

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 0+000 a pk 2+700

SCALA:

-

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

IF0G 01 D 09 RB OC0001 001 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	A. Vittozzi Lug. 2017

File: IF0G01D09RBOC0001001A.doc

n. Elab.: 362

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	5
2.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	5
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
5	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO.....	13
6	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	14
7	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
7.1	VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VS DA SPT	15
7.2	MODULI ELASTICI A PICCOLE DEFORMAZIONI G_0 ED E_0	15
7.3	MODULI ELASTICI OPERATIVI E	16
7.4	MATERIALI INCOERENTI	17
7.4.1	<i>Densità Relativa D_R</i>	17
7.4.2	<i>Angolo d'Attrito efficace ϕ'</i>	18
7.5	MATERIALI COESIVI	20
7.5.1	<i>Coesione non drenato c_u</i>	20
7.5.2	<i>Rapporto di sovraconsolidazione OCR</i>	20
7.5.3	<i>Modulo elastico non drenato E_u</i>	20
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE DA PK 0+000 A PK 2+700.....	22
8.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 0+000 E LA PK 0+600.....	72
8.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 0+600 E LA PK 1+200.....	73
8.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 1+200 E LA PK 1+750.....	74
8.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 1+750 E LA PK 2+150.....	75

**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	3 di 94

8.5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 2+150 E LA PK 2+216.....	76
8.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 2+216 E LA PK 2+350.....	77
8.7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 2+350 E LA PK 2+450.....	78
8.8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 2+450 E LA PK 2+700.....	79
9	DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	80
9.1	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	80
9.1.1	<i>Prove di riferimento</i>	81
9.1.2	<i>Velocità di propagazione delle onde di taglio</i>	81
9.1.3	<i>Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$</i>	88
9.1.4	<i>Classificazione considerando la stratificazione mista di terreni a grana grossa e a grana fine</i>	89
9.1.5	<i>Sintesi dei risultati</i>	92
9.2	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	92
9.3	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	93
9.3.1	<i>Definizione della Vita Nominale, V_N</i>	93
9.3.2	<i>Definizione della classe d'uso, C_U</i>	93
9.3.3	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, V_R</i>	94
9.3.4	<i>Definizione dell'azione sismica</i>	94

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 0+000 a pk 2+700. 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.

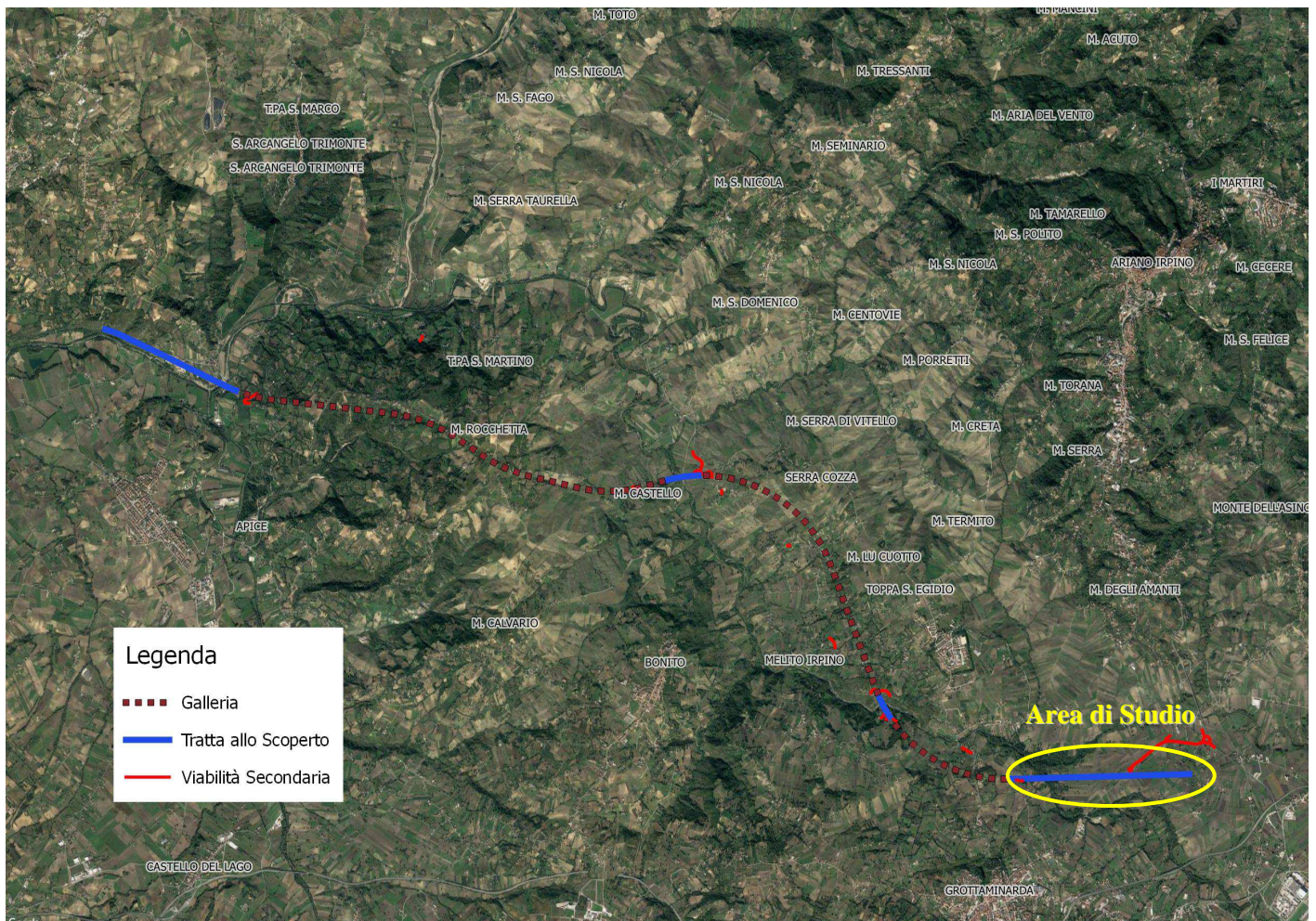


Figura 1: Ubicazione dell'area in studio

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

2.1 Documentazione 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 Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04/02/2008, 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 (γ_n e γ_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 inizio tracciato a pk 2+700) 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 slm]	Prof. [m]	Falda			Strumentazione			Prove in foro			Campioni		MASW	
			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										
C1	2017		2528222	4548788	346.2	30				-	-	-	10	Lef. 6.0-7.0		x	6		
C2	2017		2527624	4548600	336.4	30	4.2	1.8	2.7	-	2÷30	-	9	Lef. 6.0-7.0			5	1	x
C3	2017		2527235	4548457	334.2	30	4.0			-	-	-	9	Lef. 6.0-7.0			6		
C4	2017		2526867	4548371	330.2	30	3.7			-	-	-	9	Lef. 6.0-7.0			6		x
S2	2015		2526489	4548371	324.3	30	5.2			-	2÷30	-	5	Lef. 11.7-14.5			3		
AU5	2017	v	2526165	4548345	321.1	50	9.0			-	-	-	10	Lef. 8.5-9.5			3	7	x
AU4	2017	v	2525962	4548352	321.7	50	8.8			-	-	-	10	Lef. 9.0-10.0 *			3	7	
AU3	2017	v	2525824	4548349	320.2	50	4.7	3.1	3.6	49.3÷49.8	-	-	10	Lef. 8.0-9.0 *			1	9	
AU2	2017	v	2525735	4548317	319.2	50	3.0	2.9	3.2	-	1÷50	-	10	Lef. 7.0-8.0			4	6	x
AU1	2017	v	2525543	4548328	318.8	50	12.0			-	-	-	9	Lef. 6.0-7.0			8	2	x
S4	2015	v	2525485	4548288	320.5	30	6.1	4.0	5.6	-	2÷30	-	5	Lef. 13.85-15.5			3	1	
C7	2017		2525420	4548268	322.4	30	3.0			-	-	-	10	Lef. 6.0-7.0			6		
G11	2017		2525259	4548357	320.7	40	5.1	5.2	6.2	-	1.5÷40.5	-	12	Lef. 4.0-5.0/9.0-10.0/19.0-20.0			3	5	

* prova non riuscita

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
C2_masw	2017	2527624	4548600				x
C4/1_masw	2017	2526928	4548369				x
C4/2_masw	2017	2526737	4548361				x
AU5_masw	2017	2526165	4548345				x
AU4_masw	2017	2525962	4548352				x
AU2_masw	2017	2525735	4548317				x
AU1_masw	2017	2525543	4548328				x
Y-Y'_rifr	2017	2525288	4548317	2525139	4548330	x	
Z-Z'_rifr	2017	2525241	4548372	2525228	4548273	x	

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

Sondaggio n.	Campagna	Campione	Profondità	Prove di laboratorio															
				dc	ft	w	γ_n	γ_{dry}	G_s	Gr_{vag}	Gr_{sed}	LLP	CL	Ed	TXUU	TXCU	TD	RC	ELL
AU1	2017	CI1	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X		
AU1	2017	CI2	16.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
AU1	2017	CI3	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU1	2017	CI4	30.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
AU1	2017	CI5	35.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
AU1	2017	CI6	40.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
AU1	2017	CI7	45.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
AU1	2017	CI8	49.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
AU1	2017	CR1	5.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU1	2017	CR2	25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU5	2017	CR1	19.85	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU5	2017	CR2	24.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU5	2017	CR3	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU5	2017	CR4	37.85	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU5	2017	CR5	39.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
AU5	2017	CR6	44.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
AU5	2017	CR7	49.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
AU5	2017	CI1	4.75	X	X	X	X		X	X	X		X					X	
AU5	2017	CI2	9.85	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X					
AU5	2017	CI3	14.852	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X	

**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	10 di 94

ID	ANNO	CATEGORIA	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'	PROFONDITA'
G11	2017	CI1	2.75	X	X	X	X		X	X	X	X			X		X	
G11	2017	CI2	7.25	X	X	X	X		X	X	X	X					X	
G11	2017	CI3	12.25	X	X	X	X		X	X	X	X					X	
G11	2017	CR1	17.75	X	X					X	X	X						
G11	2017	CR2	22.25	X	X					X	X	X						
G11	2017	CR3	27.75	X	X					X	X	X						
G11	2017	CR4	32.75	X	X					X	X	X						
G11	2017	CR5	39.25	X	X					X	X	X						
S2	2015	CI1	9.9	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
S2	2015	CI2	13.45	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X	
S2	2015	CI3	25.95	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X		
S4	2015	CR1	7.275	X	X					X	X							
S4	2015	CI2	8.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
S4	2015	CI3	16.9	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
S4	2015	CI4	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CI1	5.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU2	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X				
AU2	2017	CI3	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU2	2017	CI4	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CR1	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CR2	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CR3	34.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CR4	40.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CR5	11.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU2	2017	CR6	49.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU3	2017	CI1	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU3	2017	CR1	4.75	X	X					X	X		X					
AU3	2017	CR2	15.25	X	X					X	X	X	X					
AU3	2017	CR3	19.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU3	2017	CR4	24.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU3	2017	CR5	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU3	2017	CR6	34.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU3	2017	CR7	39.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU3	2017	CR8	44.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU3	2017	CR9	49.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CI1	9.85	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CI2	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CI3	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CR1	4.75	X	X					X	X							
AU4	2017	CR2	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU4	2017	CR3	30.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CR4	35.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CR5	40.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CR6	45.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU4	2017	CR7	49.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C3	2017	CI1	5.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X	
C3	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			
C3	2017	CI3	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C3	2017	CI4	20.2	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C3	2017	CI5	25.2	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C3	2017	CI6	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					

**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IFOG	01 D 09	RB	OC0001 001	A	11 di 94

Codice	Anno	Identificativo	Coordinate	Condizione 1	Condizione 2	Condizione 3	Condizione 4	Condizione 5	Condizione 6	Condizione 7	Condizione 8	Condizione 9	Condizione 10	Condizione 11	Condizione 12	Condizione 13	Condizione 14	Condizione 15	
C4	2017	CI1	5.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X		
C4	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
C4	2017	CI3	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X				
C4	2017	CI4	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
C4	2017	CI5	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X				
C4	2017	CI6	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
C7	2017	CI1	5.25	X	X					X	X		X	X					
C7	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X		
C7	2017	CI3	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		X
C7	2017	CI4	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X			
C7	2017	CI5	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
C7	2017	CI6	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
C1	2017	CI1	5.35	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X		
C1	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		
C1	2017	CI3	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
C1	2017	CI4	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X		X		
C1	2017	CI5	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X	X		
C1	2017	CI6	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
C2	2017	CR1	4.75	X	X					X			X						
C2	2017	CI1	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X					
C2	2017	CI2	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X		
C2	2017	CI3	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X						
C2	2017	CI4	24.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X				
C2	2017	CI5	29.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X						X

4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La parte iniziale del tracciato ricade in un'area di pianura alluvionale intravalliva posta a nord-est dell'abitato di Grottaminarda; essa presenta modeste pendenze ed è delimitata a sud dal F. Ufita ed a nord dal T. Fiumarella. I terreni presentano le tipiche facies di ambiente di pianura con depositi limo-argillosi, sabbie e ghiaie, prodotto dei processi fluviali che li hanno messi in posto. Superato il F. Ufita alla pk 2+100 circa, il tracciato in progetto lambisce la conoide del Torrente Palombara prima di imboccare la galleria Grottaminarda alla pk 2+705, in corrispondenza di un versante a debole pendenza vergente a nord-est.

I depositi alluvionali presentano uno spessore limitato, compreso tra 4.0 e 11.0 m circa, e ricoprono il substrato pre-quadernario, qui rappresentato dalla litofacies argilloso-limosa del Membro di Flumeri delle Molasse di Anzano (ANZ2a): si tratta di un'alternanza di argille marnose e marne argillose, fortemente sovraconsolidate, in cui è possibile osservare la fratturazione e la blanda laminazione.

Dal punto di vista geologico le Molasse di Anzano, membro di Flumeri (ANZ2) sono così descritte (vedasi [Ref. 1]):

Arenarie quarzo-feldspatiche alternate a siltiti e argille marnose. La successione arenaceo-pelitica presenta un alto rapporto A/P. Le areniti sono da poco a mediamente cementate, di colore giallo-bruno, a grana da media a fine in strati sottili e medi con contatto basale erosivo, marcato da flute-cast e dalla presenza di intercalazioni di siltiti marnoso-argillose a luoghi ricche di sostanza organica.

Nella parte alta, ed a diverse altezze, sono state osservate successioni messiniane post-evaporitiche comprendenti calcari micritici laminati, con oncoliti e abbondanti ostracoidi di ambiente dulcicolo-salmastro, alternati ad areniti fini; calcareniti massive o laminate con livello stromatolitici, areniti ibride e argille marnoso-siltose nerastre (Case Saudone, Incoronata); alternanze arenaceo-siltose, argille marnose con clasti di gesso; areniti ibride e argille siltose grigie (ANZ2a).

Messiniano Superiore

5 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Nel grafico della figura seguente sono diagrammati le profondità di falda misurate nei piezometri installati da cui risultano livelli variabili da 2.0 m a 5.0÷6.0 m da p.c.

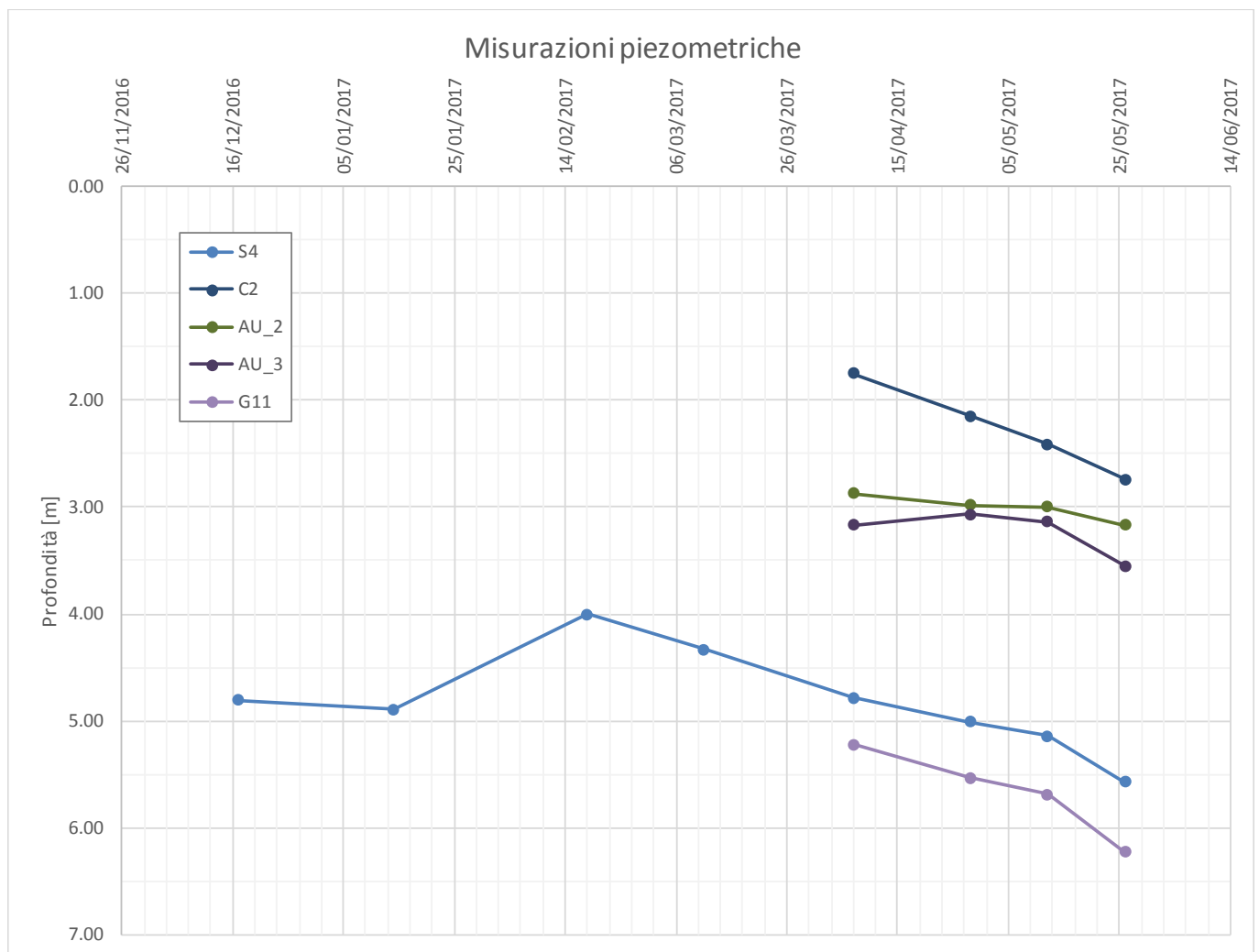


Figura 2: Misurazioni Piezometriche

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 4 e 11 metri circa, e ricoprono le Molasse di Anzano (ANZ2a): si tratta di un'alternanza di argille marnose e marne argillose, fortemente sovraconsolidate.

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;
- ANZ2a: Molasse di Anzano: argille siltose grigie.

Sulla base dell'interpretazione delle prove lungo l'asse ferroviario è stato elaborato il profilo geotecnico di riferimento, riportato negli elaborati grafici dedicati (Ref. 2, Ref. 3).

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 stimati a partire dal modulo pressiometrico a piccole deformazioni (E_m) derivante dalle prove in foro. In particolare il modulo E_0 è direttamente correlabile al modulo pressiometrico a piccole deformazioni attraverso un coefficiente reologico α 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=1.375;
- Fondazioni e Opere di Sostegno, FOS=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 correlazioni 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)	$D_R = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 \cdot \left(a + b \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)}}$ $\text{con} \begin{cases} a = 1; b = 4.1 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \leq 0.732 \\ a = 3.24; b = 1.024 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} > 0.732 \end{cases}$
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 ϕ'

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):

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

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

- 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 grado di sovraconsolidazione mediante la seguente relazione:

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

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

Invertendo la correlazione sopra riportata è possibile quindi determinare il valore del rapporto di sovraconsolidazione in funzione del valore di C_u e della 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 0+000 a pk 2+700

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	21 di 94

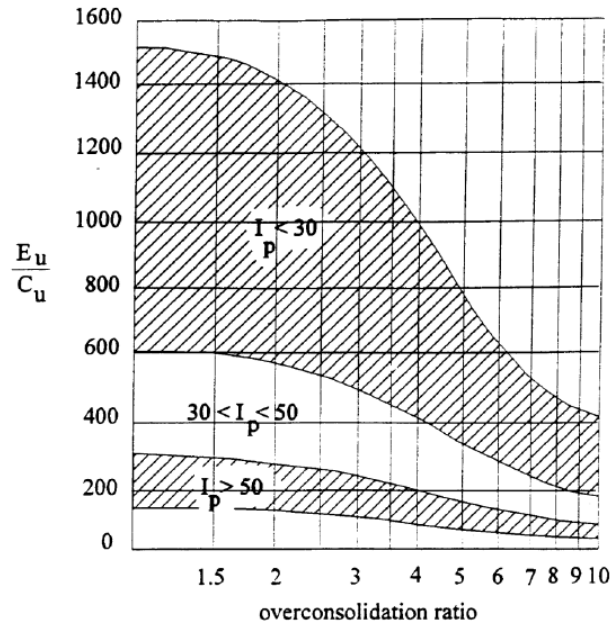


Figura 3: Correlazione di Duncan e Buchignani (1976)

8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE DA pk 0+000 A pk 2+700

Sulla base delle indagini effettuate sono state individuate le seguenti unità geotecniche (vedasi anche Tabella 4):

ALL1_A: argilla e argilla limosa;

ALL2_S: sabbia e sabbia limosa;

ALL3_G: ghiaia e ghiaia sabbiosa;

ANZ2a: Molasse di Anzano, argille siltose grigie.

Nella Tabella 4 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda per il tratto compreso tra inizio tracciato e la pk 2+700.

Tabella 4: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 0+000 a pk 2+700.

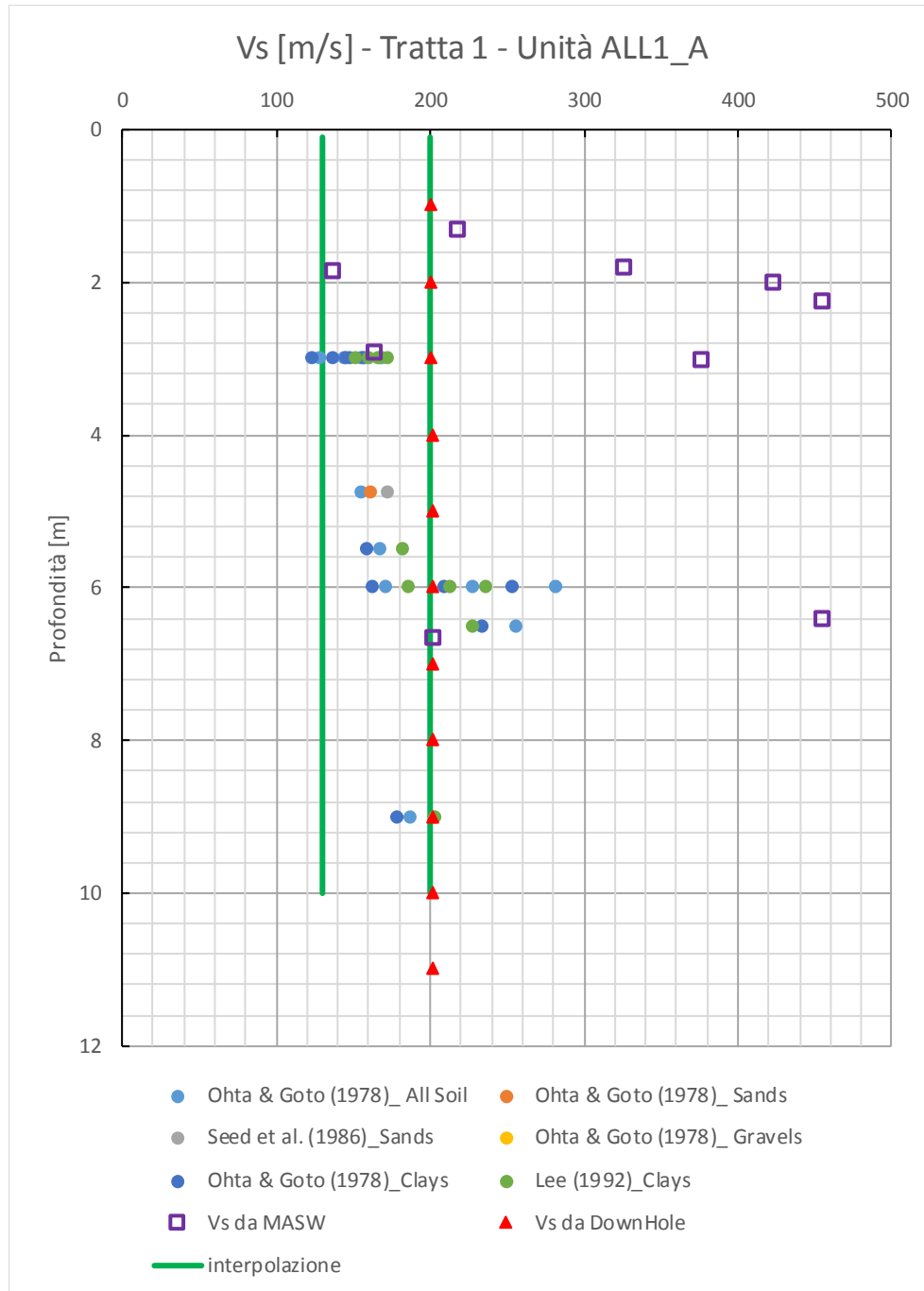
Stratigrafia			Falda	
Quota base strato [m s.l.m.]	Spessore strato [m]	Unità di riferimento	Quota [m s.l.m.]	Profondità da p.c. [m]
var.	4.0÷11.0	Depositi alluvionali (ALL1_A, ALL2_S, ALL3_G)	var.	var
var.	>30.0	ANZ2a		

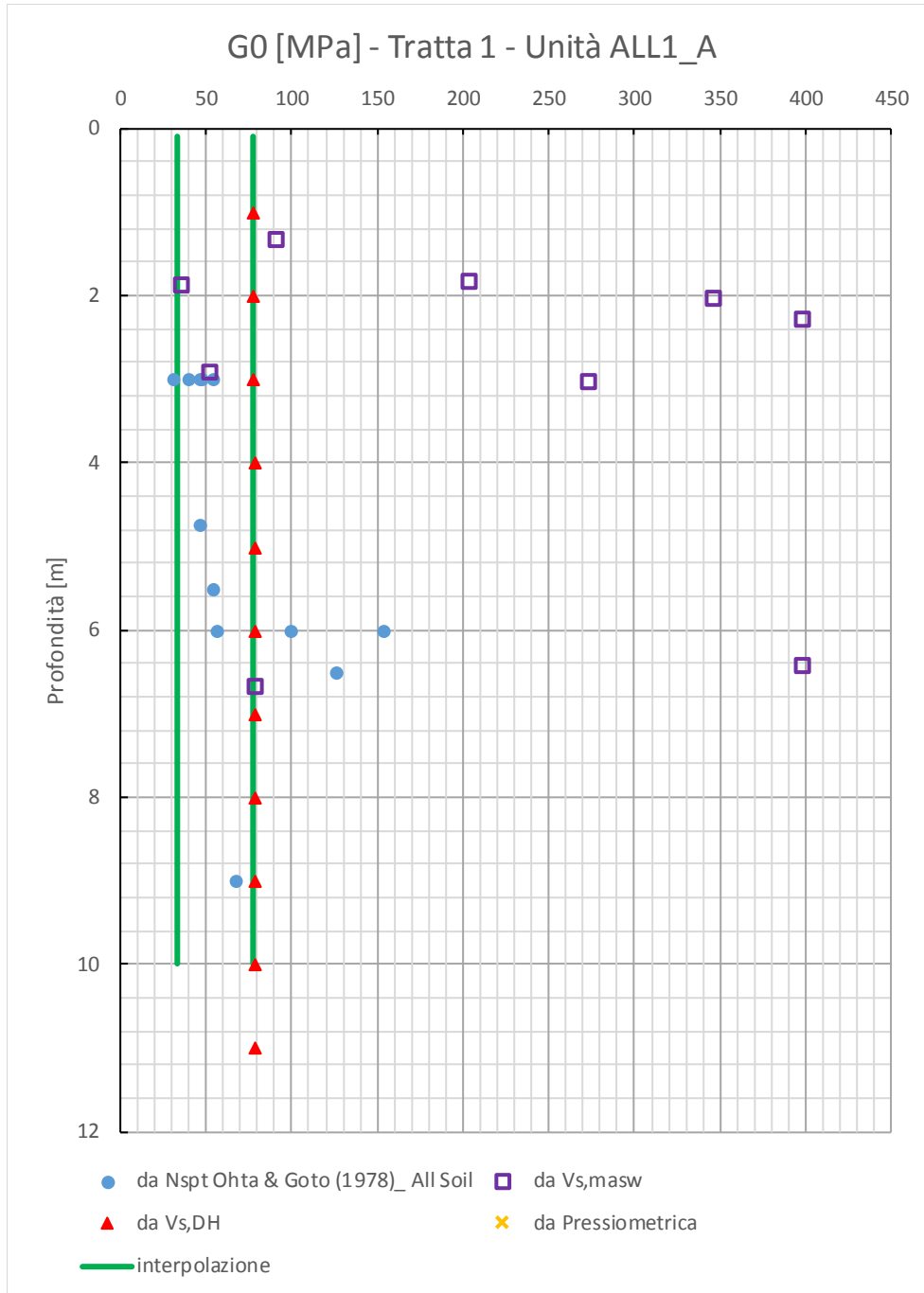
Nella Tabella 5 si riportano i parametri geotecnici di riferimento e a seguire si riporta la sintesi grafica dell'interpretazione delle indagini di pertinenza con rappresentato i range indicati in Tabella 5.

