

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
**ALBERTO BITOSSI**  
IL DIRETTORE ESECUTORE DEL CONTRATTO  
**ANTONIO ROSSA**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER  
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE  
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



Società TEGENTRAL

GEOTECNICA

Relazione geotecnica Deposito Staglieno

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:

-

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

E 2 1 D 0 0 D Z 1 G E G E 0 0 0 6 0 0 3 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Crinelli	08/2021	A.Rizzo	08/2021	M. Marinelli	08/2021	A. Peresso 08/2021
B	REVISIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA	C. Crinelli	09/2021	A.Rizzo	09/2021	M. Marinelli	09/2021	A. Peresso 09/2021
C	AGGIORNAMENTO	C. Crinelli	09/2021	A.Rizzo	09/2021	M. Marinelli	09/2021	A. Peresso 09/2021
D	REVISIONE A SEGUITO DI RAPPORTO DI VERIFICA	C. Crinelli	10/2021	A.Rizzo	10/2021	M. Marinelli	10/2021	A. Peresso 10/2021

File: E21D00DZ1GEGE0006003D

n. Elab.:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>2 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	2 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	2 di 52								

## Sommario

1.	OGGETTO E SCOPO .....	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
2.1.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
2.2.	ELABORATI DI PROGETTO.....	7
2.3.	BIBLIOGRAFIA.....	7
3.	CAMPAGNA DI INDAGINI.....	9
3.1	INDAGINI ESISTENTI .....	9
3.2	CAMPAGNA INDAGINE 2021.....	9
4.	CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI .....	11
4.1	TERRENI INCOERENTI.....	11
4.1.1	<i>Granulometria</i> .....	11
4.1.2	<i>Densità relativa</i> .....	12
4.1.3	<i>Angolo di resistenza al taglio</i> .....	16
4.1.4	<i>Moduli di compressibilità</i> .....	17
4.2	TERRENI COESIVI .....	26
4.3	ROCCIA CALCAREA .....	28
4.3.1	<i>Classificazione della qualità dell'ammasso roccioso</i> .....	28
4.3.2	<i>Criteri di rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb</i> .....	28
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	35
5.1	PROFILI STRATIGRAFICI.....	35
5.2	MODELLO GEOTECNICO .....	38
6.	STUDI SISMICI DELL'AREA .....	40
6.1	CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA .....	42
7.	AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	44

	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b></p>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>3 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	3 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	3 di 52								

7.1	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	49
8.	FONDAZIONI .....	52

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>4 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	4 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	4 di 52								

## 1. OGGETTO E SCOPO

La presente relazione ricade nell'ambito del Progetto Definitivo per la realizzazione degli Assi di forza per il Trasporto Pubblico Locale del Comune di Genova

La presente relazione riguarda la caratterizzazione e la modellizzazione geotecnica per la Rimessa Staglieno sita in via Vecchia 3R 66, Genova.

Nel seguito, saranno descritti:

- campagna di indagini, di sito e laboratorio, svolte e disponibili per il progetto in esame;
- criteri di interpretazione delle indagini;
- profilo geotecnico;
- parametri geotecnici caratteristici di interesse;
- indicazioni sulle opere di fondazione.

Il progetto prevede l'integrale demolizione del fabbricato esistente, attualmente circondato da strade pubbliche su tutti i 4 lati (Via Bobbio, Via Montaldo, Via Vecchia, Via Caderiva e Passo F. Spano) quindi distaccato dai fabbricati posti a monte dell'attuale rimessa, e la realizzazione di una nuova rimessa con annessi 3 piani di parcheggio di interscambio.

Il progetto preliminare prevede la costruzione di due ulteriori piani sulla struttura, con tre solai con copertura da adibire a parcheggio di interscambio per veicoli privati funzionale all'asse Valbisagno e all'uscita autostradale Genova Est. Il parcheggio avrà una capienza di circa 700 posti e sarà funzionale all'asse Valbisagno e all'uscita autostradale di Genova Est.

Lo scorrimento sarà inoltre favorito dall'asse in corsia riservata. La ricostruzione del fabbricato consentirà di continuare ad avere in zona Staglieno un deposito/officina con capienza di poco meno di 100 veicoli e adeguate postazioni di lavoro, peraltro ristrutturate ed ammodernate.

Inoltre, è prevista la creazione di un nuovo volume, con superficie di circa 720 m<sup>2</sup>, su tre piani fuori terra, sul lato di Via Vecchia, da adibirsi ad uffici e servizi.

Per quanto riguarda Staglieno, i dislivelli esistenti fra il piano stradale di Via Vecchia e Via Bobbio, poste agli estremi dei lati lunghi della rimessa, risultano dell'ordine di grandezza pari a circa ml 1,50, pertanto gli scavi necessari alla realizzazione delle fondazioni, superficiali e/o profonde, avranno altezze contenute.





Figura 1 - Ubicazione della rimessa Staglieno su immagine satellitare.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>6 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	6 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	6 di 52								

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. Normativa di riferimento

- [1] AGI (1994) Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio. Associazione Geotecnica Italiana
- [2] AGI (1997) Raccomandazioni sui pali di fondazione. Associazione Geotecnica Italiana
- [3] AGI (1997) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Associazione Geotecnica Italiana
- [4] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida. Associazione Geotecnica Italiana
- [5] ASG (2016). Linee guida per indagini geofisiche. Associazione Italiana di Geofisica
- [6] ASTM D5731-16, Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [7] Circolare 02/01/2019 n.7 C.S.LL.PP. recante le istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- [8] D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 Parte I, Allegato B "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art.57, comma 1, della l.r. 11 Marzo 2005, n.12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 Maggio 2008, n.8/7374"
- [9] D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- [10] EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design
- [11] EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- [12] OPCM 3519/2006. "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria. Delibera della Giunta Regionale 17/03/2017 n. 216"

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>7 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	7 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	7 di 52								

## 2.2. Elaborati di progetto

- E21D00D69RGGE0001001A – Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica
- E21D00D69IGGE0001001A - Report indagini geofisiche
- E21D00D69PRGE0001001A - Report prove di laboratorio geotecnico
- E21D00D69SGGE0000001A – Report indagini geognostiche e prove in situ
- E21D00DXXF6GE0006007A - Planimetria deposito Staglieno
- E21D00DXXF6GE0006008A – Profilo geotecnico 1/2 deposito Staglieno
- E21D00DXXF6GE0006009A - Profilo geotecnico 2/2 deposito Staglieno

## 2.3. Bibliografia

- [13] D'Appollonia D.J., D'Appollonia E., Brisette (1970). Discussion on Settlement of spread footings on sand. ASCE J. SMFD 96:SM2.
- [14] D.U. Deere, 1989 Rock quality designation (RQD) after twenty years U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1 Waterways Experiment Station, Vicksburg, USA(1989)
- [15] Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corkum, B. (2002), Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.
- [16] Hoek, E., 2006. Practical rock engineering. [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)
- [17] Idriss IM, Boulanger RW., Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes. Proc., 11th International conference on soil dynamics and earthquake engineering, and 3rd International conference on earthquake geotechnical engineering, vol. 1. Stallion Press; 2004. p. 32-56.
- [18] Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp.



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>8 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	8 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	8 di 52								

- [19] Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures; Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, California
- [20] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of 1<sup>st</sup> International Symposium on Penetration Testing ISOPT I, Orlando FLA
- [21] Jamiolkowski M, Lo Presti D.C.F., Garizio G.M. (2001) "Correlation between relative density and cone resistance for silica sands" Jubilee Volume 75<sup>th</sup> Anniversary of K.Terzaghi's "*Erdbaumechanik*" Wien, edit. H.Brandl
- [22] Lancellotta, R. Geotecnica 4 edizione 2012. Zanichelli
- [23] Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). (<https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>)
- [24] Mair, R. J. (1993). Developments in geotechnical engineering research: applications to tunnels and deep excavations. Unwin memorial lecture 1992, Proc. Intr. Civ. Engrs. 3 No 1, 27.42
- [25] Marinos P, Hoek E. GSI e a geologically friendly tool for rock mass strength. In: Proceedings GeoEng 2000, International conference on geotechnical and geological engineering. Melbourne, Australia, Lancaster, PA: Technomic Publishing Co.; 2000. p. 1422e40.
- [26] Skempton A.W. (1986) "Standard penetration procedure and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n. 3
- [27] Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (2004). Valori di Mmax, di b, completezze. Dati di ingresso per la redazione di MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/SH/MPS04/INPUTDATA>
- [28] Terzaghi, K. e Peck, R.B. (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, New York
- [29] Yoshida Y., Motonori I. (1988) "Empirical formulae of SPT Blow-counts for gravelly soils" Proc. ISOPT-I, Orlando FLA



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>9 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	9 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	9 di 52								

### 3. CAMPAGNA DI INDAGINI

Il seguente capitolo riporta le indagini in sito utilizzate per la redazione della presente relazione geotecnica.

Sono riportate in modo schematico sia indagini pregresse esistenti, sia indagini eseguite per il progetto definitivo, eseguite nel 2021.

#### 3.1 Indagini esistenti

All'interno del Geoportale della Regione Liguria è possibile reperire alcune indagini eseguite nel Comune di Genova. Le indagini prossime al sito dove sorgerà la rimessa Staglieno sono le seguenti:

- sondaggio 4789 spinto sino alla profondità di 20 da p.c. eseguito nel 2003;
- sondaggio S1/98-2886 spinto sino alla profondità di 8,20 da p.c. eseguito nel 1998, per il Cantiere ATM Via Bobbio 250R, sono state eseguite prove di tipo Standard Penetration Test con punta chiusa;
- sondaggio S2/98-2887 spinto sino alla profondità di 8,20 da p.c. eseguito nel 1998, per il Cantiere ATM Via Bobbio 250R, sono state eseguite prove di tipo Standard Penetration Test con punta chiusa.

–

#### 3.2 Campagna indagine 2021

A luglio 2021 è stata svolta la campagna di indagini per il progetto definitivo in esame al fine di definire un modello geologico-geotecnico del sottosuolo.

L'ubicazione delle prove è definita nella tavola planimetrica in allegato e di seguito è riportata la lista delle prove eseguite:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità di 38 m da p.c. (SDST-01 fino a 38.85 m da p.c.; SDST-02 fino a 35,00 m da p.c.; SDST-03 fino a 23,00 m da p.c.), nei quali è stato calcolato l'RQD sulle carote rocciose; eseguiti da Tecnoin Geosolution;
- n. 16 prove penetrometriche dinamiche di tipo Standard Penetration Test (SPT);
- n. 3 piezometri a tubo aperto 3" ubicati nei fori dei sondaggi eseguiti;

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>10 di 52</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	10 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	10 di 52								

- n. 2 prova di permeabilità di tipo Lefranc, tra -10,00 e -10,50 m da p.c. nei sondaggi SDST-01 e a SDST-02;
- n. 2 prove pressiometriche Menard (MPM) alla profondità di -12,0 m da p.c. nel sondaggio SDST-01 e a -11,5 m del SDST-02
- n. 2 stendimenti sismici con la tecnica *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW);
- n. 2 stendimenti geofisici di tomografia elettrica di resistività (ERT);
- n. 2 prove geofisiche *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVRS).

Nella tabella seguente sono riportate le coordinate in WGS84/UTM 32T dei sondaggi e la loro quota.

Nome sondaggio	Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota
			m s.l.m.
SDST01	495762,4	4918862,1	21,039
SDST02	495790,7	4919074,1	21,981
SDST03	495753,1	4919067,8	21,89

Tabella 1 Coordinate in WGS 84-UTM 32T e le quote in m s.l.m. dei sondaggi.

Sono inoltre state eseguite le seguenti prove di laboratorio sui campioni prelevati in sito:

- n. 7 analisi granulometriche;
- n. 7 determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- n. 7 determinazione dei limiti di Atterberg;
- n. 1 determinazione della massa volumica;
- n. 1 determinazione del peso specifico dei grani;
- n. 1 prova triassiale non consolidata non drenata (UU);
- n. 1 prove di compressibilità edometriche;
- n. 3 prove di compressione uniassiale in roccia;
- n. 3 point load test in roccia.

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	11 di 52

## 4. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI

Per l'identificazione e la caratterizzazione dei terreni si è fatto ricorso prevalentemente alle indagini in sito; ove ritenuto opportuno, si sono utilizzate correlazioni di letteratura.

Le indagini eseguite hanno evidenziato principalmente due strati: quello superficiale composto da terreni sciolti misti a depositi alluvionali e di coltre eluvio colluviale (principalmente blocchi calcarei, ciottoli, ghiaia in matrice formata da sabbia limosa) e il substrato roccioso formato da calcare e calcare marnoso grigio da molto fratturato a moderatamente fratturato.

Vengono di seguito analizzate le indagini eseguite ed esposti i metodi di interpretazione.

### 4.1 Terreni incoerenti

#### 4.1.1 Granulometria

Di seguito la tabella e il grafico con i risultati delle prove di classificazione condotte sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

Sondaggio	Campione	Z <sub>in</sub> [m]	Z <sub>fin</sub> [m]	Z <sub>med</sub> [m]	Z <sub>med</sub> [m slm]	W <sub>n</sub> [%]	Argilla [%]	Limo [%]	Sabbia [%]	Ghiaia [%]
SDST01	CR1	17,5	18,00	17,8	-17,8	2,3	4,5	6,0	21,5	68,0
SDST01	CR2	24,50	25,00	24,8	-24,8	2,7	5,0	13,0	40,5	41,5
SDST01	CR1	8,00	8,50	8,3	-8,3	1,8	7,0	4,5	26,0	62,5
SDST02	CR2	17,50	18,00	17,8	-17,8	2,8	4,50	7,0	15,5	73,0
SDST02	CR3	23,50	24,00	23,8	-23,8	3,4	6,00	11,5	23,0	59,5
SDST03	CR1	3,50	4,00	3,8	-3,8	2,3	2,00	8,0	15,0	78,0

Tabella 2 Prove di laboratorio eseguite sui terreni incoerenti: granulometrie, W<sub>n</sub>=contenuto di acqua.

