

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA CATANIA - SIRACUSA

DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

BY-PASS DI AUGUSTA

GEOTECNICA

Relazione Geotecnica Generale

SCALA:

-

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

RS60 00 R 11 RG GE0006 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	Pini	Ottobre 2022	L. Coscetti	Ottobre 2022	P. Carlesimo	Ottobre 2022	L. Berardi Ottobre 2022

File: RR0000R11RGGE0006001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	5
2.2	BIBLIOGRAFIA.....	5
2.3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO	8
3.1	ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE REGIONALE.....	8
3.2	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE	9
3.2.1	<i>Supersintema degli Iblei Settentrionali</i>	9
3.2.2	<i>Depositi continentali quaternari</i>	10
3.2.3	<i>Depositi marini e transazionali quaternari</i>	12
3.3	ASSETTO STRUTTURALE	12
3.4	INQUADRAMENTO SISMICO	13
3.4.1	<i>Vita Nominale, Classe d'Uso, Tempo di Ritorno</i>	14
3.4.2	<i>Stati limite, probabilità di superamento e periodi di ritorno</i>	15
3.4.3	<i>Risposta Sismica Locale</i>	16
4	CAMPAGNE DI INDAGINE UTILIZZATE PER LO STUDIO GEOTECNICO	18
4.1	CAMPAGNA DI INDAGINE ITALFERR 2022.....	18
5	INDICAZIONI SULLA FALDA	20
6	UNITÀ GEOTECNICHE	21
7	CRITERI E CORRELAZIONI UTILIZZATI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	24
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	24
7.2	TERRENI GRANULARI	24
7.3	TERRENI COESIVI	25

7.3.1	<i>Parametri di stato e caratteristiche fisiche</i>	25
7.3.2	<i>Parametri di resistenza</i>	25
7.3.3	<i>Parametri di rigidezza</i>	27
7.3.4	<i>Parametri edometrici determinati da prove di laboratorio</i>	30
7.3.5	<i>Permeabilità</i>	31
8	DETERMINAZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	32
8.1	SINTEMA LENTINI LEI2 (UG1)	33
8.1.1	<i>Caratteristiche fisiche</i>	33
8.1.2	<i>Parametri di resistenza</i>	36
8.1.3	<i>Parametri di rigidezza</i>	40
8.1.4	<i>Permeabilità</i>	50
8.2	SINTEMA DI AUGUSTA (AUG)	51
9	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	53
10	ASPETTI GEOTECNICI E SCELTE PROGETTUALI	54
11	PROGETTO DEL MONITORAGGIO RELATIVO AL BY-PASS DI AUGUSTA	58
11.1	MONITORAGGIO DELLE OPERE DI SOSTEGNO IN COSTRUZIONE E DEL TERRENO A TERGO DELL'AREA DI SCAVO	58
11.2	MONITORAGGIO SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI EDIFICI	59
11.3	MISURA DELLE DEFORMAZIONI DEI BINARI	62
11.4	MONITORAGGIO DEI VERSANTI INTERESSATI DA FENOMENI DI DISSESTO	64
11.5	MONITORAGGIO DEI RILEVATI	66
11.6	CEDIMENTI DEL PIANO CAMPAGNA E DELLA SOMMITÀ DEL RILEVATO	68
11.7	CEDIMENTI VERTICALI NEL TERRENO DI FONDAZIONE	69
11.8	PRESSIONI INTERSTIZIALI	70

1 PREMESSA

Nell'ambito dell'esecuzione dello "Studio geotecnico per il progetto di fattibilità tecnico economica del nuovo bypass ferroviario per il porto di Augusta (SR)", sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti geologici e geotecnici propedeutici alla redazione degli elaborati previsti dal progetto.

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica di progetto ed è redatto con riferimento alle risultanze della campagna di indagini condotta da Italferr nell'anno 2022.

La tratta di progetto è relativa al bypass ferroviario di Augusta, che si sviluppa per una lunghezza di circa 2.8 km nella tratta Catania-Siracusa, in prossimità del porto di Augusta.

L'area di studio si colloca a ridosso della costa sud-orientale ionica della Sicilia ed interessa il territorio del comune di Augusta, in provincia di Siracusa (SR).

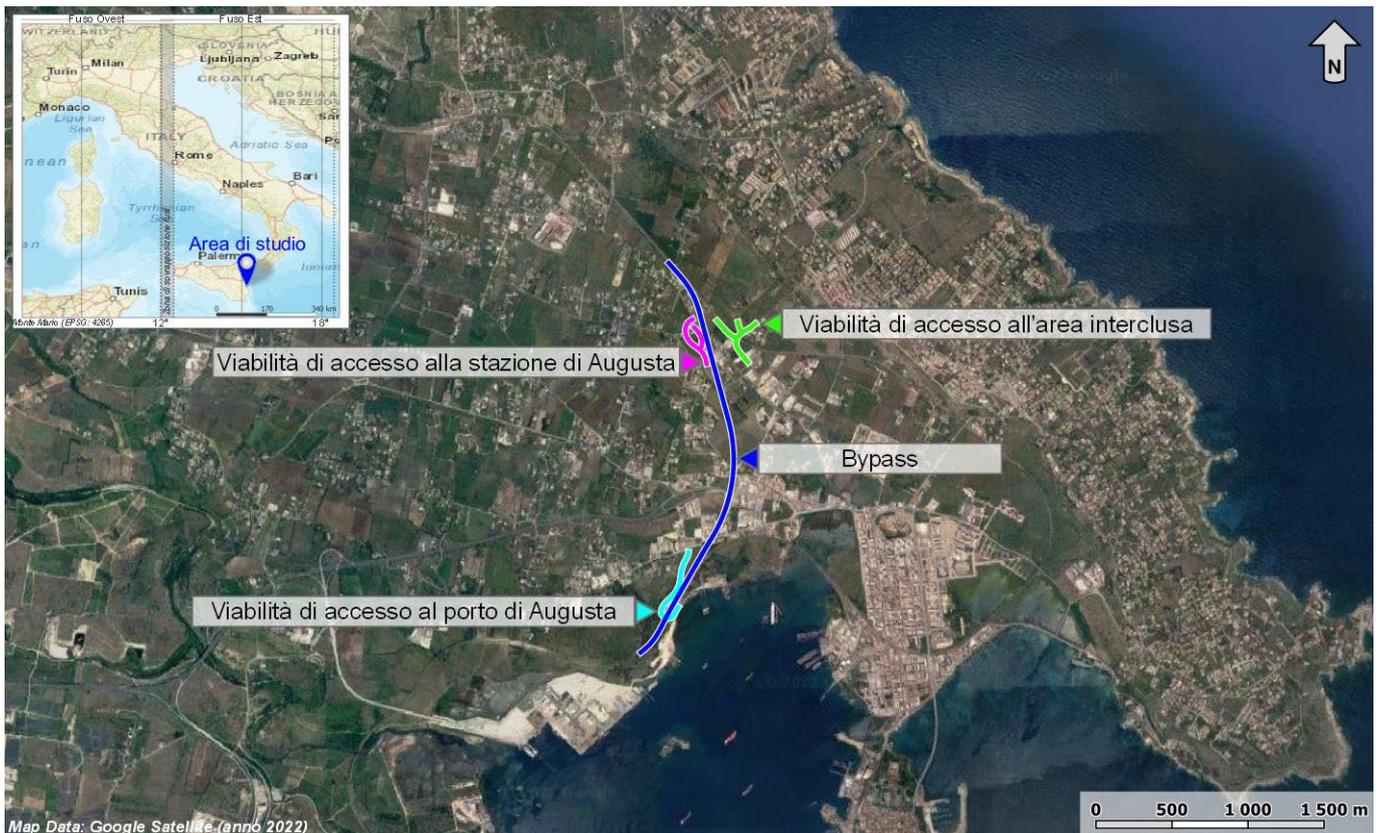


Figura 1-1 – Corografia in scala 1:50000 dell'area di studio geologico con individuazione delle opere in progetto (blu, magenta, verde, celeste).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 5 di 70

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno del Foglio 274 (Siracusa) in scala 1:100000, nelle Tavole 274-I-NO (Monte Tauro) e 274-I-SO (Augusta) in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Sicilia, negli elementi 641110 e 641150 in scala 1:10000.

Dal punto di vista orografico il tracciato di progetto impegna settori di territorio posti a quote comprese tra 7 m s.l.m. e 44 m s.l.m. circa. Dal punto di vista morfologico, l'area di studio si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti riconducibili alla fascia costiera ionica caratterizzata da pianure costiere.

2 **NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021 - "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI";
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – "Opere in terra e scavi" – RFI.
- [5] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

2.2 **BIBLIOGRAFIA**

- [6] Robertson, P.K. (1990). *Soil Classification using the CPT*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, 151-158.
- [7] Lambe T.W. & R. V. Whitman (1969). *Soil Mechanics*.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 6 di 70

- [8] Koutsoftas D.C. and Ladd C.C. (1985) Design strength of an offshore clay. JGED, ASCE, 3,337–355.
- [9] Look Burt (2007) Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables.
- [10] Lunne, T., Christophersen, H.P., Tjelta, T.I. (1985). Engineering use of piezocone data in North Sea clays. Proc. 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, 2. Balkema Pub, Rotterdam, pp. 907–912.
- [11] Stroud M.A. (1974) “The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks” Proceedings ESOPT I.
- [12] Stroud M.A. (1988) “The Standard Penetration Test – Its application and interpretation” Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- [13] Mayne, P.W., Campanella, R.G. (2005). Versatile site characterization by seismic piezocone. Proc. 16th Intl. Conf. Soil Mechanics & Geotechnical Engrg, Vol. 2 (Osaka), Millpress, Rotterdam: 721-724.
- [14] Robertson, P.K. (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46:1337-1355.
- [15] Vucetic M., Dobry R. (1991) “Effect of soil plasticity on cyclic response” Journal of Geotechnical Engineering, vol. 117, n° 1, pp. 89-107.
- [16] Jean-Louis Briaud. The pressuremeter.
- [17] TC16 (2001) - The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations - A Report by the ISSMGE Committee TC16. 41 pp. Reprinted in *Proc. 2*Versione italiana: Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. e Calabrese, M. (2001) - Il Dilatometro Piatto. *Atti XVIII Ciclo Conferenze di Geotecnica di Torino*, 50 pp. nd*Int. Conf. on the Flat Dilatometer, Washington D.C. (USA), April 2-5, 2006, 7-48.*
- [18] Marchetti, D., Marchetti, S., Monaco, P. e Totani, G. (2008) "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" - Protezione Civile - Gruppo di lavoro (2008) - *Università di L'Aquila - Dipartimento Ingegneria Strutture Acque e Terreno. Cap. 3.4.4.2.9 Prova DMT pp. 391-397; Cap. 3.4.4.2.10 Prova SDMT. pp. 397-405.*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 7 di 70

[19] Franch, J. (2014). Correlaciones Geotécnicas (5) y ensayos "in situ": el SPT y el módulo de deformación.

[20] Duncan, Buchignani (1976). An Engineering Manual for Settlement Studies.

[21] Kulhawy F.H. and Mayne P.W. (1990) Manual on estimating soil properties for foundation design. Electric Power Research Institute, EL-6800, Research Project 1493–6.

[22] M. Devincenzi & N. Frank (2004). "In situ geotechnical tests: execution and interpretation", IGEO TEST.

[23] Lancellotta, R (2009). Geotechnical Engineering – Second Edition. Taylor & Francis.

[24] Bruschi, A.(2014). Liquefazione dei terreni e fenomeni associati. Verifica – Calcolo – Prevenzione. Dario Flaccovio Editore.

2.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

[25] Indagini Geognostiche: Sondaggi e prove in foro: (Doc. RS6000R69SGGE0001001A)

[26] Indagini Geognostiche: Prove di Laboratorio: (Doc. RS6000R69PRGGE0001001A)

[27] Indagini Geognostiche: Indagini Geofisiche: (Doc. RS6000R69IGGE0001001A)

[28] Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica (Doc. RS6000R69RGGE0001001A)

[29] Carta idrogeologica e profilo idrogeologico: (Doc. RS6000R69L5GE0002001A)

[30] Carta geologico con elementi di geomorfologia e profilo geologico: (Doc. RS6000R69L5GE0001001A)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO

3.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE REGIONALE

L'area di studio ricade nel settore orientale della Sicilia, lungo il margine NE dei Monti Iblei. La zona di interesse si colloca a breve distanza dal litorale ionico e presenta una morfologia tipicamente basso-collinare, con ampie superficie terrazzate blandamente degradanti verso la costa. L'assetto geologico è caratterizzato dalla presenza di una spessa successione pelitica pleistocenica, su cui poggiano depositi di panchina tardo-pleistocenici e sedimenti marini, continentali e transizionali quaternari.

Il territorio siciliano presenta una conformazione geologica s.l. piuttosto articolata e complessa, strettamente legata ai differenti processi geodinamici e morfoevolutivi che si sono verificati nell'area durante il Quaternario (Lentini et al. 1991; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000, 2002; Carbone 2011), quali l'attività vulcano-tettonica, le variazioni del livello marino e l'attività antropica.

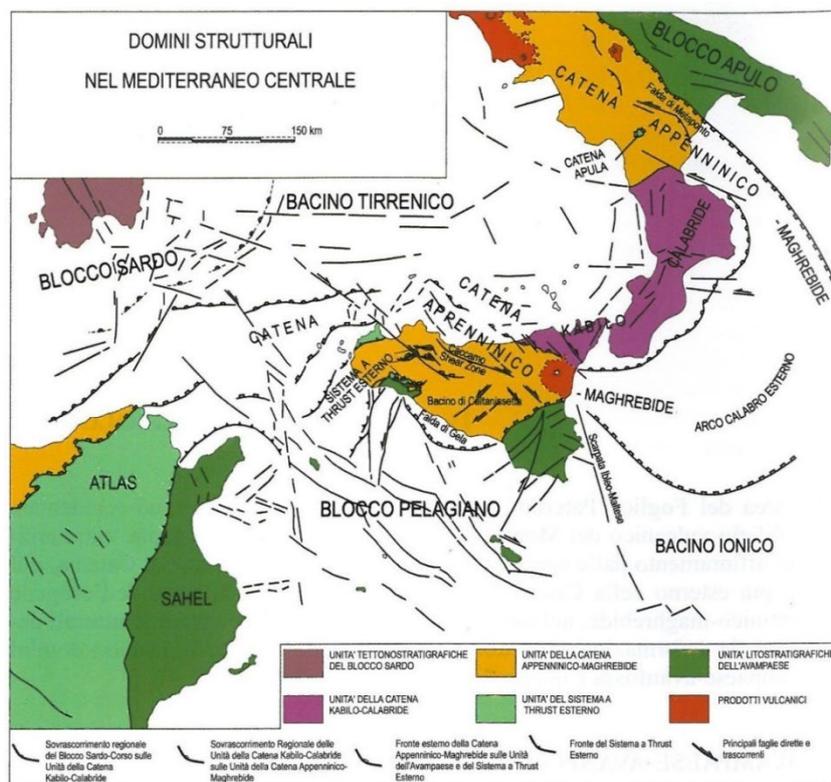


Figura 3-1 – Domini strutturali ed elementi tettonici nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995, modificato).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 9 di 70

3.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative sia a sequenze sedimentarie di substrato che a successioni clastiche di copertura. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti attraverso il rilevamento geologico di superficie e le numerose indagini geognostiche a disposizione.

Nei settori di stretto interesse progettuale sono state individuate e perimetrare numerose unità geologiche, di seguito descritte dal basso verso l'alto stratigrafico. Si sottolinea che, seguendo i criteri definiti dal Servizio Geologico (Pasquaré et al. 1992), le successioni sono state suddivise utilizzando unità stratigrafiche convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri e litofacies caratterizzate da peculiari caratteristiche litologiche, sedimentologiche e stratigrafiche.

3.2.1 *Supersintema degli Iblei Settentrionali*

Il substrato geologico dell'intera area di studio è suddivisibile in due unità, il Sintema Lentini e il Sintema Augusta. Si tratta di successioni marine di piattaforma continentale e spiaggia, ampiamente affioranti in tutto il settore di intervento.

3.2.1.1 *Sintema di Lentini*

La successione in esame è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui *Arctica islandica*; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.

3.2.1.2 *Sintema Augusta*

Il sintema in questione si rinviene nei settori occidentali e settentrionali dell'area di studio, prevalentemente lungo superfici terrazzate blandamente degradanti verso il Porto di Augusta. Stratigraficamente si tratta di depositi marini di piattaforma continentale e spiaggia, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-calcarenitica. Poggiano in contatto stratigrafico discordante

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 10 di 70

sui depositi del Sintema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 6 m. Sotto il profilo cronologico, tali depositi sono ascrivibili all'intervallo Pleistocene medio – Pleistocene superiore.

Questa unità è composta da sabbie fini e sabbie limose di colore avana e giallastro (AUG), in strati mal definiti di spessore centimetrico e decimetrico, con abbondanti resti fossili mal conservati rappresentati da faune “banali” ad *Ostrea* sp., *Glycimeris* sp. e pettinidi; si rinvencono frequenti intercalazioni di calcareniti e arenarie grossolane di colore giallastro, da mediamente a ben cementate, localmente vacuolari e con diffusi resti fossili, a stratificazione incrociata e/o ondulata; localmente sono presenti lenti di conglomerati ad elementi vulcanici e calcarei arrotondati di 5-20 cm di diametro, in matrice arenitica bruno-giallastra.

3.2.2 Depositi continentali quaternari

3.2.2.1 Depositi alluvionali recenti

I presenti litotipi si rinvencono, in lembi di limitata estensione, in corrispondenza di due piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione meridionale dell'area di studio, immediatamente a nord del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e mostrano uno spessore massimo di circa 4 m. Dal punto di vista cronologico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è composta prevalentemente da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (bb2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limosa grigiastra.

3.2.2.2 Depositi alluvionali attuali

I depositi in esame affiorano unicamente in corrispondenza degli alvei attuali di piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione meridionale della zona di intervento, in prossimità del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale e argine, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 1 m. Sotto il profilo cronostratigrafico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 11 di 70

Dal punto di vista litologico, l'unità è composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche (ba1), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

3.2.2.3 Coltri eluvio-colluviali

Tali terreni si rinvencono diffusamente come copertura delle unità geologiche di substrato, sia alla base dei rilievi presenti in prossimità della costa che all'interno delle principali depressioni impluviali. Si tratta di depositi continentali di versante, dilavamento e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argilloso. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 4 m. Anche questa unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è formata essenzialmente da limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

3.2.2.4 Riporti antropici

I presenti depositi si rinvencono diffusamente in corrispondenza delle principali strutture e infrastrutture antropiche, oltre che in tutta la zona del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 9 m. L'unità è interamente riferibile al periodo Attuale.

