

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

### NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA

#### U.O. INFRASTRUTTURA SUD

#### PROGETTO DEFINITIVO

#### TRATTA DITTAINO- CATENANUOVA

#### GEOTECNICA

#### RELAZIONE GEOTECNICA VARIANTI LINEA STORICA

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 78 RH GE0006 008 A


Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S. Gasperoni	12/2019	C.M. D'Amico	12/2019	F. Caracino	12/2019	Tiberti

ITALFERR S.p.A.  
 Gruppo Ferrovie dello Stato  
 Direzione Messina  
 UO Infrastruttura Sud  
 Dott. Ing. Paolo Tiberti  
 Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10076

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE .....	7
3.1	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2013.....	7
3.1.1	<i>Indagini sismiche</i> .....	8
3.1.2	<i>Prove di permeabilità</i> .....	9
3.1.3	<i>Prove di laboratorio</i> .....	9
3.2	CAMPAGNA GEOGNOSTICA A BASE DEL P.D. DI FASE I DEL 2015 .....	10
3.2.1	<i>Prove di permeabilità</i> .....	11
3.2.2	<i>Prove di laboratorio</i> .....	11
3.3	CAMPAGNA GEOGNOSTICA A BASE DEL P.D. DI FASE II DEL 2015 .....	13
3.3.1	<i>Indagini sismiche</i> .....	14
3.3.2	<i>Prove di permeabilità</i> .....	15
3.3.3	<i>Prove pressiometriche in foro tipo Menard</i> .....	15
3.3.4	<i>Prove di laboratorio</i> .....	15
3.4	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2018.....	17
3.4.1	<i>Indagini sismiche</i> .....	18
3.4.2	<i>Prove di permeabilità</i> .....	18
3.4.3	<i>Prove di laboratorio</i> .....	19
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	21
4.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	21

4.2	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	22
4.2.1	<i>Premessa</i> .....	22
4.2.2	<i>Depositi incoerenti</i> .....	23
4.2.3	<i>Depositi coesivi</i> .....	29
4.3	UNITÀ B2 – DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI .....	34
4.4	UNITÀ BA – DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI.....	34
4.5	UNITÀ BB – DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI.....	35
4.6	UNITÀ BN – DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI.....	38
4.7	UNITÀ AAC – ARGILLE MARNOSE GRIGIE DI CATENANUOVA .....	42
4.8	UNITÀ FYN – ARGILLE LIMOSA, MARNOSA (FLYSCH NUMIDICO).....	44
4.9	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....	47
4.10	FALDA .....	93
5	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	96
5.1	RISPOSTA SISMICA.....	96
5.1.1	<i>Categoria di sottosuolo</i> .....	97
5.1.2	<i>Azioni sismiche di progetto</i> .....	98
5.2	LIQUEFAZIONE .....	100
6	OPERE D'ARTE MAGGIORI.....	101
6.1	VIADOTTO VI21 SU DEVIATA PROVVISORIA ALLA LINEA FERROVIARIA STORICA.....	101
6.2	VIADOTTO VI23 SU DEVIATA DEFINITIVA LINEA STORICA .....	111
7	PIANO DI POSA RILEVATI E TRINCEE .....	119

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

## 1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica delle varianti alla linea storica relative al progetto definitivo relativo alla tratta a semplice binario Dittaino – Catenanuova del Nuovo Collegamento Palermo – Catania. L'intera tratta Dittaino – Catenanuova ha uno sviluppo complessivo di circa 22,8 km

La variante definitiva alla linea storica ha inizio al km 190+909 e si sviluppa per una lunghezza di 2+100.


La variante provvisoria alla linea storica Palermo-Catania ha inizio al km 194+120 della linea storica e termina al km 195+089.457.

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

- di un'elaborazione ed interpretazione dei risultati di indagini in sito e laboratorio ad oggi disponibili sull'intera tratta in esame eseguite per il progetto preliminare del 2013 e per il progetto definitivo del 2015 per il raddoppio della tratta Catenanuova-Raddusa Agira e Bicocca-Catenanuova, le indagini integrative del 2018;
- degli studi di carattere geologico ed idrogeologico disponibili, relativamente ai progetti sopra citati.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- rilievo del livello di falda;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche intercettate;
- classificazione sismica del sito;
- 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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

## 2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **Normativa di riferimento**

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

- N.1. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- N.2. RFI DTC SICS MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili- sezione 3.
- N.3. RFI DTC SICS SP IFS 004 B del 22-12-17 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.

### 2.2 **Documenti di riferimento**

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

- D.1. RS3E50D78RHGE0006001A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica generale tratta da km 8+920 a km 22+800.
- D.2. RS3E50D69RGGE0001 001 B – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta PM Palomba - Catenanuova. Progetto Definitivo. Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica.
- D.3. RS3E50D69L5GE0001001÷ RS3E50D69L5GE0001004 – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta PM Palomba - Catenanuova. Progetto Definitivo. Carta geologica e profilo geologico.
- D.4. RSJ102R69SGGE0005001A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Preliminare 2013. Indagini geognostiche. Stratigrafie e prove in foro. Documentazione fotografica.
- D.5. RSJ102R69PRGE0005001A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Preliminare 2013. Prove di laboratorio.
- D.6. RSJ102R69IGGE0005001A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Preliminare 2013. Indagini geofisiche.
- D.7. RS0L00D69PRGE0005001A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Definitivo 2015. Prove geotecniche di laboratorio. Campagna geognostica di prima fase.
- D.8. RS0L00D69PRGE0005002A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Definitivo 2015. Prove geotecniche di laboratorio. Campagna geognostica di seconda fase.
- D.9. RS0L00D69IGGE0005001A ÷ RS0L00D69IGGE0005002A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Definitivo 2015. Indagini geofisiche. Prospezioni sismiche a rifrazione tomografica. Prospezioni tomografiche elettriche di resistività. Prove Down Hole. Prima e seconda fase.




NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	6 di 119

- D.10. RS0L00D69RHGE0002001A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Progetto Definitivo 2015. Monitoraggio piezometrico . novembre 2014-maggio 2015.
- D.11. RS0K00D69SGGE0005001A ÷ RS0K00D69SGGE0001002A. - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Bicocca - Catenanuova. Progetto Definitivo 2015. Indagini geognostiche.prima e seconda fase.
- D.12. RS0K00D69PRGE0001001A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Bicocca - Catenanuova. Progetto Definitivo 2015. Prove di laboratorio.
- D.13. RS0S00E69IGGE0005001A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa Agira . Progetto Esecutivo 2015. Indagini geofisiche.
- D.14. RS3E52D69SGGE0005001A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta PM Palomba-Catenanuova. Progetto Definitivo 2018. Indagini geofisiche. Sondaggi, stratigrafie e prove in sito.
- D.15. RS3E52D69PRGE0005001A. - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta PM Palomba-Catenanuova. Progetto Definitivo 2018. Prove geotecniche di laboratorio.
- D.16. RS3E52D69IGGE0005001A÷ RS3E52D69IGGE0005004A - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Raddusa. Progetto Definitivo 2018. Indagini sismiche.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

### 3 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 tra maggio 2013 e luglio 2013 dall'impresa GEMERID s.r.l. di Melilli (SR) a base del Progetto Preliminare, che è consistita in indagini in sito e di laboratorio (vedasi D.1);
- campagna geognostica a base del Progetto Definitivo che si è succeduta in due distinte fasi:
  - indagini geognostiche di fase I: febbraio-aprile 2015, eseguite dalla ditta Vicenzetto S.r.l. di Villa Estense (PD), consistita in indagini in sito e prove di laboratorio (vedasi D.7).
  - indagini geognostiche di fase II: maggio-agosto 2015, eseguite da Geogav S.r.l. di Favara (AG) (vedasi D.8).
- campagna geognostica eseguita nel 2018, che è consistita in indagini in sito e prove di laboratorio (vedasi D.14).

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

#### 3.1 Campagna geognostica del 2013

La campagna geognostica a base del Progetto Preliminare è consistita in indagini in sito, in laboratorio e indagini geofisiche.

Per l'ubicazione planimetrica delle indagini disponibili si rimanda al profilo stratigrafico in cui è riprotato anche uno stralcio planimetrico.

Nell'ambito dei tracciati di variante in esame, sono state realizzate le seguenti indagini in sito:

- n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità comprese fra 30 m e 40 m, tutti strumentati con piezometri a tubo aperto;
- prove di permeabilità in foro di sondaggio Lefranc nei terreni e Lugeon in roccia;
- rilievo del livello di falda nei piezometri installati;
- n. 1 prospezioni sismica MASW.

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

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico;
- prelievo di campioni indisturbati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prelievo di campioni rimaneggiati per il riconoscimento geotecnico;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	8 di 119

- rilievo del livello di falda;
- rilievo di valori di Pocket Penetrometer in corrispondenza dei livelli coesivi;
- n° 3 prove di permeabilità (Lefranc/Lugeon).

In tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito per la campagna in esame.

*Tabella 1 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica del 2013*

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	Piezometro TA
S2	30.0	160.0	1	6	1	7	1	[1÷15]
S4	40.0	154.0	1	8	-	10	2	[1÷15]
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]								

### 3.1.1 Indagini sismiche

L'indagine geofisica è consistita in due fasi: una prima fase di indagini elettromagnetiche al fine di scongiurare la presenza di residuati bellici nella zona in cui si dovevano realizzare i sondaggi geognostici ed una seconda fase di indagine più propriamente di carattere geotecnico consistente in:

- indagini sismiche MASW
- prospezioni di sismica a rifrazione tomografica.


Nell'ambito dei tracciati di variante in esame sono disponibili i risultati di una prova MASW, di seguito riportati:

*Tabella 2 – Risultati indagini sismiche della campagna geognostica del 2013*

Sigla	Tipologia indagine	V <sub>s30</sub>	Categoria di sottosuolo	Assetto litostratigrafico
S4	Prova MASW	403	B	Depositi alluvionali terrazzati in appoggio sulle Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova

Per i certificati di prova si rimanda ai documenti specifici.



	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

### 3.1.2 Prove di permeabilità

Nella campagna del 2013 sono disponibili i risultati delle prove di permeabilità Lefranc elencate nella seguente tabella.

Tabella 3 – Risultati prove di permeabilità Lefranc campagna d'indagine del 2013

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
S2	1	8.0	2.37E-07	AAC
S4	1	4.5	8.80E-06	bni
S4	2	9.0	4.54E-08	AAC

### 3.1.3 Prove di laboratorio

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

- analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione;
- determinazione del contenuto d'acqua naturale;
- determinazione dei limiti di consistenza di Atterberg;
- determinazione del peso dell'unità di volume  $\gamma_n$ ;
- determinazione del peso specifico dei grani  $G_s$ ;
- prove di taglio diretto (TD);
- prove di compressioni triassiale (del tipo CD, UU, CU);
- prove di compressione ad espansione laterale libera E.L.L.

Sui campioni litoidi inoltre sono state eseguite:

- determinazione del peso dell'unità di volume  $\gamma_n$ ;
- prove di compressione assiale semplice.

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 specifici.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**RS3E** 50 D 78 RH GE0006 008 A 10 di 119

Tabella 4 – Laboratorio indagini 2001

Sondaggio	-	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4
Campione	-	CR1	CR2	Cl1	CR3	Cl1	CR4	CR5	CR6	CR1	CR1a	Cl1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
Tipo	-	rim	rim	ind	rim	lit	rim	rim	rim	rim	rim	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	b2	AAC	AAC	AACa	AACa	AAC	AACa	AAC	bnc	bni	AAC	AAC	AAC	AAC	AAC	AAC	AAC
Prof.	m	3.00	6.00	9.70	12.00	14.10	18.50	24.60	28.40	1.60	3.00	7.50	9.10	13.00	17.30	22.30	30.00	34.60
<b>Granulometria</b>																		
G	%	0.2	3.2	2.9			0.1		5.7					6.7		0.1		
S	%	10.3	22.4	13.3			11.7		34.6					20.4		3.6		
L + A	%	89.5	74.4	83.8			88.3		59.7					72.9		96.3		
L	%	33.6	31.1	34.1			61.5		30.3					45.9		66.1		
A	%	56.0	43.3	49.7			26.7		29.4					27.0		30.2		
<b>Limiti di Atterberg</b>																		
W <sub>L</sub>	%	43.0	44.0	47.0			33.0		35.0					33.0		37.0		
W <sub>P</sub>	%	22.0	29.0	24.0			21.0		21.0					21.0		27.0		
I <sub>c</sub>	-			1.45														
I <sub>p</sub>	%	21.0	15.0	23.0			12.0		14.0					12.0		10.0		
<b>Caratteristiche fisiche</b>																		
γ <sub>N</sub>	kNm <sup>3</sup>			16.0		21.2												
w <sub>N</sub>	%			13.5														
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)</b>																		
E <sub>ed</sub>	kPa																	
c <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /s																	
c <sub>u</sub>	-																	
k	m/s																	
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>																		
σ <sub>c</sub>	MPa					27.12												


### 3.2 Campagna geognostica a base del P.D. di fase I del 2015

Nella campagna geognostica di fase I del febbraio-aprile 2015 sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 11 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità comprese fra i 30 m e i 50 m;
- n. 10 fori di sondaggio strumentati con piezometro del tipo a tubo aperto;
- n. 1 foro di sondaggio strumentato con piezometro a cella di Casagrande;
- n. 4 pozzetti esplorativi;
- prove di permeabilità in foro di sondaggio del tipo Lefranc,
- prove pressiometriche;
- indagini geofisiche;
- n. 1 indagine tomografica sismica a rifrazione.

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

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico (foto a colori delle cassette catalogatrici);
- prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati e litoidi per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- rilievo del livello di falda nei piezometri installati;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP) e Torvane (TV) nei livelli coesivi (fondo scala strumenti: PP = 4.5 kg/cm<sup>2</sup>; TV = 1.0 kg/cm<sup>2</sup>);
- prove Lefranc;
- prove pressiometriche.

In tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito nell'ambito dei tracciati di variante in esame.

*Tabella 5 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica di fase I del 2015*

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 pressiometriche	Piezometro TA; CC
D26	40.0	155.00	3	6	-	5	2	-	TA[3÷8]
D32	30.0	152.00	3	7	-	5	1	-	TA[3÷30]

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

### 3.2.1 Prove di permeabilità

Nella campagna del 2015 sono disponibili i risultati delle prove di permeabilità Lefranc a carico variabile (CV) elencate nella seguente tabella.

*Tabella 6 – Risultati prove di permeabilità Lefranc indagini di I fase del 2015*

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
D26	1	6.0	1.99E-07	AAC
D26	2	7.5	2.09E-08	AAC
D32	1	7.5	1.56E-06	bnc

### 3.2.2 Prove di laboratorio

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

- 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;
- determinazione del peso specifico dei grani;
- prove di taglio diretto (TD);
- prove di compressioni triassiale consolidate isotropicamente non drenate (CIU);
- prove di compressioni triassiale non consolidate non drenate (UU);
- 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 7 – Laboratorio indagini I fase campagna geognostica del 2015

<b>Sondaggio</b>	-	D26	D26	D26	D26	D26	D26	D26	D26	D26
<b>Campione</b>	-	CR1	CI1	CR2	CR3	CI2	CR4	CR5	CR6	CI3
<b>Tipo</b>	-	rim	ind	rim	rim	ind	rim	rim	rim	ind
<b>Unità</b>	-	b2	bnc	bnc	AAC	AAC	AAC	AAC	AAC	AAC
<b>Prof.</b>	m	1.50	3.00	4.70	7.50	9.50	13.60	16.10	18.33	37.00
<b>Granulometria</b>										
G	%		0.4							
S	%	30.2	16.2			12.4			3.0	20.7
L + A	%	69.8	83.4			87.6			97.0	79.3
L	%	14.7	28.8			46.5			42.6	46.1
A	%	55.2	54.6			41.1			54.4	33.2
<b>Limiti di Atterberg</b>										
W <sub>L</sub>	%		48.0			41.0			45.0	40.0
W <sub>P</sub>	%		22.0			23.0			25.0	27.0
l <sub>c</sub>	-		1.10			1.48				1.47
l <sub>p</sub>	%		26.0			18.0			20.0	13.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>										
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>		20.6			22.1				21.1
w <sub>N</sub>	%		19.5			14.4				20.9
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)</b>										
E <sub>ed</sub>	kPa									
c <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /s									
c <sub>u</sub>	-									
k	m/s									
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>										
σ <sub>c</sub>	MPa									
<b>Resistenza non drenata</b>										
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa					504.0				
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa									
<b>Resistenza drenata</b>										
(TD) c	kPa		25.4							19.6
(TD) f	°		23.0							22.4


<b>Sondaggio</b>	-	D32	D32	D32	D32	D32	D32	D32	D32	D32	D32
<b>Campione</b>	-	CR1	CR7	CR2	CI1	CR8	CR3	CI2	CR4	CR5	CI3
<b>Tipo</b>	-	rim	rim	rim	ind	rim	rim	ind	rim	rim	ind
<b>Unità</b>	-	bnc	bni	bnc	bnc	bni	bnc	AAC	AAC	AAC	AAC
<b>Prof.</b>	m	2.20	6.50	9.65	11.00	13.20	14.50	17.50	20.55	26.35	28.50
<b>Granulometria</b>											
G	%	1.4	22.0			51.0	19.3				
S	%	41.0	45.0	12.6	12.6	43.1	40.3	19.8			34.7
L + A	%	57.7	33.0	87.4	87.4	5.9	40.4	80.2			65.3
L	%	28.1	18.2	39.4	39.4	2.8	19.6	38.5			31.8
A	%	29.6	14.7	48.0	48.0	3.1	20.8	41.7			33.5
<b>Limiti di Atterberg</b>											
W <sub>L</sub>	%	28.0	24.0	45.0	30.0		36.0	46.0			47.0
W <sub>P</sub>	%	15.0	15.0		15.0			27.0			26.0
I <sub>c</sub>	-				1.04			1.42			1.56
I <sub>p</sub>	%	13.0	9.0	26.0	15.0		15.0	19.0			21.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>											
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>				20.9			19.8			19.8
w <sub>N</sub>	%				14.4			18.9			14.3
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)</b>											
E <sub>ed</sub>	kPa										
c <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /s										
c <sub>u</sub>	-										
k	m/s										
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>											
σ <sub>c</sub>	MPa										
<b>Resistenza non drenata</b>											
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa							278.0			
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa										100.7
<b>Resistenza drenata</b>											
(TD) c	kPa										
(TD) f	°										
(TX-CIU) c	kPa				14.0						
(TX-CIU) f	°				19.5						

(segue da pagina precedente).

### 3.3 Campagna geognostica a base del P.D. di fase II del 2015

Nella campagna geognostica del maggio-agosto 2015 sono state eseguite le seguenti indagini:

- sondaggi geognostici a carotaggio per profondità di 30.0÷40.0 m;
- fori di sondaggio strumentati con piezometri, alcuni del tipo a tubo aperto e altri a cella di Casagrande;
- indagini sismiche di tipo Down Hole;
- prove di permeabilità Lefranc;
- prove pressiometriche Menard;
- indagini geofisiche.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

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) e Torvane (TV) nei livelli coesivi.

In tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito nell'ambito dei tracciati di variante in esame.

*Tabella 8 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica di fase II del 2015*

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 pressiometriche	Piezometro TA; CC / Prova DH
D25	30.0	162.3	4	8	-	5	2	2	TA[3÷12]; CC [25]
D28	30.0	149.0	3	9	-	5	1	2	TA[3÷16.5]
D30	30.0	134.6	2	7	-	5	2	2	TA[4÷9]
D31	30.0	139.7	2	8	-	6	2	2	DH [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]									

### 3.3.1 Indagini sismiche

Lungo i tratti in esame è disponibile una prova di tipo Down Hole, spinta fino alla profondità di 40 m al fine di definire la  $V_{s,eq}$ , e quindi determinare la velocità delle onde di taglio per la classificazione sismica:

- D31 –  $V_{s,eq} = 426$  m/s (categoria di suolo B)

Per i certificati di prova si rimanda ai documenti specifici.

### 3.3.2 Prove di permeabilità

Nella campagna del 2015 sono disponibili i risultati delle prove di permeabilità Lefranc a carico variabile (CV) elencate nella seguente tabella.

Tabella 9 – Risultati prove di permeabilità Lefranc indagini di I fase del 2015

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
D25	1	10.5	1.40E-04	bni
D25	2	15.0	5.00E-08	FYN
D28	1	8.0	1.00E-07	bbc
D30	1	7.5	9.55E-05	bbi

### 3.3.3 Prove pressiometriche in foro tipo Menard

Nella seguente tabella sono elencate le prove pressiometriche eseguite su ciascun sondaggio attraverso le quali sono stati ottenuti i valori del Modulo Pressiometrico di Menard ( $E_m$ ), pressione limite ( $P_{lim}$ ) ed è stata stimata la resistenza al taglio in condizioni non drenate (con la correlazione di Amar e Jezequel, 1972)

Tabella 10 – Prove pressiometriche indagini 2015 fase II

Sondaggio	Prova	profondità da p.c. [m]	$E_m$ [MPa]	$P_{lim}$ [MPa]	Unità geotecnica	cu [kPa]
D25	ES-D25-P1	19.5	123.10	3.37	FYN	362
D25	ES-D25-P2	29.5	131.10	3.26	FYN	351
D28	ES-D28-P1	17.2	147.90	3.65	AAC	390
D28	ES-D28-P2	26.5	239.00	3.81	AAC	406
D30	ES-D30-P1	13.0	255.50	4.49	AAC	474
D30	ES-D30-P2	23.5	532.40	4.78	AAC	503
D31	ES-D31-P1	3.4	49.90	1.73	bbc	198
D31	ES-D31-P2	7.0	21.00	1.71	bbc	196

### 3.3.4 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  $\gamma_{nat}$ ;
- 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 UU;
- Prove di compressione ad espansione laterale libera E.L.L.
- 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 11 – Laboratorio indagini 2015 fase II

<b>Sondaggio</b>	-	D25	D25	D25	D25
<b>Campione</b>	-	C3	C4	C1	C2
<b>Tipo</b>	-	ind	ind	ind	ind
<b>Unità</b>	-	FYN	FYN	bnc	bnc
<b>Prof.</b>	m	13.20	13.38	2.40	6.20
<b>Granulometria</b>					
G	%		0.3		4.7
S	%	4.4	8.8	31.0	22.1
L + A	%	95.6	91.0	69.0	73.2
L	%	62.6	59.5	46.8	35.0
A	%	32.9	31.5	22.2	38.2
<b>Limiti di Atterberg</b>					
W <sub>L</sub>	%	36.0	38.0	23.0	33.0
W <sub>p</sub>	%	20.0	25.0	18.0	18.0
I <sub>p</sub>	-	1.36	1.85	1.36	1.63
I <sub>c</sub>	%	16.0	13.0	5.0	15.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>					
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	21.9	20.0	20.1	18.7
w <sub>N</sub>	%	14.2	14.0	16.2	8.5
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica)</b>					
E <sub>ed</sub>	kPa				4144.0
c <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /s				7.76E-04
c <sub>α</sub>	-				
k	m/s				1.84E-10
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>					
σ <sub>c</sub>	MPa				
<b>Resistenza non drenata</b>					
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa				
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa				
<b>Resistenza drenata</b>					
(TD) c	kPa			2.0	
(TD) f	°			31.7	
(TX-CIU) c	kPa		79.0		
(TX-CIU) f	°		16.7		



Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	17 di 119

Sondaggio	-	D28	D28	D28	Sondaggio	-	D30	D30	D31	D31	D31	D31	D30	D30	D31	D31
Campione	-	C1	CR1	C3	Campione	-	C1	C2	C1	C2	SPT2	SPT5	CR1P	CR2P	CR1P	CR2P
Tipo	-	ind	rim	ind	Tipo	-	ind	ind	ind	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
Unità	-	bbc	bbc	AAC	Unità	-	AAC	AAC	bbc	AAC	bbi	AAC	ba	bbi	bbc	bbi
Prof.	m	3.70	9.40	18.70	Prof.	m	10.70	17.70	2.00	14.30	7.60	20.50	2.00	4.00	6.00	9.50
<b>Granulometria</b>				<b>Granulometria</b>												
G	%	2.6		0.1	G	%	0.0		5.8	0.4	40.0		38.0	8.1	8.9	34.3
S	%	13.4	4.2	13.3	S	%	7.7	3.2	38.8	14.6	40.2	3.8	37.2	68.7	31.3	47.8
L +A	%	83.9	95.8	86.6	L +A	%	92.3	96.8	55.4	84.9	19.9	96.2	24.8	23.2	59.9	17.9
L	%	20.0	43.8	53.6	L	%	62.9	64.7	21.7	50.0	7.5	31.3	14.1	11.2	25.3	9.5
A	%	63.9	51.9	33.0	A	%	29.4	32.2	33.7	35.0	12.4	64.9	10.7	12.0	34.5	8.4
<b>Limiti di Atterberg</b>				<b>Limiti di Atterberg</b>												
W <sub>L</sub>	%	50.0	54.0	45.0	W <sub>L</sub>	%	29.0	41.0	33.0	42.0			25.0	22.0	38.0	26.0
W <sub>P</sub>	%	25.0	28.0	27.0	W <sub>P</sub>	%	20.0	24.0	17.0	23.0			24.0	24.0	16.0	12.0
l <sub>c</sub>	-	0.90		1.48	l <sub>c</sub>	-		1.44	1.20	1.48						
l <sub>p</sub>	%	25.0	26.0	18.0	l <sub>p</sub>	%	10.0	17.0	16.0	18.0			13.0	11.0	22.0	14.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>				<b>Caratteristiche fisiche</b>												
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.5		19.7	γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>		20.8	20.2	21.2						
w <sub>N</sub>	%	27.5		18.4	w <sub>N</sub>	%		16.6	13.8	15.3						
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione)</b>				<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)</b>												
E <sub>ed</sub>	kPa				E <sub>ed</sub>	kPa			2752.0							
c <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /s				c <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /s			2.80E-04							
c <sub>α</sub>	-				c <sub>α</sub>	-										
k	m/s				k	m/s			9.98E-11							
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>				<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>												
σ <sub>c</sub>	MPa				σ <sub>c</sub>	MPa										
<b>Resistenza non drenata</b>				<b>Resistenza non drenata</b>												
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa			162.0	(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa				165.0						
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa				(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa										
<b>Resistenza drenata</b>				<b>Resistenza drenata</b>												
(TD) c	kPa	1.5			(TD) c	kPa			47.9							
(TD) f	°	20.9			(TD) f	°			21.6							

(segue da pagina precedente)

### 3.4 Campagna geognostica del 2018

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

- sondaggi geognostici a carotaggio per profondità di 30.0÷80.0 m;
- fori di sondaggio strumentati con piezometro, di cui n. 4 sono del tipo a tubo aperto e n. 8 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.

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.

In tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito per i tratti in esame.

Tabella 12 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna del 2018

Sondaggi / pozzetti	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni litoidi	N. prove SPT	n. prove Lefranc/ Lugeon	n. prove dilatometriche	Piezometro TA; CC / Prova DH
5_S01	30.0	150.6	3	2	-	5	2	-	DH[30]
5_S14vi	40.0	165.9	3	2	-	5	2	-	CC [20.5]
5_S15vi	40.0	152.4	3	2	-	5	3	-	TA[10÷12]
5_S17vi	30.0	153.9	2	2	-	7	2	-	TA[3÷21]

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]

### 3.4.1 Indagini sismiche


E' stata eseguita un'indagine sismica di tipo Down Hole (5\_S01) che ha raggiunto la profondità di 30 m.

Lungo i tratti in esame è inoltre disponibile una prova di tipo MASW, spinta fino alla profondità di 30 m al fine di definire la  $V_{s,eq}$ , e quindi determinare la velocità delle onde di taglio per la classificazione sismica:

- MASW VI 10 –  $V_{s,eq} = 506$  m/s (categoria di suolo B)

### 3.4.2 Prove di permeabilità

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

*Tabella 13 – Risultati prove di permeabilità Lefranc del 2018*

Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
5_S01	1	3.8	9.81E-08	bbc
5_S14vi	1	3.8	5.87E-07	bni
5_S14vi	2	14.3	3.62E-08	FYN
5_S15vi	1	3.8	5.97E-08	bbc
5_S15vi	2	10.0	2.54E-08	bbc
5_S17vi	1	6.5	4.56E-08	bbc
5_S17vi	2	14.3	1.12E-05	bbi

*Tabella 14 – Risultati prove di permeabilità Lugeon del 2018*


Sondaggio	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
5_S01	1	26.2	8.46E-08	AAC
5_S15vi	3	22.3	1.94E-08	FYN

### 3.4.3 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  $\gamma_{nat}$ ;
- 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.



	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

## 4 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 le varianti ed anche per la linea ferroviaria Palomba - Catenanuova.

Nel seguito vengono definite le unità geotecniche intercettate; nel profilo stratigrafico longitudinale delle varianti alla linea storica, 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.

### 4.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Di seguito si elencano le unità geotecniche intercettate lungo il tracciato. Le formazioni di Terravecchia (unità TRV e TRVa) e di Cattolica (unità GTL) non sono intercettate, quindi per la loro caratterizzazione si rimanda alla relazione geotecnica generale (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

- **Unità b2 – Depositi eluvio-colluviali:** si tratta di limo argilloso sabbioso a struttura caotica o indistinta con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie e ciottoli.
- **Unità ba – Depositi alluvionali attuali:** si tratta di terreni rinvenibili in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua (fiumi e valloni) e sono prevalentemente costituiti da limi, limi sabbiosi e ghiaie.
- **Unità bb – Depositi alluvionali recenti:** questi depositi affiorano lungo quasi tutto il tracciato sotto il riporto; si distinguono terreni prettamente coesivi limoso argillosi, talvolta debolmente sabbiosi (**unità bbc**) e terreni incoerenti sabbioso ghiaiosi con locali trovanti (**unità bbi**).
- **Unità bn – Depositi alluvionali terrazzati:** si rinvengono sia la facies più coesiva dei depositi alluvionali terrazzati che quella più incoerente. La frazione coesiva (**unità bnc**) è costituita da argille limose e limi argillosi di colore bruno e nocciola, con locali passaggi sabbioso-limosi grigiastri, rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e locali livelli di torbe e terreni organici nerastri. La porzioni più incoerenti di tale unità (**unità bni**), a comportamento essenzialmente granulare, è formata da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, talora con blocchi angolosi, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Si rinvengono inoltre sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e rari blocchi angolosi.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

- **Unità FYN – Argilla limosa, marnosa grigia (Flysch Numidico):** è costituita da argille marnose e argille limose a struttura scagliosa di colore grigio generalmente molto consistenti con frequenti livelli di sabbie limose e intercalazioni di quarzoareniti.
- **Unità AAC – Argilla limosa marnosa grigia (Argille e Arenarie Glauconitiche di Catenanuova):** è rappresentata da argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro a struttura scagliosa, con talvolta livelli di sabbie limose grigie, livelli argillitici duri e locali intercalazioni di arenarie medio-fini grigie e giallastre, in strati da sottili a medi.

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.

## 4.2 Criteri di valutazione dei parametri geotecnici


### 4.2.1 Premessa

Per le formazioni coesive sia alluvionali, ma in particolar modo per quelle di base, la caratterizzazione geotecnica con particolare riferimento alla resistenza dei materiali è stata eseguita prendendo a riferimento tutte le prove di laboratorio eseguite sia per il tracciato ferroviario in esame, sia per il tratto di linea Catenanuova-Bicocca. Questo perché le unità geotecniche-geologiche sono sostanzialmente le stesse ed in questo modo si è avuto un maggior numero di dati da elaborare.

In particolare possiamo distinguere il comportamento geologico-geotecnico dei seguenti gruppi:

- depositi alluvionali (unità bbc – alluvioni recenti, unità bnc – alluvioni terrazzate);
- formazioni di base argilloso marnose con struttura scagliettata (unità FYN e AAC).

In particolare, per le formazioni di base unità FYN e AAC è di rilevante importanza una valutazione statistica di tutte le prove di laboratorio in relazione alla complessità dei depositi in esame: si tratta infatti di argille sovraconsolidate con struttura piuttosto scagliosa (a tal proposito si rimanda ad un apposito studio eseguito da Duncan & Brandon nel gennaio 2015). In questo tipo di materiali, i risultati delle prove di resistenza di laboratorio sono fortemente condizionati dalla posizione ed orientazione delle scagliettature (indipendentemente dal tipo di

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

prova); quindi l'enorme dispersione dei risultati delle prove di laboratorio è legata al fatto che le scagliettature hanno posizione ed orientazione del tutto casuale e ciò si ripercuote anche nella scala reale del materiale.

Gli autori sopra citati propongono una correlazione di questo tipo per la valutazione della resistenza di picco:

$$\tau = a p_a \left( \frac{\sigma'}{p_a} \right)^b$$

Dove a, b sono parametri di resistenza del suolo e dipendono dal tipo di formazione (in genere  $a=0.35\div 0.55$ ,  $b=0.7\div 0.9$ ).

Quindi in Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48, sono riportati i risultati di tutte le prove di laboratorio rispettivamente per le unità coesive e la correlazione di progetto assunta.

Per le formazioni coesive alluvionali, i parametri di resistenza di progetto assunti, si collocano sui valori medio-minimi misurati in laboratorio e sono stati individuati con riferimento al comportamento dei materiali superficiali, affioranti, che tendono ad imbibirsi di acqua durante gli eventi piovosi intensi.

#### 4.2.2 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;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>);

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

$D_r$  = densità relativa (-).

Tabella 16 – 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:

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

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





NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	25 di 119

essendo:

$D_R$  = densità relativa (-).

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>);

$N_{SPT}$  = 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 due diverse correlazioni (Bolton; Schmertmann) di seguito illustrate. Nel caso in esame, la correlazione di Bolton ha sempre fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio inferiori, rispetto alla correlazione di Schmertmann. Cautelativamente per la definizione dei parametri di resistenza di progetto dunque si farà riferimento ai valori ottenuti con la correlazione di Bolton.

### Correlazione di Schmertmann

L'angolo di resistenza al taglio ( $\varphi'$ ) 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 tutte le unità incoerenti la correlazione valida per sabbia medio-fine uniformemente ben gradata, ad eccezione di alcuni livelletti prettamente sabbiosi debolmente limosi nelle unità alluvionali bbi, ba.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

### Correlazione di Bolton

L'angolo di resistenza al taglio di picco  $\varphi'$  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:

$\varphi'$  = angolo di attrito di picco riferito a pressioni di 272 kPa (°);

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

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

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

Nel nostro caso si assume m=3;

$D_r$  = densità relativa (-).

Tabella 17 - 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
$\sigma_2'$ = tensione principale efficace intermedia $\sigma_3'$ = tensione principale efficace minore	

I valori dell'angolo di attrito  $\varphi_{cv}'$  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  $\varphi_{cv}'$  si è assunto, cautelativamente:

$\varphi_{cv}' = 33^\circ$  per le sabbie con ghiaia;

$\varphi_{cv}' = 30^\circ$  per le sabbie.


	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

Tabella 18 - Valori dell'angolo di attrito  $\varphi_{cv}$  per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

	<b>Sabbie ben gradate</b>	<b>Sabbie uniformi</b>
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:

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

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

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m<sup>3</sup>;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno (assunto pari a 0.3);

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

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


#### **Correlazione di Ohta e Goto (1978)**

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

essendo:

$C = 53.3$ ;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

$f_A$  = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 19);

$f_G$  = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 20).

Tabella 19 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_A$  (funzione dell'epoca geologica del deposito)

$f_A$	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 20 - 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.

$\sigma_{v0}'$  = 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 ( $E_0$ ).

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

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

### 4.2.3 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):

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

Dove:

$E'_v$  = modulo di deformazione operativo (kPa)

$cu$  = 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  $N_{SPT}$ .

