

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA  
I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA

GEOTECNICA GENERALE

Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto da pk 16+625 a pk 18+713

SCALA:

-

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

IF0G 01 D 09 RB OC0001 004 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Bianchi	Lug. 2017	L. Utzeri	Lug. 2017	D. Aprea	Lug. 2017	Vittozzi Lug. 2017

File: IF0G01D09RBOC0001004A.doc

n. Elab.: 365

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	5
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	5
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	5
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	11
5	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO.....	12
6	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	13
7	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	14
7.1	VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO $V_s$ DA SPT .....	14
7.2	MODULI ELASTICI A PICCOLE DEFORMAZIONI $G_0$ ED $E_0$ .....	14
7.3	MODULI ELASTICI OPERATIVI E .....	15
7.4	MATERIALI INCOERENTI .....	17
7.4.1	<i>Densità Relativa <math>D_R</math></i> .....	17
7.4.2	<i>Angolo d'Attrito efficace <math>\phi'</math></i> .....	18
7.5	MATERIALI COESIVI .....	20
7.5.1	<i>Coesione non drenato <math>C_u</math></i> .....	20
7.5.2	<i>Rapporto di Sovraconsolidazione OCR</i> .....	20
7.5.3	<i>Modulo Elastico non drenato <math>E_u</math></i> .....	20
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE DA PK 16+625 A PK 18+713.....	22
8.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 16+550 E LA PK 16+750.....	63
8.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 16+750 E LA PK 16+950.....	64
8.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 16+950 E LA PK 17+100.....	65
8.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 17+100 E LA PK 17+650.....	66

8.5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 17+650 E LA PK 17+850.....	67
8.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 17+850 E LA PK 18+713.....	68
9	DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	69
9.1	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	69
9.1.1	<i>Prove di riferimento .....</i>	70
9.2	VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO.....	70
9.2.2	<i>Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio <math>V_{s,30}</math>.....</i>	75
9.2.3	<i>Classificazione sulla base della nel numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica <math>N_{SPT,30}</math>.....</i>	76
9.2.4	<i>Classificazione sulla base della resistenza non drenata equivalente <math>c_{u,30}</math>.....</i>	77
9.2.5	<i>Sintesi dei risultati.....</i>	77
9.3	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	78
9.4	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	78
9.4.1	<i>Definizione della Vita Nominale, <math>V_N</math>.....</i>	78
9.4.2	<i>Definizione della classe d'uso, <math>C_U</math>.....</i>	79
9.4.3	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, <math>V_R</math>.....</i>	79
9.4.4	<i>Definizione dell'azione sismica.....</i>	80

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati dello studio di caratterizzazione geotecnica a supporto della progettazione definitiva del raddoppio del I° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice - Orsara (itinerario Napoli – Bari; vedasi Figura 1).

La lunghezza complessiva del tracciato in progetto è di circa 18,7 Km, dei quali circa 13 in sotterraneo essendo, infatti, prevista la realizzazione di n.3 gallerie di linea (denominate “Grottaminarda”, “Melito” e “Rocchetta” procedendo dall’inizio della tratta, in Comune di Grottaminarda, verso Apice).

Nella presente relazione si tratterà esclusivamente della caratterizzazione stratigrafica e geotecnica della tratta allo scoperto da pk 16+625 a pk 18+713. Nello studio si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini geognostiche in sito appositamente realizzate nel corso del 2015 per l’aggiornamento del Progetto Preliminare e del 2017 nell’ambito della presente fase progettuale, nonché alle indagini disponibili in campagne pregresse e bibliografiche.

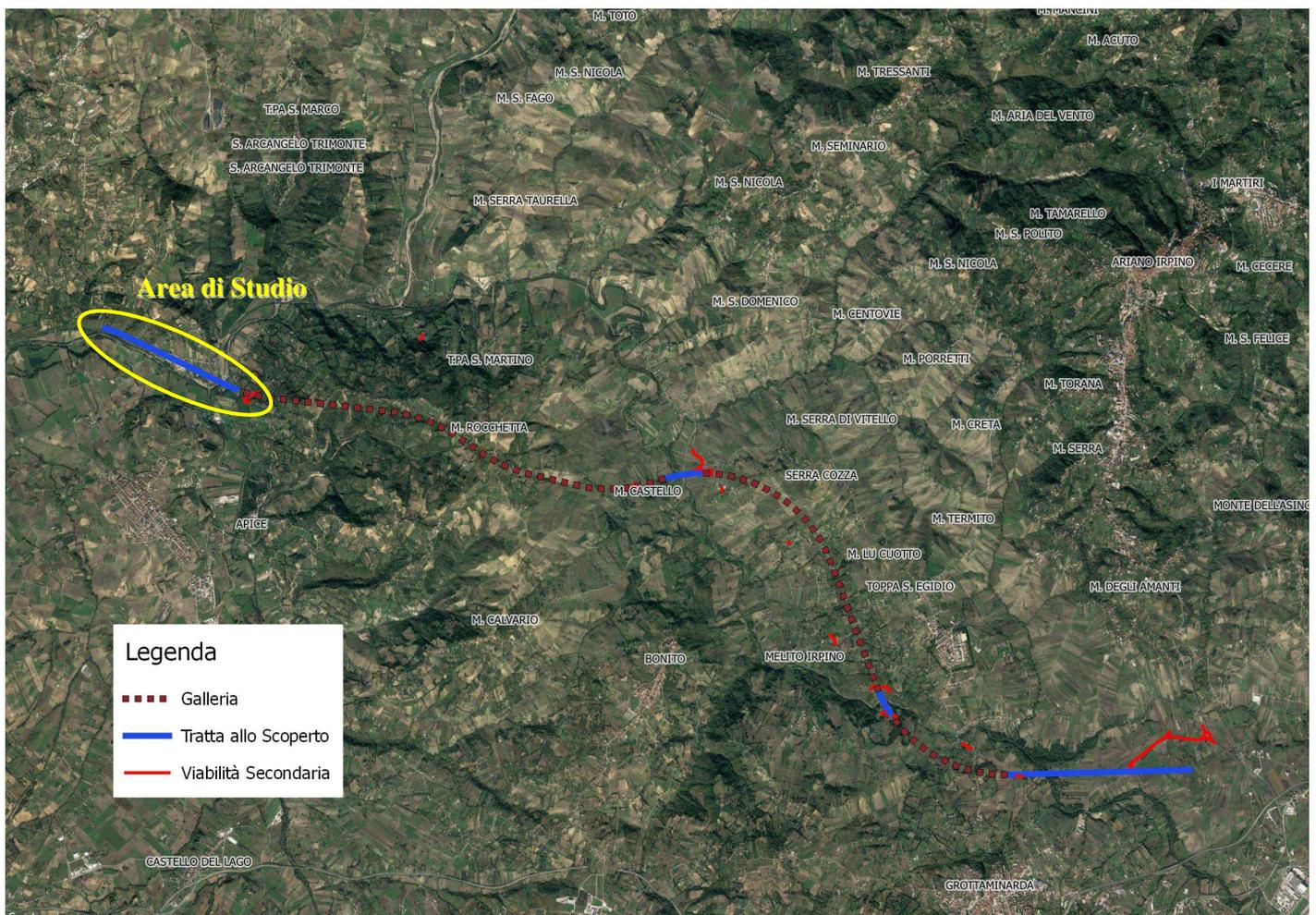


Figura 1: Ubicazione dell'area in studio

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

### 2.1 Normativa e Standard di Riferimento

Ref. 1 – IF0G 00 D 69 RG GE 0001 001 A – “Relazione Geologica”

Ref. 2 - IF0G 01 D 09 F6 OC 0001 001 A - “Profilo Geotecnico da Pk 0 a Pk 2+700 - Tav. 1 di 2”

Ref. 3 - IF0G 01 D 09 F6 OC 0001 002 A - “Profilo Geotecnico da Pk 0 a Pk 2+700 - Tav. 2 di 2”

Ref. 4 - IF0G 01 D 09 F6 OC 0001 003 A - “Profilo Geotecnico da Pk 4+700 a Pk 5+075”

Ref. 5 - IF0G 01 D 09 F6 OC 0001 004 A - “Profilo Geotecnico da Pk 9+550 a Pk 10+075”

Ref. 6 - IF0G 01 D 09 F6 OC 0001 005 A - “Profilo Geotecnico da Pk 16+625 a Pk 18+713”

Ref. 7 - IF0G 00 D 69 PR GE 0005 001 A - “Prove di Laboratorio” - Tecnolab

Ref. 8 - IF0G 00 D 69 PR GE 0005 002 A - “Prove di Laboratorio” – DIMMS

Ref. 9 - IF0G 00 D 69 SG GE 0005 001 A - “Indagini Geognostiche”

### 2.2 Normativa e Standard di Riferimento

Ref. 10 - Decreto Ministeriale del 14/01/2008: “Approvazione delle Nuove Norma Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04/02/20018, Supplemento Ordinario n.30.

Ref. 11 - Circolare 01/02/2009, n.617 – Istruzione per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008.

Ref. 12 - DM 06/05/2008 – “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Ref. 13 - RFI DTC SI MA IFS 001 A – “Manuale di progettazione delle opere civili”

Ref. 14 - RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d’appalto delle opere civili”

Ref. 15 - UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Ref. 16 - UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le campagne di indagine geognostiche disponibili lungo tutto il tracciato di circa 19 km sono:

- campagna Co.Fer.I. 1984/86;
- campagna Italferr 2005;
- campagna Italferr 2006;
- campagna Italferr 2008;
- campagna Italferr 2015;
- campagna Italferr 2017.

Nelle differenti campagne indagini sono state eseguite prove in sito (per i certificati della campagna 2017 vedasi Ref. 9) consistenti in:

- Sondaggi con:
  - rilievo della stratigrafia,
  - esecuzione di misure di consistenza speditiva mediante pocket penetrometer,
  - esecuzione di prove in foro di tipo SPT, Pressiometriche e Lefranc,
  - prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati,
  - rilievo del livello di falda;
- Prove geofisiche di diverso tipo:
  - prove Multi-channel analysis of surface waves (Masw),
  - prove sismiche in foro di tipo down-hole,
  - 26 profili sismici a rifrazione in onde P;
- Penetrometriche dinamiche di tipo super-pesante (DPSH) nell'area compresa tra le pk 9+400 e 11+050 al fine di identificare gli spessori delle coltri superficiali.

A integrazione delle campagne di indagini in sito sono state eseguite prove di laboratorio i cui risultati sono riportati nei relativi elaborati di riferimento [Ref. 7 e Ref. 8], consistenti in:

- Apertura e descrizione geotecnica dei campioni (dc) con prove speditive di consistenza (pocket e scissometro) e foto (ft);
- Determinazione del peso di volume naturale e secco ( $\gamma_n$  e  $\gamma_d$ );
- Determinazione del peso specifico dei grani solidi ( $G_s$ );
- Analisi granulometrica per vagliatura ( $Gr_{vag}$ ) e per sedimentazione ( $Gr_{sed}$ );
- Determinazione dei Limiti di Atterberg (LL e LP);
- Classifica delle Terre secondo UNI 10006 (CL);
- Prove di Compressione Edometrica (Ed);
- Prove Triassiali Non consolidate e Non Drenate (TXUU), Consolidate Non Drenate (TXCU) e Consolidate Drenate (TXCD);

- Prove di Taglio Diretto (TD);
- Prove di Resistenza a Compressione (RC) e ad Espansione Laterale Libera (ELL)

Per la caratterizzazione geotecnica della tratta in esame (da pk 16+625 a pk 18+713) sono state analizzate le prove di pertinenza territoriale elencate nelle tabelle seguenti e consistenti in sondaggi, stendimenti sismici e prove di laboratorio.

Tabella 1: Elenco sondaggi di pertinenza della tratta

## Sondaggi

ID	Campagna	Viadotto	Coordinate Gauss-Boaga		Quota [m sim]	Prof. [m]	Falda			Strumentazione			Prove in foro				Campioni	
			Est	Nord			Foro [m]	Piez		Piez CA	Piez TA	Inclinometro	SPT [n.]	Permeabilità [prof.m] Lef.=Lefranc Lug.=Lugeon	Pressiometro [prof.m]	Down-hole	Indisturbati [n.]	Rimaneggiati [n.]
								min	max									
S26	2015		2513966	4553996	178	50	19.6	18.6	19.2	-	3.0-50.0	-	6	Lef. 15.0-17.0	21.7-22.7		2	
AU9	2017	v	2513858	4554048	161	50	12			-	-	-	10	Lef. 8.5-9.5 *			5	5
AU10	2017	v	2513755	4554078	153	50	6.4			-	-	-	10	Lef. 6.0-7.0				10
AU11	2017	v	2513646	4554132	154	50	6	5.2	5.7	-	1.5-19.0	-	10	Lef. 7.0-8.0			2	8
AU12	2017	v	2513503	4554183	154	50	10			-	-	-	10	Lef. 7.0-8.0			2	8
AU13	2017	v	2513327	4554263	156	50	6			-	-	-	10	Lef. 7.0-8.0			4	6
S27	2015		2513137	4554394	159	30	11.7	7.6	8.0	-	3.0-30.0	-	5	Lef. 7.7-10.3			3	
C23	2017		2512974	4554372	153	30	11			-	-	-	9	Lef. 6.0-7.0			4	2
C22	2017		2512530	4554586	150	30	6.2	5.6	5.6	-	2.0-30.5	-	10	Lef. 6.0-7.0				6

\*(artesiano a p.c. sotto 22.5m)

Tabella 2: Elenco prove geofisiche di pertinenza della tratta

**Stendimenti sismici**

ID	Campagna	Coordinate Gauss-Boaga		Coordinate Gauss-Boaga		Onde	
		Est	Nord	Est	Nord	P	S
AU9_masw	2017	2513858	4554048				x
AU11_masw	2017	2513646	4554132				x
AU12_masw	2017	2513503	4554183				x
AU13_masw	2017	2513327	4554263				
C23_masw	2017	2512974	4554372				x
F1_masw	2017	2513906	4554392				
F2_masw	2017	2513828	4554393				
A-A'_rifr	2017	2513915	4554046	2514054	4553991	x	
B-B'_rifr	2017	2513994	4554090	2513944	4553985	x	

Tabella 3: Elenco delle prove di laboratorio di pertinenza della tratta

Sondaggio	Campagna	Campione	Profondità	Prove di laboratorio																
				dc	ft	w	$\gamma_n$	$\gamma_{dry}$	$G_s$	$Gr_{vag}$	$Gr_{sed}$	LLP	CL	Ed	TXUU	TXCU	TXCD	TD	RC	ELL
AU9	2017	CR1	29.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU9	2017	CR2	35.2	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU9	2017	CR3	40.85	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU9	2017	CR4	45.15	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU9	2017	CR5	49.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU9	2017	CI1	5.75	X	X	X	X		X	X	X		X					X		
AU9	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			x			
AU9	2017	CI3	15.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU9	2017	CI4	20.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X				
AU9	2017	CI5	25.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU10	2017	CR1	4.75	X	X		X		X										X	
AU10	2017	CR2	9.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU10	2017	CR3	14.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU10	2017	CR4	19.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		





**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA  
I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA  
PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	10 di 80

C23	2017	CI3	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X	
C23	2017	CI4	25.25	X	X	X	X		X	X	X		X					X	
C23	2017	CR1	5.2	X	X					X			X						
C23	2017	CR2	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X	

#### 4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Subito dopo l'uscita della galleria Rocchetta e fino alla pk 16+730 è affiorante la formazione della Baronia (BNA3) per poi scomparire sotto i depositi di origine alluvionale, eterogenei e variabili sia orizzontalmente che verticalmente, costituiti da argille, limi, sabbie e ghiaie ad andamento lenticolare. Lo spessore dei terreni alluvionali è piuttosto limitato ed è dell'ordine di 5-10 metri, ad eccezione del terrazzo presente in sinistra idraulica del F. Ufita (alla pk 16+800 circa) che presenta uno spessore maggiore.

Dal punto di vista geologico la formazione della Baronia è così descritta.

#### FORMAZIONE DELLA BARONIA - MEMBRO DI APOLLOSA (BNA3)

*Sabbie quarzo-feldspatiche, a grana media e grossa con abbondanti frammenti di gusci di ostreidi e pettinidi e con sottili interstrati marnoso-argillosi verdastri e livelli di ciottoli; nella parte alta, a luoghi, argille marnose scure di ambiente lagunare. Sabbie con matrice siltoso-marnosa, in strati medi e sottili, alternate ad areniti giallastre a grana media e fine, poco cementate, e siltiti. Frequenti strutture trattive da moto ondoso e corrente. Ambiente di spiaggia. Passaggio graduale e parzialmente eteropico con il sottostante membro BNA2. Potenza circa 600m.*

*Pliocene inferiore*

## 5 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Nel grafico della figura seguente sono diagrammati le profondità di falda misurate nei piezometri installati da cui risultano livelli variabili da verticale a verticale.

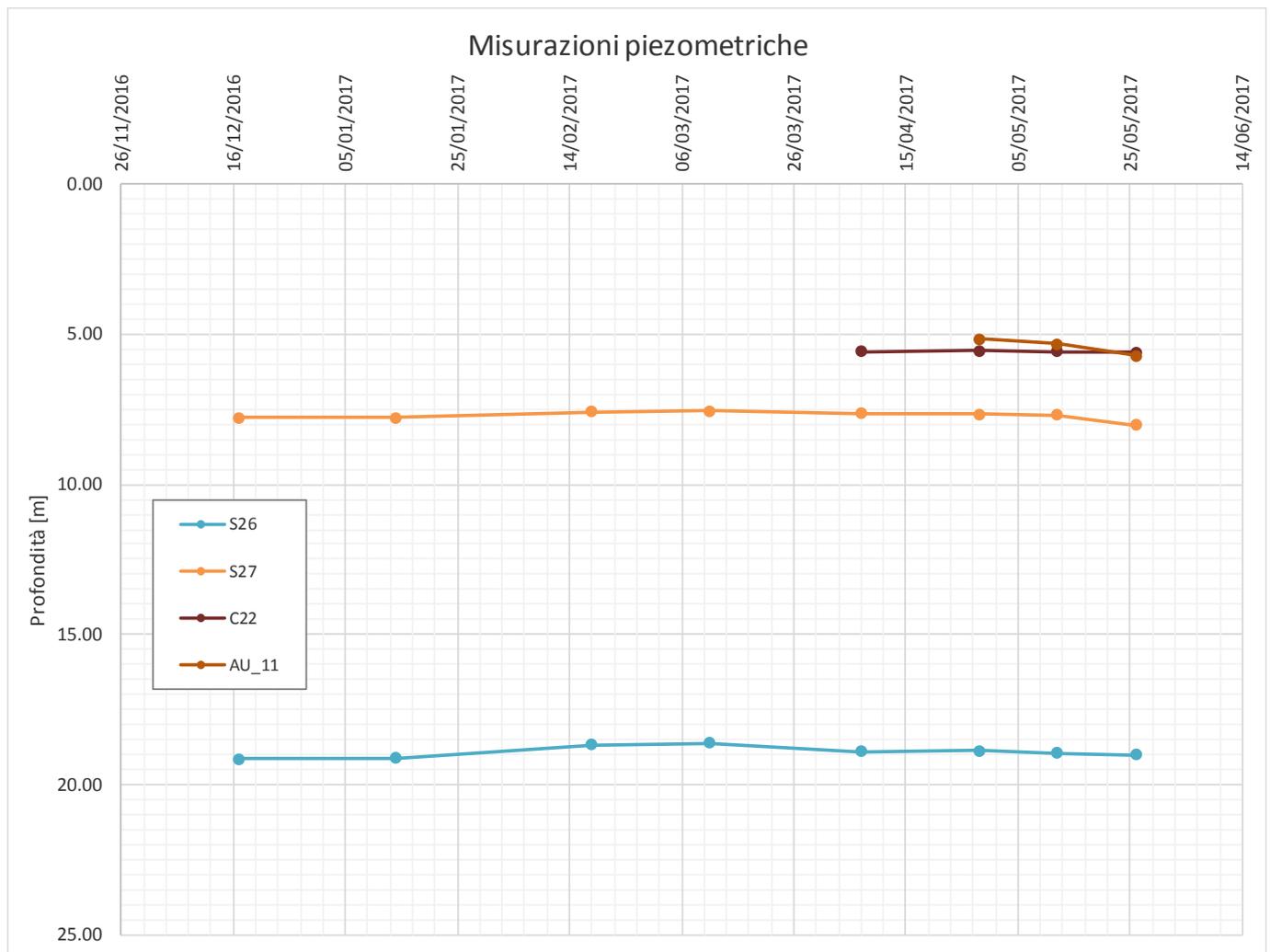


Figura 2: Misurazioni Piezometriche

## 6 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il tracciato ricade in un'area di pianura alluvionale con depositi eterogenei e variabili sia orizzontalmente che verticalmente, costituiti da argille, limi, sabbie e ghiaie ad andamento lenticolare. I depositi alluvionali si presentano di spessore limitato, compreso tra 5 e 10 metri circa, e ricoprono la formazione della Baronia (BNA3) costituita da sabbie quarzose-feldspatiche con interstrati marnoso-argillosi.

In particolare sono state individuate le seguenti unità litostratigrafiche:

- ALL1\_A: argilla e argilla limosa;
- ALL2\_S: sabbia e sabbia limosa;
- ALL3\_G: ghiaia e ghiaia sabbiosa;
- BNA3: Formazione della Baronia, sabbie quarzose-feldspatiche con interstrati marnoso-argillosi;
- BNA3alt: alterazione Formazione della Baronia.

Sulla base dell'interpretazione delle prove lungo l'asse ferroviario è stato elaborato il profilo geotecnico di riferimento, riportato negli elaborati grafici dedicati (Ref. 6).

## 7 CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si descrivono le principali correlazioni ed i criteri adottati per l'interpretazione delle prove in sito.

### 7.1 Velocità delle onde di taglio $V_s$ da SPT

La velocità delle onde di taglio nel terreno è stata determinata a partire dai valori di  $N_{spt}$  in funzione:

- della tipologia di terreno (argille, sabbie, ghiaie, ...);
- della profondità ( $z$  in m).

Di seguito si riportano le correlazioni adottate, ricavate dalla letteratura tecnica:

Autore	Correlazione	applicabilità
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 62.1 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$	per terreni argillosi
Lee (1992)	$v_s = 84.5 \cdot N_{SPT}^{0.12} \cdot (z+1)^{0.25}$	per terreni argillosi
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 67.8 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$ (sabbia fine) $v_s = 63.9 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$ (sabbia media) $v_s = 66.7 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$ (sabbia grossolana)	per terreni sabbiosi
Seed et al. (1986)	$v_s = 85.0 \cdot N_{SPT}^{0.17} \cdot z^{0.20}$	per terreni sabbiosi
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 92.3 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$	per terreni ghiaiosi
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 61.6 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot z^{0.22}$	per tutte le tipologie di terreno

### 7.2 Moduli elastici a piccole deformazioni $G_0$ ed $E_0$

A partire dai valori di  $V_s$  si risale ai moduli  $G_0$  ed  $E_0$  sfruttando le formulazioni della teoria dell'elasticità, si noti che per i valori di  $V_s$  derivanti da  $N_{spt}$  si è scelto di utilizzare la correlazione proposta da Ohta & Goto (1978) valevole per tutte le tipologie di terreno:

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2,$$

$$E_0 = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G_0 = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \rho \cdot V_s^2,$$

assumendo:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}, \quad \text{con: } \gamma = 19 \text{ kN/m}^3, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2, \quad \nu = 0.3.$$

In aggiunta, i valori di tali moduli possono essere determinati a partire dal modulo pressiometrico a piccole deformazioni ( $E_m$ ) derivante dalle prove effettuate in foro. In particolare il modulo  $E_0$  è direttamente correlabile al modulo pressiometrico a piccole deformazioni attraverso un coefficiente reologico  $\alpha$  scelto secondo quanto proposto da Briaud (1992):

$$E_0 = \alpha \cdot E_m,$$

con:

$\alpha = 1.0$ :	terreni argillosi
$\alpha = 0.5$ :	terreni sabbiosi fini
$\alpha = 0.3$ :	terreni sabbiosi medi
$\alpha = 0.25$ :	terreni ghiaiosi.

Il modulo di taglio  $G_0$  a piccole deformazioni è legato al modulo  $E_0$  dalla relazione:

$$G_0 = \frac{E_0}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{\alpha \cdot E_0}{2 \cdot (1 + \nu)}.$$

### 7.3 Moduli elastici operativi E

La determinazione del modulo elastico utilizzabile in calcoli geotecnici è influenzato dal livello deformativo cui è soggetto il terreno a seguito del fenomeno studiato e quindi del relativo fattore di sicurezza adottato. In particolare il livello deformativo può essere legato al parametro:

$$\frac{q}{q_{ult}} = \frac{1}{FOS},$$

con:

q	=	tensione mobilitata,
$q_{ult}$	=	tensione ultima,
FOS	=	Fattore di sicurezza.

Secondo Burns & Mayne (1996) si può quindi determinare il rapporto tra il modulo operativo da utilizzare e il modulo elastico a piccole deformazioni  $E_0$  mediante la relazione seguente:

$$\frac{E}{E_0} = 1 - \left( \frac{q}{q_{ult}} \right)^{0.3} .$$

Considerando i due casi quindi di:

- Rilevati, FOS $\approx$ 1.375;
- Fondazioni e Opere di Sostegno, FOS $\approx$ 3;

è possibile calcolare il rapporto tra i moduli come segue:

$$E \approx \frac{E_0}{10} \text{ per il cedimento di rilevati;}$$

$$E \approx \frac{E_0}{5} \text{ per il cedimento delle opere di sostegno e per le fondazioni.}$$

## 7.4 Materiali Incoerenti

### 7.4.1 Densità Relativa $D_R$

La valutazione della densità relativa è stata fatta secondo le determinazioni da letteratura tecnica a partire dal valore di  $N_{spt}$  misurato in foro di sondaggio. Di seguito si presentano le correlazioni utilizzate ed il relativo ambito di validità.

Autore	Correlazione
Gibbs e Holtz (1957)	$D_R = 1.5 \cdot \left( \frac{N_{spt}}{F} \right)^{0.222} - 0.6$ $F = 0.65 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^2 + 16.8 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) + 14$
Meyerhof (1957)	$D_R = 0.21 \cdot \sqrt{\frac{N_{spt}}{\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} + 0.7}}$
Bazaara (1967)	$D_R = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 \cdot \left( a + b \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)}}$ $con \begin{cases} a = 1; b = 4.1 & per \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \leq 0.732 \\ a = 3.24; b = 1.024 & per \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} > 0.732 \end{cases}$
Skempton (1986)	$D_R = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{spt}}{60}}$

	$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} & \text{per sabbie fini} \\ \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} & \text{per sabbie grosse} \end{cases}$
Yoshida & Kokusho (1988)	$D_R = 0.22 \cdot N_{spt}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right)^{-0.14} \quad \text{per sabbia fine}$ $D_R = 0.18 \cdot N_{spt}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right)^{-0.14} \quad \text{per sabbia 75\%, ghiaia 25\%}$ $D_R = 0.25 \cdot N_{spt}^{0.44} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right)^{-0.13} \quad \text{per sabbia 50\%, ghiaia 50\%}$ $D_R = 0.25 \cdot N_{spt}^{0.46} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right)^{-0.12} \quad \text{per tutti i terreni granulari}$

#### 7.4.2 Angolo d'Attrito efficace $\phi'$

Per la determinazione del valore dell'angolo d'attrito efficace nei terreni granulari si è proceduto secondo due metodologie: una diretta basata sul valore di  $N_{spt}$  misurato in foro di sondaggio ed una indiretta a partire dal valore di densità relativa attraverso la correlazione di Skempton (1986) per i terreni sabbiosi e Yoshida & Kokusho (1988) per le ghiaie.