In generale, i riporti sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (h), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 12 di 70

3.2.3 Depositi marini e transazionali quaternari

3.2.3.1 Depositi di spiaggia attuali

Tali depositi si rinvencono nel settore sud-orientale dell'area di studio, in prossimità del litorale ionico. Si tratta di depositi marini di spiaggia e cordone litoraneo, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limoso. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 8 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i terreni in esame sono riferibili all'Olocene – Attuale.

L'unità è formata da sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (g2), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvencono diffusi e discontinui lag conchigliari con abbondanti resti di *Tellina* sp., *Cardidae* e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.

3.3 ASSETTO STRUTTURALE

L'area di studio presenta quindi un assetto strutturale estremamente semplice e regolare, in quanto connesso a successioni marine e continentali piuttosto recenti. I termini pelitici del substrato, riferibili al Subsintema di Scordia (LEI2) mostrano un assetto prevalentemente sub-orizzontale o debolmente inclinato verso la costa. Solo nei settori esterni del Bacino di Augusta è possibile osservare un assetto blandamente immergente verso il depocentro, con angoli che comunque non superano quasi mai i 5-10° circa.

I depositi terrazzati del Sintema di Augusta (AUG) poggiano con una superficie fortemente erosiva sui depositi pelitici più antichi e presentano un assetto generalmente immergente verso la costa. Solo localmente è possibile osservare una debole inclinazione verso la zona centrale del Bacino di Augusta, con angoli generalmente inferiori a quelli del Subsintema di Scordia (LEI2).

In tutta l'area di interesse progettuale non sono stati osservati elementi tettonici quali faglie, thrust e pieghe. L'assenza di questi elementi è connessa sia alla presenza di diffuse coperture oloceniche, che tendono a mascherare le strutture più antiche, che all'età relativamente recente dei termini di substrato e alla natura prevalentemente pelitica degli stessi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 13 di 70

3.4 INQUADRAMENTO SISMICO

Richiamando quanto già riportato nella Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica (doc[28]), nel presente paragrafo vengono riassunti gli aspetti principali relativi alla sismicità dell'area oggetto di studio.

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

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

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto (considerati su sottosuolo rigido di riferimento) è definita dai seguenti parametri:

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

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

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono continue e graduali. Successivamente verrà mantenuta, infatti, la classificazione secondo la quale il territorio nazionale è suddivisibile in quattro differenti classi sismiche, ma a scopo esclusivamente amministrativo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 14 di 70

3.4.1 Vita Nominale, Classe d'Uso, Tempo di Ritorno

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

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

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

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

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

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso $C_U = 0.7$.
- Classe II: ... *omissis* ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... *omissis* Per le quali $C_U = 1.0$.
- Classe III: ... *omissis* ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... *omissis* ... Per le quali $C_U = 1.5$.
- Classe IV: ... *omissis* ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... *omissis* ... Per le quali $C_U = 2$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 15 di 70

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso II ($C_U = 1$)

Pertanto l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento pari a:

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

3.4.2 Stati limite, probabilità di superamento e periodi di ritorno

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione della probabilità di superamento P_{VR} dipendente dagli Stati Limite di verifica e correlata a periodo di ritorno (T_R) e periodo di riferimento (V_R) attraverso la seguente formulazione

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

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

Stato Limite Ultimo (SLU)

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontale. Ad esso è associata una probabilità di superamento $P_{VR}=10\%$;
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali. Ad SLC è associata una $P_{VR}=5\%$.

Stato limite di Esercizio (SLE)

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico ($P_{VR}=81\%$);
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo ($P_{VR}=63\%$).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A

Considerando il periodo di riferimento assunto ($V_R=75$ anni), ai quattro stati limite sopra descritti corrispondono i tempi di ritorno T_R riportati in Tabella:

Tabella 1: Periodi di ritorno per l'azione sismica, per i diversi stati limite e relativi alla V_R assunta in progetto ($V_R = 75$ anni).

STATO LIMITE	T_R , anni
SLO	45
SLD	75
SLV	712
SLC	1462

3.4.3 Risposta Sismica Locale

Per i fini del presente studio, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati sulla base dell'approccio semplificato fornito dalle NTC2018, le quali definiscono un fattore di sito S di amplificazione sismica come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

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

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

dove:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 17 di 70

Per il sito in esame, i risultati delle 4 prove MASW e dalla prove di rifrazione sismica richiamate nei Doc Rif. [27] forniscono valori di $V_{s,30}$ riferibili alle classi di sottosuolo C, riportati nella tabella seguente. In ogni caso, si suggeriscono comunque approfondimenti per la fasi progettuali successive.

Tabella 2: Risultati prove MASW

Prova	V_{s30} [m/s]	Categoria di suolo
MASW 1	201	C
MASW 2	190	C
MASW 3	200	C
MASW 4	225	C

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il tracciato è stato classificato in categoria T1 ($S_T = 1$), sempre sulla base delle informazioni fornite nella Relazione Geologica (Doc. Rif. [28]).

Il fattore di sito S e l'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ ottenuti lungo il tracciato per il periodo di ritorno calcolato allo SLV è riportato in tabella:

Tabella 3 Valori di a_g , F_0 , T_c^* per ogni Stato Limite considerato

Stato limite	P_{VR}	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLV	10%	712	0.284	2.315	0.447

Tabella 4 Valori dei coefficienti di sito S e dell'accelerazione di progetto a_{max}

SLV - $T_R =$			
CATEGORIA	S_s	C_c	a_{max} (g)
C	1,31	1,37	0,372

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A

4 CAMPAGNE DI INDAGINE UTILIZZATE PER LO STUDIO GEOTECNICO

Per la redazione del presente studio sono stati principalmente utilizzati i risultati delle indagini geognostiche in sito e geotecniche di laboratorio della campagna eseguita da Italferr nell'anno 2022, (Doc. Rif. [25][26][27]).

4.1 CAMPAGNA DI INDAGINE ITALFERR 2022

La campagna di indagine realizzata nel corso dell'estate 2022 ha previsto:

- n.6 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni ;
- n.4 rilievi sismici MASW;
- n.4 indagini SRT.

Nei fori di sondaggio si sono eseguite le seguenti tipologie di prove:

- prove SPT;
- prove di permeabilità Lefranc a carico Variabile;
- prove pressiometriche;

Nella seguente tabella sono riportati gli identificativi dei sondaggi a carotaggio continuo con le rispettive lunghezze e l'indicazione dei campioni prelevati.

Con riferimento ai campioni prelevati all'interno dei sondaggi, la dicitura "la dicitura "CI" si riferisce a campioni indisturbati. Questi ultimi sono stati utilizzati per quantificare, oltre alle grandezze pesi specifici, limiti di Atterberg, composizioni granulometriche, ecc. anche i parametri di resistenza (tramite prove di taglio diretto e triassiali) e rigidità (tramite prove di compressibilità edometrica).

Tabella 5 Elenco dei sondaggi (a carotaggio continuo) eseguiti lungo il tracciato

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	Descrizione terreno
BH2_DH	CI1	3,0-3,5	SABBIA CON LIMO GHIAIOSA DEBOLMENTE ARGILLOSA
	CI2	6,0-6,5	ARGILLA CON LIMO
	CI3	24,0-24,4	LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO
	CI4	30,0-30,3	ARGILLA CON LIMO
	CI5	36,0-36,35	LIMO CON ARGILLA
BH3_PZ	CI1	4,0-4,5	LIMO CON ARGILLA
	CI2	8,0-8,4	ARGILLA CON LIMO
	CI3	13,0-13,4	LIMO CON ARGILLA
	CI4	20,0-20,4	LIMO CON ARGILLA
	CI5	35,0-35,3	LIMO CON ARGILLA
BH4_DH	CI1	2,0-2,4	ARGILLA CON LIMO
	CI2	6,0-6,4	LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO
	CI3	10,8-11,2	LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO
	CI4	21,0-21,4	LIMO CON ARGILLA
BH5_DH	CI1	1,5-2,0	ARGILLA CON LIMO
	CI2	3,0-3,5	ARGILLA CON LIMO
	CI3	5,0-5,5	ARGILLA CON LIMO
	CI4	7,0-7,5	LIMO CON ARGILLA
	CI5	12,0-12,5	ARGILLA CON LIMO

Sui campioni prelevati nel corso delle prove in situ sono state eseguite:

- n.19 prove edometriche (ED);
- n.6 prove triassiali non consolidate non drenate (UU);
- n.7 prove triassiali consolidate non drenate (CU);
- n.6 prove di taglio diretto (TD).

Tabella 6: Elenco delle prove di laboratorio

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	TD	CU	UU	ED
BH2_DH	CI1	3,0-3,5	x			x
	CI2	6,0-6,5			x	x
	CI3	24,0-24,4	x	x		x
	CI4	30,0-30,3	x			x
	CI5	36,0-36,35				x
BH3_PZ	CI1	4,0-4,5			x	x
	CI2	8,0-8,4	x			x
	CI3	13,0-13,4			x	x
	CI4	20,0-20,4		x		x
	CI5	35,0-35,3	x			x
BH4_DH	CI1	2,0-2,4		x		x
	CI2	6,0-6,4			x	x
	CI3	10,8-11,2		x		x
	CI4	21,0-21,4	x			x
BH5_DH	CI1	1,5-2,0		x		x
	CI2	3,0-3,5			x	x
	CI3	5,0-5,5		x		x
	CI4	7,0-7,5			x	x
	CI5	12,0-12,5		x		x

5 INDICAZIONI SULLA FALDA

I livelli di falda sono stati definiti a partire dalle valutazioni idrogeologiche riportate negli specifici elaborati (Doc. Rif. [28][29]) e sulla base delle letture piezometriche disponibili effettuate nell'ambito della campagna Italferr 2022. Dalla campagna di indagini svolta, il livello di falda risulta oscillante lungo il tracciato tra i 1,5 m e i 7 m di profondità dal piano campagna.

6 UNITÀ GEOTECNICHE

A partire dal modello geologico locale e sulla base dell'interpretazione dei risultati delle indagini disponibili, sono state identificate le unità geotecniche di riferimento.

Per l'individuazione delle unità geotecniche sono stati analizzati e correlati i dati stratigrafici corrispondenti alle verticali di sondaggio delle diverse campagne di indagine e i risultati delle prove in sito e di laboratorio disponibili.

I criteri e le correlazioni utilizzate per la interpretazione delle prove geotecniche in sito e di laboratorio e la definizione dei valori caratteristici dei parametri meccanici delle singole unità geotecniche sono illustrati rispettivamente ai capitoli 7 e 8.

Si riportano di seguito le descrizioni delle unità geotecniche individuate:

- **R** – Riporti antropici (**h**), Coltri eluvio-colluviali (**b2**), Depositi alluvionali attuali (**ba1**), Depositi alluvionali recenti (**bb2**), Depositi di spiaggia attuali (**g2**);
- **UG1**- Sintema Lentini (**LEI2**);
- **UG2** –Sintema Augusta (**AUG**).

Tabella 7: Sintesi delle unità geotecniche individuate

Unità Geotecniche		
Unità Geotecnica	Unità Geologica	Descrizione
R	h – Riporti antropici	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche (h), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.</i>
	b2 – Coltri eluvio-colluviali	<i>Limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.</i>
	ba1 – Depositi alluvionali attuali	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche (ba1), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.</i>
	bb2 – Depositi alluvionali recenti	<i>sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (bb2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limosa grigiastrea.</i>
	g2 – Depositi di spiaggia attuali	<i>Sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (g2), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvencono diffusi e</i>

		<i>discontinui lag conchigliari con abbondanti resti di Tellina sp., Cardidae e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.</i>
UG1	LEI2 - Sintema Lentini	<i>La successione in esame è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui Arctica islandica; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.</i>
UG2	AUG - Sintema Augusta	<i>sabbie fini e sabbie limose di colore avana e giallastro (AUG), in strati mal definiti di spessore centimetrico e decimetrico, con abbondanti resti fossili mal conservati rappresentati da faune "banali" ad Ostrea sp., Glycimeris sp. e pettinidi; si rinvengono frequenti intercalazioni di calcareniti e arenarie grossolane di colore giallastro, da mediamente a ben cementate, localmente vacuolari e con diffusi resti fossili, a stratificazione incrociata e/o ondulata; localmente sono presenti lenti di conglomerati ad elementi vulcanici e calcarei arrotondati di 5-20 cm di diametro, in matrice arenitica bruno-giallastra.</i>

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 24 di 70

7 CRITERI E CORRELAZIONI UTILIZZATI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

A partire dal modello geologico locale e sulla base dell'interpretazione dei risultati delle indagini disponibili, sono state identificate le unità geotecniche di riferimento.

Per l'individuazione delle unità geotecniche sono stati analizzati e correlati i dati stratigrafici corrispondenti alle verticali di sondaggio delle diverse campagne di indagine e i risultati delle prove in sito e di laboratorio disponibili.

Tra i criteri adottati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni si è tenuto conto che nell'area di studio sono presenti unità riconducibili ad un comportamento prettamente coesivo.

In funzione di tale schematica suddivisione sono state implementate le correlazioni ritenute più significative per la determinazione dei parametri di resistenza e di deformabilità di interesse, a partire dai risultati delle prove in sito e delle prove di laboratorio.

Si osserva che tra i criteri utilizzati per la definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici è inclusa un'analisi comparativa finalizzata alla migliore stima: i valori ottenuti dalla interpretazione delle prove disponibili sono stati analizzati criticamente e confrontati con i valori riferiti agli stessi parametri ma ottenuti con diverse metodologie.

7.2 TERRENI GRANULARI

Nell'ambito del progetto in argomento i terreni granulari sono costituiti solo dai depositi superficiali, di spessore pari a circa 1,50m da p.c. Si tratta di sabbie da medie a grossolane, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta o debolmente laminata, talora in strati da molto sottili a medi, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvengono lenti e/o livelli di argille limose, limi, sabbie ghiaiose e ghiaie poligeniche. Tali depositi non sono stati interessati da indagini specifiche, pertanto la caratterizzazione geotecnica è condotta facendo riferimento ai valori tipici di letteratura.

Come detto in precedenza, nel settore occidentale e settentrionale dell'area di studio (campione prelevato alla profondità di circa 3-3,5m dal p.c. nel sondaggio BH2_DH) si apprezza la presenza del Sistema di Augusta, costituito da una singola litofacies a composizione sabbioso-calcarenitica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 25 di 70

Per la valutazione dell'angolo di attrito sono state considerate le prove SPT svolte alla profondità del campione in esame e rielaborate mediante le relazioni sotto descritte:

7.2.1.1.1 Angolo di attrito da prove SPT

Per la caratterizzazione meccanica è stato fatto riferimento a correlazioni empiriche di letteratura dirette, ovvero che legano il numero di colpi della prova SPT (NSPT) direttamente con le grandezze di interesse.

- Shioi&Fukuni Road Bridge Specification (1982): $\varphi' = \sqrt{15 * N_{spt}} + 15$
- Shioi&Fukuni Japanese National Railway (1982): $\varphi' = 0,3 * N_{spt} + 27$

7.3 TERRENI COESIVI

In questa sezione si riportano i criteri utilizzati per caratterizzare i terreni prevalentemente coesivi:

7.3.1 **Parametri di stato e caratteristiche fisiche**

La valutazione dei parametri di stato e delle caratteristiche fisiche verrà fatta principalmente sulla base dell'interpretazione delle prove di laboratorio.

7.3.2 **Parametri di resistenza**

7.3.2.1 *Condizioni non drenate*

La resistenza al taglio non drenata c_u dei terreni coesivi è stata valutata facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio disponibili e sulla base delle misurazioni effettuate in sito, oppure facendo ricorso a specifiche correlazioni con prove SPT.

7.3.2.1.1 Coessione non drenata da prove di laboratorio

Le prove di laboratorio disponibili nel presente progetto per la misura della c_u sono

- n.2 triassiali TxUU,

7.3.2.2 Condizioni drenate

7.3.2.2.1 Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio

Le prove di laboratorio disponibili nel presente progetto per la misura della angolo di attrito e della coesione efficace sono:

- n.7 triassiali TxCU;
- n. 6 TD.

Nel successivo capitolo 8 verranno confrontati e discussi i valori ottenuti dalle citate prove.

7.3.2.2.2 Angolo d'attrito da Indice di Plasticità

Per la correlazione tra l'angolo di attrito dei depositi coesivi e le caratteristiche di plasticità degli stessi si è fatto riferimento allo studio di Lambe and Whitman (1979) Doc.Rif. [7]; gli autori in particolare hanno identificato una correlazione che esprime l'angolo di attrito in funzione dell'Indice di plasticità. Questa correlazione è riprodotta nella figura seguente, e può essere espressa dalla seguente equazione: $\varphi' = 50 - 14 \log (PI)$

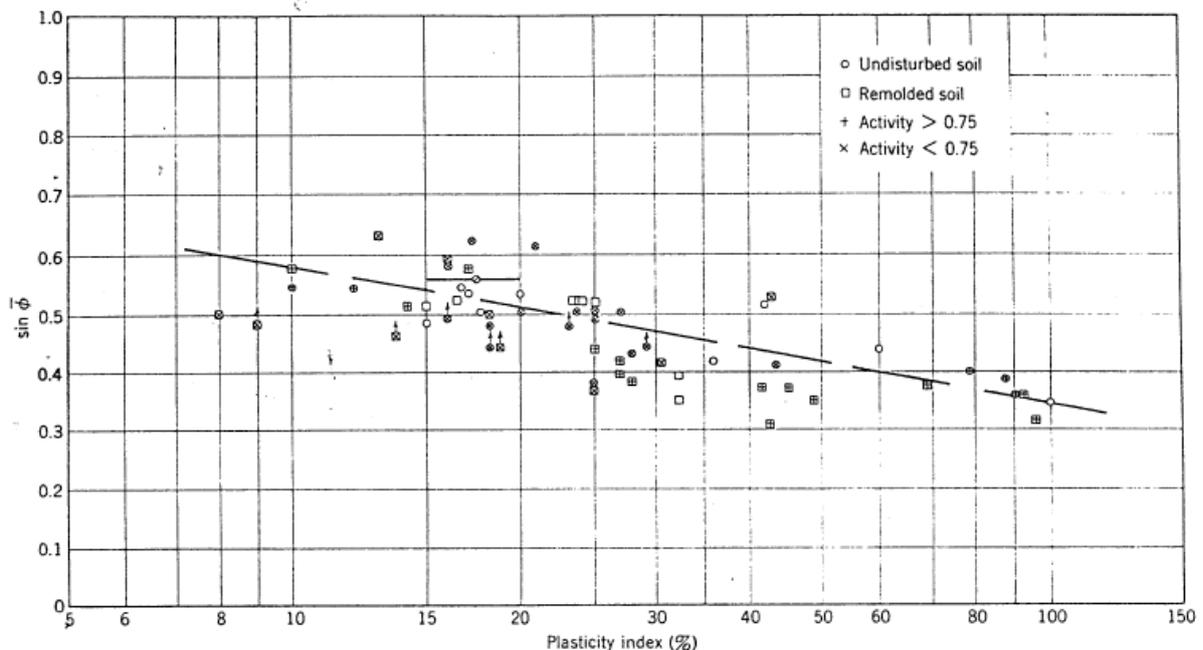


Figura 7-1: Dipendenza dell'angolo di attrito con l'Indice di Plasticità (Kenney, 1959)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 27 di 70

7.3.3 Parametri di rigidezza

In questo paragrafo verranno brevemente descritte le procedure che saranno utilizzate per assegnare alle unità coesive i valori dei moduli di rigidezza.

