

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA NUOVA ENNA - DITTAINO (LOTTO 4B)

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA TRATTI ALL'APERTO – LOTTO 4b

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 RH GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	Emissione esecutiva	S. Gasperoni	12/2019	M.D'Effremo	12/2019	F.Sparacino	12/2019	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Paolo Viorzelli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° 4073 12/2019

SOMMARIO

1	PREMESSA	6
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	9
4	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	13
4.1	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2000.....	13
4.1.1	<i>Prove di laboratorio</i>	13
4.2	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2015-2016.....	14
4.2.1	<i>Prove di laboratorio</i>	15
4.3	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2018.....	16
4.3.1	<i>Prove di permeabilità</i>	17
4.3.2	<i>Prove pressiometriche</i>	18
4.3.3	<i>Prove di laboratorio</i>	19
4.4	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2019.....	22
4.4.1	<i>Prove di permeabilità</i>	24
4.4.2	<i>Indagini sismiche</i>	26
4.4.3	<i>Prove dilatometriche in foro</i>	26
4.4.4	<i>Prove di laboratorio</i>	26
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	43
5.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	43
5.2	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	47
5.3	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	48

5.3.1	Depositi incoerenti	48
5.3.2	Depositi coesivi	53
5.4	UNITÀ A – DEPOSITI ELUVIO COLLUVIALI, CONTINENTALI DI VERSANTE DI ALTERAZIONE DEL SUBSTRATO	66
5.5	UNITÀ BA – DEPOSITI ALLUVIONALI COESIVI.....	66
5.6	UNITÀ BS – DEPOSITI ALLUVIONALI SABBIOSI	67
5.7	UNITÀ BG – DEPOSITI ALLUVIONALI GHIAIOSO SABBIOSI.....	68
5.8	UNITÀ CFR – COLTRE IN FRANA QUIESCENTE.....	68
5.9	UNITÀ BN – DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI.....	69
5.10	UNITÀ CAP-C/CAP-S – CAPPELLACCIO ALTERATO DELLA FORMAZIONE DI BASE	70
5.11	UNITÀ MS2 – SABBIE DI COZZO CAMPANA	71
5.12	UNITÀ TRVb – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA IN FACIES ARGILLOSO MARNOSA BRECCIATA	72
5.13	UNITÀ TRV – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA IN FACIES ARGILLOSO MARNOSA	73
5.14	UNITÀ TRVa – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA IN FACIES ARENARIE ALTERNATE CON PELITI.....	74
5.15	UNITÀ FYN3 – ARGILLA LIMOSA MARNOSA (FLYSCH NUMIDICO).....	75
5.16	UNITÀ AVF – ARGILLE VARIEGATE MARNOSE.....	75
5.17	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	77
5.18	FALDA	159
6	CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO.....	161
6.1	RISPOSTA SISMICA.....	161
6.1.1	Categoria di sottosuolo	162
6.1.2	Azioni sismiche di progetto	163
6.1.3	Magnitudo	167
6.2	LIQUEFAZIONE	169
6.2.1	Generale	169
6.2.2	Metodologie di analisi.....	171

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	4 di 281

6.2.3	Analisi basate su prove SPT	173
6.2.4	Analisi basate su prove CPT	175
6.2.5	Risultati da prove SPT.....	177
6.2.6	Risultati da prove CPT.....	179
6.2.7	Sintesi risultati.....	180
7	OPERE D'ARTE MAGGIORI.....	181
7.1	VIADOTTO VI01	182
7.2	VIADOTTO VI02	189
7.3	VIADOTTO VI03	197
7.4	VIADOTTO VI04	205
7.5	VIADOTTO VI05	214
7.6	CAVALCAFERROVIA IV01.....	224
7.7	GALLERIA GA01.....	239
7.8	STAZIONE ENNA	250
7.9	STAZIONE DITTAINO	259
8	PIANO DI POSA RILEVATI E TRINCEE	272
9	RIUTILIZZO DEI TERRENI DA SCAVO.....	273
1.1	UNITÀ GEOTECNICA BA – DEPOSITI ALLUVIONALI	273
1.2	UNITÀ GEOTECNICA BS E BG – DEPOSITI ALLUVIONALI SABBIOSI E GHIAIOSI.....	274
1.3	UNITÀ GEOTECNICA BN – ALLUVIONI TERRAZZATE ANTICHE	274
1.4	UNITÀ GEOTECNICA CAP-C – ALTERAZIONE COESIVA DEL SUBSTRATO.....	274
1.5	UNITÀ GEOTECNICA TRVB – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA ARGILLOSO LIMOSA BRECCIATA.....	274
1.6	UNITÀ GEOTECNICA TRVA – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA ARENACEO-PELITICA	274
1.7	UNITÀ GEOTECNICA MS2 – SABBIE	274
10	TRATTAMENTO A CALCE	278



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	5 di 281

10.1	PROVE DI IDENTIFICAZIONE DELLA TERRA DA TRATTARE.....	279
10.2	STUDIO IN LABORATORIO DELLA MISCELA TERRENO-ACQUA-CALCE.....	279
10.3	REALIZZAZIONE DEL CAMPO PROVA.....	280



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	6 di 281

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica relativa al Progetto Definitivo del lotto 4b della tratta denominata Nuova Enna - Dittaino relativa al Nuovo Collegamento ferroviario Palermo-Catania.

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 lungo la viabilità;
- classificazione sismica del sito;
- analisi rischio 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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	7 di 281

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, DM del 17/01/2018.
- N.2. C.M. 21/01/2019 n.7: 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 40 D69 RG GE0001 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica.
- D.2. RS3E 40 D69 N5 GE0001 001÷ RS3E 40 D69 N5 GE0001 004 – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Carta geologica e progilo geologico (4 tavole).
- D.3. RS3V 40 D09 F6 GE0001 001 A ÷ RS3V 40 D09 F6 GE0001 010 A- Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Profilo geotecnico - Lotto 4B – 10 tavole.
- D.4. RS3E 40 D69 RG GE0001 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Rapporto di campagna – stop geologici.
- D.5. RS3E 40 D69 W6 GE0001 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Sezioni geologiche trasversali.
- D.6. RS3E 40 D69 N5 GE0002 001A÷ RS3E 40 D69 N5 GE0002 004A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Carta idrogeologica e progilo idrogeologico (4 tavole).
- D.7. RS3E 40 D69 N5 GE0005 001A÷ RS3E 40 D69 N5 GE0005 002A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Planimetria ubicazioni indagini geognostiche (2 tavole).
- D.8. RS3E 40 D69 SG GE0001 001A– Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche e prove in situ pregresse 2015-2018-2019.
- D.9. RS3E 40 D69 SG GE0001 002A– Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche e prove in situ Relazione generale.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	8 di 281

- D.10. RS3E 40 D69 PR GE0001 001A ÷RS3E 40 D69 PR GE0001 002– Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Prove geotecniche di laboratorio.
- D.11. RS3E 40 D69 RH GE0001 001A– Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Monitoraggio strumentale.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area in oggetto ricade nella porzione centro-orientale della regione Sicilia; il tracciato si sviluppa per circa 14 chilometri in direzione circa Ovest-Est tra Catenanuova e Raddusa Agira, interessando i comuni di Agira, Catenanuova, Regalbuto in provincia di Enna ed il comune di Ramacca in provincia di Catania.

Dal punto di vista morfologico, tale area si sviluppa a quote comprese tra 230 m s.l.m. e 135 m s.l.m., con ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti, riconducibili alla piana alluvionale della media valle del fiume Dittaino, con versanti poco acclivi ed estesi corrispondenti ai settori di affioramento di terreni a dominante formazione pelitica.

I principali corsi d'acqua sono il fiume Dittaino ed i suoi affluenti, a carattere stagionale e/o torrentizio.

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:

- **Depositi di versante** (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 Attuali** (Olocene) - **ba**. 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 sabbie ghiaiose limose.
- **Depositi Alluvionali Recenti** (Olocene) - **bb**. Sono depositi di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile. Si tratta di limi argillosi, limi ed in subordine limi sabbiosi con ciottoli quarzarenitici; lo spessore varia da pochi metri fino ad un massimo di 25 m, talvolta alternati da strati di sabbie limose e sabbie ghiaiose.
- **Depositi alluvionali Terrazzati** (Pleistocene superiore-Olocene) - **bn**: Si tratta di depositi di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, piana inondabile, lago di meandro e canale in abbandono, costituito da ghiaie sabbiose, sabbie limose e limi sabbiosi.

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

- **Sabbie di Cozzo Campana** (messiniano superiore) – **MS2**. Sabbia medio-fine con livelli centimetrici e millimetrici di limo argilloso debolmente sabbioso, da addensata a molto addensata, giallastra con livelli avana e biancastri. Localmente può presentare livelli arenacei. Tale unità è discordante sul Tripoli e sulla Formazione di Terravecchia.
- **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 foramiferi planctonici, talora bituminose. Si tratta di depositi di bacino euxinico con spessore inferiore ai 30 m.
- **Formazione di Terravecchia** (Tortoniano Superiore) – **TRV/TRVa**. 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; talora sono presenti patine biancastre di decalcificazione, rare vene di calcite secondaria e lenti di conglomerati poligenici a clasti eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati. La litofacies argilloso-brecciata, invece, è costituita prevalentemente da argille, argille limose e limi argillosi di colore grigio e marrone (**TRVa**), a struttura o a blocchetti poliedrici, talora scagliosa o indistinta, con locali livelli di sabbie limose grigie e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; a luoghi si rinvengono passaggi di argille marnose e argilliti di colore grigio-verdastro, a struttura brecciata o finemente scagliosa, e livelli litoidi arenitici.

➤ **Unità Sicilidi**, formano l'unità tettonica di:

- **Flysch Numidico** (età Burdigaliano – Langhiano – Serravalliano) – **FYN3/FYN3a**. Si tratta di argille marnose a struttura prevalentemente indistinta scagliettata (**FYN3**) e argilliti. Talvolta si hanno quarzareniti in grossi banchi con intercalazioni di argille marnose (**FYN3a**).
- **Argille Varicolori inferiori** – **AVF**. Depositi marini di base scarpata e bacino pelagico, costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante su unità non affioranti nell'area. Lo spessore massimo non è valutabile per tettonizzazione. Si tratta di argille limose e argille marnose di colore rosso vinaccia, verde e grigio (**AVF**), a struttura caotica o scagliosa, con sottili intercalazioni di diaspri grigio-verdastri a frattura prismatica e calcari micritici biancastri.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	11 di 281

Inquadramento geomorfologico.

Il principale corso d'acqua è il fiume Dittaino, affluente in destra idrografica del più importante fiume Simeto. I tributari minori sono torrenti a breve corso, caratterizzati da evidenti fenomeni erosivi e modeste coperture alluvionali. In genere sono corsi a regime torrentizio con elevato potere erosivo e di trasporto solido soprattutto in periodi di piena. Si aggiungono inoltre valloni e solchi di erosione concentrata, attivi solo in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi.

I fenomeni gravitativi di versante sono più diffusi nei settori più occidentali dell'area in studio, in corrispondenza di rilievi collinari dove affiorano litotipi pelitici delle successioni marine del substrato.

Lungo i rilievi collinari che bordano il fondovalle del fiume Dittaino sono presenti dissesti riconducibili a movimenti franosi ed a fenomeni di deformazione viscosa delle coltri. Sono fenomeni poco estesi e di limitato spessore che coinvolgono le coltri di copertura eluvio-colluviali o le porzioni più superficiali ed alterate del substrato. Le principali cause di questi dissesti sono da ricercarsi sia nella tettonica, ma in particolar modo nei fenomeni erosivi connessi al deflusso delle acque superficiali.

Nelle aree dove affiorano i litotipi marini arenaceo-marnosi, i principali fenomeni di dissesto sono legati ai crolli e scivolamenti in roccia.

In generale, comunque per le opere all'aperto tali fenomeni di versante non rappresentano degli elementi di particolare criticità per le opere in progetto, in quanto ricadono ad una certa distanza dal tracciato. Nell'area della galleria più orientale, nei pressi di Catenanuova, gli imbocchi sono interessati da franosità diffusa; si tratta di fenomeni locali e di ridotto spessore e quindi non particolarmente critici per le opere che comunque andranno dimensionate tenendo conto dei fenomeni gravitativi.

Inquadramento idrogeologico.

Nell'area in studio l'acquifero alluvionale, costituito da depositi fortemente eterogenei dal punto di vista granulometrico, poggia sui terreni argilloso marnosi e arenaceo-marnosi della Catena Appennica Maghrebide. Tale acquifero risulta alimentato dagli apporti superficiali e profondi dei principali corsi d'acqua, anche se non mancano comunque scambi idrici con falde sotterranee.

La superficie piezometrica generalmente si colloca tra 3 e 10 m da p.c. anche se risente molto dell'assetto idrogeologico locale. I gradienti piezometrici in genere sono bassi, ma possono risentire di forti variazioni



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	12 di 281

granulometriche locali. Le acque di falda tendono ad affluire verso la piana di Catania e in generale lungo il fondovalle del fiume Dittaino.

Le alluvioni terrazzate generalmente sono interessate da falde di modesta importanza ed a carattere essenzialmente stagionale.

Nei litotipi del substrato marino non si evidenziano falde o corpi idrici di importanza. I litotipi arenaceo - marnosi e calcareo – marnosi rappresentano acquiferi di scarsa rilevanza dal punto di vista idrologico: sono sede di falde sotterranee a carattere stagionale.

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 2000, che è consistita in indagini in sito e prove di laboratorio.
- campagna geognostica eseguita nel 2015-2016, che è consistita in indagini in sito e prove di laboratorio;
- 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 di indagine.

4.1 Campagna geognostica del 2000

E' stata recuperata un'indagine ANAS del 2000 (eseguito dalla ditta Geological Geophisic Prospecting) che ricade vicino al tracciato in progetto. Nella seguente tabella si sintetizzano le informazioni del suddetto sondaggio.

Tabella 1 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna del 2000

Sondaggi	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 dilatometriche [D] pressiometriche [P]	Piezometro TA; CC
SA1	30.0	326.0	1	-	-	3	-	1P	CC [16.0]
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]									
CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]									

4.1.1 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 naturale;
- Prove di compressioni triassiale non consolidata non drenata del tipo UU.

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Tabella 2 – Laboratorio indagini 2000

Sondaggio	-	SA1
Campione	-	C1
Tipo	-	ind
Unità	-	TRV
Prof.	m	29.50
Granulometria		
G	%	0.0
S	%	8.5
L +A	%	91.6
L	%	46.0
A	%	45.6
Limiti di Atterberg		
W _L	%	58.9
W _P	%	22.5
I _c	-	1.25
I _p	%	36.3
Caratteristiche fisiche		
γ _N	kN/m ³	20.3
w _N	%	13.6
Prove edometriche (valori riferiti a		
E _{ed}	kPa	
c _v	m ² /s	
k	m/s	
Resistenza non drenata		
(TX-UU) c _u	kPa	423.9
(TX-ELL) c _u	kPa	

4.2 Campagna geognostica del 2015-2016

Sono disponibili alcuni sondaggi della campagna in oggetto eseguiti dalla ditta Geogav nel 2015-2016. Nella seguente tabella si sintetizzano le informazioni relative alle indagini di questa campagna prese in considerazione per il tracciato in progetto.

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);

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	15 di 281

- rilievo del livello di falda;
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP) nei livelli coesivi;
- prove in sito di permeabilità Lefranc;
- prove pressiometriche.

Tabella 3 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna del 2015-2016

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	n. prove dilatometriche e [D]/pressiometriche [P]	Piezometro TA; CC
7S2	40.3	448.5	4	5	-	7	2	2P	CC [38.4]
7S3	35.0	407.0	3	4	-	5	1	2P	CC [32.5]

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]
CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]

4.2.1 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 edometriche;

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 4 – Laboratorio indagini 2018

Sondaggio	-	7S2	7S2	7S2	7S3	7S3	7S3
Campione	-	C1	C2	C4	C1	C2	C3
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	TRVa	TRVa	TRVa	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	10.90	21.20	40.15	14.70	21.00	27.00
Granulometria							
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	40.3	71.2	21.6	21.4	3.4	11.5
L +A	%	59.7	28.8	78.4	78.6	96.6	88.5
L	%	38.4	15.4	39.7	42.9	26.9	40.2
A	%	21.4	13.4	38.7	35.6	69.7	48.3
Limiti di Atterberg							
W _L	%		28.0	44.0	38.0	40.0	47.0
W _P	%		14.0	23.0	18.0	21.0	25.0
I _c	-		0.88	1.52	0.95	1.40	1.04
I _p	%		14.0	21.0	20.0	19.0	22.0
Caratteristiche fisiche							
γ _N	kN/m ³	20.6	19.8	22.2	21.2	19.6	20.4
w _N	%	14.4	15.7	12.1	18.9	13.4	24.2
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)							
E _{ed}	kPa					7263.0	9195.0
c _v	m ² /s					1.42E-08	9.05E-08
k	m/s					1.91E-11	9.65E-11
Resistenza non drenata							
(TX-UU) c _u	kPa						
(TX-ELL) c _u	kPa						
Resistenza drenata							
(TD) c	kPa		1.0	40.3	15.8	17.9	40.9
(TD) f	°		39.4	29.5	20.0	32.9	31.6
(TX-CIU) c	kPa	8.0					
(TX-CIU) f	°	38.0					

4.3 Campagna geognostica del 2018

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

- n° 6 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità di 30.0-80.0 m;

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	17 di 281

- n. 5 fori di sondaggio strumentati con piezometro del tipo a tubo aperto;
- prove di permeabilità Lefranc;
- prove pressiometriche in foro.

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;
- rilievo di gas metano;
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP) nei livelli coesivi.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte in sito.

Tabella 5 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna del 2018

Sondaggi	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 dilatometriche [D] pressiometriche [P]	Piezometro TA; CC / Prova DH
4S10	30.0	447.3	4	2	-	9	2	-	-
4S11	60.0	500.4	5	2	-	-	2	2P	TA[1.0÷54]
4S12	85.0	497.1	2	4	-	-	2	2P	TA[1.0÷81]
4S13	40.0	322.7	3	2	-	9	2	-	TA[3.0÷30]
4S14	80.0	376.2	3	-	-	-	2	2P	TA[6.0÷80]
5_S14	40.0	253.4	3	2	-	7	2	-	TA[6.0÷30]

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]

4.3.1 Prove di permeabilità

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

Tabella 6 – Risultati prove di permeabilità Lefranc del 2018

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
5_S14	1	5.0	3.08E-05	bs
5_S14	2	13.5	1.64E-04	bg
4S10	1	5.2	8.91E-08	cap-c
4S10	2	20.1	6.67E-09	TRV
4S11	1	50.3	1.15E-08	TRV
4S11	2	59.5	9.23E-09	TRV
4S13	1	5.5	9.70E-08	TRV
4S13	2	20.3	8.26E-09	TRV
4S12	1	70.0	3.28E-09	TRV
4S12	2	80.5	5.11E-09	TRV
4S14	1	62.0	3.33E-09	AVF
4S14	2	75.5	3.47E-09	AVF

4.3.2 Prove pressiometriche

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

Tabella 7 – Risultati prove pressiometriche del 2018

Sondaggi	Prova	profondità da p.c. [m]	Em [kPa]	Plim [kPa]	Plim [Mpa]	Unità geotecni	cu [kPa]	Eyoung [kPa]
4S11	1	42.3	47891	2410.00	2.41	TRV	241	47891
4S11	2	54.4	64314	3184.00	3.18	TRV	318	64314
4S12	1	66.0	112438	4530.00	4.53	TRV	453	112438
4S12	2	76.0	180293	4530.00	4.53	TRV	453	180293
4S14	1	64.0	113068	4700.00	4.70	AVF	-	113068
4S14	2	75.0	154818	5900.00	5.90	AVF	-	154818



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	19 di 281

4.3.3 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.

Tabella 8 – Laboratorio indagini 2018

Sondaggio	-	5_S14	5_S14	5_S14	4S10	4S10	4S10	4S11	4S11	4S11
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	FC1	cc2a-2b	cc3	C1a	C1b	C2
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	ba	ba	TRVb	cap-c	TRV	TRV	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	4.25	10.75	22.25	6.15	14.10	25.00	31.08	31.30	40.30
Granulometria										
G	%	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	16.3	4.0	0.0
S	%	44.9	28.8	8.7	29.6	46.1	65.3	52.1	33.5	65.5
L + A	%	54.8	71.2	88.2	70.4	54.0	34.7	31.6	62.6	34.5
L	%	25.8	31.1	47.9	41.1	44.3	28.5	18.4	38.4	21.7
A	%	29.0	40.1	40.3	29.3	9.7	6.3	13.2	24.2	12.7
Limiti di Atterberg										
W _L	%	29.7	32.7	55.5	32.9	35.8			52.5	
W _P	%	17.6	18.8	25.4	18.7	20.5			27.3	
l _c	-	1.21	0.29	1.26	1.00	1.43			1.37	
l _p	%	12.1	13.9	30.1	14.2	15.3			25.2	
Caratteristiche fisiche										
γ _N	kN/m ³	18.2	19.4	20.8	20.0	20.9		19.4	20.1	20.1
w _N	%	15.1	28.7	17.6	18.7	13.9	11.1	13.2	18.1	12.0
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)										
E _{ed}	kPa	2717.0	3287.0	17912.0	7211.0					
c _v	m 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 _u	kPa			420.2						771.0
(TX-ELL) c _u	kPa									
Resistenza drenata										
(TD) c	kPa	28.2			41.9	15.4		2.9		137.3
(TD) f	°	24.1			22.8	23.8		34.2		34.4
(TX-CIU) c	kPa		29.3						21.1	
(TX-CIU) f	°		20.0						20.7	

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	21 di 281

Sondaggio	-	4S11	4S11	4S11	4S11	4S12	4S12	4S13	4S13	4S13	4S14	4S14	4S12	4S12	4S12
Campione	-	C3	C4	RC1	RC2	RC1	C1a+1b	C1	C2a+2b	C3	C1	C2	RC2	RC3	RC4
Tipo	-	ind	ind	rim	rim	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim
Unità	-	TRV	TRV	MS2	TRV	cap-c	TRV	TRV	TRV	TRV	AVF	AVF	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	44.90	55.30	8.70	48.30	3.15	64.20	5.20	14.50	25.80	55.10	65.10	58.15	72.15	78.20

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
S	%	62.1	50.1	19.9	27.8	16.8	7.4	4.5	6.8	3.9	2.9	3.0			
L + A	%	37.9	49.3	80.1	72.2	83.2	92.6	95.5	93.2	96.1	97.0	97.0			
L	%	27.5	34.3	40.7	31.7	52.1	62.4	48.9	47.3	47.5	56.3	53.1			
A	%	10.5	15.0	39.4	40.5	31.1	30.2	46.6	45.9	48.5	40.7	43.9			

Limiti di Atterberg

W _L	%			21.9	20.9	43.8	55.2	71.1	62.0	69.4	45.8	47.5			
W _P	%			17.2	18.6	27.8	30.1	34.0	29.7	33.5	25.4	27.4			
I _c	-						1.63	1.36	1.49	1.59	1.51	1.53			
I _p	%			4.7	2.3	16.0	25.1	37.1	32.3	35.9	20.4	20.1			

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	21.1	21.0				20.6	20.3	20.2	20.1	20.1	17.9	23.2	23.5	23.8
w _N	%	13.2	13.4				14.3	20.5	13.9	12.4	15.0	16.7			

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa							4904.0	6307.0						
c _v	m ² /s							3.81E-08	2.14E-08						
k	m/s							4.62E-11	3.33E-11						

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa		551.0												
(TX-ELL) c _u	kPa														

Resistenza drenata

(TD) c	kPa		51.1					31.4	23.6	63.1	17.9	88.3			
(TD) f	°		21.1					34.3	21.0	23.4	26.5	18.2			
(TX-CIU) c	kPa	47.9													
(TX-CIU) f	°	39.8													

(segue da pagina precedente)

4.4 Campagna geognostica del 2019

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

- sondaggi geognostici a carotaggio per profondità variabili da 19.5 a 115 m;
- fori di sondaggio strumentati con piezometro, di cui alcuni sono del tipo a tubo aperto ed alcuni a cella di Casagrande;
- prove di permeabilità Lefranc nei terreni e Lugeon in roccia;
- prove dilatometriche;
- indagini sismiche in foro tipo Down-Hole;
- indagini geofisiche MASW e HVSR.
- N. 5 prove penetrometriche statiche CPT;
- N. 9 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH (penetrometro Pagani TG 63-100 standard: UNI EN ISO 22476-2:2005) con numero di colpi/20cm;
- N. 4 pozzetti esplorativi.

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

Tabella 9 – 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	Prova DH	N. prove SPT	n. prove Lefranc /Lugeon	n. prove dilatometri che [D]/pressio metriche [P]	Piezometro TA; CC /
4SD1	30.0	457.0	6	5	-	8	2	-	TA[3.0÷9.0]
4a-GN3 S19	35.4	466.0	7	4	-	12	-	-	-
4SD2	30.0	434.6	6	4	-	8	2	-	TA[3.0÷27.0]
4A S30	40.0	436.0	7	1	-	14	-	-	-
4bSD3bis	30.0	460.0	5	3	-	10	-	-	-
4SD3	30.0	466.3	5	6	-	9	2	-	TA[3.0÷27.0]
4SD4_GN	35.0	469.5	5	3	-	7	3	4D+1P	CC [26.0]
4SD4_GN2	35.0	469.5	-	-	DH[35]	-	-	-	-
4SD4_GN3	15.0	469.5	-	-	-	-	-	-	Inclin. [15]
4SD05_GN	55.0	486.3	6	3	-	5	3	3D	CC [45.0]
4SD06_GN	35.0	453.5	6	4	-	8	2	1P+2D	CC [25.0]
4SD06_V1	40.0	428.8	5	2	-	7	1	2D	CC [12.0]
4SD07	40.0	444.4	8	2	-	8	3	1P+4D	Inclin. [40]
4SD07-1	19.5	444.4	-	-	-	-	-	-	CC [9.0-16.0]
4SD07-2	30.0	444.4	-	-	DH[30]	-	-	-	-
4SD8_GN	50.0	475.0	6	4	-	6	3	3D	CC [42.0]
4SD9_GN	64.0	459.1	10	7	-	5	3	3D	CC [57.0]
4SD9_GN2	16.0	459.1	-	-	-	-	-	-	TA[3.0÷16.0]
4SD11_GN	115.0	481.9	9	3	-	-	3	4D	Piez elettrico [100.0]
4SD12_GN	40.0	365.9	7	4	-	9	3	3D	CC [21.0]
4SD12_GN2	40.0	365.9	-	-	DH[40]	-	-	-	-
4SD14_VI2	40.0	329.0	7	3	DH[40]	6	2	1D	-
4SD15_VI2	50.0	316.1	6	-	-	9	2	2D	CC [21.0]
4SD16_VI2	40.0	319.3	7	4	DH[40]	8	3	2D	-
4SD17_VI3	40.0	316.3	6	-	-	8	3	3D	CC [29.5]
4SD18_VI3	40.0	310.6	6	3	DH[40]	8	3	2D	-
4SD18bis_VI4	40.0	309.9	9	3	-	6	3	2D	CC [24.0]
4SD17_1_VI4	40.0	296.3	8	3	DH[40]	7	3	2D	-
4SD19_VI4	40.0	303.7	6	2	-	10	3	1P+2D	CC [21.0]
4SD21_GN1	35.0	317.6	6	3	DH[35]	9	3	-	-
4SD21_GN2	27.0	317.6	-	-	-	-	-	-	Inclin. [27]
4SD21_GN3	20.0	317.6	-	-	-	-	-	-	CC [18.5]
4SD22_GN	65.0	357.2	9	5	-	3	3	3D	CC [51.0]
4SD27_GN	95.0	376.0	8	3	-	-	2	3D	CC [85.0]
4SD25_GN	70.0	328.4	5	4	-	-	3	4D	CC [50.0]
4SD26_GN1	35.0	288.4	7	-	-	10	3	1P+4D	CC [29.0]



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	24 di 281

4SD26_GN2	35.0	288.4	-	-	DH[35]	-	-	-	
4SD20	30.0	267.2	6	1	-	7	2	-	TA[3.0÷30.0]
4SD28	30.0	261.2	5	3	DH[30]	9	2	-	
4SD29	35.0	254.4	6	2	-	8	2	-	CC [23.5]
5_SV01	40.0	243.4	4	3	-	7	2	-	CC [8.5]
DPSH06	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH07	9.0	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH08	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH09	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH10	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH11	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH12	15.4	-	-	-	-	-	-	-	-
DPSH14	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-
F_DPSH2	11.2	-	-	-	-	-	-	-	-
CPT2	9.0	-	-	-	-	-	-	-	-
CPT3	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-
CPT4	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-
CPT5	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-
CPT13	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-

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]

4.4.1 Prove di permeabilità

Nella campagna del 2019 sono disponibili i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, elencate di seguito.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	25 di 281

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecniche
4SD2	1	6.0	9.34E-08	cap-c
4SD2	2	13.5	2.61E-08	TRV
4SD3	1	3.0	7.11E-07	cap-c
4SD3	2	16.5	1.08E-07	TRVa
4SD6_V1	1	17.4	7.48E-08	TRVa
4SD14_VI2	1	6.0	2.80E-08	TRV
4SD14_VI2	1	26.0	1.02E-08	TRV
4SD15_VI2	1	4.5	7.40E-08	ba
4SD15_VI2	1	29.0	7.30E-09	TRV
4SD16_VI2	1	3.0	2.30E-08	cap-c
4SD16_VI2	1	24.5	9.87E-08	TRV
4SD16_VI2	2	31.6	1.92E-08	TRV
4SD20	1	6.0	3.38E-08	ba
4SD20	2	19.5	2.83E-08	TRVb
4SD28	1	9.0	4.73E-06	bs
4SD28	2	21.0	1.07E-08	TRVb
4SD29	1	10.5	4.29E-05	bg
4SD29	2	22.0	2.28E-08	TRVb
4SD4_GN1	1	4.5	2.46E-05	MS2
4SD4_GN1	2	12.5	3.89E-07	TRV
4SD4_GN1	3	24.0	1.61E-08	TRV
4SD5_GN	1	32.8	2.97E-09	TRVa
4SD5_GN	2	38.2	2.62E-08	TRVa
4SD6_GN1	1	9.5	3.02E-08	cap-c
4SD6_GN1	2	16.5	2.01E-06	cap-s
4SD12_GN1	1	7.5	4.35E-08	cap-c
4SD26_GN	1	6.5	4.97E-08	TRVb
4SD26_GN	2	6.5	2.72E-08	TRVb
4SD26_GN	3	25.5	9.86E-09	TRVb
4SD5_GN	1	50.0	7.38E-08	TRVa
4SD7_GN	1	13.5	2.54E-07	cap-c
4SD7_GN	2	20.0	4.84E-08	TRVa
4SD7_GN	3	34.5	1.71E-07	TRVa
4SD8_GN	1	32.1	1.78E-08	TRVa
4SD8_GN	2	38.6	1.99E-08	TRVa
4SD8_GN	3	45.3	2.66E-08	TRVa
4SD9_GN	1	43.0	1.18E-08	TRV
4SD9_GN	2	51.4	1.34E-08	TRV
4SD9_GN	3	59.0	1.12E-08	TRV
4SD11_GN	1	98.0	3.42E-08	TRV
4SD11_GN	2	103.5	1.23E-08	TRV
4SD11_GN	3	112.2	2.49E-08	TRV
4SD12_GN1	1	20.5	4.94E-09	TRV
4SD12_GN1	2	32.0	5.12E-09	TRV
4SD22_GN	1	45.0	4.20E-09	AVF
4SD22_GN	2	52.0	6.56E-09	AVF
4SD22_GN	3	59.0	3.74E-09	AVF
4SD25_GN	1	48.8	5.09E-08	FYN3
4SD25_GN	2	55.7	5.44E-08	FYN3
4SD25_GN	3	60.3	5.60E-08	FYN3
4SD3bis	1	5.5	2.87E-06	TRVa
4SD3bis	2	13.5	1.66E-06	TRVa
4A_GN3_S19	1	8.5	5.74E-06	cap-s
4A_GN3_S19	2	22.5	1.95E-06	TRVa
4SD17_VI3	1	4.5	3.82E-09	TRV
4SD19_VI4	1	22.5	5.86E-09	TRV
4SD21_GN	1	30.0	6.50E-09	AVF
4SD21_GN	2	18.0	8.80E-09	AVF
4SD17_VI3	1	22.0	9.34E-08	TRV
4SD17_VI3	2	37.0	4.86E-09	TRV
4SD19_VI4	1	2.5	1.70E-07	bn
4SD19_VI4	2	36.2	6.08E-09	TRV
4SD21_GN	1	30.0	2.40E-08	AVF
4SD21_GN	2	18.0	8.80E-09	AVF
4SD27_GN	1	87.0	3.78E-08	AVF
4SD27_GN	2	78.0	2.98E-08	AVF
PZ2	1	0.5	2.30E-05	bs
PZ3	1	0.5	2.95E-05	bs
PZ3	1	0.5	5.81E-05	bs
4AS30	1	5.5	2.10E-07	cap-c
4AS30	2	13.0	5.80E-07	TRV
4AS30	3	28.0	4.12E-08	TRV

4.4.2 Indagini sismiche

Tabella 10 – Riepilogo MASW eseguite nella campagna del 2019

MASW	Profondità [m]	Velocità Vs,eq [m/s]	Categoria di suolo
MASW 1 - HVSR 087	35.0	285	C
MASW 2 - HVSR 094	40.0	361	B
MASW 3 - HVSR 093	35.0	361	B
MASW 4 - HVSR 092	40.0	249	C
MASW 5 - HVSR 091	35.0	361	B
MASW 6 - HVSR 090	35.0	376	B
MASW6BIS- HSVR 099	35.0	362	B
MASW 7 - HVSR 101	35.0	408	B
MASW 8 - HVSR 100	50.0	388	B
MASW 9 - HVSR 098	50.0	304	C
MASW10 – HVSR 116	35.0	328	C
MASW 11 - HVSR 113	50.0	345	C
MASW 12 - HVSR 117	50.0	303	C

4.4.3 Prove dilatometriche in foro

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

Tabella 11 – Prove dilatometriche del 2019

Sondaggio	Prova	profondità da p.c. [m]	Gdil [kPa]	Edil [kPa]	Unità geotecnica
4SD12_GN		4.5	7601	20219	ba
4SD16_V12	1	10.0	10113	26901	TRV
4SD16_V12	2	28.0	57067	1561798	TRV
4SD19_V14	1	20.0	64651	171972	TRV
4SD19_V14	2	38.0	73439	195348	TRV

4.4.4 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} ;



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	27 di 281

- Determinazione del peso specifico dei grani G_s ;
- Prove di taglio diretto;
- Prove di compressioni triassiale del tipo consolidate isotropicamente non drenate (CIU);
- Prove di compressioni triassiale del tipo consolidate isotropicamente drenate (CID);
- Prove di compressioni triassiale del tipo non consolidate non drenate (UU);
- Prove ad espansione laterale libera (ELL);
- Resistenza a compressione monoassiale su campione litoide;
- Prove edometriche;
- Pocket Penetrometer (PP);
- Prove di tipo Huder-Amberg per determinazione curva di rigonfiamento;
- 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.

Tabella 12 – Laboratorio indagini 2019



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	28 di 281

Sondaggio	-	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD5GN	4SD5GN	4SD5GN	4SD6GN	4SD6GN	4SD6GN	4SD6GN	4SD6GN	4SD6GN
Campione	-	CR1	CR2	CR3	CR3	CR4	CR5	CI1	CI2	CI3	CI4	CI5a	CI6
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	MS2	MS2	TRV	TRV	TRV	TRV	cap-c	cap-c	cap-s	TRVa	TRVa	TRVa
Prof.	m	3.80	8.20	17.80	30.25	37.25	43.30	3.25	7.70	12.70	19.70	24.30	29.35

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	11.6	9.7	7.3	81.1	82.9	80.0	27.2	20.6	79.6	58.6	16.0	60.3
L + A	%	88.4	90.3	92.7	18.9	17.1	20.0	71.6	79.4	20.4	41.4	84.0	31.7
L	%	32.8	42.6	38.1	14.3	12.8	14.7	25.9	28.9	14.2	24.8	39.7	20.2
A	%	55.6	47.8	54.6	4.6	4.3	5.3	45.7	50.5	6.1	16.6	44.4	11.5

Limiti di Atterberg

W _L	%	37.0		43.0				43.0	35.0				36.0
W _P	%	21.0		23.0				22.0	21.0				21.0
I _c	-							1.23	0.92				
I _p	%	16.0		20.0				21.0	14.0				15.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³							21.1	19.4	20.5			
w _N	%				14.2		13.8	17.1	22.1	13.3			12.4

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa							21645.0	5429.0				
c _v	m ² /s								7.75E-08				
k	m/s								1.40E-10				

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa												
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa								253.0				
(TX-ELL) c _u	kPa												

Resistenza drenata

(TD) c	kPa									0.9	2.2		3.6
(TD) f	°									42.0	36.6		38.2
(TX-CIU) c	kPa							0.0					
(TX-CIU) f	°							24.9					



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	29 di 281

Sondaggio	-	4SD7GN										
Campione	-	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	CR1	CR2	CR4
Tipo	-	ind	rim	rim	rim							
Unità	-	MS2	MS2	cap-c	TRVa	TRVa	TRVa	TRVa	TRVa	MS2	TRVa	TRVa
Prof.	m	2.50	4.20	8.60	12.65	19.70	24.25	28.70	34.70	6.90	15.30	34.80

Granulometria

G	%	1.1	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	54.2	76.1	9.2	74.6	30.6	35.1	25.4	13.4	75.5	21.0	17.2
L + A	%	44.7	23.9	90.8	23.1	69.4	64.9	74.6	86.6	24.5	79.0	82.8
L	%	24.9	16.7	38.9	16.7	33.0	34.7	32.4	32.5	17.6	30.7	47.1
A	%	19.9	7.2	51.9	6.4	36.3	30.3	42.2	54.1	7.0	48.3	35.7

Limiti di Atterberg

W_L	%	21.0		34.0		32.0	41.0	44.0	39.0		37.0	23.0
W_P	%	19.0		22.0		20.0	24.0	28.0	23.0		22.0	19.0
I_c	-	1.91		1.36		1.27	1.38	1.69	1.62			
I_p	%	2.0		12.0		12.0	17.0	16.0	16.0		15.0	4.0

Caratteristiche fisiche

γ_N	kN/m ³	19.2	19.9	20.2	20.1	20.7	20.4	21.0	21.4			
w_N	%	17.2	9.4	17.6	6.3	16.8	17.6	17.0	13.1			

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E_{ed}	kPa			7886.0		12833.0						
c_v	m ² /s			2.50E-07		2.80E-07						
k	m/s			4.65E-10		2.14E-10						

Resistenza a compressione monoassiale

σ_c	MPa											
------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c_u	kPa							807.0				
(TX-ELL) c_u	kPa											968.9

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	0.0	30.4	16.7		8.7	45.0	57.7				
(TD) f	°	38.9	35.8	24.5		29.6	29.4	30.2				
(TX-CIU) c	kPa											
(TX-CIU) f	°											
(TX-CID) c	kPa				37.0							
(TX-CID) f	°				37.3							

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO**

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	30 di 281

Sondaggio	-	4SD8GN	4SD11GN	4SD11GN	4SD11GN	4SD11GN	4SD11GN						
Campione	-	Cl4	Cl5	Cl6a	Cl6b	Cl7	CR3	CR4	Cl5	Cl6	CR1	CR2	CR3
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	rim	rim	ind	ind	rim	rim	rim
Unità	-	TRVa	TRV	TRV	TRV	TRV	TRV						
Prof.	m	24.30	30.30	36.30	36.30	43.35	25.50	38.70	90.40	97.30	59.30	76.80	107.50

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	15.7	79.9	76.9	10.1	70.0	17.7	17.9	0.7	0.7	2.2	1.3	1.4
L+A	%	84.3	20.2	23.1	89.9	32.0	82.3	82.1	99.3	99.3	97.8	98.7	98.6
L	%	36.6	15.1	15.3	28.4	15.5	29.5	34.5	29.9	26.4	32.0	34.6	28.9
A	%	47.7	5.0	7.9	61.5	16.6	52.9	47.6	69.4	72.9	65.8	64.1	69.7

Limiti di Atterberg

W _L	%	34.0			60.0		33.0	32.0	55.0	59.0	49.0	53.0	57.0
W _p	%	23.0			28.0		21.0	23.0	34.0	34.0	28.0	35.0	33.0
I _c	-	1.05			1.22				1.99				
I _p	%	11.0			32.0		12.0	9.0	21.0	25.0	21.0	18.0	24.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	20.3	20.9	21.0	20.8	21.7			20.7				
w _N	%	22.5	14.1	6.9	21.0	16.1			13.3				

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa												
c _v	m ² /s												
k	m/s												

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa												
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa												
(TX-ELL) c _u	kPa												

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	21.0			19.9								
(TD) f	°	31.0			28.1								
(TX-CIU) c	kPa												
(TX-CIU) f	°												
(TX-CID) c	kPa		80.0	95.0		1.0							
(TX-CID) f	°		36.6	43.2		41.3							

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	31 di 281

Sondaggio	-	4SD25GN	4SD26GN	4SD26GN	4SD26GN						
Campione	-	CI1	CI3	CI4	CI5	CR1	CR3	CR4	CI2	CI5	CI7
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim	ind	ind	ind
Unità	-	FYN3	TRVb	TRVb	TRVb						
Prof.	m	18.70	38.80	50.50	60.65	43.30	63.80	69.20	12.30	24.80	33.35

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	0.2	11.1	0.3	0.2	5.6	0.2	0.1	1.3	5.8	0.7
L + A	%	99.8	88.8	99.7	99.8	94.4	99.9	100.0	98.7	94.2	99.3
L	%	37.9	34.9	42.6	38.1	40.5	43.7	45.4	34.9	42.8	44.9
A	%	61.9	53.9	57.1	61.7	53.9	56.1	54.5	63.8	51.5	54.4

Limiti di Atterberg

W _L	%	74.0	39.0	61.0	64.0	41.0	82.0	44.0	79.0	48.0	54.0
W _P	%	35.0	22.0	40.0	29.0	24.0	39.0	34.0	34.0	30.0	31.0
I _c	-	1.45	1.77	2.08	1.43				1.35	2.10	1.86
I _p	%	39.0	17.0	21.0	35.0	17.0	43.0	10.0	45.0	18.0	23.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	20.3	22.5	19.9	20.8				20.5	20.7	21.5
w _N	%	17.4	9.0	17.4	14.0				18.1	10.3	11.3

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa	11203.0	48721.0								
c _v	m ² /s	3.15E-08	3.38E-08								
k	m/s	2.75E-11	6.10E-12								

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa										
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa								187.0	430.0	
(TX-ELL) c _u	kPa										

Resistenza drenata

(TD) c	kPa				21.7						
(TD) f	°				28.0						
(TD) c _r	kPa										
(TD) f _r	°										
(TX-CIU) c	kPa	3.0									
(TX-CIU) f	°	17.3									

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	32 di 281

Sondaggio	-	4SD26GN	4SD26GN	4SD26GN	4SD26GN	4SD1	4SD3	4SD3	4SD3	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1
Campione	-	CR1	CR2	CR3	CR4	CI1	CI1	CI2	CI4	CI1	CI2	CI3	CI4a	CI4b
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	cap-c	cap-c	TRVb	TRVb	cap-c	cap-c	TRVa	TRVa	TRV	TRV	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	2.25	5.65	18.55	27.35	4.30	7.40	10.80	20.35	13.90	21.30	25.83	29.85	29.85
Granulometria														
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S	%	2.8	2.6	0.6	1.1	0.4	10.6	20.7	15.6	16.6	78.6	24.3	20.6	
L+A	%	97.2	97.2	99.4	98.9	99.6	89.4	79.3	84.4	83.4	21.4	75.7	79.5	
L	%	35.8	35.8	32.5	37.1	47.0	36.2	29.1	30.0	44.3	17.1	57.9	27.3	
A	%	61.4	61.4	66.9	61.8	52.6	53.3	50.3	54.5	39.2	4.4	17.7	52.2	
Limiti di Atterberg														
W _L	%	68.0	63.0	72.0	57.0	32.0	52.0	35.0	47.0	35.0		40.0		
W _p	%	34.0	36.0	38.0	32.0	18.0	28.0	24.0	24.0	20.0		22.0		
I _p	-					0.43	1.21	1.22	1.05	1.90		2.22		
I _p	%	34.0	27.0	34.0	25.0	14.0	24.0	11.0	23.0	15.0		18.0		
Caratteristiche fisiche														
γ _N	kN/m ³					18.9	19.8	20.0	19.4	21.5			22.2	18.3
w _N	%					25.9	23.0	21.6	22.8	6.6			12.2	5.4
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)														
E _{ed}	kPa					4452.0	6645.0	8055.0						
c _v	m ² /s					2.52E-08	6.06E-08	3.69E-08						
k	m/s					5.56E-11	8.95E-11	4.49E-11						
Resistenza a compressione monoassiale														
σ _c	MPa													
Resistenza non drenata														
(TX-UU) c _u	kPa													
(TX-ELL) c _u	kPa													
Resistenza drenata														
(TD) c	kPa					3.9	31.6	20.5	58.0	5.0	17.8	51.1	93.9	2.2
(TD) f	°					29.4	29.3	29.6	26.7	35.6	39.0	37.9	27.0	40.8

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	33 di 281

Sondaggio	-	4SD5GN	4SD5GN	4SD5GN	4SD6V1	4SD6V1	4SD6V1	4SD6GN	4SD7GN	4SD12GN1	4SD12GN1	4SD12GN1	4SD12GN1	4SD12GN1
Campione	-	CI3	CI4	CI5	CI1	CI2	CI3	CI5b	CR3	CI1	CI2	CI3	CI4	CI6
Tipo	-	ind	rim	ind	ind	ind	ind	ind						
Unità	-	TRV	TRV	TRV	TRVa	TRVa	TRVa	TRVa	TRVa	bn	TRV	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	30.28	37.25	43.30	5.60	9.55	20.65	24.30	26.50	3.25	10.30	15.35	20.85	31.60
Granulometria														
G	%	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	81.1	82.9	80.0	55.3	9.8	44.0	76.1	51.9	33.8	17.3	31.0	9.1	20.4
L+A	%	18.9	17.1	20.0	41.4	90.2	56.0	23.9	48.1	66.2	82.7	69.0	90.9	79.6
L	%	14.3	12.8	14.7	19.6	33.5	25.6	18.4	31.4	35.7	32.8	31.4	23.7	30.4
A	%	4.6	4.3	5.3	21.9	56.7	30.4	5.5	16.7	30.5	49.9	37.6	67.2	49.2
Limiti di Atterberg														
W _L	%						21.0		20.0	31.0	39.0	33.0	65.0	51.0
W _p	%						18.0		17.0	18.0	25.0	22.0	32.0	27.0
I _p	-									0.84	1.35	1.55	1.63	
I _p	%						3.0		3.0	13.0	14.0	11.0	33.0	24.0
Caratteristiche fisiche														
γ _N	kN/m ³	19.4		18.3	19.6	20.5	19.6	19.4		20.3	20.4	20.4	20.4	
w _N	%	14.2		13.8	14.2	23.4		6.7		20.0	20.1	16.0	11.1	
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)														
E _{ed}	kPa										7350.0			
c _v	m ² /s										3.09E-08			
k	m/s										4.13E-11			
Resistenza a compressione monoassiale														
σ _c	MPa													
Resistenza non drenata														
(TX-UU) c _u	kPa						429.0							
(TX-ELL) c _u	kPa													
Resistenza drenata														
(TD) c	kPa		2.3	2.0	4.1	38.6	6.7	75.2			15.7		9.5	
(TD) f	°		40.5	42.9	31.6	23.1	32.6	39.6			28.6		26.4	
(TD) c _i	kPa													
(TD) f _i	°													
(TX-CIU) c	kPa									1.0		105.0		
(TX-CIU) f	°									28.3		22.9		
(TX-CID) c	kPa	2.3												
(TX-CID) f	°	40.5												

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	34 di 281

Sondaggio	-	4SD14V/2	4SD14V/2	4SD14V/2	4SD15V/2	4SD15V/2	4SD15V/2	4SD15V/2	4SD16V/2	4SD16V/2
Campione	-	Cl1	Cl3	Cl5	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl2	Cl6
Tipo	-	ind								
Unità	-	cap-c	TRV	TRV	ba	ba	TRV	TRV	cap-c	TRV
Prof.	m	3.25	13.50	26.50	3.35	6.20	14.50	25.30	6.25	31.30

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	2.4	4.9	7.5	16.8	22.9	8.8	5.6	13.2	7.0
L + A	%	97.6	95.2	92.5	83.2	76.9	91.2	94.4	86.8	93.0
L	%	52.8	31.5	46.7	37.6	31.5	34.8	27.1	46.7	56.6
A	%	44.8	63.7	45.9	45.6	45.4	56.4	67.3	40.1	36.4

Limiti di Atterberg

W _L	%	56.0	57.0	71.0	47.0	49.0	53.0	55.0	33.0	40.0
W _P	%	29.0	27.0	29.0	24.0	22.0	28.0	30.0	19.0	23.0
I _c	-	1.30	1.45	1.41	1.35	1.00	1.25	1.53	1.02	1.49
I _p	%	27.0	30.0	42.0	23.0	27.0	25.0	25.0	13.0	17.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	20.6	21.4	21.7	21.2	20.6	20.5	21.6	20.4	21.2
w _N	%	21.0	13.4	12.0	16.0	22.0	21.7	16.8	19.7	14.6

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa				32787.0				7463.0	
c _v	m ² /s				1.33E-08				1.52E-08	
k	m/s				3.96E-12				2.00E-11	

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa									
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa	139.0					176.0			137.0
(TX-ELL) c _u	kPa									

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	46.5		65.1			14.0		15.1	
(TD) f	°	24.0		26.3			29.5		24.9	
(TD) c _r	kPa									
(TD) f _r	°									
(TX-CIU) c	kPa					3.0		48.0		
(TX-CIU) f	°					22.9		16.6		

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	35 di 281

Sondaggio	-	4SD17_1_VI4	4SD17_1_VI4	4SD17_1_VI4	4SD17VI3	4SD17VI3	4SD18VI3	4SD18VI3	4SD18VI3	4SD18VI3
Campione	-	C1	C3	C5	C3	C5	C1	C2	C3	C4
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	cap-c	TRV	TRV	TRV	TRV	bn	bn	TRV	TRV
Prof.	m	5.22	17.38	25.30	13.10	28.40	4.78	7.21	16.73	24.24

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	14.8	1.9	1.8	3.2	2.5	6.9	7.5	4.5	7.3
L + A	%	85.2	98.1	98.2	96.8	97.5	93.1	92.5	95.5	92.7
L	%	37.4	24.9	19.9	35.6	18.5	45.5	50.6	53.8	46.1
A	%	47.8	73.2	78.3	61.2	79.0	47.6	41.9	41.7	46.7

Limiti di Atterberg

W _L	%	52.0	65.0	64.0	65.0	72.0	27.0	34.0	52.0	64.0
W _P	%	30.0	28.0	28.0	38.0	35.0	21.0	23.0	26.0	31.0
I _c	-	1.40	1.31	1.34	1.27	1.55	0.37	1.37	1.30	1.52
I _p	%	22.0	38.0	38.0	38.0	36.0	6.0	11.0	26.0	33.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	19.9	21.3	21.5	21.4	21.5	20.1	21.0	21.0	
w _N	%	21.2	15.3	13.1	16.7	16.2	24.8	18.9	18.2	14.0

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa	14451.0								
c _v	m ² /s	2.15E-08								
k	m/s	1.46E-11								

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa									
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa				275.0					
(TX-ELL) c _u	kPa							580.0		

Resistenza drenata

(TD) c	kPa			13.6			3.6		15.5	
(TD) f	°			34.8			27.9		37.9	
(TD) c _r	kPa									
(TD) f _r	°									
(TX-CIU) c	kPa	3.0	19.0		77.0			1.0		
(TX-CIU) f	°	23.6	13.3		26.0			28.3		

(segue da pagina precedente)

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	36 di 281

Sondaggio	-	4SD18BisV14	4SD18BisV14	4SD18BisV14	4SD18BisV14	4SD19V14	4SD19V14	4SD19V14	4SD19V14
Campione	-	C11	C13	C15	C17	C11	C13	C14	C16
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	bn	TRV	TRV	TRV	bn	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	4.69	12.35	22.25	31.25	3.20	12.35	16.70	36.60

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	2.2	3.0	2.7	0.5	33.9	0.7	0.4	0.9
L + A	%	97.8	97.1	97.3	99.5	65.6	99.3	99.6	99.1
L	%	48.6	26.2	23.1	18.6	23.2	35.9	37.4	35.4
A	%	49.2	70.8	74.2	80.9	42.4	63.4	62.3	63.7

Limiti di Atterberg

W _L	%	52.0	72.0	70.0	87.0	34.0	71.0	78.0	64.0
W _p	%	27.0	38.0	37.0	48.0	20.0	35.0	43.0	30.0
I _c	-	1.36	1.72	1.63	1.86	1.52	1.51	1.86	1.38
I _p	%	25.0	34.0	33.0	39.0	14.0	35.0	35.0	34.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	20.6	21.9	21.2	21.7	20.2	21.2	20.7	21.2
w _N	%	18.1	13.4	16.3	14.5	12.7	18.1	12.7	17.2

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa	4950.0				12315.0			
c _v	m ² /s	4.10E-04				2.60E-08			
k	m/s					2.07E-11			

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa								
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa	100.0				243.0			604.0
(TX-ELL) c _u	kPa								

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	17.8		63.2	82.8			8.8	
(TD) f	°	29.5		30.3	23.1			30.1	
(TD) c _r	kPa								
(TD) f _r	°								
(TX-CIU) c	kPa		133.0				35.0		
(TX-CIU) f	°		21.6				30.3		

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	37 di 281

Sondaggio	-	4SD20	4SD20	4SD20	4SD21GN	4SD21GN	4SD21GN	4SD21GN	4SD22GN	4SD22GN	4SD22GN
Campione	-	C11	C12	C14	C11	C13	C15	C16	C15	C16	C17
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	ba	ba	TRVb	cap-c	AVF	AVF	AVF	AVF	AVF	AVF
Prof.	m	6.30	9.26	18.35	2.80	11.40	25.40	33.40	45.40	52.35	57.70

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	5.9	0.0
S	%	36.7	20.9	0.2	5.0	3.2		1.1	8.8	42.4	36.8
L + A	%	63.0	79.1	99.8	94.6	96.8		98.9	91.0	51.7	63.0
L	%	31.6	38.5	20.3	25.0	42.2		25.6	39.7	26.6	28.8
A	%	31.4	40.5	79.4	69.6	54.6		73.3	51.3	25.1	34.2

Limiti di Atterberg

W _L	%	63.0	45.0	74.0	56.0	56.0	89.0	90.0	52.0	29.0	43.0
W _P	%	33.0	25.0	38.0	27.0	30.0	32.0	36.0	32.0	9.0	33.0
I _c	-	1.44	1.26	1.44	1.01	1.53	1.25	1.27	2.11	1.03	2.64
I _p	%	30.0	20.0	36.0	29.0	26.0	57.0	54.0	20.0	20.0	10.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	20.6	20.4	19.7	19.8	19.9	17.8	20.0		20.9	20.5
w _N	%	19.9	19.7	22.0	26.7	16.3	17.9	21.3	9.9	8.4	16.6

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa	7755.0			5714.0						
c _v	m ² /s	5.43E-08			1.36E-08						
k	m/s	6.86E-11			2.86E-11						

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa										
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa			390.0							
(TX-ELL) c _u	kPa										

Resistenza drenata

(TD) c	kPa			37.7			2.1	30.8			4.7
(TD) f	°			25.8			26.3	17.1			30.2
(TD) c _r	kPa										
(TD) f _r	°										
(TX-CIU) c	kPa		3.0		3.0	105.0					
(TX-CIU) f	°		23.7		22.8	22.9					

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	38 di 281

Sondaggio	-	4SD25GN	4SD26GN	4SD26GN	4SD26GN	4SD26GN	4SD28	4SD28	4SD28	4SD29	4SD29	4SD29
Campione	-	CR2	CI1	CI3	CI4	CI6	CI1	CI2	CI5	CI1	CI2	CI3
Tipo	-	rim	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	FYN3	TRVb	TRVb	TRVb	TRVb	ba	ba	TRVb	ba	ba	TRVb
Prof.	m	48.20	10.75	16.75	20.70	29.79	3.25	6.30	28.80	3.20	7.80	18.30

Granulometria

G	%		1.2	0.0	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%		2.0	0.3	1.0	0.6	63.1	17.4	0.5	18.5	5.7	7.3
L + A	%		96.9	99.7	99.0	99.4	23.0	82.6	99.5	81.5	94.2	92.5
L	%		21.4	24.1	22.5	19.9	11.6	50.7	22.5	54.5	44.0	48.4
A	%		75.6	75.6	76.5	79.5	11.4	31.9	77.0	27.0	50.2	44.1

Limiti di Atterberg

W _L	%		100.0	79.0	74.0	61.0		31.0	67.0	37.0	53.0	51.0
W _P	%		35.0	39.0	36.0	29.0		11.0	31.0	22.0	30.0	31.0
I _c	-		1.29	1.58		1.32		0.40	1.24		0.95	1.44
I _p	%		65.0	40.0	38.0	32.0		20.0	36.0	15.0	24.0	20.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³		19.3			21.4		20.1	20.2	20.3	18.8	19.4
w _N	%		16.1	15.9		18.9	9.2	22.9	22.3		30.2	22.2

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa		8514.0								4023.0	
c _v	m ² /s		2.51E-08								8.89E-08	
k	m/s		2.89E-11								2.17E-10	

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa	9.71										
----------------	-----	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa							211.0			50.0	
(TX-ELL) c _u	kPa											

Resistenza drenata

(TD) c	kPa		4.4					8.5			2.1	
(TD) f	°		27.1					31.7			26.2	
(TD) c _i	kPa											
(TD) f _i	°											
(TX-CIU) c	kPa					31.0						4.0
(TX-CIU) f	°					16.6						20.6

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	39 di 281

Sondaggio	-	4SD2	4SD2	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD4GN1	4SD8GN	4SD8GN
Campione	-	CI1	CI2	CI5a	CI5b	CR1	CR2	CR3	CI1	CR1
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim	ind	rim
Unità	-	cap-c	cap-c	TRV	TRV	MS2	cap-c	TRV	MS2	MS2
Prof.	m	3.30	7.80	34.80	34.80	3.80	8.20	17.80	5.80	3.30

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0
S	%	38.7	6.2	11.1	79.7	11.6	9.7	7.3	52.9	29.6
L +A	%	61.3	93.8	88.9	20.3	88.4	90.3	92.7	41.4	69.8
L	%	26.0	34.3	27.7	13.2	32.8	42.6	38.1	13.3	32.9
A	%	35.3	59.5	61.2	7.1	55.6	47.8	54.6	28.1	36.9

Limiti di Atterberg

W_L	%	30.0	44.0			37.0	47.0	43.0		32.0
W_P	%	19.0	27.0			21.0	26.0	23.0		19.0
I_c	-	0.74	1.52							
I_p	%	11.0	17.0			16.0	21.0	20.0		13.0

Caratteristiche fisiche

γ_N	kN/m ³	19.9	19.3	21.6	18.7				19.7	
w_N	%	21.9	18.2	10.1	5.2				21.4	

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E_{ed}	kPa	2789.0	4888.0						4083.0	
c_v	m ² /s	1.18E-08	2.53E-08						1.70E-07	
k	m/s	4.14E-11	5.08E-11						2.59E-10	

Resistenza a compressione monoassiale

σ_c	MPa									
------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c_u	kPa									
(TX-ELL) c_u	kPa									

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	1.1		101.3	1.4					
(TD) f	°	29.8		25.2	38.7					
(TD) c_r	kPa									
(TD) f_r	°									
(TX-CIU) c	kPa									
(TX-CIU) f	°									
(TX-CID) c	kPa								1.0	
(TX-CID) f	°								33.0	

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	40 di 281

Sondaggio	-	4SD16V12	4SD28	4SD17_1_V14	4SD17V13	4SD25GN	4SD26GN						
Campione	-	CI4	CI3	CI2	CI1	CI2	CI2	CI5	CI7	CR1	CR2	CR3	CR4
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim	rim
Unità	-	TRV	TRVb	TRV	cap-c	FYN3	TRVb	TRVb	TRVb	cap-c	cap-c	TRVb	TRVb
Prof.	m	18.00	21.00	11.00	3.00	25.75	12.30	24.80	33.35	2.25	5.65	18.55	27.35

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	7.6	0.2	46.5	0.9	3.0	1.3	5.8	0.7	2.8	2.6	0.6	1.1
L +A	%	92.4	99.8	53.5	99.1	97.0	98.7	94.2	99.3	97.2	97.2	99.4	98.9
L	%	43.1	30.4	18.4	24.4	36.5	34.9	42.8	44.9	35.8	35.8	32.5	37.1
A	%	49.3	69.4	35.1	74.7	60.4	63.8	51.5	54.4	61.4	61.4	66.9	61.8

Limiti di Atterberg

W _L	%	39.0	76.0	65.0	65.0	67.0	79.0	48.0	54.0	68.0	63.0	72.0	57.0
W _p	%	23.0	39.0	38.0	36.0	31.0	34.0	30.0	31.0	34.0	36.0	38.0	32.0
I _p	-	1.39	1.45	1.38	1.24	1.51	1.35	2.10	1.86				
I _b	%	16.0	37.0	38.0	36.0	36.0	45.0	18.0	23.0	34.0	27.0	34.0	25.0

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	21.2	20.3	20.7	20.4	21.2	20.5	20.7	21.5				
w _N	%	16.7	22.3	12.7	20.4	12.7	18.1	10.3	11.3				

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa												
c _v	m ² /s												
k	m/s												

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa												
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa				94.0		187.0	430.0					
(TX-ELL) c _u	kPa												

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	81.5		28.3	37.1								
(TD) f	°	27.8		38.1	20.9								
(TD) c _v	kPa												
(TD) f _v	°												
(TX-CIU) c	kPa					17.0							
(TX-CIU) f	°					19.7							

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	41 di 281

Sondaggio	-	4SD27GN	4SD27GN	4SD27GN	4SD27GN	4SD5GN	4SD8GN	4SD8GN	4SD9GN	4SD9GN	4SD9GN	4SD9GN
Campione	-	C15	C16	C17	C18	C16	C12	C13	C17	C18	C19	C10
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	AVF	AVF	AVF	AVF	TRV	TRVa	TRVa	TRV	TRV	TRV	TRV
Prof.	m	79.50	84.60	89.90	94.50	50.35	11.00	18.50	48.35	53.85	56.30	63.65

Granulometria

G	%	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	10.3	3.3	3.2	1.2	80.0	79.6	79.3	4.1	2.1	2.2	3.0
L +A	%	85.4	96.5	96.6	98.8	20.0	20.4	20.7	95.9	97.9	97.8	97.0
L	%	51.6	42.3	51.4	38.4	14.7	13.4	11.9	34.9	43.1	27.6	36.4
A	%	33.8	54.2	45.3	60.3	5.3	7.1	8.8	61.1	54.9	70.2	60.6

Limiti di Atterberg

W _L	%			46.0	51.0				54.0			
W _p	%			12.0	17.0				25.0			
I _c	-											
I _p	%			34.0	34.0							

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	21.8	21.4	20.3		18.7	19.8	21.6	22.1	22.4		
w _N	%	14.5	15.9	14.6		5.8		9.8	12.9	10.0		

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa											
c _v	m ² /s											
k	m/s											

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa				214.88				751.37	566.6		
----------------	-----	--	--	--	--------	--	--	--	--------	-------	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa											
(TX-ELL) c _u	kPa											

Resistenza drenata

(TD) c	kPa		33.5			1.6	10.0			19.4		
(TD) f	°		18.0			40.6	43.2			27.9		
(TD) c _f	kPa											
(TD) f _f	°											
(TX-CIU) c	kPa	6.0							90.0			
(TX-CIU) f	°	15.9							37.6			
(TX-CID) c	kPa							44.0				
(TX-CID) f	°							35.6				

(segue da pagina precedente)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	42 di 281

Sondaggio	-	4A_S30							
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl5	Cl6	Cl7	CRim1
Tipo	-	ind	rim						
Unità	-	cap-c	TRV	TRV	TRV	TRV	TRV	TRV	cap-c
Prof.	m	6.60	10.85	15.20	19.20	24.20	29.20	36.20	3.60

Granulometria

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S	%	40.2	40.0	17.6	24.7	1.4	2.0	4.4	
L + A	%	59.8	60.0	82.4	75.3	98.6	98.0	95.7	
L	%	21.4	22.2	40.4	35.9	42.3	41.1	37.9	
A	%	38.4	37.8	42.0	39.5	56.3	56.9	57.8	

Limiti di Atterberg

W _L	%	32.9	36.8	55.6	51.4	63.8	66.5	63.2	
W _P	%	19.2	20.4	29.0	25.5	27.2	27.4	30.4	
I _c	-	1.37	1.10	1.48	1.37	1.35	1.30	1.46	
I _p	%	13.7	16.4	26.6	25.9	36.6	39.1	32.8	

Caratteristiche fisiche

γ _N	kN/m ³	19.2	21.1	21.3	20.7	21.4	20.5	21.4	21.5
w _N	%	14.1	18.7	16.1	15.8	14.3	15.8	15.4	

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E _{ed}	kPa								
c _v	m ² /s								
k	m/s								

Resistenza a compressione monoassiale

σ _c	MPa								
----------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa								
(TX-ELL) c _u	kPa							415.3	

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	31.4	26.0	28.5	75.7	35.1	83.1	10.1	
(TD) f	°	21.5	23.4	26.0	21.3	26.8	18.6	28.8	

(segue da pagina precedente)

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 la linea in progetto e, considerato l'esiguo numero di prove di laboratorio a disposizione, anche delle indagini della tratta di linea ferroviaria Catenanuova-Bicocca per le unità geotecniche comuni.

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 – Riperto 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 eluvio colluviali:** limi argillosi e argille limose.
- **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: ghiaia con sabbia (**unità bg**) e sabbia localmente limosa (**unità bs**).
- **Unità bn – Depositi alluvionali terrazzati antichi:** si tratta di argille limose e limi argillosi di colore bruno e nocciola, con locali passaggi limoso-sabbiosi.
- **Unità MS2 – Sabbie di Cozzo Campana:** sabbie, talvolta con debole cementazione.
- **Unità CFR – Coltre in frana:** depositi argilloso limosi, talvolta sabbiosi con clasti appartenenti a corpi di frana quiescente.
- **Unità Cap-c / cap-s – cappellaccio alterato della ormazione di base:** si riviene generalmente in facies coesiva argilloso limosa consistente (cap-c) e localmente in facies sabbioso limosa (cap-s).

- **Unità FYN3 – Argilla limosa, marnosa grigia (Flysch Numidico):** la litofacies del sito è costituita da argilliti, argille con livelli marnoso calcarei.
- **Unità TRV/TRVa/TRVb – Formazione di Terravecchia** in cui si distinguono varie litofacies:
la litofacies argilloso marnosa (**unità TRV**) è costituita da argille marnose e marne argillose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, con talvolta livelli di sabbie limose, con livelli argillitici e argillitico marnosi.
La litofacies argilloso-brecciata (**unità TRVb**), è costituita da argilla limosa debolmente marnosa a struttura brecciata con clasti poligenici.
La litofacies (**unità TRVa**) è costituita da arenarie e sabbie alternate, in subordine, con peliti.
- **Unità AVF Argille variegata:** argilla marnosa, dura, a struttura compatta, poco alterata, moderatamente fratturata



Figura 7 – Foto cassetta sondaggio 4SD2 (unità TRV)



Figura 7 – Foto cassetta sondaggio 4SD29 (unità TRVb)

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	46 di 281



Figura 7 – Foto cassetta sondaggio 4SD3 (unità TRVa)



Figura 7 – Foto cassetta sondaggio 4SD25 (unità FYN3)



Figura 7 – Foto cassetta sondaggio 4SD22 (unità AVF)

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

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati, rimaneggiati e litoidi prelevati;
- prove Pocket Penetrometer;
- indagini sismiche.

5.2 Descrizione del tracciato

Il profilo geotecnico longitudinale della tratta all'aperto, evidenzia la predominanza di formazioni di base generalmente coesive sovraconsolidate, caratterizzate da buoni parametri di resistenza e bassa deformabilità, costituiti prevalentemente dalla Formazione di Terravecchia in varie litofacies. Talvolta tali formazioni affiorano al p.c. con una copertura alterata di spessore da 5 a 10 m circa (cappellaccio alteato). In corrispondenza delle intersezioni fluviali e nelle zone più pianeggianti, affiorano alluvioni prevalentemente coesive, talvolta intercalate da lenti /sottili strati incoerenti.

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 esposte.

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;

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 13 – 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.

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:

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

Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate diverse correlazioni (Bolton; Schmertmann, De Mello) di seguito illustrate. Generalmente la correlazione di Bolton fornisce valori dell'angolo di resistenza al taglio inferiori, rispetto alla correlazione di Schmertmann. Comunque cautelativamente per la



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	50 di 281

definizione dei parametri di resistenza di progetto, si farà riferimento sempre ai valori minimi ottenuti con le correlazioni.

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 MS2) 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):

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

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

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;

$p'_f = 1.4 \cdot \sigma'_H$ 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 (-).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Tabella 14 - 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 15 - 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	$\varphi_{cv}' = 33^\circ$	$\varphi_{cv}' = 30^\circ$

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:

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

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

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)

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

essendo:

$C = 53.3$;

z = profondità dal p.c. in metri;

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 16);

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 17).

Tabella 16 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 17 - 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 1/3÷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.

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;
- 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 mentre i risultati delle prove edometriche di laboratorio verranno presi a riferimento per la scelta dei moduli da utilizzare per le analisi dei cedimenti dei rilevati.

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 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} .

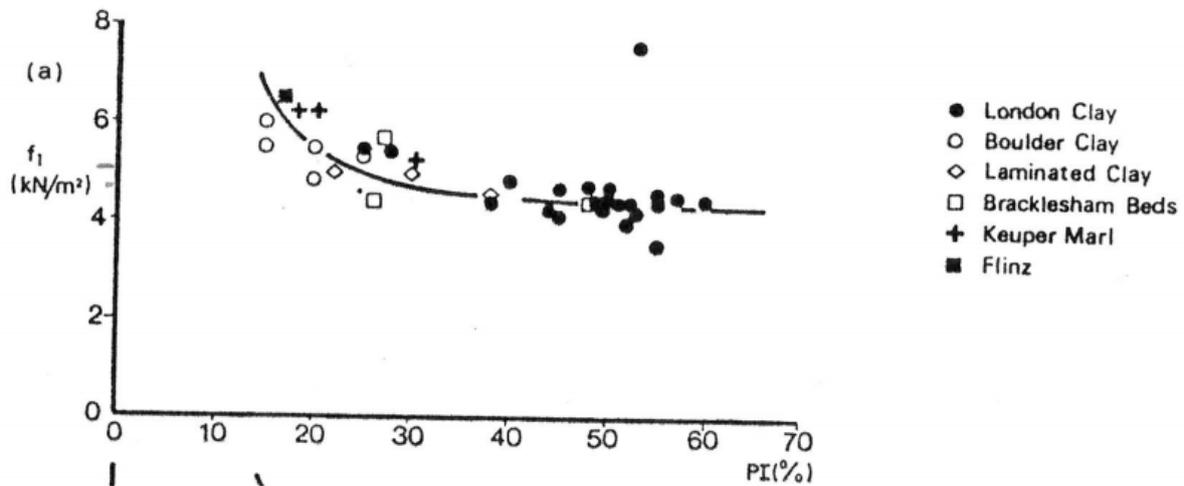


Figura 1 – Fattore f_1 in funzione di IP

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:

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

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 1/3÷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.

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.

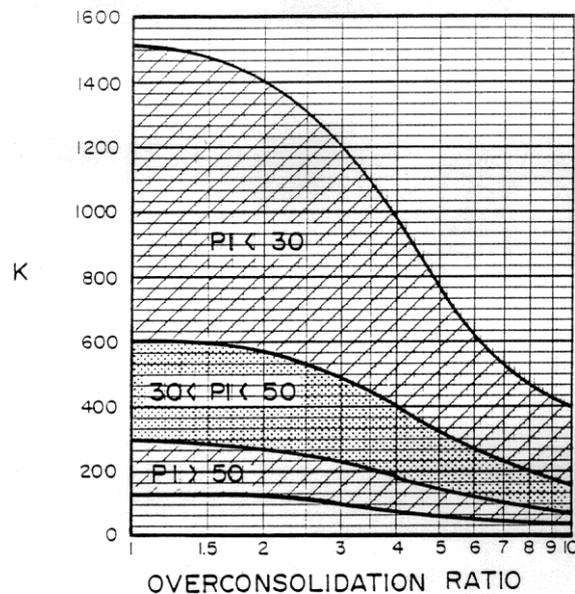


Figura 2 – Duncan & Buchigani

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.

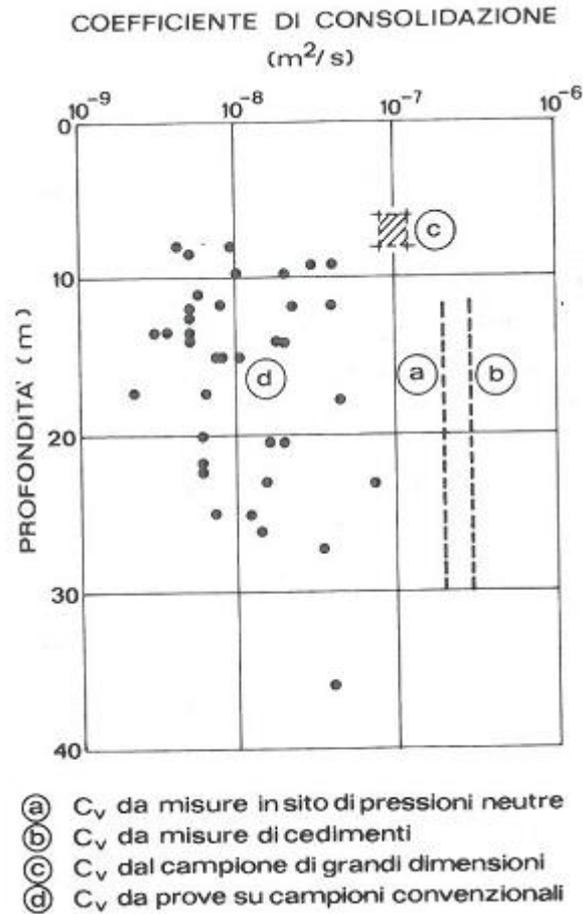


Figura 3 – confronto tra valori di c_v ottenuti con diverse prove (Bughignoli e Calabresi, 1975)

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).

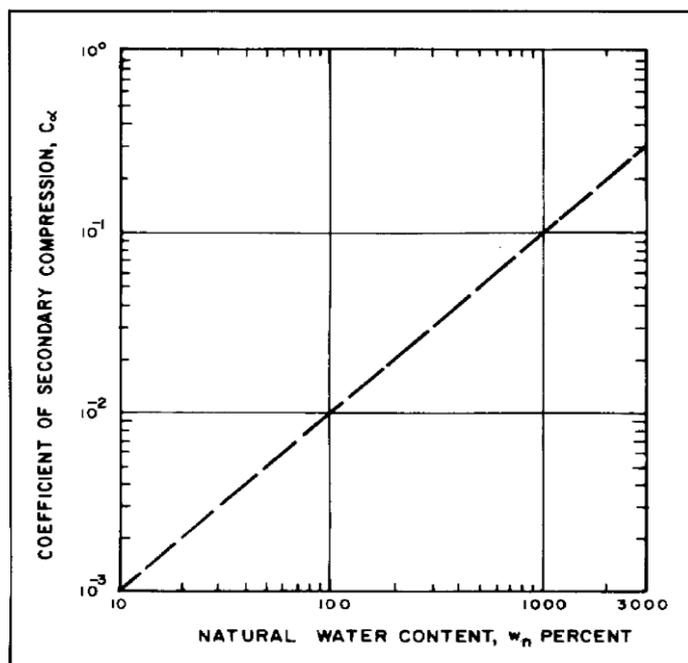


Figura 4 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n (NAVFAC, 1982)

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;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0000 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):

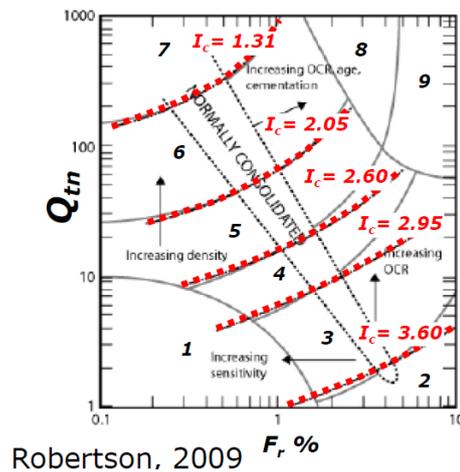
$$Q = Q_{tn} = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{\sigma_{atm}} \cdot \left(\frac{\sigma_{atm}}{\sigma_{vo}'} \right)^n = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{(\sigma_{atm} \cdot \sigma_{vo}')^n}$$

- 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 5. 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 18. 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 6**. Trattandosi di una formula ricorsiva, una prima stima del peso di volume viene fatta mediante la seguente correlazione:

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

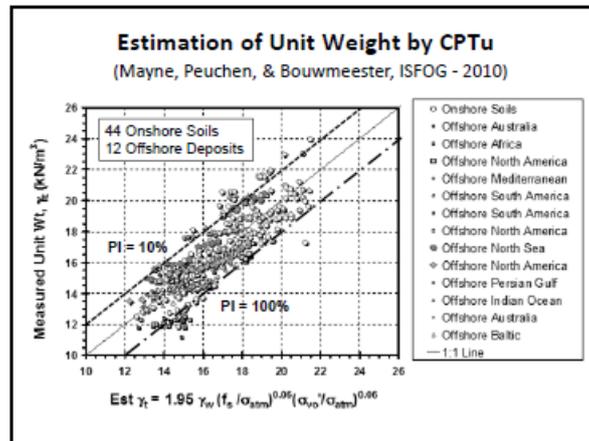


Figura 6. Peso di volume naturale del terreno, Mayne et al., 2010

➤ **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:

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

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.

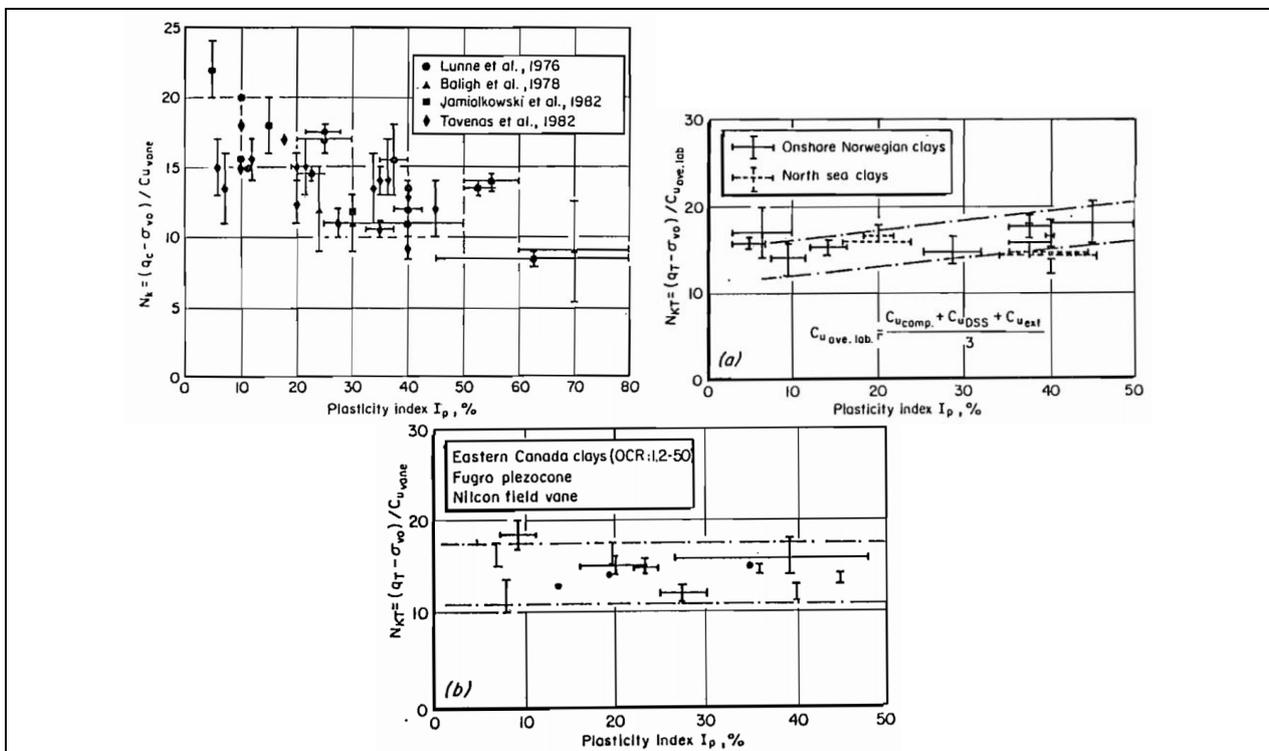


Figura 7. Fattore N_k ottenuto sperimentalmente, Tavenas and Leroueil, 1986.

➤ 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'):

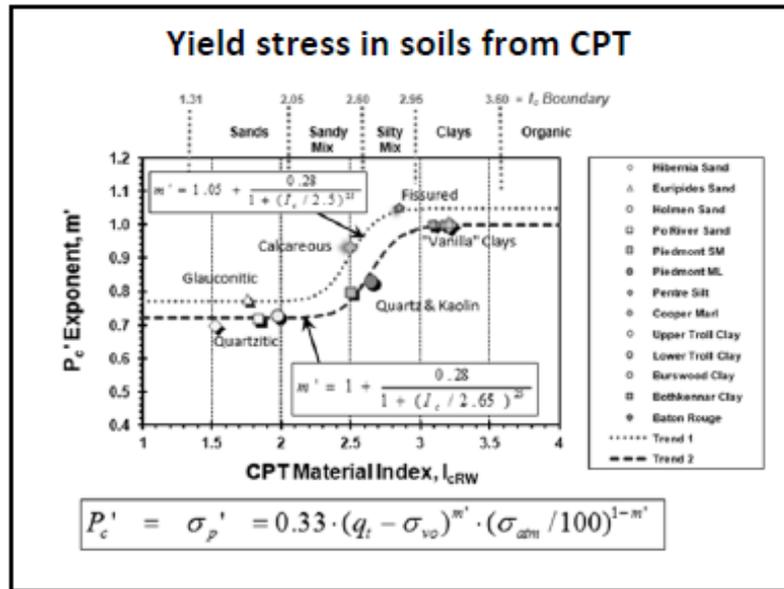


Figura 9. Esponente m (Mayne, 2009).

➤ 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 10.

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.

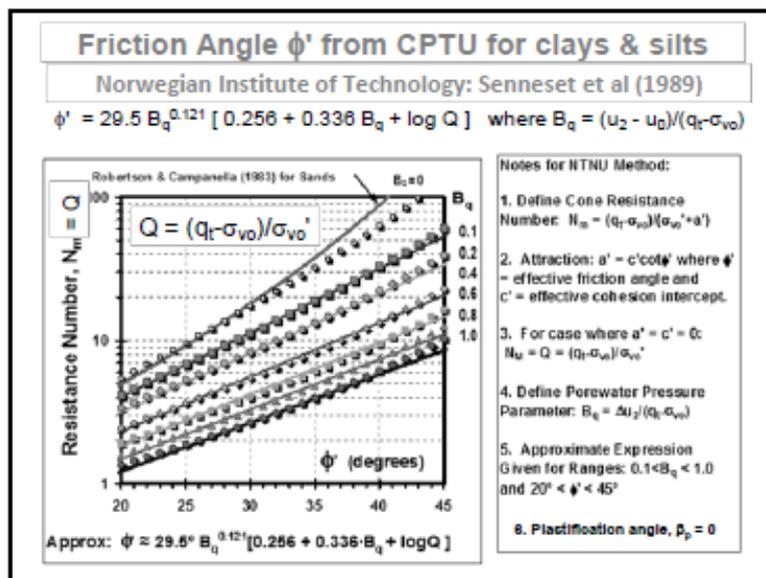


Figura 10. Angolo di resistenza al taglio (Senneset et al., 1989).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	66 di 281

➤ 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 (c_v)

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

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

5.4 Unità a – Depositi eluvio colluviali, continentali di versante di alterazione del substrato

Si tratta di limi argillosi e argilla limosa. Per la caratterizzazione geotecnica di questa unità si fa principalmente riferimento all'adiacente lotto 5, in quanto nel lotto in esame non ci sono dati geotecnici disponibili.

Si assumono i seguenti parametri geotecnici (vedasi lotto 5)

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

5.5 Unità ba – Depositi alluvionali coesivi

Si tratta di terreno alluvionale costituito da limo argilloso e argilla limosa.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	67 di 281

Nell'unità in esame sono disponibili prove SPT che hanno dato valori da 5 a 35 colpi/30cm (Figura 11).

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 59):

- percentuale di ghiaia tra 0 e 14%;
- percentuale di sabbia tra 6 e 63%, mediamente del 27%;
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 23 e 94% mediamente del 70%, di cui argilla tra 11 e 50 (media 35%) e limo tra 12 e 54 (media 35%).

Il limite liquido è mediamente 43%; il limite plastico è 22%; l'indice plastico è 21%. Il contenuto naturale d'acqua è mediamente del 20% (Figura 70).

Dalle prove di laboratorio i parametri di resistenza variano nel range: $c' = 0-5$ kPa, $\phi' = 24-27^\circ$ (Figura 50), $c_u = 30-200$ kPa (Figura 73).

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

$\gamma = 18.0-19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0-5$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 24-27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30-200$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 80-200$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 100-200$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 3 \cdot 10^{-8} - 7 \cdot 10^{-8}$ m/s	permeabilità (Figura 87)

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 10 a 20 colpi/30cm (Figura 12).

Non sono al momento disponibili dati di laboratorio su questa unità, prelevato nei sondaggi di questo lotto, quindi per la caratterizzazione geotecnica si farà riferimento anche ai risultati del lotto 5 adiacente.

La densità relativa è compresa fra 35 e 45% (Figura 20).

Si assumono i seguenti parametri geotecnici (vedasi figure a seguire).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	68 di 281

$\gamma = 19.0-20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 32\div 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio (Figura 23, Figura 26)
$E_o = 130\div 220 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 40)
$V_s = 150\div 250 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio (Figura 28)
$K = 5 \cdot 10^{-6} \div 6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	permeabilità (Figura 87)

5.7 Unità bg – Depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi

Si tratta di ghiaia sabbiosa 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 35 a 80 colpi/30cm (Figura 12).

Non sono al momento disponibili dati di laboratorio su questa unità, prelevato nei sondaggi di questo lotto, quindi per la caratterizzazione geotecnica si farà riferimento anche ai risultati del lotto 5 adiacente.

La densità relativa è compresa fra 55 e 85% (Figura 20).

Si assumono i seguenti parametri geotecnici dall'esame (vedasi figure a seguire).

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 36\div 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio (Figura 23, Figura 26)
$E_o = 300\div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (Figura 40)
$V_s = 250\div 350 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio (Figura 28)
$K = 4 \cdot 10^{-5} \div 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	permeabilità (Figura 87)

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. Dal punto di vista geologico, il materiale è inquadrato come vecchio copro di frana quiescente.

Non sono al momento disponibili dati di laboratorio su questa unità, prelevato nei sondaggi di questo lotto, quindi per la caratterizzazione geotecnica si farà riferimento anche ai risultati del lotto 5 adiacente.

Si assumono i seguenti parametri geotecnici.

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
--------------------------------	-------------------------

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	69 di 281

$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30\div 200 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$\varphi_r' = 19^\circ$	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

5.9 Unità bn – Depositi alluvionali terrazzati

Si tratta di argilla limosa e limo argilloso da moderatamente consistente a consistente.

Nell'unità le prove SPT hanno fornito valori di N_{SPT} mediamente tra 10 e 35 colpi/30 cm (Figura 13).

In corrispondenza dei terreni in esame sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati ed indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale misurato è compreso tra 20 e 21 kN/m³ con valore medio 20.4 kN/m³.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- percentuale di ghiaia mediamente 0%;
- percentuale di sabbia tra 2 e 34%;
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 66 e 98%, di cui argilla tra 31 e 49% e limo tra 23 e 50%.

Il limite liquido è mediamente 36%; il limite plastico è 22%; l'indice plastico è 14%. Il contenuto naturale d'acqua è mediamente del 20%. L'indice di consistenza è mediamente 1.1. Il grado di sovraconsolidazione è 3-5.

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

$\gamma = 20.0\div 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0\div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 27\div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio (Figura 51)
$c_u = 100\div 250 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 74)
$E_o = 100\div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150\div 250 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$K = 2 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	permeabilità (Figura 87)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	70 di 281

5.10 Unità cap-c/cap-s – Cappellaccio alterato della formazione di base

La parte superiore della formazione di base si presenta spesso alterata da mediamente consistente a consistente nella facies coesiva (cap-c) e da moderatamente addensata ad addentata nella facies sabbioso limosa (cap-s).

Nell'unità le prove SPT hanno fornito valori di N_{SPT} mediamente tra 5 e 60 colpi/30 cm nella facies coesiva e tra 10 e rifiuto nella facies incoerente (Figura 19).

In corrispondenza dei terreni in esame sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati ed indisurbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale misurato è compreso tra 19.5 e 20.5 kN/m³.

Dall'analisi granulometrica si ha per la facies coesiva (unità cap-c) Figura 61:

- percentuale di ghiaia tra 0% e 1%;
- percentuale di sabbia tra 0 e 38%;
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 61 e 99% (media 88%), di cui argilla tra 29 e 69% (media 51%) e limo tra 24 e 52% (media 37%).

Il limite liquido è mediamente 48%; il limite plastico è 27%; l'indice plastico è 21%. Il contenuto naturale d'acqua è mediamente del 20%. L'indice di consistenza è mediamente 1.1. Il grado di sovraconsolidamento è tra 1 e 4.

Dall'analisi granulometrica si ha per la facies incoerente (unità cap-s):

- percentuale di ghiaia 0%;
- percentuale di sabbia 80%;
- percentuale di fine (limo + argilla) 20%, di cui argilla 6% e limo 14%.