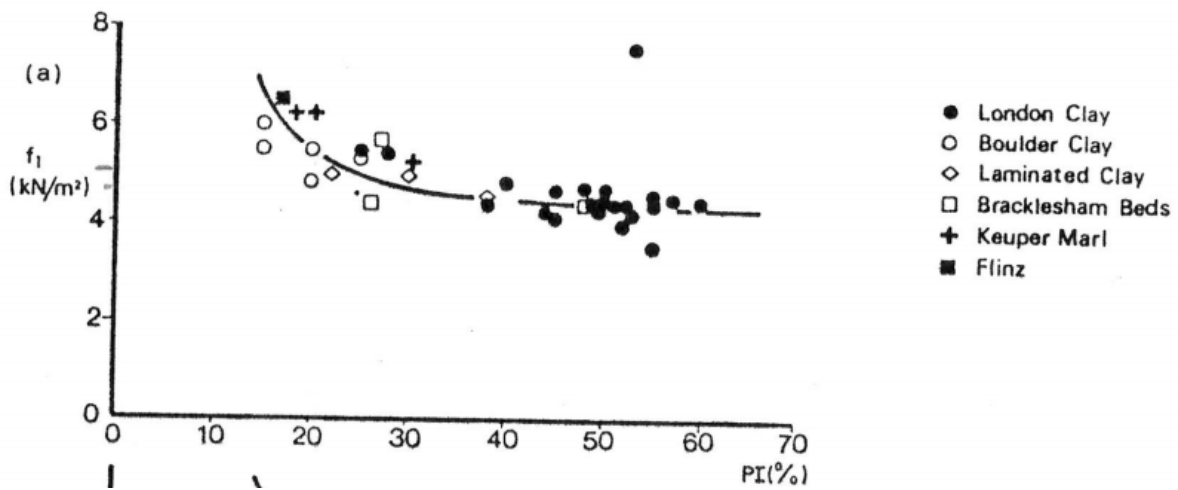


Figura 1 – Fattore  $f_1$  in funzione di IP

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:

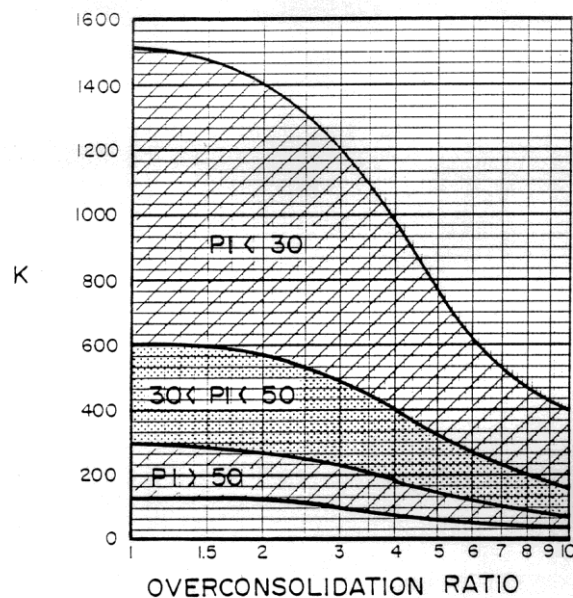
$$G_0 = (500 \div 700) \cdot c_u \text{ (kPa)}$$

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 & Buchignani**

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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008

### 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.

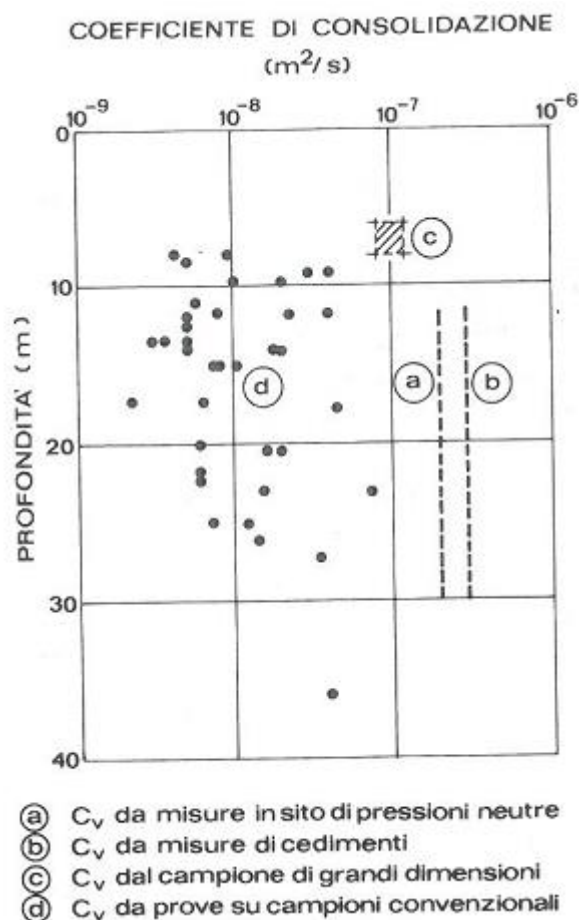


Figura 3 – confronto tra valori di  $c_v$  ottenuti con diverse prove (Bughignoli e Calabresi, 1975)



	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008

In Figura 43 sono riportati tutti i risultati delle prove edometriche di laboratorio in termini di cv, 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 ( $w_n$ ).

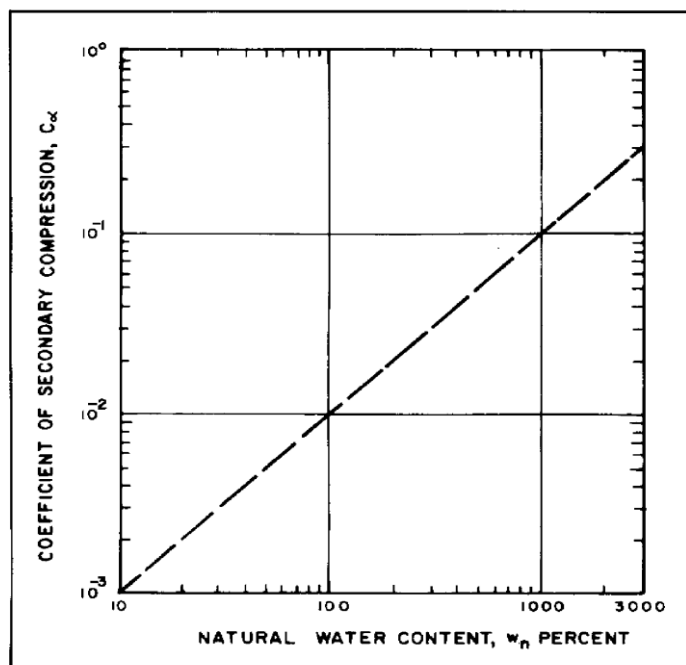



Figura 4 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da  $w_n$  (NAVFAC, 1982)

#### 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.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

### 4.3 Unità b2 – Depositi eluvio-colluviali

Si tratta di limo argilloso sabbioso a struttura caotica o indistinta con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie e ciottoli, presente localmente a partire dal p.c.. Talvolta nella descrizione stratigrafica prevale la componente sabbiosa.

Nell'unità in esame sono disponibili risultati di prove in sito e di laboratorio nei soli sondaggi D26 e S2.

Il valore di  $N_{spt}$  è pari a circa 30 colpi/30 cm (vedasi Figura 5).

Da cui si stimano parametri deformazione:  $E_o = 250$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale.

Dalle prove di laboratorio su due campioni rimneggiati si ha:

- percentuale di ghiaia pari a 0-0.2%;
- percentuale di sabbia pari a 10-30%;
- percentuale di fine (limo + argilla) del 70-90%, di cui argilla 55% e limo 15-34%.

Il limite liquido è 43%; il limite plastico è 22%; l'indice plastico è 21%.

I parametri geotecnici verranno assunti anche sulla base di esperienze maturate su terreni simili in condizioni analoghe.


$\gamma = 19.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 25 \div 30$ °	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 150$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 5 \cdot 10^{-7} \div 4 \cdot 10^{-6}$ m/s	coefficiente di permeabilità
$E_o = 250 \div 350$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale

### 4.4 Unità ba – Depositi alluvionali attuali

Tale unità si rinviene in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua (fiumi e valloni) ed è prevalentemente costituita da limi sabbiosi e sabbie limose con ghiaia e ciottoli. E' stata intercettata nel sondaggio D30 da p.c. fino a 3.7 m di profondità.

Sulla base dei rilievi in sito e delle carte geologiche, l'unità è rinvenibile con spessore massimo stimato intorno ai 4-5 m circa.

Nell'unità in esame è disponibile una prova SPT che è andata a rifiuto probabilmente per la abbondante presenza di elementi grossolani (ghiaia, ciottoli, talvolta blocchi) (vedasi Figura 6).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

Nell'unità è stato prelevato un campione rimaneggiato per prove di laboratorio; è stata eseguita una analisi granulometrica che ha dato:

- percentuale di ghiaia pari a 38%;
- percentuale di sabbia pari a 37%;
- percentuale di fine (limo + argilla) del 25%, di cui argilla 11% e limo tra 14%.

Considerato il numero esiguo di dati a disposizione, per la caratterizzazione geotecnica si è fatto principalmente riferimento ai dati a disposizione per la linea ferroviaria di riferimento, oltre che sulla base delle informazioni bibliografiche riportate in letteratura. Quindi per l'unità in oggetto si assumeranno i seguenti valori di progetto dei parametri geotecnici:

$\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24 \div 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 10^{-6} \div 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$E_o = 100 \div 340 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale


#### 4.5 Unità bb – Depositi alluvionali recenti

Questi depositi affiorano frequentemente lungo i tratti in esame e si distinguono terreni prettamente coesivi limoso argillosi, talvolta debolmente sabbiosi (**unità bbc**) e terreni incoerenti prevalentemente sabbioso ghiaiosi con locali clasti/trovanti (**unità bbi**), solo localmente sabbiosi (**unità bbis**).

In particolare si segnala la locale presenza, spesso al contatto con la sottostante unità argillosa del substrato, di livelli di ordine da decimetrico a metrico di sabbie limoso ghiaiose con ciottoli e blocchi litoidi; tali strati sono stati evidenziati con apposito retino nel profilo stratigrafico longitudinale per lasciare evidenza di dove sono stati intercettati (di particolare interesse nel caso di fondazioni profonde in corrispondenza di viadotti). Dal punto di vista geotecnico verranno caratterizzati come unità incoerente bbi.

Lo spessore del deposito è variabile in generale da 9 a 15 m di profondità dal p.c..

Nell'unità in esame sono stati misurati valori di  $N_{SPT}$  tra 14 e 59 colpi/30 cm con numerosi valori a rifiuto negli strati ghiaioso sabbiosi (unità bbi), tra 7 e 42 colpi/30 cm negli strati fini coesivi (unità bbc) (vedasi Figura 6).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008

In corrispondenza dei terreni coesivi sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dalle analisi granulometriche l'unità bbc è costituita da (vedasi Figura 12):

- percentuale di ghiaia da 0 a 9% (media 2.6%);
- percentuale di sabbia generalmente tra 4 e 39% (media 18%);
- percentuale di fine (limo + argilla) di 55-96% (media 79%), di cui argilla tra 34 e 64% (media 49%) e limo tra 20 e 44% (media 30%).

Per l'unità bbc il limite liquido è compreso generalmente fra 33 e 58%; il limite plastico è tra 16 e 28%; il contenuto naturale d'acqua è mediamente tra 14 e 44% (vedasi Figura 16). Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche da bassa a medio-alta plasticità (vedasi Figura 17).

Il peso di volume naturale varia da 18 a 20.5 kN/m<sup>3</sup> con valore medio 19.7 kN/m<sup>3</sup> (vedasi Figura 39).

In corrispondenza degli strati incoerenti sono stati prelevati campioni rimaneggiati su cui sono state fatte prove di laboratorio.

Dalle analisi granulometriche l'unità bbi è costituita da (vedasi Figura 13):


- percentuale di ghiaia da 6 a 55% (media 28%);
- percentuale di sabbia tra 27 e 69% (media 45%);
- percentuale di fine (limo + argilla) mediamente tra 18 e 49% (media 26%), di cui argilla tra 6 e 27% (media 13%) e limo tra 7 e 22% (media 13%).

Sono disponibili i risultati di due prove dei limiti di Atterberg che hanno fornito valori dell'indice di plasticità tra 11 e 14%.

Dall'interpretazione delle prove penetrometriche SPT per l'unità bbi si stima una densità relativa maggiore di 40% (vedasi Figura 7).

### **Resistenza**

Per l'unità bbc (facies coesiva) sono state eseguite diverse prove di laboratorio che hanno condotto a valori di angolo di resistenza al taglio tra 18 e 27° e coesione drenata tra 2 e 48 kPa (vedasi Figura 18, Figura 19, Figura 20). Per la scelta dei parametri di resistenza drenati di progetto dell'unità bbc, si rimanda a quanto enunciato al paragrafo 4.2.1: per le formazioni coesive alluvionali, il range dei parametri di resistenza di progetto assunti, è stato valutato, collocandosi sui valori medio-minimi misurati da tutte le prove di laboratorio e sono stati individuati

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

con riferimento al comportamento dei materiali superficiali, affioranti, che tendono ad imbibirsi di acqua durante gli eventi piovosi intensi (vedasi Figura 47).

Nella Figura 21 sono riportati i valori della resistenza al taglio non drenata stimata da prove di laboratorio e confrontata con i valori derivanti da prove in sito (SPT e PP); si assumono valori compresi fra 40 e 250 kPa.

Per l'unità bbi (facies incoerente) i valori dei parametri di resistenza sono stimati dall'interpretazione delle prove SPT (vedasi Figura 8), da cui si ottengono valori dell'angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) di  $32\div 39^\circ$ , dove i valori inferiori sono relativi ai depositi sabbiosi (unità bbis) e quelli maggiori ai depositi ghiaioso-sabbiosi (unità bbi).

### **Caratteristiche di deformabilità**

Dall'indagine sismica Down-Hole eseguita in corrispondenza di terreni coesivi alluvionali (DH-D31 da 0 a 7.5 m di profondità da p.c. circa) si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) comprese fra 115 e 300 m/s, da cui si stimano i seguenti valori dei moduli iniziali, a piccole deformazioni:

$G_o = 25\div 150$  MPa                      modulo di deformazione a taglio iniziale

$E_o = 70\div 350$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale

Tali valori sono abbastanza in linea con i valori del modulo operativo stimato da correlazioni empiriche, che è mediamente compreso fra 5 e 25 MPa (vedasi Figura 23).

Le prove edometriche hanno portato a valori del modulo edometrico tra 3 e 9 MPa (vedasi Figura 41).


Per l'unità bbi (facies incoerente) la velocità delle onde di taglio valutata dall'indagine sismica Down-Hole DH-D31 (tra le profondità di 7.5 e 13 m da p.c.) è 400 m/s, in linea con i valori stimati dall'interpretazione delle prove SPT, compresi fra 200 e 400 m/s (vedasi Figura 9). Da cui vengono poi individuati i moduli di deformabilità, a taglio iniziale  $G_o$  ed elastico iniziale (a basse deformazioni) (vedasi Figura 11).

$G_o = 80\div 300$  MPa                      modulo di deformazione a taglio iniziale

$E_o = 200\div 800$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale

### **Caratteristiche di permeabilità**

Dalle prove in foro Lefranc sull'unità coesiva (bbc) si sono ottenuti valori di permeabilità compresi tra  $2.5 \cdot 10^{-8}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s, dalle prove edometriche di laboratorio si ottengono valori intorno a  $1 \cdot 10^{-11}$  m/s.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

Per la frazione incoerente (unità bbi) si ha disponibile una sola prova in foro Lefranc che restituisce un valore di  $9.5 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Di seguito si sintetizzano i valori di progetto per le caratteristiche geotecniche delle unità in esame.

#### Unità bbc – Depositi alluvionali recenti coesivi (limoso argilloso)

$\gamma = 19.0 \div 20.5$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 19 \div 25$ °	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 40 \div 250$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 5 \cdot 10^{-8} \div 4 \cdot 10^{-6}$ m/s	coefficiente di permeabilità
$V_s = 115 \div 270$ m/s	velocità delle onde di taglio
$G_o = 25 \div 150$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 70 \div 350$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale

#### Unità bbi – Depositi alluvionali recenti incoerenti (sabbia con ghiaia, sabbia ghiaiosa)

$\gamma = 19.5 \div 20.5$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 32 \div 34$ °	angolo di resistenza al taglio per le sabbie
$\varphi' = 35 \div 39$ °	angolo di resistenza al taglio per ghiaie sabbiose
$k = 1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}$ m/s	coefficiente di permeabilità
$V_s = 200 \div 400$ m/s	velocità delle onde di taglio
$G_o = 80 \div 300$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 800$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale

#### 4.6 Unità bn – Depositi alluvionali terrazzati

Lungo i tratti in esame, il deposito è rinvenibile a partire dal p.c. in vari tratti con spessori variabili da 5 a 15 m circa e si rinvencono sia la facies più coesiva dei depositi alluvionali terrazzati, che quella più incoerente. La frazione coesiva – **unità bnc**, è costituita da argille limose e limi argillosi di colore bruno e nocciola, con locali passaggi sabbioso-limosi grigiastri, rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e locali livelli di torbe e

terreni organici nerastri. La porzioni più incoerenti di tale unità – **unità bni**, a comportamento essenzialmente granulare, è formata prevalentemente da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, talora con blocchi angolosi, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Localmente si rinvencono inoltre sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e rari blocchi angolosi (unità bni-sabbiosa).

Nell'unità incoerente bni sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori tra 58 e rifiuto strumentale (dovuti probabilmente alla presenza di abbondanti clasti nella matrice) (Figura 6).

Nella facies coesiva dell'unità (bnc) le prove SPT hanno fornito valori di  $N_{SPT}$  mediamente tra 12 e 32 colpi/30 cm (Figura 6).

La densità relativa dell'unità bni, stimata dalle prove SPT, è del 70% (vedasi Figura 7).

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

Il peso di volume naturale misurato dalle prove disponibili per l'unità bnc è compreso tra 18.7 e 21 kN/m<sup>3</sup> (vedasi Figura 39).


Dalle analisi granulometriche sull'unità coesiva bnc si ha (vedasi Figura 14):

- percentuale di ghiaia da 0 a 19% (media 3.5%);
- percentuale di sabbia tra 12 e 41% (media 25%);
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 40 e 87% (media 71%), di cui argilla tra 21 e 55% (media 37%) e limo tra 20 e 47% (media 34%).

Per l'unità bnc il limite liquido è compreso fra 23 e 48%; il limite plastico è tra 15 e 22%; il contenuto naturale d'acqua è compreso tra 8 e 19% (vedasi Figura 16). L'indice plastico è compreso fra 5 e 26%. Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche tra medio-bassa e medio-alta plasticità (vedasi Figura 17). L'indice di consistenza è tra 1 e 1.6.

Dalle analisi granulometriche sull'unità incoerente bni si ha (vedasi Figura 14):

- percentuale di ghiaia da 0 a 54% (media 25%);
- percentuale di sabbia tra 19 e 49% (media 36%);
- percentuale di fine (limo + argilla) tra 6 e 81% (media 38%), di cui argilla tra 3 e 46% (media 18%) e limo tra 3 e 35% (media 20%).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

Per i campioni con maggiore contenuto di fine sono disponibili alcune prove di consistenza di Atterberg che hanno dato indice plastico tra 9 e 20%. Il peso di volume naturale misurato è 20 kN/m<sup>3</sup> (vedasi Figura 39).

### **Resistenza**

Per l'unità bni (facies incoerente) i valori dei parametri di resistenza sono stimati dall'interpretazione delle prove SPT (vedasi Figura 8), da cui si ottengono valori dell'angolo di resistenza al taglio tra 38° e 40° (facies più grossolana); cautelativamente si assumerà un range di parametri 35-38°.

Per la facies coesiva (unità bnc) sono state eseguite diverse prove di laboratorio che hanno condotto a valori di angolo di resistenza al taglio tra 19 e 32° e coesione drenata tra 2 e 25 kPa (vedasi Figura 18, Figura 19, Figura 20)..

Per la scelta dei parametri di resistenza drenati di progetto dell'unità bnc, si rimanda a quanto enunciato al paragrafo 4.2.1: per le formazioni coesive alluvionali, il range dei parametri di resistenza di progetto assunti, è stato valutato, collocandosi sui valori medio-minimi misurati da tutte le prove di laboratorio e sono stati individuati con riferimento al comportamento dei materiali superficiali, affioranti, che tendono ad imbibirsi di acqua durante gli eventi piovosi intensi (vedasi Figura 48).

In Figura 48 si riportano i risultati di tutte le prove nel piano delle tensioni e si individua un involucro di progetto dei parametri di resistenza, sufficientemente cautelativo per la formazione in esame:

$$\begin{array}{lll}
 c' = 5 \text{ kPa} & \varphi' = 25^\circ & \text{per } \sigma'v < 150 \text{ kPa,} \\
 c' = 12 \text{ kPa} & \varphi' = 23^\circ & \text{per } \sigma'v > 150 \text{ kPa.}
 \end{array}$$

Per la resistenza al taglio non drenata, nella Figura 22 sono mostrati i valori ottenuti dall'interpretazione delle prove SPT, dalle prove di Pocket Penetrometer e dalle prove di laboratorio; si osservano valori generalmente compresi fra 50 e 230 kPa.

### **Caratteristiche di deformabilità**

Dall'interpretazione delle prove SPT si stimano i moduli di deformabilità, a taglio iniziale  $G_0$  ed elastico iniziale  $E_0$  (a basse deformazioni):

$$\begin{array}{ll}
 G_0 = 50 \div 70 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione a taglio iniziale} \\
 E_0 = 130 \div 180 \text{ MPa} & \text{modulo di deformazione elastico iniziale}
 \end{array}$$



	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

Tali valori sono in linea con i valori del modulo operativo stimato da correlazioni empiriche (vedasi Figura 24).

Dall'interpretazione delle prove SPT, da cui si ottengono valori di  $V_s$  tra 200 e 400 m/s, da cui vengono poi individuati i moduli di deformabilità, a taglio iniziale  $G_o$  ed elastico iniziale  $E_o$  (a basse deformazioni) (vedasi Figura 11).

$G_o = 80 \div 300$  MPa                      modulo di deformazione a taglio iniziale  
 $E_o = 200 \div 800$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale

### **Caratteristiche di permeabilità**

Nella zona in esame è disponibile sul materiale un'unica prova di permeabilità sull'unità bnc che ha dato  $1.5 \cdot 10^{-6}$  m/s. Quindi per l'unità si farà riferimento al range di permeabilità indicati per la linea ferroviaria principale.


Dalle prove in foro Lefranc sull'unità coesiva (bnc) si sono ottenuti valori di permeabilità compresi tra  $6.5 \cdot 10^{-8}$  e  $1.5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Per la frazione incoerente (unità bni) dalle prove di foro Lefranc si sono ottenuti valori di permeabilità compresi tra  $1.5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Di seguito si sintetizzano i valori di progetto per le caratteristiche geotecniche delle unità in esame.

### **Unità bnc – Depositi terrazzati coesivi limoso argillosi**

$\gamma = 19.0 \div 20.0$  kN/m<sup>3</sup>                      peso di volume naturale  
 $c' = 5 \div 12$  kPa                                  coesione drenata  
 $\varphi' = 23 \div 25$  °                                  angolo di resistenza al taglio  
 $c_u = 50 \div 400$  kPa                              resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $k = 6.5 \cdot 10^{-8}$  e  $1.5 \cdot 10^{-6}$  m/s              coefficiente di permeabilità  
 $V_s = 160 \div 190$  m/s                            velocità delle onde di taglio  
 $G_o = 50 \div 70$  MPa                              modulo di deformazione a taglio iniziale  
 $E_o = 130 \div 180$  MPa                            modulo di deformazione elastico iniziale

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

#### Unità bni – Depositi terrazzati ghiaioso sabbiosi

$\gamma = 19.0 \div 20.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 0$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 35 \div 38$ °	angolo di resistenza al taglio
$k = 1.5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-4}$ m/s	coefficiente di permeabilità
$V_s = 200 \div 400$ m/s	velocità delle onde di taglio
$G_o = 80 \div 300$ MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 800$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale

#### 4.7 Unità AAC – Argille marnose grigie di Catenanuova

L'unità ha comportamento prevalentemente coesivo ed è rappresentata da argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro, di colore grigio e grigio-verdastro a struttura scagliosa, con talvolta livelli di sabbie limose grigie, livelli argillitici duri e locali intercalazioni di arenarie medio-fini grigie e giallastre, in strati da sottili a medi.

L'unità è stata intercettata come substrato di base al di sotto delle coperture alluvionali recenti e/o terrazzate, quindi a partire da profondità variabili da 5 a 15 m fino alle massime profondità investigate.

I valori di  $N_{SPT}$  eseguiti nell'unità vanno generalmente da 38 a rifiuto (con molti valori a rifiuto) ad indicare una elevata consistenza del materiale, con andamento generalmente crescente con la profondità (vedasi Figura 25).


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

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da (vedasi Figura 26):

- percentuale di ghiaia da 0 a 4% (media 0.4%);
- percentuale di sabbia da 3 a 34% (media 12%);
- percentuale di fine (limo + argilla) da 65 a 97% (media 87%), di cui argilla tra 17 e 54% (media 37%) e limo tra 31 e 46% (media 50%).

Per l'unità il limite liquido è compreso generalmente fra 29 e 47% (media 42%); il limite plastico è tra 28 e 27% (media 25%); il contenuto naturale d'acqua è tra 14 e 21% (vedasi Figura 28). L'indice di plasticità è tra 13 e 21%. 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 plasticità (vedasi Figura 29).

Il peso di volume naturale è compreso tra 19.7 e 22.1 kN/m<sup>3</sup> con valore medio 20.7 kN/m<sup>3</sup> (vedasi Figura 39).

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

### **Resistenza**

Per l'unità sono disponibili prove di laboratorio che hanno condotto ai seguenti valori dei parametri di resistenza (Figura 32, Figura 33, Figura 34):

- angolo di resistenza al taglio compreso fra 22° e 28°;
- coesione drenata compresa fra 16 e 19.6 kPa;
- resistenza al taglio in condizioni non drenate fra 100 e 500 kPa.

Nella Figura 35 sono mostrati i valori della resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ ) ottenuta dall'interpretazione delle prove SPT, dalle prove di Pocket Penetrometer e dalle prove di laboratorio: si osservano valori compresi fra 100 e 500 kPa. Generalmente le prove di Pocket penetrometer sono andate quasi tutte a rifiuto strumentale (fondo scala strumento 500 kPa in sito, 600 kPa per laboratorio), così come gran parte delle prove penetrometriche dinamiche SPT. Dalle prove triassiali si ottiene un valore medio della resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ ) di 275 kPa. I valori minori di resistenza sono relativi alle prove di laboratorio ad espansione laterale libera, che probabilmente non sono rappresentative per la tipologia di prova in questi materiali. Dall'interpretazione delle prove pressiometriche si ottiene un valore medio di 370 kPa. Cautelativamente, data la forte dispersione dei dati ed i pochi dati a disposizione, si assume un valore massimo della resistenza al taglio non drenata di 350 kPa.

Per la scelta dei parametri di resistenza drenati di progetto dell'unità AAC, si rimanda a quanto enunciato al paragrafo 4.2.1: per le formazioni di base argilloso marnose a struttura scagliosa, il range dei parametri di resistenza di progetto assunti, è stato valutato statisticamente prendendo a riferimento tutte le prove di laboratorio (vedasi nella Figura 46).

In Figura 46 si riportano i risultati di tutte le prove nel piano delle tensioni e si individua un involucro di progetto dei parametri di resistenza, sufficientemente cautelativo per la formazione in esame:

$$\begin{array}{lll}
 c' = 5 \text{ kPa} & \varphi' = 24^\circ & \text{per } \sigma'v < 250 \text{ kPa,} \\
 c' = 20 \text{ kPa} & \varphi' = 22^\circ & \text{per } \sigma'v > 250 \text{ kPa.}
 \end{array}$$

### **Caratteristiche di deformabilità**

La prova Down-Hole eseguita nel sondaggio D31 dalle profondità rispettivamente di 15 ha interessato la formazione AAC, con velocità  $V_s$  tra 400 e 800 m/s, crescenti con la profondità. Da cui si stimano i seguenti valori dei moduli iniziali, a piccole deformazioni

$$G_0 = 310 \div 1240 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

$E_o = 800 \div 3200$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale

Nella Figura 37 sono riportati i valori del modulo operativo stimato da correlazioni empiriche dalle prove SPT da cui si osserva un range 20 e 90 MPa.

Le prove sismiche forniscono valori maggiori del modulo rispetto ai valori derivanti da correlazioni empiriche.

### **Caratteristiche di permeabilità**

Sono disponibili prove di permeabilità in foro Lefranc nell'unità in esame, che hanno fornito una permeabilità molto bassa:  $2 \cdot 10^{-8}$  e  $2 \cdot 10^{-7}$  m/s (vedasi Figura 42).

Quindi per l'unità si assumono i seguenti range cautelativi dei parametri geotecnici di progetto.

### **Unità AAC – Argille marnose grigie di Catenanuova**

$\gamma = 19.5 \div 20.5$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 22 \div 24$ °	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 100 \div 350$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 2 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-7}$ m/s	coefficiente di permeabilità
$E_o = 200 \div 900$ MPa	Modulo di deformazione elastico iniziale

### **4.8 Unità FYN – Argille limosa, marnosa (Flysch Numidico)**

L'unità è costituita da argille limose, marnose a struttura scagliosa di colore grigio generalmente molto consistenti a struttura scagliosa e/o indistinta, con locali blocchi quarzoarenitici.


L'unità è stata intercettata come substrato di base nella parte iniziale della deviate definitiva.

I valori di  $N_{SPT}$  eseguiti nell'unità sono compresi tra 33 colpi/30 cm e rifiuto, crescenti con la profondità, ad indicare una elevata consistenza del materiale (vedasi Figura 25).

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

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da (vedasi Figura 27):

- percentuale di ghiaia tra 0 e 8% (media 2%);
- percentuale di sabbia tra 4 e 10% (media 9%);

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

- percentuale di fine (limo + argilla) tra 79 e 95% (media 89%), di cui argilla tra 26 e 33% (media 29%) e limo tra 49 e 33% (media 59%).

Per l'unità il limite liquido è compreso generalmente fra 36 e 44% (media 40%); il limite plastico è tra 20 e 28% (media 24%); il contenuto naturale d'acqua è tra 12 e 19% (vedasi Figura 28). Nella Carta di Plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche di media plasticità (vedasi Figura 29). L'indice di consistenza è mediamente 1.5.

Il peso di volume naturale è tra 18.8 e 22.4 kN/m<sup>3</sup> con valore medio 20.3 kN/m<sup>3</sup> (vedasi Figura 39).

### **Resistenza**

Dalle prove di laboratorio si sono ottenuti i seguenti valori dei parametri di resistenza (Figura 32, Figura 33, Figura 34):

- angolo di resistenza al taglio compreso fra 16.7° e 33°;
- coesione drenata compresa fra 34 a 79 kPa.

Nella Figura 36 sono mostrati i valori della resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ ) ottenuta dall'interpretazione delle prove SPT, dalle prove di Pocket Penetrometer e dalle prove di laboratorio. Si osservano valori molto dispersi, compresi fra 150 e 500 kPa. Dalle prove di laboratorio si ha un solo valore di 250 kPa. Dalle prove pressiometriche si stimano valori di 350 e 360 kPa. Cautelativamente, considerando che si hanno pochi dati a disposizione, si assume un valore massimo della resistenza al taglio non drenata di 350 kPa.

Per la scelta dei parametri di resistenza drenati di progetto dell'unità FYN, si rimanda a quanto enunciato al paragrafo 4.2.1: per le formazioni di base argilloso marnose a struttura scagliosa, il range dei parametri di resistenza di progetto assunti, è stato valutato statisticamente prendendo a riferimento tutte le prove di laboratorio (vedasi Figura 45).

In Figura 45 si riportano i risultati di tutte le prove nel piano delle tensioni e si individua un involucro di progetto dei parametri di resistenza, sufficientemente cautelativo per la formazione in esame:

$$\begin{aligned}
 c' &= 5 \text{ kPa} & \varphi' &= 24^\circ & \text{per } \sigma'v < 260 \text{ kPa,} \\
 c' &= 20 \text{ kPa} & \varphi' &= 22^\circ & \text{per } \sigma'v > 260 \text{ kPa.}
 \end{aligned}$$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	46 di 119

### **Caratteristiche di deformabilità**

Dalle prove SPT si stima per l'unità un valore del modulo elastico di deformazione operativo tra 200 e 900 MPa (Figura 38), generalmente crescenti con la profondità.

Le prove edometriche (vedasi Figura 41) hanno fornito un valori del modulo di deformazione edometrico tra 6 e 18 MPa.


### **Caratteristiche di permeabilità**

Dalle prove di permeabilità in foro Lefranc si ha nella zona un solo valore a disposizione ( $2 \cdot 10^{-8}$  m/s) cautelativamente si assume il range generale della linea in esame fra  $5 \cdot 10^{-9}$  e  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Quindi per l'unità si assumono i seguenti range cautelativi dei parametri geotecnici di progetto.

### **Unità FYN – argille marnose, marne del Flysch Numidico**

$\gamma = 20.0 \div 21.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 22 \div 24$ °	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 150 \div 350$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 5 \cdot 10^{-9} \div 5 \cdot 10^{-5}$ m/s	coefficiente di permeabilità
$E_o = 200 \div 900$ MPa	Modulo di deformazione elastico iniziale

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

#### 4.9 Sintesi parametri geotecnici di progetto

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

##### Unità b2 – Depositi eluvio-colluviali

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 25 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 150 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 5 \cdot 10^{-7} \div 4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$E_o = 250 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

##### Unità ba – Depositi alluvionali attuali

$\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24 \div 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 10^{-6} \div 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$E_o = 100 \div 340 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

##### Unità bbc – Depositi alluvionali recenti coesivi (limoso argillosi)

$\gamma = 19.0 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 19 \div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 40 \div 250 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 5 \cdot 10^{-8} \div 4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$G_o = 25 \div 150 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 70 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

**Unità bbi – Depositi alluvionali recenti incoerenti (sabbia, sabbia con ghiaia, sabbia ghiaiosa)**

$\gamma = 19.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 32 \div 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio per le sabbie
$\varphi' = 35 \div 39^\circ$	angolo di resistenza al taglio per ghiaie sabbiose, sabbia con ghiaia
$V_s = 200 \div 400 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 80 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 800 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

**Unità bnc – Depositi terrazzati coesivi limoso argillosi**

$\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 12 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 23 \div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 400 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 6.5 \cdot 10^{-8} \div 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$V_s = 160 \div 190 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 50 \div 70 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 130 \div 180 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

**Unità bni – Depositi terrazzati ghiaioso sabbiosi**

$\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 35 \div 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 1.5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$V_s = 200 \div 400 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 80 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 800 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale





NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	49 di 119

#### Unità AAC – Argille marnose grigie di Catenanuova

$\gamma = 19.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 22 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 100 \div 350 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 2 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$E_o = 200 \div 900 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale

#### Unità FYN – Argille limosa, marnosa (Flysch Numidico)

$\gamma = 20.0 \div 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 22 \div 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 150 \div 350 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$k = 5 \cdot 10^{-9} \div 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$E_o = 200 \div 900 \text{ MPa}$	Modulo di deformazione elastico iniziale

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.

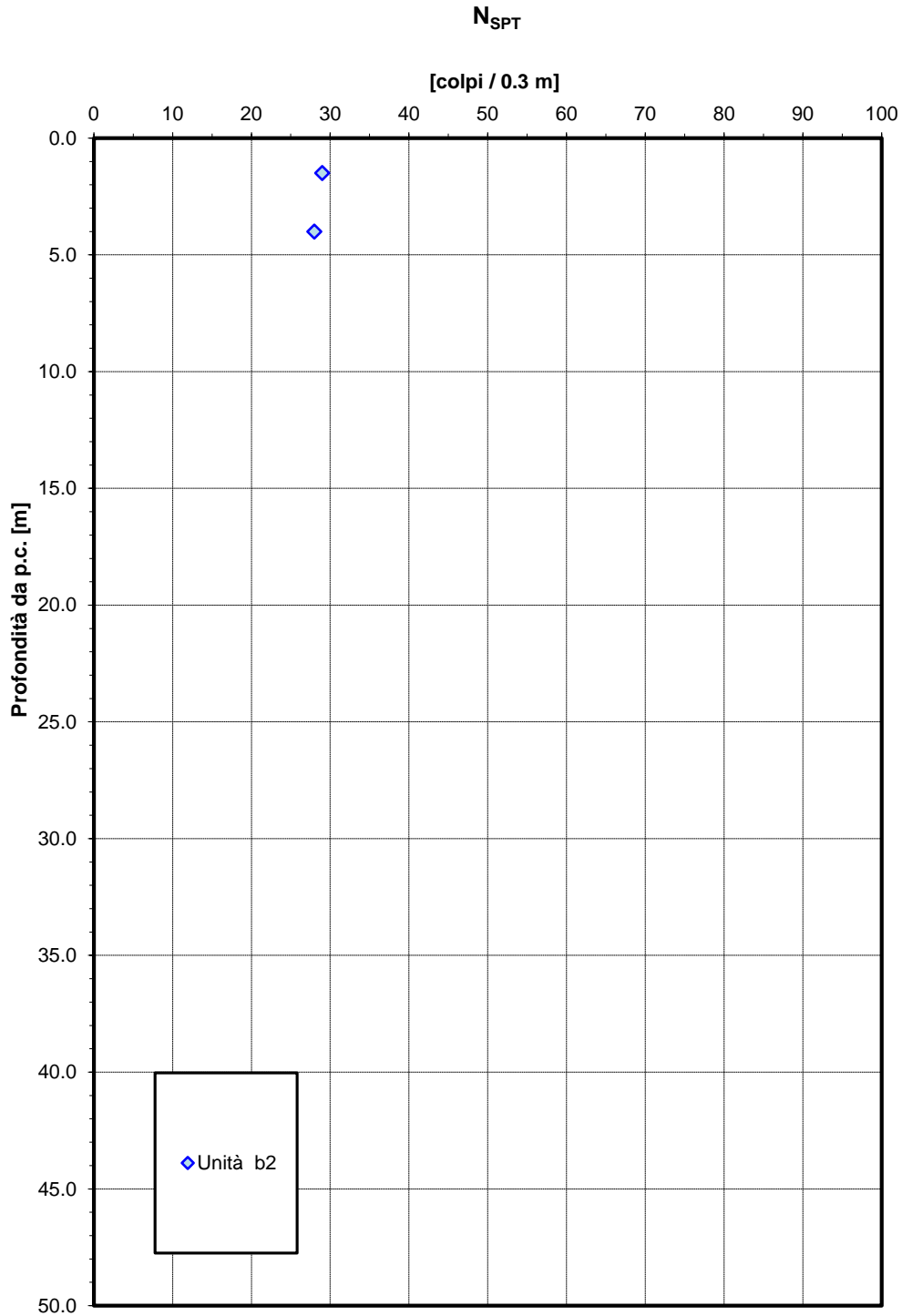


Figura 5 – Valori di  $N_{SPT}$  – Unità b2

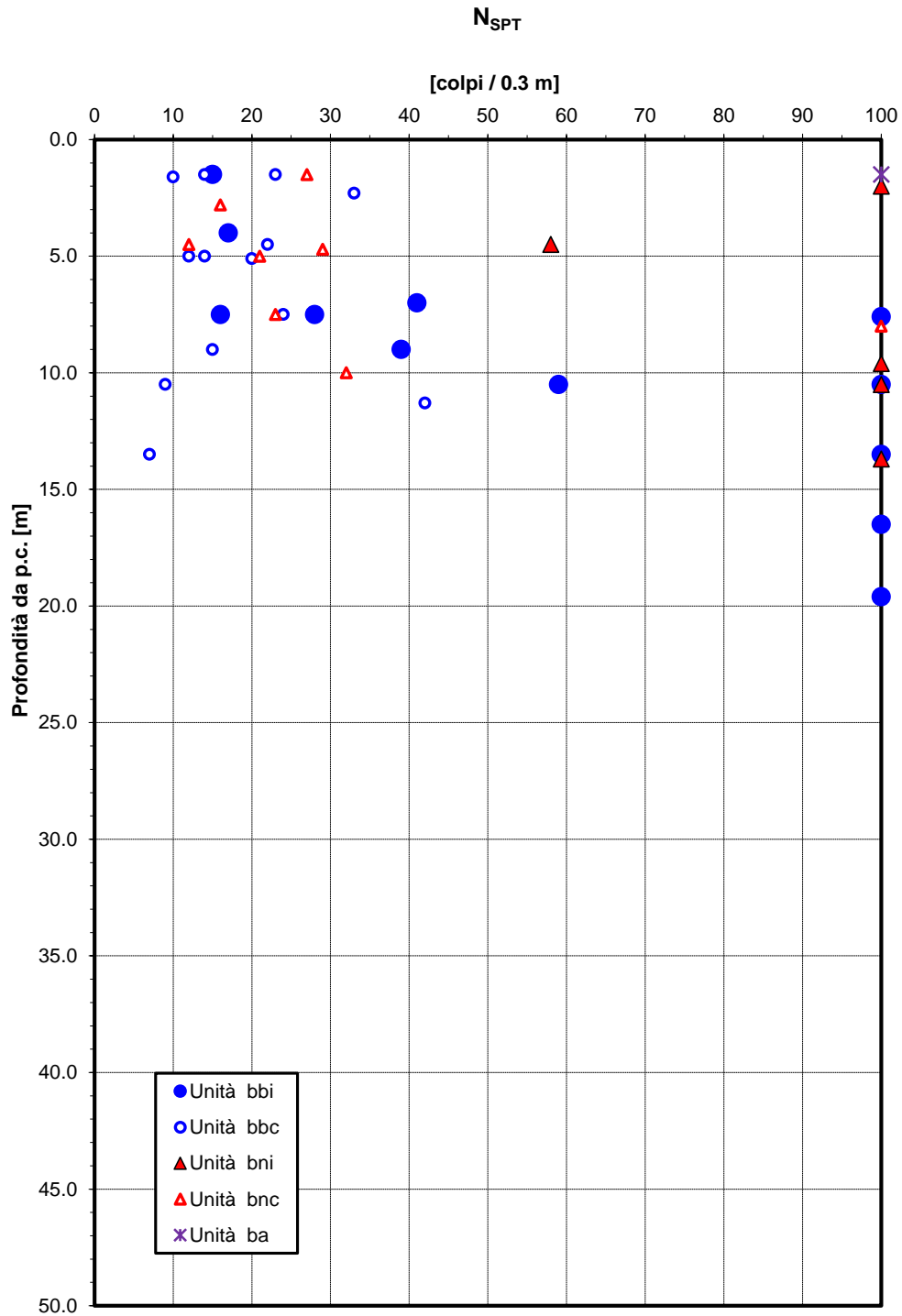


Figura 6 – Valori di N<sub>SPT</sub> – Unità bbc, bbi, bnc, bni, ba.

