

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA  
REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA  
LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE**

**GEOTECNICA**

Relazione geotecnica generale

SCALA:

-

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

N R 1 J 0 1 D 2 9 G E G E 0 0 0 5 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Serrau	11-2018	M. Arcangeli	11-2018	T. Paoletti	11-2018	 F. Arduini Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Via E. Fabrizio Arduini 00185 Roma Tel. +39 06 47842222
B	Revisione	F. Serrau	05-2020	L. Eboli	05-2020	T. Paoletti	05-2020	

## INDICE

1	PREMESSA .....	12
2	DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	13
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI .....	13
2.2	BIBLIOGRAFIA .....	14
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	17
3.1	DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI GEOLOGICHE DI INTERESSE .....	17
3.2	FORMAZIONI DELL' APPARATO VULCANICO SABATINO (PLEISTOCENE) .....	18
4	DESCRIZIONE SINTETICA DELLE OPERE DI PROGETTO .....	20
5	INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO E DI LABORATORIO .....	22
5.1	POSIZIONE DELLA FALDA E PERMEABILITÀ DA PROVE IN SITO .....	30
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE BIBLIOGRAFICHE - CONCESSIONE MINERARIA "SORGENTI ACQUA CLAUDIA" .....	34
7	INQUADRAMENTO GENERALE DEI LITOTIPI INCONTRATI LUNGO LA LINEA .....	35
8	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA .....	36
8.1	PARAMETRI DEL TERRENO DA PROVE DI LABORATORIO .....	37
8.1.1	<i>Proprietà fisiche- Stato tensionale in sito</i> .....	37
8.1.2	<i>Proprietà fisiche - Pressione di preconsolidazione OCR</i> .....	37
8.1.3	<i>Parametri di resistenza e deformabilità</i> .....	38
8.2	PARAMETRI DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DEL TERRENO DA PROVE IN SITO – SPT .....	38
8.2.1	<i>Caratteristiche fisiche - Densità relativa</i> .....	39
8.2.2	<i>Parametri di resistenza – Angolo di resistenza al taglio - terreni incoerenti</i> .....	40
8.2.3	<i>Parametri di resistenza – Coesione non drenata - terreni coesivi</i> .....	43
8.2.4	<i>Parametri di resistenza – Angolo di resistenza al taglio - terreni coesivi</i> .....	43
8.2.5	<i>Parametri di deformabilità - Moduli elastici di Young</i> .....	43

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	3 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

8.2.6	Parametri di deformabilità – Modulo confinato .....	45
8.2.7	Parametri di deformabilità – Modulo edometrico – terreni coesivi.....	45
8.2.8	Parametri di deformabilità – Modulo edometrico – terreni incoerenti.....	45
8.2.9	Parametri di deformabilità – Modulo elastico non drenato – terreni coesivi.....	46
8.3	PARAMETRI DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DEL TERRENO DA PROVE IN SITO – CPT E CPTU .....	46
8.3.1	Caratteristiche fisiche - Densità relativa .....	48
8.3.2	Parametri di resistenza – Resistenza al taglio non drenata (cu).....	49
8.3.3	Parametri di resistenza – Angolo di resistenza al taglio.....	49
8.3.4	Parametri di deformabilità - Moduli elastici – terreni incoerenti.....	50
8.3.5	Parametri di deformabilità - Moduli elastici confinati – terreni coesivi.....	51
8.3.6	Coefficiente di consolidazione verticale – terreni coesivi .....	51
8.4	CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ – ANGOLI E MODULI DA PROVE IN SITO GEOFISICHE .....	52
8.5	COEFFICIENTI DI PERMEABILITÀ DEI TERRENI – PROVE IN SITO E IC .....	53
8.6	CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DELLE ROCCE .....	55
8.6.1	Valutazione del parametro RMR <sup>89</sup> .....	56
8.6.2	Criteri di rottura.....	59
8.6.3	Caratteristiche di deformabilità da prove geofisiche .....	62
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	63
9.1	UNITÀ GEOTECNICA U0 – TERRENO COSTITUITO DA DEPOSITI ALLUVIONALI ED ELUVIO-COLLUVIALI PROSSIMALI AI FOSSI E CORSI D’ACQUA: LIMO ARGILLOSO/ARGILLA LIMOSA .....	63
9.2	UNITÀ GEOTECNICA U1A – TERRENI LIMO ARGILLOSO SABBIOSI E LIMOSI ARGILLOSI DEBOLMENTE SABBIOSI.....	63
9.2.1	Sondaggi acarotaggio continuo e prove SPT.....	63
9.2.2	Analisi granulometrica , limiti di Atterberg e peso dell’unità di volume.....	66
9.2.3	Prove meccaniche di laboratorio .....	71
9.2.4	Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....	73

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	4 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

9.2.5	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di attrito efficace terreni coesivi</i>	74
9.2.6	<i>Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico terreni coesivi</i>	75
9.2.7	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza la taglio terreni incoerenti</i>	76
9.2.8	<i>Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico</i>	77
9.2.9	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa</i>	78
9.2.10	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio</i>	79
9.2.11	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato</i>	80
9.2.12	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coesione non drenata</i>	81
9.3	UNITÀ GEOTECNICA U1B: TERRENI LIMO SABBIOSI DEBOLMENTE ARGILLOSI	82
9.3.1	<i>Sondaggio geognostico, analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume</i>	82
9.3.2	<i>Prove meccaniche di laboratorio: angolo di resistenza al taglio e coesione</i>	84
9.3.3	<i>Modulo elastico di progetto</i>	85
9.4	UNITÀ GEOTECNICA U2A: TERRENI SABBIOSI LIMOSI E LIMOSO SABBIOSI DEBOLMENTE ARGILLOSI	86
9.4.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT</i>	87
9.4.2	<i>Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume</i>	89
9.4.3	<i>Prove meccaniche di laboratorio</i>	94
9.4.4	<i>Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa</i>	96
9.4.5	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza la taglio terreni</i>	97
9.4.6	<i>Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico</i>	98
9.4.7	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa</i>	99
9.4.8	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio</i>	100
9.4.9	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato</i>	101
9.5	UNITÀ GEOTECNICA U2B: TERRENI SABBIOSI LIMOSI E SABBIOSI LIMOSI DEBOLMENTE ARGILLOSI	101
9.5.1	<i>Sondaggio geognostico, analisi granulometrica e peso dell'unità di volume</i>	102
9.5.2	<i>Prove meccaniche di laboratorio</i>	102

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	5 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

9.5.3	<i>Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....</i>	103
9.5.4	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio .....</i>	104
9.5.5	<i>Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico .....</i>	105
9.6	UNITÀ GEOTECNICA U3A –DEPOSITI VULCANICI INCOERENTI .....	106
9.6.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....</i>	107
9.6.2	<i>Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume.....</i>	108
9.6.3	<i>Prove meccaniche di laboratorio .....</i>	112
9.6.4	<i>Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....</i>	114
9.6.5	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio .....</i>	115
9.6.6	<i>Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico .....</i>	116
9.6.7	<i>Interpretazione prove in sito CPTU: densità relativa .....</i>	117
9.6.8	<i>Interpretazione prove in sito CPTU: angolo di resistenza al taglio .....</i>	118
9.6.9	<i>Interpretazione prove in sito CPTU: modulo elastico confinato.....</i>	119
9.7	UNITÀ GEOTECNICA U3B –DEPOSITI VULCANICI SEMICOERENTI .....	120
9.7.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....</i>	121
9.7.2	<i>Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume.....</i>	122
9.7.3	<i>Prove meccaniche di laboratorio .....</i>	125
9.7.4	<i>Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....</i>	127
9.7.5	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio .....</i>	128
9.7.6	<i>Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico .....</i>	129
9.7.7	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio .....</i>	130
9.7.8	<i>Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato.....</i>	132
9.8	UNITÀ GEOTECNICA U3C –DEPOSITI VULCANICI LITOIDI.....	134
9.8.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....</i>	134
9.8.2	<i>Analisi granulometrica e peso dell'unità di volume.....</i>	134

9.8.3	<i>Parametri di resistenza e deformabilità: prove meccaniche di laboratorio.....</i>	135
9.9	UNITÀ GEOTECNICA U4A –STRATI PREVALENTEMENTE ROCCIOSI.....	139
9.9.1	<i>Prove di laboratorio: peso dell'unità di volume .....</i>	139
9.9.2	<i>Parametri di resistenza e di deformabilità: prove meccaniche di laboratorio.....</i>	139
9.10	UNITÀ GEOTECNICA U4B –STRATI DA DEBOLMENTE AD ALTERATI PREVALENTEMENTE ROCCIOSI .....	143
9.10.1	<i>Parametri di resistenza e di deformabilità: prove meccaniche di laboratorio.....</i>	143
10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	145
10.1	MODELLO GEOTECNICO 1 – PK 27+769-29+050 .....	145
10.1.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....</i>	147
10.1.2	<i>Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume .....</i>	149
10.1.3	<i>Prove meccaniche di laboratorio .....</i>	157
10.1.4	<i>Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....</i>	167
10.1.5	<i>Interpretazione prove in sito SPT: coesione non drenata .....</i>	168
10.1.6	<i>Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco .....</i>	169
10.1.7	<i>Interpretazione prove in sito CPT: densità relativa .....</i>	171
10.1.8	<i>Interpretazione prove in sito CPT: coesione non drenata.....</i>	172
10.1.9	<i>Interpretazione prove in sito CPT: angolo di resistenza al taglio di picco .....</i>	173
10.1.10	<i>Interpretazione prove in sito CPT: modulo elastico <math>E_{op,1}</math> .....</i>	174
10.1.11	<i>Interpretazione prove in sito CPT: modulo edometrico .....</i>	176
10.1.12	<i>Modulo elastico non drenato.....</i>	177
10.1.13	<i>Interpretazione prove in sito CPT - Coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di permeabilità .....</i>	178
10.2	MODELLO GEOTECNICO 2 – PK 29+100-30+100.....	183
10.2.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....</i>	185
10.2.2	<i>Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume .....</i>	188

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	7 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

10.2.3	Prove meccaniche di laboratorio .....	197
10.2.4	Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....	217
10.2.5	Interpretazione prove in sito SPT: coesione non drenata .....	222
10.2.6	Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico $E_{op,1}$ (contributo parziale da NSpt).....	223
10.2.7	Modulo edometrico.....	226
10.2.8	Modulo elastico non drenato.....	226
10.2.9	Coefficiente di permeabilità e coefficiente di consolidazione verticale .....	228
10.2.10	Interpretazione prove in sito MASW e Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico.....	231
10.3	MODELLO GEOTECNICO 3 – PK 30+100-31+700 .....	241
10.3.1	Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....	242
10.3.2	Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume.....	244
10.3.3	Prove meccaniche di laboratorio .....	250
10.3.4	Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....	256
10.3.5	Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio .....	257
10.3.6	Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico .....	258
10.3.7	Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico.....	259
10.3.8	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa .....	260
10.3.9	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coesione non drenata.....	262
10.3.10	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio.....	263
10.3.11	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato.....	265
10.3.12	Interpretazione prove in sito MASW e Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico.....	266
10.4	MODELLO GEOTECNICO 4 – PK 31+700-32+950.....	272
10.5	MODELLO GEOTECNICO 5 – PK 32+950-34+600.....	273
10.5.1	Sondaggio a carotaggio continuo e prove SPT.....	274
10.5.2	Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume .....	276

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	8 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

10.5.3	Prove meccaniche di laboratorio .....	279
10.5.4	Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....	287
10.5.5	Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco .....	288
10.5.6	Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico Eop,1 .....	289
10.5.7	Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico.....	290
10.5.8	Interpretazione prova in sito CPTU: densità relativa.....	291
10.5.9	Interpretazione prova in sito CPTU: coesione non drenata.....	292
10.5.10	Interpretazione prova in sito CPTU: angolo di resistenza al taglio di picco.....	293
10.5.11	Interpretazione prova in sito CPTU: modulo elastico Eop,1 .....	294
10.5.12	Interpretazione prova in sito CPTU: modulo edometrico .....	295
10.5.13	Modulo elastico non drenato.....	296
10.5.14	Interpretazione prova in sito CPTU: coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di permeabilità .....	297
10.5.15	Interpretazione prova in sito Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico .....	301
10.6	MODELLO GEOTECNICO 6 – PK 34+600-36+050 .....	305
10.7	MODELLO GEOTECNICO 7 – PK 36+050-37+270 .....	306
10.7.1	Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.....	307
10.7.2	Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume .....	308
10.7.3	Prove meccaniche di laboratorio .....	311
10.7.4	Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....	313
10.7.5	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa .....	314
10.7.6	Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco .....	315
10.7.7	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio di picco .....	316
10.7.8	Interpretazione prove in sito SPT e CPT: coesione non drenata .....	318
10.7.9	Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico Eop,1 .....	320

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	9 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

10.7.10	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico $E_{op,1}$ .....	321
10.7.11	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo edometrico .....	323
10.7.12	Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico.....	324
10.7.13	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coefficiente di permeabilità .....	324
10.7.14	Interpretazione prova in sito Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico .....	326
10.8	MODELLO GEOTECNICO 8 – PK 37+270-38+000 .....	330
10.9	MODELLO GEOTECNICO 9 – PK 38+000-39+497 .....	331
10.9.1	Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT .....	333
10.9.2	Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume .....	336
10.9.3	Prove meccaniche di laboratorio .....	343
10.9.4	Premessa alle interpretazioni delle prove .....	347
10.9.5	Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa.....	347
10.9.6	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa .....	348
10.9.7	Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco .....	349
10.9.8	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio di picco.....	351
10.9.9	Interpretazione prove in sito SPT: coesione non drenata .....	352
10.9.10	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coesione non drenata.....	353
10.9.11	Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico $E_{op,1}$ .....	354
10.9.12	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico $E_{op,1}$ .....	355
10.9.13	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo edometrico .....	358
10.9.14	Modulo elastico non drenato.....	361
10.9.15	Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di permeabilità .....	362
11	SISMICITA' E CARATTERIZZAZIONE IN BASE ALLE NTC 2018 E DGR LAZIO N. 387 DEL 22 MAGGIO 2009.....	369
11.1	CLASSIFICAZIONE STRATIGRAFICA AI FINI DELLA AMPLIFICAZIONE DELLA AZIONE SISMICA .....	370

11.2	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	373
11.2.1	Tratto 1 - dalla pk 27 +769 alla pk 34+500.....	376
11.2.2	Tratto 2 - dalla pk 34+500 alla pk 39+497.....	380
12	SUSCETTIBILITÀ DEI TERRENI ALLA LIQUEFAZIONE .....	384
12.1	INTRODUZIONE AL FENOMENO E LIMITI NORMATIVI.....	384
12.2	VERIFICA DEI TERRENI ALLA LIQUEFAZIONE.....	391
12.2.1	Metodi semplificati.....	391
12.2.2	Domanda di resistenza alla liquefazione (CSR).....	392
12.2.3	Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove SPT.....	392
12.2.4	Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove penetrometriche CPT .....	394
12.2.5	Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove geofisiche .....	396
12.2.6	Fattore di correzione della magnitudo (MSF).....	398
12.2.7	Valutazione degli effetti della liquefazione .....	399
12.2.8	Risultati delle analisi di liquefazione da prove SPT.....	401
12.2.9	Risultati delle analisi di liquefazione da prove CPT e CPTU .....	407
12.2.10	Risultati delle analisi di liquefazione da prove geofisiche .....	411
12.2.11	Conclusioni delle analisi di liquefazione.....	417
13	INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE .....	421
13.1	NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO.....	421
13.2	PREMESSA .....	421
13.3	METODOLOGIE DI CALCOLO .....	421
13.4	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	422
13.5	AZIONE SISMICA .....	424
13.6	RISULTATI.....	425
13.7	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	428

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	11 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

13.8	VERIFICHE DI STABILITÀ POST-OPERAM.....	429
14	ALLEGATO 1 – CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA ALLA LIQUEFAZIONE DA PROVE SPT .....	431
15	APPENDICE A. - MODELLI GEOTECNICI .....	432
16	APPENDICE B. ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO GEOSTUDIO 2018 (SLOPE/W).....	433
16.1	ANALISI STATICA ANTE-OPERAM.....	433
16.2	ANALISI SISMICA ANTE-OPERAM.....	438
16.3	ANALISI SISMICA POST-OPERAM .....	443

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>12 di 452</p>

## 1 PREMESSA

Il presente documento ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche e geotecniche presenti raddoppio della ferrovia Roma - Viterbo nella tratta extraurbana tra la stazione di Cesano di Roma e la stazione di Vigna di Valle, da progr. Km 27+811 a progr. Km 39+280. La caratterizzazione, oggetto del presente documento, è finalizzata al progetto di raddoppio e la velocizzazione di un tratto ferroviario di circa 12 Km, della linea Roma - Viterbo, compreso tra le stazioni di Cesano e Vigna di Valle. Il tracciato di progetto inizia poco oltre la stazione di Cesano e termina alla Stazione di Vigna di Valle.



**Figura 1 - Inquadramento dell'area di intervento**

La presente caratterizzazione è stata effettuata sulla base sia dei risultati delle indagini, in sito e di laboratorio, svolte da Italferr sia dei dati relativi ad altre campagne di indagini integrative svolte nelle zone oggetto degli interventi.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>13 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	13 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	13 di 452								

## 2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Nella stesura della relazione si è fatto riferimento a quanto elencato di seguito.

- [1]. Progetto Preliminare – Relazione geologica-geotecnica – PDF. 0331\_10\_FPR\_PP\_GRXX\_07\_00\_001
- [2]. Profilo geologico tav.1/2 - Scala 1:5000/1:500 PDF. NR1J01D69F5GE0001001A
- [3]. Profilo geologico tav.2/2 - Scala 1:5000/1:500 PDF. NR1J01D69F5GE0001002A
- [4]. Carta geologica e geomorfologica tav.1/4 - Scala 1:5000 PDF. NR1J01D69 N5GE0001001A
- [5]. Carta geologica e geomorfologica tav.2/4 - Scala 1:5000 PDF. NR1J01D69 N5GE0001002A
- [6]. Carta geologica e geomorfologica tav.3/4 - Scala 1:5000 PDF. NR1J01D69 N5GE0001003A
- [7]. Carta geologica e geomorfologica tav.4/4 - Scala 1:5000 PDF. NR1J01D69 N5GE0001004A
- [8]. Relazione geologica, geomorfologica e sismica – PDF. NR1J01D69RGGE0001001A
- [9]. Profilo geotecnico di linea tav. 1/8-8/8 Scala 1:200/1:2000 - NR1J01D29GEGE0005001B-8B
- [10]. Indagini geofisiche –PDF. NR1J01D69IGGE0001001A
- [11]. Prove di laboratorio geotecnico –PDF. NR1J01D69IGGE0001001A
- [12]. Indagini geognostiche e prove in sito –PDF. NR1J01D69SGGE0001001A

### 2.1 Normative e raccomandazioni

- [13]. Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018.
- [14]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2018;
- [15]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 B “Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale”.
- [16]. Norme UNI ENV 1991, UNI ENV 1992, UNI EN 1993, UNI EN 1997 e UNI EN 1998
- [17]. D.G.R. Lazio n. 545 del 26 Novembre 2010 - Linee Guida per l’utilizzo degli indirizzi e criteri generali per gli studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio di cui alla DGR Lazio n. 387 del 22/05/2009
- [18]. RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011: “Specifiche per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”, RFI.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>14 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	14 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	14 di 452								

## 2.2 Bibliografia

- [19]. Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata, F. Roccaforte - C. Cucinotta
- [20]. Prove geotecniche in sito, F. Cestari; II Edizione; Segrate 1996
- [21]. Geotecnica, R. Lancellotta; Terza edizione, 2008, Zanichelli
- [22]. INGV (2006) – Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale per la G.U. n.108 del 11/05/2006. Disponibile in internet all'indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>
- [23]. Data Base of Individual Seismogenic Sources - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)
- [24]. Carta Idrogeologica scala 1:100.000. Regione Lazio Dip.Territorio (2012)
- [25]. Autorità di Bacino della regione Lazio (2012) – Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della regione Lazio
- [26]. De Rita & Giordano (2009) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 387 “Albano Laziale”. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
- [27]. Gonzalez de Vallejo L.I. (2005) – Geingegneria. Pearson Education Italia
- [28]. ISPRA (2013) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 143. Servizio Geologico d'Italia
- [29]. Bieniawski Z.T. (1978) “Determining rock mass deformability – Experience from case histories!” Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 15:237-248.
- [30]. Bieniawski Z.T. (1989) “Engineering Rock Mass Classifications” New York, John Wiley & Sons.
- [31]. Brown E.T., Hoek E. (1988) “Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled “Determination of shear failure envelope in rock masses” Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 114, n° 3.
- [32]. Chandler R.J., de Freitas M.H., Marinos P. (2004) “Geotechnical characterisation of soils and rocks: a geological perspective” Advances in Geotechnical Engineering, The Skempton Conference, 2004, Thomas Telford, London.
- [33]. Clayton C.R.I. (1995) “The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use” CIRIA Report n° 143, 1995.
- [34]. Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) “Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils” Soils and Foundations, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.
- [35]. De Mello V.F.B (1971). The Standard Penetration Test. SOA Report, Proc. IV Panamerican Conf. on SMFE, San Juan, Puerto Rico

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	15 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

- [36]. Durgunoglu H.T., Mitchell J.K. (1975) “Static penetration resistance of soils, I -Analyses, II - Evaluation of the theory and interpretation for practice” aSCE Specialty Conference on in Situ Measurements of Soil Properties, Raleigh NC, V.I.
- [37]. Fahey M. (1992) “Shear modulus of cohesionless soil: variation with stress and strain level” Canadian Geotechnical Journal, n°30.
- [38]. Gibbs H. J., Holtz W. G. (1957): “Research on determining the density of sands by spoon penetration testing”. Proc. 4th ICSMFE, London, vol. 1, pp. 35- 39.
- [39]. Goodman R.E. (1989) “Introduction to rock mechanics”. Second edition, John Wiley & Sons.
- [40]. Hoek E., Brown E.T. (1980) “Underground excavations in rock” London, Institution of Mining and Metallurgy.
- [41]. Hoek E. (1983) “Strength of jointed rock masses” Géotechnique, 33, n° 3.
- [42]. Hoek E., Brown E.T. (1988) “The Hoek-Brown failure criterion – A 1988 update” Proc. of 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada.
- [43]. Hoek E., Wood D., Shah S. (1992) “A modified Hoek-Brown failure criterions for jointed rock masses” Proc. Int. ISRM Symposium on Rock Characterisation, EUROCK’92, Chester, United Kingdom.
- [44]. Hoek E., Marinos P., Benissi M. (1998) “Applicability of the Geological Strenght Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses” The Case of Athens Schist Formation, Bull. Engg, Geol, Env. 57(2), 151-160.
- [45]. Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002) “Hoek-Brown failure criterion- 2002 edition” Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, July.
- [46]. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) “New correlations of penetration tests for design practice” Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [47]. Londe P. (1988) “Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled “Determination of shear failure envelope in rock masses” Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 114, n° 3.
- [48]. Marinos P., Hoek E. (2000) “GSI: a geologically friendly tool for rock mass strenght estimation” GEO-ENG.
- [49]. Morgenstern N.R. (1990) "Instability mechanismsin stiff soils and weak rocks" Proc. X Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, vol.2, pag.27.



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

16 di 452

NR1J

01

D 29 GE

GE 00 05 001

A

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

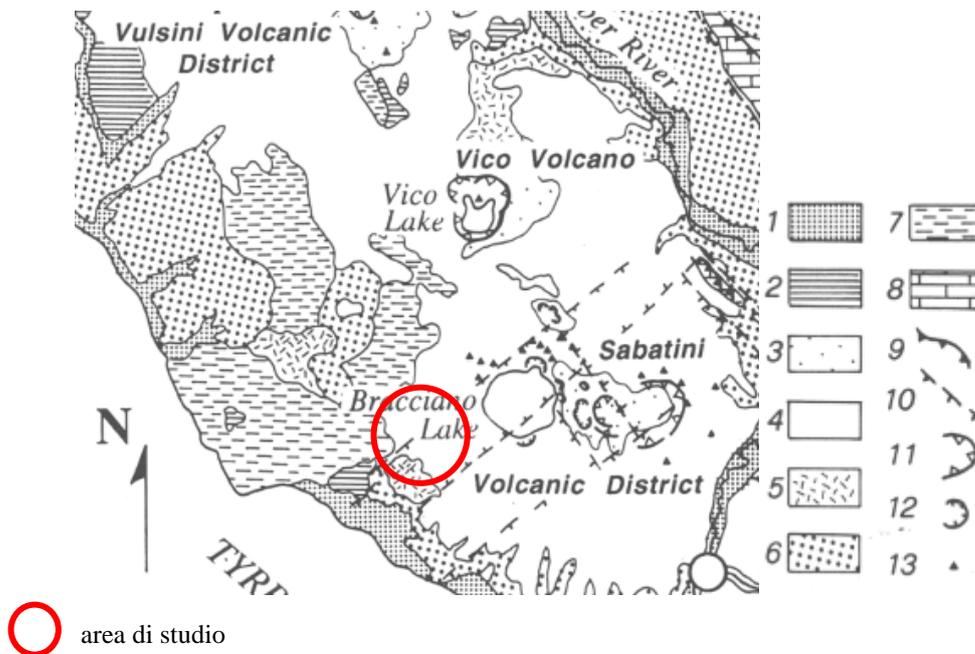
- [50]. Serafim J.L., Pereira J.P. (1983) “Considerations of the geomechanic classification of Bieniawski” Proc. Int. Symp. On Engg, Geol. And Underground Constr. (L.N.E.C., Lisb. Portugal), Vol.1, Section 2, pp.33-42.
- [51]. Skempton A.W. (1986). Standard Penetration Tests Procedures & the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation.
- [52]. Sjoberg J. (1997) “Estimating rock mass strength using the Hoek-Brown failure criterion and rock mass classification – A review and application to the Aznalcollar Open Pit” Internal Report, Division of Rock Mechanics, Lulea University of Technology.
- [53]. Schmertmann J.H. (1977): “Guidelines for cone interpretation test performance and design”. Report FHWA-TS-78-209, U.S. Department of Transportation, Washington.
- [54]. Stroud M.A. (1988) “The Standard Penetration Test – Its application and interpretation” Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- [55]. Tokimatsu K., Yoshimi Y. (1983) “Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content” Soils and Foundations 23, n° 4.
- [56]. Andrus R.D., Stokoe K.H. (novembre 2000) “Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity”. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering.

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A	<b>FOGLIO</b>  <b>17 di 452</b>

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 3.1 Descrizione delle principali formazioni geologiche di interesse

La caratterizzazione geotecnica riportata nei paragrafi seguenti riguarda le sole formazioni geologiche che interferiscono con il raddoppio della ferrovia Roma – Viterbo, nella tratta extraurbana tra la stazione di Cesano di Roma e la stazione di Vigna di Valle. Tali formazioni e litologie sono state intercettate dai sondaggi delle campagne di indagine descritte nel **capitolo 5**.



**Fig. 3-1 Schema geologico generale d'inquadrimento dell'area di studio (1: sedimenti marini e continentali –Pleistocene/Olocene; 2: travertini; 3: unità idromagnetiche; 4: distretto vulcanico acido Tolfa/Cerite/Manziate; 5: prodotti vulcanici K-alcinali; 6: sedimenti marini plio-pleistocenici; 7: marne e calcari marnosi oligocenici; 8: calcari e marne meso-cenozoici; 9: sovrascorrimenti; 10: faglie normali; 11: caldere; 12: crateri; 13: coni di scorie.**

In particolare, nell'area interessata dal presente lavoro di indagine, sono presenti per gli spessori di interesse le vulcaniti alcaline, basiche ed intermedie del ciclo Sabazio: lave, ignimbriti e tufi vari, oltre alle coltri di copertura e depositi alluvionali-lacustri. I prodotti vulcanici hanno consistenza differente, si va dai termini sciolti/incoerenti con vario grado di addensamento a termini semicoerenti - coerenti/litoidi.

Le fasi vulcaniche principali di carattere regionale che interessano il ciclo Sabatino sono rappresentate da due cicli di effusioni ignimbritiche, localmente sovrapposti a depositi vulcanico-sedimentari, che sottostanno ad ampie effusioni laviche. Un ultimo tardivo ciclo effusivo ha determinato la messa in posto di una serie di colate di probabile natura ignibritica spesso ad alta temperatura; episodi esplosivi o fluvio-lacustri sono ampliamenti manifesti in alternanza ai termini maggiori della serie vulcanica.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>18 di 452</b></p>

Per quanto riguarda l'assetto tettonico si può sintetizzare e descrivendo l'area come una serie di massimi e minimi derivanti da anomalie di Bouger, queste nel sottosuolo ad W del Lago di Bracciano mostrano andamenti allungati in direzione NW-SE (direttrice appenninica).

Questa situazione determina un panorama globale ad alti e bassi gravimetrici interpretabili come effetto di un assetto strutturale ad horst e graben, limitati da faglie dirette, prodotte dalla tettonica distensiva tardo miocenica.

Su tale andamento generale se ne imposta un altro con forme sub circolari legate verosimilmente ad attività vulcano-tettoniche conseguenti il vulcanismo.

La stratigrafia dell'area indagata è costituita:

1. FORMAZIONI SEDIMENTARIE CONTINENTALI (Pleistocene – Olocene)

Alluvioni attuali/depositi eluviali di fondo valle

*Argille, limi, sabbie e ghiaie. Depositati in epoca recente ed attuale dai corsi d'acqua, depositi eluviali argilloso-sabbiosi con materiale piroclastico rimaneggiato. Lenti di argilla e argilla torbosa, di riempimento delle valli dei corsi d'acqua principali.*

Depositi sartumosi

*Depositi prevalentemente limo argillosi in facies palustre, lacustre e salmastre; argille terrose nerastre o grigiastre dovute al colamento di conche palustro-lacustri. La loro origine va ricondotta a fasi palustro-lacustri connesse con la colmata di antichi laghetti e piccole paludi.*

Prodotti del dilavamento

*Terreni Eluvio Colluviali di alterazione del substrato vulcanico a matrice limo sabbiosa con inclusi vulcanici.*

**3.2 FORMAZIONI DELL'APPARATO VULCANICO SABATINO (Pleistocene)**

Tufo di Cesano

Tufo prevalentemente incoerente, grigio, a volte giallastro, ricchi di inclusi di lave e di rocce sedimentarie, ricco di pomici gialle e biancastre.

Tufo di Baccano

*Tufo grigio stratificato prevalentemente litoide ricco di frammenti di lava, di scorie, di rocce sedimentarie, pomici (fino a 15cm). Matrice cineritica pomicea.*



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

19 di 452

NR1J

01

D 29 GE

GE 00 05 001

A

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Il tufo di Baccano è stato emesso dal cratere di Baccano, il più imponente, ed anche meglio conservato cratere dell'apparato sabatino. Il tufo è in genere litoide, alquanto massivo, grigio, ricco di inclusi di rocce del basamento sedimentario; soltanto nella parte basale, ed in parte nelle zone periferiche, può presentarsi cineritico ed incoerente.

#### Tufo di Vigna di Valle

*Flusso Piroclastico da semi coerente a massivo in matrice scoriacea-pomicea. Da finemente stratificati (ceneri, lapilli e depositi di surge) con laminazione incrociata dei livelli pomicei o senza evidente stratificazione. Colata piroclastica superiore di Sacrofano (trachite con leucite). Di colore da giallo a grigio.*

#### Tufi di Bracciano

*Flusso piroclastico da semi incoerente ad incoerente. Sottilmente stratificati o massivi. Colata piroclastica - ignimbrítico fonolitico/tefritica o trachitica con biotite, pirosseno, leucite, inclusi lavici e sedimentari in matrice pomicea grigio chiara. Localmente presenta consistenza semicorente-litoide, altrove invece incoerente ("pozzolana").*

*Al letto la formazione si presenta decisamente più litoide con abbondanti presenze di blocchi lavici leucitici.*

#### Tufi stratificati varicolori de La Storta

*Depositi piroclastici di ricaduta, lapillosi e cineritici, in strati contenenti scorie e litici lavici di dimensioni centimetriche, intercalati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati e sedimenti lacustri; Colore da marrone a giallo ed a grigio. Costituiti prevalentemente da lapilli e ceneri con intercalati livelli di pomici bianco giallastre. Scorie e Leuciti – Tefriti fino a Leuciti intercalate.*

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>20 di 452</b></p>

#### 4 DESCRIZIONE SINTETICA DELLE OPERE DI PROGETTO

Il progetto in esame riguarda il raddoppio della linea ferroviaria alla distanza di 5,50 m dal binario attuale, lo spostamento dell'esercizio sul binario raddoppiato (futuro binario dispari), il rifacimento della sede esistente (compreso il sub-ballast) e la realizzazione del binario pari con interasse di 4,00 m.

I ponticelli e i tombini al di sotto del binario esistente, verranno demoliti e ricostruiti secondo la normativa ad oggi vigente e secondo il nuovo carico assiale e la velocità di progetto, garantendo lo stesso standard sia per il binario pari sia per il dispari.

La stazione di Cesano sarà munita di comunicazioni pari/dispari, lato Anguillara. La stazione di Anguillara sarà dotata di due binari di circolazione, un binario di precedenza promiscuo lato fabbricato viaggiatori e un binario secondario centralizzato adibito per attestamento di materiali. La stazione sarà inoltre dotata di un sottopasso di

stazione munito di rampe di accesso/ascensori; scale fisse e rampe per i disabili, impianti di illuminazione, audio, telecontrollo e security, opere a verde.

La località di Crocicchie sarà costituita da un Posto di Comunicazione baricentrico tra le stazioni di Cesano e Bracciano. In particolare la presente caratterizzazione geotecnica è finalizzata alla progettazione di tutte le opere e delle varianti di linea riguardanti l'intera tratta ferroviaria.

Nella successiva Tabella 4.1 è riportato l'elenco di dettaglio delle opere/tratte di interesse e per ciascuna opera sono riportate le formazioni geologiche di riferimento. La caratterizzazione di tali formazioni è oggetto dei capitoli 10 e 0 a cui si rimanda per la definizione dei relativi parametri di calcolo, mentre si rimanda ai profili geotecnici (vedi documenti di riferimento [2] e [3]) per la definizione delle specifiche indicazioni stratigrafiche.

**Tabella 4.1: Tabella riepilogativa Opere di pertinenza – Formazioni geologiche**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	21 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Opera di pertinenza - Viabilità	Formazioni geologiche di riferimento
NV01 – Viabilità alternativa PL km 29+500	Tufo di La Storta
NV03 – Adeguamento viabilità esistente km 30+940	Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano/ Leuciti
NV04 – Adeguamento viabilità esistente km 38+695	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di Bracciano
NV05 – Viabilità di accesso fermata di Vigna di Valle	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
NV06 – Ripristino viabilità esistente km 39+100	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
NV07 – Ripristino viabilità esistente km 39+450	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
NV08 – Viabilità alternativa PL km 29+500	Tufo di La Storta
<b>Opera di pertinenza – Cavalcaferrovia, sottovia, opere di scavalco, ponti ferroviari</b>	
GA01 -Opera di scavalco al km 35+085	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
IV01 – Cavalcaferrovia per soppressione PL km 29+500	Tufo di La Storta
IV03 – Cavalcaferrovia per soppressione PL km 30+975	Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano/ Leuciti
IV04 – Sovrappasso pedonale alla pk 39+250	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
VI01 - Ponte ferroviario al km 38+650	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
<b>Opera civili: stazioni e fermate</b>	
FA01-Fabbricato tecnologico km 30+380	Tufo di La Storta
FA02-Fabbricato tecnologico km 35+900	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	22 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

FA03-Fabbricato tecnologico km 38+400	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano
FV01 – Stazione di Anguillara	Tufo di La Storta
FV02 – Stazione di Vigna di Valle	Tufo di Vigna di Valle/Tufo di La Storta/Tufo di Bracciano

## 5 INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO E DI LABORATORIO

I dati stratigrafici e geotecnici riportati nel presente documento di progetto e nei relativi profili geotecnici sono stati elaborati sulla base dei risultati delle campagne di indagine svolte in varie fasi in corrispondenza del tratto di raddoppio di linea ferroviaria.

Ai fini della presente caratterizzazione sono stati analizzati tutti i dati disponibili. In particolare:

- Per la caratterizzazione geotecnica delle formazioni litostratigrafiche sono stati considerati tutti i dati presenti, sia di sito che di laboratorio;
- Per la redazione dei profili stratigrafici sono state considerate le verticali utili disponibili di cui in
- 
- 
- Tabella 5.1 ed il profilo geologico.

Le campagne di indagine analizzate in questa sede sono state eseguite in due fasi differenti:

- **Campagna di indagine Ottobre 2017:** n° 10 sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza pari a 30 m e n° 2 sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza 10 m distribuiti lungo l'intera tratta ferroviaria. L'esecuzione di n° 12 prove Lefranc. Esecuzione di n° 1 prova MASW e n° 4 prove geofisiche Down-Hole.
- **Campagna di indagine Giugno 2018:** n° 4 sondaggi a carotaggio continuo (lunghezza pari a 30m) distribuiti lungo l'intera tratta ferroviaria.
- **Campagna di indagine Settembre 2018:** n° 2 sondaggi a carotaggio continuo (lunghezza pari a 30m) nelle vicinanze della stazione di Vigna di Valle.
- **Campagna di indagine Novembre 2019:** n° 4 sondaggi a carotaggio continuo (lunghezza pari a 30m, 45m e 10m) distribuiti lungo l'intera tratta ferroviaria. L'esecuzione di n° 4 prove Lefranc. Esecuzione

di n°4 prove CPT (CPT1÷4) e n° 6 prove CPTU (CPTU5÷10). . Esecuzione di n° 6 prova MASW e n° 6 prove HVSR.

Per maggior dettaglio si rimanda alla

Tabella 5.1 derivante dalla relazione geologica.

Sono state eseguite prove in foro di sondaggio; tali prove, eseguite durante le campagne sono prove SPT e prove di permeabilità Lefranc nei terreni incontrati (per maggior dettaglio si rimanda alla Tabella 5.2); sono state eseguite anche delle prove geofisiche (per maggior dettaglio si rimanda alla

Tabella 5.3).

**Tabella 5.1: Tabella riepilogativa sondaggi geognostici in sito**

Sondaggio	Anno	L[m]	Quota testa foro [m slm]
S07_2018	Settembre 2018	30.00	247.00
S06_2018	Settembre 2018	30.00	248.00
SA_01	Giugno 2018	30.00	253.00
SA_02	Giugno 2018	30.00	256.00
SA_03	Giugno 2018	30.00	232.00
SA_04	Giugno 2018	30.00	157.00
S01_PZ	Ottobre 2017	30.00	151.00
S02_DH	Ottobre 2017	10.00	159.00
S03_PZ	Ottobre 2017	10.00	166.00
S04_PZ	Ottobre 2017	30.00	166.00
S05_DH	Ottobre 2017	30.00	186.00
S06_DH	Ottobre 2017	30.00	198.00
S07_PZ	Ottobre 2017	30.00	221.00

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	24 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	Anno	L[m]	Quota testa foro [m slm]
S08_DH	Ottobre 2017	30.00	232.00
S09_DH	Ottobre 2017	30.00	247.00
S11_PZ	Ottobre 2017	30.00	230.00
S12_PZ	Ottobre 2017	30.00	184.00
S13_PZ	Ottobre 2017	30.00	253.00
S_X1	Novembre 2019	30.00	167.50
S_X2	Novembre 2019	30.00	154,88
S_X4	Novembre 2019	45.00	157.34
S_X6	Novembre 2019	10.00	154.18

**Tabella 5.2: Tabella riepilogativa prova di permeabilità Lefranc**

Sondaggio	Anno	Quota testa foro [m slm]	Profondità prova (da b.f. m)	K media (cm/s)
S07_2018	Settembre 2018	247.00	15.00	3.764E-05
S06_2018	Settembre 2018	248.00	10.00	2,809E-04
SA_01	Giugno 2018	253.00	9.00	2.16E-03
SA_02	Giugno 2018	256.00	8.00	2.12E-03
SA_03	Giugno 2018	232.00	12.00	8.13E-04
SA_04	Giugno 2018	157.00	17.00	6.58E-04
S02_DH	Ottobre 2017	159.00	6.50	3,35E-03
S03_PZ	Ottobre 2017	166.00	10.50	1,35E-02

Sondaggio	Anno	Quota testa foro [m slm]	Profondità prova (da b.f. m)	K media (cm/s)
S04_PZ	Ottobre 2017	166.00	8.00	1,48E-03
S05_DH	Ottobre 2017	186.00	5.00	3,98E-03
S06_DH	Ottobre 2017	198.00	10.50	9,53E-03
S07_PZ	Ottobre 2017	221.00	20.00	6,88E-03
S08_DH	Ottobre 2017	232.00	15.00	1,00E-03
S09_DH	Ottobre 2017	247.00	10.50	3,17E-03
S11_PZ	Ottobre 2017	230.00	10.50	4,60E-03
S12_PZ	Ottobre 2017	184.00	15.00	5,49E-03
S13_PZ	Ottobre 2017	253.00	20.50	1,71E-02
S_X1	Novembre 2019	167.50	3.00	9,88E-05
S_X2	Novembre 2019	154,88	3.00	1,11E-04
S_X4	Novembre 2019	157.34	3.00	3,07E-03
S_X6	Novembre 2019	154.18	3.00	1,38E-05
			7.00	5,30E-05

**Tabella 5.3: Tabella riepilogativa indagini geognostiche di tipo geofisico (down-hole e MASW)**

Sondaggio/Prova Geofisica	Anno	Quota testa foro per DH [m slm]/Quota media MASW [m slm]	TIPO DI PROVA	Vs 30 (m/s)	Categoria di sottosuolo individuata da NTC2018
S05_DH	Ottobre 2017	186.00	Down Hole	371	C
S06_DH	Ottobre 2017	198.00	Down Hole	348	C
S08_DH	Ottobre	232.00	Down Hole	467	E*

Sondaggio/Prova Geofisica	Anno	Quota testa foro per DH [m slm]/Quota media MASW [m slm]	TIPO DI PROVA	Vs 30 (m/s)	Categoria di sottosuolo individuata da NTC2018
	2017				
S09_DH	Ottobre 2017	247.00	Down Hole	466	B
MASW nei pressi del sondaggio S02_DH	Ottobre 2017	159.00	MASW	656	B
MASW1+HVSR137	Ottobre 2019	166	MASW	441	B
MASW2+HVSR141	Ottobre 2019	165	MASW	338	C
MASW3+HVSR136	Ottobre 2019	164	MASW	351	C
MASW4+HVSR138	Ottobre 2019	157	MASW	419	B
MASW5+HVSR139	Ottobre 2019	160	MASW	479	B
MASW6+HVSR140	Ottobre 2019	167	MASW	358	E

(\*)=Sulla base del solo valore del parametro Vs30 il sottosuolo può essere assimilato alla categoria di suolo di fondazione di tipo "B". Si fa presente però che il valore medio delle velocità delle onde di taglio entro i primi 20 m (Vs20) è pari a 370 m/s. Essendo quest'ultimo relativo ai terreni posti al di sopra di un substrato con Vs > 800 m/s ed essendo inoltre di poco superiore al limite di 360 m/s imposto dalle NTC, la categoria di sottosuolo è cautelativamente attribuibile ad "E".

Inoltre sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati dai sondaggi sono state svolte prove di laboratorio. Le prove di laboratorio eseguite sono:

a) prove sui campioni di terra:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- prova di taglio diretto;
- prova di compressione triassiale CID e CIU;
- prova ad espansione laterale libera ELL;
- prova di compressione edometrica

b) prove su carote di roccia:



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	27 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

- prova compressione monoassiale.
- prove point load test.

Per quanto riguarda le prove di laboratorio non danno indicazioni sui livelli di saturazione parziale.

Ai fini della caratterizzazione degli ammassi rocciosi sono stati eseguiti dei rilievi geomeccanici sulle cassette catalogatrici e rilievi in campo (per maggiori dettagli si rimanda [8]). Nelle Tabella 5.4 e Tabella 5.5 che seguono si riporta un riepilogo dei risultati delle prove geotecniche (fisiche e meccaniche), per il dettaglio delle prove effettuate si rimanda ai documenti referenziati (anno 2017 – Prove di Laboratorio Geotecnico; anno 2018 – Prove di Laboratorio Geotecnico Integrative e anno 2019).

Tabella 5.4: Tabella riassuntiva delle prove di laboratorio relative ai sondaggio dell'anno 2017 e 2018.

SONDAGGIO	campione	prof		Wn (%)	$\gamma_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	Analisi granulometrica				Limiti di Atterberg				
		da (m)	a (m)					Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Ic (%)	A (%)
S3-2018	CI1	3	3.6	20.6	2701	2076	1722	7.6	12.32	63.76	16.32	26.5	19.2	7.3		0.45
S4-2018	CI1	5.4	6	27	2686	1928	1518	17.9	30.54	31.13	20.43	33.2	21.1	12.1		0.59
S1-2018	CR1	19.5	19.9					0.24	26.57	70.62	2.57					
S2-2018	CR1	7.4	7.8					24.29	52.34	23.06	0.31					
S3-2018	CR1	8.2	8.7					2.78	29.54	64.33	3.38					
S4-2018	CR1	22.5	22.9					11.3	25.75	60.76	2.19					
S01 PZ	CI1	4.5	5	43.09	24.67	15.51	10.84	4	22	67	7	45	29	16.1	0.14	2.29
S01 PZ	CI2	10.5	11	48.93	24.21	15.66	10.51	7	54	24	15	54	35	19.3	0.26	1.28
S01 PZ	CI3	16.5	17	49.71	24.32	15.72	10.5	1	47	32	20	55	32	23.3	0.24	1.16
S02 DH	CR1	5	5.4		25.45	21.62										
S03 PZ	CI1	2	2.6	17.54	25.89	17.03	14.49	2	37	51	10	24	18	6	1.08	0.6
S03 PZ	CI2	5	5.7	29.96	24.33	14.99	10.71	0	8	84	8	42	34	8.2	0.3	1.03
S03 PZ	CI3	8	8.7	66.68	24.91	14.48	8.69	3	18	70	10	71	56	15.1	0.26	1.51
S04 PZ	CI1	4.5	5	40.03	25.58	15.91	11.36	7	15	56	22	50	29	20.8	0.49	0.95
S04 PZ	CI2	10	10.5	37	25.37	16.22	11.84	32	40	24	4	41	27	14.1	0.3	3.52
S05 DH	CI1	7.5	8	42.02	24.84	15.32	10.79	8	45	41	6	76	55	20.9	1.61	3.49
S05 DH	CI2	12	12.5	27.16	25.98	17.56	13.81	14	50	33	3	30	18	11.9	0.24	3.97
S05 DH	CR3	18	19		26.22			38	26	33	3	23	19	4.2		1.41
S05 DH	CR4	22.4	22.7		25.08	21.18										
S06 DH	CI1	2	2.5	36.62	26.12	16.11	11.79	14	61	22	3	40	34	6.2	0.57	2.06
S06 DH	CI2	4.5	5	72.35	24.03	14.18	8.23	5	32	59	4	76	62	13.7	0.28	3.41
S06 DH	CR3	14.3	14.7		27.47	27.25										
S07 PZ	CI1	4.5	5	33.82	24.13	15.49	11.57	9	30	57	4	41	32	8.9	0.8	2.22
S07 PZ	CI2	10	10.5	45.71	25.17	15.27	10.48	2	39	54	5	74	65	8.3	3.37	1.66
S07 PZ	CR3	19	19.4		27.76	27.12										
S08 DH	CR1	66	6.3		25.8			5	22	36	37	47	24	22.4		0.61
S08 DH	CI2	7	7.5	28.01	26.26	17.3	13.39	12	30	26	32	61	31	30	1.1	0.94
S08 DH	CR3	8	8.5		25.12			42	26	24	8	32	25	7		0.88
S08 DH	CI4	12	12.5	19.1	25.61	17.21	14.45	33	32	23	12	35	25	10.1	1.58	0.84
S08 DH	CI5	20.5	21	18.52	25.66	17.72	14.96	32	34	22	12	35	22	13	1.23	1.08
S09 DH	CI1	2	2.5	16.63	25.91	17.7	15.19	4	32	52	12	32	20	12.2	1.27	1.02
S09 DH	CR2	4	4.3		26.01			1	16	48	35	36	22	14.6		0.42
S09 DH	CI3	5	5.5	27.56	26.12	17.8	13.96	2	23	54	21	46	27	19.3	0.96	0.92
S09 DH	CI4	9	9.5	30.09	26.01	17.93	13.79	36	48	13	3			NP		
S11 PZ	CI1	7.5	8	17.28	26.34	17.53	14.95	18	66	10	6	46	31	15	1.93	2.5
S11 PZ	CI2	12	12.4	31.06	25.6	16.95	12.93	27	56	14	3			NP		0
S11 PZ	CI3	19.5	20	76.87	24.5	14.43	8.16	7	25	60	8	85	68	16.6	0.47	2.07
S11 PZ	CR4	24.5	25		27.17	24.66										
S12 PZ	CI1	2	2.5	44.08	25.26	15.3	10.62	0	8	81	11	59	37	21.8	0.67	1.98
S12 PZ	CI2	4.5	5	65.87	24.62	14.9	8.98	0	25	62	13	69	44	25.2	0.13	1.94
S12 PZ	CI3	7.5	8	34.1	25.71	16.45	12.27	3	39	51	7	36	32	4.6	0.45	0.66
S13 PZ	CR1	2	3		25.54			7	37	48	8	39	30	9.1		1.14
S13 PZ	CI2	4.5	5	36.77	24.69	14.81	10.83	23	60	14	3			NP		0
S13 PZ	CI3	10.5	11	23.84	25.81	17.46	14.1	15	66	14	5			NP		0
S13 PZ	CI4	20	20.5	35.1	25.92	16.31	12.07	17	63	16	4			NP		0





campione	prof. (m)	PROVA MONOASSIALE		POINT LOAD STRENGTH TEST		
		b MPa		Is(50) // MPa	Is(50) ⊥ MPa	Ia(50)
S_X1 CI1	4,00-4,60					
S_X1 CI2	12,00-12,20					
S_X1 CR1	7,00-7,50					
S_X1 CR2	12,65-12,90			0,43	0,47	1,08
S_X1 CR3	17,10-17,40	67,3				
S_X1 CR4	19,50-19,75					
S_X1 CR5	29,00-29,30	60,9				
S_X2 CI1	1,50-2,00					
S_X2 CI2	6,00-6,30					
S_X2 CI3	9,00-9,32					
S_X2 CR1	16,10-16,50			0,18	0,28	1,58
S_X2 CR2	21,00-21,45	4,2				
S_X4 CR1	3,50-4,00					
S_X4 CR2	5,20-5,70	4,0				
S_X4 CR3	14,15-14,45	1,9				
S_X4 CR4	18,20-18,55	4,2				
S_X4 CR5	20,00-20,30	2,9				
S_X4 CR6	28,00-28,30			0,12	0,15	1,33
S_X4 CR7	30,70-31,00			2,26	2,83	1,25
S_X4 CR8	36,70-37,00			0,12	0,14	1,16
S_X4 CR9	43,60-43,90					
S_X6 CI1	1,50-1,85					
S_X6 CI2	5,00-5,30					
S_X6 CR1	9,60-9,90	7,2				

### 5.1 Posizione della falda e permeabilità da prove in sito

Le prove Lefranc realizzate hanno restituito i valori di permeabilità, variabile da  $1 \cdot 10^{-5}$  cm/sec a  $1.71 \cdot 10^{-2}$  cm/s, quelli più alti in corrispondenza del Tufo di Bracciano, come visto di elevata permeabilità, gli altri nell'ambito della serie del Tufo de la Storta, di media permeabilità, con locali variazioni in relazione alla situazione litologica locale. Nella Tabella 6 sono riassunte le prove di permeabilità eseguite.

**Tabella 6 – prove di permeabilità di tipo Lefranc**

Sondaggio	Anno	Profondità prova (da b.f. m)	K media (cm/s)	Unità geotecnica
S07_2018	Settembre 2018	15.00	3.764E-05	U3b
S06_2018	Settembre 2018	10.00	2,809E-04	U3b
SA_01	Giugno 2018	9.00	2.16E-03	U1a

Sondaggio	Anno	Profondità prova (da b.f. m)	K media (cm/s)	Unità geotecnica
SA_02	Giugno 2018	8.00	2.12E-03	U1a
SA_03	Giugno 2018	12.00	8.13E-04	U3a
SA_04	Giugno 2018	17.00	6.58E-04	U3c
S02_DH	Ottobre 2017	6.50	3,35E-03	U3b
S03_PZ	Ottobre 2017	10.50	1,35E-02	U2a
S04_PZ	Ottobre 2017	8.00	1,48E-03	U2a
S05_DH	Ottobre 2017	5.00	3,98E-03	U2a
S06_DH	Ottobre 2017	10.50	9.53E-03	U3a
S07_PZ	Ottobre 2017	20.00	6.88E-03	U4a
S08_DH	Ottobre 2017	15.00	1,00E-03	U3a
S09_DH	Ottobre 2017	10.50	3,17E-03	U3b
S11_PZ	Ottobre 2017	10.50	4,60E-03	U3a
S12_PZ	Ottobre 2017	15.00	5,49E-03	U3b
S13_PZ	Ottobre 2017	20.50	1,71E-02	U2b
S_X1	Novembre 2019	3.00	9.88E-05	U2a
S_X2	Novembre 2019	3.00	1.11E-04	U1a
S_X4	Novembre 2019	3.00	3.07E-03	U3a
S_X6	Novembre 2019	3.00	1.38E-05	U3a
		7.00	5.30E-05	U3b

Si identifica una falda acquifera libera principale, dove la base dell'acquifero fratico è costituita dalle argille plioceniche, e che interessa con continuità tutti i terreni vulcanici e sedimentari pleistocenici ed olocenici presenti nella regione (per maggiori dettagli si rimanda [8]).

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	33 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Nella Tabella 5.7 si riportano le quote di falda rilevate nei sondaggi a seguito della loro esecuzione; si precisa che tali letture fanno riferimento ad una unica misurazione.

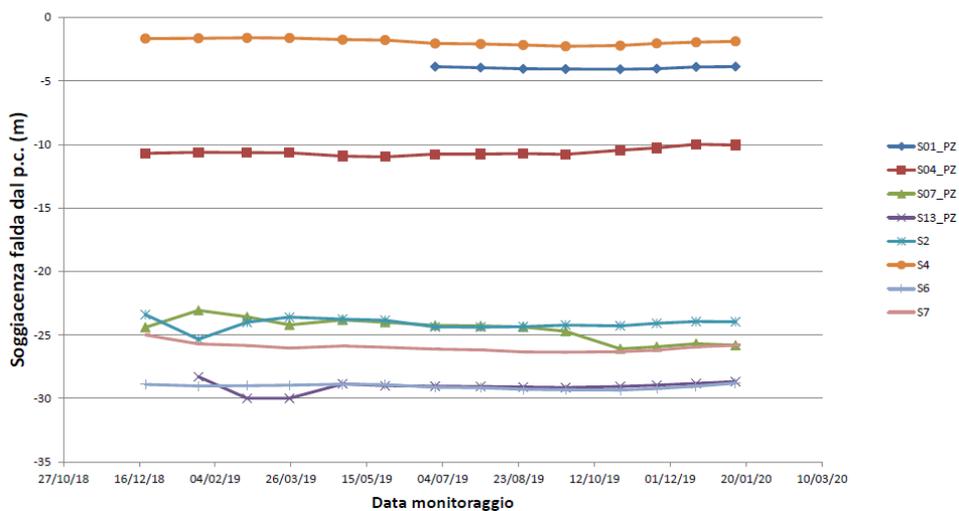
**Tabella 5.7: Tabella riepilogativa delle quote di falda rilevate**

Sondaggio	Anno	Quota testa foro [m slm]	Quota falda da b.f. (m)	Quota [m slm]
S01_PZ	Ottobre 2017	151.00	9.00	142.00
SA_04	Giugno 2018	157.00	4.50	152.50
S04_PZ	Giugno 2018	166.00	10.70	155.30
S_X1	Novembre 2019	167.50	12.38	155.12
S_X2	Novembre 2019	154,88	19.96	134.92
S_X4	Novembre 2019	157.34	5.38	151.96
S_X6	Novembre 2019	154.18	6.56	147.62

Durante la fine dell'anno 2018 e l'inizio dell'anno 2020 è stato eseguito un monitoraggio della falda nei sondaggio sotto riportati:

SONDAGGIO	Long	Lat	Quota (m.s.l.m.)	20/12/18	24/01/19	25/02/19	25/03/19	29/04/19	27/05/19	29/06/19	29/07/19	26/08/19	23/09/19	29/10/19	22/11/19	18/12/19	13/01/20
S01_PZ	42°4'2.75"N	12°18'49.25"E	151							-3,87	-3,94	-4,04	-4,06	-4,07	-4,03	-3,89	-3,86
S04_PZ	42°4'1.30"N	12°17'33.63"E	166	-10,7	-10,61	-10,63	-10,65	-10,91	-10,97	-10,76	-10,75	-10,72	-10,78	-10,45	-10,27	-9,98	-10,04
S07_PZ	42°3'8.38"N	12°14'45.40"E	221	-24,4	-23,07	-23,57	-24,2	-23,82	-24,01	-24,25	-24,28	-24,36	-24,71	-26,09	-25,93	-25,68	-25,81
S11_PZ	42°3'20.43"N	12°14'19.79"E	230	Falda assente													
S12_PZ	42°3'27.20"N	12°16'54.47"E	184	Falda assente													
S13_PZ	42°4'37.16"N	12°12'38.81"E	253		-28,3	Falda Assente	Falda Assente	-28,85	-29,01	-29,04	-29,06	-29,11	-29,15	-29,06	-28,96	-28,83	-28,68
S1	42°4'18.2174"N	12°13'8.816"E	253	Falda assente													
S2	42°3'57.3612"N	12°13'34.4018"E	256	-23,4	-25,35	-24,01	-23,6	-23,75	-23,84	-24,37	-24,38	-24,34	-24,22	-24,28	-24,09	-23,95	-23,96
S3	42°3'26.2654"N	12°14'16.7499"E	232	Falda assente													
S4	42°4'6.5403"N	12°18'13.3938"E	157	-1,65	-1,63	-1,6	-1,61	-1,74	-1,77	-2,04	-2,08	-2,16	-2,26	-2,21	-2,03	-1,95	-1,87
S6	42°4'23.7958"N	12°13'0.537"E	248	-28,9	-29,03	-29,01	-28,97	-28,87	-28,91	-29,13	-29,16	-29,28	-29,33	-29,35	-29,22	-29,05	-28,79
S7	42°4'27.5713"N	12°12'52.9437"E	247	-25	-25,7	-25,84	-26,03	-25,87	-25,98	-26,12	-26,17	-26,33	-26,37	-26,31	-26,19	-25,93	-25,81

### SOGGIACENZA FALDA

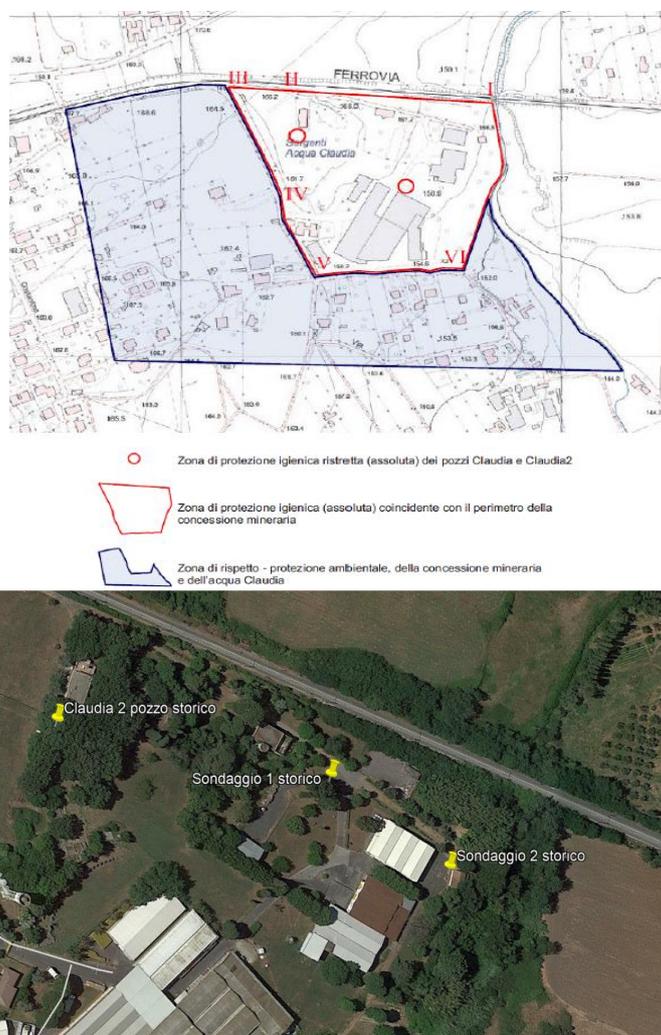


Inoltre, dalla relazione geologica (elaborato [8]), a causa delle variabilità litologica, e delle conseguenti variazioni di permeabilità, e data l'estensione degli affioramenti delle varie formazioni, la circolazione delle acque nel sottosuolo si distribuisce in più livelli in comunicazione idraulica più o meno lontana e indiretta. Esistono piccole falde sospese, sebbene sporadiche e di estensione limitata, ubicate in genere in corrispondenza di livelli permeabili poggianti su livelli meno permeabili, che quindi non appartengono alla falda principale.