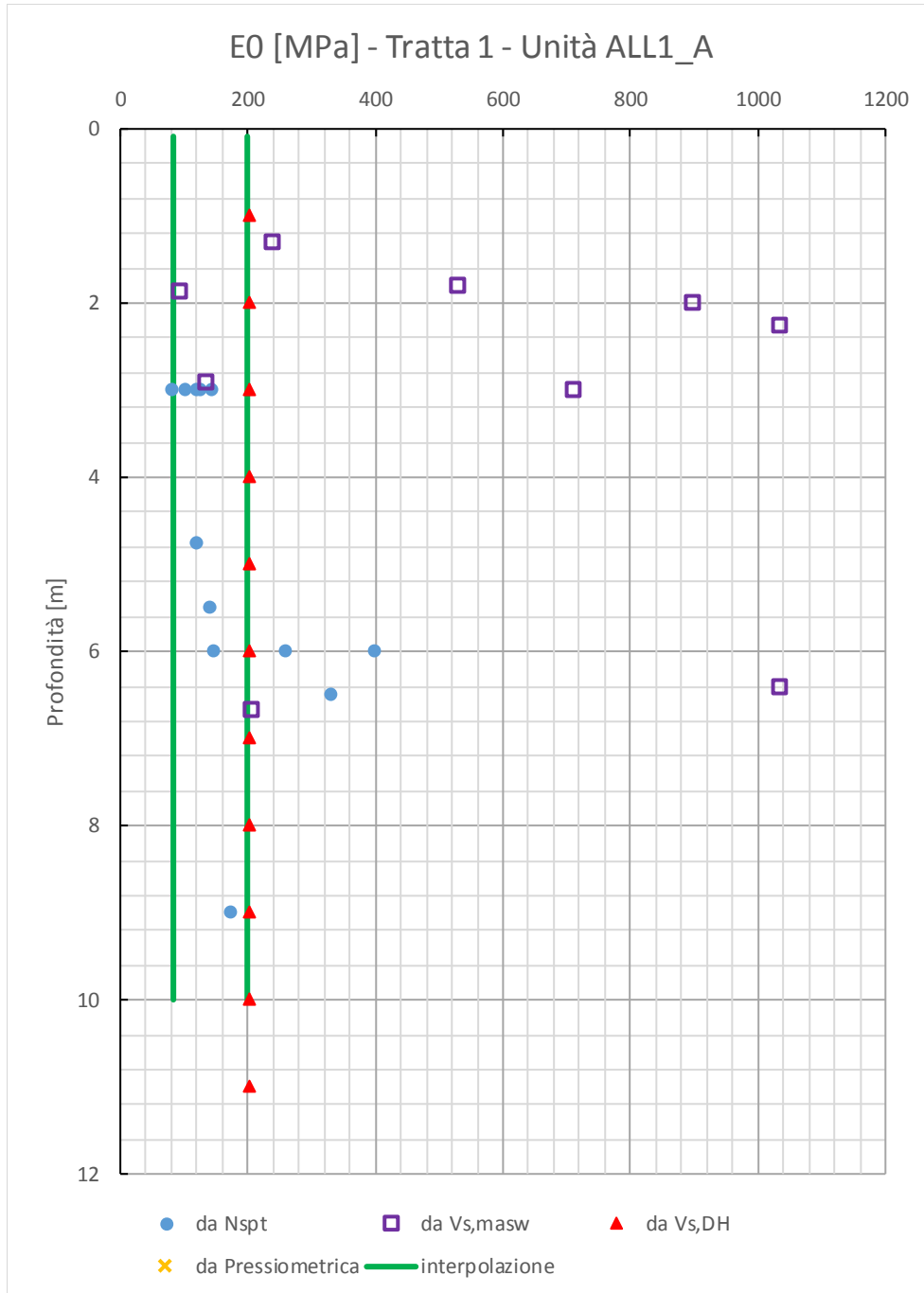
A partire dalla caratterizzazione geotecnica generale della tratta, nei paragrafi successivi sono individuate delle sottotratte omogenee in termini sia stratigrafici che di parametri geotecnici.

Tabella 5: Parametri geotecnici caratteristici da pk 0+000 a pk 2+700 (valore medio indicato tra parentesi quadre []).

	ALL1_A	ALL2_S	ALL3_G	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	18.0÷19.5 [19.0]	16.0÷20.0 [18.0]	18.0÷20.0 [19.0]	19.0÷22.0 [20.5]	
w [%]	26÷31 [29]	-	-	12÷25 [15]	
LL [%]	36÷42 [38]	-	-	45÷75 [60]	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	-	-	
c_u [kPa]	50÷100 [70]	-	-	$z \leq 25m$	120÷450 [200]
				$z > 25m$	300÷450 [400]
ϕ' [°]	22÷25 [23]	28÷34 [30]	32÷38 [34]	20÷24 [21]	
c' [kPa]	2÷6 [3]	0	0	10÷30 [15]	
E_u/C_u	328÷905 [559]	-	-	169÷559 [328 fino a 25m, 458 da 25m]	
E_0 [MPa]	85÷200 [160]	200÷400 [265]	245÷615 [340]	$z \leq 25m$	315÷1160 [455]
				$z > 25m$	615÷1160 [725]
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	17÷40 [32]	40÷80 [53]	49÷123 [68]	$z \leq 25m$	63÷232 [91]
				$z > 25m$	123÷232 [145]
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	8.5÷20.0 [16.0]	20.0÷40.0 [26.5]	24.5÷61.5 [34.0]	$z \leq 25m$	31.5÷116.0 [45.5]
				$z > 25m$	61.5÷116.0 [72.5]
c_c [-]	$4.0 \cdot 10^{-3} \div 1.5 \cdot 10^{-2}$ [$1.2 \cdot 10^{-2}$]	-	-	$6.5 \cdot 10^{-3} \div 1.7 \cdot 10^{-2}$ [$1.3 \cdot 10^{-2}$]	
c_r [-]	$3.5 \cdot 10^{-2} \div 1.0 \cdot 10^{-1}$ [$4.8 \cdot 10^{-2}$]	-	-	$5.0 \cdot 10^{-2} \div 1.0 \cdot 10^{-1}$ [$7.5 \cdot 10^{-2}$]	
c_{az}	$3.1 \cdot 10^{-3} \div 3.5 \cdot 10^{-3}$ [$3.3 \cdot 10^{-3}$]	-	-	$1.9 \cdot 10^{-3} \div 3.2 \cdot 10^{-3}$ [$2.2 \cdot 10^{-3}$]	
c_v [m ² /s]	$2.0 \cdot 10^{-3} \div 2.9 \cdot 10^{-5}$ [$2.5 \cdot 10^{-5}$]	-	-	$4.9 \cdot 10^{-6} \div 1.7 \cdot 10^{-5}$ [$8.3 \cdot 10^{-6}$]	
e_0 [-]	0.78÷0.85 [0.82]	0.5÷0.6 [0.55]	0.4÷0.5 [0.45]	0.45÷0.65 [0.55]	
OCR [-]	1÷5 [2]	-	-	2÷10 [5 fino a 25m, 3 da 25m]	
ν' [-]	0.3	0.3	0.3	0.3	
k [m/s]	$2.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-6}$ [$3.0 \cdot 10^{-7}$]	$1.2 \cdot 10^{-6} \div 1.4 \cdot 10^{-6}$ [$1.3 \cdot 10^{-6}$]	dato non affidabile	$1.0 \cdot 10^{-8} \div 8.0 \cdot 10^{-8}$ [$3.0 \cdot 10^{-8}$]	

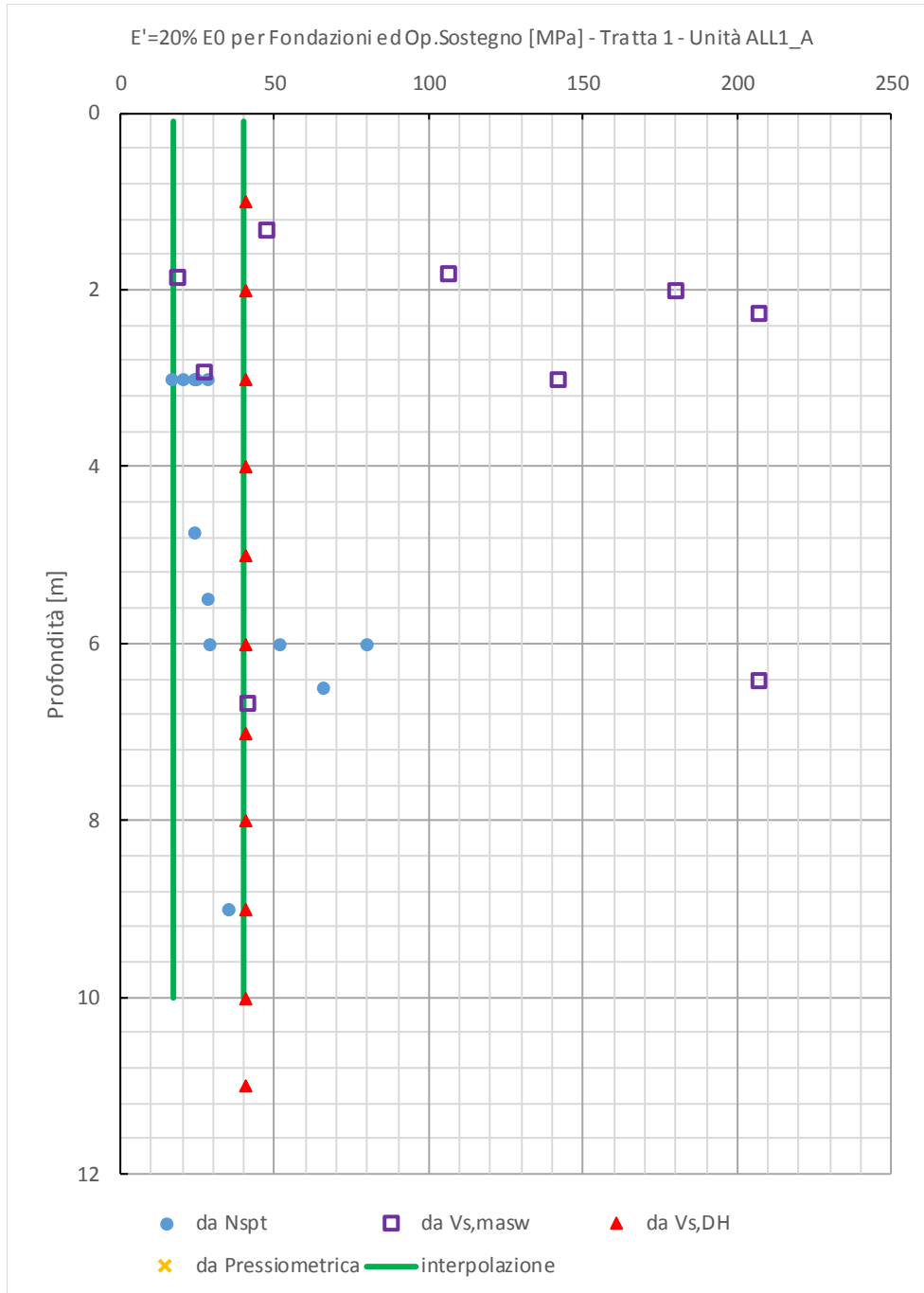






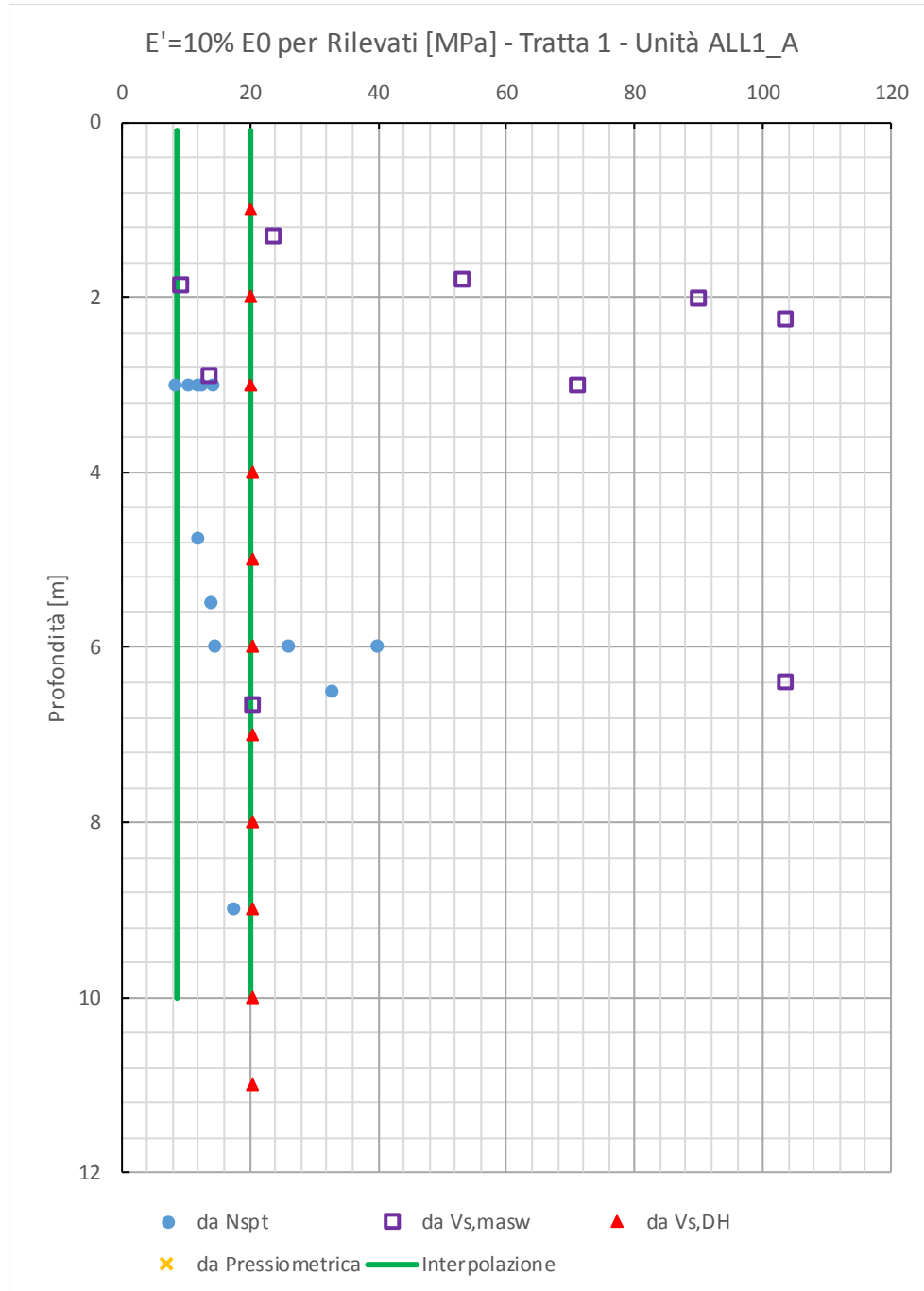
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

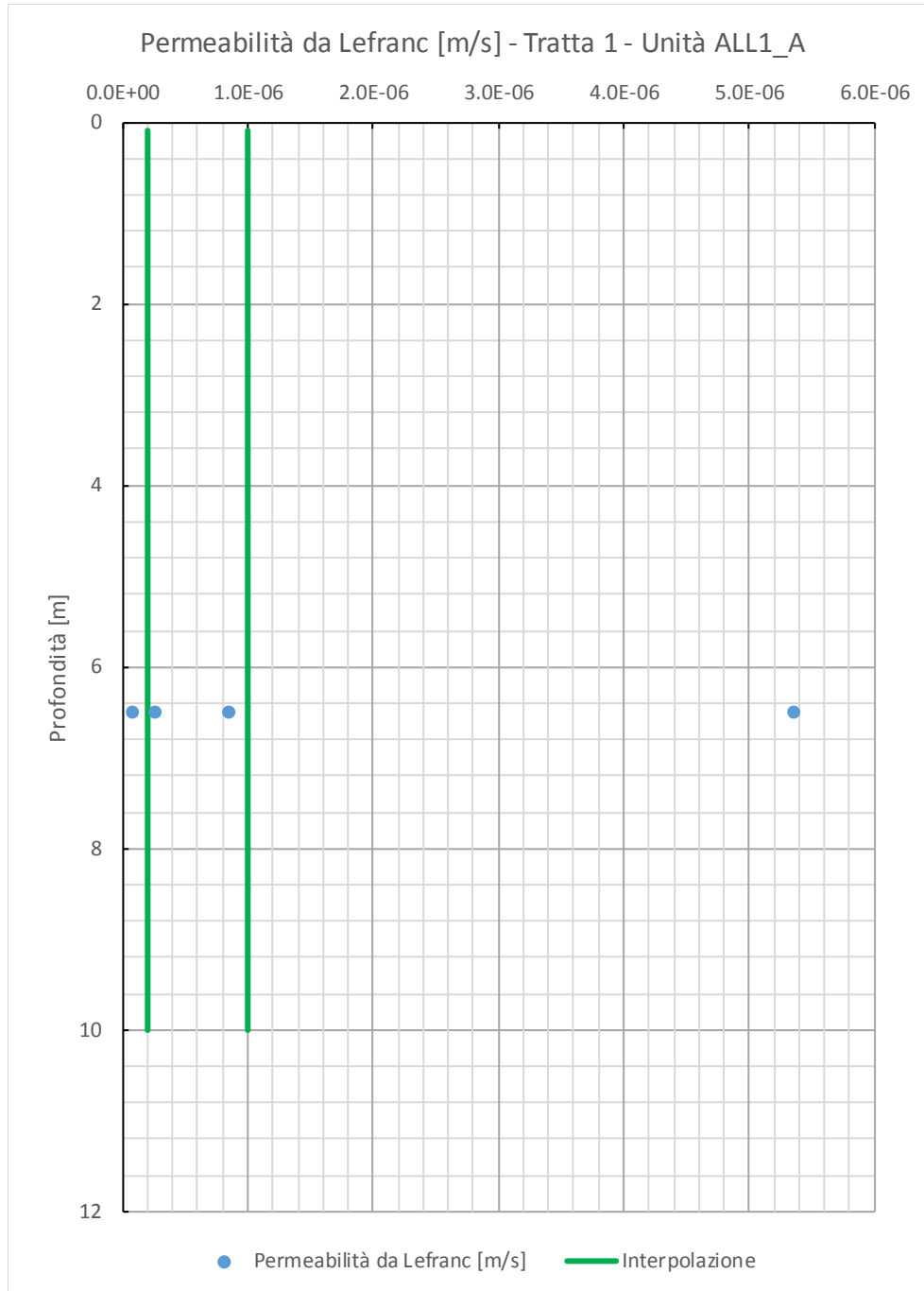
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	27 di 94



Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

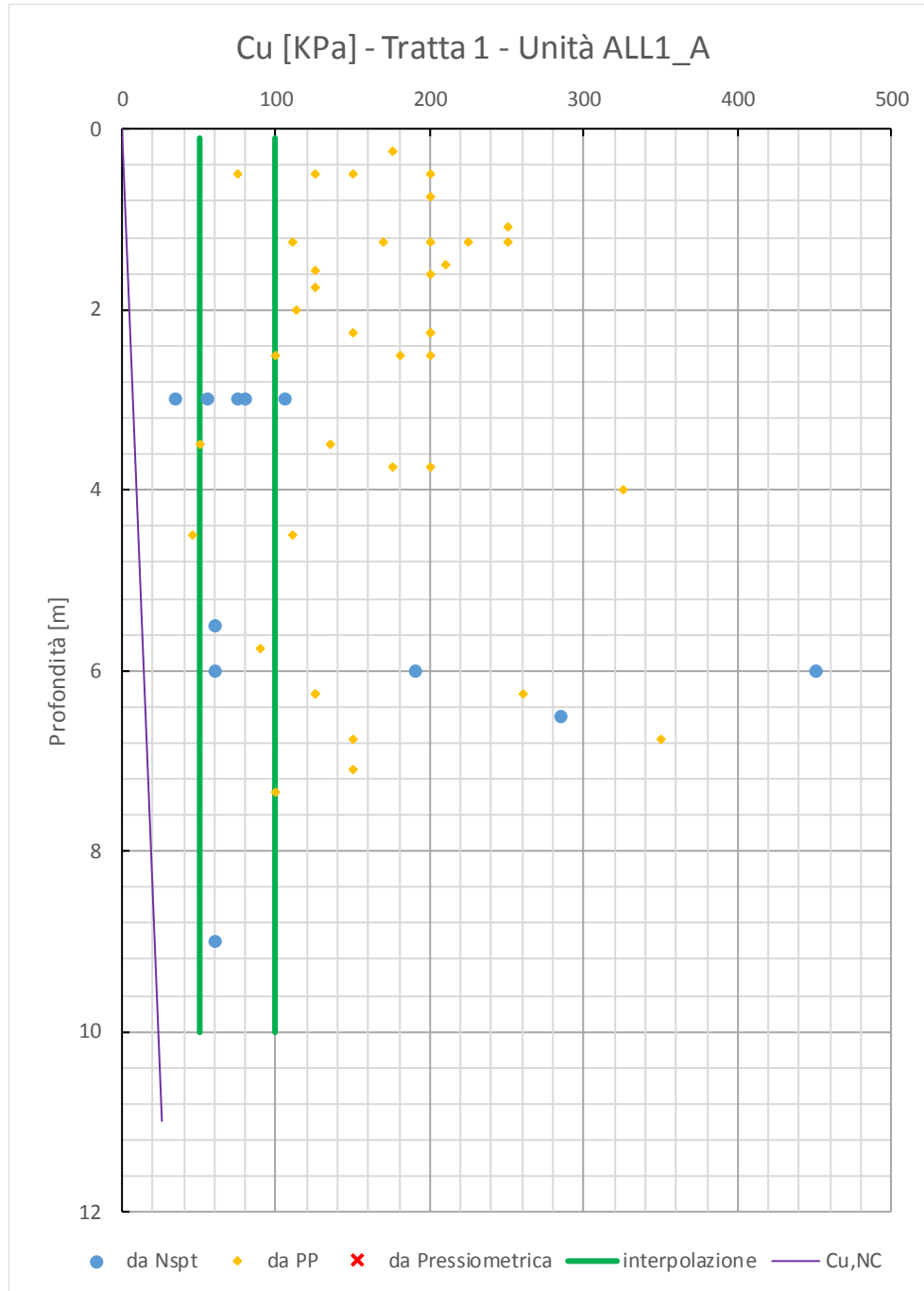
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	28 di 94

