di deponia. Furono eseguiti n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, denominati D5, D6, D7 e D8, spinti alla profondità di 40 m dal p.c.;
- le indagini geognostiche eseguite nel 2013 per l'impostazione della progettazione del nuovo svincolo di accesso dal tracciato autostradale. Furono eseguiti n. 5 sondaggi a carotaggio continuo, denominati CH4b-1, CH4b-2, S4b-1, S4b-2 e S4b-5, spinti alla profondità di 40 m dal p.c.;
- la campagna d'indagine 2012 condotta per l'impostazione della viabilità generale e del cantiere per la realizzazione del cunicolo esplorativo. Furono eseguiti n. 5 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1, S2, S3, S4 e S5, spinti alla profondità di 30 e 40 m dal p.c., e indagini geofisiche, consistite nell'esecuzione di n. 3 profili sismici a rifrazione in onde di compressione e di taglio e n. 1 prova in foro del tipo Down-hole nel sondaggio S3;
- indagini geognostiche e geofisiche condotte da LTF nel 2011-2012 per la caratterizzazione di massima del sito di deponia. Furono eseguiti n. 3 sondaggi a

carotaggio continuo, denominati S90, S91 e S92, spinti alla profondità di 75 e 80 m dal p.c., e indagini geofisiche, consistite nell'esecuzione di n. 2 profili sismici a riflessione ad alta risoluzione in corrispondenza dell'impronta del cumulo di smarino.

Le diverse campagne d'indagine, in sito e in laboratorio, hanno compreso sondaggi a carotaggio continuo con prelievo, nel corso delle perforazioni, di campioni rimaneggiati e di campioni di roccia, prove penetrometriche dinamiche, prove pressiometriche, prove dilatometriche, prove di permeabilità, prove geofisiche, prove di laboratorio sui campioni rimaneggiati. Alcuni fori sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto o con cella Casagrande e con tubi inclinometrici.

I punti di indagine sono riportati nell'elaborato "Planimetria ubicazione indagini geognostiche Maddalena" (doc. 040\_2080910\_CN--\_A\_1\_E\_PL\_GE\_0110).

## 4.2 Condizioni geotecniche del sito e modello geotecnico di riferimento

Come già riportato nei paragrafi precedenti il sito in oggetto si sviluppa al centro di un'ampia depressione morfologica modellata a conca entro depositi misti detritico-colluviali, alluvionali e di origine glaciale e in parte comprendenti anche materiali di origine antropica messi a dimora durante la costruzione delle vicine opere autostradali.

Il substrato roccioso non è praticamente affiorante nell'area.

Risultano individuate le seguenti unità principali:

- DEPOSITI ALLUVIONALI DI CONOIDE ALLUVIONALE/MISTO ("AL"): Sono costituiti da depositi misti di limi sabbiosi e sabbie limose con ghiaia, ghiaie con ciottoli, sabbie ghiaiose e livelli di ciottoli in matrice limoso-sabbiosa. All'interno si rinvencono locali blocchi e trovanti lapidei derivanti dall'erosione del substrato roccioso. Nell'ambito dell'area studiata includono, i depositi fluvio-torrentizi. Tale unità occupa la porzione settentrionale della zona di progetto più prossima all'attuale corso del T. Clarea;
- COLTRI DETRITICO-COLLUVIALI ("CL"): Comprendono depositi detritici sciolti costituiti in prevalenza da sabbia medio fine limosa con ghiaia eterometrica da subarrotondata ad angolare e limi sabbiosi. Nell'ambito dell'area studiata includono, in parte, anche depositi rimaneggiati di probabile deposizione antropica;
- DEPOSITI GLACIALI INDIFFERENZIATI ("GI"): Comprendono un'ampia gamma di depositi, tra cui depositi con scarsi ciottoli e ghiaia in abbondante matrice limoso-sabbiosa fortemente addensata, sabbie limose con ghiaia, ghiaie limose e ghiaie argillose, oltre a conglomerati più o meno cementati a prevalente componente ghiaioso-sabbiosa con ciottoli, blocchi e locali lenti limoso-argillose. Generalmente tale unità giace in appoggio diretto sul bed-rock ed occupa la zona occidentale dell'area della Maddalena. I depositi "glaciali indifferenziati" attraversati con i sondaggi hanno evidenziato, nel complesso, caratteristiche di terreni prevalentemente incoerenti, comprendenti sabbie limose con ghiaia, limi ghiaiosi e ghiaie limose con ciottoli e trovanti sparsi.

Le opere previste interesseranno i depositi glaciali indifferenziati "GI" scarsamente addensati a prevalente composizione sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa con ghiaia ed i depositi di

conoide alluvionale/misto (unità "AL"), essenzialmente costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con limo.

Nelle precedenti fasi progettuali la caratterizzazione meccanica di detti terreni, in termini di resistenza al taglio e deformabilità, è stata condotta utilizzando i risultati della campagna di indagini integrative del 2012, con particolare riferimento ai risultati di alcune prove pressiometriche in foro (tipo Menard) e di una serie di prove di taglio diretto eseguite su campioni di laboratorio prelevati dai sondaggi verticali S1, S2 ed S3.

