

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
ALBERTO BITOSSÌ
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 **TECENTRAL**

GEOTECNICA

Relazione geotecnica Deposito Gavette

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 2 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: E21D00DZ1GE0006002D

n. Elab.:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>2 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	2 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	2 di 63								

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	29
4.3.1	<i>Classificazione della qualità dell'ammasso roccioso</i>	29
4.3.2	<i>Criteri di rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb</i>	30
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	36
5.1	PROFILI STRATIGRAFICI.....	36
5.2	MODELLO GEOTECNICO DEL DEPOSITO	39
5.3	MODELLO GEOTECNICO DELL'EDIFICIO DI SERVIZIO	45
6.	STUDI SISMICI DELL'AREA	51
6.1	CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	53

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>3 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	3 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	3 di 63								

7.	AZIONE SISIMICA DI PROGETTO	55
7.1	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	60
8.	FONDAZIONI	63

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>4 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	4 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	4 di 63								

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 Gavette sita tra via Lodi e via Piacenza, Zona Molassana, Genova.

Nel seguito, saranno descritti:

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

L'intervento prevede l'esecuzione un nuovo fabbricato su un'area vasta mediamente pianeggiante, in corrispondenza dell'attuale rimessa di Gavette previa demolizione del manufatto presente, che sarà adibito al parcheggio dei filobus (Figura 1).

La copertura sarà realizzata mediante una nuova struttura in c.a. e assolverà anche una funzione sociale, con miglioramento dell'intera area circostante la rimessa, tramite la creazione di arredi urbani, zone di svago ed impianti sportivi di quartiere.

Essa permetterà di ampliare in modo significativo gli spazi del quartiere e in particolare del plesso scolastico "Istituto Comprensivo Staglieno" nelle vicinanze della rimessa. La restante parte di copertura sarà utilizzata per la posa di un impianto fotovoltaico, per l'autoproduzione di energia elettrica. Inoltre, la notevole riduzione dei veicoli con motore termico, comporterà un sensibile abbattimento delle emissioni sia acustiche che di gas in atmosfera, prodotte dai veicoli della rimessa, con complessivo miglioramento della vivibilità delle aree limitrofe.

La realizzazione del fabbricato avverrà in aderenza ad un'opera di sostegno esistente, delimitante il terreno di proprietà del plesso scolastico posta a monte rispetto all'intervento e a una quota pari a m 5,40 fuori terra.

A seguito della realizzazione della nuova copertura e del parcheggio di filobus si renderà necessario un adeguamento funzionale delle postazioni di lavoro/officina presenti nella rimessa.

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	5 di 63



Figura 1 - Ubicazione della rimessa Gavette su immagine satellitare, tratta da Google Earth.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>6 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	6 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	6 di 63								

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
- [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"

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <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;">GE0006 002</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">7 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	7 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	7 di 63								

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
- E21D00DXXF6GE0006004A - Planimetria deposito Gavette
- E21D00DXXF6GE0006005A – Profilo geotecnico 1/2 deposito Gavette
- E21D00DXXF6GE0006006A - Profilo geotecnico 2/2 deposito Gavette

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
- [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.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>8 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	8 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	8 di 63								

- [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 1st 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 75th 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

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>9 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	9 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	9 di 63								

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

Dal Geoportale della Regione Liguria sono stati reperiti n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, nei pressi dell'area dove sorgerà la rimessa Gavette.

Nella parte meridionale della rimessa sono stati eseguiti:

- sondaggio 3744–S2-3030 spinto sino alla profondità di 15 m da p.c. eseguito nel 2014 da Geofisica e Ambiente;
- sondaggio 3744–S2-3031 spinto sino alla profondità di 20 m da p.c. eseguito nel 2014 da Geofisica e Ambiente;
- sondaggio S-54 spinto sino alla profondità di 20 m da p.c.;
- sondaggio S-56 spinto sino alla profondità di 20 m da p.c..

3.2 Campagna indagine 2021

Tra giugno e 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 variabile tra 20+40 m da p.c. (SDGA-01 fino a 40 m da p.c., SDGA-02 fino a 25 m da p.c., SDGA-03 fino a 20 m da p.c.), nei quali è stato calcolato l'RQD sulle carote rocciose; eseguiti da Tecnoin Geosolution;
- n. 11 prove penetrometriche dinamiche di tipo Standard Penetration Test (SPT);

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>10 di 63</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	10 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	10 di 63								

- n. 2 prove pressiometriche tipo Menard;
- n. 2 prove Lefranc;
- n. 2 stendimenti sismici con la tecnica Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) eseguite da Tecnoin Geosolution;
- n. 2 stendimenti geofisici di Tomografia Elettrica di Resistività (ERT1, ERT2) eseguite da Tecnoin Geosolution;
- n. 2 prove di sismica passiva di tipo Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVS1, HVS2) eseguite da Tecnoin Geosolution.

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.
SDGA-01	496921,4	4920310,9	34,739
SDGA-02	496878,5	4920401,8	35,014
SDGA-03	496915	4920470,4	34,983

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

Inoltre, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio sui campioni prelevati in sito:

- n. 8 analisi granulometriche;
- n. 8 determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- n. 8 determinazione dei limiti di Atterberg;
- n. 3 determinazione della massa volumica;
- n. 2 determinazione del peso specifico dei grani;
- n. 2 prove di taglio diretto;
- n. 1 prova triassiale non consolidata non drenata (UU);
- n. 2 prove di compressibilità edometriche;
- n. 3 prove di compressione uniassiale in roccia;
- n. 3 point load test in roccia.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)		
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	11 di 63

4. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI

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

I sondaggi SGDA-02 e SDGA-03 hanno evidenziato principalmente un primo spessore costituito dalla presenza di un'alternanza di ghiaie sabbiose e limi argillosi nei primi 10÷12 metri da p.c., mentre il sondaggio SDGA-01 indica tale alternanza fino a circa 33 m dal p.c..

Tali strati corrispondono ad una successione di depositi alluvionali del Torrente Bisagno e depositi eluvio-colluviali provenienti dal versante a Ovest; questi depositi si estendono fino ad incontrare il substrato roccioso formato da calcare grigio con presenza di vene calcitiche di colore bianco di spessore centimetrico, spesso fortemente alterato e degradato nella parte più superficiale.

La caratterizzazione dei terreni coesivi fa riferimento anche ai risultati delle prove di laboratorio.

Vengono di seguito analizzate i metodi di interpretazione e le indagini eseguite.

4.1 Terreni incoerenti

4.1.1 Granulometria

Di seguito la tabella e il grafico con i valori ottenuti dalle prove di classificazione condotte in corrispondenza dei terreni incoerenti.

Sondaggio	Terreno	Campione	Z _{in} [m]	Z _{fin} [m]	Z _{med} [m]	Z _{med} [m slm]	W _n [%]	Argilla [%]	Limo [%]	Sabbia [%]	Ghiaia [%]
SDGA01	GS1	CR1	9,00	9,50	9,3	25,8	1,5	5,00	14,00	44,00	37,00
SDGA03	GS2	CR1	9,00	9,50	9,3	25,8	2,1	5,00	36,50	40,50	18,00

Tabella 2 Prove di laboratorio eseguite sui terreni incoerenti incoerenti: granulometrie, W_n=contenuto di acqua.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	12 di 63

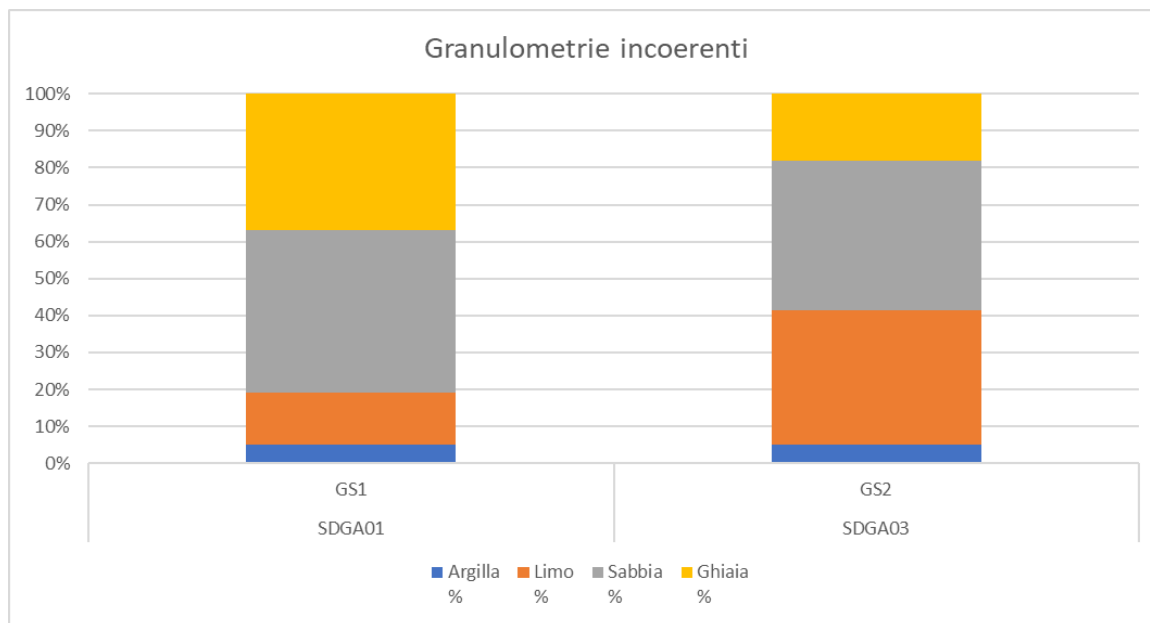


Figura 2 Distribuzione granulometrica dei terreni incoerenti.

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:

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

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>13 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	13 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	13 di 63								

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 σ'_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, assunto mediamente pari al 60% per gli apparecchi SPT italiani.

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

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 14 di 63

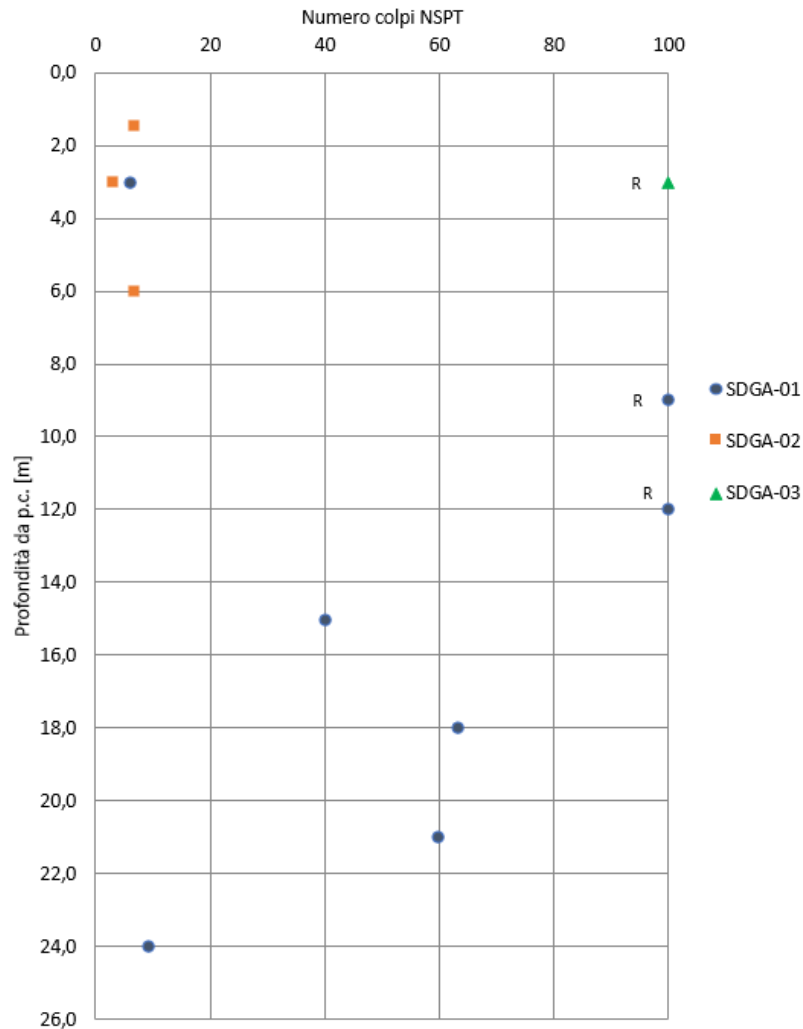


Figura 3 - Grafico N_{SPT} in funzione della profondità.

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

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

Dove:

- $A \approx 65/60$ nel caso di sabbie grosse e $A \approx 60/55$ nel caso di sabbie fini.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	15 di 63

- $(N_1)_{60}$ è la resistenza penetrometrica dinamica normalizzata per tenere conto sia della tensione litostatica che del rendimento del sistema di infissione.

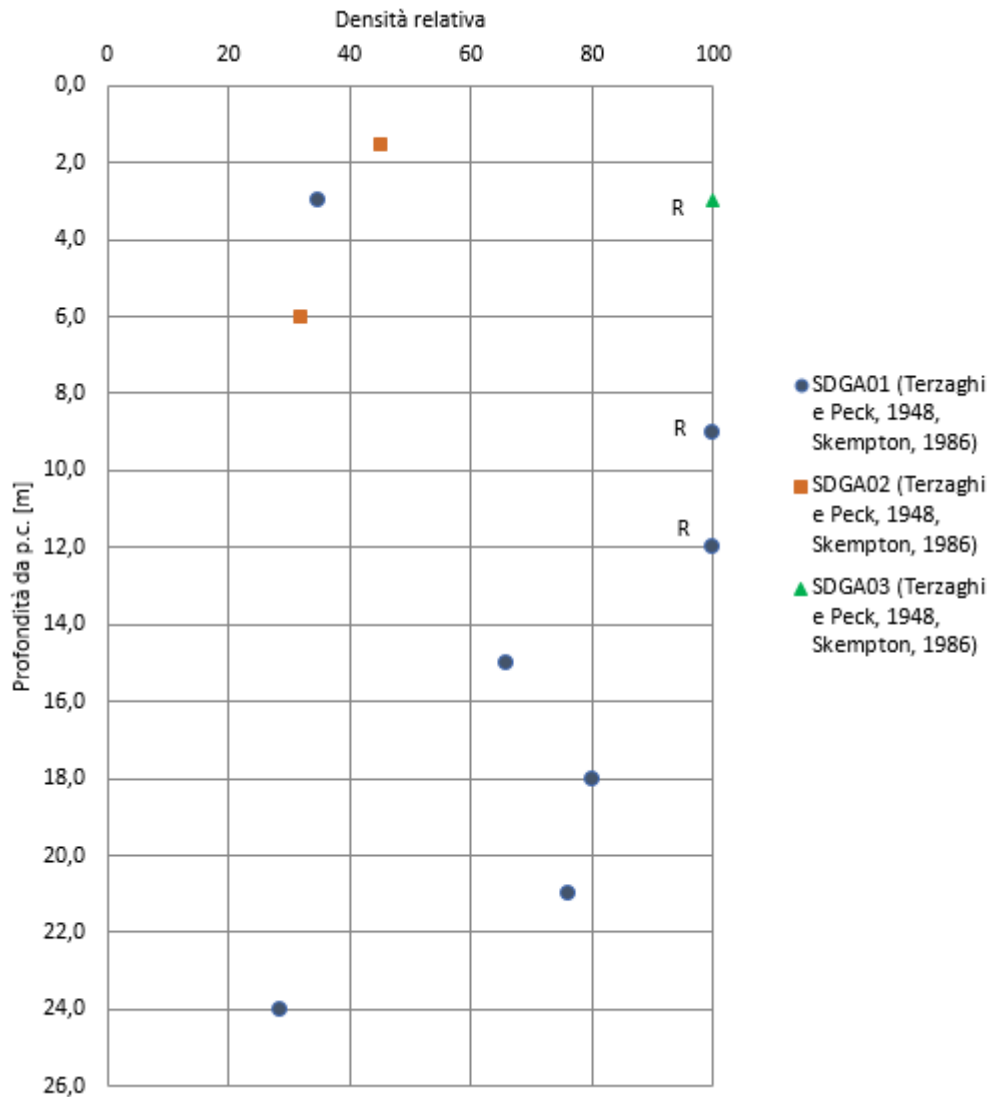


Figura 4 - Grafico della densità relativa in funzione della profondità.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 16 di 63

