

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 4+700 a pk 5+075

SCALA:

-

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

IF0G 01 D 09 RB OC0001 002 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

## 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 .....	11
5	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO.....	12
6	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	13
7	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	14
7.1	VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VS 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 .....	16
7.4.1	<i>Densità Relativa <math>D_R</math></i> .....	16
7.4.2	<i>Angolo d'Attrito efficace <math>\phi'</math></i> .....	18
7.5	MATERIALI COESIVI .....	19
7.5.1	<i>Coesione Non-Drenato <math>C_u</math></i> .....	19
7.5.2	<i>Rapporto di Sovraconsolidazione OCR</i> .....	19
7.5.3	<i>Modulo Elastico non drenato <math>E_u</math></i> .....	19
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE DA PK 4+700 A PK 5+075.....	21
8.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 4+700 E LA PK 4+800.....	39
8.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 4+800 E LA PK 4+875.....	40
8.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTO COMPRESO TRA LA PK 4+875 E LA PK 5+075.....	41
9	DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	42

9.1	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	42
9.1.1	<i>Prove di riferimento</i> .....	43
9.1.2	<i>Velocità di propagazione delle onde di taglio</i> .....	43
9.1.3	<i>Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio <math>V_{s,30}</math></i> .....	48
9.1.4	<i>Classificazione sulla base della nel numero equivalente di colpi da prova penetrometrica dinamica <math>N_{SPT,30}</math></i> .....	49
9.1.5	<i>Classificazione sulla base della resistenza non drenata equivalente <math>c_{u,30}</math></i> .....	49
9.1.6	<i>Sintesi dei risultati ottenuti</i> .....	50
9.2	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA .....	50
9.3	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	51
9.3.1	<i>Definizione della Vita Nominale, <math>V_N</math></i> .....	51
9.3.2	<i>Definizione della classe d'uso, <math>C_U</math></i> .....	51
9.3.3	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, <math>V_R</math></i> .....	52
9.3.4	<i>Definizione dell'azione sismica</i> .....	52

## 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 4+700 a pk 5+075. 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.

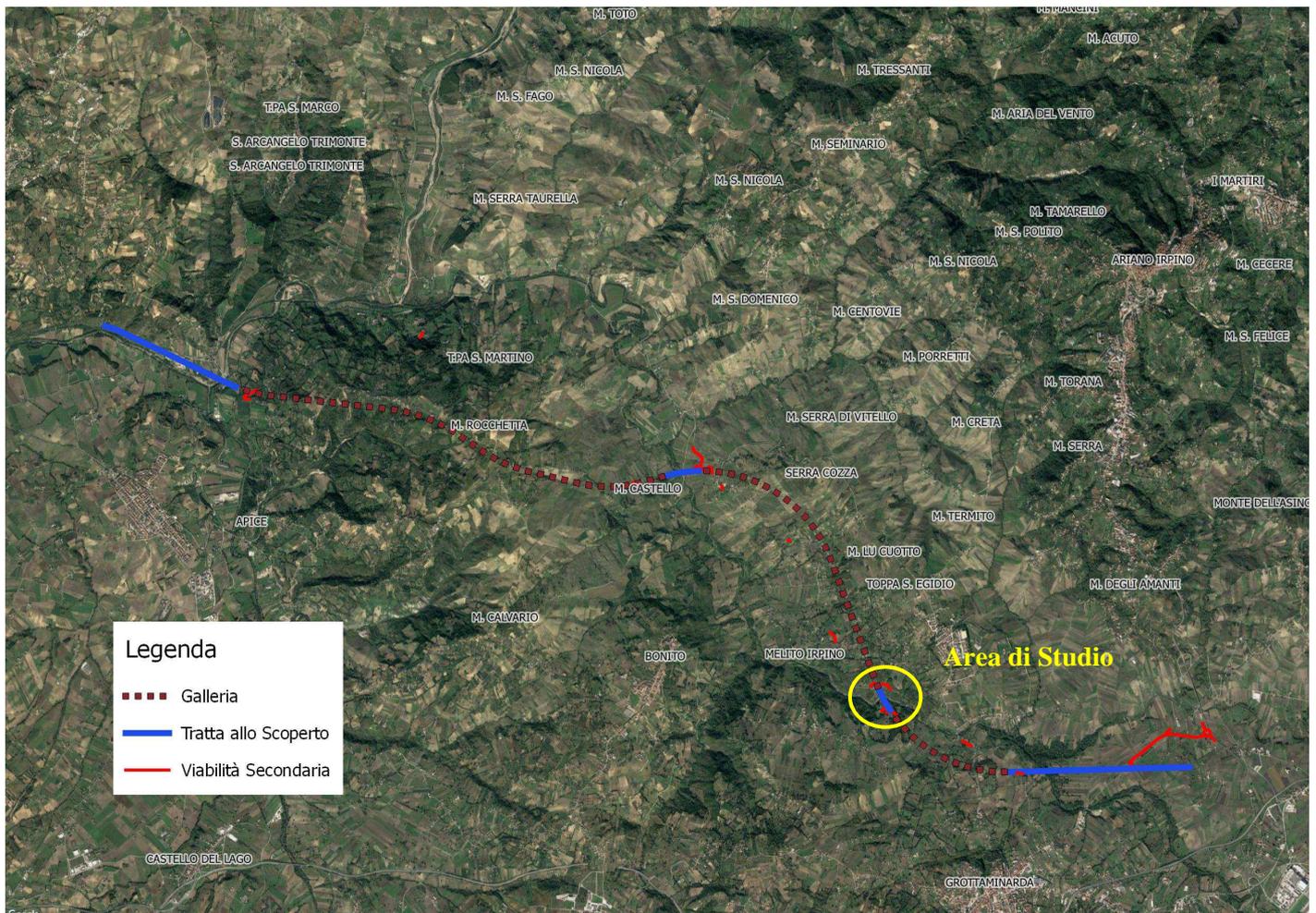


Figura 1: Ubicazione dell'area in studio

## 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 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 4+700 a pk 5+075) 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		
			Est	Nord			Foro [m]	Piez min max	Piez CA	Piez TA	Inclinometro	SPT [n.]	Permeabilità [prof.m] Lef.=Lefranc Lug.=Lugeon	Pressiometro [prof.m]	Down-hole	Indisturbati [n.]	Rimaneggiati [n.]	MASW
M2	2006		2523577	4549189	311	30	8.1		-	-	x	5	Lef. 4.8 / 10.7	11.0 / 19.5		1		
AU6	2017		2523502	4549233	305	50	15.4		-	-	-	10	Lef. 9.0-9.1			9	1	x
S10	2015	v	2523502	4549318	294	30	7.7	6.5 7.0	-	3.0 - 30.0	-	4	Lef. 19.18-21.20			1	2	
AU7	2017	v	2523456	4549302	296	50	8.1	7.8 8.2	-	5.0 - 50.5	-	3	Lef. 6.0-7.0			3	5	x
AU8	2017	v	2523350	4549477	288	50	10.0		-	-	x	10	Lef. 7.3-8.3			5	5	x
C11	2017		2523284	4549528	310	30	18.0		-	-	-	10	Lef. 8.5-9.5 *		x	3	3	
M1	2006		2523283	4549528	310	30	5.7		-	-	x	3	Lef. 2.8 / 12.3	23.3		2		

\* 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
AU6_masw	2017	2523502	4549233				x
AU7_masw	2017	2523456	4549302				x
AU8_masw	2017	2523350	4549477				x
U-U'_rifr	2017	2523585	4549208	2523684	4549095	x	
V-V'_rifr	2017	2523581	4549136	2523660	4549198	x	
S-S'_rifr	2017	2523445	4549434	2523375	4549567	x	
T-T'_rifr	2017	2523465	4549504	2523375	4549461	x	
AU6_masw	2017	2523502	4549233				x
AU7_masw	2017	2523456	4549302				x

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

Sondaggio	Campagna	Campione	Profondità	Prove di laboratorio																
				dc	ft	w	$\gamma_n$	$\gamma_{dry}$	$G_s$	$G_{r_{vag}}$	$G_{r_{sed}}$	LLP	CL	Ed	TX UU	TX CU	T D	RC	ELL	
AU6	2017	CI1	4.75	X	X										X	X		X		
AU6	2017	CI1	4.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU6	2017	CI2	10.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X							
AU6	2017	CI3	19.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					X		
AU6	2017	CI4	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X				
AU6	2017	CI5	30.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X							
AU6	2017	CI6	35.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X			X
AU6	2017	CI7	40.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X				
AU6	2017	CI8	44.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X							X
AU6	2017	CI9	49.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X							X

**Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 4+700 a pk 5+075**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 002	A	10 di 53

AU6	2017	CR1	15.25	X	X					X	X	X						
AU7	2017	CI1	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X				
AU7	2017	CI2	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU7	2017	CI3	39.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU7	2017	CR3	15.25	X	X	X	X		X	X	X		X					
AU7	2017	CR4	30.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU7	2017	CR5	34.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU7	2017	CR6	44.75	X	X	X	X		X	X	X		X					
AU7	2017	CR7	49.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CI1	5.2	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CI2	10.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CI3	15.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	
AU8	2017	CI4	20.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X		X	
AU8	2017	CI5	25.5	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CR1	30.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CR2	35.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CR3	40.25	X	X	X			X	X	X	X	X					
AU8	2017	CR4	45.6	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
AU8	2017	CR5	49.8	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
S10	2015	CR1	17.25	X	X					X	X							
S10	2015	CI2	19.4	X	X													
S10	2015	CR3	23.3	X	X					X	X							
M1	2007	CI1	14.25	X	X	X	X		X	X	X	X					X	
M1	2007	CI2	26.75	X	X	X	X		X	X	X						X	
M2	2007	CI1	12.85	X	X	X	X		X	X	X						X	
C11	2017	CI1	4.85	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C11	2017	CI2	9.9	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X	
C11	2017	CI3	15.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X				
C11	2017	CR1	20.75	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C11	2017	CR2	25.25	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
C11	2017	CR3	29.9	X	X	X	X		X	X	X	X	X					

#### 4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Al termine della galleria Grottaminarda, alla pk 4+695, il tracciato si sviluppa all'aperto per un breve tratto (fino alla pk 5+090) attraversando nuovamente il F. Ufita, che scorre incassato in una valle stretta dai fianchi alti, soprattutto nel versante settentrionale in destra idraulica. Le due zone di imbocco affacciate sulla valle del F. Ufita (galleria Grottaminarda lato Napoli e galleria Melito lato Bari), sono ubicate a mezza costa lungo versanti costituiti da terreni appartenenti al Flysch Rosso (FYR). L'imbocco della galleria Grottaminarda è ubicato alle pendici di una dorsale rocciosa costituita da terreni appartenenti al membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). Ad ovest di tale dorsale è presente un esteso deposito di frana quiescente che ad oggi non risulta interferente con il tracciato in progetto e la cui nicchia di distacco è facilmente osservabile a sud dell'abitato di Barascigno; tale corpo di frana non mostra, ad oggi, indizi di recente riattivazione, come testimoniato anche dalla presenza di diversi fabbricati ad uso abitativo.

Sul lato opposto, a valle dell'imbocco della galleria Melito è segnalata la presenza di due corpi di frana quiescente, che interessano il versante fino alla pk 5+330 circa; tali corpi di frana non interferiscono direttamente con le opere in progetto e, comunque, non mostrano indizi di recente riattivazione.

Dal punto di vista geologico il Flysch Rosso e i suoi membri sono così descritti:

##### **FLYSCH ROSSO (FYR).**

*Argilliti marnose e marne policrome, calcilutiti bianche, livelli lenticolari di risedimenti biocalciruditi e biocalcarenitici di colore bianco, contenenti abbondanti resti di alveoline, nummuliti, orbitoidi e rudiste. Comprende una litofacies calcareo clastica data da calcareniti torbiditiche bianche laminate e gradate in strati medi e spessi, calciruditi ad alveoline e nummuliti, calcari marnosi bianco-crema, calcilutiti e subordinate marne calcaree talora silicizzate, argille marnose e argilliti grigie e rosse (FYRa). Successioni marine di scarpata - base di scarpata, formate da depositi di flussi gravitativi e da emipelagiti. Spessore totale valutabile in circa 800m.*

*Cretacico Superiore - Burdigaliano Superiore*

##### **FLYSCH ROSSO - MEMBRO CALCAREO (FYR2).**

*Calciruditi e calcareniti con alveoline e nummuliti, calcilutiti di colore biancastro con subordinate intercalazioni di marne, marne argillose ed argilliti rossastre e verdastre. Nella parte bassa calcilutiti biancastre con liste e noduli di selce scura, calcari marnosi e calcilutiti silicizzate, argilliti e marne di colore grigio, verde, rosso. Radiolari e rari frammenti di orbitoidi altcretacici. Il membro FYR2 è eteropico con la parte bassa di FYR. Spessore circa 250m.*

*Cretacico Superiore - Eocene 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 7.0 m a 8.0 m da p.c.

