

COMUNE DI PALERMO



COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTO ESECUTIVO

**PRIMO LOTTO FUNZIONALE CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN
SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO
NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA**

STUDI, RILIEVI E INDAGINI
GEOTECNICA

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
R S 7 2	0 1	E	Z Z	R B	G E 0 0 0 5	0 0 1	C

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)

PROGETTAZIONE

GRANDI

INFRASTRUTTURE

PROGIN S.p.A.

PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato/Data
A	Emissione	Piccirillo	25/10/10	Piccirillo	25/10/10	S. Esposito
C	Emissione a seguito istruttoria Italferr	Piccirillo	20/09/11	Piccirillo	20/09/11	S. Esposito

Nole del file: RS7201EZZRBGE0005001_C n: Elab.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 2 di 88	

I N D I C E

1. PREMESSA	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 ELABORATI.....	4
2.2 NORMATIVA TECNICA	4
2.3 LINEE GUIDA	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	6
3.1 LINEAMENTI GEOLOGICI.....	6
3.2 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	7
3.3 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....	8
4. INDAGINI ESEGUITE	10
4.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA "METROTRAM" DEL 2000	10
4.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA "METROFERROVIA" DEL 2003	11
4.2.1 Laboratorio	13
4.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2010	15
4.3.1 Prove penetrometriche statiche CPTU	17
4.3.2 Indagini geofisiche	18
4.3.3 Laboratorio	18
4.4 LETTURE PIEZOMETRICHE.....	25
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	30
5.1 LINEAMENTI STRATIGRAFICI PRINCIPALI	30
5.2 CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI	31
5.2.1 Depositi incoerenti	31
5.2.2 Depositi coesivi	34
5.2.3 Quarzarenite	35
5.3 UNITÀ R.....	36
5.4 UNITÀ LR	37
5.5 UNITÀ ALF	38
5.6 UNITÀ CL.....	40
5.7 UNITÀ SC	41
5.8 UNITÀ SCL	44
5.9 UNITÀ SCG.....	46
5.10 UNITÀ LS	47
5.11 UNITÀ FNALT	49
5.12 UNITÀ FNA	51
5.13 UNITÀ FNQ	53
5.14 UNITÀ S/FNQ	54
5.15 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	56
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TRACCIATO	88

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 3 di 88

1. PREMESSA

Nel presente documento vengono riportate le considerazioni di carattere geotecnico relative alla progettazione esecutiva per l'esecuzione dei lavori "Chiusura dell'anello ferroviario in sotterraneo, nel tratto di linea tra le stazioni di Palermo Notarbartolo e Giachery e proseguimento fino a Politeama".

In particolare, il ramo di nuova realizzazione compreso nella prima fase funzionale, in prosecuzione alla fermata Giachery, è costituito per il primo tratto da una trincea di lunghezza pari a circa 200 m, per poi proseguire tutto in sotterraneo, comprendendo in successione la Fermata Porto e la Fermata Politeama. È inoltre prevista la realizzazione di una fermata interrata sul ramo esistente Notarbartolo-Giachery (Fermata Libertà), ubicata in corrispondenza dell'incrocio tra via Sicilia e via Lazio.

Il presente documento recepisce tutte le indagini ad oggi disponibili, che vengono elaborate al fine di pervenire ad una caratterizzazione geotecnica generale dei terreni ed alla definizione dei modelli geotecnici idonei per la progettazione di dettaglio. In particolare nel seguito verranno affrontati i seguenti argomenti:

- breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico dell'area in esame;
- sintesi delle indagini in sito e delle prove di laboratorio eseguite;
- caratterizzazione geotecnica e definizione dei parametri di progetto per le unità geotecniche individuate lungo il tracciato.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 4 di 88

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 ELABORATI

- [1] RS1L 01 D 79 RH GE0001 00A A – “Relazione Geologica” - Progetto Definitivo; 2004.
- [2] RS1L 01 D 79 F5 GE0005 00A A – “Profilo Geologico” - Progetto Definitivo; 2004.
- [3] RS1L 01 D 11 RB OC0001 001 B – “Relazione geotecnica generale” - Progetto Definitivo; 2004.
- [4] “Relazione Geologica” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [5] “Profilo Geologico” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [6] “Profilo idrogeologico” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [7] “Carta della pericolosità sismica” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [8] “Carta geomorfologica” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [9] “Carta idrogeologica” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [10] “Carta della pericolosità geologica” - Progetto esecutivo; 2010.
- [11] “Carta geologica” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [12] “Carta litotecnica” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [13] “Carta ubicazione indagini” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [14] “Sezioni idrogeologiche trasversali” - Progetto Esecutivo; 2010.
- [15] “Profilo geotecnico” – Progetto Esecutivo; 2010.
- [16] “Profilo geotecnico fermata Libertà” – Progetto Esecutivo; 2010.

2.2 NORMATIVA TECNICA

- [17] D.M. LL.PP. del 2 agosto 1980 "Criteri Generali e Prescrizioni Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [18] D.M. 11.03.1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
- [19] D.M. LL.PP. del 4 maggio 1990 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 5 di 88

- [20] D.M. 09.01.1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- [21] D.M. 16.01.1996 "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- [22] D.M. 16.01.1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- [23] Circolare 156 del 04.07.1996 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- [24] Circ. Min. LL.PP. del 15 ottobre 1996 n. 252 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la disciplina ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale del 9 gennaio 1996.

2.3 LINEE GUIDA

- [25] AGI Associazione Geotecnica Italiana, "Linee Guida sugli aspetti geotecnici della progettazione antisismica" Edizione Provvisoria, 2005.
- [26] AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sui pali di fondazione", 1984.
- [27] AICAP, "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce-Raccomandazioni", Maggio 1993.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 6 di 88

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 LINEAMENTI GEOLOGICI

La zona interessata, come quasi tutta la Piana di Palermo, è, da un punto di vista geologico, dominata dal "Complesso Calcarenitico-sabbioso", che nella sua generalità si presenta stratificato in banchi con giacitura lievemente inclinata verso l'attuale linea di costa.

All'interno dei singoli banchi spesso si intravede una stratificazione secondaria del tipo "incrociata" che ne denuncia una sedimentazione in ambiente litorale.

I granuli costituenti lo "scheletro" del sedimento sono di origine carbonatica ma frequenti livelli sono formati da granuli quarzosi. La colorazione giallo-ocra è ascrivibile alla presenza di ossidi di ferro e di alluminio, il cemento è calcitico.

La giacitura della formazione calcarenitica è quella originaria e, quindi, il suo affioramento è dovuto ad "abbandono" del mare per il suo ritiro in seguito alla regressione.

Ciò significa che essa non è stata interessata da fenomeni tettonici di sollevamento che abbiano potuto provocare la formazione di faglie.

La successione litostratigrafica di questa formazione geologica è generalmente contraddistinta dalla presenza di: calcareniti cementate, calcareniti tenere, sabbie calcarenitiche, sabbie grossolane, ghiaie e sabbie limose.

Nell'area direttamente interessata dalla stazione Libertà è presente sostanzialmente il litotipo costituito da calcareniti tenere e calcareniti prevalentemente cementate, mentre per quanto riguarda la restante parte del tracciato (Trincea Ucciardone, Galleria Crispi, Stazione Porto, Galleria Crispi/Amari, Stazione Politeama) le indagini eseguite e le risultanze dei rilievi geologici hanno confermato che questa porzione del centro urbano è caratterizzata dalla presenza di una zona di transizione geologica con frequenti variazioni di facies, passaggi verticali ed orizzontali tra i litotipi sopra descritti.

Il complesso calcarenitico-sabbioso riferibile al Pleistocene poggia in concordanza stratigrafica sul complesso limo-sabbioso del Pliocene costituito da limi sabbiosi grigi, poco consistenti o inconsistenti, ricchi in fossili con intercalati livelli sabbiosi poco addensati e strati calcarenitici cementati.

In discordanza stratigrafica ed angolare, al di sotto dei terreni Plio-Pleistocenici, si trova la Formazione del Flysch Numidico che, a causa dei fenomeni tettonici legati al sovrascorrimento e successiva messa in posto dei Monti di Palermo, presenta un tetto fortemente ondulato tanto che in una porzione del tracciato, su Via E. Amari, affiora al di sotto di un modesto spessore di terreno di riporto.

Si tratta di una potente formazione, litologicamente costituita da un'alternanza di argille ed argilliti grigie e/o brune, quarzareniti e quarzosiltiti grigio-giallastre, nella quale si possono distinguere due diverse litofacies principali: quella arenacea e quella argillosa.

I terreni presenti, nell'area direttamente interessata dai manufatti in studio, sono rappresentati da argille siltose, generalmente brune o color tabacco, ricche in ossidi di ferro, con intercalazioni di lenti

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 7 di 88

quarzarenitiche e livelli sabbiosi costituiti anch'essi prevalentemente da quarzo. Localmente si individuano rari livelli calcarei.

Mineralogicamente sono costituite da fillosilicati quali clorite, caolinite, montmorillonite ed illite; inoltre sono presenti minerali di ferro quale siderite e pirite.

La struttura si presenta scagliettata e caotica, con scaglie millimetriche, talora lucide per effetti di striature, legate agli stress tettonici che si sono avvicendati nel corso degli eventi geologici.

La stratificazione è assente, distinguibile raramente in presenza dei livelli quarzarenitici.

Le formazioni geologiche sopra citate sono ricoperte da strati di spessore variabile di terreni di riporto legati alla realizzazione della vasta area portuale e di alluvioni limose e limo-sabbiose legate alla deposizione del corso d'acqua Passo di Rigano, oggi completamente canalizzato.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica (cfr. [4]).

3.2 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

Da un punto di vista geomorfologico l'area è costituita da un paesaggio molto regolare contraddistinto da terrazzi marini formatisi durante il Pleistocene e caratterizzati generalmente dall'affioramento del "Complesso Calcarenitico-sabbioso".

Localmente si rinvencono in affioramento i litotipi riferibili alla Fm. del Flysch Numidico e ciò è da mettere in relazione all'andamento fortemente ondulato del tetto di questa formazione a causa dei fenomeni orogenetici che hanno messo in posto i cosiddetti Monti di Palermo.

Le condizioni di stabilità dell'area sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio.

Non si ritiene, quindi, di eseguire verifiche di stabilità dei versanti poichè essendo l'area pianeggiante e totalmente esente da qualunque fenomenologia geodinamica che possa modificare l'attuale habitus geomorfologico, non è possibile l'instaurarsi di alcun movimento franoso e, quindi, i calcoli farebbero registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla legge.

E', invece, da evidenziare che la parte iniziale della trincea Ucciardone, la stazione Libertà ed una porzione della Stazione Politeama rientrano all'interno della zona di attenzione per la presenza di vecchie cavità antropiche di vario tipo tra cui gallerie legate alla coltivazione di cave di calcarenite che possono produrre cedimenti e crolli del suolo.

A tale scopo, come riportato nella relazione geologica (cfr. [4]), è stata eseguita una dettagliata indagine geofisica tramite georadar e sismica passiva (tromografia) che è servita ad escludere la presenza di cavità al di sotto del tracciato interessato

Come si evince facilmente dall'osservazione della carta geomorfologica, il territorio attraversato dal tracciato ferroviario in progetto è interamente compreso all'interno del tessuto urbano, interessando zone densamente abitate e di elevato pregio architettonico,.

Il centro abitato negli anni si è sviluppato in un'area a tipica morfologia pianeggiante, famosa nel mondo per la sua fertilità e ricchezza di acqua, la cosiddetta "Conca D'Oro", ampia pianura delimitata ad Est dal

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 8 di 88

mare ed a Sud, Ovest e Nord dai rilievi carbonatici, i cosiddetti "Monti di Palermo".

La porzione di Piana, che ricade nella parte relativamente più prossima alla linea di costa (tratto Ucciardone-Politeama), è caratterizzata da quote variabili tra i 2 metri s.l.m. nella zona portuale e 20 metri s.l.m. nella zona Politeama, con una morfologia rappresentata da superfici subpianeggianti tendenti a degradare dolcemente in direzione della linea di costa, mentre la stazione Libertà si colloca in un vasto terrazzo marino a quote variabili tra 28 e 30 mt. s.l.m..

La zona portuale è stata notevolmente modificata dall'intervento antropico rispetto alla originaria configurazione, essenzialmente con un avanzamento della originaria linea di costa verso il mare, per la realizzazione dei moli e delle banchine.

La linea di costa si apre sul mare a forma di mezzaluna e la Piana si eleva sino alla quota di un centinaio di metri dal livello del mare dove con una brusca rottura di pendenza spiccano le ripide pareti dei rilievi calcarei, con un andamento sub-parallelo alla costa.

Come detto prima la Piana di Palermo è prevalentemente calcarenitica ed è quindi il risultato sia dell'azione morfologica degli agenti morfogenetici attivi che smantellavano i rilievi calcarei, sia del mare che con le sue correnti e la sua attività deposizionale ha creato le condizioni per il riempimento del vasto bacino flyschoidale che si era creato a valle dei rilievi carbonatici.

A questo si deve aggiungere l'intensa attività dei corsi d'acqua che dai Monti di Palermo raggiungevano il mare attraversando ed incidendo più o meno profondamente la Piana.

I principali corsi d'acqua erano il Fiume Oreto, il Kemonia, il Papireto, il Passo di Rigano che direttamente interessa la nostra zona. Gli ultimi tre sono ormai totalmente tombati ed inglobati nel tessuto urbano mentre il primo, anche per le sue considerevoli proporzioni, continua a rivestire un'importanza notevole nell'idrografia superficiale della Piana.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica (cfr. [4]).

3.3 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio è caratterizzata dalla totale mancanza di una rete idrografica superficiale che è da mettere in relazione allo sviluppo urbanistico della città che ha completamente occultato l'impluvio del Canale Passo di Rigano ed alla notevole permeabilità dei terreni calcarenitici che favorisce l'infiltrazione delle acque piovane sottraendole al deflusso superficiale.

Inoltre la notevole permeabilità dei terreni favorisce l'infiltrazione delle acque piovane ma, purtroppo, anche delle acque potabili dell'acquedotto e quelle reflue della rete fognante che presentano elementi di forte criticità.

Le acque infiltratesi vanno a ricaricare la falda freatica il cui livello piezometrico in corrispondenza del tratto compreso tra la Trincea Ucciardone e la Stazione Porto è sostanzialmente coincidente con il livello del mare, salvo periodici innalzamenti in occasione di prolungati periodi di pioggia (cfr. [6]).

In relazione alle caratteristiche di permeabilità dei tipi litologici presenti in corrispondenza dell'area direttamente interessata dal progetto si deve evidenziare che la notevole eterogeneità litologica e le rapide, quanto numerose eteropie di facies sia orizzontali che verticali, hanno un'influenza notevole anche

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 9 di 88	

sulla permeabilità del complesso la cui valutazione è stata oggetto di studio in fase di progettazione definitiva ma che è stato necessario approfondire in relazione al fatto che i dati in possesso spaziavano su range molto ampi. A tale proposito sono state eseguite prove di permeabilità in situ, tipo Lefranc e prove di permeabilità in laboratorio sui campioni prelevati.

Vista la notevole eterogeneità dei risultati ottenuti, anche con queste ulteriori indagini, per il complesso calcarenitico-sabbioso si è ritenuto utile eseguire alcune indagini tomografiche per individuare il tetto del substrato impermeabile costituito dai litotipi della Formazione del Flysch Numidico e quindi lo spessore reale della falda ed una prova di pompaggio che ha permesso di avere un quadro completo ed esaustivo del comportamento dell'intero ammasso.

Nello specifico si deve dire che il complesso calcarenitico-sabbioso, da un punto di vista geologico, è stato suddiviso in una porzione prevalentemente calcarenitica, granulometricamente omogenea, che interessa la Stazione Libertà ed una porzione denominata "di transizione" caratterizzata da frequenti intercalazioni e passaggi verticali ed orizzontali tra sabbie, ghiaie, sabbie limose e limi sabbiosi.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica (cfr. [4]), al profilo idrogeologico (cfr. [6]), alla carta idrogeologica (cfr. [9]) e alle sezioni idrogeologiche trasversali (cfr. [14]).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 10 di 88

4. INDAGINI ESEGUITE

Lungo il tracciato in esame sono state eseguite diverse campagne geognostiche consistite da indagini in sito e di laboratorio al fine di caratterizzare le formazioni stratigrafiche presenti.

In particolare le campagne geognostiche eseguite sono le seguenti:

- Campagna geognostica “Metrotram” del 2000;
- Campagna geognostica “Metroferrovia” del 2003;
- Campagna geognostica del 2010, finalizzata alla redazione del Progetto Esecutivo;
- Indagini integrative del 2011

Nel seguito vengono descritte nel dettaglio tutte le indagini eseguite nelle varie campagne di indagine sopra citate.

4.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA “METROTRAM” DEL 2000

Durante la campagna geognostica del 2000 nel tratto di interesse progettuale sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.3 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “S”) di lunghezza variabile da 10 a 22 m.

Durante la perforazione dei sondaggi:

- sono stati prelevati 4 campioni rimaneggiati e 1 campione lapideo per le prove di laboratorio;
- sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT nei materiali incoerenti;
- sono stati segnalati valori di RQD nei livelli litoidi.

Per i certificati delle indagini si rimanda agli allegati della relazione geologica di Progetto Definitivo (cfr. [1]).

Nella seguente Tabella 1 si riassumono i sondaggi eseguiti e le profondità raggiunte .

Tabella 1– indagini in sito campagna 2000

Sondaggio	Zona	Profondità m	N. Prove SPT
-	-	-	-
S01	Fermata Libertà	22.0	2
S02BIS	Fermata Libertà	22.0	4
S07	Trincea Ucciardone	10.0	3

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE						
					(Mandataria) Sab (Mandante)  						
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA											
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 11 di 88		

4.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA "METROFERROVIA" DEL 2003

Durante la campagna geognostica del 2003 nel tratto di interesse progettuale sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.11 sondaggi a carotaggio continuo (denominati "SM") di lunghezza variabile da 20 a 40 m;
- installazione di n.7 piezometri a tubo aperto;
- n. 4 prove sismiche tipo Down-Hole;
- indagini geofisiche georadar.

Durante la perforazione dei sondaggi:

- sono stati prelevati n.7 campioni indisturbati per le prove di laboratorio;
- sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT nei materiali incoerenti;
- sono stati misurati valori di Pocket Penetrometer nelle carote prevalentemente coesive;
- sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc e tipo Lugeon.

Per i certificati delle indagini si rimanda agli allegati della relazione geologica di Progetto Definitivo (cfr. [1]).

Nelle seguenti tabelle si riassumono i sondaggi eseguiti, le profondità raggiunte, le indagini in sito eseguite e la strumentazione installata.

Tabella 2 – indagini in sito campagna 2003

Sondaggio	Zona	Profondità m	N. Prove SPT	Strumentazione installata m	N. Prove Permeabilità
-	-	m	-	m	-
S1M	GA Crispi/Amari	28.4	5	TA (1.5÷28.4)	2 (Le)
S2M	GA Crispi/Amari	30.0	5	DH	1 (Le)
S3M	GA Crispi/Amari	27.0	1	TA (3.0÷27.0)	2 (Lu)
S4M	GA Crispi/Amari	29.0	1	TA (3.0÷29.0)	-
S5M	Fermata Politeama	26.8	-	DH	2 (Le)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 12 di 88	

Sondaggio	Zona	Profondità m	N. Prove SPT	Strumentazione installata m	N. Prove Permeabilità
-	-	m	-	m	-
S6M	Fermata Politeama	20.0	2	TA (5.5÷20.0)	2 (Le), 1(Lu)
S11M	GA Crispi	30.0	5	TA (3.0÷30.0)	3 (Le)
S12M	GA Crispi	30.0	5	DH	2 (Le)
S13M	Fermata Porto	30.0	8	TA (3.0÷30.0)	2 (Le)
S14M	GA Crispi/Amari	40.0	10	DH	2 (Le)
S15M	GA Crispi/Amari	30.0	5	TA (1.0÷30.0)	1 (Le)

TA(..)=piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

DH = tubo per prova Down Hole

Le = prova di permeabilità Lefranc

Lu = prova di permeabilità Lugeon

Tabella 3 – prove di permeabilità Lefranc campagna 2003

Sondaggio	Campagna d'indagine	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità
S1M	2003	LE1	6.0-7.0	1.60E-06	SC
		LE2	12.0-13.0	7.10E-07	SCG
S2M	2003	LE1	4.0-6.0	5.60E-07	FNAIt
S5M	2003	LE1	9.5-10.5	5.40E-08	FNA
		LE2	20.0-22.0	2.30E-08	FNA
S6M	2003	LE1	2.5-4.0	2.20E-06	SC
		LE2	5.0-6.5	1.60E-06	SC
S11M	2003	LE1	5.0-6.5	2.90E-06	SC
		LE2	10.5-12.0	1.20E-06	SC
		LE3	23.0-24.5	6.30E-07	SC
S12M	2003	LE1	5.5-7.0	7.80E-07	ALF
		LE2	18.0-19.5	6.80E-07	SC
S13M	2003	LE1	4.0-5.5	1.20E-06	SC
		LE2	10.0-11.5	1.10E-06	SC
S14M	2003	LE1	2.0-4.0	6.10E-06	R
		LE2	7.0-9.0	1.90E-06	SCL
S15M	2003	LE1	10.0-12.0	1.10E-06	SCL

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 13 di 88

Tabella 4 – prove di permeabilità Lugeon campagna 2003

Sondaggio	Campagna d'indagine	N. prova	Profondità prova [m]	Assorbimento in unità Lugeon [UL]	Unità
S3M	2003	LU1	3.0-4.5	18.17	FNQ
		LU2	12.7-14.2	21.36	FNQ
S6M	2003	LU1	10.0-12.0	18.29	FNQ

4.2.1 Laboratorio

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometrica;
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra;
- Determinazione del peso dell'unità di volume γ ;
- Determinazione del peso specifico dei grani G_s ;
- Prove a compressione assiale semplice (ELL);
- Prove di taglio diretto;
- Prove triassiali consolidate drenata;
- Prove di permeabilità.

Nella seguente Tabella 5 si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante questa campagna geognostica di cui, allo stato attuale, sono disponibili i certificati.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 14 di 88

Tabella 5– riepilogo risultati prove di laboratorio attualmente disponibili campagna 2003

Sondaggio	-	S1M	S2M	S3M	S4M	S12M	S15M
Campione	-	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Unità	-	LR	FNAIt	FNAIt	FNAIt	ALF	SCL
Prof.	m	1.75	4.25	6.75	8.00	8.75	21.75
Granulometria							
G	%	13.0	5.0	1.0	0.0	1.0	1.0
S	%	29.0	44.0	12.0	24.0	19.0	29.0
L + A	%	58.0	51.0	87.0	76.0	80.0	70.0
L	%	30.0	35.0	49.0	55.0	48.0	56.0
A	%	28.0	16.0	38.0	21.0	32.0	14.0
Limiti di Atterberg							
W _L	%	40.0	37.0	41.0	35.0	44.0	26.0
W _P	%	19.0	16.0	21.0	17.0	20.0	17.0
I _c	-	1.19	0.65	0.81	1.14	-0.10	0.52
I _p	%	21.0	21.0	20.0	18.0	24.0	9.0
Caratteristiche fisiche							
γ _N	kN/m³	19.1	20.0	19.7	21.8	17.0	20.2
γ _S	kN/m³						
G _s	-						
w _N	%	15.1	23.4	24.9	14.5	46.4	21.3
e	-						
S	%						
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)							
E _{bd}	MPa						
c _v	cm²/s						
c _α	-						
k	m/s						
Resistenza a compressione monoassiale							
σ _c	MPa						
Resistenza non drenata							
(TX-UU) c _u	kPa						
(TX-ELL) c _u	kPa			144.5	322.8		62.6
Resistenza drenata							
(TD) c	kPa						
(TD) f	°						
(TD) c _r	kPa						
(TD) f _r	°						
(TX-CIU) c	kPa						
(TX-CIU) f	°						
(TX-CID) c	kPa						
(TX-CID) f	°						

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 15 di 88

4.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2010

Durante la campagna geognostica del 2010 finalizzata alla redazione del Progetto Esecutivo sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.14 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SE”) di lunghezza variabile da 15 a 35.5 m;
- n. 2 sondaggi meccanici sub-orizzontali a carotaggio continuo di lunghezza pari a 5 m denominati SR1 e SR3 e n. 1 sondaggio verticale di lunghezza pari a 5 m denominato SR2 all'interno della galleria esistente Ranchibile dove il progetto prevede la realizzazione della stazione Libertà;
- installazione di n.9 piezometri a tubo aperto;
- installazione di n.1 piezometro Casagrande;
- n. 3 prove sismiche tipo Down Hole;
- n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n. 1 prova di pompaggio in corrispondenza del sondaggio SE03;
- indagini di sismica passiva a stazione singola tromografica;
- indagini georadar.

Durante la perforazione dei sondaggi:

- sono stati prelevati campioni rimaneggiati di terreno, campioni lapidei e ove possibile campioni indisturbati per le prove di laboratorio;
- sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT nei materiali incoerenti;
- sono stati segnalati valori di RQD nei livelli litoidi;
- sono state eseguite determinazioni speditive sulle caratteristiche di resistenza (Pocket Penetrometer) ed addensamento dei materiali;
- sono state eseguite n.6 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- sono state eseguite n. 2 prove pressiometriche Menard nei fori dei sondaggi SR1 e SR2.

Le carote di terreno/roccia estratte sono state riposte in apposite cassette catalogatrici, delle quali sono state eseguite fotografie.

Per i certificati delle indagini si rimanda alla relazione geologica (cfr. [4]).