Per quanto riguarda l'andamento del livello di falda di progetto assunto per ogni modello è esplicitato nei modelli geotecnici e nei capitoli successivi; in generale si è assunto il valore più cautelativo dai dati a disposizione e di monitoraggio. Per l'inquadramento complessivo si faccia riferimento ai profili geotecnici.

## 6 INDAGINI GEOGNOSTICHE BIBLIOGRAFICHE - CONCESSIONE MINERARIA “SORGENTI ACQUA CLAUDIA”

In questo capitolo vengono descritte le indagini geognostiche in sito reperite nei pressi della concessione mineraria Claudia; di seguito si riporta Stralcio “tav.9 Corografia con individuazione delle aree di protezione della concessione mineraria Claudia - Estratto da CTR scala 1:5.000, elemento 364122 «Stazione di Cesano»” - Regione Lazio - Comune di Anguillara Sabazia Concessione Mineraria «Sorgenti dell’Acqua Claudia» Rinnovo della Concessione Mineraria.



**Fig. 6-1: Stralcio planimetrico con ubicazione dei sondaggi bibliografici della concessione mineraria Claudia e ubicazione in Google Earth.**

Nell’ambito della ricerca mineraria sono state eseguite delle perforazioni, con valenza stratigrafica, a carotaggio continuo, realizzate negli anni 1996 e 2000:

SONDAGGIO	ANNO	N	E	Z (m)	prof (m)
Sondaggio 1 storico	1996	42° 4'4.36"	12°18'8.01"	151	46.5
Sondaggio 2 storico	1996	42° 4'3.61"	12°18'11.47"	159	30
Claudia pozzo 2 storico	2000	42° 4'3.56"	12°18'1.35"	166	51

Per quanto riguarda la stratigrafia dei sondaggi si rimanda all'elaborato [8]. Tali sondaggi, in mancanza di prove di laboratorio e in sito, sono stati utilizzati principalmente per la correlazione stratigrafica e per le informazioni descritte all'elaborato di riferimento.

## 7 INQUADRAMENTO GENERALE DEI LITOTIPI INCONTRATI LUNGO LA LINEA

I carotaggi, le prove geofisiche e penetrometriche eseguiti hanno permesso di individuare nel dettaglio le caratteristiche stratigrafiche dei terreni di fondazione relativi alle opere di progetto, che sono costituiti:

- Riporti e/o terreno vegetale, costituiti localmente da depositi alluvionali ed eluvio-colluviali prossimali ai fossi e corsi d'acqua caratterizzati da materiale coesivo come limo argilloso/argilla limosa;
- Lungo l'intero tracciato ferroviario il terreno è caratterizzato principalmente da depositi piroclastici incoerenti da debolmente a moderatamente addensati e classificabili dal punto di vista granulometrico come sabbie limose/limi sabbiosi argillosi e limo argillosi da debolmente a moderatamente sabbiosi;
- A profondità maggiori dei depositi piroclastici si incontrano rocce tufacee, leuciti e/o basaltiche più o meno alterate e fratturate.

In particolare sono state individuate le seguenti unità geotecniche (si veda il profilo geotecnico [9]).

U0- depositi alluvionali ed eluvio-colluviali prossimali ai fossi e corsi d'acqua: limo argilloso/argilla limosa

U1a: terreni limo argilloso sabbiosi e limosi argillosi debolmente sabbiosi;

U1b: terreni limi sabbiosi e limosi debolmente sabbiosi;

U2a: terreni sabbiosi limosi e limoso sabbiosi debolmente argillosi;

U2b: terreni sabbiosi limosi e sabbiosi debolmente limosi/argillosi;

U3a: depositi vulcanici incoerente;

U3b: depositi vulcanici semicoerenti;

U3c: depositi vulcanici litoidi;

U4a: strati prevalentemente rocciosi;

U4b: strati da debolmente a alterati prevalentemente rocciosi.

E' stata riscontrata una unità più superficiale ascrivibile all'unità U1a caratterizzata dal deposito locale individuato nel profilo di Geologia ("PI" superficiali nella zona Lagomorto), di cui si riporta in seguito la sua caratterizzazione geotecnica. Nel dettaglio questo tipo di deposito si incontra tra le pk 38-250 e 39+150 e pk 32+950 e 33+400.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>37 di 452</b></p>

## 8 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

### Generalità

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche tengono conto del fatto che in corrispondenza delle opere in esame sono stati rinvenuti fondamentalmente sia depositi quaternari (depositi eluviali, colluviali e depositi palustri e lacustri), depositi derivanti da attività vulcanica (tufi più o meno litoidi) e roccia magmatica (tipo basalto). Si vedano i profili geotecnici (vedi documenti di riferimento [2] e [3]) nonché gli studi a carattere geologico, nell'ambito dei quali sono stati effettuati (vedi il capitolo 5):

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche SPT in foro;
- prove di permeabilità Lefranc in foro;
- prove geofisiche in foro (Down-Hole) e stendimento MASW per la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione  $V_p$  e di taglio  $V_s$ ;
- prove di laboratorio di classificazione di resistenza e di deformabilità su campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno, prelevati nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio.

Dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica e geomeccanica si possono distinguere sommariamente le seguenti tipologie di materiale:

- materiali prevalentemente costituiti sabbie limose e sabbie debolmente limose/argillose;
- materiali prevalentemente costituiti da limo sabbioso e limo debolmente sabbioso argilloso;
- materiali prevalentemente costituiti da depositi vulcanici incoerenti, semilitoidi e litoidi;
- roccia derivante da attività vulcanica (rocce basaltiche, tufi e leuciti).

L'individuazione e quindi la scelta del metodo di interpretazione geotecnica per i materiali incontrati dalle indagini, è fatta principalmente sulla base di:

- descrizione stratigrafica dei sondaggi e delle cassette catalogatrici;
- prove in foro SPT;
- prove penetrometriche CPT e CPTU;
- prove geofisiche MASW e down-hole;
- prove Lefranc;
- prove di laboratorio, laddove disponibili, sui campioni di terreno e sulle carote di roccia.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>38 di 452</b></p>

## 8.1 Parametri del terreno da prove di laboratorio

Le prove di laboratorio hanno riguardato campioni rimaneggiati e indisturbati di terreno e campioni di roccia, nel dettaglio sono riassunte nel capitolo 5.

### 8.1.1 Proprietà fisiche- Stato tensionale in situ

In generale dalle prove eseguite si sono considerati il peso dell'unità di volume, indice di plasticità (IP) e la granulometria per le caratteristiche fisiche. Per la valutazione dello stato tensionale in situ è stato stimato il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  con la formula di Jaky (1944), valida per terreni normalconsolidati:

$$K_0 (NC) = 1 - \sin\phi'$$

dove  $\phi'$  è l'angolo di attrito efficace.

In presenza di depositi sovraconsolidati è possibile valutare il coefficiente di spinta a riposo con la seguente espressione:

$$K_0 (OC) = K_0 (NC) \cdot OCR^\alpha$$

dove OCR è il grado di sovraconsolidazione e  $\alpha$  è un parametro che può essere assunto pari a 0.5 (Meyerhof, 1976).

### 8.1.2 Proprietà fisiche - Pressione di preconsolidazione OCR

La pressione di preconsolidazione è stata determinata per le sole due prove edometriche eseguite nei campioni CI1 del sondaggio SX6-2019 (profondità 1.50m) e del campione CI1 del sondaggio S3-2018 (profondità 1.50m); utilizzando il rapporto:

$$OCR = \sigma'_p / \sigma'_{v0}$$

Per terreni normalconsolidati  $OCR=1$

Per terreni sovraconsolidati  $OCR>1$

Entrambi i campioni sono stati utilizzati per definire l'OCR dell'unità geotecnica U1a, in quanto la granulometria del singolo campione è caratterizzata principalmente da limo argilloso; va tenuto conto che i due sondaggi hanno mediamente una distanza di fuori asse dalla linea ferroviaria di circa 30m. Dai risultati della prova edometrica risultano terreni normalconsolidati.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>39 di 452</b></p>

### 8.1.3 Parametri di resistenza e deformabilità

Per i parametri di resistenza e deformabilità si sono considerate le prove di taglio diretto, prove edometrico, prove di compressione monoassiale e prove point load test.

In particolare, dalle prove di compressione monoassiale eseguite nei campioni relativi ai sondaggi dell'anno 2019 si è considerato il modulo elastico minore tra quello secante e tangente, e analizzato con le prove in sito. Inoltre, si sono trattate le prove di point load test per una stima della compressione monoassiale secondo ISRM (1985):

$$K_{UCS} = \sigma_f / IS_{,50}$$

Dove  $K_{UCS}$  è variabile tra 20 e 25. Per questi terreni si è considerato pari a 22.

Infine tramite le prove di laboratorio, e più nel tettaglio tramite i limiti di Atterberg, si è potuto avere informazioni sull'Indice di plasticità (IP); dove i terreni vengono classificati in base all'indice come:

Non Plastico PI: 0-5

Poco Plastico PI: 5-15

Plastico PI: 15-40

Molto Plastico PI >40

Questo parametro è stato utilizzato per la trattazione alla possibilità dei terreni di liquefare (capitolo 12).

Per quanto riguarda la coesione non drenata (CU) si è utilizzata la correlazione di Skempton, 1957:

$$C_u / s'_v = 0.11 + 0.0037 * I_p$$

Dove  $I_p$  è l'indice di plasticità (%).

## 8.2 Parametri di resistenza e deformabilità del terreno da prove in sito – SPT

É possibile valutare i valori di  $N_{spt}$  normalizzati per tenere conto della pressione efficace del terreno sovrastante  $\sigma'_{v0}$ , con la seguente espressione:

$$N_1 = N_{spt} \cdot \left( \frac{P_{atm}}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

dove n è un coefficiente posto pari a 0.5 (Liao e Withman, 1985).

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	40 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

È inoltre possibile tenere conto del rendimento del sistema di infissione ER:

$$(N_1)_{60} = N_1 \cdot \frac{ER}{60}$$

Poiché il rendimento medio dei sistemi di battitura in Italia è del 60%, generalmente questa correzione viene trascurata.

### 8.2.1 Caratteristiche fisiche - Densità relativa

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986) la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente legge:

$$D_r = \left( \frac{1}{A + B \cdot \sigma_{vo}'} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in

Tabella 8.1

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

NSPT = numero di colpi per 30 cm di infissione

$(K_o)_{nc}$  =  $1 - \sin \phi'$  = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati

$(k_o)_{sc}$  =  $(K_o)_{nc} \cdot (GSC)^{0.5}$  = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovraconsolidati

GSC = grado di sovraconsolidazione

$D_r$  = densità relativa

**Tabella 8.1: Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)**

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovra consolidate	27,5÷43,3	$(21,7 \div 27,5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (k_o)_{sc}}{1 + 2 \cdot (k_o)_{nc}}$

In questa sede, ove non specificato espressamente, si assumeranno valori di A e B corrispondenti alle sabbie medie.

Per quanto riguarda Terzaghi e Peck (1948) la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente legge:

$$D_r = (N_{SPT} / A)^{0.5}$$

- $D_r$  = densità relativa (-)  
 $A$  = costante empirica indicata in Tabella 8.2  
 $N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione

essendo:

**Tabella 8.2: Costanti empiriche A (Terzaghi e Peck (1948))**

Tipo di materiale	A
Sabbie grosse	65
Sabbie medie	60
Sabbie fini	55

Per quanto riguarda Yoshida et al (1988) la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente legge:

$$D_r = 25 * (N_{SPT})^{0.44} * (\sigma_v')^{-0.13}$$

essendo:

- $\sigma_v'$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kPa)  
 $N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione  
 $D_r$  = densità relativa (-)

Per la densità relativa è stata anche considerata la seguente correlazione di Gibbs e Holtz (1957):

$$D_r(\%) = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma_v' + 0.7}} \quad (\text{nella quale } \sigma_{v0}' \text{ è espressa in Kg/cm}^2)$$

### 8.2.2 Parametri di resistenza – Angolo di resistenza al taglio - terreni incoerenti

L'angolo di attrito può essere stimato a partire dai valori di  $N_{spt}$  e della densità relativa con le seguenti correlazioni.

Shioi e Fukuni - Japanese National Railway (1982)

$$\varphi' = 0.3 \cdot N_{spt} + 27^\circ$$

Owasaki & Iwasaki

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	42 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$\varphi' = \sqrt{20 \cdot N_{spt} + 15^\circ}$$

Shioi e Fukuni - Road Bridge Specification (1982)

$$\varphi' = \sqrt{15 \cdot N_{spt} + 15^\circ}$$

Sowers (1961)

$$\varphi' = 0.28 \cdot N_{spt} + 28^\circ$$

Schmertmann (1977)

$$\varphi' = \alpha + \beta \cdot D_r$$

essendo:

$\alpha, \beta$  = costanti empiriche indicate in Tabella 8.3

**Tabella 8.3: Costanti empiriche  $\alpha$  e  $\beta$  (Schmertmann (1977))**

Tipo di materiale	$\alpha$	$\beta$
Sabbia fini uniforme	28	0,14
Sabbia fine ben gradata-media uniforme	31,5	0,115
Sabbia fine ben gradata-grossa uniforme	34,5	0,1
Sabbie e ghiaie poco limose-ghiaietto uniforme	38	0,08

Si osserva che i valori degli angoli di resistenza al taglio ottenuti con le correlazioni proposte da Schmertmann vengono spesso sovrastimati.

Malcev (1964)

$$\phi' = 20 - 5 \log(\sigma'v) + 3.73 \log(Nspt)$$

dove  $\sigma'v$  è la pressione efficace in kg/cm<sup>2</sup>.

La relazione è valida per le sabbie in genere e per qualunque profondità (esclusi i primi 2 m sotto il p.c.); è da considerarsi inattendibile però per valori di  $\phi'$  superiori a 38°.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	43 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Meyerhof (1965)

$$\phi' = 29.47 + 0.46N_{spt} - 0.004 N_{spt}^2 \quad (< 5\% \text{ limo})$$

$$\phi' = 23.7 + 0.57N_{spt} - 0.006 N_{spt}^2 \quad (> 5\% \text{ limo})$$

Per quanto riguarda la percentuale di limo si è considerato il campione più prossimo alla prova SPT del sondaggio di riferimento.

De Mello (1971)

$$\phi' = 19 - 0.38\sigma'_v + 8.73 \log(N_{pt})$$

dove  $\sigma'_v$  è la pressione efficace in  $\text{kg/cm}^2$  e  $N_{spt}$  il numero di colpi medio misurato.

Owasaki e Iwasaki

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N_{spt}} + 15$$

L'angolo d'attrito a volume costante per i terreni incoerenti è quindi valutato, in accordo con Bolton (1986), come

$$\phi_p = \phi_{cv} + \Delta\phi$$

Con  $\Delta\phi$  valutato dalla Figura 2

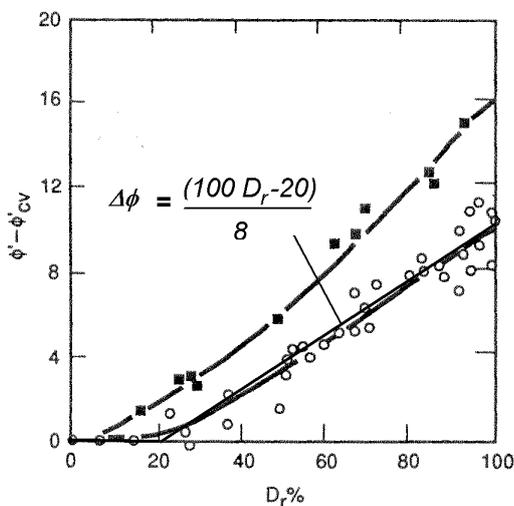


Figura 2: modificata da Fleming et al (1992)

### 8.2.3 Parametri di resistenza – Coesione non drenata - terreni coesivi

I valori di  $C_u$  sono stati inoltre valutati dalle prove SPT in foro attraverso le seguenti correlazioni:

Stroud e Butler (1975)

$$C_u(kPa) = (4.5 \div 5.5)N_{spt}$$

Utilizzando un valore medio di 5.

Terzaghi e Peck

$$C_u = 0.067 \cdot N_{spt} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

### 8.2.4 Parametri di resistenza – Angolo di resistenza al taglio - terreni coesivi

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dei terreni presenti nelle aree in oggetto è possibile utilizzare la correlazione proposta da Peck (1953) in funzione del valore di  $N_{spt}$ :

$$\varphi' (^{\circ}) = 0.30 \cdot N_{spt} + 20$$

Viene utilizzata tale correlazione che non dipende dalla densità relativa DR poiché i litotipi in oggetto presentano una forte componente a grana fine e i tipici approcci che legano l'angolo d'attrito con DR risultano in tal caso poco conservativi. Per la stima dei parametri di resistenza al taglio dei terreni coesivi in condizioni drenate si è anche fatto riferimento ai risultati delle prove di taglio diretto (TD).

### 8.2.5 Parametri di deformabilità - Moduli elastici di Young

Per i terreni incoerenti è possibile stimare il modulo elastico E con le correlazioni:

*D'Appolonia (1970) - terreni sabbioso ghiaiosi normalconsolidati:*

$$E \text{ (MPa)} = 0.756 \cdot N_{SPT} + 18.75$$

*Webb (1970) - sabbia argillosa:*

$$E \text{ (MPa)} = 0.316 \cdot N_{SPT} + 1.58$$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	45 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

*Schmertmann (1978) - terreni sabbiosi:*

$$E \text{ (MPa)} = N_{\text{SPT}} \cdot B$$

Dove il parametro B è pari a :

sabbie fini	0,8
sabbie medie	1,2
sabbie grossolane	2

*Jamiolkowski (1988)*

$$E_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot D_r) \cdot N_{\text{spt}} \quad \text{Per terreni NC}$$

$$E_{25} = (52,5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{\text{spt}} \quad \text{Per terreni OC}$$

dove

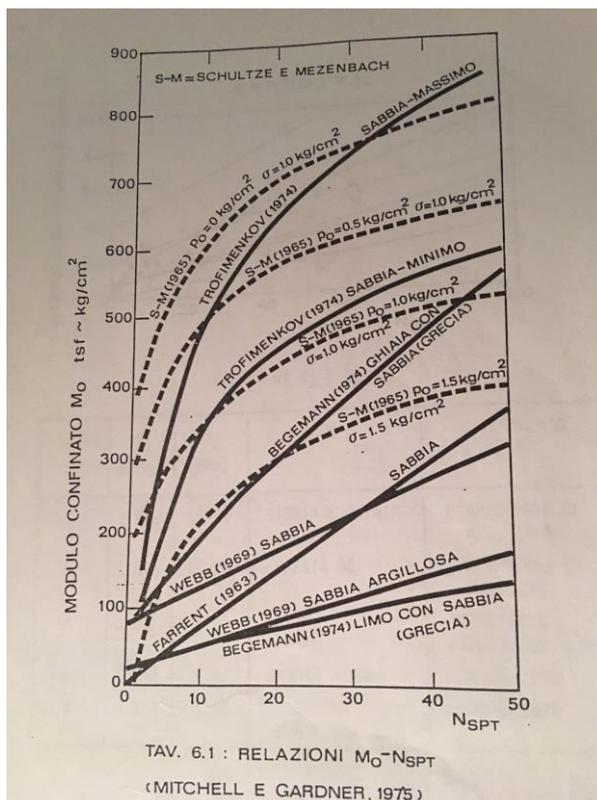
$E_{25}$  è il modulo elastico corrispondente a tensioni dell'ordine del 25% di quelle a rottura;

$D_r$  è la densità relativa, che può essere valutata con diverse correlazioni, tra le quali quella di Gibbs e Holtz (1957)

$$D_R = 1,5 \cdot \left( \frac{N_{\text{SPT}}}{F} \right)^{0,222} - 0,6 \quad \text{con} \quad F = 0,65 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^2 + 16,8 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right) + 14$$

Tali correlazioni consentono di definire un modulo dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo  $E_{25}$  riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura; nei parametri geotecnici tali moduli verranno chiamati con  $E_{0p,1}$ .

### 8.2.6 Parametri di deformabilità – Modulo confinato



### 8.2.7 Parametri di deformabilità – Modulo edometrico – terreni coesivi

I parametri di deformabilità dei terreni coesivi sono stati ricavati dalle prove di compressibilità edometrica e dalle indagini in sito mediante correlazioni empiriche.

È possibile determinare il modulo elastico confinato  $M$  dall'interpretazione delle prove  $N_{spt}$  attraverso la seguente relazione (Stroud e Butler, 1975)

$$M = 5 \cdot N_{spt} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

### 8.2.8 Parametri di deformabilità – Modulo edometrico – terreni incoerenti

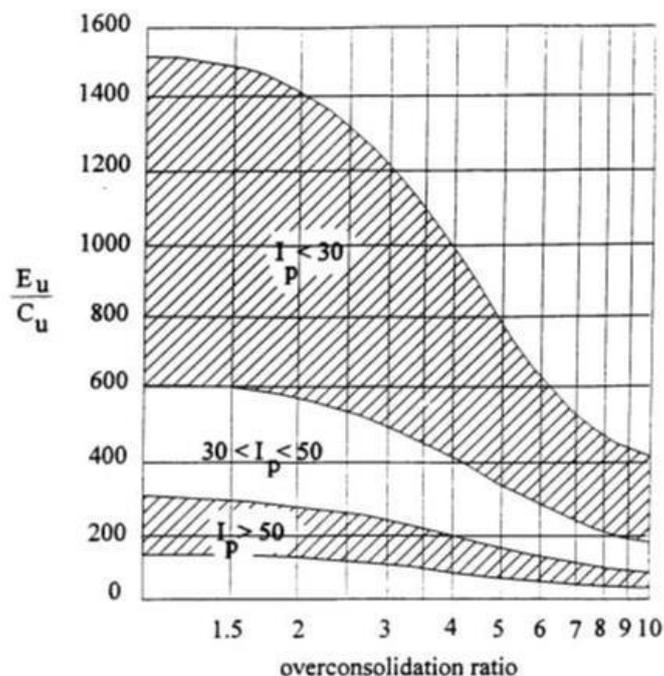
Il modulo edometrico  $M$  è stato ricavato da  $E_{op,1}$  con la seguente formulazione, assumendo  $n = 0.3$  (coefficiente di Poisson):

$$E = \frac{M(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	47 di 452

### 8.2.9 Parametri di deformabilità – Modulo elastico non drenato – terreni coesivi

Per i terreni coesivi è stato inoltre determinato il modulo elastico non drenato  $E_u$  utilizzando il seguente grafico (Duncan & Buchignani, 1976). In funzione del grado di sovraconsolidazione e dell'indice di plasticità è possibile determinare il rapporto  $E_u / c_u$ , dove  $c_u$  è la coesione non drenata.



### 8.3 Parametri di resistenza e deformabilità del terreno da prove in sito – CPT e CPTU

Le restituzioni delle prove penetrometriche statiche (valori della resistenza alla punta  $q_c$ ) sono state elaborate attraverso l'uso di note correlazioni di bibliografia. Si adotta il metodo interpretativo proposto da P.K. Robertson et al. (1990 e succ. aggiornamenti) che consente di ottenere un'accurata investigazione della natura dei terreni attraversati tramite la definizione dei seguenti parametri adimensionali:

$$Q_m = [(q_t - \sigma_{v0}) / p_{atm}] / (p_{atm} / \sigma'_{v0})^D \quad \text{resistenza alla punta normalizzata}$$

$$F_r (\%) = [f_s / (q_t - \sigma_{v0})] \times 100 \quad \text{rapporto di frizione normalizzato}$$

Dove:

- $q_t$  resistenza alla punta del penetrometro statico, valutata come  $q_c + u_2 (1-a)$ , dove  $u_2$  è la sovrappressione neutra misurata durante l'esecuzione della prova e  $a$  è un coefficiente adimensionale che dipende dalle caratteristiche della punta del penetrometro;

- $f_s$  resistenza di attrito laterale misurata nella prova penetrometrica statica
- $n$  fattore variabile da 0.5 (sabbie pulite) a 1 (terreni argillosi);
- $\sigma_v0$  tensione litostatica verticale totale;
- $\sigma_v0'$  tensione litostatica verticale efficace;
- $p_{atm}$  pressione atmosferica

L'esponente  $n$  della resistenza di punta normalizzata viene valutato con la seguente procedura.

Si assume inizialmente  $n = 1$  e si calcolano la resistenza di punta normalizzata  $Q_{t,n=1}$  e il relativo indice di comportamento del terreno  $I_c$ :

$$I_c = [(\log Q_{t,n=1} - 3.47)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$$

Se risulta  $I_{c,n=1} > 2.6$ , il valore  $n = 1$  viene confermato. Se invece  $I_{c,n=1} < 2.6$  l'esponente  $n$  viene calcolato con la seguente equazione:

$$n = 0.381 \cdot I_{c,n=1} + 0.05(\sigma'_{v0} / p_{atm}) - 0.15 \geq 0.5$$

e si aggiornano i valori di  $Q_{tn}$  e  $I_c$ .

**Tabella 4 – Indice di classificazione  $I_c$**

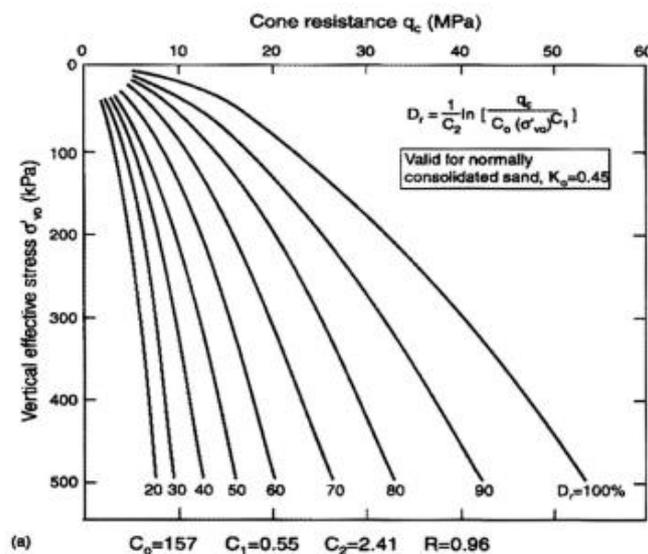
Zone	Soil Behavior Type	$I_c$
1	Sensitive, fine grained	N/A
2	Organic soils – clay	> 3.6
3	Clays – silty clay to clay	2.95 – 3.6
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay	2.60 – 2.95
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt	2.05 – 2.6
6	Sands – clean sand to silty sand	1.31 – 2.05
7	Gravelly sand to dense sand	< 1.31
8	Very stiff sand to clayey sand*	N/A
9	Very stiff, fine grained*	N/A

\* Heavily overconsolidated or cemented

### 8.3.1 Caratteristiche fisiche - Densità relativa

La densità relativa dei terreni incoerenti è stata determinata a partire dai valori della resistenza alla punta del penetrometro statico  $q_c$  con la seguente espressione proposta da Baldi et al. (1986), valida per terreni sabbiosi normalconsolidati:

$$D_r(\%) = \frac{1}{2.41} \cdot \ln \frac{q_c}{157 \cdot (\sigma'_{v0})^{0.55}}$$



Schmertmann: questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m<sup>2</sup> :

$$D_r = -97,8 + 36,6 \cdot \ln q_c - 26,9 \cdot \ln \sigma'_v$$

Lancellotta (1983): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta, della tensione verticale efficace e della pressione atmosferica.:

$$D_r = 68 \left[ \log \left( \frac{q_c}{\sqrt{p_a \cdot \sigma'_v}} - 1 \right) \right]$$

Dove  $\sigma'_v$  : tensione verticale efficace  $q_c$  : resistenza alla punta  $p_a$  : pressione atmosferica.

### 8.3.2 Parametri di resistenza – Resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ )

Per la determinazione della resistenza al taglio non drenata  $c_u$  delle terre a grana fine è stata utilizzata la seguente espressione proposta da Baligh et al. (1980):

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

dove

- $\sigma_{v0}$  tensione litostatica verticale totale;
- $N_{kt}$  fattore di capacità portante che, in funzione della plasticità del terreno, può variare tra 10 e 15 per le argille normalconsolidate e tra 15 e 25 per le argille sovraconsolidate; nel caso in esame è stato cautelativamente assunto un valore di 12.
- $q_t$  resistenza alla punta normalizzata

### 8.3.3 Parametri di resistenza – Angolo di resistenza al taglio

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dei terreni presenti nelle aree in oggetto si sono utilizzate le seguenti correlazioni attraverso la resistenza alla punta del penetrometro statico  $q_c$ :

Durgunoglu – Mitchell (1983)

$$\varphi' = 14.4 + 4.8 \cdot \ln(q_c) - 4.5 \cdot \ln(\sigma'_{v0})$$

dove la resistenza alla punta  $q_c$  e la tensione litostatica verticale efficace  $\sigma'_{v0}$  sono espresse in  $\text{kg/cm}^2$ .

Caquot

$$\varphi' = 9.8 + 4.96 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}}\right)$$

Koppejan

$$\varphi' = 5.8 + 5.21 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}}\right)$$

De Beer (1965-1967)

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	51 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$\varphi' = 5.9 + 4.76 \cdot \ln \left( \frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Durgunoglu-Mitchell (1983)

$$\phi = 14,4 + 4,8 \cdot \ln q_c - 4,5\sigma'_v$$

### 8.3.4 Parametri di deformabilità - Moduli elastici – terreni incoerenti

Si sono interpretate le prove penetrometriche utilizzando la correlazione di Lunne & Christophersen (1983) per terreni incoerenti in funzione della resistenza alla punta  $q_c$  delle prove penetrometriche statiche:

$$M \text{ (MPa)} = 4 q_c \quad \text{per } q_c < 10 \text{ MPa};$$

$$M \text{ (MPa)} = 2 q_c + 20 \quad \text{per } 10 \text{ MPa} < q_c < 50 \text{ MPa}.$$

In accordo a Jamiolkowski (1988) una stima dei moduli elastici “operativi” può essere fatta secondo l’espressione:

$$(E_{25}') = (3-D_r) \cdot q_c \quad \text{nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$(E_{25}') = (15-10 \cdot D_r) \cdot q_c \quad \text{nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

essendo:

$(E_{25}')$  = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%

$D_r$  = densità relativa espressa come frazione dell’unità

$q_c$  = resistenza di punta del penetrometro statico.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	<b>FOGLIO</b>
	<b>NR1J</b>	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	<b>52 di 452</b>

### 8.3.5 Parametri di deformabilità - Moduli elastici confinati – terreni coesivi

Si sono interpretate le prove penetrometriche utilizzando la correlazione di Mitchell & Gardner (1975) per terreni coesivi in funzione della resistenza alla punta  $q_c$  delle prove penetrometriche statiche:

$$M(\text{MPa}) = q_c \cdot \alpha$$

dove  $\alpha = 4$

$$M = \frac{1}{m_v} = \frac{2,3 \cdot (1+e) \cdot \sigma'_v}{C_c} = \alpha \cdot q_c$$

	$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 8$
Argille di bassa plasticità (CL)	$0,7 < q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 5$
	$q_c > 2,0 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2,5$
Limi di bassa plasticità (ML)	$q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 6$
	$q_c > 2,0 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 3$
Argille e limi di elevata plasticità (CH, MH)	$q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 6$
Limi organici (OL)	$q_c < 1,2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 8$
	$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	$1,5 < \alpha < 4$
Torbe e argille organiche (Pt, OH)	$50 < w < 100$	$1 < \alpha < 1,5$
	$100 < w < 200$	$1 < \alpha < 1,5$
	$w > 200$	$0,4 < \alpha < 1$

\*w = contenuto in acqua (%)

### 8.3.6 Coefficiente di consolidazione verticale – terreni coesivi

Il coefficiente di consolidazione è stato stimato a partire dal coefficiente di permeabilità con la seguente espressione:

$$c_v = \frac{K}{\gamma_w} \cdot M$$

dove

K è il coefficiente di permeabilità (m/s)

$\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>)

M è il modulo edometrico dello strato (kPa)

Parametro	ricavato da	mediante
coefficiente consolidazione primaria, $c_v$ (cm <sup>2</sup> /s)	curve di consolidazione (w.log t)	$c_v = \frac{T_x H^2}{4t_x}$
coeff. consolidazione secondaria, $c_\alpha$ (%/min)		$c_\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \log t}$
modulo edometrico, $E_{ed}$ (MPa)	curva tensione-deformazione ( $\sigma'_v, \varepsilon_z$ )	$E_{ed} = \frac{\Delta \sigma'_v}{\Delta \varepsilon_z}$
coefficiente di permeabilità, $k$ (cm/s)	$c_v$ e $E_{ed}$	$k = \frac{c_v \gamma_w}{E_{ed}}$
tensione di snervamento*, $\sigma'_{vy}$ (kPa)	curva di compressibilità (e.log $\sigma'_v$ )	metodi vari (p. es. Casagrande)
indice di ricomprensione, $C_r$		$C_r = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} (\sigma'_v < \sigma'_{vy})$
indice di compressibilità, $C_c$		$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} (\sigma'_v > \sigma'_{vy})$
indice di rigonfiamento, $C_s$		$C_s = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v}$ (in scarico)

#### 8.4 Caratteristiche di resistenza e deformabilità – Angoli e moduli da prove in sito geofisiche

I moduli iniziali alle piccole deformazioni di taglio ( $G_0$ ) e di Young ( $E_0$ ) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  utilizzando le seguenti equazioni, nelle ipotesi di materiale omogeneo, isotropo e elastico lineare:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

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

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in kN/m<sup>3</sup>

$\nu'$  = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,30

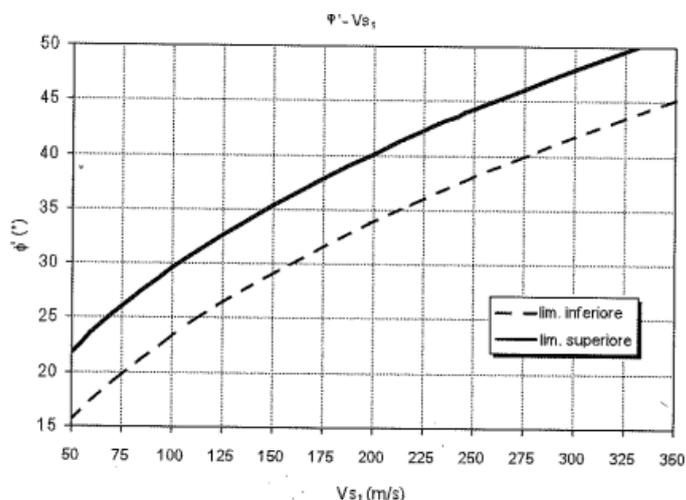
$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec.

Secondo la correlazione  $\phi$ - $V_s$  (Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata, F. Roccaforte - C. Cucinotta). Nel dettaglio la correlazione, reperita dalla letteratura, per il calcolo dell'angolo di resistenza al taglio direttamente in funzione di  $V_{s1}$ , valore normalizzato per la pressione litostatica, consente di definire il range superiore ed inferiore dei valori di picco.

Limite superiore  $\phi' = 3,9 * (V_{s1})^{0,44}$

Limite superiore  $\phi' = 3,9 * (V_{s1})^{0,44} - 6,2$

Successivamente si è deciso di mediare i valori del limite inferiore ottenuti lungo la profondità investigata dalla prova, con lo scopo di rafforzare la scelta dell'angolo di resistenza dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni sopraccitate.



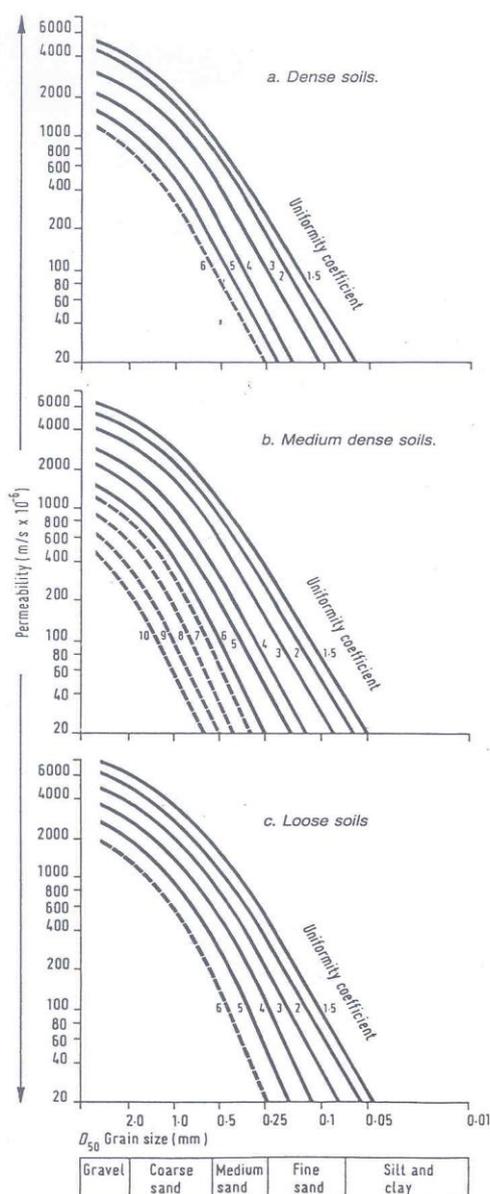
Gli angoli e i moduli così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee. Infatti, si tratta di valori molto elevati stimati a partire dai valori di Vs: si ritiene pertanto opportuno limitare i valori di angoli e modulo di progetto e di fare riferimento ai valori ricavati dalle prove di laboratorio e dalle altre prove disponibili.

### 8.5 Coefficienti di permeabilità dei terreni – Prove in sito e Ic

I coefficienti di permeabilità k verranno determinati sulla base dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc (Tabella 6) in foro di sondaggio; in alternativa essi verranno stimati sulla base delle seguenti metodologie (vedi Somerville, 1986):

**Tabella 8.5: Stima dei coefficienti di permeabilità in base alla descrizione litologica**

k (m/sec)	Grado di permeabilità	Tipo di terreno
$k > 1 \cdot 10^{-3}$	Alta	Ghiaie
$1 \cdot 10^{-3} > k > 1 \cdot 10^{-5}$	Media	Sabbie ghiaiose e Ghiaie sabbiose
$1 \cdot 10^{-5} > k > 1 \cdot 10^{-7}$	Bassa	Sabbie fini
$1 \cdot 10^{-7} > k > 1 \cdot 10^{-9}$	Molto bassa	Limi e sabbie argillose
$1 \cdot 10^{-9} > k$	Bassissima (impermeabile)	Argille



**Figura 8.3: Coefficiente di permeabilità (k) in funzione del coefficiente di uniformità U (U=D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>) e del D<sub>50</sub> (Sommerville, 1986)**

Il coefficiente di permeabilità dei terreni può essere stimato anche con la correlazione di *Robertson (2010)* a partire dall'indice del tipo di terreno I<sub>c</sub>:

$$1.0 < I_c \leq 3.27 \quad k = 10^{(0.952 - 3.04 I_c)} \quad \text{m/s}$$

$$3.27 < I_c < 4.0 \quad k = 10^{(-4.52 - 1.37 I_c)} \quad \text{m/s}$$

Le prove di permeabilità Lefranc (carico variabile) hanno restituito i seguenti valori di permeabilità (cm/s):

sondaggio	profondità prova	K media
<i>n.</i>	<i>da (m)</i>	<i>(cm/s)</i>
S02- DH - 2017	6.50	3.35E-03
S03 - PZ - 2017	10.50	1.35E-02
S04 - PZ - 2017	8.00	1.48E-03
S05 - DH - 2017	5.00	3.98E-03
S06 - DH - 2017	10.50	3.35E-03
S07 - PZ - 2017	20.00	6.68E-03
S08 - DH - 2017	15.00	1.00E-03
S09 - DH - 2017	10.50	3.17E-03
S11 - PZ - 2017	10.50	4.60E-03
S12 - PZ - 2017	15.00	5.49E-03
S13 - PZ - 2017	20.50	1.71E-02
S01 - PZ - 2018	8.00	2.16E-03
S02 - PZ - 2018	7.00	2.12E-03
S03 - PZ - 2018	11.00	8.13E-04
S04 - PZ - 2018	16.00	6.58E-04
S06 - PZ - 2018	9.00	2.80E-04
S07 - PZ - 2018	14.00	3.76E-05
S_X1 - PZ - 2019	3.00	9.88E-05
S_X2 - PZ - 2019	3.00	1.11E-04
S_X4 - PZ - 2019	3.00	3.07E-03
S_X6 - PZ - 2019	3.00	1.38E-05
S_X6 - PZ - 2019	7.00	5.30E-05

## 8.6 Caratteristiche di resistenza e deformabilità delle rocce

In considerazione del possibile grado di fratturazione e delle dimensioni delle opere di sostegno e di fondazione da realizzare, la caratterizzazione geotecnica delle formazioni rocciose incontrate lungo il tracciato verrà fatta facendo tendenzialmente riferimento alla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980. In particolare:

1. Il parametro RMR "Rock Mass Rating" verrà stimato sulla base di quanto descritto nel paragrafo 8.6.1; il parametro GSI (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjoberg, 1997):

$$GSI=RMR'89-5$$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	57 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

- L'involuppo delle resistenze dell'ammasso roccioso in condizioni "undisturbed" o "disturbed" verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002) (vedi il paragrafo 8.6.2).
- Le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto riportato nel paragrafo 8.6.3.

### 8.6.1 Valutazione del parametro $RMR_{89}$

Per ogni litotipo il parametro  $RMR_{89}$  viene stimato in accordo a quanto proposto in Bieniawski (1989), ovvero come somma dei seguenti 8 indici (I1→I8):

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta (**I1**)

Resistenza alla compressione semplice $\sigma_c$ (MPa)	I1
> 250	15
100÷250	12
50÷100	7
25÷50	4
5÷25	2
1÷5	1
< 1	0

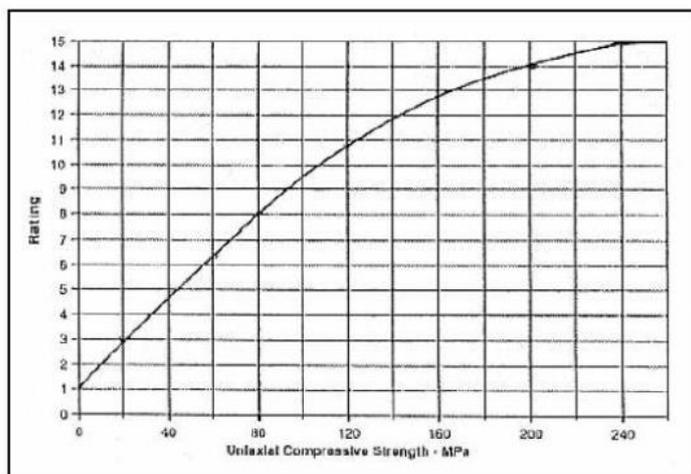


Figura 4 – Determinazione di I1 (resistenza della roccia)

- Qualità della roccia RQD (**I2**)

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	58 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

RQD (%)	I2
90÷100	20
75÷90	17
50÷75	13
25÷50	8
< 25	3

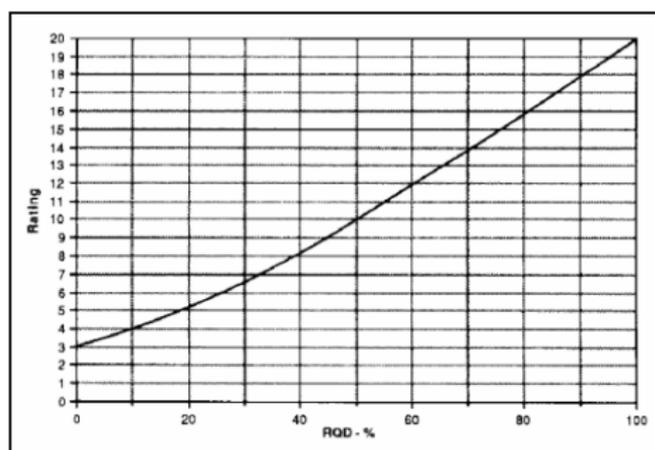


Figura 5 – Determinazione del I2 (RQD)

- Spaziatura delle discontinuità (I3)

S	I3
> 2 m	20
0.6 m÷2 m	15
200 mm÷600 mm	10
60 mm÷200 mm	8
< 60 mm	4

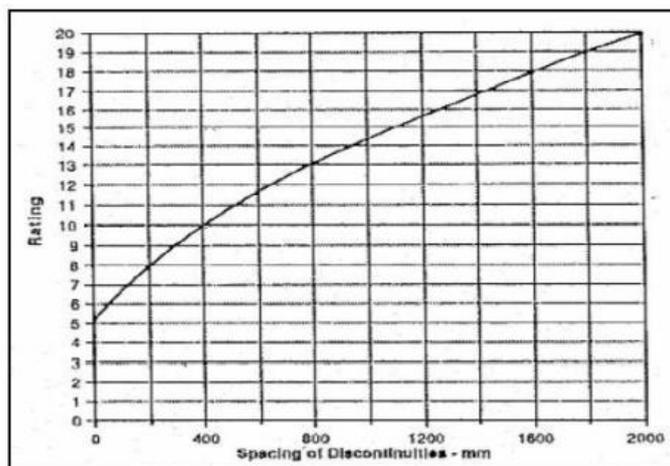


Figura 6 – Determinazione del parametro I3 (Spaziatura)

- Lunghezza delle discontinuità (**I4**)

L	I4
< 1 m	6
1 m÷3 m	4
3 m÷10 m	2
10 m÷20 m	1
> 20 m	0

- Apertura delle discontinuità (**I5**)

H	I5
0 mm	6
> 0.1 mm	5
0.1 mm÷1 mm	4
1 mm÷5 mm	1
> 5 mm	0

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di scabrezza (**I6**)

Descrizione	I6
Molto rugose	6
Rugose	5
Poco rugose	3
Ondulate	1
Lisce	0

- Caratteristiche del riempimento delle discontinuità (**I7**)

Descrizione – spessore	I7
Assente	6
Compatto – < 5 mm	4
Compatto – > 5 mm	2
Tenero – < 5 mm	2
Tenero – > 5 mm	0

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di alterazione (I8)

Descrizione	I8
Non alterate	6
Poco alterate	4
Alterate	2
Molto alterate	2
Decomposte	0

Nella valutazione di RMR<sub>89</sub> NON si terrà conto dell'indice che descrive qualitativamente l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità (incluse quelle dovute alla stratificazione) rispetto alle opere da realizzare; ove rilevante/possibile tale aspetto verrà messo in conto nella definizione del modello geometrico da utilizzare nelle analisi di progetto.

### 8.6.2 Criteri di rottura

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988) e Hoek, Kaiser & Bawden (1995) (vedi anche Sjöberg, 1997), Hoek et al. (2002) l'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}$$

D = 0 per “undisturbed rock masses”

D = 1 per “disturbed rock masses”

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

GSI = RMR'89 – 5

RMR'89 = vedi il paragrafo 8.6.1

$m_i$  = coefficiente relativo alla roccia intatta

$\sigma_1$ ' = tensione principale efficace maggiore

$\sigma_3$ ' = tensione principale efficace minore

$\sigma_c$  = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

In particolare grazie al criterio di Hoek et al. è stato possibile attraverso il programma RocLab (Rocscience Inc. 2007) stimare l'angolo di attrito, coesione e modulo elastico. Nell'applicazione del criterio di rottura sopra riportato valgono le seguenti precisazioni:

1. In generale, per ogni litotipo il coefficiente  $m_i$  verrà valutato sulla base di dati sperimentali e si farà riferimento a quanto riportato nella
2. **Tabella 8.6.**

**Tabella 8.6: Esempi di coefficiente  $m_i$  relativo alla roccia intatta (Hoek e Brown, 1988; Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)**

Rocce	$m_i$ (-)
Filladi	7
Dioriti	25
Graniti	25 - 28
Basalto	25-5

3. In accordo a Sjoberg (1997), ai termini “undisturbed” e “disturbed” viene attribuito un significato legato anche alle modalità di utilizzo dei parametri di resistenza nelle analisi ingegneristiche; in particolare:
  - Il criterio di rottura relativo alle “undisturbed rock masses” rappresenta la resistenza di picco dell'ammasso roccioso quando esso si trova in condizioni di pre-rottura.
  - Il criterio di rottura relativo alle “disturbed rock masses” rappresenta la resistenza media disponibile lungo superfici di scivolamento critiche in condizioni di incipiente rottura; ricorrendo a terminologie proprie della meccanica dei terreni tale resistenza può essere denominata “softened”.
4. Per quanto riguarda il parametro D (coefficiente di disturbo), relativo al grado di disturbo della roccia durante la realizzazione delle opere di interesse lungo la tratta ferroviaria, si è considerato di applicare in tutti i casi un valore pari a 0.1; consideranto come un grado di disturbo minimo.

Sotto tali presupposti, nei casi rappresentati da situazioni non caratterizzate da dissesti pregressi o in atto, si opererà come segue:

1. In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura eseguite con metodi ove non è possibile riprodurre il comportamento “strain softening” si farà riferimento ai parametri dell’ammasso relativi alle condizioni “disturbed”;
2. In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura condotte con metodi in grado di riprodurre la caduta di resistenza tra condizioni di picco e condizioni “softened” verranno presi come riferimento sia il criterio di rottura relativo alle condizioni “undisturbed” che quello relativo alle condizioni “disturbed”. Verranno inoltre ipotizzate diverse leggi di degrado dei parametri di resistenza, fra cui quella che contempla una repentina caduta di resistenza dalle condizioni di picco a quelle “softened”.
3. Nel caso in cui l’involuppo di rottura in termini di tensioni di taglio  $\tau$  e di tensioni normali alla superficie di rottura  $\sigma_n$  venga rappresentato con un criterio di rottura del tipo Mohr-Coulomb, questo verrà interrotto per valori di  $\sigma_n$  negativi (trazione), assumendo resistenza al taglio pari a 0 per evitare di sovrastimare la resistenza a trazione del materiale stesso. (“tension cut off”).

### Moduli di Young

I moduli di Young “operativi”  $E_{op}$  dell’ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineare equivalente, possono essere stimati sulla base di espressioni di letteratura desunte da confronti tra la risposta deformativa di ammassi (da prove in sito e/o back-analysis) e i parametri tipici dei sistemi di classificazione degli ammassi stessi (RMR, GSI). Alcune di tali espressioni possono essere riferite a particolari tipologie di ammassi. Nello specifico si è fatto riferimento alle seguenti espressioni (Serafim & Pereira, 1983; Mehrotra et al. 1991, Berardi e Bellingeri, 1998, Hoek et al., 2002):

$$E_{op} = 10 \cdot \left( \frac{RMR-10}{40} \right) \cdot [GPa]$$

$$E_{op} = 10 \cdot \left( \frac{RMR-30}{50} \right) \cdot [GPa]$$

$$E_{op} = 0.87 \cdot e^{(0.045-RMR)} \cdot [GPa]$$

$$E_{op} = 1000 \cdot \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad \text{per } 10 < GSI < 50 \text{ e per } \sigma_c < 100 \text{ MPa.}$$

essendo:

D = coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>63 di 452</b></p>

Si rimanda alle trattazioni nei capitoli successivi in funzione alle rocce più o meno alterate incontrate nelle prove in sito e laboratorio per la scelta dei valori assunti di GSI e RQD.

### 8.6.3 Caratteristiche di deformabilità da prove geofisiche

#### Moduli iniziali

I moduli iniziali di taglio ( $G_0$ ) e di Young ( $E_0$ ) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  utilizzando le seguenti equazioni della teoria dell'elasticità:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

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

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in kN/m<sup>3</sup>

$\nu'$  = rapporto di Poisson = 0,15 ÷ 0,20

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

La velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche tipo down hole oppure dai risultati di prove geofisiche di superficie.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>64 di 452</b></p>

## 9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 9.1 Unità geotecnica U0 – Terreno costituito da depositi alluvionali ed eluvio-colluviali prossimali ai fossi e corsi d'acqua: limo argilloso/argilla limosa

Per quanto riguarda l'unità geotecnica U0 non si sono definiti parametri geotecnici in quanto è una formazione superficiale e nel profilo geotecnico viene segnalata nei pressi dei fossati e corsi d'acqua.

### 9.2 Unità geotecnica U1a – Terreni limo argilloso sabbiosi e limosi argillosi debolmente sabbiosi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove penetrometriche;
- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche, limiti di Atterberg);
- prove di laboratorio meccaniche ( taglio diretto).

#### 9.2.1 Sondaggi acarotaggio continuo e prove SPT

Si precisa che il sondaggio SA02-2018 essendo fuori asse di 47m rispetto alla linea ferroviaria non è stato considerato per questa unità geotecnica.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	65 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	Profondità (m)	Nspt
S01_PZ-2017	2	9
	5	18
	8	5
S_X02-2019	3	7
	6	9
	9	14
S12_PZ-2017	6,50	5
S08_DH-2017	2,00	7
	4,00	6
S09_DH-2017	7,00	38
SA_01-2018	2,00	6
	8,00	10
S7-PZ-2018	2,00	10
	5,00	18
S6-PZ-2018	2,00	6
	4,00	18
SA01-2018	2,50	6
	7,00	10

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	66 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Si riporta di seguito l'andamento dei valori di N<sub>spt</sub> in funzione della profondità.