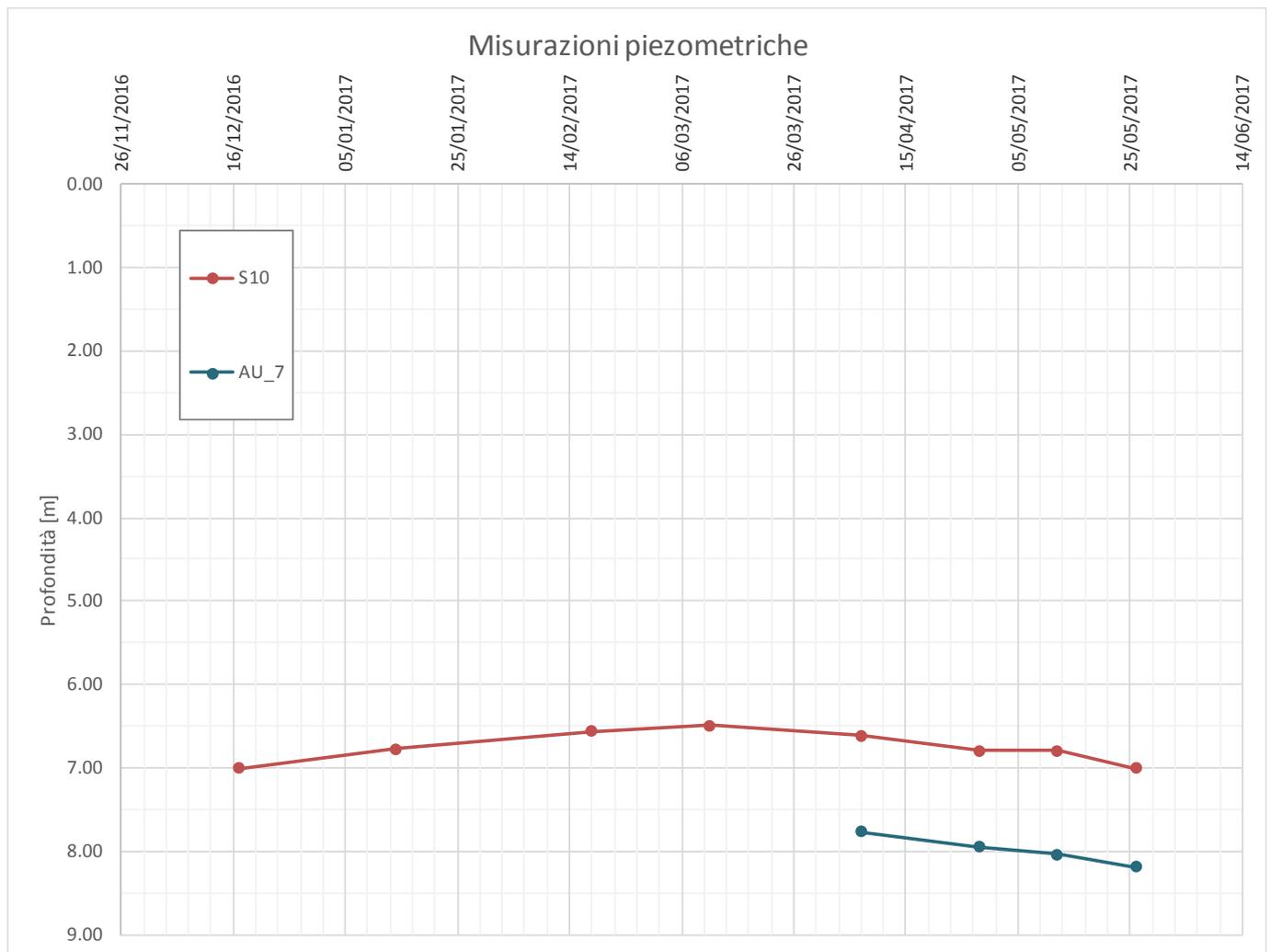


Figura 2: Misurazioni Piezometriche

## 6 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il tracciato attraversa versanti in cui sono presenti le formazioni appartenenti al Flysch rosso (FYR) costituito da argilliti marnose e marne con intercalazioni di calcilutite. Localmente è presente anche una litofacies calcarea (FYRa) con calcareniti e calciruditi a consistenza litoide.

In particolare sono state individuate le seguenti unità litostratigrafiche:

- FYR: Flysch Rosso, argilliti marnose e marne con intercalazioni di calcilutite.
- FYRa: Flysch Rosso litofacies calcarea, calcareniti e calciruditi con intercalazioni di marne e argilliti;

Sulla base dell'interpretazione delle prove lungo l'asse ferroviario è stato elaborato il profilo geotecnico di riferimento, riportato negli elaborati grafici dedicati (Ref. 4).

## 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 pressiométrico a piccole deformazioni ( $E_m$ ) derivante dalle prove effettuate in foro. In particolare il modulo  $E_0$  è direttamente correlabile al modulo pressiométrico 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≈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 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)	$D_R = 0.21 \cdot \sqrt{\frac{N_{spt}}{\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} + 0.7}}$
Bazaraa (1967)	$D_R = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 \cdot \left( a + b \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)}}$ <p>con</p> $\begin{cases} a = 1; b = 4.1 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \leq 0.732 \\ a = 3.24; b = 1.024 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} > 0.732 \end{cases}$
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 $\varphi'$

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 <sub>R</sub>	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-Drenato $C_u$

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 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 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):

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

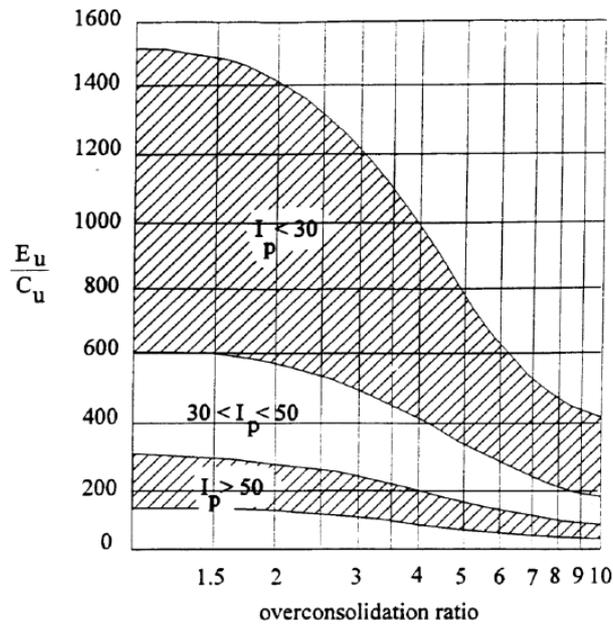


Figura 3: Correlazione di Duncan e Buchignani (1976)

## 8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE DA pk 4+700 A pk 5+075

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

**FYR:** Flysch Rosso, argilliti marnose e marne con intercalazioni di calcilutite

**FYRalt:** Parte alterata e più superficiale del Flysch Rosso

**FYRa:** Flysch Rosso litofacies calcarea, calcareniti e carciruditi con intercalazioni di marne e argilliti.

Il Flysch rosso appartiene alla categoria B2 <sup>[1]</sup>, caratterizzate da una struttura disarticolata da cui è ancora riconoscibile l'assetto originario. In questi flysch il comportamento meccanico dell'ammasso è controllato dalle discontinuità presenti nella matrice argillosa, pertanto l'analisi del comportamento meccanico della formazione deve tener conto delle discontinuità macrostrutturali. L'esperienza mostra che in queste formazioni la frazione lapidea ha poca influenza e la resistenza è sostanzialmente controllata dai termini argillosi.

Nella Tabella 4 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda per il tratto compreso tra la pk 4+700 e la pk 5+075.

Tabella 4: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 4+700 a pk 5+075.

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.	0.0÷20.0	FYRalt	var.	var
var.	0.0÷9.0	FYRa		
var.	>30.0	FYR		

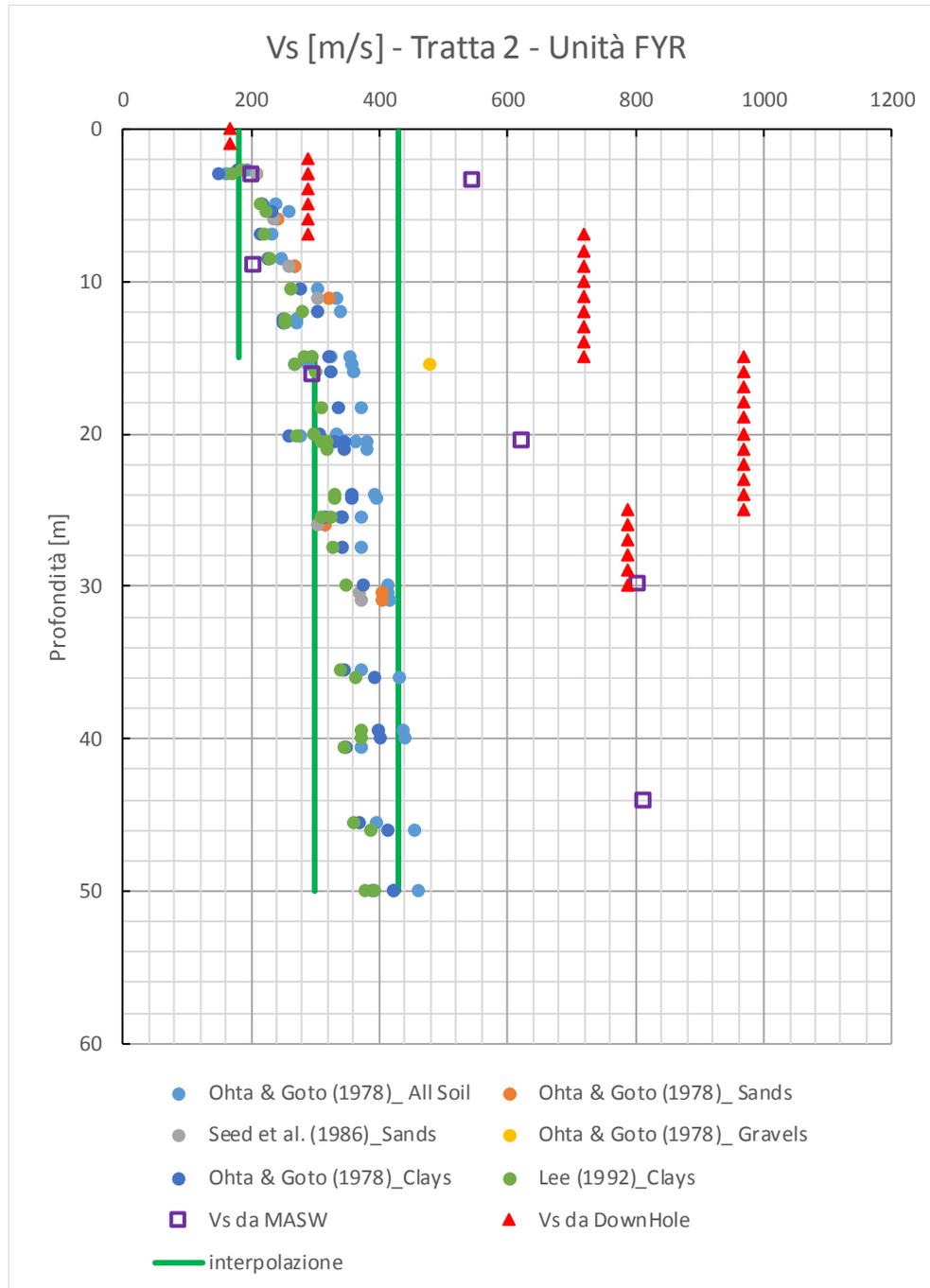
Nella Tabella 5 si riportano i parametri geotecnici di riferimento e a seguire si riporta la sintesi grafica dell'interpretazione delle indagini di pertinenza con rappresentato i range indicati in Tabella 5.

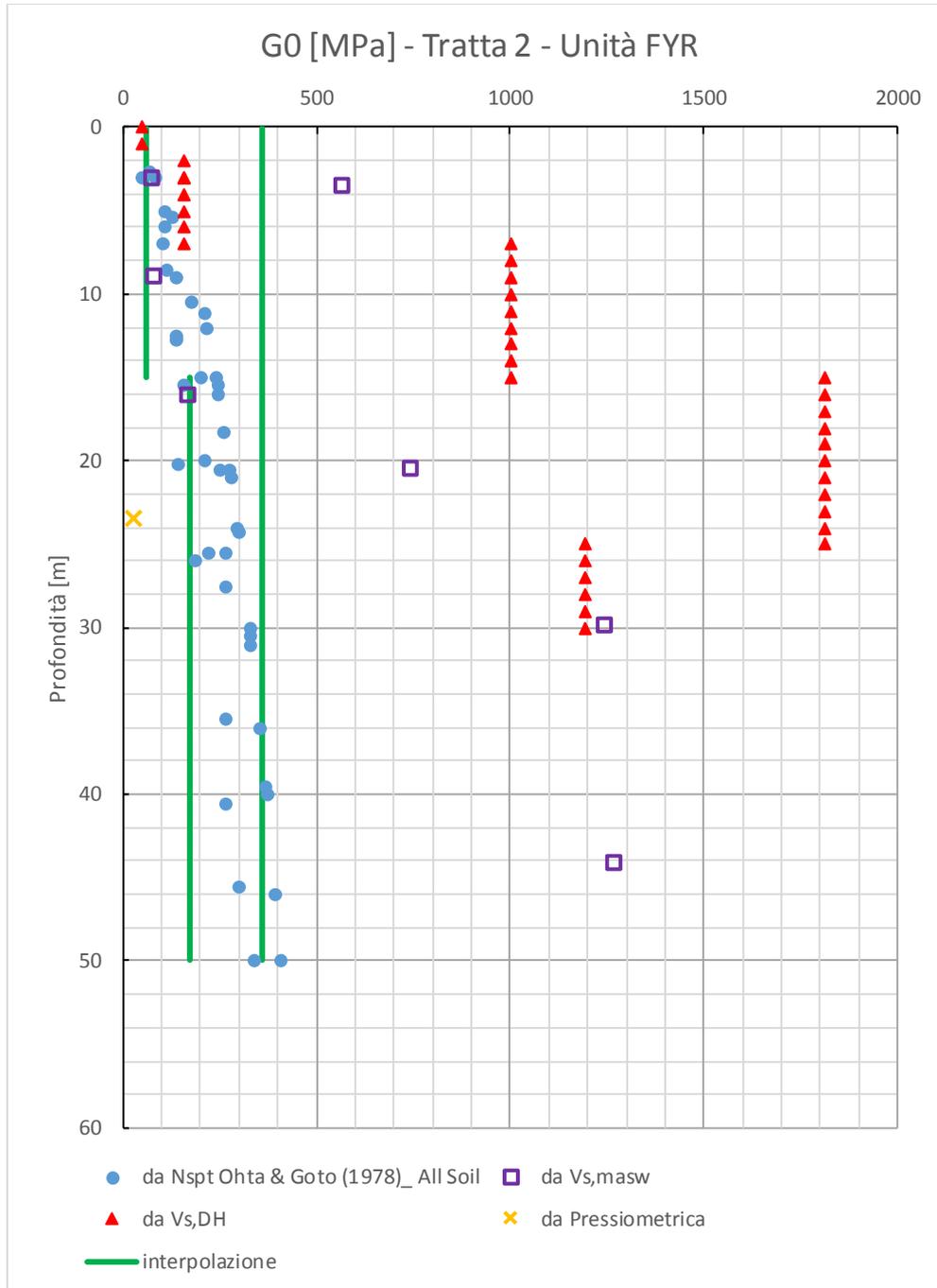
A partire dalla caratterizzazione geotecnica generale della tratta, nei paragrafi successivi sono individuate delle sottotrattate omogenee in termini sia stratigrafici che di parametri geotecnici.