Nella seguente Tabella 6 si riassumono i sondaggi eseguiti, le profondità raggiunte, la strumentazione installata e le indagini in sito eseguite durante la campagna geognostica in esame.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE						
					(Mandataria) Sab (Mandante)  						
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA											
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 16 di 88		

Tabella 6 – indagini in sito campagna 2010

Sondaggio	Zona	Profondità m	N. Prove SPT	Strumentazione installata m	N. Prove Permeabilità
-	-	m	-	m	-
SE01	Fermata Libertà	20.5	5	TA (0÷20.5)	2 (Le)
SE02	Fermata Libertà	30.5	5	DH	-
SE03	GA Crispi	21.0	5	TA (0÷21.0)	4 (Le)
SE04	GA Crispi	20.0	4	TA (0÷20.0)	-
SE05	Fermata Porto	25.0	6	TA (0÷25.0)	-
SE05bis	GA Crispi/Amari	15.0	3	TA (0÷15.0)	-
SE06	GA Crispi/Amari	35.5	8	CA (18.5)	-
SE07	GA Crispi/Amari	30.0	5	TA (0÷30.0)	-
SE08	GA Crispi/Amari	30.0	5	DH	-
SE09	GA Crispi/Amari	20.0	5	-	-
SE10	GA Crispi/Amari	24.5	5	TA (0÷24.5)	-
SE11	Fermata Politeama	25.0	5	TA (0÷25.0)	-
SE11bis	Fermata Politeama	26.5	4	TA (0÷26.5)	-
SE12	Fermata Politeama	31.0	4	DH	-

TA(..) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante)

CA(..) = piezometro Casagrande (profondità cella)

DH = tubo per prova Down Hole

Le = prova di permeabilità Lefranc

Lu = prova di permeabilità Lugeon

Nella seguente Tabella 7 si riassumono i risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 17 di 88	

campagna geognostica del 2010.

Tabella 7 – Prove di permeabilità Lefranc campagna 2010

Sondaggio	Campagna d'indagine	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità
SE01	2010	LE	5.0	2.09E-04	SC
		LE	11.0	3.45E-05	SC
SE03	2010	LE	5.8	4.45E-04	SC
		LE	10.0	5.69E-05	SC
		LE	14.5	5.11E-05	SC
		LE	25.3	2.56E-03	SC

Nella seguente Tabella 8 si riassumono i risultati delle prove pressiometriche Menard eseguite durante la campagna geognostica del 2010 in corrispondenza della galleria esistente Ranchibile dove il progetto prevede la realizzazione della stazione Libertà.

Tabella 8 – Prove pressiometriche campagna 2010

Sondaggio	anno	prova	Profondità di prova [m]	Unità	Modulo pressimetrico [MPa]
SR1	2010	1	0	SC	124.1
SR2	2006	2	5	SC	130.5

4.3.1 Prove penetrometriche statiche CPTU

Sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) nella zona della Galleria Artificiale Crispi dove già in sede di P.D. era stata evidenziata la presenza di depositi alluvionali recenti costituiti da limi e sabbie limose con presenza di sostanza organica. Considerata la presenza di terreni superficiali molto eterogenei ma prevalentemente sabbiosi – ghiaiosi è stato necessario eseguire prefiori di spessore variabile da 3.5 a 4.5 m circa.

Tabella 9 – Prove penetrometriche CPTU campagna 2010

Prova	Profondità raggiunta dalla prova [m]	Profondità prefioro da p.c. [m]
CPTU1	14.88	4.5
CPTU2	17.00	3.5

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche in esame, sono stati misurati valori di

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 18 di 88

resistenza alla punta estremamente bassi, prossimi allo zero (come evidenziato dai certificati delle prove riportati nella relazione geologica, cfr. [4]). Come confermato anche dall'operatore che ha eseguito la prova, ciò è stato ricondotto alla presenza di terreni in sito molto sciolti in cui lo strumento "affondava". Pertanto, in relazione alle difficoltà operative (tipo di terreno in sito e mancato ancoraggio dello strumento), i risultati della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale f_s misurati sono da considerarsi poco attendibili e comunque non utilizzabili ai fini della determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità.

4.3.2 Indagini geofisiche

Le indagini geofisiche sono state finalizzate alla ricostruzione del profilo stratigrafico locale e alla ricerca di cavità essendo l'area inserita all'interno delle "zone di attenzione" del P.A.I. per la presenza di vecchie cave in sotterraneo.

In particolare le indagini sono consistite in:

- n. 3 indagini sismiche tipo Down – Hole per la misura delle velocità delle onde P e S;
- indagini di sismica passiva a stazione singola tomografica attraverso l'esecuzione di n.12 sondaggi tomografici;
- Indagini georadar.

Nella seguente Tabella 10 si riportano le profondità raggiunte dalle prove Down – Hole eseguite.

Tabella 10 – indagini sismiche tipo Down – Hole campagna 2010

Sigla foro di sondaggio	Profondità prova [m]	Zona
SE02	28.0	Fermata Libertà
SE08	26.0	Galleria Artificiale Crispi/Amari
SE12	24.0	Fermata Politeama

Per maggiori dettagli sull'ubicazione e le modalità operative dei sondaggi tomografici e delle indagini georadar, si rimanda alla relazione geologica (cfr. [4]).

4.3.3 Laboratorio

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- apertura e riconoscimento del materiale;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua (ASTM D2216);
- determinazione del peso di volume γ (BS1377 T15);
- determinazione del peso specifico dei grani (ASTM D854);

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 19 di 88

- Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra (ASTM D4318);
- analisi granulometrica per setacciatura per via umida (ASTM D 422);
- analisi granulometrica per sedimentazione con il metodo del densimetro (ASTM D 422);
- prova di permeabilità in cella edometrica (ASTM D 2435-80, D 4186-82, D 4546-85);
- prova di permeabilità a carico costante (AASHTO T 215-70, ASTM D 2434-68, BS1377:Part5:1990);
- prova di permeabilità a carico variabile;
- prova di compressione uniassiale su campioni litoidi (UNI EN 1926:2000);
- prova di taglio diretto (ASTM D3080);
- prova di compressione triassiale consolidata non drenata (Racc. A.G.I. 1994);
- prova di compressione triassiale non consolidata non drenata (Racc. A.G.I. 1994).

Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio effettuate.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 20 di 88

Tabella 11 – riepilogo risultati prove di laboratorio campagna 2010

Sondaggio	-	SE02	SE02	SE02	SE03	SE03	SE03
Campione	-	CL1	CL2	CL3	CL1	CL2	CL3
Unità	-	CL	CL	CL	CL	CL	CL
Prof.	m	5.50	16.50	16.80	2.70	9.55	16.00
Granulometria							
G	%						
S	%						
L + A	%						
L	%						
A	%						
Limiti di Atterberg							
W _L	%						
W _P	%						
I _c	-						
I _P	%						
Caratteristiche fisiche							
γ _N	kN/m ³	20.6	16.8	15.7			
γ _S	kN/m ³						
G _s	-						
w _N	%						
e	-						
S	%						
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)							
E _{ed}	MPa						
c _v	cm ² /s						
c _α	-						
k	m/s						
Resistenza a compressione monoassiale							
σ _c	MPa	10020	7820	4760	1490	940	3840
Resistenza non drenata							
(TX-UU) c _u	kPa						
(TX-ELL) c _u	kPa						
Resistenza drenata							
(TD) c	kPa						
(TD) f	°						
(TD) c _r	kPa						
(TD) f _r	°						
(TX-CIU) c	kPa						
(TX-CIU) f	°						
(TX-CID) c	kPa						
(TX-CID) f	°						
Permeabilità							
k	m/s						

(continua)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 21 di 88

Sondaggio	-	SE04	SE04	SE04	SE04	SE04	SE05
Campione	-	C1	C2	C3	C4	C5	CL1
Unità	-	ALF	ALF	ALF	ALF	ALF	CL
Prof.	m	3.50	6.50	8.50	13.00	19.00	6.00
Granulometria							
G	%						
S	%						
L + A	%						
L	%						
A	%						
Limiti di Atterberg							
W _L	%			41.4	48.4	43.5	
W _P	%			20.5	20.8	23.4	
I _c	-			0.04	0.08	0.11	
I _p	%			20.9	27.6	20.0	
Caratteristiche fisiche							
γ _N	kN/m³	17.0	16.2	16.7	16.7	16.8	
γ _S	kN/m³						
G _s	-						
w _N	%		55.8	40.5	46.2	41.2	
e	-						
S	%		97.8	89.4	95.5	91.7	
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)							
E _{bd}	MPa						
c _v	cm²/s						
c _α	-						
k	m/s						
Resistenza a compressione monoassiale							
σ _c	MPa						4840
Resistenza non drenata							
(TX-UU) c _u	kPa						
(TX-ELL) c _u	kPa						
Resistenza drenata							
(TD) c	kPa		6.0	2.0			
(TD) f	°		34.0	27.0			
(TD) c _r	kPa						
(TD) f _r	°						
(TX-CIU) c	kPa				16.5		
(TX-CIU) f	°				21.0		
(TX-CID) c	kPa						
(TX-CID) f	°						
Permeabilità							
k	m/s	1.03E-06		3.36E-10	2.21E-10	1.55E-10	

(continua)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 22 di 88

Sondaggio	-	SE06	SE06	SE06	SE06	SE06	SE06	SE07
Campione	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1
Unità	-	SCL	SCL	SCL	SCL	SCL	LS	SC
Prof.	m	8.70	10.40	13.25	20.15	22.25	29.85	10.75
Granulometria								
G	%		9.0	22.4	0.9	0.4	0.8	1.1
S	%		53.8	31.3	68.8	50.3	32.7	42.0
L + A	%		37.2	46.2	30.4	49.4	66.6	57.0
L	%		21.8	25.3	21.8	36.5	64.6	40.5
A	%		15.4	20.9	8.6	12.9	1.9	16.4
Limiti di Atterberg								
W _L	%		23.9			18.4	25.2	
W _P	%					15.5	19.2	
I _c	-					-1.55	0.19	
I _p	%					3.0	6.1	
Caratteristiche fisiche								
γ _N	kN/m³	18.1	19.8	18.3	19.0	20.1	19.6	18.8
γ _S	kN/m³							
G _s	-							
w _N	%	28.7	32.3	29.9	28.5	23.0	24.1	34.0
e	-			0.950	0.851	0.647	0.679	0.954
S	%	90.4	92.0	86.2	91.7	95.8	94.0	97.5
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)								
E _{ed}	MPa							
c _v	cm²/s							
c _u	-							
k	m/s							
Resistenza a compressione monoassiale								
σ _c	MPa							
Resistenza non drenata								
(TX-UU) c _u	kPa							
(TX-ELL) c _u	kPa							
Resistenza drenata								
(TD) c	kPa	1.0	2.0	7.0	2.0	5.0	10.0	4.0
(TD) f	°	36.0	29.0	33.0	36.0	36.0	32.0	29.0
(TD) c _r	kPa							
(TD) f _r	°							
(TX-CIU) c	kPa				4.0	0.0	23.0	37.0
(TX-CIU) f	°				31.0	31.0	29.0	21.0
(TX-CID) c	kPa							
(TX-CID) f	°							
Permeabilità								
k	m/s	5.88E-07	4.57E-10	1.96E-08	3.65E-09	2.84E-08	1.04E-07	3.32E-09

(continua)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 23 di 88

Sondaggio	-	SE08	SE09	SE09	SE09	SE09	SE10	SE10
Campione	-	1.00	C1	C2	C3	C4	C1	C2
Unità	-	FNQ	FNAIt	FNA	FNA	FNA	FNA	FNA
Prof.	m	20.50	6.40	13.25	14.90	18.20	10.95	17.80
Granulometria								
G	%	0.0	0.0	1.5	3.9	0.0	0.0	5.0
S	%	0.0	28.0	33.8	50.1	56.8	34.1	44.6
L + A	%	0.0	72.0	64.7	46.0	43.2	65.9	50.4
L	%	0.0	52.0	46.1	31.4	31.5	50.2	34.8
A	%	0.0	20.0	18.6	14.6	11.7	15.8	15.7
Limiti di Atterberg								
W _L	%		34.5	29.8	28.6	23.3	25.0	19.9
W _P	%		15.4	17.2	13.1	13.2	17.8	12.6
I _c	-		0.88	1.42	1.03	1.09	1.73	1.22
I _p	%		19.1	12.6	15.5	10.1	7.3	7.3
Caratteristiche fisiche								
γ _N	kN/m³		20.1	19.5	18.9	20.6	21.4	19.9
γ _S	kN/m³							
G _s	-							
w _N	%		17.7	11.9	12.5	12.3	12.4	11.0
e	-		0.533	0.597	0.610	0.448	0.411	0.469
S	%		87.0	55.5	55.6	72.9	81.0	61.9
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)								
E _{ed}	MPa							
c _v	cm²/s							
c _α	-							
k	m/s							
Resistenza a compressione monoassiale								
σ _c	MPa	152660						
Resistenza non drenata								
(TX-UU) c _u	kPa						325.2	279.3
(TX-ELL) c _u	kPa							
Resistenza drenata								
(TD) c	kPa			21.0	32.0	36.0	13.0	18.0
(TD) f	°			24.0	25.0	27.0	29.0	29.0
(TD) c _r	kPa							
(TD) f _r	°							
(TX-CIU) c	kPa		70.0					
(TX-CIU) f	°		21.0					
(TX-CID) c	kPa							
(TX-CID) f	°							
Permeabilità								
k	m/s		4.09E-07	1.50E-08	1.02E-08	4.46E-09	9.27E-08	

(continua)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 24 di 88	

Sondaggio	-	SE11	SE11	SE11	SE11	SE11bis	SE11bis	SE11bis	SE12	SE12
Campione	-	C1	CR1	CR2	C2	C1	C2	C3	C1	C2
Unità	-	FNAIt	FNA	FNA	FNA	FNA	FNA	FNA	SCL	LS
Prof.	m	9.30	14.25	17.95	18.80	17.75	19.30	21.20	11.50	17.20
Granulometria										
G	%	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	2.0	1.1
S	%	36.0	0.0	0.0	0.0	32.1	22.6	0.0	44.2	44.6
L + A	%	63.1	0.0	0.0	0.0	67.6	77.4	0.0	53.9	54.4
L	%	56.3	0.0	0.0	0.0	50.5	57.9	0.0	40.5	40.1
A	%	6.8	0.0	0.0	0.0	17.1	19.5	0.0	13.4	14.2
Limiti di Atterberg										
W _L	%	25.7				30.0	30.5			22.6
W _P	%	17.0				18.1	16.2			17.9
I _p	-	1.83				1.42	1.19			0.79
I _p	%	8.6				12.0	14.3			4.6
Caratteristiche fisiche										
γ _N	kN/m³	20.2	23.9	24.2	25.0	20.0	19.9	24.8	20.1	20.1
γ _S	kN/m³									
G _S	-									
w _N	%	9.9				13.1	13.5		24.1	18.9
e	-	0.447				0.491	0.518		0.706	0.582
S	%	58.8				70.3	69.2		94.1	86.6
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)										
E _{ed}	MPa									
c _v	cm²/s									
c _u	-									
k	m/s									
Resistenza a compressione monoassiale										
σ _c	MPa		7640	4810	8820			2590		
Resistenza non drenata										
(TX-UU) c _u	kPa									
(TX-ELL) c _u	kPa									
Resistenza drenata										
(TD) c	kPa	48.0				24.0			3.0	12.0
(TD) f	°	26.0				27.0			36.0	32.0
(TD) c _f	kPa									
(TD) f _f	°									
(TX-CIU) c	kPa									
(TX-CIU) f	°									
(TX-CID) c	kPa									
(TX-CID) f	°									
Permeabilità										
k	m/s	3.74E-08				7.49E-09			1.23E-08	2.31E-08

4.1 INDAGINI INTEGRATIVE DEL 2011

Le indagini integrative del 2011 sono finalizzate principalmente a validare i risultati ottenuti nelle precedenti campagne geognostiche, colmando alcune incertezze:

- n.4 sondaggi a carotaggio continuo (denominati "N") di lunghezza variabile da 20 a 30.5 m.

Durante la perforazione dei sondaggi:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 25 di 88

- sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT nei materiali incoerenti.

Per i certificati delle indagini si rimanda alla relazione geologica (cfr. [4]).

Nella seguente Tabella 6 si riassumono i sondaggi eseguiti, le profondità raggiunte, la strumentazione installata e le indagini in sito eseguite durante la campagna geognostica in esame.

Tabella 12 – indagini in sito campagna 2010

Sondaggio	Zona	Profondità	N. Prove SPT
-	-	m	-
N1	GA Crispi/Amari	30.5	6
N2	GA Crispi/Amari	30.0	8
N3	GA Crispi/Amari	20.0	1
N4	GA Crispi/Amari	24.5	5

4.2 LETTURE PIEZOMETRICHE

Nelle seguenti tabelle vengono riportate le letture piezometriche ad oggi disponibili eseguite sui piezometri installati nelle campagne geognostiche del 2003 e del 2010 espresse in quote assolute (m s.l.m.) ed in quote relative (profondità dal p.c.).

Nel profilo geotecnico e geologico longitudinale sono riportate le quote massime di falda rilevate nei piezometri (cfr. [15], [5]). Nel dimensionamento delle singole opere si dovrà osservare la quota massima rilevata dalle indagini più prossime all'opera stessa.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 26 di 88

Tabella 13 – letture piezometriche campagna 2003 espresse in quote relative

Sondaggio	S1M	Tipo di piezometro	Sondaggio	S2M	Tipo di piezometro	Sondaggio	S3M	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2003	TA	Campagna d'indagine	2003	TA	Campagna d'indagine	2003	TA
	data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]		data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]		data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]
	lug-03	2.10		lug-03	8.00		lug-03	5.70
		assente	Liv. Min [m]		8.00	Liv. Min [m]		5.70
		assente	Liv. Max [m]		8.00	Liv. Max [m]		5.70

Sondaggio	S4M	Tipo di piezometro	Sondaggio	S6M	Tipo di piezometro	Sondaggio	S11M	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2003	TA	Campagna d'indagine	2003	CA	Campagna d'indagine	2003	TA
	data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]		data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]		data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]
	lug-03	9.00		lug-03	9.00		lug-03	2.10
		9.00	Liv. Min [m]		9.00	Liv. Min [m]		2.10
		9.00	Liv. Max [m]		9.00	Liv. Max [m]		2.10

Sondaggio	S12M	Tipo di piezometro	Sondaggio	S13M	Tipo di piezometro	Sondaggio	S14M	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2003	TA	Campagna d'indagine	2003	TA	Campagna d'indagine	2003	TA
	data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]		data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]		data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]
	lug-03	2.10		lug-03	1.90		lug-03	1.90
		2.10	Liv. Min [m]		1.90			1.90
		2.10	Liv. Max [m]		1.90			1.90

Sondaggio	S15M	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2003	TA
	data	Lettura livello piezometrico da p.c. [m]
	lug-03	1.90
		1.90
		1.90

Liv. Min [m s.l.m.]

Liv. Max [m s.l.m.]

Tabella 16 – letture piezometriche campagna 2010 espresse in quote assolute

Sondaggio	SE01	Tipo di piezometro	Sondaggio	SE03	Tipo di piezometro	Sondaggio	SE04	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine	2010	TA
	data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		data	Quota piezometrica [m s.l.m.]
	11/03/2010	assente		12/02/2010	0.60		12/02/2010	0.20
		assente	Liv. Min [m s.l.m.]		assente	Liv. Min [m s.l.m.]		0.20
		assente	Liv. Max [m s.l.m.]		assente	Liv. Max [m s.l.m.]		0.20
Sondaggio	SE05	Tipo di piezometro	Sondaggio	SE05bis	Tipo di piezometro	Sondaggio	SE06	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine	2010	CA
	data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		data	Quota piezometrica [m s.l.m.]
	12/02/2010	26.80		12/02/2010	0.90		12/02/2010	0.30
		26.80	Liv. Min [m s.l.m.]		0.90	Liv. Min [m s.l.m.]		0.30
		26.80	Liv. Max [m s.l.m.]		0.90	Liv. Max [m s.l.m.]		0.30
Sondaggio	SE07	Tipo di piezometro	Sondaggio	SE10	Tipo di piezometro	Sondaggio	SE11	Tipo di piezometro
Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine	2010	TA
	data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		data	Quota piezometrica [m s.l.m.]
	25/02/2010	26.00		25/02/2010	assente		25/02/2010	assente
		26.00	Liv. Min [m s.l.m.]		assente	Liv. Min [m s.l.m.]		assente
		26.00	Liv. Max [m s.l.m.]		assente	Liv. Max [m s.l.m.]		assente
Sondaggio	SE11bis	Tipo di piezometro	Sondaggio					
Campagna d'indagine	2010	TA	Campagna d'indagine					
	data	Quota piezometrica [m s.l.m.]						
	25/02/2010	18.70						
		assente	Liv. Min [m s.l.m.]					
		assente	Liv. Max [m s.l.m.]					

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 30 di 88

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 LINEAMENTI STRATIGRAFICI PRINCIPALI

Dal punto di vista geologico l'area attraversata dal tracciato ferroviario di progetto ricade interamente nell'ambito della Piana di Palermo, ampio bacino di sedimentazione sviluppatosi nel Pleistocene inferiore dove una serie prevalentemente calcarenitica-sabbiosa ricopre con spessori variabili un substrato costituito da argilliti e quarzareniti appartenenti alla formazione del Flysch Numidico, di età Oligocene.

La Piana di Palermo è circondata da rilievi prevalentemente calcarei dei monti di Palermo, che costituiscono un segmento della Catena Appenninico – Maghrebide, vasto edificio tettonico a falde di ricoprimento costituito da numerosi elementi strutturali derivanti dalla deformazione, traslazione e sovrapposizione di terreni originariamente costituenti diversi domini paleogeografici.

Al di sopra del substrato costituito dal Flysch Numidico sono presenti i depositi appartenenti al complesso calcarenitico quaternario. Il deposito quaternario è localmente ricoperto da depositi alluvionali recenti ed attuali.

Per quanto sopra esposto, e per quanto mostrato dai risultati delle indagini geognostiche effettuate, lungo il tracciato le unità geotecniche che interagiscono con le opere sono le seguenti:

Terreno di riporto

- Unità R: terreno di riporto, suolo vegetale; si tratta di depositi molto eterogenei prevalentemente sabbiosi e sabbiosi-limosi con inclusi elementi lapidei di natura calcarenitica da centimetrici a decimetrici.

Depositi eluviali (terre rosse)

- Unità LR: si tratta di depositi eluviali costituiti prevalentemente da argille e limi con inclusi elementi più grossolani a spigoli vivi; sono stati intercettati solo localmente lungo il tracciato e presentano spessore modesto.

Depositi alluvionali recenti

- Unità ALF: si tratta di depositi molto recenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi e sabbie limose con presenza di sostanza organica in decomposizione; costituiscono le alluvioni del Paleoalveo.

Complesso calcarenitico – sabbioso Pleistocenico

- Unità CL: calcareniti prevalentemente cementate;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 31 di 88

- Unità SC: sabbie calcarenitiche fini e grossolane di colore biancastro e ocre con inclusi elementi lapidei calcarenitici e calcareniti tenere; questo deposito è quello che predomina lungo il tracciato in esame;
- Unità SCL: sabbie fini limose e limi sabbiosi;
- Unità SCG: sabbie medio grossolane con ghiaia e ciottoli arrotondati di dimensioni centimetriche.

Complesso limo-sabbioso Pliocenico

- Unità LS: limi, limi sabbiosi e sabbie Plioceniche con elevato contenuto in fossili.

Flysch Numidico

- Unità FNAIt: rappresentano l'alterazione delle sottostanti argille integre; sono costituite da argille e argille sabbiose in genere abbastanza consistenti;
- Unità FNA: argilla grigia a tessitura brecciata o scagliata, spesso a consistenza marnosa, con intercalati subordinati livelli quarzarenitici. Sono frequenti livelli argillitici a consistenza litoide;
- Unità FNQ: si tratta di quarzareniti durissime, estremamente fratturate fino a minutamente frammentate;
- Unità S/FNQ: si tratta di sabbie fini debolmente limose con trovanti quarzarenitici.

5.2 CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

5.2.1 Depositi incoerenti

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità possono essere stimati sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

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

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

essendo:

A, B = costanti empiriche in funzione della granulometria del terreno

σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²)

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

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 32 di 88

D_r = densità relativa

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

Parametri di resistenza

L'angolo di resistenza al taglio (φ') è stato stimato dalle prove SPT in base alle correlazioni proposte da De Mello (1971) e da Schmertmann (1977).

In particolare la correlazione di De Mello lega il valore di N_{spt} alla tensione verticale efficace in sito, mentre Schmertmann correla l'angolo di resistenza al taglio alla densità relativa attraverso la seguente relazione:

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

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

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

essendo:

D_r = densità relativa

Nel caso in esame si è considerato, cautelativamente:

- per le sabbie e ghiaie (unità SCG), la correlazione valida per sabbia grossa-media uniformemente ben gradata;
- per le sabbie calcarenitiche (unità SC), la correlazione valida per sabbia medio-fine uniformemente ben gradata;
- per le sabbie limose (SCL), i limi sabbiosi (ALF, LS), i riporti (R) e le sabbie con intercalati livelli quarzarenitici (S/FNQ) la correlazione valida per sabbia fine uniforme.

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate, in ordine di importanza:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito di tipo Down-Hole;
- dall'interpretazione delle prove penetrometriche SPT.

In particolare dalle indagini sismiche, il modulo di taglio iniziale (G_0) e quello di Young iniziale (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) utilizzando le seguenti correlazioni:

$$G_0 = (\gamma / g) \cdot V_s^2$$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 33 di 88

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

dove:

γ = peso di volume naturale del terreno assunto pari a 19 kN/m³.

V_s = velocità delle onde di taglio in m/s.

ν = coefficiente di Poisson assunto pari a 0.3.

Le velocità delle onde di taglio (V_s) possono essere ricavate direttamente dalle prove sismiche in sito (Down-Hole) oppure dai valori di N_{SPT} attraverso la correlazione di Ohta e Goto (1978) o la correlazione di Yoshida e al. (1988). Dalla velocità delle onde di taglio sono stati ricavati i valori del modulo di taglio iniziale e dei moduli elastici sulla base delle correlazioni precedentemente indicate.

$$v_s = C \cdot (N_{SPT})^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec}) \quad \text{Ohta e Goto (1978)}$$

essendo:

$$C = 53.3$$

z = profondità dal p.c. in metri

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito

Nel caso in esame si è considerato, cautelativamente:

- per le sabbie e ghiaie (unità SCG), $f_G = 1.14$ (sabbie grosse);
- per le sabbie calcarenitiche (unità SC), per le sabbie limose (SCL), i limi sabbiosi (ALF, LS), i riporti (R) e le sabbie con intercalati livelli quarzarenitici (S/FNQ), $f_G = 1.09$ (sabbie fini).

$$v_s = C \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot (\sigma_v')^{0.14} \quad (\text{m/sec}) \quad \text{Yoshida e al. (1988)}$$

essendo:

$C = 56$ per sabbie grosse con almeno il 25% di ghiaia (unità SCG); $C = 49$ per sabbie fini (unità SC, SCL, ALF, LS, R, S/FNQ).