**Densità relativa da prove SPT**

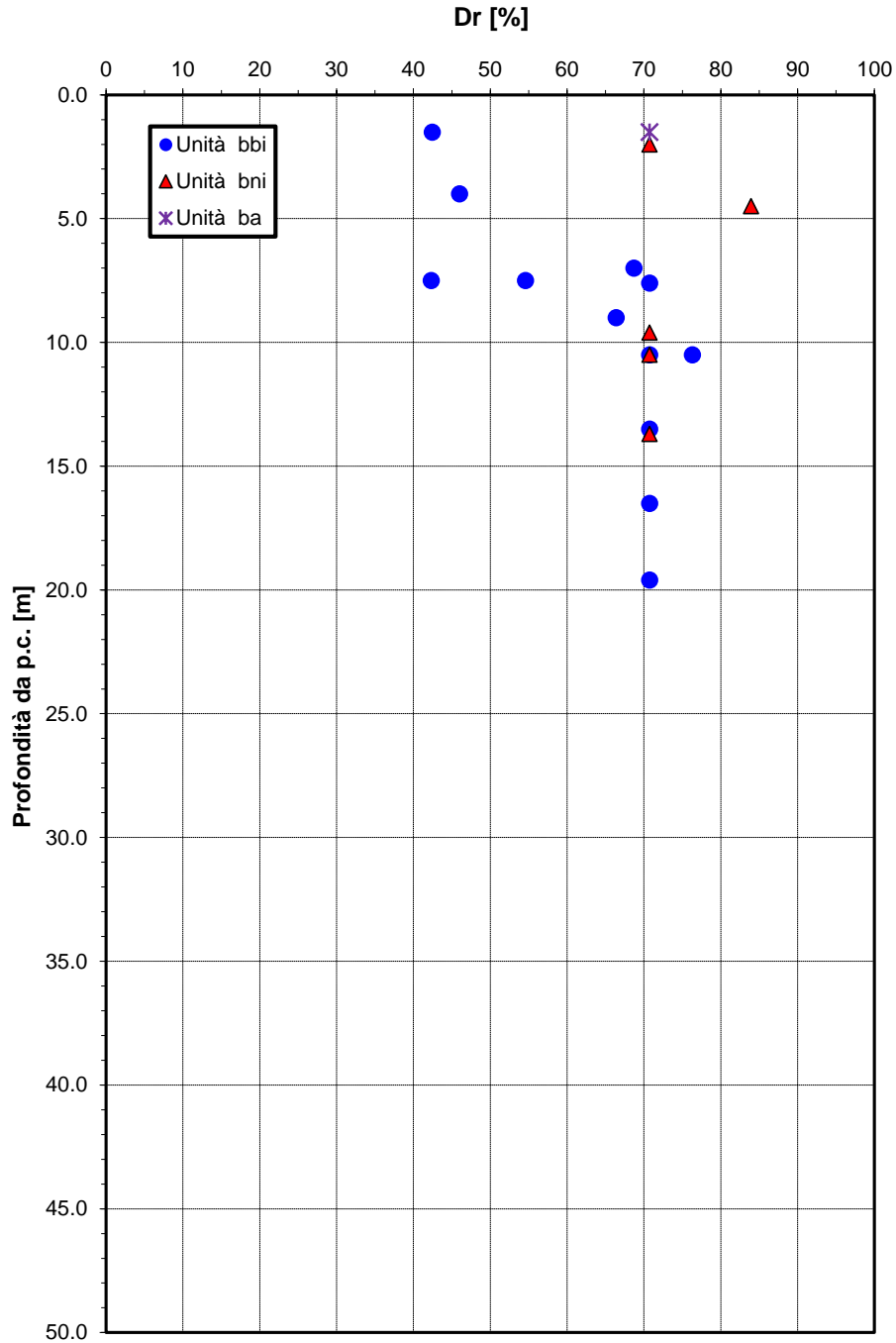


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT– Unità bbi, bni, ba (incoerenti).

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

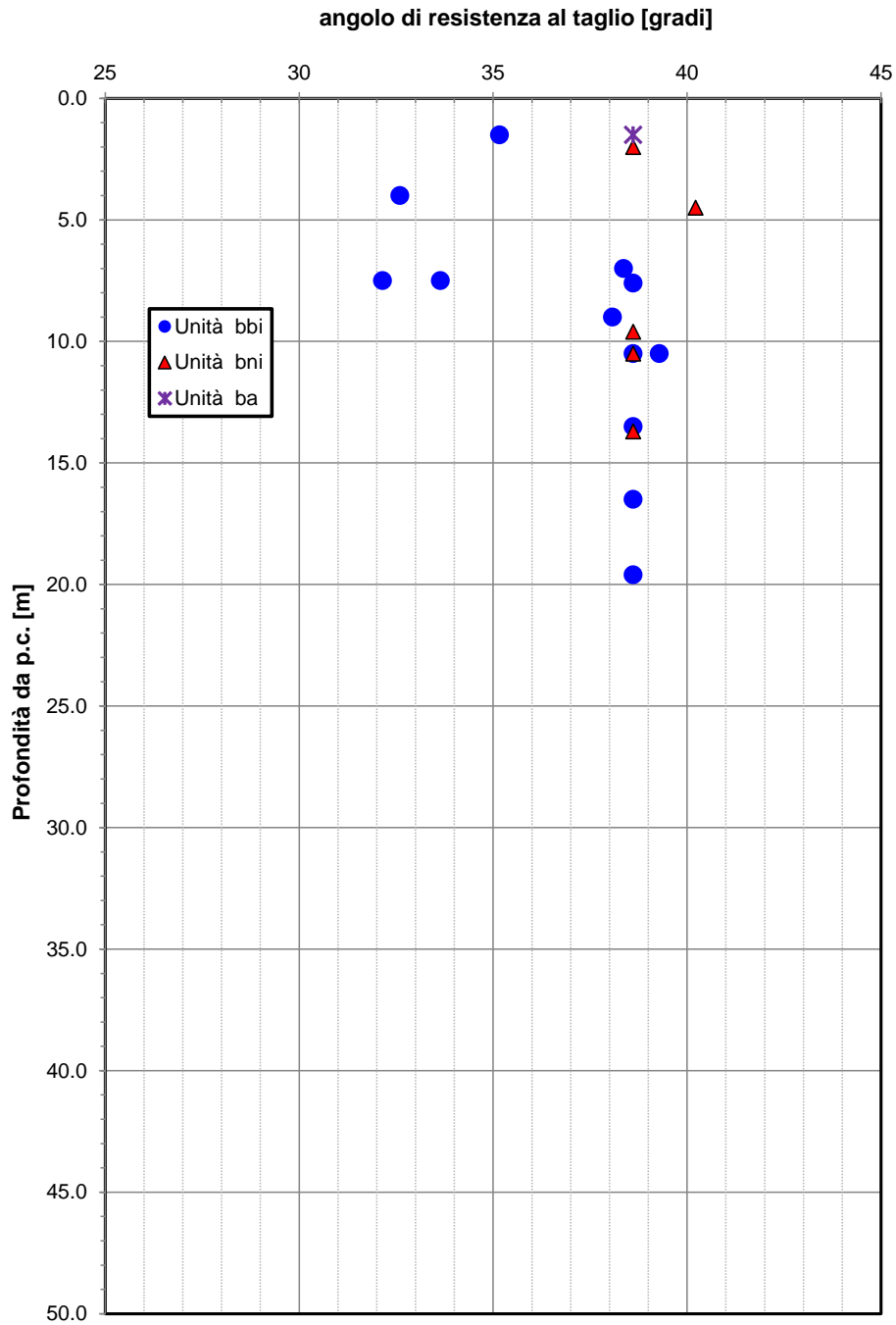


Figura 8 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – Unità bbi, bni, ba (incoerenti)

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

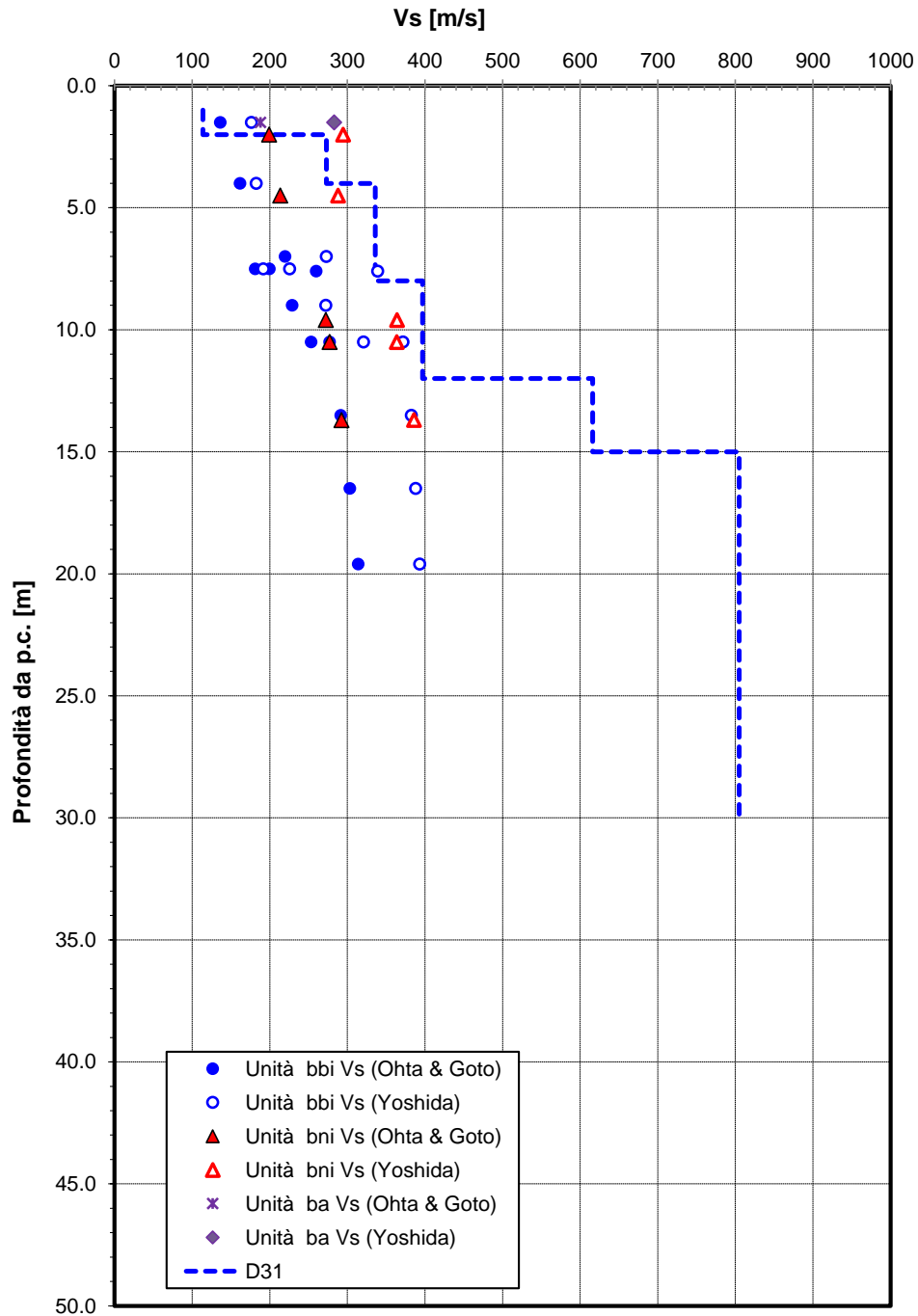


Figura 9 – Velocità di taglio da prove SPT e DH – Unità bbi, bni, ba.

**Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e DH**

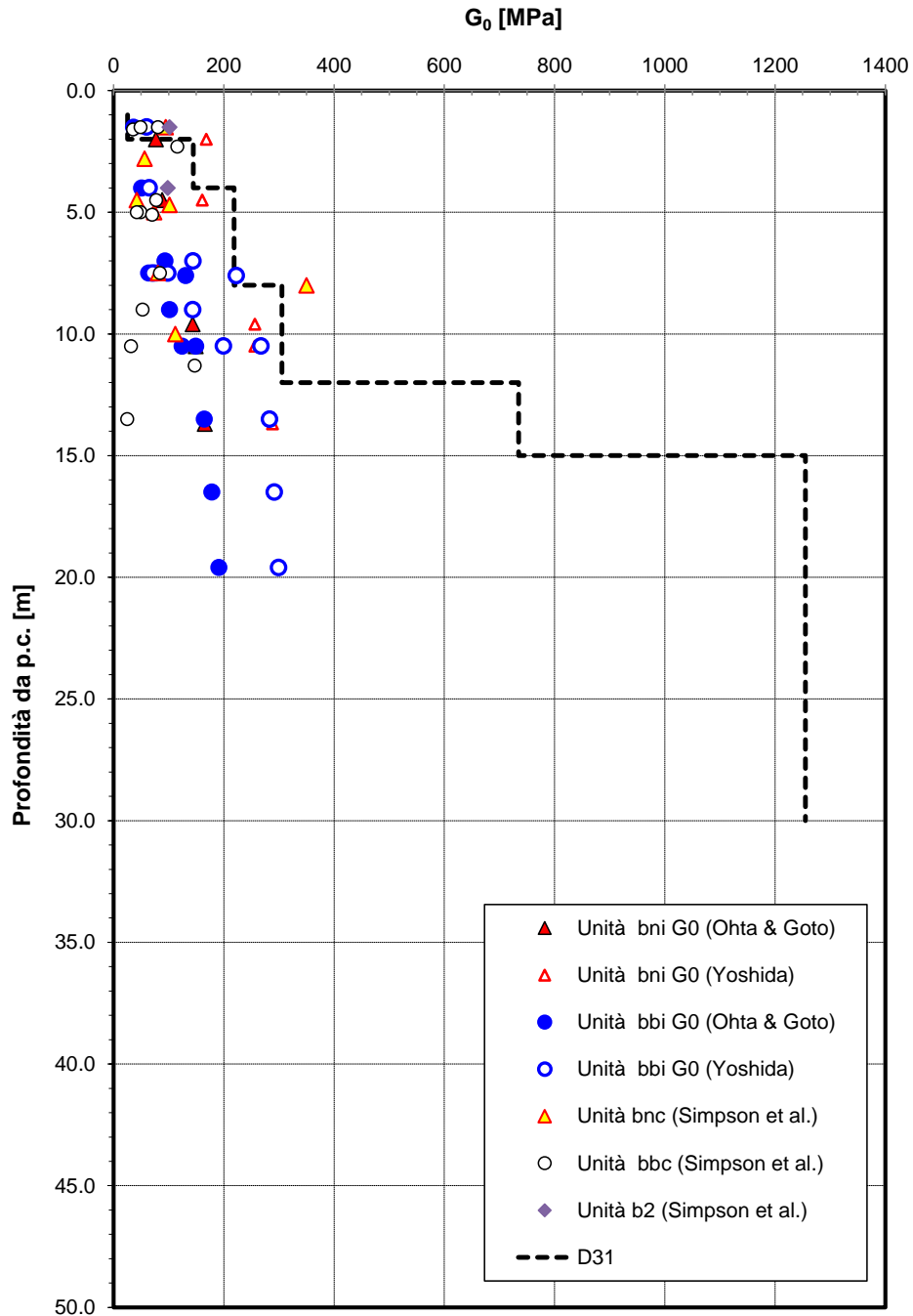


Figura 10 – Modulo di deformazione a taglio iniziale  $G_0$  da prove SPT e DH – Unità alluvionali.

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e DH**

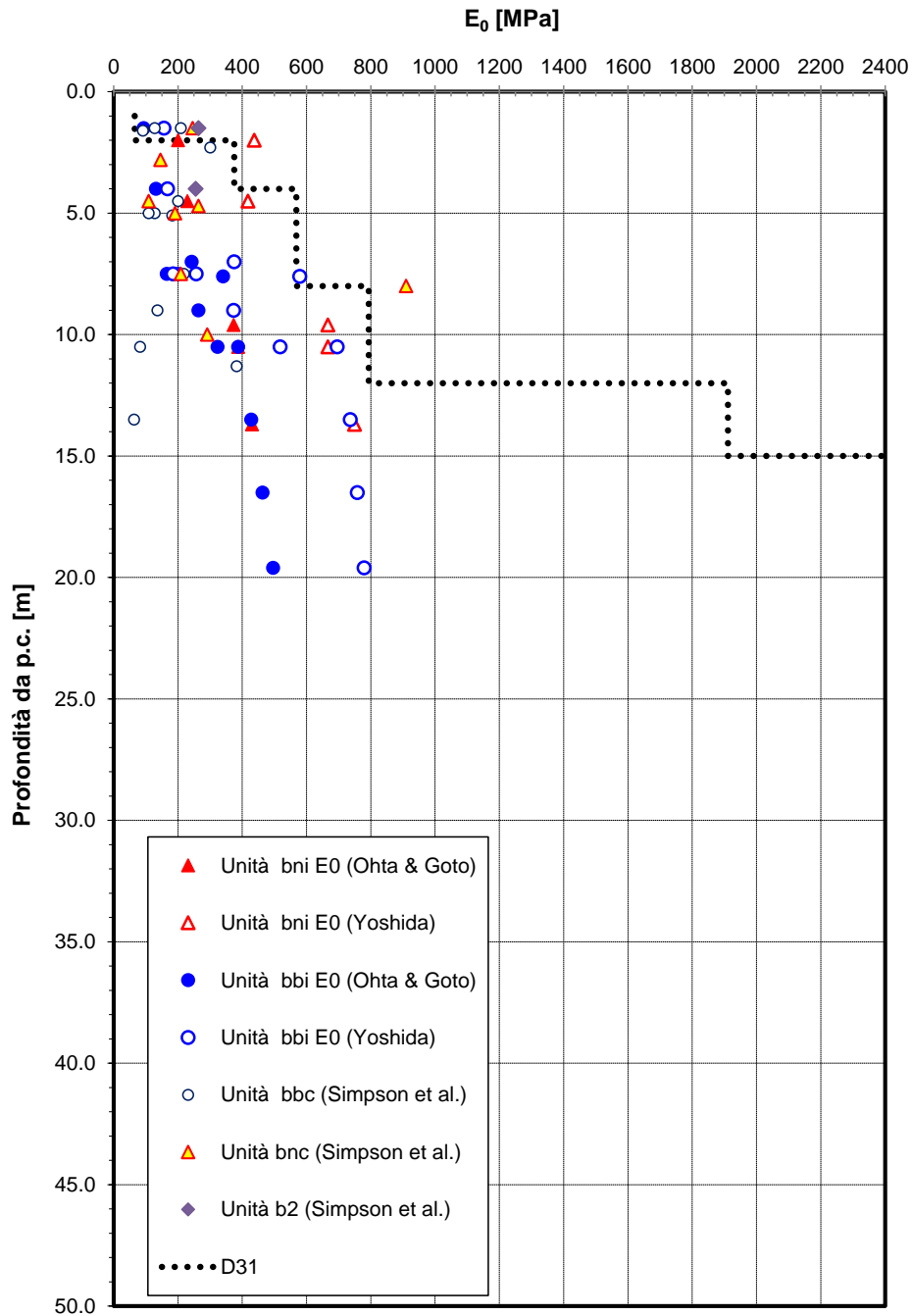


Figura 11 – Modulo di deformazione elastico iniziale  $E_0$  da prove SPT e DH – Unità alluvionali



**Granulometria unità bbc**

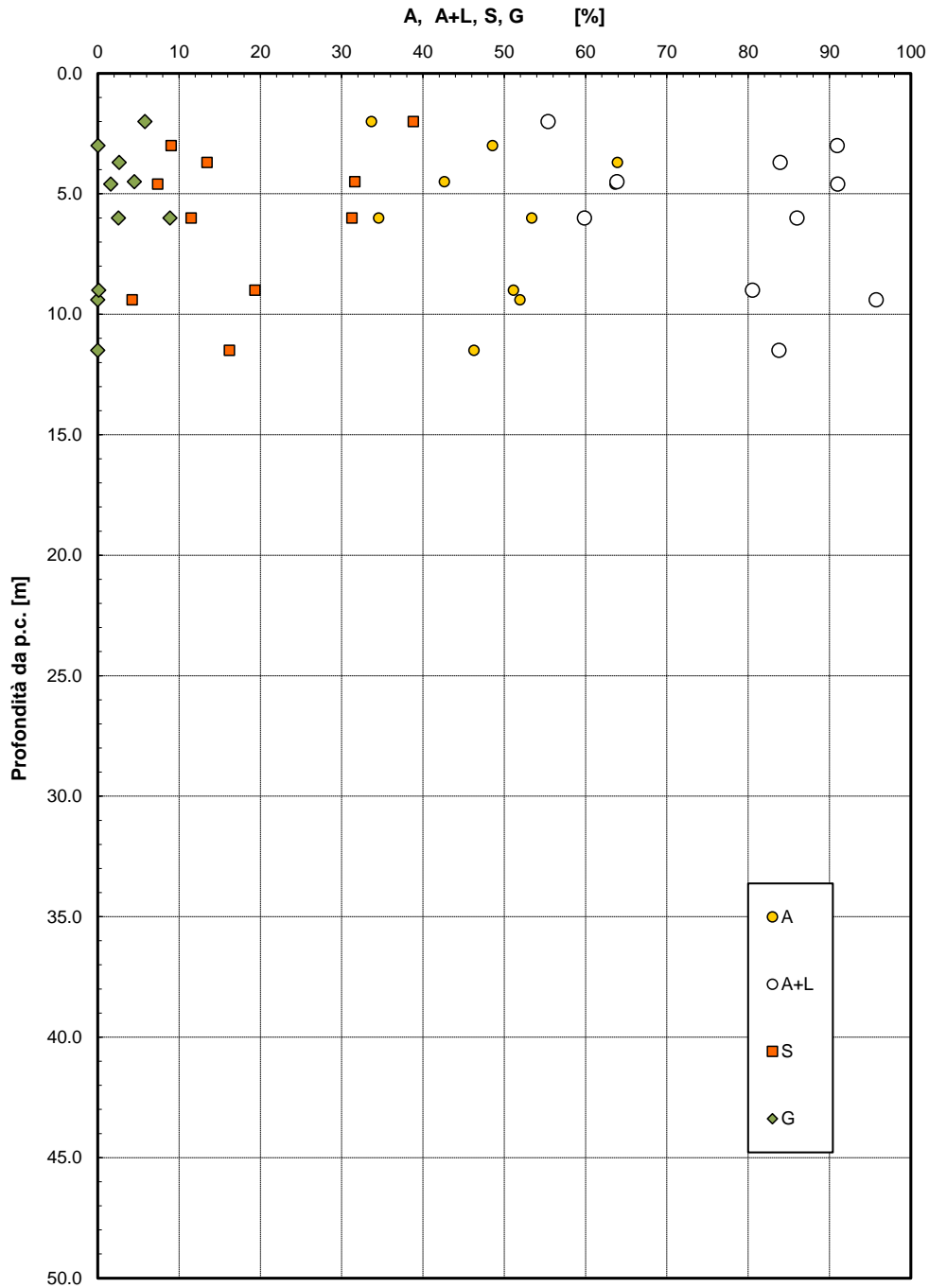


Figura 12 – Analisi granulometrica – Unità bbc

**Granulometria unità bbi**

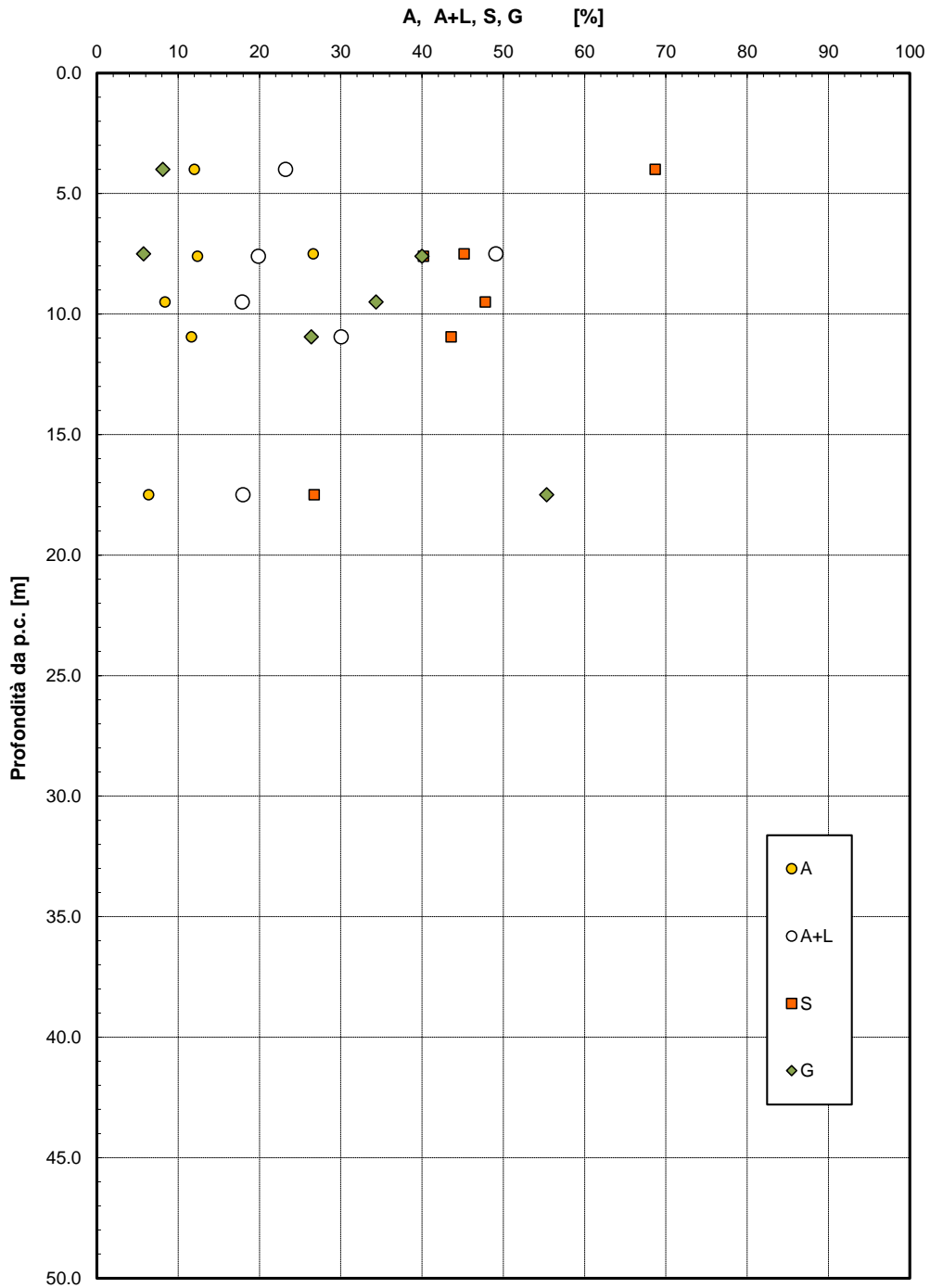


Figura 13 – Analisi granulometrica – Unità bbi

**Granulometria unità bnc**

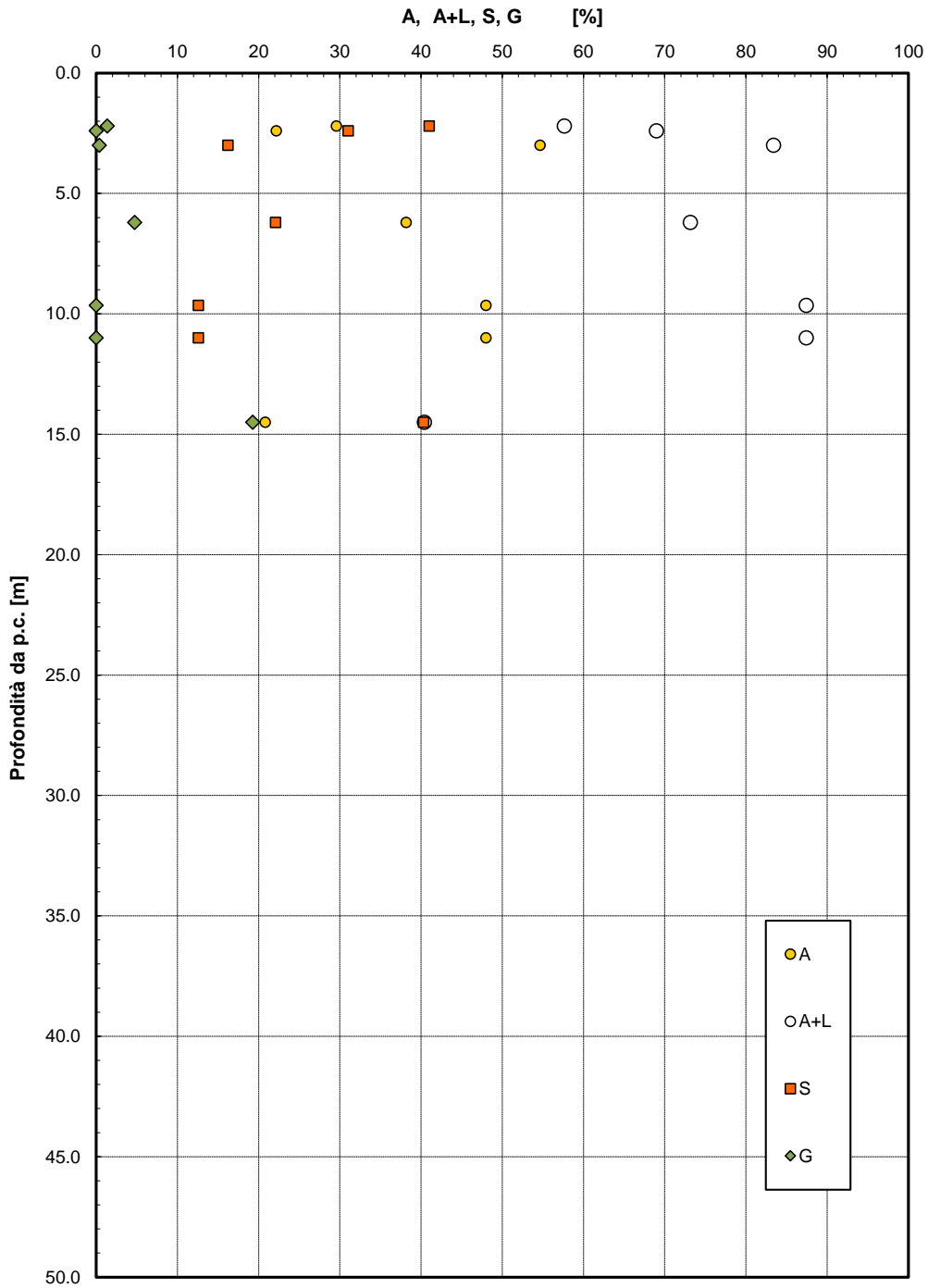


Figura 14 – Analisi granulometrica – Unità bnc

**Granulometria unità bni**

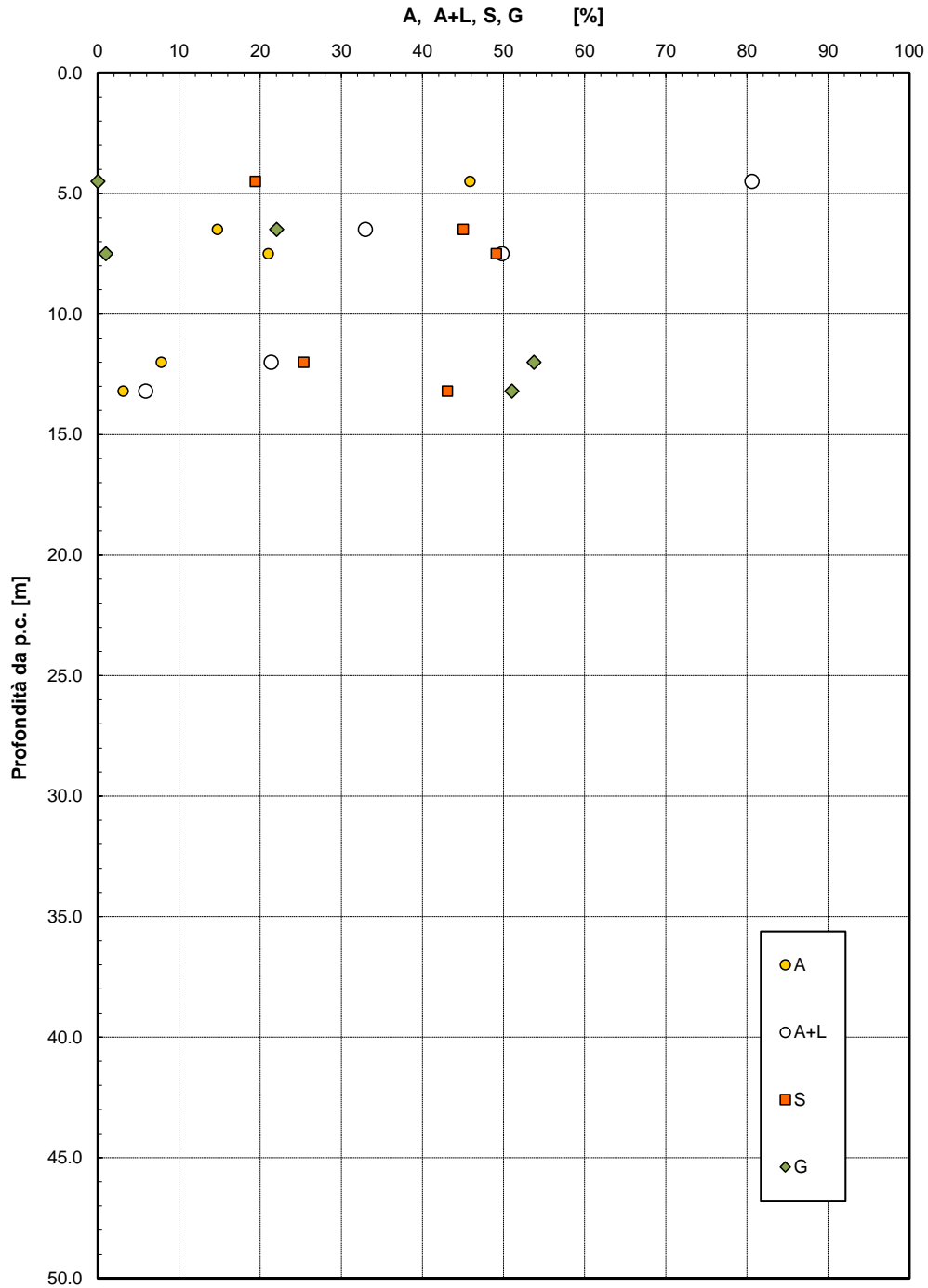


Figura 15 – Analisi granulometrica – Unità bni

**Limiti di Atterberg - Terreni alluvionali**

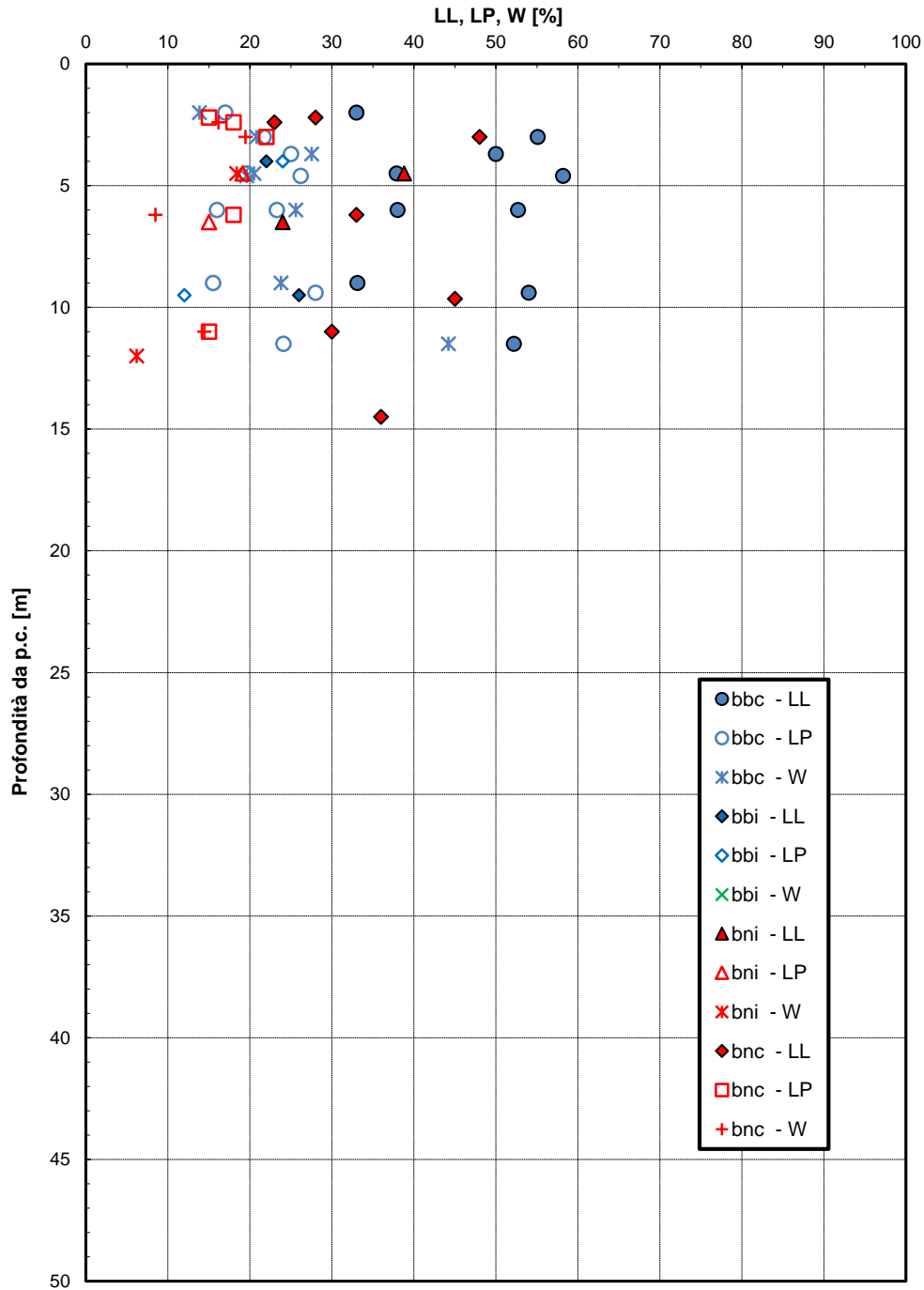


Figura 16 – Contenuto naturale d'acqua e limiti di consistenza – Unità bbc, bbi, bnc, bni