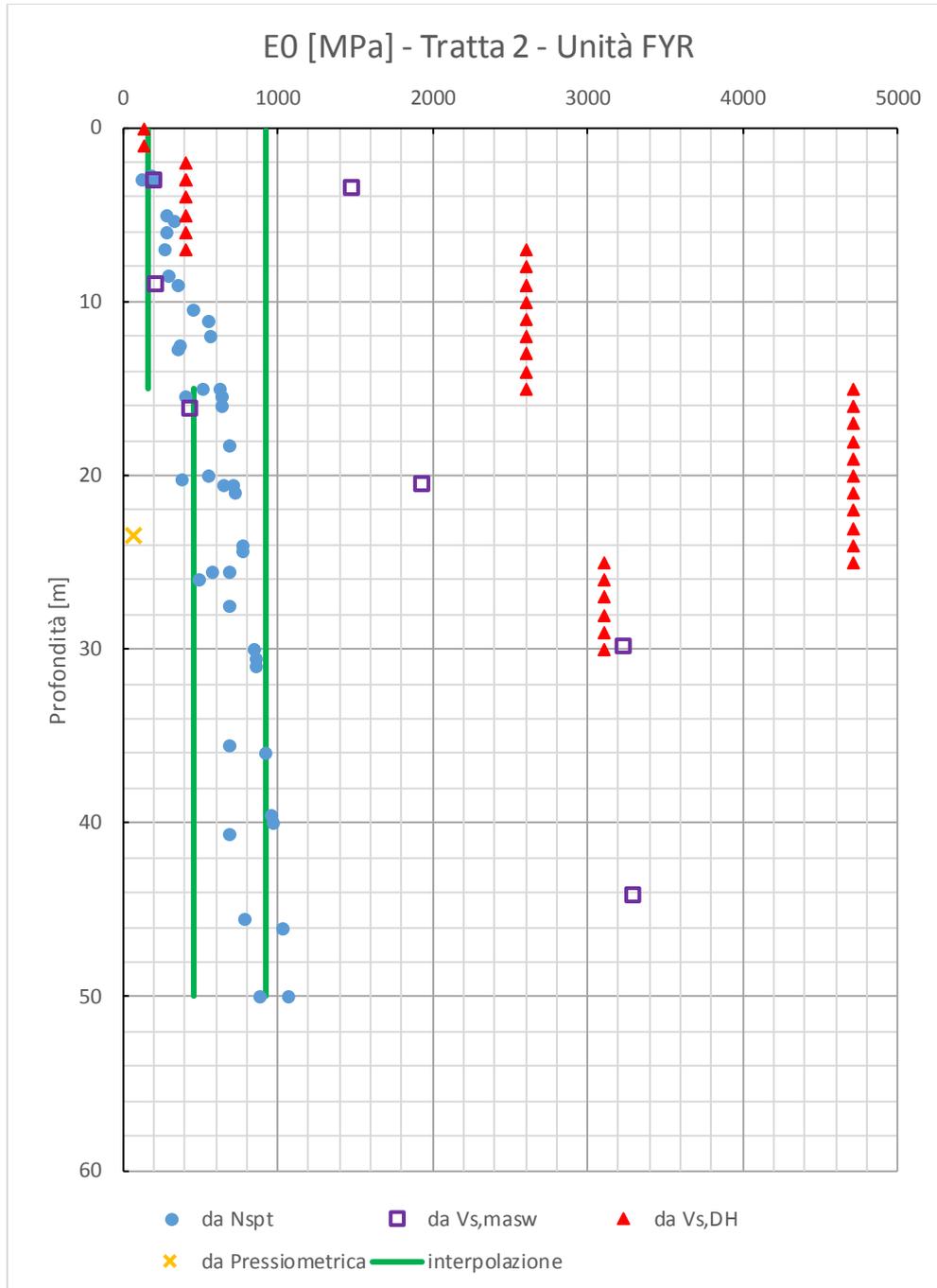
<sup>1</sup> Picarelli, formazioni complesse.

Tabella 5: Parametri geotecnici caratteristici da pk 4+700 a pk 5+075 (valore medio indicato tra parentesi quadre []).

	FYRa	FYRalt (*come da formazione)	FYR
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	No dati disponibili	*	20÷23 [21]
w [%]	No dati disponibili	*	12÷22 [16]
LL [%]	No dati disponibili	*	50÷70 [60]
$q_u/2$ [kPa]	No dati disponibili	-	-
$c_u$ [kPa]	No dati disponibili	150÷480 [200]	300÷480 [350]
$\phi'$ [°]	No dati disponibili	*	19÷25 [21]
$c'$ [kPa]	No dati disponibili	10÷20 [12]	12÷22 [18]
$E_u/C_u$	No dati disponibili	*	169÷559 [328]
$E_0$ [MPa]	No dati disponibili	165÷930 [245]	455÷930 [620]
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	No dati disponibili	33÷186 [49]	91÷186 [124]
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	No dati disponibili	16.5÷93.0 [24.5]	45.5÷93.0 [62.0]
$c_r$ [-]	No dati disponibili	*	$5.5 \cdot 10^{-3} \div 7.0 \cdot 10^{-3}$ [ $6.0 \cdot 10^{-3}$ ]
$c_c$ [-]	No dati disponibili	*	$8.0 \cdot 10^{-2} \div 1.1 \cdot 10^{-1}$ [ $1.0 \cdot 10^{-1}$ ]
$c_{\alpha\epsilon}$	No dati disponibili	*	$2.0 \cdot 10^{-3} \div 2.9 \cdot 10^{-3}$ [ $2.5 \cdot 10^{-3}$ ]
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	No dati disponibili	*	$5.7 \cdot 10^{-6} \div 1.3 \cdot 10^{-5}$ [ $8.3 \cdot 10^{-6}$ ]
$e_0$ [-]	No dati disponibili	0.35÷0.6 [0.5]	0.35÷0.6 [0.4]
OCR [-]	No dati disponibili	*	2÷10 [5]
$v'$ [-]	No dati disponibili	*	0.3
$k$ [m/s]	No dati disponibili	*	$5.0 \cdot 10^{-8} \div 1.0 \cdot 10^{-6}$ [ $2.0 \cdot 10^{-7}$ ]