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 12 di 52

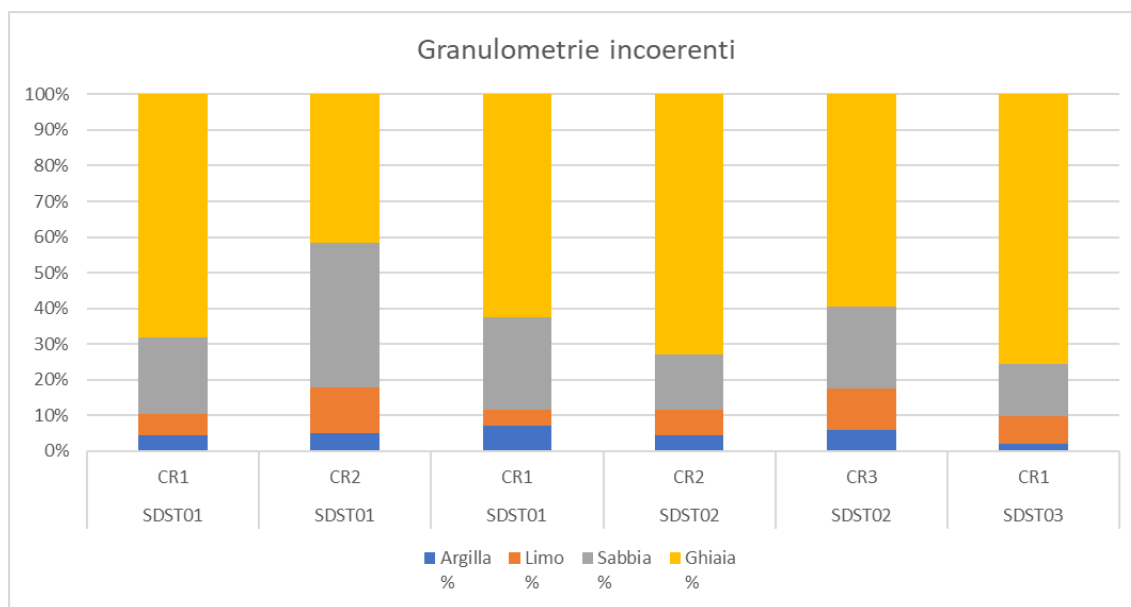


Figura 2 Distribuzione granulometrica dei terreni incoerenti.

#### 4.1.2 Densità relativa

La valutazione della densità relativa  $D_r$  dei terreni di matrice incoerente è stata condotta attraverso i risultati delle prove penetrometriche Standard Penetration Test.

La prova penetrometrica SPT consiste nell'infissione a percussione di un campionatore standard, del peso di 63,5 kg, che consente di valutare la resistenza meccanica, valutata come numero di colpi  $N$  del maglio per ottenere un avanzamento di 300 mm. Tale prova si esegue a varie profondità lungo una verticale di sondaggio e consente di determinare il grado di addensamento attraverso la resistenza che il terreno offre alla penetrazione. Il campionatore può essere a punta aperta (tipo Raymond) oppure, per terreni grossolani e con presenza di ciottoli, a punta conica.

Il numero di colpi ( $N$ ) necessario per una penetrazione del campionatore pari a 300 mm (dopo 150 mm di infissione preliminare), è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT}$ ).

I valori di  $N_{SPT}$  possono essere normalizzati per tener conto dell'influenza della pressione efficace del terreno, riferendoli ad un valore unitario della pressione verticale efficace  $\sigma'_{Rif} = 1 \text{ kg/cm}^2$ , mediante l'espressione:

$$N_1 = C_N \cdot N_{SPT}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>13 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	13 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	13 di 52								

dove N è il numero di colpi ( $N_{SPT}$ ) misurati con la prova standard e  $C_N$  è un coefficiente di correzione che dipende dalla tensione efficace litostatica  $\sigma'_v$  normalizzata ( $\sigma'_{v0}/\sigma'_{Rif}$ ) ed è ricavabile dalla:

$$C_N = 1/\sigma'_v{}^{(n)}$$

con  $n=0.5$  (Liao e Whitman, 1985) e  $\sigma'_{Rif} = 1 \text{ kg/cm}^2$ .

È inoltre possibile tenere conto anche dell'efficienza del dispositivo di infissione e riferire il numero di colpi N ad un rendimento medio identificato tradizionalmente pari al 60%.

Il valore normalizzato di N, che tenga conto sia della pressione del terreno sovrastante che del rendimento del sistema di infissione, può essere quindi calcolato come:

$$(N_1)_{60} = \frac{ER \times N_{SPT}}{60 \times (\sigma'_v)^n}$$

dove ER è il rendimento medio misurato del sistema di infissione.

Il seguente grafico riporta i valori  $N_{SPT}$  misurati lungo la verticale del sondaggio.



		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	14 di 52

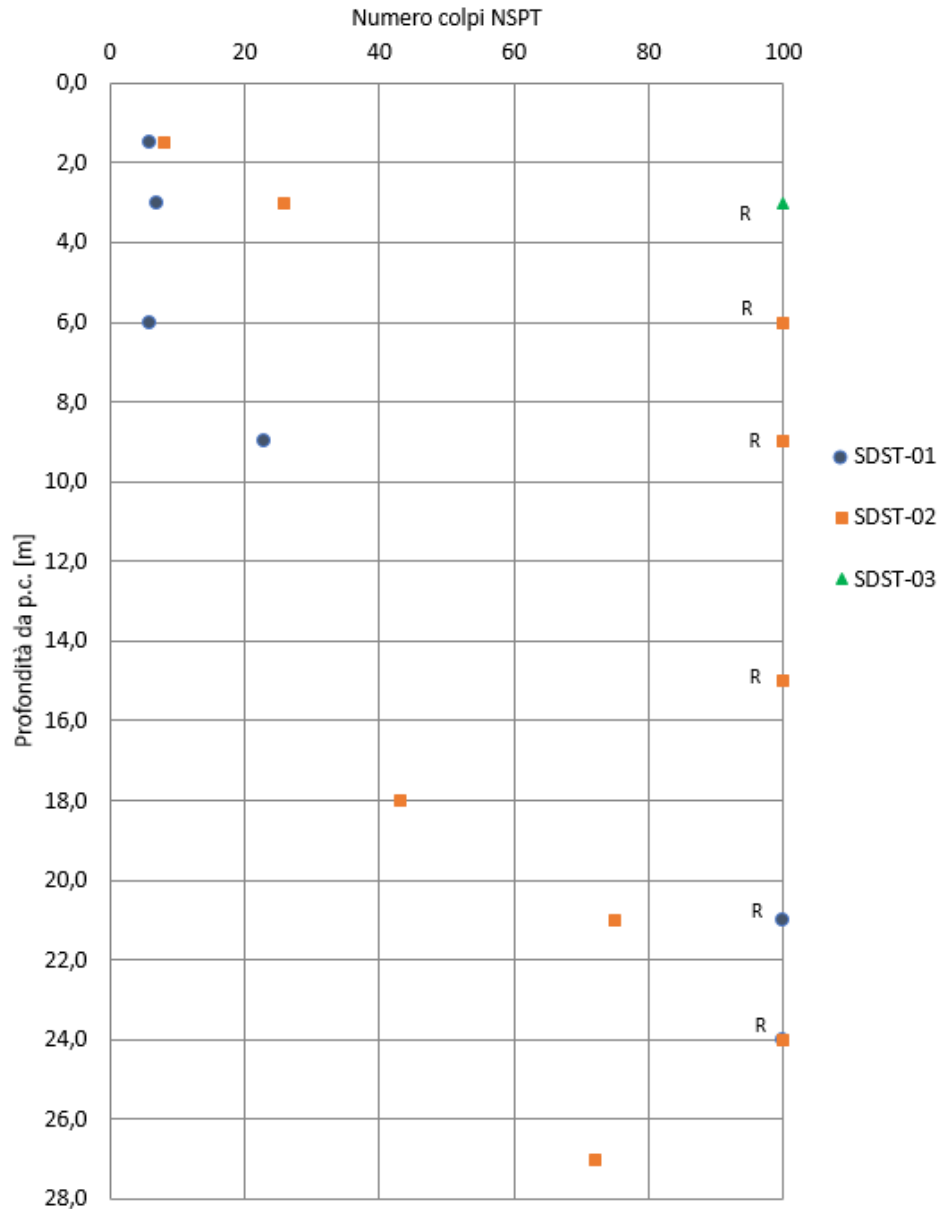


Figura 3 Andamento del numero di colpi  $N_{SPT}$  con la profondità.

La valutazione della densità relativa  $D_r$  dei terreni di matrice incoerente è stata condotta attraverso l'impiego della relazione, molto utilizzata in presenza di terreni sabbiosi, introdotta da Terzaghi e Peck (1948) e successivamente modificata da Skempton (1986), riportata di seguito:

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{A}}$$

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA <b>E21D</b>	LOTTO <b>00 D Z1</b>	CODIFICA <b>GE</b>	DOCUMENTO <b>GE006 003</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>15 di 52</b>

Dove:

- $A \approx 65/60$  nel caso di sabbie grosse e  $A \approx 60/55$  nel caso di sabbie fini.
- $(N_1)_{60}$  è la resistenza penetrometrica dinamica normalizzata per tenere conto sia della tensione litostatica che del rendimento del sistema di infissione.

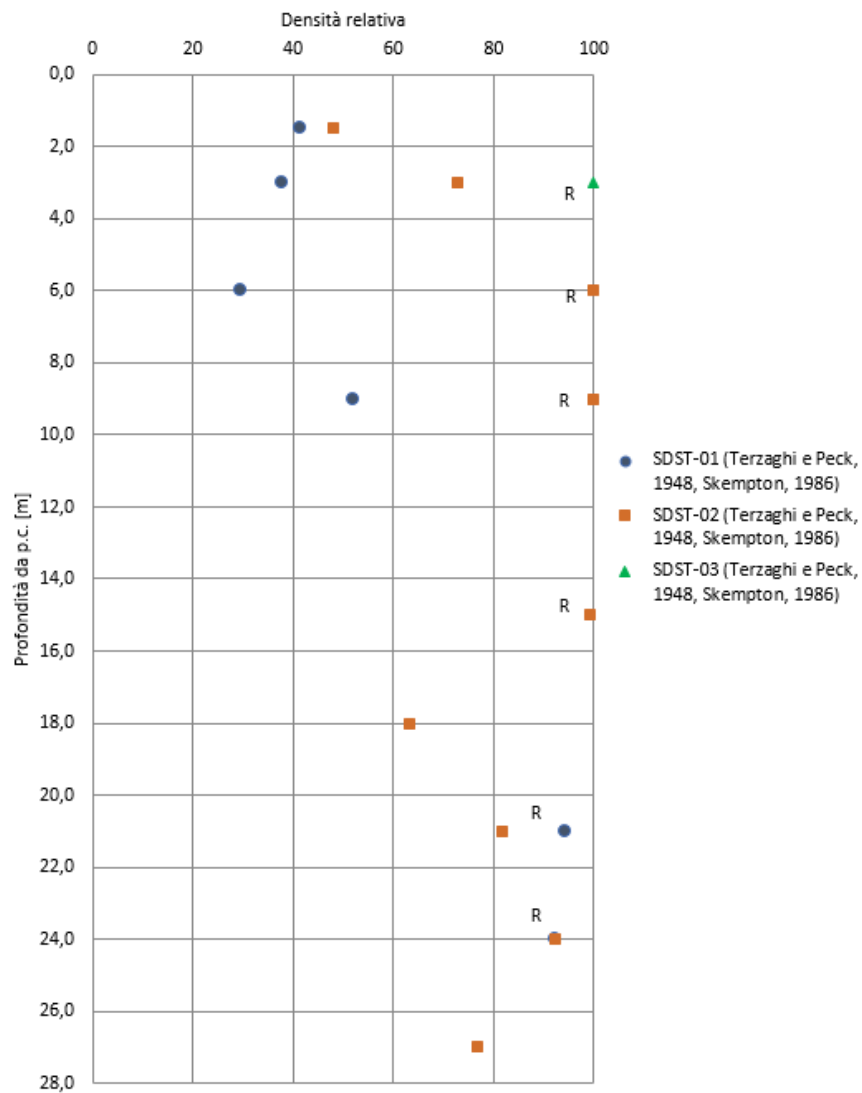


Figura 4: Andamento della densità relativa con la profondità.

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	16 di 52

### 4.1.3 Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio è stato stimato con la correlazione proposta dalla Japanese National Railway, valida per sabbie medio grosse e sabbie ghiaiose:

$$\phi' = 0,3 \times N_{SPT} + 27^\circ (\text{Japanese} - \text{National} - \text{Railway})$$

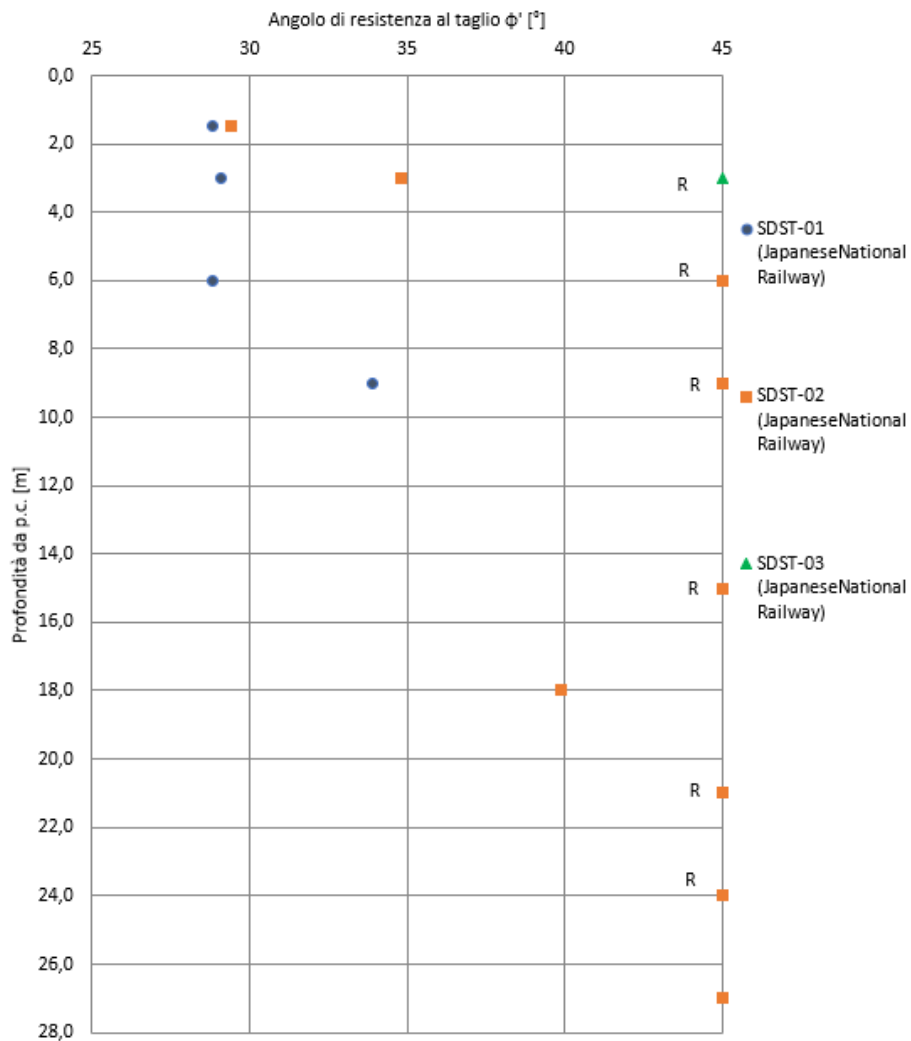


Figura 5: Andamento dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>17 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	17 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	17 di 52								

#### 4.1.4 Moduli di compressibilità

##### 4.1.3.1. Modulo alle piccole deformazioni

Il modulo di taglio alle piccole deformazioni  $G_0$  è stato valutato in base alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  misurate tramite le prove MASW:

$$G_0 = \frac{\rho}{g} (V_s)^2$$

dove:

- $\rho$  è la densità del terreno;
- $V_s$  è la velocità delle onde di taglio.