Per la determinazione diretta si è fatto riferimento alle seguenti formulazioni:

- Peck, Hanson & Thornburn (1974) approssimata con l'equazione di Wolff (1989);

$$\phi [^\circ] = 27.1 + 0.3 \cdot C_N \cdot N_{spt} - 0.00054 \cdot (C_N \cdot N_{spt})^2$$

$$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} & \text{per sabbie fini} \\ \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} & \text{per sabbie grosse} \end{cases}$$

- Schmertmann (1975) corrispondente all'equazione di Kulhawy & Mayne (1980)

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{spt}}{12.2 + 20.3 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)} \right)^{0.34}$$

Per la determinazione indiretta si è fatto riferimento alle seguenti formulazioni:

- Schmertmann (1977)

$$\varphi' [^\circ] = 28 + 0.14 \cdot D_R \text{ per Sabbia fine uniforme}$$

$$\varphi' [^\circ] = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \text{ per Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata}$$

$$\varphi' [^\circ] = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \text{ per Sabbia grossa uniforme e sabbia ben gradata}$$

$$\varphi' [^\circ] = 38 + 0.08 \cdot D_R \text{ per Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa}$$

- Correlazione da Eurocodice 7 per sabbie silicee

$D_R$	Grana Fine	Grana Media
[%]	Ben gradata	Ben Gradata
40	36	38
60	38	41
80	41	43
100	43	44

## 7.5 Materiali coesivi

### 7.5.1 Coesione non drenata $C_u$

Il valore di coesione non drenata è stato determinato a partire dal valore di  $N_{spt}$  misurato in foro di sondaggio mediante la correlazione di Stroud (1974):

$$C_u = f_1 \cdot N_{60},$$

con  $f_1 = 5$ .

### 7.5.2 Rapporto di Sovraconsolidazione OCR

Secondo quanto riportato nelle British Standard BS 8004:2015 il rapporto tra la coesione non drenata ( $C_u$ ) e la tensione verticale efficace può essere correlato al valore del rapporto di sovraconsolidazione mediante la seguente relazione:

$$\frac{C_u}{\sigma'_{v0}} = k_1 \cdot OCR^{k_2}$$

con:  $k_1 = 0.23$  e  $k_2 = 0.8$ .

Invertendo la correlazione sopra riportata è possibile quindi determinare il valore del rapporto di sovraconsolidazione in funzione del valore di  $C_u$  e di tensione verticale efficace come riportato sotto.

$$OCR = \left( \frac{1}{k_1} \cdot \frac{C_u}{\sigma'_{v0}} \right)^{\frac{1}{k_2}}$$

### 7.5.3 Modulo Elastico non drenato $E_u$

Il valore del modulo elastico non drenato è stato stimato a partire dal valore di  $c_u$  mediante la relazione riportata di seguito (vedasi Figura 3):

$$E_{u,50} = k \cdot C_u$$

Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	21 di 80

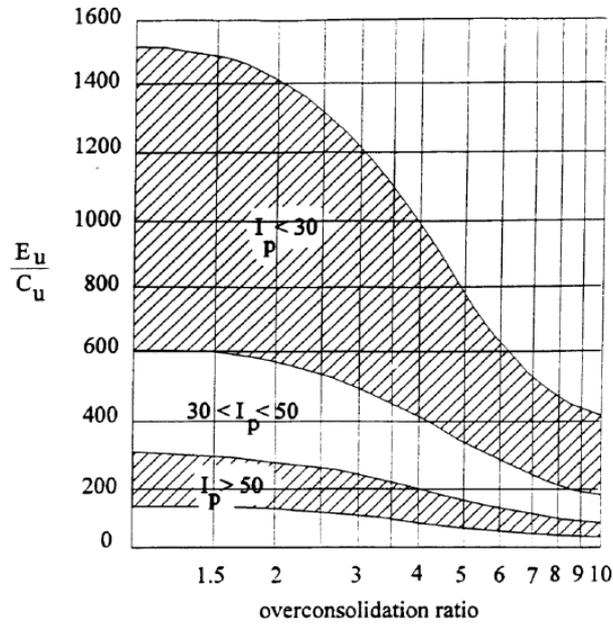


Figura 3: Correlazione di Duncan e Buchignani (1976)

## 8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE DA pk 16+625 A pk 18+713

Sulla base delle indagini effettuate sono state individuate le seguenti unità geotecniche:

**ALL1\_A:** argilla e argilla limosa;

**ALL2\_S:** sabbia e sabbia limosa;

**ALL3\_G:** ghiaia e ghiaia sabbiosa;

**BNA3:** Formazione della Baronia, sabbie quarzose-feldspatiche con interstrati marnoso-argillosi;

**BNA3alt:** Parte alterata della Formazione della Baronia,.

Nella Tabella 4 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda per il tratto compreso tra la pk 16+625 e la pk 18+731.

Tabella 4: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 16+625 a pk 18+731.

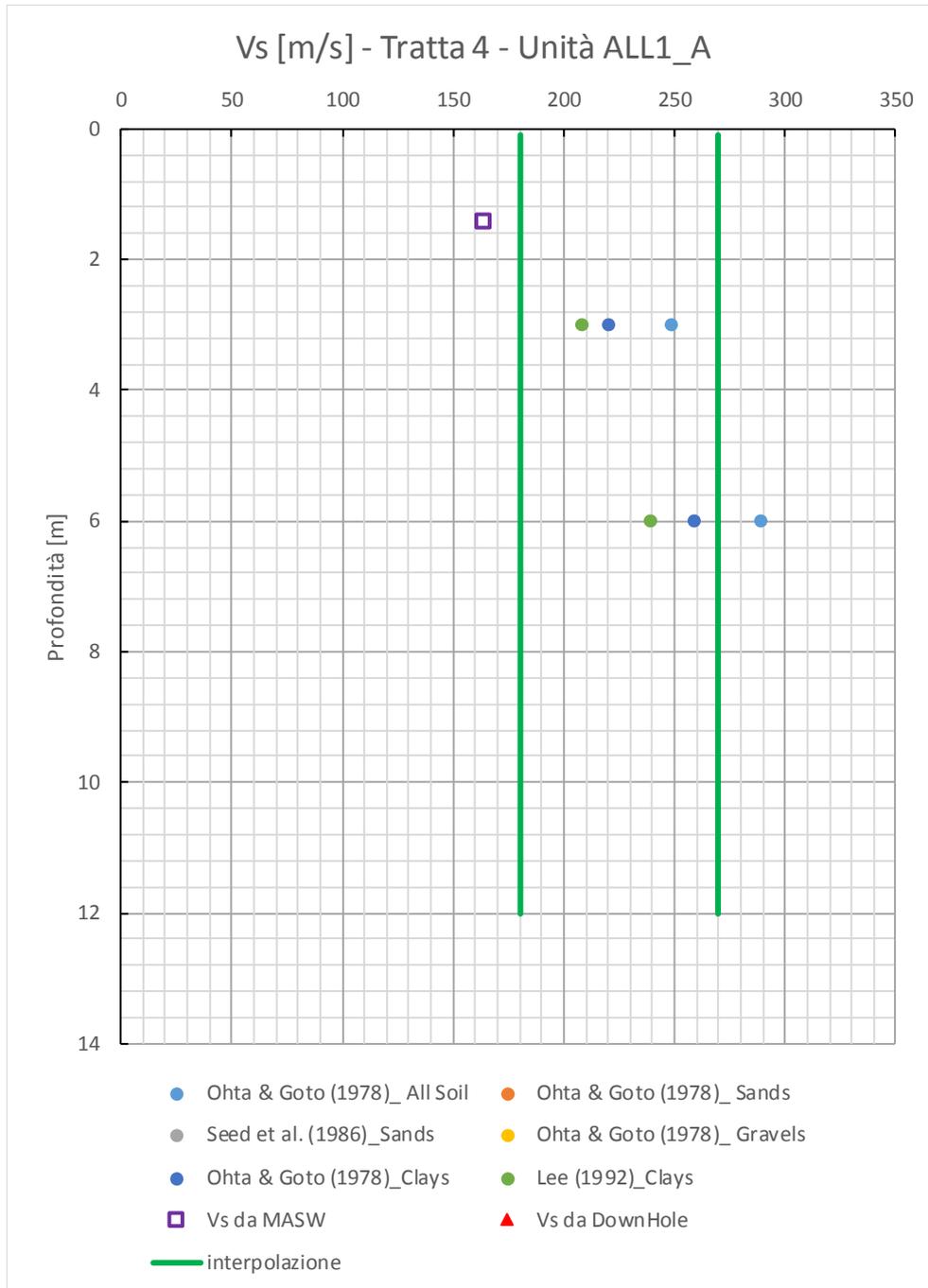
Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
var.	10.0	BNA3alt	var.	var.
var.	4.0÷6.0	ALL1_A		
var.	2.0÷9.0	ALL2_S		
var.	3.0÷10.0	ALL3_G		
var.	>30.0	BNA3		

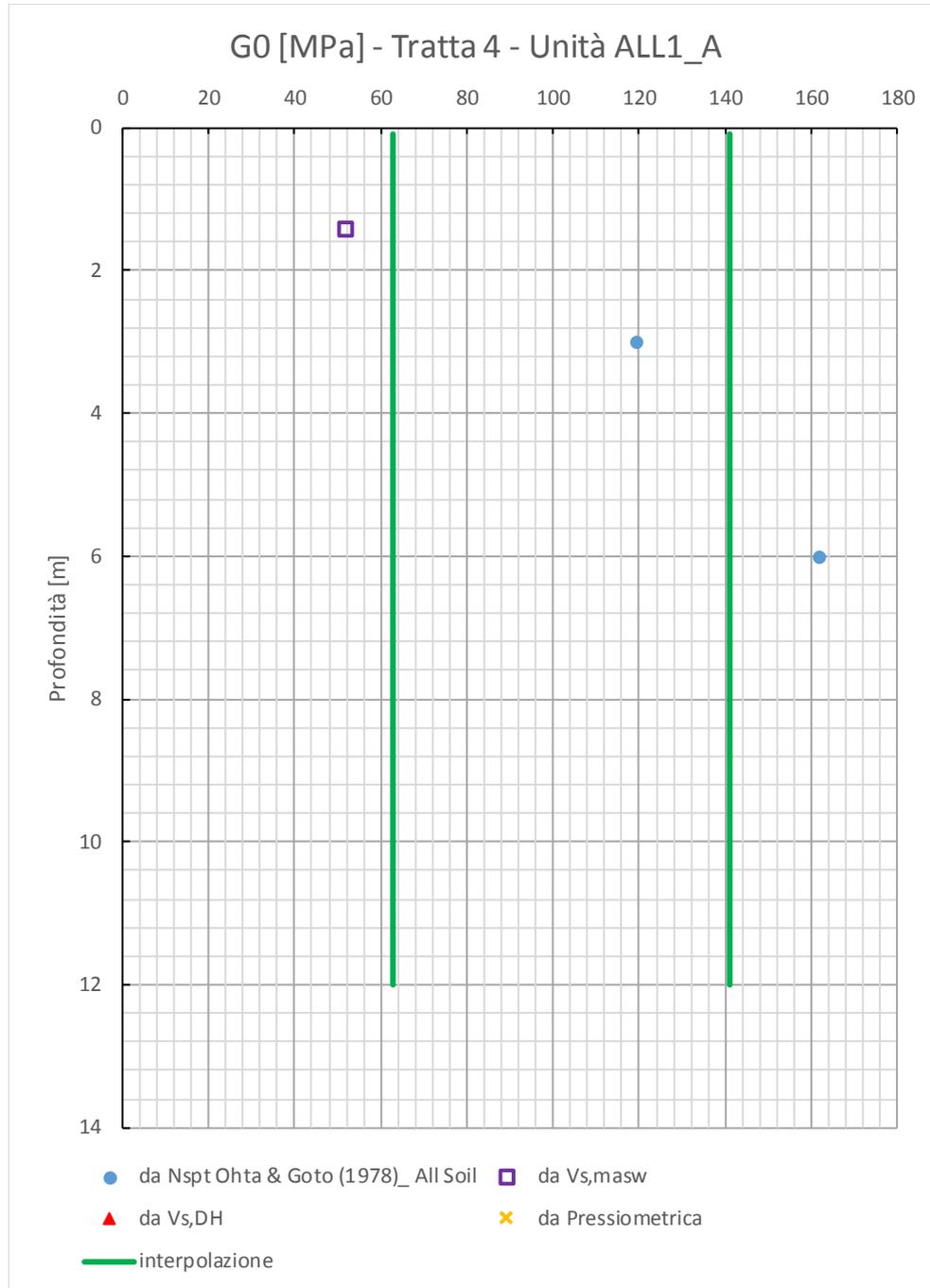
Nella Tabella 5 si riportano i parametri geotecnici di riferimento e a seguire si riporta la sintesi grafica dell'interpretazione delle indagini di pertinenza con rappresentato i range indicati in Tabella 5.

A partire dalla caratterizzazione geotecnica generale della tratta, nei paragrafi successivi sono individuate delle sottotrattate omogenee in termini sia stratigrafici che di parametri geotecnici.

Tabella 5: Parametri geotecnici caratteristici da pk 16+625 a pk 18+713 (valore medio indicato tra parentesi quadre []).

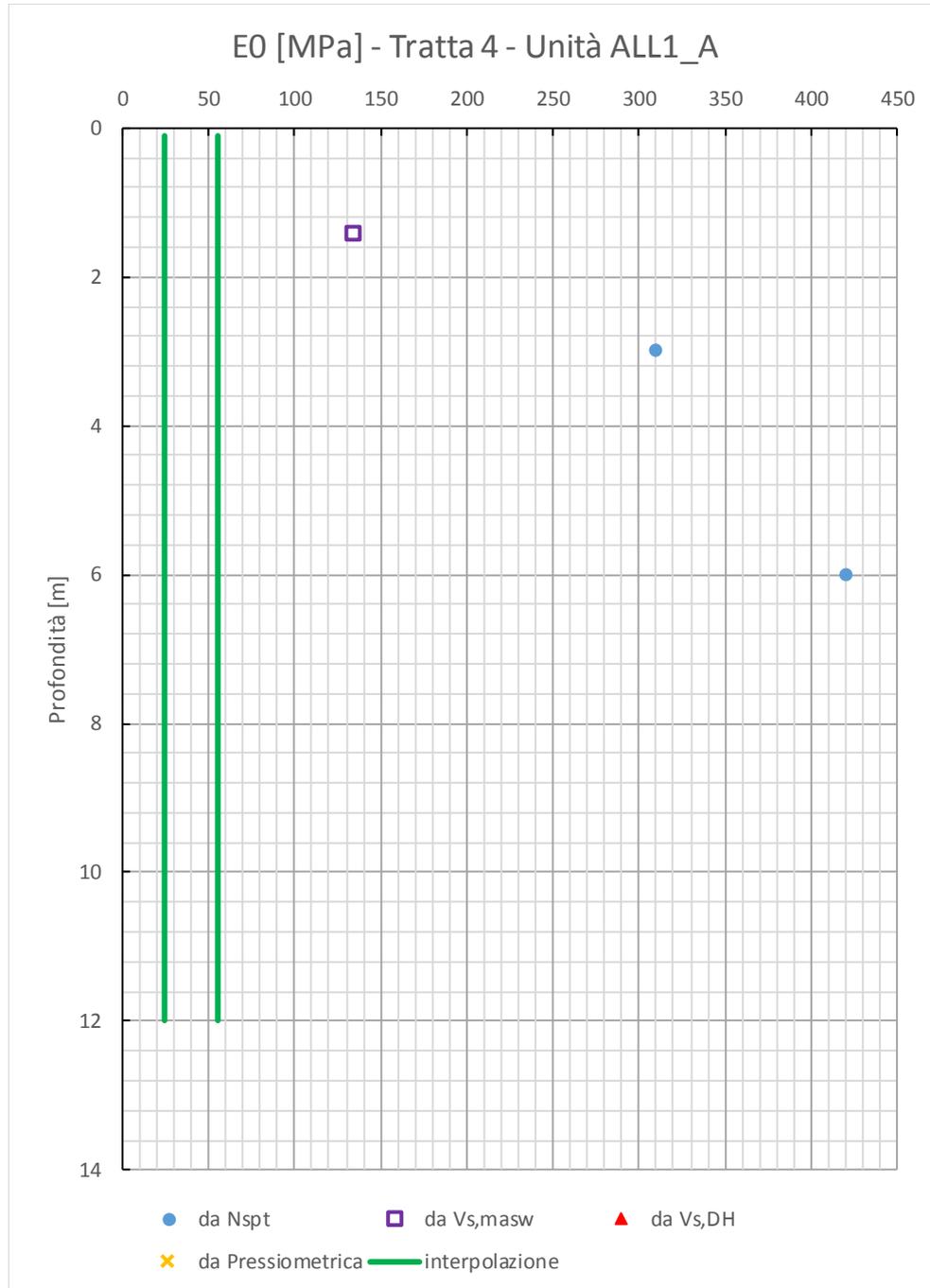
	ALL1_A	ALL2_S	ALL3_G	BNA3
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	No dati disponibili	18.0÷21.0 [19.0]	19.0÷20.0 [19.0]	19.0÷22.0 [20.5]
w [%]	No dati disponibili	-	-	10÷18 [14]
LL [%]	No dati disponibili	-	-	45÷60 [55]
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	-	-
$c_u$ [kPa]	100÷200 [120]	-	-	400÷550 [500]
$\phi'$ [°]	No dati disponibili	26÷32 [29]	34÷42 [36]	22÷27 [24]
$c'$ [kPa]	No dati disponibili	0	0	8÷25 [20]
$E_u/C_u$	169÷485 [328]	-	-	÷
$E_0$ [MPa]	25÷55 [30]	200÷450 [245]	245÷615 [455]	455÷890 [470 fino a 20m, 805 da 20m]
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	5÷11 [6]	40÷90 [49]	49÷123 [91]	91÷178 [94 fino a 20m, 161 da 20m]
$E_{op,2}$ (**) [MPa]	2.5÷5.5 [3]	20÷45 [24.9]	24.5÷61.5 [45.5]	45.5÷89.0 [47.0 fino a 20m, 80.5 da 20m]
$c_r$ [-]	No dati disponibili	-	-	-
$c_c$ [-]	No dati disponibili	-	-	-
$c_{ae}$	No dati disponibili	-	-	-
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	No dati disponibili	-	-	-
$e_0$ [-]	No dati disponibili	0.5÷0.7 [0.55]	0.4÷0.45 [0.42]	0.35÷0.5 [0.42]
OCR [-]	3÷10 [5]	-	-	5÷12 [10 fino a 20m, 5 da 20m]
$\nu'$ [-]	0.3	0.3	0.3	0.3
$k$ [m/s]	No dati disponibili	1.1·10 <sup>-7</sup> ÷1.2·10 <sup>-7</sup> [1.18·10 <sup>-7</sup> ]	1.5·10 <sup>-5</sup> ÷2.0·10 <sup>-5</sup> [1.8·10 <sup>-5</sup> ]	5.0·10 <sup>-7</sup> ÷2.5·10 <sup>-6</sup> [6.0·10 <sup>-7</sup> ]





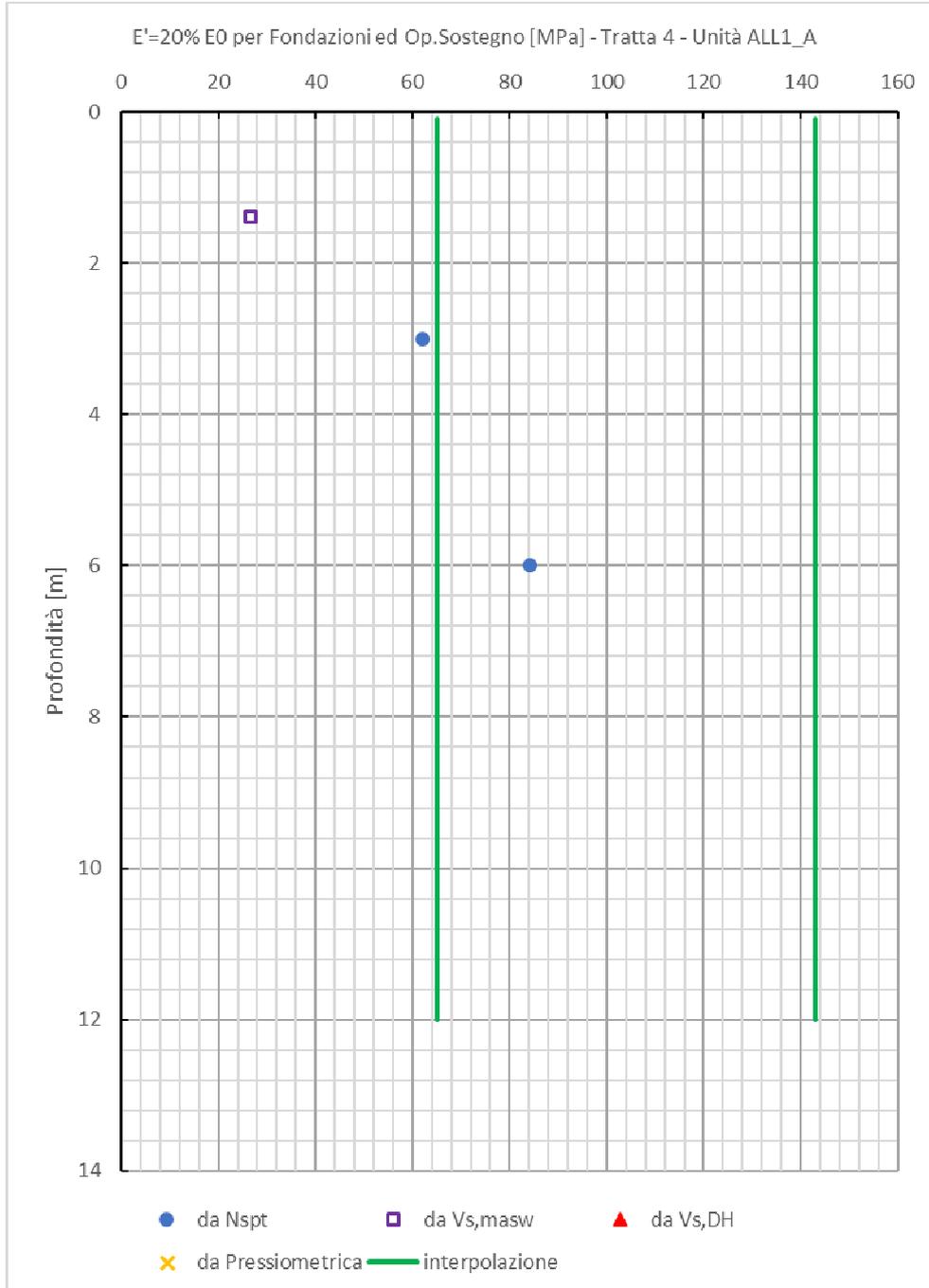
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

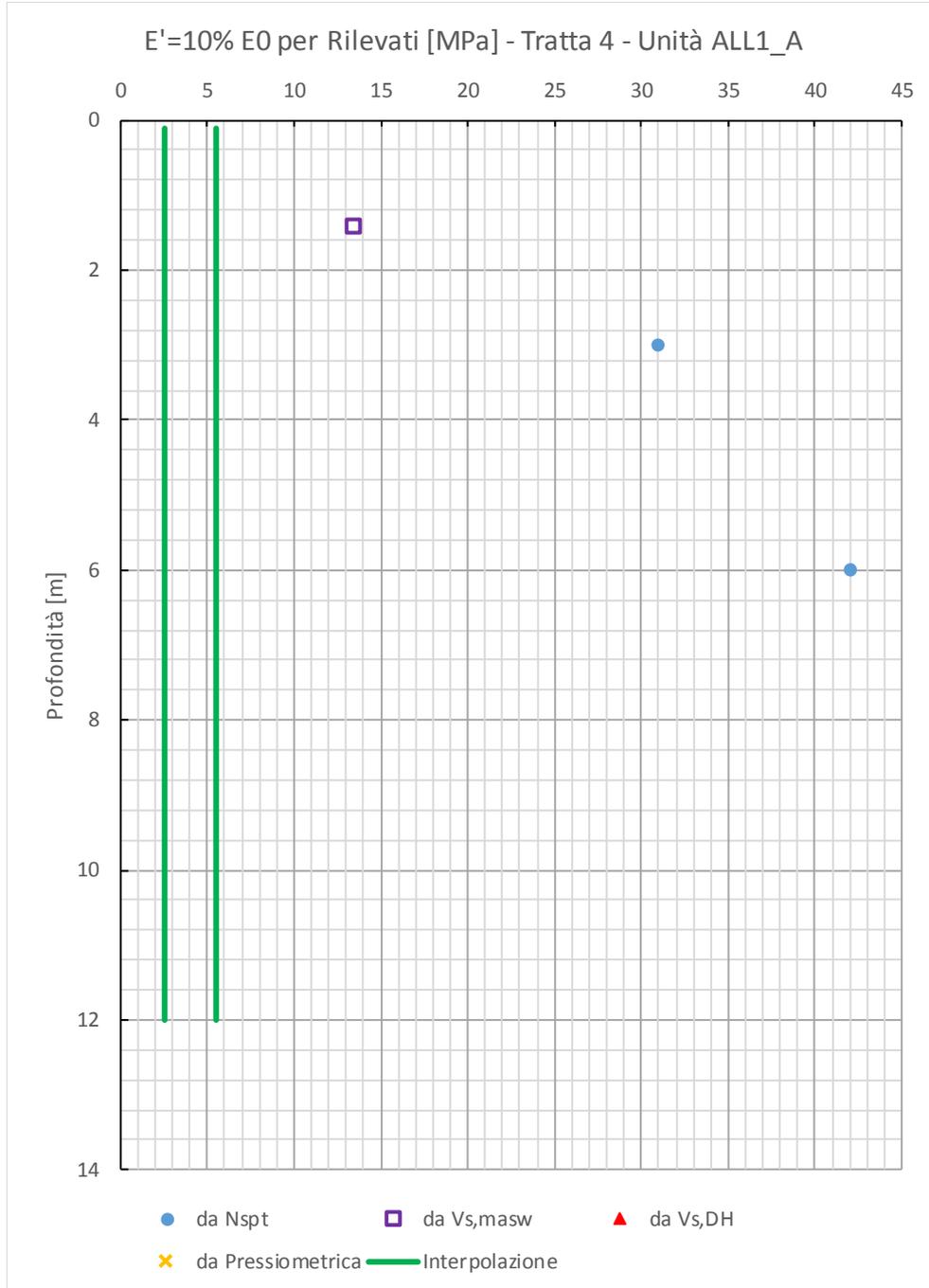
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	26 di 80