7.3.3.1 Modulo elastico a basse deformazioni

I moduli elastici di taglio (G_0) e di Young (E_0) a basse deformazioni possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

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

Essendo:

- γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3 ;
- ν' = rapporto di Poisson del terreno;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere invece ottenuta da misure dirette tramite prove geofisiche *Down-Hole*, *Cross-Hole*, *S-CPTU*, ecc. o eventualmente estratte da correlazioni con altre prove in sito tipo SPT.

Il modulo operativo E_{op} è stato calcolato pari a $\frac{1}{10}$ di E_0 .

7.3.3.2 Modulo Elastico da Prove Pressiometriche e Dilatometriche in foro

La prova pressiometrica si effettua entro un sondaggio di diametro convenzionale e consiste nell'applicare progressivamente una pressione radiale, per mezzo di una sonda dilatabile, all'interno del sondaggio, misurando lo spostamento che induce nel terreno circostante. Una volta raggiunta la pressione massima ammissibile, si procede a scaricare il pressiometro, per gradi, misurando le deformazioni durante la fase di scarico. Nella prova di tipo Menard (MPM), la sonda espandibile è installata in un foro precostituito. In base alla tipologia e alle caratteristiche del terreno indagato, si ottiene la curva pressioni-deformazioni, nella quale si distinguono una fase iniziale (o di messa in

contatto della sonda con le pareti del sondaggio), una fase elastica lineare ed un'ultima fase plastica (o di deformazioni irreversibili), fino al punto di rottura del materiale.

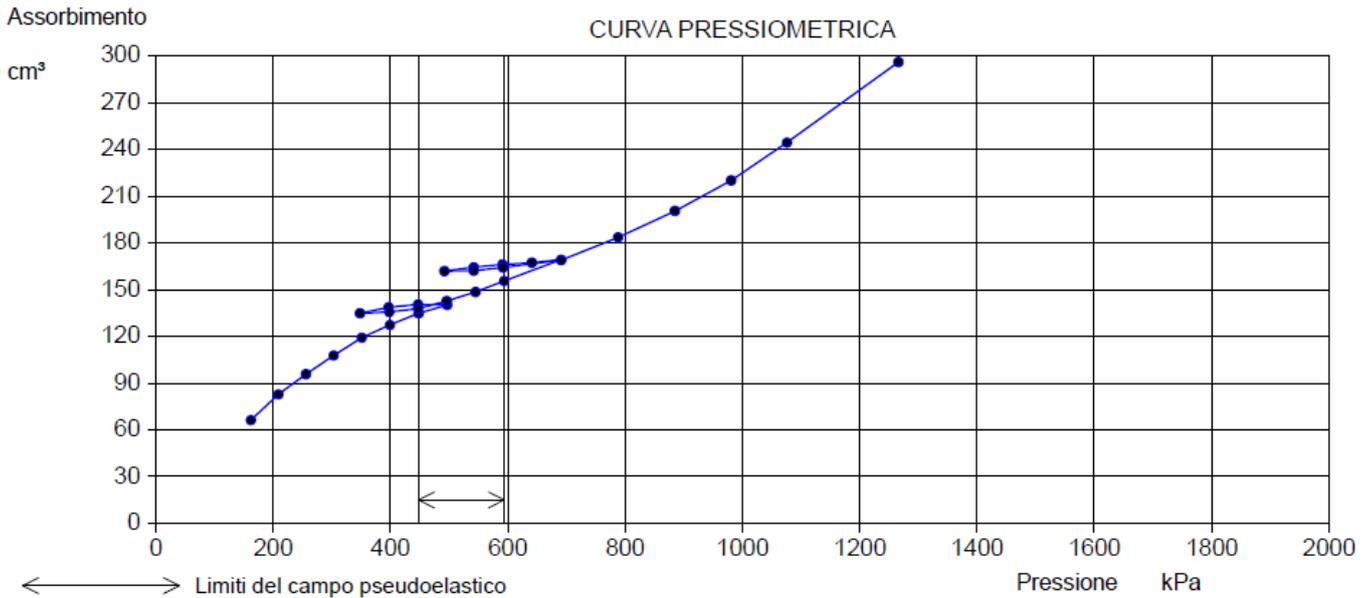


Figura 7-2: Esempio di curva pressiométrica con identificazione del campo elastico

In base a questa curva è possibile, si calcola la pressione di scorrimento (P_F , ovvero la pressione alla quale il materiale cessa di comportarsi elasticamente), e la pressione limite (P_L , che rappresenta la pressione alla quale avviene la rottura del terreno. Infine si ottiene il modulo di deformazione pressiométrico E_p , in base alla seguente espressione:

$$E_p = (1 + \nu) \cdot M \cdot r,$$

ove ν è il coefficiente di Poisson, M è la rigidità del terreno (calcolata dalla pendenza del tratto elastico della curva pressiométrica) e r è il raggio del foro del sondaggio.

Una volta ottenuto il modulo pressiométrico, è possibile ricavare il modulo di Young (E) applicando un fattore reologico α in funzione del tipo di materiale e del suo grado di consolidazione (si veda Tabella sottostante): $E = E_p / \alpha$.

Soil type	Peat		Clay		Silt		Sand		Sand and gravel	
	E/p_L^*	α	E/p_L^*	α	E/p_L^*	α	E/p_L^*	α	E/p_L^*	α
Over-consolidated			> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normally consolidated	For all values	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Weathered and/or remoulded			7-9	1/2		1/2		1/3		1/4
Rock	Extremely fractured $\alpha = 1/3$		Other $\alpha = 1/2$			Slightly fractured or extremely weathered $\alpha = 2/3$				

Tabella 8: Fattori reologici di Menard

Per la descrizione della prova dilatometrica (DMT) si rimanda agli appositi elaborati (Doc.Rif.[25]) e documenti bibliografici (Doc.Rif.[17] e [18]). Al fine di descrivere la modalità di interpretazione di questa prova, si ricorda che ad ogni profondità investigata, vengono rilevati due valori di pressione:

A = pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana (pressione di distacco);

B = pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1.1 mm.

Le formule base per l'elaborazione dei dati DMT e le principali correlazioni sono riassunte in figura. Le letture di pressione A , B devono essere corrette per mezzo dei valori ΔA , ΔB determinati mediante calibrazione, per tenere conto della rigidità della membrana, e convertite in p_o , p_i .

I due valori di pressione determinati p_o e p_i vengono elaborati ottenendo tre "parametri indice":

I_d Indice di Materiale

K_d Indice di Spinta Orizzontale

E_d Modulo Dilatometrico

Dai parametri indice I_D , K_D , E_D , applicando le correlazioni usuali (TC16 2001, Doc.Rif.[17]), è possibile ricavare il valore di M , Modulo edometrico (terreni sia coesivi che incoerenti).

SIMBOLO	DESCRIZIONE	FORMULE BASE DI ELABORAZIONE DMT	
p_0	Prima Lettura Corretta	$p_0 = 1.05 (A - Z_M + \Delta A) - 0.05 (B - Z_M - \Delta B)$	
p_1	Seconda Lettura Corretta	$p_1 = B - Z_M - \Delta B$	
I_D	Indice di Materiale	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$	$Z_M =$ Lettura al manometro quando "aperto" all'atm. Se ΔA , ΔB sono misurate con lo stesso manometro usato per le letture A, B correnti, porre $Z_M = 0$ (Z_M è compensata)
K_D	Indice di Spinta Orizzontale	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$	$u_0 =$ pressione neutra pre-inserimento
E_D	Modulo Dilatometrico	$E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$	$\sigma'_{v0} =$ tensione geostatica pre-inserimento
			E_D NON è un modulo di Young E. E_D deve essere usato solo DOPO averlo combinato con K_D (Storia Tensionale). Prima ricavare $M_{DMT} = R_M E_D$, poi ad es. $E \approx 0.8 M_{DMT}$
M	Modulo Verticale Drenato Confinato	$M_{DMT} = R_M E_D$	
		se $I_D \leq 0.6$	$R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$
		se $I_D \geq 3$	$R_M = 0.5 + 2 \log K_D$
		se $0.6 < I_D < 3$	$R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ con $R_{M,0} = 0.14 + 0.15 (I_D - 0.6)$
		se $K_D > 10$	$R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D$
		se $R_M < 0.85$	porre $R_M = 0.85$

Tabella 9: Formule base per l'elaborazione delle prove DMT

7.3.4 Parametri edometrici determinati da prove di laboratorio

In prima istanza saranno valutati i principali parametri ricavabili dalle prove edometriche disponibili. A seguire si riportano definizioni e descizioni sintetiche dei citati parametri.

7.3.4.1.1 Coefficienti di compressibilità e modulo edometrico

A partire dai risultati delle prove edometriche, sarà possibile valutare i parametri di compressibilità C_c (indice di compressione) e C_s (indice di rigonfiamento), ovvero rispettivamente le pendenze della curva di compressione vergine e della curva di scarico ricostruite nel piano $\log \sigma'_v - e$.

Sarà poi calcolato il Modulo Edometrico ($E_{ed}=M$) applicando la seguente espressione valevole per il tratto di compressione vergine

$$M = 2,3 \cdot \frac{(1 + e_0)}{C_c} \cdot \sigma'_v$$

Nel caso di condizione di sovraconsolidazione (i.e. condizione di scarico), nella precedente espressione può essere sostituito C_c con C_s per ottenere il valore del modulo nel tratto di rigonfiamento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 31 di 70

7.3.4.1.2 Coefficiente di consolidazione primaria

I coefficienti di consolidazione primaria c_v , applicabili a problemi di flusso in direzione verticale, saranno ricavati dalla seguente relazione:

$$\frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} = c_v$$

dove

- $m_v = 1/E_{ed}$;
- k^1 = coefficiente di permeabilità ottenuto da prova edometrica.

7.3.5 **Permeabilità**

I dati relativi alla permeabilità dei terreni in esame potranno essere ricavati secondo diverse procedure, nella fattispecie si sono presi a riferimento i risultati delle prove di permeabilità in foro (prove *LeFranc*)

¹ Ai fini applicativi il valore di c_v potrà essere anche ricavato a partire da dati di permeabilità e moduli ottenuti da prove in sito che, solitamente, risultano maggiormente rappresentative per questioni di scala e per il frequente disturbo dei campioni sotto posti a prove edometriche.

8 DETERMINAZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici è stata effettuata con i criteri e le correlazioni illustrati al precedente capitolo. Nel seguito si riportano e discutono i dati relativi a ciascuna unità geotecnica già individuata nel capitolo 6, differenziando l'approccio di caratterizzazione in base alla natura ad essa associata, come da capitolo 7.

Nella presente relazione si farà riferimento ad una caratterizzazione generale delle unità individuate, rimandando alle specifiche relazioni di calcolo o di pre-dimensionamento la descrizione degli effettivi parametri assunti per le verifiche inerenti alle singole problematiche geotecniche.

8.1 SINTEMA LENTINI LEI2 (UG1)

In questo paragrafo si analizzano i dati a disposizione per caratterizzare il terreno limoso argilloso:

8.1.1 Caratteristiche fisiche

I risultati delle analisi granulometriche mostrano come l'unità sia caratterizzata da una netta prevalenza della frazione fina, Limo (40-50%) e Argilla (40%-50%) e con una percentuale di Sabbia mediamente contenuta sotto il 5%.

Elaborando le prove di laboratorio eseguite, sono stati ricavati dei grafici con il valore del peso specifico dei grani e l'analisi granulometrica. Come evidenziato dai diagrammi seguenti la granulometria dei terreni si può ritenere costante con la profondità.

In relazione alle prove condotte, dalla valutazione del peso dei grani e dalla letteratura di settore si assume per i terreni un peso di volume pari a 19 kN/m^3 .

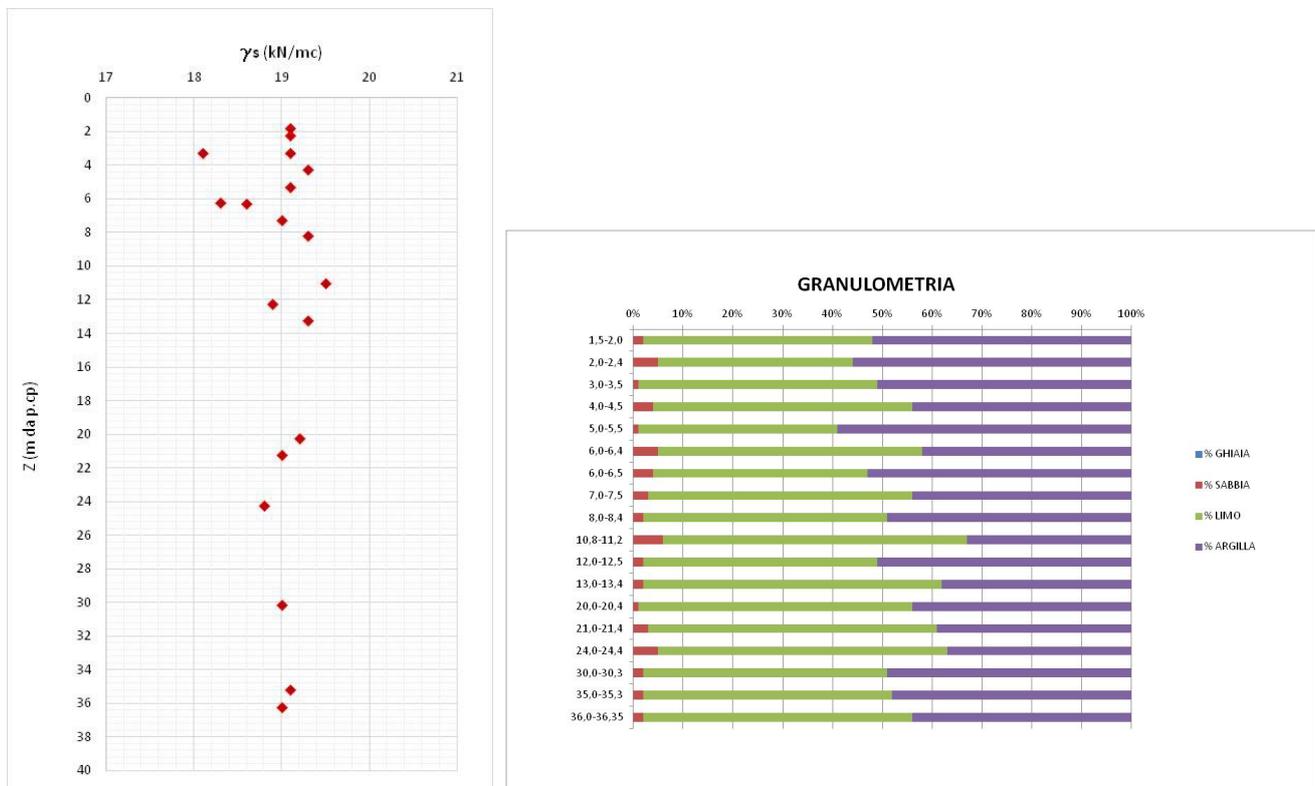


Figura 8-1: analisi granulometrica e valore del peso specifico dei grani dei terreni coesivi.

Si riporta ora la rappresentazione dei limiti di Atterberg, in particolare del limite liquido e del limite plastico, da cui sono stati poi determinati altri parametri tra cui l'indice di plasticità (IP) che consente di stimare il grado di plasticità di un limo e/o di un'argilla, e l'indice di consistenza (I_c) che dà indicazioni sullo stato del campione a partire dal suo contenuto d'acqua naturale w_n .