σ_{v0}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova

In accordo a Jamiolkowski et al. (1988), il modulo elastico di Young operativo può essere ricavato con la seguente relazione per terreni sabbiosi normal consolidati:

$$E'_{25} = (10.5 - 3.5 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} \quad \text{kg/cm}^2$$

essendo:

E'_{25} = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 34 di 88

25%

D_r = densità relativa espressa come frazione dell'unità

N_{SPT} = numero di colpi in prova SPT.

I moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a $1/3 \div 1/5$ di quello iniziale (E_0) oppure pari a quello desumibile dalle correlazioni empiriche riportate ad esempio in Jamiolkowski et al. (1988).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a $1/10$ di quello iniziale.

Nei paragrafi che seguono verranno riportati a confronto per le varie unità geotecniche tutti i risultati delle prove in sito e dell'interpretazione delle prove eseguite.

5.2.2 Depositi coesivi

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

Classificazione

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

- analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale e secco;
- grado di saturazione;
- contenuto d'acqua naturale;
- indici dei vuoti iniziali;
- limiti di Atterberg.

Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati sui risultati delle prove di laboratorio che sono essenzialmente prove:

- taglio diretto per la resistenza in tensioni efficaci;
- triassiale consolidata non drenata per la resistenza in tensioni efficaci;
- triassiale non consolidata non drenata per la resistenza in condizioni non drenate.

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata oltre che sulla base dei risultati delle

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 35 di 88

prove di laboratorio, anche delle misure in sito con Pocket Penetrometer. I valori sono stati poi riportati nello stesso grafico, con indicato anche l'andamento della resistenza al taglio per un terreno normal consolidato ricavato dalla seguente relazione:

$$c_{uNC} = 0.23 \cdot \sigma'_v$$

La resistenza al taglio non drenata può essere anche desunta dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (5.0 \div 5.5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito di tipo Down-Hole;
- da correlazioni di letteratura.

Per quanto concerne le prove sismiche in sito (Down-Hole), le caratteristiche di deformabilità vengono individuate con le stesse relazioni precedentemente indicate per i terreni incoerenti.

Il modulo di deformazione E può essere stimato sulla base dei valori di resistenza al taglio non drenata C_u : $E = 120 \cdot C_u$.

I moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a $1/3 \div 1/5$ di quello iniziale (E_0) oppure pari a quello desumibile dalle correlazioni empiriche riportate ad esempio in Jamiolkowski et al. (1988).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a $1/10$ di quello iniziale.

Nella valutazione dei cedimenti immediati dei rilevati il modulo di Young "operativo" E_u verrà stimato essenzialmente sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976): $E_u = k \cdot C_u$.

5.2.3 Quarzarenite

Per le caratteristiche fisiche (peso di unità di volume) e per i parametri di resistenza ci si è basati sui risultati delle prove di laboratorio. In particolare la resistenza dell'ammasso roccioso è stata stimata dalla resistenza a compressione derivante dalle prove a rottura uniassiali, oltre che alla descrizione della roccia nei certificati stratigrafici e di alcuni valori di RQD.

Le caratteristiche di deformabilità sono state desunte dai risultati delle indagini sismiche tipo Down – Hole.

I parametri di resistenza e rigidezza utili ai fini progettuali, verranno stimati con il metodo proposto da Hoek e Brown [2002].

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 36 di 88

5.3 UNITÀ R

L'unità geotecnica R è costituita da suolo vegetale e terreno di riporto composto principalmente depositi molto eterogenei prevalentemente sabbiosi e sabbiosi-limosi con inclusi elementi lapidei di natura calcarenitica da centimetrici a decimetrici.

Il riporto ha uno spessore generalmente variabile da 0.5 m a 2.5 m lungo il tracciato (come evidenziato dai certificati dei sondaggi stratigrafici), localmente in alcune zone raggiunge spessori fino a 5 m circa (sondaggio S15M).

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili alcuni valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, i valori di N_{SPT} rilevati sono compresi tra 4 e 52 colpi/0.3 m ad indicare l'elevata eterogeneità del materiale.

Nella Figura 2 sono riportati i valori della densità relativa stimati da prove SPT, da cui si osservano valori maggiori di 30%.

Parametri di resistenza

Nella Figura 3 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori superiori a 32°.

In Figura 4 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio ottenuti dalla correlazione di De Mello, che ha fornito valori in sostanziale accordo e generalmente compresi tra 28° e 32°.

Caratteristiche di deformabilità

Nella Figura 5 sono mostrati i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) stimati dalle prove SPT, da cui si hanno valori compresi tra 85 e 220 m/s.

I valori del modulo di deformazione E'_{25} stimati da prove SPT sono compresi tra 4 e 54 MPa (vedasi Figura 6).

Dalla misura diretta delle velocità delle onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole si sono ricavati i seguenti valori (vedasi Figura 26 e Figura 29):

- $V_s = 150 \div 300$ m/s;
- $G_0 = 40 \div 170$ MPa;
- $E_0 = 100 \div 400$ MPa.

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità R è disponibile un valore pari a $6.1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatara) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 37 di 88

In definitiva lungo il tracciato per l'unità R si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 28 \div 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 15 \div 35 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

5.4 UNITÀ LR

L'unità geotecnica LR è costituita da depositi eluviali costituiti prevalentemente da argille e limi con inclusi elementi più grossolani a spigoli vivi.

Tali depositi sono stati intercettati localmente nelle seguenti zone:

- in corrispondenza del sondaggio S1M del 2003 con spessore di 2 m circa;
- in corrispondenza del sondaggio S4M del 2003 con spessore di 1.5 m circa.

Sono disponibili i risultati delle analisi granulometriche eseguite su un campione prelevato dal sondaggio S1M (campagna geognostica 2003, vedasi Figura 8). Il deposito è costituito da:

- una percentuale di ghiaia pari a 13%;
- una percentuale di sabbia paria a 29%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) pari a 58%;
- una percentuale di limo pari a 30%;
- una percentuale di argilla pari a 28%.

Quindi si tratta prevalentemente di un limo con sabbia e argilla.

In corrispondenza di questa unità non sono disponibili valori di N_{SPT} .

Caratteristiche fisiche

Il peso di volume determinato in laboratorio nell'unico campione prelevato (sondaggio S1M) è pari a 19.1 kN/m^3 (vedasi Figura 13).

Dalla Carta di Plasticità di Casagrande (vedasi Figura 15) si osserva che il deposito rientra nella zona delle argille inorganiche di media plasticità.

Il limite liquido è pari a 40%, il limite plastico è pari a 19%, il contenuto naturale d'acqua è pari a 15.1% (vedasi Figura 14). L'indice di consistenza IC è pari a 1.2 (vedasi Figura 17). L'indice di plasticità IP è pari al 21% (vedasi Figura 16). Trattasi quindi di un materiale plastico.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 38 di 88

Parametri di resistenza

Non sono state effettuate prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza.

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate C_u , nella Figura 18 è graficato un valore stimato da una prova in sito con Pocket Penetrometer. Tale valore risulta pari a 92.5 kPa.

Caratteristiche di deformabilità

Non sono disponibili misure dirette della velocità V_s da prove sismiche su questi terreni, né prove edometriche di laboratorio, quindi le caratteristiche di deformabilità sono state stimate sulla base di esperienze su terreni simili. Il range di valori del modulo E' assunto è pari a 15÷20 MPa.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità LR si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 26\div 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 15\div 20 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico

5.5 UNITÀ ALF

L'unità geotecnica ALF è costituita da depositi molto recenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi e sabbie con presenza di sostanza organica in decomposizione. Tali depositi sono stati intercettati nella parte iniziale del tracciato, nei pressi della parte terminale della galleria artificiale Crispi dai sondaggi:

- SE04 (campagna geognostica 2010), da 3.5 m da p.c. fino alla massima profondità indagata (20 m);
- S12M (campagna geognostica 2003), da 3.6 m da p.c. fino a 11.0 m da p.c..

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili alcuni valori di N_{SPT} , come si osserva dalla Figura 2, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche. I valori di N_{SPT} rilevati sono generalmente compresi tra 5 e 12 colpi/0.3 m, ad indicare un deposito a prevalente matrice fine.

Nel deposito in esame sono state condotte n. 2 prove penetrometriche statiche (CPTU1 e CPTU2) che hanno fornito valori di resistenza alla punta estremamente bassi (prossimi allo zero) e che come discusso al paragrafo 4.3.1 va ricondotto alla presenza di terreni molto sciolti e alle difficoltà operative riscontrate durante l'esecuzione della prova.

Dalle analisi granulometriche eseguite su n. 6 campioni (vedasi Figura 7), il deposito ALF risulta costituito da un alternanza di livelli argillosi-limosi e sabbiosi, in quanto le prove condotte in laboratorio hanno fornito i risultati (vedasi Tabella 5 e Tabella 11) di seguito riportati.

Dal campione C1 prelevato dal sondaggio S12M e dai campioni C3, C4 e C5 del sondaggio SE04 posti ad

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 39 di 88

una profondità superiore a 8.5 m da p.c.:

- una percentuale di ghiaia variabile tra 0 e 1.5%;
- una percentuale di sabbia variabile tra 3 e 19%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) variabile tra 80 e 96%;
- una percentuale di limo variabile tra 37 e 48%;
- una percentuale di argilla variabile tra 32 e 58%.

Quindi si tratta prevalentemente di un argilla con limo debolmente sabbioso.

Da campioni C1 e C2 prelevati dal sondaggio SE04 posti ad una profondità minore da p.c.:

- una percentuale di ghiaia variabile tra 5 e 28%;
- una percentuale di sabbia variabile tra 59 e 67%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) variabile tra 14 e 28%;
- una percentuale di limo variabile tra 10 e 19%;
- una percentuale di argilla variabile tra 4 e 9%.

Quindi si tratta prevalentemente di una sabbia con ghiaia debolmente limosa.

Caratteristiche fisiche

Il peso di volume determinato in laboratorio è compreso tra 16.2 kN/m³ e 17 kN/m³ (valore medio 16.7 kN/m³, vedasi Figura 13).

Dalla Carta di Plasticità di Casagrande si osserva che il deposito a prevalente comportamento coesivo rientra nella zona delle argille inorganiche di media plasticità.

Il limite liquido è compreso tra 41% e 48%, il limite plastico tra 20% e 23%, il contenuto naturale d'acqua è compreso tra 44% e 56% (Figura 14). L'indice di consistenza IC è compreso tra 0 e 0.1 (Figura 17). L'indice di plasticità IP è compreso tra 20% e 27.5% (Figura 16). Trattasi quindi di un materiale plastico e a consistenza fluida.

Parametri di resistenza

Sui campioni prelevati sono state eseguite (vedasi Figura 19):

- n. 3 prove di taglio diretto che hanno fornito un angolo di resistenza al taglio compreso fra 26° e 34° ed una coesione efficace compresa tra 0 kPa e 6 kPa;
- n. 1 prova triassiale consolidata non drenata che ha fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 21° ed una coesione efficace pari a 16.5 kPa.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 40 di 88

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 21^\circ \div 27^\circ$ (associati a coesione nulla).

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u), nella Figura 18 sono mostrati i valori stimati da:

- prove in sito Pocket Penetrometer;
- prove in sito SPT, attraverso correlazioni di letteratura,

da cui si osserva che i valori individuati dalle diverse prove sono sostanzialmente in linea fra loro e si collocano lungo la retta di normal consolidazione. Nelle profondità di interesse la resistenza al taglio non drenata è compresa fra 25 e 50 kPa.

Caratteristiche di deformabilità

Non sono disponibili misure dirette della velocità V_s da prove sismiche su questi terreni, né prove edometriche di laboratorio, quindi le caratteristiche di deformabilità sono state stimate sulla base della correlazione con la resistenza al taglio non drenata. Il range di valori del modulo assunto è pari a $E' = 3 \div 10$ MPa.

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità ALF è disponibile un valore pari $7.8E^{-7}$ m/s della campagna geognostica del 2003.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità ALF si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 16 \div 17$ kN/m³ peso di volume naturale

$\phi' = 21 \div 27^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 0$ kPa coesione drenata

$c_u = 25 \div 50$ kPa resistenza al taglio non drenata

$E' = 3 \div 10$ MPa modulo di deformazione elastico

5.6 UNITÀ CL

L'unità geotecnica CL è costituita da calcareniti prevalentemente cementate appartenenti al complesso calcarenitico quaternario. Lungo il tracciato si rinvengono intercalate alle sabbie calcarenitiche e alle

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE						
					(Mandataria) Sab (Mandante)  						
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA											
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 41 di 88		

calcareniti tenere.

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili n. 2 valori di N_{spt} pari a 68 colpi/0.3 m e rifiuto (100 colpi/0.3 m).

Nel sondaggio SE02 ubicato in corrispondenza della stazione Libertà sono stati prelevati n. 3 campioni litoidi alle profondità di 5.5 m, 16.5 m e 16.8 m, nel sondaggio SE03 ubicato alla fine della trincea Ucciardone sono stati prelevati n. 3 campioni litoidi alle profondità di 2.7 m, 9.5 m e 16 m e nel sondaggio SE05 ubicato in corrispondenza della Fermata Porto alla profondità di 6 m, su cui sono state eseguite prove di laboratorio che hanno condotto ai seguenti risultati:

- peso di volume naturale compreso tra 15.69 e 20.56 kN/m³ con un valore medio di 17.7 kN/m³ (vedasi Figura 13); i valori ottenuti appaiono estremamente bassi pertanto per la caratterizzazione si assumeranno valori desunti da esperienze note in letteratura su terreni simili;
- resistenza a compressione monoassiale tra 0.94 MPa e 10 MPa, con un valore medio di 4.8 MPa (vedasi Figura 20).

Questi valori di resistenza a compressione monoassiale sono caratteristici di una roccia tenera.

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE02, SE08 e SE12) (vedasi da Figura 23 a Figura 31) si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_s = 350 \div 600$ m/s;
- $G_0 = 220 \div 640$ MPa;
- $E_0 = 450 \div 1400$ MPa.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità CL si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$$\begin{aligned} \gamma &= 19 \div 21 \text{ kN/m}^3 \text{ peso di volume naturale} \\ \varphi' &= 30 \div 35^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' &= 20 \div 50 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata} \\ E' &= 90 \div 250 \text{ MPa} \text{ modulo di deformazione elastico} \end{aligned}$$

5.7 UNITA' SC

L'unità geotecnica SC è costituita da sabbie calcarenitiche fini e grossolane con inclusi elementi lapidei calcarenitici e calcareniti tenere; tale deposito è quello che prevale lungo il tracciato in esame.

Tali depositi sono stati rinvenuti lungo tutto il tracciato intercalati alle calcareniti cementate (CL) e alle

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 42 di 88

sabbie limose (SCL).

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili numerosi valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche. I valori ottenuti sono parecchio dispersi e compresi tra 7 colpi/0.3 m e rifiuto (100 colpi/0.3 m), ad indicare l'elevata eterogeneità del materiale sia lungo la verticale che lungo lo sviluppo del tracciato. In linea generale si denota un certo incremento di resistenza con la profondità.

Nella Figura 2 sono riportati i valori della densità relativa stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori generalmente maggiori del 30%.

Caratteristiche fisiche

Per l'unità in esame sono disponibili i risultati di laboratorio relativi al campione prelevato dal sondaggio SE07 alla profondità di 10.5 m. Come evidenziato dal certificato del sondaggio che dai risultati delle prove stesse, tale campione è stato prelevato in corrispondenza di un livello di sabbia limosa, pertanto è rappresentativo dei livelli in cui prevale la matrice fine.

Dalle analisi granulometriche effettuate il campione è costituito da:

- una percentuale di ghiaia pari a 1.1%;
- una percentuale di sabbia paria a 41.95%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) pari a 56.95%;
- una percentuale di limo pari a 40.53%;
- una percentuale di argilla pari a 16.42%.

Il peso di volume determinato è pari a 18.75 kN/m³.

Il contenuto naturale d'acqua è pari a 34.04%.

Parametri di resistenza

Nella Figura 3 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori molto dispersi ma generalmente compresi tra 34° e 43°.

In Figura 4 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio ottenuti dalla correlazione di De Mello, che ha fornito valori in sostanziale accordo e generalmente compresi tra 30° e 40°.

Sono disponibili anche i risultati della prova di taglio diretto eseguita sul campione del sondaggio SE07, che ha fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 29° e coesione efficace di 4 kPa (vedasi Figura 19) e di una prova triassiale consolidata non drenata (TXCU) che ha fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 21° e coesione efficace di 37 kPa (vedasi Figura 19). Tali valori sono da riferirsi a livelli in cui prevale la matrice fine.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 43 di 88

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 30^\circ \div 35^\circ$ (associati a coesione nulla).

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE02, SE08 e SE12) (vedasi da Figura 23 a Figura 31) si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_s = 300 \div 400$ m/s;
- $G_0 = 160 \div 280$ MPa;
- $E_0 = 350 \div 640$ MPa.

Nella Figura 5 sono mostrati i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) stimati dalle prove SPT, da cui si hanno valori compresi tra 100 e 350 m/s.

I valori del modulo di deformazione E'_{25} stimati da prove SPT sono compresi tra 6 e 90 MPa (vedasi Figura 6).

Come riportato in Tabella 8 sono disponibili anche i risultati di due prove pressiometriche eseguite in corrispondenza della galleria esistente Ranchibile che hanno fornito valori del modulo pressiometrico pari a 124.1 MPa e 130.5 MPa.

Nell'ambito delle profondità indagate, si assume un range del valore del modulo di deformazione elastico (per analisi opere di sostegno e fondazioni) $E' = 50 \div 100$ MPa, stimato principalmente sulla base dei risultati delle prove sismiche Down – Hole poiché ritenute più significative rispetto ad una stima derivata da correlazioni di tipo empirico.

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità SC sono disponibili numerosi valori, compresi tra $6.3E^{-7}$ e $2.9E^{-6}$ m/s (appartenenti alla campagna del 2003) e tra $3.4E^{-5}$ e $2.5E^{-3}$ m/s (appartenenti alla campagna del 2010). Le nuove indagini hanno evidenziato una maggiore permeabilità pur essendo state eseguite a profondità simili e negli stessi terreni.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità SC si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

- $\gamma = 19 \div 20$ kN/m³ peso di volume naturale
- $\phi' = 30 \div 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio
- $c' = 0$ kPa coesione drenata
- $E' = 50 \div 100$ MPa modulo di deformazione elastico

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 44 di 88

5.8 UNITÀ SCL

L'unità geotecnica SCL è costituita da sabbie fini limose e limi sabbiosi. Tali depositi sono stati rinvenuti lungo tutto il tracciato intercalati alle calcareniti cementate (CL) e alle sabbie calcarenitiche (SC).

Dalle analisi granulometriche eseguite in laboratorio (vedasi Figura 9) sui campioni prelevati dal il deposito SCL è generalmente costituito da:

- una percentuale di ghiaia variabile tra 0 e 22%;
- una percentuale di sabbia variabile tra 29 e 69%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) variabile tra 30 e 70%;
- una percentuale di limo variabile tra 22 e 56%;
- una percentuale di argilla variabile tra 9 e 15%.

Quindi si tratta prevalentemente di una sabbia con limo debolmente argillosa.

In corrispondenza del sondaggio SE06 alla profondità di 8.7 m è stato prelevato un campione rimaneggiato costituito prevalentemente da sabbia con ghiaia debolmente limosa, pertanto, come evidenziato dai certificati stratigrafici dei sondaggi nell'ambito dell'unità SCL, si possono avere talvolta livelli sabbiosi con frequenti noduli calcarenitici e ciottoli arrotondati.

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili alcuni valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche. I valori di N_{SPT} rilevati sono generalmente compresi tra 10 e 45 colpi/0.3 m, con andamento generalmente crescente con la profondità.

Nella figura 2 sono riportati i valori della densità relativa stimati da prove SPT, da cui si osservano valori maggiori del 40%.

Caratteristiche fisiche

Il peso di volume determinato da n. 5 campioni di terreno prelevati è compreso tra 18.1 kN/m³ e 20.2 kN/m³ (valore medio 19.4 kN/m³, vedasi Figura 13)

Il limite liquido è compreso tra 18 % e 26%, il limite plastico tra 15.5% e 17%, il contenuto naturale d'acqua è compreso tra 21.3% e 32.3% (Figura 14). L'unico valore di indice di consistenza IC disponibile è pari a 0.5 (Figura 17). L'indice di plasticità IP è compreso tra 3% e 9% (Figura 16). Trattasi quindi di un materiale poco consistente e poco plastico.

Parametri di resistenza

Nella Figura 3 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori generalmente compresi tra 33° e 42°.

In Figura 4 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio ottenuti dalla correlazione di De Mello,

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 45 di 88

che ha fornito valori in sostanziale accordo e generalmente compresi tra 29° e 40°.

Sono disponibili anche i risultati di (vedasi Figura 19):

- n.6 prove di taglio diretto di laboratorio che hanno fornito un angolo di resistenza al taglio compreso tra 29° e 36° e coesione efficace tra 1 e 7 kPa;
- n. 2 prove triassiali consolidate non drenate che hanno fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 31° e coesione efficace tra 0 e 4 kPa.

Tali valori sono da riferirsi a livelli in cui prevale la matrice fine (limo).

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 29^\circ \div 34^\circ$ (associati a coesione nulla).

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u), nella Figura 18 è riportato il valore stimato da una prova di compressione assiale semplice pari a 63 kPa e i valori ottenuti da prove in sito con Pocket Penetrometer che risultano compresi tra 80 e 127 kPa (valore medio 101 kPa).

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE02, SE08 e SE12) (vedasi da Figura 23 a Figura 31) si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_s = 300 \div 400$ m/s;
- $G_0 = 160 \div 280$ MPa;
- $E_0 = 360 \div 640$ MPa.

Nella Figura 5 sono mostrati i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) stimati dalle prove SPT, da cui si hanno valori generalmente compresi tra 150 e 260 m/s.

I valori del modulo di deformazione E'_{25} stimati da prove SPT sono compresi tra 10 e 40 MPa (vedasi Figura 6).

Nell'ambito delle profondità indagate, si assume un range del valore del modulo di deformazione elastico (per analisi opere di sostegno e fondazioni) $E' = 40 \div 90$ MPa, stimato principalmente sulla base dei risultati delle prove sismiche Down – Hole poiché ritenute più significative rispetto ad una stima derivata da correlazioni di tipo empirico.

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità SCL sono disponibili due valori dalle prove eseguite nella campagna geognostica del 2003 pari $1.1E^{-6}$ e $1.9E^{-6}$ m/s.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 46 di 88

In definitiva lungo il tracciato per l'unità SCL si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 29 \div 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E' = 40 \div 90 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico

5.9 UNITÀ SCG

L'unità geotecnica SCG è costituita da sabbie medio grossolane con ghiaia e ciottoli arrotondati di dimensioni centimetriche.

Tali depositi sono stati intercettati localmente nelle seguenti zone:

- in corrispondenza del sondaggio S1M del 2003 da circa 9 m da p.c. fino a circa 13 m da p.c.;
- in corrispondenza del sondaggio SE07 del 2010 da circa 150 m da p.c. fino a 17 m da p.c.;
- in corrispondenza del sondaggio SE08 da circa 7 m da p.c. fino a 10 m da p.c..

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili n. 4 valori di N_{SPT} , come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, i valori sono compresi tra 23 colpi/0.3 m e 54 colpi/0.3 m, generalmente crescenti con la profondità

Nella Figura 2 sono riportati i valori della densità relativa stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori generalmente maggiori del 65%.

Parametri di resistenza

Nella Figura 3 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori molto elevati e compresi tra 41° e 45° .

Tali valori sono sostanzialmente in accordo a quelli ottenuti dalla correlazione di De Mello (vedasi Figura 4).

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 32^\circ \div 35^\circ$ (associati a coesione nulla).

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE08) (vedasi da Figura 26 a Figura 28) si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_s = 360 \div 440 \text{ m/s}$;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 47 di 88

- $G_0 = 240 \div 360$ MPa;

- $E_0 = 550 \div 820$ MPa.

Nella Figura 5 sono mostrati i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) stimati dalle prove SPT, da cui si hanno valori compresi tra 150 e 290 m/s.

I valori del modulo di deformazione E'_{25} stimati da prove SPT sono compresi tra 20 e 50 MPa (vedasi Figura 6).

Nell'ambito delle profondità indagate, si assume un range del valore del modulo di deformazione elastico (per analisi opere di sostegno e fondazioni) $E' = 50 \div 100$ MPa, stimato principalmente sulla base dei risultati delle prove sismiche Down – Hole poiché ritenute più significative rispetto ad una stima derivata da correlazioni di tipo empirico.

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità SCG è disponibile un valore della campagna geognostica del 2003 pari $7.1E^{-7}$ m/s.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità SCG si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19 \div 20$ kN/m³ peso di volume naturale

$\varphi' = 32 \div 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 0$ kPa coesione drenata

$E' = 50 \div 100$ MPa modulo di deformazione elastico

5.10 UNITÀ LS

Nell'unità geotecnica LS vengono raggruppati i limi, limi sabbiosi e le sabbie Plioceniche con elevato contenuto in fossili.

Tali depositi sono stati intercettati localmente nelle seguenti zone:

- in corrispondenza del sondaggio SE06 del 2010 da 24.5 m da p.c. fino a 35.5 m da p.c.;
- in corrispondenza del sondaggio SE12 del 2010 da 13 m da p.c. fino a 24 m da p.c..

Dalle analisi granulometriche eseguite in laboratorio (vedasi Figura 10) sui campioni prelevati, il deposito LS è generalmente costituito da:

- una percentuale di ghiaia variabile tra 0 e 1%;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 48 di 88

- una percentuale di sabbia variabile tra 33 e 44%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) variabile tra 54 e 66%;
- una percentuale di limo variabile tra 40 e 65%;
- una percentuale di argilla variabile tra 2 e 14%.

Quindi si tratta prevalentemente di un limo con sabbia.

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili n. 3 valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, i valori ottenuti sono pari a 33 colpi/0.3 m, 39 colpi/0.3 m e 90 colpi/0.3m. In particolare l'ultimo valore è stato ottenuto dal sondaggio SE12 (campagna geognostica 2010) in corrispondenza di un livello sabbioso addensato.

Nella Figura 2 sono riportati i valori della densità relativa stimati dalle prove SPT, da cui si osservano valori maggiori del 55%.

Caratteristiche fisiche

Il peso di volume determinato da n. 2 campioni di terreno prelevati è pari a 19.6 kN/m³ e 20.0 kN/m³ (vedasi Figura 13).