Nel seguente grafico vengono confrontate le velocità  $v_s$  ottenute tramite le due prove MASW con le velocità  $v_s$  stimabili dalle prove SPT secondo la formula di Yoshida et al, 1988:

$$v_s = a \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_{v0}{}^{0.14}$$

con  $a=60$  in presenza di terreno con 50% di ghiaia.

Dal modulo di taglio è possibile ricavare il modulo elastico  $E_o$  definito come:

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

dove:

- $\nu$  è il coefficiente di Poisson;
- $G_0$  è il modulo di taglio alle piccole deformazioni.

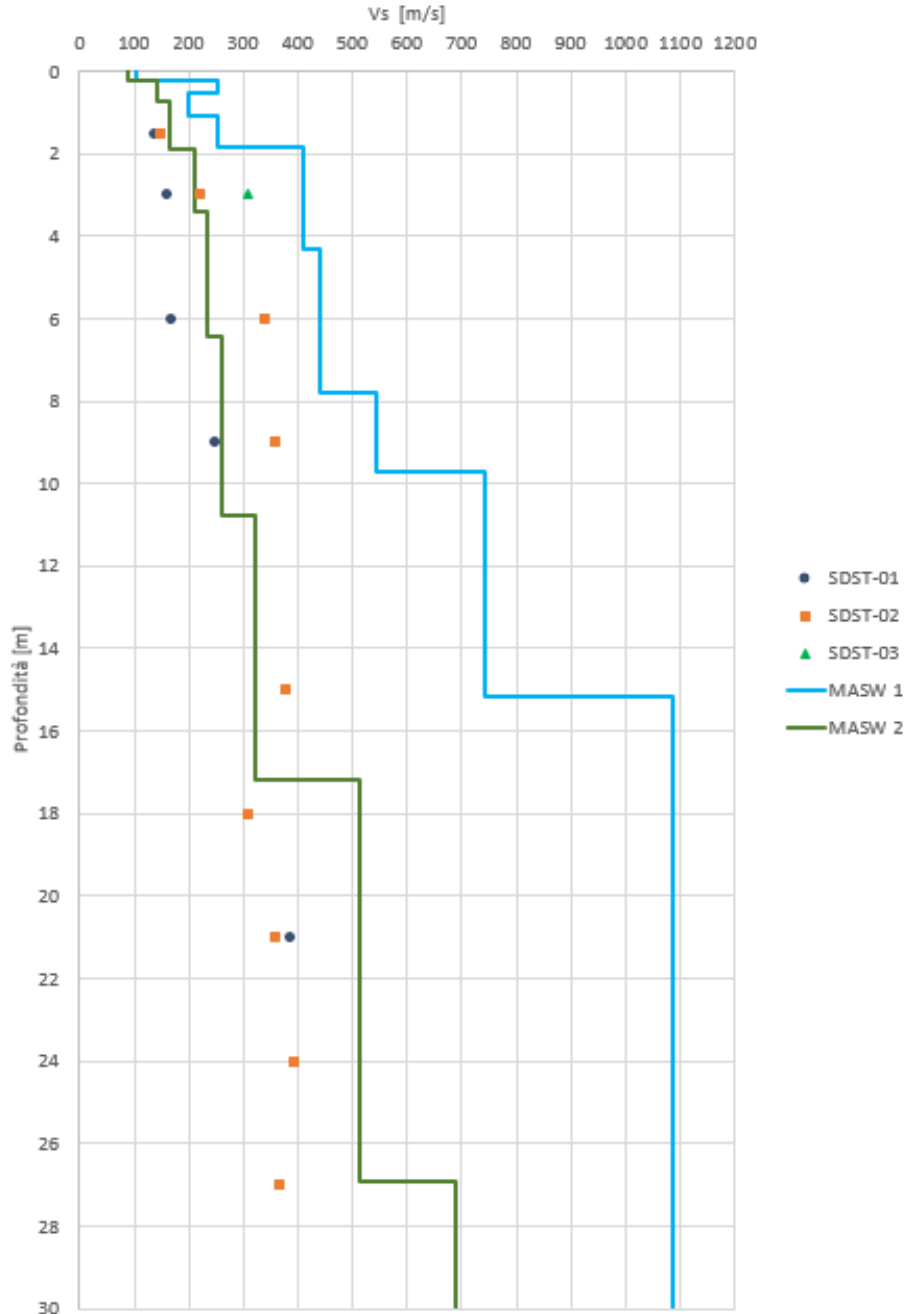


Figura 6 - Grafico delle onde di taglio ricavate dalle prove SPT e dalle prove MASW in funzione della profondità.

S rileva una significativa differenza tra i risultati delle due prove MASW attribuibile sia alla diversa profondità del substrato roccioso che all'inclinazione rispetto all'orizzontale dello stesso.



		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 19 di 52

A partire dalle velocità delle onde di taglio è stato calcolato il modulo di taglio alle piccole deformazioni  $G_0$  con la formula riportata ad inizio paragrafo e nel grafico successivo si riportano i risultati ottenuti.

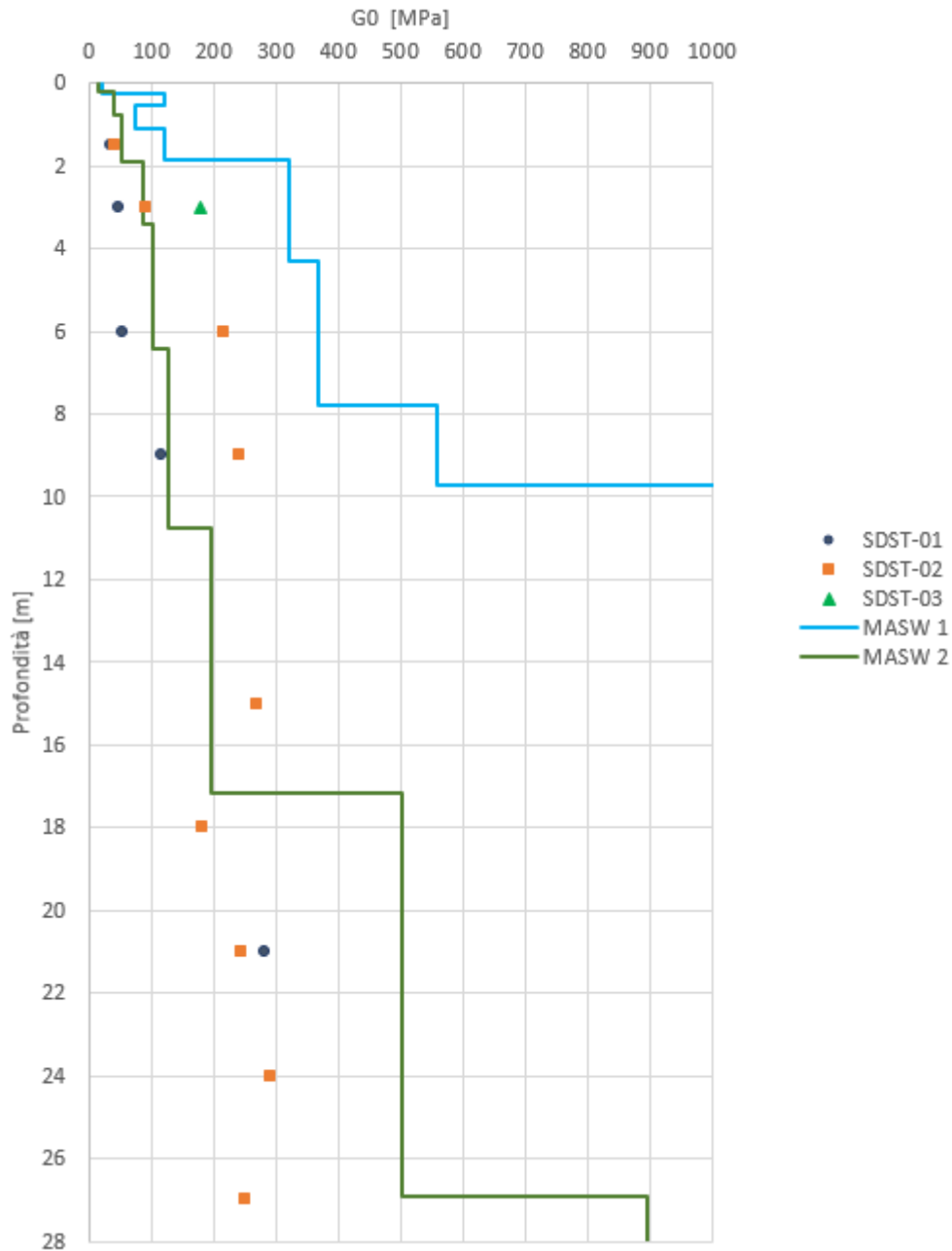


Figura 7: Grafico del modulo di taglio alle piccole deformazioni  $G_0$  ricavato dalle prove SPT e dalle prove MASW in funzione della profondità.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>20 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	20 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	20 di 52								

#### 4.1.3.2. Moduli operativi

Essendo il comportamento dei terreni non lineare, 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 di ricorso a metodi di calcolo non lineari i dati di ingresso sono essenzialmente i moduli elastici iniziali e le curve di degrado del modulo in funzione del livello deformazionale indotto.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo lineari il modulo viene stimato ipotizzandolo pari ad una certa percentuale di quello iniziale.

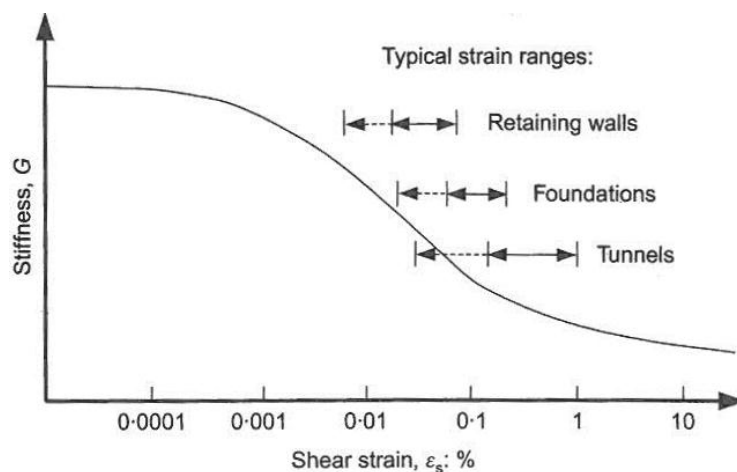


Figura 8: Variazione tipica del modulo di rigidezza in funzione della deformazione unitaria, Mair (1993).

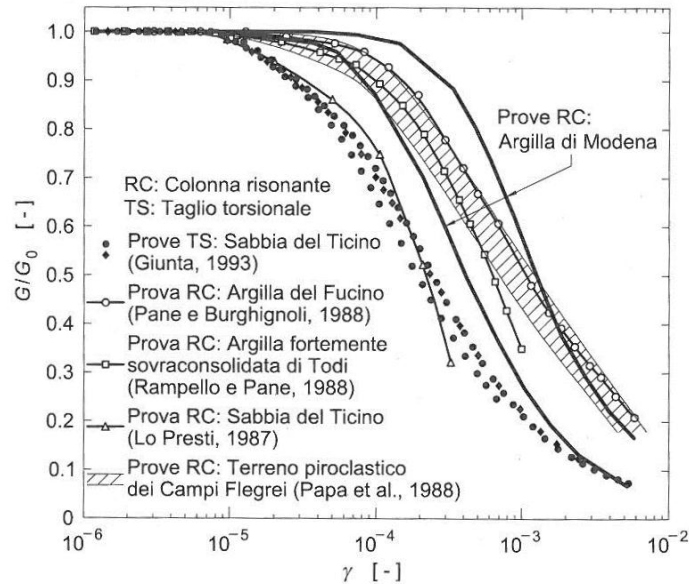


Figura 9: Dipendenza del modulo di taglio dal livello deformativo, Lancellotta (2012).