**Carta di Plasticità di Casagrande - Terreni alluvionali**

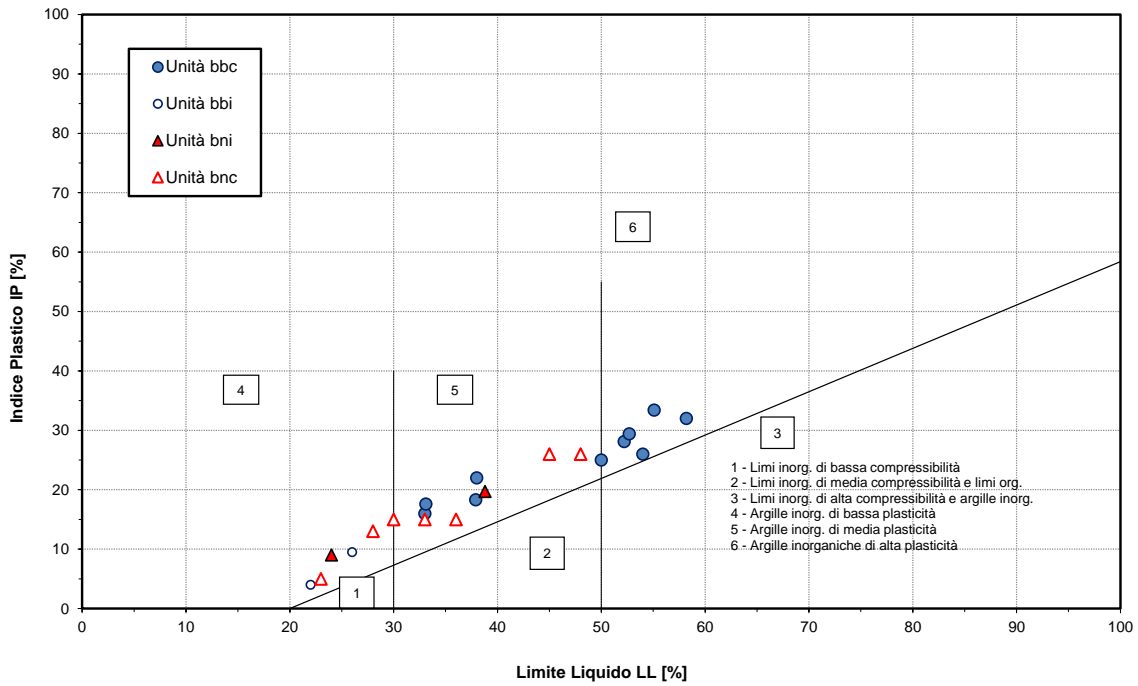


Figura 17 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità bbc, bnc

**Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio**

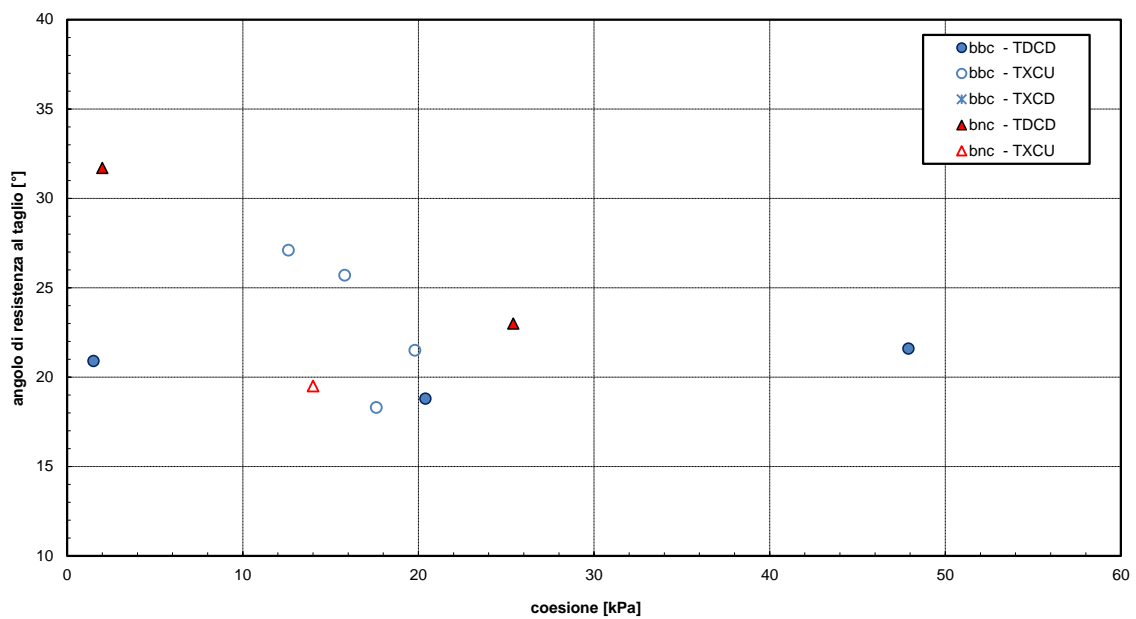


Figura 18 – Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata (laboratorio) – Unità bbc, bnc

**Andamento della coesione con la profondità**

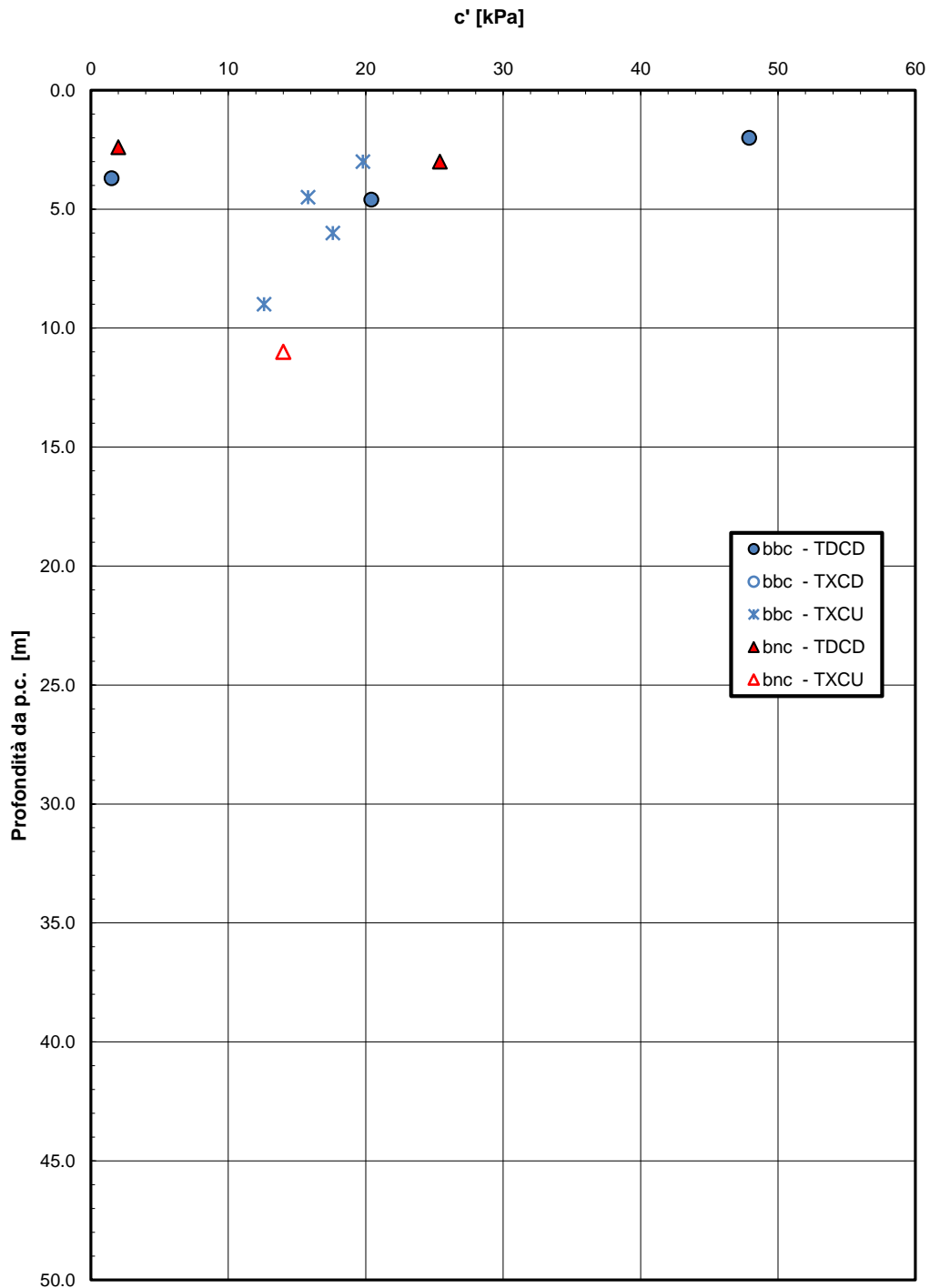


Figura 19 – Andamento della coesione drenata con la profondità – Unità bbc, bnc

**Andamento della resistenza al taglio con la profondità**

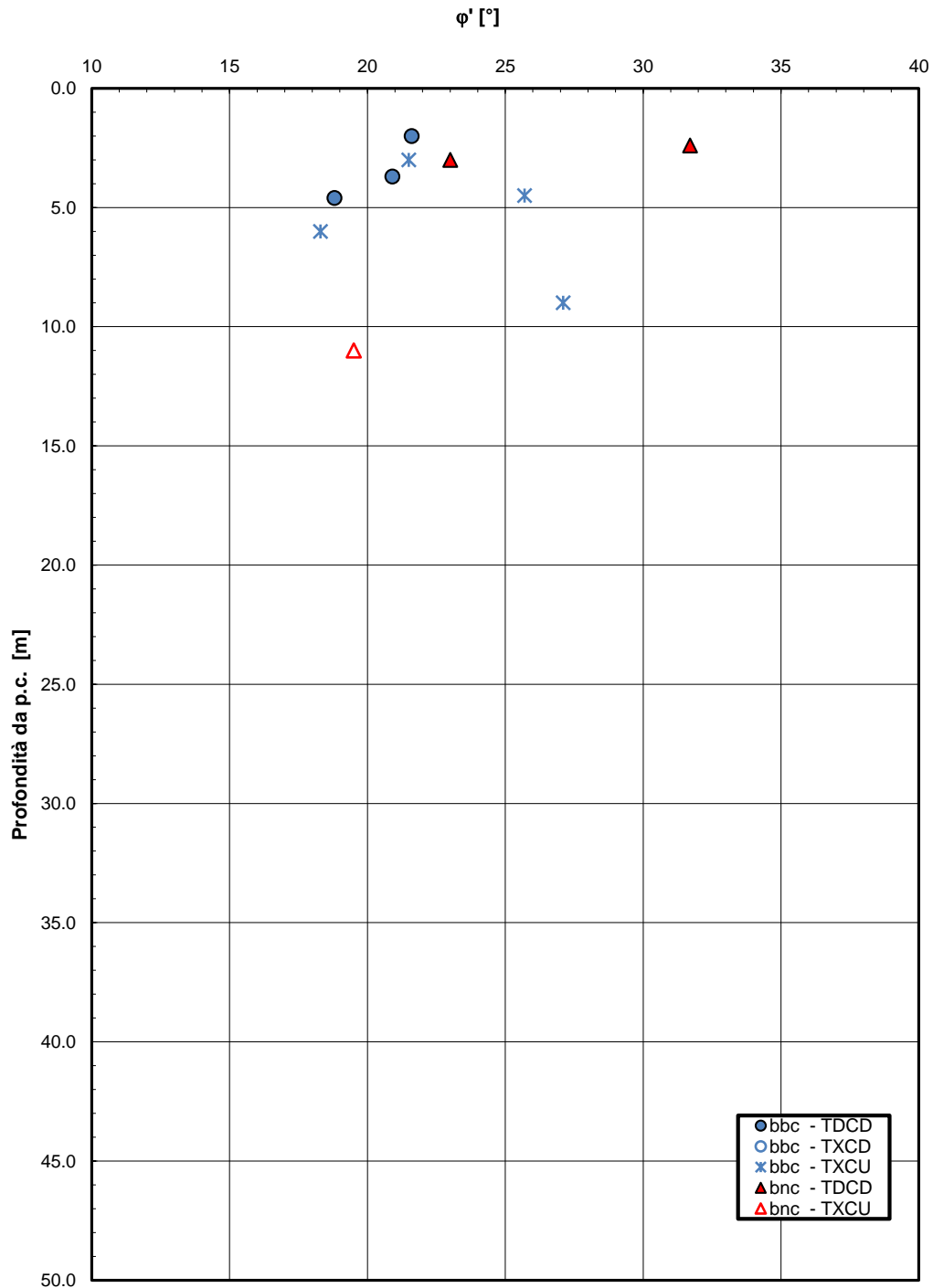


Figura 20 – Andamento dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità – Unità bbc, bnc



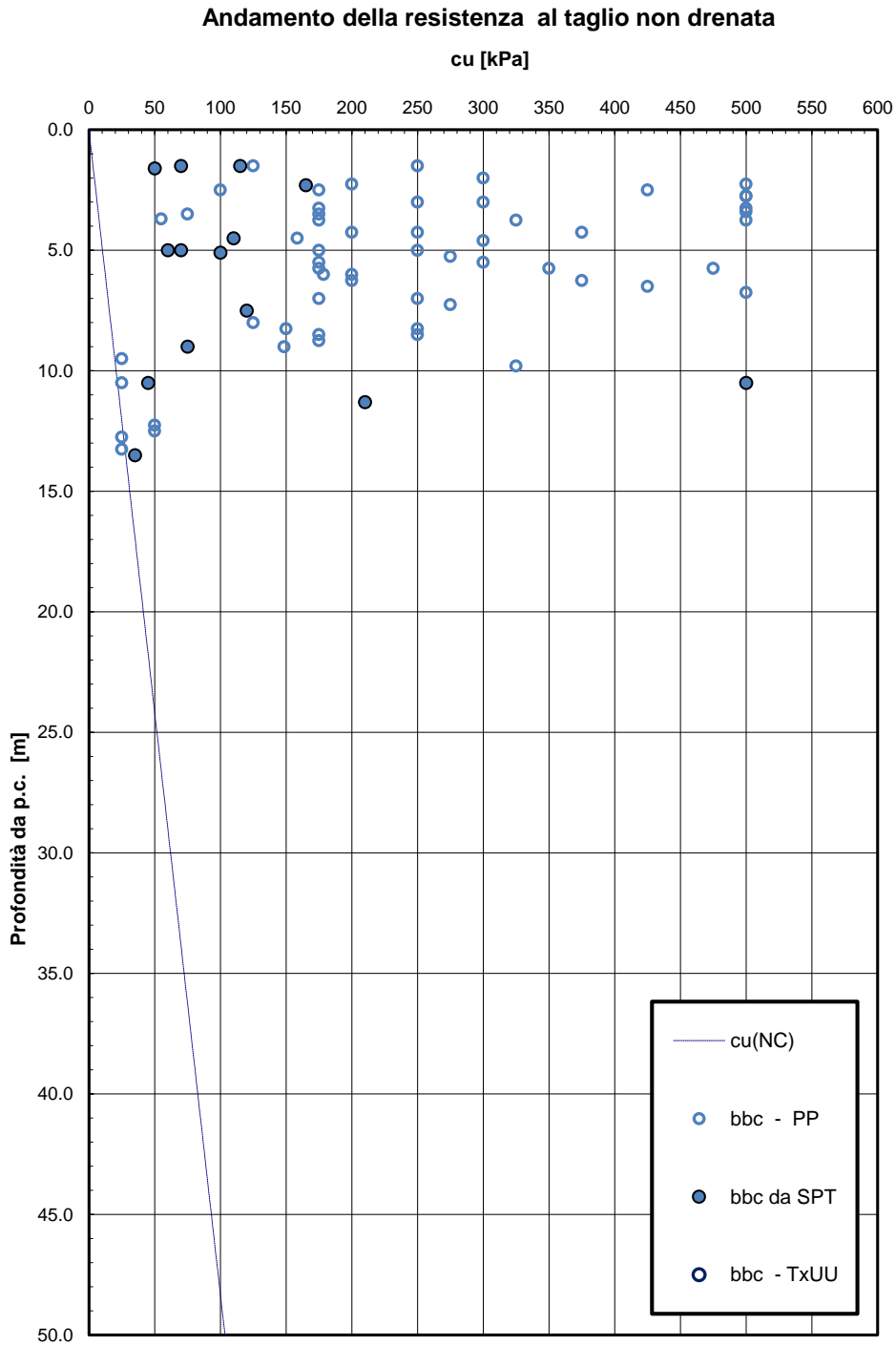


Figura 21 – Resistenza al taglio non drenata – unità bbc

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**

cu [kPa]

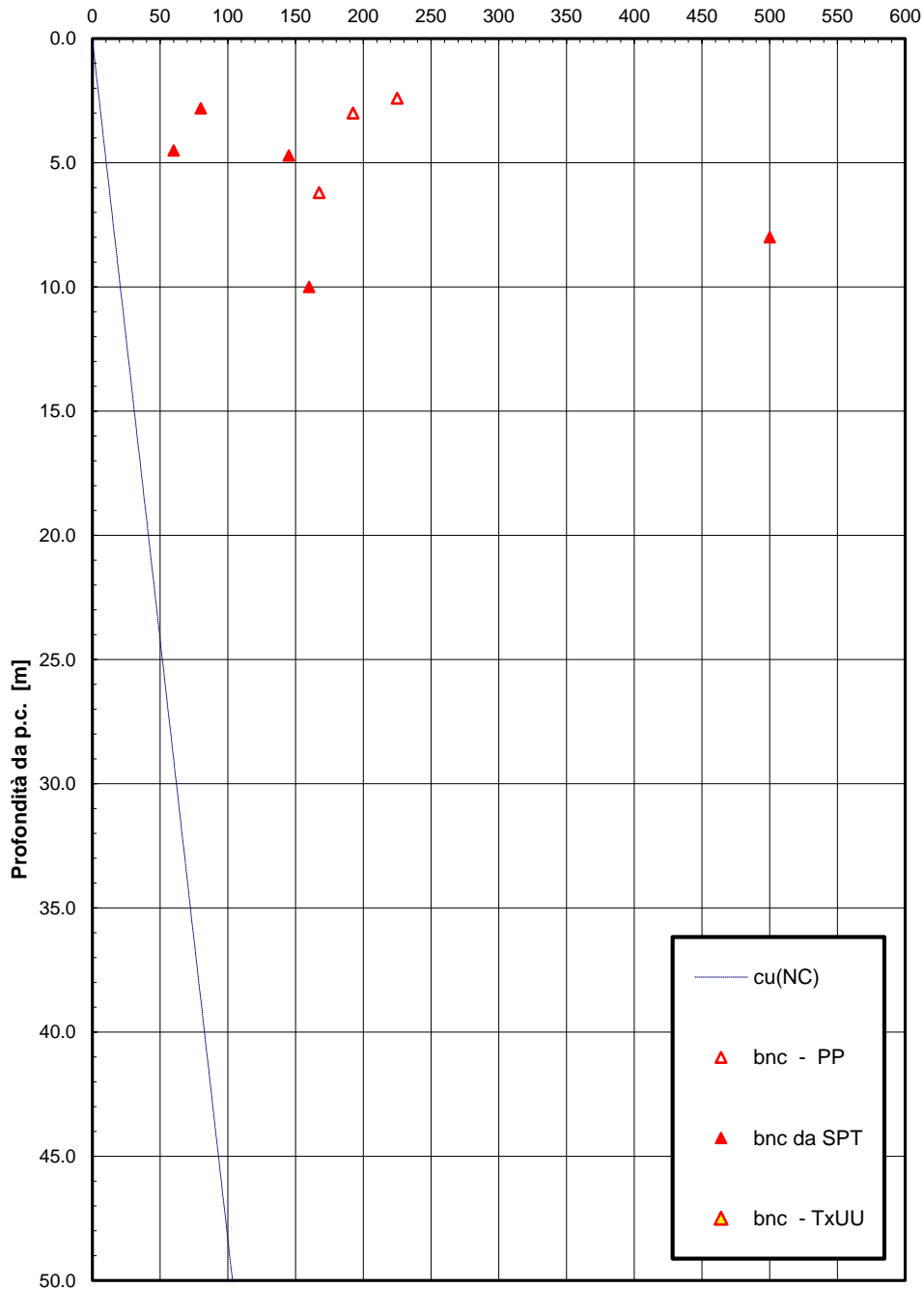


Figura 22 – Resistenza al taglio non drenata – unità bnc

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT (Stroud e Simpson et al.)**

$$E'_{op,2} = E_0 / 10 \text{ [MPa]}$$

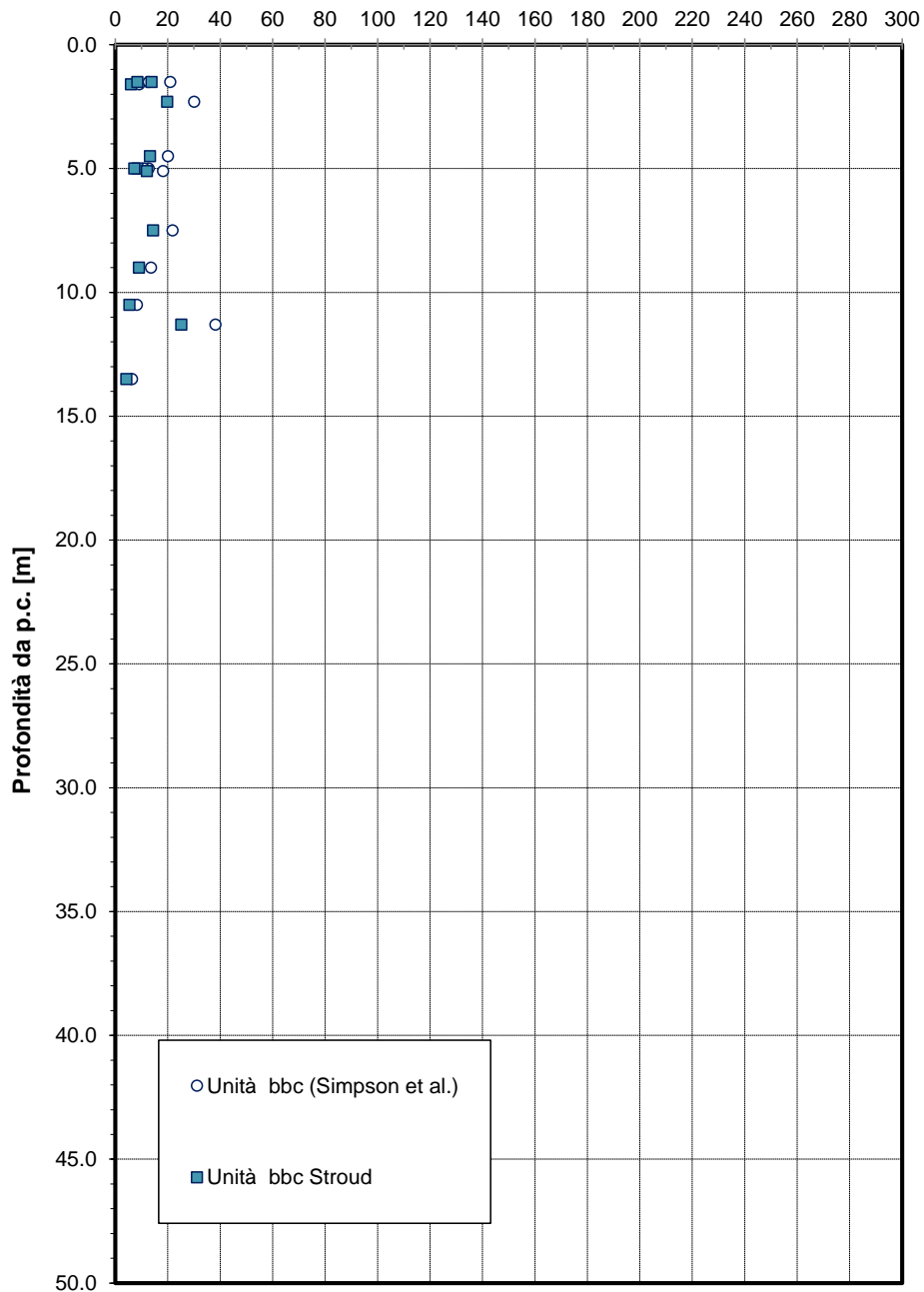


Figura 23 – Modulo di deformazione elastico operativo (Stroud, 1974) – unità bbc

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT (Stroud e Simpson et al.)**

