



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

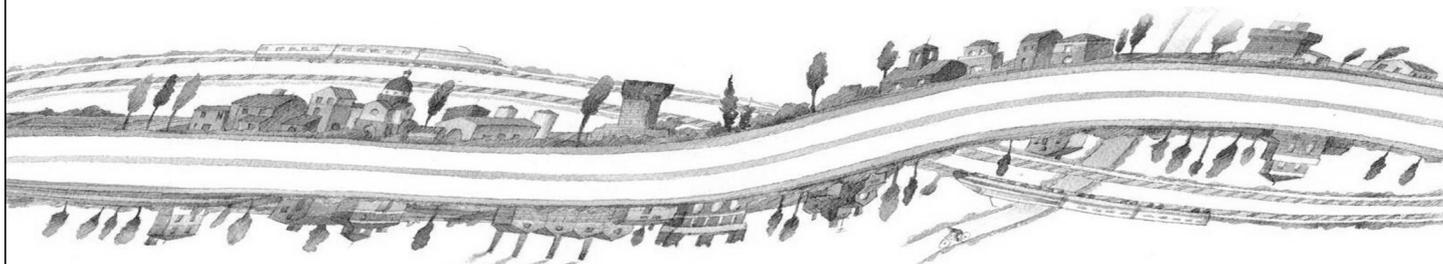
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE
D04-08 (EX 1FE) RACCORDO BONDENO - CENTO - AUTOSTRADA CISPADANA
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA D06 (EX 1FE TRATTO A2)



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				A. Boschi	G. Marchi	E. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
5254	PD	0	D06	D0000	0	GT	RB	01	A	

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1. NORMATIVA	4
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	4
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO	4
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO	6
3.1. INDAGINI IN SITO.....	6
3.2. PROVE DI LABORATORIO	8
4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	10
5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI	11
5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI.....	11
5.1.1. Monitoraggio piezometrico	11
5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO.....	12
6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	14
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	15
7.1. PREMESSA.....	15
7.2. ZONA OMOGENEA 1.....	16
8. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE	20
9. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE.....	21
10. CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE	22
11. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.....	23
11.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	23
11.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE	23
11.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI	24
11.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI	24
11.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO	25
11.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE	27

12. APPENDICE 1 - GRAFICI CARATTERISTICHE FISICHE, DI DEFORMABILITÀ, DI RESISTENZA AL TAGLIO E DI CONSOLIDAZIONE.....	28
12.1. ZONA OMOGENEA 1.....	28
12.1.1. Risultati indagini di laboratorio.....	28
12.1.2. Interpretazione sondaggi e prove SPT.....	47
12.1.3. Interpretazione prove CPTU.....	55

1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra i dati disponibili, i criteri generali utilizzati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e le analisi geotecniche della viabilità di adduzione D06 (ex 1FE tratto A2) raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana nella tratta che si sviluppa tra lo Svincolo dell'Autostazione di Cento e la frazione di Dosso, Comune di Cento, per una lunghezza complessiva di 4+191 km circa.

In particolare, nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- normativa e documentazione di riferimento per la caratterizzazione geotecnica;
- descrizione dei dati geognostici disponibili;
- caratterizzazione stratigrafica dei terreni lungo il tracciato;
- definizione dei livelli piezometrici ai fini delle analisi geotecniche;
- descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geotecnica;
- definizione dei parametri geotecnici per le unità geotecniche individuate, in relazione alle singole zone omogenee definite lungo il tracciato;
- verifiche geotecniche.

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1. NORMATIVA

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD_0_000_00000_0_GE_KT_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna.
- LANCELLOTTA R. (1993) – "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna.
- LUNNE T., CHRISTOFFERSEN H.P. (1985) – "Interpretation of Cone Penetrometer Data for Offshore Sands" – Norwegian Geotechnical Institute, 1985, Publication n. 156.
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWELL J.J.M. (1997) – "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice" – Blackie Academic & Profesional.
- P.K. ROBERTSON (2009) – "Interpretation of cone penetration tests - a unified approach" – Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, 1337-1355.

2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

Nell'ambito delle attività di progettazione, a corredo della presente relazione sono state elaborate le cartografie tematiche di seguito elencate:

- Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - D06 (ex 1FE tratto A2) - scala 1:5.000 - PD_0_D06_D0000_0_GT_PG_01;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 3/4 – scala 1:10.000 PD_0_D00_D0000_0_GT_CT_03;
- Profilo geotecnico - D06 (ex 1FE tratto A2) – scala 1:5000/1:200 PD_0_D06_D0000_0_GT_FT_01.

Ai fini del presente studio, si è fatto inoltre riferimento ai seguenti documenti, inerenti le indagini in sito ed in laboratorio di progetto definitivo:

- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Relazione illustrativa
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IS_RG_00;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Sondaggi geognostici
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IS_CF_01;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Prove penetrometriche statiche CPTU
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IS_CF_02;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Pozzetti esplorativi e prove di Carico su piastra
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IS_CF_03;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Prove con cono sismico SCPT
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IS_CF_04;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 3 - Prove sismiche Cross-Hole
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IS_IG_00;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 3 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da sondaggi geognostici
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IL_CF_01;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 3 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da pozzetti esplorativi
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IL_CF_02;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 3 - Analisi chimiche su campioni idrici
Cod. PD_0_X03_X0000_0_IL_CF_03.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO

Le campagne di indagini geognostiche a supporto della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto derivano dalla campagna indagini eseguita a partire dal luglio 2011 (nel seguito definita campagna indagini di Progetto Definitivo), che ha previsto sia l'esecuzione di indagini in sito sia la realizzazione di prove di laboratorio.

3.1. INDAGINI IN SITO

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (BH), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), spinti a profondità di 25 m da piano campagna.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico;
 - rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
 - rilievo del livello di falda;
 - prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
 - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
 - installazione di piezometri a tubo aperto di tipo Norton Ø4" e di tipo Casagrande.
- n. 8 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste (TS), spinte a profondità comprese tra 20 e 35 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
 - n. 4 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.
- Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:
- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
 - esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 3-1 a Tabella 3-3; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

TABELLA 3-1: QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-BH1	Sondaggio stratigrafico	1683052,942	4962998,312	10,950
1FE-BH2	Sondaggio stratigrafico	1682796,751	4960909,773	12,370
1FE-BH502	Sondaggio stratigrafico	1683616,704	4960270,913	11,950

TABELLA 3-2: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CPTU2	Prova penetrometrica	1683165,253	4963247,46	11,24
1FE-CPTU3	Prova penetrometrica	1682860,409	4962688,261	10,75
1FE-CPTU4	Prova penetrometrica	1682699,754	4962292,051	10,89
1FE-CPTU5	Prova penetrometrica	1682505,489	4961132,792	11,538
1FE-CPTU6	Prova penetrometrica	1682872,62	4960873,096	11,607
1FE-CPTU7	Prova penetrometrica	1683621,161	4960374,162	11,383
1FE-CPTU8	Prova penetrometrica	1684028,739	4959980,63	12,908
1FE-CPTU505	Prova penetrometrica	1683690,560	4960333,720	11,920

TABELLA 3-3: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ2	Pozzetto esplorativo	1683149.105	4963195.806	11,360
1FE-PZ3	Pozzetto esplorativo	1682692.725	4962291.084	10,980
1FE-PZ4	Pozzetto esplorativo	1682448.145	4961704.375	11,110
1FE-PZ5	Pozzetto esplorativo	1683395.916	4960496.791	11,510

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportate nei documenti inerenti le indagini elencati al paragrafo 2.3 del presente documento.

3.2. PROVE DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
 - apertura del campione con descrizione;
 - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
 - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
 - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
 - determinazione dei limiti di Atterberg;
 - determinazione del peso di volume allo stato naturale;
 - determinazione del peso specifico dei grani.

- Prove meccaniche
 - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);
 - prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);
 - prova di taglio diretto (T.D.);
 - prova di compressione non confinata (ELL);
 - prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti M , C_v , C_α e k .

Inoltre, i campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
 - apertura del campione con descrizione;
 - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
 - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
 - determinazione del contenuto naturale d'acqua;

- determinazione dei limiti di Atterberg;
 - determinazione del contenuto di sostanza organica;
 - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
 - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
 - determinazione dei limiti di Atterberg;
 - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
 - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
 - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla Tecnolab di Ortona (CH).

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area, sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.3 del presente documento.

4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il profilo geologico-geotecnico, ottenuto dall'interpretazione delle indagini geognostiche, è riportato negli elaborati progettuali "*Profilo geotecnico D06 (ex 1FE tratto A2)*" doc. PD_0_D06_D0000_0_GT_FT_01.

L'intera profondità indagata lungo tutta la tratta in progetto è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana alluvionale che sono stati suddivisi nelle 6 unità stratigrafiche descritte in seguito:

- Unità R

Terreno vegetale e/o suoli agrari, sovraconsolidati per essiccamento. Localmente terreni di riporto.

- Unità 1

Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocre, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcinelli). L'unità si presenta da moderatamente consistente a consistente. I primi metri dal piano campagna appaiono talvolta sovraconsolidati per essiccamento. Resistenza alla punta media 1÷3 MPa.

- Unità 2

Limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio. Resistenza alla punta media 3÷8 MPa.

- Unità 3

Sabbie fini, talora debolmente limose di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità 3 si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8÷10 MPa, $D_r \leq 50\%$.

5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

5.1. DATI PIEZOMETRICI DISPONIBILI

5.1.1. Monitoraggio piezometrico

Nel corso della campagna indagini eseguita a supporto delle attività di progettazione, i sondaggi stratigrafici realizzati sono stati attrezzati mediante l'installazione di verticali piezometriche con cella di Casagrande.

Contestualmente alle attività di indagine, è stata eseguita una campagna di monitoraggio piezometrico della strumentazione installata, che ha previsto una serie di letture protrattesi fino a Marzo 2012.

Nella successiva Tabella 5-1 si riporta il quadro completo della strumentazione installata e delle letture disponibili, mentre per l'ubicazione in pianta delle indagini si rimanda alle cartografie idrogeologiche di progetto.

TABELLA 5-1: QUADRO RIASSUNTIVO DEI PIEZOMETRI INSTALLATI E DELLE LETTURE DEI LIVELLI DI FALDA DISPONIBILI.

Sigla	PIEZ. TIPO	CARATTERISTICHE PIEZOMETRO	Letture livello falda in m da piano campagna								
			Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar
1FE-BH1	Casagrande	Cella posta a 20 m	-	-	-	1,17	1,06	1,20	-	-	1,14
1FE-BH2	Casagrande	Cella posta a 5 m	-	-	-	2,30	2,23	2,28	-	-	2,24
1FE-BH502	Tubo aperto	Tubo cieco 5 metri, tubo finestrato 20 metri	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Come si può osservare dai dati in Tabella 5-1, i dati della strumentazione di monitoraggio installata indicano una profondità media della falda di -1.7 m da p.c., ma i dati storici e le esperienze pregresse, unitamente alle informazioni raccolte presso la popolazione locale, indicano che la falda può attestarsi anche a quote molto prossime dal piano campagna nei periodi caratterizzati da apporti meteorici intensi e soprattutto nel periodo invernale/primaverile.

Analogamente a quanto osservato lungo l'asse autostradale, è ragionevole ipotizzare che i livelli di soggiacenza misurati nel corso della campagna di rilievi e monitoraggio effettuata siano affetti da una anomalia conseguente il prolungato periodo siccitoso estivo e la quasi totale assenza di apporti meteorici, protrattasi fino a tutto marzo 2012.

5.2. DEFINIZIONE DELLA FALDA DI PROGETTO

Di seguito sono definiti i livelli piezometrici assunti per la progettazione e le verifiche geotecniche, illustrando inoltre i criteri che ne hanno portato alla definizione.

- **Verifiche geotecniche: cedimenti, stabilità globale dei rilevati, liquefazione, capacità portante di pali/diaframmi fuori alveo**

Tali verifiche si ritengono influenzate prevalentemente dalla falda profonda.

Per la viabilità D06 (ex 1FE tratto A2) il monitoraggio piezometrico in essere lungo il tracciato stradale indica valori di soggiacenza della falda mediamente di 1.70 m dal p.c.. Come illustrato anche per l'asse autostradale principale, i livelli misurati risultano affetti da un lungo periodo caratterizzato dalla quasi totale assenza di apporti meteorici, perdurato da luglio 2011 a tutto marzo 2012.

Pertanto, i valori misurati non possono essere considerati rappresentativi per la corretta definizione di una plausibile falda di progetto.

Si ritiene piuttosto che tale livello, analogamente a quanto fatto per la scelta della falda di progetto per l'asse autostradale, possa attestarsi, in condizioni stagionali "normali", ad una quota più prossima al piano campagna. Pertanto, nel tratto di viabilità di adduzione D06 si assume una falda di progetto alla quota di **1.0 m** da piano campagna.

- **Verifiche geotecniche: capacità portante di pali/diaframmi in alveo**

Falda di progetto = 0.0 m da piano campagna.

Tale livello di falda, leggermente superiore a quanto assunto nel punto precedente, non determina comunque variazioni significative in termini di portanza delle fondazioni profonde per cui, in generale, il calcolo delle capacità portanti ha fatto riferimento alla suddetta assunzione.

- **Progettazione e verifiche relative a tombini, scatolari stradali, trincee e muri di sostegno, edifici, basamenti, vasche di trattamento acque**

Dato il limitato approfondimento di tali opere, si ritiene opportuno considerare la falda superficiale, ovvero in linea generale il livello piezometrico massimo proprio delle unità geotecniche superficiali.

Con riferimento ai dati della rete di monitoraggio della regione Emilia Romagna della falda "ipodermica", che non di rado mostra nei periodi invernali livelli freatici a 0,30÷0,50 m di profondità dal piano di campagna, si ritiene di assumere:

Falda di progetto = 0.5 m da piano campagna.

Bisognerà porre particolare attenzione affinché eventuali strati funzionali della sovrastruttura stradale non costituiscano vie preferenziali di infiltrazione lungo lo sviluppo dei sottopassi.

- **Opere provvisionali, scarpate provvisionali, problematiche di cantiere**

Alla luce di quanto indicato nel punto precedente, si può assumere:

Falda di cantiere = 1.5 m da piano campagna.

- **Progettazione rete di smaltimento acque superficiali**

Si ritiene di definire la seguente falda idraulica.

Falda idraulica = 1.0 m da piano campagna.

6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per i criteri adottati nella caratterizzazione geotecnica si rimanda al medesimo capitolo dell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1. PREMESSA

Il presente capitolo riporta la caratterizzazione geotecnica delle principali unità litostratigrafiche individuate lungo il tratto stradale in esame per le singole zone omogenee, basata sui risultati:

- delle indagini geognostiche eseguite (capitolo 3);
- dell'interpretazione delle indagini secondo i criteri descritti nel capitolo 6.

L'interpretazione delle indagini ha consentito di raggruppare i materiali incontrati nelle unità litostratigrafiche illustrate al capitolo 4, ovvero:

- unità 1: argille, argille limose e limi argillosi;
- unità 2: limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose;
- unità 3: sabbie fini, debolmente limosa, da poco a mediamente addensate;

Si segnala che, in riferimento all'unità superficiale R individuata nel profilo geotecnico, ai fini delle analisi geotecniche l'unità R è stata assimilata all'unità 2.

L'analisi del profilo stratigrafico sulla base delle unità litostratigrafiche suddette ha evidenziato una sostanziale omogeneità dal punto di vista geologico e geotecnico. Per le analisi di carattere geotecnico il tratto in esame è stato dunque caratterizzato mediante un'unica zona omogenea.

7.2. ZONA OMOGENEA 1

La zona omogenea 1 si estende lungo l'intero tratto della viabilità in oggetto, dalla pk 0+000 alla pk 4+191.

L'area è caratterizzata da un orizzonte superficiale di terreni limoso-sabbiosi (unità 2) di modesto spessore, non superiore ai 4.0÷5.0 m nella prima parte di tracciato (fino alla pk 1+500 circa) e di ancor più ridotta entità nella restante porzione del tracciato (spessore circa pari a 1.5÷2.0).

Sotto tale copertura limoso-sabbiosa si rinvengono fino alle massime profondità indagate (35 m) terreni a prevalente natura argillosa (unità 1), la cui persistenza viene interrotta tra i 20÷25 m circa da un orizzonte continuo di sabbie fini da poco a mediamente addensate con limi sabbiosi e sabbie limose al tetto.

All'interno dei depositi argillosi (unità 1) si rinvengono inoltre locali intercalazioni e isolate lenti di terreni incoerenti (unità 1 e unità 3), generalmente di modesto spessore nella parte del tracciato, più significative nella seconda parte, dove le intercalazioni assumono spessori variabili tra 2.0÷8.0 m.