I risultati di dette prove sono riepilogati nelle tabelle seguenti:

Sond.	Prof. prova (m)	Litologia alla profondità della prova	Unità GEO	Em (kPa)	Gm (kPa)	Plim (kPa)
S1	11,0	limo sabbioso debolmente ghiaioso	GI	34.745,4	13.062,2	3.426,6
S2	13,5	ghiaia sabbioso-limosa	GI	36.885,6	13.866,8	3.243,4
S2	21,0	limo sabbioso debolmente ghiaioso	GI	56.700,6	21.316,0	4.821,5
S2	30,5	ghiaia sabbioso-limosa	GI	58.977,3	22.171,9	4.761,5
S2	35,5	ghiaia sabbioso-limosa	GI	120.907,6	45.453,9	5.999,4

**Tabella 1** - Risultati delle prove pressiometriche Menard eseguite nei fori S1 ed S2 per l'unità "GI"

Sondaggio	Prof. campione (m)	Unità GEO	Class. USCS	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
S3	7,3	AL	ML	15,0	31,0
S3	14,4	AL	SM	0,0	30,1
S3	19,0	AL	SW-SM	0,0	28,4
S3	28,1	AL	SM	0,0	28,8

**Tabella 2** - Risultati delle prove di taglio diretto CD sui campioni prelevati dal sondaggio S3 per l'unità "AL"

Nei grafici riportati nelle figure seguenti sono plottati, con riferimento ai medesimi sondaggi, i valori dei moduli di deformazione desunti dall'elaborazione delle prove pressiometriche Menard ed i parametri di resistenza  $c'$  e  $\phi'$  derivati dalle prove di taglio diretto su campioni. Per i parametri  $c'$  e  $\phi'$  sono disponibili nella relazione MAD\_EXE\_VEN\_0011 i grafici per le unità "GI", "AL" e "CL", mentre le prove pressiometriche che permettono di stimare i moduli di deformabilità sono state eseguite solo per l'unità "GI".

A partire da tali grafici è stata elaborata una curva di tendenza al fine di definire i parametri da utilizzare per il calcolo. Per l'unità "GI", la curva di tendenza ed i parametri di calcolo sono quelli definiti nel Progetto Esecutivo della Maddalena per il dimensionamento della berlinese e della sezione tipo T5 in prossimità dell'imbocco della galleria geognostica.

A partire dal modulo pressiometrico  $E_m$  è stato stimato il modulo edometrico del terreno  $E_{ed}$  attraverso l'applicazione di un coefficiente di correlazione empirico " $\alpha$ ", definito "coefficiente reologico", dipendente principalmente dalla natura del terreno e dal suo grado di sovraconsolidazione:

$$E_{ed} = \frac{E_m}{\alpha}$$

con  $0,25 < \alpha < 1$ .

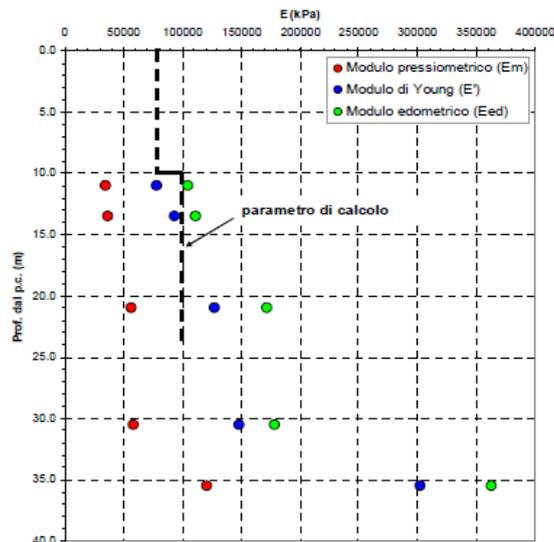
Per terreni prevalentemente sabbioso-limosi e sabbioso-ghiaiosi, quali quelli in esame, Menard suggerisce di adottare, in funzione del rapporto  $E_m/P_l$ , valori di  $\alpha$  indicativamente nel campo  $0,25 \div 0,33$ .

Conoscendo il valore del modulo edometrico ( $E_{ed}$ ) e del rapporto di Poisson ( $\nu$ ) risulta stimabile anche il corrispondente modulo elastico di Young ( $E'$ ), mediante la nota relazione:

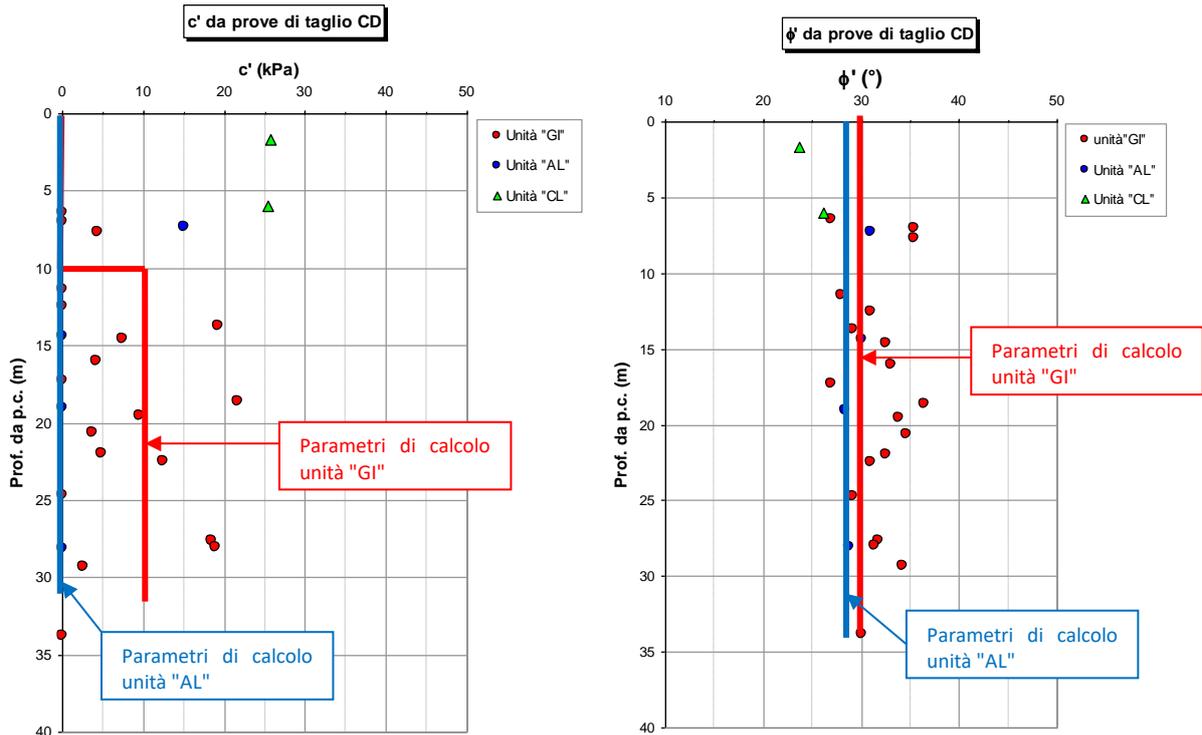
$$E' = E_{ed} \left( \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \right)$$

Per i terreni di origine glaciale allo studio, per i quali  $\nu$  può essere ragionevolmente compreso tra  $0,25 \div 0,30$ , il modulo elastico  $E'$  è quindi indicativamente valutabile assumendo, in media:

$$E' \approx 2,5E_m$$



**Figura 2** - Moduli di deformazione stimati sulla base dei risultati delle prove pressiométriche Menard eseguite nei fori S1 e S2 per l'unità "G1"



**Figura 3** - Valori dei parametri  $c'$  e  $\phi'$  derivati dalle prove di taglio diretto CD eseguite su campioni prelevati dai sondaggi S1, S2, S3, S4 e S5

Nella presente fase progettuale la caratterizzazione geotecnica condotta nelle precedenti fasi progettuali è stata rivista e aggiornata, ove ritenuto necessario, alla luce dei nuovi dati resi disponibili dalle ulteriori indagini integrative.

Nel caso dei depositi granulari (depositi detritici, torrentizi, alluvionali e di conoide e dei terreni relativi al complesso glaciale indifferenziato e ai depositi fluvio-lacustri), per loro natura non campionabili allo stato indisturbato, se non ricorrendo alle tecniche di congelamento in sito (operazione costosa e complessa e non necessaria nel caso in esame), la determinazione dei parametri geotecnici può essere eseguita solo in modo indiretto con l'interpretazione dei risultati delle prove in sito attraverso le correlazioni empiriche di letteratura. Nel caso in esame si è fatto principalmente riferimento ai risultati delle prove geofisiche eseguite nell'area e alle informazioni di carattere geologico e geotecnico disponibili in letteratura per terreni analoghi e/o presenti nel data-base professionale degli scriventi. Ove applicabili, si è fatto anche ricorso alle correlazioni empiriche disponibili nella letteratura per l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT (vedi ad esempio Gibbs & Holtz [1957], Marcuson & Bieganouski [1977a e 1977b], Skempton [1986], Cubrinowski & Ishihara [1998], Ohta and Goto [1978], Jamiolkowski et al. [1988] e da D'Appolonia et al. [1970]).

#### DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE/MISTO (UNITÀ "AL")

Sono essenzialmente costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con limo e corrispondono nell'insieme ai depositi detritici, torrentizi, alluvionali e di conoide occupanti con spessori rilevanti il tratto terminale della vallecola del T. Clarea.

L'unità comprende alternanze di ghiaie eterometriche e sabbie da limose a con limo, ciottoli e blocchi anche di dimensione pluri-metrica privi o con scarsa matrice sabbiosa grossolana, ghiaie eterometriche e sabbie con ciottoli. I clasti sono di natura poligenica, con forma da spigolosa a subarrotondata. La frazione argillosa è assente o trascurabile (frazione < 2 micron = 0 ÷ 5 %). Dove determinabile il limite liquido risulta sempre inferiore a 20 %; la plasticità non è determinabile.

Nel complesso l'assetto del deposito è caratterizzato da una disposizione in lenti e livelli discontinui dei termini a diversa granulometria in relazione al susseguirsi di fenomeni erosivi e deposizionali tipici dell'ambiente torrentizio. Lo stato del deposito varia da moderatamente addensato ad addensato.

Le prove penetrometriche dinamiche in foro hanno fornito valori di  $N_{SPT}$  sempre superiori a 30 colpi/30 cm, con, coerentemente alla granulometria grossolana, numerosissimi rifiuti (Figura 4).