Il limite liquido è compreso tra 22.5% e 25.2%, il limite plastico tra 17.9% e 19.1%, il contenuto naturale d'acqua è compreso tra 18.9% e 24% (Figura 14). L'unico valore di indice di consistenza IC disponibile è pari a 0.8 (Figura 17). L'indice di plasticità IP è compreso tra 4.6% e 6% (Figura 16). Trattasi quindi di un materiale poco plastico.

Parametri di resistenza

Sono disponibili i risultati di:

- n.2 prove di taglio diretto di laboratorio che hanno fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 32° e coesione efficace tra 10.3 e 12.6 kPa;
- n. 1 prova triassiale consolidata non drenata che hanno fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 29° e coesione efficace pari a 23 kPa.

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 26^\circ \div 29^\circ$ e un range di valori della coesione efficace $c' = 0 \div 5$ kPa (i valori di coesione massimi andranno associati ai valori di resistenza al taglio minimi).

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE12) (vedasi da Figura 29 a Figura 31) si sono ricavati i seguenti valori:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 49 di 88

- $V_s = 200 \div 300$ m/s;
- $G_0 = 70 \div 170$ MPa;
- $E_0 = 150 \div 390$ MPa.

Nella Figura 5 sono mostrati i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) stimati dalle prove SPT, da cui si hanno valori compresi tra 200 e 320 m/s.

I valori del modulo di deformazione E'_{25} stimati da prove SPT sono compresi tra 25 e 80 MPa (vedasi Figura 6).

Nell'ambito delle profondità indagate, si assume un range del valore del modulo di deformazione elastico (per analisi opere di sostegno e fondazioni) $E' = 30 \div 60$ MPa, stimato principalmente sulla base dei risultati delle prove sismiche Down – Hole poiché ritenute più significative rispetto ad una stima derivata da correlazioni di tipo empirico.

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u), nella Figura 18 sono mostrati i valori stimati da:

- prove in sito Pocket Penetrometer;
- prove in sito SPT, attraverso correlazioni di letteratura,

da cui si osserva che i valori individuati dalle diverse prove sono sostanzialmente in linea fra loro. Nelle profondità di interesse la resistenza al taglio non drenata è compresa generalmente fra 50 e 120 kPa.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità LS si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

- $\gamma = 19.5 \div 20$ kN/m³ peso di volume naturale
- $\varphi' = 26 \div 29^\circ$ angolo di resistenza al taglio
- $c' = 0 \div 5$ kPa coesione drenata
- $c_u = 50 \div 100$ kPa resistenza al taglio non drenata
- $E' = 30 \div 60$ MPa modulo di deformazione elastico

5.11 UNITÀ FNALT

L'unità geotecnica FNAlt rappresenta l'alterazione delle sottostanti argille integre; è costituita da argille e argille sabbiose in genere abbastanza consistenti.

Sono presenti lungo il tracciato al di sopra delle argille integre e presentano uno spessore variabile da 2 a 8 m circa.

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili alcuni valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, i valori sono compresi tra 63 colpi/0.3 m e rifiuto (100 colpi/0.3 m).

Dalle analisi granulometriche eseguite in laboratorio (vedasi Figura 10) sui campioni prelevati, il deposito

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 50 di 88

FNAIt è generalmente costituito da:

- una percentuale di ghiaia variabile tra a 0 e 5%;
- una percentuale di sabbia variabile tra a 12 e 44%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) variabile tra 51 e 87%;
- una percentuale di limo variabile tra a 35 e 55%;
- una percentuale di argilla variabile tra a 7 e 38%.

Caratteristiche fisiche

Il peso di volume determinato da n. 5 campioni di terreno prelevati è compreso tra 19.7 kN/m³ e 21.8 kN/m³ (valore medio 20.3 kN/m³, vedasi Figura 13).

Il limite liquido è compreso tra 26% e 41%, il limite plastico tra 16% e 21%, il contenuto naturale d'acqua è compreso tra 10% e 25.% (Figura 14). L' indice di consistenza IC è compreso tra 0.6 e 1.2 (Figura 17). L'indice di plasticità IP è compreso tra 18% e 21% (Figura 16).

Parametri di resistenza

Sono disponibili i risultati di (vedasi Figura 19):

- n.1 prova di taglio diretto di laboratorio che ha fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 26° e coesione efficace 48 kPa;
- n. 1 prova triassiale consolidata non drenata che ha fornito un angolo di resistenza al taglio pari a 21° e coesione efficace pari a 70 kPa.

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi'=23^\circ\div26^\circ$ e un range di valori della coesione efficace $c'=10\div20$ kPa (i valori di coesione massimi andranno associati ai valori di resistenza al taglio minimi).

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u), nella Figura 18 sono mostrati i valori stimati da:

- prove di laboratorio a compressione assiale semplice (campagna geognostica 2003);
- prove in sito Pocket Penetrometer;

da cui si osserva che i valori individuati dalle diverse prove sono sostanzialmente in linea fra loro. Nelle profondità di interesse la resistenza al taglio non drenata è compresa generalmente fra 150 e 250 kPa.

Caratteristiche di deformabilità

Non sono disponibili misure dirette della velocità Vs da prove sismiche su questi terreni, ne prove

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 51 di 88

edometriche di laboratorio, quindi le caratteristiche di deformabilità sono state stimate sulla base di esperienze su terreni simili.

In particolare per le profondità di interesse si assume un range di valori del modulo $E' = 80 \div 150$ MPa.

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità FNAIt è disponibile un valore della campagna geognostica del 2003 pari $5.6E^{-7}$ m/s.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità FNAIt si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19 \div 21$ kN/m³ peso di volume naturale

$\varphi' = 23 \div 26^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 10 \div 20$ kPa coesione drenata

$c_u = 150 \div 250$ kPa resistenza al taglio non drenata

$E' = 80 \div 150$ MPa modulo di deformazione elastico

5.12 UNITÀ FNA

L'unità geotecnica FNA è costituita da argilla grigia a tessitura brecciata o scagliata, spesso a consistenza marnosa, con intercalati subordinati livelli quarzarenitici. Sono frequenti presenti livelli argillitici a consistenza litoide.

Sono presenti lungo il tracciato al di sotto delle argille alterate da circa 8÷10 m da p.c. fino alle massime profondità indagate.

In corrispondenza di questa unità geotecnica sono disponibili alcuni valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, i valori sono tutti a rifiuto (100 colpi/0.3 m) e un valore pari a 47 colpi/0.3 m (sondaggio SE09).

Dalle analisi granulometriche eseguite in laboratorio (vedasi Figura 10) sui campioni di terreno prelevati, il deposito FNA è generalmente costituito da:

- una percentuale di ghiaia variabile tra a 0 e 5%;
- una percentuale di sabbia variabile tra a 23 e 57%;
- una percentuale di fine (limo+argilla) variabile tra 43 e 77%;
- una percentuale di limo variabile tra a 31 e 58%;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 52 di 88

- una percentuale di argilla variabile tra a 15 e 19%.

Il peso di volume determinato da n. 7 campioni di terreno prelevati è compreso tra 18.9 kN/m³ e 21.4 kN/m³ (valore medio 21.6 kN/m³, vedasi Figura 13).

Il limite liquido è compreso tra 20% e 30%, il limite plastico tra 13% e 18%, il contenuto naturale d'acqua è compreso tra 11% e 13% (Figura 14). L'indice di consistenza IC è compreso tra 1.0 e 1.7 (Figura 17). L'indice di plasticità IP è compreso tra 7% e 15% (Figura 16).

In corrispondenza dei livelli a consistenza litoide sono stati prelevati n. 4 campioni di roccia (sondaggi SE11 e SE11bis) su cui sono state eseguite prove di laboratorio che hanno condotto ai seguenti risultati:

- peso di volume naturale compreso tra 23.9 kN/m³ e 24.9 kN/m³ con un valore medio di 24.4 kN/m³ (vedasi Figura 13);
- resistenza a compressione monoassiale tra 2.6 MPa e 8.8 MPa, con un valore medio di 5.9 MPa (vedasi Figura 20).

Questi valori di resistenza a compressione monoassiale sono caratteristici di una roccia tenera.

Parametri di resistenza

Sono disponibili i risultati di (vedasi Figura 19):

- n.6 prove di taglio diretto di laboratorio che hanno fornito un angolo di resistenza al taglio variabile tra 24° e 29° e coesione efficace variabile tra 13 e 36 kPa;

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 24^\circ \div 28^\circ$ e un range di valori della coesione efficace $c' = 15 \div 30$ kPa (i valori di coesione massimi andranno associati ai valori di resistenza al taglio minimi).

Per quanto concerne la resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u), nella Figura 18 sono mostrati i valori stimati da:

- n. 2 prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate (campagna geognostica 2010) da cui si osservano valori pari a 279 e 325 kPa.

Sulla base di esperienze su terreni simili si può ragionevolmente assumere per i depositi in esame un range di valori della resistenza al taglio non drenata pari a $c_u = 300 \div 400$ kPa.

Caratteristiche di deformabilità

Non sono disponibili misure dirette della velocità V_s da prove sismiche su questi terreni, ne prove edometriche di laboratorio, quindi le caratteristiche di deformabilità sono state stimate sulla base di esperienze su terreni simili.

In particolare per le profondità di interesse si assume un range di valori del modulo $E' = 150 \div 250$ MPa.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 53 di 88

Caratteristiche di permeabilità

Nelle Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 7 sono mostrati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon eseguite e graficate in Figura 22. In Figura 21 si riportano i valori ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite in laboratorio. Con riferimento ai risultati delle prove in sito poiché più rappresentative della struttura del deposito (permeabilità secondaria), per l'unità FNA sono disponibili due valori della campagna geognostica del 2003 pari $2.3E^{-8}$ m/s e $5.4E^{-8}$ m/s.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità FNA si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19 \div 21$ kN/m ³	peso di volume naturale
$\varphi' = 24 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 15 \div 30$ kPa	coesione drenata
$c_u = 300 \div 400$ kPa	resistenza al taglio non drenata
$E' = 150 \div 250$ MPa	modulo di deformazione elastico

5.13 UNITÀ FNQ

L'unità geotecnica FNQ è costituita da quarzareniti durissime, estremamente fratturate fino a minutamente frammentate.

Tali depositi sono stati intercettati localmente nelle seguenti zone:

- in corrispondenza del sondaggio SE08 del 2010 da circa 17 m da p.c. fino a circa 24 m da p.c.;
- in corrispondenza del sondaggio S3M del 2003 da circa 2.5 m da p.c. fino a circa 5.0 m da p.c. e da 9 m da p.c. fino a 15 m da p.c.;
- in corrispondenza del sondaggio S6M del 2003 da circa 8 m da p.c. fino alla massima profondità indagata;
- in corrispondenza del sondaggio SE11bis del 2010, da circa 25 m da p.c. fino alla massima profondità indagata;
- in corrispondenza del sondaggio SE12 del 2010 da circa 27 m da p.c. fino alla massima profondità indagata.

In corrispondenza di questa unità geotecnica è disponibile un valori di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, che è ovviamente andato a rifiuto.

La resistenza monoassiale di laboratorio misurata su uno spezzone di roccia prelevato dal sondaggio SE08 è pari a 153 MPa.

Il valore di RQD misurato è pari a 55% e secondo la classificazione di Bieniawski rientra tra le rocce definite "buone" (vedasi relazione geologica [4]).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 54 di 88

Attraverso i parametri di resistenza della roccia intatta e in funzione dell'indice di GSI, è possibile stimare i parametri di resistenza dell'ammasso secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown [2002]. In particolare considerando un valore della resistenza a compressione della roccia intatta $\sigma_c = 100$ kPa, un valore di GSI pari a 45 e un valore del parametro caratteristico m_i pari a 20, si ottengono per le profondità d'interesse (da 10 a 20 m circa da p.c.) valori di coesione pari a $c' = 300\div 400$ kPa e valori dell'angolo di attrito ϕ' superiori a 60° .

Cautelativamente ai fini progettuali è ragionevole considerare per l'unità FNQ i seguenti parametri di resistenza:

- coesione $c' = 100$ kPa;
- angolo di attrito $\phi' = 45^\circ$.

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE08) (vedasi da Figura 26 a Figura 28) si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_s = 700\div 1200$ m/s;
- $G_0 = 950\div 2800$ MPa;
- $E_0 = 2000\div 6400$ MPa.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità FNQ si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

- $\gamma = 20\div 21$ kN/m³ peso di volume naturale
- $\phi' = 45^\circ$ angolo di resistenza al taglio
- $c' = 100$ kPa coesione drenata
- $E' = 400\div 1000$ MPa modulo di deformazione elastico

Il valore del modulo di deformazione elastico E' , è stato assunto pari a 1/5 di quello iniziale E_0 . Cautelativamente per il modulo di deformazione elastico E_0 si è considerato un range di valori rappresentativo del comportamento dell'ammasso variabile tra 2000 e 5000 MPa.

5.14 UNITÀ S/FNQ

L'unità geotecnica S/FNQ è costituita da sabbie fini debolmente limose con trovanti quarzarenitici.

Tali depositi sono stati intercettati localmente nelle seguenti zone:

- in corrispondenza del sondaggio SE08 del 2010, da circa 24 m da p.c. con uno spessore di 2 m circa;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 55 di 88

- in corrispondenza del sondaggio SE11bis del 2010, da circa 14 m da p.c. con uno spessore di 3 m circa;
- in corrispondenza del sondaggio SE12 del 2010, da circa 25 m da p.c. con uno spessore di 2 m circa.

In corrispondenza di questa unità geotecnica è disponibile un valore di N_{SPT} ; come si osserva dalla Figura 1, ove sono riportati tutti i dati disponibili delle campagne geognostiche, la prova è andata rifiuto a evidenziare l'elevato addensamento del materiale.

Parametri di resistenza

Nella Figura 3 sono riportati i valori dell'angolo di resistenza al taglio stimati dalle prove SPT, da cui si osserva l'unico valore disponibile pari a 41° .

Cautelativamente ai fini progettuali per il deposito in esame è ragionevole assumere un range di valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi' = 30^\circ \div 35^\circ$ (associati a coesione nulla).

Caratteristiche di deformabilità

Dalla misura diretta della velocità di onde di taglio con le prove sismiche Down – Hole (SE08) (vedasi da Figura 26 a Figura 28) si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_s = 350$ m/s;
- $G_0 = 230$ MPa;
- $E_0 = 500$ MPa.

In definitiva lungo il tracciato per l'unità S/FNQ si possono assumere i seguenti range dei parametri geotecnici:

$\gamma = 19$ kN/m ³	peso di volume naturale
$\phi' = 30 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$E' = 50 \div 100$ MPa	modulo di deformazione elastico

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 56 di 88

5.15 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Sulla base di quanto riportato nei precedenti paragrafi, per i principali parametri geotecnici delle unità di interesse progettuale, si assumono gli intervalli di riferimento riportati nella seguente tabella.

Tabella q- parametri geotecnici di progetto

Unità	γ kN/m ³	c' kPa	ϕ' °	cu kPa	E' MPa	k m/s
R	19	0	28÷32	-	15÷35	10 ⁻⁶
LR	19	0	26÷32	-	15÷20	10 ⁻⁶
ALF	16÷17	0	21÷27	25÷50	3÷10	10 ⁻⁶
CL	19÷21	20÷50	30÷35	-	90÷250	10 ⁻⁴
SC	19÷20	0	30÷35	-	50÷100	10 ⁻⁵
SCL	19÷20	0	29÷34	-	40÷90	10 ⁻⁵
SCG	19÷20	0	32÷35	-	50÷100	10 ⁻⁵
LS	19.5÷20	0÷5	26÷29	50÷100	30÷60	10 ⁻⁵
FNAIt	19÷21	10÷20	23÷26	150÷300	80÷150	10 ⁻⁷
FNA	19÷21	15÷30	24÷28	300÷400	150÷250	10 ⁻⁷
FNQ	20÷21	100	45	-	400÷1000	10 ⁻⁷
S/FNQ	19	0	30÷35	-	50÷100	10 ⁻⁵

γ =peso dell'unità di volume

c'= coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

cu= resistenza al taglio non drenata

E'= modulo elastico

k = permeabilità

Si precisa comunque che i parametri geotecnici di progetto da adottare per il dimensionamento delle varie opere, andranno scelti sulla base delle indagini più prossime all'opera in progetto, in rapporto alla tipologia dell'opera, alle ipotesi ed ai modelli di calcolo assunti. Inoltre per quanto riguarda i range dei parametri di resistenza riportati in tabella, i valori di coesione massimi andranno associati ai valori di resistenza al taglio minimi.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 57 di 88

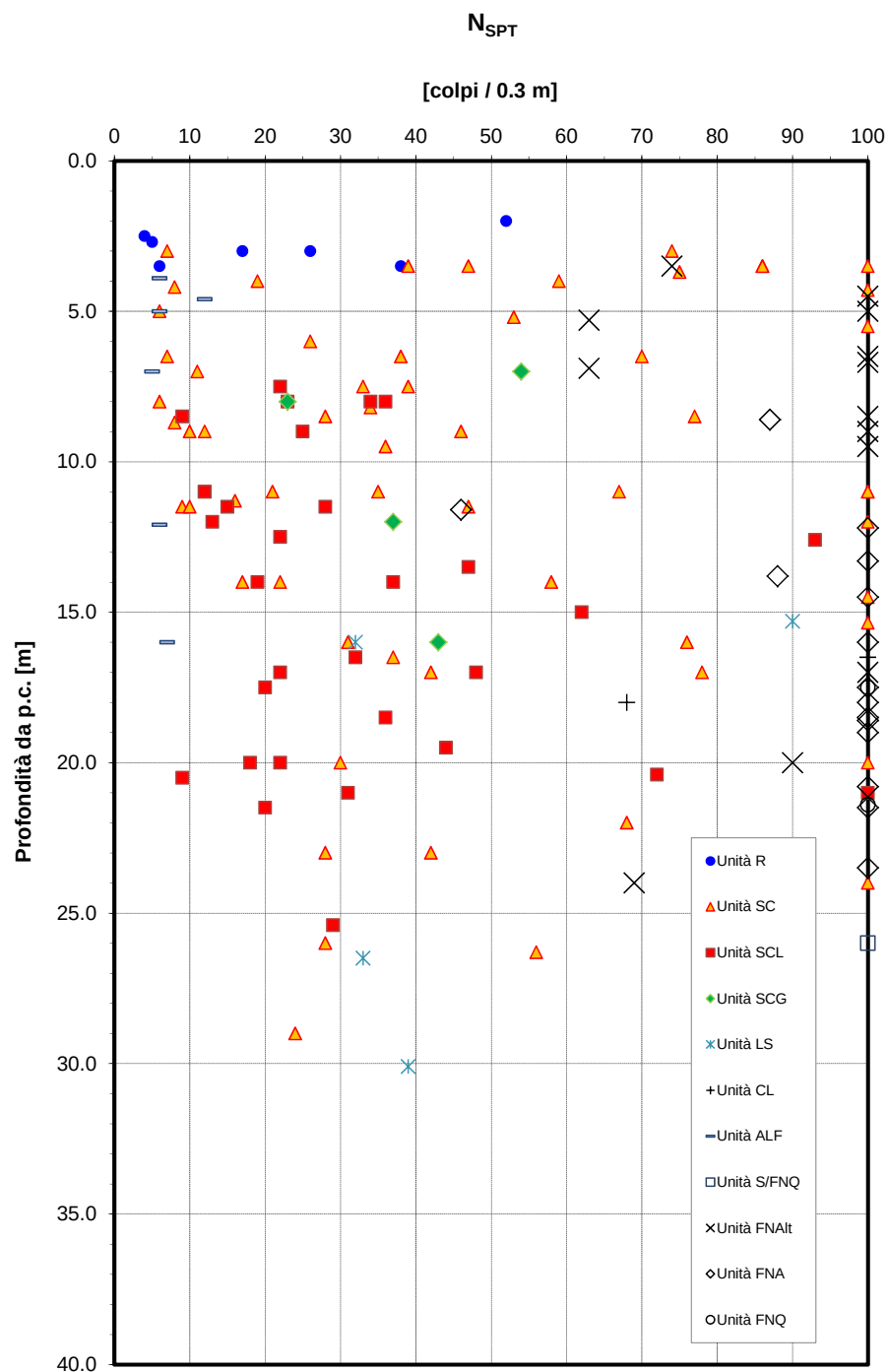


Figura 1 - Nspt

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 58 di 88

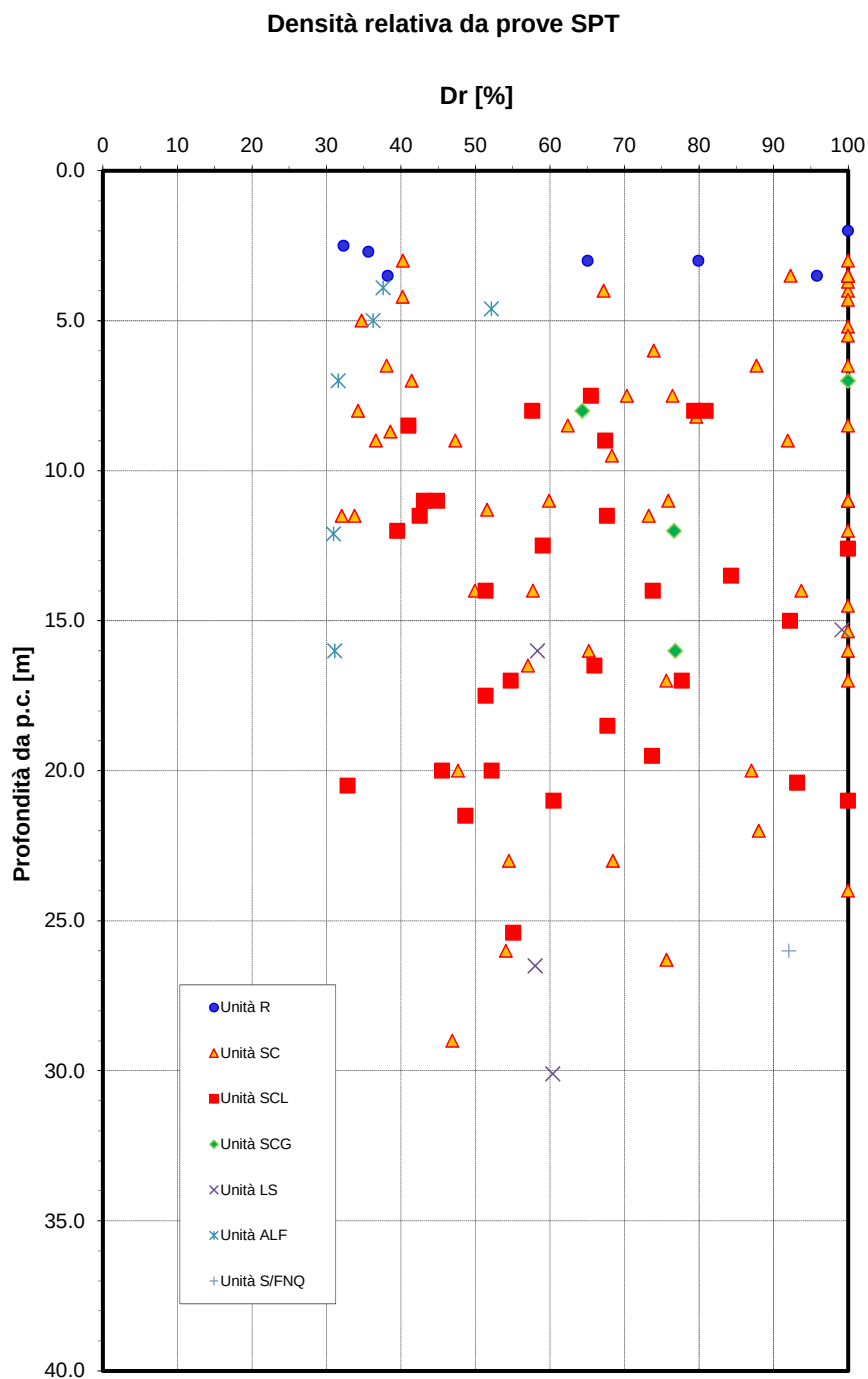


Figura 2 – Densità relativa da prove SPT

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 59 di 88

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (Schmertmann, 1977)

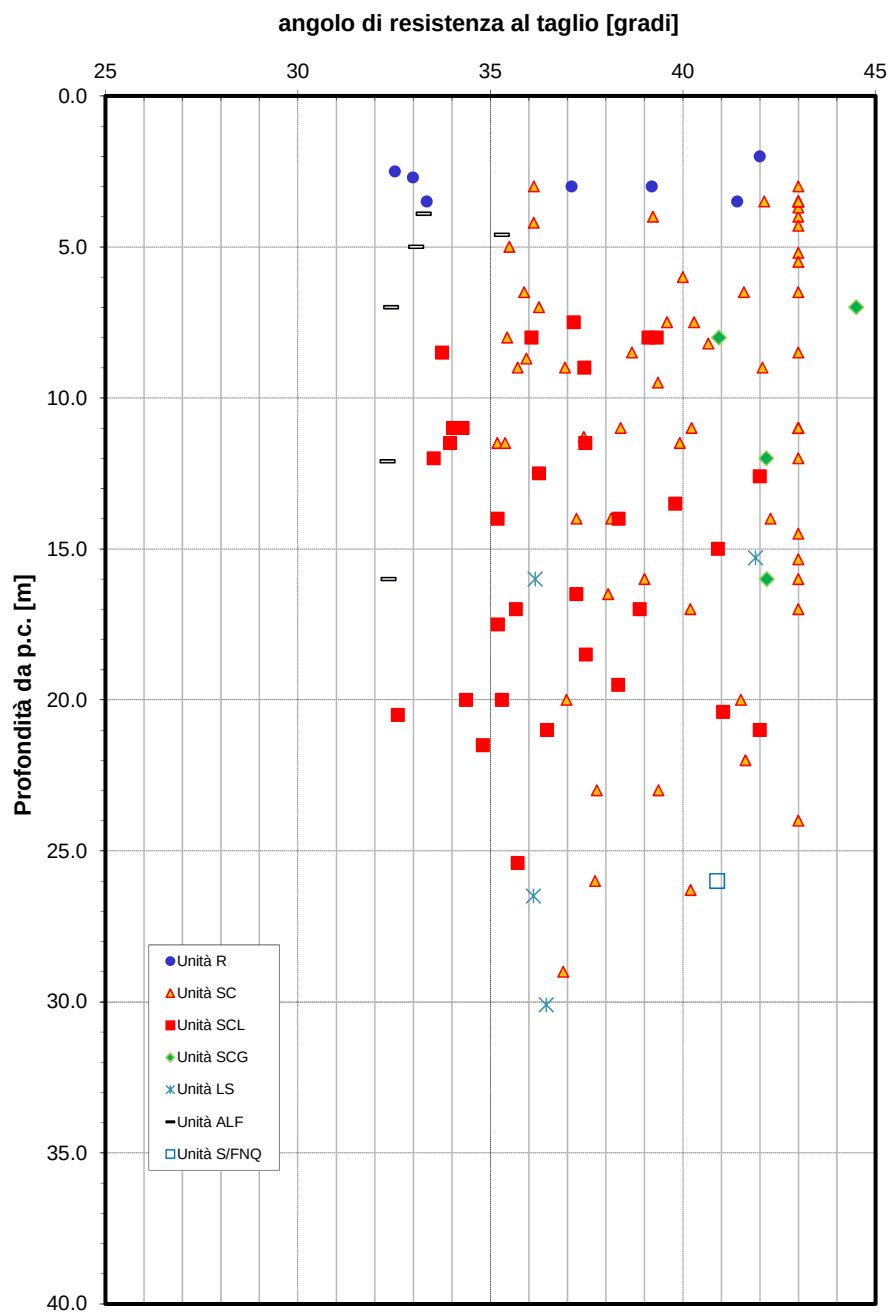


Figura 3 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (Schmertmann, 1977)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 60 di 88	