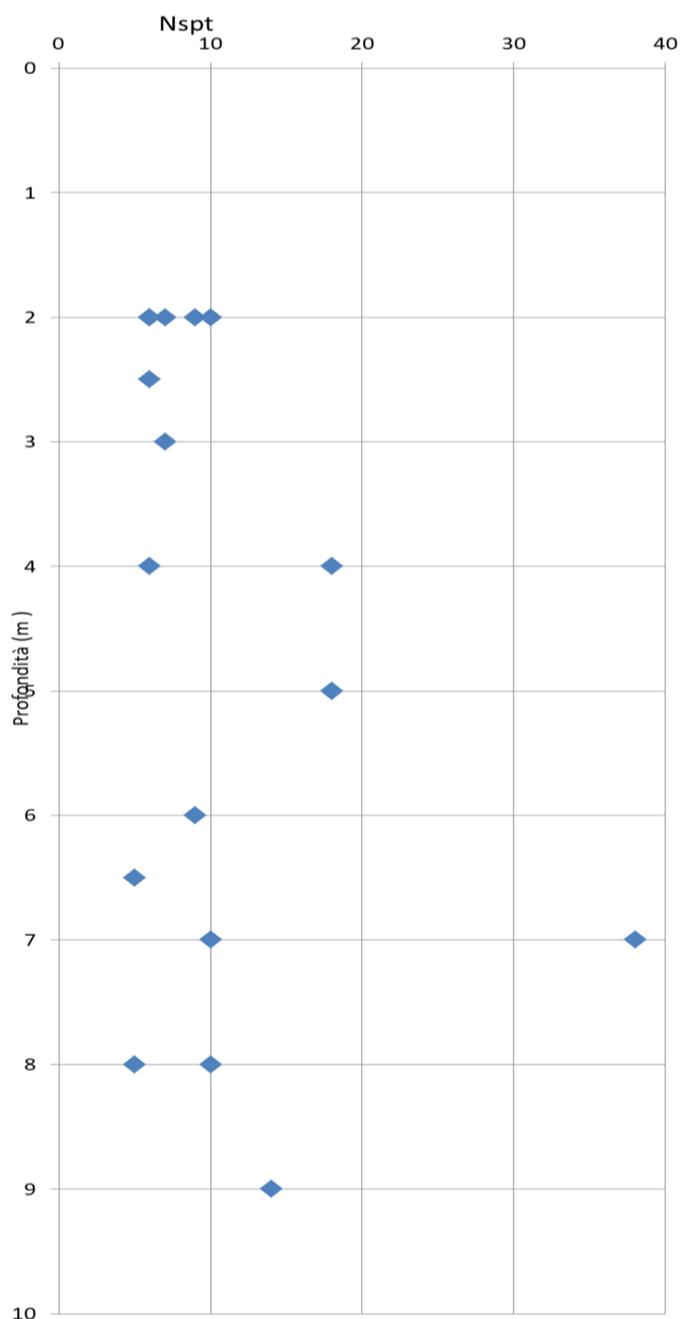


Figura 7 – Valori di SPT

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	67 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

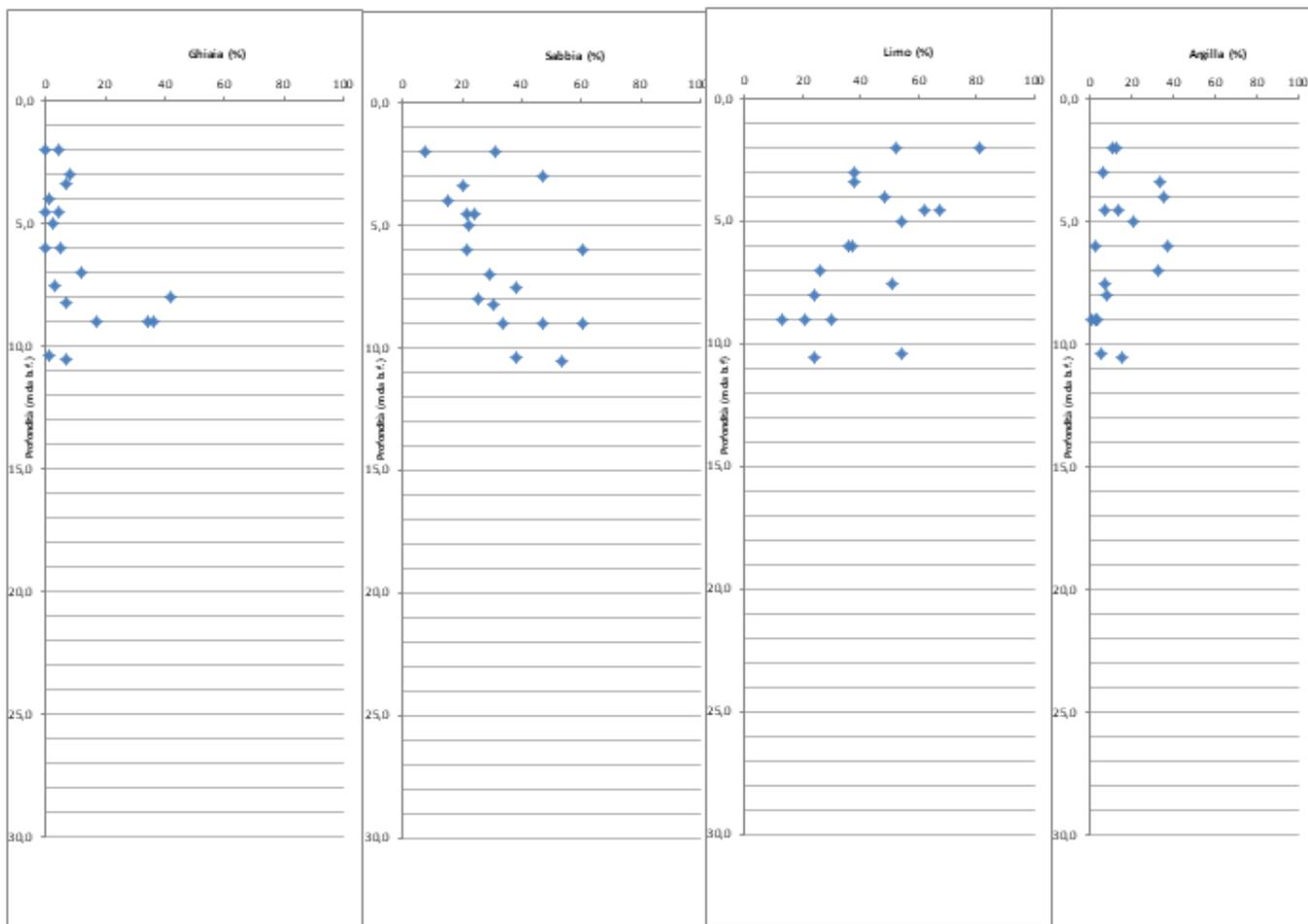
**9.2.2** *Analisi granulometrica , limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume*

	camp.	Prof.
	n°	prelievo (m)
S01_PZ-2017	CI1	4,5
	CI2	10,5
SX2-2019	CI2	6
	CI3	9
S12_PZ-2017	CI1	2,0
	CI2	4,5
	CI3	7,5
S08_DH-2017	CR1	6,0
	CI2	7,0
	CR3	8,0
S09_DH-207	CI1	2,0
	CR2	4,0
	CI3	5,0
	CI4	9,0
S06-2018	CI1	3,4
	CI2	10,4
S07-2018	CI1	3
	CI2	9
	CI3	8,2

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	68 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



**Figura 8- Risultati delle analisi granulometriche**

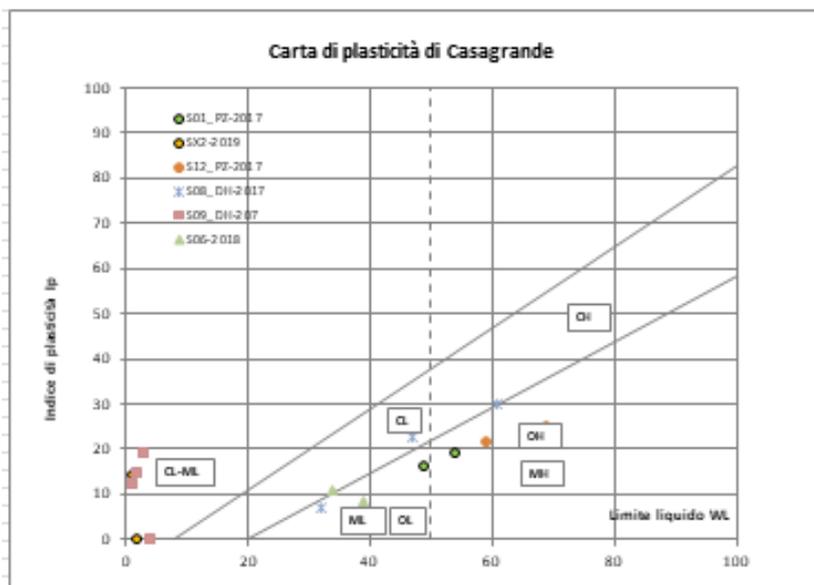
Sono inoltre stati riportati i valori del limite liquido e dell'indice di plasticità sulla carta di plasticità di Casagrande.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	69 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	camp.	profondità m	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S01_PZ-2017	CI1	4,5	49	29	16,1
	CI2	10,5	54	35	19,3
SX2-2019	CI2	6	49	35	14,4
	CI3	9	-	-	-
S12_PZ-2017	CI1	2,0	59	37	21,8
	CI2	4,5	69	44	25,2
	CI3	7,5	36	32	4,6
S08_DH-2017	CR1	6,0	47	24	22,4
	CI2	7,0	61	31	30
	CR3	8,0	32	25	7
S09_DH-207	CI1	2,0	32	20	12,2
	CR2	4,0	36	22	14,6
	CI3	5,0	46	27	19,3
	CI4	9,0	-	-	-
S06-2018	CI1	3,4	34	23	10,7
	CI2	10,4	39	31	8,3
S07-2018	CI1	3	-	-	-
	CI2	9	-	-	-
	CI3	8,2	-	-	-



CL= Lami arginici, argille limose organiche di bassa plasticità

ML= Lami inorganici, sabbie molto fini, finesse di rocce, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità, argille glauche o sabbiose, argille limose, argille rosse

CH= Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici

MH= Lami inorganici, sabbie fini o limi micacei o cloritici, limi sabbiosi

CH= Argille inorganiche di elevata plasticità, argille grasse

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	70 di 452

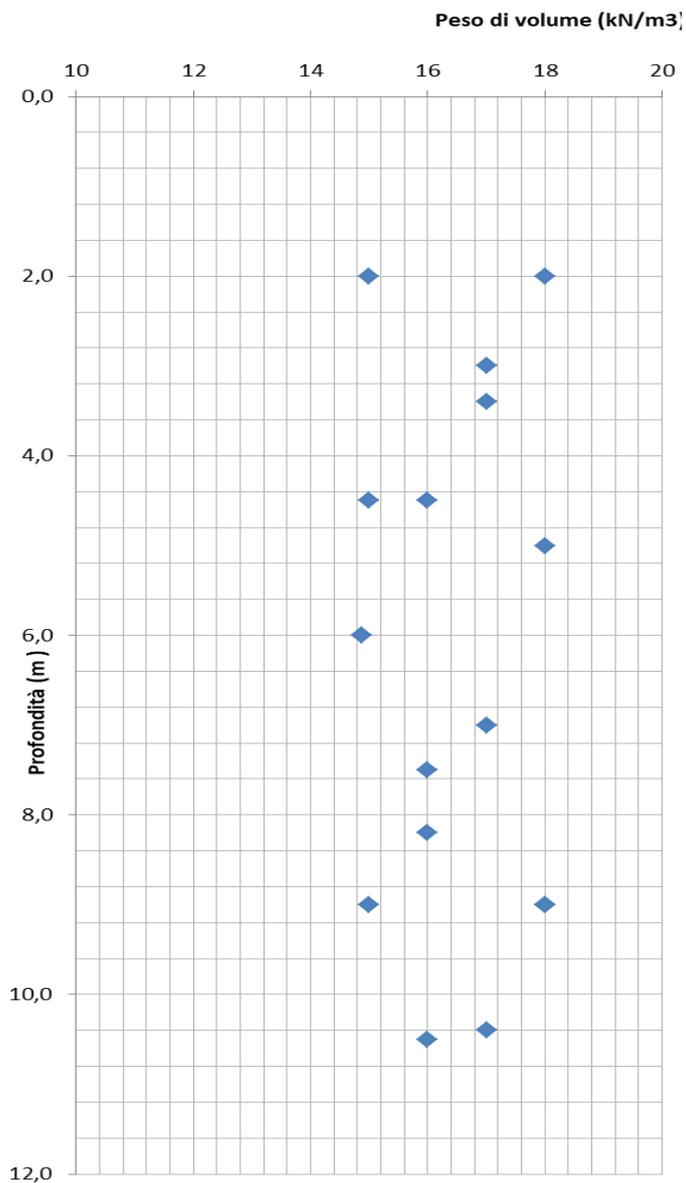
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	camp.	Prof.	Peso di
	n°	prelievo (m)	volume (kN/m3)
S01_PZ-2017	cl1	4,5	16
	cl2	10,5	16
SX2-2019	Cl2	6	14,88
	Cl3	9	15
S12_PZ-2017	cl1	2,0	15
	cl2	4,5	15
	cl3	7,5	16
S08_DH-2017	CR1	6,0	-
	cl2	7,0	17
	CR3	8,0	-
S09_DH-207	cl1	2,0	18
	CR2	4,0	-
	cl3	5,0	18
	cl4	9,0	18
S06-2018	Cl1	3,4	17
	Cl2	10,4	17
S07-2018	Cl1	3	17
	Cl2	9	18
	Cl3	8,2	16

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	71 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



### 9.2.3 Prove meccaniche di laboratorio

Si riportano in seguito i risultati delle prove meccaniche di laboratorio.

Prove di lab. - Taglio diretto			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f	c		
25	6,44	4,5	S01_PZ-2017
28	7,51	10,5	
27,48	6	1,5	S_X02-2019
28	4	6	
29,11	2,91	9	
25	20	7	S08_DH-2017
25	11	2	S12_PZ-2017
25	11	4,5	
27	9	7,5	
25	8	2	S09_DH-2017
24	17	5	
33	3	9	S6-2018
32	53	10,4	S7-2018
36	23	3	
79	37	9	
54	32	8,2	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	73 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

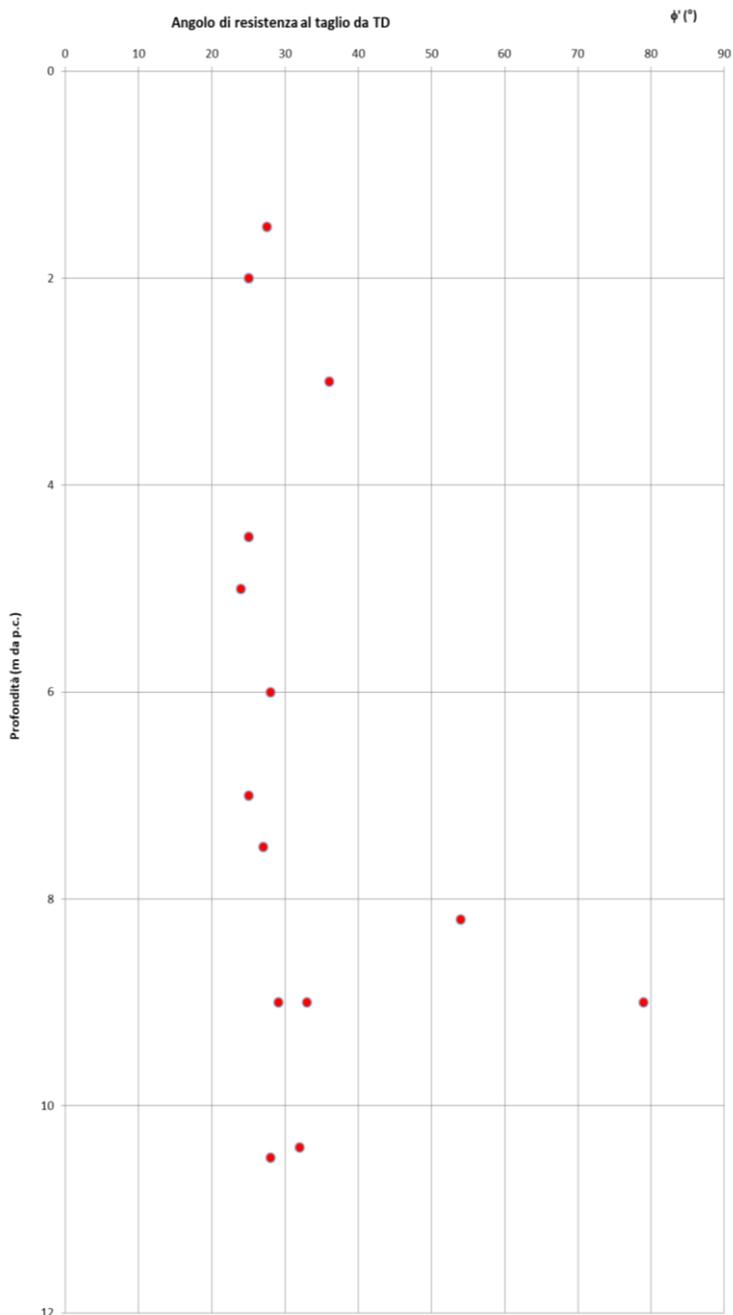


Figura 9 – Angoli di resistenza al taglio

### 9.2.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

Ai fini della classificazione dei materiali, si è provveduto a ricavare i valori di densità relativa a partire dai risultati delle prove SPT.

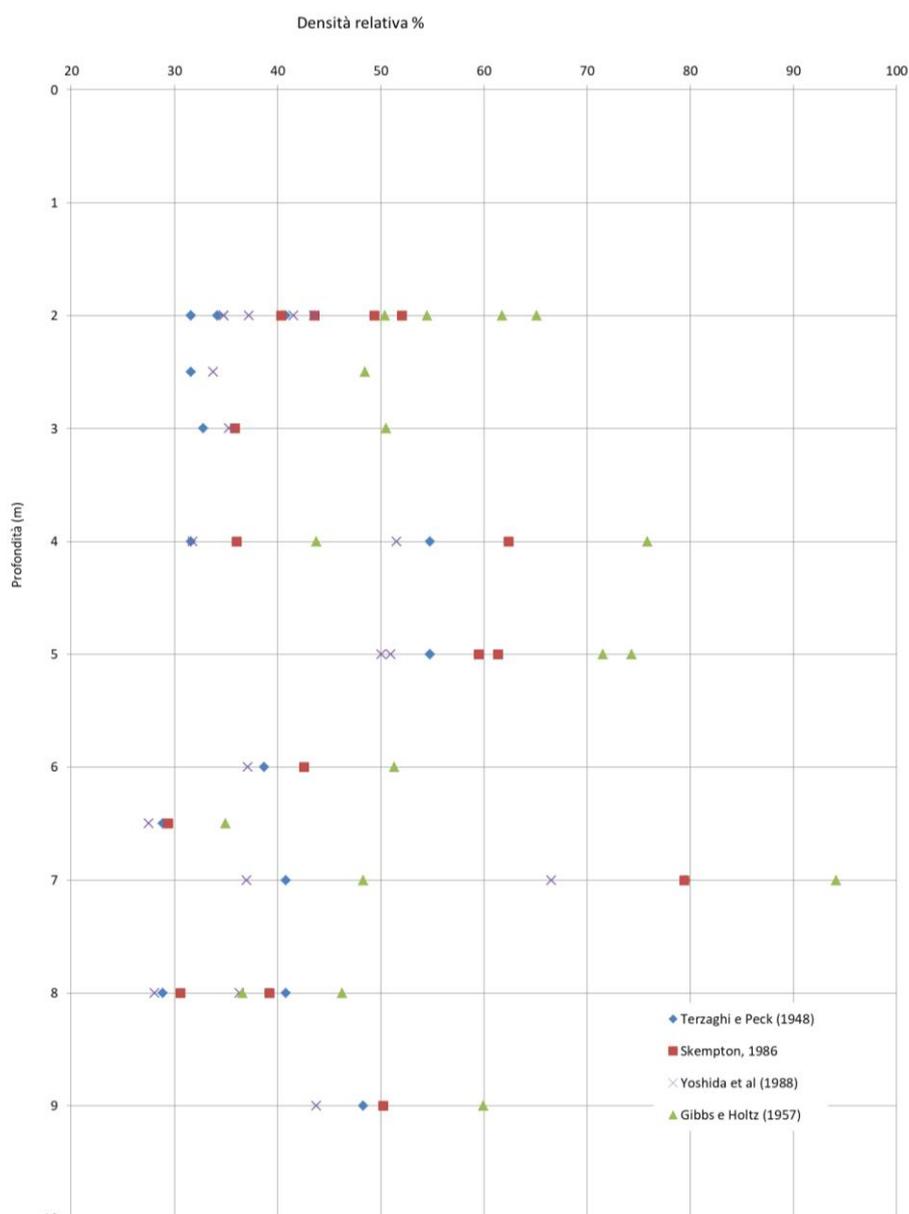


Figura 10 – Densità relativa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	75 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.2.5 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di attrito efficace terreni coesivi

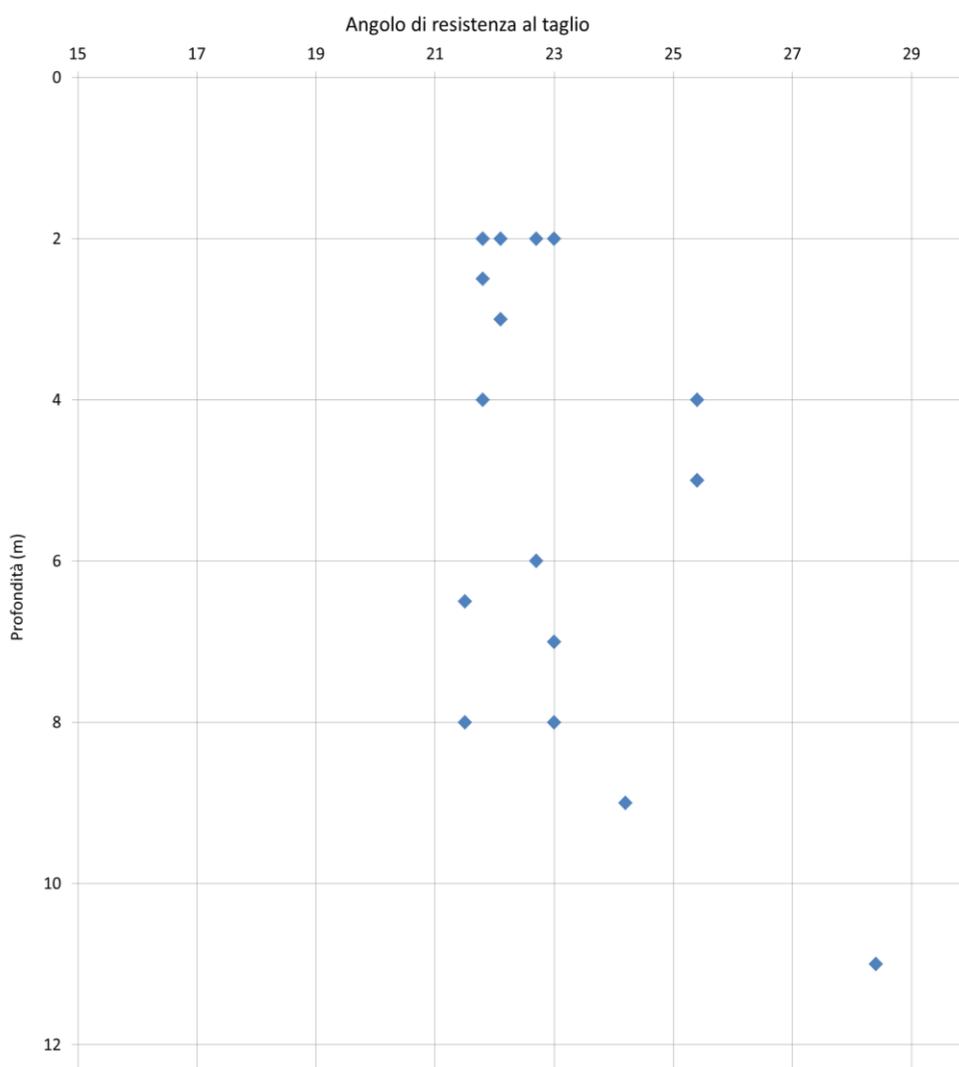


Figura 11 – Angolo di resistenza al taglio- Peck, 1953.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	76 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.2.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico terreni coesivi

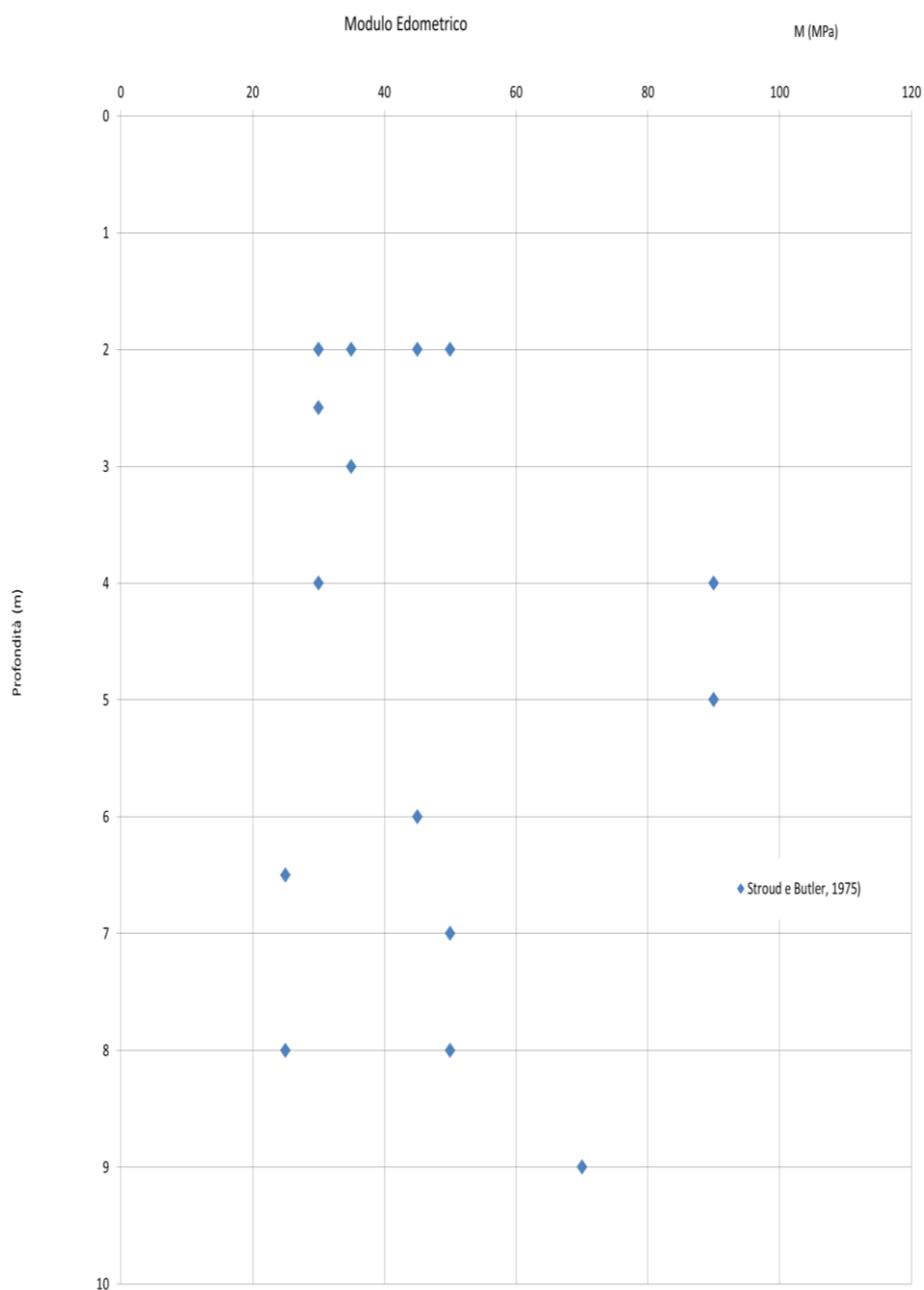
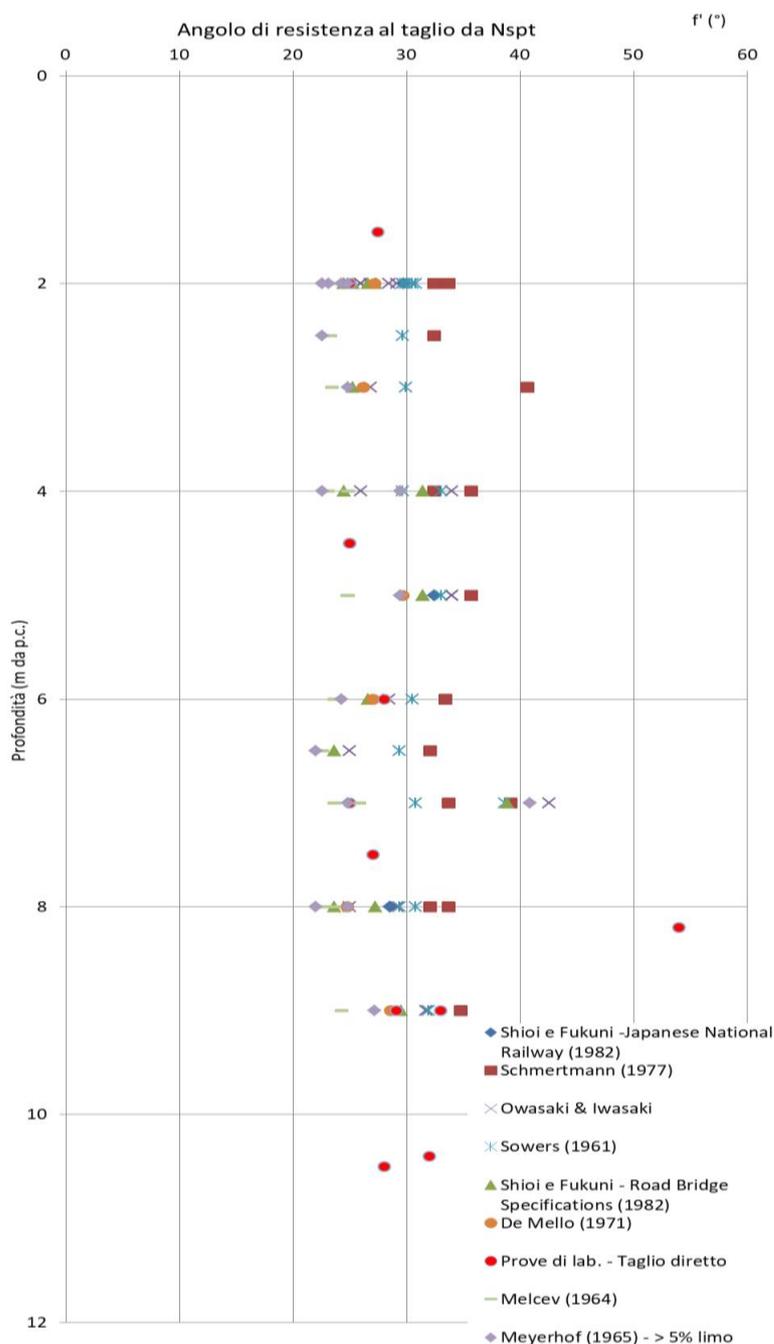


Figura 12 – Modulo edometrico

**9.2.7 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza la taglio terreni incoerenti**



**Figura 13 – Angolo di resistenza al taglio**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	78 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.2.8 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico

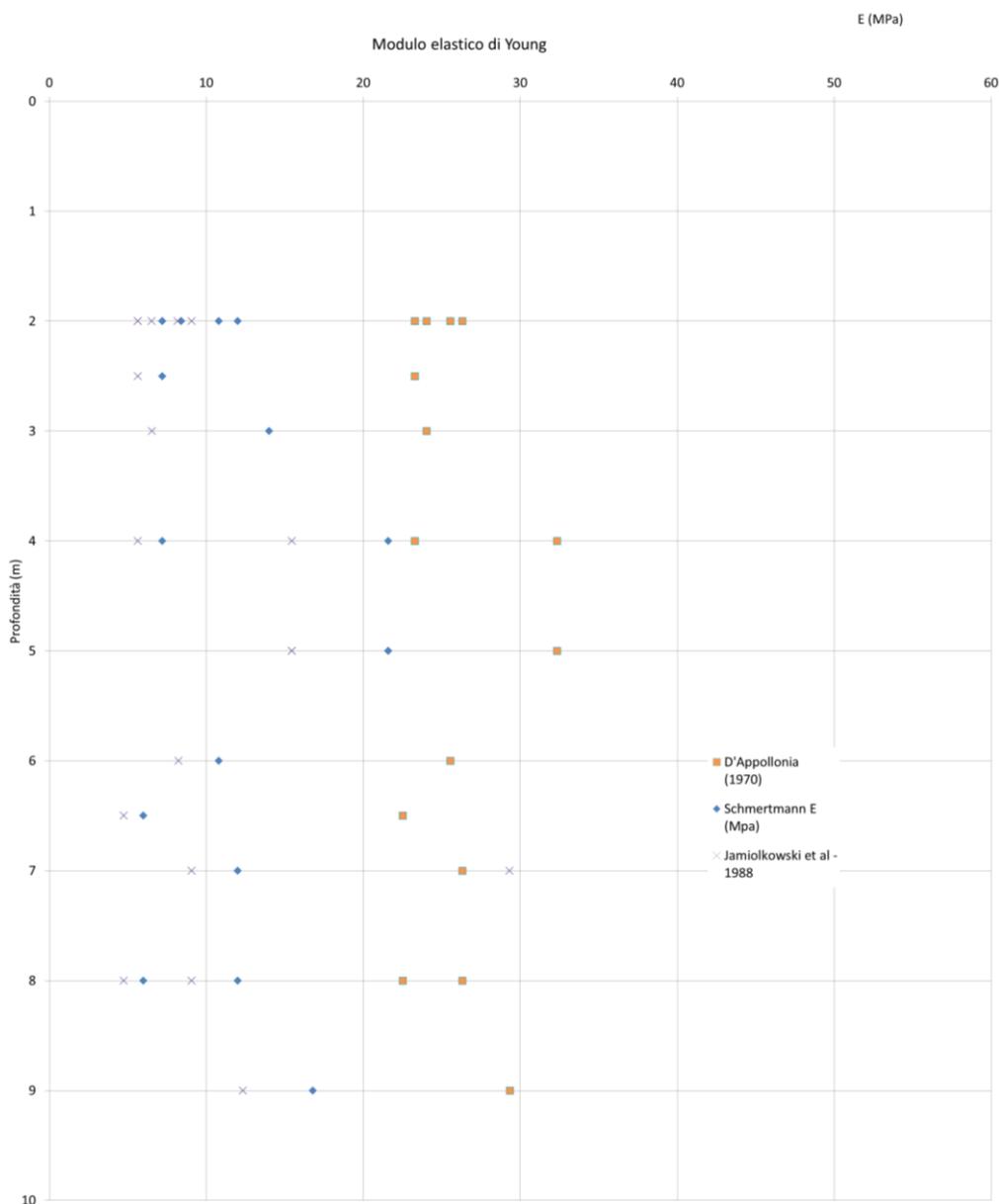


Figura 14-Modulo elastico

### 9.2.9 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa

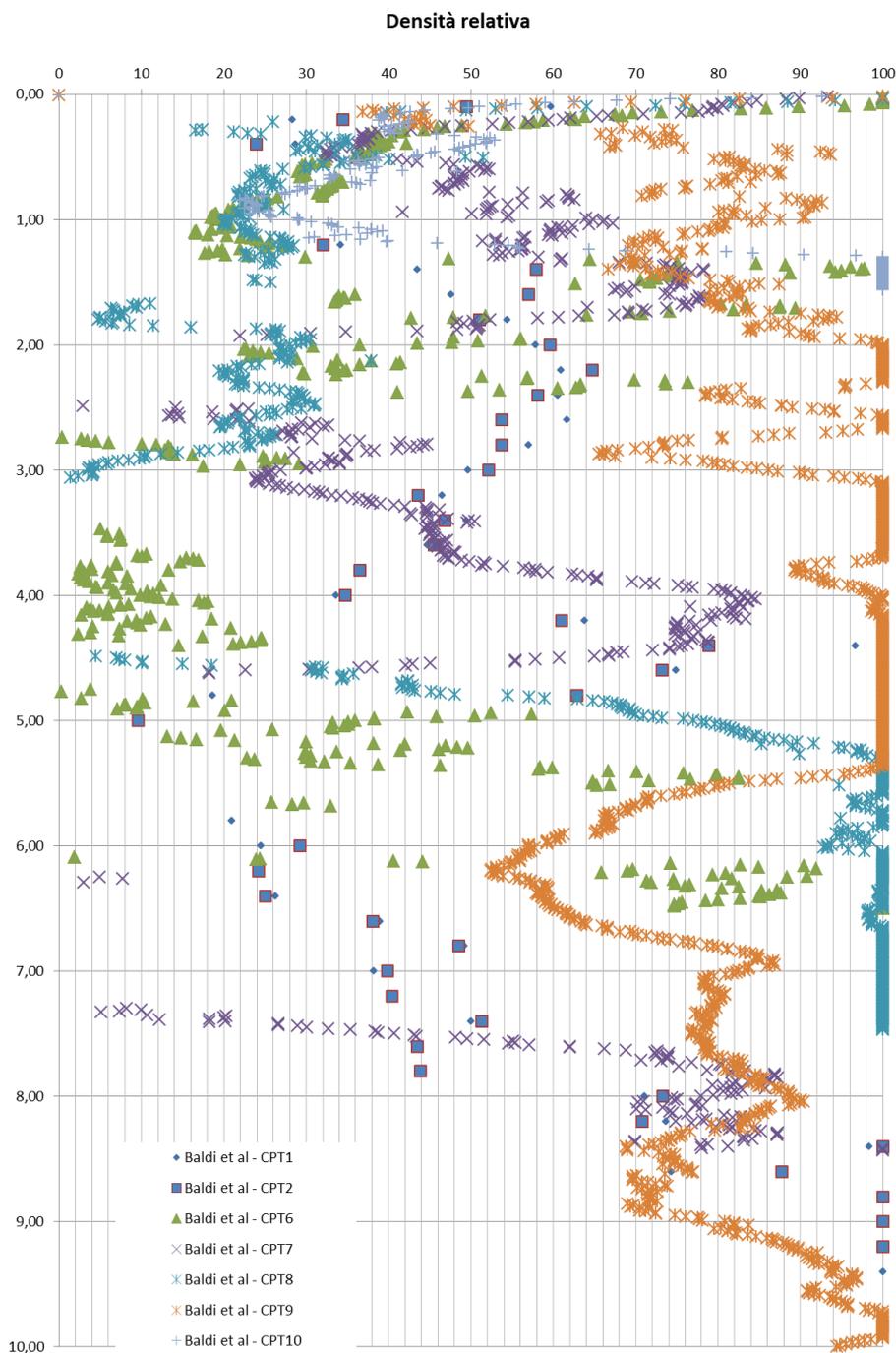
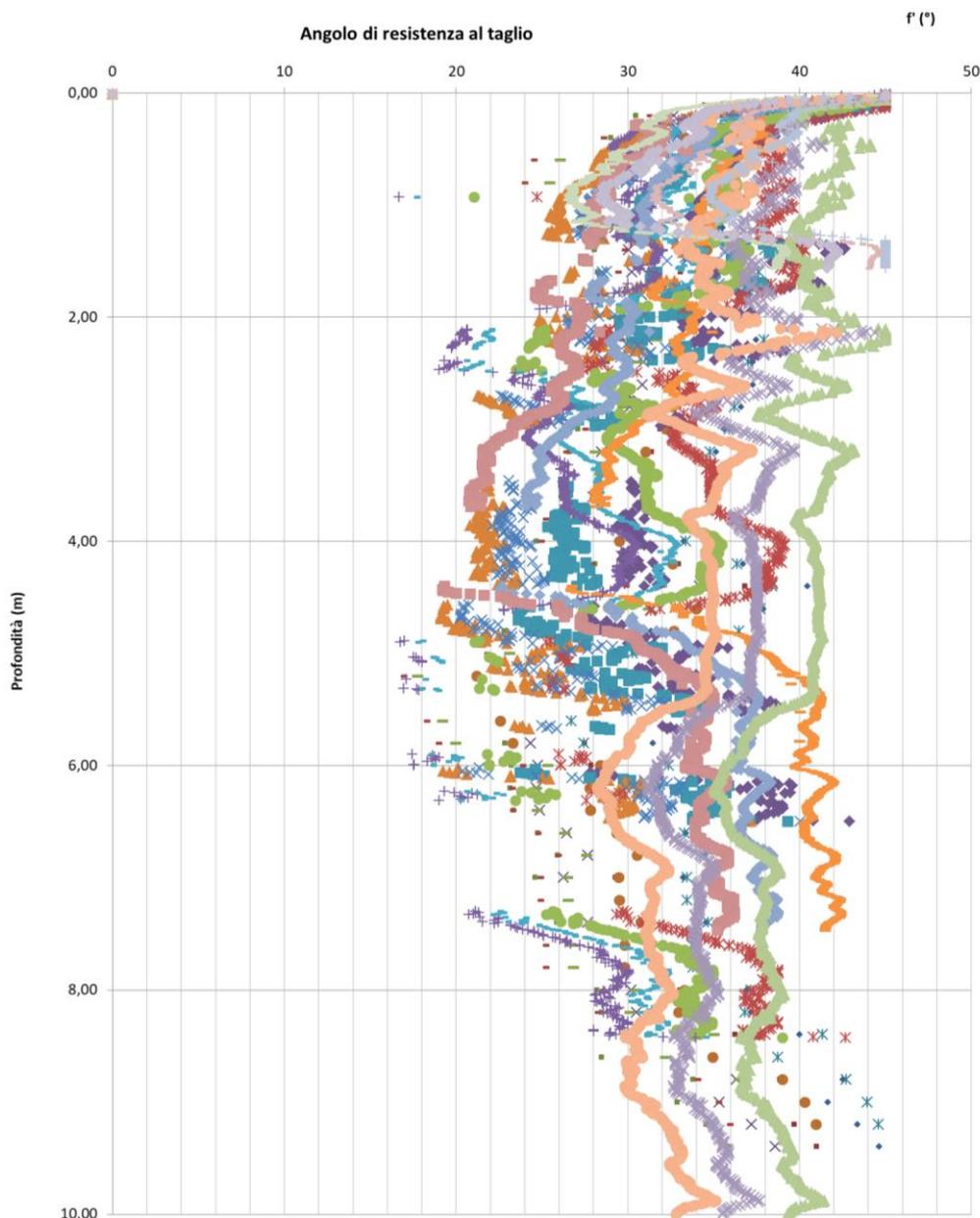


Figura 15 – Densità relativa

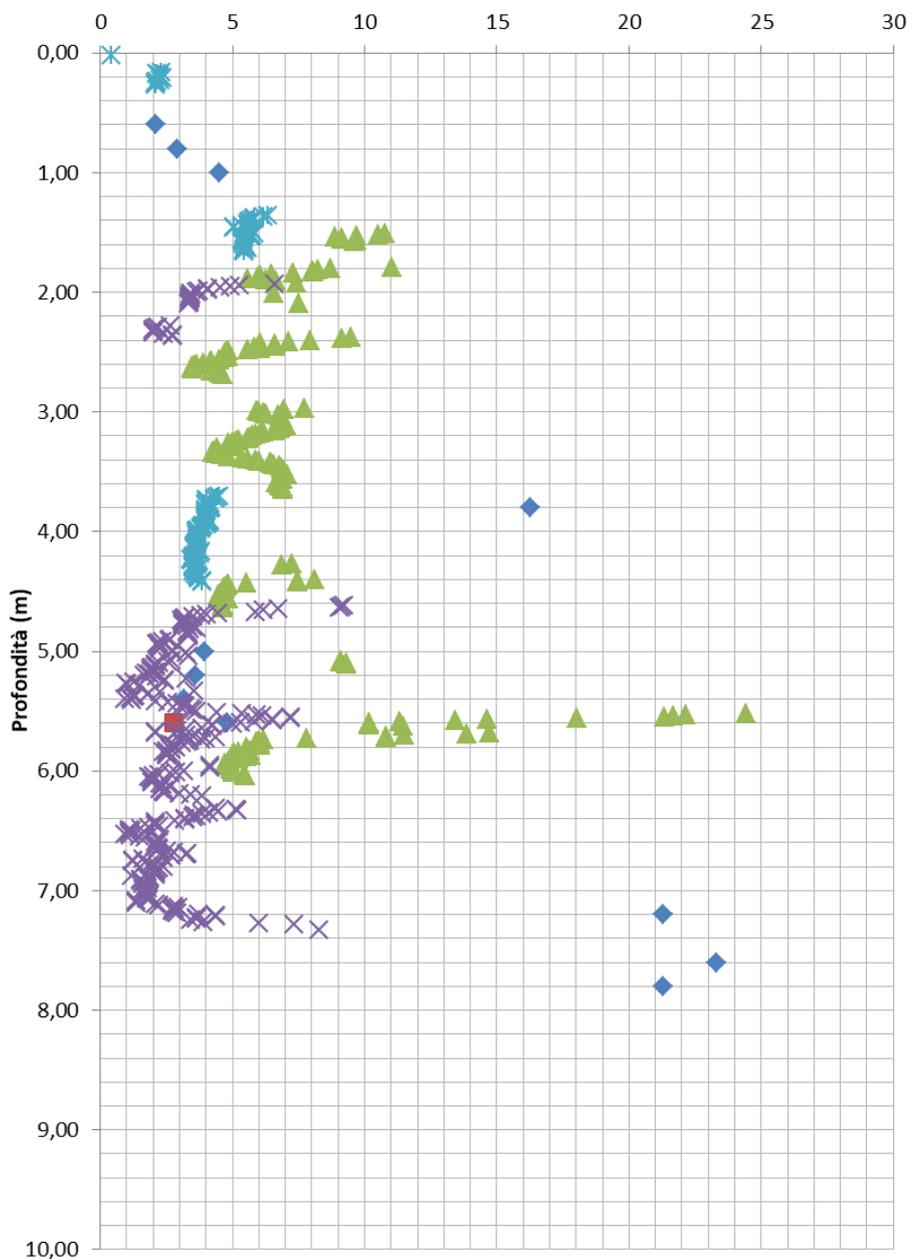
**9.2.10 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio**



**Figura 16 – Angolo di resistenza la taglio**

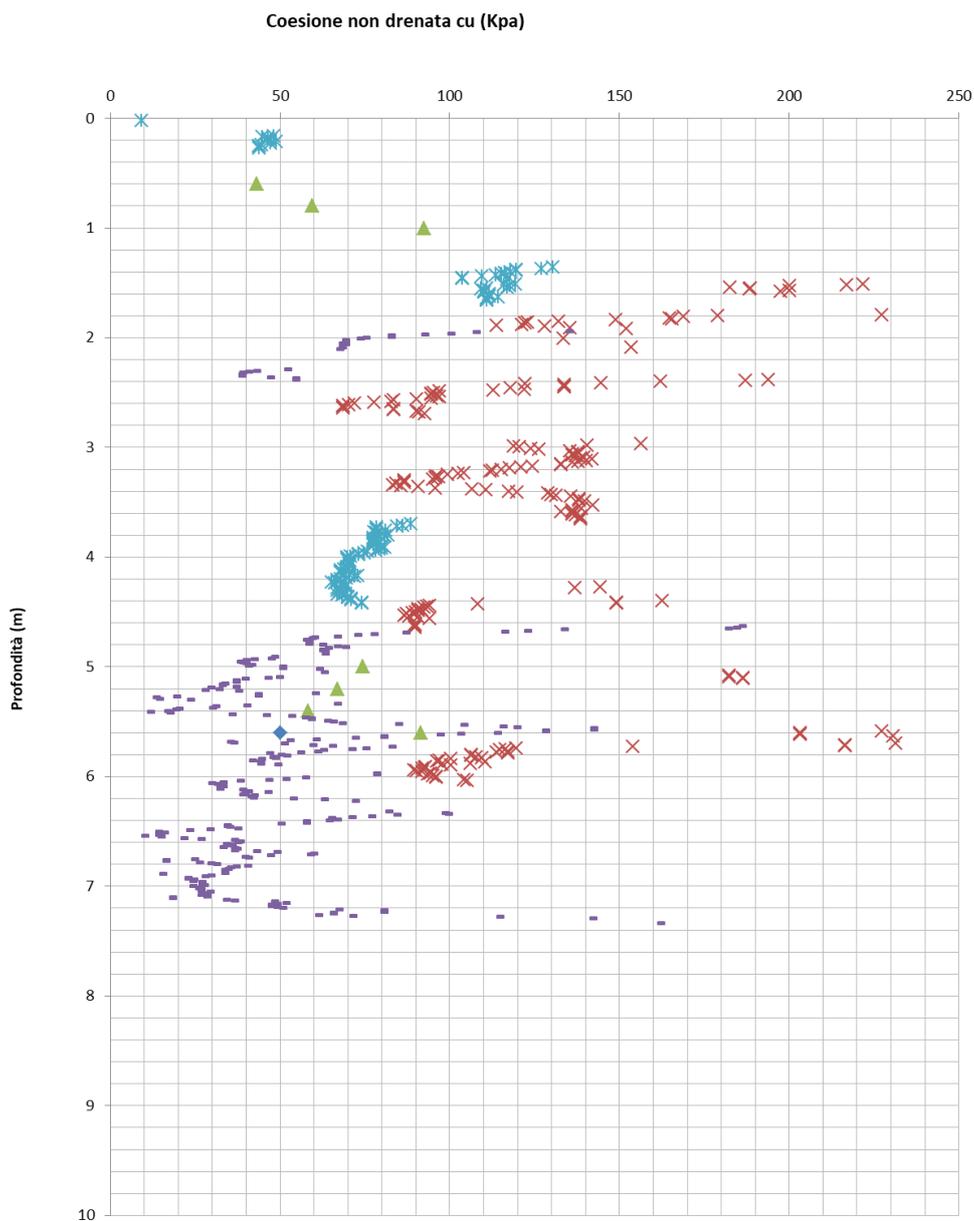
**9.2.11 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato**

**Modulo elastico confinato - terreni coesivi - M**



**Figura 17 – Modulo elastico confinato**

**9.2.12 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coesione non drenata**



**Figura 18 – Coesione non drenata**

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

### 9.3 Unità geotecnica U1b: terreni limo sabbiosi debolmente argillosi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche, limiti di Atterberg);
- prove di laboratorio meccaniche ( taglio diretto).

Questa unità è riscontrata a profondità maggiore rispetto all'unità geotecnica U1a e caratterizzata tramite il sondaggio S11-PZ-2017 tra le profondità di circa 19÷21m da piano campagna. Sebbene tale unità possa riscontrare parametri geotecnici simili all'unità U1a si è trattata e caratterizzata in un capitolo separato.

A favore di quanto detto si precisa che i sondaggi limitrofi (S07-PZ-2017 e SA-03-2018) al sondaggio S11-PZ-2017 riscontrano prove SPT con valori di  $N_{spt}$  molto elevati; inoltre dalla stratigrafia e dalle cassette catalogatrici le litologie mettono in evidenza granulometrie maggiormente sabbiose con presenza talvolta di ghiaia.

#### 9.3.1 Sondaggio geognostico, analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

Come già accennato il sondaggio di riferimento è S11-PZ-2017 con le seguenti caratteristiche del campione C13 (19.50m di profondità).

	camp.	Prof. prelievo (m)	ghiai <sup>a</sup>	sabbi <sup>a</sup>	limo	argill <sup>a</sup>
	n°		%	%	%	%
S11_PZ-2017	C13	19,5	7	25	60	8

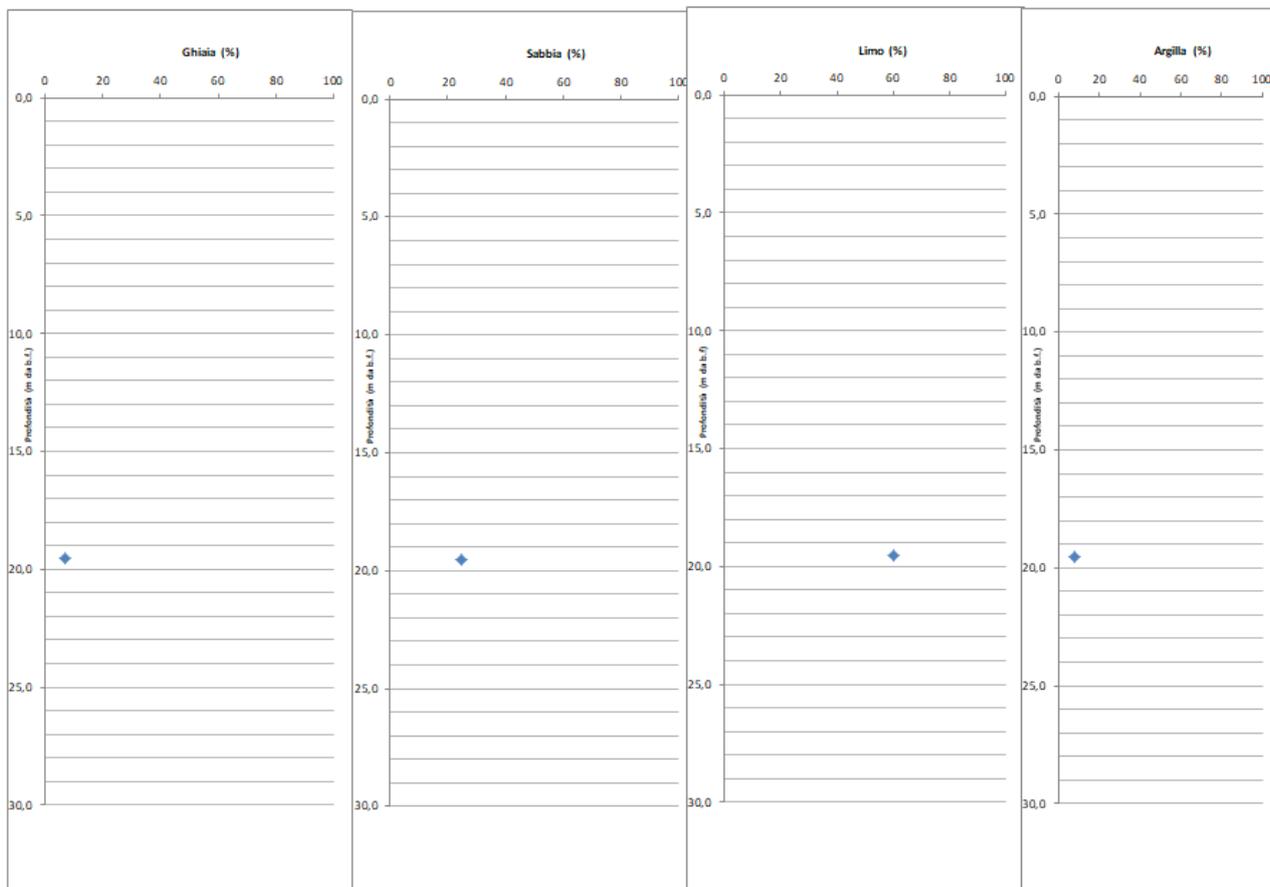
	camp.	Prof. prelievo (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )
	n°		
S11_PZ-2017	C13	19,5	14

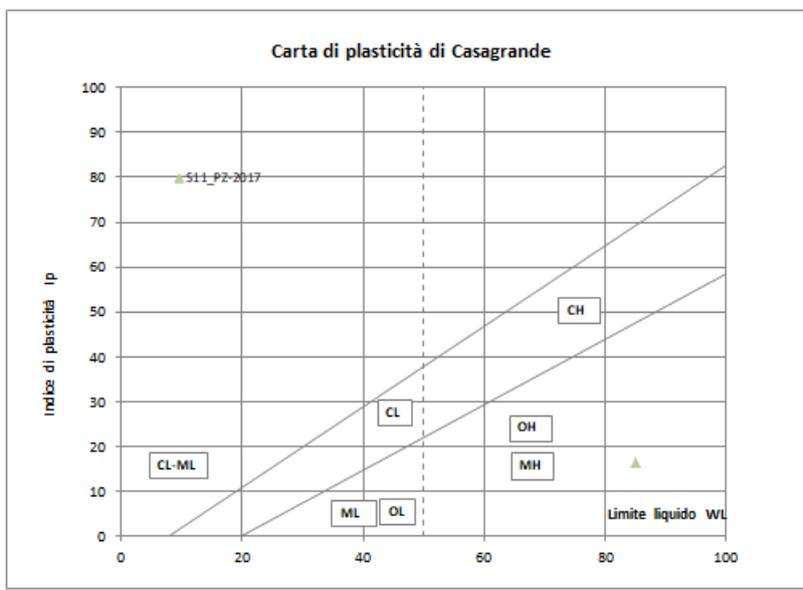
	camp.	Prof. prelievo (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S11_PZ-2017	C13	19,5	85	68	16,6

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	84 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE





OL= Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità
CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre
OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici
MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici
CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

### 9.3.2 Prove meccaniche di laboratorio: angolo di resistenza al taglio e coesione

Prove di lab. - Taglio diretto			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
<b>f'</b>	<b>c</b>		
25	7	19,5	<b>S11-PZ-2017</b>

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	86 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

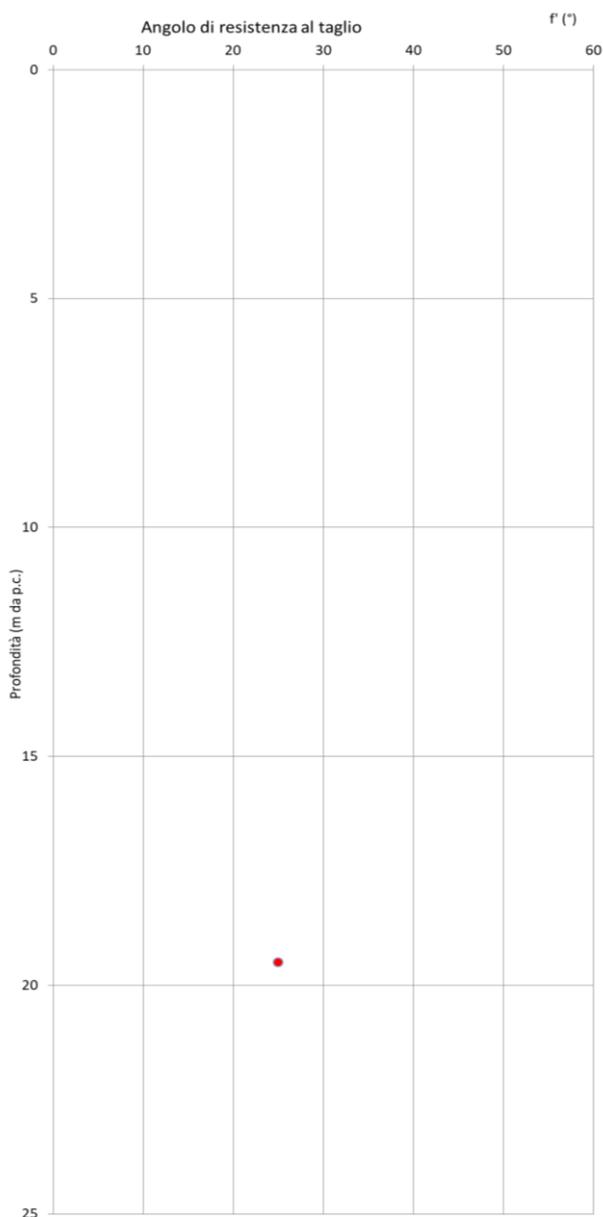


Figura 19 – Angolo di resistenza al taglio

### 9.3.3 Modulo elastico di progetto

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità relativi al modulo elastico di progetto si considera il confronto con l'unità geotecnica U1a e cautelativamente si assume un modulo pari a 15Mpa.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>87 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	87 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	87 di 452								

#### 9.4 Unità geotecnica U2a: terreni sabbiosi limosi e limoso sabbiosi debolmente argillosi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove penetrometriche;
- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche, limiti di Atterberg);
- prove di laboratorio meccaniche ( taglio diretto).

Si precisa che per il sondaggio S05-PZ-2017, sebbene fuori asse di circa 150m dalla linea di progetto, sono state considerato ugualmente le prove in sito e di laboratori fino alla profondità si 10m.