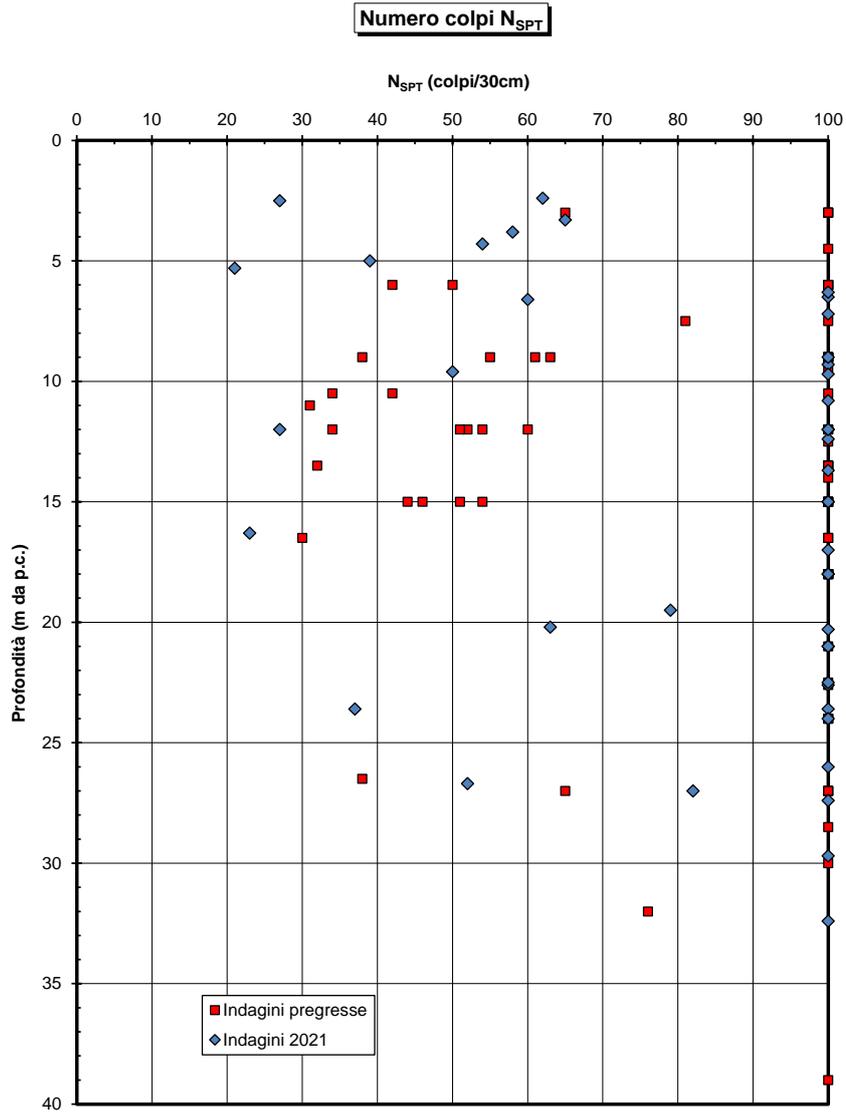
Non essendo stati prelevati campioni indisturbati in tali materiali, non si hanno misure dirette dei pesi di volume.

Le velocità di propagazione delle onde sismiche assumono per le onde longitudinali valori di  $V_p = 600 \div 1000$  m/s, mentre per le onde di taglio il campo di variabilità è di  $V_s = 300 \div 500$  m/s. Sulla base di queste ultime sono stati stimati i moduli di taglio e i moduli di Young iniziali, associabili a piccole deformazioni.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo lineari, basati sulla teoria dell'elasticità, i moduli di deformabilità "operativi" da associare allo specifico problema al contorno, vengono a dipendere dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio. Nel caso in esame si è assunto il modulo di Young "operativo" pari a circa 1/10 di quello iniziale.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo non lineari i dati di ingresso per le analisi sono essenzialmente i moduli elastici iniziali e le curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione indotto.

La permeabilità è di tipo primario per porosità, con valori relativi elevati o molto elevati. Le prove di permeabilità del tipo Lefranc condotte in foro hanno fornito valori di  $k = 10^{-2} \div 10^{-4}$  m/s.



**Figura 4** - Unità AL: Risultati delle prove penetrometriche dinamiche ( $N_{SPT}$ )

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati nel presente progetto per definire il comportamento meccanico-deformativo dei materiali costituenti questa unità sono riportati nella Tabella seguente:

Unità	$\gamma_n$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi_k$ °	$c'_k$ kPa	$E'_{op}$ MPa
AL	20	28 - 35	0	40 - 100

**Tabella 3** – Unità AL: Modello geotecnico di riferimento

## DEPOSITI GLACIALI INDIFFERENZIATI (UNITA' "GI")

Sono essenzialmente costituiti da sabbie-limose e limo-sabbioso con ghiaia e corrispondono ai terreni relativi al complesso glaciale indifferenziato e ai depositi fluvio-lacustri presenti al disotto dei sedimenti detritici, torrentizi ed alluvionali. L'unità comprende sabbie limose, inglobanti ghiaia e ciottoli di colore variabile dal grigio al nocciola chiaro. Locali intercalazioni di ghiaia, ciottoli e blocchi, in matrice sabbioso-limosa costituenti lenti e livelli con spessore da alcuni decimetri ad alcuni metri. In genere la componente limosa risulta inferiore al 20%. Solo in corrispondenza delle intercalazioni più fini, riferibili ai terreni di origine fluvio-lacustre, la frazione limosa diviene prevalente (30 ÷ 45%), associata anche a un contenuto significativo della frazione minore di 2 micron (10 ÷ 20%). Dove determinabile il limite liquido risulta sempre inferiore o pari a circa il 20 %.