Nel caso di problematiche di cedimento di fondazioni superficiali e di utilizzo delle note espressioni ricavate dalla teoria dell'elasticità per aree di carico rettangolari, il modulo di Young "operativo" può essere assunto pari a circa  $1/10 \div 1/8 E_0$ , valore significativo di deformazioni di taglio unitarie dell'ordine di 0.1%. In alternativa si può far riferimento al modulo  $E_{25}$  (modulo con riferimento ad un grado di mobilitazione della resistenza ultima a taglio pari al 25-30% e una deformazione dell'ordine di  $1 \times 10^{-3}$ ) determinato con la correlazione di Jamiolkowski et al. (1988) in funzione della densità relativa  $D_r$  e di  $N_{SPT}$ :

$$E_{25} = (1,05 - 0,35 \cdot D_r) \times N_{SPT}$$

Nel calcolo di opere di sostegno tipo paratie, tirantate e non, e di opere di fondazione di tipo profondo il modulo di Young "operativo" può essere assunto pari a  $1/5 \div 1/8$  di quello iniziale, valore significativo di deformazioni di taglio unitarie minori di 0.1%. In alternativa si può far riferimento al modulo compressibilità  $E$  valutato tramite la correlazione di D'Appollonia (1970):

$$E = 0,756 \times N_{SPT} + 18,75$$

I valori di progetto sono stati assunti considerando gli approcci sopradescritti.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	22 di 52

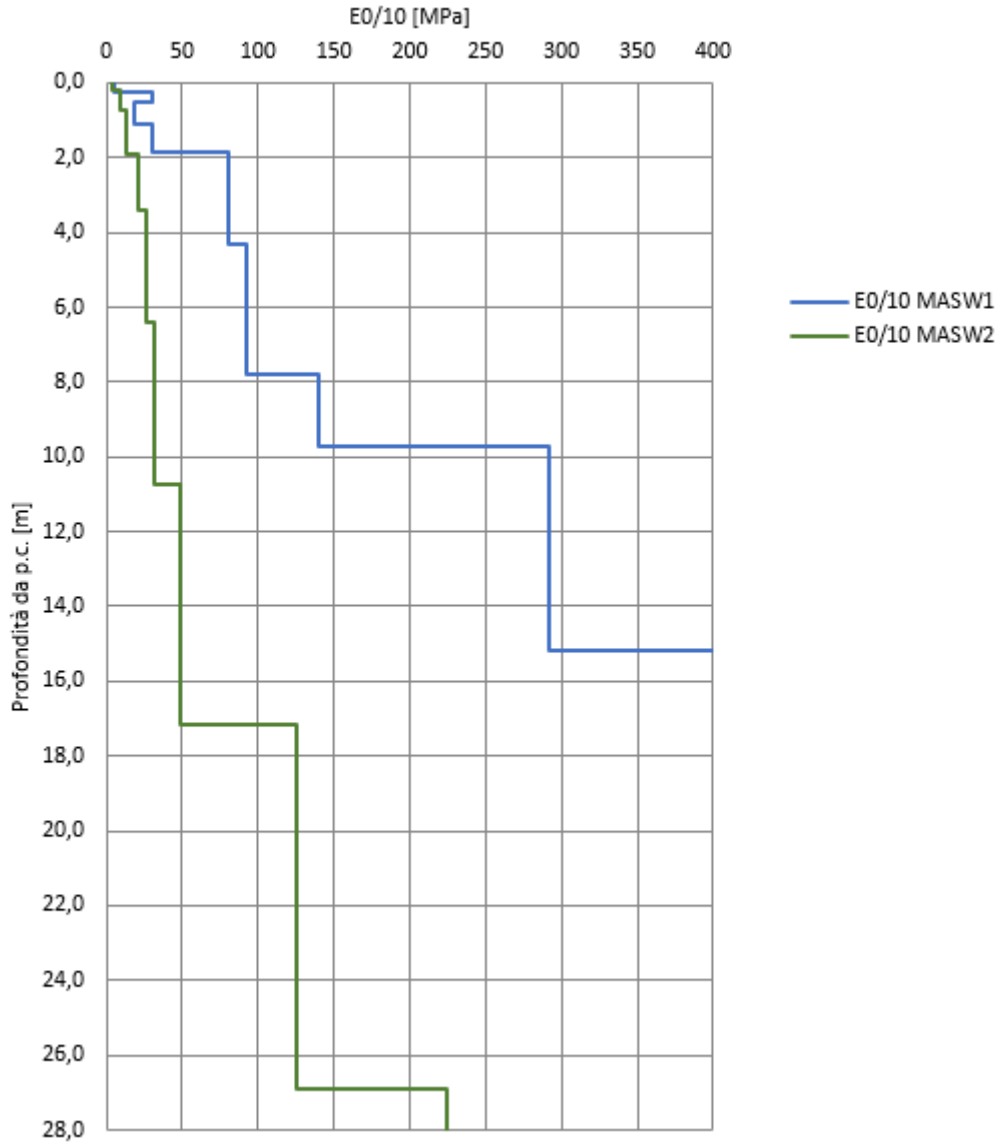


Figura 10: Grafico del modulo  $E_0/10$  in funzione della profondità

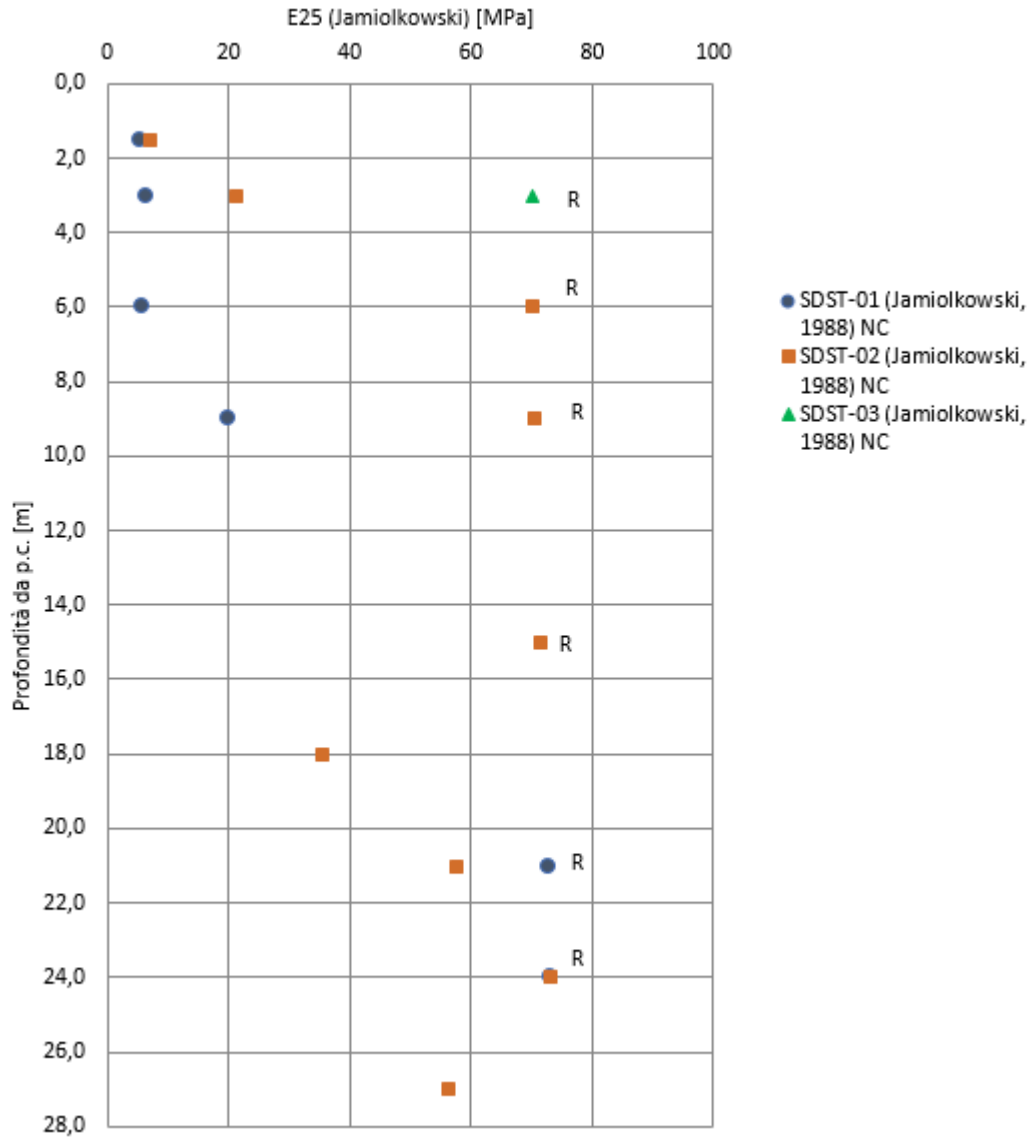


Figura 11: Grafico del modulo di compressibilità E25 (Jamiolkowski) in funzione della profondità.



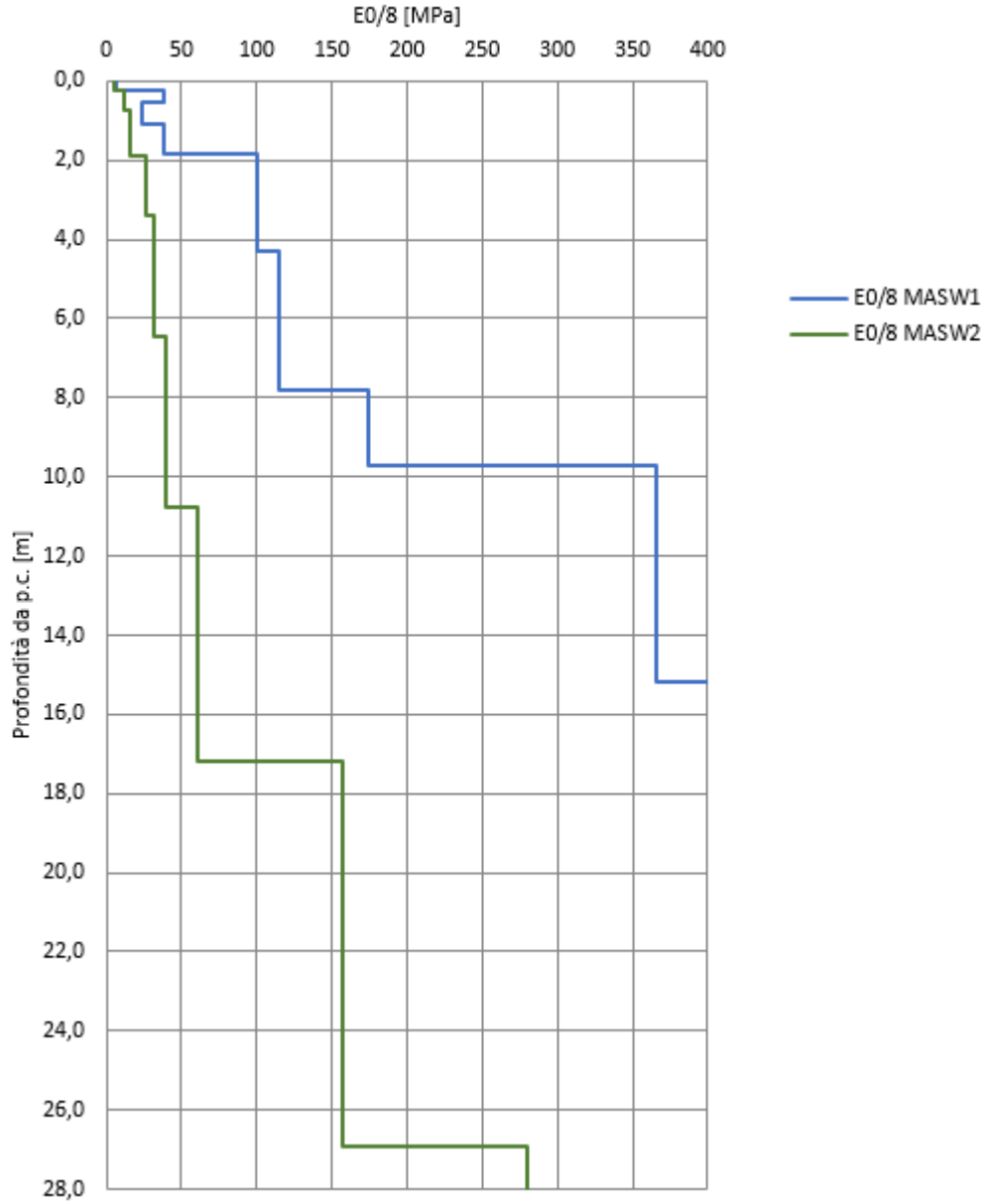


Figura 12: Grafico del modulo  $E_{0/8}$  in funzione della profondità

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	25 di 52

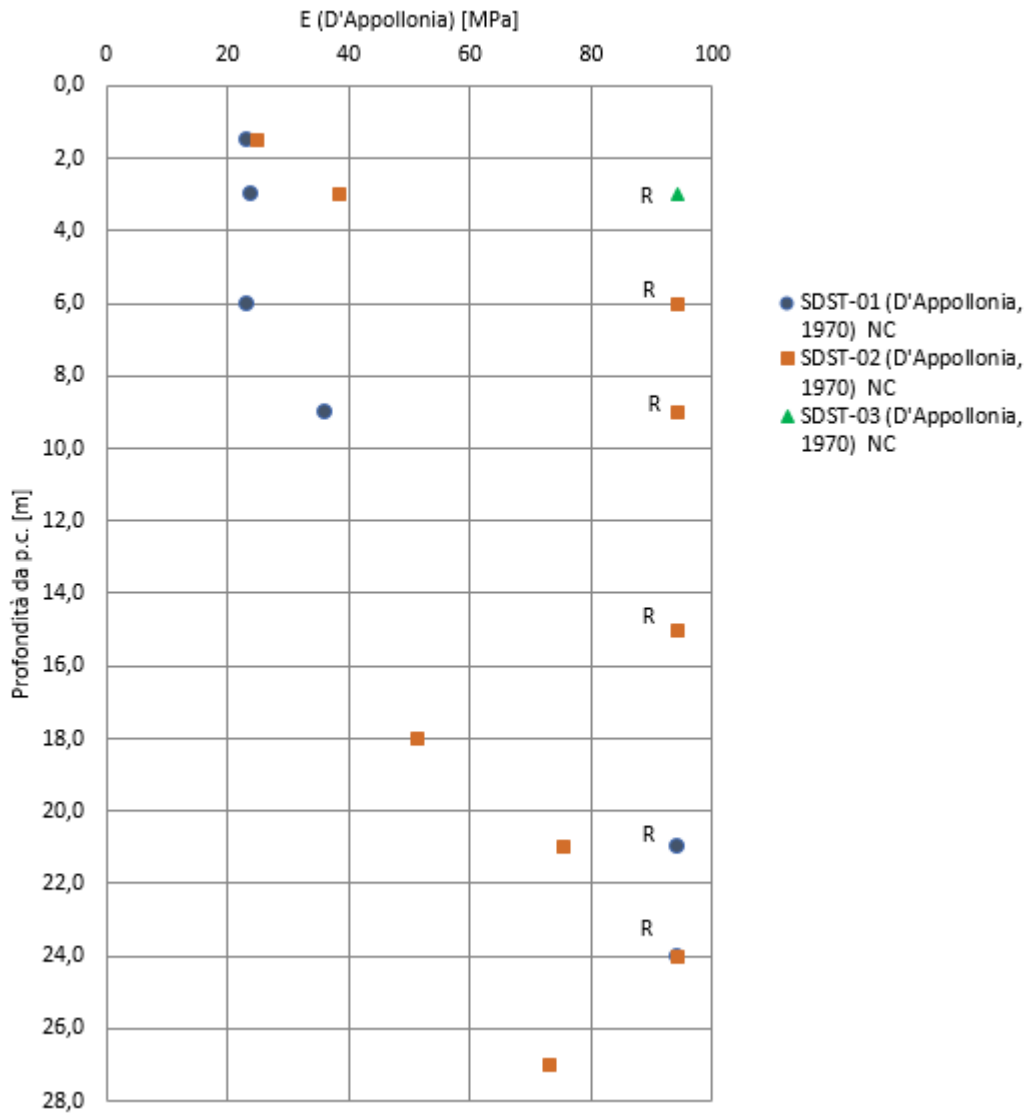


Figura 13: Grafico del modulo di compressibilità E (D'Appollonia) in funzione della profondità.