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:

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

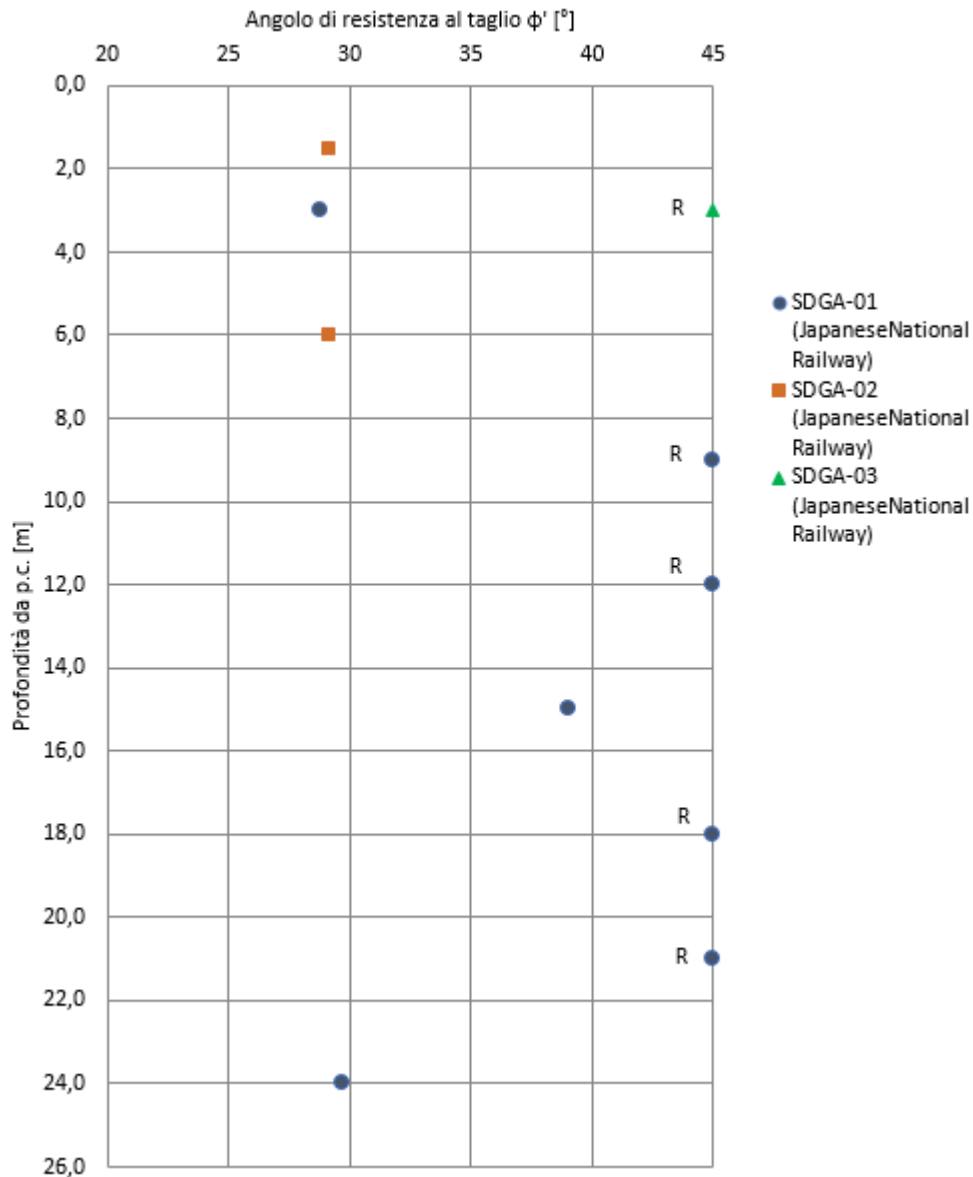


Figura 5 - Grafico dell'angolo di attrito in funzione della profondità.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>17 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	17 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	17 di 63								

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:

- ρ 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_0 definito come:

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

dove:

- ν è il coefficiente di Poisson;
- G_0 è il modulo di taglio alle piccole deformazioni.

Grafico velocità di taglio Vs

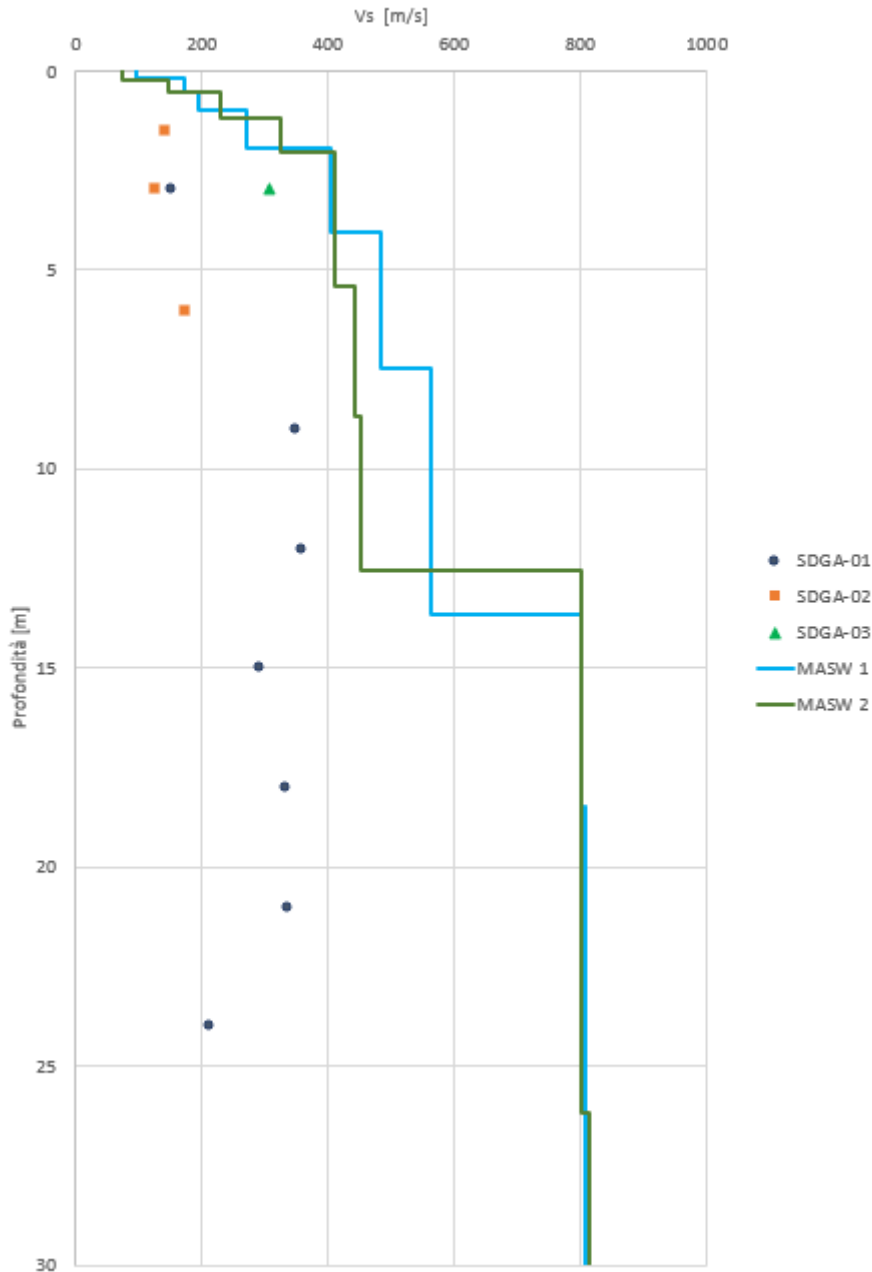


Figura 6 - Grafico delle onde di taglio ricavate dalle prove SPT e dalle prove MASW in funzione della profondità.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 19 di 63

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.

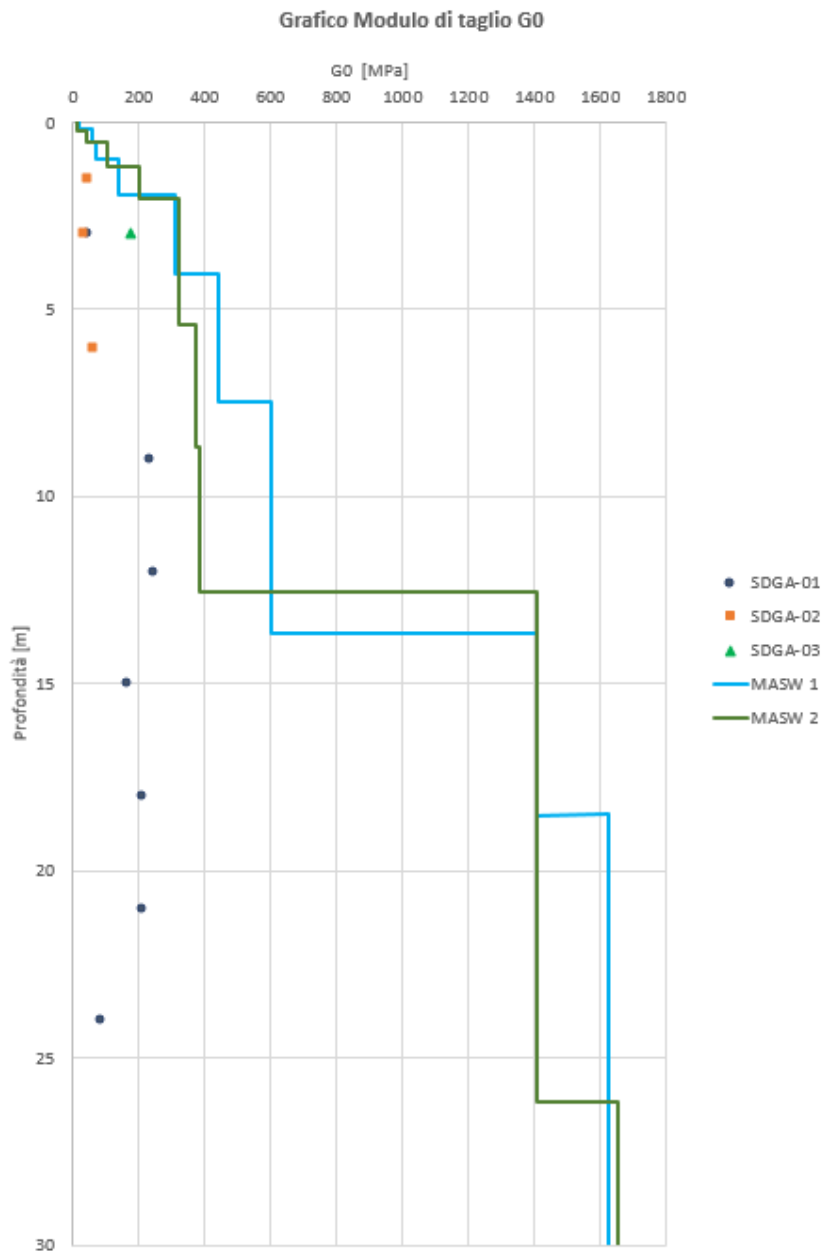


Figura 7: Grafico del modulo di taglio alle piccole deformazioni G_0 ricavato dalle prove SPT e dalle prove MASW in funzione della profondità.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>20 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	20 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	20 di 63								

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.

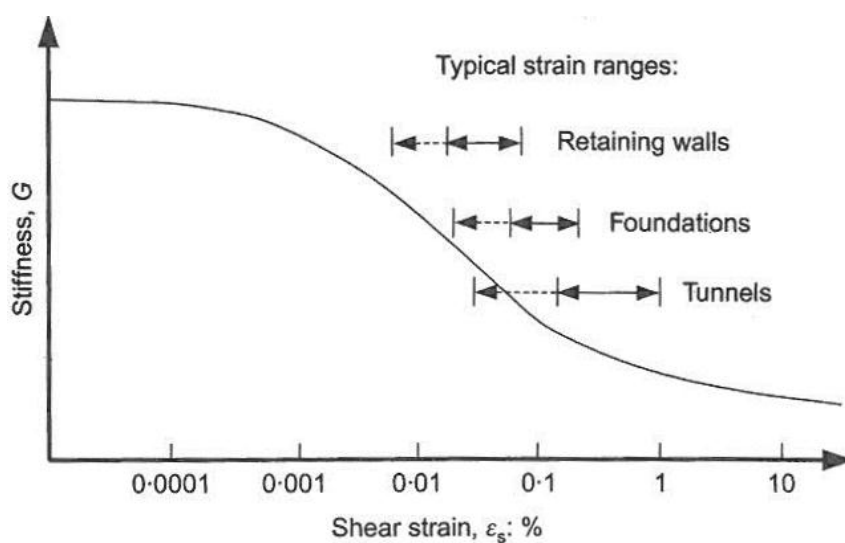


Figura 8: Variazione tipica del modulo di rigidezza in funzione della deformazione unitaria, Mair (1993).

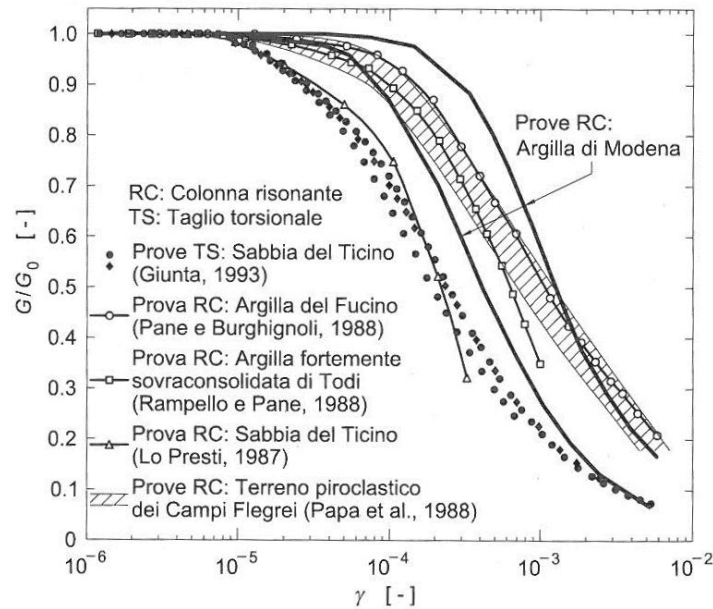


Figura 9: Dipendenza del modulo di taglio dal livello deformativo, Lancellotta (2012).