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

Unità cap-c:

$\gamma = 19.5 \div 20.5$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 23 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio (Figura 52)
$c_u = 50 \div 250$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 75)
$E_o = 120 \div 400$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 120 \div 400$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-7}$ m/s	permeabilità (Figura 87)

Unità cap-s:

$\gamma = 19.5 \div 20.5$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 34 \div 40$ °	angolo di resistenza al taglio (Figura 24, Figura 27)
$E_o = 120 \div 450$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150 \div 350$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 6 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità (Figura 87)

5.11 Unità MS2 – Sabbie di Cozzo Campana

Si tratta di sabbie, sabbie limose.

Nell'unità le prove SPT hanno fornito valori di N_{SPT} mediamente tra 10 e rifiuto (100 colpi/30 cm).

In corrispondenza dei terreni in esame sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati ed indisurbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale misurato è compreso tra 19 e 20 kN/m³.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- percentuale di ghiaia tra 0% e 5%;
- percentuale di sabbia tra 10 e 76% (mediamente 37%);
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 25 e 90% (media 61%), di cui argilla tra 7 e 55% (media 33%) e limo tra 13 e 42% (media 28%).

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

$\gamma = 19.0 \div 20.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 33 \div 38$ °	angolo di resistenza al taglio (Figura 25, Figura 53)
$E_o = 120 \div 400$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150 \div 350$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 2.5 \cdot 10^{-5}$ m/s	permeabilità (Figura 87)

5.12 Unità TRVb – Formazione di Terravecchia in facies argilloso marnosa brecciata

Si intercetta verso la parte finale del tracciato al di sotto delle coperture alluvionali. E' costituita da argilla limosa debolmente marnosa a struttura brecciata con clasti poligenici

I valori di N_{SPT} eseguiti nell'unità vanno generalmente da 25 a rifiuto ad indicare una elevata consistenza del materiale (Figura 14).

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

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da (Figura 64):

- percentuale di ghiaia da 0 a 3%;
- percentuale di sabbia da 1 a 8%;
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 88 e 99%, di cui argilla 63% e limo 34% mediamente.

Per l'unità il limite liquido è mediamente 64%; il limite plastico è mediamente 33%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente 16%. L'indice di plasticità è mediamente 31%. L'indice di consistenza è mediamente 1.5. Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille e limi inorganici di media- alta plasticità. Il grado di sovraconsolidazione è tra 2 e 5.

Relativamente alla formazione di Terravecchia, la resistenza al taglio non drenata varia tra 120 e 430 kPa (Figura 77). Cautelativamente viene definito una legge di progetto per la resistenza al taglio non drenata con la profondità, assunta in analogia a quanto fatto per l'adiacente lotto 5 (in cui si hanno molti dati di prove a disposizione).

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

$\gamma = 20.5 \div 21.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 150 \text{ kPa}$	coesione drenata (Figura 56)
$\phi' = 26^\circ$ per $\sigma'v < 150 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 20 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 150 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 19^\circ$ per $\sigma'v > 150 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 115 + 3.5 \cdot z$ ($z < 30 \text{ m}$) kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 2.5 + 6.5 \cdot z$ ($z > 30 \text{ m}$) kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 300 \div 1000 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 200 \div 700 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$k = 1 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità (Figura 87)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	73 di 281

5.13 Unità TRV – Formazione di Terravecchia in facies argilloso marnosa

E' la formazione di base principalmente presente per le opere all'aperto del presente lotto fino alla GN Dittaino. E' costituita da argille marnose e marne argillose di colore grigio.

I valori di N_{SPT} eseguiti nell'unità vanno generalmente da 45 a rifiuto ad indicare una elevata consistenza del materiale (Figura 16).

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

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da:

- percentuale di ghiaia da 0 a 4%;
- percentuale di sabbia 20%;
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 76%, di cui argilla 44% e limo 32% mediamente.

Per l'unità il limite liquido è mediamente 55%; il limite plastico è mediamente 29%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente 14%. L'indice di plasticità è mediamente 30%. L'indice di consistenza è mediamente 1.5. Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille e limi inorganici di media- alta plasticità. Il grado di sovraconsolidazione è tra 2 e 5.

Relativamente ai parametri di resistenza drenati (Figura 58) si osserva una grande variabilità dei risultati, che nelle prove di taglio diretto forniscono generalmente alti valori dell'angolo di resistenza al taglio, mentre nelle prove triassiali i valori dell'angolo di resistenza al taglio sono talvolta molto inferiori. Tale risultato è legato alla tipologia di rottura del campione dei due diversi tipi di prova e comunque è legato alle caratteristiche proprie della formazione. Pertanto per il dimensionamento delle opere in condizioni drenate (in particolare nella valutazione della stabilità di scarpate di scavo) si consiglia di assumere i valori minimi dei parametri di resistenza, al fine di cogliere le condizioni peggiori dell'ammasso.

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

$\gamma = 19.0 \div 22.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$c' = 5 \text{ kPa}$ per $\sigma'v < 150 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\phi' = 26^\circ$ per $\sigma'v < 150 \text{ kPa}$ angolo di resistenza al taglio

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

$c' = 10 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 150 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\phi' = 19^\circ$ per $\sigma'v > 150 \text{ kPa}$ angolo di resistenza al taglio



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	74 di 281

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

$c' = 10 \text{ kPa}$ per $\sigma'v > 150 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\phi' = 29^\circ$ per $\sigma'v > 150 \text{ kPa}$ angolo di resistenza al taglio

$cr' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata residua

$\phi_r' = 19^\circ$ angolo di resistenza al taglio residuo

$c_u = 200 \div 600 \text{ kPa}$ resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 76)

$E_o = 400 \div 1000 \text{ MPa}$ Modulo di deformazione elastico iniziale

$V_s = 300 \div 650 \text{ m/s}$ velocità delle onde di taglio

$k = 4 \cdot 10^{-9} \div 6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ coefficiente di permeabilità (Figura 87)

5.14 Unità TRVa – Formazione di Terravecchia in facies arenarie alternate con peliti

E' la formazione di base che si intercetta talvolta in alcune zone ed è costituita da arenarie e sabbie alternate, in subordinate, con peliti.

I valori di N_{SPT} eseguiti nell'unità vanno generalmente da 60 a rifiuto ad indicare una elevata consistenza del materiale (Figura 15).

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

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da (Figura 63):

- percentuale di ghiaia da 0 a 8%;
- percentuale di sabbia 10 a 80% (mediamente 40%);
- percentuale di fine (limo + argilla) 58%, di cui argilla 30% e limo 27% mediamente.

Per l'unità il limite liquido è mediamente 38%; il limite plastico è mediamente 22%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente 15%. L'indice di plasticità è mediamente 14%. Il grado di sovraconsolidazione è tra 1 e 5.

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

$\gamma = 19.5 \div 21.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$ coesione drenata (Figura 78)

$\phi' = 30 \div 37^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c_u = 300 \div 800 \text{ kPa}$ resistenza al taglio in condizioni non drenate (Figura 78)

$E_o = 300 \div 1000 \text{ MPa}$ Modulo di deformazione elastico iniziale



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	75 di 281

$V_s = 350 \div 500$ m/s velocità delle onde di taglio

$k = 3 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-6}$ m/s coefficiente di permeabilità (Figura 87)

5.15 Unità FYN3 – Argilla limosa marnosa (Flysch Numidico)

Questa formazione è stata intercettata nel sondaggio 4SD25GN (galleria Dittaino), dove è costituita da argilliti, argille con livelli marnoso calcarei.

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

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da:

- percentuale di ghiaia 0%;
- percentuale di sabbia 0 a 11%;
- percentuale di fine (limo + argilla) 89-98%, di cui argilla 57% e limo 40% mediamente.

Per l'unità il limite liquido è mediamente 58%; il limite plastico è mediamente 32%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente 14%. L'indice di plasticità è mediamente 26%.

Dall'insieme dei risultati disponibili si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici.

$\gamma = 20.0 \div 22.5$ kN/m³ peso di volume naturale

$c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata (Figura 54)

$\phi' = 16 \div 28$ ° angolo di resistenza al taglio

$c_u = 120 \div 300$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate

$E_o = 300 \div 900$ MPa Modulo di deformazione elastico iniziale

$k = 6 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-8}$ m/s coefficiente di permeabilità (Figura 87)

5.16 Unità AVF – Argille variegata marnose

Questa formazione è stata intercettata nei sondaggi 4SD21 4SD22, 4S14, 4SD27.

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da:

- percentuale di ghiaia 0-6%;
- percentuale di sabbia 1 a 40%;
- percentuale di fine (limo + argilla) 52-99%, di cui argilla 25-60% e limo 27-56%.

Per l'unità il limite liquido è mediamente 55%; il limite plastico è mediamente 25%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente 15%. L'indice di plasticità è mediamente 30%. L'indice di consistenza medio è 1.5.



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	76 di 281

Dall'insieme dei risultati disponibili si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici.

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 10 \div 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 18 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio (Figura 55)
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$\varphi_r' = 13^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 150 \div 350 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 400 \div 1000 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 200 \div 600 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$k = 4 \cdot 10^{-9} \div 2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità (Figura 87)

5.17 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 argilloso)

$\gamma = 18.0 \div 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 24 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 30 \div 200$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 80 \div 200$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 100 \div 200$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-8}$ m/s	permeabilità

Unità bs – Depositi alluvionali sabbiosi

$\gamma = 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 32 \div 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 130 \div 220$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150 \div 250$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 5 \cdot 10^{-6} \div 6 \cdot 10^{-5}$ m/s	permeabilità

Unità bg – Depositi alluvionali ghiaiosi

$\gamma = 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 36 \div 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 300 \div 600$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 250 \div 350$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 4 \cdot 10^{-5} \div 2 \cdot 10^{-4}$ m/s	permeabilità

Unità bn – Depositi alluvionali terrazzati antichi (limoso argilloso)

$\gamma = 20.0 \div 21.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 15$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 27 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	78 di 281

$c_u = 100 \div 250$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 100 \div 350$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150 \div 250$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 2 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-7}$ m/s	permeabilità

Unità cap-c – cappellaccio coesivo argilloso limoso (alterazione della formazione di base)

$\gamma = 19.5 \div 20.5$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 23 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 250$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 120 \div 400$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 120 \div 400$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 3 \cdot 10^{-8} \div 7 \cdot 10^{-7}$ m/s	permeabilità

Unità cap-s – cappellaccio sabbioso limoso (alterazione della formazione di base)

$\gamma = 19.5 \div 20.5$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 34 \div 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 120 \div 450$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150 \div 350$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 6 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità

Unità MS2 –sabbie di Cozzo Campana

$\gamma = 19.0 \div 20.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 33 \div 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 120 \div 400$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 150 \div 350$ m/s	velocità delle onde di taglio
$K = 2.5 \cdot 10^{-5}$ m/s	permeabilità

Unità CFR – coltre in frana quiescente (argilla limosa)

$\gamma = 19.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 5$ kPa	coesione drenata

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

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

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

Unità TRV– Formazione di Terravecchia: argilla da debolmente marnosa a marnosa

$\gamma = 19.0 \div 22.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
$c' = 5$ kPa per $\sigma'v < 150$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 26^\circ$ per $\sigma'v < 150$ kPa	angolo di resistenza al taglio
Parametri di resistenza drenati minimi (in funzione dello stato tensionale in sito):	
$c' = 10$ kPa per $\sigma'v > 150$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 19^\circ$ per $\sigma'v > 150$ kPa	angolo di resistenza al taglio
Parametri di resistenza drenati massimi (in funzione dello stato tensionale in sito):	
$c' = 10$ kPa per $\sigma'v > 150$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 29^\circ$ per $\sigma'v > 150$ kPa	angolo di resistenza al taglio
$c_r' = 0$ kPa	coesione drenata residua
$\phi_r' = 19^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 200 \div 600$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 400 \div 1000$ MPa	Modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 300 \div 650$ m/s	velocità delle onde di taglio

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	80 di 281

$k = 4 \cdot 10^{-9} \div 6 \cdot 10^{-7}$ m/s coefficiente di permeabilità

Unità TRVa – Formazione di Terravecchia arenarie e sabbie alternate con peliti

$\gamma = 19.5 \div 21.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata
 $\phi' = 30 \div 37$ ° angolo di resistenza al taglio
 $c_u = 300 \div 800$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $E_o = 300 \div 1000$ MPa Modulo di deformazione elastico iniziale
 $V_s = 350 \div 500$ m/s velocità delle onde di taglio
 $k = 3 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-6}$ m/s coefficiente di permeabilità

Unità TRVb – Formazione di Terravecchia argillosa limosa debolmente marnosa brecciata

$\gamma = 20.5 \div 21.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $c' = 5$ kPa per $\sigma'v < 150$ kPa coesione drenata
 $\phi' = 26$ ° per $\sigma'v < 150$ kPa angolo di resistenza al taglio
 $c' = 20$ kPa per $\sigma'v > 150$ kPa coesione drenata
 $\phi' = 19$ ° per $\sigma'v > 150$ kPa angolo di resistenza al taglio
 $c_u = 120 \div 430$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $E_o = 300 \div 1000$ MPa Modulo di deformazione elastico iniziale
 $V_s = 200 \div 700$ m/s velocità delle onde di taglio
 $k = 1 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-8}$ m/s coefficiente di permeabilità

Unità FYN3 – Argilla limosa, marnosa (Flysch Numidico)

$\gamma = 20.0 \div 22.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata
 $\phi' = 16 \div 28$ ° angolo di resistenza al taglio
 $c_u = 120 \div 300$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $E_o = 300 \div 900$ MPa Modulo di deformazione elastico iniziale
 $k = 6 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-8}$ m/s coefficiente di permeabilità

Unità AVF – Argille variegata: argille marnose

$\gamma = 20.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $c' = 10 \div 20$ kPa coesione drenata



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	81 di 281

$\varphi' = 18 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_r' = 0$ kPa	coesione drenata residua
$\varphi_r' = 13^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 150 \div 350$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_0 = 400 \div 1000$ MPa	Modulo di deformazione elastico iniziale
$V_s = 200 \div 600$ m/s	velocità delle onde di taglio
$k = 4 \cdot 10^{-9} \div 2 \cdot 10^{-8}$ m/s	coefficiente di permeabilità

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a $1/3 \div 1/5$ 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.

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.