Sono inoltre a disposizione i risultati di due prove pressiometriche, eseguite alle profondità di 11.5 m e 12 m, in terreno ghiaioso con presenza di sabbia limosa e ciottoli, che hanno determinato rispettivamente una pressione limite di 2200 kPa e 790 kPa e un modulo pressiometrico di circa 28 MPa e 9.8 MPa.

			<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 26 di 52	

## 4.2 Terreni coesivi

In corrispondenza del livello coesivo è stato prelevato un campione indisturbato si riportano di seguito i risultati delle prove di classificazione.

Sondaggio	Campione	Terreno	Z <sub>in</sub> [m]	Z <sub>fin</sub> [m]	Z <sub>med</sub> [m]	Z <sub>med</sub> [m slm]
SDST01	Cl1	Argilla	28,15	28,65	28,4	-28,4
$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	W <sub>n</sub> [%]	n [%]	e [-]	S <sub>r</sub> [%]	G [-]
19,29	15,63	23,4	40	0,66	92	2,59
Argilla [%]	Limo [%]	Sabbia [%]	Ghiaia [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]
31,50	47,00	18,00	3,50	48,75	26,49	22,26

Tabella 3 Prove di laboratorio eseguite sui terreni coesivi: granulometrie, limiti di Atterberg, n=porosità, e=indice dei vuoti Sr=grado di saturazione e  $\gamma_{n/d}$ =peso di volume naturale e secco.

Il campione Cl1 del sondaggio SDST01 risulta essere un limo con argilla ed è descritto dalla curva granulometrica riportata in seguito.

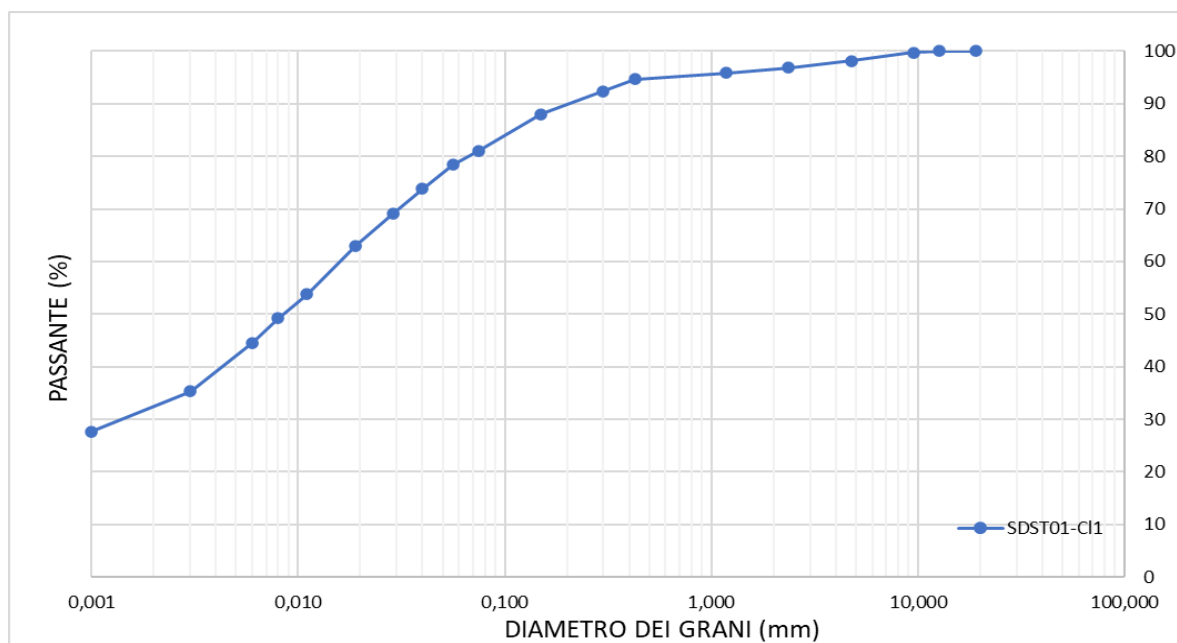


Figura 14 Curva granulometrica del campione SDST01 Cl1 eseguita su un terreno limoso.

Sullo stesso campione SDST01-Cl1 per la determinazione del valore della resistenza al taglio non drenata  $c_u$  è a disposizione una prova triassiale non consolidata e non drenata

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	27 di 52

(UU) condotta sul campione di limo argilloso CI1, il valore della resistenza al taglio non drenata  $c_u$  è risultato pari a 71.25 kPa.

Inoltre, sullo stesso campione è stata eseguita una prova edometrica; in Figura 15 è riportata la curva di compressione (tensione verticale efficace  $\sigma_v$ , e indice dei vuoti  $e$ ) mentre la Tabella 4 riporta i risultati della prova.

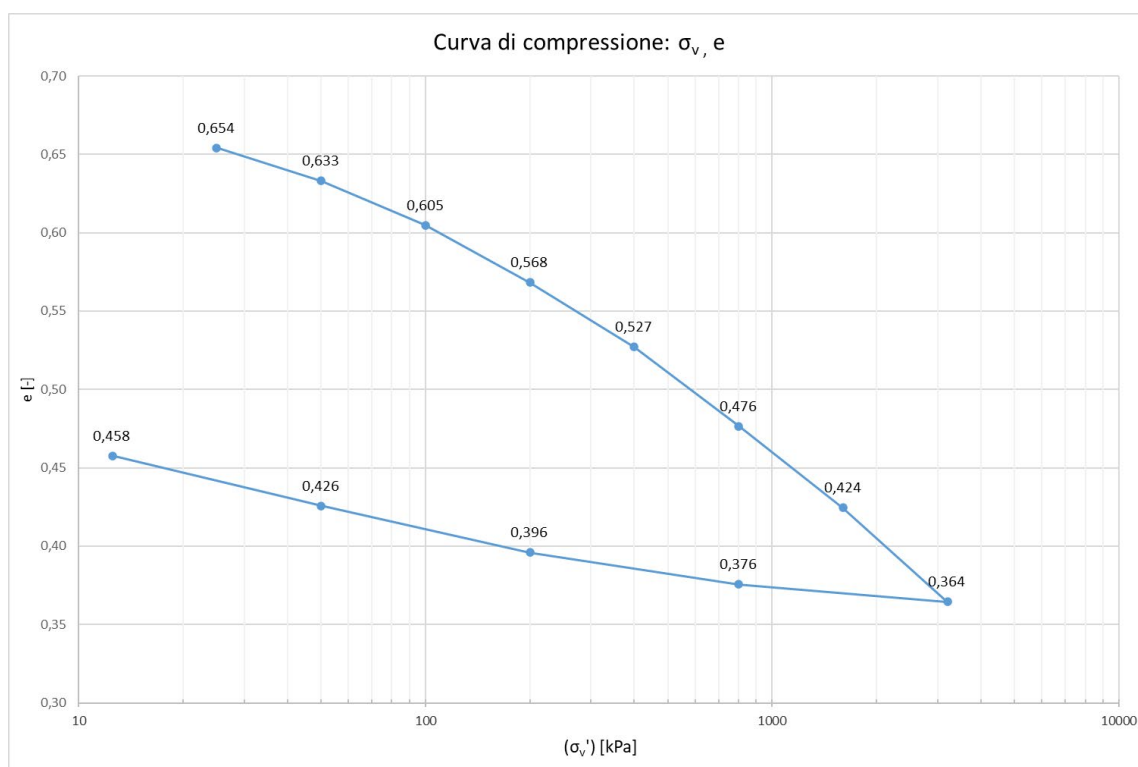


Figura 15 Curva di compressione  $\sigma_v$ , e del campione SDST01-CI1.

$e_0$	Cr	$C_c$	M
(-)	(-)	(-)	(kPa)
0,639	0,07	0,0186	9,2

Tabella 4 Risultati della prova edometrica SDST-CI1 ( $e_0$ = indice dei vuoti iniziale, Cr=coefficiente di ricomprensione,  $C_c$ = coefficiente di compressione primario, M= modulo edometrico per il gradino di carico da 200 a 400 kPa).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>28 di 52</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	28 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	28 di 52								

## 4.3 Roccia calcarea

Il substrato roccioso presso l'area di progetto è costituito da un primo livello degradato che forma il cappellaccio d'alterazione e uno strato di calcare e calcare marnoso grigio fratturato a profondità variabili.

### 4.3.1 Classificazione della qualità dell'ammasso roccioso

Grazie all'estrazione del substrato roccioso attraverso il carotiere è possibile effettuare il calcolo dell'Rock Quality Designation (RQD) come il quoziente:

$$RQD(\%) = \frac{\sum \text{lunghezza spezzoni materiale fresco} > 10 \text{ cm}}{\text{lunghezza totale della manovra di carotaggio}} \cdot 100$$

Dall'indice RQD è possibile classificare la qualità dell'ammasso roccioso come indicato da Deree (1989) come descritto dalla seguente tabella.

RQD (%)	Qualità
<25	Pessima
25-50	Cattiva
50-75	Media
75-90	Buona
90-100	Ottima

Tabella 5 - Classificazione della qualità dell'ammasso roccioso tramite il calcolo dell'RQD, Deree (1989).

I valori dell'RQD calcolati dalle carote estratte dai sondaggi SDST01÷SDST03 generalmente mostrano una roccia di media qualità, a tratti buona.

### 4.3.2 Criteri di rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb

Per caratterizzare l'ammasso roccioso presente in sito, composto da una matrice rocciosa intatta separata da zone di discontinuità, si utilizza il criterio di Mohr-Coulomb ricavando i parametri  $\phi$  e  $c'$  a partire dal criterio di rottura di Hoek-Brown, aggiornato dallo stesso Hoek et al (2002).

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	29 di 52

Il criterio di rottura di Hoek-Brown generalizzato per ammassi rocciosi è definito dalla seguente relazione:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dove:

- $\sigma_1'$  e  $\sigma_3'$  sono rispettivamente lo sforzo efficace principale massimo e minimo;
- $\sigma_{ci}$  è la resistenza a compressione semplice della roccia.

Per il valore della resistenza a compressione della roccia utilizzato, si fa riferimento alle prove di laboratorio di compressione uniassiale in roccia e alle prove di Point Load Test.

Di seguito sono riportati i valori di laboratorio:

Sondaggio	Campione	Z <sub>in</sub> [m]	Z <sub>fin</sub> [m]	Z <sub>med</sub> [m]	Z <sub>med</sub> [m slm]	γ <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	q <sub>u</sub>	I <sub>s(50)</sub>	σ <sub>u</sub>
							[MPa]	[-]	[MPa]
SDST01	CL1	33,00	33,34	33,2	-33,2	26,07	79,90	2,79	69,75
SDST01	CI21	36,00	36,67	36,3	-36,3	27,95			
SDST02	CI1	30,68	31,00	30,8	-30,8	25,90	59,20		
SDST02	CI2	34,25	34,55	34,4	-34,4			0,53	13,25
SDST03	CL1	9,72	10,00	9,9	-9,9		36,60		
SDST03	CI2	17,20	17,58	17,4	-17,4	26,93		4,80	120,0

Tabella 6 Prove di laboratorio eseguite sui campioni rocciosi: q<sub>u</sub>= resistenza a compressione da prova di compressione uniassiale, I<sub>s(50)</sub>=indice di point load test, σ<sub>u</sub> = resistenza a compressione da PLT

In via cautelativa è stato assunto un valore di progetto della resistenza a compressione della roccia pari a 30 MPa.

- m<sub>b</sub>, s ed a sono tre costanti calcolabili dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso di seguito descritte.