Per quanto riguarda le prove penetrometriche considerate verranno elaborate dalle profondità 8÷10m per le CPT1e CPT2 e per la prova CPTU5 dalla profondità di 5÷8m, in quanto dall'elaborazione per la classificazione dei terreni secondo Robertson et al. (1990 e succ. aggiornamenti) risultano maggiormente incoerenti. Per maggiori dettaglio si rimanda al capitolo 12, dove sono stati graficati i risultati della correlazione per ogni prova penetrometrica.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	88 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

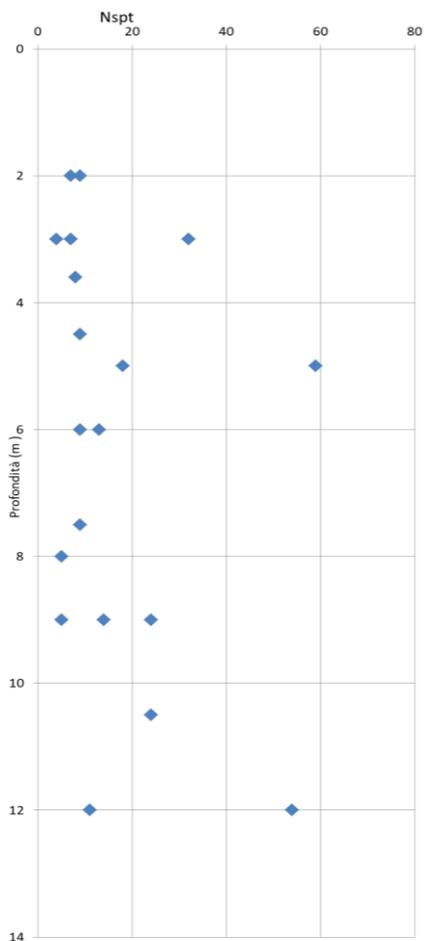
#### 9.4.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità (m)	Nspt
S01_Pz	2	9
	5	18
	8	5
S_X02	3	7
	6	9
	9	14
S03_PZ-2017	10,50	24
S04_PZ-2017	7,50	9
	12,00	11
S_X1	3	4
	6	13
	12	54
S05_DH-2017	2,00	7
	4,50	9
	9,00	5
S11_PZ-2017	3	32
	5	59
	9	24
SA03-2018	3,60	8

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	89 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



**Figura 20 – Prove SPT**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	90 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

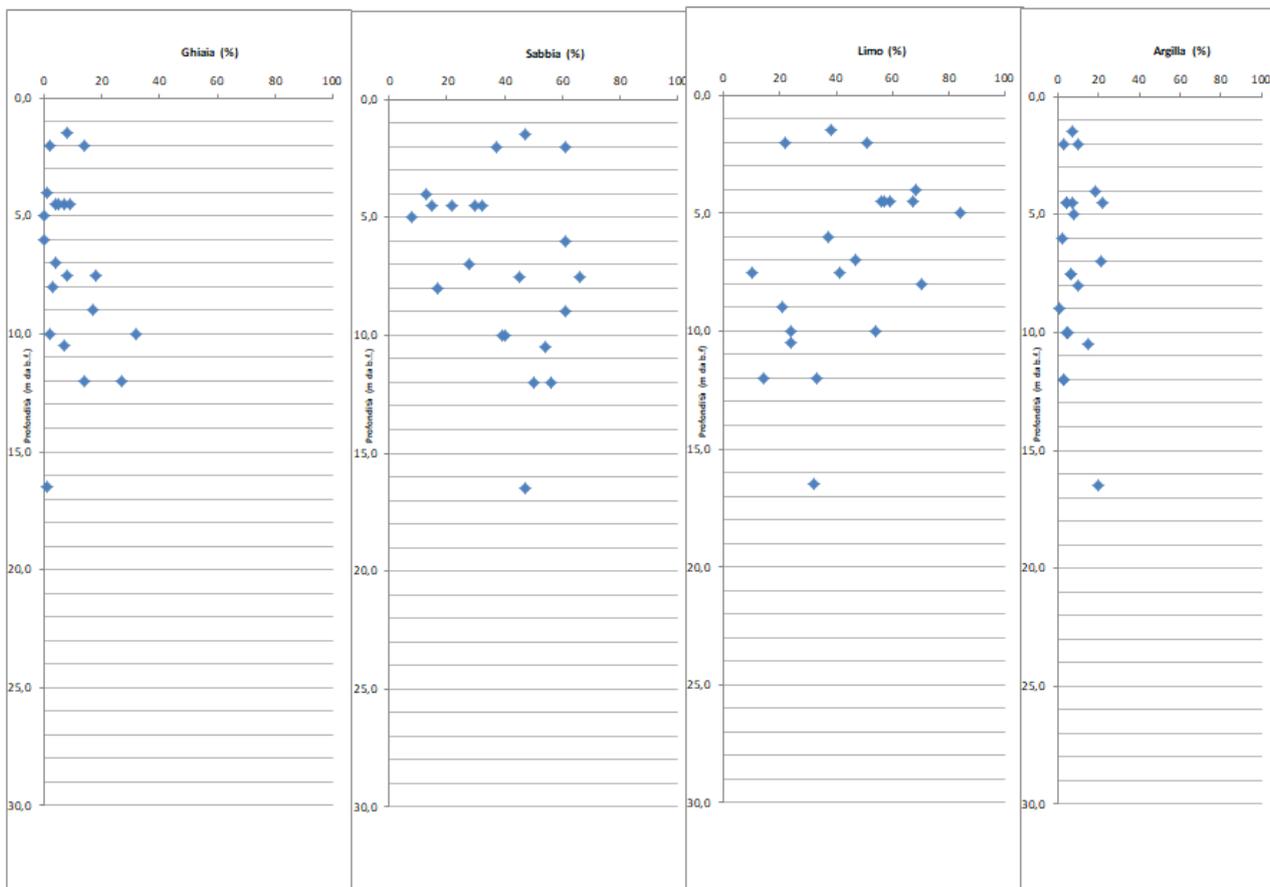
#### 9.4.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

	camp.	Prof. prelievo	ghiaia	sabbia	limo	argilla
	n°	(m)	%	%	%	%
S03_PZ-2017	CI1	2,0	2	37	51	10
	CI2	5,0	0	8	84	8
	CI3	8,0	3	17	70	10
S04_PZ-2017	CI1	4,5	7	15	56	22
	CI2	10,0	32	40	24	4
S_X1-2019	CI1	4	1	13	68	18
	CR1	7	4	28	47	21
S01_PZ-2017	CI1	4,5	4	22	67	7
	CI2	10,5	7	54	24	15
	CI3	16,5	1	47	32	20
S_X02-2019	CI1	1,5	8	47	38	7
	CI2	6	0	61	37	2
	CI3	9	17	61	21	1
S05_DH	CI1	7,5	8	45	41	6
	CI2	12,0	14	50	33	3
S06_DH	CI1	2,0	14	61	22	3
	CI2	4,5	5	32	59	4
S11_PZ	CI1	7,5	18	66	10	6
	CI2	12,0	27	56	14	3
S07_PZ	CI1	4,5	9	30	57	4
	CI2	10,0	2	39	54	5

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	91 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

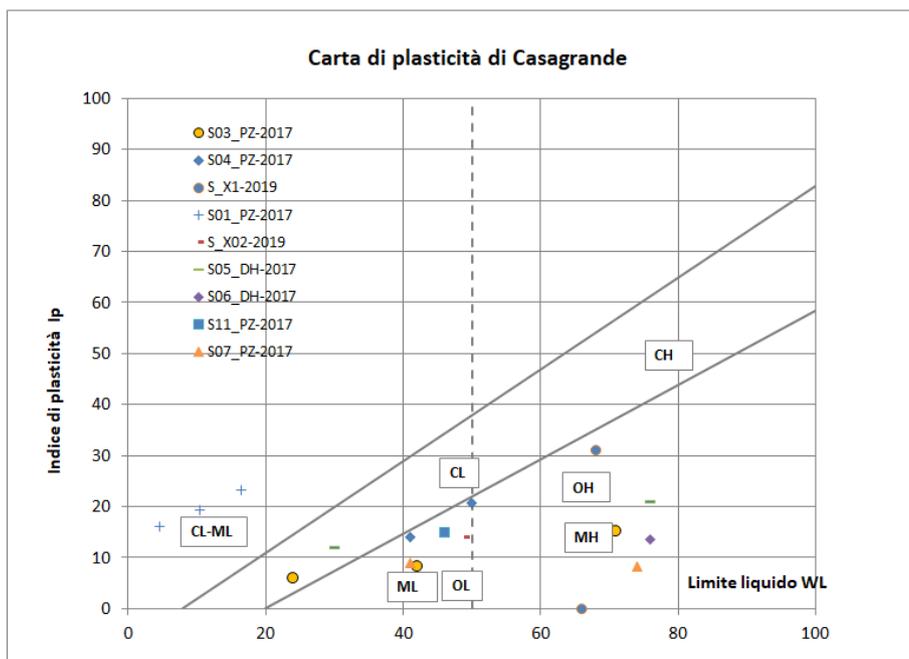


Sondaggio	camp.	profondità m	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S03_PZ-2017	CI1	2,0	24	18	6
	CI2	5,0	42	34	8,2
	CI3	8,0	71	58	15,1
S04_PZ-2017	CI1	4,5	50	29	20,8
	CI2	10,0	41	27	14,1
S_X1-2019	CI1	4	68	37	31,1
	CR1	7	66	48	-
S01_PZ-2017	CI1	4,5	45	29	16,1
	CI2	10,5	54	35	19,3
	CI3	16,5	55	32	23,3
S_X02-2019	CI1	1,5	49	35	14,1
	CI2	6	-	-	-
	CI3	9	-	-	-
S05_DH-2017	CI1	7,5	76	55	20,9
	CI2	12,0	30	18	11,9
S06_DH-2017	CI1	2,0	40	34	6,2
	CI2	4,5	76	62	13,7
S11_PZ-2017	CI1	7,5	46	31	15
	CI2	12,0	-	-	-
S07_PZ-2017	CI1	4,5	41	32	8,9
	CI2	10,0	74	65	8,3

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	92 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



OL= Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità

ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità

CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose, argille magre

OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici

MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici

CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	93 di 452

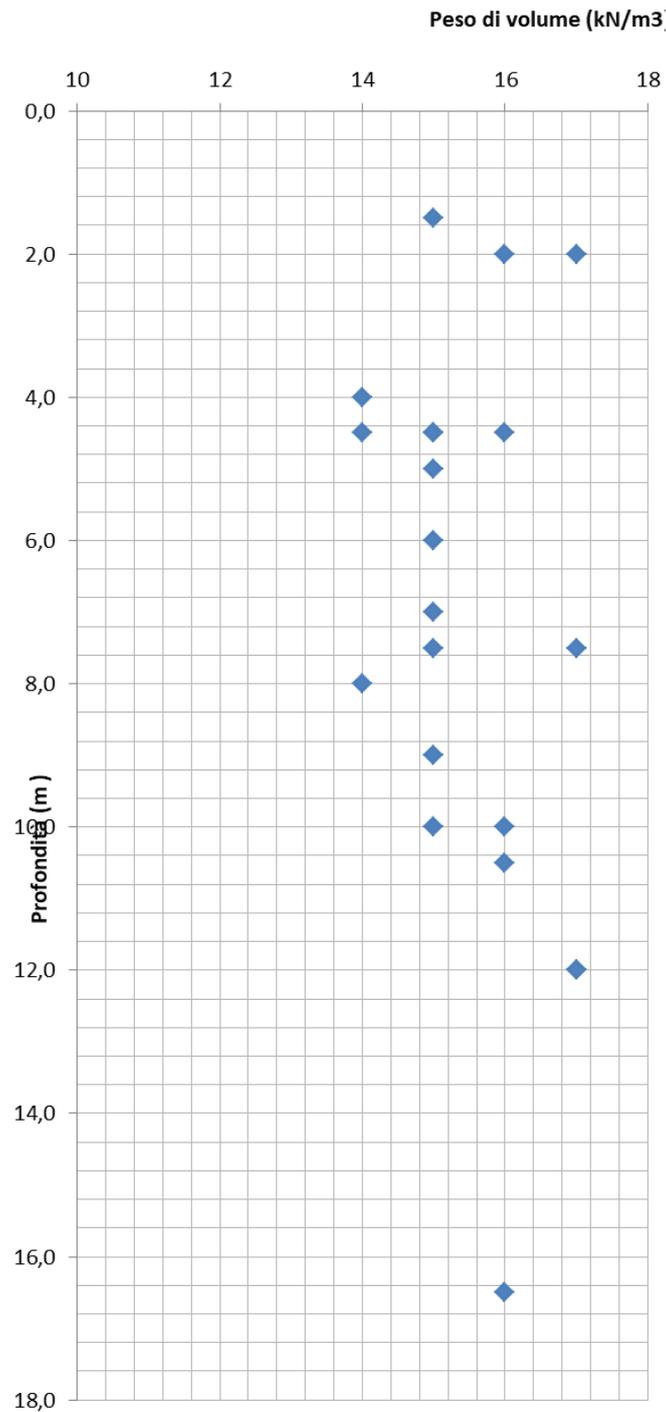
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	camp.	Prof. prelievo (m)	Peso di volume (kN/m3)
	n°		
S03_PZ-2017	CI1	2,0	17
	CI2	5,0	15
	CI3	8,0	14
S04_PZ-2017	CI1	4,5	16
	CI2	10,0	16
S_X1-2019	CI1	4	14
	CR1	7	15
S01_PZ-2017	CI1	4,5	15
	CI2	10,5	16
	CI3	16,5	16
S_X02-2019	CI1	1,5	15
	CI2	6	15
	CI3	9	15
S05_DH-2017	CI1	7,5	15
	CI2	12,0	17
S06_DH-2017	CI1	2,0	16
	CI2	4,5	14
S11_PZ-2017	CI1	7,5	17
	CI2	12,0	17
S07_PZ-2017	CI1	4,5	15
	CI2	10,0	15

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	94 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



### 9.4.3 Prove meccaniche di laboratorio

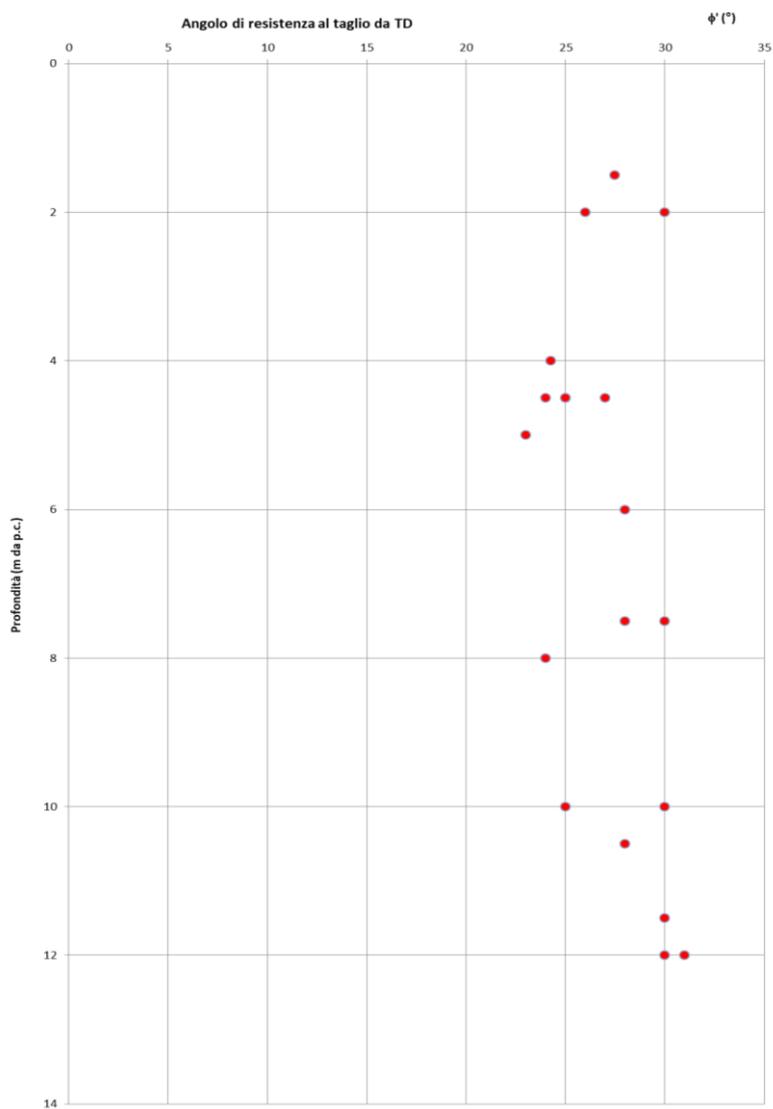
Si riportano in seguito i risultati delle prove meccaniche di laboratorio.

<i>Prove di lab. - Taglio diretto</i>			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
26	11	2	S03_PZ-2017
23	12	5	
24	9	8	
24	13	4,5	S04_PZ-2017
30	5	10	
24,27	7,28	4	S_X1-2019
31	2,78	12	S01_PZ-2017
25	6,44	4,5	
28	7,51	10,5	S_X02-2019
27,48	6	1,5	
28	4	6	S05_DH-2017
28	6	7,5	
30	5	11,5	S06_DH-2017
30	3	2	
27	9	4,5	S11_PZ-2017
30	5	7,5	
30	4	12	S07_PZ-2017
25	5	4,5	
25	4	10	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	96 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



**Figura 21 – Angolo di resistenza al taglio**

#### 9.4.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

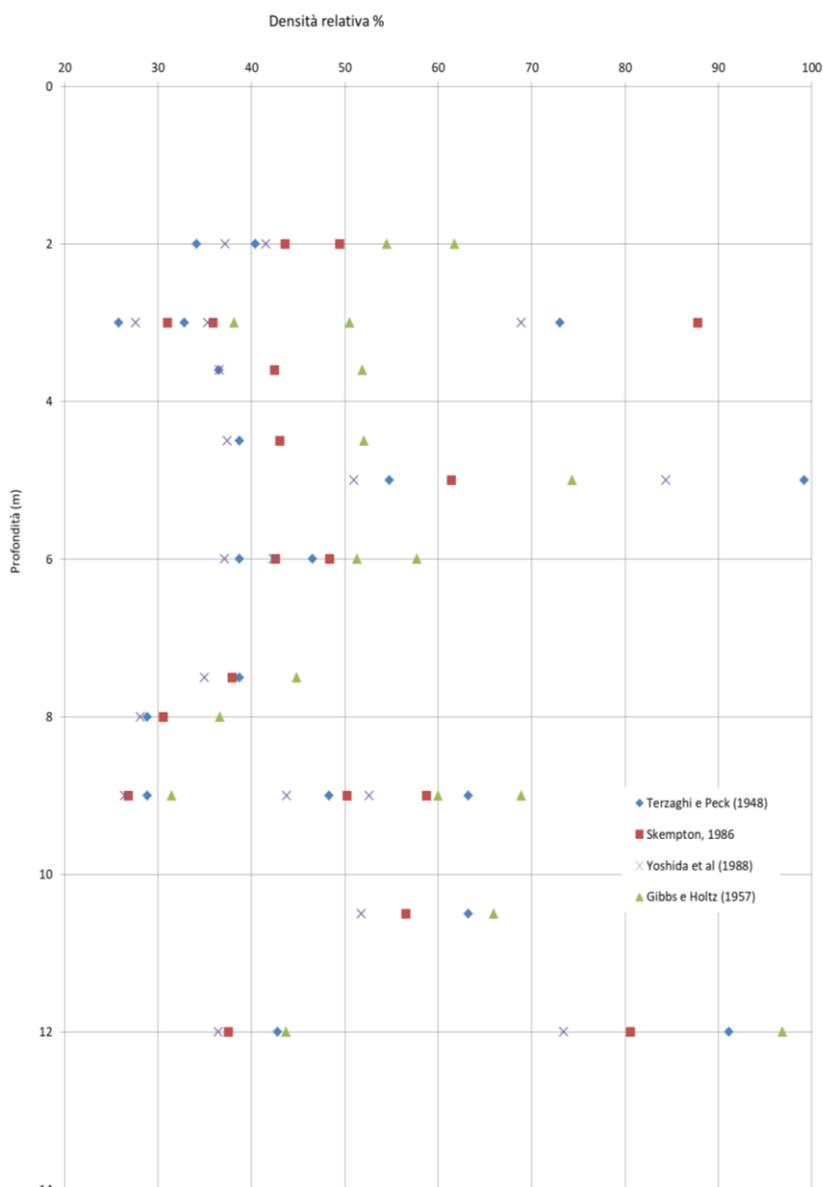
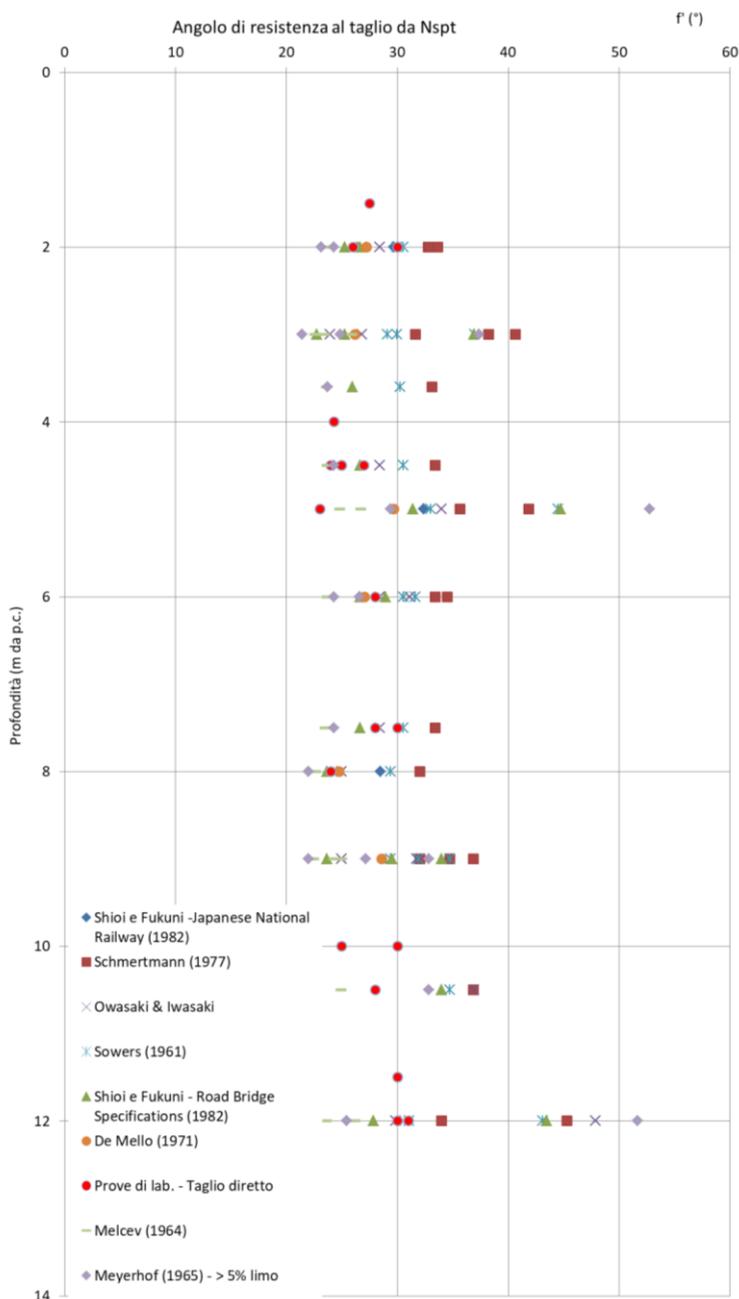


Figura 22 – Densità relativa

**9.4.5 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza la taglio terreni**



**Figura 23 – Angolo di resistenza al taglio**

### 9.4.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico

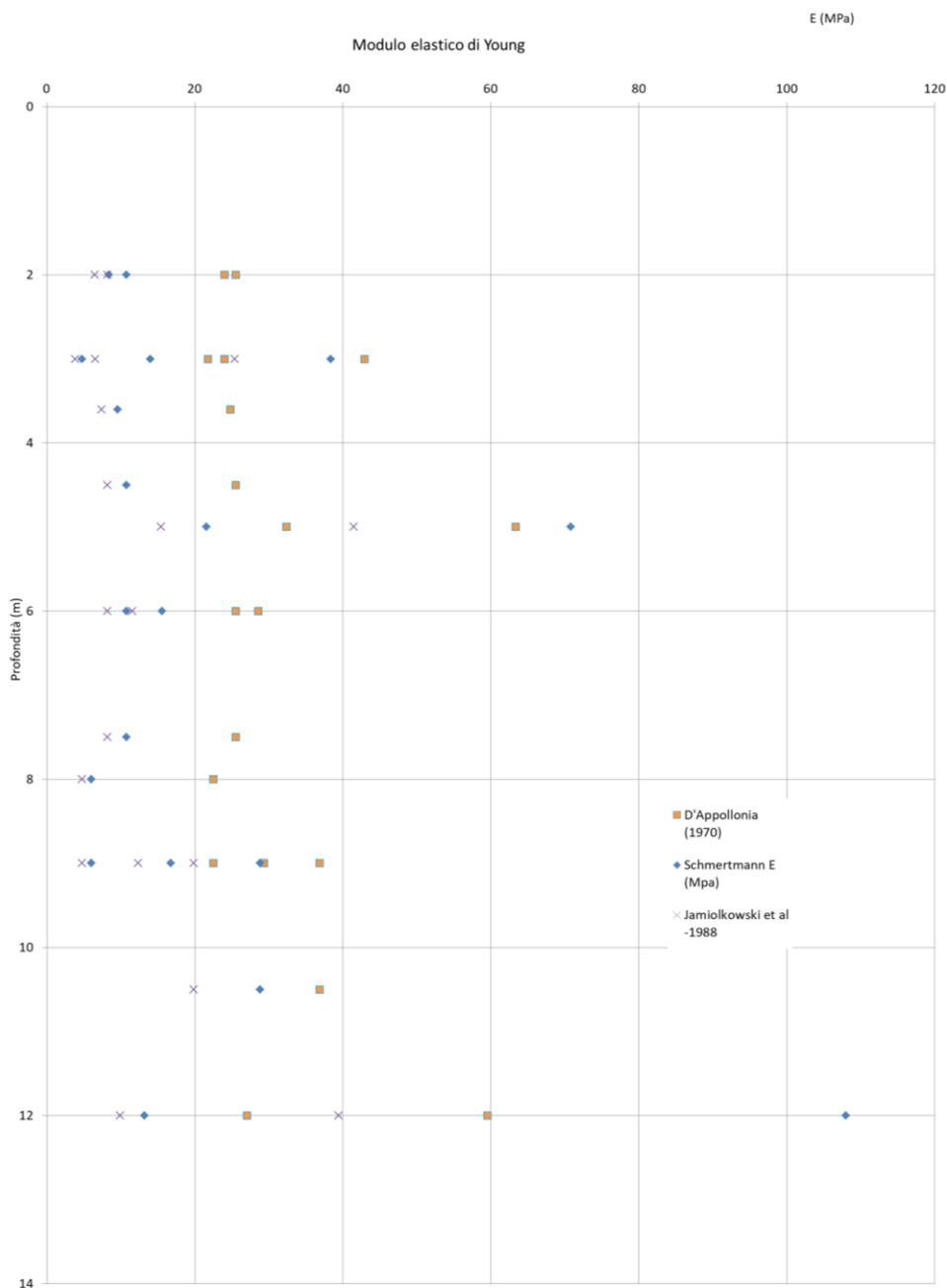


Figura 24 – Modulo elastico

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	100 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

#### 9.4.7 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa

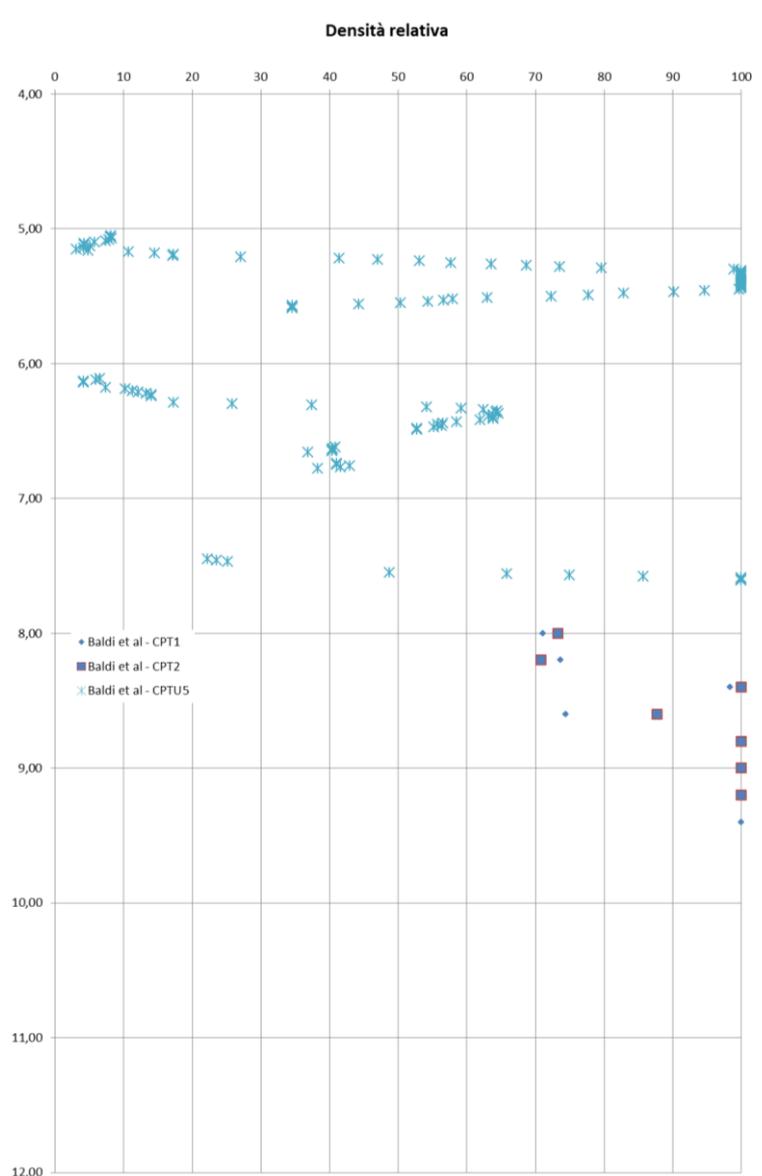


Figura 25 – Densità relativa

9.4.8 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio

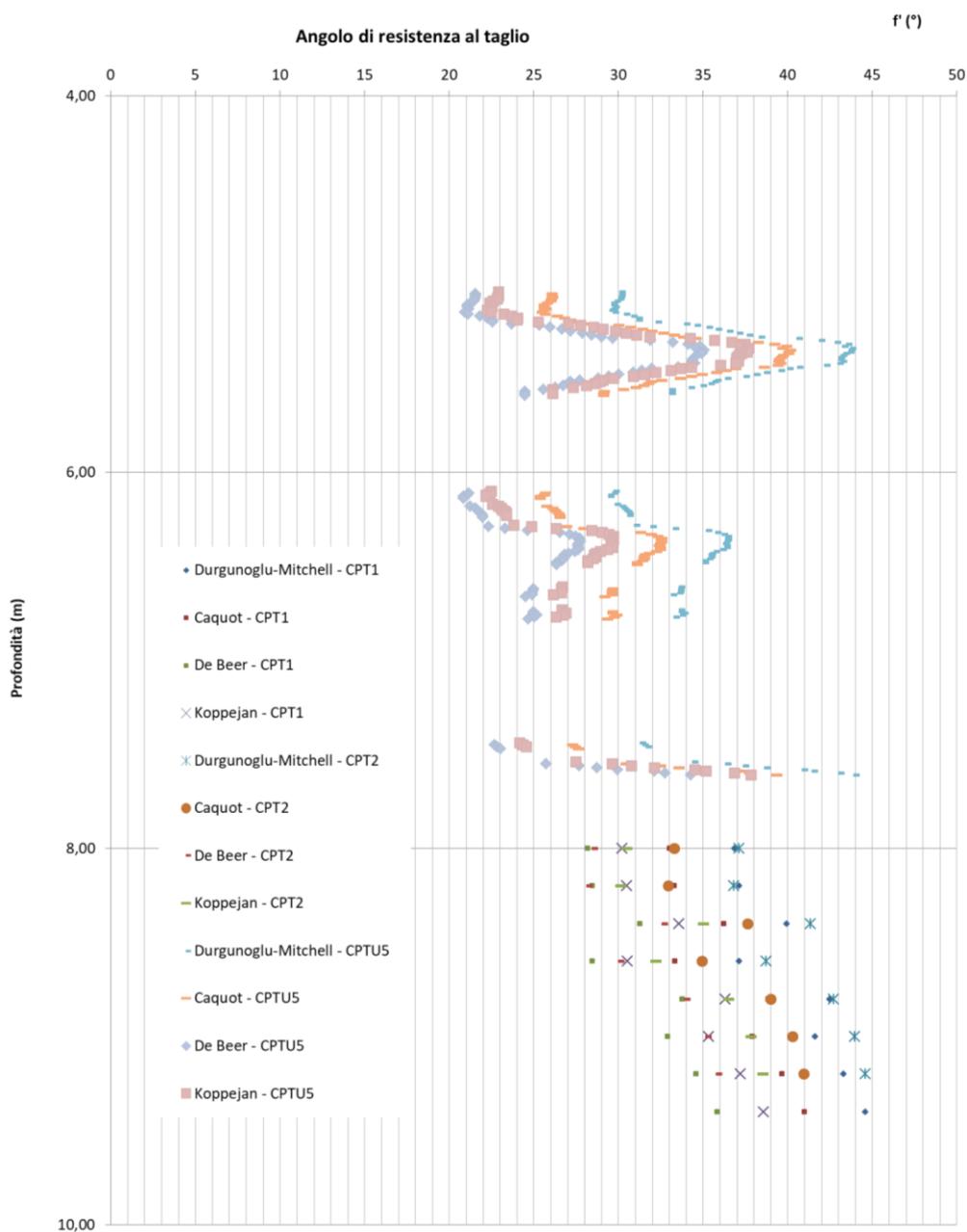


Figura 26 – Angolo di resistenza la taglio

#### 9.4.9 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato

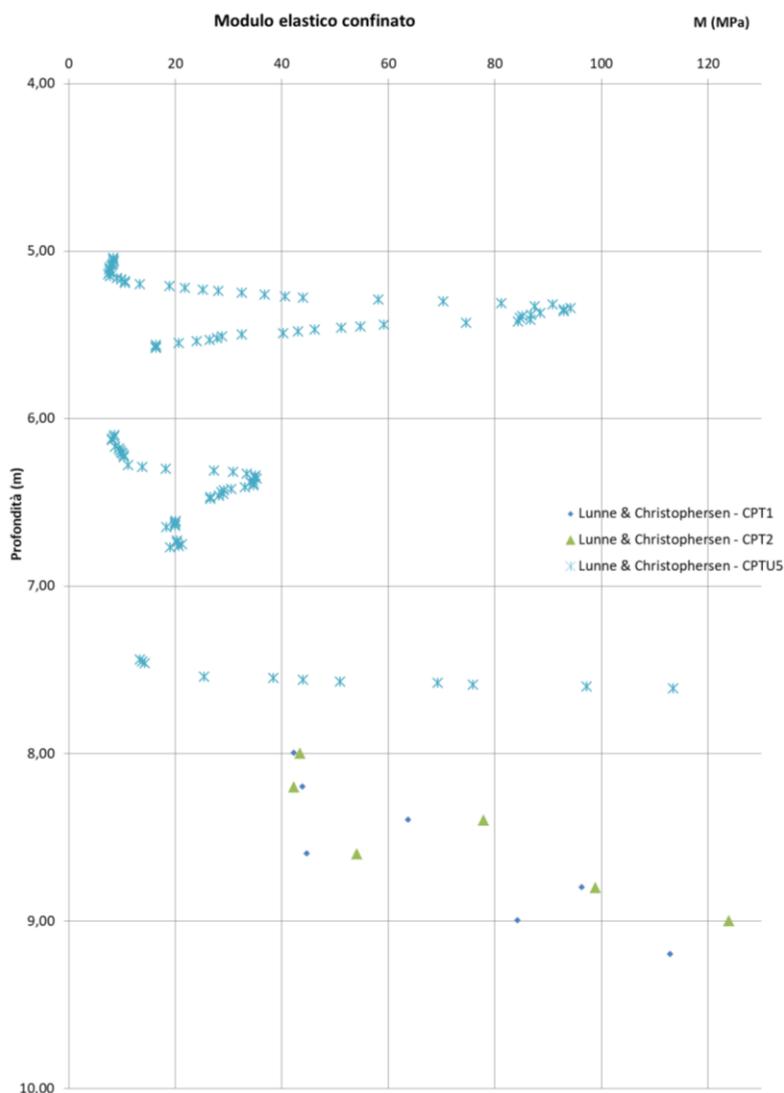


Figura 27 – Modulo elastico confinato

#### 9.5 Unità geotecnica U2b: terreni sabbiosi limosi e sabbiosi limosi debolmente argillosi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;

- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche, limiti di Atterberg);
- prove di laboratorio meccaniche ( taglio diretto).

Questa unità è riscontrata a profondità maggiore rispetto all'unità geotecnica U2a e caratterizzata tramite i sondaggi S01-PZ-2017, S12-PZ-2017 e S13-PZ-2017 tra le profondità complessivamente di circa 15÷30m da piano campagna. Sebbene tale unità possa riscontrare parametri geotecnici simili all'unità U1a si è trattata e caratterizzata in un capitolo separato.

A favore di quanto detto si precisa che il sondaggio limitrofo S07-PZ-2018 per l'indagine S13-PZ-2017 riscontra valori di Nspt a rifiuto dopo i 10m; mentre per il sondaggio S01-PZ-2017 la variabilità stratigrafica e l'assenza di prove in sito SPT nell'indagine SX4-PZ-2019 e il più prossimo sondaggio SX2-PX-2019 con valori di Nspt a rifiuto e campioni rimaneggiati con granulometrie prevalentemente ghiaiose (CR4-19.50m) e campioni più litoidi di lava (CR3-17m e CR5-29m).

#### 9.5.1 Sondaggio geognostico, analisi granulometrica e peso dell'unità di volume

	Profondità (m)	Nspt
<b>S13_PZ-2017</b>	15,50	20
	18,50	21

	camp. n°	Prof. prelievo (m)	ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %
S13_PZ-2017	CI4	20,0	17	63	16	4

	camp. n°	Prof. prelievo (m)	Peso di volume (kN/m3)
S13_PZ-2017	CI4	20,0	16

#### 9.5.2 Prove meccaniche di laboratorio

Si riportano in seguito i risultati delle prove meccaniche di laboratorio.

Prove di lab. - Taglio diretto			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
30,72	3,35	20	<b>S13_PZ-2017</b>

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	104 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.5.3 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

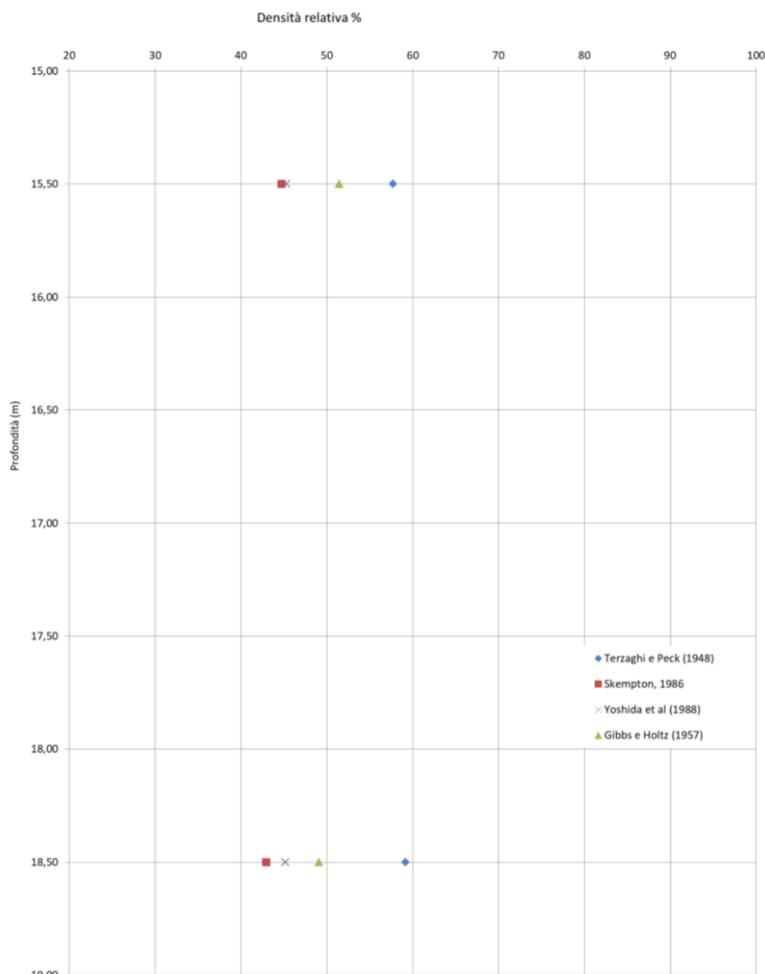


Figura 28 – Densità relativa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	105 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.5.4 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio

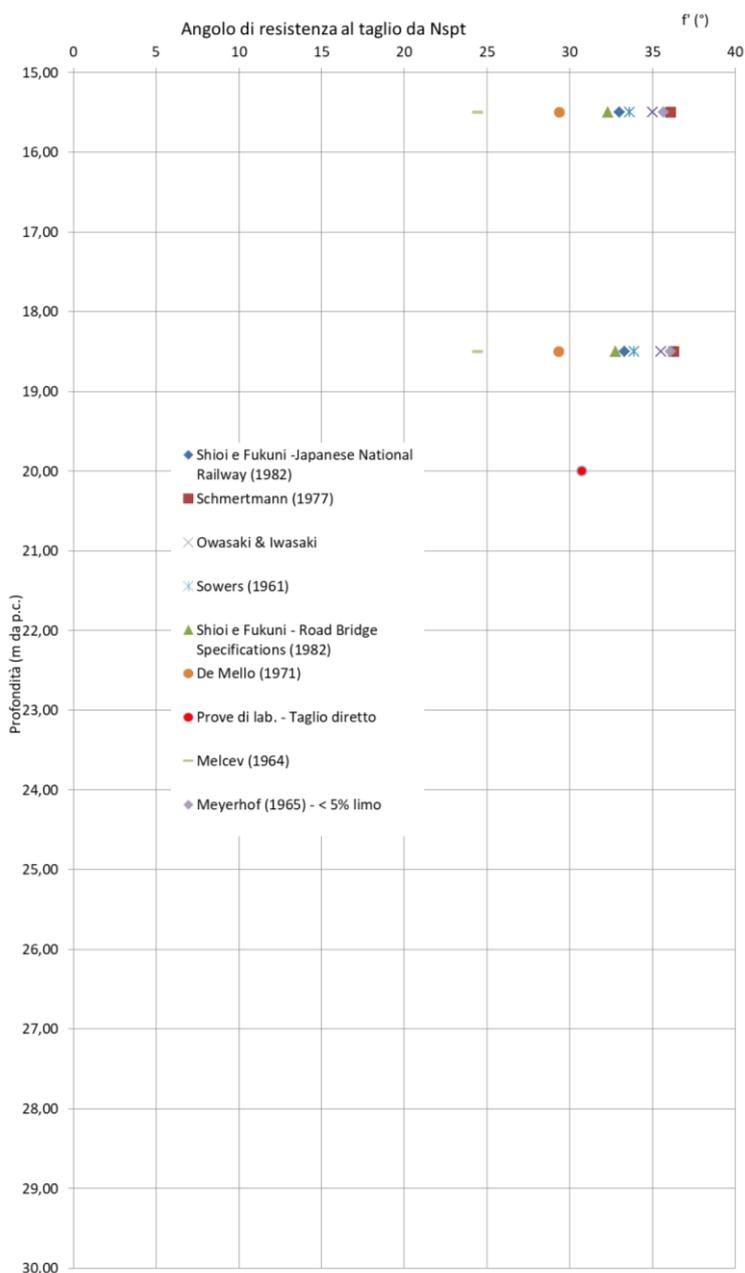


Figura 29 – Angolo di resistenza al taglio

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	106 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.5.5 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico

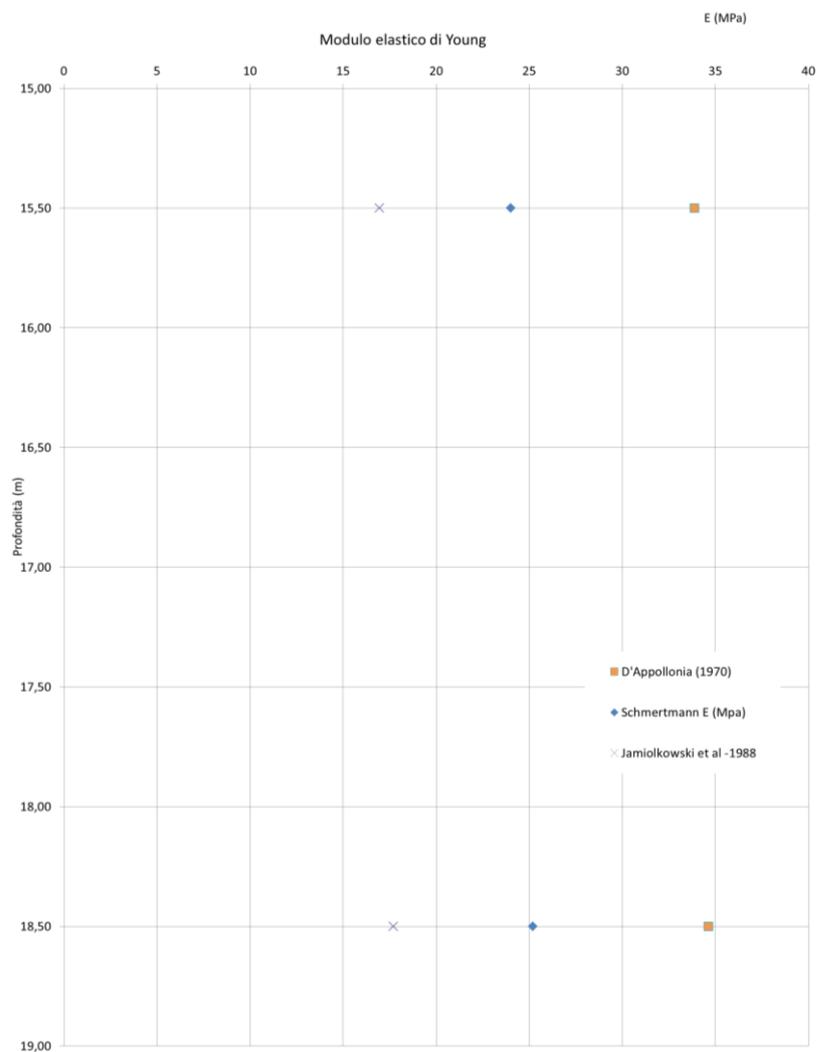


Figura 30 – Modulo elastico

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>107 di 452</b></p>

## 9.6 Unità geotecnica U3a –Depositì vulcanici incoerenti

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove penetrometriche;
- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche, limiti di Atterberg);
- prove di laboratorio meccaniche ( taglio diretto).

Si precisa che per quanto riguarda i sondaggi S07-PZ-2017, S11-PZ-2017 e SA03-2018 le prove in sito e i campioni compresi tra le profondità medie di 8m e 20m sono state considerate per avere maggiori dati per meglio caratterizzare l'unità geotecnica, in quanto i sondaggi S08-DH-2017 e le prove penetrometriche CPTU6 e CPTU7 sono fuori asse rispetto alla linea ferroviaria di progetto rispettivamente di circa 111m e 14m.

Inoltre anche per questa unità geotecnica le prove penetrometriche considerate verranno elaborate dalle profondità 5m e 7.50m rispettivamente per le CPTU6e CPTU7, in quanto dall'elaborazione per la classificazione dei terreni secondo Robertson et al. (1990 e succ. aggiornamenti) risultano maggiormente incoerenti. Per maggiori dettaglio si rimanda al capitolo 12, dove sono stati graficati i risultati della correlazione per ogni prova penetrometrica.

Tale unità geotecnica è caratterizzata da depositi vulcanici prevalentemente sabbioso limosi da sciolti a mediamente addensati con presenza di ghiaia debolmente argillosi.

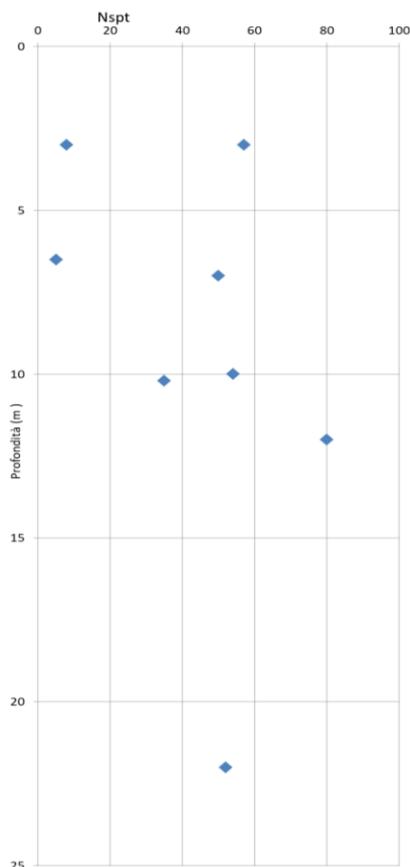
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	108 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità (m)	Nspt
SX6-PZ-2019	3	8
SX4-PZ-2020	3	57
S12_PZ-2017	6,50	5
S06_DH-2017	7	50
	12	80
S07_PZ-2017	10	54
SA_03-2018	10,20	35
	22,00	52



**9.6.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume**

	camp.	Prof. prelievo	ghiaia	sabbia	limo	argilla
	n°	(m)	%	%	%	%
S_X06-2019	CI1	1,5	1	16	50	33
	CI2	5	60	32	8	-
S12_PZ-2017	CI1	2,0	-	8	81	11
	CI2	4,5	-	25	62	13
	CI3	7,5	3	39	51	7
S11-PZ-2017	CI2	12,0	27	56	14	3
SA_03-2018	CI3	8,0	3	17	70	10
S08_DH-20107	CI4	12,0	33	32	23	12

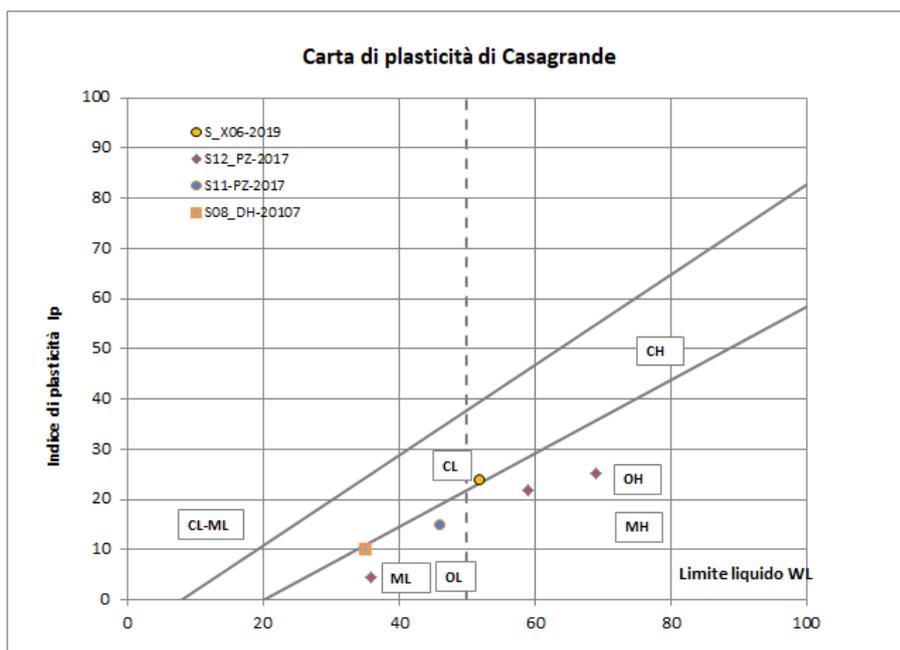


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	110 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	camp.	profondità m	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S_X06-2019	CI1	1,5	52	28	23,8
	CI2	5	-	-	-
S12_PZ-2017	CI1	2,0	59	37	21,8
	CI2	4,5	69	44	25,2
	CI3	7,5	36	32	4,6
S11-PZ-2017	CI2	12,0	46	31	15
SA_03-2018	CI3	8,0	-	-	-
S08_DH-20107	CI4	12,0	35	25	10,1



OL= Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità  
 ML= Limi inorganici; sabbie molto fini, farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità  
 CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre  
 OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici  
 MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici  
 CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	111 di 452

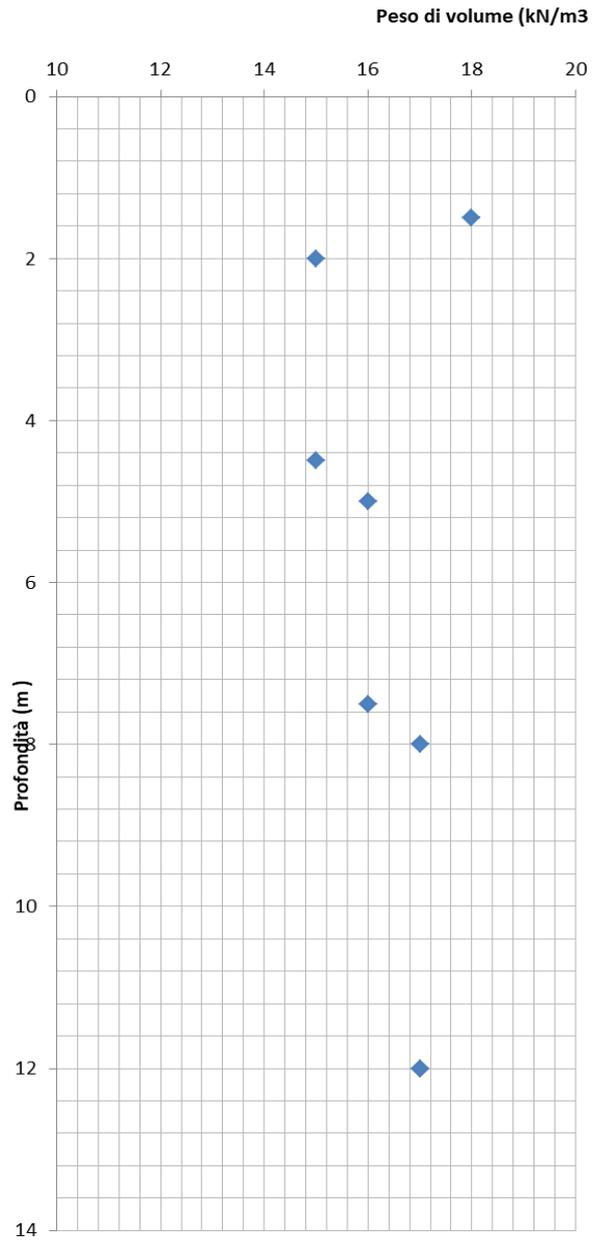
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	camp.	Prof.	Peso di
	n°	prelievo (m)	volume (kN/m3)
S_X06-2019	CI1	1,5	18
	CI2	5	16
S12_PZ-2017	CI1	2,0	15
	CI2	4,5	15
	CI3	7,5	16
S11-PZ-2017	CI2	12,0	17
SA_03-2018	CI3	8,0	17
S08_DH-20107	CI4	12,0	17

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	112 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	113 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.3 Prove meccaniche di laboratorio

Si riportano in seguito i risultati delle prove meccaniche di laboratorio.

<i>Prove di lab. - Taglio diretto</i>			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
23,54	20,8	1,5	S_X06-2019
33,17	2,68	5	
25	11	2	S12_PZ-2017
25	11	4,5	
27	9	7,5	
30	4	12	S11-PZ-2017
34,5	7,7	8,2	SA_03-2018
30	6	12	S08_DH-20107

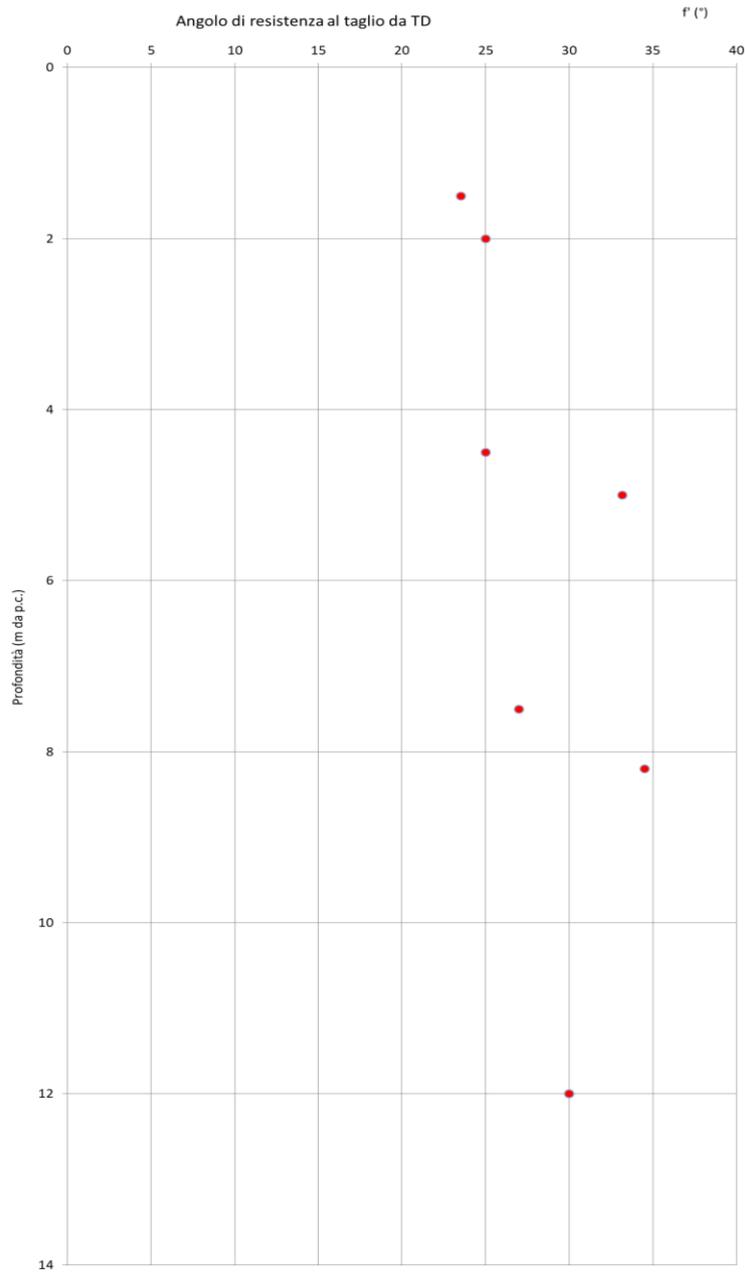


INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  
RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	114 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	115 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

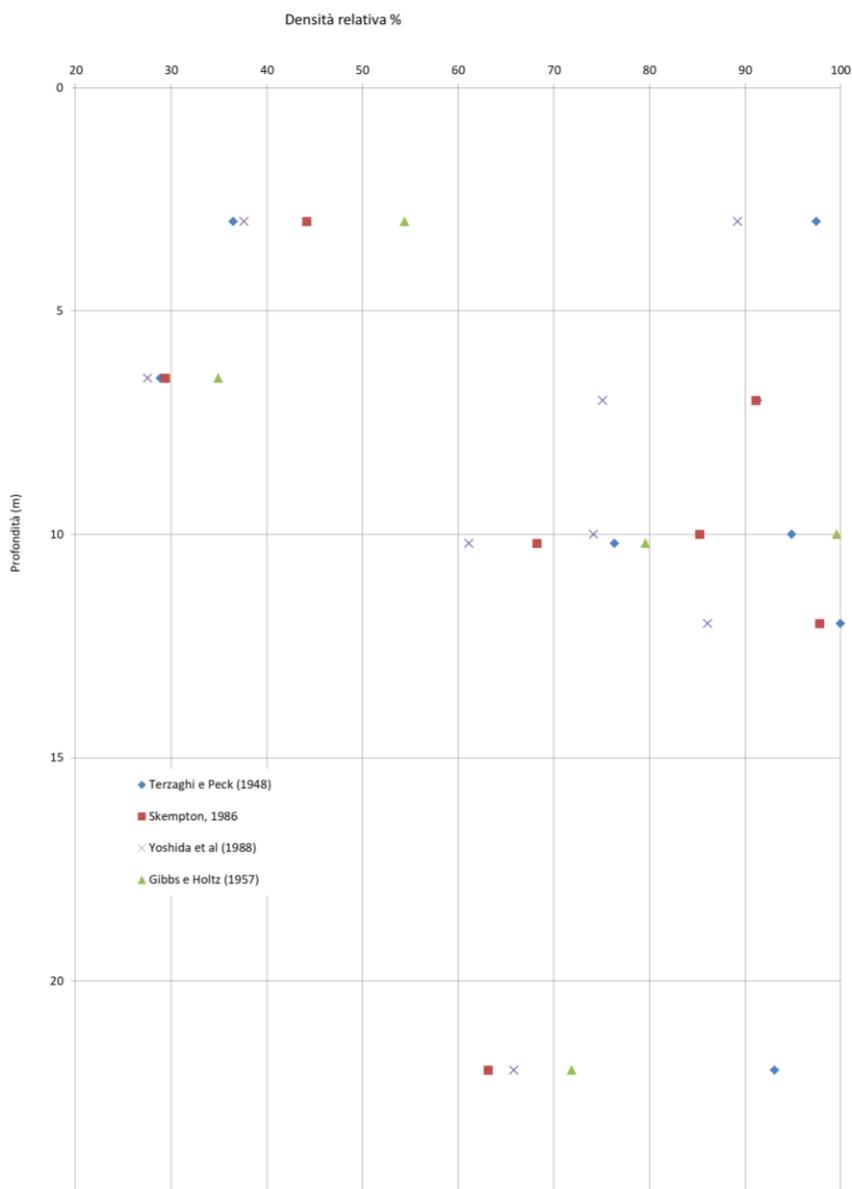


Figura 31 – Densità relativa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	116 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.5 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio

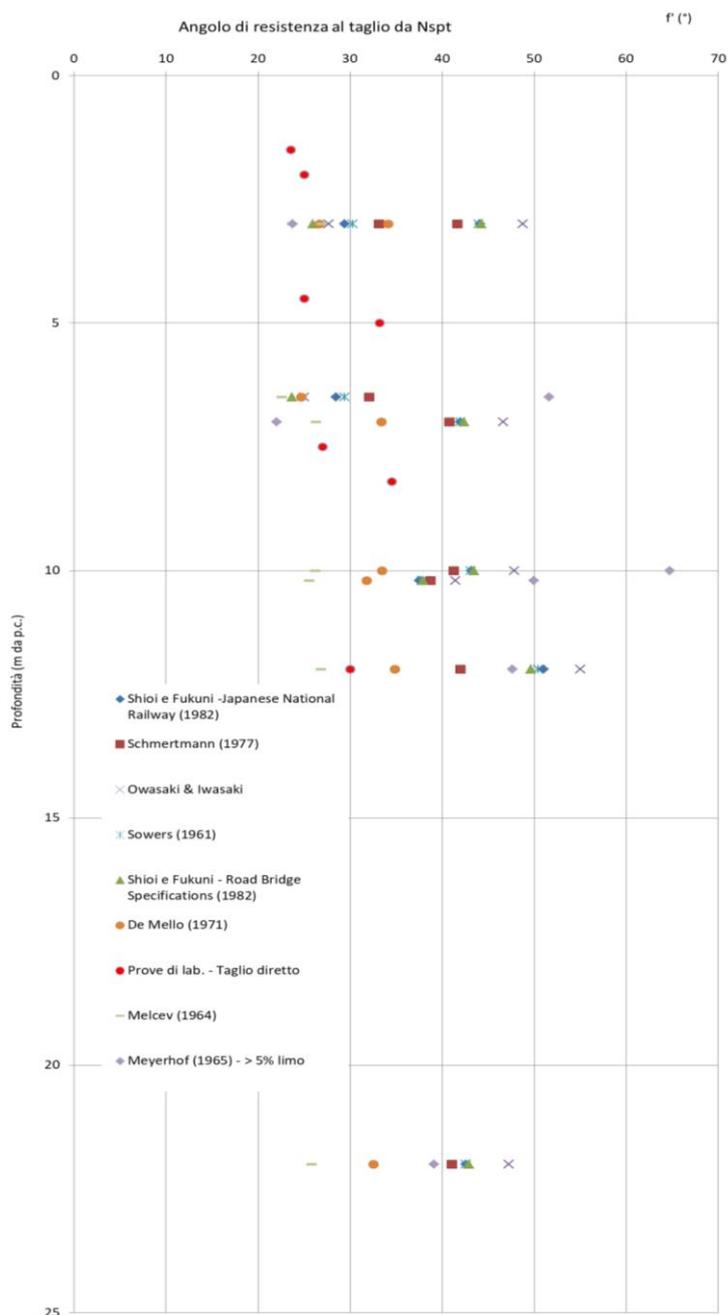


Figura 32 – Angolo di resistenza al taglio

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	117 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico

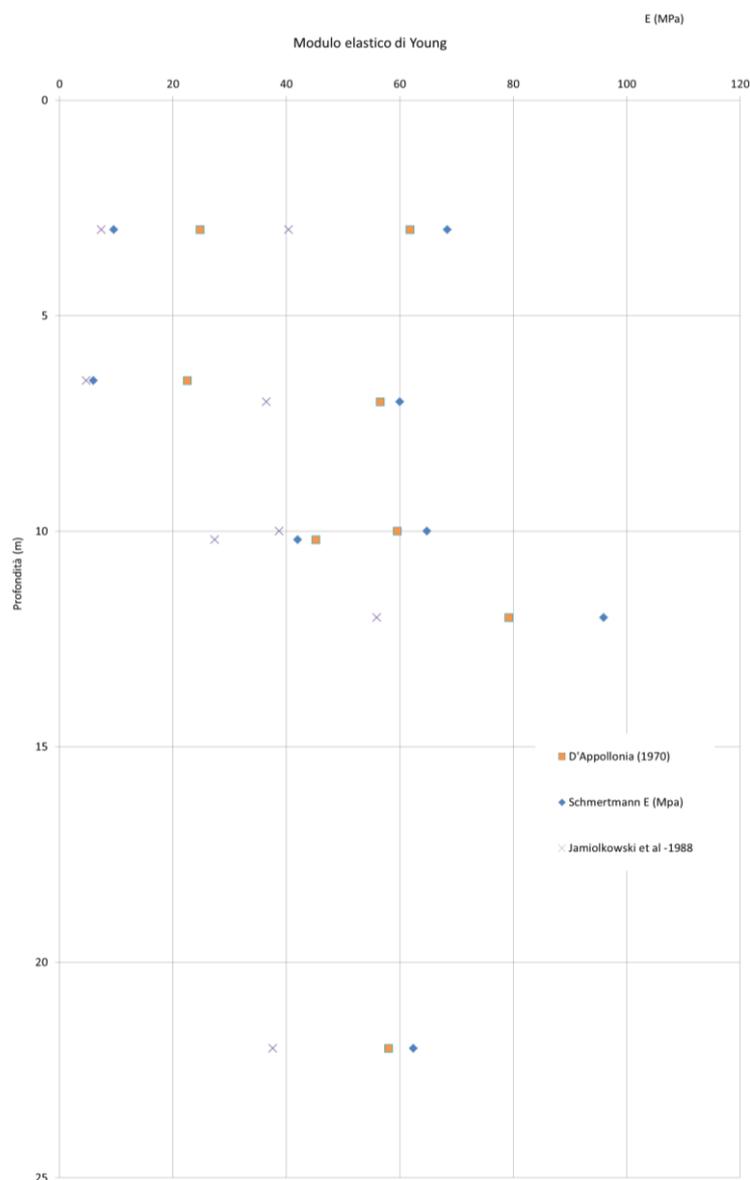


Figura 33 – Modulo elastico

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	118 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.7 Interpretazione prove in sito CPTU: densità relativa

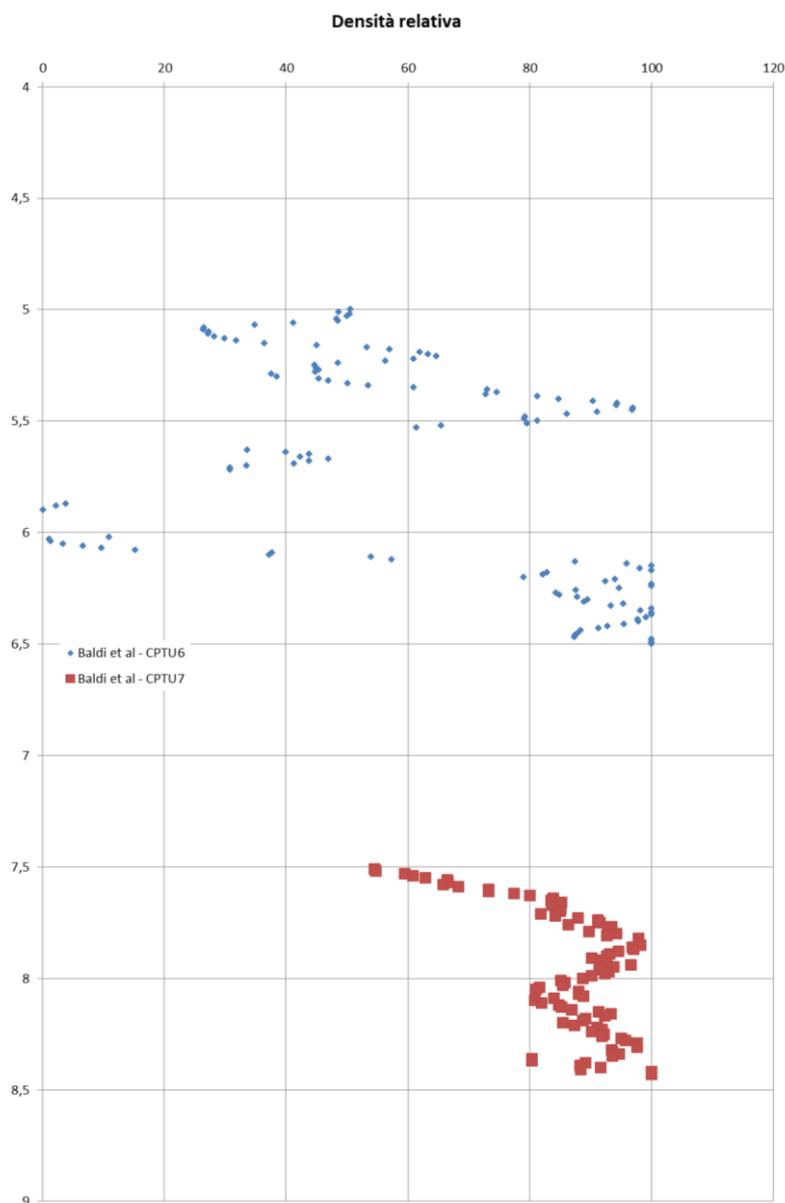


Figura 34 – Densità relativa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

119 di 452

NR1J

01

D 29 GE

GE 00 05 001

A

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.8 Interpretazione prove in sito CPTU: angolo di resistenza al taglio

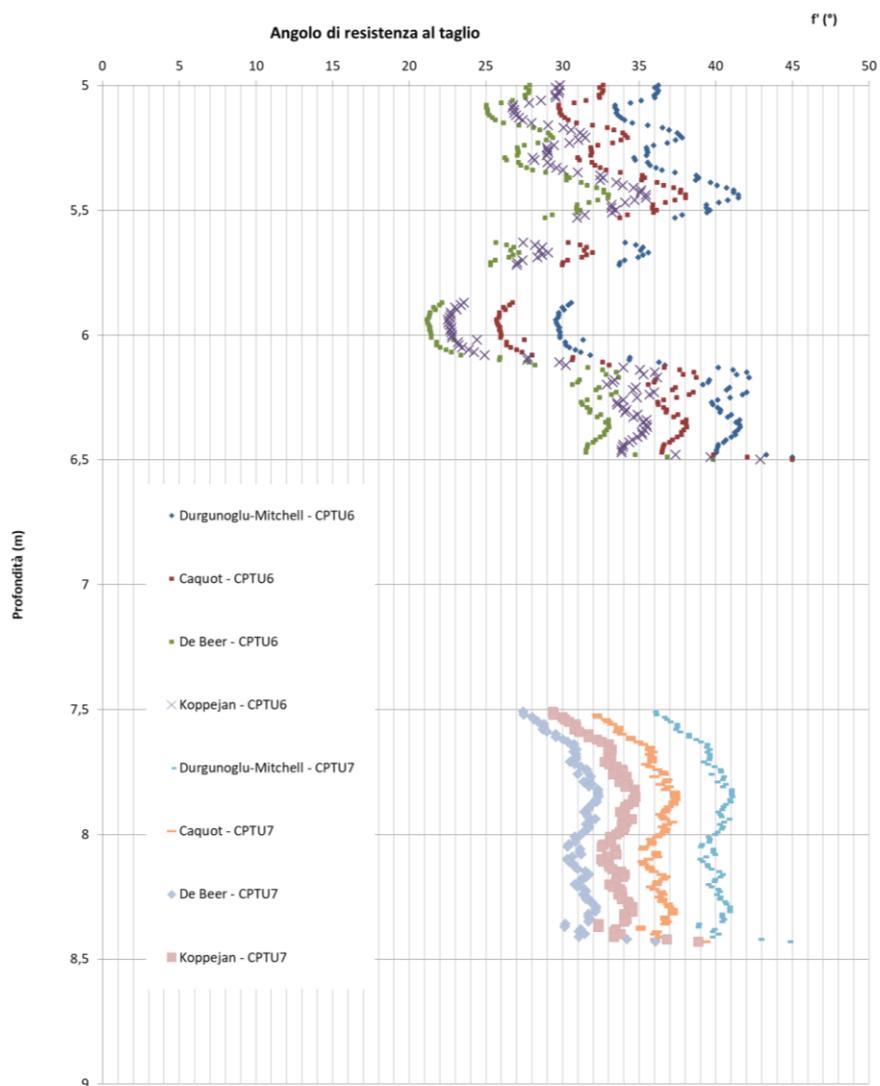


Figura 35 – Angolo di resistenza al taglio

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	120 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.6.9 Interpretazione prove in sito CPTU: modulo elastico confinato

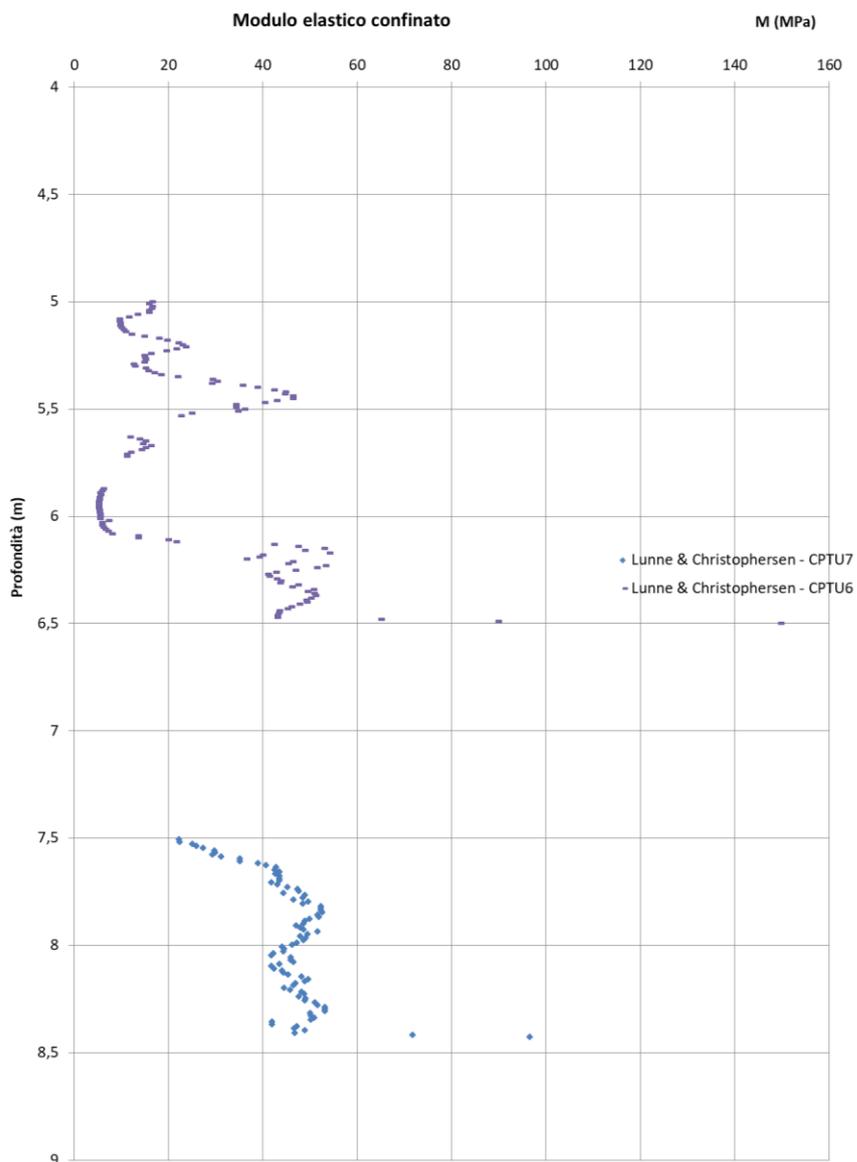


Figura 36 – modulo elastico confinato

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p>121 di 452</p>

### 9.7 Unità geotecnica U3b –Depositi vulcanici semicoerenti

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove penetrometriche;
- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche, limiti di Atterberg);
- prove di laboratorio meccaniche ( taglio diretto).

Per quanto riguarda le prove penetrometriche considerate verranno elaborate dalle profondità 10÷12m per le CPT3 e CPT4 e per la prova CPTU8 dalla profondità di 4m fino a fine prova, in quanto dall'elaborazione per la classificazione dei terreni secondo Robertson et al. (1990 e succ. aggiornamenti) risultano litologie maggiormente incoerenti. Per maggiori dettaglio si rimanda al capitolo 12, dove sono stati graficati i risultati della correlazione per ogni prova penetrometrica.

Mentre per quanto riguarda la prova penetrometrica CPTU9 si è interpretata e considerata per calibrare i valori ottenuti essendo fuori asse rispetto alla linea ferroviari di progetto di circa 135m. Infine, la prova penetrometrica CPTU10 è terminata ad una profondità di circa 1.50m non arriva ad intercettare i terreni dell'unità geotecnica in oggetto.

Tale unità geotecnica è caratterizzata da depositi vulcanici semicoerenti/addensati prevalentemente sabbioso limosi molto consistente con maggior presenza di ghiaia rispetto all'unità U3a. Inoltre lungo la linea ferroviaria e le indagini considerate hanno incontrato litologie di tufo più o meno litoide.

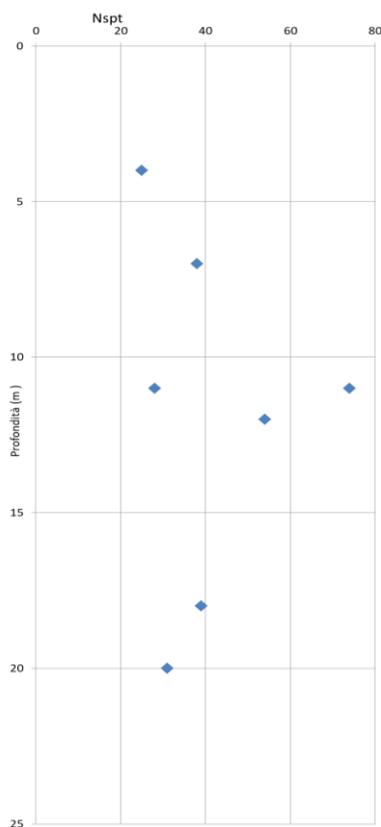
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	122 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.7.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità (m)	Nspt
SA_04-2018	4	25
S_X1-2019	12	54
S12_PZ-2017	20,00	31
SA_02-2018	18,00	39
S09_DH-2017	7,00	38
S6-2018	11,00	28
S13-PZ-2017	11,00	74



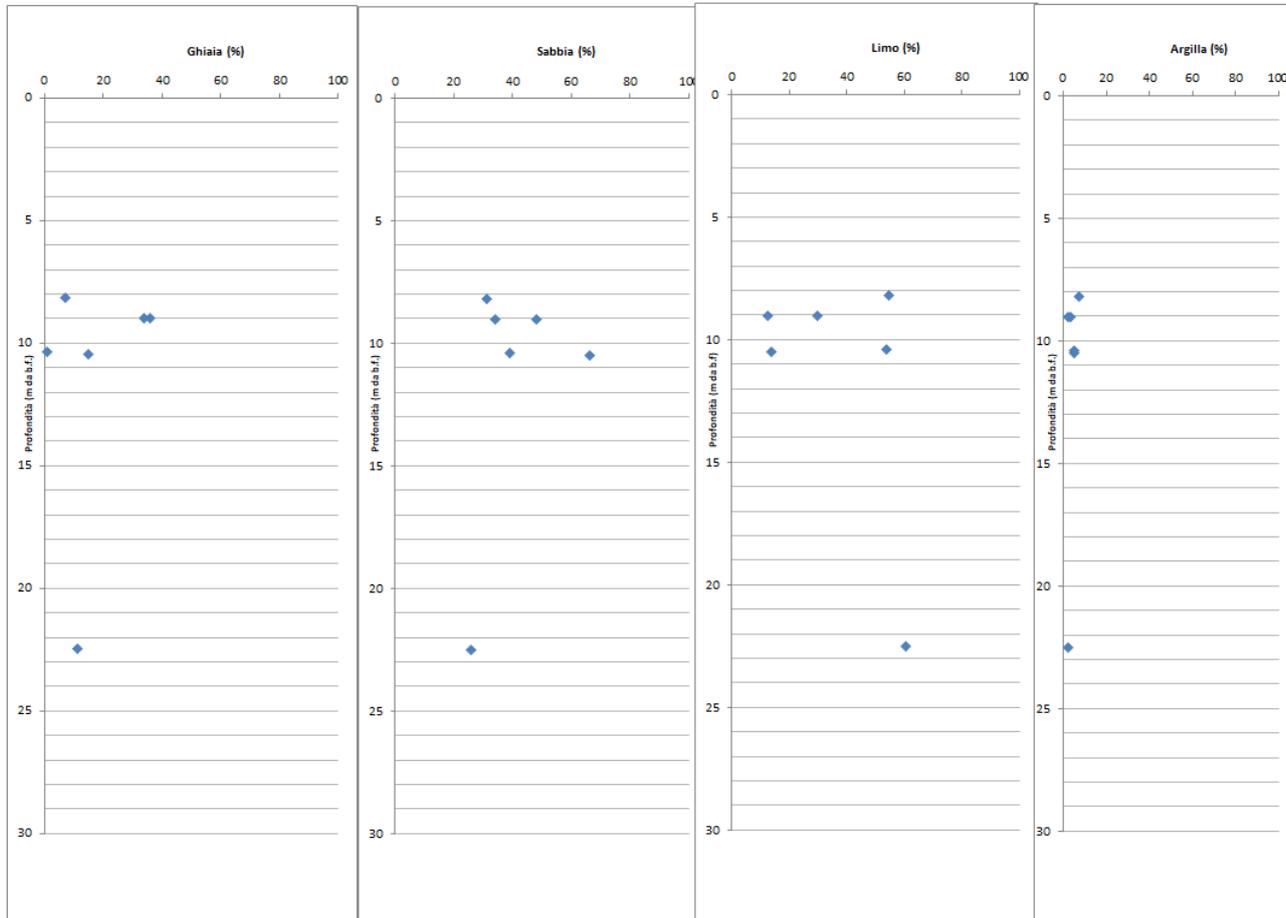
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	123 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.7.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

	camp.	Prof. prelievo (m)	ghiaia	sabbia	limo	argilla
	n°		%	%	%	%
SA_04-2018	CR1	22,5	11,3	25,75	60,75	2,19
SX01-PZ-2019	CR2	12,65				
S09-PZ-2017	CI4	9,0	36	48	13	3
S6-2018	CI2	10,4	1	39	54	5
S7-2018	CI2	9	34	34	30	2
	CI3	8,2	7	31	55	7
S13-PZ-2017	CI3	10,5	15	66	14	5

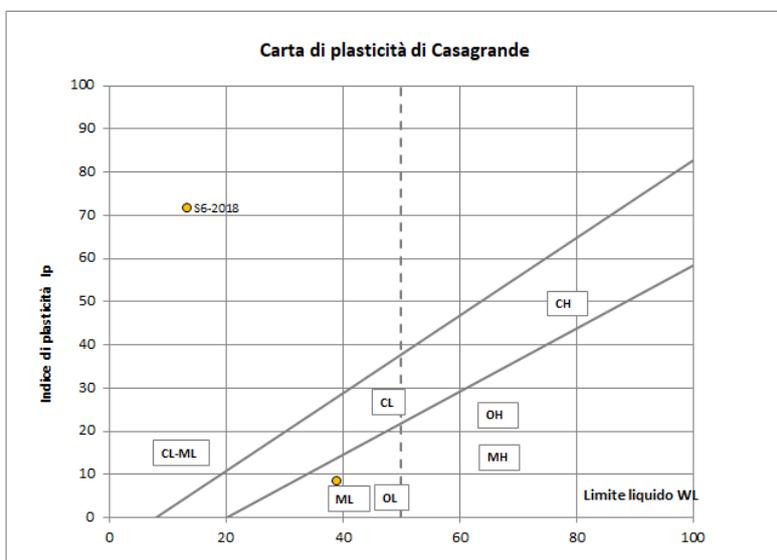


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	124 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	camp.	profondità m	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
SA_04-2018	CR1	22,5	-	-	-
SX01-PZ-2019	CR2	12,65	-	-	-
S09-PZ-2017	CI4	9,0	-	-	-
S6-2018	CI2	10,4	39	31	8,3
S7-2018	CI2	9	-	-	-
	CI3	8,2	-	-	-
S13-PZ-2017	CI3	10,5	-	-	-



OL= Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità  
 ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità  
 CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre  
 OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici  
 MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomei; limi elastici  
 CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

	camp.	Prof. prelievo (m)	Peso di volume (kN/m3)
	n°		
SA_04-2018	CR1	22,5	17
SX01-PZ-2019	CR2	12,65	18
S09-PZ-2017	CI4	9	18
S6-2018	CI2	10,4	18
S7-2018	CI2	9	17
	CI3	8,2	18
S13-PZ-2017	CI3	10,5	17



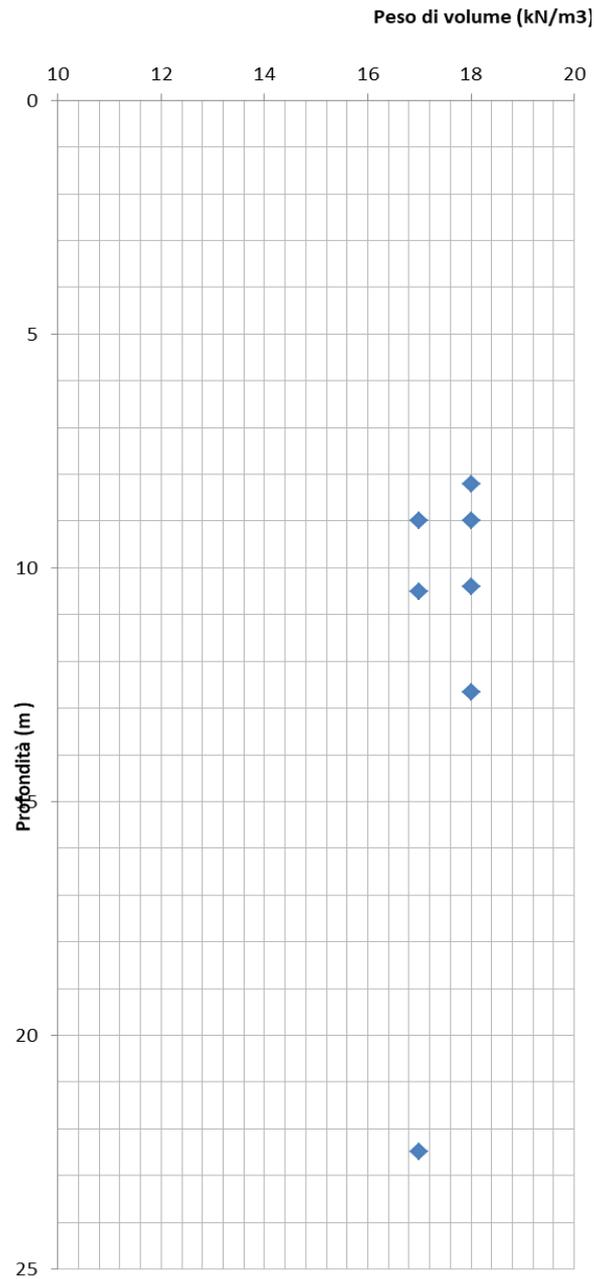
INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	125 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



### 9.7.3 Prove meccaniche di laboratorio

Si riportano in seguito i risultati delle prove meccaniche di laboratorio.

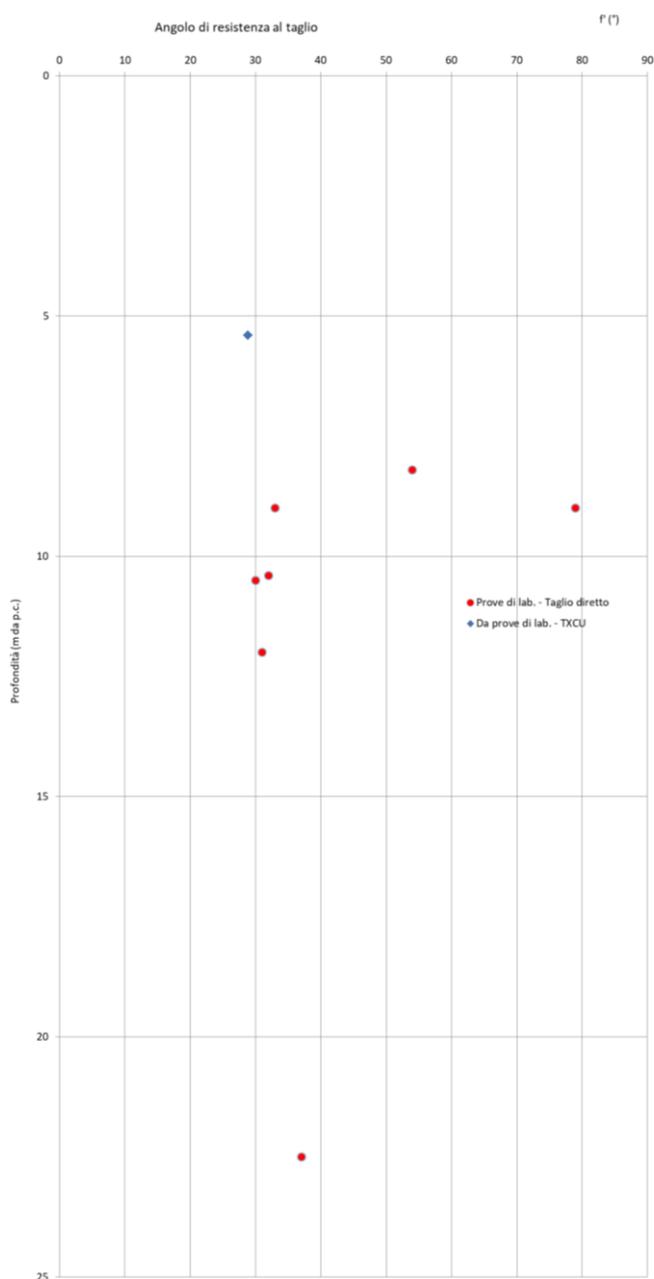
<i>Prove di lab. - Taglio diretto</i>			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
37	14	22,5	SA_04
31	2,78	12	SX01-PZ-2019
33	3	9	S09-PZ-2017
32	53	10,4	S6-2018
79	37	9	S7-2018
54	32	8,2	
30	4	10,5	S13-PZ-2017

<i>Da prove di lab. - TXCU</i>			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
28,8	20	5,4	SA_04

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	127 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Inoltre nel sondaggio S02-PZ-2017 alla profondità di 5m è stata eseguita una prova di compressione monoassiale, riscontrando una resistenza alla compressione  $\sigma_c$  pari a 9.48MPa.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	128 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.7.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

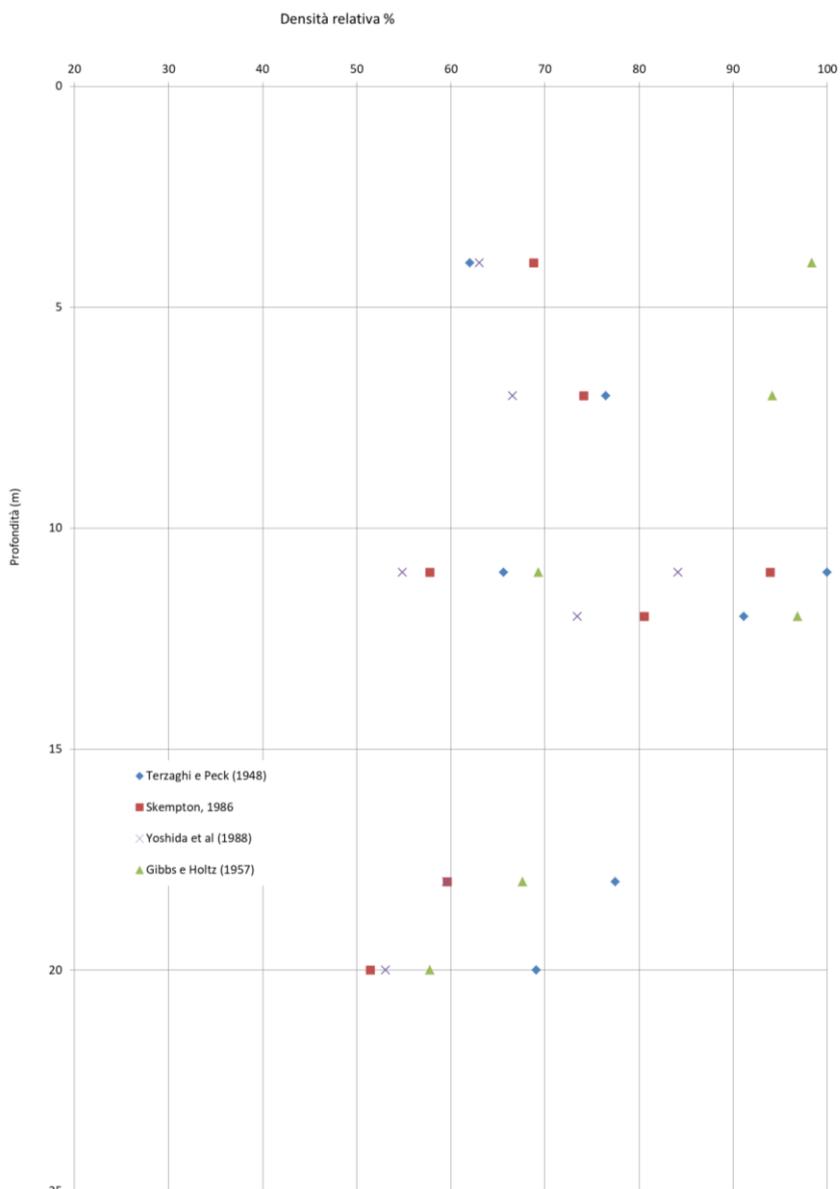


Figura 37 – Densità relativa

### 9.7.5 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio

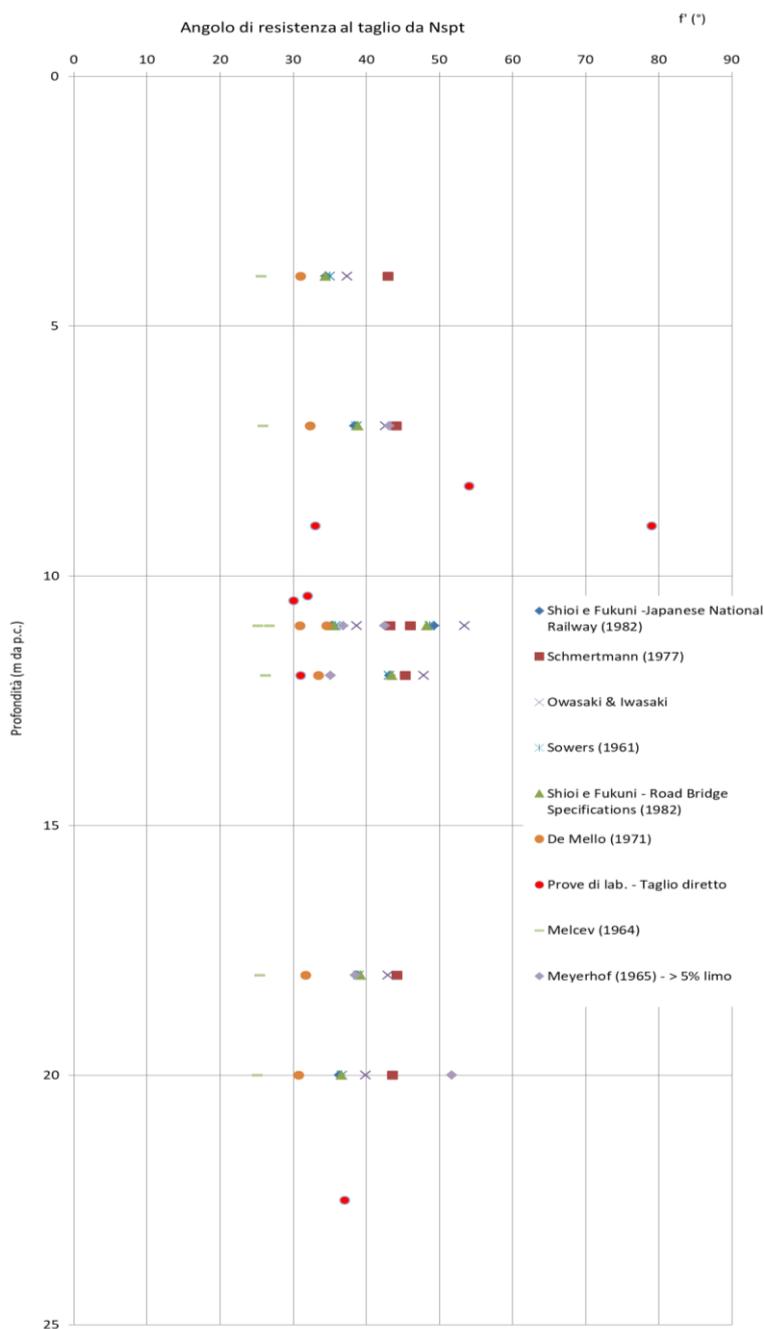


Figura 38 – Angolo di resistenza al taglio

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	130 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.7.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico

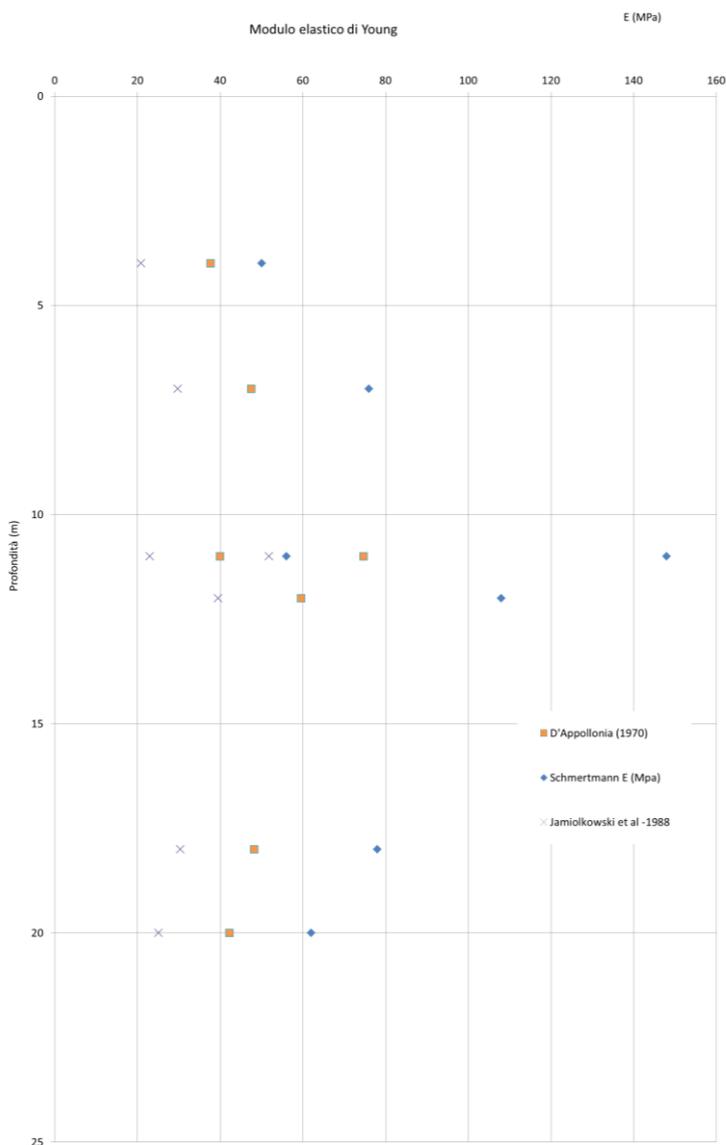


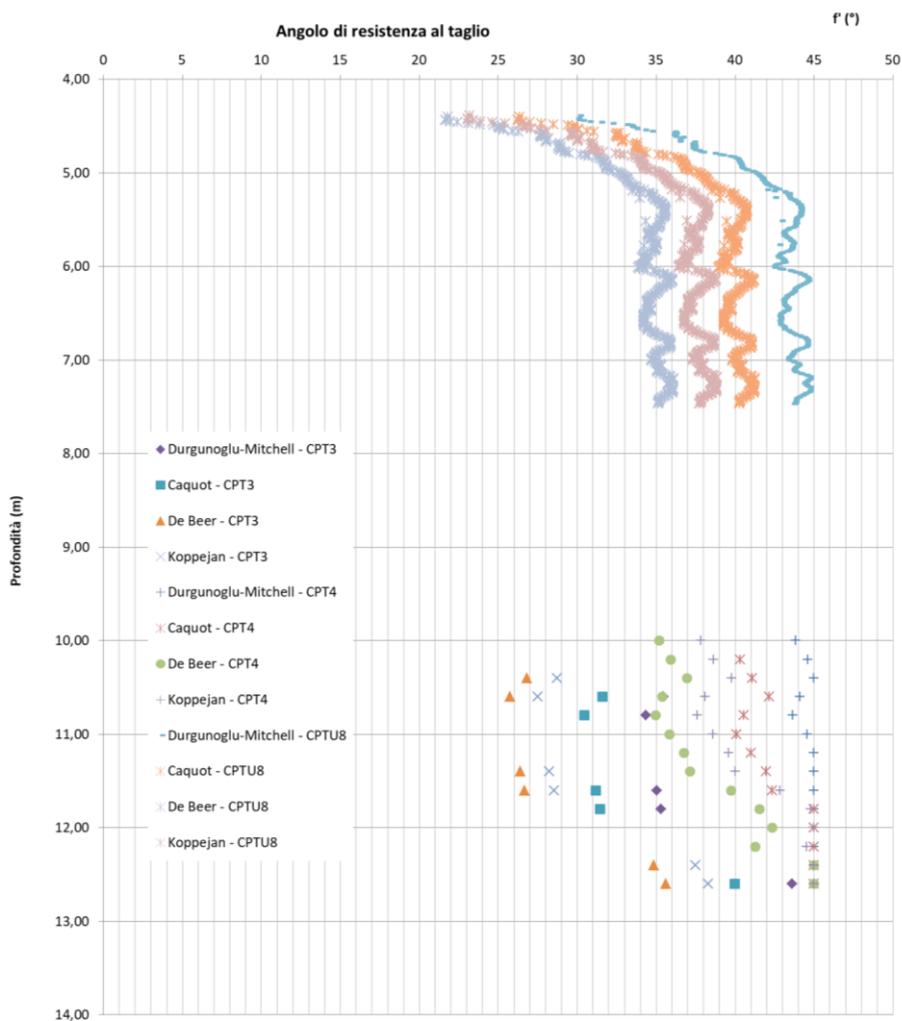
Figura 39 – Modulo elastico

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	131 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.7.7 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	132 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

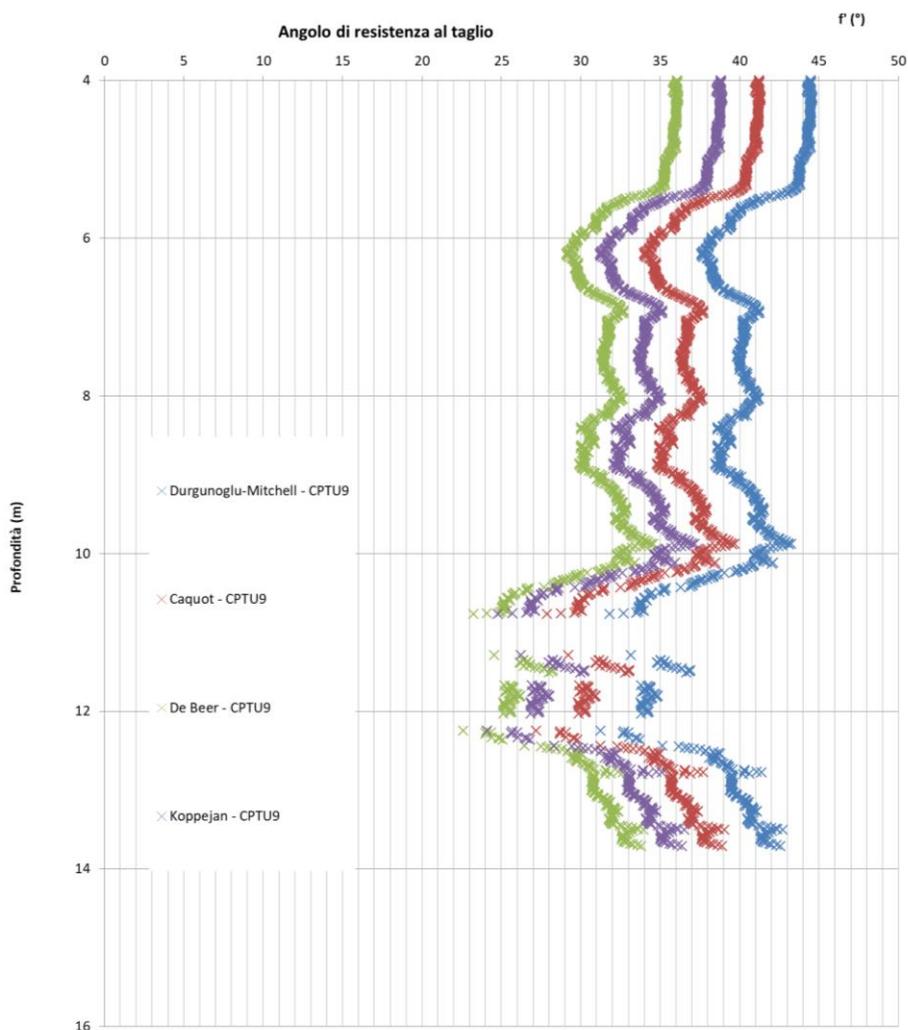


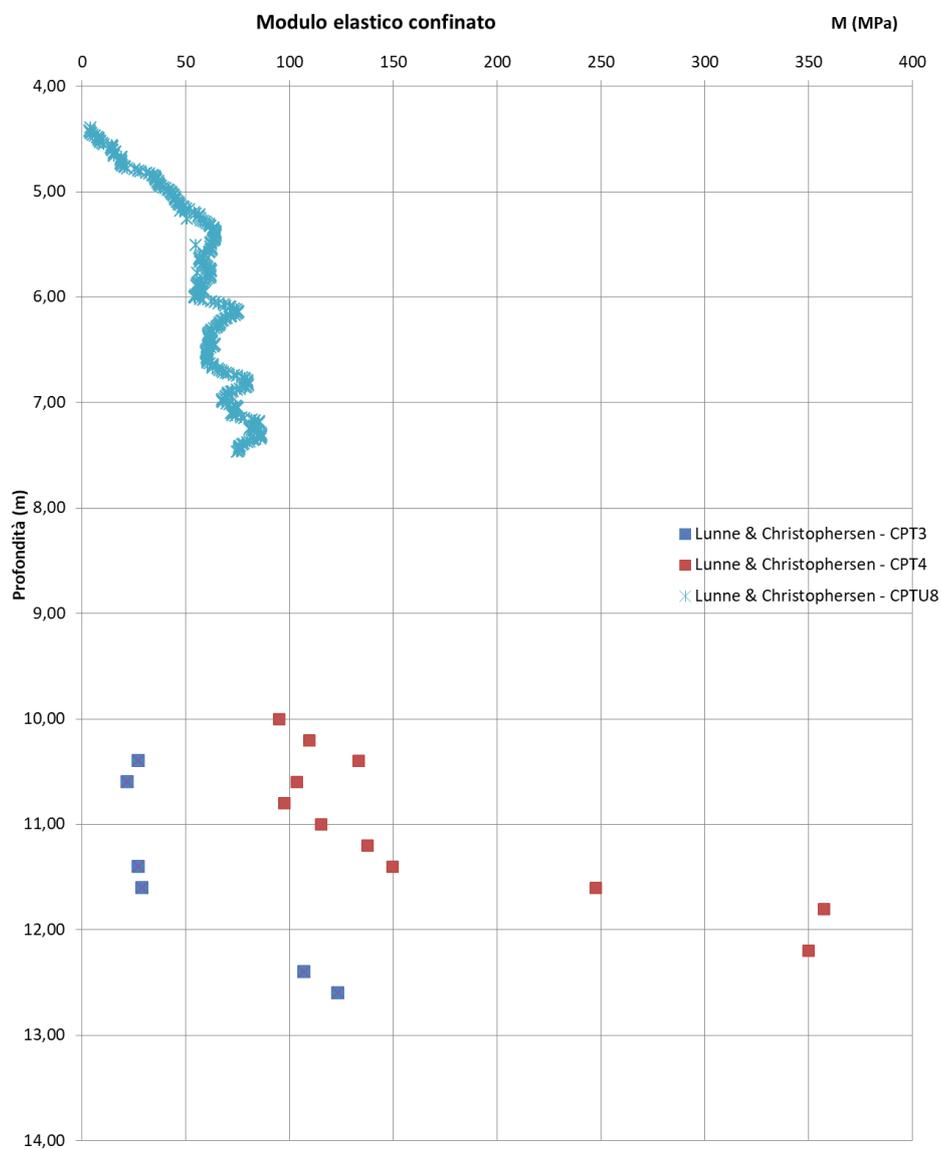
Figura 40 – Angolo di resistenza al taglio

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	133 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 9.7.8 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	134 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

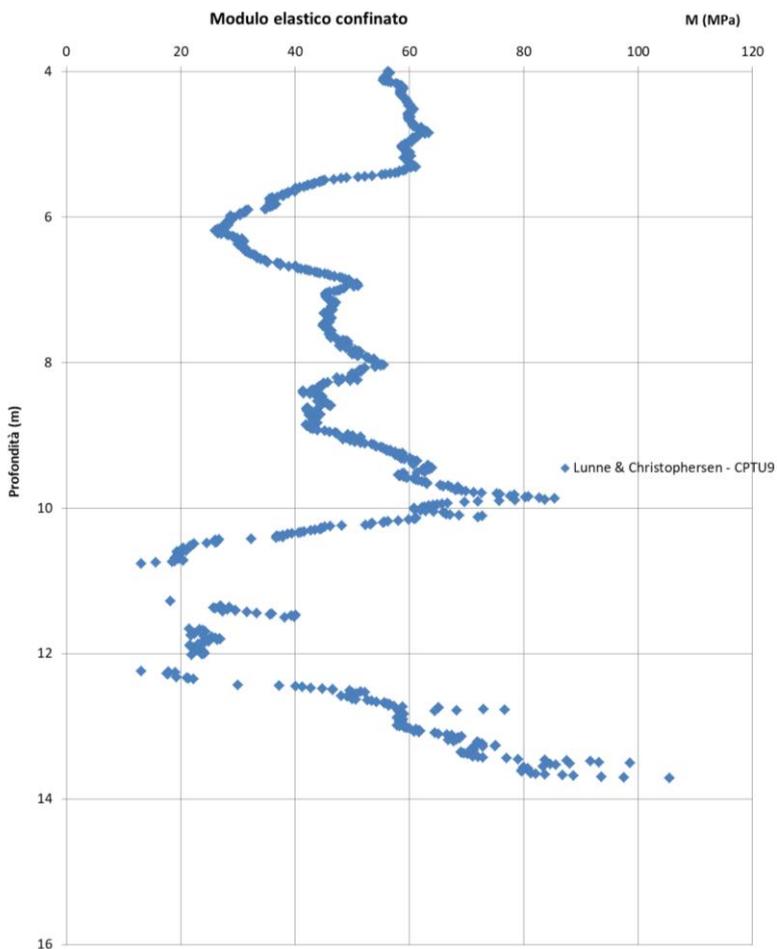


Figura 41 – Modulo elastico confinato

## 9.8 Unità geotecnica U3c – Depositi vulcanici litoidi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove di laboratorio di classificazione (analisi granulometriche);
- prove di laboratorio meccaniche (prova compressione monoassiale e point load test).

Unità geotecnica costituita da depositi vulcanici litoidi di tufo e lave con presenza di ghiaia sabbiosa/sabbia limosa nel sondaggio SA4-2018. Per la debolezza di dati di laboratorio e in sito i parametri di resistenza e deformabilità sono stati assunti da bibliografia, considerando le caratteristiche dell'unità geologica del tufo di La Storta e del tufo di Bracciano.

### 9.8.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

La maggior parte delle prove in sito SPT ha riscontrato valori di  $N_{spt}$  a rifiuto, mentre nei sondaggi SX4-2019 e SA04-2018 alle profondità relative all'unità geotecnica non sono state eseguite prove SPT.

	Profondità (m)	$N_{spt}$
SX2-PZ-2019	15,00	R
	18,00	R
	21,00	R

### 9.8.2 Analisi granulometrica e peso dell'unità di volume

Vista la natura litologica dell'unità geotecnica le caratteristiche granulometriche e i limiti di Atterberg non è stato possibile eseguirli nei campioni prelevati; unica eccezione è la granulometria del sondaggio SX4-2019:

	camp.	Prof. prelievo (m)	ghiaia	sabbia	limo	argilla
	n°		%	%	%	%
SX4-2019	CR9	43,6	79	15	5	1

	camp.	Prof. prelievo (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )
	n°		
SX4-2019	CR9	43,6	18

### 9.8.3 Parametri di resistenza e deformabilità: prove meccaniche di laboratorio

Di seguito si riportano i risultati delle prove di compressione monoassiale e point load test e le interpretazioni delle prove per la definizione dei parametri di resistenza e deformabilità.

Prove di lab. - Prova monoassiale			Prove di lab. - Point load test			
$\alpha$	Profondità (m)	Sondaggio	$\alpha$	$IS_{(50)}$	Profondità (m)	Sondaggio
Mpa			Mpa			
4,2	21	SX02-PZ-2019	34,76	1,58	16,1	SX02-PZ-2019
			29,26	1,33	28	SX04-PZ-2019
			27,5	1,25	30	

#### Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 27 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.209 MPa friction angle = 36.59 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.004 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.182 MPa  
 global strength = 2.327 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa

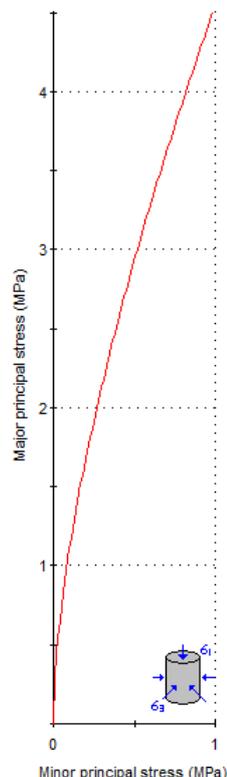
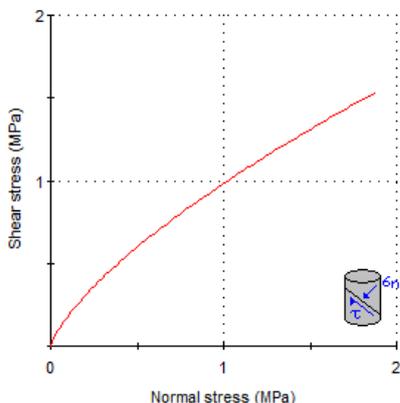


Figura 42 – Interpretazione della prova Pont load test del campione a 30m del sondaggio SX4-2019.

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 29 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

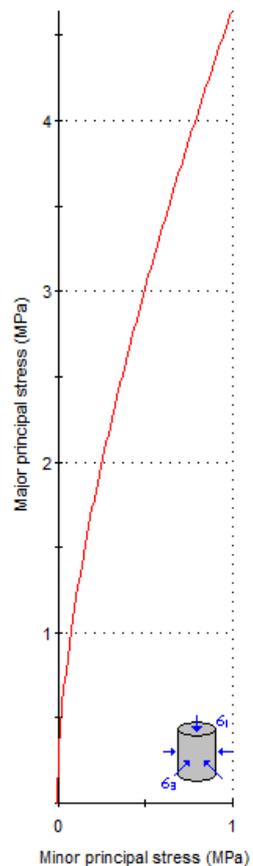
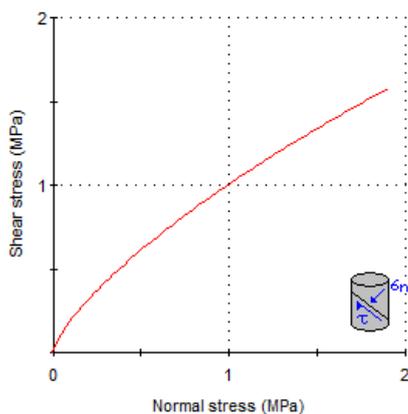
$m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.214 MPa friction angle = 37.09 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.195 MPa  
 global strength = 2.500 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa



**Figura 43 - Interpretazione della prova Pont load test del campione a 28m del sondaggio SX4-2019**

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 34 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.227 MPa friction angle = 38.22 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.229 MPa  
 global strength = 2.931 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa

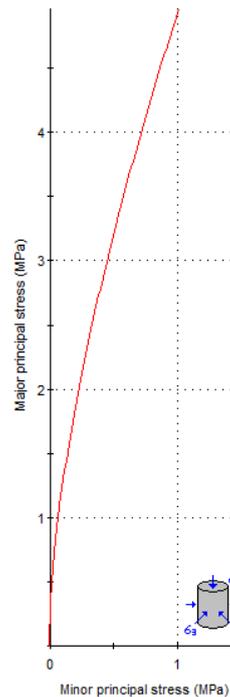
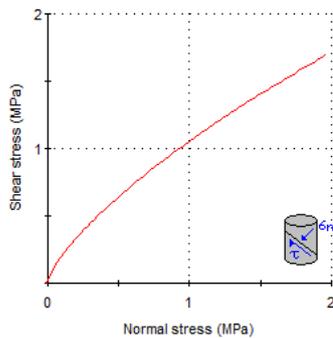


Figura 44 - Interpretazione della prova Pont load test del campione a 16m del sondaggio SX2-2019

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	139 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 5 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (E) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.111 MPa friction angle = 25.04 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.001 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.034 MPa  
 global strength = 0.431 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa

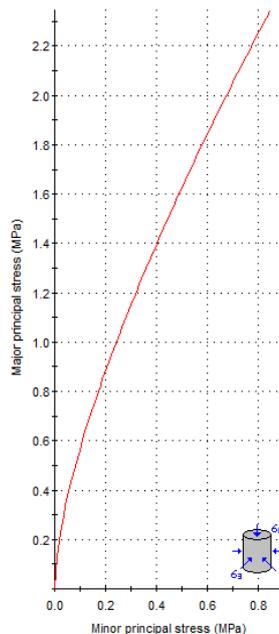
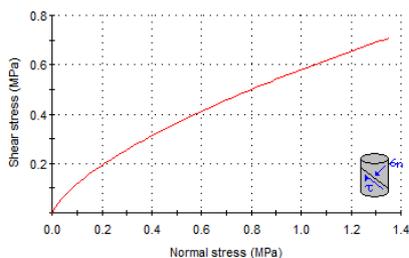


Figura 45 - Interpretazione della prova Pont load test del campione a 21m del sondaggio SX2-2019

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	<b>FOGLIO</b>
	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	140 di 452

## 9.9 Unità geotecnica U4a –Strati prevalentemente rocciosi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove di laboratorio meccaniche (prova compressione monoassiale e point load test).

Nel seguito sono presentate le caratterizzazioni geomeccaniche della formazione rocciosa di tipo basaltico incontrata dalle vertici di indagini. In particolare, lungo la tratta ferroviaria di interesse è stata rilevata roccia effusiva di tipo basaltico di colore grigio o grigio scuro da grana fine a finissima da mediamente a molto compatta con presenza di fratture e deboli alterazioni.

### 9.9.1 Prove di laboratorio: peso dell'unità di volume

Il peso di volume che risultano essere compresi nell'intervallo 25 – 27 kN/m<sup>3</sup> è stato determinato dalle prove a compressione monoassiale eseguite in alcuni provini di roccia confrontandolo con dati bibliografici.

### 9.9.2 Parametri di resistenza e di deformabilità: prove meccaniche di laboratorio

Di seguito si riportano i risultati delle prove di compressione monoassiale e point load test.

Prove di lab. - Prova monoassiale				Prove di lab. - Point load test			
$\alpha$	Profondità (m)	Sondaggio	$\alpha$	IS <sub>(50)</sub>	Profondità (m)	Sondaggio	
Mpa			Mpa				
67,3	17,1	SX01-PZ-2019	27,5	1,25	30,7	SX04-PZ-2019	
116,22	14,3	S06-PZ-2017					
167,76	19	S07-PZ-2017					
35,18	24,5	S11-PZ-2017					

I valori di resistenza alla compressione  $\sigma_c$  ottenuti dalle prove di compressione monoassiale sono compresi tra 27 e 167 MPa. Si sottolinea come i valori di compressione monoassiale ottenuti dalle diverse prove siano sostanzialmente in accordo tra loro, al di fuori della prova eseguita nel sondaggio S11\_PZ-2017 alla profondità di 24.50m da bocca foro, la quale risulta essere stata eseguita su un campione di roccia con alterazioni vacuolari nel tratto di profondità tra 22m e 24m da bocca sondaggio.

Dalle descrizioni startigrafiche dei sondaggi e dai valori di RQD, compreso tra 60% e 80% riportati sui log dei sondaggi, il materiale risulta essere, su tutta la profondità investigata, caratterizzato da livelli di alterazione e fratturazione variabili: debolmente alterati e poco fratturati. Complessivamente comunque, sia dai sondaggi che dai rilievi geomeccanici degli affioramenti, il materiale risulta in buone condizioni.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	<b>FOGLIO</b>
	<b>NR1J</b>	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	141 di 452

A favore di quanto detto è anche il sondaggio storico 1 nei pressi dell'area acqua Claudia, che riscontra nella stratigrafia un RQD>80%.

In base a queste evidenze ed in base a quanto emerso dai rilievi geomeccanici eseguiti sugli affioramenti di questa formazione si è scelto di caratterizzare la formazione in esame con un valore di GSI compreso tra 60 e 80, mentre il valore del parametro  $m_i$  è stato assunto pari a 20.

Sulla base di questi dati e considerando un grado di disturbo D, provocato dalla realizzazione delle opere, considerato pari a 0.1, si sono valutati i parametri che definiscono il criterio di rottura curvilineo dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Brown. Successivamente si sono derivati, in corrispondenza dell'intervallo di pressioni di interesse per la progettazione, i valori dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso caratterizzanti il criterio di rottura alla Mohr – Coulomb tangente a quello curvilineo dell'ammasso stesso. I risultati, prendendo in considerazione il provino di roccia basaltica con le caratteristiche di resistenza a compressione migliori, vengono riportati in Figura 49; mentre per il provino di roccia con le caratteristiche maggiormente scadenti illustrato in

Si sottolinea che i risultati in termini di parametri di resistenza tipo Mohr – Coulomb ottenuti dall'involuppo di rottura curvilineo della roccia, mentre per i moduli elastici di Young si è utilizzata l'analisi elastico-lineari o elastico-lineare equivalente e i parametri sono stati assunti sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e fisico-meccaniche della roccia stessa.