Per la definizione del livello di falda si rimanda a quanto precedentemente esposto al capitolo 5.

Nei grafici riportati in Appendice 1 (capitolo 11) vengono riportati, per le diverse unità litostratigrafiche presenti:

- le caratteristiche fisiche;
- lo stato attuale delle unità litostratigrafiche individuate;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- le caratteristiche di consolidazione;
- i coefficienti di permeabilità.

Nel seguito si riportano nel dettaglio i principali parametri geotecnici di calcolo per le varie unità litostratigrafiche considerate.

TABELLA 7-1: Z.O.1 PESO DI VOLUME DEL TERRENO [kN/m³]

	Unità 1	Unità 2	Unità 3	Unità 4	Unità 5	Unità 6
γ [kN/m ³]	17.5	19.0	19.0	n.d.	n.d.	n.d.

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

TABELLA 7-2: Z.O.1 COESIONE NON DRENATA [kPa]

	Unità 1
c_u [kPa] (*)	40 ÷ 110

(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

TABELLA 7-3: Z.O.1 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ COESIVE

	Unità 1
c' [kPa] (*)	2 ÷ 6
φ' [°] (*)	21 ÷ 24

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;

- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

TABELLA 7-4: Z.O.1 ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO PER LE UNITÀ INCOERENTI [°]

	Unità 2	Unità 3
φ' [°] (*)	29 ÷ 32	31 ÷ 34

(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidezza tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidezza.

TABELLA 7-5: Z.O.1 MODULI DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ COESIVE [kPa]

	Unità 1
M [kPa]	4000
E' [kPa]	2970
E _u [kPa]	20000

TABELLA 7-6: Z.O.1 MODULO DI DEFORMAZIONE PER LE UNITÀ INCOERENTI [kPa]

	Unità 2	Unità 3
E' [kPa]	5000 ÷ 15000	25000

TABELLA 7-7: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA VERTICALE [m²/s]

	Unità 1
c_v [m ² /s]	$7.3 \cdot 10^{-7}$

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

TABELLA 7-8: Z.O.1 COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE SECONDARIA [%]

	Unità 1
c_α [%]	0.3

Nota: n.d. = dato non disponibile per la zona omogenea in esame.

8. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE

Per la valutazione dei cedimenti si rimanda al documento PD_0_A00_00000_0_GT_RB_03.

In particolare gli interventi previsti sono riassunti nella seguente tabella.

TABELLA 8-1: INTERVENTI SPALLE OPERE D'ARTE.

Opera d'arte		Pk di riferimento	ZO	Tipologia Spalla	H _{RIL,max} [m]	Tipologia dreni	L _d (valutata da piano campagna) [m]	i _d [m]	H _{precarico} [m]	T _c (Tempo di costruzione)	T _a (Tempo di attesa: fine esecuzione rilevato - esecuzione della spalla)
DPO14	Ampliamento Ponte su Condotto Generale	0+530	1	Chiusa	1.0	Dreni a nastri	25	2.0	-	-	-

9. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Dal momento che le unità geotecniche presenti entro i primi 20 m di profondità risultano prevalentemente a carattere coesivo, si ritengono non significative le verifiche di stabilità nei confronti dei fenomeni di liquefazione.

10. CLASSI DI ESPOSIZIONE PER OPERE DI FONDAZIONE

A seguito dell'analisi delle indagini chimiche di laboratorio, si riportano nel seguito le criticità riscontrate in merito all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno, ai sensi della UNI EN 206-1 e della UNI 11104.

- **Classe di esposizione XA2**

Con riferimento a quanto indicato per l'asse autostradale.

11. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE

11.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI

Per quanto concerne i criteri per la definizione del piano di posa dei rilevati/trincee si rimanda all'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

11.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

Lo schema generale delle bonifiche effettuate al piano di posa dei rilevati è riportato nella figura seguente.

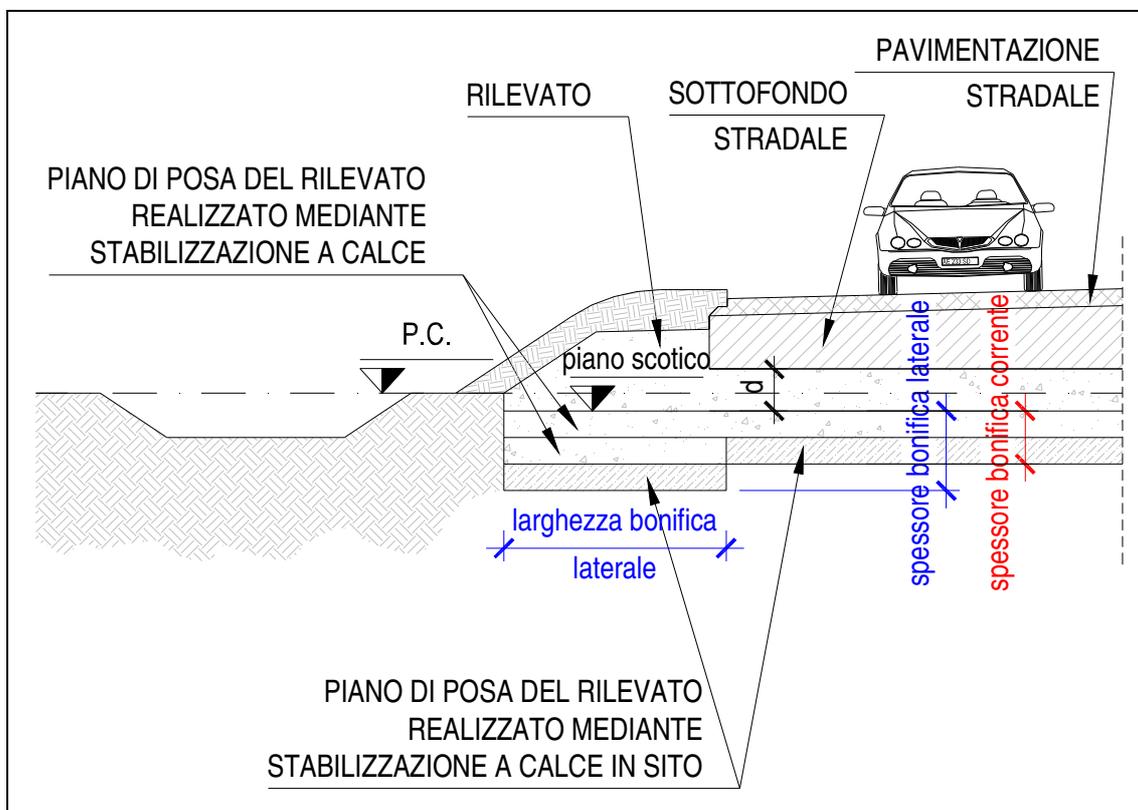


FIGURA 11-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

11.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI

Nella tabella seguente sono riportati, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato:

- il tratto di riferimento;
- il livello prestazionale in termini di valore del modulo di deformazione su piastra M_d richiesto in funzione della distanza "d" considerata.

TABELLA 11-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Tratto	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
/	0.2	44

11.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Per quanto riguarda le caratteristiche del materiale utilizzato per lo strato di bonifica vengono ipotizzati valori del modulo elastico variabili nell'intervallo $E_1 = 30.0 \div 75.0$ MPa.

Pozzetti esplorativi di riferimento: 1FE-PZ02 ÷ 1FE-PZ05 (vedi paragrafo 3.1).

Per la determinazione del modulo elastico E_0 attribuito al terreno di sottofondo nelle elaborazioni numeriche atte a simulare la prova di carico su piastra all'estradosso dello strato di bonifica con il criterio di Burmister, si è fatto principalmente riferimento ai risultati delle prove di carico su piastra in termini di modulo di deformazione M_d condotte nella campagna di indagine di progetto definitivo in corrispondenza della viabilità oggetto del presente documento.

Tale modulo $E_0 = E_{PLT}$ è ricavato sulla base del modulo di deformazione su piastra dei pozzetti di riferimento secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

Nella tabella seguente è riportato, in base al tratto di riferimento, il modulo elastico $E_0 = E_{PLT}$ assunto nelle elaborazioni.

TABELLA 11-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.

Tratto	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
/	3.8

11.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO

Al variare dello spessore di bonifica "s" e del relativo modulo elastico (da 30.0 MPa a 75 MPa) sono state ricavate le curve corrispondenti al valore del modulo su piastra equivalente M_d misurato all'estradosso della bonifica, ovvero al piano di posa del rilevato, definite secondo il criterio di Burmister.

Tale range di modulo elastico della bonifica si ritiene compatibile con terreno stabilizzato a calce.

I risultati delle analisi vengono riassunti nella tabella seguente in termini di:

- spessore corrente dello strato di bonifica;

da assumere al fine di raggiungere il livello prestazionale richiesto per il piano di posa del rilevato; per ogni tratto è inoltre indicato il riferimento alla figura che mostra l'analisi condotta con il criterio di Burmister.

Viene inoltre indicato:

- lo spessore di bonifica ai lati del piano di posa del rilevato che risulta, in genere, approfondito rispetto alla bonifica corrente e la relativa larghezza (vedi schema riportato in Figura 11-1).

Il modulo elastico della bonifica indicato nelle analisi è quello necessario a garantire il livello prestazionale richiesto; i valori indicati si ritengono compatibili con terreno stabilizzato a calce.

TABELLA 11-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.

Tratto	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
/	0.6	0.6	0.0	Figura 11-2

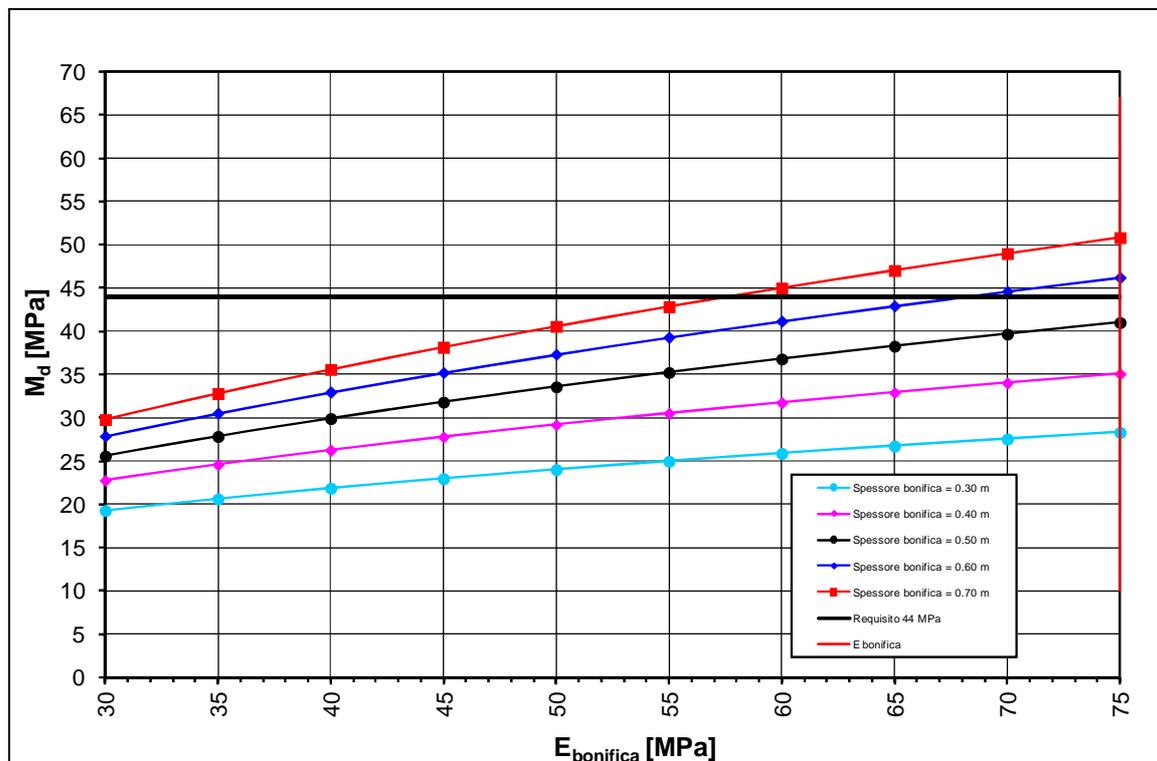


FIGURA 11-2: HRIL ≤ 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

11.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE

A seguito dell'analisi dei certificati di laboratorio inerenti lo studio delle miscele terreno naturale + calce (CaO) (vedi elaborati di riferimento inerenti le indagini di laboratorio ed il paragrafo 3.2), è stata verificata la sostanziale idoneità dei terreni presenti al piano di posa dei rilevati ad essere stabilizzati a calce.

Nella tabella seguente sono riportati:

- la percentuale di calce da adottare nelle miscele terreno naturale + calce (CaO) per la formazione del piano di posa dei rilevati/trincee (bonifiche);
- le pk di inizio e fine di riferimento per la singola percentuale di calce.

TABELLA 11-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.

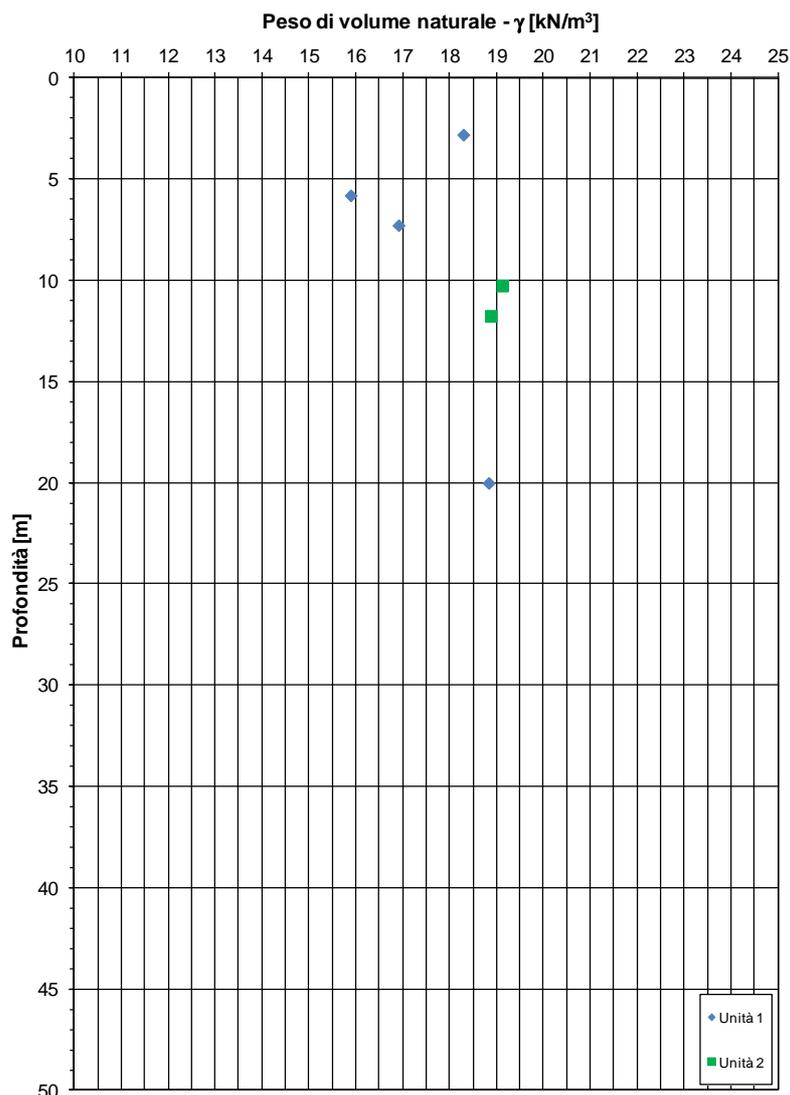
pk inizio [km]	pk fine [km]	% calce viva (CaO) per stabilizzazione
/	/	3.5