Il valore di m<sub>b</sub> viene ricavato dalla costante m<sub>i</sub> del materiale intatto secondo la seguente relazione:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

Dove:

- $m_i$  è una costante del materiale intatto, per la quale vari autori hanno fornito dei valori indicativi in base alla natura della roccia:

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
Organic					Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
		Slightly foliated	Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated**	Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4	
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal	Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)	
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

Tabella 7 - Tabella per la determinazione della costante  $m_i$  (Hoek, 2006)

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 31 di 52

- GSI (Geological Strenght Index) è un indice per la classificazione dell'ammasso roccioso basato sul grado di fratturazione dell'ammasso e sulle caratteristiche dei giunti ed è possibile stimarlo dal seguente grafico:

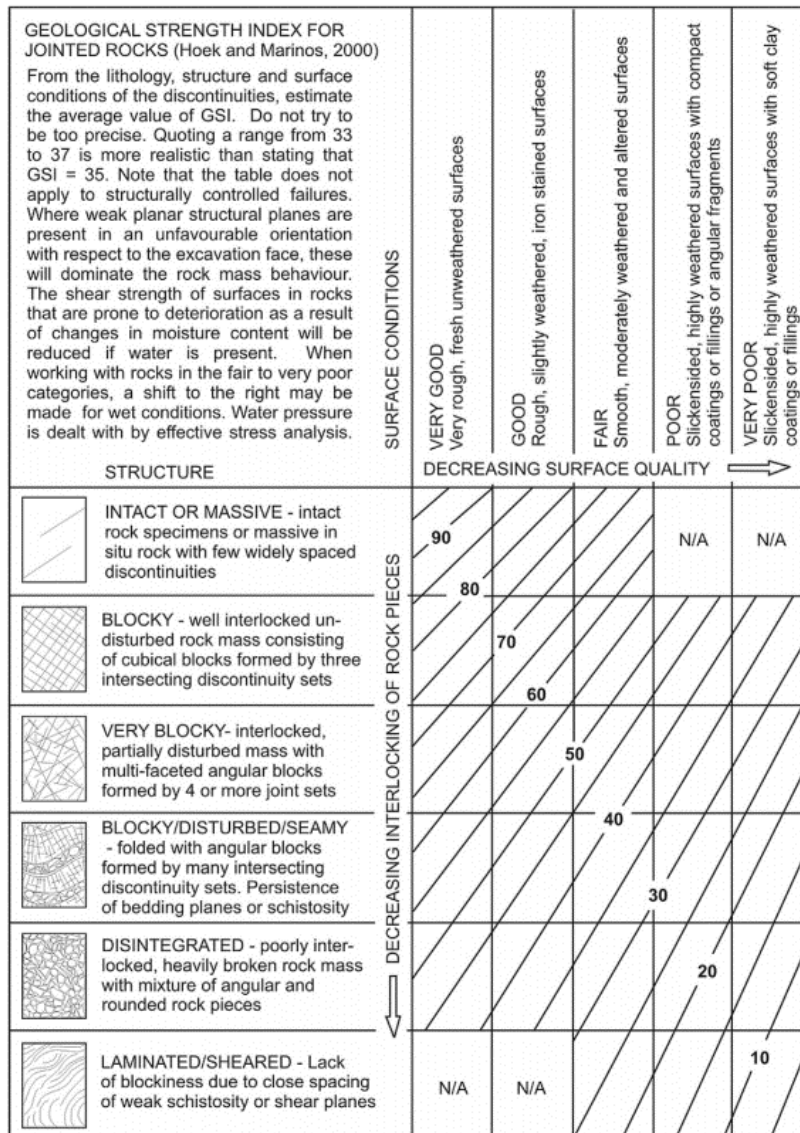


Figura 16 - Grafico per la stima del GSI (Marinos e Hoek, 2000)



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">GE</td> <td style="text-align: center;">GE006 003</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">32 di 52</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	32 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	32 di 52								

- D è un fattore che dipende dal grado di disturbo dell'ammasso roccioso essendo variabile da 0 per rocce indisturbate ad 1 per rocce molto disturbate

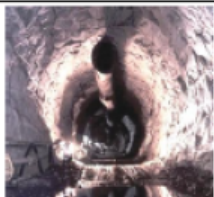

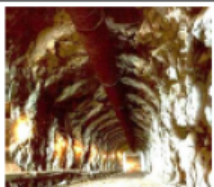
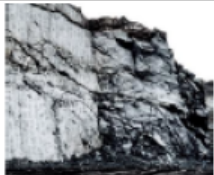

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.  Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	D = 0  D = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	D = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D = 0.7 Good blasting  D = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.  In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D = 1.0 Production blasting  D = 0.7 Mechanical excavation

Tabella 8 - Tabella per la determinazione del fattore di disturbo D (Hoek, 2006)

Le costanti s e a sono definite dalle seguenti equazioni:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/15}\right)$$

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 33 di 52

Per ricavare i parametri di resistenza al taglio relativi al criterio di rottura di Mohr – Coulomb, è necessario determinare l'angolo di attrito e la coesione equivalenti per ciascun ammasso roccioso e campo tensionale. Questo è possibile trovando una relazione lineare media tale da approssimare la curva generata risolvendo l'equazione, per un campo di variazione delle tensioni principali minime compreso fra  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma'_3 \text{ max}$ .

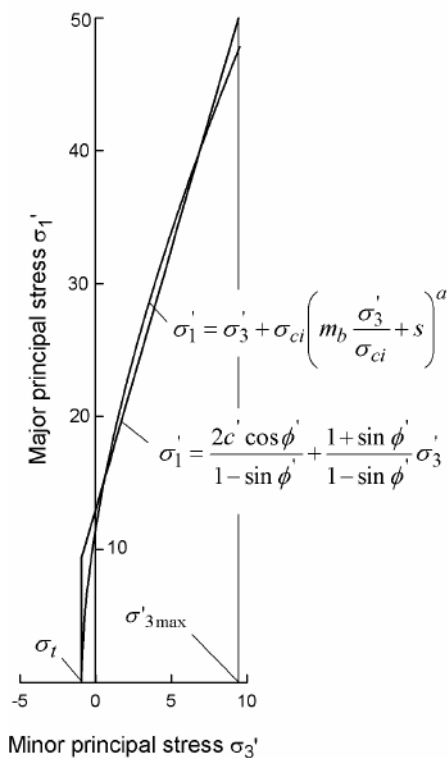


Figura 17 - Relazione fra gli sforzi principali massimi e minimi per il criterio di Hoek- Brown e per quello equivalente di Mohr – Coulomb

L'angolo di attrito equivalente  $\phi'$  e la coesione efficace  $c'$  sono ricavabili dalle seguenti formule:

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

Dove:

- $m_b$ ,  $s$  ed  $a$  sono tre costanti calcolabili dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso descritte precedentemente;

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>34 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	34 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	34 di 52								

- $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci}$

Il valore  $\sigma'_{3\max}$  di rappresenta il limite superiore della tensione di confinamento e definisce l'intervallo nel quale è stata individuata l'equivalenza fra il criterio di rottura di Hoek-Brown e quello di Mohr-Coulomb. Per i pendii la formula per ricavare  $\sigma'_{3\max}$  è la seguente:

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

Dove:

- $\gamma$  è il peso di volume dell'ammasso roccioso;
- H è l'altezza del pendio
- $\sigma'_{cm}$  è la resistenza dell'ammasso roccioso, definita dalla seguente equazione:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Il modulo di elasticità dell'ammasso roccioso  $E_m$  è definita dalla seguente equazione:

$$E_m (GPa) = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	35 di 52

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Profili stratigrafici

L'interpretazione delle indagini geognostiche disponibili condotte in sito e i risultati delle prove di laboratorio hanno consentito di definire l'andamento stratigrafico dei terreni dove sorgerà la nuova rimessa Staglieno. La topografia dell'area è sostanzialmente piana con quota del piano campagna di circa 21,00 m s.l.m.

La seguente figura riporta la pianta dell'area con indicazione dell'ubicazione delle prove in sito, gli edifici di nuova costruzione e la traccia delle sezioni eseguite.

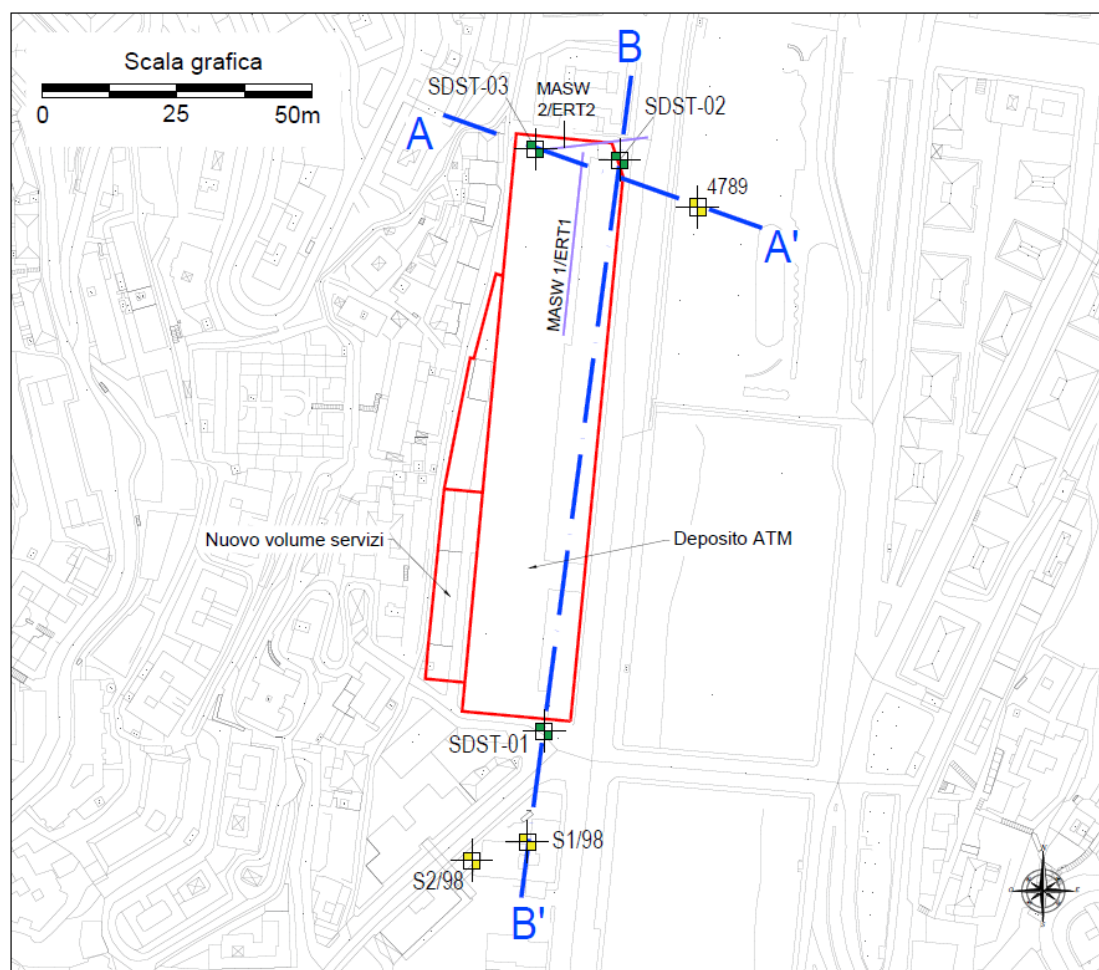


Figura 18 Pianta su base topografica con indicazione delle prove in sito e dell'ingombro dei nuovi edificati. In blu la traccia dei profili geotecnici eseguiti.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>36 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	36 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	36 di 52								

Il profilo stratigrafico lungo la *sezione B-B'* è una sezione longitudinale nord-sud.

I depositi per i primi 27,00-28,00 m sono costituiti da ghiaie sabbiose e limose poco addensate, talvolta debolmente argillose con locale presenza di livelli prevalentemente sabbiosi; i depositi sono prevalentemente di origine alluvionale ed appartenenti a coltri eluvio colluviali interdigerati tra loro.

Successivamente è presente un livello di calcare intensamente fratturato e degradato con vene e noduli di calcite di colore bianco che forma il cappellaccio di alterazione.

Appena al di sotto del cappellaccio d'alterazione è presente il substrato roccioso composto da calcare e calcare marnoso grigio con presenza di vene calcitiche da molto a moderatamente fratturato; le fratture presentano patine di ossidazione e spesso sono riempite da materiale detritico limoso sabbioso. I sondaggi SDST-02 e SDST-01 incontrano il substrato roccioso a circa – 30,00 m da p.c.

In corrispondenza del sondaggio SDST-01 prima di incontrare il cappellaccio d'alterazione e il substrato roccioso è presente una lente di 2,60 m di spessore circa di argilla e limi argillosi nerastri che rappresentano la coltre eluviale del substrato affiorante sul versante alle spalle dell'area di progetto.

Il *profilo geotecnico AA'*, invece, è un profilo trasversale est-ovest e interessa i sondaggi da ovest verso est SDST-03, SDST-02 e il sondaggio pregresso 4789, questo profilo è stato incrociato anche con i dati geofisici, in particolare con le prove di tipo MASW.

Il profilo è descritto sostanzialmente dall'approfondimento del substrato roccioso che discende da ovest verso est di circa 20,00 m, ciò è giustificato dalla presenza del Fiume Bisagno quindi dalla presenza del suo vecchio paleoalveo, ora riempito e sepolto. I depositi corrispondono, perciò, ancora una volta a depositi di tipo alluvionale alternati a depositi eluvio-colluviali, formati da ghiaie e ciottoli scarsamente addensati in matrice sabbiosa da fine a media e limosa.

L'andamento del cappellaccio formato da calcari marnosi alterati e fratturati segue l'andamento del substrato roccioso per uno spessore di circa 1,50-2,00 m.

Il 23/07/2021 è stato misurato il livello della falda che è stato rilevato pari a 11,60 m dalla sommità del sondaggio SDST-01, a 11,14 m dalla sommità del sondaggio SDST-02 e a 4,70 m dalla sommità del sondaggio SDST-03.

Il progetto non prevede opere interrato e ai fini del dimensionamento delle opere di fondazione potrà cautelativamente considerare una soggiacenza minima di 2,00-3,00 m dal piano campagna, dato che livello della falda può essere influenzato anche dal livello del pelo libero del Bisagno.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>37 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	37 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	37 di 52								

La prova Lefranc eseguita nel sondaggio SDST-01 ad una profondità di 10 m dal p.c. in ghiaia con sabbia limosa ha rilevato una permeabilità di 2,00E-06 m/s, mentre la prova Lefranc eseguita nel sondaggio SDGA-02 ad una profondità di 10 m dal p.c. in ghiaia con sabbia limosa ha rilevato una permeabilità di 1,00E-06 m/s.

La permeabilità del substrato roccioso è bassa e di tipo secondario, governata prevalentemente dalla presenza delle fratture che costituiscono la via preferenziale per l'infiltrazione.

			<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO			
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	38 di 52			

## 5.2 Modello geotecnico

Il modello geotecnico della rimessa è riassunto dalla seguente tabella:

Unità	da	a	Spessore medio	$\gamma/\gamma'$	$\nu$	$\phi'_k$	$c'_k$	$c_{u,k}$	$G_0$	$E_{ammasso}$	$E_{op, fondaz dirette}$	$E_{op, fondaz profonde}$	$r$
	[m p.c.]	[m p.c.]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
Ghiaia con sabbia	0	2.5÷8	5	19/9	0,25	30	-	-	100	-	20	35	2,5
Ghiaia e ciottoli con sabbia	2.5÷7	27÷29	3÷26	19/9	0,25	35	-	-	200	-	45	80	2,5
Argilla (solo in corr. SDST01)	28	30	0÷2	19/9	0,3	28	10	70	80	-	10	20	4
Calcare alterato	6÷30	10÷32	3÷4	22/12	0,2	33	40	-	-	800	-	-	-
Calcare	10÷32	35		25/15	0,2	38	60	-	-	2000	-	-	-

dove:

- $\gamma/\gamma'$  peso di volume del terreno / peso di volume immerso del terreno
- $\nu$  coefficiente di Poisson
- $\phi'_k$  valore caratteristico angolo di resistenza al taglio efficace
- $c'_k$  valore caratteristico coesione in condizioni drenate efficace
- $c_{u,k}$  valore caratteristico coesione in condizioni non drenate
- $G_0$  modulo di taglio alle piccole deformazioni
- $E_{ammasso}$  modulo elastico di Young dell'ammasso roccioso
- $E_{op, fondaz dirette}$  modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione dirette)
- $E_{op, fondaz profonde}$  modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione profonde – opere di sostegno)
- $r$  rapporto tra il modulo elastico di ricompressione e di compressione vergine

Il livello della falda di progetto è assunto a 2-3 m dal piano campagna.