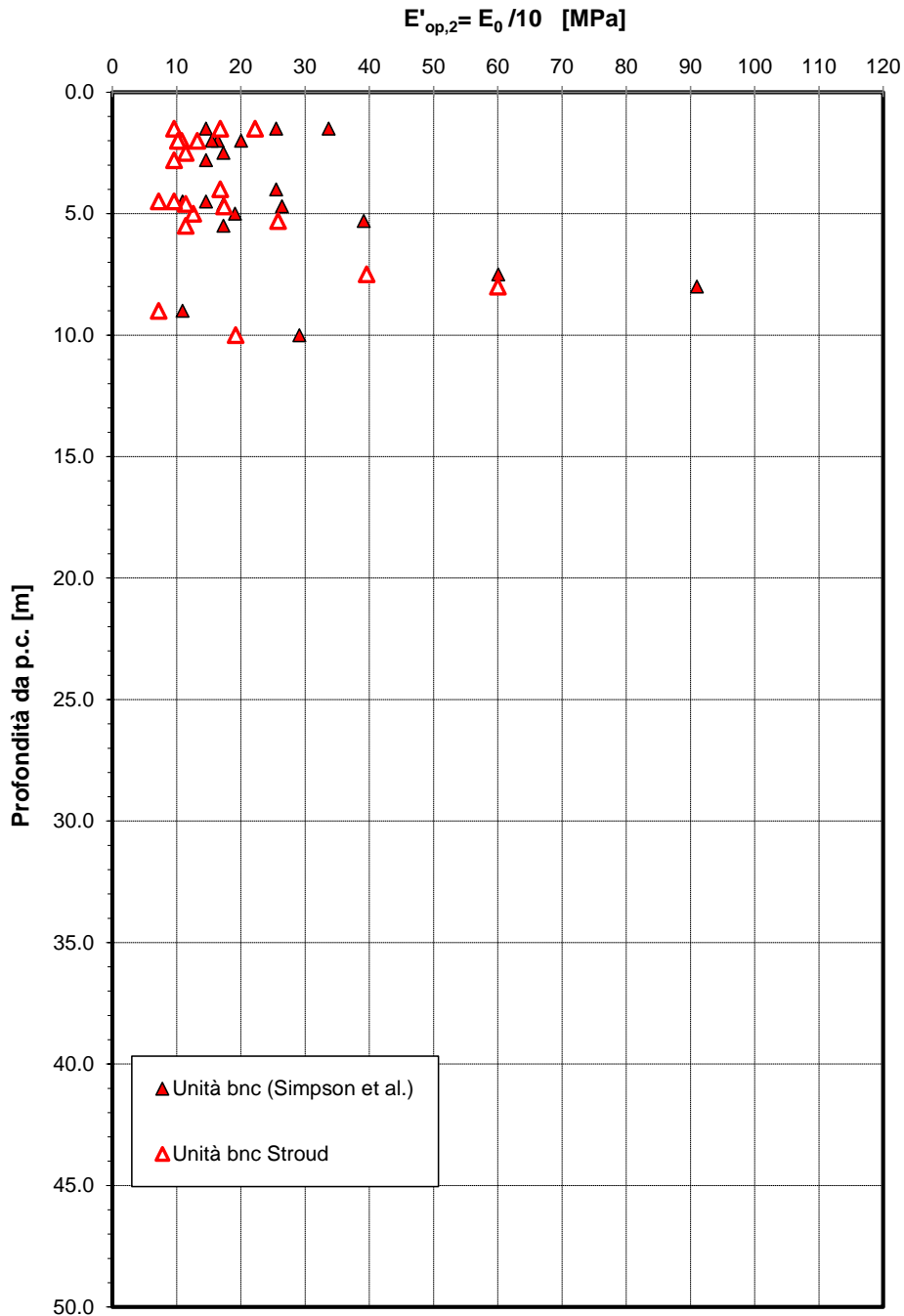


Figura 24 – Modulo di deformazione elastico operativo (Stroud, 1974) – unità bnc

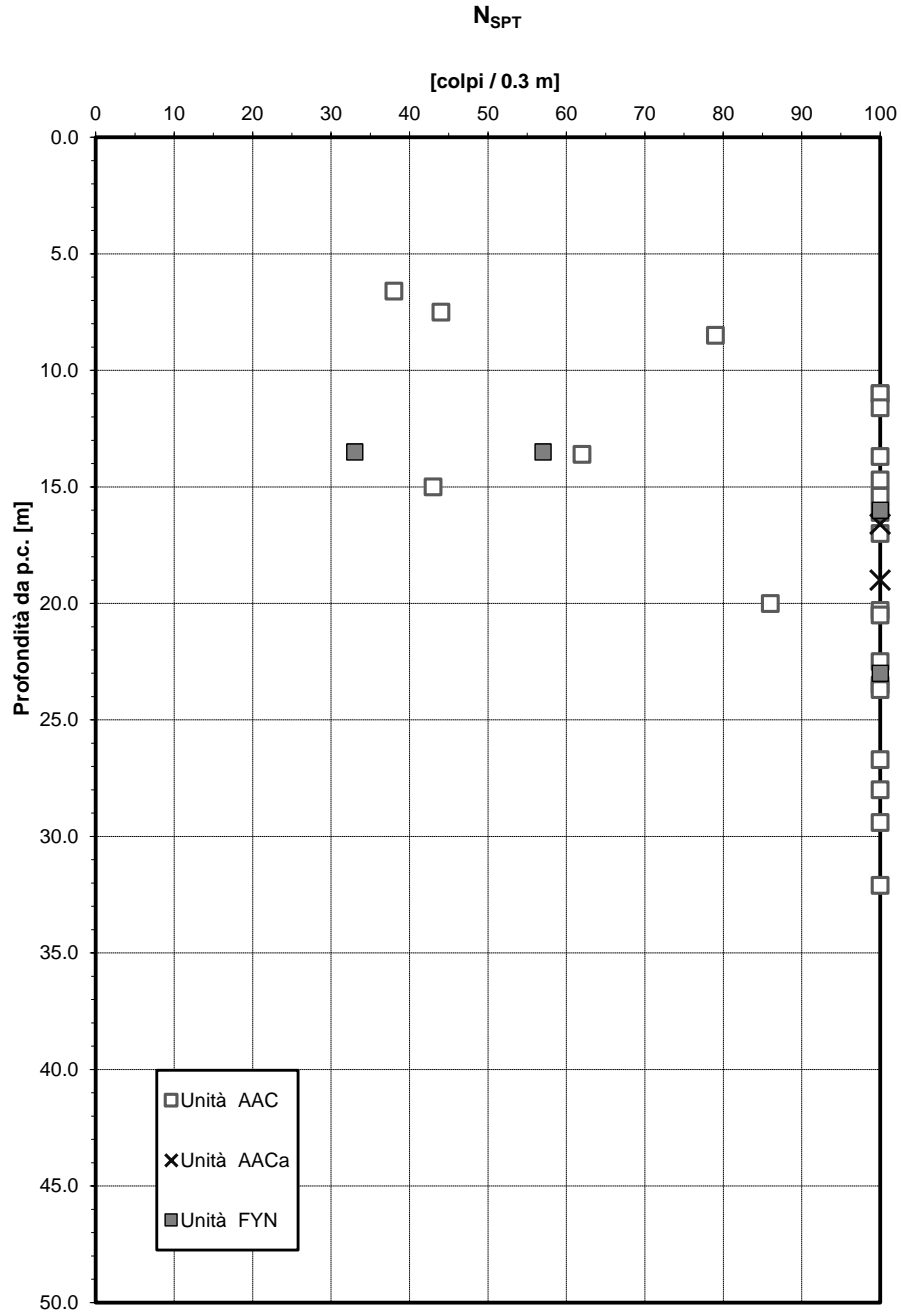


Figura 25 – Valori di N<sub>SPT</sub> – unità AAC, FYN

**Granulometria unità AAC**

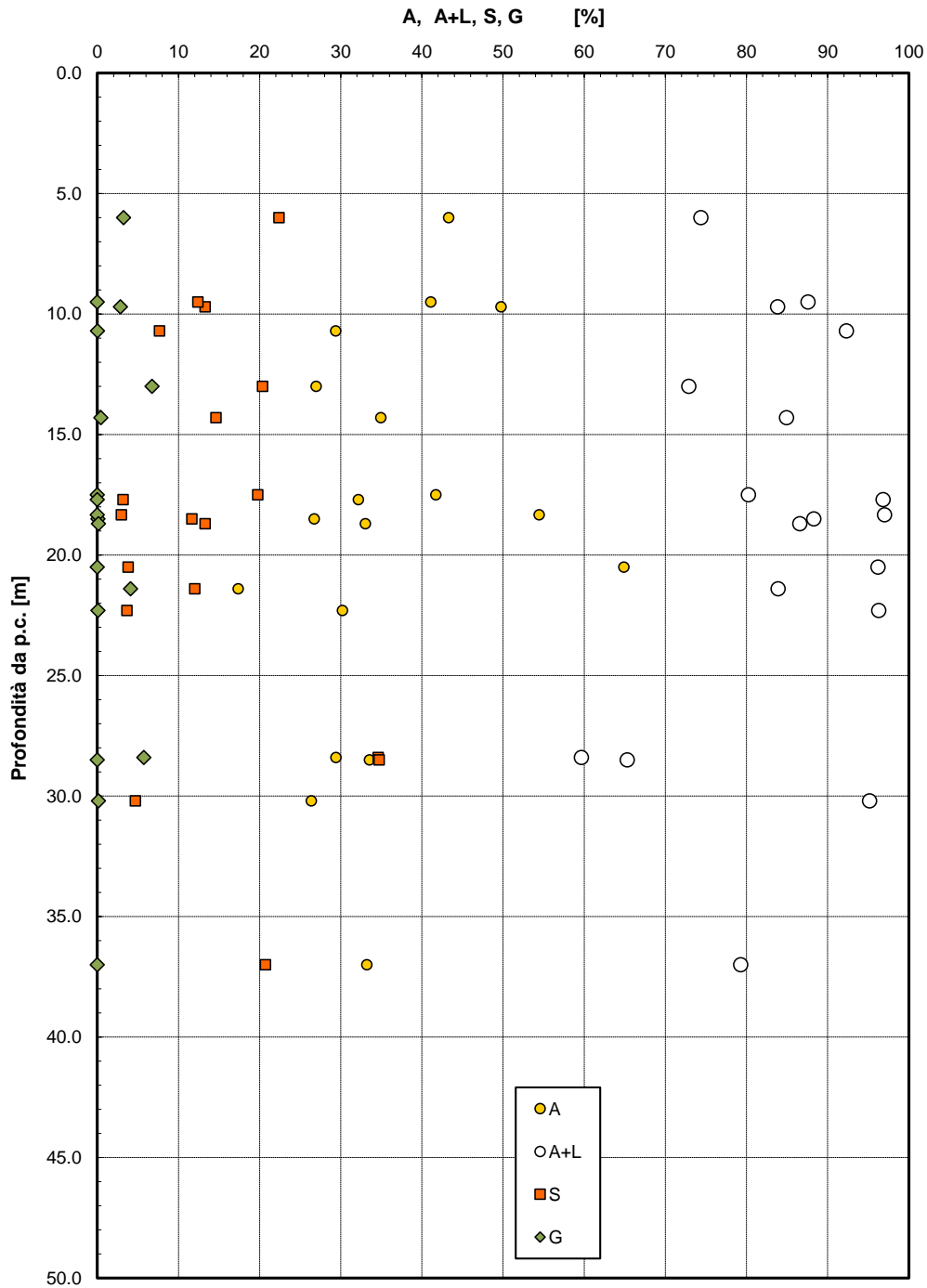


Figura 26 – Analisi granulometrica – Unità AAC

**Granulometria unità FYN**

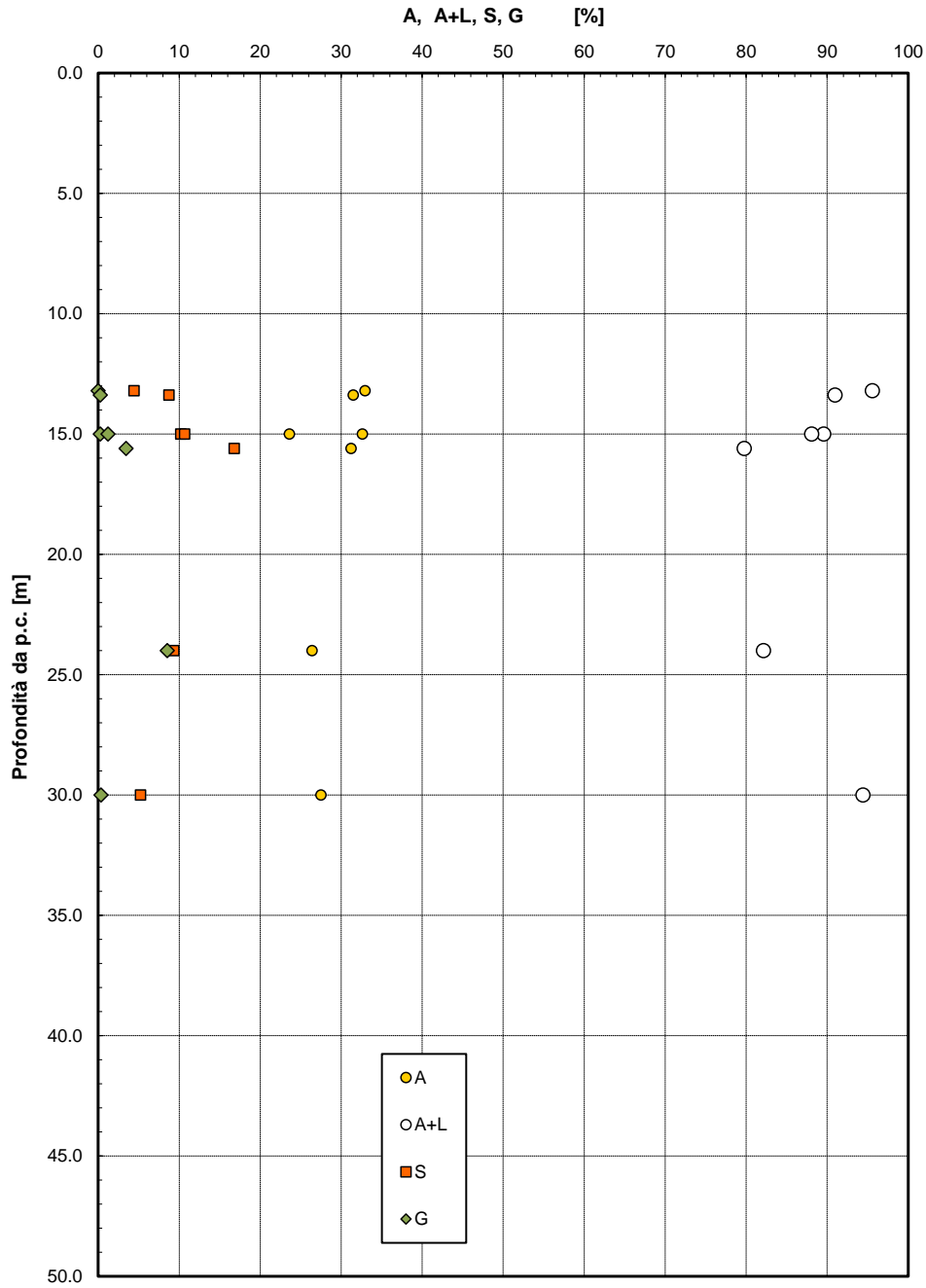


Figura 27 – Analisi granulometrica – Unità FYN

**Limiti di Atterberg**

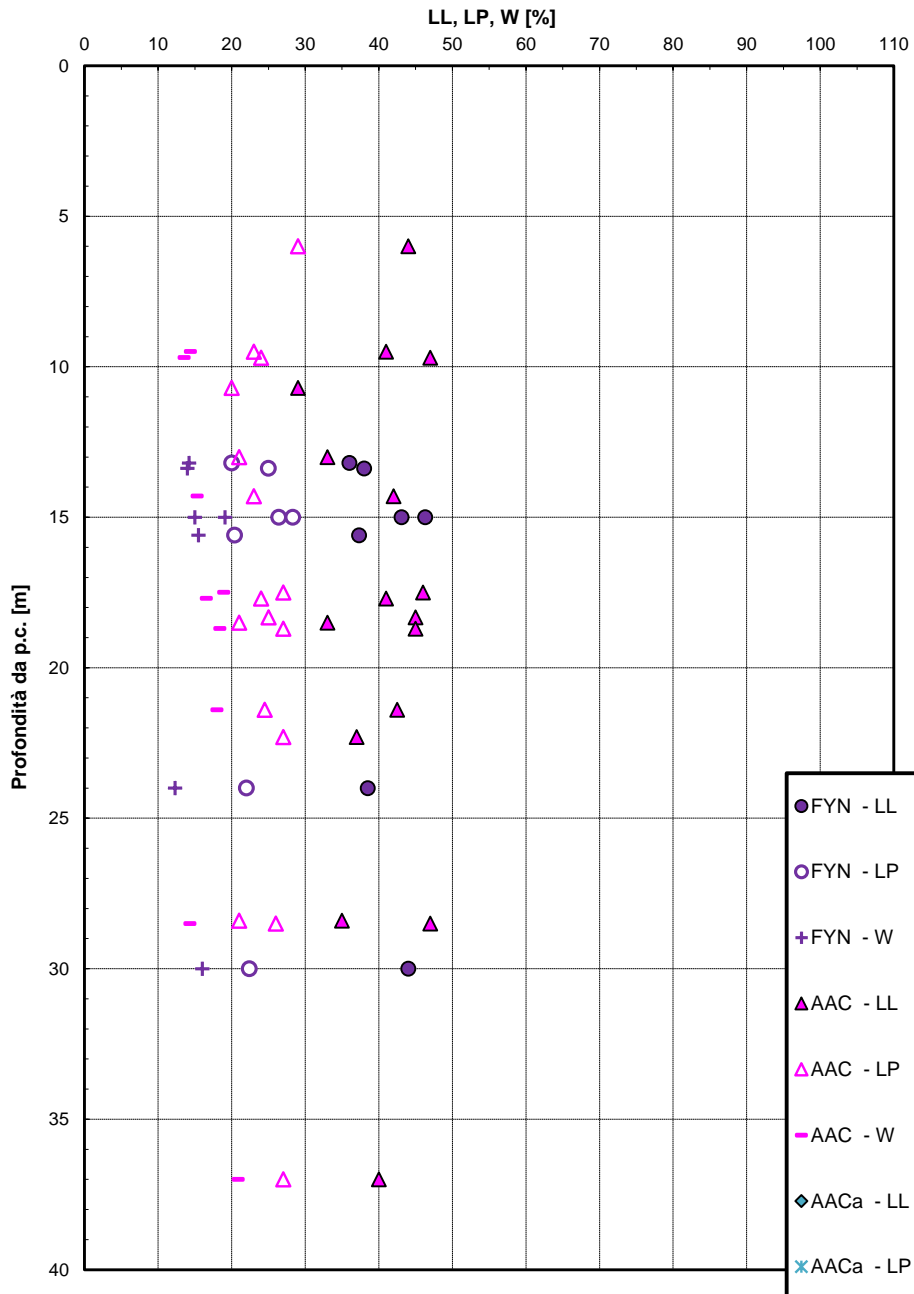


Figura 28 – Contenuto naturale d'acqua e limiti di consistenza – Unità AAC, FYN



**Carta di Plasticità di Casagrande**

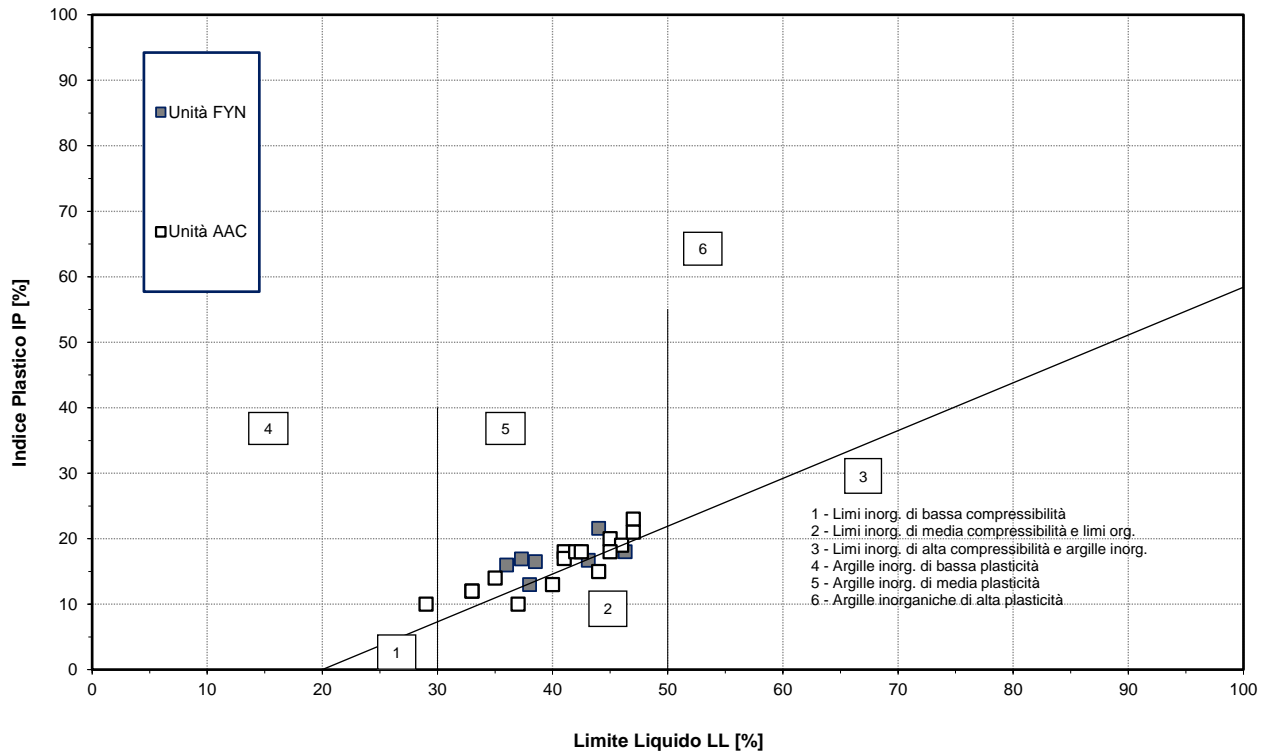


Figura 29 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità AAC, FYN

**Andamento dell'indice di consistenza**

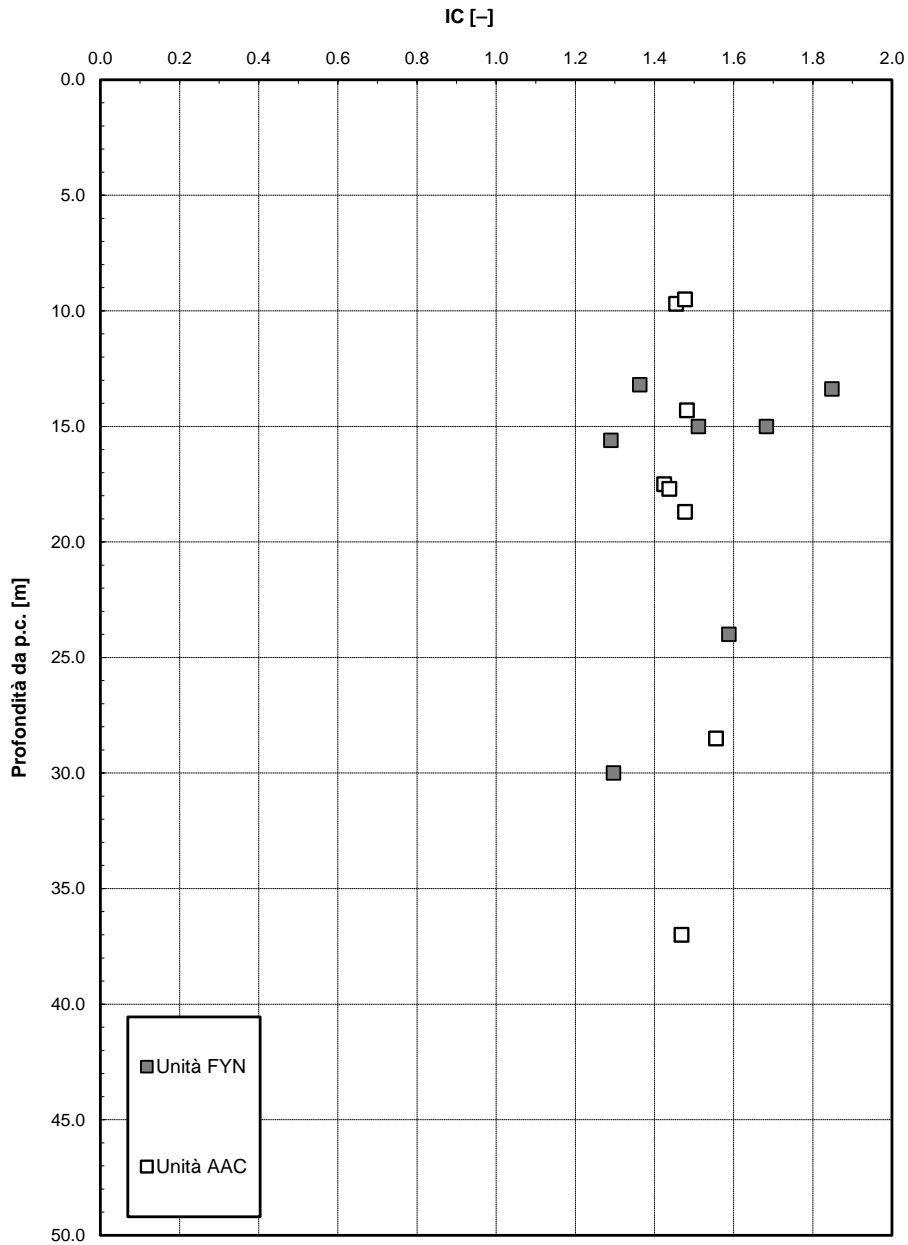


Figura 30 – Indice di consistenza – Unità AAC, FYN

**Andamento dell'indice plastico**

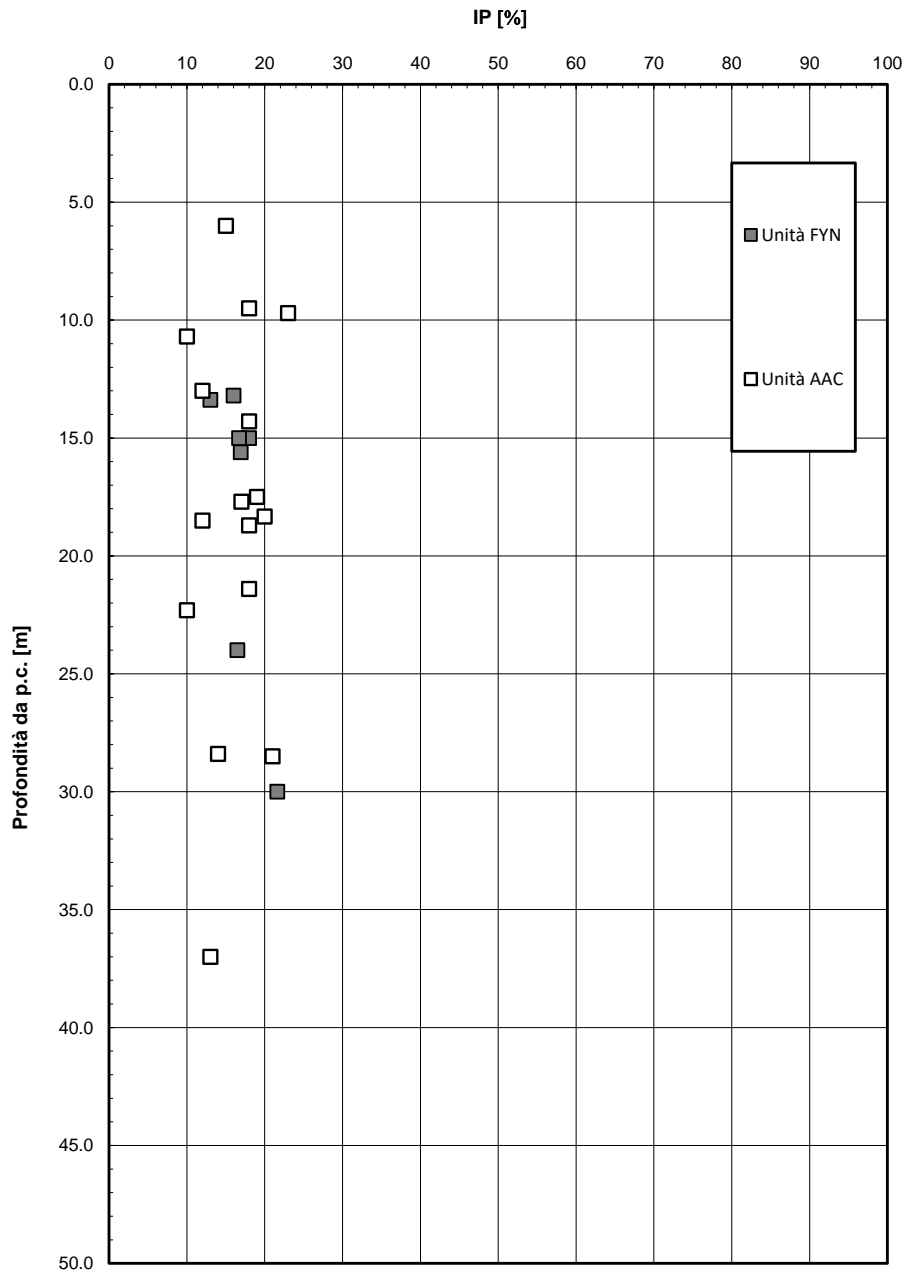


Figura 31 – Indice di plasticità – Unità AAC, FYN

**Andamento della coesione con la profondità**

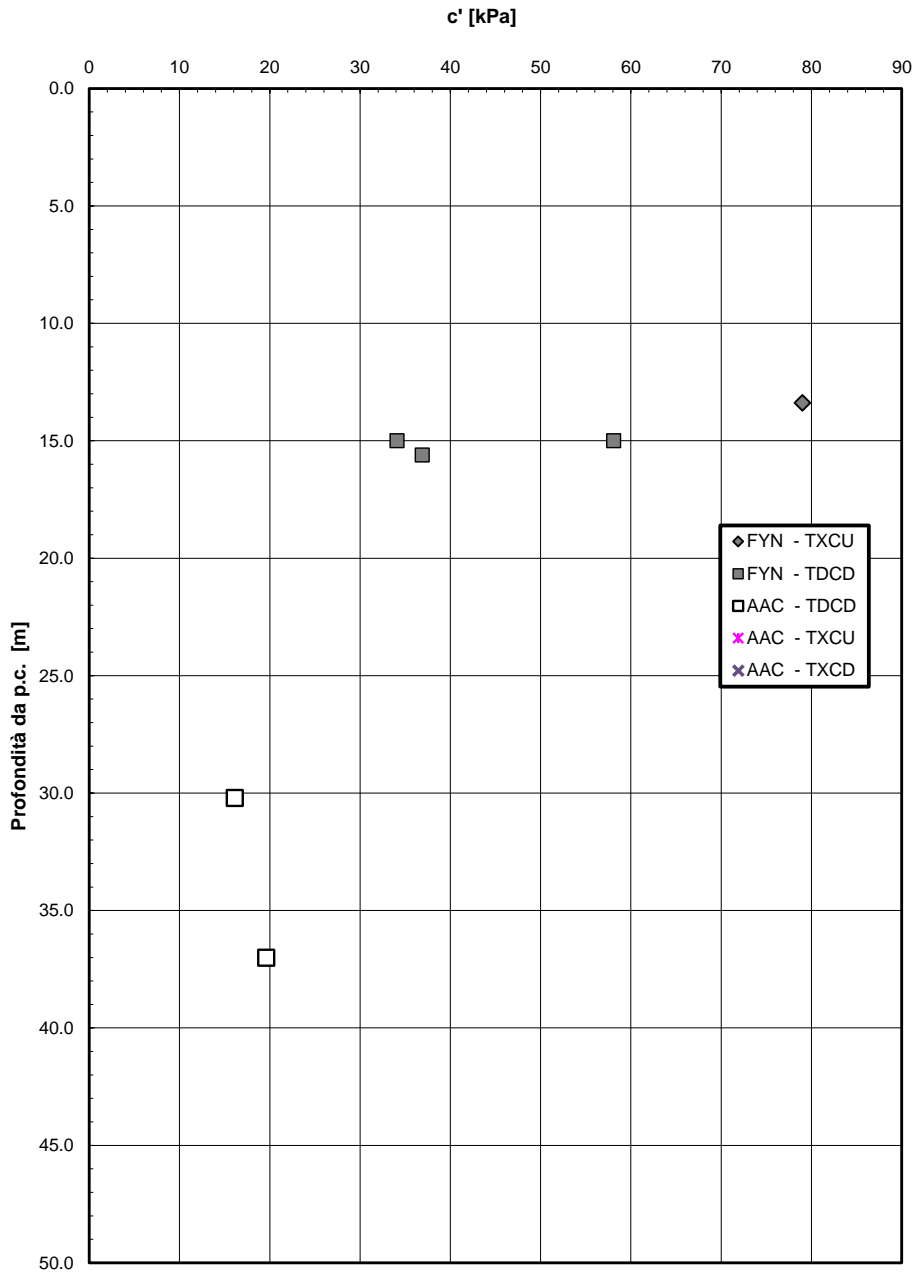


Figura 32 – Andamento della coesione con la profondità –Unità AAC, FYN

**Andamento della resistenza al taglio con la profondità**

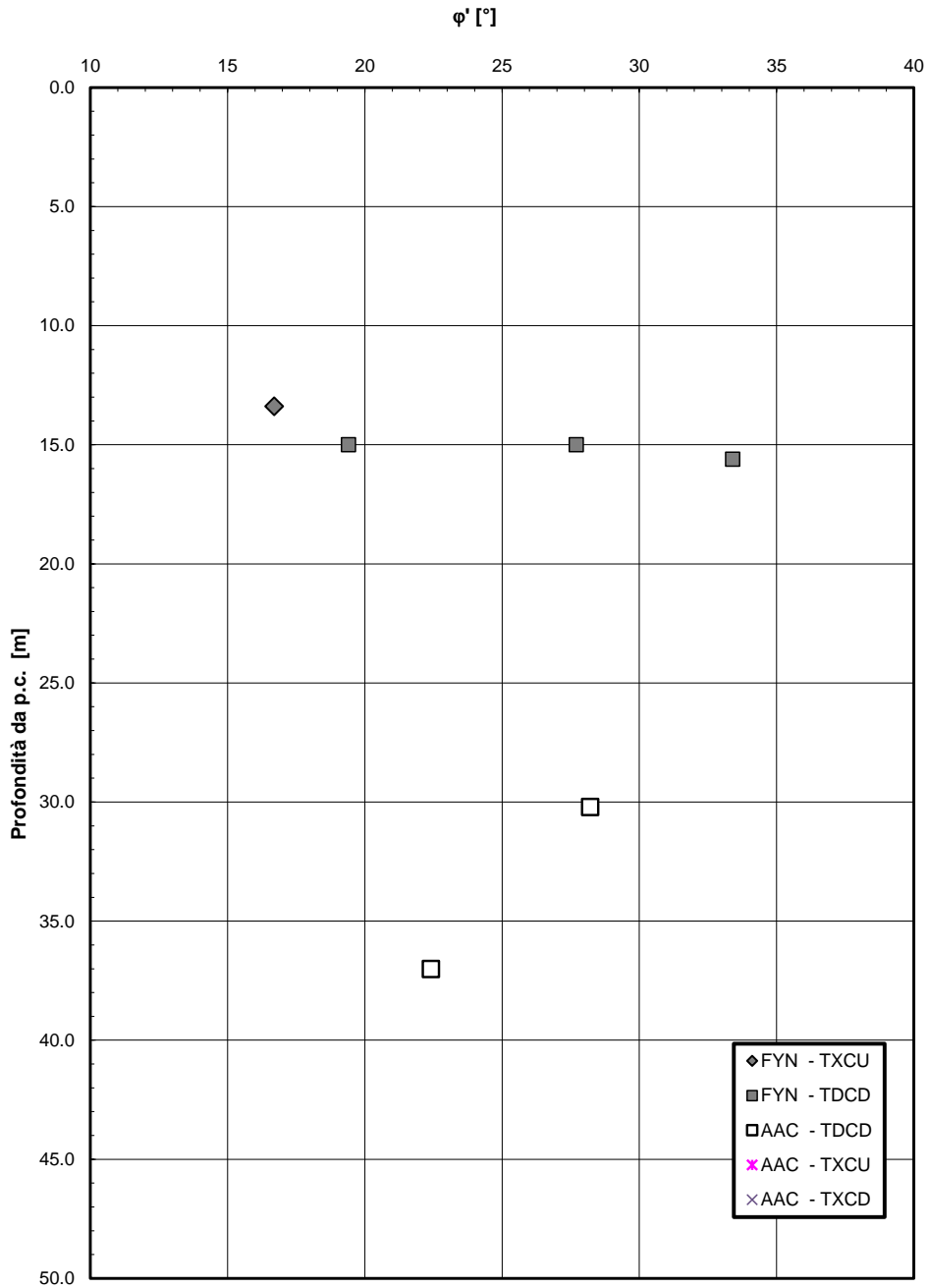


Figura 33 – Andamento della resistenza al taglio con la profondità –Unità AAC, FYN

**Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio**

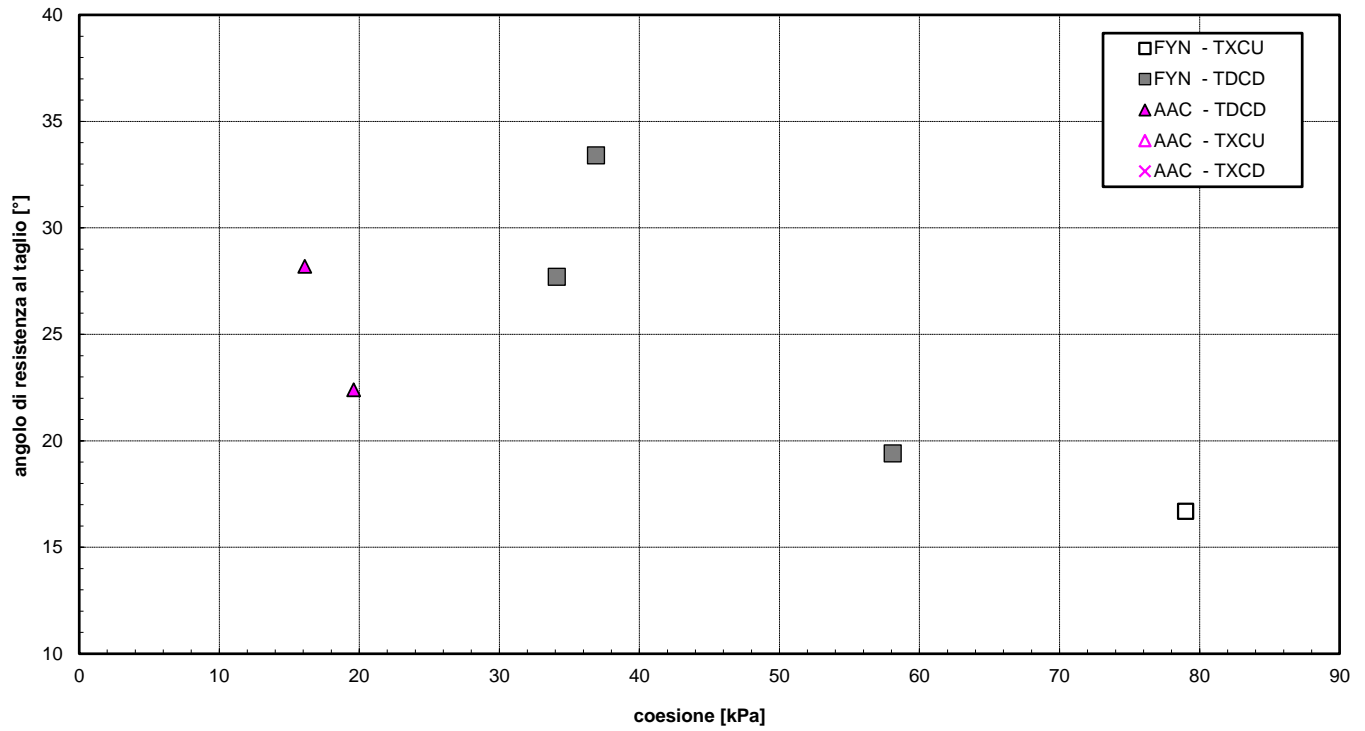


Figura 34 – Resistenza al taglio e coesione drenata (laboratorio) –Unità AAC, FYN

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**

cu [kPa]

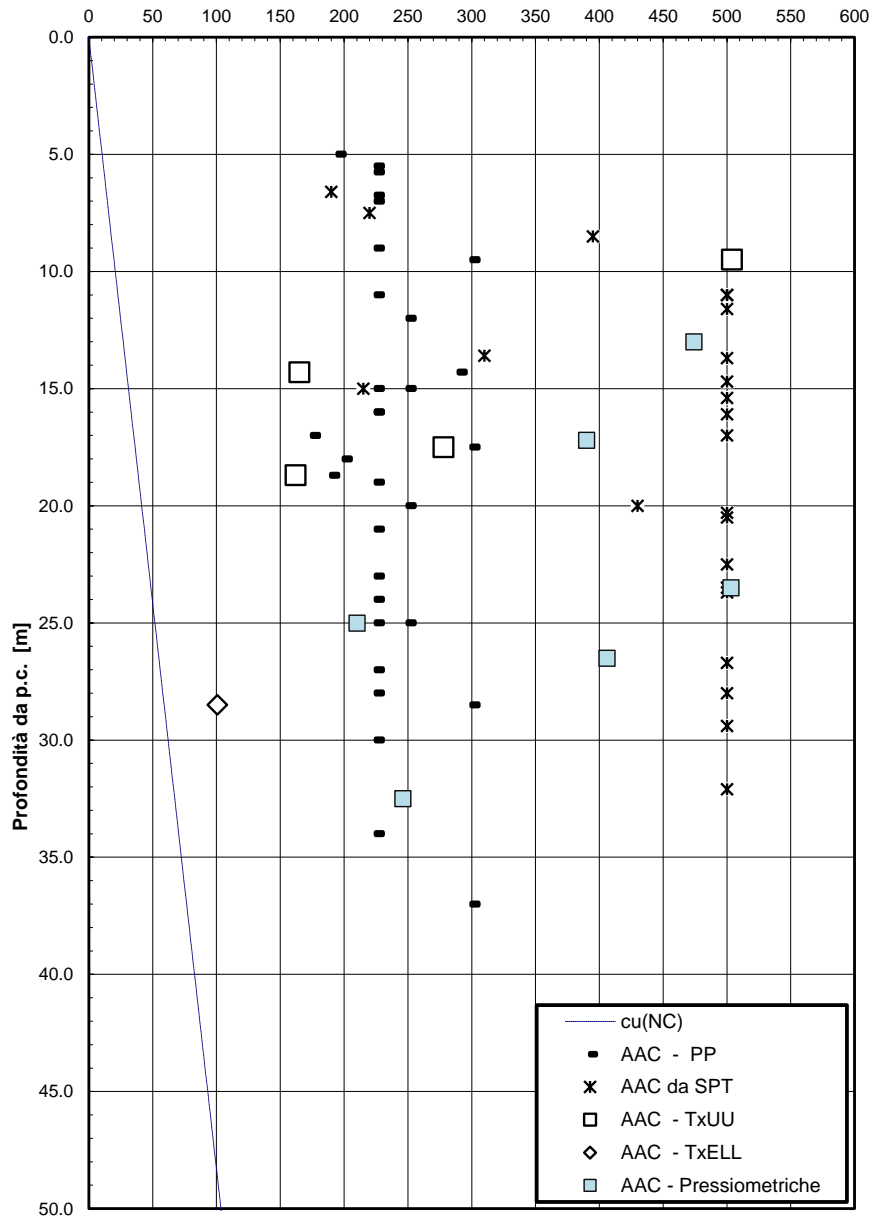


Figura 35 – Resistenza al taglio non drenata –Unità AAC





**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT (Stroud e Simpson et al.)**

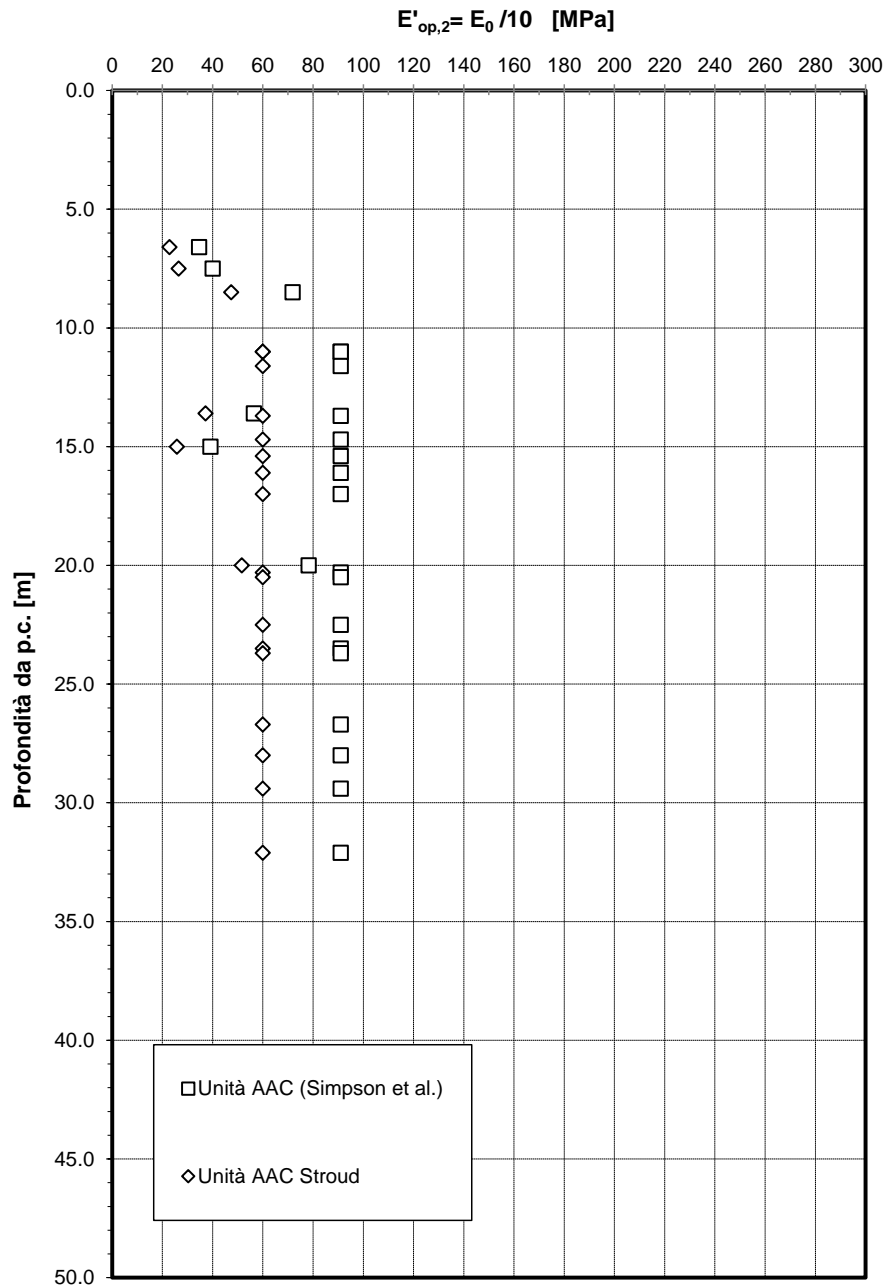


Figura 37 – Modulo di deformazione operativo da SPT –Unità AAC

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT (Stroud e Simpson et al.)**