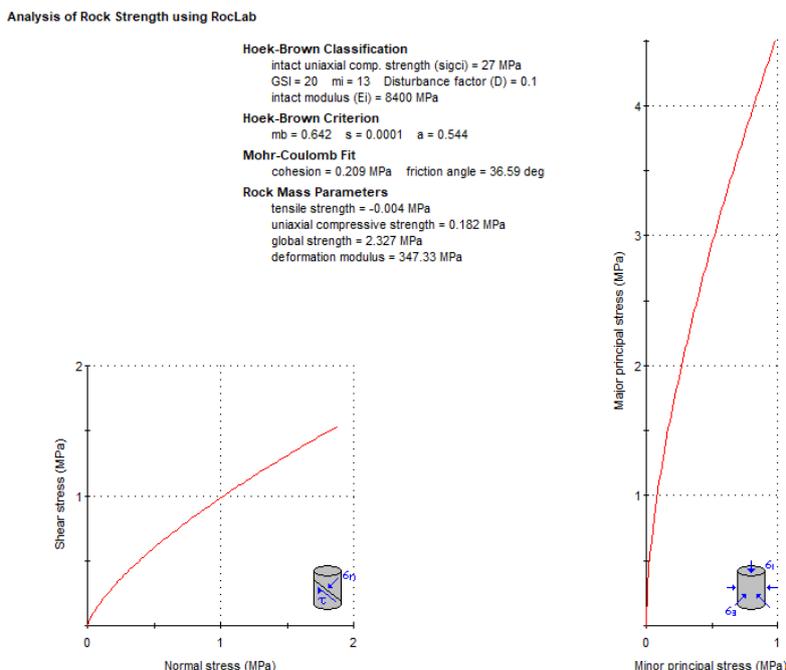


Figura 46 - Campione a profondità 30.70m del sondaggio SX4-PZ-2019.

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 67 MPa  
GSI = 65  $m_i$  = 25 Disturbance factor (D) = 0.1  
intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 6.707  $s$  = 0.0179  $a$  = 0.502

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 1.171 MPa friction angle = 61.34 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.179 MPa  
uniaxial compressive strength = 8.893 MPa  
global strength = 23.880 MPa  
deformation modulus = 4787.47 MPa

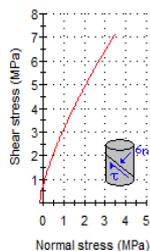


Figura 47 - Campione a profondità 17m del sondaggio SX1-PZ-2019

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 116 MPa  
GSI = 65  $m_i$  = 25 Disturbance factor (D) = 0.1  
intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 6.707  $s$  = 0.0179  $a$  = 0.502

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 1.706 MPa friction angle = 63.93 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.310 MPa  
uniaxial compressive strength = 15.397 MPa  
global strength = 41.345 MPa  
deformation modulus = 4787.47 MPa

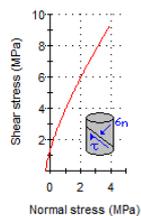


Figura 48 - Campione a profondità 14.30m del sondaggio S06-PZ-2017.

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 168 MPa  
 GSI = 62  $m_i$  = 20 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 12000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

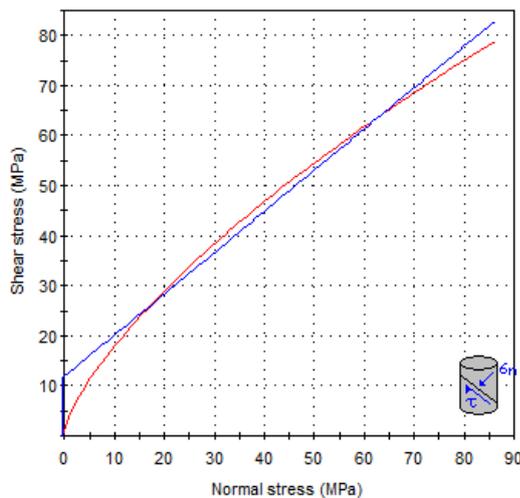
$m_b$  = 4.793  $s$  = 0.0127  $a$  = 0.502

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 11.912 MPa friction angle = 39.49 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.444 MPa  
 uniaxial compressive strength = 18.715 MPa  
 global strength = 50.504 MPa  
 deformation modulus = 6069.52 MPa



**Figura 49 - Campione a profondità 19m del sondaggio S07-PZ-2017.**

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>144 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	144 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	144 di 452								

### 9.10 Unità geotecnica U4b –Strati da debolmente ad alterati prevalentemente rocciosi

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell’area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni;
- prove di laboratorio meccaniche (prova compressione monoassiale).

Questa unità è caratterizzata da roccia effusiva di tipo basaltico di colore grigio o grigio scuro da grana fine a finissima alterato e fratturato alternato a livelli metrici di probabili piroclastiti molto fratturate e alterate (sondaggio S04-PZ-2017).

#### 9.10.1 Parametri di resistenza e di deformabilità: prove meccaniche di laboratorio

La prova di compressione monoassiale è stata eseguita su uno spezzone di roccia con caratteristiche assimilabili al campione del medesimo sondaggio alla profondità di 17m.

Prove di lab. - Prova monoassiale		
$\alpha$	Profondità (m)	Sondaggio
Mpa		
60,9	29	SX01-PZ-2019

Dalla stratigrafia dei sondaggi SX1-PZ-2019 e S04-PZ-2017 si riscontra come la roccia di tipo basaltico è fortemente alterata e fratturata.



Figura 50 – Cassetta catalogatrice sondaggio SX1-2019



Figura 51 - Cassetta catalogatrice sondaggio S04-2017

Per quanto evidenziato nelle indagini geognostiche considerate per l'unità geotecnica in esame, si ritiene di considerare le caratteristiche derivanti dal campione a circa 24m del sondaggio S11-PZ-2017 (capitolo 9.9.1) e le proprietà geotecniche derivanti dalla

Analysis of Rock Strength using RocLab

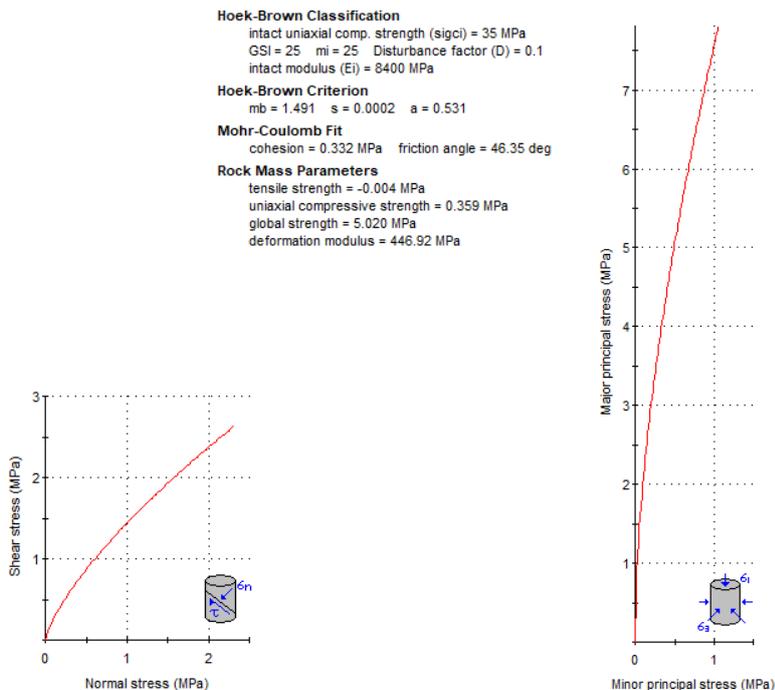


Figura 52 - Interpretazione della prova compressione monoassiale del campione a 24m del sondaggio S11-2017

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A	FOGLIO  146 di 452

## 10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica generale è stata suddivisa in capitoli per facilità di lettura e descrizione dei modelli geotecnici ripartiti con le progressive della linea ferroviari in studio (Figura 53).

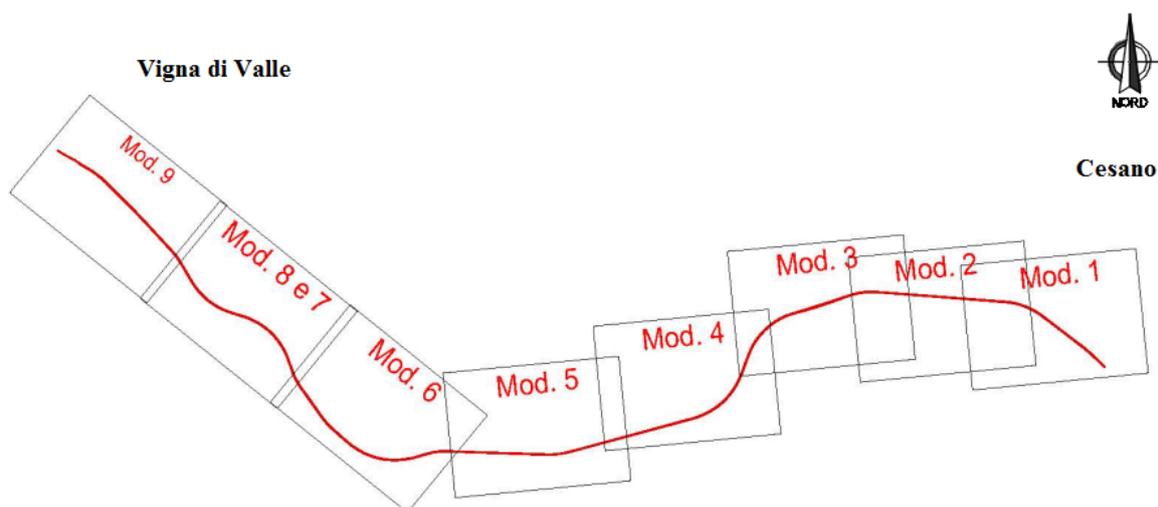


Figura 53 – Stralcio della planimetria con evidenziati i tratti chilometrici dei modelli geotecnici

Per la caratterizzazione geotecnica dei tratti di linea ferroviaria non esplicitati nei capitoli successivi si rimanda alla relazione geotecnica generale del progetto definitivo dell'anno 2018. Infatti i **modelli 4, 6 e 8 non sono stati oggetto della presente revisione B, in quanto, sostanzialmente non interessati dalle indagini integrative**: sono stati per essi mantenute le caratterizzazioni geotecniche del PD 2018 (rev.A relazione geotecnica).

### 10.1 Modello geotecnico 1 – pk 27+769-29+050

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni ( SX2 -2019 e S01-2017);
- prove penetrometriche (CPT1 e CPT2);
- prove di laboratorio meccaniche (prova di taglio diretto, prova di compressione monoassiale e point load test).

Si precisa che per i sondaggi S01-PZ-2017 e SX2-2019, sebbene fuori asse rispettivamente di circa 135m e 65m dalla linea di progetto, sono state considerate ugualmente le prove in sito e di laboratorio; considerazione analoga vale per le prove CPT1 e CPT2, fuori asse rispettivamente di circa 33m e 40m.

Nel presente modello vengono incontrate le seguenti unità geotecniche.

**Modello 1a - Da pk 27+769 a 28+400**

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	7
U2a	Sabbia limoso argillosa	7	11
U3c superficiale	PVL- Depositi vulcanici litoidei: Tufo litoide alterato	11	16
U3c profondo	PVL- Depositi vulcanici litoidei: Tufo litoide	16	30

**Modello 1b - Da pk 28+400 a 29+050**

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	9
U2a	Sabbia limoso argillosa	9	20
U2b	Sabbia limosa debolmente addensata	20	30

L'unità U3c è stata caratterizzata tramite il sondaggio SX2-2019, e non si ritrova più avanti nello sviluppo del profilo (da circa metà modello in poi).

Le unità U1a e U2a sono sempre presenti lungo tutta l'estensione del modello.

Mentre la U2b, si ritrova al di sotto degli spessori maggiori di U2a, nel tratto ove non è più presente il substrato litoide U3c. In questo ultimo tratto l'unità U1a assume prevalentemente aspetto di Limo argilloso.

Nel dettaglio le profondità sono indicative per le progressive indicate nel modello e in base a quanto detto la suddetta tabella è solo riassuntiva delle unità. Per le profondità effettive si raccomanda di confrontare il profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera in esame.

Per quanto riguarda le unità geotecniche più profonde dove non si hanno a disposizione per questo tratto di linea prove SPT si sono considerati i capitoli generali descritti precedentemente relativi alle medesime unità (in particolare, per l'unità U2b si è fatto riferimento al modello 4).

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	148 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

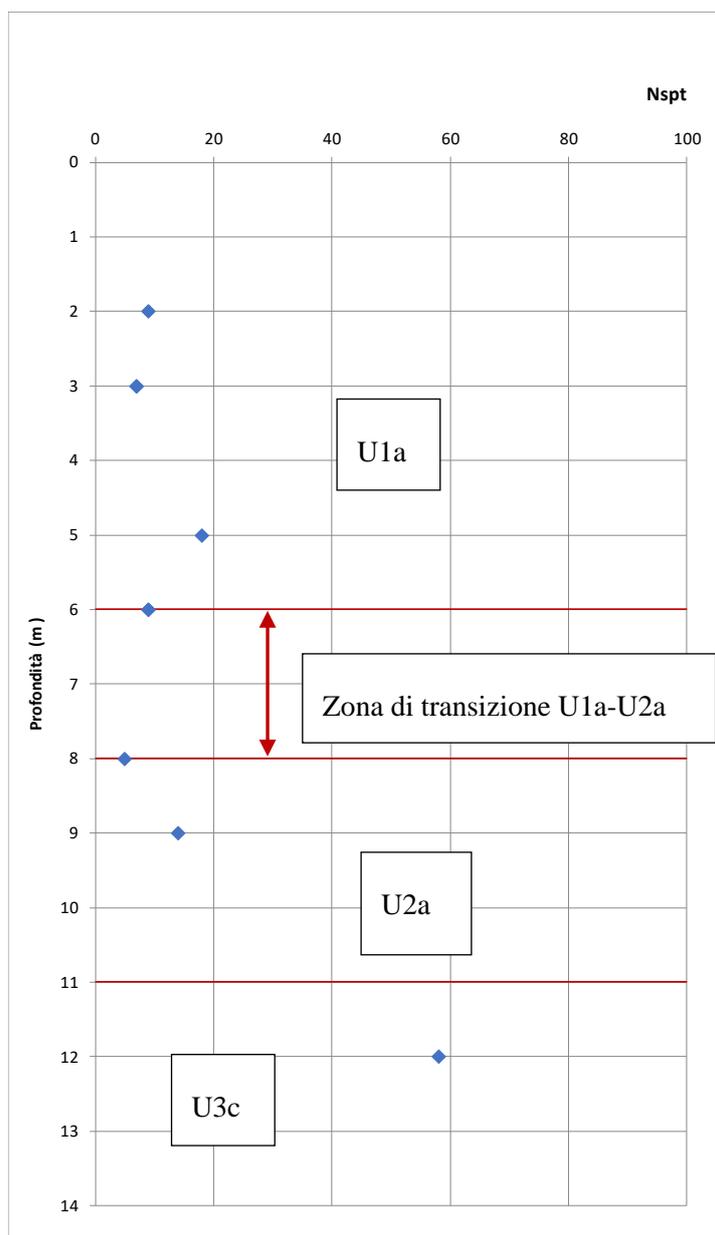
### 10.1.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità (m)	Nspt
S01_PZ-2017	2	9
	5	18
	8	5
SX2-2019	3	7
	6	9
	9	14
	12	58

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	149 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	150 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

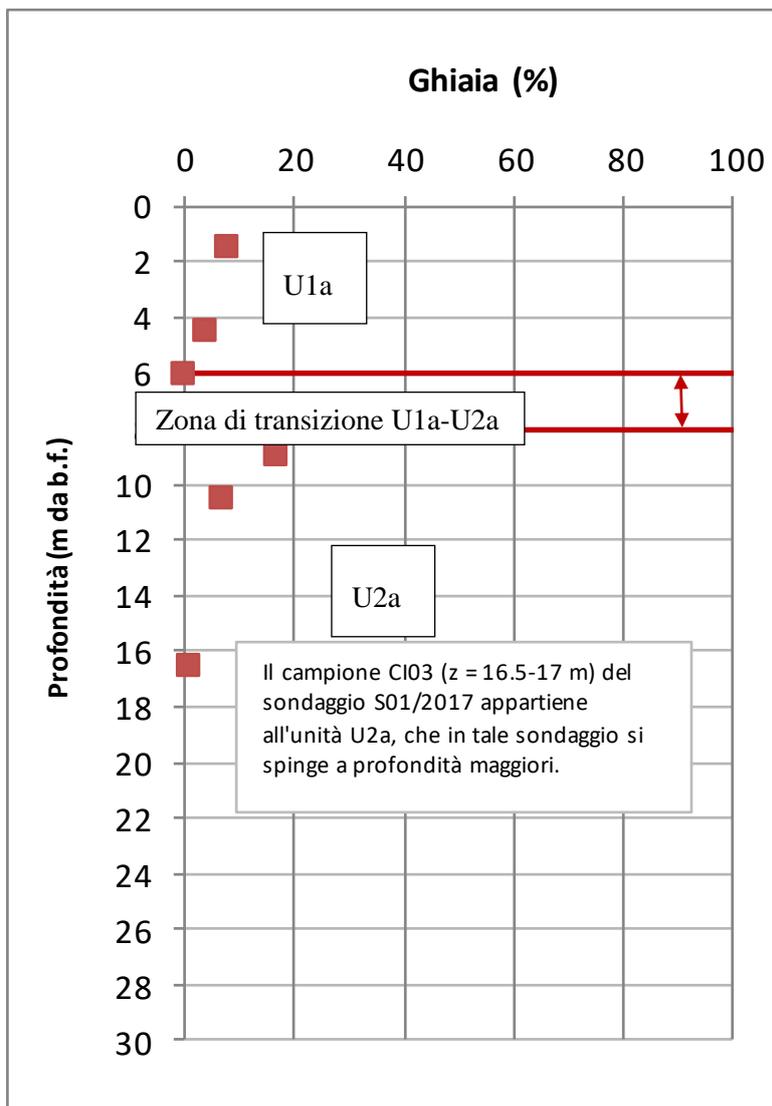
### 10.1.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	GRANULOMETRIA			
			ghiaia	sabbia	limo	argilla
			%	%	%	%
Sx2_PZ-2019	Cl1	1,5	8	47	38	7
	Cl2	6	0	61	37	2
	Cl3	9	17	61	21	1
	CR1	16	-	-	-	-
	CR2	21	-	-	-	-
S01_PZ-2017	Cl1	4,5	4	22	67	7
	Cl2	10,5	7	54	24	15
	Cl3	16,5	1	47	32	20

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	151 di 452

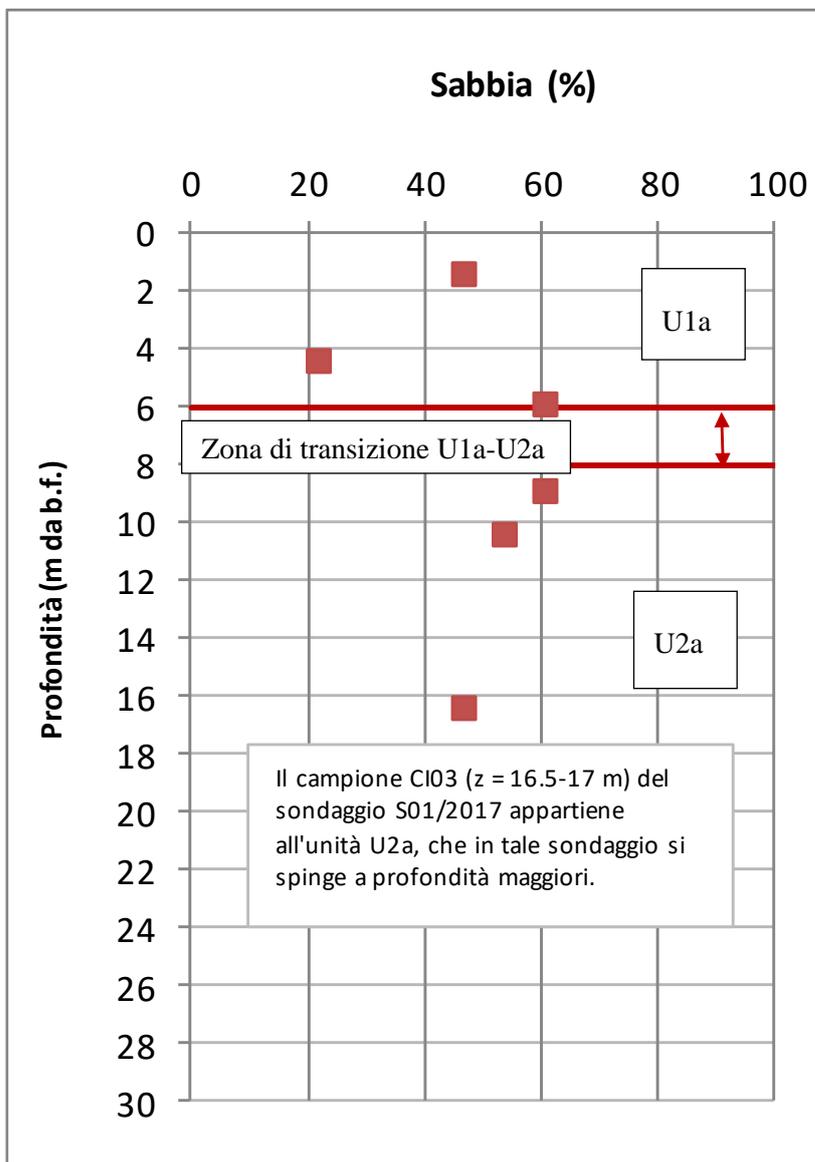
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

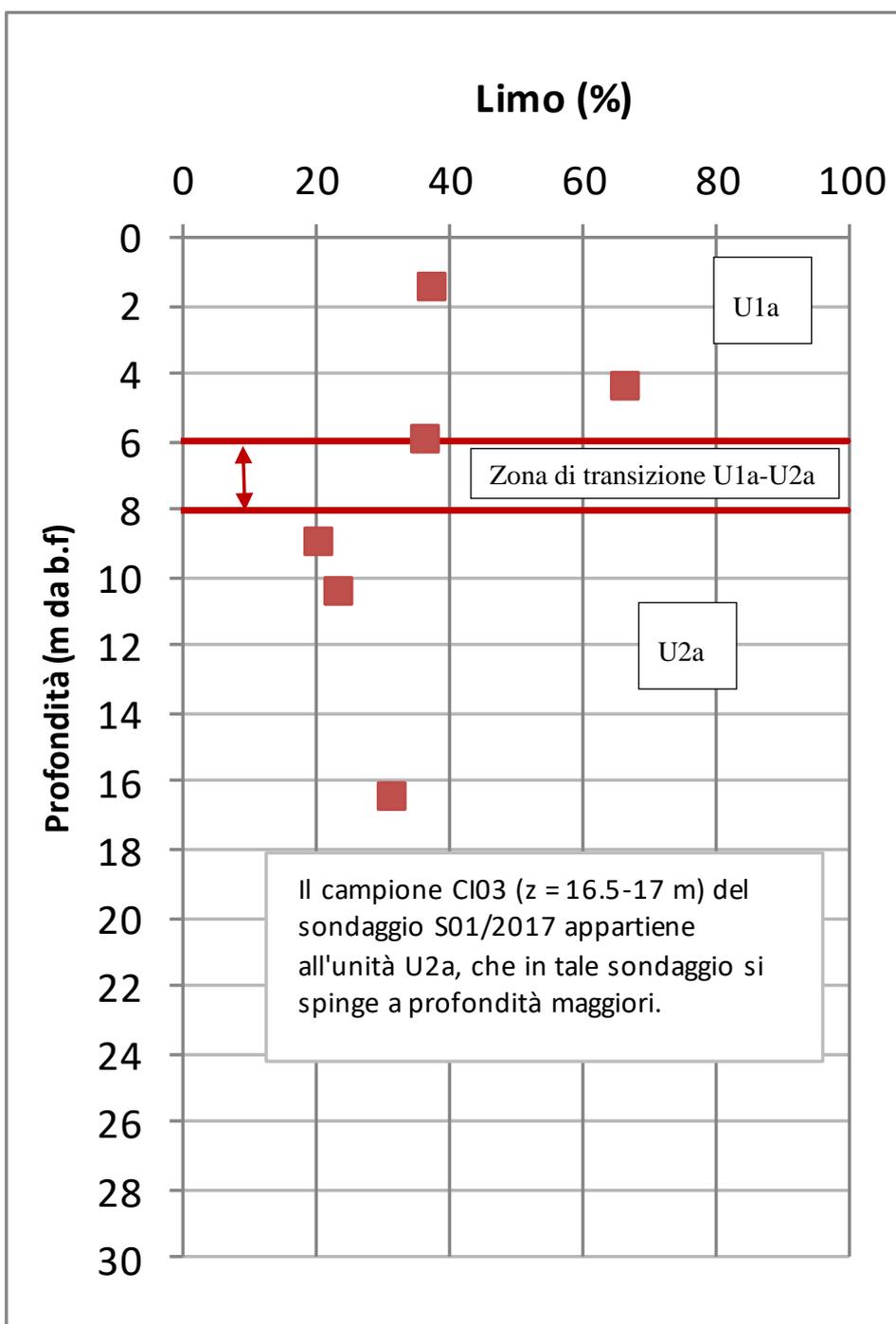


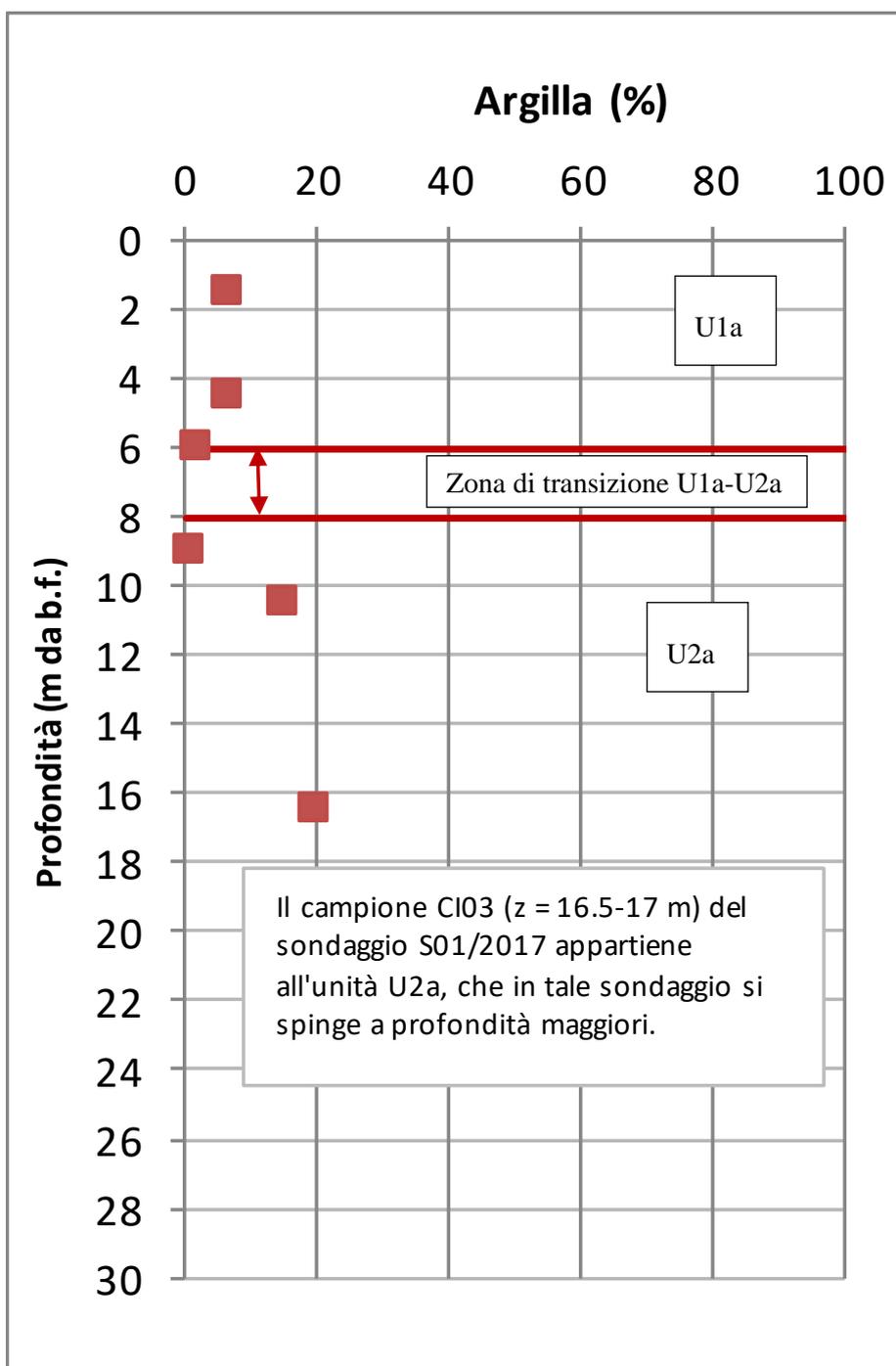
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	152 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE







LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	155 di 452

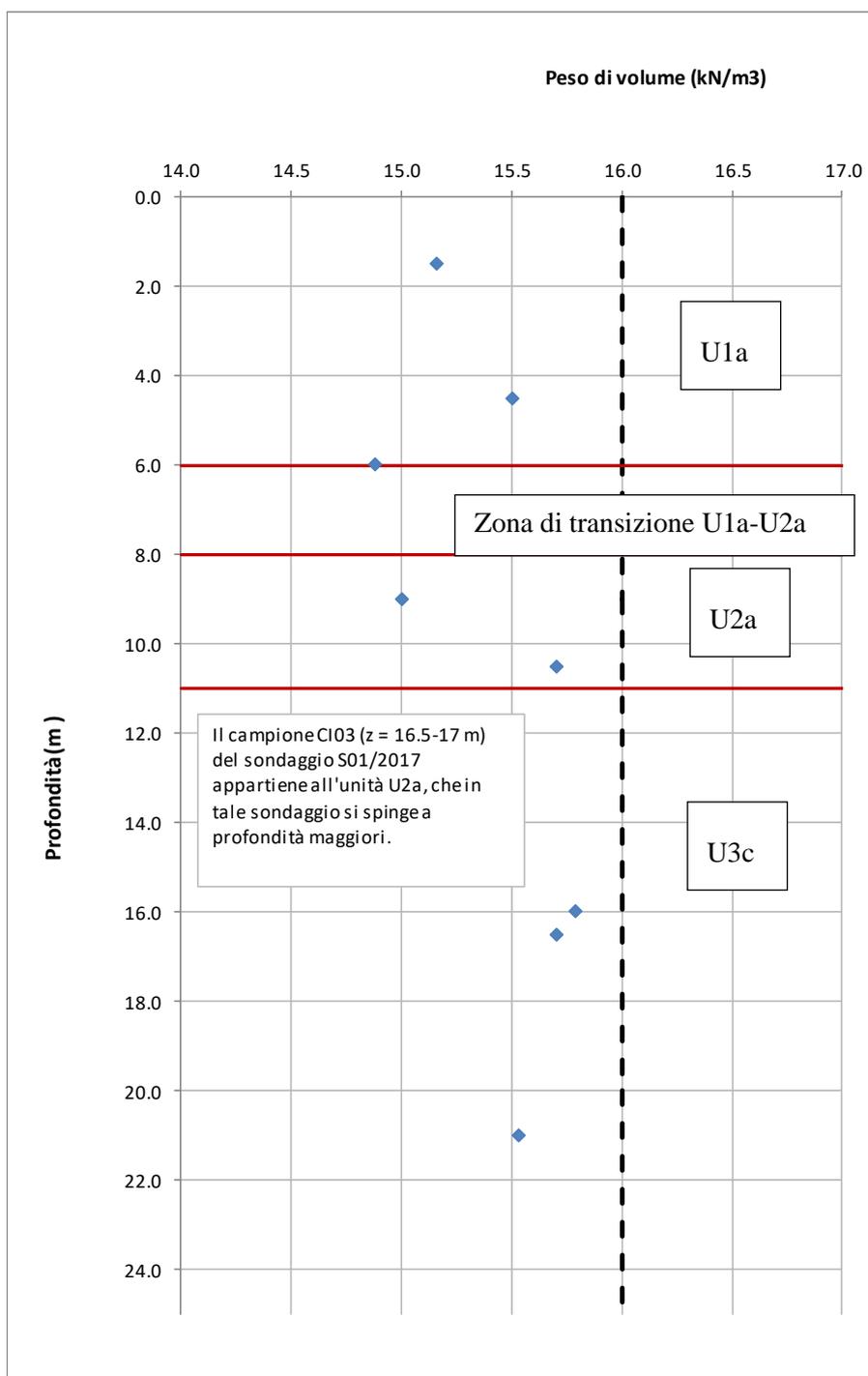
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m3)
S01_PZ-2017	CI1	4.5	15.5
	CI2	10.5	15.7
	CI3	16.5	15.7
S_X2-2019	CI1	1.5	15.16
	CI2	6	14.88
	CI3	9	15
	CR1	16	15.79
	CR2	21	15.53

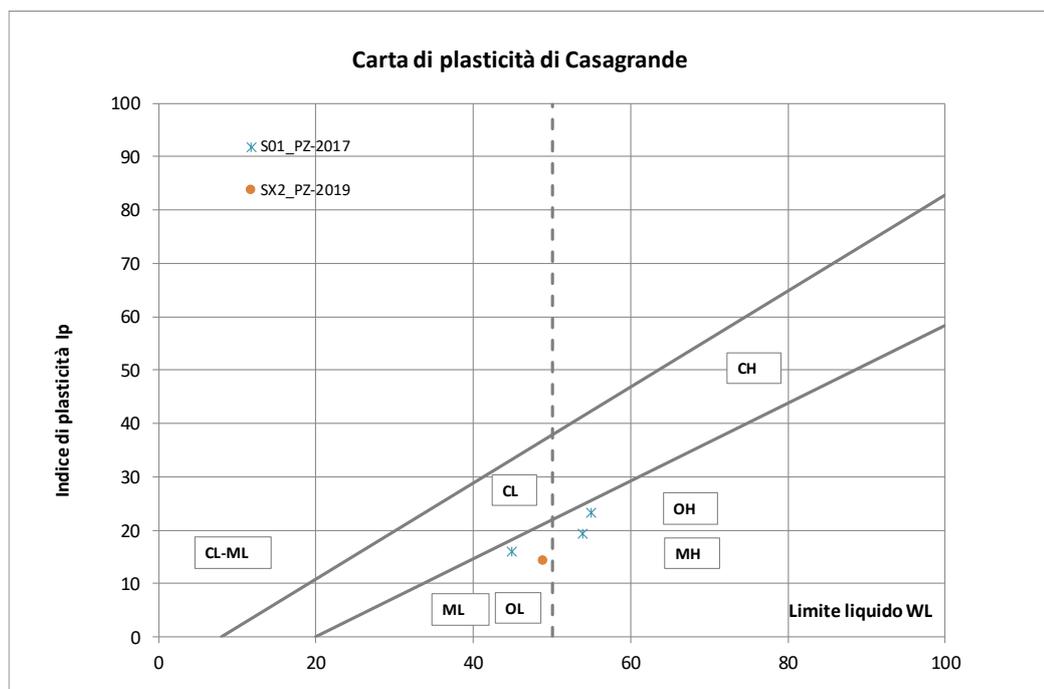
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	156 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
SX2_PZ-2019	CI1	1.5	49	35	14.1
	CI2	6	-	-	-
	CI3	9	-	-	-
	CR1	16	-	-	-
	CR2	21	-	-	-
S01_PZ-2017	CI1	4.5	45	29	16
	CI2	10.5	54	35	19.3
	CI3	16.5	55	32	23.3



OL= Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità

ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità

CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre

OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici

MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi sabbiosi

### 10.1.3 Prove meccaniche di laboratorio

Le prove di laboratorio hanno riguardato prove di prova di taglio diretto, prova di compressione monoassiale e point load test.

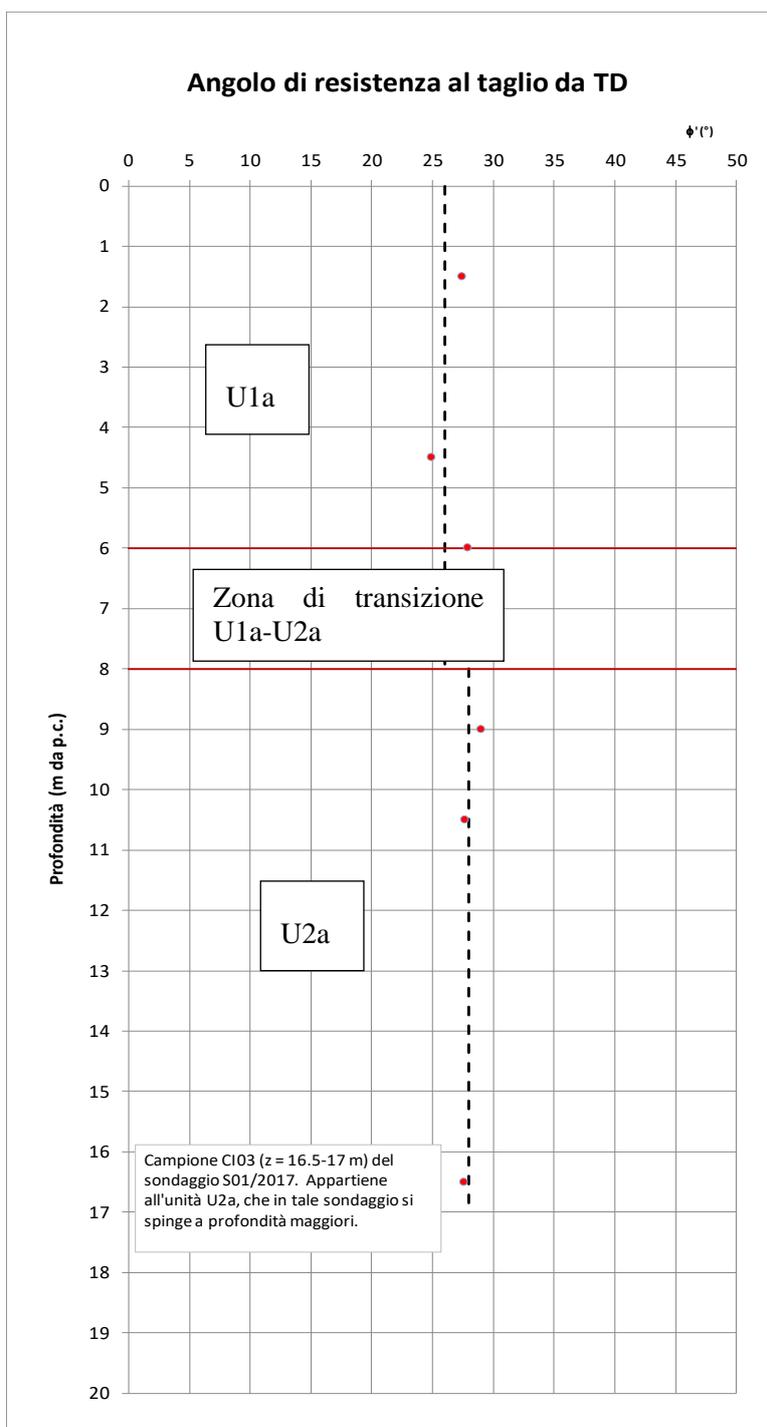
Si sono analizzate per prime le prove di taglio diretto riassunte di seguito:

<i>Prove di lab. - Taglio diretto</i>			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
25	6,44	4,5	S01_PZ-2017
27,72	7,51	10,5	
27,67	5,79	16,5	
27,49	6	1,5	S_X02-2019
28	4	6	
29,11	2,91	9	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	159 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

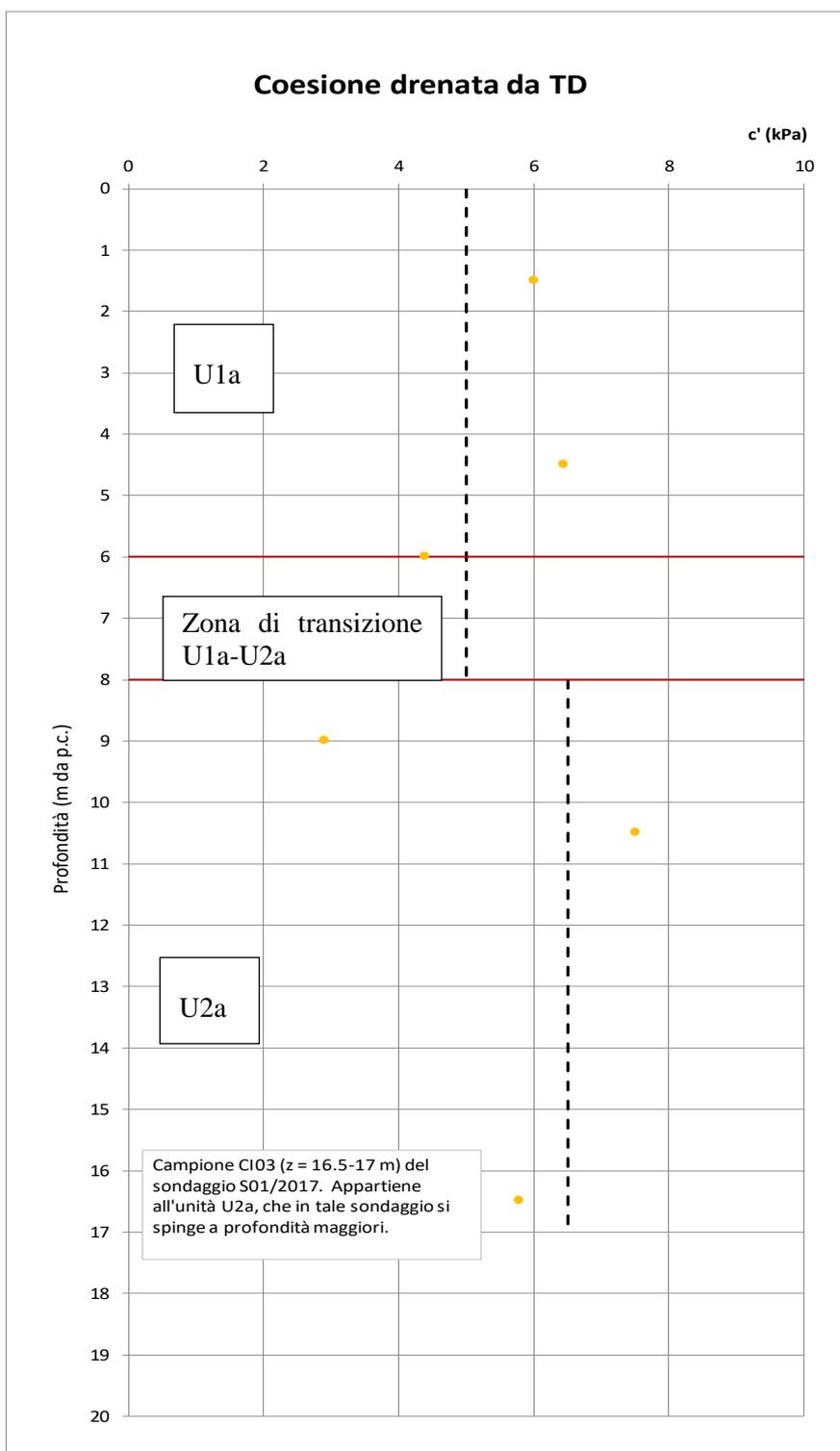


Gli angoli di attrito ricavati dalle prove di taglio diretto fanno riferimento a valori di picco.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	160 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

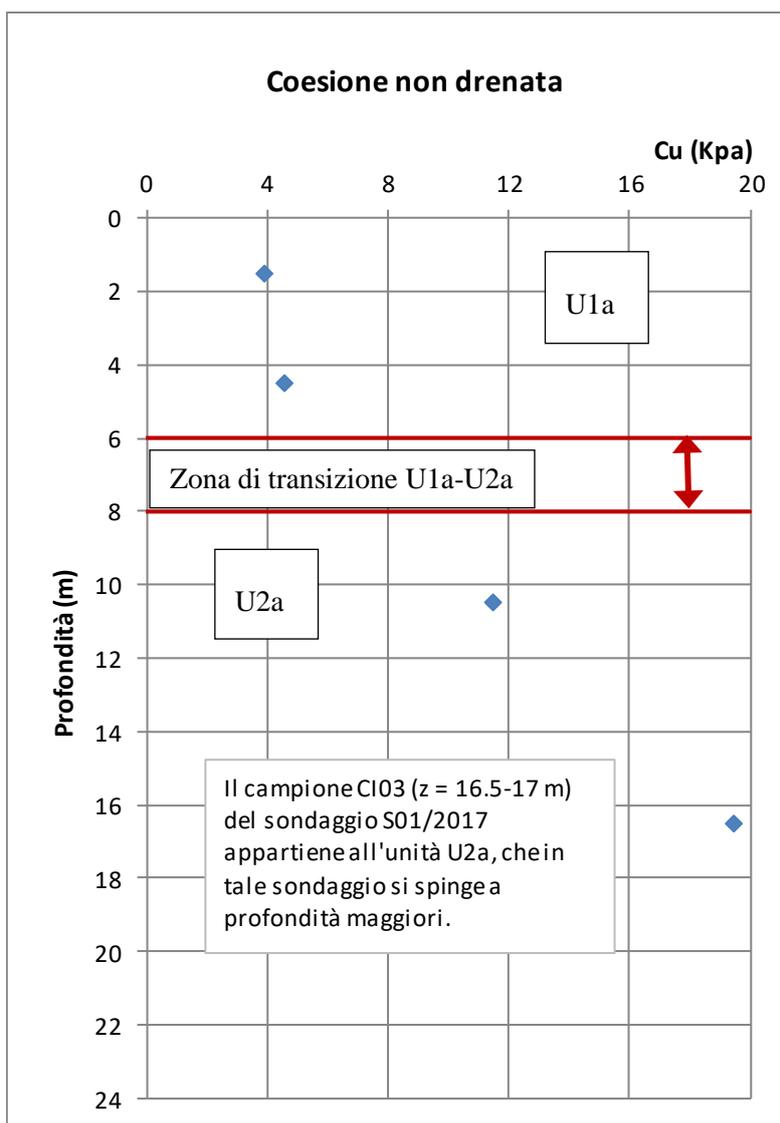


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	161 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Skempton, 1957				
Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Indice di Plasticità IP%	Cu (Kpa)
SX2_PZ-2019	CI1	1.5	14.1	3.9
	CI2	6	-	
	CI3	9	-	
	CR1	16	-	
	CR2	21	-	
S01_PZ-2017	CI1	4.5	16	4.58
	CI2	10.5	19.3	11.43
	CI3	16.5	23.3	19.42





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	162 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

I valori di  $c_u$  ottenuti con la correlazione di Skempton a partire dall'indice di plasticità, vengono utilizzati come confronto con quelli ricavati dalle prove CPT e SPT.

Per quanto riguarda i depositi vulcanici semilitoidi (U3c) caratterizzati principalmente da tufo incontrati durante l'esecuzione del sondaggio SX2-2019, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio in campioni di tufo (CR-16m e CR2-21m):

<i>Prove di lab. - Point load test</i>				<i>Prove di lab. - Prova monoassiale</i>		
$\alpha$	$I_{S(50)}$	Profondità (m)	Sondaggio	$\alpha$	Profondità (m)	Sondaggio
Mpa				Mpa		
34,76	1,58	16,1	SX02-PZ-2019	4,2	21	SX02-PZ-2019

I valori di resistenza alla compressione  $\sigma_c$  ottenuti dalle prove di compressione monoassiale sono molto variabili, con valori compresi tra 4 e 35 MPa.

Le prove SPT condotte all'interno dell'unità U3c individuano la presenza di un primo strato alterato, caratterizzato da parametri geotecnici più scadenti, per i primi 5 m (da 11 a 16 m di profondità). In particolare la prova a 12 m ha restituito un valore di  $N_{spt} = 58$ , mentre quelle a 15 m e 18 m sono andate a rifiuto. Questo testimonia il graduale passaggio di un terreno consistente ma ancora sciolto, ad un terreno successivo semilitoide.

Complessivamente il materiale nella stratigrafia è descritto come tufo litoide, a struttura granulare eterometrica, alterazione da media a moderata, a luoghi elevata ed intensa da 28,00m a 28,80m, inoltre sono presenti livelli centimetrici di tufo in buone condizioni tra la profondità di 15.50m e 18.50m.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	163 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Figura 54 - Cassetta catalogatrice sondaggio SX2-2019 – U3c alterata



	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p>164 di 452</p>



**Figura 55 - Cassetta catalogatrice sondaggio SX2-2019 – U3c compatta**

In base a queste evidenze ed in base a quanto emerso dai rilievi geomeccanici eseguiti sugli affioramenti delle formazioni si è scelto di caratterizzare l'unità geotecnica con un valore di GSI medio di 20. Il valore del parametro  $m_i$  è stato assunto pari a 13.

Sulla base di questi dati e considerando un grado di disturbo  $D$ , provocato dalla realizzazione delle opere, considerato pari a 0.1, si sono valutati i parametri che definiscono il criterio di rottura curvilineo dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Brown. Successivamente si sono derivati, in corrispondenza dell'intervallo di pressioni di interesse per la progettazione, i valori dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso caratterizzanti il criterio di rottura alla Mohr – Coulomb tangente a quello curvilineo dell'ammasso stesso. I risultati, prendendo in considerazione i provini di tufo vengono riportati Figura 70 e Figura 71.

Si sottolinea che i risultati in termini di parametri di resistenza tipo Mohr – Coulomb sono stati ottenuti dall'involuppo di rottura curvilineo della roccia tufacea, mentre per i moduli elastici di Young si è utilizzata l'analisi elastico-lineare o elastico-lineare equivalente e i parametri sono stati assunti sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e fisico-meccaniche della roccia stessa.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	165 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 34 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.227 MPa friction angle = 38.22 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.229 MPa  
 global strength = 2.931 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa

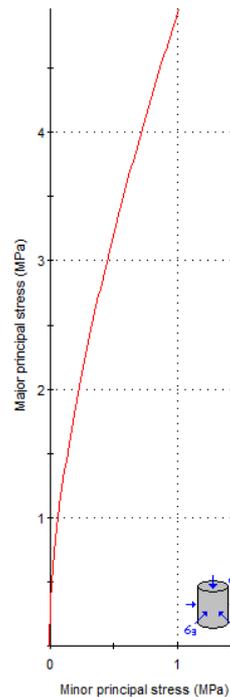
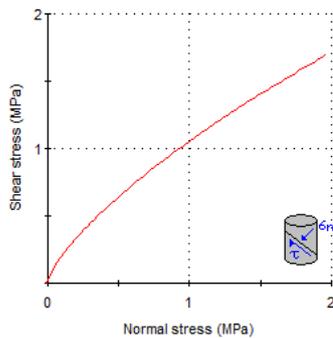


Figura 56 - Interpretazione della prova Point load test del campione a 16m del sondaggio SX2-2019

## Analysis of Rock Strength using RocLab

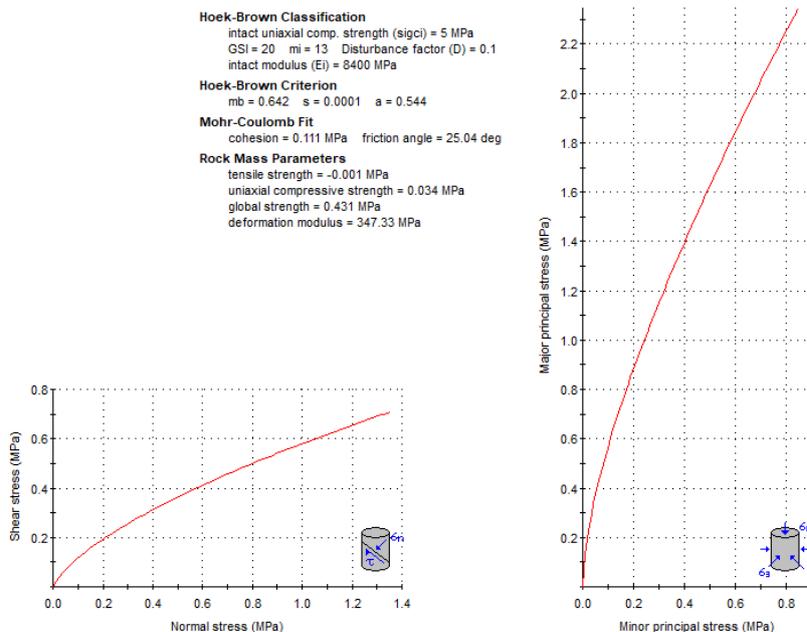


Figura 57 - Interpretazione della prova compressione monoassiale del campione a 21m del sondaggio SX2-2019

Per quanto descritto sopra, i parametri di resistenza e deformabilità dell'unità geotecnica U3c profonda sono i seguenti (considerando una resistenza a compressione dai dati bibliografici disponibili e dai campioni nel sondaggio SX2-PZ-2019).

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume ( $kN/m^3$ )	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ picco ( $^\circ$ )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Modulo elastico $E_{op,1}$ (MPa)	Resistenza a compression e (Mpa)
U3c profondo	PVL- Depositi vulcanici litoidi: Tufo litoide	16	30	14	23	16	GG	32	150	340	20

I parametri di resistenza tipo Mohr – Coulomb ( $c'$  e  $f'$ ) sono stati ottenuti dall'involuppo di rottura curvilineo della roccia tufacea; in particolare sono stati adottati valori medi tra quelli ottenuti dall'analisi relativa ai due campioni a 16 m e 21 m.

Per la stima del modulo elastico è stata utilizzata l'analisi elastico-lineare o elastico-lineare equivalente e i parametri sono stati assunti sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e fisico-meccaniche della roccia stessa. Trattandosi di un'unità a comportamento maggiormente elastico, in questo caso viene definito un solo livello operativo per il modulo E.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	167 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

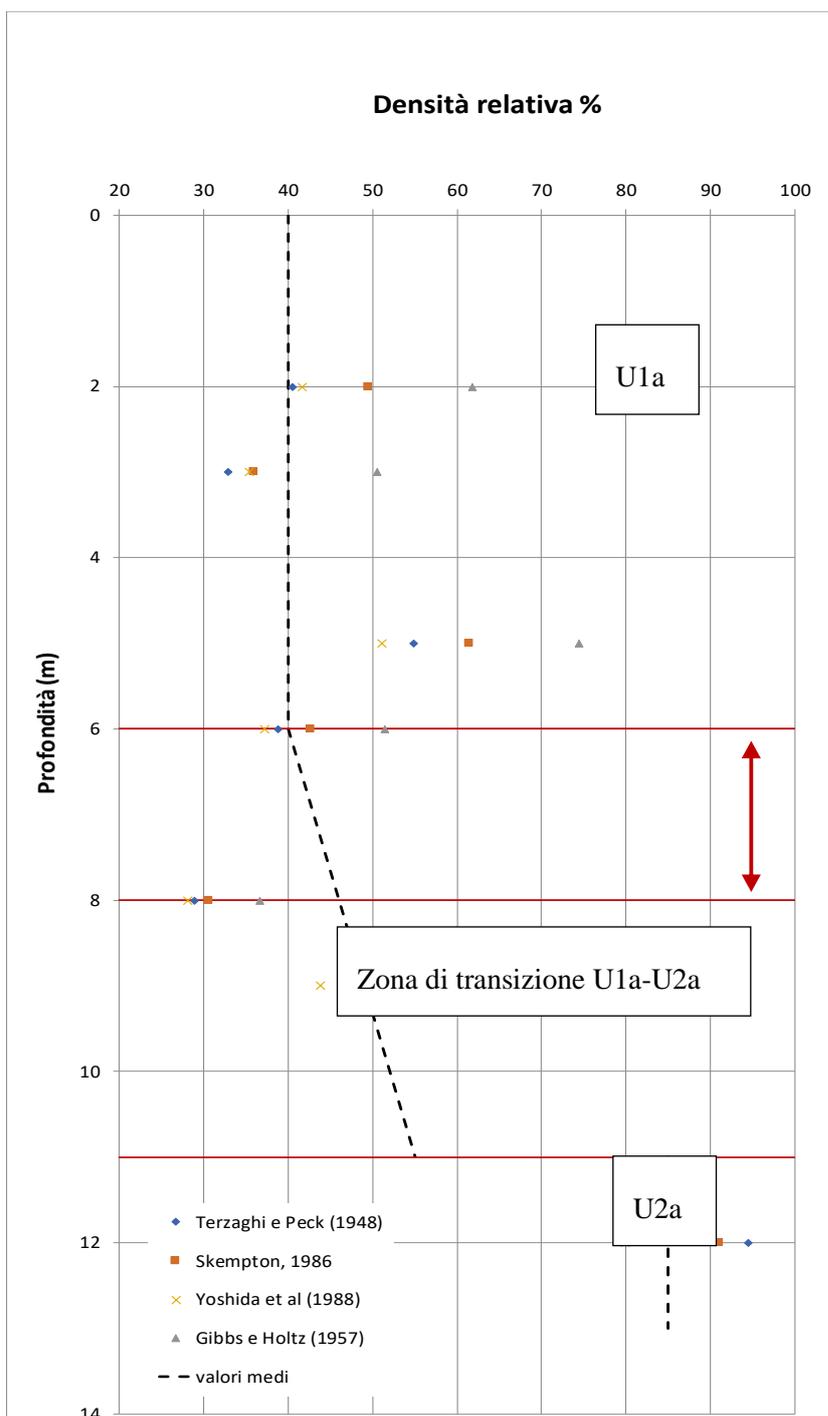
Anche per la resistenza a compressione sono stati adottati valori medi tra quelli ottenuti dall'analisi relativa ai due campioni a 16 m e 21 m.

Si riporta in seguito la tabella dei parametri relativa all'unità U3c superficiale, che coincide con la parte di tufo alterato. In questo caso, trattandosi di materiale assimilabile ad un terreno più che a una roccia, la caratterizzazione geotecnica è stata fatta sulla base della prova SPT disponibile a 12 m di profondità ( $N_{spt} = 58$ ).

Per quanto riguarda invece il parametro di coesione efficace è stato cautelativamente ipotizzato un valore di  $c' = 15$  kPa, dieci volte inferiore rispetto al valore stimato per la porzione di tufo compatta sottostante.