Tabella 10: Limiti di Atterberg e indice di plasticità IP e indice di consistenza I_c

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	W_L [%]	W_p [%]	IP [%]	I_c [%]
BH2_DH	CI2	6,0-6,5	6,3	68	36	32	1,14
	CI3	24,0-24,4	24,2	66	23	43	0,8
	CI4	30,0-30,3	30,2	74	30	44	0,98
	CI5	36,0-36,35	36,2	77	33	44	1,05

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	W_L [%]	W_p [%]	IP [%]	I_c [%]
BH3_PZ	CI1	4,0-4,5	4,3	68	21	47	0,86
	CI2	8,0-8,4	8,2	65	30	35	1,03
	CI3	13,0-13,4	13,2	54	24	30	0,83
	CI4	20,0-20,4	20,2	70	32	38	1,06
	CI5	35,0-35,3	35,2	71	32	39	1,06

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	W_L [%]	W_p [%]	IP [%]	I_c [%]
BH4_DH	CI1	2,0-2,4	2,2	70	31	39	1,03
	CI2	6,0-6,4	6,2	64	15	49	0,6
	CI3	10,8-11,2	11,0	51	23	28	0,87
	CI4	21,0-21,4	21,2	60	29	31	0,96

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	W_L [%]	W_p [%]	IP [%]	I_c [%]
BH5_DH	CI1	1,5-2,0	1,8	74	24	50	0,88
	CI2	3,0-3,5	3,3	76	20	56	0,73
	CI3	5,0-5,5	5,3	79	27	52	0,94
	CI4	7,0-7,5	7,3	68	28	40	0,93
	CI5	12,0-12,5	12,3	65	26	39	0,85

L'indice di plasticità rappresenta il grado di plasticità del campione per i vari contenuti d'acqua presenti tra il contenuto d'acqua al limite liquido w_L e il contenuto d'acqua al limite plastico w_p , ed è ottenuto dalla differenza tra il limite liquido LL e il limite plastico LP:

Si rappresenta ora l'andamento dell'indice di plasticità in funzione della profondità:

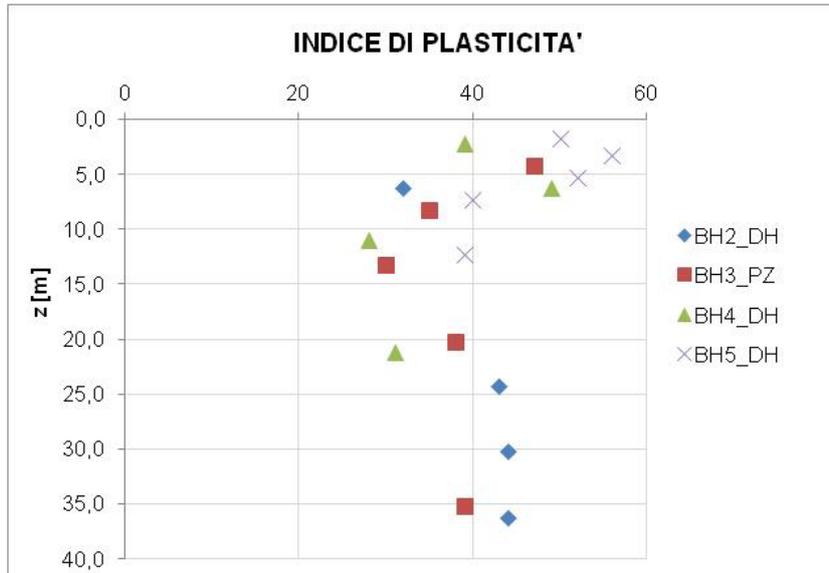


Figura 8-2: andamento di IP in funzione della profondità.

8.1.2 Parametri di resistenza

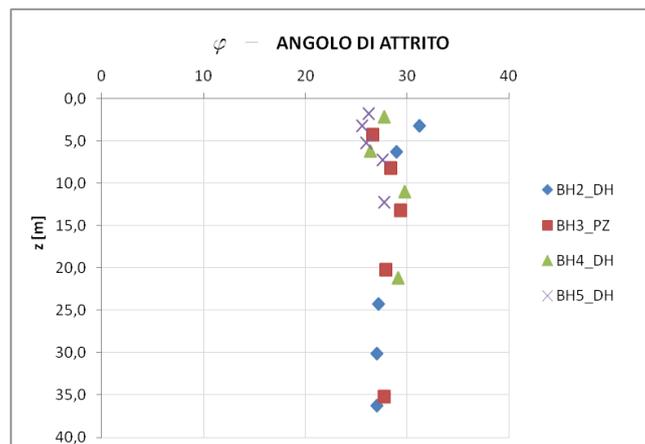
Per stimare l'angolo di attrito interno si propone utilizzare le correlazioni dirette descritte precedentemente e i risultati ottenuti dalle prove di laboratorio (trassiali in condizioni drenate e di taglio diretto).

8.1.2.1 Angolo di attrito da indice di plasticità

Si riportano di seguito i valori dell'angolo di attrito ottenuti dall'indice di plasticità IP:

Tabella 11: valore dell'angolo di attrito in funzione dell'indice di plasticità

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	W_L [%]	W_P [%]	IP [%]	I_C [%]	φ [°]
BH2_DH	CI1	3,0-3,5	3,3	42	20	22	0,72	31
	CI2	6,0-6,5	6,3	68	36	32	1,14	29
	CI3	24,0-24,4	24,2	66	23	43	0,8	27
	CI4	30,0-30,3	30,2	74	30	44	0,98	27
	CI5	36,0-36,35	36,2	77	33	44	1,05	27
BH3_PZ	CI1	4,0-4,5	4,3	68	21	47	0,86	27
	CI2	8,0-8,4	8,2	65	30	35	1,03	28
	CI3	13,0-13,4	13,2	54	24	30	0,83	29
	CI4	20,0-20,4	20,2	70	32	38	1,06	28
	CI5	35,0-35,3	35,2	71	32	39	1,06	28
BH4_DH	CI1	2,0-2,4	2,2	70	31	39	1,03	28
	CI2	6,0-6,4	6,2	64	15	49	0,6	26
	CI3	10,8-11,2	11,0	51	23	28	0,87	30
	CI4	21,0-21,4	21,2	60	29	31	0,96	29
BH5_DH	CI1	1,5-2,0	1,8	74	24	50	0,88	26
	CI2	3,0-3,5	3,3	76	20	56	0,73	26
	CI3	5,0-5,5	5,3	79	27	52	0,94	26
	CI4	7,0-7,5	7,3	68	28	40	0,93	28
	CI5	12,0-12,5	12,3	65	26	39	0,85	28



Da tali correlazioni risulterebbe quindi un angolo di attrito dei terreni costante con la profondità e compreso nel range 26°-30°.

8.1.2.2 Coesione e angolo di attrito in condizioni drenate da prove triassiali e di taglio diretto

Si riportano di seguito i valori di coesione e angolo di attrito in condizioni drenate, ottenuti da prove di laboratorio di taglio diretto e prove triassiali:

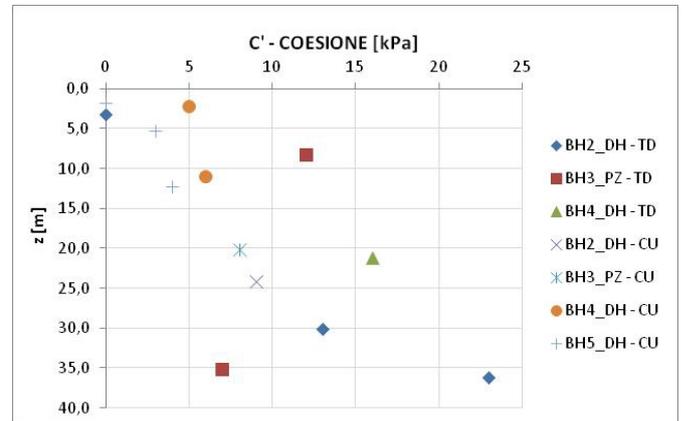
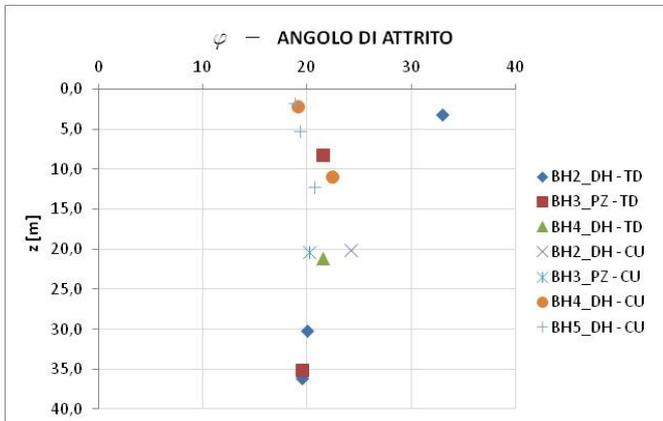
Tabella 12: parametri di resistenza (c' e φ) ottenuti da prove di laboratorio in condizioni drenate

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	TD		CU	
				c' [kpa]	φ [°]	c' [kpa]	φ [°]
BH2_DH	CI1	3,0-3,5	3,3	0	33		
	CI2	6,0-6,5	6,3				
	CI3	24,0-24,4	24,2			9	20,1
	CI4	30,0-30,3	30,2	13	20		
	CI5	36,0-36,35	36,2	23	19,5		

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	TD		CU	
				c' [kpa]	φ [°]	c' [kpa]	φ [°]
BH3_PZ	CI1	4,0-4,5	4,3				
	CI2	8,0-8,4	8,2	12	21,5		
	CI3	13,0-13,4	13,2				
	CI4	20,0-20,4	20,2			8	20,4
	CI5	35,0-35,3	35,2	7	19,5		

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	TD		CU	
				c' [kpa]	φ [°]	c' [kpa]	φ [°]
BH4_DH	CI1	2,0-2,4	2,2			5	19,1
	CI2	6,0-6,4	6,2				
	CI3	10,8-11,2	11,0			6	22,4
	CI4	21,0-21,4	21,2	16	21,5		

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z_{medio} [m]	TD		CU	
				c' [kpa]	φ [°]	c' [kpa]	φ [°]
BH5_DH	CI1	1,5-2,0	1,8			0	18,8
	CI2	3,0-3,5	3,3				
	CI3	5,0-5,5	5,3			3	19,3
	CI4	7,0-7,5	7,3				
	CI5	12,0-12,5	12,3			4	20,7



8.1.2.3 Coesione non drenata da prove triassiali non consolidate non drenate

Si riportano di seguito i valori della coesione non drenata, ottenuta dalle prove triassiali non consolidate non drenate (TXUU):

Tabella 13: coesione non drenata da elaborazione prova triassiale in condizioni non drenate

Sondaggio	Campione	Profondità prelievo [m]	z _{medio} [m]	1° prov. [kPa]	2° prov. [kPa]	3° prov. [kPa]	Cu [kPa]
				($\sigma_1 - \sigma_3$)	($\sigma_1 - \sigma_3$)	($\sigma_1 - \sigma_3$)	val. medio
BH2_DH	CI1	3,0-3,5	3,3	-	-	-	-
	CI2	6,0-6,5	6,3	253	351	322	154,3
	CI3	24,0-24,4	24,2	-	-	-	-
	CI4	30,0-30,3	30,2	-	-	-	-
	CI5	36,0-36,35	36,2	-	-	-	-
BH3_PZ	CI1	4,0-4,5	4,3	224	232	198	109,0
	CI2	8,0-8,4	8,2	-	-	-	-
	CI3	13,0-13,4	13,2	265	212	263	123,3
	CI4	20,0-20,4	20,2	-	-	-	-
	CI5	35,0-35,3	35,2	-	-	-	-
BH4_DH	CI1	2,0-2,4	2,2	-	-	-	-
	CI2	6,0-6,4	6,2	176	237	220	105,5
	CI3	10,8-11,2	11,0	-	-	-	-
	CI4	21,0-21,4	21,2	-	-	-	-
BH5_DH	CI1	1,5-2,0	1,8	-	-	-	-
	CI2	3,0-3,5	3,3	217	263	142	103,7
	CI3	5,0-5,5	5,3	-	-	-	-
	CI4	7,0-7,5	7,3	137	194	144	79,2
	CI5	12,0-12,5	12,3	-	-	-	-

8.1.3 Parametri di rigidezza

8.1.3.1 Parametri edometrici determinati da prove di laboratorio

A partire dai risultati delle prove edometriche, è possibile ricavare il modulo edometrico e il coefficiente di consolidazione primaria:

Tabella 14: elaborazione prova edometrica Sondaggio BH2_DH

BH2_DH - C12 Metodo Casagrande						
z = 6 - 6,5 m						
σ'_{v_0} [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,027	0,14	0,777			
25	0,037	0,19	0,776	25		
50	0,056	0,28	0,774	26,32		
100	0,115	0,58	0,769	16,95		
200	0,226	1,13	0,759	18,02		
400	0,541	2,71	0,731	12,7	2,14E-04	1,65E-08
800	1,08	5,4	0,683	14,84	1,34E-04	8,85E-10
1600	1,795	8,98	0,62	22,38	1,28E-04	5,61E-10
3200	2,796	13,98	0,531	31,97		

BH2_DH - C13 -Metodo Casagrande						
z = 24 - 24,4 m						
σ'_{v_0} [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,005	0,03	0,836			
25	0,029	0,15	0,834	10,42		
50	0,082	0,41	0,829	9,43		
100	0,238	1,19	0,815	6,41		
200	0,567	2,84	0,784	6,08	2,03E-04	3,27E-09
400	1,068	5,34	0,738	7,98	1,76E-04	2,16E-09
800	1,733	8,67	0,677	12,03	1,60E-04	1,30E-09
1600	2,652	13,26	0,593	17,41		
3200	3,533	17,67	0,512	36,32		

BH2_DH - C14 - Metodo Casagrande						
z = 30 - 30,4 m						
σ'_{v_0} [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,039	0,2	0,779			
25	0,043	0,22	0,778			
50	0,077	0,39	0,775	14,71		
100	0,315	1,58	0,754	4,2		
200	0,675	3,38	0,722	5,56	2,15E-04	3,80E-09
400	1,224	6,12	0,673	7,29	1,70E-04	2,29E-09
800	2,023	10,12	0,602	10,01	1,29E-04	1,26E-09
1600	3,14	15,7	0,502	14,32		
3200	4,156	20,78	0,421	31,5		

BH2_DH - C15 - Metodo Casagrande						
z = 36 - 36,35 m						
σ'_{v_0} [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,036	0,18	0,81			
25	0,057	0,29	0,808			
50	0,086	0,43	0,805			
100	0,276	1,38	0,788	5,26		
200	0,642	3,21	0,755	5,46		
400	1,233	6,17	0,701	6,77	2,02E-04	3,63E-09
800	2,067	10,34	0,626	9,59	1,54E-04	2,23E-09
1600	3,115	15,58	0,531	15,27	1,24E-04	1,27E-09
3200	4,124	20,62	0,439	31,71		

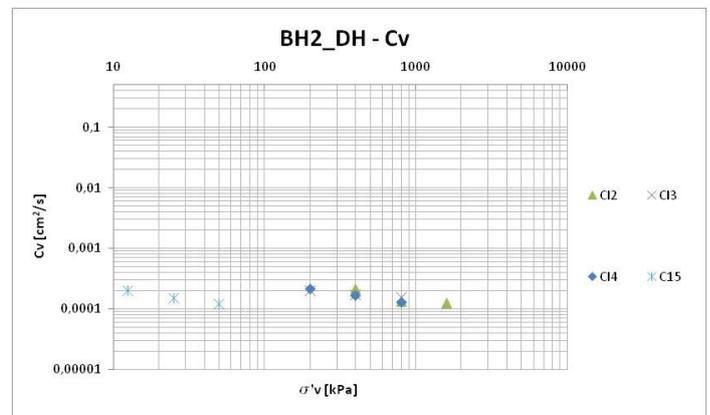
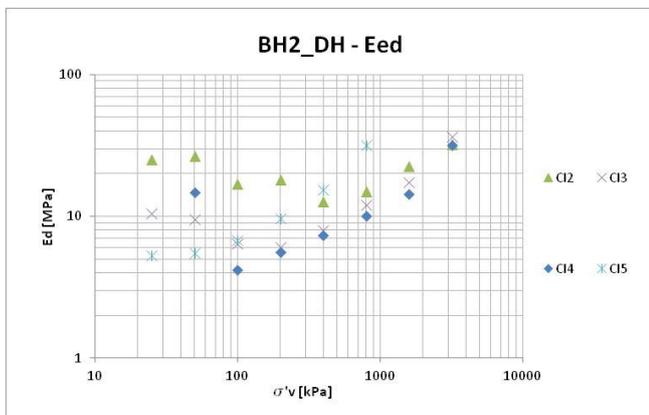


Figura 8-3: modulo edometrico e coefficiente di consolidazione ottenuti da prova edometrica Sondaggio BH2_DH

Tabella 15: elaborazione prova edometrica Sondaggio BH3_PZ

BH3_PZ - C11 - Metodo Casagrande						
z = 4 - 4,5 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,064	0,32	0,725			
25	0,065	0,33	0,725			
50	0,078	0,39	0,724			
100	0,179	0,9	0,715	9,9		
200	0,414	2,07	0,695	8,51	2,43E-04	2,80E-09
400	0,838	4,19	0,658	9,43	1,66E-04	1,73E-09
800	1,464	7,32	0,604	12,78	1,55E-04	1,90E-09
1600	2,342	11,71	0,528	18,22		
3200	3,01	15,05	0,47	47,9		

BH3_DH - C12 Metodo Casagrande						
z = 8,0 - 8,4 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,027	0,14	0,721			
25	0,042	0,21	0,72	16,67		
50	0,09	0,45	0,716	10,42		
100	0,18	0,9	0,708	11,11		
200	0,407	2,04	0,689	8,81	1,38E-04	1,54E-08
400	0,9	4,5	0,646	8,11	9,29E-05	1,12E-09
800	1,592	7,96	0,586	11,56	8,05E-05	6,83E-10
1600	2,523	12,62	0,506	17,19		
3200	3,456	17,28	0,426	34,3		

BH3_PZ - C13 - Metodo Casagrande						
z = 13 - 13,4 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,03	0,15	0,764			
25	0,072	0,36	0,76	5,95		
50	0,136	0,68	0,755	7,81		
100	0,265	1,33	0,743	7,75		
200	0,562	2,81	0,717	6,73	2,93E-04	3,27E-09
400	0,985	4,93	0,68	9,46	2,26E-04	2,16E-09
800	1,659	8,3	0,62	11,87	1,87E-04	1,55E-09
1600	2,656	12,83	0,54	17,66		
3200	3,619	18,1	0,447	30,36		

BH3_PZ - C14 - Metodo Casagrande						
z = 20 - 20,4 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,005	0,03	0,778			
25	0,024	0,12	0,777			
50	0,036	0,18	0,776	41,67		
100	0,1	0,5	0,77	15,63		
200	0,272	1,36	0,755	11,63	5,12E-04	4,32E-09
400	0,656	3,28	0,72	10,42	2,34E-04	2,20E-09
800	1,313	6,57	0,662	12,18	1,41E-04	1,14E-09
1600	2,289	11,45	0,575	16,39		
3200	3,349	16,75	0,481	30,19		

