

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA TRATTI ALL'APERTO - LOTTO 5 (da km 0+000 a km 8+920)

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 09 RH GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
A	Emissione esecutiva	S. Gasperoni	12/2019	M.D'Effredo	12/2019	F. Spaccino	12/2019

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 430/2013
12/2019

SOMMARIO

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	7
4	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	9
4.1	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2018.....	9
4.1.1	<i>Indagini sismiche</i>	10
4.1.2	<i>Prove di permeabilità</i>	11
4.1.3	<i>Prove di laboratorio</i>	13
4.2	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2019.....	19
4.2.1	<i>Indagini sismiche</i>	21
4.2.2	<i>Prove dilatometriche in foro</i>	22
4.2.3	<i>Prove di laboratorio</i>	23
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	33
5.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	33
5.2	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	36
5.3	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	36
5.3.1	<i>Depositi incoerenti</i>	36
5.3.2	<i>Depositi coesivi</i>	41
5.4	UNITÀ A – DEPOSITI CONTINENTALI DI VERSANTE DI ALTERAZIONE DEL SUBSTRATO.....	54
5.5	UNITÀ BA – DEPOSITI ALLUVIONALI COESIVI.....	55
5.6	UNITÀ BS – DEPOSITI ALLUVIONALI SABBIOSI	56



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	3 di 238

5.7	UNITÀ BG – DEPOSITI ALLUVIONALI GHIAIOSO SABBIOSI	56
5.8	UNITÀ CFR – COLTRE IN FRANA QUIESCENTE.....	57
5.9	UNITÀ TRVB – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA	58
5.10	UNITÀ TRV – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA.....	59
5.11	UNITÀ GTL – FORMAZIONE DI CATTOLICA.....	60
5.12	UNITÀ TPL – FORMAZIONE DI TRIPOLI.....	60
5.13	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	61
5.14	FALDA	126
6	CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO.....	128
6.1	RISPOSTA SISMICA.....	128
6.1.1	<i>Categoria di sottosuolo</i>	<i>129</i>
6.1.2	<i>Azioni sismiche di progetto</i>	<i>130</i>
6.1.3	<i>Magnitudo</i>	<i>133</i>
6.2	LIQUEFAZIONE	136
6.2.1	<i>Generale</i>	<i>136</i>
6.2.2	<i>Metodologie di analisi.....</i>	<i>138</i>
6.2.3	<i>Analisi basate su prove SPT.....</i>	<i>140</i>
6.2.4	<i>Analisi basate su prove CPT</i>	<i>142</i>
6.2.5	<i>Risultati da prove SPT.....</i>	<i>144</i>
6.2.6	<i>Risultati da prove CPT.....</i>	<i>145</i>
6.2.7	<i>Sintesi risultati.....</i>	<i>146</i>
7	OPERE D'ARTE MAGGIORI.....	147
7.1	VIADOTTO VI01 DAL KM 0+414 AL KM 0+765	148
7.2	VIADOTTO VI02 DAL KM 1+358 AL KM 1+860	157
7.3	VIADOTTO VI03 DAL KM 2+447.41 AL KM 3+272.99.....	166

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	4 di 238

7.4	VIADOTTO VI04 DAL KM KM 3+548 AL KM 3+698.....	172
7.5	VIADOTTO VI05 DAL KM KM 4+843 AL KM 5+008.....	179
7.6	VIADOTTO VI06 DAL KM 5+439 AL KM 6+424	181
7.7	VIADOTTO VI07 DAL KM 6+999.9 AL KM 7+170.....	192
7.8	VIADOTTO VI08 DAL KM 8+064 AL KM 8+469	199
7.9	VIADOTTO VI09 DAL KM 8+636 AL KM 8+911.....	208
7.10	GALLERIA ARTIFICIALE GA01 DAL KM 2+150 AL KM 2+322.....	217
7.11	GALLERIA ARTIFICIALE GA02.....	223
7.12	SCATOLARE RI04	224
7.13	SCATOLARE RI12	225
8	PIANO DI POSA RILEVATI E TRINCEE.....	227
9	RIUTILIZZO DEI TERRENI DA SCAVO.....	228
9.1	UNITÀ GEOTECNICA BA – DEPOSITI ALLUVIONALI	228
9.2	UNITÀ GEOTECNICA BS – DEPOSITI ALLUVIONALI SABBIOSI.....	229
9.3	UNITÀ GEOTECNICA BG – DEPOSITI ALLUVIONALI GHIAIOSI.....	229
9.4	UNITÀ GEOTECNICA A – DEPOSITI CONTINENTALI DI VERSANTE E DI ALTERAZIONE DEL SUBSTRATO.....	229
9.5	UNITÀ GEOTECNICA CFR – DEPOSITI DI COLTRE DI FRANA QUIESCENTE	229
9.6	UNITÀ GEOTECNICA TRVB – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA.....	229
10	TRATTAMENTO A CALCE	233
10.1	PROVE DI IDENTIFICAZIONE DELLA TERRA DA TRATTARE.....	234
10.2	STUDIO IN LABORATORIO DELLA MISCELA TERRENO-ACQUA-CALCE.....	235
10.3	REALIZZAZIONE DEL CAMPO PROVA.....	236
11	NOTE DI CARATTERE GEOTECNICO	238



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	5 di 238

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica relativa al Progetto Definitivo del Nuovo collegamento ferroviario Palermo – Catania, tratta Dittaino – Catenanuova (Lotto 5). Il tracciato ferroviario in progetto (lotto 5) si estende dal km 0+000 al km 8+920 .

La caratterizzazione geotecnica generale dei terreni lungo il tracciato della linea in oggetto, viene svolta sulla base:

- di un'elaborazione ed interpretazione dei risultati di indagini in sito e laboratorio ad oggi disponibili sull'intera tratta in esame;
- degli studi di carattere geologico ed idrogeologico disponibili.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico;
- descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- rilievo del livello di falda;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche intercettate;
- classificazione sismica del sito;
- analisi del rischio di potenziale liquefazione dei terreni;
- caratterizzazione geotecnica in corrispondenza delle opere d'arte maggiori: stratigrafia, definizione dei parametri geotecnici di progetto, individuazione livello di falda;
- piani di posa rilevati e trincee;
- riutilizzo delle terre da scavo.

Per quanto riguarda l'analisi dei cedimenti dei rilevati e loro decorso nel tempo e la verifica di stabilità delle scarpate (rilevati e trincee), si rimanda ad apposito documento.

Le metodologie per il dimensionamento e la verifica delle fondazioni profonde sono oggetto di apposito documento.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	6 di 238

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- N.1. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-2008 (NTC-2008).
- N.2. C.M. 02/02/2009 n. 617 Istruzioni per l' Applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni.
- N.3. Specifica RFI DTC INC SP IFS 008A Trattamento delle terre con calce.

2.2 Documenti di riferimento

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- D.1. RS3E 50 D69 RG GE0001 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Dittaino - Catenanuova. Progetto Definitivo. Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica.
- D.2. RS3E 50 D69 N5 GE0001 001÷ RS3E 50 D69 N5 GE0001 007 – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Dittaino - Catenanuova. Progetto Definitivo. Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico 7 tavole.
- D.3. RS3E 50 D09 F6 GE0001 001 A ÷ RS3E 50 D09 F6 GE0001 006 A- Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Dittaino - Catenanuova. Progetto Definitivo. Profilo geotecnico - Lotto 5 (da km 0+000 a km 8+920) – 6 tavole.
- D.4. RS3E50D69IGGE0005001A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Dittaino - Catenanuova. Progetto Definitivo. Indagini sismiche.
- D.5. RS3E50D69SGGGE0005001A Indagini geognostiche e prove in situ campagna 2018/2019 - Relazione Generale da pk 0+000 a pk 10+250.
- D.6. RS3E50D69SGGGE0005003A Indagini geognostiche campagna 2015.
- D.7. RS3E50D69IGGE0005001A Indagini geofisiche campagna 2018/2019.
- D.8. RS3E50D69IGGE0005002A Indagini geofisiche campagna 2016.
- D.9. RS3E50D69PRGE0005001A Prove geotecniche di laboratorio campagna geognostica 2018/2019 1/2 (Sidercem).
- D.10. RS3E50D69PRGE0005002A Prove geotecniche di laboratorio campagna geognostica 2018/2019 2/2 (Sidercem).
- D.11. RS3E50D69PRGE0005003A Prove geotecniche di laboratorio campagna geognostica 2015.
- D.12. RS3E50D69RHGE0005001A Monitoraggio strumentale (inclinometri/piezometri) 2014/2019



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	7 di 238

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area in oggetto ricade nella porzione centro-orientale della regione Sicilia; il tracciato si sviluppa per quasi 9 chilometri in direzione Catenanuova.

Dal punto di vista morfologico, il tracciato si sviluppa con ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti, riconducibili alla piana alluvionale della media valle del fiume Dittaino, con versanti poco acclivi.

I principali corsi d'acqua sono il fiume Dittaino ed i suoi affluenti.

Dal punto di vista geologico le unità del substrato appartengono alla Catena Appenninico-Maghrebide costituita da sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma che di bacino con le relative coperture flyscoidi mioceniche. I depositi di copertura, sono rappresentati da sedimenti quaternari ed attuali di generi detritica ed alluvionale. In particolare, nell'area si distinguono le seguenti unità geologiche.

➤ **Depositi continentali quaternari**, a loro volta distinti in:

- **Coltri eluvio-colluviali** (Olocene) – **a**. Si tratta di depositi continentali di versante e alterazione del substrato; generalmente si intercettano alla base dei rilievi collinari più acclivi ed estesi. Sono costituiti da limi argillosi a struttura caotica con abbondanti resti vegetali e ghiaie e ciottoli.
- **Depositi Alluvionali** (Olocene) – **ba, bb, bn**. Si tratta di depositi in evoluzione in alveo, rimodellati dalle piane dei corsi d'acqua a regime prevalentemente torrentizio e fortemente influenzati dagli interventi antropici; sono presenti lungo l'asse dei principali fiumi e valloni e sono rappresentati da argille limose, sabbie e sabbie ghiaiose.

➤ **Depositi della catena Appenninico-Maghrebide:**

- **Formazione di Terravecchia** – **TRV/TRVb**. La litofacies argilloso-marnosa è formata da argille limose da debolmente marnose a marnose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro (**TRV**), marrone per alterazione, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, con frequenti livelli millimetrici di sabbie e sabbie limose. La litofacies argilloso-brecciata, invece, è costituita prevalentemente da argille, argille limose e limi argillosi di colore grigio (**TRVb**), talora scagliosa.
- **Formazione di Cattolica** (messiniano superiore) - **GTL**
Si tratta prevalentemente di depositi lagunari e di bacino evaporitico, costituiti da tre differenti litofacies a composizione gessoso-argillosa (**GTL1**), calcareo-gessosa (**GTL2**) e argilloso-brecciata (**GTLa**).



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	8 di 238

Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulla Formazione Terravecchia e mostrano uno spessore massimo di circa 40 m.

- **Formazione di Tripoli** (messiniano inferiore) - **TPL**


Si tratta prevalentemente di diatomiti e marne diatomitiche laminate di colore biancastro con resti di pesci alternate a marne laminate con abbondanti foraminiferi planctonici, talora bituminose.

Si tratta di depositi di bacino euxinico con spessore inferiore ai 30 m.

Inquadramento geomorfologico.

Dalla carta geomorfologica non si segnalano particolari criticità geomorfologiche per le opere all'aperto per le opere in progetto, in quanto locali punti con evidenze morfologiche ricadono ad una certa distanza dal tracciato. Si segnalano comunque due particolarità:

- deformazioni superficiali lente evidenziate nella zona di imbocco della galleria GN01;
- deposito di frana stabilizzato nel tratto in cui è presisto il rilevato RI15.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Al fine di caratterizzare i terreni presenti in tutta l'area di intervento sono state condotte le seguenti indagini:

- campagna geognostica eseguita nel 2018, che è consistita in indagini in sito e prove di laboratorio.
- campagna geognostica eseguita nel 2019, che è consistita in indagini in sito e prove di laboratorio.

Nel seguito verranno meglio descritte le suddette campagne di indagine, per i dettagli si rimanda ai certificati stratigrafici.

4.1 Campagna geognostica del 2018

Nella campagna geognostica del 2018 sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 12 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità di 30.0÷40.0 m;
- fori di sondaggio strumentati con piezometro, di cui n. 6 sono del tipo a tubo aperto e n. 2 a cella di Casagrande;
- prove di permeabilità Lefranc nei terreni e Lugeon in roccia;
- indagini sismiche in foro tipo Down-Hole;
- indagini geofisiche MASW.

Durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico (con documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici);
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- rilievo del livello di falda;
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP) nei livelli coesivi.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte in sito.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	10 di 238

Tabella 1 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna del 2018

Sondaggi / pozzetti	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni litoidi	N. prove SPT	n. prove Lefranc/ Lugeon	n. prove dilatomet ricche	Piezometro TA; CC / Prova DH
5_S03	40.0	209.2	4	2	-	5	3	-	-
5_S06	30.0	228.7	4	2	-	6	2	-	TA[6.0÷27.0]
5_S07	40.0	212.9	3	3	-	8	2	-	TA[6.0÷31.0]
5_S08	30.0	221.5	2	2	-	5	2	-	CC [28.5]
5_S12	30.0	239.6	3	2	-	7	2	-	DH[30]
5_S14	40.0	253.4	3	2	-	7	2	-	TA[6.0÷30.0]
5_S19	30.0	233.1	3	2	-	7	2	-	TA[2.0÷12.0]
5_S3vi	40.0	216.6	3	2	-	6	2	-	TA[1.5÷9.0]
5_S05vi	40.0	213.0	3	2	-	7	2	-	-
5_S6vi	40.0	208.7	3	3	-	5	2	-	-
5_S7vi	40.0	206.3	3	2	-	6	2	-	TA[2.5÷14.5]
5_S8vi	40.0	203.1	3	2	-	5	2	-	CC [20.5]

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]
 CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]
 DH [m]: prova sismica Down-Hole [profondità di prova]

4.1.1 Indagini sismiche

Le prove Down-Hole eseguite in questa campagna d'indagine sono le seguenti.

DH	Velocità [m/s]	Categoria di suolo
5_S09	305	C
5_S12	270	C

4.1.2 Prove di permeabilità


Nella campagna del 2018 sono disponibili i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, elencate nelle seguenti tabelle.

Tabella 2 – Risultati prove di permeabilità Lefranc del 2018

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
5_S2vi	1	3.0	7.69E-08	ba
5_S2vi	2	9.0	5.26E-08	TRVb
5_S03	1	5.0	2.88E-08	ba
5_S03	2	28.5	6.29E-08	TRV
5_S3vi	1	3.0	3.18E-07	bs
5_S3vi	2	10.5	3.22E-08	TRVb
5_S04	1	9.0	3.74E-08	ba
5_S05	1	13.5	2.85E-08	TRVb
5_S06	1	2.0	7.19E-07	ba
5_S06	2	13.5	4.83E-08	TRVb
5_S07	1	4.5	6.60E-05	bs
5_S7vi	1	3.0	5.87E-07	ba
5_S7vi	2	7.5	1.06E-07	ba
5_S08	1	3.0	6.42E-08	ba
5_S08	2	12.0	6.77E-05	bs
5_S8vi	1	2.4	3.66E-06	bs
5_S8vi	2	6.0	3.69E-07	ba
5_S09	1	3.1	1.62E-06	ba
5_S9vi	1	4.0	3.01E-07	ba
5_S9vi	2	7.5	3.80E-06	bs
5_S10	1	3.0	1.39E-07	ba
5_S11	1	3.0	3.06E-08	ba
5_S11	2	9.5	2.00E-06	bs
5_S12	1	2.0	4.90E-08	ba
5_S12	2	13.5	6.09E-08	ba
5_S14	1	5.0	3.08E-05	bs
5_S14	2	13.5	1.64E-04	bg

Tabella 3 – Risultati prove di permeabilità Lugeon del 2018

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m ¹]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
5_S03	1	15.0	3.48E-10	TRVb
5_S04	1	22.0	1.32E-09	TRVb
5_S07	1	21.0	9.00E-10	TRVb
5_S09	1	14.0	9.30E-10	TRVb
5_S10	1	22.0	1.11E-09	TRVb
5_S15	1	20.0	1.87E-10	TRVb

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4.1.3 Prove di laboratorio

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio sui campioni prelevati nei fori di sondaggio:

- Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione;
- Determinazione del contenuto d'acqua naturale;
- Determinazione dei limiti di consistenza di Atterberg;
- Determinazione del peso dell'unità di volume γ_{nat} ;
- Determinazione del peso specifico dei grani G_s ;
- Prove di taglio diretto;
- Prove di compressioni triassiale del tipo CIU;
- Prove di compressioni triassiale del tipo CID;
- Prove di compressioni triassiale del tipo UU;
- Prove edometriche;
- Pocket Penetrometer (PP);
- Classificazione terre secondo CNR 10006.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante questa campagna geognostica.

Per i certificati delle indagini si rimanda ai documenti di riferimento.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	15 di 238

Sondaggio	-	5_S08	5_S08	5_S12	5_S3vi	5_S3vi	5_S3vi	5_S07	5_S07	5_S07
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl1	Cl1	Cl2	Cl3	Cl1	Cl2	Cl3
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	ba	ba	ba	ba	TRVb	TRVb	TRVb	TRVb	TRVb
Prof.	m	5.25	12.25	8.30	6.20	23.65	36.70	10.70	21.30	33.30
Granulometria										
G	%	0.7	0.0	0.0	2.0	1.5	0.6	1.4	6.0	0.5
S	%	9.4	41.3	26.2	4.8	5.5	4.9	9.2	4.7	4.6
L + A	%	89.9	58.6	73.8	93.1	93.0	94.6	89.4	89.3	94.9
L	%	26.6	25.8	32.0	33.1	27.9	28.6	35.5	35.8	39.3
A	%	63.3	32.9	41.8	60.1	65.1	66.0	53.9	53.5	55.6
Limiti di Atterberg										
W _L	%	68.5	36.7	59.1	52.4	65.4	64.7	48.1	59.0	51.0
W _P	%	31.9	21.8	26.0	28.4	30.7	34.1	31.0	30.1	29.0
l _c	-	1.15	0.59	0.79				1.63	1.44	1.54
l _p	%	36.6	14.9	33.1	24.0	34.7	30.6	17.1	28.9	22.0
Caratteristiche fisiche										
γ _N	kN/m ³	19.2	19.4	18.1	20.1	20.3	20.8	20.8	20.6	20.7
w _N	%	26.3	27.9	33.1	23.8	20.1	17.1	20.2	17.5	17.1
e	-	0.792	0.780	0.998	0.681	0.619	0.541	0.575	0.554	0.543
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)										
E _{ed}	kPa		2608.0	1700.0	7544.0	13716.0		7211.0	7278.0	
c _v	cm ² /s		2.24E-08	4.16E-09					1.58E-08	
k	m/s		8.44E-11	2.40E-11					2.13E-11	
Resistenza non drenata										
(TX-UU) c _u	kPa				99.5	205.5	273.7		213.6	378.7
(TX-ELL) c _u	kPa									
Resistenza drenata										
(TD) c	kPa									
(TD) f	°									
(TD) c _i	kPa									
(TD) f _i	°									
(TX-CIU) c	kPa		7.8	5.1				27.7		
(TX-CIU) f	°		24.0	20.2				18.5		
(TX-CID) c	kPa	22.0								
(TX-CID) f	°	20.9								

(segue da pagina precedente)

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	16 di 238

Sondaggio	-	5_S03	5_S03	5_S03	5_S03	5_S06	5_S06	5_S06	5_S7vi	5_S8vi
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl2	Cl3	Cl4	CR1	CR2
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	rim	rim
Unità	-	ba	TRVb	TRV	TRV	TRVb	TRVb	TRVb	ba	TRVb
Prof.	m	5.80	15.20	25.20	38.20	9.25	15.25	25.25	12.50	22.30
Granulometria										
G	%	0.1	3.1	0.8	1.0	0.2	0.2	3.1	43.4	7.8
S	%	16.5	16.2	38.3	5.1	6.2	10.1	8.1	24.3	10.0
L+A	%	83.4	80.8	61.0	94.0	93.6	89.7	88.8	32.3	82.2
L	%	33.4	42.1	28.3	39.5	41.4	45.6	42.1	17.2	45.9
A	%	50.0	38.7	32.7	54.5	52.2	44.1	46.7	15.1	36.3
Limiti di Atterberg										
W _L	%	50.4	42.3	30.9	56.3	44.9	55.2	59.9	36.0	42.6
W _p	%	24.0	23.0	17.7	26.8	26.7	30.9	29.8	19.5	23.6
I _c	-	0.95	1.18	1.09	1.33	1.29	1.46	1.45		
I _p	%	26.4	19.3	13.2	29.5	18.2	24.3	30.1	16.5	19.0
Caratteristiche fisiche										
γ _N	kN/m ³	19.5	20.6	19.6	19.8	20.4	20.5	20.7	21.8	20.6
w _N	%	25.4	19.6	16.5	17.2	21.4	19.7	16.4		
e	-	0.747	0.576	0.601	0.609	0.622	0.588	0.526		
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)										
E _{ed}	kPa	6168.0	6327.0			9521.0	16909.0			
c _v	cm ² /s		#####							
k	m/s		#####							
Resistenza non drenata										
(TX-UU) c _u	kPa		177.0		171.4	108.3	170.6	222.8		
(TX-ELL) c _u	kPa									
Resistenza drenata										
(TD) c	kPa			134.8						
(TD) f	°			24.7						
(TD) c _r	kPa									
(TD) f _r	°									
(TX-CIU) c	kPa	8.6								
(TX-CIU) f	°	27.5								
(TX-CID) c	kPa									
(TX-CID) f	°									

(segue da pagina precedente)

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	17 di 238

Sondaggio	-	5_S12	5_S12	5_S12	5_S12	5_S12	5_S08	5_S08	5_S08	5_S08
Campione	-	CR1	CR2	SPT2	SPT4	SPT6	CR2	CR3	SPT3	SPT2
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	ba	ba	ba	ba	TRVb	TRVb	TRVb	ba	ba
Prof.	m	6.00	11.65	4.50	10.50	16.00	21.50	25.00	10.50	7.50

Granulometria

G	%		5.8		0.9	2.1	16.6	1.5	0.4	5.5
S	%		6.1	5.7	17.9	7.0	4.5	3.6	17.8	9.5
L+A	%		88.1	94.3	81.2	90.9	79.0	94.9	81.8	85.1
L	%		32.6	28.9	24.3	38.1	27.1	36.6	24.0	39.2
A	%		55.5	65.4	57.0	52.8	51.9	58.3	57.8	45.8

Limiti di Atterberg

W _L	%		55.1				57.0	54.9		
W _P	%		29.8				29.3	25.0		
I _c	-		1.52				1.43	1.33		
I _p	%		25.3				27.7	29.9		

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	21.2	21.4				21.6	21.7		
w _N	%	17.5	16.6				17.3	15.0		
e	-		0.482				0.472	0.443		

Sondaggio	-	5_S12	5_S3vi	5_S3	5_S07	5_S07	5_S06	5_S12	5_S14	5_S14	5_S14
Campione	-	CI3	CR1	CR1	CR1	CR2	CR1	CI2	CI1	CI2	CI3
Tipo	-	ind	rim	rim	rim	rim	rim	ind	ind	ind	ind
Unità	-	TRVb	bs	TRVb	bs	TRVb	TRVb	ba	ba	ba	TRVb
Prof.	m	22.15	4.00	8.60	5.50	17.46	12.55	12.00	4.25	10.75	22.25

Granulometria

G	%	0.7	16.2	4.3	6.7	1.5	2.1	1.0	0.3	0.0	3.1
S	%	8.0	26.0	9.9	58.7	6.6	12.5	9.7	44.9	28.8	8.7
L+A	%	91.3	57.8	85.9	34.6	91.9	85.5	89.3	54.8	71.2	88.2
L	%	41.0	22.0	40.9	15.8	33.2	38.1	36.7	25.8	31.1	47.9
A	%	50.3	35.8	44.9	18.8	58.7	47.4	52.6	29.0	40.1	40.3

Limiti di Atterberg

W _L	%	62.7						49.8	29.7	32.7	55.5
W _P	%	31.7						27.7	17.6	18.8	25.4
I _c	-	1.52						1.02	1.21	0.29	1.26
I _p	%	31.0						22.1	12.1	13.9	30.1

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	19.2						19.8	18.2	19.4	20.8
w _N	%	15.6						27.2	15.1	28.7	17.6
e	-	0.641						0.751			

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa								2717.0	3287.0	17912.0
c _v	cm ² /s								3.88E-08	8.74E-08	8.73E-08
k	m/s								1.40E-10	1.36E-10	4.78E-11

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _v	kPa										420.2
(TX-ELL) c _v	kPa										

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	27.3							28.2		
(TD) f	*	25.0							24.1		
(TD) c _v	kPa										
(TD) f _v	*										
(TX-CIU) c	kPa						19.7		29.3		
(TX-CIU) f	*						19.7		20.0		
(TX-CID) c	kPa										
(TX-CID) f	*										


(segue da pagina precedente)

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	18 di 238

Sondaggio	-	5_S6vi	5_S6vi	5_S6vi	5_S6vi	5_S6vi	5_S6vi	5_S06	5_SV06
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	CR1	CR2	CR3	Cl1	Cl1
Tipo	-	ind	ind	ind	rim	rim	rim	ind	ind
Unità	-	CFR	ba	GTL	GTL	GTL	GTL	ba	b
Prof.	m	3.30	7.75	14.60	16.20	19.20	33.20	4.25	6.20
Granulometria									
G	%	1.2	3.8	9.4				4.5	
S	%	8.5	11.6	5.1				27.3	
L + A	%	90.3	84.6	85.5				68.2	
L	%	44.8	32.7	30.3				28.1	
A	%	45.5	51.8	55.2				40.2	
Limiti di Atterberg									
W _L	%	64.8						37.2	
W _p	%	30.7						22.3	
I _p	-	1.13							
I _p	%	34.1							
Caratteristiche fisiche									
γ _N	kN/m ³	18.9	18.1	20.4	22.7	22.5	23.5	19.2	
w _N	%	26.1	25.5	24.0				19.2	
e	-				arenaria	arenaria	arenaria		
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)									
E _{ed}	kPa							5216.0	
c _v	cm ² /s							2.64E-08	
k	m/s							4.96E-11	
Resistenza non drenata									
(TX-UU) c _u	kPa		152.7						107.4
(TX-ELL) c _u	kPa								
Resistenza drenata									
(TD) c	kPa	22.6	17.4					11.6	
(TD) f	°	22.9	23.9					30.0	
(TD) c _i	kPa								
(TD) f _i	°								
(TX-CIU) c	kPa								
(TX-CIU) f	°								
(TX-CID) c	kPa								
(TX-CID) f	°								

(segue da pagina precedente)

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4.2 Campagna geognostica del 2019

Nella campagna geognostica del 2019 sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 25 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità di 30.0÷50.0 m;
- fori di sondaggio strumentati con piezometro, di cui n. 4 sono del tipo a tubo aperto e n. 10 a cella di Casagrande;
- prove di permeabilità Lefranc nei terreni e Lugeon in roccia;
- prove dilatometriche;
- prove pressiometriche;
- indagini sismiche in foro tipo Down-Hole;
- indagini geofisiche MASW e HVSR;
- indagini sismiche a rifrazione tomografica per onde P ed SH;
- indagini elettriche tomografiche (ERT 2D).
- n. 5 prove penetrometriche statiche CPT;
- n. 7 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH.

Durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico (con documentazione fotografica a colori delle cassette catalogatrici);
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- rilievo del livello di falda;
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP) nei livelli coesivi.

Le prove DPSH verranno utilizzate principalmente per ricostruire i passaggi stratigrafici.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte in sito.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	20 di 238

Tabella 5 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna del 2019

Sondaggi / pozzetti	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni litoidi	N. prove SPT	n. prove Lefranc/ Lugeon	n. prove dilatomet ricche	Piezometro TA; CC / Prova DH
5_S17	40.0	241.8	3	2	-	8	2	-	CC [27.5]
5_S23	30.0	217.9	3	2	-	7	2	-	CC [20.0]
5_S25	40.0	212.7	3	-	-	6	2	-	TA[2.0÷14.0]
5_GN01S01	30.0	230.2	5	5	-	8	2	-	CC [15.0]
5_GN02	50.0	258.8	7	-	-	7	2	2	CC [37.0]
5_GN03	50.0	265.2	5	3	-	7	2	2	-
5_SV01	40.0	242.8	4	3	-	7	2	-	CC [8.5]
5_SV02	50.0	241.9	2	3	-	7	2	-	DH[40]
5_SV03	40.0	254.2	4	2	-	6	2	-	DH[40]
5_SV04	40.0	244.0	4	-	-	7	2	-	TA[2.0÷6.0]
5_SV11	40.0	217.2	3	1	-	6	2	-	DH[40]
5_SV12	50.0	216.6	4	2	-	7	2	-	CC [21.0]
5_SV13	40.0	213.7	3	2	-	7	2	-	-
5_SV14	50.0	208.9	3	3	-	8	2	2	-
5_SV15	40.0	216.5	4	4	-	8	2	-	-
5_SV18	45.0	203.5	5	4	-	9	2	-	DH[45]
5_SV1N	40.0	242.0	3	2	-	7	2	-	CC [28.0]
5_SV2N	40.0	238.3	3	2	-	8	2	-	TA[3.0÷18.0]
5_SV3N	40.0	238.1	3	2	-	7	2	-	DH[40]
5_SV5N	40.0	239.9	3	3	-	6	2	-	DH[40]
5_SV6N	40.0	261.2	4	3	-	5	2	-	DH[40]
5_SW01	30.0	257.2	3	2	-	7	2	-	CC [24.0]
5_SW02	30.0	272.2	3	2	-	8	2	-	TA[2.7÷11.7]
5_SW03	30.0	237.8	4	3	-	9	2	-	CC [8.5]
5_SW04	40.0	255.0	3	3	-	8	2	-	CC [15.0]
5_DPSH06	14.2	-	-	-	-	-	-	-	-
5_DPSH07	10.8	-	-	-	-	-	-	-	-
5_DPSH08	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-
5_DPSH09	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-
5_DPSH10	15.4	-	-	-	-	-	-	-	-
5_DPSH11	11.8	-	-	-	-	-	-	-	-
5_DPSH12	17.2	-	-	-	-	-	-	-	-
5_CPT01	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-
5_CPT02	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-
5_CPT03	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-
5_CPT04	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-
5_CPT05	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]
 CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]
 DH [m]: prova sismica Down-Hole [profondità di prova]

4.2.1 Indagini sismiche

Le indagini sismiche Masw e Down-Hole sono state concotte principalmente con lo scopo di caratterizzare il terreno in termini di $V_{s,30}$ ai fini della definizione della categoria di sottosuolo sismica.

Le linee di indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica in congiunzione con le tomografie elettriche (ERT, Electrical Resistivity Tomography) bidimensionali sono state realizzate in due zone: la prima interessata da soliflussi e la seconda in un'area di frana (vecchio tracciato), in modo da ottenere maggior informazioni possibili sugli spessori dei terreni di copertura, ricostruire la stratigrafia dei terreni e individuare, possibilmente, la superficie di scollamento.

Al fine di ottenere delle misure dirette delle frequenze di risonanza dei terreni sovrastanti il "bedrock", nell'intorno di ogni postazione MASW, in talune postazioni di sondaggi a carotaggio nelle due zone di imbocco gallerie, sono state effettuate delle registrazioni di microtremore sismico ambientale HVSr.

Tabella 6 – Riepilogo DH eseguite nella campagna del 2019

DH	Velocità [m/s]	Categoria di suolo
5_SV02	345	C
5_SV03	411	C
5_SV08	306	C
5_SV09	300	C
5_SV11	320	C
5_SV18	295	C
5_GN1	286	C
5_SV3N	Non ancora disponibile	C
5_SV5N	Non ancora disponibile	C
5_SV6N	Non ancora disponibile	C

Tabella 7 – Riepilogo MASW eseguite nella campagna del 2019

MASW	Velocità [m/s]	Categoria di suolo
MASW 1	650	C
MASW 2	463	C
MASW 3	622	C
MASW 4	558	C
MASW 5	499	C
MASW 6	248	C
MASW 7	296	C
MASW 8	441	C
NEW MASW 1	533	C


NEW MASW 2	626	B
NEW MASW 3	713	C
NEW MASW 3bis	646	C
NEW MASW 4	799	B

4.2.2 Prove dilatometriche in foro

Nella seguente tabella sono elencate le prove dilatometriche eseguite sui relativi sondaggi.

Tabella 8 – Prove dilatometriche del 2019

Sondaggio	Prova	profondità da p.c. [m]	Modulo di taglio [kPa]	Modulo di deformazione dilatometrico [kPa]
5_GN01 S02	1	7.5	8226	21881
5_GN01 S02	2	12.5	25955	69040
5-S2 GN	1	12.5	79000	678000
5-S2 GN	2	16.5	84000	6317000
5-S2 GN	3	20.5	404000	3236000
5-S1 GN	1	31.5	40000	417000
5-S1 GN	2	34.5	34000	206000
5-S1 GN	3	40.5	36000	556000
5-S3 GN	1	15.5	61000	230000
5-S3 GN	2	25.5	12000	201000
5-S3 GN	3	45.5	345000	4770000
5-S3 GN	4	55.5	290000	1917000
5-S3 GN	5	62.5	303000	761000
5-S3 GN	6	66.5	328000	2952000
5_GN02	1	32.0	55683	148117
5_GN02	2	40.0	62025	164987
5_GN03	1	32.0	34002	90445
5_GN03	2	38.0	65371	173887
5_SV6	1	15.0	4311	11467
5_SV6	2	28.0	54767	145680
5_SV7	1	20.0	30280	80545
5_SV7	2	33.0	33053	87921
5SV14	1	20.0	33756	89791
5SV14	2	30.0	52576	139852

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4.2.3 Prove di laboratorio

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio sui campioni prelevati nei fori di sondaggio:

- Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione;
- Determinazione del contenuto d'acqua naturale;
- Determinazione dei limiti di consistenza di Atterberg;
- Determinazione del peso dell'unità di volume γ_{nat} ;
- Prove di taglio diretto;
- Prove di compressioni triassiale del tipo CIU;
- Prove di compressioni triassiale del tipo CID;
- Prove di compressioni triassiale del tipo UU;
- Prove edometriche;
- Pocket Penetrometer (PP);
- Classificazione terre secondo CNR 10006;
- Prove di resistenza a compressione monoassiale su roccia.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante questa campagna geognostica.

Per i certificati delle indagini si rimanda ai documenti di riferimento.

Tabella 9 – Laboratorio indagini 2018

Sondaggio	-	5_S04	5_S04	5_S04	5_S08	5_S08	5_S11	5_S2vi	5_S2vi	5_S10	5_S10
Campione	-	C11	C12	C13	C11	C12	C12	C11	C12	C11	C12
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	CFR	TRVb	TRVb	ba	ba	TRVb	ba	TRVb	ba	TRVb
Prof.	m	7.75	12.25	20.75	5.25	12.25	29.60	4.25	37.40	10.30	23.70
Granulometria											
G	%	3.1	0.5	0.9	0.7	0.0	1.0	0.9	2.9	0.2	3.5
S	%	8.1	4.9	12.7	9.4	41.3	3.6	11.0	4.6	48.7	2.6
L + A	%	88.8	94.6	86.4	89.9	58.6	95.4	88.1	92.5	51.1	93.9
L	%	31.2	53.4	50.6	26.6	25.8	35.0	28.3	41.3	20.1	30.6
A	%	57.6	41.2	35.8	63.3	32.9	60.4	59.8	51.2	31.0	63.3
Limiti di Atterberg											
W _l	%	71.3	57.0	62.5	68.5	36.7	60.9	52.4	50.0	26.7	62.9
W _p	%	27.7	25.2	24.5	31.9	21.8	28.3	29.1	27.1	18.8	29.2
I _c	-	1.38	1.17	1.21	1.15	0.59	1.33	1.17	1.51		1.38
I _p	%	31.8	31.8	38.0	36.6	14.9	32.6	23.3	22.9	7.9	33.7
Caratteristiche fisiche											
γ _N	kN/m ³	19.5	20.8	21.0	19.2	19.4	19.8	18.7	19.0	19.2	21.1
w _N	%	27.3	19.7	16.6	26.3	27.9	17.4	25.1	15.4	21.6	16.4
e	-	0.781	0.565	0.509	0.792	0.780	0.616	0.820	0.654	0.703	0.507
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)											
E _{ed}	kPa		8006.0	25808.0		2608.0	5374.0		10836.0	6348.0	22416.0
c _v	cm ² /s		2.07E-08			2.24E-08	4.18E-08		2.06E-08	2.31E-07	
k	m/s		2.53E-11			8.44E-11	7.63E-11		1.86E-11	3.57E-10	
Resistenza non drenata											
(TX-UU) c _u	kPa						190.6				290.5
(TX-ELL) c _u	kPa						85.0				
Resistenza drenata											
(TD) c	kPa							13.2	15.6		
(TD) f	°							31.6	31.8		
(TD) c _i	kPa										
(TD) f _i	°										
(TX-CIU) c	kPa	12.0		13.6		7.8					
(TX-CIU) f	°	20.1		17.3		24.0					
(TX-CID) c	kPa		15.0		22.0					10.0	
(TX-CID) f	°		22.5		20.9					31.6	



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	33 di 238

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La successione stratigrafica è stata desunta sulla base delle indagini eseguite e dai rilievi e studi geologico-geomorfologici. Per la scelta dei parametri geotecnici di progetto delle unità intercettate, ci si è basati sui risultati delle indagini eseguite per l'intera tratta in progetto.

Nel seguito vengono definite le unità geotecniche intercettate; nel profilo stratigrafico longitudinale sono mostrati i risultati di tutte le indagini eseguite e sarà utilizzato per la definizione della successione stratigrafica in corrispondenza delle singole opere in progetto e della linea in generale.

5.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) delle campagne geognostiche, si perviene ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi alla definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici di progetto.

Unità geotecniche:

- **Unità R – Ripporto antropico e coltre vegetale:** si tratta del terreno intercettato a partire da p.c.; si distinguono la coltre vegetale (unità Rv) costituita prevalentemente da limo sabbioso argilloso con resti vegetali ed il terreno di riporto antropico (unità Ra) costituito da sabbia con ghiaia, laterizi, cls.
- **Unità a – Depositi continentali di versante di alterazione del substrato:** limi argillosi e argilla limosa.
- **Unità b – Depositi alluvionali:** questi depositi affiorano lungo quasi tutto il tracciato sotto il riporto. Si tratta di terreni coesivi limoso argillosi, talvolta debolmente sabbiosi (**unità ba**) e terreni incoerenti: sabbia con ghiaia (**unità bg**) e sabbia localmente limosa (**unità bs**).
- **Unità CFR – Coltre in frana quiescente:** limo argilloso con ghiaia, ciottoli e clasti arenacei, gessosi, carbonatici e livelli millimetrici organici nerastri.
- **Unità TRV/TRVb – Formazione di Terravecchia:** in cui si distinguono varie litofacies.
La litofacies argilloso marnosa (**unità TRV**) è costituita da argille da debolmente marnose a marnose.
La litofacies argilloso-brecciata (**unità TRVb**), è costituita da argilla limosa debolmente marnosa a struttura brecciata con clasti poligenici.
- **Unità GTL - Formazione di Cattolica:** si tratta prevalentemente di depositi lagunari e di bacino evaporitico, costituiti da tre differenti litofacies (**GTL2**) e (**GTLa**).
(**GTLa**): argille limose a struttura brecciata con evaporiti di gesso.
(**GTL2**): gessi alternati ad argille gessose.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	34 di 238

- **Unità TPL - Formazione di Tripoli:** limo sabbioso argilloso con gesso, clasti e ciottoli marnoso calcarei e calcareo marnosi.



Figura 1 – Foto cassetta sondaggio 5_S03 (unità TRV)




	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Figura 2 – Foto cassetta sondaggio 5_SV02 (unità TRVb)



Figura 3 – Foto cassetta sondaggio 5_S6vi (unità GTLa)



Figura 4 – Foto cassetta sondaggio 5_S6vi (unità GTL2)

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove CPT;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati, rimaneggiati prelevati;



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	36 di 238

- prove Pocket Penetrometer;
- indagini sismiche.

5.2 Descrizione del tracciato

Relativamente alle opere all'aperto, il profilo geotecnico longitudinale delle evidenzia generalmente la presenza di una copertura alluvionale di spessore variabile da 6 a 15 m prevalentemente coesiva (unità) talvolta intercalata da lenti /sottili strati (ordine qualche metro) di sabbia (unità bs) e/o ghiaia sabbiosa (unità bg) che sovrasta un substrato argilloso limoso, argilloso marnoso a struttura brecciata appartenente alla formazione geologica di Terravecchia (unità TRVb), molto consistente che si estende fino alle massime profondità indagate.

Solo localmente tra la GN01 ed il VI08, la formazione di base è variabile (formazione di Cattolica), ma comunque si tratta sempre di terreni con buone caratteristiche geotecniche e bassa deformabilità.

Alla fine della GA01 inoltre affiora parzialmente la formazione di tripoli che localmente si presenta costituita da limo sabbioso argilloso con gesso, clasti e ciottoli marnoso calcarei e calcareo marnosi.

5.3 Criteri di valutazione dei parametri geotecnici

5.3.1 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.

Sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono espone.

Stato di addensamento

Correlazione di Skempton

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

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

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in tabella seguente;



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	37 di 238

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 ;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 10 – Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovraconsolidate	27,5+43,3	$(21,7+27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (ko)_{sc}}{1+2 \cdot (ko)_{nc}}$

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

Correlazione di Gibbs e Holtz

In accordo a quanto indicato da Gibbs e Holtz (1957) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(16 + 23 \cdot \sigma_{vo}')}}}$$

Correlazione di Bazaraa

In accordo a quanto indicato da Bazaraa (1967) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma_{vo}')}}} \quad \text{per } \sigma_{vo}' \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2$$


$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma_{vo}')}}} \quad \text{per } \sigma_{vo}' > 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

essendo:

D_R = densità relativa (-).

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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Correlazione di Terzaghi & Peck

In accordo a quanto indicato da Terzaghi e Peck (1948) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = (10.297 + N_{SPT} \cdot 2.4142) - (N_{SPT})^2 \cdot 0.0181$$

Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate due diverse correlazioni (Bolton; Schmertmann) di seguito illustrate. Nel caso in esame, la correlazione di Bolton ha sempre fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio inferiori, rispetto alla correlazione di Schmertmann. Cautelativamente per la definizione dei parametri di resistenza di progetto dunque si farà riferimento ai valori ottenuti con la correlazione di Bolton.

Correlazione di Schmertmann

L'angolo di resistenza al taglio (φ') stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) correla l'angolo di resistenza al taglio alla densità relativa attraverso la seguente relazione:

$$\varphi = 38.5 + 0.108 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

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

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

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


essendo: D_r = densità relativa

Nel caso in esame si è considerata, cautelativamente per le sabbie (unità bs e unità TPL) la correlazione valida per sabbia fine uniforme e per le ghiaie sabbiose (unità bg) la correlazione valida per la sabbia medio grossa-media uniformemente ben gradata.

Correlazione di Bolton

L'angolo di resistenza al taglio di picco φ' è stato determinato in accordo al metodo proposto da Bolton (1986):

$$\varphi' = \varphi'_{cv} + m \cdot D_l$$

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

φ' = angolo di attrito di picco riferito a pressioni di 272 kPa (°);

Q = fattore che dipende dalla composizione minereologica e dalla forma delle particelle di sabbia, valore consigliato = 10;

$p_f' = 1.4 \cdot \sigma_{ff}'$ kPa (vedasi Jamiokowski et al., 1988; in accordo a quanto proposto da Baligh, 1975, si assume $p_f' = 1.4 \cdot 272 = 380$ kPa);

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti (vedasi tabella seguente, °).

Nel nostro caso si assume m=3;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 11 - Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

Condizioni di rottura	m
Tipo prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
Tipo prova triassiale in estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5
σ_2' = tensione principale efficace intermedia σ_3' = tensione principale efficace minore	


I valori dell'angolo di attrito φ_{cv}' sono stati ricavati in base a quanto indicato nella tabella seguente (Youd, 1972; Stroud, 1988) e sulla base delle prove di taglio diretto in laboratorio eseguite sui campioni prelevati. Nel caso specifico per l'angolo di attrito φ_{cv}' si è assunto, cautelativamente:

$\varphi_{cv}' = 32^\circ$ per le sabbie con ghiaia (unità bg);

$\varphi_{cv}' = 30^\circ$ per le sabbie (unità bs).

Tabella 12 - Valori dell'angolo di attrito φ_{cv}' per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie a spigoli vivi	$\varphi_{cv}' = 38^\circ$	$\varphi_{cv}' = 34^\circ$
Sabbie a spigoli arrotondati	$\varphi_{cv}' = 33^\circ$	$\varphi_{cv}' = 30^\circ$

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

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 (Down-Hole);
- dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Il modulo di taglio iniziale (G_0) e quello di Young iniziale (E_0), associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) utilizzando le seguenti correlazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

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

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m³;

ν = coefficiente di Poisson del terreno (assunto pari a 0.3);

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

La velocità delle onde di taglio (V_s) può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove geofisiche in foro di sondaggio o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT attraverso la correlazione di Ohta e Goto (1978) o la correlazione di Yoshida e al. (1988).

Correlazione di Ohta e Goto (1978)

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{50\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

$C = 53.3$;

z = profondità dal p.c. in metri;

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 13);

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 14).

Tabella 13 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3


	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 14 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G (funzione della granulometrica del deposito)

f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Nel caso in esame è stato assunto:

$f_G = 1.14$ per sabbia media grossolana;

$f_G = 1.09$ per sabbia limosa e limo sabbioso.

Correlazione di Yoshida et al. (1988)

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

essendo:

C=49 per sabbie fini ;

C=56 per sabbie grosse con almeno il 25% di ghiaia;

C=60 per 50% di ghiaia.

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

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale (E_0).

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


5.3.2 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 prelevati nei sondaggi.

Classificazione

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

- analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale e secco;

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- contenuti d'acqua naturale;
- 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 e prove triassiali per la resistenza in tensioni efficaci;
- triassiale non consolidata non drenata (TXUU) ed espansione laterale libera (ELL) per la resistenza in condizioni non drenate.

Una stima dell'angolo di resistenza al taglio per i depositi coesivi è data dalla correlazione di Jamiolkowski et al., 1979 (in funzione dell'indice di plasticità del materiale).

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata sulla base delle prove triassiali non consolidate non drenate (UU) e delle prove speditive di Pocket Penetrometer (PP).

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

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

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: $c_{u,NC} = 0.23 \cdot \sigma'_v$.


Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (Down-Hole);
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- da correlazioni di letteratura.

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

Dalle prove edometriche di laboratorio generalmente si ottengono bassi valori del modulo di deformazione, in quanto la prova di laboratorio può essere affetta da errori sistematici legati alla strumentazione, alla qualità del campionamento e/o al rimaneggiamento in fase di confezionamento provino. Quindi in linea generale, quando

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

disponibili, si è dato maggior peso ai moduli derivanti da indagini sismiche (misure dirette ed in continuo, nel qual caso prove DH), o dall'interpretazione di prove SPT.

Il valore del modulo di deformazione elastico (E'_v) per terreni coesivi sovraconsolidati può anche essere stimato con la seguente correlazione (Stroud, 1974):

$$E'_v = 130 \cdot c_u = 130 \cdot f_1 \cdot N \quad [\text{kPa}]$$

Dove:

E'_v = modulo di deformazione operativo (kPa)

c_u = resistenza al taglio non drenata (kPa);

f_1 = fattore in funzione dell'indice di plasticità IP, (vedasi figura seguente), assunto pari a 5;

N = valori di N_{SPT} .

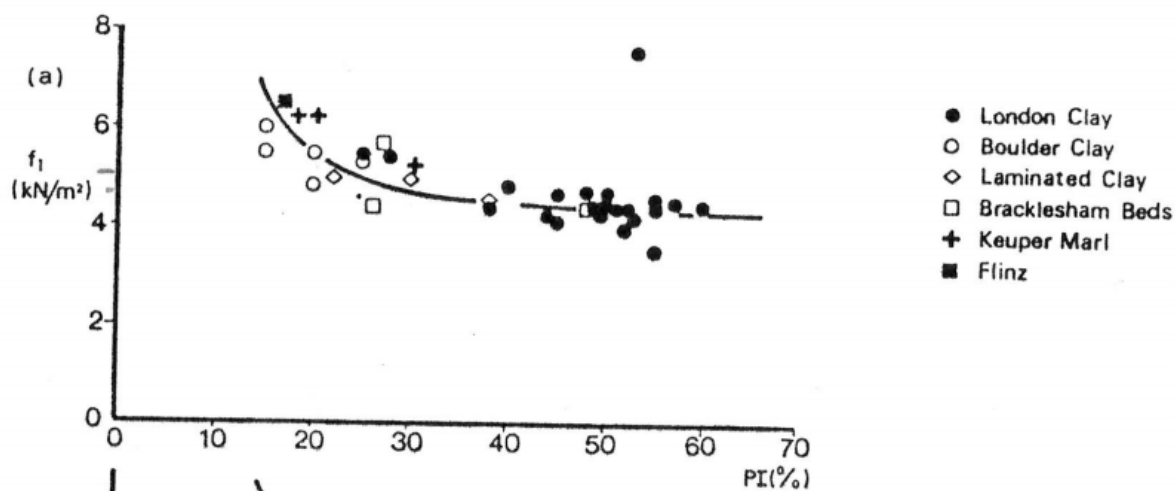



Figura 5 – Fattore f_1 in funzione di IP

Sulla base di quanto riportato in Simpson et al. (1979) il modulo di taglio iniziale (G_0) può essere stimato anche sulla base della seguente equazione:

$$G_0 = (500 \div 700) \cdot c_u \quad (\text{kPa})$$

essendo: c_u = resistenza al taglio non drenata.

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale (E_0).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001

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 deformazione in condizioni non drenate (E_u) può essere stimato sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976) $E_u = k \cdot c_u$; il coefficiente k è valutato con il grafico di figura seguente.

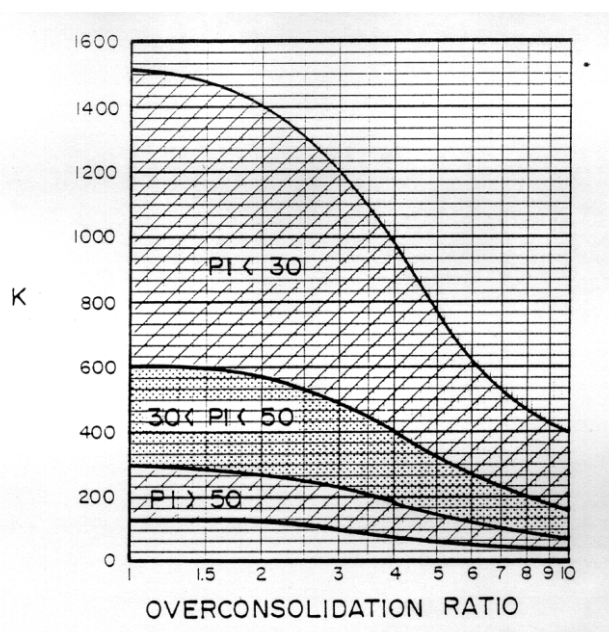


Figura 6 – Duncan & Buchigani

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.

Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati determinati dalle prove edometriche di laboratorio e confrontati con i valori derivanti dalla seguente correlazione (manuale NAVFAC-DM 7.1. ,1971), in funzione del limite liquido (LL):

$$c_v = 0.009 (LL - 0.1) \quad [\text{cm}^2/\text{s}]$$

Il valore del coefficiente di consolidazione primaria assunto in progetto, andrà valutato tenendo conto che i risultati delle prove di laboratorio sono scarsamente rappresentativi del reale comportamento del terreno in quanto si tratta

di prove eseguite su campioni di piccole dimensioni e quindi non tengono conto della eterogeneità nella composizione granulometrica dell'ammasso e dell'influenza delle condizioni del drenaggio, oltre che dal possibile disturbo del campione infase di prelievo e/o confezionamento. A tal proposito si richiamano le esperienze di Bughignoli e Calabresi, (1975) mostrate in figura seguente.

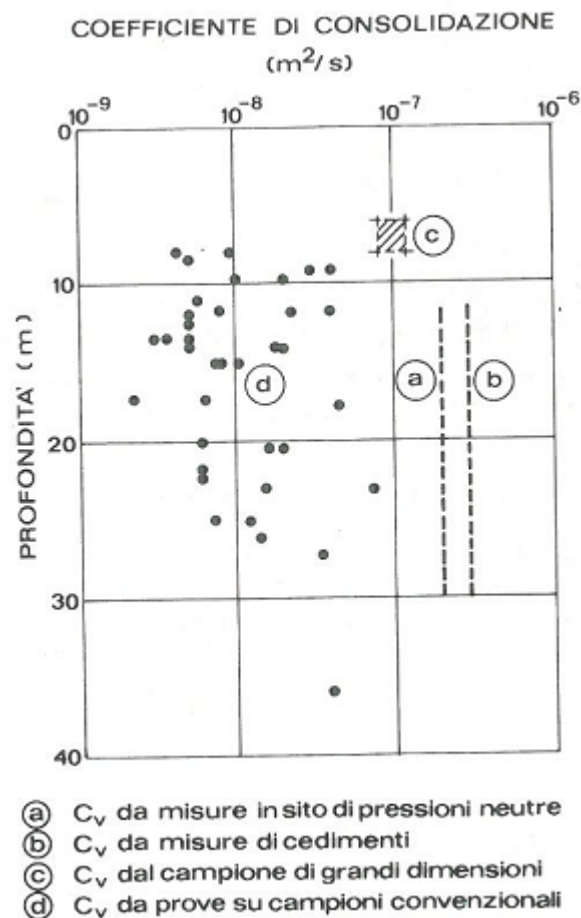


Figura 7 – confronto tra valori di c_v ottenuti con diverse prove (Bughignoli e Calabresi, 1975)

In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. sono riportati tutti i risultati delle prove edometriche di laboratorio in termini di c_v , raffrontate con il valore derivate dalla correlazione NAVFAC-DM 7.1. ,1971.

Il coefficiente di consolidazione secondaria, è stato stimato con la correlazione proposta nel NAVFAC-DM 7.1 (1982, vedasi figura seguente), in funzione del contenuto naturale di acqua (w_n).

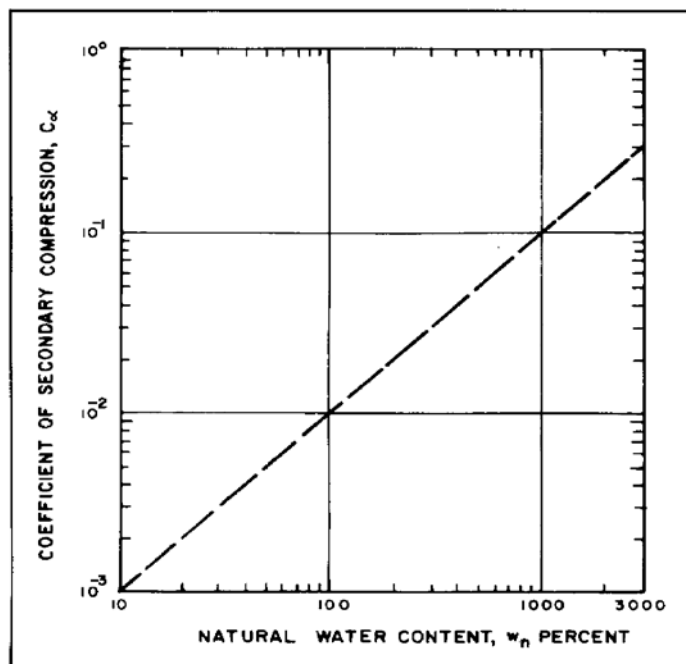


Figura 8 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n (NAVFAC, 1982)


Caratteristiche di permeabilità

Il valore della permeabilità dei terreni viene stimato principalmente sulla base dei risultati delle prove in foro di sondaggio Lefranc per terreni e Lugeon in roccia; per le formazioni in cui queste prove non sono disponibili, la stima della permeabilità viene svolta sulla base della composizione granulometrica dell'unità geotecnica, delle informazioni idrogeologiche ed anche dai risultati delle prove edometriche di laboratorio. Queste ultime in genere forniscono valori di permeabilità molto bassi, non sempre rappresentativi del carattere di permeabilità reale del terreno in quanto basati su un piccolo campione omogeneo prettamente fine coesivo, che quindi non coglie il comportamento di permeabilità dell'ammasso terroso.

5.3.3 *Da prove penetrometriche statiche CPT*

Nell'area in esame sono state eseguite prove penetrometriche statiche tipo CPT. Durante l'esecuzione delle prove sono stati misurati i seguenti parametri:

- qc è la resistenza alla punta;
- fs è la resistenza laterale;

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

ai quali si aggiunge:

➤ **Identificazione della litologia da prove CPT**

Le più recenti SBT Charts (Robertson, 2010) si basano su un criterio di normalizzazione ad esponente (n) variabile, in relazione al tipo di terreno esaminato. Le espressioni analitiche utilizzate sono rappresentate nella seguente figura.

L'esponente n è funzione dell'indice di materiale I_c (Soil Behaviour Type Index). Quindi si giunge alla determinazione di Q_{tn} attraverso successive iterazioni.

Soil Behavioral Type by CPT

- Use of CPT Material Index (I_c) for identification of soil type (Robertson & Wride, 1998):

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2}$$

sands: I_c < 2.05
 clays: I_c > 2.95

- Modified normalized tip resistance (Robertson 2004):

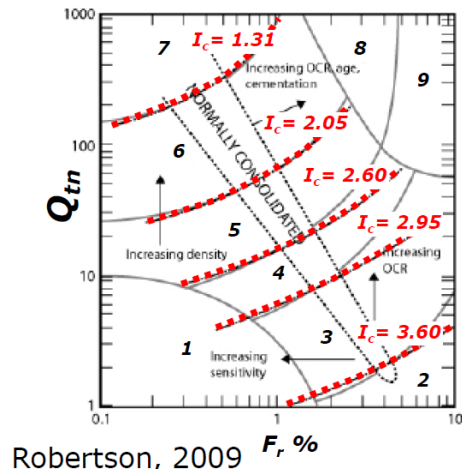
$$Q = Q_{tn} = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{\sigma_{atm}} \cdot \left(\frac{\sigma_{atm}}{\sigma_{vo}'} \right)^n = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{(\sigma_{atm} \cdot \sigma_{vo}')^n}$$

- Exponent n = 0.5 (sands), 0.75 (silts), n = 1.0 (clays)
- Iterate to find exponent n (Robertson 2009 CGJ):

$$n = 0.381 \cdot I_c + 0.05 \cdot (\sigma_{vo}' / \sigma_{atm}) - 0.15 \leq 1.0$$

Figura 9. SBT by Robertson, 2009

In definitiva la classe di comportamento del materiale, può essere condensata in unico indice (material index, I_c), identificando i terreni in base alla seguente tabella.



Zona	SBT, Classe di Comportamento	I _c
1	Argille sensitive	N/A
2	Terreni organici, torbe	> 3.60
3	Argille → limi argillosi	2.95 ÷ 3.6
4	Limi arg. → argille limose	2.60 ÷ 2.95
5	Sabbie limose → limi sabb.	2.05 ÷ 2.60
6	Sabbie pulite → sabbie lim.	1.31 ÷ 2.05
7	Sabbie ghiaiose → sabbie dense	< 1.31
8	Sabbie molto dense, sabbie argillose	N/A
9	Terreni a grana fine molto consistenti	N/A

Tabella 15. SBT (Robertson, 2009)

Tale metodologia, opportunamente implementata nel codice di elaborazione dati, verrà nel seguito utilizzata per il riconoscimento del tipo di materiale, che si rende necessario caso per caso per individuare le correlazioni empiriche maggiormente idonee da applicare in fase di caratterizzazione geotecnica.

In particolare, al fine di individuare le correlazioni empiriche maggiormente idonee da utilizzare, verranno considerati i seguenti valori di frontiera:

- I_c > 2.95 → terreni francamente coesivi;
- 2.95 < I_c < 2.05 → terreni di transizione o intermedi;
- I_c < 2.05 → terreni francamente incoerenti.

➤ **Stima del peso di volume del terreno**

Il peso di volume totale del terreno in posto viene stimata mediante la seguente correlazione empirica proposta da Mayne, Peuchen e Bouwmeester [ISFOG – 2010]:

$$\gamma_t = 1.95 \cdot \gamma_w \cdot \left(\frac{f_s}{\sigma_{atm}} \right)^{0.06} \cdot \left(\frac{\sigma'_v}{\sigma_{atm}} \right)^{0.06}$$

La correlazione è stata validata sperimentalmente dagli autori come riportato nel grafico di Figura 10. Trattandosi di una formula ricorsiva, una prima stima del peso di volume viene fatta mediante la seguente correlazione:

$$\gamma_t = 12 + 1.5 \cdot \ln(fs + 1)$$

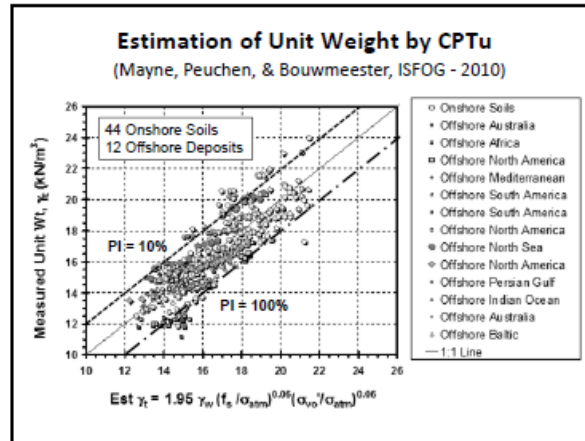


Figura 10. Peso di volume naturale del terreno, Mayne et al., 2010

➤ **Velocità delle onde di taglio e modulo di taglio dinamico**

La velocità delle onde di taglio (V_s) è una caratteristica fondamentale del terreno in posto. Ove possibile è sempre preferibile e raccomandata una misura diretta di V_s , ad esempio mediante cono sismico, SCPT, ovvero mediante prove geofisiche classiche tipo Down Hole. Così come la velocità V_s , anche il modulo dinamico G_0 (ovvero riferito a piccolissime deformazioni) è una caratteristica fondamentale del terreno e si può determinare mediante la seguente espressione:

$$G_0 = \rho t \cdot V_s^2 = \gamma_t / g \cdot V_s^2$$

Dove, oltre ai simboli già noti, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ è la costante di accelerazione gravitazionale.

Robertson [2009], a partire dall'indice di comportamento del terreno, I_c , indica la seguente relazione valida per tutti i tipi di terreno:

$$G_0 = 0.0188 \cdot [10^{(0.55 \cdot I_c + 1.68)}] \cdot (q_t - \sigma_{v0})$$

➤ **Resistenza al taglio non drenata in terreni coesivi**

La relazione che lega la resistenza al taglio non drenata, c_u , alla resistenza penetrometrica statica, q_t , è la seguente:

$$c_{sk} = (q_t - \sigma_{vo}) / N_{kt}$$

dove N_k è un fattore di portanza generalmente compreso tra 10 e 25.

Nella seguente figura si mostrano le principali correlazioni documentate da Tavenas and Leroueil [1986].

Il valore medio pari a 15 viene utilizzato nel seguito.

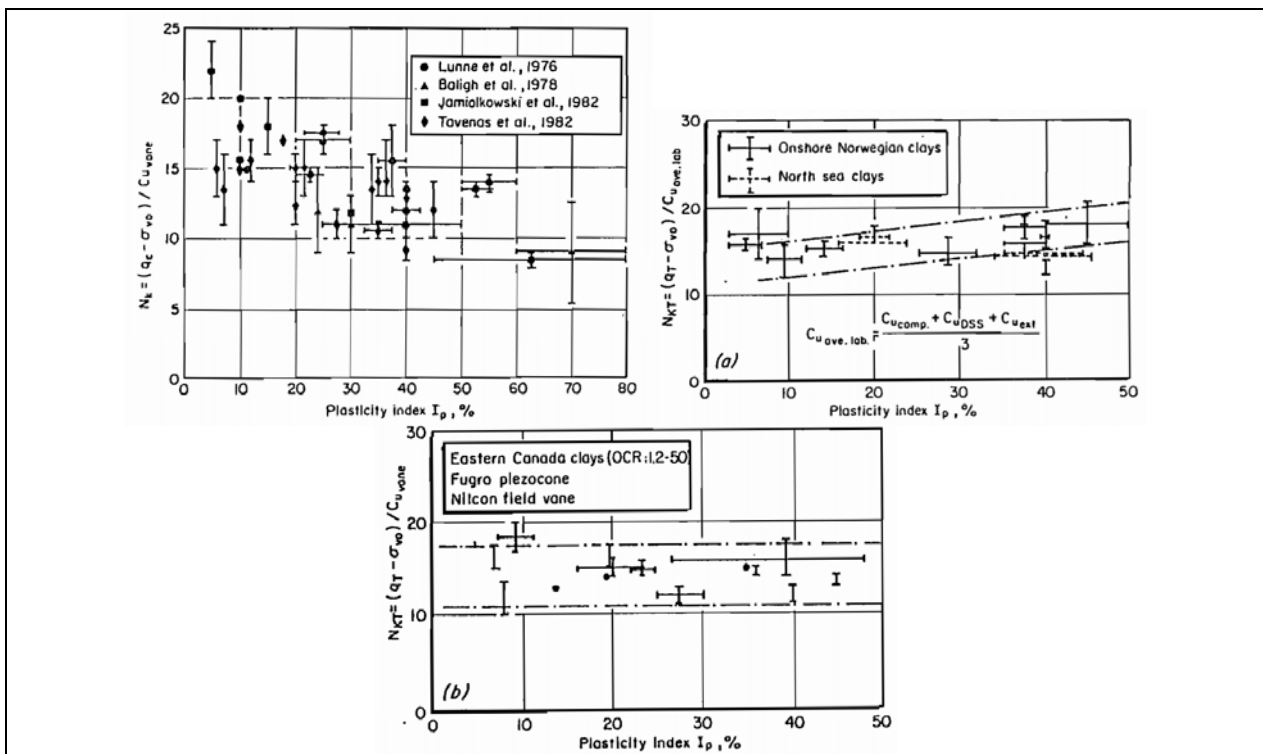


Figura 11. Fattore N_k ottenuto sperimentalmente, Tavenas and Leroueil, 1986.

➤ Grado di sovraconsolidazione (OCR)

Il grado di sovraconsolidazione (Over Consolidation Ratio, OCR) è il rapporto in tensioni efficaci tra la massima pressione cui è stato assoggettato il terreno nella sua storia tensionale (pressione di preconsolidazione, σ_p') e l'attuale pressione verticale (σ_v'):

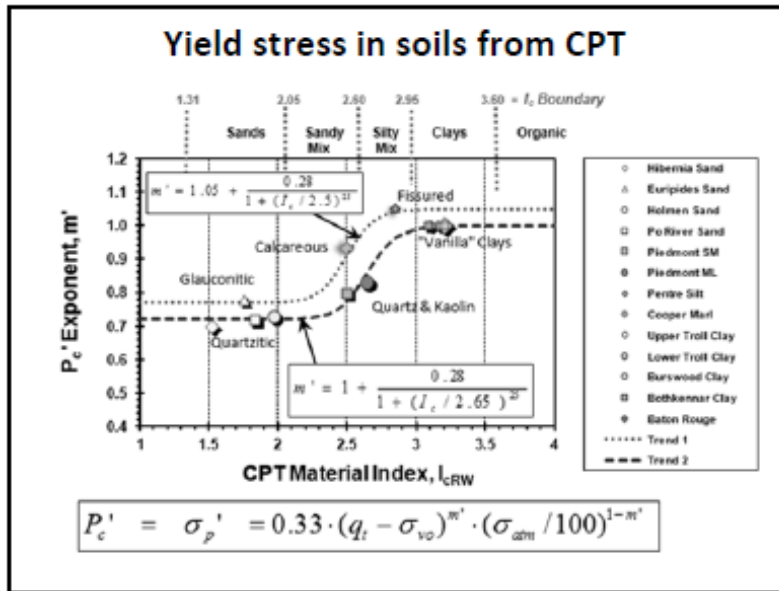


Figura 13. Esponente m (Mayne, 2009).

➤ **Densità relativa (DR)**

La densità relativa rappresenta il grado di addensamento di un deposito granulare ed è definita in funzione dell'indice dei vuoti mediante la seguente espressione:

$$D_R = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

I risultati di numerose prove eseguite in camera di calibrazione hanno dimostrato che la resistenza alla punta è fondamentalmente influenzata dalla densità relativa e della tensione orizzontale efficace, mentre il tipo di sabbia ha un'influenza trascurabile.

Da prove in camera di calibrazione, Jamiolkowski et al. [2001] hanno proposto una correlazione in base alla resistenza alla punta normalizzata:

$$D_R = 100 \cdot \left[0.268 \cdot \text{Log} \left(\frac{qt/pa}{\sqrt{\sigma'_v/pa}} \right) - 0.675 \right]$$

dove sia qt sia σ'_v sono espressi in t/m^2 .

➤ Parametri di resistenza drenati

Per i terreni incoerenti:

Da una serie di prove in camera di calibrazione, Robertson e Campanella [1983, 1990] suggeriscono l'utilizzo della seguente correlazione

$$\varphi' = \tan^{-1} \left[0.1 + 0.38 \cdot \log \left(\frac{qt}{\sigma_v'} \right) \right]$$

Per i terreni coesivi:

L'angolo di resistenza al taglio per i terreni coesivi può essere valutato con la correlazione proposta da Senneset's [1989], mostrata nella seguente Figura 14.

Come specificato dall'autore, i valori di φ' così ottenuti sono da intendersi come linearizzazione secante del classico dominio di rottura di Mohr-Coulomb con coesione nulla ($c' = 0$). Se c' è non nulla, il valore di φ' dovrà essere corretto al fine di ottenere il corrispondente valore linearizzato tangente al dominio di rottura.

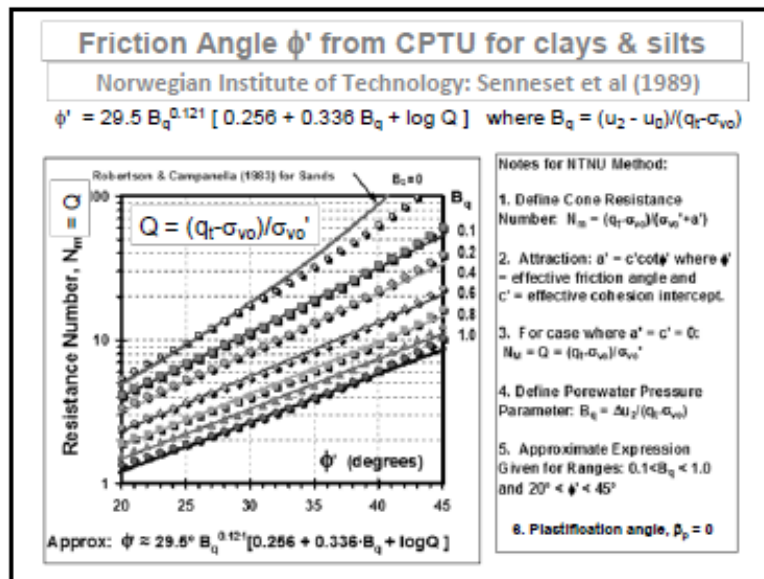



Figura 14. Angolo di resistenza al taglio (Senneset et al., 1989).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

➤ **Permeabilità idraulica (k)**

Una prima stima della permeabilità, K [m/s], può essere ottenuto mediante l'approccio unificato di Robertson [2009], che utilizza il parametro I_c (Material Index, vedasi paragrafo □):

$$K = 10^{(0.952 - 3.04 \cdot I_c)} \quad 1.0 < I_c \leq 3.27$$

$$K = 10^{(-4.52 - 1.37 \cdot I_c)} \quad 3.27 < I_c < 4.0$$

➤ **Coefficiente di consolidazione primaria verticale (cv)**

Il coefficiente di consolidazione primaria verticale c_v può essere ricavato dalle prove CPT secondo la seguente correlazione (G. Ferioli, 1999):

$$c_v = 10^{0.583 \cdot \ln\left[\frac{q_c}{f_s}\right] / 3534} \quad \text{cm}^2/\text{s}.$$

5.4 Unità a – Depositi continentali di versante di alterazione del substrato

Si tratta di limi argillosi e argilla limosa. L'unità è stata intercettata in corrispondenza del viadotto VI03 e successivo rilevato RI07 con spessori da 7 a 12 m ed anche all'imbocco della GN01.

Nell'unità in esame sono disponibili risultati di prove in sito e di laboratorio nei soli sondaggi D26 e 5_S2gn.

I valori di N_{spt} sono tra 10 e 20 colpi/30 cm.


La resistenza penetrometrica da prova CPT (5_CPT05) è compresa tra 2 e 4 MPa (Figura 68)..

Dalle prove di laboratorio su due campioni rimneggiati si ha (Figura 44):

- percentuale di ghiaia mediamente del 1%;
- percentuale di sabbia mediamente del 9%;
- percentuale di fine (limo + argilla) mediamente del 90%, di cui argilla 55% e limo 35%.

Il limite liquido è mediamente 56%; il limite plastico è 26%; l'indice plastico è 30%. Il contenuto naturale d'acqua è mediamente del 24%.

Dalle prove di laboratorio i parametri di resistenza variano nel range: $c' = 10-30$ kPa, $\varphi' = 20 \div 27^\circ$. (Figura 55)

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame di tutti i risultati delle indagini eseguite (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 19.0-19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale (Figura 48)
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 60 \div 250 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 62)
$E_o = 120 \div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 34)
$k = 10^{-8} \div 3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

5.5 Unità ba – Depositi alluvionali coesivi

Tale unità è presente superficialmente al di sopra della formazione di base con spessori da 6 a 17 m di profondità da p.c.. Si tratta di limo argilloso e argilla limosa.

Nell'unità in esame sono disponibili prove SPT che hanno dato valori da 5 a 45 colpi/30cm (Figura 15).

Dalle prove penetrometriche statiche, la resistenza alla punta è compresa tra 1.5 e 2.5 MPa.

Nell'unità sono stati prelevati campioni rimaneggiati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si ha (Figura 41):


- percentuale di ghiaia mediamente del 1%;
- percentuale di sabbia mediamente del 16%;
- percentuale di fine (limo + argilla) mediamente del 81%, di cui argilla 48% e limo 33%.

Il limite liquido è mediamente 50%; il limite plastico è 25%; l'indice plastico è 25%. Il contenuto naturale d'acqua è mediamente del 25%.

Dalle prove di laboratorio i parametri di resistenza variano nel range: $c' = 0-10 \text{ kPa}$, $\varphi' = 21 \div 26^\circ$ (Figura 53, Figura 54).

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame di tutti i risultati delle indagini eseguite (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 18.0 \div 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale (Figura 48)
$c' = 0 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 21 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30 \div 200 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 61)
$E_o = 50 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 32)

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

$V_s = 100-200$ m/s velocità delle onde di taglio

$k = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-7}$ m/s coefficiente di permeabilità (Figura 75, Figura 77)

5.6 Unità bs – Depositi alluvionali sabbiosi

Si tratta di sabbia, sabbia limosa che si trova intercalata alle alluvioni coesive in strati/lenti di modesto spessore (qualche metro).

Nell'unità in esame sono disponibili prove SPT che hanno dato valori da 5 a 30 colpi/30cm (Figura 16).

Sono stati prelevati campioni indisturbati sui cui sono state fatte prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si ha (Figura 42):

- percentuale di ghiaia 7-16%;
- percentuale di sabbia 26-59%;
- percentuale di fine (limo + argilla) del 35-58%, di cui argilla 18-36% e limo 16-22%.

La densità relativa è compresa fra 20 e 70% (Figura 22).

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame di tutti i risultati delle indagini eseguite (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale

$c' = 0$ kPa coesione drenata

$\varphi' = 30 \div 35$ ° angolo di resistenza al taglio (Figura 23, Figura 24)

$E_o = 90 \div 350$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 31)

$V_s = 250-300$ m/s velocità delle onde di taglio

$k = 2 \cdot 10^{-6} \div 7 \cdot 10^{-5}$ m/s coefficiente di permeabilità (Figura 77)

5.7 Unità bg – Depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi


Si tratta di sabbia, sabbia limosa che si trova intercalata alle alluvioni coesive in strati/lenti di modesto spessore (qualche metro).