$$E'_{op,2} = E_0 / 10 \text{ [MPa]}$$

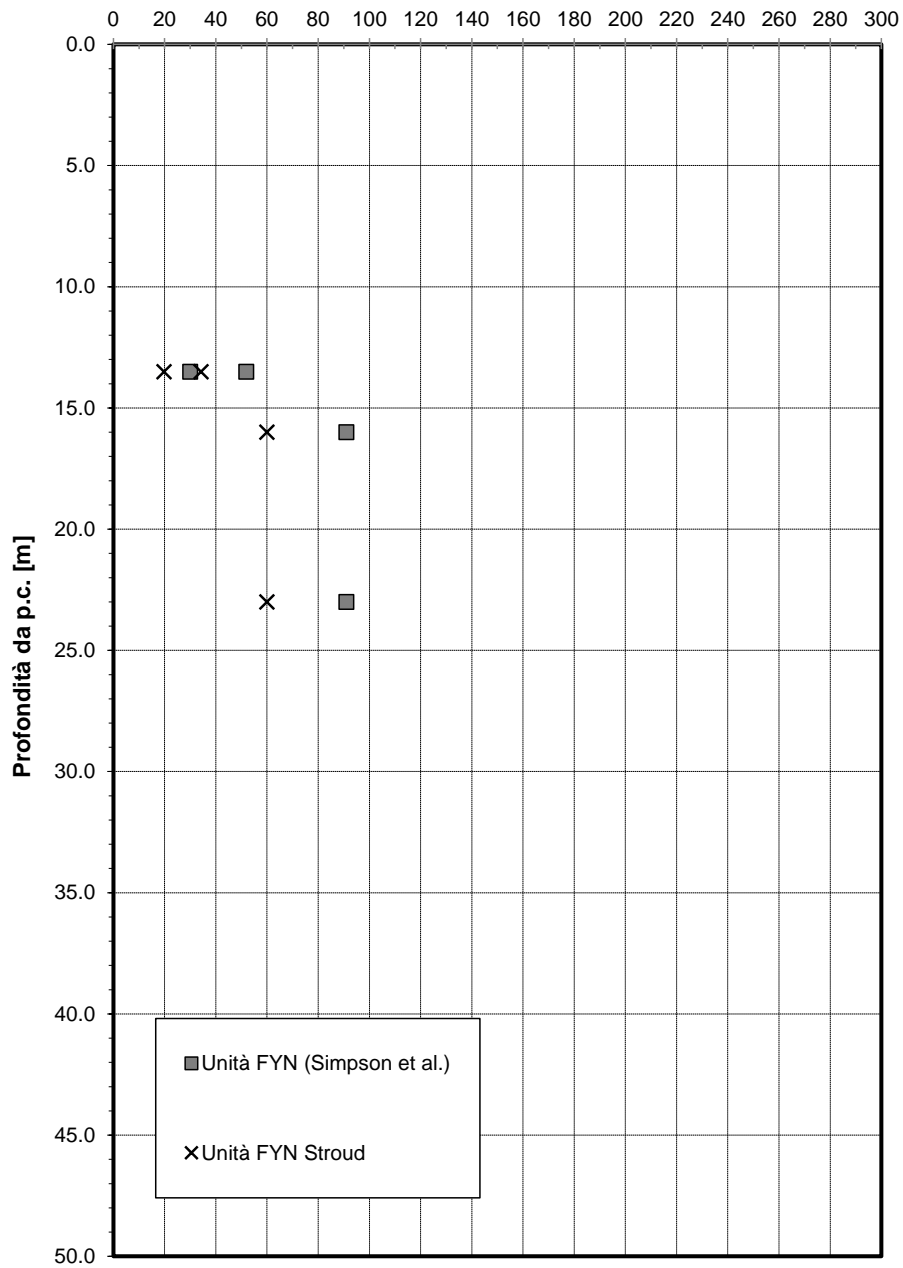


Figura 38 – Modulo di deformazione elastico operativo– unità FYN

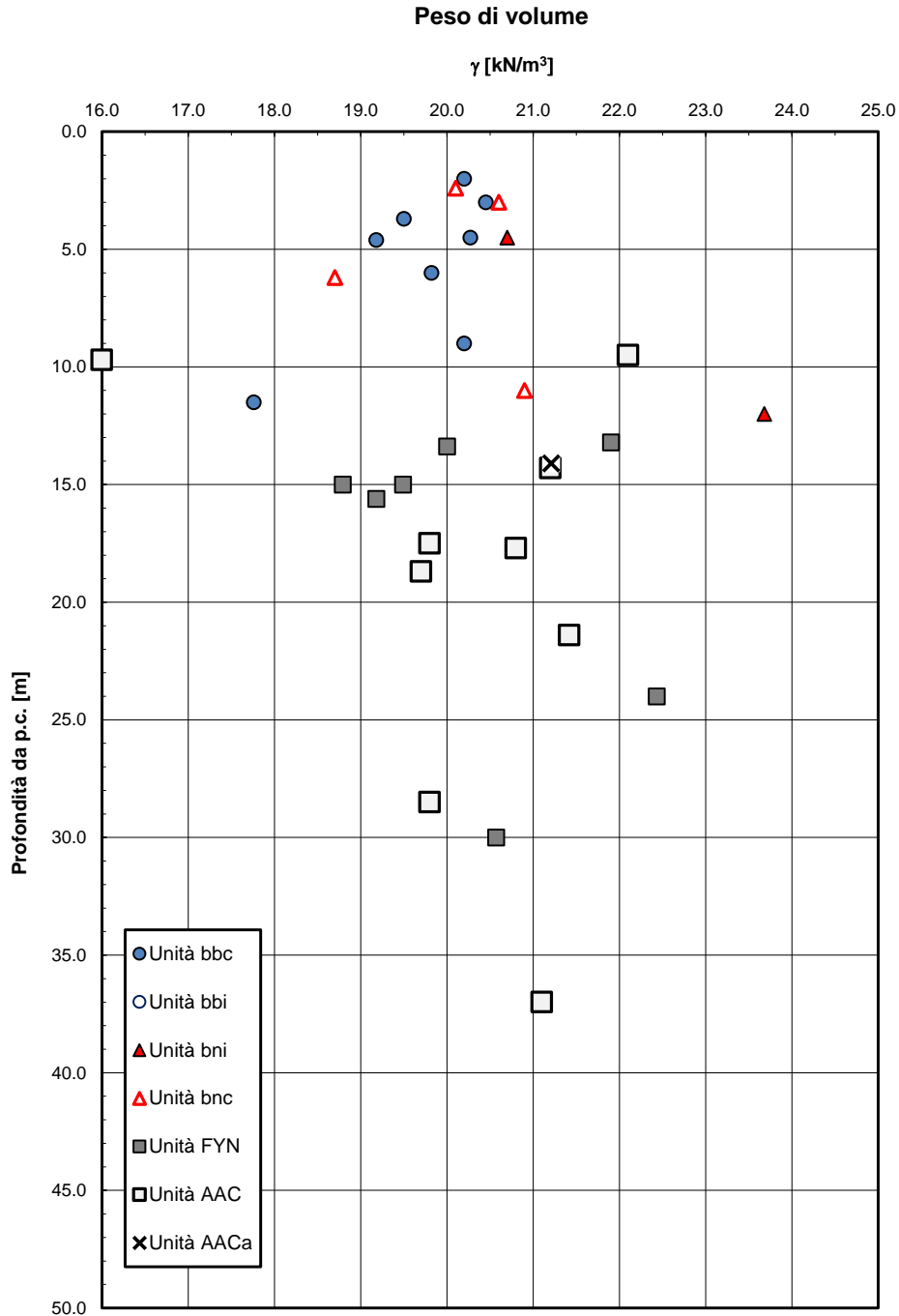


Figura 39 – Peso di volume naturale

**Resistenza a compressione monoassiale**

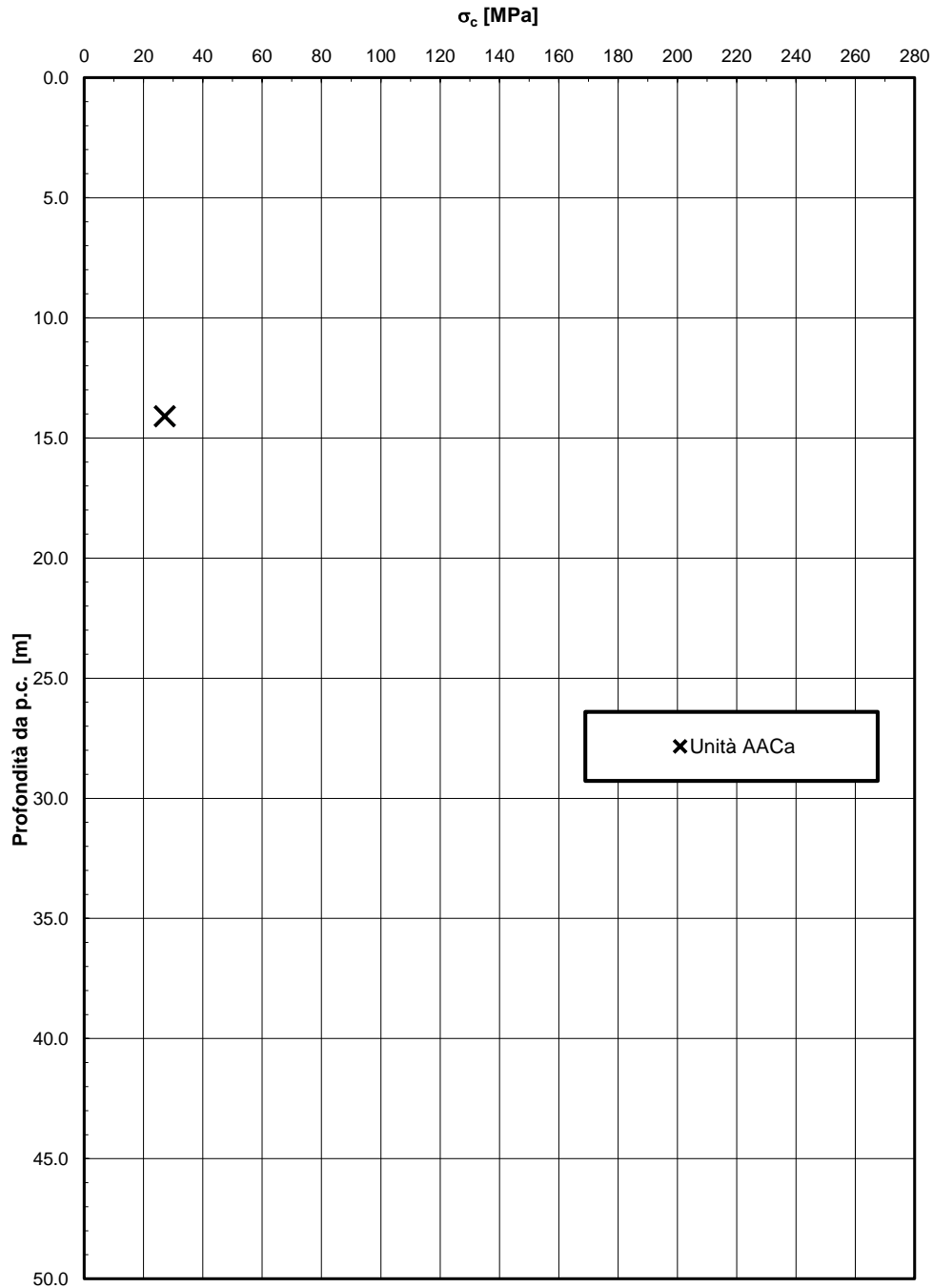


Figura 40 – Resistenza a compressione monoassiale – roccia

**Modulo di deformazione edometrico**

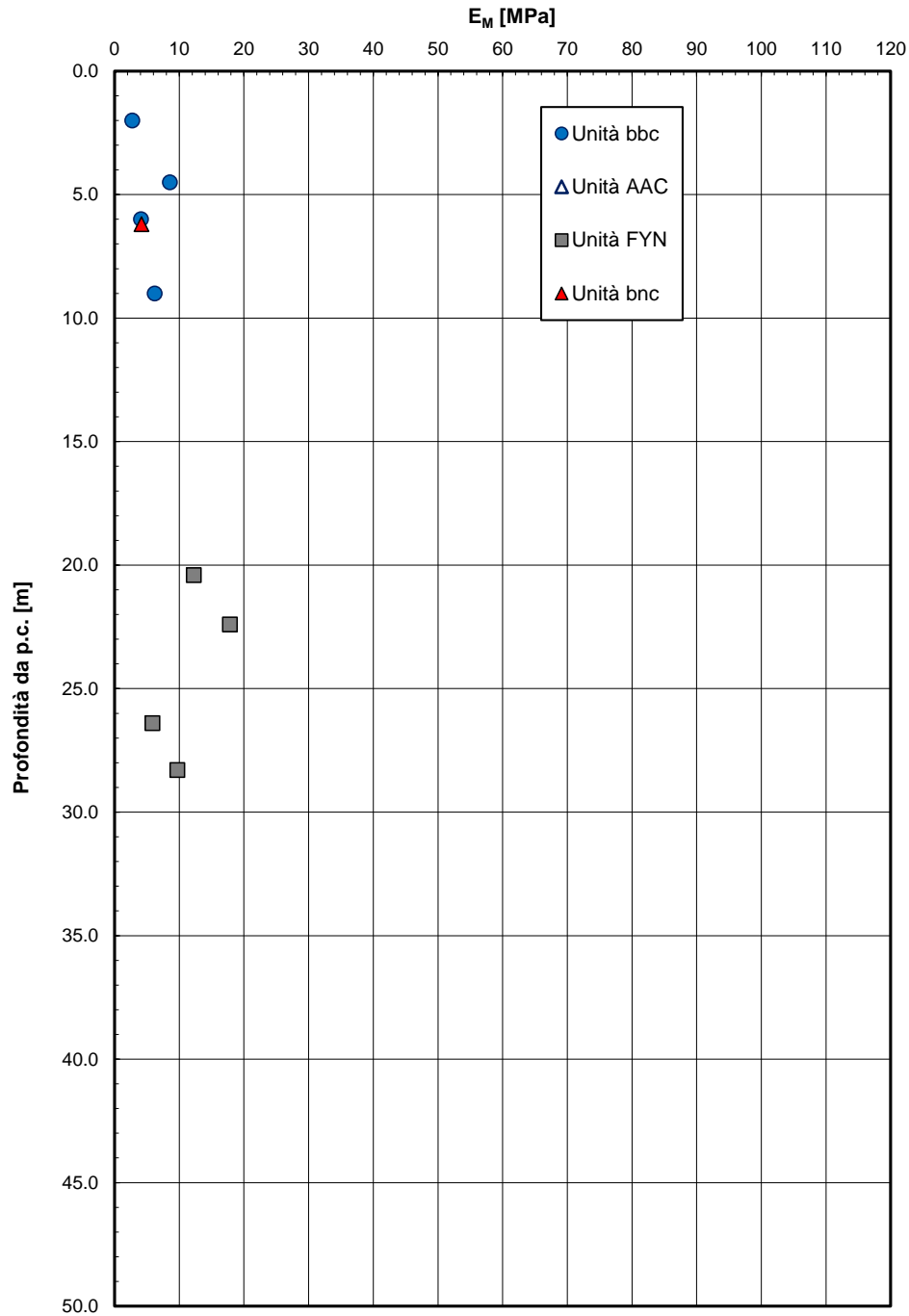


Figura 41 – Modulo edometrico (laboratorio)

### Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

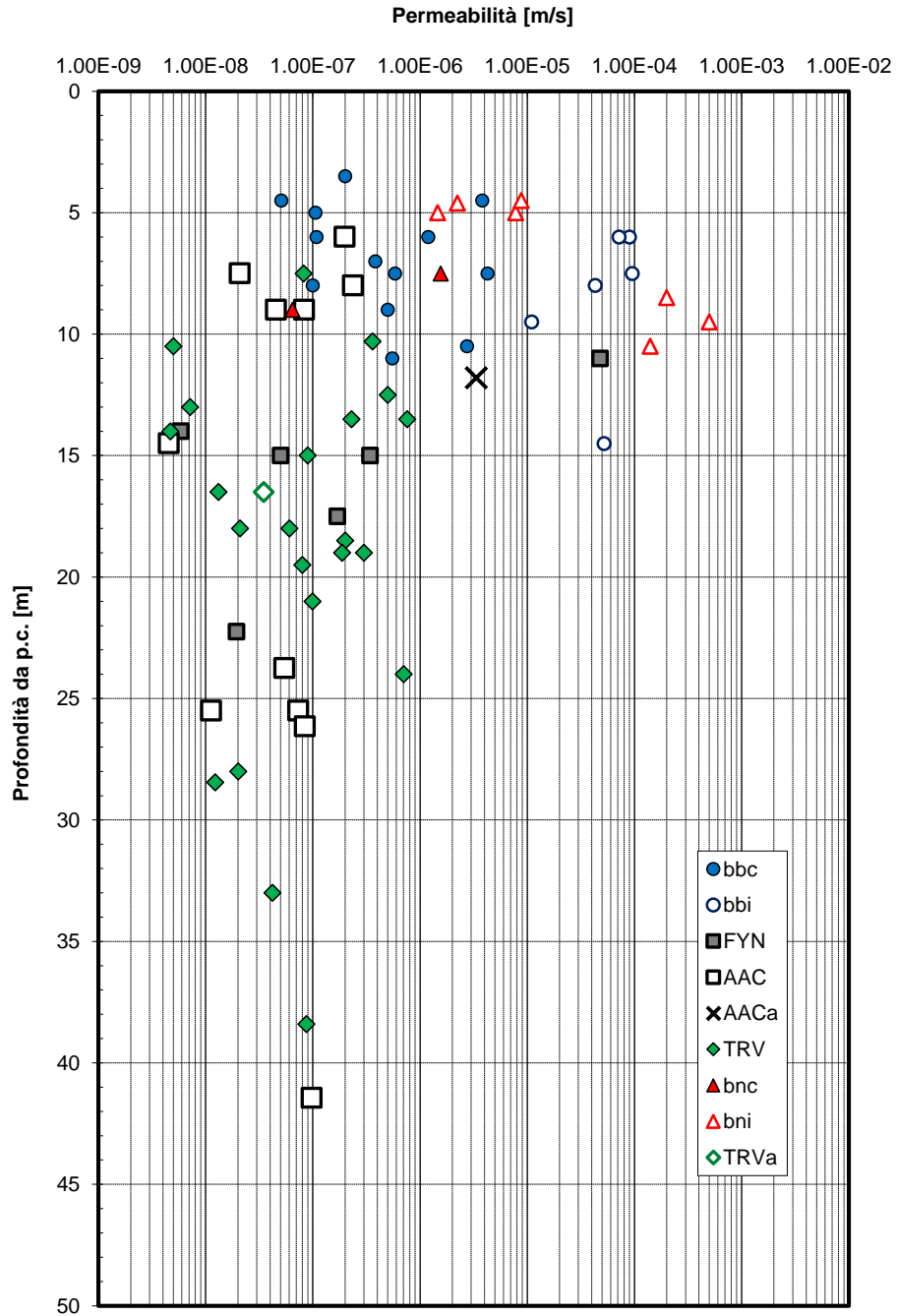


Figura 42 – Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

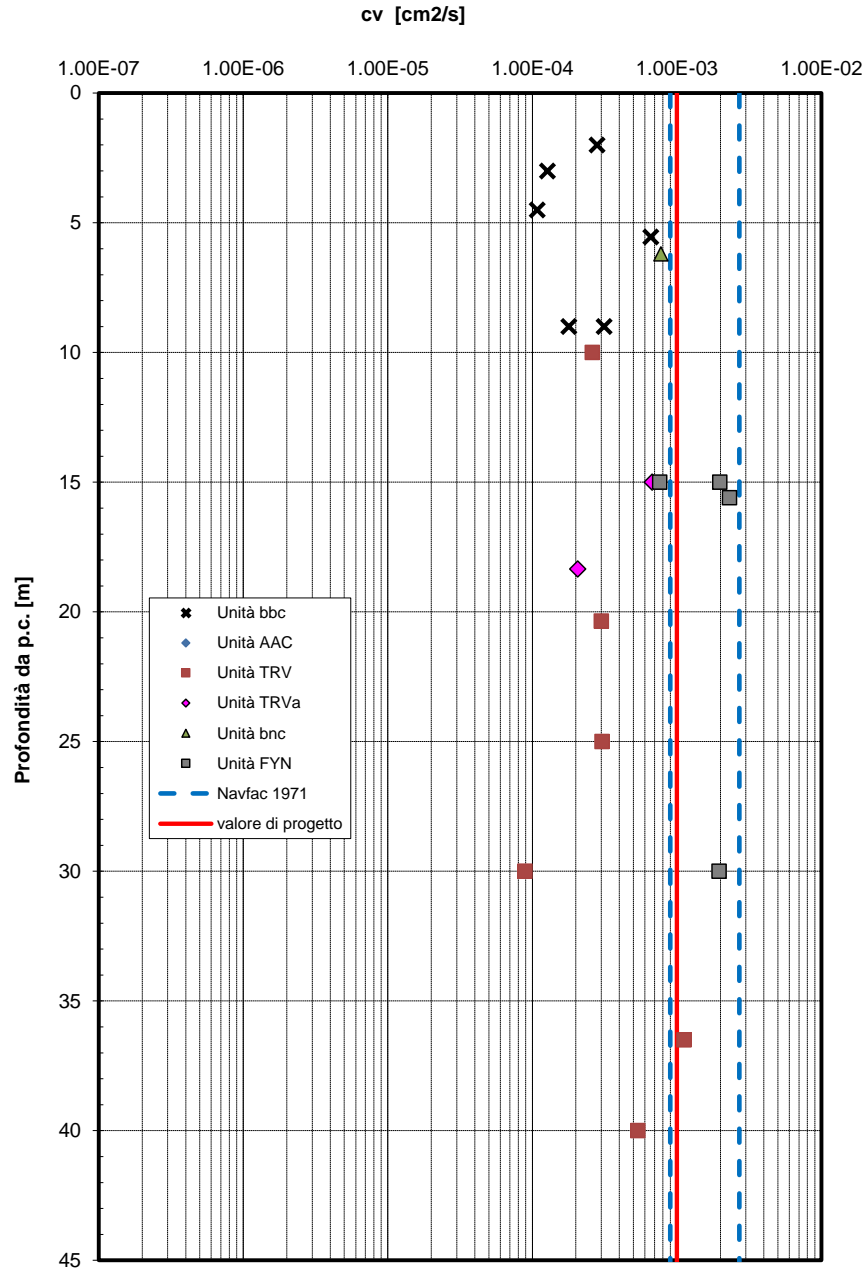


Figura 43 – Coefficiente di consolidazione primaria da prove edometriche (laboratorio)

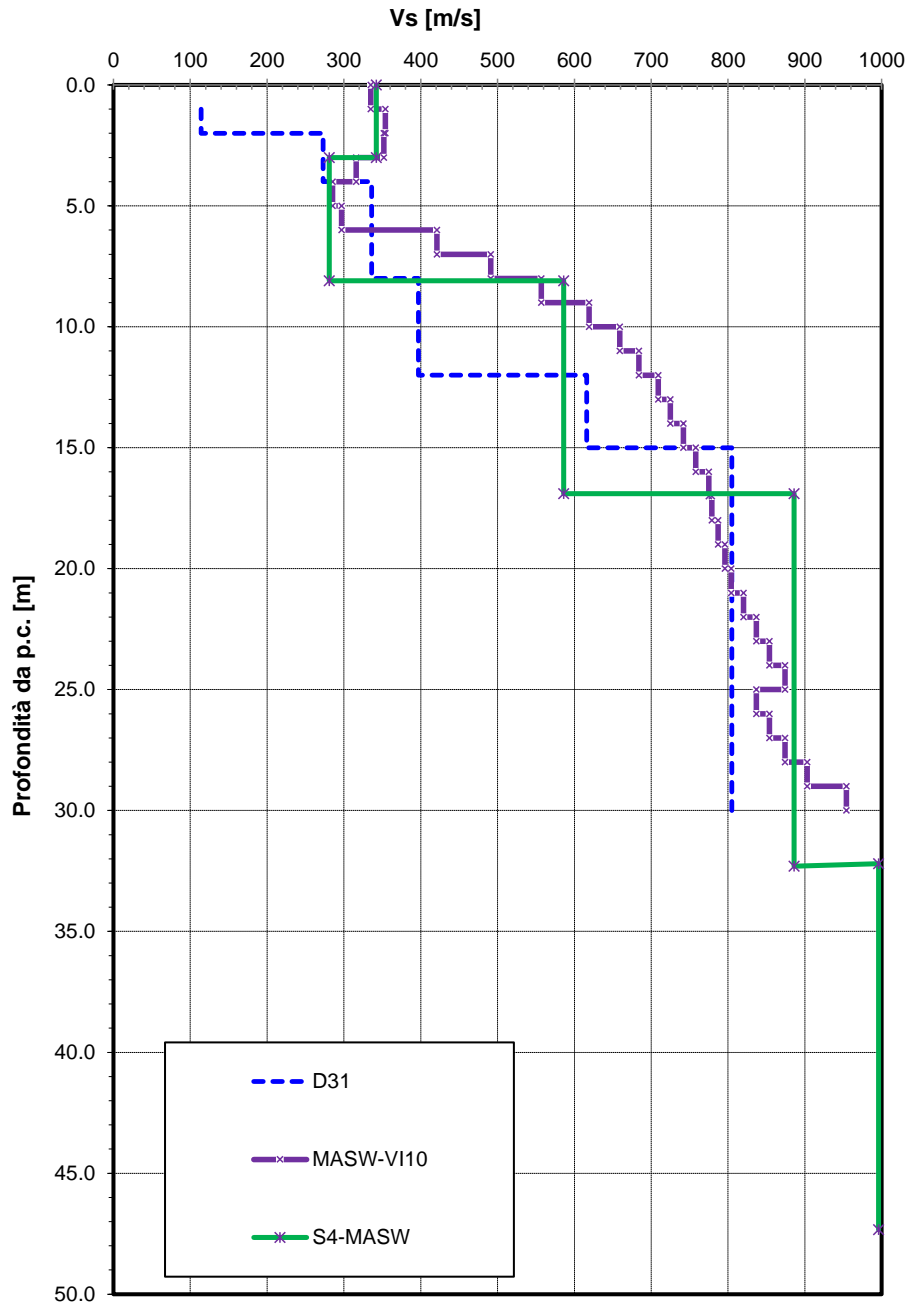


Figura 44 – Velocità di taglio da prove DH e MASW



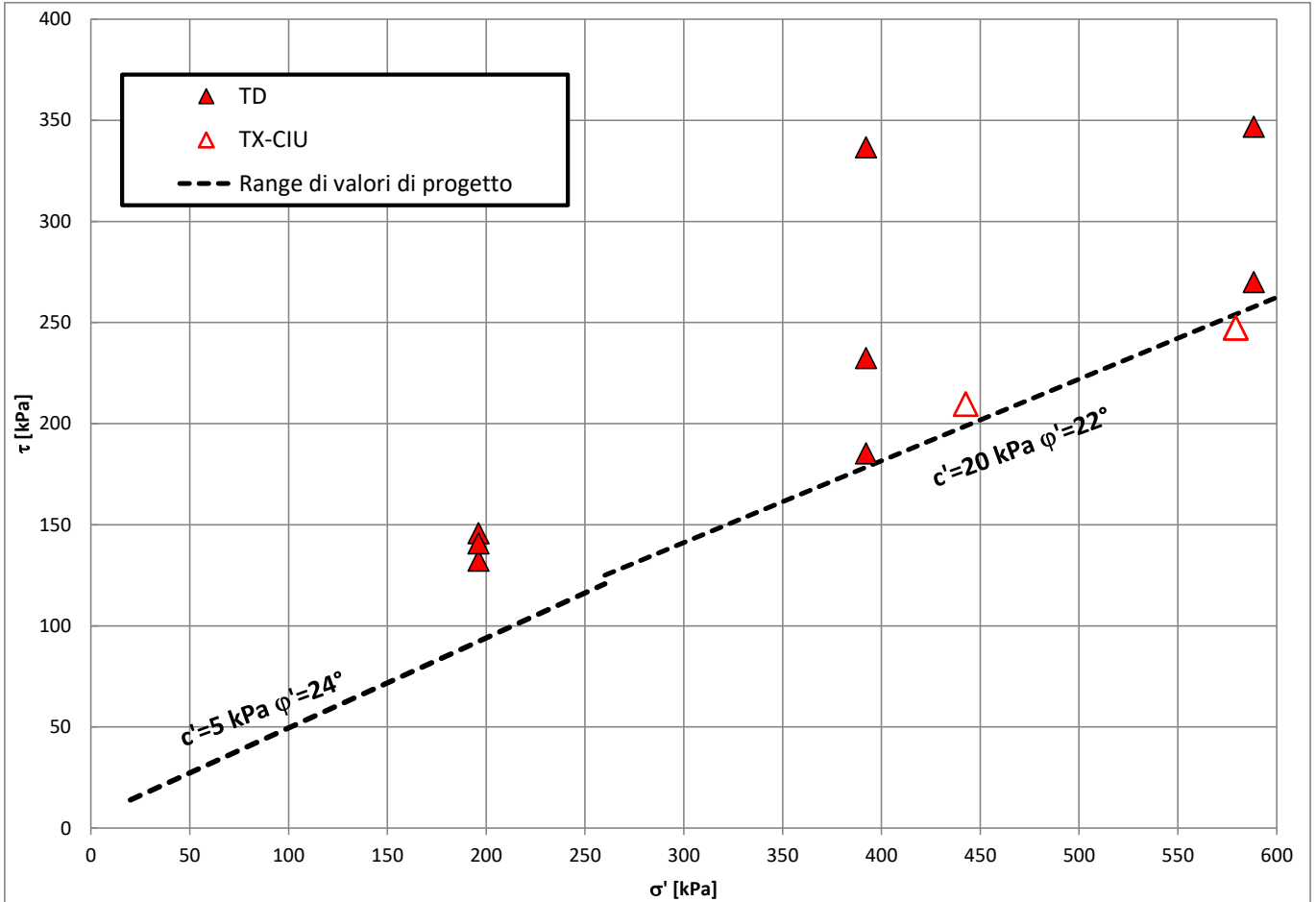


Figura 45 – Formazione FYN

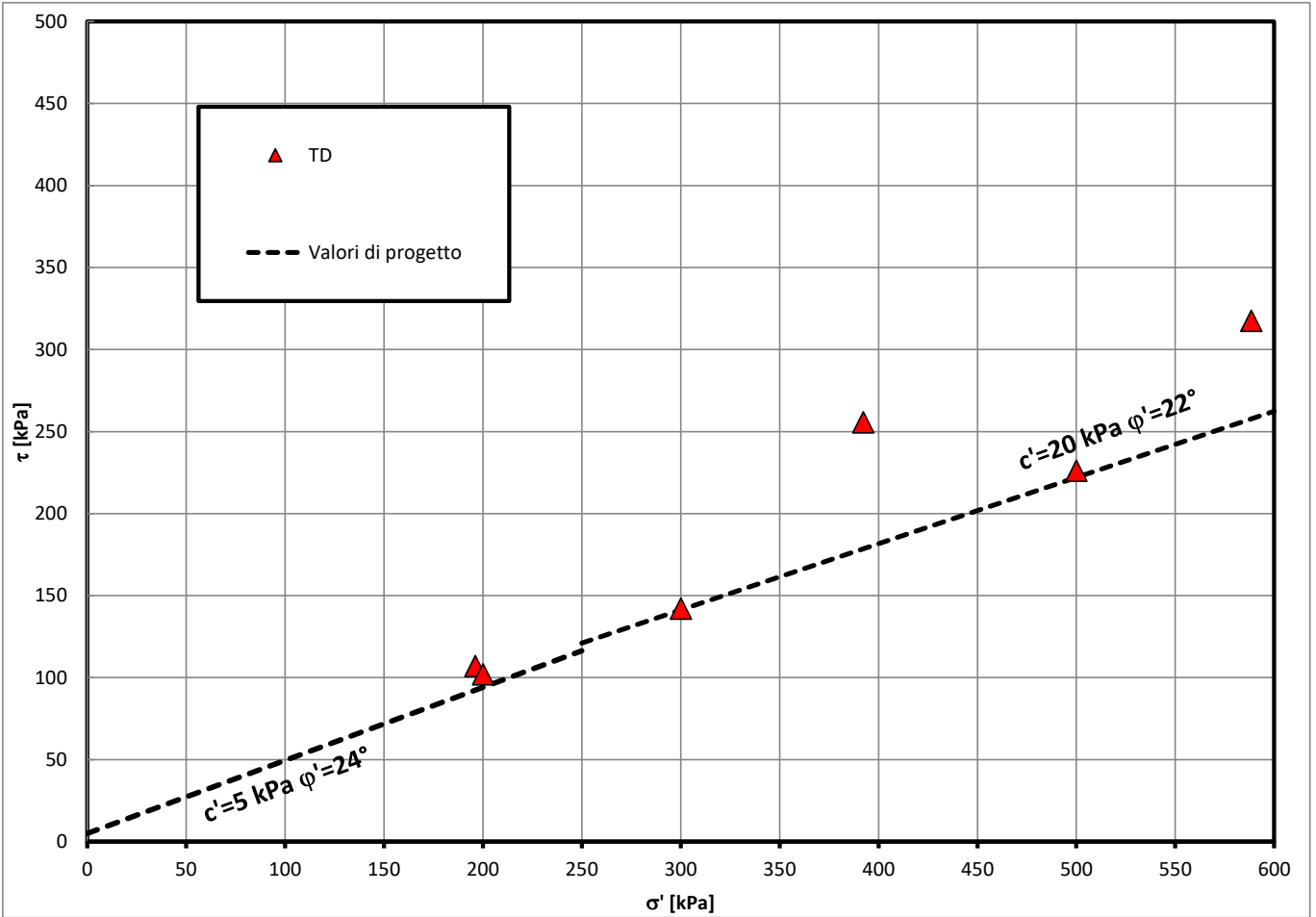


Figura 46 – Formazione AAC

### Parametri di resistenza al taglio - Unità bbc

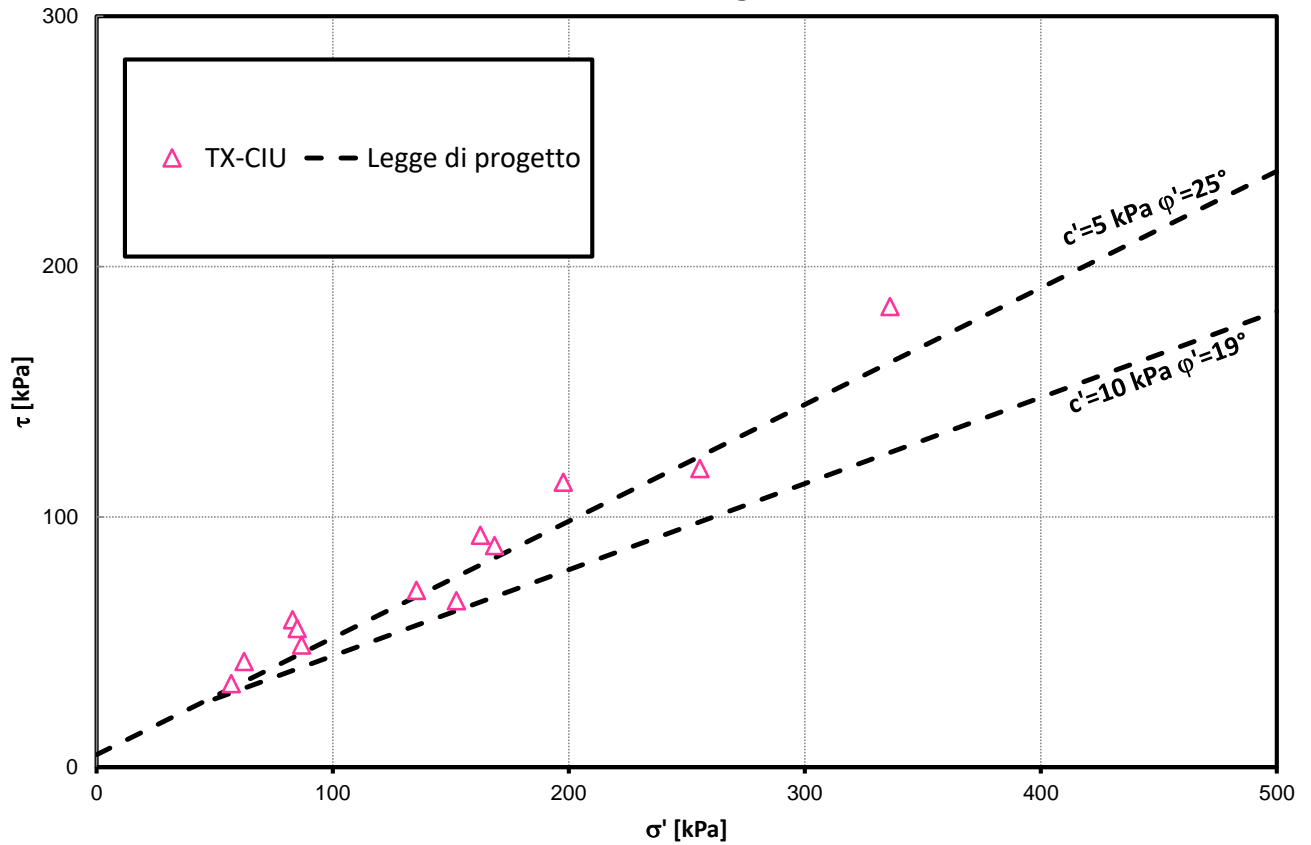


Figura 47 – Formazione bbc

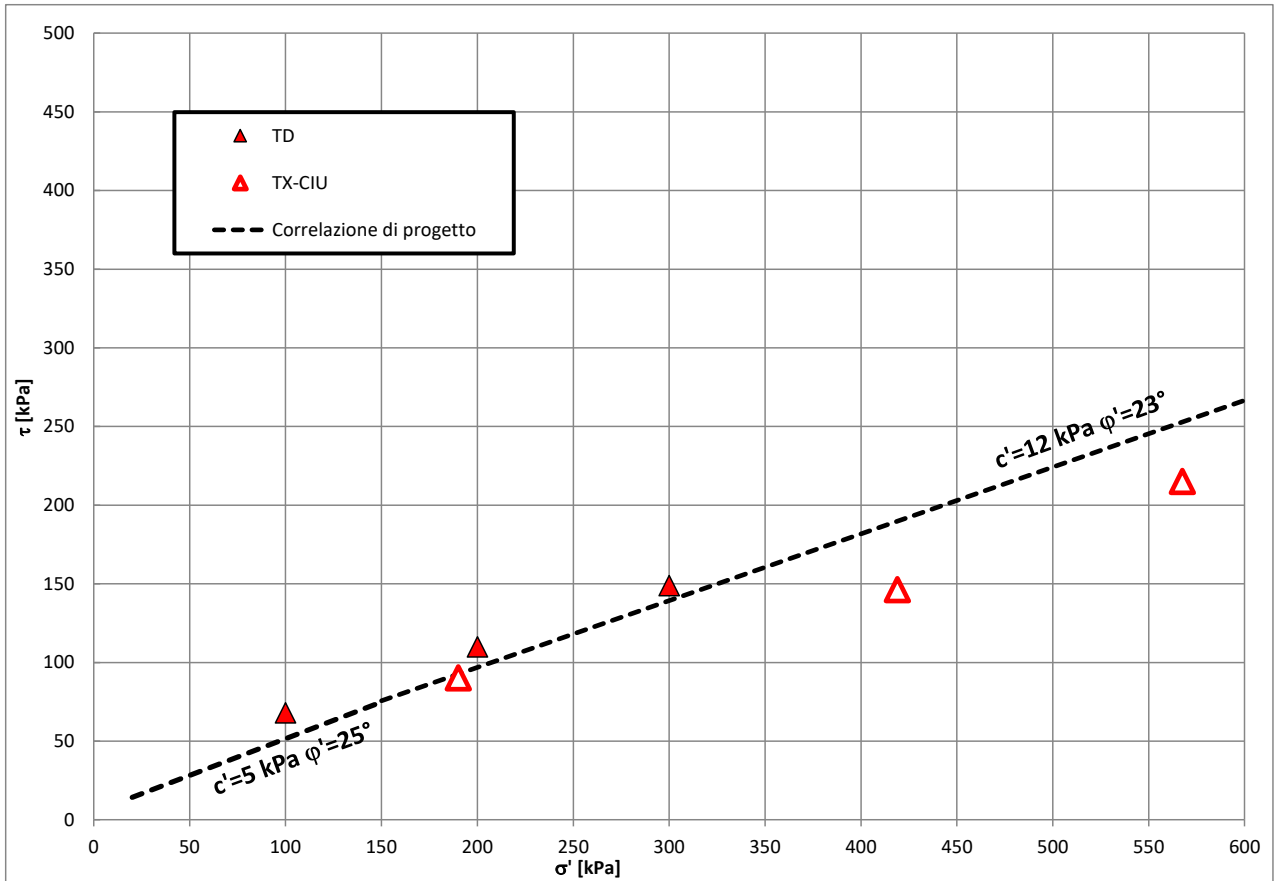



Figura 48 – Formazione bnc

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

#### 4.10 Falda

Nelle seguenti tabelle si riportano le letture piezometriche disponibili sui piezometri installati nelle varie campagne d'indagine. Nelle tabelle sono indicate le misure piezometriche espresse in profondità da p.c. ed in quota assoluta (m s.l.m.), inoltre sono indicati il valore minimo, massimo ed il valore medio delle letture.