12. APPENDICE 1 - GRAFICI CARATTERISTICHE FISICHE, DI DEFORMABILITÀ, DI RESISTENZA AL TAGLIO E DI CONSOLIDAZIONE.

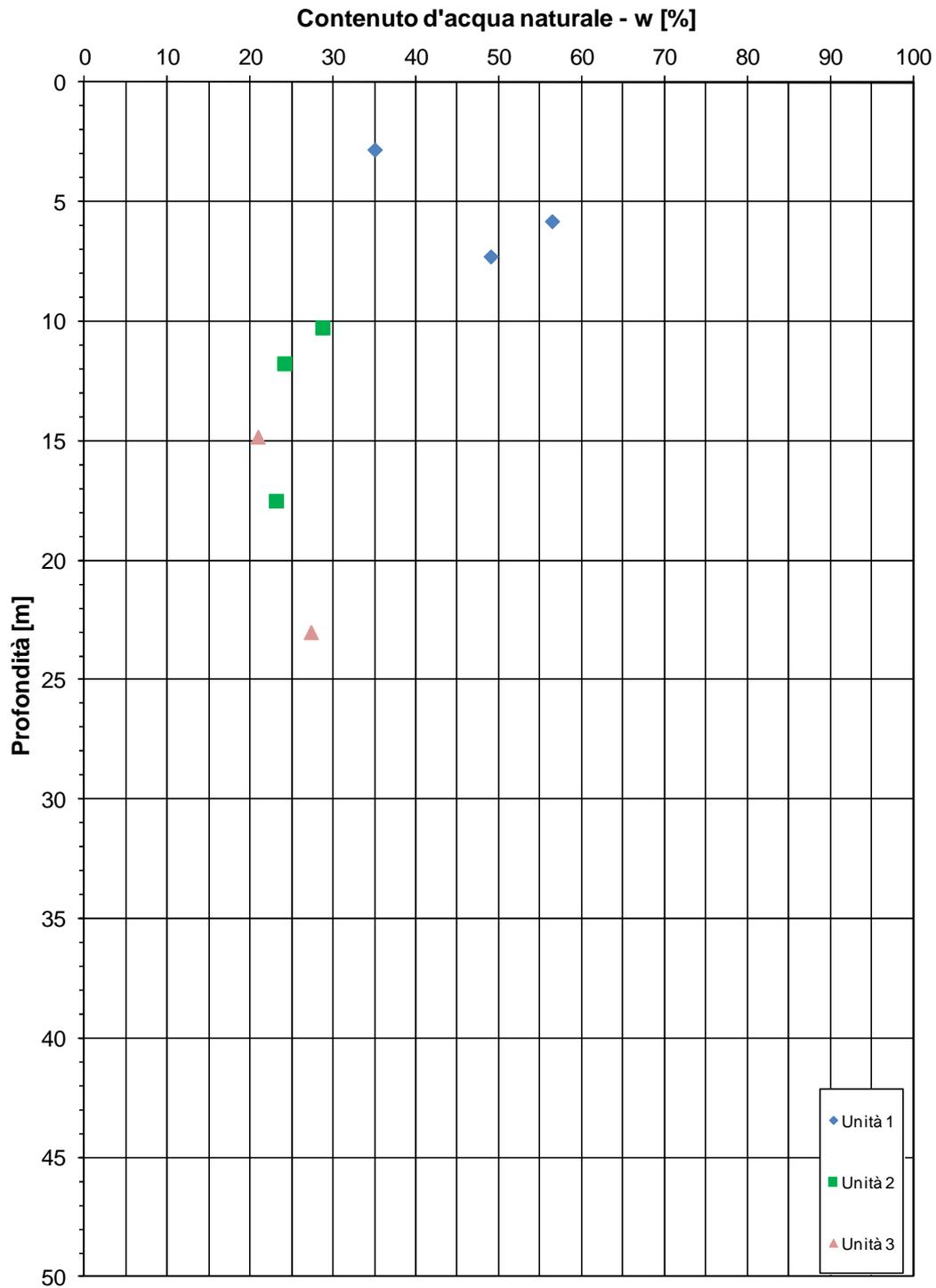
12.1. ZONA OMOGENEA 1

12.1.1. Risultati indagini di laboratorio

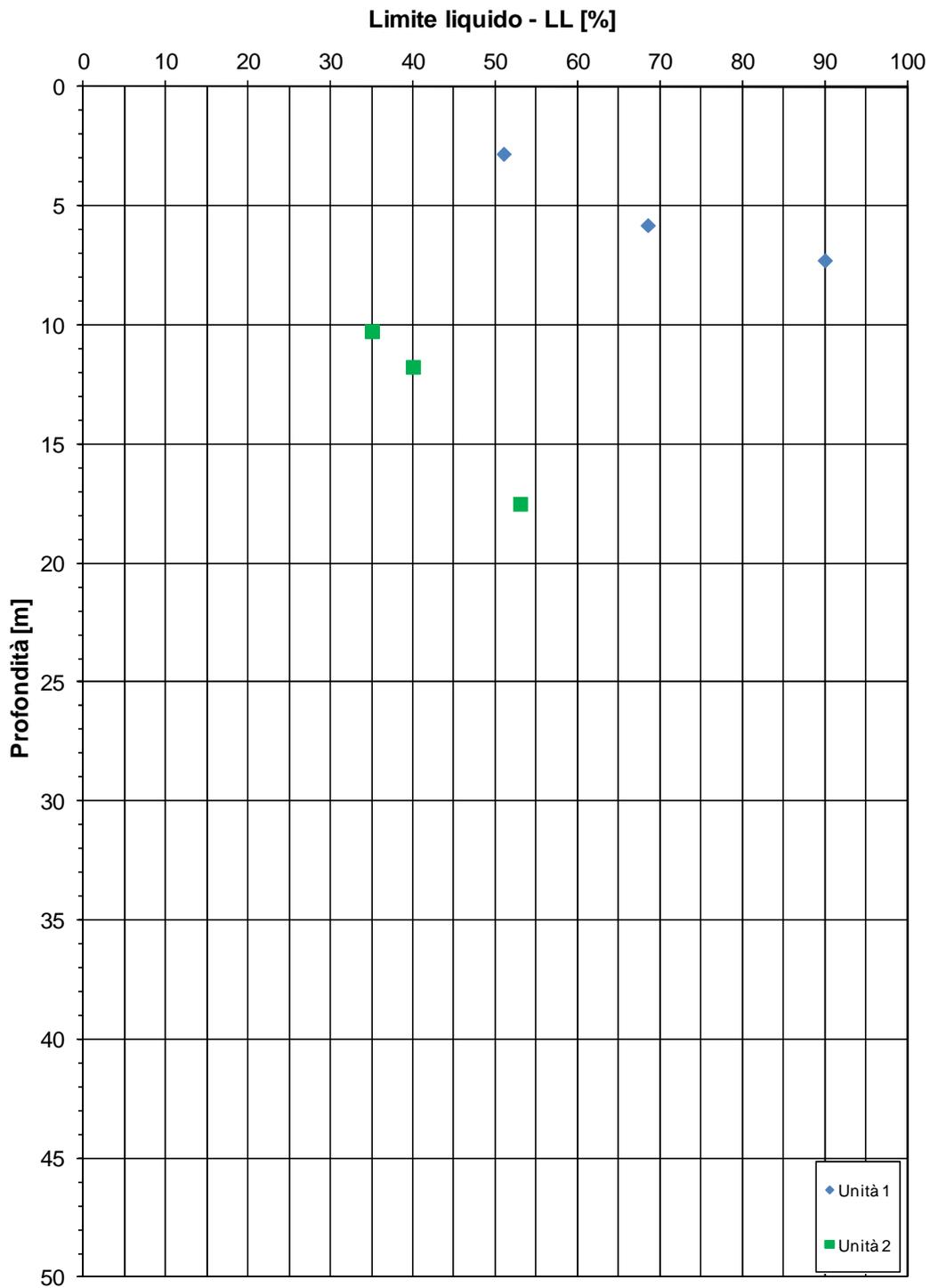
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



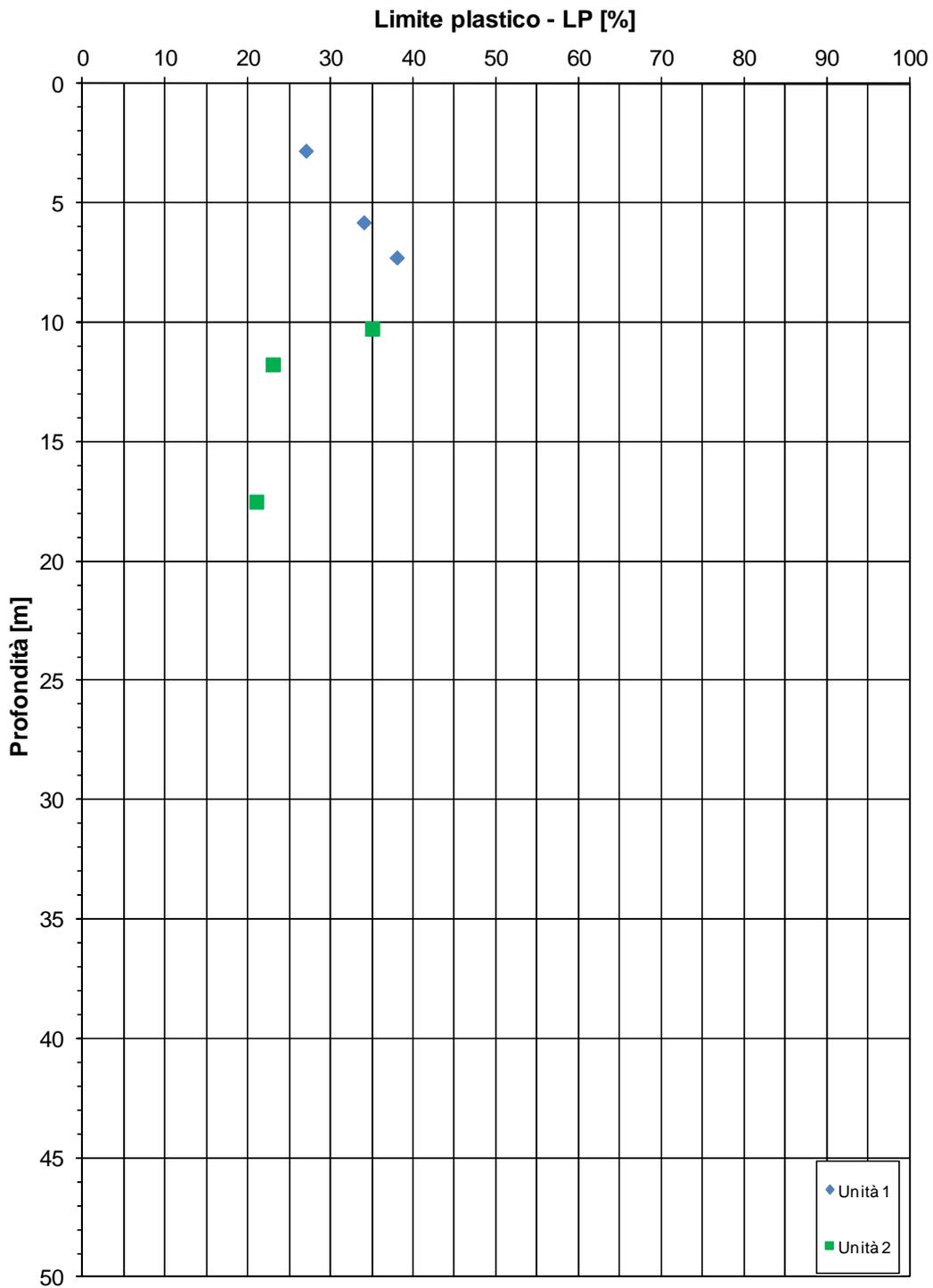
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



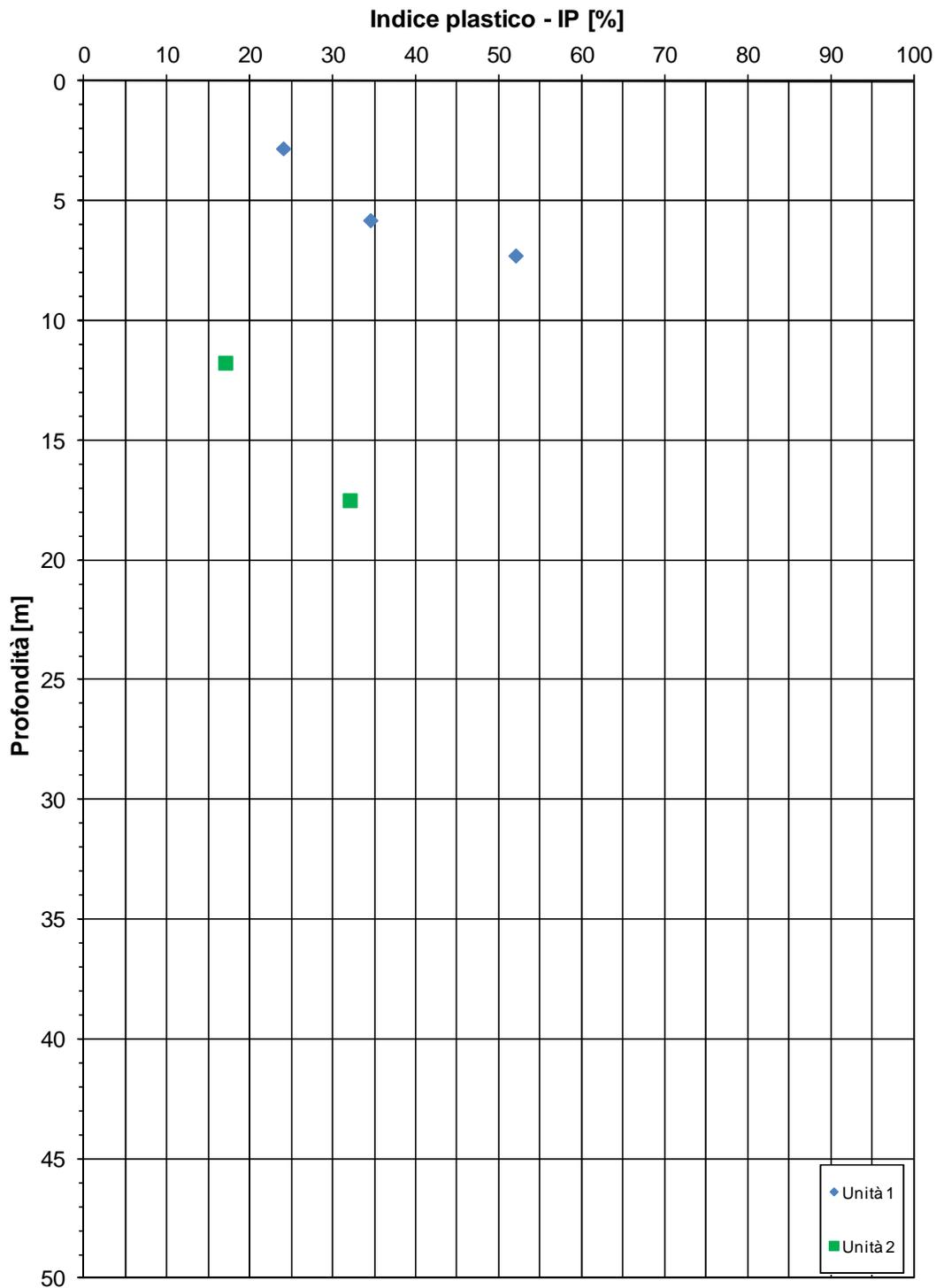
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