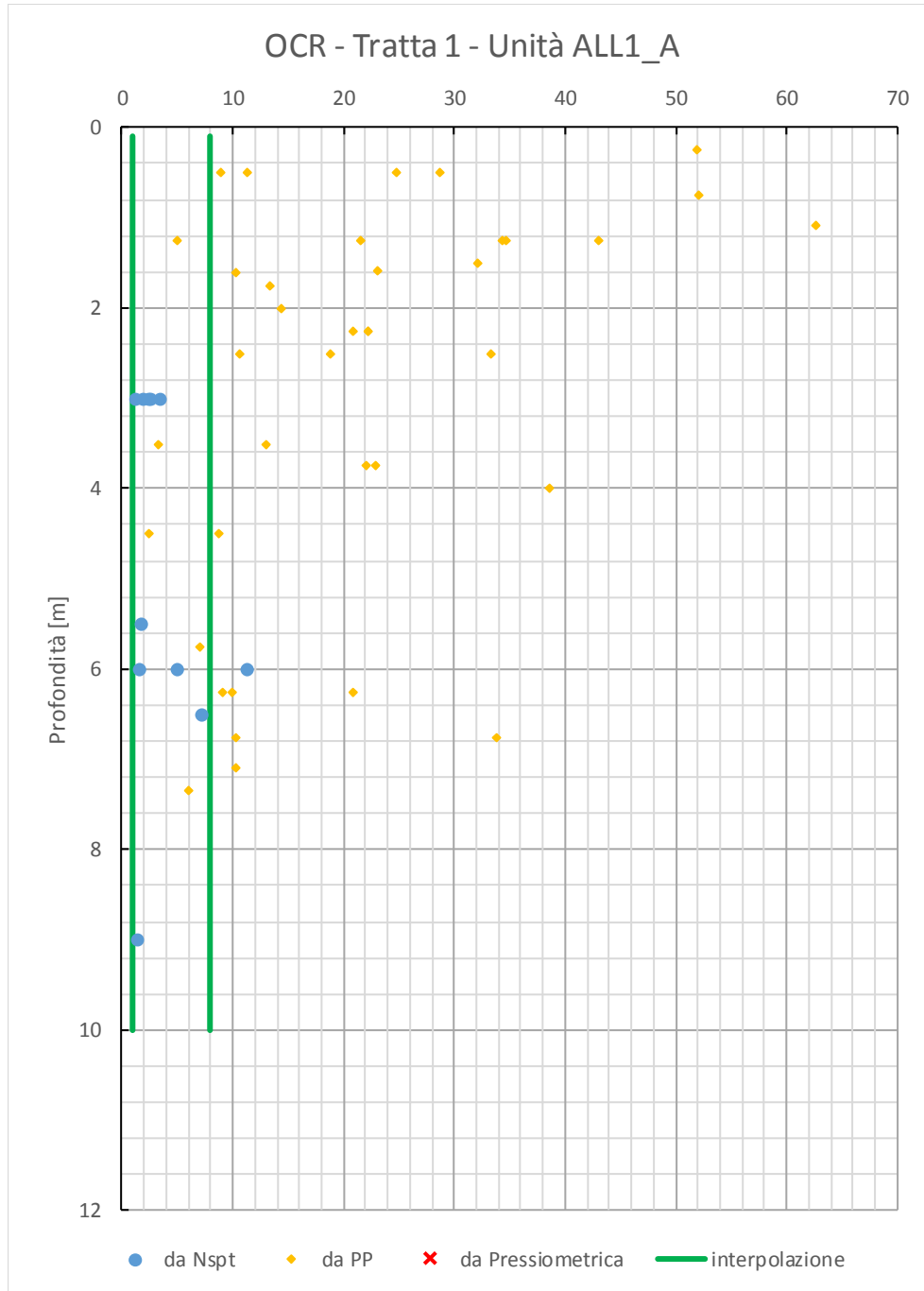


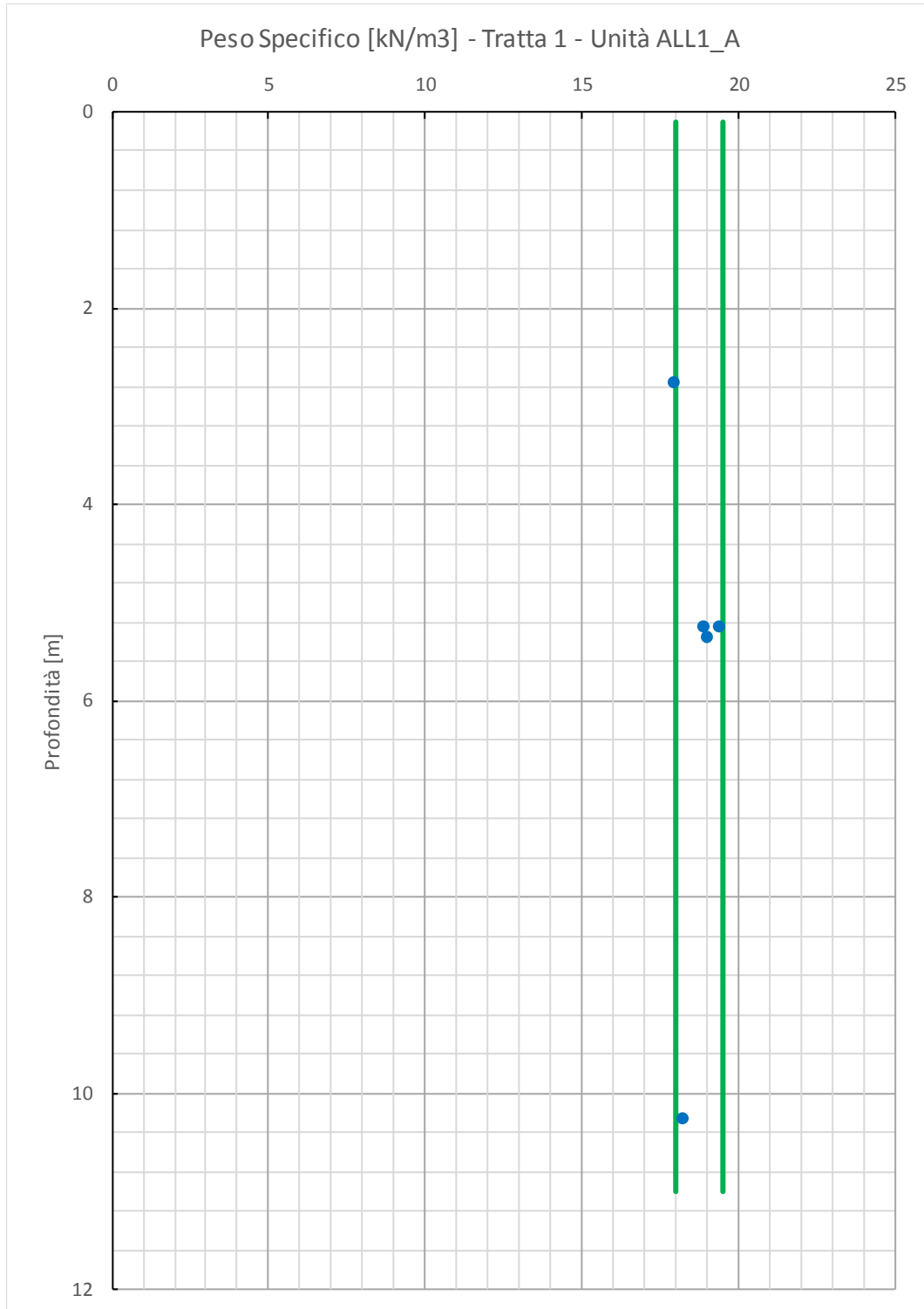


Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	30 di 94

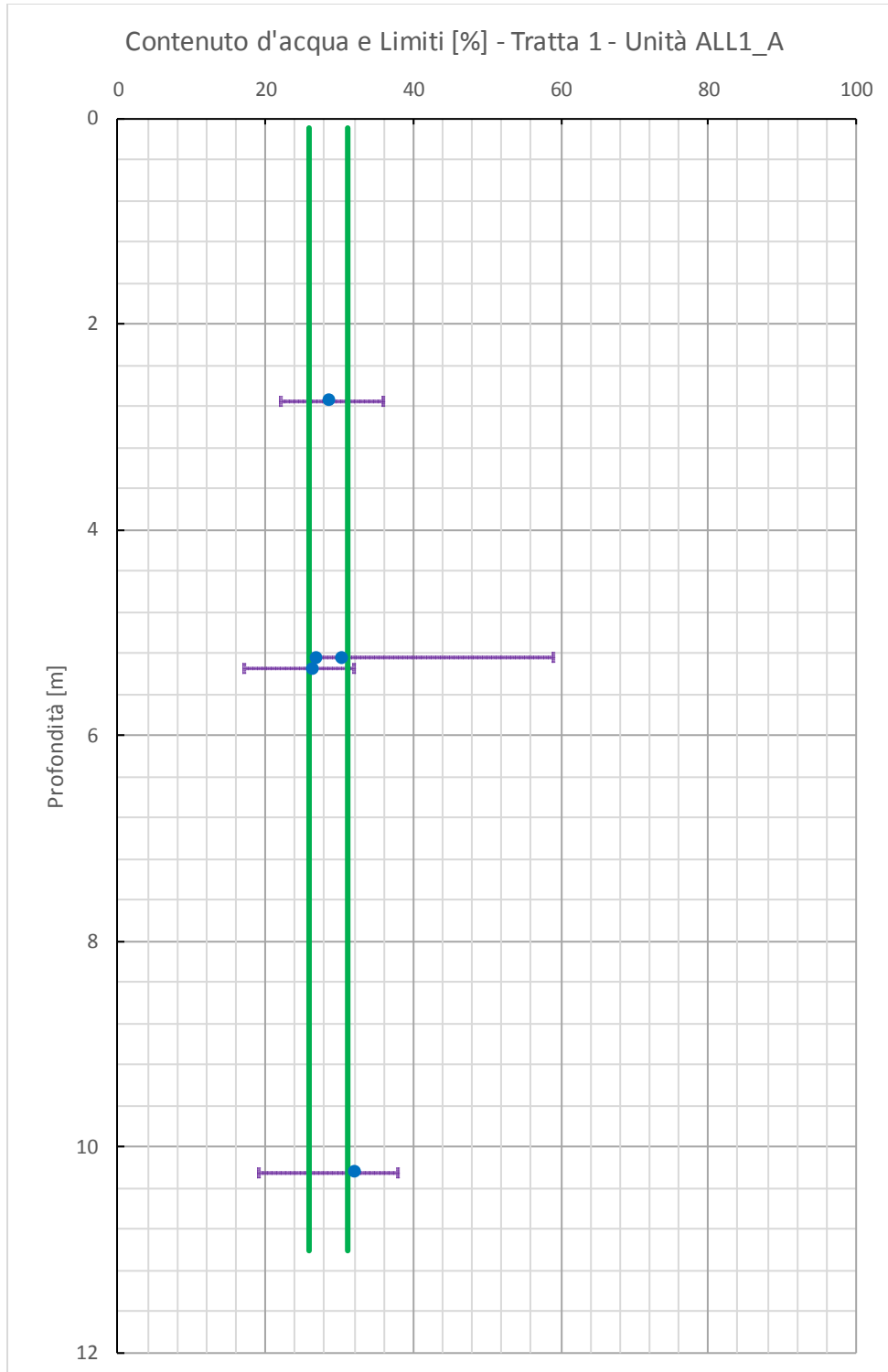


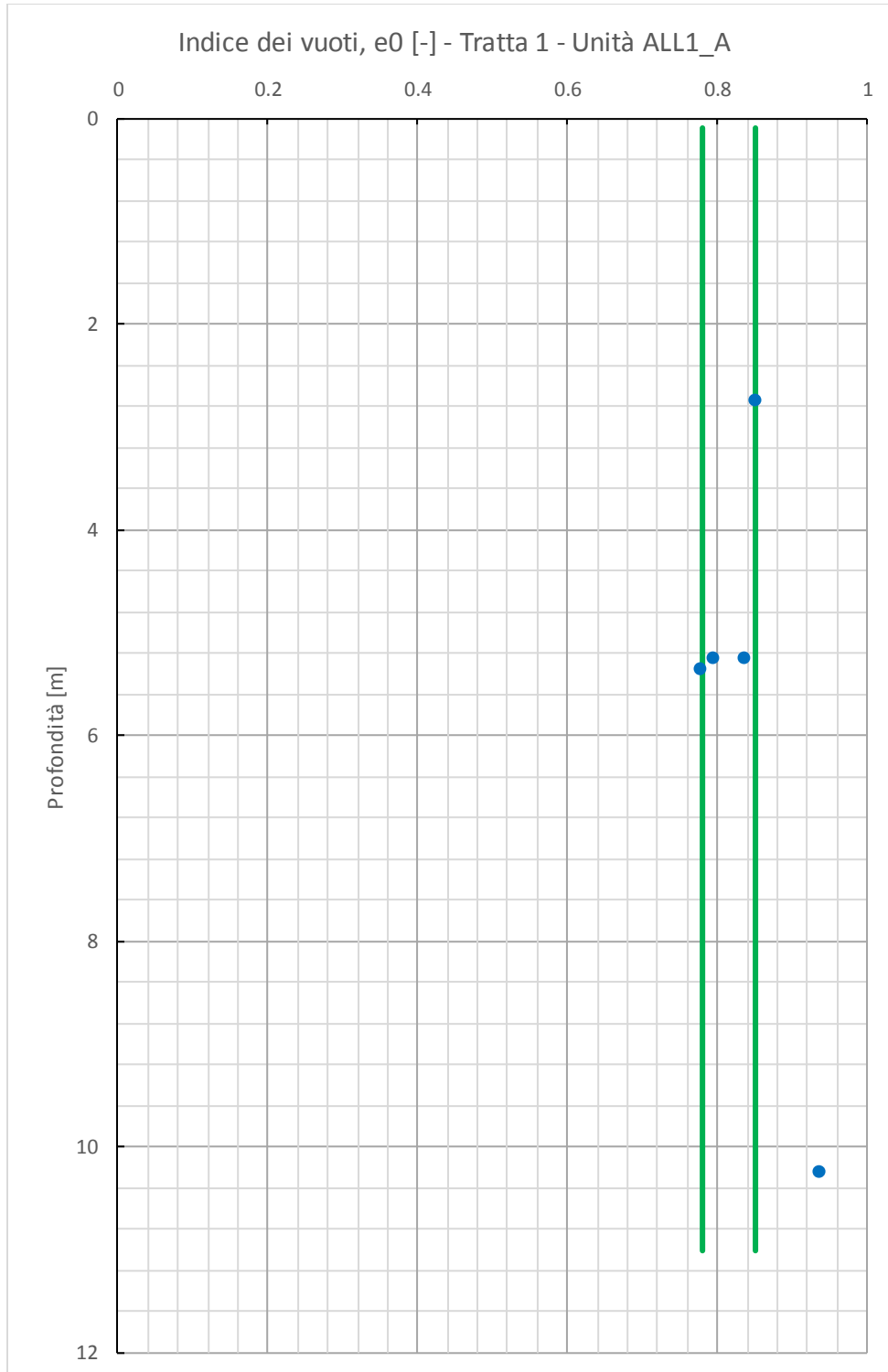


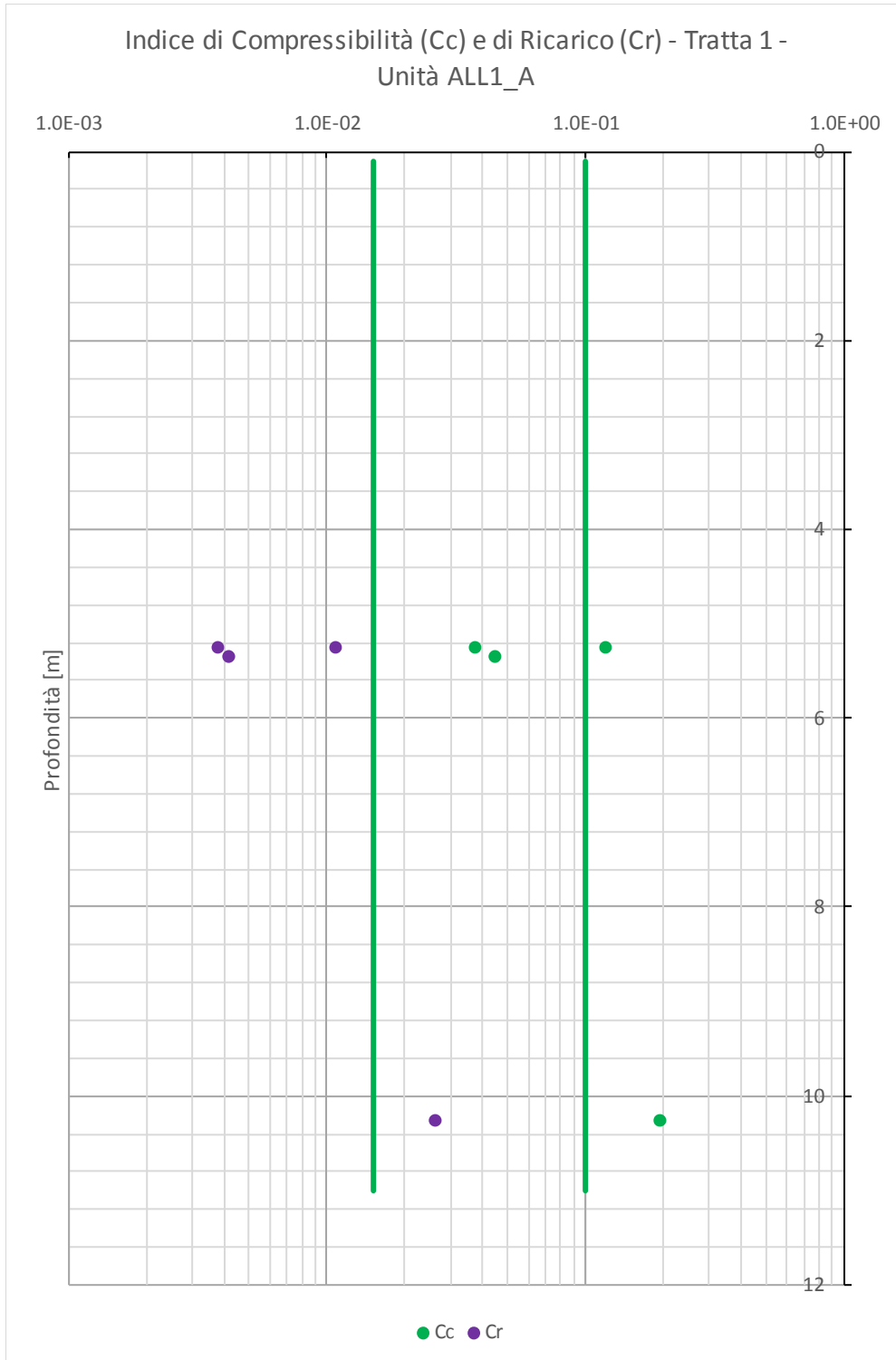


Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	33 di 94

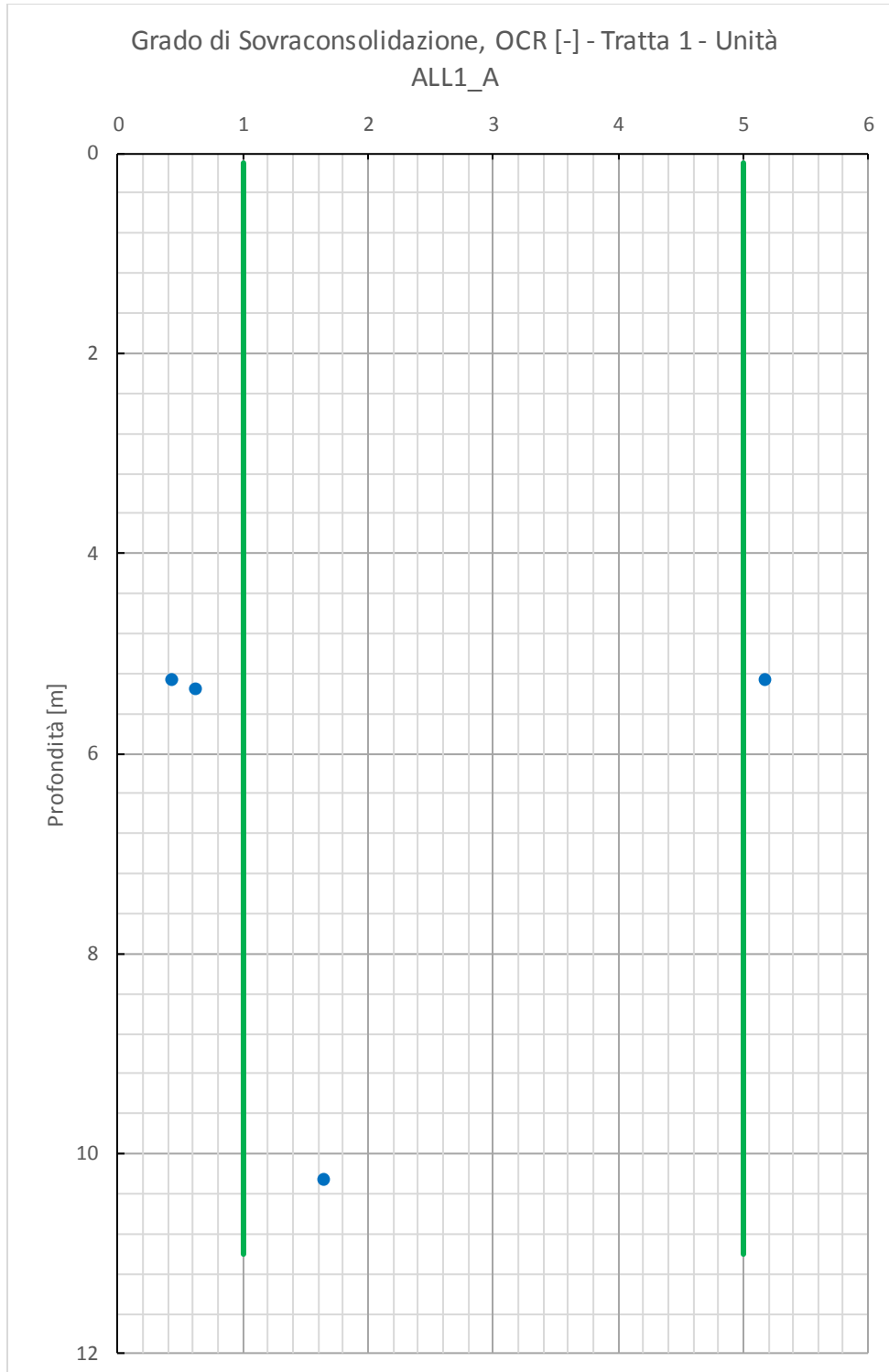


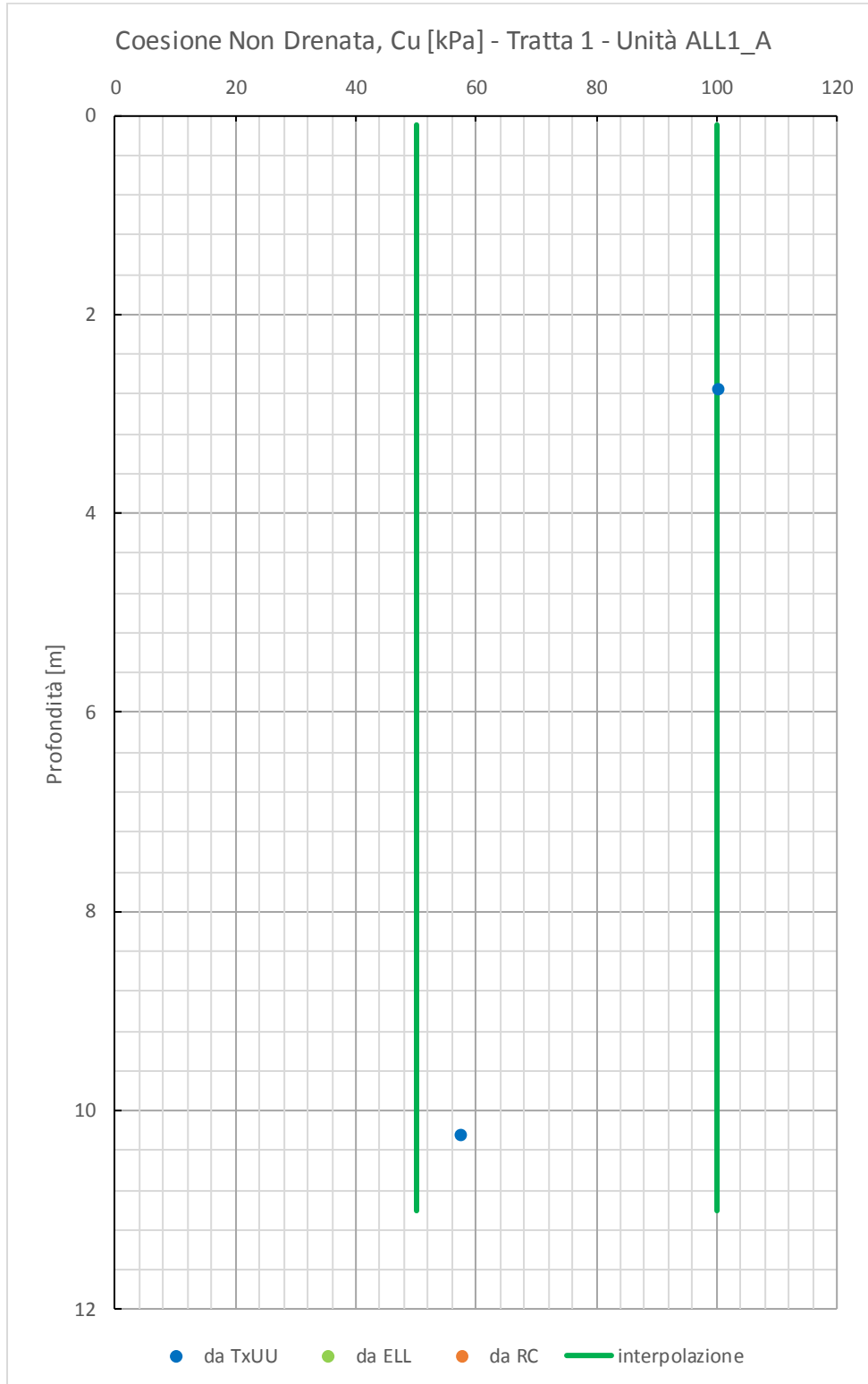




Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

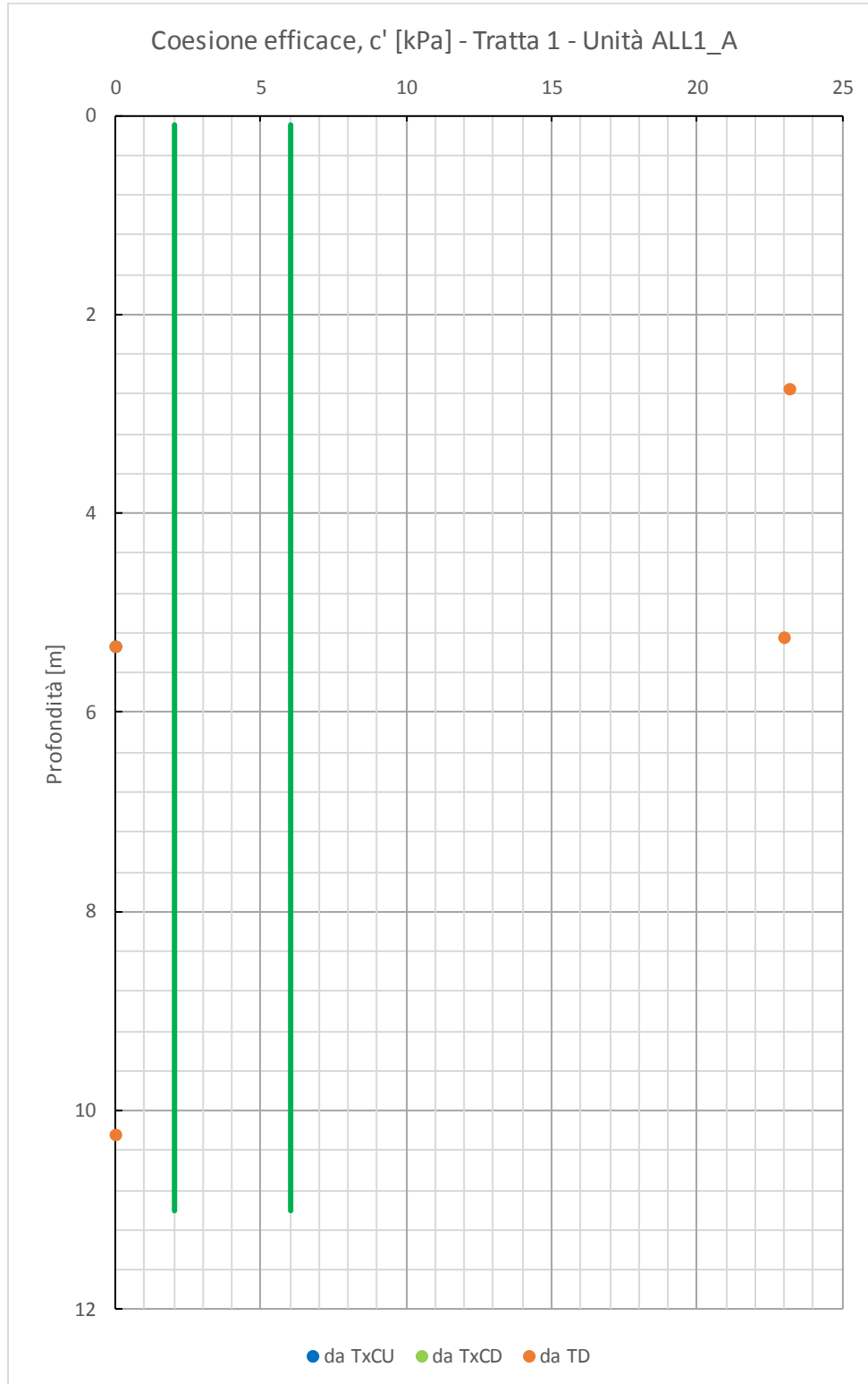
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	36 di 94

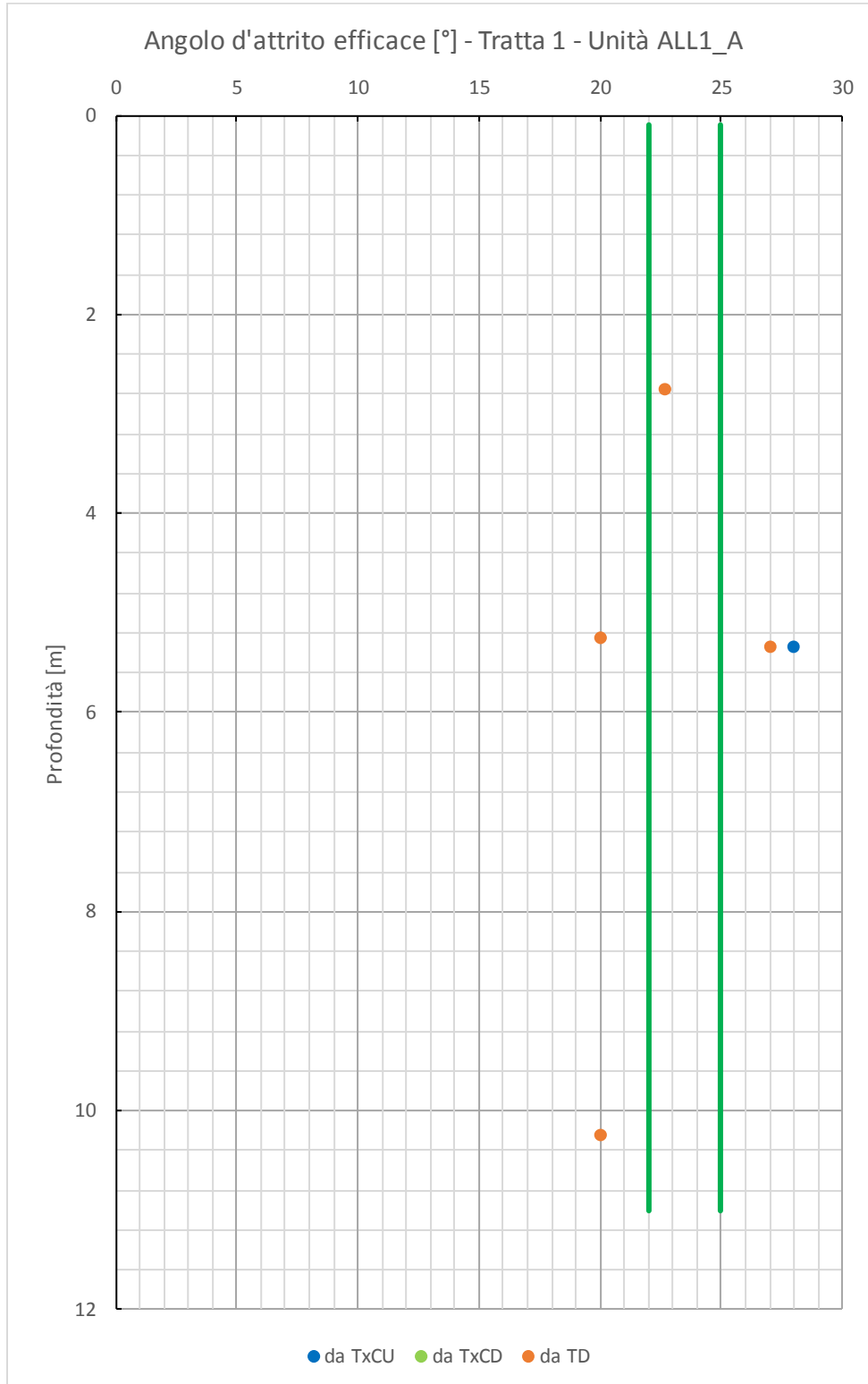


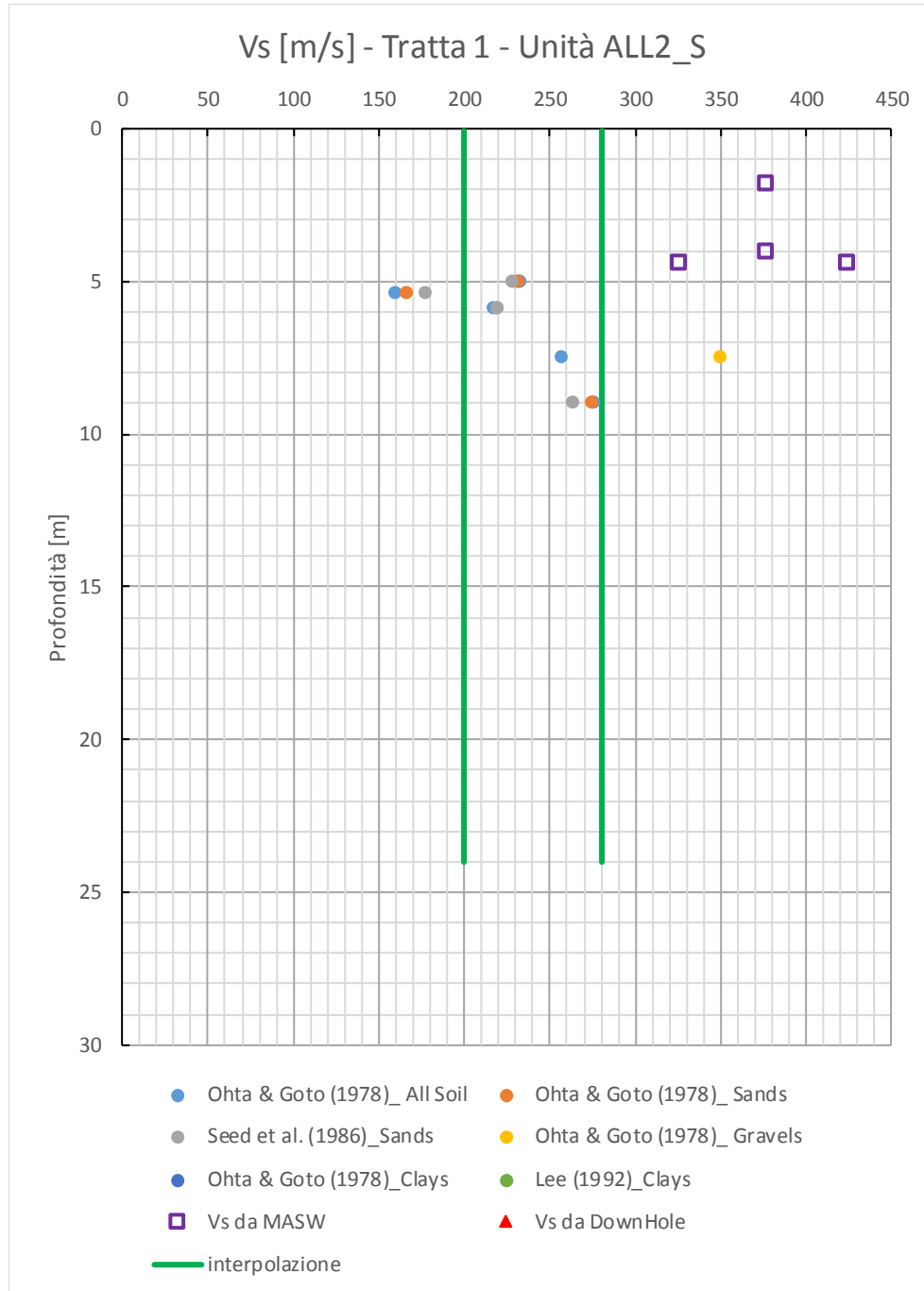


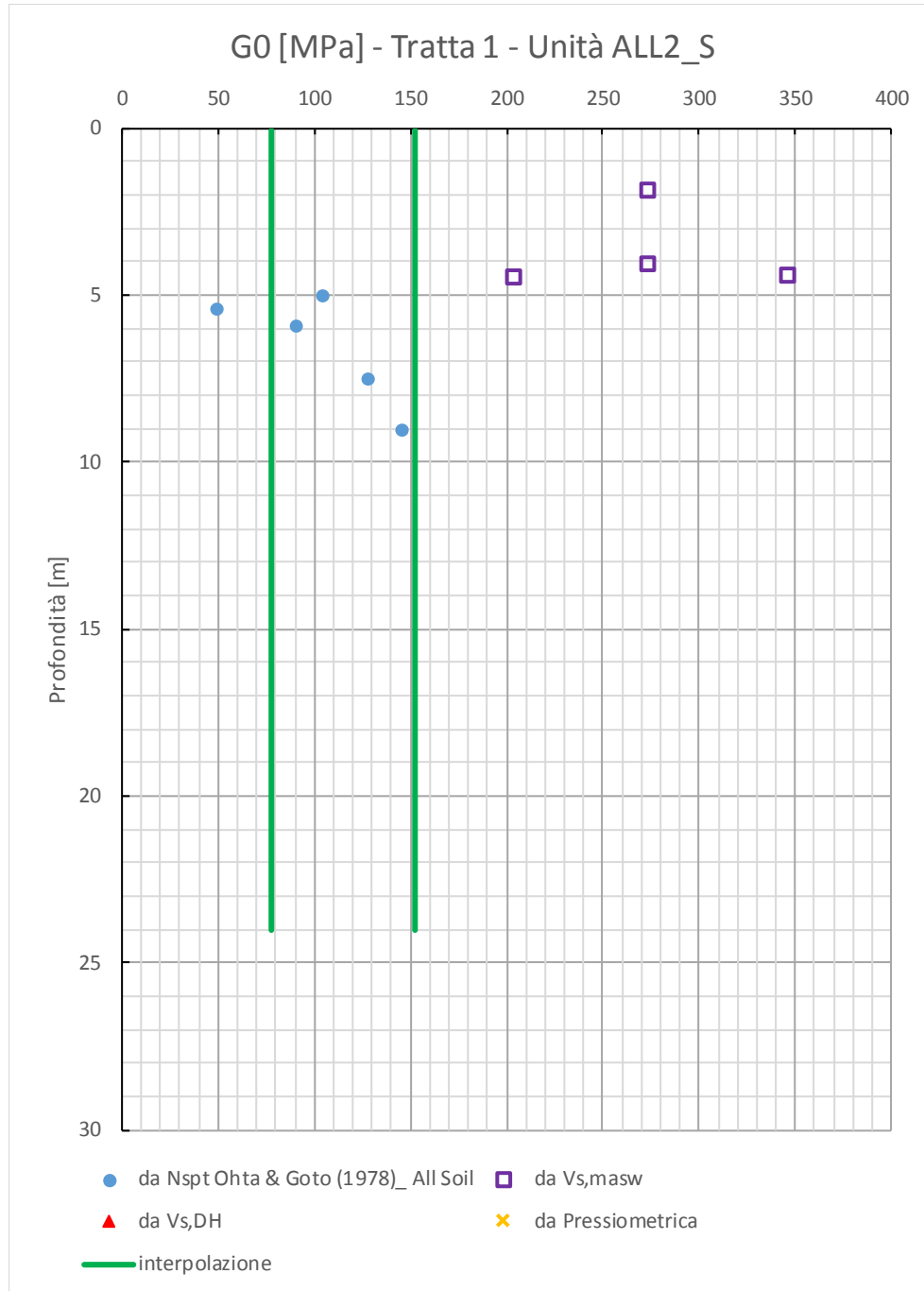
**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700**