Il periodo di monitoraggio dei piezometri relativi alle prime due campagne di indagine (2013 e 2015) è iniziato da novembre 2014 e terminato a dicembre 2015. Alcuni di questi strumenti sono stati monitorati anche a novembre 2018.

Gli strumenti installati nella campagna di indagine del 2018 sono stati monitorati da luglio a novembre 2018.

Lungo il tracciato il livello di falda è variabile da p.c. a 5 m di profondità dal p.c. in relazione all'andamento della morfologia locale, della presenza di fiumi, fossi, ecc.. La falda generalmente si colloca entro le alluvioni o comunque al passaggio di strato tra le alluvioni ed il substrato argilloso di base.

Le oscillazioni di falda dei singoli piezometri sono molto basse, generalmente contenute entro 1-2 m, ad eccezione del piezometro 5\_S14vi, in cui si ha una oscillazione di 5 m nell'intervallo temporale monitorato.

Allo stato attuale di monitoraggio, il livello di falda da assumere per il dimensionamento delle opere provvisorie coinciderà con quello per le opere definitive.

Per il dimensionamento delle fondazioni ubicate in zona di alveo o golena di fiumi e torrenti, si consiglia di assumere il livello falda a p.c. per le condizioni definitive a lungo termine.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS3E 50 D 78 RH GE0006 008 A 94 di 119

Tabella 21–Profondità falda in metri s.l.m.

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	20-11-2014	19-12-2014	30-01-2015	05-03-2015	10-04-2015	13-05-2015	20-11-2015	19-12-2015	30-01-2015	05-03-2015	10-04-2015	13-05-2015	24-06-2015
S2	160.00	157.92	157.80	157.86	159.27	158.97	158.49	157.92	157.80	157.86	159.27	158.97	158.49	158.35
S4	154.00	147.76	147.82	147.91	147.88	148.07	147.97	147.76	147.82	147.91	147.88	148.07	147.97	148.00
D26	155.00										152.55		152.68	152.45

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	28-07-2015	26-08-2015	04-09-2015	24-09-2015	31-10-2015	30-11-2015	30-12-2015	01-07-2018	30-07-2018
S2	160.00	158.25	158.16	158.31	157.91	157.83	159.07	158.42		
S4	154.00	147.94	147.91	147.91	147.88	147.90	148.10	147.95		
D26	155.00	152.15	152.03	152.05	151.90	151.81	151.98	151.92		
D25 [TA]	162.30	153.71	153.55	153.51	153.45	153.37	153.53	153.37		
D25 [CC]	162.30	153.54	153.55	153.55	153.46	153.39	153.47	153.37		
D28	149.00		147.58	147.54	147.48	147.42	147.84	147.73		
5_S14vi	165.90								158.23	158.7

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	31-10-2018	30-11-2018	MAX (m s.l.m.)	MIN (m s.l.m.)	MEDIA (m da pc)
S2	160.00		158.14	157.80	159.27	158.34
S4	154.00		148.17	147.76	148.17	147.93
D26	155.00		150.68	150.68	152.68	152.02
D25 [TA]	162.30		153.22	153.22	153.71	153.46
D25 [CC]	162.30		153.22	153.22	153.55	153.44
D28	149.00			147.42	147.84	147.60
5_S14vi	165.90		153.66	153.66	158.70	156.86
5_S15vi	152.40	147.17	147.53	147.17	147.53	147.35
5_S17vi	153.90	141.64	141.87	141.64	141.87	141.76

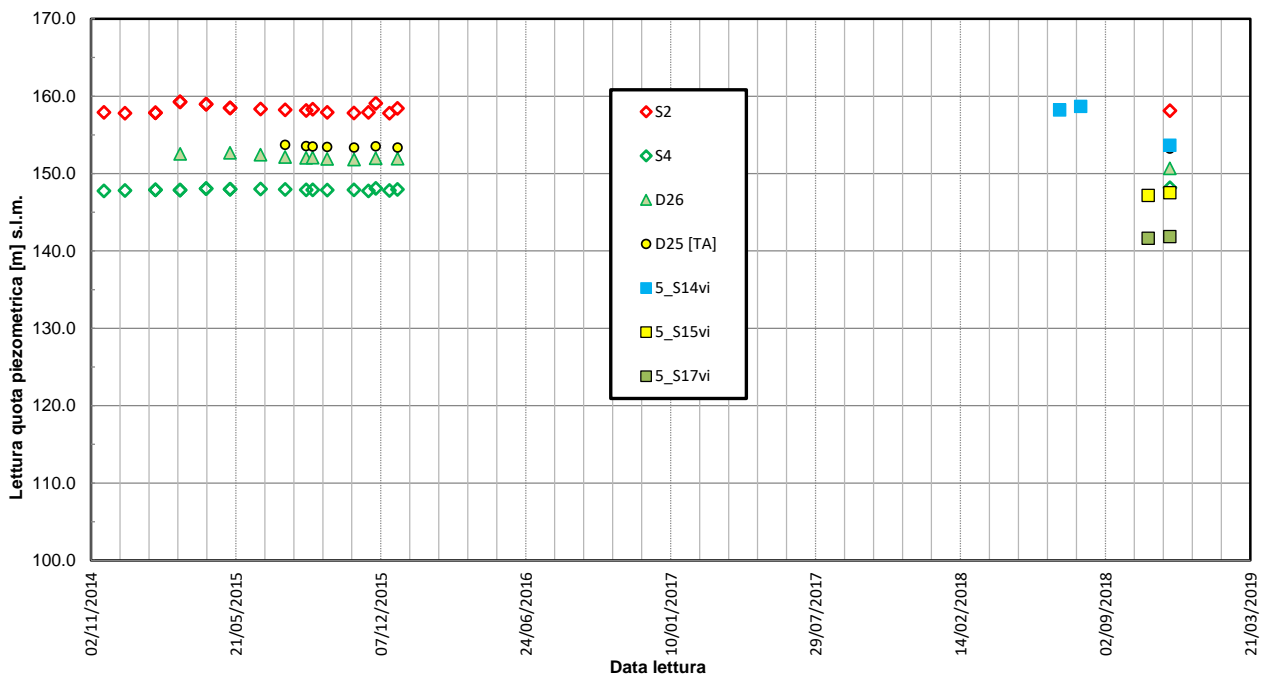


Figura 49–Livello falda in quota assoluta

Tabella 22–Profondità falda in metri dal p.c.

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	20-11-2014	19-12-2014	30-01-2015	05-03-2015	10-04-2015	13-05-2015	20-11-2015	19-12-2015	30-01-2015	05-03-2015	10-04-2015	13-05-2015	24-06-2015
S2	160.00	2.08	2.20	2.14	0.73	1.03	1.51	2.08	2.20	2.14	0.73	1.03	1.51	1.65
S4	154.00	6.24	6.18	6.09	6.12	5.93	6.03	6.24	6.18	6.09	6.12	5.93	6.03	6.00
D26	155.00										2.45		2.32	2.55

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	28-07-2015	26-08-2015	04-09-2015	24-09-2015	31-10-2015	30-11-2015	30-12-2015	01-07-2018	30-07-2018
S2	160.00	1.75	1.84	1.69	2.09	2.17	0.93	1.58		
S4	154.00	6.06	6.09	6.09	6.12	6.10	5.99	6.05		
D26	155.00	2.85	2.97	2.95	3.10	3.19	3.02	3.08		
D25 [TA]	162.30	8.59	8.75	8.79	8.85	8.93	8.77	8.93		
D25 [CC]	162.30	8.76	8.75	8.75	8.84	8.91	8.83	8.93		
D28	149.00		1.42	1.46	1.52	1.58	1.16	1.27		
5_S14vi	165.90								7.67	7.73

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	31-10-2018	30-11-2018	MAX soggiacenza (m da pc)	MIN soggiacenza (m da pc)	MEDIA (m da pc)
S2	160.00		1.86	0.73	2.20	1.66
S4	154.00		5.83	5.83	6.24	6.07
D26	155.00		4.32	2.32	4.32	2.98
D25 [TA]	162.30		9.08	8.59	9.08	8.84
D25 [CC]	162.30		9.08	8.75	9.08	8.86
D28	149.00			1.16	1.58	1.40
5_S14vi	165.90		12.24	7.67	12.24	9.21
5_S15vi	152.40	5.26	4.9	4.90	5.26	5.08
5_S17vi	153.90	12.23	12	12.00	12.23	12.12

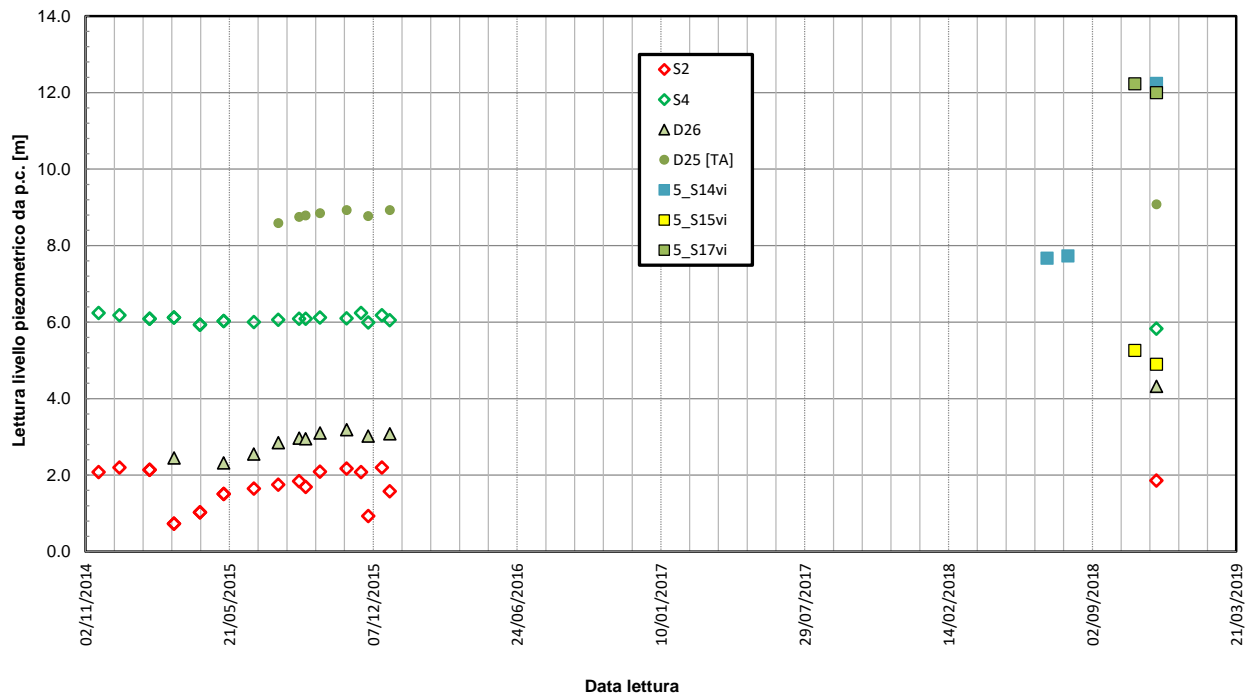


Figura 50–Livello falda – profondità da p.c.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

## 5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

### 5.1 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 del presente progetto si ha in linea generale:  $V_N=75$  anni e  $C_U=1.5$  (classe d'uso III).

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:



	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

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

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.

### 5.1.1 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 (nella campagna geognostica del 2011), prove Down-Hole (campagna d'indagine II fase del 2015) e prove MASW in concomitanza dei viadotti in progetto accoppiate con prove HVSR (nella campagna geognostica del 2018); 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  $V_{seq}$  lungo la verticale di prova, lungo il tracciato, i valori delle velocità delle onde di taglio identificano terreni di tipo B e di tipo E.


	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

Tabella 23 – Categoria sottosuolo

INDAGINE	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo
D31 - DH	426	<b>B</b>
S4 - MASW	403	<b>E</b>
MASW VI 10	506	<b>B</b>

Nelle relazioni di calcolo delle opere verrà definita per ogni singola opera la categoria di sottosuolo sulla base dell'indagine sismica più vicina. Per le opere con indagini sismiche che hanno evidenziato importanti inversioni delle velocità delle onde con la profondità, è stata appositamente analisi di risposta sismica locale.

### 5.1.2 Azioni sismiche di progetto

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti, considerando il punto con l'accelerazione massima (47861; desunto dalla relazione geologica: vedasi tabella dove si riportano per vari punti lungo il tracciato i parametri sismici di riferimento) 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  $a_{max} = 0.285$  g.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	99 di 119

Tabella 24 – Localizzazione sito con ag massima

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune


REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo

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

Interpolazione:



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".

**Elaborazioni grafiche**


Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri |>

**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

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C$ [s]
SLO	68	0.060	2.615	0.291
SLD	113	0.077	2.482	0.320
SLV	1068	0.204	2.455	0.515
SLC	2193	0.271	2.544	0.542

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.204 g
$F_o$	2.455
$T_C$	0.515 s
$S_S$	1.399
$C_C$	1.307
$S_T$	1.000
$q$	2.400

#### Parametri dipendenti

$S$	1.399
$\eta$	0.417
$T_B$	0.224 s
$T_C$	0.673 s
$T_D$	2.416 s

## 5.2 LIQUEFAZIONE

L'analisi del rischio di potenziale liquefazione dei terreni è oggetto di apposita relazione, a cui si rimanda.

## 6 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 categoria di sottosuolo sulla base delle indagini più vicine all'opera in esame. La stratigrafia è in accordo a quanto riportato nel profilo stratigrafico longitudinale.

### 6.1 Viadotto VI21 su deviate provvisoria alla linea ferroviaria storica

Il viadotto VI21 è circa parallelo a quello di linea VI18 ed appartiene al tracciato di variante provvisoria alla linea storica.

In corrispondenza dell'opera è stato eseguito il sondaggio D30 (che verrà preso a riferimento per la definizione della stratigrafia) e nelle vicinanze il sondaggio D31 (che verrà considerato per meglio caratterizzare le unità geotecniche della zona; le indagini in sito eseguite nella zona, sono elencate nella tabella seguente.

#### INDAGINI IN SITO

Sondaggi / pozzetti	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni litoidi	N. prove SPT	n. prove Lefranc /Lugeon	n. prove pressiometriche	Piezometro TA; CC / Prova DH
D30	30.0	134.6	2	7	-	5	2	2	TA[4÷9]
D31	30.0	139.7	2	8	-	6	2	2	DH [30]

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

In corrispondenza dell'opera è stata eseguita l'indagine sismica Masw-VI10.

Nell'area in esame la stratigrafia è la seguente, con p.c. di riferimento a quota +141.0 m s.l.m.:

STRATIGRAFIA	
Unità geotecnica	Profondità [m] da p.c.
bbc	0.0-6.5
bbi/ba	6.5 – 10.5
bbi (sabbia)	10.5 – 12.5
bbi	12.5-15.0
AAC	15.0-30.0
FALDA: a +130 m s.l.m.	

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	102 di 119

## PARAMETRI GEOTECNICI

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	cu [kPa]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]	Vs [m/s]	Go [MPa]	Eo [MPa]	E' <sub>op,1</sub> [MPa]	E' <sub>op,2</sub> [MPa]
bbc	19.5	80	0	25	150÷250 (*)	40÷120	100÷300	Eo / 3	Eo / 10
bbi/ba	19.5	-	0	38	250÷300 (*)	120÷170	300÷450	Eo / 3	Eo / 10
bbi (sabbia)	19.5	-	0	32	170÷270 (*)	100	250-300	Eo / 3	Eo / 10
AAC	20.5	160 (z<15 m) 250÷350 (z>15 m) (**)	5	24	500÷800 (*)	500÷400	400÷1000	Eo / 3	Eo / 10

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

c' = coesione drenata

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

Vs = velocità delle onde di taglio

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

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

E'<sub>op,1</sub> = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

E'<sub>op,2</sub> = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati.

(\*) da indagini sismiche (MASW e DH)

(\*\*) per profondità > 15 m da p.c., le prove di PP sono tutte a rifiuto strumentale (500 kPa) ed anche le prove SPT (Nspt=100); il valore della resistenza al taglio non drenata è assunto considerando cautelativamente il valore medio delle prove di laboratorio (275 kPa) ed il valore medio delle prove pressiometriche (350 kPa), valutati sui risultati dell'unità geotecnica per l'intera tratta ferroviaria.

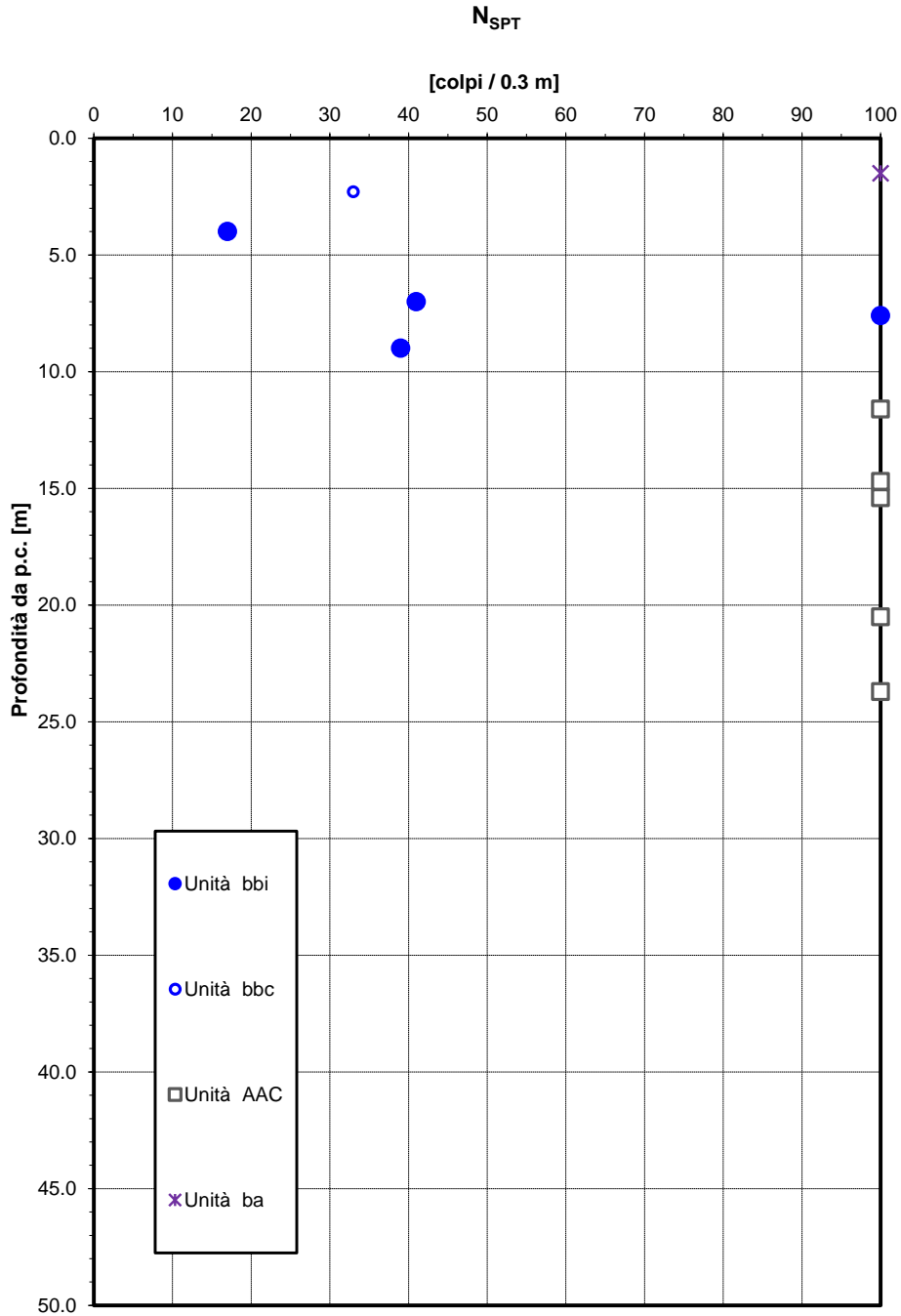


Figura 51 – Valori di N<sub>SPT</sub> VI21

**Densità relativa da prove SPT**

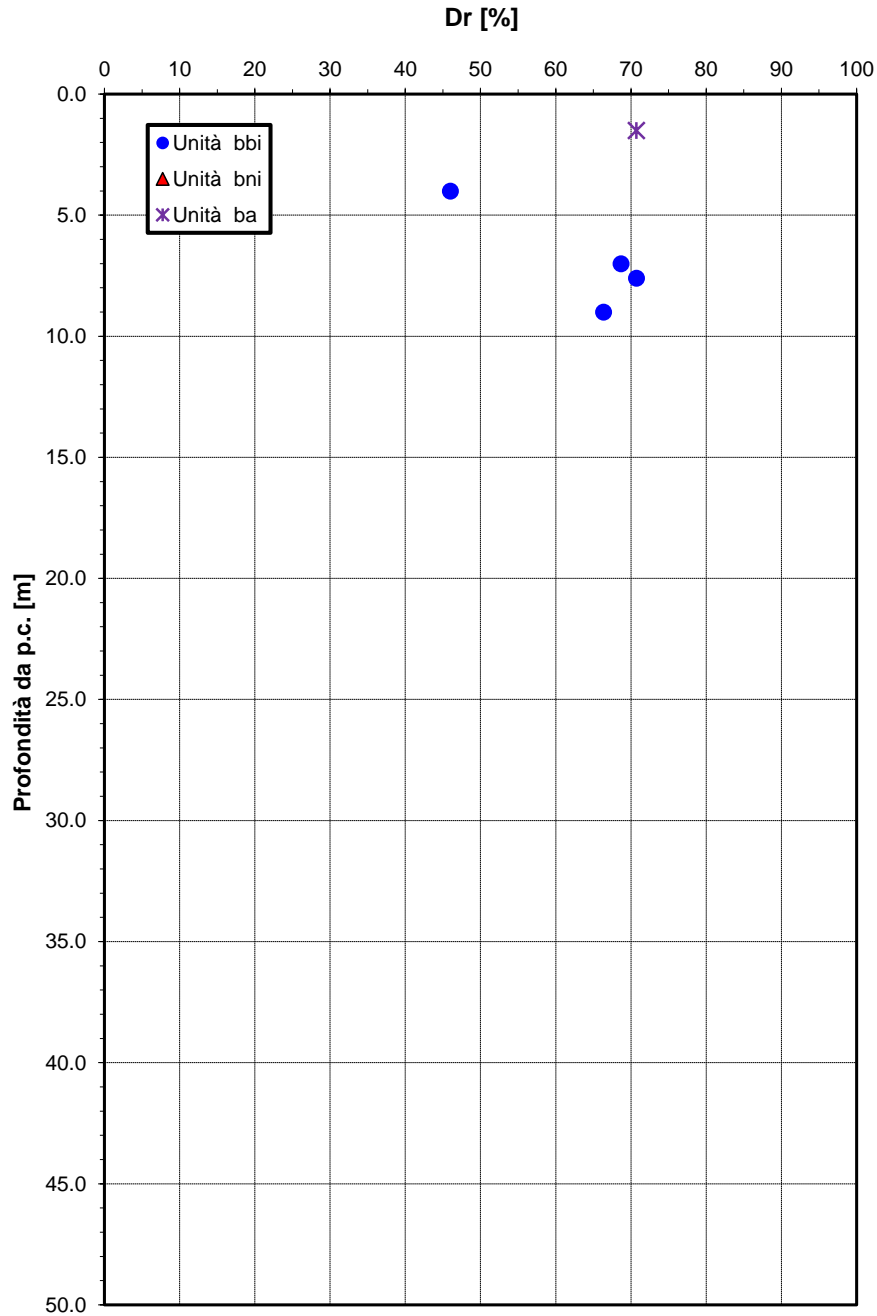


Figura 52 – Densità relativa da prove SPT- VI21



**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

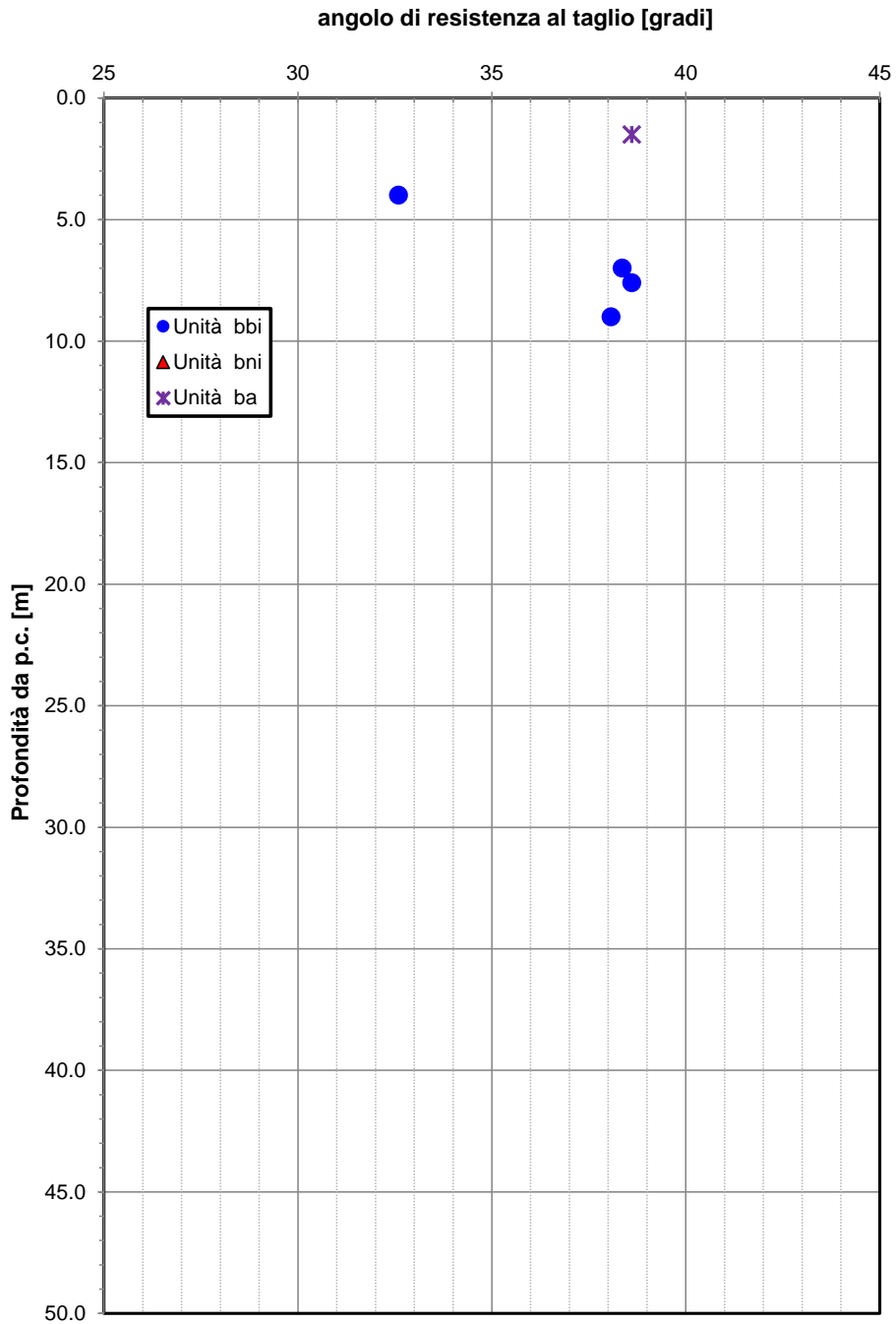


Figura 53 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT- VI21

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

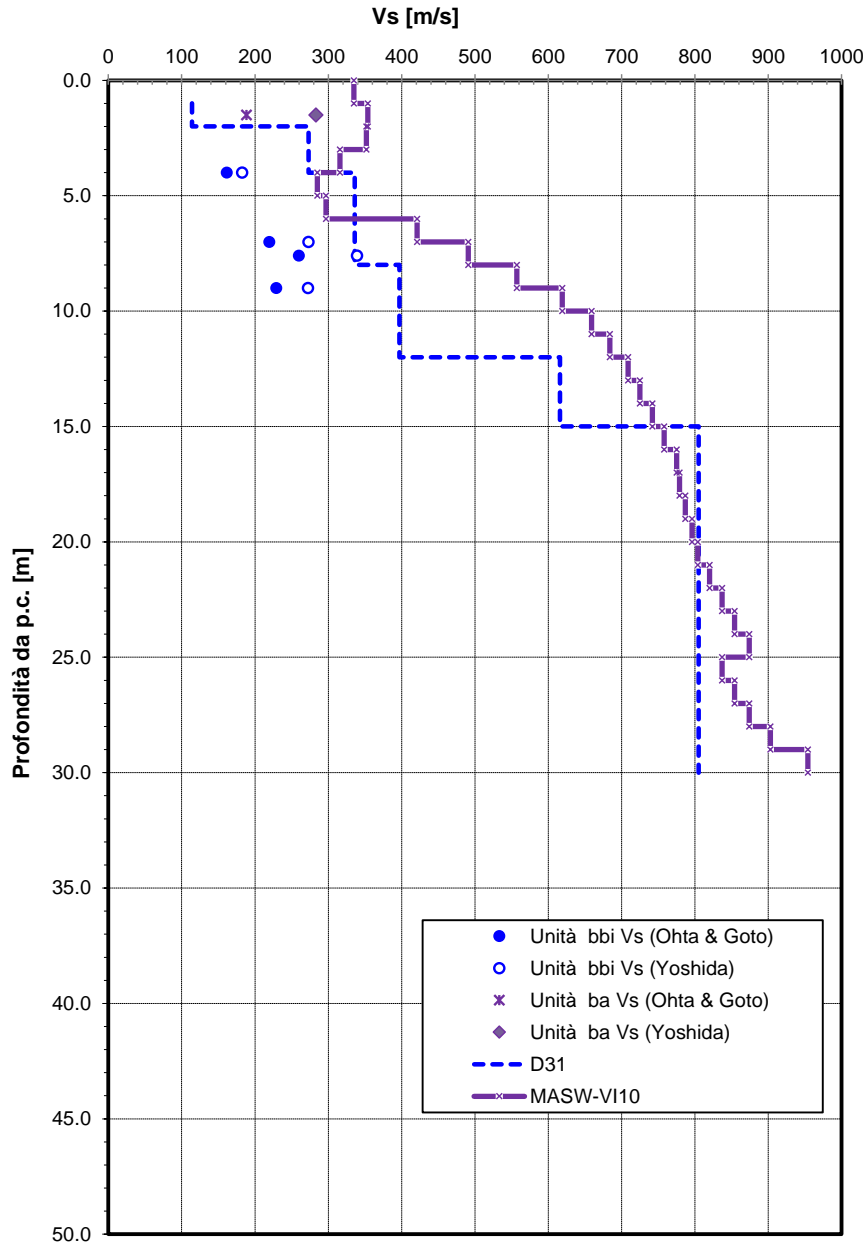


Figura 54 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e DH – VI21

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

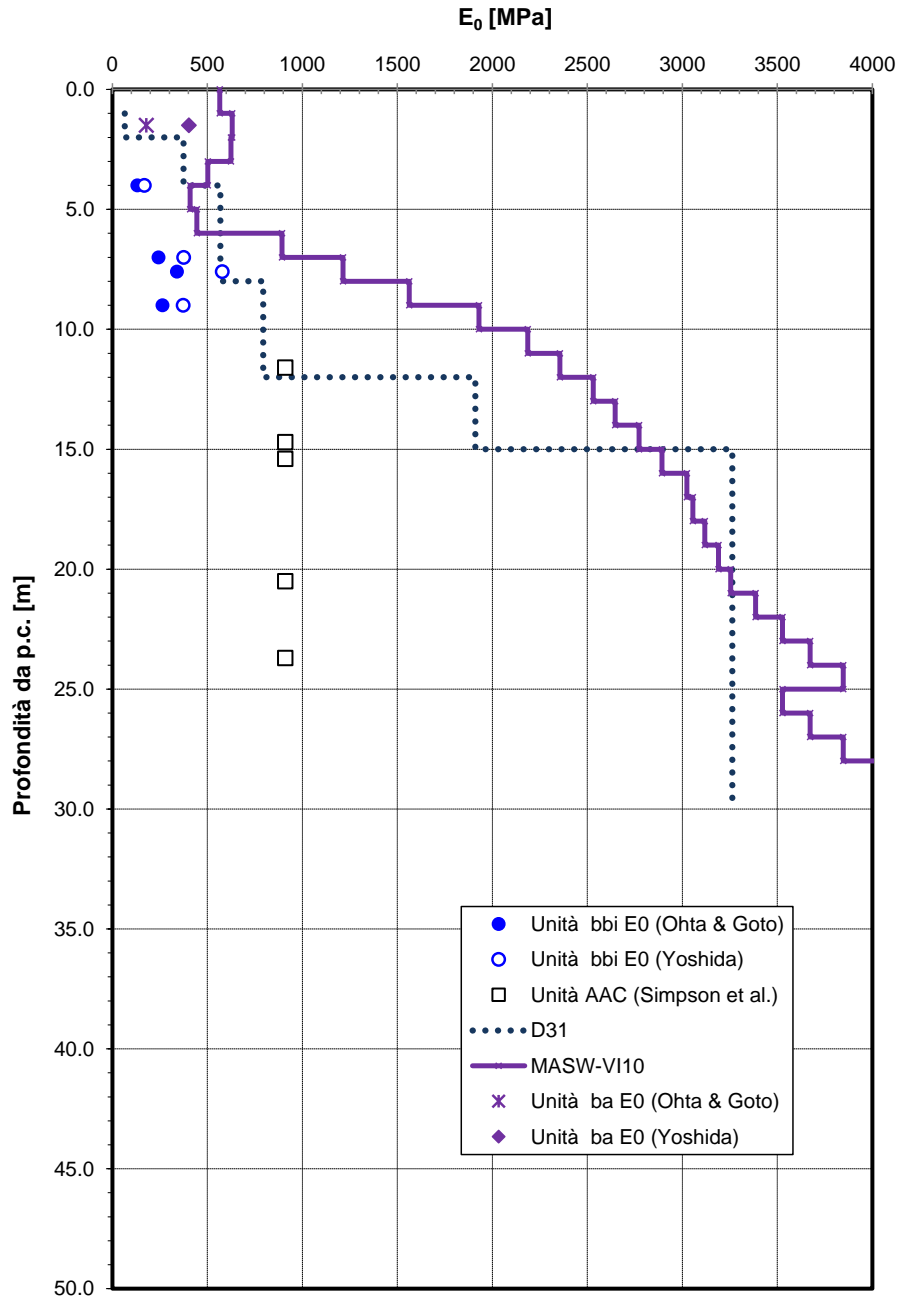


Figura 55 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e DH- VI21

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT (Stroud e Simpson et al.)**

$$E'_{op,2} = E_0 / 10 \text{ [MPa]}$$

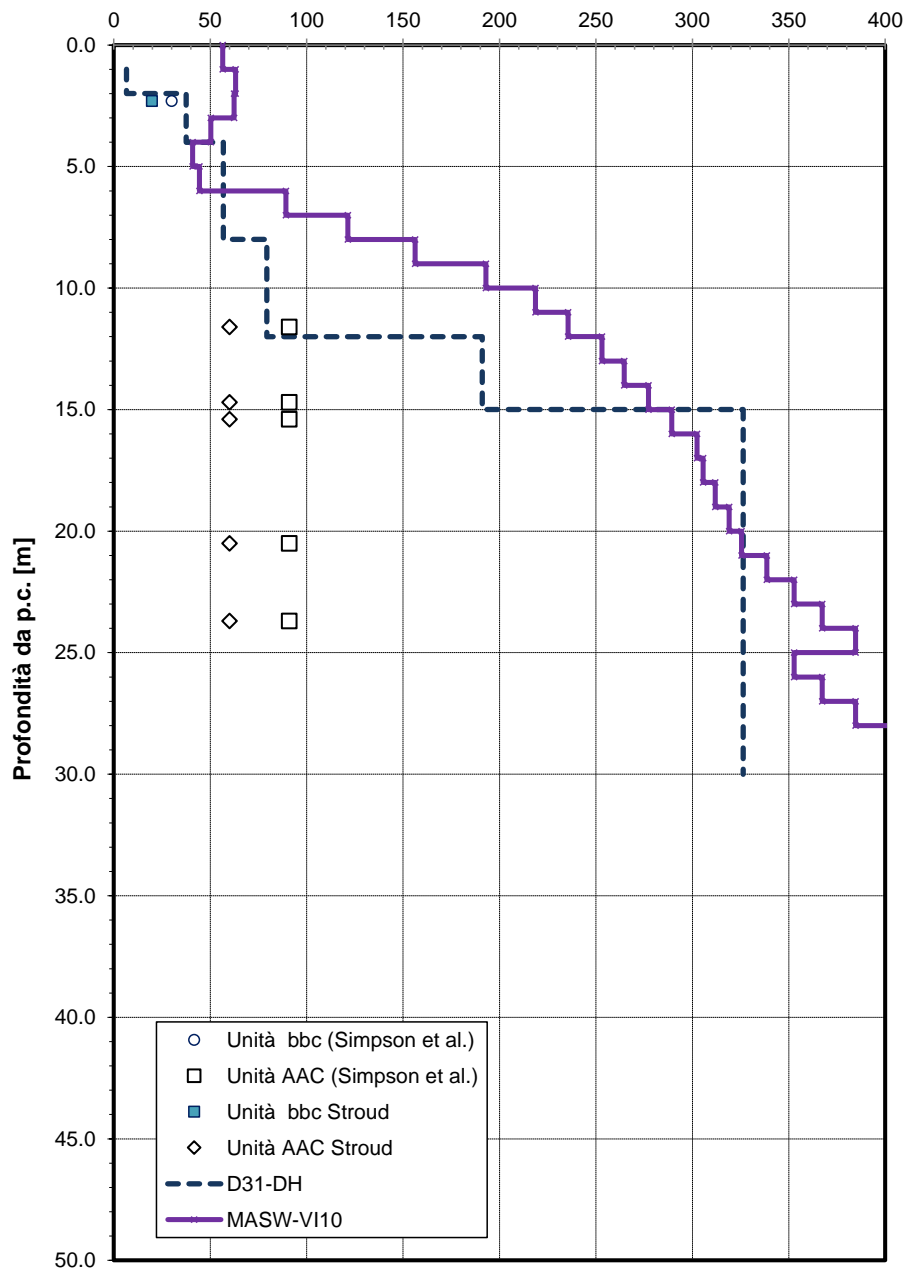


Figura 56 – Modulo di deformazione elastico operativo  $E'_{op,2}$  da prove SPT – VI21