Come già evidenziato si rileva un notevole discostamento tra i risultati della prova MASW1 e quelli della MASW 2, dovuti alla diversa profondità del substrato e all'inclinazione dello stesso.

	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b></p>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>39 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	39 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	39 di 52								

Si è quindi ritenuto opportuno, ai fini della caratterizzazione geotecnica, dare un peso maggiore ai risultati della prova MASW 2 che trovano maggior riscontro con le prove SPT.



		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 40 di 52

## 6. STUDI SISMICI DELL'AREA

Il Database Macrosismico Italiano è una raccolta di dati sulla sismicità italiana e fornisce un set di dati sull'intensità macrosismica relativa ai terremoti italiani, aggiornato alla finestra temporale 1000-2019 (DBMI15-CPTI15 v.3.0, INGV). Il Database contiene 123.956 dati di intensità relativi a 3.228 terremoti, provenienti da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti.

Nei pressi di Genova il Database indica la presenza di 131 eventi, con intensità prevalentemente di entità media con magnitudo pari a 3-4, ma è segnalata anche la presenza di eventi che hanno registrato magnitudo elevate, nell'ordine di Mw=6 (Figura 19).

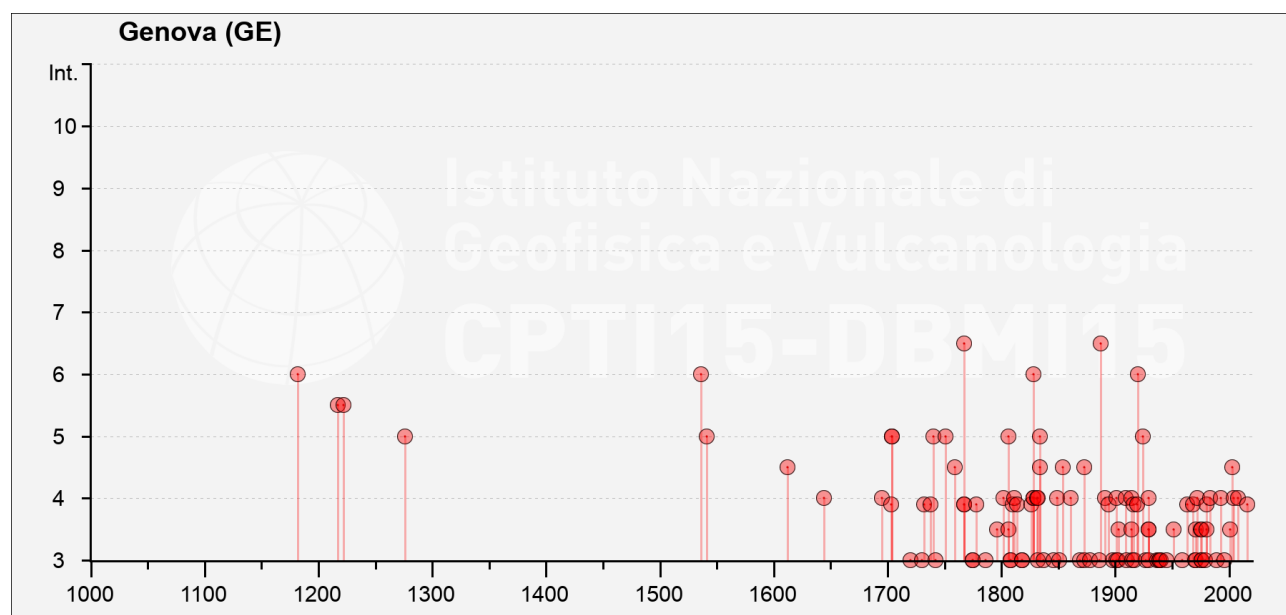


Figura 19 - Eventi sismici presso Genova (IT\_33336- lat. 44.419, long. 8.898) dal 1000 al 2019, INGV.

I terremoti di intensità più elevate verificatisi nel genovese sono elencati in seguito:

- terremoto del 15 agosto 1182, citato da 5 repertori sismologici e vari autori tra i quali Bonito (1691) che riporta "Genova fu travagliata dal terremoto...", mentre Morigia (1592) "la città di Genova fu quasi desolata dal terremoto; parimente la città di Lodi fu quasi distrutta dal terremoto...";
- il terremoto del 10 agosto 1536 con epicentro a Genova;

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>41 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	41 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	41 di 52								

- il sisma con epicentro situato a nord ovest di Genova composto da una serie di scosse avvenute tra il 07 e il 09 febbraio del 1767. Enel (1985) descrive 4 scosse sismiche che sono comparse con intensità epicentrale pari a VII della scala Mercalli e in particolare la prima scossa è stata la più intensa e il massimo risentimento si è avuto a Genova;
- il terremoto del 9 ottobre 1828, i cui massimi effetti si sono avvertiti nella zona piemontese, ma gli effetti si sono sentiti anche a Genova;
- il terremoto del 23 febbraio 1887, con epicentro nei pressi di Imperia, che ha interessato tutta la Liguria occidentale, sono noti danni ed è testimoniata la presenza di vittime. I suoi effetti si sono sentiti fino a Genova con un sisma di magnitudo oltre 6;
- il terremoto della Garfagnana del 7 settembre 1920, è uno degli eventi sismici più distruttivi registrati nella regione appenninica, che ha causato danni e un numero notevole di vittime. La zona dell'epicentro è situata tra l'Appennino tosco-emiliano e le Alpi Apuane, sopra l'area di subduzione tra la placca adriatica e tirrenica dove la zona geologica attiva è la faglia della Garfagnana.

Nell'ambito della definizione della pericolosità sismica, è stata creata la "Zonazione sismogenetica ZS9" (Meletti C. Valensise G., 2004) all'interno di un progetto che ha raccolto il background della zonazione ZS4, integrandola con informazioni provenienti dal DISS 2.0 (Database of Individual Seismogenic Sources) e informazioni raccolte in seguito ai recenti terremoti.

L'obiettivo era quello di creare un modello che superasse il problema delle ridotte dimensioni delle zone-sorgente, che fornisse una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona-sorgente e, infine, che fornisse per ogni zona sismica un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

Genova non ricade all'interno di nessuna delle Zone ZS9, tuttavia la Liguria è compresa tra le zone n. 910 e 911. La zona 910 dal punto di vista strutturale è considerata l'area di svincolo che consente l'arretramento dell'arco alpino occidentale (Meletti et al., 2000) con meccanismo di fagliazione prevalentemente inverso.

La parte orientale della Liguria, invece, è contenuta nella zona 911 una zona di svincolo tra la catena appenninica e quella alpina che comprende le strutture dell'arco di Pavia e le strutture ad esse relative.

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	42 di 52

Tuttavia, la sismicità di Genova è legata strettamente anche alla sismicità dell'Appennino settentrionale, come è testimoniato dall'evento del 7 settembre del 1920. Infatti, immediatamente più a sud rispetto alla 911, ci sono zone legate all'estensione appenninica, come la zona 915 caratterizzata dalle sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale (Garfagnana, Lunigiana, Mugello), con conseguenze fino all'area ligure.

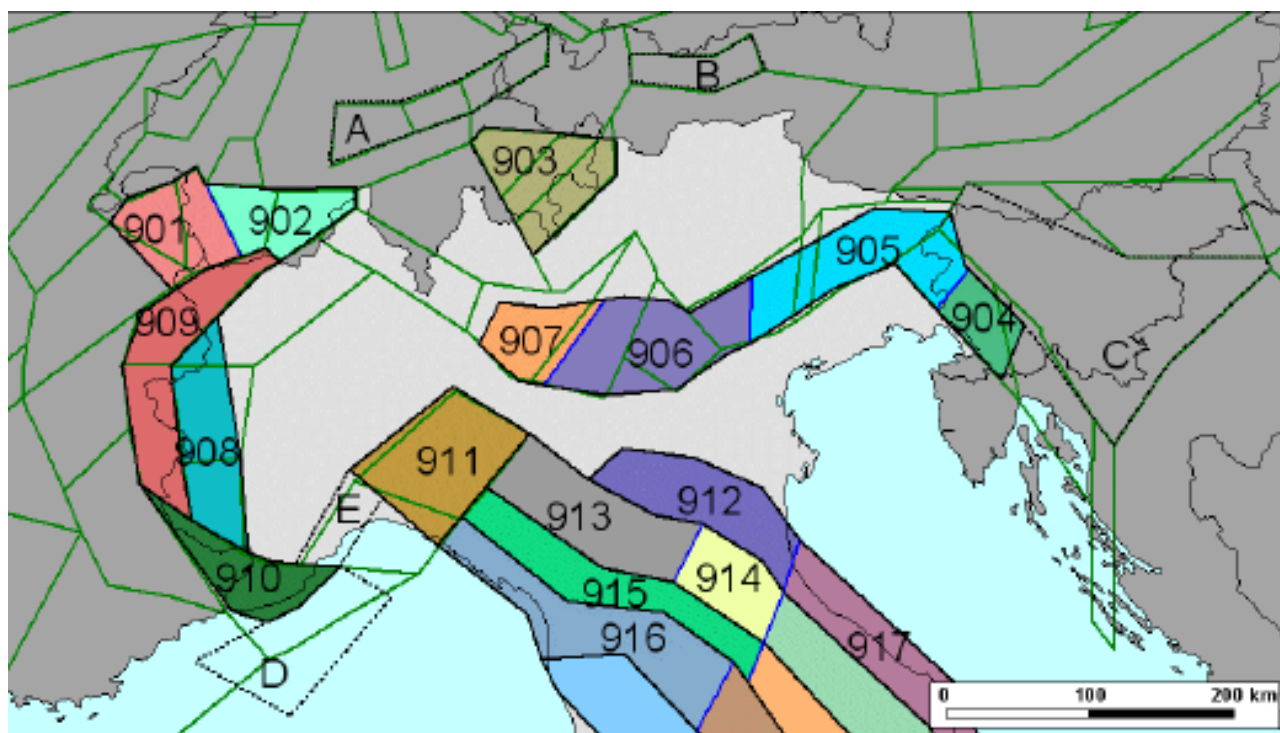


Figura 20 - Zonazione sismogenetica ZS9 del Nord Italia, INGV.

## 6.1 Classificazione della pericolosità sismica

Con il Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e il Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia" è stato affidato alle Regioni il compito di stilare un elenco dei comuni con la relativa attribuzione di una pericolosità sismica. Ad ogni comune è stata associata una zona sismica ciascuna corrispondente a un'accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ ): classe 1-2-3-4.

Le zone corrispondono a:

- Zona 1: zona più pericolosa dove possono verificarsi forti terremoti,  $a_g > 0,25$ ;

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 43 di 52

- Zona 2: zona in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti,  $0,15 < a_g \leq 0,25$ ;
- Zona 3: zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti;  $0,05 < a_g \leq 0,15$ .
- Zona 4: zona meno pericolosa, possibilità di danni sismici bassa;  $a_g \leq 0,05$ .

La Regione Liguria con delibera della Giunta Regionale n. 216 del 17/03/2017 ha aggiornato la classificazione delle zone sismiche come indicato in Figura 21. Il Comune di Genova secondo la citata classificazione corrisponde a una classe di bassa pericolosità sismica, la zona 3, con una accelerazione orizzontale massima  $a_g = 0,15g$ .

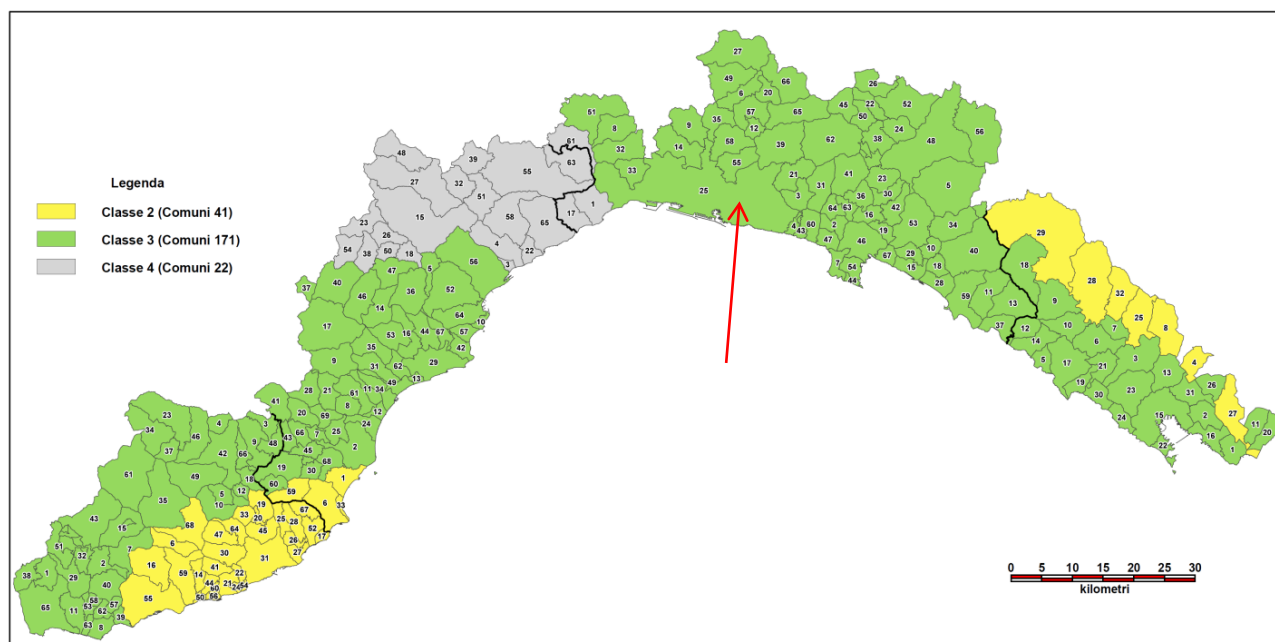


Figura 21 - O.P.C.M. 3519/2006: Mappatura zonizzazione sismica del territorio della Regione Liguria

Tuttavia, con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>44 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	44 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	44 di 52								

## 7. AZIONE SISIMICA DI PROGETTO

Nel presente capitolo si riporta lo studio finalizzato alla definizione della azione sismica di progetto definita in termini di accelerazioni massime orizzontali.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in un sito di riferimento, un parametro che descrive il moto sismico superi un valore prefissato. Nelle NTC 2018, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento”  $V_R$  e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento”  $P_{VR}$ .