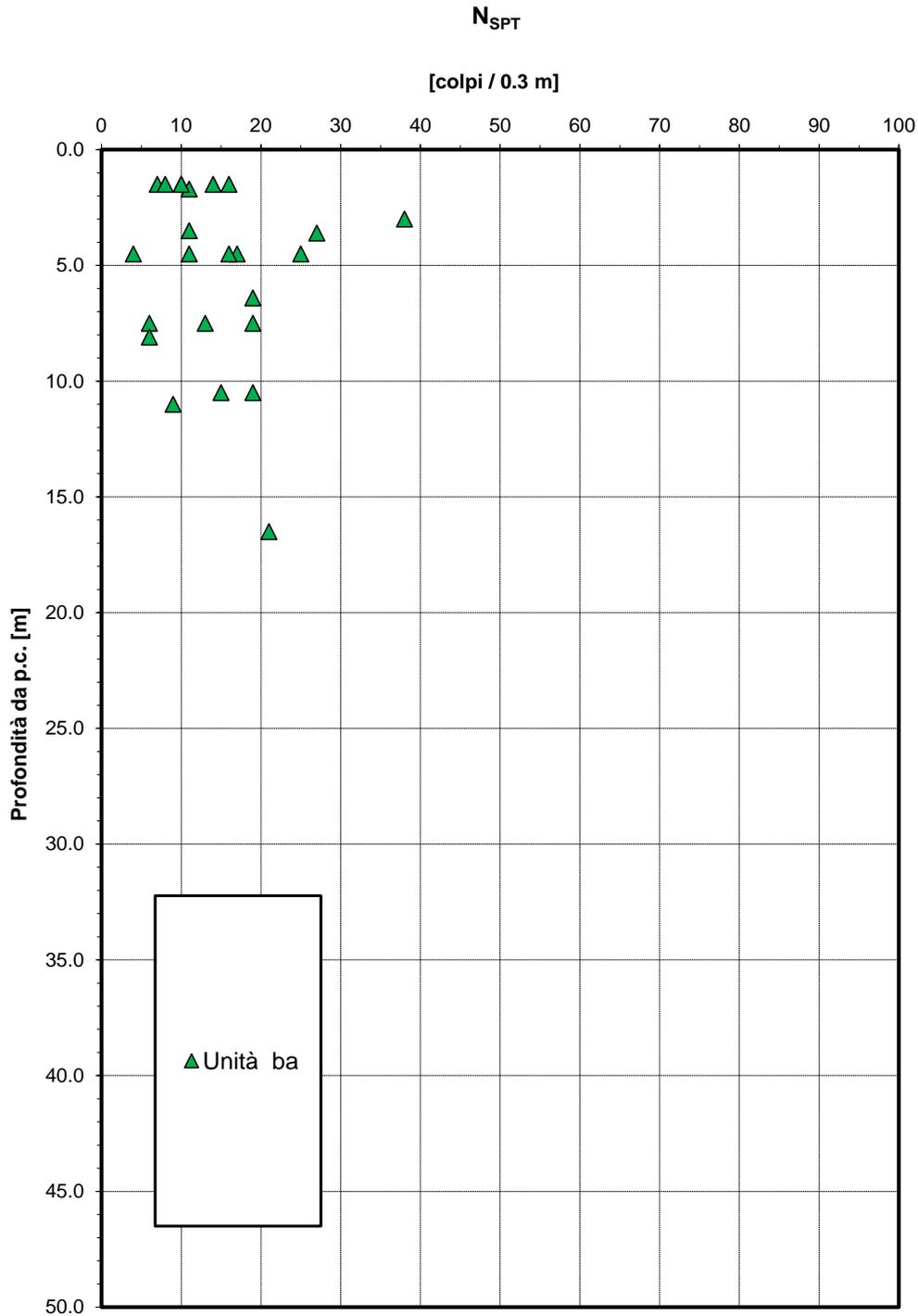


Figura 11 – Valori di N_{SPT} – Unità ba

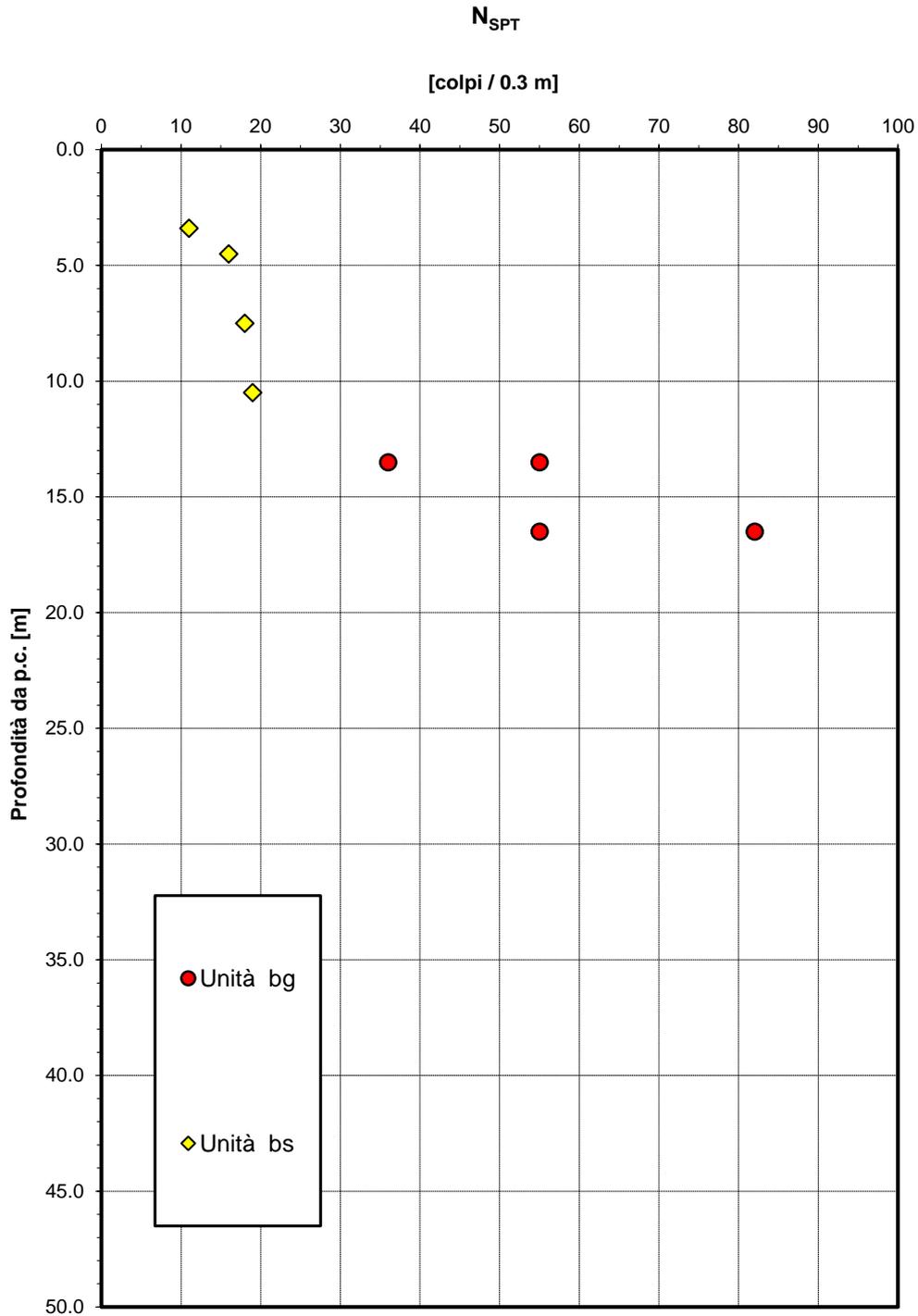


Figura 12 – Valori di N_{SPT} – Unità bs e bg

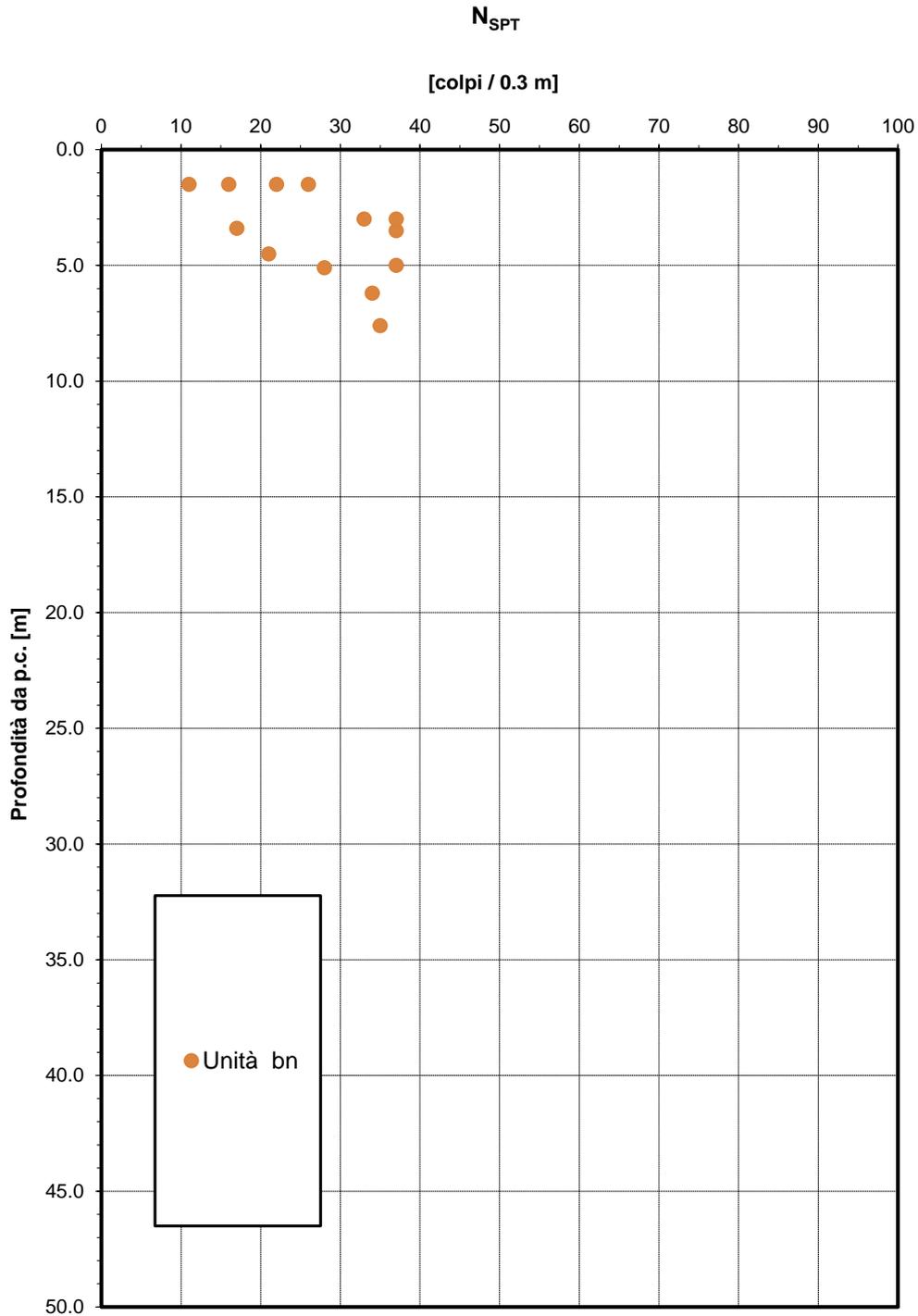


Figura 13 – Valori di N_{SPT} – Unità bn

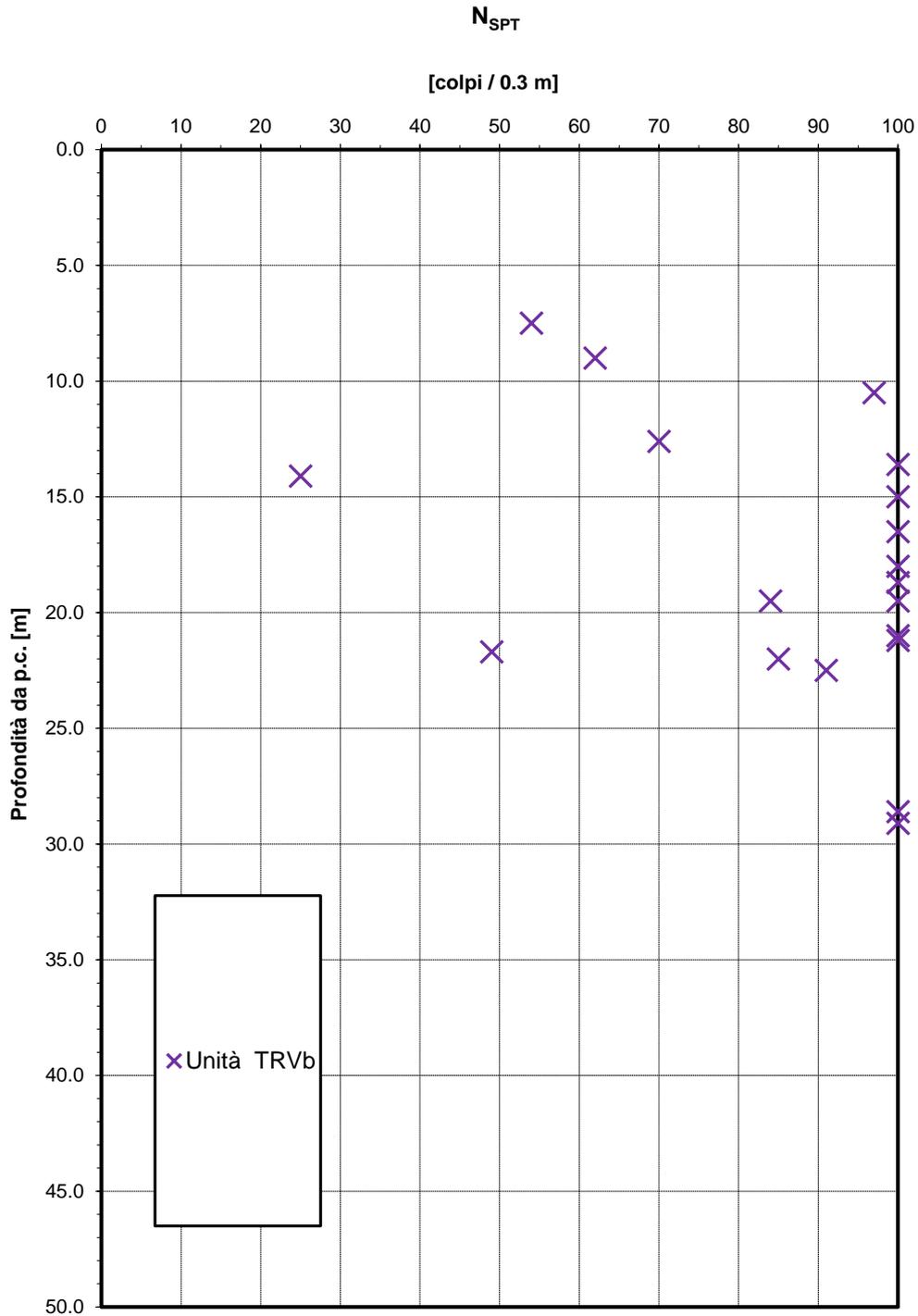


Figura 14 – Valori di N_{SPT} – Unità TRVb

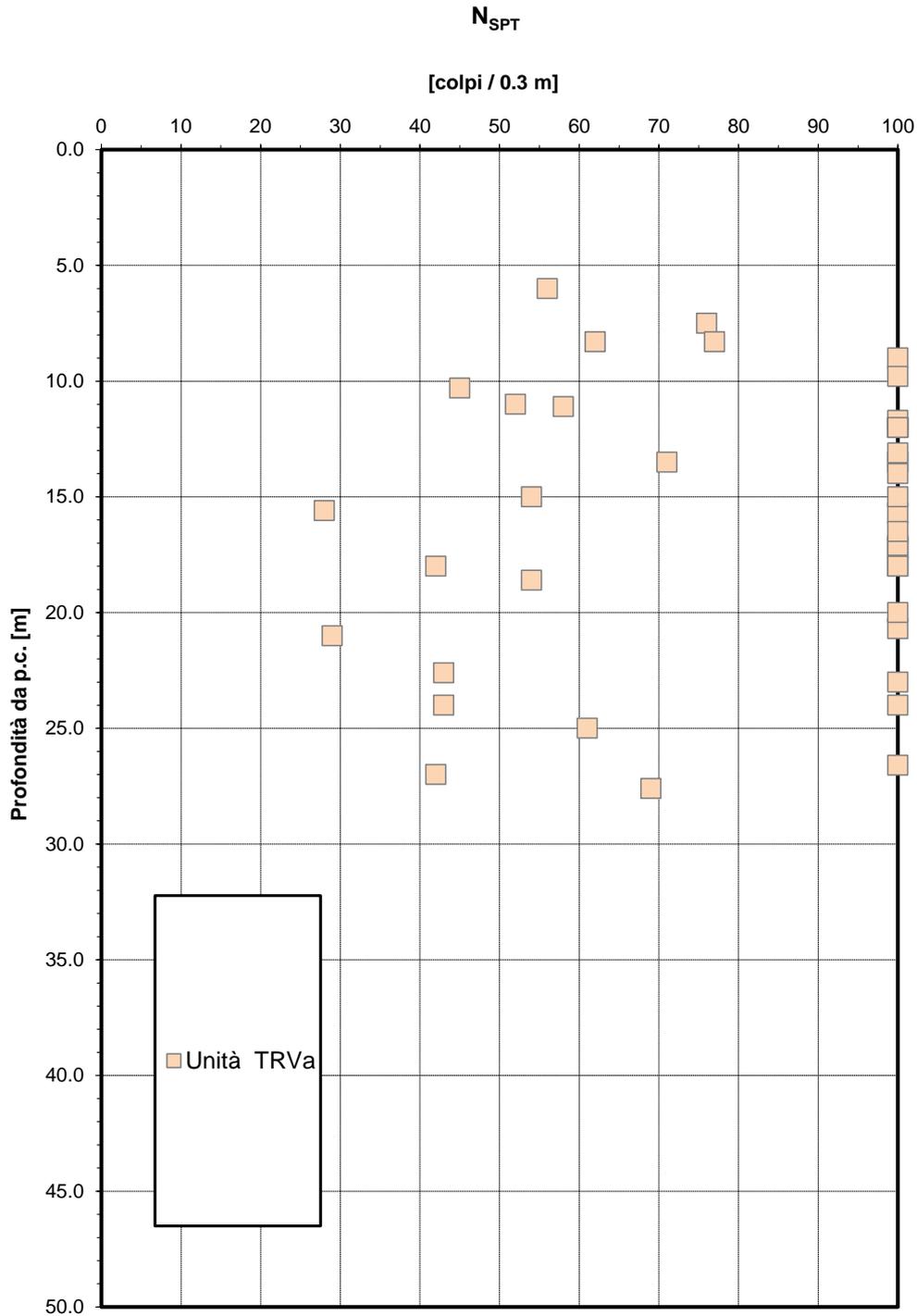


Figura 15 – Valori di N_{SPT} – Unità TRVa

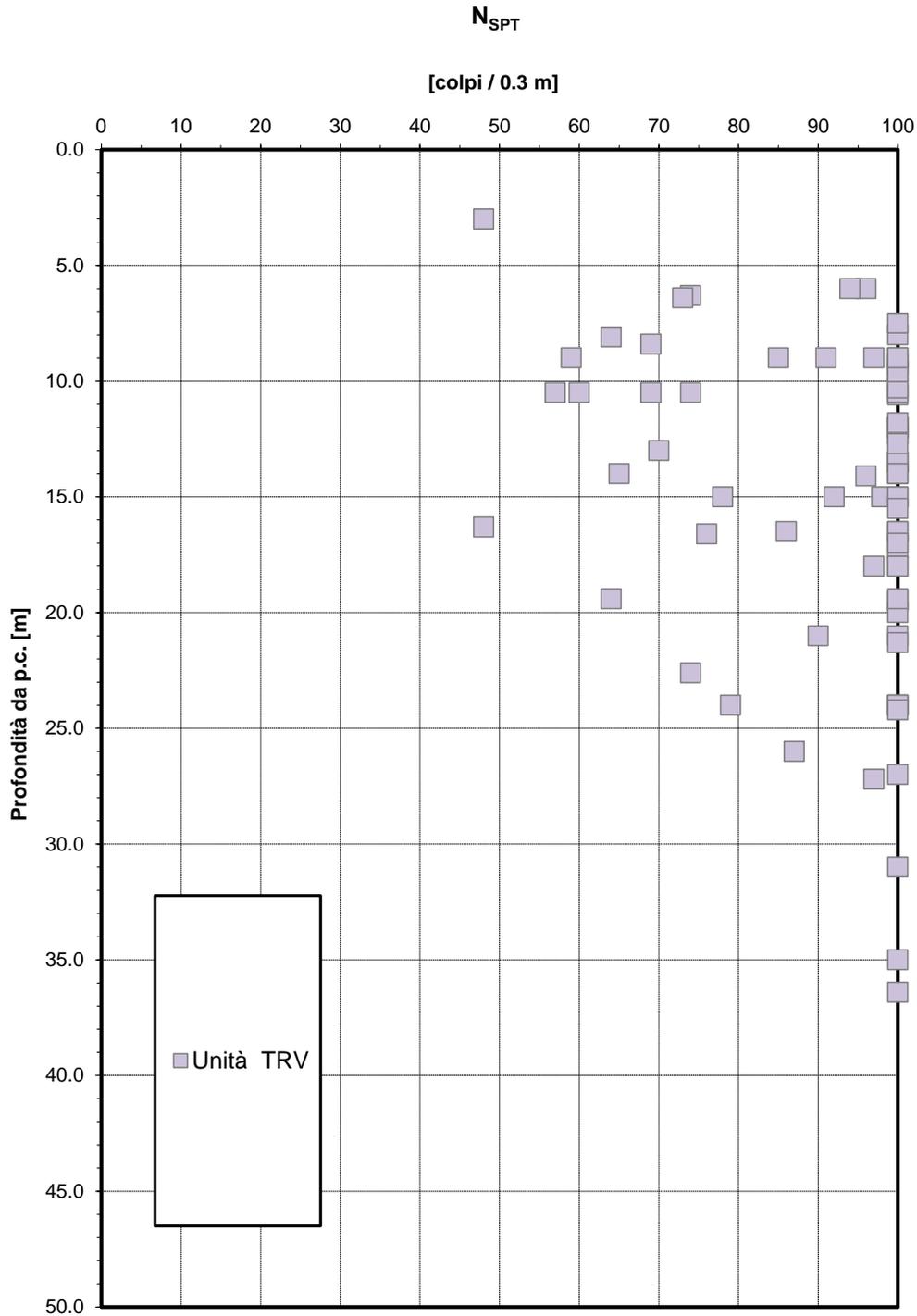


Figura 16 – Valori di N_{SPT} – Unità TRV

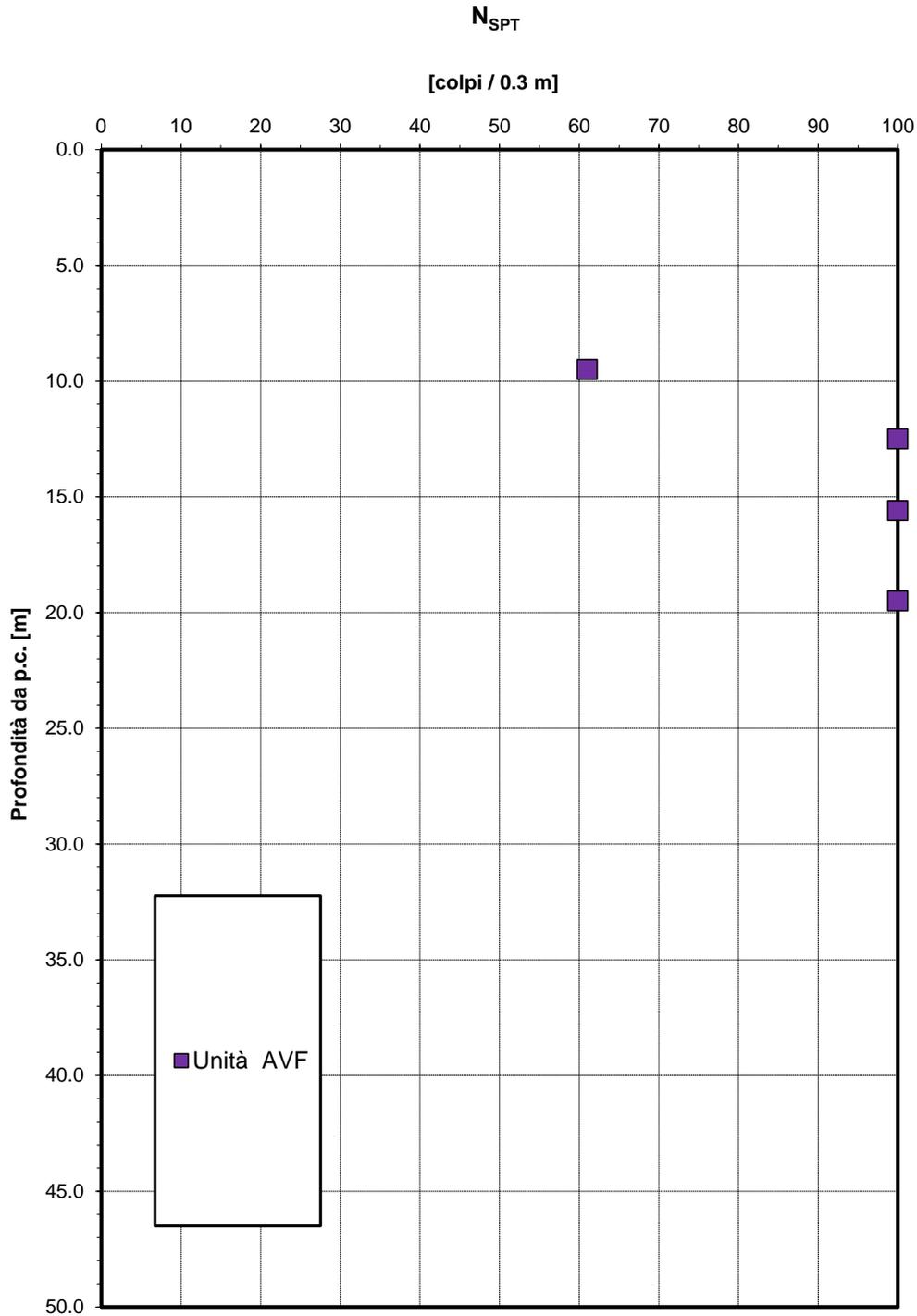


Figura 17 – Valori di N_{SPT} – Unità AVF

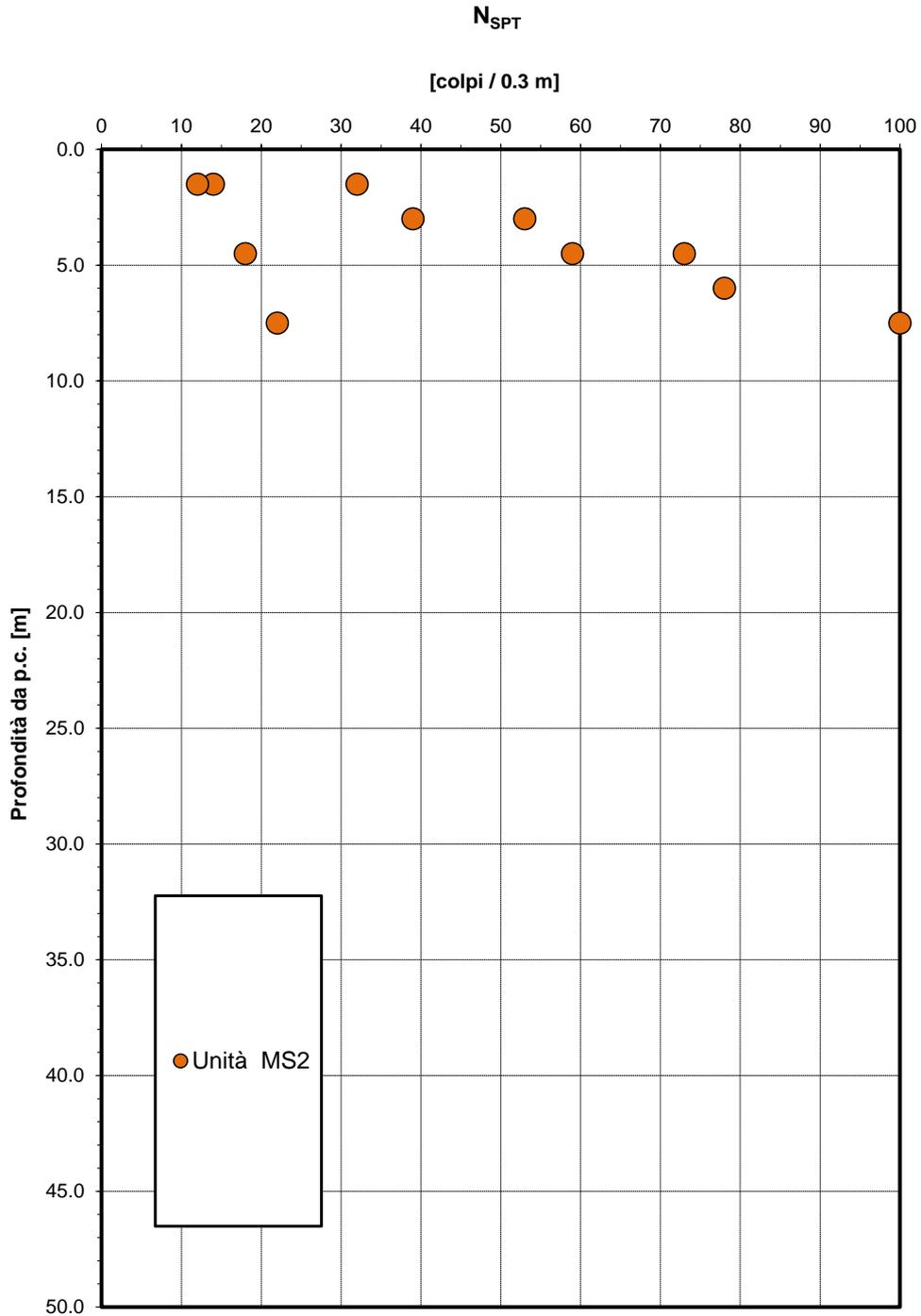


Figura 18 – Valori di N_{SPT} – Unità MS2

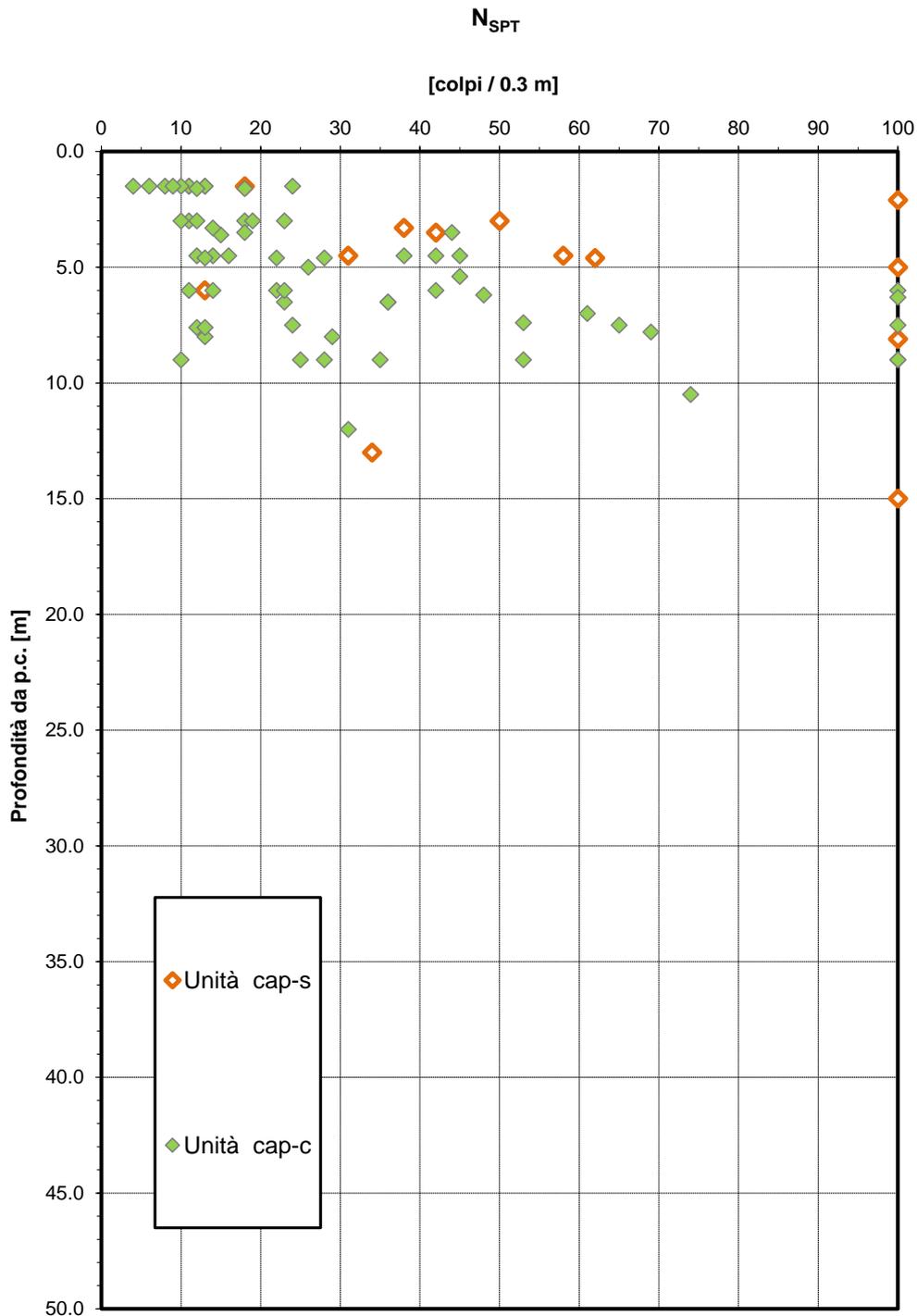


Figura 19 – Valori di N_{SPT} – Unità cap-s e cap-c

Densità relativa da prove SPT

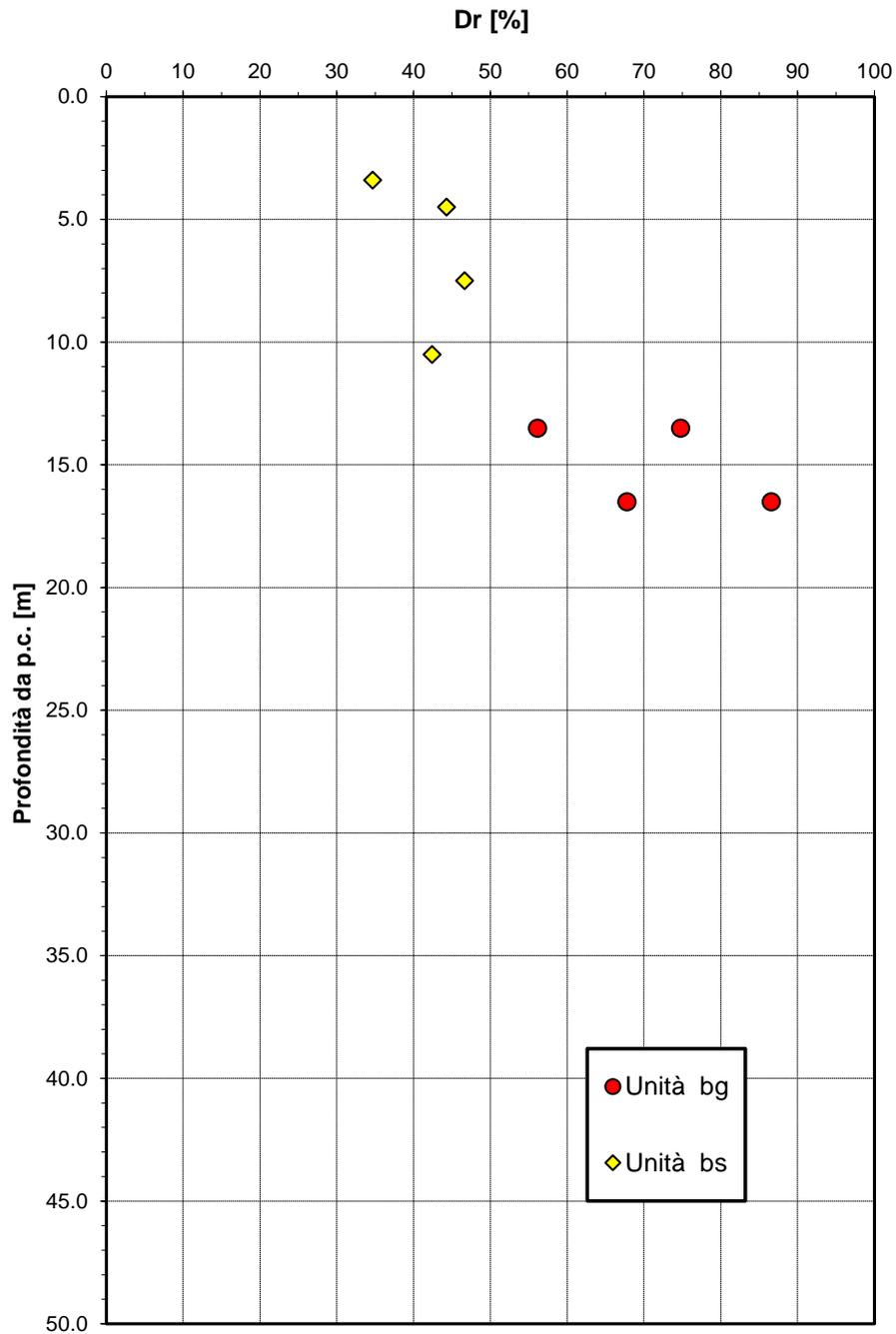


Figura 20 – Densità relativa da prove SPT – Unità bs e bg

Densità relativa da prove SPT

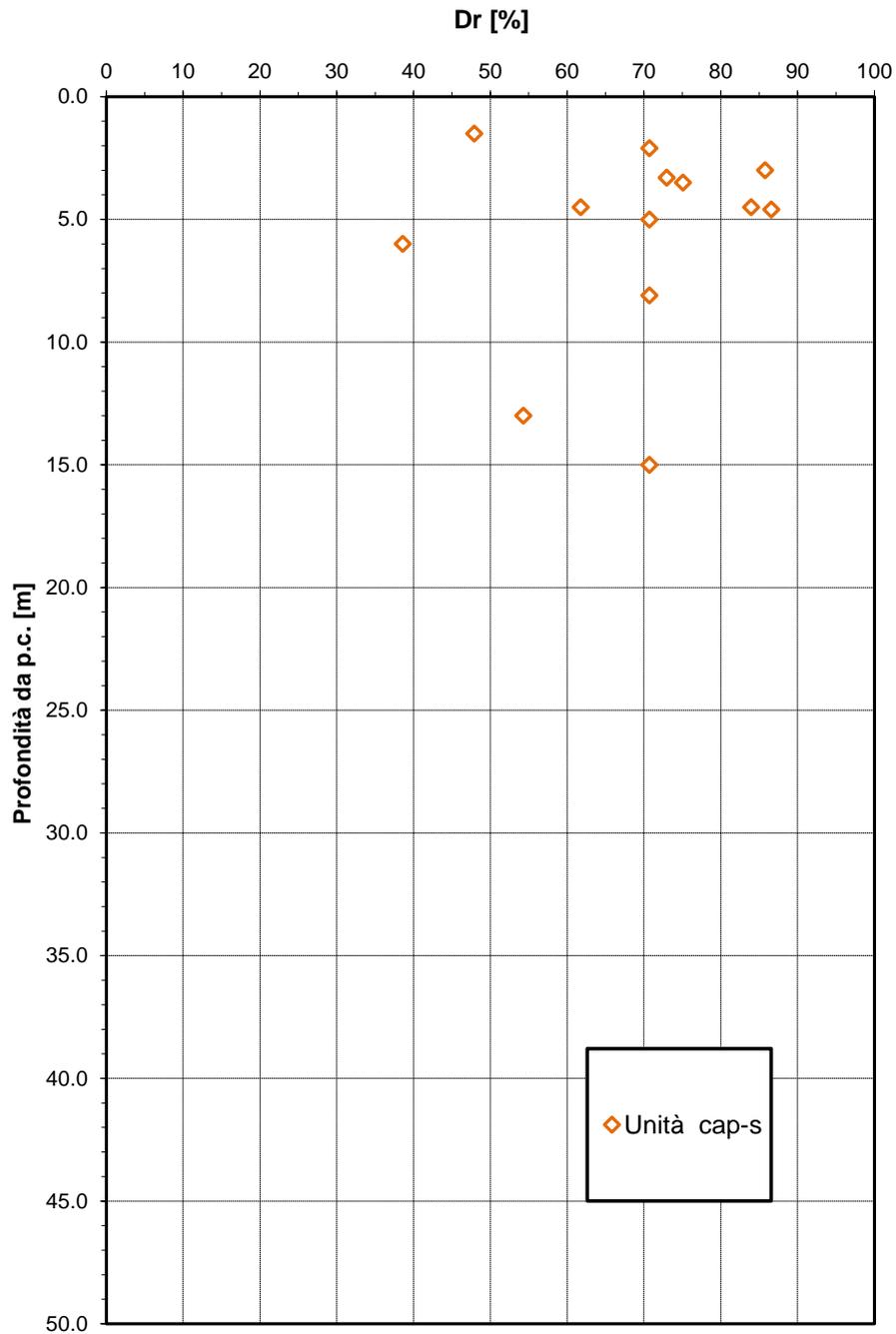


Figura 21 – Densità relativa da prove SPT – Unità cap-s

Densità relativa da prove SPT

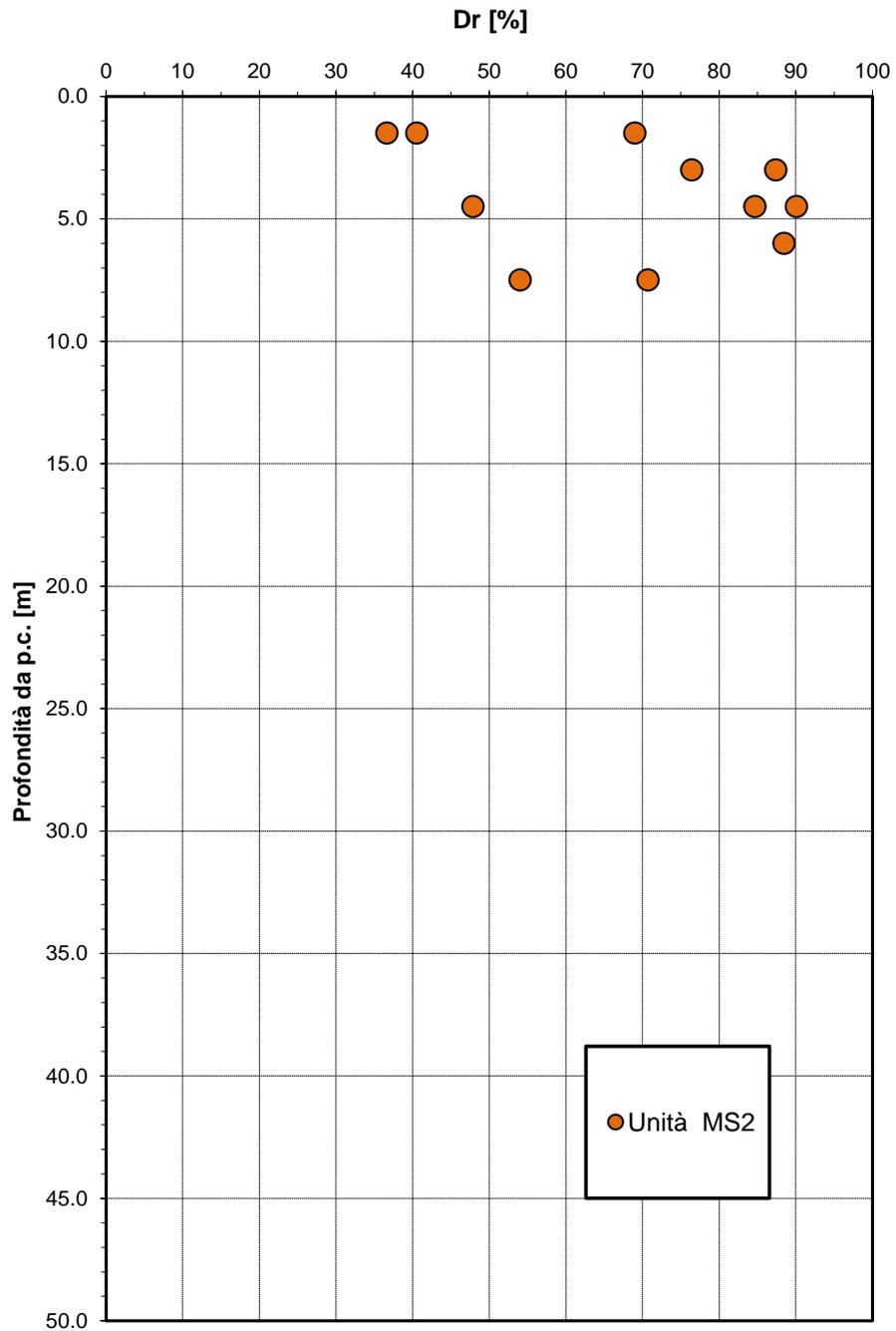


Figura 22 – Densità relativa da prove SPT – Unità MS2

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

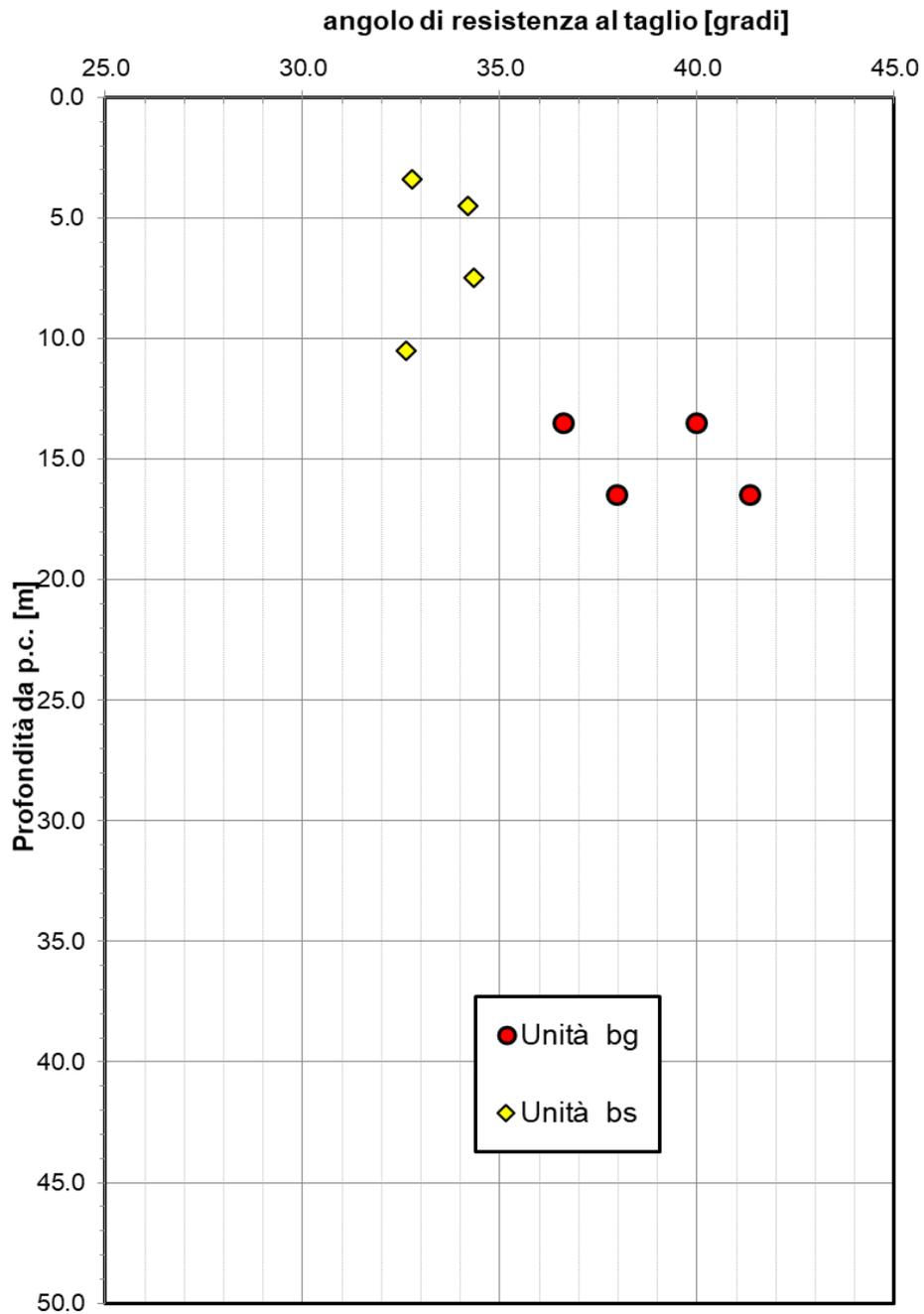


Figura 23 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT– Unità bs e bg

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

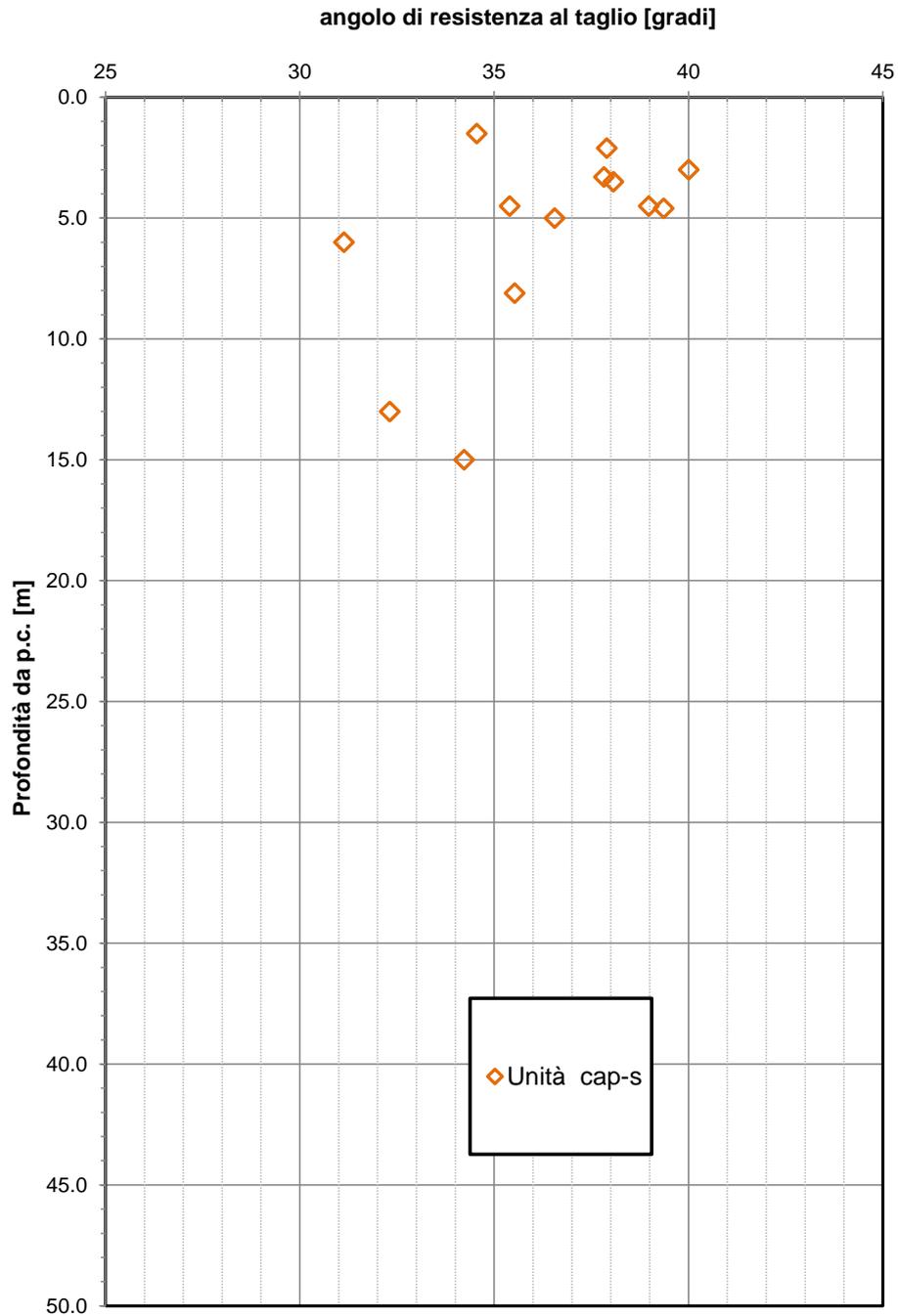


Figura 24 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT– Unità cap-s

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

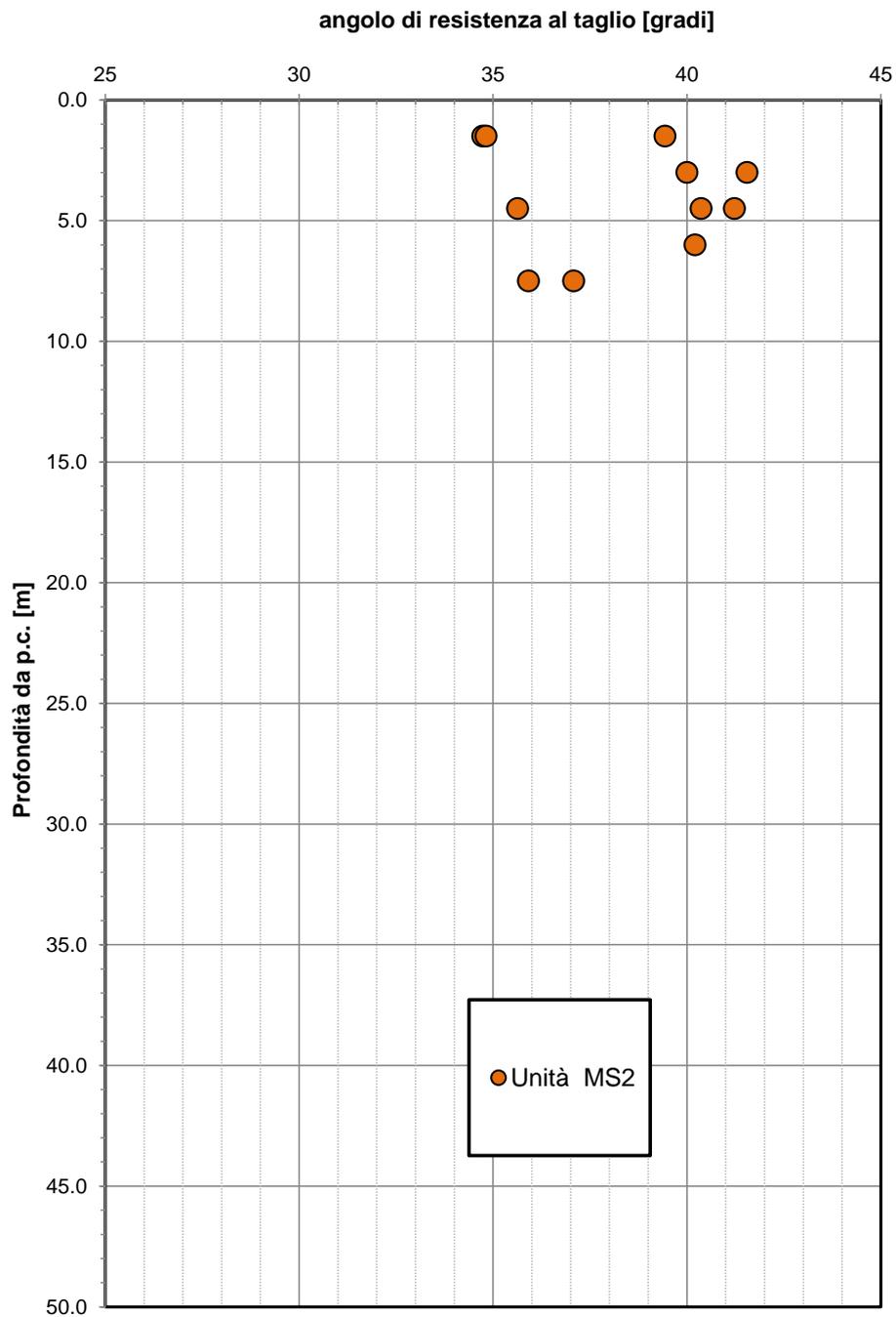


Figura 25 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT– Unità MS2

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

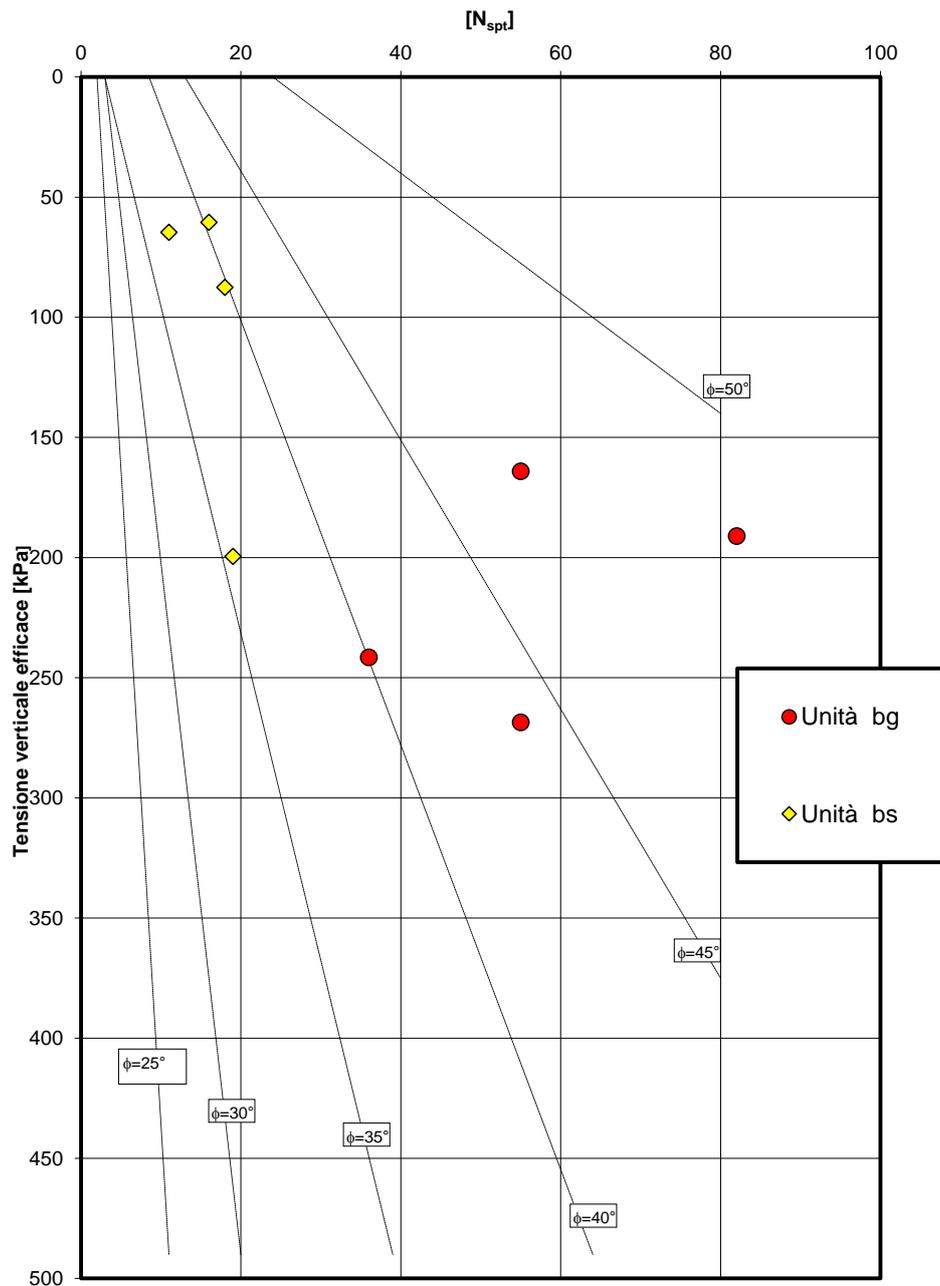


Figura 26 – Correlazione $N_{SPT}-\phi'$, De Mello– Unità bs e bg

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

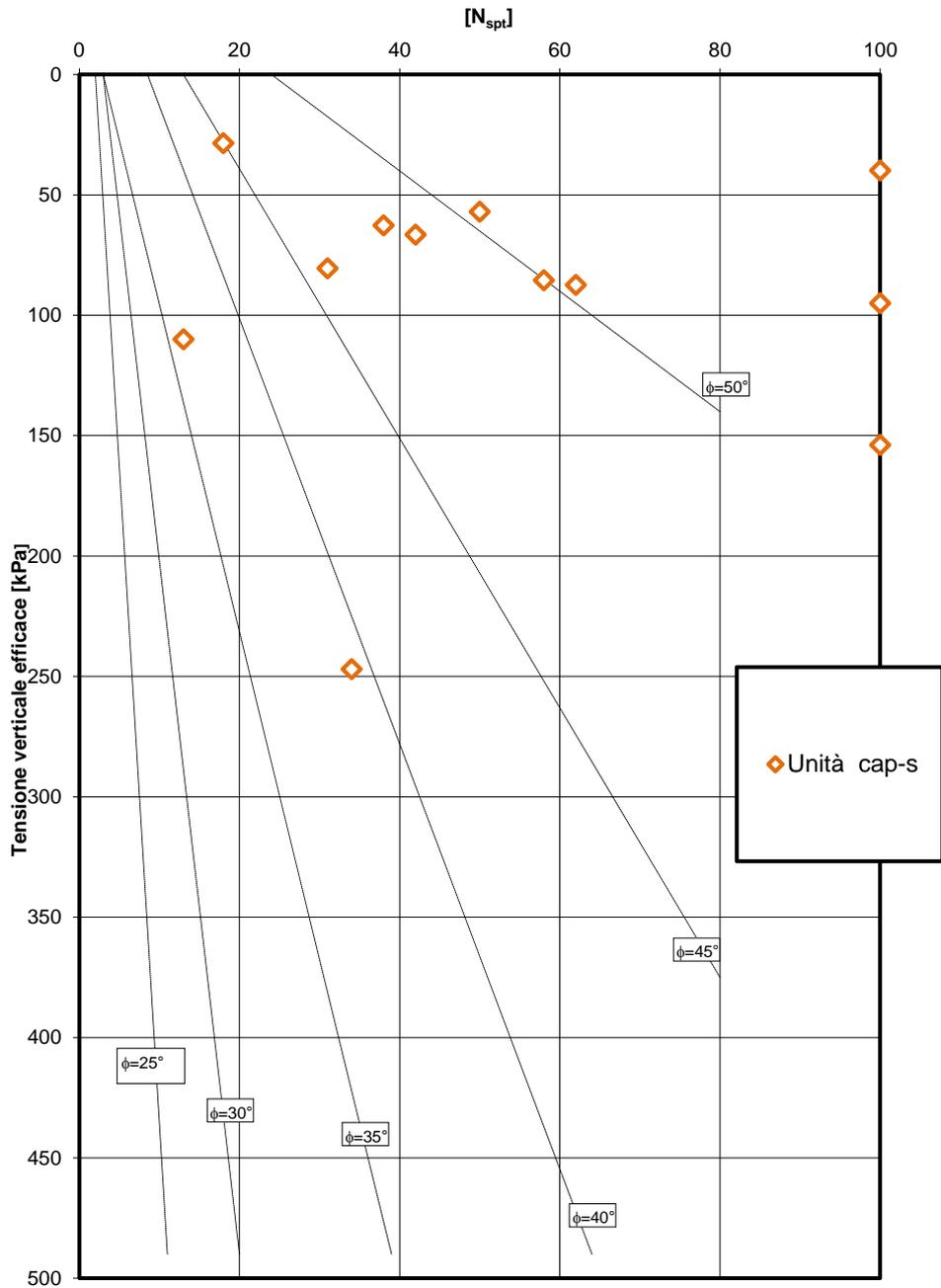


Figura 27 – Correlazione $N_{SPT}-\phi'$, De Mello– Unità cap-s

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

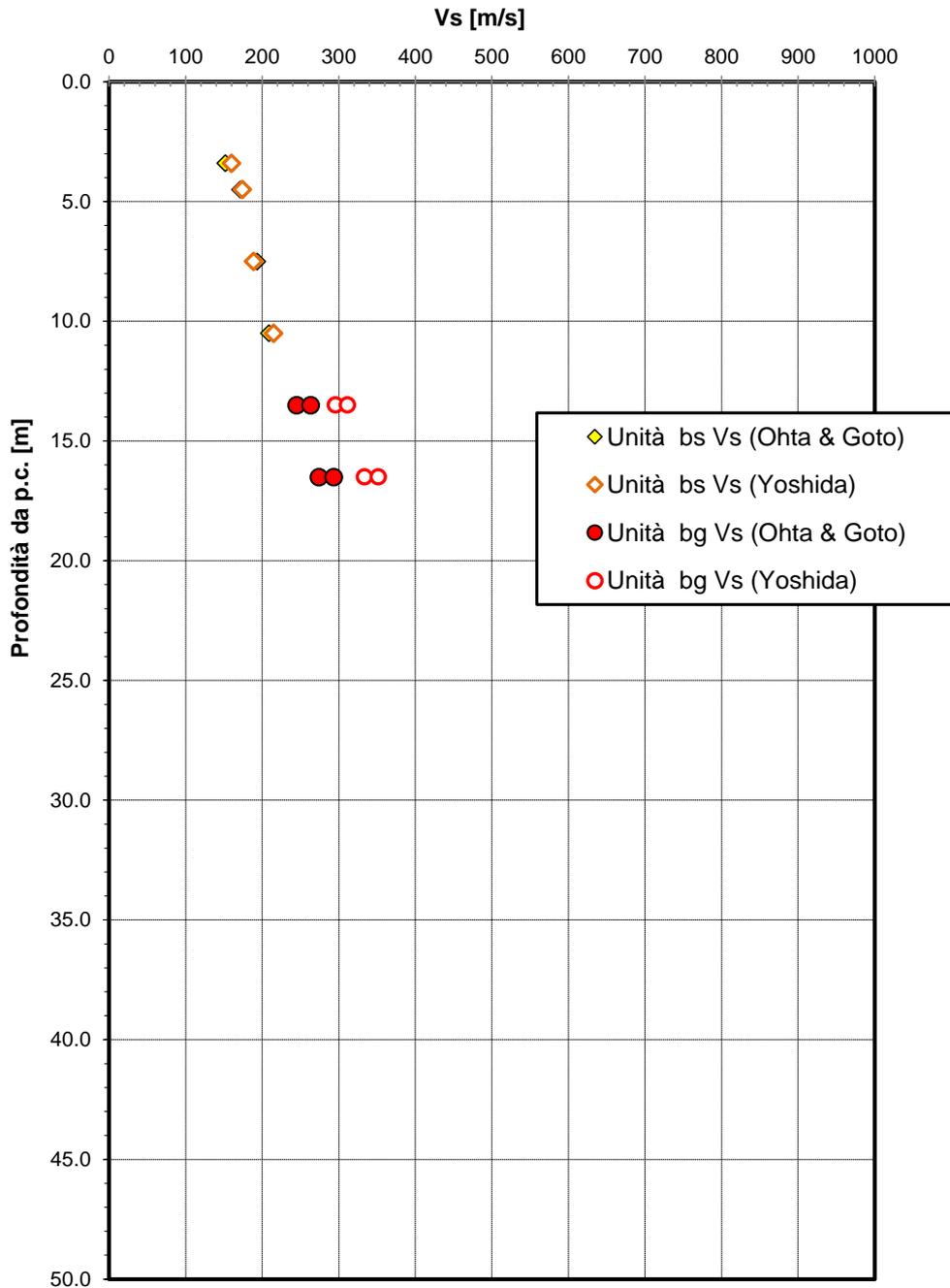


Figura 28 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT– Unità bs e bg

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

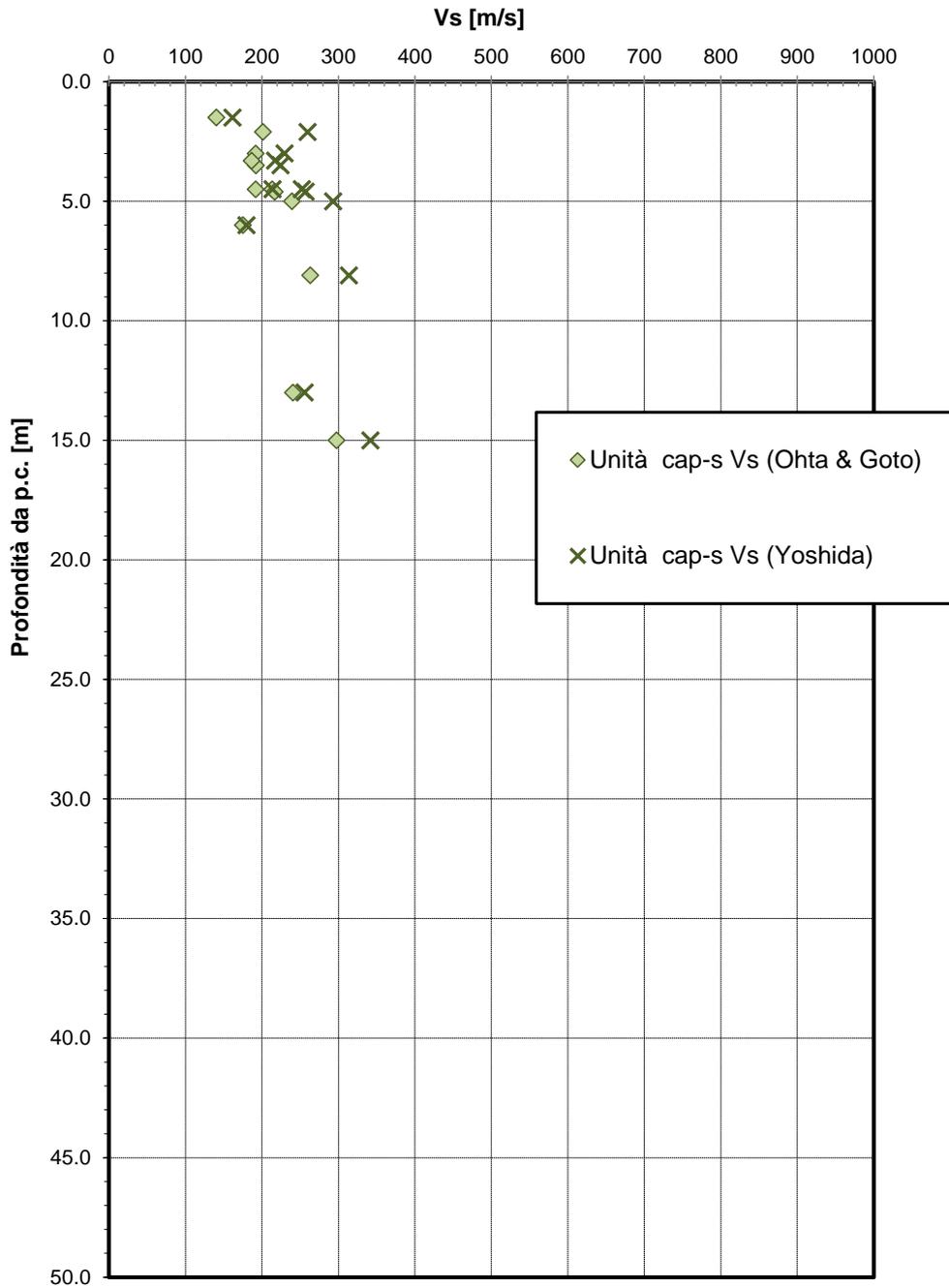


Figura 29 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT– Unità cap-s

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

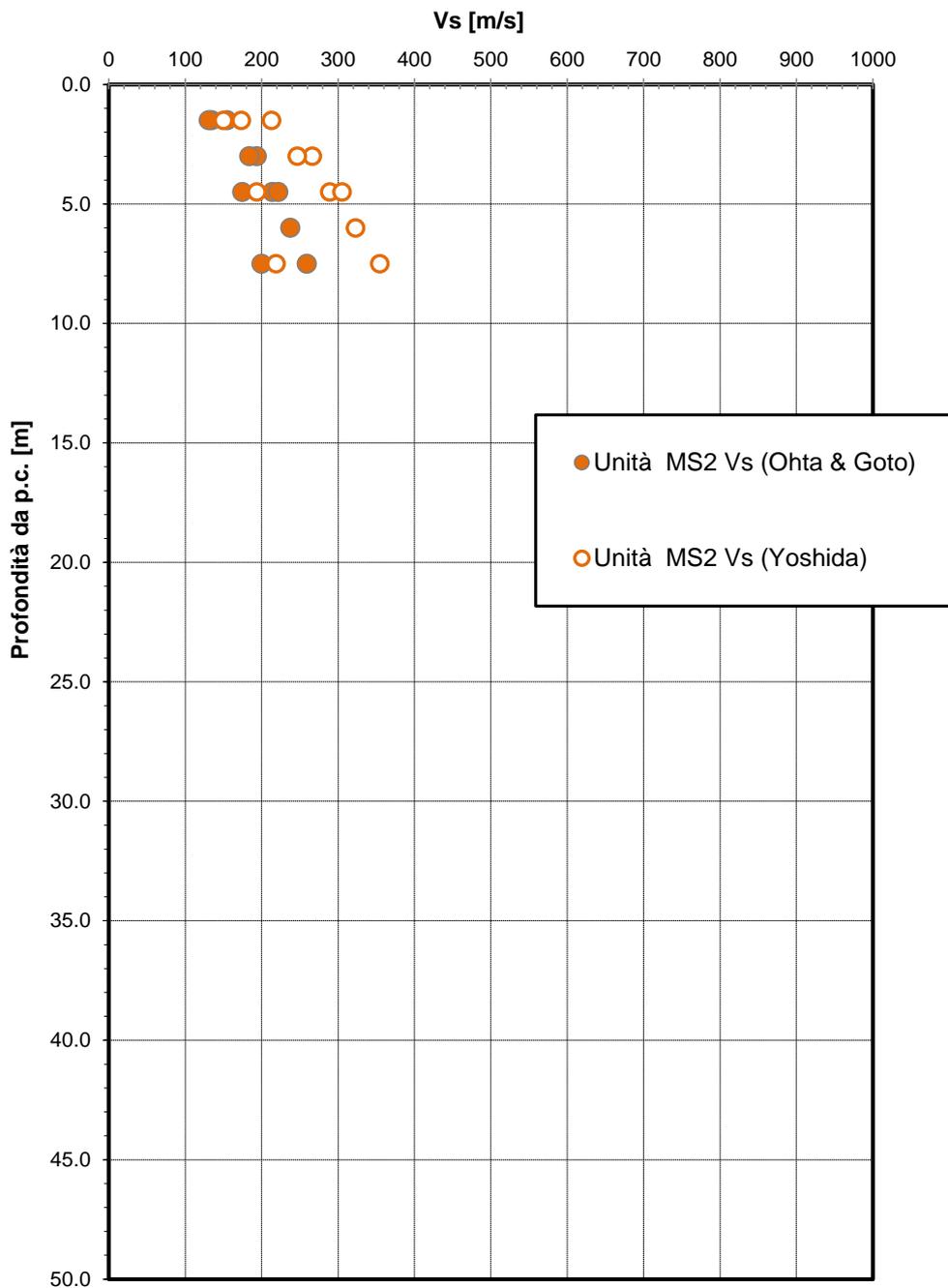


Figura 30 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT– Unità MS2

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

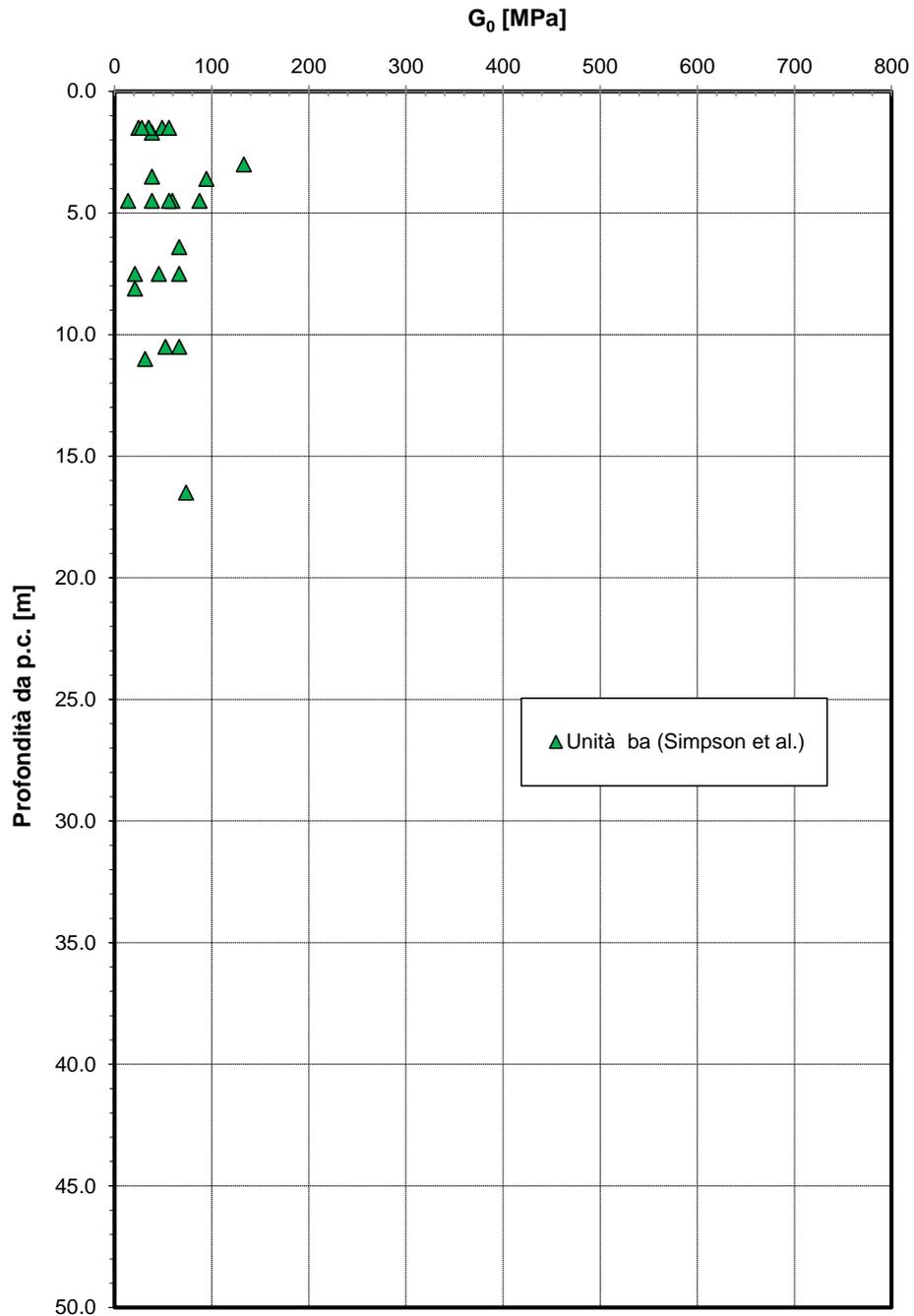


Figura 31 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità ba

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

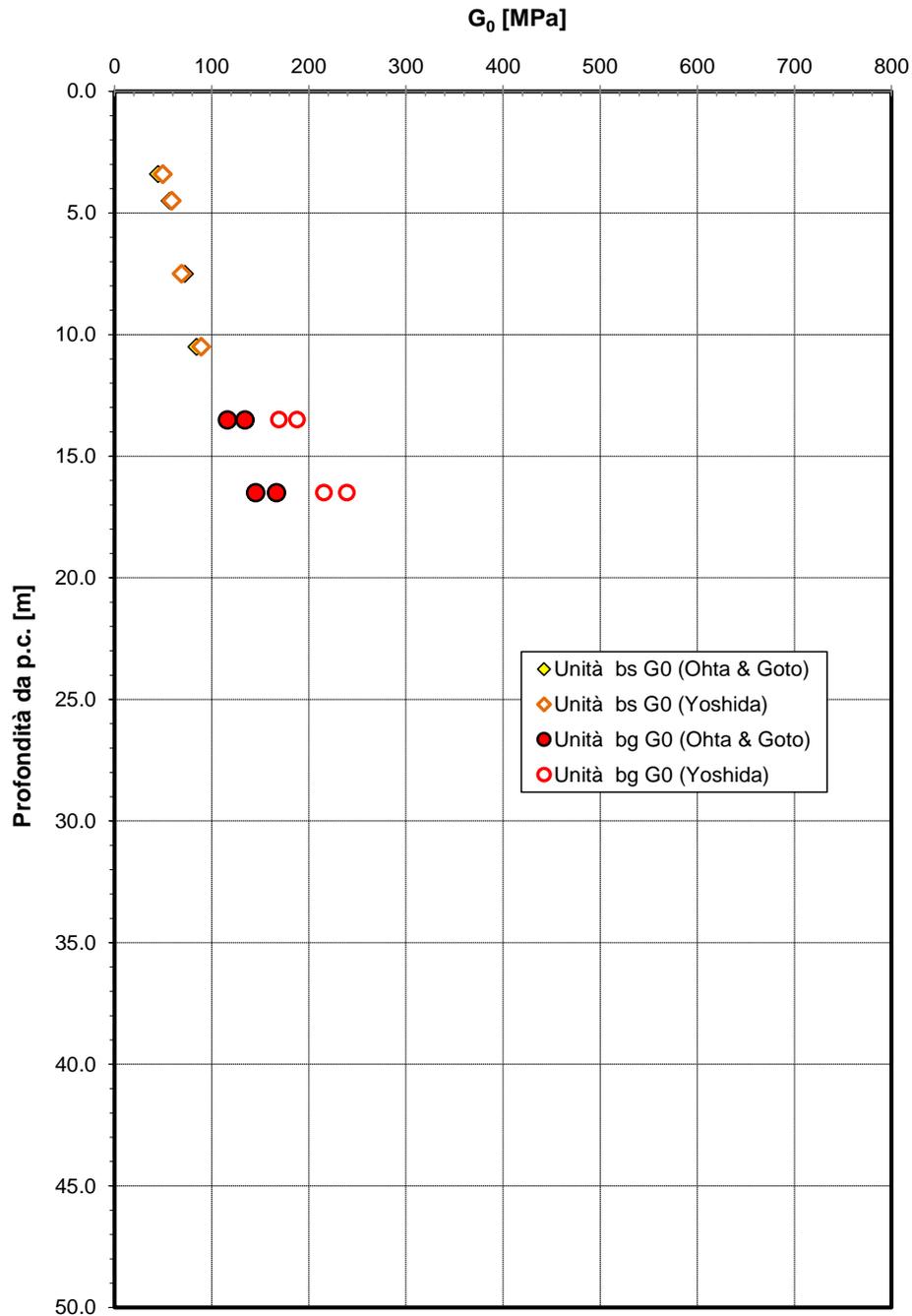


Figura 32 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità bs e bg

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

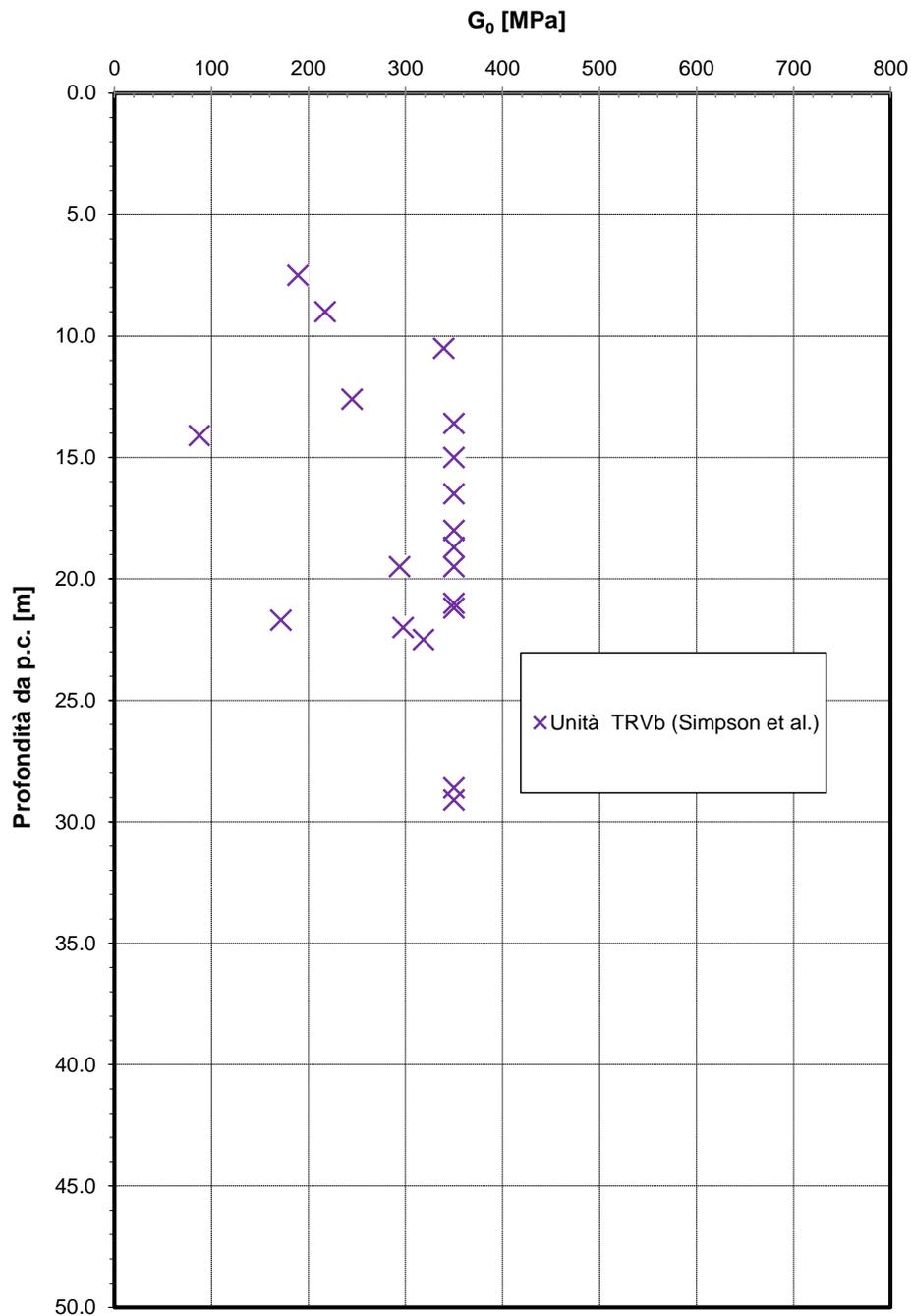


Figura 33 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità TRVb

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

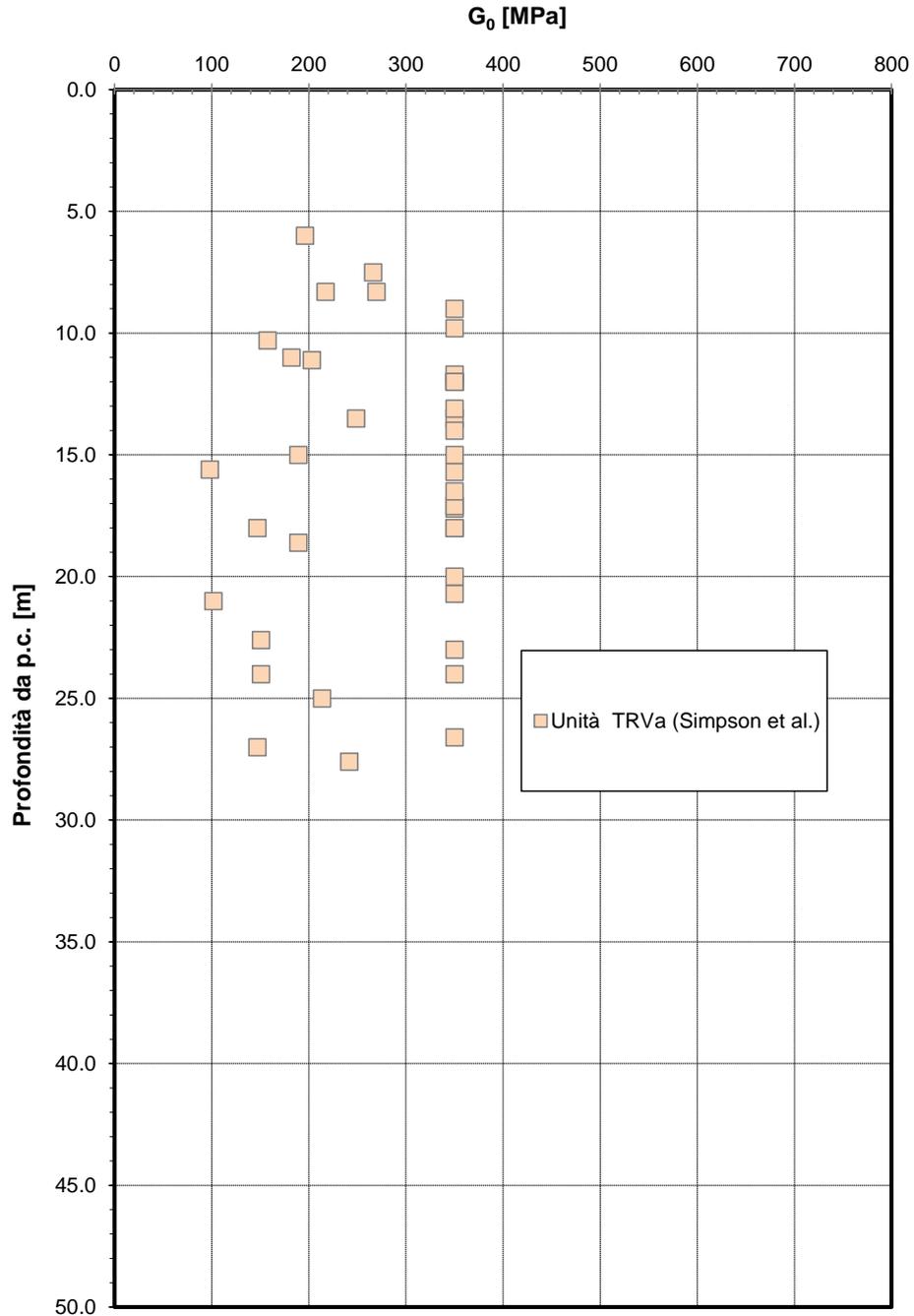


Figura 34 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità TRVa

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

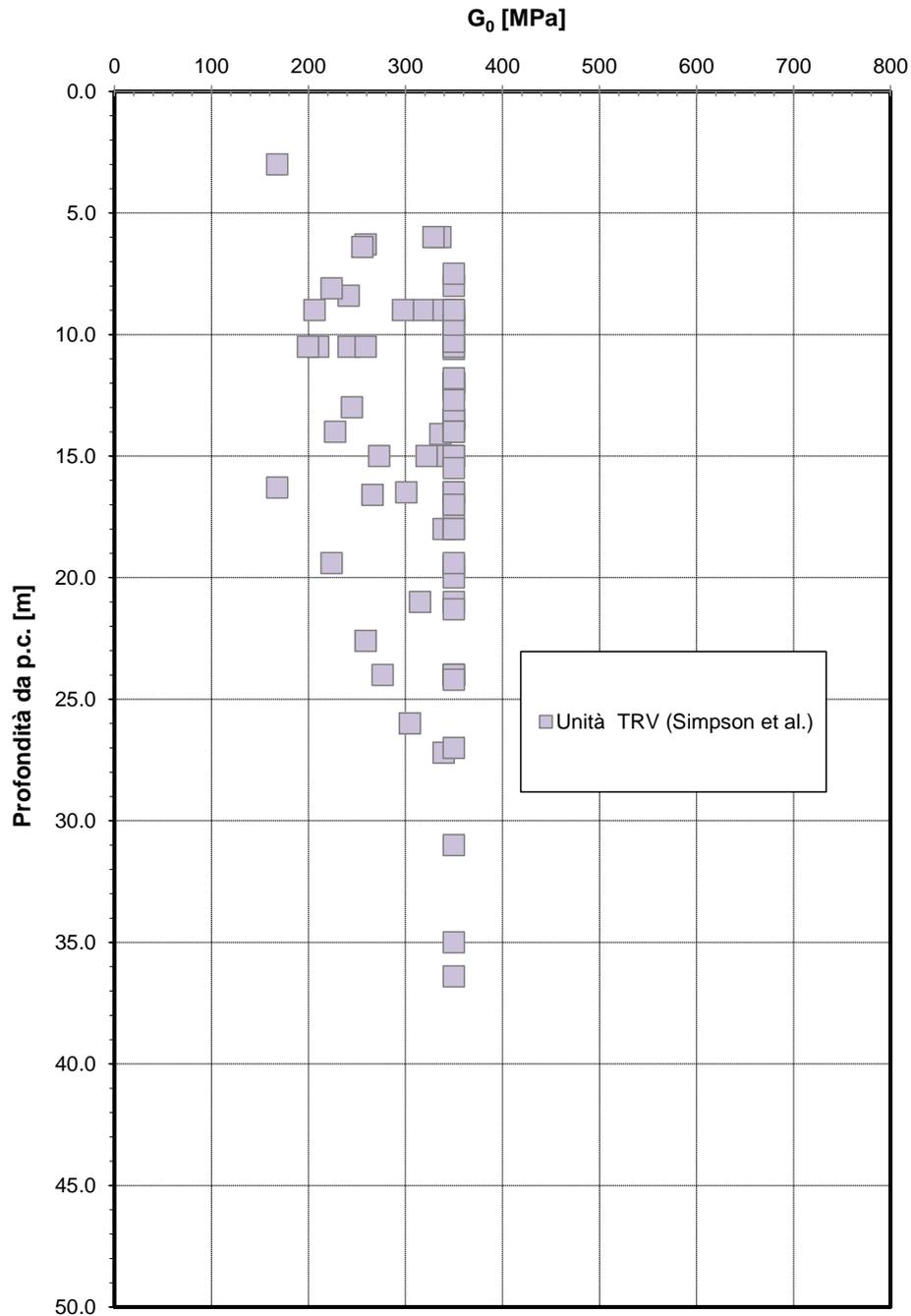


Figura 35 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità TRV

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

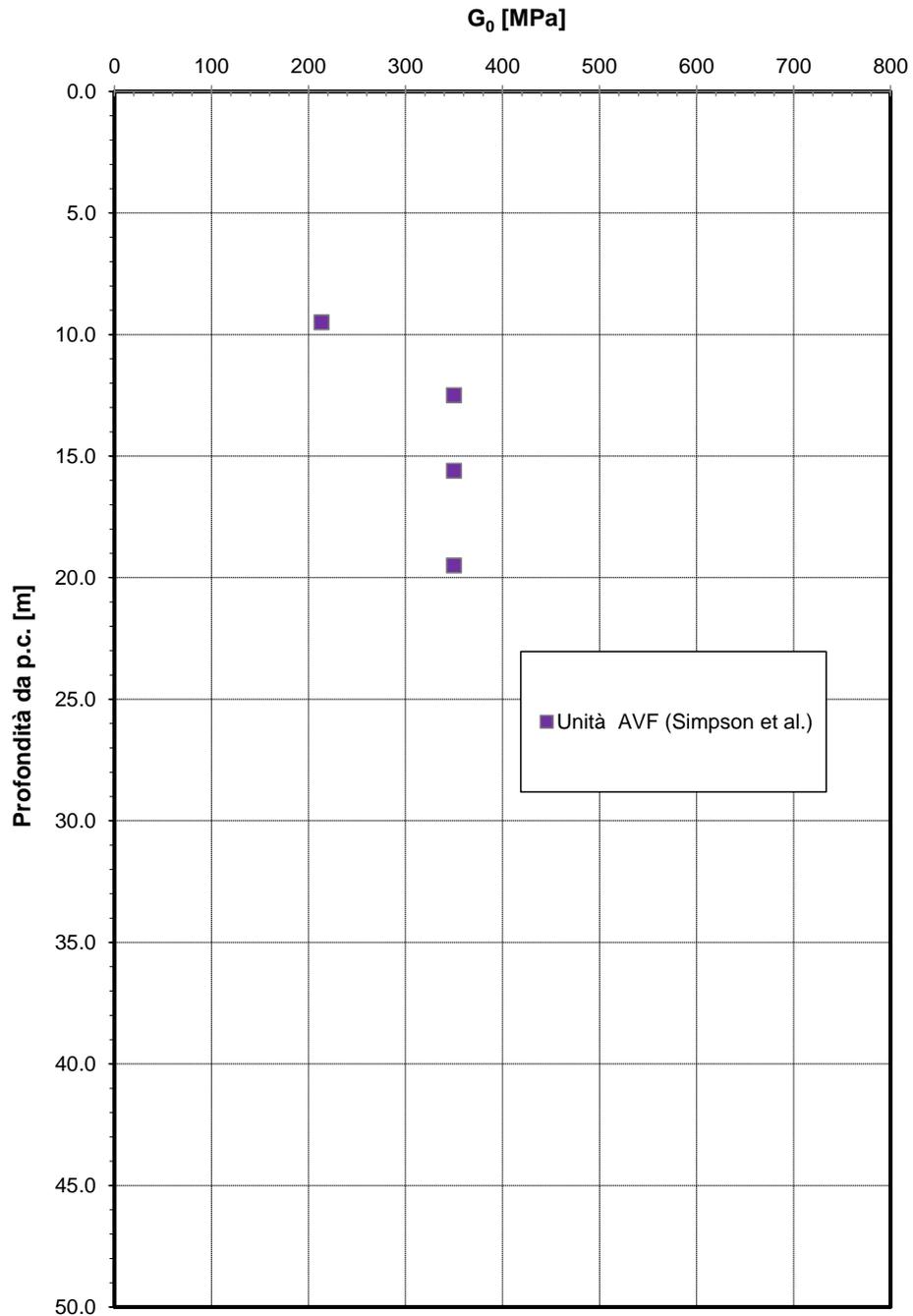


Figura 36 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità AVF

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

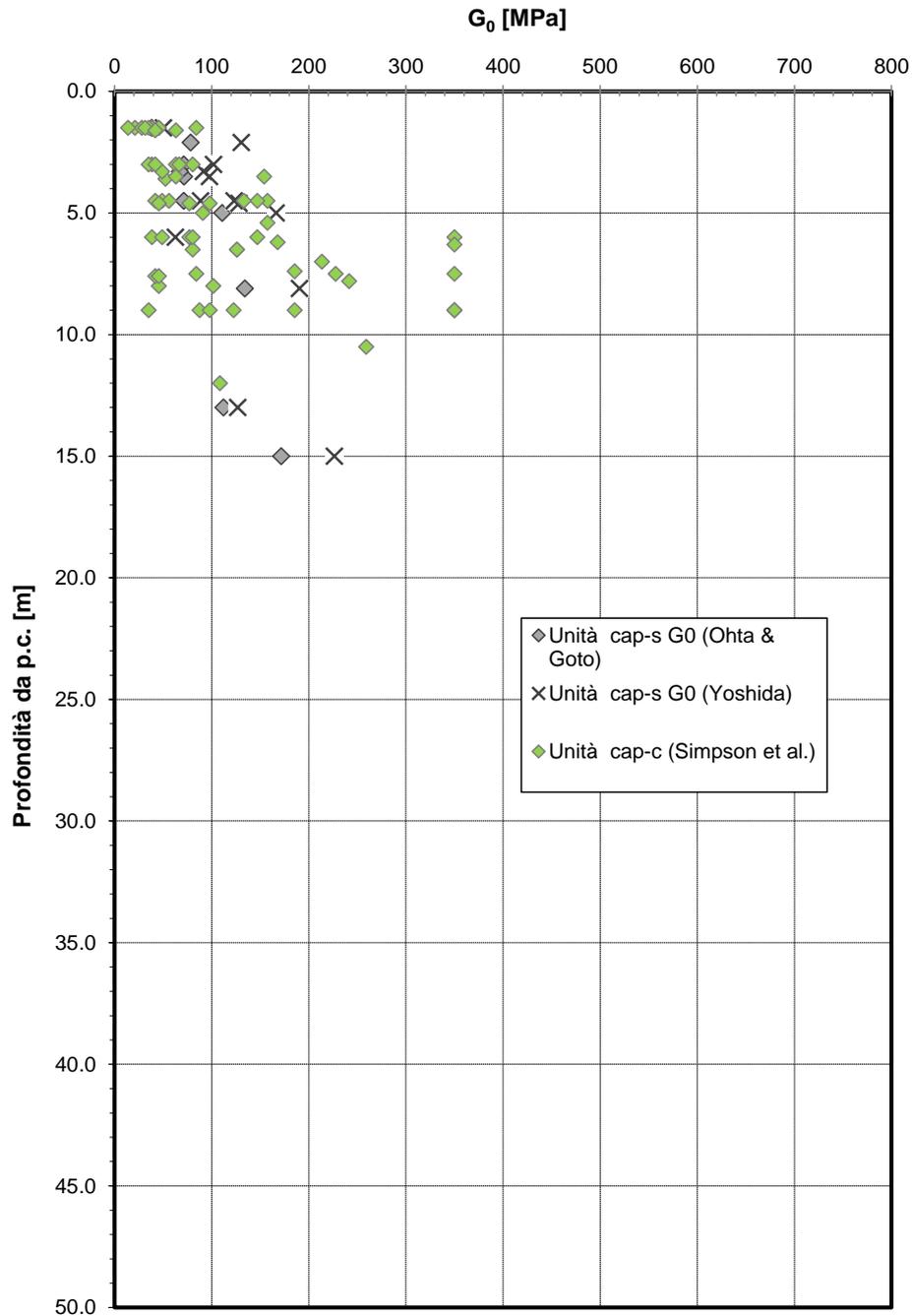


Figura 37 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità cap-c e cap-s

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche

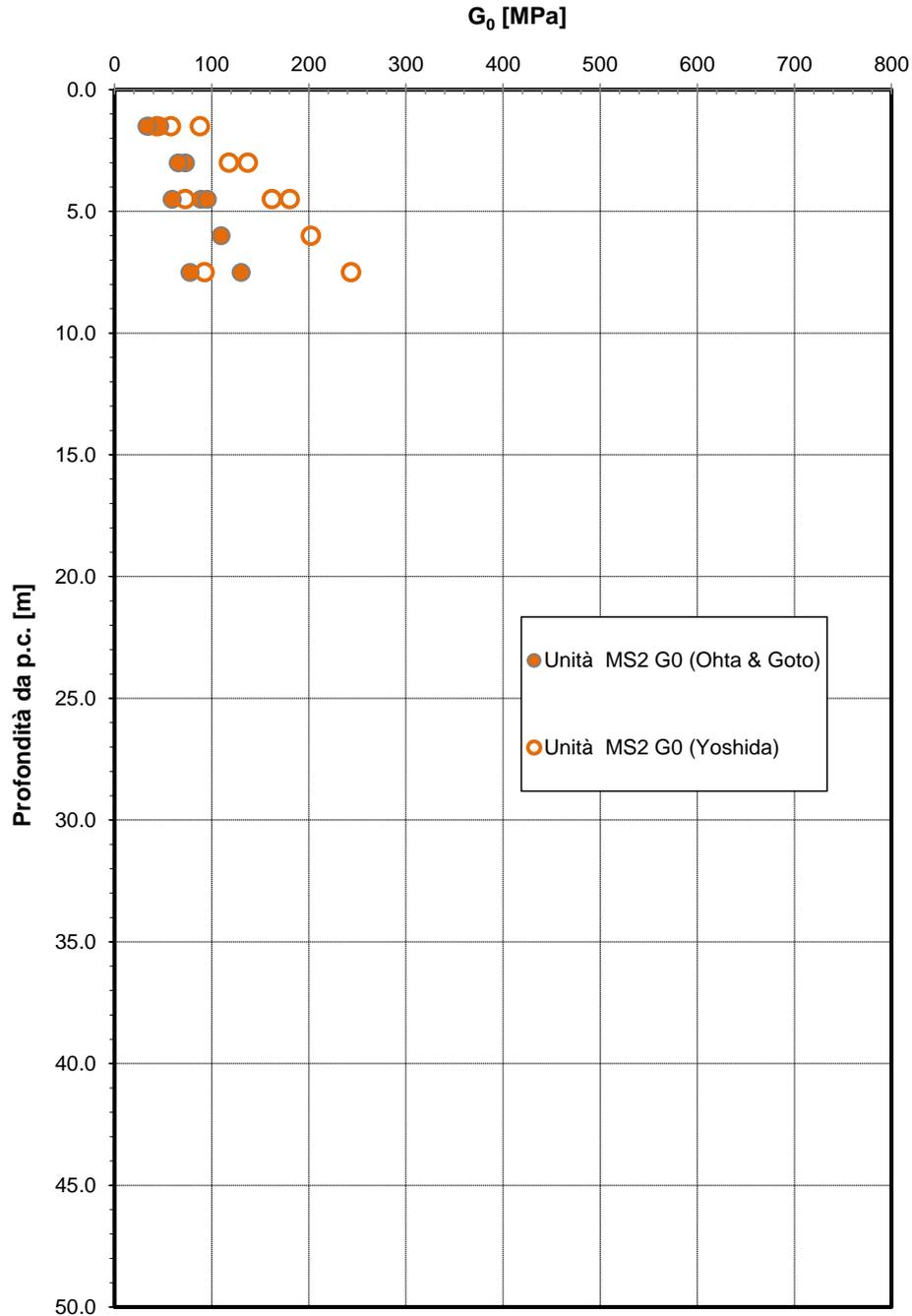


Figura 38 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT– Unità MS2

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

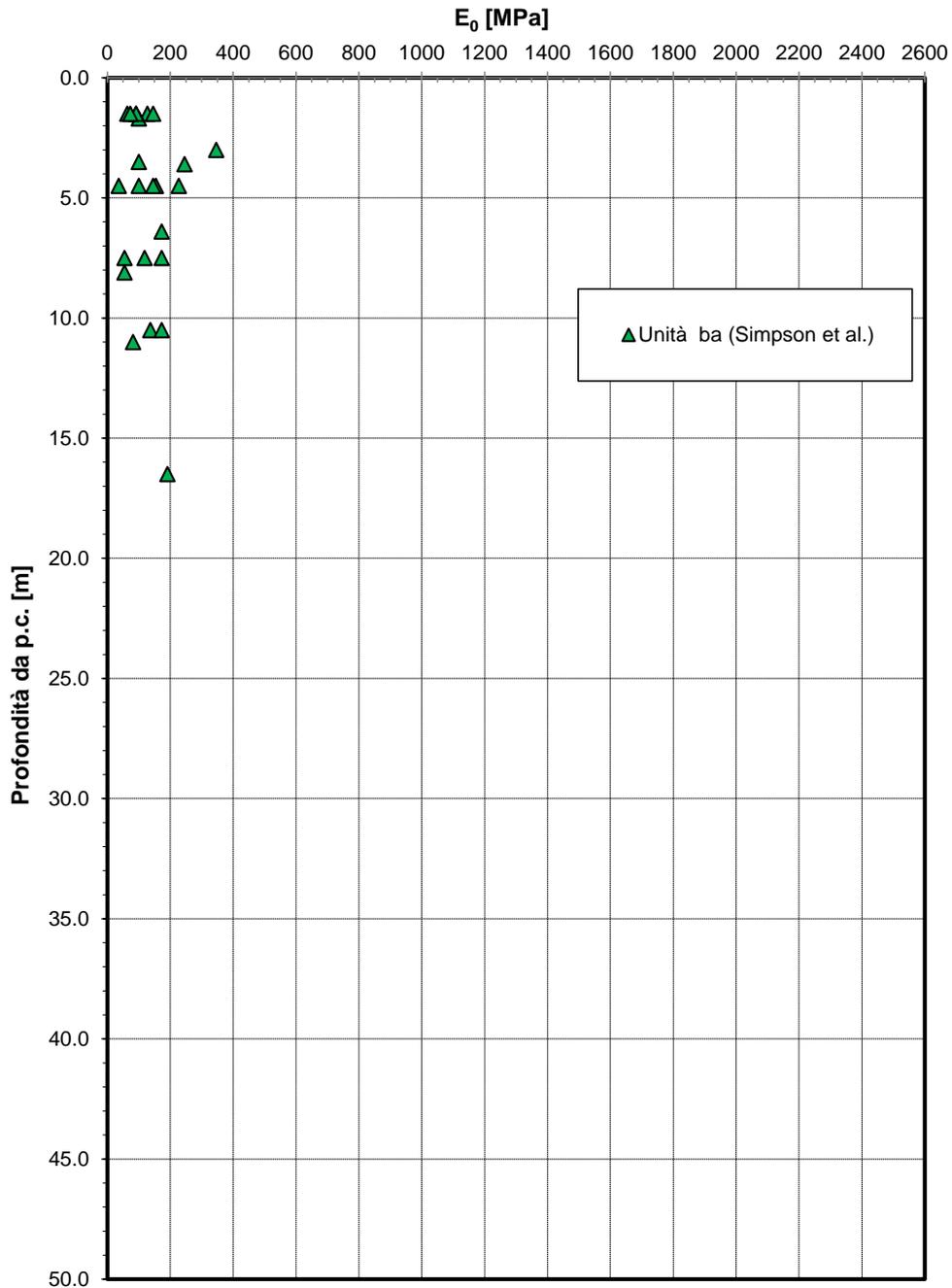


Figura 39 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità ba

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

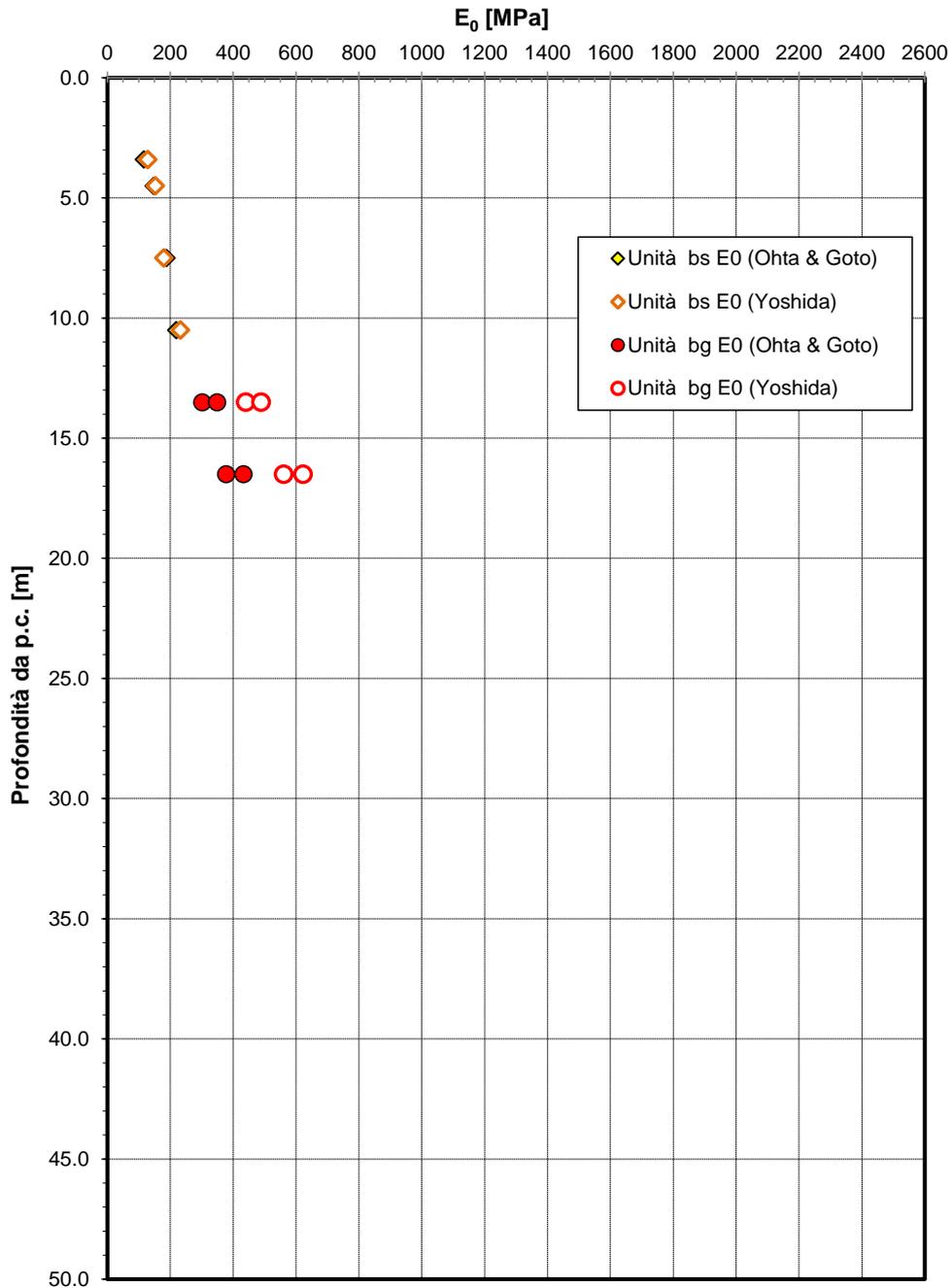


Figura 40 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità bs e bg

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

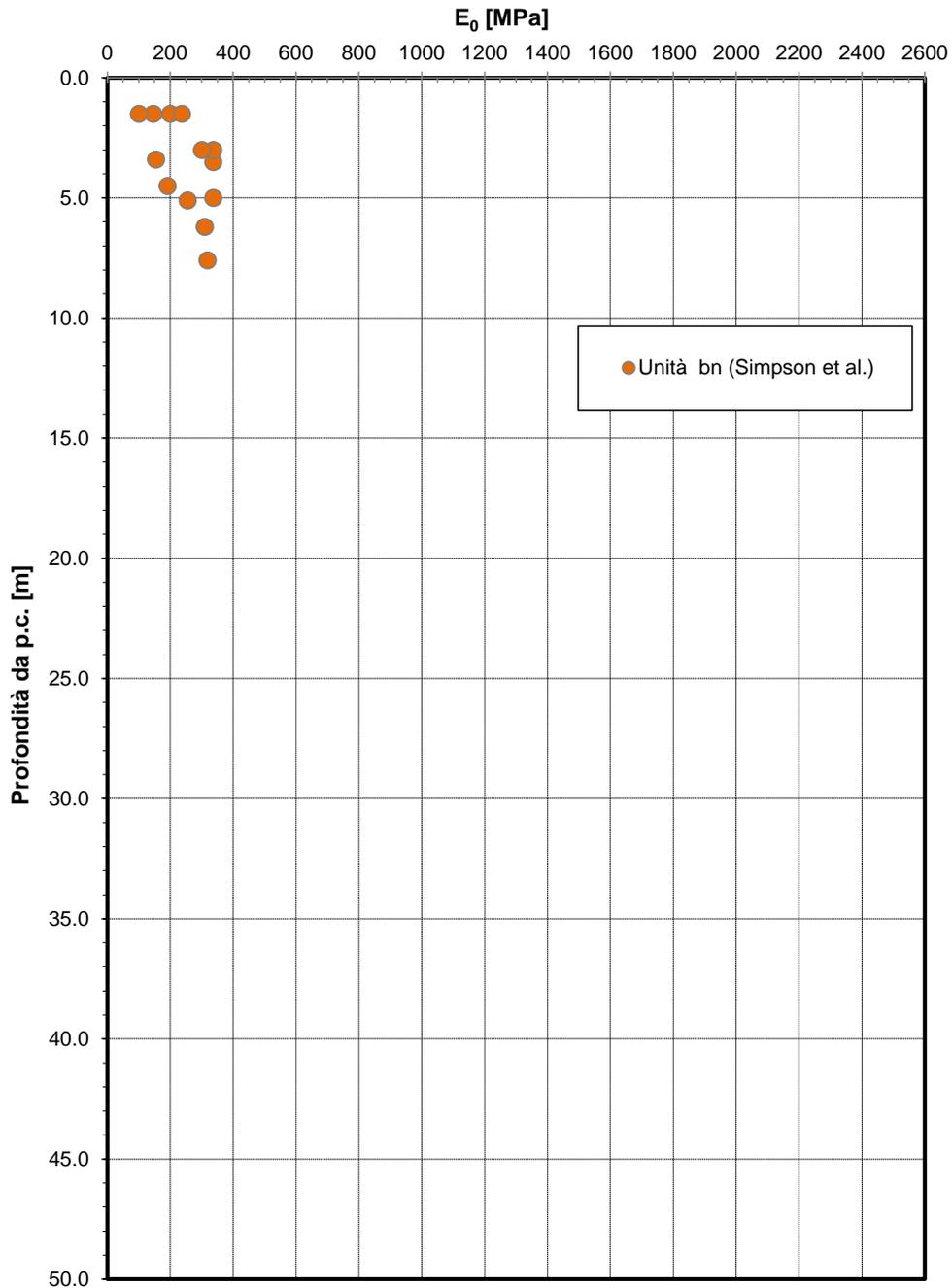


Figura 41 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità bn

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