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume ( $kN/m^3$ )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ picco ( $^\circ$ )	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ ( $^\circ$ )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Coesione non drenata $c_u$ (kPa)	Modulo elastico $E_{op,1}$ (MPa)	Modulo elastico $E_{op,2}$ (MPa)	Modulo edometrico $M$ (MPa)
U3c superficiale	PVL- Depositi vulcanici litoidi: Tufo litoido alterato	11	16	5	13.5	16	GG	85	30	22.5	15	-	60	120	80

### 10.1.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

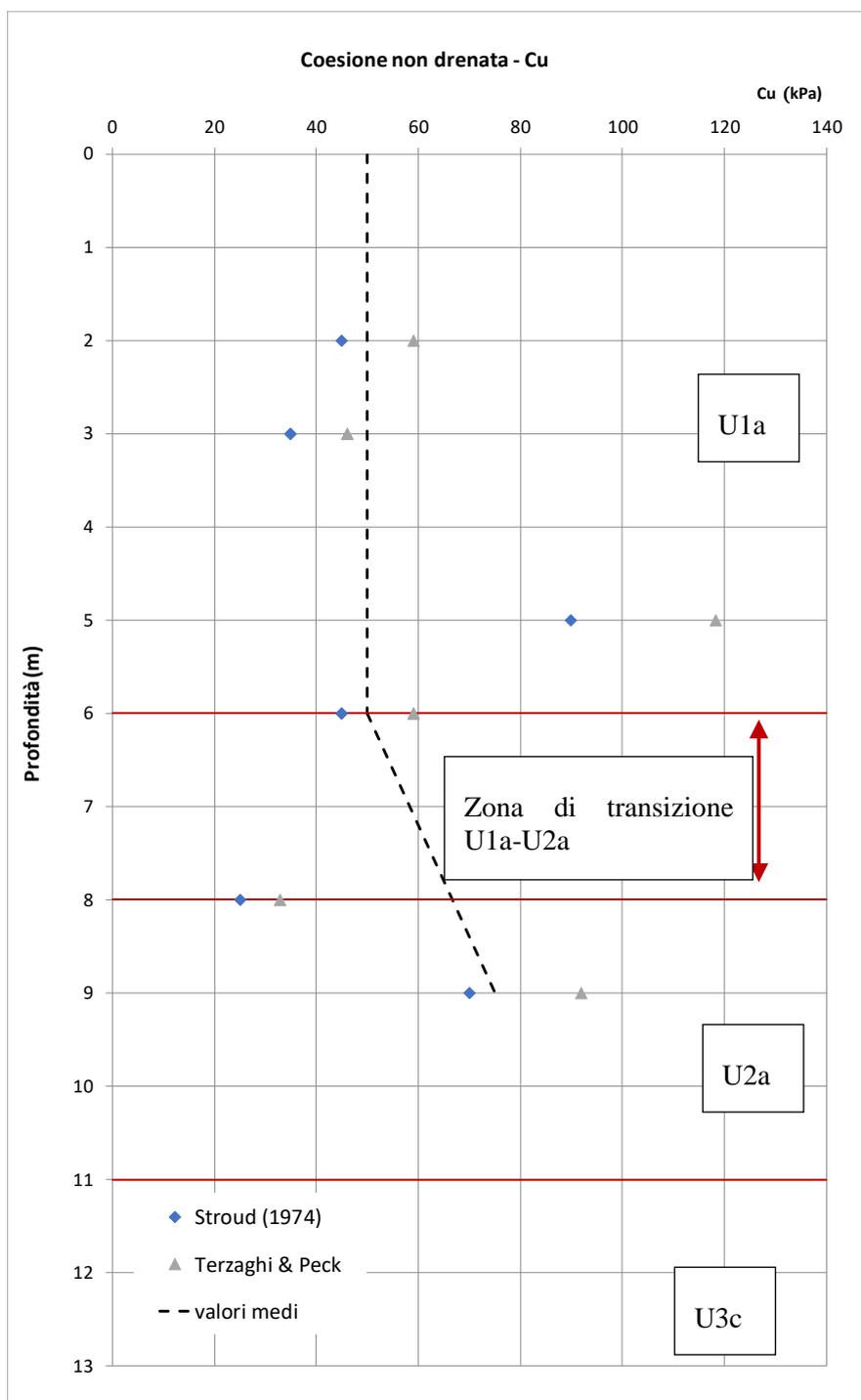


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

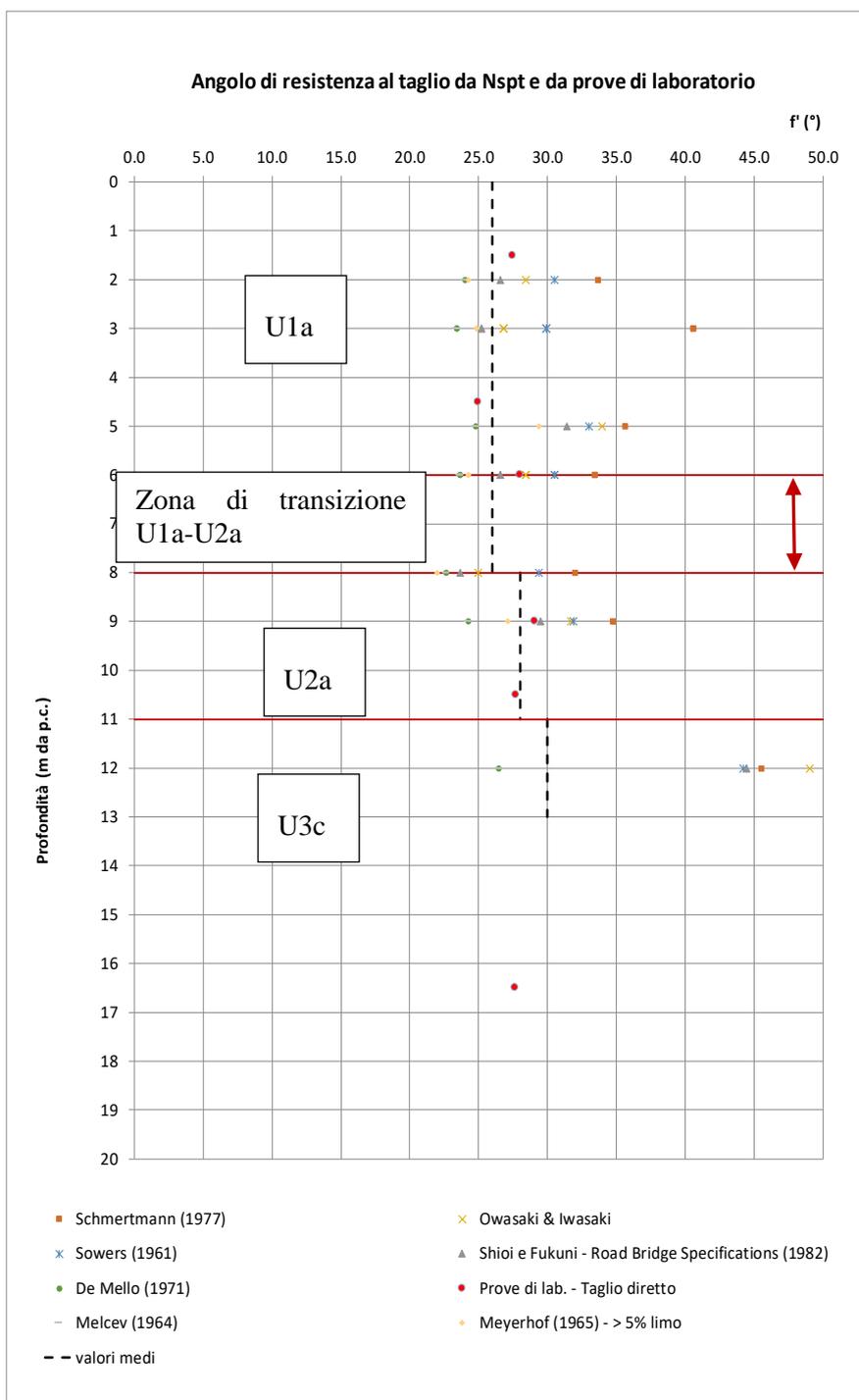
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	169 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.1.5 Interpretazione prove in sito SPT: coesione non drenata



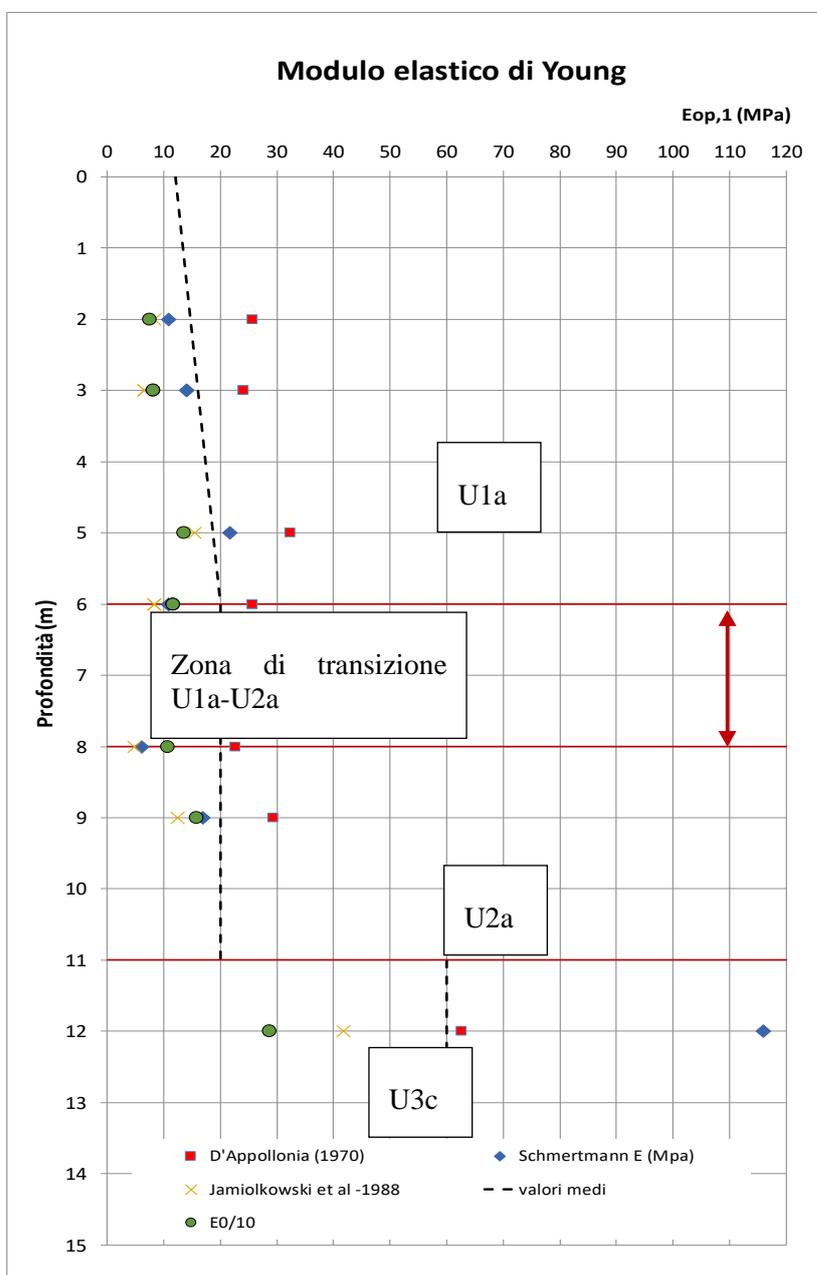
### 10.1.6 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco



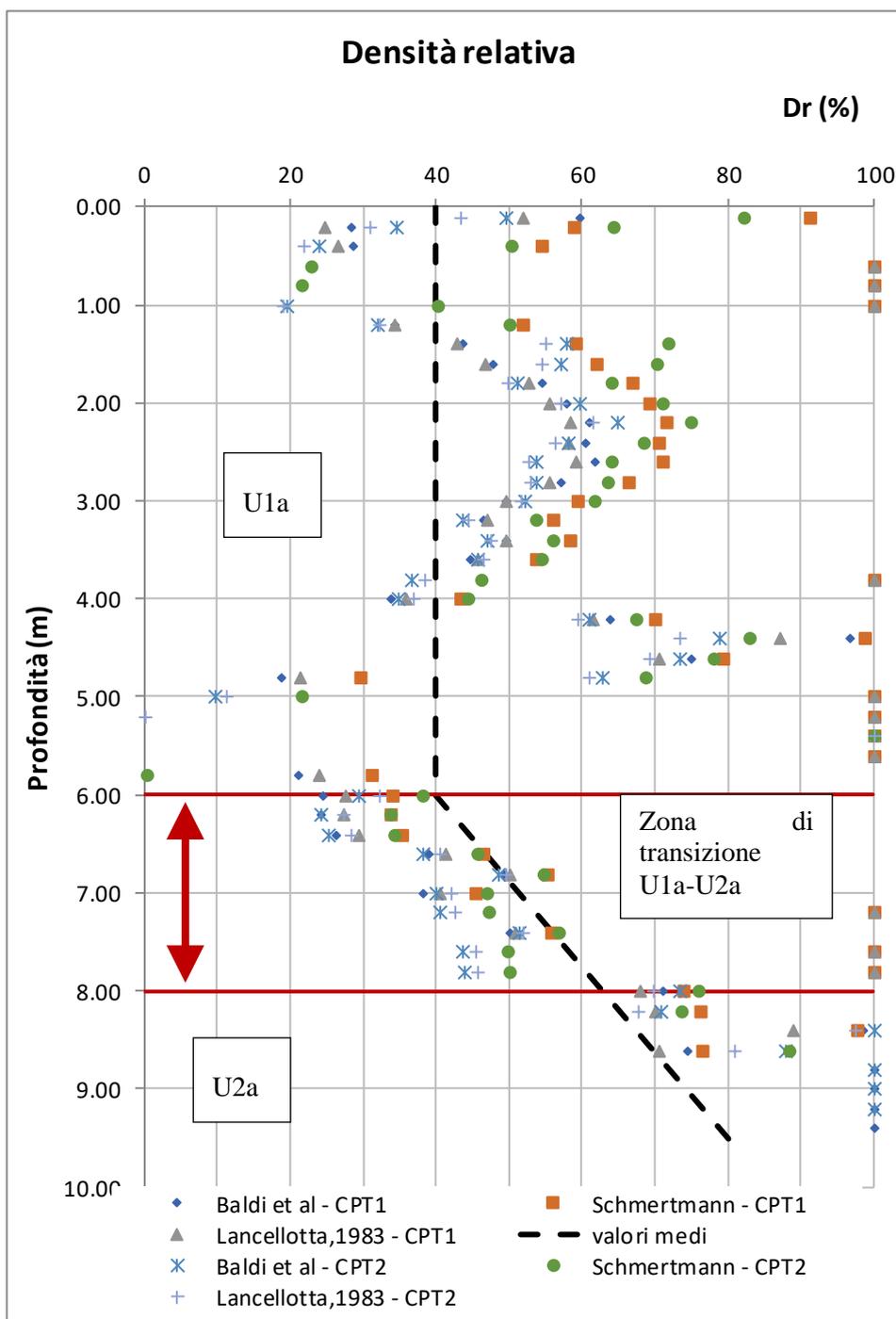
Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico Eop,1

Si riportano in seguito i moduli elastici Eop,1 da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di E0/10 e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.



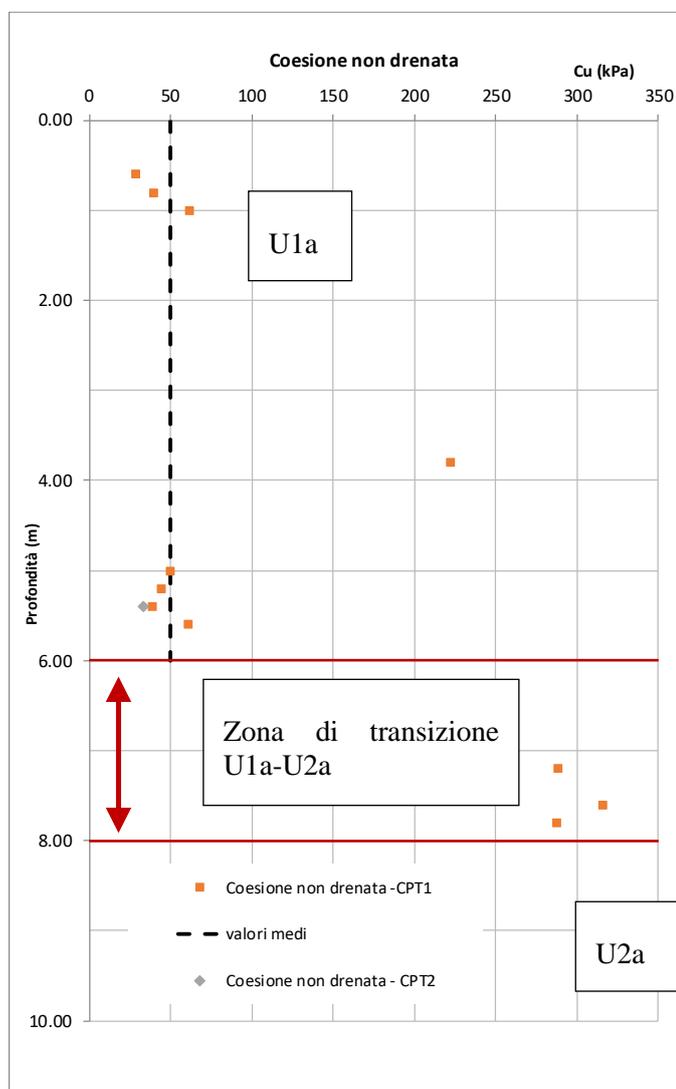
**10.1.7 Interpretazione prove in sito CPT: densità relativa**



Le prove CPT contribuiscono alla caratterizzazione dell'unità U2a per il modello 1b. Infatti le prove SPT condotte all'interno dell'unità U2a fanno riferimento al sondaggio SX2/2019, relativo al modello 1a.

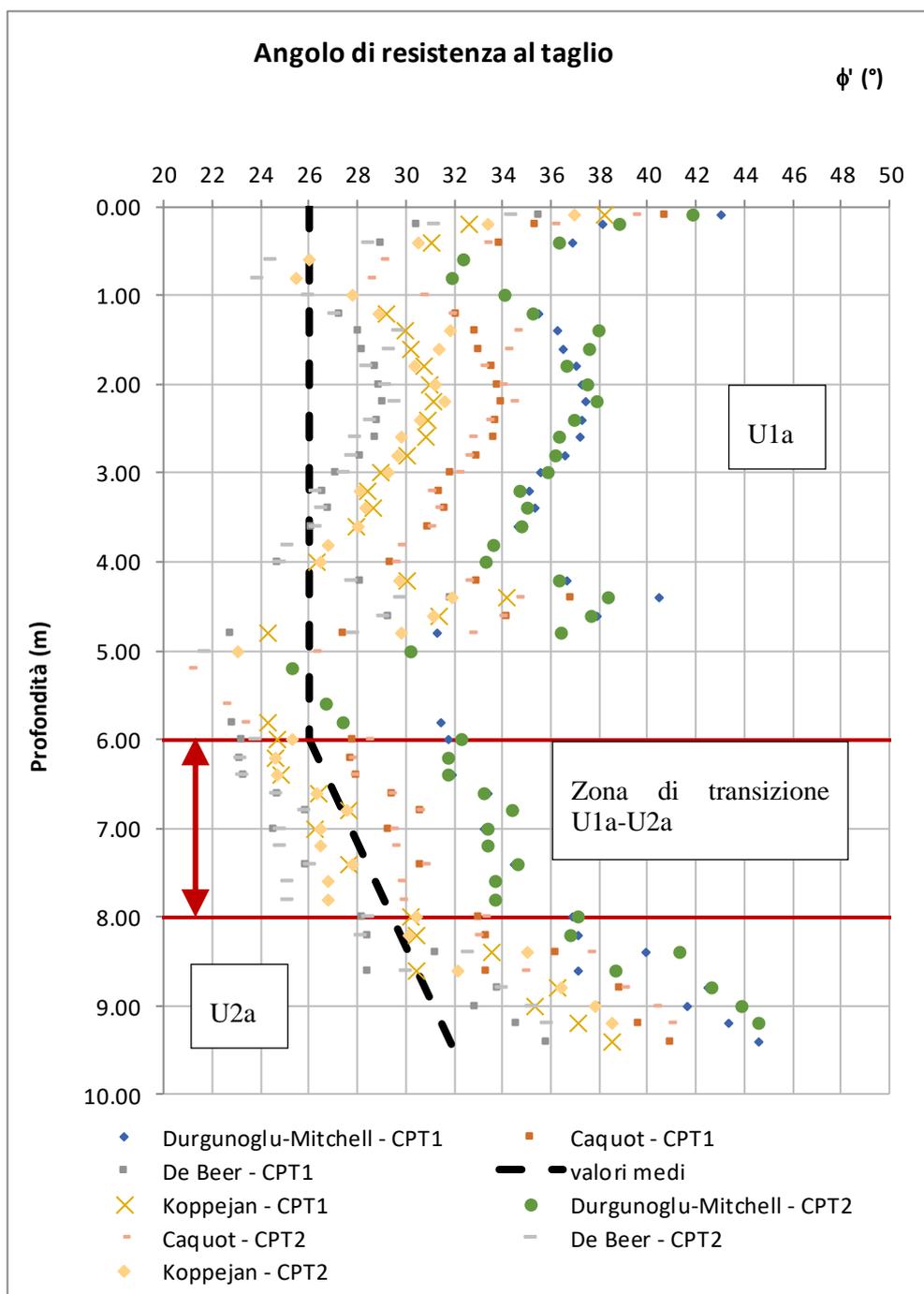
### 10.1.8 Interpretazione prove in sito CPT: coesione non drenata

Il valore della coesione non drenata considerata per l'unità geotecnica U1a (profondità 0-9m) è stato assunto pari a 50 kPa.



Valori maggiori di  $c_u$  a 7-8 m di profondità corrispondono al passaggio alla unità sottostante U2a. Oltre gli 8 m di profondità i terreni sono di natura incoerente.

**10.1.9 Interpretazione prove in sito CPT: angolo di resistenza al taglio**





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	175 di 452

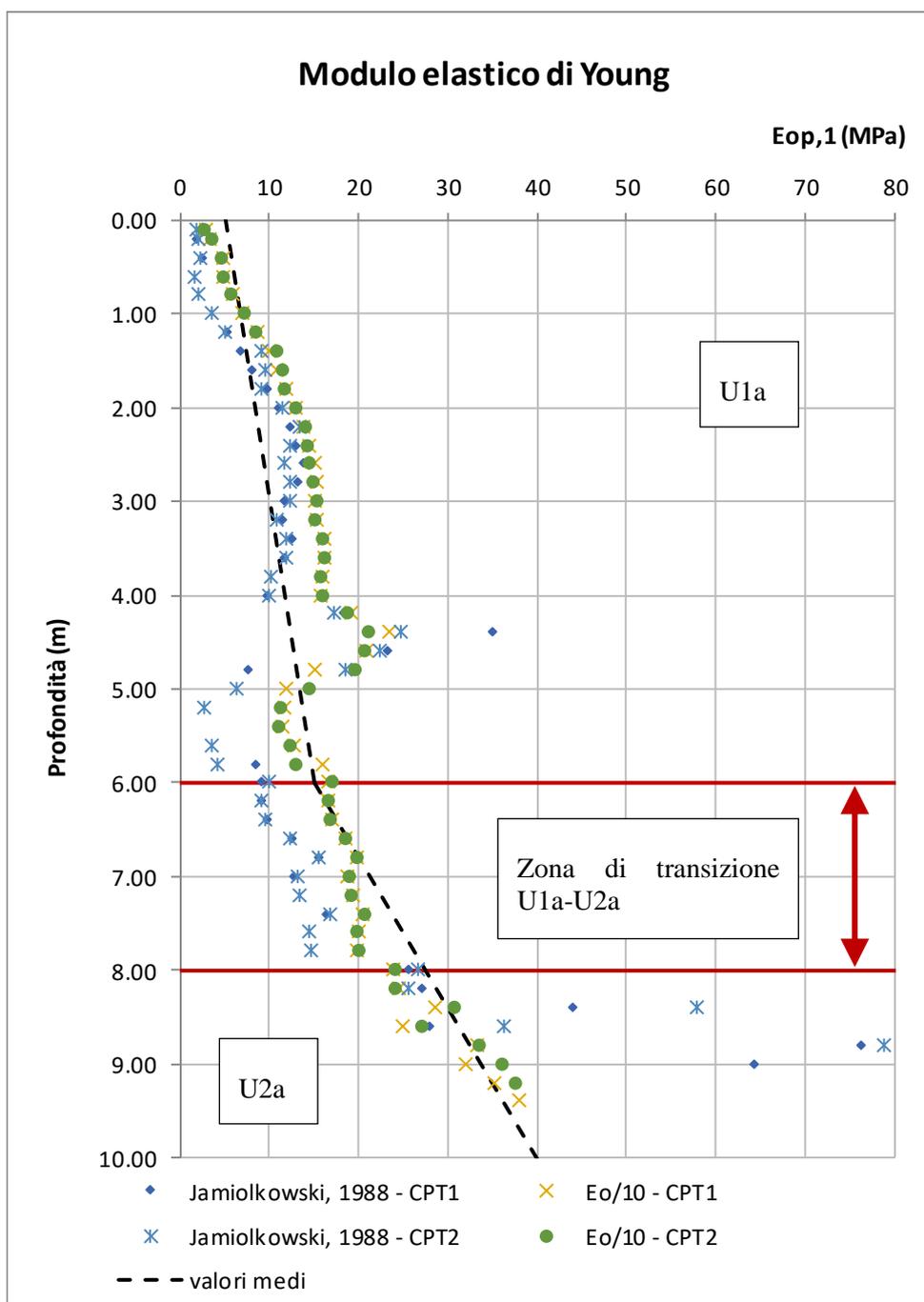
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Le prove CPT contribuiscono alla caratterizzazione dell'unità U2a per il modello 1b. Infatti le prove SPT condotte all'interno dell'unità U2a fanno riferimento al sondaggio SX2/2019, relativo al modello 1a.

#### ***10.1.10 Interpretazione prove in sito CPT: modulo elastico $E_{op,1}$***

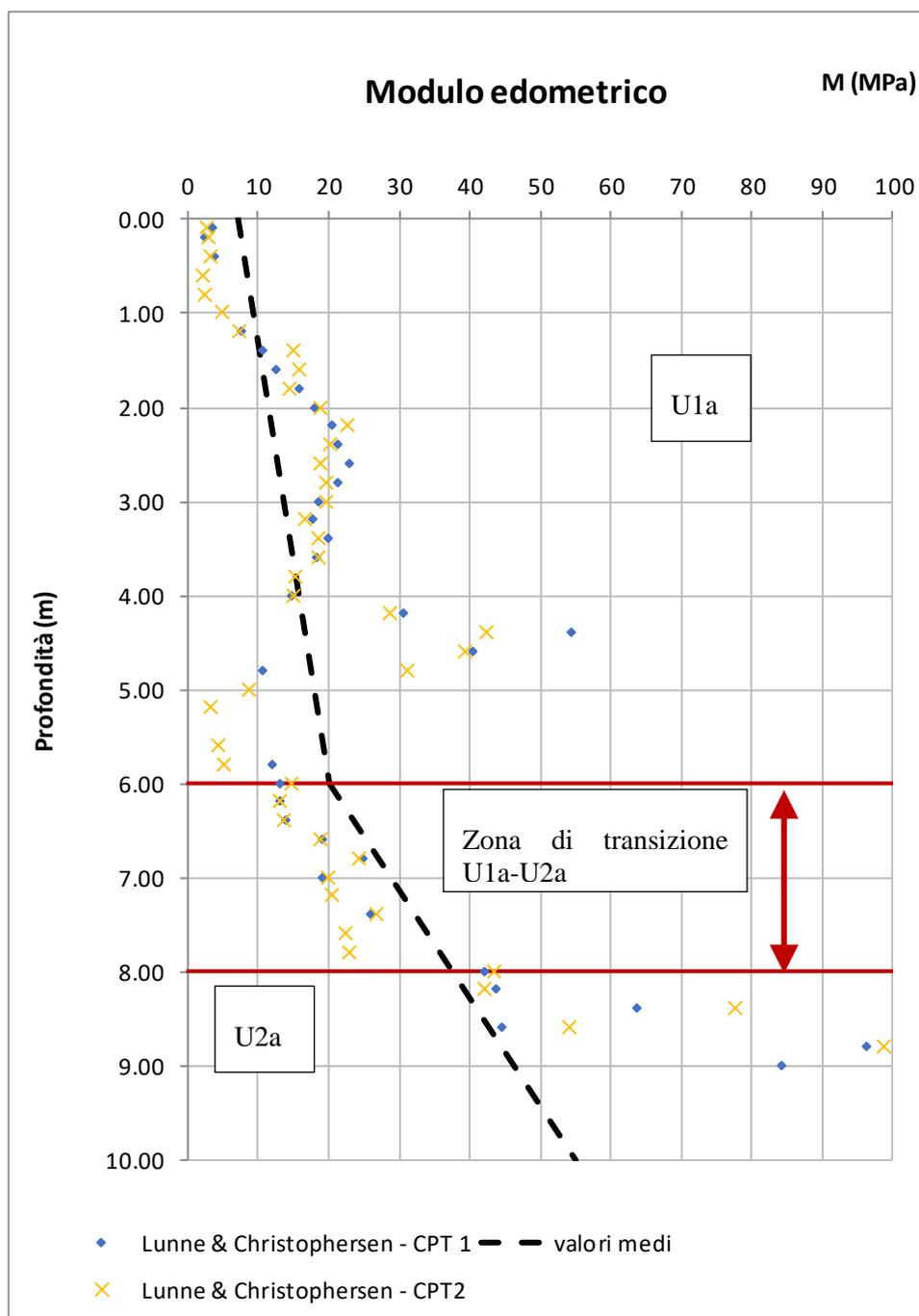
Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.



Le prove CPT contribuiscono alla caratterizzazione dell'unità U2a per il modello 1b. Infatti le prove SPT condotte all'interno dell'unità U2a fanno riferimento al sondaggio SX2/2019, relativo al modello 1a.

**10.1.11 Interpretazione prove in sito CPT: modulo edometrico**



Per il modello 1a, dove si hanno a disposizione solo prove SPT, il modulo edometrico  $M$  è stato ricavato da  $E_{op,1}$  con la seguente formulazione, assumendo  $n = 0.3$  (coefficiente di Poisson):

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

178 di 452

NR1J

01

D 29 GE

GE 00 05 001

A

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$E = \frac{M(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

### 10.1.12 Modulo elastico non drenato

Sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976), a partire dal grado di sovraconsolidazione OCR e l'indice di plasticità  $I_p$ , è stato ricavato il rapporto  $k = E_u/c_u$  tra il modulo elastico non drenato e la coesione non drenata.

Sulla base delle prove di laboratorio condotte, si rileva un indice di plasticità  $I_p$  del terreno compreso tra 14 e 19 (unità U1a). Considerando la presenza di terreni normalconsolidati ( $OCR = 1$ ), è stato utilizzato un rapporto  $k = E_u/c_u = 900$ .

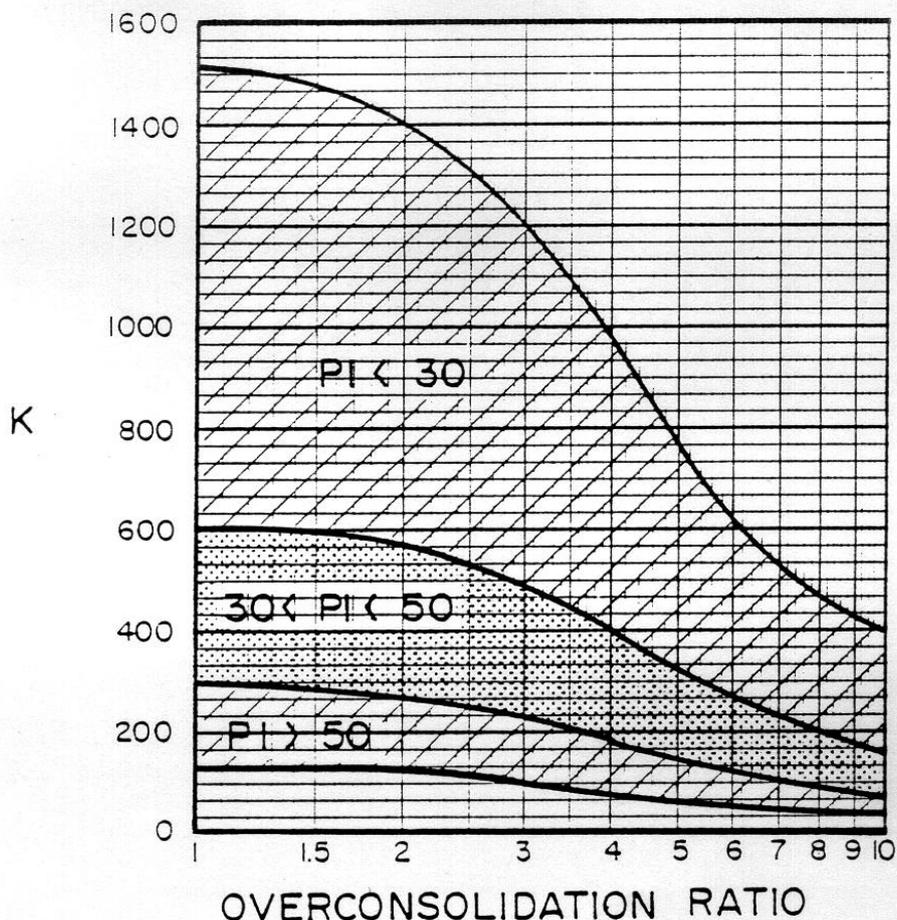


Figura 58 – Duncan & Buchigani

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A	<b>FOGLIO</b> 179 di 452

### 10.1.13 Interpretazione prove in sito CPT - Coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di permeabilità

Il coefficiente di permeabilità dei terreni può essere stimato con la correlazione di *Robertson (2010)* a partire dall'indice del tipo di terreno  $I_c$ :

$$\begin{array}{lll}
1.0 < I_c \leq 3.27 & k = 10^{(0.952 - 3.04 I_c)} & \text{m/s} \\
3.27 < I_c < 4.0 & k = 10^{(-4.52 - 1.37 I_c)} & \text{m/s}
\end{array}$$

Il coefficiente di consolidazione è stato stimato a partire dal coefficiente di permeabilità con la seguente espressione:

$$c_v = \frac{K}{\gamma_w} \cdot M$$

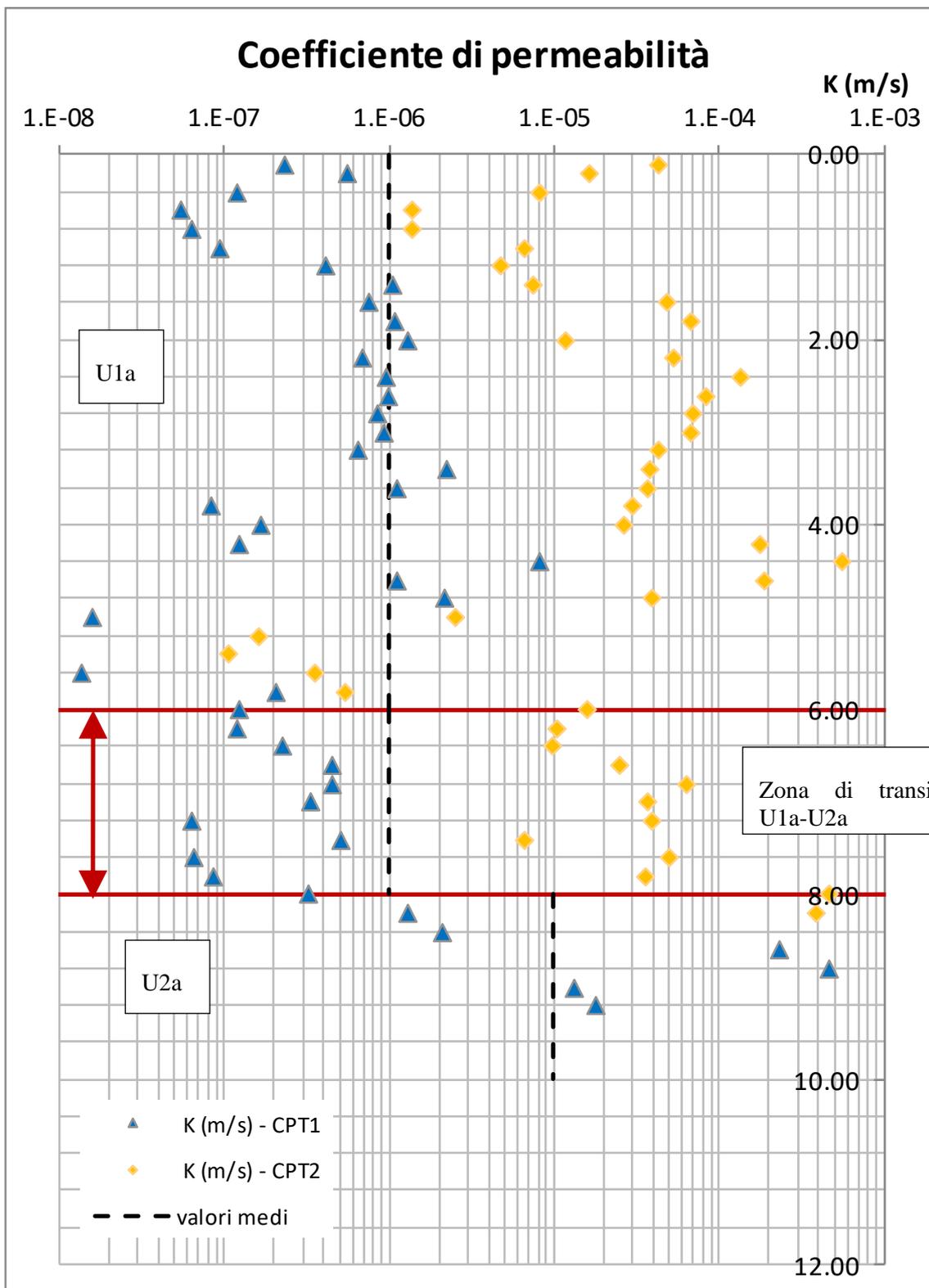
dove

$K$  è il coefficiente di permeabilità (m/s)

$\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>)

$M$  è il modulo edometrico dello strato (kPa)

Si riporta nel grafico seguente il coefficiente di permeabilità stimato con la correlazione di Robertson.





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

181 di 452

NR1J

01

D 29 GE

GE 00 05 001

A

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

In sintesi, per i coefficienti di permeabilità dei terreni si hanno a disposizione i seguenti dati.

### Unità U1a

Da Lefranc:  $1.1 \cdot 10^{-6}$  m/s

Da Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s

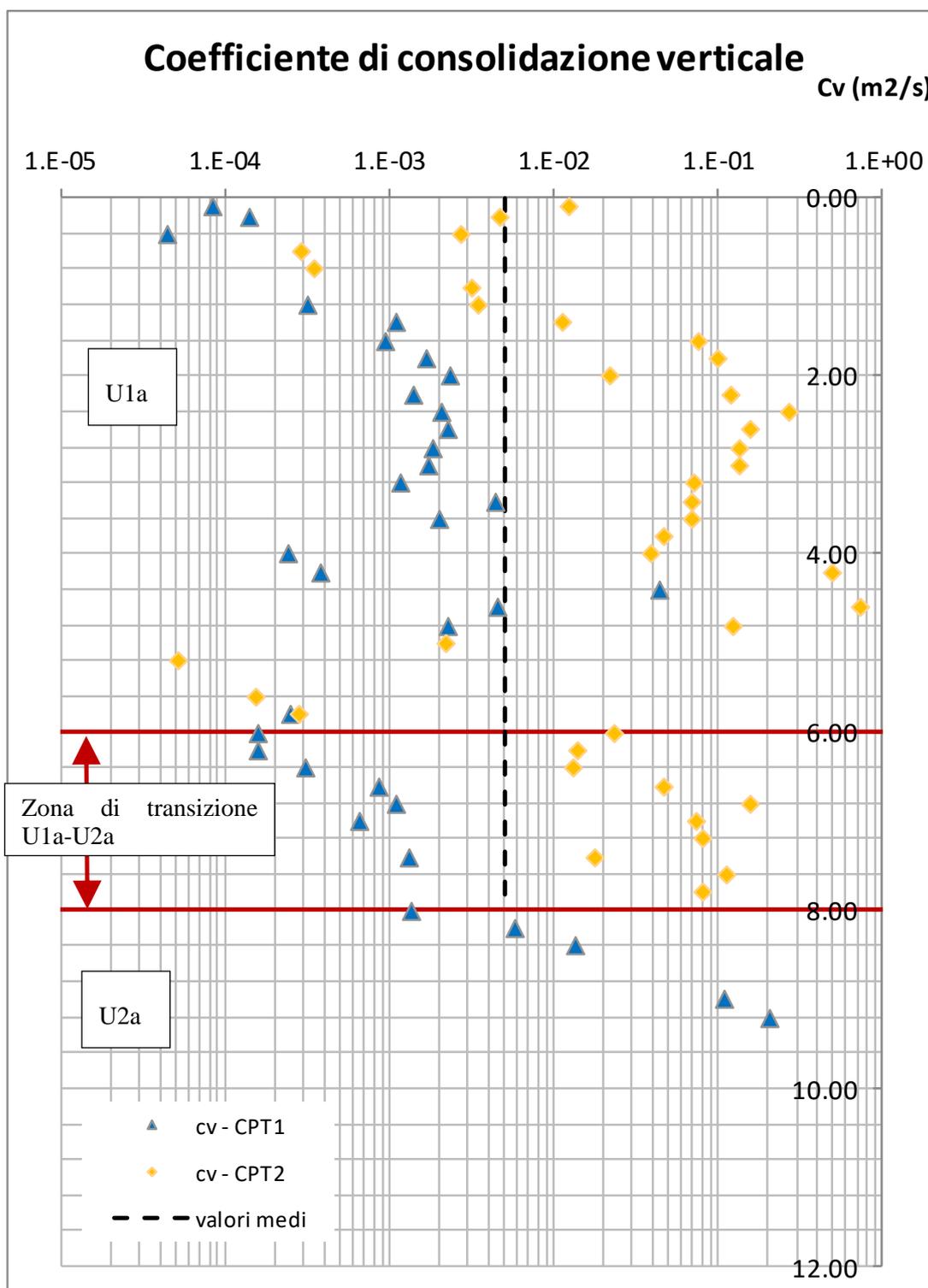
Valore medio assunto:  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s ( $1 \cdot 10^{-4}$  cm/s)

### Unità U2a

Da Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s

Valore medio assunto:  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s ( $1 \cdot 10^{-3}$  cm/s)

Si riporta nel grafico seguente il coefficiente di consolidazione verticale, il cui valore medio è stato definito solo per l'unità U1a, costituita da terreni a grana fine (limo sabbioso debolmente argilloso).



## SINTESI DELLA CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA LUNGO LA LINEA FERROVIARIA

Modello geotecnico 1 tra le pk 27+769 e 29+050

La falda di progetto si trova alla profondità di 3.86 m dal piano campagna.

### Modello 1a - Da pk 27+769 a 28+450

Per le opere: paratia di pali (28+000-28+060), opera di protezione alla pk 28+000 e muri di recinzione

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ (°)	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Coesione non drenata $c_u$ (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di permeabilità K media (cm/s)	Coefficiente di consolidazione verticale cv (m <sup>2</sup> /s)	Resistenza a compressione (MPa)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	7	7	3.5	16	GF	40	26	23.5	5	50	15	30	20	45	1*10 <sup>-4</sup>	5*10 <sup>-3</sup>	-
U2a	Sabbia limosa argillosa	7	11	4	9	16	GG	50	28	24.5	6.5	-	20	40	27	-	1*10 <sup>-3</sup>	-	-
U3c superficiale	PV- Depositi vulcanici litoidi: Tufo litoido alterato	11	16	5	13.5	16	GG	85	30	22.5	15	-	60	120	80	-	-	-	-
U3c profondo	PV- Depositi vulcanici litoidi: Tufo litoido	16	30	14	23	16	GG	-	32	-	150	-	340	-	-	-	-	-	20

### Modello 1b - Da pk 28+450 a 29+050

Per le opere: IN01 e IN02

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ (°)	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Coesione non drenata $c_u$ (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di permeabilità K media (cm/s)	Coefficiente di consolidazione verticale cv (m <sup>2</sup> /s)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	9	9	4.5	16	GF	40	26	23.5	5	50	10	20	13	45	1*10 <sup>-4</sup>	5*10 <sup>-3</sup>
U2a	Sabbia limosa argillosa	9	20	11	14.5	16	GG	60-70	30	25	6.5	-	30	60	40	-	1*10 <sup>-3</sup>	-
U2b	Sabbia limosa debolmente addensata	20	30	10	25	16	GG	55	26	22	0	-	20	40	25	-	-	-

Le profondità riportate in tabella sono indicative per le progressive indicate; per le profondità effettive si raccomanda di confrontare il profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera in esame.

Vista la mancanza di informazioni profonde oltre i 20 m del sondaggio S01-2017 e indicativamente fuori asse di 134 m, si ritiene di considerare valori cautelativi dei parametri di resistenza e deformabilità dell'unità geotecnica U2b secondo i capitoli generali descritti precedentemente relativi alla medesima unità. In particolare, per l'unità U2b si è fatto riferimento al modello 4.

L'unità U2a è stata caratterizzata a tramite i risultati delle prove SPT del sondaggio SX2/2019, per quanto riguarda il modello 1a.

Le prove CPT contribuiscono invece alla caratterizzazione dell'unità U2a per il modello 1b. Infatti nel sondaggio S01/2017 le prove SPT si fermano a 8 m di profondità, all'interno dell'unità U1a.

## 10.2 Modello geotecnico 2 – pk 29+100-30+100

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni (SA4-2018, S02-DH-2017, SX4-2019 e SX6-2019);
- prove geofisiche (down hole nel sondaggio S02-DH-2017, MASW 3, 4, 5 e 6 - 2019);
- prove di laboratorio meccaniche (prova di taglio diretto, prova edometrica, prova di compressione monoassiale e point load test).

Il presente modello geotecnico è stato suddiviso in funzione alle indagini in sito e di laboratorio secondo le pk riportate:

- Modello geotecnico 2a: pk 29+050-29+650
- Modello geotecnico 2b: pk 29+650-30+100

Nel primo tratto di linea ferroviaria (pk 29+050-29+650) si incontrano le seguenti unità geotecniche.

L'unità geotecnica U2a si rileva solo tra le pk 29+350-29+650.

Nel tratto precedente da 29+050 a 29+350 (dove U2a non è presente), la U3a ha spessore medio da 0 a -7 m da pc.

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)
U2a	Limo sabbioso	0	3,5
U3a	PVI- Depositi vulcanici limoso sabbiosi debolmente argillosi	3,5	5
U3b	PVS-Depositi vulcanici: sabbia limosa debolmente addensato con rari inclusi litici eterogenei	5	20
U3c	PVL-Depositi vulcanici litoidi addensato con inclusi litici eterogenei di tufo	20	30
U4a	Vulcanite di origine basaltica	30	35
U3c	PVL-Depositi vulcanici addensato con inclusi litici eterogenei di tufo	35	45

Mentre nel tratto di linea ferroviaria (pk 29+650-30+100) si sono incontrate le seguenti unità:

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)
U3b	PVS-Depositi vulcanici debolmente addensato con inclusi litici eterogenei	0	6,5
U4a	Rocchia basaltica	6,5	16
U3c	PVL-Depositi vulcanici litoidi addensato con inclusi litici eterogenei di tufo	16	30



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

185 di 452

NR1J

01

D 29 GE

GE 00 05 001

A

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Inoltre tra 29+900 e 30+100 si ha una stratigrafia ancora diversa:

U2a da 0 a 10 m

U3a da 10 a 15 m

U4a da 15 a 30 m

U3a da 30 a 40 m

In ogni caso in questa zona non sono presenti opere, pertanto non verrà definito un modello geotecnico ad hoc. Per i parametri geotecnici di U2A e di U3a si può fare riferimento ai valori del modello geotecnico 3.

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

Nel seguito sono presentate anche le caratterizzazioni geomeccaniche della formazione rocciosa di tipo basaltico incontrata dalle verticali di indagini (U4a), caratterizzata da roccia effusiva di tipo basaltico di colore grigio o grigio scuro da grana fine a finissima alterato e fratturato alternato a livelli metrici di probabili piroclastiti molto fratturate e alterate (sondaggio SA4-2018 e SX4-2019).

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei parametri di resistenza e deformabilità dell'unità geotecnica U2a si è fatto riferimento al modello 3.

Infine l'unità geotecnica U3c, costituita da depositi vulcanici litoidi di tufo e lave con presenza di ghiaia sabbiosa/sabbia limosa, è stata indagata dalle prove di laboratorio eseguite nel sondaggio SX4-PZ-2019.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	186 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.2.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

La maggior parte delle prove in sito SPT ha riscontrato valori di N<sub>spt</sub> a rifiuto, ad eccezione dei seguenti valori elaborati nei capitoli successivi che riguardano le profondità indicate in tabella:

Modello geotecnico di riferimento	Sondaggio	Profondità (m)	N <sub>spt</sub>
2a	SX6-PZ-2019	3	8
	SX4-PZ-2020	3,2	57
		6	62
2b	SA_04-2018	4	25

Modello 2a



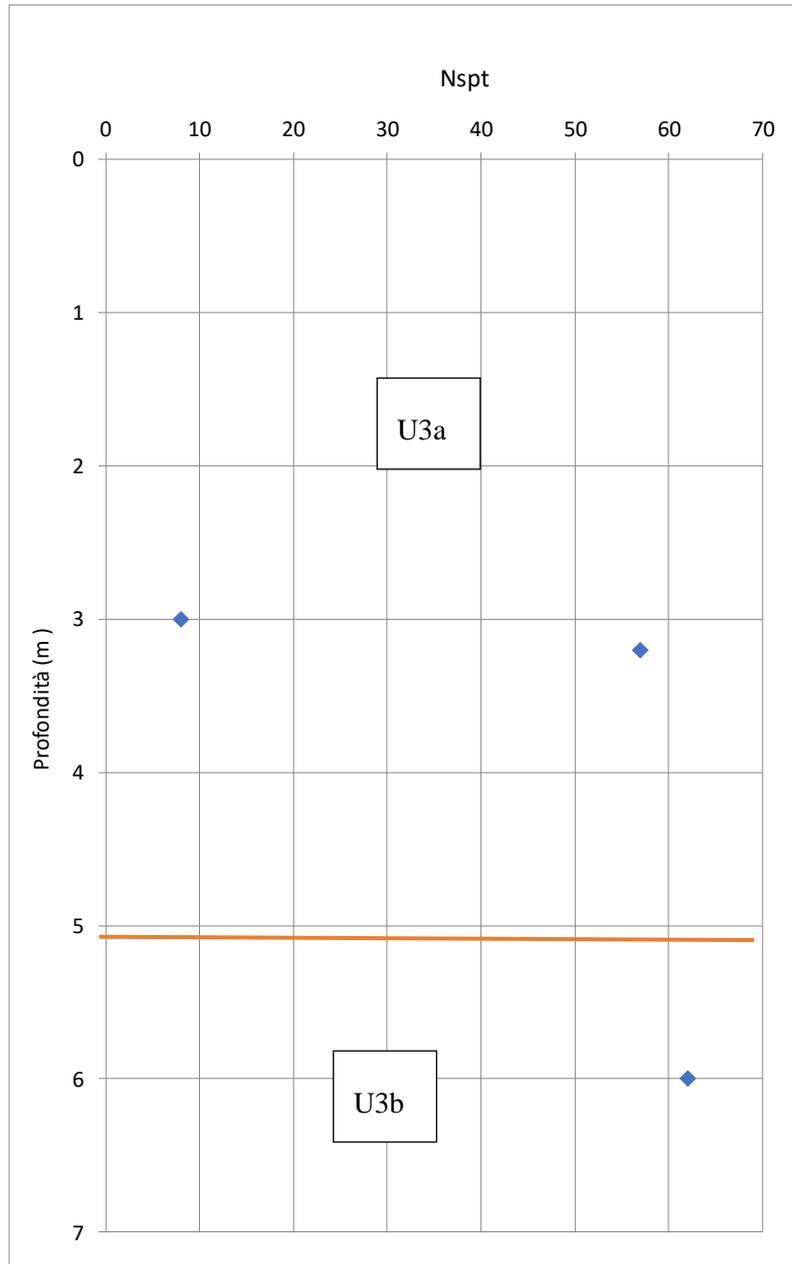
INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	187 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

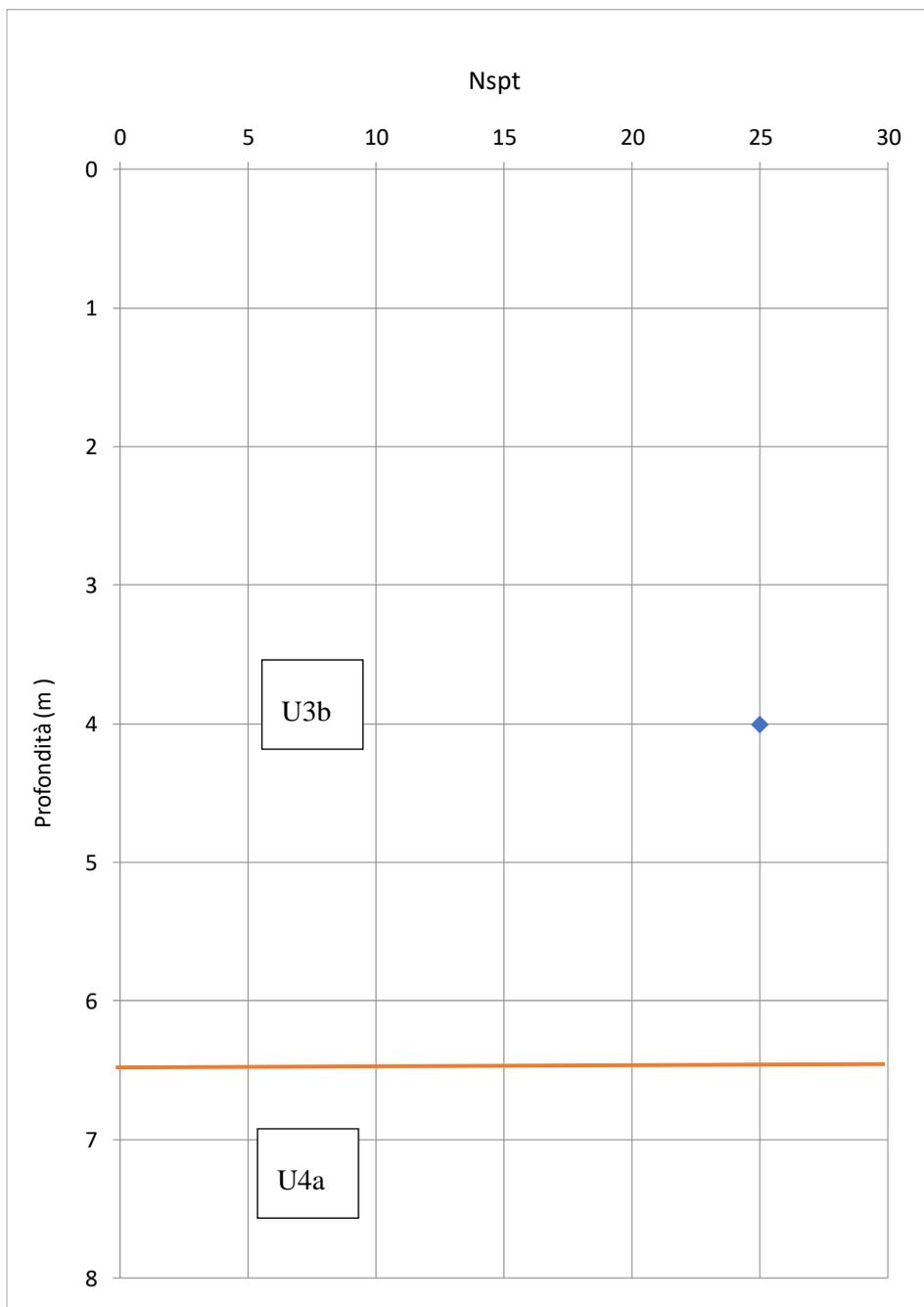


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	188 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Modello 2b



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	189 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.2.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

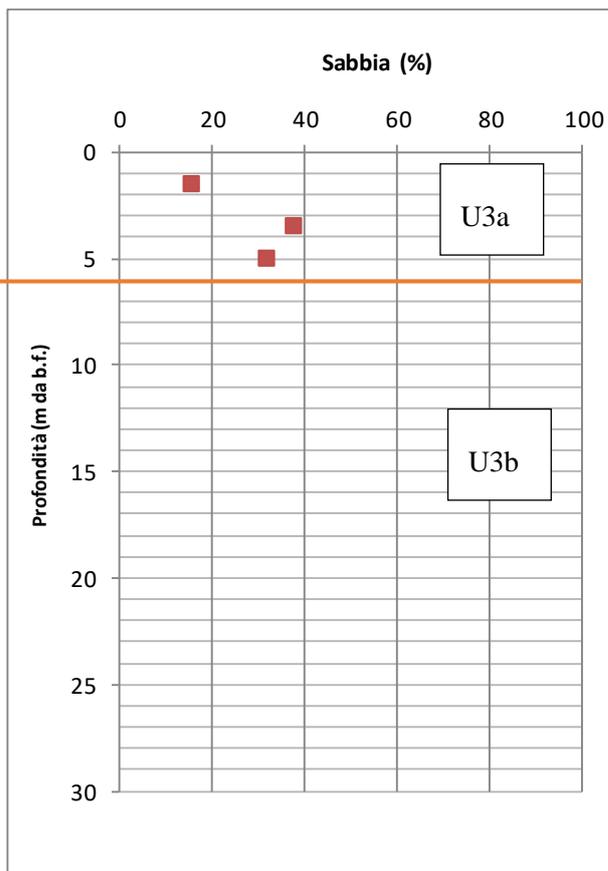
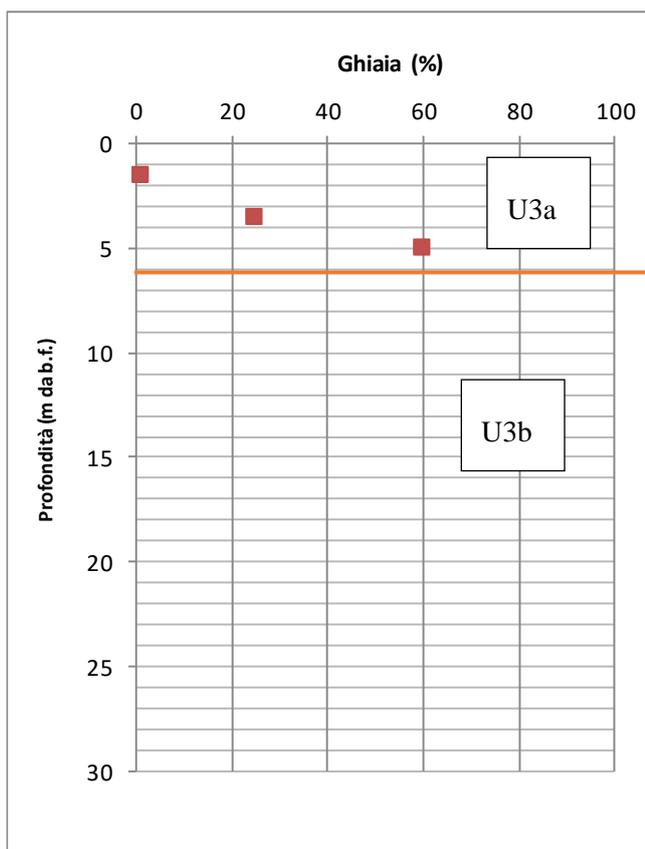
Sondaggio	Campione	Profondità (m)	GRANULOMETRIA			
			ghiaia	sabbia	limo	argilla
			%	%	%	%
S04-2018	CR1	5,4	17,9	30,54	31	20
	CR2	22,5	11,3	25,7	60,75	2,16
S_X4-2019	CR1	3,5	25	38	32	-
	CR2	5,2	-	-	-	-
	CR3	14	-	-	-	-
	CR4	18,2	-	-	-	-
	CR5	20	-	-	-	-
	CR6	28	-	-	-	-
	CR7	30,7	-	-	-	-
	CR8	36,7	-	-	-	-
	CR9	43,6	79	15	5	1
S_X6-2019	CI1	1,5	1	16	50	33
	CI2	5	60	32	8	-
	CR1	9,6	-	-	-	-