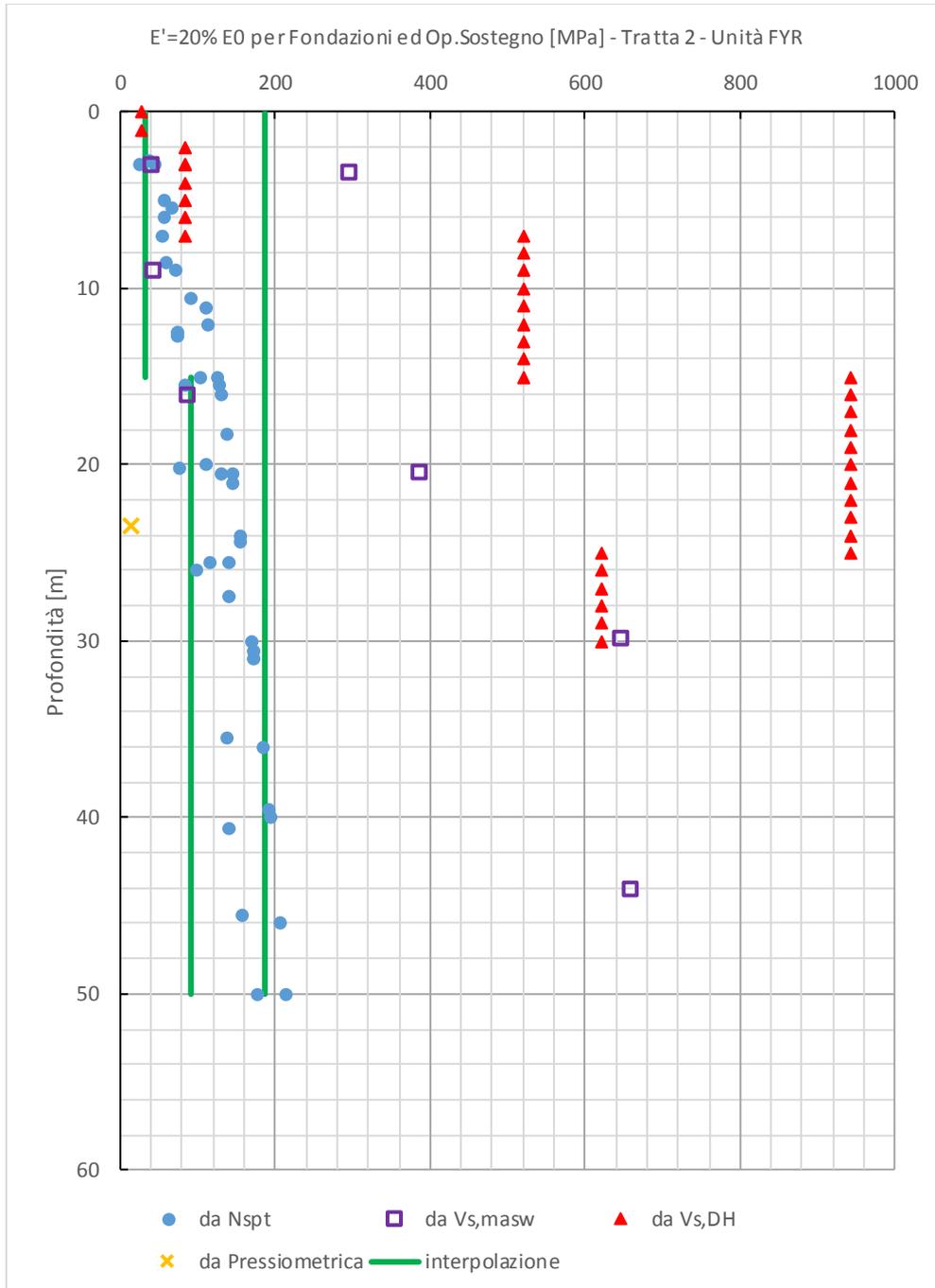






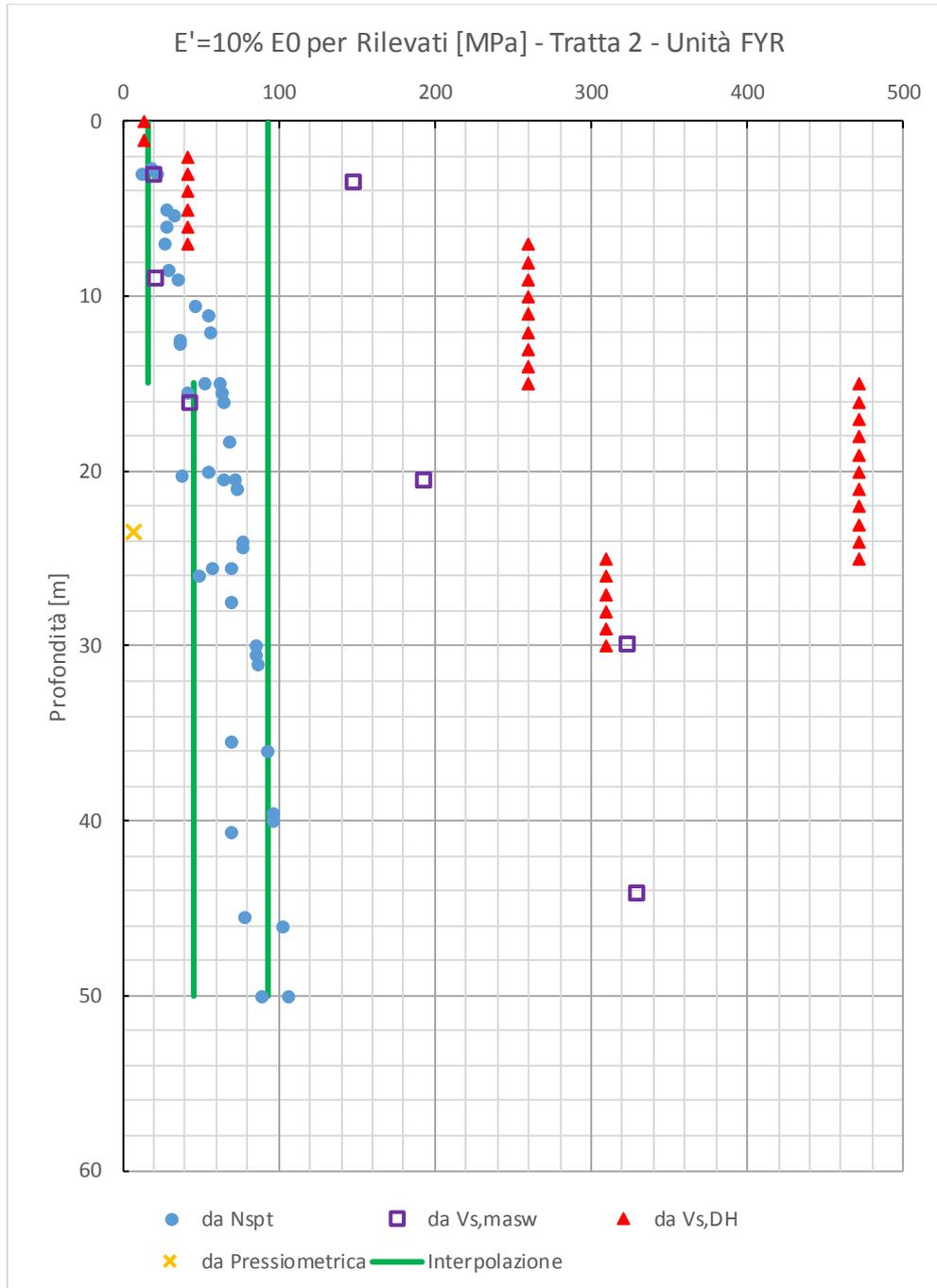
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 4+700 a pk 5+075

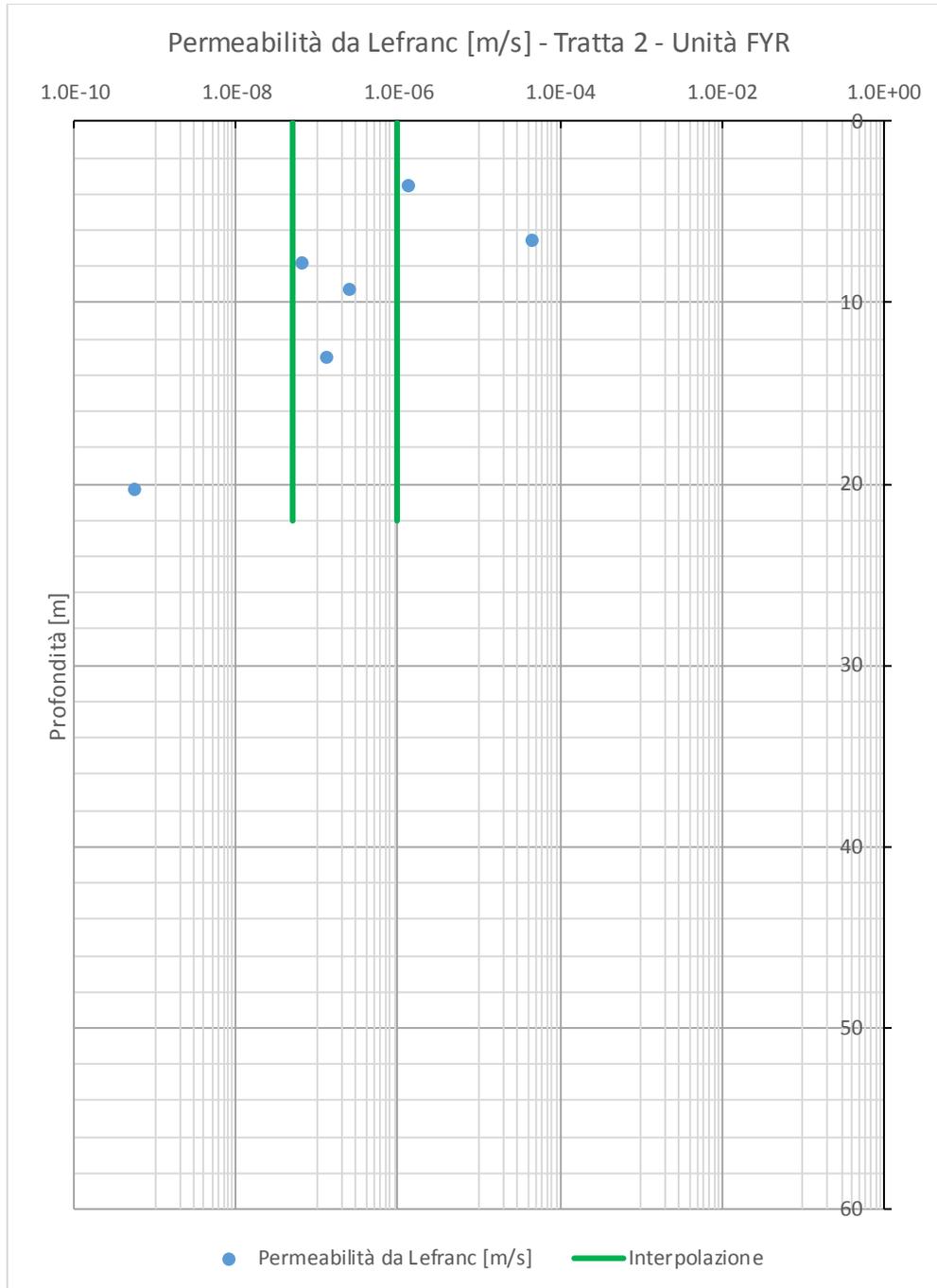
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 002	A	26 di 53

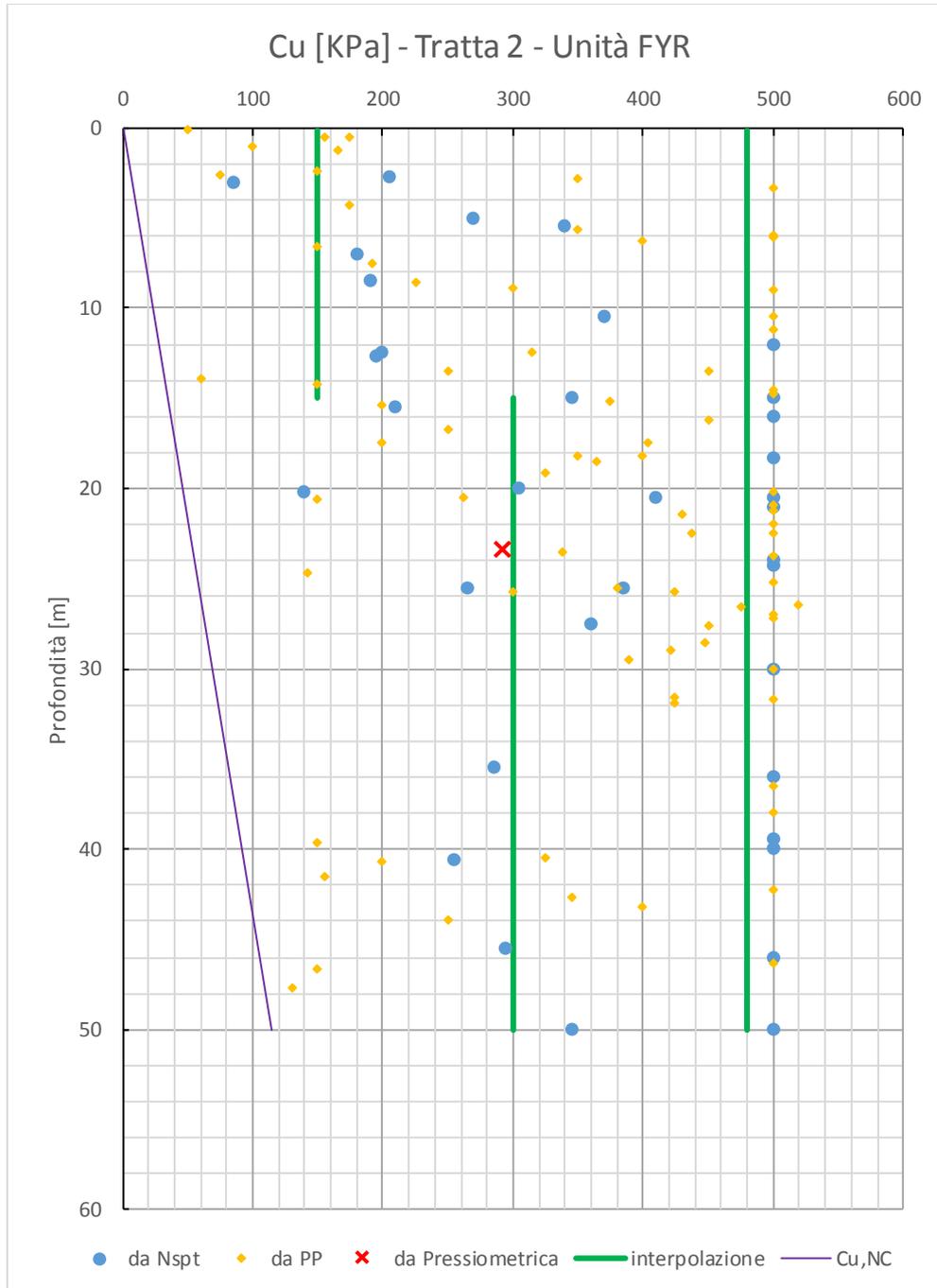


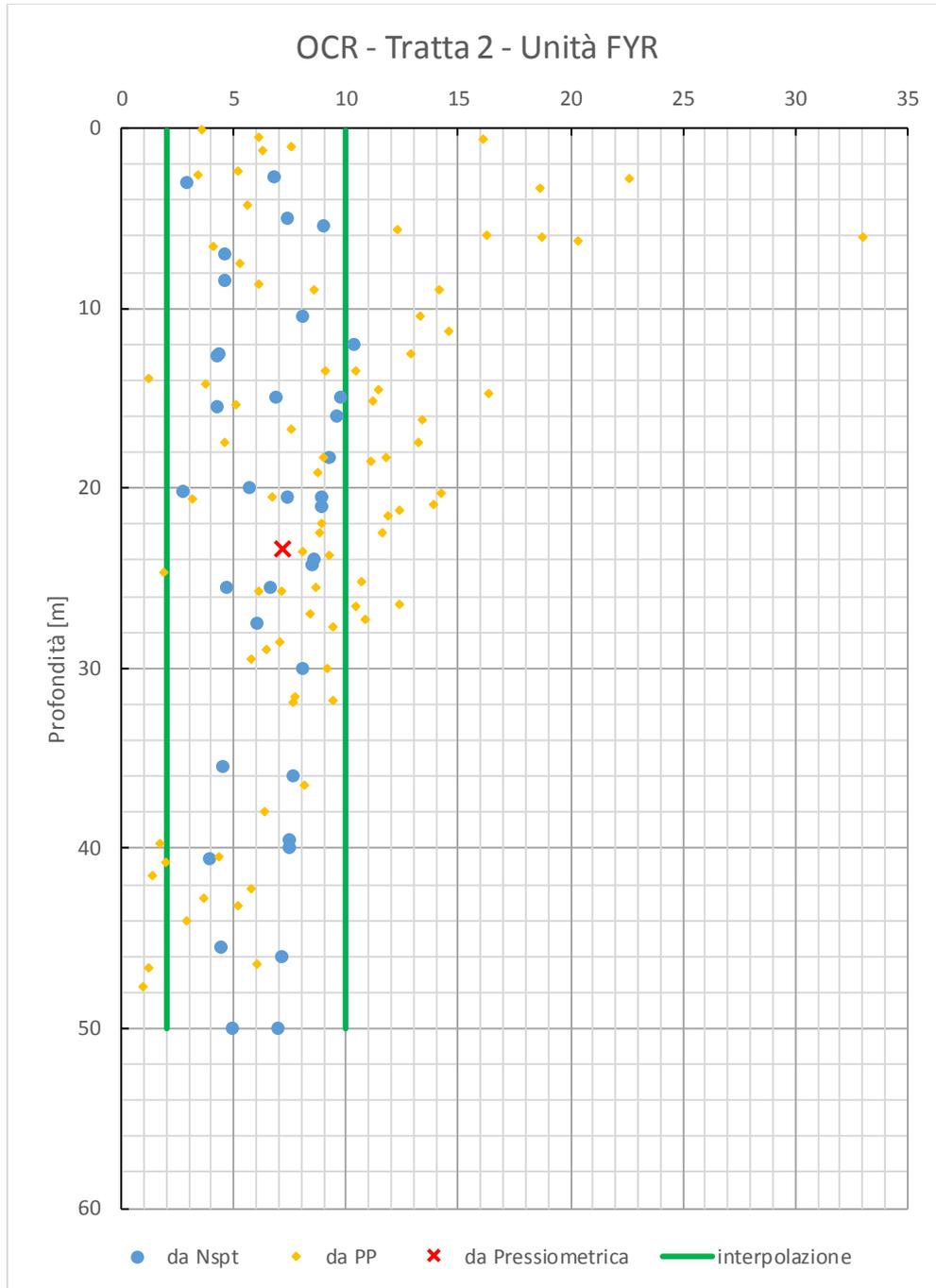
Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto  
da pk 4+700 a pk 5+075