Correlazione $N_{SPT}-\phi'$, De Mello (1971)

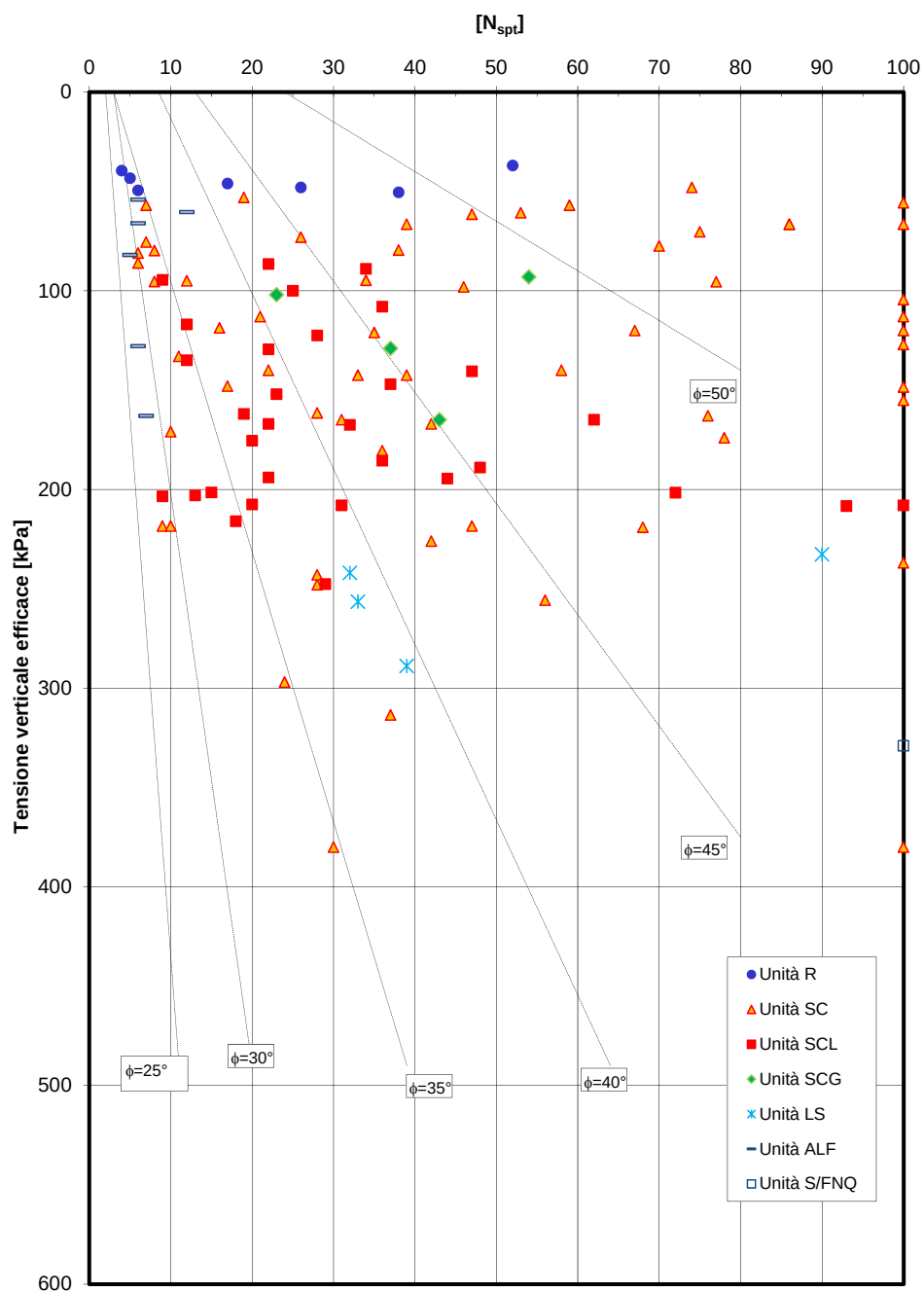


Figura 4 – Angolo di resistenza al taglio da correlazione di De Mello (1971)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 61 di 88