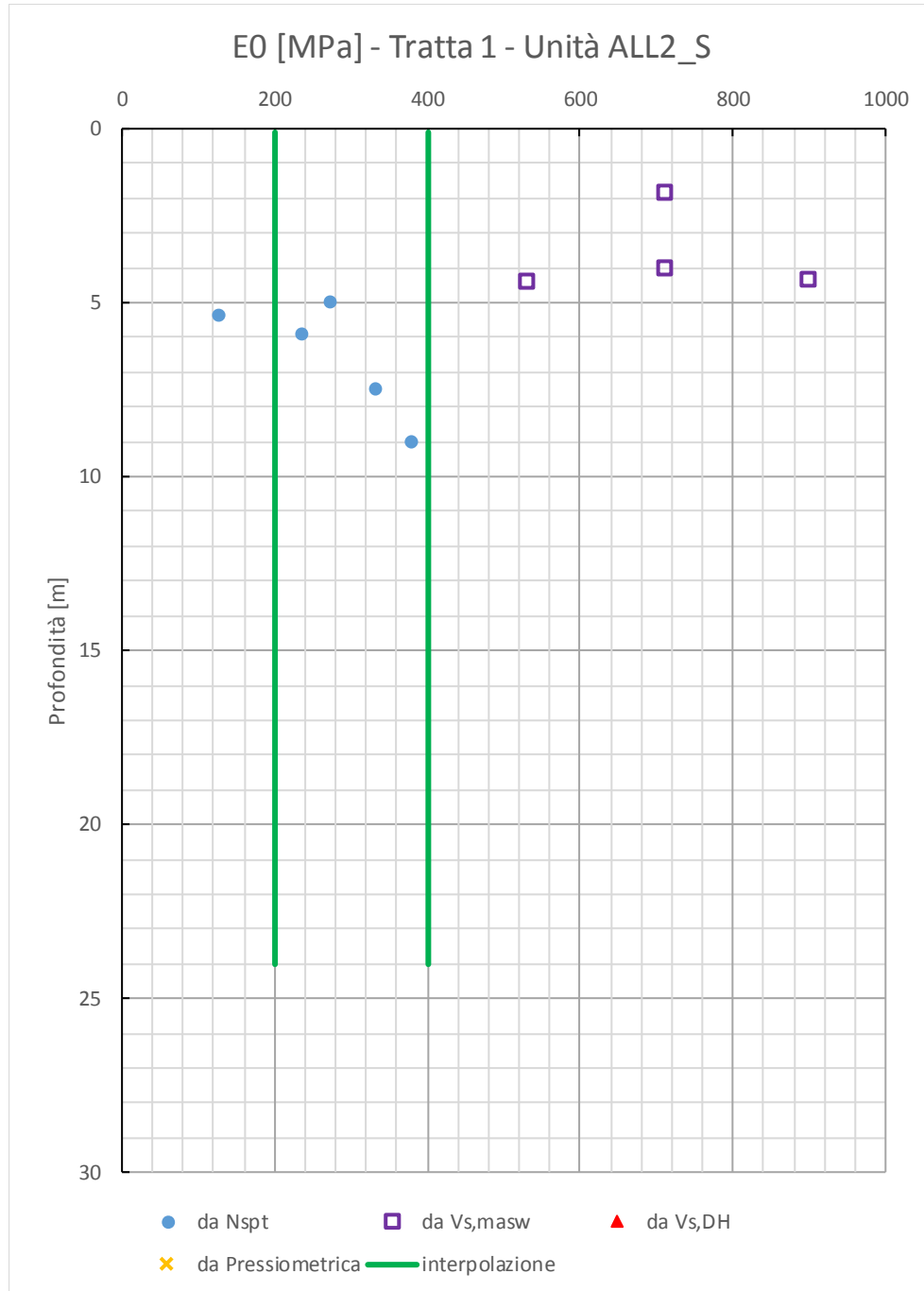
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	38 di 94





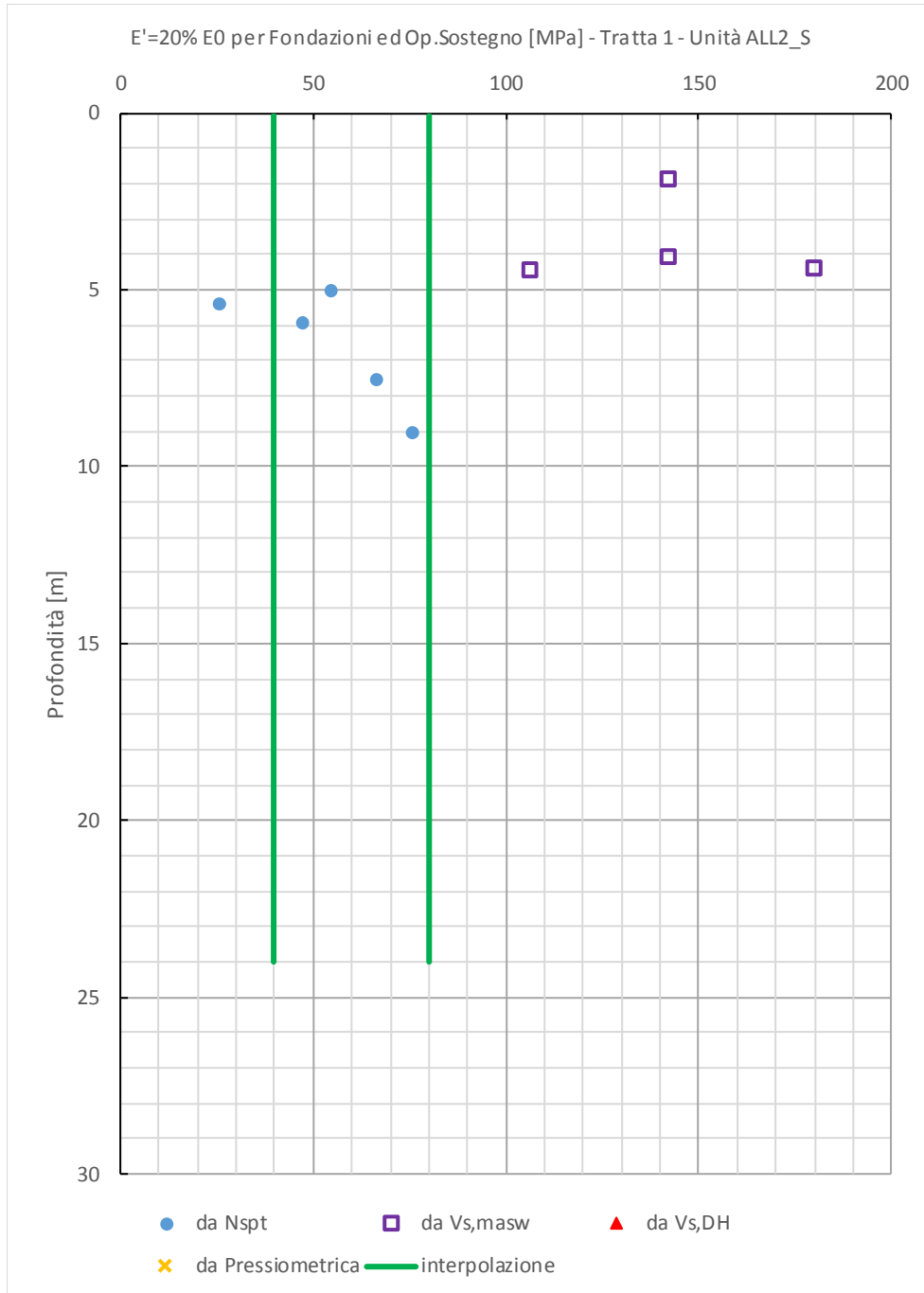


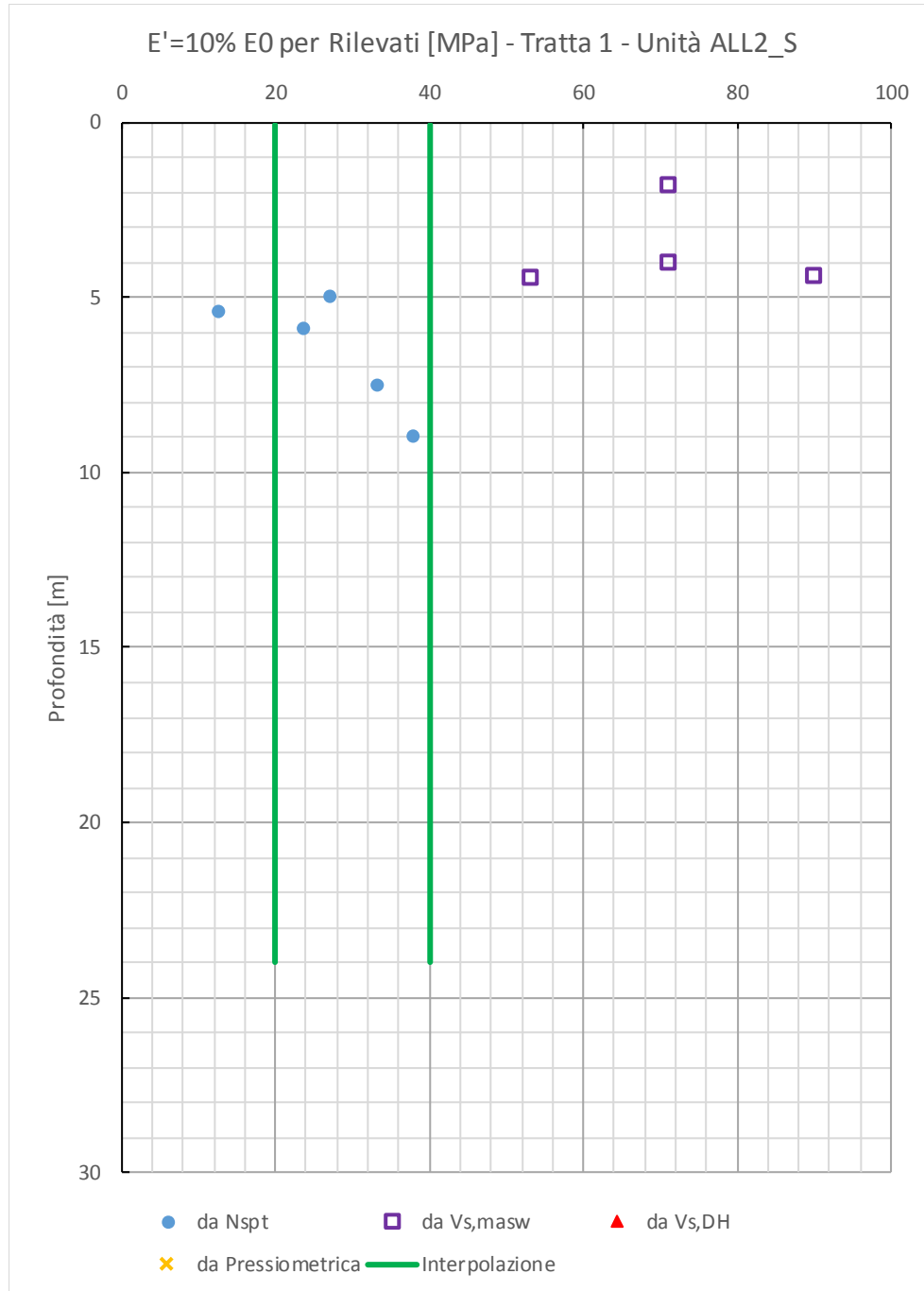


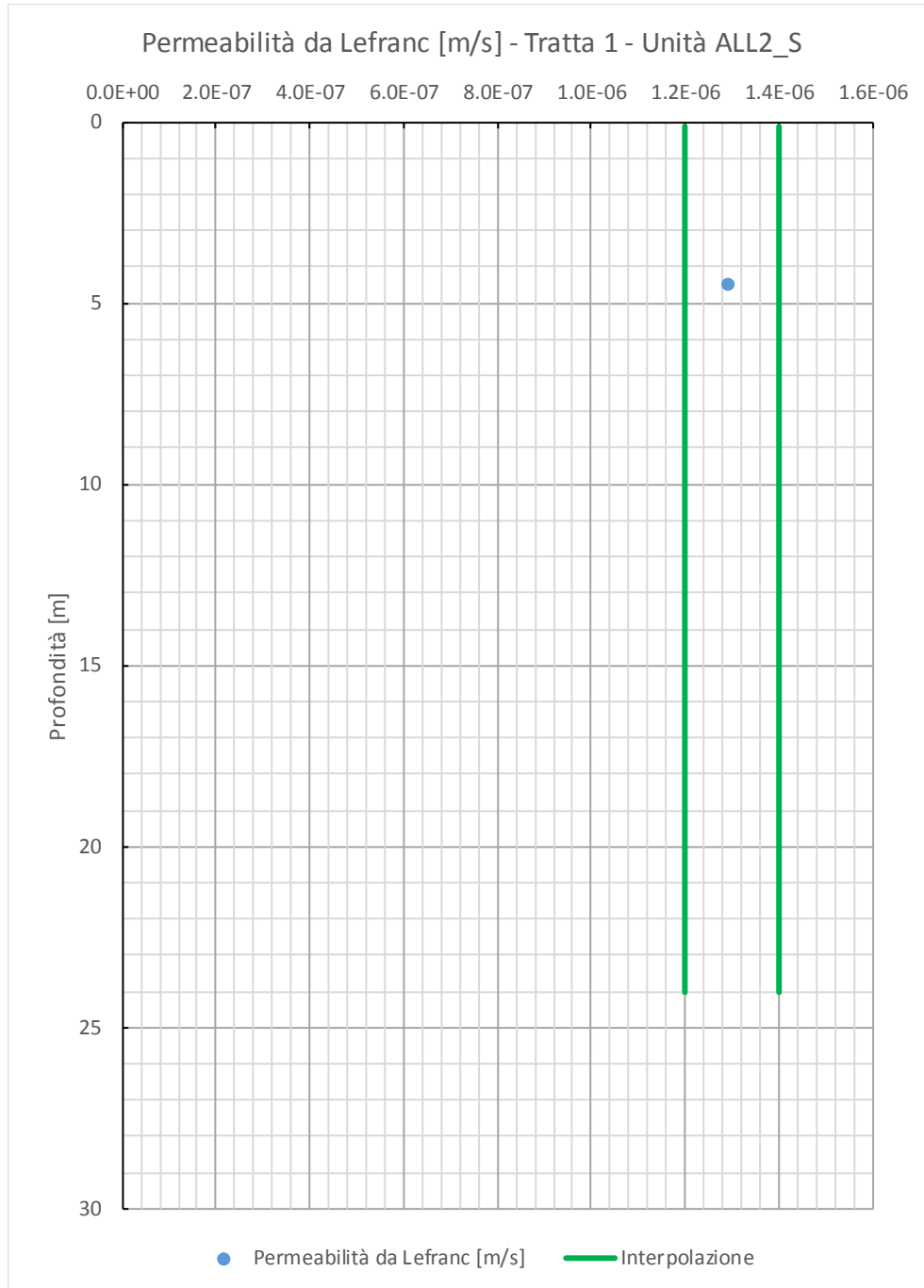


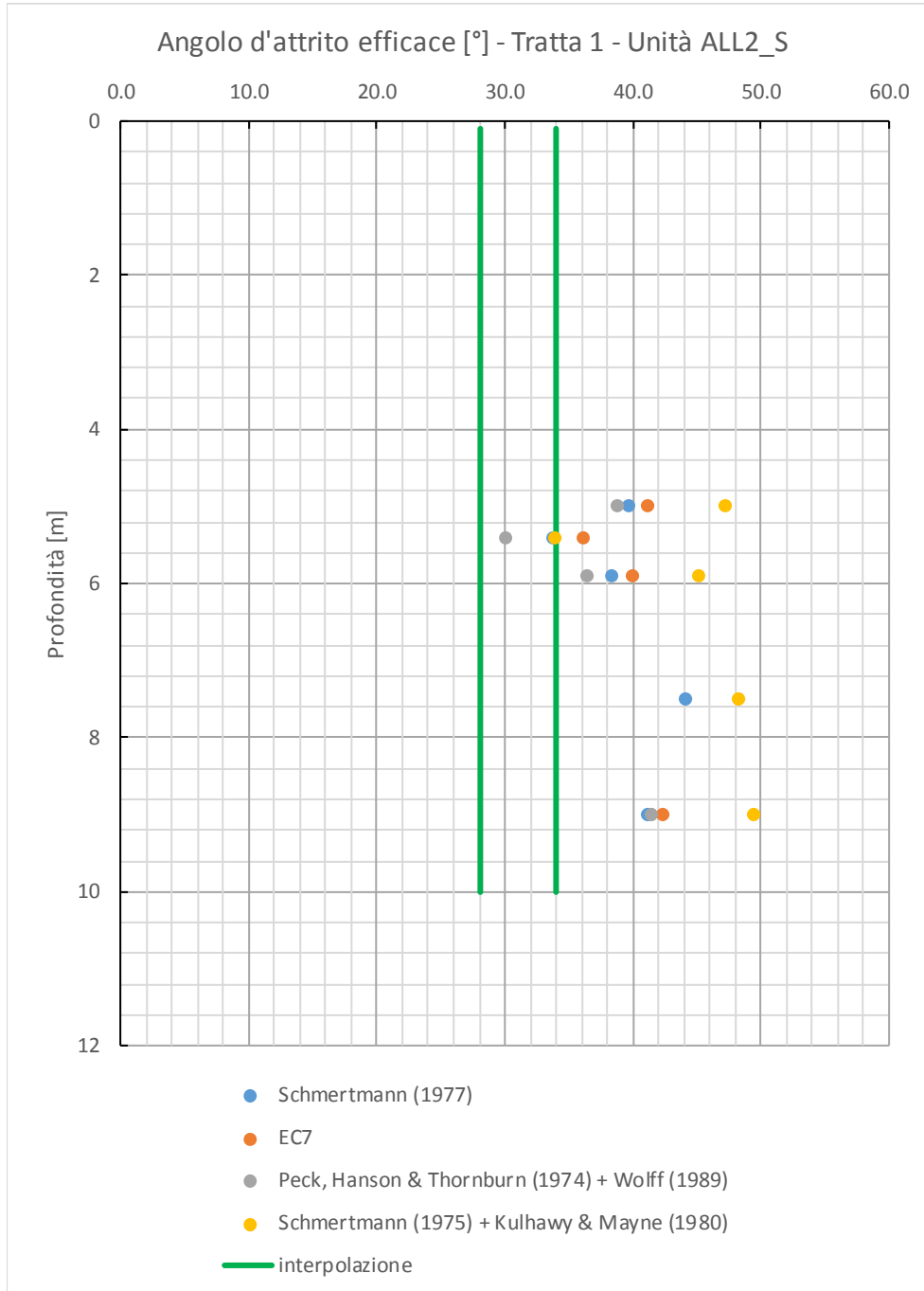
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

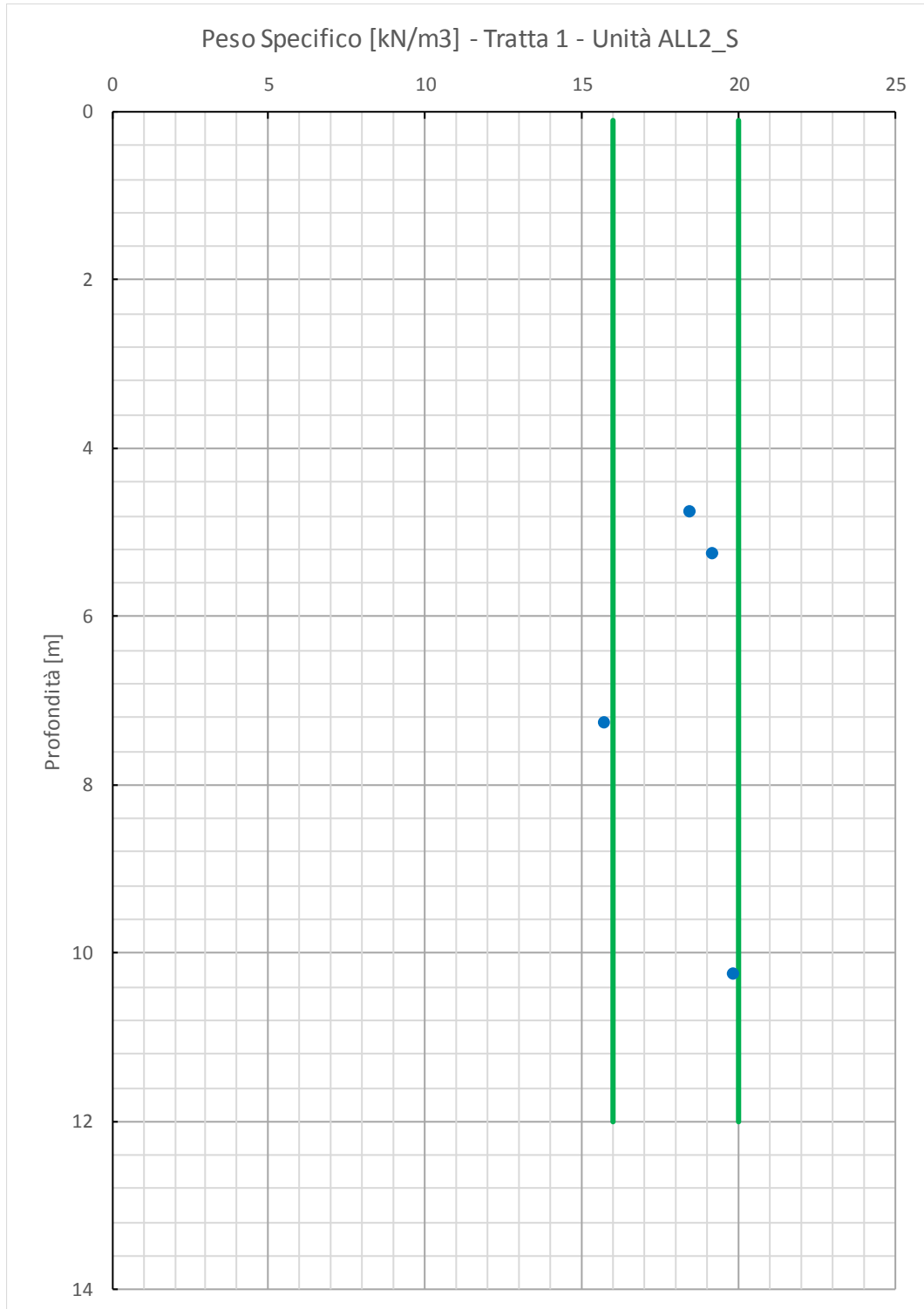
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	43 di 94





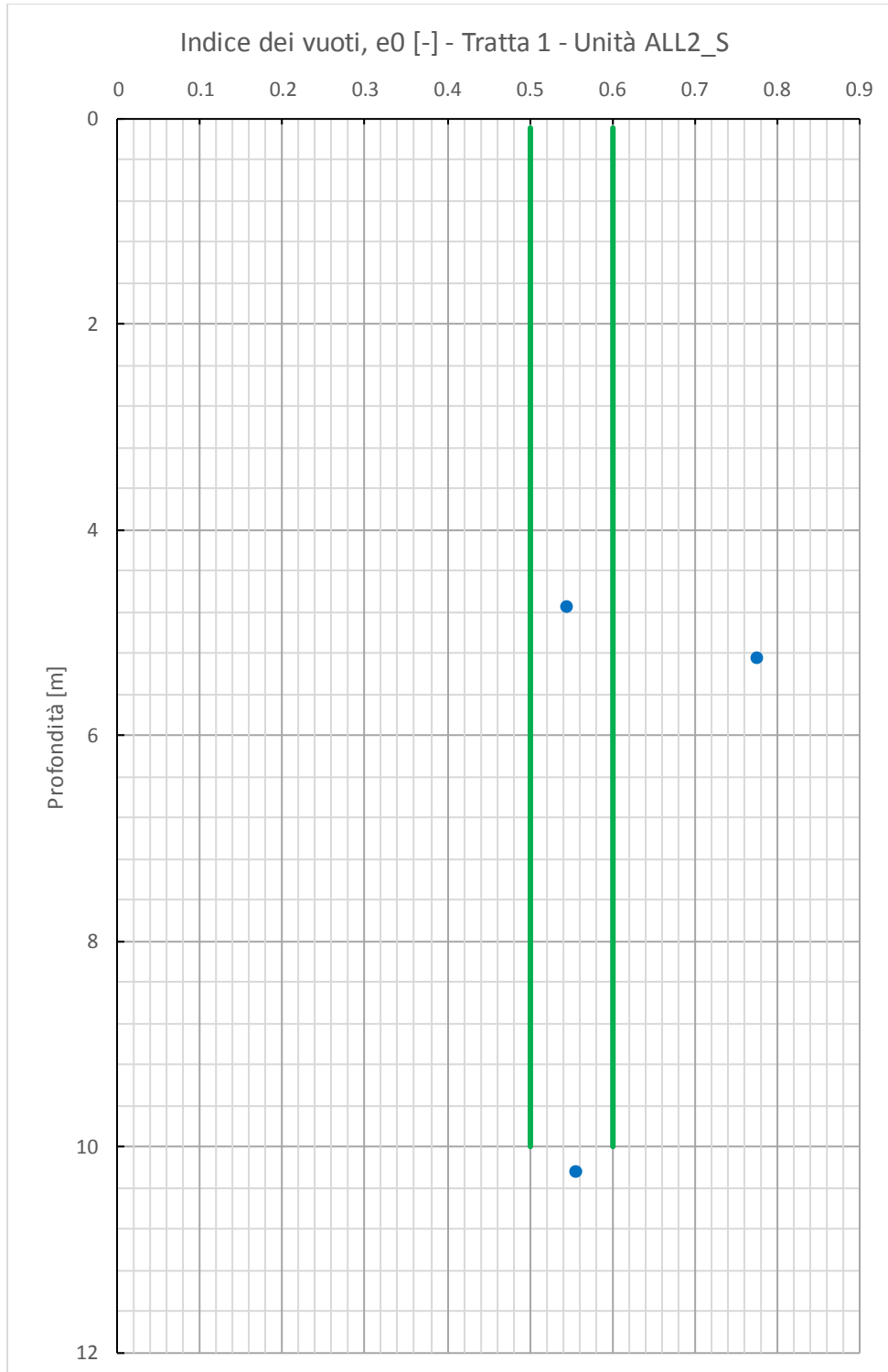


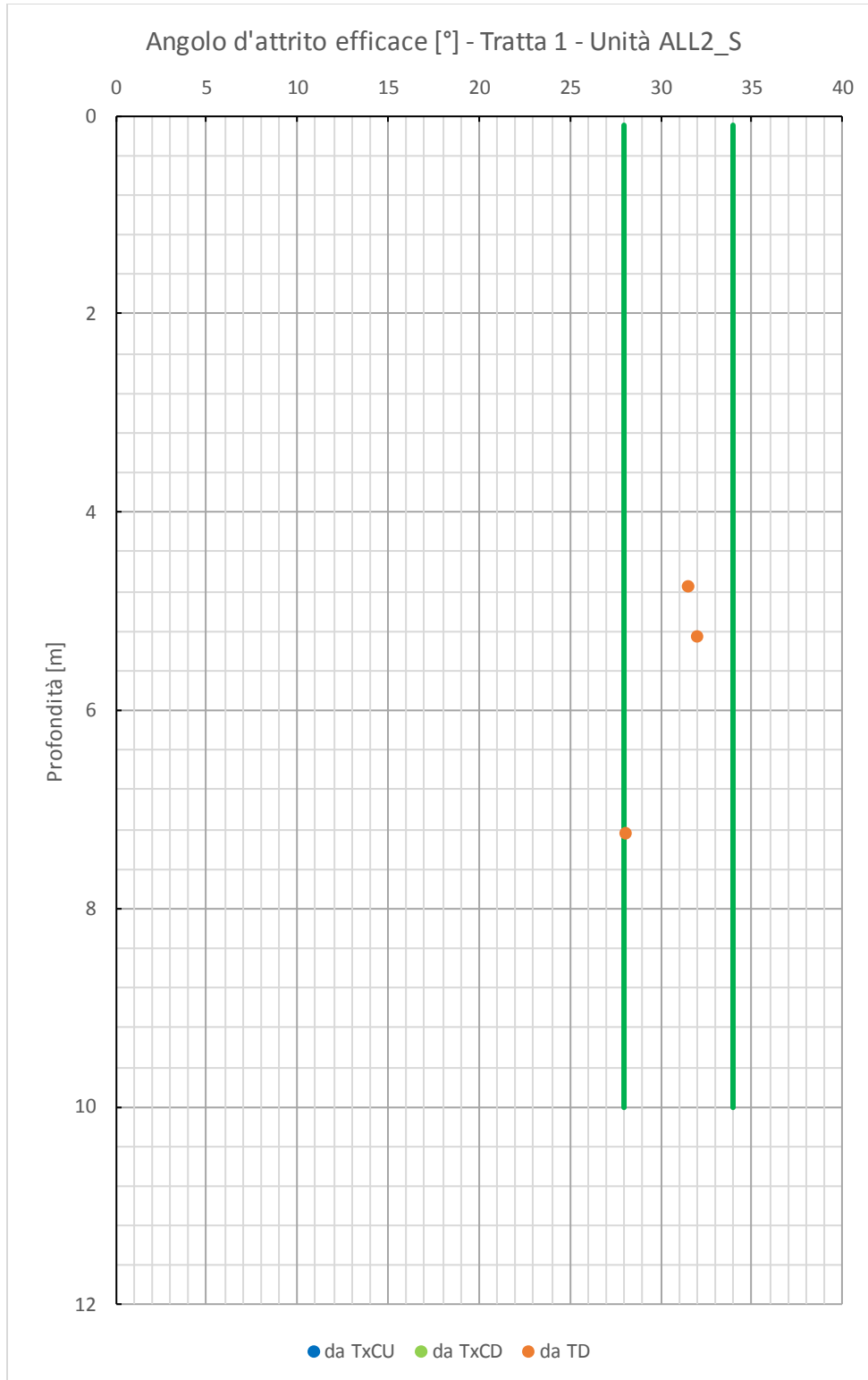


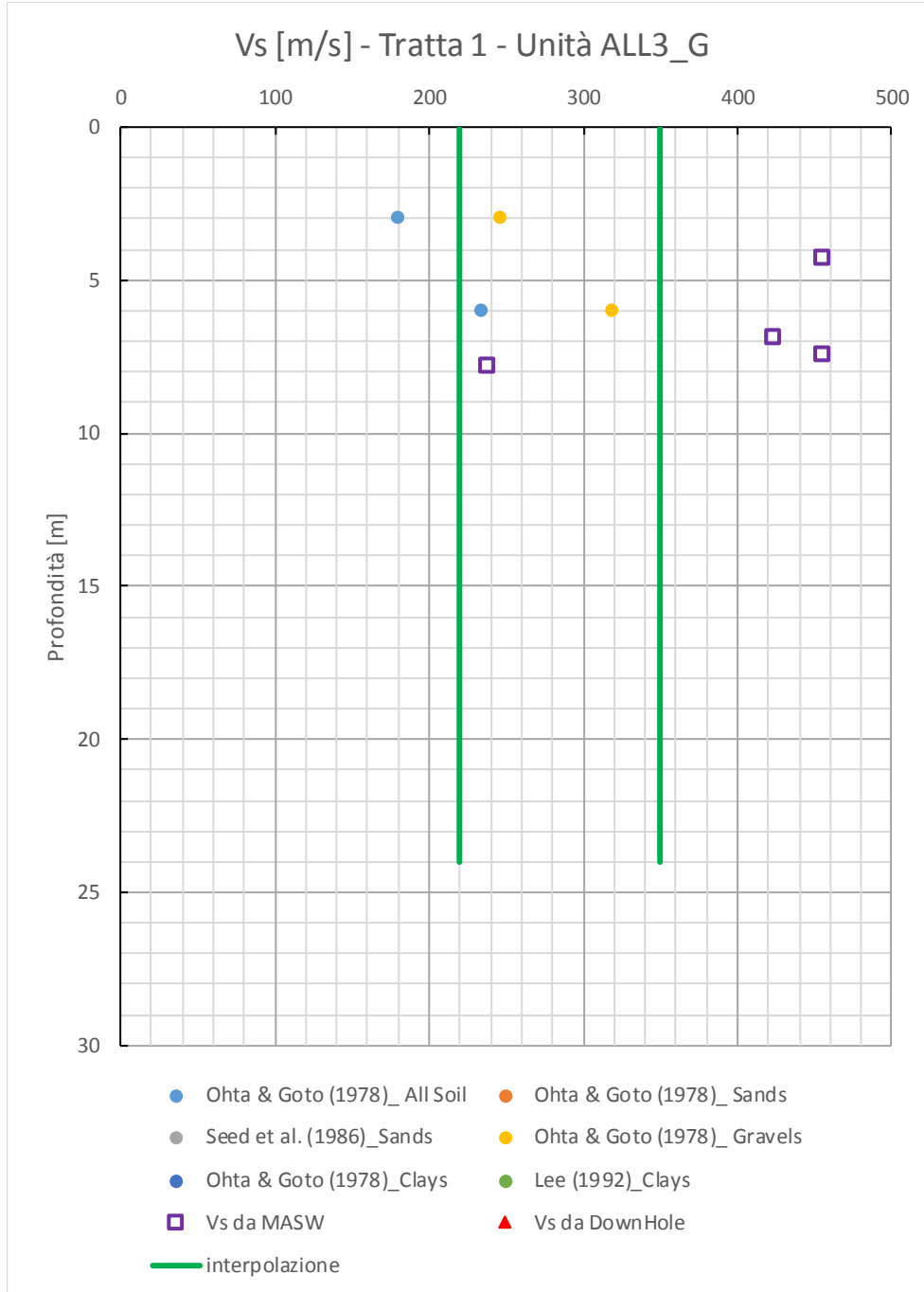


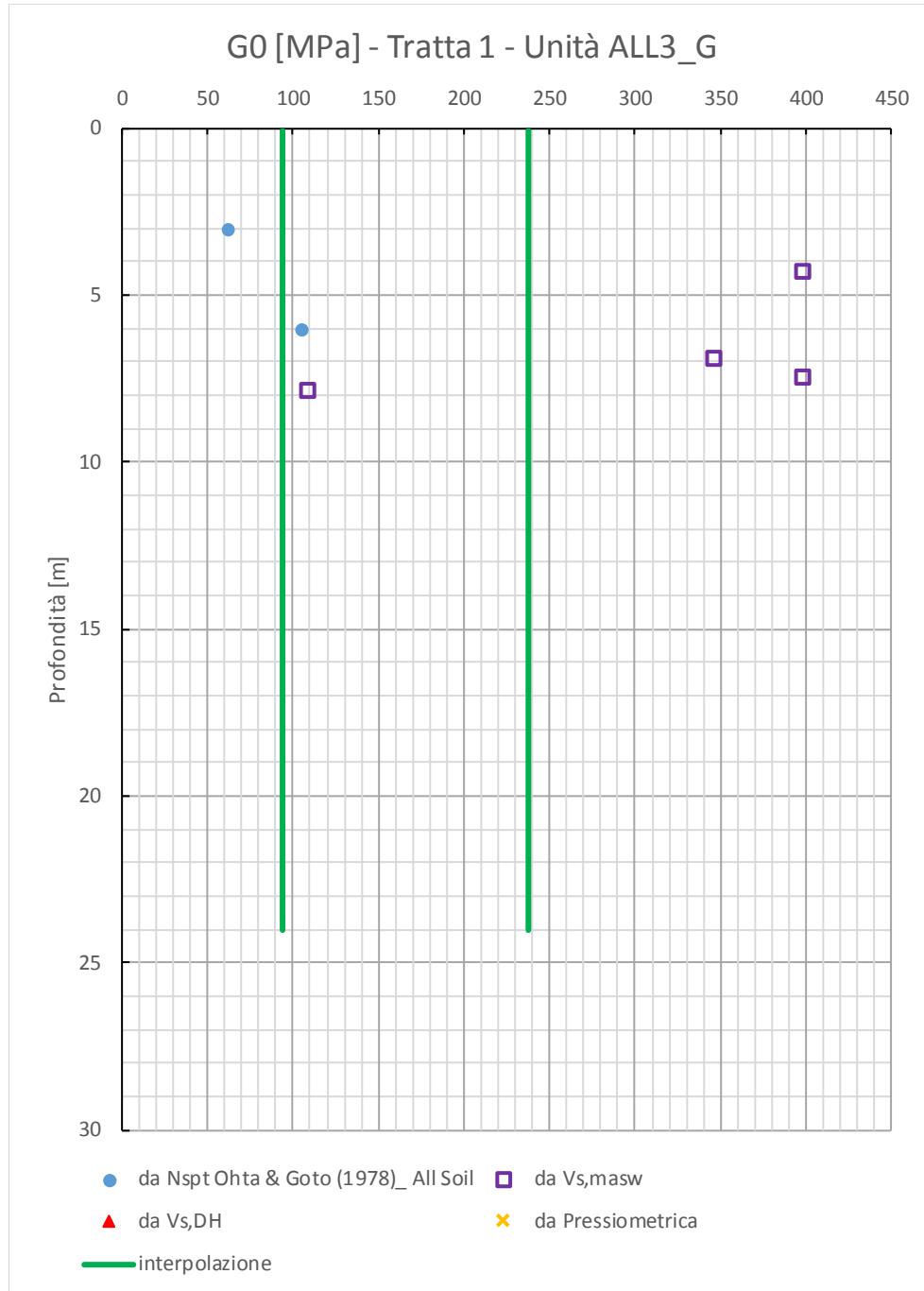
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