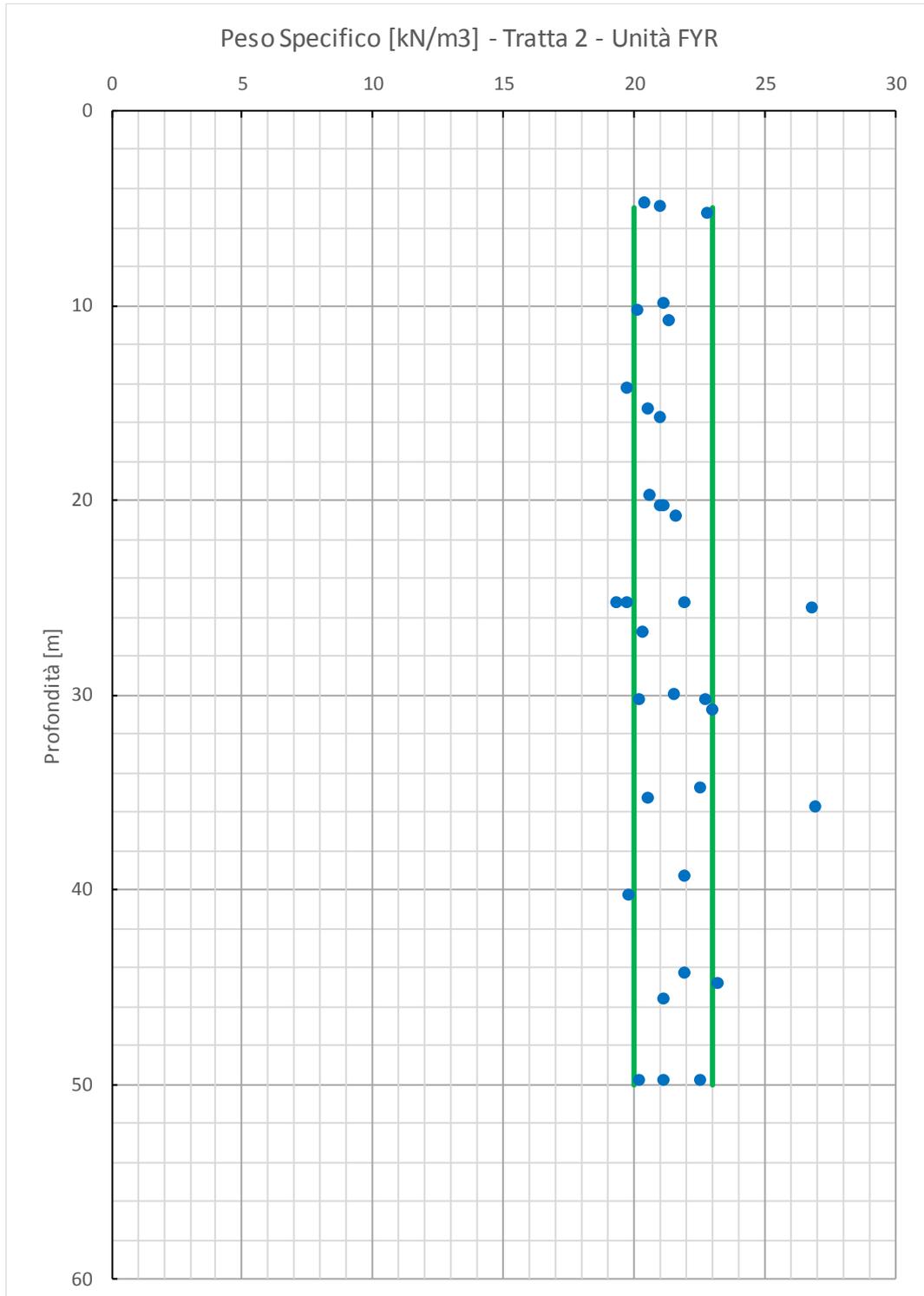
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0G	01 D 09	RB	OC0001 002	A	27 di 53