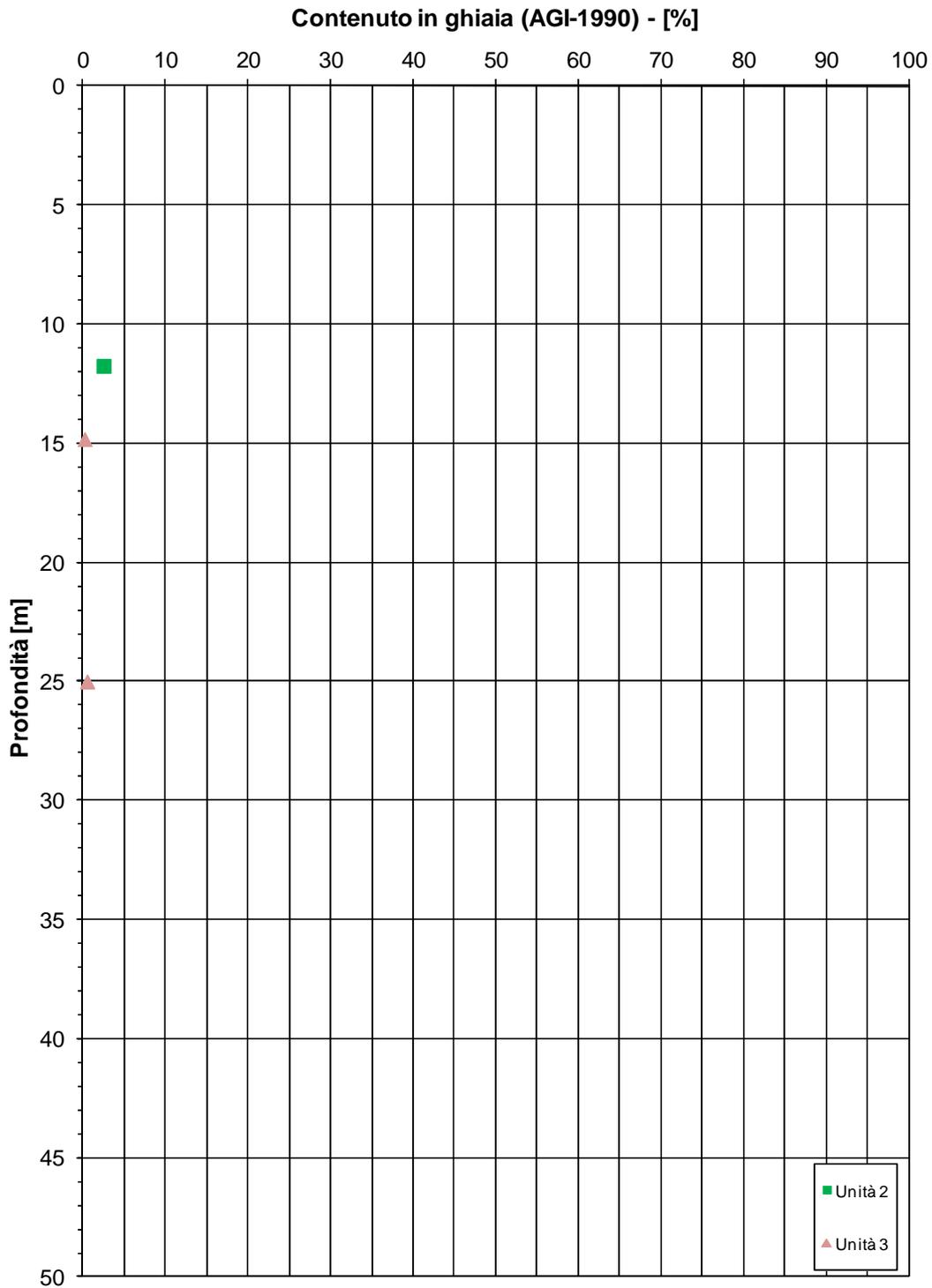
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



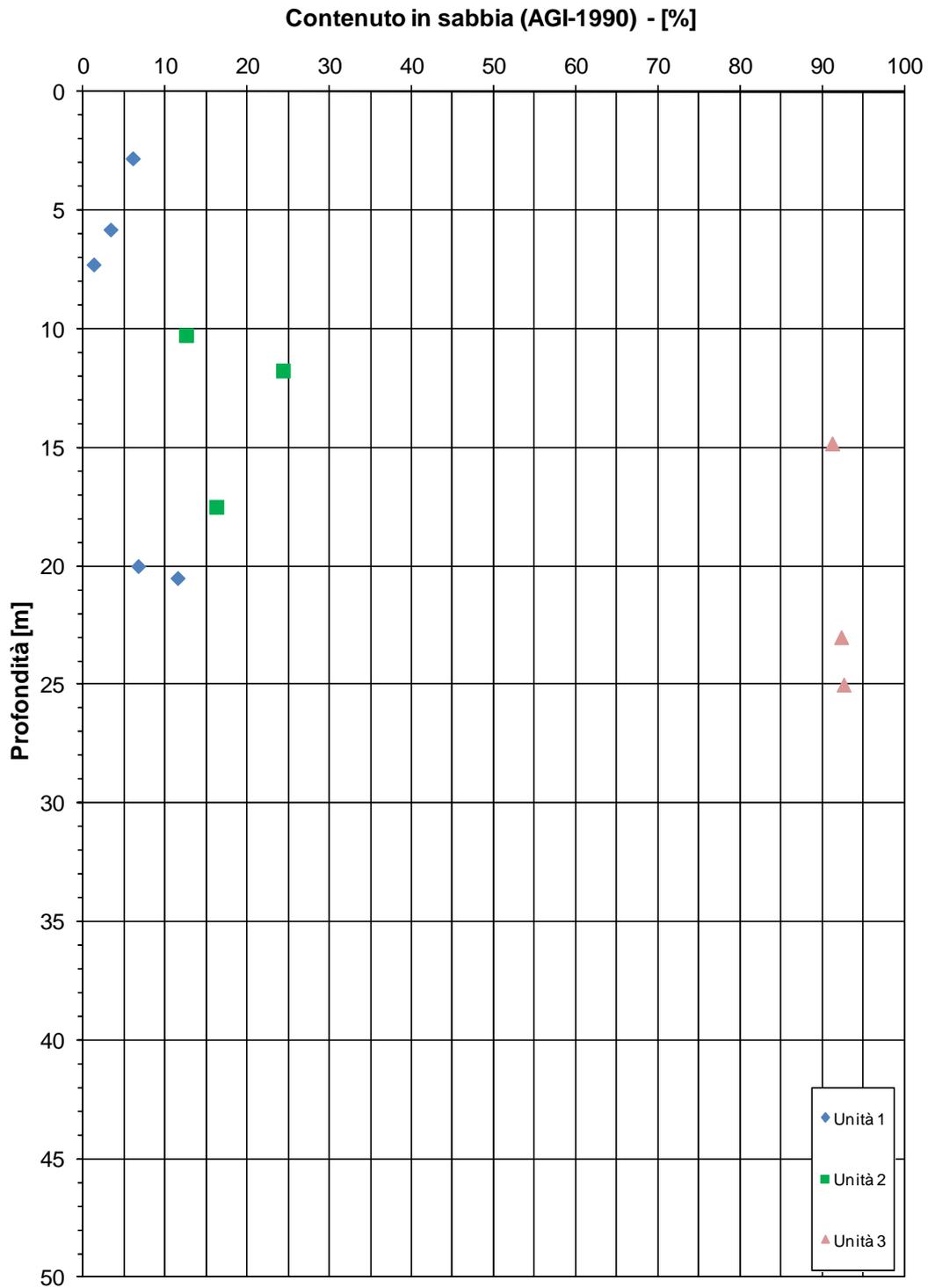
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



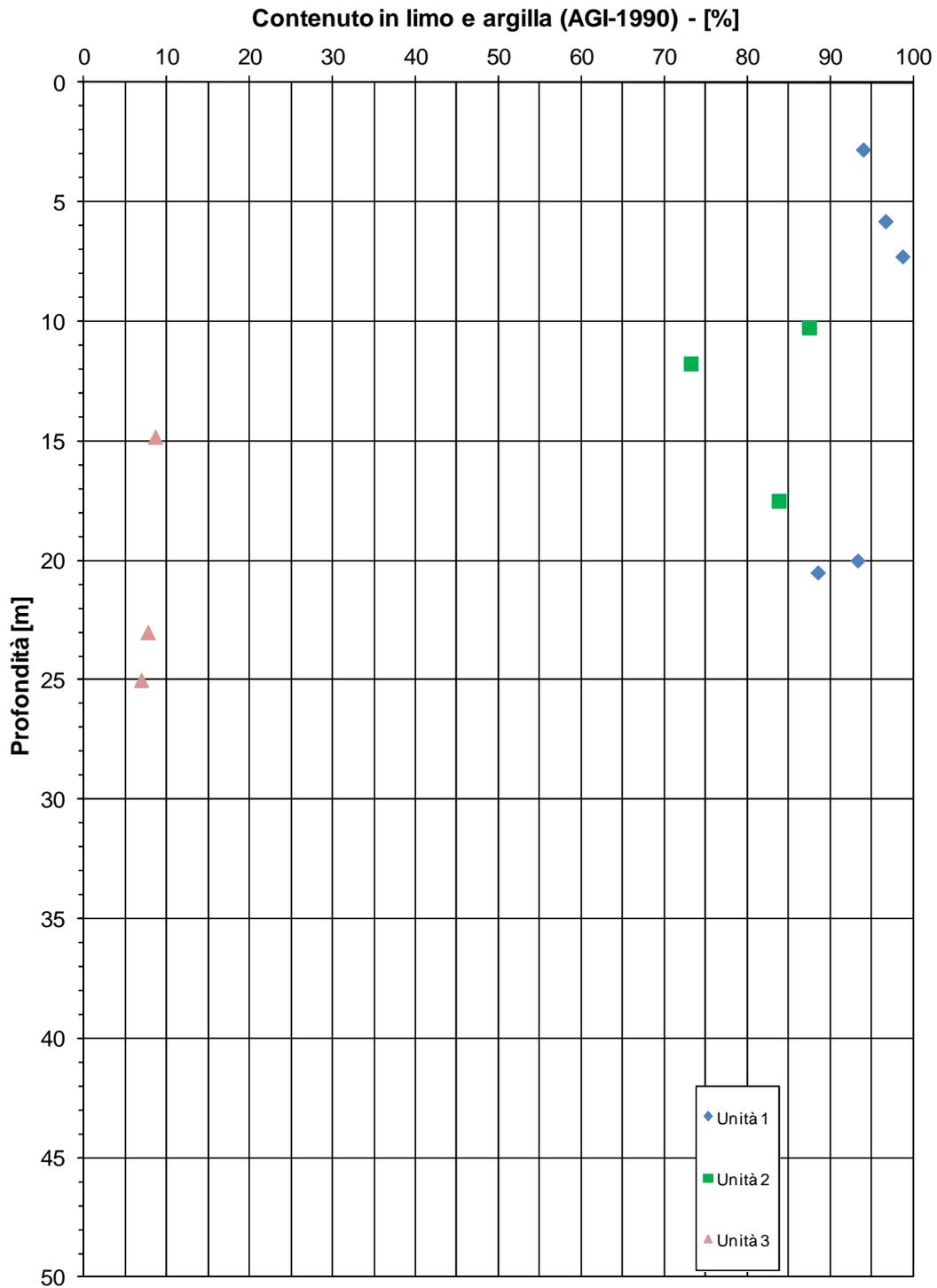
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



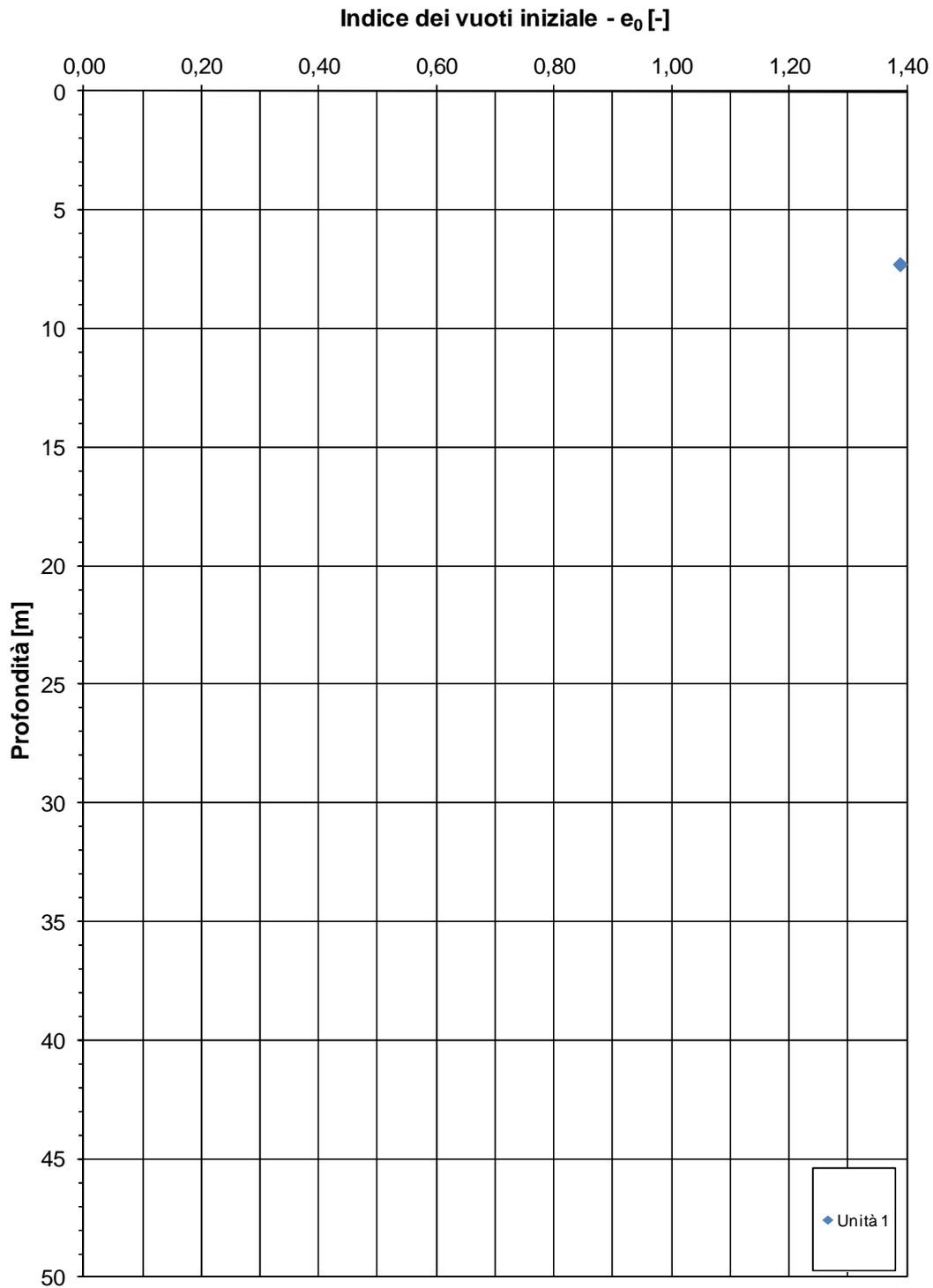
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



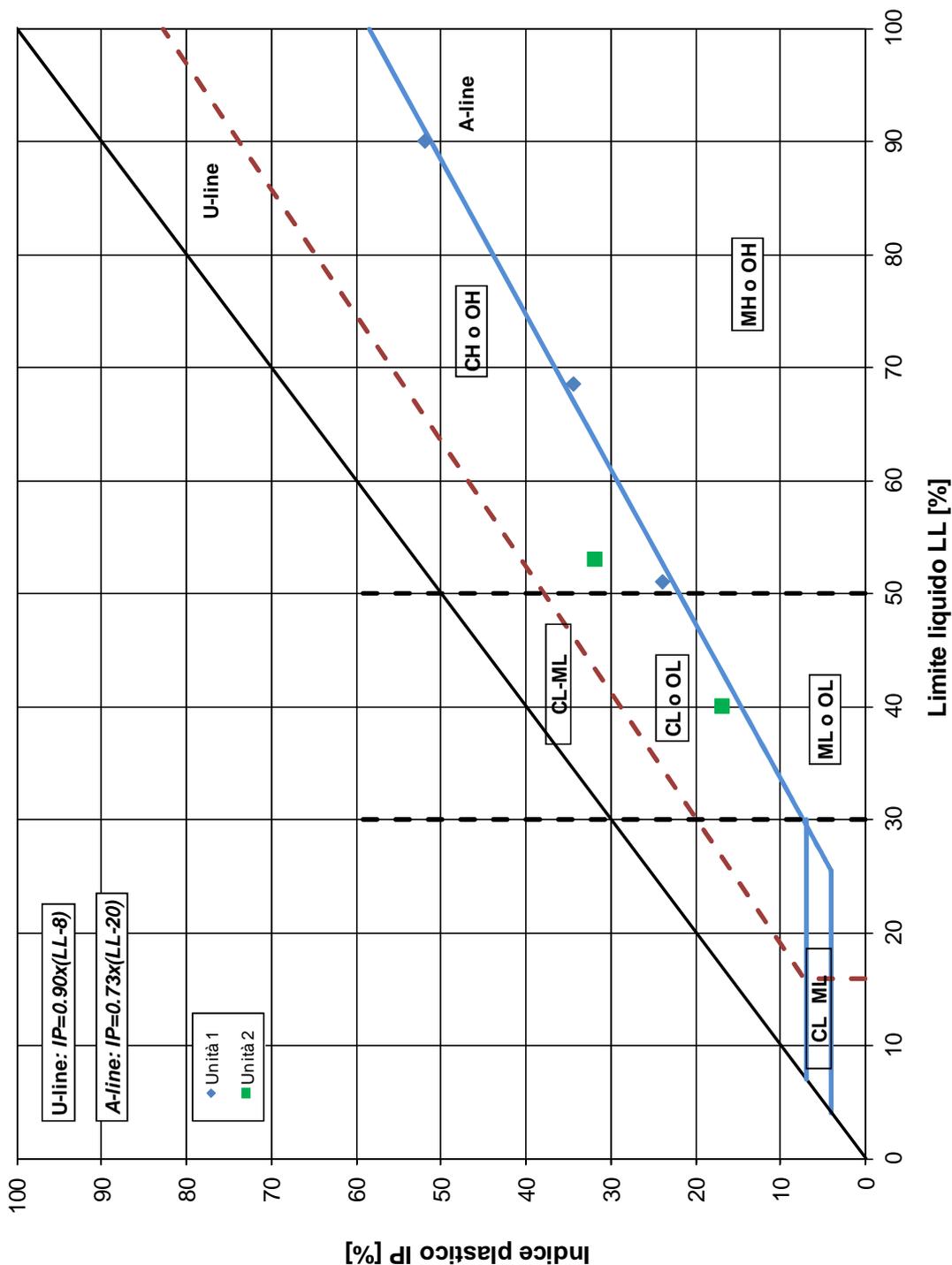
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