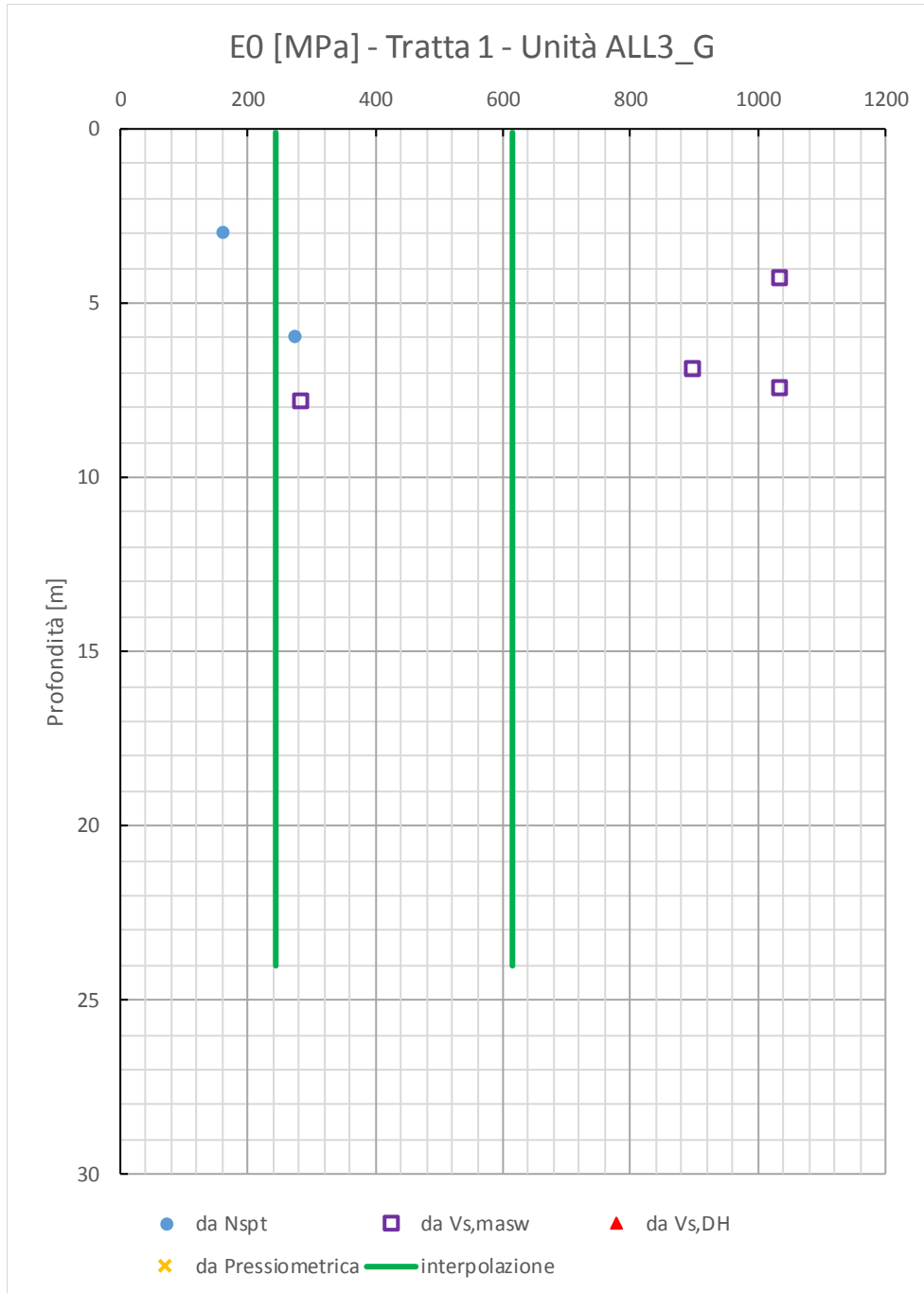
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	48 di 94