Nell'unità in esame sono disponibili prove SPT che hanno dato valori da 20 colpi/30cm a rifiuto ($N_{spt}=100$) (Figura 16)..

Sono stati prelevati campioni indisturbati sui cui sono state fatte prove di laboratorio.

Dall'analisi granulometrica si ha (Figura 43):

- percentuale di ghiaia 44-49%;

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- percentuale di sabbia 23-37%;
- percentuale di fine (limo + argilla) del 14-33%, di cui argilla 6-12% e limo 8-21%.

La densità relativa è compresa fra 45 e 90% (Figura 22).

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame di tutti i risultati delle indagini eseguite (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 36 \div 41^\circ$	angolo di resistenza al taglio (Figura 23, Figura 24)
$E_o = 150 \div 550 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 31)
$k = 1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

5.8 Unità CFR – Coltre in frana quiescente

Si tratta di limo argilloso con ghiaia, ciottoli e clasti arenacei, gessosi, carbonatici e livelli millimetrici organici nerastri. E' presente nella zona del rilevato RI15 con spessori fino a 15 m circa (sondaggi 5_S25, 5_S6vi). Dal punto di vista geologico, il materiale è inquadrato come vecchio copro di frana quiescente.

I valori di N_{spt} sono compresi tra 5 e 30 colpi/30 cm.

Dalle prove di laboratorio su due campioni rimneggianti si ha:


- percentuale di ghiaia tra 0 e 38%;
- percentuale di sabbia tra 7 e 22%;
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 49 e 90%, di cui argilla tra 23 e 67% e limo tra 13 e 40%.

Il limite liquido è mediamente 60%; il limite plastico è 28%; l'indice plastico è 34%. Il contenuto naturale d'acqua è mediamente del 27%.

Sul campione prelevato nel sondaggio 5_S6vi è disponibile una prova di taglio diretto che ha dato: $c' = 22.6$ e $\varphi' = 22.9^\circ$. Sono inoltre state prese in considerazione anche tutti i dati di laboratorio eseguiti sui sondaggi fuori asse (vecchio tracciato a nord con frana), vedasi Figura 58.

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame di tutti i risultati delle indagini eseguite (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale (Figura 48)
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30 \div 200$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 63)
$c_r' = 0$ kPa	coesione drenata residua
$\varphi_r' = 19^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$E_o = 50 \div 200$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 33)
$k = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-7}$ m/s	coefficiente di permeabilità (Figura 77)

5.9 Unità TRVb – Formazione di Terravecchia

La formazione di base predominante in questo tratto è la facies argilloso marnoso brecciata della formazione di terravecchia.

I valori di N_{SPT} eseguiti nell'unità vanno generalmente da 15 a rifiuto ad indicare una elevata consistenza del materiale (Figura 19).

La resistenza alla punta penetrometrica dalle prove CPT nell'unità va da 4 a 14 MPa (Figura 68).

Nell'unità sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.


Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da (Figura 47):

- percentuale di ghiaia mediamente del 2%;
- percentuale di sabbia mediamente del 7%;
- percentuale di fine (limo + argilla) mediamente del 91%, di cui argilla 50% e limo 41%.

Per l'unità il limite liquido è mediamente 55%; il limite plastico è mediamente 28%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente 17% (Figura 51). L'indice di plasticità è mediamente 30% (Figura 49). L'indice di consistenza è generalmente tra 1.0 e 1.4. Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille e limi inorganici di media- alta plasticità (Figura 50).

Relativamente alla formazione di Terravecchia, viene definito una legge di progetto per la resistenza al taglio non drenata con la profondità valida cautelativamente per tutto il tracciato (Figura 65). I risultati delle prove di laboratorio ad espansione laterale libera si ritengono non rappresentativi delle reali condizioni dell'ammasso, infatti forniscono valori molto bassi che spesso coincidono con la normal consolidazione. Inoltre i valori di Pocket Penetrometer eseguiti sugli stessi campioni indisturbati danno valori sempre maggiori di 6 kg/cm² (fondo scala strumento), quindi resistenza non drenata maggiore di 300 kPa. Le prove triassiali non consolidate non drenate forniscono valori di resistenza che si collocano sopra la correlazione di progetto.

I parametri di resistenza sono in Figura 56 e in Figura 57.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

In Figura 29 è mostrato il modulo di deformazione a taglio iniziale (G_0) ed in Figura 35 il modulo di deformazione elastico iniziale (E_0).

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame di tutti i risultati delle indagini eseguite (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale (Figura 48)
$c_u = 200 \div 400 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_0 = 200 \div 1000 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 340 - 450 \text{ m/s}$	
$V_s = 500 - 780 \text{ m/s}$	

Parametri di resistenza drenati minimi (in funzione dello stato tensionale in sito):

$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 25^\circ$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 25 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 19^\circ$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio

Parametri di resistenza drenati massimi (in funzione dello stato tensionale in sito):

$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 33^\circ$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 20 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 30^\circ$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio

Parametri di resistenza residui:

$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$\phi_r' = 18^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$k = 1 \cdot 10^{-10} \div 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità (Figura 77)

5.10 Unità TRV – Formazione di Terravecchia

La facies argilloso marnosa della formazione di terravecchia è stata intercettata solo localmente nel sondaggio 5_S03 oltre i 21 m di profondità.

Non sono disponibili prove SPT sul materiale. Sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio, da cui si assumono i seguenti parametri geotecnici.

$\gamma = 19.5 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale (Figura 48)
--	-------------------------------------



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	60 di 238

$c' = 5 \div 20$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 170 \div 350$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 400 \div 800$ MPa	Modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 6 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-8}$ m/s	coefficiente di permeabilità (Figura 77)

5.11 Unità GTL – Formazione di Cattolica

L'unità è stata intercettata localmente solo dalla fine della GN01 e viadotto VI08 come formazione di base. E' stata intercettata con entrambe le facies:

- **(GTL1):** argille limose a struttura brecciata con evaporiti di gesso.
- **(GTL2):** gessi alternati ad argille gessose.

Nel sondaggio S6vi sono stati intercettati livelli lapidei (arenaria) di spessore 4 m circa oltre i 30 m. Sono stati prelevati anche 3 campioni litoidi di arenaria su cui sono state eseguite prove di compressione monoassiale che hanno dato resistenza 13-23 MPa.

Considerato che per la caratterizzazione della formazione si hanno pochi dati a disposizione e che comunque la formazione si presenta di ottime caratteristiche meccaniche, bassa deformabilità con talvolta con livelli litoidi, per questa unità si farà riferimento cautelativamente ai parametri di progetto dell'unità TRVb.

5.12 Unità TPL – Formazione di Tripoli

Tale unità è stata intercettata solo localmente in corrispondenza della parte finale della GA01 fino alla parte iniziale del viadotto VI03, nel sondaggio 5_SV6N, da p.c. fino a 6.5 m di profondità. E' stata carotata come limo sabbioso argilloso con gesso, clasti e ciottoli marnoso calcarei e calcareo marnosi.

I valori di N_{SPT} eseguiti nell'unità vanno generalmente da 35 a rifiuto ad indicare materiale molto consistente/addensato.

Sono disponibili alcuni valori di Pocket Penetrometer eseguiti sulle carote che hanno valori molto alti da 450 a 700 kPa.

Sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed indisturbati nel sondaggio, ma al momento della stesura del presente elaborato, non si dispone ancora del laboratorio.

Quindi cautelativamente verranno assunti i seguenti parametri geotecnici.

$\gamma = 19.0 \div 19.5$ kN/m ³	peso di volume naturale
---	-------------------------



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	61 di 238

$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 100$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 250$ MPa	Modulo di deformazione elastico iniziale

5.13 Sintesi parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si sintetizzano le caratteristiche geotecniche di progetto per le varie unità geotecniche.

Unità ba – Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)

$\gamma = 18.0 \div 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 21 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30 \div 200$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 50 \div 300$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 100-200$ m/s	velocità delle onde di taglio
$k = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-7}$ m/s	coefficiente di permeabilità

Unità bs – Depositi alluvionali sabbiosi

$\gamma = 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 30 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 90 \div 350$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 250-300$ m/s	velocità delle onde di taglio
$k = 2 \cdot 10^{-6} \div 7 \cdot 10^{-5}$ m/s	coefficiente di permeabilità

Unità bg – Depositi alluvionali ghiaiosi

$\gamma = 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 36 \div 41^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 150 \div 550$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}$ m/s	coefficiente di permeabilità



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	62 di 238

Unità CFR – coltre in frana quiescente (argilla limosa)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30\div 200 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$cr' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$\phi_r' = 19^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$E_o = 50\div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

Unità a – Depositi di versante e di alterazione della formazione di base: argilla limosa

$\gamma = 19.0\text{-}19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0\div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 24\div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 60\div 250 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 120\div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 10^{-8} \div 3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

Unità TRVb– Formazione di Terravecchia argillosa limosa debolmente marnosa brecciata

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c_u = 200\div 400 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 200\div 1000 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 340 \text{ -}450 \text{ m/s}$	
$V_s = 500\text{-}780 \text{ m/s}$	

Parametri di resistenza drenati minimi (in funzione dello stato tensionale in sito):

$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 25^\circ$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 25 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 19^\circ$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio

Parametri di resistenza drenati massimi (in funzione dello stato tensionale in sito):

$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 33^\circ$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 20 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 30^\circ$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio

Parametri di resistenza residui:


$cr' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$\phi_r' = 18^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$k = 1 \cdot 10^{-10} \div 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

Unità TRV– Formazione di Terravecchia argillosa limosa marnosa

$\gamma = 19.5 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 170 \div 350 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 400 \div 800 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 6 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

Unità TPL – Formazione di Tripoli: limo sabbioso argilloso

$\gamma = 19.0 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 100 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 250 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Unità TRV/TRVb – Formazione di Terravecchia

$$k = 5 \cdot 10^{-9} \div 7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} \quad \text{coefficiente di permeabilità}$$

I moduli di deformabilità “operativi” (E’) da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a 1/3÷1/5 di quello iniziale (E₀).

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

I valori delle proprietà geotecniche indicate sono da intendersi come range di valori guida per la progettazione; resta inteso che nelle analisi geotecniche di dettaglio delle varie opere andranno calibrati sulla base delle condizioni geotecniche locali, delle specifiche situazioni locali, oltre che rapportati alla tipologia di opere (fondazioni pali o opere di sostegno) ed alle ipotesi di calcolo assunte.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	65 di 238

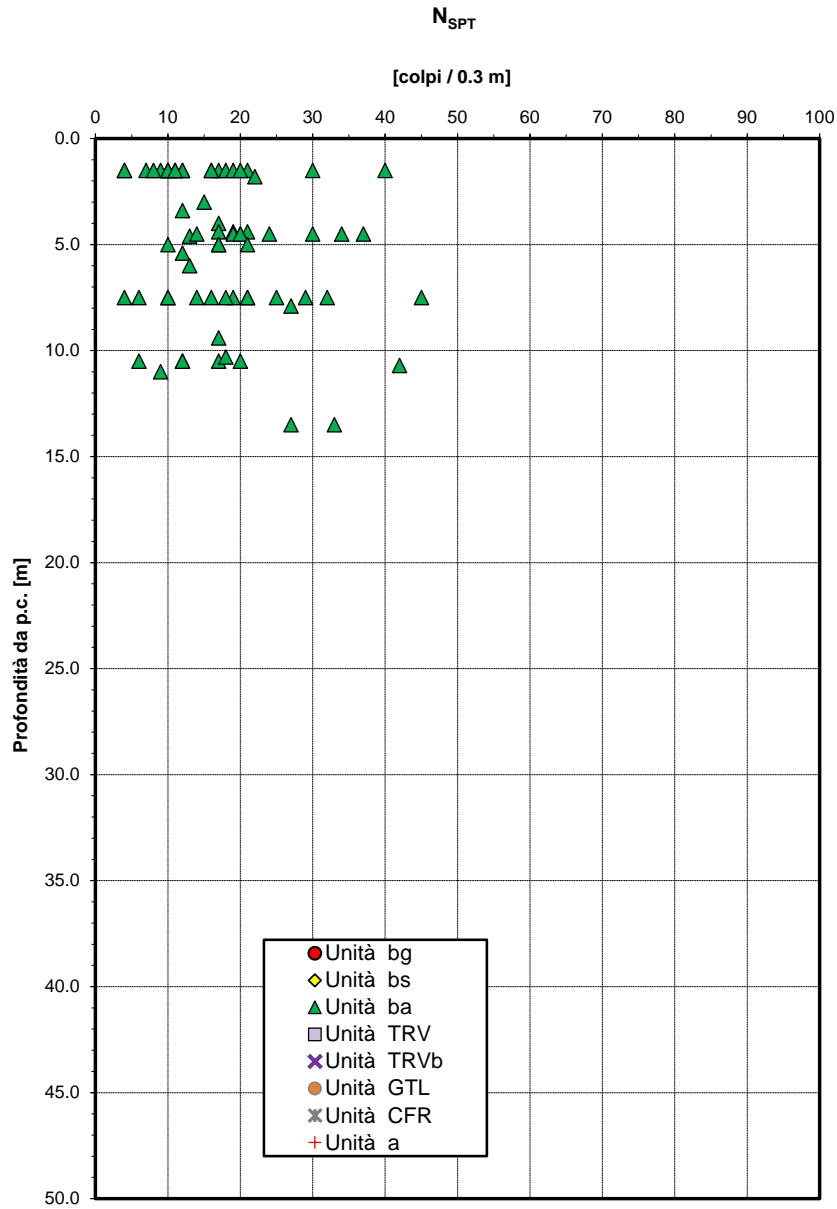


Figura 15 – Valori di N_{SPT} – Unità ba

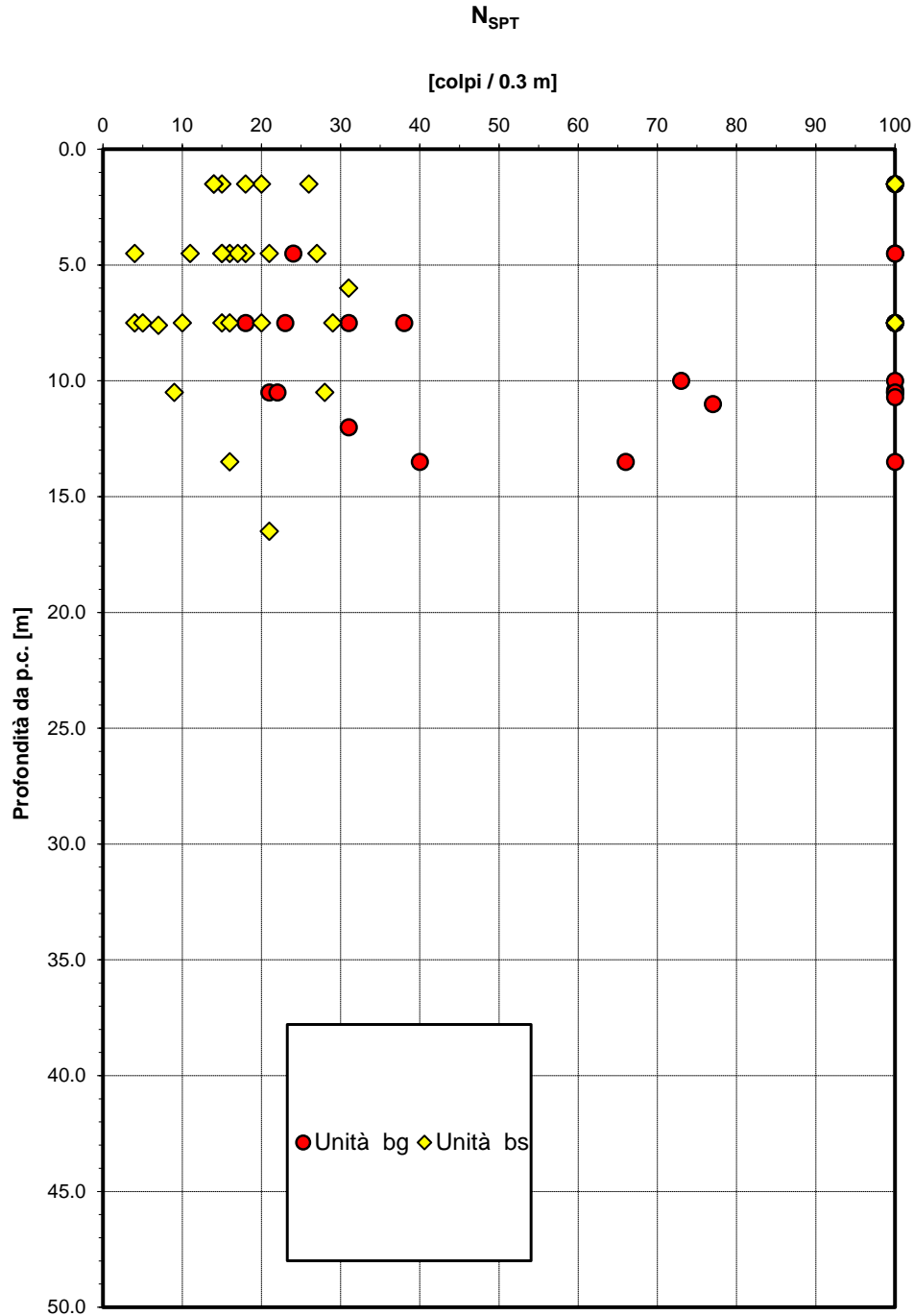


Figura 16 – Valori di N_{SPT} – Unità bs, bg.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	67 di 238

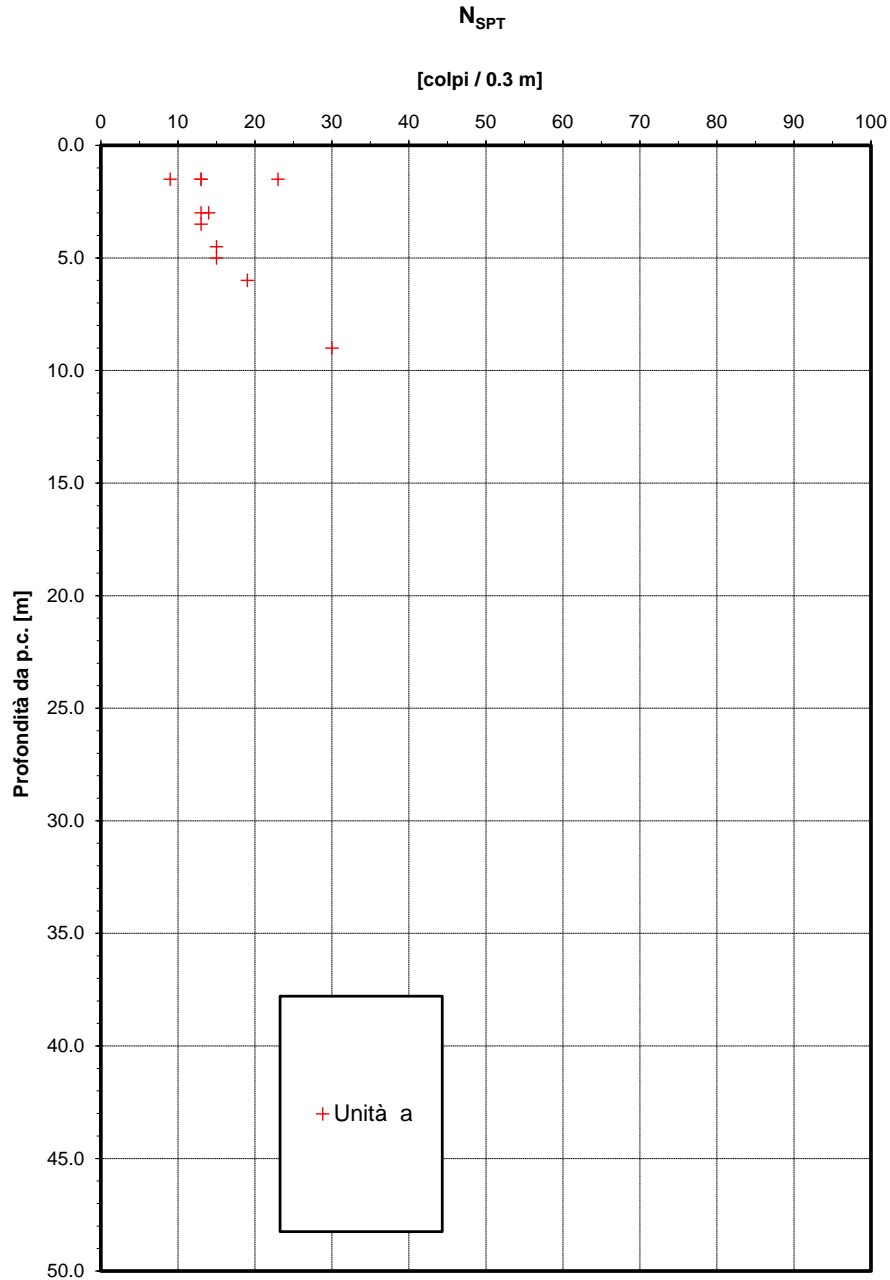


Figura 17 – Valori di N_{SPT} – Unità a

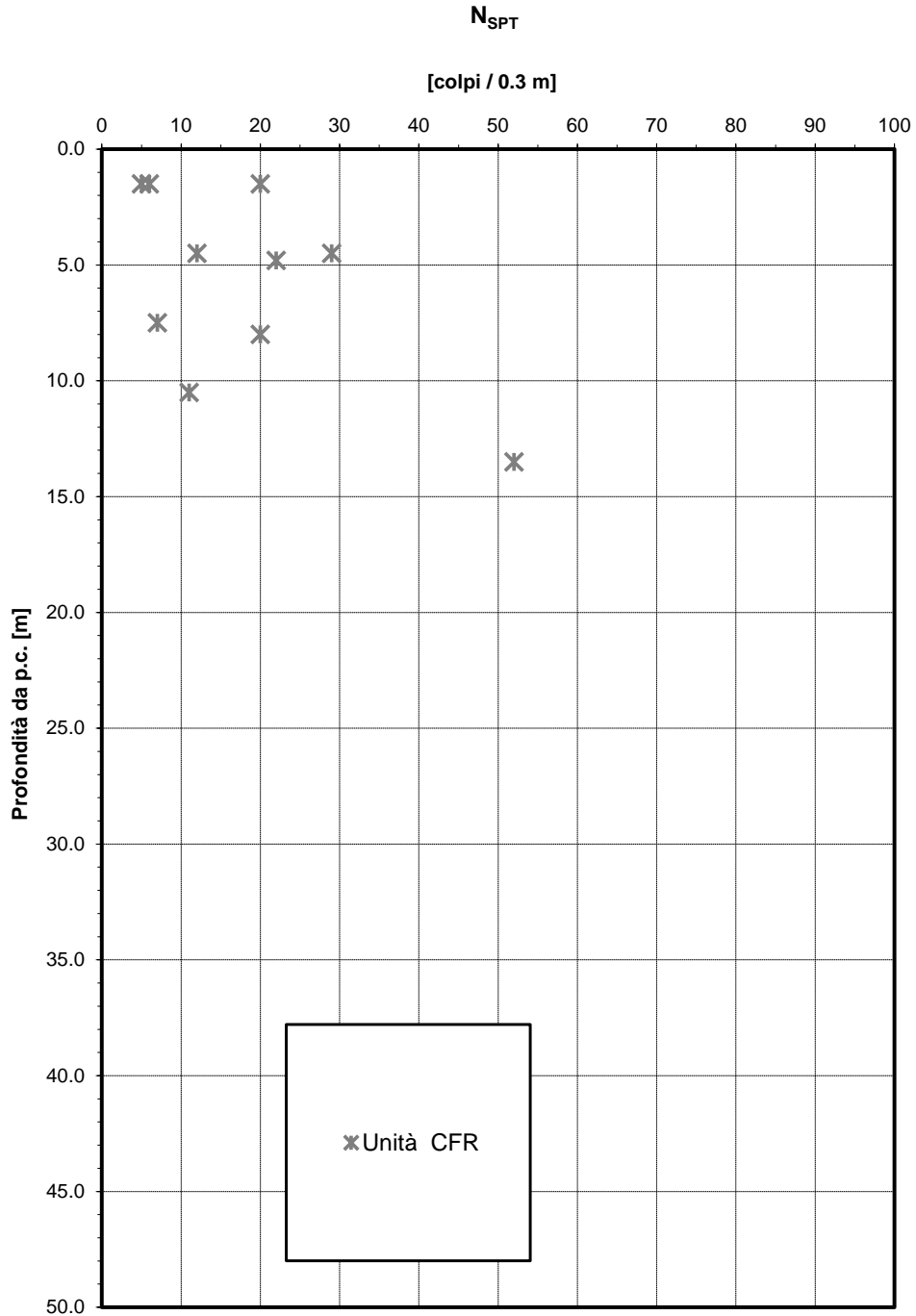


Figura 18 – Valori di N_{SPT} – Unità CFR

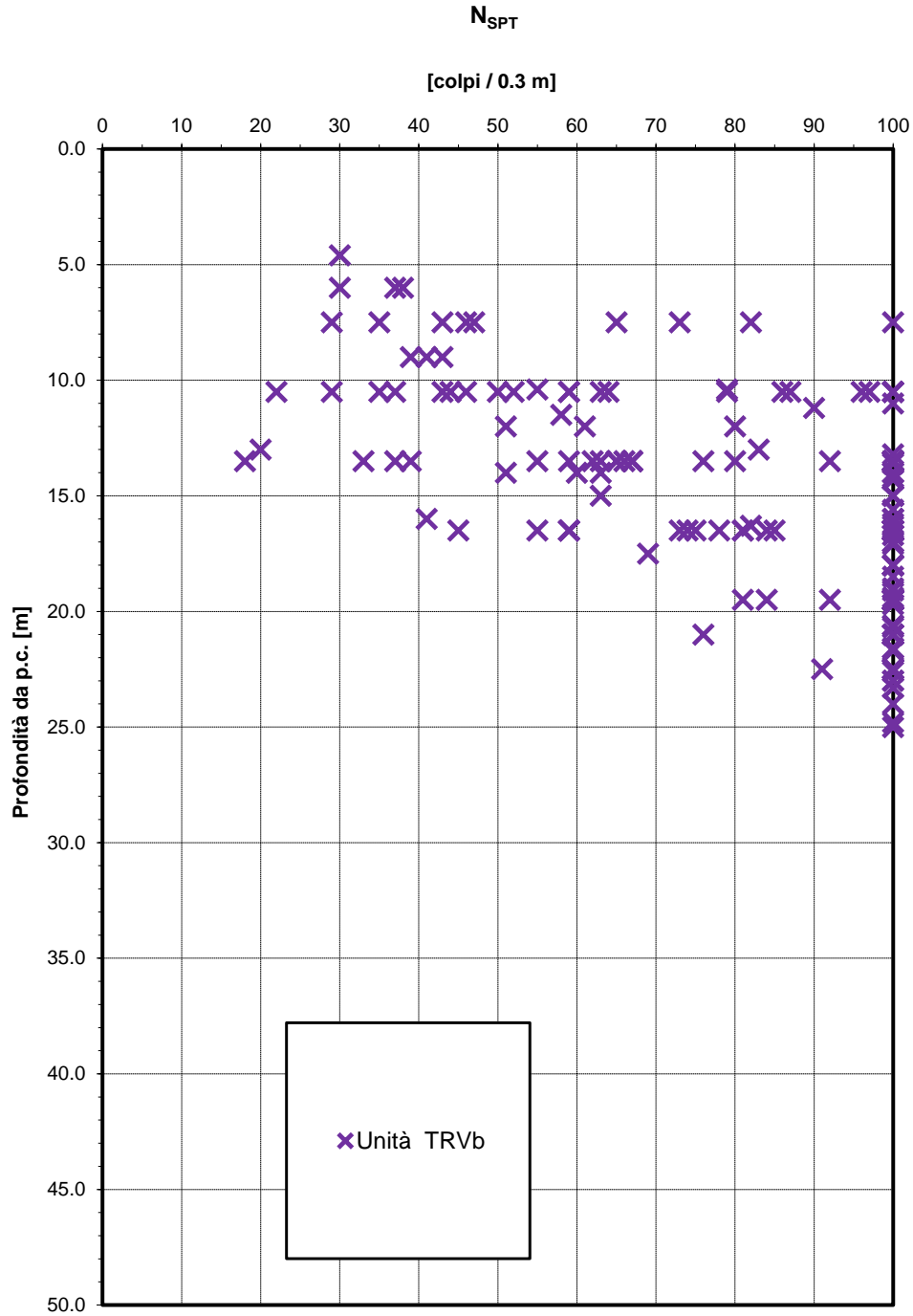


Figura 19 – Valori di N_{SPT} – Unità TRVb



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	70 di 238

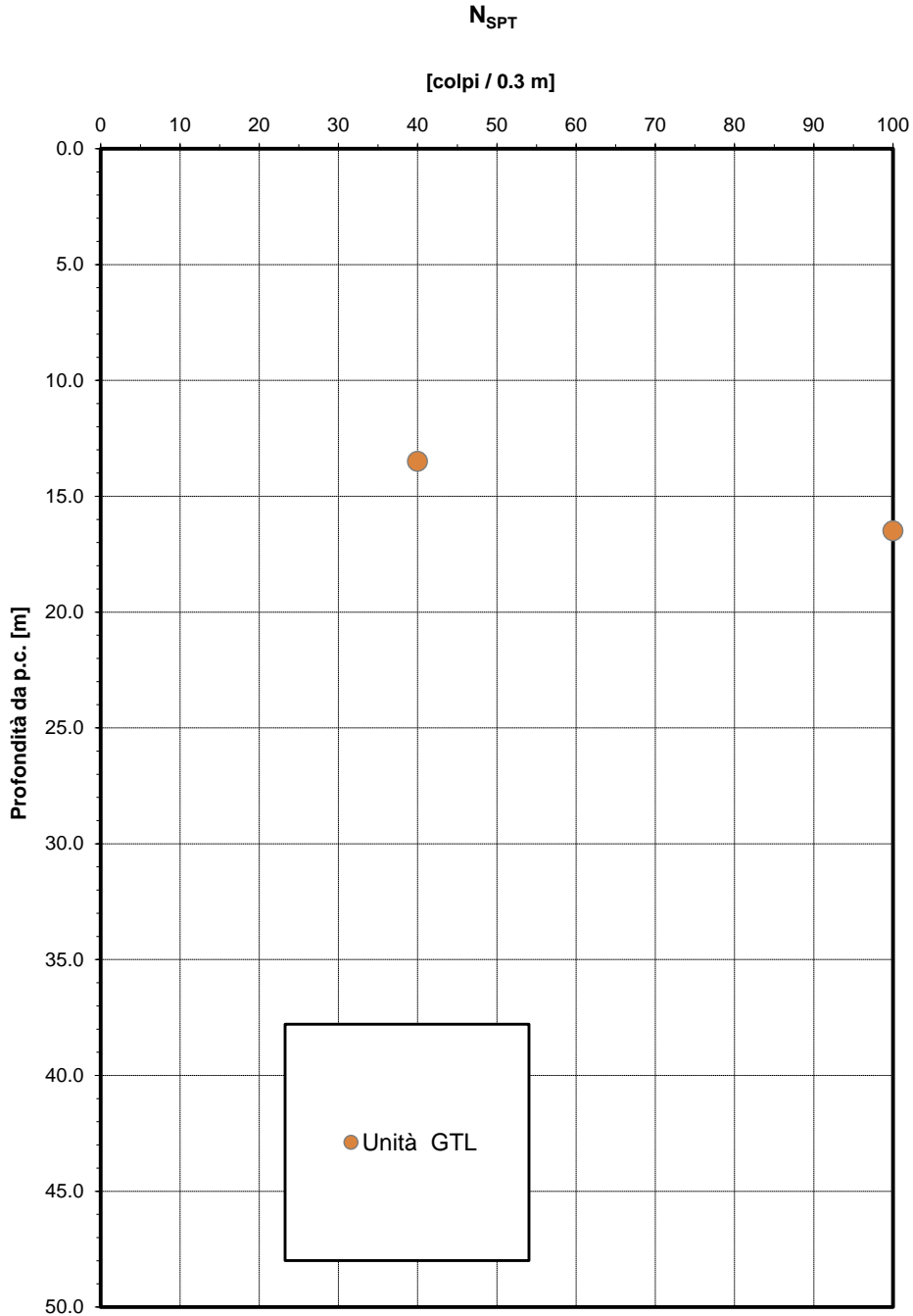


Figura 20 – Valori di N_{SPT} – Unità GTL



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	71 di 238

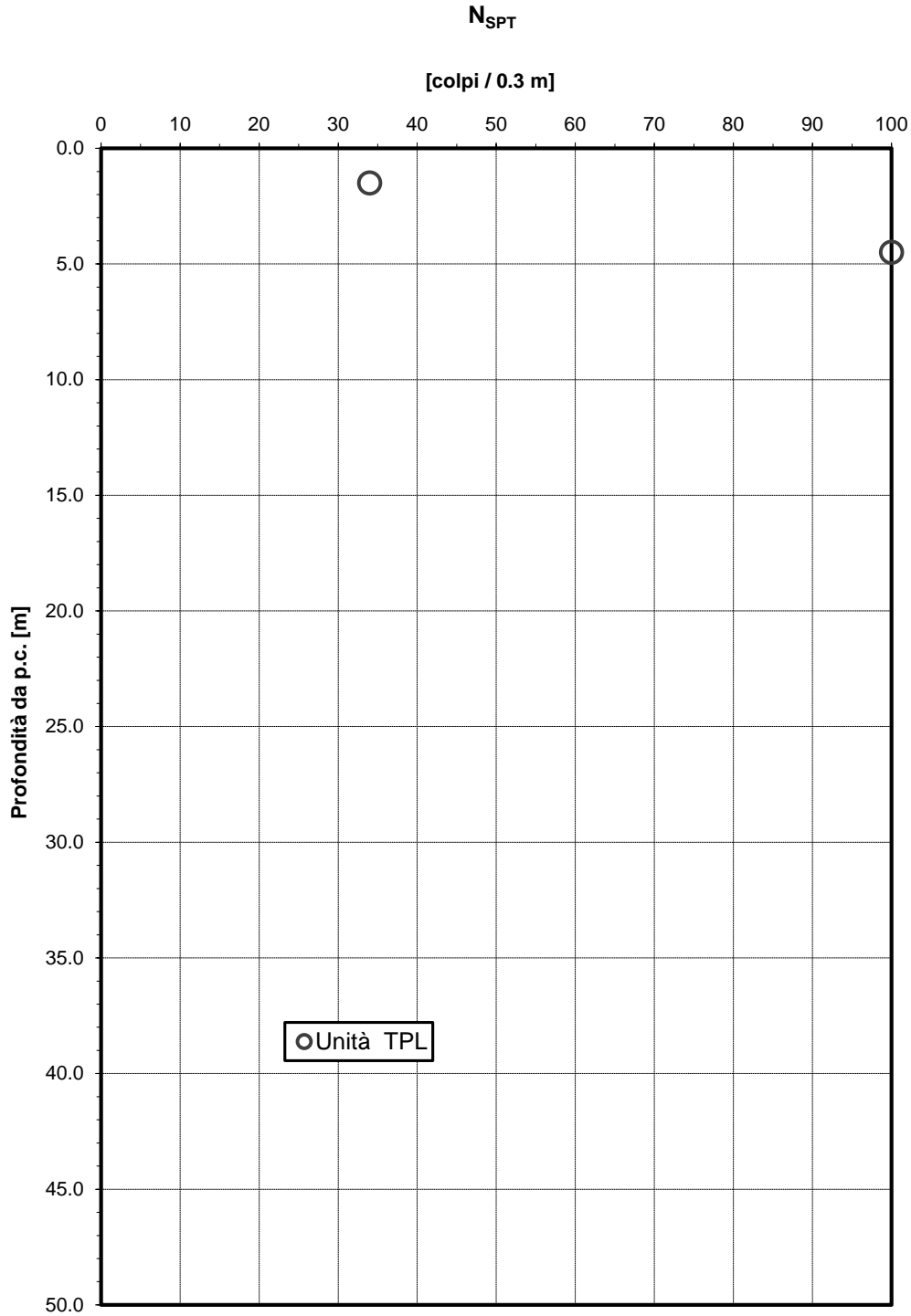


Figura 21 – Valori di N_{SPT} – Unità TPL

Densità relativa da prove SPT

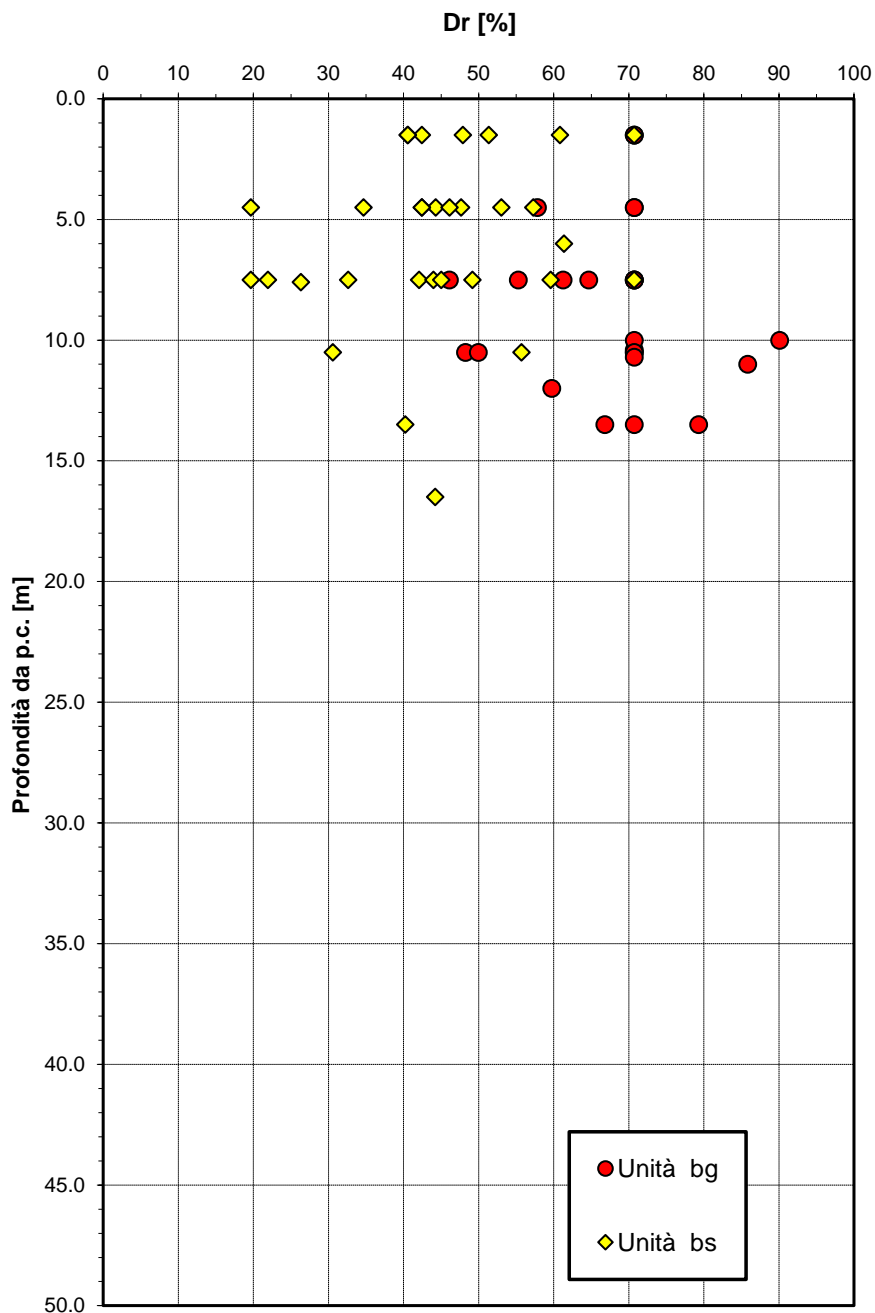


Figura 22 – Densità realtiva – Unità bs, bg

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

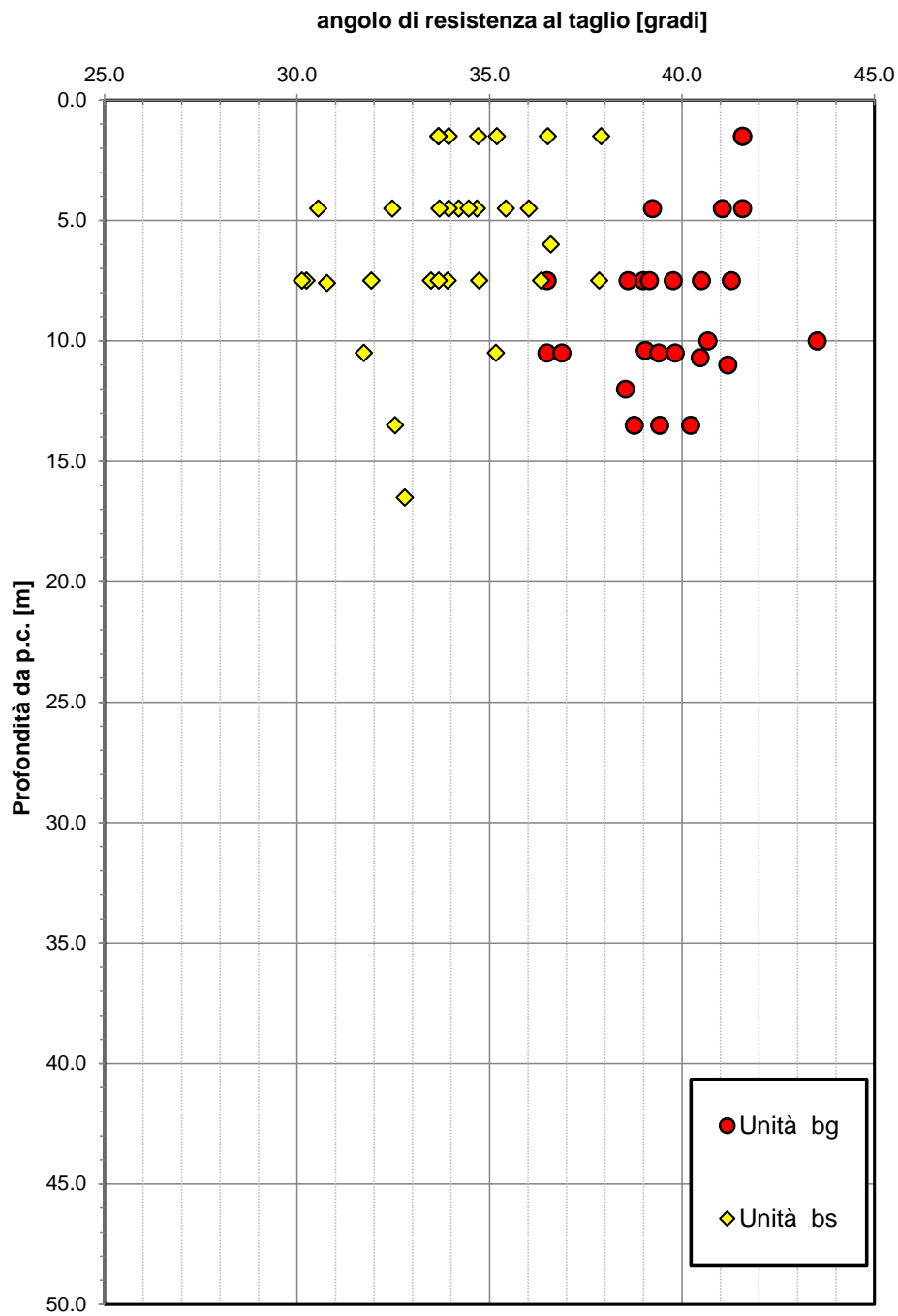


Figura 23 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – Unità bs, bg

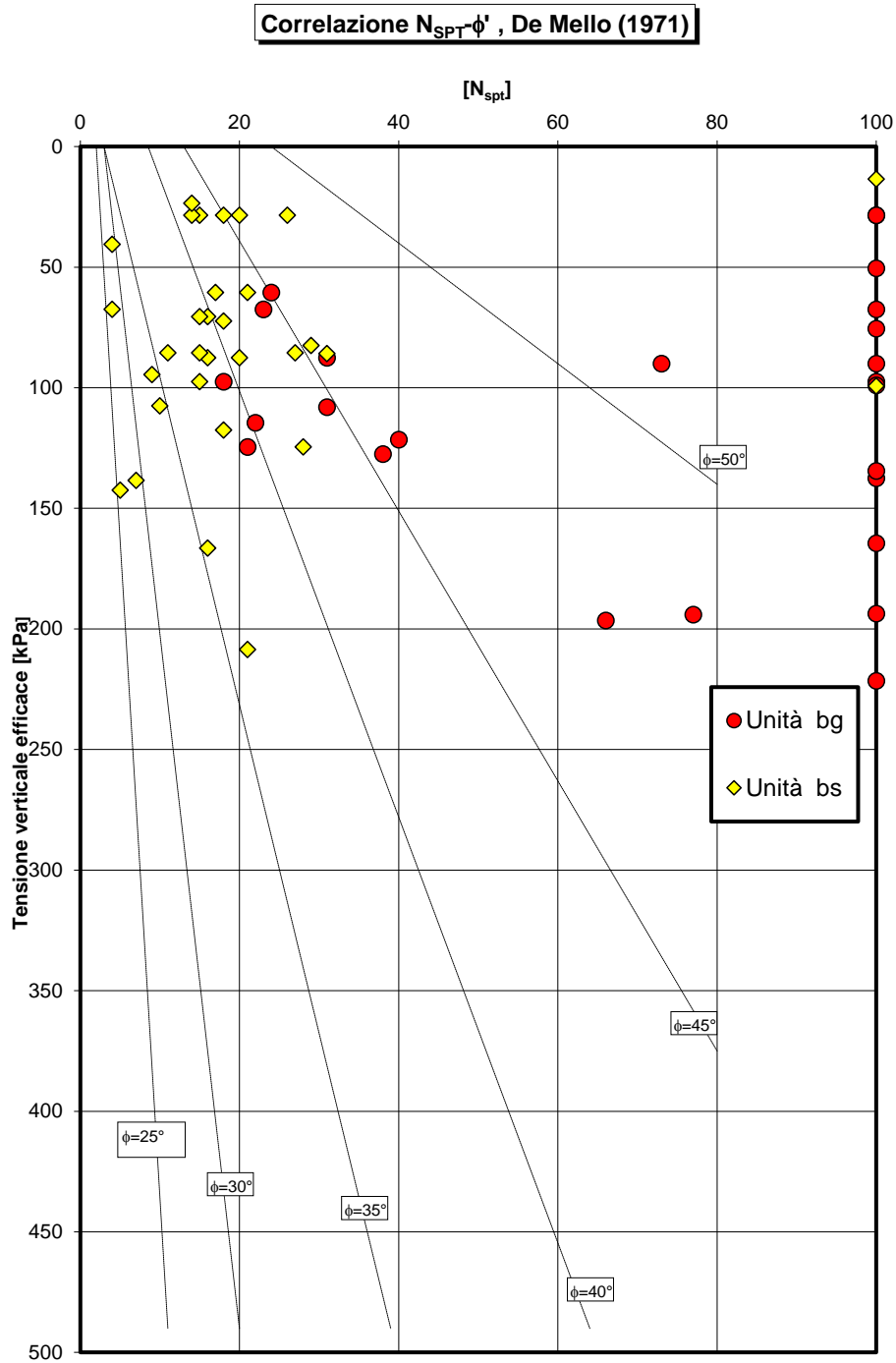


Figura 24 – Correlazione N_{spt} – angolo di attrito (De Mello, 1971) – Unità bg bs

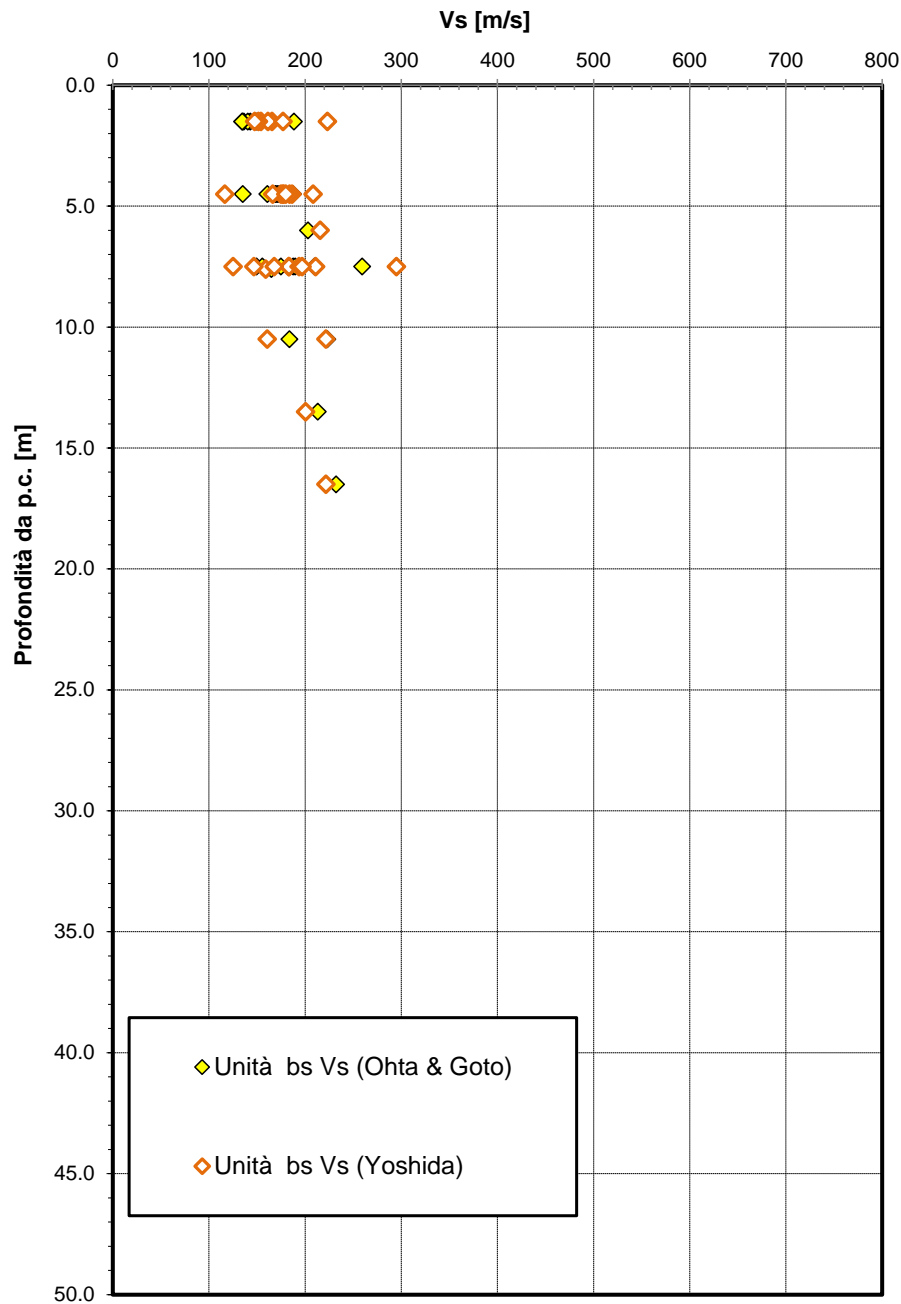


Figura 25 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT – Unità bs

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	76 di 238

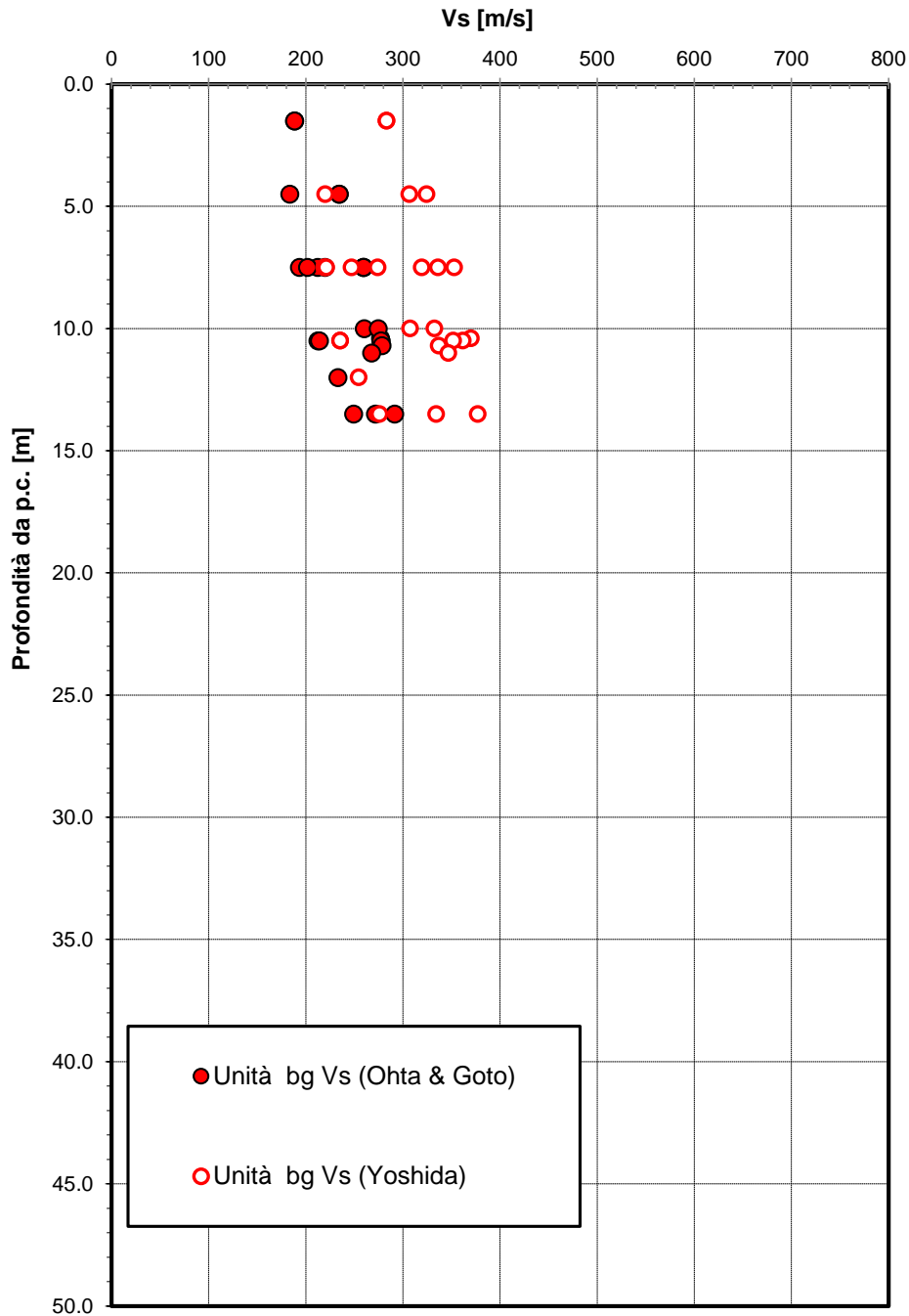


Figura 26 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT – Unità bg

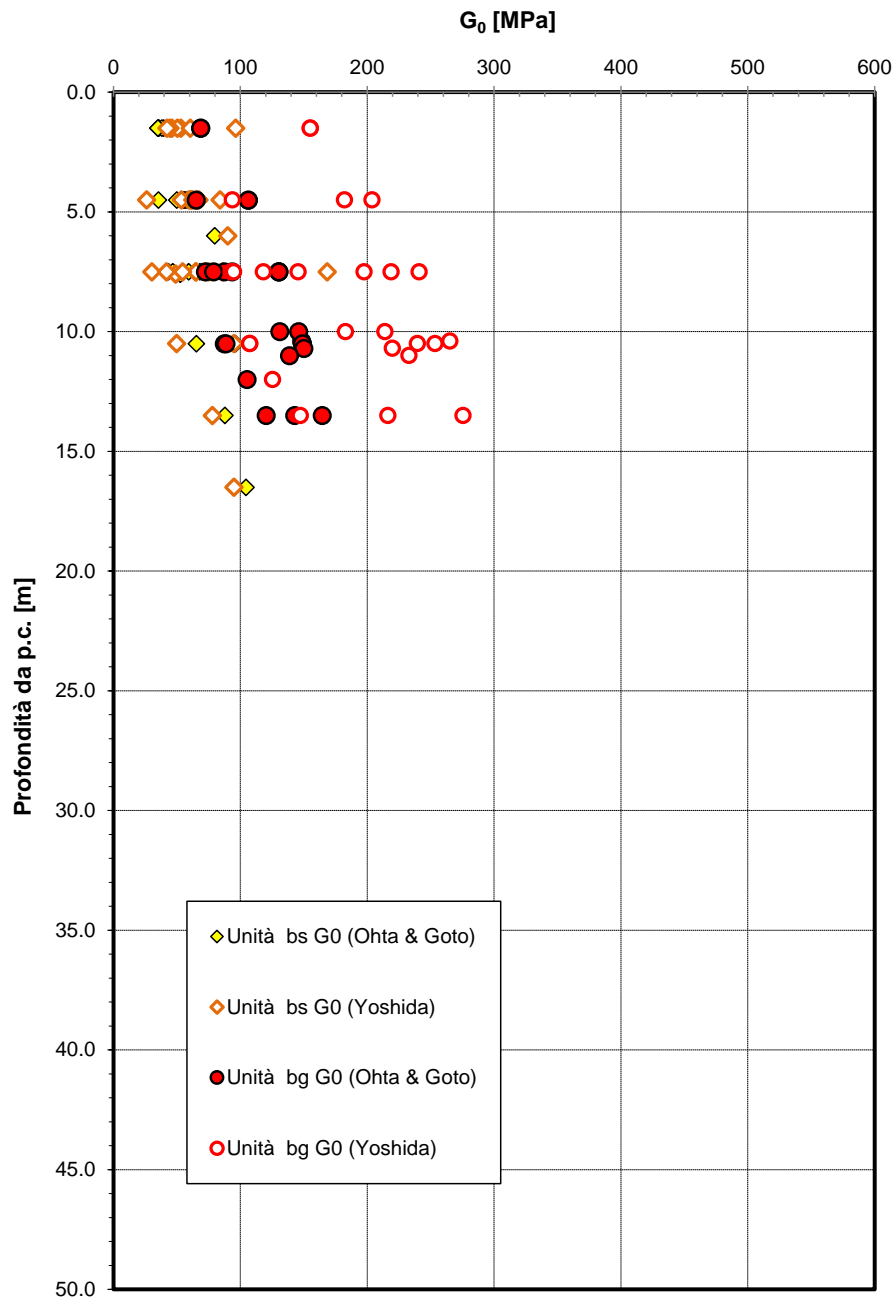


Figura 27 – Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prove SPT – Unità bs bg

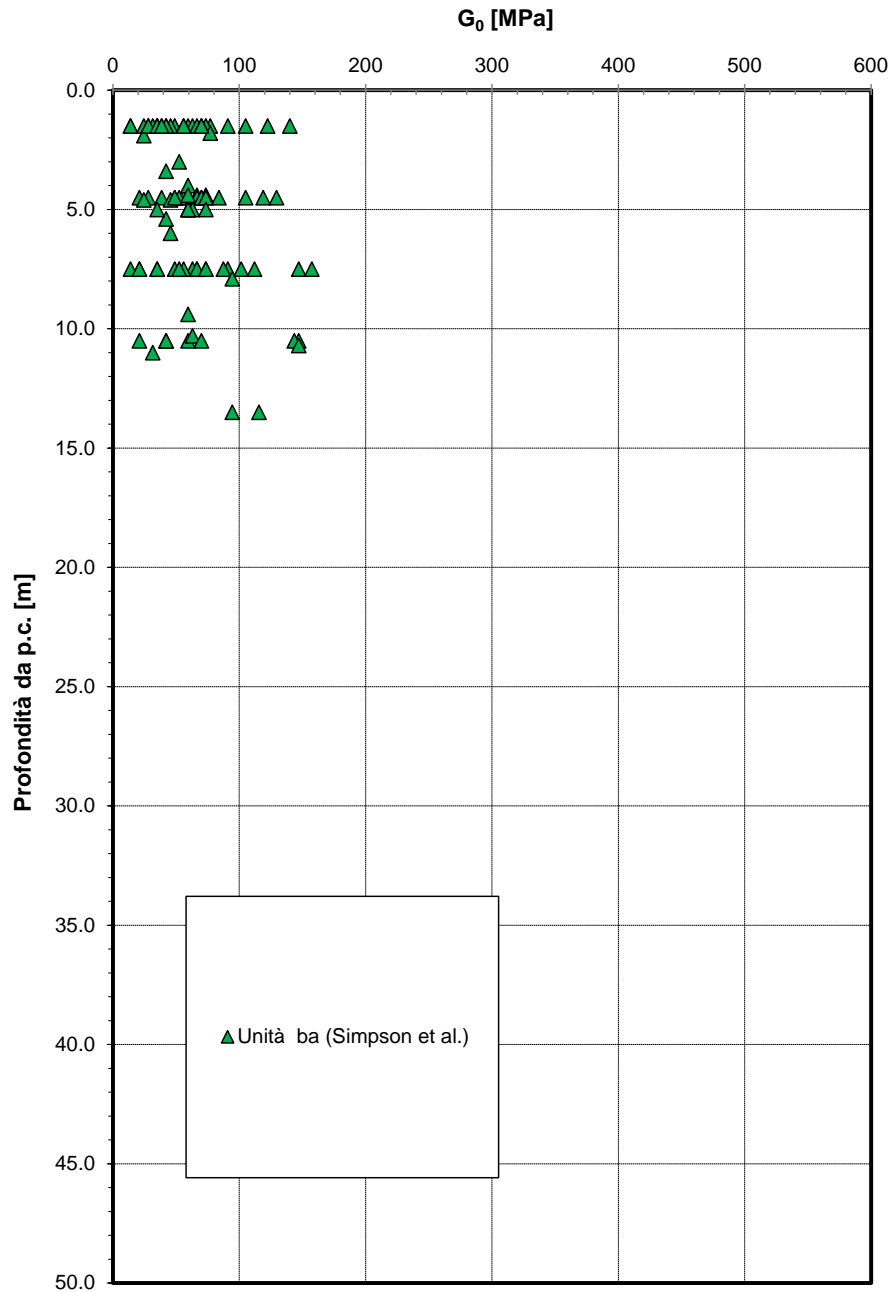


Figura 28 – Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prove SPT – Unità ba

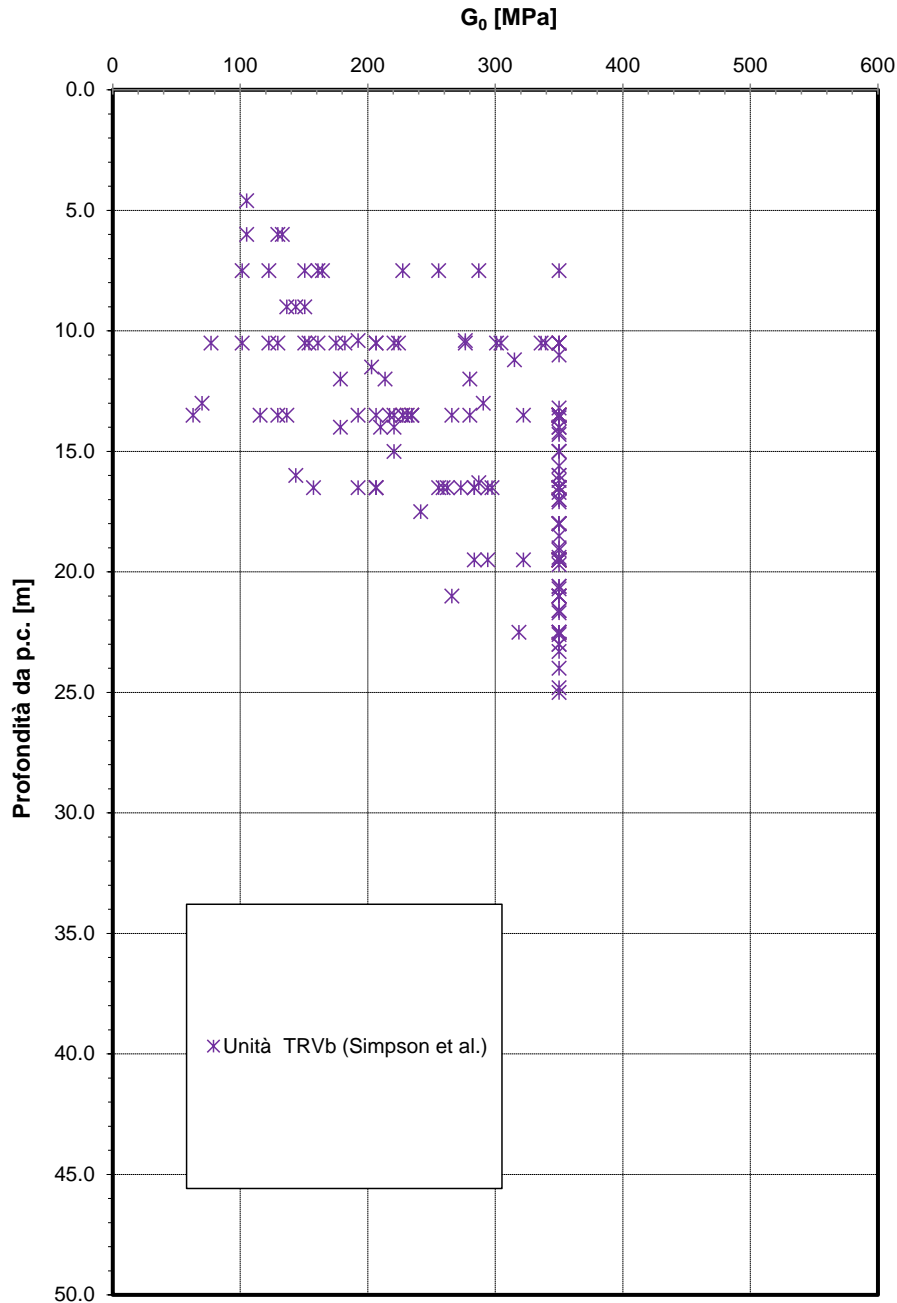


Figura 29 – Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prove SPT – Unità TRVb

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

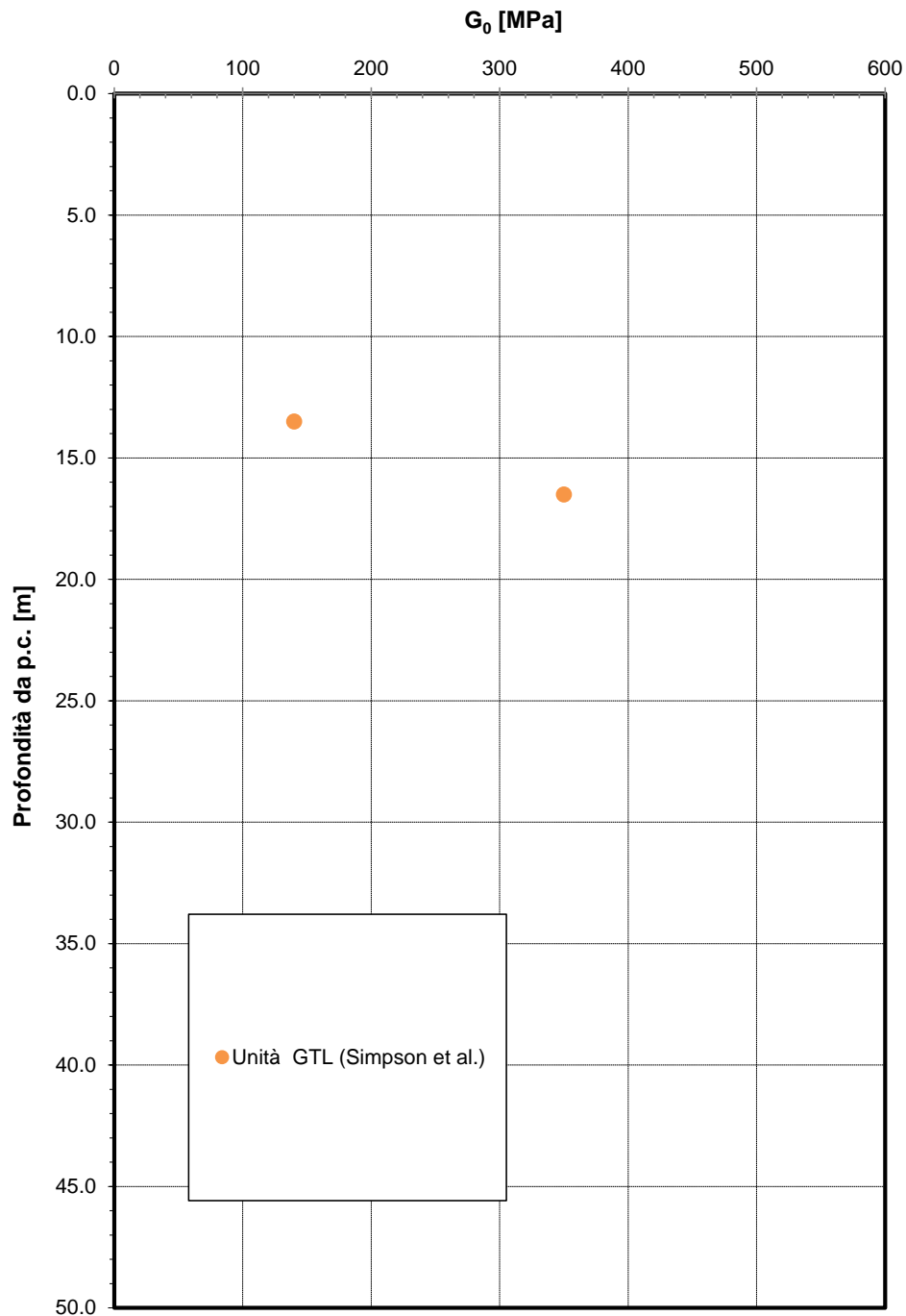


Figura 30 – Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prove SPT – Unità GTL