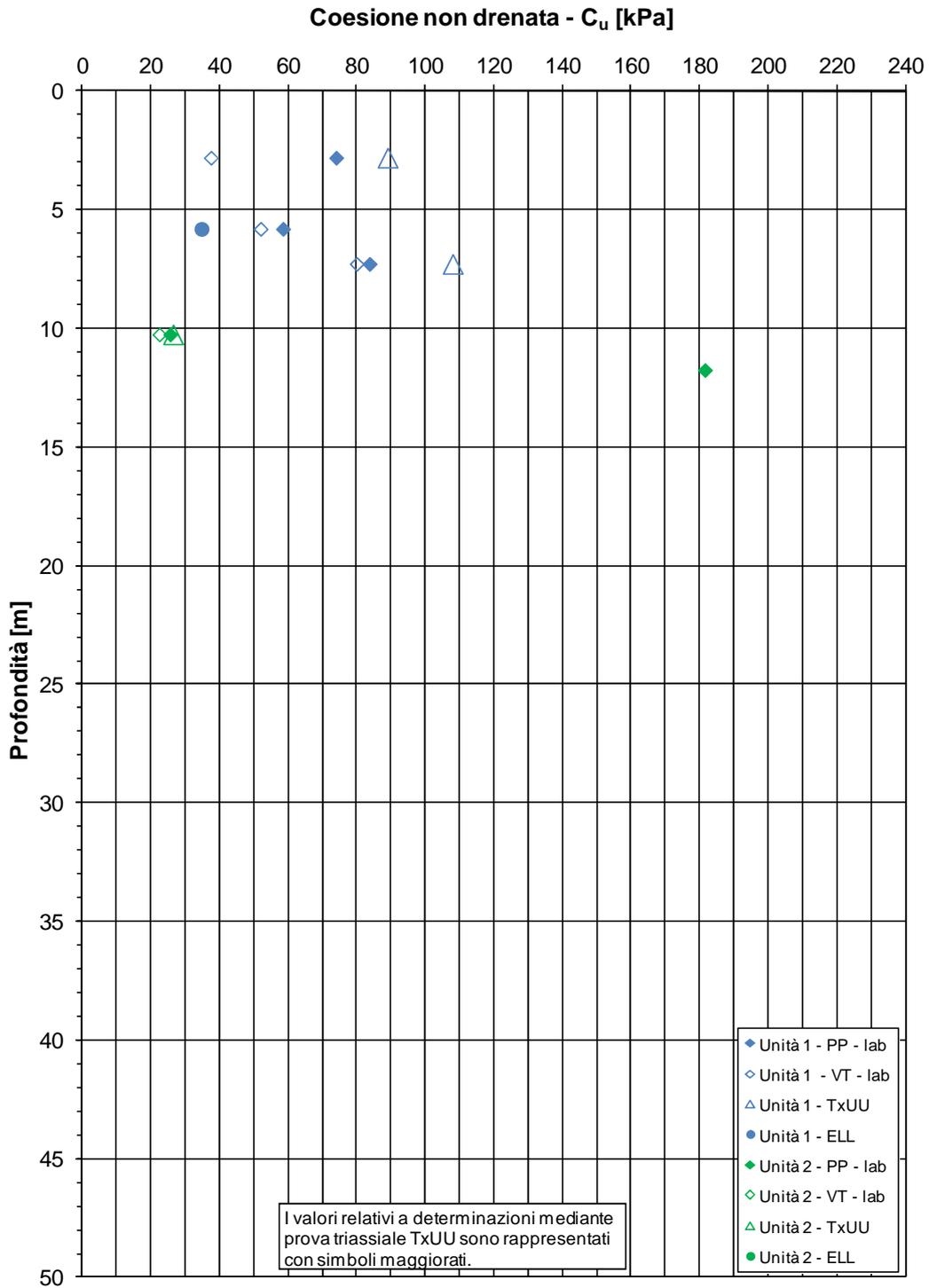
Viabilità di adduzione 1FE - tratto A2



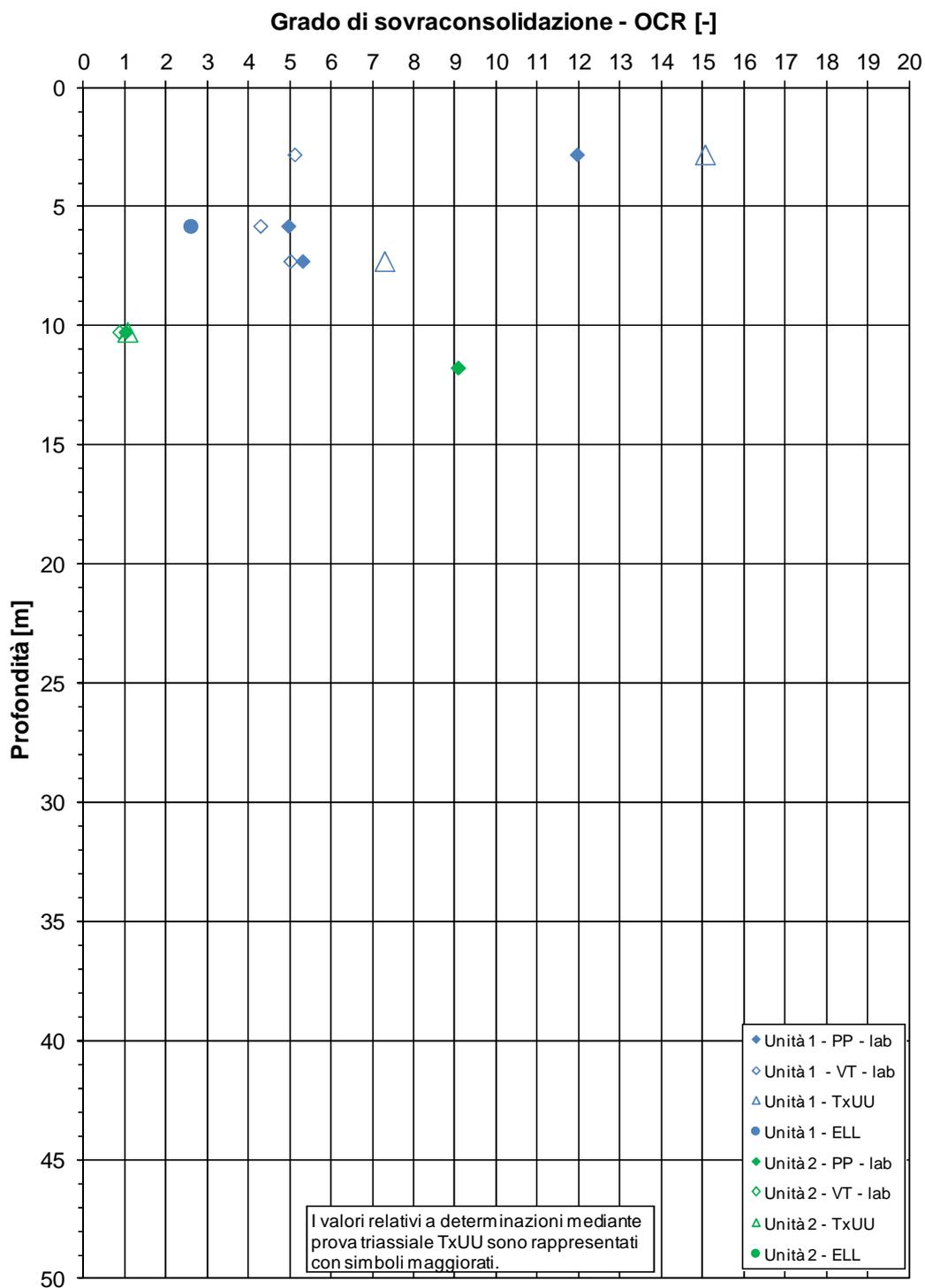
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2
Carta di plasticità Sistema Unificato USCS



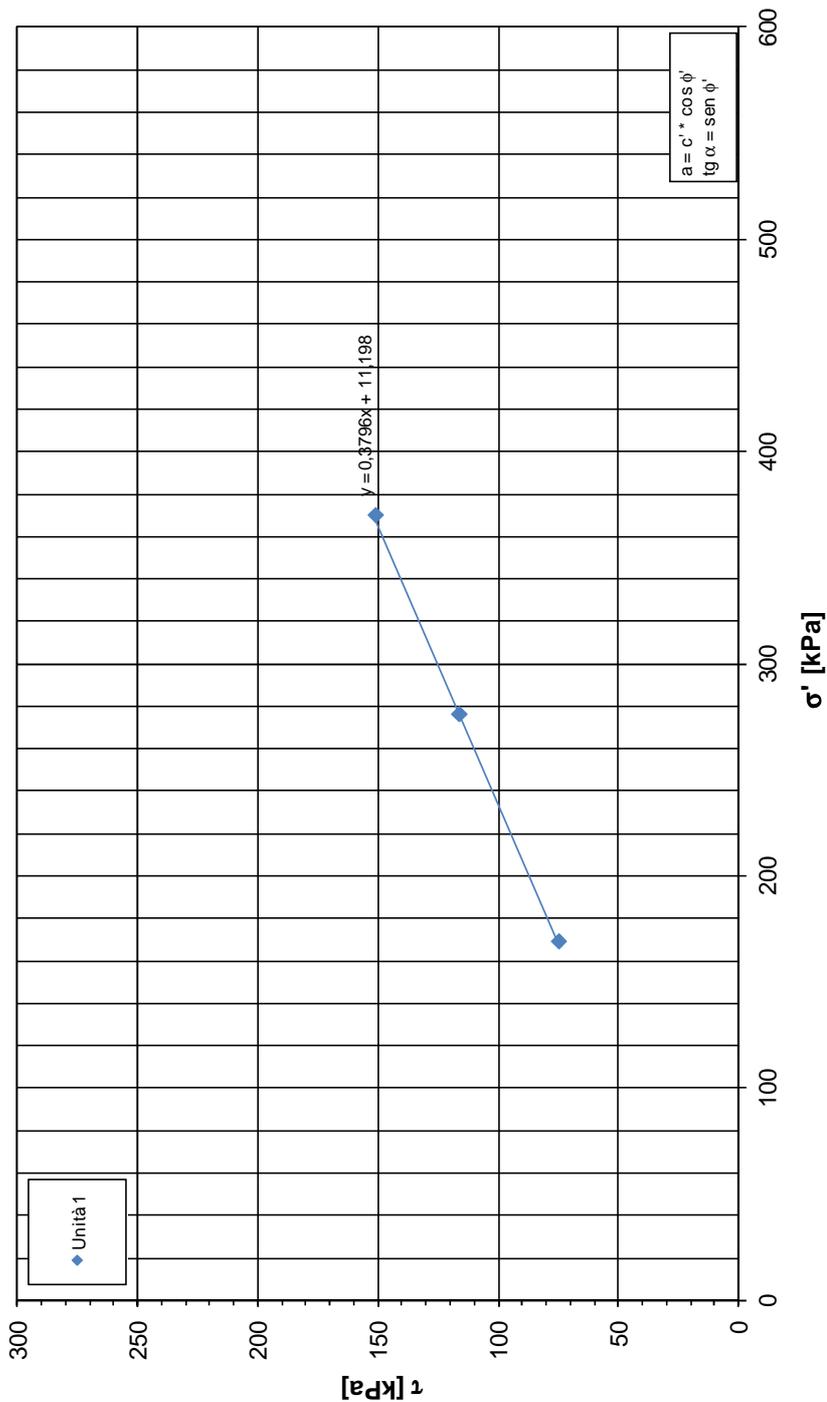
Viabilità 1FE - Tratto A2 - Indagini in laboratorio



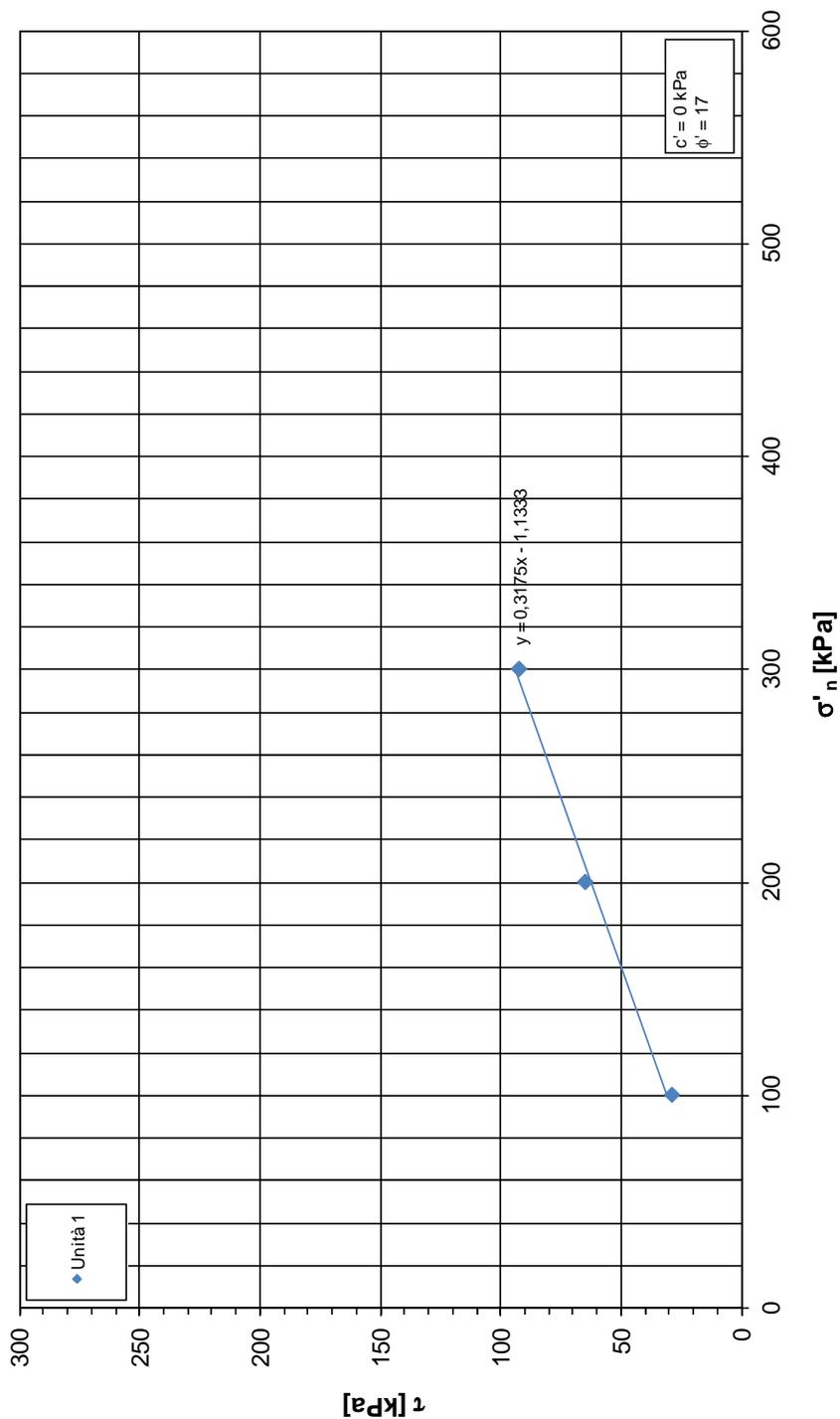
Viabilità 1FE - Tratto A2 - Indagini in laboratorio