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

Allo stato attuale la pericolosità sismica di base sul territorio italiano è fornita dai dati pubblicati sul sito dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Nella seguente figura viene riportata l’accelerazione massima orizzontale  $a_g$  di riferimento su suolo rigido con possibilità di superamento pari al 10% in 50 anni, ottenuta dal citato database, per il comune di Genova.

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	45 di 52

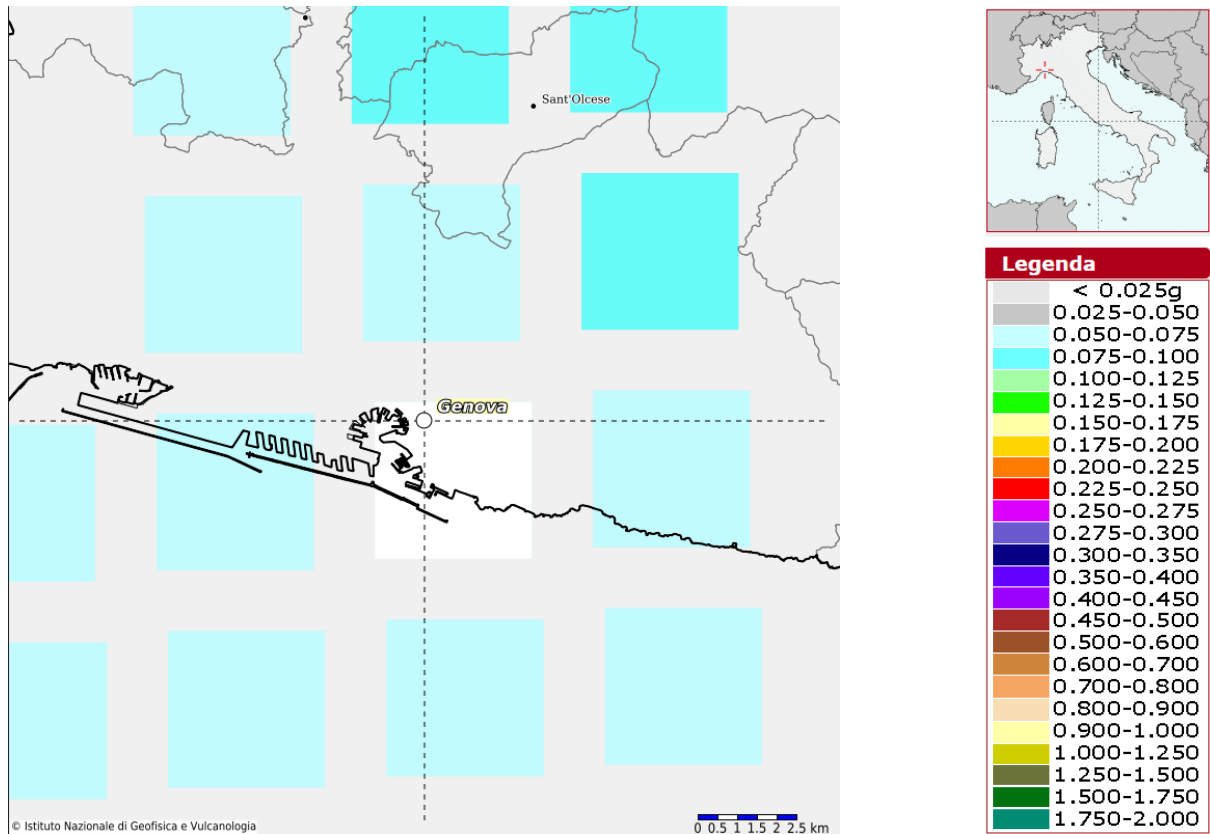


Figura 22 - Accelerazione massima orizzontale  $a_g$  di riferimento su suolo rigido con possibilità del superamento pari al 10% in 50 anni, dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Per definire le caratteristiche del moto sismico atteso sul sito di riferimento alle citate coordinate sono associati, per ciascun tempo di ritorno  $T_R$  di riferimento, i valori di 3 parametri che definiscono uno spettro elastico di risposta:  $a_g$  (accelerazione massima al sito),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale). Tali parametri relativi alla rimessa di Staglieno, le cui coordinate geografiche sono circa Lat. 44.4240° e Long. 8.9467°, sono stati ricavati attraverso l'applicativo "Spettri" elaborato dal M.LL.PP e vengono riportati nella seguente tabella.

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	46 di 52

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,024	2,525	0,188
50	0,031	2,528	0,209
72	0,035	2,546	0,223
101	0,040	2,554	0,248
140	0,046	2,509	0,265
201	0,052	2,533	0,269
475	0,072	2,529	0,285
975	0,093	2,517	0,293
2475	0,128	2,500	0,301

Tabella 9 - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  (Spettri NTC).

Secondo quanto indicato dal committente le opere in progetto vengono classificate come segue.

La vita nominale di un'opera è intesa come numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata, è definita nel par. 2.4.1. delle NTC18 in funzione del tipo di costruzione (Tabella 10). Nel caso del presente intervento è stata assunta una  $V_N=50$  anni.

Tipi di costruzione		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 10 - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni (NTC18).

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in classi d'uso (par.2.4.2, NTC18) a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso  $C_u$  per la definizione dell'azione sismica come riportato in tabella seguente.

			<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	47 di 52	

Classi d'uso		Coefficiente Cu
Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli	0,7
Classe 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.	1,0
Classe 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.	1,5
Classe 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.	2,0

Tabella 11 - Classi d'uso e coefficiente d'uso associato a ciascuna classe (NTC18).

Per l'opera in oggetto è stata richiesta una classe d'uso III, a cui è associato un coefficiente d'uso Cu pari a 1,5.

Le azioni sismiche attese vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$ :

$$V_R = V_N \times C_D = 50 \times 1,5 = 75 \text{ anni}$$

La norma vigente, perciò, definisce un tempo di ritorno  $T_R$  e la terna di parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$ , per ciascun stato limite a cui sono associate delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  valutate nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei sul sito di riferimento rigido orizzontale (Tabella 12):



		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	48 di 52

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0,029	2,527	0,205
SLD	75	0,036	2,547	0,226
SLV	712	0,083	2,522	0,290
SLC	1462	0,107	2,510	0,297

Tabella 12 - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  e  $T_R$  associati a ciascun Stato Limite (Spettri NTC).

L'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  attesa su sito di riferimento rigido, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), risulta pari a 0.083g.

L'accelerazione di riferimento  $a_g$  così ottenuta deve essere variata per tener conto sia delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali che della morfologia del sito; l'accelerazione massima orizzontale di riferimento  $a_{max}$  si ottiene con la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t$$

dove  $S_s$  è un coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_t$  di amplificazione topografica.

La definizione della categoria dei terreni di fondazione, alle quali le NTC18 associano un apposito coefficiente di amplificazione  $S_s$ , dipende dalla velocità equivalente  $V_{s,eq}$  definita nel paragrafo 3.2.2 delle NTC18.

I risultati ottenuti dalla MASW1, riportati nella relazione geologica, indicano che i terreni di fondazione appartengono alla categoria 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", dato che  $V_{s,eq} = 447$  m/s. I risultati ottenuti dalla MASW1 invece indicano che i terreni di fondazione appartengono alla categoria 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", dato che  $V_{s,eq} = 321$  m/s. Cautelativamente si considera la categoria di terreno C, alla quale le NTC18 associano un coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s=1.5$ .

La morfologia dell'area è prevalentemente pianeggiante e quindi la categoria topografica dell'area è T1 ("Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i < 15^\circ$ "), caratterizzata da  $S_t=1.0$ .

Con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), si ha:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>49 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	49 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	49 di 52								

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.083g \times 1.5 \times 1 = 0.125g$$

## 7.1 Stabilità nei confronti della liquefazione

Nell'area del deposito di Staglieno il livello della falda è stato rilevato in data 23/07/2021 e tale rilevazione ha indicato delle profondità pari a 11,60 m dalla sommità del sondaggio SDST-01, 11,14 m dalla sommità del sondaggio SDST-02 e 4,70 m dalla sommità del sondaggio SDST-03. Il livello della falda di progetto è assunto a 2-3 m dal piano campagna.

Nel seguente grafico si riporta il valore  $N_{1,60}$  in funzione della profondità, con indicato il livello massimo della falda rilevato, pari a 4.7 m da p.c..

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 50 di 52

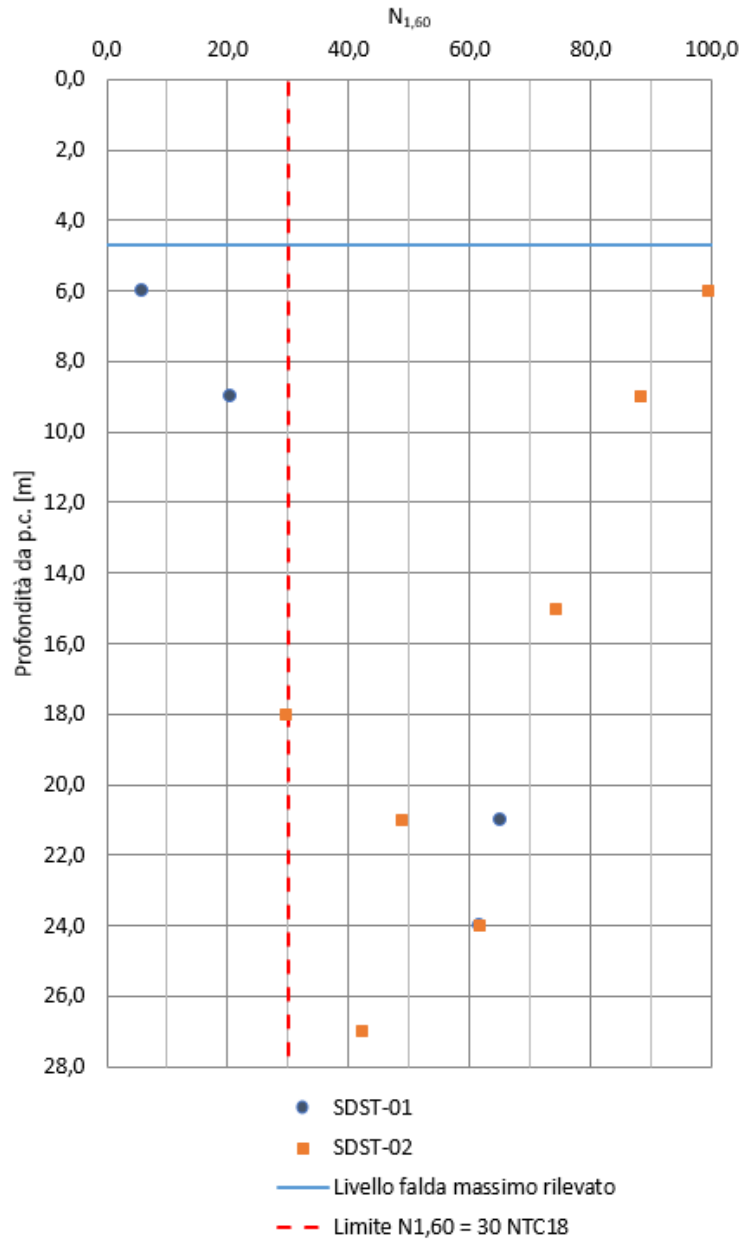


Figura 23: Grafico di  $N_{1,60}$  in funzione della profondità

Generalmente il parametro  $N_{1,60}$  ricavato dalle prove SPT è maggiore di 30 per profondità maggiori del livello della falda, ma cautelativamente viene di seguito calcolato il fattore di sicurezza per il rischio di liquefazione del terreno di fondazione tramite il metodo di Idriss e Boulanger (Magnitude Scale Factor: Idriss e Boulanger (2014); Cyclic Resistance Ratio: Idriss e Boulanger (2004)) a partire dai risultati delle prove SPT. L'accelerazione massima attesa al

		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE006 003	REV. D	FOGLIO 51 di 52

piano campagna riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita è pari a 0.125 g e nonostante l'area di Genova non ricada in nessuna zona sismogenetica è stata assunta cautelativamente una magnitudo pari a 6.14, valore relativo alla vicina zona sismogenetica 911. A favore di sicurezza si è considerato il livello della falda a 3 m dal p.c.,



Figura 24: Fattore di sicurezza calcolato con il metodo di Idriss e Boulanger

Come è possibile notare dalla figura precedente il fattore di sicurezza nei confronti del pericolo alla liquefazione risulta pari a 2 ad eccezione del primo valore SPT, per il quale comunque il fattore di sicurezza è maggiore di 1. Non vi è dunque rischio di liquefazione.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>GE</td> <td>GE006 003</td> <td>D</td> <td>52 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	52 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE006 003	D	52 di 52								

## 8. FONDAZIONI

Nel presente capitolo, alla luce dei dati di caratterizzazione geotecnica, si illustrano le linee guida relative alle tipologie fondazionali attuabili nell'intervento in esame.

Chiaramente per l'effettiva valutazione si rimanda al documento dedicato presente nel capitolo delle strutture.

La struttura prevista per la nuova rimessa di Staglieno prevede pilastri su maglia variabile con dimensioni massime pari a 19.5 m x 16 m, con carichi verticali trasmessi alle fondazioni dell'ordine di diverse centinaia di tonnellate. Le fondazioni saranno inoltre soggette, in particolare in condizioni sismiche, ad azioni di taglio e momenti flettenti significativi.

In considerazione dei carichi attesi e delle caratteristiche dei terreni di fondazione più superficiali si ritengono opportune fondazioni di tipo profondo su pali a grande diametro.

Sulla base degli elementi a disposizione si possono ipotizzare plinti di dimensione 8x8 m su 4 pali di diametro 1500 mm, di lunghezza variabile tale da garantire l'immorsamento della punta di almeno 1 diametro al di sotto della roccia sana. In base ai risultati delle indagini saranno quindi necessari pali di lunghezza variabile tra 12 e 35 m al fine di garantire l'immorsamento nel substrato roccioso.