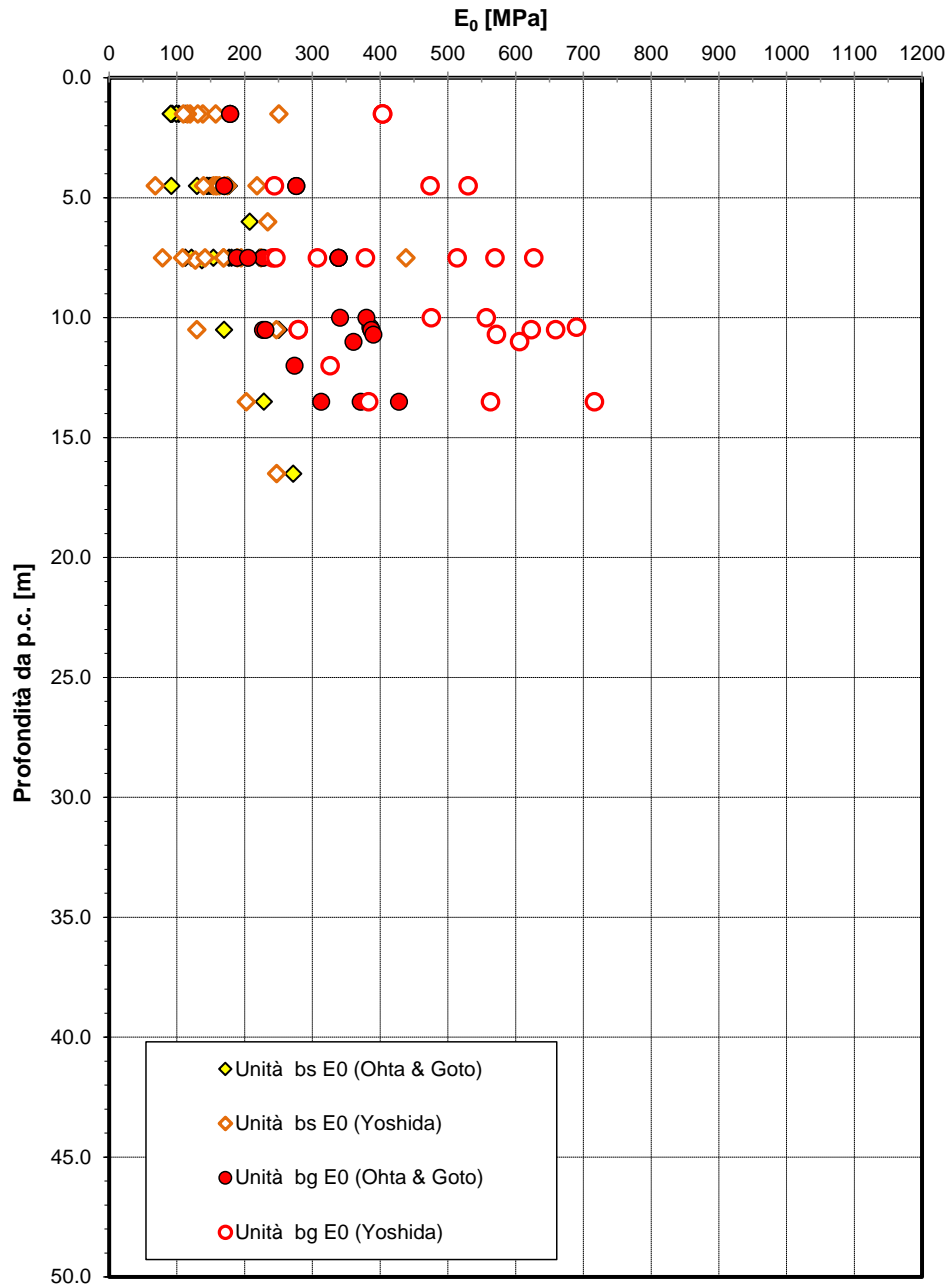


Figura 31 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità bg bs

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	82 di 238

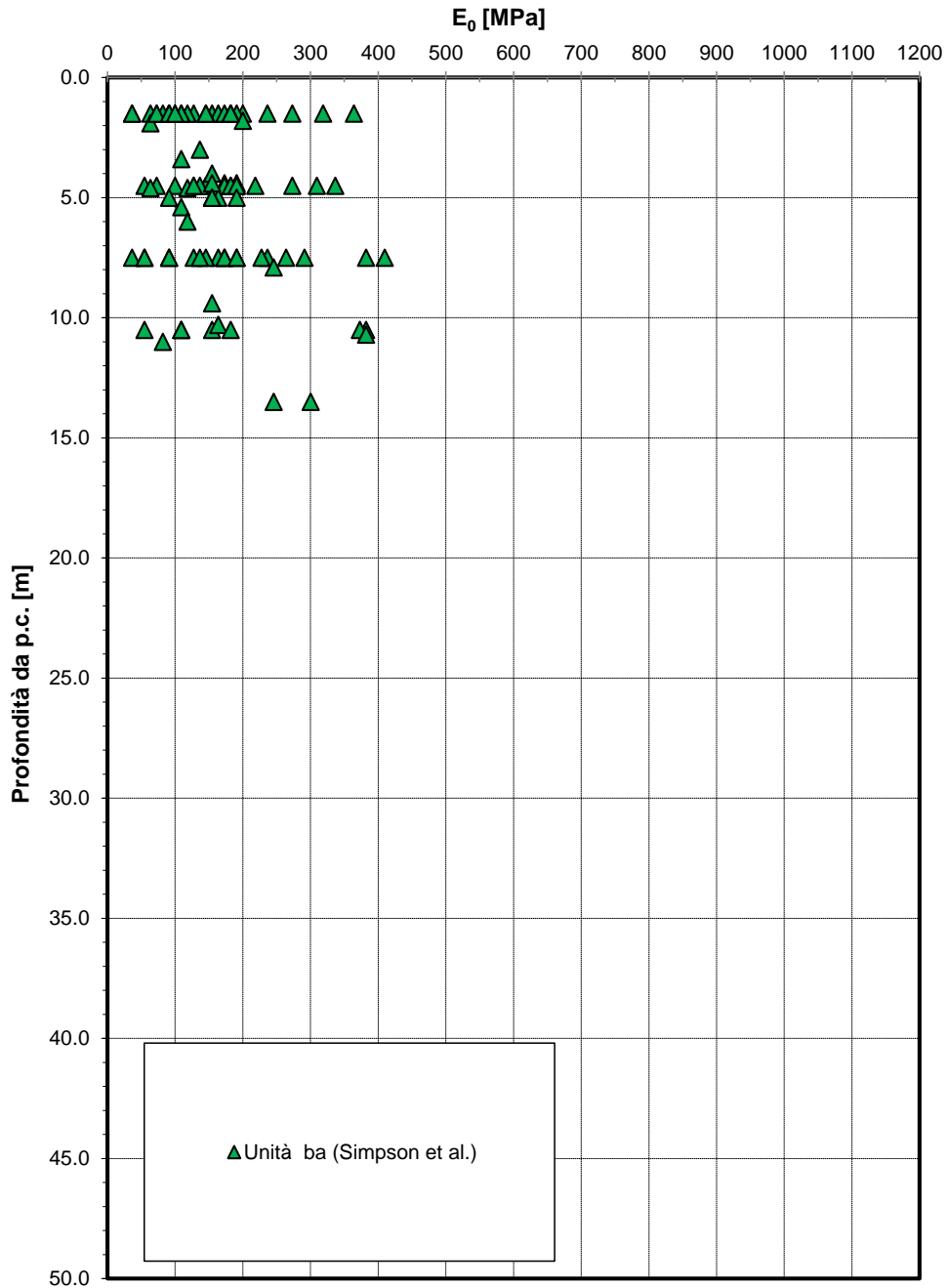


Figura 32 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità ba

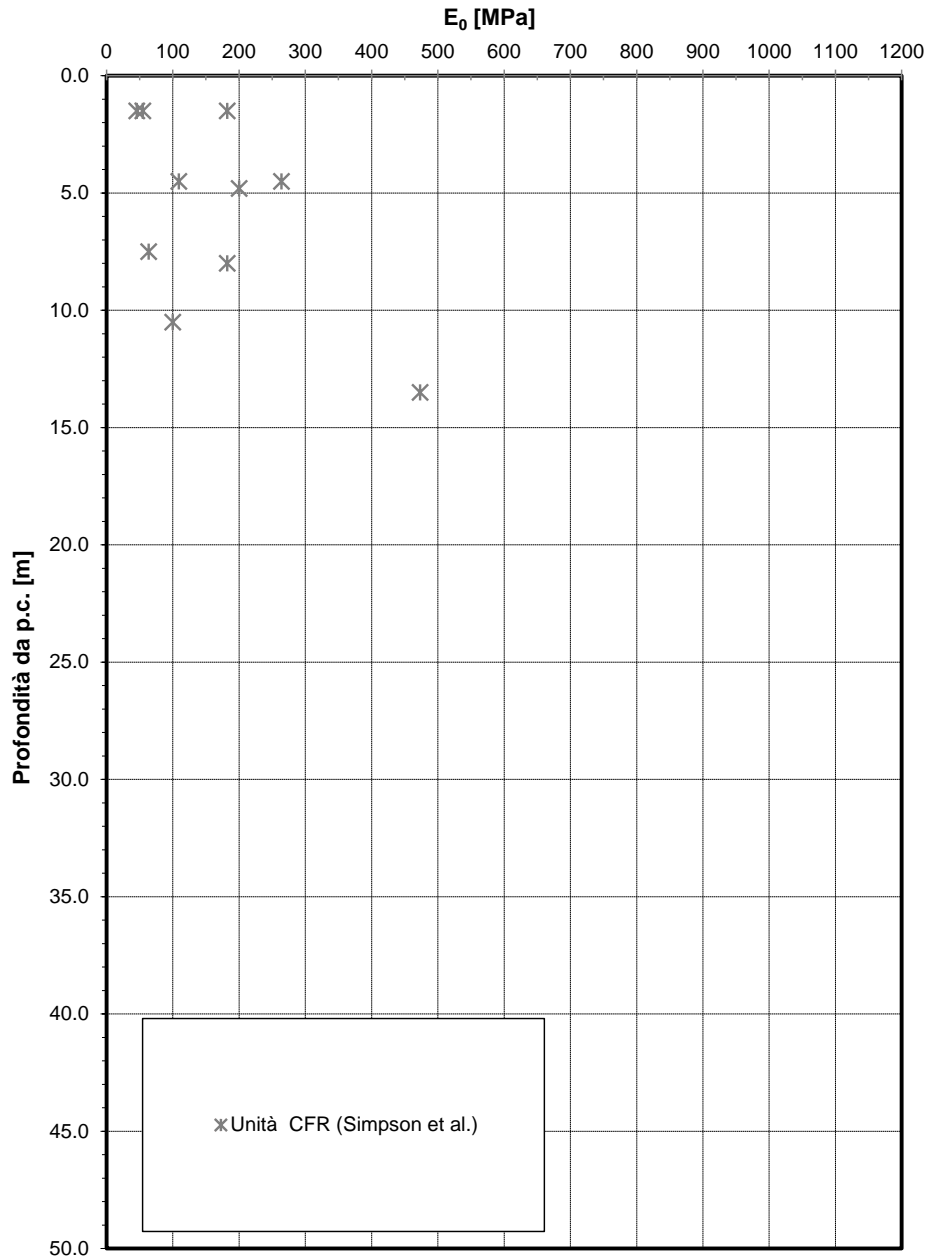


Figura 33 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità CFR

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

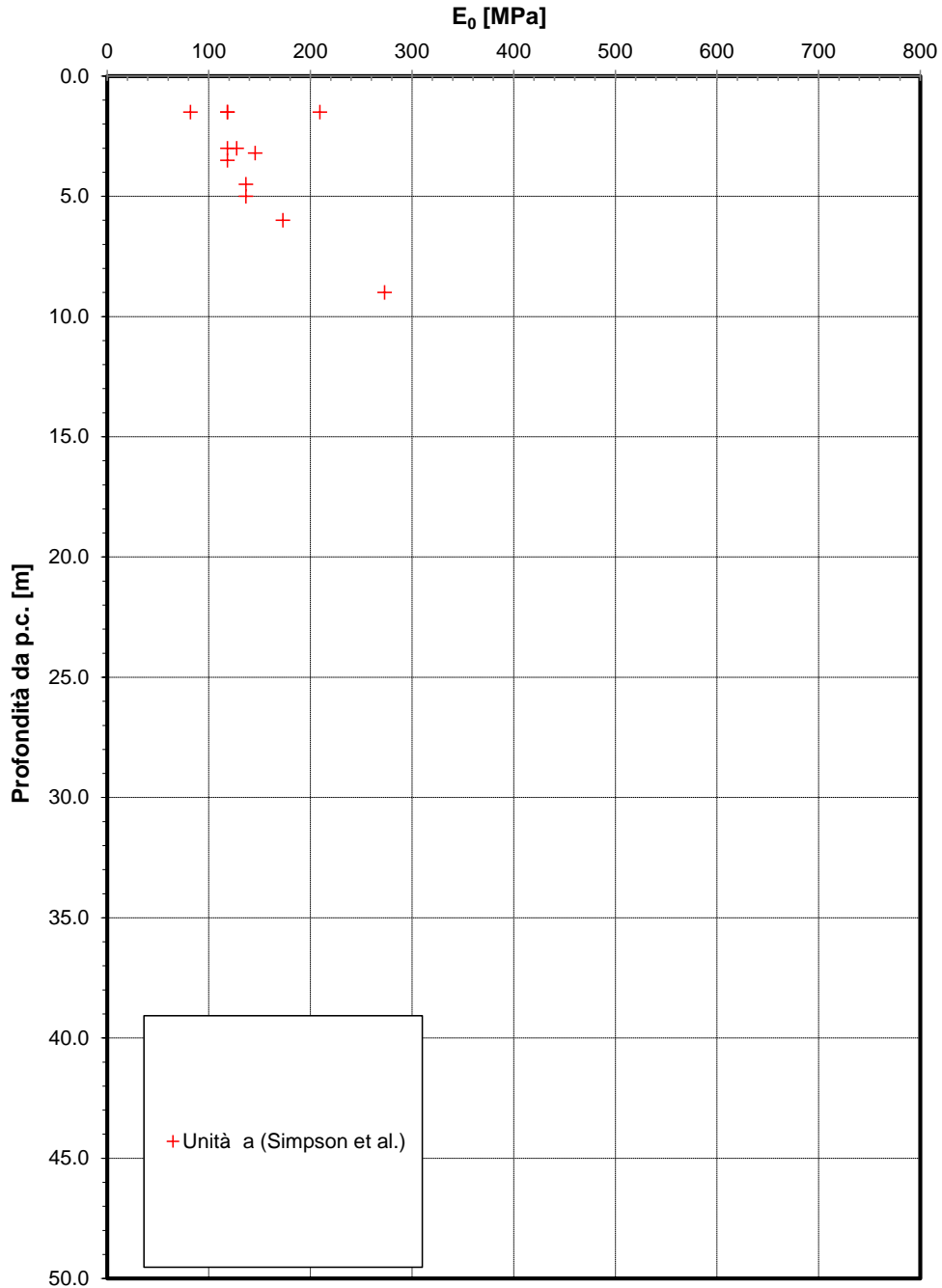


Figura 34 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità a

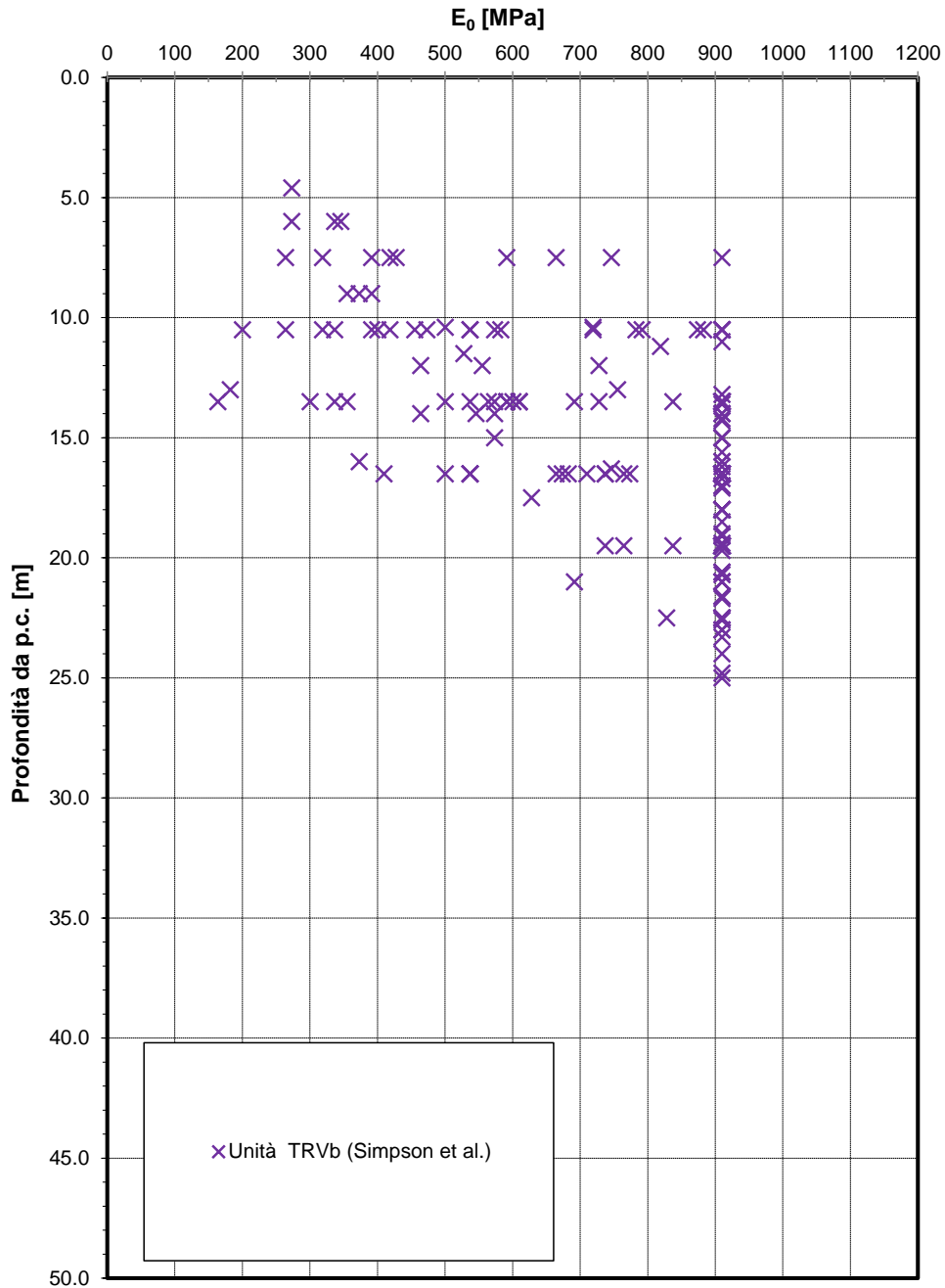


Figura 35 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità TRVb

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	86 di 238

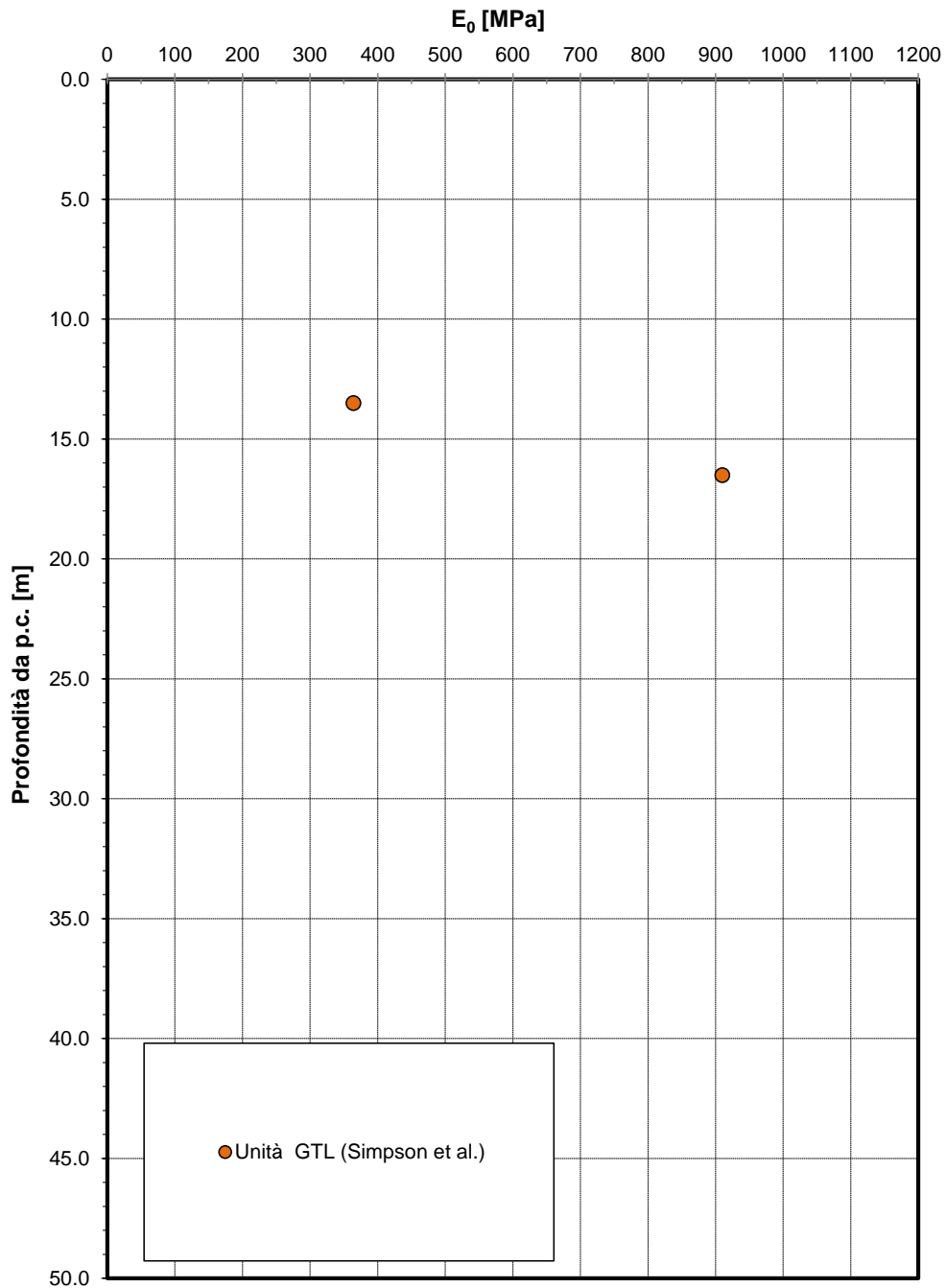


Figura 36 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità GTL

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

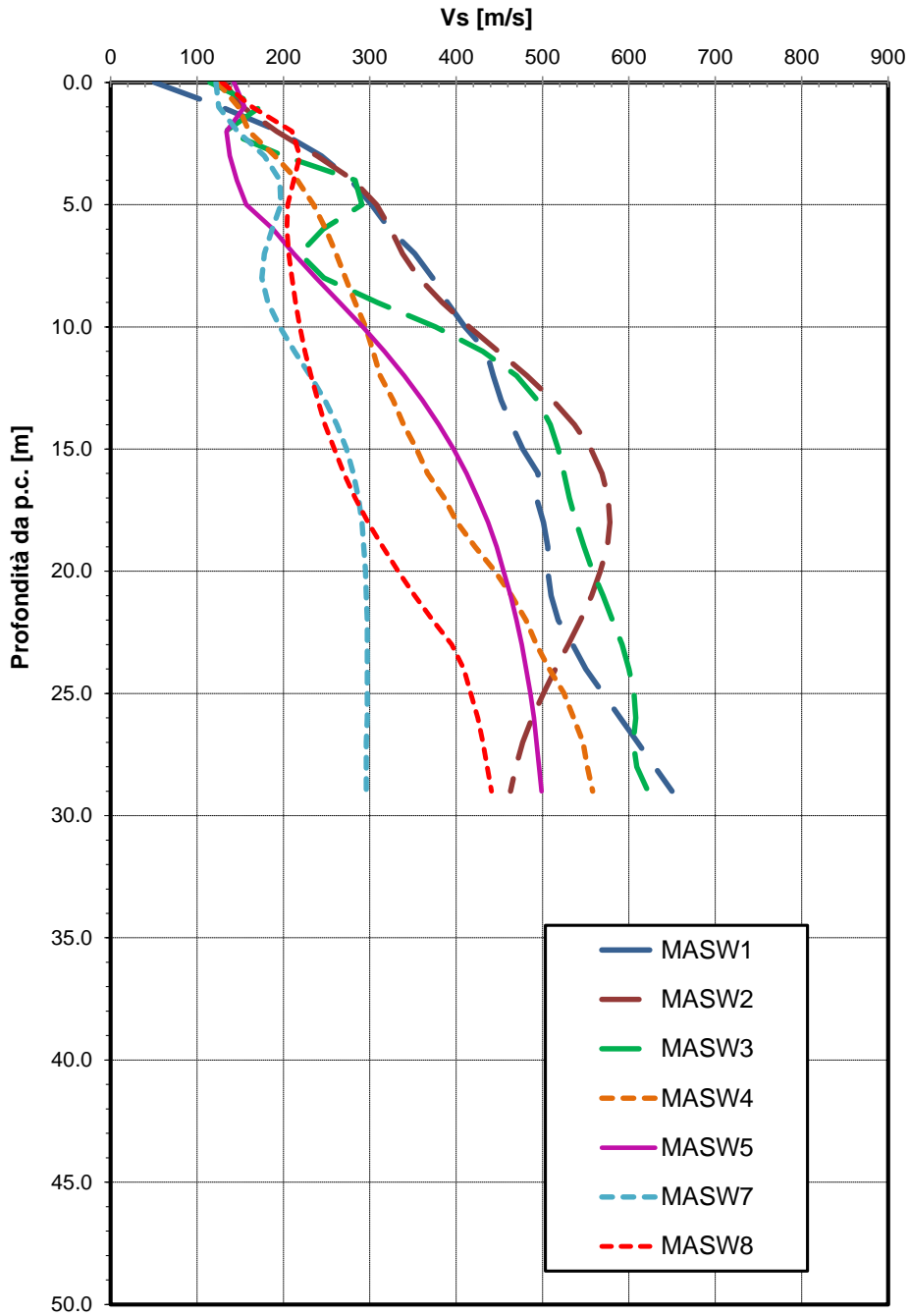


Figura 37 – Velocità delle onde di taglio da prove Masw

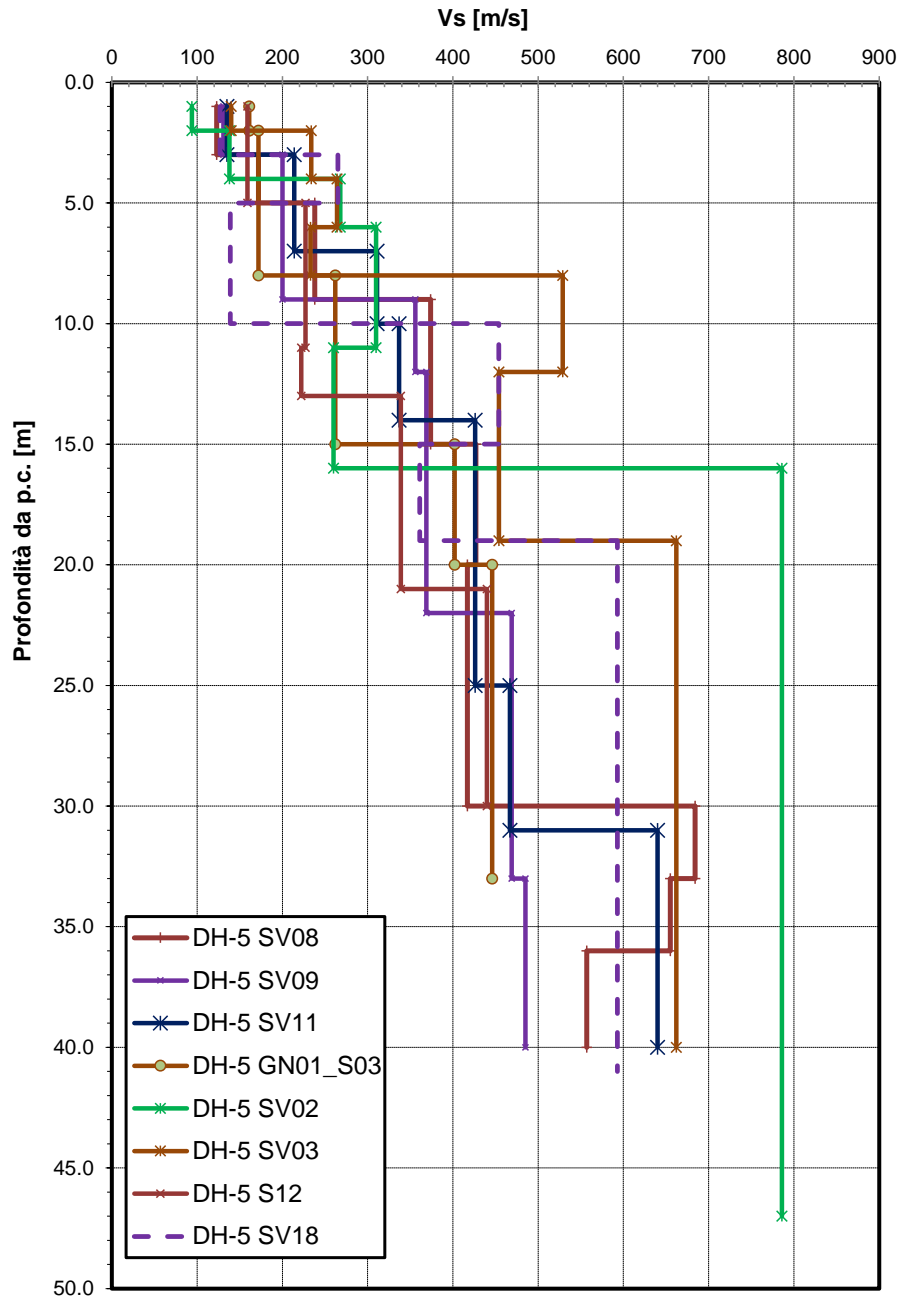


Figura 38 – Velocità delle onde di taglio da prove Down-Hole

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

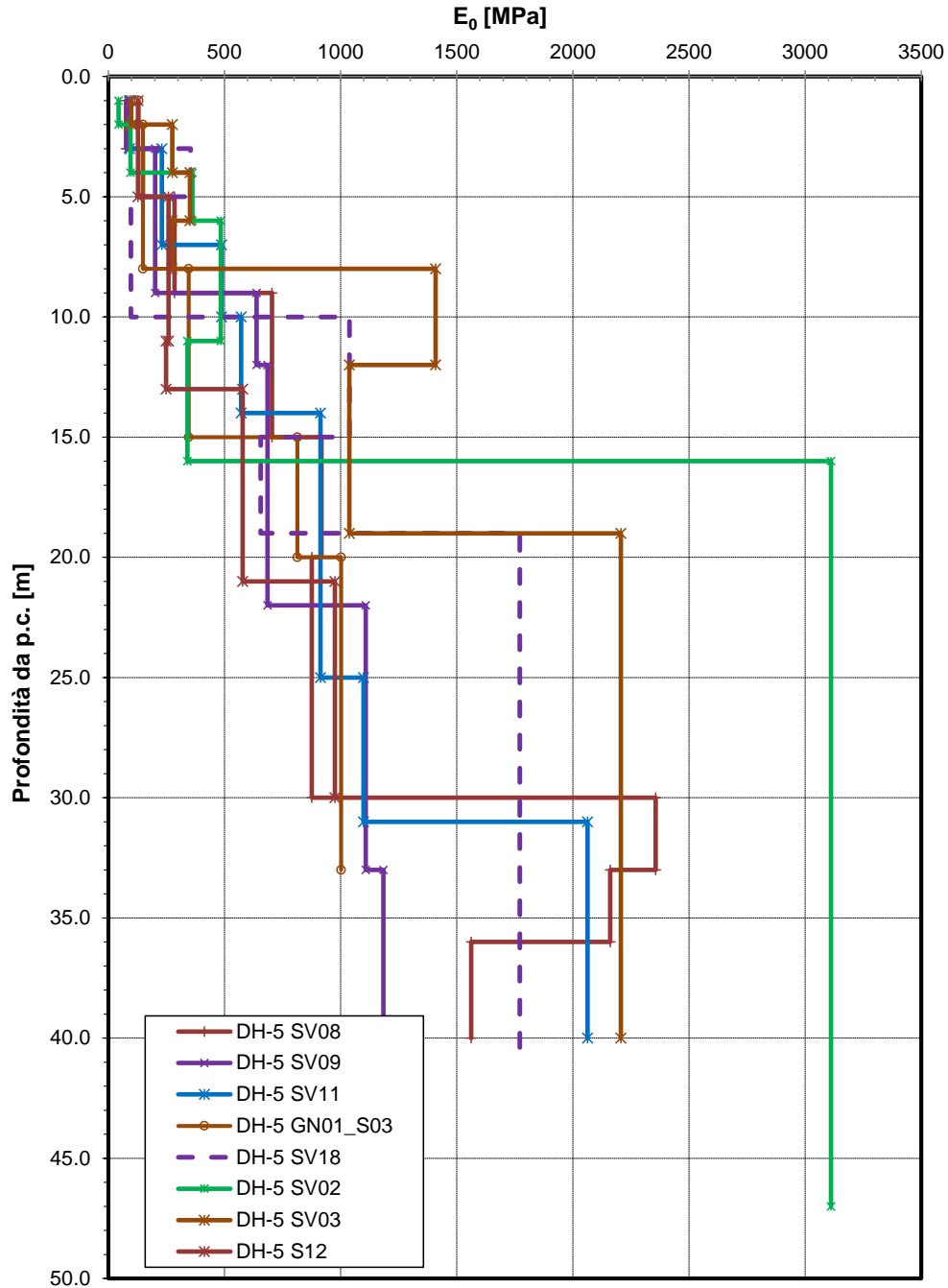


Figura 39 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove Down-Hole

Granulometria unità CFR

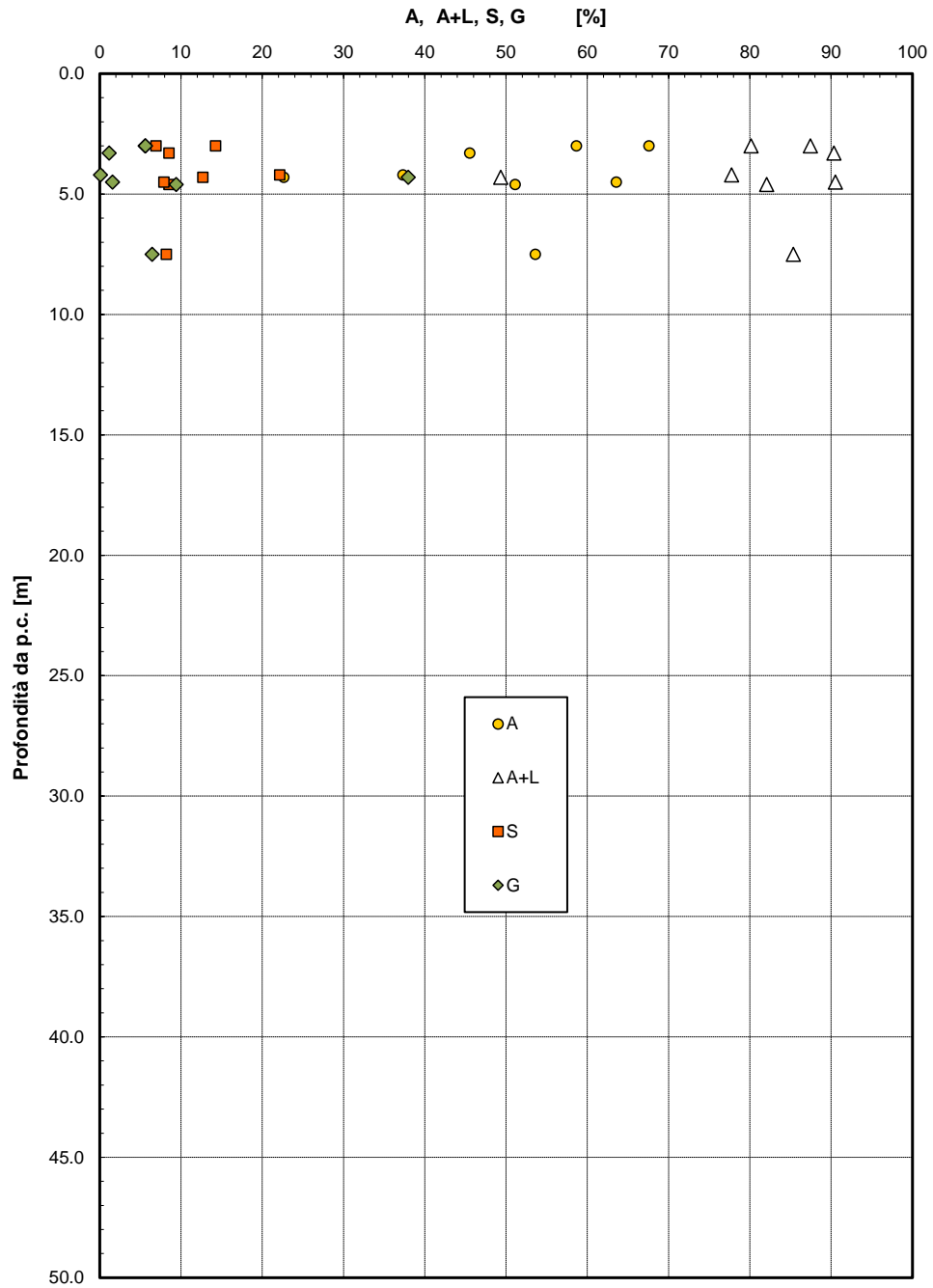


Figura 40 – Granulometria unità CFR

Granulometria unità ba

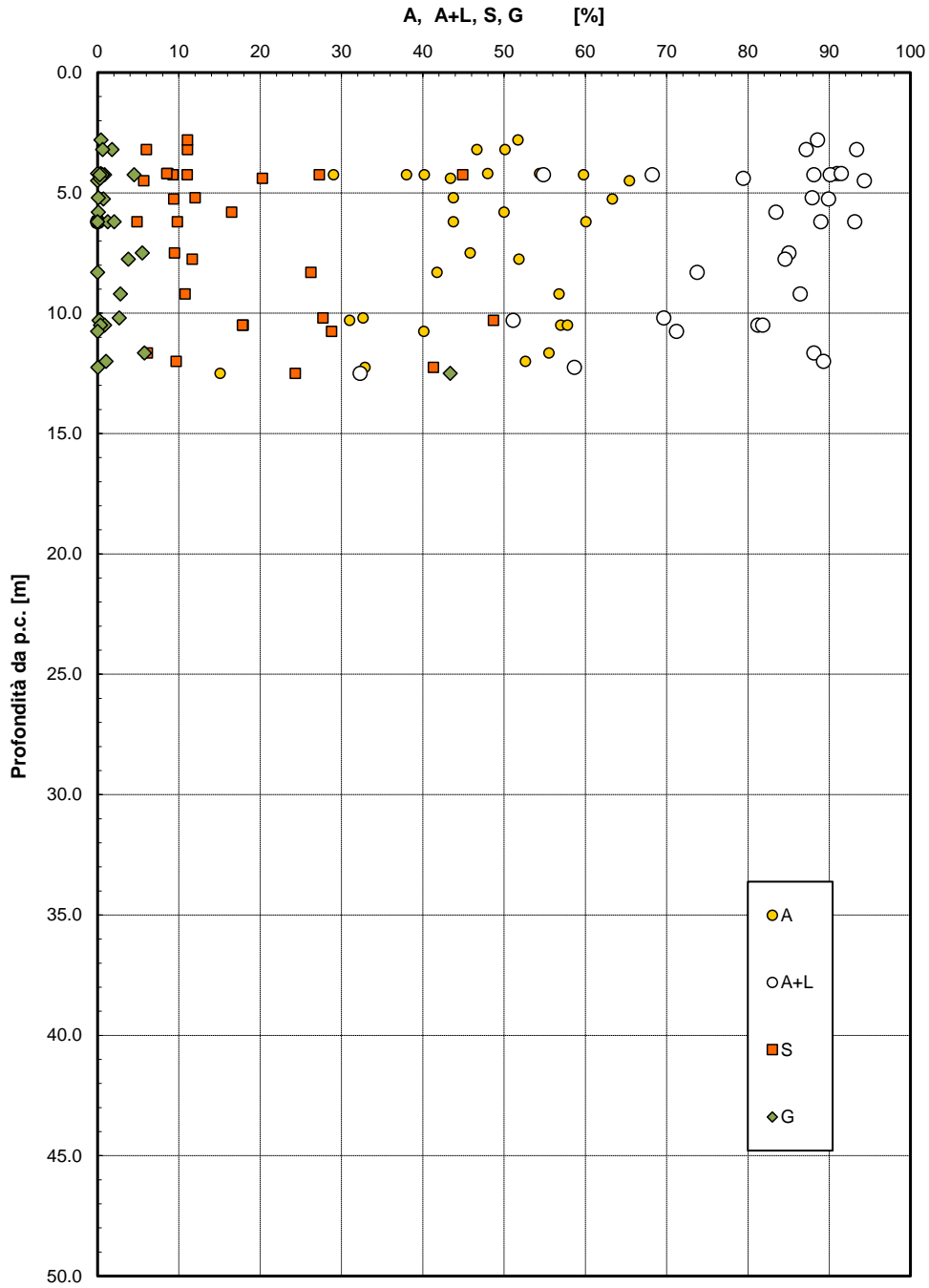


Figura 41 – Granulometria unità ba

Granulometria unità bs

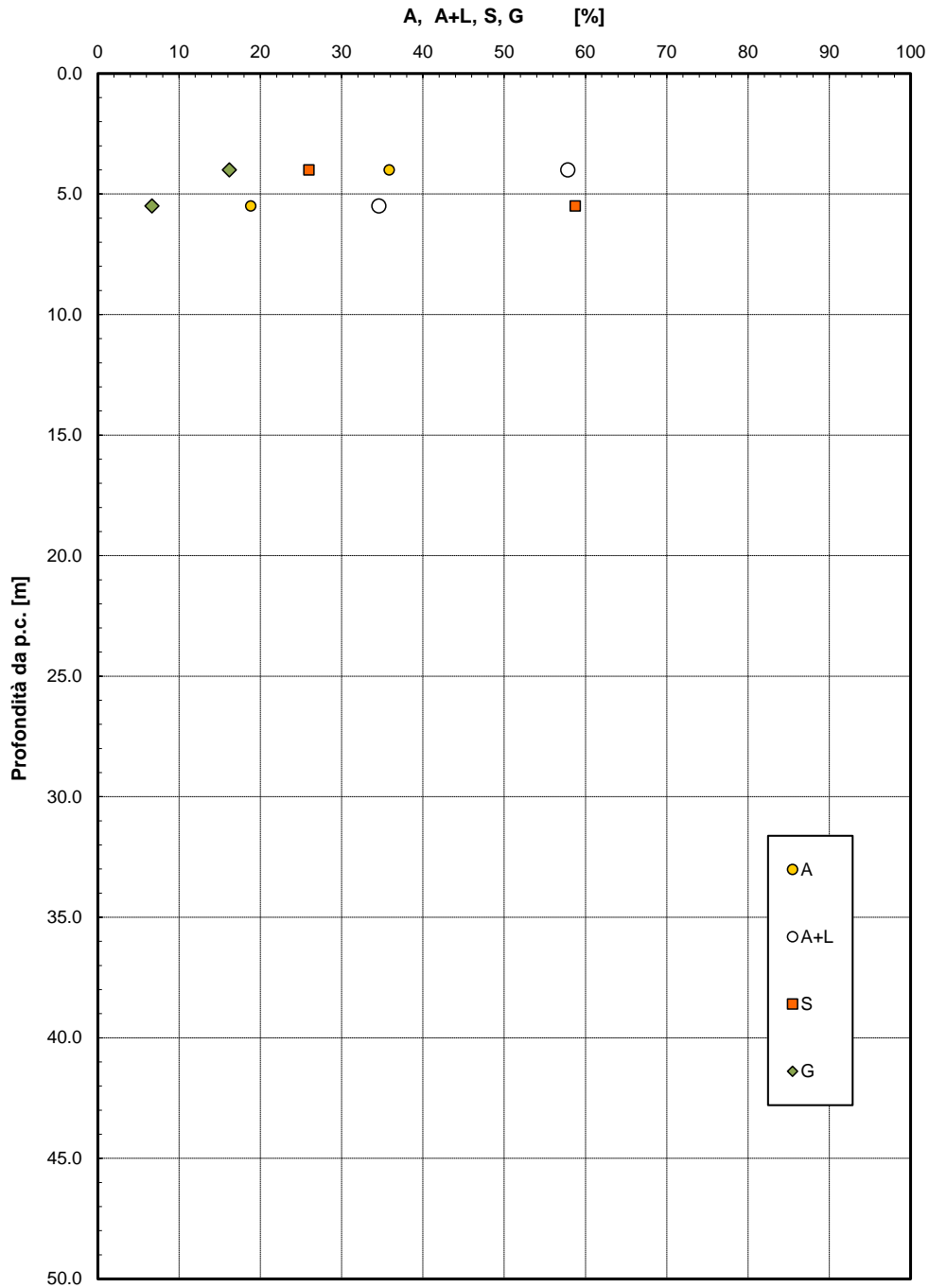


Figura 42 – Granulometria unità bs

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	93 di 238

Granulometria unità bg

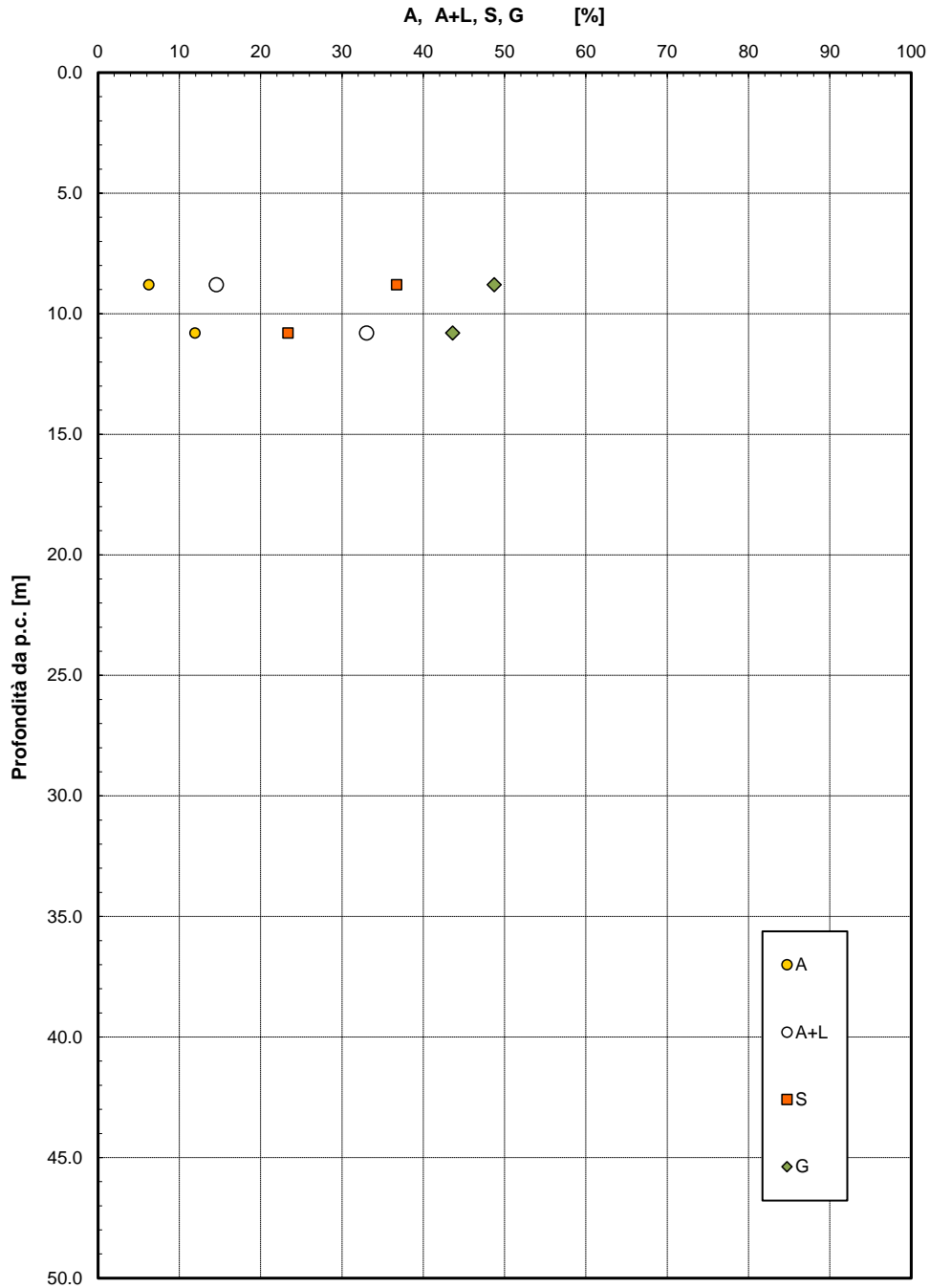


Figura 43 – Granulometria unità bg

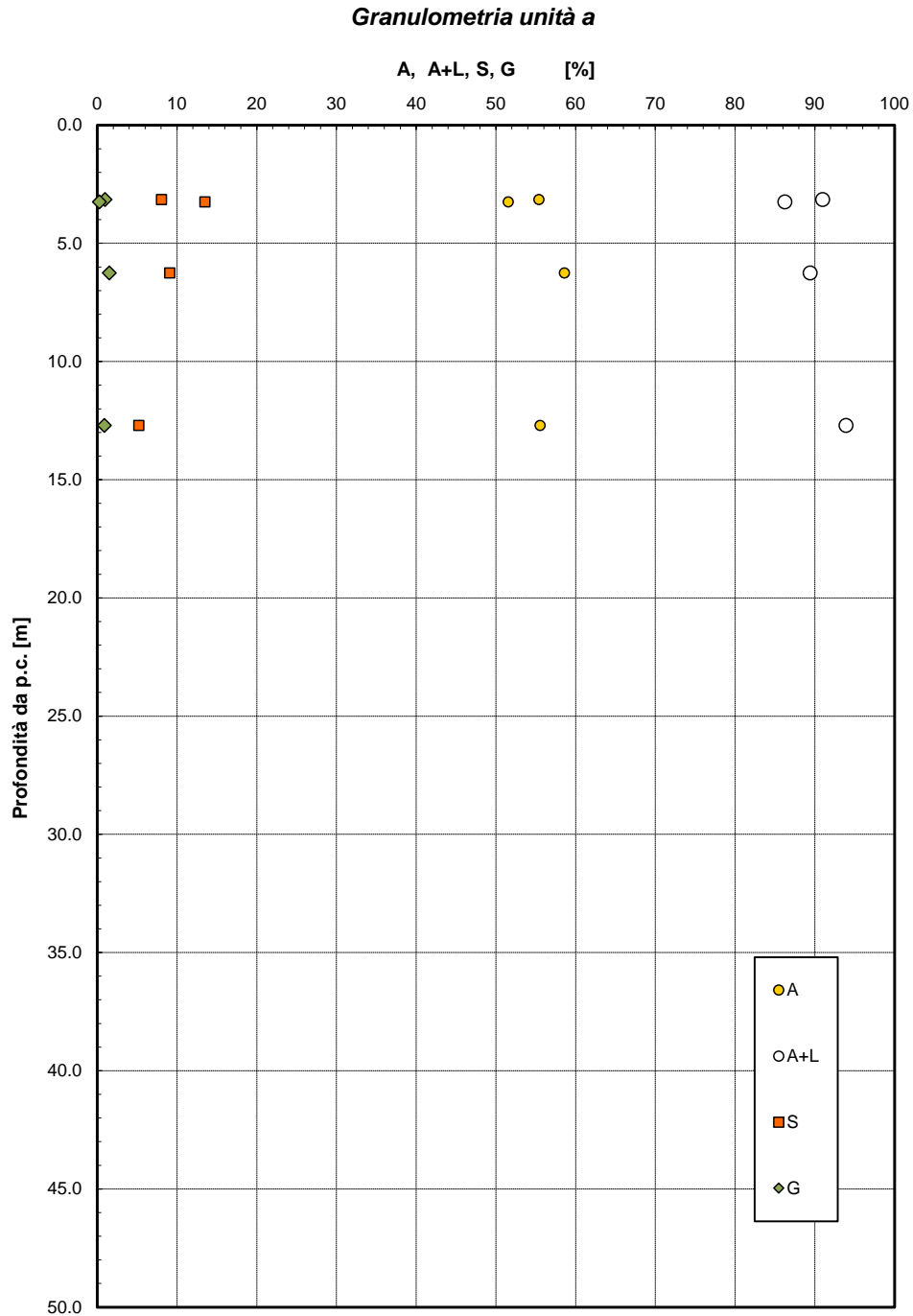


Figura 44 – Granulometria unità a



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	95 di 238

Granulometria unità GTL

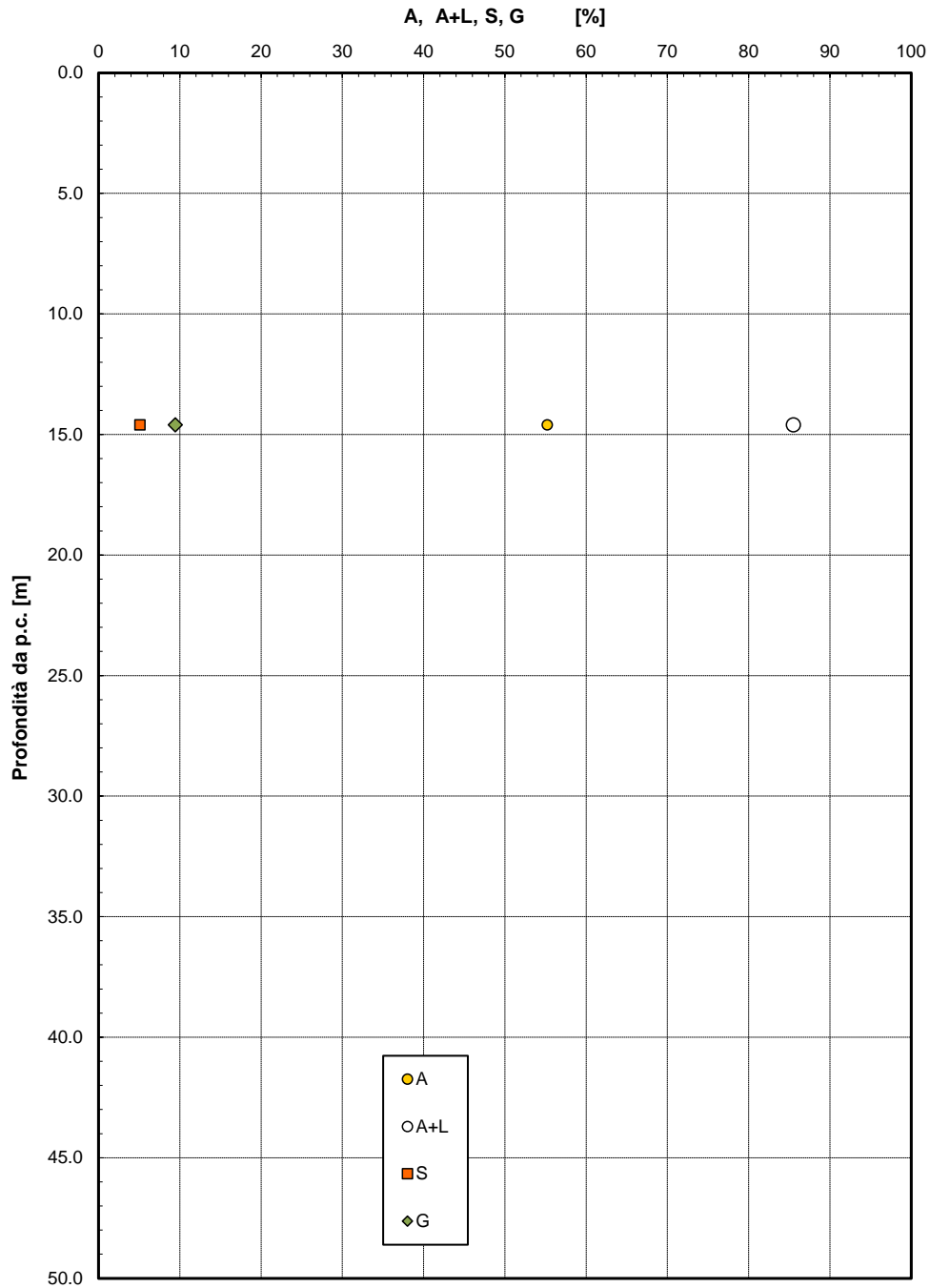


Figura 45 – Granulometria unità GTL

Granulometria unità TRV

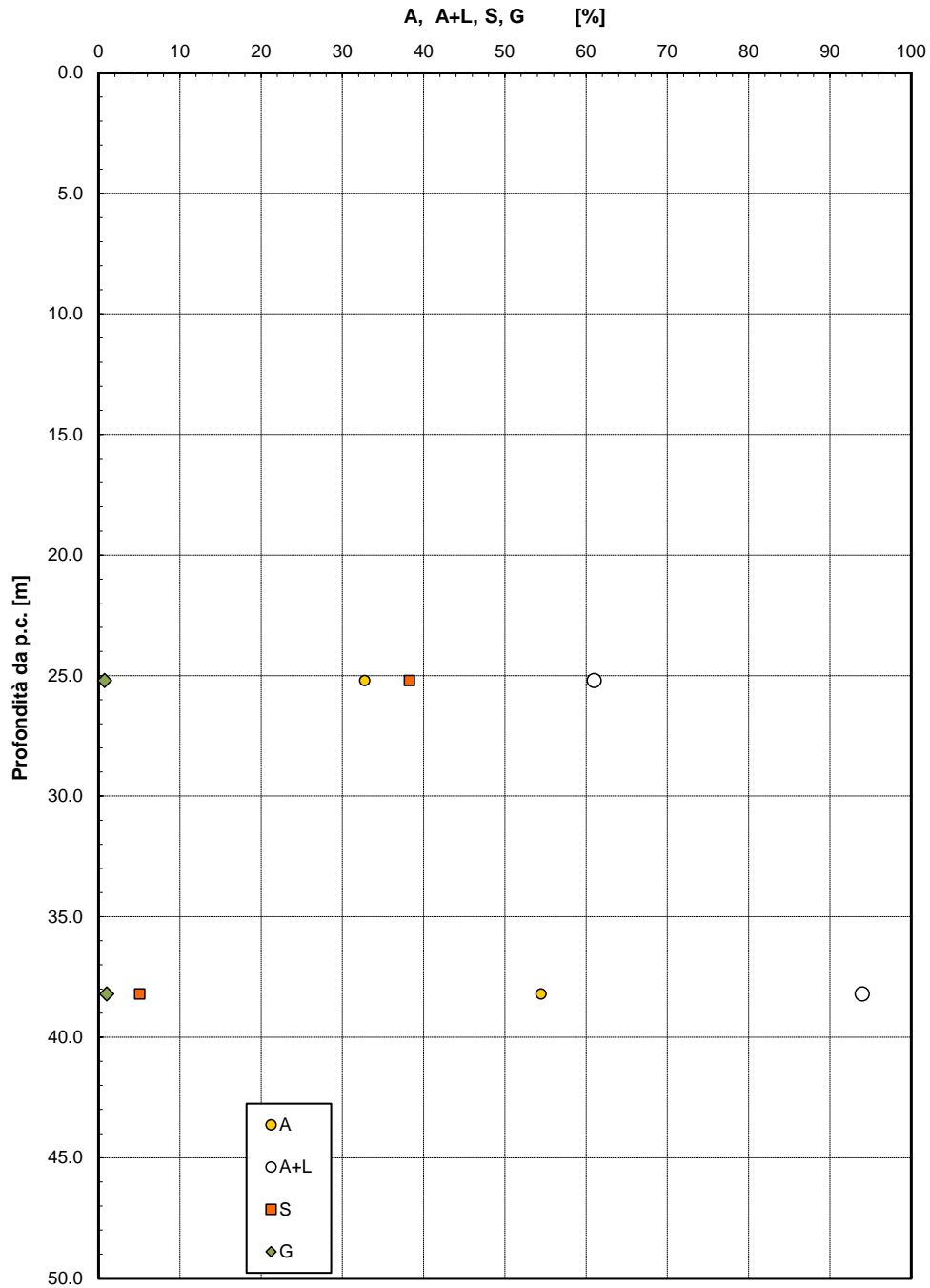


Figura 46 – Granulometria unità TRV

Granulometria unità TRVb

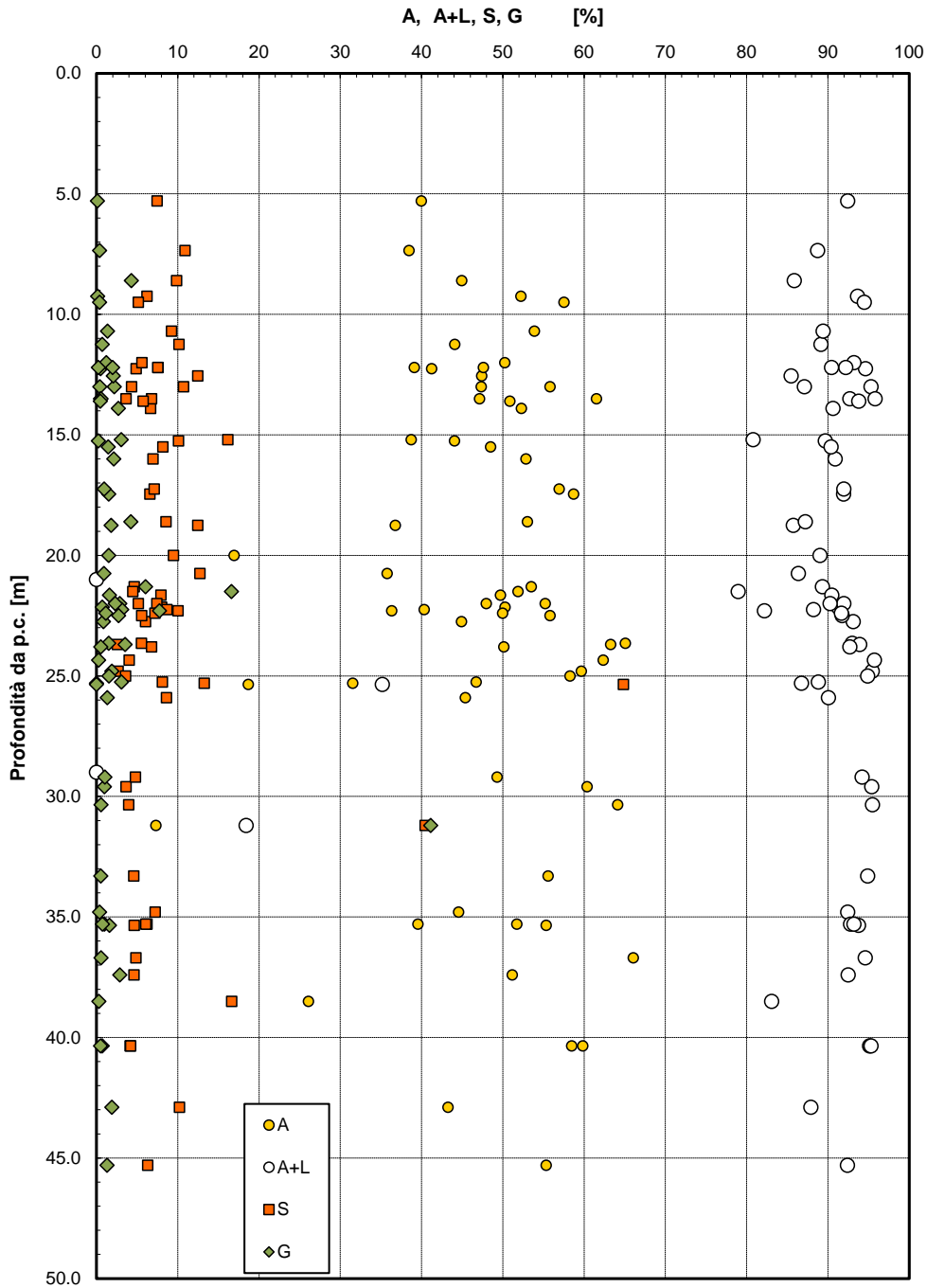


Figura 47 – Granulometria unità TRVb

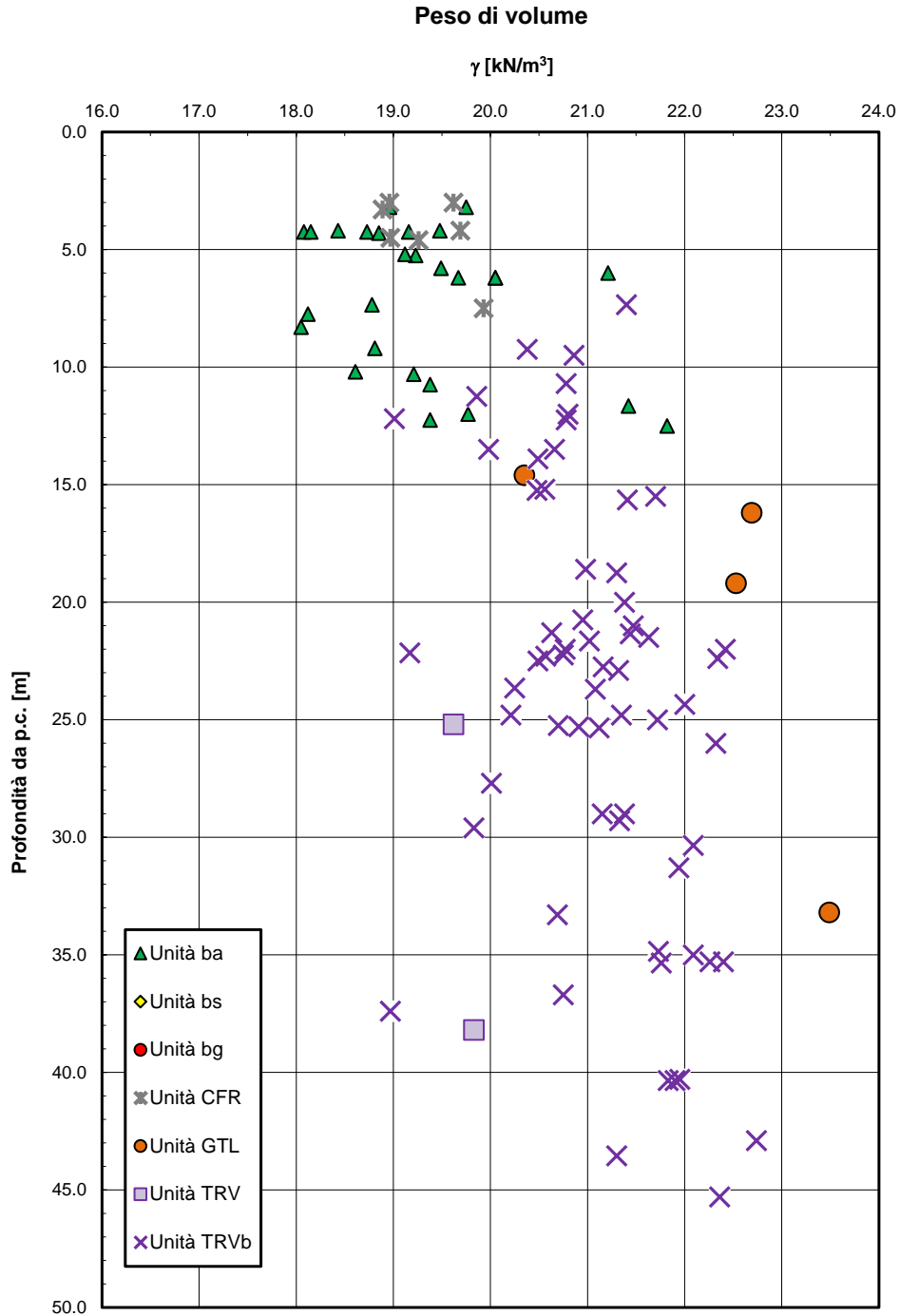


Figura 48 – Peso di volume naturale

Andamento dell'indice plastico

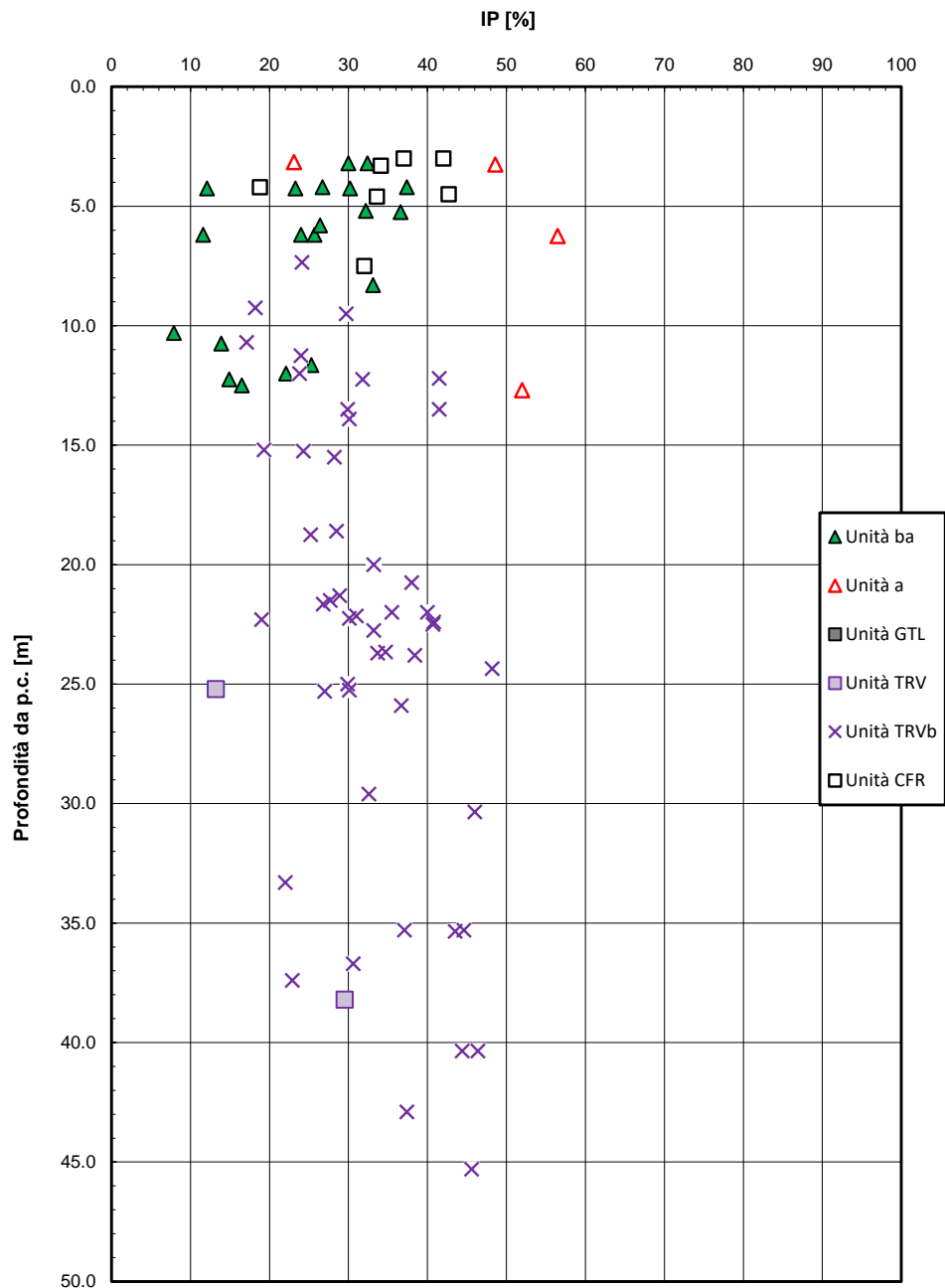


Figura 49 – Andamento indice plastico I_p

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	100 di 238

Carta di Plasticità di Casagrande

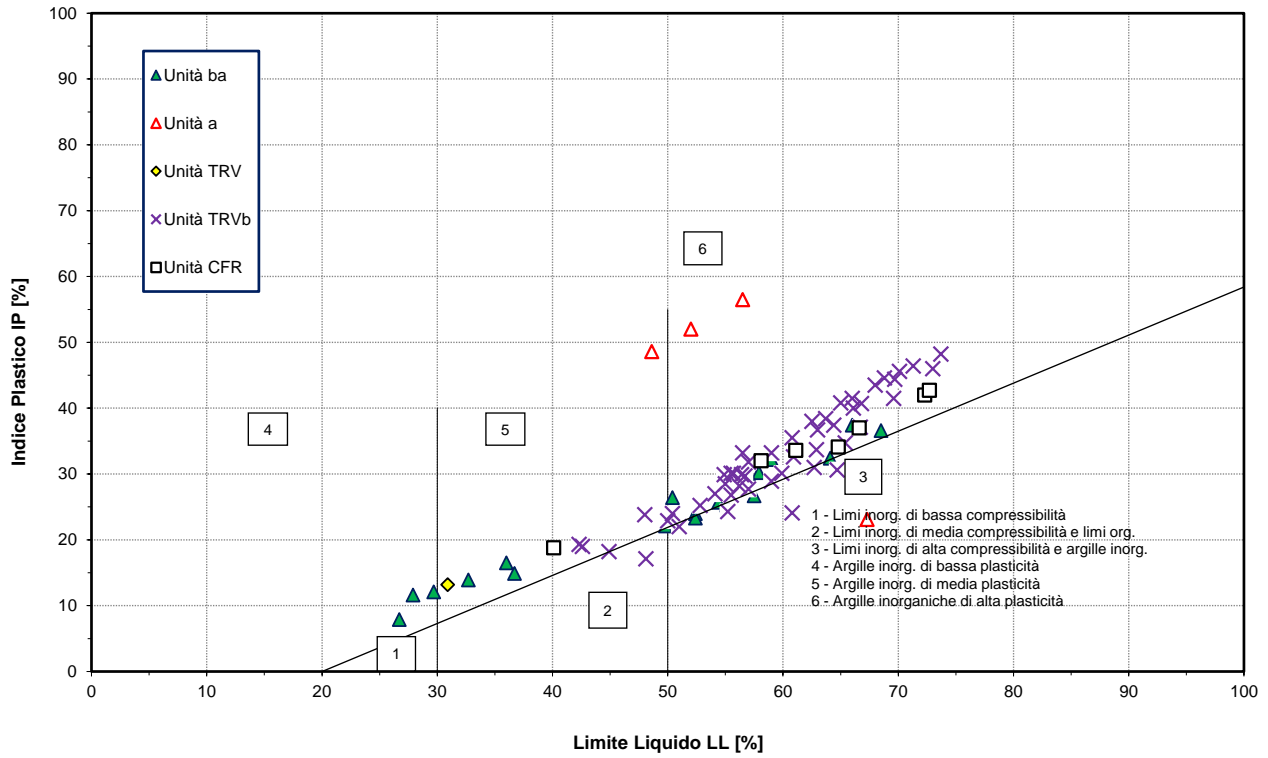


Figura 50 – Carta di plasticità di Casagrande

Limiti di Atterberg

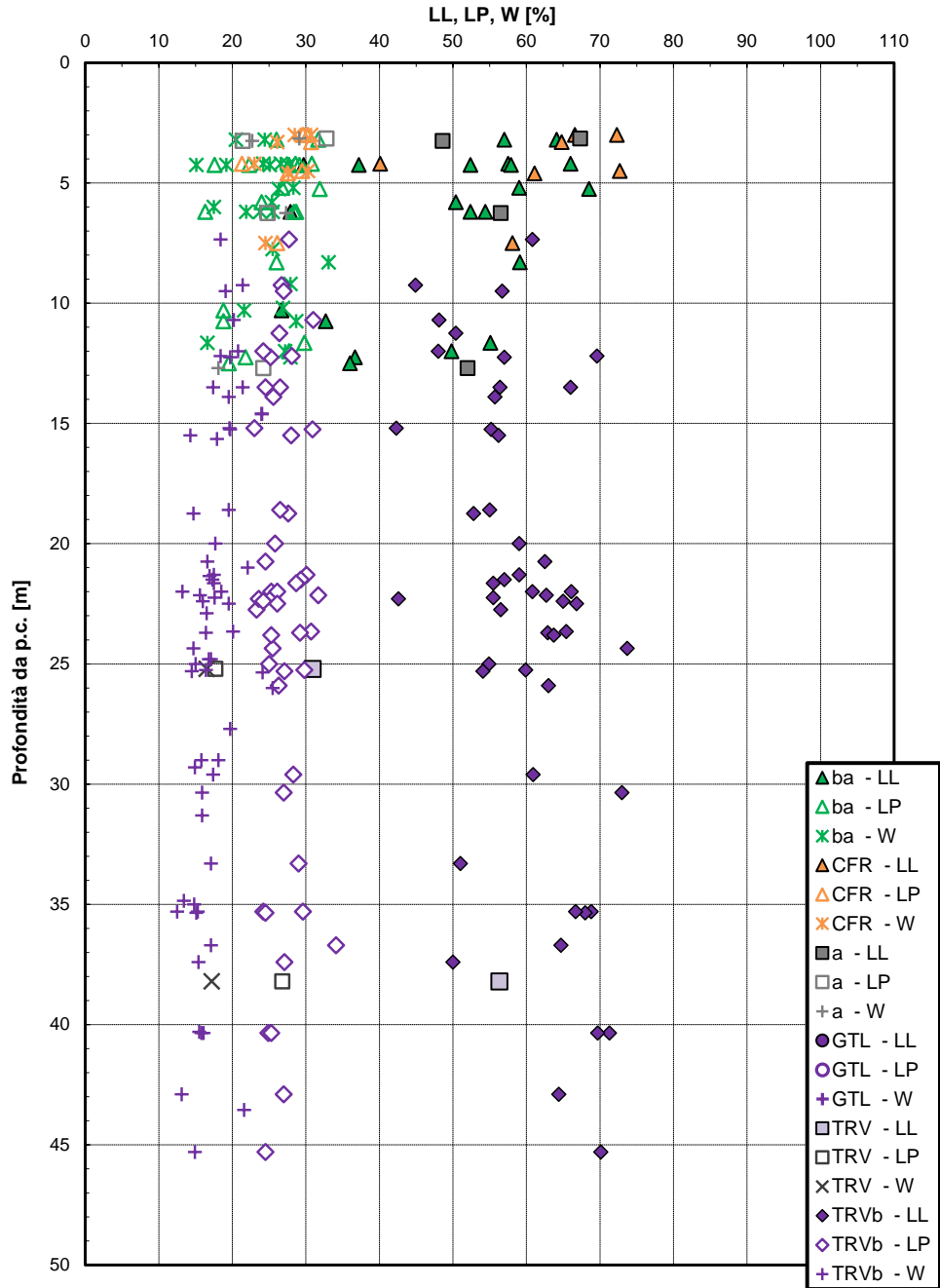


Figura 51 – Limiti di Atterberg

Andamento del grado di sovraconsolidazione

OCR [-]