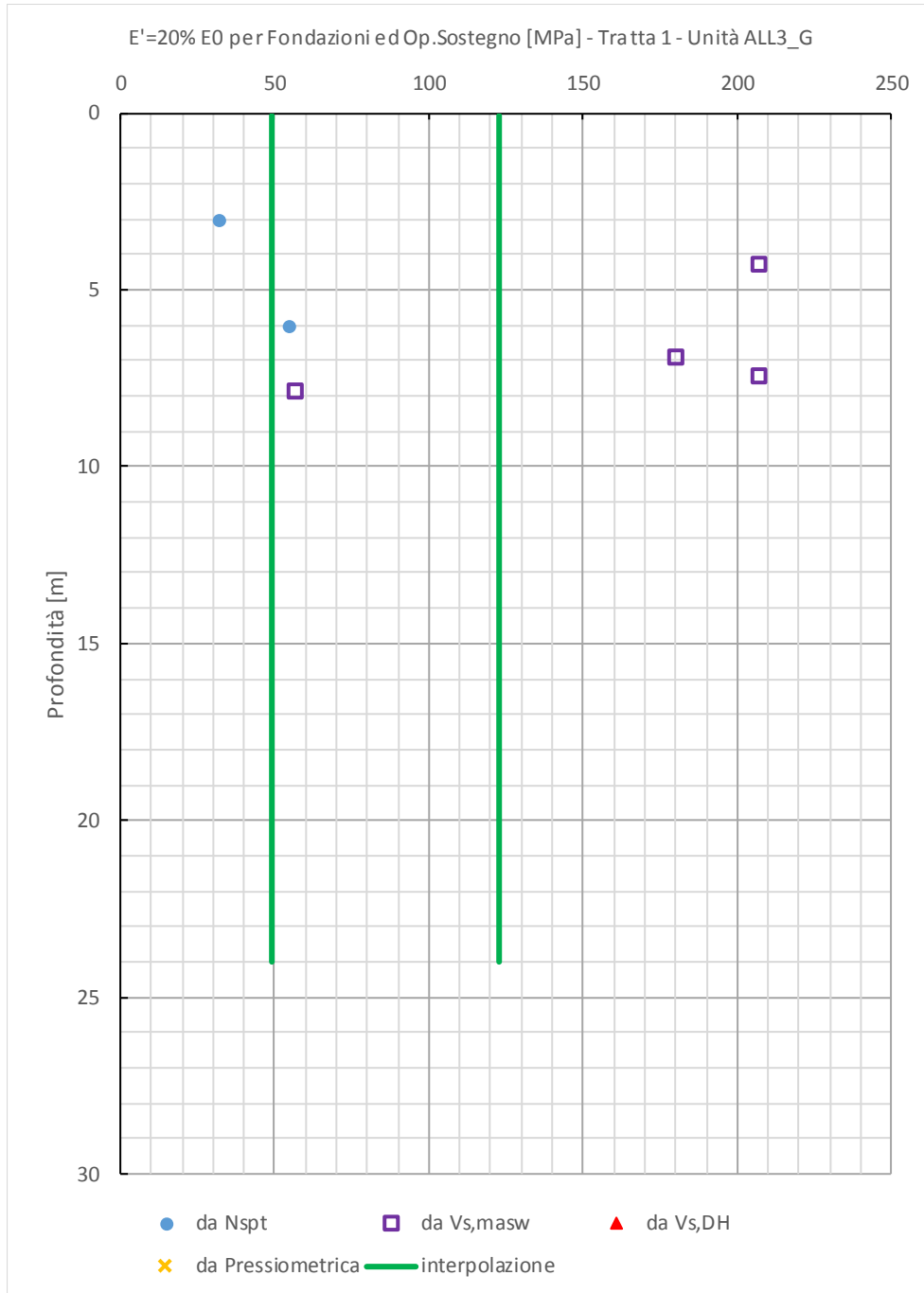


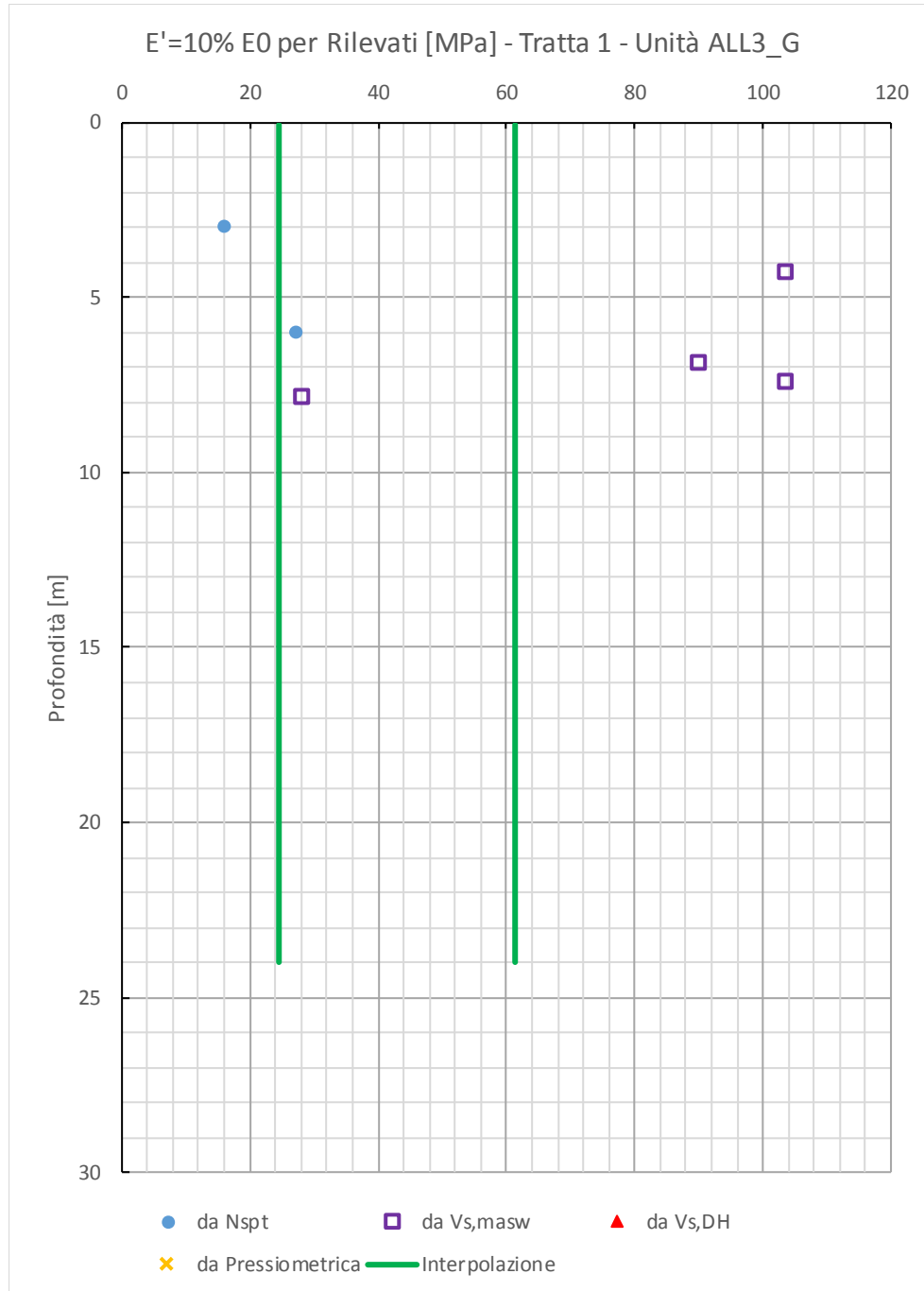


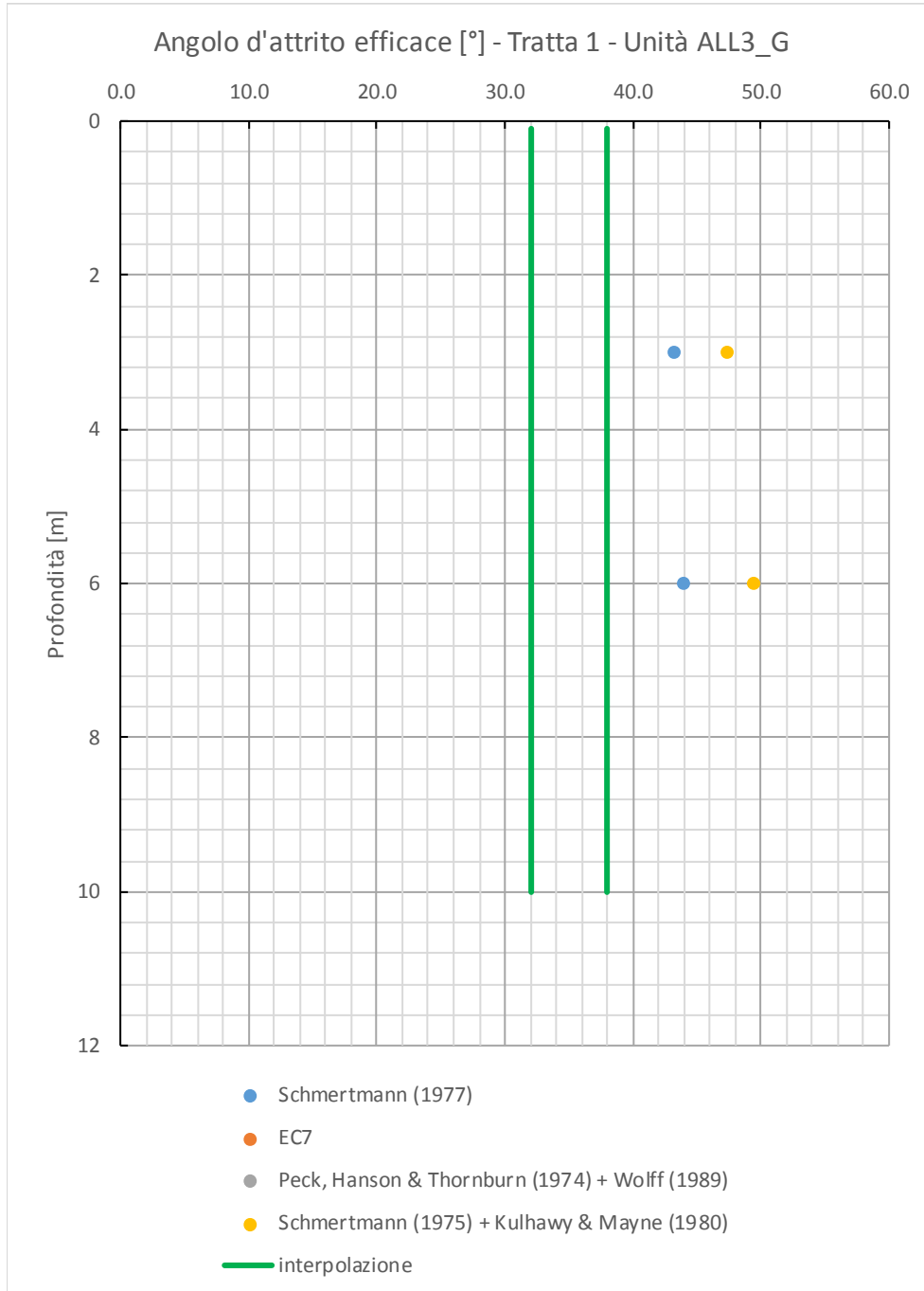


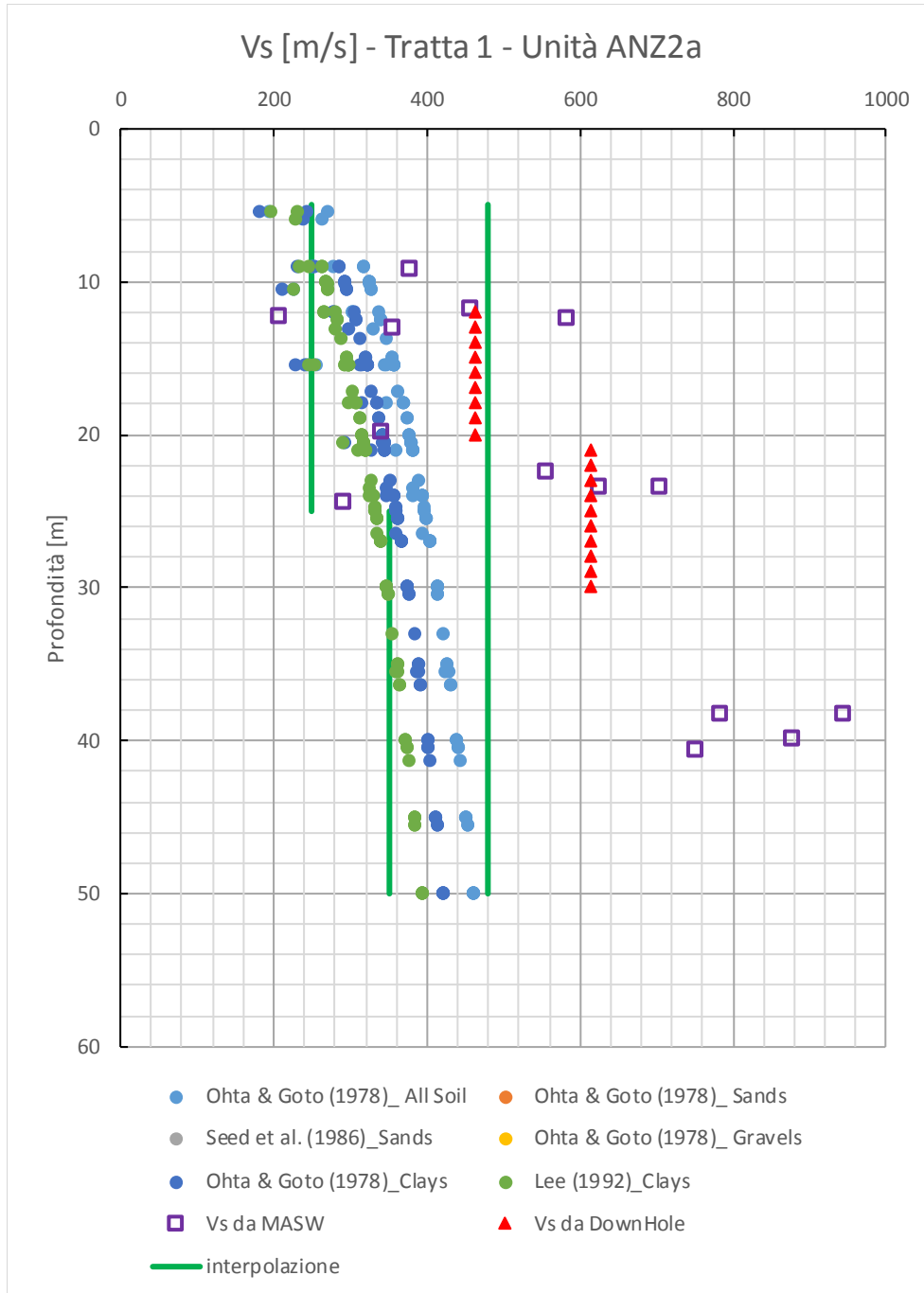


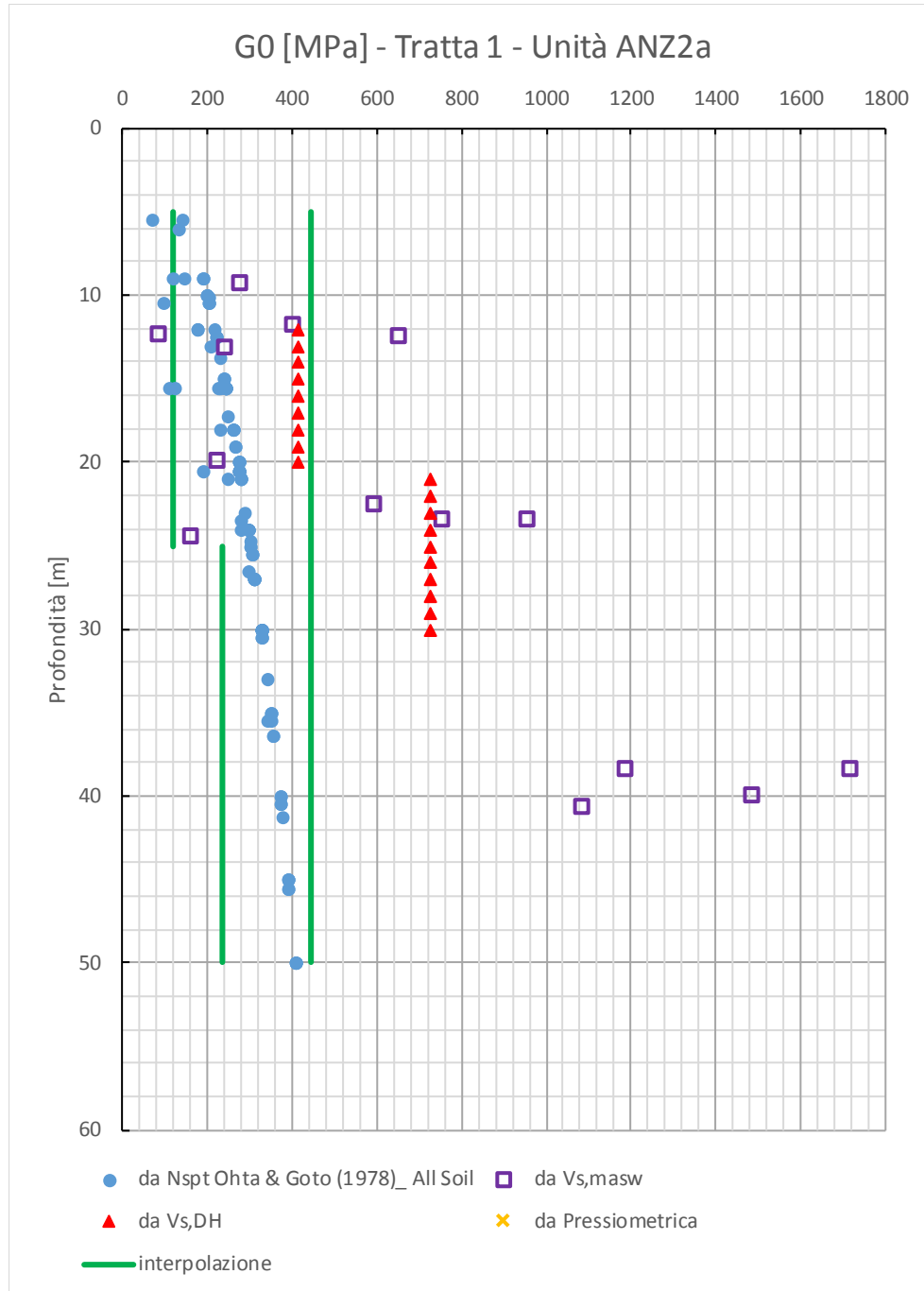


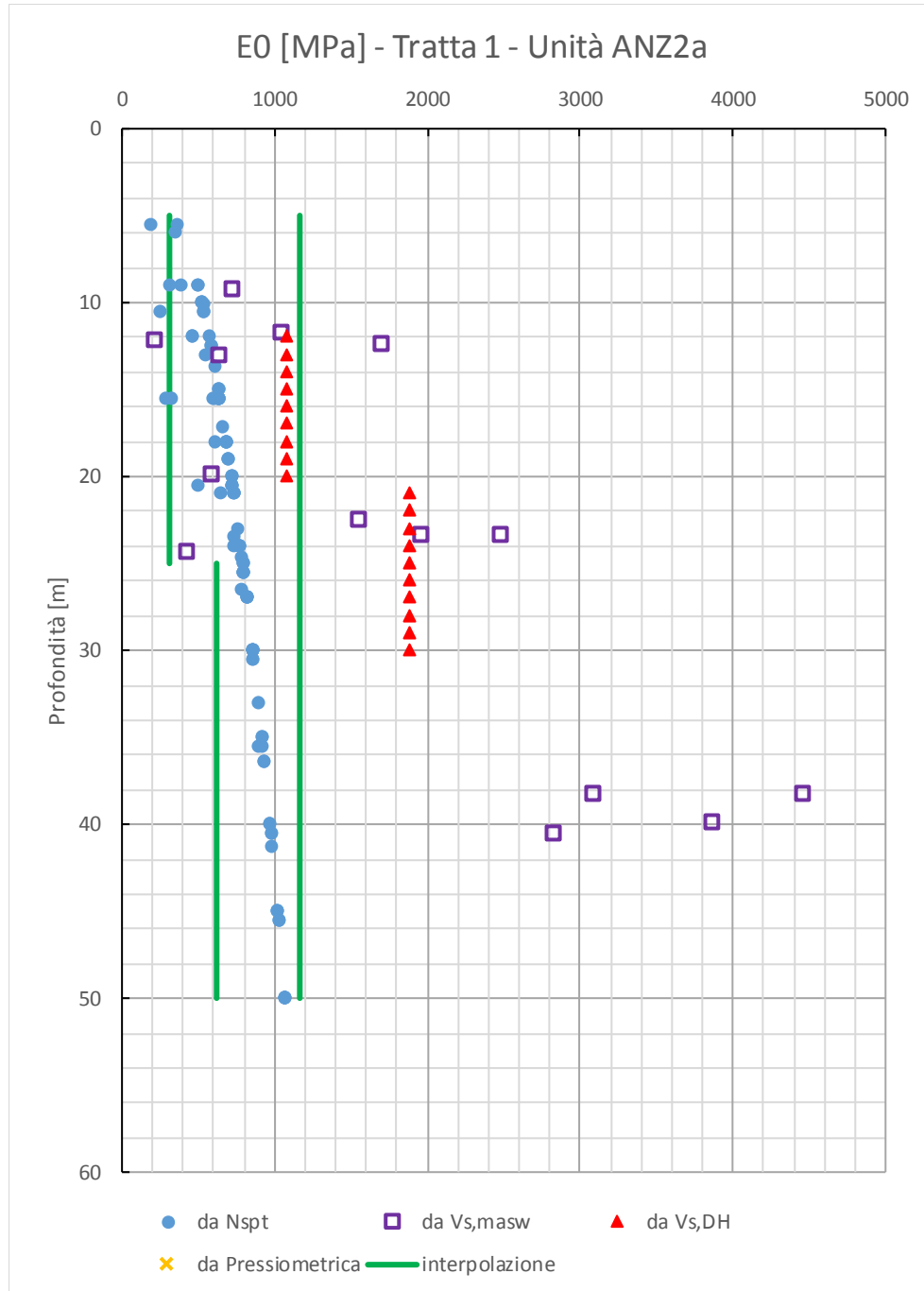






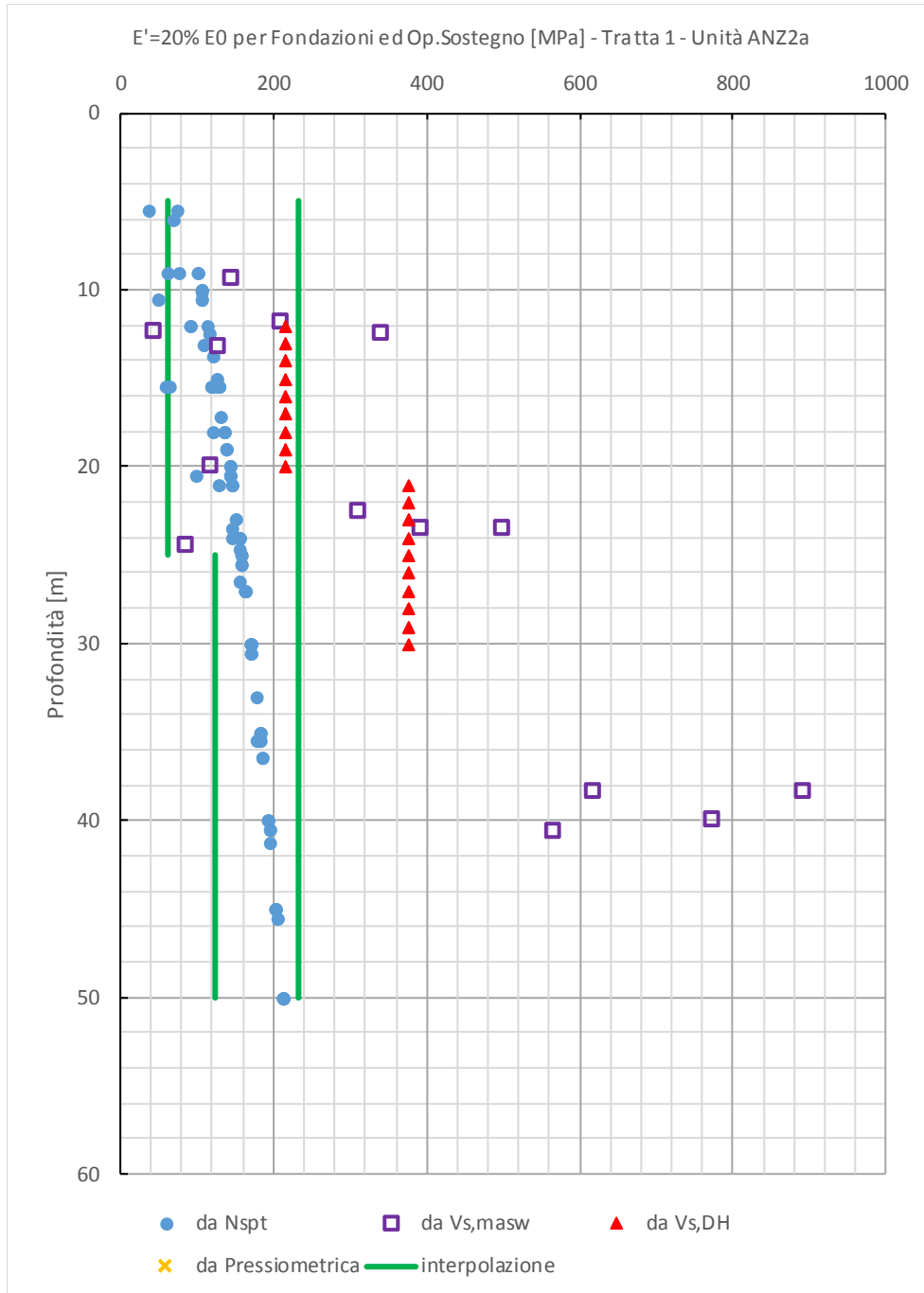


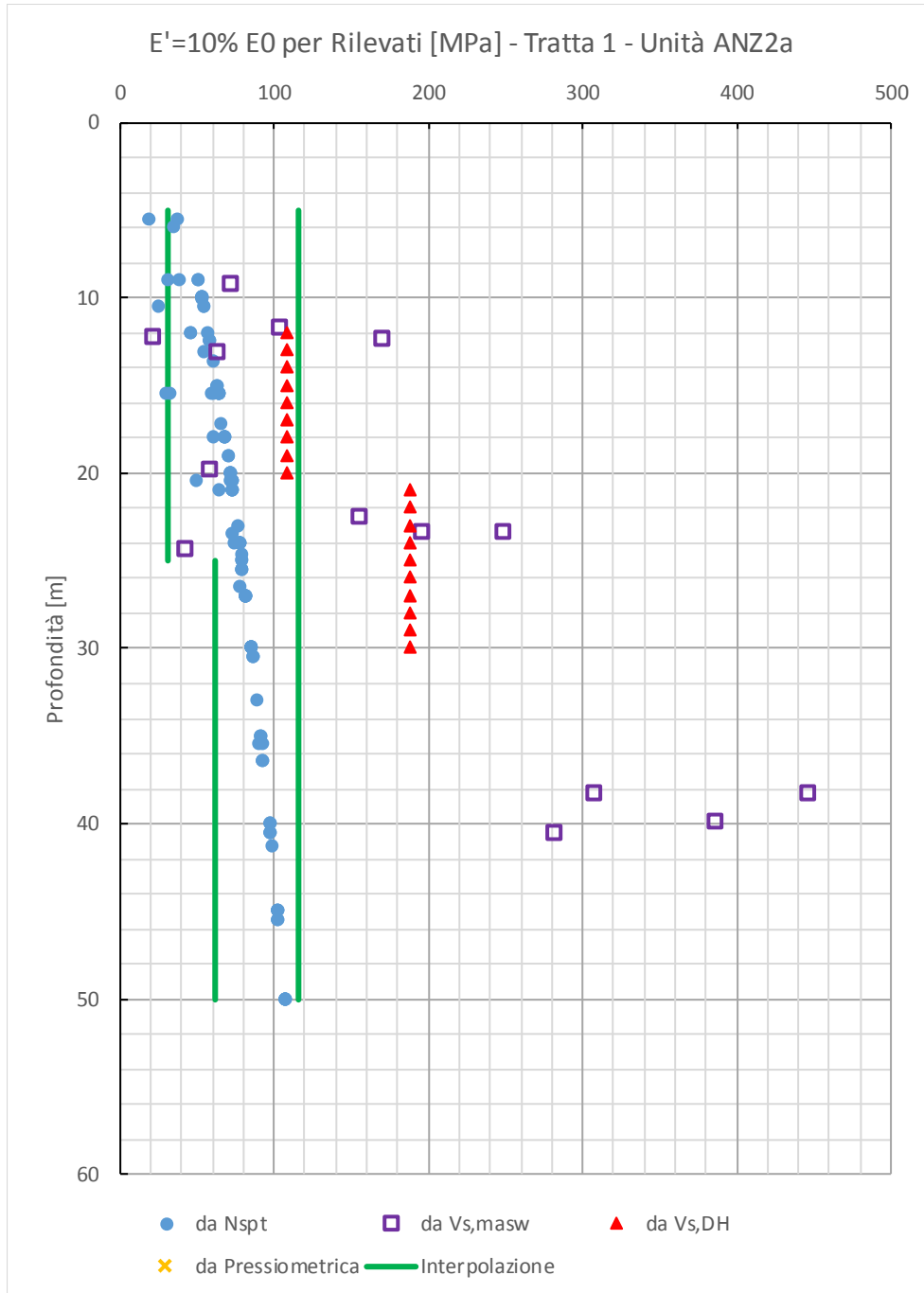


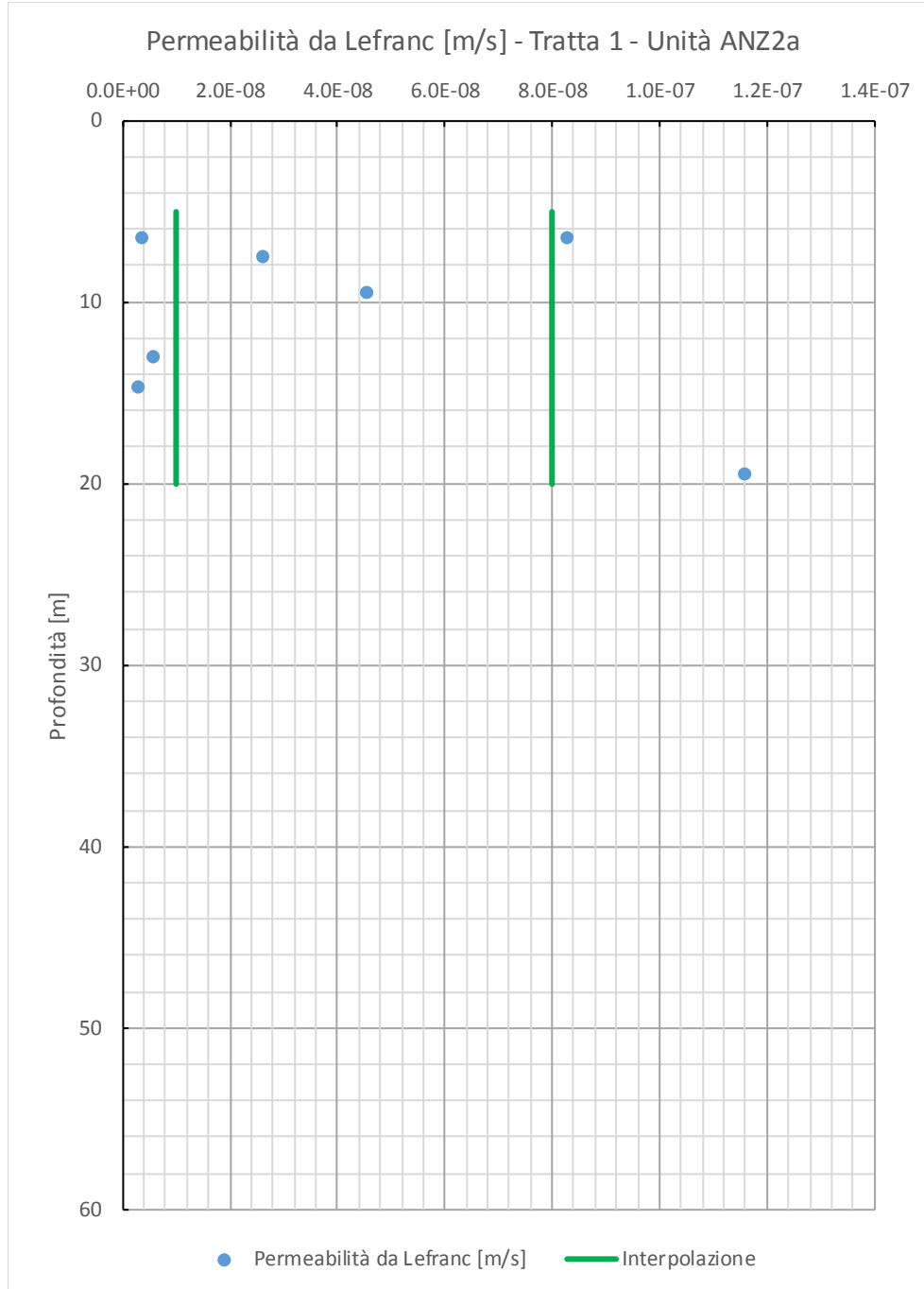


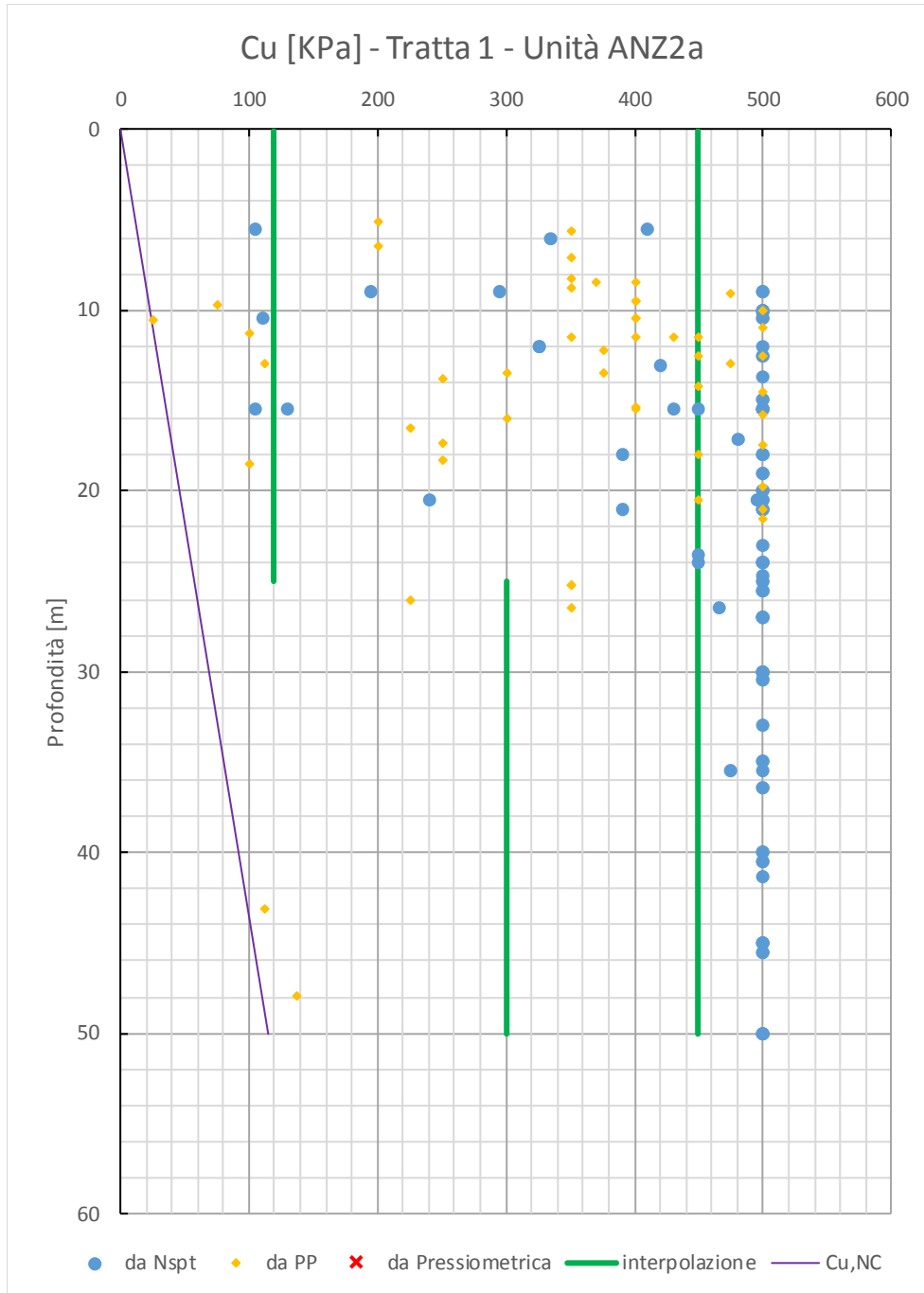
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

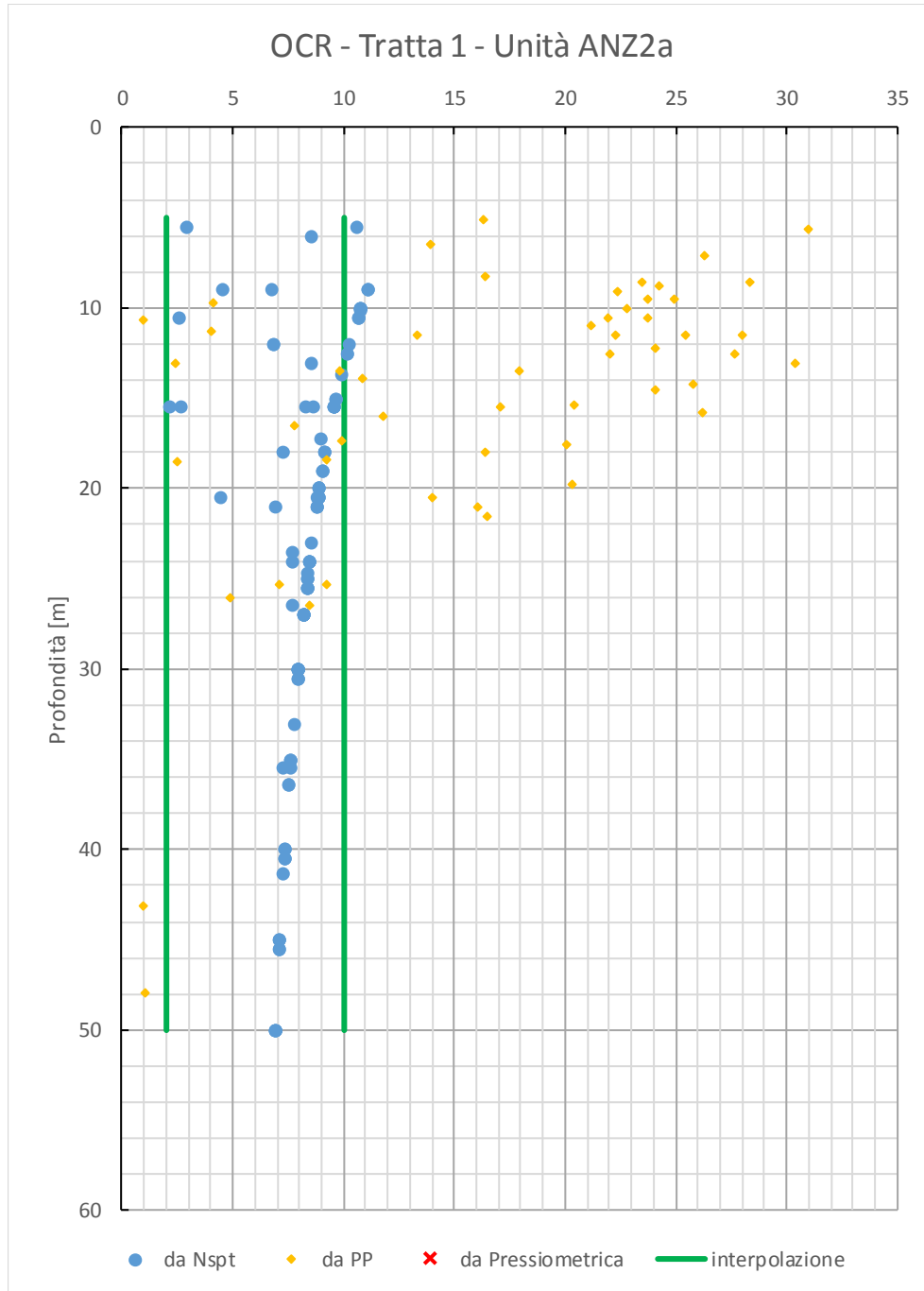
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	59 di 94