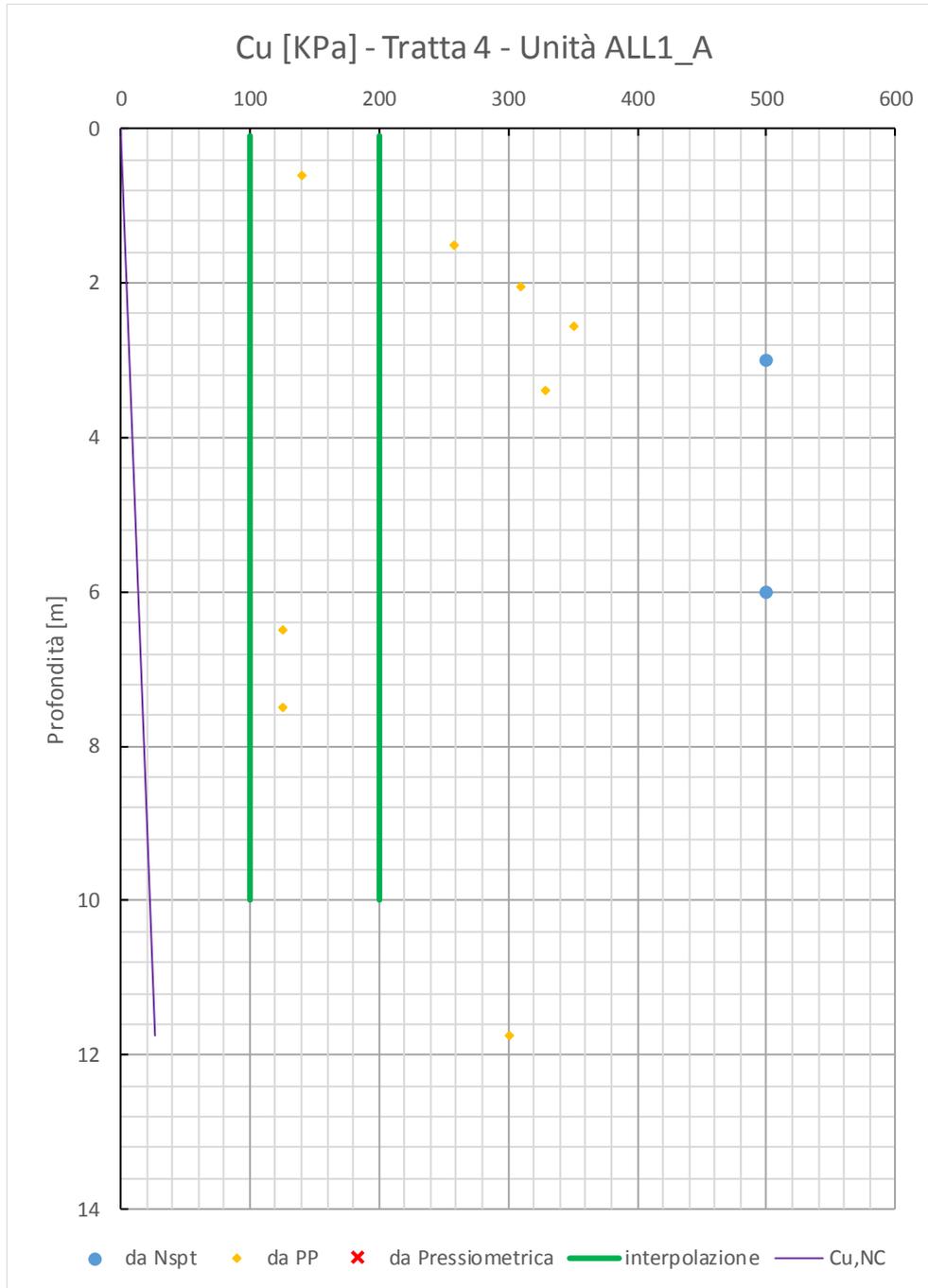


Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IFOG	01 D 09	RB	OC0001 004	A	27 di 80

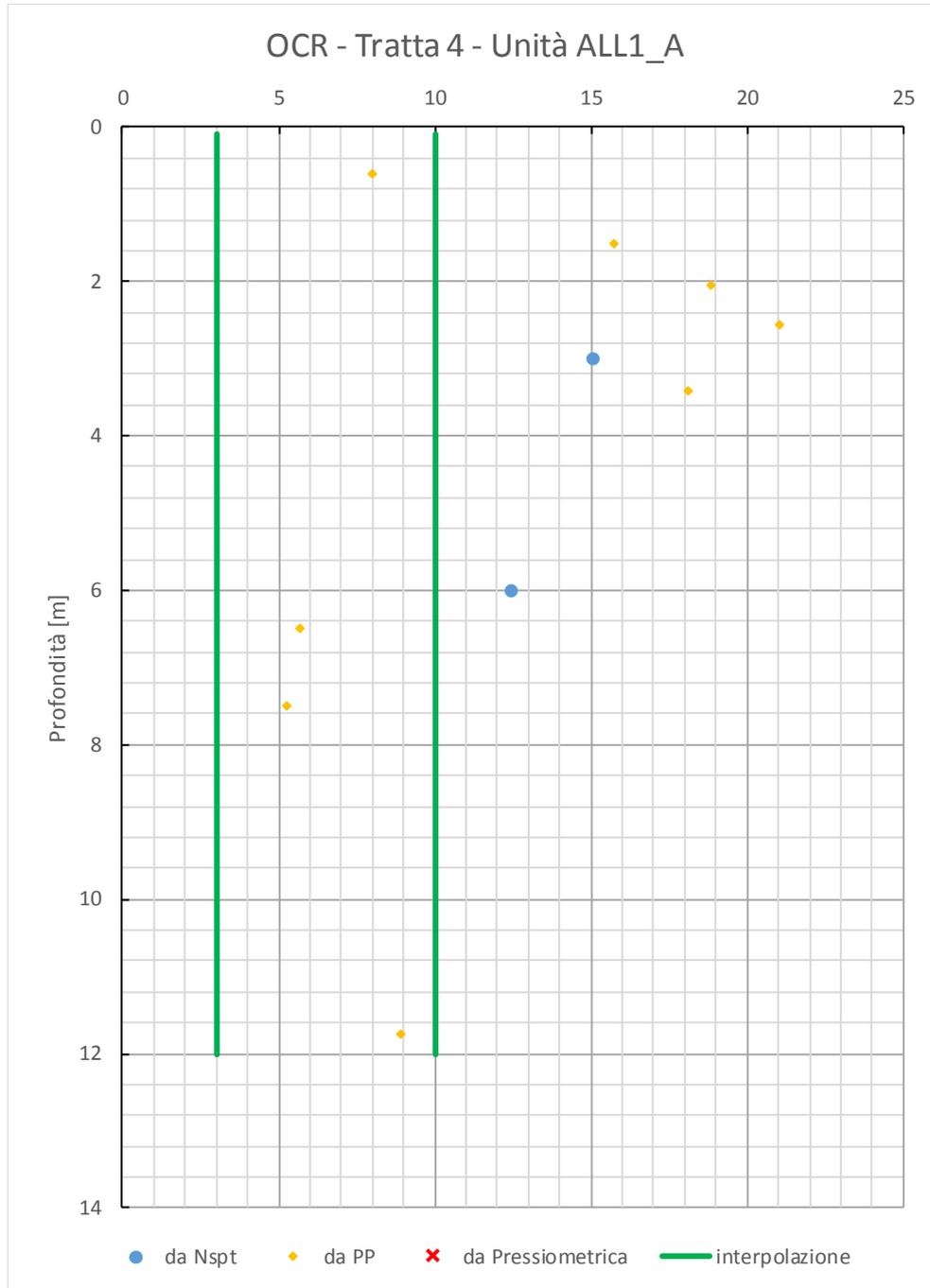


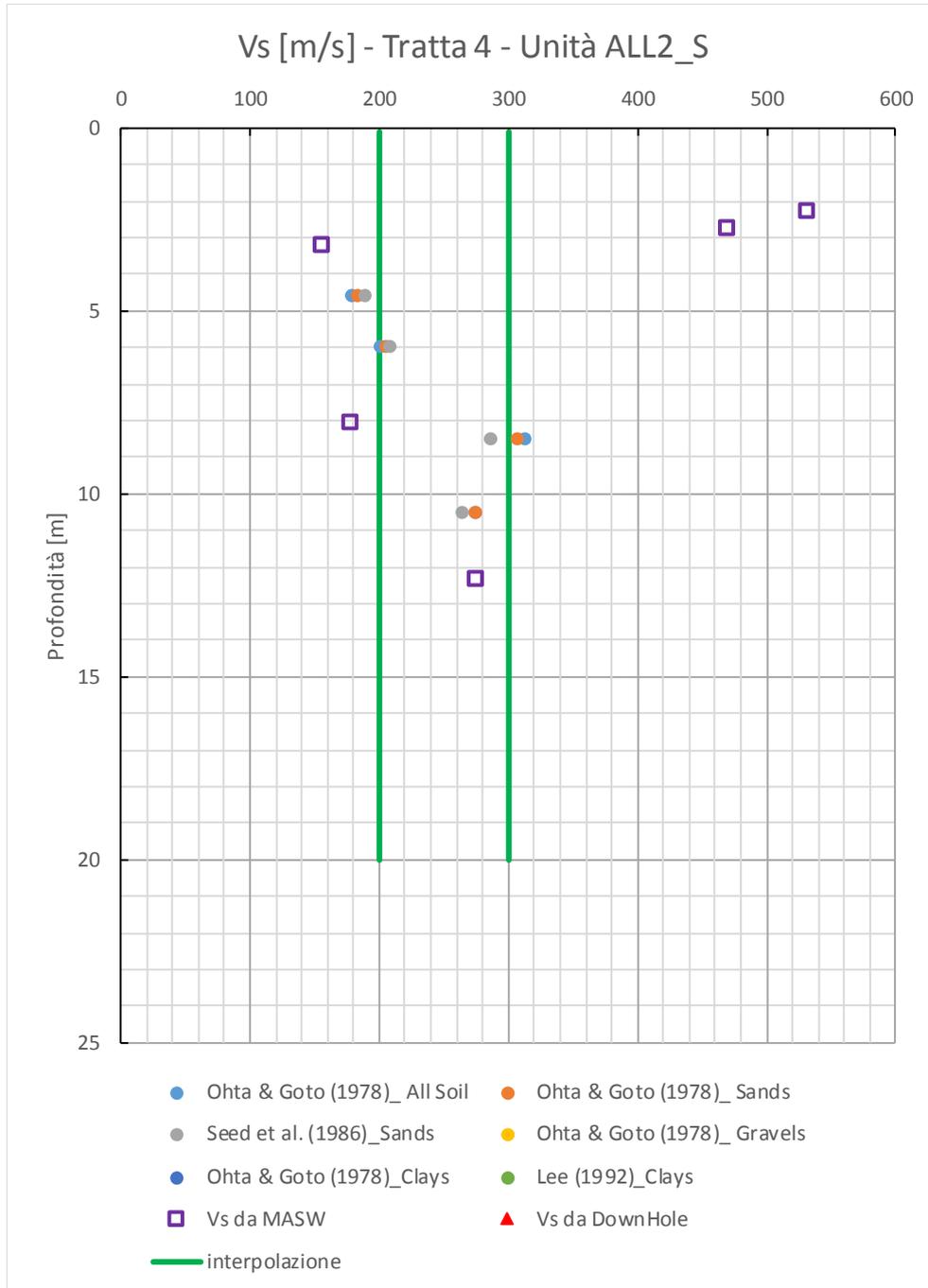


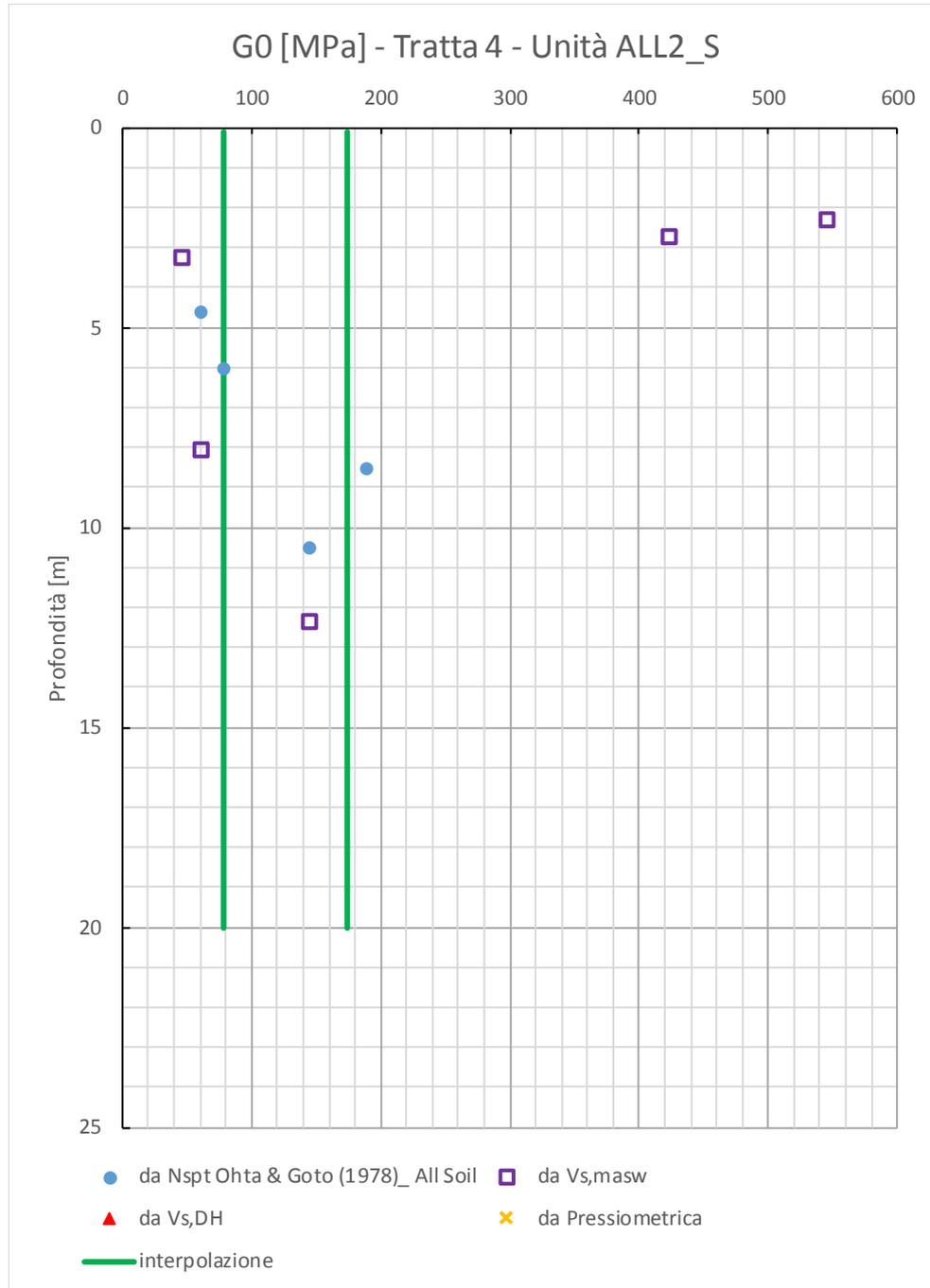


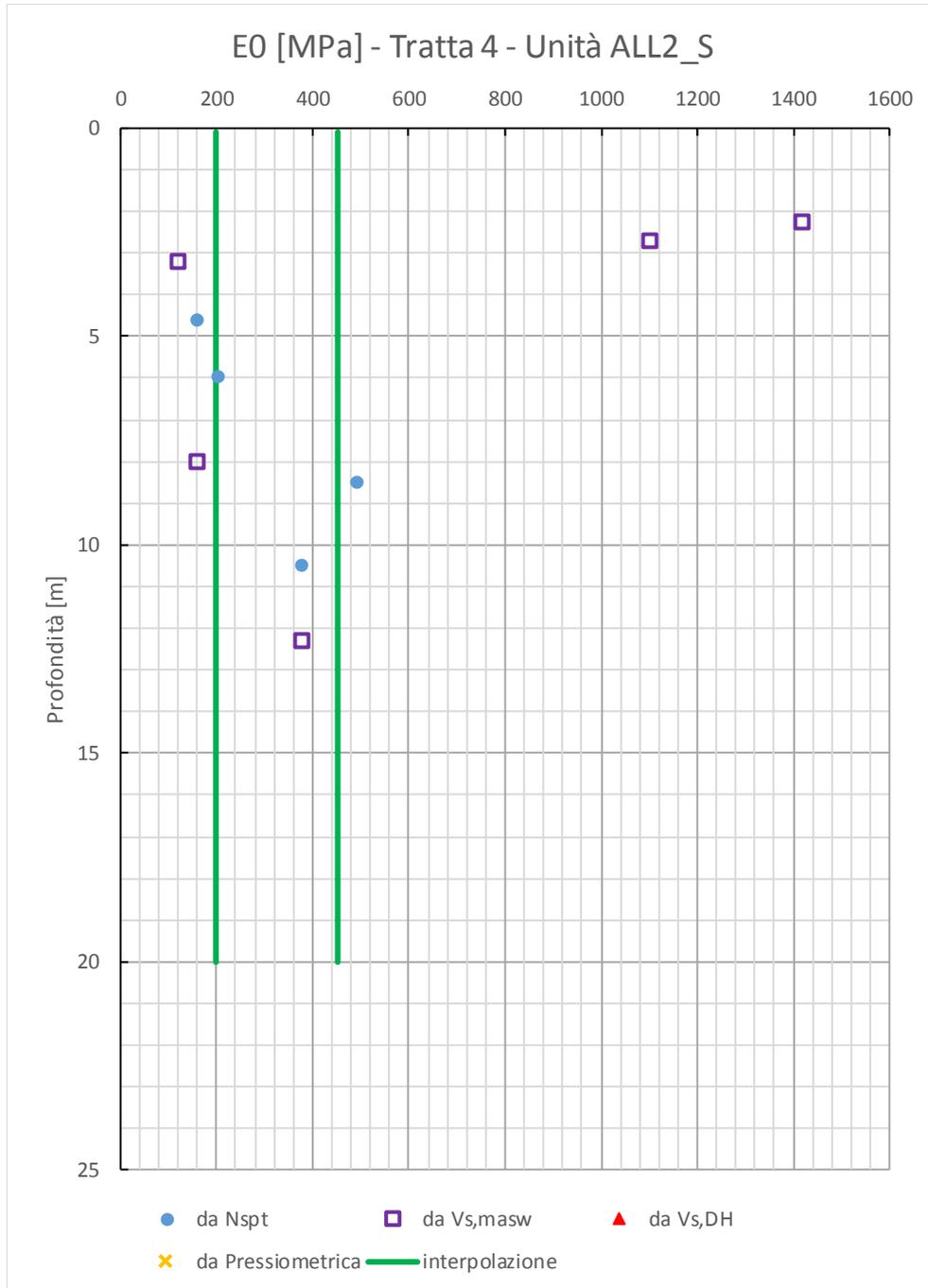
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	30 di 80