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 1×10^{-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.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 22 di 63

Sono inoltre a disposizione i risultati di due prove pressiometriche, eseguite alle profondità di 7 m e 8.5 m, in terreno ghiaioso con presenza di sabbia limosa o limo sabbioso, che hanno determinato rispettivamente una pressione limite di 2500 kPa e 1700 kPa e un modulo pressiometrico di circa 42 MPa e 56 MPa.

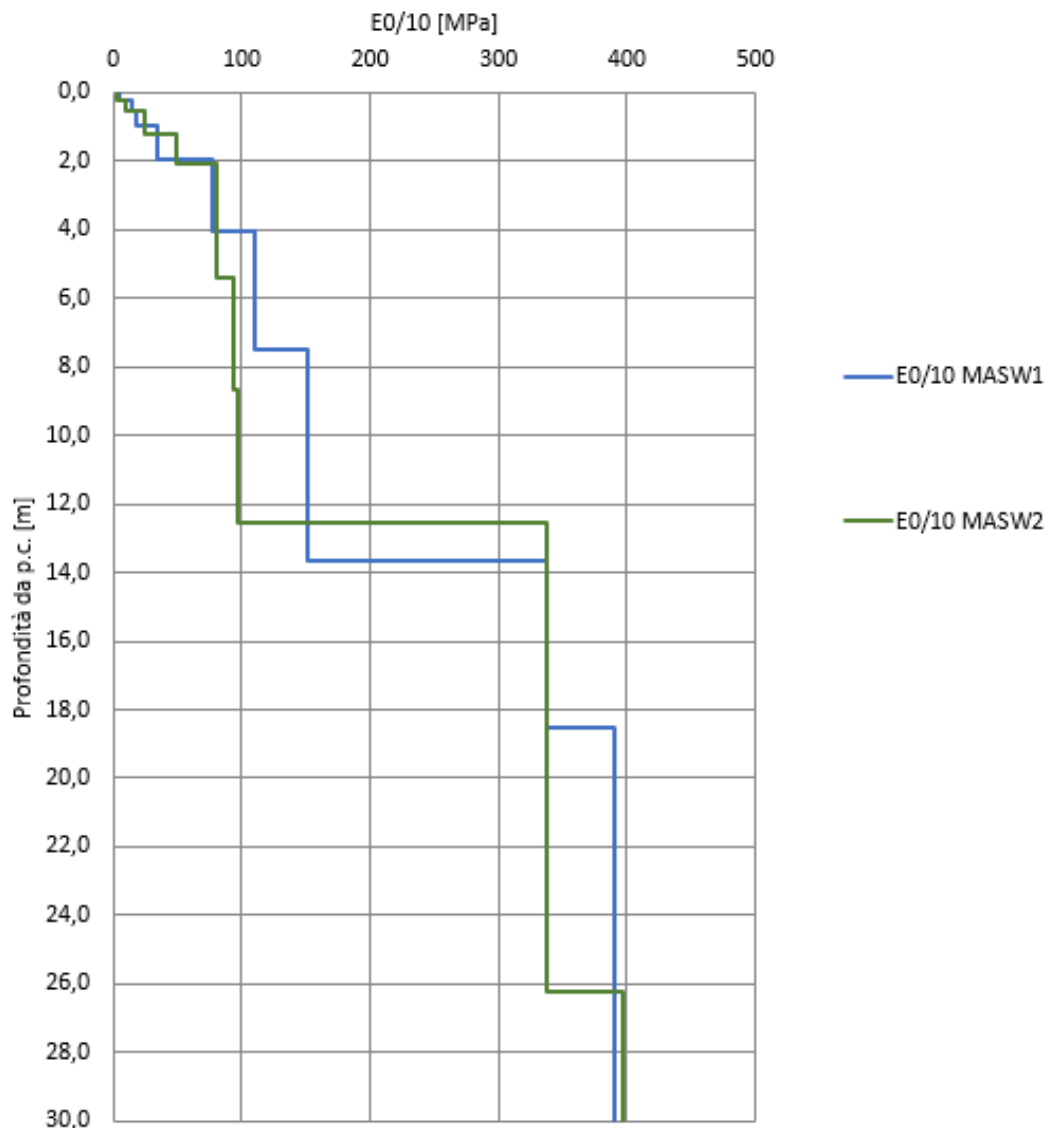


Figura 10: Grafico del modulo $E_0/10$ in funzione della profondità

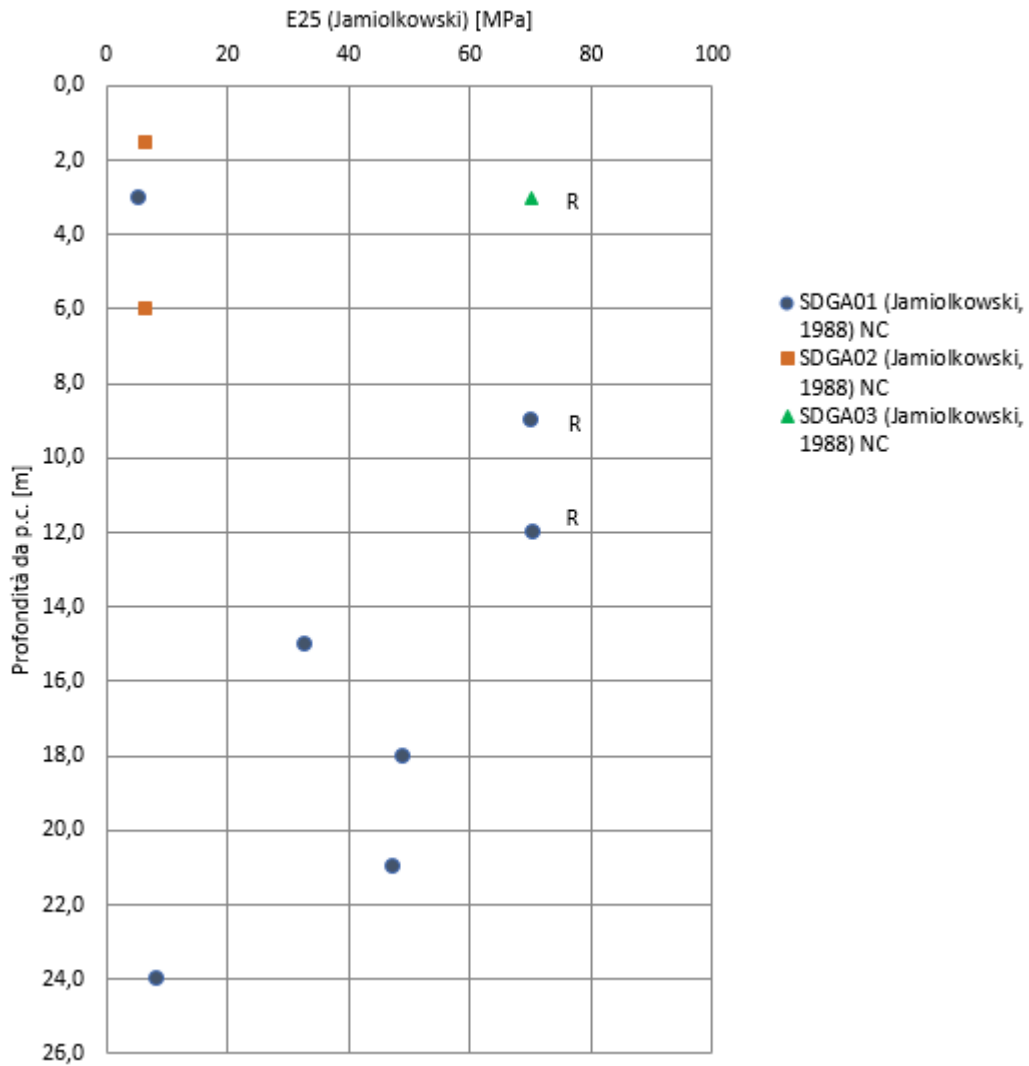


Figura 11: Grafico del modulo di compressibilità E25 (Jamiolkowski) in funzione della profondità.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	24 di 63

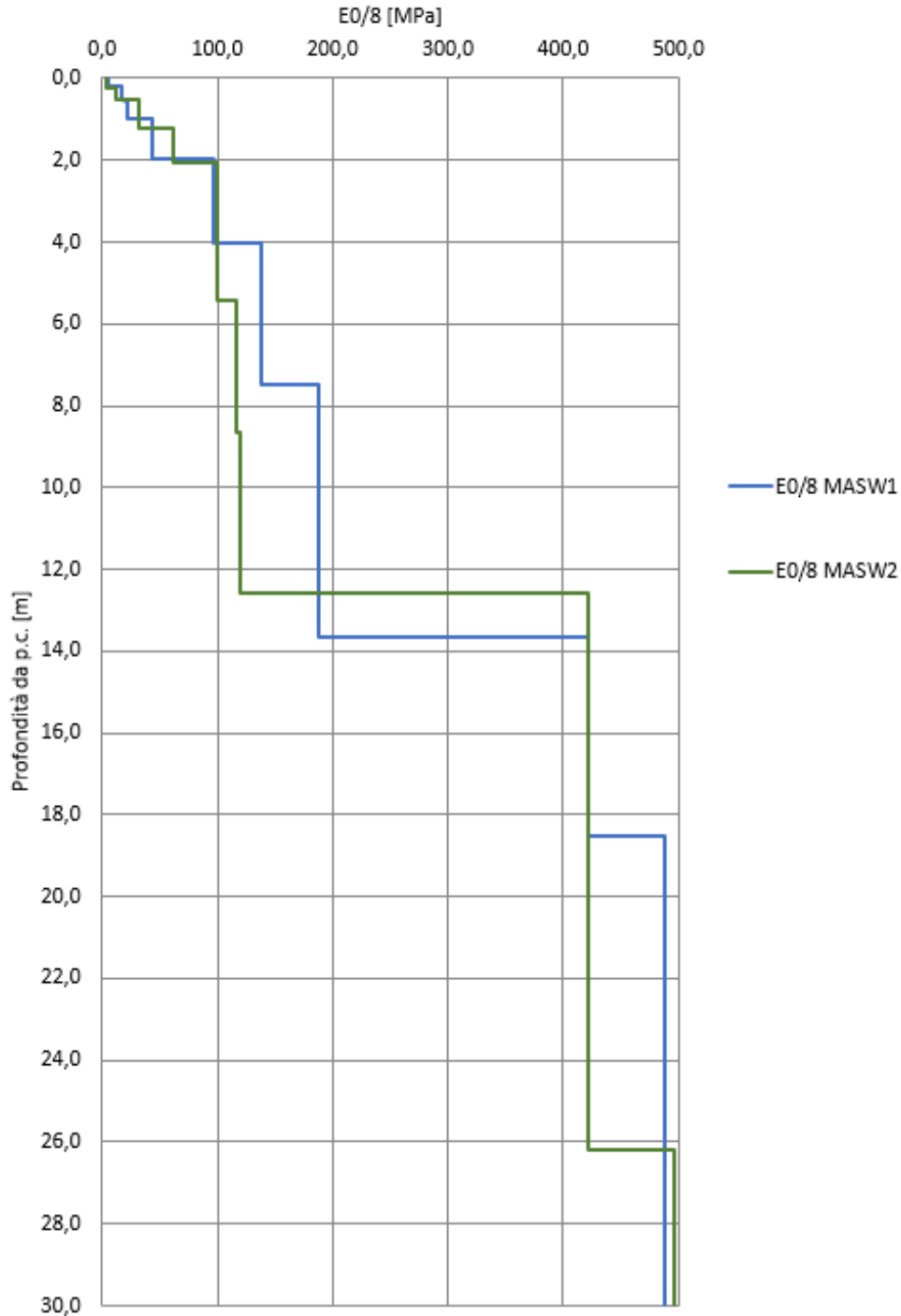


Figura 12: Grafico del modulo $E_{0/8}$ in funzione della profondità

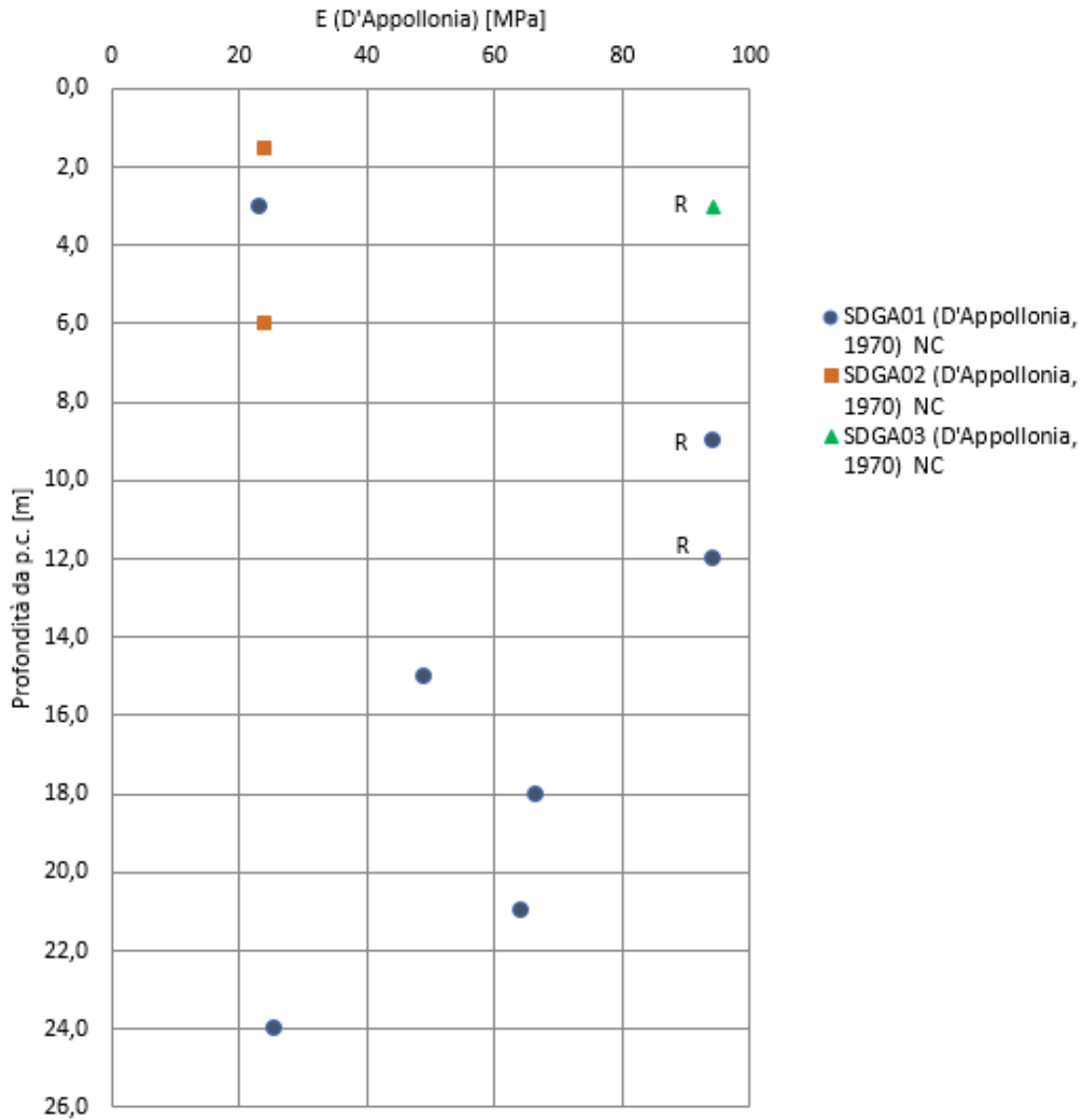


Figura 13: Grafico del modulo di compressibilità E (D'Appollonia) in funzione della profondità.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO			
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	26 di 63			

4.2 Terreni coesivi

Di seguito si riportano i risultati delle prove di classificazione condotte sui livelli coesivi.