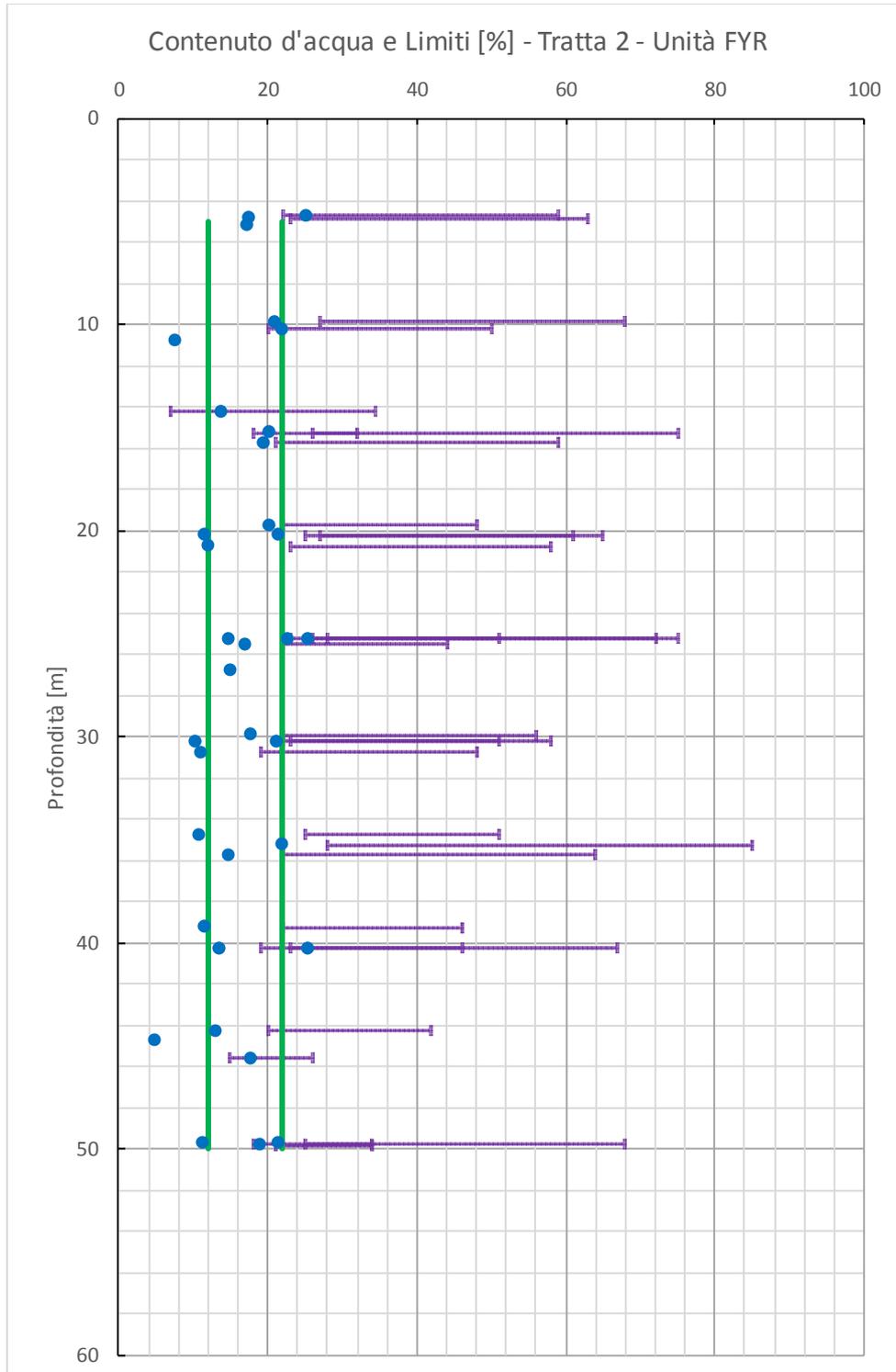


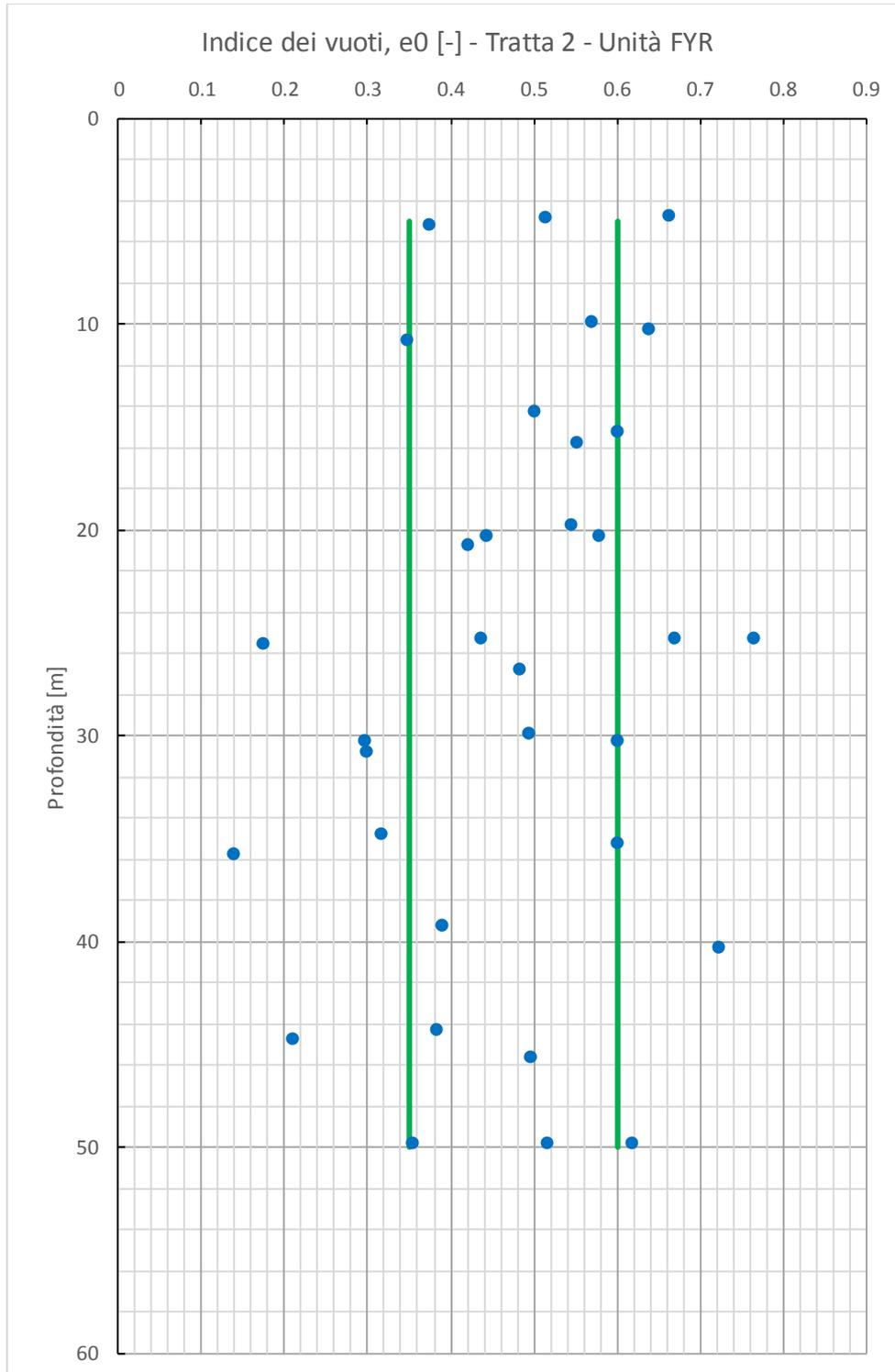


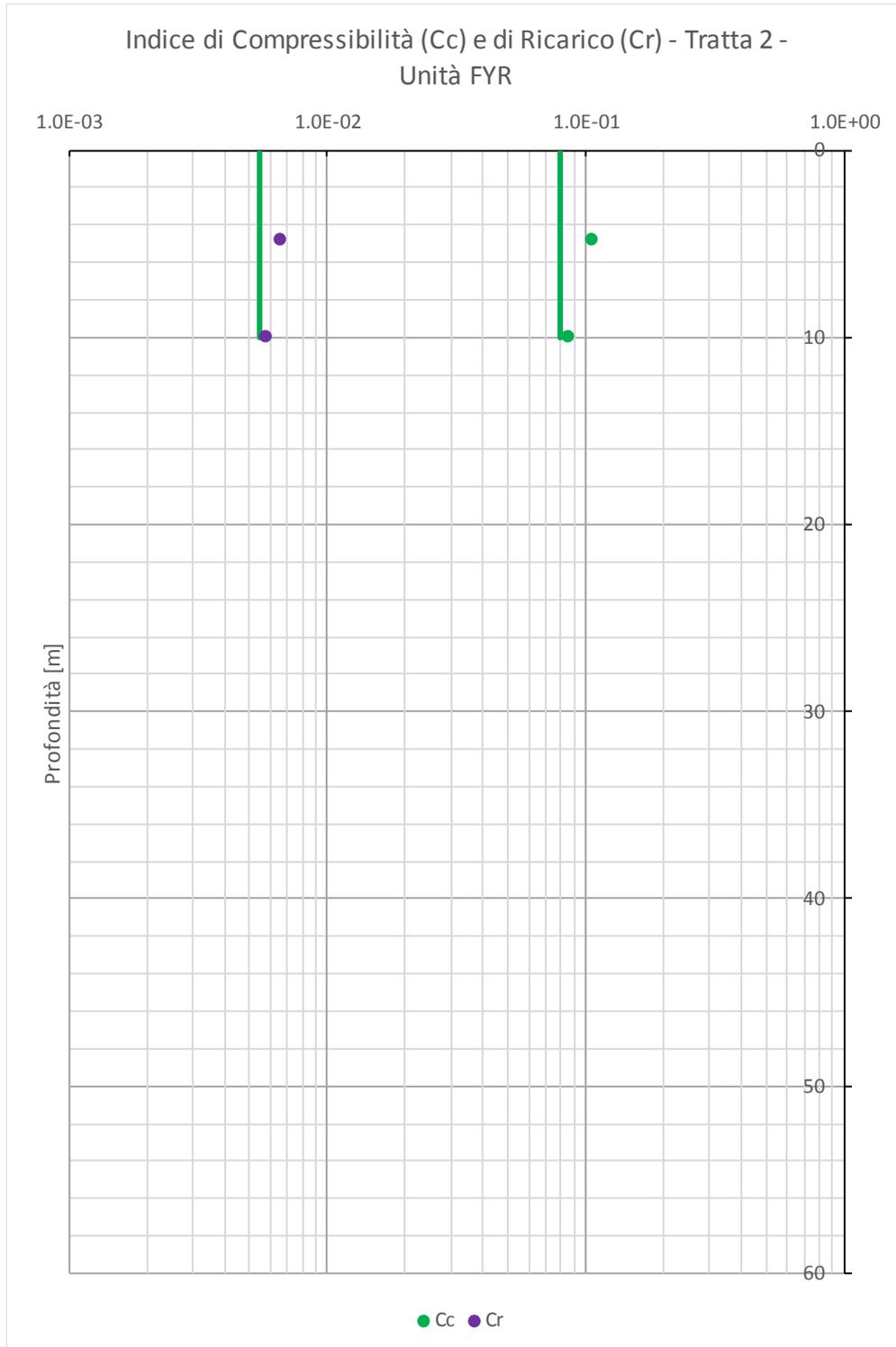


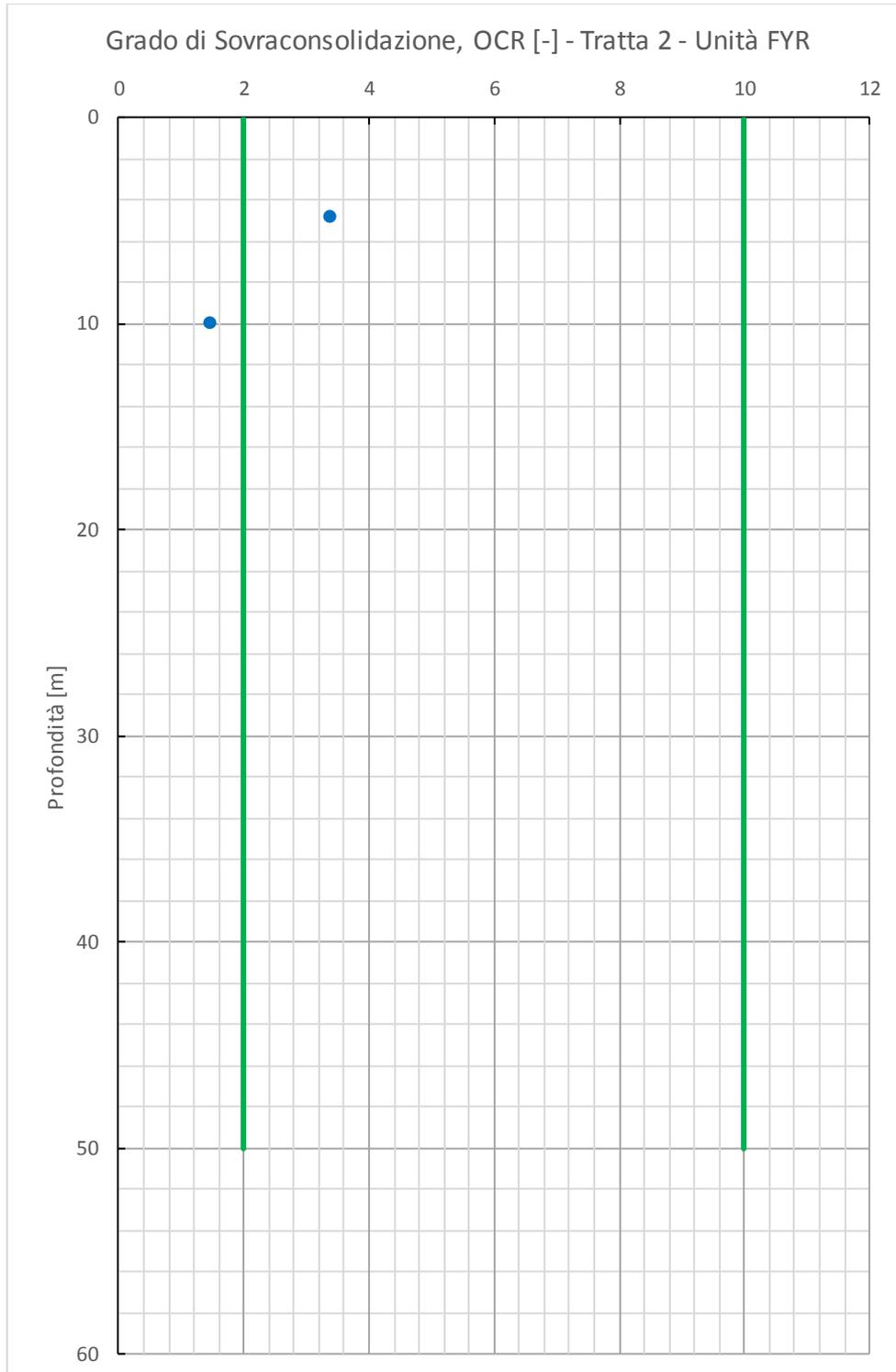


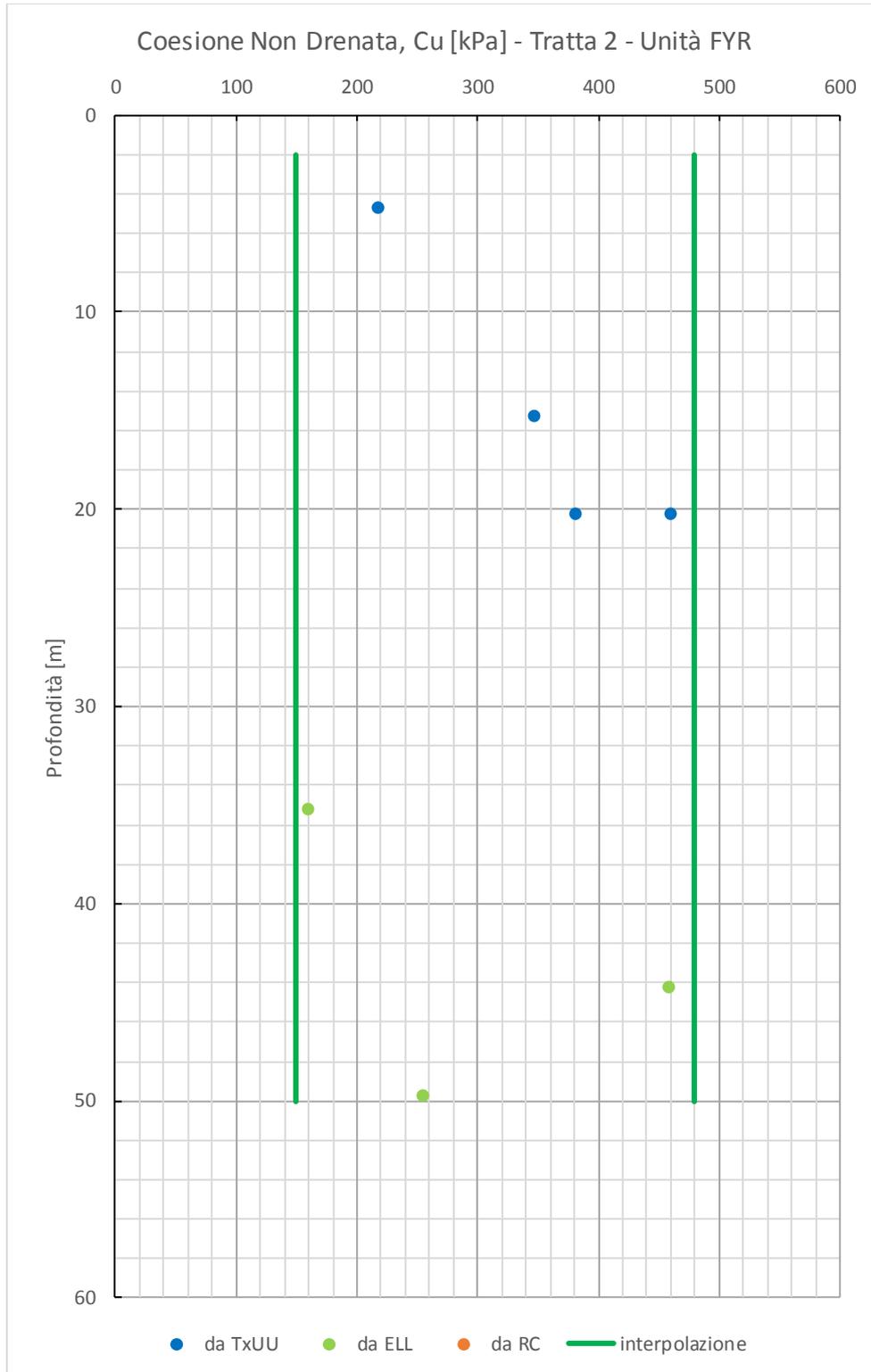




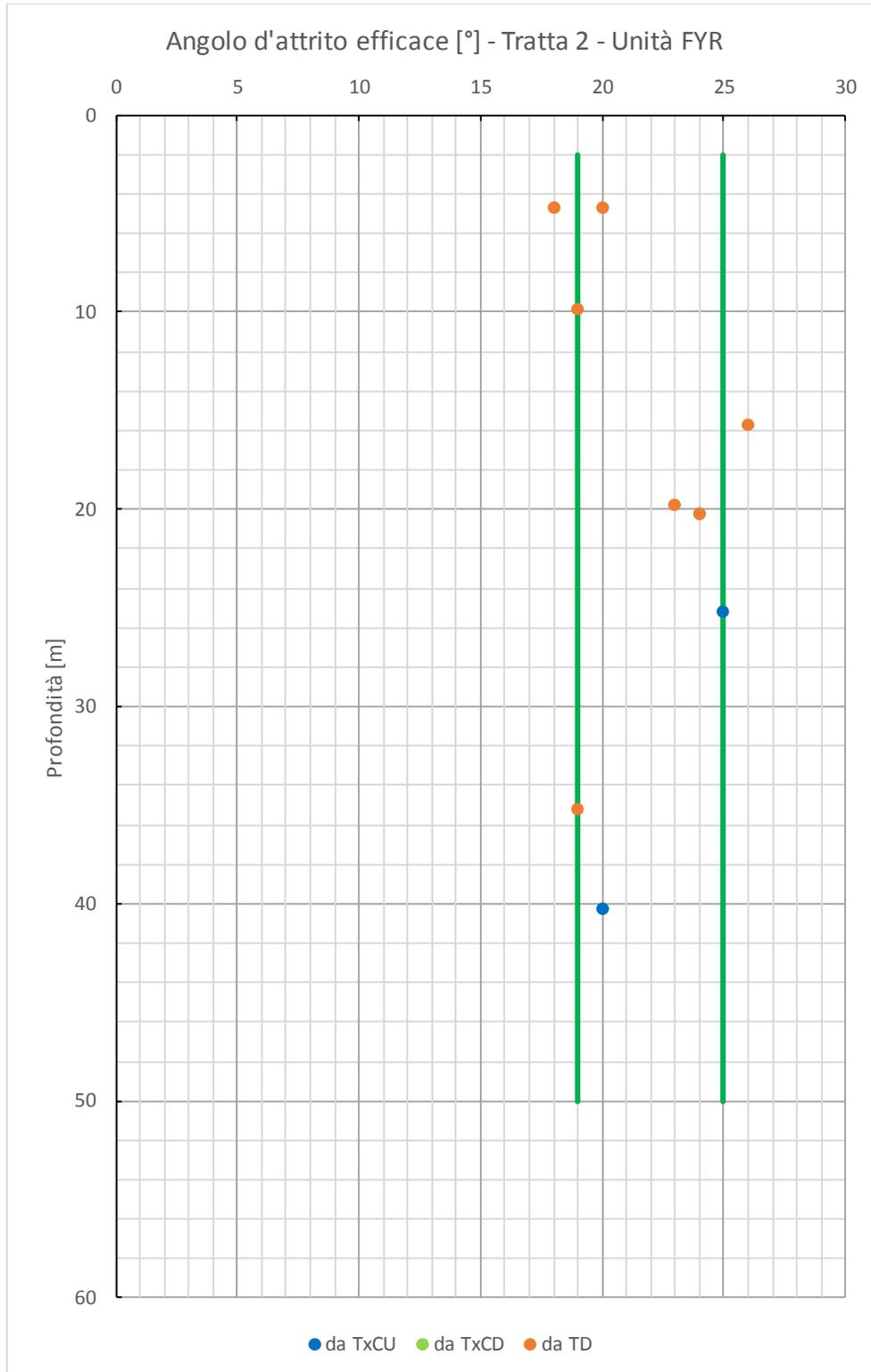












### 8.1 Caratterizzazione geotecnica tratto compreso tra la pk 4+700 e la pk 4+800

Nella Tabella 6 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 4+700 e la pk 4+800.