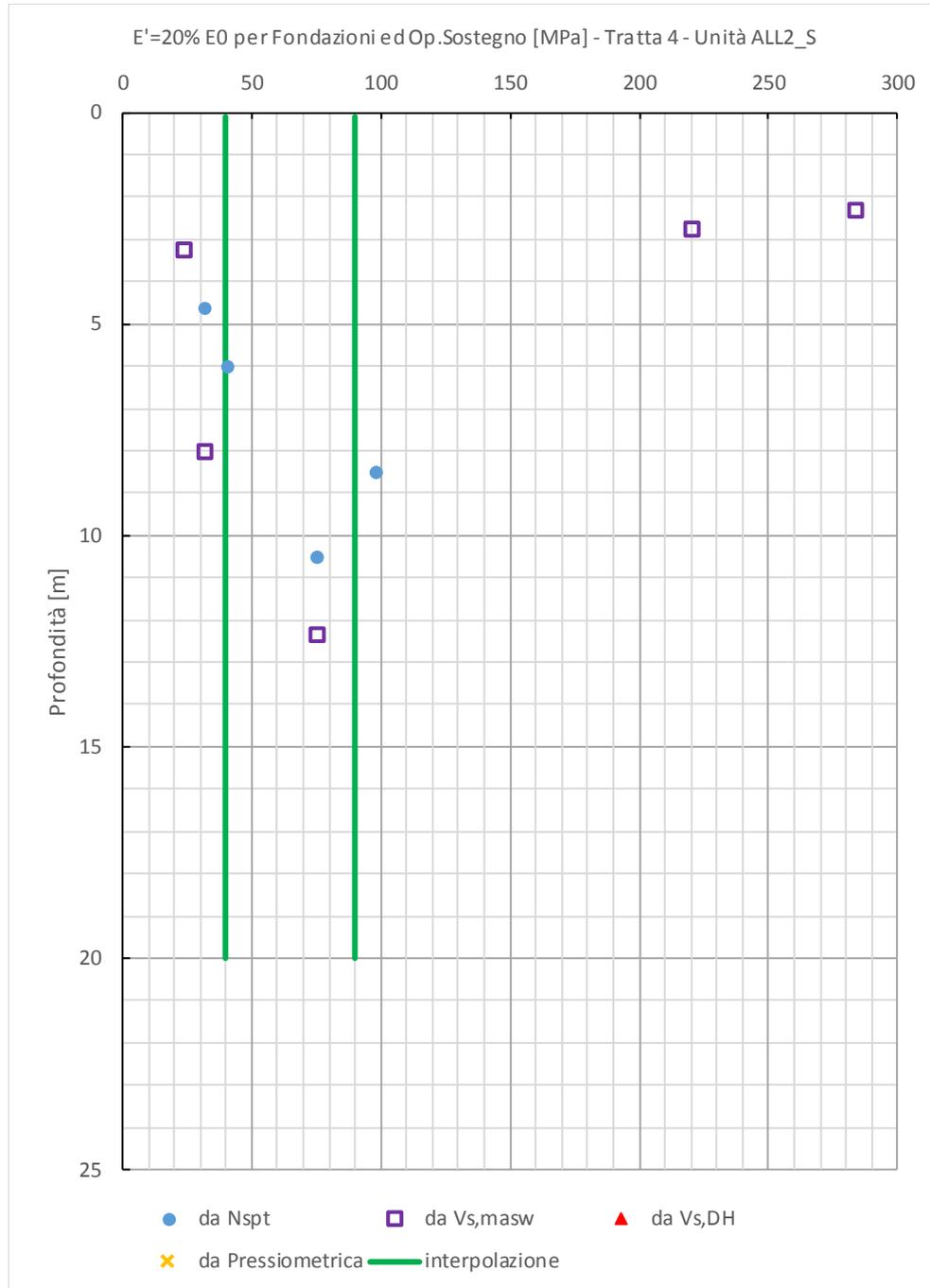


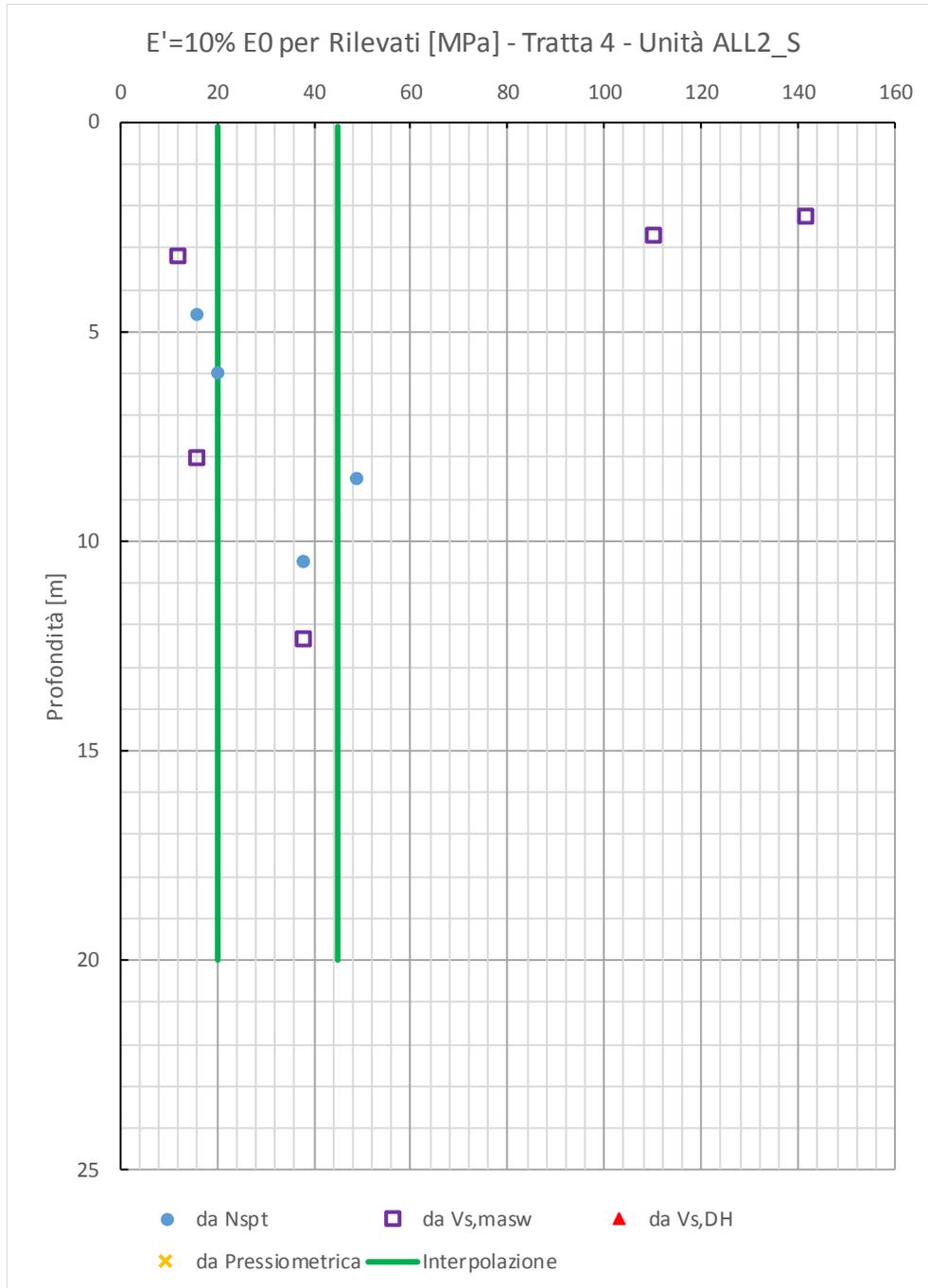


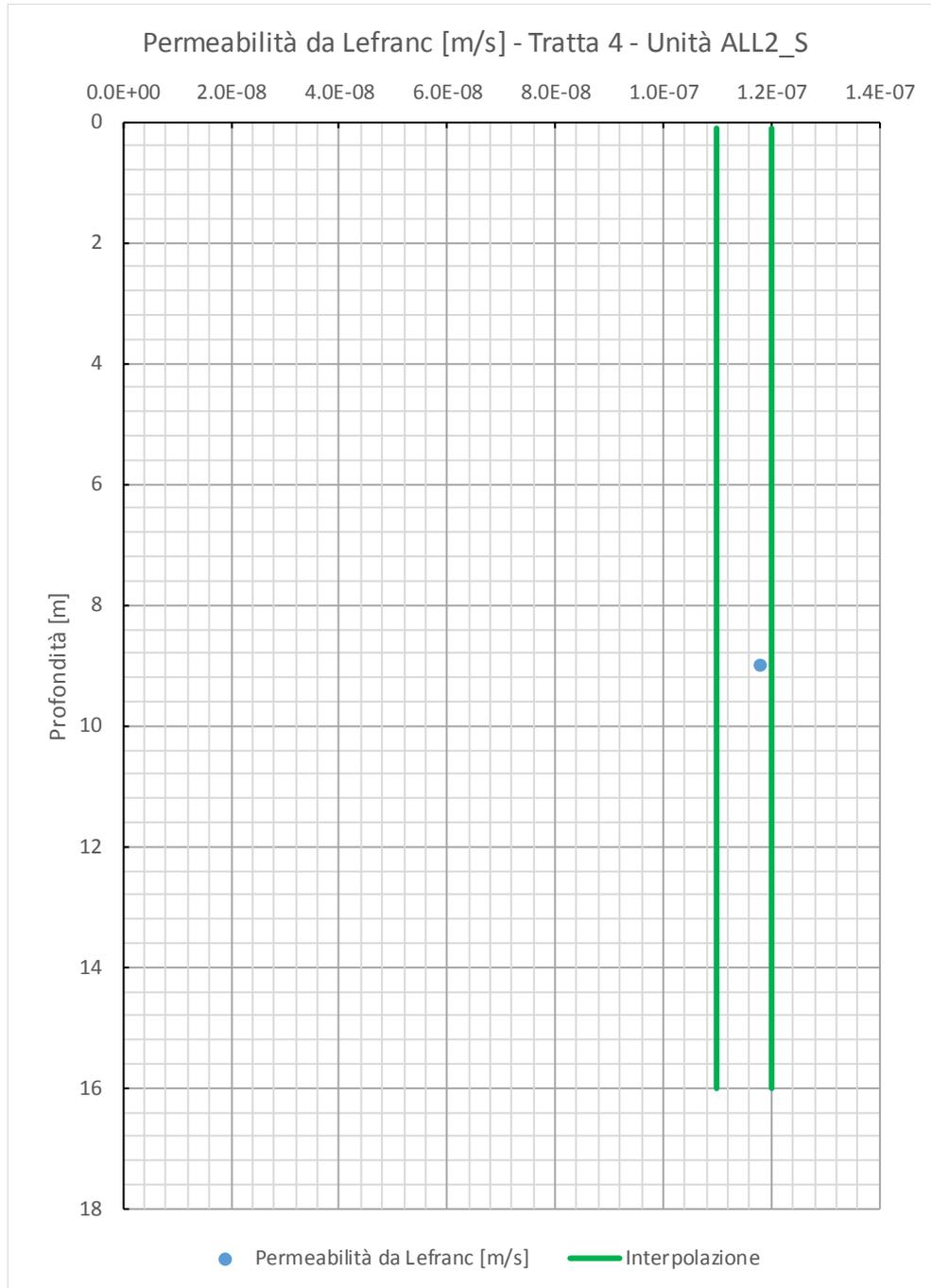


Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	34 di 80

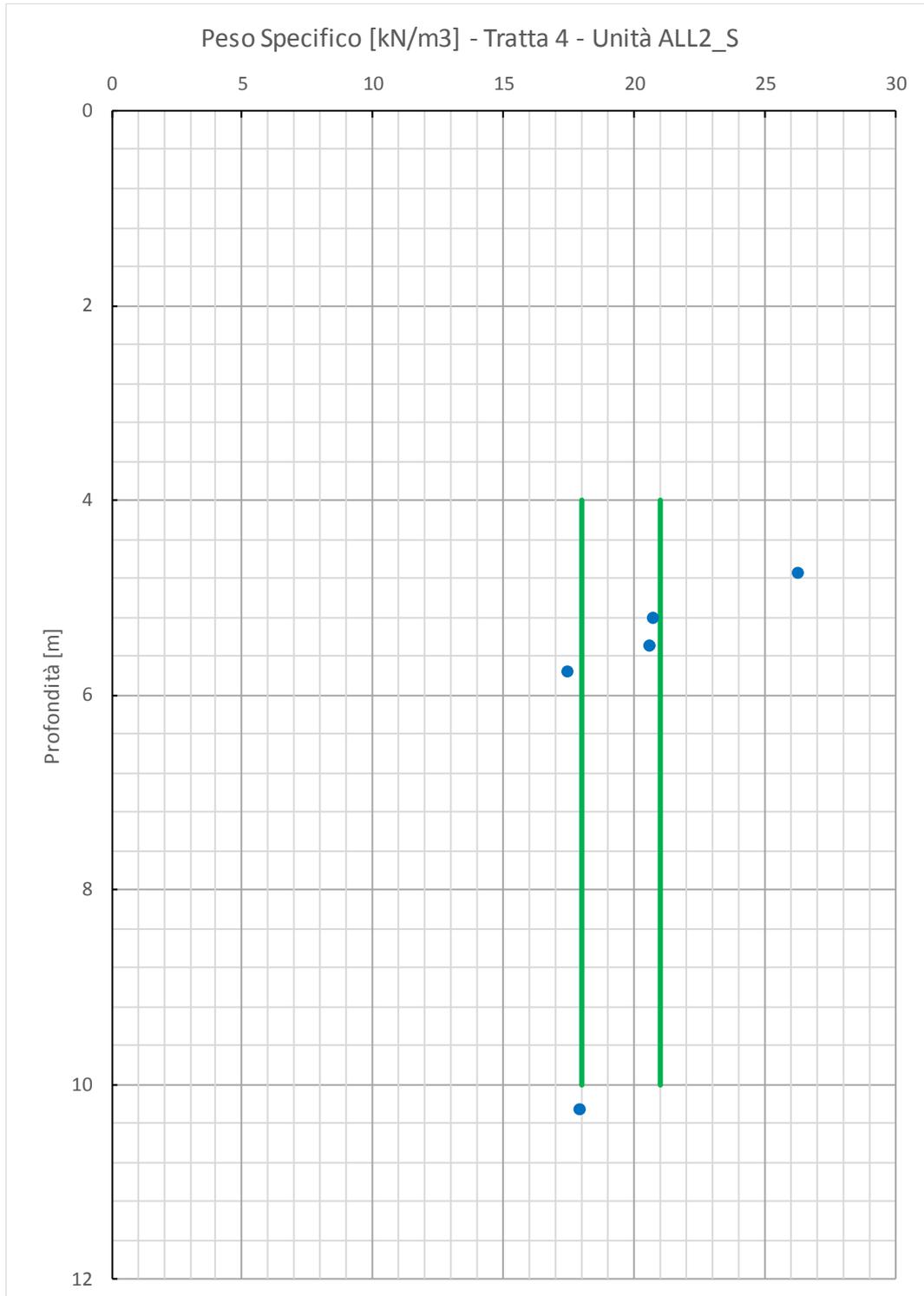






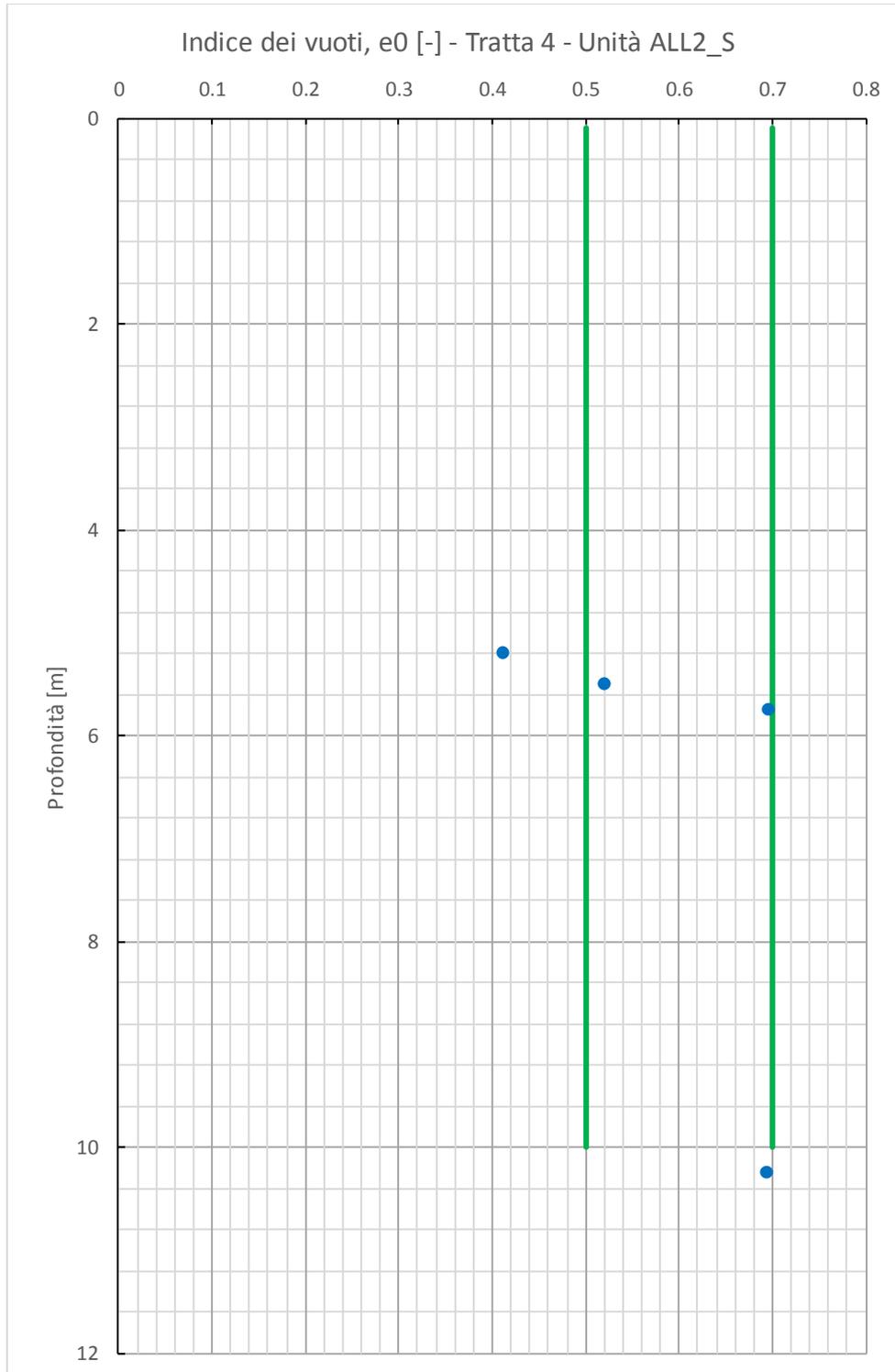
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

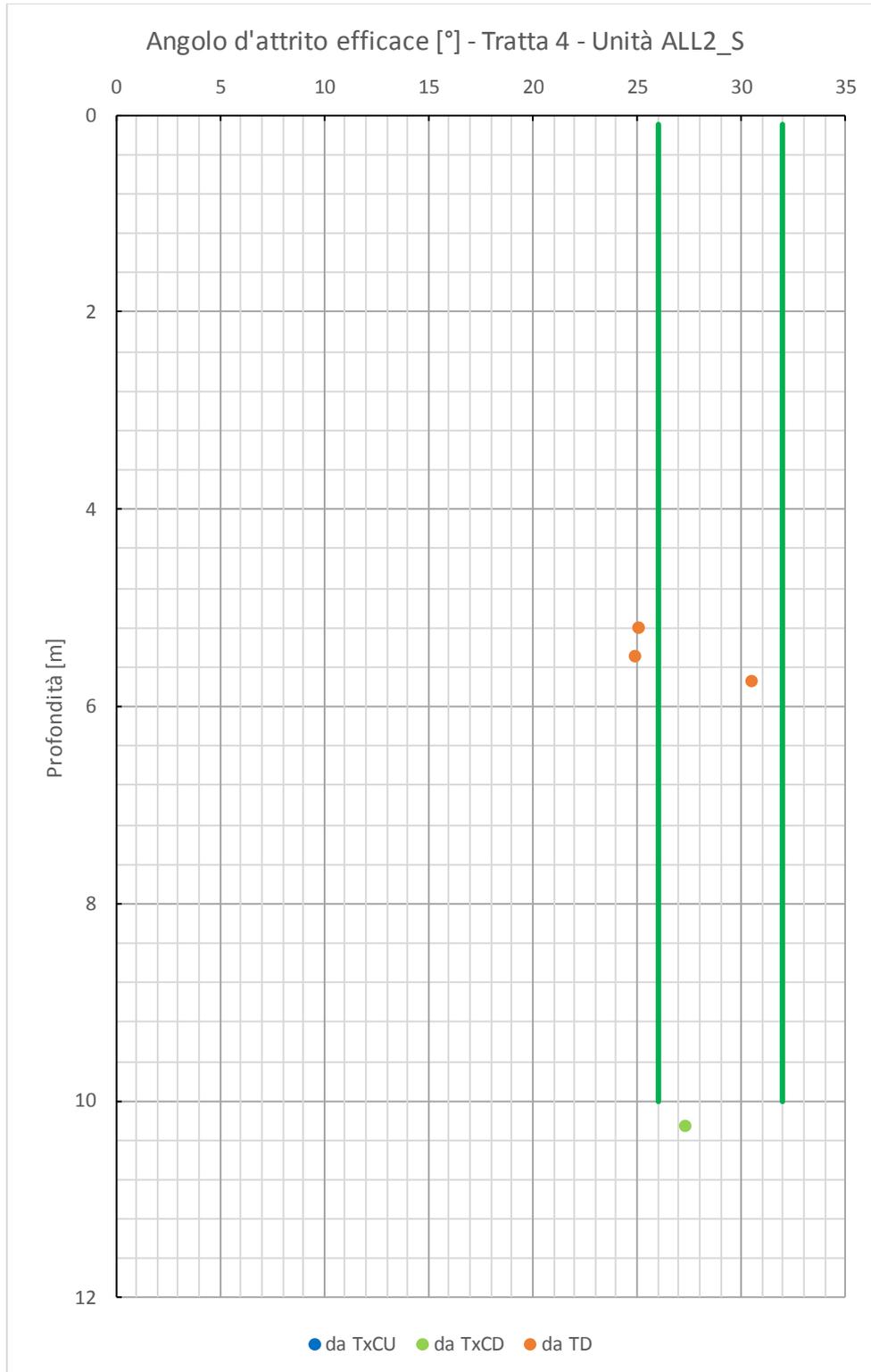
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	37 di 80

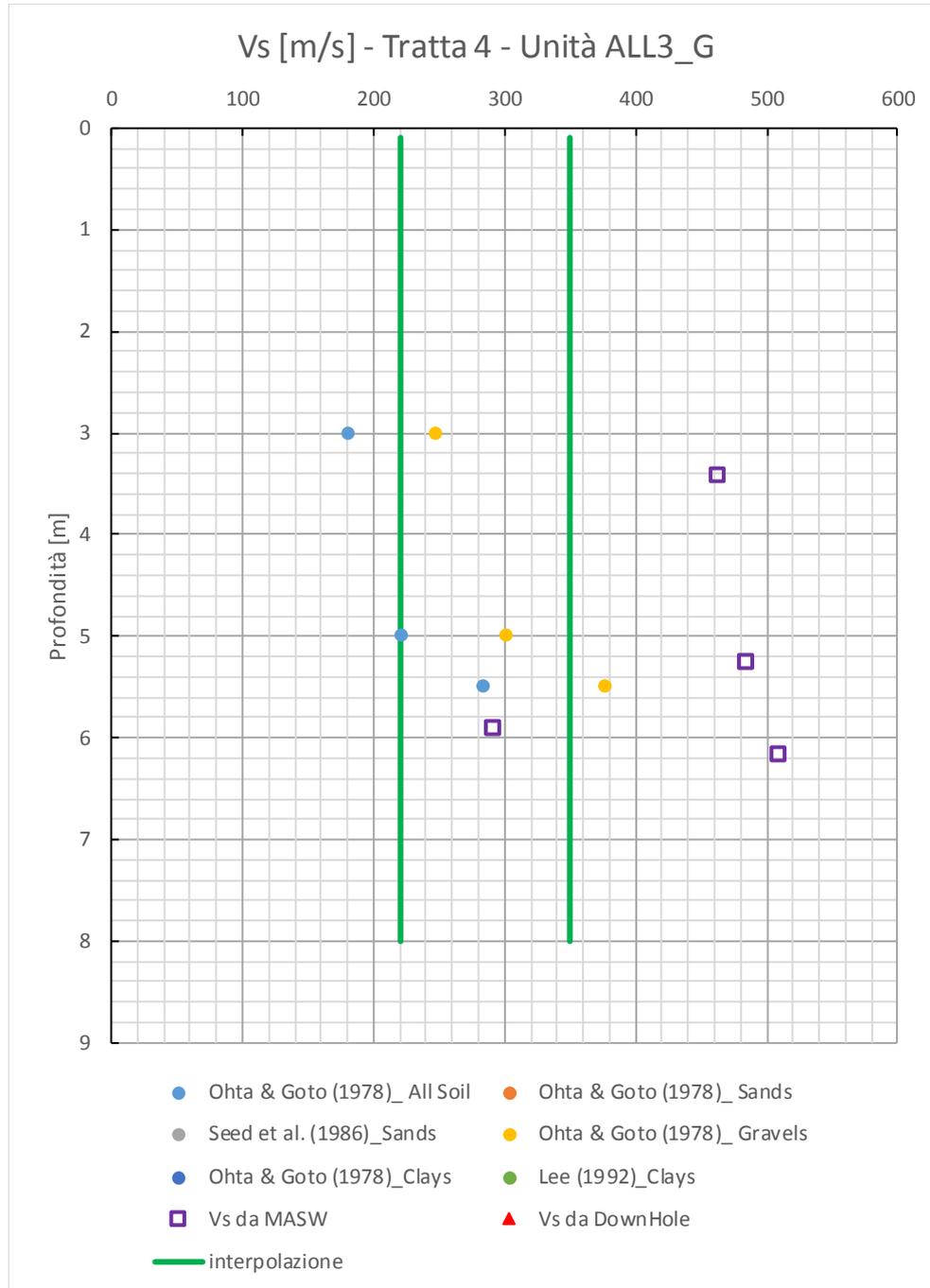


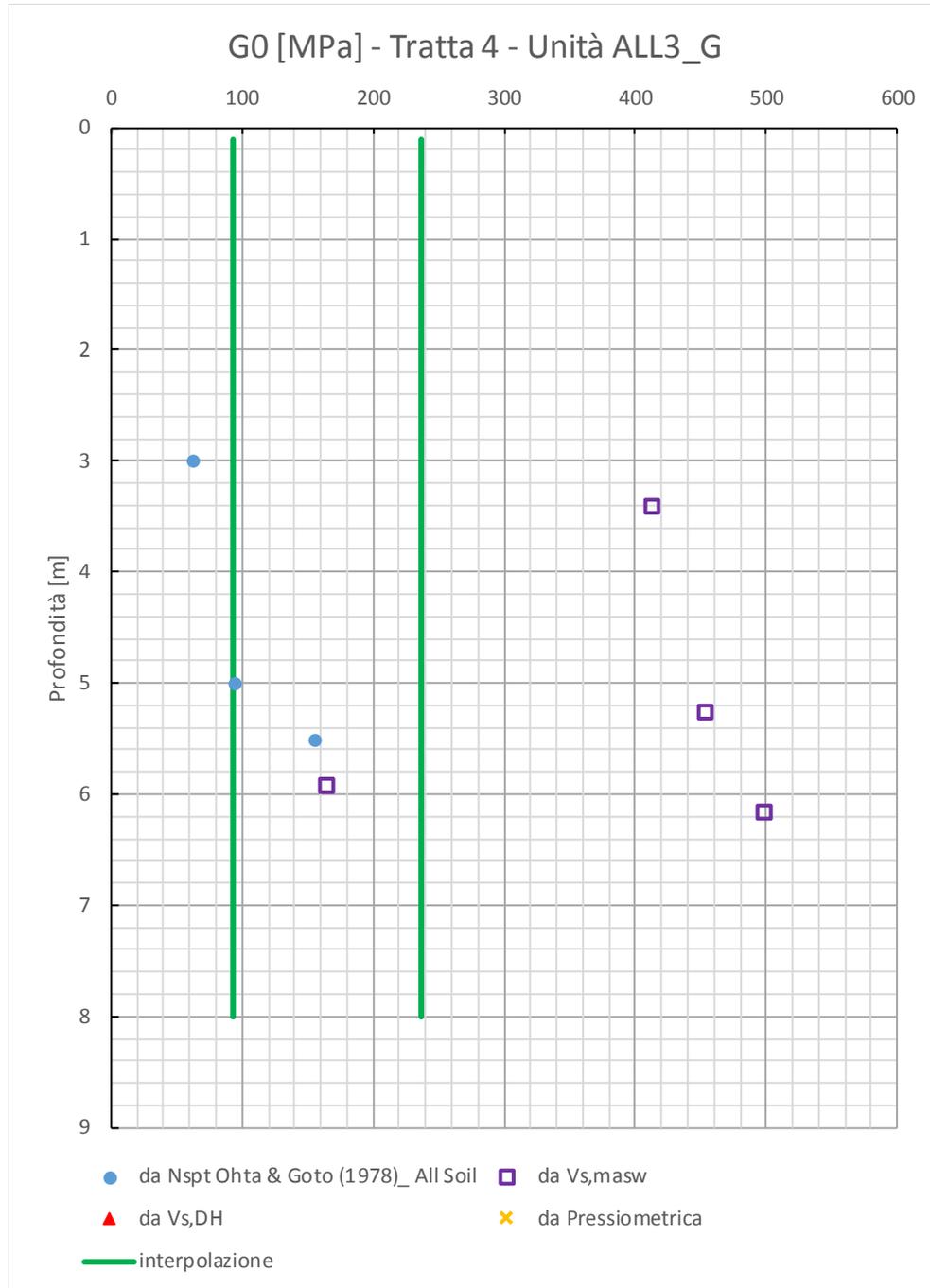
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	38 di 80



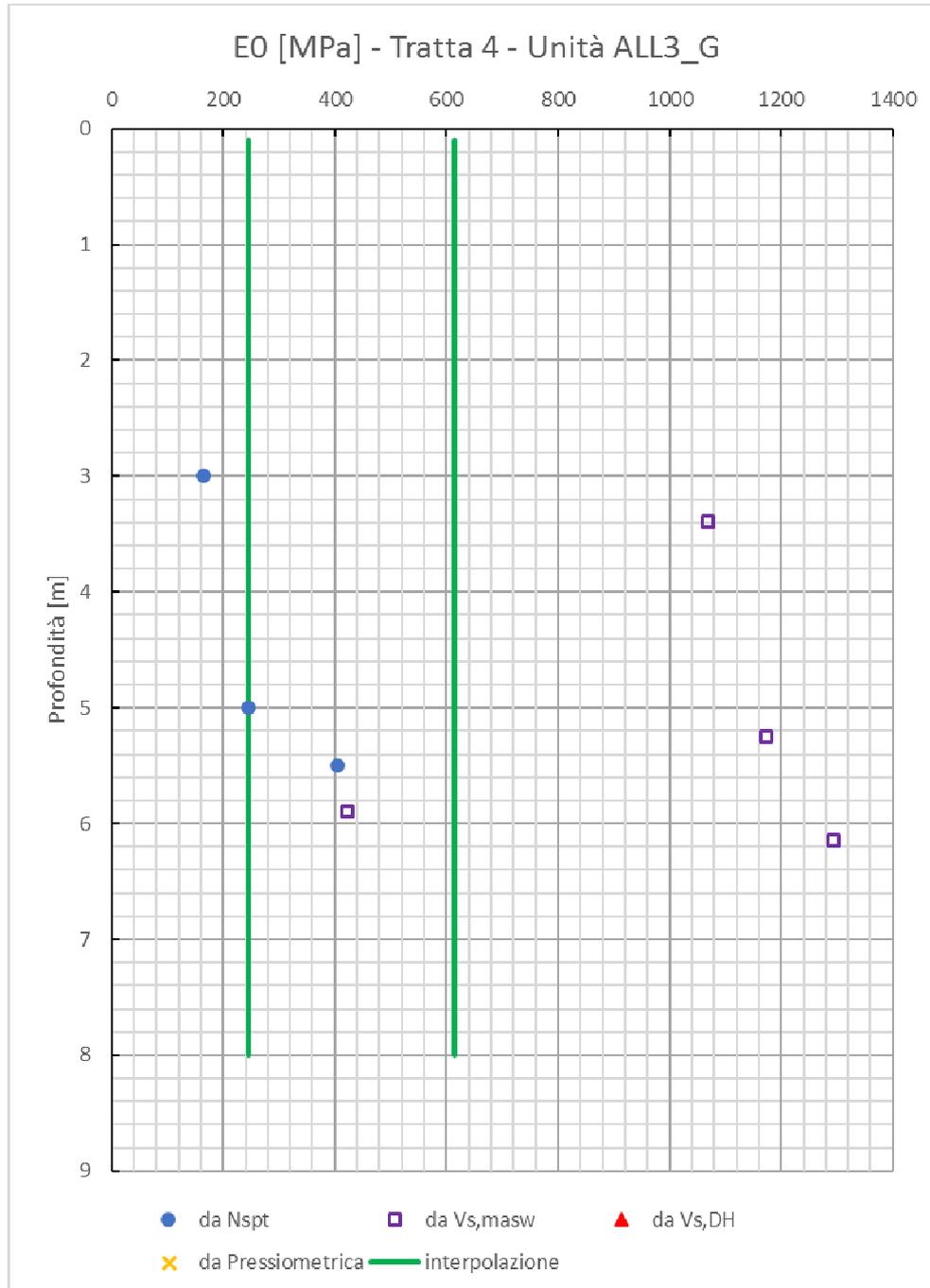






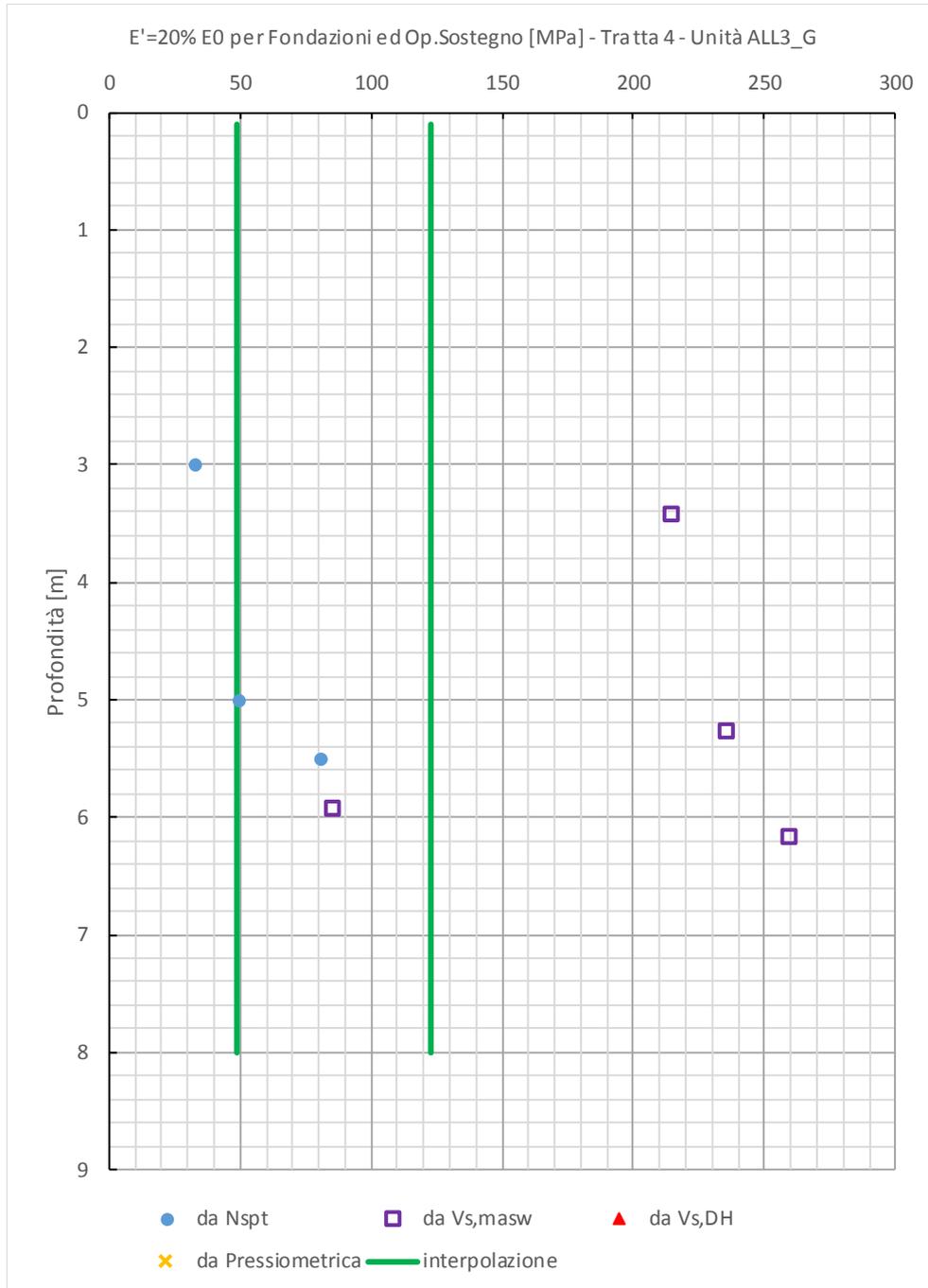
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	42 di 80