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**

cu [kPa]

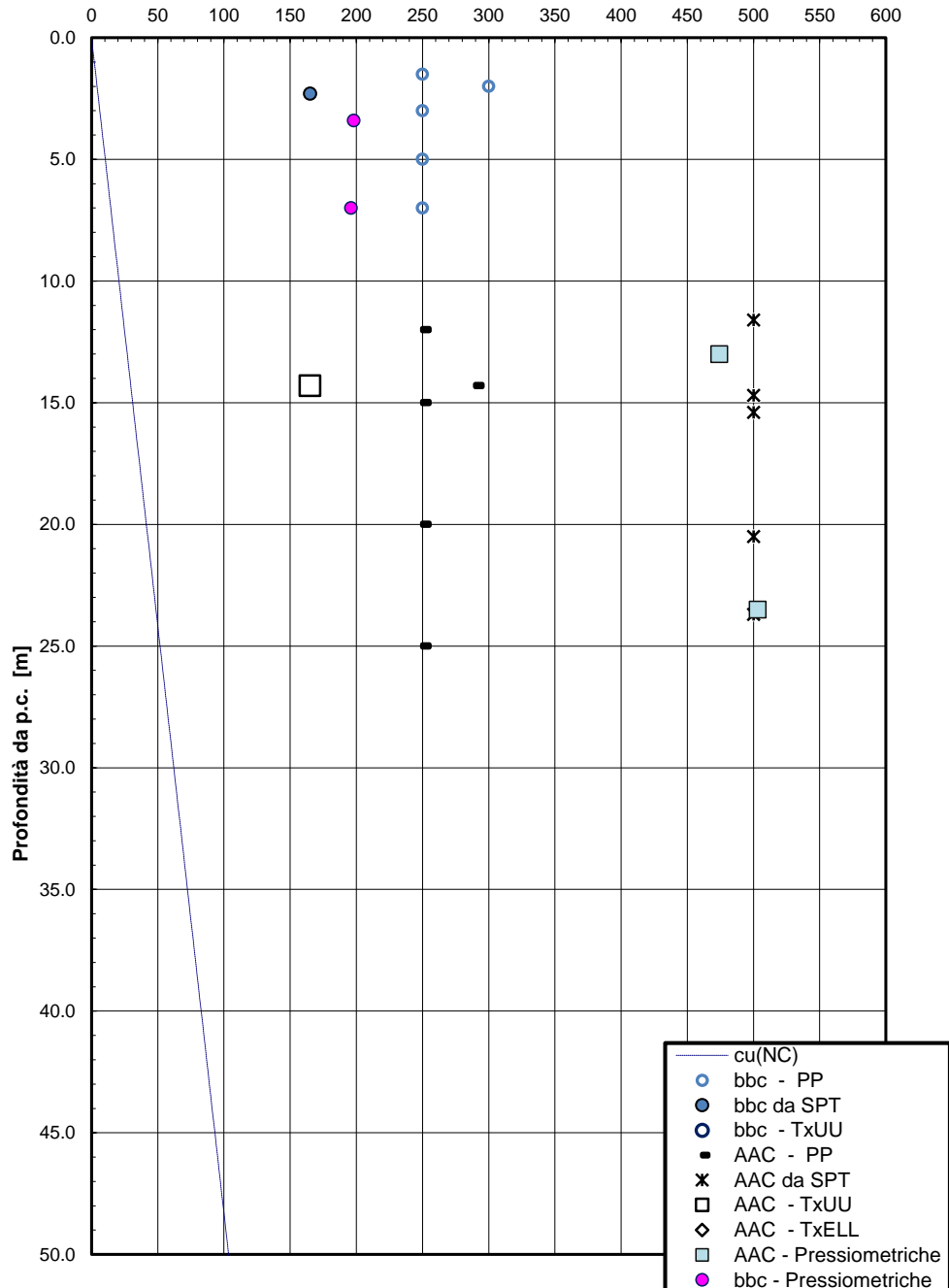


Figura 57 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – VI21

*Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio*

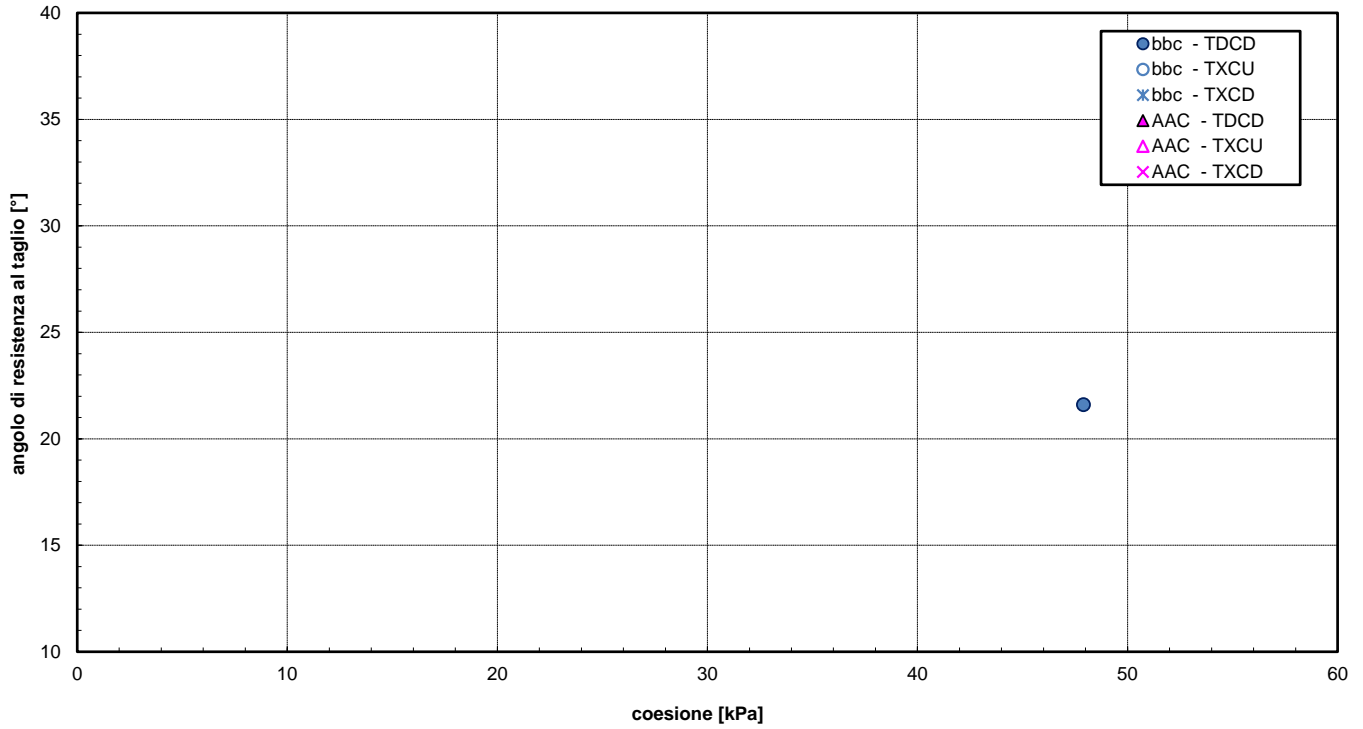



Figura 58 – Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – VI21

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione Geotecnica varianti linea storica	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 008	REV. A

## 6.2 Viadotto VI23 su deviata definitiva linea storica

Nelle vicinanze delle opera sono state eseguite le indagini in sito elencate nella tabella seguente che verranno considerate per la definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici delle unità intercettate.

Per l'opera VI23, la stratigrafia è definita con riferimento al sondaggio 5\_S17vi; i restanti sondaggi sono impiegati per la caratterizzazione dell'unità geotecnica comune.

INDAGINI IN SITO									
Sondaggi / pozzetti	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni litoidi	N. prove SPT	n. prove Lefranc /Lugeon	n. prove pressiometriche	Piezometro TA; CC
D26	40.0	155.0	3	6	-	5	2	-	TA[3÷8]
S4	40.0	154.0	1	8	-	10	2	-	TA[1÷15]
5_S17vi	40.0	153.9	2	2	-	7	2	-	TA[3÷21]
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante] CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]									

Inoltre è disponibile l'indagine sismica S4-MASW (in adiacenza al sondaggio S4). Da cui categoria di sottosuolo sismica C/E.

Nei piezometri installati il livello massimo di falda varia tra +142 m (5\_S17vi), +148 m (S4) e +152 m s.l.m. (D26).

In accordo a quanto riportato anche negli elaborati geologici (planimetria e profilo) si definiscono le seguenti stratigrafie per le opere in progetto.

Per il VI23 la stratigrafia è definita da un p.c. a quota +154 m s.l.m. (con riferimento al sondaggio 5\_S17vi).

STRATIGRAFIA	VI23 – p.c. +154 m s.l.m.
Unità geotecnica	Profondità [m] da p.c.
bbc	0.0÷10.0
bbi	10.0÷21.0
AAC	21.0÷40.0
FALDA: a +142 m s.l.m.m	

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

## PARAMETRI GEOTECNICI

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$V_s$ [m/s]	$G_o$ [MPa]	$E_o$ [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]	$E'_{op,2}$ [MPa]
bbc	19.5	100	0	25	-	50÷80	130÷200	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bbi	19.5	-	0	38	-	135÷300	350-800	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bni	20.5	-	0	38	200÷300 (*)	80÷170	200÷450	$E_o / 3$	$E_o / 10$
AAC	20.5	230 per i primi 3m 250÷350 per profondità >	5	24	300÷1000 (*)	170÷400	450÷1000	$E_o / 3$	$E_o / 10$

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate

$c'$  = coesione drenata

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

$V_s$  = velocità delle onde di taglio

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

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

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

$E'_{op,2}$  = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati.

(\*) da prove sismiche S4-MASW e MASW-VI09.



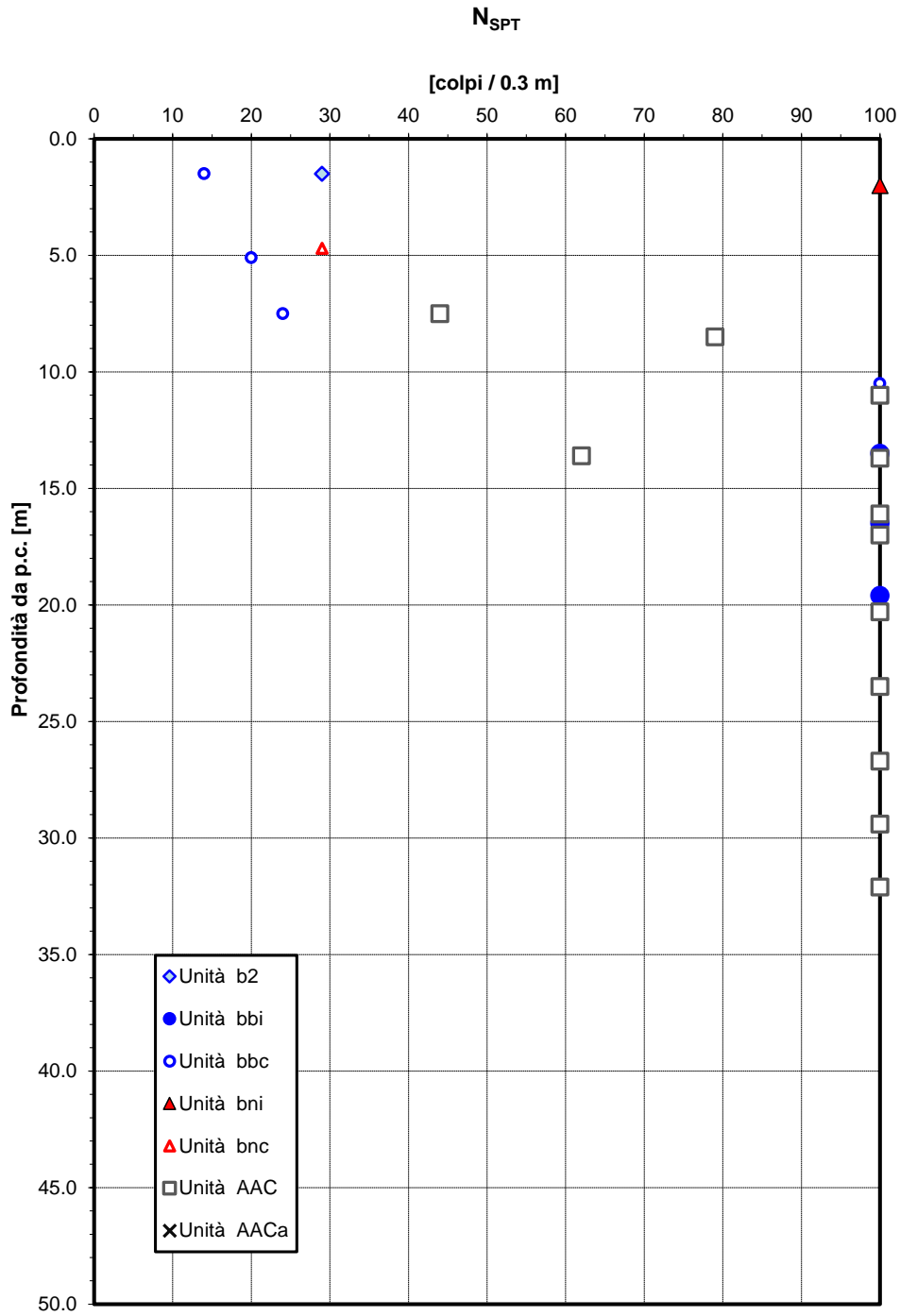


Figura 59 – Valori di N<sub>SPT</sub> – VI23

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

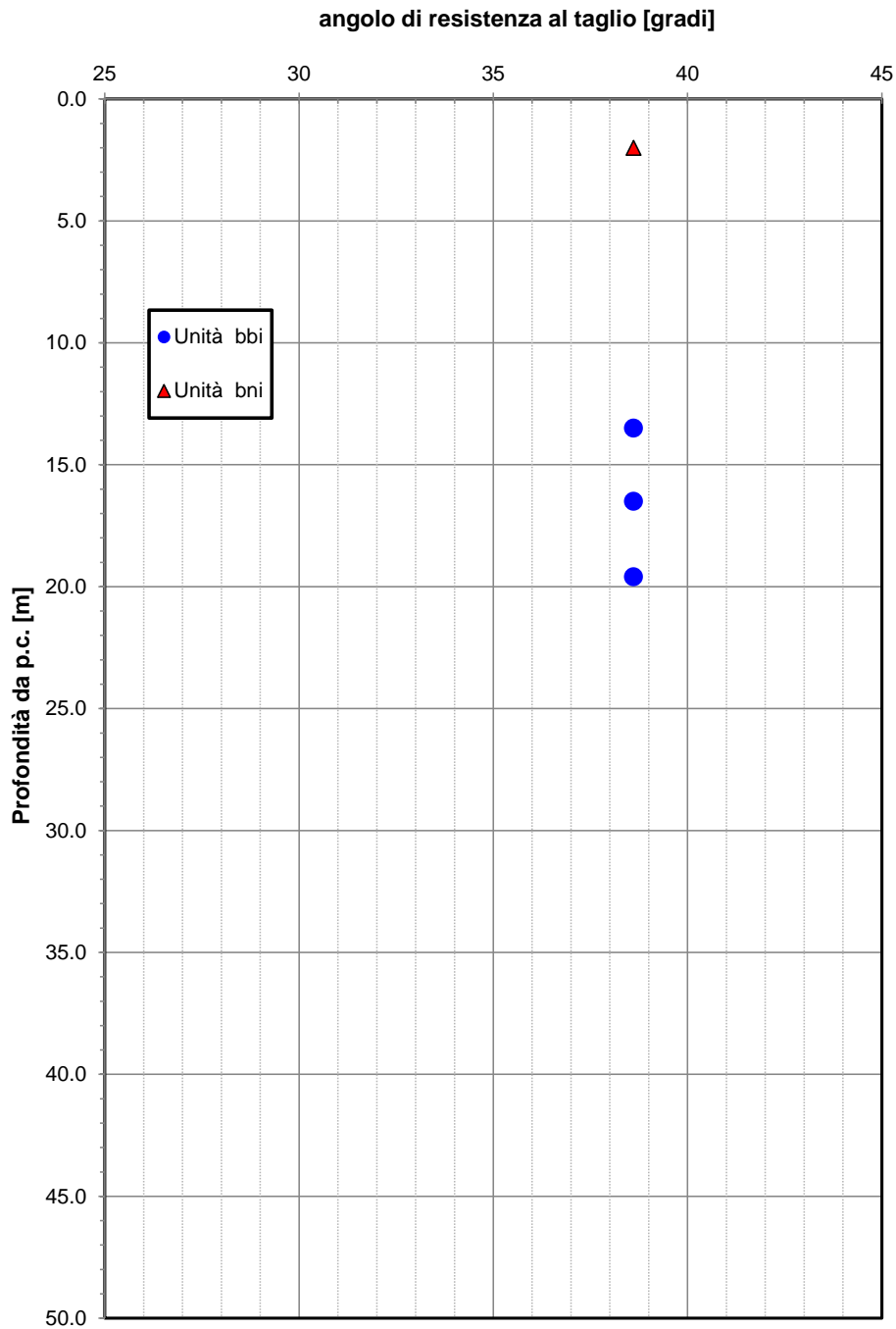


Figura 60 – Angolo di resistenza al taglio da prova SPT – VI23

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

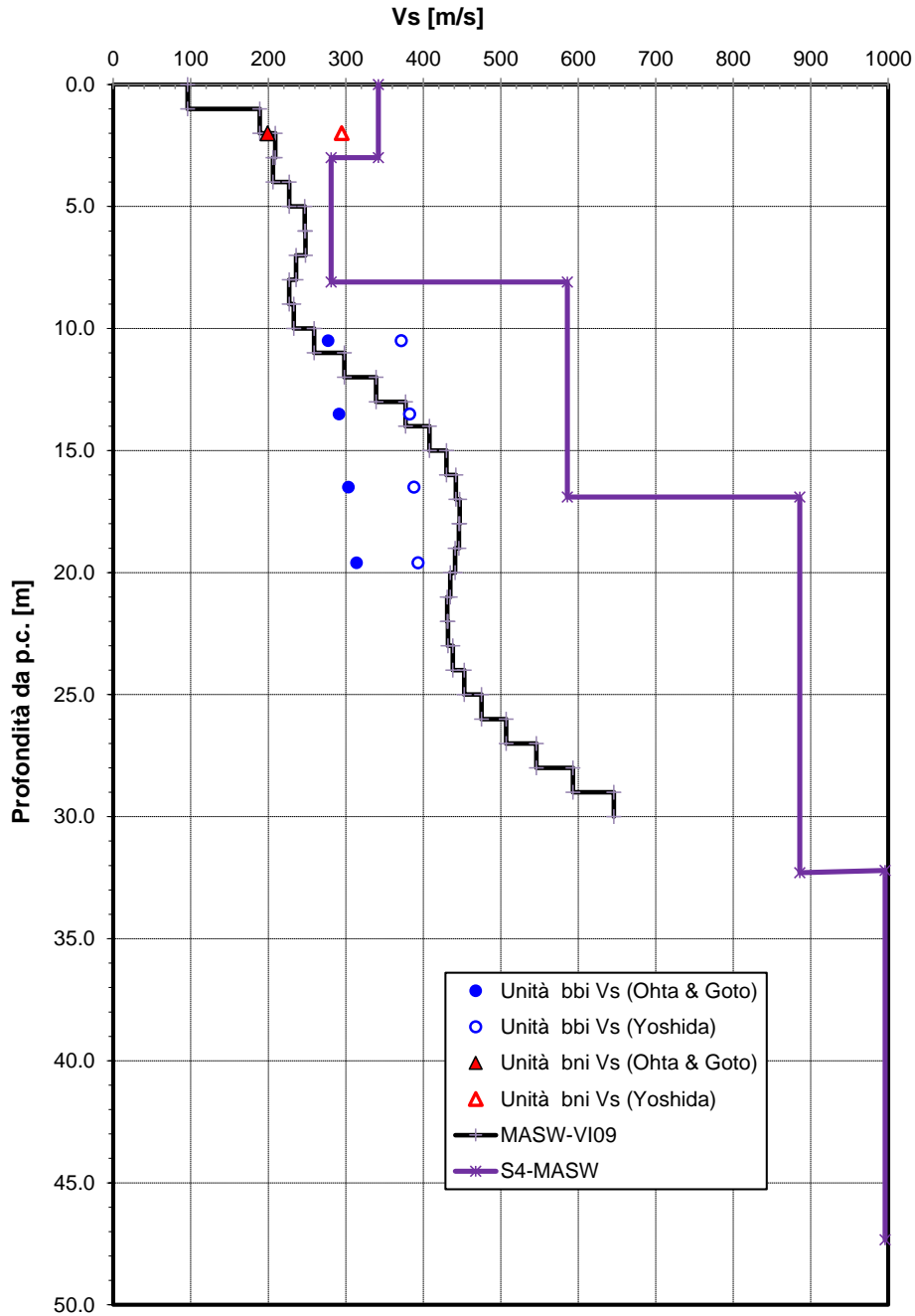


Figura 61 – Velocità delle onde di taglio da prova SPT e Masw – VI23

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

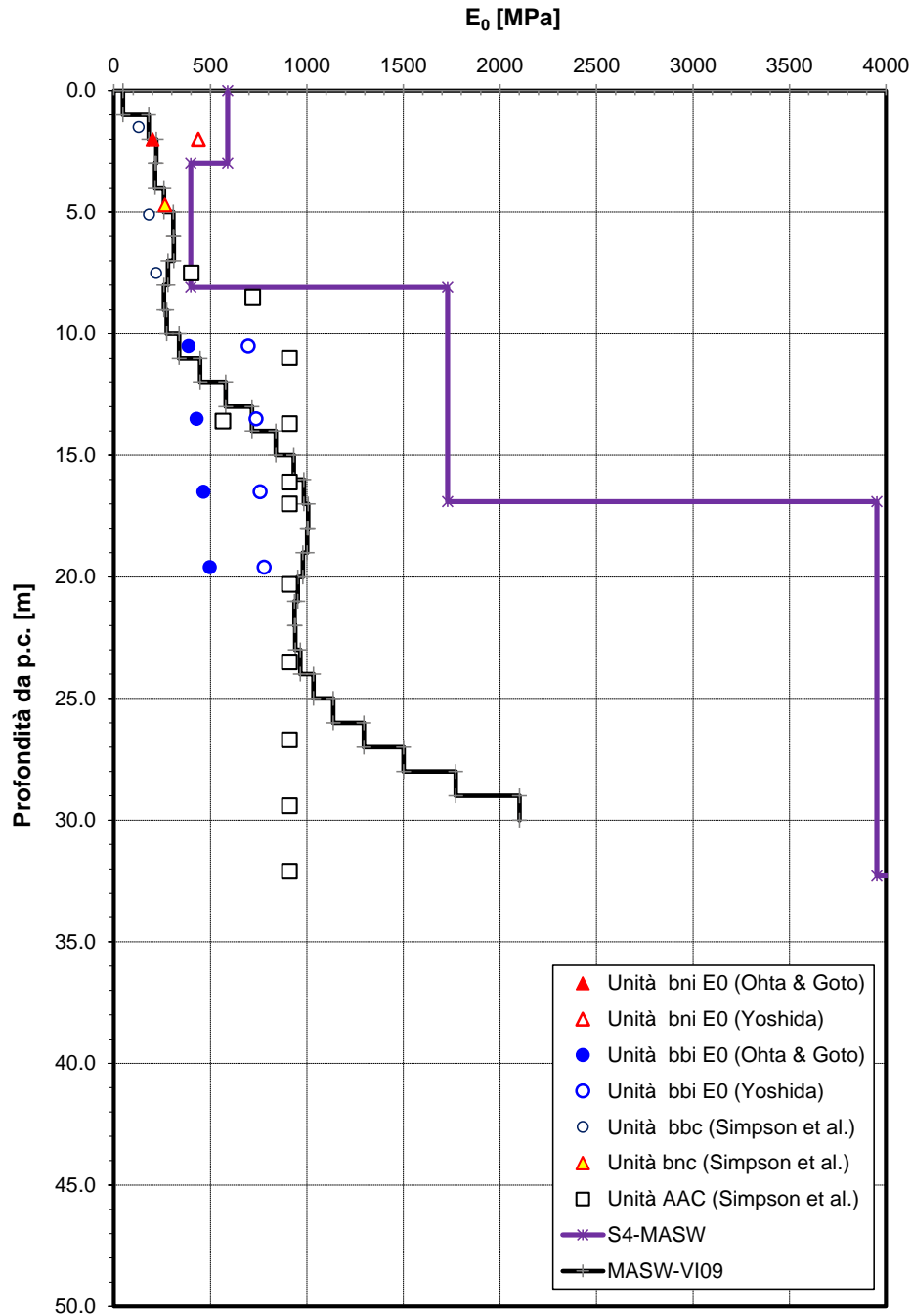


Figura 62 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prova SPT e Masw- VI23

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT (Stroud e Simpson et al.)**

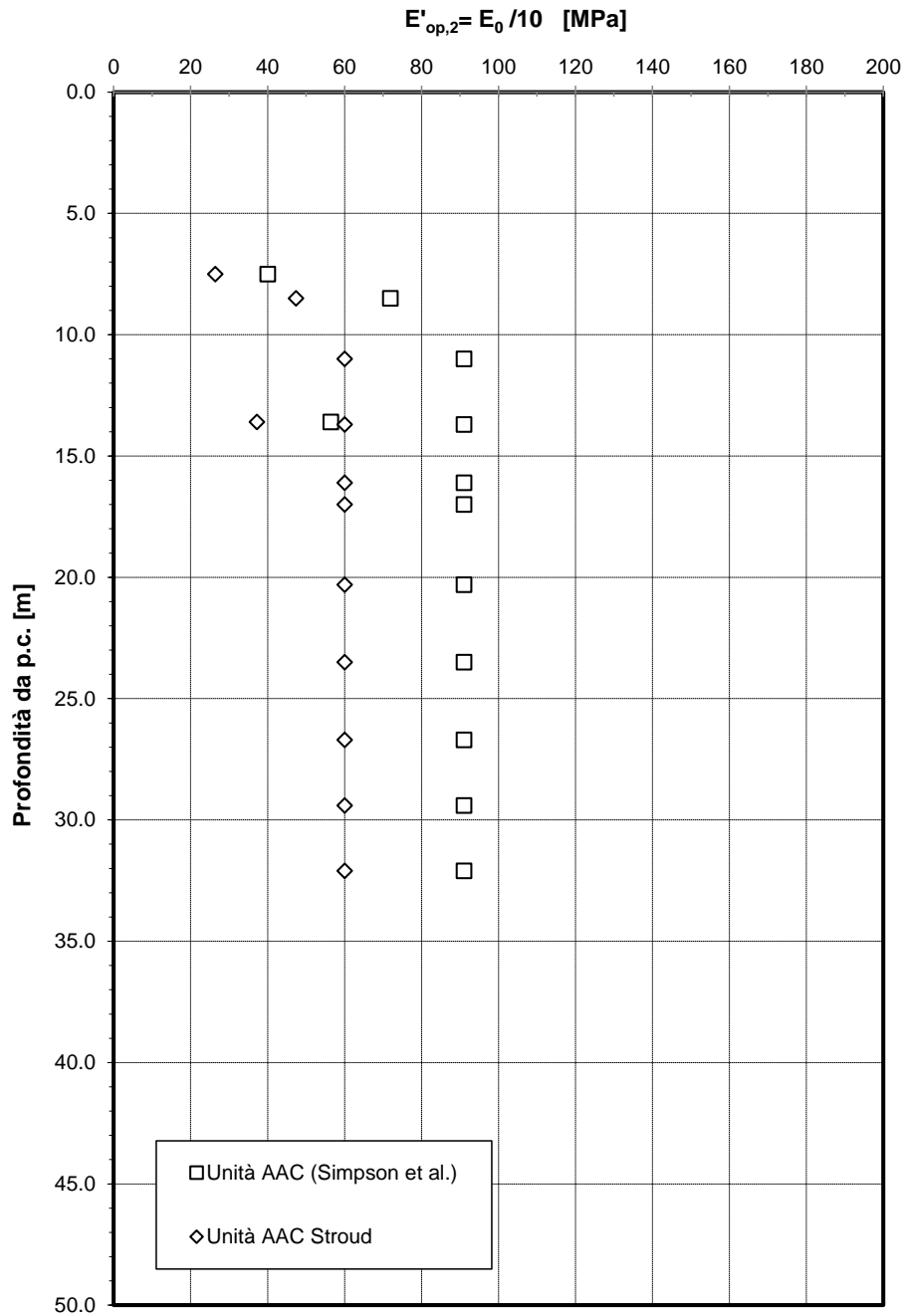


Figura 63 – Modulo di deformazione elastico operativo  $E'_{op,2}$  da prove SPT per depositi coesivi - VI23

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**

cu [kPa]

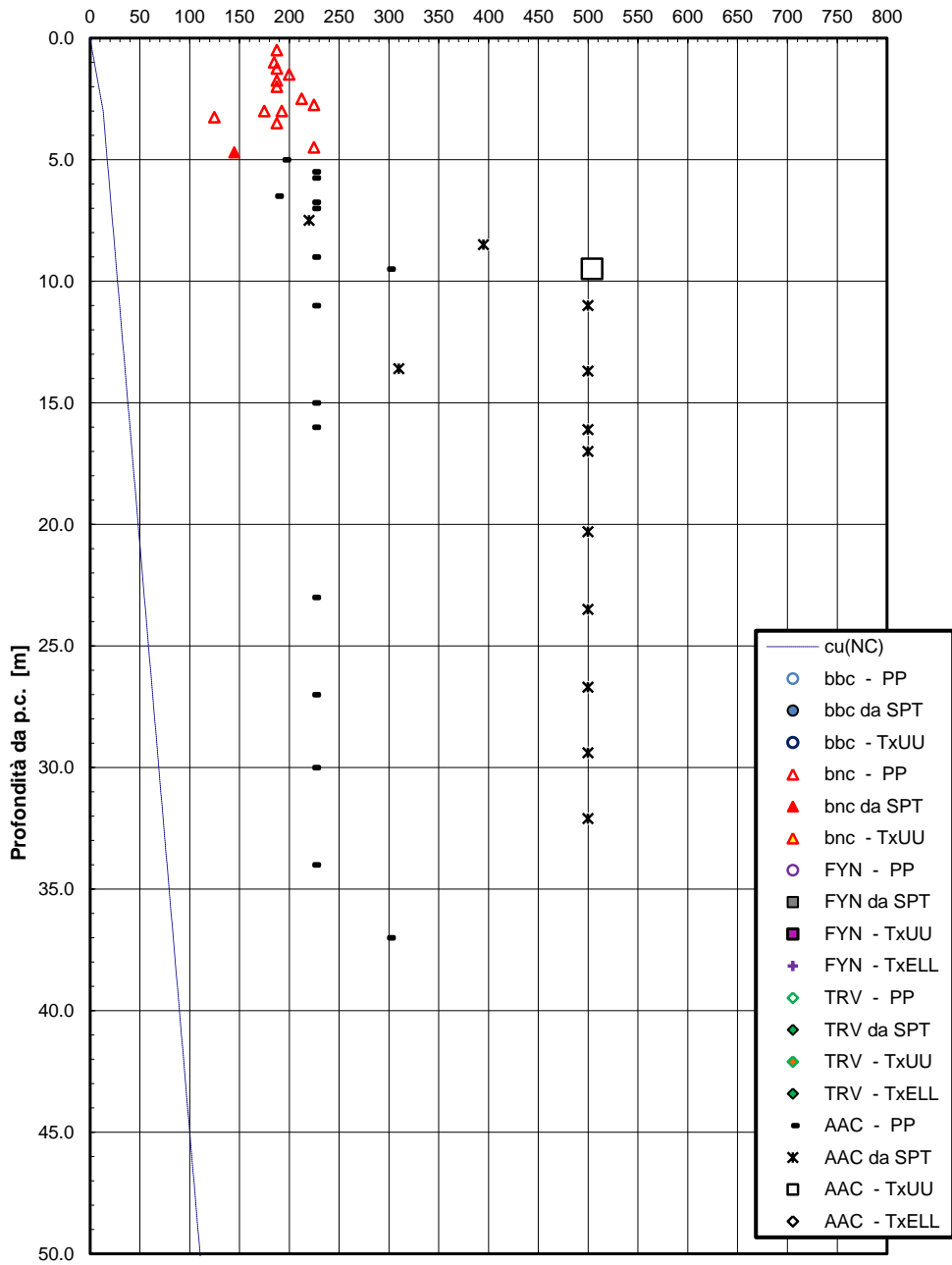


Figura 64 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – VI23



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA PM PALOMBA - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geotecnica varianti linea storica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RH	GE0006 008	A	119 di 119

## 7 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); dovrà comunque essere asportato tutto lo spessore di terreno vegetale. Qualora lo spessore di vegetale sia maggiore dello spessore di scotico, si dovrà provvedere ad ulteriore bonifica fino ad asportazione di tutto lo spessore vegetale.
- 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.

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	-