Sondaggio	Campione	Z _{in} [m]	Z _{fin} [m]	Z _{med} [m]	Z _{med} [mslm]	γ _n [kN/m ³]	γ _d [kN/m ³]	W _n [%]	n [%]	e [-]	S _r [%]	G [-]	Argilla [%]	Limo [%]	Sabbia [%]	Ghiaia [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]
SDG A01	CR2	17	17,5	17,3	-17,3			2					9,5	30,5	58,5	1,5	nd	nd	nd
SDG A01	CI1	25	25,5	25,3	-25,3	18,8	15,0	25	40	0,68	93	2,52	15,5	42,5	42	0	34	22,5	11,5
SDG A02	CI1	9	9,5	9,3	-9,3	19,2	15,8	21,9	38	0,61	90	2,54	55,5	41	3	0,5	50,4	32,3	18,1
SDG A02	CR1	4	4,5	4,3	-4,3			4,1					16	29,5	34,5	20	39,5	29,8	9,7
SDG A02	CR2	5,5	6	5,8	-5,8			14,2					32,5	50	17	0,5	49,3	26,9	22,4
SDG A03	CI1	6	6,5	6,3	-6,3	19,4	16,2	19,9	36	0,56	89	2,53	22	26	34	18	43,2	26,6	16,8

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

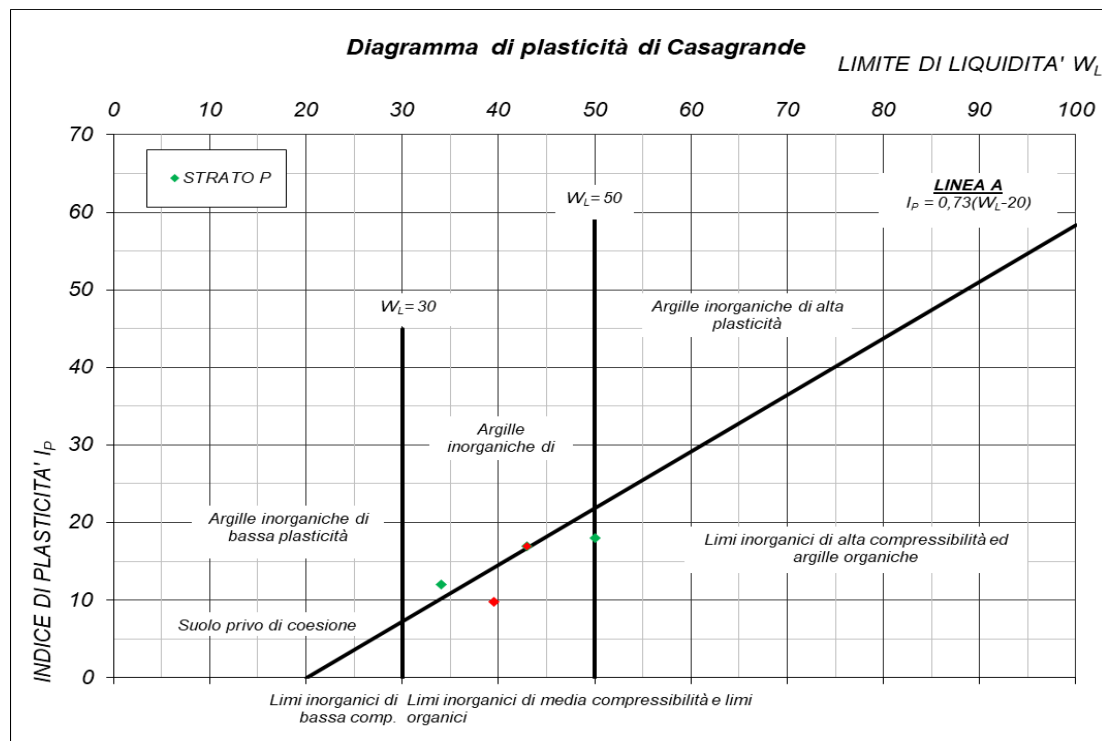


Figura 14 Carta di plasticità di Casagrande dei campioni di terreno coesivi.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<table 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;">GE0006 002</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">27 di 63</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	27 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	27 di 63								

Sui campioni coesivi prelevati, sono state condotte le seguenti prove di laboratorio per determinare la resistenza al taglio:

- 2 prove di taglio per la determinazione della coesione in condizioni drenate efficace c' e l'angolo di resistenza al taglio efficace ϕ' ;
- 1 prova triassiale non consolidata e non drenata per il calcolo della coesione non drenata c_u ;

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle prove appena citate che sono stati prese come riferimento nella caratterizzazione geotecnica riportata nel paragrafo successivo.

Sondaggio	Terreno	Prova Taglio CD		Prova triax U.U.
		c'	ϕ'	c_u
		[kPa]	[°]	[kPa]
SDGA03	Limo	25,5	31,3	
SDGA01	Limo argilloso	26,6	30,3	
SDGA02	Limo argilloso			151,2

Tabella 4 Prove di laboratorio eseguite sui terreni coesivi (prova triassiale non consolidata non drenata, prova di taglio e prova edometrica).

Inoltre, è stata eseguita 1 prova edometrica sul campione CI1 estratto dal sondaggio SDGA01, alla profondità di 25,00-25,50 m; la seguente tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riporta i risultati della prova mentre in è riportata la curva di compressione (tensione verticale efficace σ_v , e indice dei vuoti e).

e_0	C_r	C_c	M
(-)	(-)	(-)	(kPa)
0,679	0,07	0,199	7,5

Tabella 5 Risultati della prova edometrica SDST-CI1 (e_0 = indice dei vuoti iniziale, C_r =coefficiente di ricomprensione, C_c = coefficiente di compressione primario, M= modulo edometrico per il gradino di carico da 200 a 400 kPa).

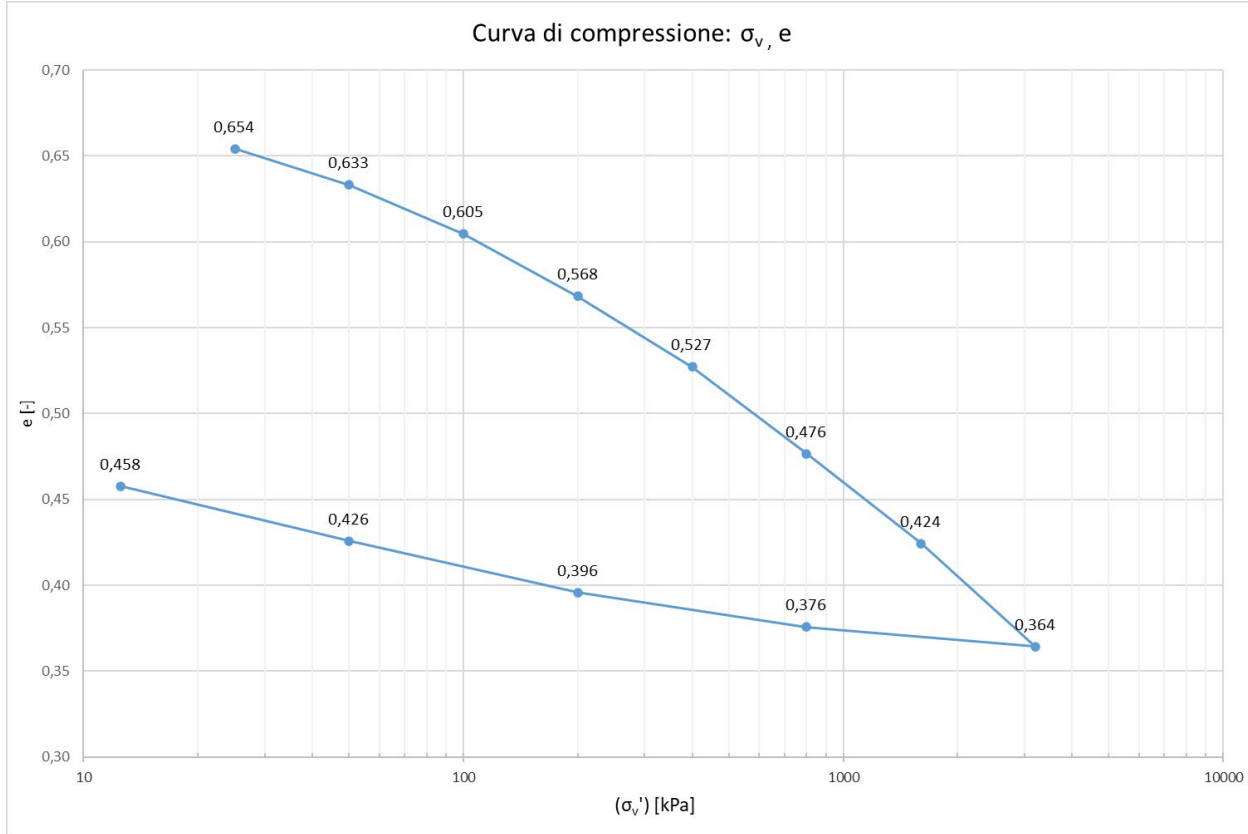


Figura 15 Curva di compressione σ_v, e del campione SDGA01-CI1.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>29 di 63</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	29 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	29 di 63								

4.3 Roccia calcarea

La roccia sottostante allo strato di terreno sciolto è composta principalmente da calcare grigio scuro molto fratturato dalla profondità di circa 10÷12 m da p.c., il primo livello è formato da uno strato molto più alterato e degradato a tratti argillificato che costituisce il cappellaccio di alterazione.

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

I valori dell'RQD calcolati dalle carote estratte dai sondaggi SDGA01÷SDGA03 generalmente mostrano una roccia di cattiva qualità a tratti media.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)		
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	30 di 63

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 ϕ e c' a partire dal criterio di rottura di Hoek-Brown, aggiornato dallo stesso Hoek et al (2002).

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:

- σ'_1 e σ'_3 sono rispettivamente lo sforzo efficace principale massimo e minimo;
- σ_{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 calcolati in laboratorio:

Sondaggio	Campione	Z_{in}	Z_{fin}	Z_{med}	Z_{med}	γ_n	γ_d	q_u	$I_{s(50)}$	σ_u
		[m]	[m]	[m]	[m slm]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[MPa]	[-]	[MPa]
SDGA01	CL1	37,00	37,15	37,1	-2,0	25,39			2,49	62,3
SDGA01	CL2	38,15	38,35	38,3	-3,2	26,22		12,70		
SDGA02	CL1	17,50	17,65	17,6	17,6				1,93	48,3
SDGA02	CL2	22,41	22,68	22,5	12,6		25,72	32,90		
SDGA03	CL1	15,00	15,12	15,1	20,0		23,94		2,30	57,5
SDGA03	CL2	15,65	16,00	15,8	19,2		26,64	23,80		

Tabella 7 Prove di laboratorio eseguite sui campioni rocciosi: q_u = resistenza a compressione da prova di compressione uniassiale, $I_{s(50)}$ =indice di point load test, σ_u = resistenza a compressione da PLT.

In via cautelativa è stato assunto un valore di progetto della resistenza a compressione della roccia pari a 25 MPa.

- m_b , s ed a sono tre costanti calcolabili dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso di seguito descritte.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	31 di 63

Il valore di m_b viene ricavato dalla costante m_i 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) Breccias (19 ± 5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Muds (7 ± 2)
		Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)
	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 ± 3)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

Tabella 8 - Tabella per la determinazione della costante m_i (Hoek, 2006).

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 32 di 63

- 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:

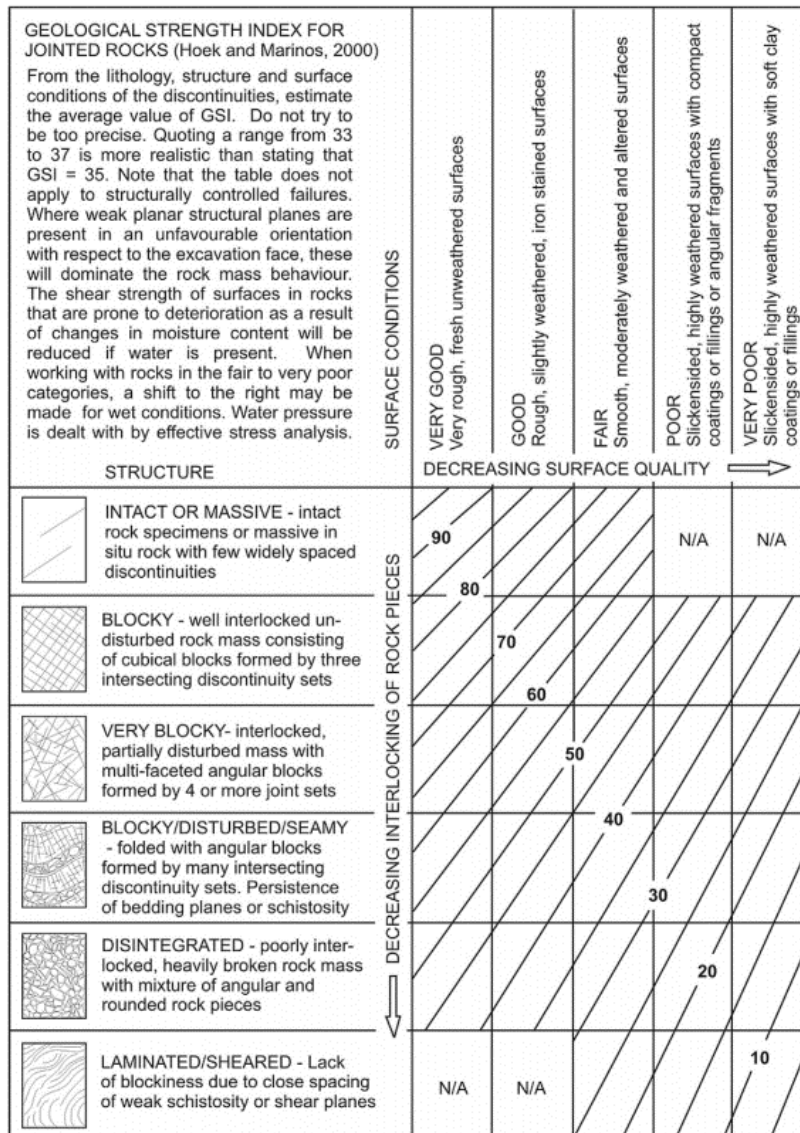


Figura 16 - Grafico per la stima del GSI (Marinos e Hoek, 2000)

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<table 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;">GE0006 002</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">33 di 63</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	33 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	33 di 63								

- 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

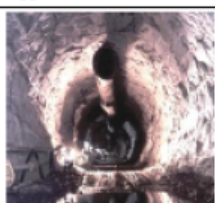


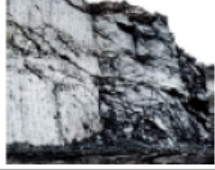

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) 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 9 - Tabella per la determinazione del fattore di disturbo D (Hoek, 2006)

Le costanti s e a sono definite dalle seguenti equazioni:

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

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

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 34 di 63

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 $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma'_3 \text{ max}$.