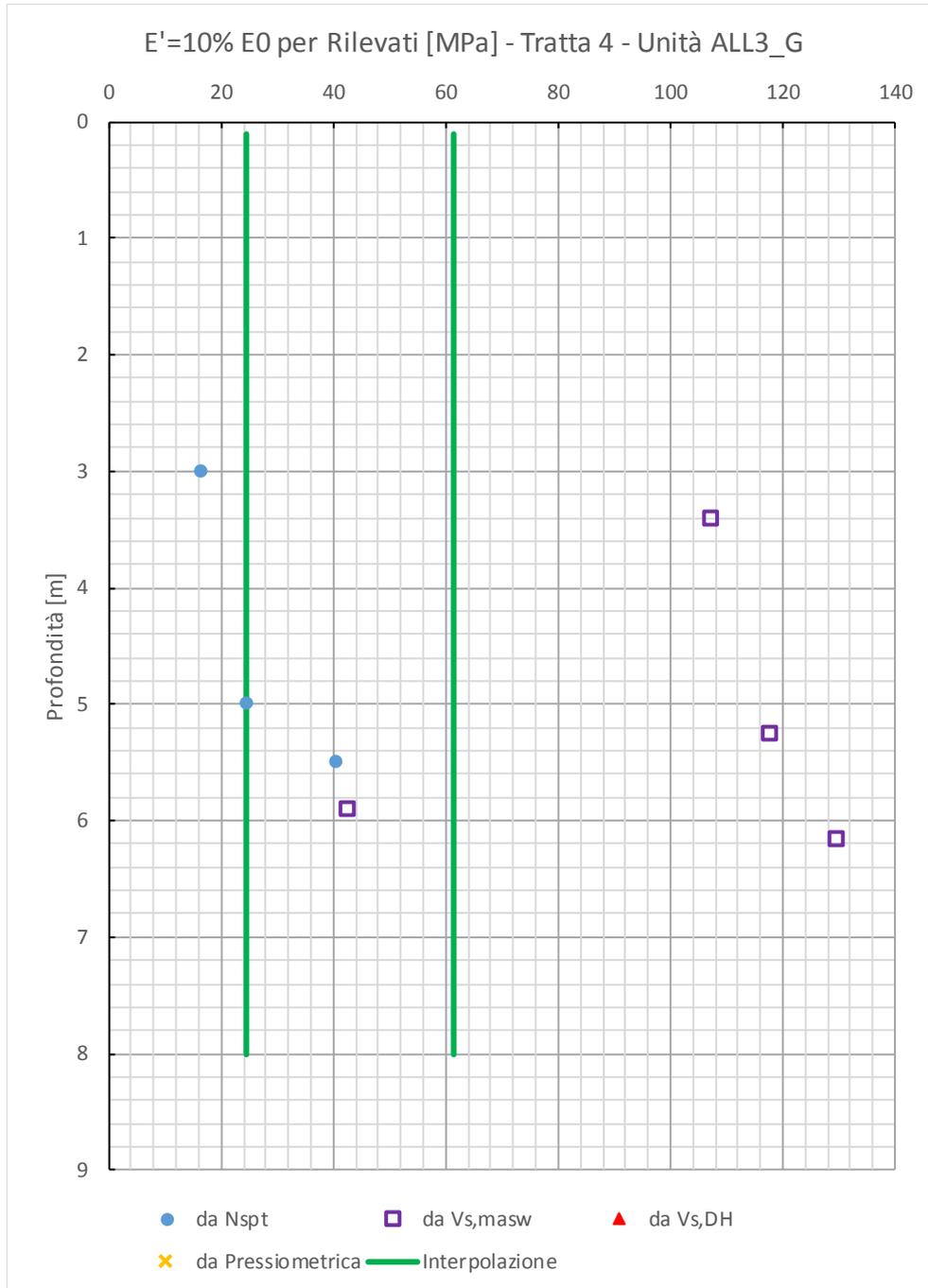
**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713**

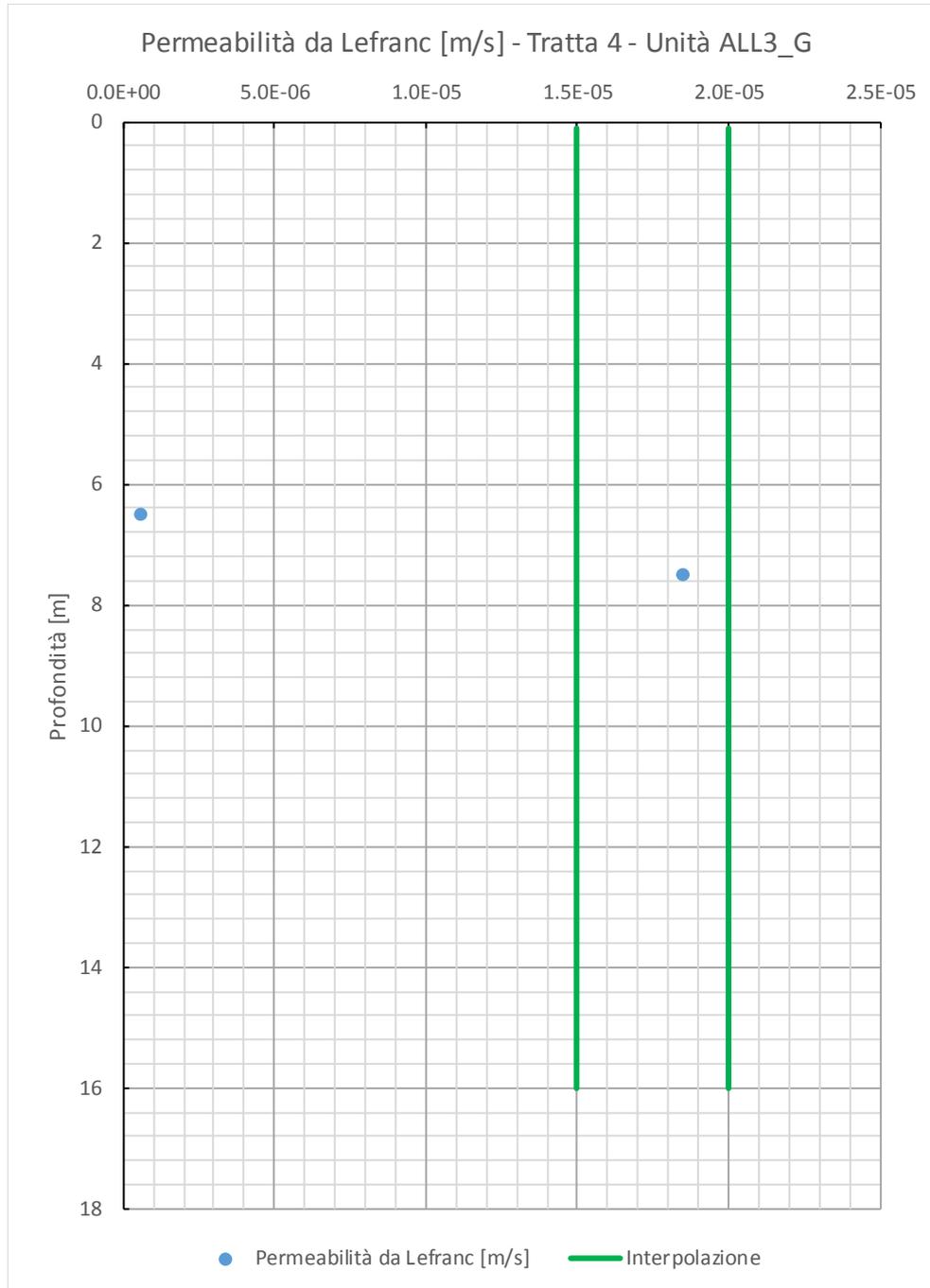
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	43 di 80

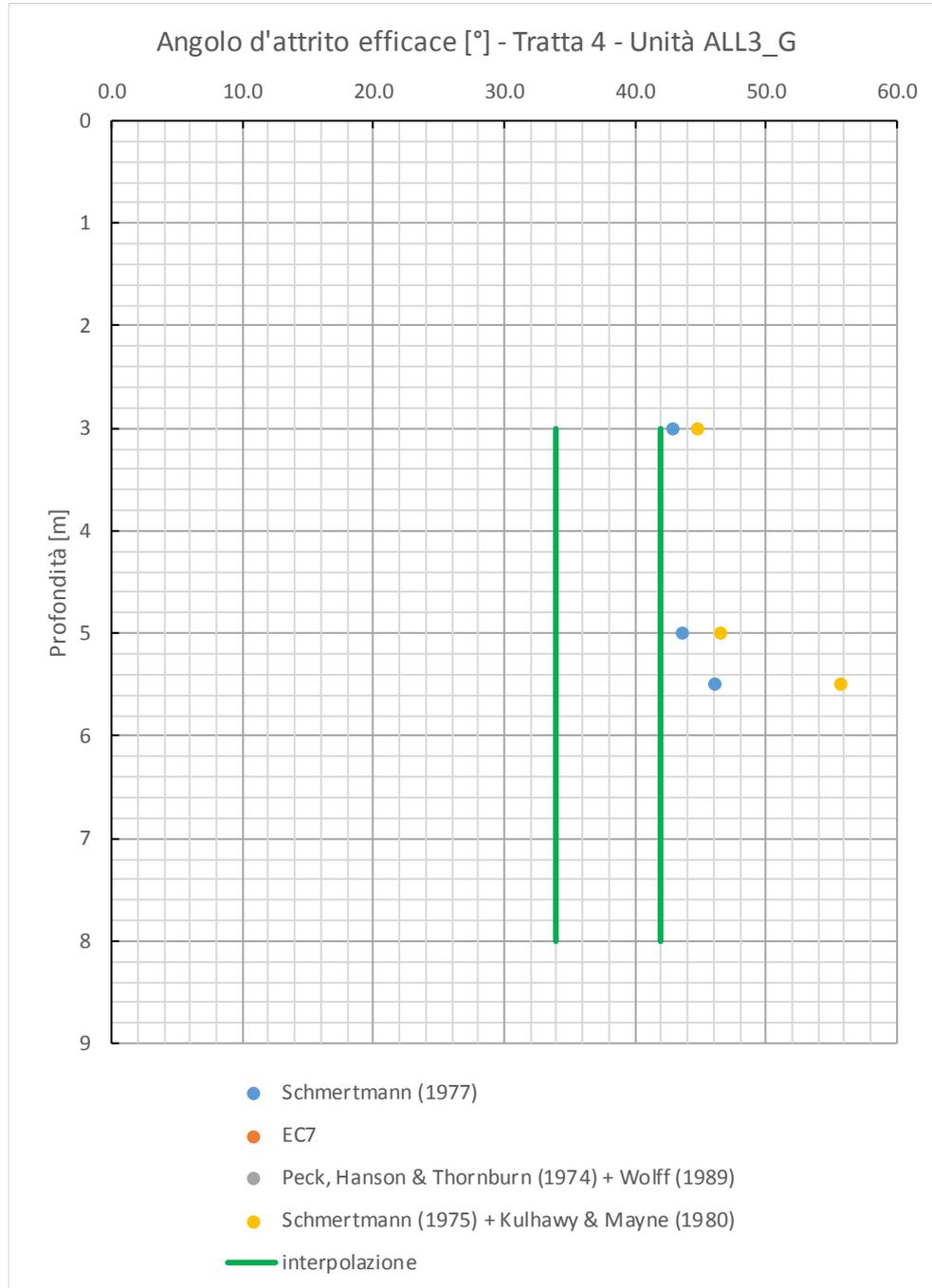


Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	44 di 80

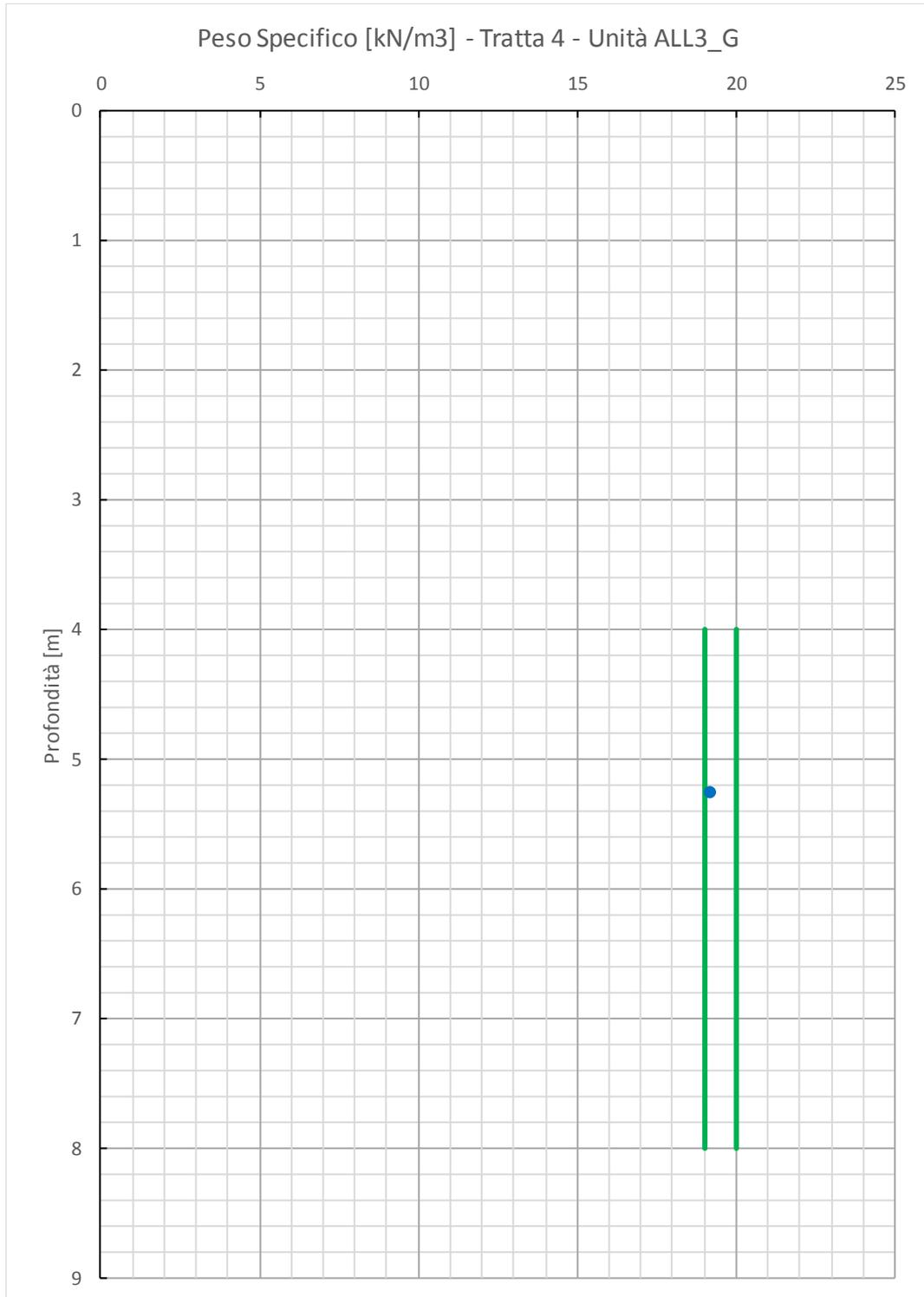






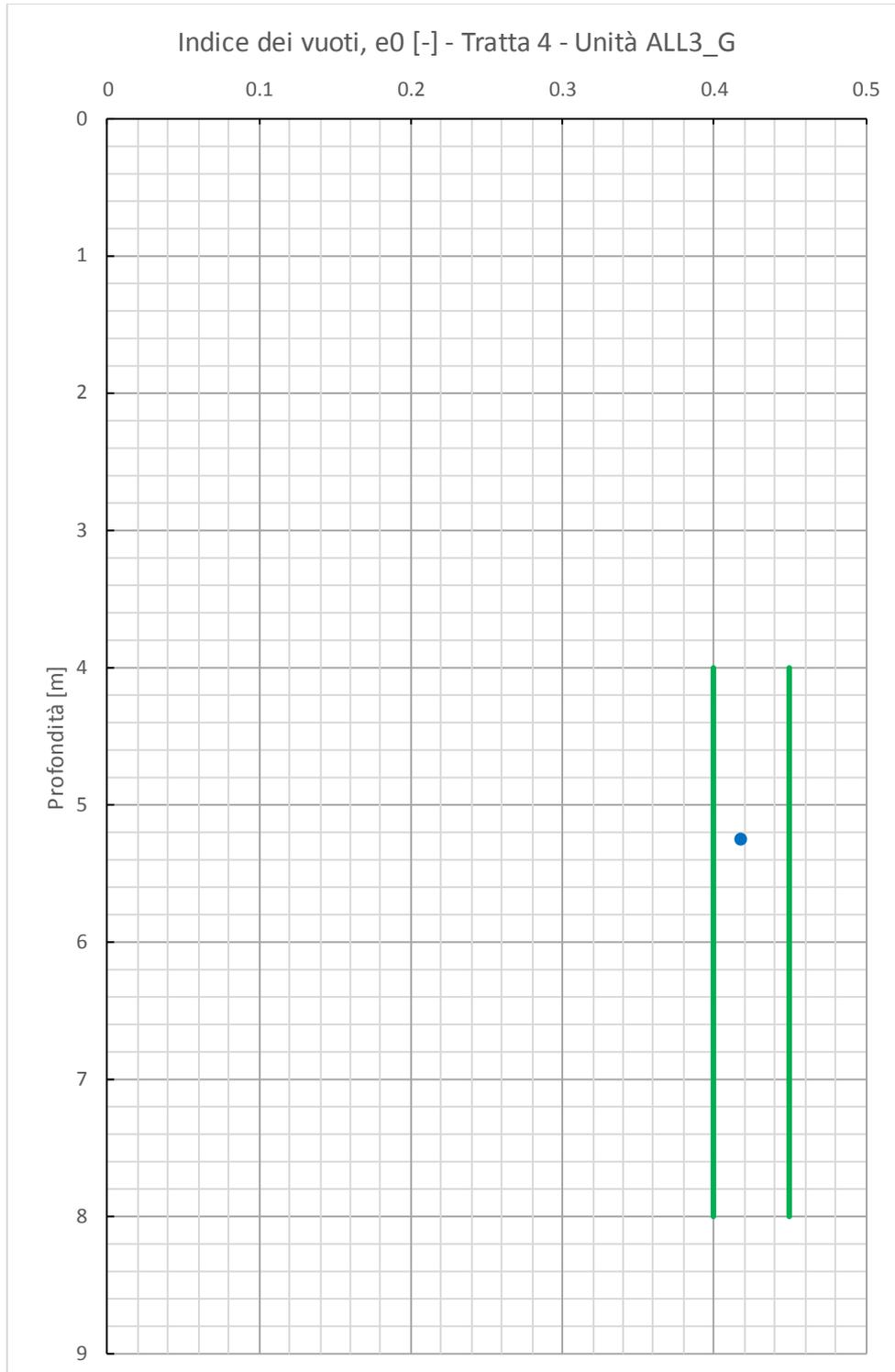
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

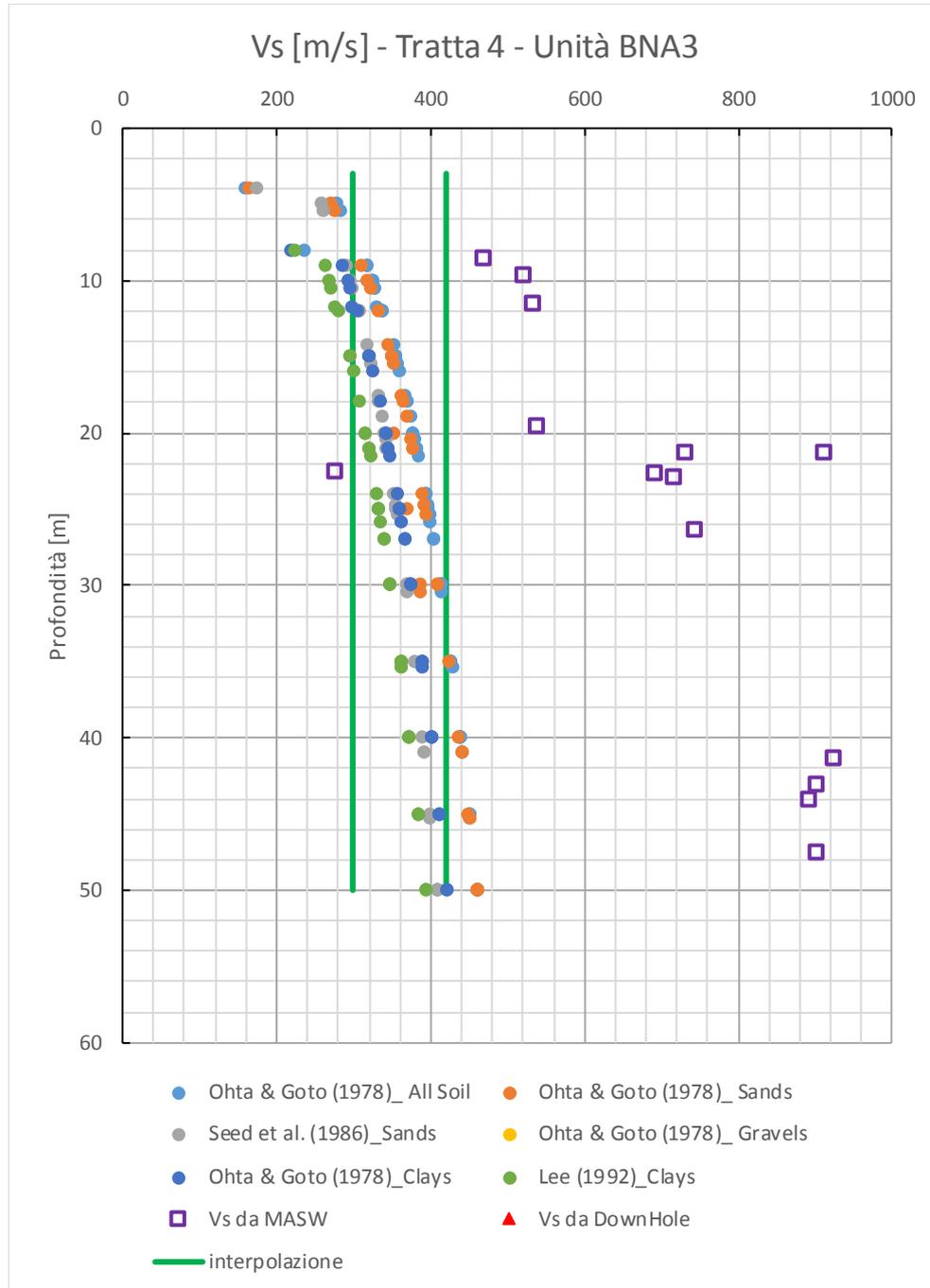
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	47 di 80

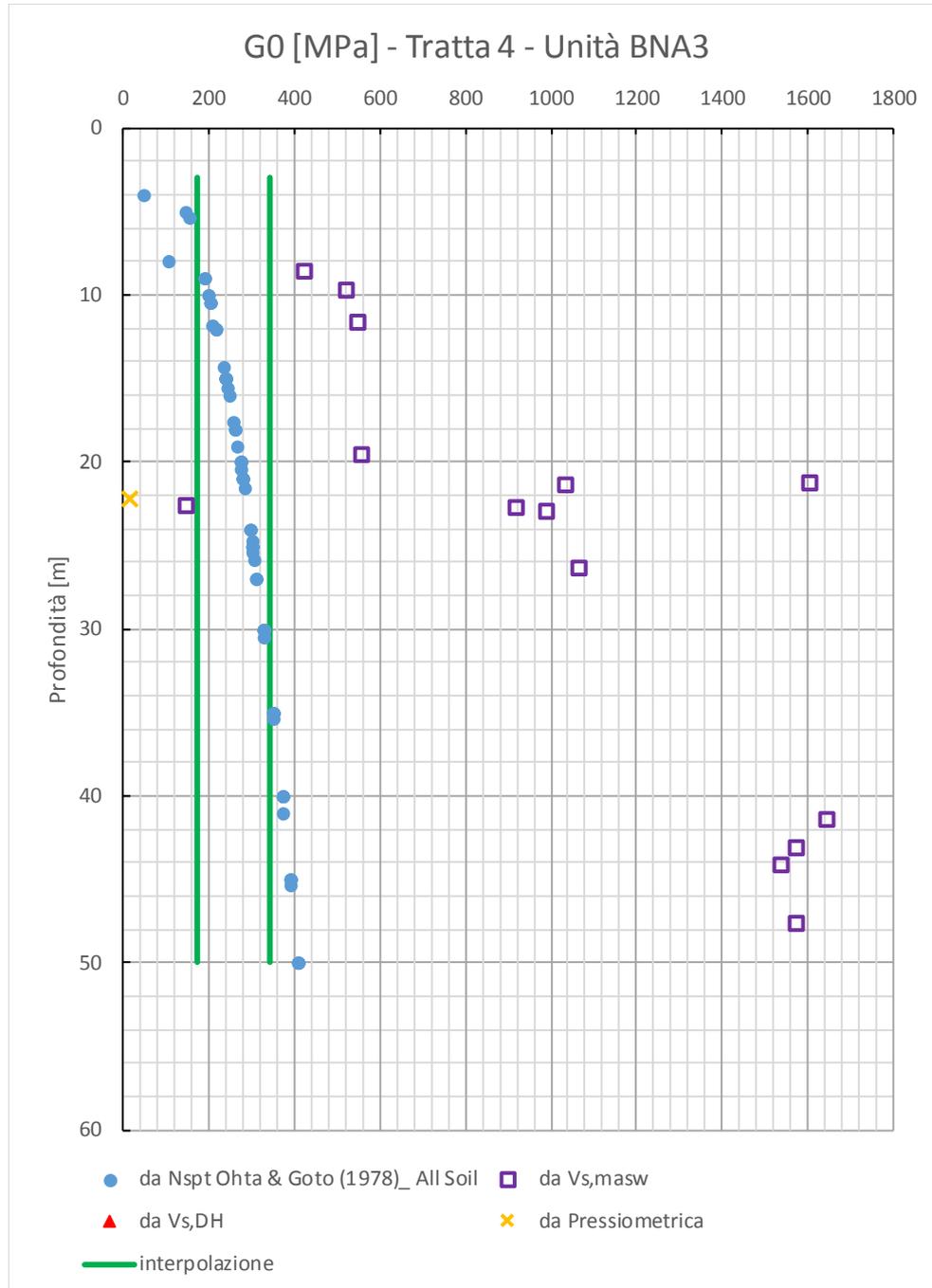


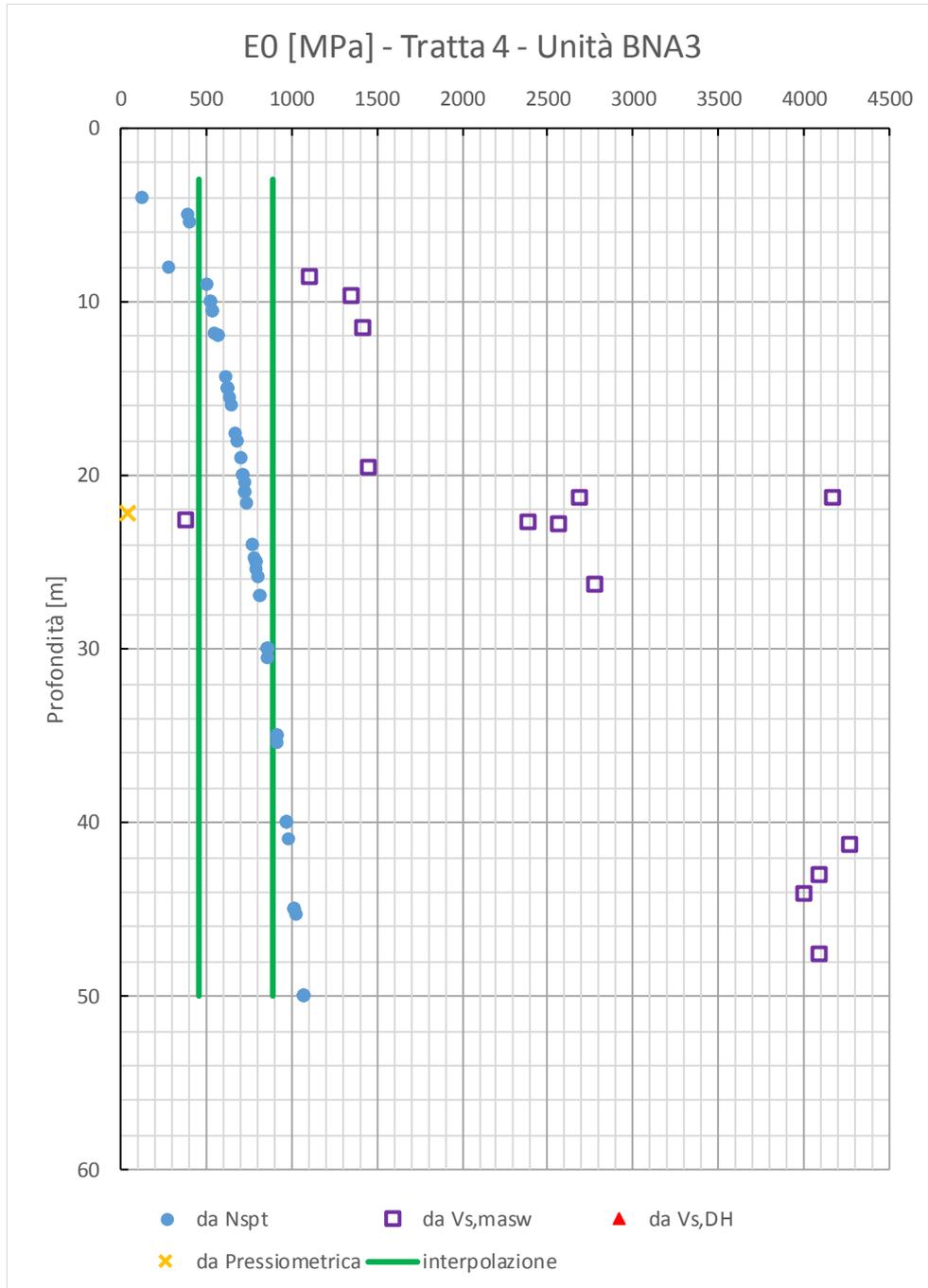
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	48 di 80