All'interno della sequenza a granulometria medio-fine è stata riscontrata localmente la presenza di intercalazioni più grossolane, comprendenti livelli di ciottoli e ghiaie, ghiaie eterometriche con sabbie medio-grossolane inglobanti ciottoli e blocchi con dimensioni da decimetriche a metriche.

La porzione basale poggia direttamente sul substrato litoide ed è caratterizzata dalla presenza di limi sabbioso-argillosi di colore grigio-nerastro inglobanti scaglie di roccia.

Le prove penetrometriche dinamiche in foro hanno fornito valori di  $N_{SPT}$  estremamente variabili da circa 10 colpi/30 cm a rifiuto (Figura 5).

Non essendo stati prelevati campioni indisturbati in tali materiali, non si hanno misure dirette dei pesi di volume.

Lo stato del deposito, determinato sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT, varia da mediamente addensato a molto addensato.

Le prospezioni geofisiche, riferibili fondamentalmente ai rilievi a riflessione condotti da LTF nel 2011, hanno fornito per le onde longitudinali velocità medie dell'ordine di  $V_p = 1700$  m/s, passanti nell'orizzonte inferiore a  $V_p = 1800$  m/s. Tale valore è riferibile verosimilmente alla presenza di terreni a granulometria sabbioso-limosa molto addensati, quali i depositi rinvenuti a partire dalla profondità di 39 m nel sondaggio D5 alla base della Pila P7. Il presente quadro è risultato sostanzialmente dalle indagini della recente campagna.

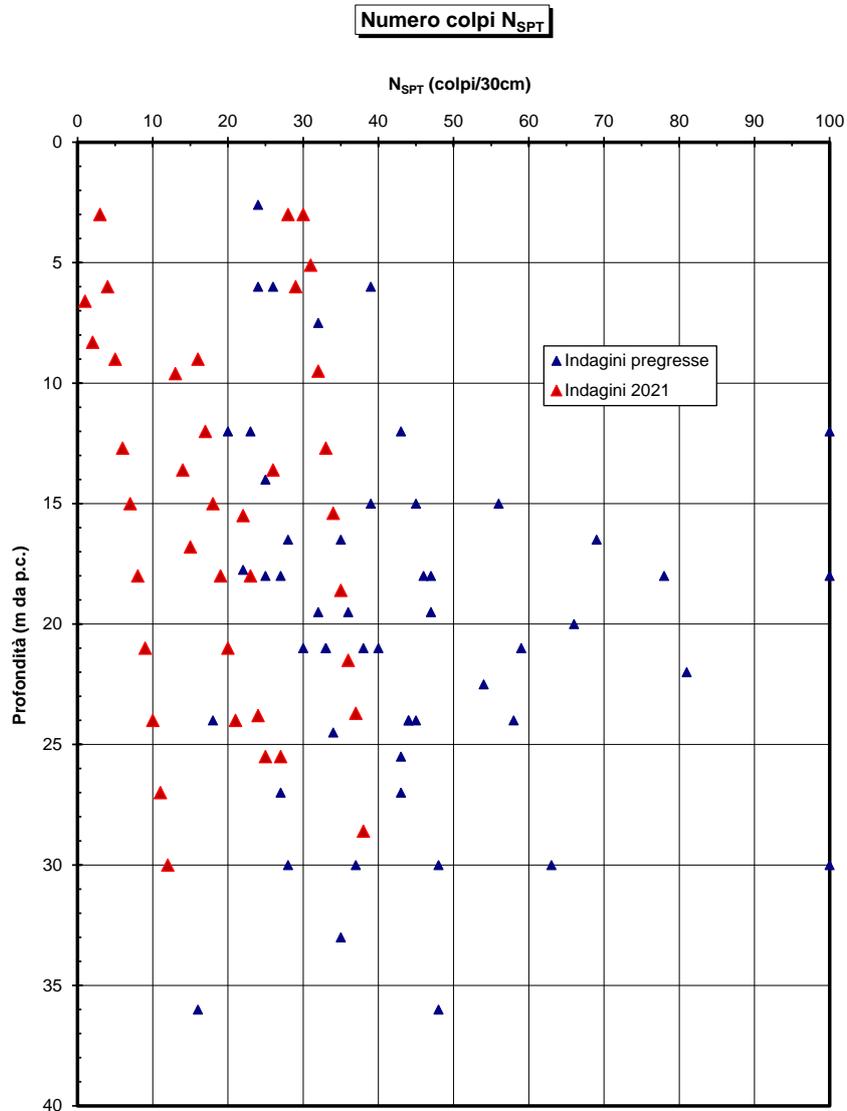
Per quanto riguarda la propagazione delle onde trasversali, data la profondità raggiunta da questi depositi, i rilievi hanno interessato solo marginalmente i terreni granulari medio-fini, raggiungendone solo la porzione superiore, dove sono state riscontrate velocità rapidamente crescenti con la profondità da valori di  $V_s = 500$  m/s a 1200 m/s alla profondità di 35 m dal p.c.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo lineari, basati sulla teoria dell'elasticità, i moduli di deformabilità "operativi" da associare allo specifico problema al contorno, vengono a dipendere dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio. Nel caso in esame si è assunto il modulo di Young "operativo" pari a circa 1/10 di quello iniziale.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo non lineari i dati di ingresso per le analisi sono essenzialmente i moduli elastici iniziali e le curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione indotto.