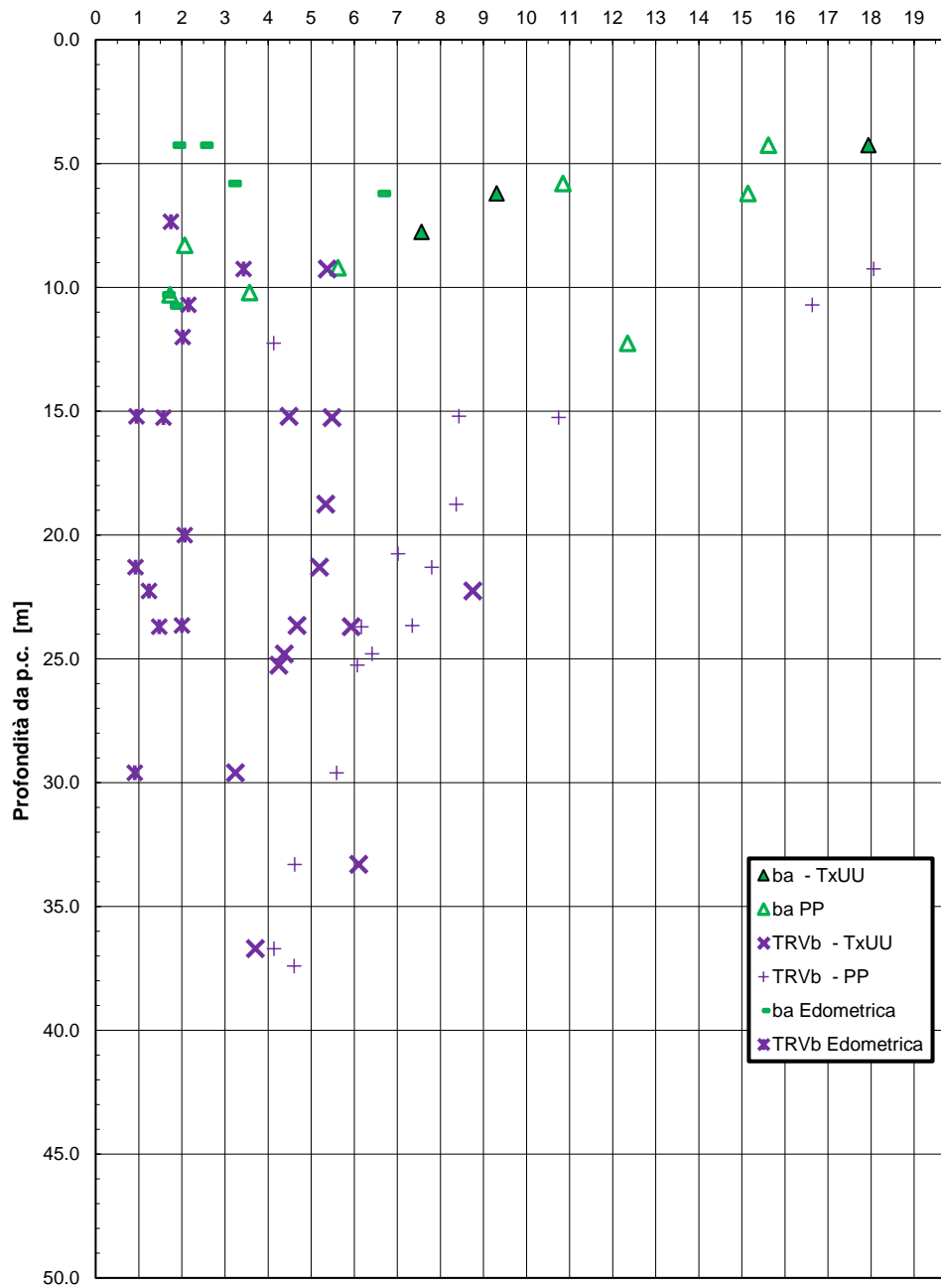


Figura 52 – Grado di sovraconsolidazione OCR

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	103 di 238

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

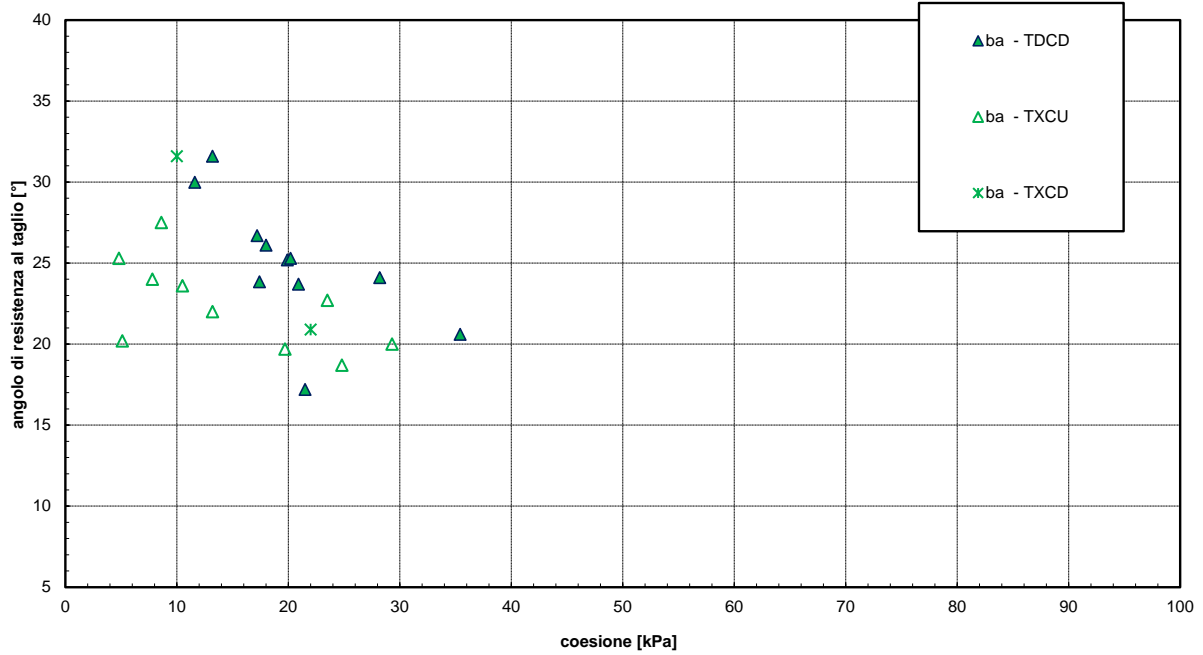


Figura 53 – Parametri di resistenza drenati – Unità ba

Parametri di resistenza al taglio - Unità ba

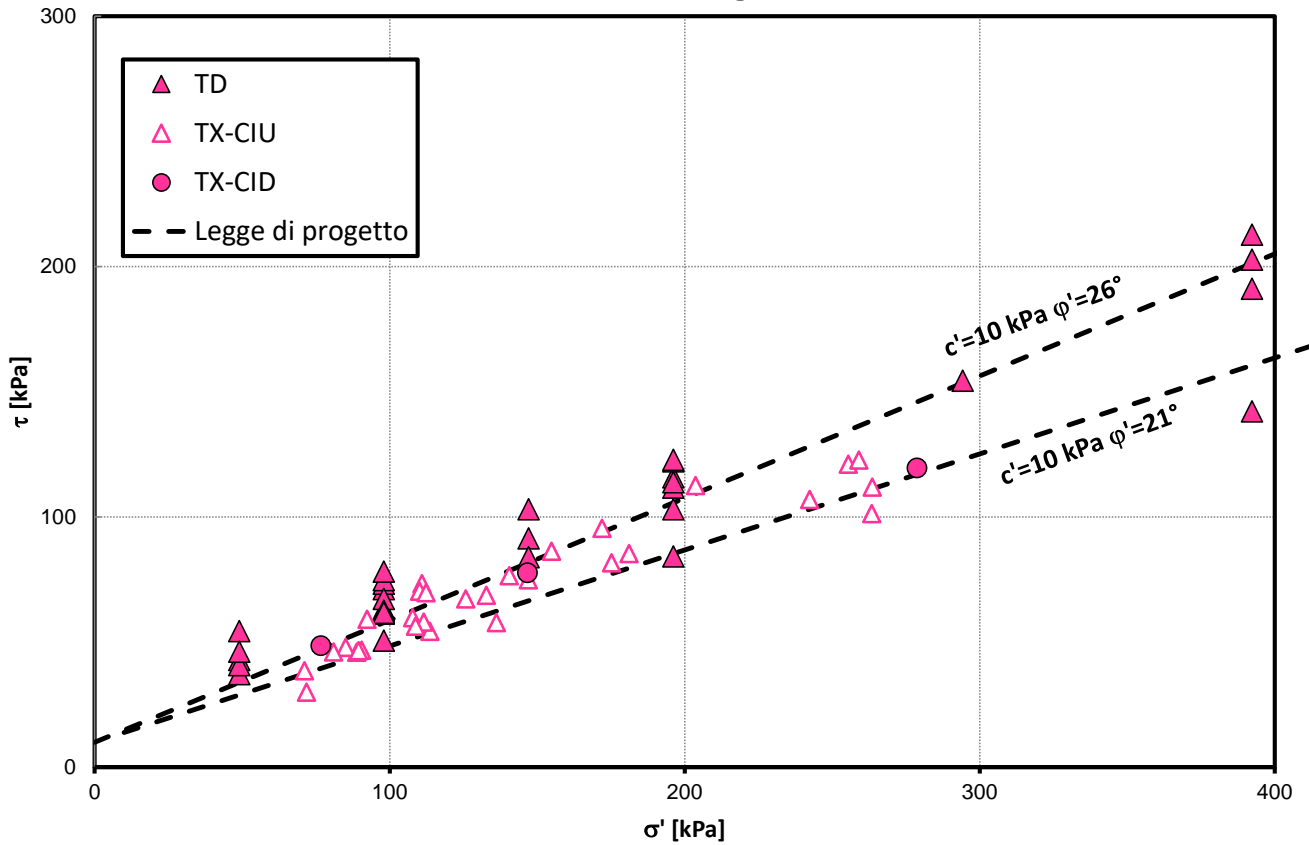


Figura 54 – Parametri di resistenza drenati – Unità ba (intervallo valori di progetto)

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

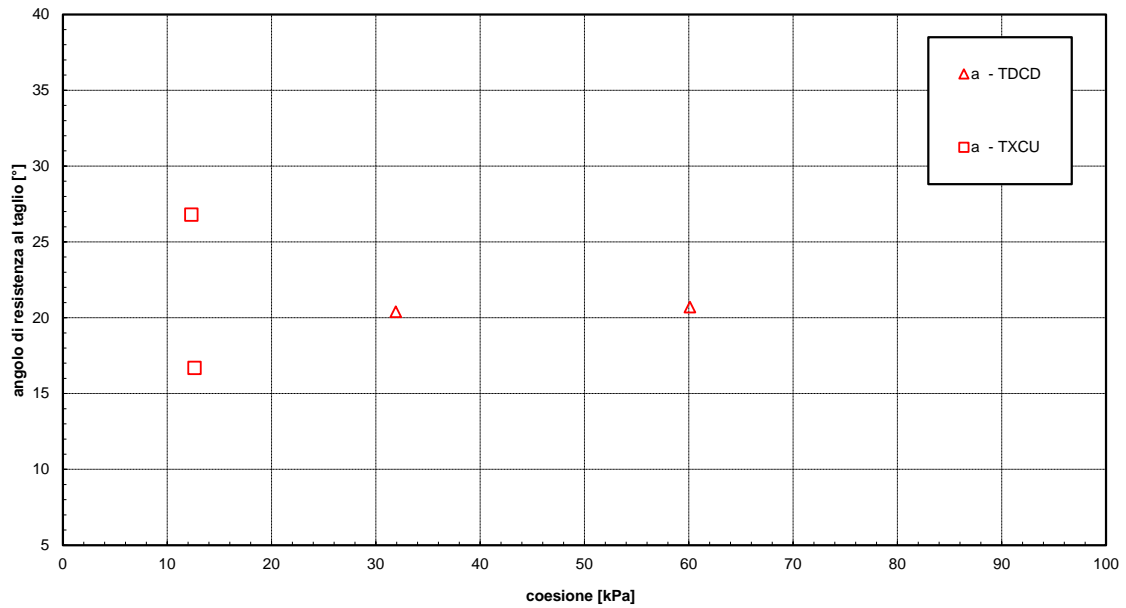


Figura 55 – Parametri di resistenza drenati – Unità a

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

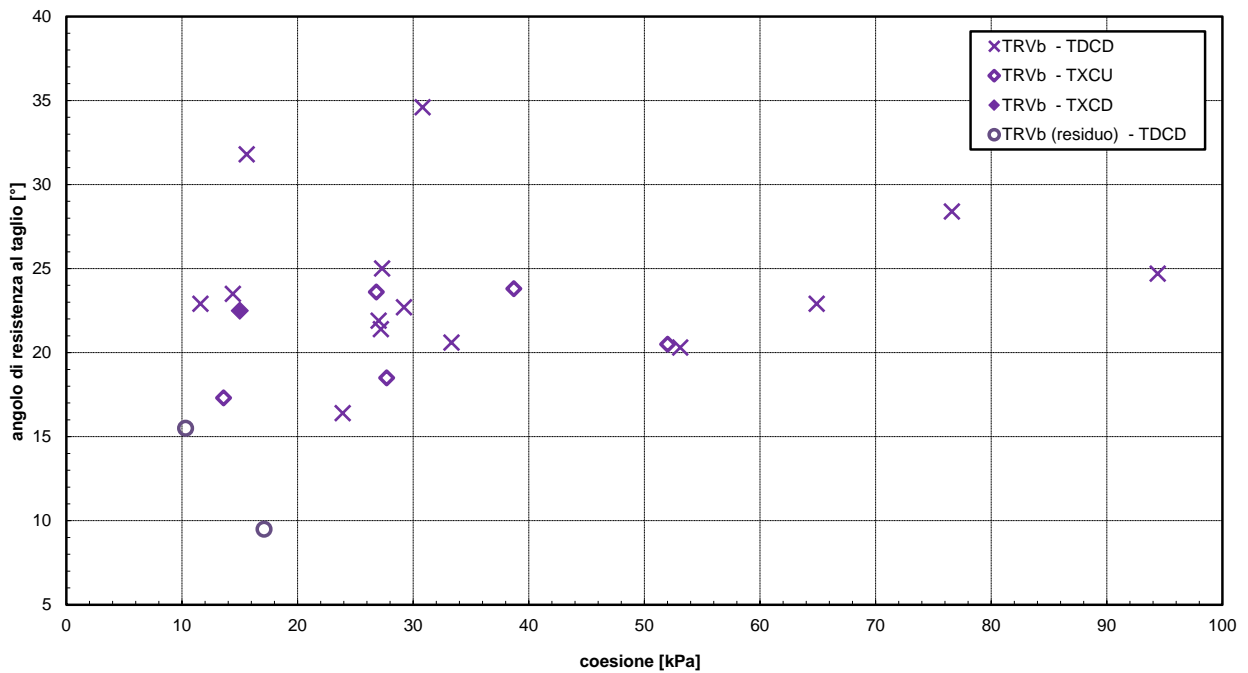


Figura 56 – Parametri di resistenza drenati – Unità TRVb

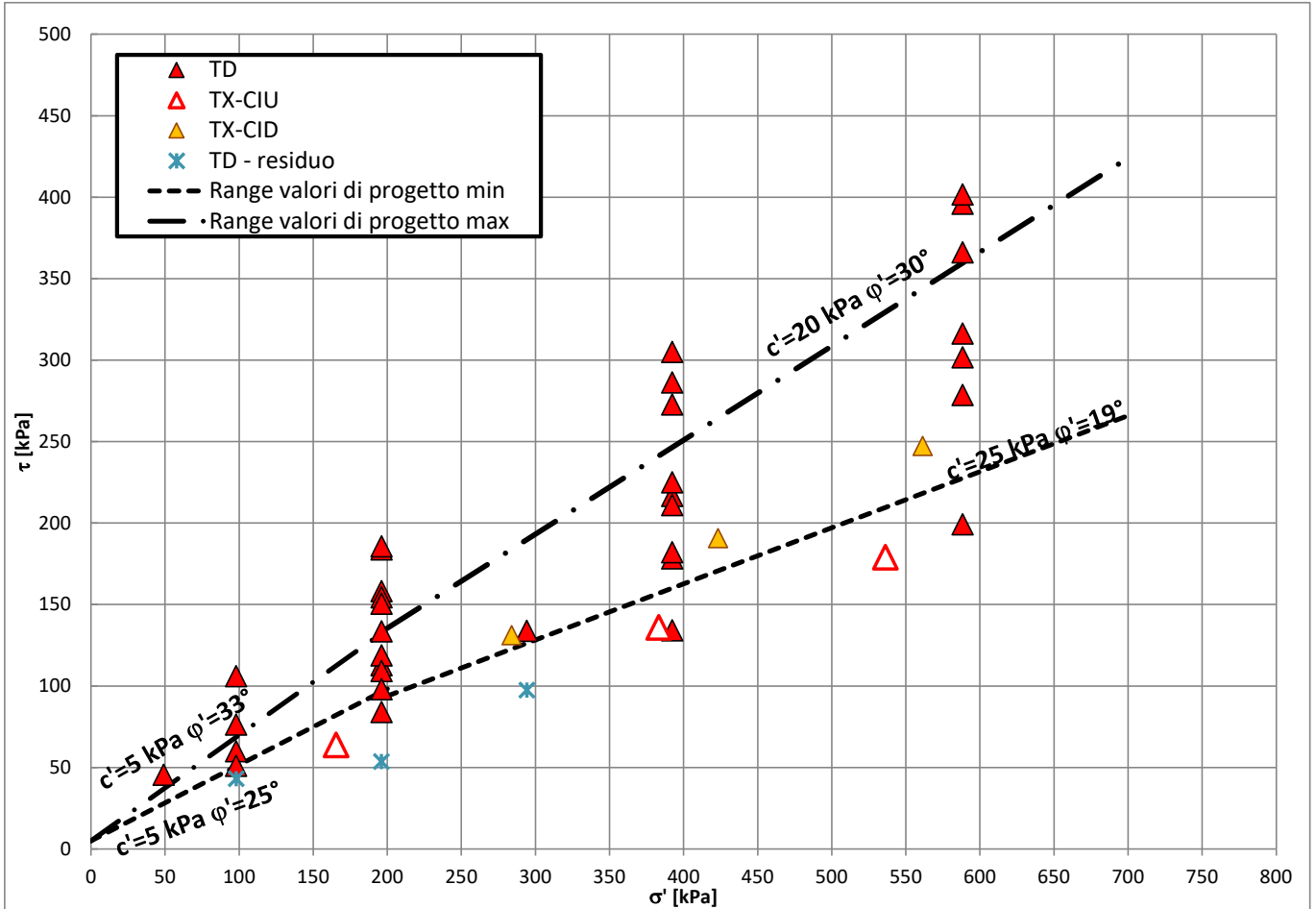


Figura 57 – Parametri di resistenza drenati – Unità TRVb (intervallo valori di progetto)

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

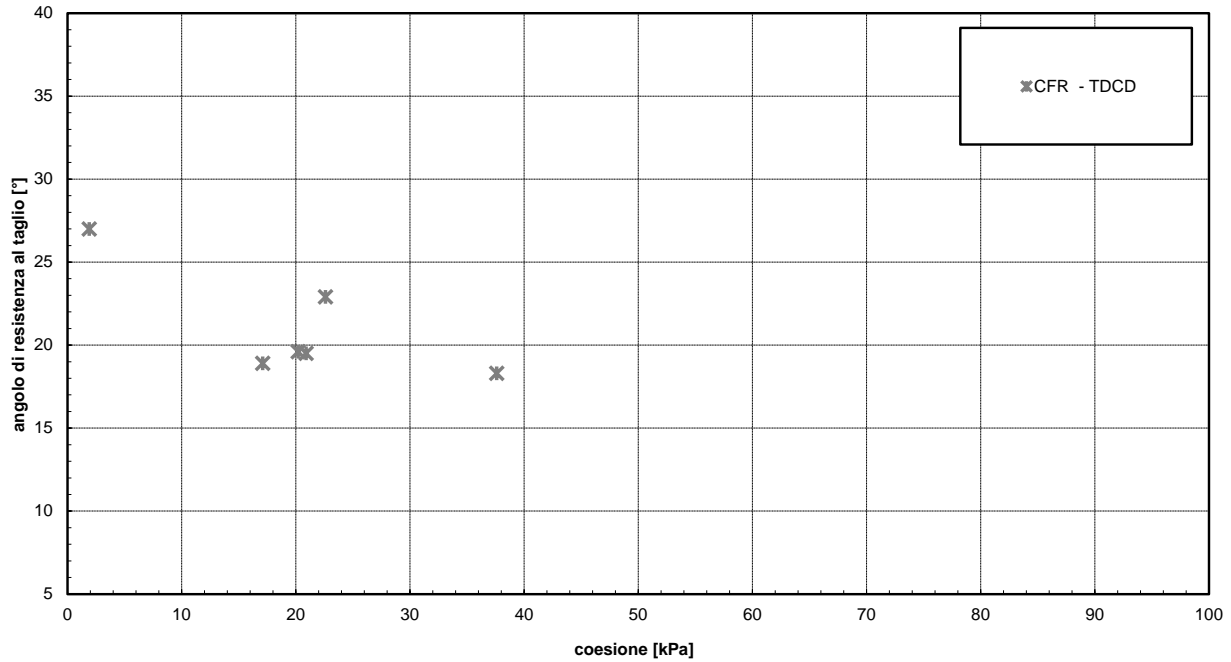


Figura 58 – Parametri di resistenza drenati – Unità CFR

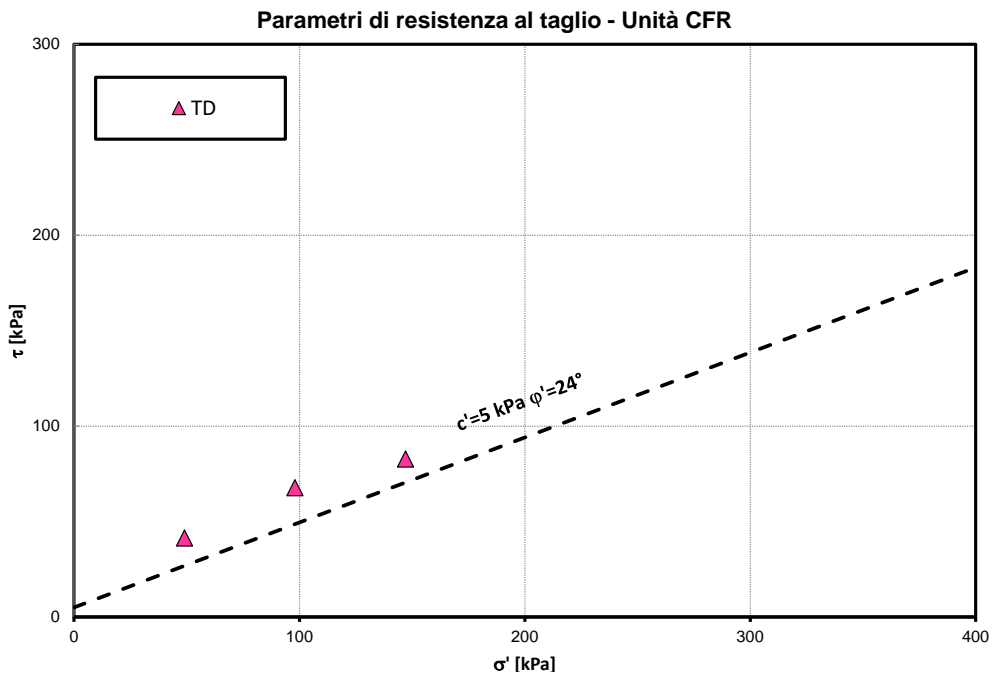


Figura 59 – Parametri di resistenza drenati – Unità CFR (unico sondaggio in asse tracciato 5_S6vi)

Angolo di resistenza al taglio e indice di plasticità (Jamiolkowski et al., 1979)

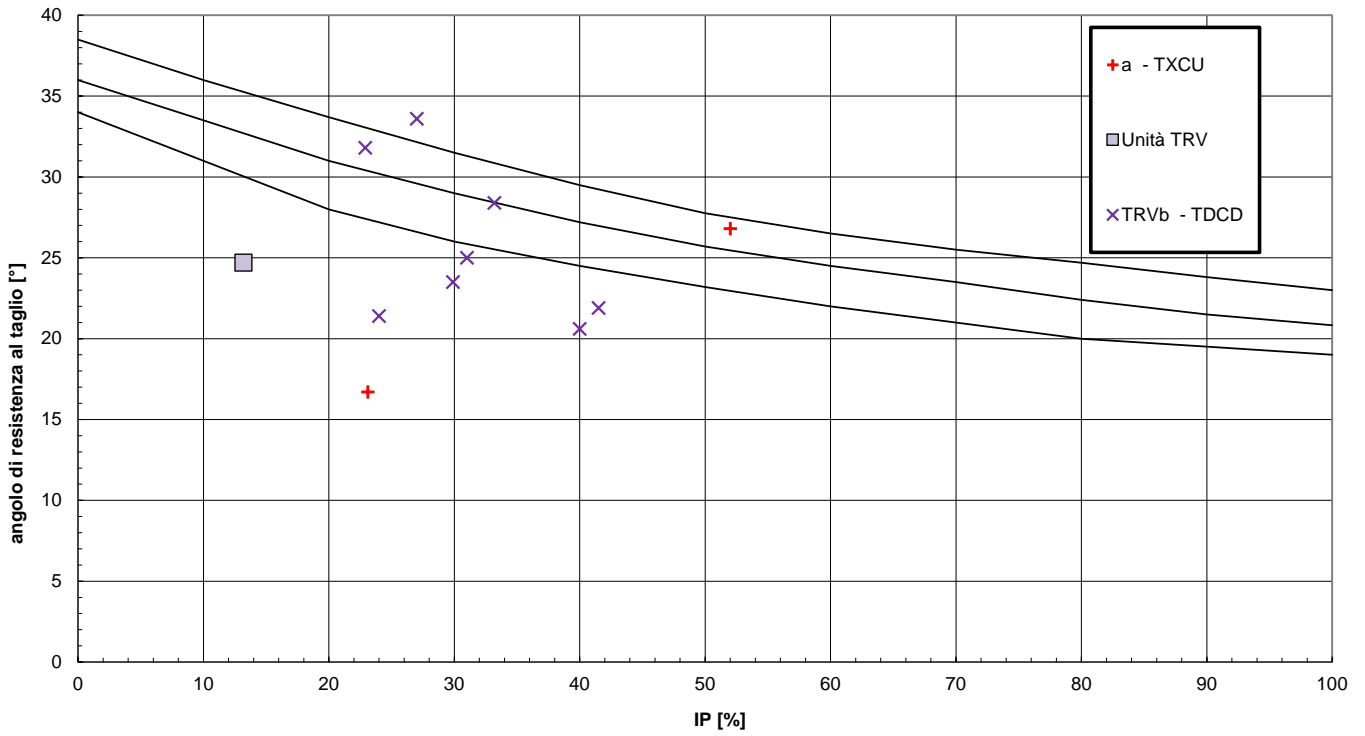


Figura 60 – An golo di resistenza al taglio e indice di plasticità

Andamento della resistenza al taglio non drenata

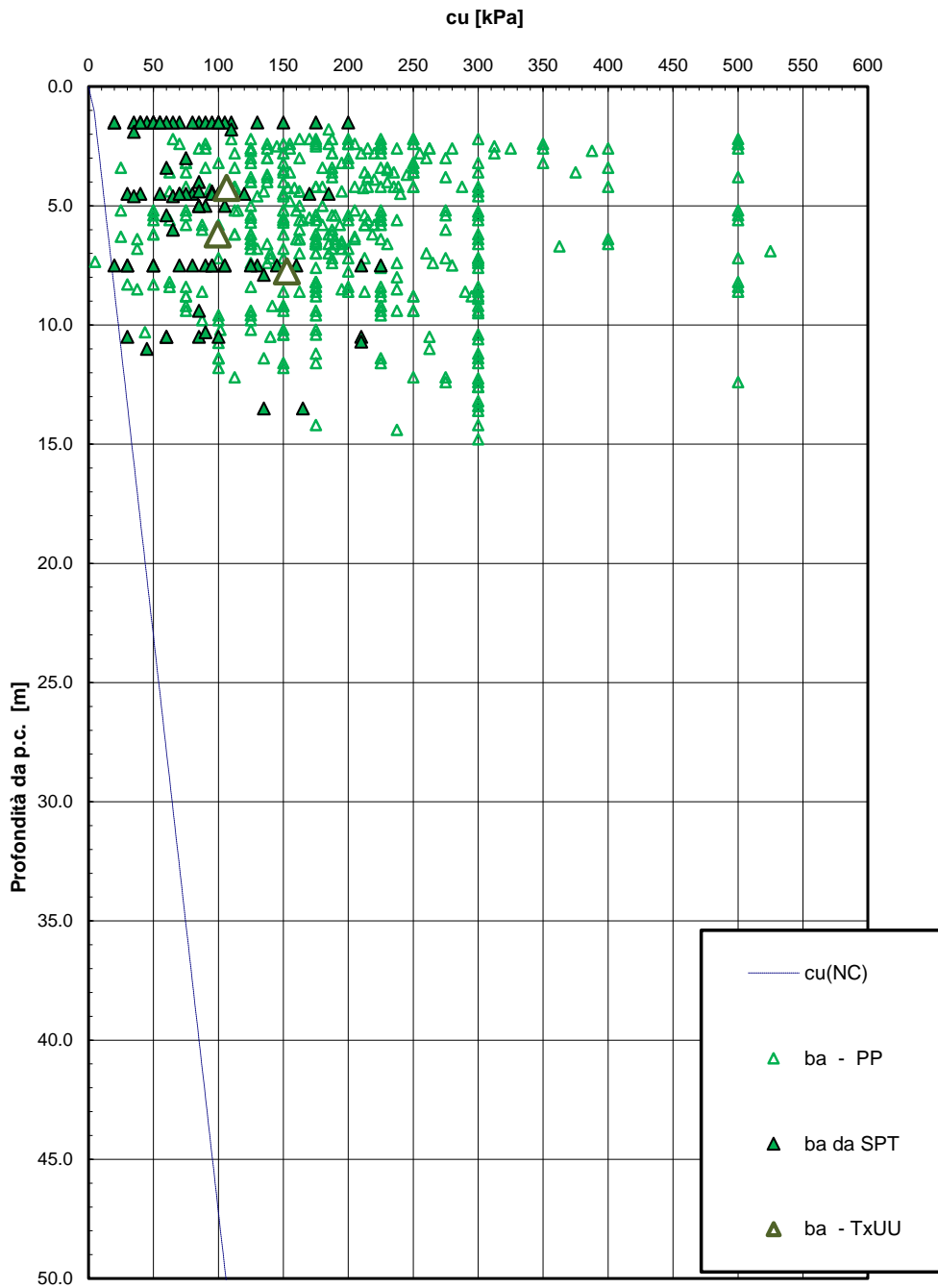


Figura 61 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – unità ba

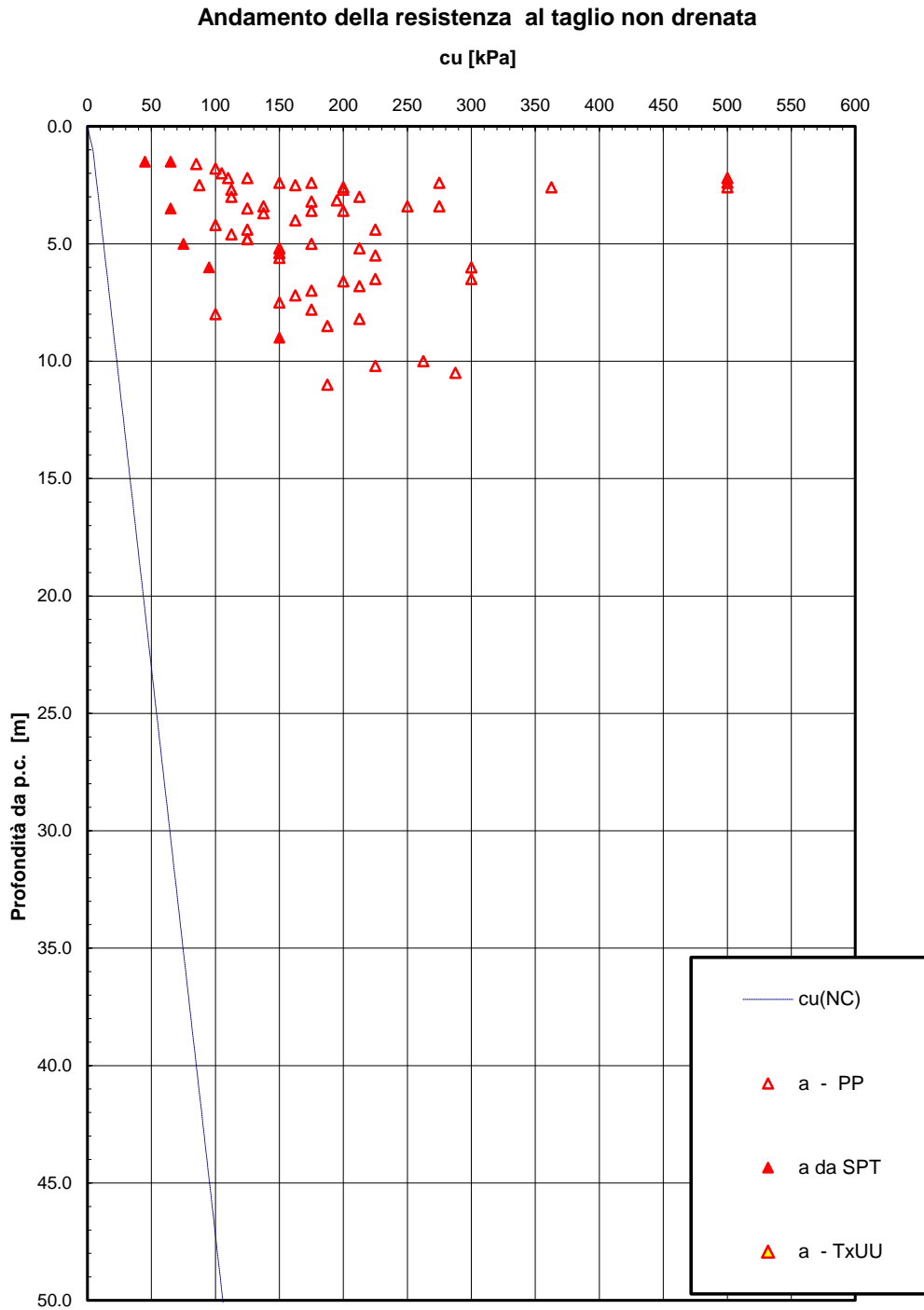


Figura 62 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – unità a

Andamento della resistenza al taglio non drenata

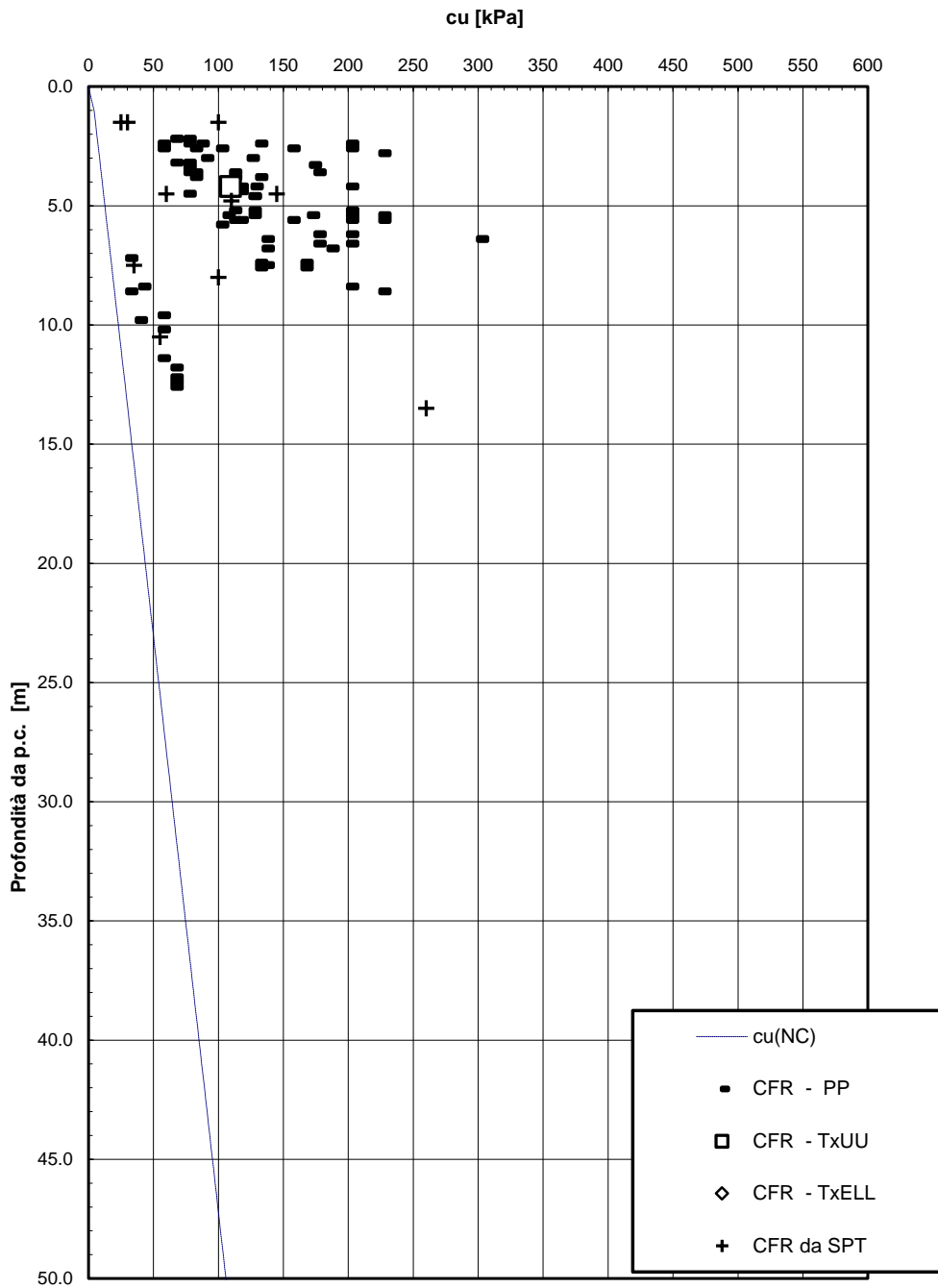


Figura 63 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – unità CFR

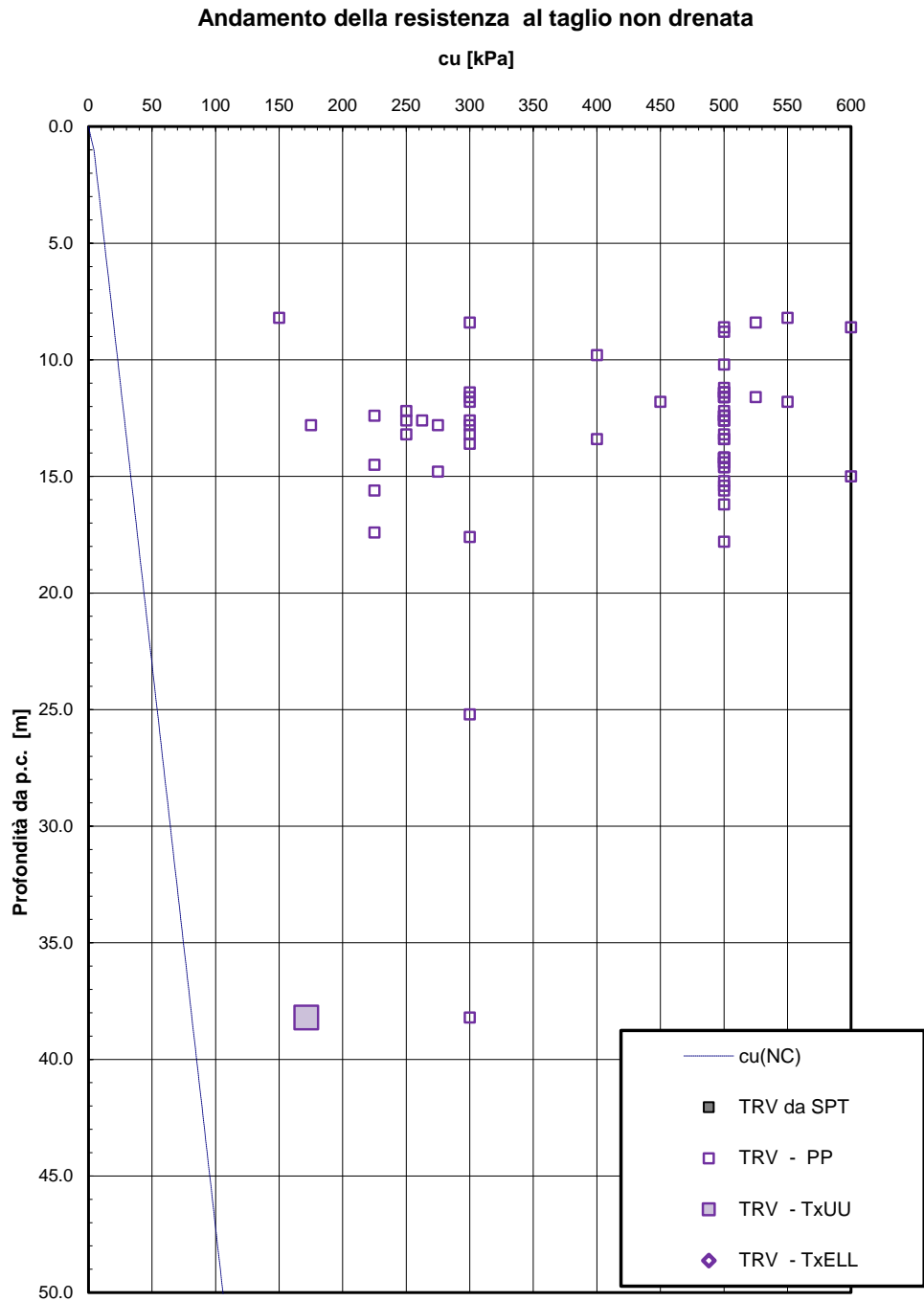


Figura 64 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – unità TRV

Andamento della resistenza al taglio non drenata

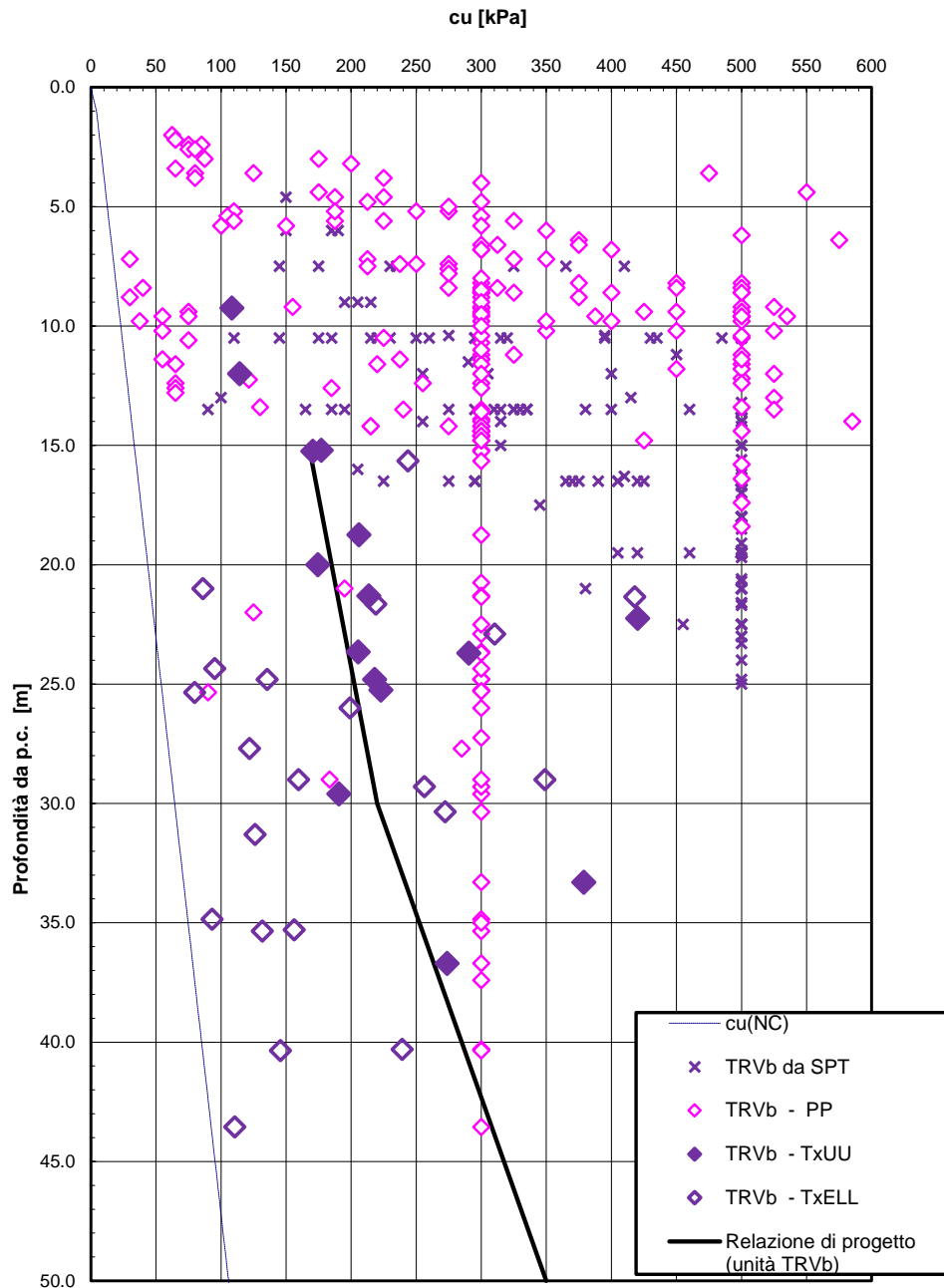


Figura 65 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – unità TRVb

Resistenza a compressione monoassiale

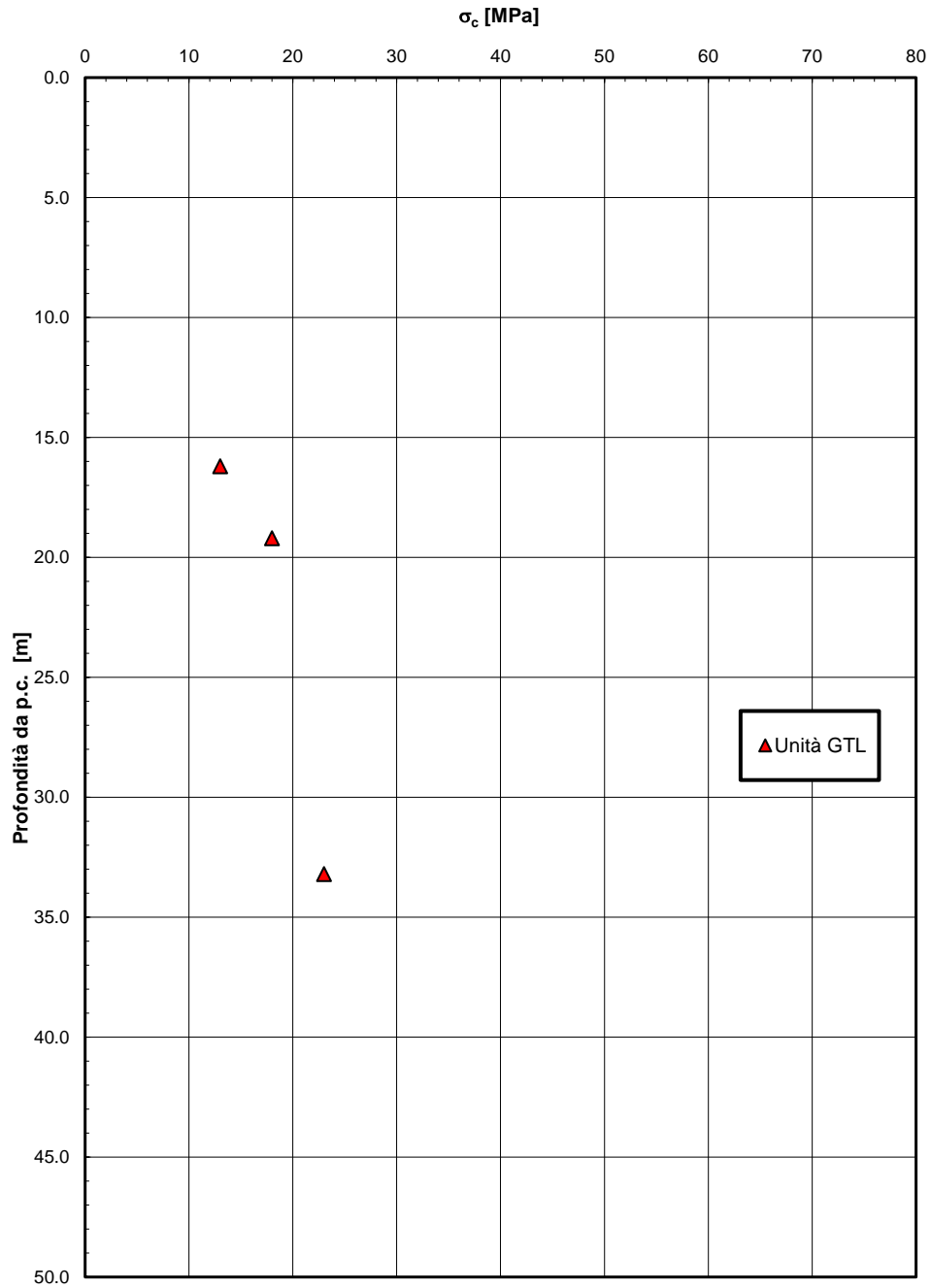


Figura 66 – Resistenza a compressione monoassiale – Unità GTL

Modulo di deformazione edometrico

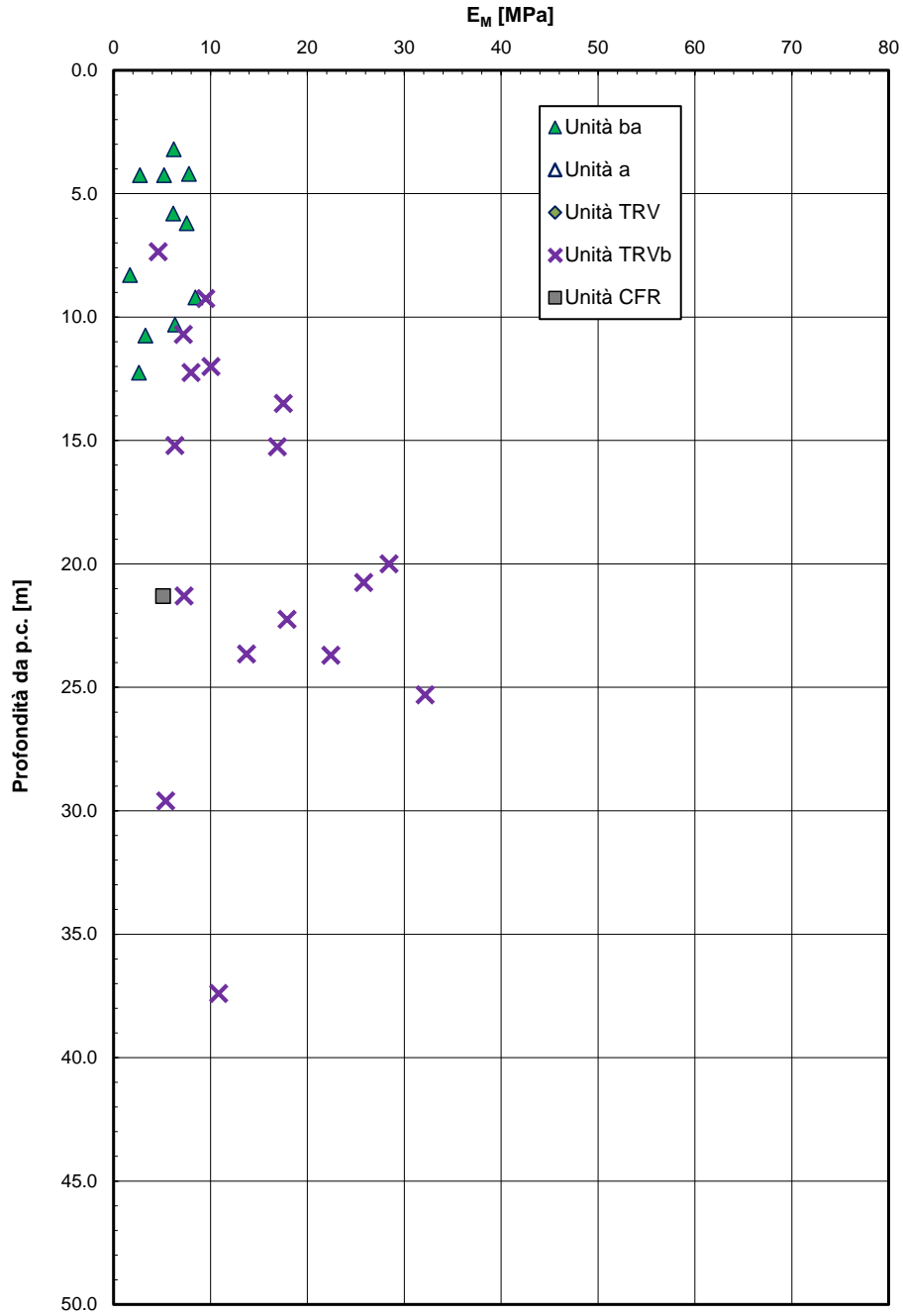


Figura 67 – Modulo di deformazione confinato

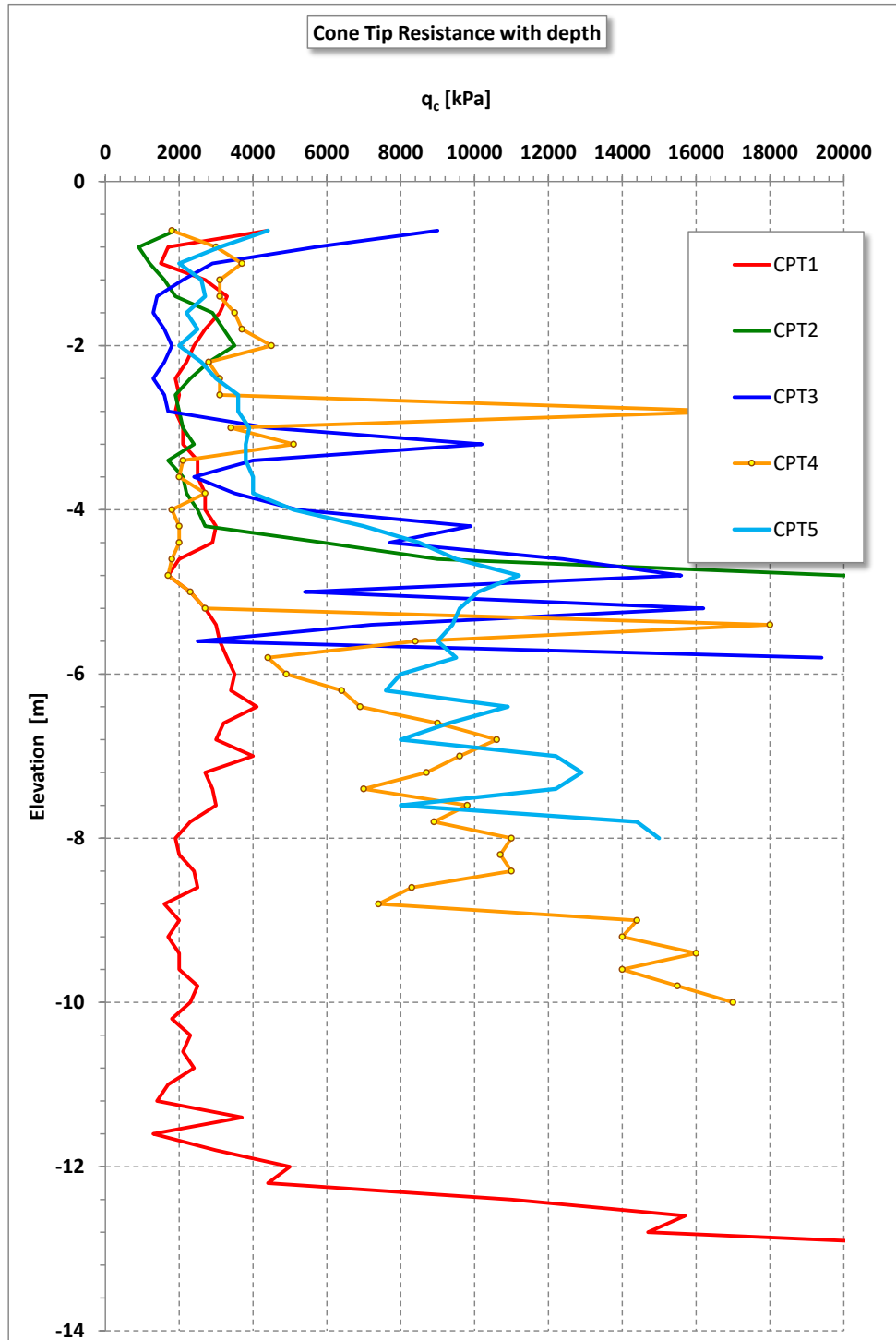


Figura 68 Resistenza alla punta da prova penetrometrica statica CPT

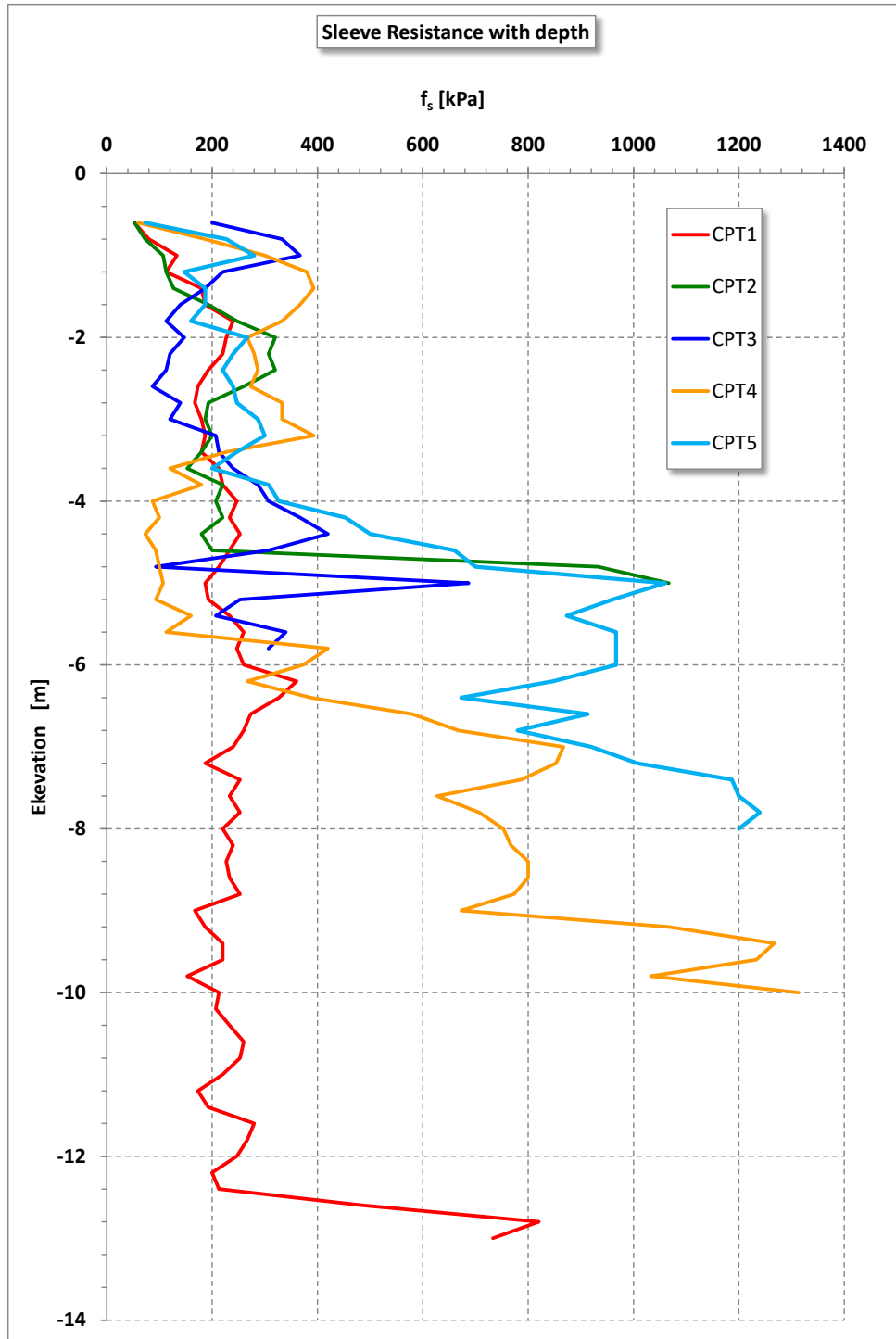


Figura 69 Resistenza laterale da prova penetrometrica statica CPT

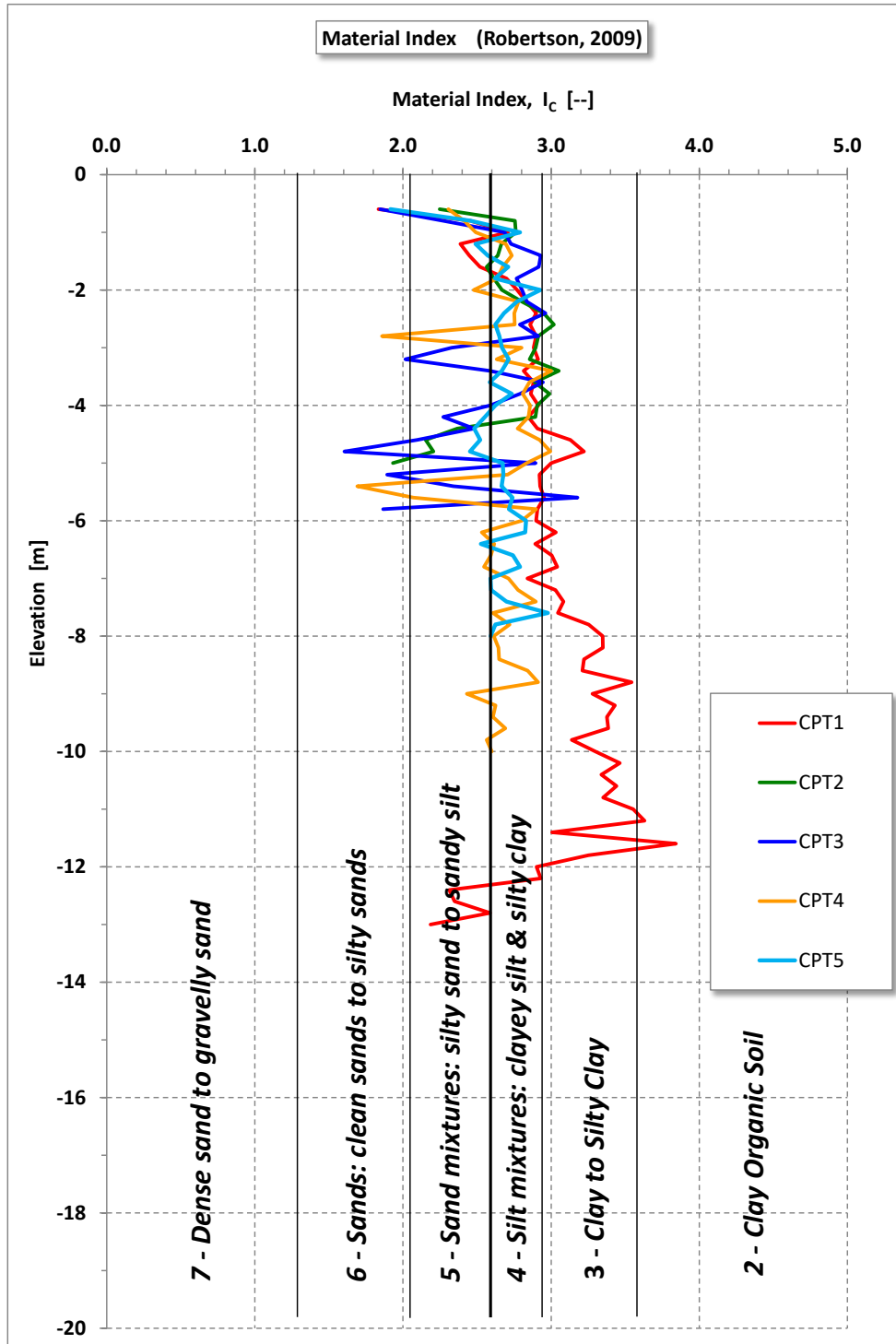


Figura 70 Indice del materiale da prova penetrometrica statica CPT

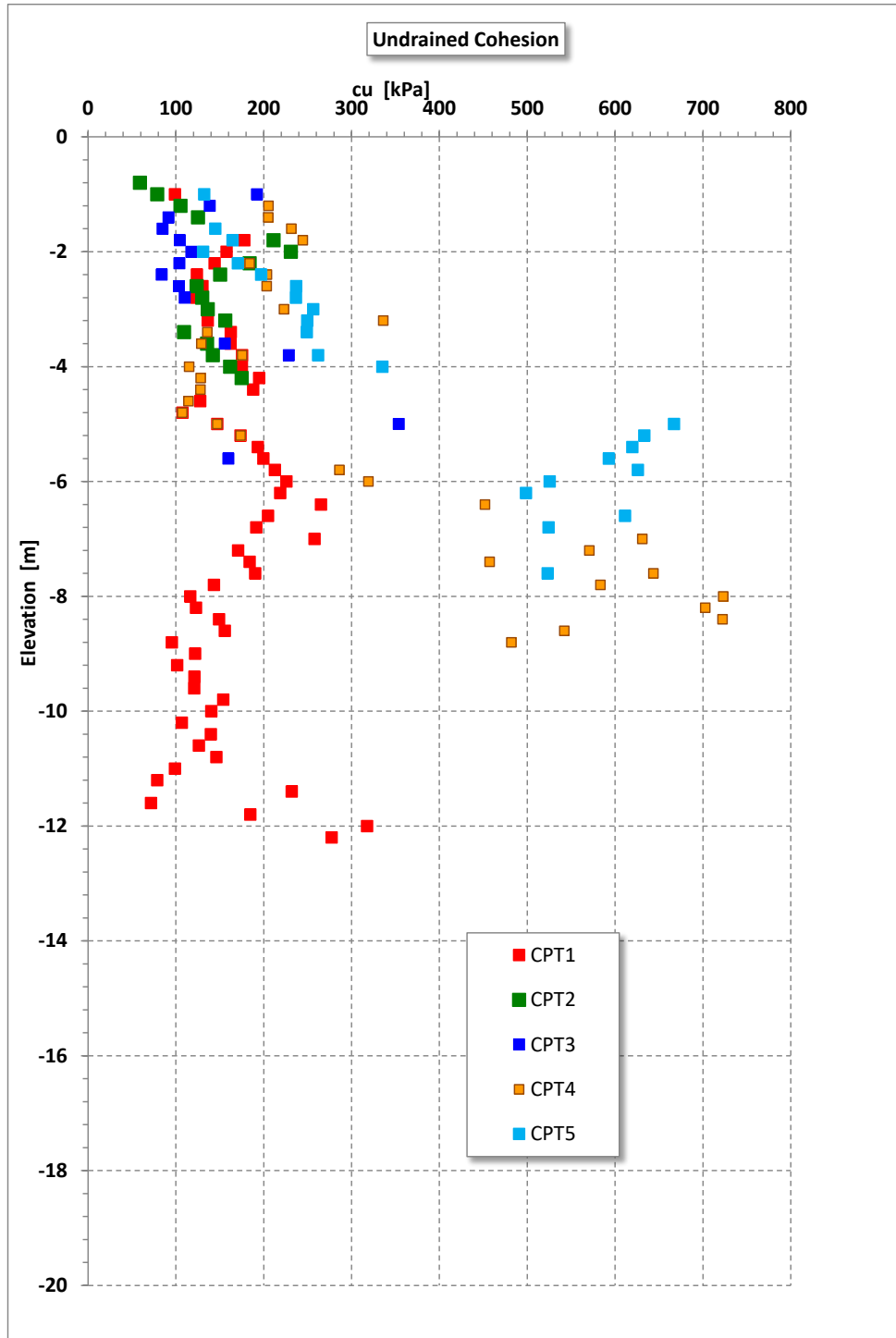


Figura 71 Resistenza al taglio non drenata da prova penetrometrica statica CPT

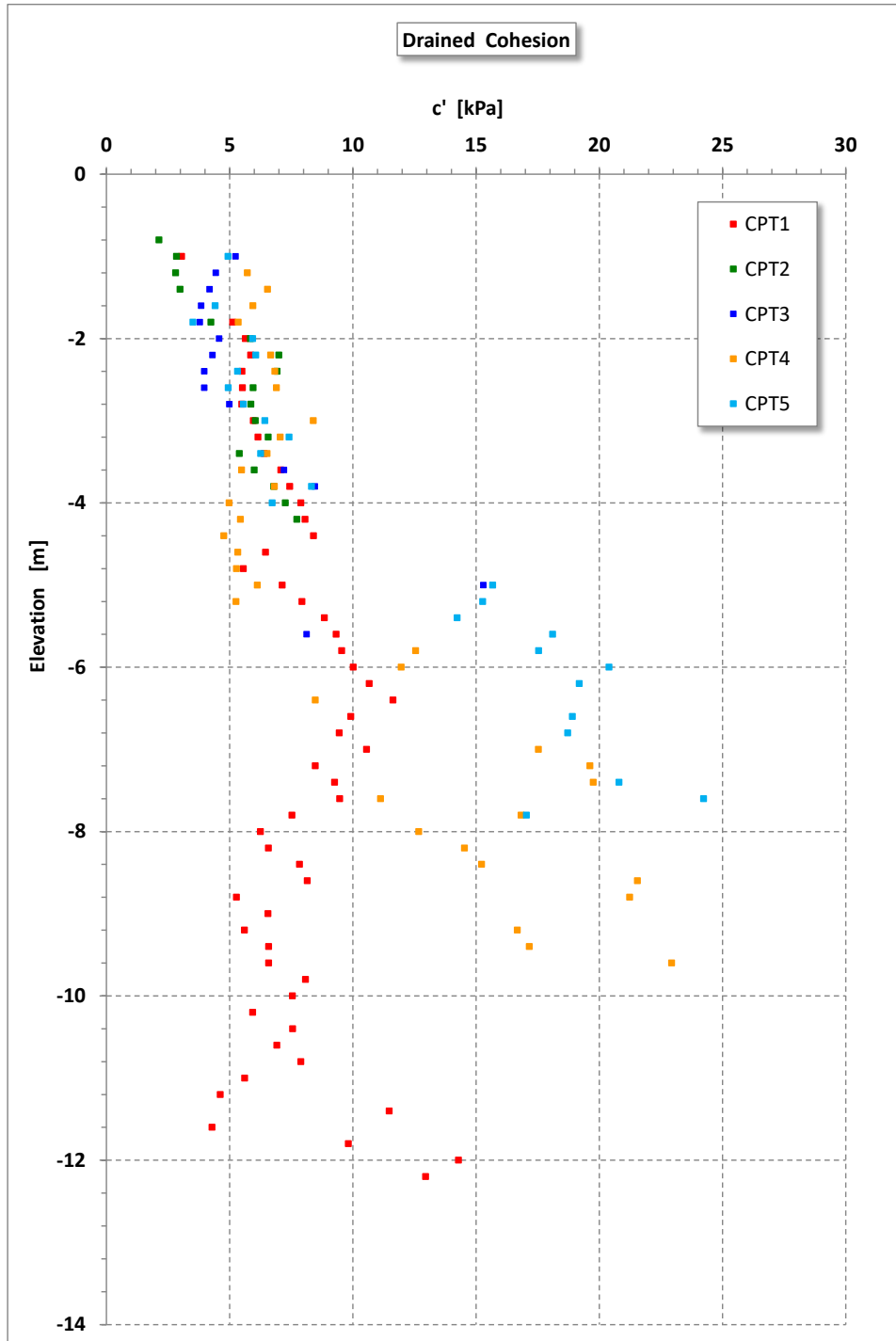


Figura 72 Coesione drenata da prova penetrometrica statica CPT

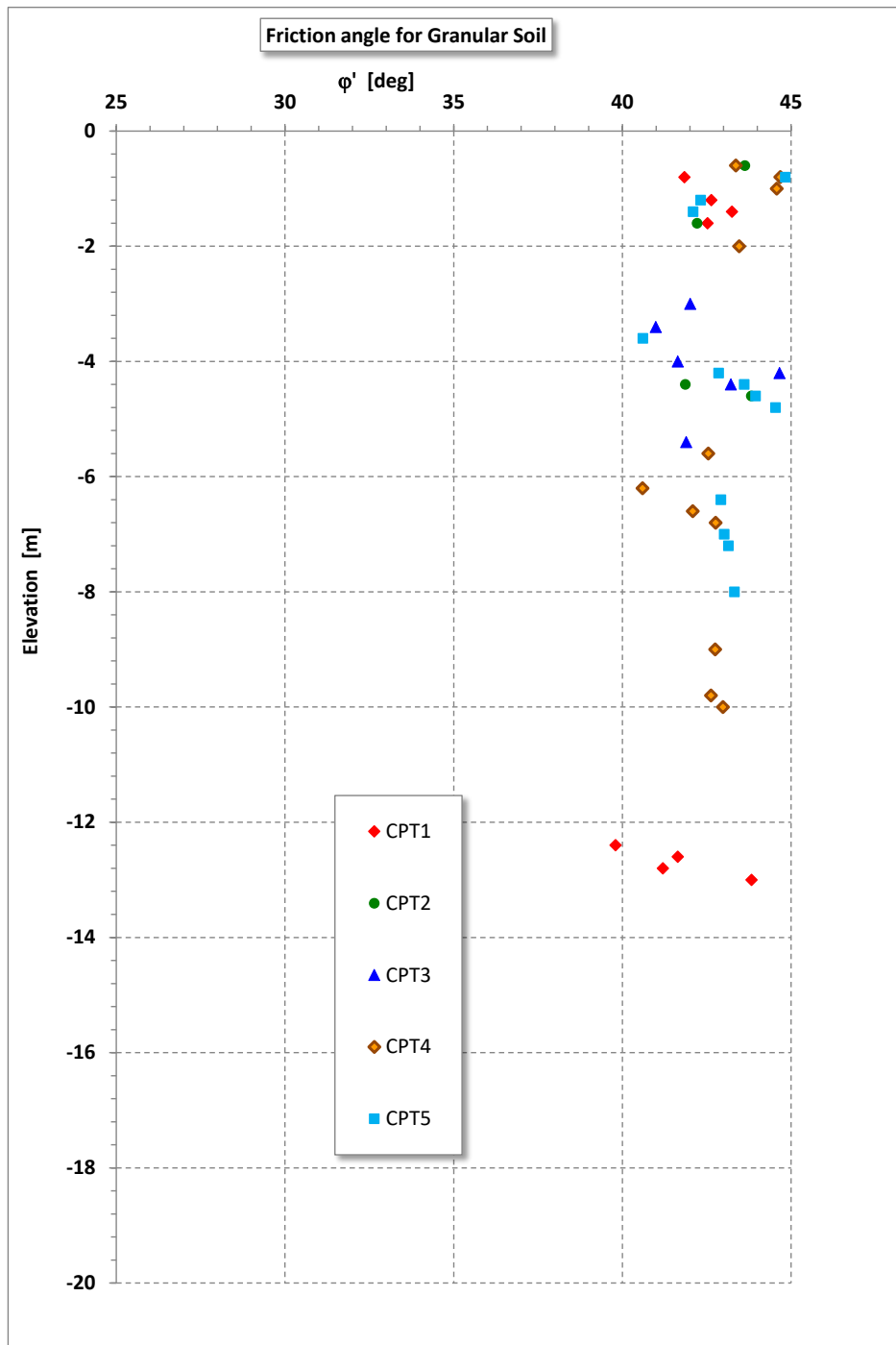


Figura 73 Angolo di resistenza al taglio per terreni incoerenti da prova penetrometrica statica CPT

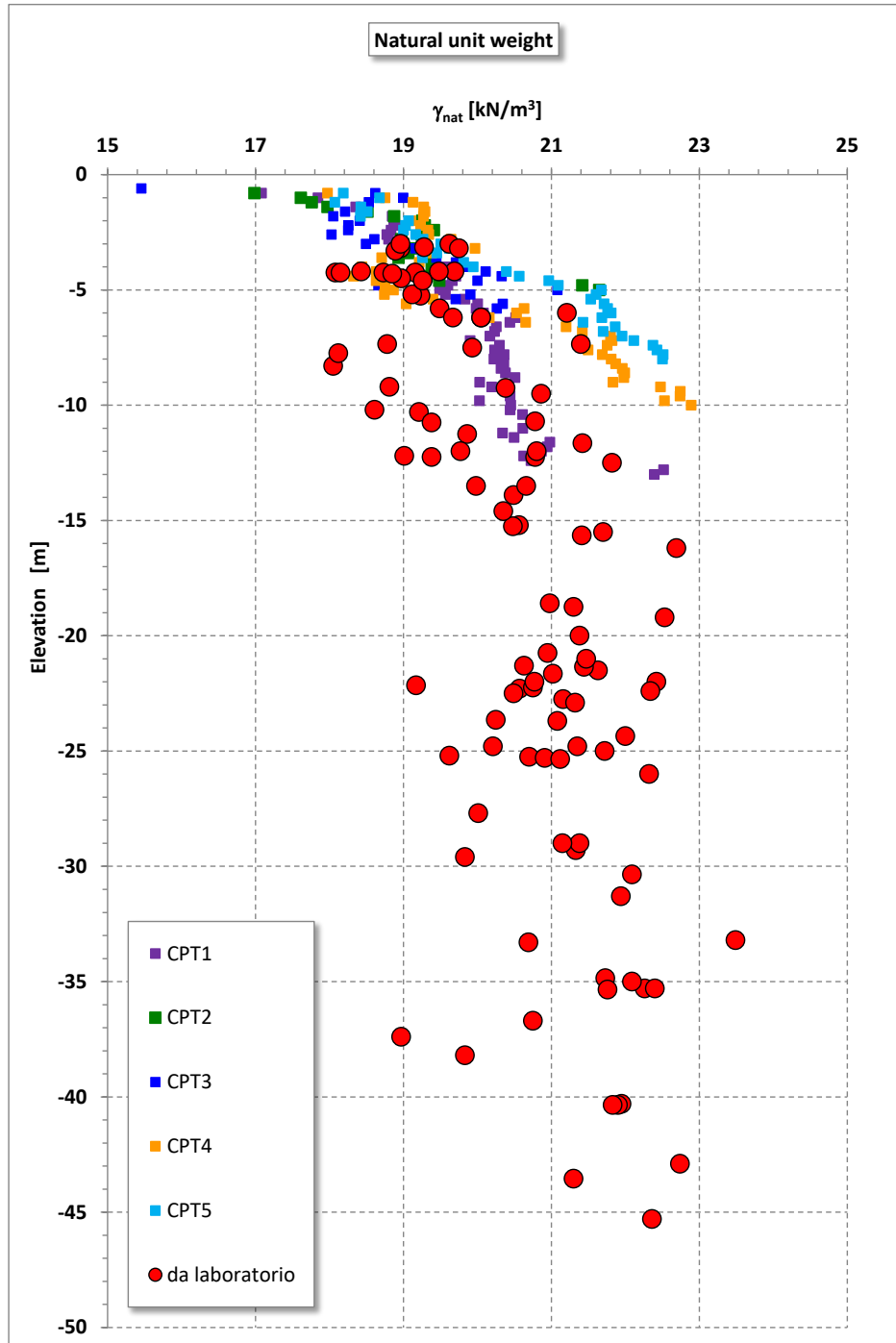


Figura 74 peso di volume naturale da prova penetrometrica statica CPT e laboratorio