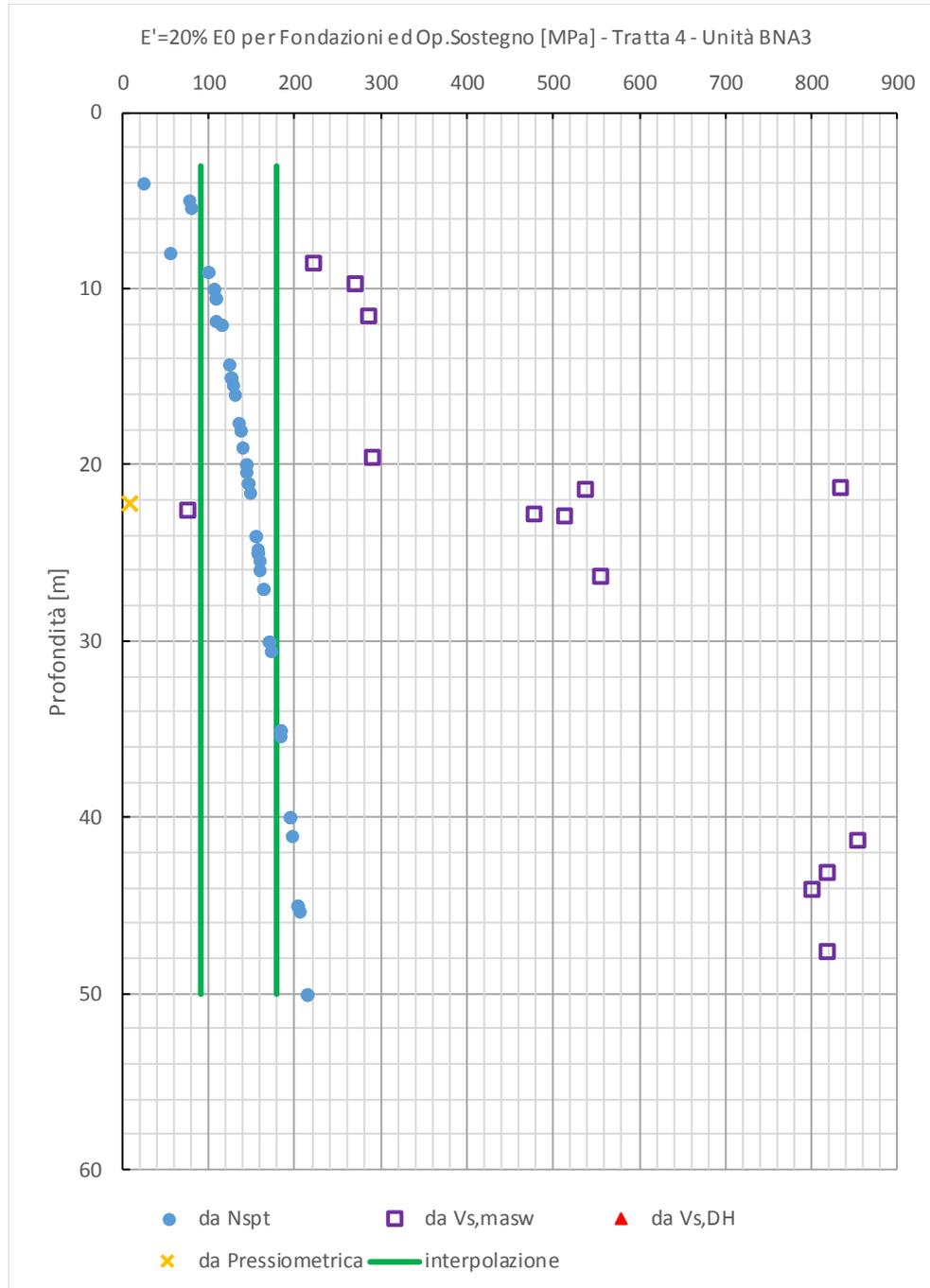






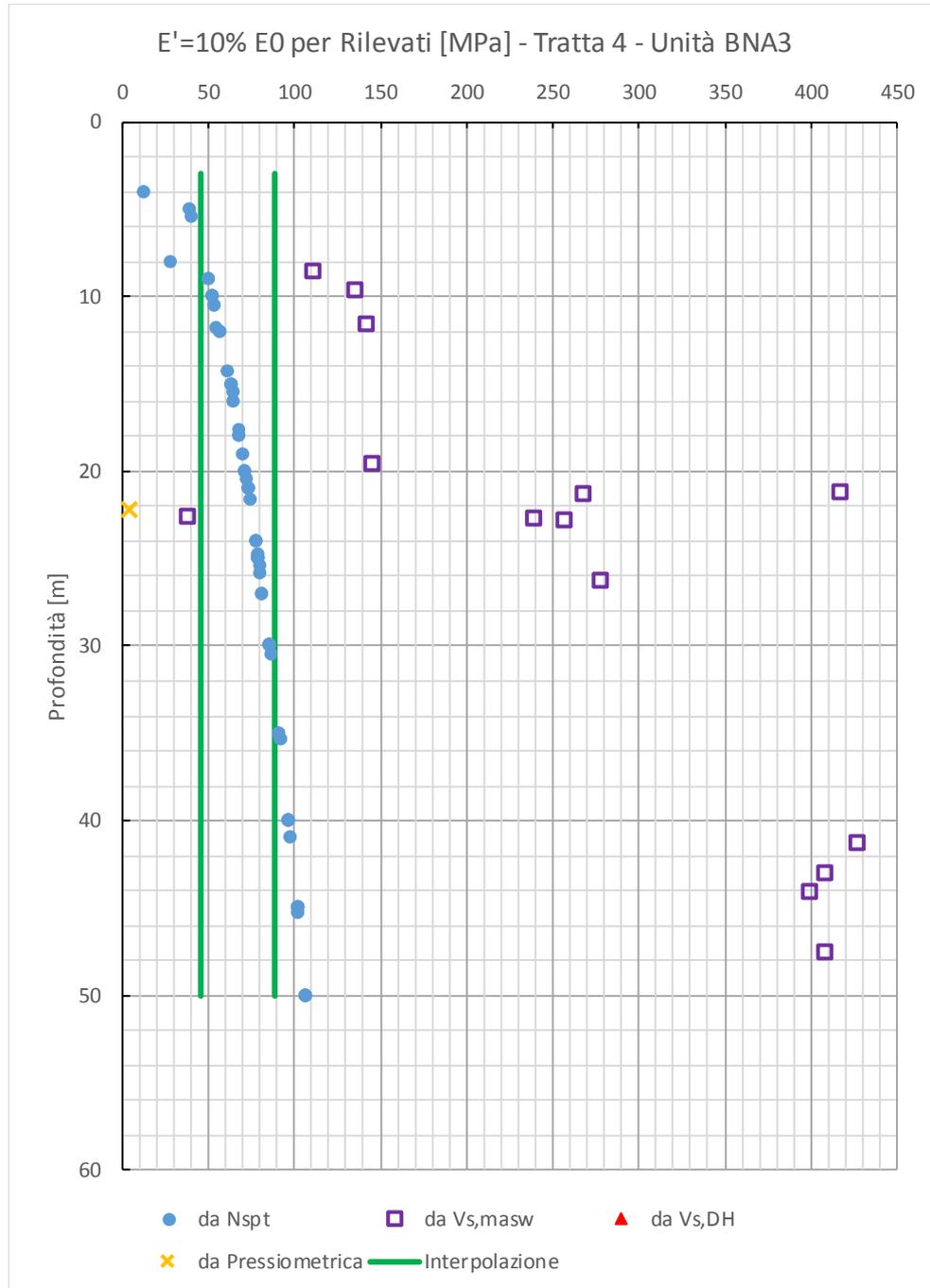
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

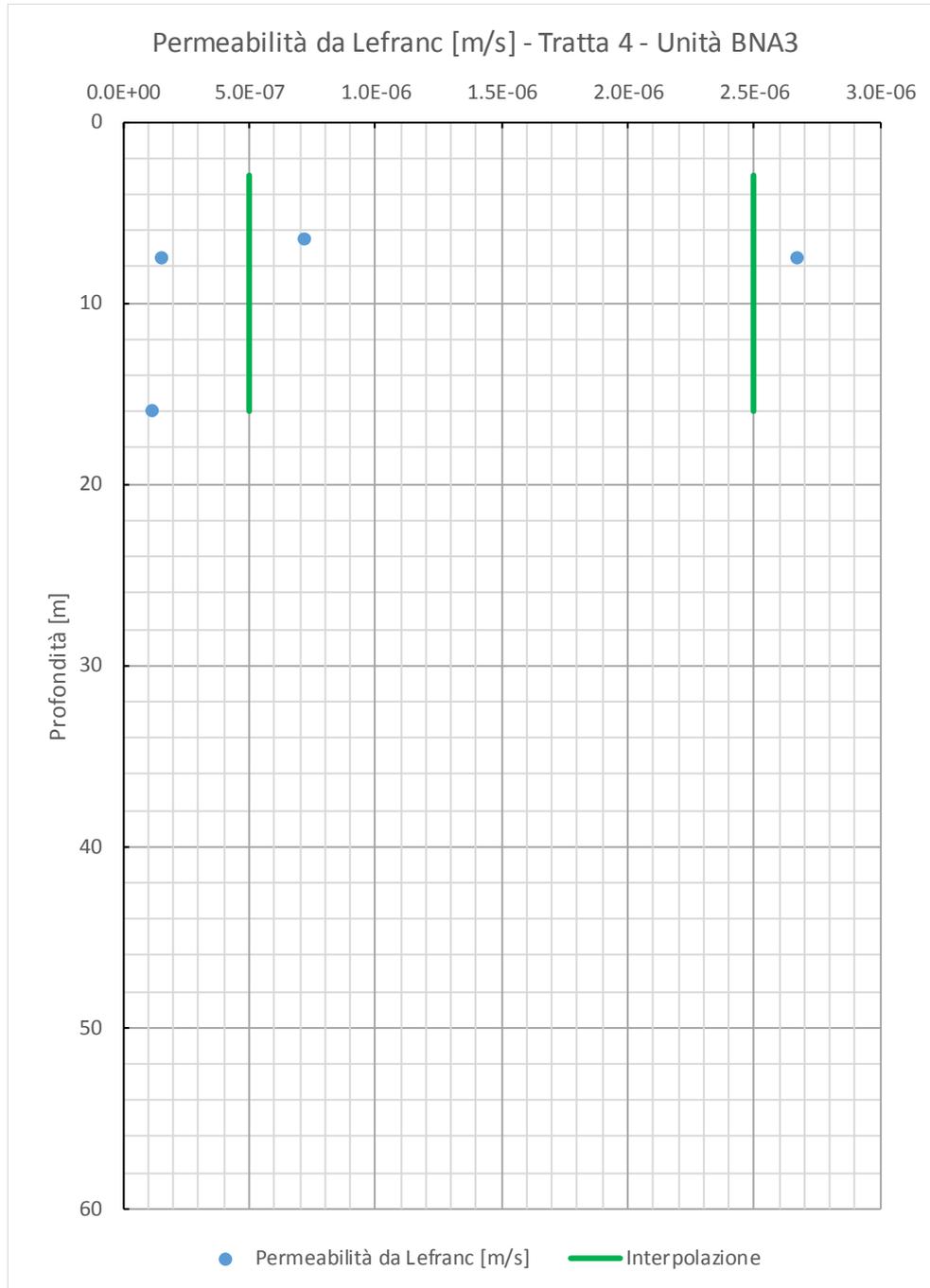
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	52 di 80

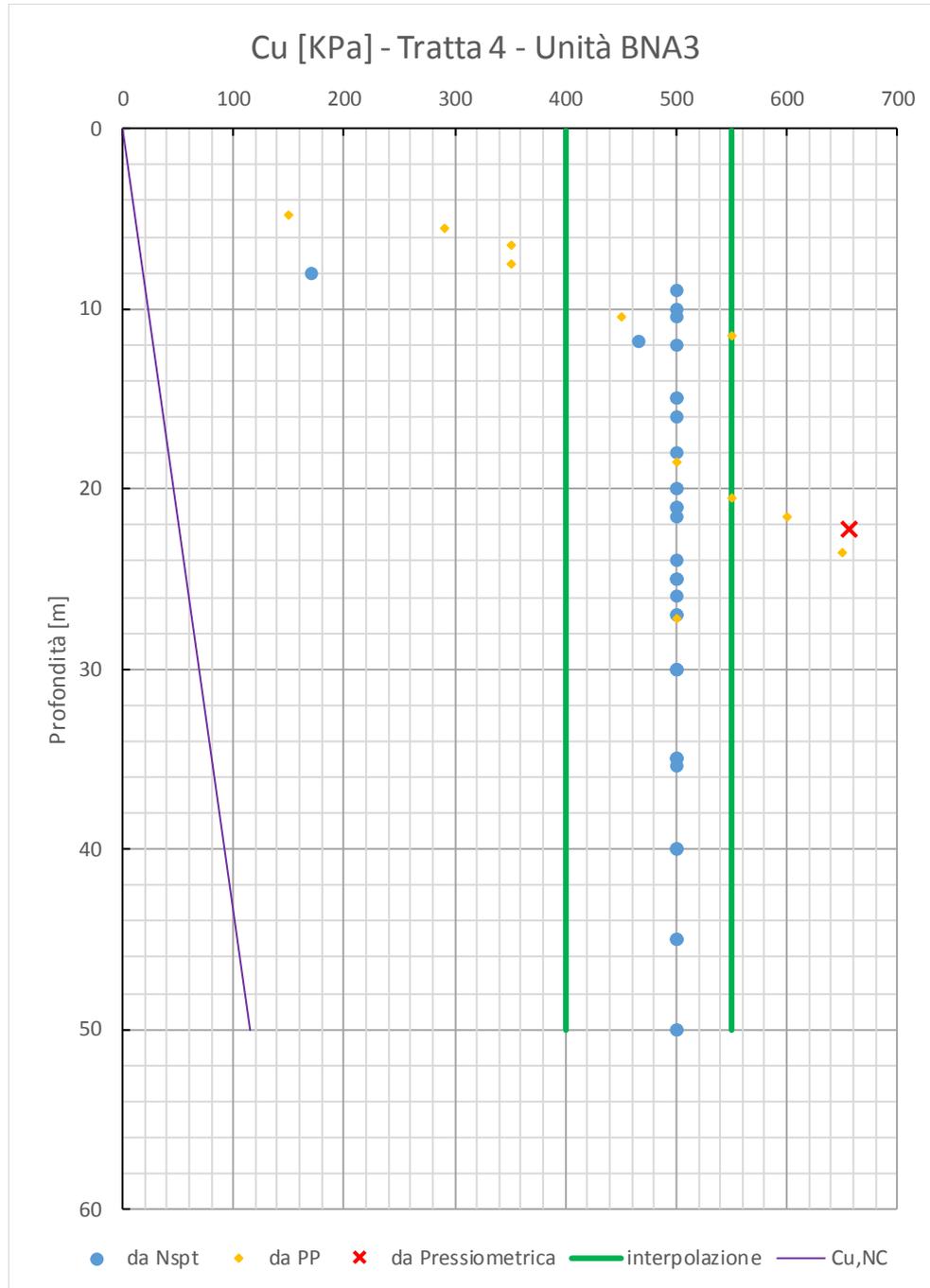


Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	53 di 80

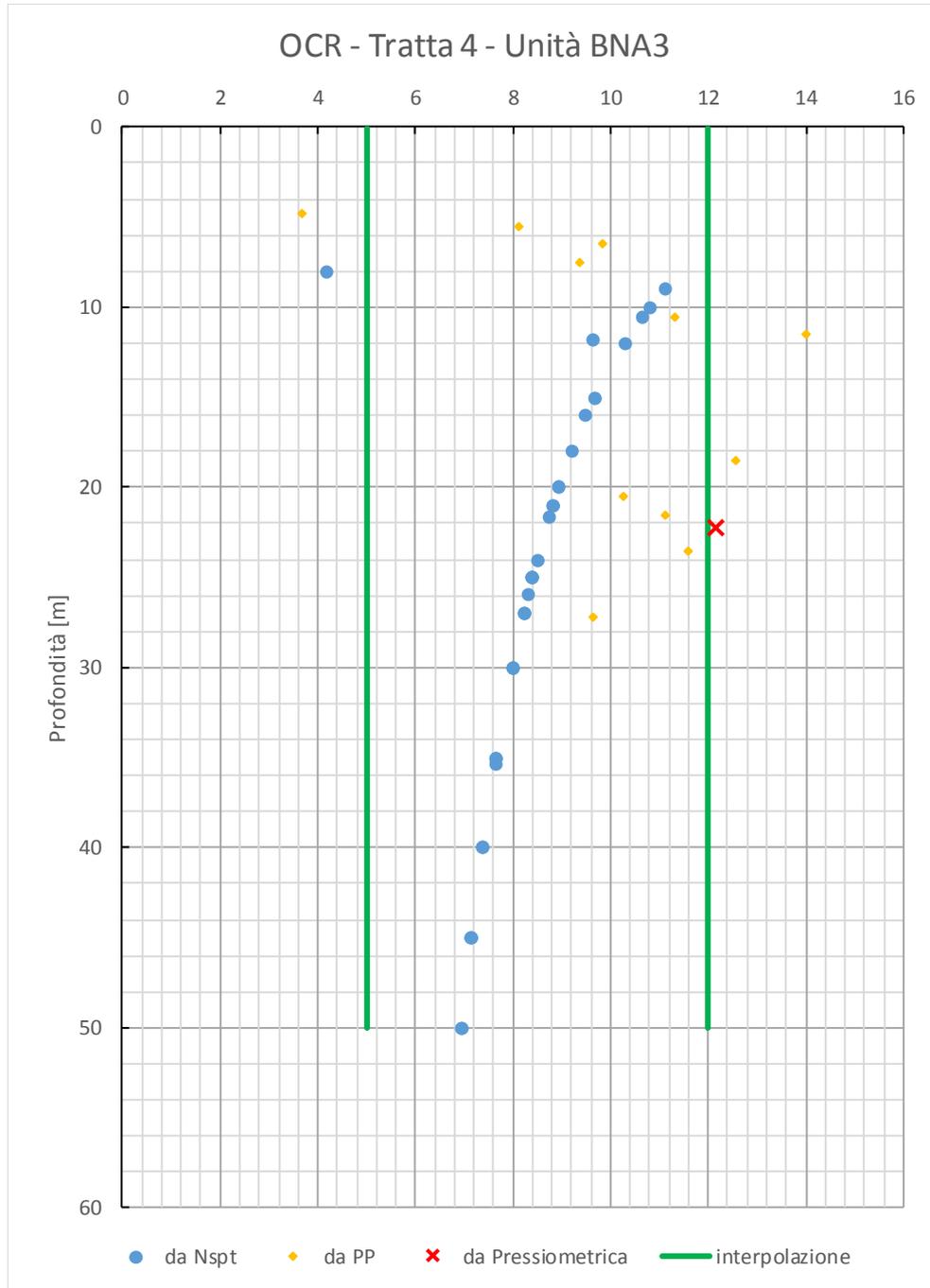






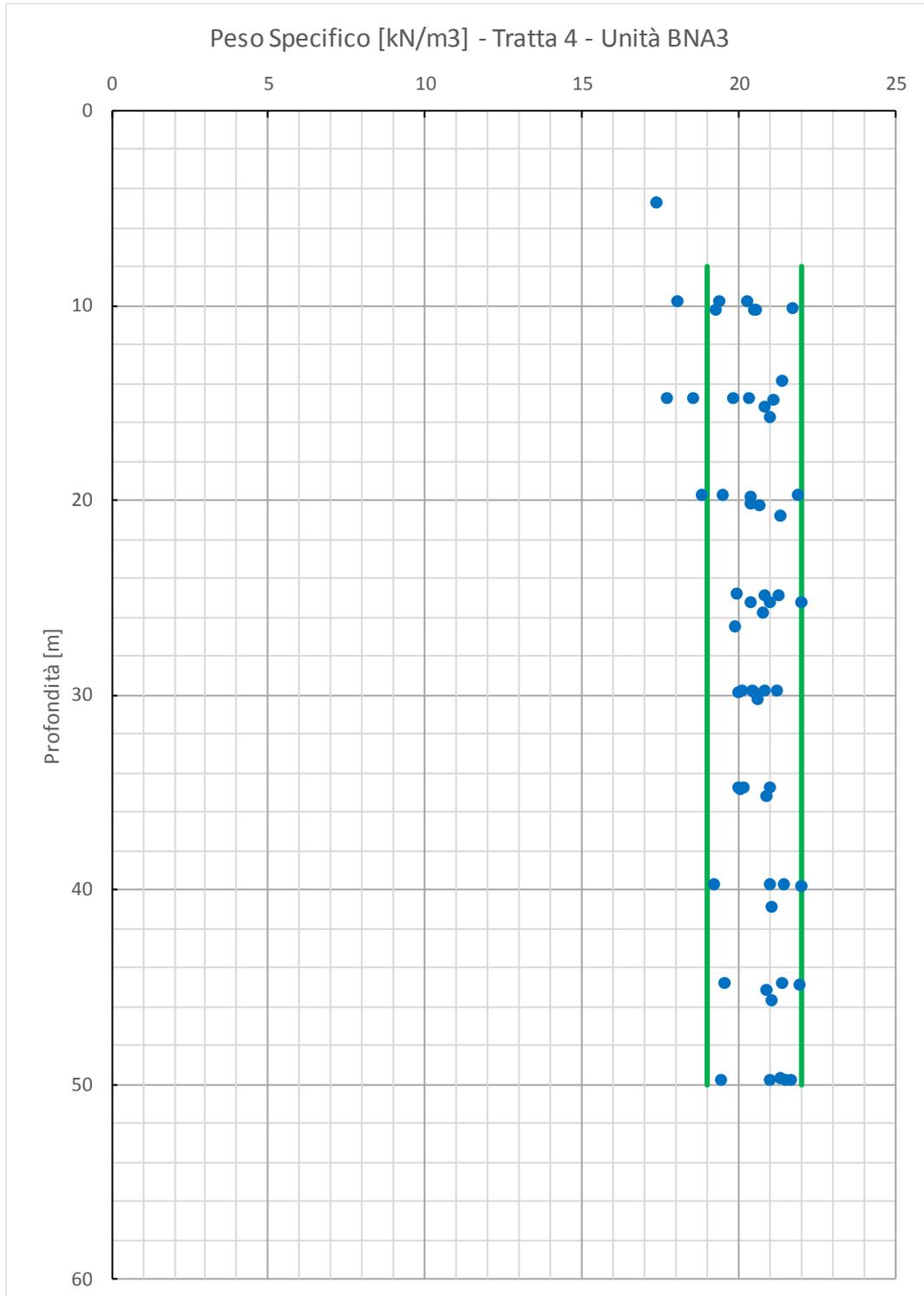
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

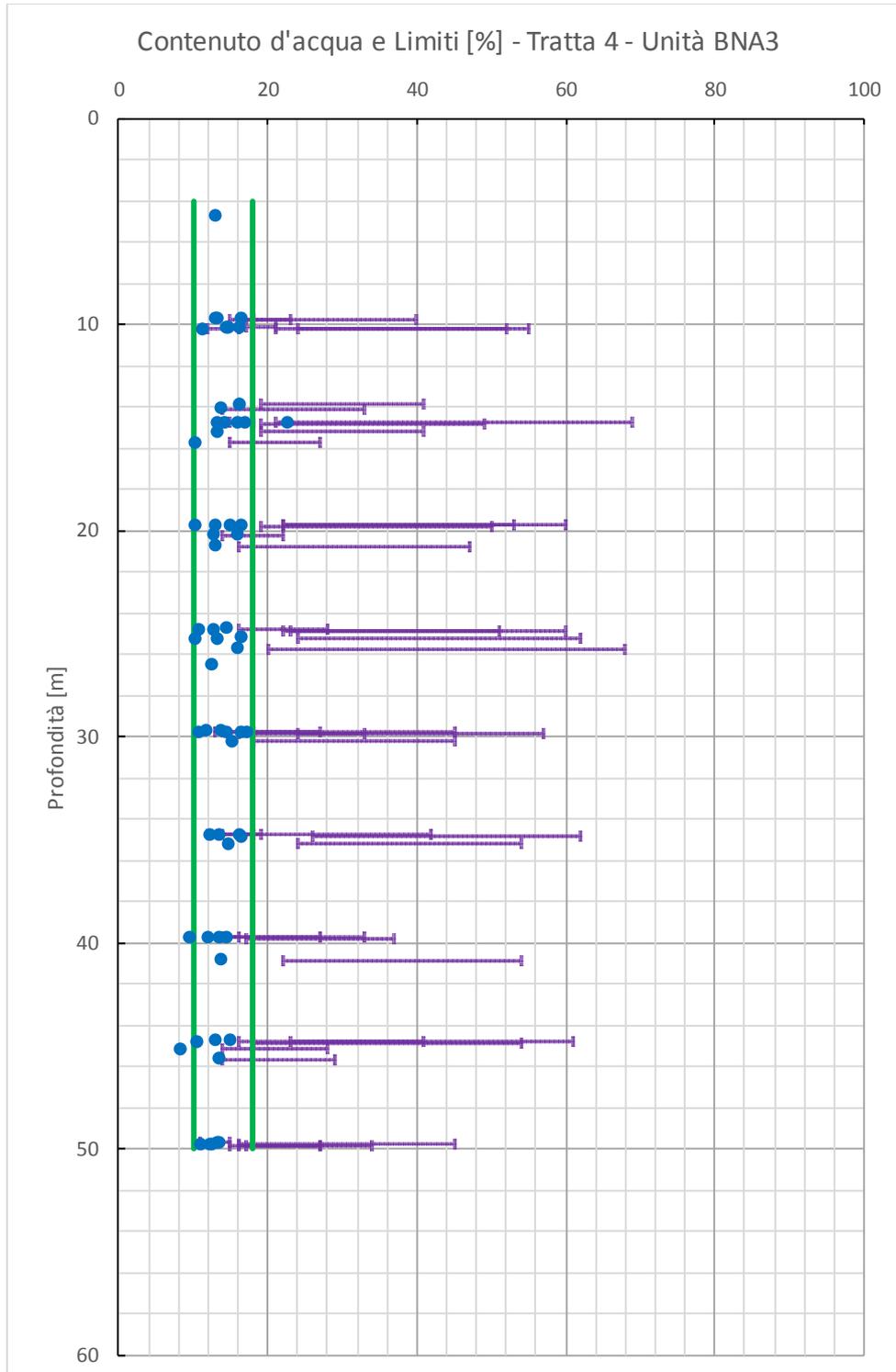
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	56 di 80