Tabella 6: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 4+700 a pk 4+800.

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.	20.0	FYRalt	var.	6.0
var.	>30.0	FYR		

Nella Tabella 7 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 4+700 e la pk 4+800.

Tabella 7: Parametri geotecnici caratteristici da pk 4+700 a pk 4+800 (Prove di riferimento: AU6).

	FYRalt	FYR
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	21	21
w [%]	20	20
LL [%]	60	60
$q_u/2$ [kPa]	-	-
$c_u$ [kPa]	200	350
$\phi'$ [°]	21	21
$c'$ [kPa]	12	18
$E_u / C_u$	-	-
$E_0$ [MPa]	315	615
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	63	123
$E_{op,2}$ (**) [MPa]	31.5	61.5
$c_r$ [-]	<u><math>6.0 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>6.0 \cdot 10^{-3}</math></u>
$c_c$ [-]	<u><math>1.0 \cdot 10^{-1}</math></u>	<u><math>1.0 \cdot 10^{-1}</math></u>
$c_{\alpha\epsilon}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$8.3 \cdot 10^{-6}$	$8.3 \cdot 10^{-6}$
$e_0$ [-]	0.6	0.6
OCR [-]	5	5
$v'$ [-]	0.3	0.3
$k$ [m/s]	$2.5 \cdot 10^{-7}$	<u><math>2.0 \cdot 10^{-7}</math></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 4+800 e la pk 4+875

Nella Tabella 8 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 4+800 e la pk 4+875.

Tabella 8: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 4+800 a pk 4+875.

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.	9.0	FYRa	var.	7.0
var.	>30.0	FYR		

Nella Tabella 9 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 4+800 e la pk 4+875.

Tabella 9: Parametri geotecnici caratteristici da pk 4+800 a pk 4+875 (Prove di riferimento: S10).

	FYRa	FYR
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	No dati disponibili	<u>21</u>
w [%]	No dati disponibili	<u>16</u>
LL [%]	No dati disponibili	<u>60</u>
$q_u/2$ [kPa]	No dati disponibili	-
$c_u$ [kPa]	No dati disponibili	350
$\phi'$ [°]	No dati disponibili	<u>21</u>
$c'$ [kPa]	No dati disponibili	<u>18</u>
$E_u/C_u$	No dati disponibili	-
$E_0$ [MPa]	No dati disponibili	515
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	No dati disponibili	103
$E_{op,2}$ (**) [MPa]	No dati disponibili	51.5
$c_r$ [-]	No dati disponibili	<u><math>6.0 \cdot 10^{-3}</math></u>
$c_e$ [-]	No dati disponibili	<u><math>1.0 \cdot 10^{-1}</math></u>
$c_{\alpha\epsilon}$	No dati disponibili	$2.5 \cdot 10^{-3}$
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	No dati disponibili	$8.3 \cdot 10^{-6}$
$e_0$ [-]	No dati disponibili	<u>0.4</u>
OCR [-]	No dati disponibili	<u>5</u>
$\nu'$ [-]	No dati disponibili	0.3
$k$ [m/s]	No dati disponibili	$5.0 \cdot 10^{-8}$

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 4+875 e la pk 5+075

Nella Tabella 10 si riporta la stratigrafia di riferimento e la profondità di falda di progetto per il tratto compreso tra la pk 4+875 e la pk 5+075.

Tabella 10: Stratigrafia e falda di riferimento da pk 4+875 a pk 5+075.

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.	15.0	FYRalt	var.	0.0÷7.0
var.	>30.0	FYR		

Nella Tabella 11 si riportano i parametri geotecnici di progetto per il tratto compreso tra la pk 4+875 e la pk 5+075.

Tabella 11: Parametri geotecnici caratteristici da pk 4+875 a pk 5+075 (Prove di riferimento: AU8).

	FYRalt	FYR
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	22	22
w [%]	16	16
LL [%]	<u>60</u>	50
$q_u/2$ [kPa]	-	-
$c_u$ [kPa]	<u>200</u>	350
$\phi'$ [°]	<u>21</u>	23
$c'$ [kPa]	<u>12</u>	<u>18</u>
$E_u/C_u$	-	-
$E_0$ [MPa]	245	620
$E_{op,1}$ (*) [MPa]	49	123
$E_{op,2}$ (***) [MPa]	24.5	62.0
$c_r$ [-]	<u><math>6.0 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>6.0 \cdot 10^{-3}</math></u>
$c_e$ [-]	<u><math>1.0 \cdot 10^{-1}</math></u>	<u><math>1.0 \cdot 10^{-1}</math></u>
$c_{\alpha\epsilon}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$2.6 \cdot 10^{-3}$
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$8.3 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$
$e_0$ [-]	0.4	0.35
OCR [-]	5	5
$\nu'$ [-]	0.3	0.3
$k$ [m/s]	$7.0 \cdot 10^{-8}$	<u><math>2.0 \cdot 10^{-7}</math></u>

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto da pk 4+700 a pk 5+075</b>	COMMESSA IF0G	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RB	DOCUMENTO OC0001 002	REV. A	FOGLIO 42 di 53

## 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 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 12. Sondaggi

Sondaggio	Campagna	Profondità	Falda (m)	SPT (n.)	Down-Hole
M2	2006	30	8.1	5	
AU6	2017	50	15.4	10	
S10	2015	30	7.7	4	
AU7	2017	50	8.1	3	
AU8	2017	50	10.0	10	
C11	2017	30	18.0	10	x
M1	2006	30	5.7	3	

Tabella 13. Stendimenti sismici (masw)

Stendimento	Campagna
AU6_masw	2017
AU7_masw	2017
AU8_masw	2017

### 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 rigidezza 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.

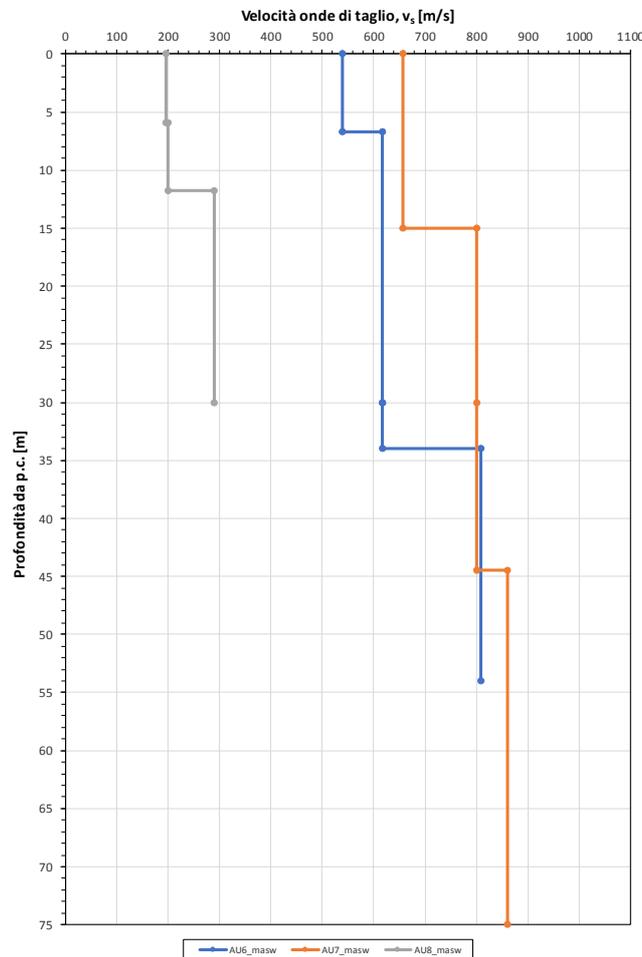


Figura 4. Profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da prove MASW.

### 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.

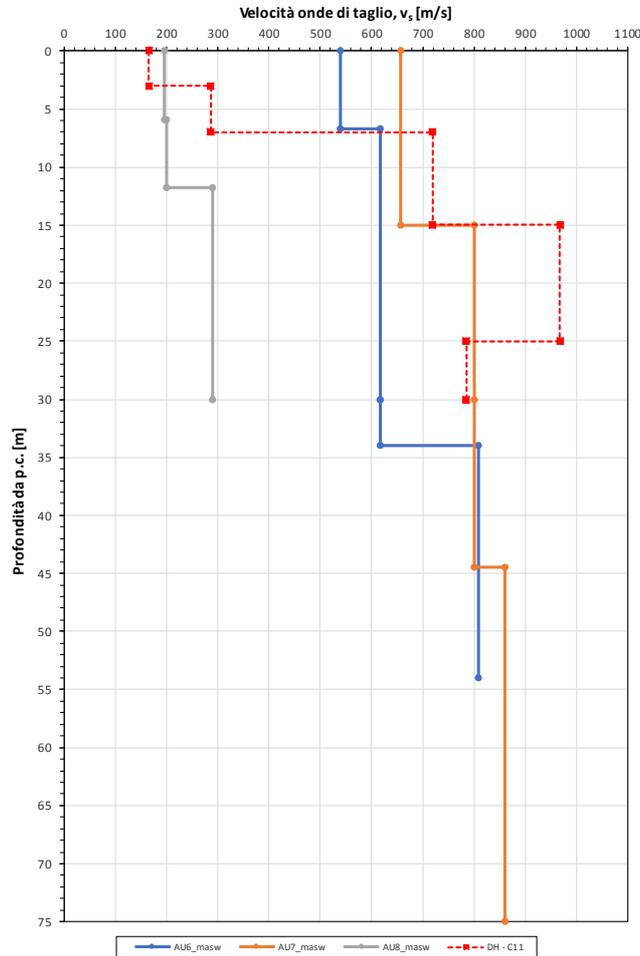


Figura 5. Profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da down-hole.

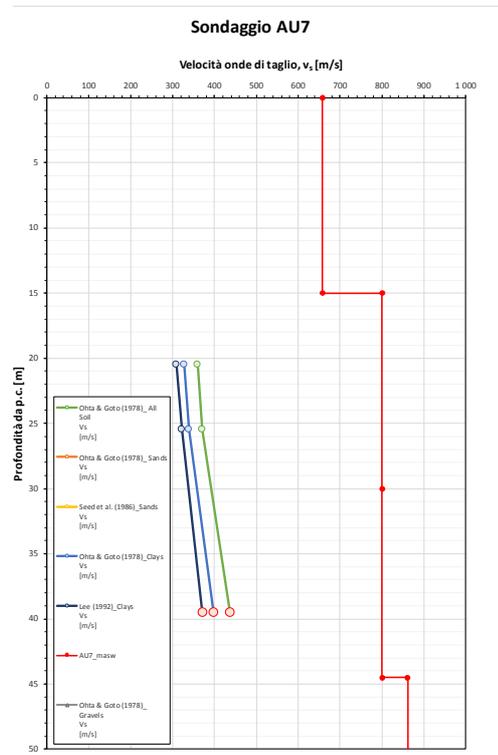
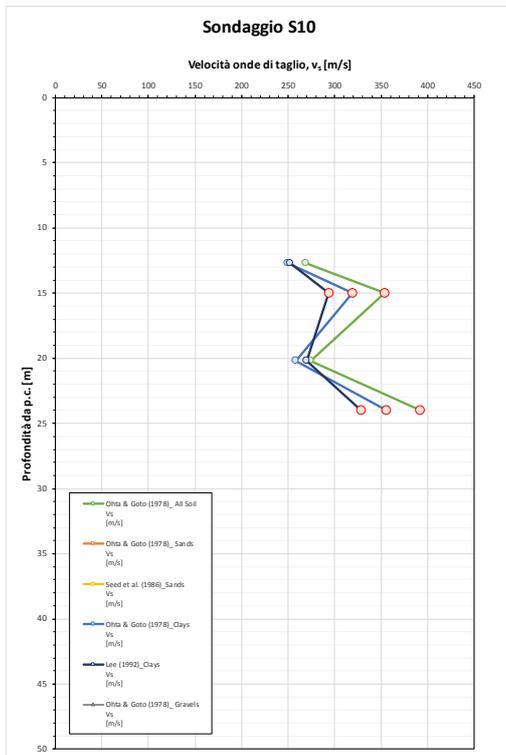
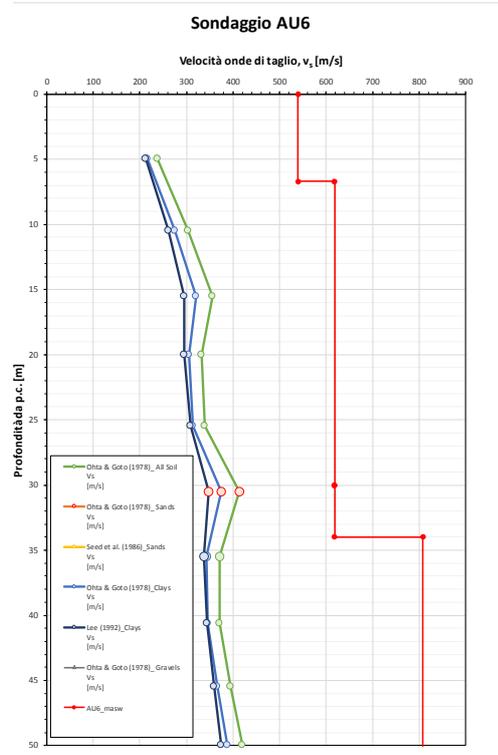
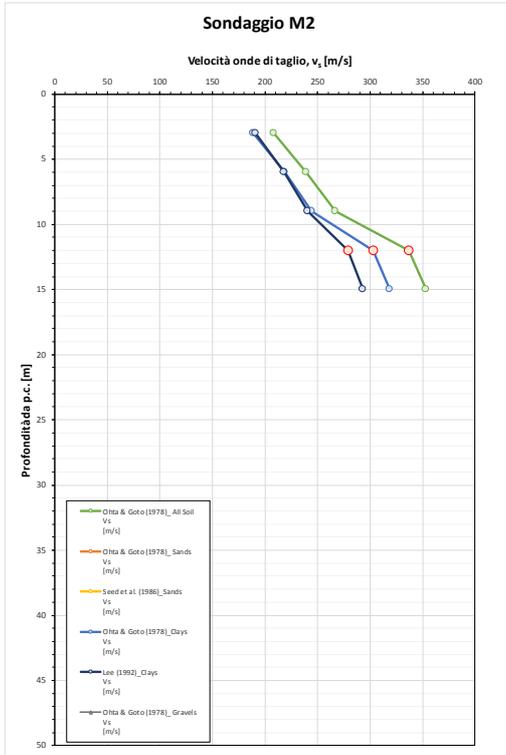
### 9.1.2.3 Stima della velocità delle onde di taglio da prove penetrometriche dinamiche $N_{SPT}$