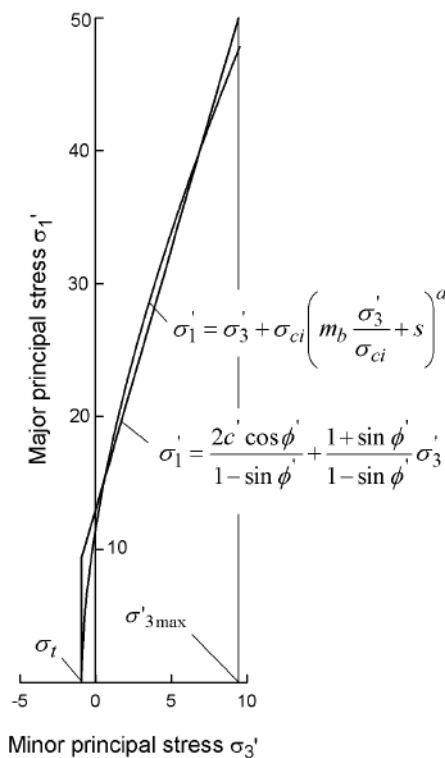


Figura 17 - Relazione fra gli sforzi principali massimi e minimi per il criterio di Hoek- Brown e per quello equivalente di Mohr – Coulomb

L'angolo di attrito equivalente ϕ' 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;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>35 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	35 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	35 di 63								

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

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:

- γ è il peso di volume dell'ammasso roccioso;
- H è l'altezza del pendio
- σ'_{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:

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

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 36 di 63

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 Gavette. L'area è prevalentemente pianeggiante, ad una quota di circa 35 m s.l.m..

La seguente figura riporta la pianta dell'area con indicata l'ubicazione delle prove in sito e gli edifici di nuova costruzione.

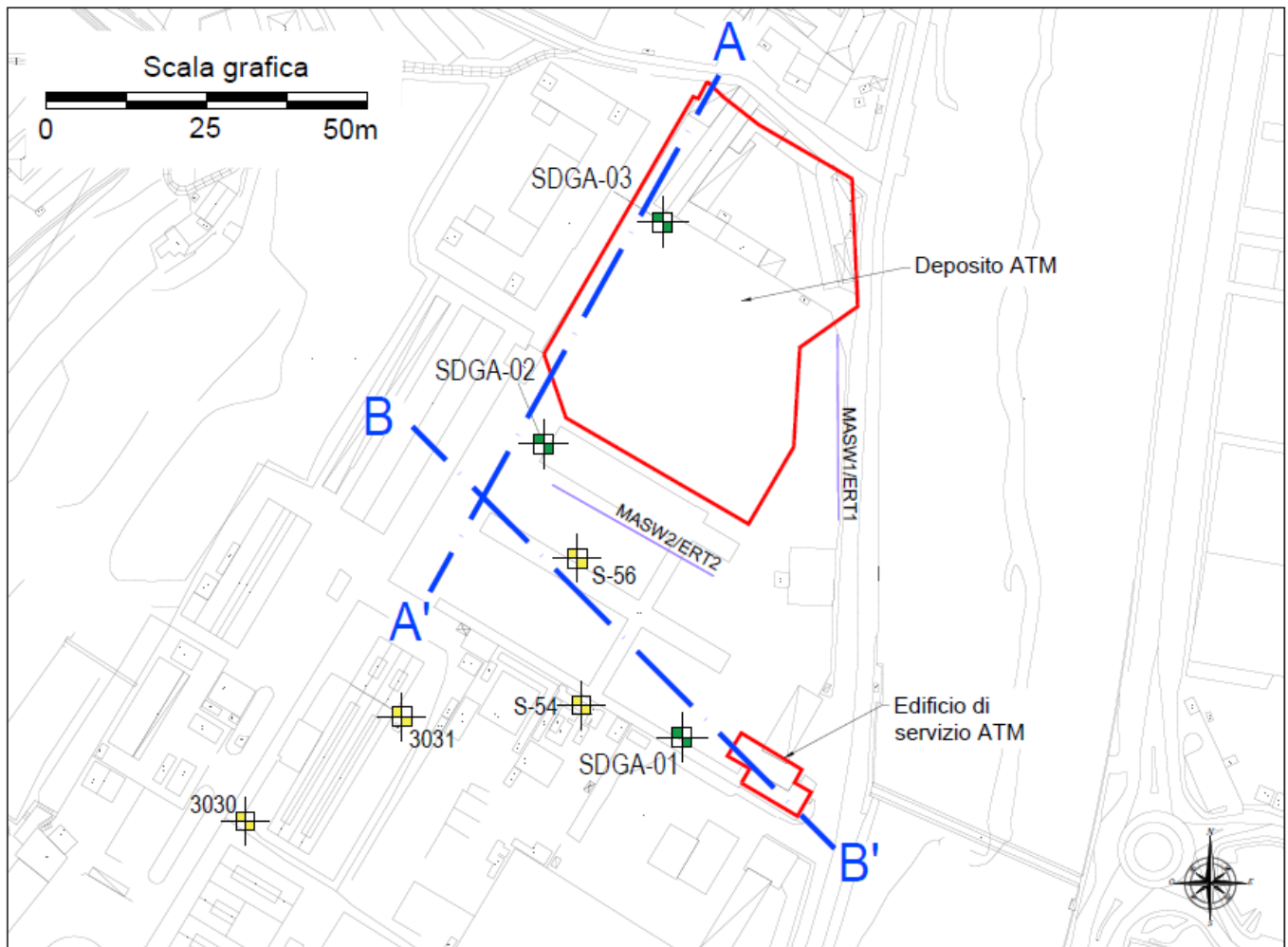


Figura 18 - Pianta su base topografica delle indagini a disposizione, dell'ingombro dei nuovi edificati. In blu la traccia dei profili geotecnici eseguiti.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>37 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	37 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	37 di 63								

Il profilo stratigrafico lungo la *sezione A-A'*, che interessa l'area della rimessa principale di Gavette, evidenzia i seguenti strati in corrispondenza dell'edificato di progetto:

- dal piano campagna alla profondità di circa 3÷4 m presenza di uno strato formato da ghiaia ciottolosa eterometrica con sabbia fine e media a tratti limosa con presenza di materiale antropico di riporto o di sottofondo stradale;
- a seguire si rinviene la presenza di uno strato di limo sabbioso con a tratti sabbia fine con frammenti ghiaiosi calcarei, appartenenti alla coltre eluvio colluviale, di spessore pari a circa 3 m;
- successivamente è presente uno strato di ghiaia sabbiosa, con livelli più sabbiosi limosi, di spessore variabile tra 2÷7 m; la frazione ghiaiosa è alterata e di origine calcarea;
- a seguire il sondaggio SDGA-02 ha individuato uno strato di materiale a grana fine di spessore pari a circa 2 m;
- dalla profondità di circa 10 m a 14,5 m presenza di un livello semi-litoide composto da calcare grigio degradato, fratturato e a tratti argillificato, corrispondente al cappellaccio di alterazione;
- a seguire e fino alla massima profondità indagata presenza del substrato roccioso costituito da calcare grigio scuro fratturato con presenza di vene calcitiche di colore bianco.

Il profilo stratigrafico lungo la *sezione B-B'*, che interessa l'ampliamento di un edificio esistente e che costituirà il nuovo ufficio di servizio della rimessa, evidenzia ancora una volta la presenza di un'alternanza di depositi di origine colluviale e alluvionale del Fiume Bisagno costituiti da ghiaie eterometriche sub angolari/ sub-arrotondate sabbiose e strati di limi argillosi e sabbiosi con ghiaia.

Questo profilo evidenzia chiaramente l'approfondimento del substrato roccioso da ovest a est giustificato dalla presenza più a est, nella valle, del Fiume Bisagno, perciò correlato dalla presenza del paleoalveo del fiume ora riempito e sepolto. L'approfondimento del substrato roccioso, come evidenziato dalle differenze delle quote del calcare rivenute nei sondaggi SDGA-02 e SDGA-01, è sostanziale e di circa 20 m.

Il livello della falda è stato rilevato in data 23/07/2021 e tale rilevazione ha indicato delle profondità variabili da 4,55 m dalla sommità del sondaggio SDGA-01 a 9,41 m dalla sommità del sondaggio SDGA-03.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>38 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	38 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	38 di 63								

L'acquifero trova sede nei depositi alluvionali grossolani dei primi metri e presenta come letto il substrato roccioso, caratterizzato da una permeabilità secondaria quasi trascurabile dovuta alle fratture. Ciò che alimenta l'acquifero è il regime meteorico, l'apporto del versante a Ovest e probabilmente il suo livello può essere influenzato anche dal livello del pelo libero del Fiume Bisagno.

Il progetto non prevede opere interrato, ai fini del dimensionamento delle opere di fondazione potrà cautelativamente considerare una soggiacenza minima di 2-3 m dal piano campagna.

La prova Lefranc eseguita nel sondaggio SDGA-01 ad una profondità di 4.5 m dal p.c. in ghiaia con sabbia debolmente limosa ha rilevato una permeabilità di 3,2E-05 m/s, mentre la prova Lefranc eseguita nel sondaggio SDGA-03 ad una profondità di 7,50 m dal p.c. in ghiaia con limo sabbioso ha rilevato una permeabilità di 1,2E-06 m/s.

Ai sensi dell'art.6.2.2. NTC 18, sono stati individuati n. 2 modelli geotecnici di riferimento: uno associato all'edificio principale che costituirà il nuovo deposito, l'altro, invece, associato all'edificio di servizio più piccolo a sud del principale per l'adeguamento funzionale delle postazioni di lavoro/officina presenti nella rimessa.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO			
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	39 di 63			

5.2 Modello geotecnico del deposito

Per la definizione del modello geotecnico della rimessa si è fatto riferimento principalmente ai sondaggi SDGA-02 e SDGA-03, in quanto il sondaggio SDGA-01, che indica la profondità del substrato roccioso ad una quota significativamente diversa, risulta ubicato distante dall'area in cui verrà costruita la rimessa.

Il modello geotecnico della rimessa è riassunto dalla seguente tabella:

Unità	da	a	Spessore	γ/γ'	ν	ϕ'_k	c'_k	$c_{u,k}$	G_0	E_{ammasso}	$E_{\text{op, fondaz dirette}}$	$E_{\text{op, fondaz profonde}}$	r
	[m p.c.]	[m p.c.]	[m]	[kN/m ³]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
Ghiaia sabbiosa GS1	0	4	4	19/9	0,25	30	-	-	100	-	25	50	2,5
Limo	4	7	3	19/9	0,3	30	5	35	60	-	6	12	4
Ghiaia sabbiosa GS2	7	9	2	19/9	0,25	35	-	-	250	-	60	120	2,5
Limo argilloso	9	10	1	19/9	0,3	28	10	30	70	-	8	16	4
Calcere alterato	10	14,5	4,5	22/12	0,2	33	40	-	-	800	-	-	-
Calcere	14,5	20	5,5	25/15	0,2	40	75	-	-	2000	-	-	-

Dove:

- γ/γ' peso di volume del terreno / peso di volume immerso del terreno
- ν coefficiente di Poisson
- ϕ'_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
- $E_{\text{op, fondaz dirette}}$ modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione dirette)
- $E_{\text{op, fondaz profonde}}$ modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione profonde – opere di sostegno)

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>40 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	40 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	40 di 63								

- 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.

Si riportano di seguito i grafici con i principali parametri di progetto e i parametri stimati dalle indagini eseguite relativi agli strati di terreno al di sopra del substrato roccioso.

In generale con particolare con riferimento alle caratteristiche di compressibilità si rilevata una differenza tra i valori stimabili in base ai risultati delle prove SPT e quelli valutati in base alle prove geofisiche, a tal proposito si è ritenuto opportuno far riferimento ai valori più cautelativi

Angolo di resistenza al taglio:

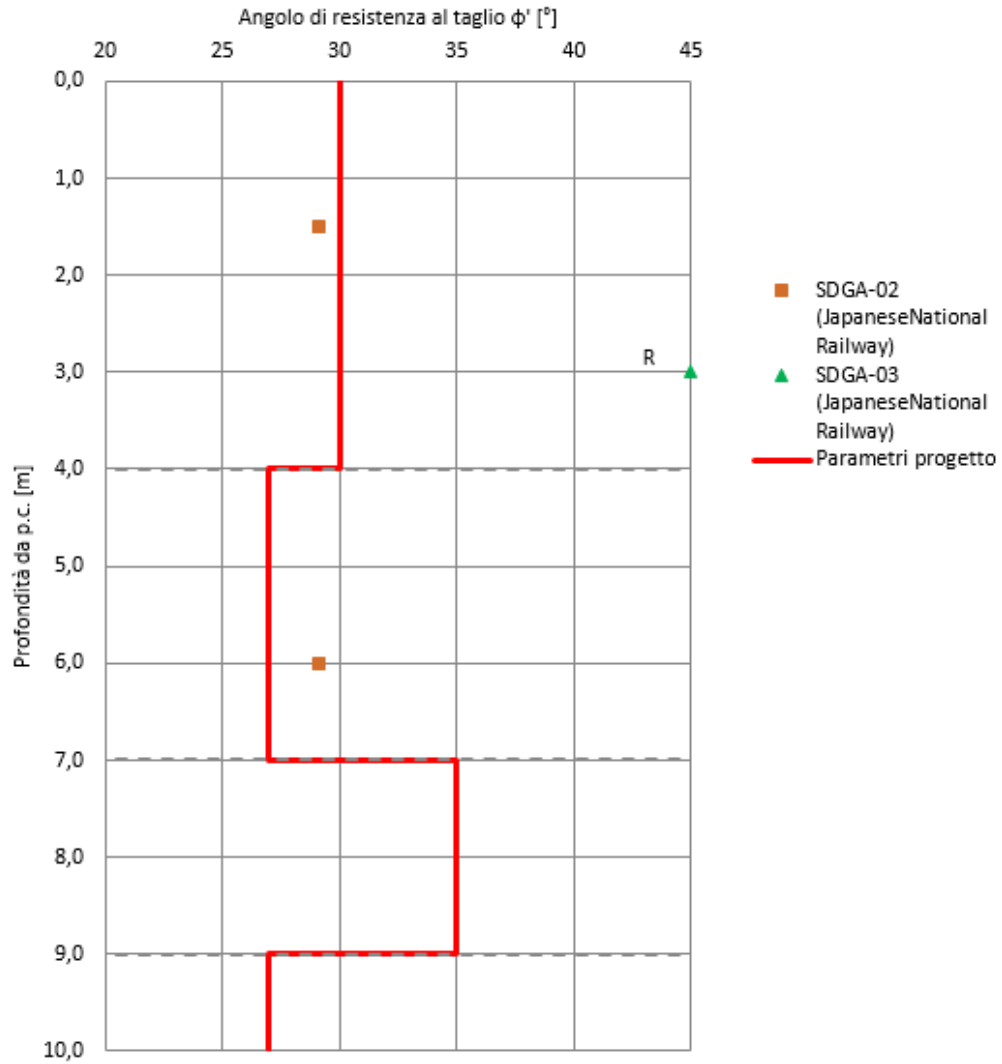


Figura 19: Angolo di resistenza al taglio di progetto (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico del deposito

Modulo di taglio alle piccole deformazioni G_0 :