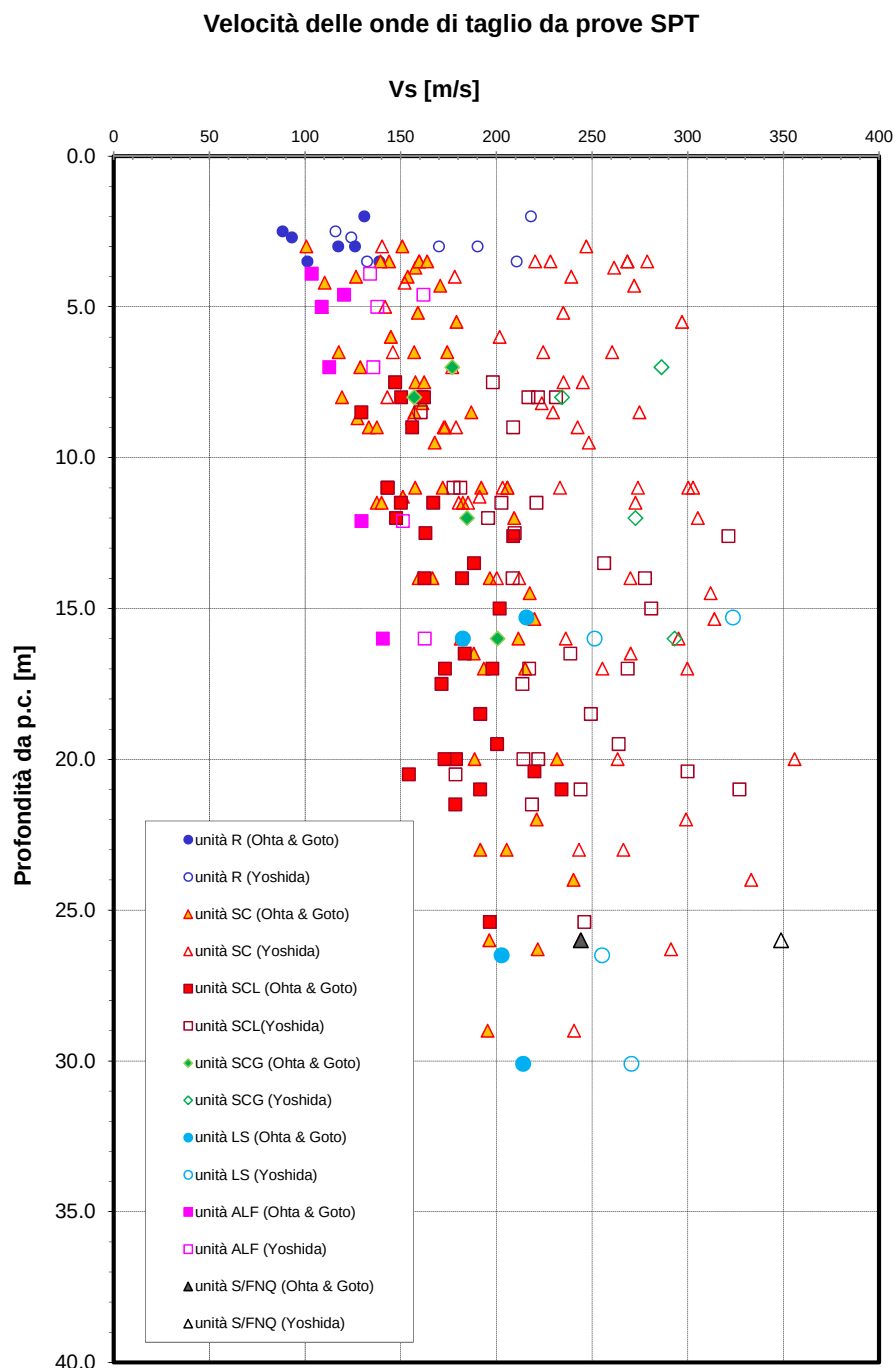


Figura 5 – Velocità delle onde di taglio Vs da prove SPT

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 62 di 88	

Modulo di deformabilità da prove SPT

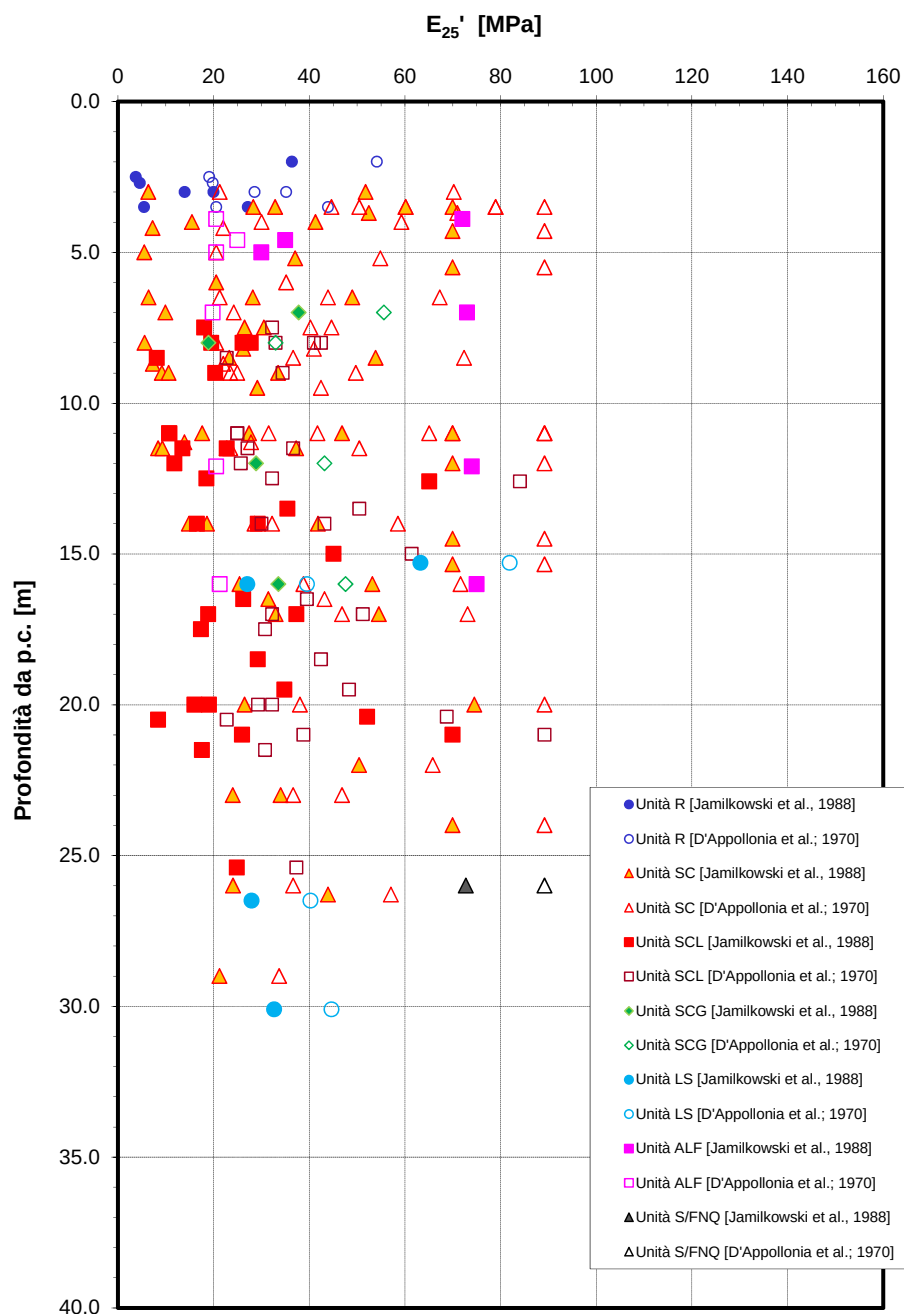


Figura 6 – Modulo di deformazione E_{25}' da prove SPT

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 63 di 88

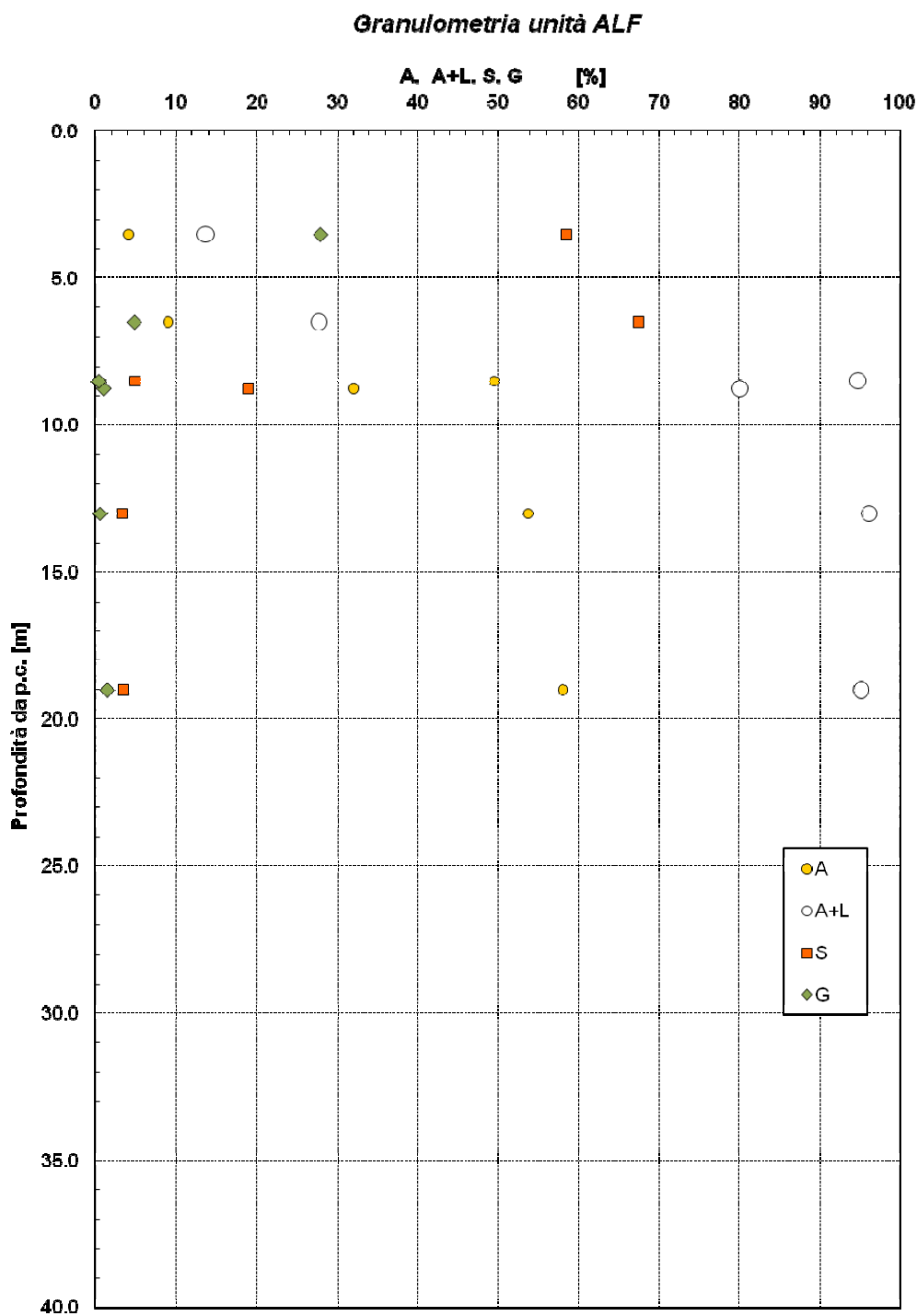


Figura 7 – Granulometria unità ALF

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 64 di 88	

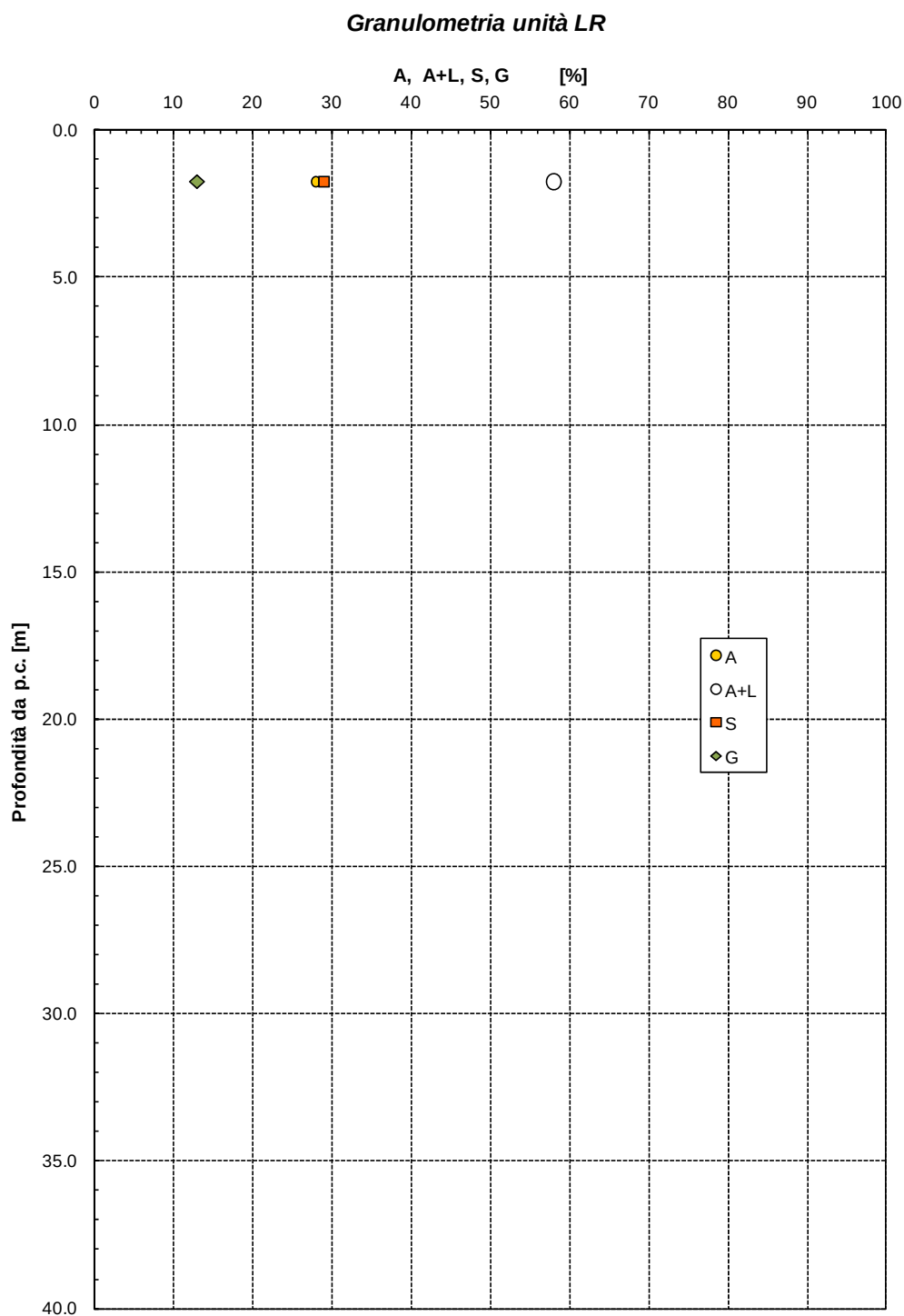


Figura 8 – Granulometria unità LR

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 65 di 88

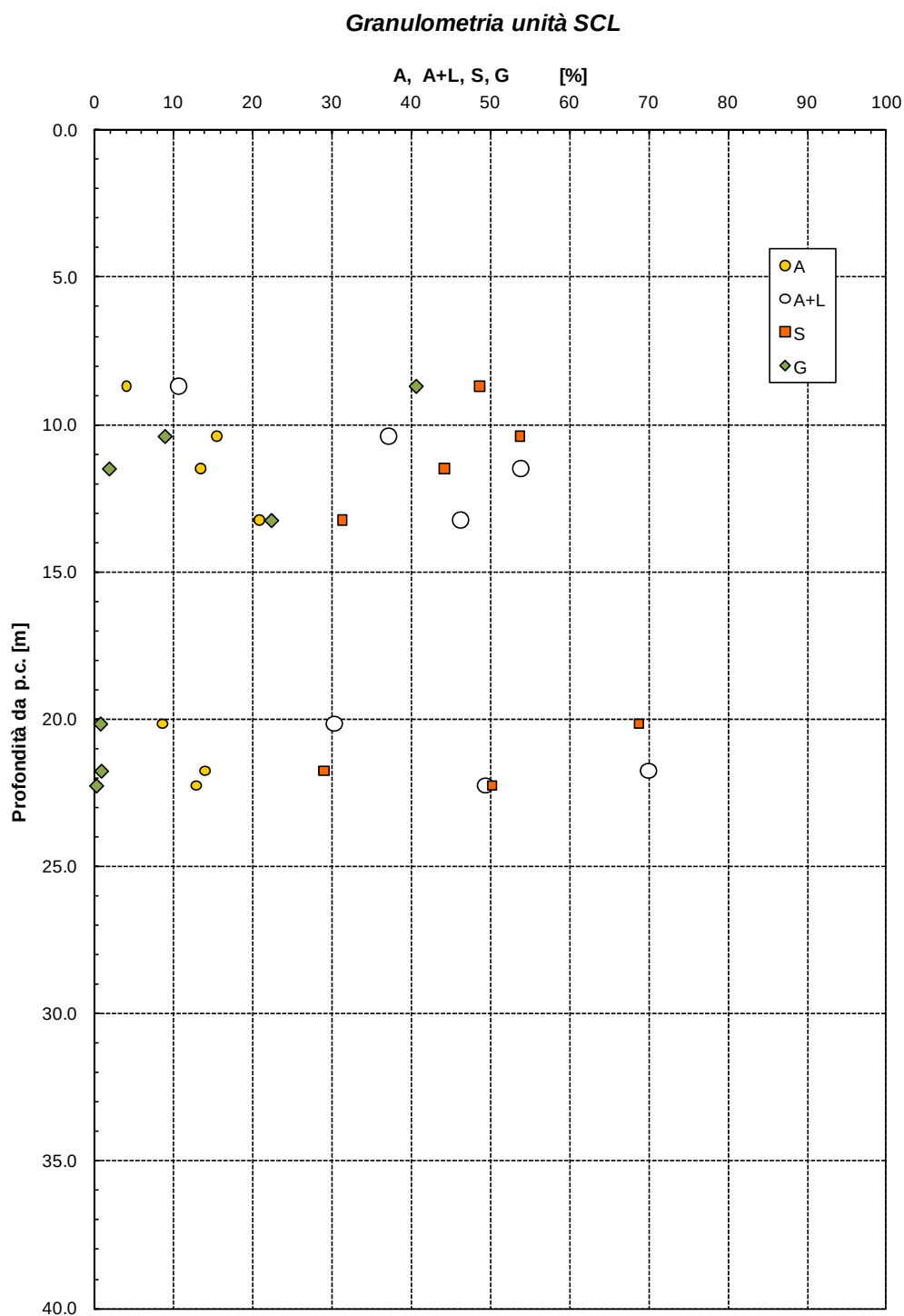


Figura 9 – Granulometria unità SCL

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 66 di 88

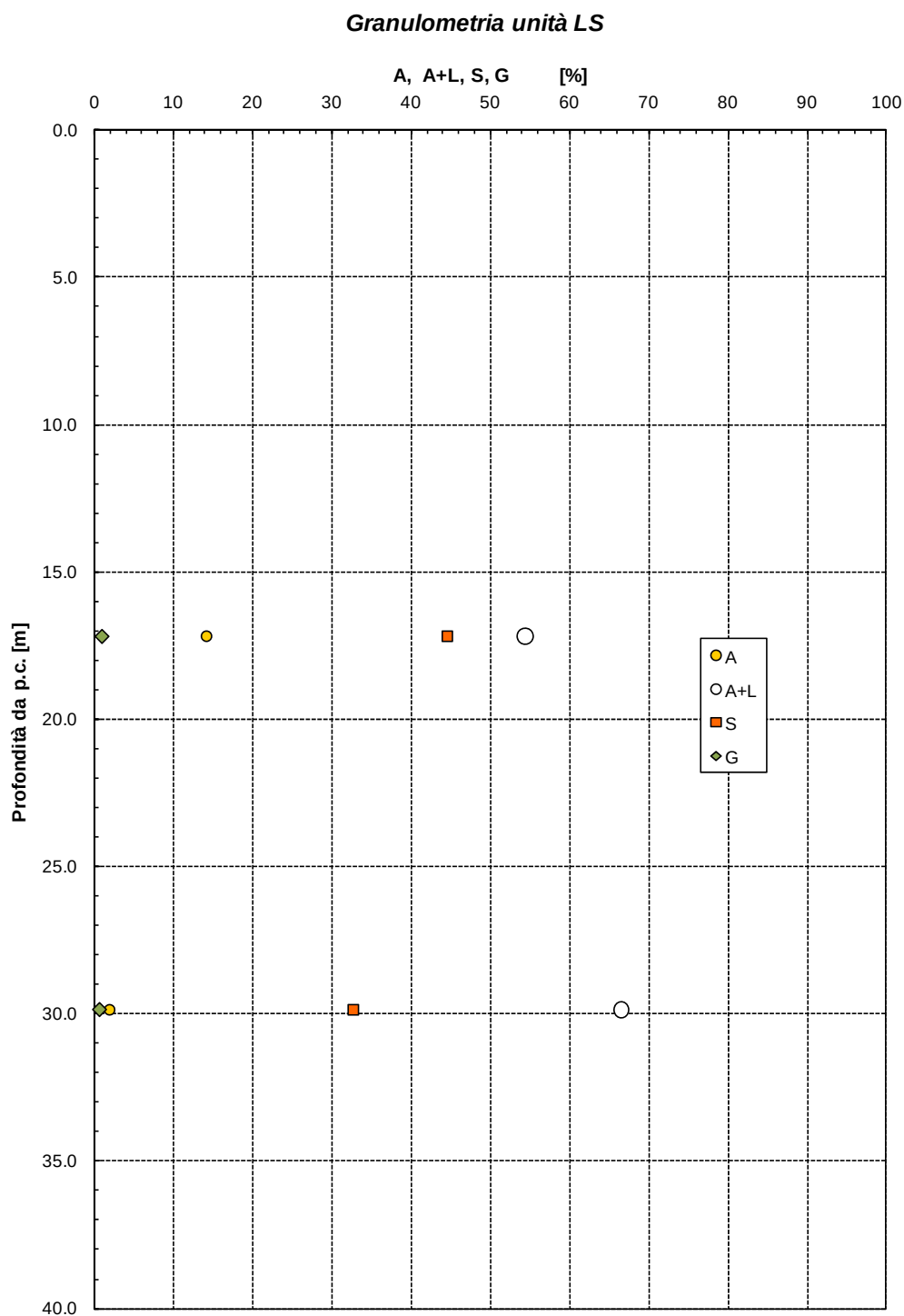


Figura 10– Granulometria unità LS

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 67 di 88

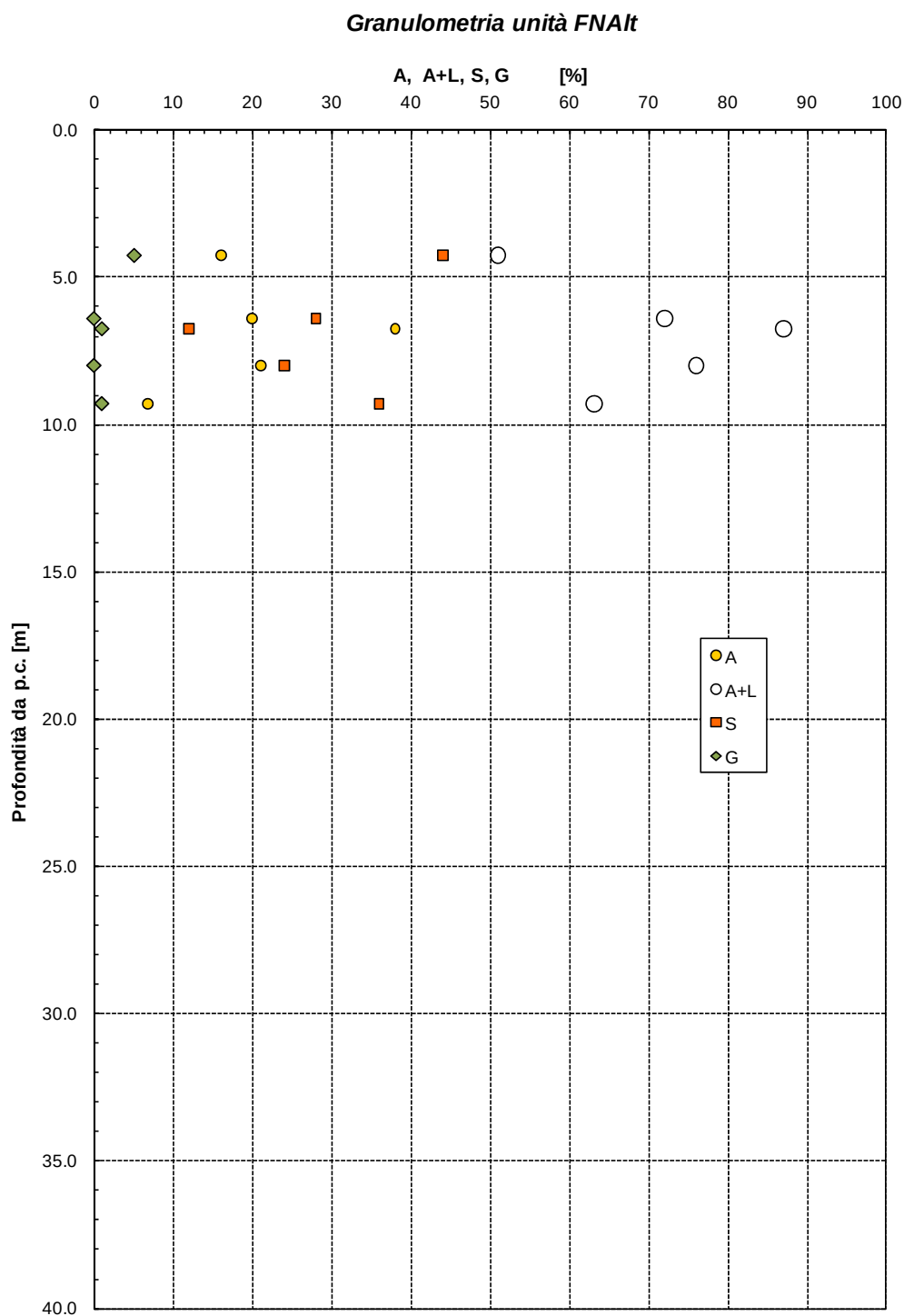


Figura 11– Granulometria unità FNAlt

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 68 di 88

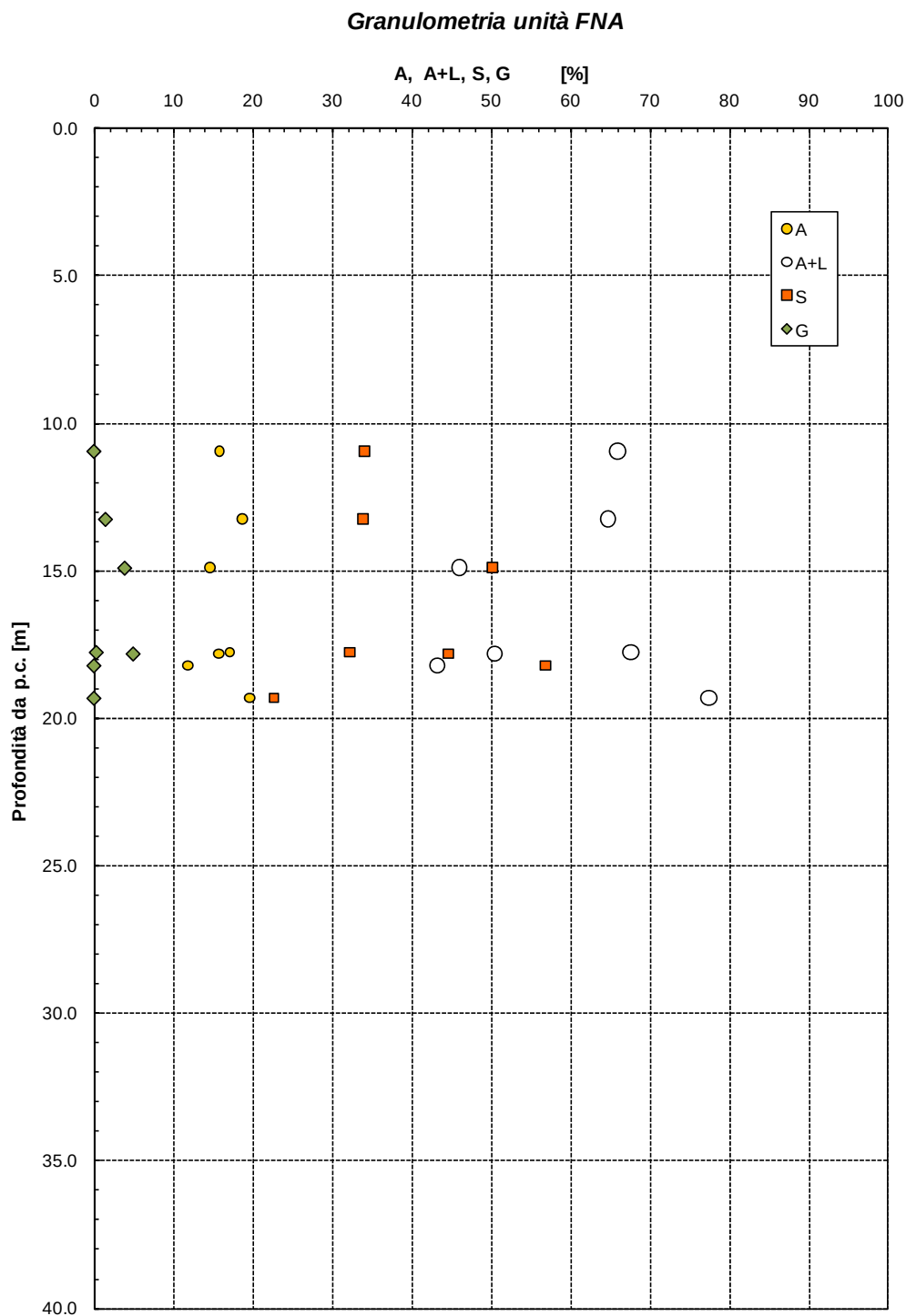


Figura 12– Granulometria unità FNA

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 69 di 88

Andamento del peso di volume naturale

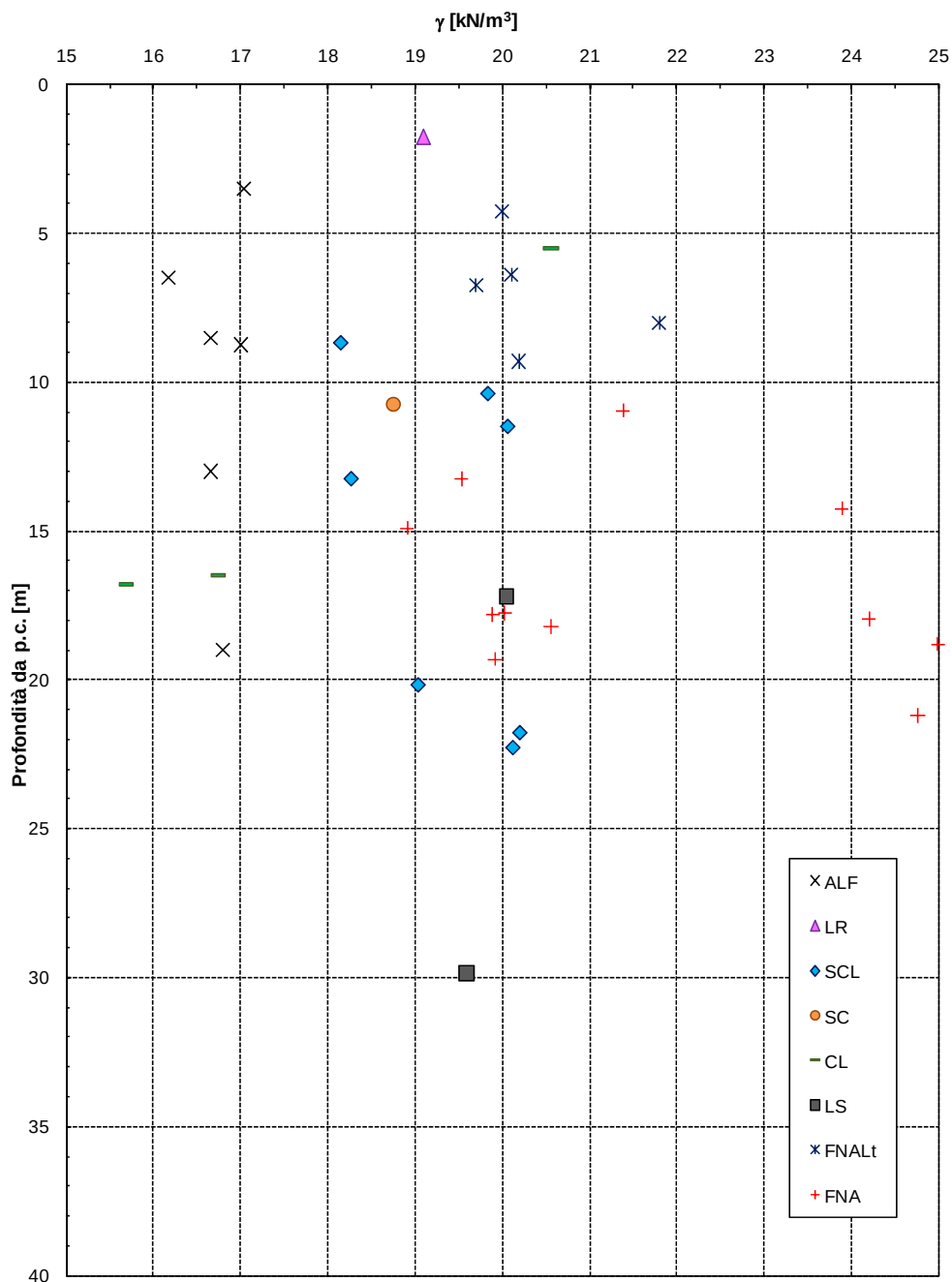


Figura 13– Peso di volume naturale

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 70 di 88

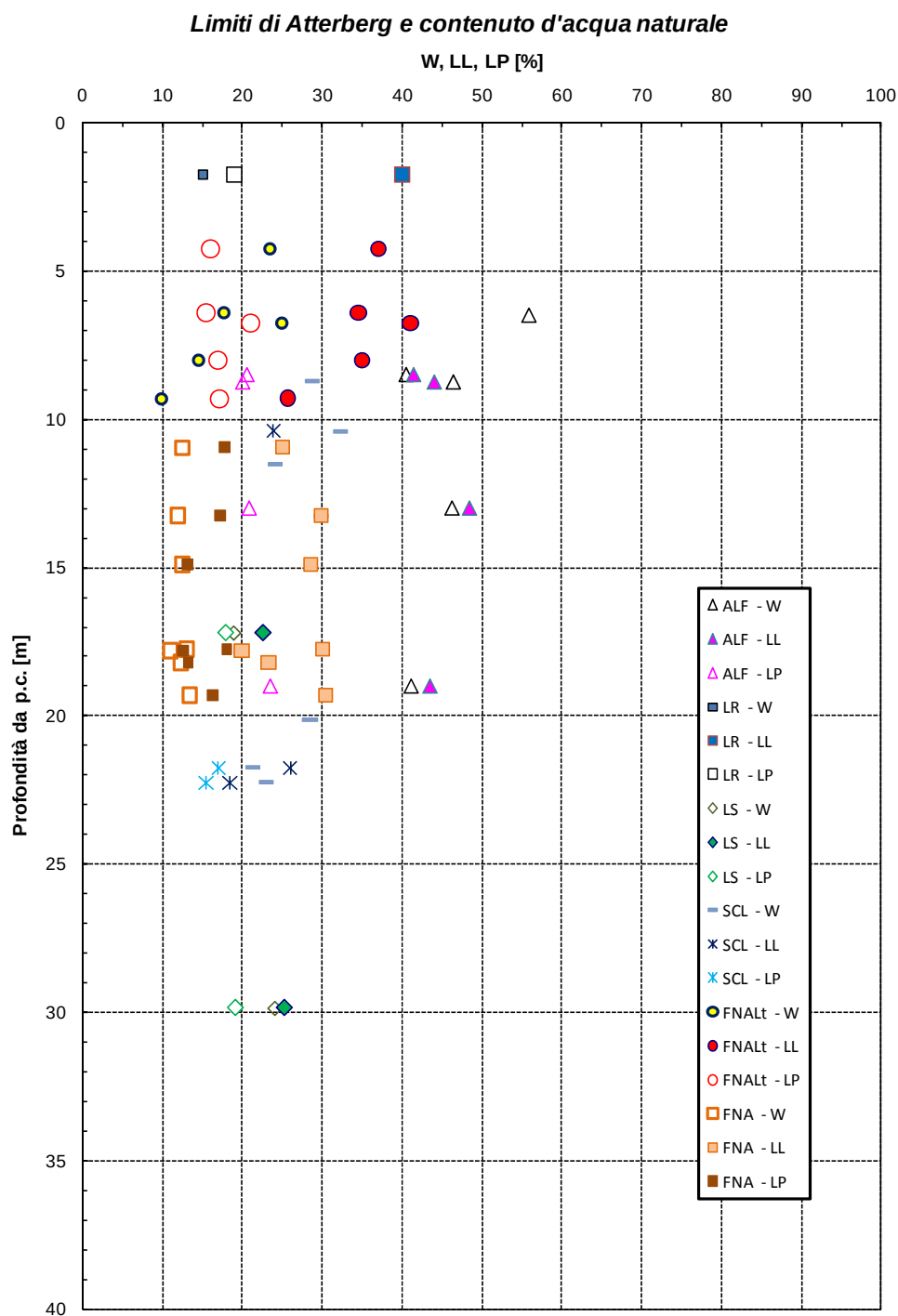


Figura 14– Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 71 di 88

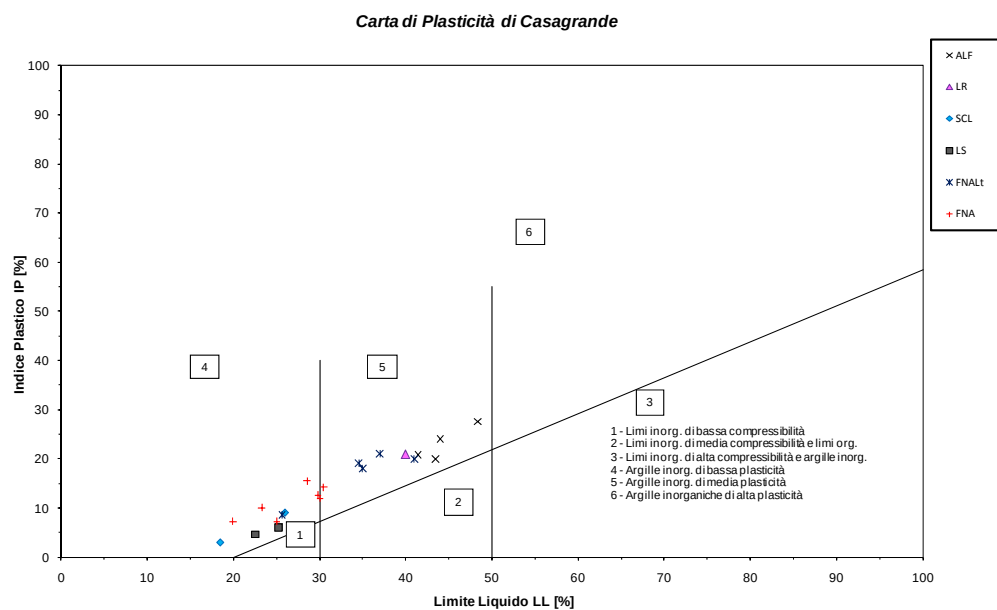