Nell'insieme la permeabilità dell'ammasso è generalmente di tipo primario per porosità, nei termini dotati di cementazione può assumere una certa rilevanza anche la permeabilità

secondaria per fessurazione e/o dissoluzione della cementazione. Con riferimento ai depositi non cementati, le prove di permeabilità del tipo Lefranc condotte in foro hanno fornito valori di  $k = 10^{-5} \div 10^{-6}$  m/s.



**Figura 5** - Unità GI: Risultati delle prove penetrometriche dinamiche ( $N_{SPT}$ )

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati nel presente progetto per definire il comportamento meccanico-deformativo dei materiali costituenti questa unità sono riportati nella Tabella seguente:

Unità	$\gamma_n$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi_k$ °	$c_k'$ kPa	$E'_{op}$ MPa
GI	20	28 - 34	0 - 10	80 - 150

**Tabella 4** – Unità GI: Modello geotecnico di riferimento

### 4.3 Livello della falda

Per il livello di falda si è fatto riferimento ai valori di soggiacenza misurati nei piezometri installati nell'area e riportati nella Relazione Geologica e Idrogeologica.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto: 15 m da piano campagna

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Opere definitive

#### 5.1.1 Sollecitazione sismica di progetto

##### 5.1.1.1 Vita Nominale

La vita nominale di un'opera  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la stessa, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Per le opere definitive presenti nell'area si è stabilito di utilizzare un termine di "vita nominale" maggiore od uguale a 100 anni (§2.4.1 del NTC 2018).

##### 5.1.1.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla classe d'uso IV:

- I Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- II Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- III Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- IV Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. 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 A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

Il coefficiente d'uso è pari a 2.0, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4.II delle NTC.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0.7	1.0	1.5	2.0

### 5.1.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_U = 100 * 2.0 = 200$  anni.

### 5.1.1.4 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si renderebbe necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.II delle NTC2018.

La campagna di prospezioni geofisiche recentemente realizzate nell'area di cantiere svincolo Chiomonte ha reso disponibili i risultati di N. 5 Prospezioni sismiche di superficie tipo M.A.S.W./Re.Mi., identificate con sigle da PVS-1 a PVS-5, e di N. 1 Prova sismica in foro di tipo Down-Hole, denominata DH-SN5, che hanno fornito i seguenti valori di  $V_{s,30}$ :

- prova PVS-1:  $V_{s,30} = 399$  m/s;
- prova PVS-2:  $V_{s,30} = 417$  m/s;
- prova PVS-3:  $V_{s,30} = 376$  m/s;
- prova PVS-4:  $V_{s,30} = 374$  m/s;
- prova PVS-5:  $V_{s,30} = 401$  m/s;
- prova DH-SN5:  $V_{s,30} = 482$  m/s.

I risultati dell'indagine geofisica svolta nel dicembre 2011, profili MASW SVS1, MASW PVS1 e PVS2, hanno fornito valori di  $V_{s,30}$ , rispettivamente pari a 410, 350 e 323 m/s.

Tenuto conto dei suddetti risultati, cautelativamente, i terreni di progetto sono stati caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C:

- 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 *Depositati 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.

#### 5.1.1.5 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come T2.

- T1* Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .
- T2* Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .
- T3* Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .
- T4* Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .

#### 5.1.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

Ai sensi del paragrafo 3.2 delle NTC 2018 si è proceduto alla definizione di spettri di risposta adeguati. I parametri delle azioni sismiche sono ricavati attraverso il foglio di lavoro Excel SPETTRI-NTC ver 1.03, pubblicato sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Le coordinate dell'area di interesse sono pari a:

45,119054° latitudine NORD

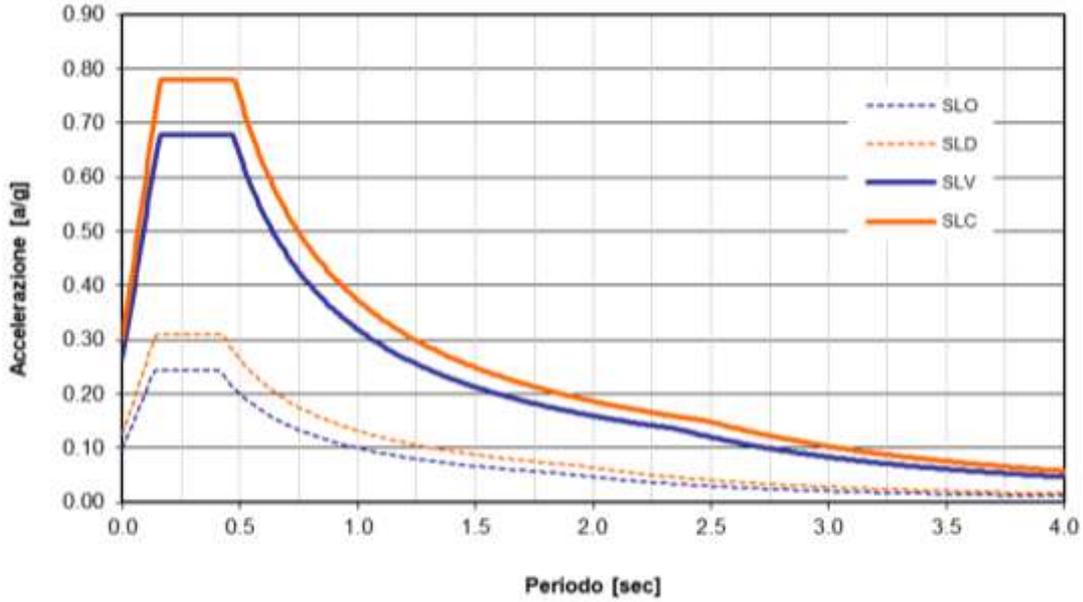
6,970304° longitudine EST

I parametri di pericolosità sismica risultanti sono i seguenti:

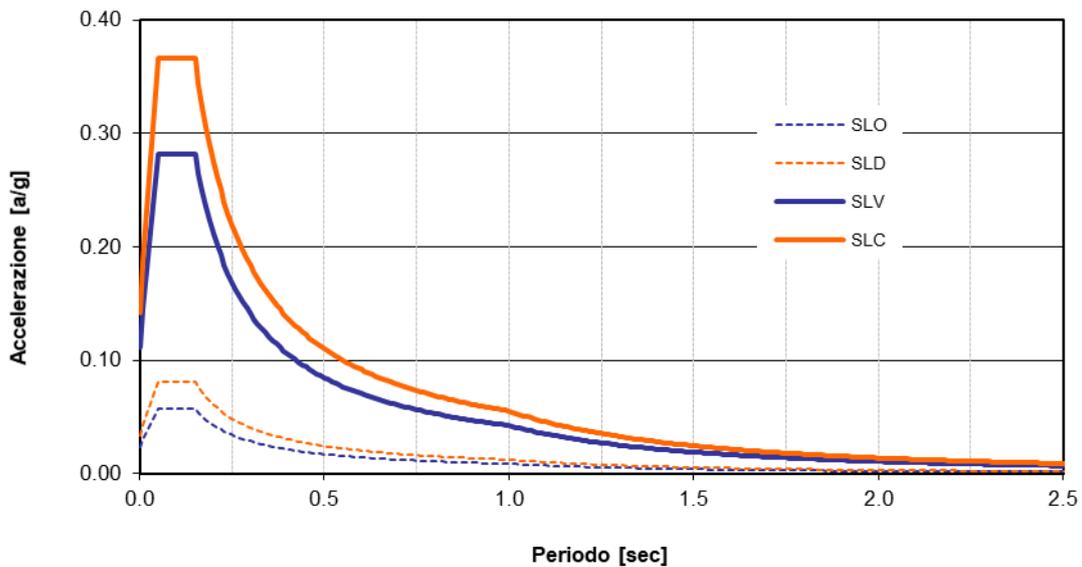
STATO	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
LIMITE	[anni]	[g]	[-]	[s]
<b>SLO</b>	120	0,078	2,434	0,246
<b>SLD</b>	201	0,096	2,442	0,254
<b>SLV</b>	1898	0,201	2,530	0,282
<b>SLC</b>	2475	0,217	2,545	0,285

**Tabella 5** - Parametri di pericolosità sismica per opere definitive

Gli spettri di risposta elastici in accelerazione per i differenti Stati Limite sono i seguenti:



**Figura 6** – Opere definitive. Spettro di risposta elastico orizzontale



**Figura 7** - Opere definitive. Spettro di risposta elastico verticale

I valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito in oggetto da utilizzare nei dimensionamenti risultano:

$a_g$ (g) (SLV)	0.201
Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$	1.394
Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$	1.200
Accelerazione massima attesa al suolo	
$a_{max}$ (g) ( $a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$ )	0.336

### 5.1.2 Suscettibilità alla liquefazione

Lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti nell'area in oggetto è stato eseguito nel rispetto della normativa applicata.

La normativa vigente (punto 7.11.3.4.2. delle NTC2018) recita che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
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 efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici indicati nella figura 7.11.1 delle NTC2018.

Nel sito in esame la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m dal piano campagna.

Pertanto la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto la condizione 2 è soddisfatta.

## 5.2 Opere provvisorie

### 5.2.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.2.1.1 Vita Nominale

Per le opere provvisorie presenti nell'area si è stabilito di utilizzare un termine di "vita nominale" maggiore od uguale a 10 anni (§2.4.1 del NTC 2018).

#### 5.2.1.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla classe d'uso I:

*I Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*

*II Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

*III Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti*

ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

- IV Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. 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 A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il coefficiente d'uso è pari a 0.7, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4.II delle NTC.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0.7	1.0	1.5	2.0

### 5.2.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_U \geq 35$  anni.

### 5.2.1.4 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si renderebbe necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.II delle NTC2018. Cautelativamente i terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C:

- 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.*

### 5.2.1.5 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come T2.

*T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .*

*T2 Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .*

*T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .*

*T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .*

### 5.2.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

Ai sensi del paragrafo 3.2 delle NTC 2018 si è proceduto alla definizione di spettri di risposta adeguati. I parametri delle azioni sismiche sono ricavati attraverso il foglio di lavoro Excel SPETTRI-NTC ver 1.03, pubblicato sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Le coordinate dell'area di interesse sono pari a:

45,119054° latitudine NORD

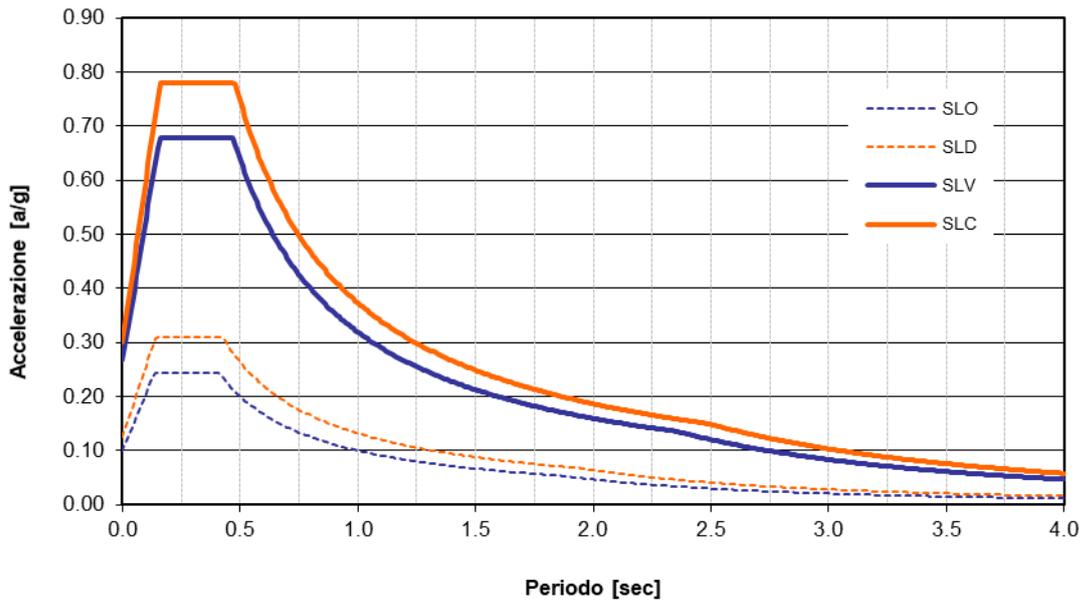
6,970304° longitudine EST

I parametri di pericolosità sismica risultanti sono i seguenti:

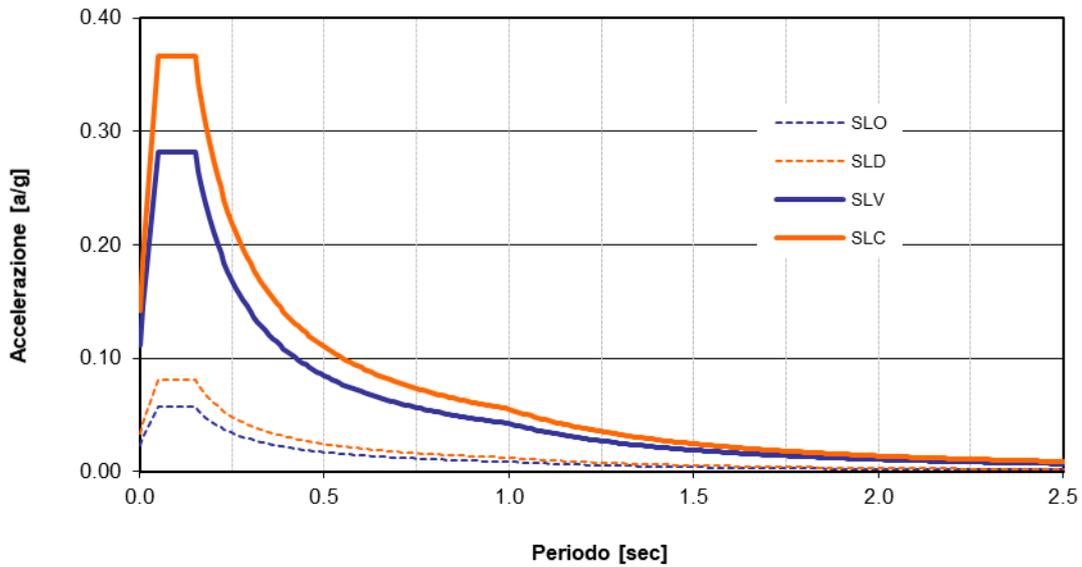
STATO	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
LIMITE	[anni]	[g]	[-]	[s]
<b>SLO</b>	30	0,039	2,435	0,206
<b>SLD</b>	35	0,043	2,428	0,213
<b>SLV</b>	332	0,116	2,453	0,260
<b>SLC</b>	682	0,149	2,476	0,269

**Tabella 6** - Parametri di pericolosità sismica per opere provvisorie

Gli spettri di risposta elastici in accelerazione per i differenti Stati Limite sono i seguenti:



**Figura 8** – Opere provvisorie. Spettro di risposta elastico orizzontale



**Figura 9** - Opere provvisorie. Spettro di risposta elastico verticale

I valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito in oggetto da utilizzare nei dimensionamenti delle opere provvisorie risultano:

$a_g$ (g) (SLV)	0.116
Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$	1.5
Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$	1.2
Accelerazione massima attesa al suolo	
$a_{max}$ (g) ( $a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ )	0.209

### 5.2.2 Suscettibilità alla liquefazione

Lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti nell'area in oggetto è stato eseguito nel rispetto della normativa applicata.

La normativa vigente (punto 7.11.3.4.2. delle NTC2018) recita che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
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 efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici indicati nella figura 7.11.1 delle NTC2018.

Nel sito in esame la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m dal piano campagna.

Pertanto la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto la condizione 2 è soddisfatta.