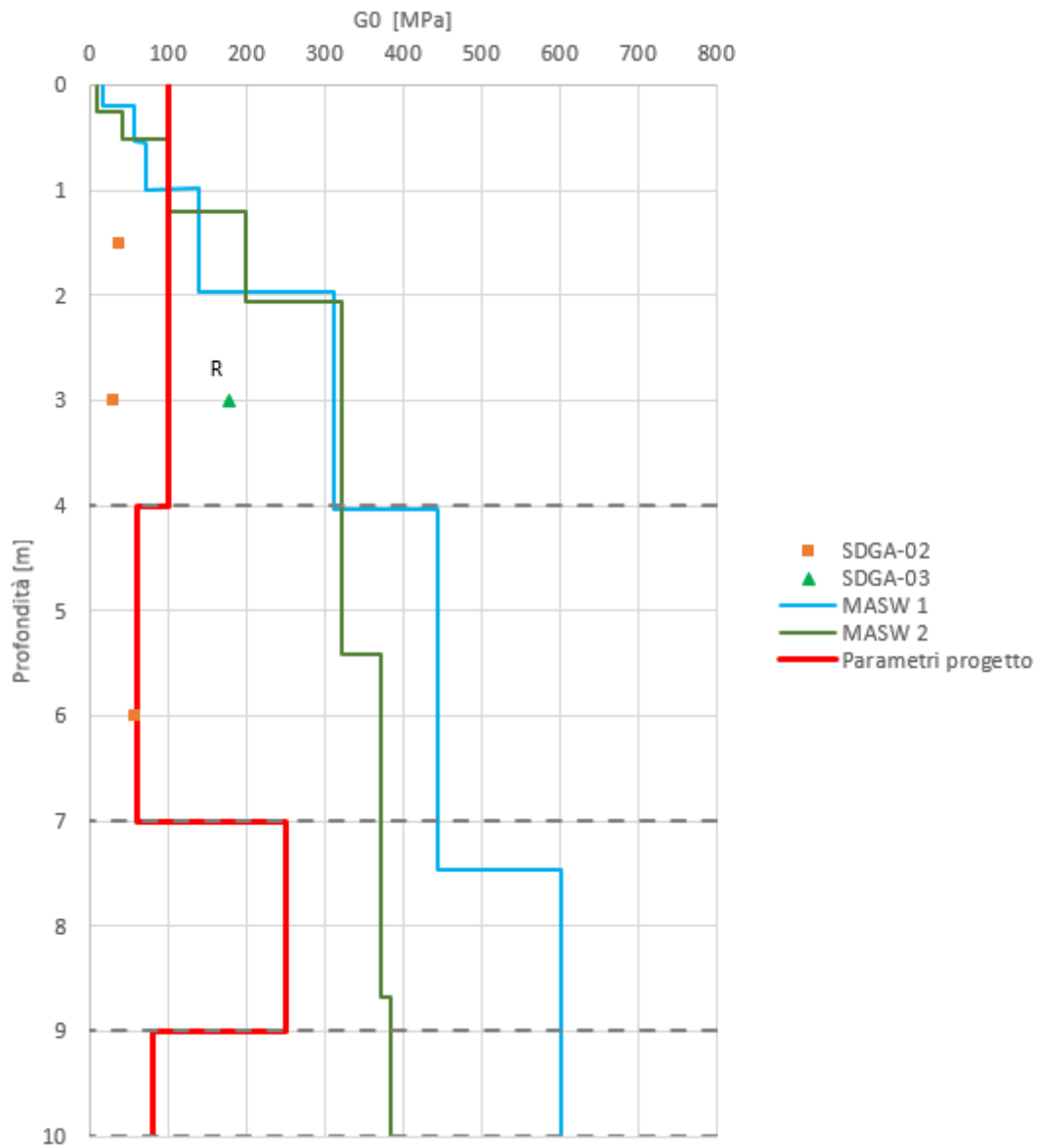


Figura 20: Modulo di taglio alle piccole deformazioni G_0 di progetto (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico del deposito

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	43 di 63

Modulo operativo per fondazioni dirette:

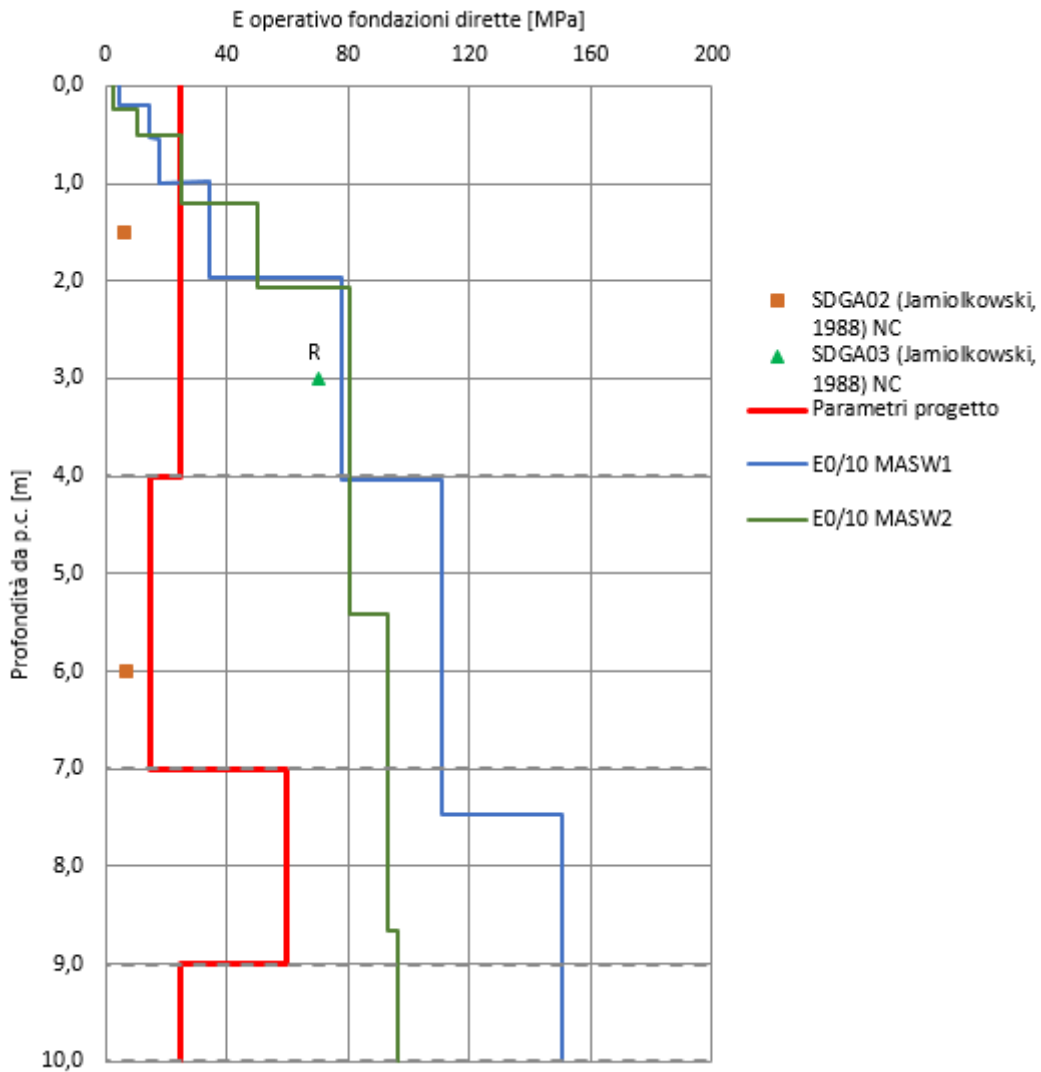


Figura 21: modulo operative E di progetto per le fondazioni dirette (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico del deposito

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	44 di 63

Modulo operativo per fondazioni profonde:

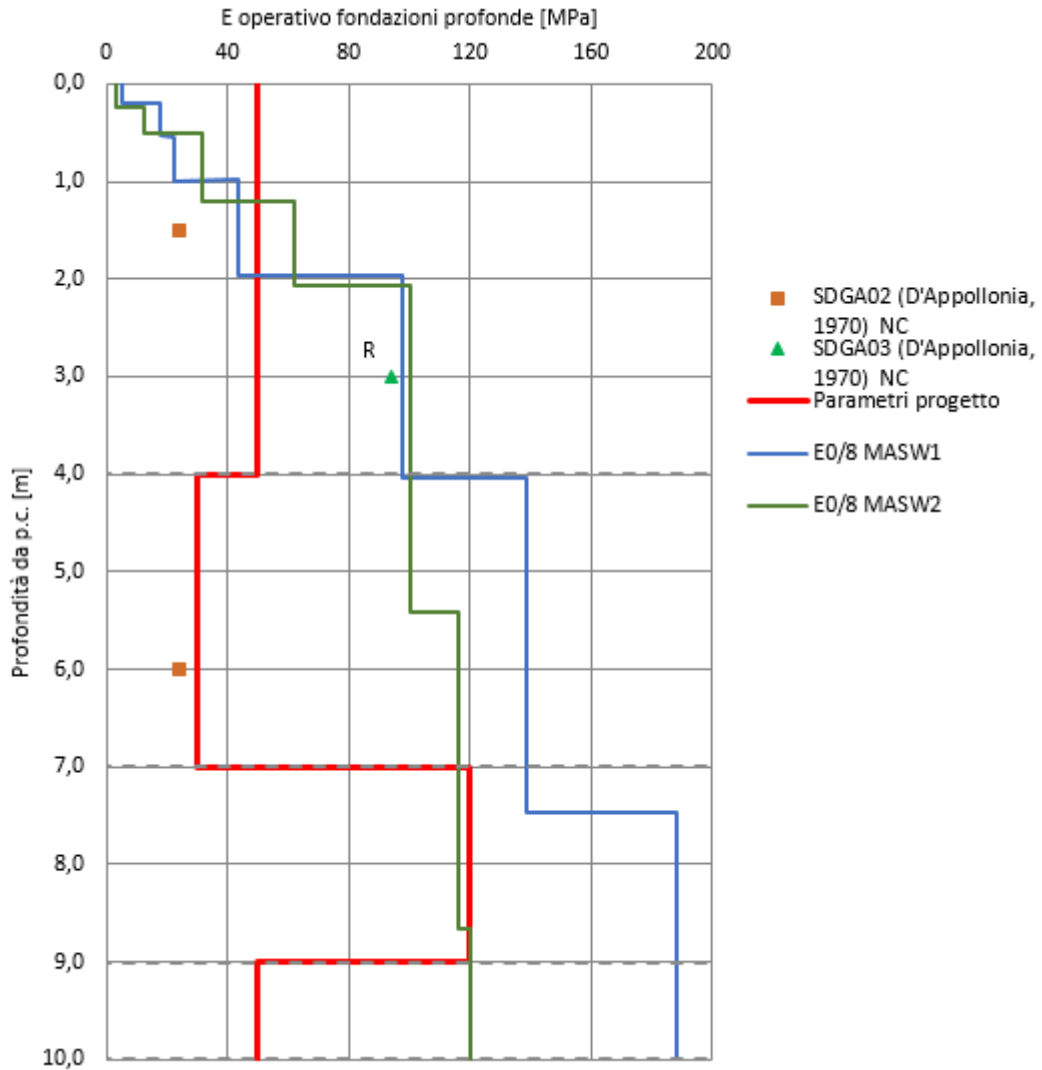


Figura 22: modulo operative E di progetto per le fondazioni profonde (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico del deposito

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO			
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	45 di 63			

5.3 Modello geotecnico dell'edificio di servizio

Per la definizione del modello geotecnico dell'edificio minore a sud del principale per l'adeguamento funzionale delle postazioni di lavoro/officina presenti nella rimessa si è fatto riferimento principalmente al sondaggio SDGA-01, che corrisponde al sondaggio più vicino all'ubicazione di tale edificio.

Il modello geotecnico della rimessa è riassunto dalla seguente tabella:

Unità	da	a	Spessore	γ/γ'	ν	ϕ'_k	c'_k	$c_{u,k}$	G_0	E_{ammasso}	$E_{\text{op, fondaz dirette}}$	$E_{\text{op, fondaz profonde}}$	r
	[m p.c.]	[m p.c.]	[m]	[kN/m ³]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
Ghiaia sabbiosa GS1	0	8	8	19/9	0,25	30	-	-	100	-	25	50	2,5
Ghiaia sabbiosa GS2	8	23	15	19/9	0,25	35	-	-	250	-	60	120	2,5
Limo argilloso	23	28	5	19/9	0,3	28	10	80	100	-	8	16	4
Ghiaia sabbiosa GS3	28	33	5	19/9	0,25	35	-	-	350	-	80	160	2,5
Calcare alterato	33	36	3	22/12	0,2	33	40	-	-	800	-	-	-
Calcare	36	40	4	25/15	0,2	40	75	-	-	2000	-	-	-

Dove:

- γ/γ' peso di volume del terreno / peso di volume immerso del terreno
- ν coefficiente di Poisson
- ϕ'_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
- $E_{\text{op, fondaz dirette}}$ modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione dirette)

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>46 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	46 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	46 di 63								

- 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.

Si riportano di seguito i grafici con i principali parametri di progetto e i parametri stimati dalle indagini eseguite.

Angolo di resistenza al taglio:

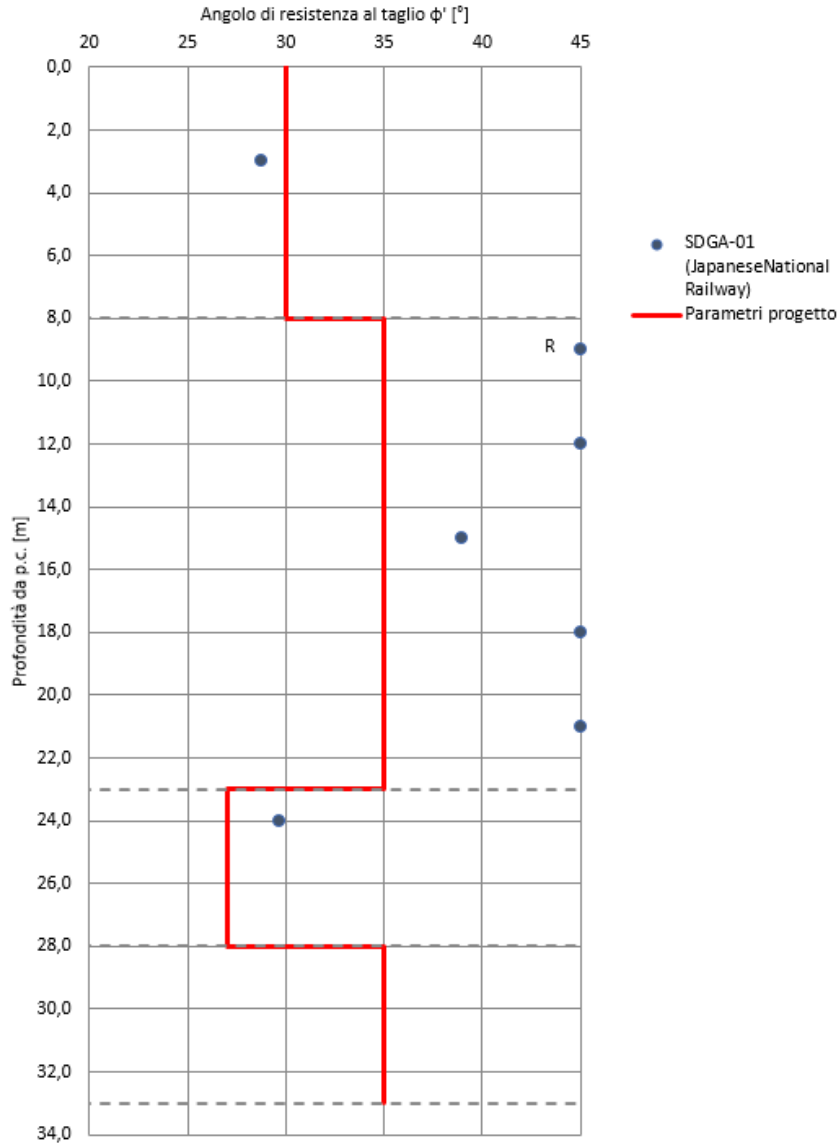


Figura 23: Angolo di resistenza al taglio di progetto (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico dell'edificio di servizio