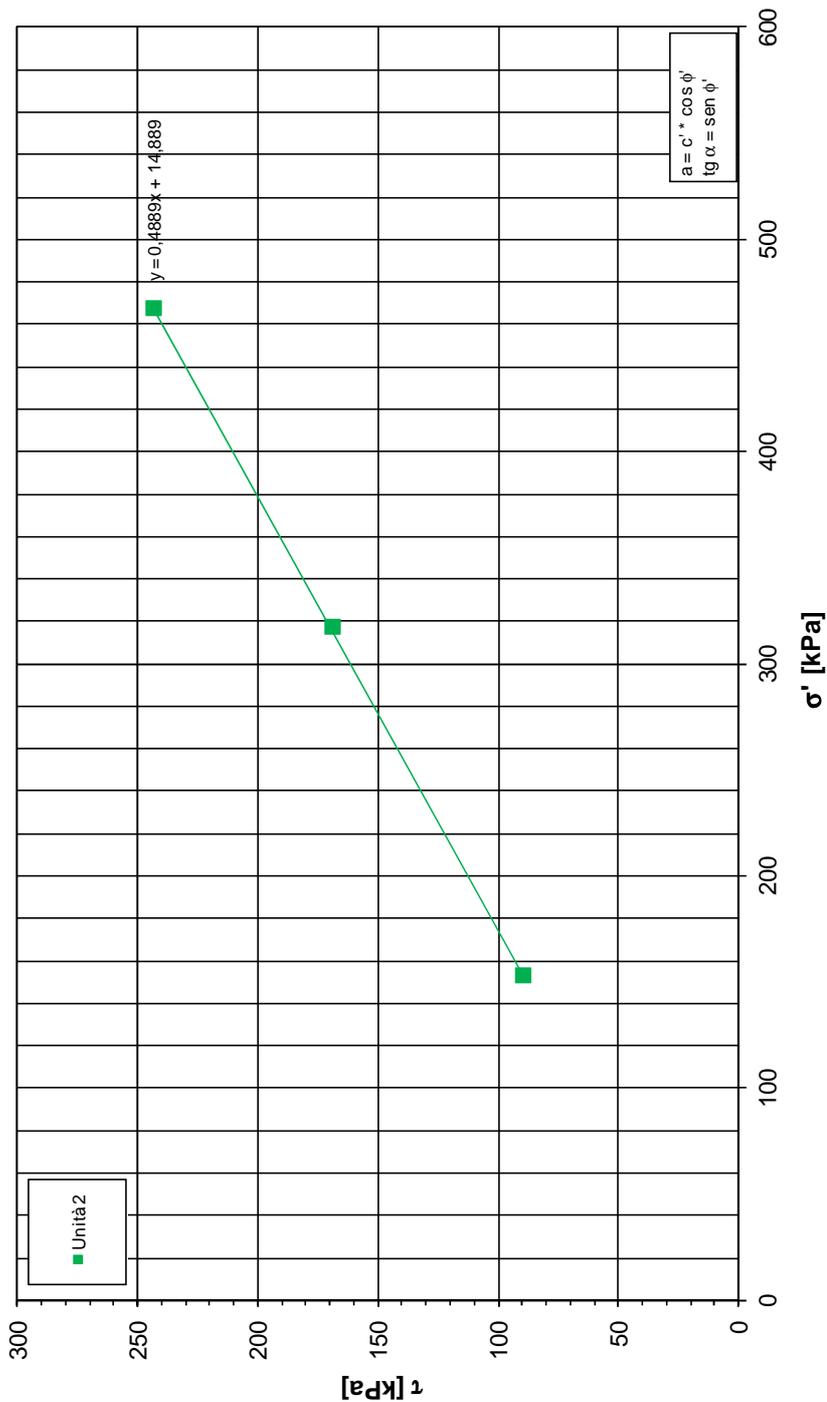
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2 - Indagini laboratorio (TxCIU)



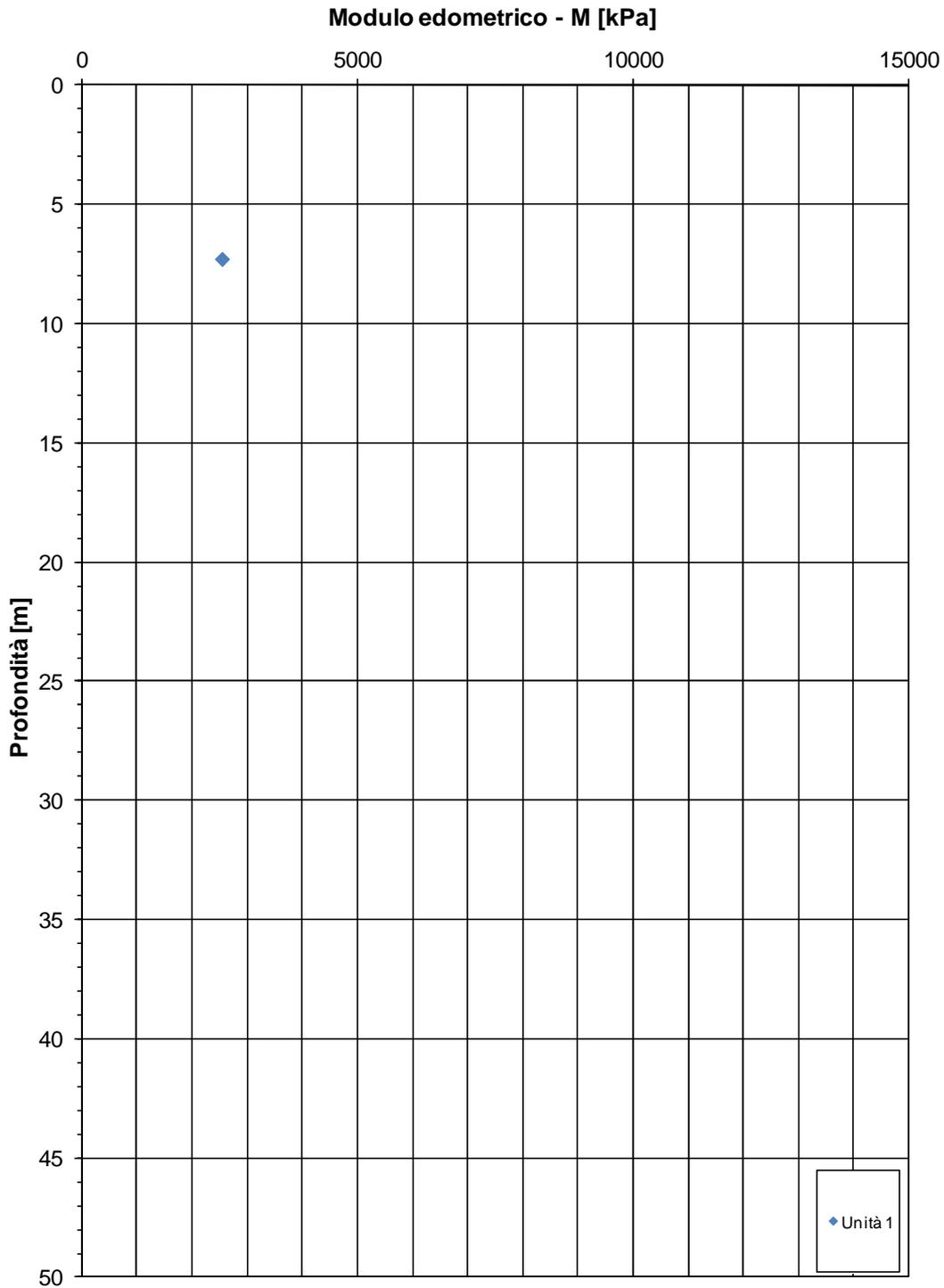
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2 - Indagini laboratorio (TD)



Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2 - Indagini laboratorio (TxCIU)

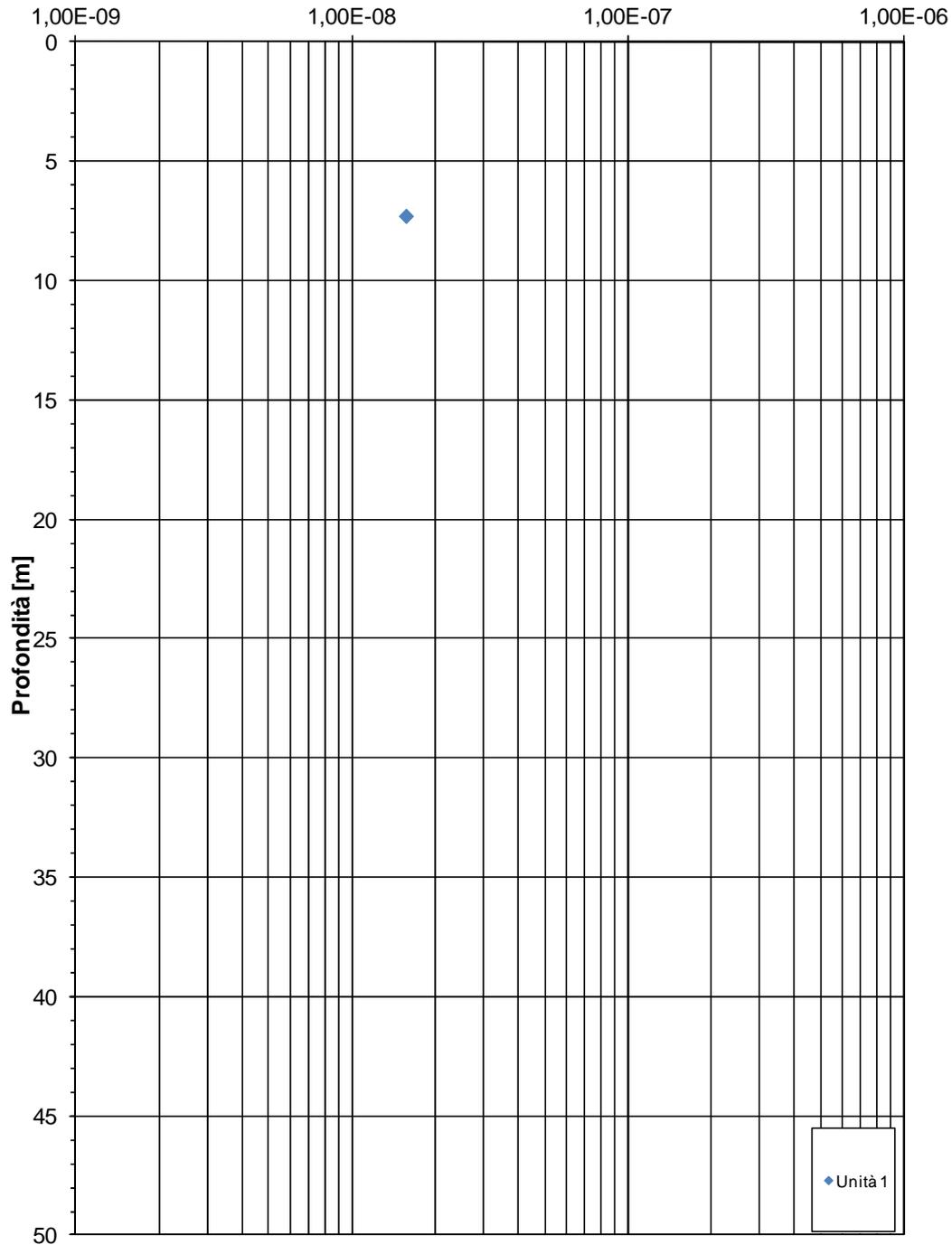


Viab. 1FE - Tratto A2 - Indagini in laboratorio

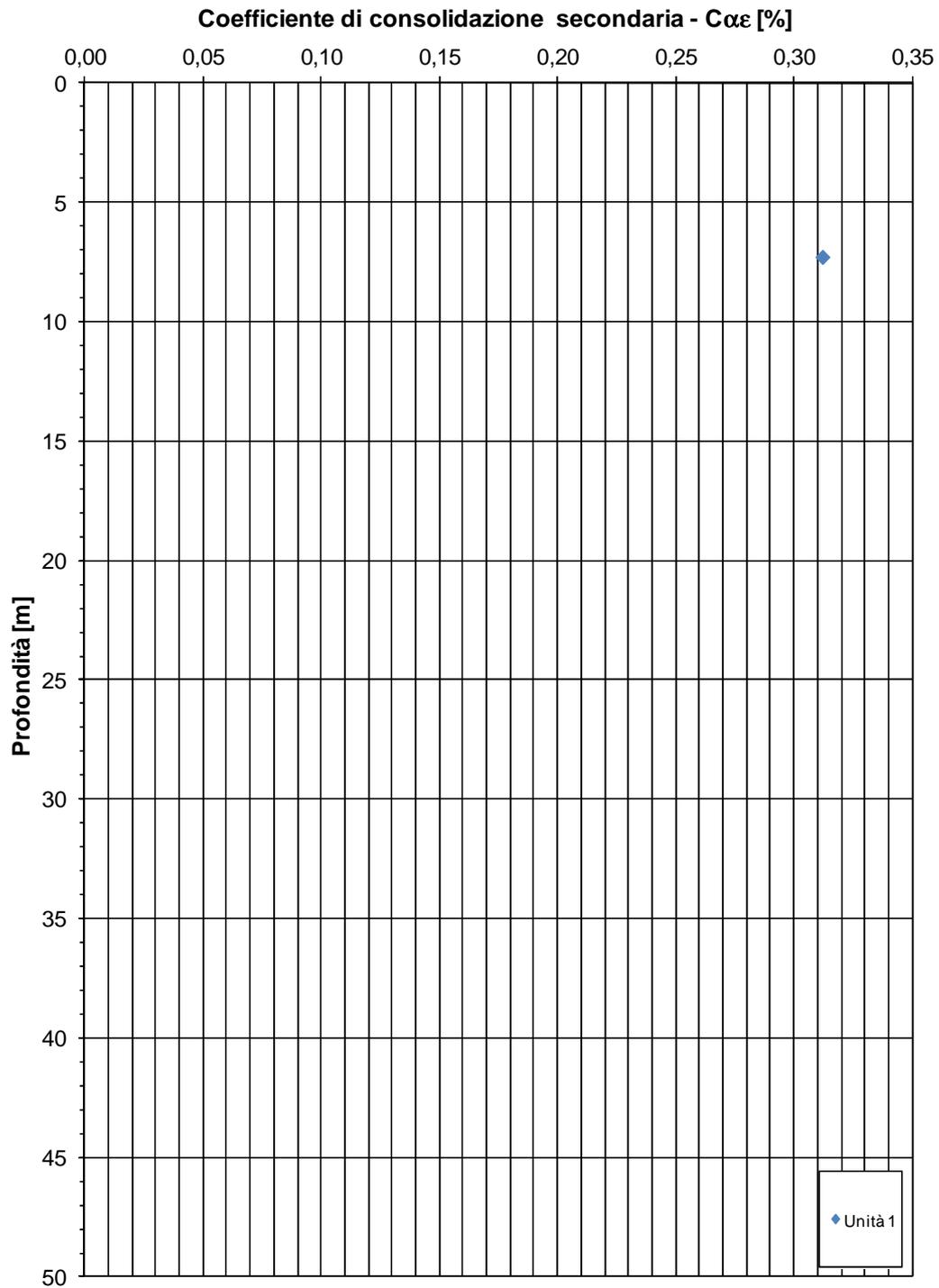


Viab. 1FE - Tratto A2 - Indagini in laboratorio

Coefficiente di consolidazione primaria - C_v [m²/s]