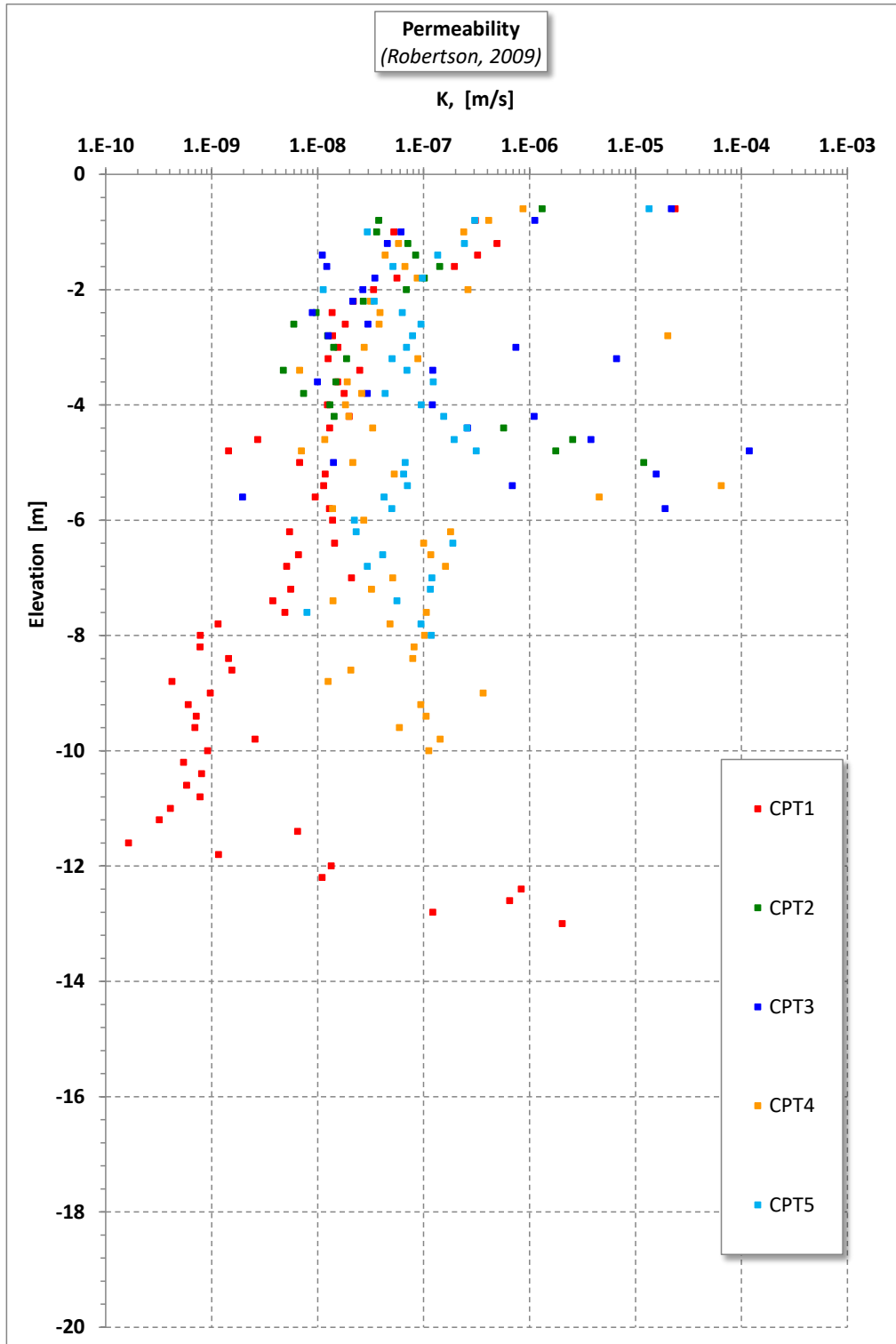


Figura 75 Permeabilità da prova penetrometrica statica CPT

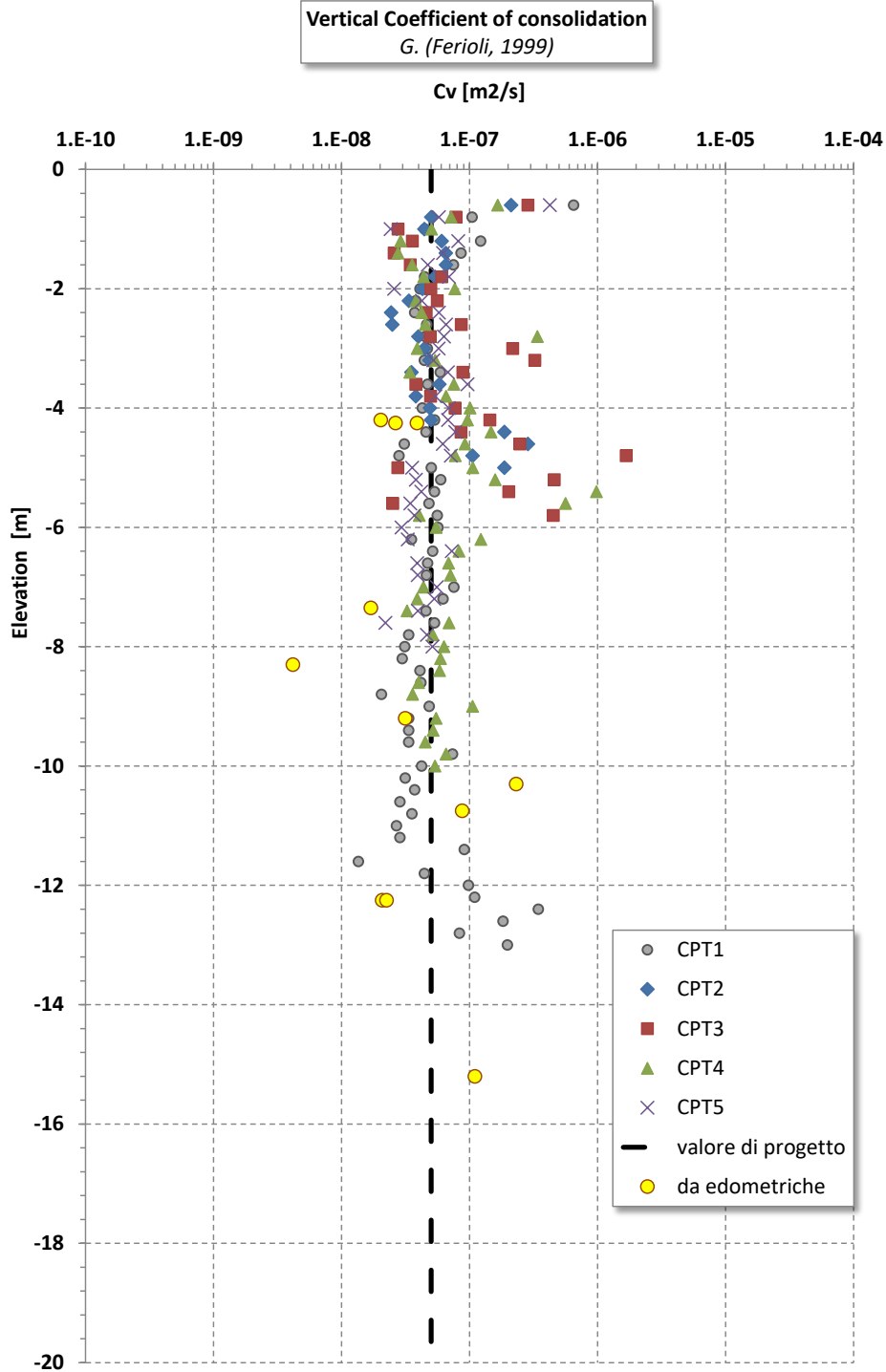


Figura 76 Coefficiente di consolidazione verticale da prova penetrometrica statica CPT e laboratorio (edometrica)

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

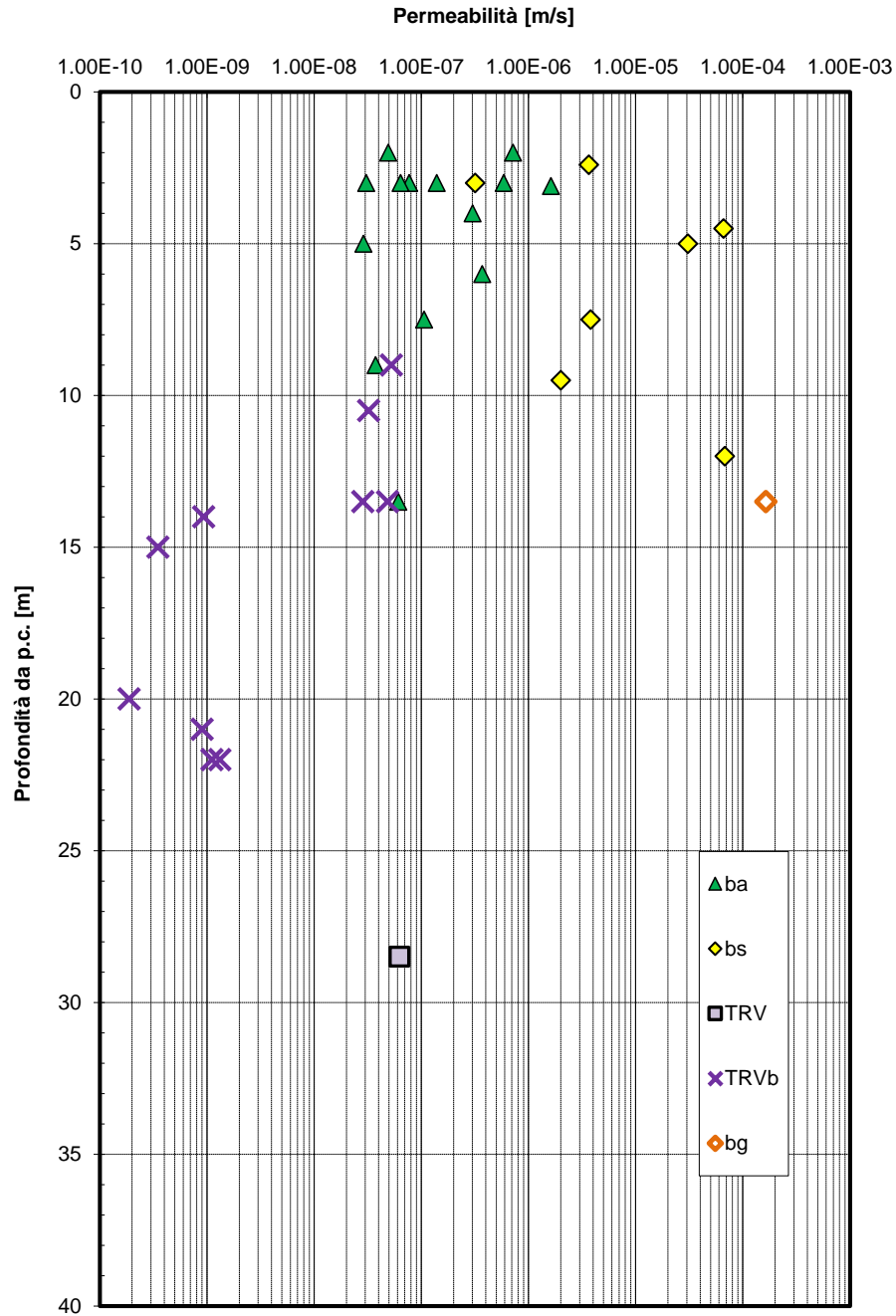


Figura 77 permeabilità da prova Lefranc e Lugeon



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	126 di 238

5.14 Falda

Nel profilo stratigrafico longitudinale è riportato il livello massimo di falda di progetto derivante dall'interpretazione di tutte le misure piezometriche eseguite fino a ottobre 2019. Nelle seguenti tabella e figura si riportano le misure dei piezometri del tracciato nel periodo monitorato.

Per le opere all'aperto il profilo della falda è variabile lungo il tracciato con andamento oscillante tra p.c. (in corrispondenza di incisioni fluviali, torrentizie e corsi d'acqua minori) e 10 m circa di profondità da p.c.. Il periodo di monitoraggio è piuttosto breve ed in questo intervallo di tempo, le oscillazioni della falda nei singoli piezometri è sempre contenuta entro il metro; ad eccezione del piezometro 5_S7vi dove è rilevata una oscillazione di 4m nel periodo monitorato.

Per il dimensionamento delle singole opere d'arte si è fatto riferimento al livello massimo di falda indicato nel profilo stratigrafico longitudinale.

Tabella 16–Profondità falda in metri da p.c..

SONDAGGIO	26-11-2018	08-01-2019	30-01-2019	28-02-2019	08-03-2019	18-04-2019	21-05-2019	26-06-2019	29-07-2019	20-08-2019	18-09-2019	24-10-2019	MAX soggiacenza (m da pc)	MIN soggiacenza (m da pc)	MEDIA (m da pc)
5_S3vi	-4.00	-4.63	-3.75	-4.28	-4.33	-4.86	-4.95	-5.12	-5.22	-5.30	-4.30	-4.45	-5.30	-3.75	-4.60
5_S6	-7.40	-7.40	-7.44	-7.46	-7.47	-7.50	-7.48	-7.50	-7.52	-7.70	-7.68	-7.60	-7.70	-7.40	-7.51
5_S7	-3.18	-3.95	-3.92	-4.01	-4.01	-4.23	-4.25	-4.94	-5.21	-5.3	-5.35	-5.3	-5.35	-3.18	-4.47
5_S7vi	-6.50	-9.57	-9.56	-9.59	-9.61	-9.76	-9.65	-9.60	-10.06	-10.50	-10.20	-10.25	-10.50	-6.50	-9.57
5_S8	-6.30	-6.68	-6.52	-6.69	-6.71	-7.4	-7.15	-7.22	-7.41	-7.5	-7.8	-7.65	-7.80	-6.30	-7.09
5_S8vi		-1.51	-1.45	-1.56	-1.49	-1.98	-1.67	-1.74	-1.83	-2.05	-2	-1.98	-2.05	-1.45	-1.75
5_S14	-6.18	-6.16	-6.02	-6.21	-6.22	-6.31	-6.36	-6.63	-6.87	-6.90	-7.00	-7.00	-7.00	-6.02	-6.49
5_SV01											-2.35	-2.4	-2.40	-2.35	-2.38
5_SV04											-3.20	-3.25	-3.25	-3.20	-3.23
5_SV12									-8.01	-8.50	-8.45	-8.73	-8.73	-8.01	-8.42
5_GN02											-3.55	-3.65	-3.65	-3.55	-3.60
5_S19											-5.90	-3.50	-5.90	-3.50	-4.70
5_S17												-7.70	-7.70	-7.70	-7.70
5_S23															
5_S25															
5_SV1N															
5_SV2N															
5_SV6N															
S_W01												-10.35	-10.35	-10.35	-10.35
S_W02												-2.9	-2.90	-2.90	-2.90
S_W03															
S_W04												-2.10	-2.10	-2.10	-2.10



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	127 di 238

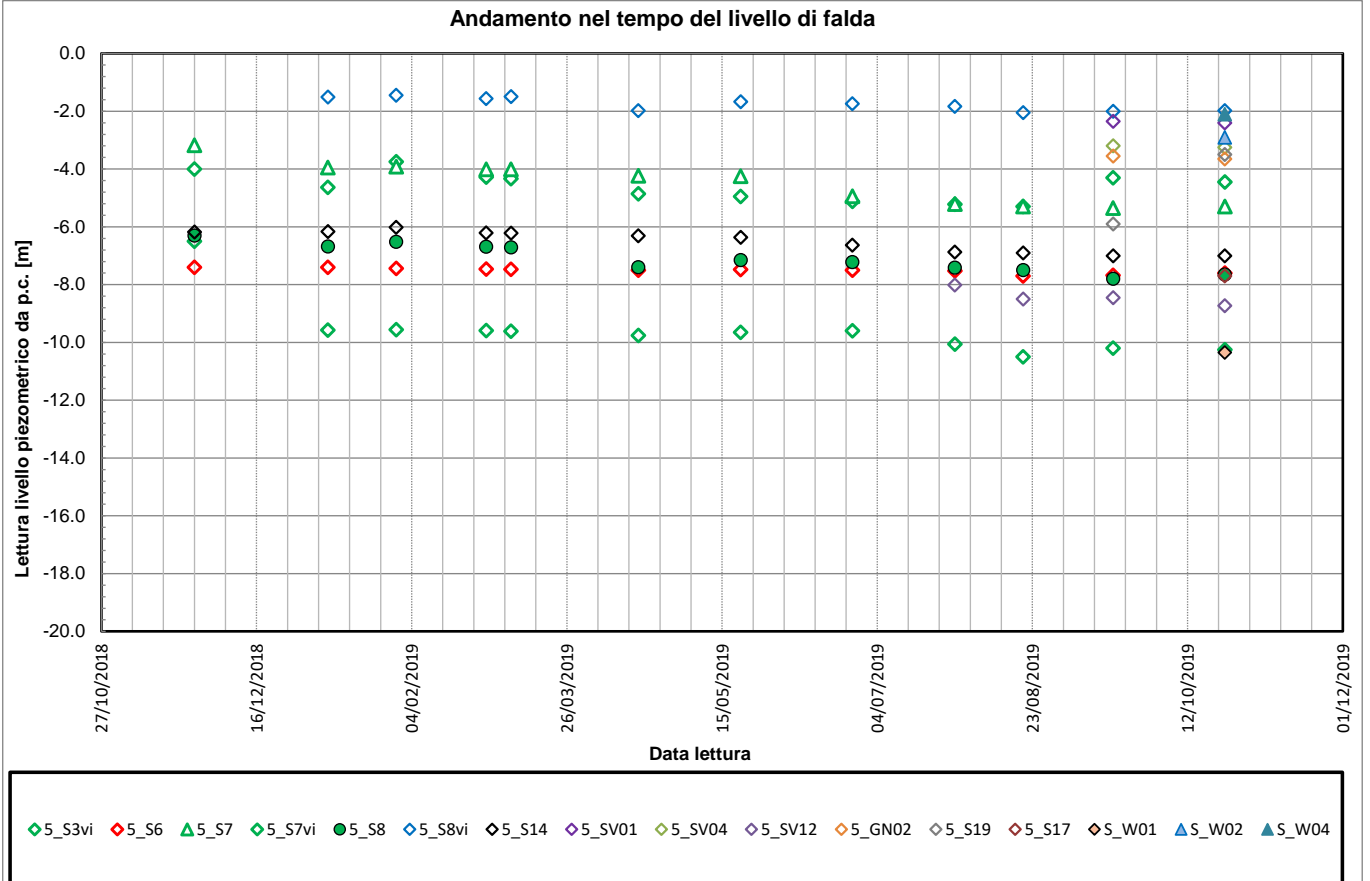


Figura 78–profondità falda da p.c. (m)



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	128 di 238

6 CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO

6.1 RISPOSTA SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c^* ;
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento V_R , T_R è esprimibile in funzione di P_{VR} mediante l'espressione:

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


La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove V_N è la vita nominale dell'opera e C_U la classe d'uso.

Per le opere d'arte lungo la linea si ha in linea generale: $V_N=75$ anni e $C_U=1.5$ (classe d'uso III).

Per i fabbricati, le stazioni ed alcune viabilità si ha: $V_N=100$ anni e $C_U=2.0$ (classe d'uso IV).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ag, l'accelerazione di picco a_{max} è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove S_s è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_T è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica. Nella relazione geologica sono riportati, per vari punti lungo il tracciato, i parametri sismici di riferimento.

Nel seguito viene definita la categoria di sottosuolo e le azioni sismiche di progetto.

6.1.1 Categoria di sottosuolo

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$.

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della $V_{s,30}$, in particolare sono state eseguite prove sismiche di tipo MASW e prove Down-Hole. Nella tabella seguente sono sintetizzati i risultati (V_s e categoria sottosuolo). Come si osserva dalla tabella, in cui sono riportati i diretti risultati della $V_{s,30}$, lungo il tracciato, i valori delle velocità delle onde di taglio identificano prevalentemente terreni di tipo C.

Generalmente l'andamento delle velocità V_s è crescente con la profondità, in pochi casi si osservano locali ritorni di velocità che comunque hanno sempre spessori piccoli (< 5 m) e basse differenze di velocità ($V_s < 100-200$ m/s), quindi poco significativi ai fini della risposta sismica locale e probabilmente riconducibili ad imprecisioni di misura nell'ambito dei modesti valori di V_s registrati in questi depositi.

Tabella 17 – Categoria sottosuolo

DH	Velocità [m/s]	Categoria di suolo
5_SV02	345	C
5_SV03	411	C
5_SV08	306	C
5_SV09	300	C
5_SV11	320	C
5_SV18	295	C
5_GN1	286	C
5_SV3N	Non ancora disponibile	C
5_SV5N	Non ancora disponibile	C
5_SV6N	Non ancora disponibile	C
MASW 1	650	C
MASW 2	463	C
MASW 3	622	C
MASW 4	558	C
MASW 5	499	C
MASW 6	248	C
MASW 7	296	C
MASW 8	441	C
NEW MASW 1	533	C
NEW MASW 2	626	B
NEW MASW 3	713	C
NEW MASW 3bis	646	C
NEW MASW 4	799	B
5_S09	305	C
5_S12	270	C

Nelle relazioni di calcolo delle opere verrà definita per ogni singola opera la categoria di sottosuolo sulla base dell'indagine sismica più vicina.

6.1.2 Azioni sismiche di progetto

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti, considerando il punto con l'accelerazione massima (avente coordinate longitudine 14.747 e latitudine 37.528, punto 47861 desunto dalla mappa di pericolosità sismica della relazione geologica) si ha:

- per $V_N=75$ anni, $C_U=1.5$, categoria di sottosuolo C: le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_g = 0.155$ g, $S_s = 1.47$, da cui $a_{max} = 0.155 \cdot 1.47 = 0.23$ g
- per $V_N=100$ anni, $C_U=2.0$, categoria di sottosuolo C: le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_g = 0.193$ g, $S_s = 1.40$, da cui $a_{max} = 0.193 \cdot 1.40 = 0.27$ g

Tabella 18 – Localizzazione sito con a_g massima

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche


Grafici spettri di risposta ➔

Variabilità dei parametri ➔

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ➔

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo


Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	132 di 238

$V_N=75$ anni, $C_U=1.5$, categoria di sottosuolo C

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	68	0.050	2.507	0.305
SLD	113	0.061	2.538	0.334
SLV	1068	0.155	2.517	0.540
SLC	2193	0.204	2.614	0.560

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.155 g
F_o	2.517
T_C^*	0.540 s
S_s	1.466
C_c	1.287
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.466
η	1.000
T_B	0.231 s
T_C	0.694 s
T_D	2.219 s

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	133 di 238

$V_N=100$ anni, $C_U=2.0$, categoria di sottosuolo C

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.062	2.536	0.337
SLD	201	0.075	2.610	0.365
SLV	1898	0.193	2.594	0.556
SLC	2475	0.213	2.631	0.563

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.193 g
F_o	2.594
T_C	0.556 s
S_S	1.400
C_C	1.275
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

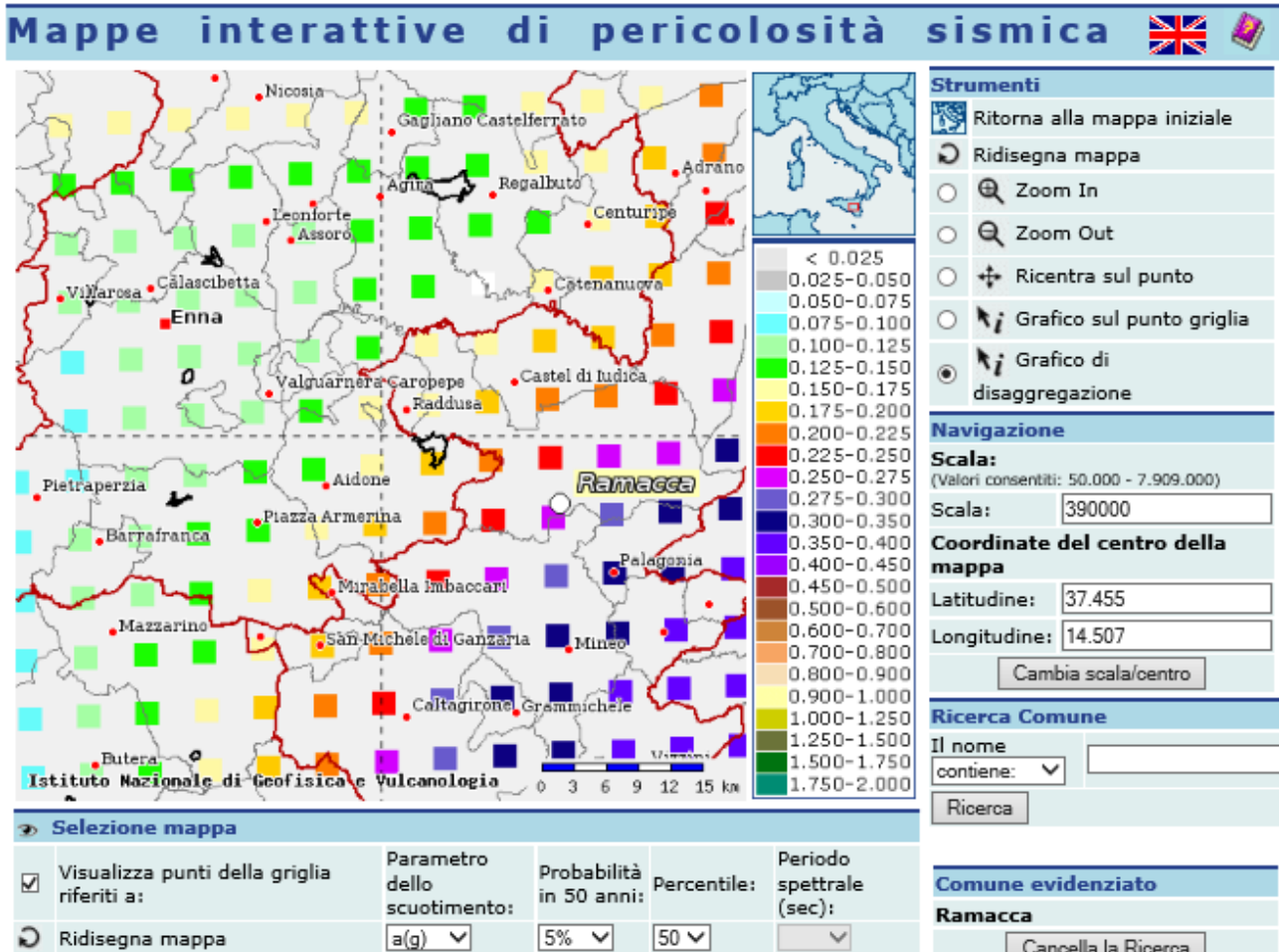
S	1.400
η	1.000
T_B	0.236 s
T_C	0.708 s
T_D	2.370 s

6.1.3 Magnitudo

La magnitudo di riferimento per il sito viene presa dai grafici di disaggregazione del sito INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, "esse1-gis.mi.ingv.it").

Cautelativamente, si è considerato un unico valore di magnitudo per tutto il tracciato, assunto analizzando il punto con l'accelerazione massima (vedasi paragrafo precedente) e considerando una magnitudo media (vedasi tabelle a seguire). E' stato, pertanto, assunto come valore di progetto una magnitudo pari a $M = 6.67$.

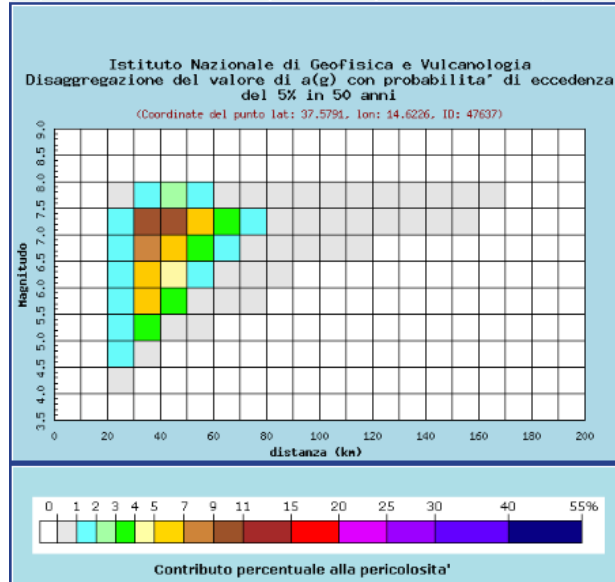
Tabella 19 – Mappa di pericolosità sismica



Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	135 di 238

Tabella 20 – Magnitudo e distanza



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 37.5791, lon: 14.6226, ID: 47637)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.008	1.300	1.960	1.600	1.340	1.480	1.470	0.267	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.512	3.660	6.570	6.770	8.790	9.930	1.940	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.594	3.170	4.350	6.990	9.420	2.030	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.015	0.794	1.860	3.810	6.020	1.410	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062	0.485	1.710	3.200	0.808	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.086	0.830	1.920	0.521	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.253	0.819	0.239	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.335	0.107	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.190	0.070	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.108	0.049	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.022	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.013	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.007	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
6.670	44.000	1.620

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

6.2 LIQUEFAZIONE

6.2.1 Generale

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni.

La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidità e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva. Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovrappinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Le NTC2008 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici con magnitudo $M < 5$.
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di free-field-campo libero) minori di 0.1 g;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 79 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 80 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

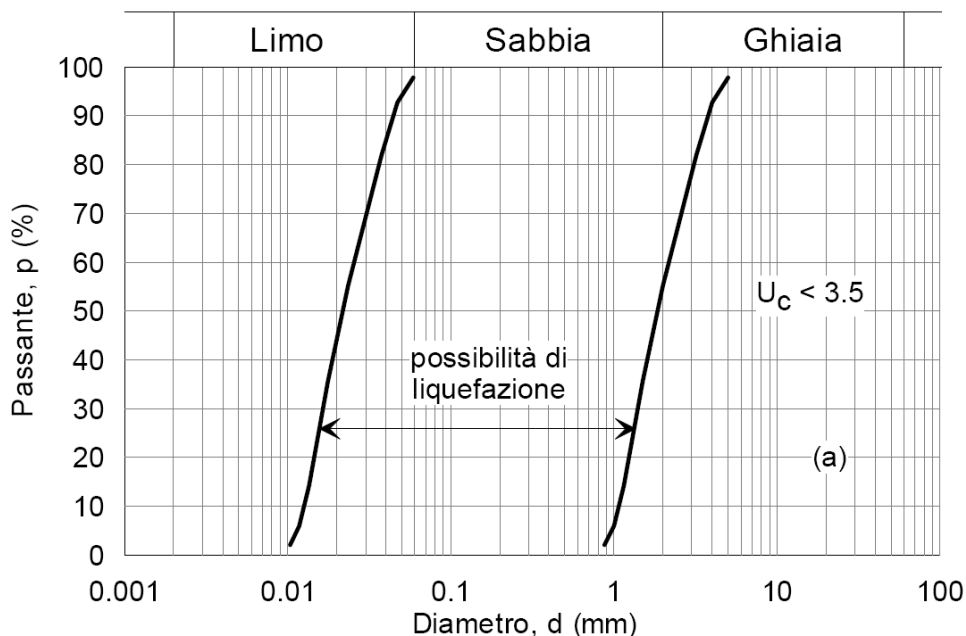


Figura 79. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

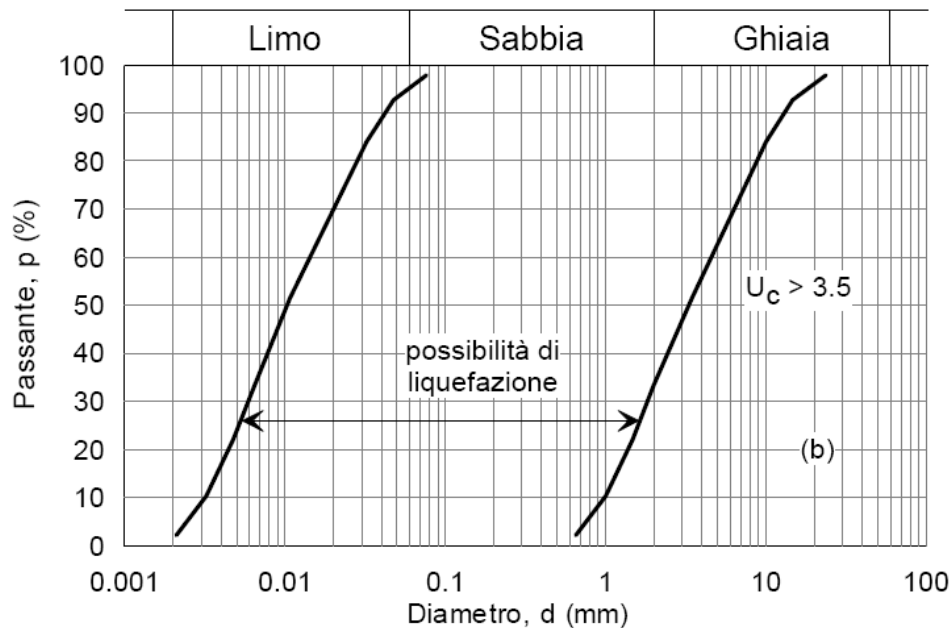


Figura 80. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti risulta che:

- La magnitudo $M=6.67$;
- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono maggiori di 0.1 g;
- la profondità della falda è tipicamente compresa tra 1 m e 10 m da piano campagna;
- sono presenti singolari, locali livelli di strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi alluvionali di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} < 30$ relativi alle unità geotecniche alluvionali.

Generalmente i terreni alluvionali che affiorano nel tracciato sono prevalentemente coesivi, comunque talvolta si trovano intercalazioni di lenti/ strati sabbiose, pertanto si procede ad eseguire le idonee verifiche al fine di verificare la suscettibilità a liquefazione del sito.

6.2.2 Metodologie di analisi

La suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione è stata valutata alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili, mediante un'analisi pseudostatica in condizioni di free-field, in corrispondenza di un numero adeguato di verticali significative.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	139 di 238

La suscettibilità alla liquefazione è stata valutata ricavando il fattore di sicurezza FL nei confronti della liquefazione dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione) e la sollecitazione indotta dall'azione sismica.

Si definisce il rapporto di resistenza ciclica CRR, ovvero il parametro tensionale normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, mentre CSR è il rapporto di tensione ciclica:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo. Rapporto di tensione ciclica

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo. Rapporto di resistenza ciclica

Il termine CSR può essere valutato ad una determinata profondità nel sottosuolo attraverso la seguente relazione semplificata di Seed e Idriss (1971):

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove:

- $a_{max,s}$ è l'accelerazione orizzontale di picco a piano campagna del terremoto atteso;
- g è l'accelerazione di gravità;
- σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;
- r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che tiene conto della deformabilità del sottosuolo.


Il coefficiente dell'azione sismica r_d si può ricavare, per profondità dal piano campagna non superiori a 20 m, mediante la seguente espressione di Idriss e Boulanger (2004):

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove:

- z è la profondità dal piano campagna;
- M magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT o CPT, come meglio descritto nel seguito.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

I metodi per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica a partire dai risultati di prove in sito sono applicabili nel caso di piano campagna sub-orizzontale e stati tensionali efficaci ridotti. Tuttavia, anche in assenza di tali condizioni, è possibile ottenere una stima approssimata del termine CRR attraverso l'introduzione di opportuni fattori correttivi.

Dato che CRR dipende dal numero di cicli significativi, che a sua volta dipende dalla magnitudo M , è necessario rivalutare CRR per ricondurlo ad un valore costante di M , convenzionalmente preso come $M = 6.53$, introducendo un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

Il valore di MSF si può ricavare dalla relazione di Idriss e Boulanger (2004):

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

6.2.3 Analisi basate su prove SPT

Avendo a disposizione i risultati delle prove SPT, si è proceduto nel seguente modo:

1. il numero di colpi N_{SPT} è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto $(N_1)_{60}$ mediante la seguente relazione:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

2. il coefficiente C_N , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, è stato ricavato per via iterativa dalla relazione di Boulanger e Idriss (2004):

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove p_a è la pressione atmosferica (100 kPa). Tale coefficiente non deve comunque superare il valore di 1.7.

3. il fattore C_E è un fattore correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di

prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

4. i coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e C_S (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionatore) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).
5. il valore della resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove FC è la frazione di fine espressa in percentuale.

Il contenuto di materiali fini (FC) è stato assunto dalle analisi granulometriche eseguite sul campione prelevato in corrispondenza della quota SPT o comunque entro lo strato analizzato; per i valori relativi ai sondaggi del 2011, per i quali non è disponibile il laboratorio, è stato preso un valore di 20% (valore medio da prove granulometriche dell'unità in esame).

6. dal valore di $(N_1)_{60}$ può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante l'impiego di abachi di letteratura ottenuti dall'osservazione di casi storici, in cui sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Tali curve possono essere ottenute tramite la seguente relazione in funzione della frazione fine FC:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

Quindi, utilizzando l'espressione sopra riportata, è stato ricavato il valore di CRR.

7. La sicurezza nei confronti della liquefazione è stata valutata, alla profondità considerata, mediante il coefficiente di sicurezza FL.

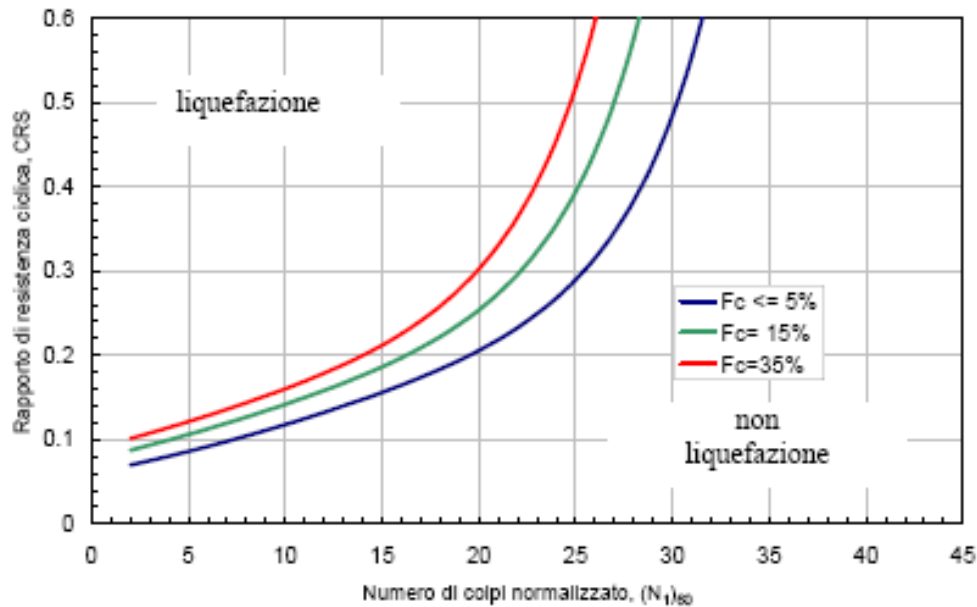


Figura 81. Curve per il calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR dai risultati di prove SPT

6.2.4 Analisi basate su prove CPT

Avendo a disposizione i risultati di prove CPT, si è proceduto in maniera del tutto analoga, analizzando ciascuna coppia di valori q_c/f_s , valori tipicamente rilevati a intervalli di 0.2 m, come segue:

1. Il valore della resistenza alla punta q_c è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto q_{c1N} mediante la seguente relazione:


$$q_{c1N} = \frac{q_c C_N}{p_a}$$

2. il coefficiente C_N , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, è stato ricavato per via iterativa dalla relazione di Boulanger e Idriss (2004):

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}}$$

dove p_a è la pressione atmosferica (100 kPa). Tale coefficiente non deve comunque superare il valore di 1.7.

3. il valore della resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} è stato riportato ad un valore equivalente per le

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001

sabbie pulite attraverso la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$q_{c1Nes} = q_{c1N} \cdot k_e$$

dove

$$k_e = -17,88 + 33,75 \cdot I_c - 21,63 \cdot I_c^2 + 5,581 \cdot I_c^3 - 0,403 \cdot I_c^4$$

Il parametro I_c , che riflette il contenuto presunto di fini, viene determinato come descritto nel seguito.

- dal valore di q_{c1Nes} può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante l'impiego di abachi di letteratura ottenuti dall'osservazione di casi storici, in cui sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Nella fattispecie, in accordo alle linee guida AGI (2005), si è fatto riferimento alla curva limite proposta da Idriss e Boulanger (2004), che può essere ottenuta tramite la seguente relazione:

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1Nes}}{540} + \left(\frac{q_{c1Nes}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Nes}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Nes}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Quindi, utilizzando l'espressione sopra riportata, è stato ricavato il valore di CRR. L'analisi è stata condotta tenendo conto del livello medio della falda registrato nel piezometro più vicino.

- La sicurezza nei confronti della liquefazione è stata valutata, alla profondità considerata, mediante il coefficiente di sicurezza FL.

Il metodo di analisi, descritto compiutamente nelle citate raccomandazioni AGI (2005), tiene conto automaticamente del presunto contenuto di fini mediante il parametro I_c , determinato come segue:

$$I_c = \left[(3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2 \right]^{0,5}$$

dove:

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{ve}}{P_a} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{ve}} \right)^n$$

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{ve}} \right) \cdot 100\%$$

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore il contenuto presunto di fini. Nell'analisi un valore di $I_c = 2.6$ è considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fini inferiore a 35% e comportamento equivalente a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fini superiore a 35% e comportamento equivalente a quello delle argille.

La distinzione operata nell'analisi tra terreni con comportamento equivalente a quello delle sabbie e terreni con comportamento equivalente a quello delle argille è necessariamente semplicistica e va applicata con giudizio, in quanto la correlazione tra I_c e il contenuto di fini presenta una forte dispersione e può essere considerata affidabile solo dopo attenta calibrazione sito-specifica. L'effettiva transizione tra terreni caratterizzati da un comportamento equivalente a quello delle sabbie e comportamento equivalente a quello delle argille può avvenire anche a valori di $I_c < 2.6$.

D'altra parte, si rileva che anche terreni con contenuto di fini superiore a 35% possono essere suscettibili alla liquefazione con comportamento analogo a quello delle sabbie, se i fini sono non plastici o di bassissima plasticità.

6.2.5 Risultati da prove SPT

L'analisi di pericolosità alla liquefazione per l'area in esame è stata eseguita esaminando tutte le verticali disponibili, alle profondità in cui sono stati intercettati lenti sabbiose alluvionali potenzialmente liquefacibili: sabbie fini, sabbie limose sotto falda. Come si evince dalla seguente tabella e figura, dai valori di N_{spt} si può escludere rischio di liquefazione in questi terreni.

Tabella 21. Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT

Sond.	wl	γ	Unità	z	Nspt	FC	σ_v	u	σ'_v	C_N	Erm	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	CRR	rd	CSR	$(CSR)_M$	FSL
	[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
5 SV01	2.4	19.0	bs	4.50	16	30	86	22	64	1.27	60	1.0	1.0	1.0	1.0	20.3	25.7	3.07E-01	0.95	0.19	0.15	1.22
5 SV02	2.4	19.0	bs	4.50	21	30	86	22	64	1.27	60	1.0	1.0	1.0	1.0	26.6	32.0	6.45E-01	0.95	0.19	0.15	4.25
5 S17	2.4	19.0	bs	4.5	27	30	86	22	64	1.27	60	1.0	1.0	1.0	1.0	34.3	39.6	3.65E+00	0.95	0.19	0.15	24.08
5 S07	3.2	19.0	bs	1.5	20	30	29	0	29	1.73	60	1.0	1.0	1.0	1.0	34.5	39.9	3.98E+00	0.99	0.15	0.12	33.42
5 S07	3.2	19.0	bs	3.0	15	30	57	0	57	1.34	60	1.0	1.0	1.0	1.0	20.1	25.4	3.01E-01	0.97	0.14	0.12	2.58
5 SV13	4.0	19.0	bs	7.5	16	30	143	35	108	0.96	60	1.0	1.0	1.0	1.0	15.3	20.7	2.15E-01	0.89	0.18	0.14	1.51

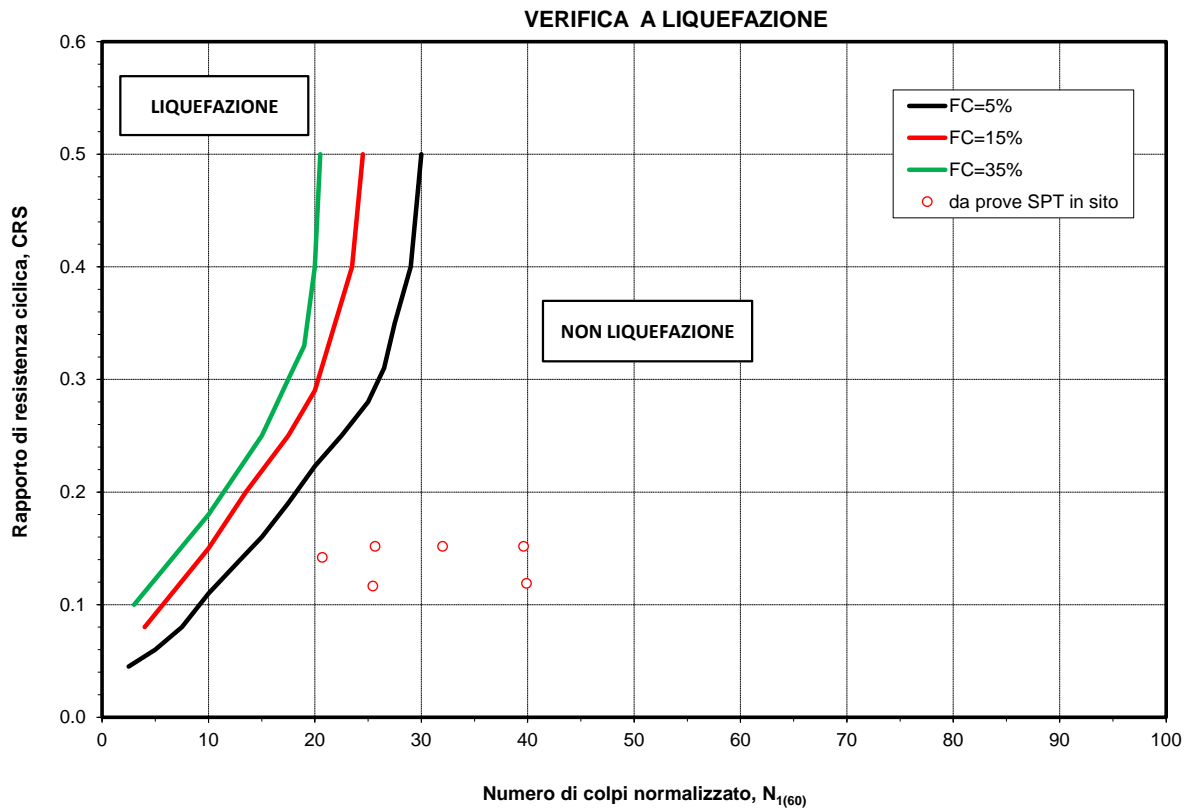


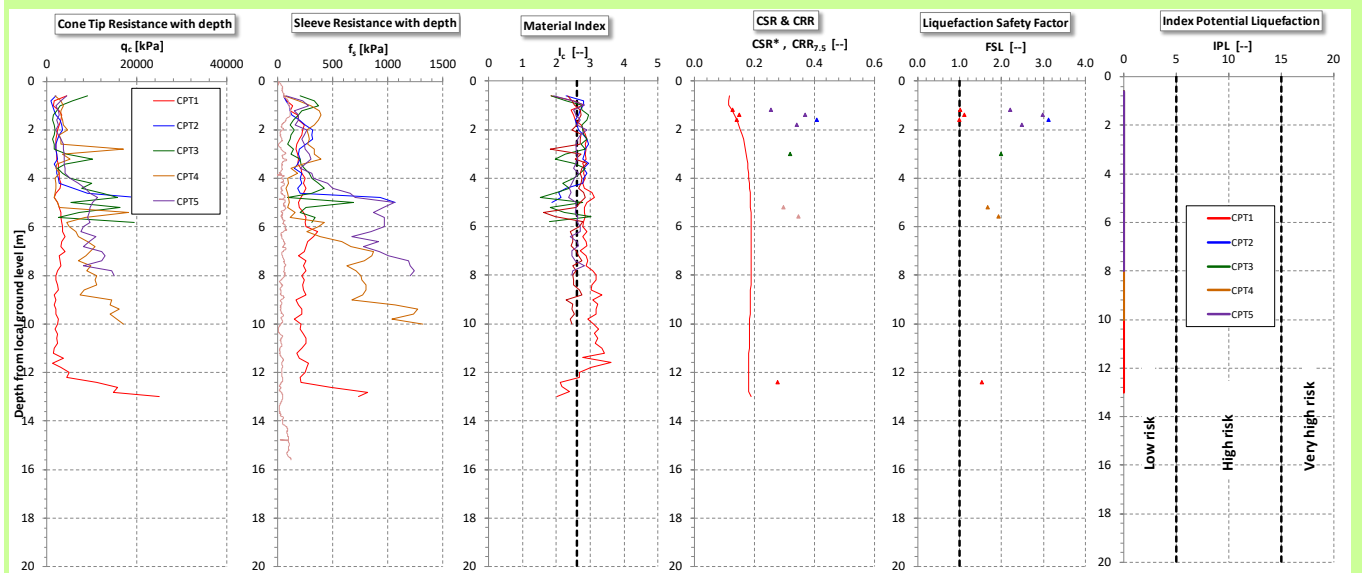
Figura 82 – verifica a liquefazione

6.2.6 Risultati da prove CPT

Nella seguente tabella si riportano i risultati dell'analisi da prove CPT. Da cui si osserva che l'indice di potenziale liquefazione in questi terreni è nullo, dalle prove CPT è possibile escludere il rischio di potenziale liquefazione dei terreni.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	146 di 238



6.2.7 Sintesi risultati

Dall'analisi dei risultati delle indagini in sito eseguite (prove SPT, prove CPT), non si ha evidenza di strati e/o livelli di terreni alluvionali sotto falda, potenzialmente liquefacibili.

Quindi per l'intero tracciato si può escludere potenziale rischio di liquefazione dei terreni.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	147 di 238

7 OPERE D'ARTE MAGGIORI

Nel presente capitolo vengono descritte per le opere d'arte maggiori del tracciato in progetto, la stratigrafia, i parametri geotecnici di progetto, il livello di falda e la categori di sottosuolo sulla base delle indagini più vicine all'opera in esame. La stratigrafia è in accordo a quanto riportato nel profilo stratigrafico longitudinale.

Per le fondazioni delle opere che ricadono in zona di alveo o golena di fiumi/torrenti si consiglia di assumere il livello di falda di progetto, per le opere a lungo termine, a quota p.c. locale. Per il dimensionamento delle opere provvisionali si assumerà invece il livello di falda indicato nel profilo geotecnico.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	148 di 238

7.1 Viadotto VI01 dal km 0+414 al km 0+765

In corrispondenza dell'opera sono stati eseguiti i sondaggi elencati nella tabella seguente.

Sondaggi/CPT	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down-Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_SV01	40.0	7	4	3	-	[8-9]	6.0 26.5
5_SV02	50.0	7	2	3	[40 m]	-	4.5 21.0
5_SV03	40.0	6	3	2	[40 m]	-	4.5 27.0
5_SV04	40.0	7	4	-	-	[2-6]	4.5 24.0
5_CPT01	13.0	-	-	-	-	-	-
5_CPT02	4.0	-	-	-	-	-	-
5_CPT03	6.0	-	-	-	-	-	-

TA [m]: profondità tratto filtrante
 DH [m]: profondità prova

La falda è stata intercettata a quota +240.5÷+240.8 m s.l.m. (piezometri 5_SV01, 5_SV03).

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷6.5
bs	Depositi alluvionali sabbiosi	6.5÷9.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	9.0÷30.0

Falda piano campagna



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	149 di 238

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Vs [m/s]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
ba	19.0	70	5	25	95÷230	65÷270	Eo / 5
bs	19.0	-	0	34	180÷250	160÷350	Eo / 5
TRVb	21.0	115+3.5*z (z < 30 m) 2.5+6.5*z (z > 30m)	5 ($\sigma'v < 200$ kPa) 25 ($\sigma'v > 200$ kPa)	25 ($\sigma'v < 200$ kPa) 19 ($\sigma'v > 200$ kPa)	260÷780	400÷1000	Eo / 5

Dove:

γ = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

Vs = velocità delle onde di taglio

Eo = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E'_{op,1} = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.

Le indagini sismiche disponibili lungo l'opera hanno dato valori di Vs,30 = 345 m/s per la prova Down-Hole nel foro 5_SV02 e Vs,30 = 411 m/s per la prova Down-Hole nel foro 5_SV03, si è assunta cautelativamente la categoria di sottosuolo C per tutto il viadotto.

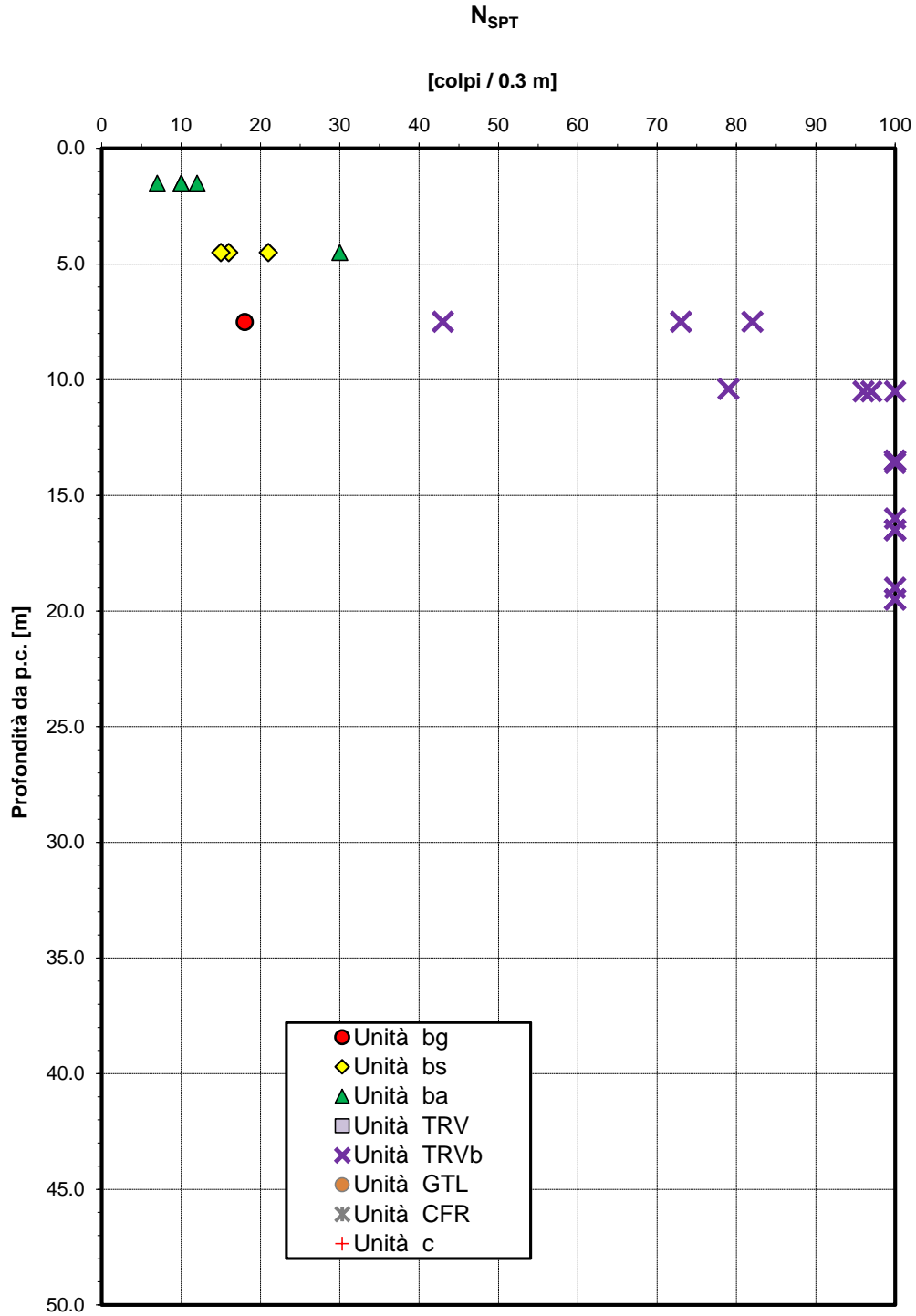


Figura 83 – Valori di N_{SPT} VI01

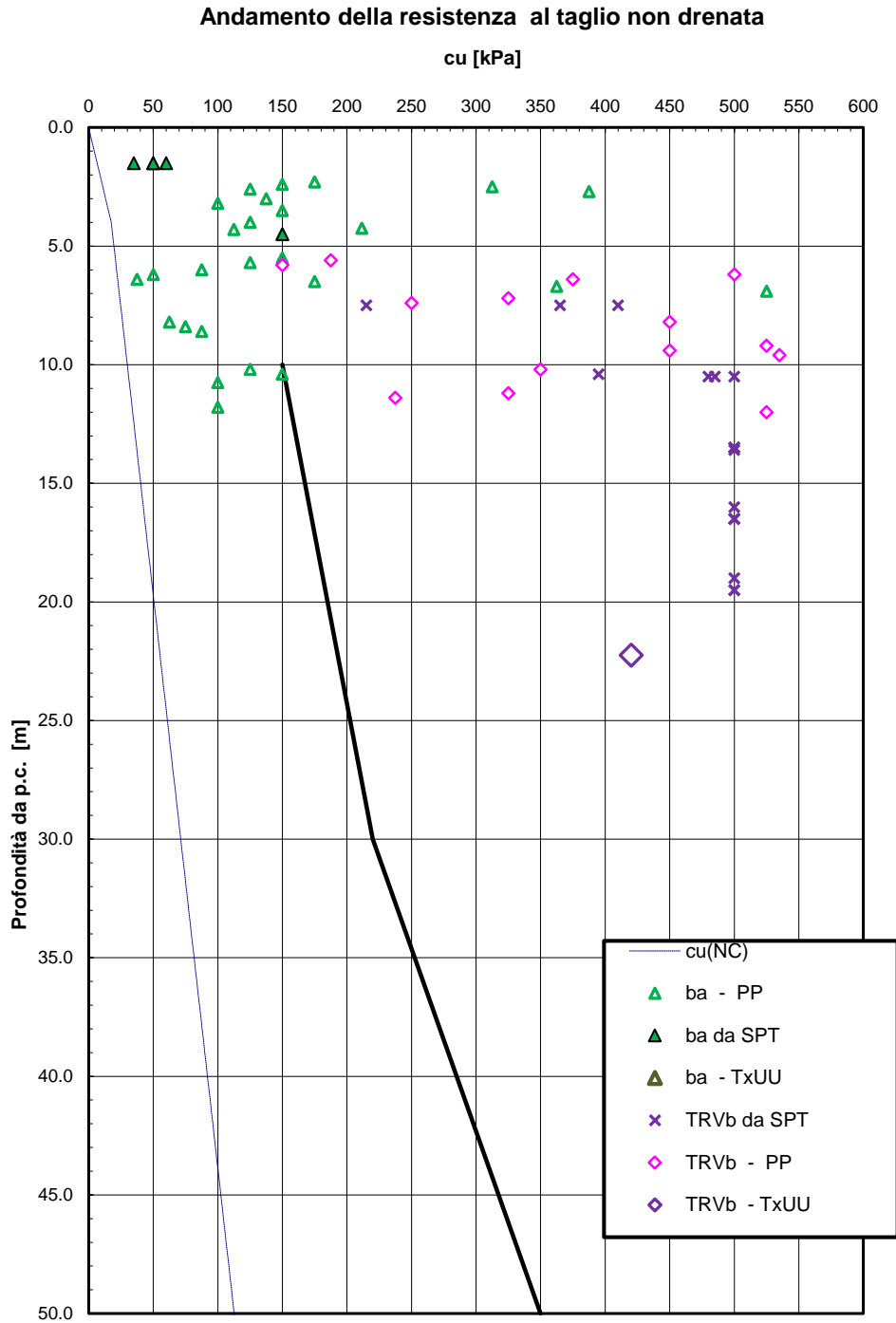


Figura 84 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate - VI01

Densità relativa da prove SPT

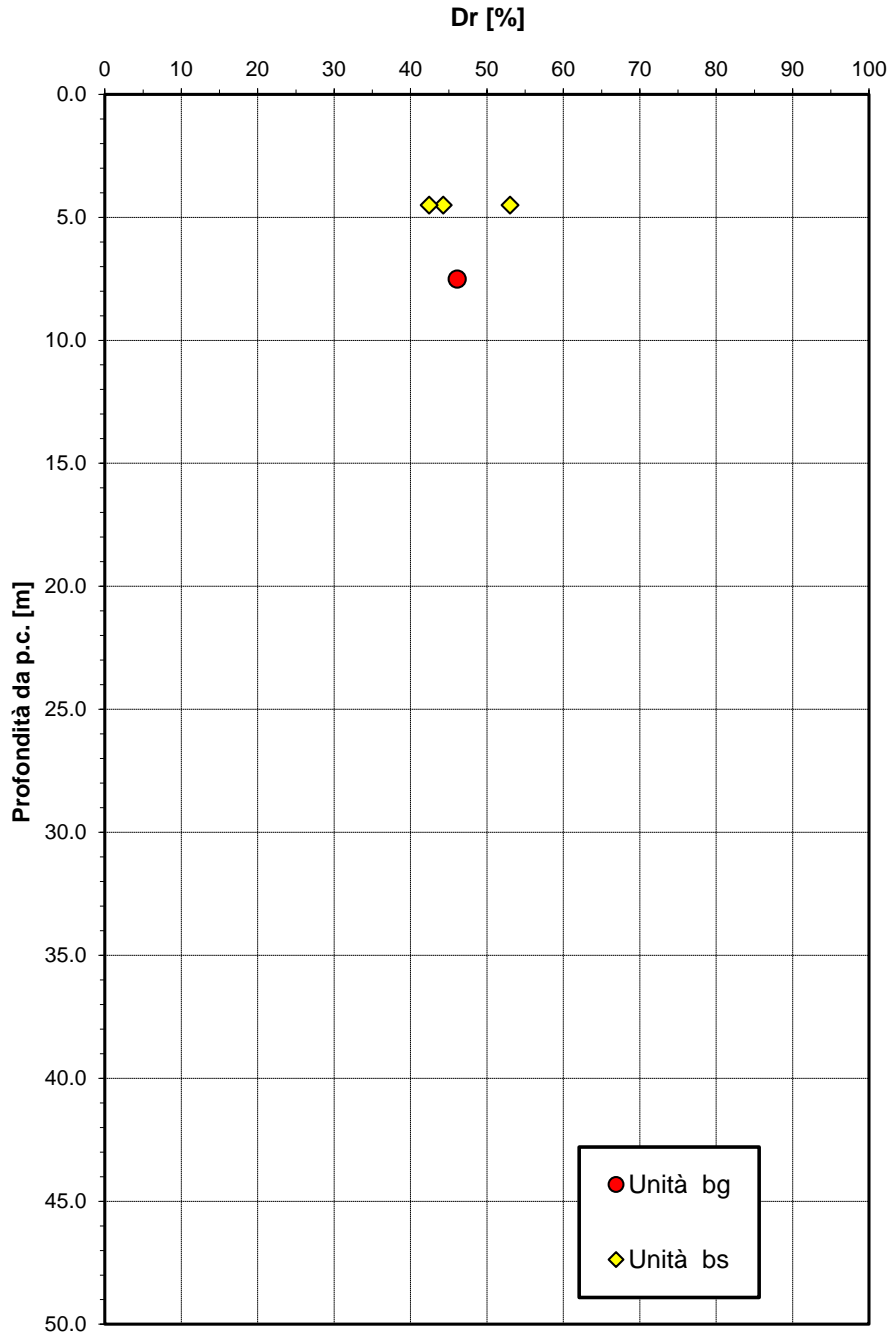


Figura 85 – Densità relativa da prova SPT - VI01

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

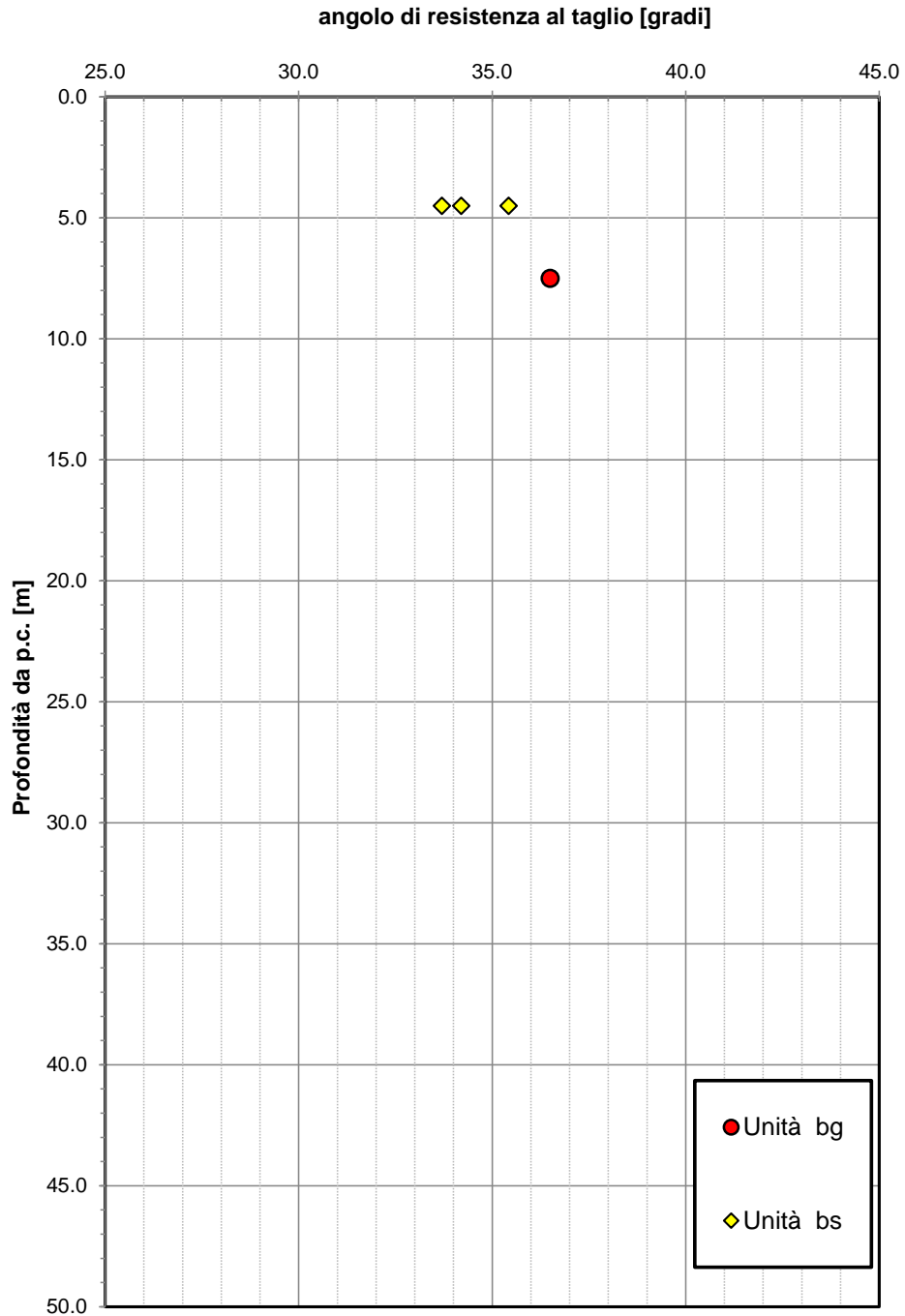


Figura 86 – Angolo di resistenza a taglio - VI01

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

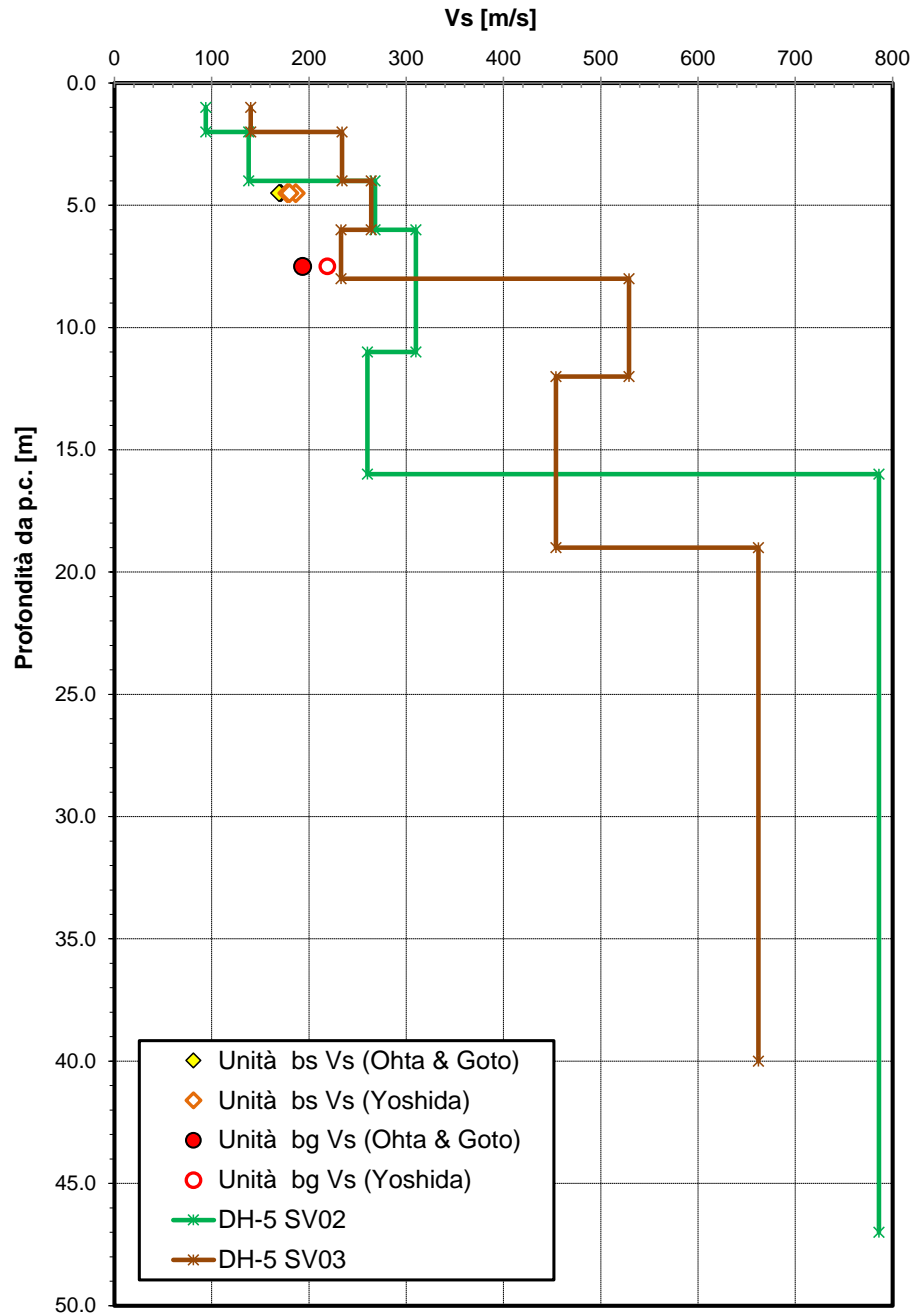


Figura 87 – Velocità delle onde di taglio Vs - VI01

Modulo di deformazione elastica iniziale da prove SPT e sismiche

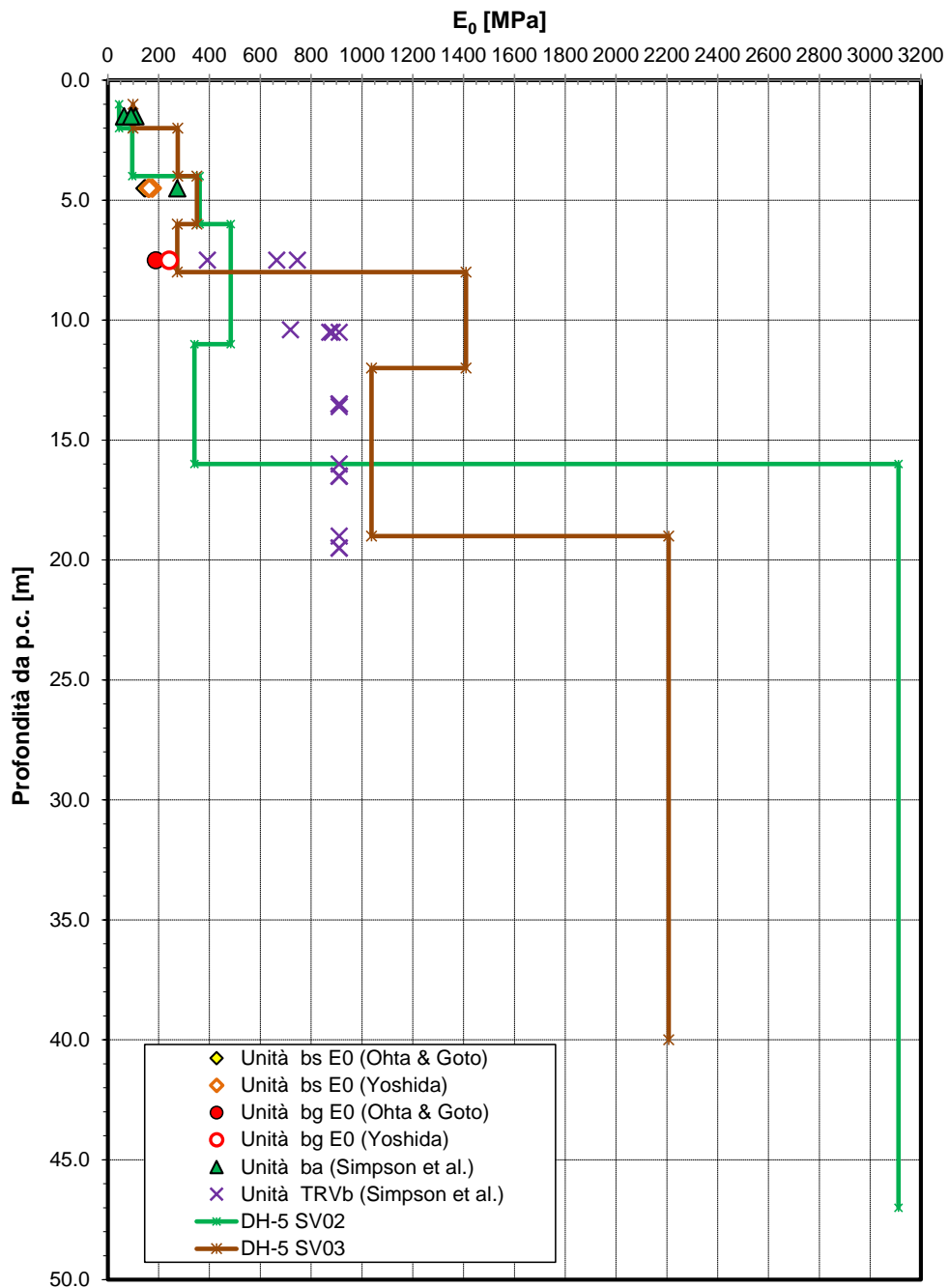


Figura 88 – Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT - VI01

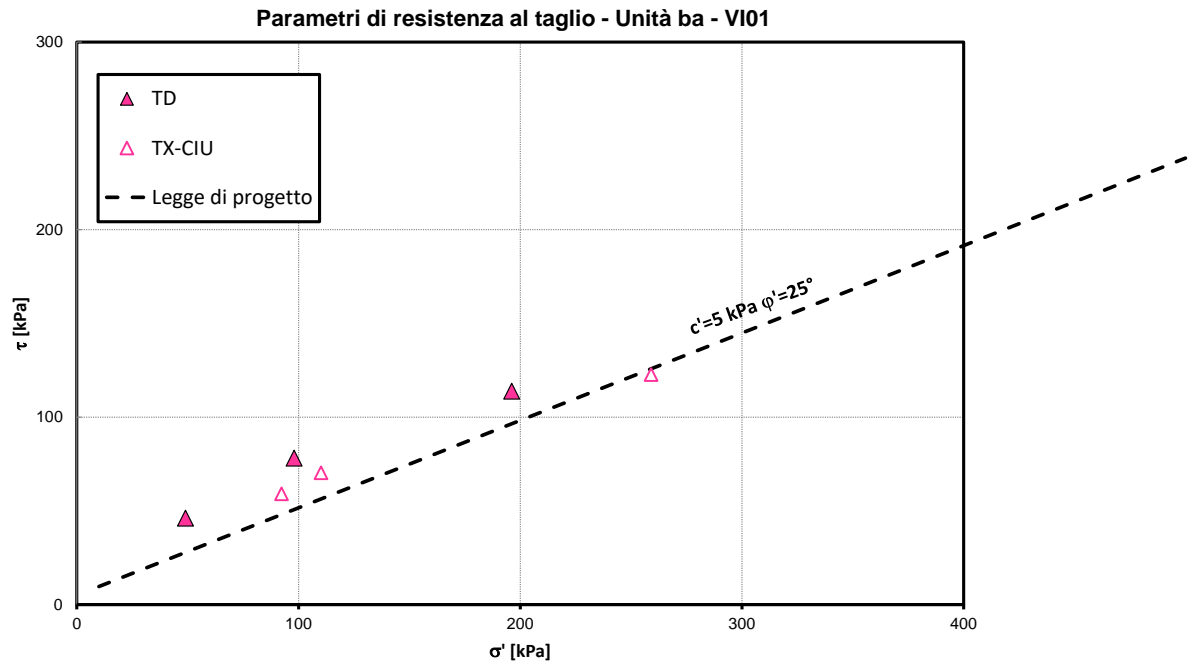


Figura 89 – Caratteristiche di resistenza a taglio – unità ba

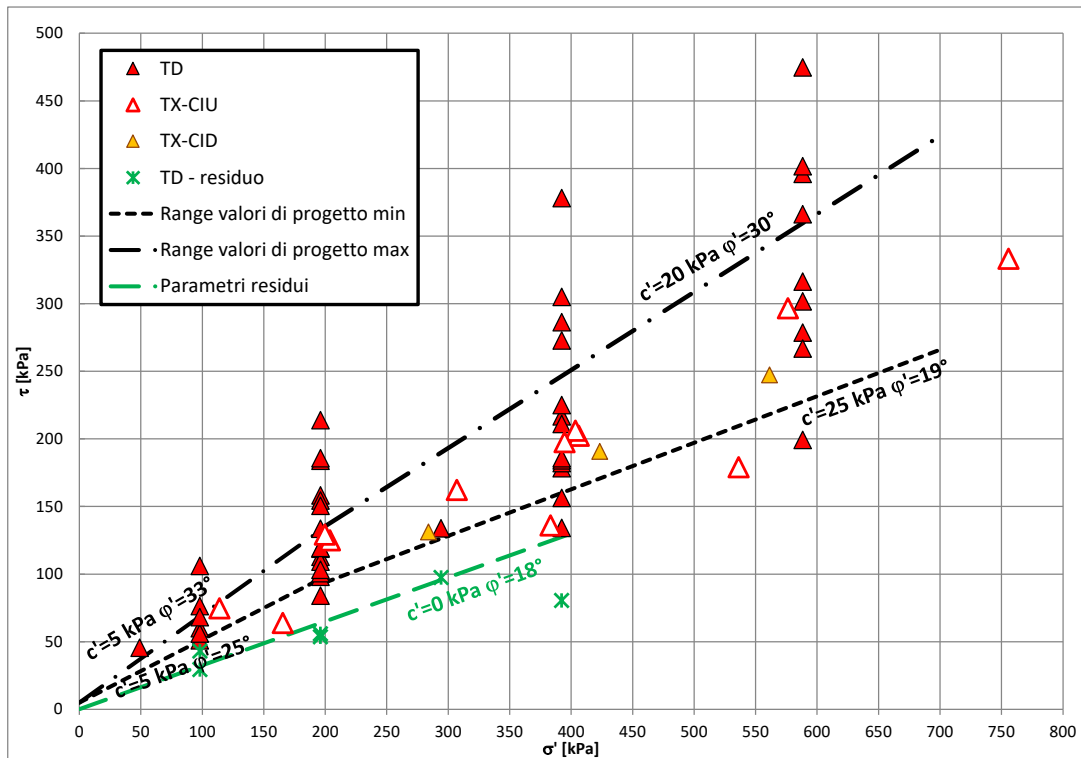


Figura 90 – Caratteristiche di resistenza a taglio – unità TRVb (tutti i dati di laboratorio della tratta in esame)



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	157 di 238

7.2 Viadotto VI02 dal km 1+358 al km 1+860

In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le indagini indicate nella tabella seguente.