BH3_PZ - C15 - Metodo Casagrande						
z = 35 - 35,3 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,002	0,01	0,777			
25	0,022	0,11	0,775			
50	0,086	0,43	0,77	7,81		
100	0,158	0,79	0,763	13,89		
200	0,396	1,98	0,742	8,4		
400	0,885	4,43	0,699	8,18	5,64E-05	6,77E-10
800	1,542	7,71	0,64	12,18	4,14E-05	3,34E-10
1600	2,492	12,46	0,556	16,84	2,64E-05	1,54E-10
3200	3,541	17,71	0,463	30,51		

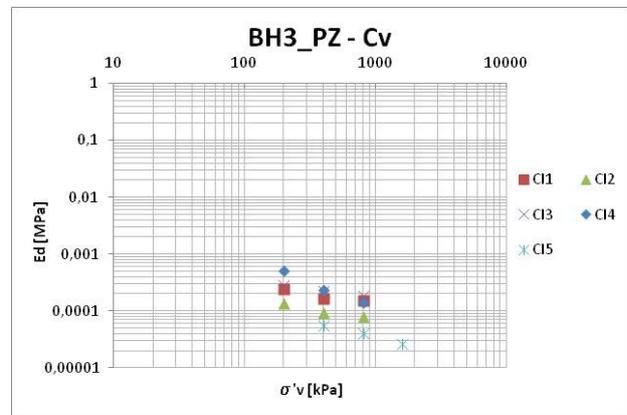
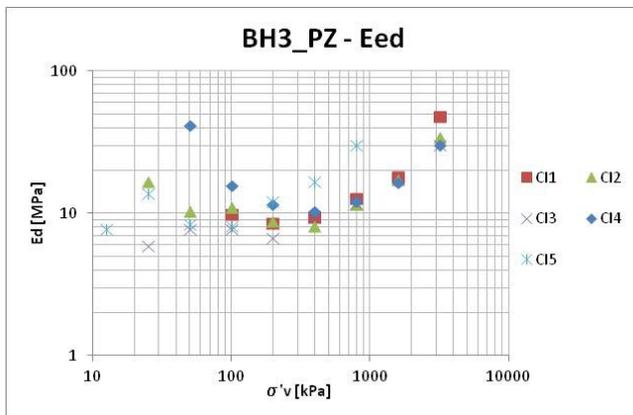


Figura 8-4: modulo edometrico e coefficiente di consolidazione ottenuti da prova edometrica Sondaggio BH3_PZ

Tabella 16: elaborazione prova edometrica Sondaggio BH4_DH

BH4_DH - C11 Metodo di Casagrande						
z = 2 - 2,4 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,003	0,02	0,775			
25	0,008	0,04	0,775			
50	0,022	0,11	0,774			
100	0,112	0,56	0,766	11,11		
200	0,289	1,45	0,75	11,3	2,68E-04	2,33E-09
400	0,752	3,76	0,709	8,64	1,06E-04	1,20E-09
800	1,487	7,44	0,644	10,88	7,66E-05	6,90E-10
1600	2,308	11,54	0,571	19,49		
3200	3,242	16,21	0,488	34,26		

BH4_DH - C12 Metodo Casagrande						
z = 6 - 6,4 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,027	0,14	0,777			
25	0,037	0,19	0,776	25		
50	0,056	0,28	0,774	26,32		
100	0,115	0,58	0,769	16,95		
200	0,226	1,13	0,759	18,02		
400	0,541	2,71	0,731	12,7	2,14E-04	1,65E-08
800	1,08	5,4	0,683	14,84	1,34E-04	8,85E-10
1600	1,795	8,98	0,62	22,38	1,28E-04	5,61E-10
3200	2,796	13,98	0,531	31,97		

BH4_DH - C13 - Metodo Casagrande						
z = 10,8 - 11,2 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,005	0,03	0,836			
25	0,029	0,15	0,834	10,42		
50	0,082	0,41	0,829	9,43		
100	0,238	1,19	0,815	6,41		
200	0,567	2,84	0,784	6,08	2,03E-04	3,27E-09
400	1,068	5,34	0,738	7,98	1,76E-04	2,16E-09
800	1,733	8,67	0,677	12,03	1,60E-04	1,30E-09
1600	2,652	13,26	0,593	17,41		
3200	3,533	17,67	0,512	36,32		

BH4_DH - C14 - Metodo Casagrande						
z = 21 - 21,4 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,039	0,2	0,779			
25	0,043	0,22	0,778			
50	0,077	0,39	0,775	14,71		
100	0,315	1,58	0,754	4,2		
200	0,675	3,38	0,722	5,56	2,15E-04	3,80E-09
400	1,224	6,12	0,673	7,29	1,70E-04	2,29E-09
800	2,023	10,12	0,602	10,01	1,29E-04	1,26E-09
1600	3,14	15,7	0,502	14,32		
3200	4,156	20,78	0,421	31,5		

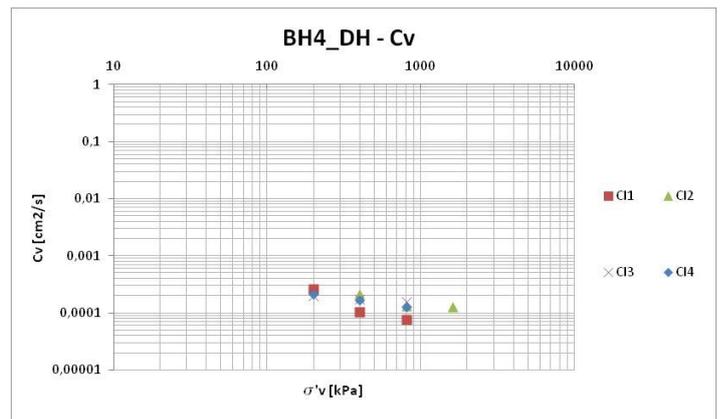
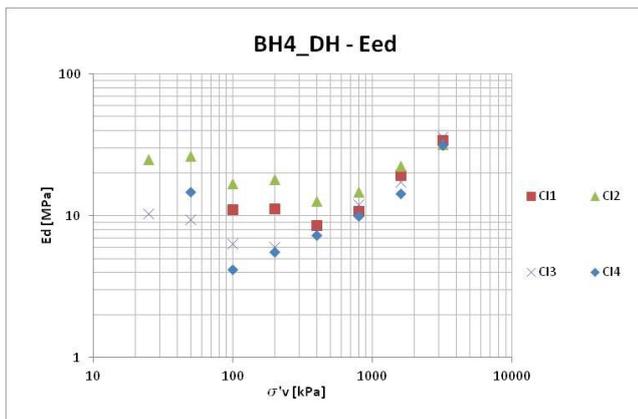


Figura 8-5: modulo edometrico e coefficiente di consolidazione ottenuti da prova edometrica Sondaggio BH4_DH

Tabella 17: elaborazione prova edometrica Sondaggio BH5_DH

BH5_DH - CI1 - Metodo Casagrande						
z = 1,5 - 2 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,045	0,23	0,788			
25	0,092	0,46	0,783	5,32		
50	0,192	0,96	0,774	5		
100	0,472	2,36	0,749	3,57		
200	0,918	4,59	0,709	4,48		
400	1,736	8,68	0,636	4,89	2,82E-04	5,66E-09
800	2,573	12,87	0,561	9,56	1,36E-04	1,40E-09
1600	3,484	17,42	0,48	17,56	1,31E-05	7,31E-10
3200	4,207	21,04	0,415	44,26		

BH5_DH - CI2 Metodo Casagrande						
z = 3 - 3,5 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,027	0,38	0,93			
25	0,143	0,72	0,924	3,68		
50	0,271	1,36	0,911	3,91		
100	0,476	2,38	0,891	4,88		
200	0,809	4,05	0,859	6,01		
400	1,372	6,86	0,805	7,1	1,95E-04	2,69E-08
800	2,134	10,67	0,731	10,5	1,43E-04	1,34E-10
1600	2,975	14,88	0,649	19,02	1,39E-04	7,16E-10
3200	3,936	19,68	0,556	33,3		

BH5_DH - CI3 - Metodo Casagrande						
z = 5 - 5,5 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,015	0,08	0,812			
25	0,035	0,18	0,81			
50	0,075	0,38	0,807	12,5		
100	0,13	0,65	0,802	18,18		
200	0,257	1,29	0,79	15,75	3,68E-04	3,53E-09
400	0,648	3,24	0,755	10,23	2,08E-04	1,45E-09
800	1,217	6,09	0,703	14,06	1,38E-04	6,72E-10
1600	2,011	10,06	0,631	20,15		
3200	3,027	15,14	0,539	31,5		

BH5_DH - CI4 - Metodo Casagrande						
z = 7 - 7,5 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,02	0,1	0,808			
25	0,057	0,29	0,805			
50	0,123	0,62	0,799	7,58		
100	0,265	1,33	0,786	7,04		
200	0,52	2,6	0,763	7,84	5,64E-05	8,01E-10
400	1,099	5,5	0,71	6,91	4,14E-05	3,77E-10
800	1,841	9,21	0,643	10,78	2,64E-05	1,59E-10
1600	2,824	14,12	0,554	16,28		
3200	3,925	19,63	0,455	29,06		

BH5_DH - CI5 - Metodo Casagrande						
z = 12 - 12,5 m						
σ'_v [kPa]	Δh [mm]	ε [%]	e [-]	Eed [Mpa]	Cv [cm ² /s]	k [cm/s]
12,5	0,002	0,1	0,826			
25	0,027	0,14	0,824			
50	0,084	0,42	0,819	8,77		
100	0,173	0,87	0,811	11,24		
200	0,439	2,2	0,786	7,52	3,12E-04	4,07E-09
400	0,945	4,73	0,74	7,91	2,42E-04	3,00E-09
800	1,655	8,28	0,675	11,27	1,58E-04	1,38E-09
1600	2,757	13,79	0,575	14,52		
3200	3,985	19,93	0,463	26,06		

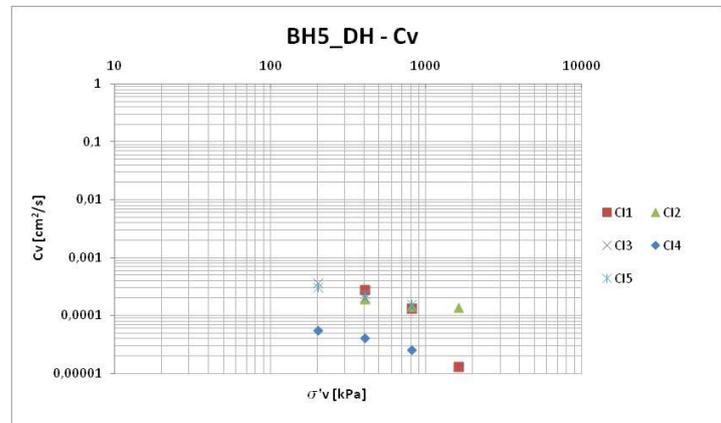
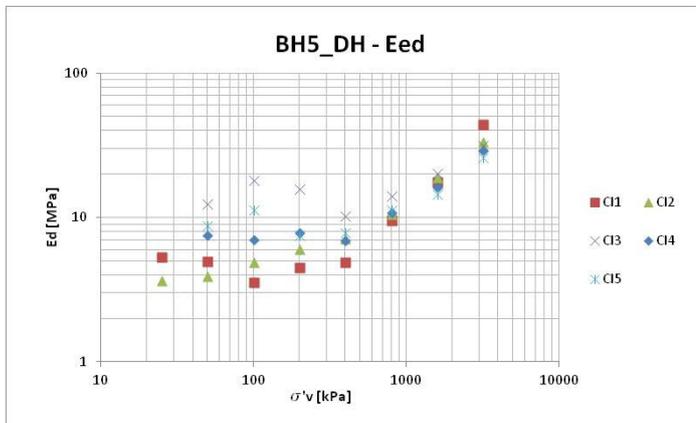


Figura 8-6: modulo edometrico e coefficiente di consolidazione ottenuti da prova edometrica Sondaggio BH5_DH

8.1.3.2 Modulo elastico a basse deformazioni

I moduli elastici di taglio (G_0) e di Young (E_0) a basse deformazioni possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le equazioni prima citate e considerando il valore del modulo operativo E' pari a $1/10 E_0$.

Con:

- $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$;
- $\rho = 1,939 \text{ kg/m}^3$;
- $\nu = 0,4$

Si riportano di seguito i valori dei moduli elastici ottenuti a partire dalle onde di taglio ricavate mediante le prove **MASW**:

MASW 1						
strato	zi [m]	zf [m]	Vs [m/s]	G0 [MPa]	E0 [MPa]	E' [MPa]
1	0,3	0,3	200,0	77,55	217,14	21,71
2	0,9	0,6	320,0	198,53	555,89	55,59
3	1,9	1	200,0	77,55	217,14	21,71
4	3,9	2	165,0	52,78	147,79	14,78
5	7,9	4	140,0	38,00	106,40	10,64
6	12,9	5	165,0	52,78	147,79	14,78
7	20,9	8	230,0	102,56	287,17	28,72
8	30,0	9,1	260,0	131,06	366,97	36,70

MASW 2						
sismostrato	Profondità [m]		Vs [m/s]	G0 [MPa]	E0 [MPa]	E' [MPa]
1	0,3	0,3	160,0	49,63	138,97	13,90
2	1,3	1,0	130,0	32,77	65,53	6,55
3	3,3	2,0	100,0	19,39	38,78	3,88
4	5,5	2,2	155	46,58	93,16	9,32
5	9,3	3,8	190	69,99	139,98	14,00
6	14,8	5,5	190	69,99	139,98	14,00
7	20,8	6,0	200	77,55	155,10	15,51
8	30	9,2	260	131,06	262,12	26,21

MASW 3						
strato	zi [m]	zf [m]	Vs [m/s]	G0 [MPa]	E0 [MPa]	E' [MPa]
1	1,7	1,7	90,0	15,70	43,97	4,40
2	3,8	2,1	120,0	27,92	78,17	7,82
3	6,3	2,5	100,0	19,39	54,29	5,43
4	9,2	2,9	175,0	59,38	166,25	16,63
5	12,5	3,3	200,0	77,55	217,14	21,71
6	16,2	3,7	170,0	56,03	156,89	15,69
7	20,4	4,2	220,0	93,84	262,74	26,27
8	25,0	4,6	230,0	102,56	287,17	28,72
9	30,0	5	290,0	163,05	456,54	45,65

MASW 4						
strato	zi [m]	zf [m]	Vs [m/s]	G0 [MPa]	E0 [MPa]	E' [MPa]
1	0,4	0,4	160,0	49,63	138,97	13,90
2	1,2	0,8	180,0	62,82	125,63	12,56
3	2,8	1,6	200,0	77,55	155,10	15,51
4	5,3	2,5	165,0	52,78	105,57	10,56
5	9,3	4,0	280,0	152,00	304,00	30,40
6	14,3	5,0	205,0	81,48	162,95	16,30
7	22,3	8,0	230,0	102,56	205,12	20,51
8	30	7,7	260,0	131,06	262,12	26,21

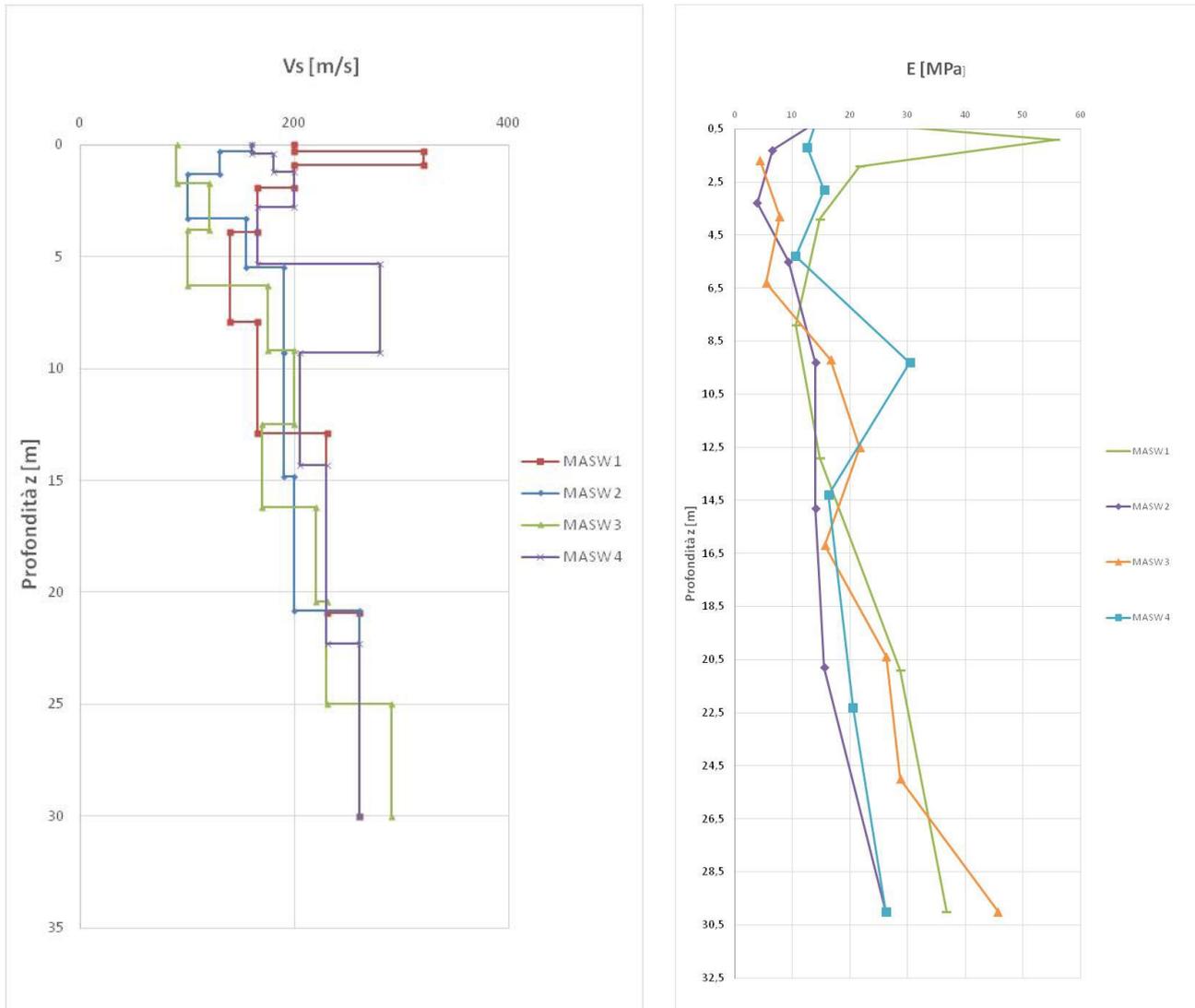


Figura 8-7: elaborazione prove MASW

Si riportano di seguito i valori dei moduli elastici ottenuti a partire dalle onde di taglio ricavate dalle prove **DOWN-HOLE**:

BH2_DH					
Prof.	Vp [m/s]	Vs [m/s]	G0 [Mpa]	E0 [Mpa]	E' [Mpa]
0	537	227	99903	279729	27973
6	537	227	99903	279729	27973
6	1399	163	51511	144232	14423
12	1399	163	51511	144232	14423
12	1410	205	81477	228136	22814
20	1410	205	81477	228136	22814
20	1459	231	103455	289674	28967
28	1459	231	103455	289674	28967

BH4_DH					
Prof.	Vp [m/s]	Vs [m/s]	G0 [Mpa]	E0 [Mpa]	E' [Mpa]
0	508	165	52783	147793	14779
5	508	165	52783	147793	14779
5	1208	171	56692	158737	15874
11	1208	171	56692	158737	15874
11	1124	303	177997	498392	49839
21	1124	303	177997	498392	49839
21	1526	266	137180	384104	38410
31	1526	266	137180	384104	38410

BH5_DH					
Prof.	Vp [m/s]	Vs [m/s]	G0 [Mpa]	E0 [Mpa]	E' [Mpa]
0	361	151	44206	123777	12378
3	361	151	44206	123777	12378
3	769	163	51511	144232	14423
7	769	163	51511	144232	14423
7	1430	212	87136	243982	24398
12	1430	212	87136	243982	24398
12	1746	221	94692	265137	26514
15	1746	221	94692	265137	26514
15	1793	240	111673	312686	31269
18	1793	240	111673	312686	31269
18	1741	277	148760	416529	41653
24	1741	277	148760	416529	41653
24	1850	382	282914	792159	79216
31	1850	382	282914	792159	79216

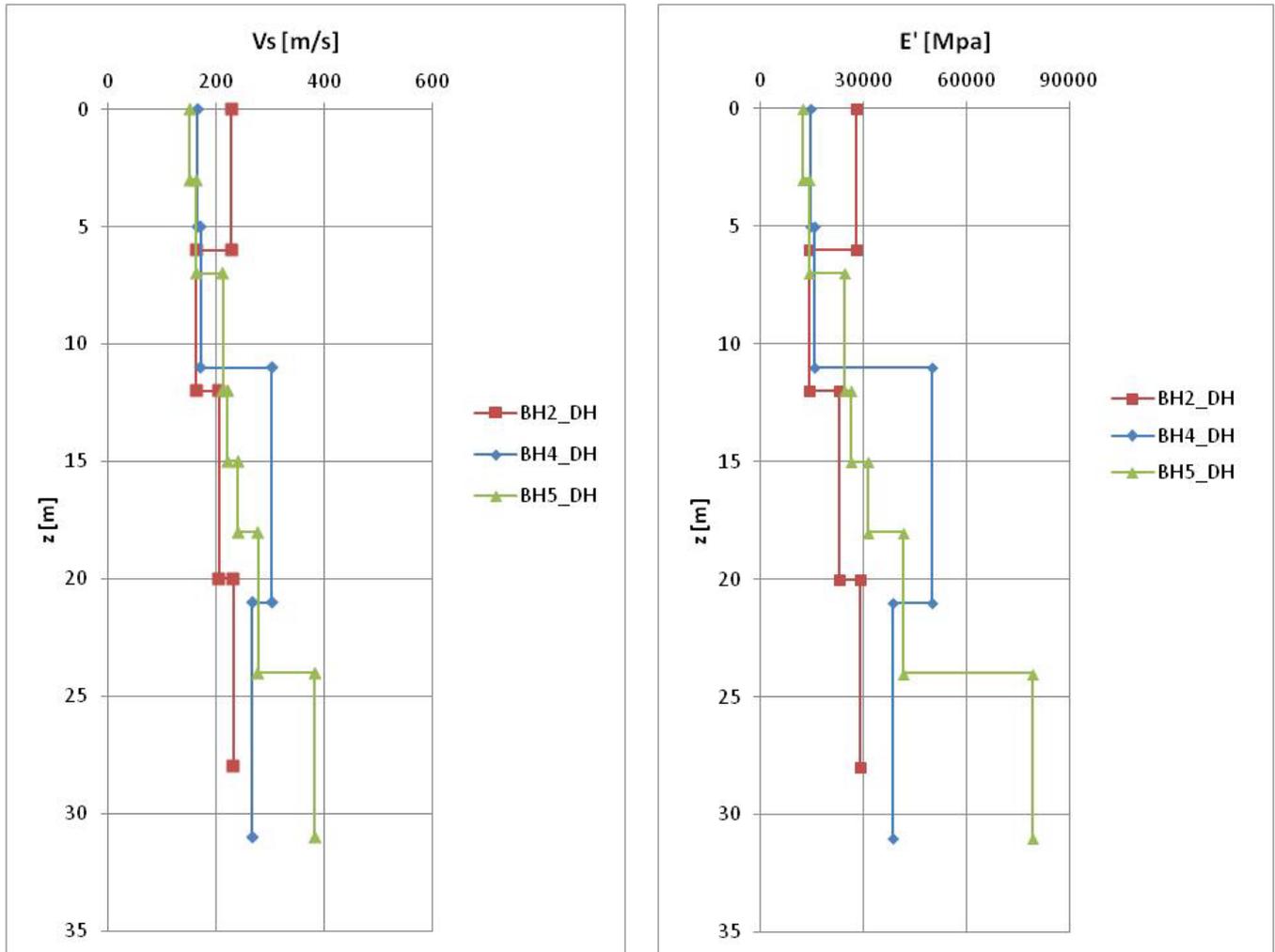


Figura 8-8: elaborazione prove down-hole

8.1.3.3 Modulo elastico da prove pressiometriche

Si riportano di seguito i valori del modulo di rigidezza ottenuto tramite le prove pressiometriche.

	m da pc	P _o [kPa]	P _f [kPa]	P _i [kPa]	E _M [kPa]	G _i [kPa]
BH1_PZ	10	134	1028	1602	7488	2815
	19,5	271	1760	2195	18766	7055
BH3_PZ	10,0	93	1009	1512	5305	1994
	29,0	92	1305	1811	6328	2379
BH4_DH	4,0	47	655	1316	6018	2262
	8,0	62	886	1596	6261	2354
BH5_DH	4,5	131	1200	1411	7385	2776
	8,5	170	1142	1612	8623	3242
BH6_PZ	9,5	111	1106	1491	8608	3236
	18,5	204	1311	1902	13805	5190

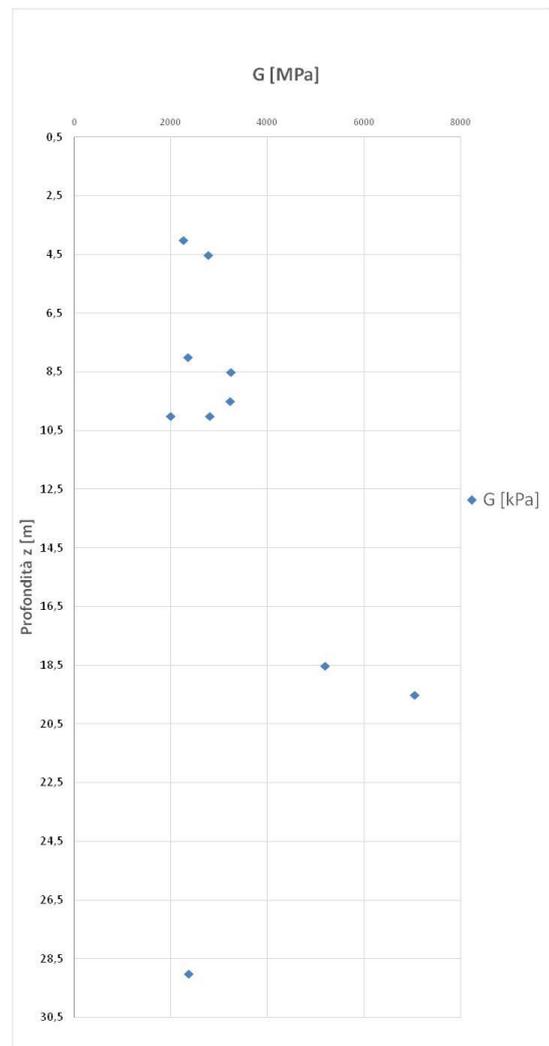
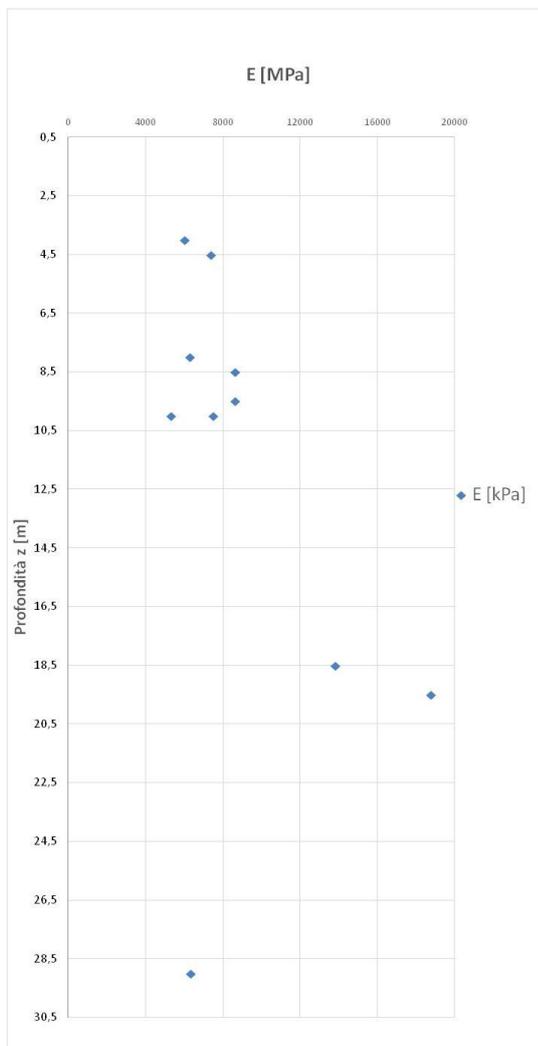


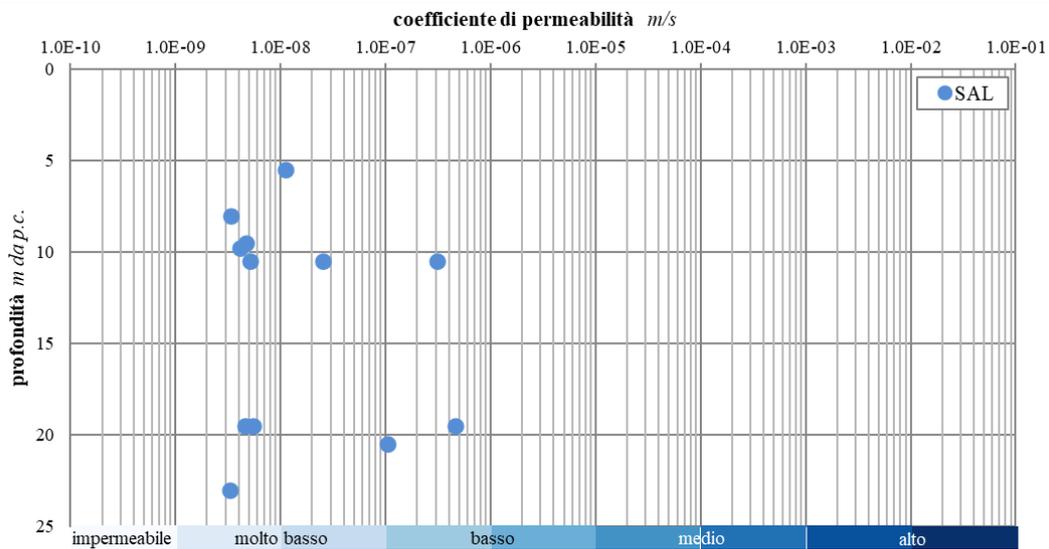
Figura 8-9: Modulo pressiometrico Menard e modulo di taglio

8.1.4 Permeabilità

In ogni sondaggio sono state effettuate due prove di Lefranc a carico variabile, si riportano di seguito i valori medi delle permeabilità per ciascuna prova svolta:

Tabella 18: coefficiente di permeabilità da prove Lefranc a carico variabile

	permeabilità	m da pc	k [m/s]
BH1_PZ	LE1	10,5	2,54E-08
	LE2	20,5	1,05E-07
BH2_DH	LE1	9,5	5,13E-09
	LE2	18,0	4,55E-09
BH3_PZ	LE1	7,0	3,40E-09
	LE2	22,0	3,28E-09
BH4_DH	LE1	9,0	5,46E-09
	LE2	19,0	4,14E-09
BH5_DH	LE1	5,5	1,12E-08
	LE2	9,5	4,72E-09
BH6_PZ	LE1	10,5	3,09E-09
	LE2	19,5	4,66E-09



I valori ottenuti sono quelli tipici di un materiale coesivo a grana fine.

8.2 SINTEMA DI AUGUSTA (AUG)

Il campione prelevato alla profondità di circa 3-3,5m dal p.c. nel sondaggio BH2_DH evidenzia una percentuale della frazione grossolana nettamente superiore rispetto agli altri sondaggi.

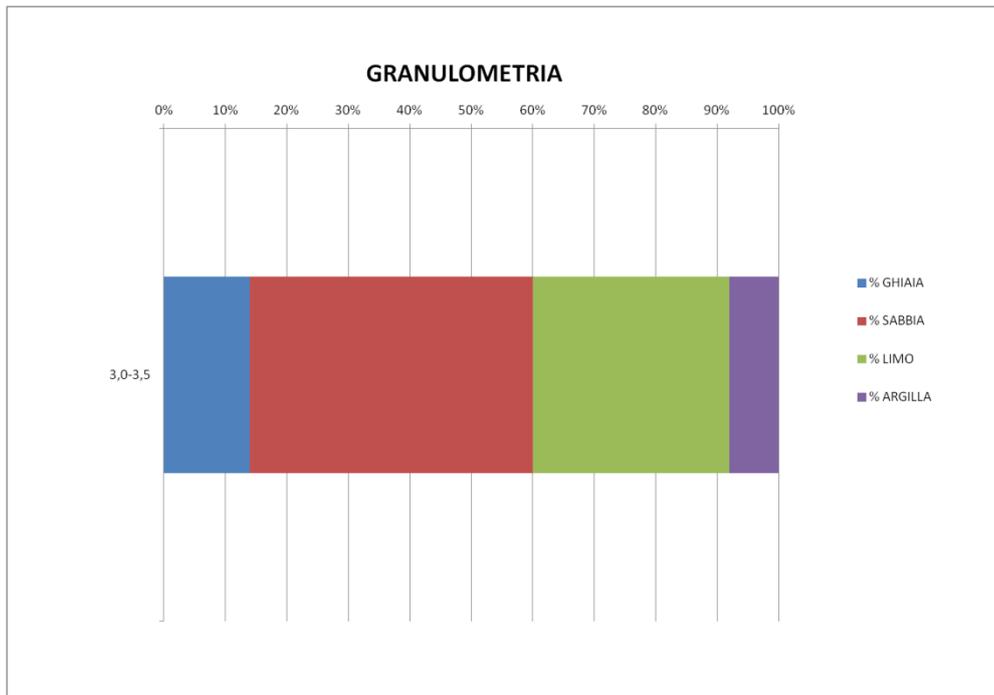
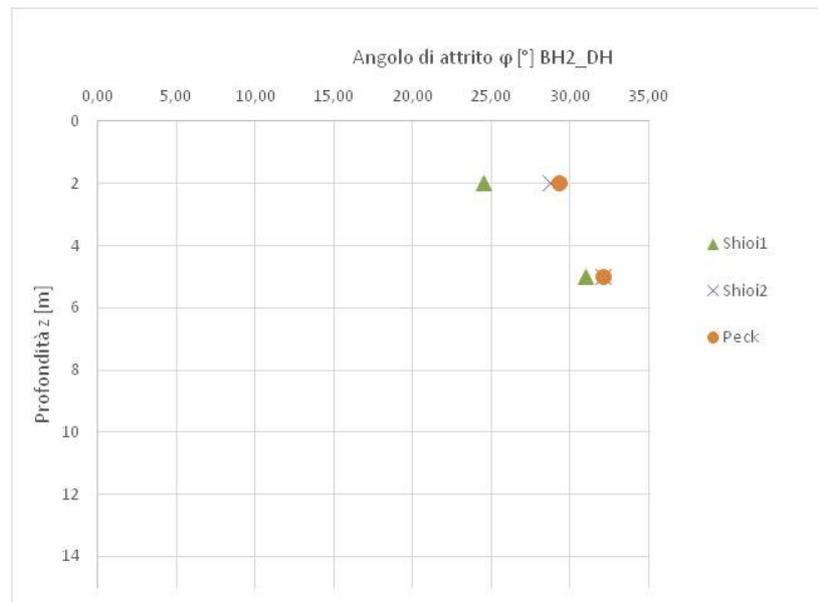


Figura 8-10: analisi granulometrica del campione appartenente al Sintema di Augusta.

Per questa unità geotecnica, trattandosi di terreni incoerenti sono state elaborate le prove SPT svolte sul sondaggio BH2_DH, alle profondità di 2 e 5 m, di cui si riportano di seguito i risultati:

Tabella 19: elaborazione prove SPT.

φ [°] - BH2_DH					
SPT	σ'_v [kPa]	z [m]	Shio1	Shio2	Peck
6	38	2	24	29	29
17	95	5	31	32	32



9 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Di seguito in tabella si riportano i valori dei parametri geotecnici adottati ai fini delle analisi, da considerare il fatto che all'interno della stessa unità geologica sono state distinte due unità geotecniche diverse:

Tabella 20: sintesi dei parametri geotecnici ottenuti tramite le elaborazioni delle prove.