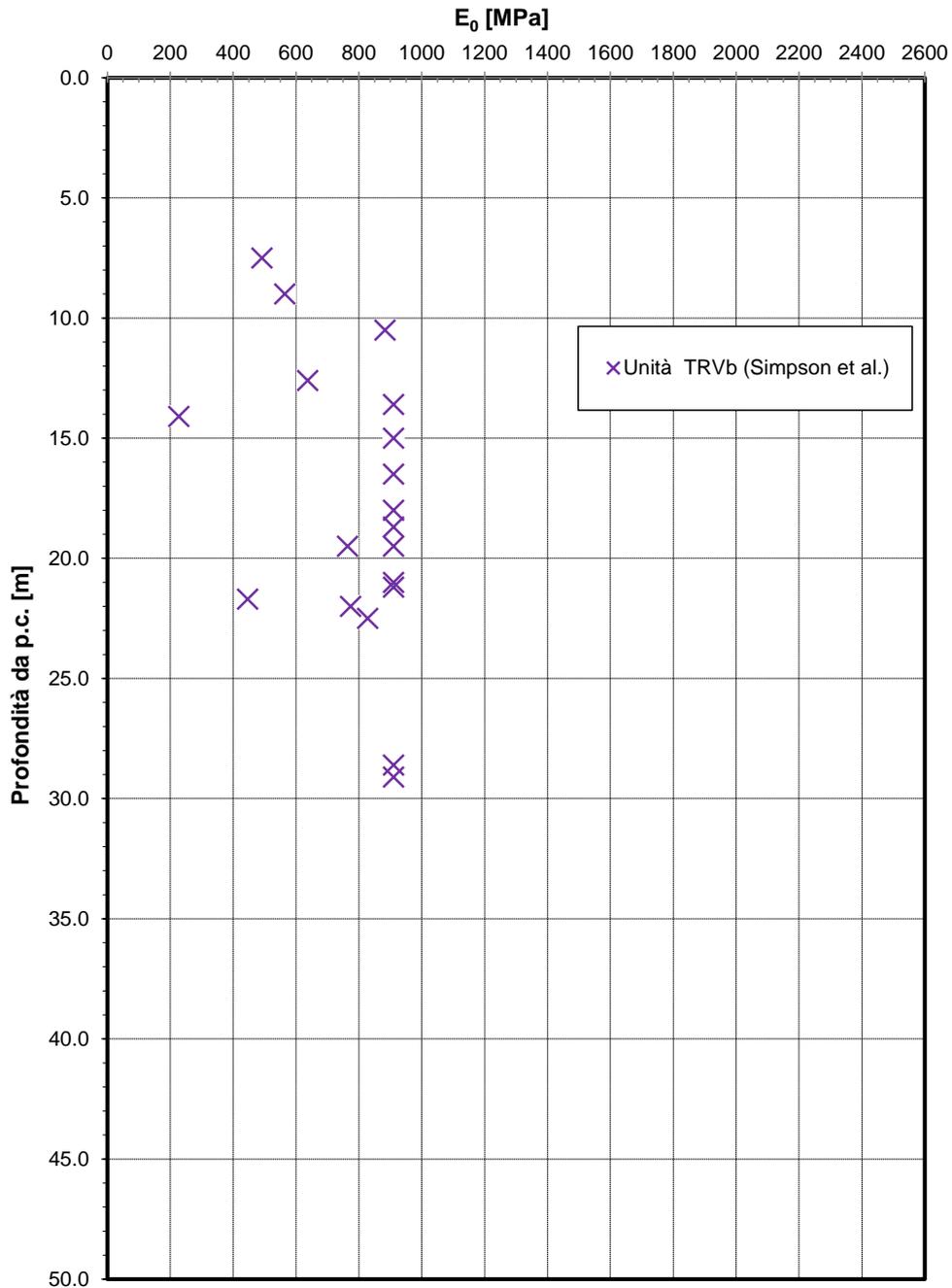


Figura 42 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità TRVb

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

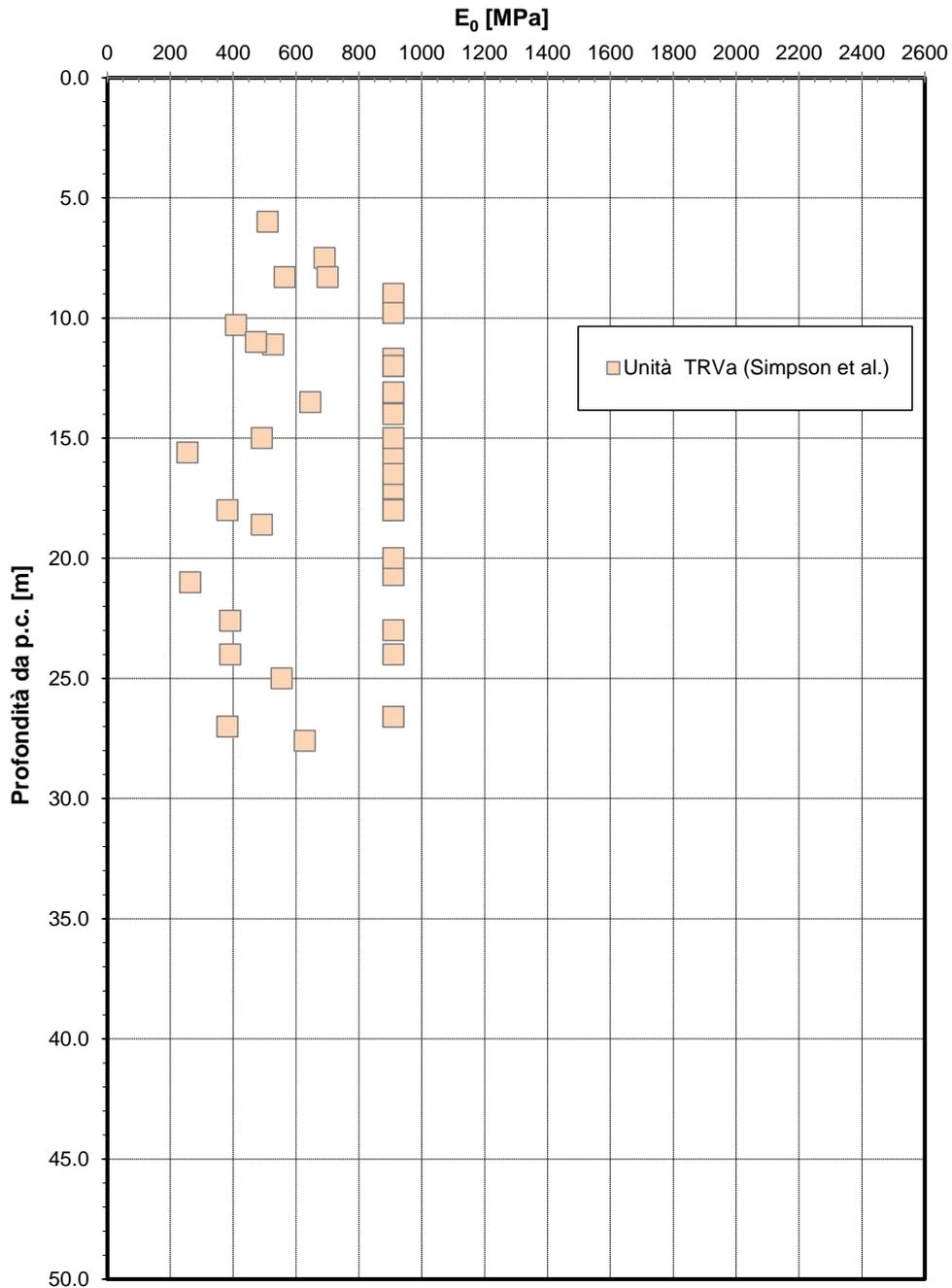


Figura 43 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità TRVa

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

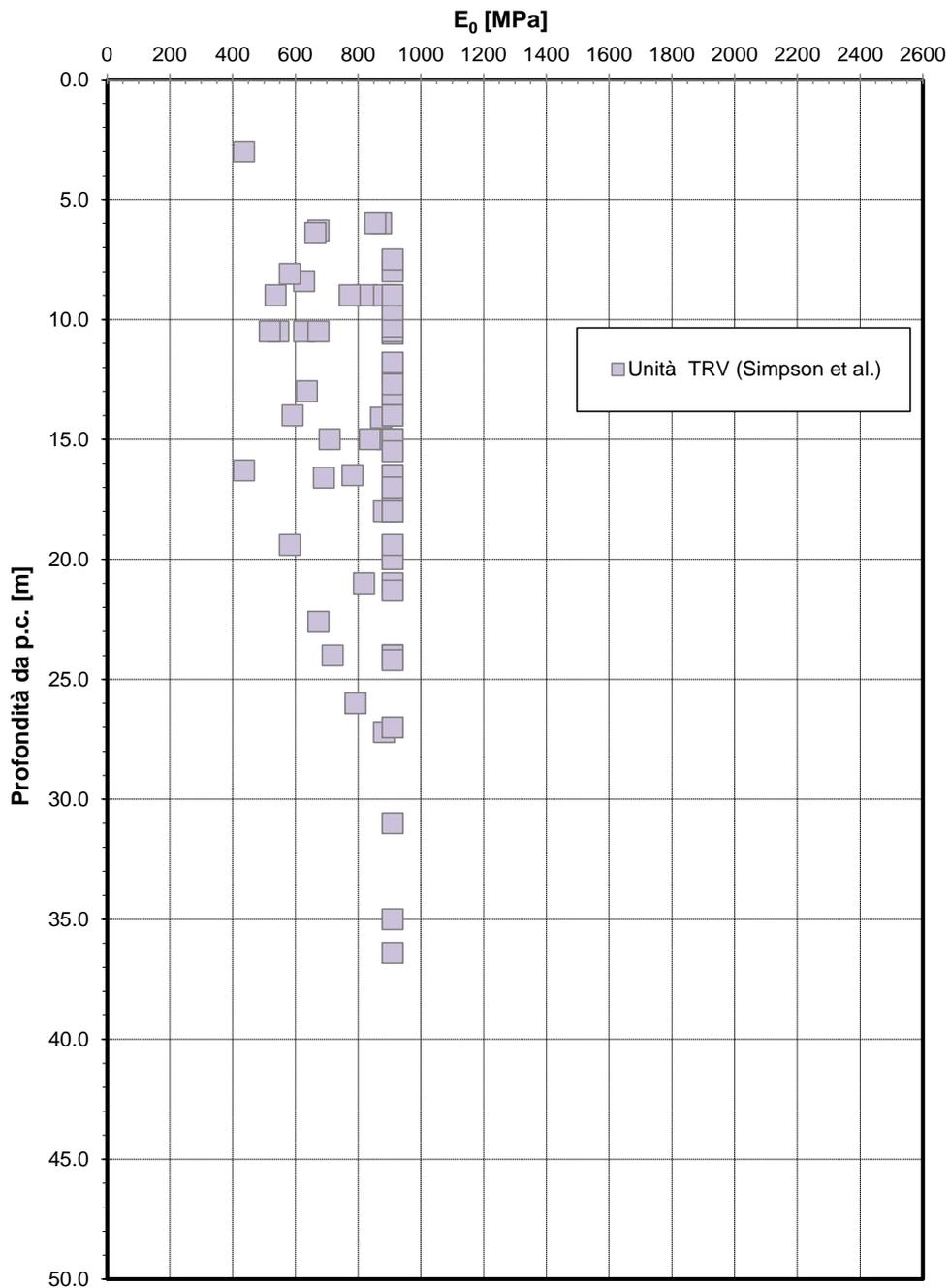


Figura 44 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità TRV

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

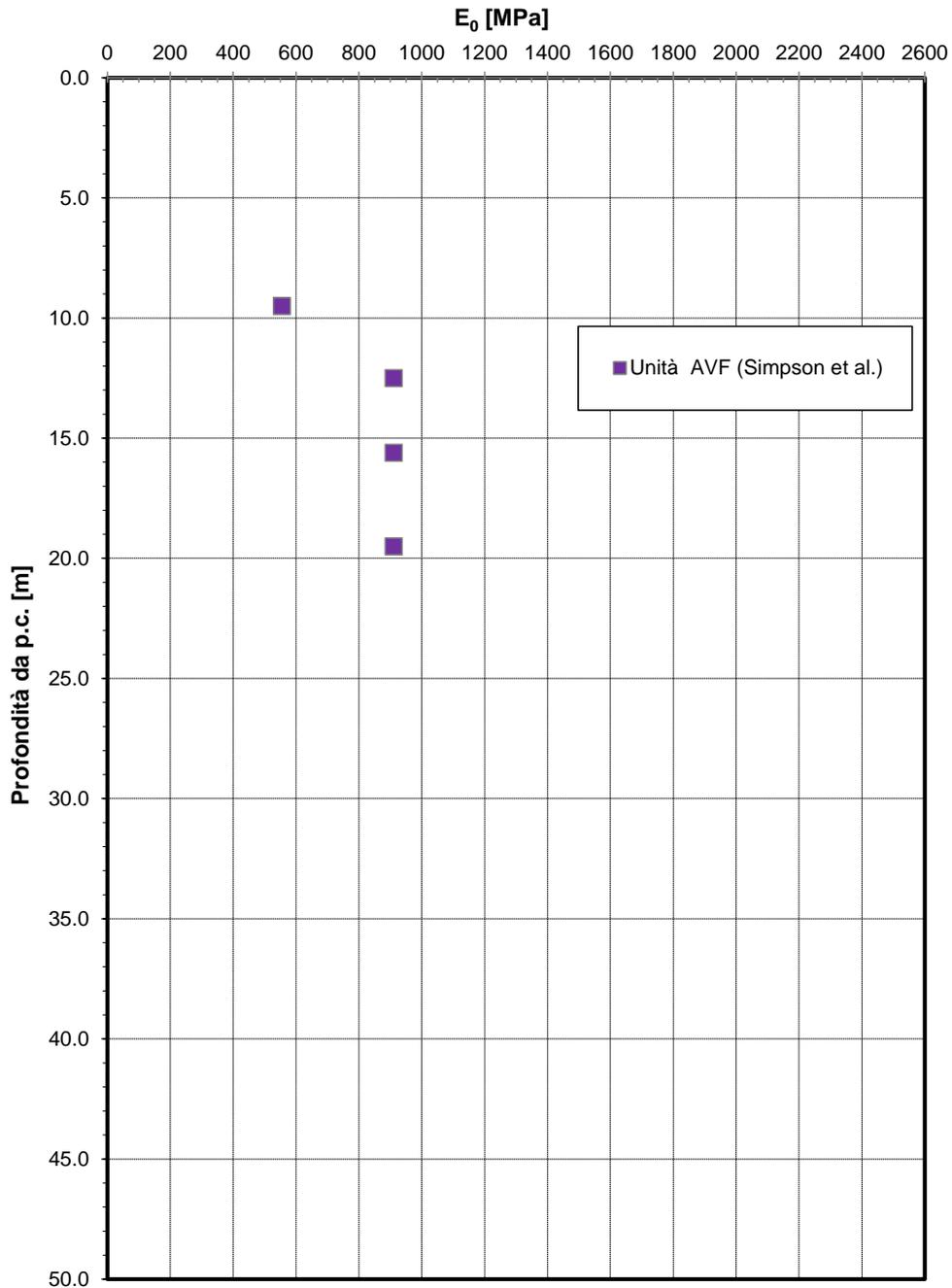


Figura 45 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità AVF

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

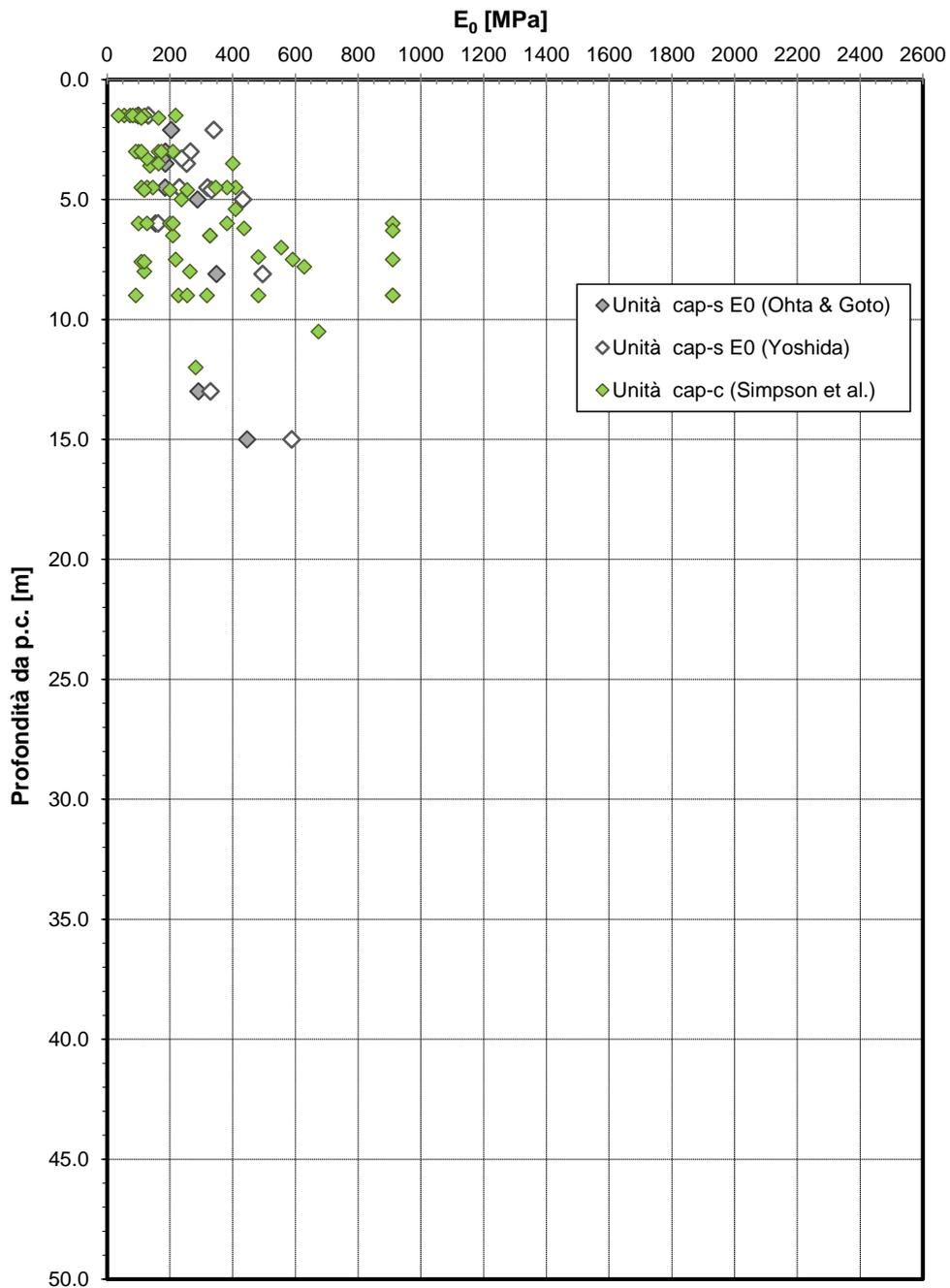


Figura 46 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità cap-s e cap-c

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

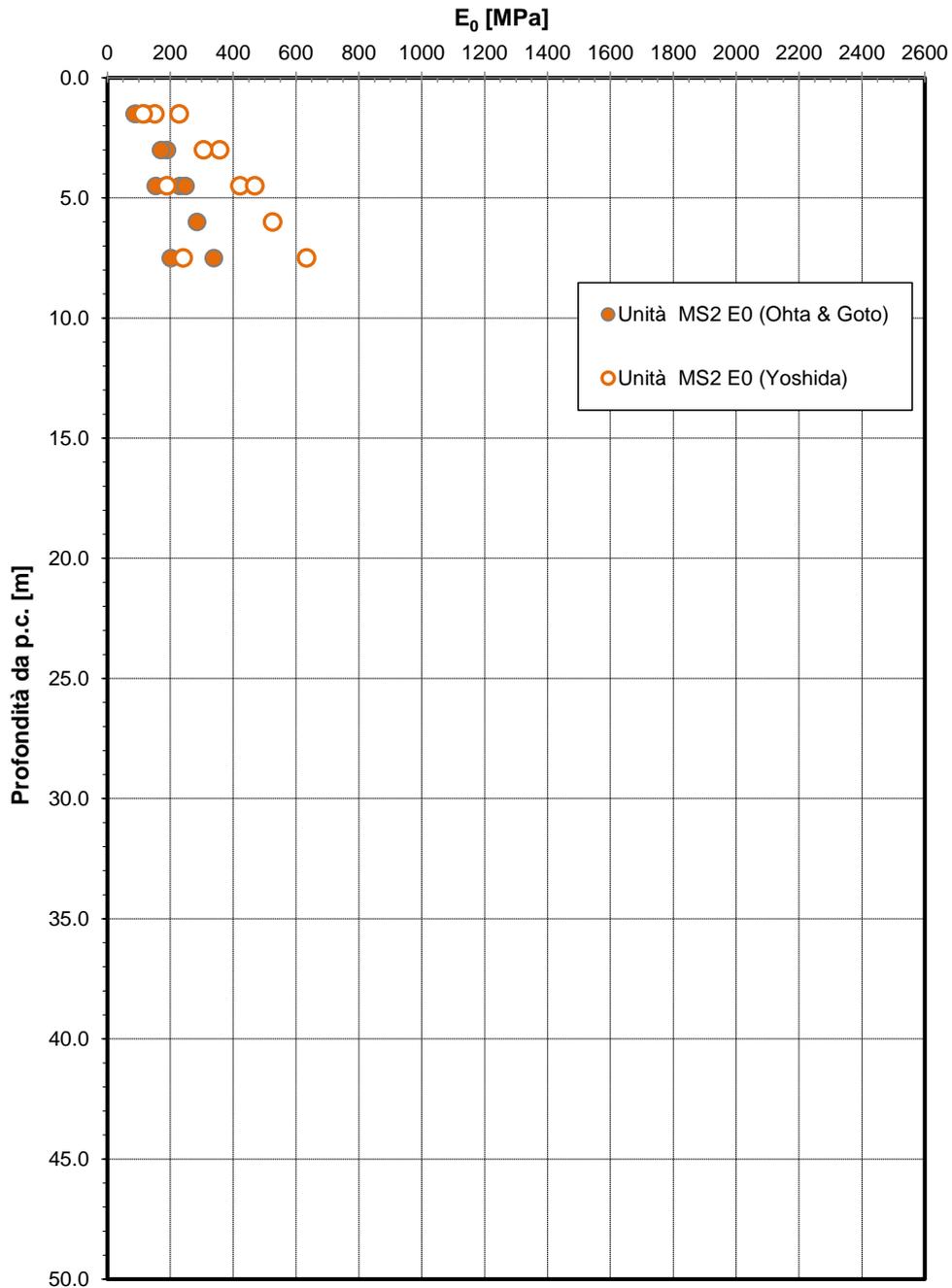


Figura 47 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT– Unità MS2

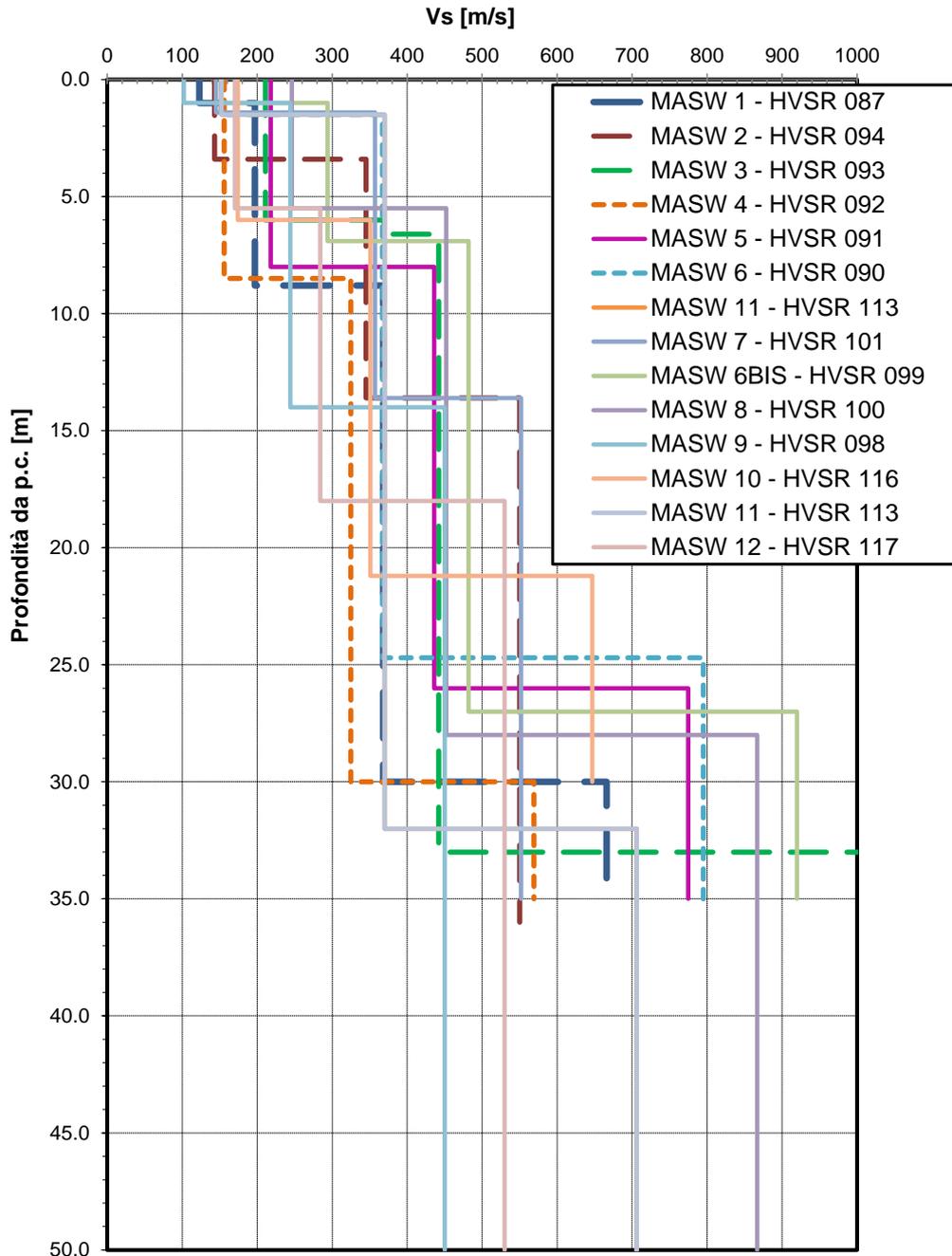


Figura 48 – Velocità delle onde di taglio da prove MASW

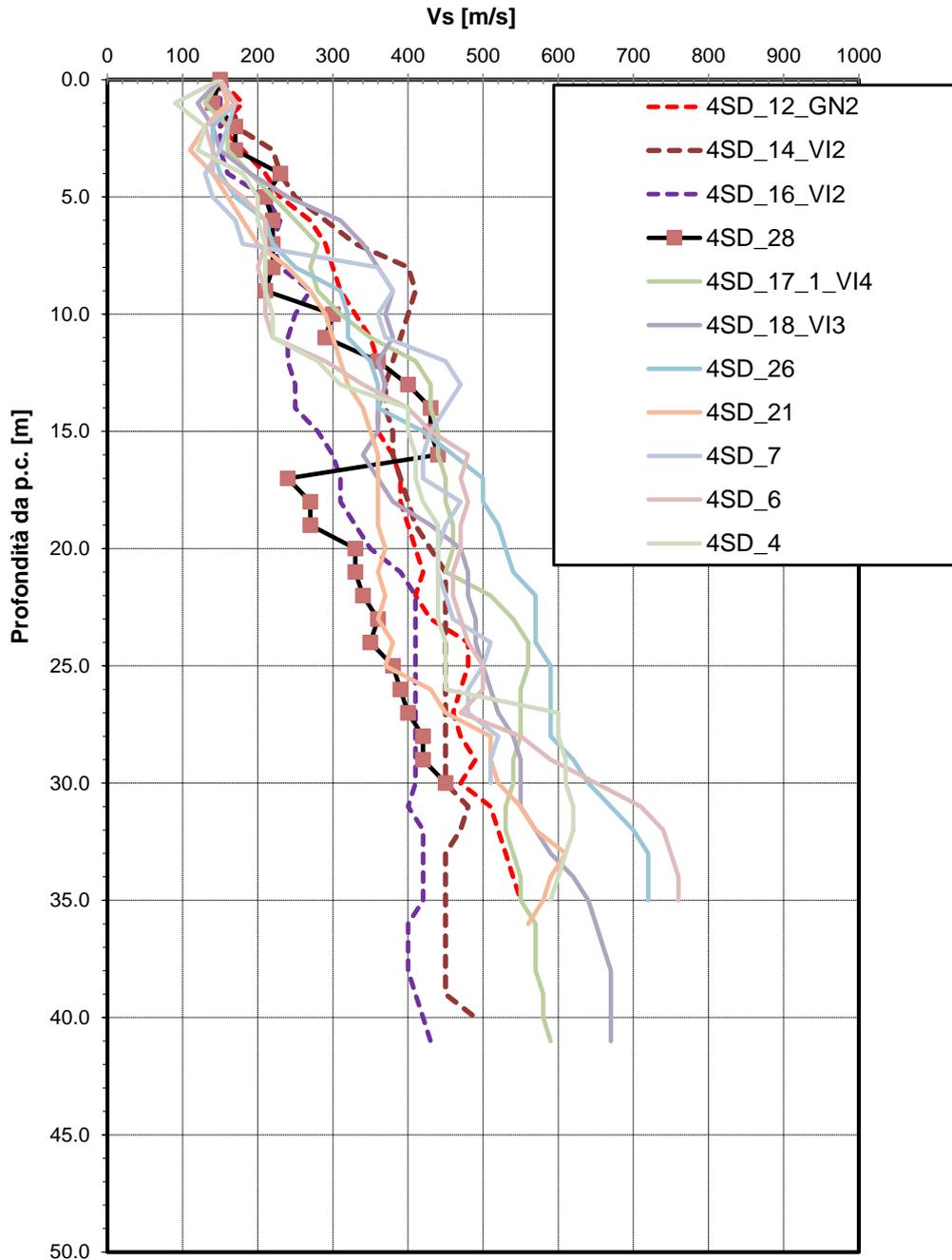


Figura 49 – Velocità delle onde di taglio da prove Down-Hole

Parametri di resistenza al taglio - Unità ba

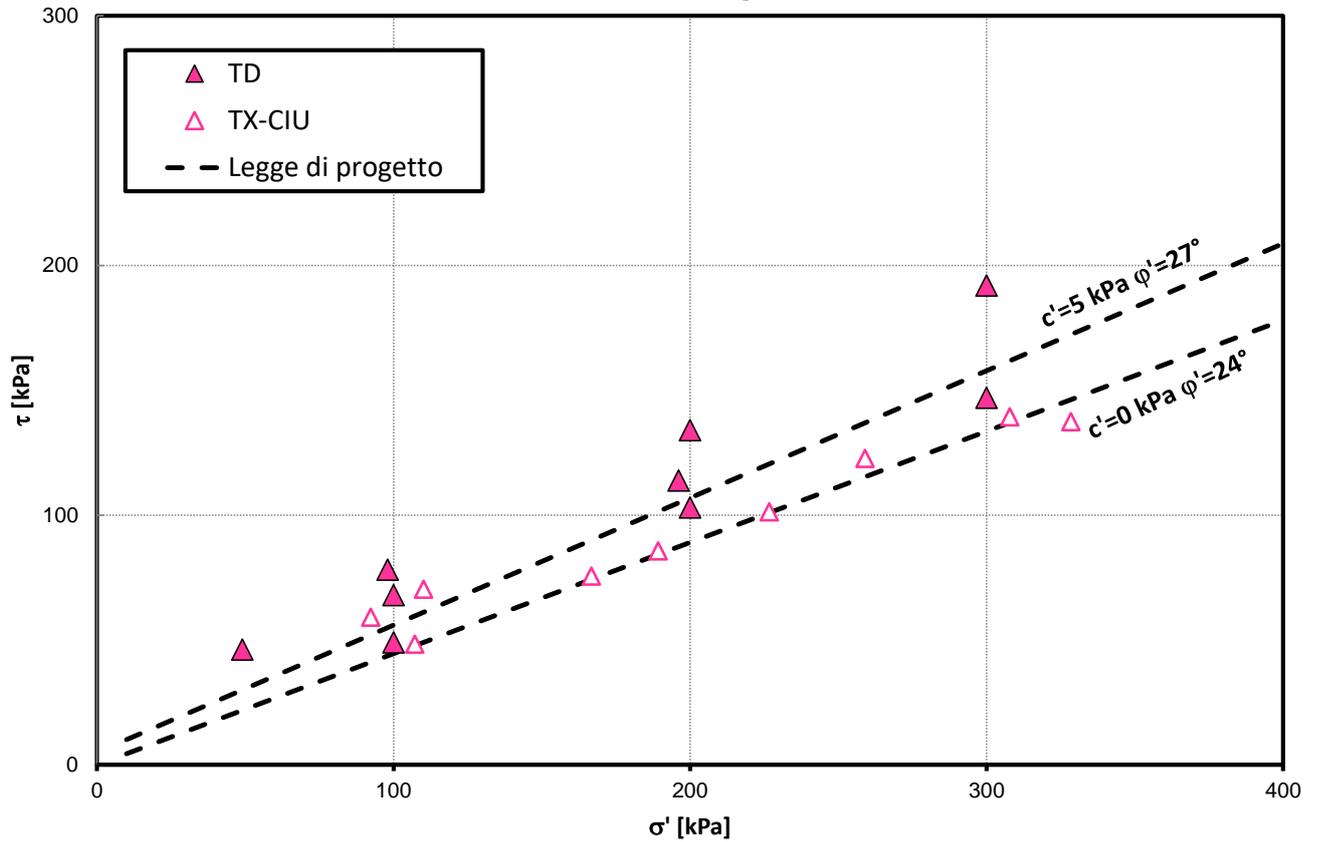


Figura 50 – Parametri di resistenza al taglio – unità ba

Parametri di resistenza al taglio - Unità bn

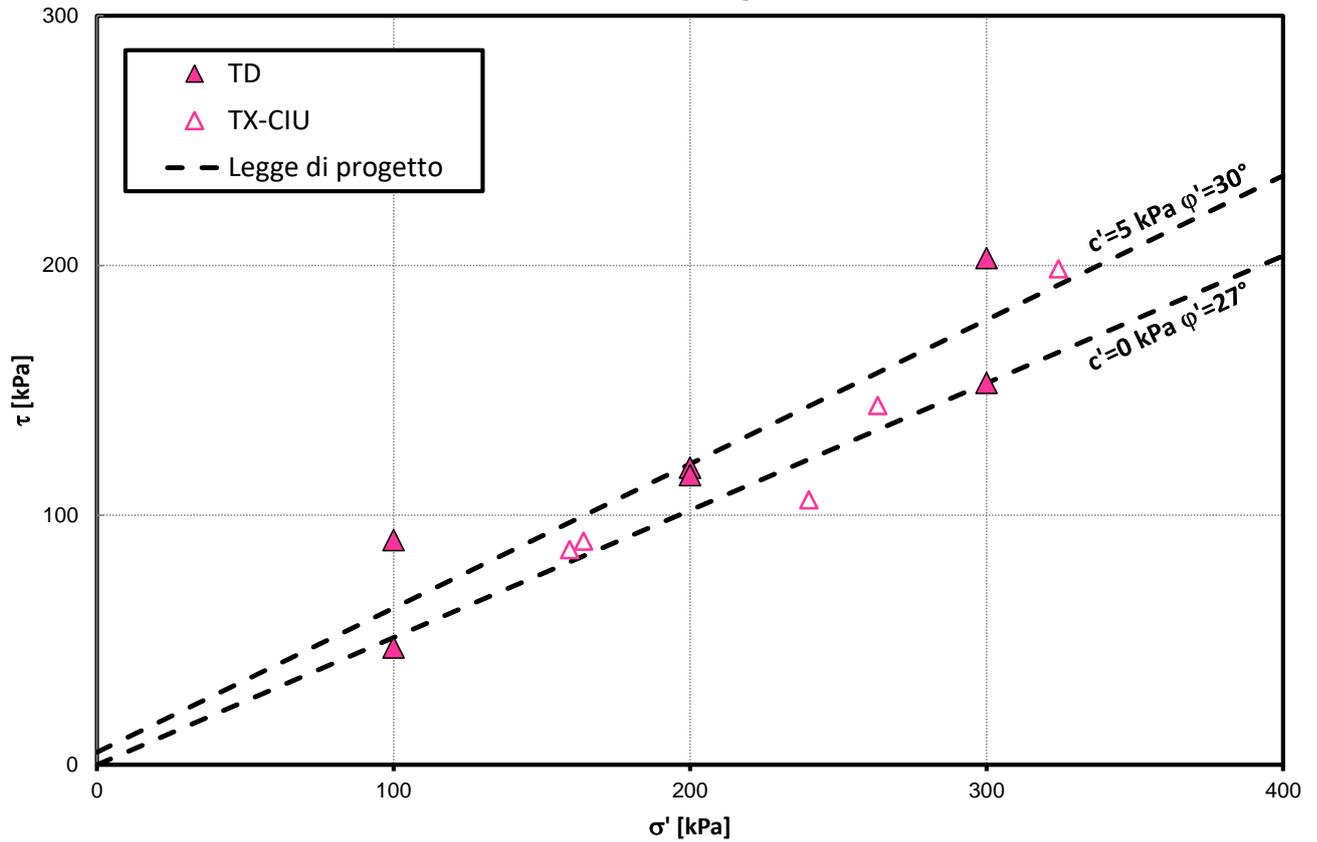


Figura 51 – Parametri di resistenza al taglio – unità bn

Parametri di resistenza al taglio - Unità cap-c

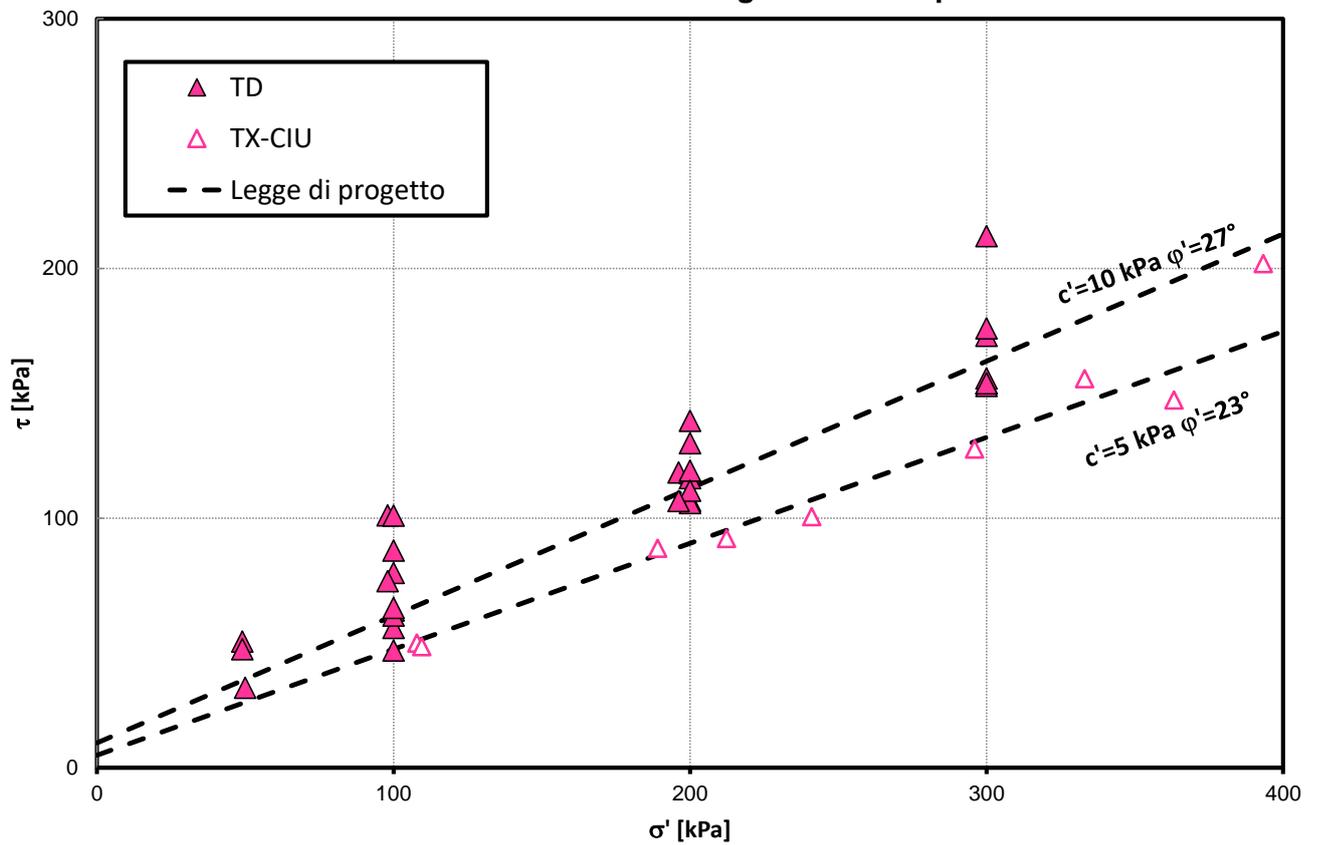


Figura 52 – Parametri di resistenza al taglio – unità cap-c

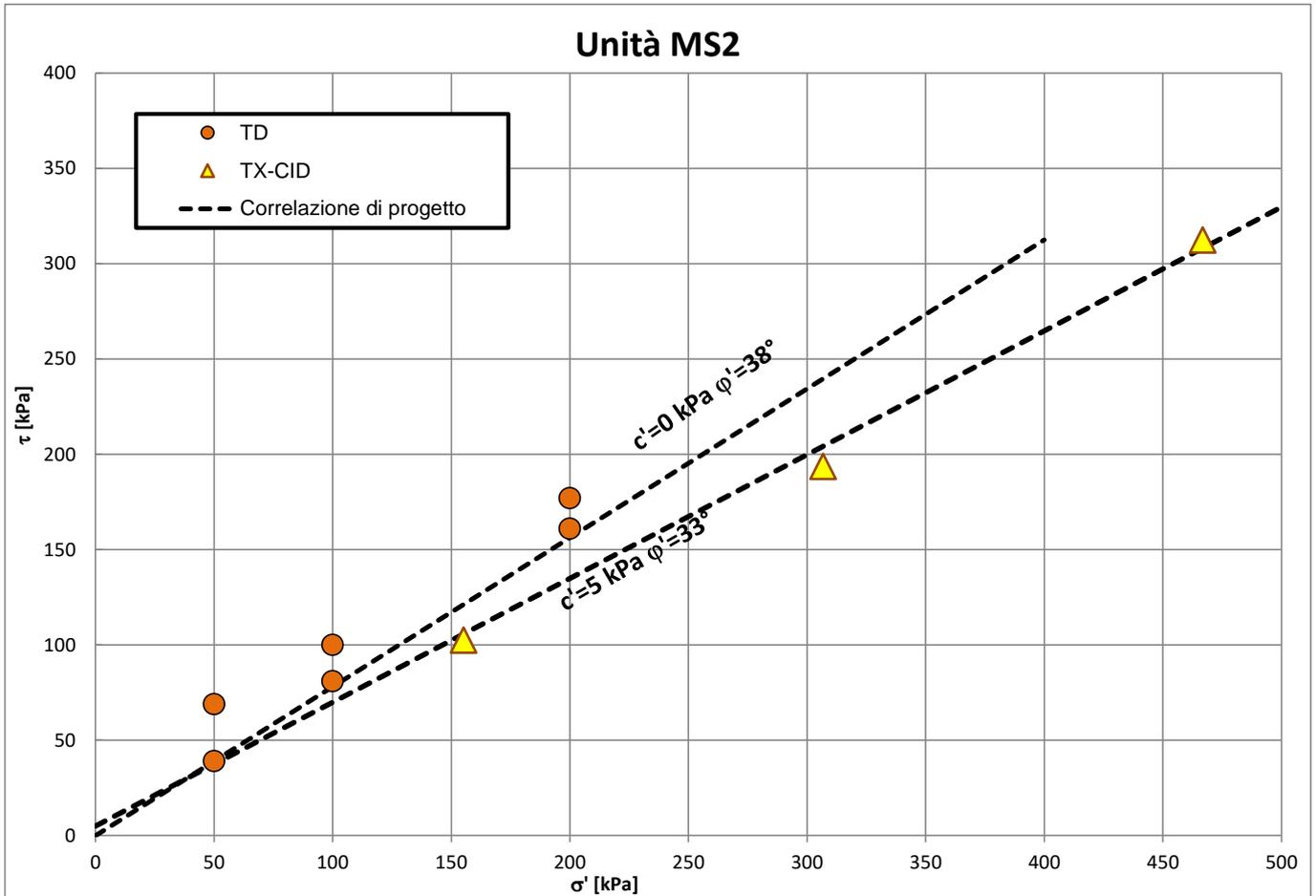


Figura 53 – Parametri di resistenza al taglio – unità MS2

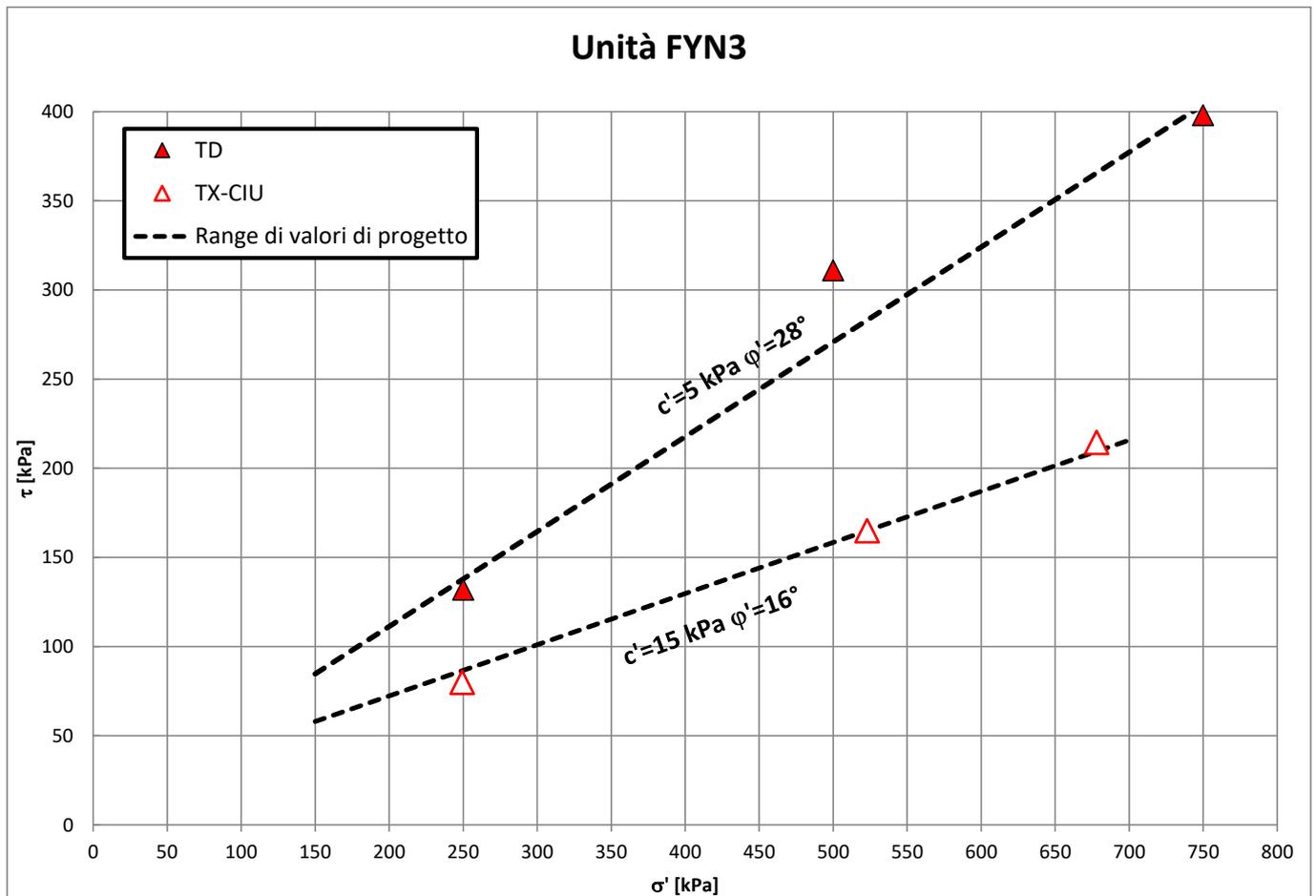


Figura 54 – Parametri di resistenza al taglio – unità FYN3

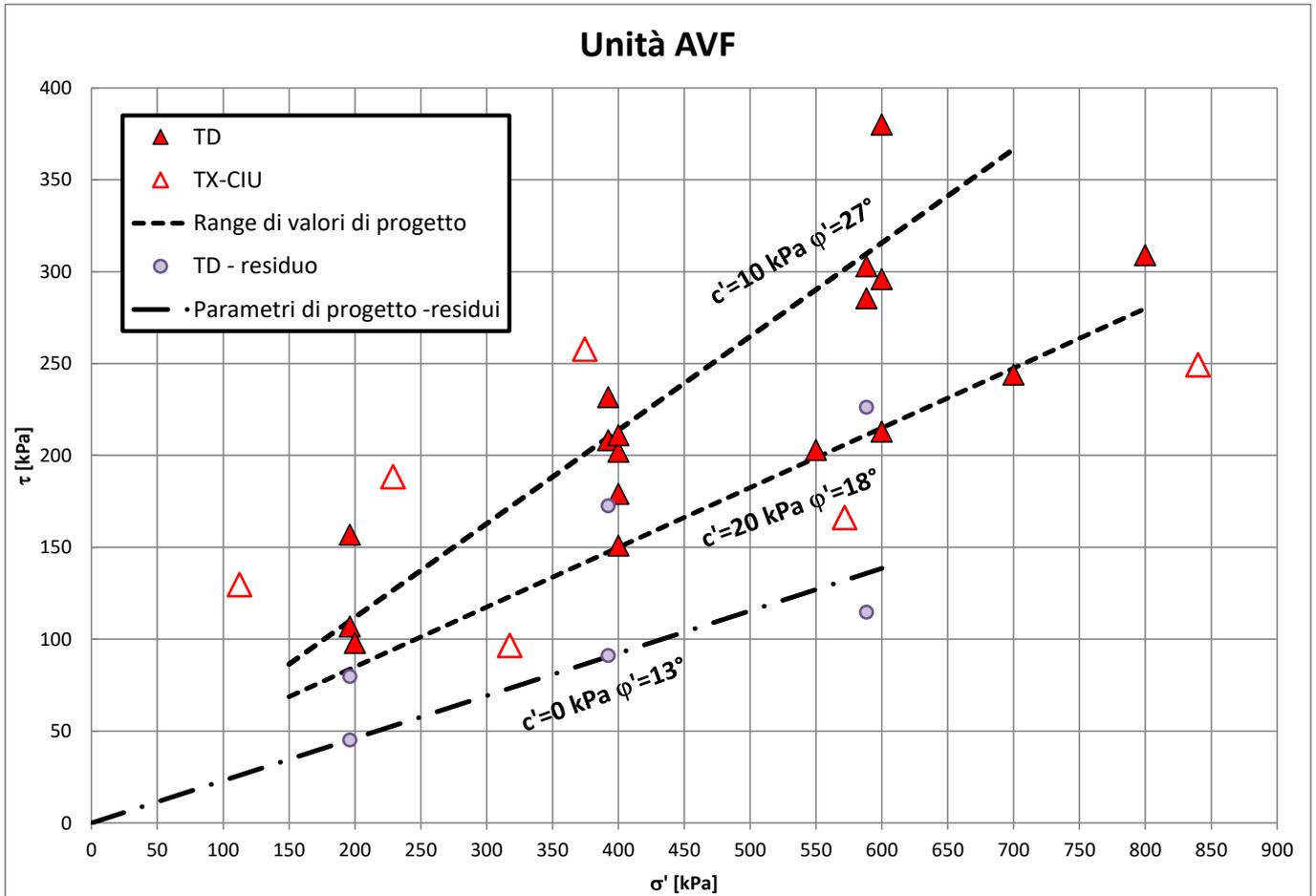


Figura 55 Parametri di resistenza al taglio – unità AVF

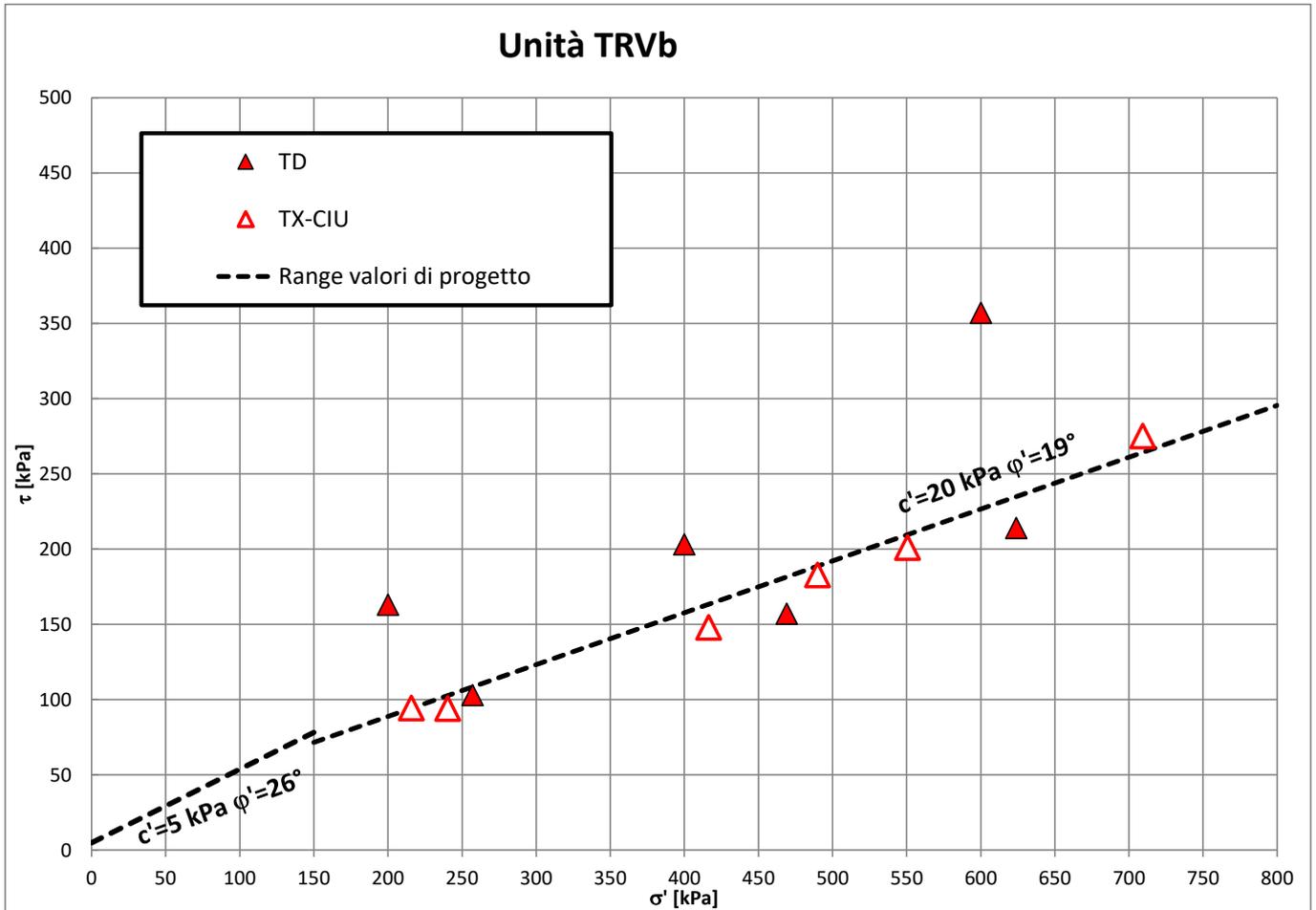


Figura 56 – Parametri di resistenza al taglio – unità TRVb

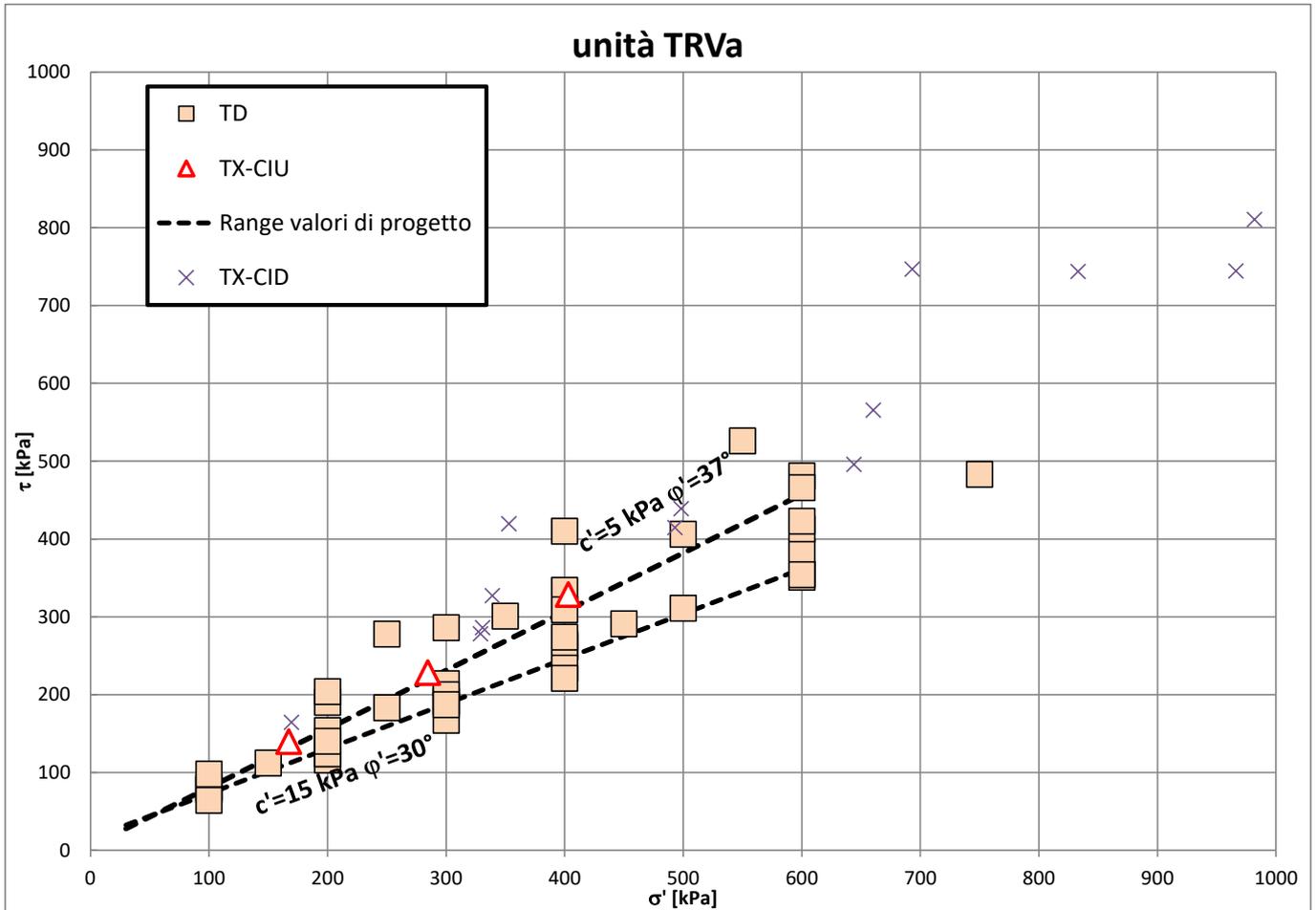


Figura 57 – Parametri di resistenza al taglio – unità TRVa

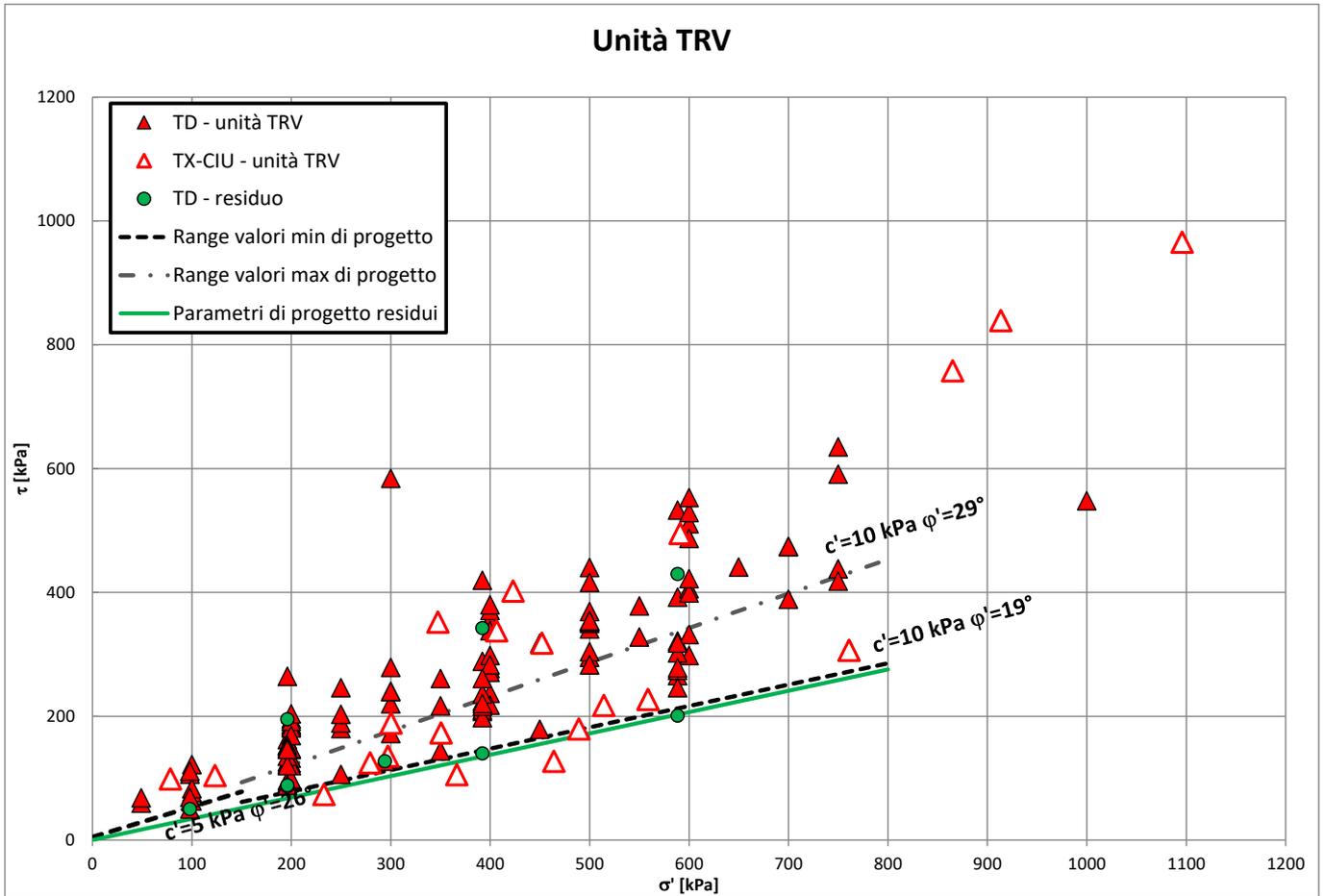


Figura 58 – Parametri di resistenza al taglio – unità TRV

Granulometria unità ba

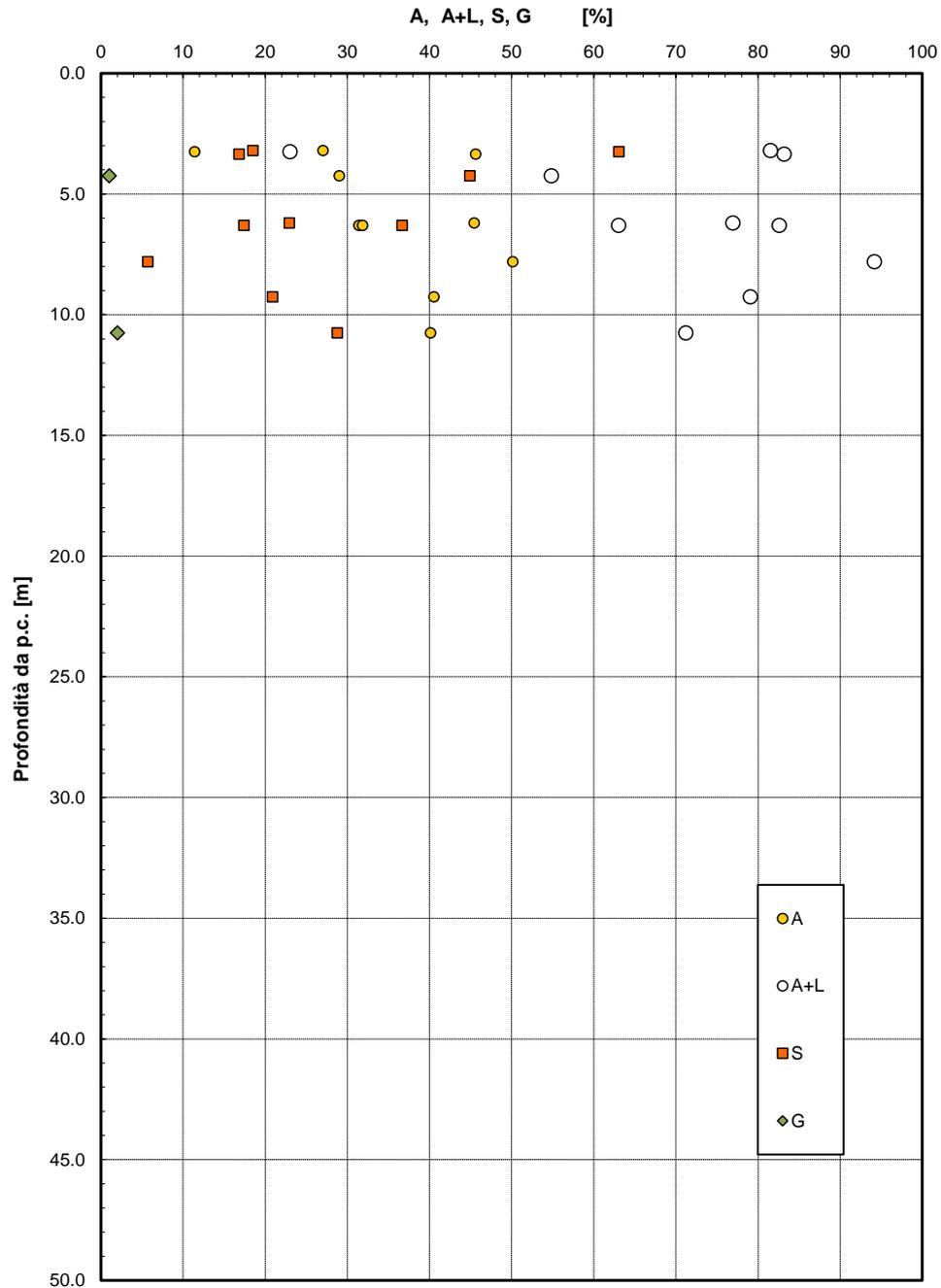


Figura 59 – Granulometria unità ba

Granulometria unità bn

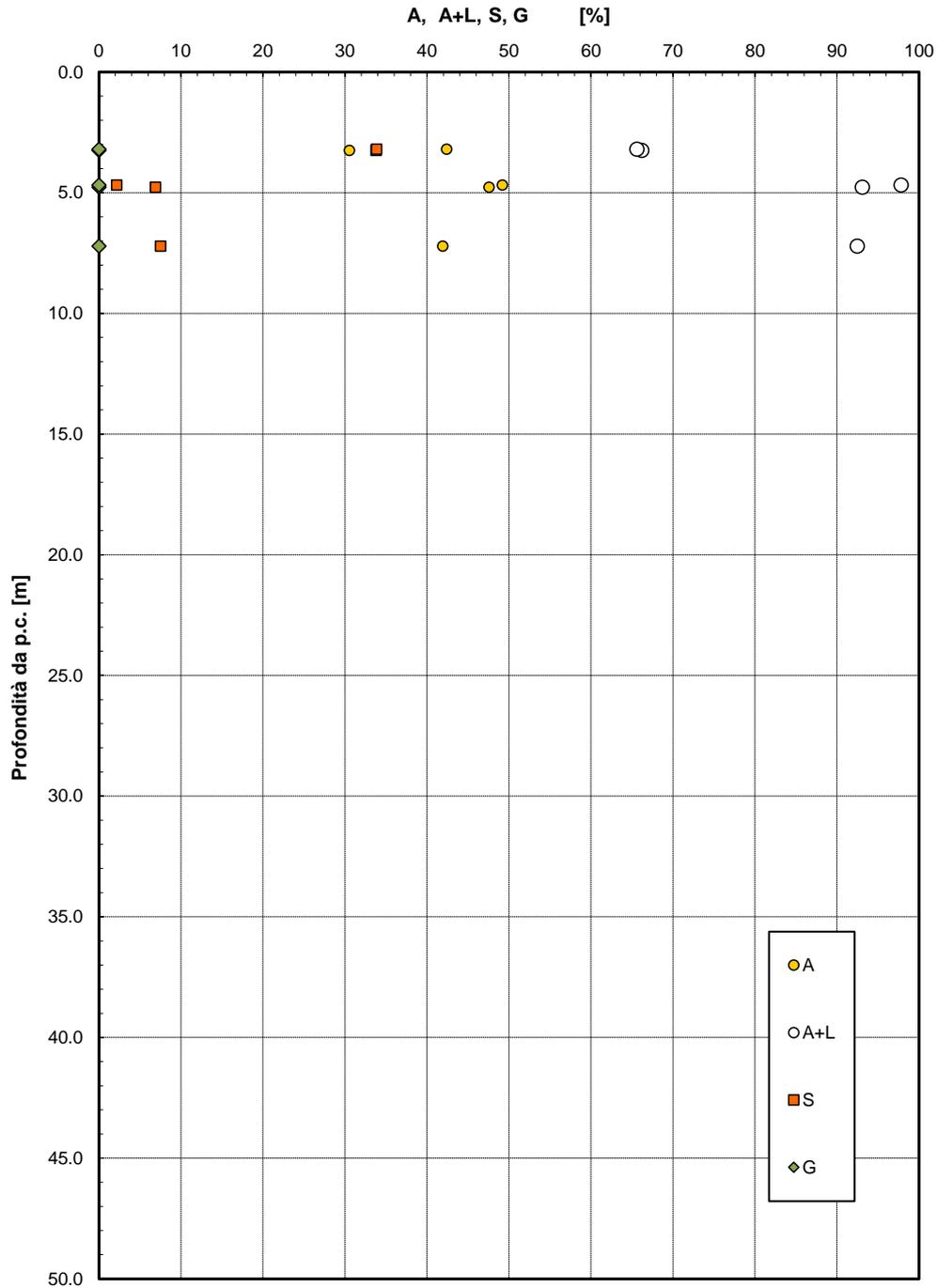


Figura 60 – Granulometria unità bn

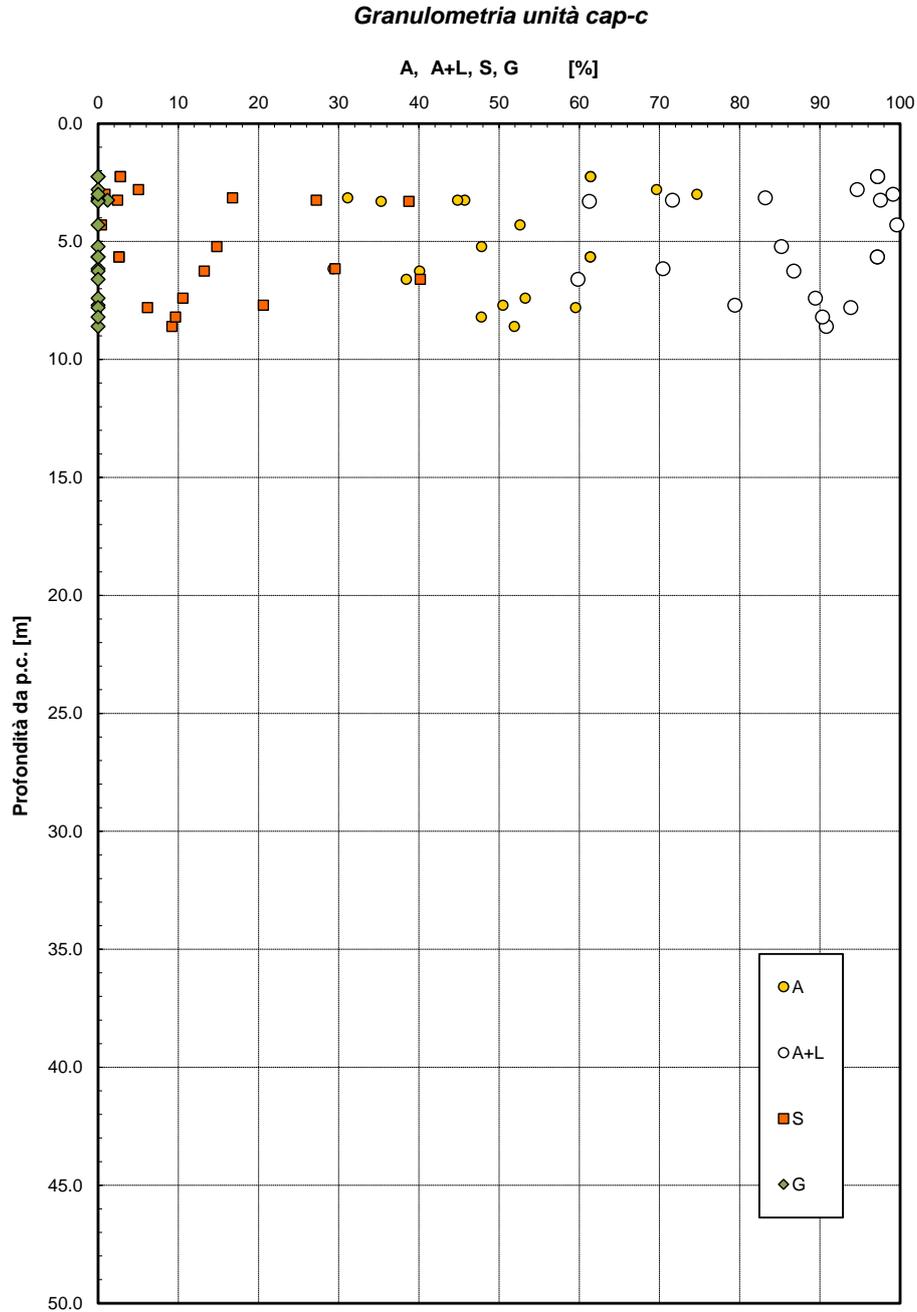


Figura 61 – Granulometria unità cap-c

Granulometria unità TRV

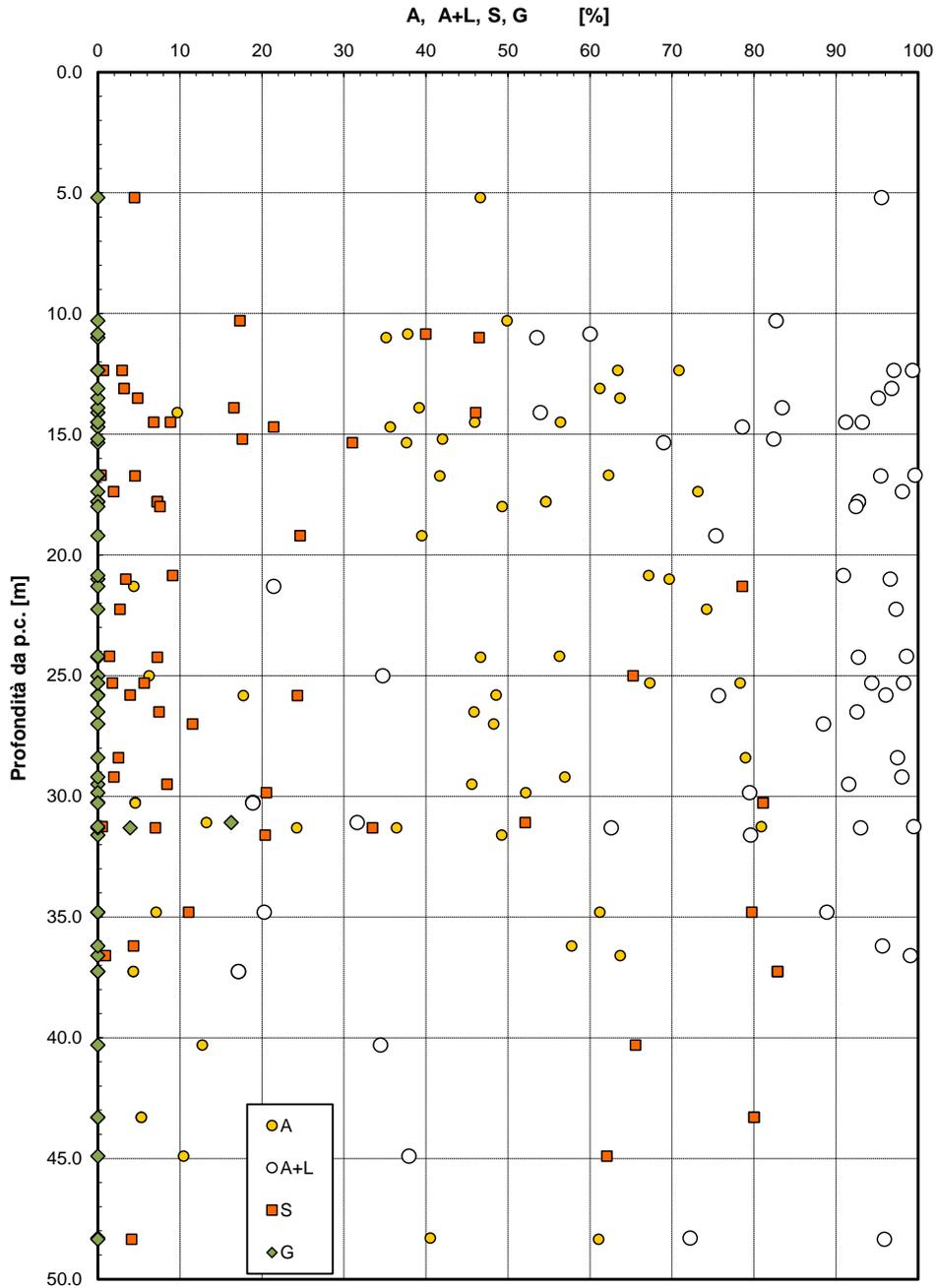


Figura 62 – Granulometria unità TRV

Granulometria unità TRVa

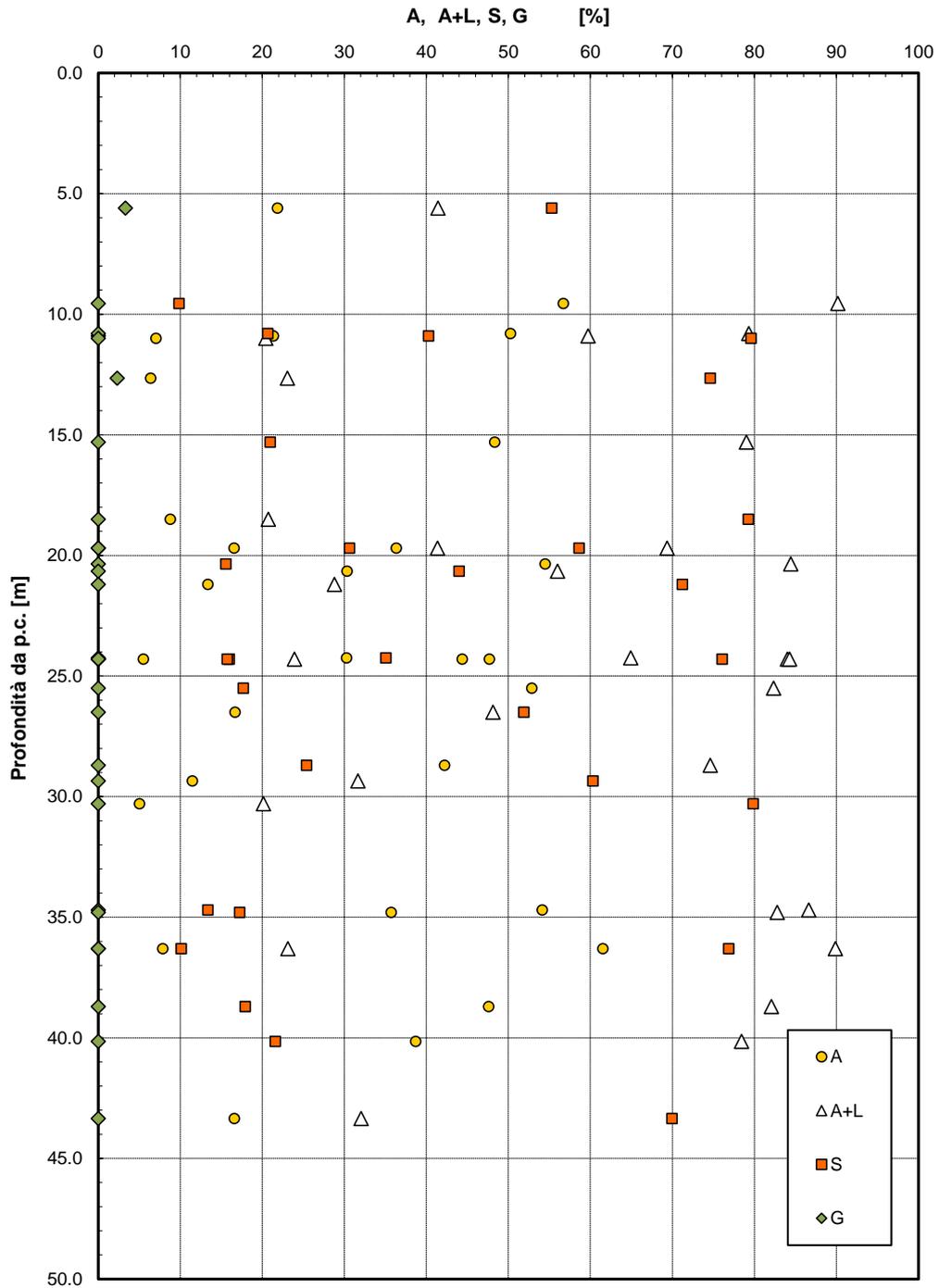


Figura 63 – Granulometria unità TRVa

Granulometria unità TRVb

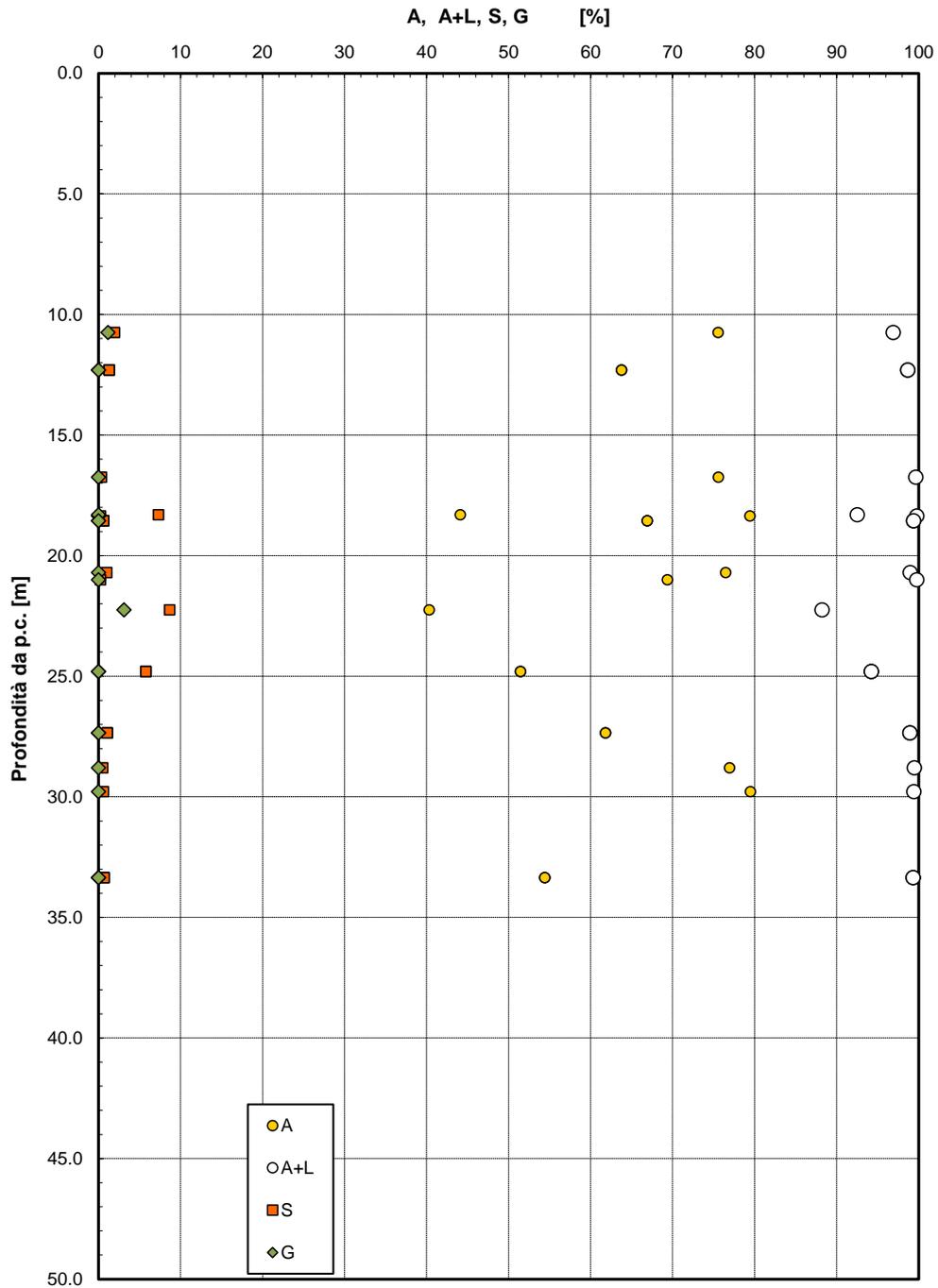


Figura 64 – Granulometria unità TRVb

Granulometria unità FYN

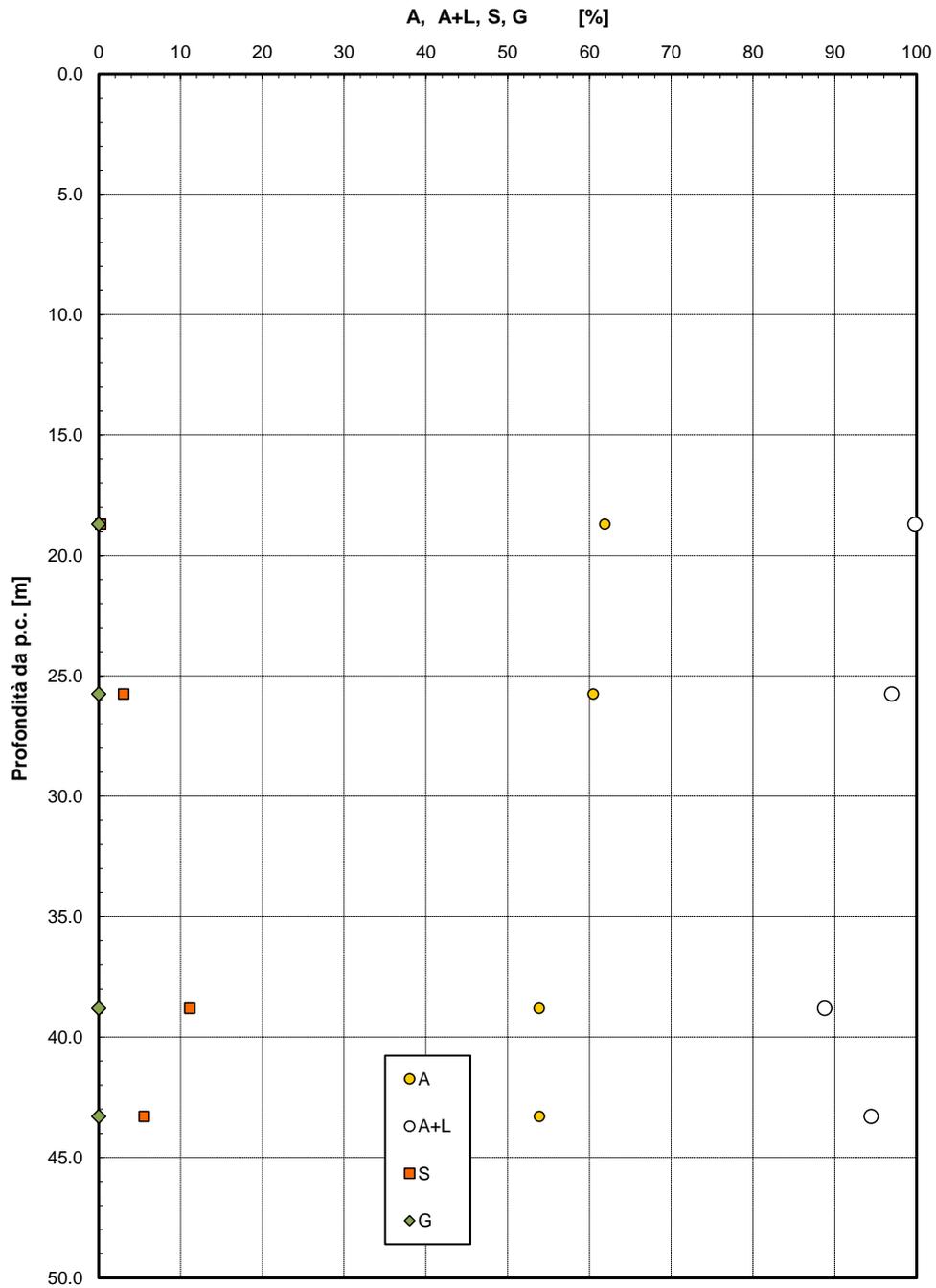


Figura 65 – Granulometria unità FYN3

Granulometria unità AVF

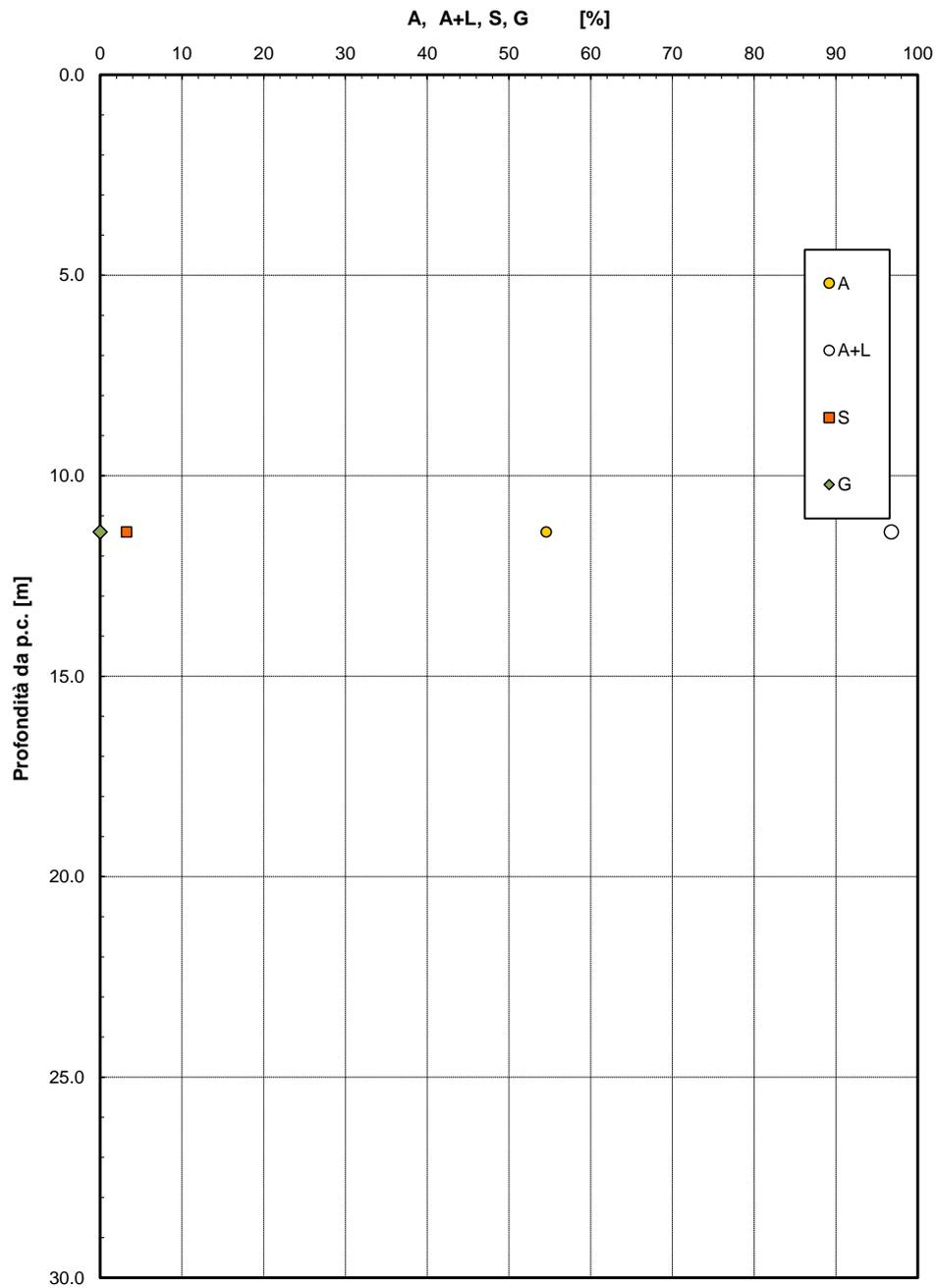


Figura 66 – Granulometria unità AVF

Granulometria unità MS2

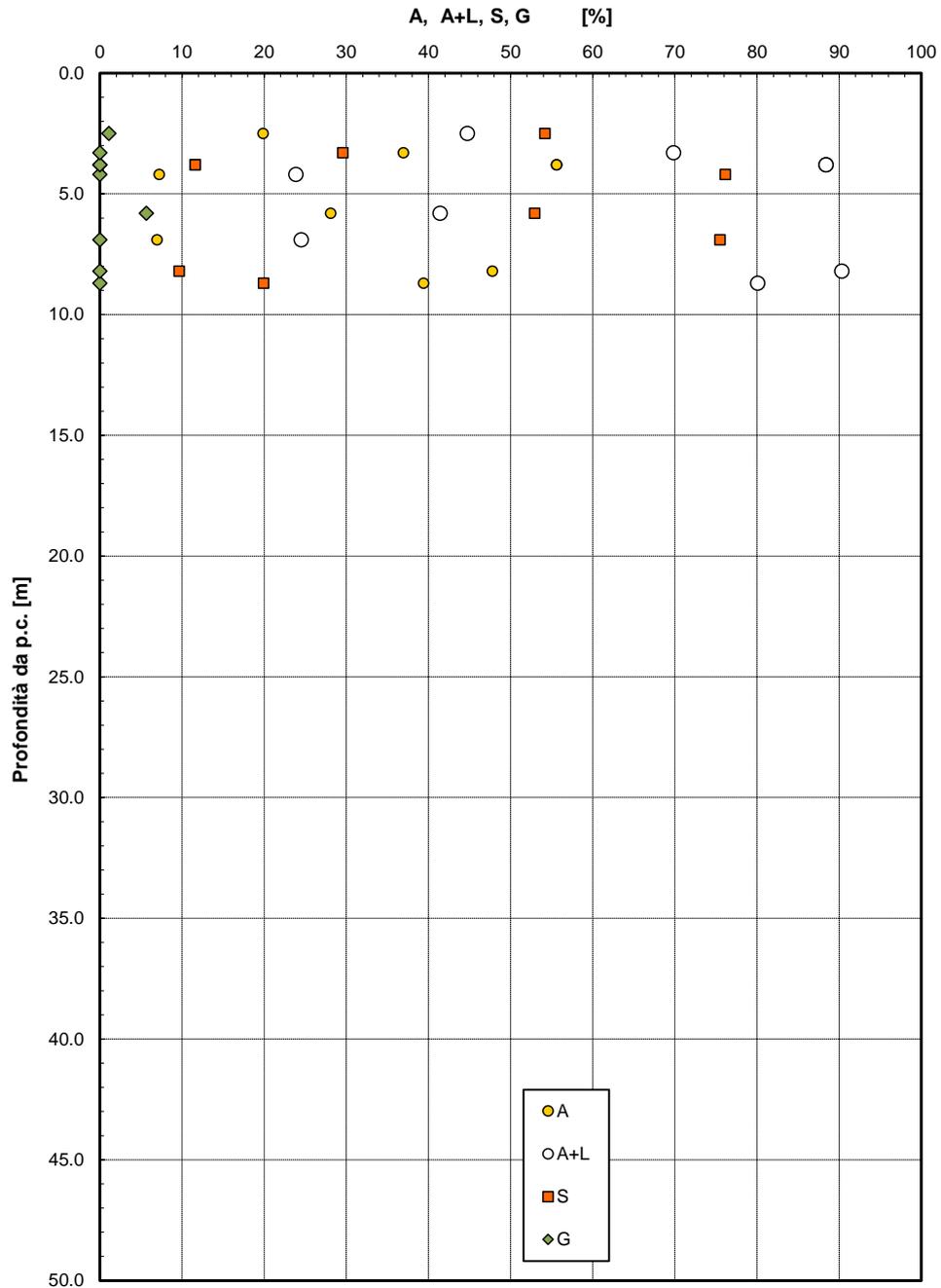


Figura 67 – Granulometria unità MS2

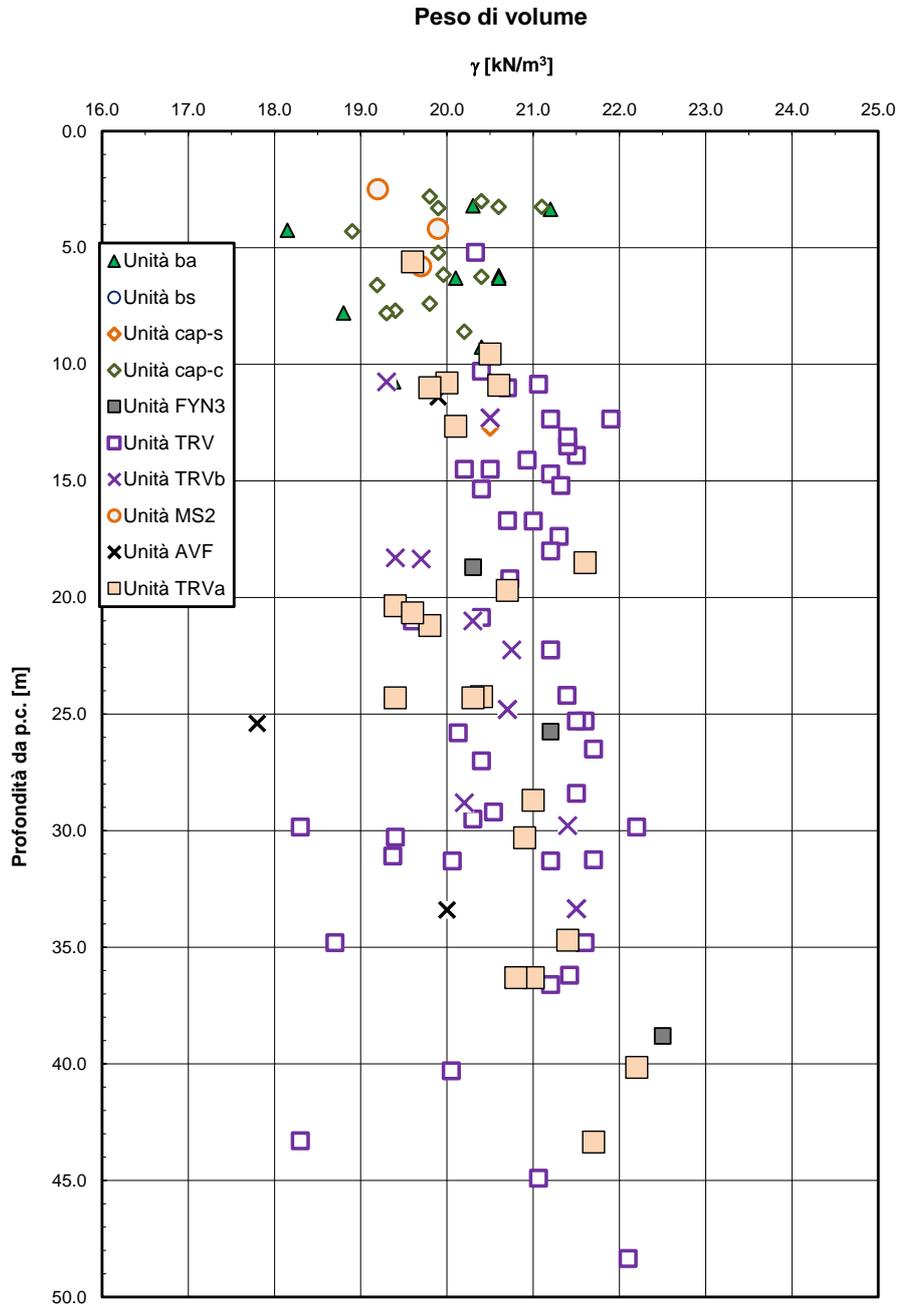


Figura 68 – Peso di volume naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

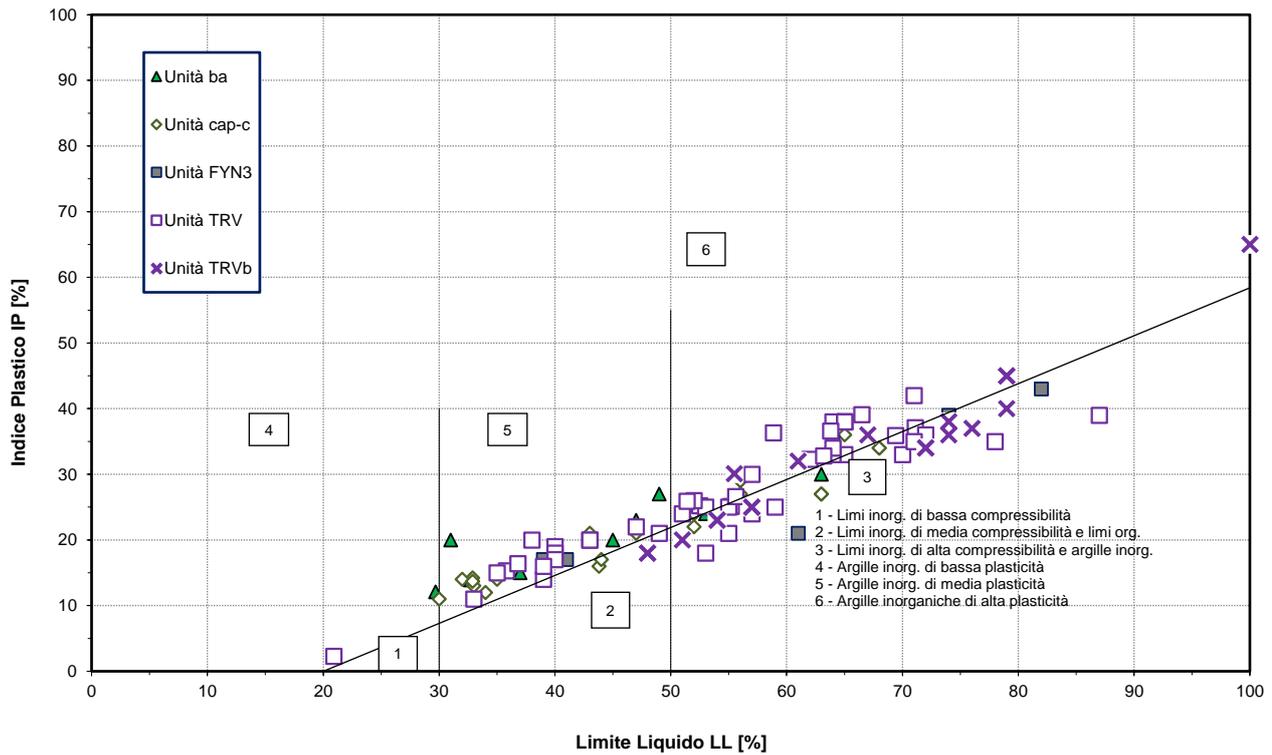


Figura 69 – Carta di plasticità di Casagrande

Limiti di Atterberg

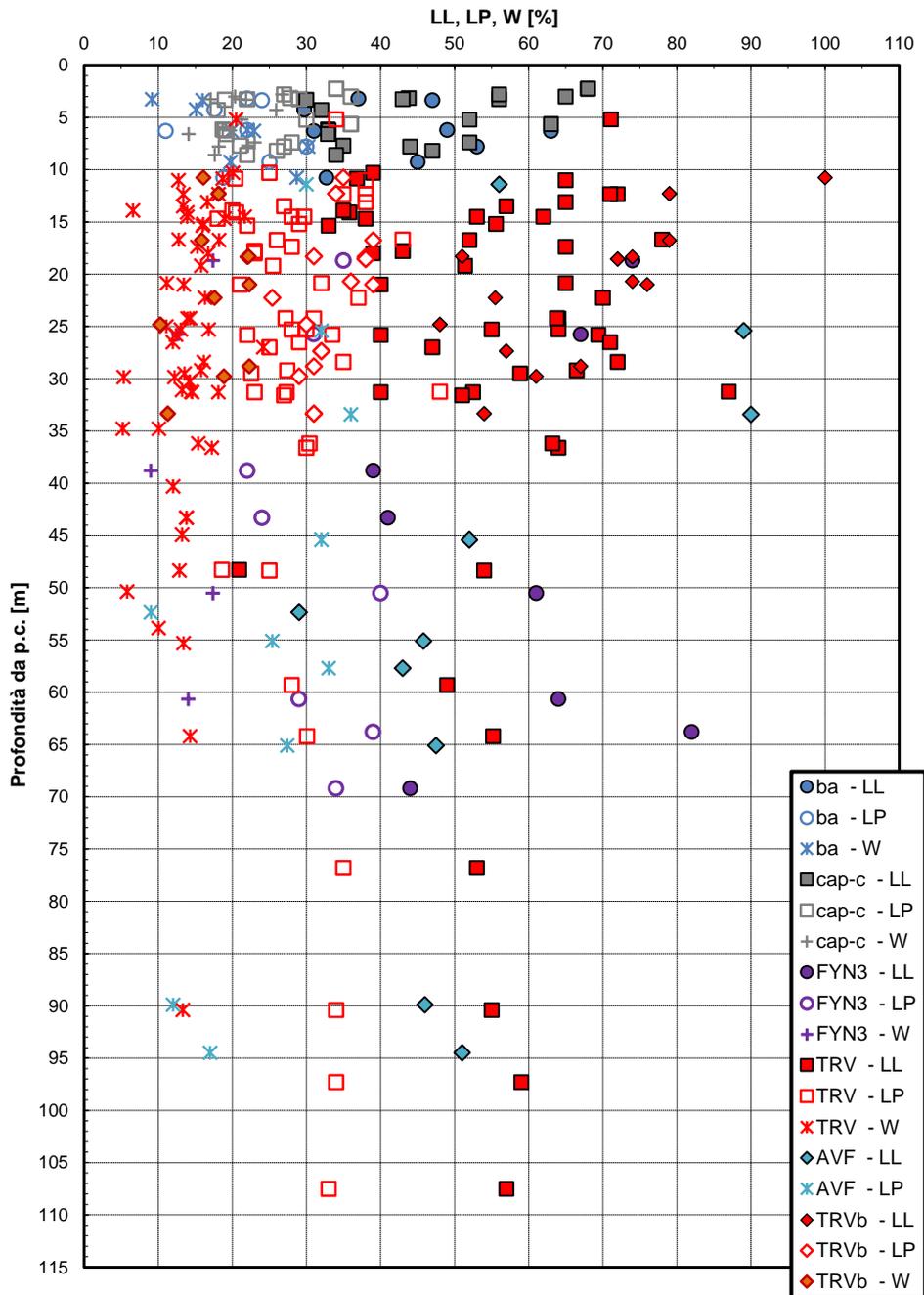


Figura 70 – Limiti di Atterberg

Andamento dell'indice di consistenza

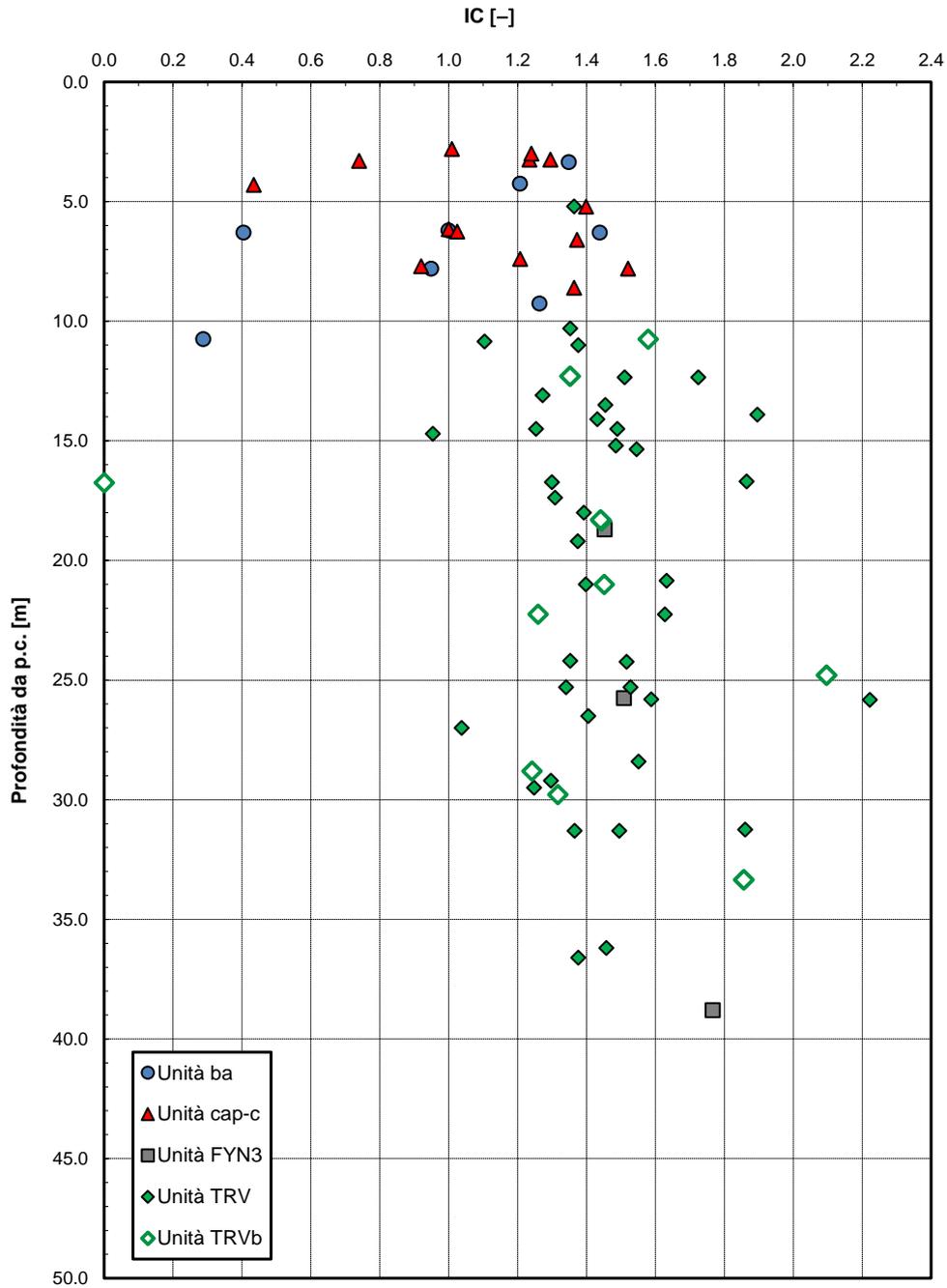


Figura 71 – Indice di consistenza

Andamento del grado di sovraconsolidazione

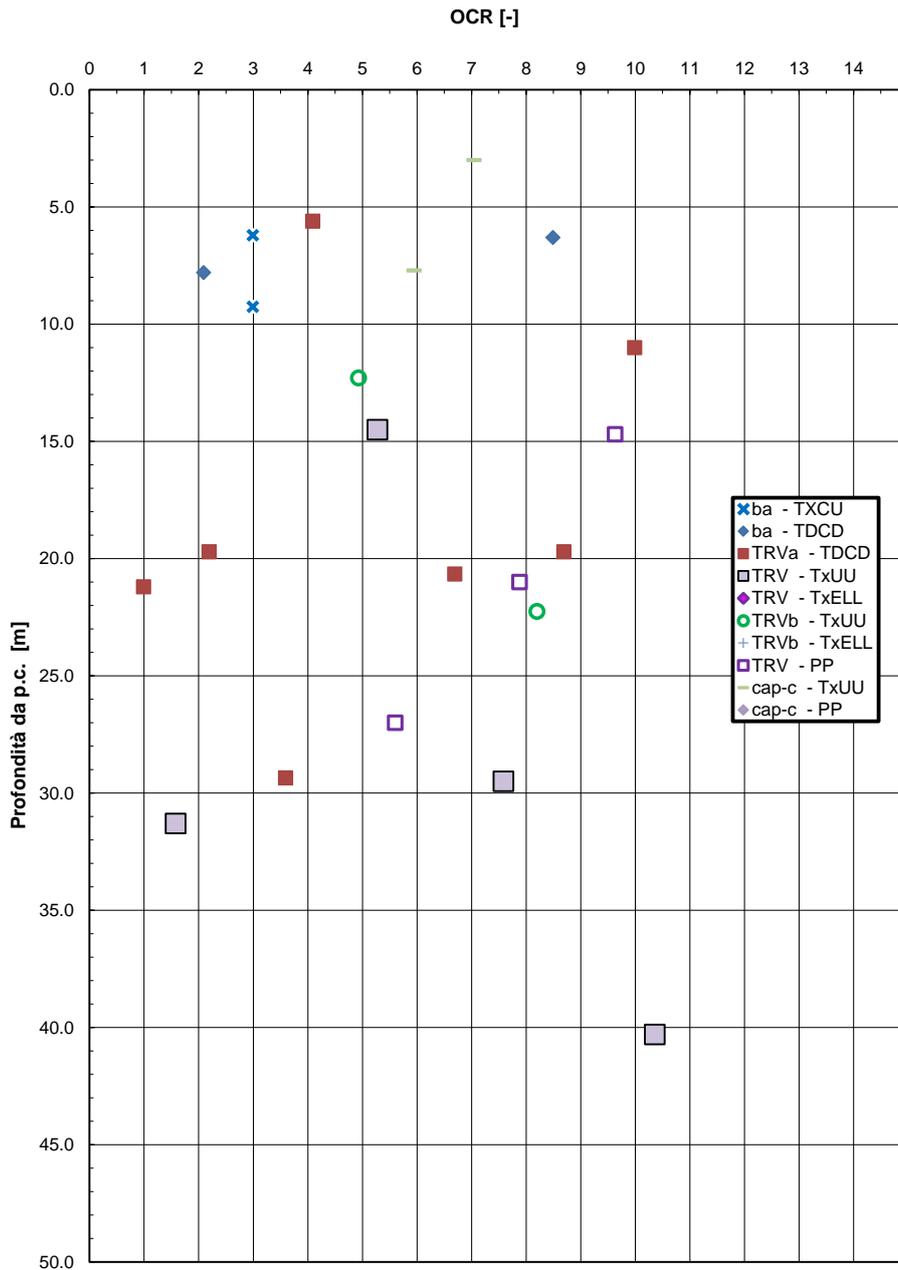


Figura 72 – Grado di sovraconsolidazione OCR

Andamento della resistenza al taglio non drenata

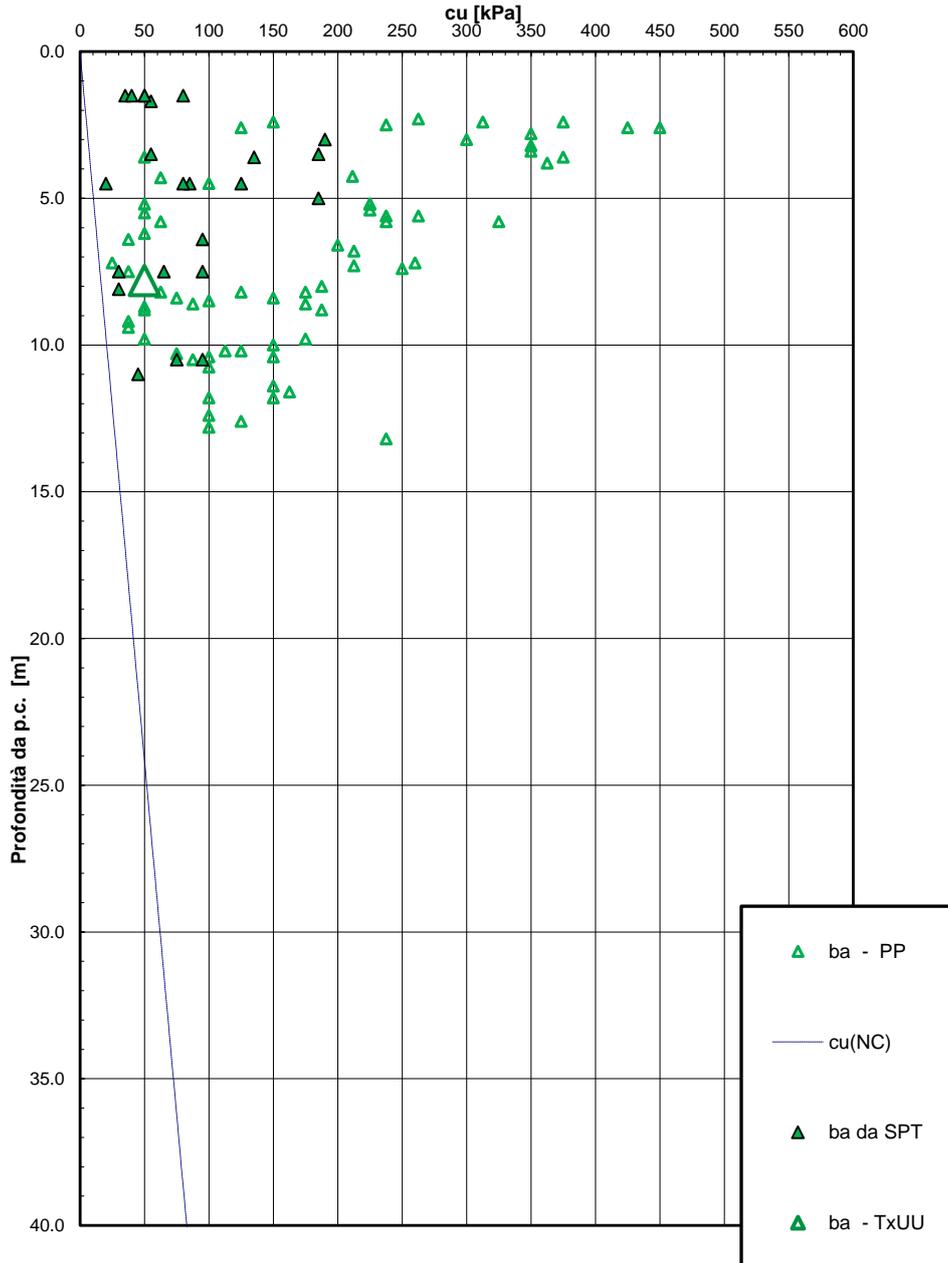


Figura 73 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità ba

Andamento della resistenza al taglio non drenata

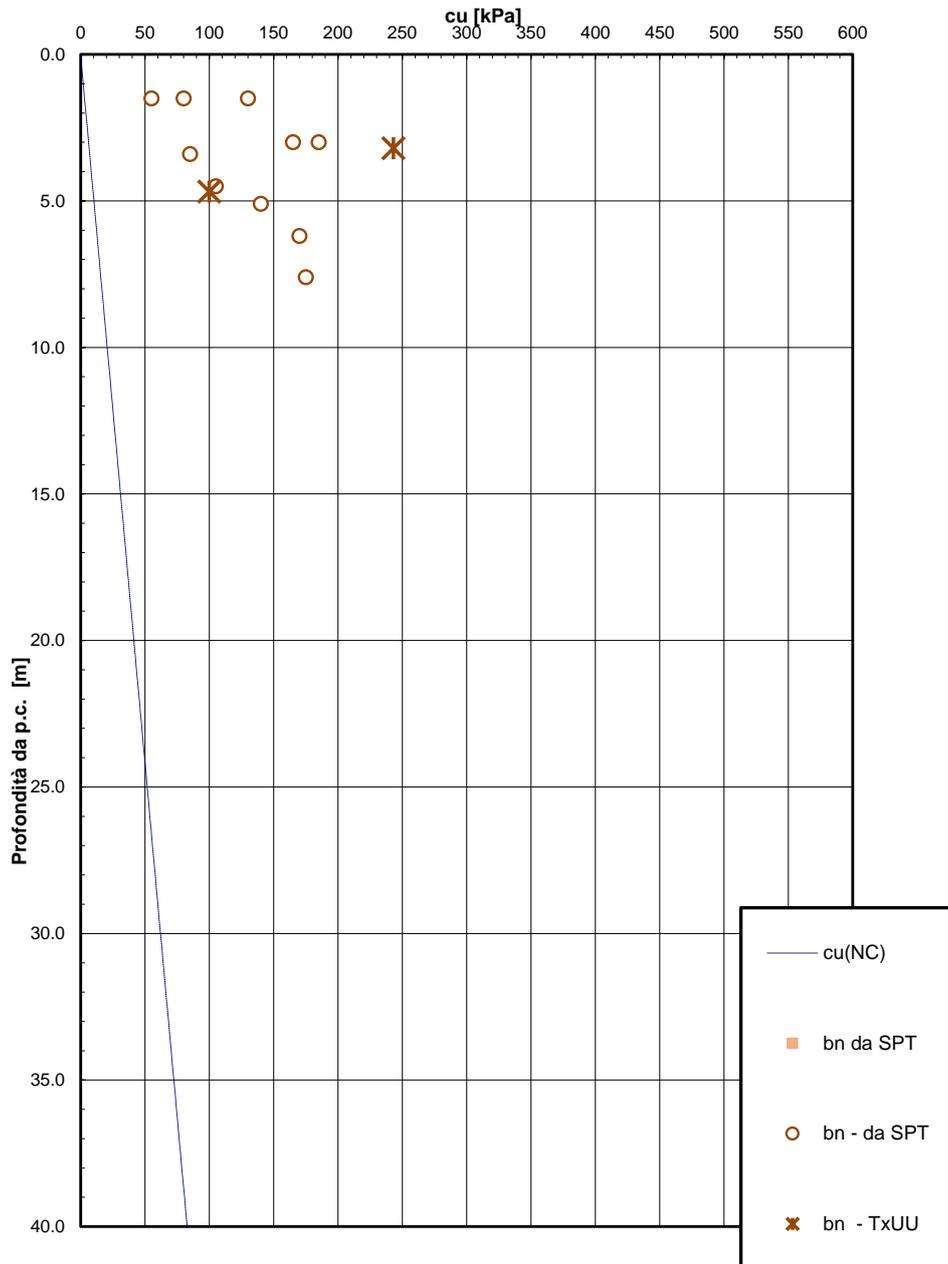


Figura 74 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità bn

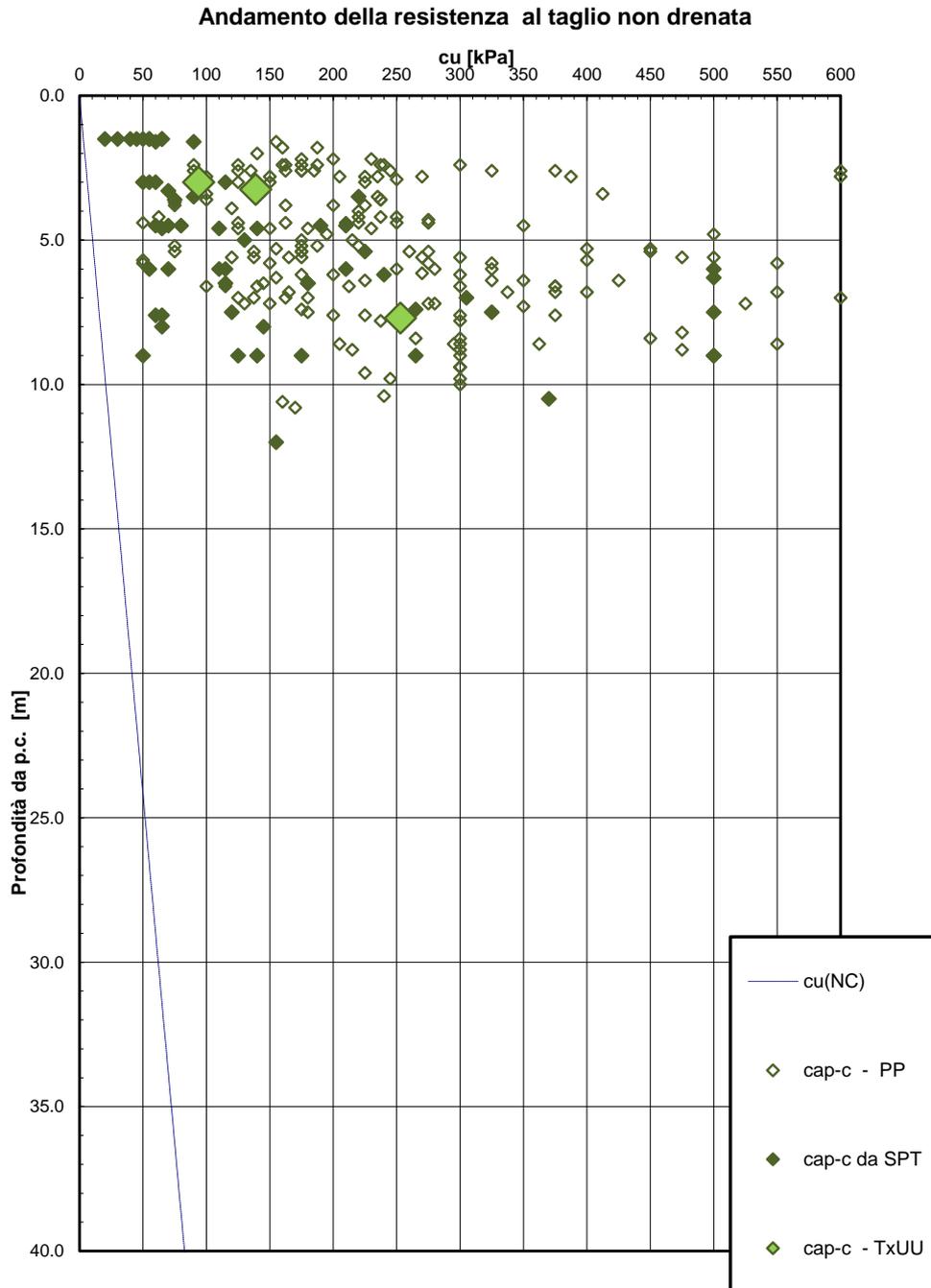


Figura 75 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità cap-c

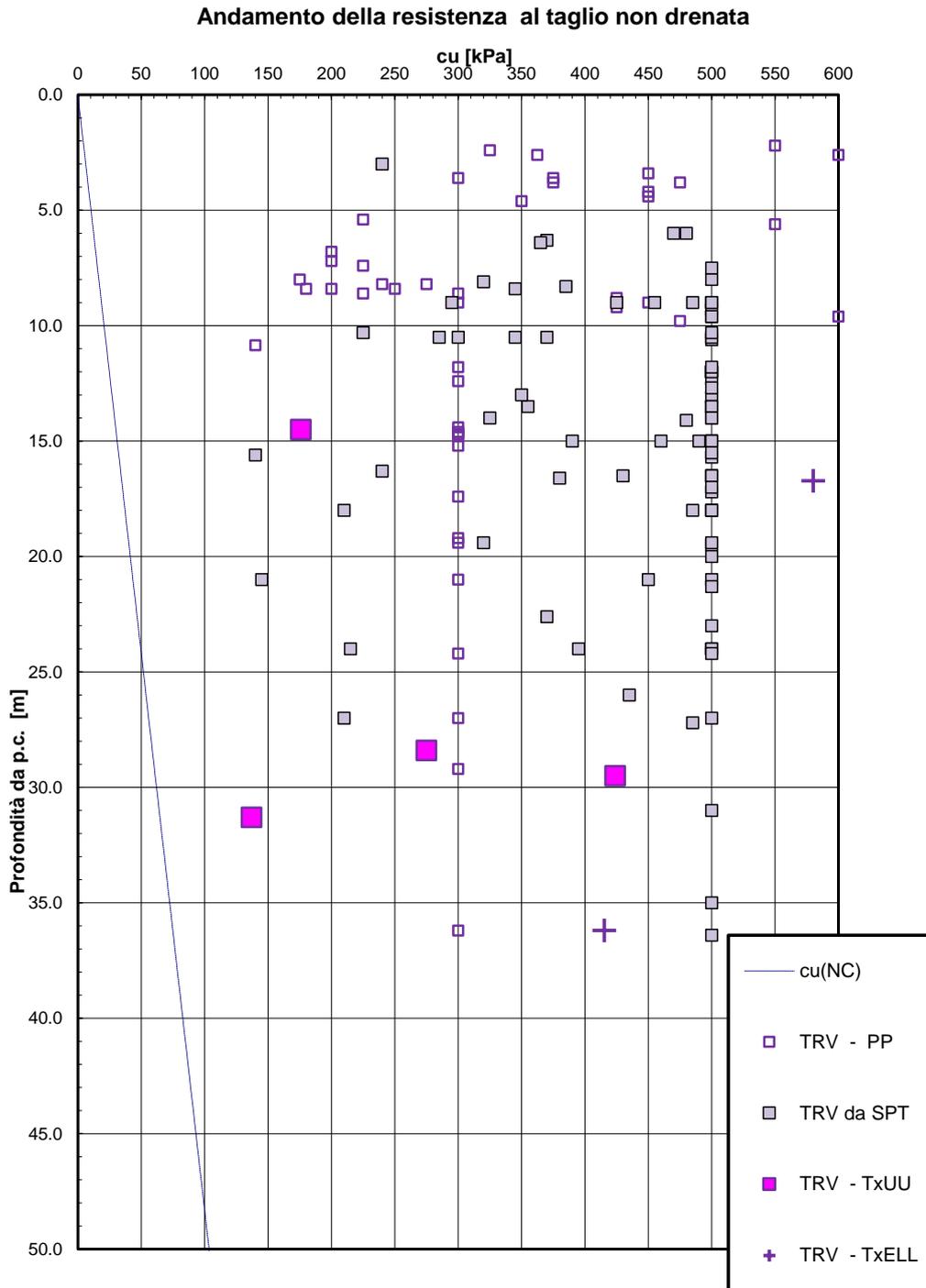


Figura 76 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità TRV

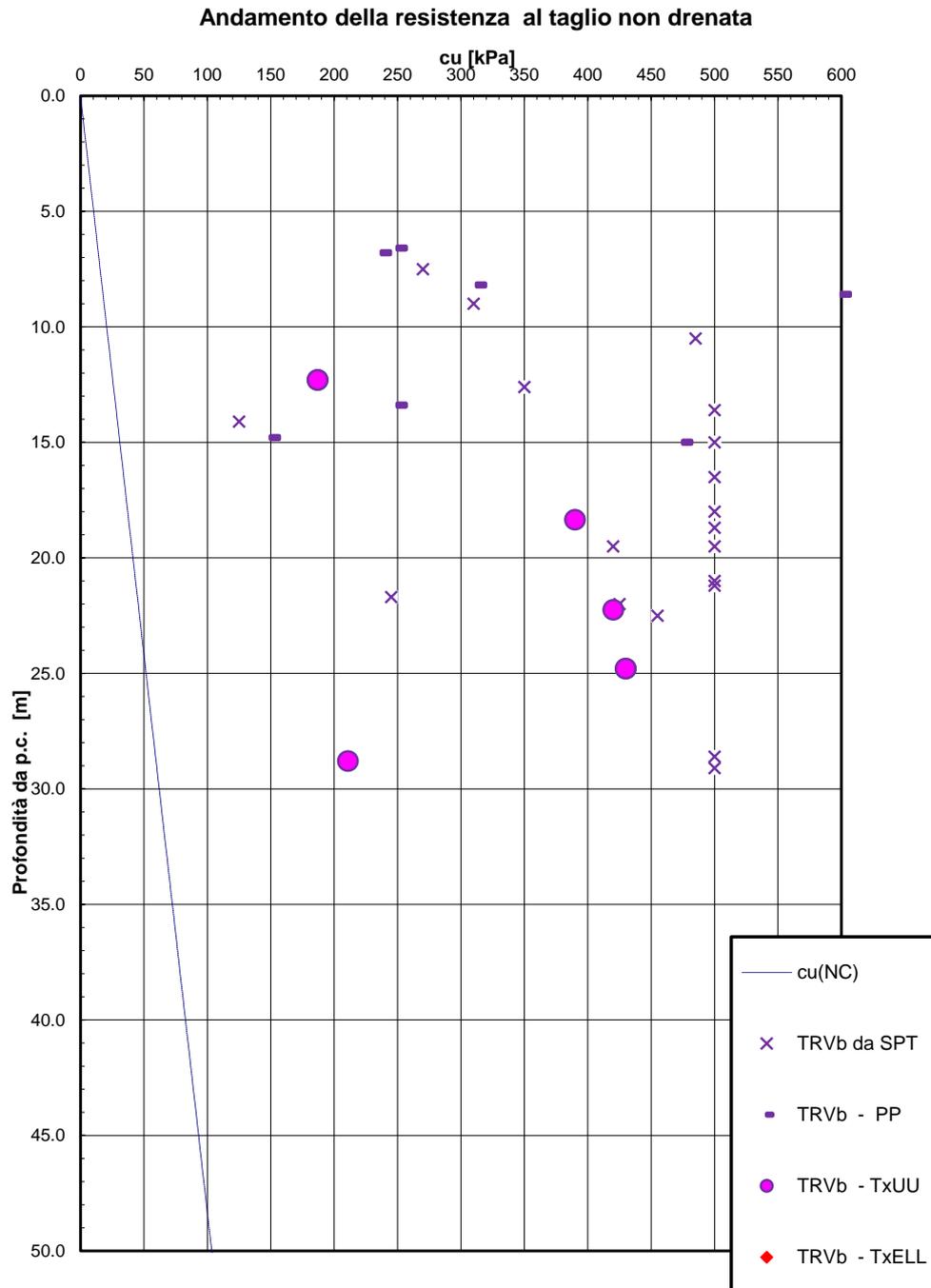


Figura 77 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità TRVb

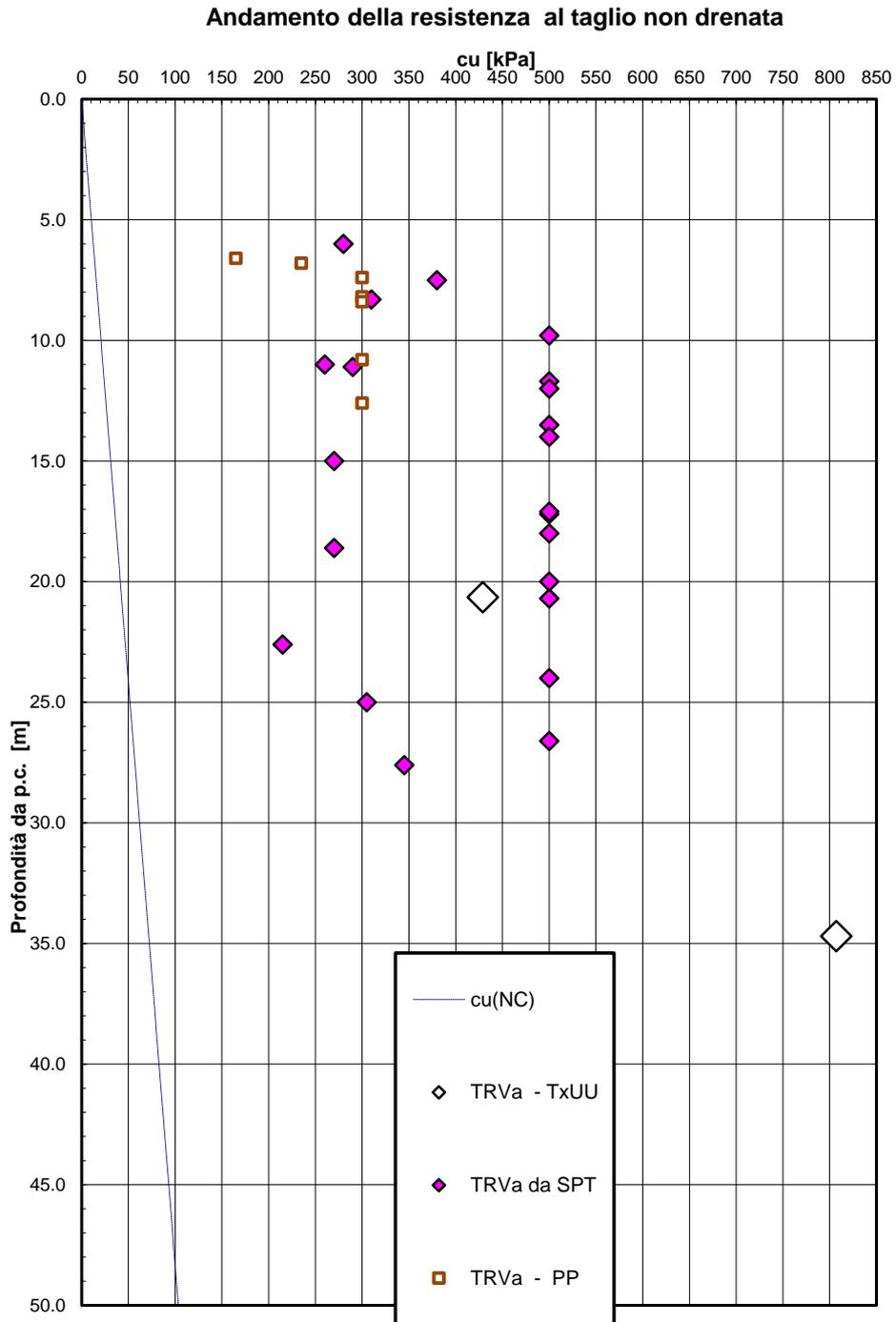
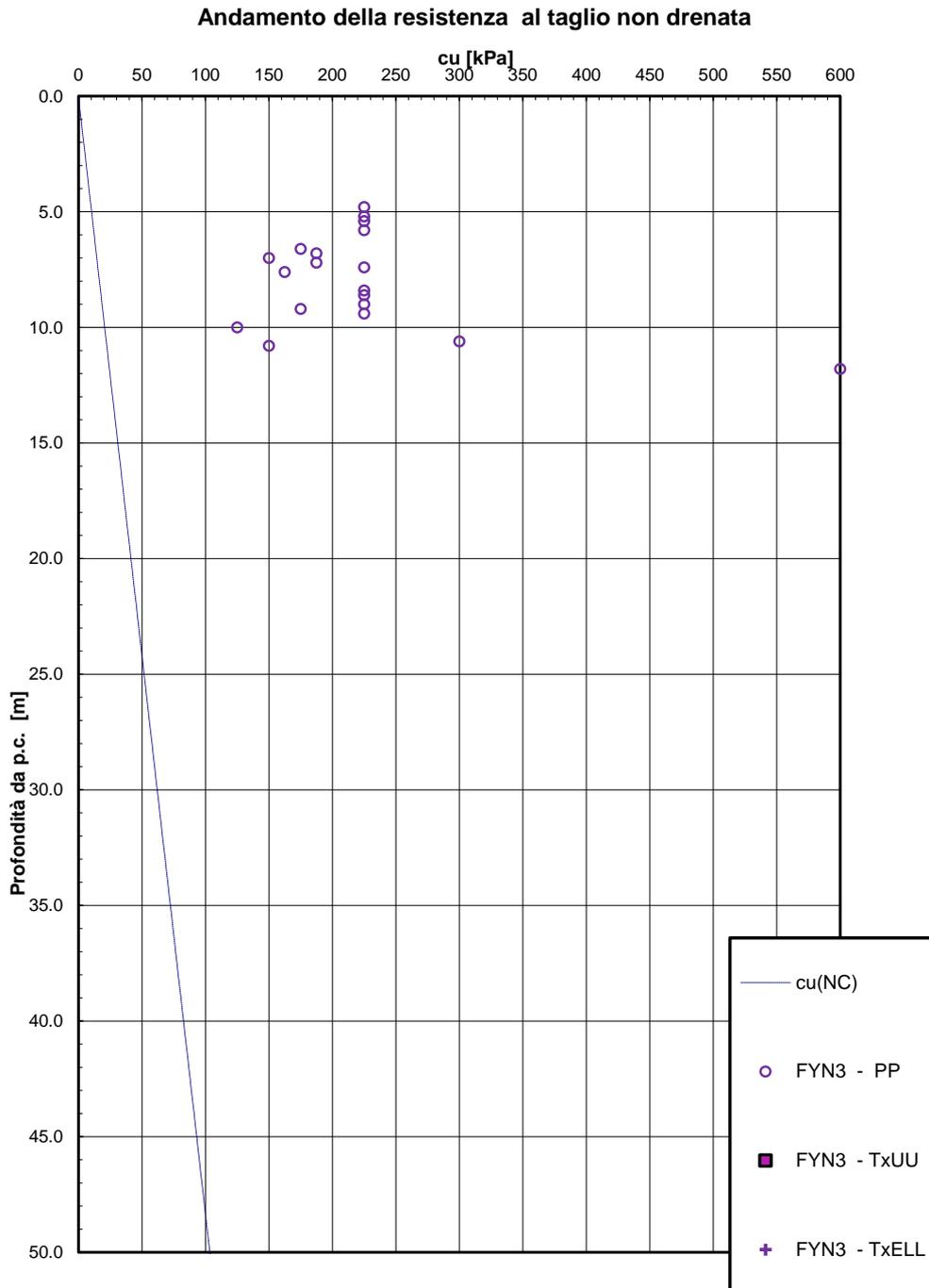