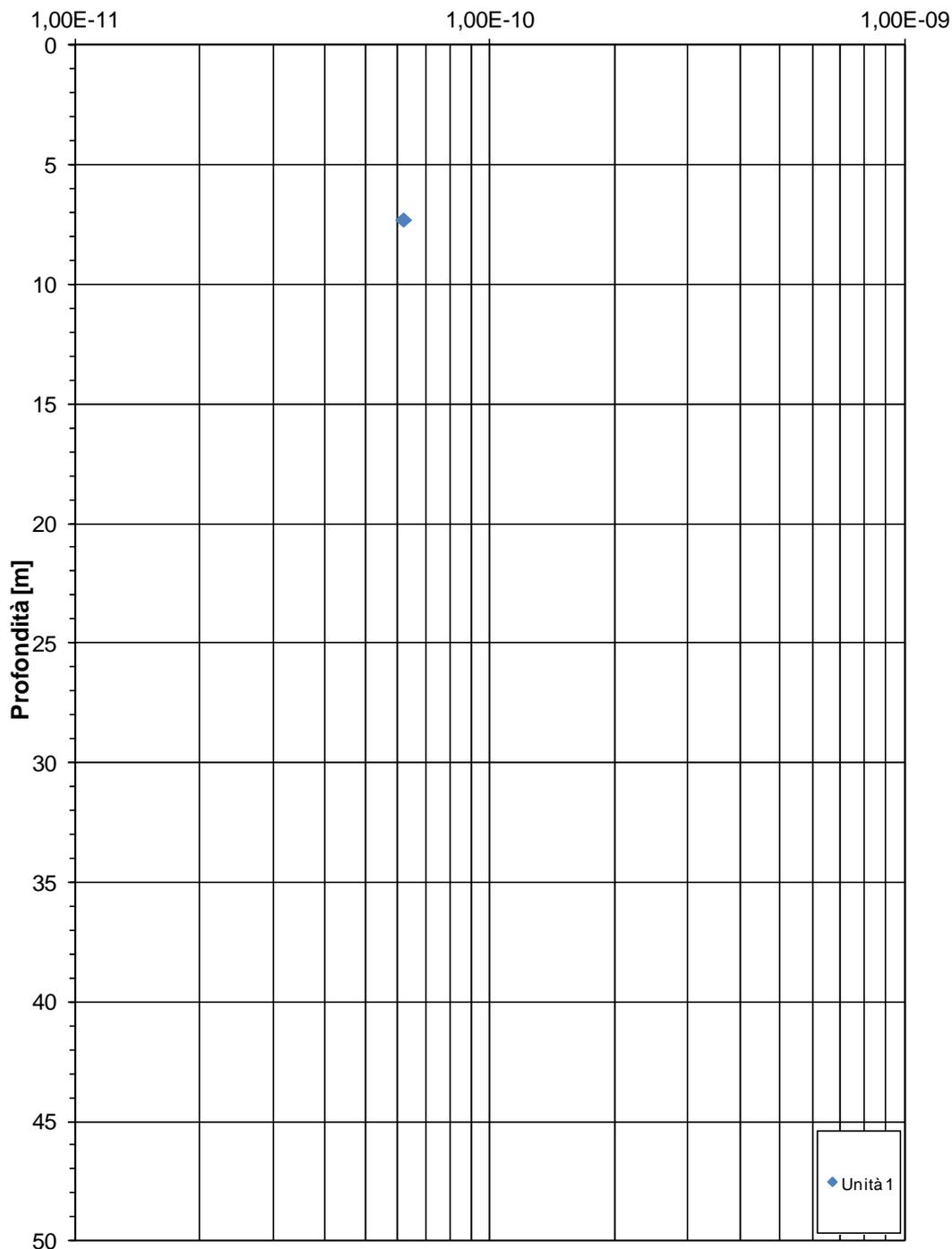


Viab. 1FE - Tratto A2 - Indagini in laboratorio



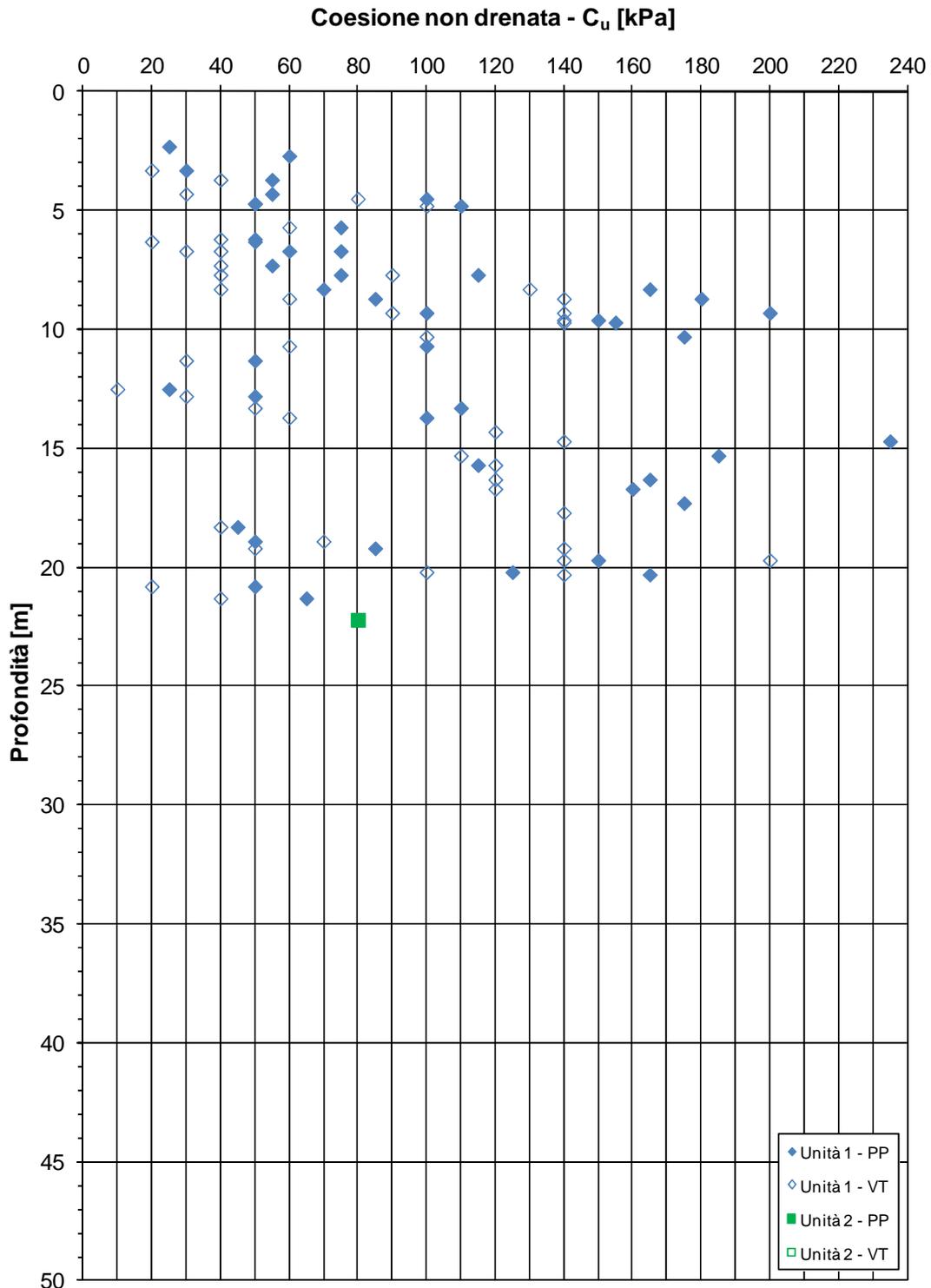
Viab. 1FE - Tratto A2 - Indagini in laboratorio

Coefficiente di permeabilità da correlazioni empiriche - $k[m/s]$



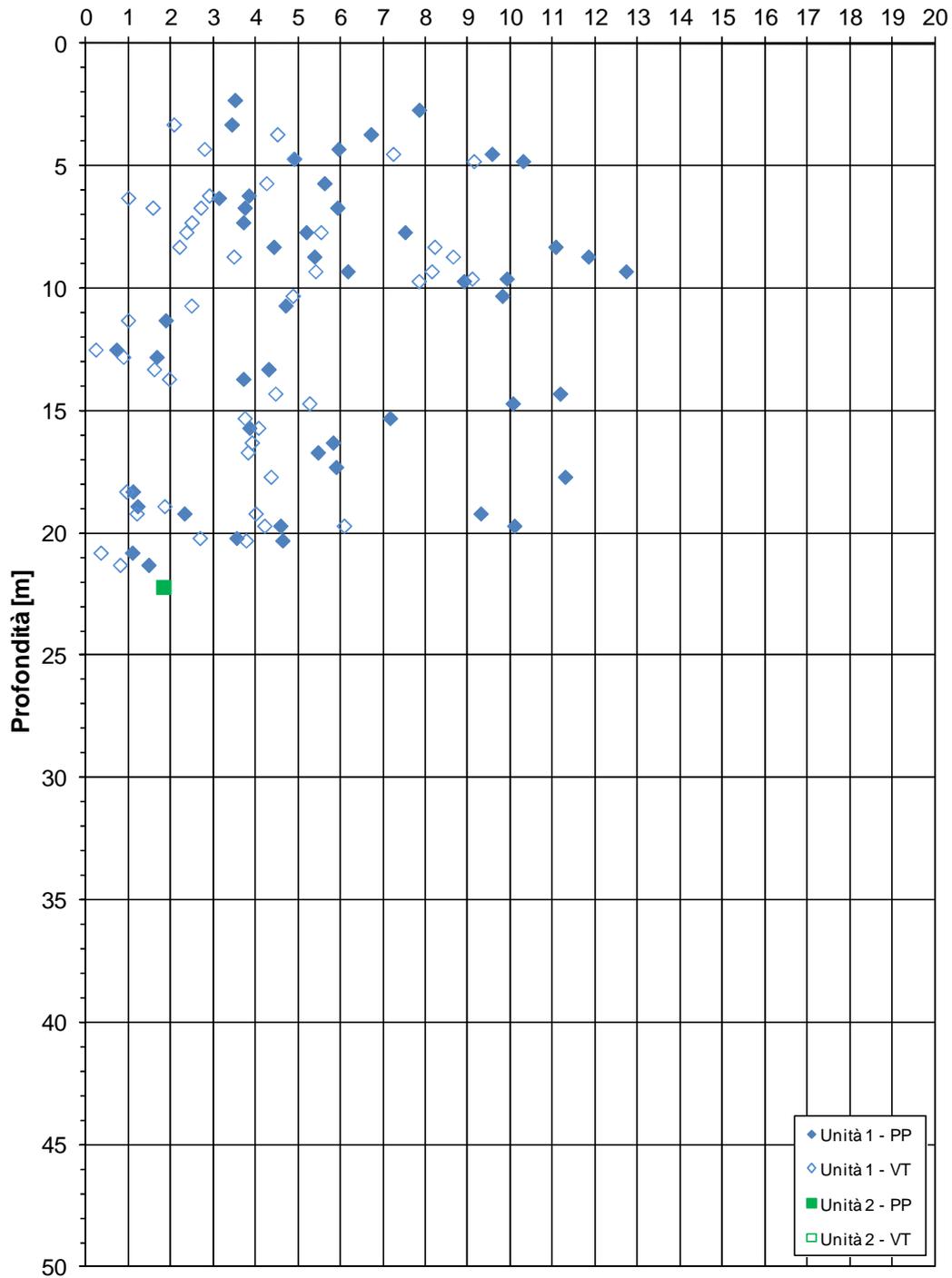
12.1.2. Interpretazione sondaggi e prove SPT

Viabilità 1FE - Tratto A2 - Indagini in sito

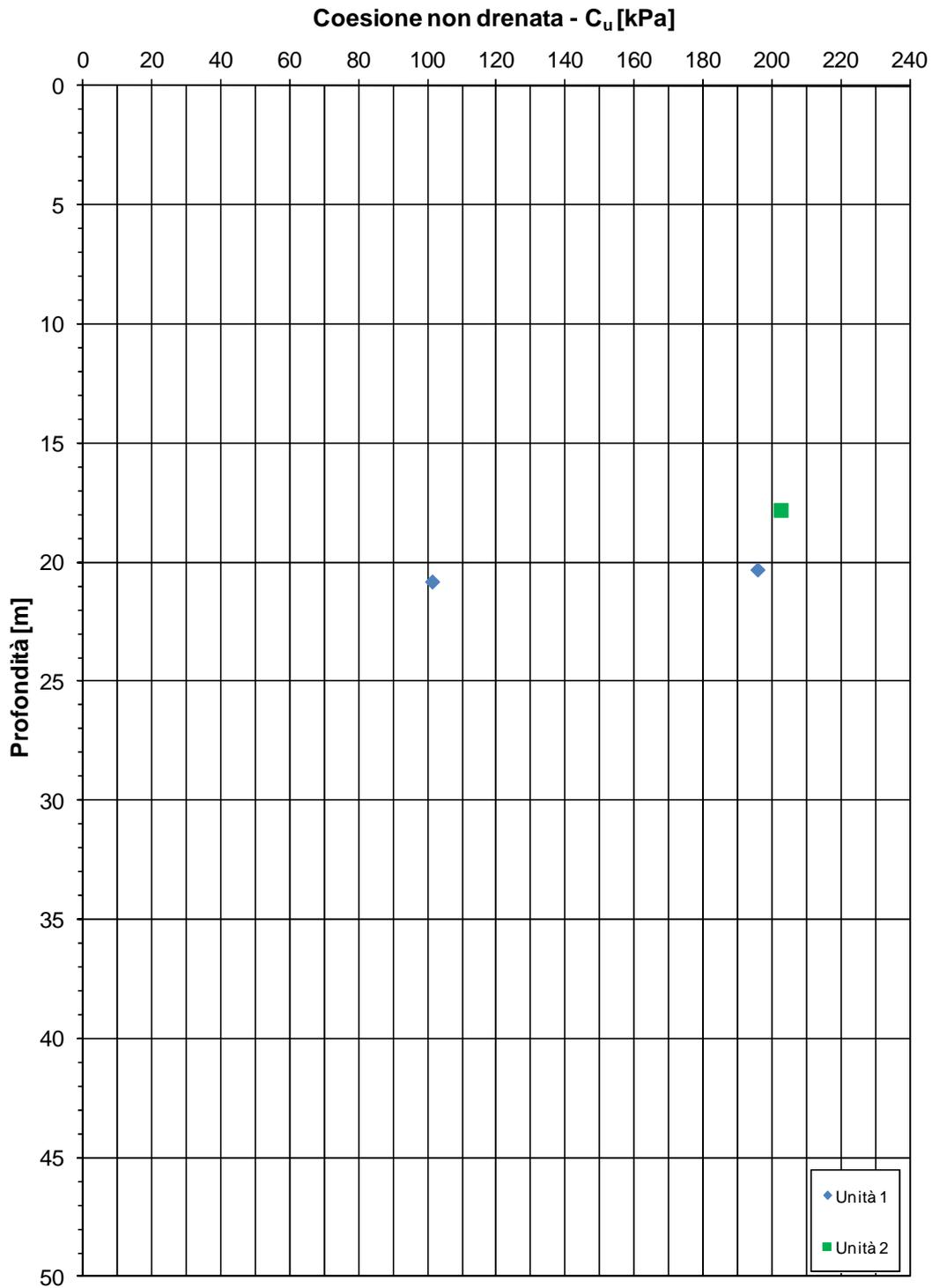


Viabilità 1FE - Tratto A2 - Indagini in sito

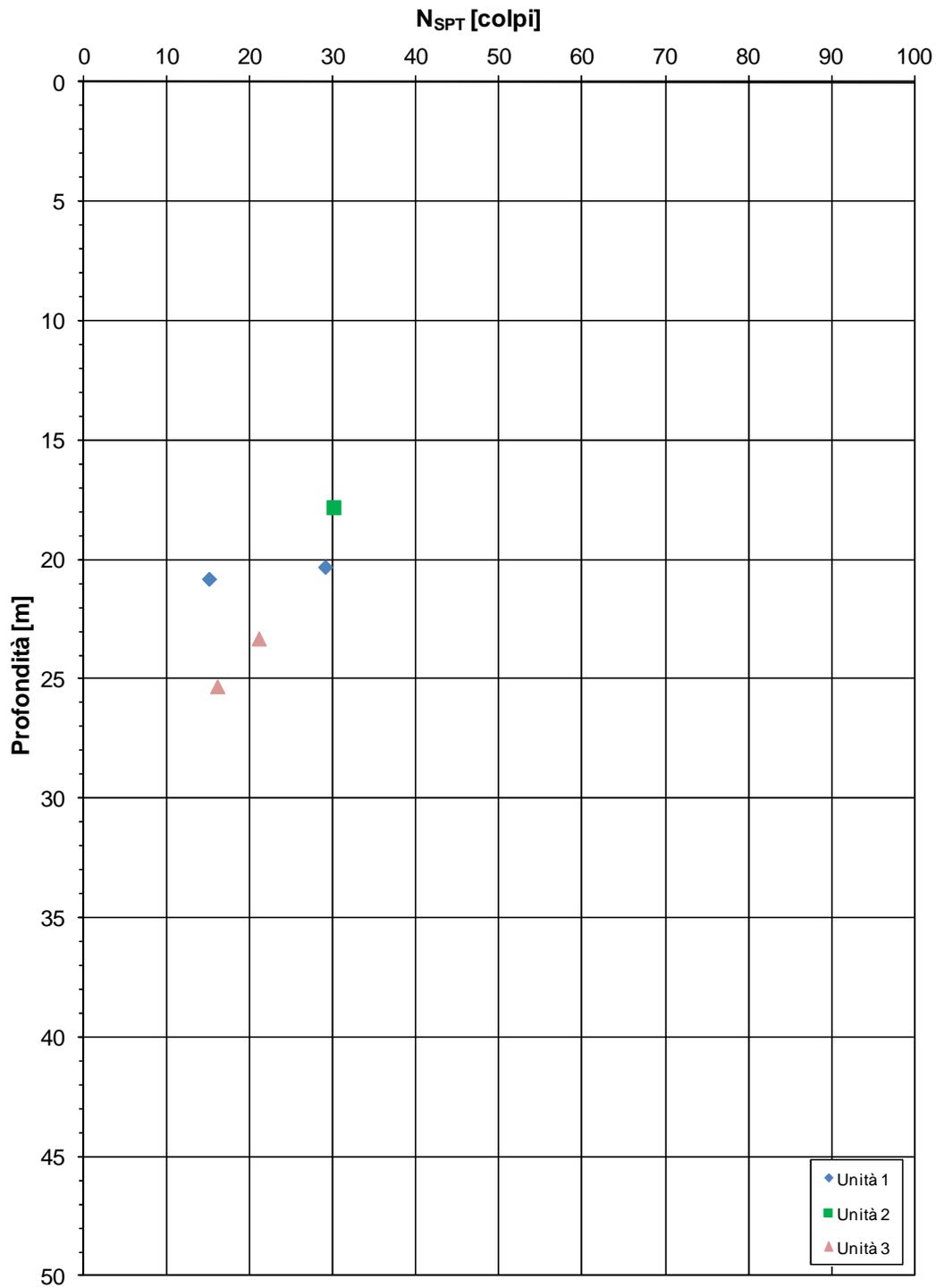
Grado di sovraconsolidazione - OCR [-]