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 48 di 63

Modulo di taglio alle piccole deformazioni G_0 :

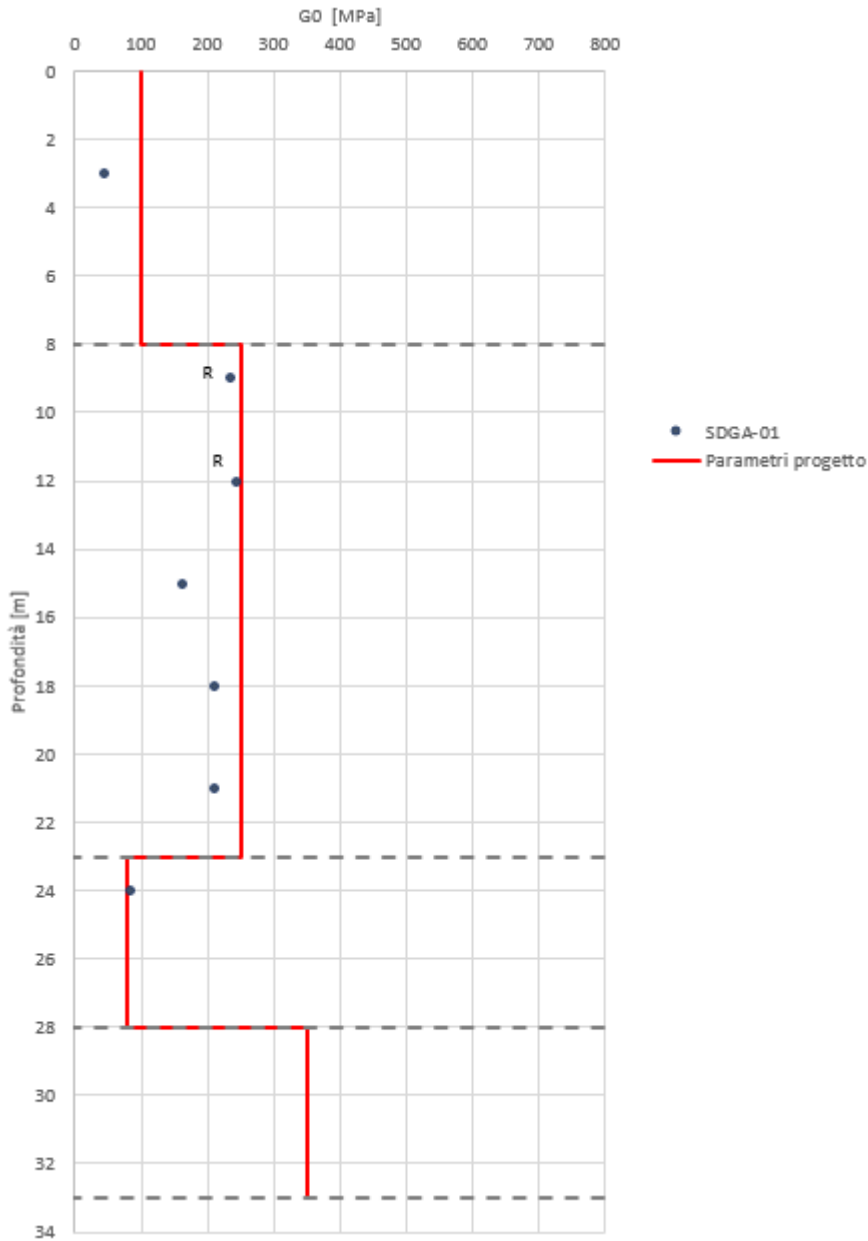


Figura 24: modulo di taglio alle piccole deformazioni G_0 di progetto (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico dell'edificio di servizio

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	49 di 63

Modulo operativo per fondazioni dirette:

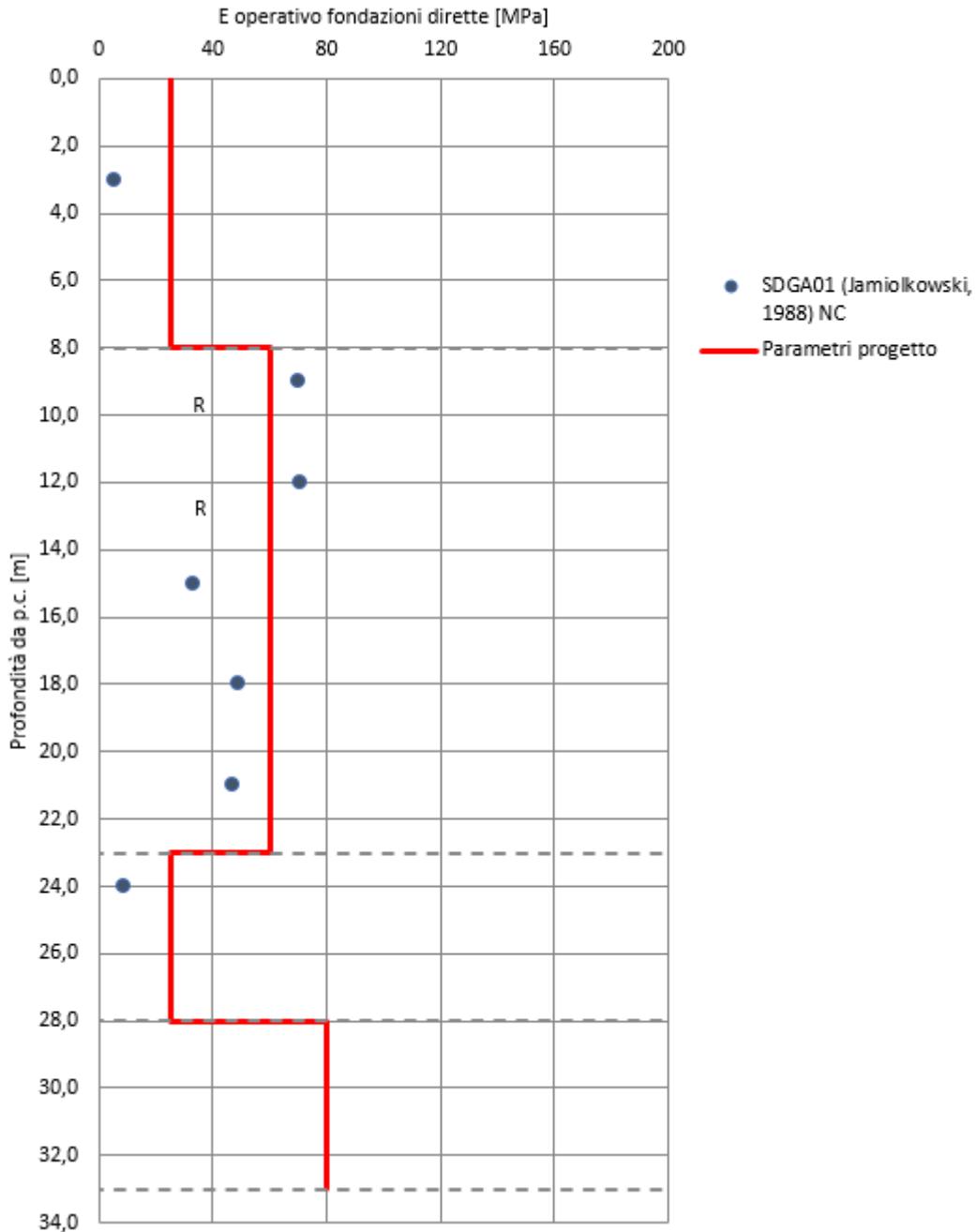


Figura 25: modulo operative E di progetto per le fondazioni dirette (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico dell'edificio di servizio

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	50 di 63

Modulo operativo per fondazioni profonde:

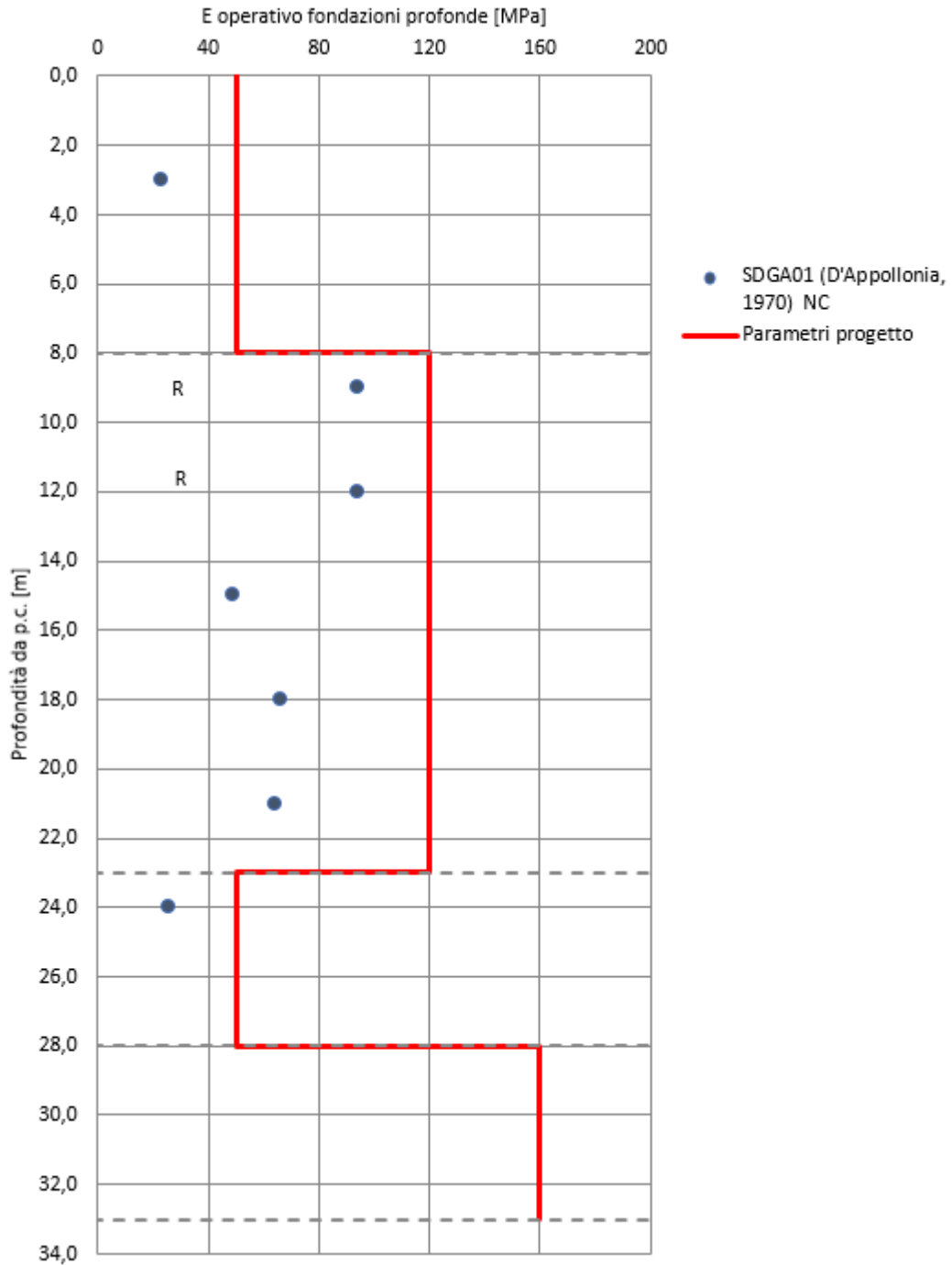


Figura 26: modulo operative E di progetto per le fondazioni profonde (linea rossa) in funzione della profondità per il modello geotecnico dell'edificio di servizio

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)		
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	51 di 63

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 27).

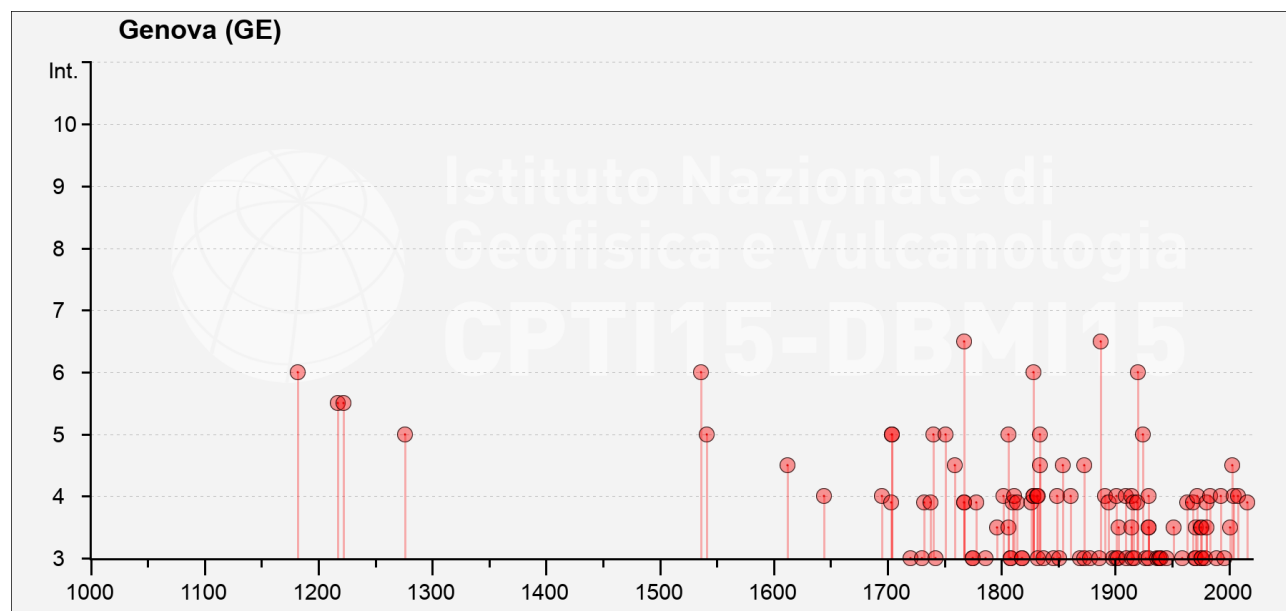


Figura 27 - Eventi sismici presso Genova (IT_33336- lat. 44.419, long. 8.898) dal 1000 al 2019, INGV.

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;
- 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

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>52 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	52 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	52 di 63								

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.

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,

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	53 di 63

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.