Figura 78 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità TRVa



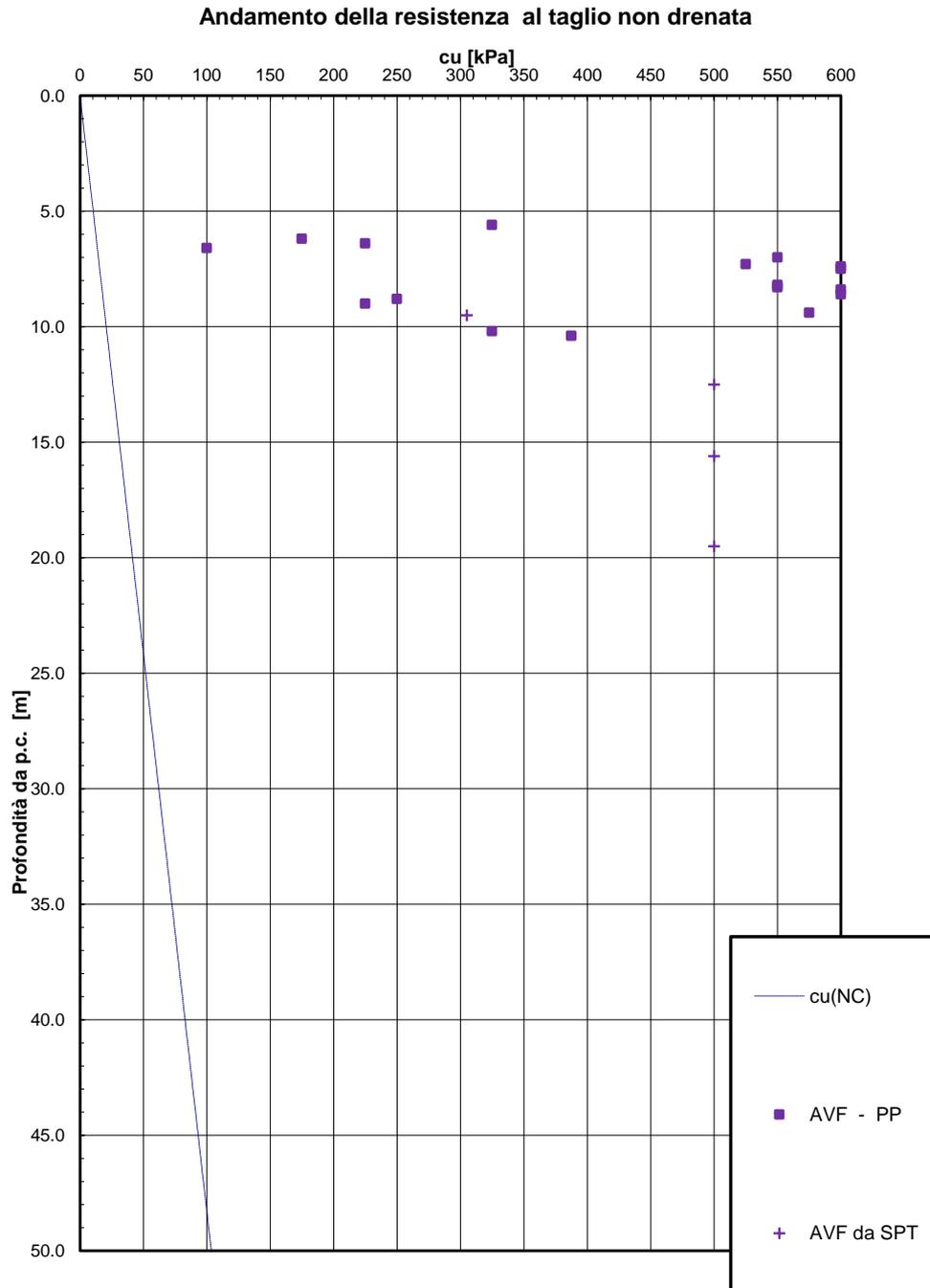


Figura 80 – Resistenza in condizioni non drenate – Unità AVF

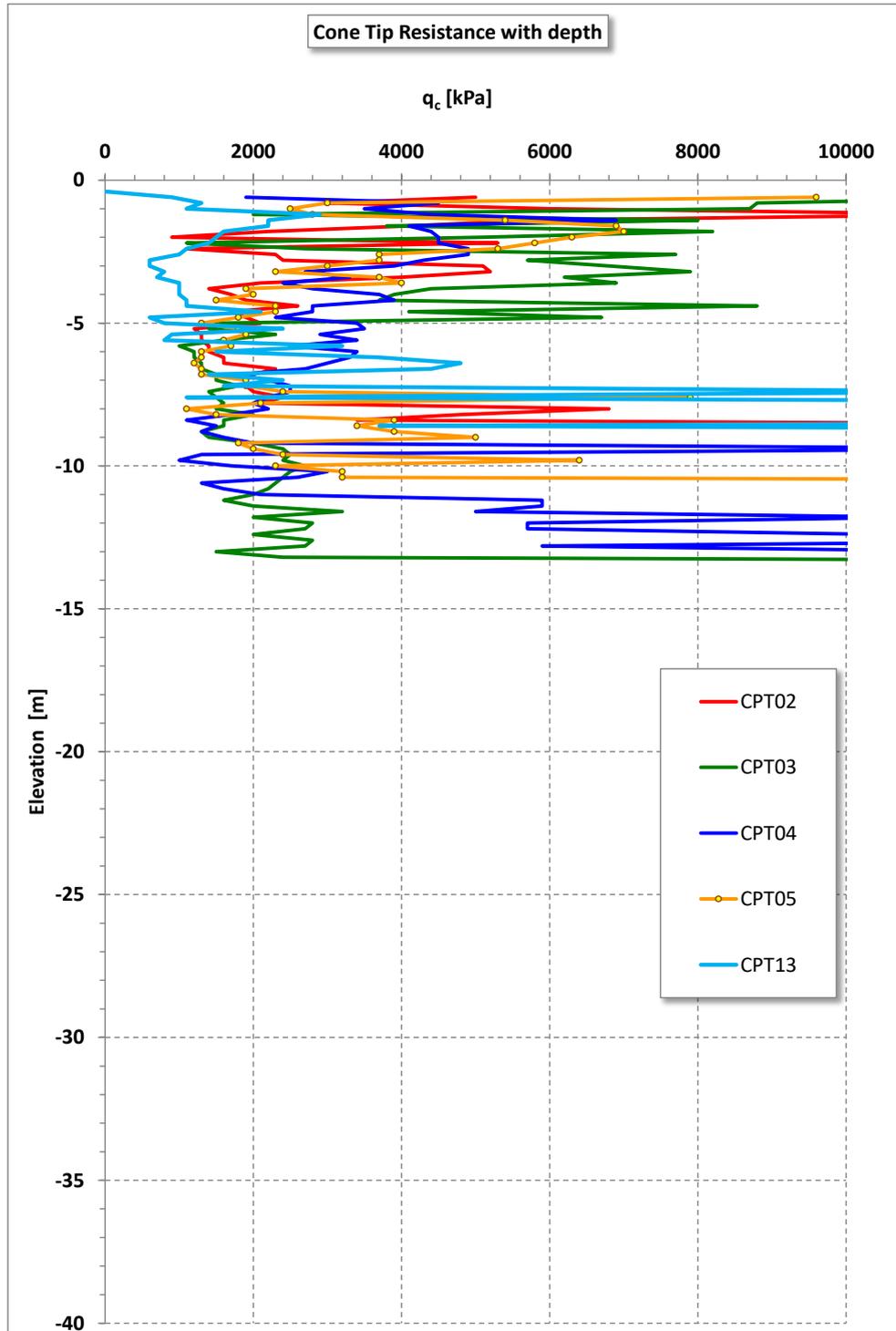


Figura 81 Resistenza alla punta da prova penetrometrica statica CPT

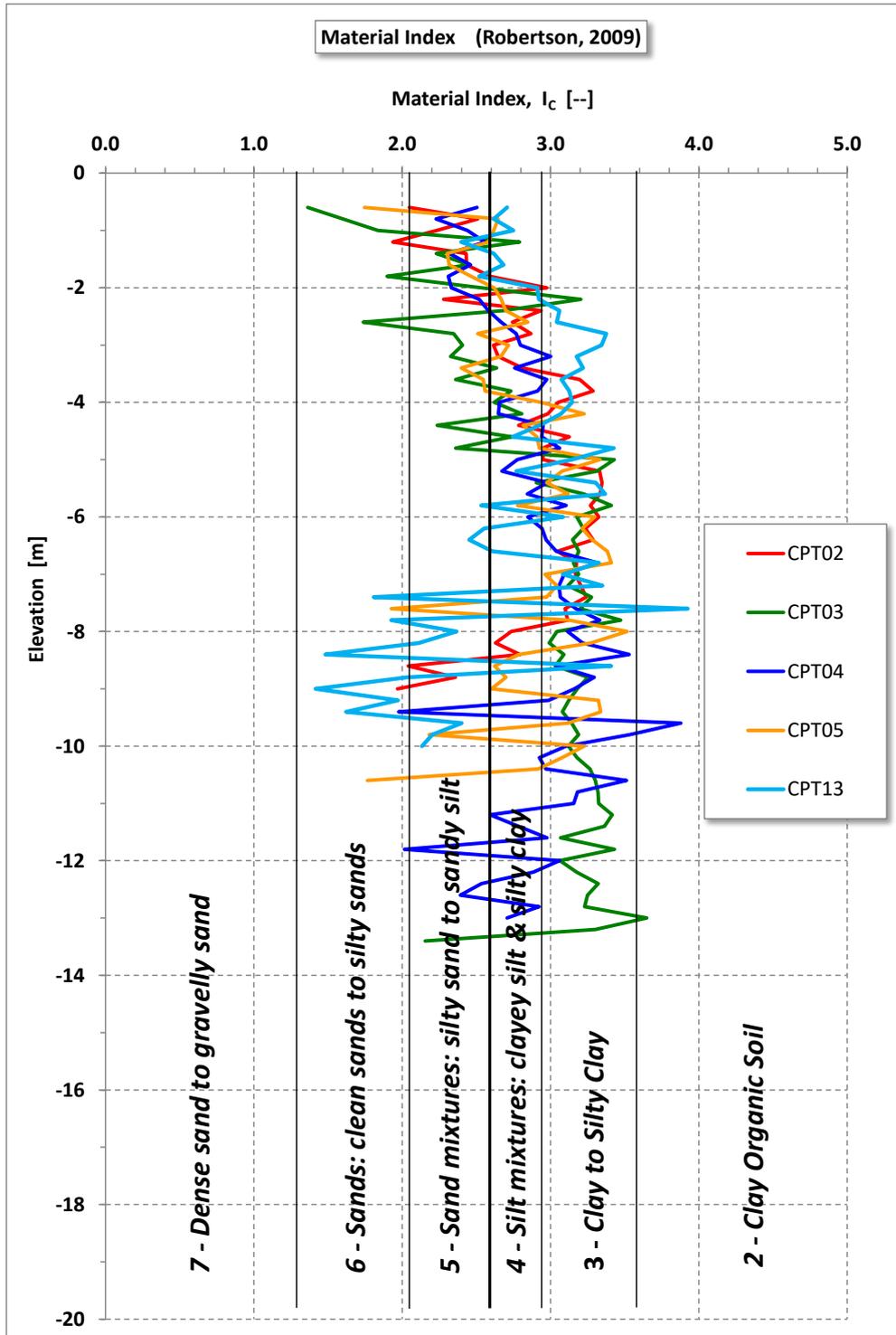


Figura 82 Indice del materiale da prova penetrometrica statica CPT

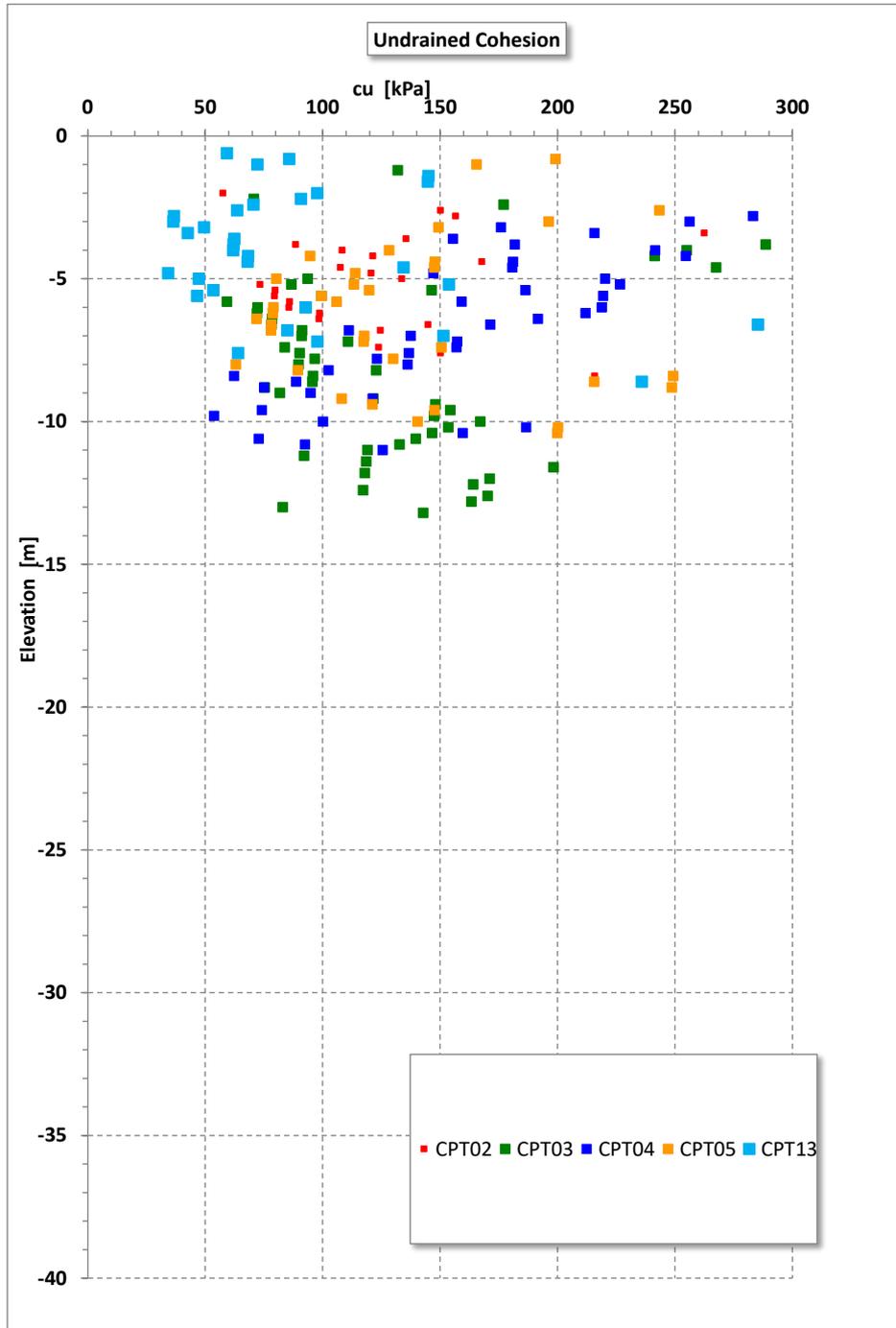


Figura 83 Resistenza al taglio non drenata da prova penetrometrica statica CPT

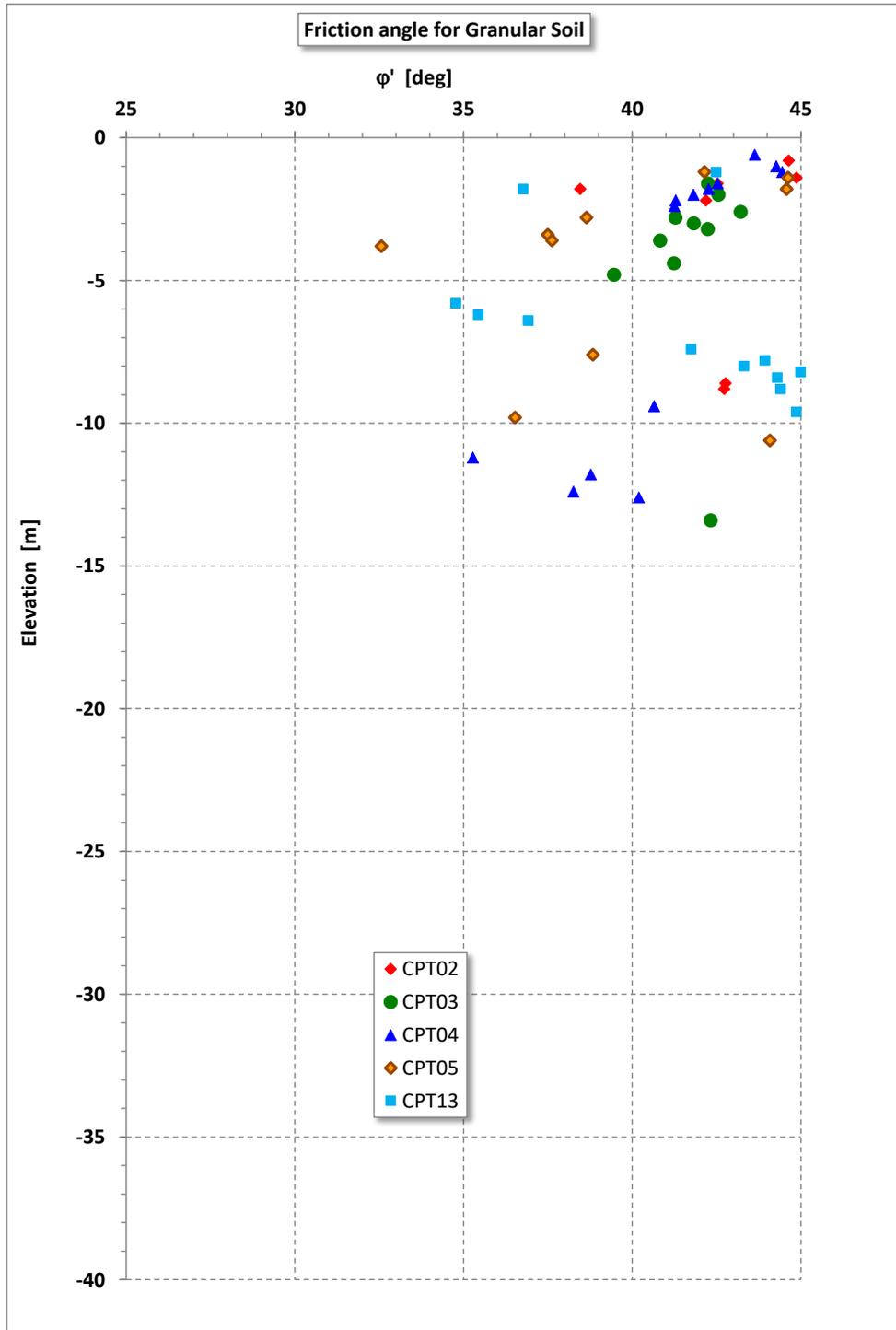


Figura 84 Angolo di resistenza al taglio per terreni incoerenti da prova penetrometrica statica CPT

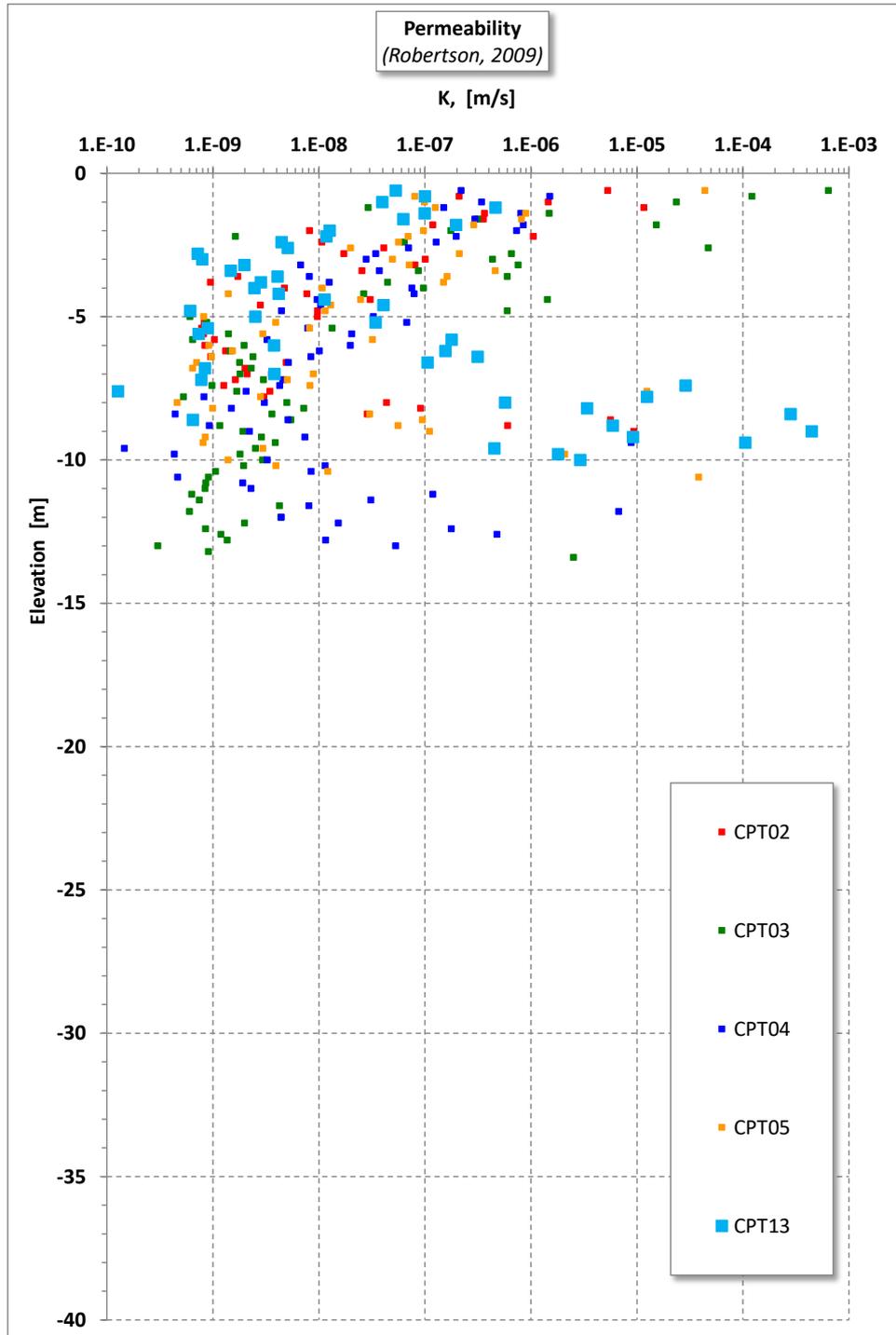


Figura 85 Permeabilità da prova penetrometrica statica CPT

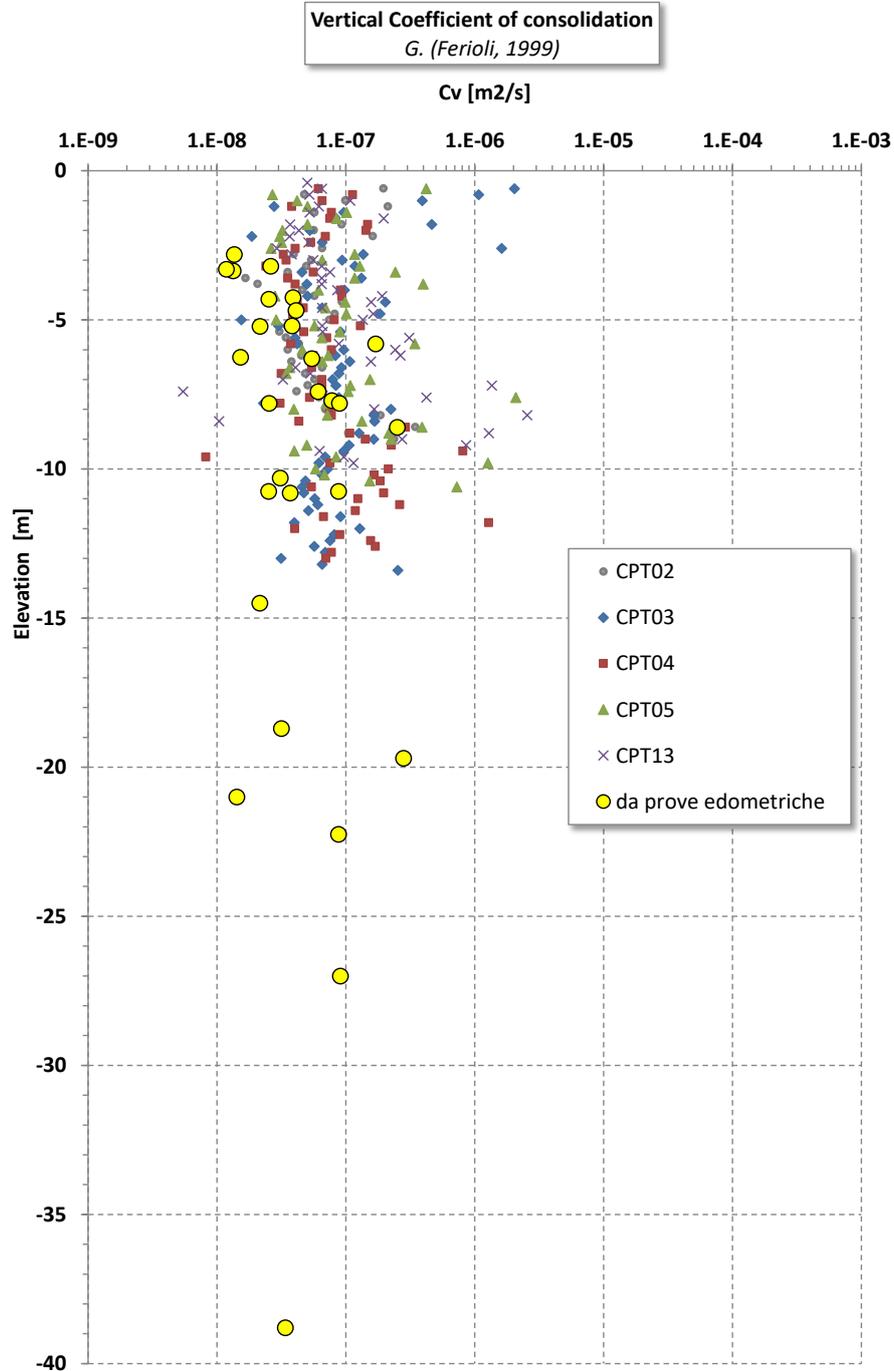


Figura 86 Coefficiente di consolidazione verticale da prova penetrometrica statica CPT e laboratorio (edometrica)

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

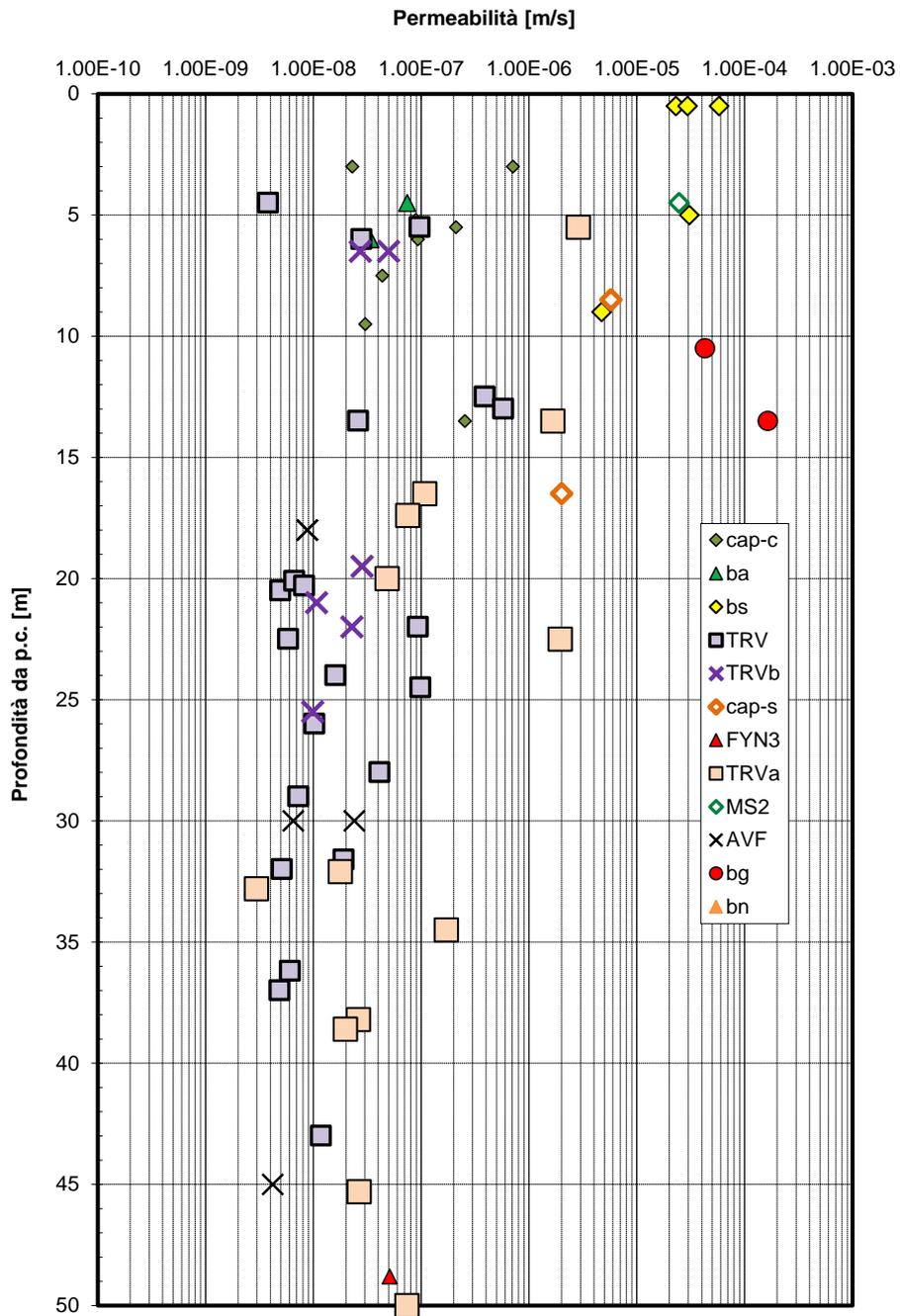


Figura 87 permeabilità da prova Lefranc e Lugeon



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO**

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	159 di 281

5.18 Falda

Nelle seguenti tabelle si riportano le letture piezometriche disponibili sui piezometri installati nel lotto in esame. Nelle tabelle sono indicate le misure piezometriche espresse in profondità da p.c. fino al novembre 2019 e sono indicati il valore minimo, massimo ed il valore medio delle letture.

Nel profilo stratigrafico longitudinale è stato rappresentato il livello massimo di falda, più vicino al p.c., rilevato da tutte le misure a disposizione.

Attualmente si dispone di un periodo di monitoraggio poco esteso, tuttavia si è notato che per alcuni piezometri ci sono oscillazioni di falda molto importanti (>5m).

Per il dimensionamento delle fondazioni ubicate in zona di alveo o gola di fiumi e torrenti, si consiglia di assumere il livello falda a p.c. per le condizioni definitive a lungo termine. Mentre per le opere provvisionali si farà riferimento al massimo livello indicato nel profilo geotecnico.

Tabella 19–Profondità falda in metri dal p.c.

SONDAGGIO	11-05-2018	29-05-2018	15-06-2018	04-04-2019	30-04-2019	20-05-2019	10-07-2019	20-06-2019	25-07-2019	28-08-2019	19-09-2019	21-10-2019	20-11-2019	MAX soggiacenza (m da pc)	MIN soggiacenza (m da pc)	MEDIA (m da pc)
5_S14 NORTON									-6.60	-6.65	-6.75	-6.60	-5.86	-6.75	-5.86	-6.49
4SD4_GN Casagrande								-12.40	-12.05	-12.30	-13.10	-13.10	-12.90	-13.10	-12.05	-12.64
4SD5_GN Casagrande								-19.00	-17.90	-21.60	-21.35	-21.35	-23.97	-23.97	-17.90	-20.86
4SD6_GN Casagrande								-	no falda							
4SD7_GN Casagrande 40 m				-11.20	-10.80	-10.50	-10.35	-10.10	-9.90	-10.35	-10.45	-10.30	-10.32	-11.20	-9.90	-10.43
4SD7_GN Casagrande 9 m				no falda												
4SD8_GN Casagrande								0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4SD9_GN Casagrande								-21.66	-21.78	-20.50	-20.70	-19.80	-19.55	-21.78	-19.55	-20.67
4SD10_GN																
4SD11 cella elettrica								-21.26	-23.15	-23.85	-24.35	-25.02	-24.95	-25.02	-21.26	-23.76
4SD12_GN Casagrande								-0.70	-9.20	-3.70	-3.40	-3.47	-2.62	-9.20	-0.70	-3.85
4SD21_GN Casagrande								-	-19.00	-4.60	-3.15	-2.07	-1.85	-19.00	-1.85	-6.13
4SD22_GN Casagrande								-14.60	No falda	-14.60	-14.60	-14.60				
4SD27_GN Casagrande									-2.40	-2.70	-3.23	-3.23	-2.40	-2.40	-2.78	
4SD25_GN Casagrande								-10.60	-15.90	-11.40	-11.85	-12.00	-12.25	-15.90	-10.60	-12.33
4SD26_GN Casagrande								-	-27.70	-10.85	-11.00	-8.00	-3.10	-27.70	-3.10	-12.13
4SD01 NORTON								0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4SD02 NORTON								-1.57	-1.20	-1.30	-1.35	-1.35	0.00	-1.57	0.00	-1.13
4SD03 NORTON								-7.13	-17.40	-17.35	-17.40	-17.35	-17.27	-17.40	-7.13	-15.65
4SD NV04												-24.57	-24.32	-24.57	-24.32	-24.45
4SD6_VI1 Casagrande								-5.60	-5.90	-6.18	-6.15	-6.18	-5.78	-6.18	-5.11	-5.11
4SD15_VI Casagrande										-4.20	-4.25	-4.20	-4.1	-4.25	-3.35	-3.35
4SD17_VI3 Casagrande										-5.40	-5.45	-5.37	-5.00	-5.45	-4.24	-4.24
4SD18bis_VI Casagrande										-19.40	-20.40	-20.35	-19.97	-20.40	-16.02	-16.02
4SD19_VI4 Casagrande										-5.23	-	-	-6.85	-6.85	-5.23	-6.04
4SD20 NORTON								-12.32	-12.30	-12.40	-12.40	distruito	distruito	-12.40	-12.30	-12.36
4SD29 Casagrande								-	-8.3	-4.25	-4.30	-4.10	-3.45	-8.30	-3.45	-4.88
4S14 PP NORTON								-7.40	-7.70	-7.65	-7.70	-7.85	-7.48	-7.85	-7.40	-7.63
4S11 PP NORTON												-7.50	-7.35	-7.50	-7.35	-7.43
4S12 PP NORTON												-12.40	-12.58	-12.58	-12.40	-12.49
4B_3bis Casagrande												-	-4.48	-4.48	-4.48	-4.48
4A_S30 Casagrande												-4.41	-1.80	-4.41	-1.80	-3.11
4A_GN3_S19 Casagrande												-10.7	-10.06	-10.70	-10.06	-10.38
4S10																
4S13	-2.15	-2.23	-9.55											-9.55	-2.15	-4.64

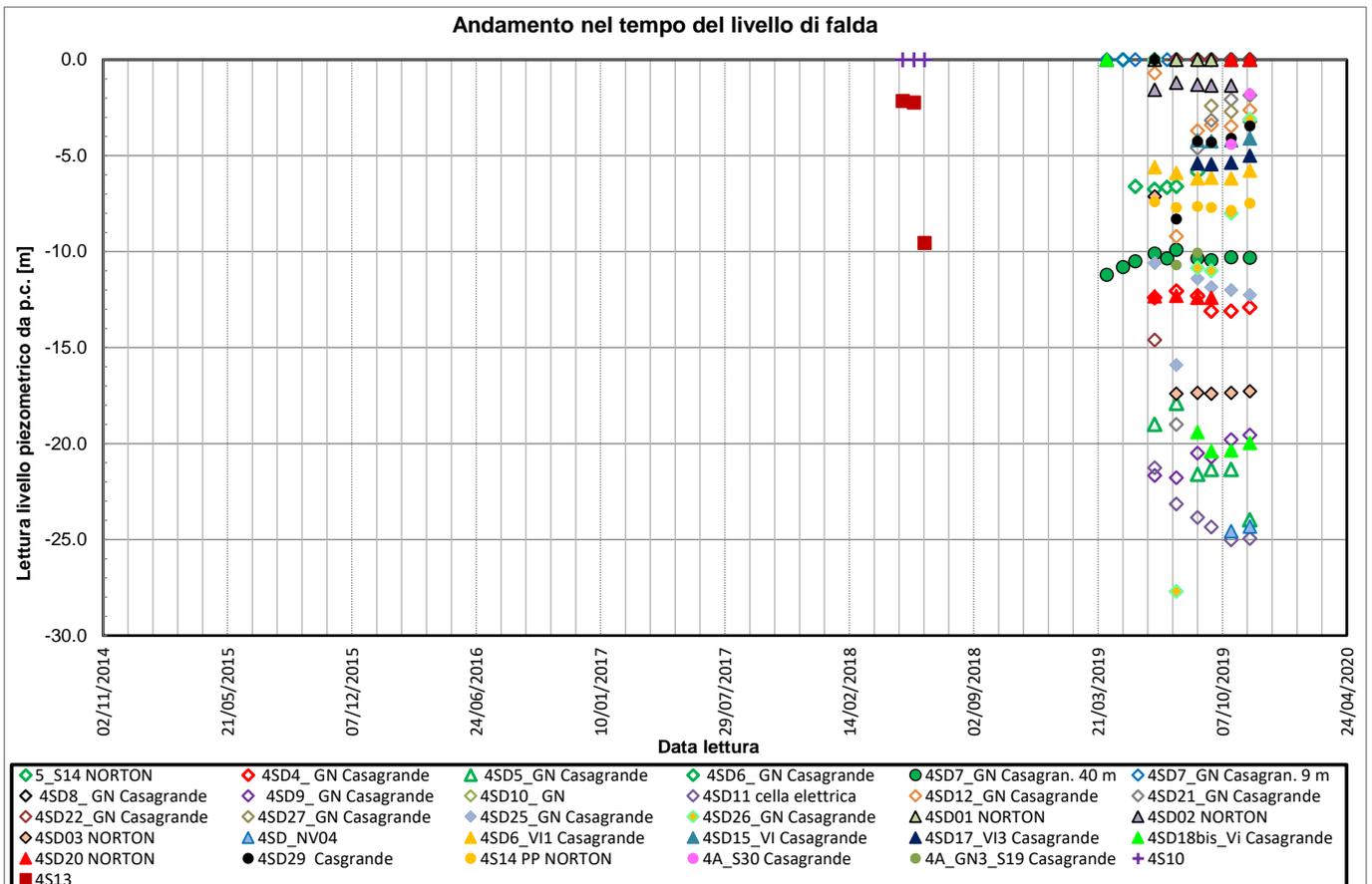


Figura 88–Livello falda in m di profondità da p.c.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	161 di 281

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).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	162 di 281

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido a_g , 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 $V_{s,eq}$. Si può ricavare il parametro $V_{s,eq}$ mediante la relazione:

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

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della $V_{s,eq}$, 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 $V_{s,eq}$, lungo il tracciato, i valori delle velocità delle onde di taglio identificano terreni di tipo C e tipo B. Tuttavia in molti casi in cui è definita tipo B, il valore di $V_{s,eq}$ è molto prossimo al limite tra tipo C e tipo B, quindi cautelativamente per la maggior parte delle opere all'aperto si assumerà 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 20 – Categoria sottosuolo

MASW	Profondità [m]	Velocità Vs,eq [m/s]	Categoria di suolo
MASW 1 - HVSR 087	35.0	285	C
MASW 2 - HVSR 094	40.0	361	B
MASW 3 - HVSR 093	35.0	361	B
MASW 4 - HVSR 092	40.0	249	C
MASW 5 - HVSR 091	35.0	361	B
MASW 6 - HVSR 090	35.0	376	B
MASW6BIS- HSVR 099	35.0	362	B
MASW 7 - HVSR 101	35.0	408	B
MASW 8 - HVSR 100	50.0	388	B
MASW 9 - HVSR 098	50.0	304	C
MASW10 – HVSR 116	35.0	328	C
MASW 11 - HVSR 113	50.0	345	C
MASW 12 - HVSR 117	50.0	303	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 si ha:

- evento sismico atteso è di magnitudo (M) pari a 6.53;
- per $V_N=75$ anni, $C_U=1.5$, categoria di sottosuolo C: le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_g = 0.1336$ g, $S_s = 1.49$, da cui $a_{max} = 0.1336 * 1.49 = 0.199$ g.
- per $V_N=100$ anni, $C_U=2.0$, categoria di sottosuolo C: le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_g = 0.168$ g, $S_s = 1.435$, da cui $a_{max} = 0.168 * 1.435 = 0.241$ g

Tabella 21 – Localizzazione sito con ag massima

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controlla sul reticolo

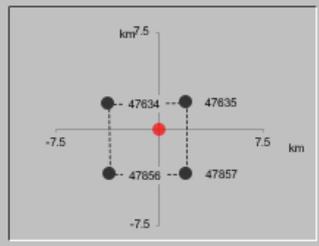
- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

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".

Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

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

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: SLV info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: C info $S_s =$ 1.490 $C_C =$ 1.288 info
 Categoria topografica: T1 info $h/H =$ 0.000 $S_T =$ 1.000 info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) 5 $\eta =$ 1.000 info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s 3 Regol. in altezza no info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q_v 1.5 $\eta =$ 0.667 info

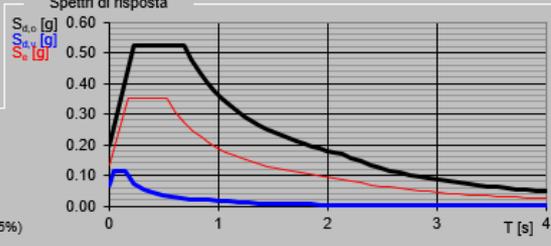
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta |>>>
 Parametri e punti spettri di risposta |>>>

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Spettri di risposta



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_0	0.133 g
F_{q_s}	2.622
T_C	0.538 s
S_s	1.490
C_C	1.288
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.490
η	1.000
T_B	0.231 s
T_C	0.693 s
T_D	2.134 s

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

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLV** info

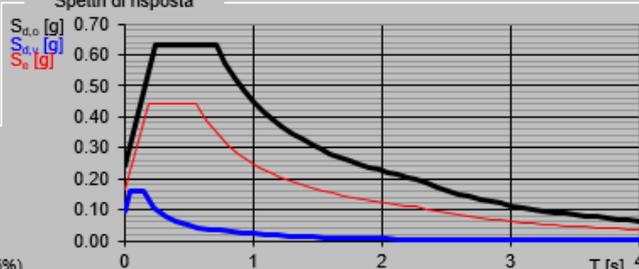
Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **C** info $S_B = 1.435$ $C_C = 1.269$ info
 Categoria topografica: **T1** info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_0 : **3** Regol. in altezza: **no** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q : **1.5** $\eta = 0.667$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_a	0.168 g
F_{q_0}	2.626
T_C	0.563 s
S_S	1.435
C_C	1.269
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.435
η	1.000
T_B	0.238 s
T_C	0.714 s
T_D	2.272 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 $M = 6.35$.

Tabella 22 – Mappa di pericolosità sismica

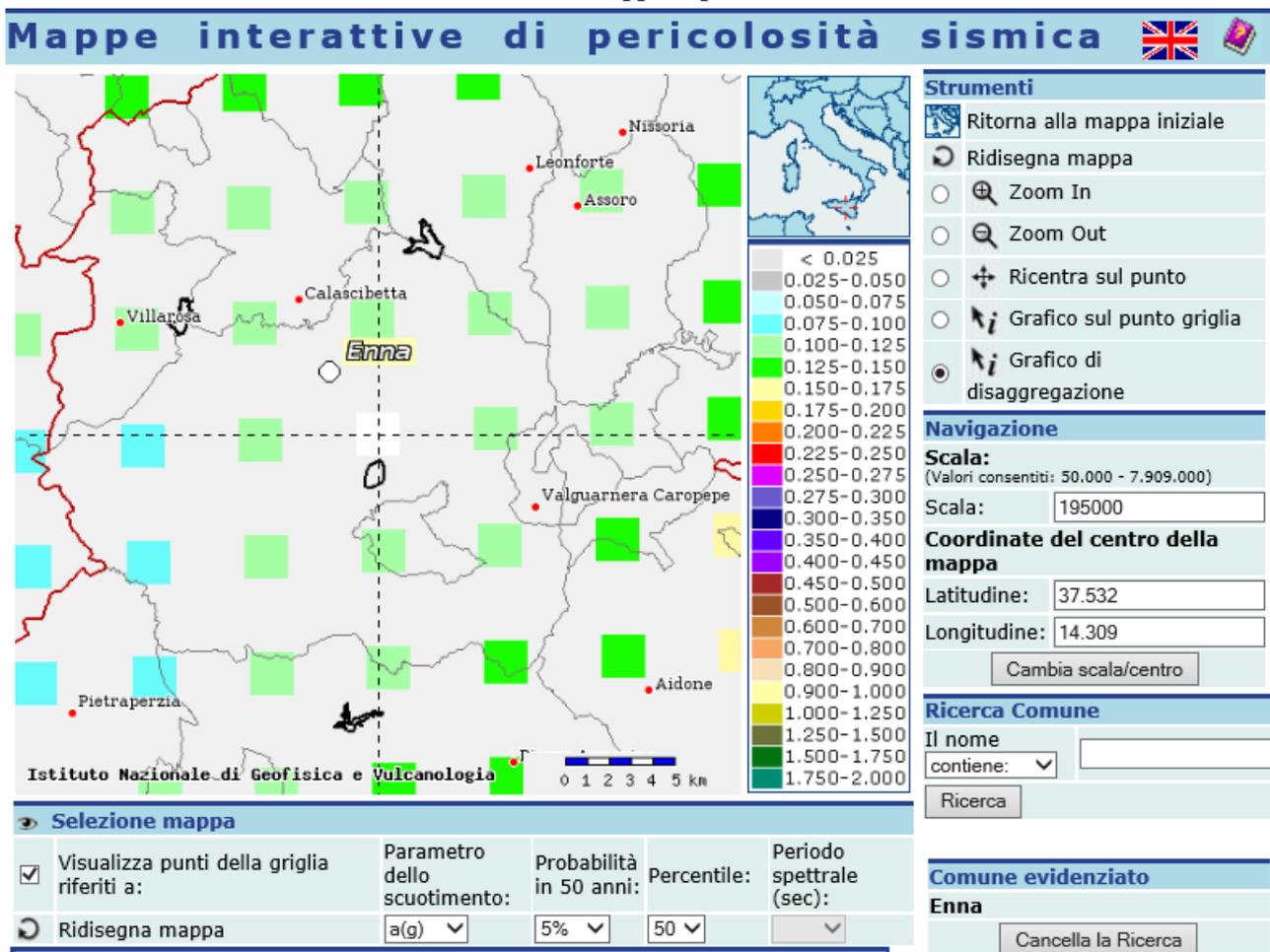
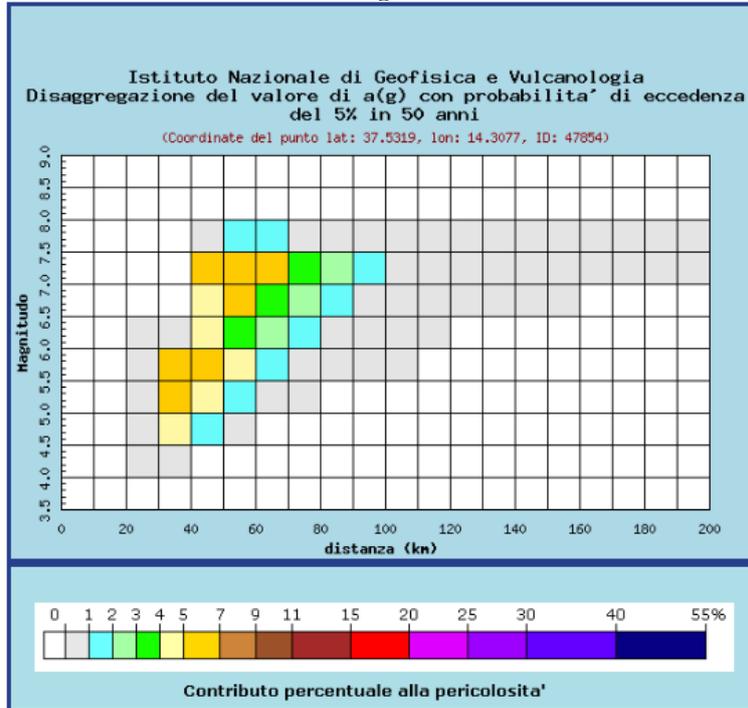


Tabella 23 – Magnitudo e distanza



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 37.5319, lon: 14.3077, ID: 47854)									
	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
0-10	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
20-30	0.000	0.200	0.692	0.698	0.517	0.076	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.623	4.500	6.010	5.200	0.837	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	1.100	4.270	6.120	4.160	4.640	5.020	0.956	0.000
50-60	0.000	0.000	0.035	1.610	4.050	3.770	5.110	6.250	1.270	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.259	1.680	2.280	3.770	5.220	1.140	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.010	0.459	1.220	2.510	3.910	0.906	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.061	0.442	1.210	2.110	0.516	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.118	0.527	1.050	0.271	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.033	0.247	0.583	0.158	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.101	0.317	0.091	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.254	0.078	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.203	0.067	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.119	0.043	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.064	0.027	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.019	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.014	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.010	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.007	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
6.350	55.300	1.700

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. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di free-field-campo libero) minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. 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;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 89 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 90 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

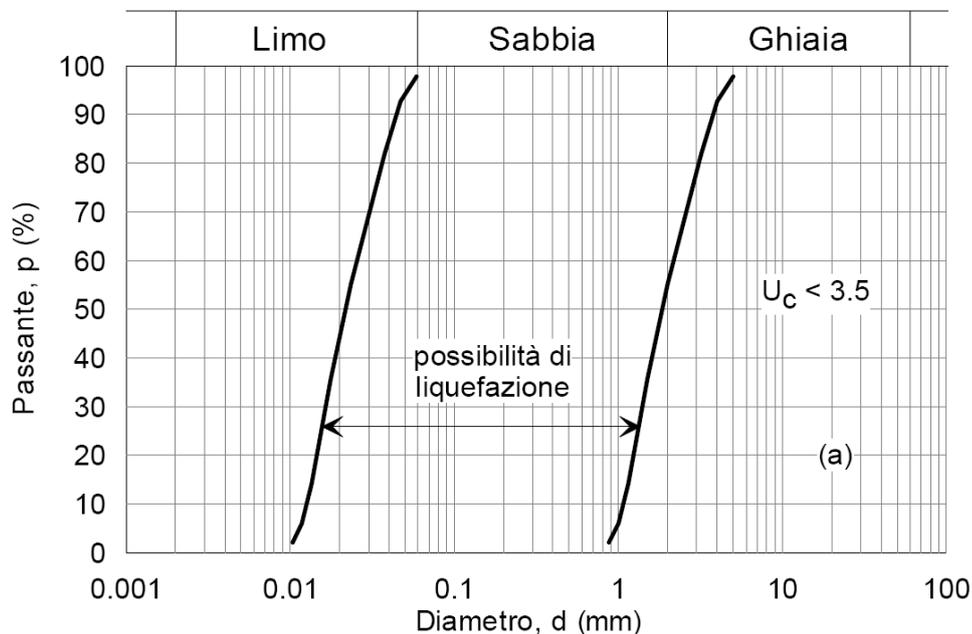


Figura 89. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

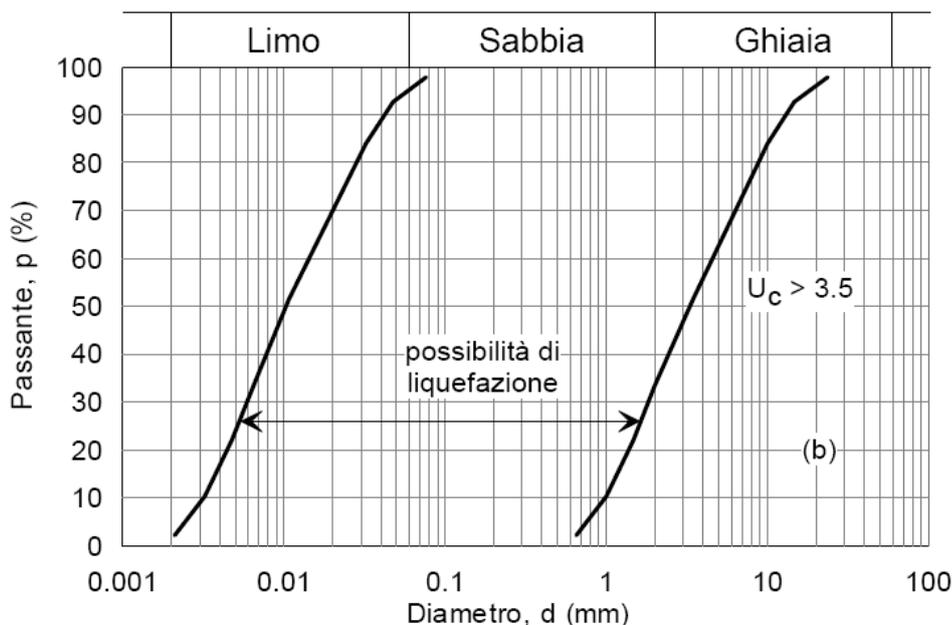


Figura 90. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

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

- La magnitudo $M=6.35$;
- 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.

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:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

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

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max,s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

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):

$$r_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

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.

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:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

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

$$\begin{cases} MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \\ MSF \leq 1.8 \end{cases}$$

Per l'interpretazione dai dati di V_s , la bibliografia suggerisce di utilizzare la seguente correlazione di Andrus e Stock, 1997:

$$MSF = (M/7.5)^{-2.56}$$

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:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

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):

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.50}$$

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:

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionatore, 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):

$$(N_1)_{60_{cs}} = (N_1)_{60} + \exp \left(1.63 + \frac{9.7}{FC} - \left(\frac{15.7}{FC} \right)^2 \right)$$

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:

$$CRR = \exp \left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right]$$

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

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

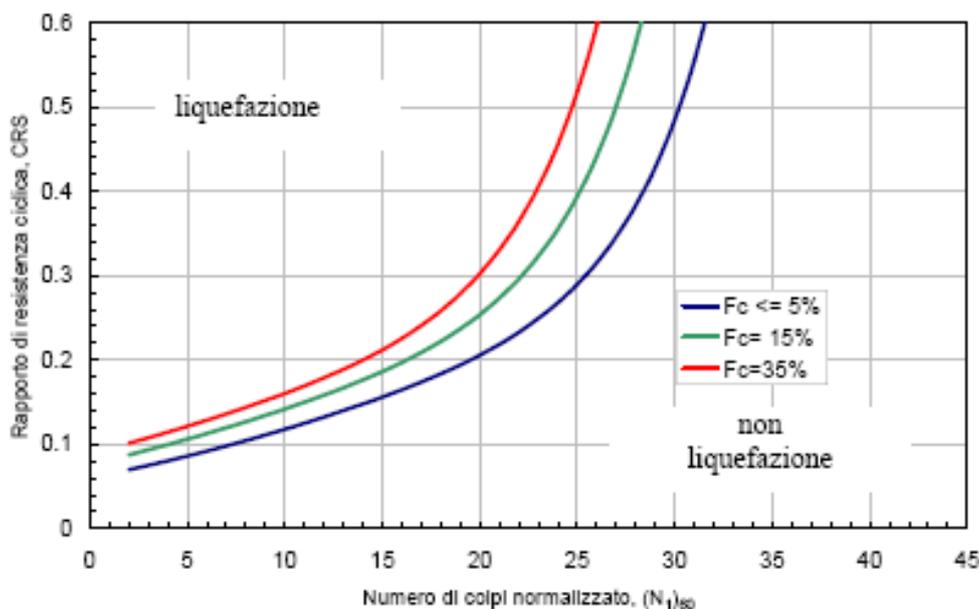


Figura 91. Curve per il calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR dai risultati di prove SPT

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 qc/fs, valori tipicamente rilevati a intervalli di 0.2 m, come segue:

- Il valore della resistenza alla punta qc è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto qc_{IN} 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 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.

4. 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.

5. 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:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	178 di 281

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 24. Sintesi delle analisi di liquefazione da prove SPT

Sond.	wl	γ	Unità	z	Nspt	FC	σ_v	u	σ'_v	C_u	Err	C_t	C_b	C_r	C_s	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60,CS}$	CRR	rd	CSR	$(CSR)_{60}$	FSL
	[m]	[kN/m ³]	[-]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
5 SV01	2.4	19.0	bs	4.50	16	15	86	22	64	1.25	60	1.0	1.0	1.0	1.0	20.0	23.3	2.54E-01	0.94	0.16	0.12	2.12
5 SV01	2.4	19.0	bs	7.50	18	15	143	52	91	1.05	60	1.0	1.0	1.0	1.0	18.9	22.1	2.35E-01	0.88	0.18	0.13	1.79
4SD12_GN	0.7	19.0	bs	1.5	22	15	29	8	21	2.21	60	1.0	1.0	1.0	1.0	48.6	51.8	2.45E+03	0.99	0.18	0.13	18660.10
4SD28	8.0	19.0	bs	10.5	19	15	200	25	175	0.76	60	1.0	1.0	1.0	1.0	14.4	17.6	1.80E-01	0.81	0.12	0.09	2.03

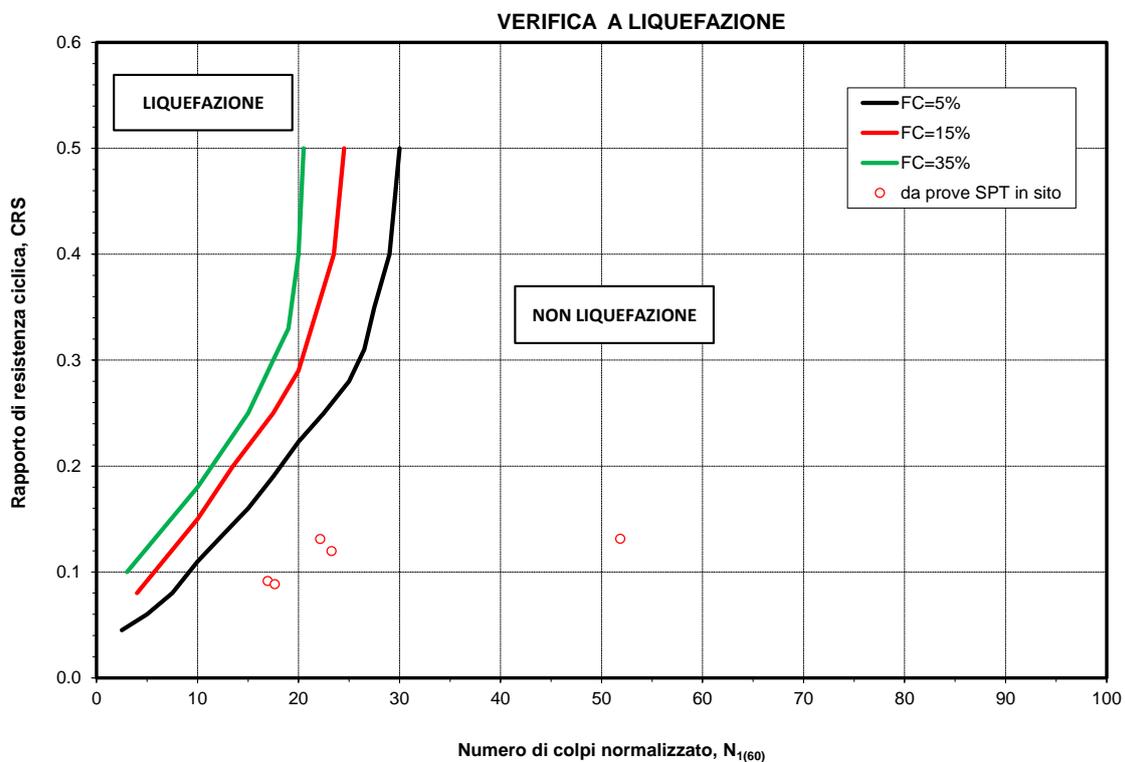
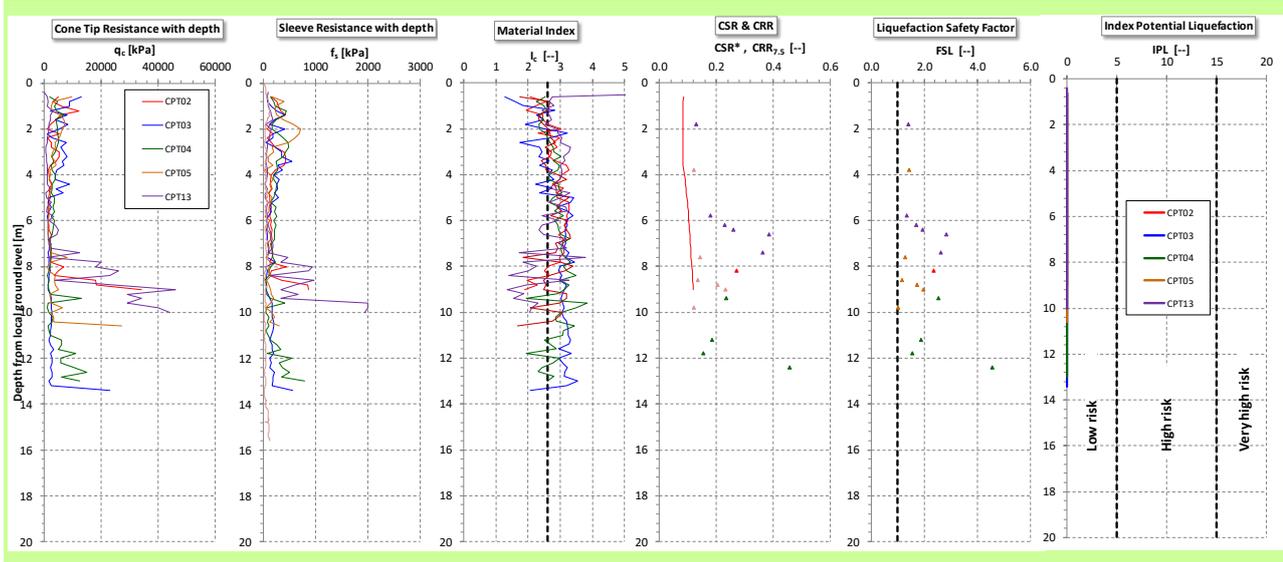


Figura 92 – verifica a liquefazione

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.



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.



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	181 di 281

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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	182 di 281

7.1 Viadotto VI01

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

Sondaggi	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	n. prove dilatometriche	n. prove pressiométrica	n. prove Lefranc/Lugeon	Piezometro TA
4SD06_V1	40.0	5	2	-	2	-	1(LU)	CC [12.0]
4SD06_GN1	35.0	6	4	8	2	1	2(LE)	CC [25.0]

Dove:

TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto finestrato].

CC [m]: piezometro a cella di Casagrande [prodonità cella];

[LU] = prova di permeabilità Lugeon;

[LE] = prova di permeabilità Lefranc.

E' stata inoltre eseguita la prova sismica MASW7.

Il pezometro installato nel sondaggio 4SD06_GN1 non ha rilevato falda, l'altro piezometro ha rilevato falda alla profondità di 5.60m (+423 m s.l.m.)

Lungo lo sviluppo del viadotto è stata intercettata la formazione di Terravecchia costituita da sabbia debolmente cementata con livelli di calcarenite alternanata a marna argillosa dura (unità TRVa) fino alla massima profondità indagata, con una copertura alterata (cappellaccio – unità cap-c) di spessore medio 7 m circa. Per il dimensionamento delle palificate si assume cautelativamente la seguente stratigrafia media.

Stratigrafia		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
cap – c	Cappellaccio alterato della formazione di base	0.0÷7.0
TRVa	Formazione di Terravecchia arenaria e sabbia cementata alternata a marna argillosa	7.0÷50.0

Dall'indagine sismica Masw7 si ha $V_{s,eq} = 408$ m/s da cui si definisce categoria di sottosuolo tipo B.

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente. Per il laboratorio sono stati presi anche i risultati dei campioni di sondaggio 7S2. Si segnala che i valori di N_{spt} per l'unità cap-c sono piuttosto bassi se confrontati con i valori Pocket Penetrometer (PP) delle carote di sondaggio e con i valori delle velocità delle onde di taglio alle medesime profondità, quindi si assumeranno valori più cautelativi per l'unità cap-c dell'opera in esame.

Tabella 25 – VI01– Parametri geotecnici

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
cap – c	20.0	50-250	5	25	200÷600	$E_o / 5$
cap-s	20.0	-	5	37	200÷500	$E_o / 5$
TRVa	20.0	250-350 (*)	15	30	600÷1500	$E_o / 5$

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 resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata desunta dai livelli a prevalenza pelitica.

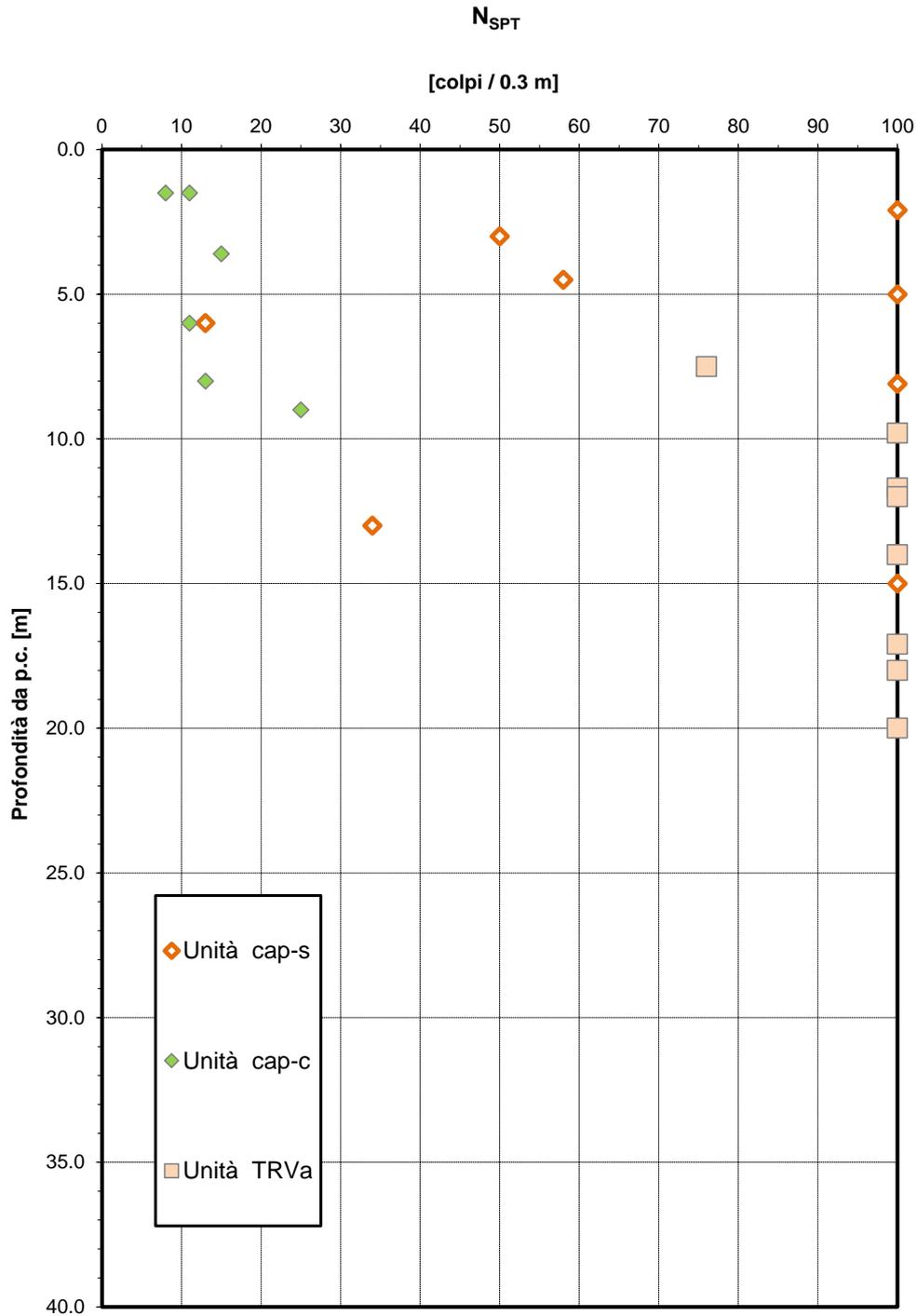


Figura 93 – Risultati prova SPT – VI01

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

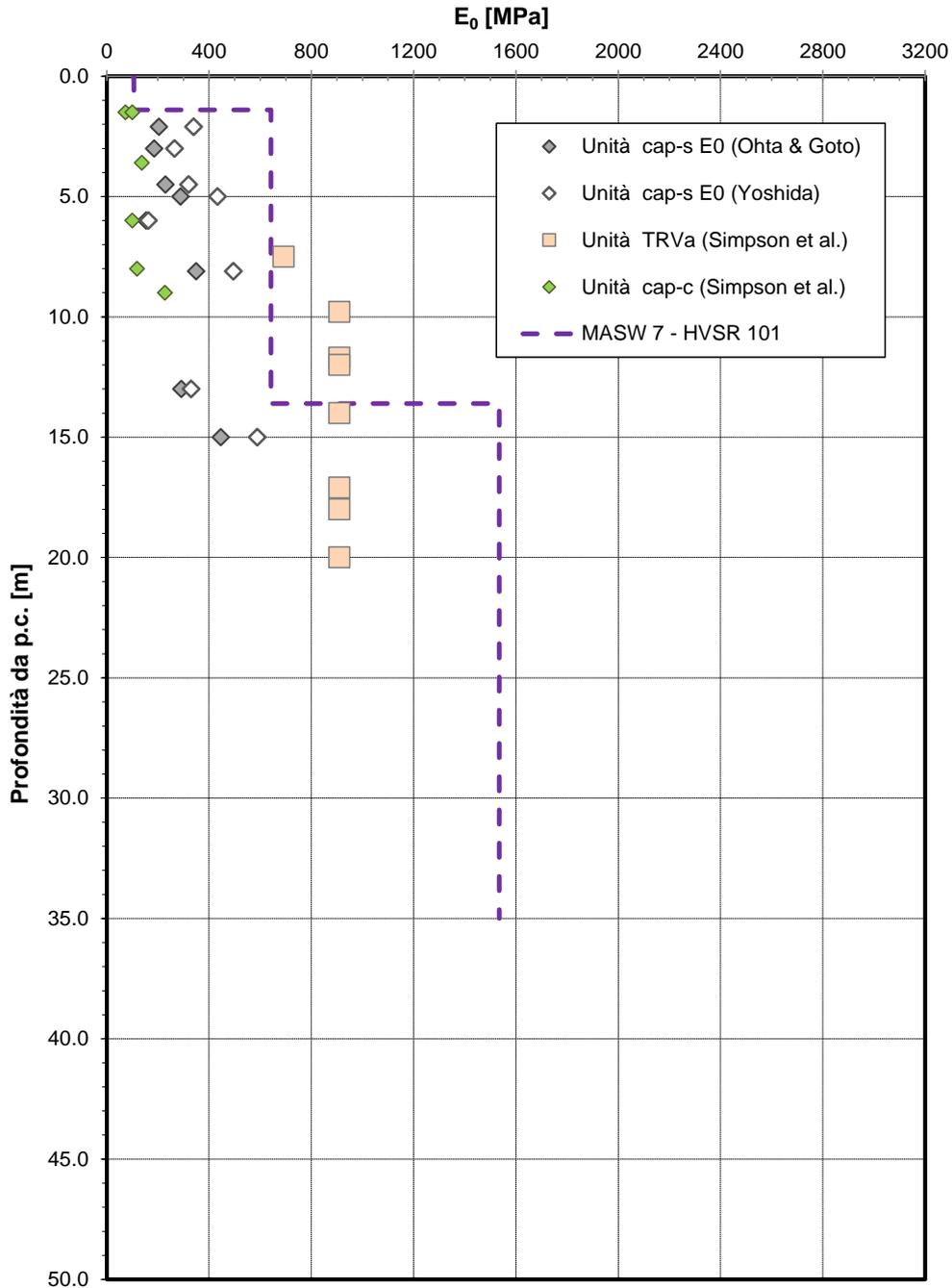


Figura 94 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche VI01

Andamento della resistenza al taglio non drenata

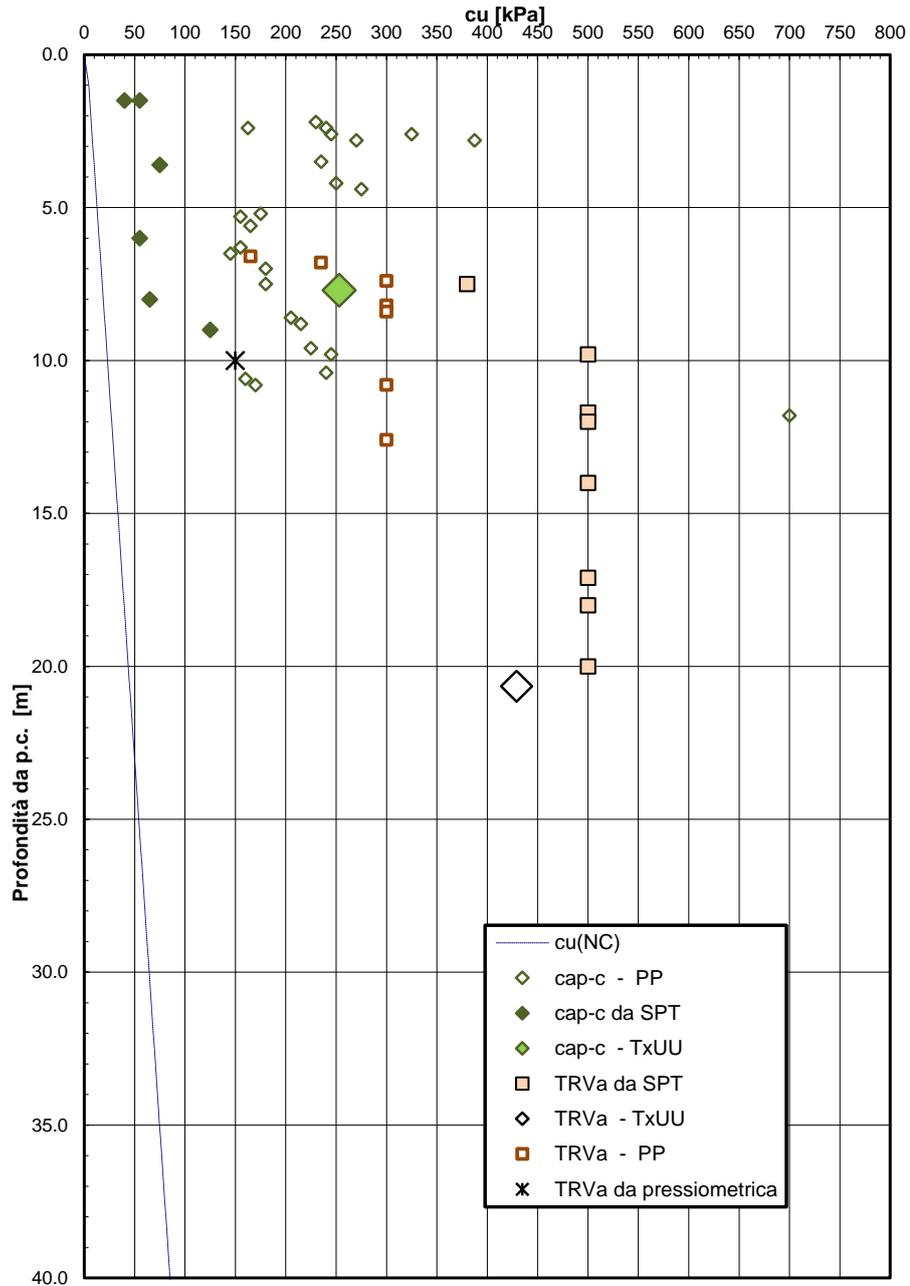


Figura 95 – Andamento della resistenza al taglio non drenata VI01

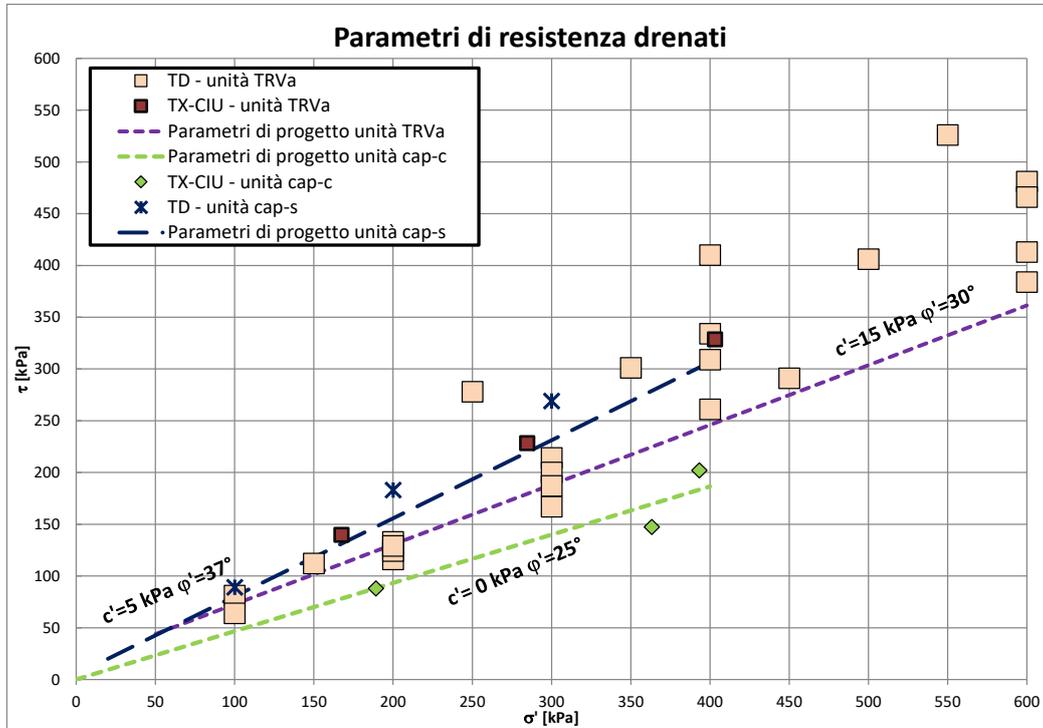


Figura 96 – Parametri di resistenza (sondaggi: 4SD06_V1, 4SD06_GN1, 7S2) VI01

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

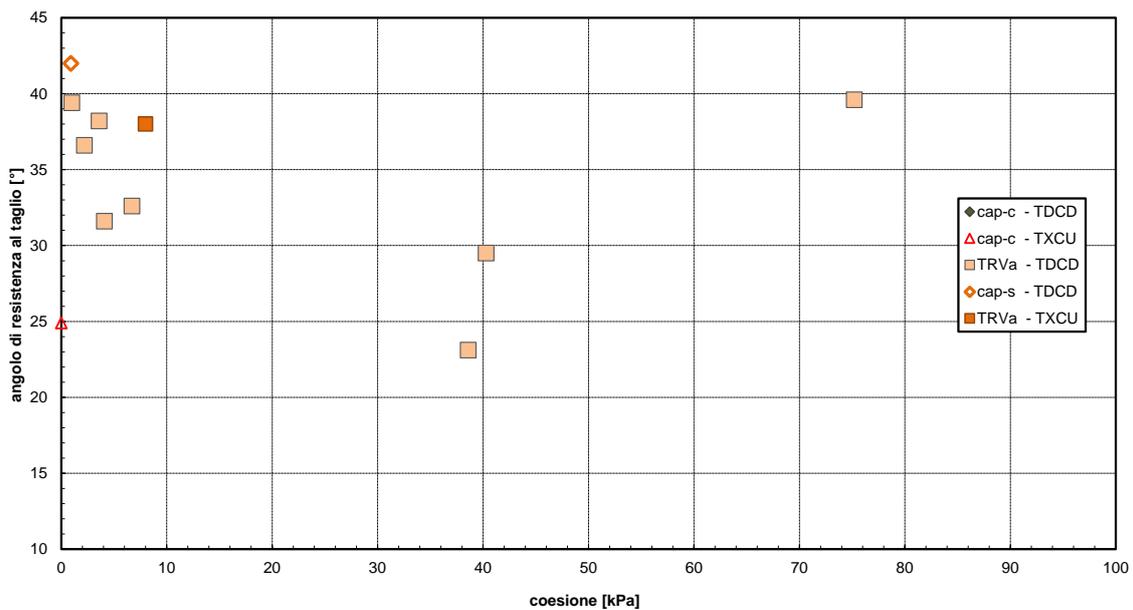


Figura 97 – Angolo di resistenza a taglio e coesione drenata (laboratorio) VI01

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

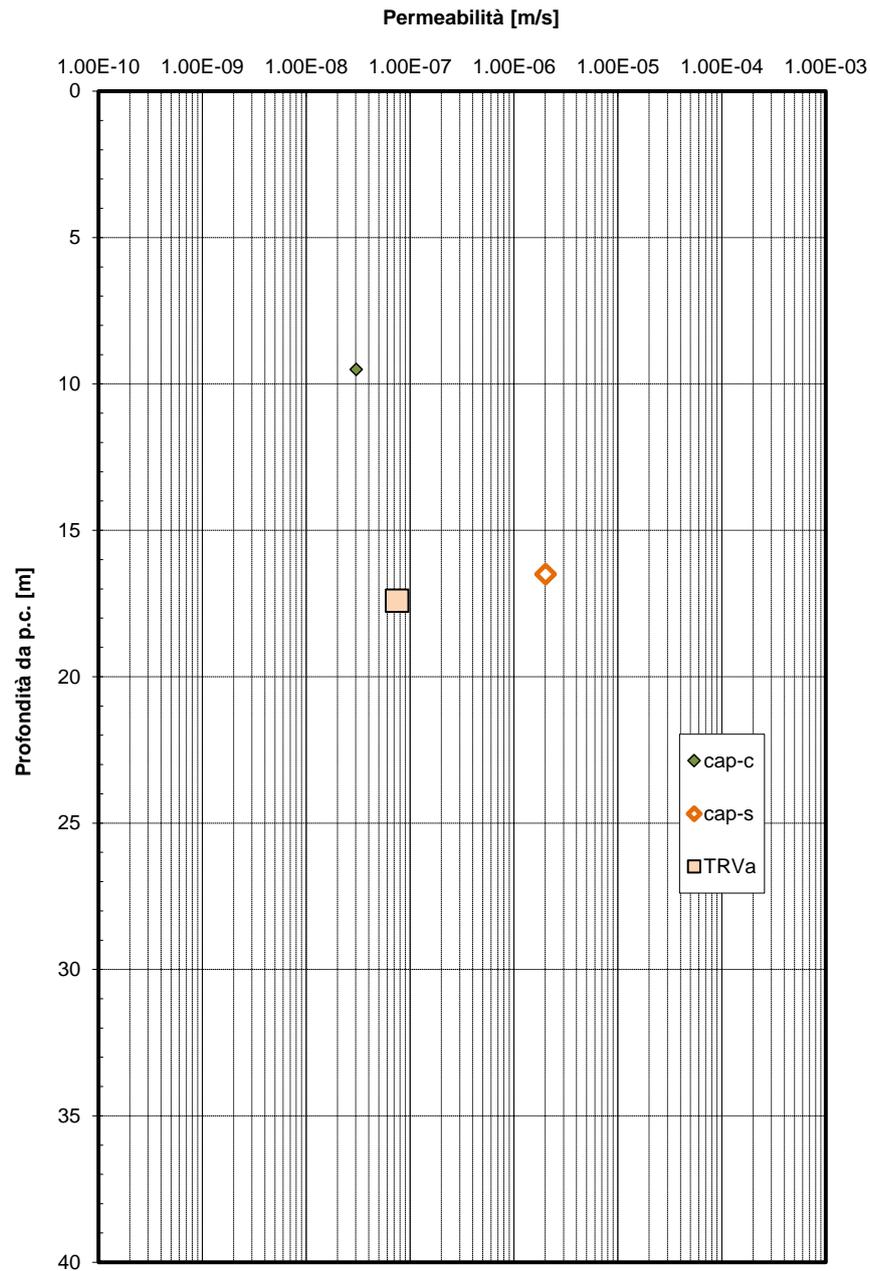


Figura 98 – Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon VI01



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	189 di 281

7.2 Viadotto VI02

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 8+100 e km 9+129. Le indagini di riferimento per la caratterizzazione geotecnica sono indicate nella seguente tabella. I sondaggio SA1 e 4S13 hanno fuori asse abbastanza grande, ma comunque individuano le stesse formazioni.

Sondaggi	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	n. prove dilatometriche	Prove Down – Hole [m]	n. prove Lefranc/ Lugeon	Piezometro TA
4SD14_VI2	40.0	7	3	6	1	[40]	1 (LE); 1 (LU)	-
4SD15_VI2	50.0	6	-	9	2	-	1(LE); 1 (LU)	CC [21]
4SD16_VI2	40.0	7	3	8	2	[40]	1(LE) 2 (LU)	-

Dove:

TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto finestrato].
CC [m]: piezometro a cella di Casagrande [prodonità cella];
[LU] = prova di permeabilità Lugeon;
[LE] = prova di permeabilità Lefranc.

Lungo lo sviluppo dell'opera inoltre sono disponibili le prove sismiche denominate MASW3 e MASW4.

Il piezometro installato nel sondaggio 4SD15_VI2, individua falda alla prodonsità di 4.1 m (+312 m s.l.m.).

Lungo lo sviluppo del viadotto è presente in maniera predominante formazione di Terravecchia costituita da argilla da debolmente marnosa a marnosa (unità TRV) che nella parte centrale del viadotto (sondaggio 4SD15_VI2) presenta una copertura alluvionale coesiva (unità ba) di spessore 8 m ed altrove una copertura alterata (cappellaccio – unità cap-c) di spessore 6-9 m. Per il dimensionamento delle palificate si assume cautelativamente la seguente stratigrafia.

Stratigrafia 1 – Spalle e pile (P1-P24; P25-33)		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
cap – c	Formazione di Terravecchia alterata	0.0÷10.0
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	10.0÷40.0

Stratigrafia 2 - da Pila P21 a Pila P24		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷8.0
cap – c	Formazione di Terravecchia alterata	8.0÷9.5
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	9.5÷40.0

Le indagini sismiche eseguite hanno misurato:

- Masw3: $V_{s,eq} = 361$ m/s (categoria B),
- Masw4: $V_{s,eq} = 249$ m/s (categoria C),
- Down-Hole in foro 4SD14_VI2: $V_{s,eq} = 322$ m/s (categoria C),
- Down-Hole in foro 4SD14_VI6: $V_{s,eq} = 253$ m/s (categoria C).

Quindi per tutto lo sviluppo dell'opera si definisce categoria di sottosuolo sismica tipo C.

PARAMETRI GEOTECNICI

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente.

Tabella 26 – VI02– Parametri geotecnici Stratigrafia 1 - Spalle e pile (P1-P20; P25-33)

	γ [kN/m ³]	cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
cap – c	20.0	70÷150	10	25	120÷200	Eo / 5
TRV	21.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10÷15	19÷29	500÷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

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.

Tabella 27 – VI02 – Parametri geotecnici Stratigrafia 2 da Pila P21 a Pila P24

	γ [kN/m ³]	cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
ba	19.0	70	0	24	400	Eo / 5
cap – c	20.0	140	10	25	400	Eo / 5
TRV	21.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10÷15	19÷29	500÷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

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.