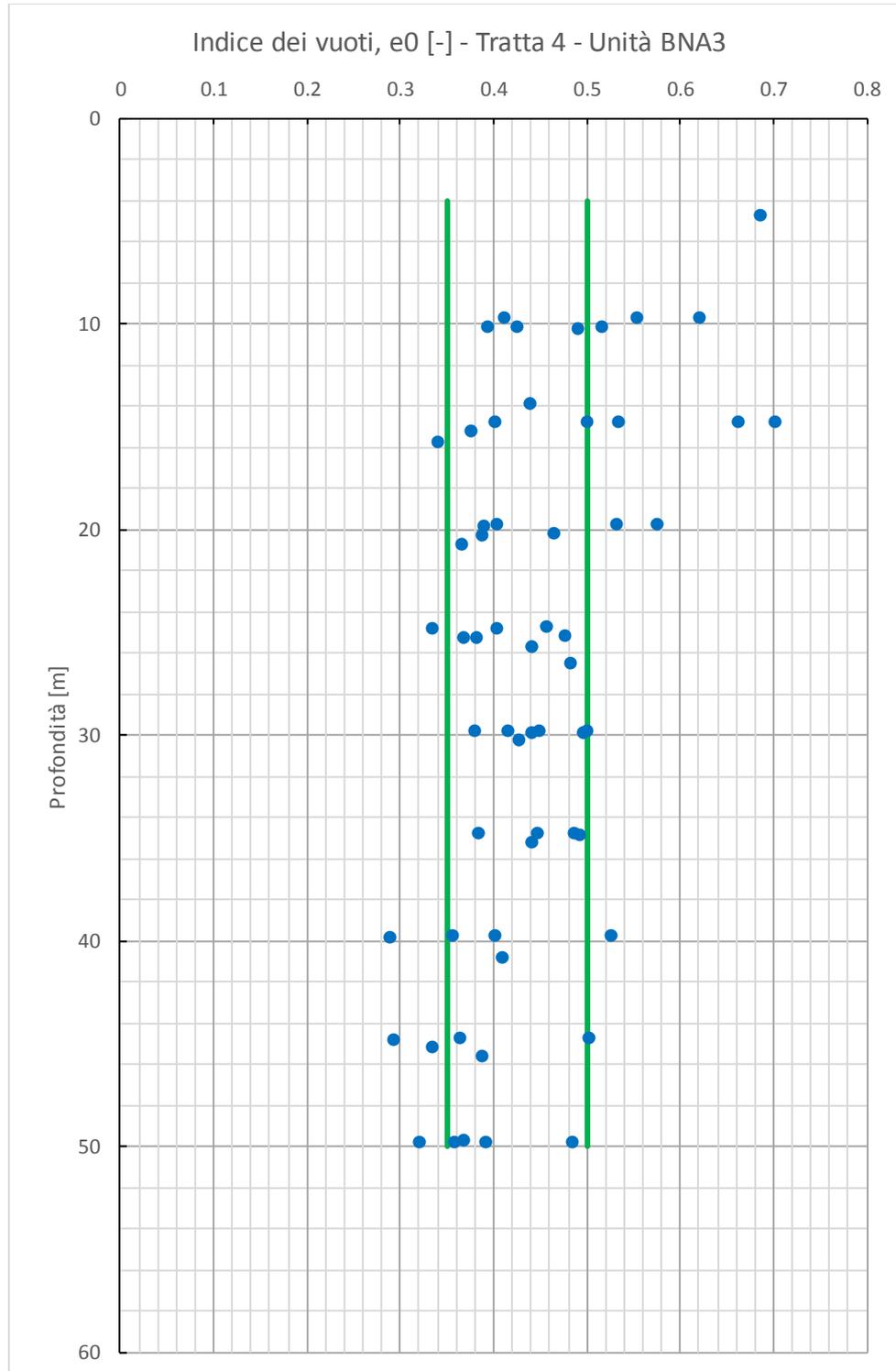


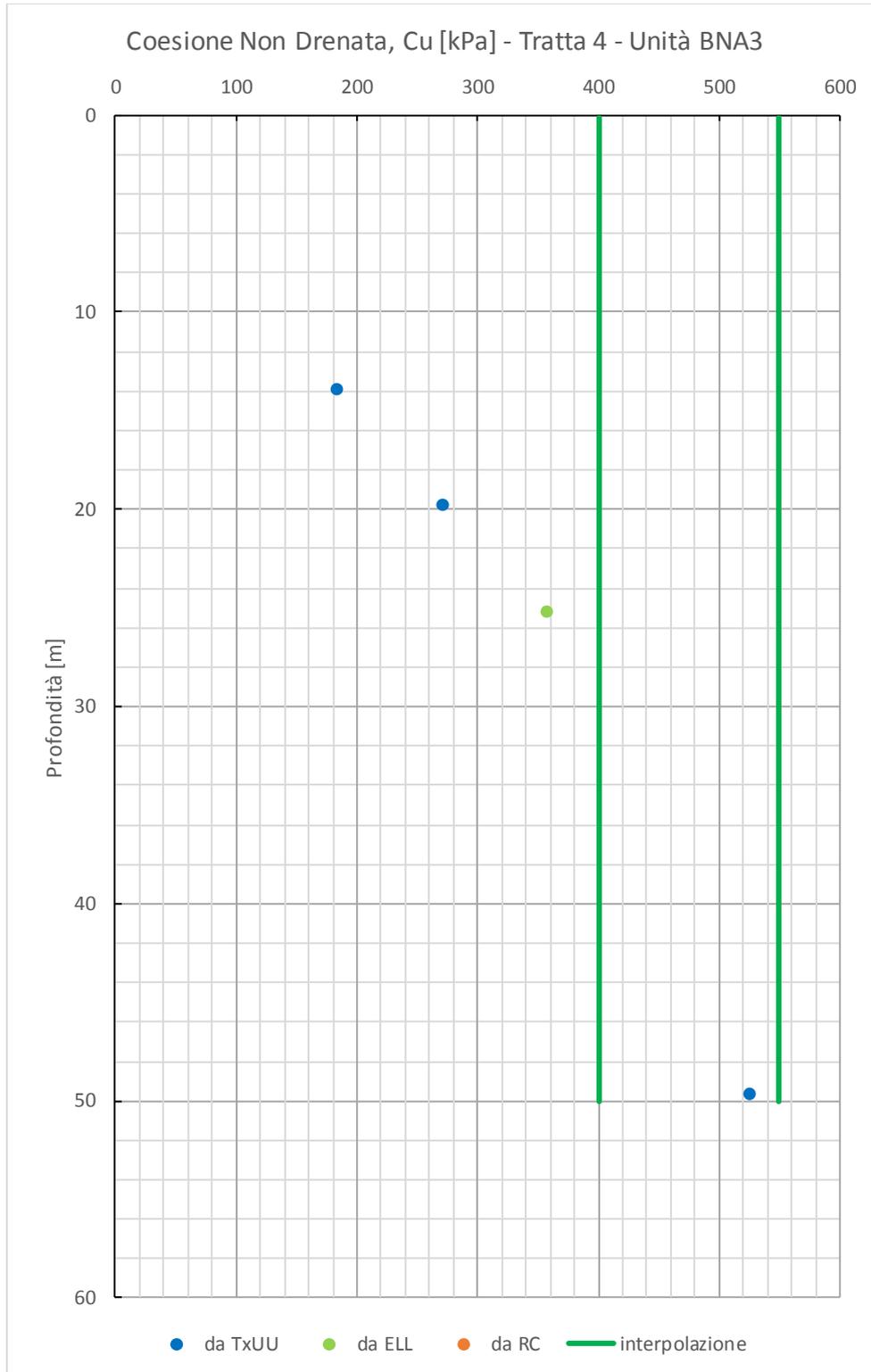
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	57 di 80



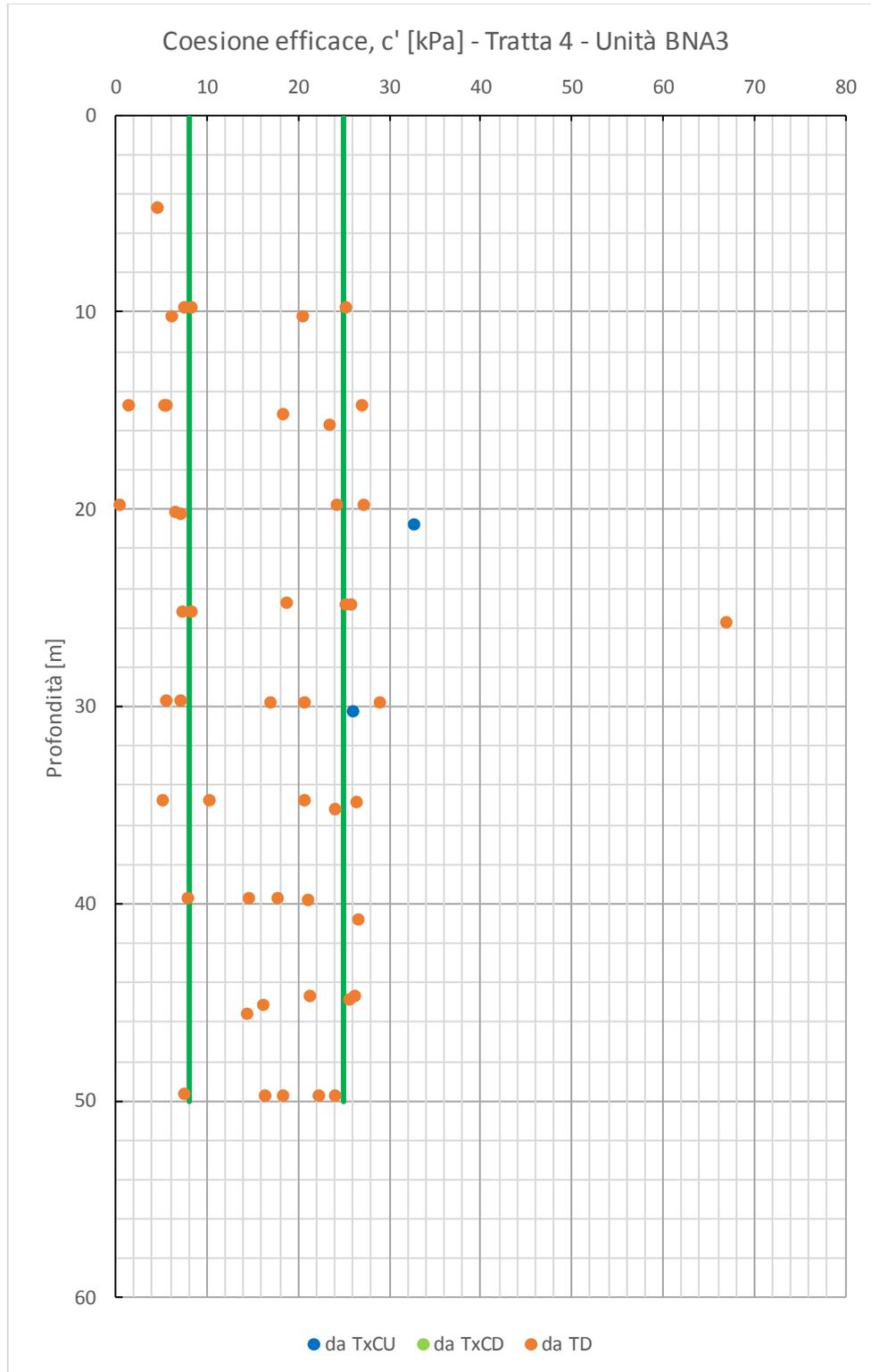


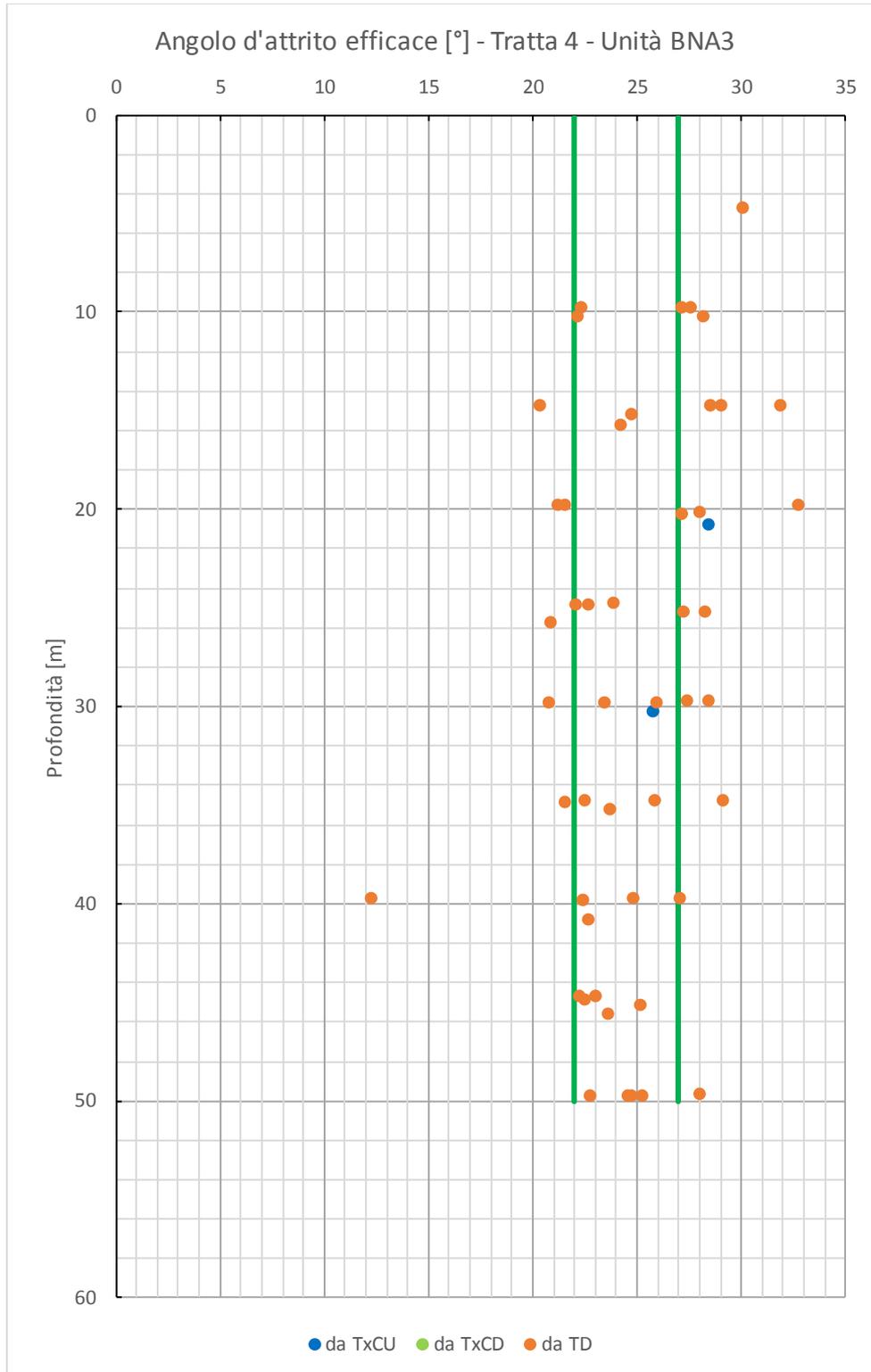




Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 004	A	61 di 80





## 8.1 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 16+550 e la pk 16+750

Nella Tabella 6 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 16+550 e la pk 16+750.

Tabella 6: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 16+550 a pk 16+750.

Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
var.	10.0	BNA3alt	var.	7.0
var.	>30.0	BNA3		

Nella Tabella 7 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 16+550 e la pk 16+750.

Tabella 7: Parametri geotecnici caratteristici da pk 16+550 a pk 16+750 (Prove di riferimento: S26).

	BNA3alt (*come da formazione)	BNA3	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	*	20.5	
w [%]	*	14	
LL [%]	*	<u>55</u>	
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	
$c_u$ [kPa]	300	500	
$\phi'$ [°]	*	<u>24</u>	
$c'$ [kPa]	*	<u>20</u>	
$E_u/C_u$	-	-	
$E_0$ [MPa]	265	615	
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	53	33	
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	26.5	61.5	
$c_r$ [-]	-	-	
$c_c$ [-]	-	-	
$c_{a\epsilon}$	-	-	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	-	-	
$e_0$ [-]	*	0.42	
OCR [-]	*	$z \leq 20m$	10
		$z > 20m$	5
$\nu^p$ [-]	*	0.3	
$k$ [m/s]	*	$5.0 \cdot 10^{-7}$	

In mancanza di dati specifici sulla sottotratta si assumono i valori sottolineati pari alla media di tratta.

## 8.2 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 16+750 e la pk 16+950

Nella Tabella 8 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 16+750 e la pk 16+950.

Tabella 8: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 16+750 a pk 16+950.

Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
+144	var.	ALL2_S	+147.5	var.
var.	>30.0	BNA3		

Nella Tabella 9 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 16+750 e la pk 16+950.

Tabella 9: Parametri geotecnici caratteristici da pk 16+750 a pk 16+950 (Prove di riferimento: AU9 e AU10).

	ALL2_S	BNA3	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20	20.5	
w [%]		14	
LL [%]		55	
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	
$c_u$ [kPa]	-	<u>500</u>	
$\phi^o$ [°]	<u>29</u>	24	
$c^o$ [kPa]	<u>0</u>	20	
$E_u/C_u$	-	-	
$E_0$ [MPa]	<u>243.7</u>	$z \leq 20m$	455
		$z > 20m$	805
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>48.7</u>	$z \leq 20m$	91
		$z > 20m$	161
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>24.4</u>	$z \leq 20m$	45.5
		$z > 20m$	80.5
$c_r$ [-]	-	-	
$c_c$ [-]	-	-	
$c_{u\epsilon}$	-	-	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]		-	
$e_0$ [-]	0.7	0.42	
OCR [-]	-	$z \leq 20m$	10
		$z > 20m$	5
$v^o$ [-]	0.3	0.3	
$k$ [m/s]	<u><math>1.18 \cdot 10^{-7}</math></u>	$7.0 \cdot 10^{-7}$	

In mancanza di dati specifici sulla sottotratta si assumono i valori sottolineati pari alla media di tratta.

### 8.3 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 16+950 e la pk 17+100

Nella Tabella 10 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 16+950 e la pk 17+100.

Tabella 10: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 16+950 a pk 17+100.

Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
+144	var.	ALL2_S	+149	var.
var.	>30.0	BNA3		

Nella Tabella 11 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 16+950 e la pk 17+100.

Tabella 11: Parametri geotecnici caratteristici da pk 16+950 a pk 17+100 (Prove di riferimento: AU11).

	ALL2_S	BNA3	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	<u>19</u>	20.5	
w [%]	-	14	
LL [%]	-	45	
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	
$c_u$ [kPa]	-	<u>500</u>	
$\phi'$ [°]	<u>29</u>	24	
$c'$ [kPa]	<u>0</u>	$z \leq 20m$	8
		$z > 20m$	20
$E_u/C_u$	-	-	
$E_0$ [MPa]	<u>245</u>	$z \leq 20m$	455
		$z > 20m$	805
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>49</u>	$z \leq 20m$	91
		$z > 20m$	161
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>24.5</u>	$z \leq 20m$	45.5
		$z > 20m$	80.5
$c_r$ [-]	-	-	
$c_c$ [-]	-	-	
$c_{\alpha\epsilon}$	-	-	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	-	-	
$e_0$ [-]	<u>0.55</u>	0.45	
OCR [-]	-	$z \leq 20m$	10
		$z > 20m$	5
$\nu'$ [-]	0.3	0.3	
$k$ [m/s]	<u><math>1.18 \cdot 10^{-7}</math></u>	<u><math>6.0 \cdot 10^{-7}</math></u>	

In mancanza di dati specifici sulla sottotratta si assumono i valori sottolineati pari alla media di tratta.

#### 8.4 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 17+100 e la pk 17+650

Nella Tabella 12 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 17+100 e la pk 17+650.

Tabella 12: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 17+100 a pk 17+650.

Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
+148	var.	ALL2_S	+150	var.
var.	>30.0	BNA3		

Nella Tabella 13 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 17+100 e la pk 17+650.

Tabella 13: Parametri geotecnici caratteristici da pk 17+100 a pk 17+650 (Prove di riferimento: AU12, AU13 e S27).

	ALL2_S	BNA3	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20.5	20.5	
w [%]	-	14	
LL [%]	-	50	
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	
$c_u$ [kPa]	-	500	
$\phi^*$ [°]	29	24	
$c^*$ [kPa]	0	20	
$E_u/C_u$	-	-	
$E_0$ [MPa]	245	$z \leq 20m$	455
		$z > 20m$	805
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	49	$z \leq 20m$	91
		$z > 20m$	161
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	24.5	$z \leq 20m$	45.5
		$z > 20m$	80.5
$c_r$ [-]	-	-	
$c_c$ [-]	-	-	
$c_{u\epsilon}$	-	-	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	-	-	
$e_0$ [-]	0.5	0.42	
OCR [-]	-	$z \leq 20m$	10
		$z > 20m$	5
$v^*$ [-]	0.3	0.3	
$k$ [m/s]	$1.18 \cdot 10^{-7}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$	

In mancanza di dati specifici sulla sottotratta si assumono i valori sottolineati pari alla media di tratta.

## 8.5 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 17+650 e la pk 17+850

Nella Tabella 14 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 17+650 e la pk 17+850.

Tabella 14: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 17+650 a pk 17+850.

Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
+151.5	var.	ALL1_A	+152	var.
+148	3.5	ALL3_G		
var.	>30.0	BNA3		

Nella Tabella 15 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 17+650 e la pk 17+850.

Tabella 15: Parametri geotecnici caratteristici da pk 17+650 a pk 17+850 (Prove di riferimento: C23).

	ALL1_A	ALL3_G	BNA3	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	No dati disponibili	<u>19</u>	20.5	
w [%]	No dati disponibili	-	14	
LL [%]	No dati disponibili	-	<u>45</u>	
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	-	
$c_u$ [kPa]	<u>120</u>	-	<u>500</u>	
$\phi'$ [°]	No dati disponibili	<u>36</u>	25	
$c'$ [kPa]	No dati disponibili	<u>0</u>	10	
$E_u/C_u$	328	-	-	
$E_0$ [MPa]	<u>30</u>	<u>455</u>	$z \leq 20m$	455
			$z > 20m$	805
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>6</u>	91	$z \leq 20m$	91
			$z > 20m$	161
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>3.0</u>	<u>45.5</u>	$z \leq 20m$	45.5
			$z > 20m$	80.5
$c_r$ [-]	No dati disponibili	-	-	
$c_c$ [-]	No dati disponibili	-	-	
$c_{aE}$	No dati disponibili	-	-	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	No dati disponibili	-	-	
$e_0$ [-]	No dati disponibili	<u>0.42</u>	0.42	
OCR [-]	<u>5</u>	-	$z \leq 20m$	<u>10</u>
			$z > 20m$	<u>5</u>
$\nu'$ [-]	0.3	0.3	0.3	
$k$ [m/s]	No dati disponibili	<u><math>1.8 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u><math>6.0 \cdot 10^{-7}</math></u>	

In mancanza di dati specifici sulla sottotratta si assumono i valori sottolineati pari alla media di tratta.

## 8.6 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 17+850 e la pk 18+713

Nella Tabella 16 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 17+850 e la pk 18+713.

Tabella 16: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 17+850 a pk 18+713 (Prove di riferimento: C22).

Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
+154	var.	ALL2_S	var.	+152
+148	6.0	ALL3_G		
var.	>30.0	BNA3		

Nella Tabella 17 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 17+850 e la pk 18+713.

Tabella 17: Parametri geotecnici caratteristici da pk 17+850 a pk 18+713 (Prove di riferimento: C22).

	ALL2_S	ALL3_G	BNA3	
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	<u>19</u>	<u>19</u>	21	
w [%]	-	-	14	
LL [%]	-	-	55	
$\sigma_c$ [kPa]	-	-	-	
$c_u$ [kPa]	-	-	400	
$\phi'$ [°]	<u>29</u>	36	<u>24</u>	
$c'$ [kPa]	<u>0</u>	0	<u>20</u>	
$E_u/C_u$	-	-	-	
$E_0$ [MPa]	<u>245</u>	<u>455</u>	$z \leq 20m$	455
			$z > 20m$	805
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>49</u>	<u>91</u>	$z \leq 20m$	91
			$z > 20m$	161
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>24.5</u>	<u>45.5</u>	$z \leq 20m$	45.5
			$z > 20m$	80.5
$c_r$ [-]	-	-	-	
$c_c$ [-]	-	-	-	
$c_{aE}$	-	-	-	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	-	-	-	
$e_0$ [-]	<u>0.55</u>	<u>0.42</u>	0.45	
OCR [-]	-	-	$z \leq 20m$	10
			$z > 20m$	5
$\nu'$ [-]	0.3	0.3	0.3	
$k$ [m/s]	<u><math>1.18 \cdot 10^{-7}</math></u>	<u><math>1.8 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u><math>6.0 \cdot 10^{-7}</math></u>	

In mancanza di dati specifici sulla sottotratta si assumono i valori sottolineati pari alla media di tratta.

## 9 DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il presente capitolo illustra e riassume i risultati dello studio degli aspetti sismici a supporto della progettazione definitiva del raddoppio del I° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice - Orsara (itinerario Napoli – Bari). Il progetto è sviluppato in riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Nel seguito verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- definizione della categoria di sottosuolo;
- definizione della categoria topografica;
- definizione dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica di riferimento.

Per quanto concerne la definizione dei caratteri sismo tettonici del territorio, della sismicità e della magnitudo storica si rimanda a quanto riportato in Relazione Geologica [Ref. 1].

### 9.1 Definizione della categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Per la valutazione degli effetti stratigrafici si può fare riferimento (DM 14/01/2008) ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo. In tale approccio la classificazione del suolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità  $V_{s,30}$ .

Nel caso in esame la velocità di propagazione delle onde di taglio può essere determinata:

- in maniera indiretta a partire dai risultati degli stendimenti sismici (MASW);
- in maniera indiretta, utilizzando correlazioni di letteratura a partire dai valori della prova penetrometrica dinamica SPT (Standard Penetration Test).