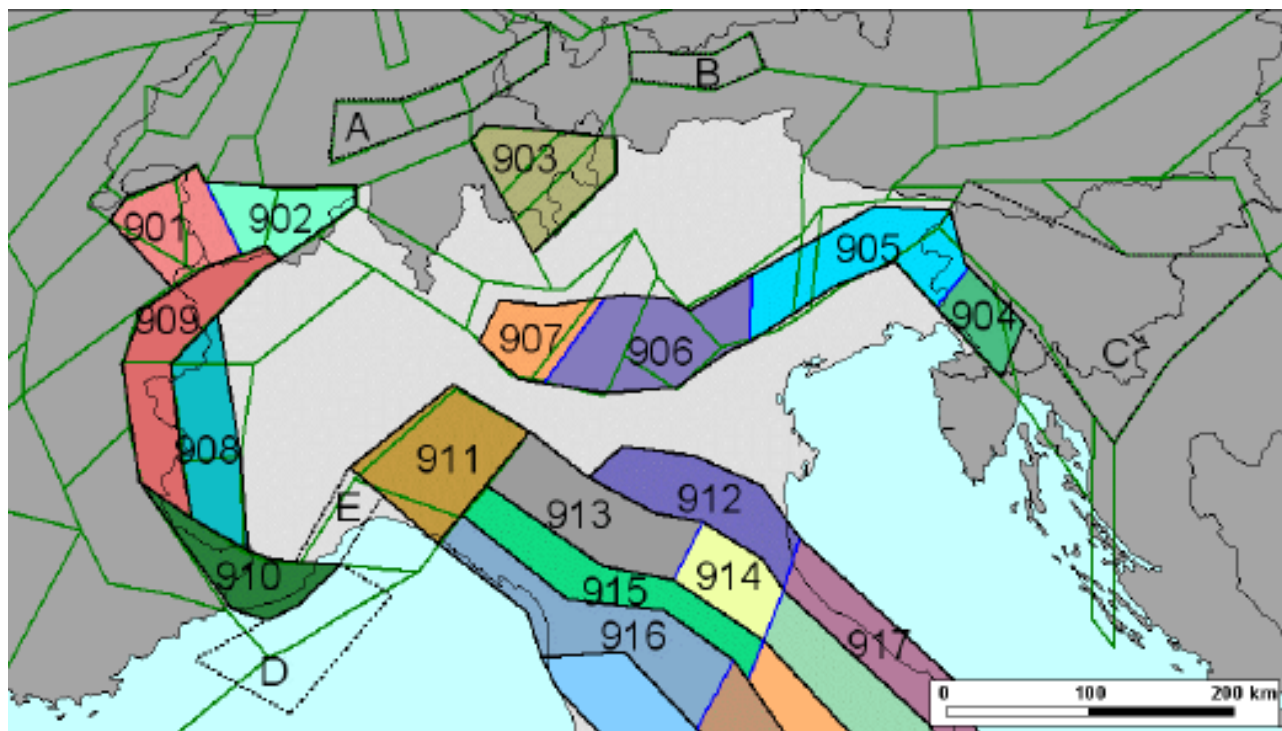


Figura 28 - Zonazione sismogenetica ZS9 del Nord Italia, INGV.

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, $a_g > 0,25$;
- 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; $0,05 < a_g \leq 0,15$.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	54 di 63

- 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 29. Il Comune di Genova secondo la citata classificazione corrisponde a una classe di bassa pericolosità sismica, la zona 3, con una accelerazione orizzontale massima $a_g = 0,15g$.

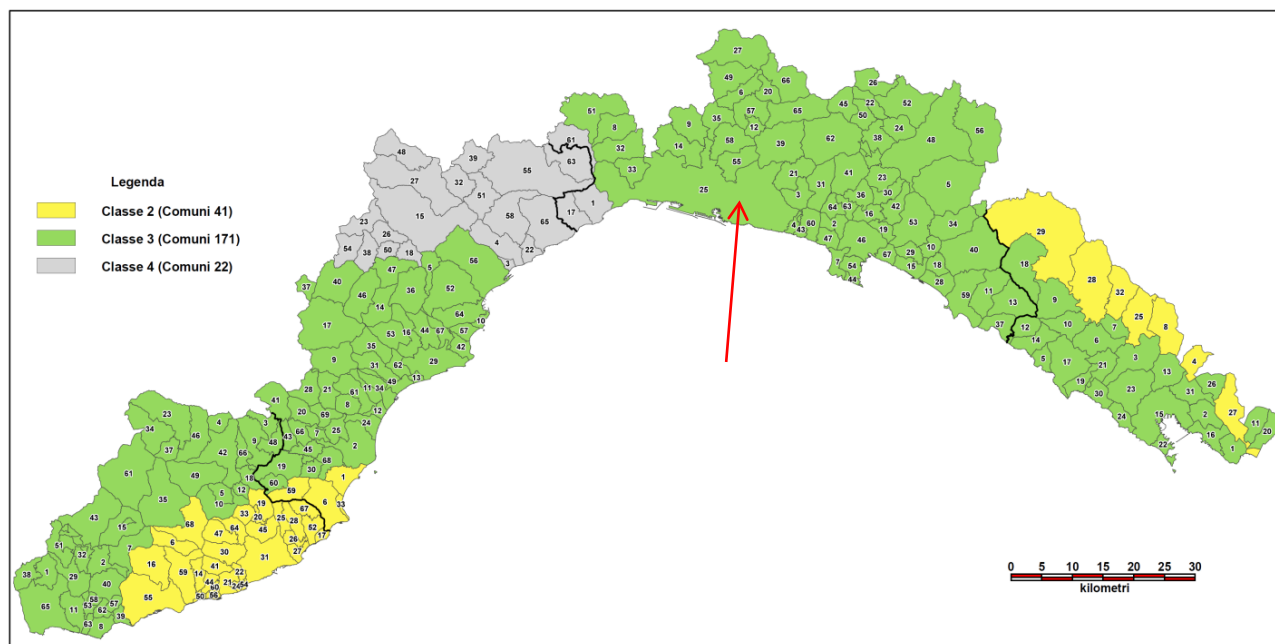


Figura 29 - O.P.C.M. 3519/2006: Mappatura zonizzazione sismica del territorio della Regione Liguria

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.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>55 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	55 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	55 di 63								

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.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	56 di 63

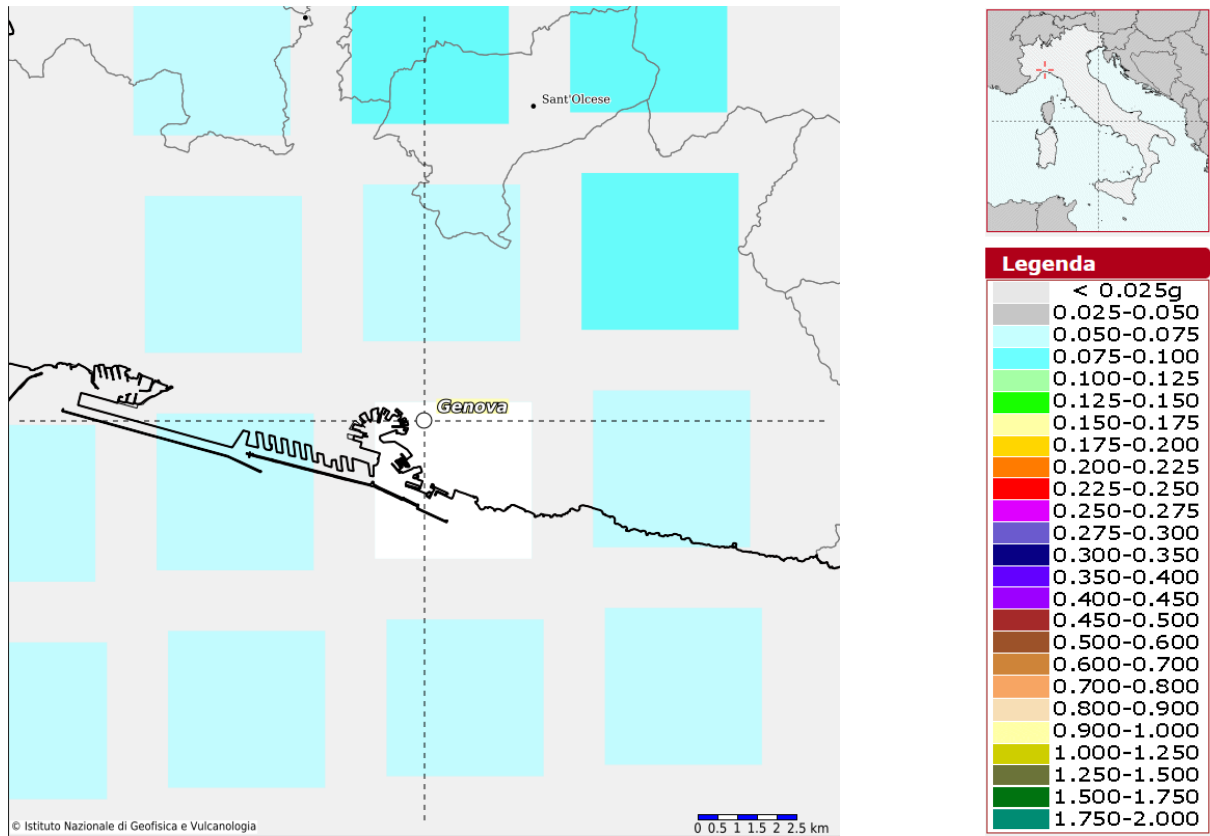


Figura 30 - Accelerazione massima orizzontale a_g di riferimento su suolo rigido con possibilità del superamento pari al 10% in 50 anni, dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

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 Gavette, le cui coordinate geografiche sono circa Lat. 44.4370° e Long. 8.8913° , sono stati ricavati attraverso l'applicativo "Spettri" elaborato dal M.LL.PP e vengono riportati nella seguente tabella.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	57 di 63

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,025	2,513	0,192
50	0,031	2,529	0,210
72	0,036	2,547	0,223
101	0,041	2,545	0,251
140	0,047	2,506	0,264
201	0,054	2,534	0,268
475	0,074	2,526	0,283
975	0,097	2,504	0,291
2475	0,135	2,489	0,297

Tabella 10 - 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 11). 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 11 - 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.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)		
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	58 di 63

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 12 - 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 :

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

La norma vigente 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 13):

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	59 di 63

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0,030	2,526	0,207
SLD	75	0,037	2,547	0,227
SLV	712	0,086	2,514	0,288
SLC	1462	0,112	2,498	0,294

Tabella 13 - 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 0.086g.

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 $V_{s,eq} = 411$ m/s. I risultati ottenuti dalla MASW2 indicano che i terreni di fondazione appartengono alla categoria F: *“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”* poiché $V_{s,eq} = 359$ m/s e il substrato è presente a profondità minore di 30 m.

Dato che la $V_{s,eq}$ relativa alla MASW2 è prossima al limite relativo alla categoria B (pari a 360 m/s), si assume che i terreni di fondazione appartengano alla categoria B, caratterizzata da $S_s=1.2$. 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*

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>60 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	60 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	60 di 63								

$i < 15^\circ$), caratterizzata da $S_t=1.0$. Con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), si ha:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.086g \times 1.2 \times 1.0 = 0.1032g$$

7.1 Stabilità nei confronti della liquefazione

Nell'area del deposito di Gavette il livello della falda è stato rilevato in data 23/07/2021 e tale rilevazione ha indicato delle profondità variabili da 4,55 m dalla sommità del sondaggio SDGA-01 a 9,41 m dalla sommità del sondaggio SDGA-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 4.55 m da p.c..

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0006 002	REV. D	FOGLIO 61 di 63

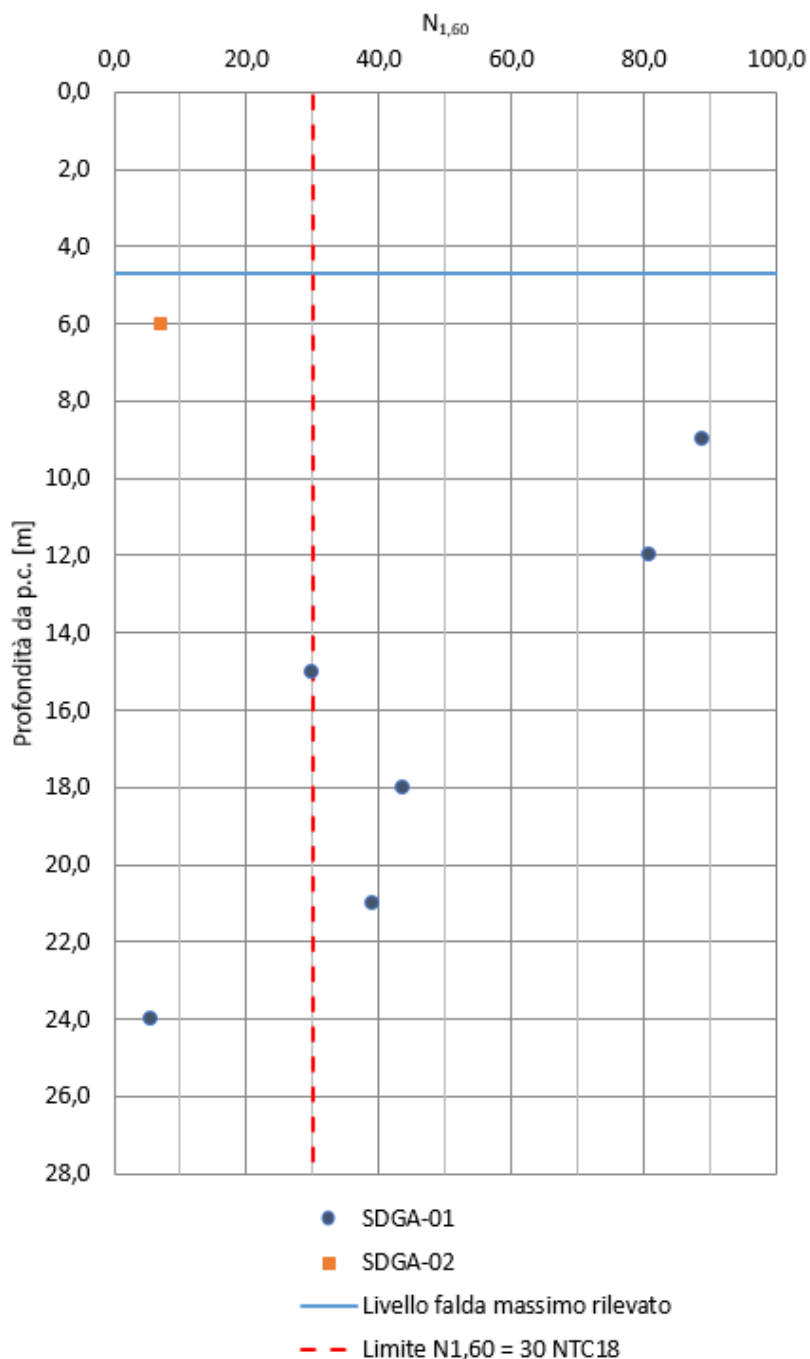


Figura 31: Grafico di $N_{1,60}$ in funzione della profondità

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

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	62 di 63

Boulanger (2004)) a partire dai risultati delle prove SPT. L'accelerazione massima attesa al piano campagna riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita è pari a 0.1032 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 32: 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 maggiore di sempre 1.4, non vi è dunque rischio di liquefazione.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
	<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>GE0006 002</td> <td>D</td> <td>63 di 63</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	63 di 63
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	GE	GE0006 002	D	63 di 63								

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 Gavette prevede pilastri su maglia 13 m x 13 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 6x6 m su 4 pali di diametro 1000-1200 mm, di lunghezza tale da garantire l'immorsamento della punta di almeno 1 diametro al di sotto della roccia sana e quindi con profondità media pari a 16÷7 m.