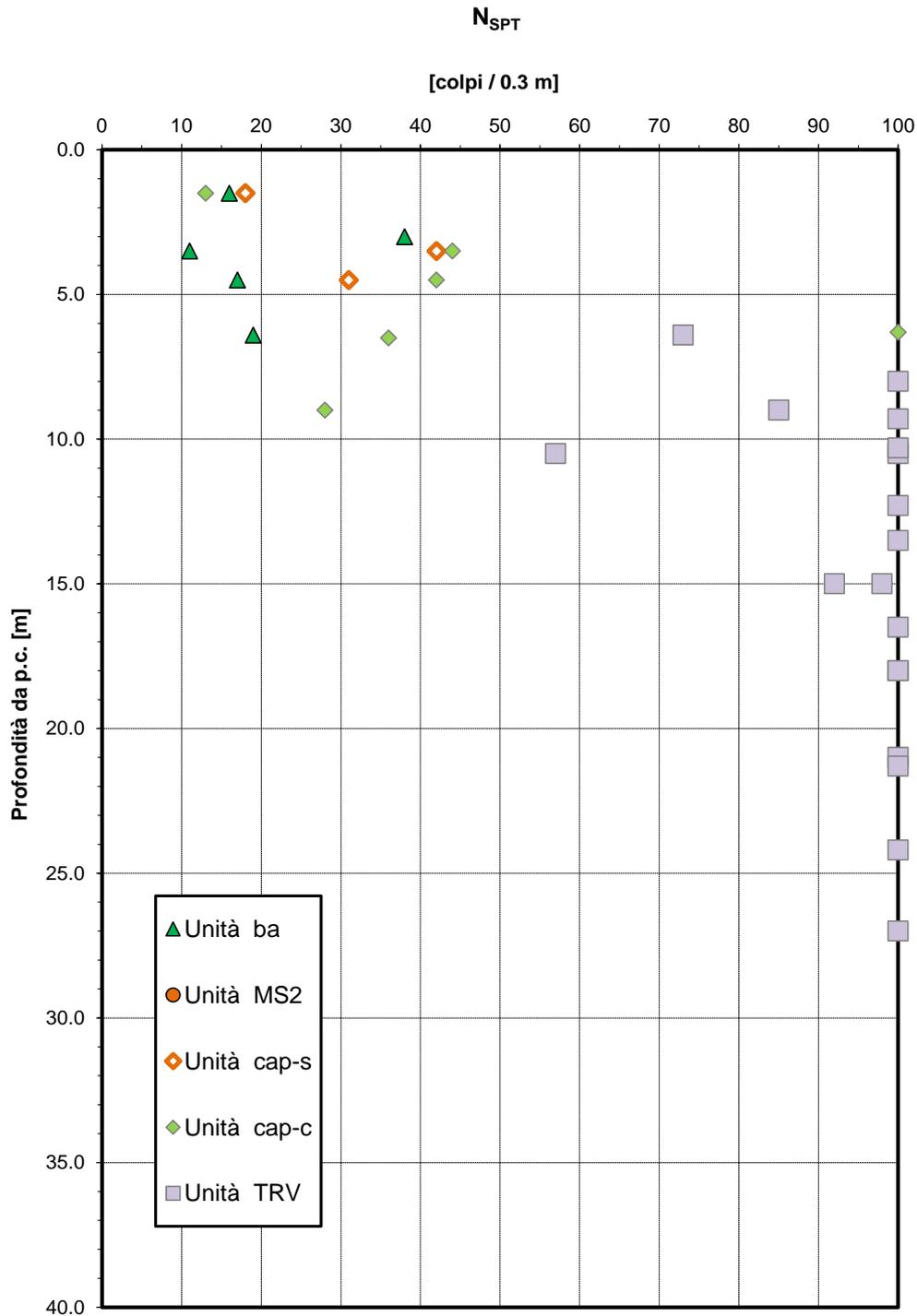


Figura 99 – Valori di N_{SPT} VI02

Andamento della resistenza al taglio non drenata

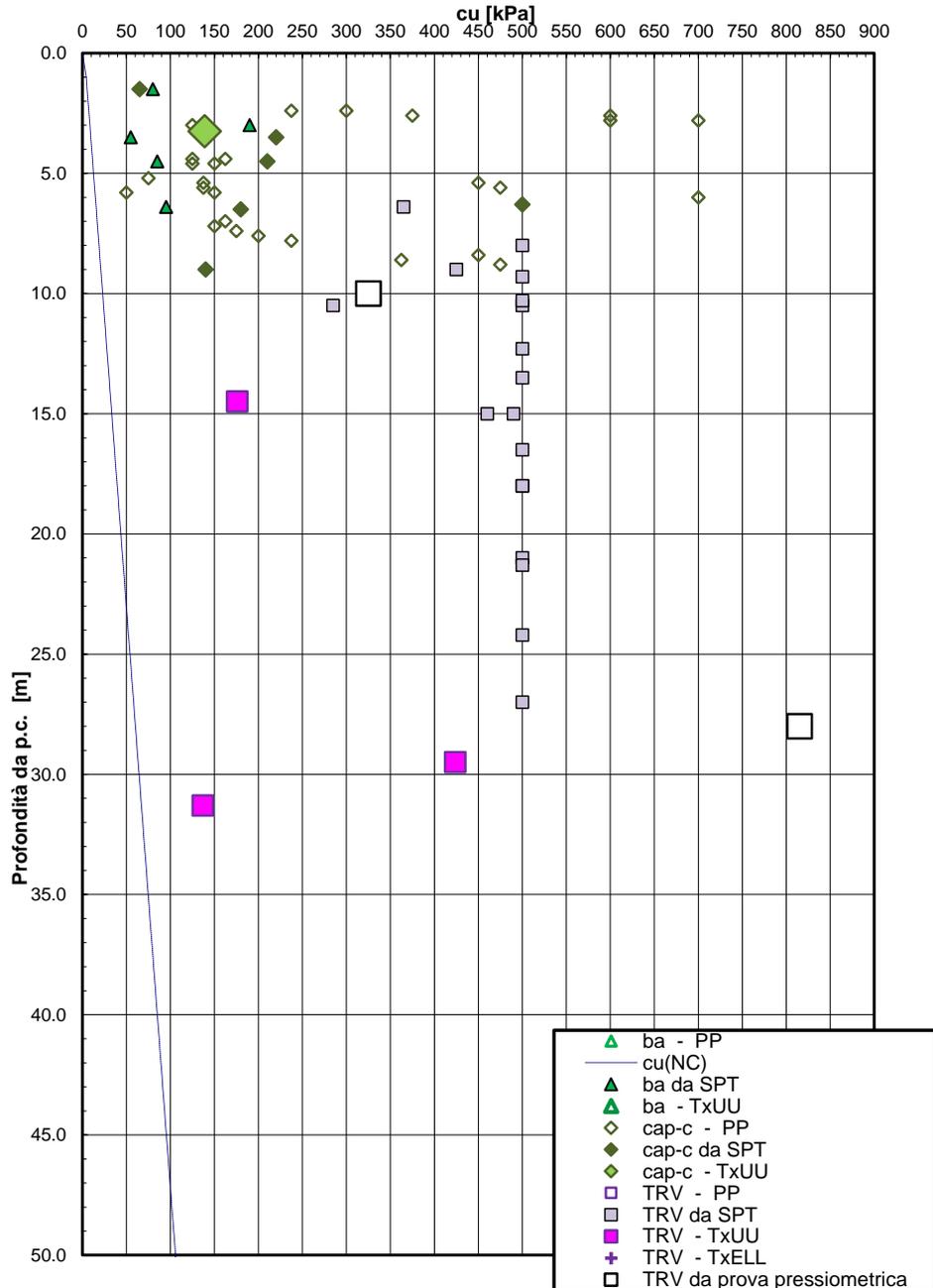


Figura 100 – Andamento della resistenza al taglio non drenata VI02

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

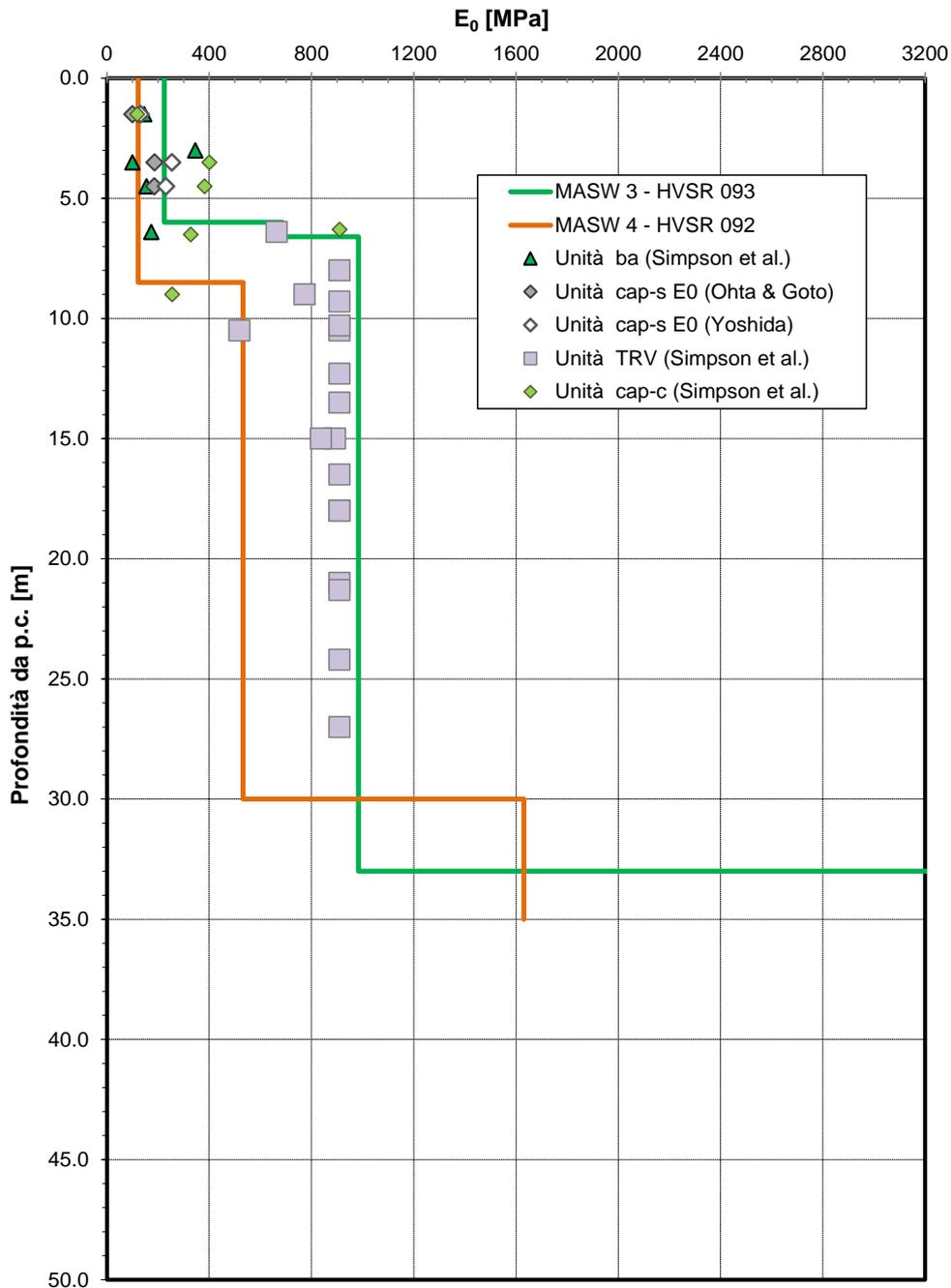


Figura 101 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT - VI02

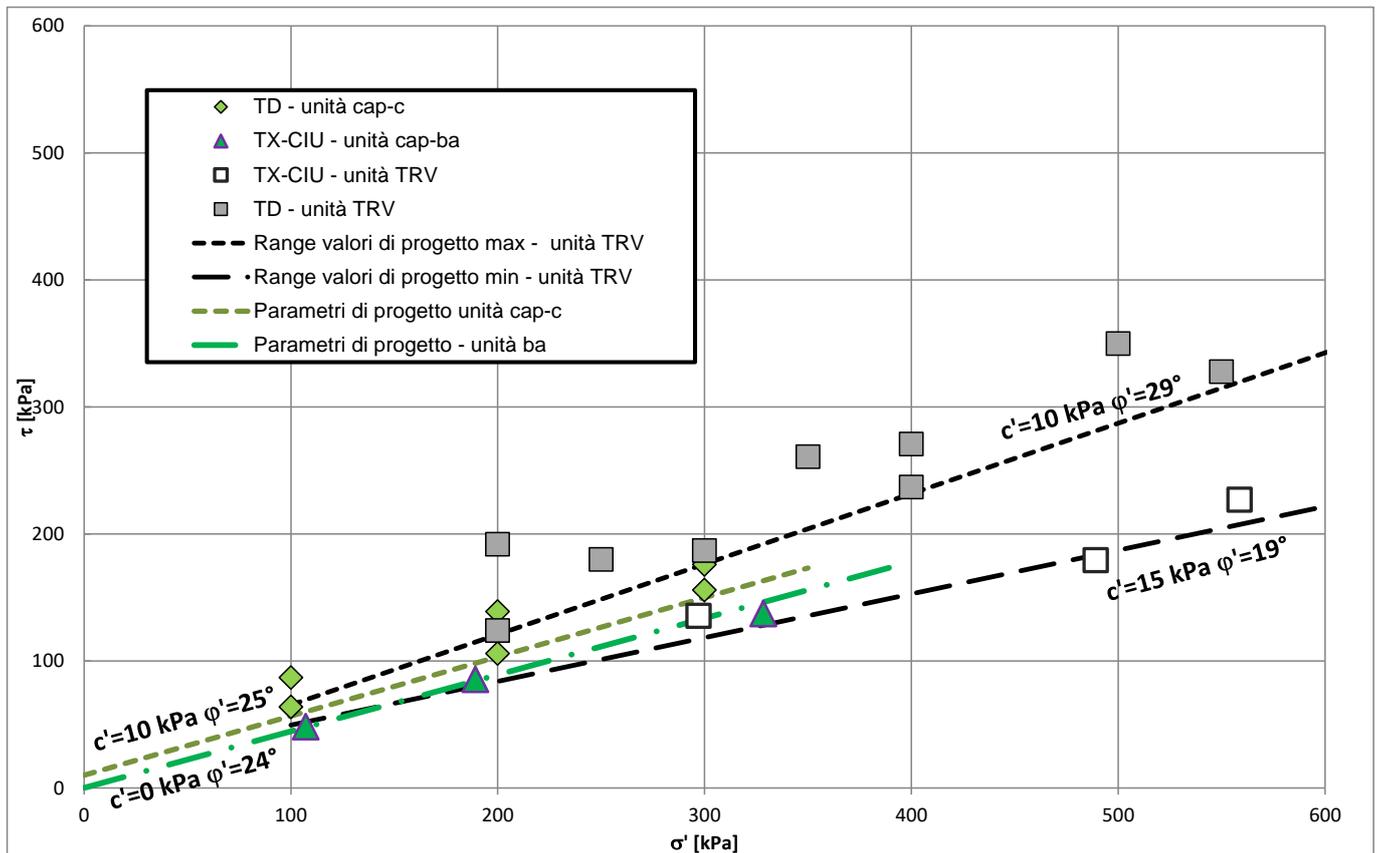


Figura 102 – Caratteristiche di resistenza a taglio unità cap – c e TRV (laboratorio) - VI02

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

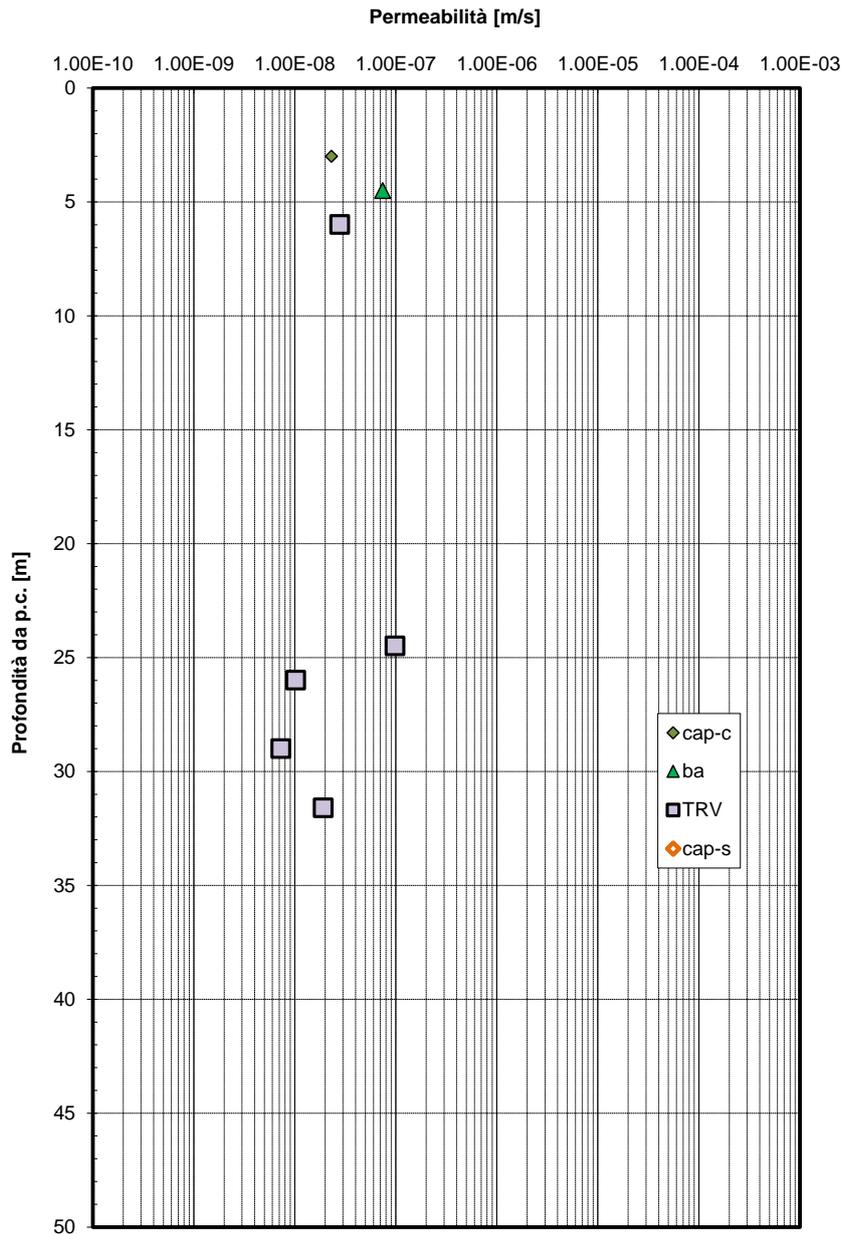


Figura 103 – Permeabilità - VI02

7.3 Viadotto VI03

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 9+324 e km 9+625. Le indagini di riferimento per la caratterizzazione geotecnica sono le seguenti.

Sondaggi	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	Prova DH	n. prove dilatometriche	n. prove Lefranc	Piezometro TA
4SD17_VI3	40.0	6	-	8	-	3	1(LE); 2(LU)	CC[29.5]
4SD18_VI3	40.0	6	3	8	40.0	2	1(LE); 2(LU)	-

Dove:

TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto finestrato].
 CC [m]: piezometro a cella di Casagrande [prodonità cella];
 [LU] = prova di permeabilità Lugeon;
 [LE] = prova di permeabilità Lefranc.

E' inoltre disponibile la prova sismica: MASW2.

Il piezometro ha rilevato falda a 5 m di profondità da p.c..

Lungo lo sviluppo del viadotto è presente in maniera predominante la formazione di Terravecchia costituita da argilla da debolmente marnosa a marnosa (unità TRV) che ha una copertura alterata (cappellaccio – unità cap-c) di spessore massimo 12 m; inoltre affiorano alluvioni terrazzate coesive (unità bn) a partire circa dalla pila 4. Per il dimensionamento delle palificate si assume cautelativamente la seguente stratigrafia.

Stratigrafia 1 – da Spalla 1 a Pila P3		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
cap – c	Cappellaccio alterato della formazione di base, coesivo	0.0÷12.0
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	12.0÷40.0

Stratigrafia 2 - da Pila P4 a Spalla 2		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷4.0
cap – c	Cappellaccio alterato della formazione di base, coesivo	4.0÷12.0
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	12.0÷40.0



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	198 di 281

Dalle indagini sismiche eseguite si è misurata $V_{s,eq} = 361$ m/s nella Masw2 e $V_{s,eq} = 305$ m/s dalla sismica Down-Hole nel foro di sondaggio 4SD18_VI3. Da cui si è assunta la categoria di sottosuolo C per tutto il viadotto.

PARAMETRI GEOTECNICI

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente. Per l'unità TRV i parametri di resistenza drenati sono stati assunti cautealmente come per il viadotto VI03, perché si ha a disposizione una sola prova di laboratorio.

Tabella 28 – VI03 – Parametri geotecnici Stratigrafia 1 (da spalla A a Pila 3)

	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
cap – c	20.0	80÷150	5	26	170÷400	$E_o / 5$
TRV	21.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10÷15	19÷29	60÷1000	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

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.

Tabella 29 – VI03 – Parametri geotecnici Stratigrafia 2 (da Pila 4 a spalla B)

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E _o [MPa]	E ['] _{op,1} [MPa]
bn	20.0	100	5	26	100	E _o / 5
cap – c	20.0	100÷150	5	26	170÷400	E _o / 5
TRV	21.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10÷15	19÷29	60÷1000	E _o / 5

Dove:

γ = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al 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.

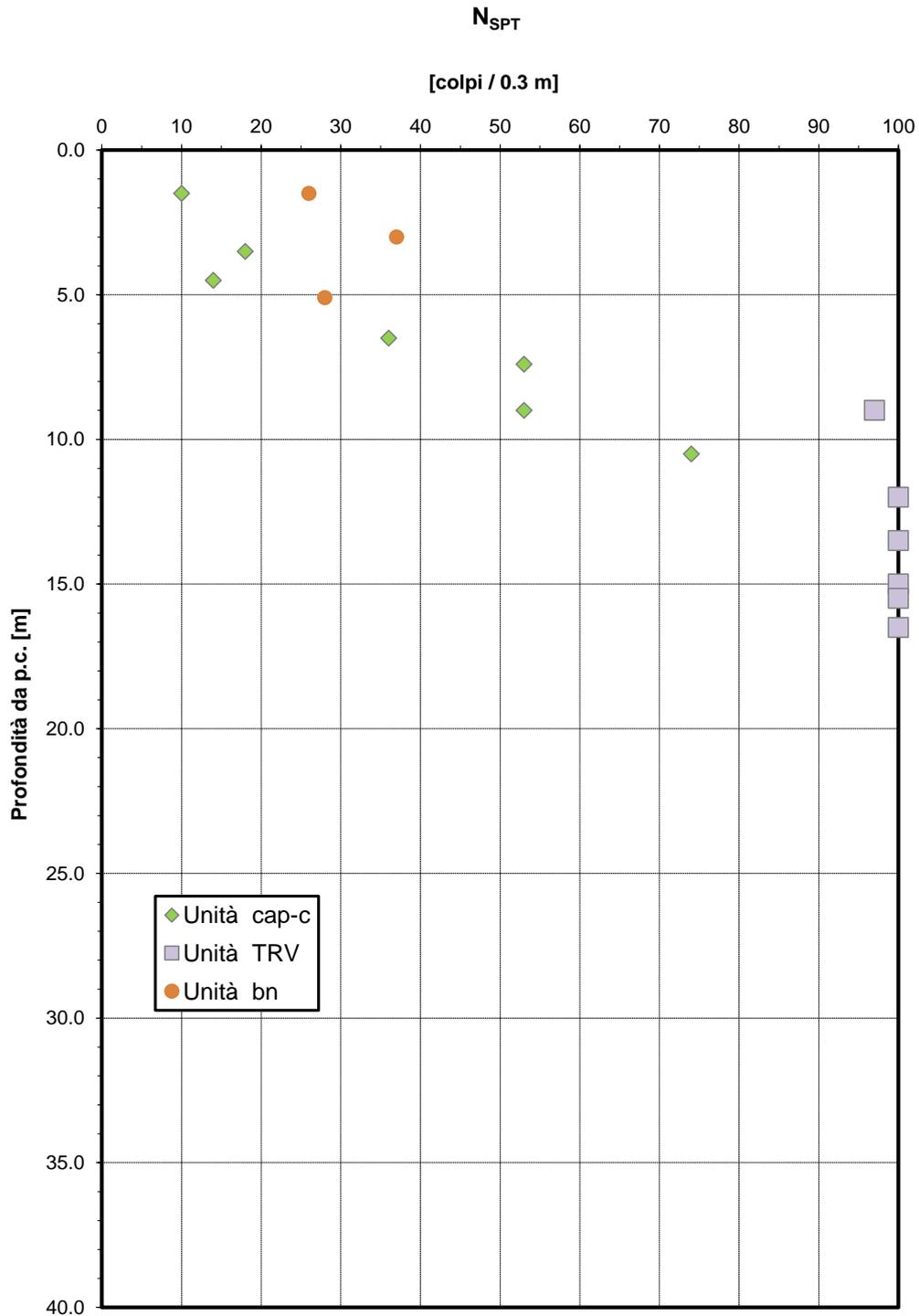


Figura 104 – Valori di N_{SPT} VI03

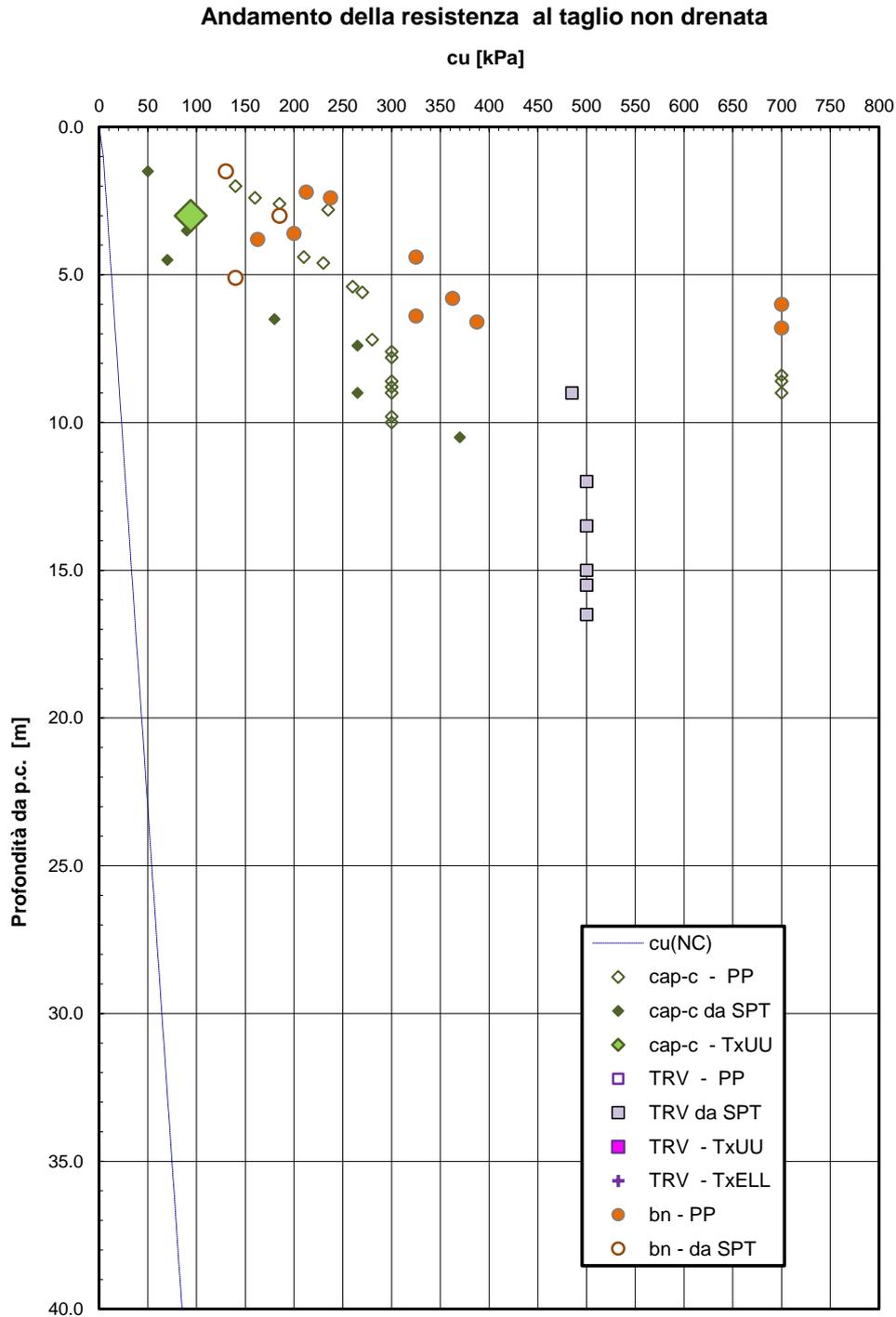


Figura 105 – Andamento della resistenza al taglio non drenata VI03

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

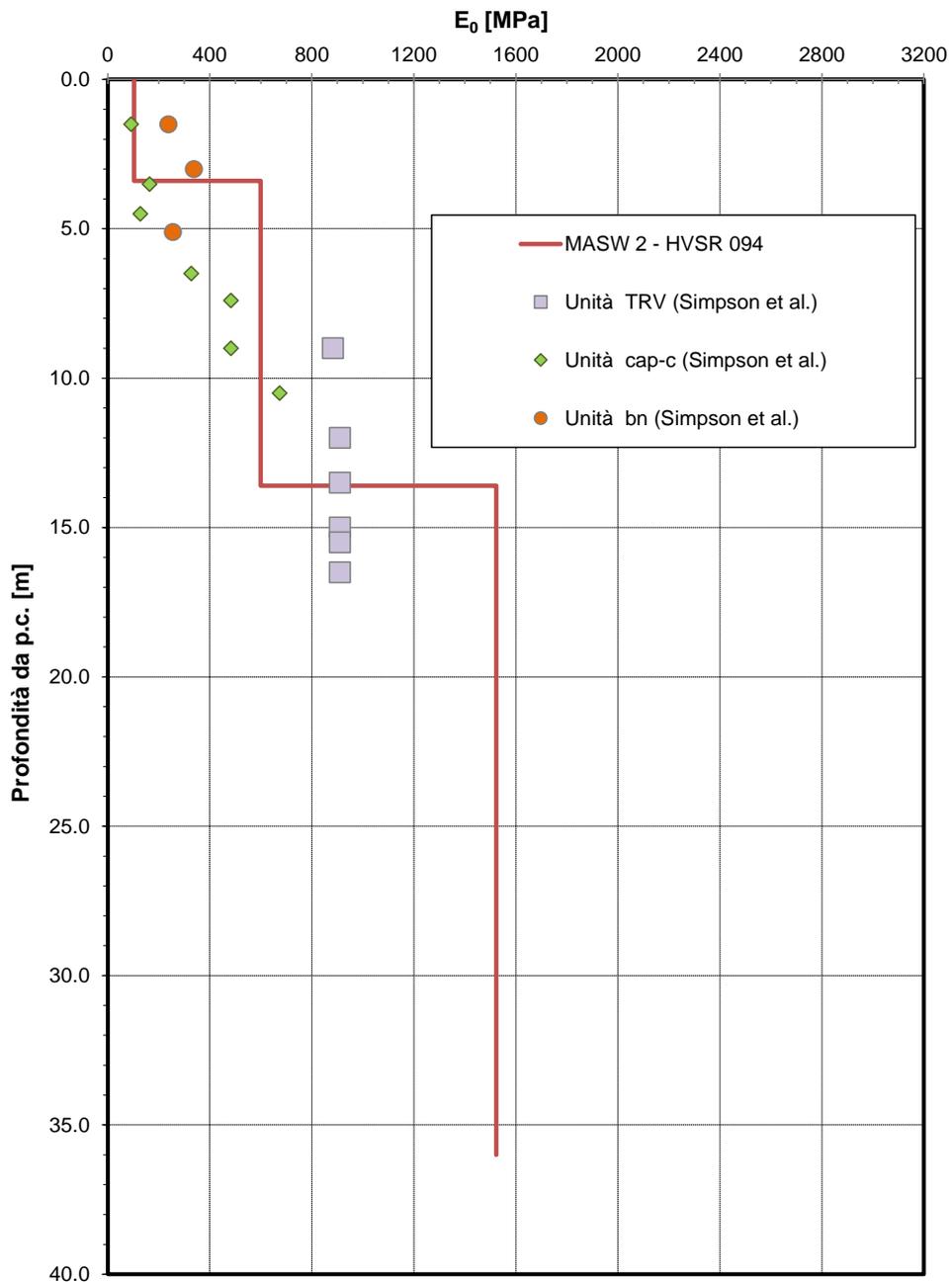


Figura 106 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche- VI03

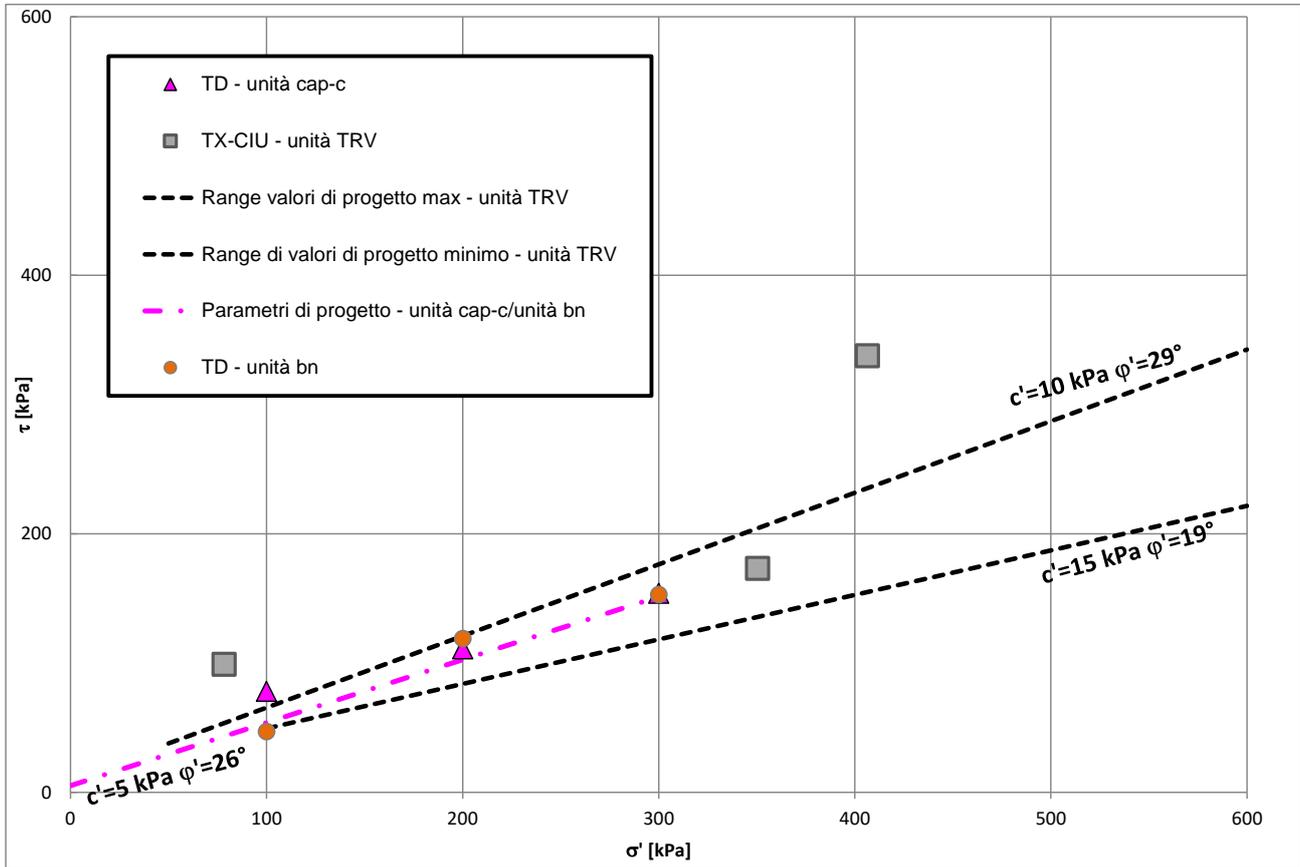


Figura 107 – Caratteristiche di resistenza a taglio – unità ba e TRV - VI03

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

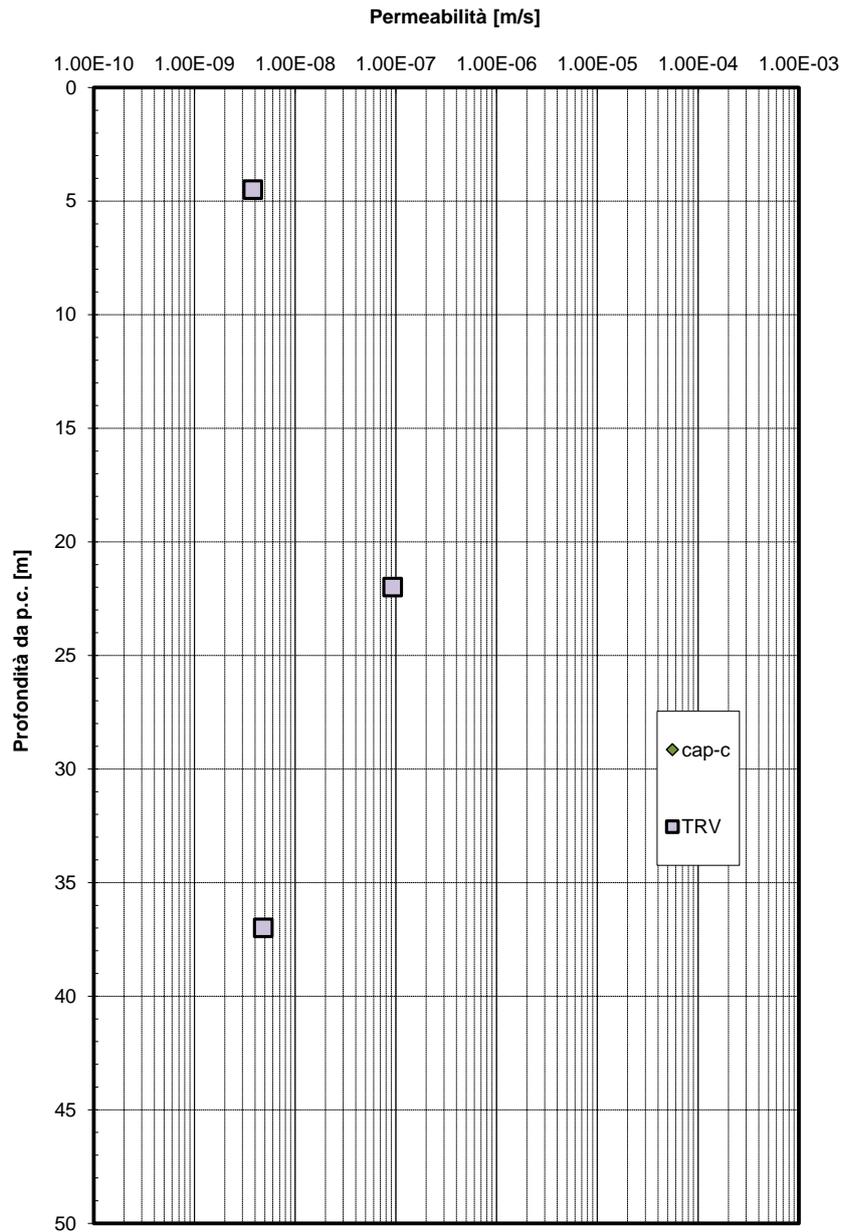


Figura 108 – Permeabilità- VI03



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	205 di 281

7.4 Viadotto VI04

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 9+856.5 e km 10+216.6. Le indagini di riferimento per la caratterizzazione geotecnica sono le seguenti.

Sondaggi	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	n. prove dilatometrica (D) pressiometrica (P)	Prove Down – Hole [m]	n. prove Lefranc/ Lugeon	Piezometro TA
4SD18bis_VI4	40.0	9	3	6	2(D)	-	1(LE); 2(LU)	CC[24]
4SD17_1_VI4	40.0	8	3	7	2(D)	[40]	1 (LE); 2(LU)	-
4SD19_VI4	40.0	6	2	10	2(D); 1(P)	-	1 (LE); 2(LU)	CC[21]

Dove:

TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto finestrato].
CC [m]: piezometro a cella di Casagrande [prodontà cella];
[LU] = prova di permeabilità Lugeon;
[LE] = prova di permeabilità Lefranc.

Le misure piezometriche nei sondaggi attrezzati hanno dato livello di falda a 5.2 m per 4SD19_VI4 (+298.5 m s.l.m.) e 19.4 m da p.c. per 4SD18bis_VI4 (+290.5 m s.l.m.).

Lungo lo sviluppo del viadotto è presente in maniera predominante la formazione di Terravecchia costituita da argilla da debolmente marnosa a marnosa (unità TRV) che nella parte centrale del viadotto presenta una copertura alluvionale coesiva (unità ba) di spessore 4 m circa e procedendo verso le spalle, alluvioni terrazzate coesive (unità bn) con spessore di 5-8 m; al di sotto delle alluvioni generalmente è presente una copertura alterata (cappellaccio – unità cap-c) di spessore 4-5 m. Per il dimensionamento delle palificate si assume cautelativamente la seguente stratigrafia.

Stratigrafia 1 – Spalla A		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
bn	Depositi alluvionali terrazzati coesivi	0.0÷3.0
cap – c	Cappellaccio alterato della formazione di base	3.0÷6.0
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	6.0÷40.0

Stratigrafia 2 - da Pila P1 a Pile P6		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷4.0
cap – c	Cappellaccio alterato della formazione di base	4.0÷9.0
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	9.0÷40.0

Stratigrafia 3 - da Pila P7, P8, P9 e Spalla B		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
bn	Depositi alluvionali terrazzati coesivi	0.0÷8.0
TRV	Formazione di Terravecchia argilloso marnosa	8.0÷40.0

Dall'indagine sismica Down-hole nel foro di sondaggio 4SD17_1_VI4 è misurata $V_{s,eq} = 308$ m/s da cui si definisce categoria di sottosuolodi tipo C.

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente.

Tabella 30 – VI04– Parametri geotecnici Stratigrafia 1 – Spalla A

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
bn	20.0	70÷150	5	28	100÷300	Eo / 5
cap – c	20.0	140	5	28	400	Eo / 5
TRV	21.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10-20	13-30	500÷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.

Tabella 31 – VI04 – Parametri geotecnici Stratigrafia 2- da Pila P1 a Pile P6

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Eo [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
ba	19.0	75	0	24	100÷250	Eo / 5
cap – c	20.0	140	5	28	400	Eo / 5
TRV	20.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10-20	13-30	500÷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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	208 di 281

Tabella 32 – VI04 – Parametri geotecnici Stratigrafia 3 da Pila P7, P8, P9 e Spalla B

	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E _o [MPa]	E' _{op,1} [MPa]
bn	20.0	70÷150	5	28	100÷300	E _o / 5
TRV	20.0	175 (z < 15 m) 200 (15 < z < 25 m) 300 (25 < z < 35 m) 350 (z > 35 m)	10-20	13-30	500÷1000	E _o / 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

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.

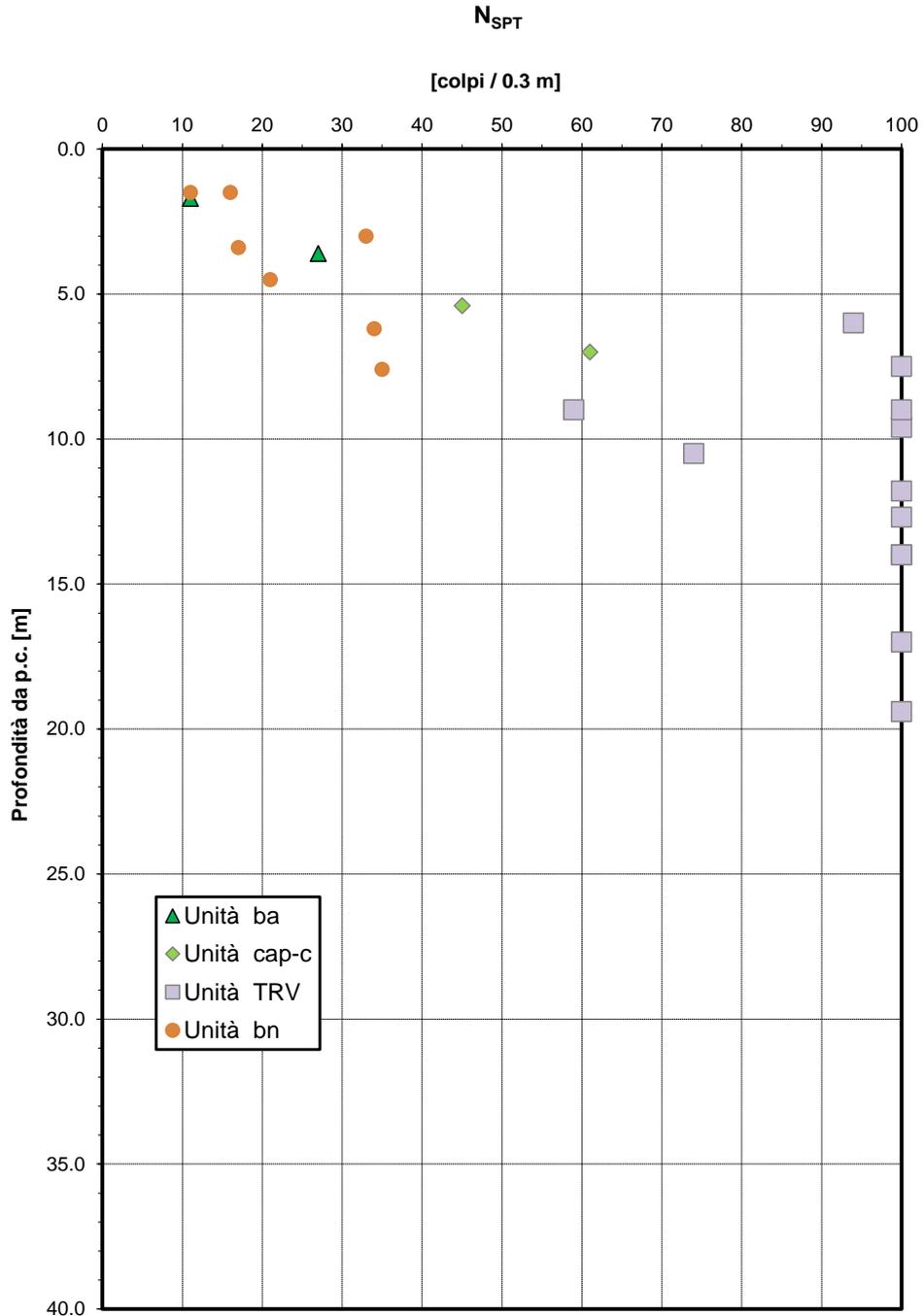


Figura 109 – Valori di N_{SPT} VI04

Andamento della resistenza al taglio non drenata

cu [kPa]

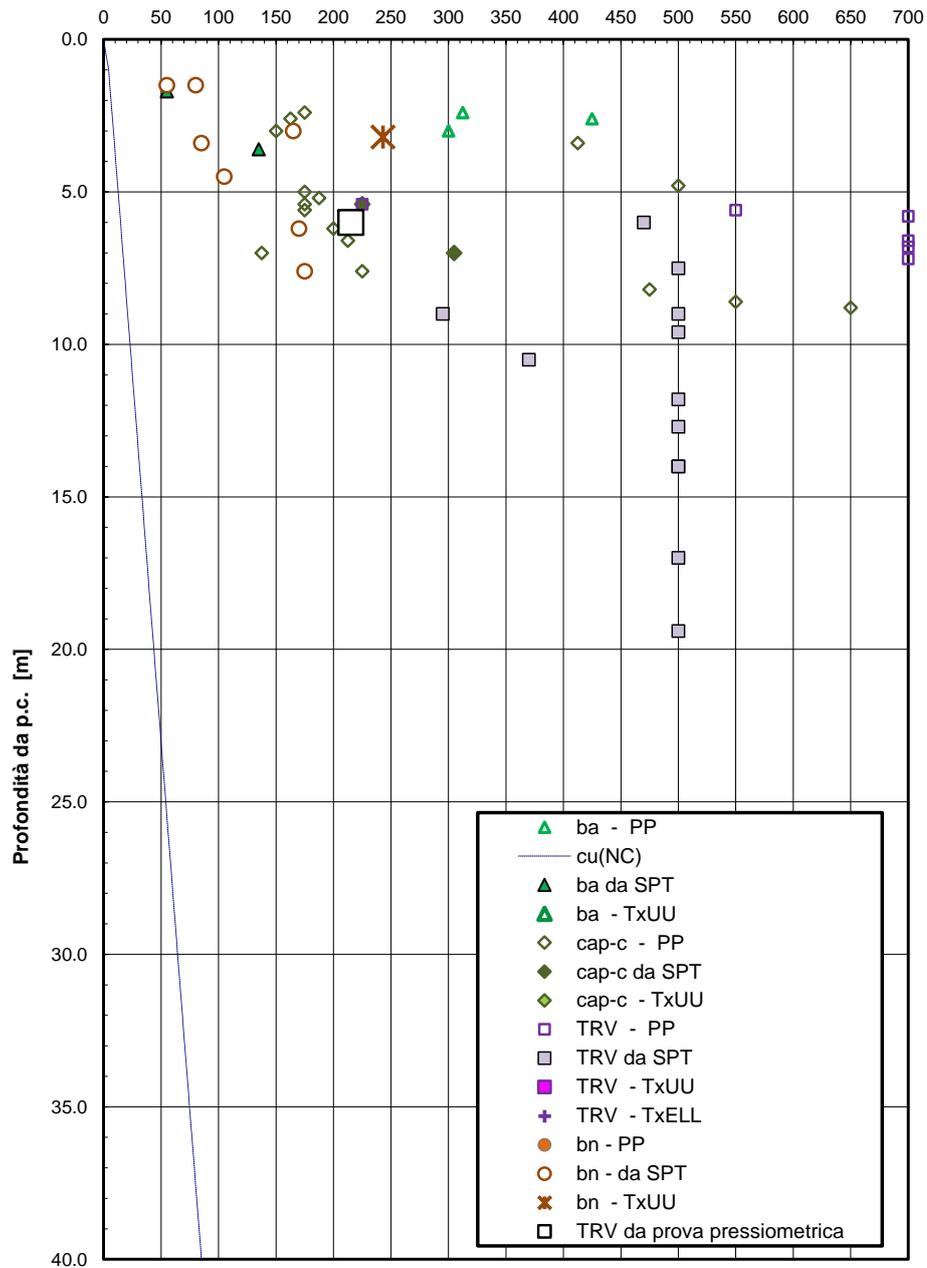


Figura 110 – Andamento della resistenza al taglio non drenata VI04.

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

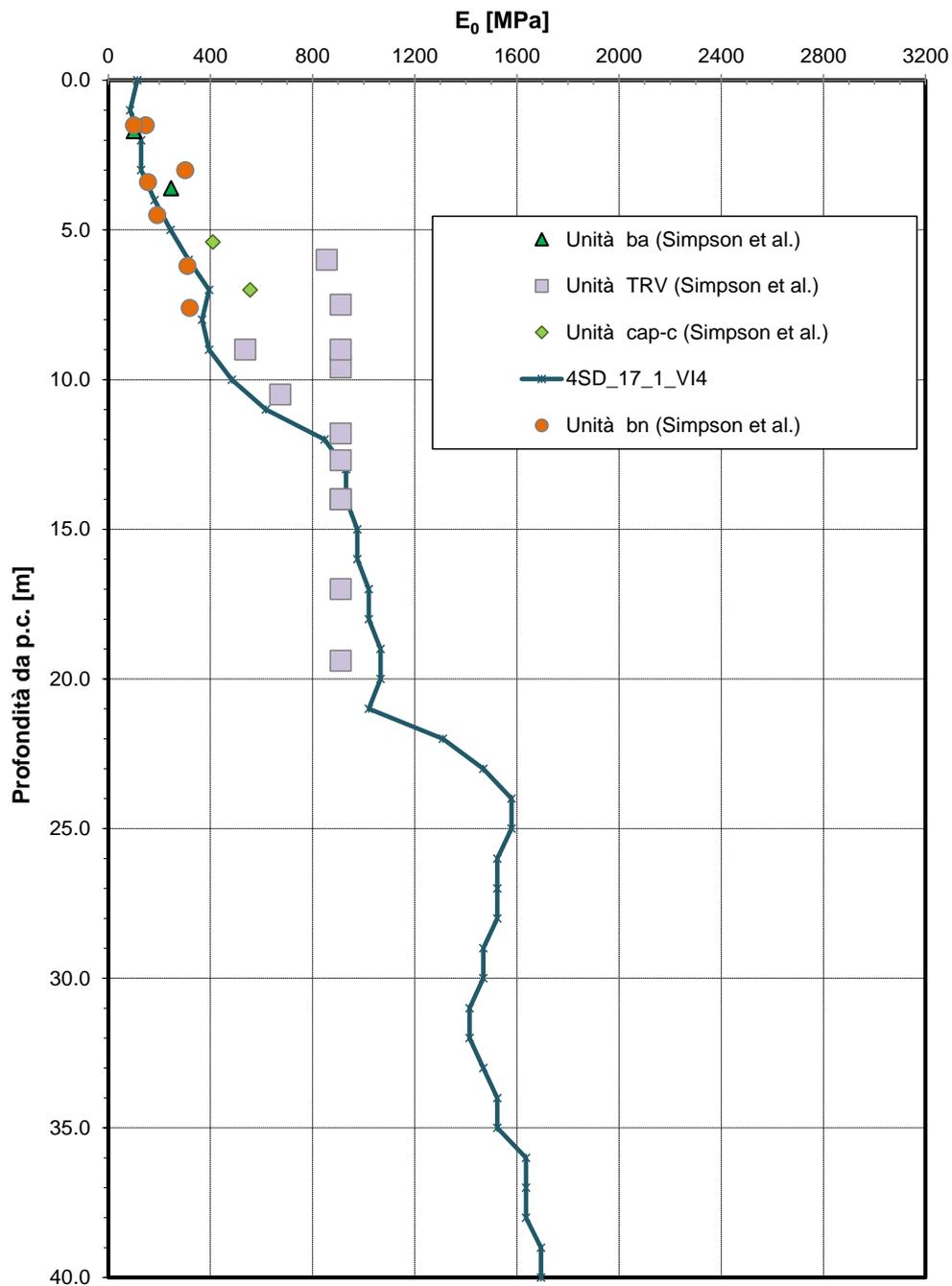


Figura 111 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prova SPT e sismiche VI04

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

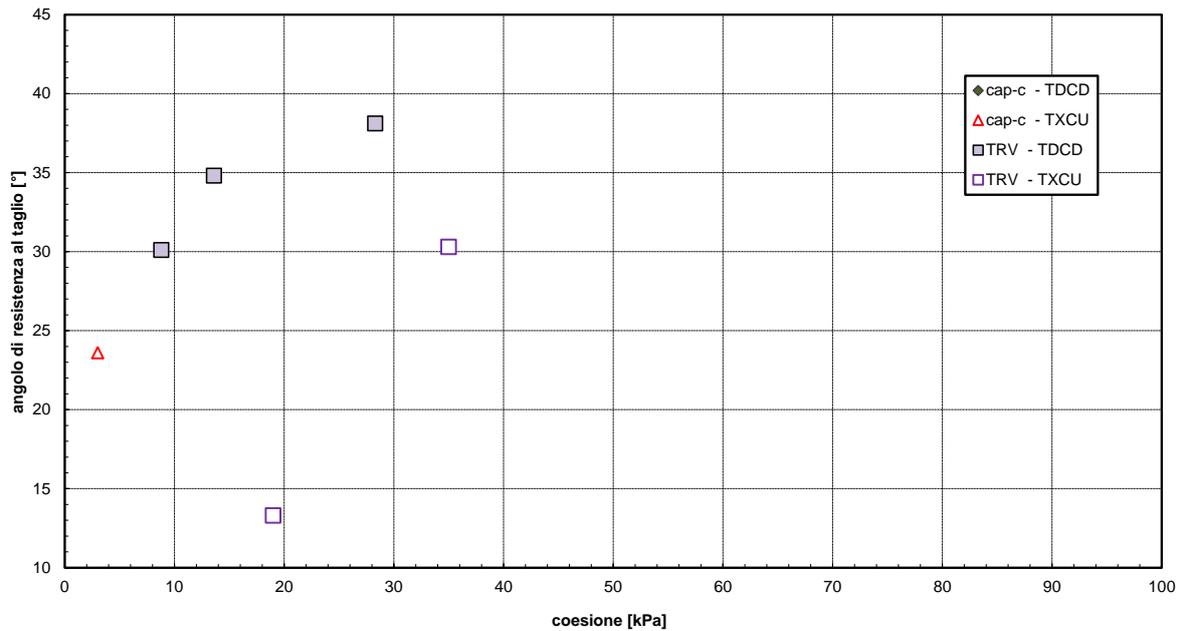


Figura 112 – Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza a taglio – VI04

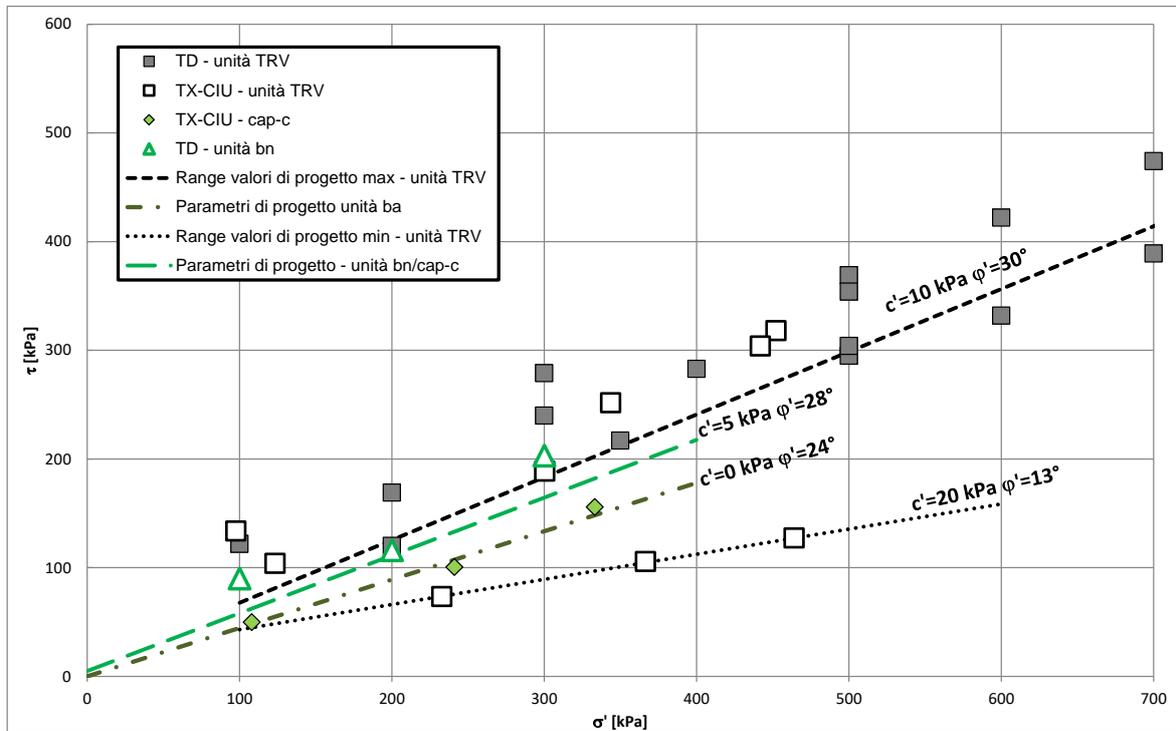


Figura 113 – Caratteristiche di resistenza a taglio per unità cap - c e TRV – VI04

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

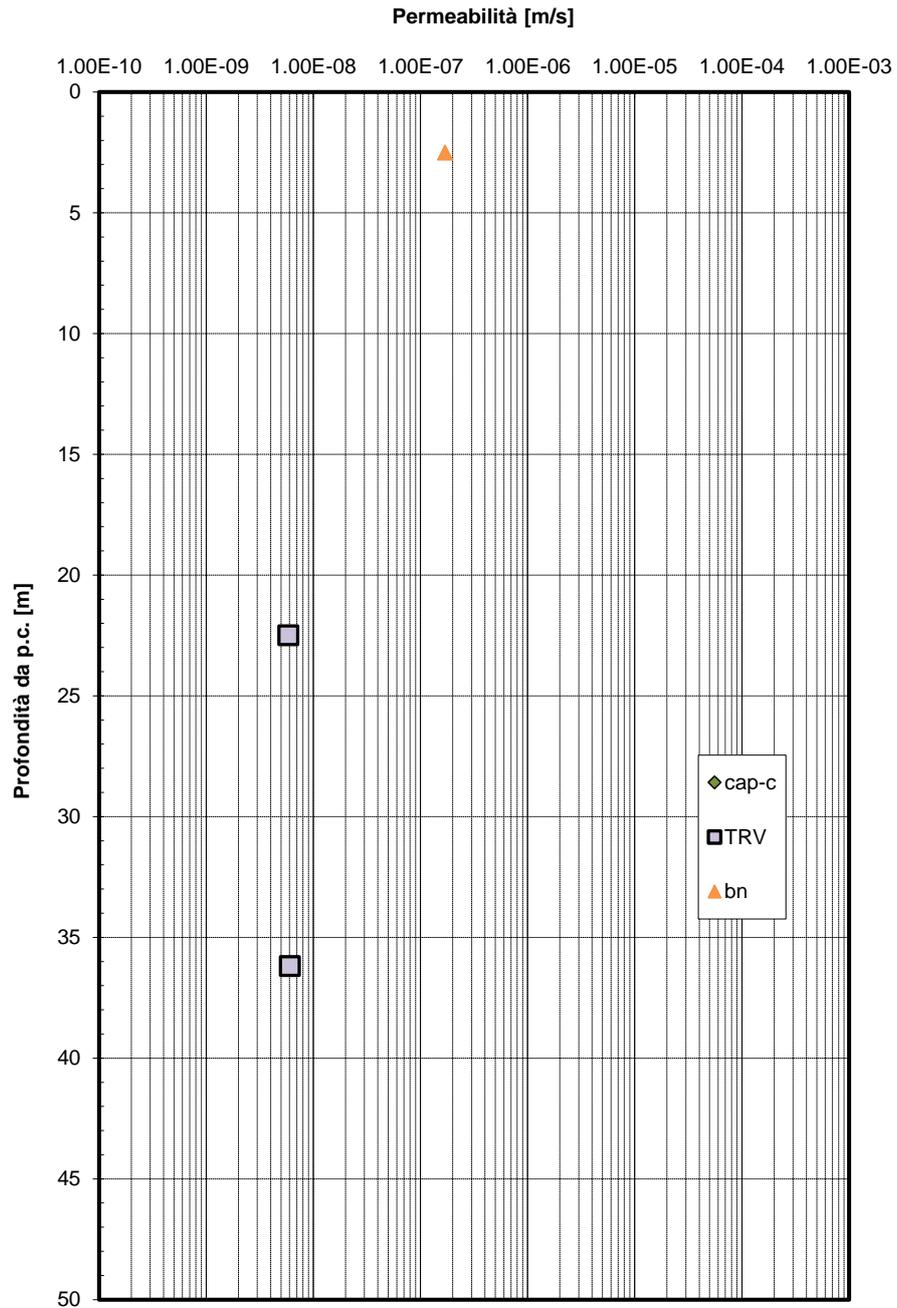


Figura 114 – Permeabilità-VI04



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	214 di 281

7.5 Viadotto VI05

L'opera in esame è ubicata tra le progressive km 14+672.6 e km 14+812.6. Le indagini di riferimento per la caratterizzazione geotecnica sono le seguenti.

Sondaggi/ Penetrometriche	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	n. prove Lefranc/ Lugeon	Piezometro TA
5_S14	40.0	253.4	3	2	7	2(LE)	TA[6.0÷30.0]
DPSH12	15.5	-	-	-	-	-	-
CPT13	14.0	-	-	-	-	-	-

Dove:

TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto finestrato].

CC [m]: piezometro a cella di Casagrande [prodonità cella];

[LU] = prova di permeabilità Lugeon;

[LE] = prova di permeabilità Lefranc.

Sono inoltre state eseguite le indagini sismiche Masw11 e Masw12.

Il livello di falda massimo misurato nel piezometro è a 5.86 m di profondità da p.c..

Lungo lo sviluppo del viadotto è presente una copertura alluvionale di spessore massimo 17 m circa, prevalentemente coesiva (unità ba) con locali lenti ghiaiose (unità bg) ed a seguire la formazione di base di Terravecchia in facies brecciata (unità TRVb - argilla limosa debolmente marnosa a struttura brecciata). Per il dimensionamento delle palificate si assume cautelativamente la seguente stratigrafia media.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limo argillosi)	0.0÷17.0
TVRb	Formazione di Terravecchia brecciata	17.0÷40.0

Dalle indagini sismiche si è misurata una velocità $V_{s,eq}=303$ m/s con Masw12 e $V_{s,eq}=345$ m/s con Masw11, da cui si è assunta cautelativamente la categoria di sottosuolo C per tutto il viadotto.

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	215 di 281

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente. Per i parametri di resistenza dell'unità TRVb (formazione di Terravecchia in facies argilloso marnoso brecciata) si è fatto riferimento ai dati di laboratorio dell'intero lotto 4b, poiché ci sono pochi dati disponibili.

Tabella 33 – VI05 – Parametri geotecnici

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E_o [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]
ba	19.0	40÷100	5	25	60÷150	$E_o / 5$
bg	19.0	-	0	35	250-400	$E_o / 5$
TRVb	21.0	115+3.5*z (z <30 m) 2.5+6.5*z (z >30m)	5 ($\sigma'v < 150$ kPa) 20 ($\sigma'v > 150$ kPa)	26 ($\sigma'v < 150$ kPa) 19 ($\sigma'v > 150$ kPa)	60÷1000	$E_o / 5$

Dove:

γ = peso di volume naturale

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace

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.

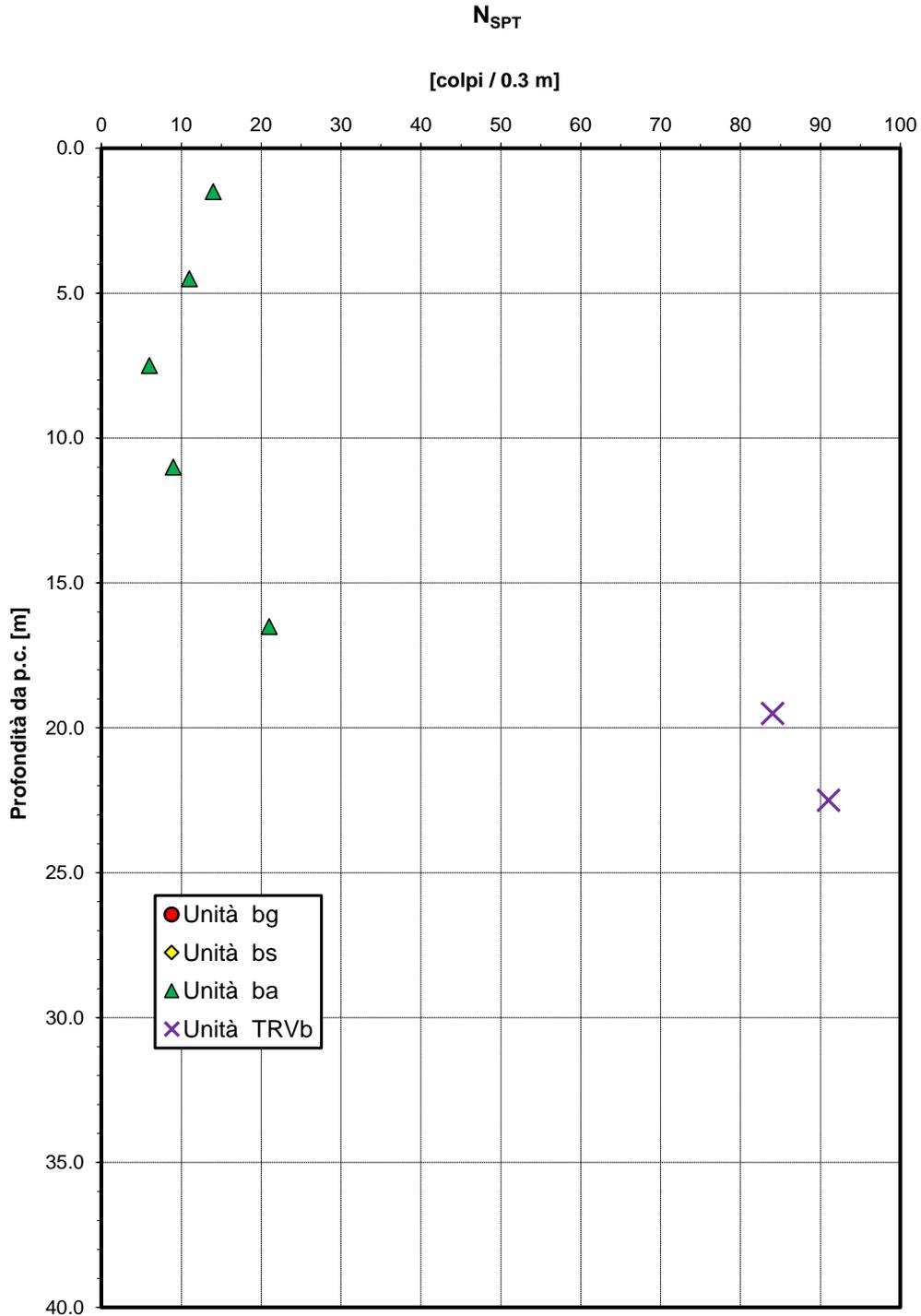


Figura 115 – Valori di N_{SPT} VI05

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

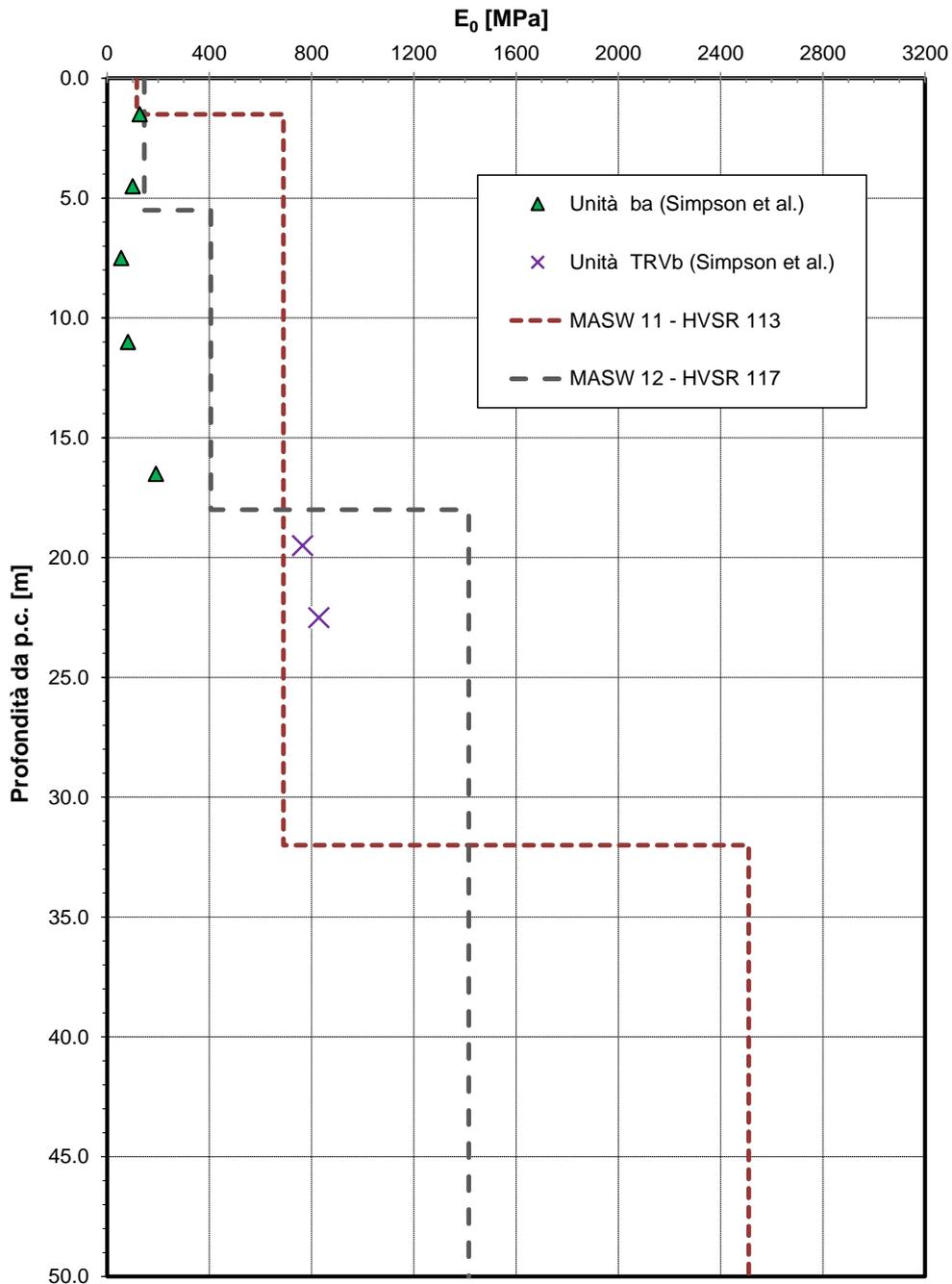


Figura 116 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche - VI05

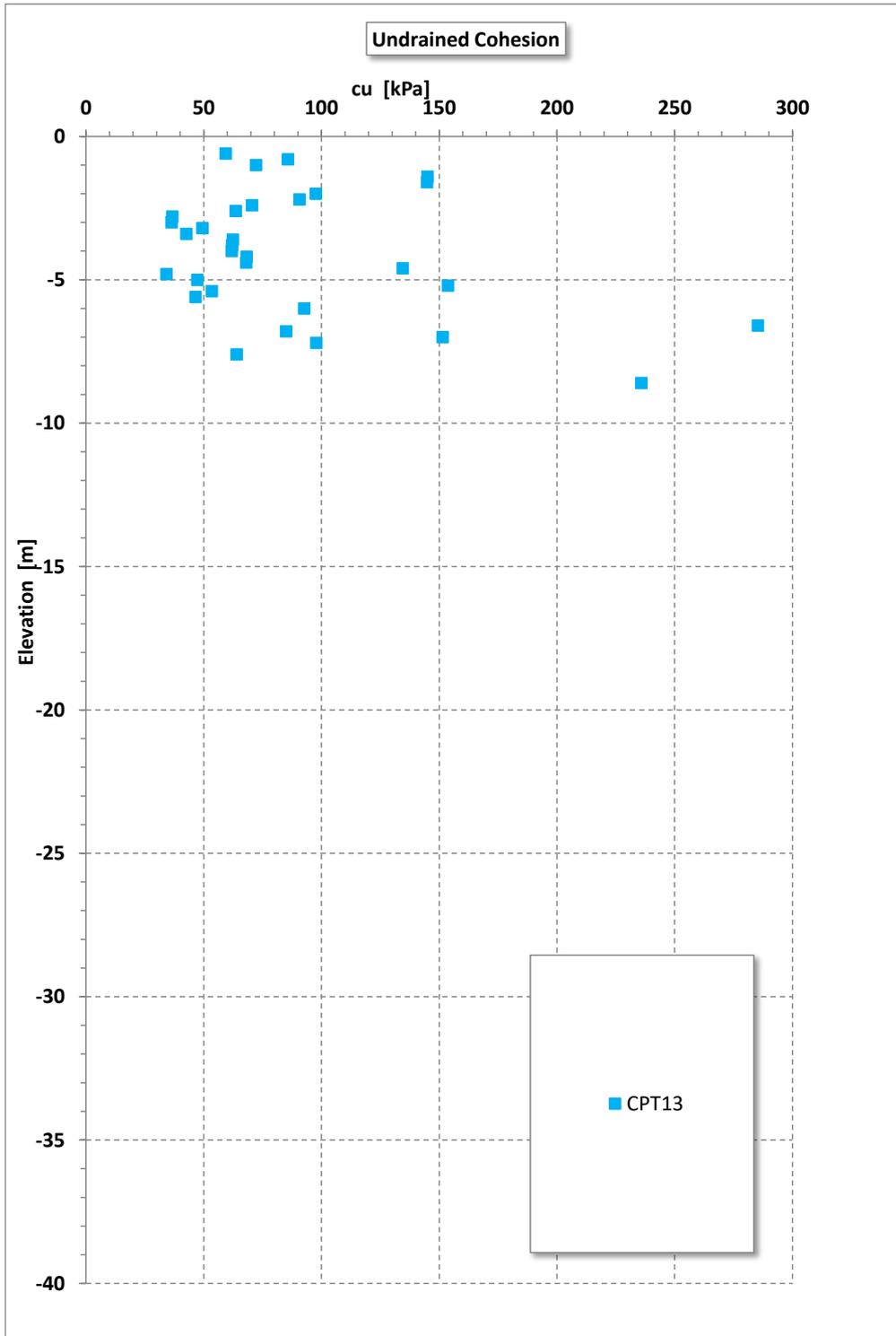


Figura 117 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate - VI05

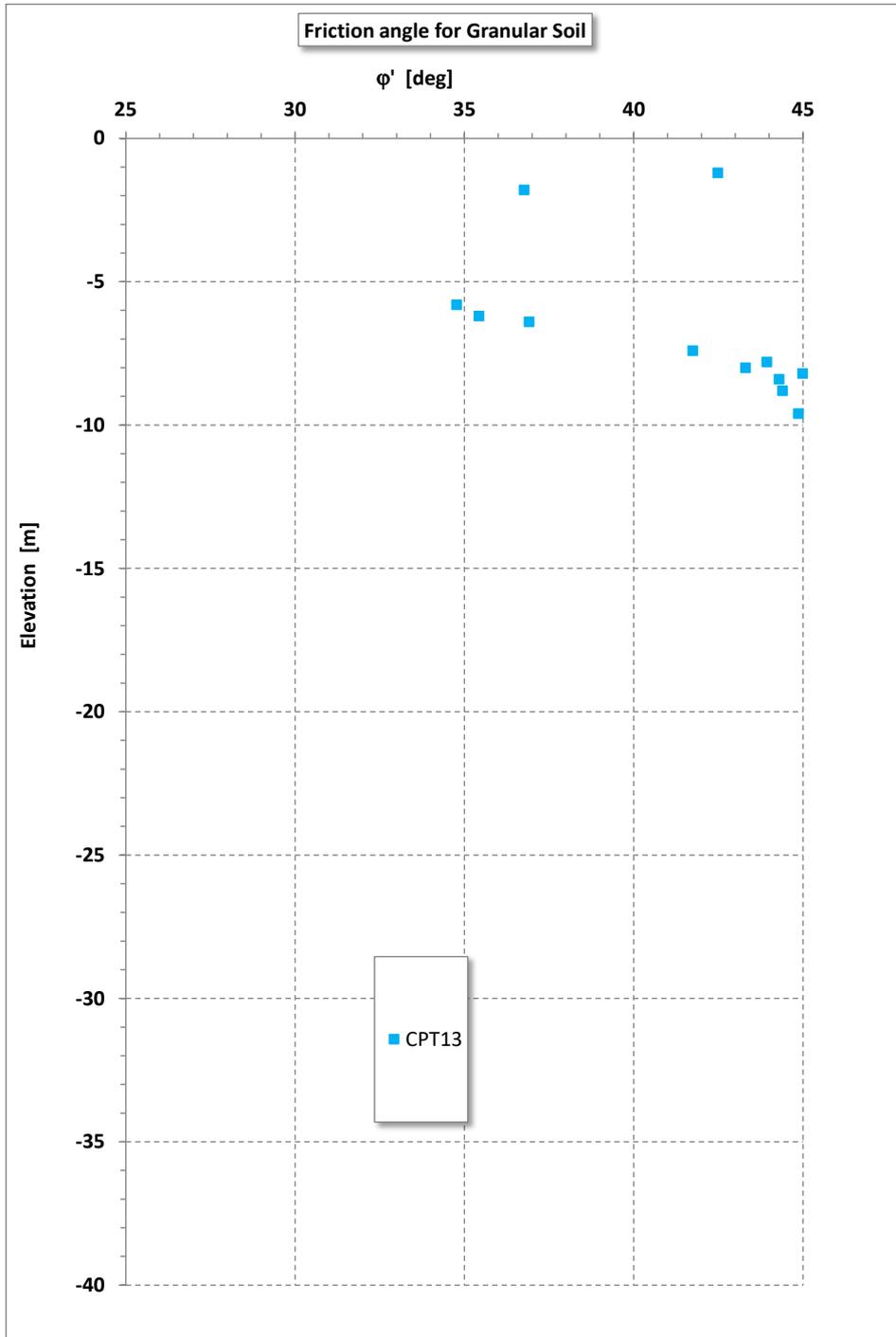


Figura 118 – Angolo di resistenza al taglio (terreni incoerenti) da prova CPT13

Andamento della resistenza al taglio non drenata

cu [kPa]

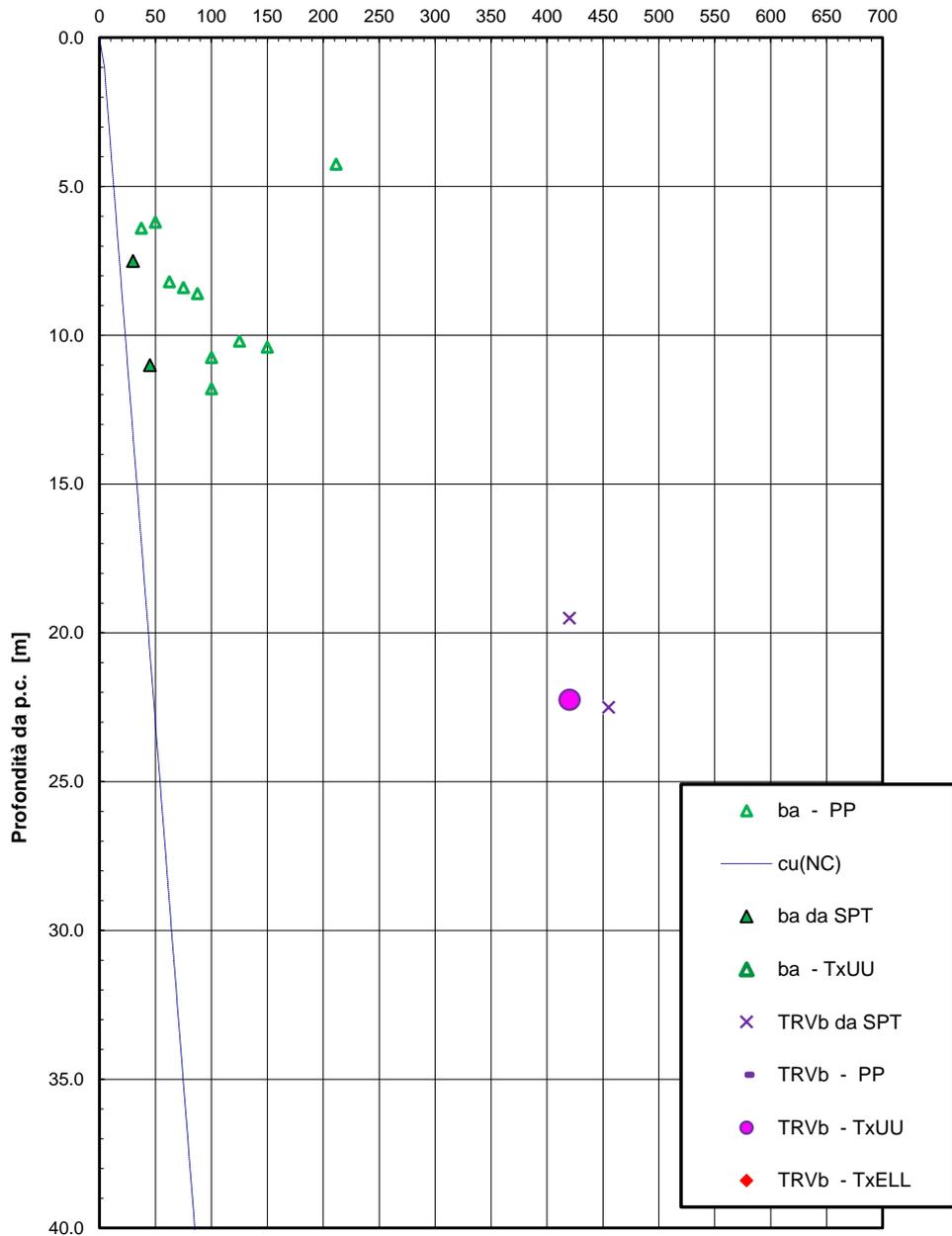


Figura 119 – Andamento della resistenza al taglio non drenata - VI05

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

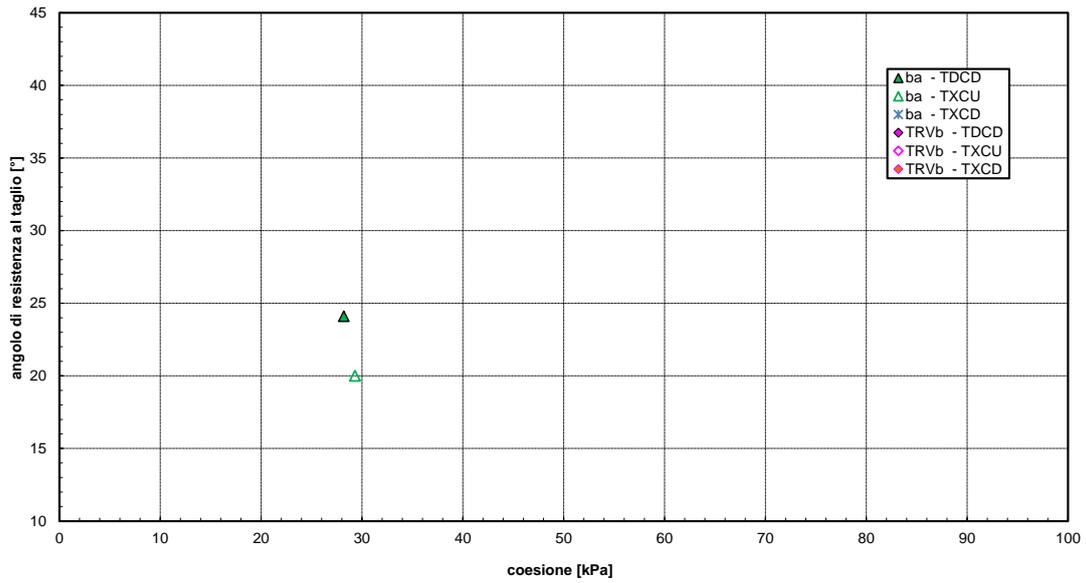


Figura 120 – Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio - VI05

Parametri di resistenza al taglio - VI05

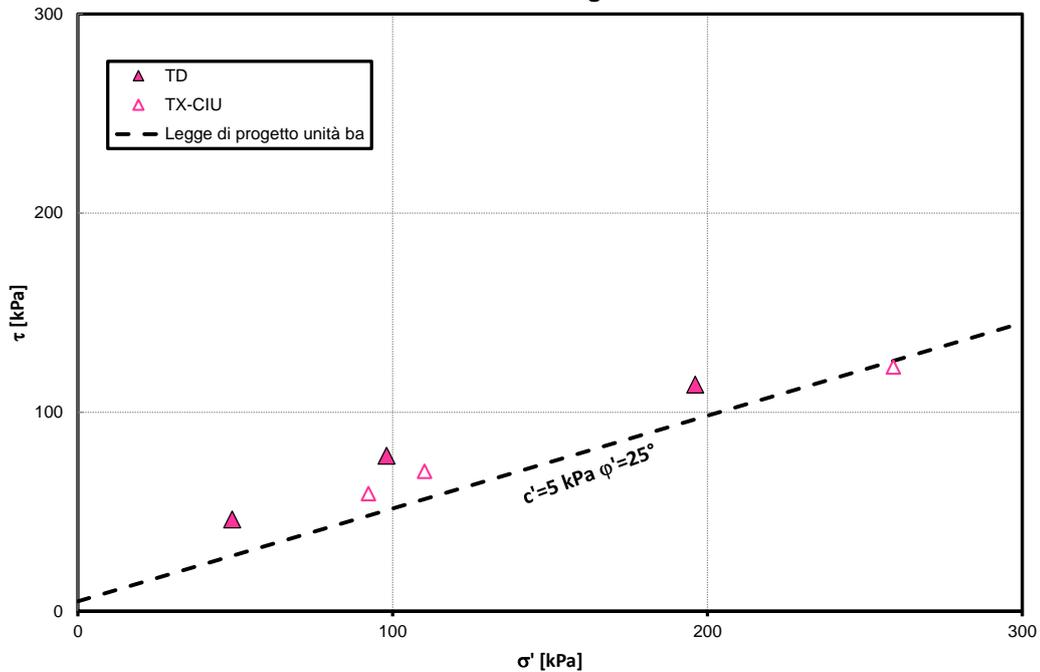


Figura 121 – Caratteristiche di resistenza a taglio unità – ba – VI05

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	222 di 281

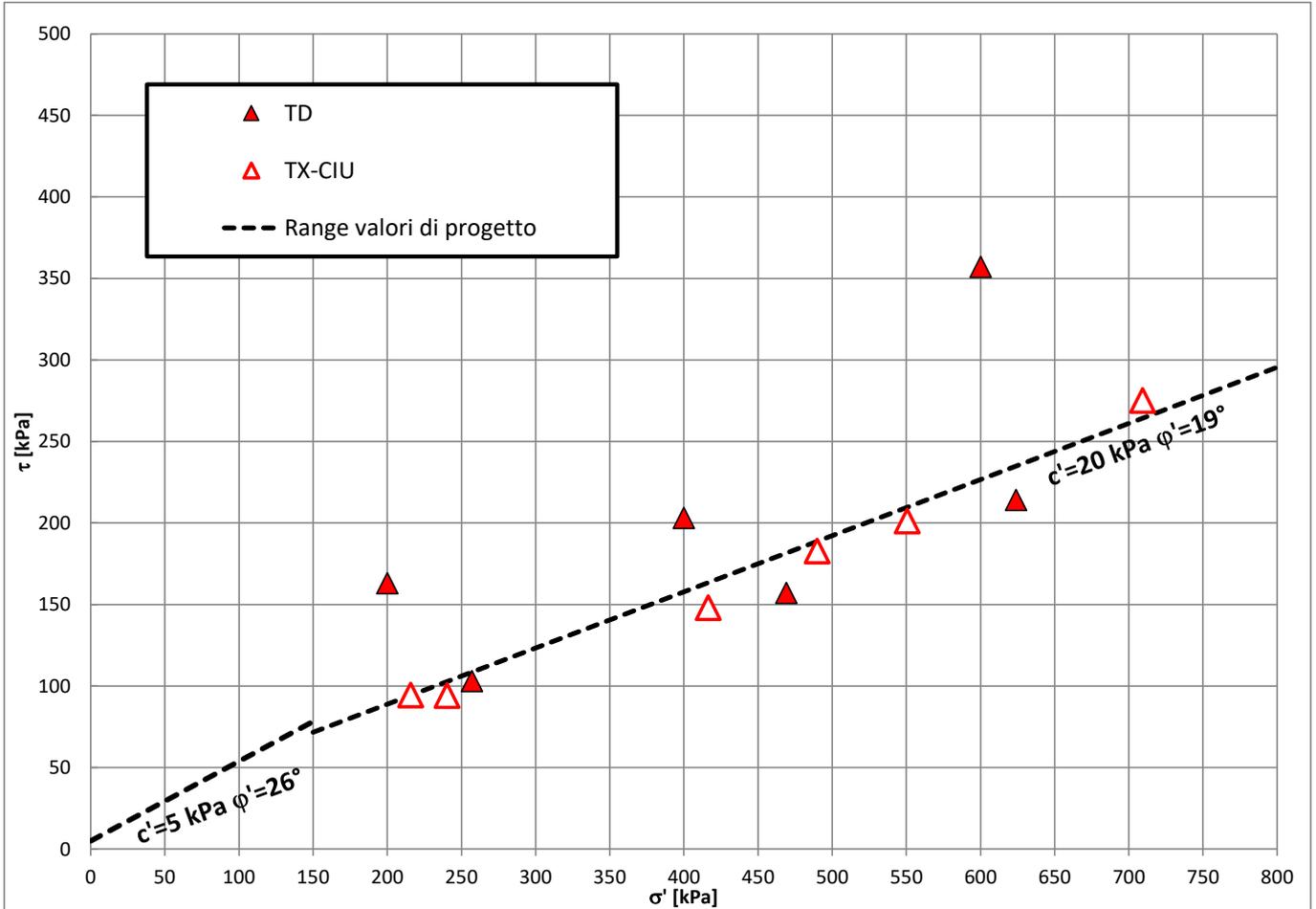


Figura 122 – Parametri di resistenza al taglio – unità TRVb (tutti i dati di laboratorio del lotto 4b) – VI05

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

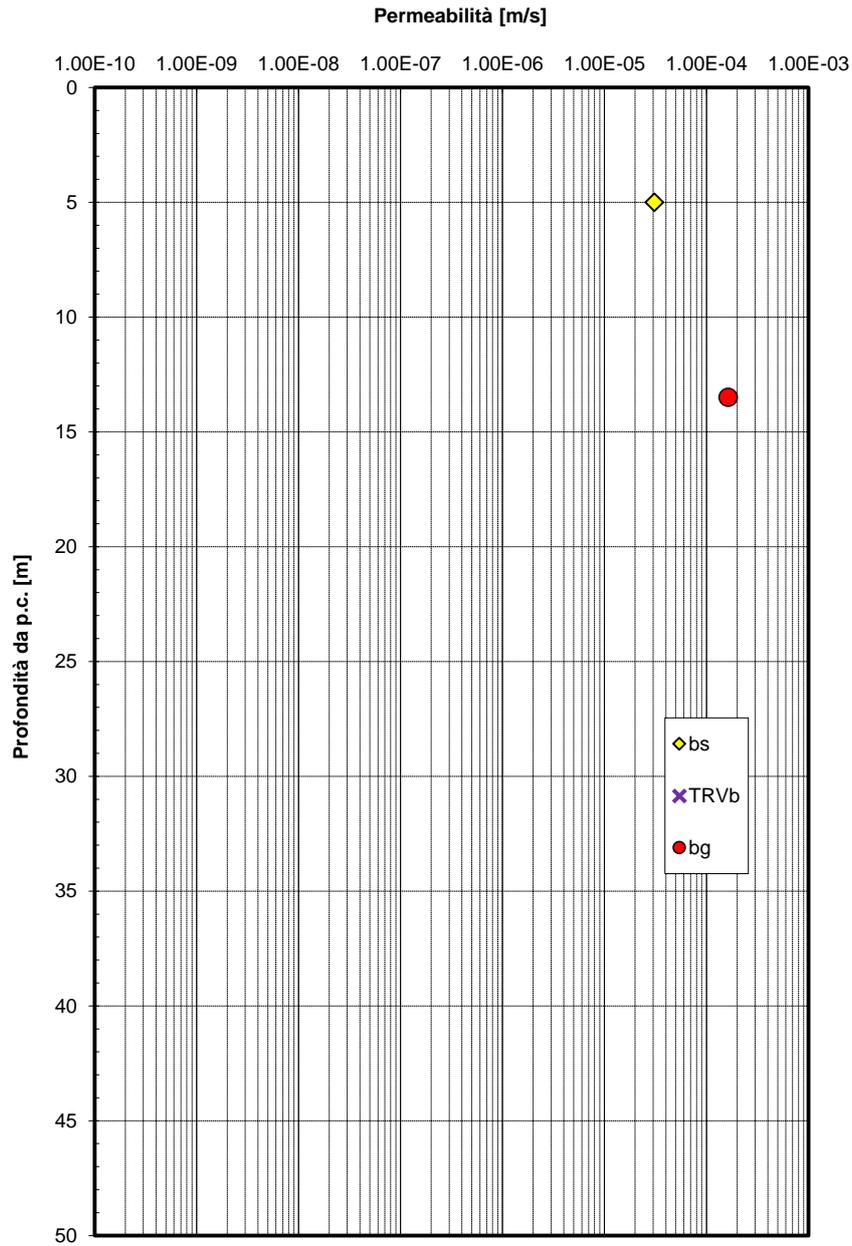


Figura 123 – Permeabilità da prove Lefranc – VI05



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	224 di 281

7.6 Cavalcaferrovia IV01

L'opera in esame è ubicata alla progressiva 13+400 circa (ed è relativa alla viabilità NV08). Le indagini di riferimento per la caratterizzazione geotecnica sono le seguenti.