Figura 15– Carta di Plasticità di Casagrande

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 72 di 88

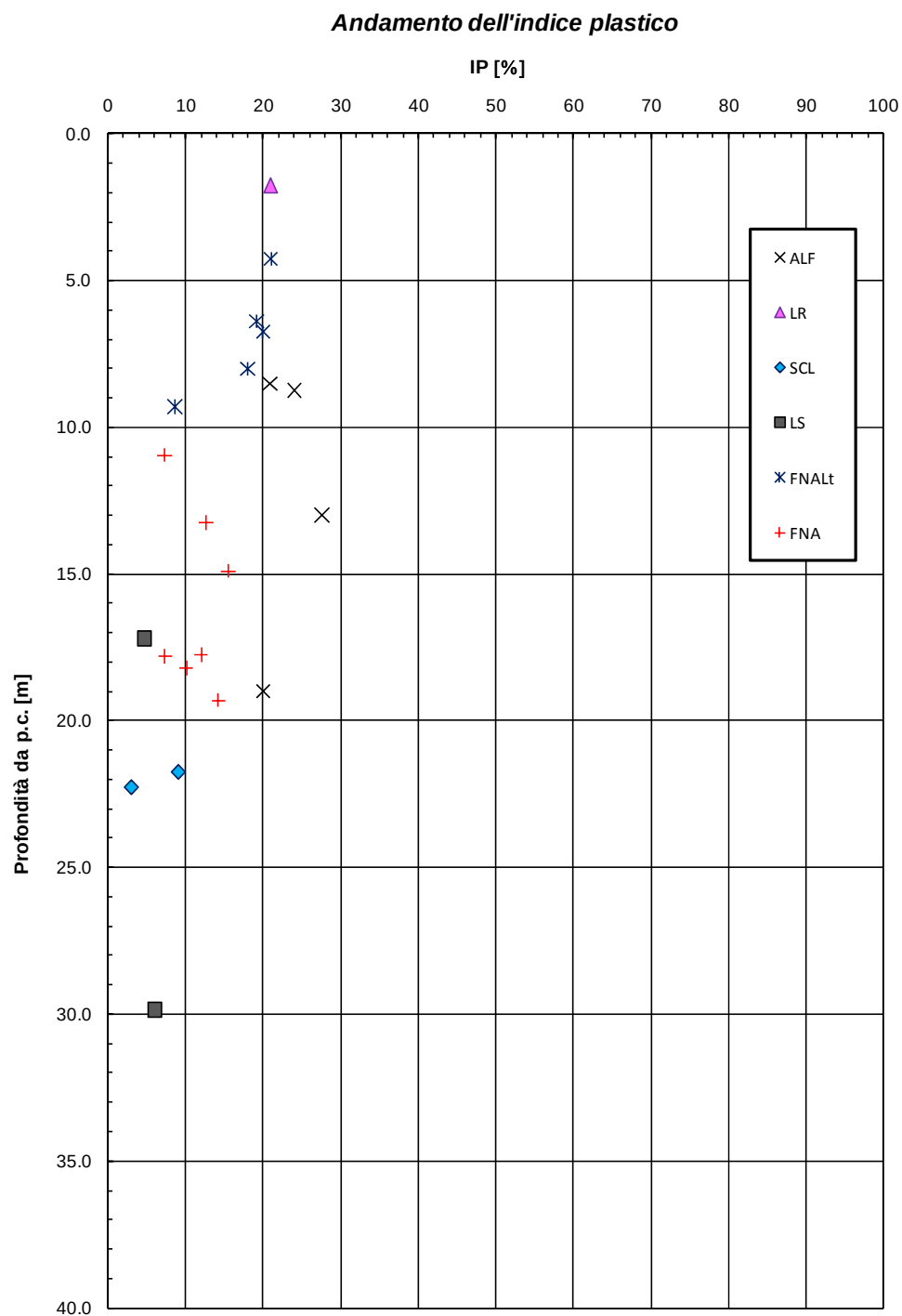


Figura 16– Indice plastico

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 73 di 88

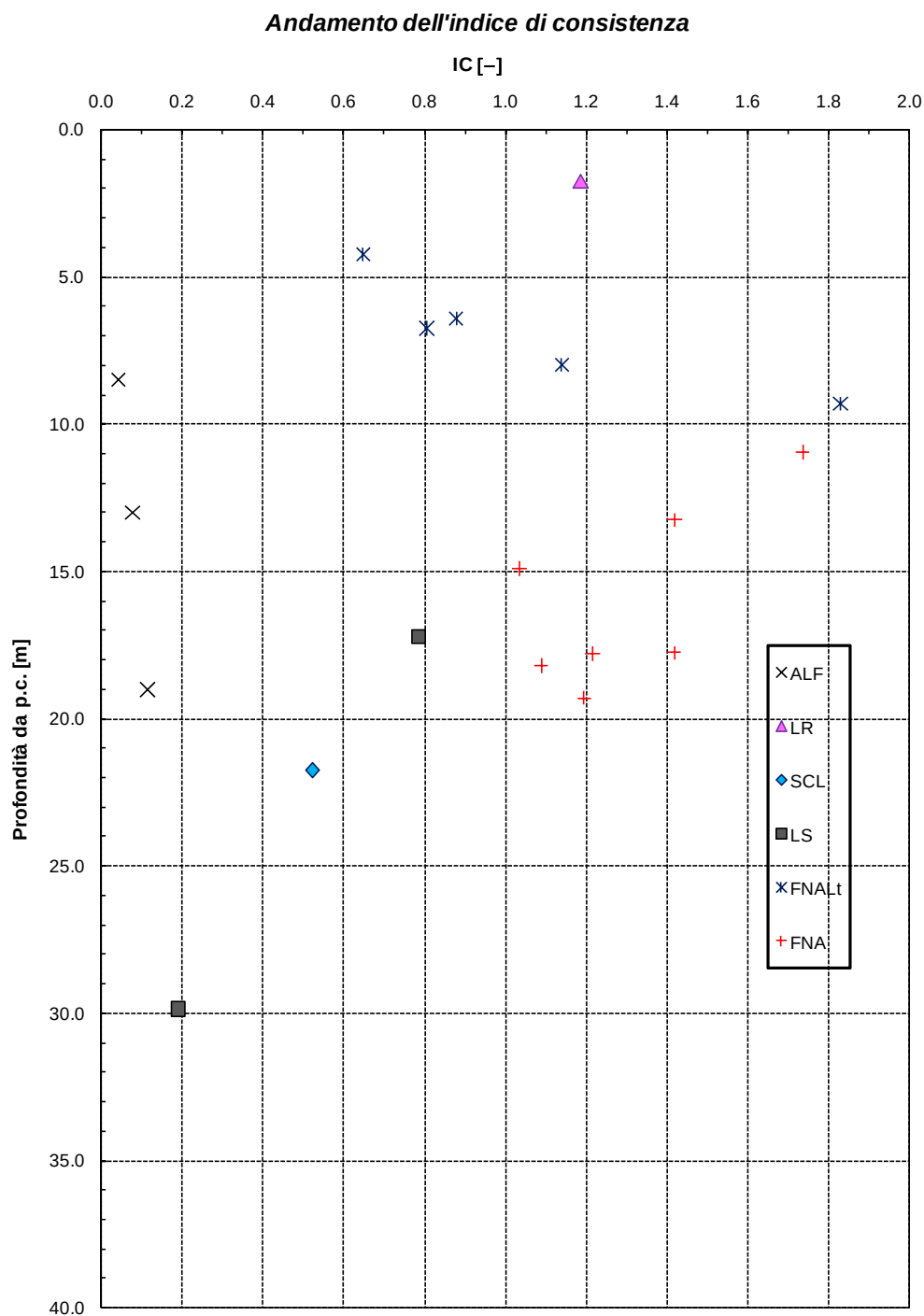


Figura 17– Indice di consistenza

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 74 di 88	

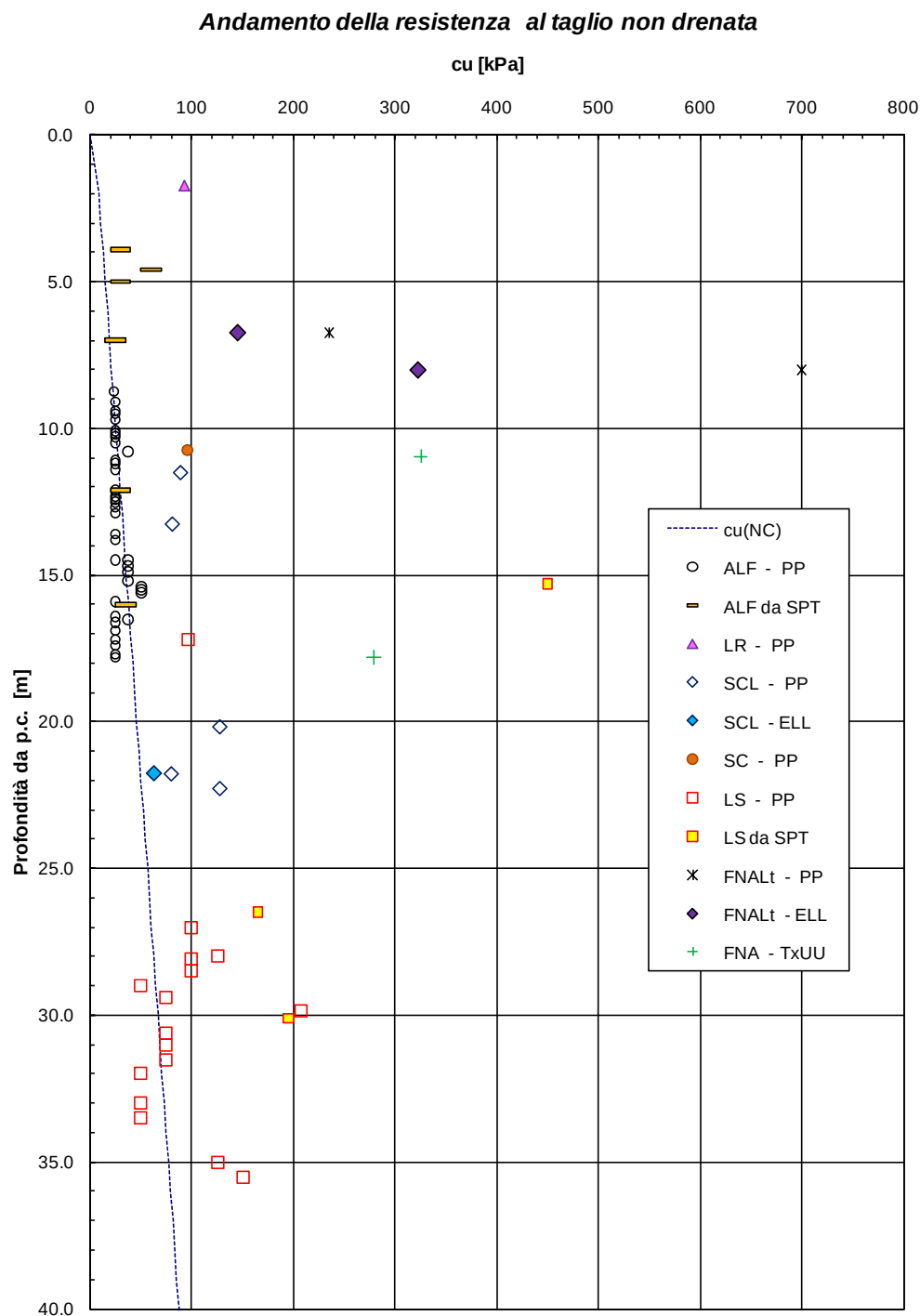


Figura 18– Resistenza al taglio non drenata

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 75 di 88

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

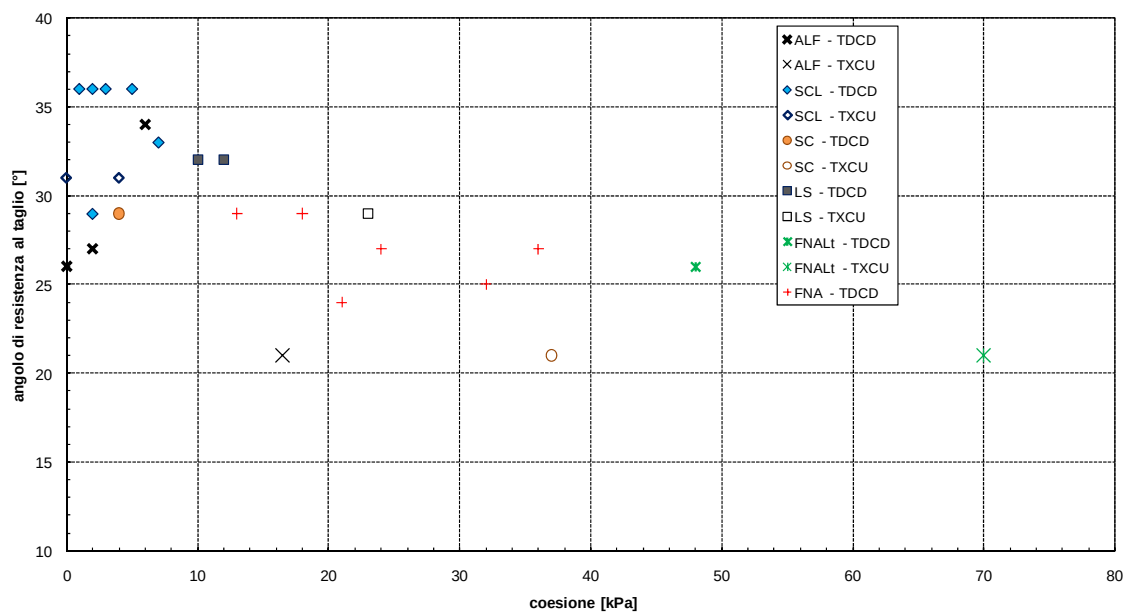


Figura 19– Angolo di resistenza al taglio e coesione efficace

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 76 di 88	

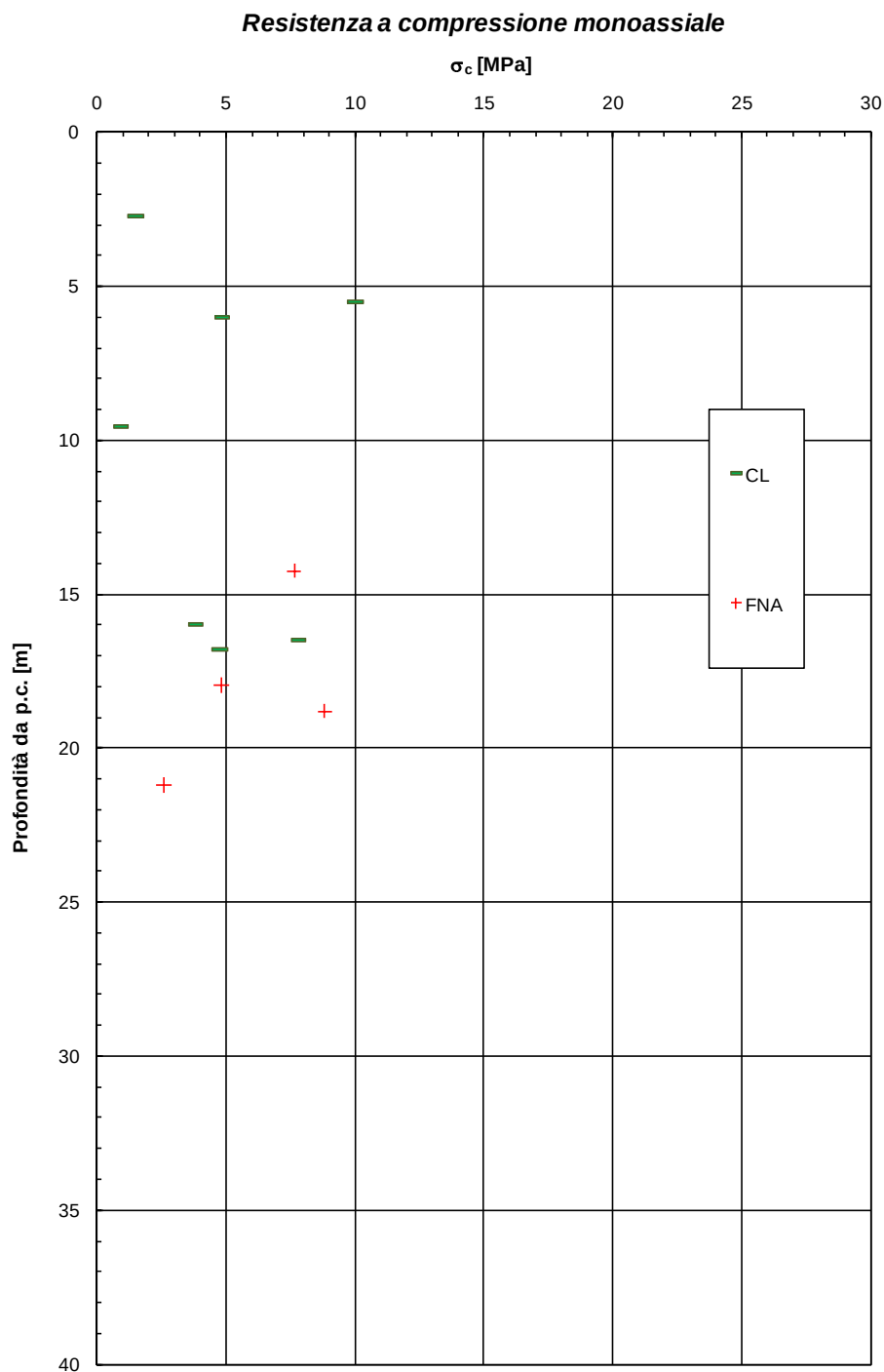


Figura 20– Resistenza a compressione monoassiale

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 77 di 88

Permeabilità da prove di laboratorio

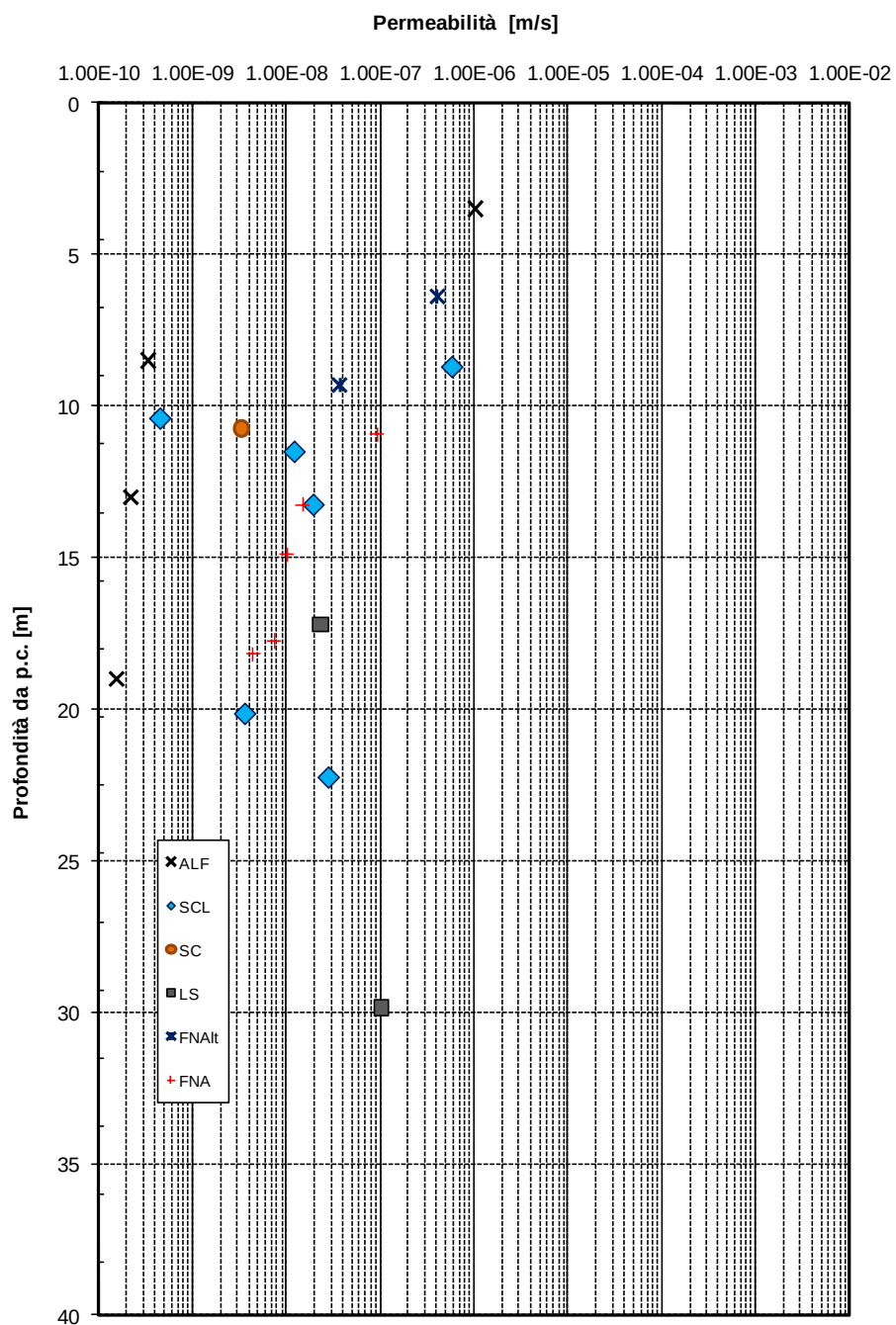


Figura 21– Permeabilità da prove di laboratorio

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 78 di 88	

Permeabilità da prova Lefranc

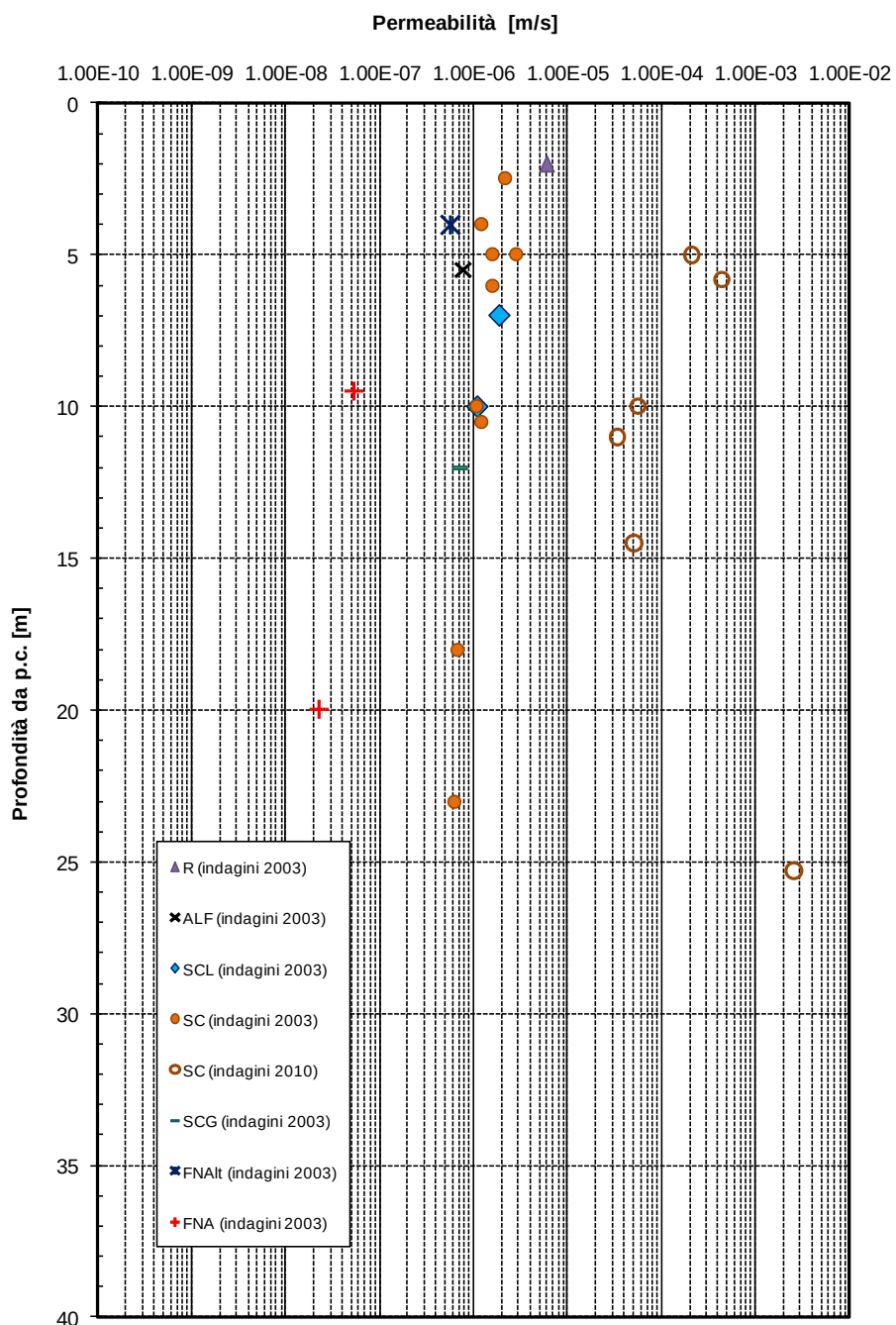


Figura 22– Permeabilità da prove Lefranc

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 79 di 88

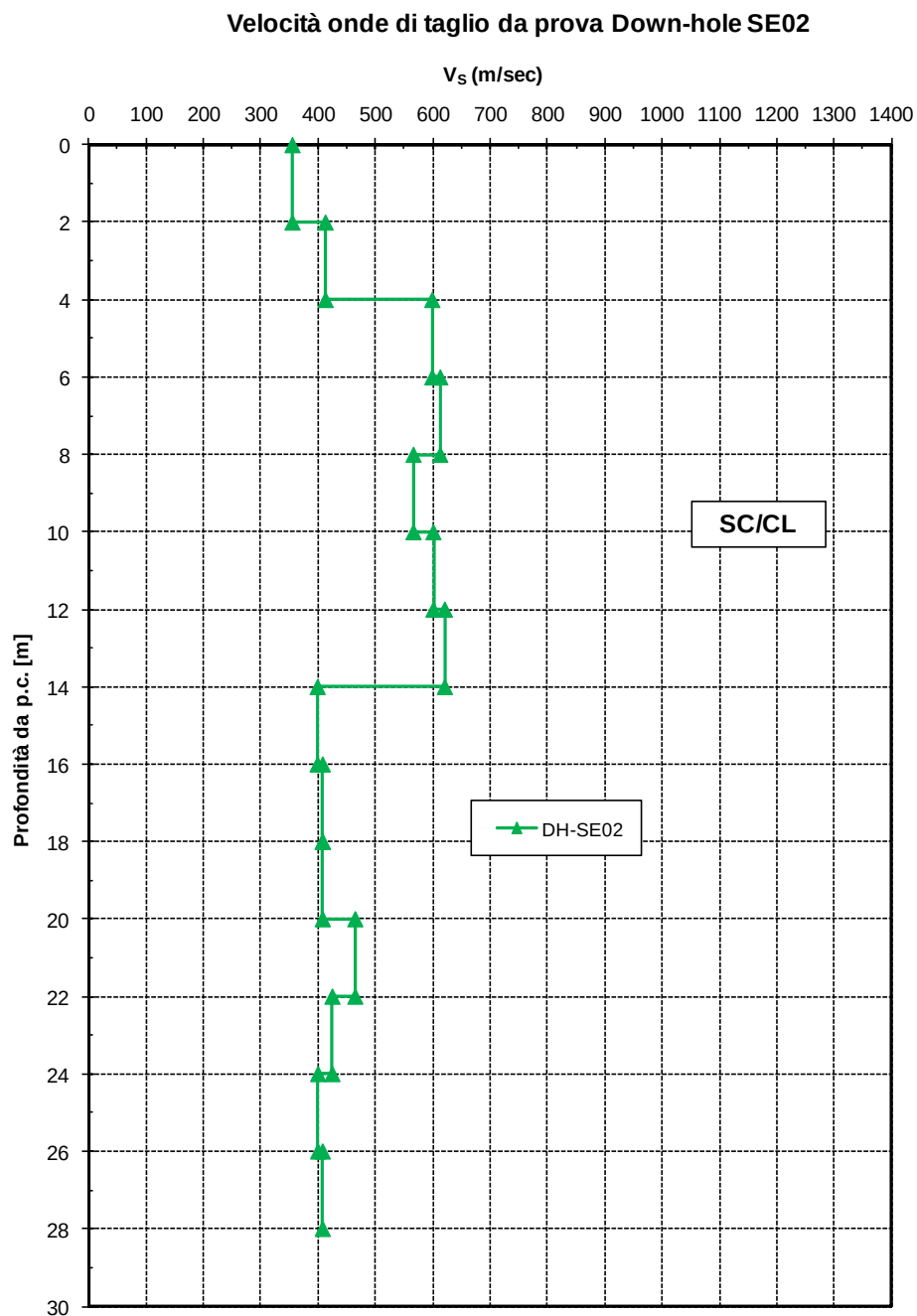


Figura 23– Velocità delle onde di taglio VS da prova Down – Hole SE02

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 80 di 88

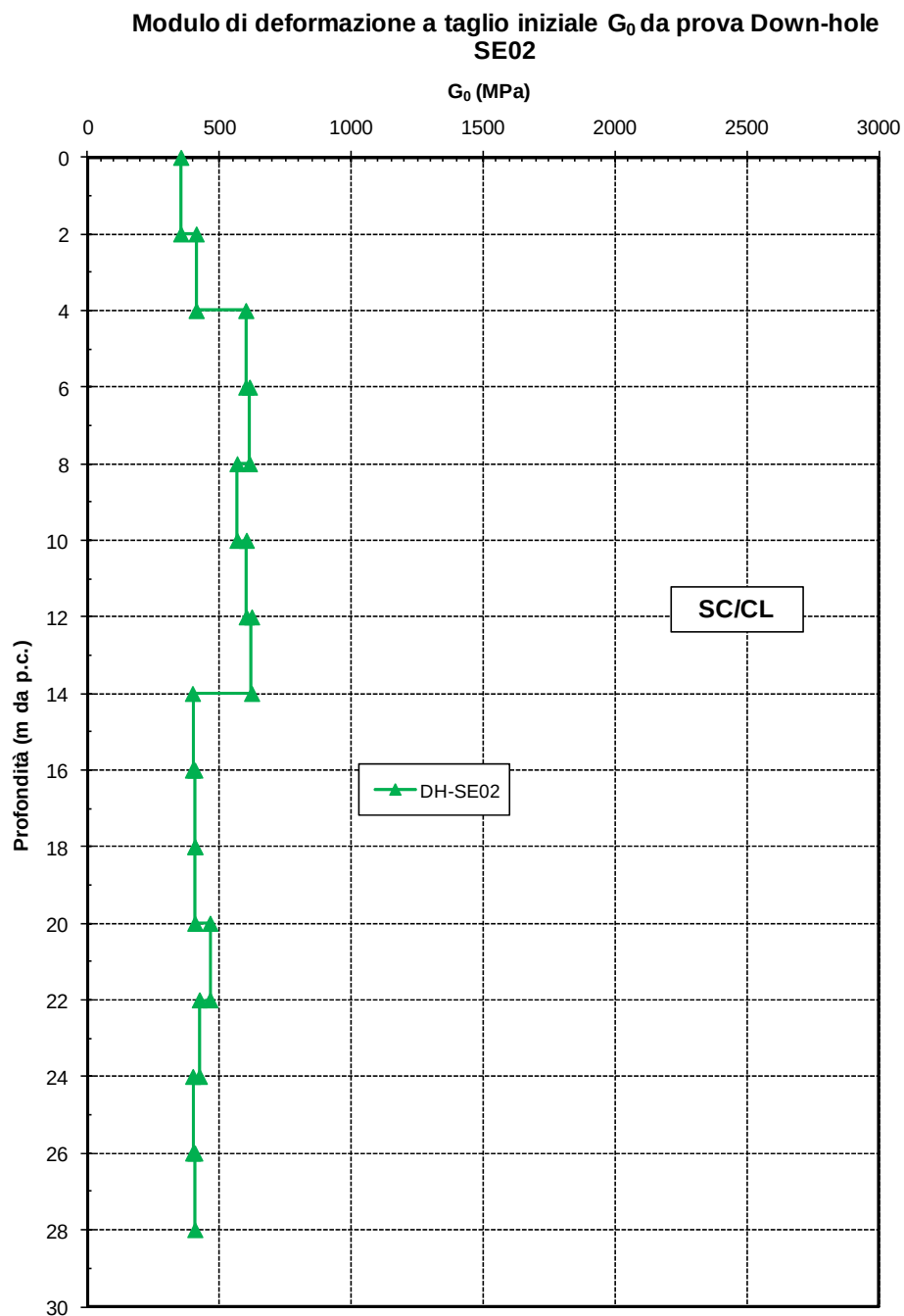


Figura 24– Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prova Down-Hole SE02