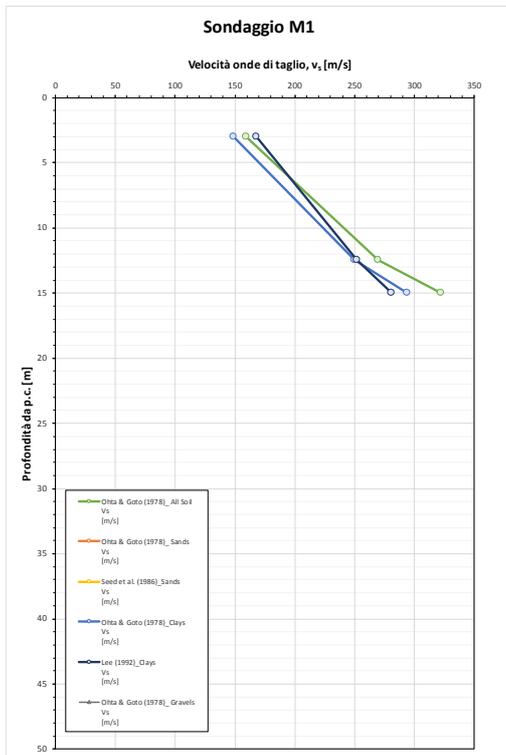
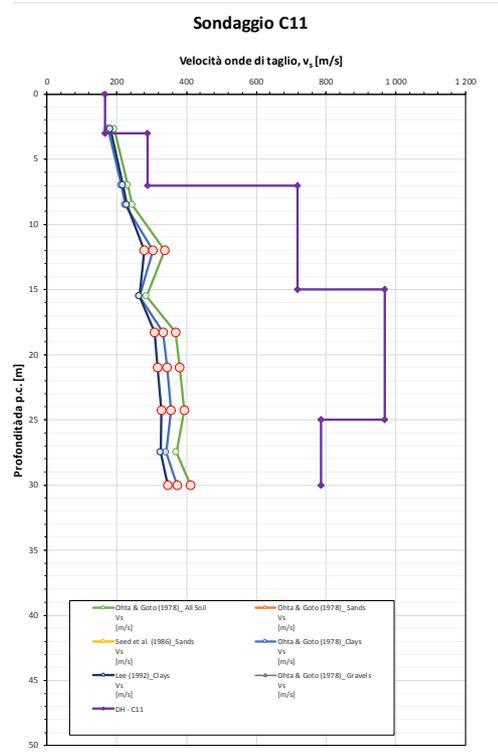
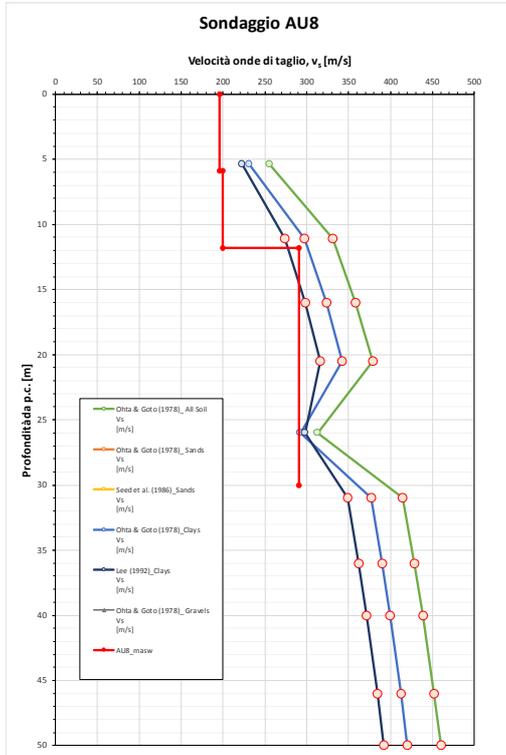
La velocità delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) è stata determinata a partire dai valori di  $N_{SPT}$  in funzione:

- ✓ 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.





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

$V_{s,30}$

In Tabella 14 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 14. 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			
AU6_masw	30.0	599	B
AU7_masw	30.0	722	B
AU8_masw	30.0	246	C
Down-hole			
C11 DH	30.0	501	B
Prove penetrometriche dinamiche (SPT)			
M2	15.0	256	C
AU6	30.0	305	C
S10	24.0	288	C
AU7	26.0	361	B
AU8	30.0	317	C
C11	30.0	290	C
M1	15.0	201	C

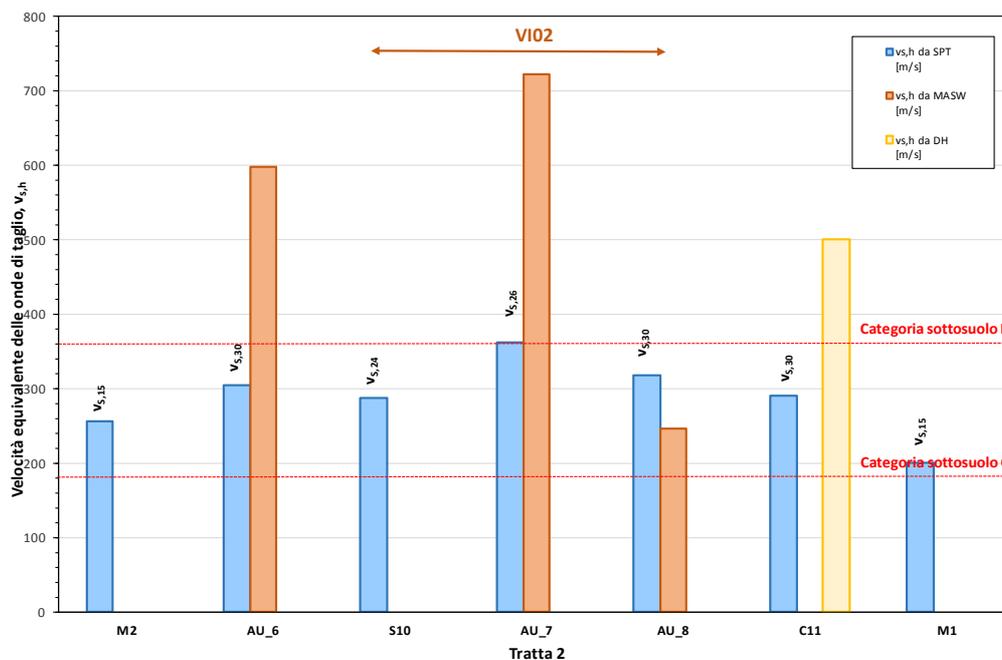


Figura 6. Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT

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

Data la natura dei terreni (flisch) che possono essere classificati come a grana fine, il criterio di classifica che fa riferimento al numero equivalente di colpi da prove penetrometriche dinamiche  $N_{SPT,30}$  non viene applicato.

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

In Tabella 15 e in Figura 7 si riportano i valori della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  determinata da prove con pocket penetrometer e la relativa categoria di suolo. I valori di PP sono stati estesi fino alla profondità di 30.0 m assumendo valido l'ultima misura disponibile ed escludendo nelle valutazioni gli strati litoidi.

Tabella 15. Resistenza non drenata equivalente da pocket penetrometer e relativa categoria di suolo

Sondaggio	$c_{u,30}$	Categoria suolo
M2	-	-
AU6	307	B
S10	327	B
AU7	300	B
AU8	199	C
C11	496	B
M1	300	B

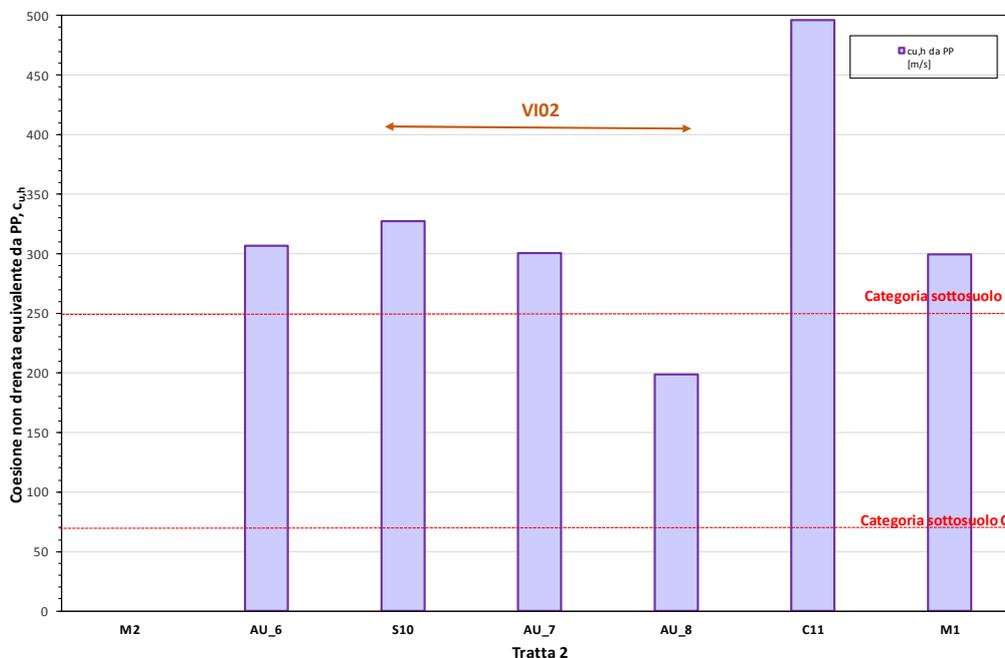


Figura 7. Andamento lungo la tratta della resistenza non drenata equivalente da pocket penetrometer e della relativa categoria di suolo

### 9.1.6 Sintesi dei risultati ottenuti

Netta tabella seguente si riporta una sintesi dei risultati ottenuti.

Viadotto VI02							
Sondaggio	M2	AU6	S10	AU7	AU8	C11	M1
V <sub>S30</sub> da DH							
Cat. B							
Cat. C							
V <sub>S30</sub> da masw							
Cat. B							
Cat. C							
V <sub>S30</sub> da SPT							
Cat. B							
Cat. C							
Criterio semplificato (c <sub>u,30</sub> )							
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 AU8 identifica una categoria C. In genere le V<sub>S,30</sub> da masw sono molto maggiori di quelle stimate da SPT;
- dall'unica prova down-hole (sondaggio C11) risulta un suolo tipo B;
- le V<sub>S,30</sub> stimate da SPT identificano un suolo tipo C ad esclusione della verticale AU7;
- dalla resistenza non drenata equivalente da pocket penetrometer risulta un terreno tipo B ad eccezione della verticale AU8.

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 T2, "Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ". La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio, sulla sommità fino alla base dove  $S_T$  assume valore unitario. In particolare:

- in corrispondenza delle pile di scavalco ( $h/H=0$ )  $S_T = 1,00$ .
- per la restante parte d'opera ( $h/H=0.25$ )  $S_T = 1,05$ .

### 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 16. 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	$\geq 100$

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 17. 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.

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°.042369

Latitudine: 41°.096295

Tabella 18: Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto.

Parametri indipendenti		Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV	STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.381 g	$a_g$	0.381 g
$F_o$	2.285	$F_o$	2.285
$T_C$	0.414 s	$T_C$	0.414 s
$S_s$	1.177	$S_s$	1.177
$C_C$	1.405	$C_C$	1.405
$S_T$	1.000	$S_T$	1.050
$q$	1.000	$q$	1.000
Parametri dipendenti		Parametri dipendenti	
$S$	1.177	$S$	1.236
$\eta$	1.000	$\eta$	1.000
$T_B$	0.194 s	$T_B$	0.194 s
$T_C$	0.582 s	$T_C$	0.582 s
$T_D$	3.125 s	$T_D$	3.125 s
Pile di scavalco (h/H=0)		Spalle e pile non di scavalco (h/H=0.25)	

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 19: Azione sismica di riferimento.

	Accelerazione di riferimento $a_g/g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Vita Nominale	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito $a_{max}/g$
Spalle e pile non di scavalco	0.381	C	T2 (h/H=25)	75	1.5	<b>0.471</b>
pile di scavalco	0.381	C	T2 (h/H=0)	75	1.5	<b>0.449</b>