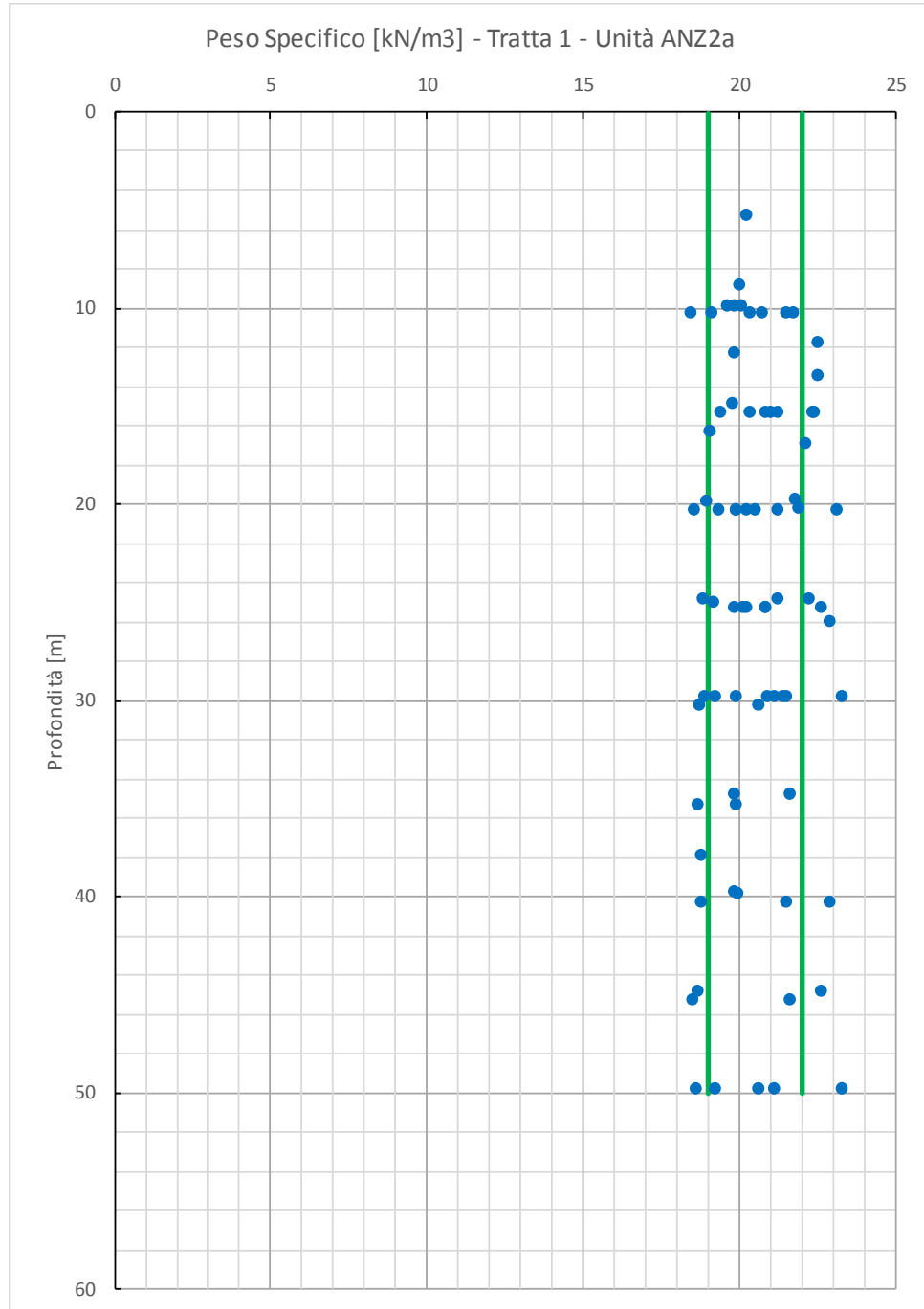


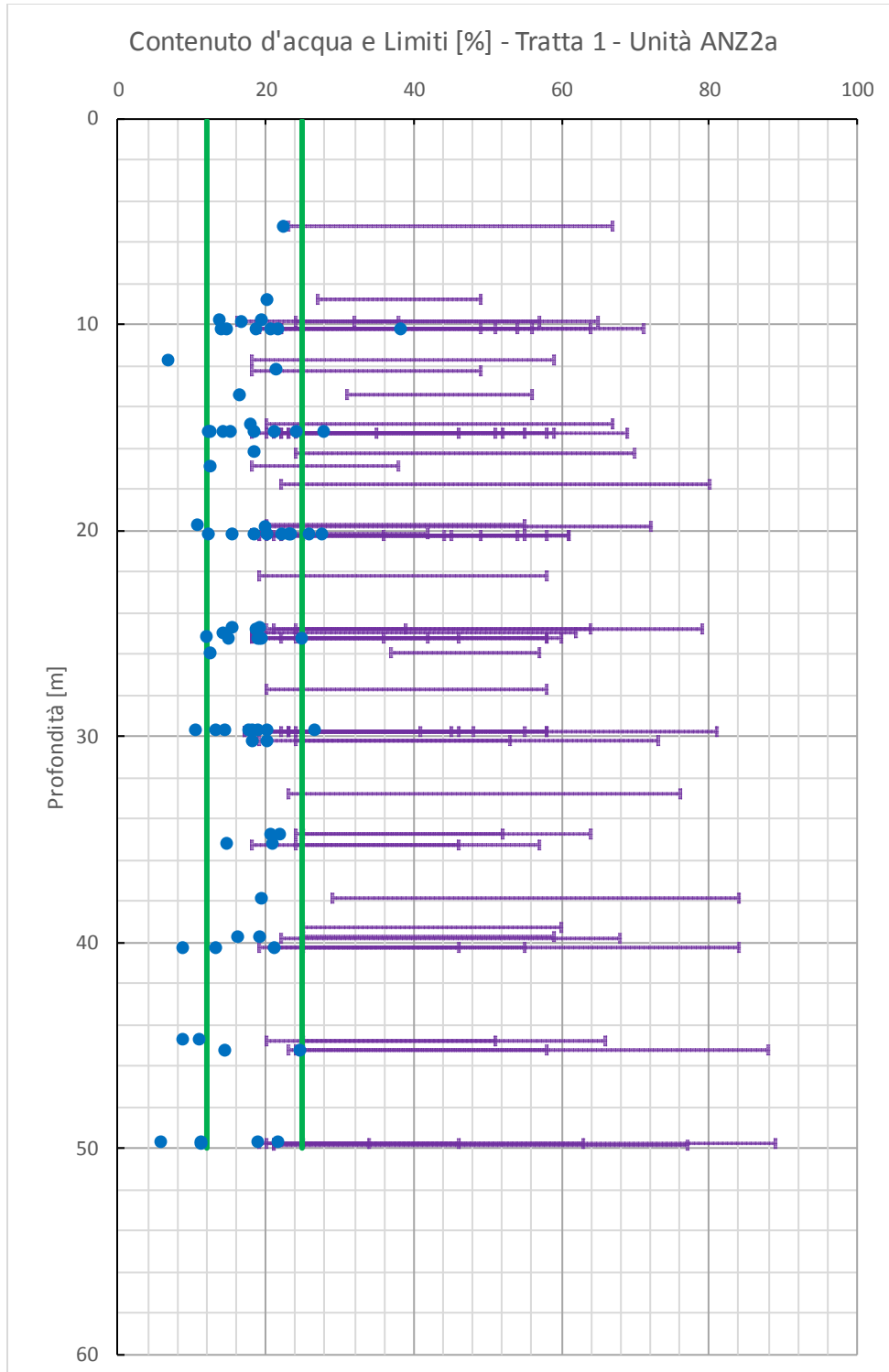


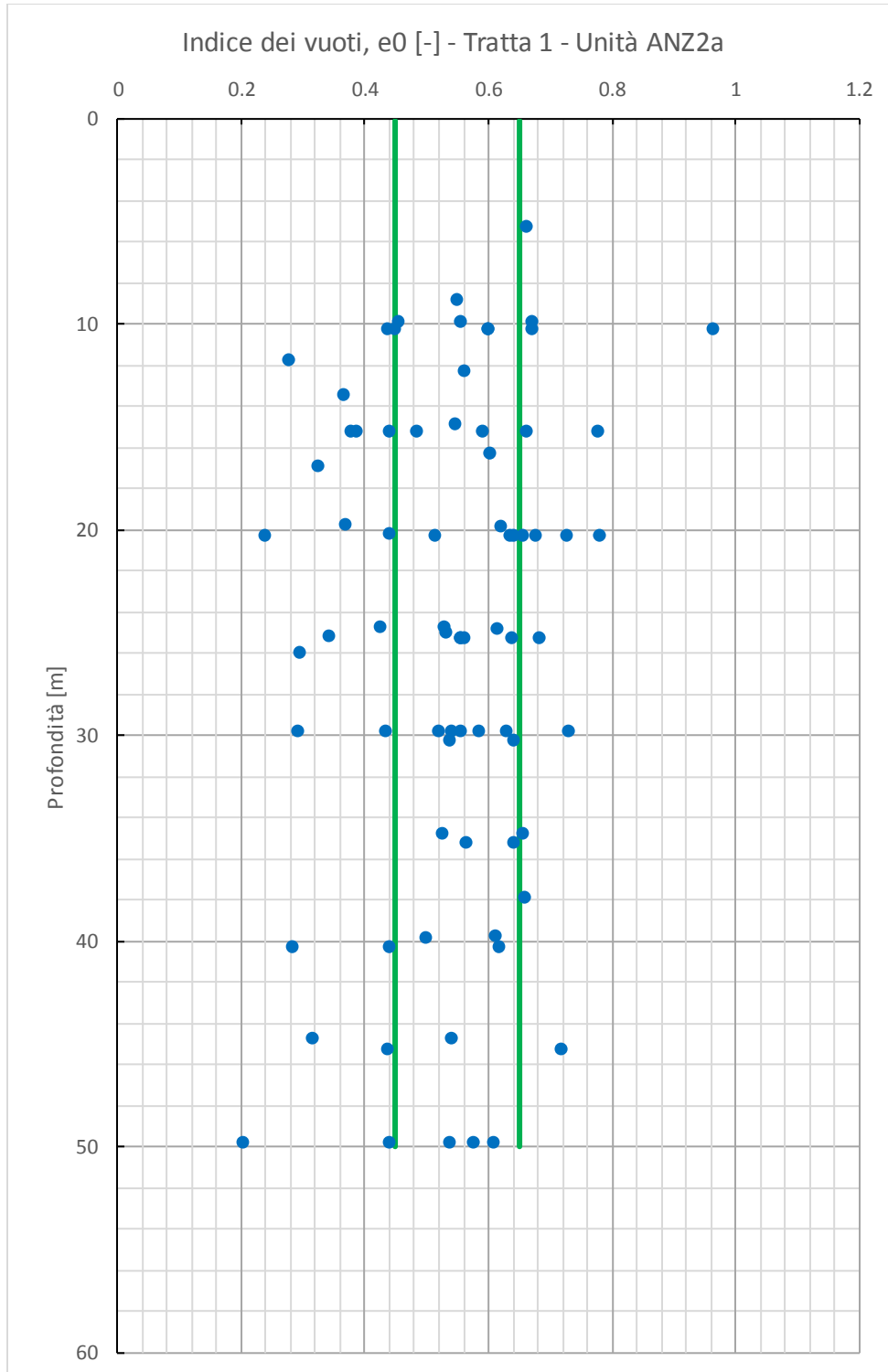


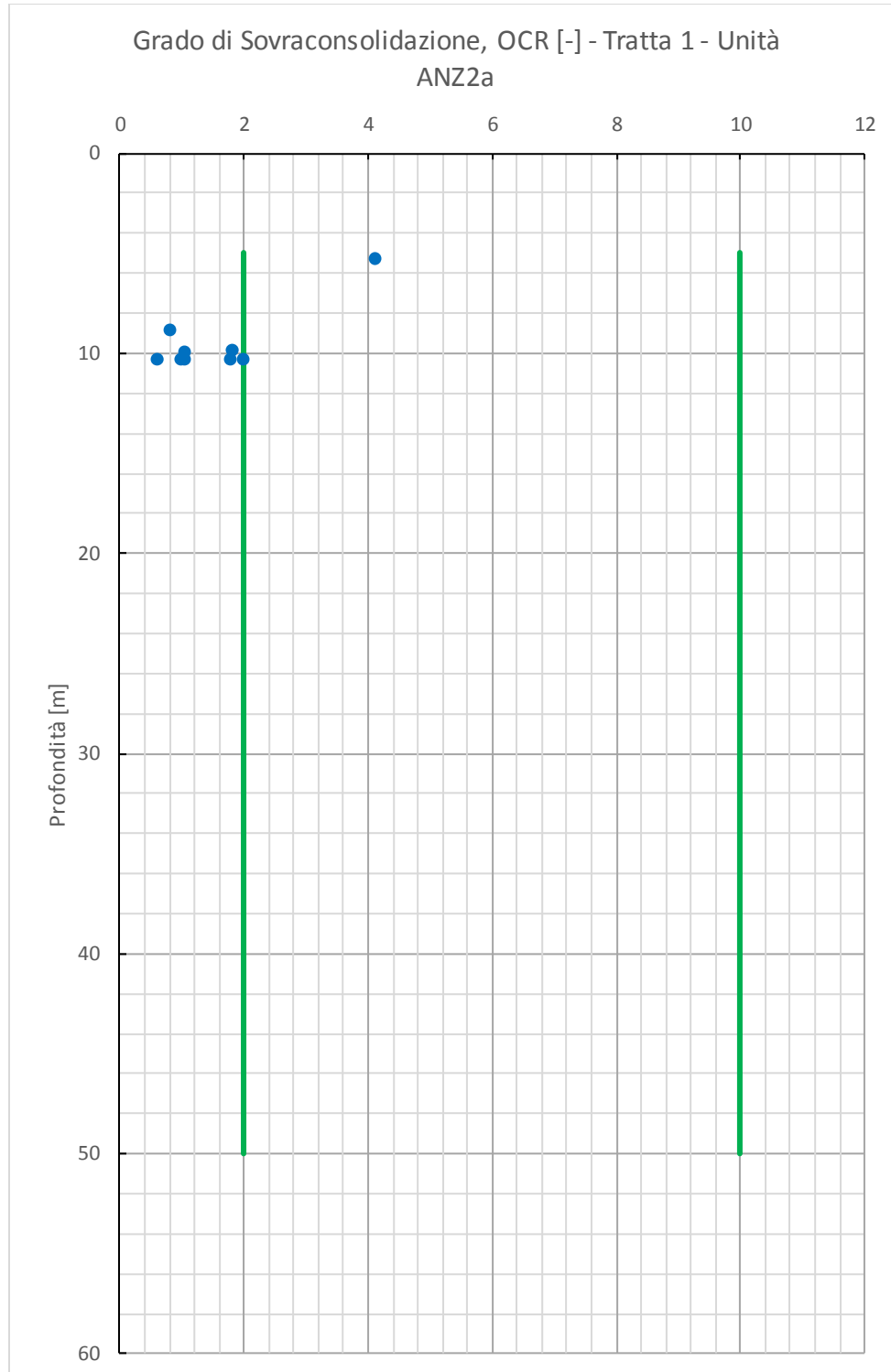


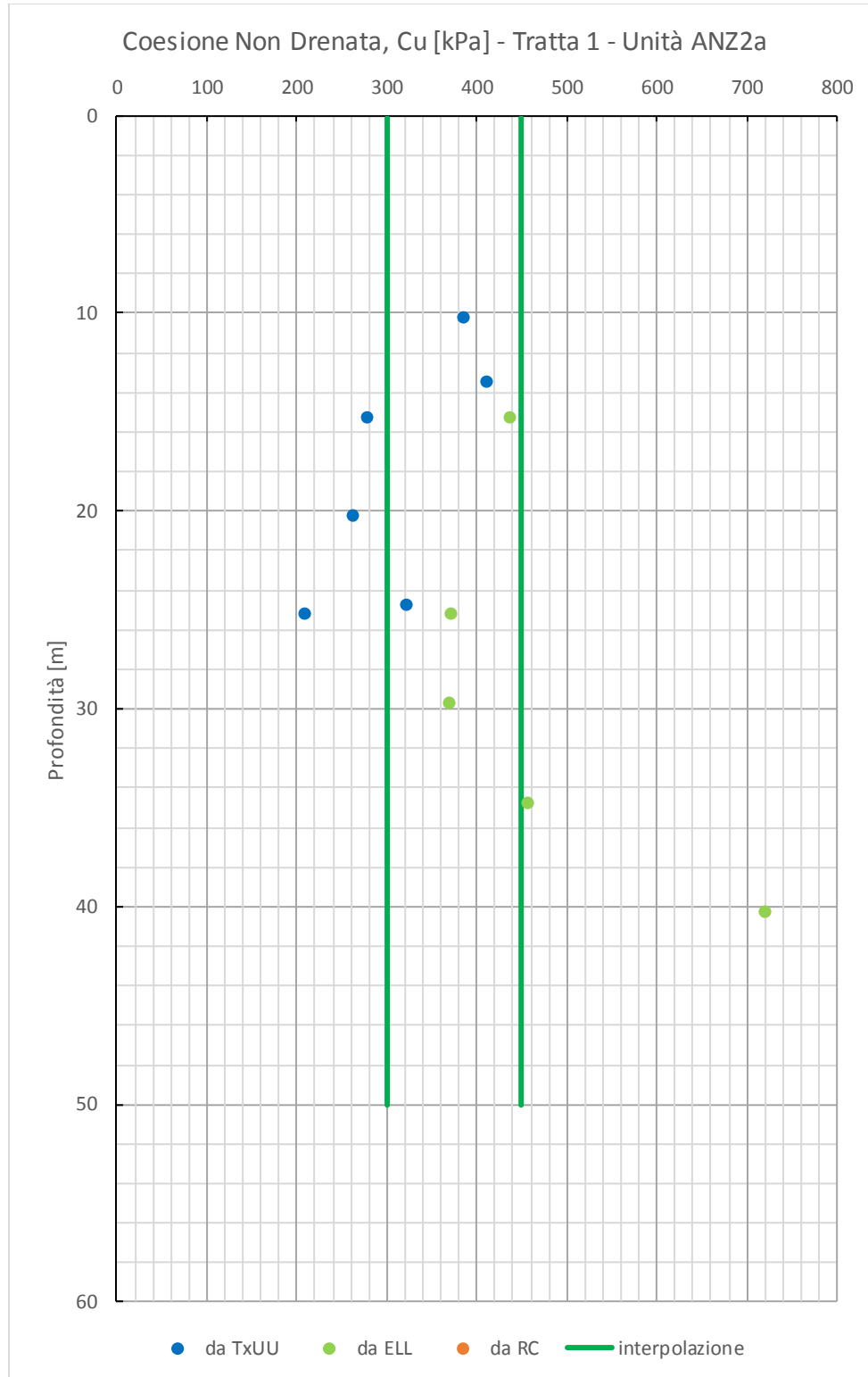


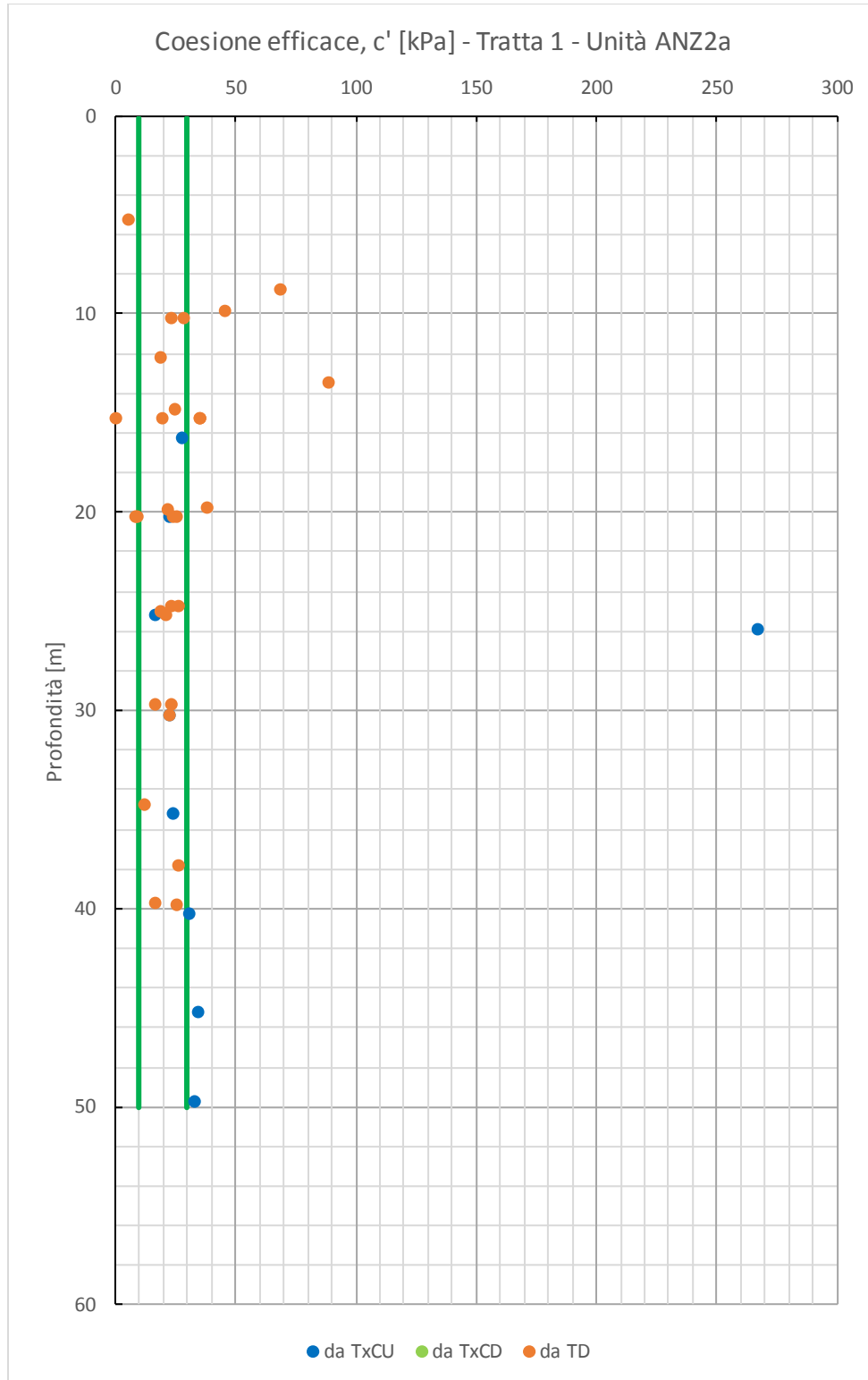


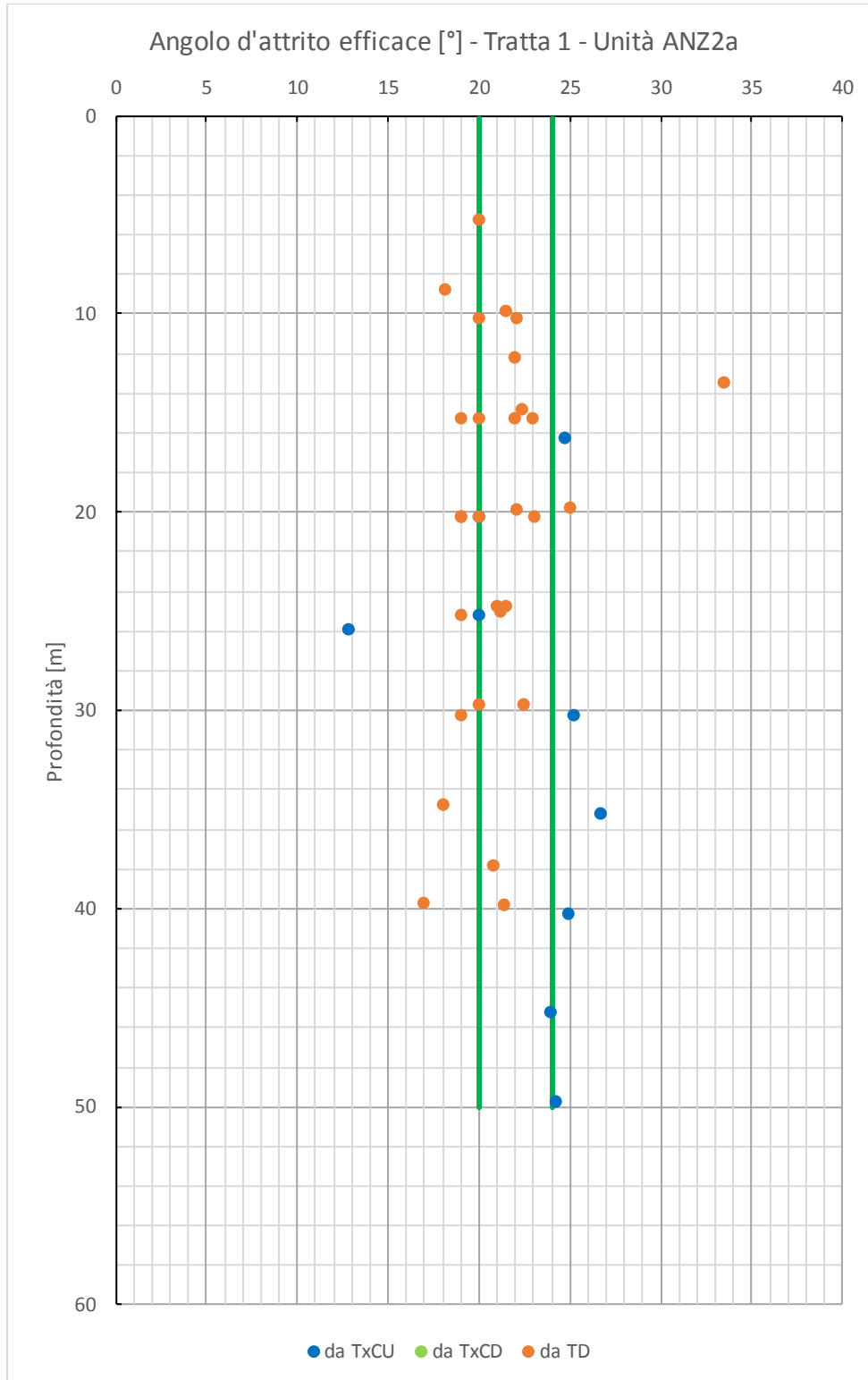












8.1 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 0+000 e la pk 0+600

Nella Tabella 6 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 0+000 e la pk 0+600.

Tabella 6: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 0+000 a pk 0+600.

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.	8.0	ALL2_S	var.	2.0
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 7 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 0+000 e la pk 0+600.

Tabella 7: Parametri geotecnici caratteristici da pk 0+000 a pk 0+600 (Prove di riferimento: C2).

	ALL2_S	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>18</u>	22	
w [%]	-	15	
LL [%]	-	45	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	
c_u [kPa]	-	$z \leq 25m$	300
		$z > 25m$	<u>400</u>
ϕ' [°]	<u>30</u>	22	
c' [kPa]	0	<u>15</u>	
E_u/C_u	-	$z \leq 25m$	328
		$z > 25m$	485
E_0 [MPa]	<u>265</u>	$z \leq 25m$	515
		$z > 25m$	<u>725</u>
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>53</u>	$z \leq 25m$	103
		$z > 25m$	<u>145</u>
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>26.5</u>	$z \leq 25m$	51.5
		$z > 25m$	<u>72.5</u>
c_r [-]	-	$7.5 \cdot 10^{-3}$	
c_c [-]	-	$5 \cdot 10^{-2}$	
$c_{u\epsilon}$	-	$2.2 \cdot 10^{-3}$	
c_v [m ² /s]	-	$1.7 \cdot 10^{-5}$	
e_0 [-]	<u>0.55</u>	0.5	
OCR [-]	-	$z \leq 25m$	<u>5</u>
		$z > 25m$	<u>3</u>
v' [-]	0.3	0.3	
k [m/s]	<u>$1.3 \cdot 10^{-6}$</u>	<u>$3.0 \cdot 10^{-8}$</u>	

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 0+600 e la pk 1+200

Nella Tabella 8 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 0+600 e la pk 1+200.

Tabella 8: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 0+600 a pk 1+200.

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.	8.0	ALL1_A	var.	3.0
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 9 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 0+600 e la pk 1+200.

Tabella 9: Parametri geotecnici caratteristici da pk 0+600 a pk 1+200 (Prove di riferimento: C3 e C4).

	ALL1_A	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>19.0</u>	21.5	
w [%]	<u>29</u>	15	
LL [%]	42	45	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	
c_u [kPa]	<u>70</u>	$z \leq 25m$	250
		$z > 25m$	<u>400</u>
ϕ' [°]	22	21	
c' [kPa]	3	15	
E_u/C_u	559	$z \leq 25m$	328
		$z > 25m$	485
E_0 [MPa]	130	$z \leq 25m$	455
		$z > 25m$	<u>725</u>
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	26	$z \leq 25m$	91
		$z > 25m$	<u>145</u>
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	13	$z \leq 25m$	45.5
		$z > 25m$	<u>72.5</u>
c_r [-]	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$8.0 \cdot 10^{-9}$	
c_e [-]	$1.0 \cdot 10^{-1}$	$5.5 \cdot 10^{-2}$	
$c_{\alpha\epsilon}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	
c_v [m ² /s]	$2.0 \cdot 10^{-5}$	$1.7 \cdot 10^{-5}$	
e_0 [-]	0.82	0.45	
OCR [-]	<u>2</u>	$z \leq 25m$	<u>5</u>
		$z > 25m$	<u>3</u>
v' [-]	0.3	0.3	
k [m/s]	$1.0 \cdot 10^{-6}$	<u>$3.0 \cdot 10^{-8}$</u>	

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 1+200 e la pk 1+750

Nella Tabella 10 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 1+200 e la pk 1+750.

Tabella 10: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 1+200 a pk 1+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.	8.0	ALL2_S	var.	5.5
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 11 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 1+200 e la pk 1+750.

Tabella 11: Parametri geotecnici caratteristici da pk 1+200 a pk 1+750 (Prove di riferimento: S2).

	ALL2_S	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>18</u>	22.0	
w [%]	-	15	
LL [%]	-	57	
q_u/2 [kPa]	-	-	
c_u [kPa]	-	<i>z</i> ≤ 25m	300
		<i>z</i> > 25m	<u>400</u>
ϕ' [°]	<u>30</u>	21	
c' [kPa]	<u>0</u>	15	
E_u/C_u	-	<i>z</i> ≤ 25m	328
		<i>z</i> > 25m	485
E₀ [MPa]	200	<i>z</i> ≤ 25m	455
		<i>z</i> > 25m	725
E_{op,1} (*) [MPa]	40	<i>z</i> ≤ 25m	91
		<i>z</i> > 25m	145
E_{op,2} (***) [MPa]	20.0	<i>z</i> ≤ 25m	45.5
		<i>z</i> > 25m	72.5
c_r [-]	-	1.3 · 10 ⁻²	
c_c [-]	-	7.5 · 10 ⁻²	
c_{ae}	-	2.3 · 10 ⁻³	
c_v [m ² /s]	-	9.4 · 10 ⁻⁶	
e₀ [-]	<u>0.55</u>	0.45	
OCR [-]	-	<i>z</i> ≤ 25m	<u>5</u>
		<i>z</i> > 25m	<u>3</u>
v' [-]	0.3	0.3	
k [m/s]	1.3 · 10 ⁻⁶	<u>3.0 · 10⁻⁸</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 1+750 e la pk 2+150

Nella Tabella 12 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 1+750 e la pk 2+150.

Tabella 12: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 1+750 a pk 2+150.

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]
+317	var.	ALL1_A	+316	var.
+313	4.0	ALL3_G		
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 13 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 1+750 e la pk 2+150.

Tabella 13: Parametri geotecnici caratteristici da pk 1+750 a pk 2+150 (Prove di riferimento: AU3, AU4 e AU5).

	ALL1_A	ALL3_G	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>19.0</u>	<u>19.0</u>	20.5	
w [%]	<u>29</u>	-	15	
LL [%]	<u>38</u>	-	65	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	-	
c_u [kPa]	<u>70</u>	-	z≤25m	200
			z>25m	400
ϕ' [°]	<u>23</u>	<u>34</u>	21	
c' [kPa]	<u>3</u>	<u>0</u>	15	
E_u/C_u	559	-	z≤25m	328
			z>25m	485
E_0 [MPa]	<u>160</u>	<u>340</u>	z≤25m	455
			z>25m	725
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>32</u>	<u>68</u>	z≤25m	91
			z>25m	145
$E_{op,2}$ (**) [MPa]	<u>16.0</u>	<u>34.0</u>	z≤25m	45.5
			z>25m	72.5
c_r [-]	<u>$1.2 \cdot 10^{-2}$</u>	-	$2.5 \cdot 10^{-2}$	
c_c [-]	<u>$4.8 \cdot 10^{-2}$</u>	-	$8.0 \cdot 10^{-2}$	
$c_{u\varepsilon}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	-	$2.2 \cdot 10^{-3}$	
c_v [m ² /s]	$9.4 \cdot 10^{-5}$	-	$6.9 \cdot 10^{-6}$	
e_0 [-]	<u>0.82</u>	<u>0.45</u>	0.55	
OCR [-]	<u>2</u>	-	z≤25m	5
			z>25m	3
v' [-]	0.3	0.3	0.3	
k [m/s]	<u>$3.0 \cdot 10^{-7}$</u>	dato non affidabile	$8.0 \cdot 10^{-8}$	

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 2+150 e la pk 2+216

Nella Tabella 14 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+150 e la pk 2+216.

Tabella 14: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 2+150 a pk 2+216.

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]
+315	var.	ALL2_S	+316	var.
+313	2.0	ALL3_G		
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 15 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+150 e la pk 2+216.

Tabella 15: Parametri geotecnici caratteristici da pk 2+150 a pk 2+216 (Prove di riferimento: AU2).

	ALL2_S	ALL3_G	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>18</u>	<u>19</u>	20.5	
w [%]	-	-	15	
LL [%]	-	-	55	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	-	
c_u [kPa]	-	-	z≤25m	200
			z>25m	400
ϕ' [°]	<u>30</u>	<u>34</u>	19	
c' [kPa]	<u>0</u>	<u>0</u>	8	
E_u/C_u	-	-	z≤25m	328
			z>25m	485
E_0 [MPa]	<u>265</u>	<u>340</u>	z≤25m	<u>455</u>
			z>25m	<u>725</u>
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>53</u>	<u>68</u>	z≤25m	<u>91</u>
			z>25m	<u>145</u>
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>26.5</u>	<u>34.0</u>	z≤25m	<u>45.5</u>
			z>25m	<u>72.5</u>
c_r [-]	-	-	1.0·10 ⁻²	
c_c [-]	-	-	6.5·10 ⁻²	
$c_{u\varepsilon}$	-	-	2.2·10 ⁻³	
c_v [m ² /s]	-	-	1.0·10 ⁻⁵	
e_0 [-]	<u>0.55</u>	<u>0.45</u>	<u>0.55</u>	
OCR [-]	-	-	z≤25m	<u>5</u>
			z>25m	<u>3</u>
ν' [-]	0.3	0.3	0.3	
k [m/s]	<u>1.3·10⁻⁶</u>	dato non affidabile	2.6·10 ⁻⁸	

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 2+216 e la pk 2+350

Nella Tabella 16 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+216 e la pk 2+350.

Tabella 16: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 2+216 a pk 2+350.

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]
+313	var.	ALL2_S	+316	var.
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 17 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+216 e la pk 2+350.

Tabella 17: Parametri geotecnici caratteristici da pk 2+216 a pk 2+350 (Prove di riferimento: nessuna).

	ALL2_S	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>18</u>	<u>20.5</u>	
w [%]	-	<u>15</u>	
LL [%]	-	<u>60</u>	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	
c_u [kPa]	-	$z \leq 25m$	<u>200</u>
		$z > 25m$	<u>400</u>
ϕ' [°]	<u>30</u>	<u>21</u>	
c' [kPa]	<u>0</u>	<u>15</u>	
E_u/C_u	-	$z \leq 25m$	328
		$z > 25m$	485
E_0 [MPa]	<u>265</u>	$z \leq 25m$	<u>455</u>
		$z > 25m$	<u>725</u>
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>53</u>	$z \leq 25m$	<u>91</u>
		$z > 25m$	<u>145</u>
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>26.5</u>	$z \leq 25m$	<u>45.5</u>
		$z > 25m$	<u>72.5</u>
c_r [-]	-	<u>$1.3 \cdot 10^{-2}$</u>	
c_c [-]	-	<u>$7.5 \cdot 10^{-2}$</u>	
$c_{\alpha\epsilon}$	-	$2.2 \cdot 10^{-3}$	
c_v [m ² /s]	-	$8.3 \cdot 10^{-6}$	
e_0 [-]	<u>0.55</u>	<u>0.55</u>	
OCR [-]	-	$z \leq 25m$	<u>5</u>
		$z > 25m$	<u>3</u>
v' [-]	0.3	0.3	
k [m/s]	<u>$1.3 \cdot 10^{-6}$</u>	<u>$3.0 \cdot 10^{-6}$</u>	

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

8.7 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 2+350 e la pk 2+450

Nella Tabella 19 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+350 e la pk 2+450.

Tabella 18: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 2+350 a pk 2+450.

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]
+315	var.	ALL1_A	+316	var.
+313	2.0	ALL2_S		
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 19 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+350 e la pk 2+450.

Tabella 19: Parametri geotecnici caratteristici da pk 2+350 a pk 2+450 (Prove di riferimento: AU1).

	ALL1_A	ALL2_S	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	<u>19.0</u>	<u>18</u>	19.0	
w [%]	<u>29</u>	-	18	
LL [%]	<u>38</u>	-	75	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	-	
c_u [kPa]	<u>70</u>	-	$z \leq 25m$	200
			$z > 25m$	400
ϕ' [°]	<u>23</u>	<u>30</u>	23	
c' [kPa]	<u>3</u>	<u>0</u>	18	
E_u/C_u	559	-	328	
E_0 [MPa]	<u>160</u>	<u>265</u>	$z \leq 25m$	315
			$z > 25m$	<u>725</u>
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>32</u>	<u>53</u>	$z \leq 25m$	63
			$z > 25m$	<u>145</u>
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>16.0</u>	<u>26.5</u>	$z \leq 25m$	31.5
			$z > 25m$	<u>72.5</u>
c_r [-]	<u>$1.2 \cdot 10^{-2}$</u>	-	$1.8 \cdot 10^{-2}$	
c_e [-]	<u>$4.8 \cdot 10^{-2}$</u>	-	$8.5 \cdot 10^{-2}$	
$c_{\alpha\varepsilon}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	-	$2.2 \cdot 10^{-3}$	
c_v [m ² /s]	$2.5 \cdot 10^{-5}$	-	$8.3 \cdot 10^{-6}$	
e_0 [-]	<u>0.82</u>	<u>0.55</u>	0.6	
OCR [-]	<u>2</u>	-	$z \leq 25m$	<u>5</u>
			$z > 25m$	5
ν' [-]	0.3	0.3	0.3	
k [m/s]	<u>$3.0 \cdot 10^{-7}$</u>	<u>$1.3 \cdot 10^{-6}$</u>	$1.0 \cdot 10^{-8}$	

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

8.8 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 2+450 e la pk 2+700

Nella Tabella 20 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+450 e la pk 2+700.

Tabella 20: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 2+450 a pk 2+700.


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.	7.6	ALL1_A	var.	4.0
var.	>30.0	ANZ2a		

Nella Tabella 21 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 2+450 e la pk 2+700.

Tabella 21: Parametri geotecnici caratteristici da pk 2+450 a pk 2+700 (Prove di riferimento: C7 e S4).

	ALL1_A	ANZ2a	
γ [kN/m ³]	19.0	20.5	
w [%]	29	15	
LL [%]	<u>38</u>	50	
$q_u/2$ [kPa]	-	-	
c_u [kPa]	<u>70</u>	400	
ϕ' [°]	<u>23</u>	20	
c' [kPa]	<u>3</u>	15	
E_u/C_u	559	$z \leq 25m$	328
		$z > 25m$	485
E_0 [MPa]	<u>160</u>	$z \leq 25m$	455
		$z > 25m$	<u>72.5</u>
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	<u>32</u>	$z \leq 25m$	91
		$z > 25m$	<u>145</u>
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	<u>16.0</u>	$z \leq 25m$	45.5
		$z > 25m$	<u>72.5</u>
c_r [-]	$5.0 \cdot 10^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-3}$	
c_c [-]	$3.8 \cdot 10^{-2}$	$8.5 \cdot 10^{-2}$	
$c_{\alpha\epsilon}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	
c_v [m ² /s]	$2.5 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	
e_0 [-]	0.8	0.5	
OCR [-]	<u>2</u>	$z \leq 25m$	<u>5</u>
		$z > 25m$	<u>3</u>
v' [-]	0.3	0.3	
k [m/s]	$2.0 \cdot 10^{-7}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	

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

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto da pk 0+000 a pk 2+700	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RB	DOCUMENTO OC0001 001	REV. A	FOGLIO 80 di 94

9 DEFINIZIONE DELL'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 diretta a partire dai risultati delle prove sismiche in foro down-hole;
- 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 22. Sondaggi

Sondaggio	Campagna	Profondità	Falda (m)	SPT (n.)	Down-Hole
C1	2017	30		10	x
C2	2017	30	4.20	9	
C3	2017	30	4.00	9	
C4	2017	30	3.70	9	
S2	2015	30	5.23	5	
AU5	2017	50	9.00	10	
AU4	2017	50	8.80	10	
AU3	2017	50	4.70	10	
AU2	2017	50	3.00	10	
AU1	2017	50	12.00	9	
S4	2015	30	6.05	5	
C7	2017	30	3.00	10	
G11	2017	40	5.10	12	

Tabella 23. Stendimenti sismici (masw)

Stendimento	Campagna	Lunghezza
C2_masw	2017	57.5
C4/1_masw	2017	57.5
C4/2_masw	2017	57.5
AU5_masw	2017	57.5
AU4_masw	2017	57.5
AU2_masw	2017	57.5
AU1_masw	2017	57.5

9.1.2 Velocità di propagazione delle onde di taglio

9.1.2.1 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.

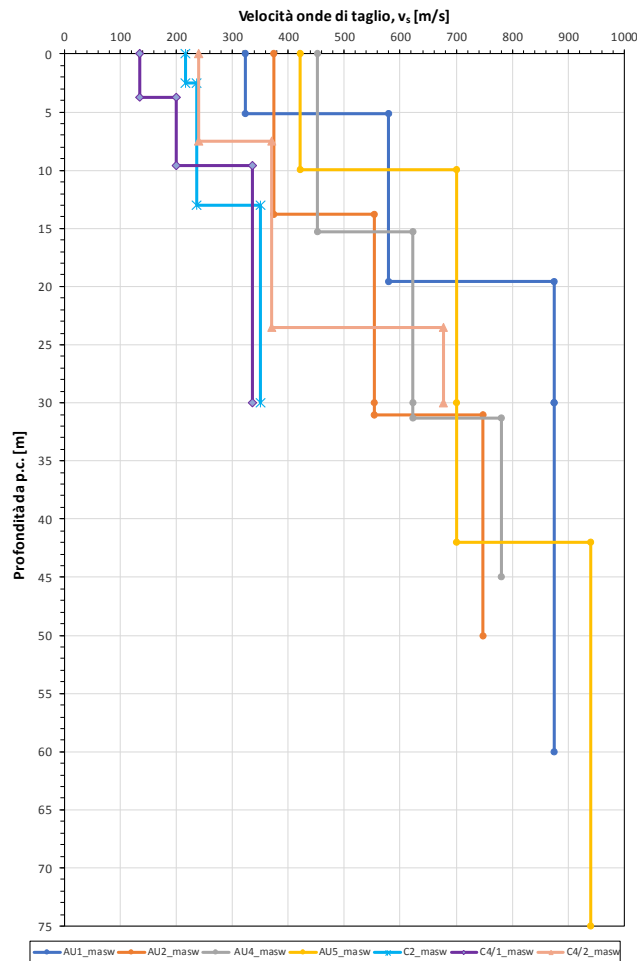


Figura 4. Profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) da prove MASW.

9.1.2.2 Prove Down-hole

La prova down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per raggiungere il geofono ricevitore (all'interno del foro di sondaggio) dalla zona sorgente (su piano campagna a distanza nota dal foro). Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno d'ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

La prova consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione P, ed orizzontali per la generazione di onde di taglio S e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una terna di geofoni, ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio.

Conosciuta la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P e S) in corrispondenza della verticale di misura.

In Figura 5 si riporta il profilo di velocità delle onde di taglio misurato da prove down-hole unitamente ai profili di V_s da masw.

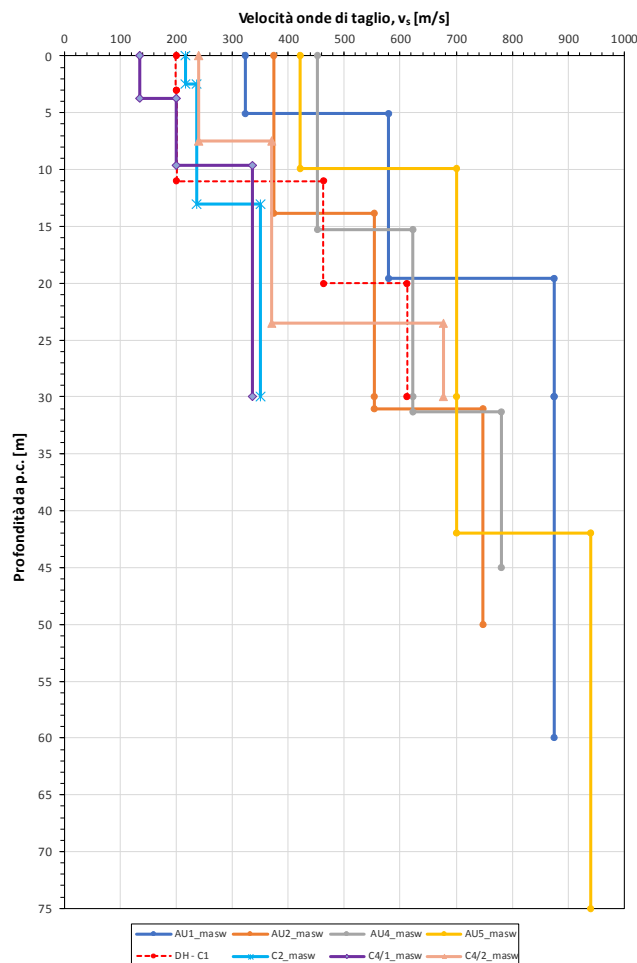


Figura 5. Profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) da down-hole.