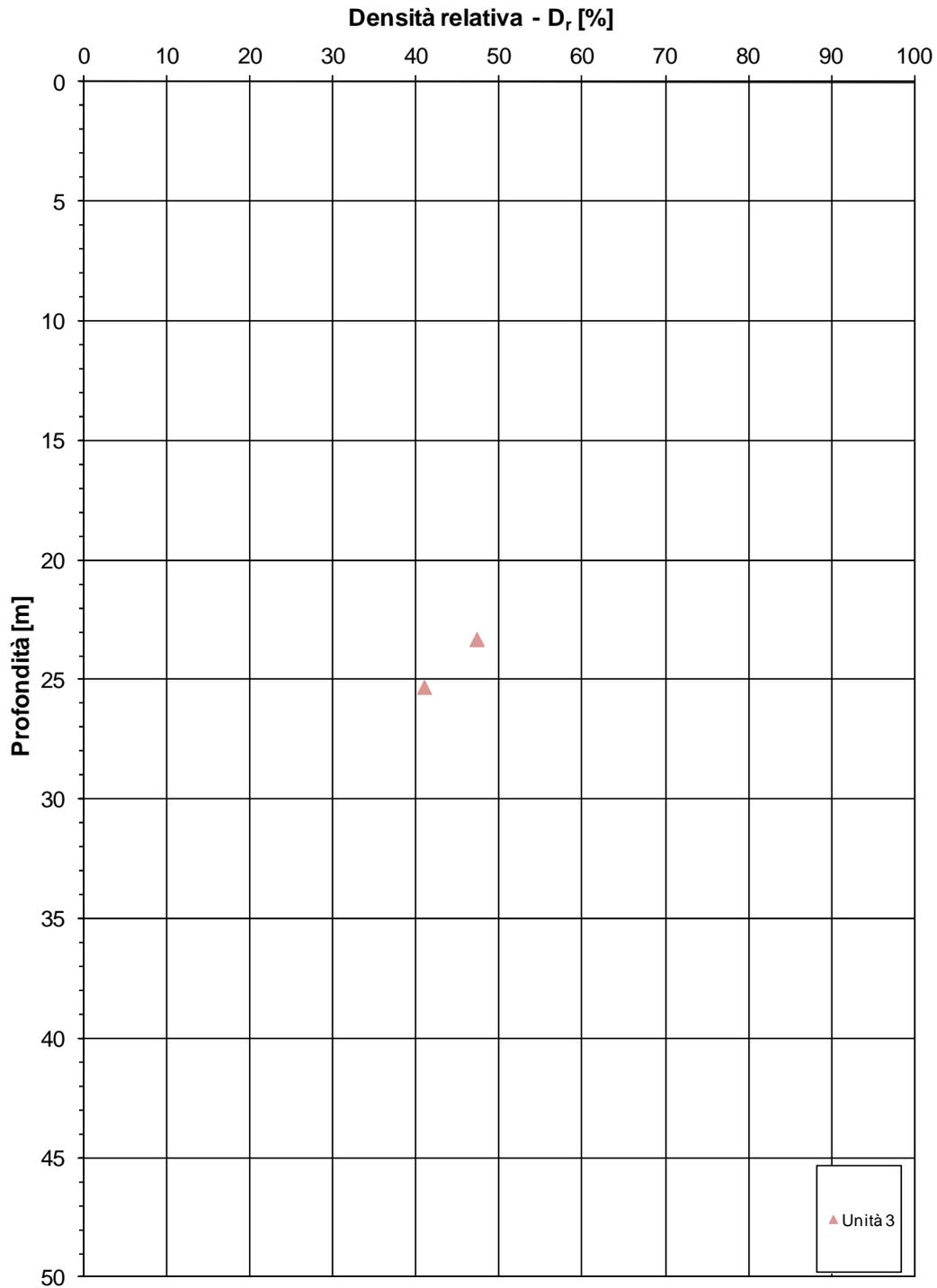
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2



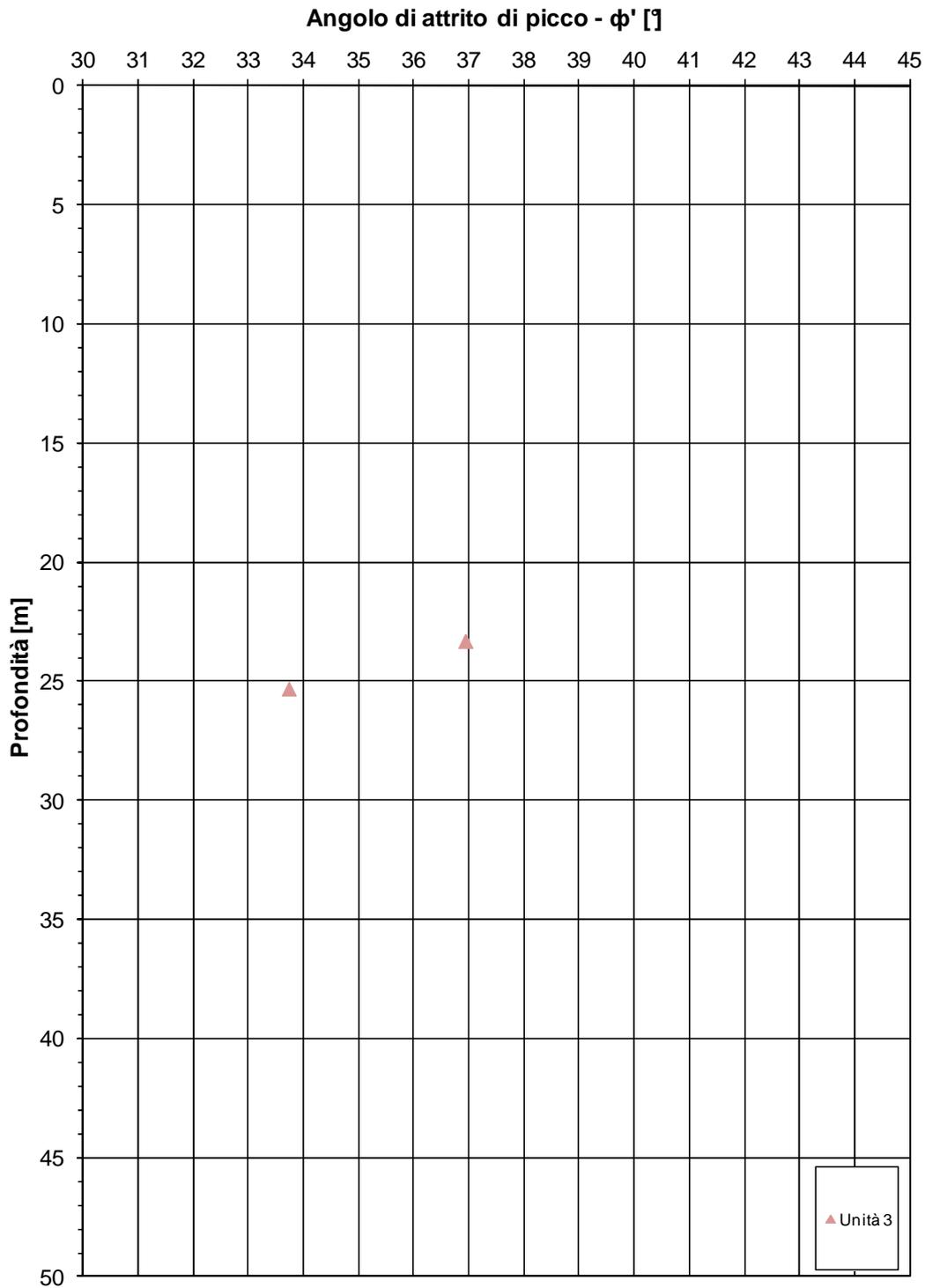
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2



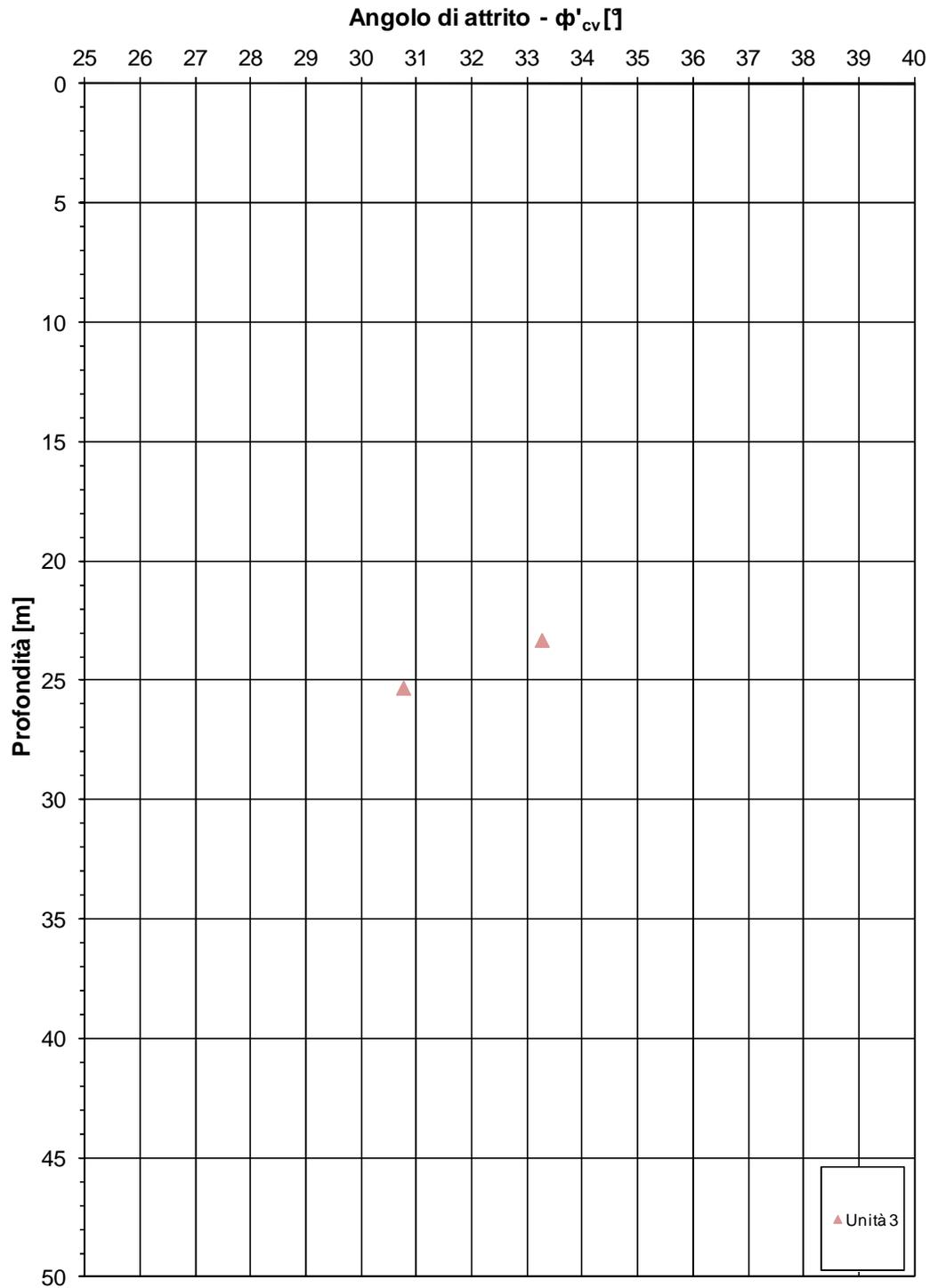
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2



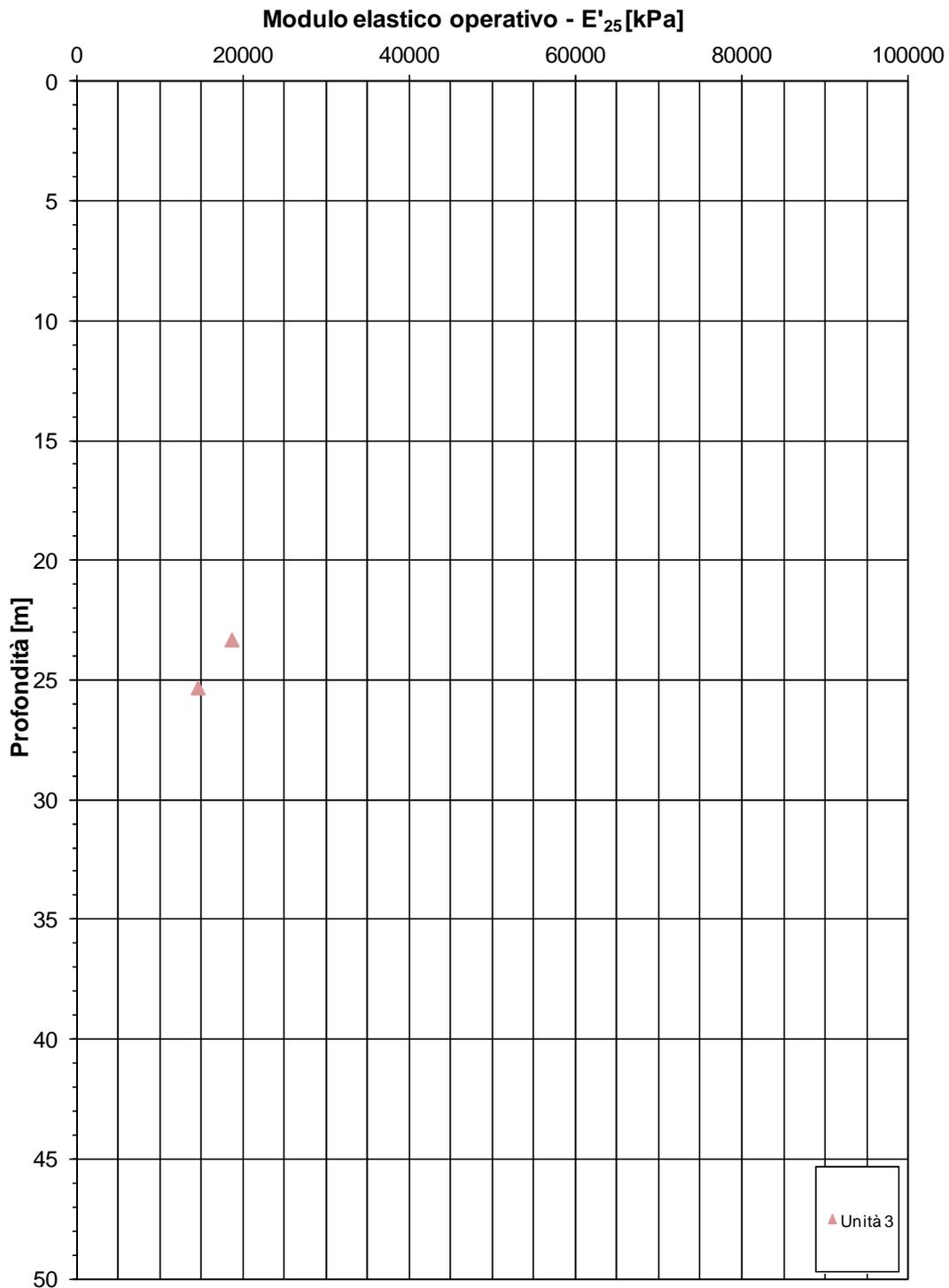
Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2



Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2



Viabilità di adduzione 1FE - Tratto A2



12.1.3. Interpretazione prove CPTU