La classificazione può essere effettuata anche in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica  $N_{SPT,30}$  nei terreni a grana prevalentemente grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  nei terreni prevalentemente a grana fine.

### 9.1.1 Prove di riferimento

Nelle seguenti tabelle si elencano le prove disponibili (geotecniche e geofisiche) per la tratta in esame.

Tabella 18. Sondaggi

Sondaggio	Campagna	Profondità	Falda (m)	SPT (n.)	Down-Hole
S26	2015	50	19.6	6	
C24	2017	30	4.3	10	
AU9	2017	50	12	10	
AU10	2017	50	6.4	10	
AU11	2017	50	6	10	
AU12	2017	50	10	10	
AU13	2017	50	6	10	
S27	2015	30	11.7	5	
C23	2017	30	11	9	
C22	2017	30	6.2	10	

Tabella 19. Stendimenti sismici (masw)

Stendimento	Campagna
AU9_masw	2017
AU11_masw	2017
AU12_masw	2017
AU13_masw	2017
C23_masw	2017
F1_masw	2017
F2_masw	2017

## 9.2 Velocità di propagazione delle onde di taglio

### 9.2.1.1 Prove MASW

Nei primi mesi del 2017 è stata eseguita una campagna di indagine sismiche con prove MASW. Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

In Figura 4 si riporta il profilo della velocità delle onde di taglio stimato a seguito dell'esecuzione delle prove MASW.

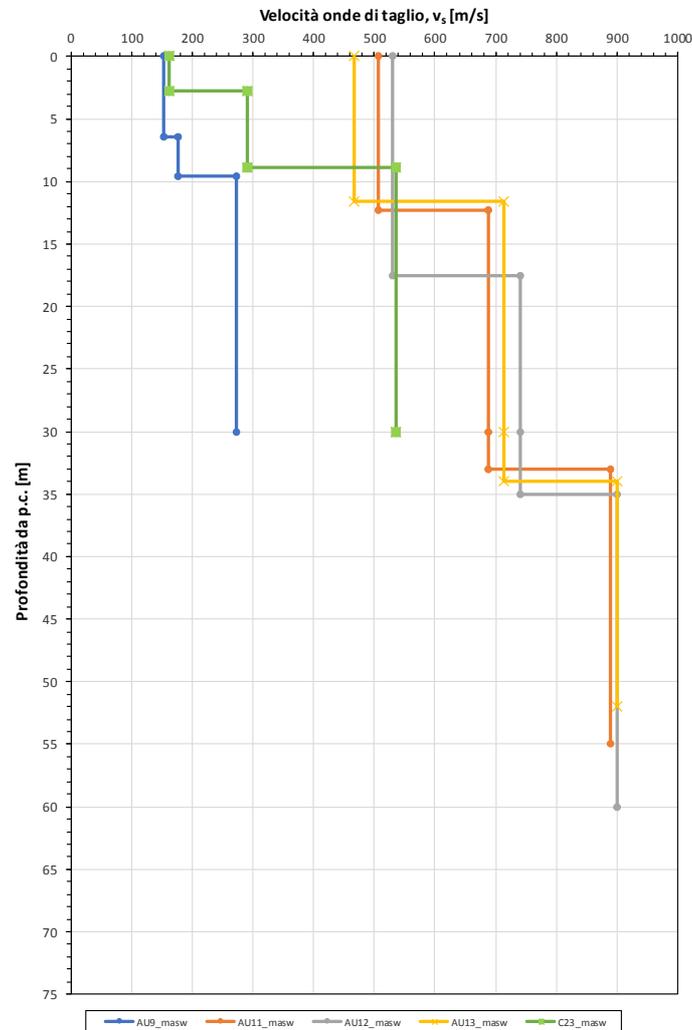


Figura 4. Profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da prove MASW.

#### 9.2.1.2 Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche $N_{SPT}$

La velocità delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) è stata determinata a partire dai valori di  $N_{SPT}$  in funzione:

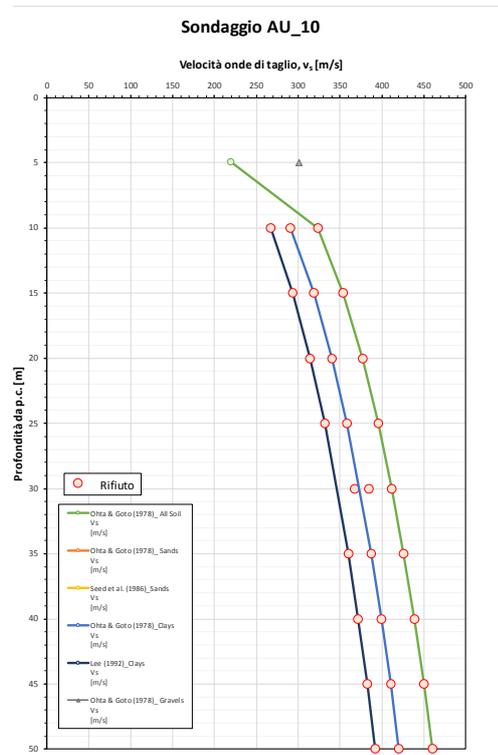
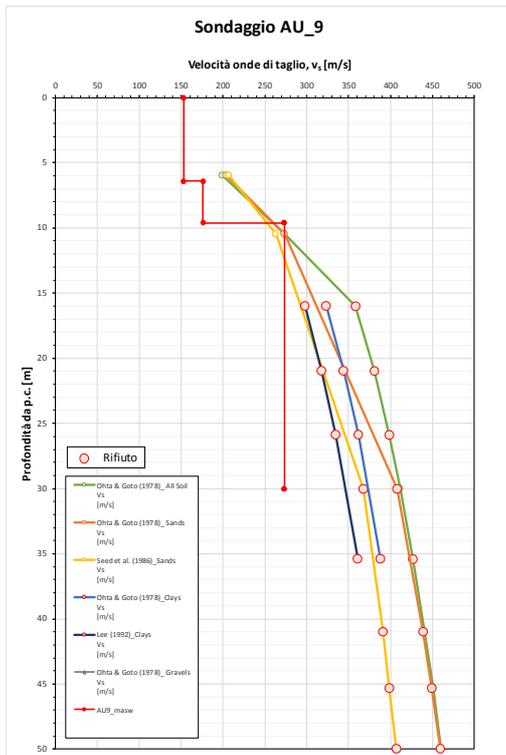
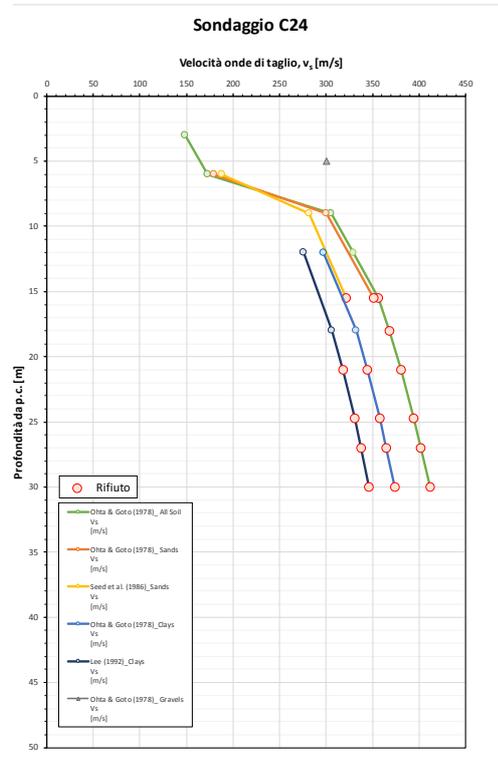
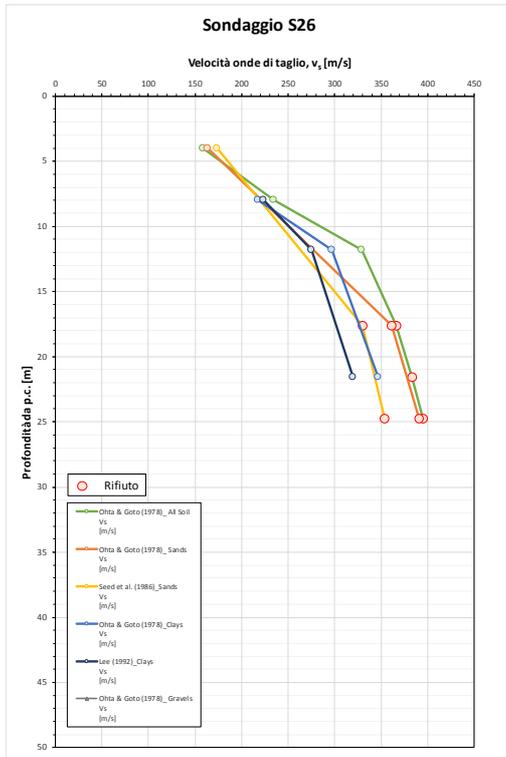
- ✓ della tipologia di terreno (argille, sabbie, ghiaie,...);
- ✓ della profondità ( $z$  in m).

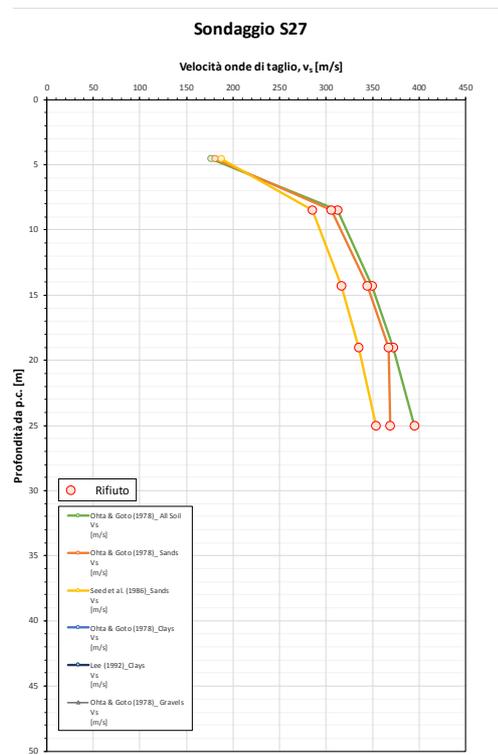
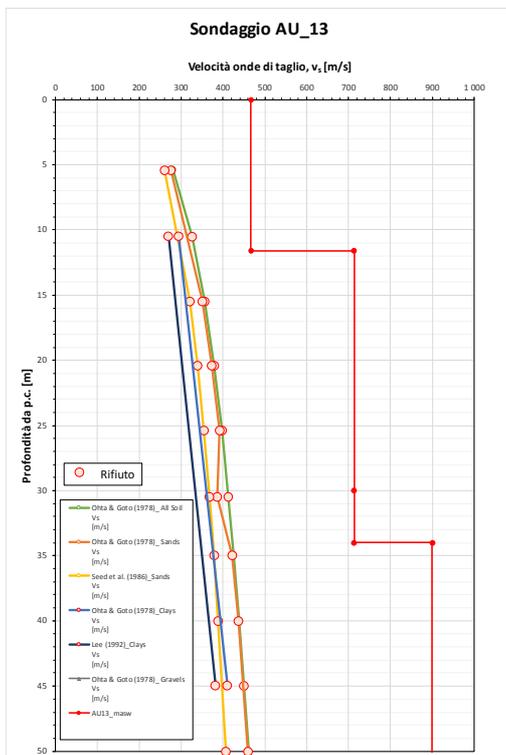
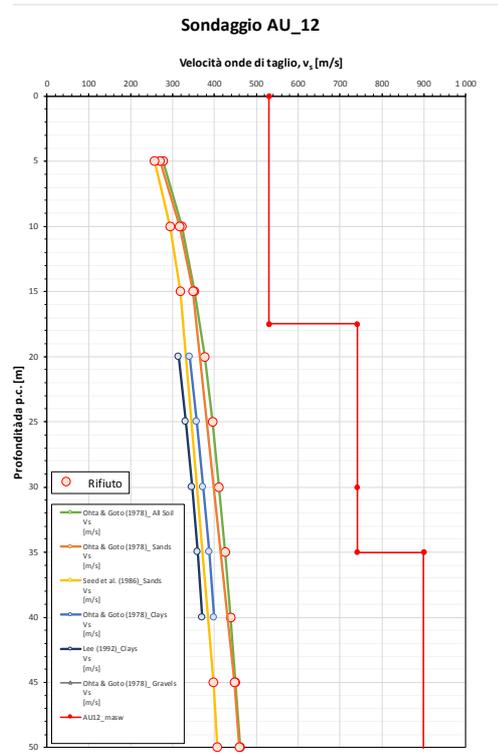
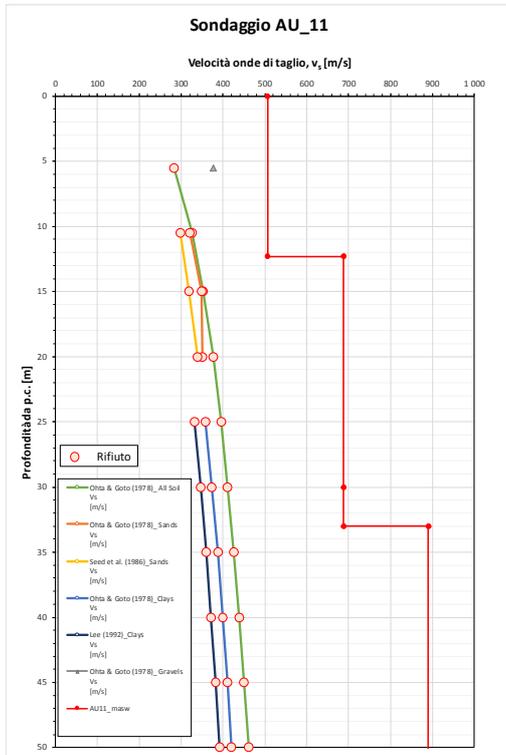
Al paragrafo 7.1 sono riportate le correlazioni adottate da letteratura tecnica.

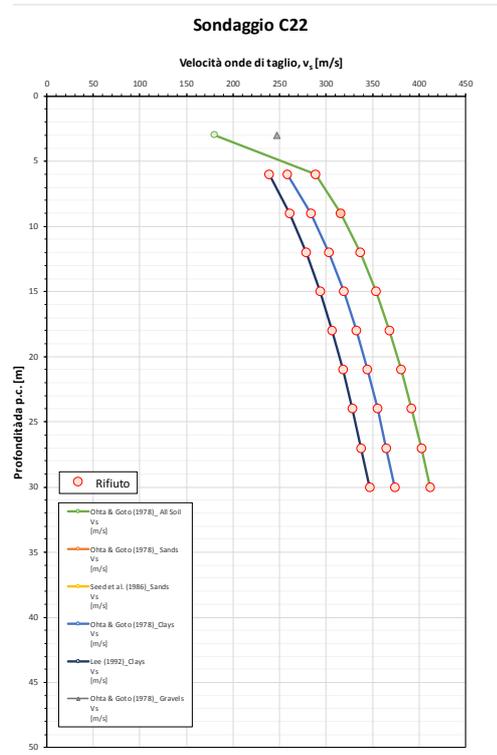
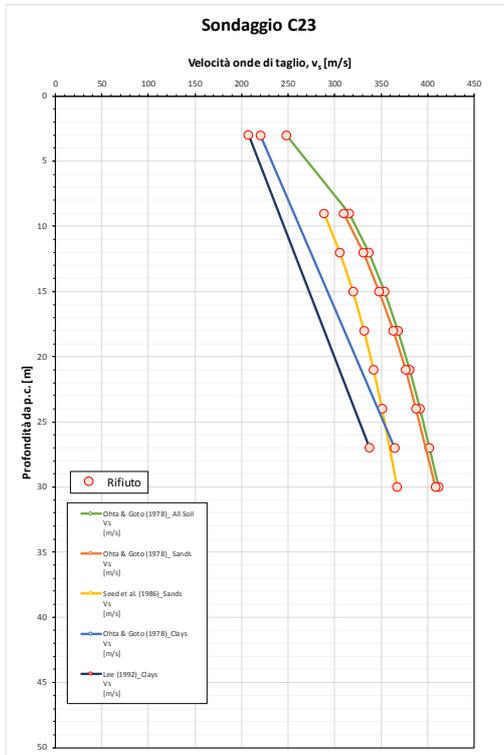
Di seguito si riporta, per ciascun sondaggio l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio ricavato dalle prove SPT disponibili.

**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 16+625 a pk 18+713**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IFOG	01 D 09	RB	OC0001 004	A	72 di 80







### 9.2.2 Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio

 $V_{s,30}$ 

In Tabella 20 e in Figura 5 si riportano i valori di velocità equivalente  $V_{s,h}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, o la profondità  $h < 30$  m qualora non siano stati raggiunti i 30 m, e la corrispondente categoria di suolo, determinati dalle prove masw e SPT.

Tabella 20. Velocità equivalente delle onde di taglio e relativa categoria di sottosuolo da prove masw, SPT

Prova	h (m)	$V_{s,h}$	Categoria suolo
Masw			
AU9_masw	30.0	223	C
AU11_masw	30.0	600	B
AU12_masw	30.0	601	B
AU13_masw	30.0	592	B
C23_masw	30.0	387	B
Prove penetrometriche dinamiche (SPT)			
S26	25.0	259	C
C24	30.0	273	C
AU9	30.0	290	C
AU10	30.0	314	C
AU11	30.0	340	C
AU12	30.0	338	C
AU13	30.0	340	C
S27	25.0	280	C
C23	30.0	331	C
C22	30.0	309	C

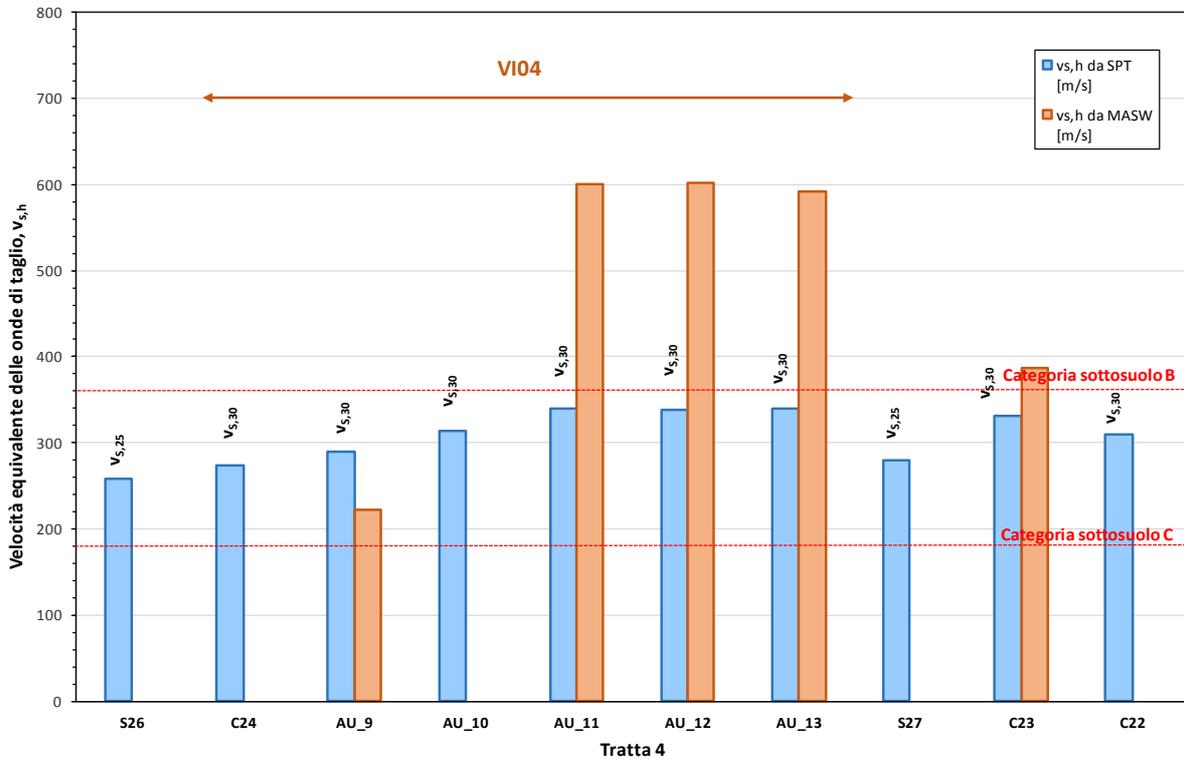


Figura 5. Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove masw, SPT

### 9.2.3 Classificazione sulla base della nel numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica $N_{SPT,30}$

In Tabella 21 e in Figura 6 si riportano i valori del numero equivalente di colpi da prove penetrometriche dinamiche  $N_{SPT,30}$  e la relativa categoria di suolo. Nella valutazione di  $N_{SPT,30}$  sono stati esclusi gli strati a grana fine (argille e marne).

Tabella 21. Numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica e relativa categoria di suolo

Sondaggio	$N_{SPT,30}$	Categoria suolo
S26	34	C
C24	16	C
AU9	41	C
AU10	63	B
AU11	100	B
AU12	100	B
AU13	100	B
S27	44	C
C23	100	B
C22	35	C

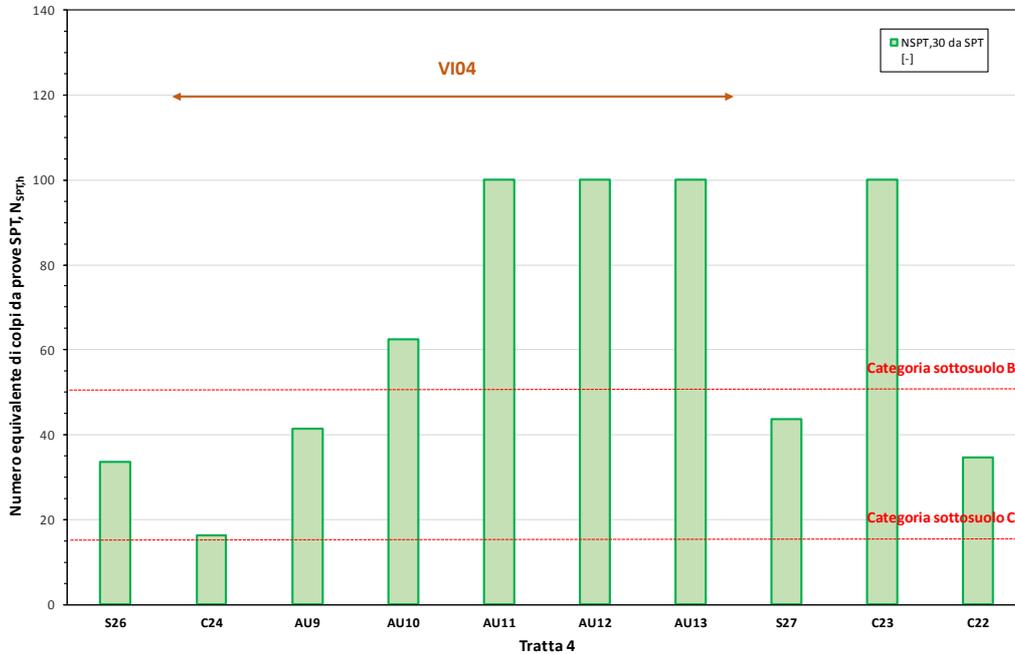


Figura 6. Andamento lungo la tratta del numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica e della categoria di suolo

#### 9.2.4 Classificazione sulla base della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$

Data la natura dei terreni classificabili come a grana grossa il criterio non è stato applicato.

#### 9.2.5 Sintesi dei risultati

Nel grafico seguente si riporta la sintesi dei risultati ottenuti in termini di categoria di suolo.

Viadotto VI04										
Sondaggio	S26	C24	AU9	AU10	AU11	AU12	AU13	S27	C23	C22
$V_{S30}$ da masw										
Cat. B										
Cat. C										
$V_{S30}$ da $N_{SPT}$										
Cat. B										
Cat. C										
Criterio semplificato ( $N_{SPT,30}$ )										
Cat. B										
Cat. C										

Esaminando la categoria di suolo lungo la tratta risultante dall'interpretazione delle indagini disponibili risulta quanto segue:

- dalle prove masw risulta una categoria di suolo B e solo la prova AU9 identifica una categoria C. In genere le  $V_{s,30}$  da masw sono molto maggiori di quelle stimate da SPT;
- le  $V_{s,30}$  stimate da SPT identificano un suolo tipo C lungo tutto il tracciato;
- dal numero equivalente di colpi SPT risulta prevalentemente un suolo tipo C.

Sulla base delle valutazioni svolte e considerata la dispersione dei risultati si ritiene opportuno adottare lungo tutto la tratta la categoria di suolo tipo C.

### 9.3 Definizione della categoria topografica

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 14/01/2008 in Tabella 3.2.IV; in particolare, l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1,0$ .

### 9.4 Azione sismica di riferimento

Per definire l'azione sismica di riferimento si devono operare alcune scelte in termini di "vita nominale" e "classi d'uso" dell'opera legati al livello prestazionale atteso.

#### 9.4.1 Definizione della Vita Nominale, $V_N$

In accordo con quanto riportato al paragrafo 2.4.1 del DM 14/01/2008, la vita nominale (VN) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La Norma definisce la vita nominale a seconda del tipo di costruzione come indicato nella seguente tabella.

Tabella 22. Vita Nominale per i diversi tipi di opera.

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale $V_N$ (in anni)
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>[1]</sup>	$\leq 10$
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Per l'opera oggetto di studio si prevede:

- Vita Nominale ( $V_N$ ) pari a 100 anni per la campata di scavalco della SP 163 con relative pile P3 e P4;
- Vita Nominale ( $V_N$ ) pari a 75 anni per le restanti campate.

### 9.4.2 Definizione della classe d'uso, $C_U$

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso definite al paragrafo 2.4.2 del DM 14/01/2008.

Tabella 23. Classe d'uso per i diversi tipi di opera.

<b>Classe I</b>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<b>Classe II</b>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<b>Classe III</b>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<b>Classe IV</b>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera oggetto di studio si prevede:

- Classe d'uso IV, pertanto il coefficiente d'uso  $C_U$  è uguale a 2.0, per la campata SP 163 con relative pile P3 e P4;
- Classe d'uso III, pertanto il coefficiente d'uso  $C_U$  è uguale a 1.5, per le restanti campate.

### 9.4.3 Periodo di riferimento dell'azione sismica, $V_R$

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , cioè mediante la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il periodo di riferimento,  $V_R$ , dell'opera oggetto di studio è pari a:

- 200 anni per la campata P3-P4;
- 112.5 anni per le restanti campate.

#### 9.4.4 Definizione dell'azione sismica

Le coordinate geografiche di riferimento (secondo sistema ED50) per l'opera in esame sono:

Longitudine: 14°.925582

Latitudine: 41°.138752

Tabella 24: Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto (a) campata P3 e P4 b) per le restanti campate).

Parametri indipendenti		Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV	STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.469 g	$a_g$	0.380 g
$F_o$	2.360	$F_o$	2.297
$T_C$	0.422 s	$T_C$	0.404 s
$S_S$	1.036	$S_S$	1.176
$C_C$	1.396	$C_C$	1.416
$S_T$	1.000	$S_T$	1.000
$q$	1.000	$q$	1.000

Parametri dipendenti		Parametri dipendenti	
$S$	1.036	$S$	1.176
$\eta$	1.000	$\eta$	1.000
$T_B$	0.196 s	$T_B$	0.191 s
$T_C$	0.589 s	$T_C$	0.572 s
$T_D$	3.476 s	$T_D$	3.119 s

a) b)

Per le analisi in condizioni sismiche è stato preso a riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e dunque i parametri riportati nella tabella seguente.

Tabella 25: Azione sismica di riferimento.

	Accelerazione di riferimento $a_g/g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Vita Nominale	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito $a_{max}/g$
Campata P3 - P4	0.469	C	T1	100	2.0	<b>0.486</b>
Altre campate	0.380	C	T1	75	1.5	<b>0.447</b>