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down-Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_S17	40.0	8	3	2	-	[26.5-28.5]	9.0 22.5
5_S12	30.0	7	3	2	[30 m]-	-	2.0 13.5
5_SV5N	40.0	6	3	3	DH	-	7 26
5_DPSH6	14.0	-	-	-	-	-	-

TA [m]: profondità tratto filtrante
 DH [m]: profondità prova

Poiché al momento della stesura del presente elaborato, non sono ancora disponibili i risultati delle prove di laboratorio sugli ultimi sondaggi eseguiti, verranno prese a riferimento anche indagini nelle vicinanze (5_SW01, 5_S12) per avere un maggior numero di dati a disposizione in quanto comunque intercettano gli stessi terreni.

Inoltre è stata eseguita l'indagine sismica Masw 1new. I risultati della DH nel foro 5_SV05N non sono al momento ancora disponibili.

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

STRATIGRAFIA		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷15.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	15.0÷40.0
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
FALDA: variabile da +234 m s.l.m (lettura piezometro 5_S17) a +247 m s.l.m. (piezometro 5_SW01)		

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Vs [m/s]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
ba	19.0	70÷120	0	24	160-220	75÷250	Eo / 5
bs	19.0	-	0	32	150-200	120-200	Eo / 5
bg	19.0	-	0	37	2560-300	300-450	Eo / 5
TRVb	21.0	115+3.5*z (z < 30 m) 2.5+6.5*z (z > 30m)	5	26	340-440	300÷970	Eo / 5

Dove:

γ = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

Vs = velocità delle onde di taglio

Eo = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E'_{op,1} = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.

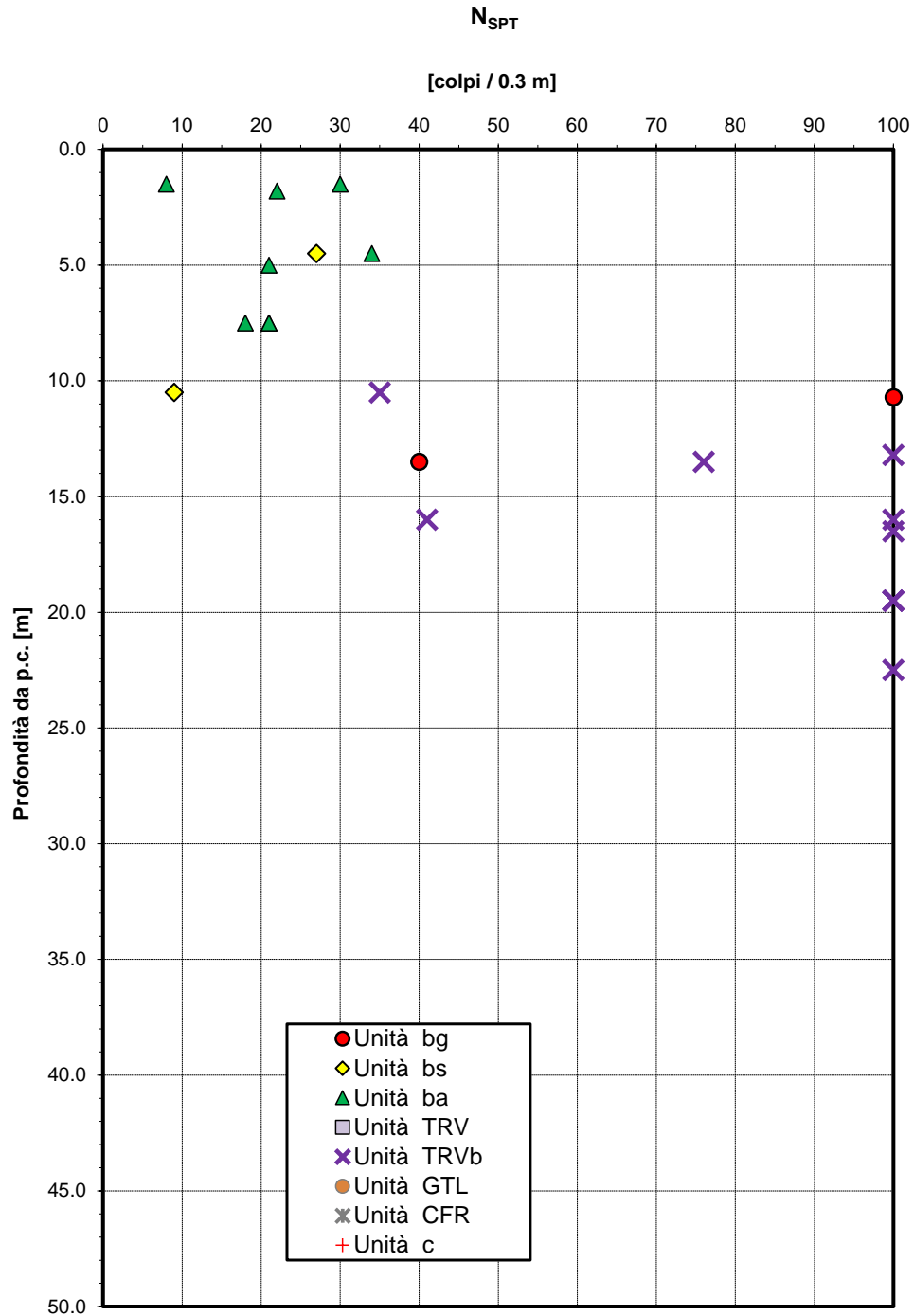


Figura 91 – Valori di N_{SPT} VI02

Densità relativa da prove SPT

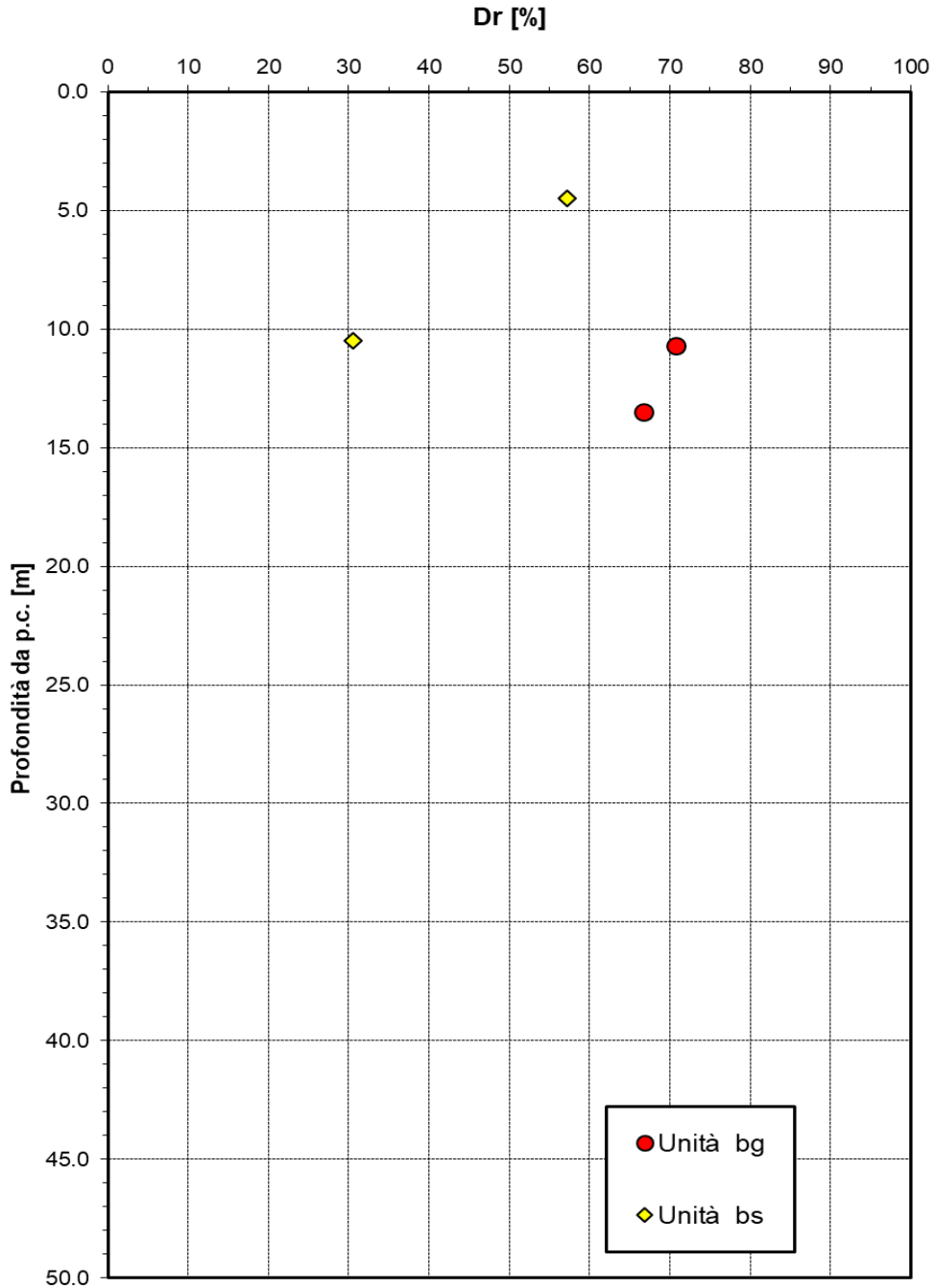


Figura 92 – Densità relativa da prove SPT VI02

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

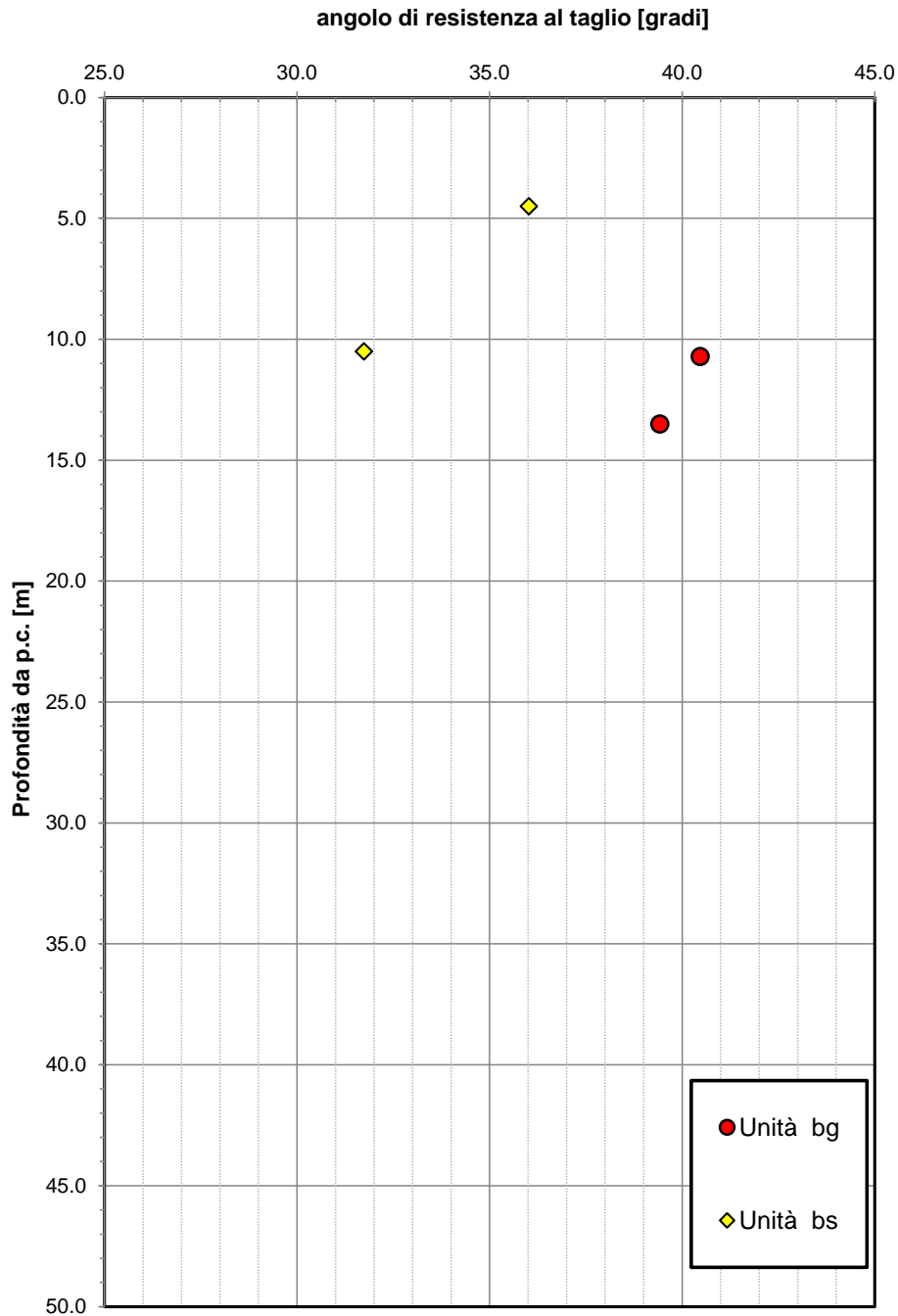


Figura 93 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT VI02

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

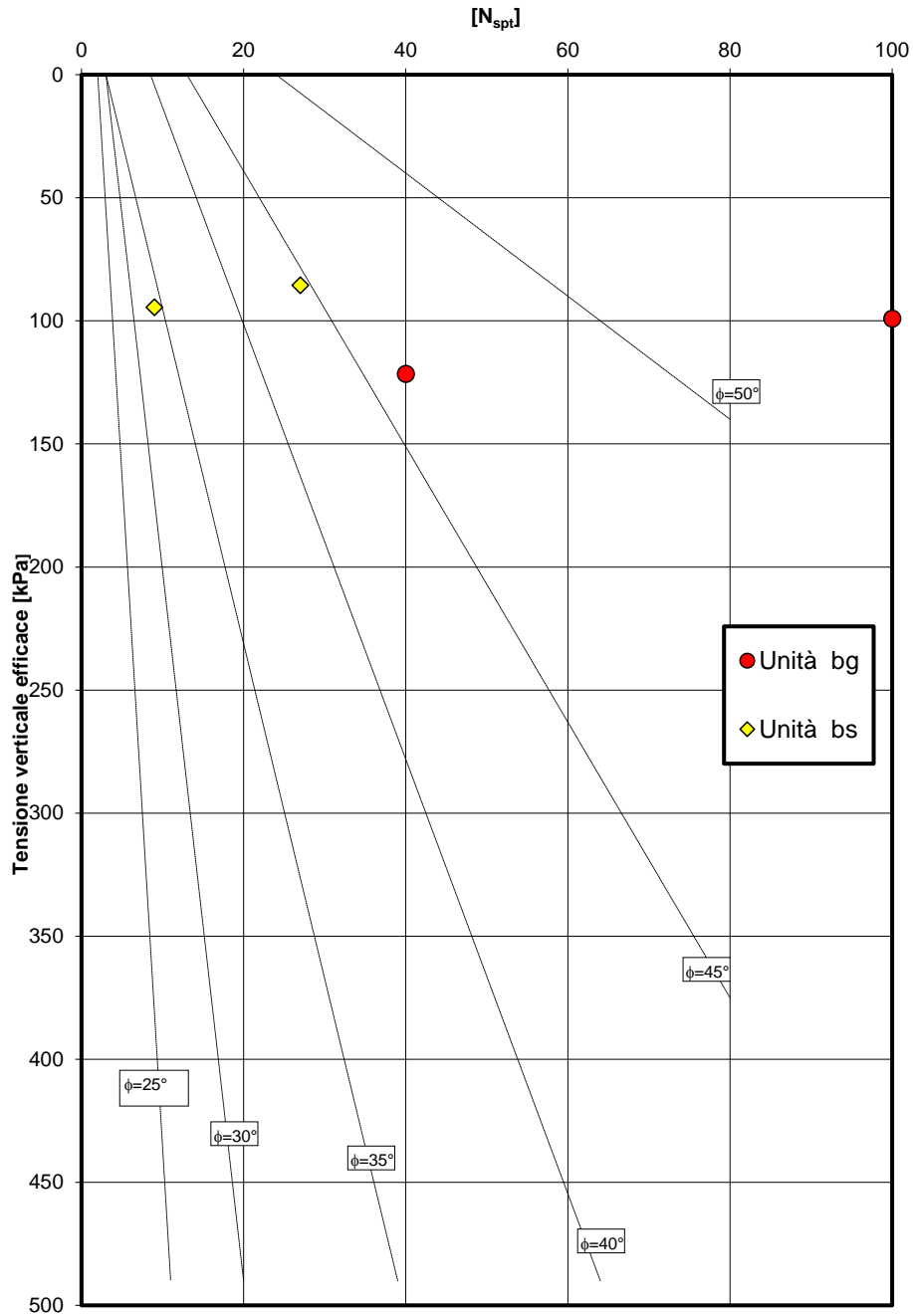


Figura 94 – Correlazione di De Mello (1971) VI02

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

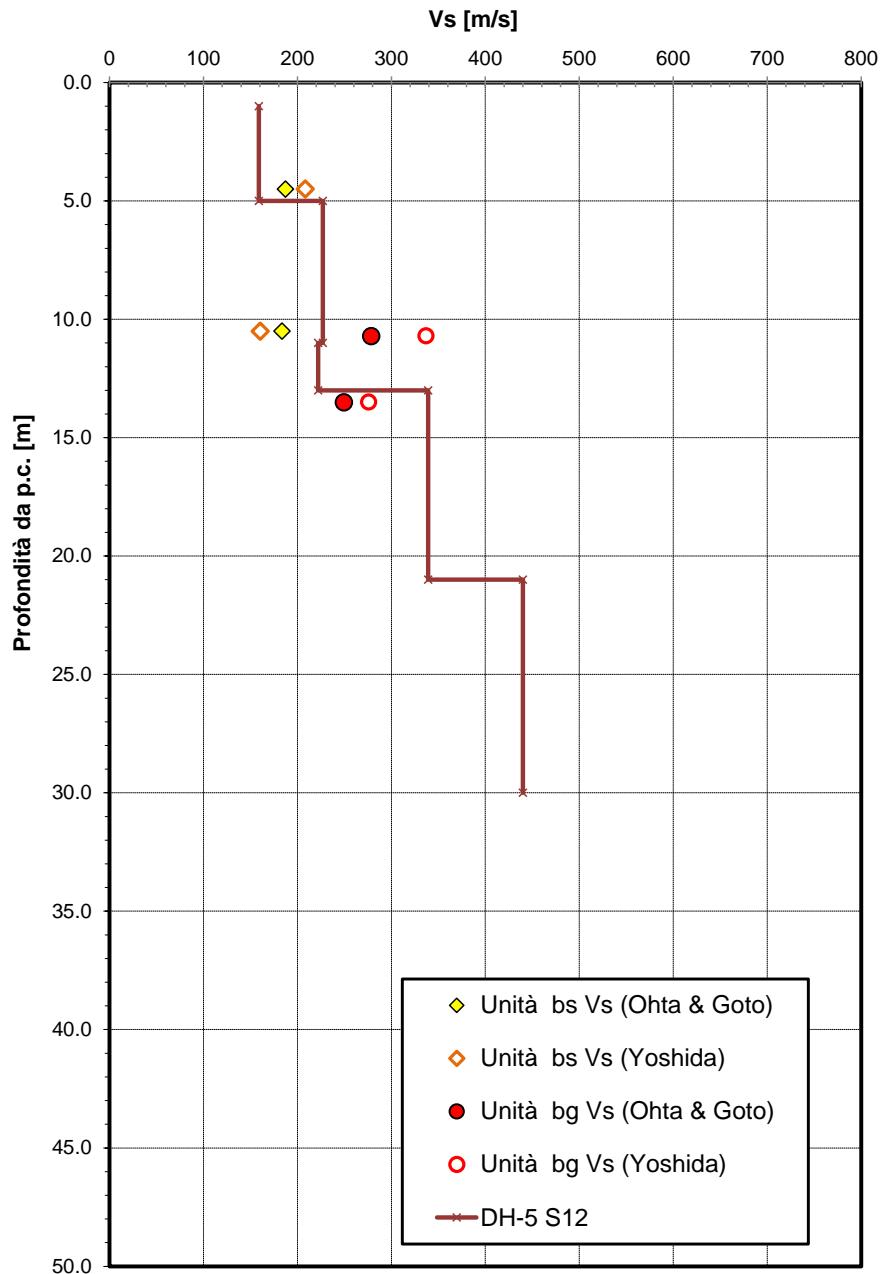


Figura 95 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche - VI02

Modulo di deformazione elastica iniziale da prove SPT e sismiche

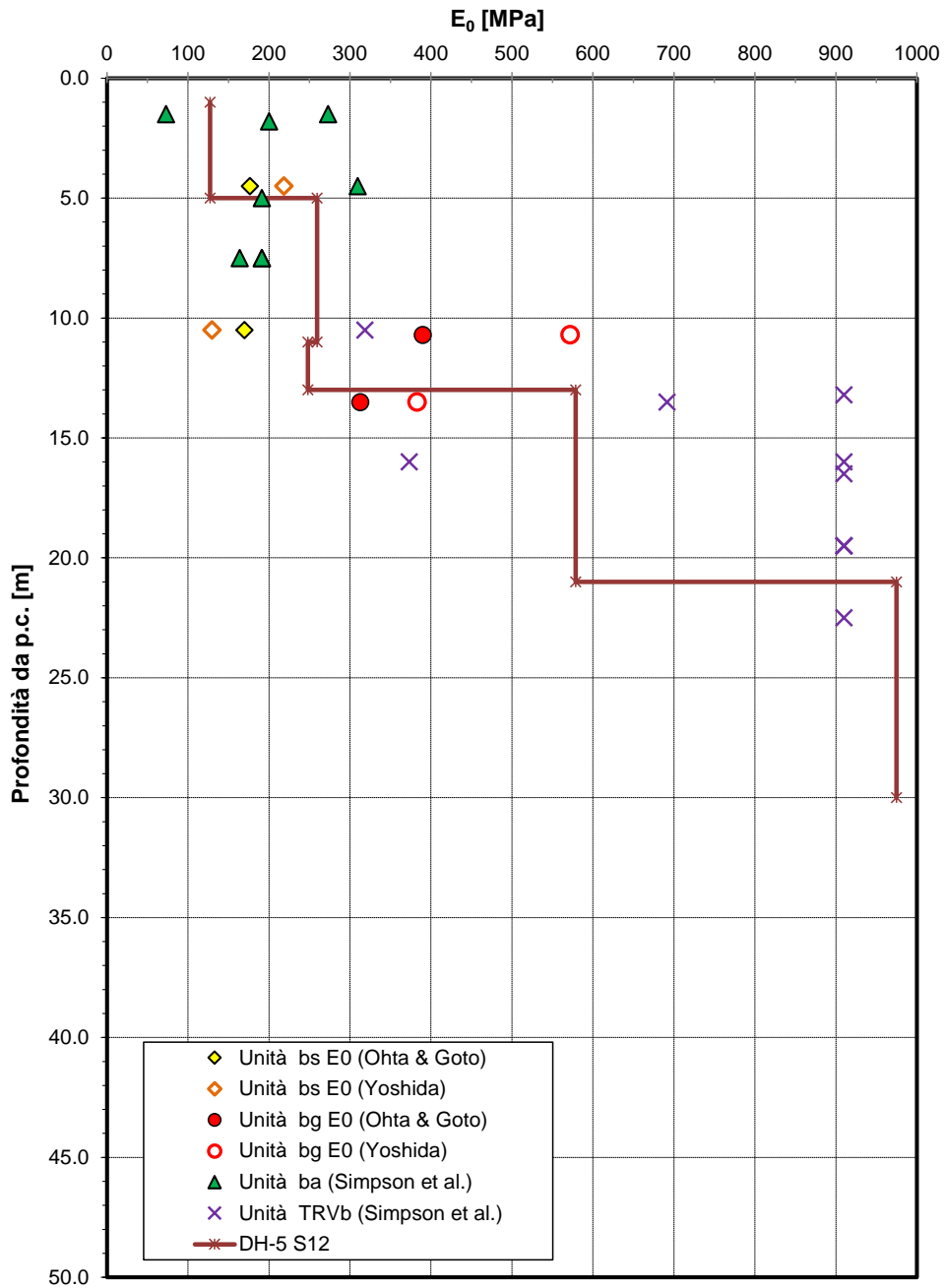


Figura 96 – Modulo di deformazione elastica da prove SPT - VI02

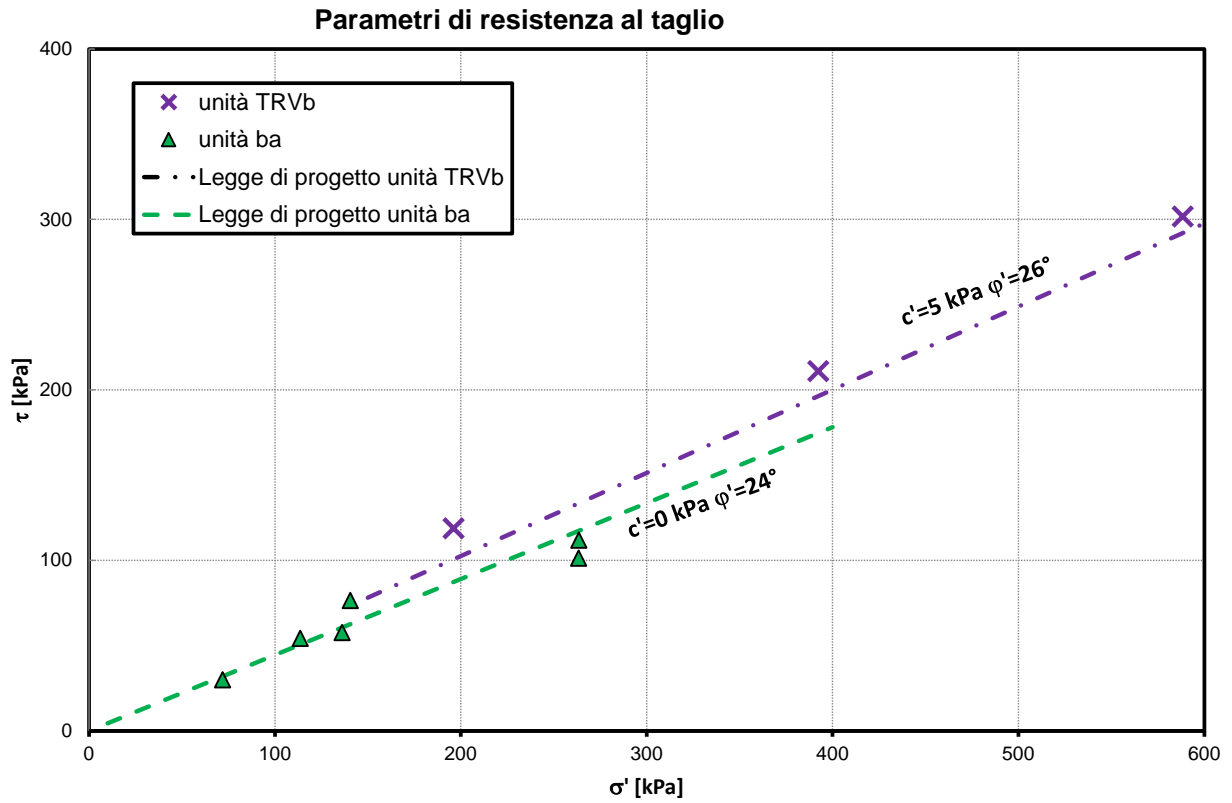


Figura 97 – Parametri di resistenza al taglio (laboratorio) - VI02



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	166 di 238

7.3 Viadotto VI03 dal km 2+447.41 al km 3+272.99

In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le indagini elencate nella tabella seguente.

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Lefranc, profondità [m]
5_SV1N	40.0	7	3	2	5.5 10.0
5_SV2N	40.0	7	3	-	5.5 19.0
5_SV6N	40.0	5	4	3	4.5 7.5
5_CPT05	8	-	-	-	-

Sono state eseguite due prove sismiche Masw: Masw2new e Masw3bisnew.

Non sono presenti letture piezometriche, da rilievo d'acqua in fase di perforazione di sondaggio è segnalata a 4.7 m da p.c., cautelativamente è assunto un livello di falda a p.c..

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

Stratigrafia 1 – Spalla 1 e Pila P1		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
TPL	Formazione di Tripoli-	0.0÷6.5
TVRb	Formazione di Terravecchia	6.5÷40.0

Stratigrafia 2 – Pile P1 – P24		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
a/ba	Depositi di alterazione substrato/depositi alluvionali coesivi	0.0÷6.5
TVRb	Formazione di Terravecchia	6.5÷40.0

Stratigrafia 1 – Spalla 2 e Pila P25		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
a	Depositi di alterazione substrato	0.0÷7.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	7.0÷40.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	167 di 238

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Vs [m/s]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
TPL	19.0	50÷100	0	30	-	250	-
a	19.0	-	0-5	25-26	-	200-350	
ba	19.0	50÷150	0	25	-	80÷300	Eo / 5
TRVb	21.0	115+3.5*z (z <30 m) 2.5+6.5*z (z >30m)	5	26	-	500÷900	Eo / 5

Dove:

γ = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

Vs = velocità delle onde di taglio

Eo = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E'_{op,1} = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.

Le due indagini sismiche hanno fornito valori di Vs,30=385 m/s (Masw2new) e Vs,30)348 m/s (Masw3bis new) da cui si assume categoria sottosuolo tipo C.

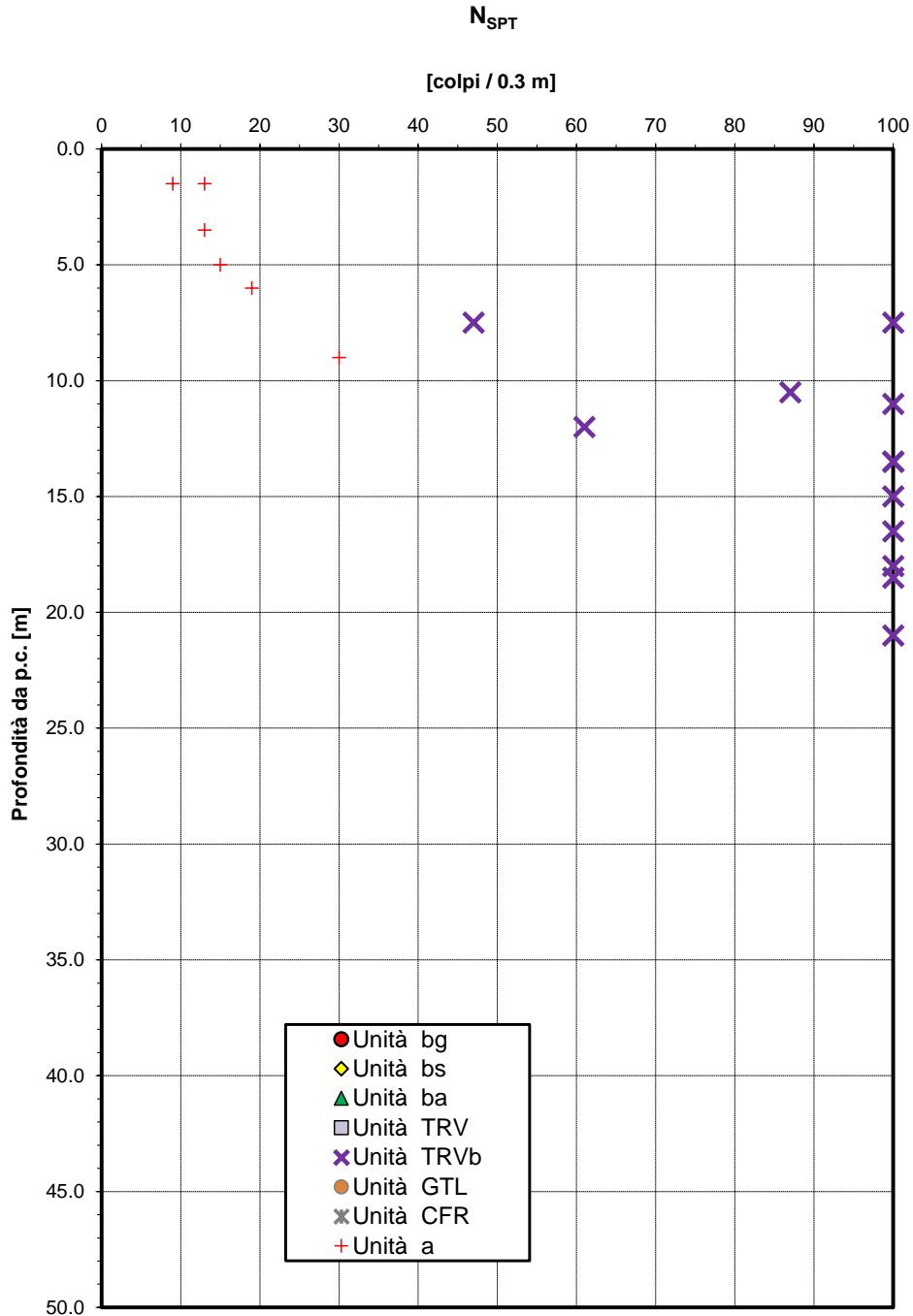


Figura 98 – Valori di N_{SPT} VI03

Figura 99 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT VI03

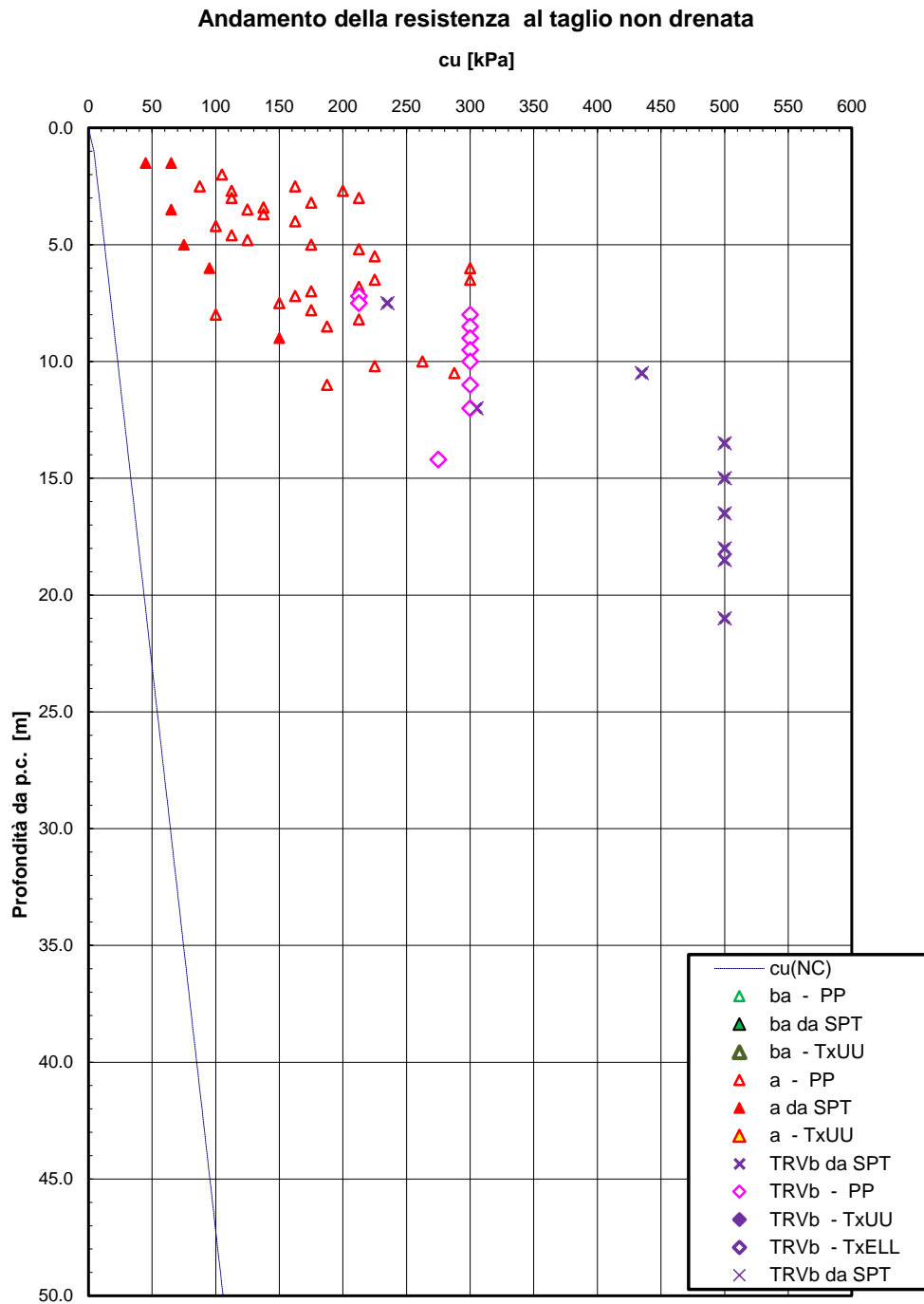


Figura 100 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate - VI03

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	170 di 238

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

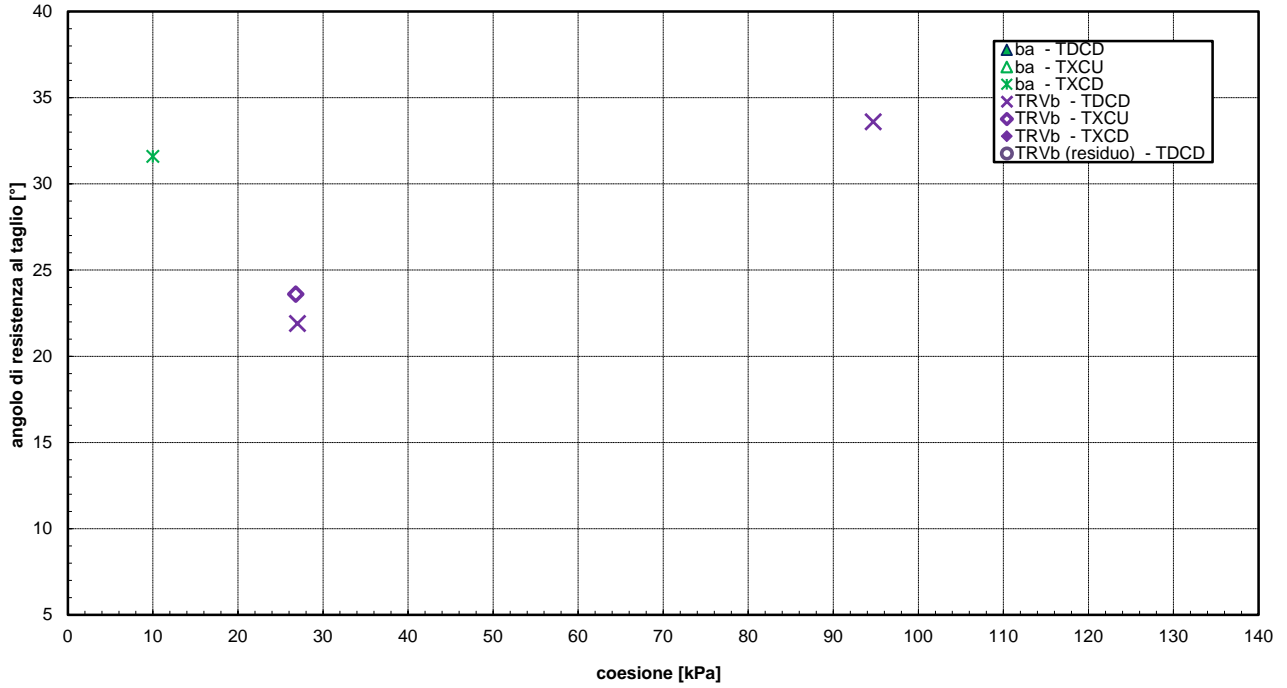


Figura 101 – Parametri di resistenza da laboratorio - VI03

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

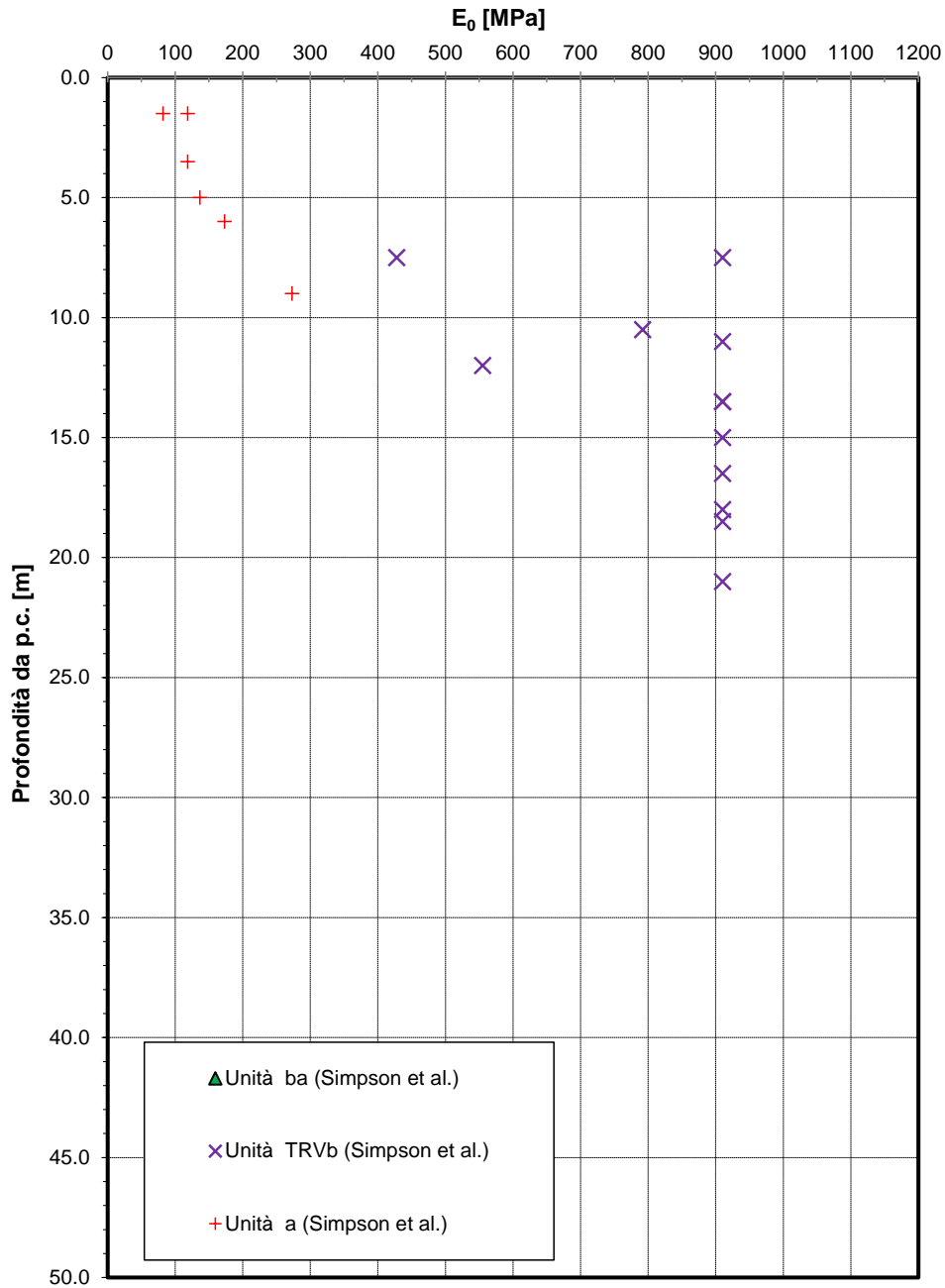


Figura 102 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT - VI03



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	172 di 238

7.4 Viadotto VI04 dal km km 3+548 al km 3+698

In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le indagini in sito elencate nella tabella seguente.

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down-Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_SV3N	40.0	7	3	-	-	-	5.5 19.0
5_S19	30.0	7	3	2	-	-	7.0 11.0
TA [m]: profondità tratto filtrante DH [m]: profondità prova							

Le letture piezometriche del sondaggio 5_S19 indicano falda a 3.5 m, livello confermato dal rilievo acqua in fase perforazione sondaggio 5_SV3N (a 3.6 m da p.c.).

In corrispondenza dell'opera è stata eseguita la Masw 3new ($V_{s,30} = 348$ m/s), da cui si è assunta categoria di sottosuolo C.

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

Unità geotecnica	Descrizione
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)
bg	Depositi alluvionali ghiaiosi
TVRb	Formazione di Terravecchia presente a profondità >7-11 m



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	173 di 238

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	V_s [m/s]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
ba	19.0	50÷100	0÷5	25	-	70÷300	$E_o / 5$
bg	19.0	-	0	35	-	350	$E_o / 5$
TRVb	21.0	115+3.5*z (z <30 m) 2.5+6.5*z (z >30m)	5÷10	26	-	400÷900	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

E_o = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.

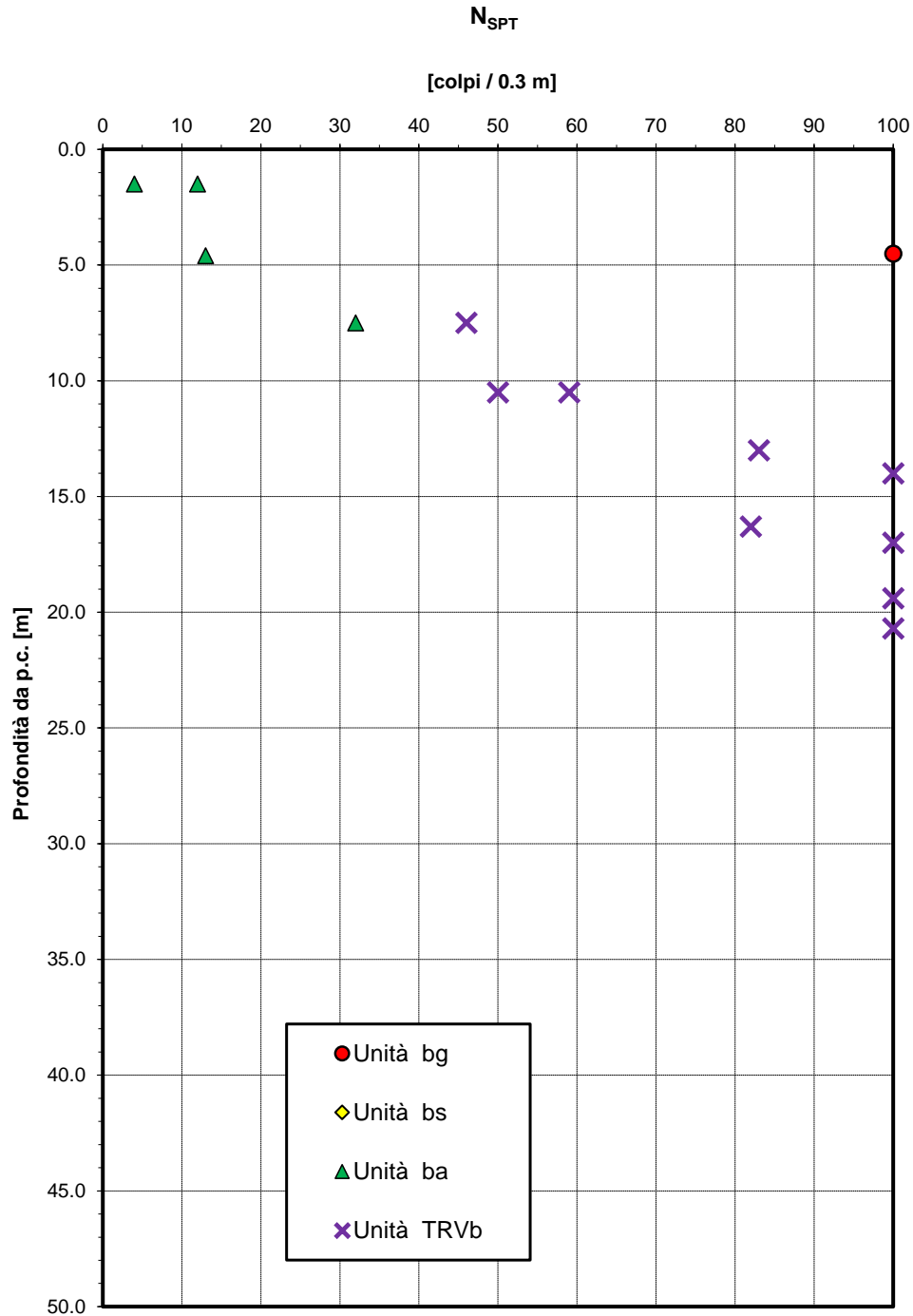


Figura 103 – Valori di N_{SPT} VI04

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

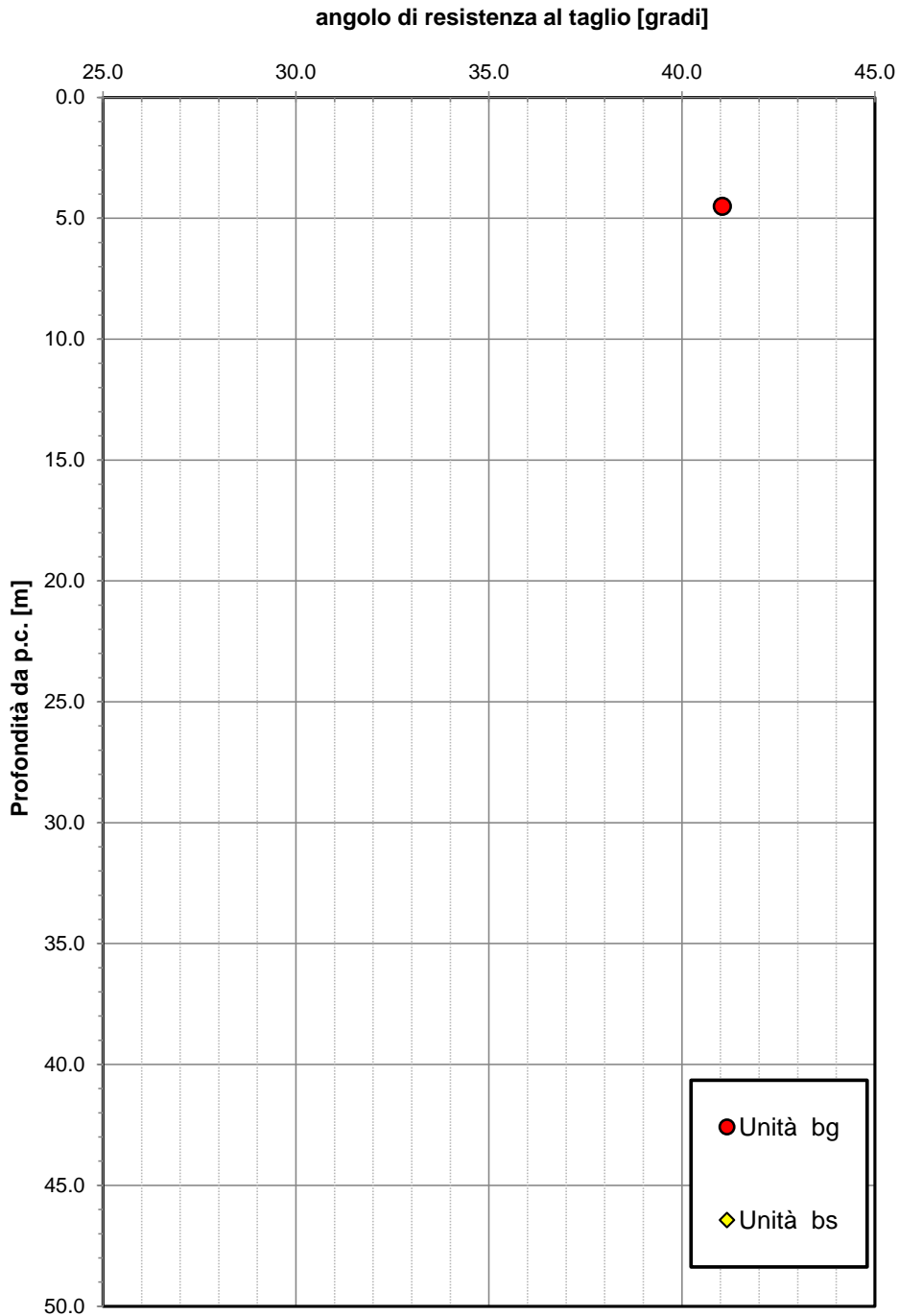


Figura 104 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT VI04

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

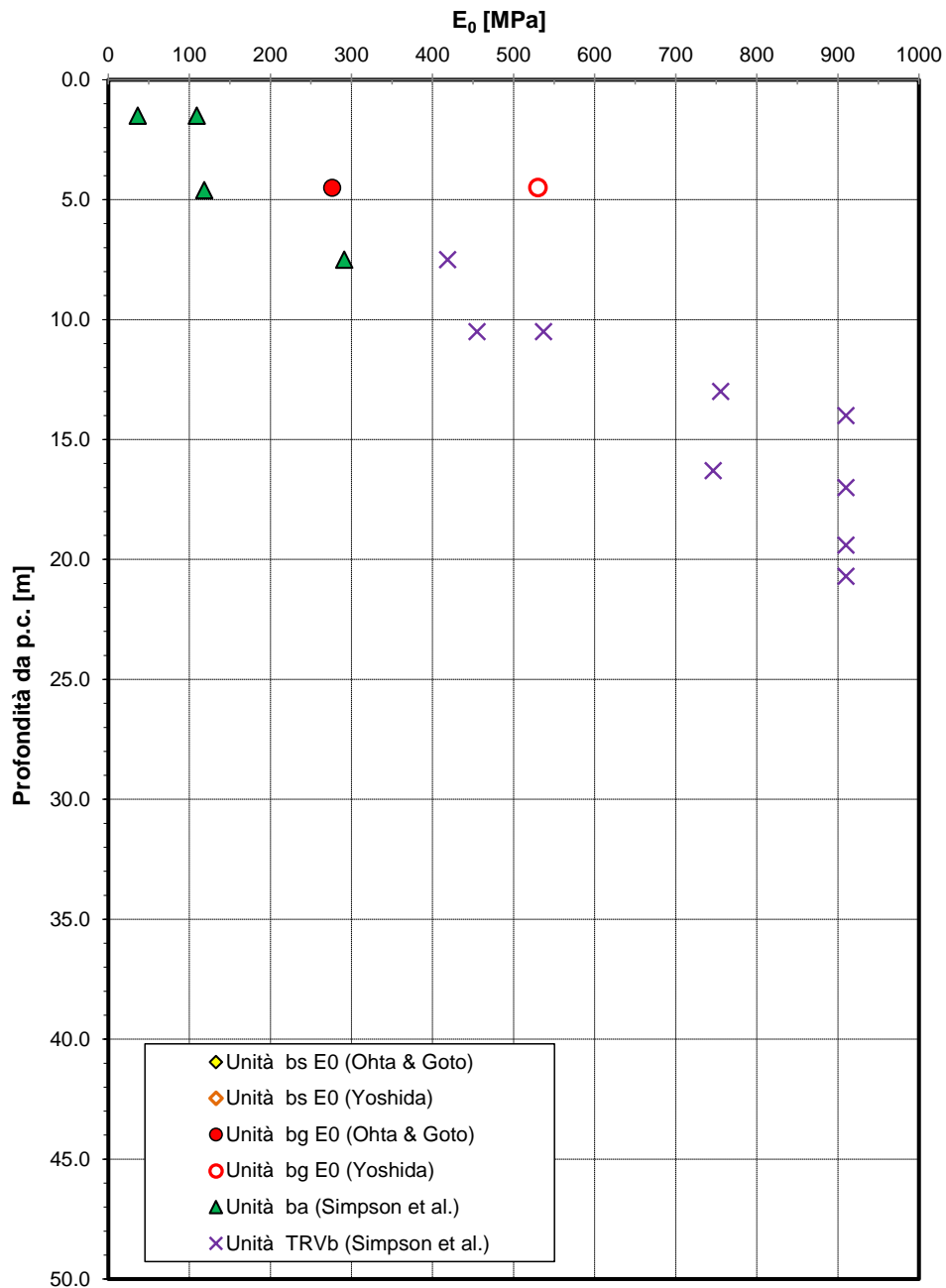


Figura 105 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prova SPT VI04

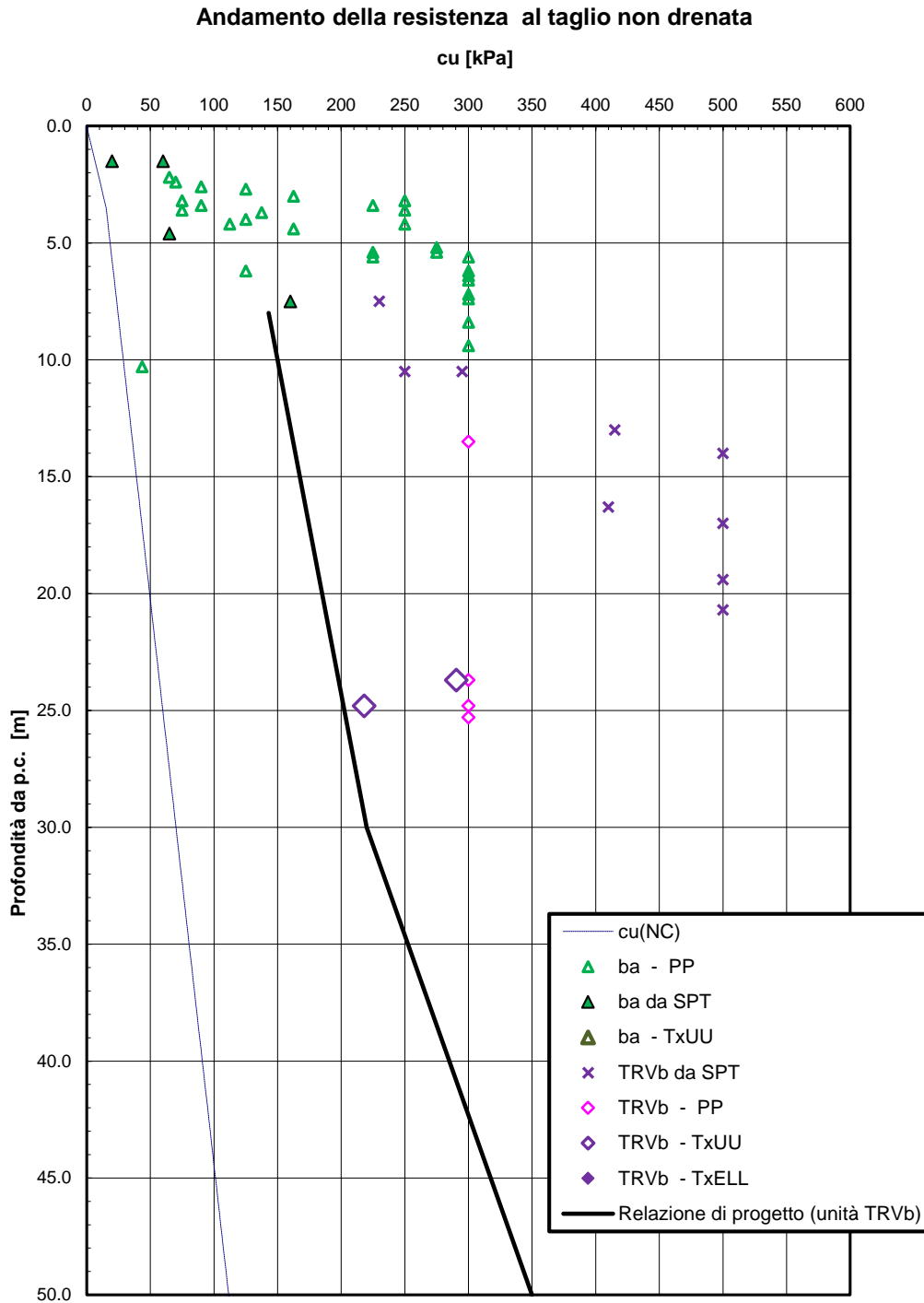


Figura 106 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – VI04

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	178 di 238

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

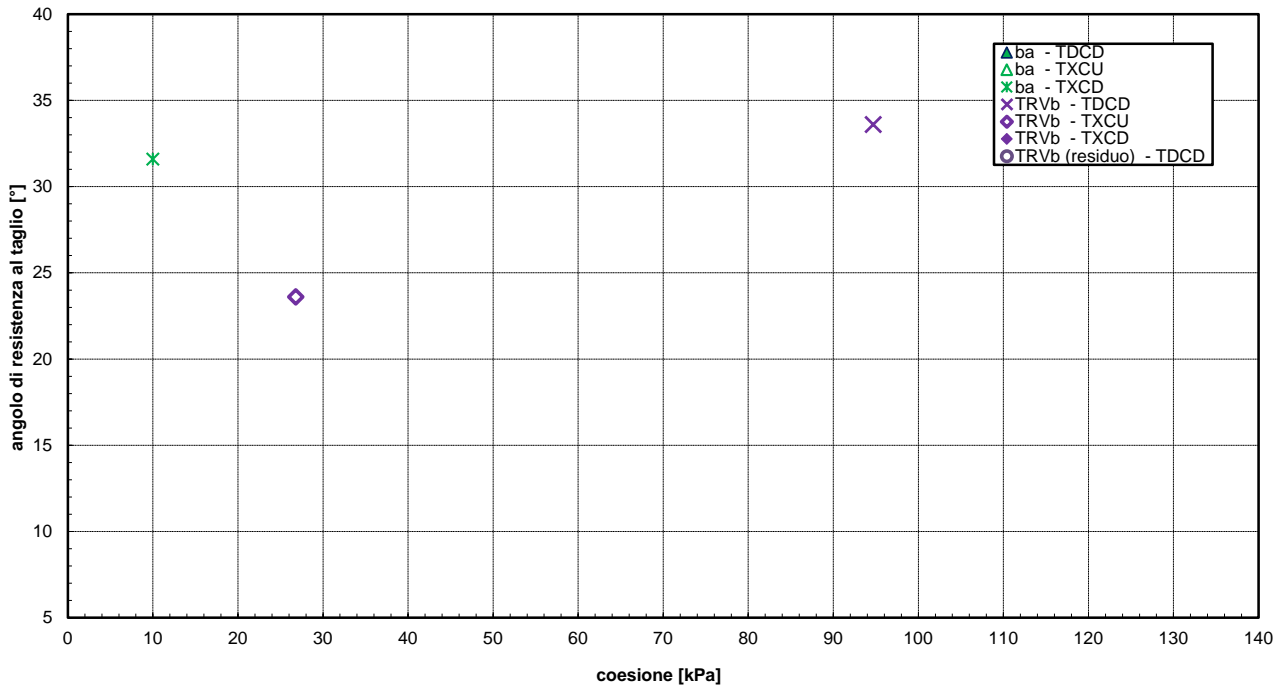


Figura 107 – Parametri di resistenza al taglio – VI04



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	179 di 238

7.5 Viadotto VI05 dal km km 4+843 al km 5+008

Le indagini disponibili sono quelle mostrate in tabella:

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down-Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_S08	30.0	5	2	3	-	[28-29]	3.0 12.0
5_SV11	40.0	6	3	1	[40]	-	4.5 17.0
5_SV12	50.0	7	4	2	-	[20.5-21.5]	9.0 14.0
5_SW03	30.0	9	4	3	-	[8-9]	5.0 18.0

TA [m]: profondità tratto filtrante
 DH [m]: profondità prova

E' disponibile l'indagine sismica Masw4new.

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷6.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	6.0÷50.0

La falda è stata assunta al piano campagna.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	180 di 238

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Vs [m/s]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
ba	19.0	70	5	25	-	80÷200	Eo / 5
TRVb	20.5÷21.0	130 (z < 15m) 115+3.5*z (15 < z < 30 m) 2.5+6.5*z (z > 30m)	5÷10	26	-	200÷1000	Eo / 5

Dove:

γ = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

Vs = velocità delle onde di taglio

Eo = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E'_{op,1} = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.

Dall'indagine sismica Masw4new è stata definita la categoria di sottosuolo sismica tipo C.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	181 di 238

7.6 Viadotto VI06 dal km 5+439 al km 6+424

Nelle vicinanze dell'opera sono state eseguite le indagini in sito elencate nella tabella seguente:

Sondaggio /prova	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down – Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_DPSH10	15.4	-	-	-	-	-	-
5_SV11	40.0	6	3	1	[40m]	-	4.0 16.5
5_SV12	50.0	7	4	2	-	[19.5-21.5]	9.0 14.0
5_S08	30.0	5	2	3	-	CC [28.5]	3.0 12.0
5_S07	40.0	8	3	3	-	[5.5-31.5]	4.5
5_S23	30.0	7	3	2	-	[19.5-20.5]	8.5

TA [m]: profondità tratto filtrante
 CC [m]: profondità cella.

Inoltre sono state eseguite due indagini sismiche: Masw5 e Masw6.

Le letture dei piezometri (5_S08, 5_SV12, 5_S07) indicano falda variabile da 3 a 8 m dal p.c., per la portanza dei pali è stata assunta a p.c. anche in relazione alla presenza di corsi d'acqua.

Si sono assunte le seguenti stratigrafie.

STRATIGRAFIA 1 – Pila P1 – P13		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷11.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	11.0÷50.0

STRATIGRAFIA 2 – Pile P14 – P21, P26 – P28		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷10.0
bs/bg	Depositi alluvionali sabbiosi/ghiaiosi	10.0÷12.5
TVRb	Formazione di Terravecchia	12.5÷50.0

STRATIGRAFIA 3 – Pile P22 – P25		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo)	0.0÷6.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	182 di 238

	argillosi)	
bs/bg	Depositi alluvionali sabbiosi/ghiaiosi	6.0÷11.5
TVRb	Formazione di Terravecchia	11.5÷50.0

STRATIGRAFIA 4 - Spalle		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷9.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	9.0÷50.0

FALDA

Le letture dei piezometri (5_S08, 5_SV12, 5_S07) indicano falda variabile da 3 a 8 m dal p.c. cautealmente per il dimensionamento dei pali è stata assunta falda a p.c.; per il dimensionamento delle opere provvisorie si considera il livello di falda mostrato nel rprofilo geotecnico longitudinale.

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	V_s [m/s]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
ba	19.0	50÷100 (75)	5	25	130÷200	80÷200	$E_o / 5$
bs	19.0	-	0	33	180÷220	200÷400	$E_o / 5$
bg	19.0	-	0	38	250÷300	300÷500	$E_o / 5$
TRVb	20.5÷21.0	130 (z < 15m) 115+3.5*z (15 < z < 30 m) 2.5+6.5*z (z > 30 m)	5÷10	26	340÷640	200÷1000	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate (valore medio)

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

G_o = modulo di deformazione a taglio iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E_o = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

Per l'opera si è definita una categoria di sottosuolo C, sulla base delle indagini sismiche eseguite: masw5 ($V_{s,30}=281$ m/s), Masw6 ($V_{s,30} = 292$ m/s), prova Down – Hole nel foro di sondaggio 5_SV11 ($V_{s,30} = 320$ m/s).