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 81 di 88

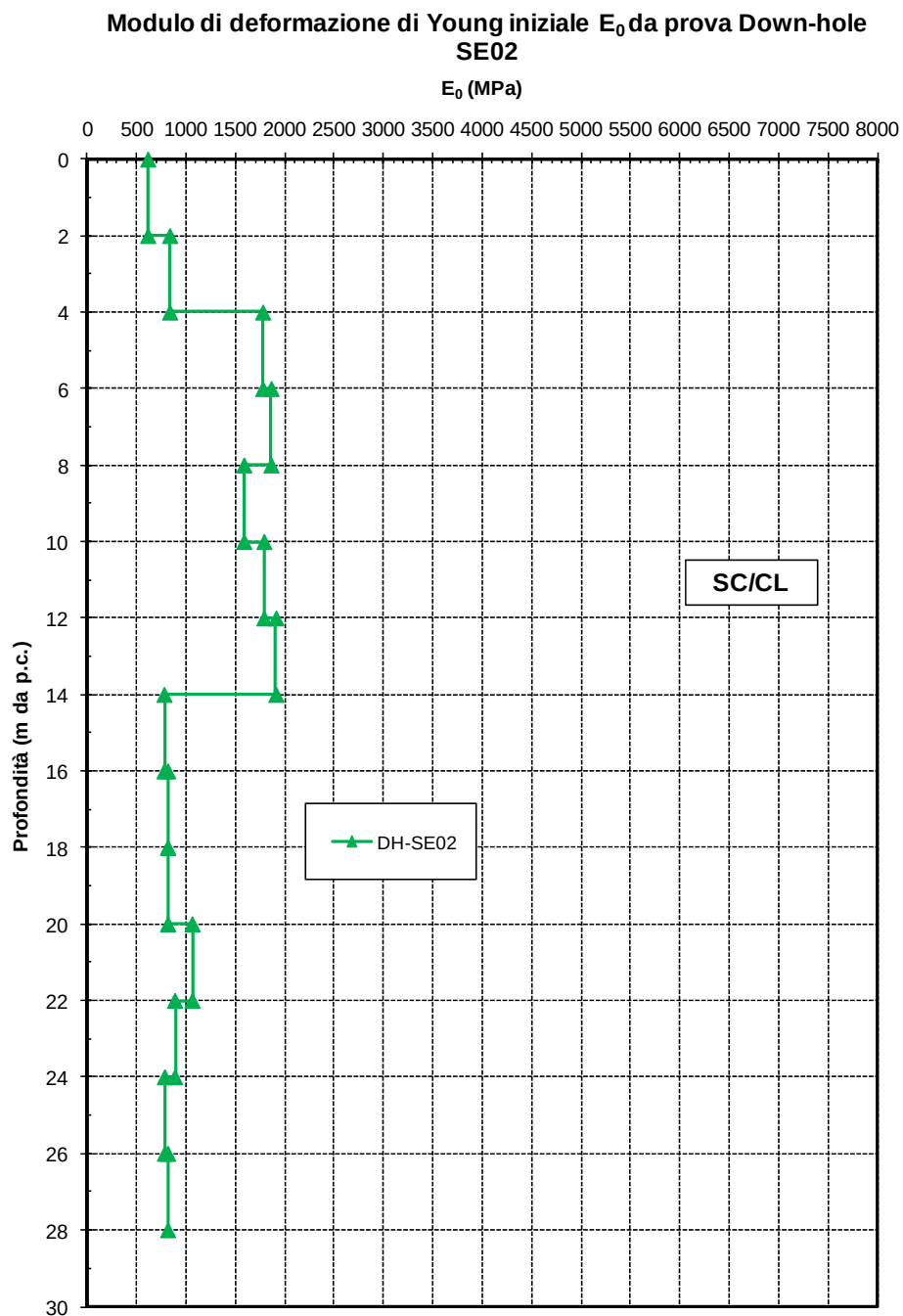


Figura 25– Modulo di deformazione di Young iniziale E_0 da prova Down-Hole SE02

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 82 di 88

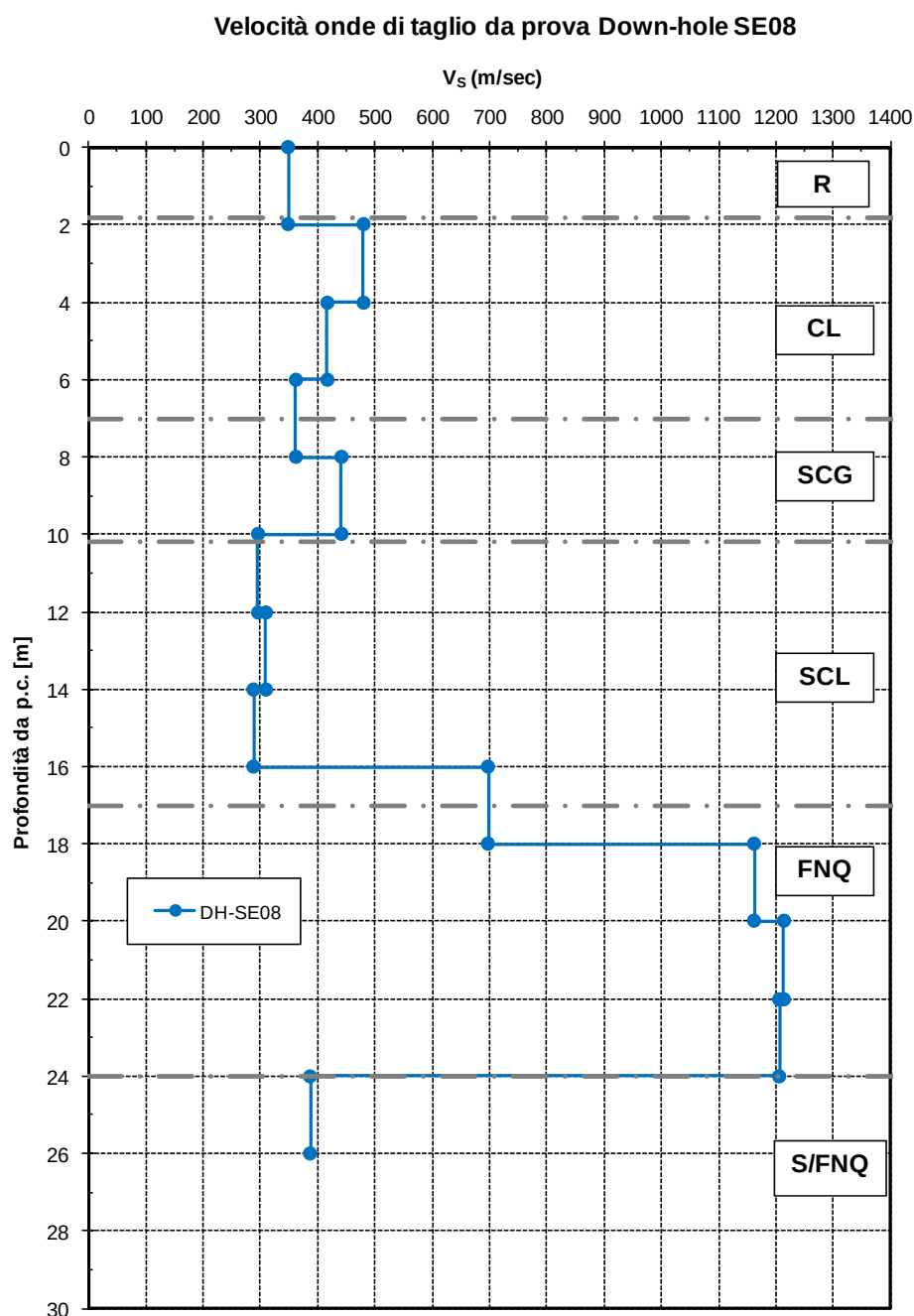


Figura 26– Velocità delle onde di taglio VS da prova Down – Hole SE08

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 83 di 88	

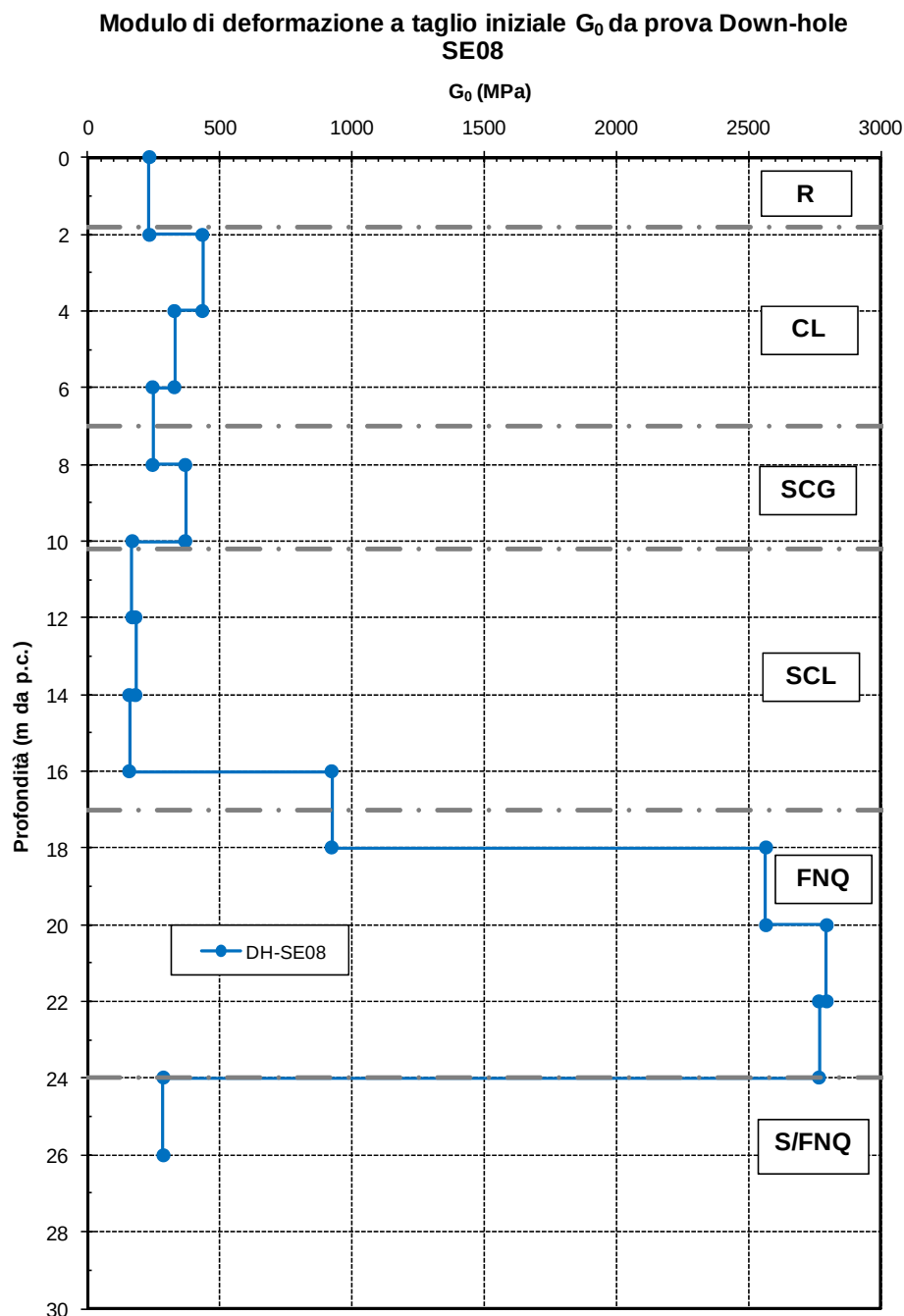


Figura 27– Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prova Down-Hole SE08

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 84 di 88

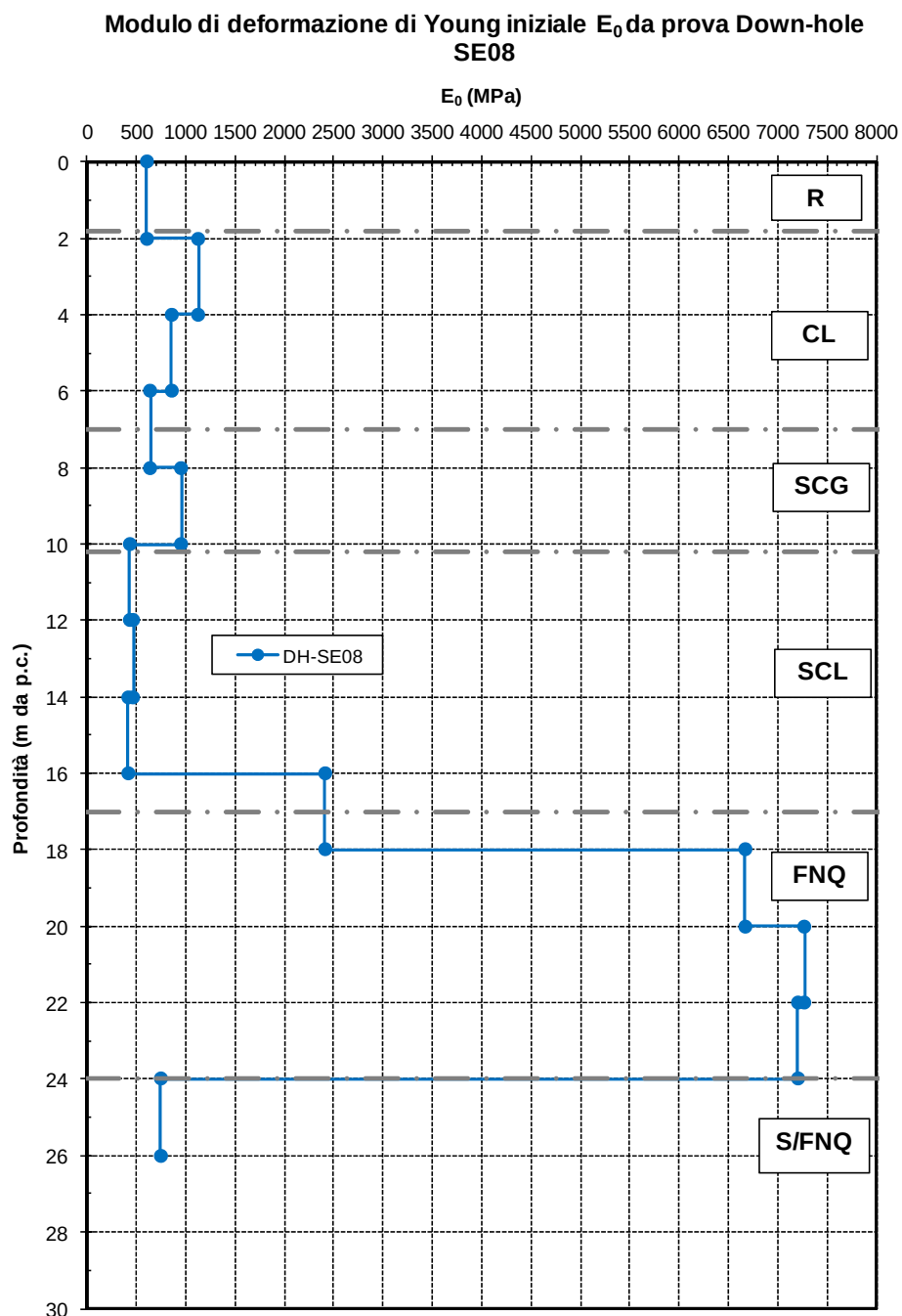


Figura 28– Modulo di deformazione di Young iniziale E_0 da prova Down-hole SE08

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 85 di 88	

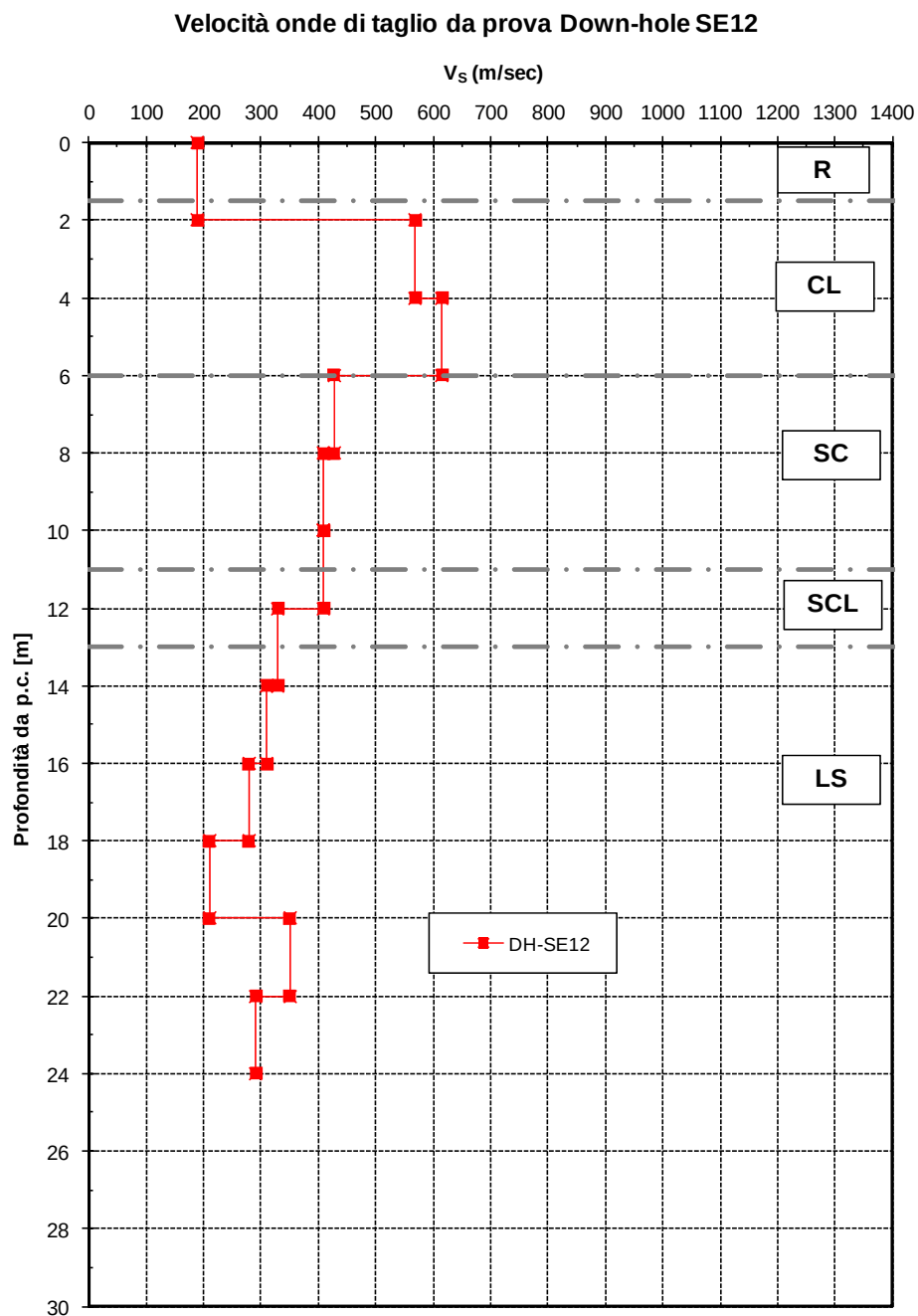


Figura 29– Velocità delle onde di taglio VS da prova Down – Hole SE12

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 86 di 88

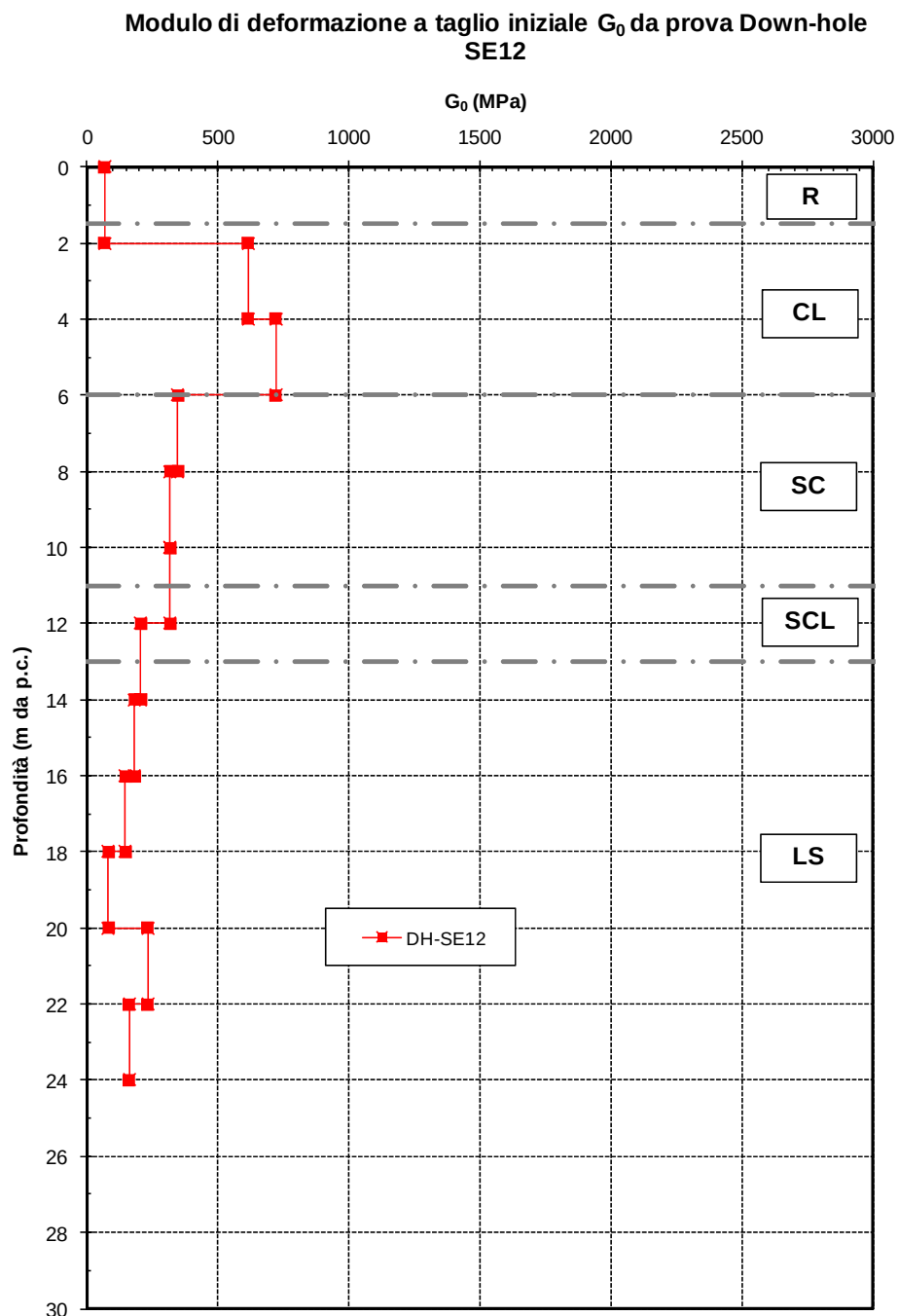


Figura 30– Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prova Down-Hole SE12

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 87 di 88

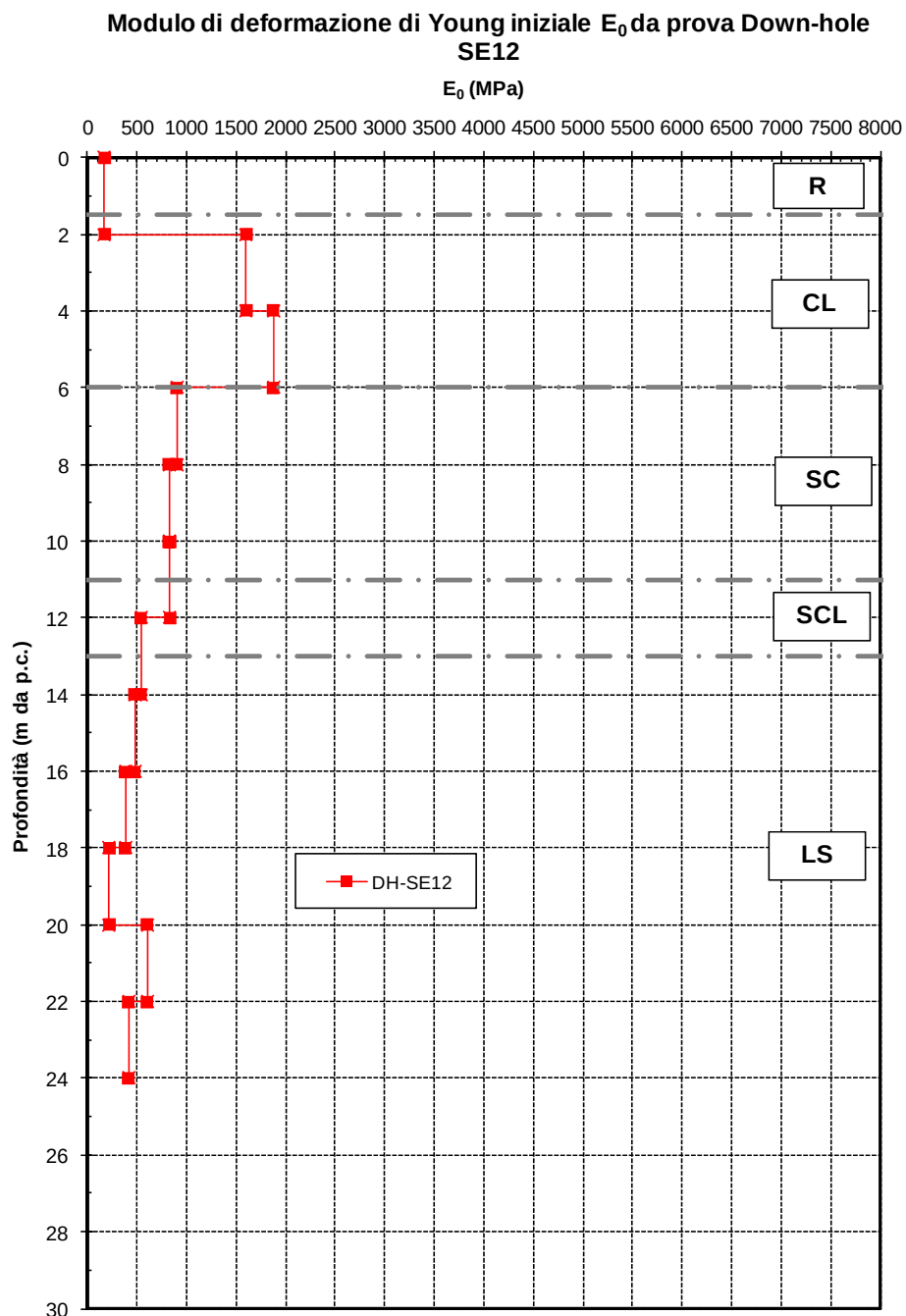


Figura 31– Modulo di deformazione di Young iniziale E_0 da prova Down-Hole SE12

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RB	OGGETTO DOC. GE 00 05	PROG. DOC. 001	REV C	Pag. 88 di 88

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TRACCIATO

Secondo la normativa di riferimento (D.M.'96), ai fini della zonazione sismica del territorio italiano, l'area in oggetto ricade in seconda categoria ($S=9$); pertanto si considera un coefficiente sismico $c= 0.07$, moltiplicato per un coefficiente di importanza pari $I = 1.25$, mentre gli altri coefficienti previsti da normativa (R, β, ε) sono assunti pari all'unità.