Sondaggi/Prove penetrometriche	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	Prova Down-Hole [m]	n. prove Lefranc	Piezometro
4SD28	30.0	5	3	9	30.0	2(LE)	-
CPT4	13	-	-	-	-	-	-

Dove:

TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto finestrato].

CC [m]: piezometro a cella di Casagrande [prodonità cella];

[LU] = prova di permeabilità Lugeon;

[LE] = prova di permeabilità Lefranc.

Il livello di falda massimo è desunto dal profilo stratigrafico. Il piezometro più vicino è installato nel foro di sondaggio 4SD20 ed ha misurato la falda a quota +255 m s.l.m..

Lungo lo sviluppo del viadotto sono presenti depositi alluvionali coesivi (limosi argillosi) denominati "ba", depositi alluvionali sabbiosi "bs" e depositi alluvionali ghiaiosi "bg" fino a circa 18.0 m di profondità da p.c. Poi a seguire è stata intercettata la formazione di base di Terravecchia in facies argilloso amrnosa brecciata (unità TRVb). Per il dimensionamento delle palificate si assume cautelativamente la seguente stratigrafia media.

Stratigrafia		
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.
ba	Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)	0.0÷11.0
bs	Depositi alluvionali sabbiosi	11.0÷12.5
bg	Depositi alluvionali ghiaiosi	12.5÷17.0
TRVb	Formazione di Terravecchia	17.0÷30.0

Dalla indagine sismica Down-Hole eseguita nel sondaggio 4SD28 si è misurata una velocità $V_{s,eq} = 265$ m/s, da cui si assume categoria di sottosuolo di tipo C.

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	225 di 281

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove in sito e di laboratorio delle indagini prese a riferimento per l'opera, da cui sono stati stimati i parametri geotecnici della tabella seguente. Per i parametri di resistenza dell'unità TRVb (formazione di Terravecchia in facies argilloso marnoso brecciata) si è fatto riferimento ai dati di laboratorio dell'intero lotto 4b, poiché ci sono pochi dati disponibili.

Tabella 34 – IV01 – 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÷120 (media 80)	5	25	140÷200	200÷600	$E_o / 5$
bs	19.0	-	0	32	250÷300	200	$E_o / 5$
bg	19.0	-	0	35	300÷450	300÷450	$E_o / 5$
TRVb	21.0	120 (z < 20m) 115+3.5*z (20 < z < 30m) 2.5+6.5*z (z > 30 m)	5 ($\sigma'v < 150$ kPa) 20 ($\sigma'v > 150$ kPa)	26 ($\sigma'v < 150$ kPa) 19 ($\sigma'v > 150$ kPa)	250÷450	400÷1000	$E_o / 5$

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

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace

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.

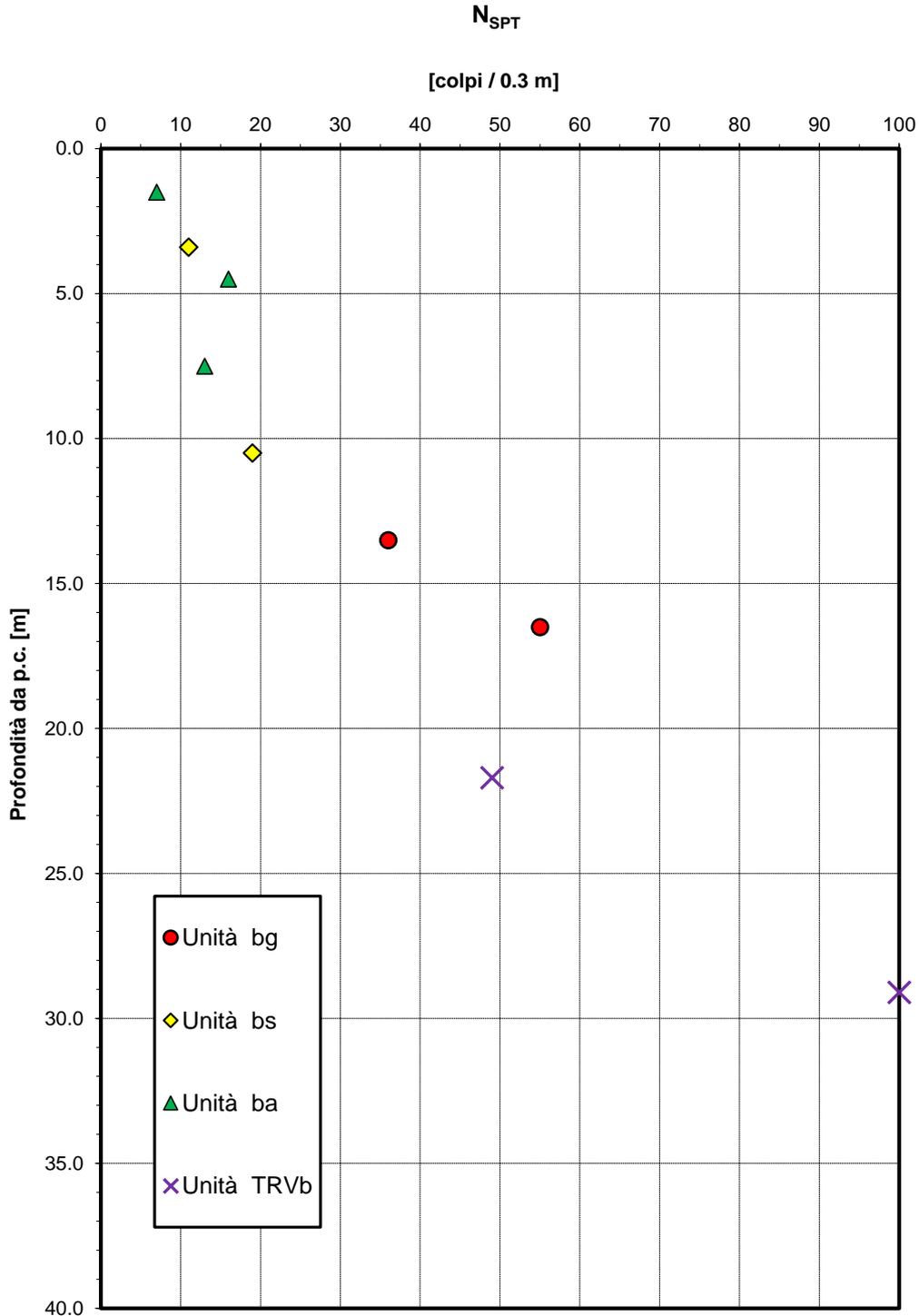


Figura 124 – Risultati prova SPT – IV01

Densità relativa da prove SPT

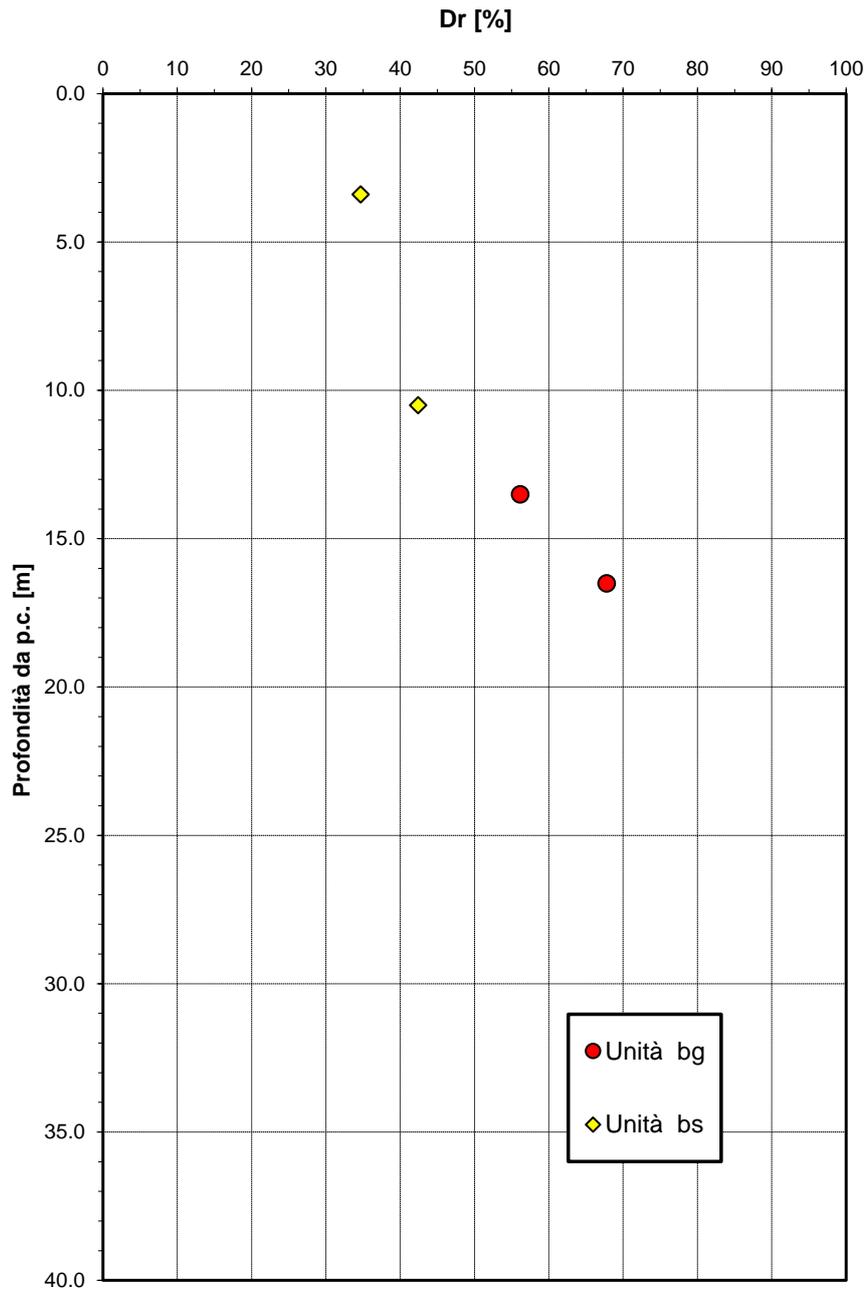


Figura 125 – Densità relativa da prove SPT– IV01

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

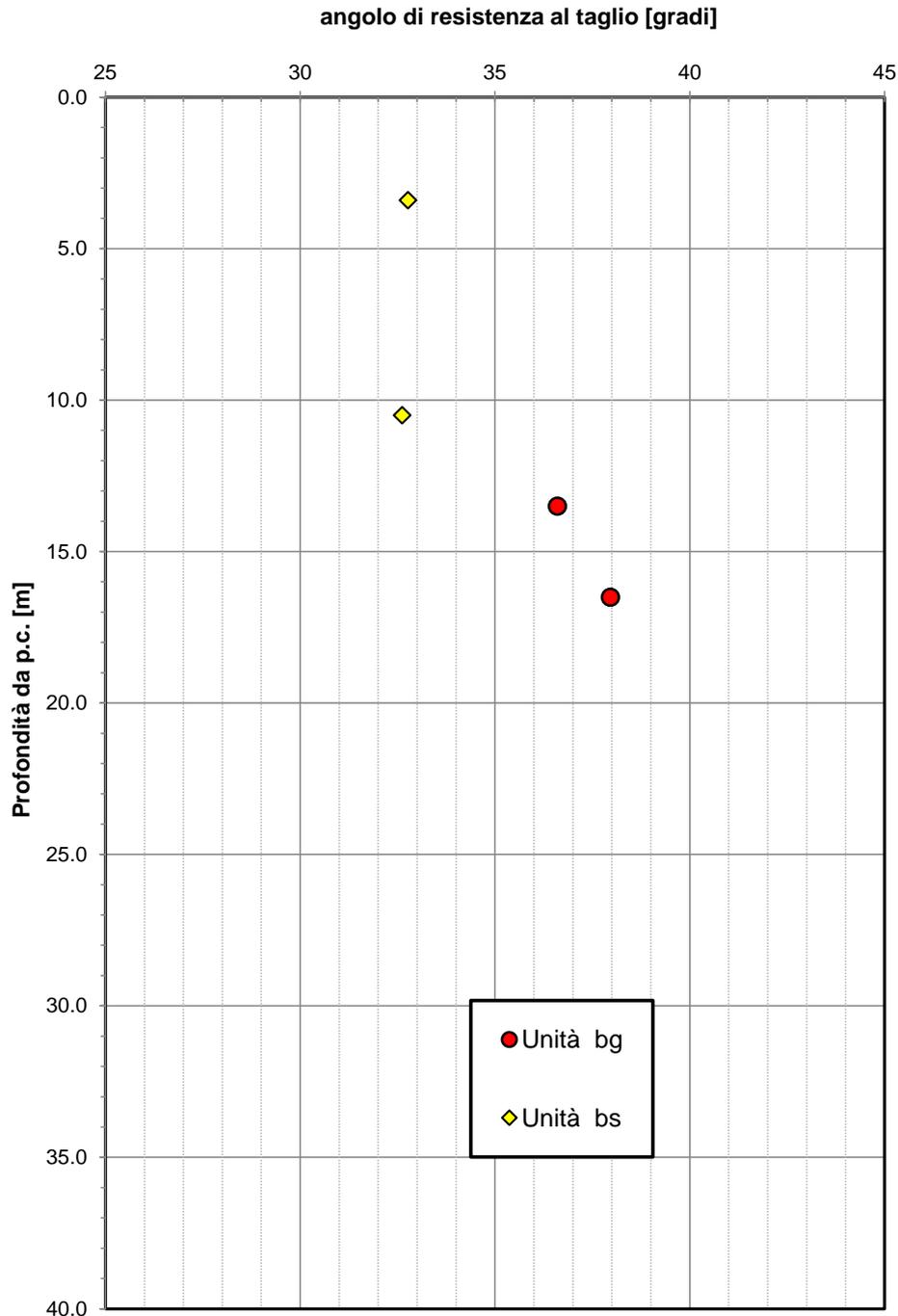


Figura 126 – Angolo di resistenza a taglio da prove SPT – IV01

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

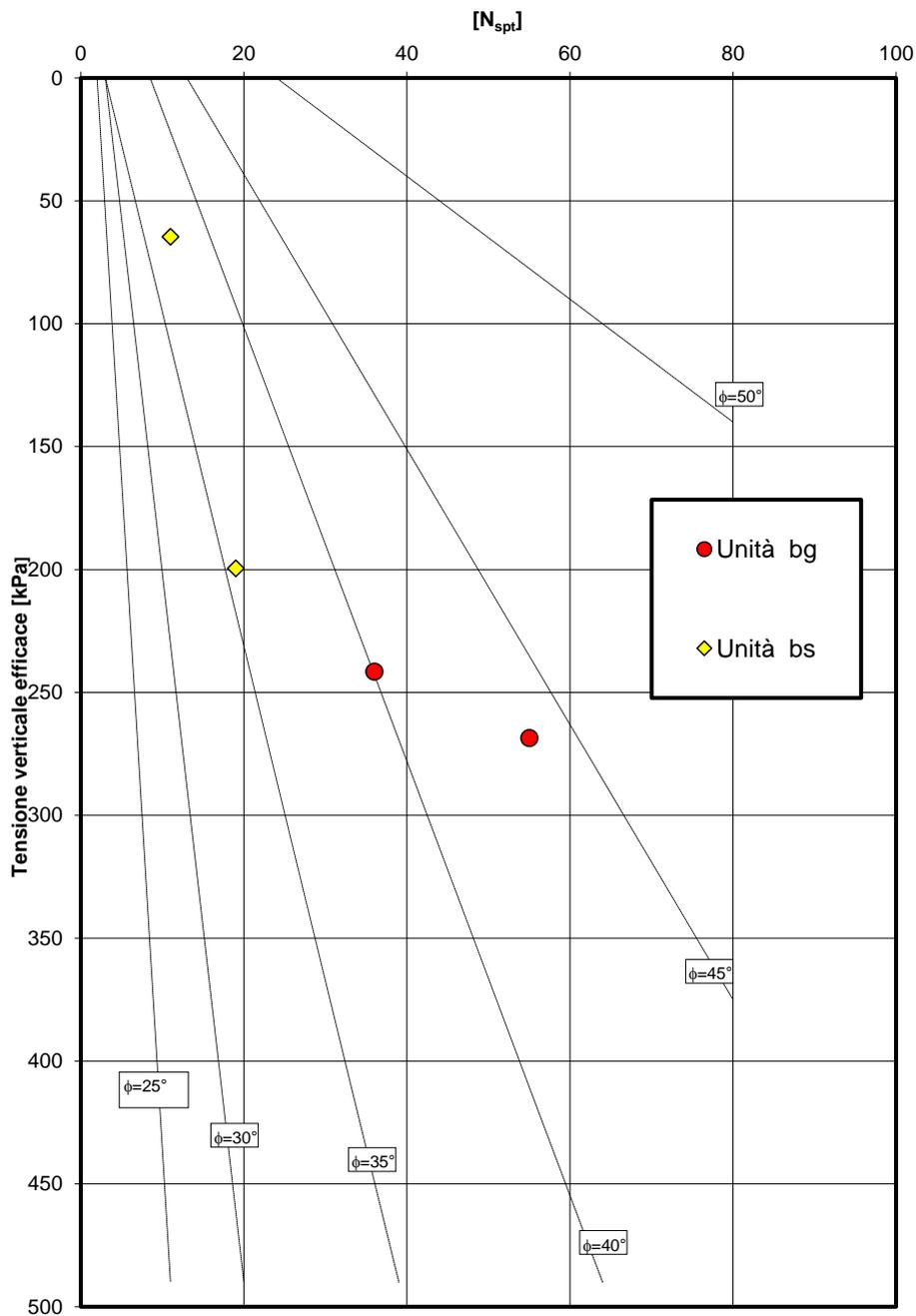


Figura 127 – Correlazione N_{spt} – angolo di resistenza a taglio (De Mello, 1971) – IV01

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

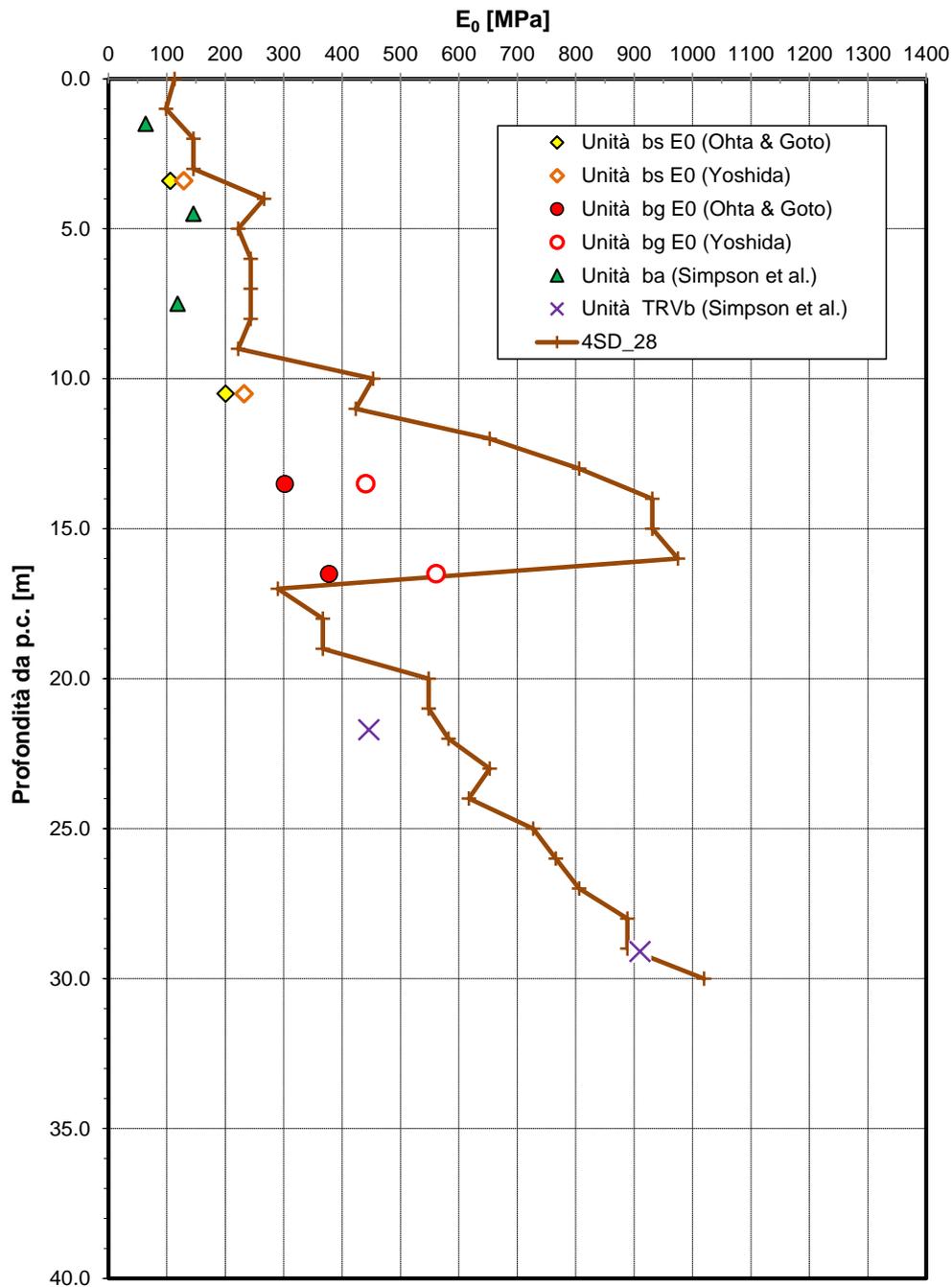


Figura 128 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – IV01

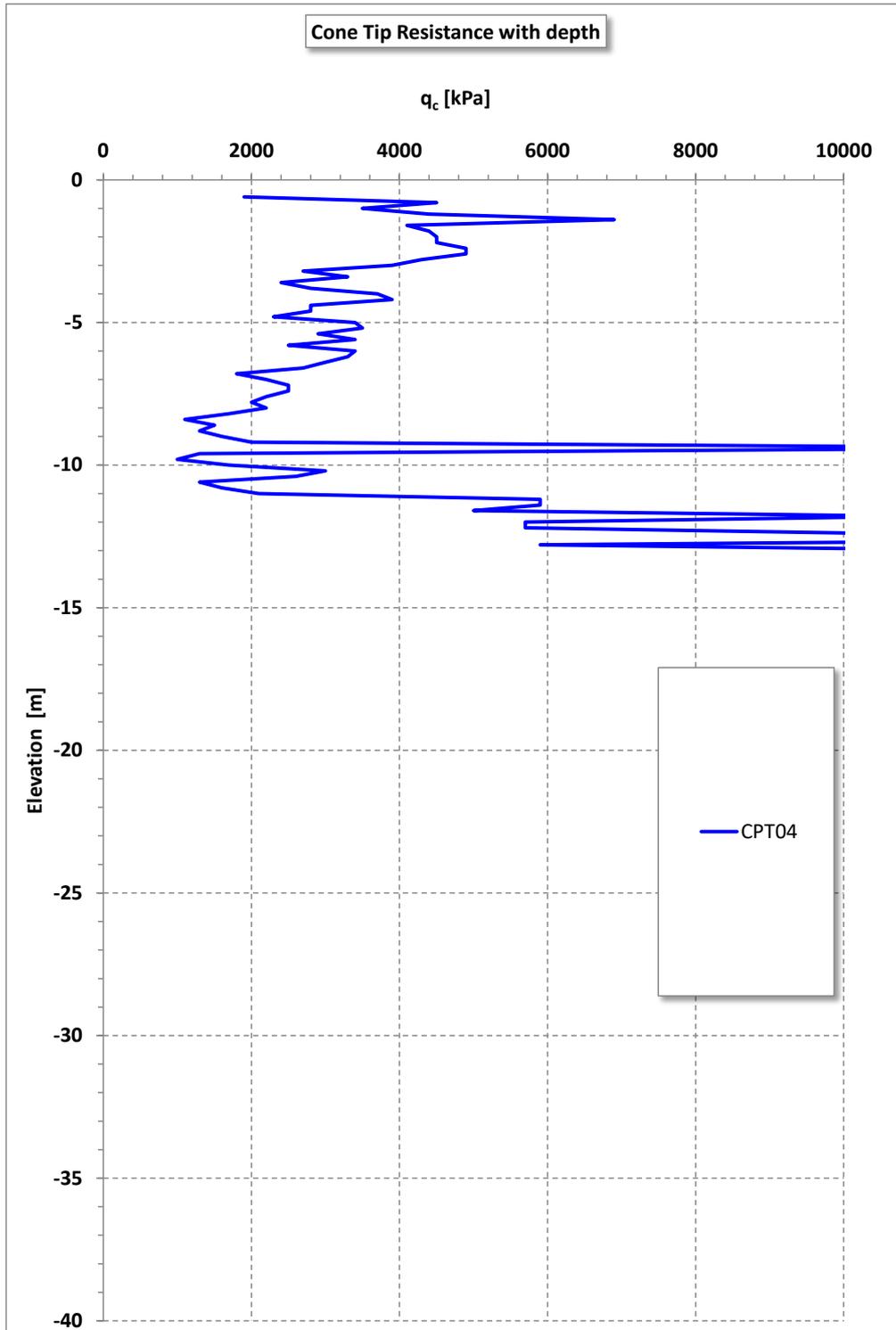


Figura 129 – CPT04 – IV01

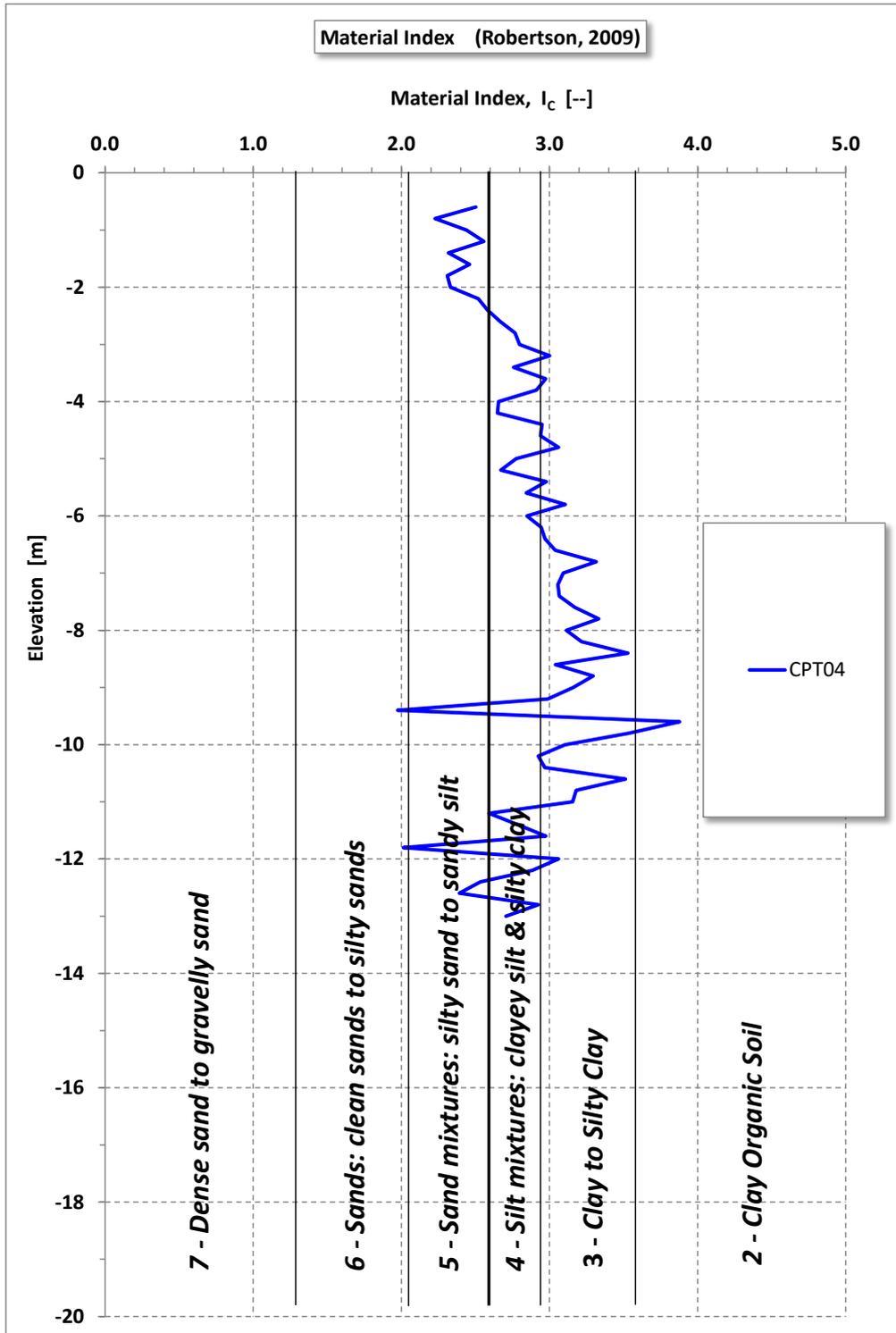


Figura 130 – Indice di Materiale (Robertson, 2009) – IV01

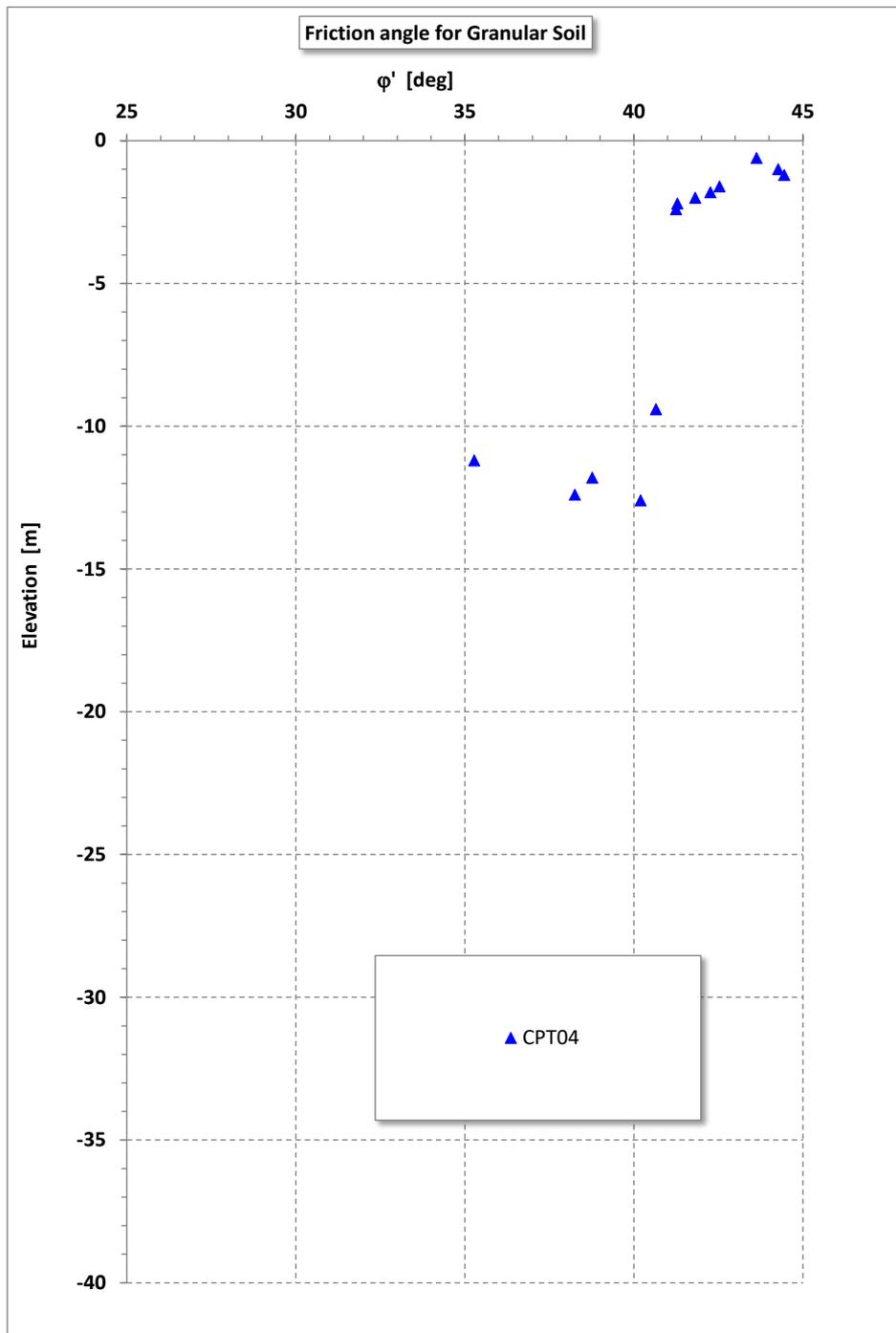


Figura 131 – Angolo di attrito per materiali granulari – IV01

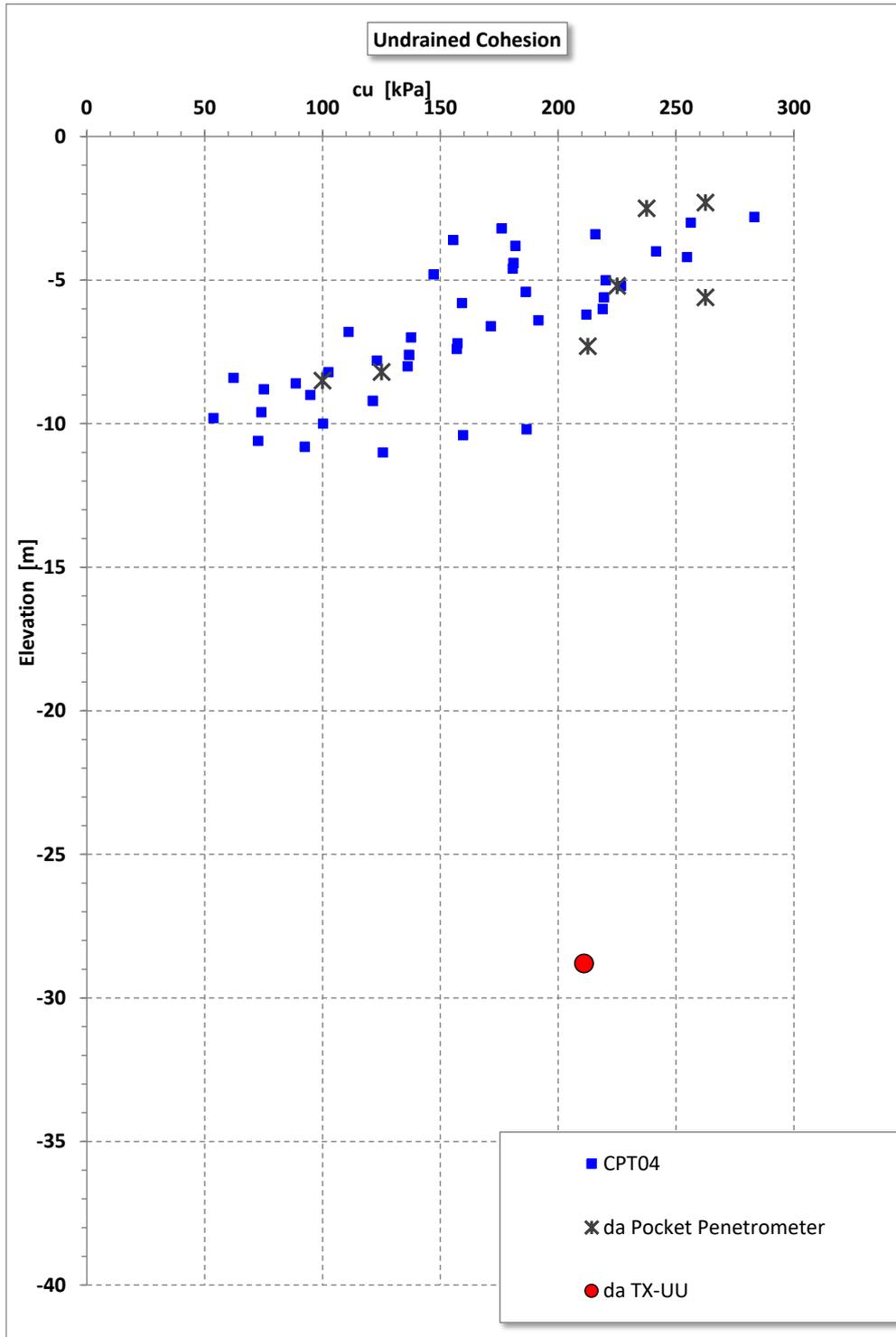


Figura 132 – Restanza al taglio non drenata da prove CPT (+laboratorio+Pocket Penetrometer) – IV01

Andamento della resistenza al taglio non drenata

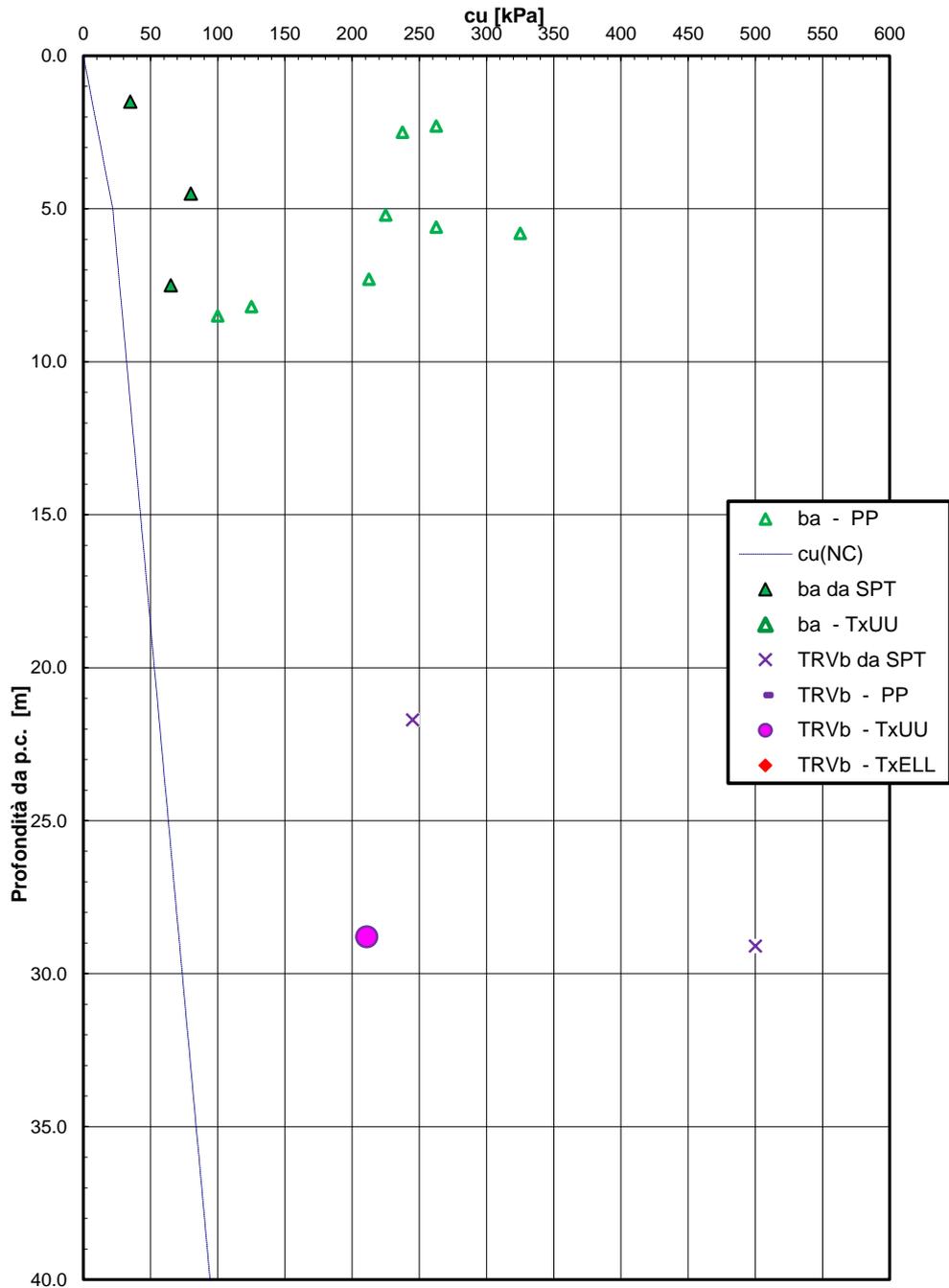


Figura 133 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – IV01

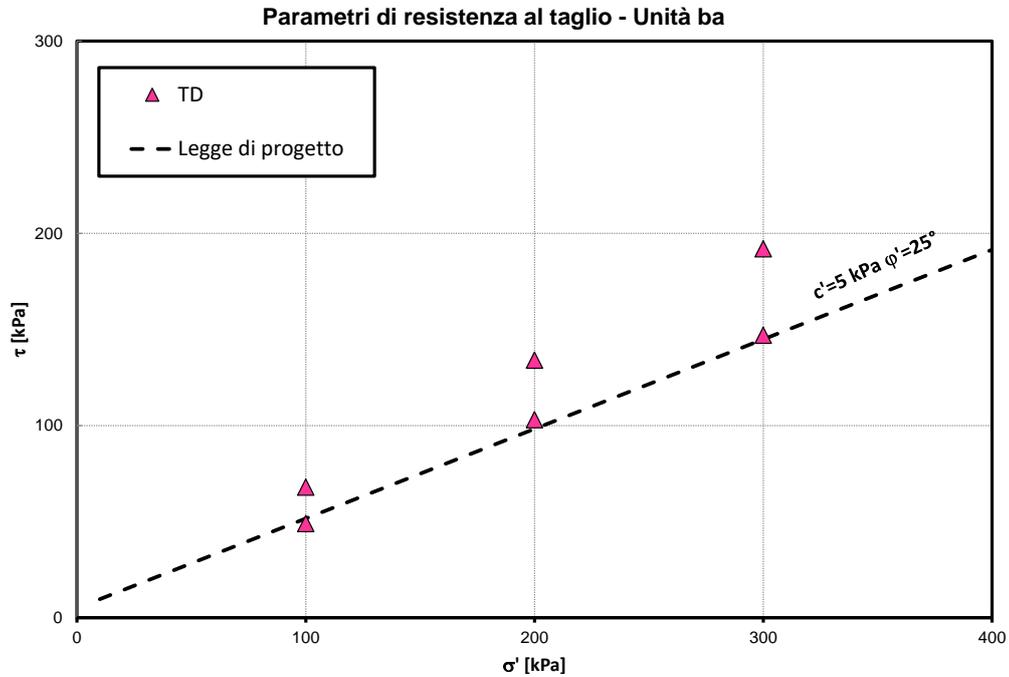


Figura 134 – Parametri di resistenza al taglio – unità ba – IV01

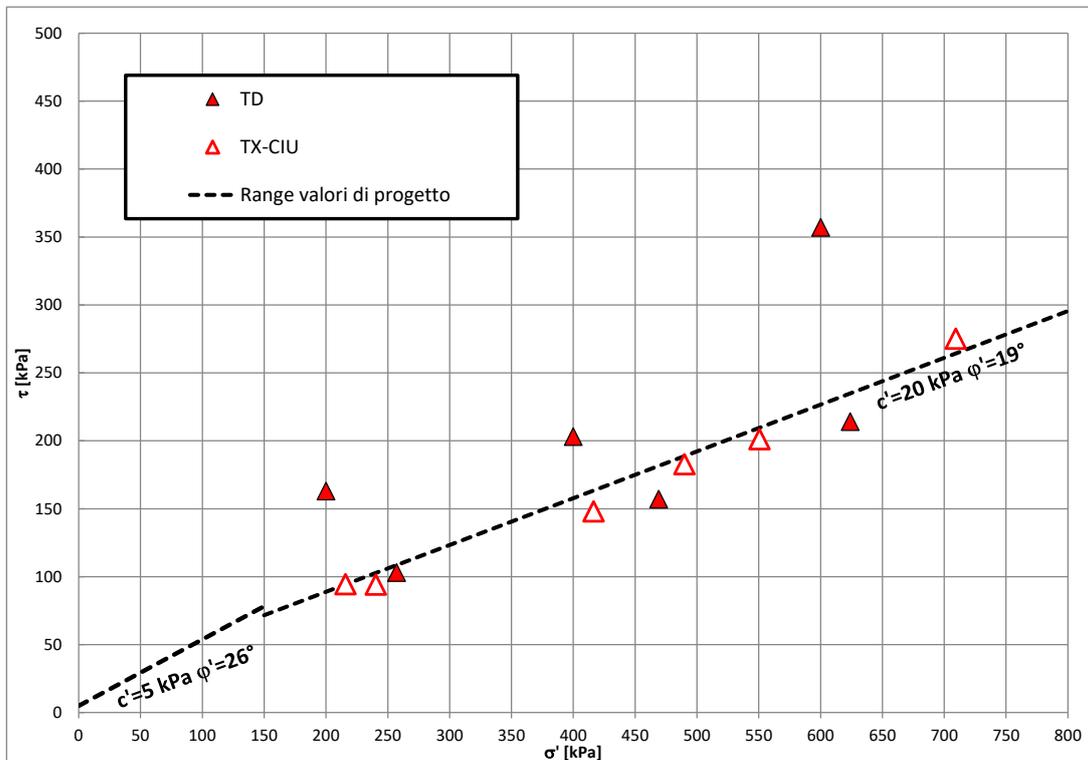


Figura 135 – Parametri di resistenza al taglio – unità TRVb (tutti i dati di laboratorio del lotto 4b) – IV01

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

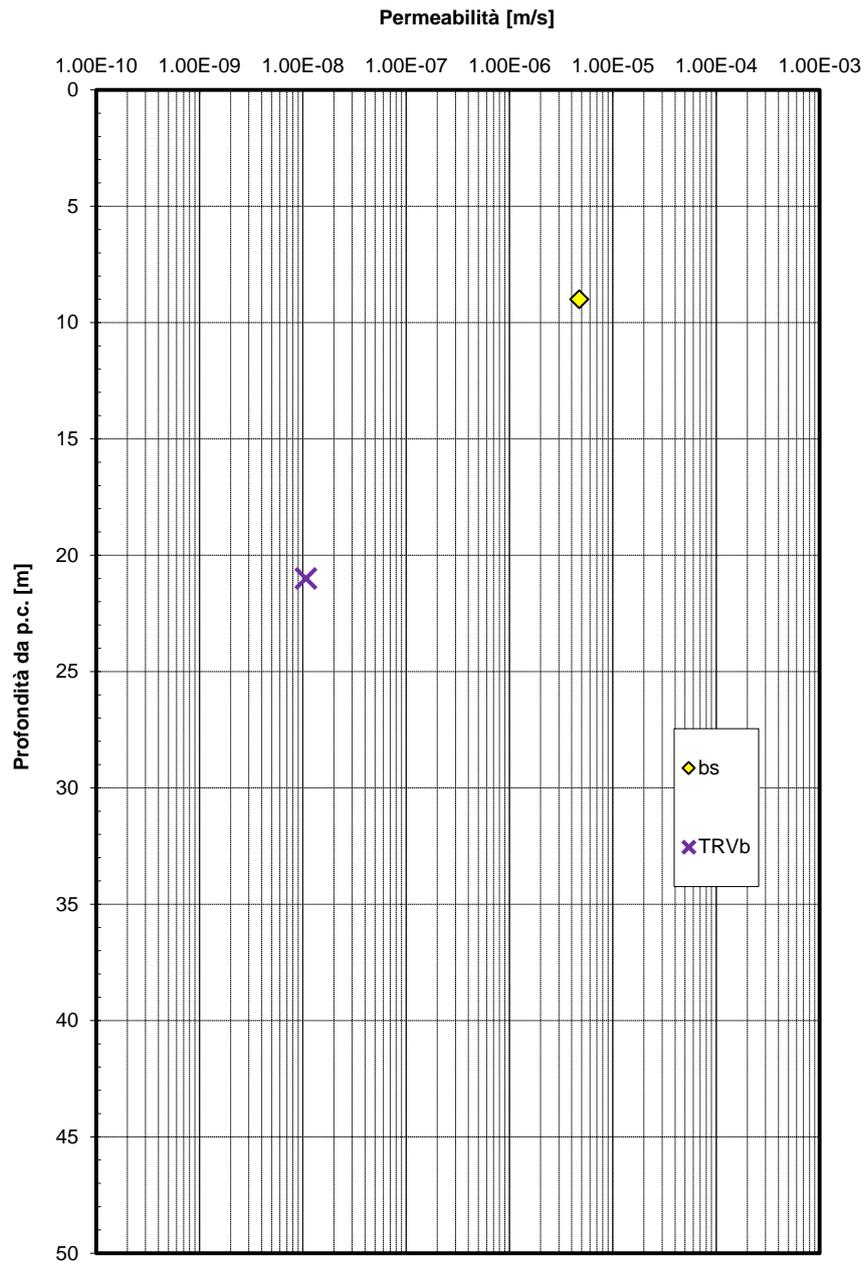


Figura 136 – Permeabilità – IV01



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	239 di 281

7.7 Galleria GA01

Le indagini di riferimento sono SD03 e SD03bis.

La stratigrafia individuata è la seguente:

0.0 < z < 9.5 m: Unità cap-c/cap-s – Capellaccio sabbioso limoso e limoso argilloso sabbioso costituente la parte alterata formazione di base

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 150 \div 250 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 150 \div 300 \text{ MPa}$	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 ($E'_{op} = 45 \text{ MPa}$ valore consigliato per calcolo GA)
$k = 7.0E^{-07} \text{ m/s}$	permeabilità

9.5 m < z < 30.0 m: Unità TRVa – Formazione di Terravecchia arenarie e sabbie alternate con peliti

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata (non ci sono ancora prove disponibili)
$\phi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio (non ci sono ancora prove disponibili)
$V_s = 400 \div 780 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 390 \div 1000 \text{ MPa}$	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 m, valore consigliato per calcolo GA)
$k = 1.0E^{-07} \div 2.0E^{-06} \text{ m/s}$	permeabilità

Si individua la falda a circa 7 m da p.c. nel sondaggio SD03 e a 4.5 m di profondità da p.c. nel sondaggio SD03bis.

Da prova MASW si è ottenuto $V_{s,eq} = 361 \text{ m/s}$, si assume dunque categoria di sottosuolo di tipo C.

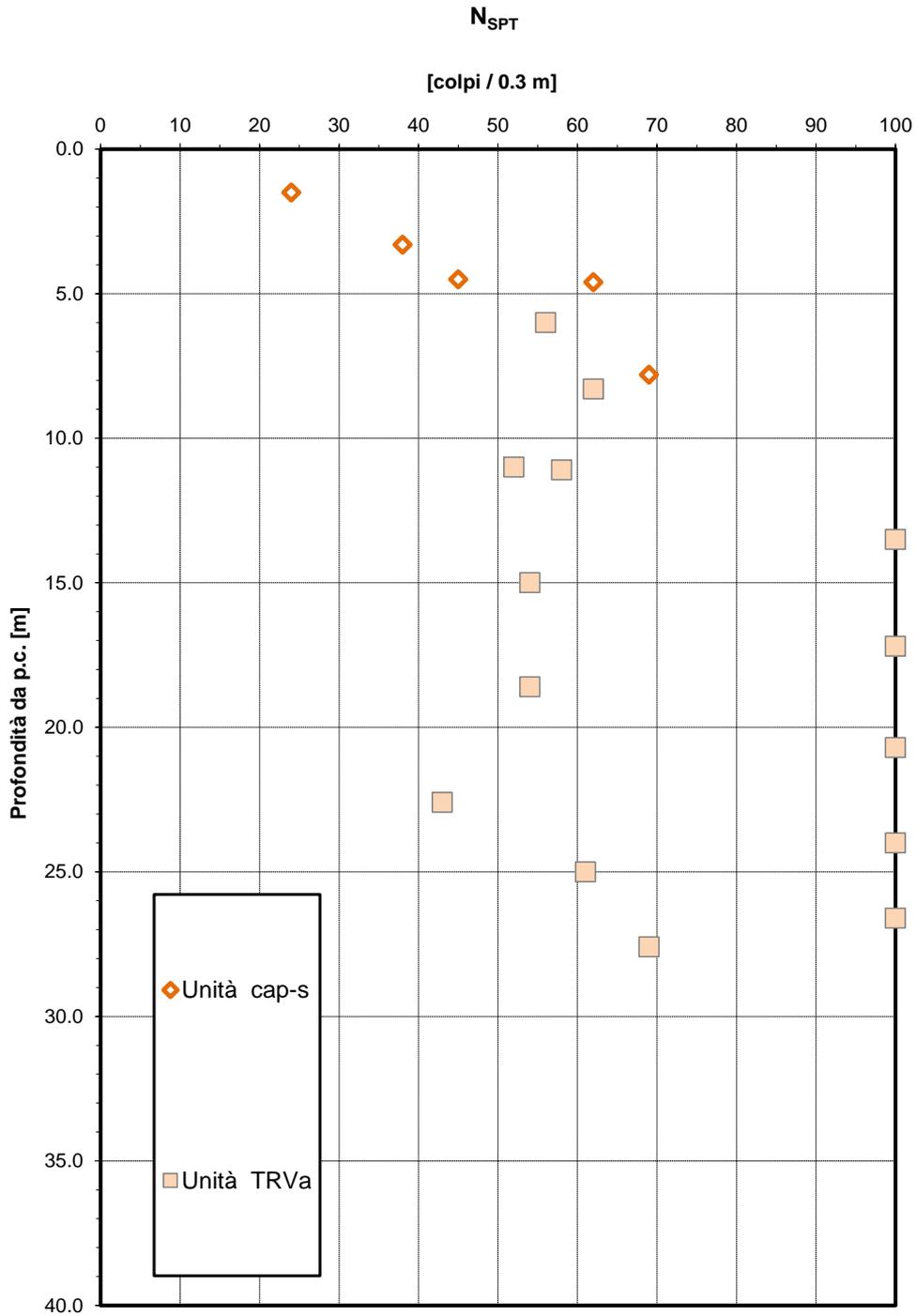


Figura 137 – Risultati prova SPT – GA01

Correlazione $N_{spt}-\phi^i$, De Mello (1971)

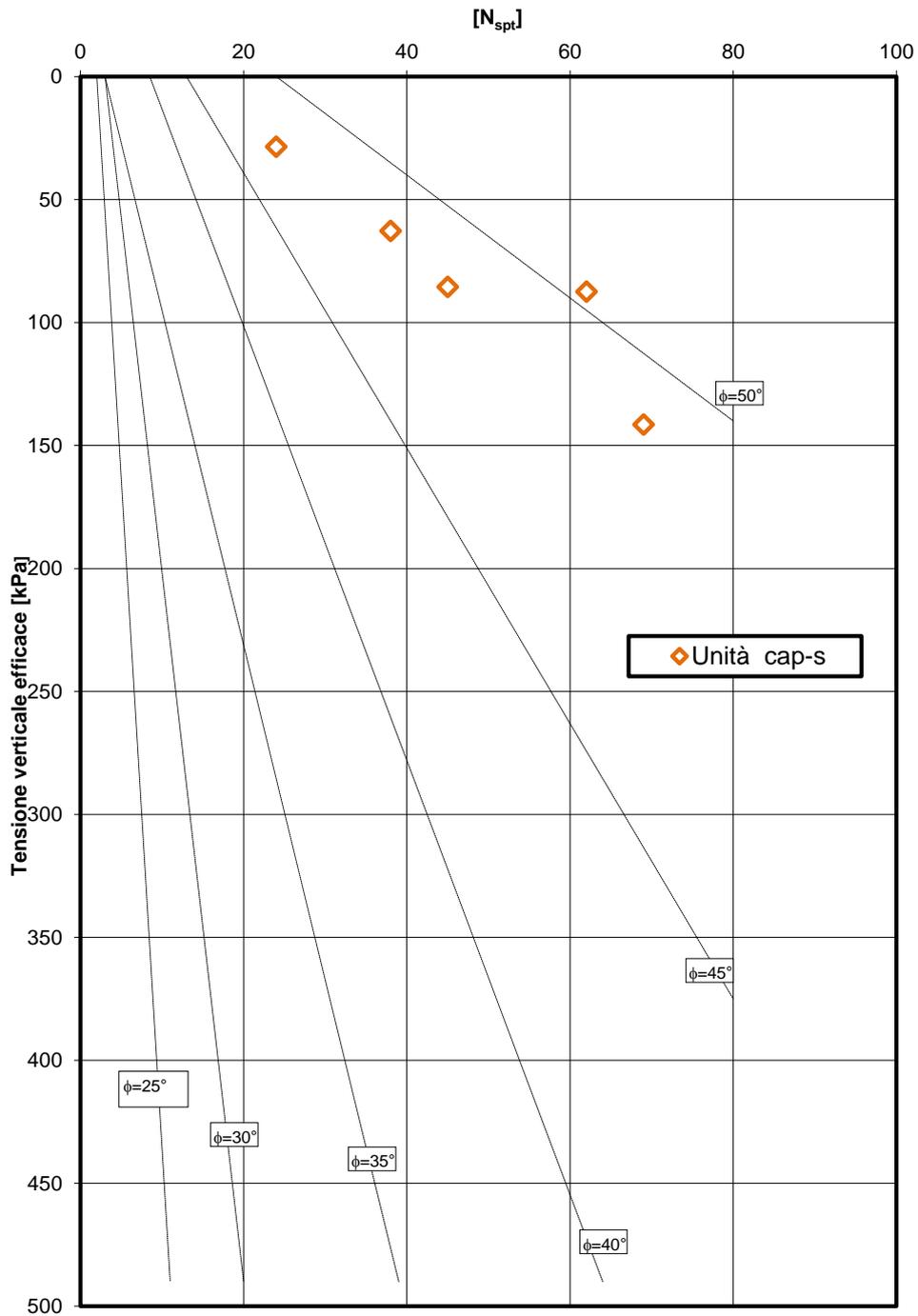


Figura 139 – Correlazione N_{spt} – angolo di resistenza a taglio (De Mello, 1971) – GA01

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

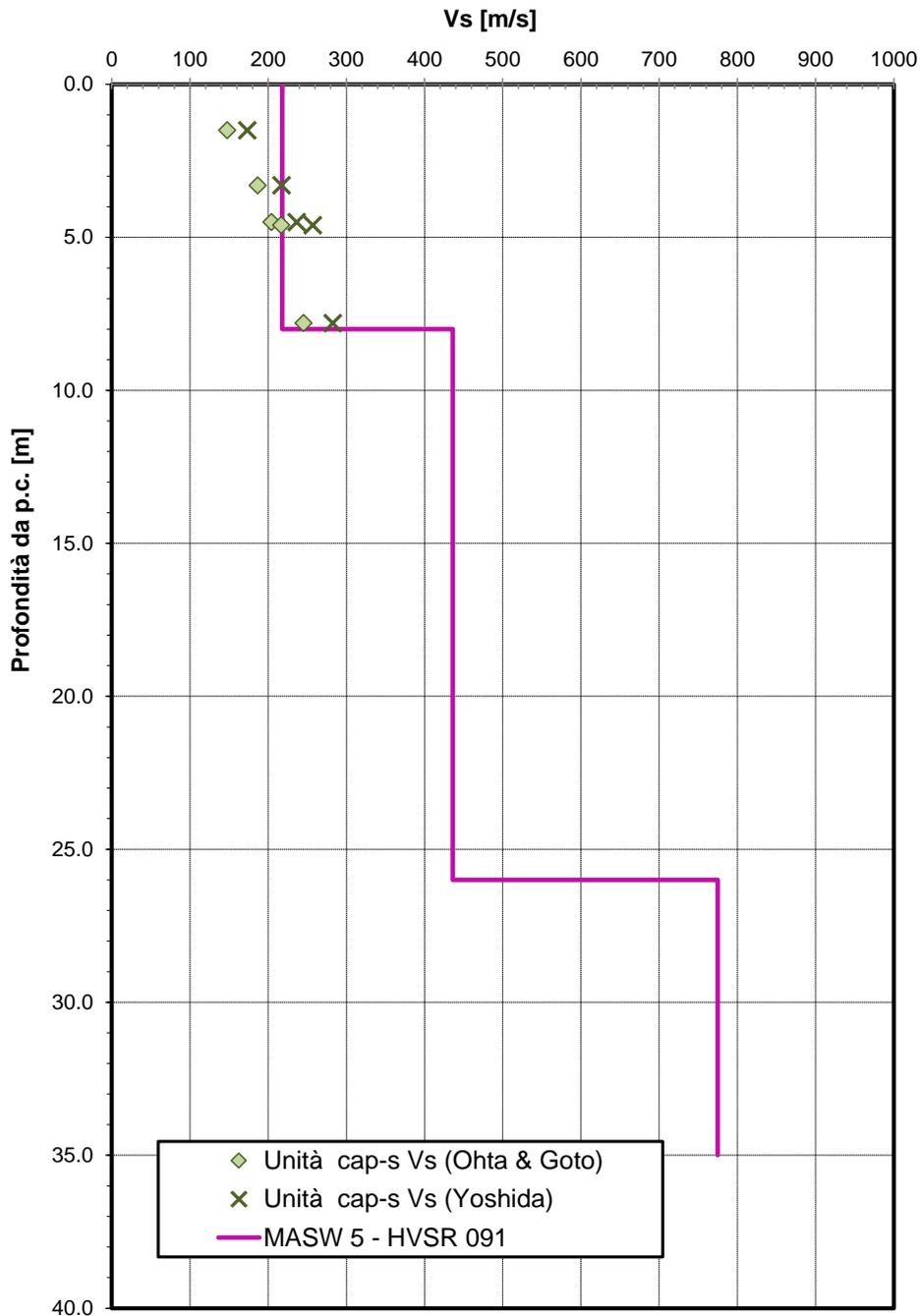


Figura 140 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche – GA01

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

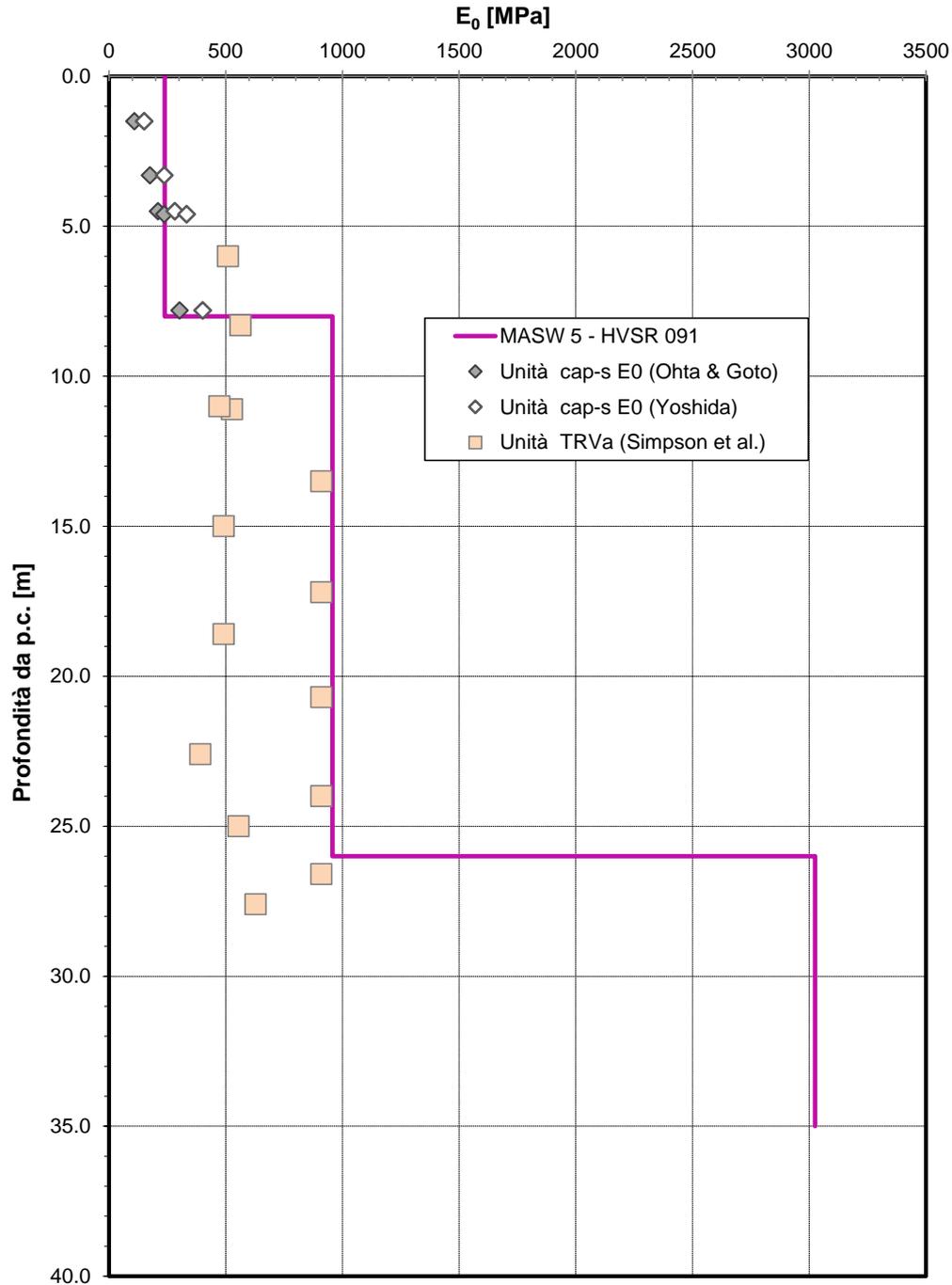


Figura 141 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – GA01

Parametri di resistenza al taglio - GA01

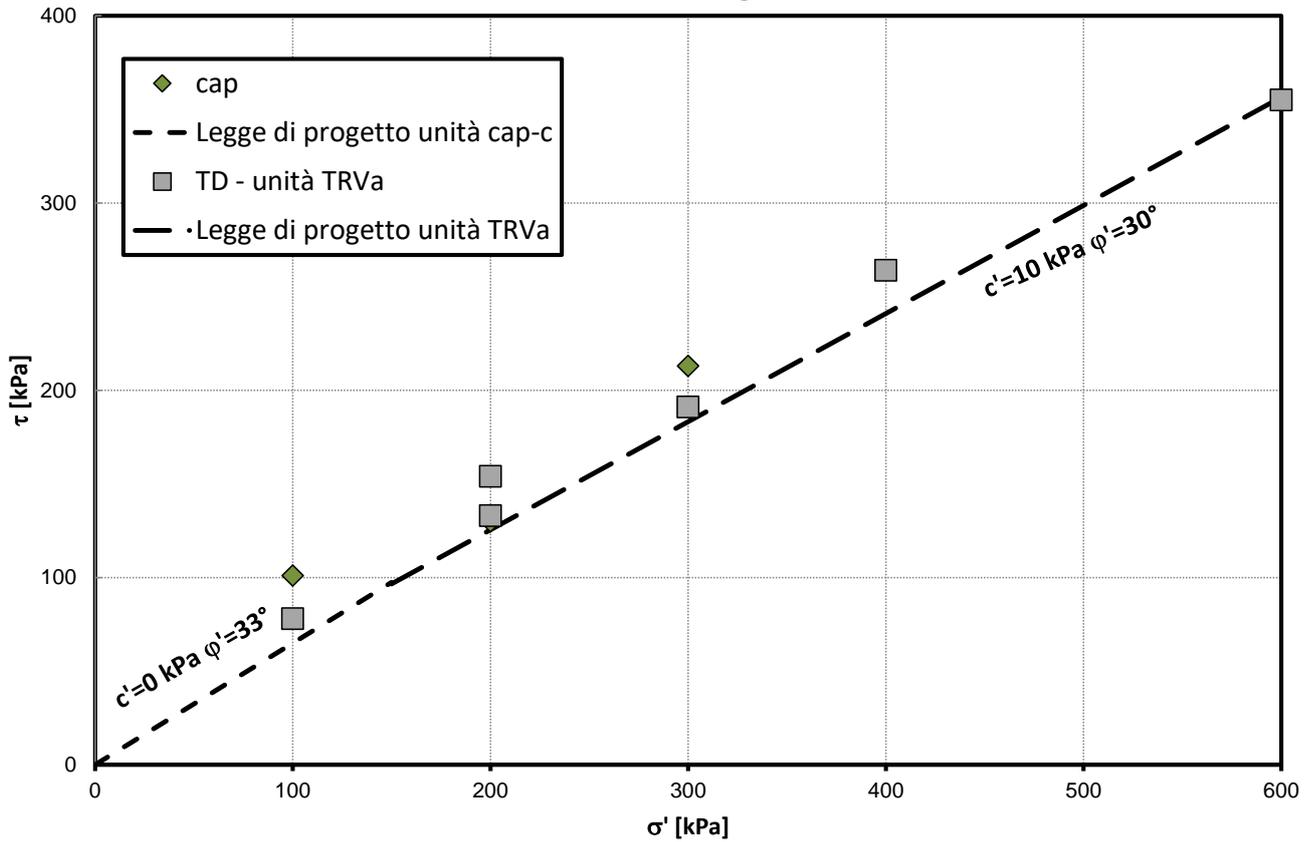


Figura 142 – Parametri di resistenza– GA01

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

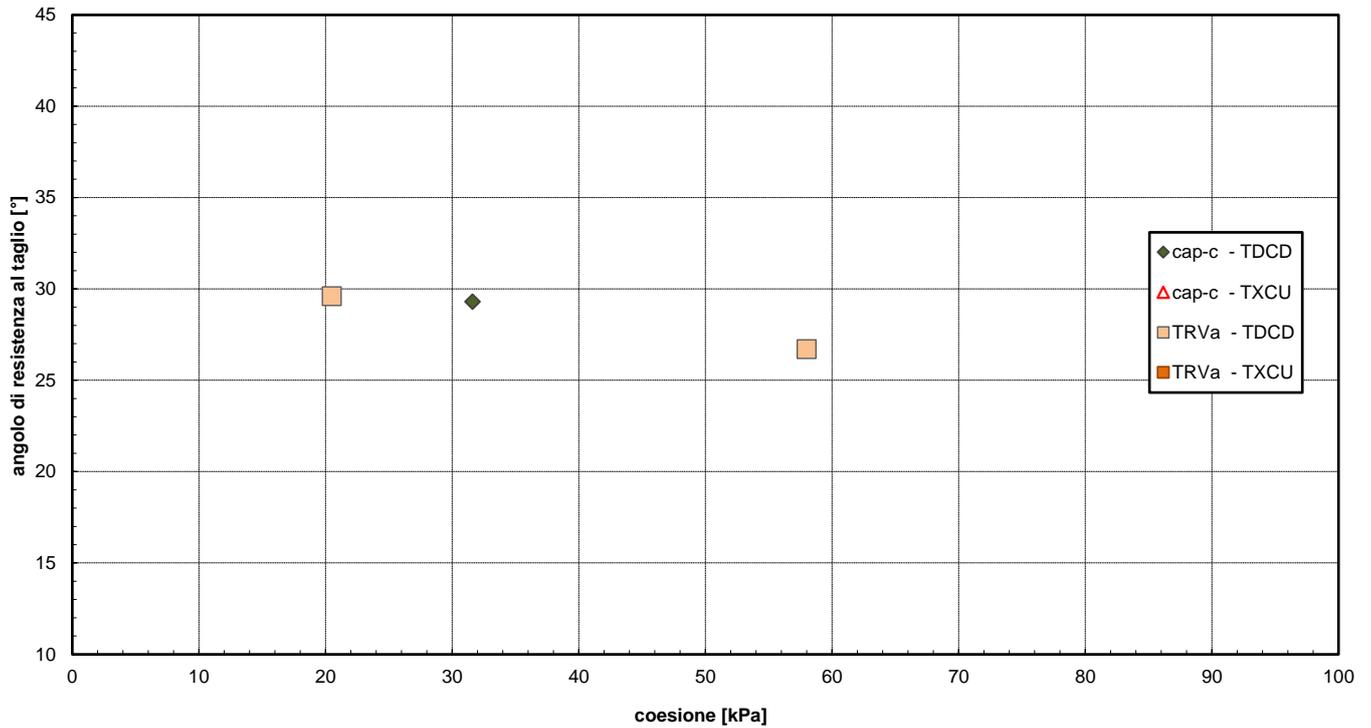


Figura 143 – Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio – GA01

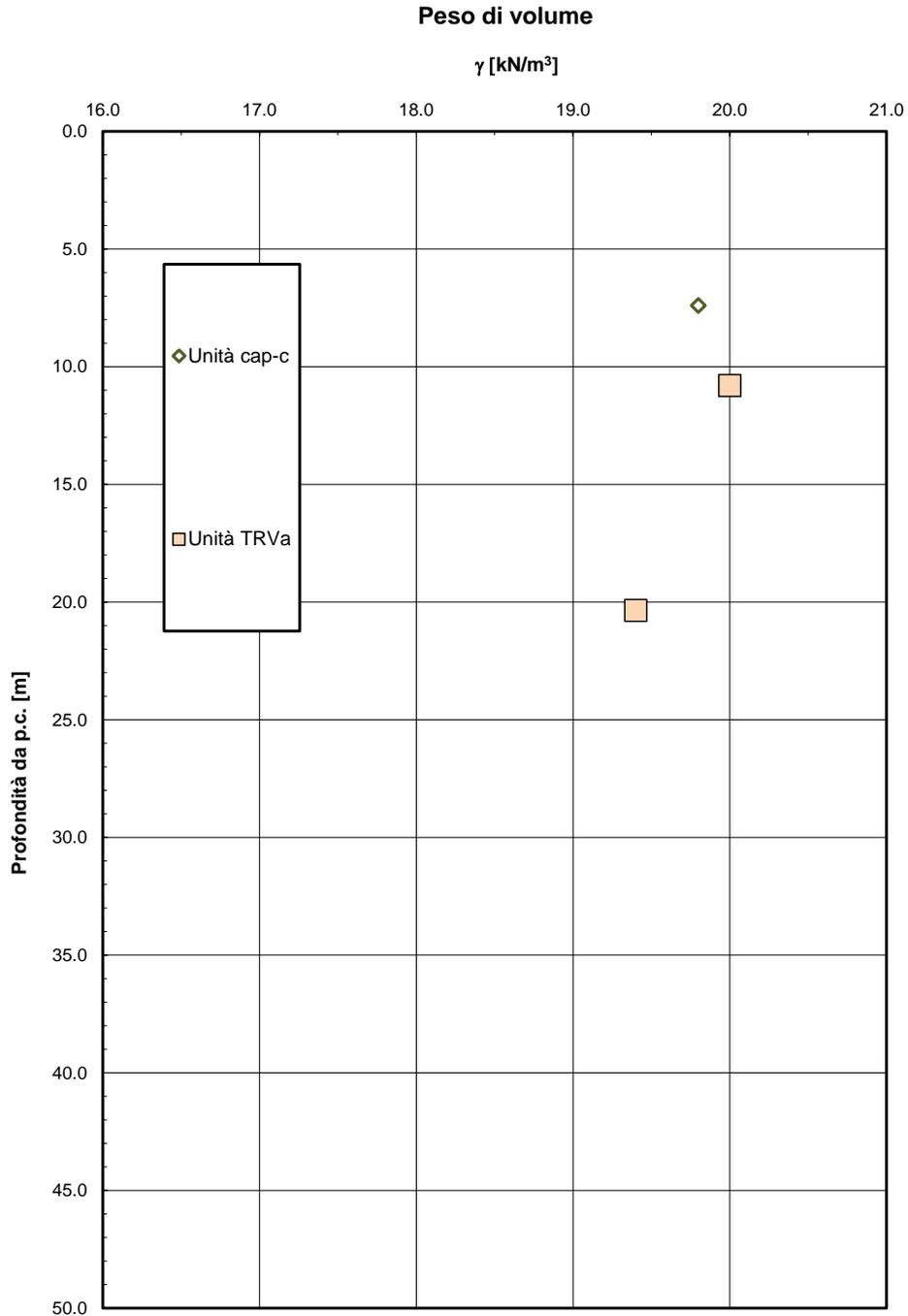


Figura 144 – Peso di volume – GA01

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

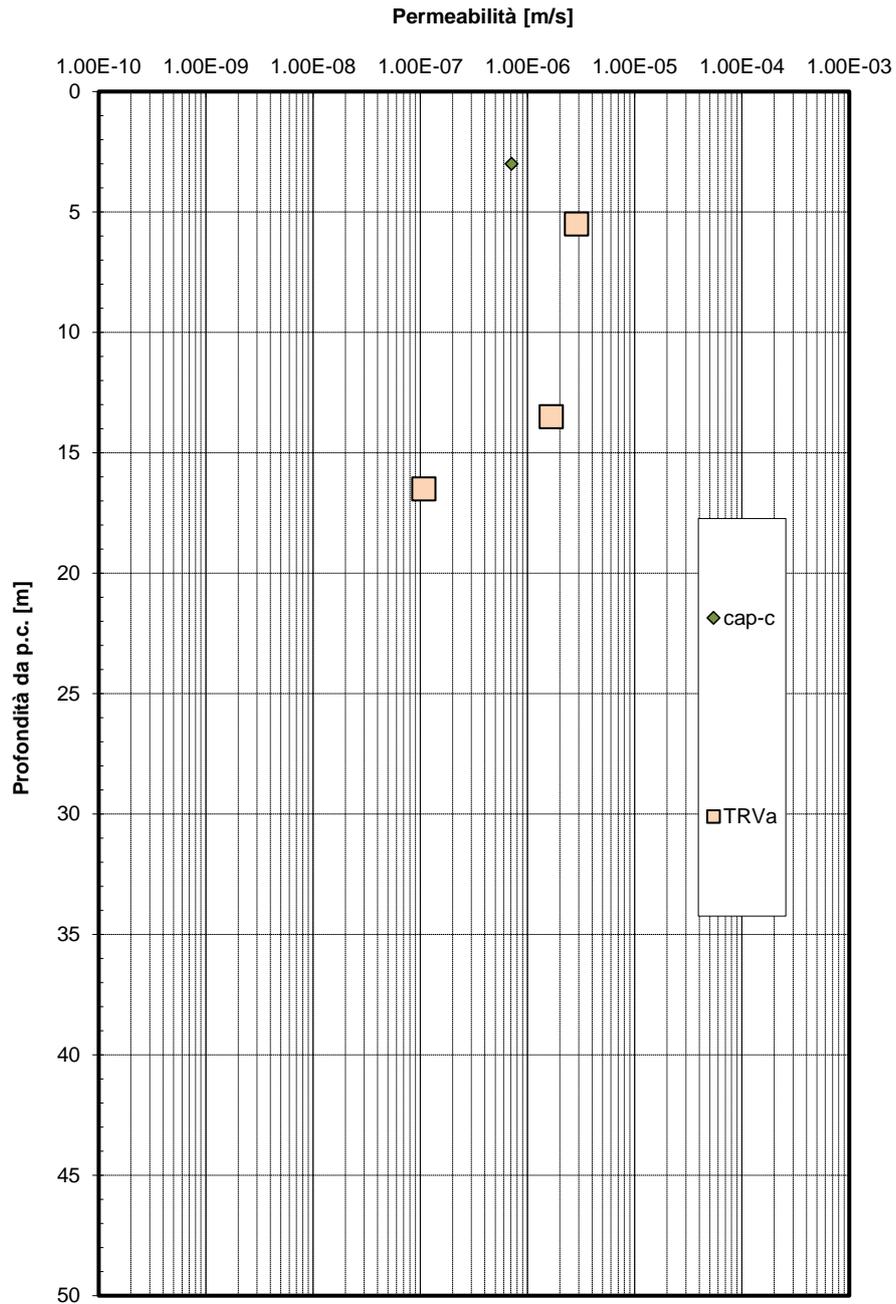


Figura 145 – Permeabilità da prove in sito – GA01

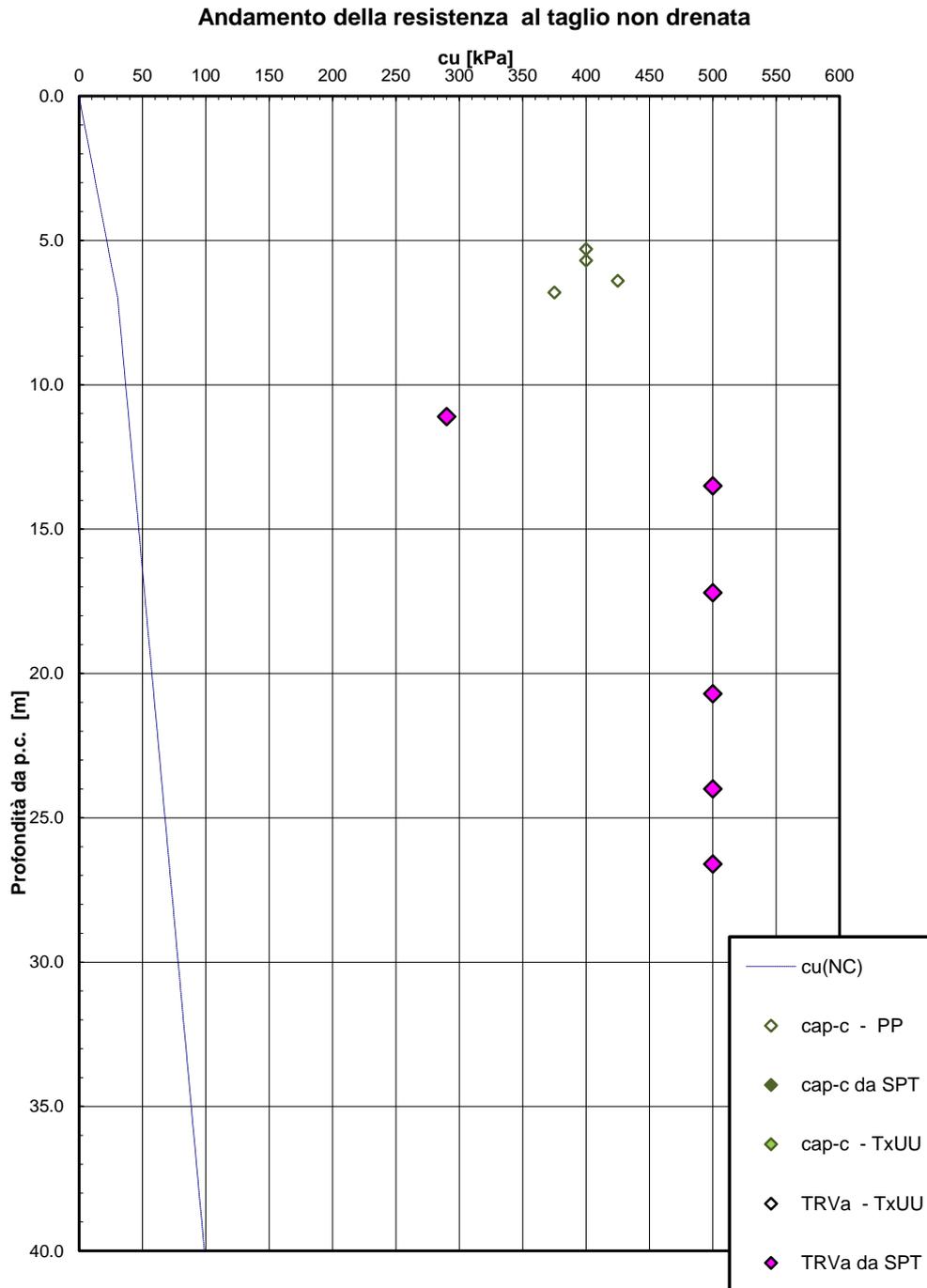


Figura 146 – Resistenza al taglio non drenata – GA01



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	250 di 281

7.8 Stazione Enna

In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- sondaggi 4SD2 , 4A_S30, 4S10 (quest'ultimo preso per laboratorio);
- DPSH08;
- Masw6-HVSR90;
- Stese geofisiche LS11, LS21, LS22 con restituzione tomografica.

In corrispondenza dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati per prove di laboratorio. Al momento della stesura del presente elaborato, non tutte le prove di laboratorio sui sondaggi eseguiti in corrispondenza dell'opera sono disponibili, quindi si è fatto riferimento anche al laboratorio di sondaggi vicini per le unità geotecniche comuni (ad esempio 4S10).

Nei sondaggi sono stati installati piezometri per il rilievo della falda.

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) è stato intercettato a parire da p.c. cappellaccio alterato della formazione di base (unità cap-c) limoso argilloso sabbioso con spessore massimo 14.5 m ed a seguire la formazione di base argilloso marnosa **Formazione di Terravecchia** unità TRV, fino alla massima profondità investigata.