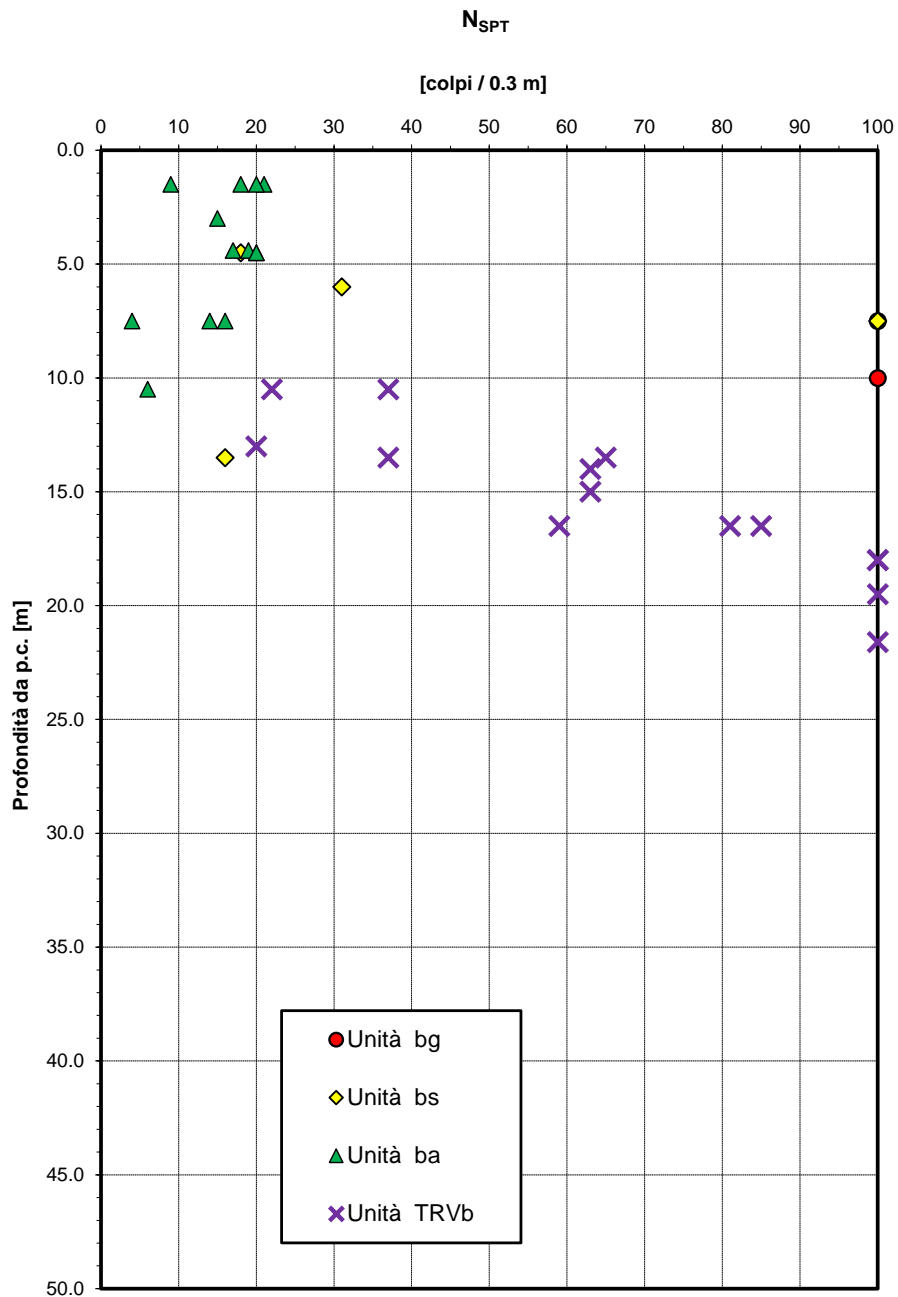


Figura 108 – Valori di N_{SPT} VI06

Densità relativa da prove SPT

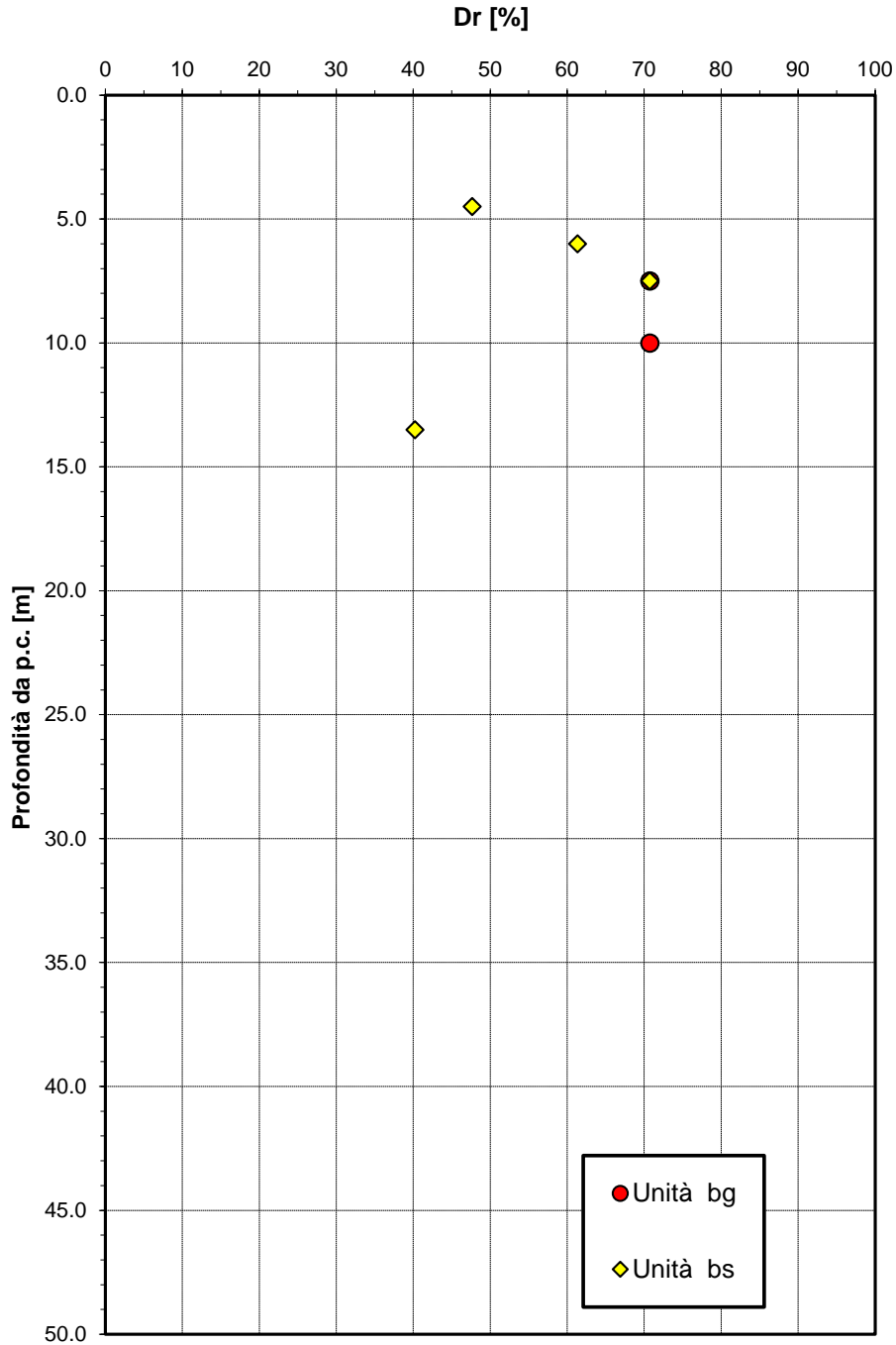


Figura 109 – Densità relativa da prove SPT- VI06

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

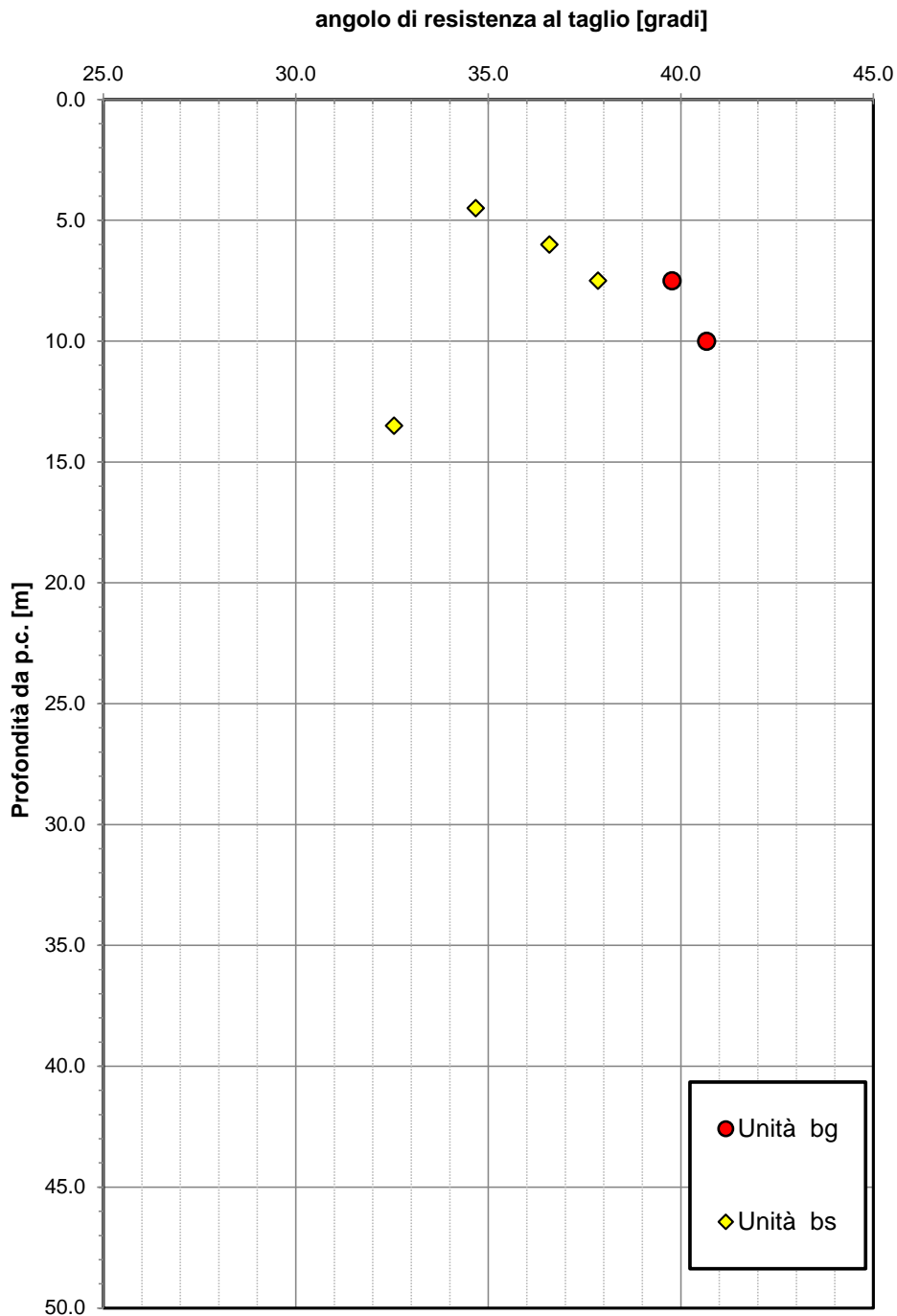


Figura 110 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT- VI06

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

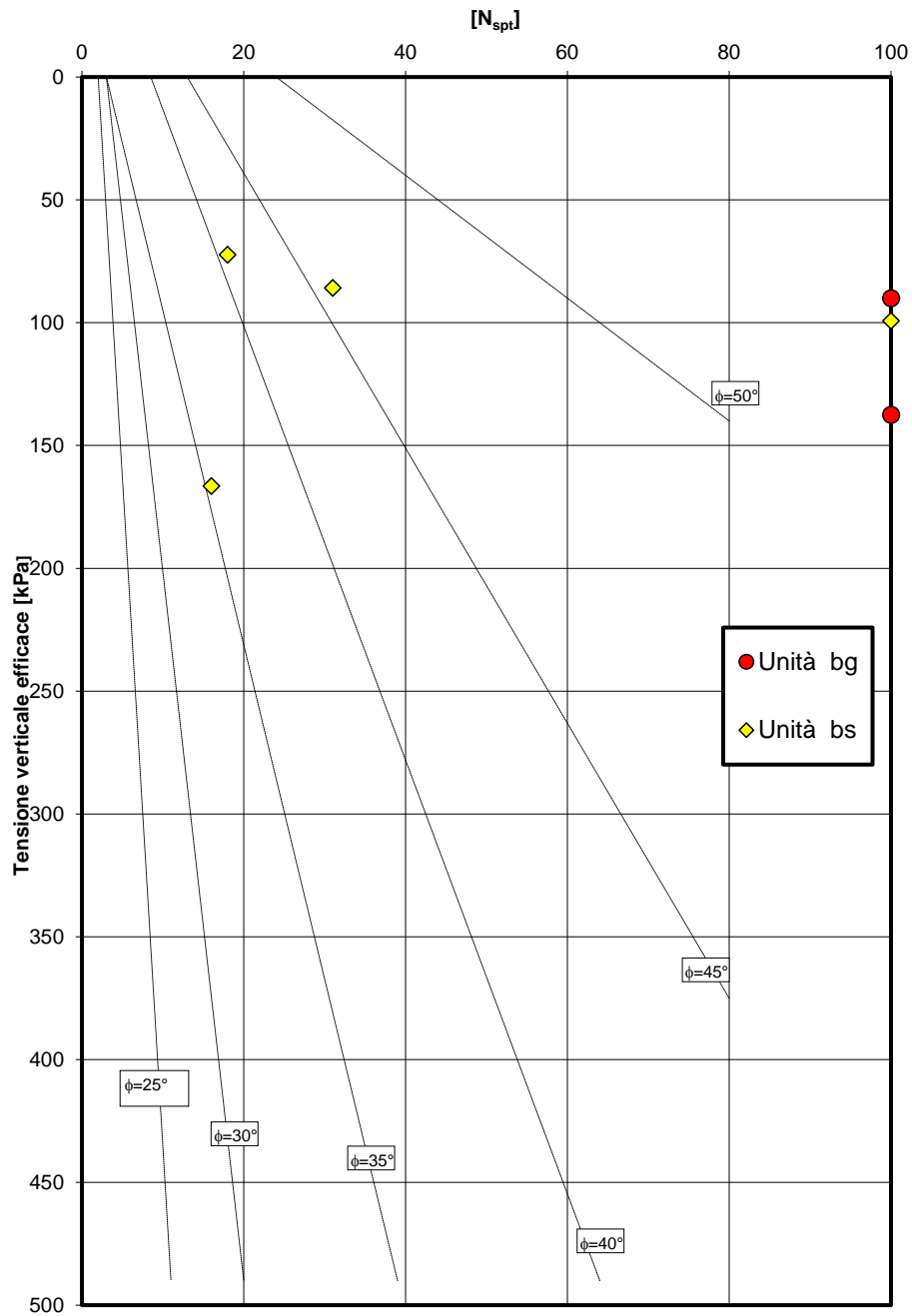


Figura 111 – Correlazione N_{spt} – angolo di attrito (De Mello, 1971) - VI06

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

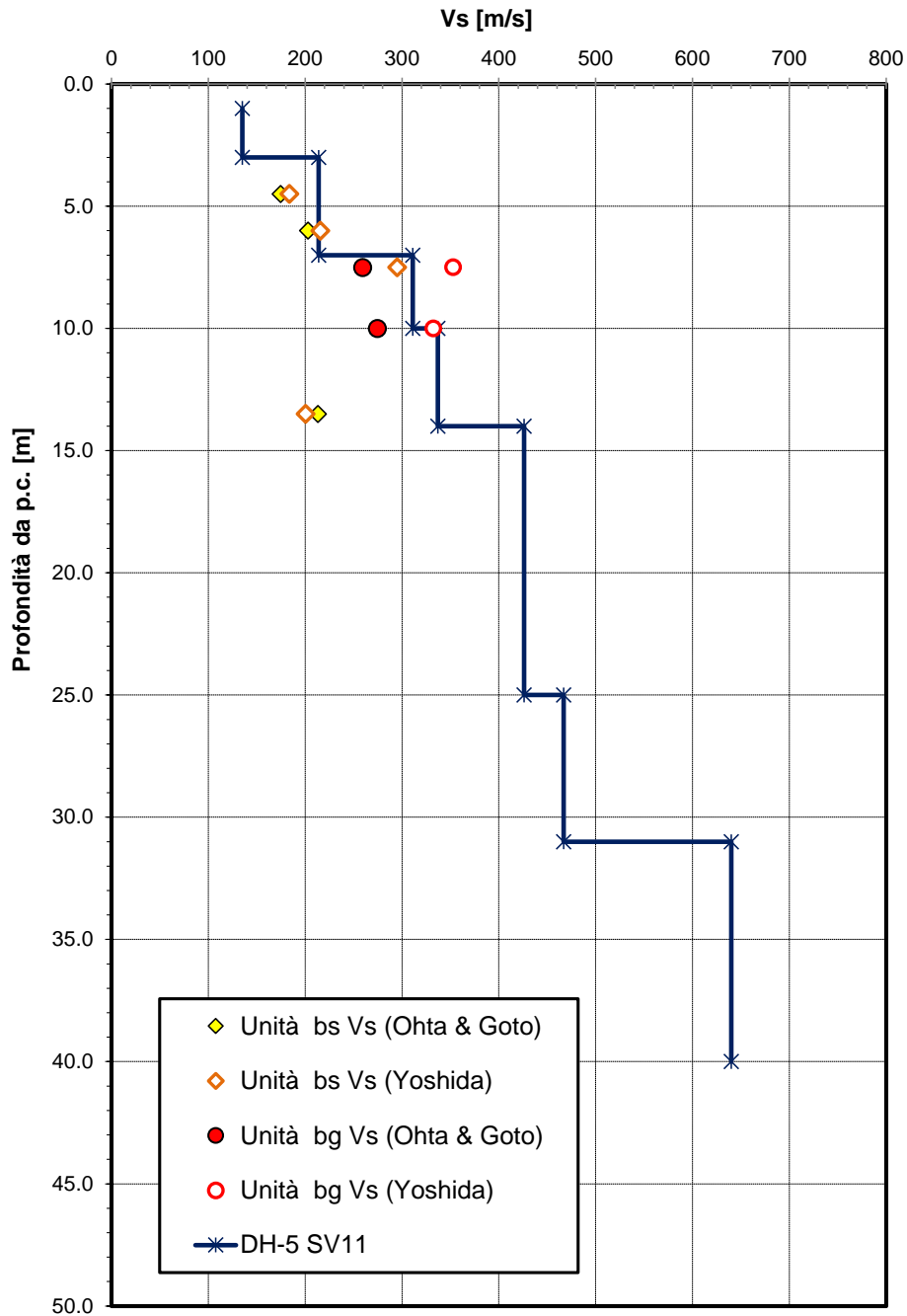


Figura 112 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche - VI06

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

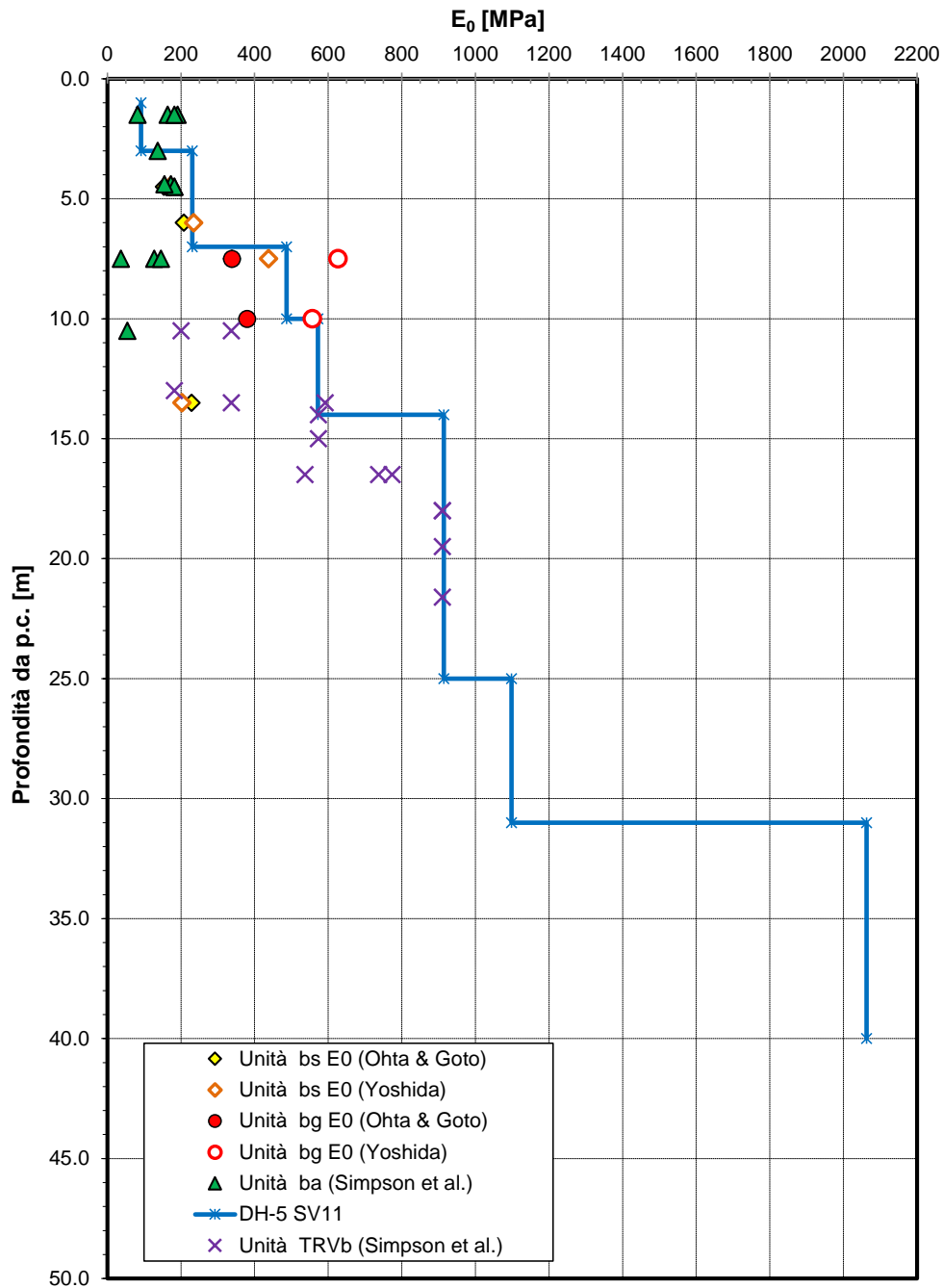


Figura 113 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche- VI06

Peso di volume

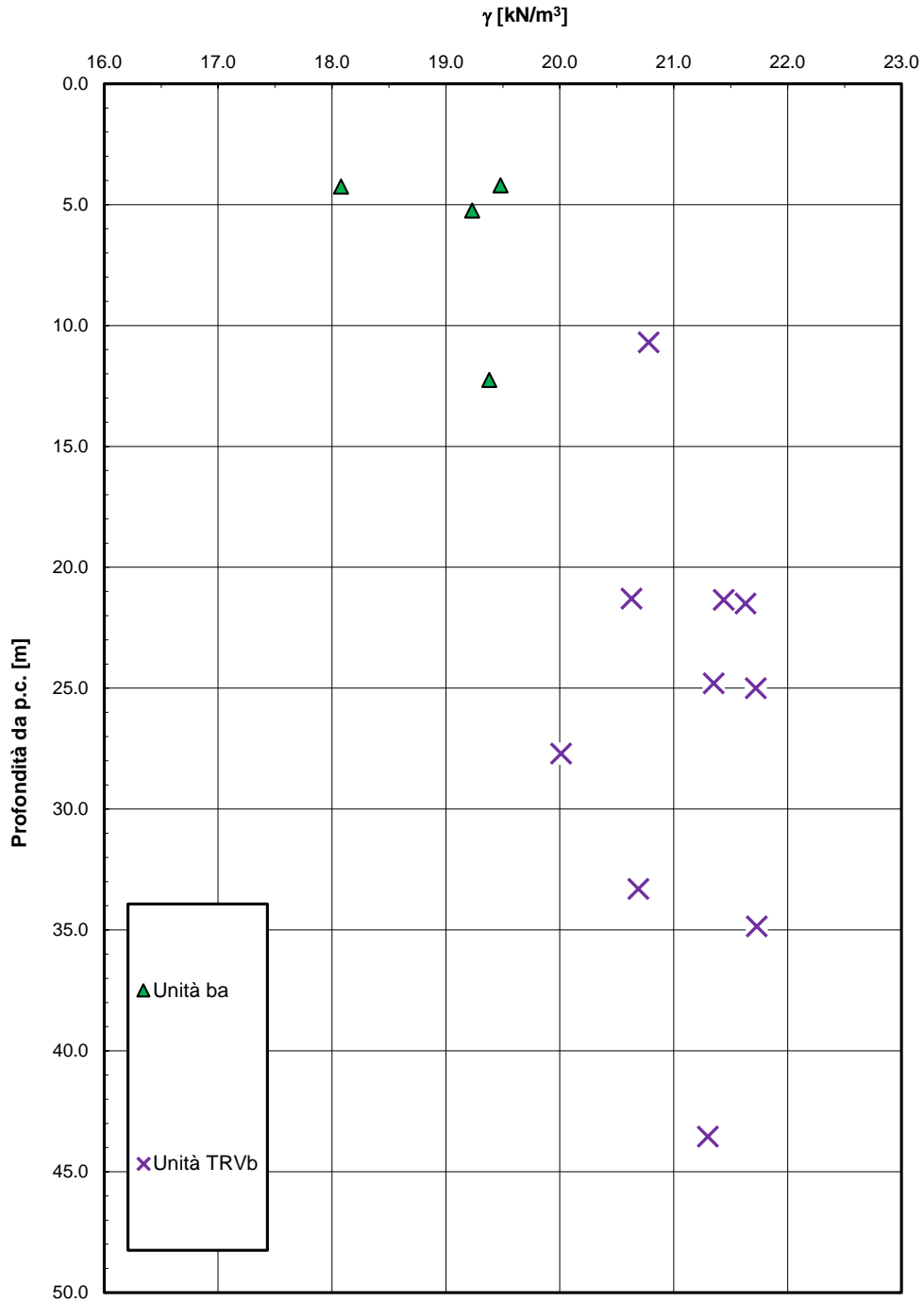


Figura 114 – Peso di volume - VI06

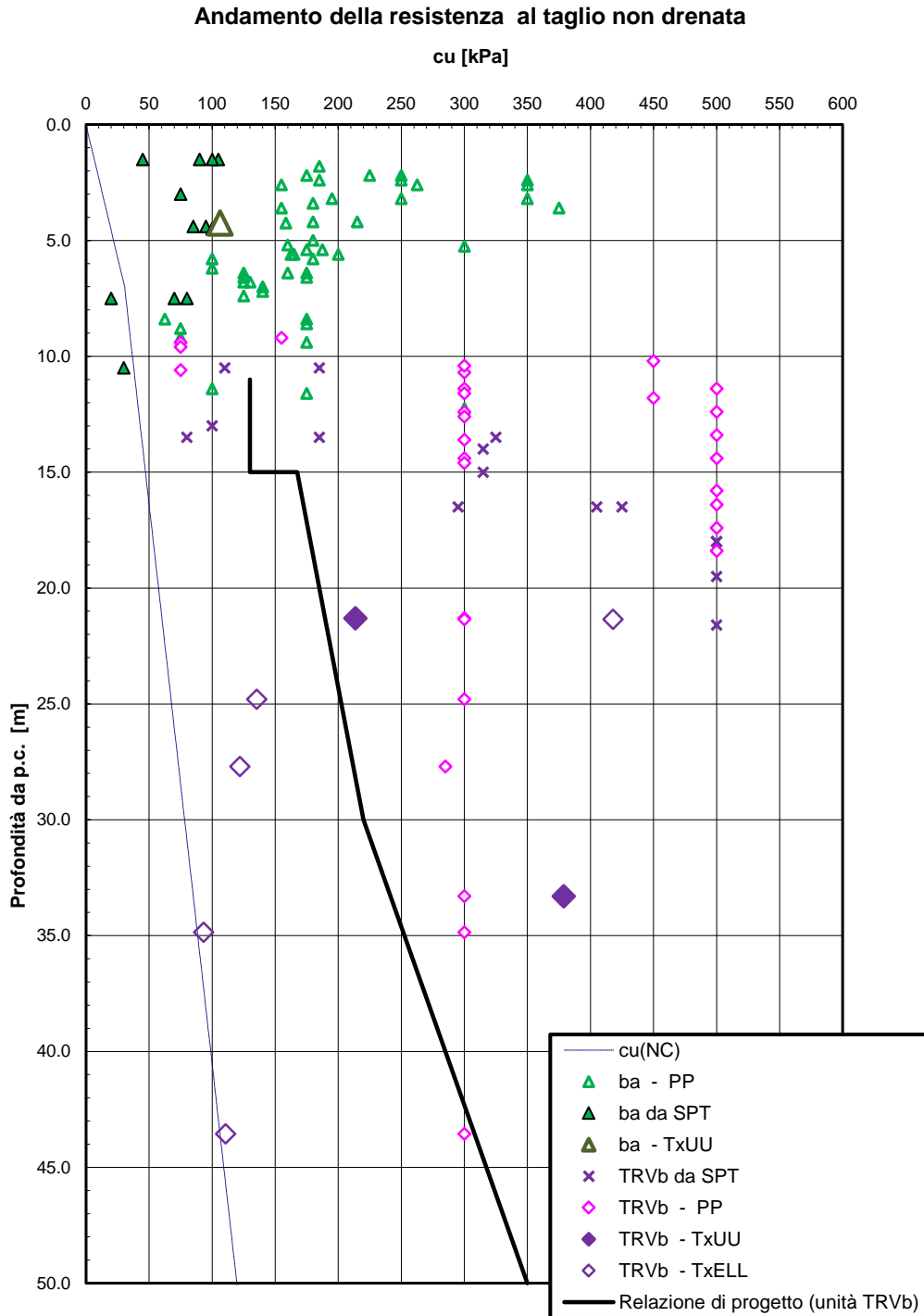


Figura 115 – Andamento della resistenza al taglio non drenata - VI06

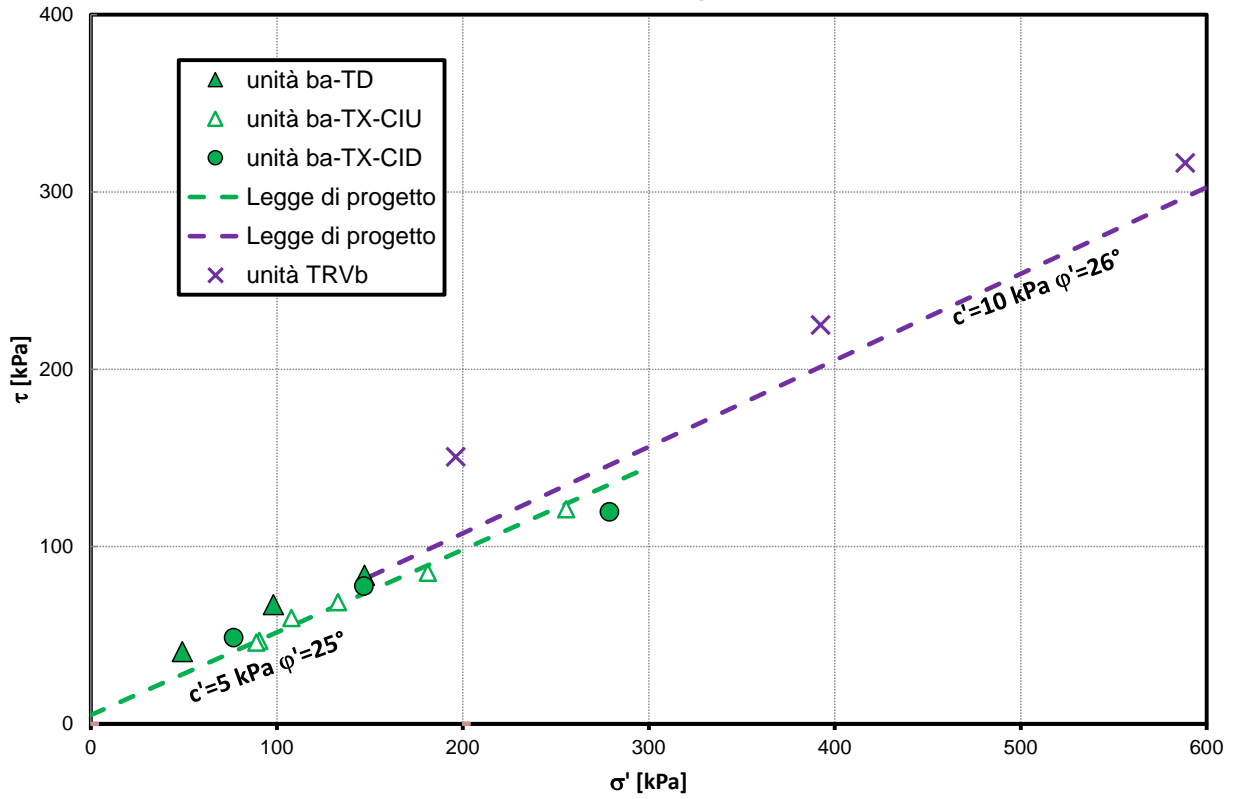


Figura 116 – Parametri di resistenza – VI06

7.7 Viadotto VI07 dal km 6+999.9 al km 7+170

In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio illustrate nella figura sottostante ed elencate nelle tabelle seguenti.

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Piezometro TA	Prova dilatometrica, profondità [m]	Prova Lefranc, profondità [m]
5_SV14	50.0	8	3	3	-	20.0 30.0	4.0 25.0
5_SV15(*)	40.0	8	4	4	-	-	7.5 13.5

(*) Il sondaggio è stato preso a riferimento per avere un maggior numero di prove di laboratorio.

E' inoltre disponibile l'indagine sismica Masw7.

In corrispondenza dell'opera non ci sono misurazioni; dai piezometri adiacenti all'opera, il livello di falda registrato è di circa 2-3 m di profondità da p.c., cautelativamente per il dimensionamento delle palificate, si assume livello falda a p.c, anche in relazione alla presenza del corso d'acqua. Per il dimensionamento delle opere di scavo per i plinti si assume il livello falda indicato nel profilo geotecnico.

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

STRATIGRAFIA 1 – Spalla 1 e Pile		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷12.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	12.0÷50.0

STRATIGRAFIA 2 – Spalla 2		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷7.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	7.0÷50.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	193 di 238

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
ba	19.0	70÷100	5	25	100÷200	$E_o / 5$
bg	19.0	-	0	38	300-500	$E_o / 5$
TRVb	20.5÷21.0	130 (z < 20m) 115+3.5*z (20 < z < 30 m) 2.5+6.5*z (z > 30 m)	5 ($\sigma'v < 200kPa$) 25 ($\sigma'v > 200kPa$)	25 ($\sigma'v < 200kPa$) 19 ($\sigma'v > 200kPa$)	500÷900	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

E_o = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

La categoria di sottosuolo sismica è stata definita sulla base dell'indagine sismica Masw7 ($V_s, 30 = 223$ m/s) da cui si assume categoria suolo di tipo C.

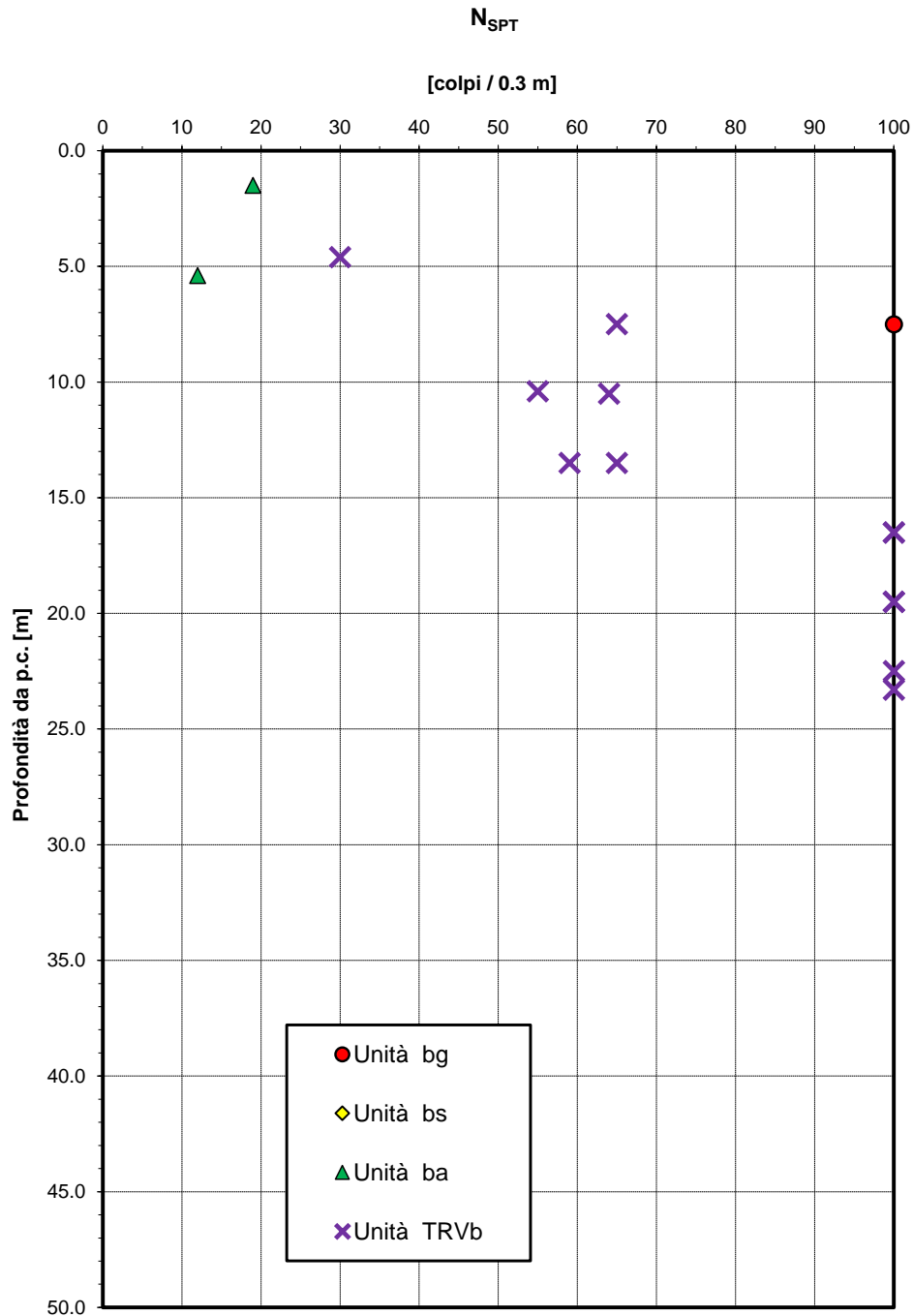


Figura 117 – Valori di N_{SPT} VI07

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

angolo di resistenza al taglio [gradi]

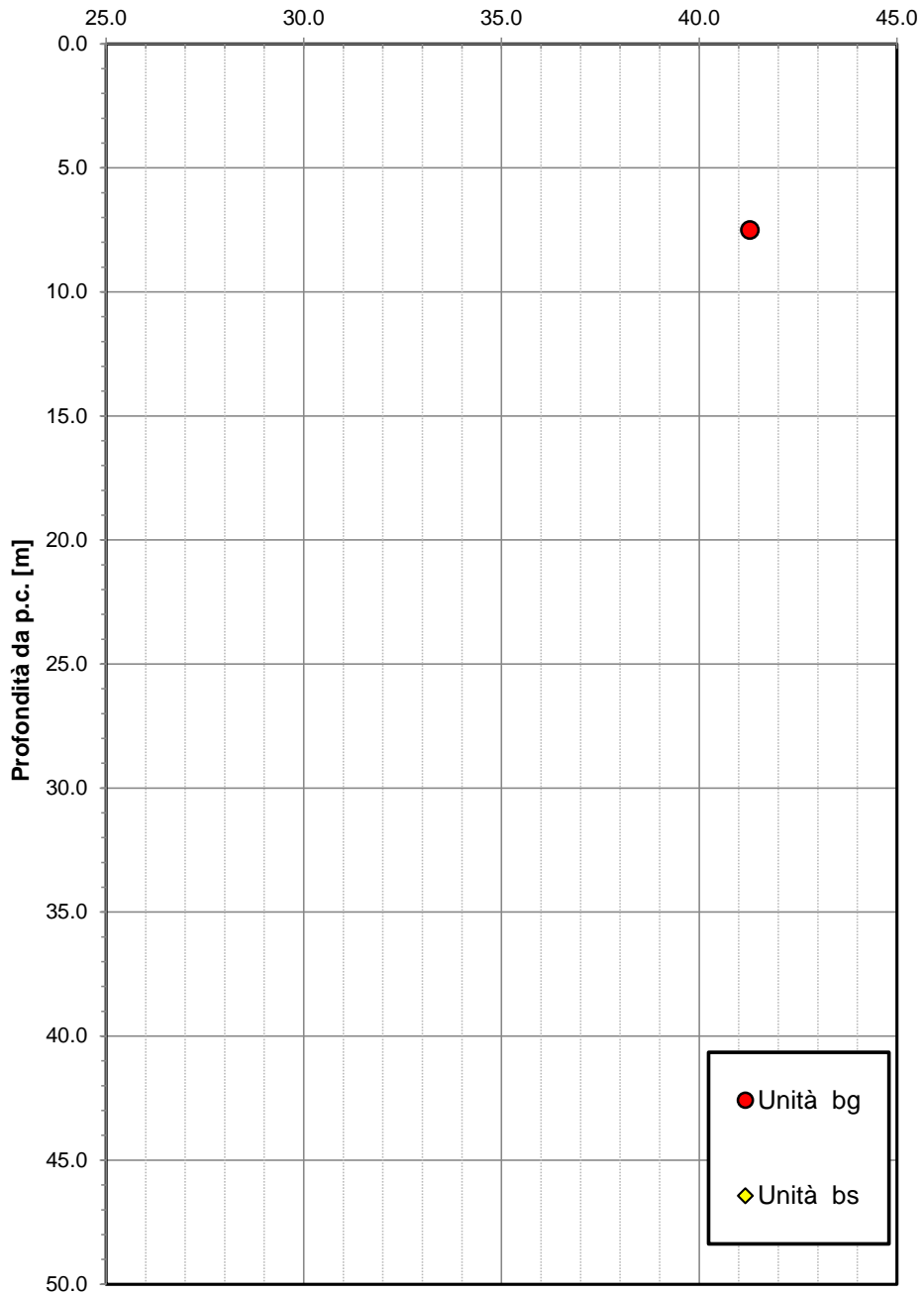


Figura 118 – Angolo di resistenza a taglio - VI07

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

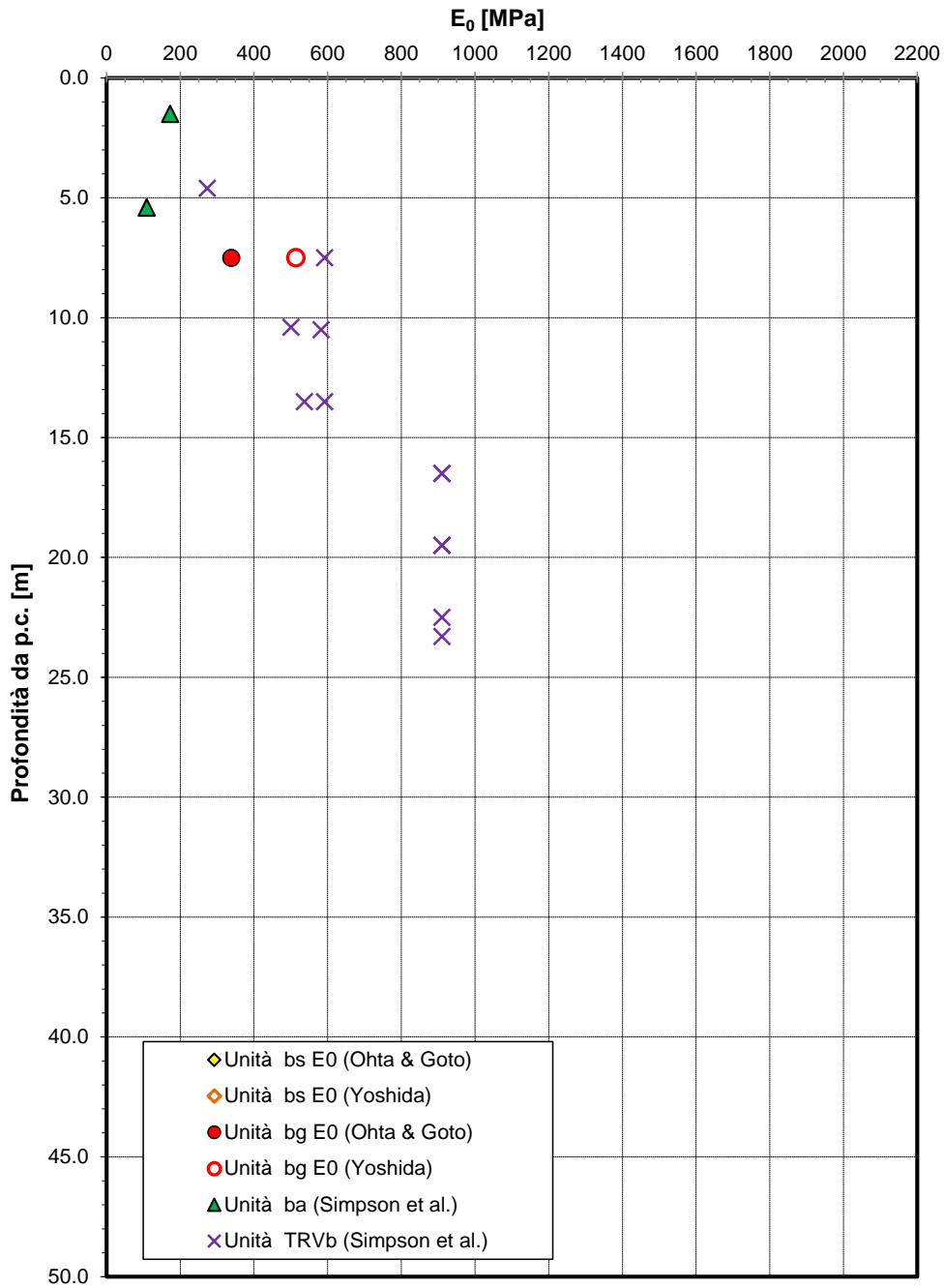


Figura 119 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e Masw - VI07

Andamento della resistenza al taglio non drenata
cu [kPa]

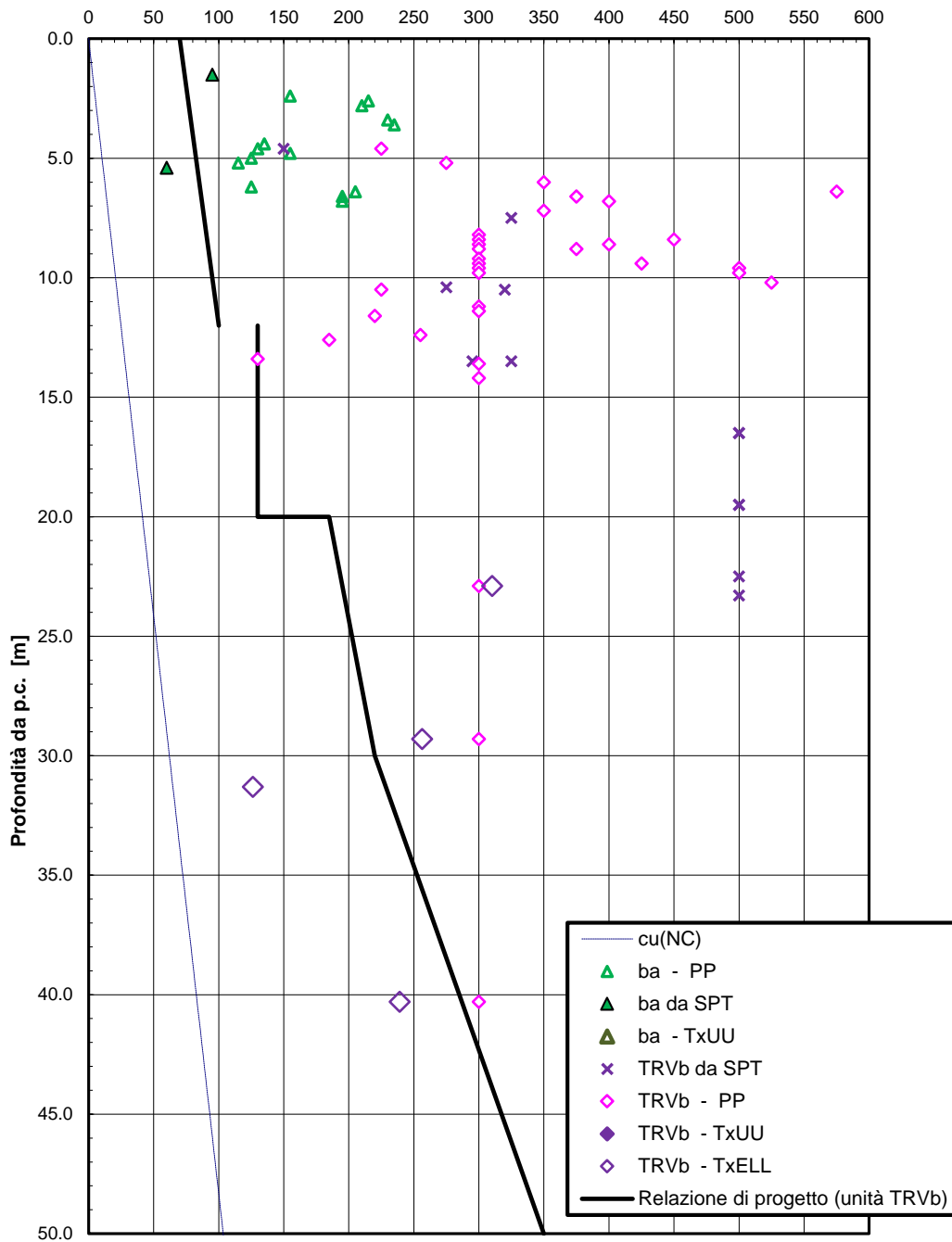


Figura 120 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate - VI07

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	198 di 238

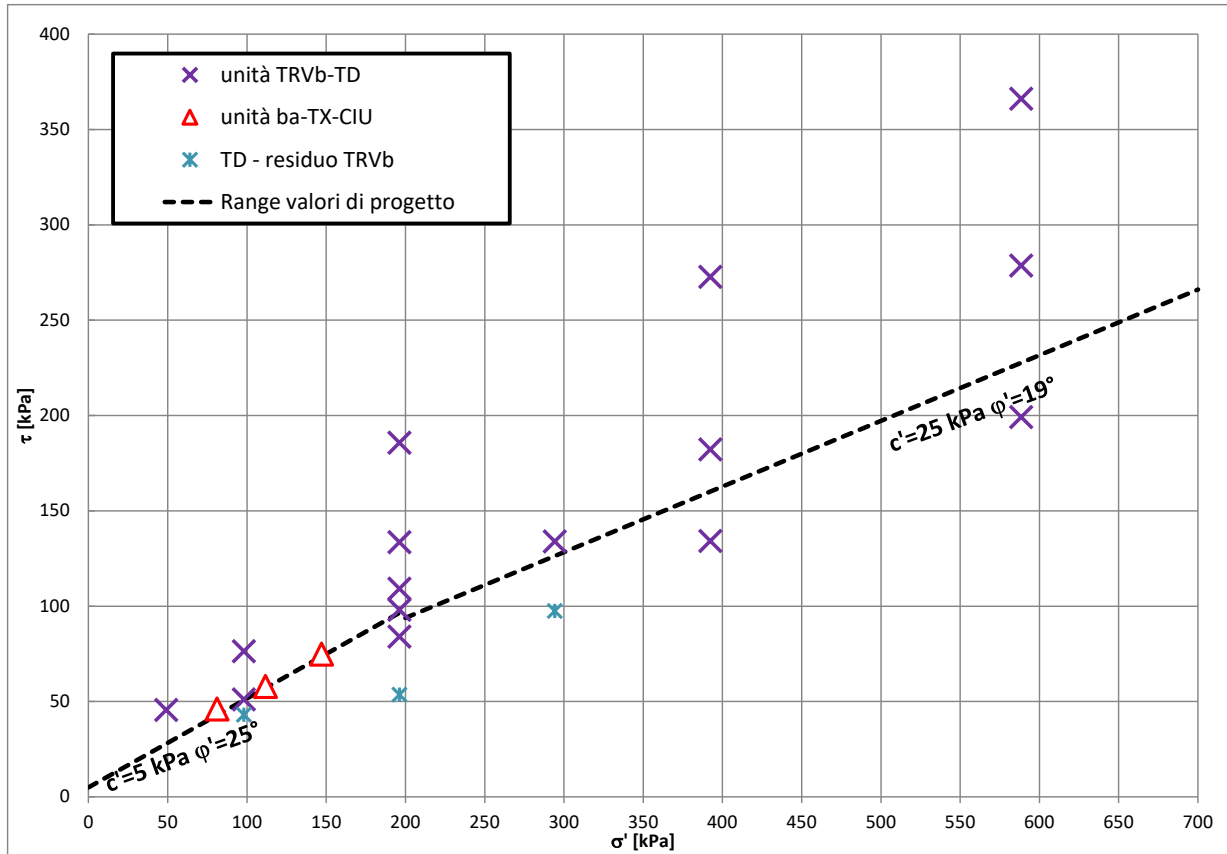


Figura 121 – Caratteristiche di resistenza a taglio - VI07

7.8 Viadotto VI08 dal km 8+064 al km 8+469

Le indagini più prossime all'opera sono le seguenti:

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Lefranc, profondità [m]
5_S05vi	40.0	7	3	2	4.5 12.0
5_S6vi	40.0	5	3	3	4.0 10.0
5_S03	40.0	5	4	2	5.0 28.5

Inoltre è disponibile l'indagine sismica Masw8.

Per quanto riguarda le misure piezometriche disponibili si deduce un livello di falda di circa 6.0 m di profondità da p.c. locale (sondaggi vicini 5_S25, 5_S07vi). Per la portanza dei pali è stata assunta a p.c. anche in relazione alla presenza del corso d'acqua.

La stratigrafia lungo lo sviluppo del viadotto è la seguente:

STRATIGRAFIA 1 – Spalla 1 e Pila P1		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
a	Depositi di copertura alterata della formazione di base	0.0÷7.0
GTLa	Formazione di base (Unità GTLa – Formazione di Cattolica)	7.0÷50.0

STRATIGRAFIA 2 – Pile P2÷P13		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)	0.0÷13.0
GTL/TRV/TRVb	Formazione di base (Unità GTL – Formazione di Cattolica/TRV e TRVb – Formazione di Terravecchia)	13.0÷50.0

STRATIGRAFIA 3 – Pila P14 e Spalla 2		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
CFR	Depositi di frana quiescente	0.0÷10.5
ba	Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)	10.5÷15.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	200 di 238

GTL

Formazione di base (Unità GTL –
 Formazione di Cattolica)

15.0÷50.0

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
ba	19.0	70÷100	5	25	90÷160	$E_o / 5$
a	19.0	70÷120	5	26		
CFR	19.0	50	0	24÷25	-	-
GTL (*)	20.0	170 (z < 20m) 170÷300 (20 < z < 50 m)	-	-	-	-
TRVb	20.5÷21.0	170 (z < 20m) 170÷300 (20 < z < 50 m)	5÷10	26	300÷900	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

G_o = modulo di deformazione a taglio iniziale, ovvero a piccole deformazioni

E_o = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

La categoria di sottosuolo sismica è definita sulla base dei risultati dell'indagine sismica Masw8 ($V_{s,30} = 258$ m/s), da cui si assume cautelativamente di categoria C.

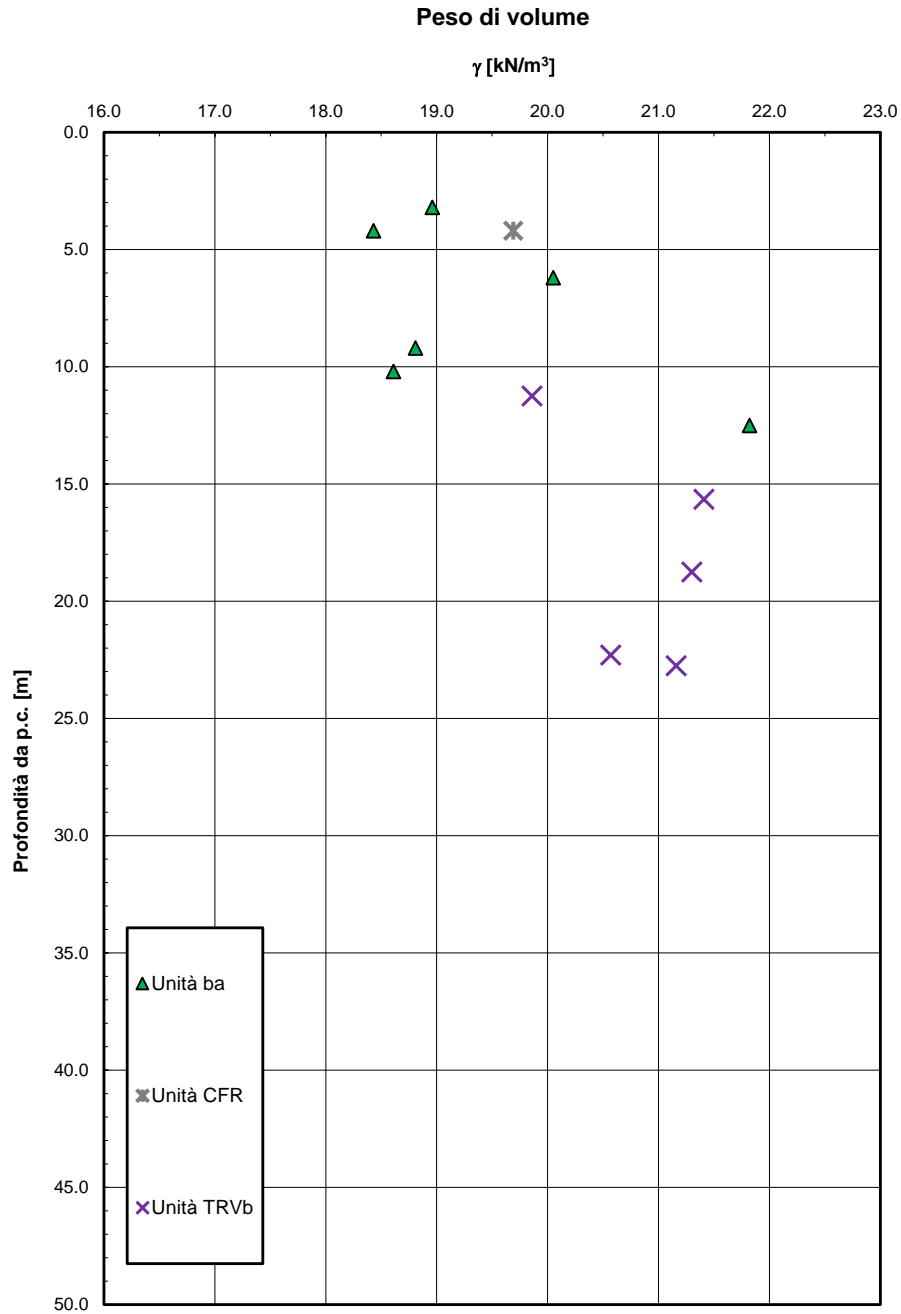


Figura 123 – Peso di volume - VI08



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	203 di 238

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

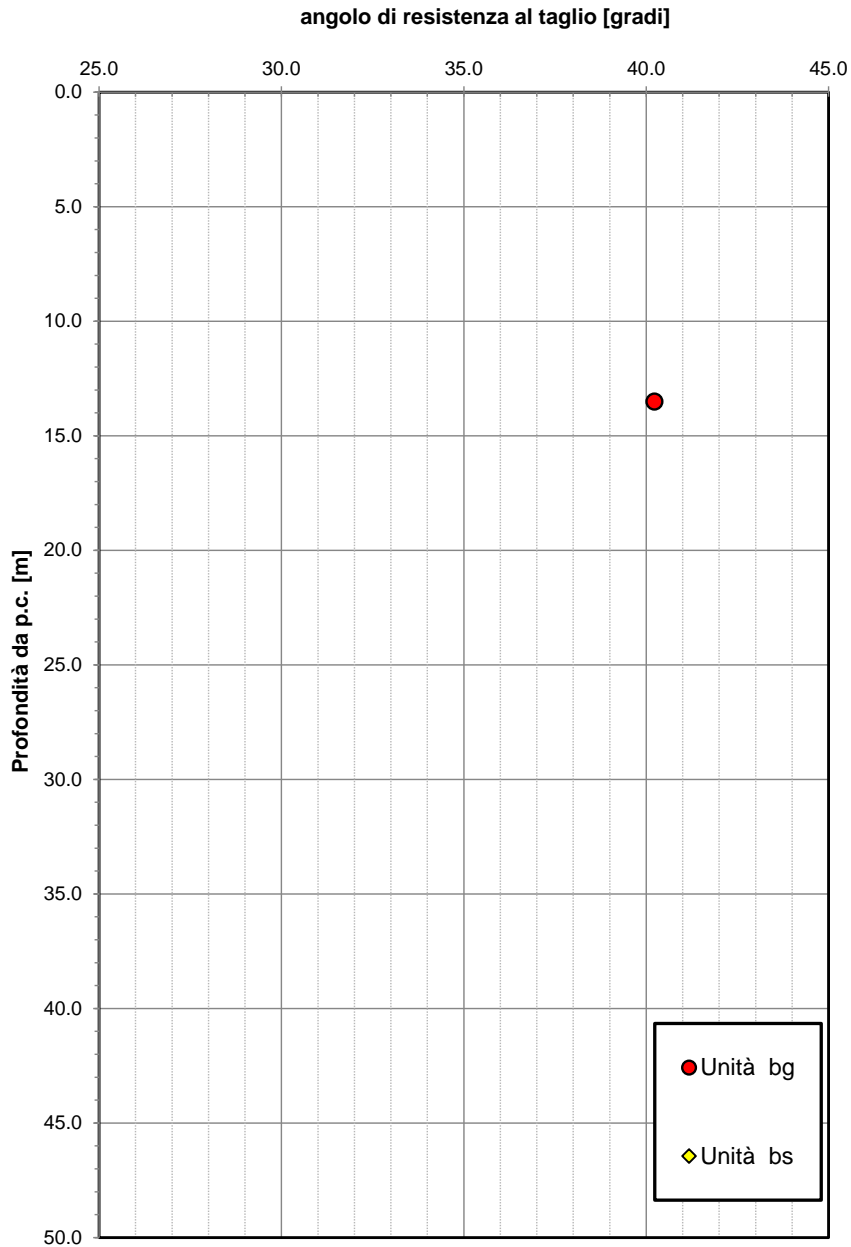


Figura 124 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT - VI08

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

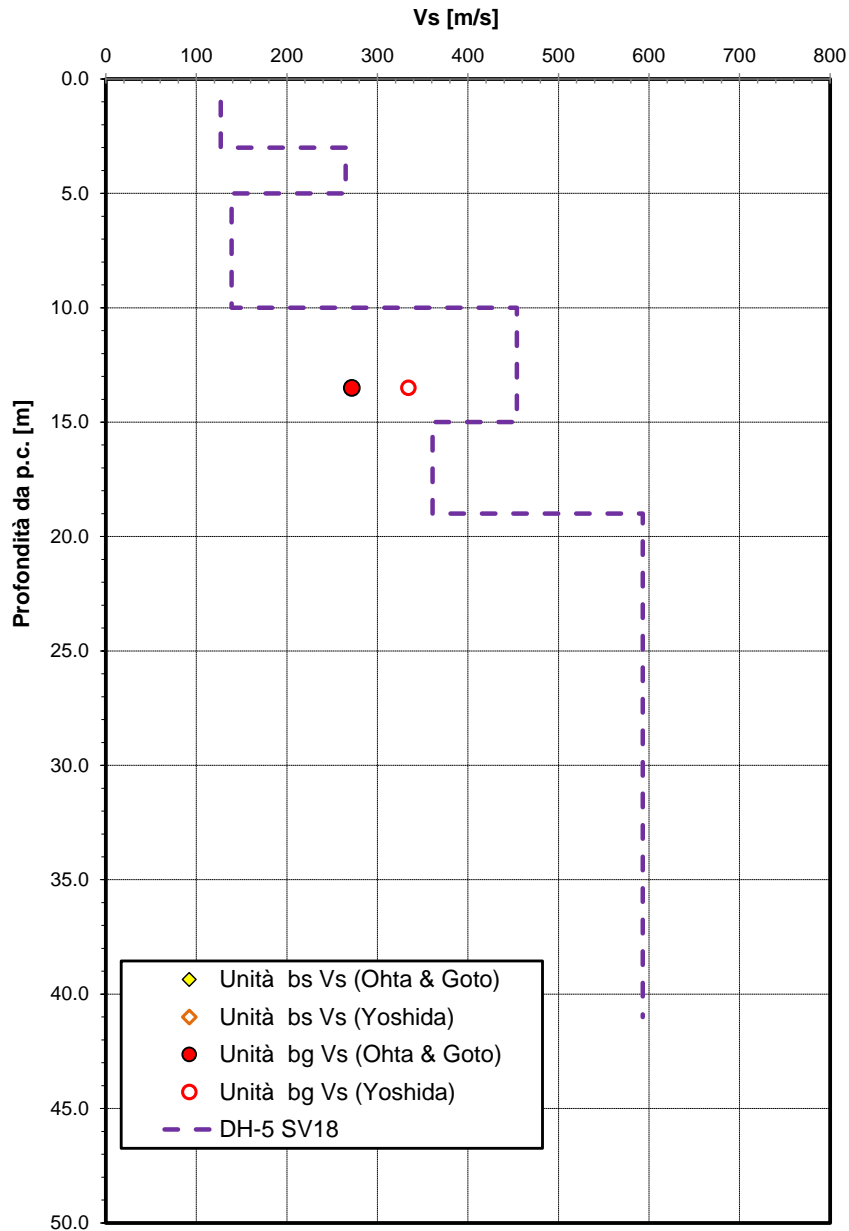


Figura 125 – Velocità delle onde di taglio da SPT e sismiche - VI08

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

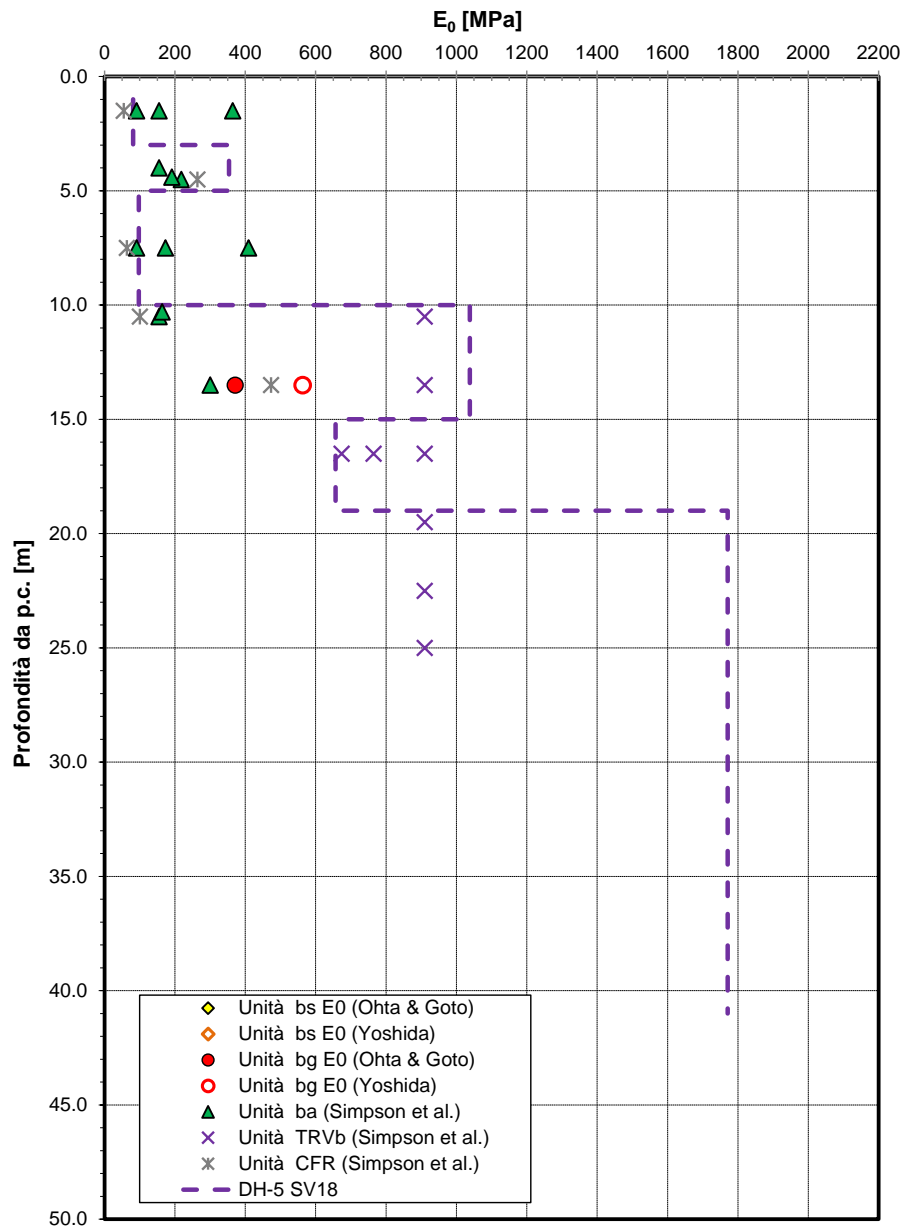


Figura 126 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e DH - VI08

Andamento della resistenza al taglio non drenata

cu [kPa]

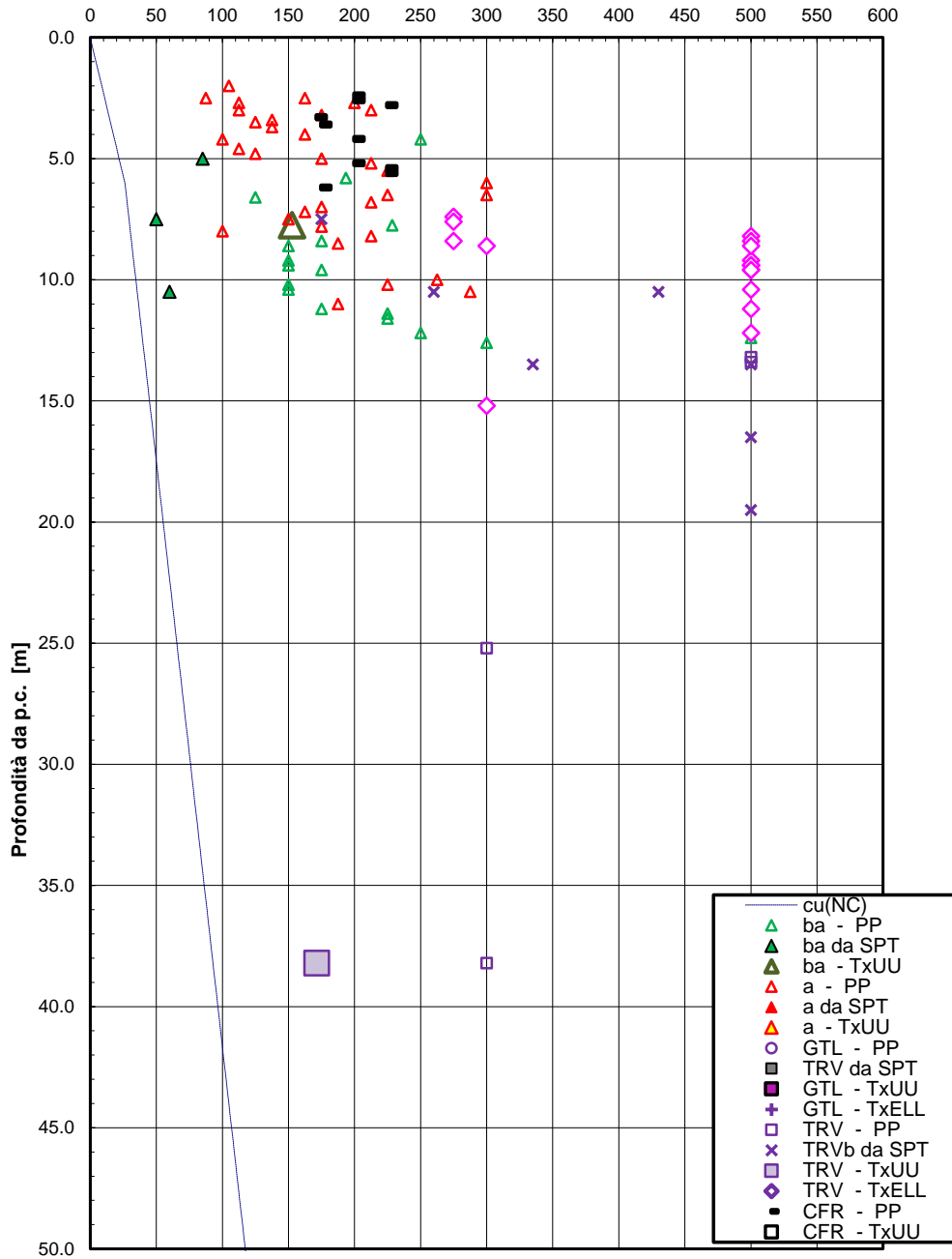


Figura 127 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate - VI08

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

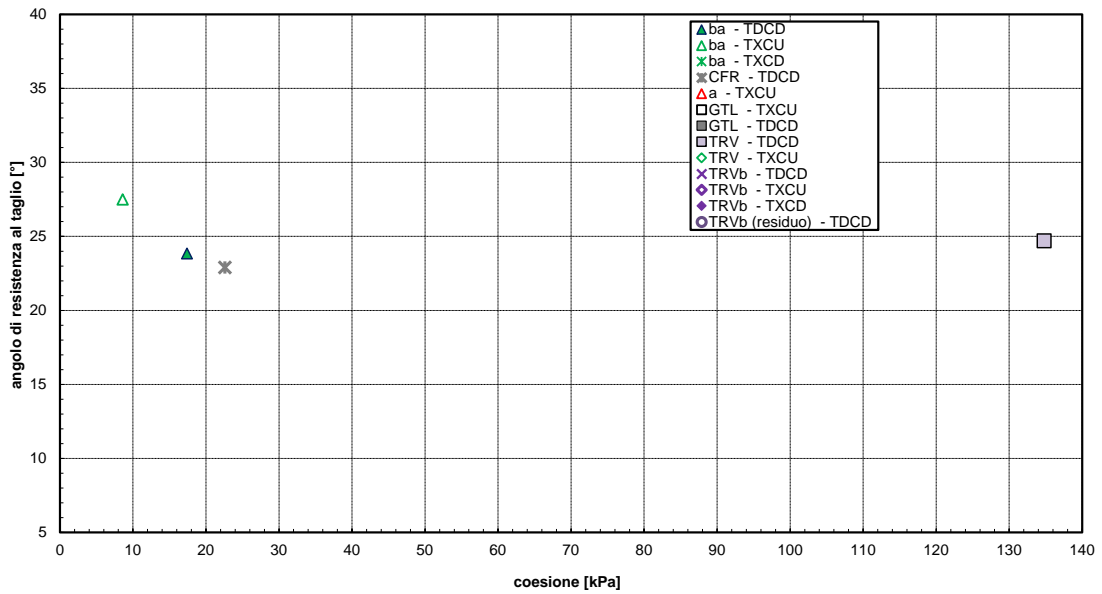


Figura 128 – Resistenza al taglio e coesione drenata - VI08

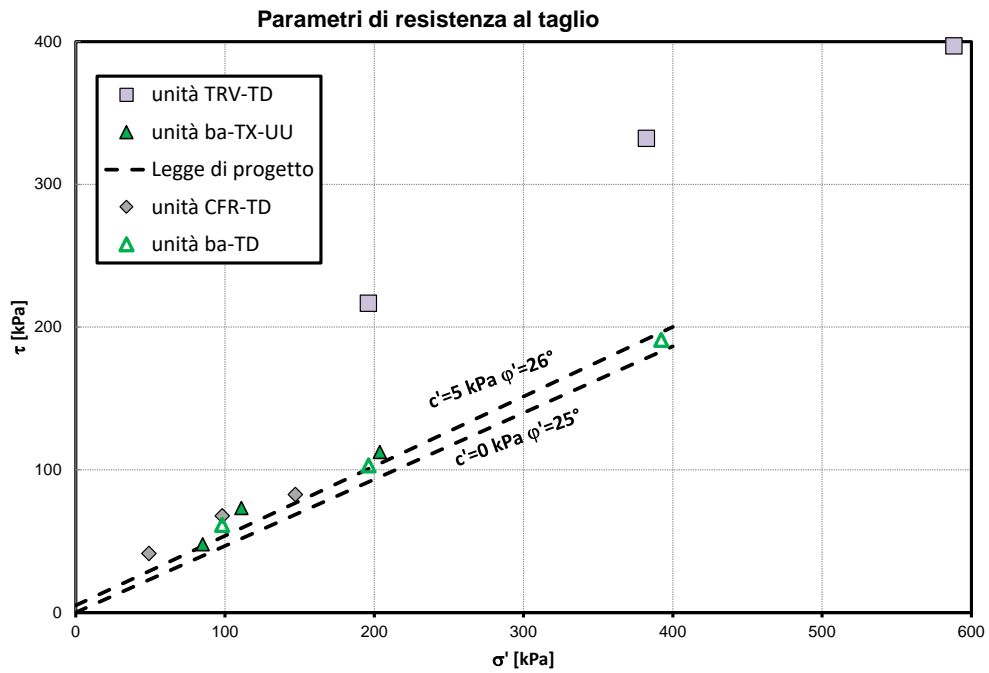


Figura 129 – Parametri di resistenza drenati - laboratorio VI08



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	208 di 238

7.9 Viadotto VI09 dal km 8+636 al km 8+911

I sondaggi impiegati per la caratterizzazione geotecnica sono:

Sondaggio	Profondità [m]	N. prove SPT	N. campioni indisturbati	N. campioni rimaneggiati	Prova Down-Hole	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
5_S7vi	40.0	6	3	2	-	[2.5-14.5]	2.5 7.0
5_S8vi	40.0	5	3	2	-	-	2.0 6.0
5_SV18	45.0	9	5	4	[40]	-	8.5 28.5
5_S25	40.0	6	1	3	-	[2-14]	7.0 16.5

TA [m]: profondità tratto filtrante
 DH [m]: profondità prova

E' disponibile inoltre una sismica MASW VI 01, ubicata verso la parte finale dell'opera.

Per quanto riguarda le misure piezometriche disponibili si deduce un livello di falda variabile da circa 1.5 m a 6.5 m di profondità da p.c. locale.

Nella seguente tabella si sintetizzano i parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche intercettate.

STRATIGRAFIA 1 – Spalla 1		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
CFR	Depositi coltre in frana quiescente	0.0÷8.5
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	8.5÷18.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	18.0÷50.0

STRATIGRAFIA 2 – Pile e Spalla 2		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷15.0
TVRb	Formazione di Terravecchia	15.0÷50.0



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	209 di 238

Falda: Per la portanza dei pali è stata assunta a p.c. anche in relazione alla presenza del corso d'acqua. Per il dimensionamento delle opere provvisorie si assume il livello di falda indicato nel profilo geotecnico longitudinale.

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	V_s [m/s]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
ba	19.0	70÷150	5	25	130÷250	90÷160	$E_o / 5$
CFR	19.0	50÷170	0	24÷25	100÷300	60÷300	$E_o / 5-$
TRVb	20.5÷21.0	170 (z < 20m) 115+3.5*z (20 < z < 30 m) 25+2.5*z (z > 30m)	5	26	350÷600	300÷900	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

V_s = velocità delle onde di taglio

E_o = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$ = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette.

Per l'opera si è assunta categoria di sottosuolo C, dalle indagini sismiche: prova Down – Hole 5_SV18 ($V_{s,30}=295$ m/s) e Masw-VI01 ($V_{s,30}=308$ m/s).