Unità Geotecniche		Parametri						
		z	γ	c'	φ'	Cu	E'	k
Unità	Unità Geologica	m	kN/m ³	kPa	°	kPa	MPa	m/s
R	h - Riporti antropici	0-1,5	20	-	28	-	10	1E-5 ÷ 1E-6
	b2 - Coltri eluvio-colluviali							
	ba1 - Depositi alluvionali attuali							
	bb2 - Depositi alluvionali recenti							
UG1	g2 - Depositi di spiaggia attuali	1,5-15	19-20	5-10	20-24	80-120	5-10	1E-9 ÷ 1E-8
	LEI2 - Sintema Lentini							
	LEI2 - Sintema Lentini	15-inf.	19-20	10-15	20-24	120-170	10-15	1E-9 ÷ 1E-8
UG2	AUG - Sintema Augusta	0-5	19-20	0-20	30	-	10-15	1E-7 ÷ 1E-6

In generale, in funzione della tipologia di terreno e di prova, si è data maggiore rilevanza alle prove geotecniche che meglio sono in grado di rappresentare il comportamento del terreno in esame.

Ad esempio, per la scelta dei parametri di resistenza dei terreni prettamente coesivi, si è deciso di dare maggior peso ai risultati ottenuti dalle prove di laboratorio come le triassiali consolidate non drenate, eseguite su campioni indisturbati con controllo delle pressioni interstiziali.

Analoga strategia è stata seguita per la stima dei parametri di rigidità dando, ove sensato, maggiore peso ai risultati provenienti dalle prove edometriche e pressiometriche piuttosto che penetrometriche.

Da tenere in considerazione l'eccezione dell'UG2 che, data la natura del terreno e la disponibilità di dati, è stata caratterizzata considerando esclusivamente le prove SPT svolte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 54 di 70

10 ASPETTI GEOTECNICI E SCELTE PROGETTUALI

I principali aspetti geotecnici connessi con la realizzazione della variante al tracciato della linea Messina-Siracusa in prossimità della città di Augusta (By-pass di Augusta) sono riconducibili a:

- valutazione della stabilità e dei cedimenti dei cedimenti dei rilevati ferroviari e stradali;
- valutazione della stabilità trincee ferroviarie e stradali;
- stima della capacità portante delle fondazioni profonde (viadotto e galleria artificiale a farfalla);
- valutazione della capacità portante e dei cedimenti degli scatolari.

I risultati del complesso delle analisi effettuate, contenute negli elaborati di progetto, evidenziano la compatibilità delle opere progettate sia con i limiti imposti dalla Normativa, sia con i vincoli prescritti dal Manuale di Progettazione RFI.

Nella formazione del corpo del rilevato saranno innanzitutto impiegate le terre provenienti da scavi di sbancamento, di fondazione o di galleria appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3 e A4, di cui alla classificazione delle terre della norma UNI 11531-1/2014, e inoltre terre provenienti da cave di prestito, appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3. Non dovranno essere impiegate terre del gruppo A3 con coefficiente di disuniformità minore o uguale a 7, inteso quale rapporto tra i passanti ai setacci 0,4 mm e 0,063 mm.

Le scarpate dei rilevati verranno profilate di norma con pendenza H:B pari a 2:3 e verranno rinverdite mediante la posa di 30 cm di terreno vegetale.

Prima della formazione del rilevato, il terreno al di sotto del piano di campagna andrà asportato per uno spessore minimo di 50 cm (scotico) e comunque per tutto lo strato di terreno vegetale. Al disotto dello scotico, quando necessario verrà realizzata una bonifica di spessore maggiore o uguale a 50 cm.

Considerate le scadenti caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni di sedime, in particolare quelli appartenenti alla formazione di Lentini, e tenuto conto anche degli elevati valori delle accelerazioni sismiche che caratterizzano la zona in esame è stato previsto in progetto di limitare l'altezza dei rilevati a 5m; per altezze superiori è stata prevista la realizzazione di scatolari cavi al fine di limitare le tensioni indotte nel terreno e quindi i cedimenti.

Per i rilevati di altezza superiore a 3m e per gli scatolari, considerata la notevole deformabilità dei terreni di fondazione e la bassa permeabilità degli stessi, è stato previsto il trattamento dei terreni di fondazione mediante la realizzazione di colonne in ghiaia di diametro pari a 800mm, disposte a quinconce con maglia 2.4 x 2.4m, realizzate mediante vibrosostituzione. Al disopra delle colonne, sul piano di posa del rilevato verranno posizionate geogriglie di rinforzo.

La vibrosostituzione è una tecnica di consolidamento di terreni di natura prevalentemente limo-argillosa e consiste nella formazione di elementi colonnari in ghiaia compattata che, unitamente al terreno che ne resta intercluso (dunque senza asportazione di terreno), creano un sistema composito con caratteristiche di resistenza e rigidità incrementate rispetto al terreno originario.

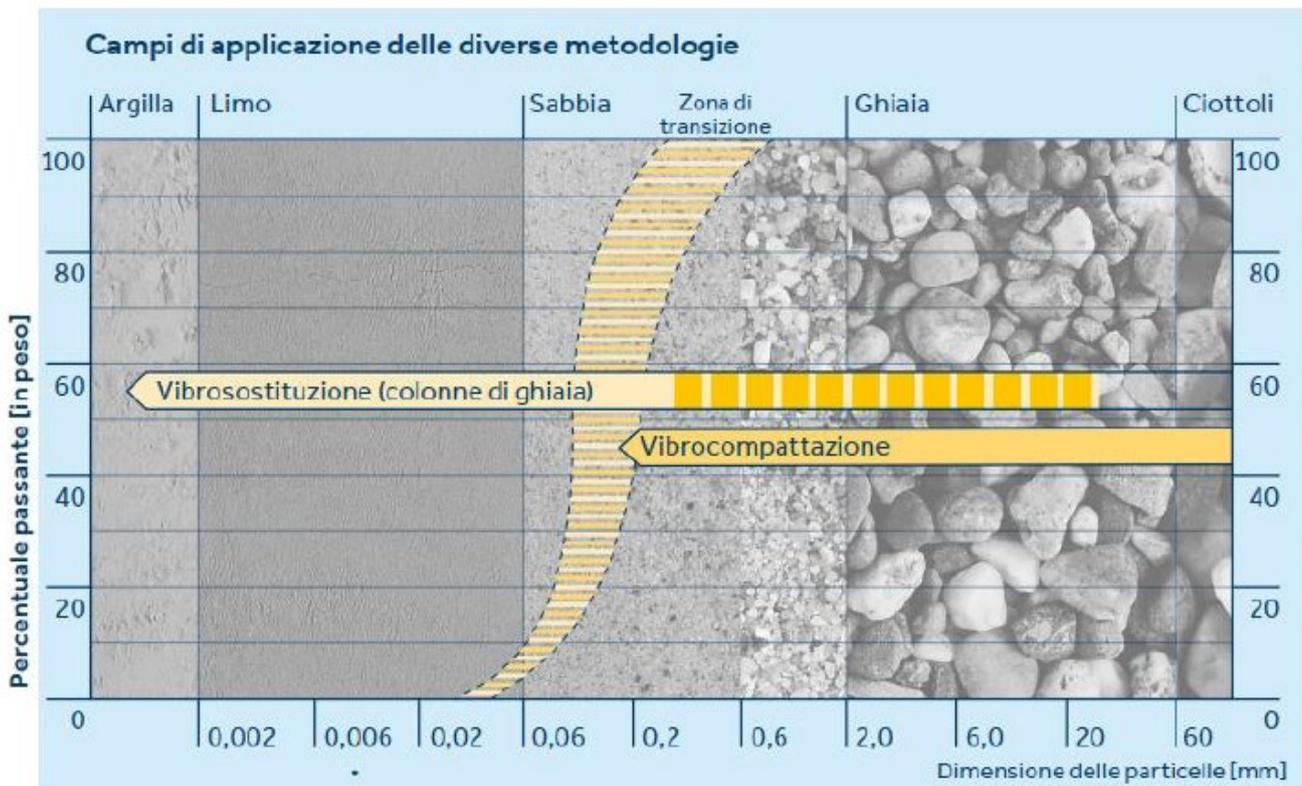


Figura 10-1 – Criteri di applicabilità della tecnica della vibrosostituzione in funzione della granulometria del materiale in sito

Nel dettaglio, la sonda vibrante viene dapprima infissa nel terreno fino alla profondità di progetto, dislocando lateralmente il terreno presente in posto. Una volta raggiunta la profondità di progetto, viene

immesso il materiale drenante dalla punta della sonda (bottom feed). Con il successivo riabbassamento della sonda il materiale drenante viene addensato e subisce un'espansione laterale che compatta il terreno circostante. Durante il riempimento la sonda vibrante viene alzata e abbassata procedendo per avanzamenti di alcuni decimetri fino al raggiungimento di una quantità ottimale di materiale per colonna ovvero fino al raggiungimento di un prefissato assorbimento di energia dell'utensile. Il procedimento viene ripetuto fino a che il foro sia completamente riempito e compattato, formando una colonna di ghiaia. Durante tutto il processo l'utensile di perforazione è collegato ad opportuna strumentazione informatica che permette di controllare in tempo reale i dati di pressione e profondità raggiunti, la quantità di materiale immesso.

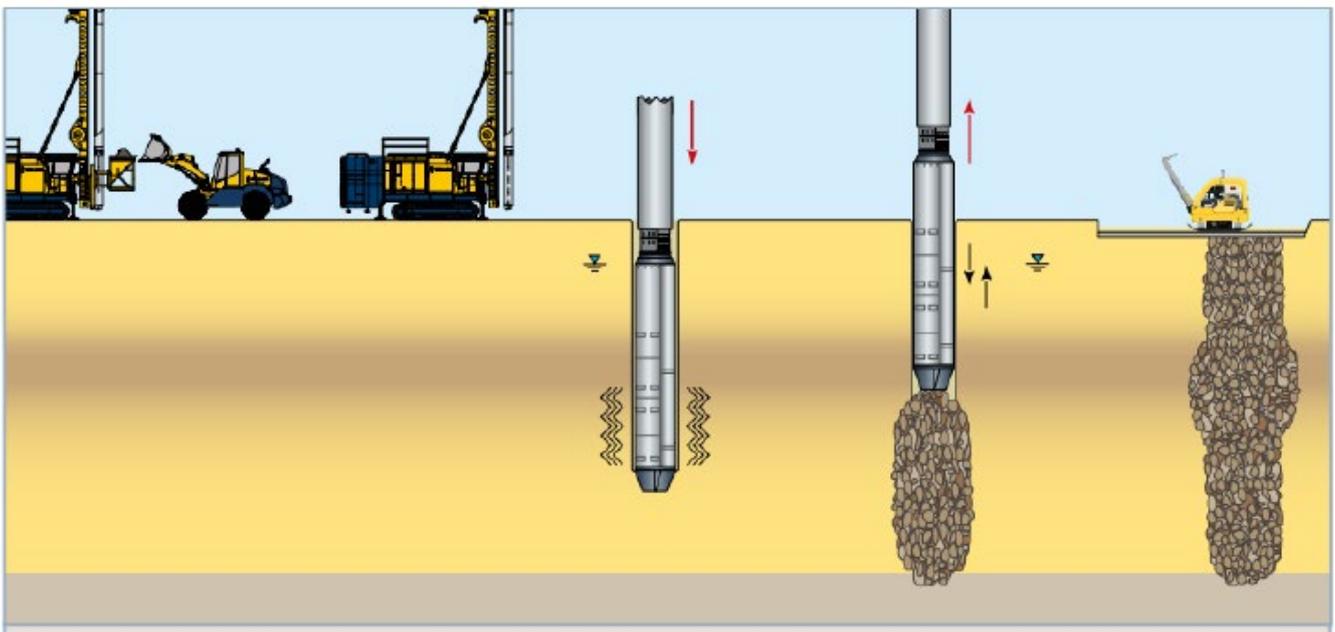


Figura 10-2 – Sequenza esecutiva del consolidamento per vibrosostituzione

Le tecniche vibro sono molto versatili e possono essere modulate al fine di essere utilizzate con efficacia su un'ampia varietà di condizioni geologiche e di requisiti progettuali. L'esecuzione è veloce, anche nel caso di trattamenti su grandi volumi di terreno e la costruzione delle successive opere strutturali può seguire immediatamente dopo. Il consolidamento del terreno consente la possibilità di realizzare fondazioni superficiali standard in luogo di fondazioni profonde. Un altro vantaggio è la massima compatibilità della tecnica con l'Ambiente in quanto vengono utilizzati materiali naturali senza

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 57 di 70

asportazione di terreno in sito (solo minime quantità vengono rimosse nel corso dell'esecuzione). I principali vantaggi delle colonne in ghiaia Vibrocompattate sono:

- Riduzione dei cedimenti
- Incremento della capacità portante, con conseguente possibilità di riduzione delle dimensioni delle fondazioni
- Incremento dei moduli elastici del terreno
- Incremento della resistenza al taglio
- Rapida dissipazione delle sovrappressioni
- Mitigazione del rischio di liquefazione
- Possibilità di utilizzare fondazioni di tipo superficiale

Nelle successive fasi progettuali dovranno essere condotte indagini integrative finalizzate a valutare in dettaglio le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni di fondazione, in special modo nei tratti in cui i rilevati presentano le altezze maggiori, per poter valutare in dettaglio l'entità dei cedimenti ed il loro decorso nel tempo.

Le sezioni in trincea saranno realizzate mediante scavo ed asportazione del materiale in situ, fino alle quote del piano di fondazione della piattaforma ferroviaria. La pendenza delle scarpate è stata definita sulla base delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dagli scavi ed in funzione dell'altezza della scarpata; gli scavi realizzati nella formazione di Augusta verranno realizzati con pendenze variabili tra $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{1}$ sulla base del grado di cementazione della formazione, mentre gli scavi realizzati nella formazione di Augusta verranno realizzati con pendenze variabile tra $\frac{1}{2}$ e $\frac{2}{3}$

Di norma le scarpate delle trincee verranno interrotte con una banca larga 2 m ogni 5 m di altezza. Ove necessario, lungo lo sviluppo del tracciato verranno realizzati muri di sostegno e paratie per permettere la profilatura delle scarpate e limitare l'impatto ambientale sul territorio interessato. Per il controllo dell'erosione superficiale, le scarpate realizzate nei terreni sciolti, verranno protette mediante geostuoie e biostuoie, eventualmente rinforzate con reti metalliche e rinverdate con specie autoctone (cespugli ed arbusti) mediante idrosemina.

11 PROGETTO DEL MONITORAGGIO RELATIVO AL BY-PASS DI AUGUSTA

Per le aree interessate dai lavori relativi al By Pass di Augusta in relazione alle diverse tipologie di opere presenti (rilevati, scatolari, trincee, opere di sostegno, viadotto, ecc..) e alle interferenze con strutture esistenti (fabbricati, strade, e cavalcavia) è stata prevista l'installazione di un'appropriata strumentazione e la misura delle grandezze fisiche significative, quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali - prima, durante e/o dopo la costruzione delle opere previste in progetto.

In particolare, il sistema di monitoraggio verrà così articolato:

1. Monitoraggio delle opere di sostegno e del terreno in prossimità dell'area di scavo;
2. Monitoraggio dei fabbricati ubicati in prossimità delle aree di scavo;
3. Monitoraggio dei binari vicini alle nuove opere;
4. Monitoraggio dei versanti in condizioni geomorfologiche critiche
5. Monitoraggio dei cedimenti dei rilevati e del loro decorso nel tempo

11.1 MONITORAGGIO DELLE OPERE DI SOSTEGNO IN COSTRUZIONE E DEL TERRENO A TERGO DELL'AREA DI SCAVO

Al fine di monitorare eventuali movimenti delle paratie e cedimenti del terreno a tergo dell'area di scavo verrà predisposto un apposito schema di misure in grado di valutare le seguenti grandezze:

- cedimenti delle paratie;
- pressione dell'acqua interstiziale;
- spostamenti verticali del terreno in prossimità della paratia;
- spostamenti orizzontali delle paratie;
- spostamenti nelle strutture preesistenti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 59 di 70

Per il monitoraggio di queste opere è stata prevista la realizzazione di sezioni strumentate in corrispondenza delle quali predisporre la strumentazione sia in corrispondenza delle opere sia sul terreno a tergo delle stesse.

In corrispondenza delle sezioni strumentate verranno utilizzate le tipologie di strumenti di seguito elencate:

- capisaldi per il livellamento manuale di precisione (cedimenti del terreno)
- mire ottiche (miniprismi) per monitoraggio topografico (spostamenti diaframmi)
- piezometri elettrici (pressioni interstiziali del terreno)
- inclinometri (spostamenti orizzontali)

Gran parte degli strumenti saranno installati prima dell'inizio delle operazioni di scavo, al fine di poter ottenere una serie di almeno 4 letture di zero per ogni strumento, che serviranno come valori di riscontro per le misure successive. Le letture di zero di tali strumenti saranno eseguite, per gli strumenti che lo consentono, immediatamente dopo l'installazione; per gli strumenti che prevedono l'uso di resine o cemento, la lettura di zero sarà eseguita non appena tali sistemi di ancoraggio avranno fatto completamente presa.

11.2 MONITORAGGIO SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI EDIFICI

Per gli edifici ubicati in prossimità dell'area di scavo si prevede il controllo degli spostamenti indotte dalle operazioni di scavo. Il monitoraggio degli edifici viene realizzato mediante la seguente strumentazione:

- stazioni totali robotizzate con trasmissione a distanza delle misure;
- mire ottiche (miniprismi) disposte sulle facciate degli edifici prospicienti l'area di scavo;
- capisaldi per la misura del cedimento da ancorare alla base dell'edificio e da leggere con target topografici installati al momento della lettura
- clinometri per il controllo delle deformazioni (in caso di mancanza di visuale);

- fessurimetri (eventuali) disposti sulle fessure esistenti di particolare rilevanza strutturale, eventualmente remotizzabili.

Le stazioni totali potranno essere eventualmente spostate in funzione della fasizzazione dei lavori. Il numero delle mire dipende dai seguenti fattori:

- lunghezza dell'edificio;
- posizione dell'edificio da monitorare rispetto al bacino di subsidenza prodotto dallo scavo
- possibilità pratica di rilievo.

Ciascun edificio sarà comunque dotato di un numero minimo di 3 mire ottiche per ogni parete perimetrale libera ricadente, anche solo in parte, all'interno del bacino di subsidenza.