Dalle stese geofisiche a restituzione tomografica, gli spessori delle coperture non sembrano variare in maniera significativa nelle sezioni tracciate, quindi la situazione stratigrafica appare omogenea nell'area.

Nei sondaggi sono stati installati piezometri che hanno rilevato livello massimo di falda a p.c..

Nel seguito si sintetizzano le caratteristiche geotecniche di progetto per le varie unità geotecniche, in accordo a quanto definito nella relazione geotecnica generale, a cui si rimanda per i dettagli.

Da 0.0 a 14.5 m Unità cap – c: Cappellaccio limoso sabbioso costituente la parte alterata della formazione di base

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 70 \text{ kPa } z < 9.5 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 120 \text{ kPa } z > 9.5 \text{ m}$	
$V_s = 150 \div 350 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 100 \div 120 \text{ MPa } z < 9.5 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico iniziale



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	251 di 281

$E_o = 250 \text{ MPa}$ $z > 9.5\text{m}$

Calfa = 0.0015

$k = 6 \cdot 10^{-6} \div 7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ permeabilità

da 14.5 m a 50.0 m: Unità TRV– Formazione di Terravecchia: argilla da debolmente marnosa a marnosa

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$c' = 15 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\varphi' = 24^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$V_s = 400 \div 600 \text{ m/s}$ velocità delle onde di taglio

$c_u = 200 \text{ kPa}$ per $z < 25\text{m}$ resistenza al taglio in condizioni non drenate

$c_u = 300 \div 350 \text{ kPa}$ $z > 25\text{m}$

$E_o = 250 \div 400 \text{ MPa}$ per $z < 25\text{m}$ Modulo di deformazione elastico iniziale

$E_o = 800 \div 1200 \text{ MPa}$ per $z > 25\text{m}$ modulo di deformazione elastico iniziale

$E'_{op} = E_o/10 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico operativo per analisi cedimenti rilevati

Calfa = 0.0015

$k = 2 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ permeabilità

La falda è stata rilevata circa a p.c..

Da prova geosismica MASW (MASW 6 – HVSR 090) si è ottenuto un valore di $V_{s,eq} = 376 \text{ m/s}$, definendo una categoria di sottosuolo nell'intorno del valore limite tra B e C.

Per le analisi che seguono si considera cautelativamente la categoria di sottosuolo C.

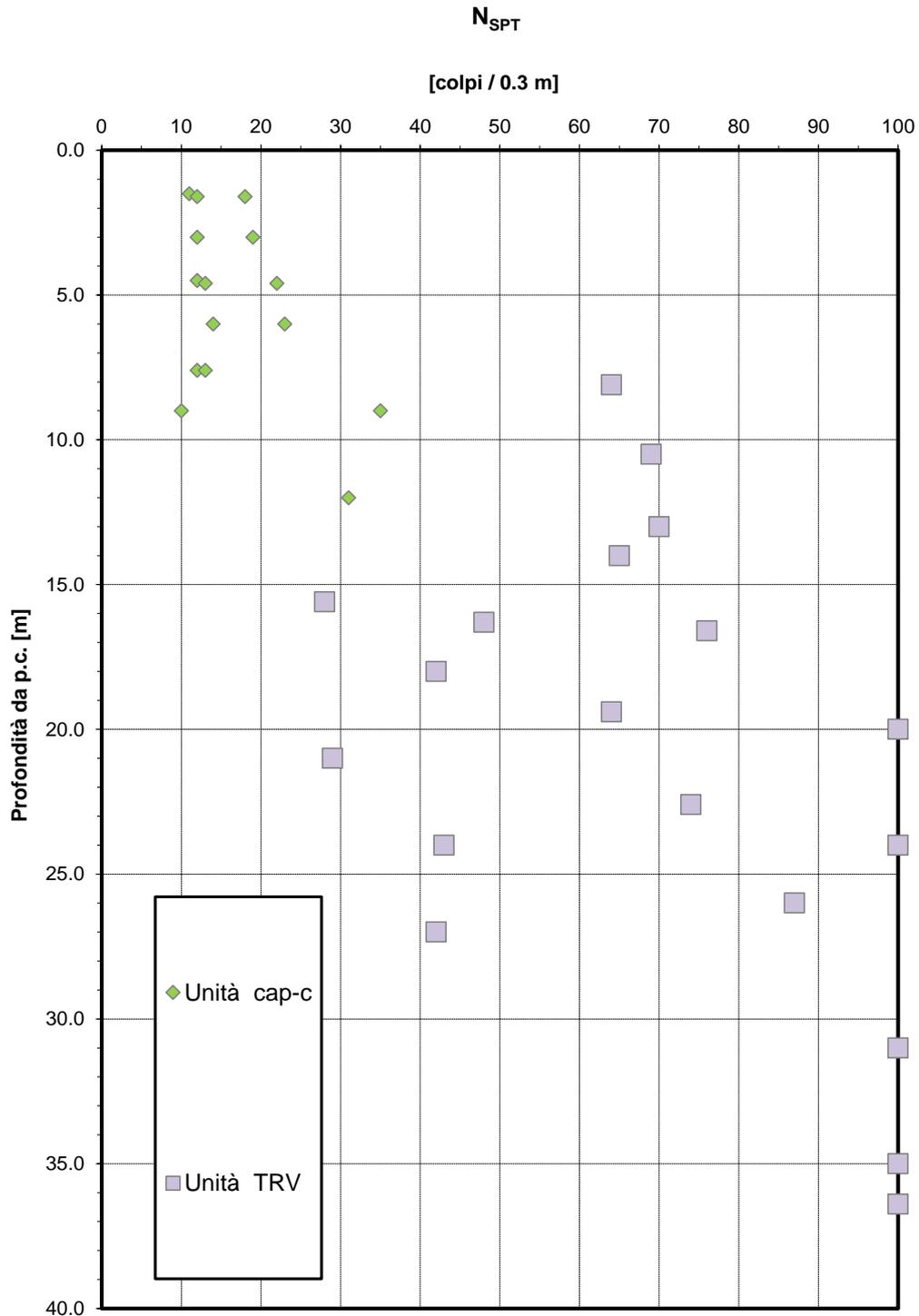


Figura 147 – Risultati prova SPT – Stazione Enna

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

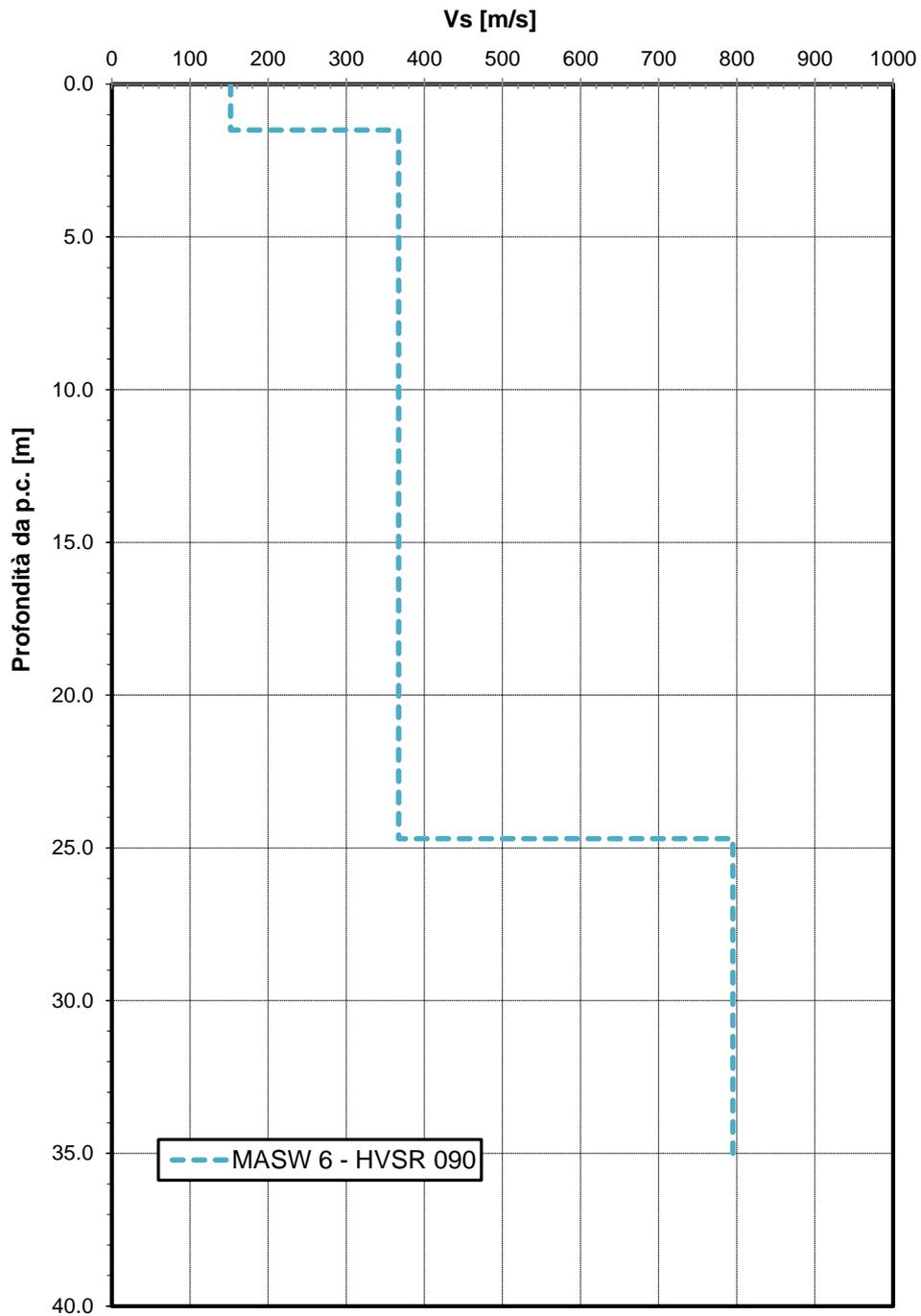


Figura 148 – Velocità delle onde di taglio Vs da prove Sismiche (MASW 6 – HVSR 090) – Stazione Enna

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

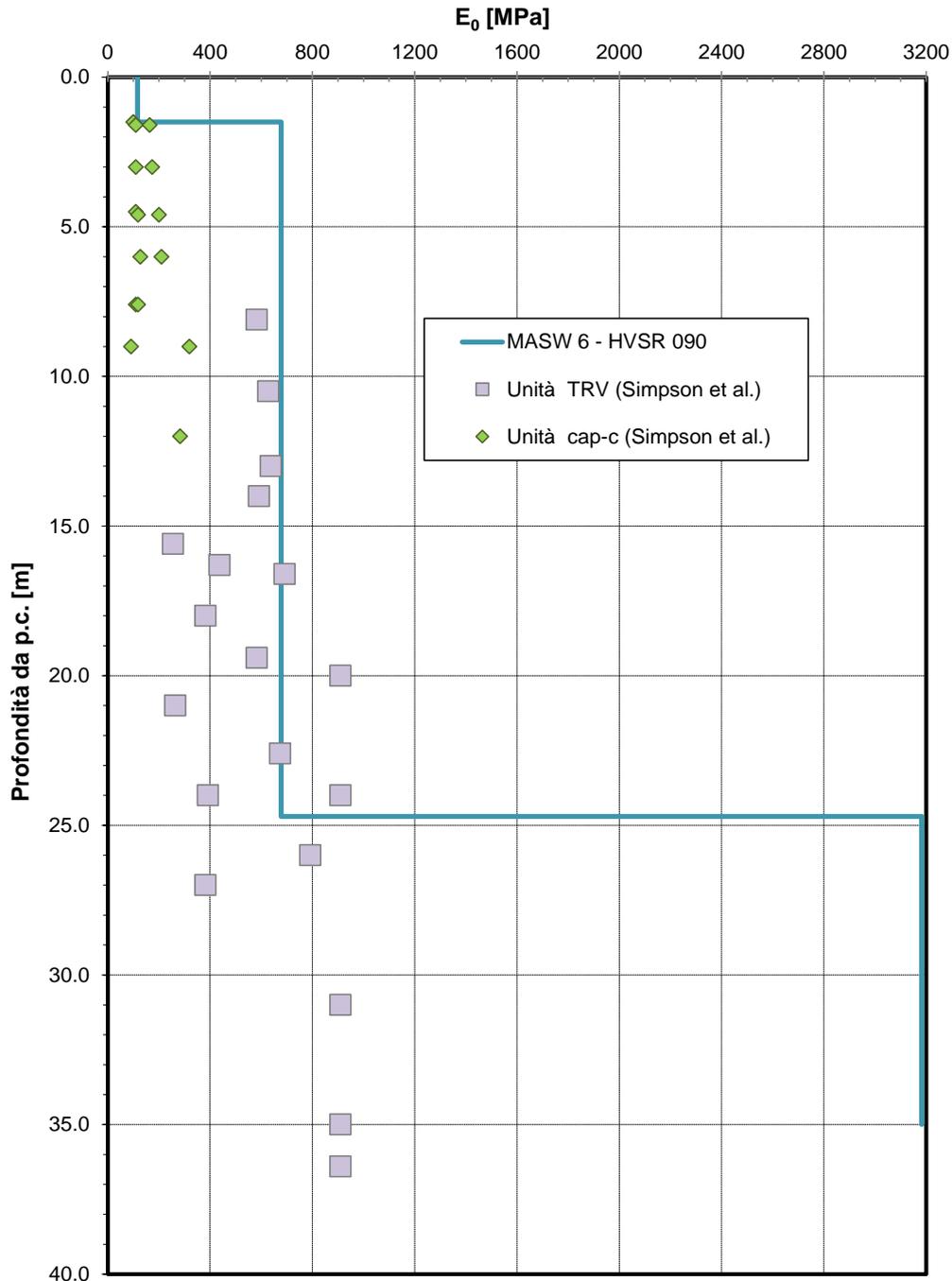


Figura 149 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Stazione Enna

Peso di volume

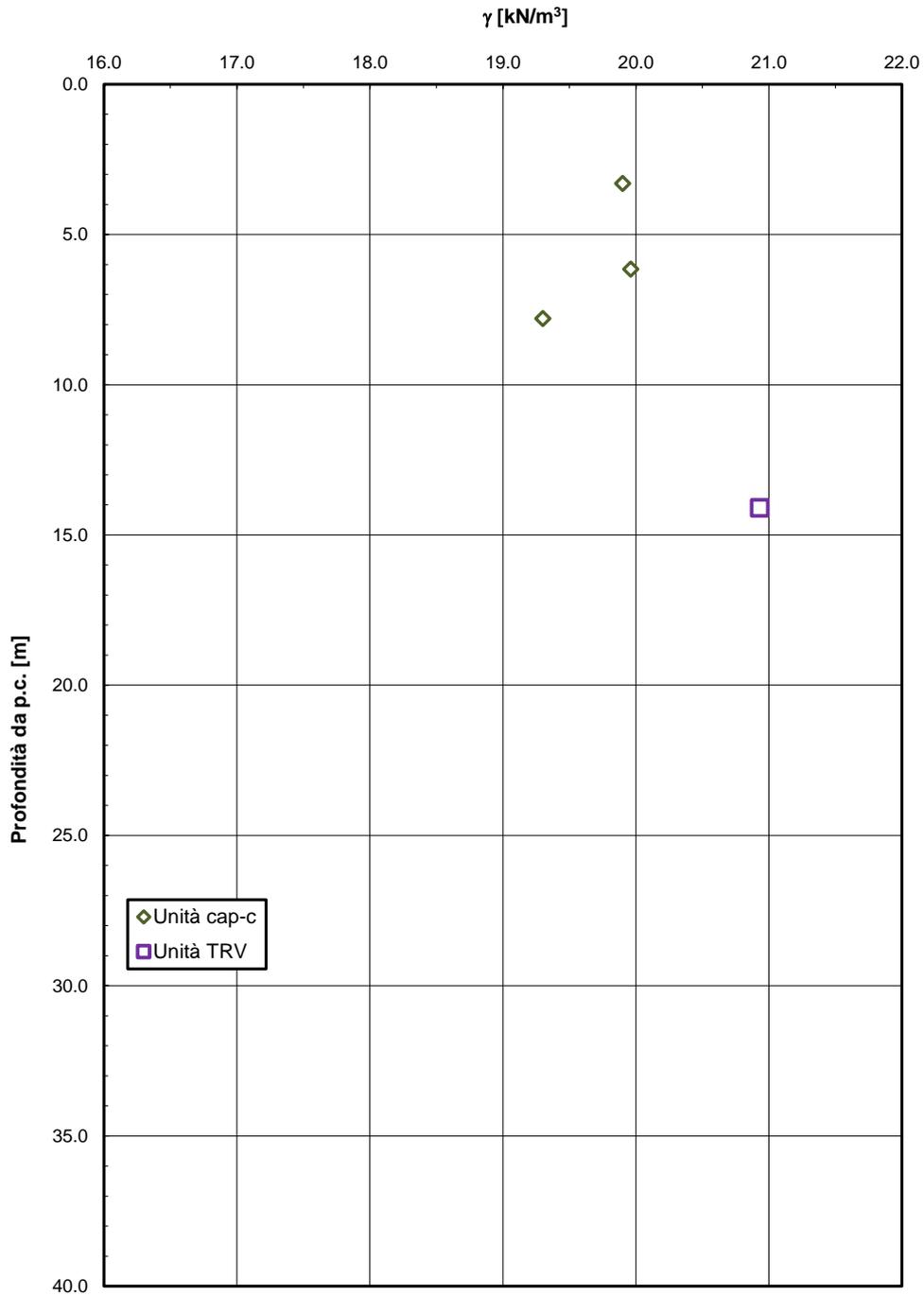


Figura 150 – Peso di volume – Stazione Enna

Andamento della resistenza al taglio non drenata

cu [kPa]

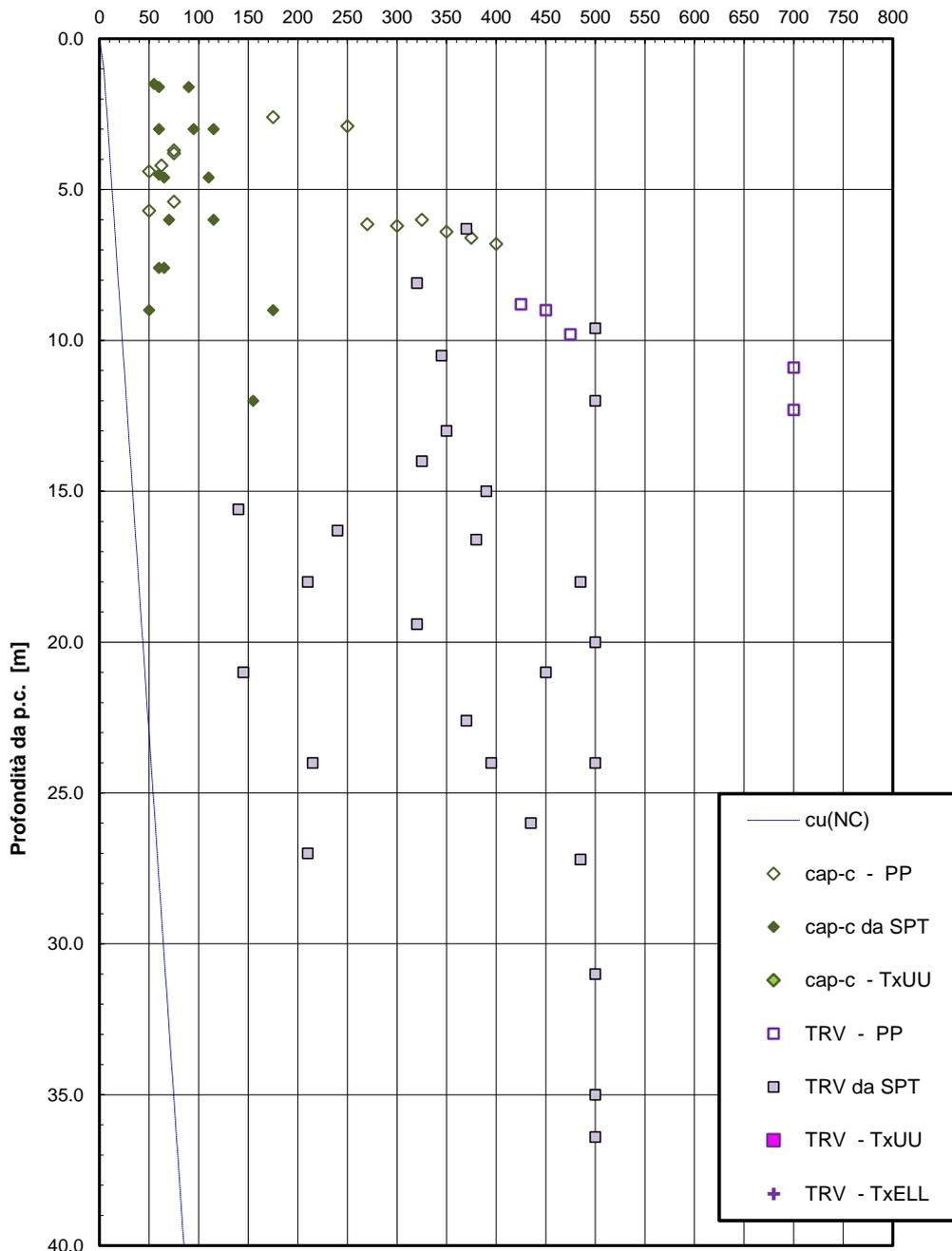


Figura 151 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – Stazione Enna

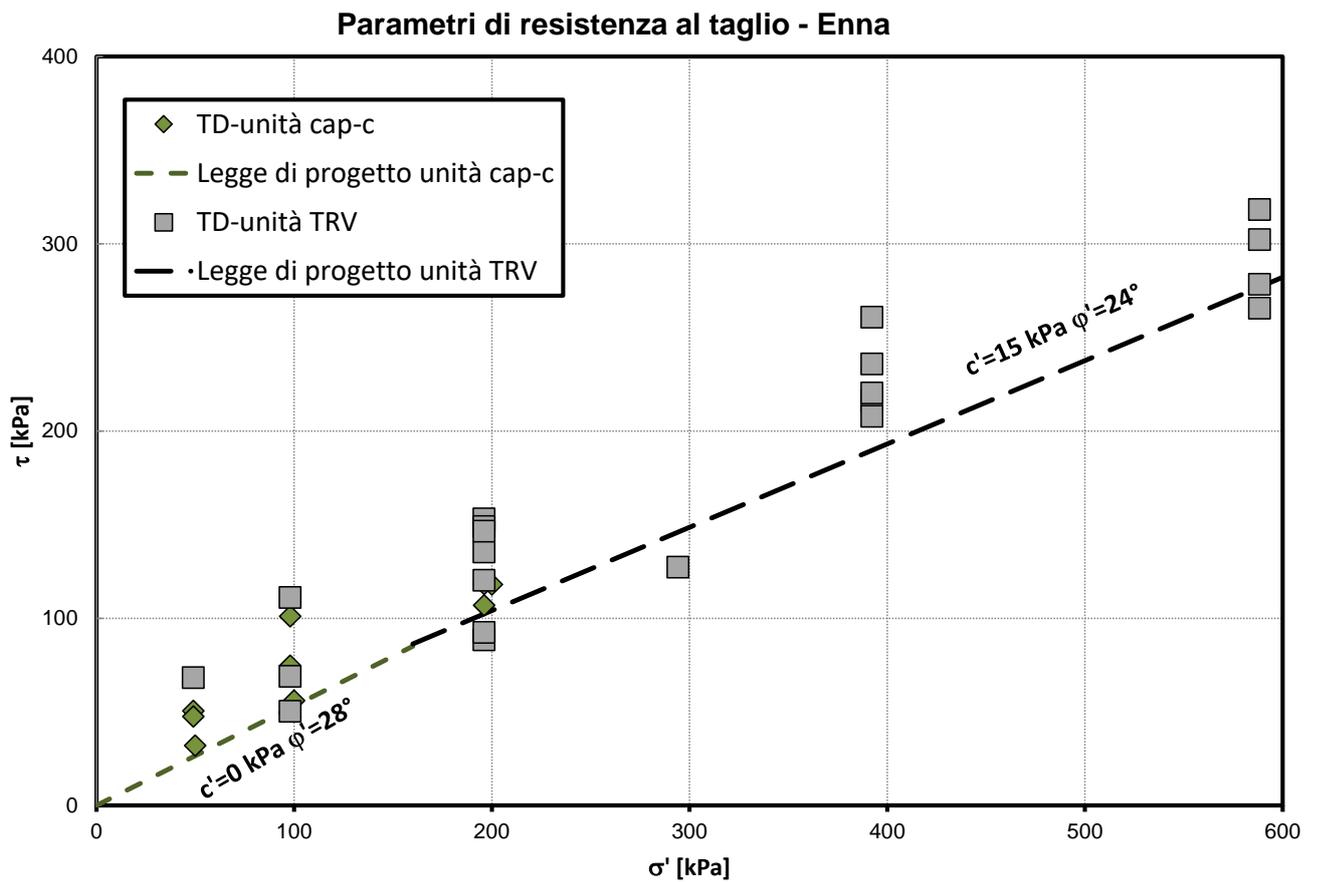


Figura 152 – Parametri di resistenza al taglio – unità cap – c – Stazione Enna

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

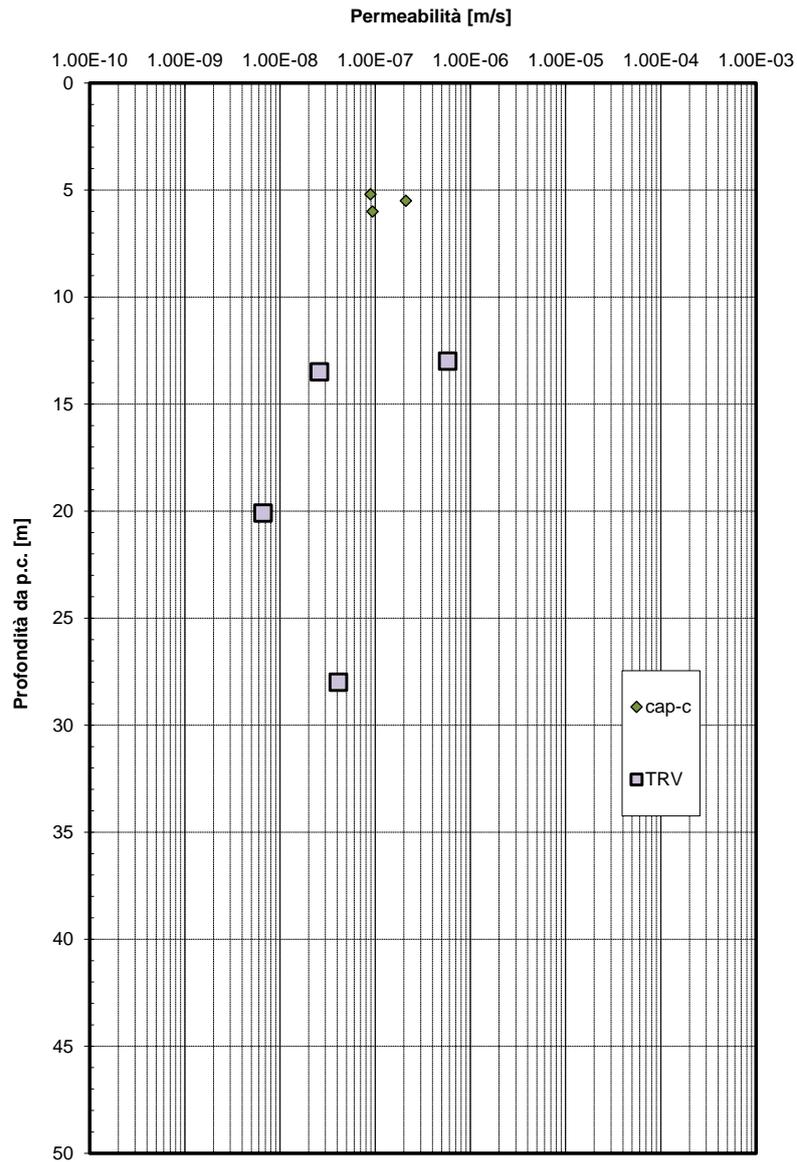


Figura 153 – Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon – Stazione Enna

7.9 Stazione Dittaino

E' prevista la km 14+234. In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- sondaggi 4SD29 , CPT3 e CPT5, MASW1.

0.0 < z < 12.0 m:

Unità ba – Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 100 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 120 \div 200 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 70 \div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

12.0 < z < 18.0 m :

Unità bg – Depositi alluvionali ghiaiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 250 \div 350 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 350 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

18.0 < z < 30.0 m:

TRVb – Formazione di Terravecchia argilloso marnosa brecciata

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa } \sigma_v < 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 26^\circ \sigma_v < 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 20 \text{ kPa } \sigma_v > 200 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 19^\circ \sigma_v > 200 \text{ kPa}$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 115 + 3.5 * z \text{ kPa } z < 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 2.5 + 6.5 * z \text{ kPa } z > 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 350 \div 650 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 650 \div 1000 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

La falda si trova a circa 4 m da p.c.

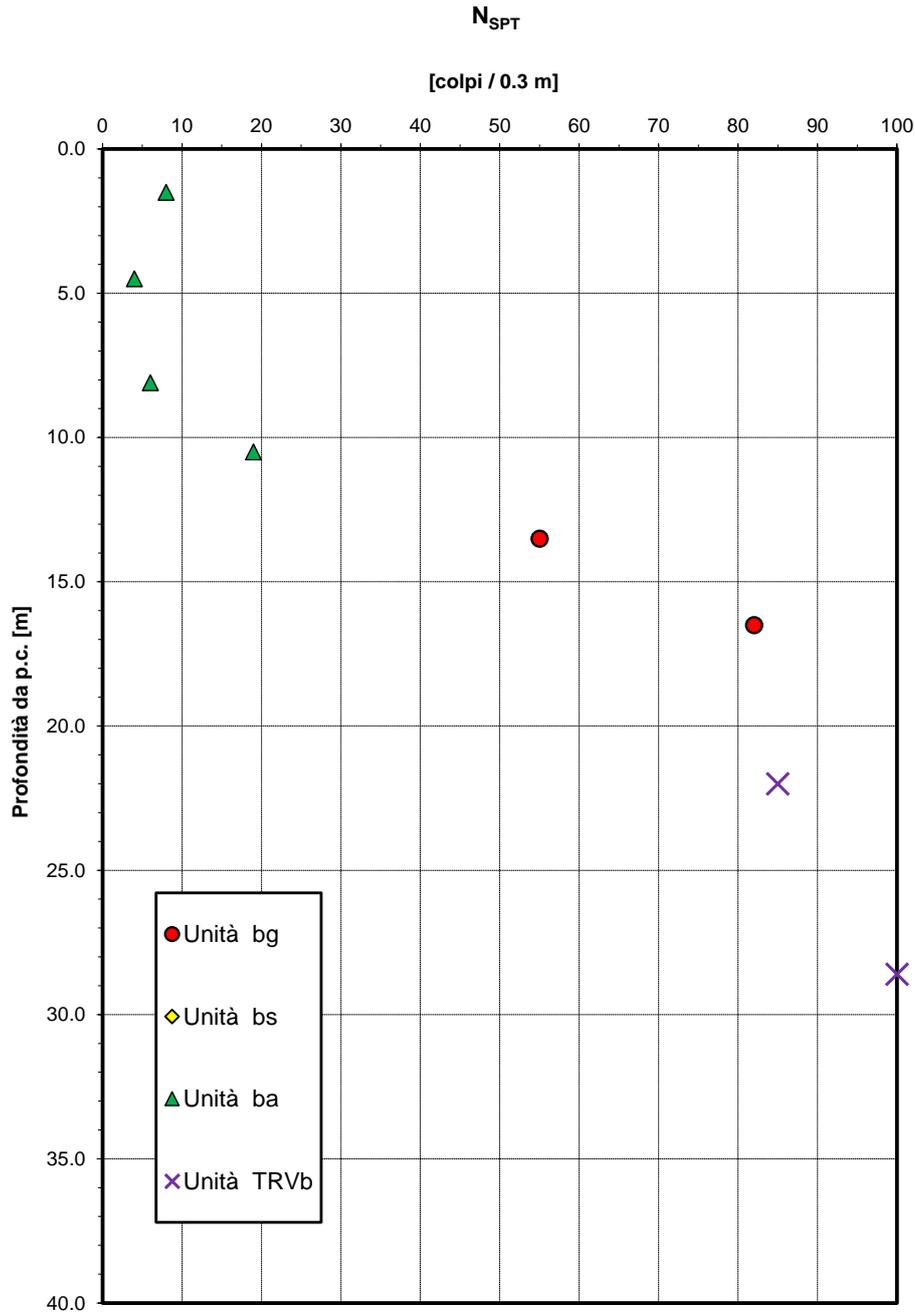


Figura 154 – Risultati prova SPT – Stazione Dittaino

Densità relativa da prove SPT

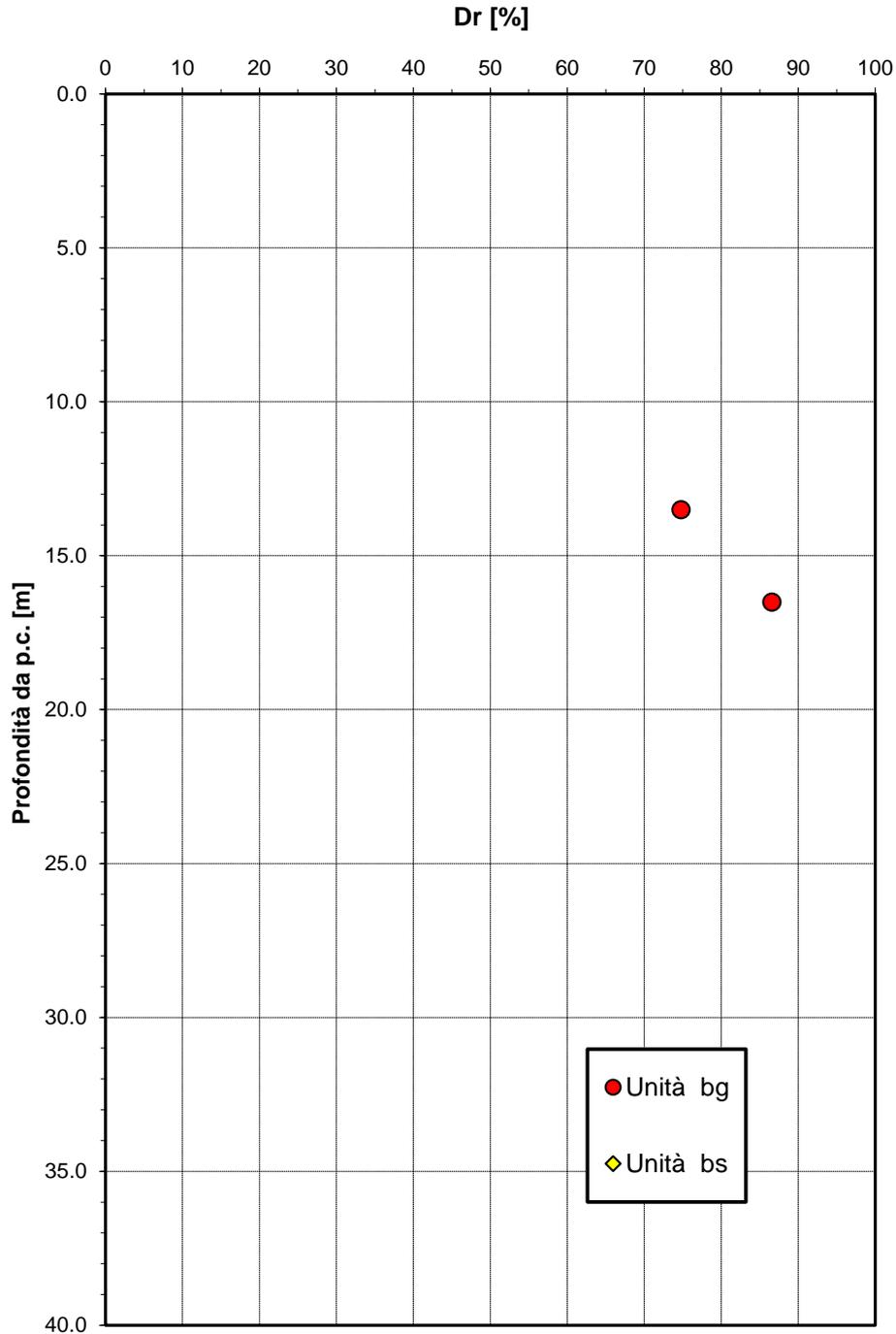


Figura 155 – Densità relativa da prove SPT – Stazione Dittaino

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

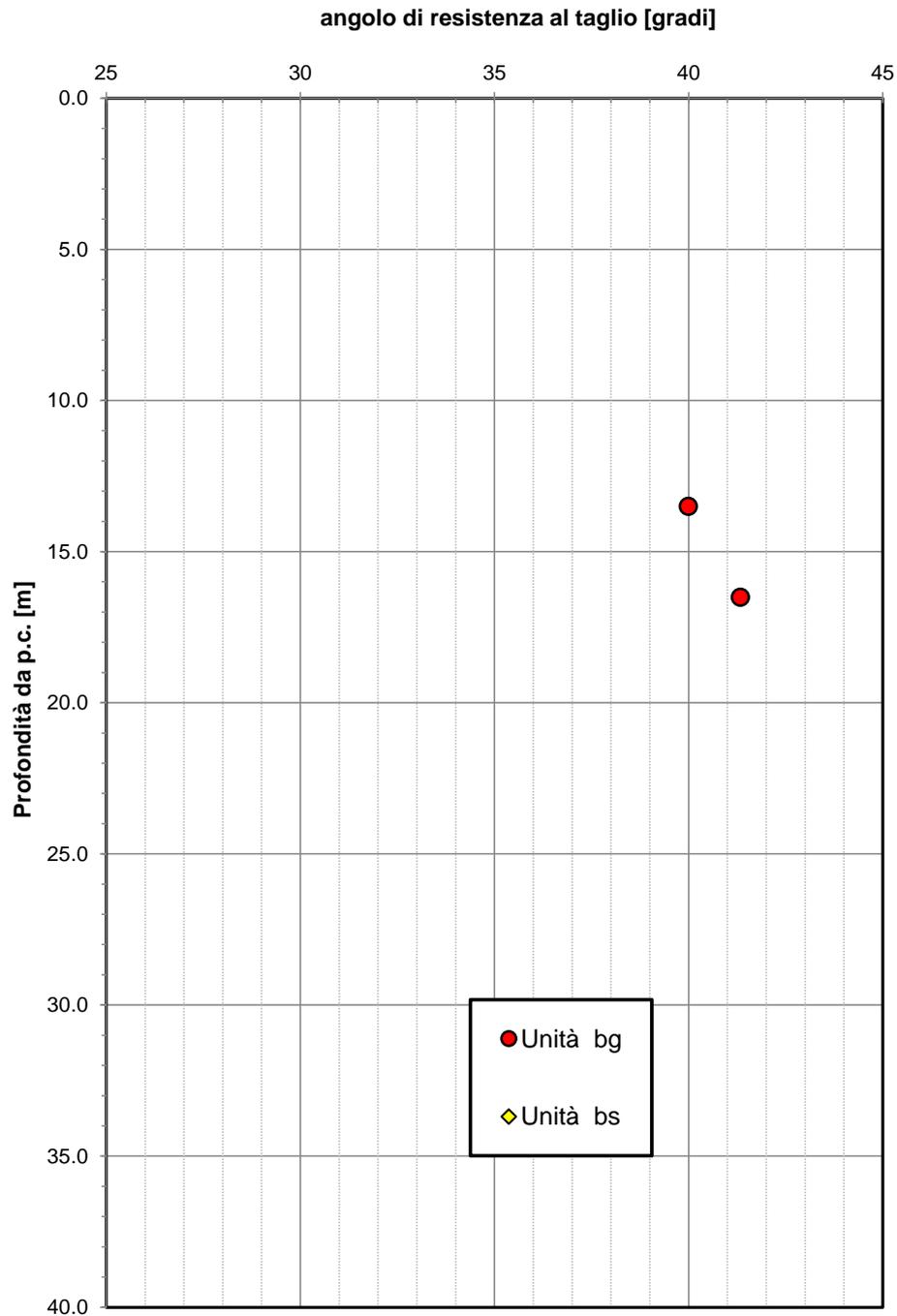


Figura 156 – Angolo di resistenza a taglio – Stazione Dittaino

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

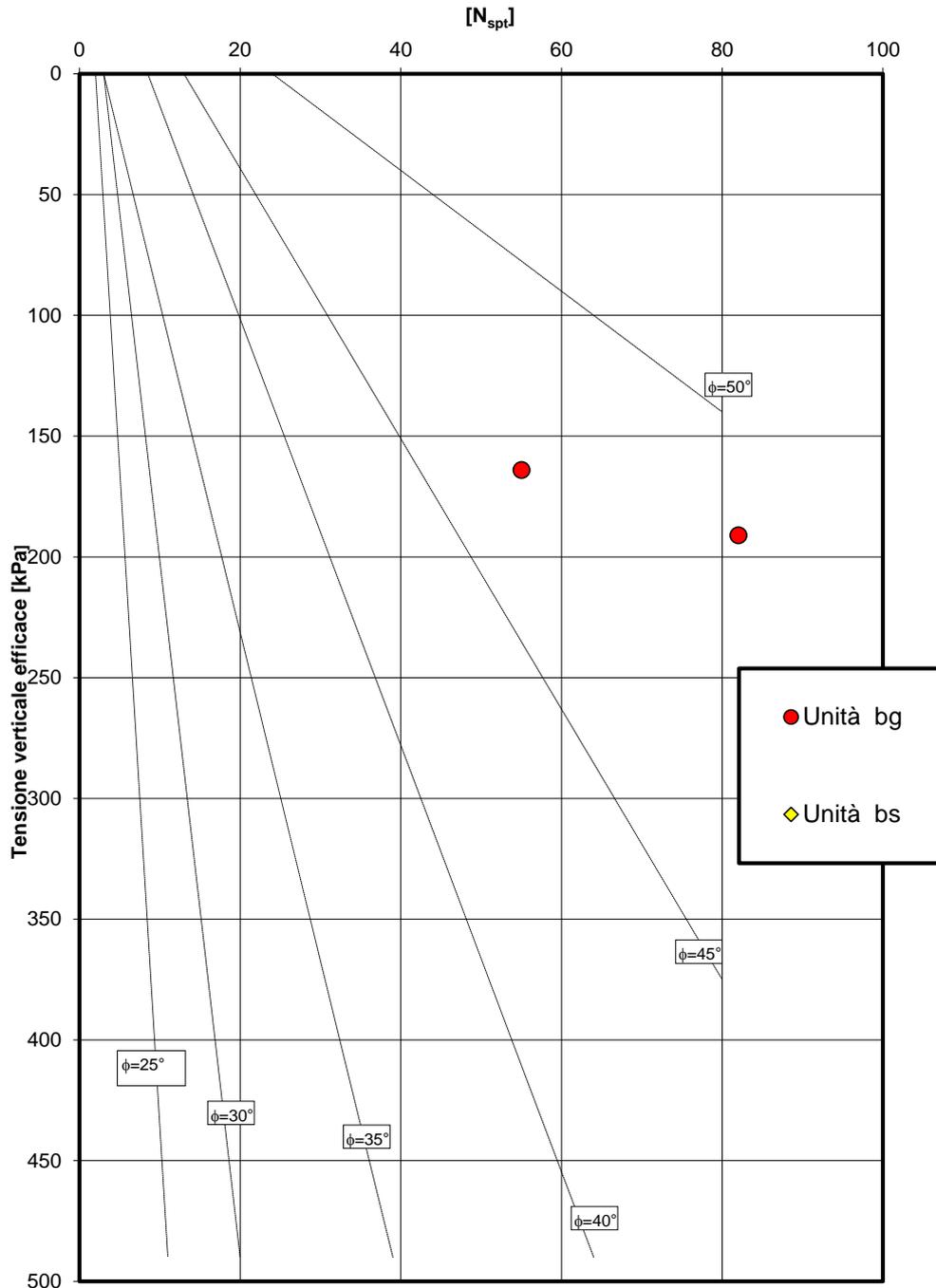


Figura 157 – Correlazione N_{spt} – angolo di resistenza a taglio (De Mello, 1971) – Stazione Dittaino

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

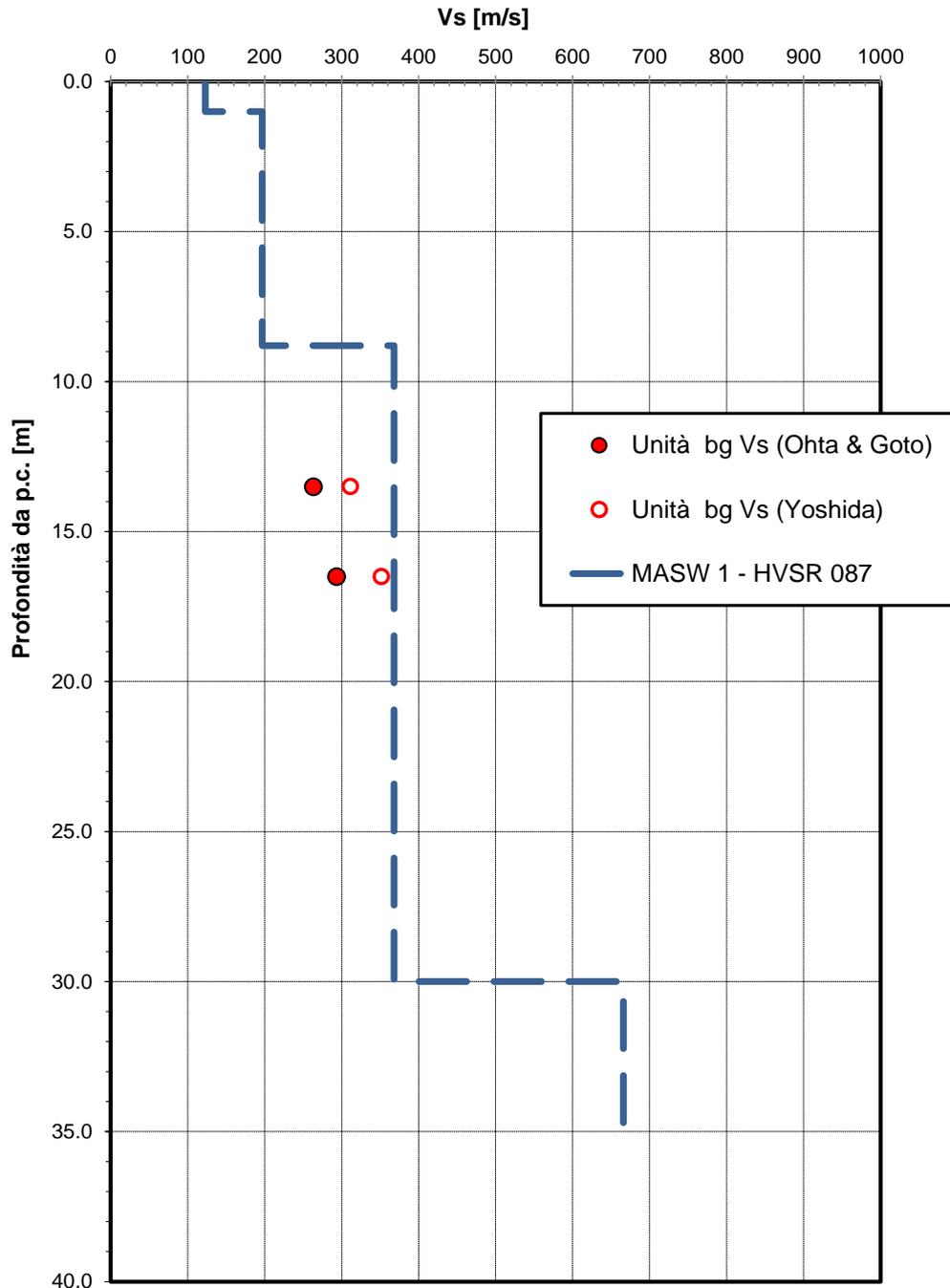


Figura 158 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche – Stazione Dittaino

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

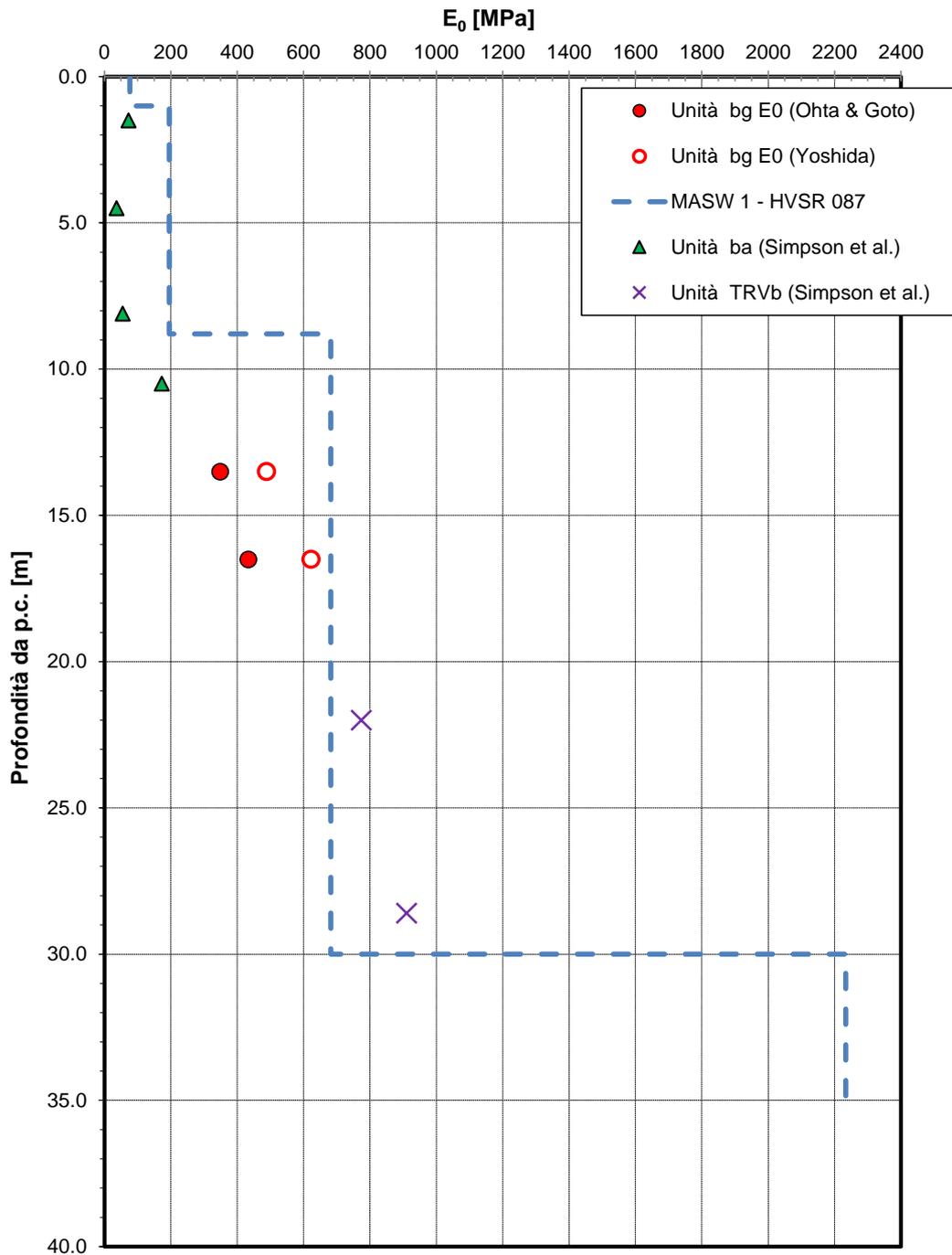


Figura 159 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Stazione Dittaino

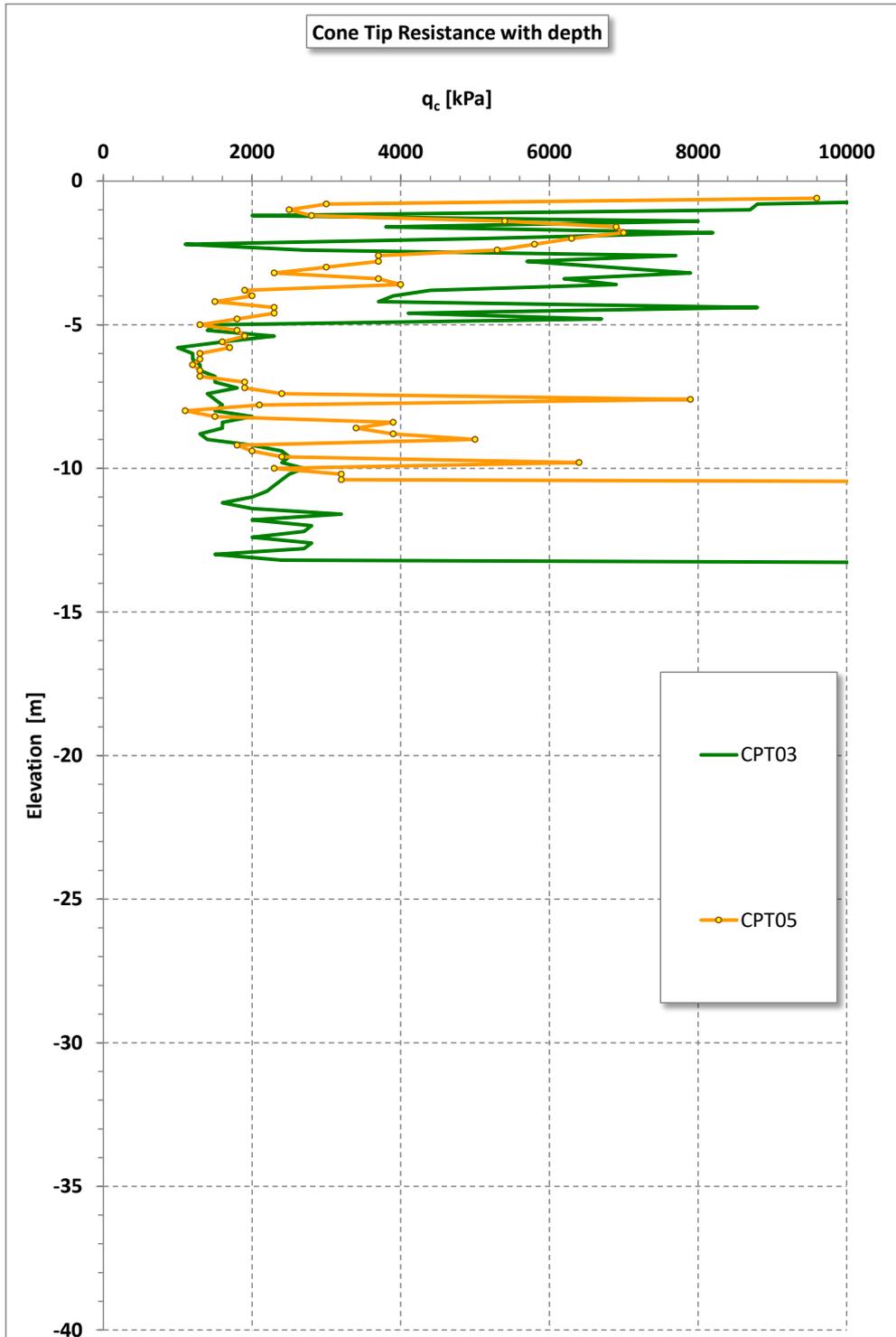


Figura 160 – Resistenza alla punta da prove CPT (CPT03 e CPT05) – Stazione Dittaino

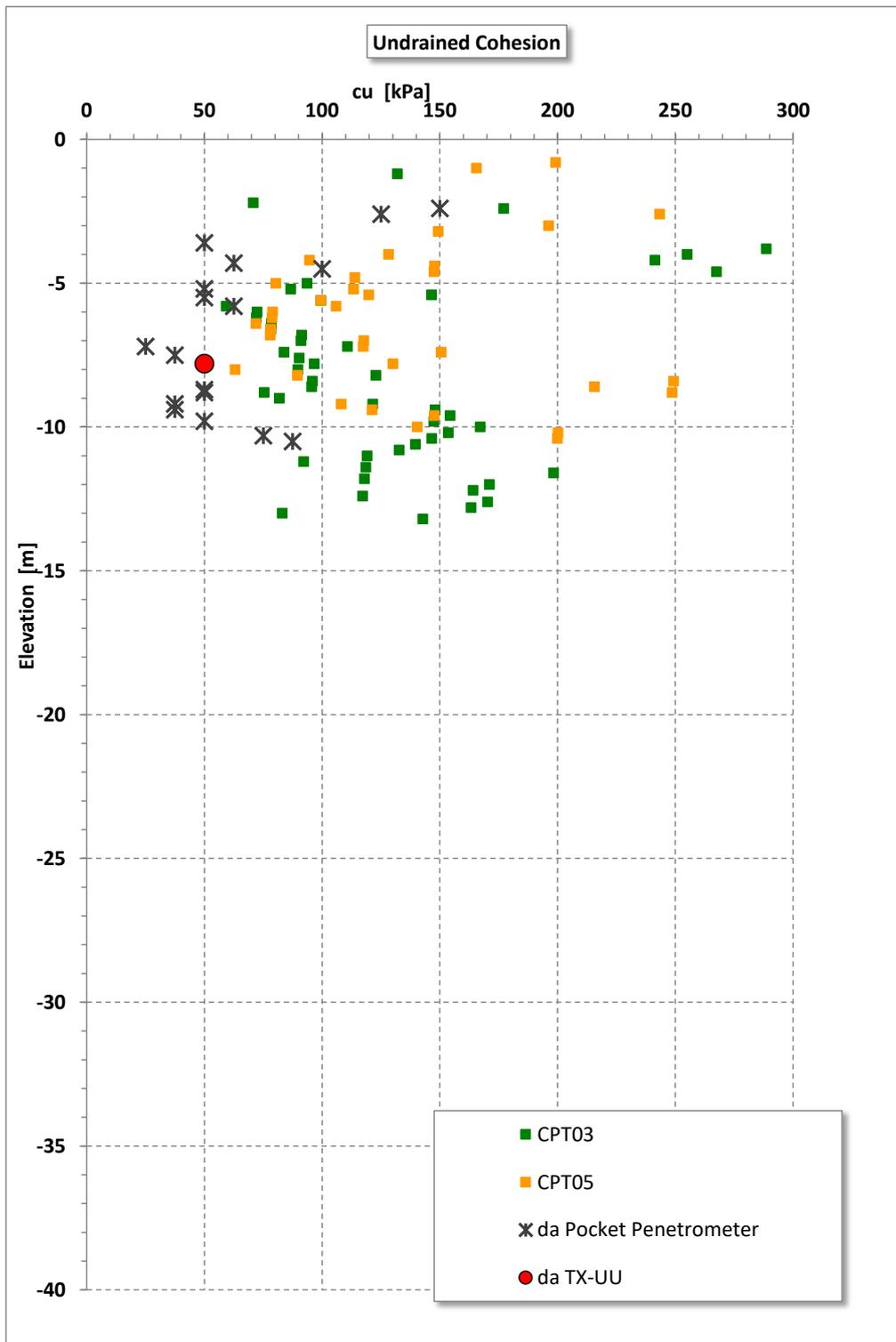


Figura 161 – Coesione non drenata da prove di laboratorio e in sito – Stazione Dittaino

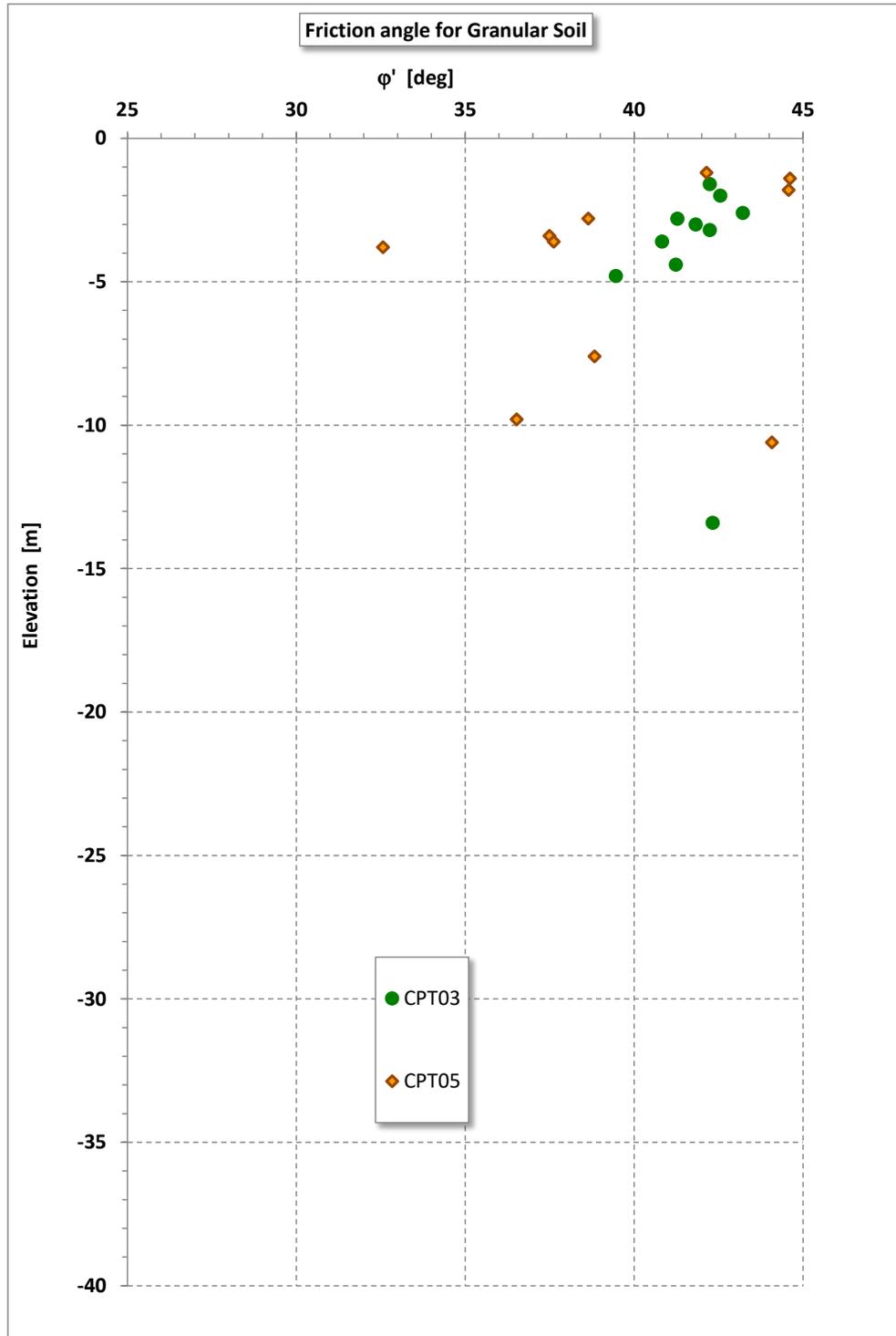


Figura 162 – Angolo di attrito per materiali granulari (da prove CPT) – Stazione Dittaino

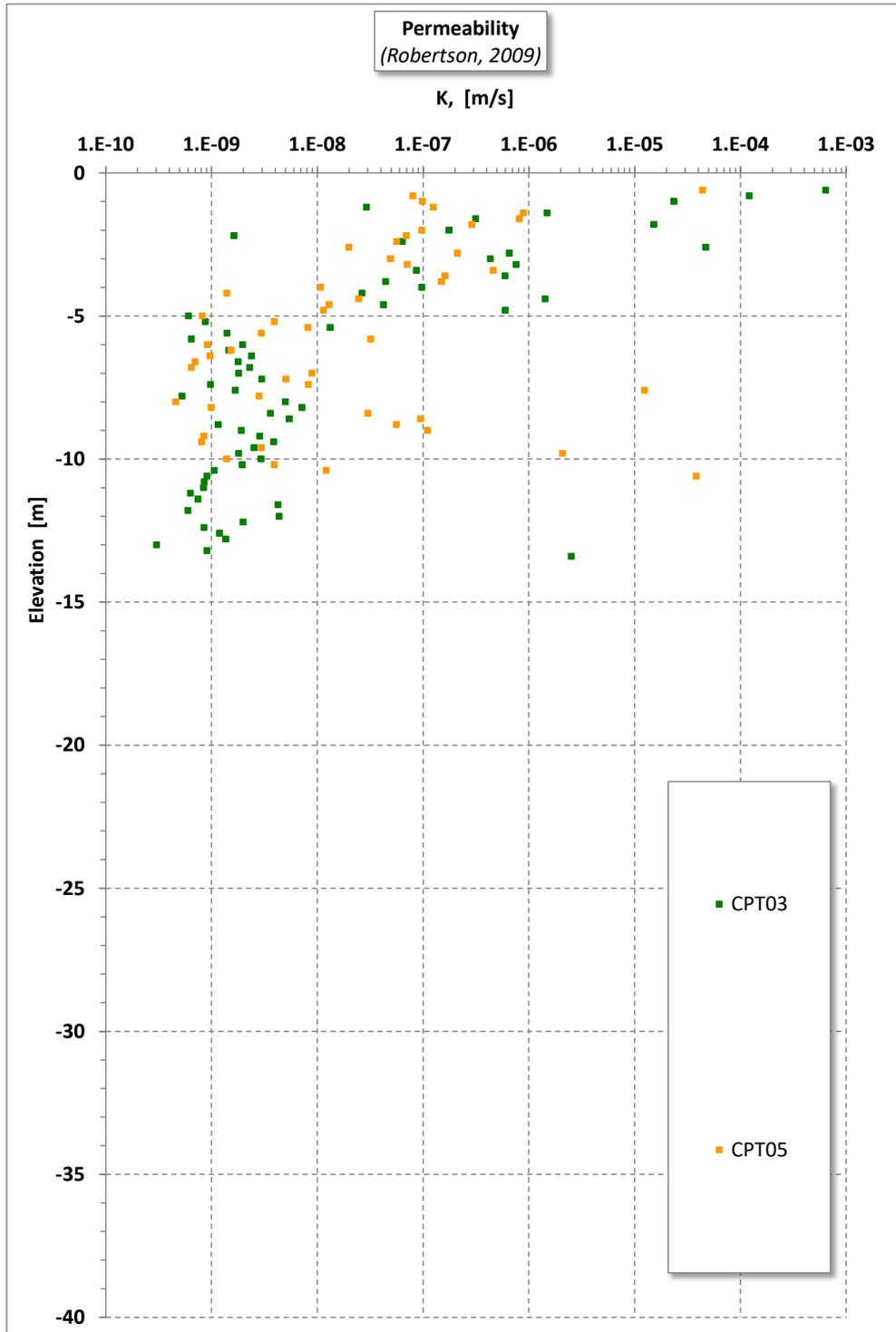


Figura 163 – Permeabilità (Robertson, 2009) (da prove CPT) – Stazione Dittaino

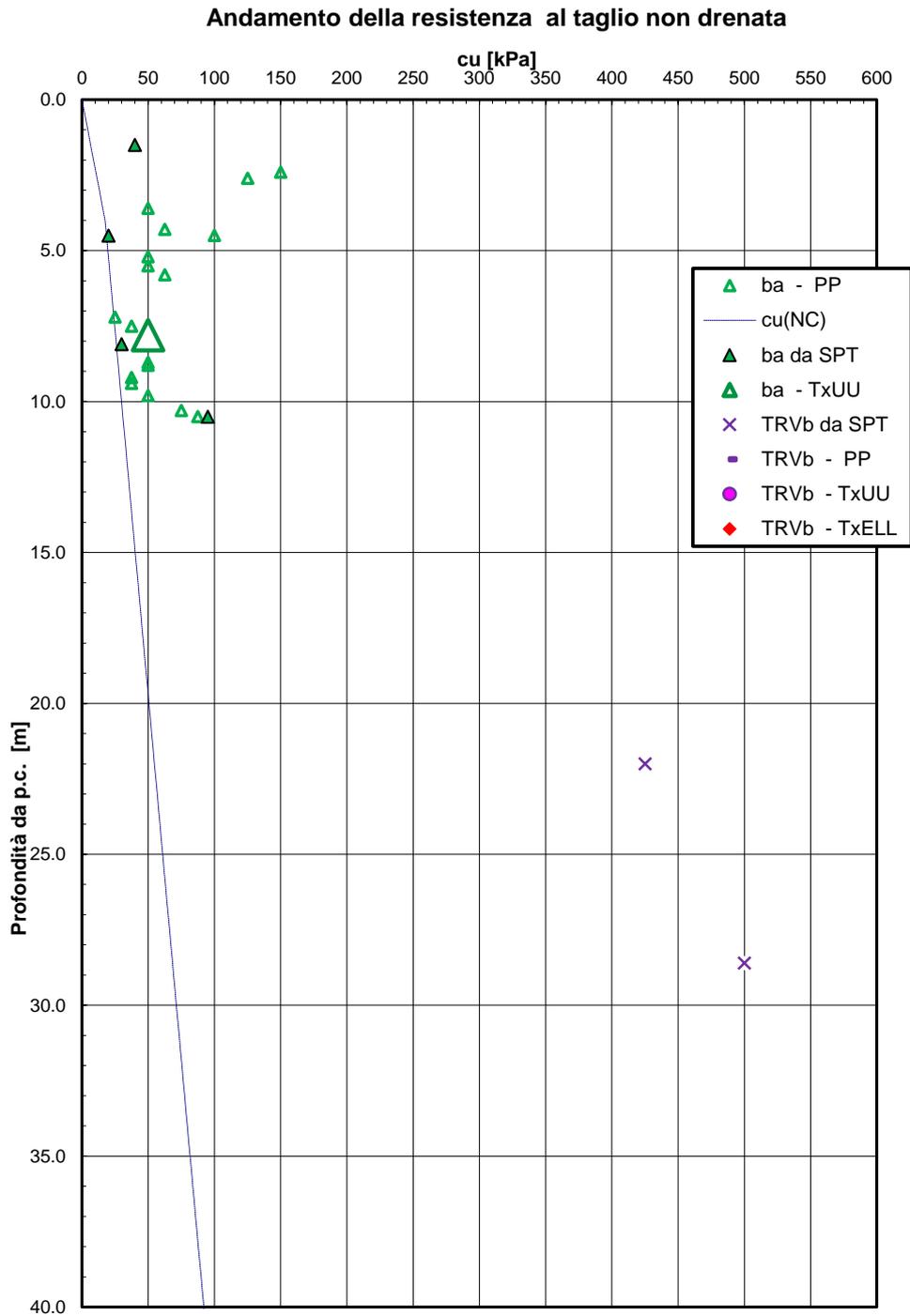


Figura 164 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – Stazione Dittaino

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

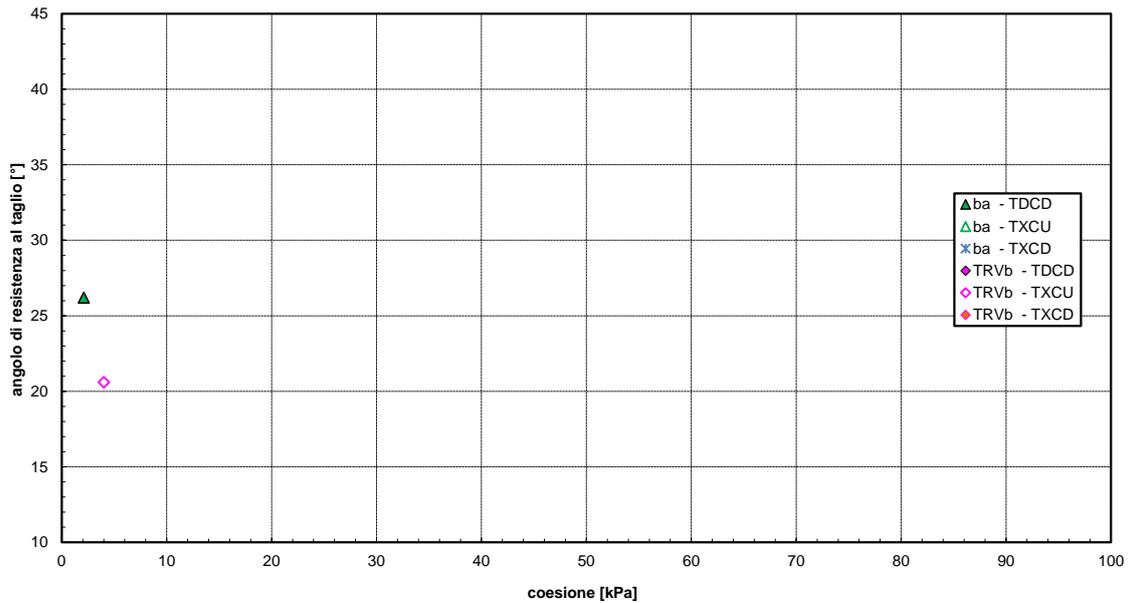


Figura 165 – Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio – unità ba e TRVb – Stazione Dittaino

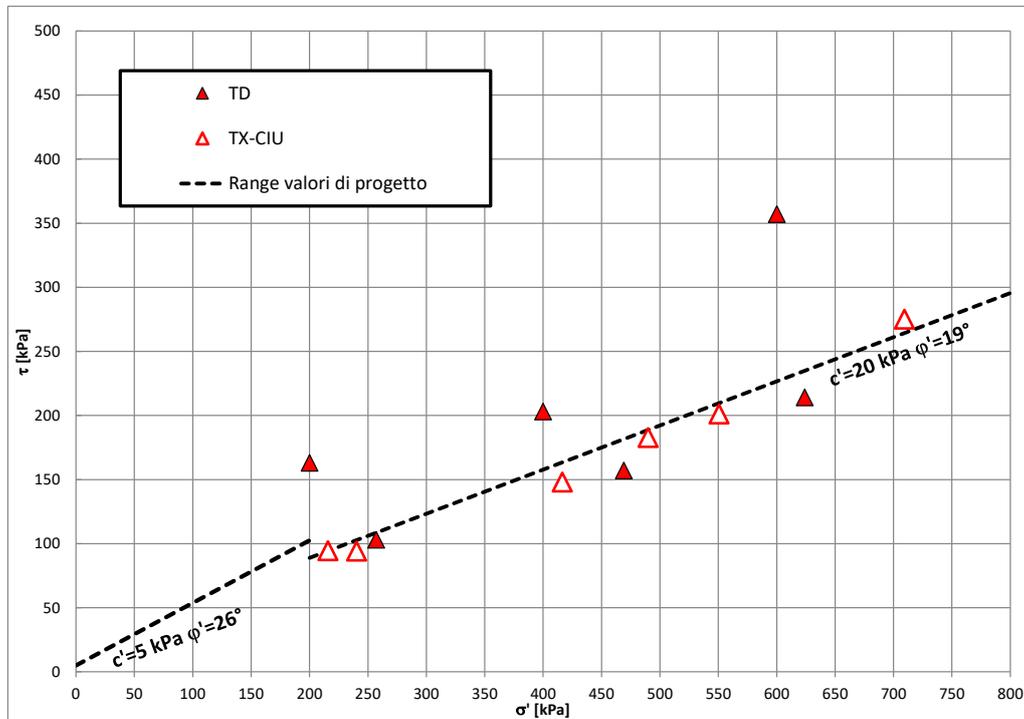


Figura 166 – Caratteristiche di resistenza (dalle prove di laboratorio del lotto 4b) – unità TRVb – Stazione Dittaino



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	272 di 281

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	273 di 281

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 delle opere all'aperto.

Secondo quanto prescritto dal Capitolo 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 35 – 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
ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	4	0
bn	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0
cap - c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	5	0
TRVb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
TRVa	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
MS2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0

1.1 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).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	274 di 281

1.2 Unità geotecnica bs e bg – depositi alluvionali sabbiosi e ghiaiosi

Non si dispongono al momento di campioni nelle facies incoerenti delle coltrei alluvionali.

1.3 Unità geotecnica bn – alluvioni terrazzate antiche

Si dispongono di soli 4 campioni. L'unità geotecnica è caratterizzata prevalentemente da terreni fini limoso argillosi e quindi inquadrata tipicamente nel gruppo A6 ed A-7-6, quindi non è riutilizzabile tal quale come riempimento. E' riutilizzabile solo previo idoneo trattamento.

1.4 Unità geotecnica cap-c – alterazione coesiva del substrato

Si dispongono di 13 campioni ed è presente in maniera predominante a partire dal p.c. lungo il tracciato in esame. L'unità geotecnica è caratterizzata da terreni fini limoso argillosi e quindi inquadrata tipicamente nel gruppo A6, A-7-6 ed A-7-5, quindi non è riutilizzabile tal quale come riempimento. E' riutilizzabile solo previo idoneo trattamento (a tal proposito vedasi capitolo seguente).

1.5 Unità geotecnica TRVb – Formazione di Terravecchia argilloso limosa brecciata

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.

1.6 Unità geotecnica TRVa – Formazione di Terravecchia arenaceo-pelitica

L'unità geotecnica è caratterizzata da terreni sabbiosi alternati a fini limoso argillosi. Dai pochi campioni prelevati a profondità entro i 10 m dal p.c., il materiale si inquadrata tipicamente nel gruppo A4. Comunque generalmente ci si aspetta una forte variabilità tra A4 e A6.

1.7 Unità geotecnica MS2 – Sabbie

Si dispongono di soli 6 campioni. L'unità geotecnica è molto variabile in quanto sono stati trovati sia campioni nel gruppo A6 sia A2-4 ed anche A4.

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	275 di 281

Unità ba
Deposito alluvionale coesivo (limoso argilloso)

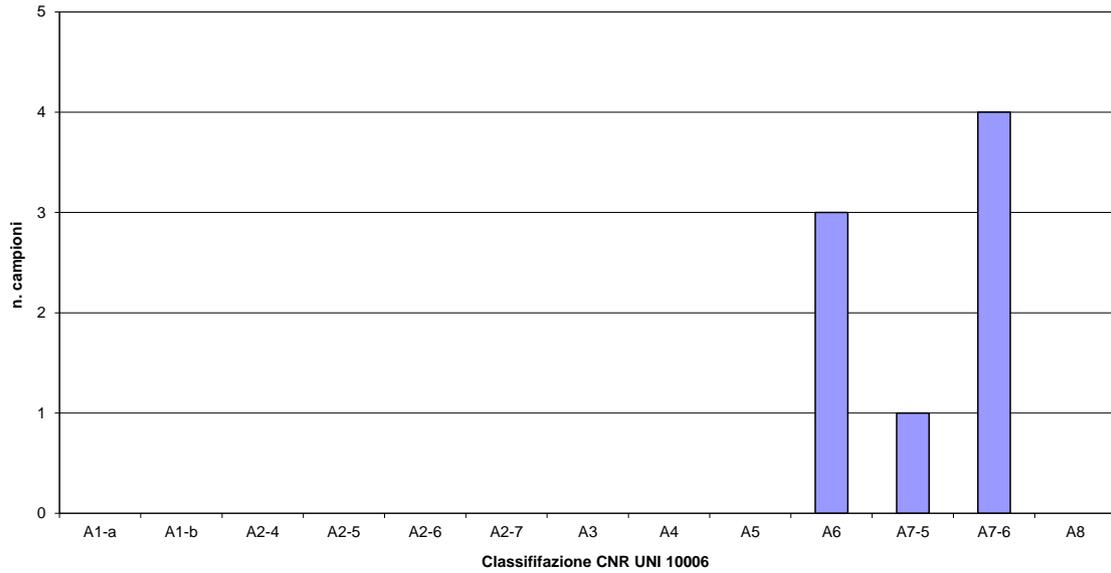


Figura 167 – Classificazione terre – unità ba

Unità bn

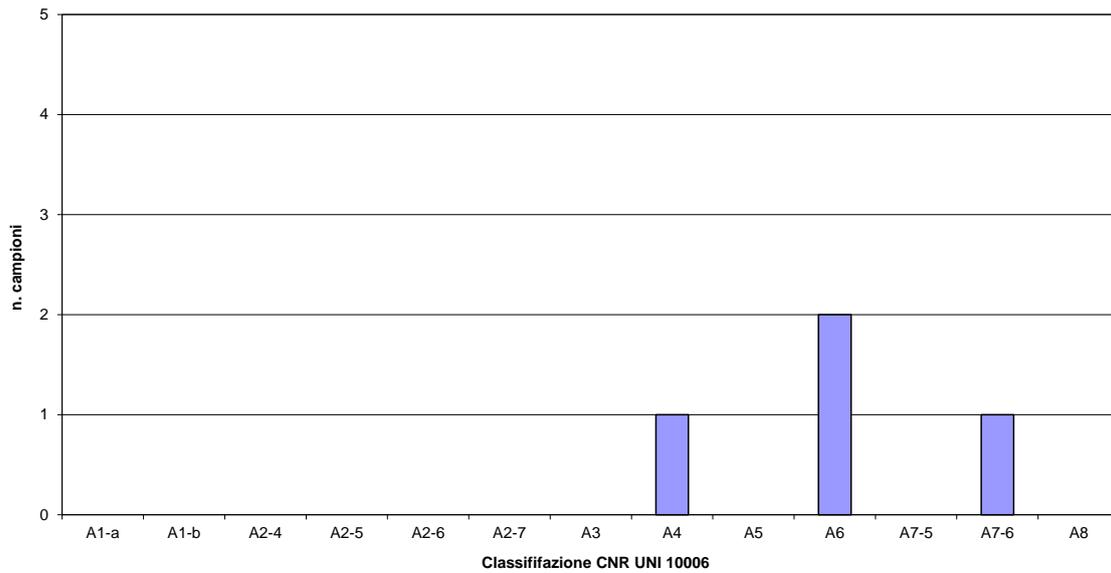


Figura 168 – Classificazione terre – unità bn

Unità cap - c

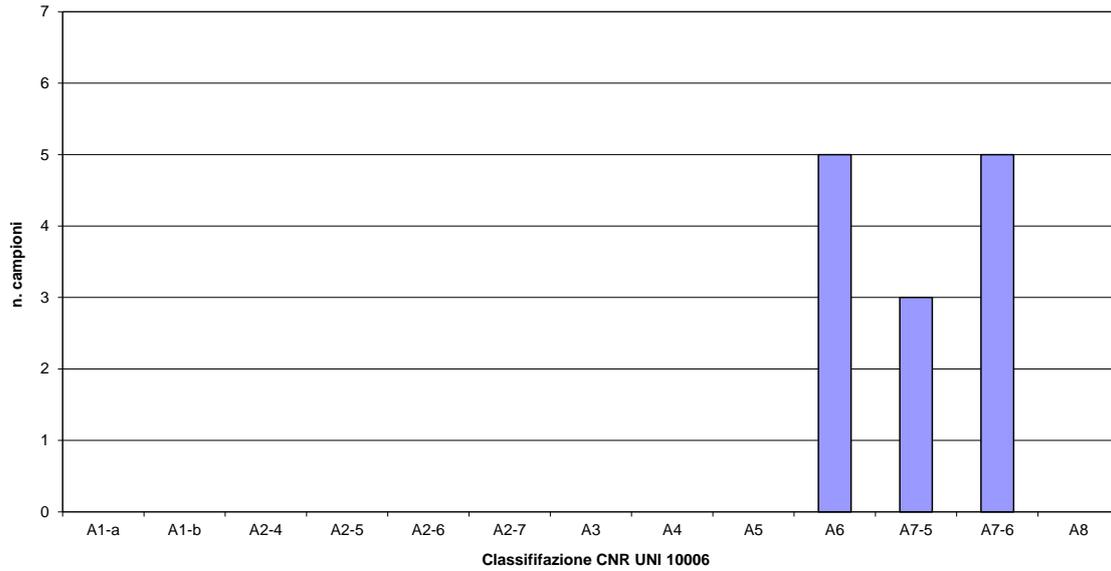


Figura 169 – Classificazione terre – unità cap – c

**Unità TRVb
Formazione di Terravecchia alterata**

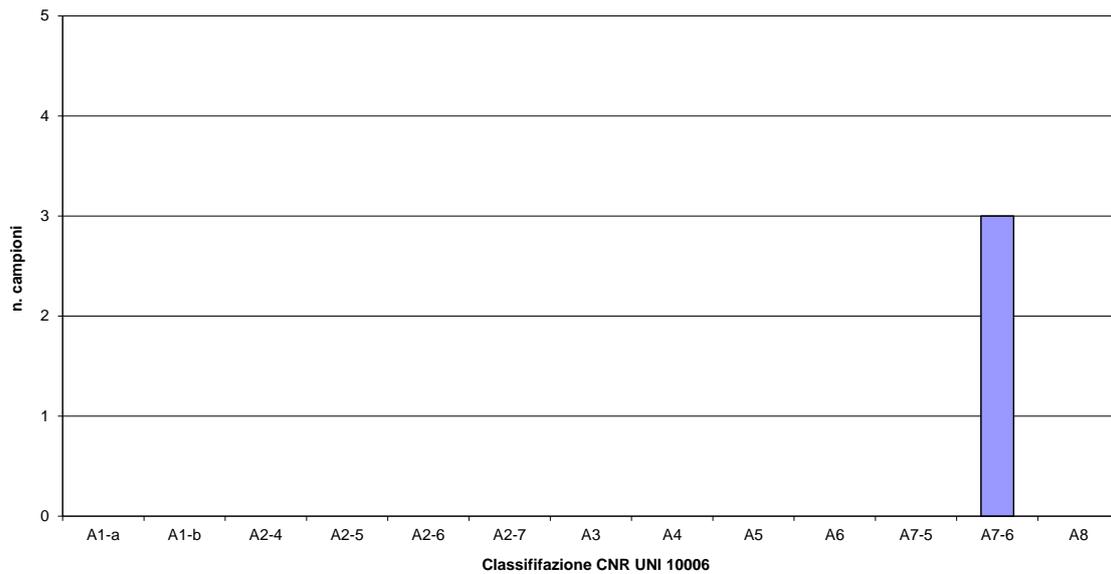


Figura 170 – Classificazione terre – unità TRVb

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	277 di 281

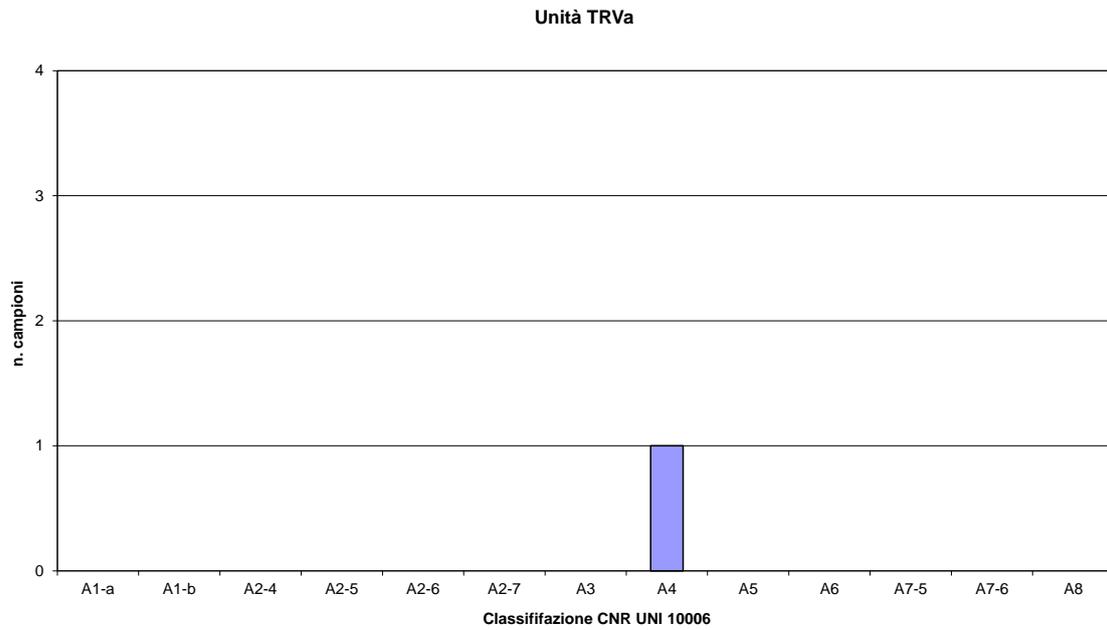


Figura 171 – Classificazione terre – unità TRVa

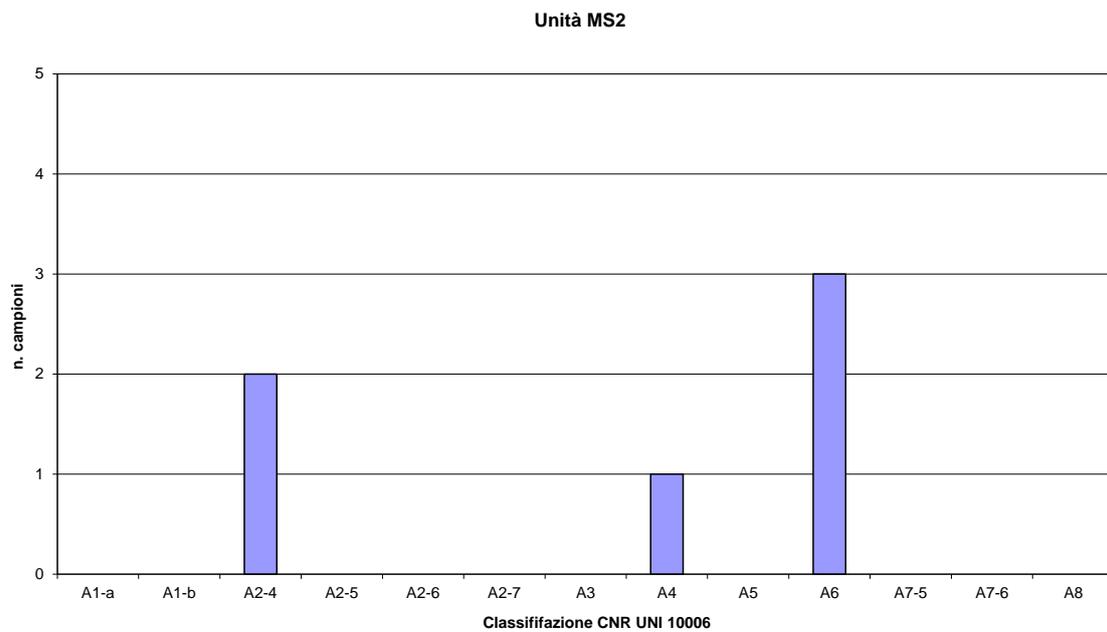


Figura 172 – Classificazione terre – unità MS2



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	278 di 281

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 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.

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 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 279 di 281

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.

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;



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	280 di 281

- 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.

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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Geotecnica tratti all'aperto – Lotto 4b

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 09 RH	GE0000 001	A	281 di 281

- 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 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-calce 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.