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	210 di 238

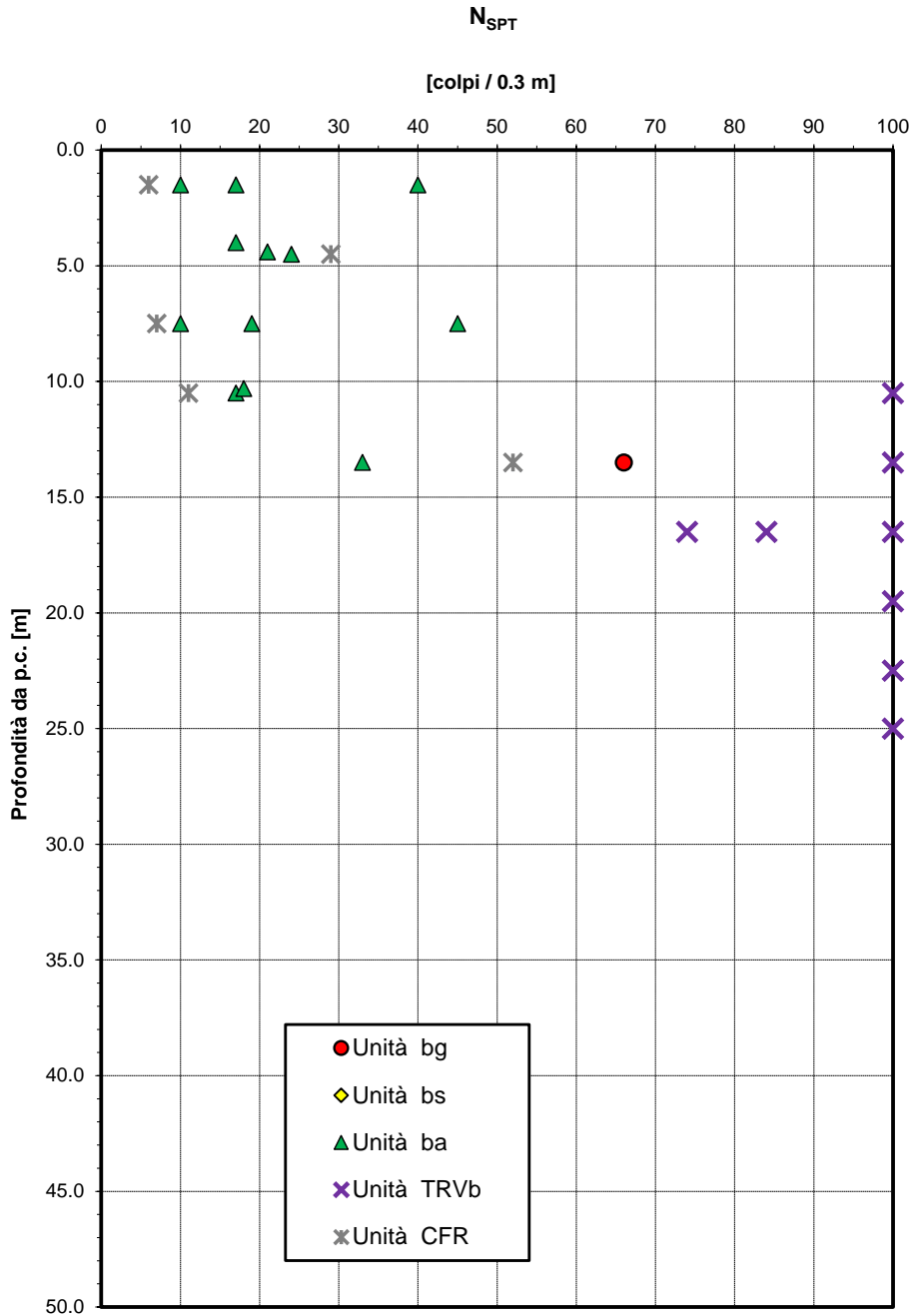


Figura 130 – Valori di N_{SPT} - VI09



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	211 di 238

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

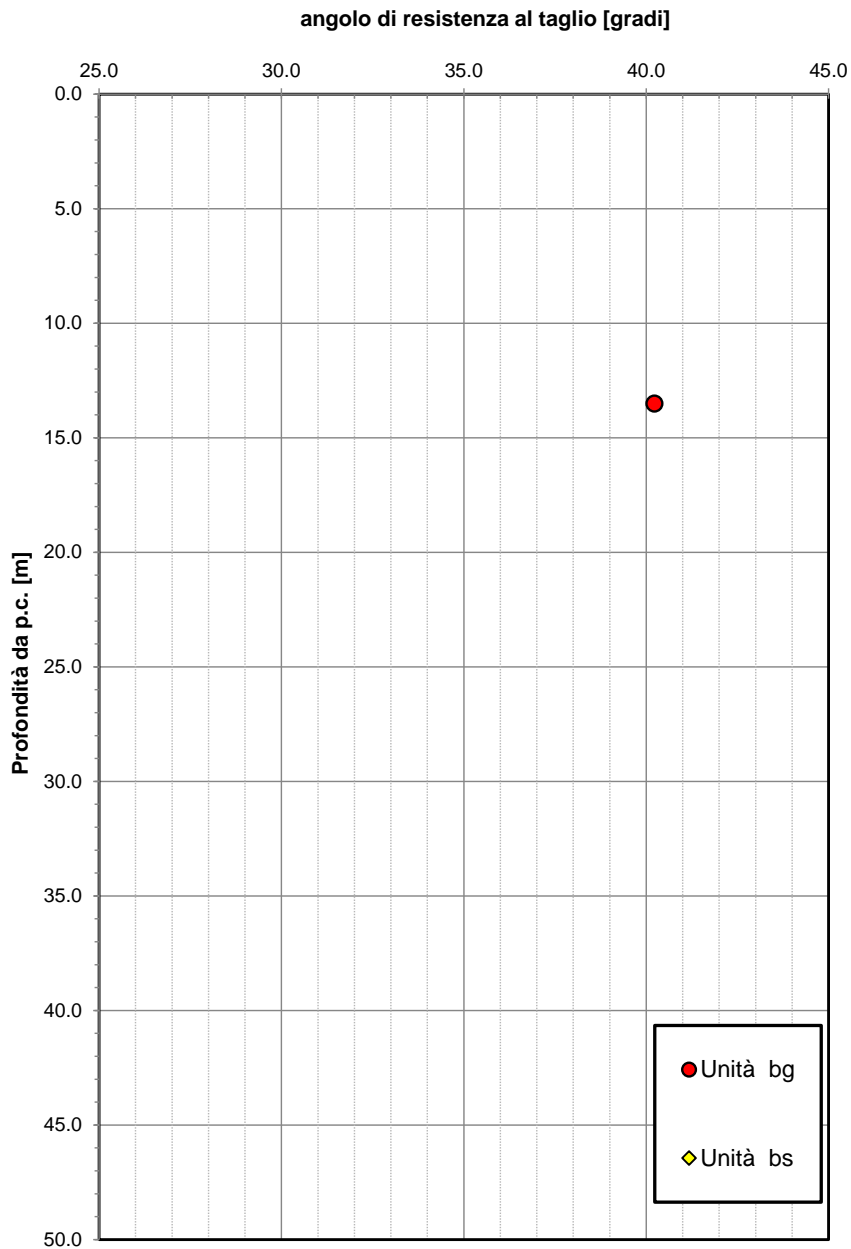


Figura 131 – Angolo di resistenza al taglio da prova SPT - VI09

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

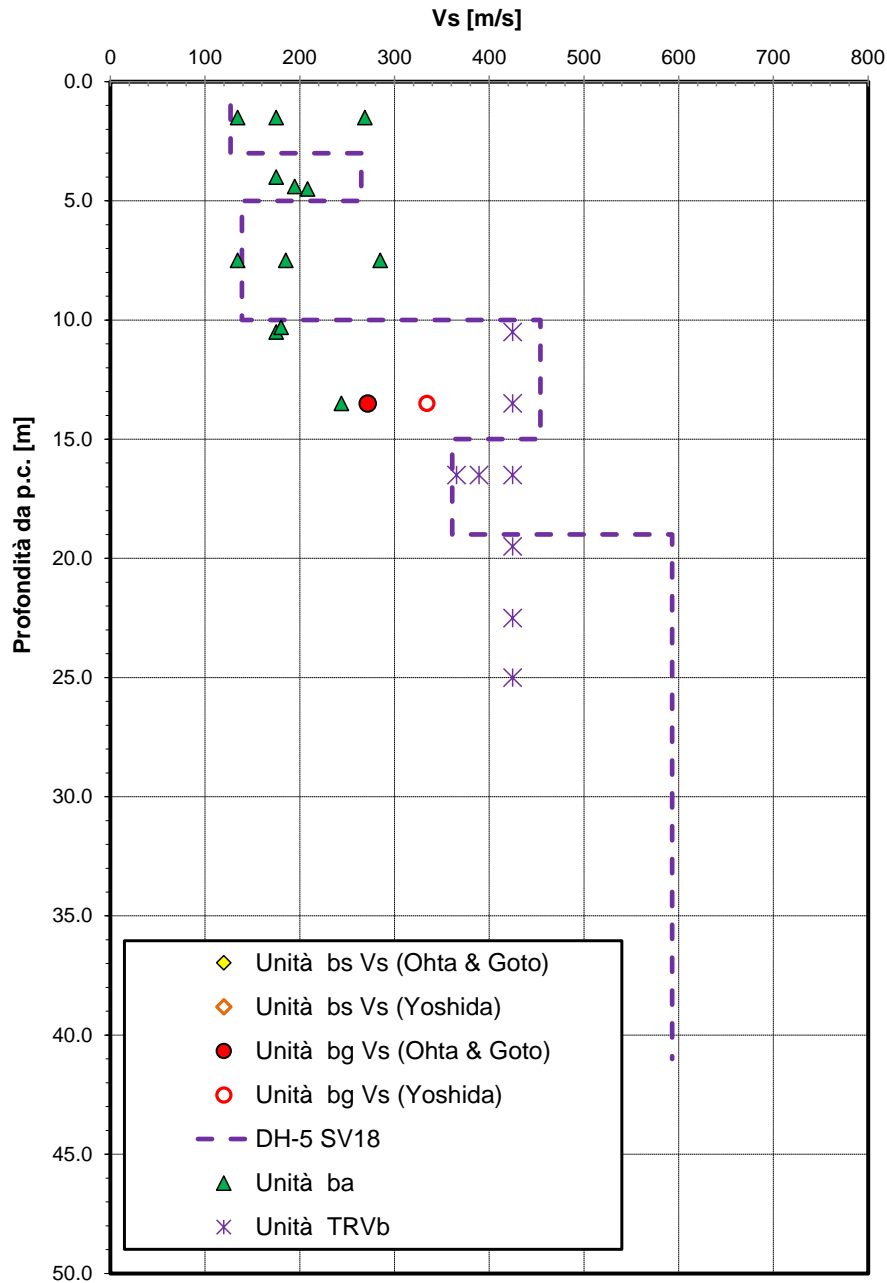


Figura 132 – Velocità delle onde di taglio da prova SPT e Masw - VI09

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

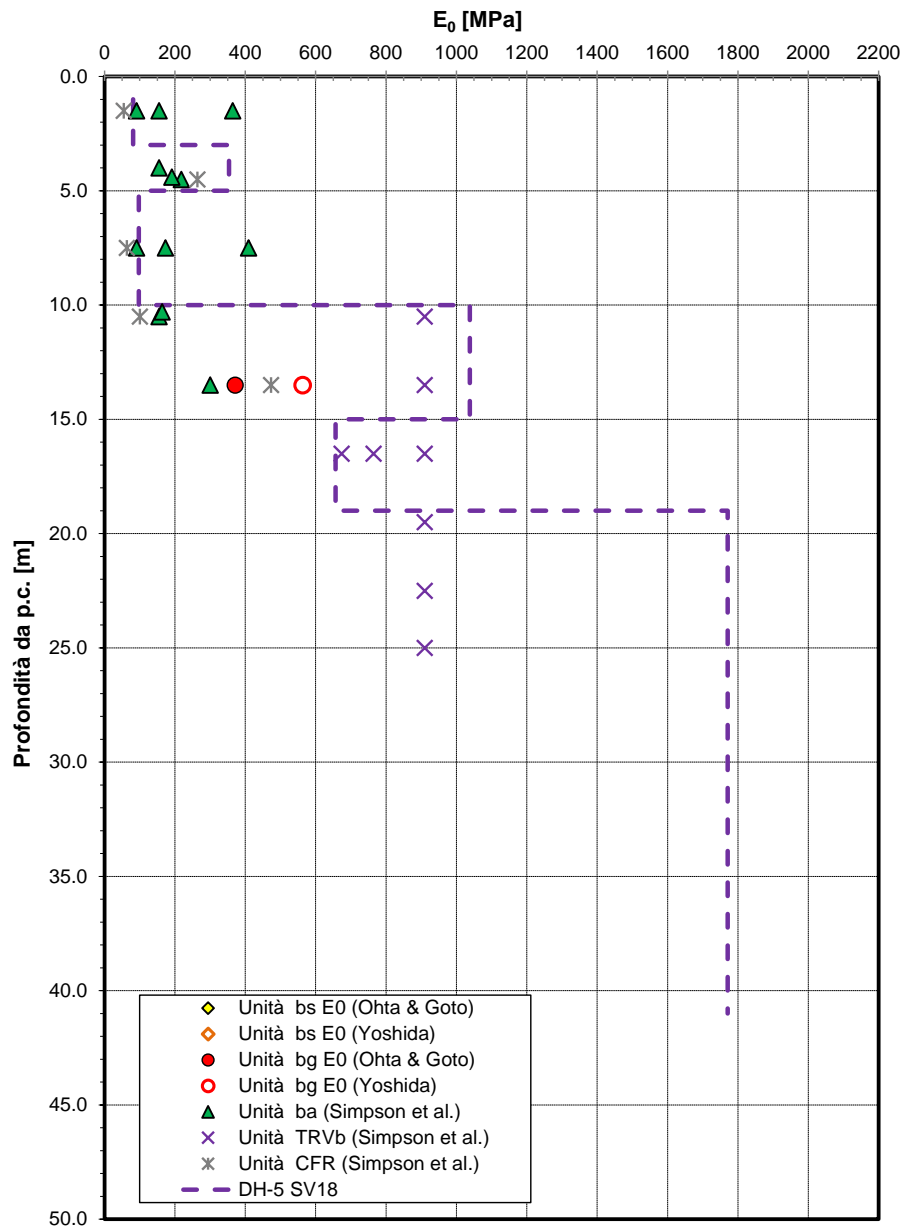


Figura 133 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prova SPT e Masw- VI09

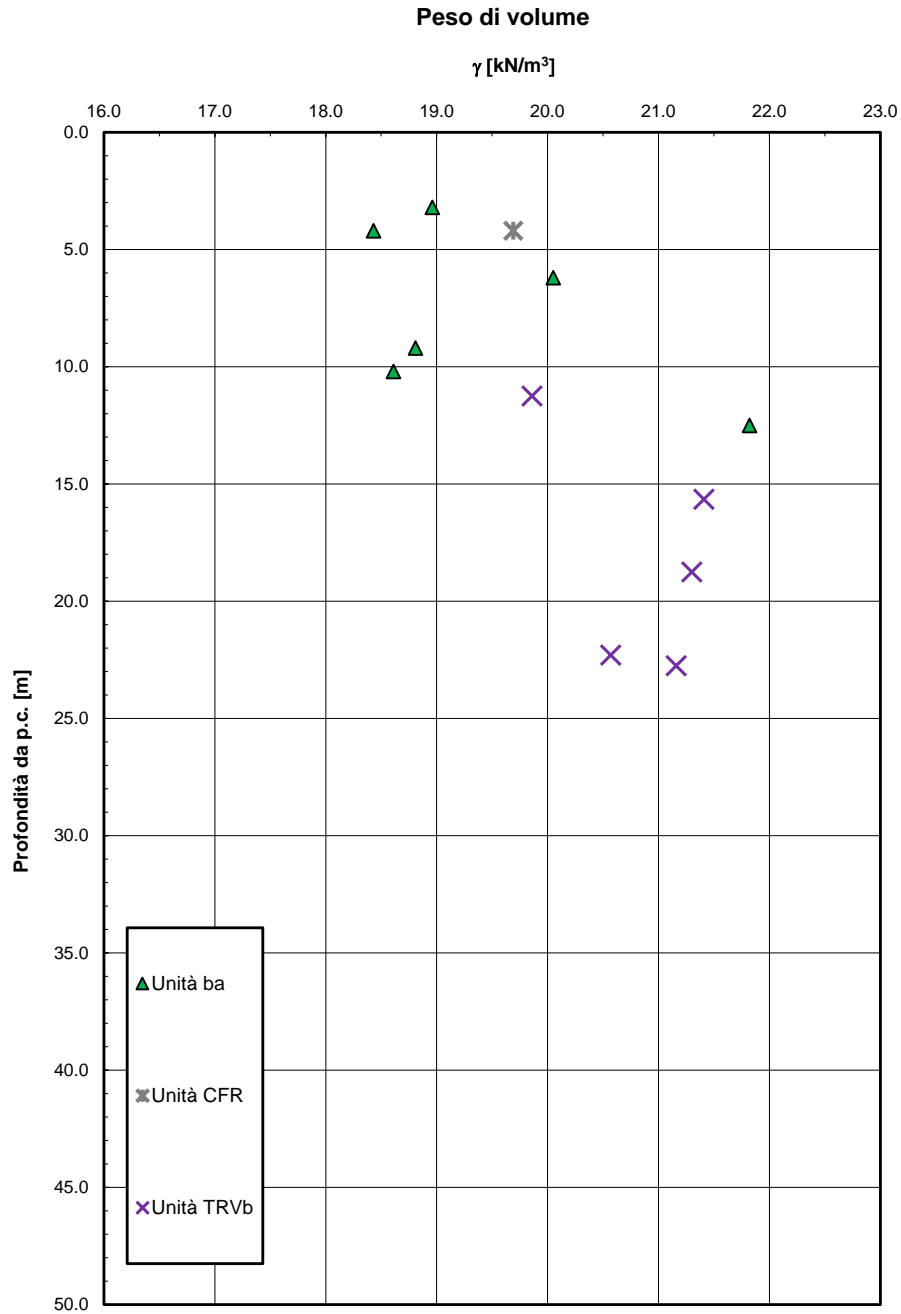


Figura 134 – Peso di volume – VI09

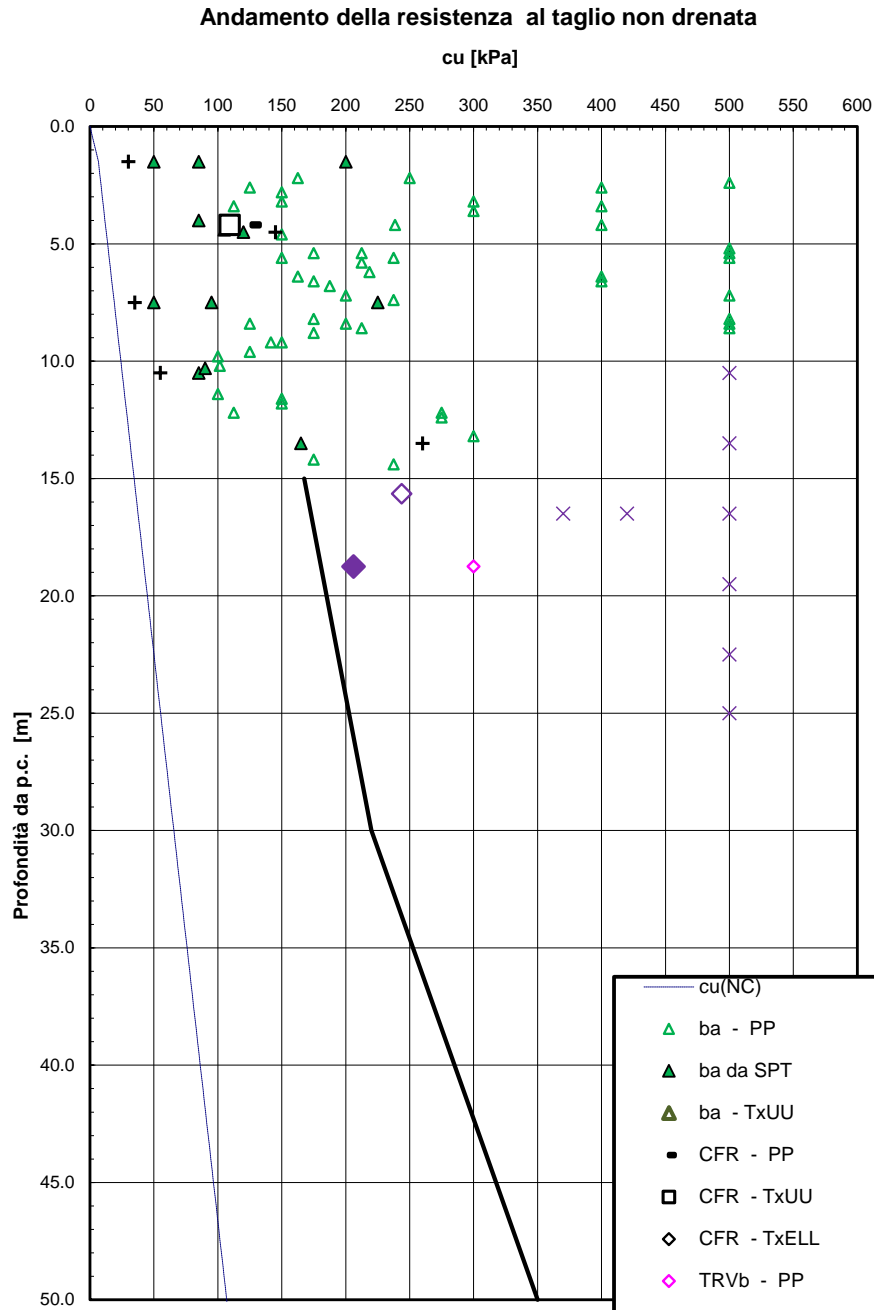


Figura 135 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate - VI09

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

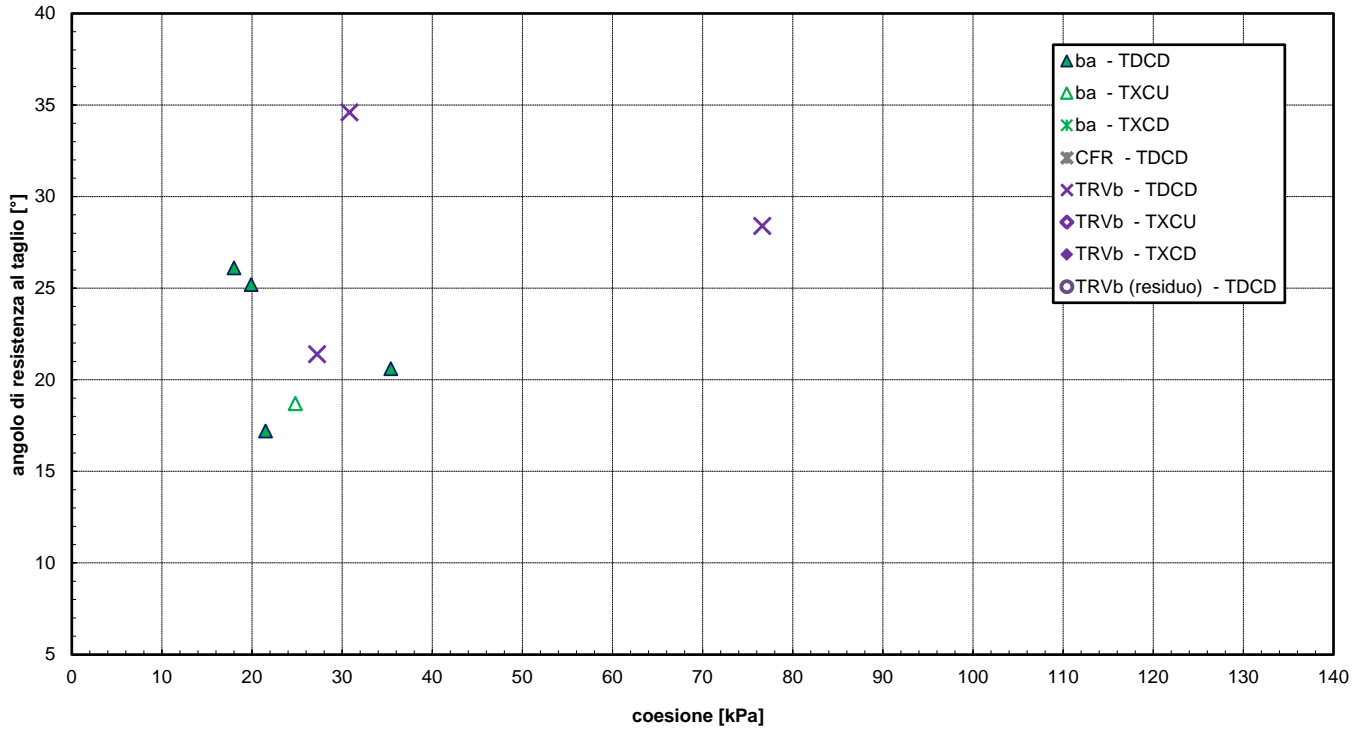



Figura 136 – Parametri di resistenza drenati (laboratorio)

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

7.10 Galleria artificiale GA01 dal km 2+150 al km 2+322

Il sondaggio di riferimento è: 5_SW02. Il laboratorio del sondaggio non è ancora disponibile quindi si è utilizzato quello del sondaggio più vicino (5_S12). La stratigrafia individuata è la seguente:

Da 0.0 a 14.5 m Unità ba – Depositi alluvionali coesivi (limoso argilloso)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata (*)
$\phi' = 22 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio (*)
$c_u = 70 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 75 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E'_{op} = E_o/5 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per analisi opere di sostegno e fondazioni dirette ($E'_{op} = 22 \text{ MPa}$ valore consigliato per calcolo GA)
$k = 1.00E^{-07} \text{ m/s}$	permeabilità

(*) Per i parametri di resistenza: la coesione massima va associata all'angolo di resistenza al taglio minimo

Da 14.5 a 50.0 m TRVb – Formazione di Terravecchia

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 28^\circ \text{ } z < 30 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$\phi' = 30^\circ \text{ } z > 30 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 220 \text{ kPa } z < 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 300 \text{ kPa } z > 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 400 \text{ MPa } z < 30 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E_o = 600 \text{ MPa } z > 30 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E' = E_o/5 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e opere di sostegno ($E'_{op} = 80 \text{ MPa}$ fino a 30 m, $E'_{op} = 120 \text{ MPa}$ per profondità $> 30 \text{ m}$, valore consigliato per calcolo GA)
$k = 1.00E^{-09} \text{ m/s}$	permeabilità

FALDA: Si assume un livello di falda pari a 2.9 m da p.c. (+269 m s.l.m.).

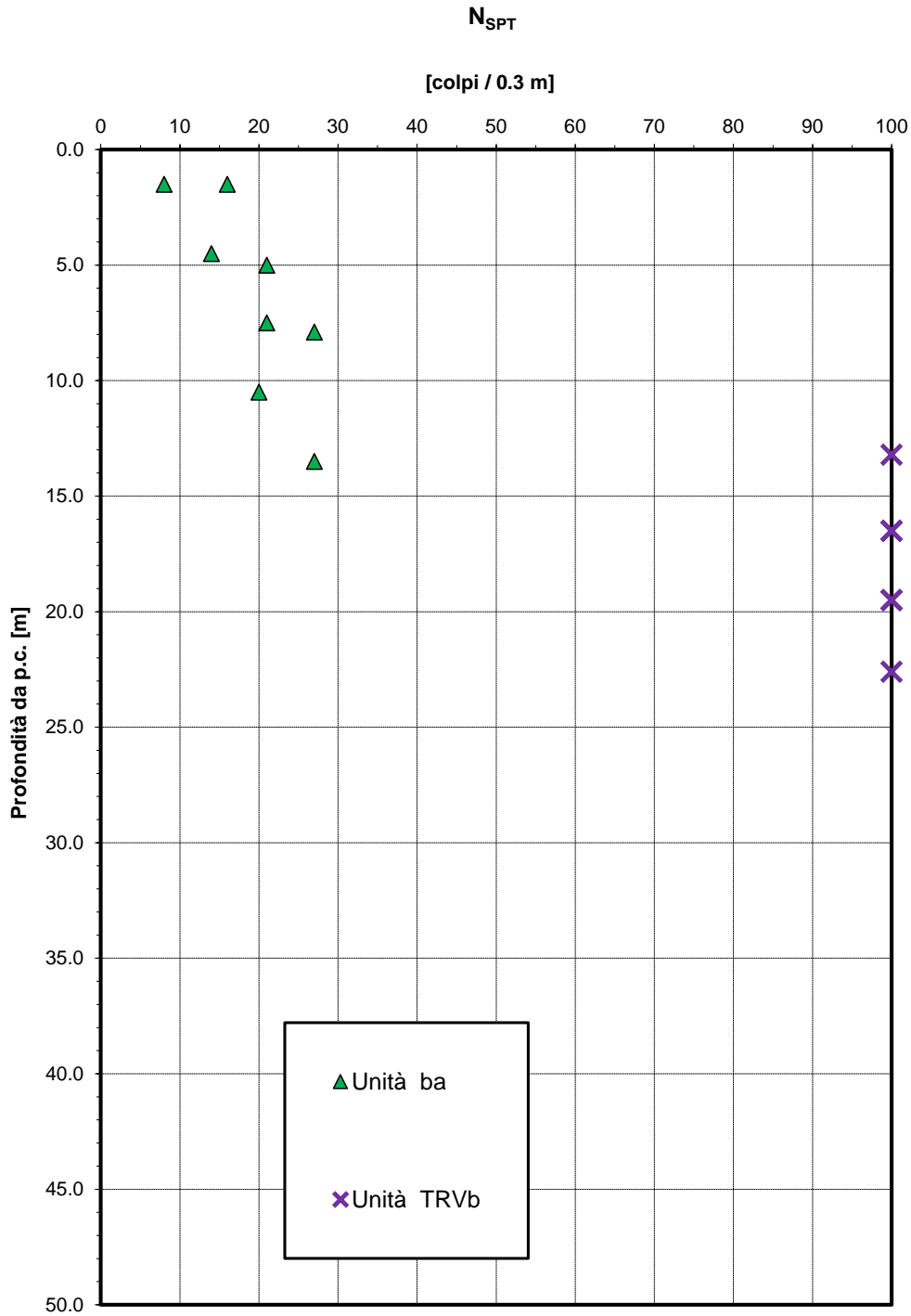


Figura 137 – Valori di N_{spt}

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

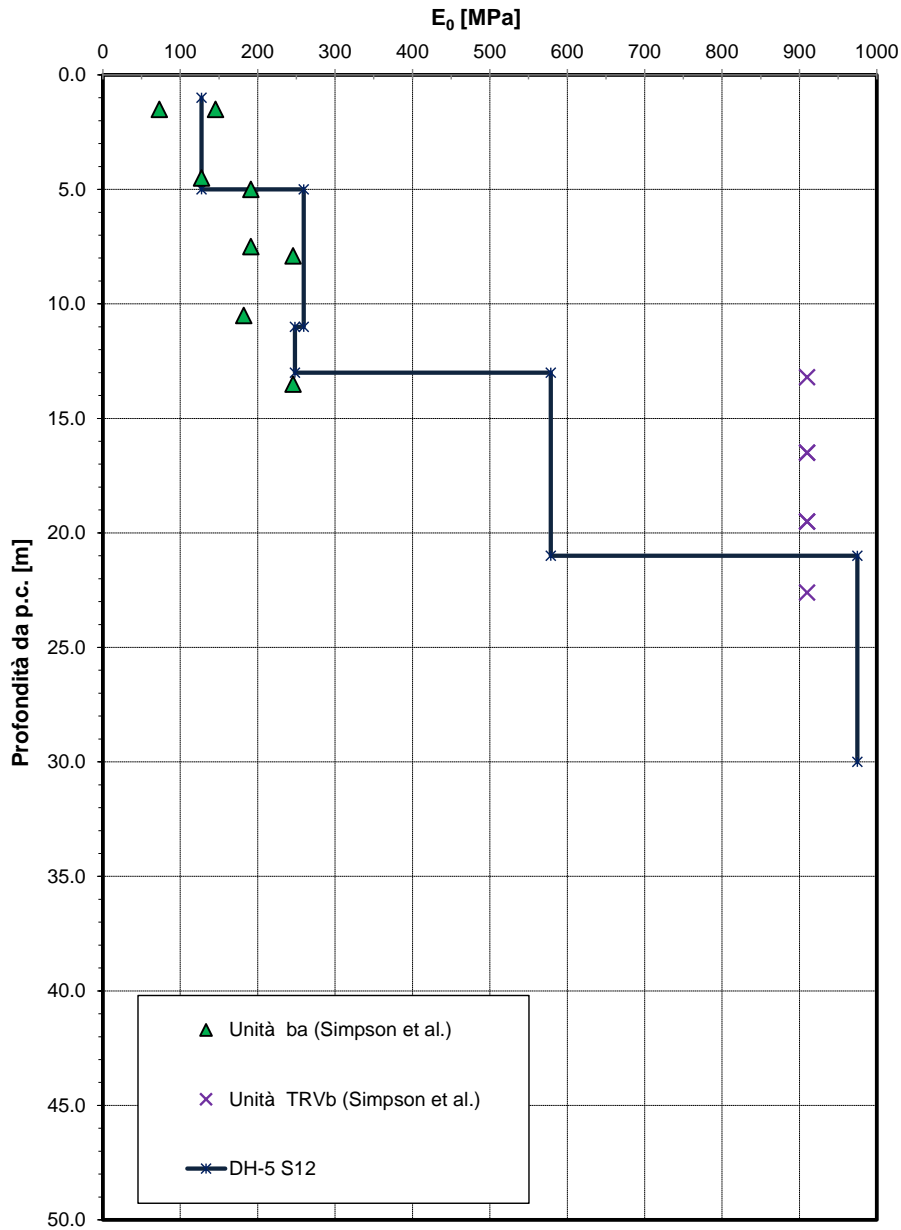


Figura 138 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

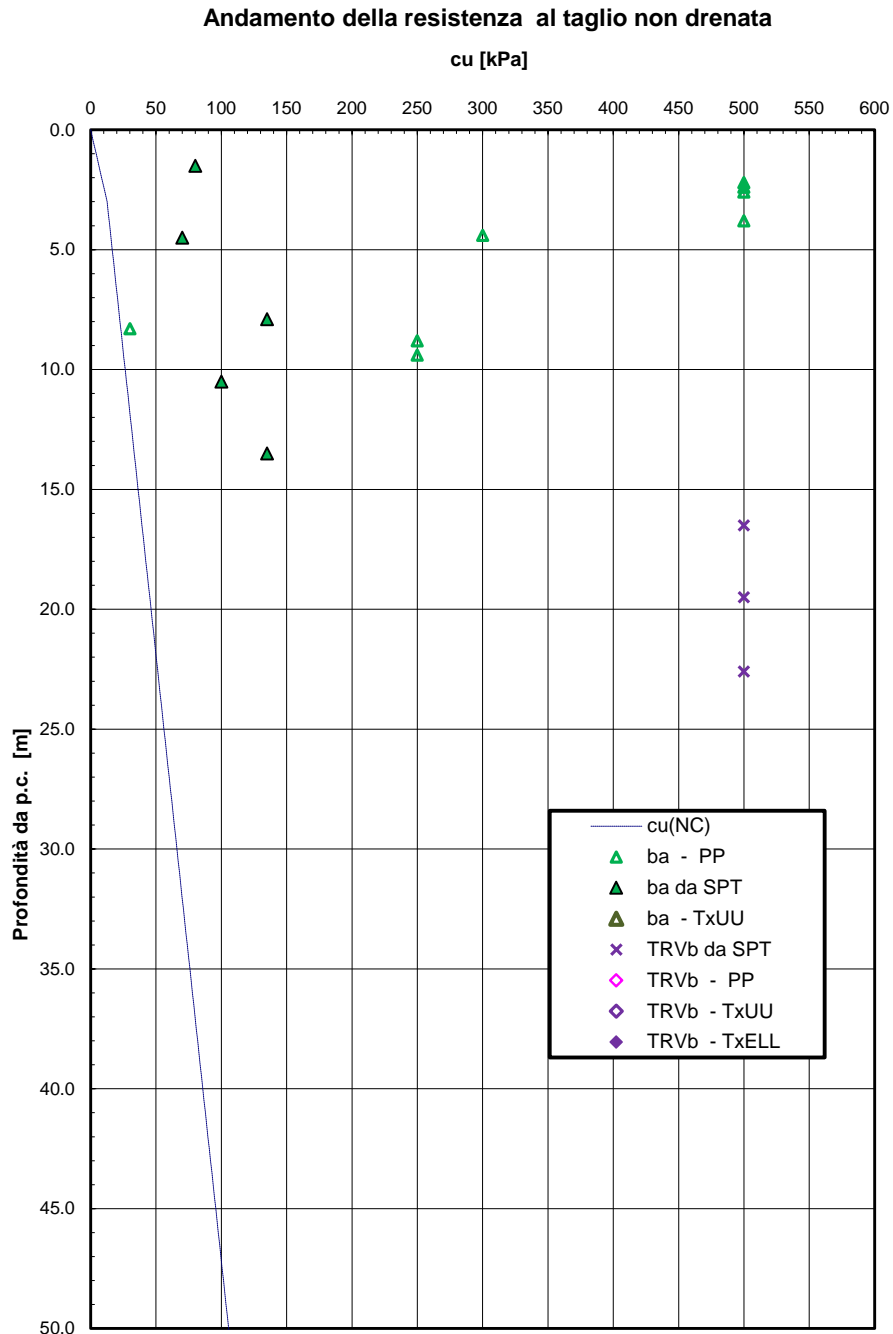


Figura 139 – Resistenza al taglio non drenata

Parametri di resistenza al taglio

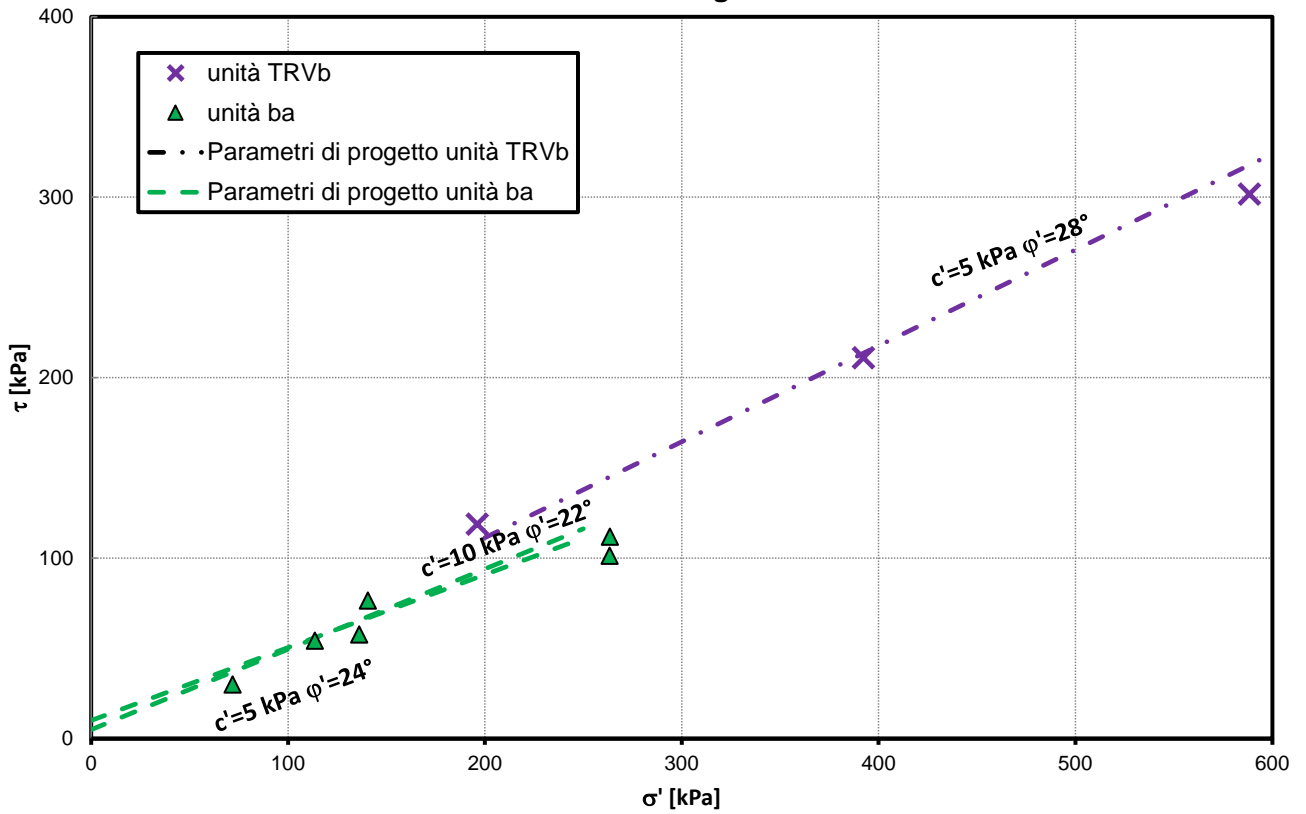


Figura 140 – Parametri di resistenza a taglio (laboratorio)

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

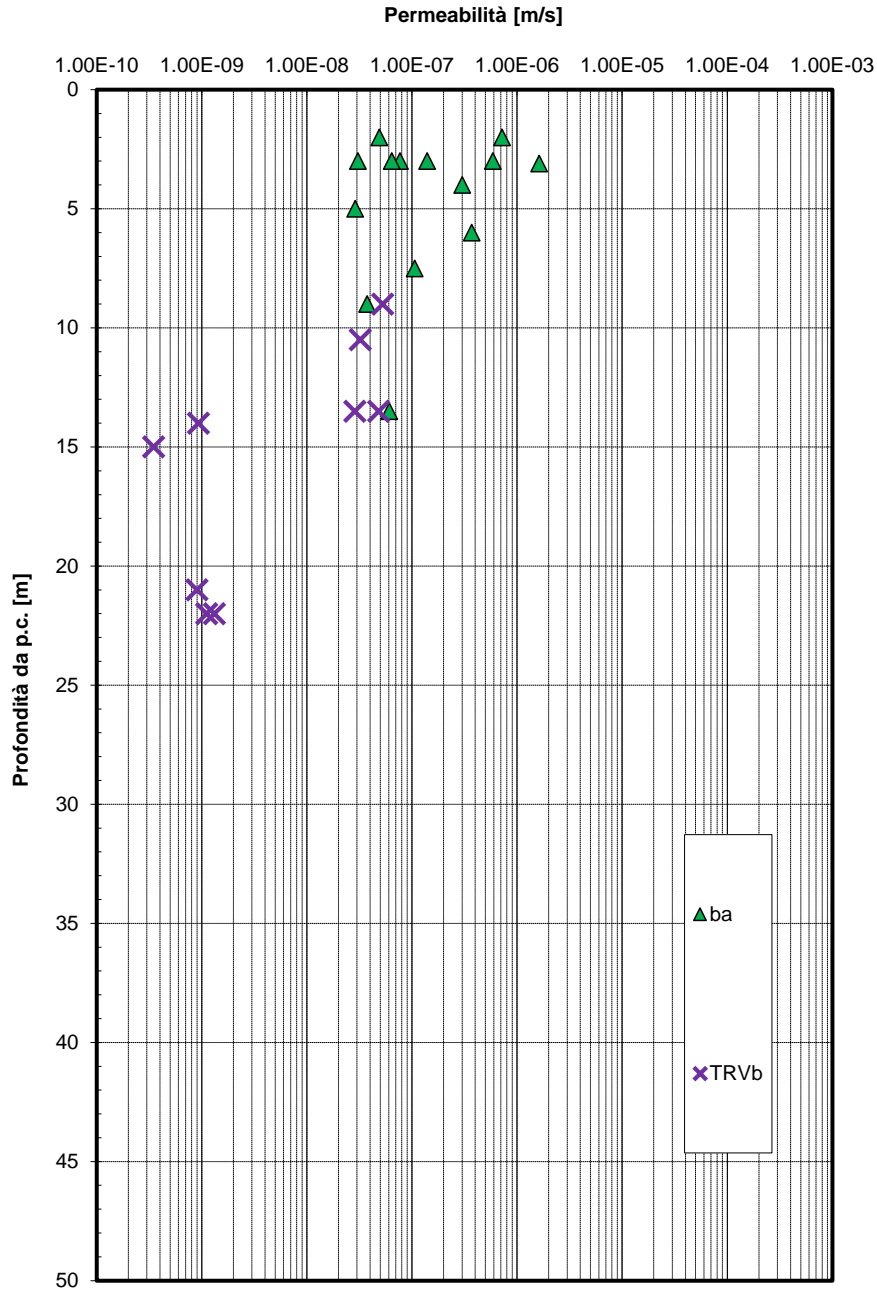



Figura 141 – Permeabilità da prove in sito

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

7.11 Galleria artificiale GA02

Il sondaggio di riferimento è: 5_SW04. Il laboratorio del sondaggio non è ancora disponibile quindi sono stati utilizzati gli stessi parametri delle unità della GA01. La stratigrafia è la seguente:

Da 0.0 a 12.5 m Unità ba – Depositi alluvionali coesivi (limoso argilloso)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata (*)
$\phi' = 22 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio (*)
$c_u = 70 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 75 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E'_{op} = E_o/5 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per analisi opere di sostegno e fondazioni dirette ($E'_{op} = 22 \text{ MPa}$ valore consigliato per calcolo GA)
$k = 1.00E^{-07} \text{ m/s}$	permeabilità

(*) Per i parametri di resistenza: la coesione massima va associata all'angolo di resistenza al taglio minimo

Da 12.5 a 50.0 m TRVb – Formazione di Terravecchia

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 28^\circ \text{ } z < 30 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$\phi' = 30^\circ \text{ } z > 30 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 220 \text{ kPa } z < 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 300 \text{ kPa } z > 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 400 \text{ MPa } z < 30 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E_o = 600 \text{ MPa } z > 30 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E' = E_o/5 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e opere di sostegno ($E'_{op} = 80 \text{ MPa}$ fino a 30 m, $E'_{op} = 120 \text{ MPa}$ per profondità $> 30 \text{ m}$, valore consigliato per calcolo GA)
$k = 1.00E^{-09} \text{ m/s}$	permeabilità

FALDA: Si assume un livello di falda pari a 2 m da p.c. (+253 m s.l.m.).

7.12 Scatolare RI04

La stratigrafia individuata è la seguente:

Da 0.0 a 10.0 m Unità ba – Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 70 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (valor medio)
$E' = 10 \div 12 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo
$E_u = 31.5 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico non drenato

Z > 10.0m TRVb – Formazione di Terravecchia

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c' = 25 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 25^\circ$ per $\sigma'v < 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi' = 19^\circ$ per $\sigma'v > 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 150 \text{ kPa}$ z < 15 m	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 200 \text{ kPa}$ z < 20 m	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 300 \text{ kPa}$ z > 20 m	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E' = 20 \div 30 \text{ MPa}$ z < 15 m	modulo di deformazione elastico operativo
$E' = 30 \div 60 \text{ MPa}$ z < 20 m	modulo di deformazione elastico operativo
$E' = 80 \text{ MPa}$ z > 20 m	modulo di deformazione elastico operativo
$E_u = 67.5 \text{ MPa}$ z < 15 m	modulo di deformazione elastico non drenato
$E_u = 90 \text{ MPa}$ z < 20 m	modulo di deformazione elastico non drenato
$E_u = 135 \text{ MPa}$ z > 20 m	modulo di deformazione elastico non drenato

Si assumono inoltre: $C_v = 5E^{-08} \text{ m}^2/\text{s}$ e $C_\alpha = 0.002$.

FALDA

La falda si trova ad una profondità > 10 m da p.c.

7.13 Scatolare RI12

La stratigrafia individuata è la seguente:

Da 0.0 a 7.0 m

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 5 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 25^\circ$$

$$c_u = 50 \div 100 \text{ kPa (media 85kPa)}$$

$$E' = 12 \text{ MPa}$$

$$E_u = 34 \text{ MPa}$$

Unità ba – Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)

peso di volume naturale

coesione drenata

angolo di resistenza al taglio

resistenza al taglio in condizioni non drenate (valor medio)

modulo di deformazione elastico operativo

modulo di deformazione elastico non drenato

Da 7.0 a 10.0 m

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$E' = 25 \text{ MPa}$$

Unità bs sabbia

peso di volume naturale

modulo di deformazione elastico operativo

Da 10.0 a 13.0 m

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$E' = 35 \text{ MPa}$$

Unità bg ghiaia

peso di volume naturale

modulo di deformazione elastico operativo

Z > 13.0 m

$$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$$

TRVb – Formazione di Terravecchia

peso di volume naturale

$$c' = 5 \text{ kPa per } \sigma'v < 200 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

$$c' = 25 \text{ kPa per } \sigma'v > 200 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

$$\phi' = 25^\circ \text{ per } \sigma'v < 200 \text{ kPa} \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$\phi' = 19^\circ \text{ per } \sigma'v > 200 \text{ kPa} \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$c_u = 130 \text{ kPa } z < 20 \text{ m} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate}$$

$$c_u = 115 + 3.5 * z \text{ kPa } 20 < z < 30 \text{ m} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate}$$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	226 di 238

$c_u = 2.5 + 6.5 * z$ kPa $z > 30$ m resistenza al taglio in condizioni non drenate

$E' = 50$ MPa $z < 20$ m modulo di deformazione elastico operativo

$E' = 70$ MPa $z > 20$ m modulo di deformazione elastico operativo

$E_u = 52$ MPa $z < 20$ m modulo di deformazione elastico non drenato

$E_u = 120$ MPa $z > 20$ m modulo di deformazione elastico non drenato

FALDA

La falda si trova ad una profondità pari a 3.5 m da p.c.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	227 di 238

8 PIANO DI POSA RILEVATI E TRINCEE

Sulla base dei risultati delle indagini eseguite, sono stati definiti gli spessori di bonifica per il piano di posa di rilevati e trincee ferroviarie. In particolare lo spessore di bonifica è stato definito tenendo conto dei seguenti aspetti, come previsto da Capitolato Italferr:

- Per i rilevati ferroviari: il terreno vegetale a partire dal p.c. viene asportato per uno spessore minimo di 0.50 m (scotico), inoltre si prevede bonifica di 0.50 m.
- Per le trincee ferroviarie: il terreno presente in sito al piano di posa dello strato supercopattato deve appartenere ai gruppi A1, A3 o A2-4. Poiché generalmente il terreno presente al piano delle trincee è coesivo (unità ba o TRVb), si prevede bonifica di spessore 0.50 m.

Nella seguente tabella si riassumono gli spessori di scotico+bonifica previsti lungo lo sviluppo del tracciato ferroviario.

Opere	SCOTICO [m]	BONIFICA [m]
trincee	-	0.50
rilevati	0.50	0.50



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	228 di 238

9 RIUTILIZZO DEI TERRENI DA SCAVO

Secondo la recente normativa in materia ambientale, le terre e le rocce provenienti da attività di scavo (TRS) non sono classificate come rifiuti e pertanto, a seguito di determinate verifiche condotte in seno al piano di gestione e riutilizzo delle TRS, possono essere reimpiegate quali materiali da costruzione per rilevati, trincee, riempimenti.

I requisiti fisico-meccanici dei terreni richiesti per la costruzione delle varie tipologie di opere in terra sono forniti dalla classificazione HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006), in conformità della quale sono stati identificati alcuni campioni di terreno prelevati dalle cassette dei sondaggi. In questo modo si è potuta valutare la possibilità del reimpiego, da un punto di vista geotecnico, dei terreni appartenenti alle singole unità geotecniche quale materiale da costruzione per le opere in progetto e la destinazione più appropriata.

Nella tabella seguente sono mostrate le unità per cui sono state eseguite prove di classificazione sulle terre e quindi si può fare una stima della percentuale recuperabile per la formazione dei rilevati di ciascuna unità geotecnica; in particolare sono stati presi tutti i campioni di terre prelevati nei sondaggi della tratta opere all'aperto con profondità fino a 10 m da p.c. che potrebbero essere quindi interessati da scavi.


Secondo quanto prescritto dal Capitolato Italferr nella formazione del corpo del rilevato ferroviario (e quindi anche per i rilevati stradali delle viabilità interferenti) si potranno impiegare le terre provenienti da scavi appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3 (solo con coefficiente di disuniformità maggiore di 7) e A4 (classificazione UNI 11531-1/2014).

Tabella 22 – Prove di laboratorio di classificazione terre

	NUMERO CAMPIONI - CLASSIFICAZIONE CNR UNI 10006												
	A1		A2				A3	A4	A5	A6	A7		A8
	A1-a	A1-b	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A3	A4	A5	A6	A7-5	A7-6	A8
bs	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
ba	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	11	0
bg	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
CFR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0
TRVb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0

9.1 Unità geotecnica ba – depositi alluvionali

Si tratta del materiale presente in maniera predominante a partire dal p.c.. L'unità geotecnica è caratterizzata da terreni fini limoso argillosi e quindi inquadrata tipicamente nel gruppo A-7-6 ed A-6, quindi non è riutilizzabile tal quale come riempimento. E' riutilizzabile solo previo idoneo trattamento (a tal proposito vedasi capitolo seguente).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

9.2 Unità geotecnica bs – depositi alluvionali sabbiosi

Si dispongono di soli due campioni. L'unità bs è classificabile come A4.

9.3 Unità geotecnica bg – depositi alluvionali ghiaiosi

Si dispongono di soli due campioni. L'unità bs è classificabile come A2-4, A1-b, quindi riutilizzabile per i rilevati.

9.4 Unità geotecnica a – depositi continentali di versante e di alterazione del substrato

Si dispongono di soli due campioni. L'unità geotecnica è caratterizzata da terreni fini limoso argillosi e quindi inquadrata tipicamente nel gruppo A-7-6, quindi non è riutilizzabile tal quale come riempimento. E' riutilizzabile solo previo idoneo trattamento.

9.5 Unità geotecnica CFR – depositi di coltre di frana quiescente

L'unità geotecnica è caratterizzata da terreni fini limoso argillosi e quindi inquadrata tipicamente nel gruppo A-7-5 ed A-7-6, quindi non è riutilizzabile tal quale come riempimento. E' riutilizzabile solo previo idoneo trattamento.

9.6 Unità geotecnica TRVb – Formazione di Terravecchia

Questa unità geotecnica rappresenta la formazione di base predominante nel tracciato in progetto, che affiora localmente al p.c.. L'unità geotecnica è caratterizzata da terreni fini limoso argillosi e quindi inquadrata tipicamente nel gruppo A-7-6, quindi non è riutilizzabile tal quale come riempimento. E' riutilizzabile solo previo idoneo trattamento.

Unità ba
Deposito alluvionale coesivo (limoso argilloso)

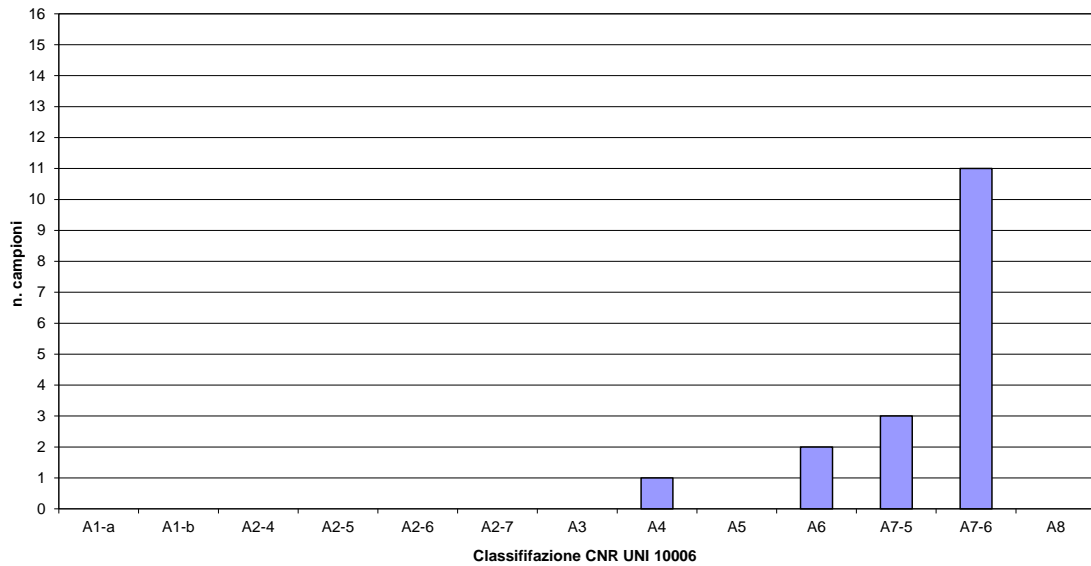


Figura 142 – Classificazione terre – unità ba

Unità bs
Deposito alluvionale sabbioso

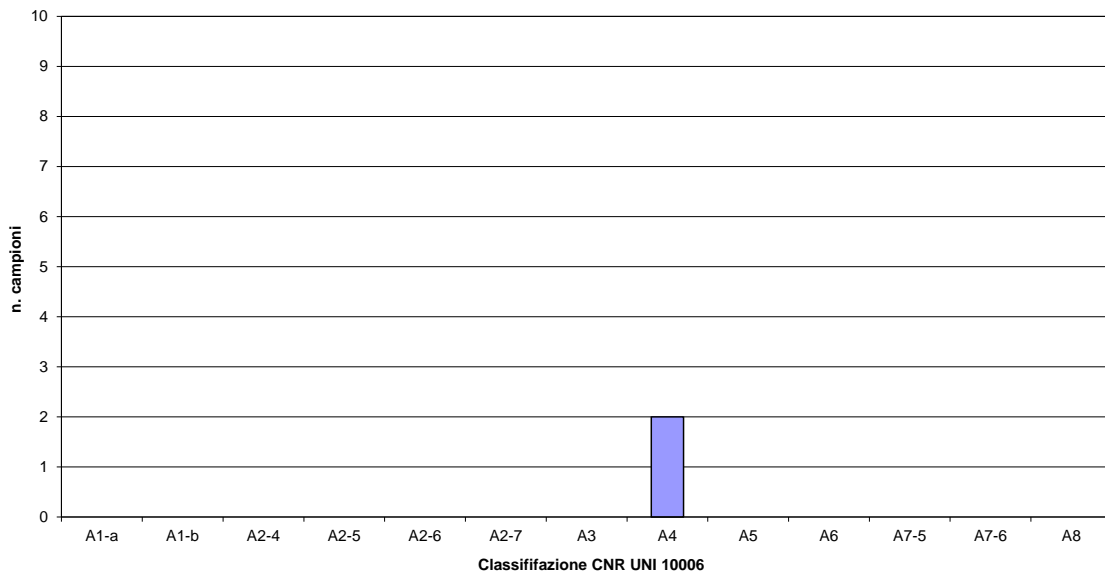


Figura 143 – Classificazione terre – unità bs



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	231 di 238

Unità bg
deposito alluvionale sabbioso - ghiaioso

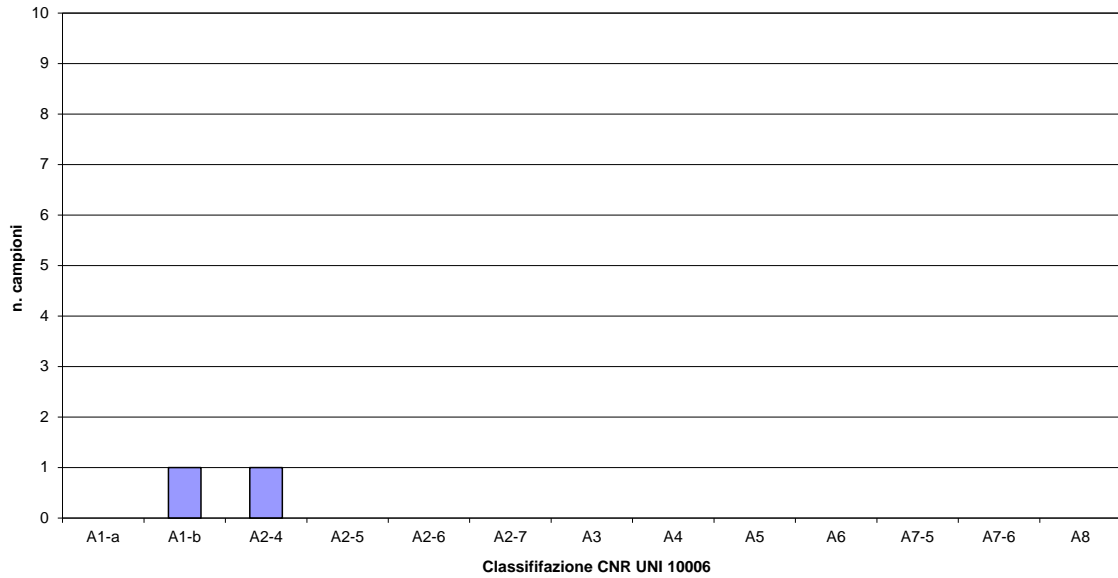


Figura 144 – Classificazione terre – unità bg

Unità a - Depositi continentali di versante di alterazione del substrato

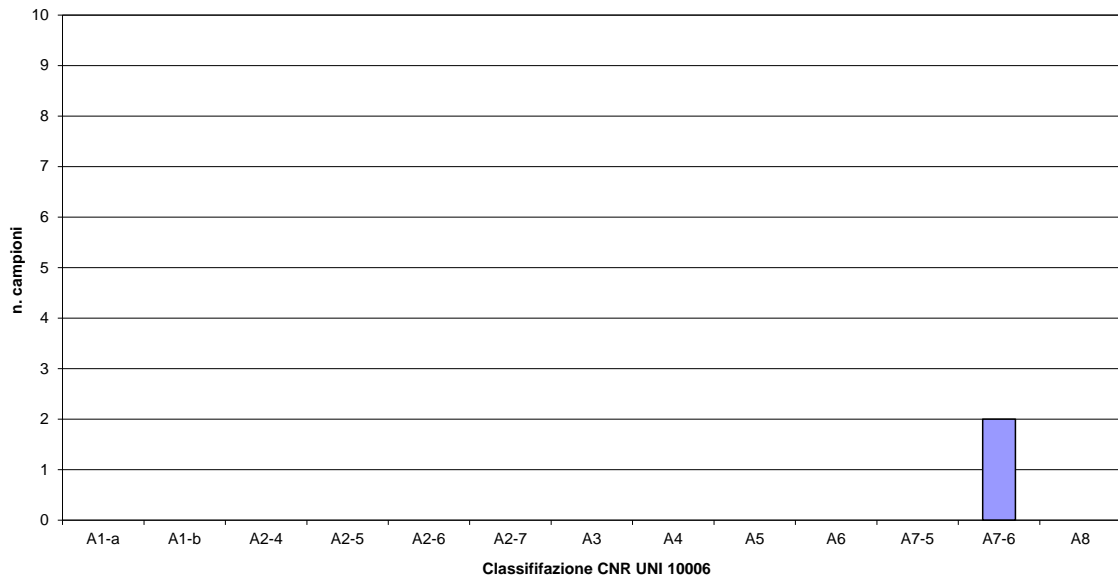


Figura 145 – Classificazione terre – unità a



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	232 di 238

Unità CFR - deposito di frana quiescente

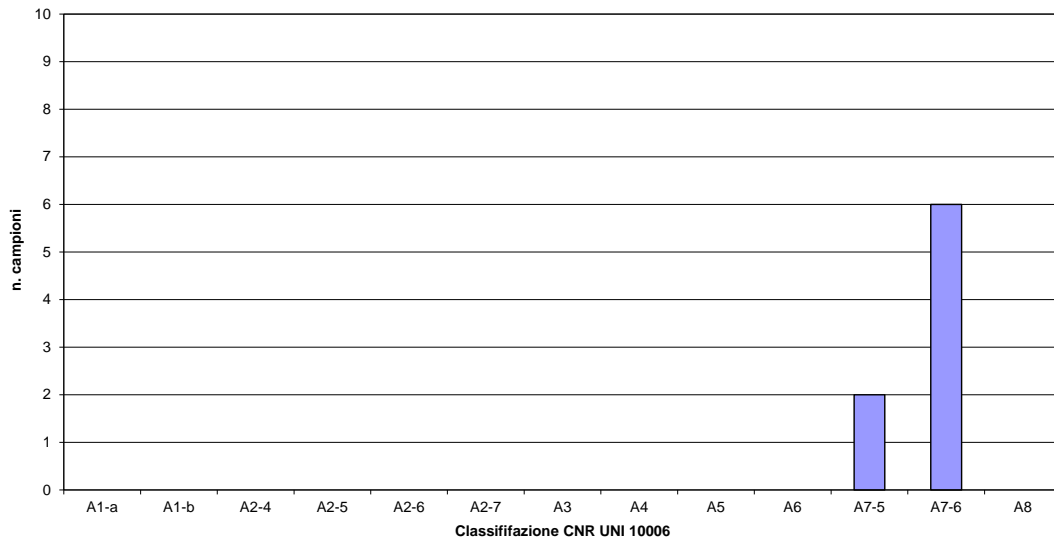


Figura 146 – Classificazione terre – unità CFR

**Unità TRVb
 Formazione di Terravecchia brecciata**

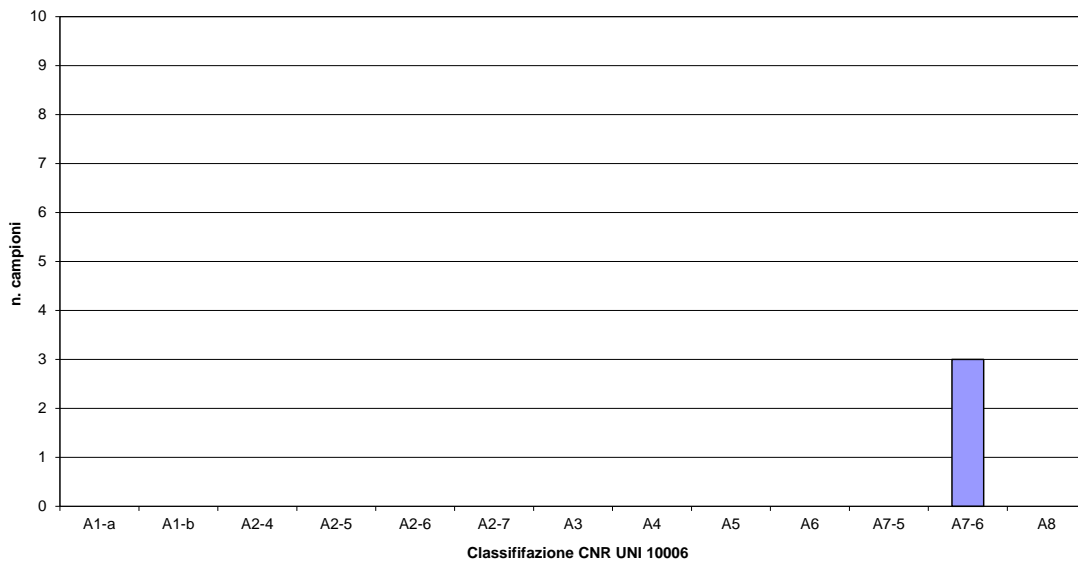



Figura 147 – Classificazione terre – unità TRVb

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10 TRATTAMENTO A CALCE

Per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati ferroviari, si prevede il riutilizzo, previo trattamento a calce, dei materiali prodotti dallo scavo delle gallerie naturali e di una quota parte dei materiali prodotti dallo scavo delle trincee previste in progetto.


Il trattamento di stabilizzazione consiste nel miscelare al terreno una certa percentuale di calce, definita tramite prove di laboratorio e verifica mediante campo prova, al fine di avere una miscela terreno-acqua-calce, idonea ai requisiti progettuali.

Nel caso in esame, i terreni provenienti dallo scavo delle gallerie sono di natura argilloso limosa appartenenti ai gruppi A6 e A7 ed hanno un indice di plasticità maggiore di 10%, come si evidenzia dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati. Non sono state eseguite apposite analisi per la determinazione del contenuto di sostanze organiche e del contenuto di solfati, che per poter essere trattati a calce devono essere rispettivamente inferiori al 2% ed al 0.25%. Considerando la natura e l'età delle formazioni geologiche attraversate (Formazione di Terravecchia e Argille ed arenarie di Catenanuova) si può ritenere che sia da escludere la presenza di sostanze organiche e solfati. Pertanto, alla luce dei dati ad oggi disponibili, i terreni interessati dallo scavo delle gallerie sono idonei al trattamento a calce.

Allo stesso modo, i terreni provenienti dallo scavo delle trincee, in particolare la WBS TR12 compresa tra il km 11+813 e il km 12+729, sono di natura argilloso limosa appartenenti ai gruppi A6 e A7 (alluvioni terrazzate coesive bnc) ed hanno un indice di plasticità maggiore di 10%, come si evidenzia dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati. Non sono state eseguite apposite analisi per la determinazione del contenuto di sostanze organiche e del contenuto di solfati, che per poter essere trattati a calce devono essere rispettivamente inferiori al 2% ed al 0.25%. Nelle descrizioni stratigrafiche dei sondaggi eseguiti non sono comunque riportati presenze di sostanze organiche. Pertanto, alla luce dei dati ad oggi disponibili, i terreni interessati dallo scavo delle gallerie sono anch'essi idonei al trattamento a calce.

Nel seguito verranno descritte, con riferimento a quanto riportato nella Specifica RFI DTC INC SP IFS 008A Trattamento delle terre con calce, le prove di identificazione delle terre da trattare e lo studio di laboratorio con le miscele sperimentali, finalizzate al campo prova, le metodologie di realizzazione del campo prova e relative finalità ed i controlli finali da eseguire.

Si sottolinea che, per la realizzazione del corpo dei rilevati ferroviari/stradali, è consentito l'utilizzo di terre trattate a calce per la formazione dell'intero corpo del rilevato ad esclusione dello strato anticapillare e dello strato

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

supercompattato. Inoltre, secondo la specifica RFI DTC INC SP IFS 008 Trattamento delle terre con calce, devono essere realizzati due strati di supercompattato da 30 cm di spessore in luogo di uno.

Per il caso in esame si prescrive una miscelazione in sito del terreno e calce e successiva compattazione. Tale tecnica prevede la successione delle fasi operative di seguito elencate:

- Stabilizzazione granulometrica;
- Spandimento della calce;
- Immissione dell'acqua di aggiunta;
- Miscelazione;
- Compattazione.


10.1 Prove di identificazione della terra da trattare

Le prove di laboratorio, preparative per il campo prova, da eseguire sui terreni presenti in sito da trattare con calce sono le seguenti:

- analisi granulometrica, inclusa analisi per via umida;
- contenuto di sostanze organiche;
- tenore in solfati;
- contenuto naturale d'acqua;
- limiti di Atterberg ed indice di plasticità;
- prova di compattazione AASHTO modificata (Proctor Modificata con determinazione di umidità ottimale, W_{opt} e densità secca massima, $\gamma_{d,max}$);
- indice di portanza CBR immediato (IPI);
- indice di portanza CBR con imbibizione in acqua a 96 ore (dopo 4 giorni);
- analisi chimico-fisiche dell'acqua di falda: sali disciolti, PH.

Sui campioni preparati al contenuto d'acqua ottimale $W_{n,opt}$, saranno eseguite le seguenti prove:

- compressione a espansione laterale libera e taglio diretto.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10.2 Studio in laboratorio della miscela terreno-acqua-calce

Lo scopo dello studio sperimentale delle miscele in laboratorio è quello di determinare il quantitativo minimo di calce necessario ad ottenere il miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti.


Le percentuali sono da intendersi riferite al peso del terreno naturale prima del trattamento e del costipamento. Per lo studio della miscela “ottimale” per il trattamento del terreno verranno analizzate tre miscele, in particolare si potranno considerare per il trattamento a calce:

- miscela con il 2.0% in peso del legante;
- miscela con il 2.5% in peso del legante;
- miscela con il 3.0% in peso del legante.

Per ciascuna miscela sperimentale si dovranno eseguire le seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometrica, inclusa analisi per via umida;
- contenuto naturale d’acqua;
- limiti di Atterberg;
- prova di compattazione AASHTO modificata (Proctor Modificata con determinazione di umidità ottimale, W_{opt} e densità secca massima, $\gamma_{d,max}$);
- indice di portanza CBR immediato (IPI);
- indice CBR con imbibizione a 96 hr (4 giorni), per tempi di maturazione pari a 7 giorni e a 28 giorni;
- Compressione semplice a 7 gg di maturazione su provini con diverso grado di contenuto d’acqua (W%):
 W_{opt} , $W_{opt+2\%}$, $W_{opt-2\%}$ (dove W_{nopt} è il contenuto d’acqua ottimale);
- Compressione semplice a 28 gg di maturazione su provini con diverso grado di contenuto d’acqua (W%):
 W_{opt} , $W_{opt+2\%}$, $W_{opt-2\%}$;
- Inoltre, nel caso di miscele per corpo del rilevato, prova di taglio in cella triassiale CID su tre provini a 28 gg di maturazione.

In fase di indagine sono richieste anche le analisi chimico-fisiche dell’acqua utilizzata nella preparazione degli impasti.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10.3 Realizzazione del campo prova

Ultimato lo studio delle miscele sperimentali, sulla base dei risultati delle sperimentazioni di laboratorio, sarà scelta la miscela ottimale per calce da testare sul campo prova; verrà quindi predisposto un campo prova con le seguenti finalità:

- verificare su scala reale i dati ottenuti in laboratorio;
- controllo delle attrezzature, dei metodi di miscelazione e di compattazione;
- definizione delle fasi e dei metodi delle lavorazioni, con particolare riferimento all'apporto di calce;
- schemi di miscelatura (numero di passate del Pulvimixer ottimali necessari ad ottenere la granulometria prevista) e rullatura (numero di passate del rullo), in relazione alle attrezzature adottate;
- la definizione delle modalità di controllo dei limiti di accettabilità dei tenori di umidità dei terreni posti in opera e delle miscele terreno-calce, prima della rullatura finale.

L'ubicazione del campo prova, le dimensioni e le modalità esecutive del rilevato saranno concordate con la Committenza. Si prevede comunque un campo prova di dimensioni in sommità 4mx50 m di lunghezza utile e realizzato con le stesse modalità di esecuzione del rilevato.

Si precisano i controlli da effettuare su ognuno degli strati finiti:

- Dovrà essere tarata la spanditrice di calce per il controllo del dosaggio.
- Prima della stesa della calce dovrà essere controllato il contenuto d'acqua del terreno e confrontato con quello utilizzato nello studio delle miscele.
- Dopo la miscelazione dovrà essere nuovamente controllato il contenuto d'acqua e verranno eseguiti prelievi per l'esecuzione di prove di classificazione, prove Proctor e CBR e prove geotecniche.
- La miscela dovrà essere poi compattata secondo schemi di rullatura prefissati.
- Il prodotto finale dovrà essere controllato mediante prove di carico su piastra (da 30 cm). Le misure andranno effettuate almeno a tempo 0 (cioè subito dopo la compattazione), dopo 24 ore e a 7 gg su almeno 5 punti appartenenti al medesimo strato omogeneo (in termini di composizione e modalità di compattazione) e solo sull'ultimo strato del corpo di rilevato, a 28 gg dalla compattazione.
- In prossimità dei punti di determinazione del modulo di deformazione, determinazione della densità in sito e del contenuto in acqua, subito dopo aver eseguito la compattazione.
- A 28 gg dalla compattazione, sull'ultimo strato del corpo del rilevato prelievo di tre campioni indisturbati da sottoporre a prova di taglio in cella triassiale (CID); le prove verranno eseguite sia sui provini tal



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	237 di 238

quali che dopo 5 cicli di imbibizione (4 gg.) ed essiccamento (24 ore) e completa saturazione per almeno 7 giorni.

I risultati ottenuti con il campo prova dovranno confermare quelli dello studio sperimentale in laboratorio. Nel caso in cui i requisiti minimi previsti da progetto non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione e/o le miscele terra-cale fino al raggiungimento dei requisiti minimi richiesti.

La miscela ottimale scaturirà dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio e da quelli ottenuti nel campo prova ed in ogni caso dovrà essere approvata da Committente.

I campi prova costituiranno il riferimento per la realizzazione del corpo dei rilevati, pertanto negli elaborati finali dei campi prova dovranno essere chiaramente specificate le modalità realizzative da riprodurre in corso d'opera.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto (Lotto 5) – (da km 0+000 a km 8+920)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RH	GE0001 001	A	238 di 238

11 NOTE DI CARATTERE GEOTECNICO

I terreni presenti lungo il tracciato che interessano le opere all'aperto sono prevalentemente coesivi, alluvioni fini che sovrastano la formazione di base di Terravecchia in facies argilloso marnosa breciata (unità TRVb). Si tratta comunque di terreni con buone caratteristiche meccaniche e bassa deformabilità.

Localmente in corrispondenza del VI08 è stata intercettata la formazione di base di Cattolica (unità GTL) con livelli lapidei di arenaria con spessore 4 m circa, oltre i 30 m di profondità da p.c. e con resistenza a compressione monoassiale di 13-23 MPa, di cui si terrà conto per l'esecuzione dei pali di fondazione.

Per i terreni alluvionali sabbiosi che si trovano localmente intercalati ai depositi alluvionali coesivi prevalenti, dalle analisi di liquefazione eseguite dall'esame delle prove in sito SPT e CPT, si può escludere il rischio di liquefazione dei terreni.