9.1.2.3 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:

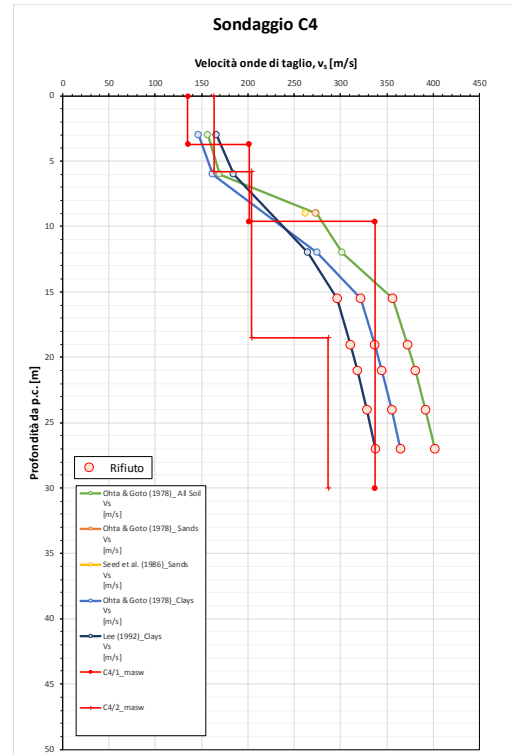
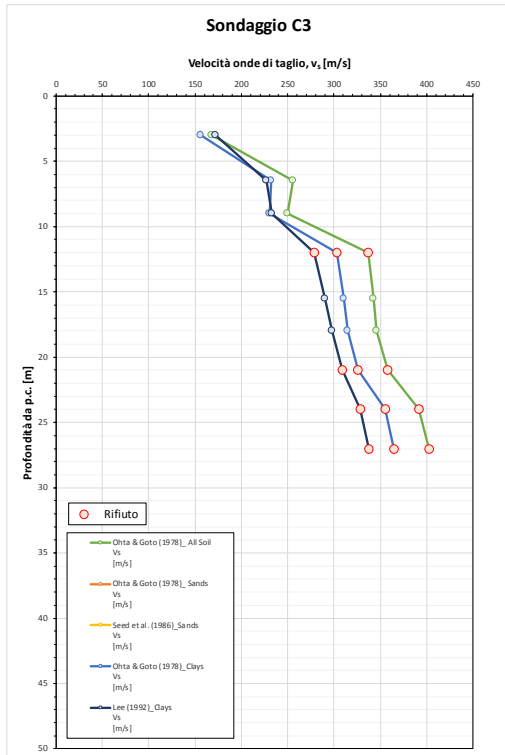
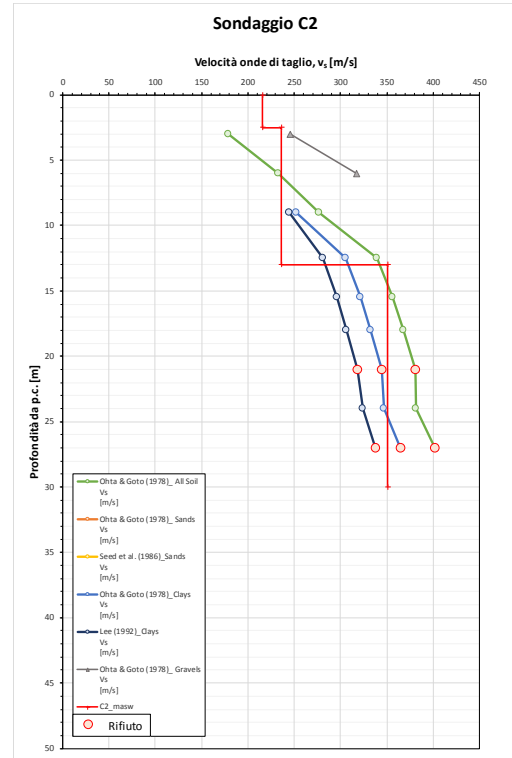
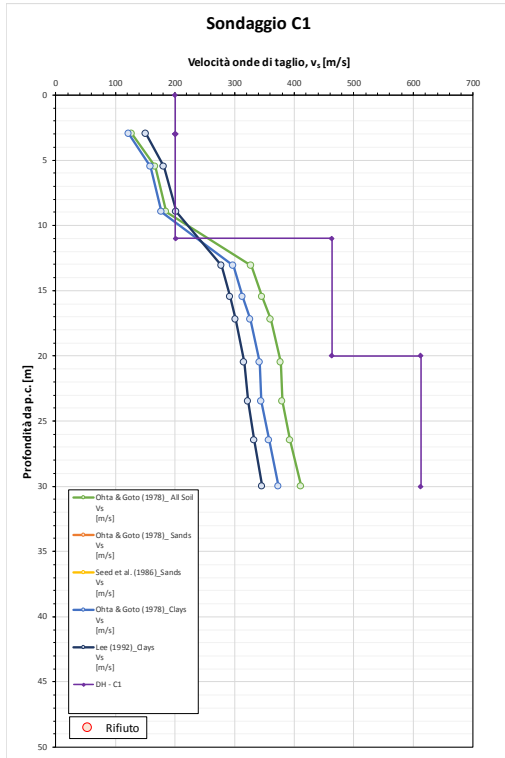
- ✓ della tipologia di terreno (argille, sabbie, ghiaie,...);
- ✓ della profondità (z in m).

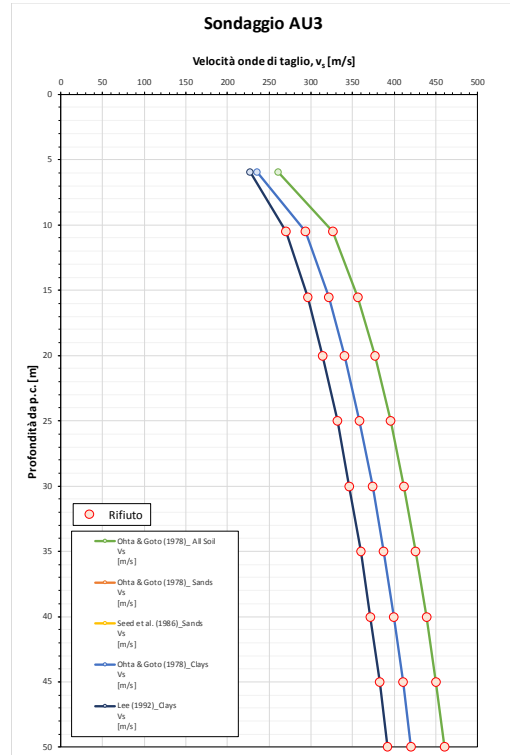
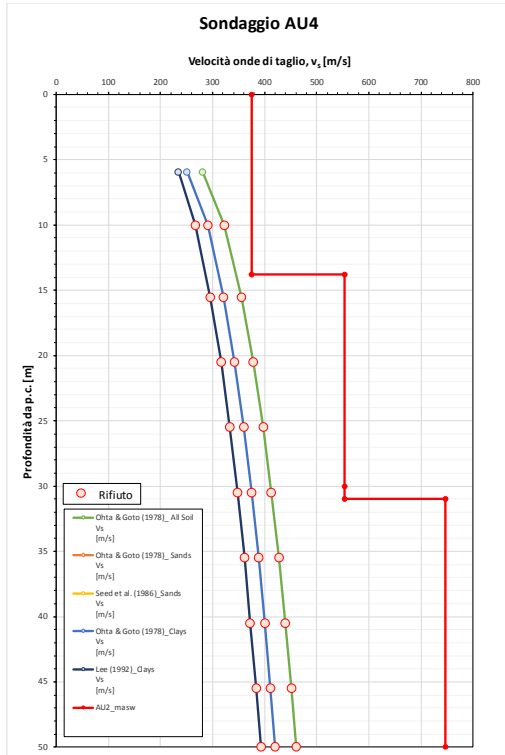
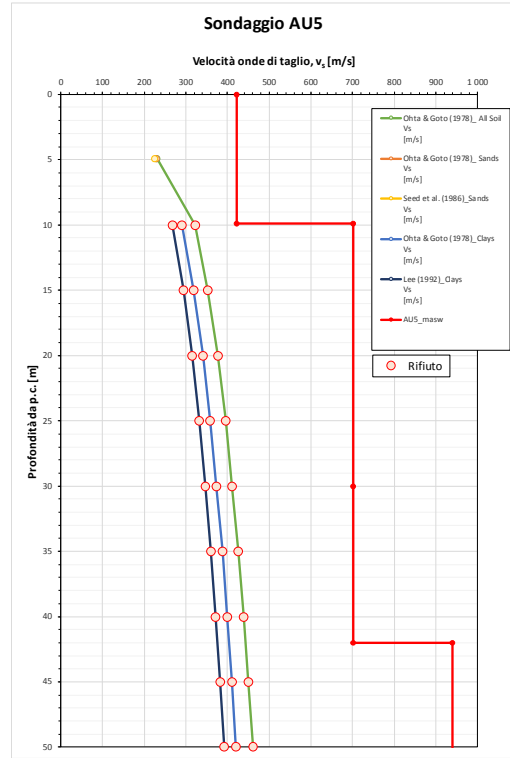
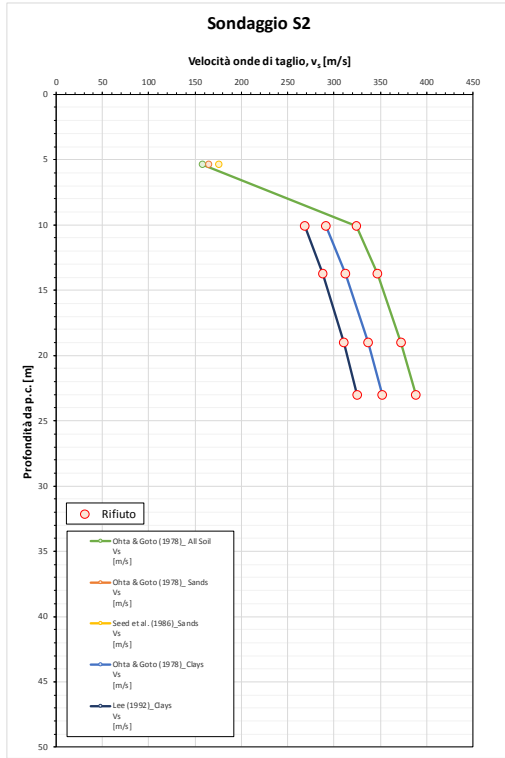
Al paragrafo 7.1 sono riportate le correlazioni adottate da letteratura tecnica.

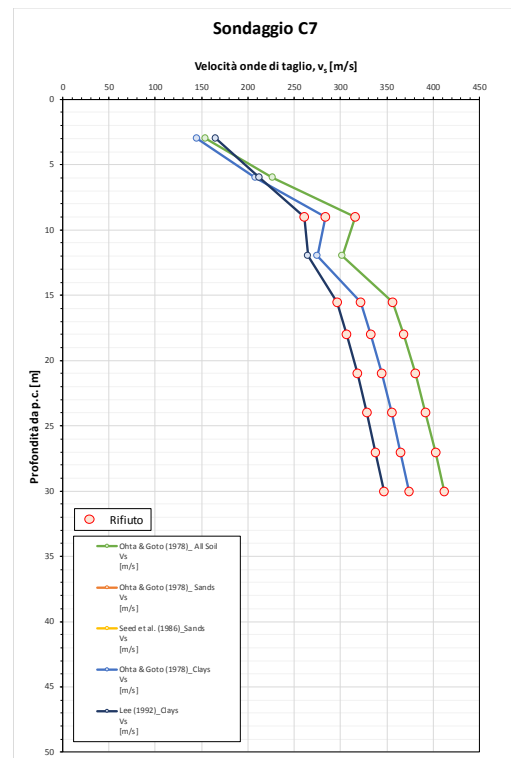
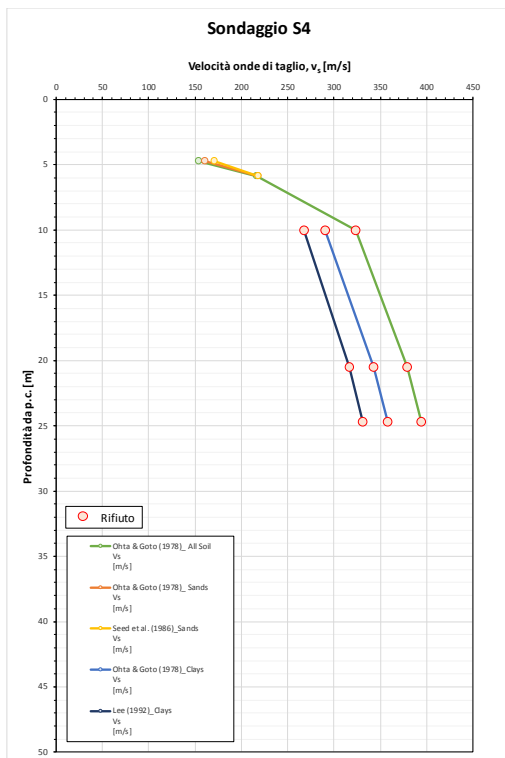
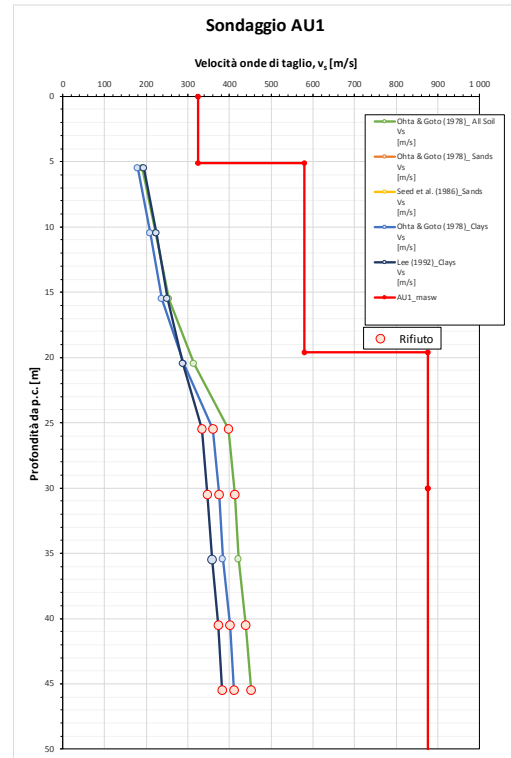
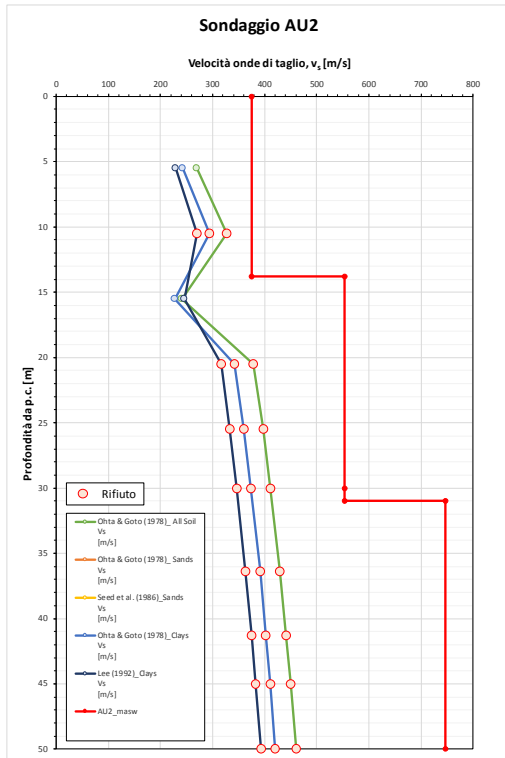
Di seguito si riporta, per ciascun sondaggio l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio ricavato dalle prove SPT disponibili.

Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 001	A	84 di 94

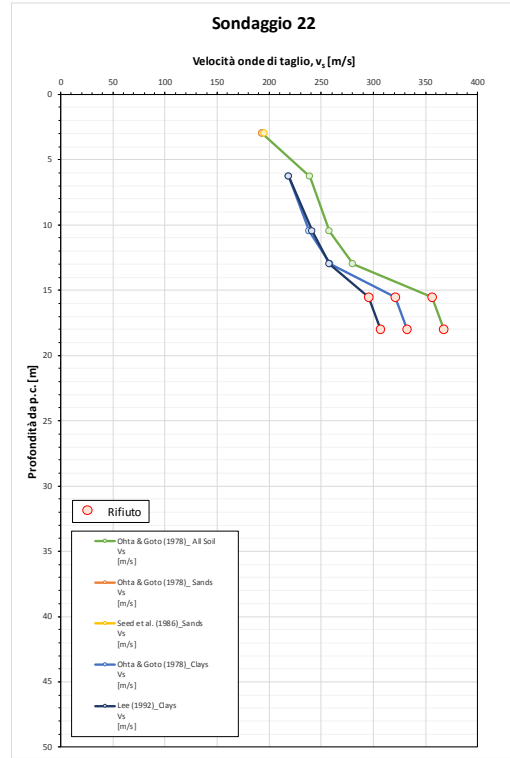
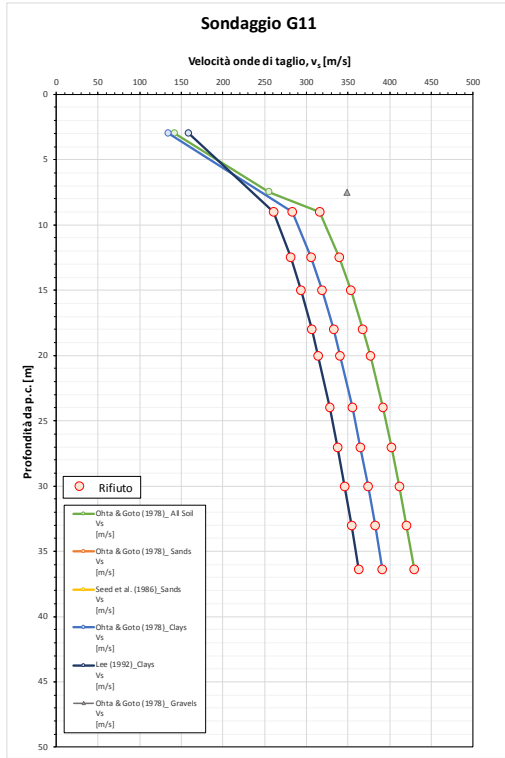






**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto
da pk 0+000 a pk 2+700**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IFOG	01 D 09	RB	OC0001 001	A	87 di 94



9.1.3 Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$

In Tabella 24 e in Figura 6 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, down-hole e SPT.

Tabella 24. Velocità equivalente delle onde di taglio e relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT

Prova	h (m)	$V_{s,h}$	Categoria suolo
Masw			
C2_masw	30.0	287	C
C4/1_masw	30.0	256	C
C4/2_masw	30.0	357	C
AU5_masw	30.0	575	B
AU4_masw	30.0	523	B
AU2_masw	30.0	454	B
AU1_masw	30.0	570	B
Down-hole			
C1 DH	30.0	331	C
Prove penetrometriche dinamiche (SPT)			
C1	30.0	243	C
C2	27.0	287	C
C3	27.0	278	C
C4	27.0	262	C
S2	23.0	250	C
AU5	30.0	319	C
AU4	30.0	339	C
AU3	30.0	331	C
AU2	30.0	311	C
AU1	25.0	256	C
S4	30.0	263	C
C7	30.0	285	C
G11	18.0	278	C

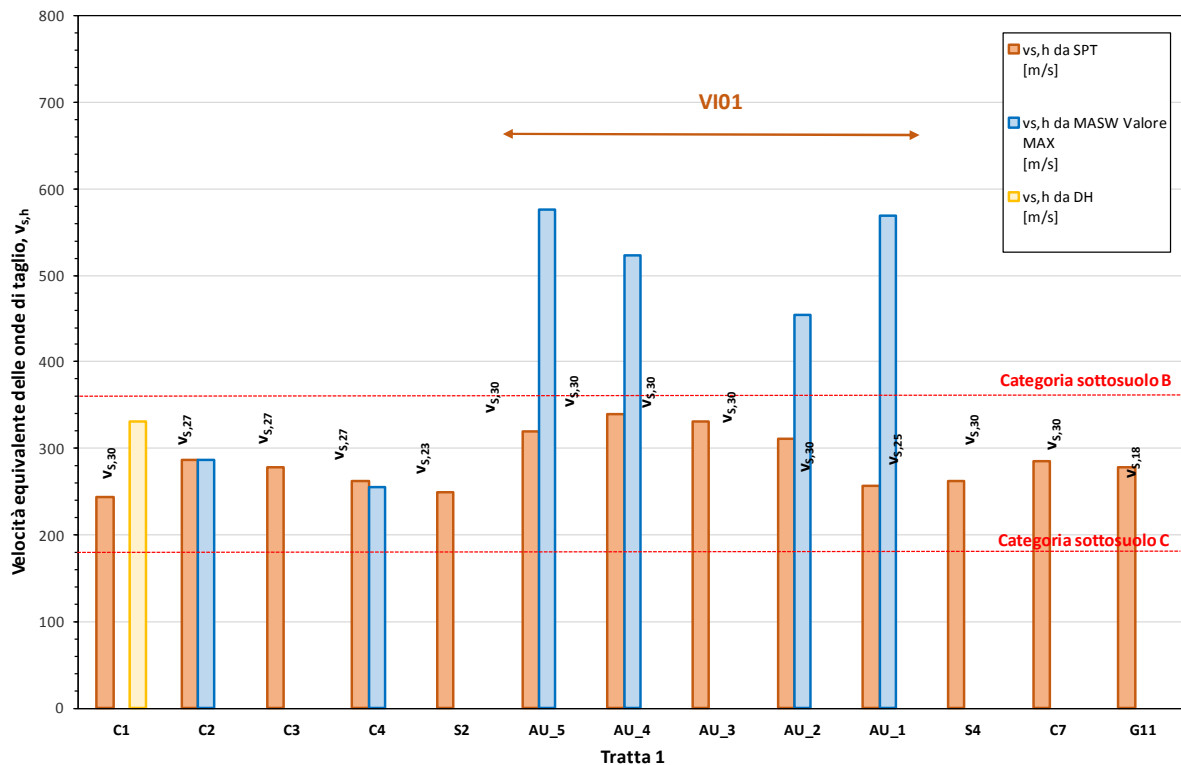


Figura 6. Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT

9.1.4 Classificazione considerando la stratificazione mista di terreni a grana grossa e a grana fine

In presenza di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fine, con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, si può procedere come segue:

- determinare il $N_{SPT,30}$ degli strati di terreno a grana grossa entro i primi 30 m;
- determinare la $c_{u,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana fine entro i primi 30 m;

riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate.

Nel caso in esame si hanno depositi alluvionali a granulometria variabile nei primi 8÷10 m e poi inizia la formazione delle Molasse di Anzano (ANZ2a) costituita da argille siltose grigie. Tale criterio è stato applicato andando a separare gli strati a grana fine (depositi alluvionali argillosi e formazione ANZ2a) dagli strati a grana grossa dei depositi alluvionali.

9.1.4.1 Classificazione degli strati a grana grossa sulla base della nel numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica $N_{SPT,30}$

In Tabella 25 e in Figura 7 si riportano i valori del numero equivalente di colpi da prove penetrometriche dinamiche $N_{SPT,30}$ e la relativa categoria di suolo per gli strati a grana grossa (depositi alluvionali).

Tabella 25. Numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica e relativa categoria di suolo per gli strati a grana grossa

Sondaggio	$N_{SPT,30}$	Categoria suolo
C1	-	-
C2	43	C
C3	57	B
C4	57	B
S2	-	-
AU5	49	B
AU4	90	B
AU3	-	-
AU2	-	-
AU1	21	C
S4	13	D
C7	-	-
G11	51	B

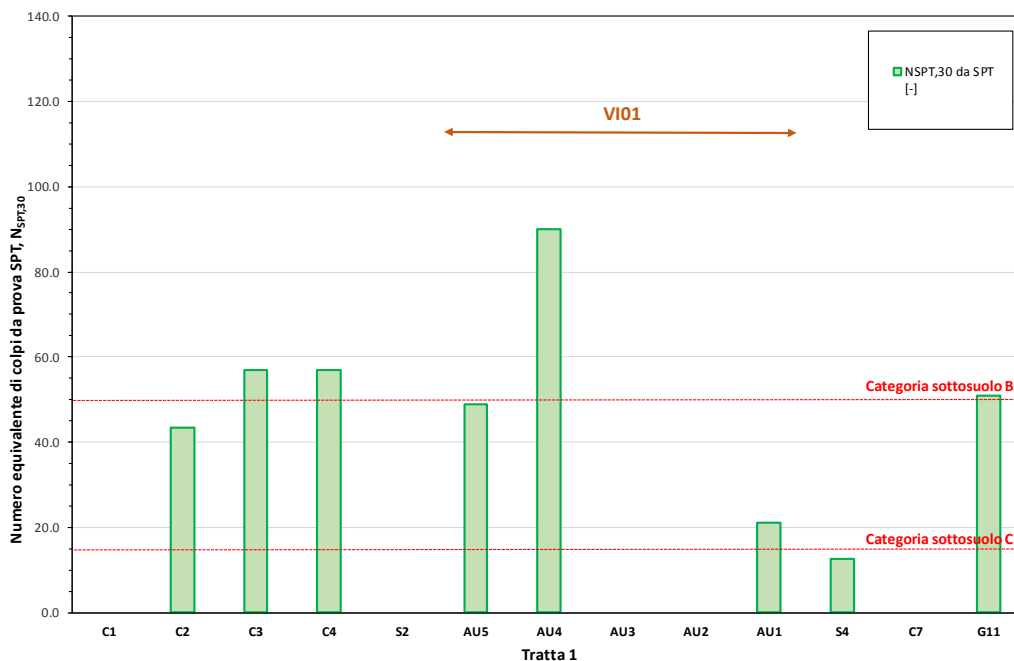


Figura 7. Andamento lungo la tratta del numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica e della categoria di suolo per gli strati a grana grossa

9.1.4.2 Classificazione degli strati a grana fine sulla base della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$

In Tabella 26 e in Figura 8 si riportano i valori della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ determinata da prove con pocket penetrometer e la relativa categoria di suolo per gli strati a grana fine. Considerata l'omogeneità stratigrafica delle Molasse di Anzano, i valori di PP sono stati estesi fino alla profondità di 30.0 m assumendo valido l'ultima misura disponibile.

Tabella 26. Resistenza non drenata equivalente da pocket penetrometer e relativa categoria di suolo per gli strati a grana fine

Sondaggio	$c_{u,30}$	Categoria suolo
C1	171.5	C
C2	223.5	C
C3	288.9	B
C4	233	C
S2	213	C
AU5	498	B
AU4	340	B
AU3	438	B
AU2	350	B
AU1	113	C
S4	442	B
C7	268	B
G11	149	C

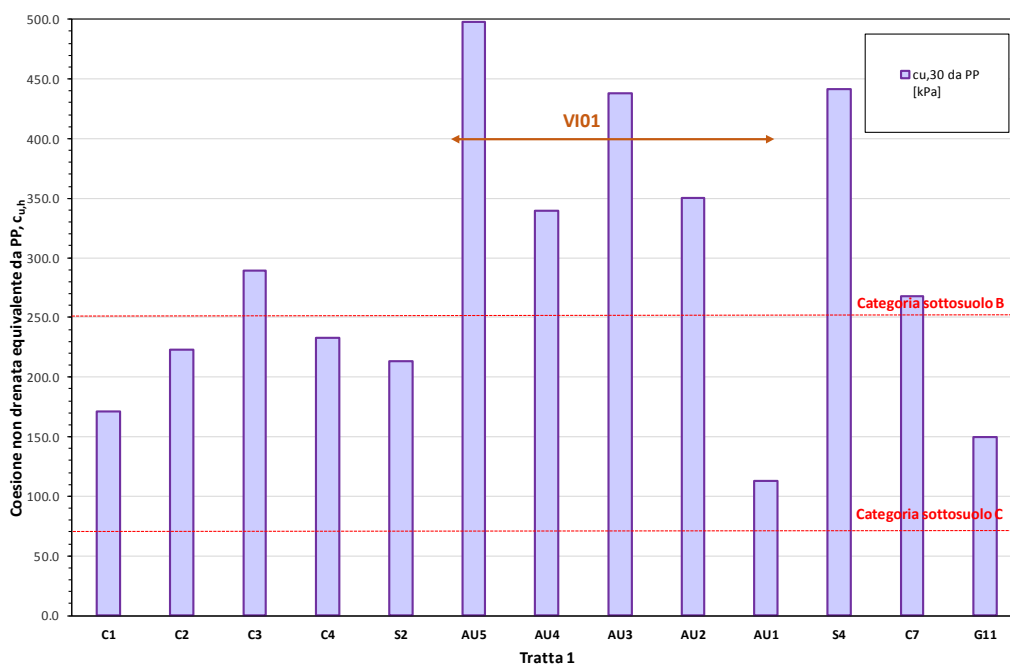


Figura 8. Andamento lungo la tratta della resistenza non drenata equivalente da pocket penetrometer e della relativa categoria di suolo per gli strati a grana fine

9.1.5 Sintesi dei risultati

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

Sondaggio	C1	C2	C3	C4	S2	Viadotto VI01					S4	C7	G11
						AU5	AU4	AU3	AU2	AU1			
V_{s30} da DH													
Cat. B													
Cat. C													
V_{s30} da masw													
Cat. B													
Cat. C													
V_{s30} da SPT													
Cat. B													
Cat. C													
Criterio semplificato (min: N_{SPT,30}, c_{u,30})													
Cat. B													
Cat. C												(D)	

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 le prove C2, C4/1 e C4/2 identificano una categoria C. In genere le V_{s,30} da masw sono molto maggiori di quelle stimate da SPT;
- dall'unica prova down-hole (sondaggio C1) risulta un suolo tipo C; la V_{s,30} è confrontabile con quella da SPT;
- le V_{s,30} stimate da SPT identificano un suolo tipo C lungo tutto il tracciato;
- dal criterio semplificato in cui la categoria di suolo viene determinata come la peggiore fra quella riferita agli strati a grana fine e a grana grossa, risulta prevalentemente la categoria di sottosuolo 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.

9.2 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 $S_T = 1,0$.

9.3 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.

9.3.1 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 27. 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 ^[1]	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

L'opera oggetto di studio ha Vita Nominale (V_N) pari a 75 anni.

9.3.2 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 28. Classe d'uso per i diversi tipi di opera.

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	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.
Classe III	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.
Classe IV	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.

L'opera oggetto di studio ha Classe d'uso (C_U) pari a III, pertanto il coefficiente d'uso C_U è uguale a 1.5.

9.3.3 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 112.5 anni.

9.3.4 Definizione dell'azione sismica

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

Longitudine: 15°.068171

Latitudine: 41°.087013

Tabella 29: Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.381 g
F_g	2.287
T_C	0.416 s
S_S	1.177
C_C	1.403
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.177
η	1.000
T_B	0.194 s
T_C	0.583 s
T_D	3.125 s

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 30: 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
0.381	C	T1	75	1.5	0.449