Per edifici in muratura la distanza delle mire, compatibilmente con la presenza di ostacoli o di altri vincoli, non dovrebbe essere maggiore di 3-4 metri. Nel caso di strutture a telaio in c.a. sarà installata almeno una mira in corrispondenza di ciascun elemento strutturale verticale visibile o comunque rilevabile. In presenza di edifici accostati, in prossimità del giunto verrà posta in opera una mira su ciascun edificio.

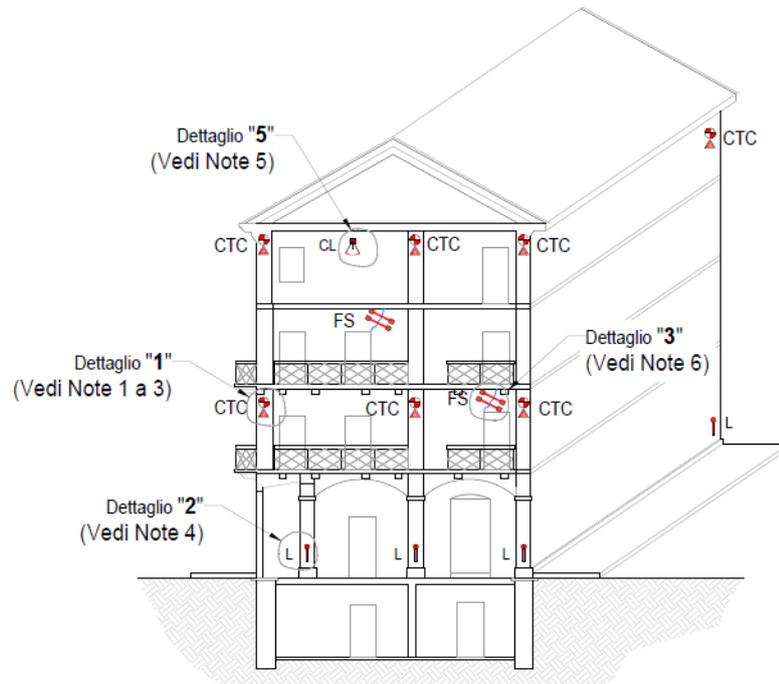


Figura 11-1: Tipologia strumentazione per edifici

L'installazione delle mire ottiche e il rilievo degli spostamenti devono essere effettuati lungo muri perimetrali che siano accessibili e comunque monitorabili. Si precisa che la posizione ottimale dei target ai fini del monitoraggio è orientativamente fra i 2.5 e 3 m dal piano di calpestio e cioè al di fuori della immediata accessibilità. Tale criterio è ovviamente soggetto alle limitazioni dovute alla presenza di ostacoli e alla possibilità di riguardare con i teodoliti automatici. In caso di non avere un'adeguata visuale verrà installato un clinometro biassiale.

Eventuali fessurimetri verranno posizionati a cavallo delle preesistenti fessure degli edifici in modo tale da permettere il rilievo degli spostamenti relativi tra i lembi della fessura.

Il monitoraggio delle vibrazioni è previsto nel piano di monitoraggio ambientale. Le vibrazioni saranno misurate negli edifici sensibili. Le misure delle vibrazioni indotte verranno eseguite mediante accelerometri stati installati all'interno dal piano terra.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006001	REV. A

11.3 MISURA DELLE DEFORMAZIONI DEI BINARI

Il sistema di monitoraggio previsto ha lo scopo di controllare la “qualità geometrica” dei binari ferroviari vicini alle opere ed agli scavi previsti in area sud e nord.

Verranno determinate le seguenti grandezze:

- cedimenti
- Sghembo “g”

Le misure realizzate, da confrontare con i limiti imposti dall’Istruzione, sono comprensive dei seguenti contributi:

- deformazioni eventualmente già presenti sul binario prima dell’intervento
- deformazioni indotte dalle deformazioni delle opere di sostegno.

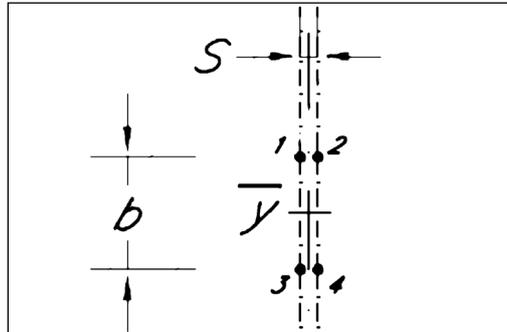
Stima dello Sghembo

Il parametro viene definito nel seguente modo:

Sghembo “ γ ”: è l’inclinazione espressa in ‰ relativa di una fila di rotaia rispetto all’altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale $XL^{(2)}$ fra due sezioni di binario poste ad una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa.

Considerando i cedimenti verticali C del piano campagna, la stima dello sghembo si ottiene con la seguente formula:

² Differenza di livello trasversale “XL”: è la differenza di quota di una rotaia rispetto all’altra in una sezione di binario.



I valori limite dei parametri considerati sono quelli che comportano vincoli all'esercizio ferroviario, in conformità a quanto riportato nell'Istruzione Tecnica RFI. Le interferenze che si considerano non ammissibili sono quelle per le quali risulta da istituire l'interruzione della circolazione.

Per il monitoraggio dei binari si prevede la lettura dei spostamenti verticali di punti posizionati sulla rotaia ad una interdistanza di 3,00 m, contrassegnati in modo indelebile.

Alla fine di ogni sessione di misura verrà costruito il grafico dell'andamento altimetrico delle rotaie ed i valori dello sghembo.

Il parametri geometrici oggetto di monitoraggio saranno:

- Cedimenti
- Sghembo su 3m;
- sghembo su 9 m;

Frequenza dei rilevamenti

Verrà eseguita una lettura iniziale per valutare le condizioni attuali di qualità geometrica del binario.

Durante l'esecuzione dei lavori, il monitoraggio del binario verrà attivato solo nel caso in cui gli spostamenti delle paratie e dei capisaldi più vicini al binario dovessero superare i valori identificati come soglia di attenzione.

La frequenza delle letture sarà definita in base agli spostamenti rilevati dalle misure di livellazione superficiale del piano campagna dei capisaldi più vicini al binario.

Tutti i dati di misura saranno validati giornalmente dall'analista preposto al controllo dei dati.

Le letture verranno eseguite da personale abilitato alla protezione cantiere; non risulta pertanto necessaria la scorta di personale ferroviario.

11.4 MONITORAGGIO DEI VERSANTI INTERESSATI DA FENOMENI DI DISSESTO

Per tutte le aree interessate dai dissesti analizzati nei paragrafi precedenti, è prevista l'installazione di una specifica strumentazione finalizzata al monitoraggio dell'evoluzione dei movimenti franosi e degli effetti sulle opere di nuova realizzazione.

La scelta della strumentazione da installare è dettata dai parametri che si intendono monitorare. In particolare nella tabella seguente vengono riportate le grandezze da misurare la strumentazione prevista.

Tabella 11-1 Grandezze da misurare e strumentazione prevista

	Grandezza da misurare	Strumentazione prevista
<i>Regime idraulico</i>	Misura di pressioni interstiziali	Celle di Casagrande
<i>Profilo degli spostamenti</i>	Spostamenti dei versanti	Inclinometri
<i>Spostamenti piano-altimetrici</i>	Spostamenti dei versanti	Microprismi
<i>Comportamento delle strutture (paratie, pozzi*, viadotti**)</i>	Spostamenti della struttura	Microprismi, inclinometri

*n.3 microprismi a pozzo, ** n. 4 microprismi per spalle e pile.

Per le aree in frana, oltre agli strumenti classici (inclinometri, piezometri, capisaldi, mire), si potrà prevedere

l'utilizzo di:

- stazione pluviometrica;
- stazione topografica robotizzata;
- interferometro terrestre;
- interferometria satellitare;
- laser scanner;
- sistema inclinometrico automatico, per il controllo modulare in profondità.

Gli strumenti di monitoraggio dovranno essere installati:

- all'esterno, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori in modo da poter acquisire un numero di dati significativi ai fini della valutazione della situazione "ante-opera";
- all'interno delle parti componenti l'opera (paratia, rivestimento provvisorio, rivestimento definitivo, ecc.), durante le fasi realizzative.

11.5 MONITORAGGIO DEI RILEVATI

Il monitoraggio dei rilevati previsti in progetto prevede misure di:

- cedimenti del rilevato e del piano campagna;
- cedimenti differenziali all'interno del terreno di fondazione;
- pressioni interstiziali;

La strumentazione per il rilievo delle grandezze sopra riportate è costituita da: capisaldi di superficie, celle piezometriche e assestimetri sia superficiali che profondi.

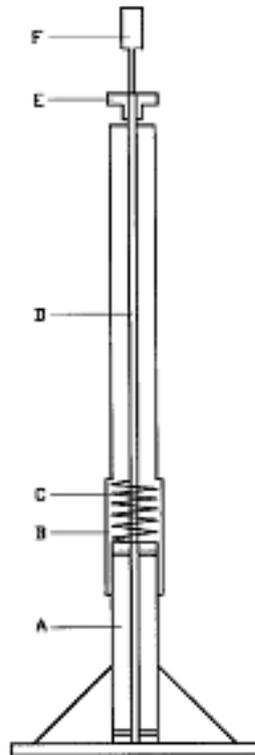
I cedimenti del piano di posa del rilevato saranno misurati attraverso assestimetri a piastra. Alla base della piastra è collegata l'asta di misura, protetta quest'ultima da un fodero isolato dalla piastra per mezzo di un manicotto elastico.

Il piano di appoggio della piastra sarà realizzato da un letto di calcestruzzo magro (sp. 10cm) che consenta di mettere in piano la piastra e quindi perfettamente verticale l'asta.

A protezione dell'asta assestimetrica durante la costruzione del rilevato si porrà l'assestimetro all'interno di un tubo di calcestruzzo in grado di assorbire le eventuali spinte della terra mossata dai mezzi o dai piccoli urti delle macchine in movimento. Il tubo di calcestruzzo sarà estratto un po' per volta con il progredire della costruzione del rilevato.

I movimenti della base dell'assestimetro sono misurati applicando in testa a questo una piccola stadia di riferimento.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto a un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi.



- A. PIASTRA 60 x 60 cm verniciata per protezione contro la corrosione. Completa di tubo h = 60 cm. Il tubo al suo interno ha due anelli saldati per il centraggio dell'asta di misura da 3/8"
- B. TUBO RIVESTIMENTO C/MANICOTTO x MOLLA L = 2,20 mt.
- C. MOLLA
- D. ASTA DI MISURA DA 3/8" in acciaio zincato con manicotto. Lunghezza: 280 cm. Completa di tubo di protezione da 2" in acciaio zincato L = 220 cm con una estremità filettata, e l'altra con manicotto. Compresi porta molla e guarnizione antipolvere.
- E. BOCCOLA x CENTRAGGIO ASTA DI MISURA
- F. DISPOSITIVO SUPERIORE DI TRAGUARDO

PROLUNGHE FILETTATE

Composte da tubo di misura da 3/8" e tubo di protezione da 2" con relativi manicotti
Lunghezze: 150 cm - 200 cm - 250 cm

Figura 11-2 Immagine rappresentative di assestimetri a piastra

11.6 CEDIMENTI DEL PIANO CAMPAGNA E DELLA SOMMITÀ DEL RILEVATO

Il rilevamento dei cedimenti superficiali del piano campagna e della sommità del rilevato avverranno attraverso battuta topografica. Il rilievo avverrà tramite lettura della stadia appoggiata in un pozzetto appositamente realizzato in opera nel punto di misura. Tale pozzetto presenterà idoneo coperchio in cls e un tubo in pvc di altezza minima di 1.0m. Il pozzetto sarà collegato a una barra d'acciaio ad aderenza migliorata infissa nel terreno per almeno 1.0m così come mostrato in Figura 11-3.

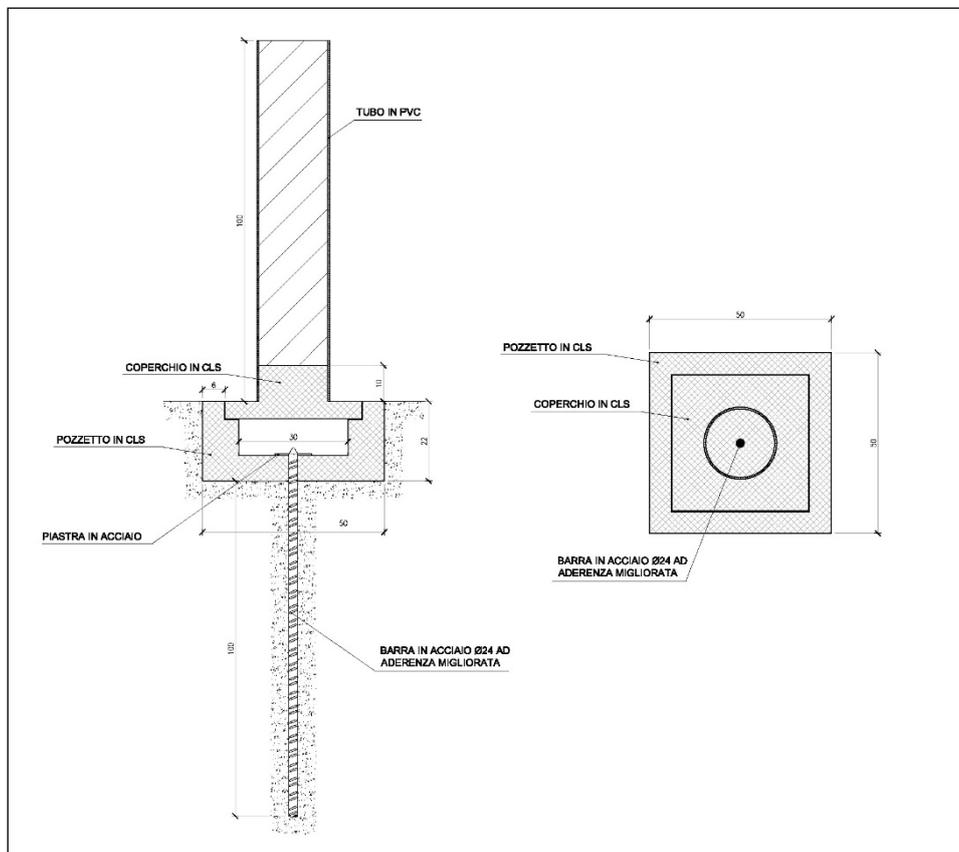


Figura 11-3 Pozzetto tipo per l'alloggiamento della stadia per la livellazione superficiale

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto a un sistema di riferimento tridimensionale.

Dall'elaborazione dei dati si ricaveranno i grafici dell'evoluzione di cedimenti e spostamenti orizzontali in funzione del tempo.

11.7 CEDIMENTI VERTICALI NEL TERRENO DI FONDAZIONE

Cedimenti verticali profondi nel terreno di fondazione del rilevato saranno rilevati attraverso assestimetri magnetici verticali. Tale strumento è costituito da un'asta, opportunamente svincolata dagli attriti con il terreno, attorno alla quale sono installati anelli magnetizzati che costituiscono i punti di misura. Il terreno soggetto a cedimento trascina con sé gli anelli ad esso ancorati. La misura consiste nel rilievo dell'approfondimento degli anelli rispetto alla testa della colonna. Lo strumento di lettura è costituito da una sonda dotata di cavo millimetrato e di un puntale/interruttore azionato dal campo magnetico creato dagli anelli.

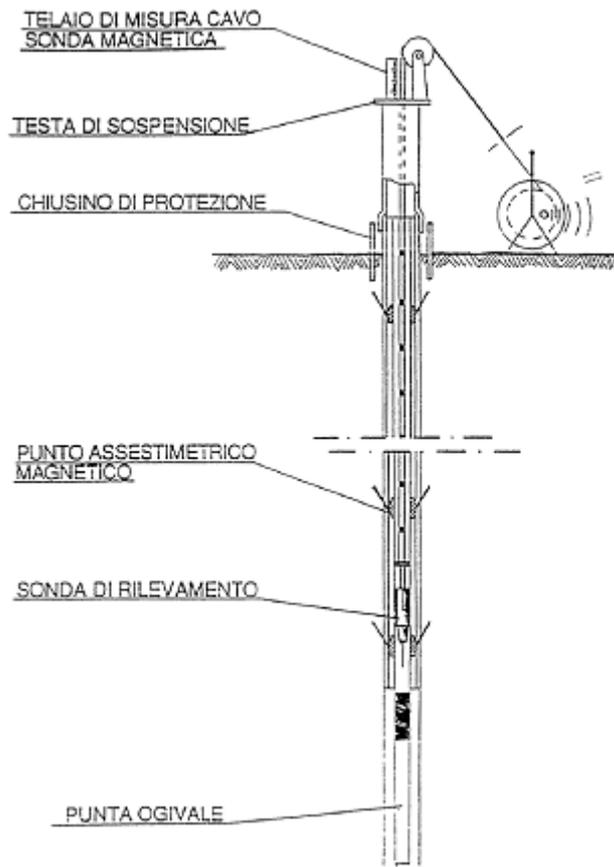


Figura 11-4 Assesti metro magnetico verticale tipo

11.8 PRESSIONI INTERSTIZIALI

Celle piezometriche saranno installate in perforazioni verticali realizzate a distruzione di nucleo. Le perforazioni avranno profondità di circa 10m all'interno del quale saranno alloggiati 2 celle piezometriche. Le caratteristiche delle celle dovranno essere adatte a misure piezometriche in terreni a bassa permeabilità ($k=1 \times 10^{-7} \div 1 \times 10^{-9} \text{m/s}$).

Al termine della procedura di una corretta installazione delle celle nel foro di perforazione (secondo indicazioni del fornitore), si dovrà verificare con una o più letture il funzionamento dello strumento installato.

Il cavo delle celle piezometriche dovrà essere portato al di fuori dal rilevato infossato in una trincea precedentemente preparata a partire dal foro di installazione. Alla base della trincea sarà posato un letto di sabbia (sp. 20cm) in cui verrà adagiato il cavo con andamento sinusoidale.

Terminate tutte le operazioni di installazione della cella piezometrica si provvederà a proteggere il terminale del cavo in attesa di una definitiva centralizzazione.

Il sistema di acquisizione dati potrà essere costituito da una centralina dotata di memoria. I dati saranno periodicamente riversati su PC per la loro elaborazione.