Modello 2a

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	190 di 452

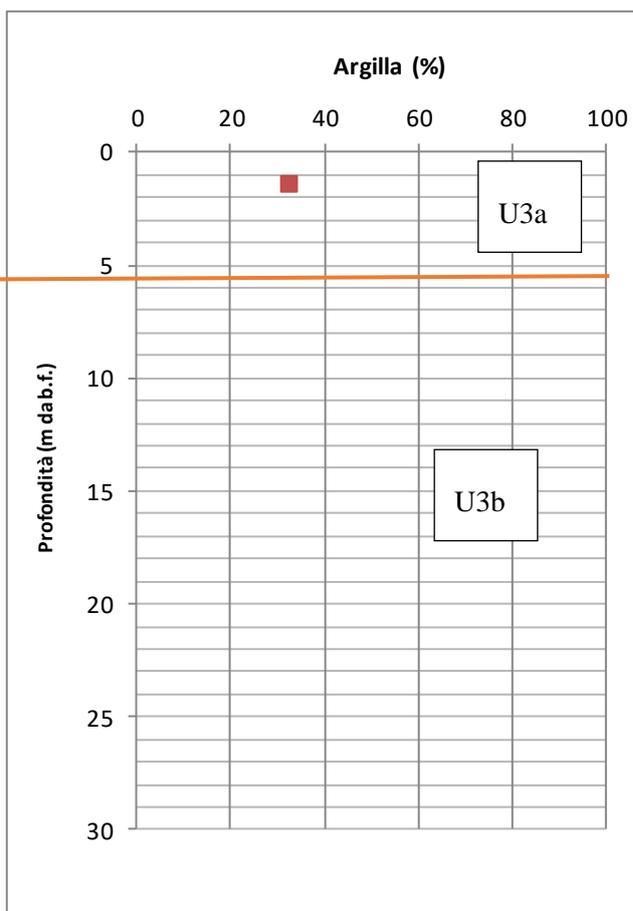
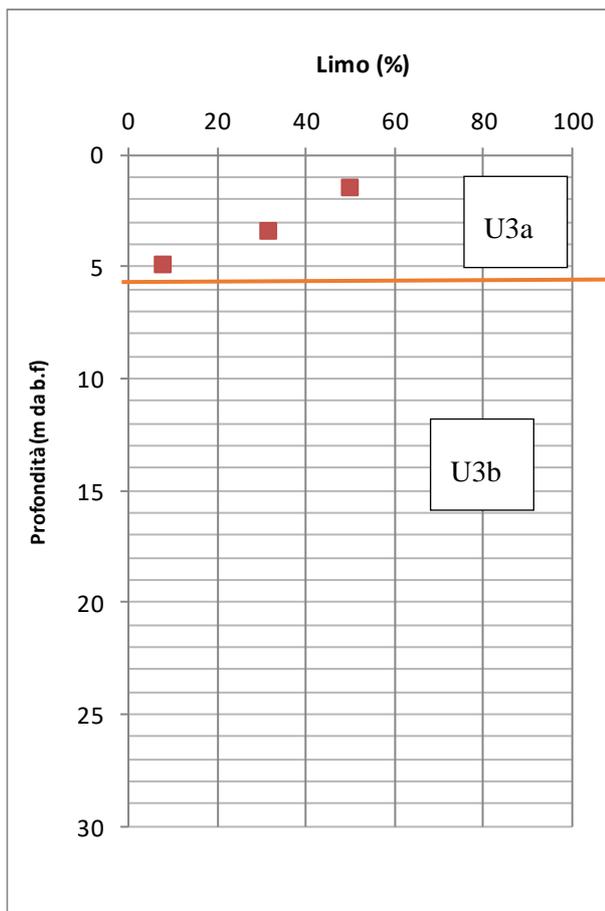
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	191 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

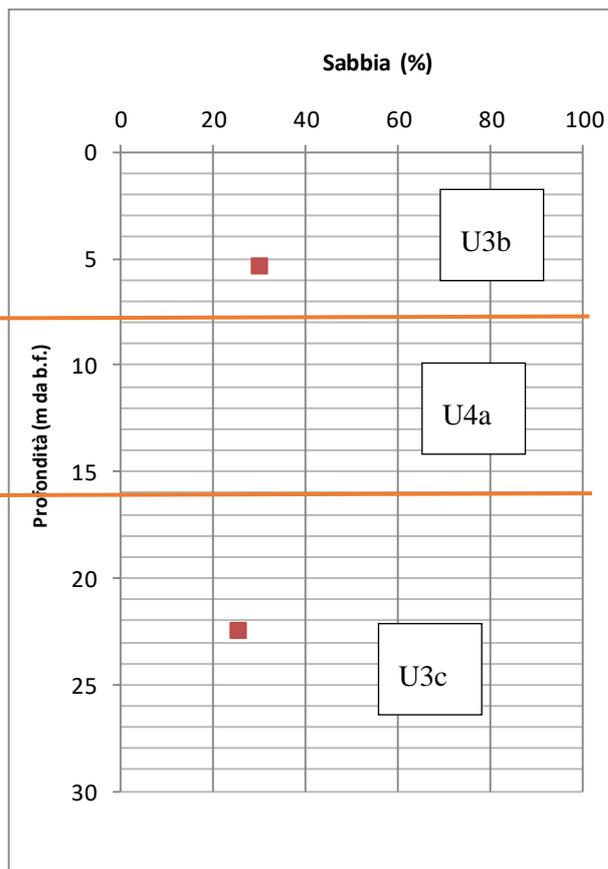
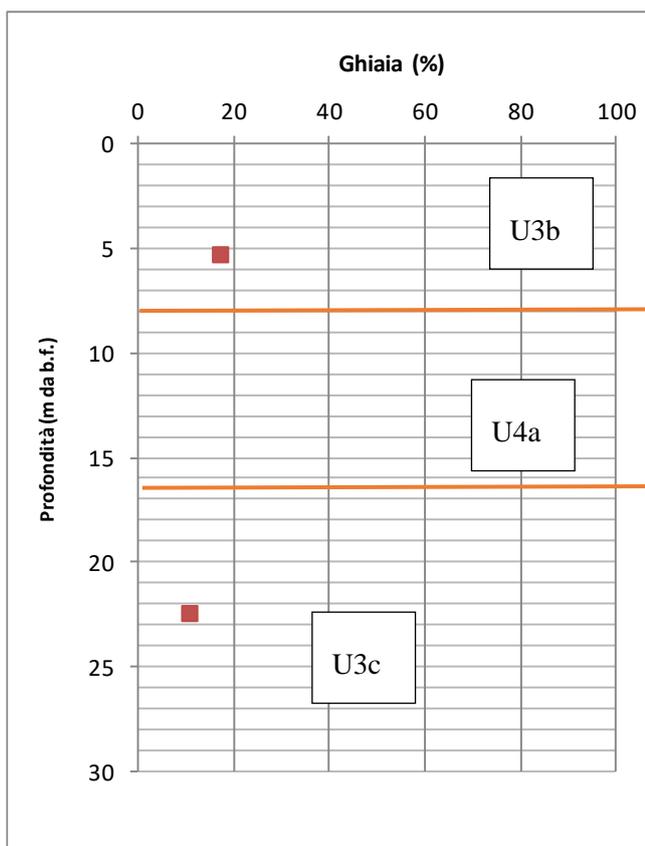


Modello 2b

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	192 di 452

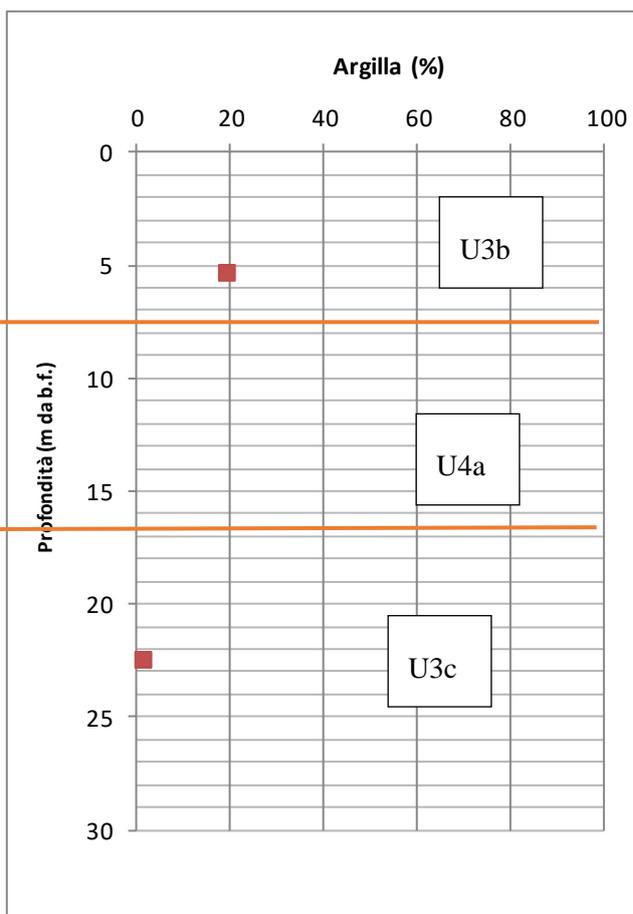
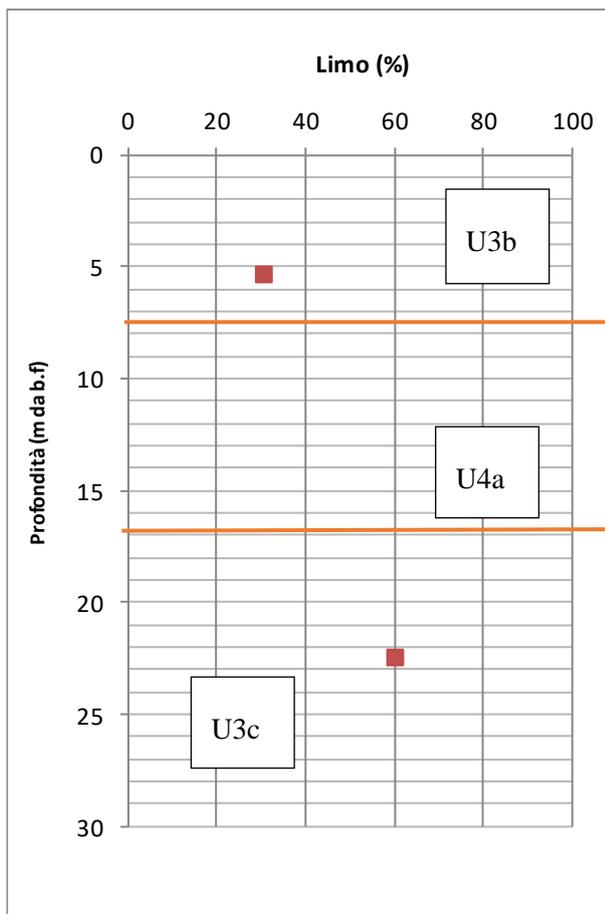
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	193 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	194 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

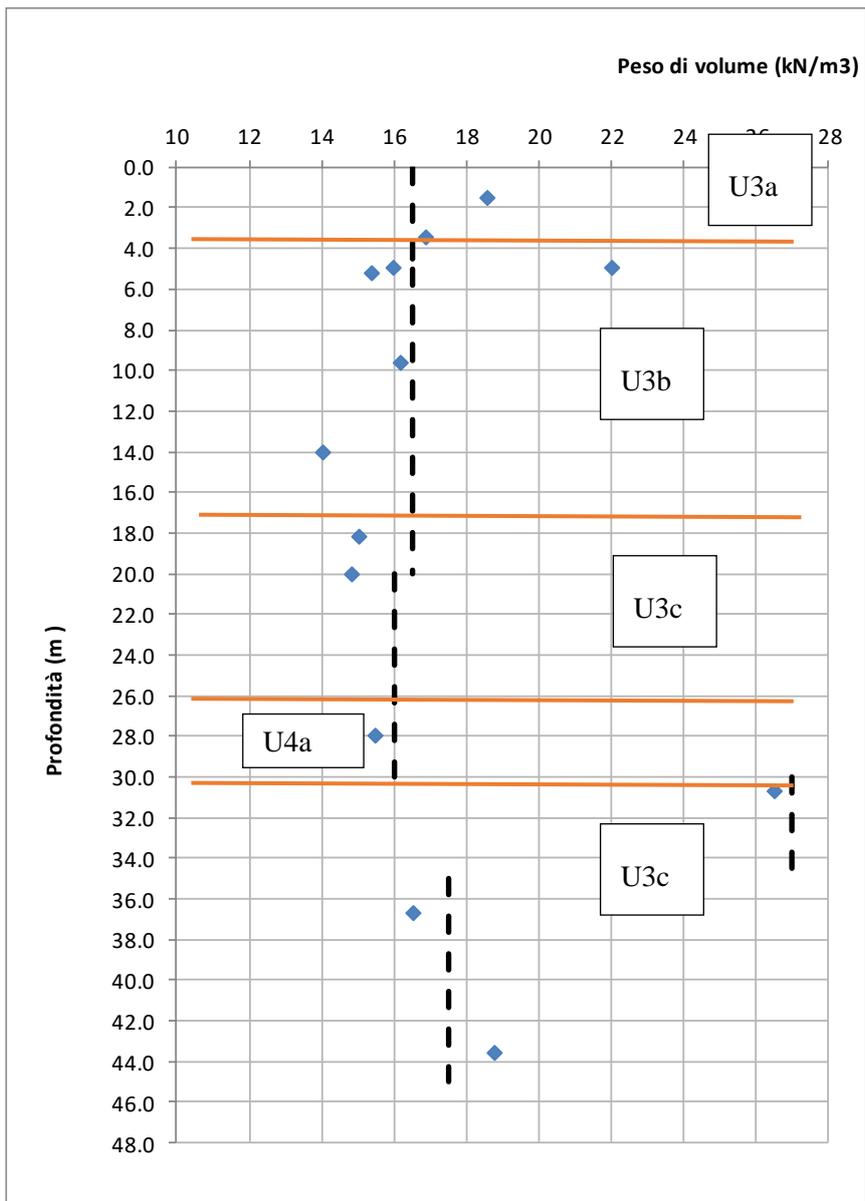
Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m3)
S02_DH-2017	CR1	5,0	22
S_X4-2019	CR1	3,5	16,85
	CR2	5,2	15,34
	CR3	14	14
	CR4	18,2	15
	CR5	20	14,82
	CR6	28	15,46
	CR7	30,7	26,48
	CR8	36,7	16,52
	CR9	43,6	18,74
S_X6-2019	CI1	1,5	18,55
	CI2	5	15,94
	CR1	9,6	16,16
S04-2018	CR1	5,4	15,54
	CR2	22,5	16,65

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	195 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Modello 2a

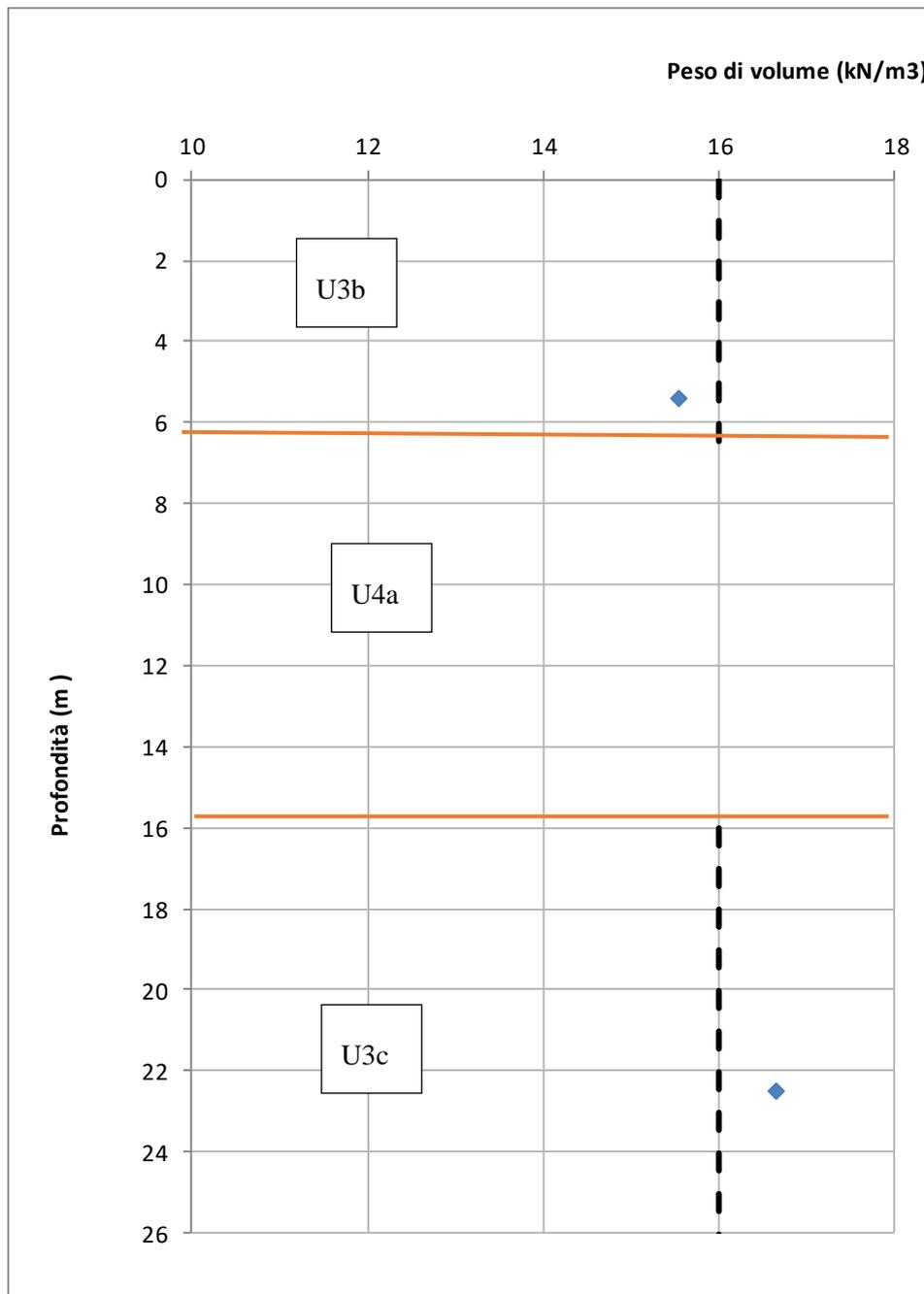


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

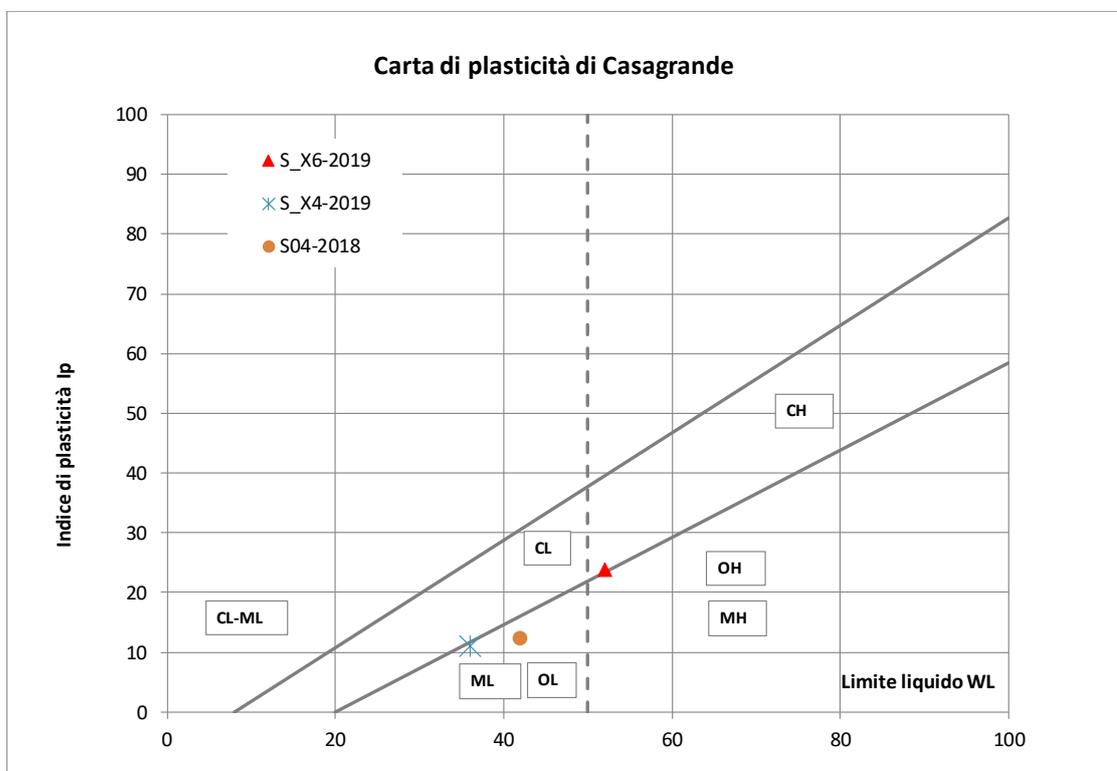
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	196 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Modello 2b



Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S04-2018	CR1	5,4	42	25,5	12,1
	CR2	22,5	-	-	-
S_X4-2019	CR1	3,5	36	24	11,1
	CR2	5,2	-	-	-
	CR3	14	-	-	-
	CR4	18,2	-	-	-
	CR5	20	-	-	-
	CR6	28	-	-	-
	CR7	30,7	-	-	-
	CR8	36,7	-	-	-
	CR9	43,6	-	-	-
S_X6-2019	CI1	1,5	52	28	23,8
	CI2	5	-	-	-
	CR1	9,6	-	-	-



OL= Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità

ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità

CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre

OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici

MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici

CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

### 10.2.3 Prove meccaniche di laboratorio

Le prove di laboratorio consistono in:

- prove di taglio diretto;
- prova edometrica;
- prova di compressione monoassiale;
- point load test.

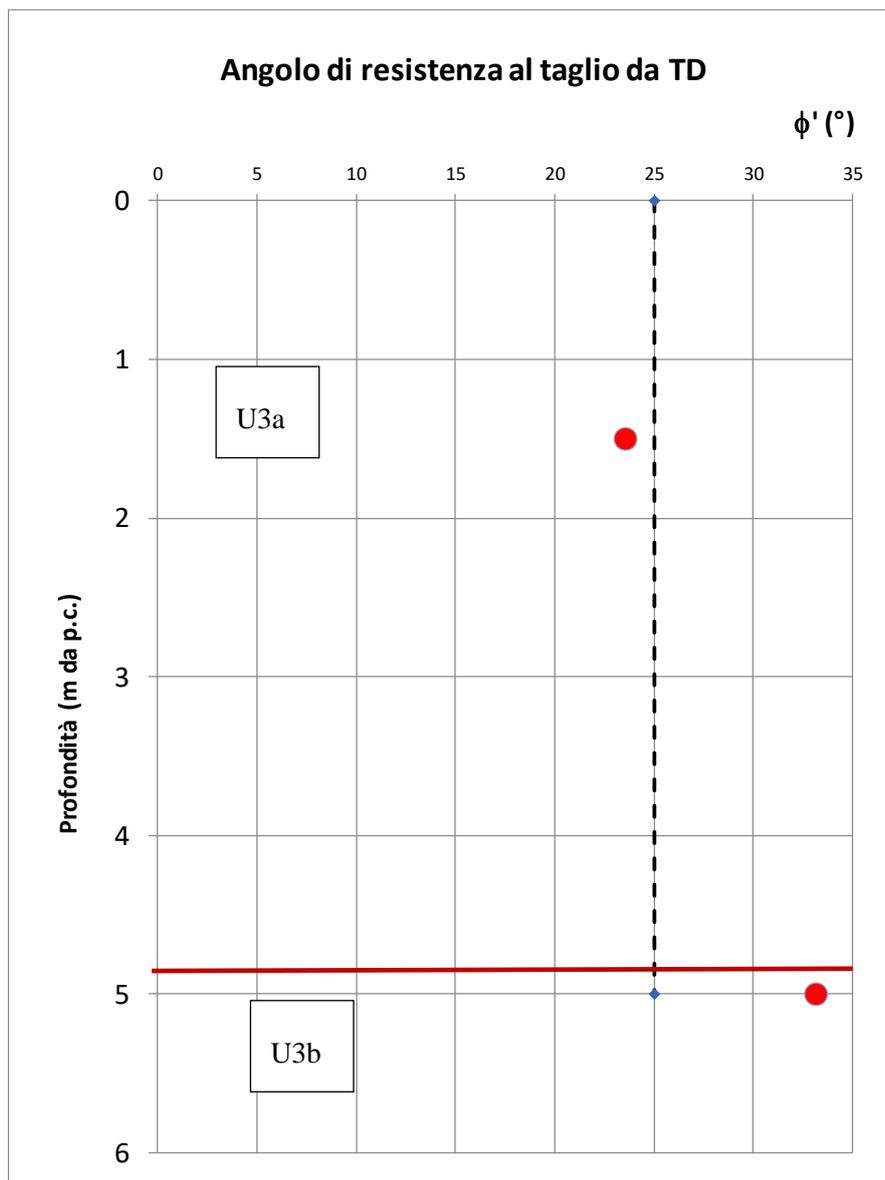
Si sono analizzate per prime le prove di taglio diretto riassunte di seguito:

<i>Prove di lab. - Taglio diretto</i>			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
23,54	20,8	1,5	SX6_PZ-2019
33,17	2,68	5	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	199 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



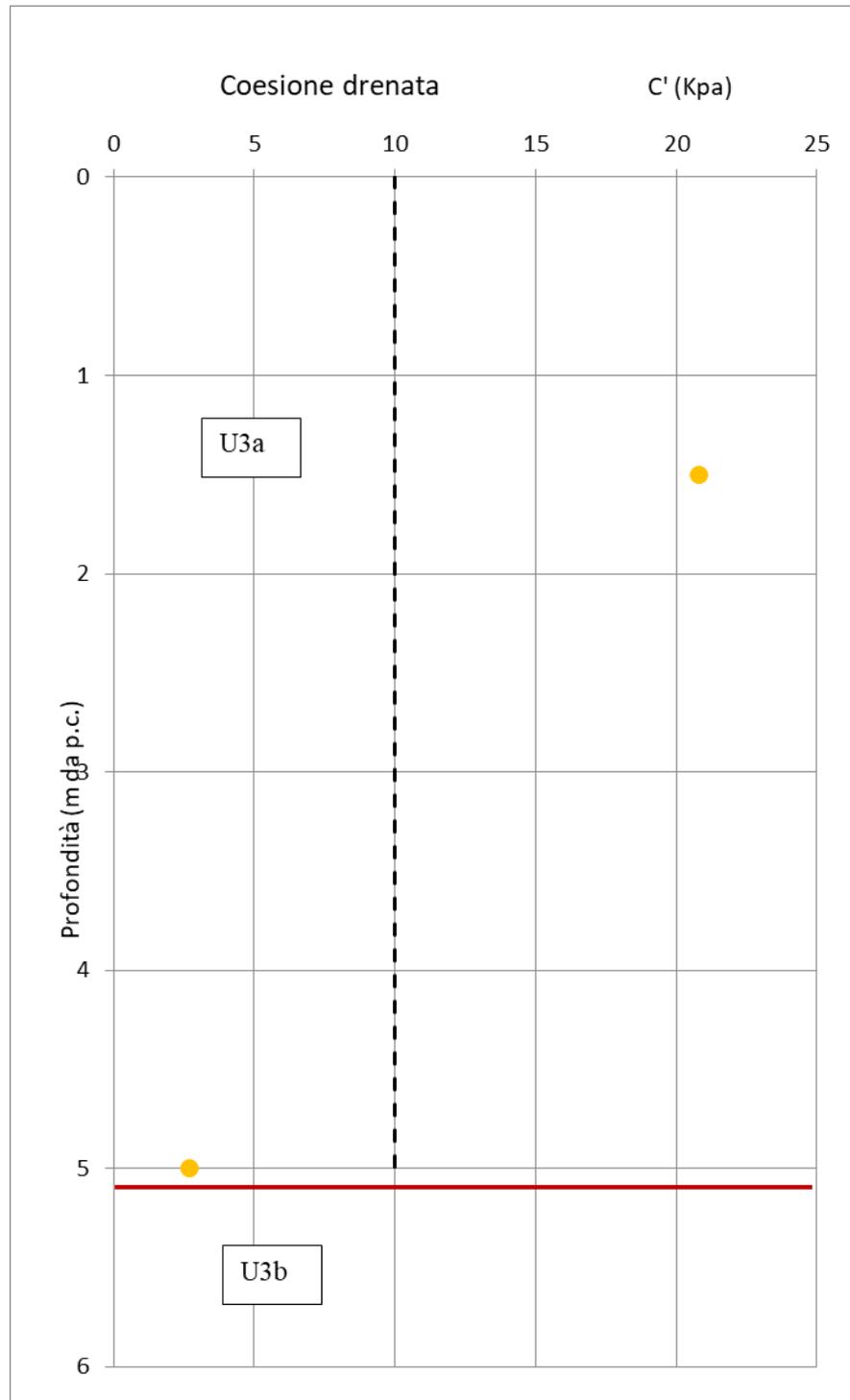
Gli angoli di attrito ricavati dalle prove di taglio diretto fanno riferimento a valori di picco.

Il valore di  $\phi'$  alla profondità di 5 m indica la transizione dall'unità U3a, caratterizzata dalla presenza di materiale a grana fine, all'unità U3b, di natura più granulare.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	200 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	201 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Il valore di  $c'$  alla profondità di 5 m indica la transizione dall'unità U3a, caratterizzata dalla presenza di materiale a grana fine, all'unità U3b, di natura più granulare. Per la definizione dei parametri di progetto si assume cautelativamente un valore  $c' = 10$  kPa per l'unità U3a e coesione nulla per la sottostante U3b.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	202 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

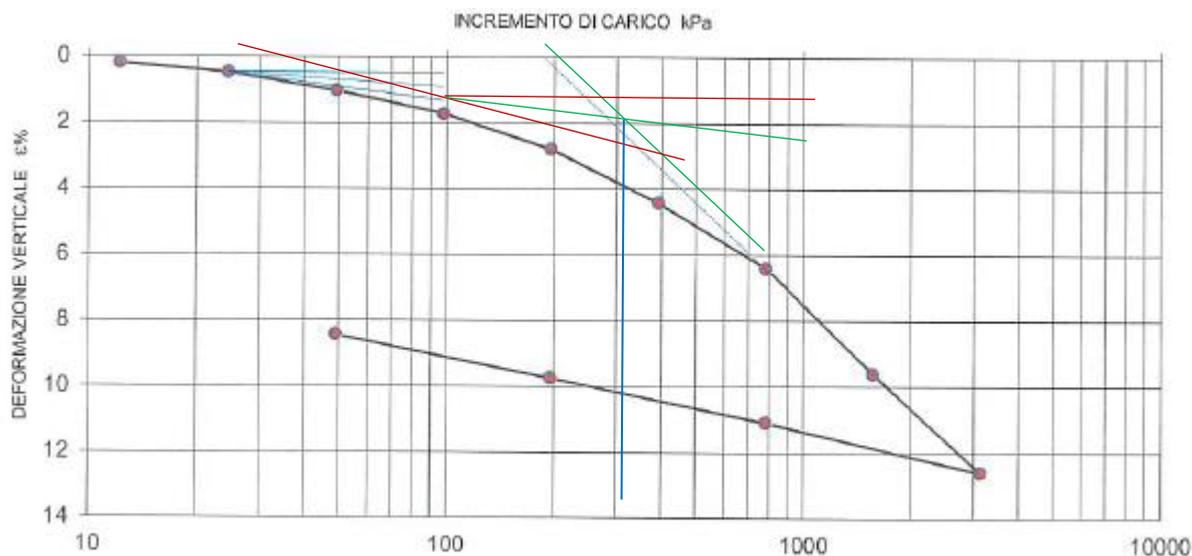
Si riportano in seguito i risultati della prova edometrica eseguita sul campione prelevato a 1.5 m di profondità nel sondaggio SX6/2019 (Unità U3a).

La pressione di preconsolidazione OCR è stata determinata dalla prova edometrica eseguita nel campione C11 del sondaggio SX6-2019 (profondità 1.50m) utilizzando il rapporto:

$$OCR = \sigma'_p / \sigma'_{v0}$$

Per terreni normalconsolidati  $OCR = 1$

Per terreni sovraconsolidati  $OCR > 1$



$z = 1.5 \text{ m}$

$\sigma'_{v0} = 25 \text{ kPa}$

$\sigma'_p = 300 \text{ kPa}$

Da cui risulta  $OCR > 10$ . Tuttavia ai fini progettuali verrà cautelativamente considerata la presenza di terreni leggermente sovraconsolidati ( $OCR = 2$ ).

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	203 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Va tenuto conto che il sondaggio ha una distanza di fuori asse dalla linea ferroviaria di circa 30 m.

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA									
norma ASTM D 2435 - method A									
COMMITTENTE:	ITAFERR S.p.A.								
CANTIERE:	Ordine 100038040 - Prove di laboratorio geotecnico integrative 2 per il PD Raddoppio Cesano - V. di Valle								
CAMPIONE:	CI1	SONDAGGIO: S_X6			PROFONDITA' PRELIEVO (m): 1,60-1,85				
COMMESSA:	5371/19/L023/0023	DURATA PROVE DAL:			11/12/19-14/01/20				
VERBALE ACC.:	ACC.240/19 del 09/12/2019	DATA CONSEGNA:			14/01/20				
GEO - CERT. n°:	GA-2020-0141	rev.0 del:			01/03/19				
COD. STRUMENTAZIONE:	HS10/14218								
NATURA DEL CAMPIONE: Limo con argilla, sabbioso di colore marrone grigiastro molto scuro									
Dp	DH	epsilon	e	e (t100)	av	mv	M	Cv	k
(kPa)	(mm)	(%)			(cm <sup>2</sup> /daN)	(cm <sup>2</sup> /daN)	(kPa)	(cm <sup>2</sup> /s)	(m/sec)
12,3	0,037	0,19	0,784	0,784					
24,5	0,095	0,48	0,778	0,780	0,042	0,024	4228	2,69E-02	6,23E-09
49,1	0,205	1,03	0,768	0,772	0,040	0,022	4459	2,44E-02	5,36E-09
98,1	0,345	1,73	0,756	0,762	0,025	0,014	7007	2,32E-02	3,24E-09
196,2	0,558	2,79	0,737	0,743	0,019	0,011	9211	6,14E-03	6,54E-10
392,4	0,884	4,42	0,708	0,710	0,015	0,008	12037	1,75E-03	1,43E-10
784,8	1,280	6,40	0,672	0,676	0,009	0,005	19818	1,78E-03	8,80E-11
1569,6	1,921	9,61	0,615	0,619	0,007	0,004	24487	7,94E-04	3,18E-11
3139,2	2,623	12,62	0,561	0,564	0,003	0,002	52146	3,43E-04	6,46E-12
784,8	2,219	11,10	0,589	0,587					
196,2	1,949	9,75	0,613	0,611					
49,1	1,687	8,44	0,636	0,635					

La prova edometrica fornisce valori del modulo edometrico più cautelativi rispetto a quelli stimati dai moduli operativi Eop,1 (si veda in seguito). In particolare M stimato dalla prova è compreso tra 4.2 e 52 MPa nel range di pressione 25-3139 kPa.

Inoltre dalla prova edometrica è stato possibile stimare il coefficiente di permeabilità e di consolidazione verticale.

Si hanno valori compresi nei range seguenti:

$$K = 6 \cdot 10^{-9} \div 6 \cdot 10^{-12} \text{ m/s } (6 \cdot 10^{-7} \div 6 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s})$$

$$c_v = 2.5 \cdot 10^{-6} \div 3.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

In seguito si riporta l'indice di attività del terreno.

	indice plasticità	frazione argillosa	indice di attività
<b>e0</b>	<b>IP</b>	<b>CA</b>	<b>A</b>
0,77	24	33	0,73

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	204 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

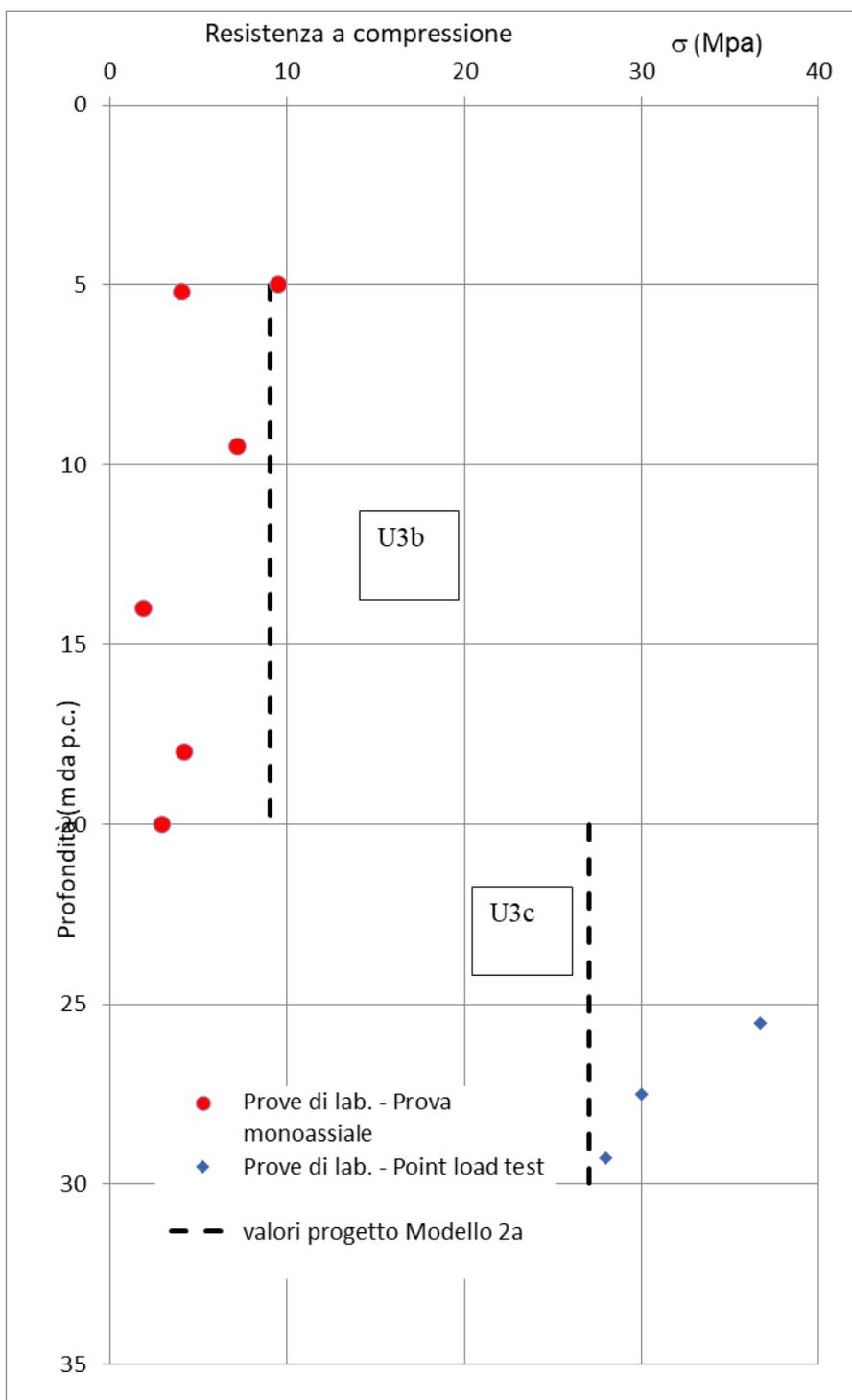
Per quanto riguarda i depositi vulcanici litoidi incontrati durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio. Per ogni profondità è riportata la relativa resistenza a compressione.

<i>Prove di lab. - Prova monoassiale</i>			<i>Prove di lab. - Point load test</i>			
$\alpha$ Mpa	Profondità (m)	Sondaggio	$\alpha$ Mpa	$IS_{(50)}$	Profondità (m)	Sondaggio
9,48	5	S02-2017				
4	5,2	SX04-PZ-2019				
1,9	14					
4,2	18					
2,9	20					
7,2	9,5	SX6_PZ-2019	29,26	1,33	28	SX04-PZ-2019
			27,5	1,25	30	
			25,52	1,16	36,7	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	205 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



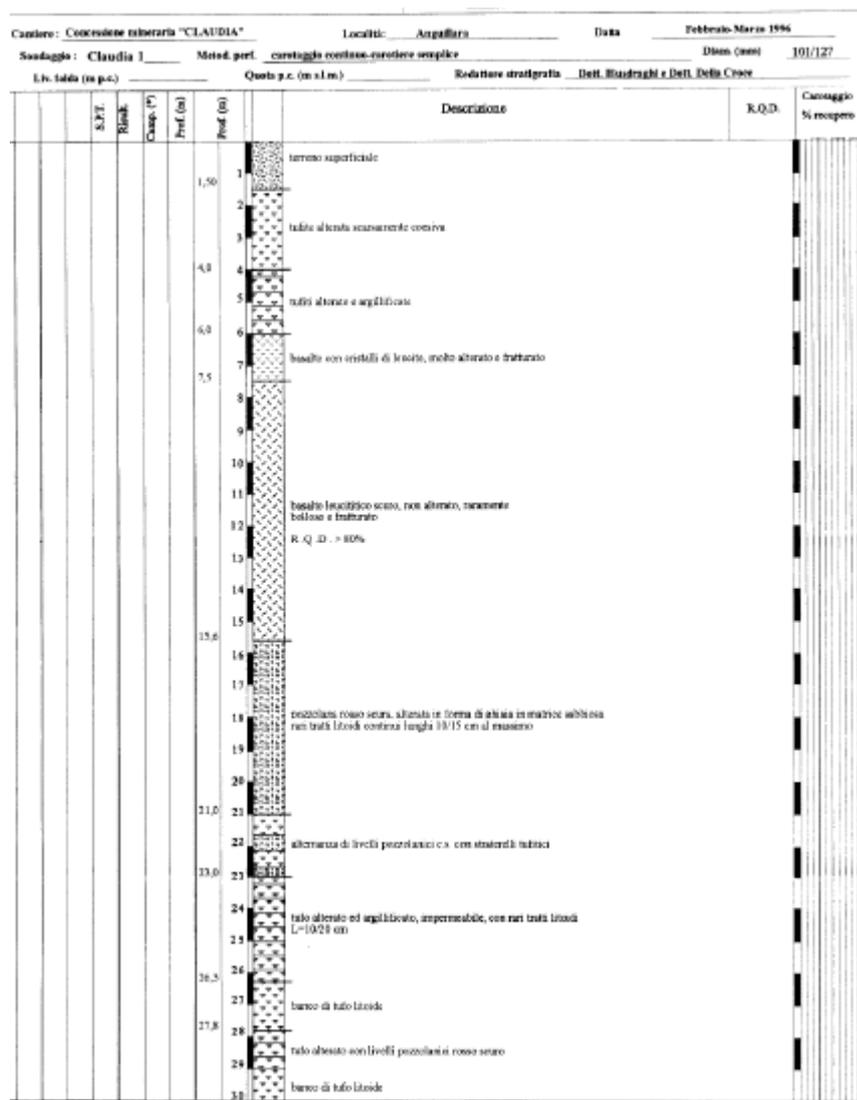
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	206 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Per quanto riguarda l'unità geotecnica U4a dalle descrizioni stratigrafiche dei sondaggi e dai valori di RQD, (compreso tra 60% e 80%) riportati sui log dei sondaggi, il materiale intercettato risulta essere caratterizzato da basalto a grana finissima, con alterazione da media ad elevata, a luoghi frantumata. Complessivamente comunque, sia dai sondaggi che dai rilievi geomeccanici degli affioramenti, il materiale risulta in buone condizioni: Tale unità viene individuata tra le profondità di 30 m e 35 m nel modello 2a (progressive dalla 29+050 alla 29+650), mentre nel modello 2b (dalla pk 29+650 alla 30+100) viene individuata dalla profondità di 6.5 m a 16 m.

A favore di quanto detto è anche il sondaggio storico 1 nei pressi dell'area acqua Claudia, che riscontra nella stratigrafia un RQD > 80%.



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	207 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

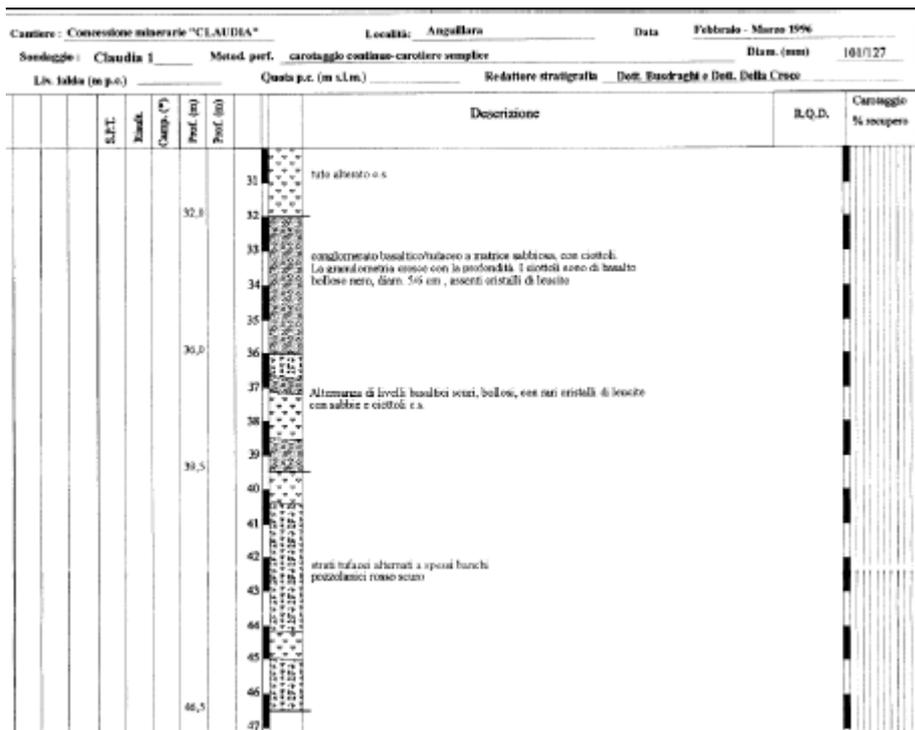
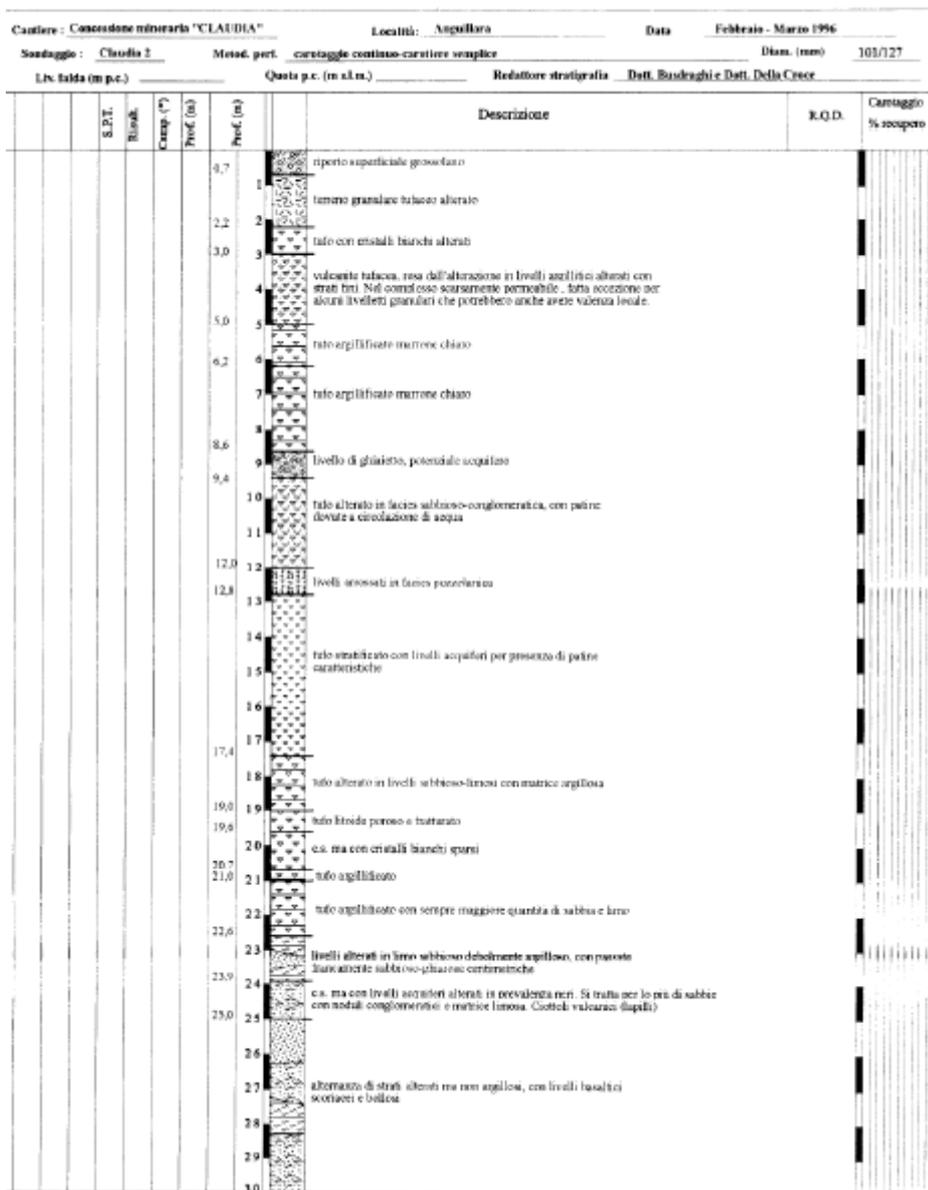


Figura 59 - Sondaggio 1 storico

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	208 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	209 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

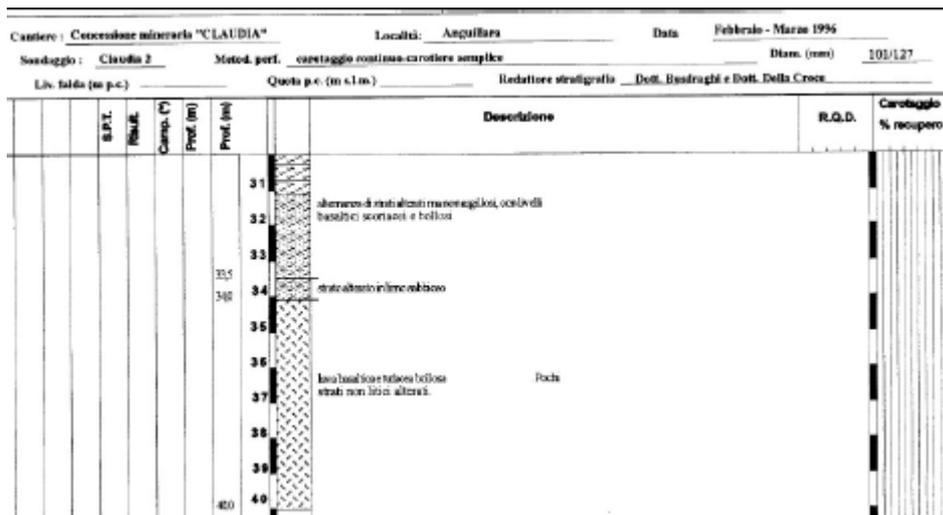


Figura 60 – sondaggio 2 storico

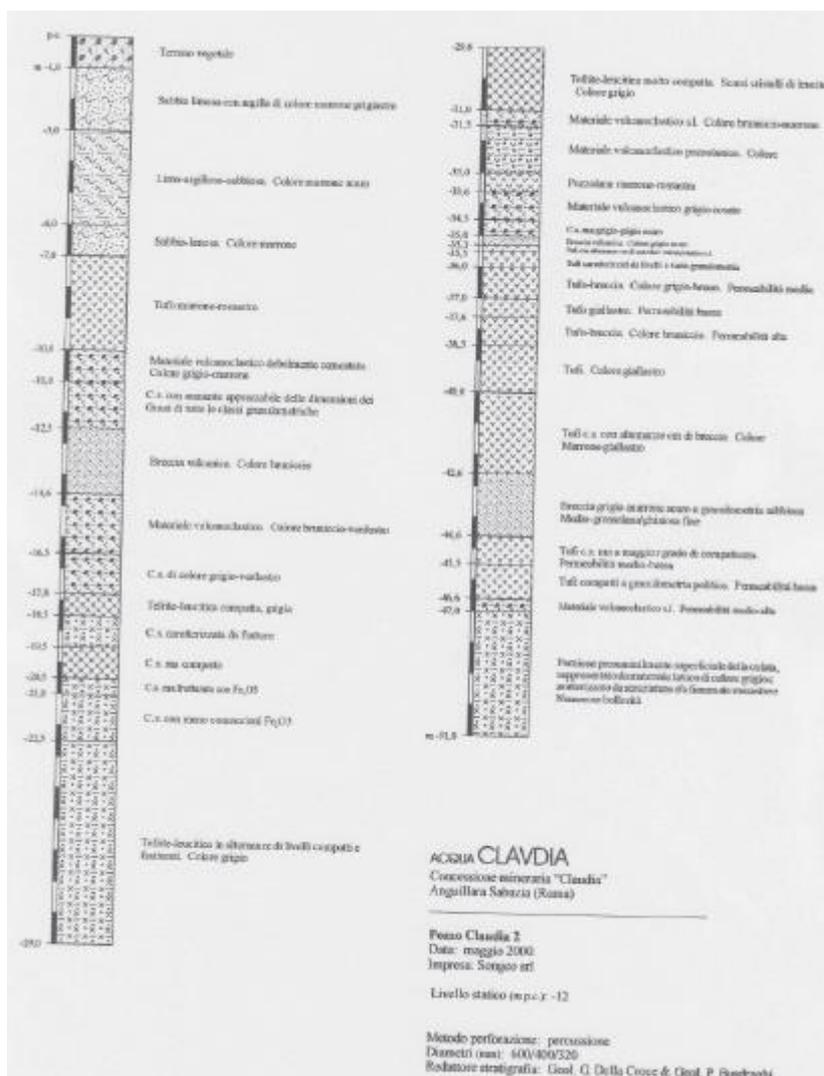


Figura 61 – Claudia 2 pozzo storico

Dalla stratigrafia dei sondaggi SX4-PZ-2019 si riscontra come la roccia di tipo basaltico sia fortemente fratturata. Mentre nel sondaggio S04-2018 la roccia risulta meno fratturata e concorde con la stratigrafia descritta nei sondaggi storici di acqua Claudia.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	211 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Figura 62 – Cassetta catalogatrice sondaggio SX4-2019

 <p><b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>212 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	212 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	212 di 452								



**Figura 63 - Cassette catalogatrici sondaggio SA4-2018**

In base a queste evidenze ed in base a quanto emerso dai rilievi geomeccanici eseguiti sugli affioramenti delle formazioni rocciose si è scelto di caratterizzarle con un valore di GSI di 60 per la roccia intatta, mentre un valore pari a 46 di GSI per la roccia fratturata e alterata. Il valore del parametro di roccia intatta  $m_i$  è stato assunto pari a 20-25.

Sulla base di questi dati e considerando un grado di disturbo D, provocato dalla realizzazione delle opere, considerato pari a 0.1, si sono valutati i parametri che definiscono il criterio di rottura curvilineo dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Brown. Successivamente si sono derivati, in corrispondenza dell'intervallo di pressioni di interesse per la progettazione, i valori dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso caratterizzanti il criterio di rottura alla Mohr – Coulomb tangente a quello curvilineo dell'ammasso stesso. I risultati, prendendo in considerazione il provino di roccia basaltica con le caratteristiche di resistenza a compressione descritte e riportate in Figura 65.

Si sottolinea che i risultati in termini di parametri di resistenza tipo Mohr – Coulomb sono ottenuti dall'involuppo di rottura curvilineo della roccia, mentre per i moduli elastici di Young si è utilizzata l'analisi elastico-lineare o elastico-lineare equivalente e i parametri sono stati assunti sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e fisico-meccaniche della roccia stessa.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	213 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Pertanto per quanto descritto per l'unità U4a nel sondaggio SA4-2018 (Modello 2b - pk 29+650-30+100) si considerano le caratteristiche:

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 160 MPa  
GSI = 60  $m_i$  = 25 Disturbance factor (D) = 0.1  
intact modulus (Ei) = 12000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

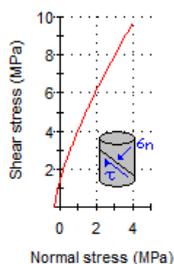
$m_b$  = 5.557  $s$  = 0.0101  $a$  = 0.503

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 1.721 MPa friction angle = 64.67 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.290 MPa  
uniaxial compressive strength = 15.851 MPa  
global strength = 51.177 MPa  
deformation modulus = 5551.96 MPa



Mentre per la medesima unità in riferimento alle pk 29+050-29+650 (Modello 2a) si considereranno le seguenti caratteristiche di resistenza e deformabilità:

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 28 MPa  
 GSI = 46  $m_i$  = 20 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 12000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

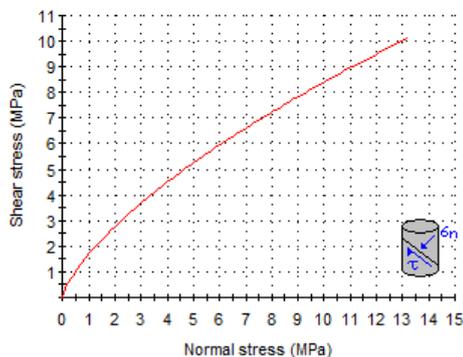
$m_b$  = 2.627  $s$  = 0.0020  $a$  = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 1.570 MPa friction angle = 34.41 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.021 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.199 MPa  
 global strength = 5.958 MPa  
 deformation modulus = 2478.70 MPa



Per quanto riguarda i depositi vulcanici (U3b), i valori di resistenza alla compressione  $\sigma_c$  ottenuti dalle prove di compressione monoassiale sono compresi tra circa 2 e 9.5 MPa.

Per quanto riguarda invece i depositi vulcanici litoidi (U3c), sono state analizzate le compressioni monoassiali derivanti dai point load test effettuati sui campioni relativi al sondaggio SX4-2019:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	215 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 29 MPa  
GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
intact modulus ( $E_i$ ) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.214 MPa friction angle = 37.09 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.195 MPa  
global strength = 2.500 MPa  
deformation modulus = 347.33 MPa

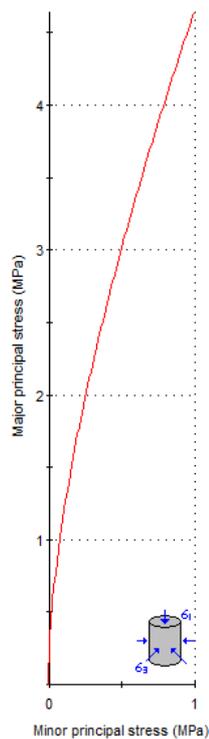
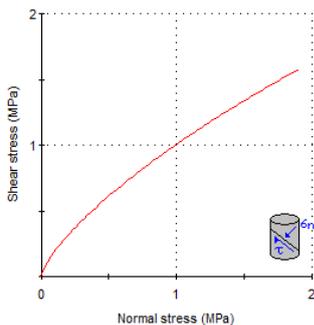


Figura 64 - Campione a profondità 28m del sondaggio SX4-PZ-2019

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 27 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.209 MPa friction angle = 36.59 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.004 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.182 MPa  
 global strength = 2.327 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa

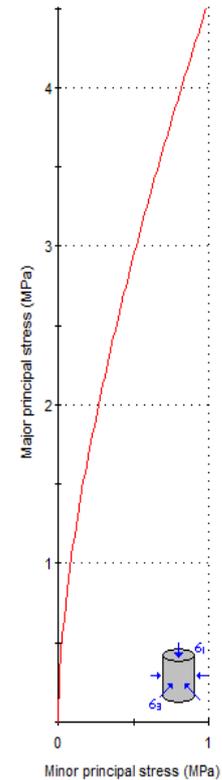
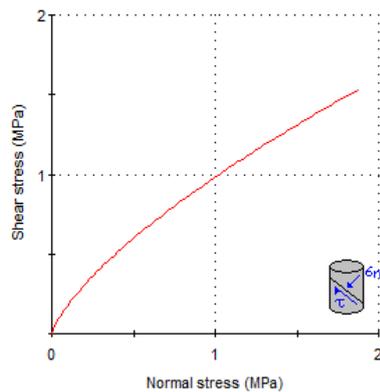


Figura 65 - Campione a profondità 30.70m del sondaggio SX4-PZ-2019.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	217 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 25 MPa  
 GSI = 20  $m_i$  = 13 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.642  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.203 MPa friction angle = 36.04 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.004 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.168 MPa  
 global strength = 2.155 MPa  
 deformation modulus = 347.33 MPa

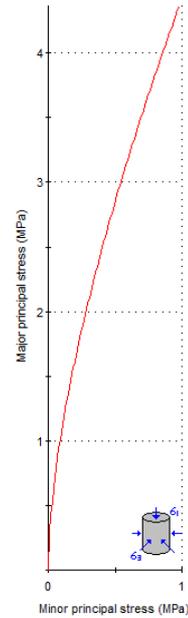
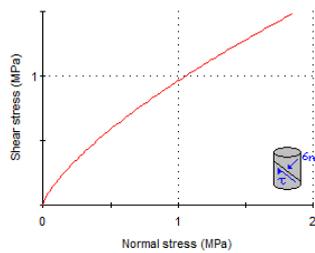


Figura 66 - Campione a profondità 36m del sondaggio SX4-PZ-2019



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	218 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

#### **10.2.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa**

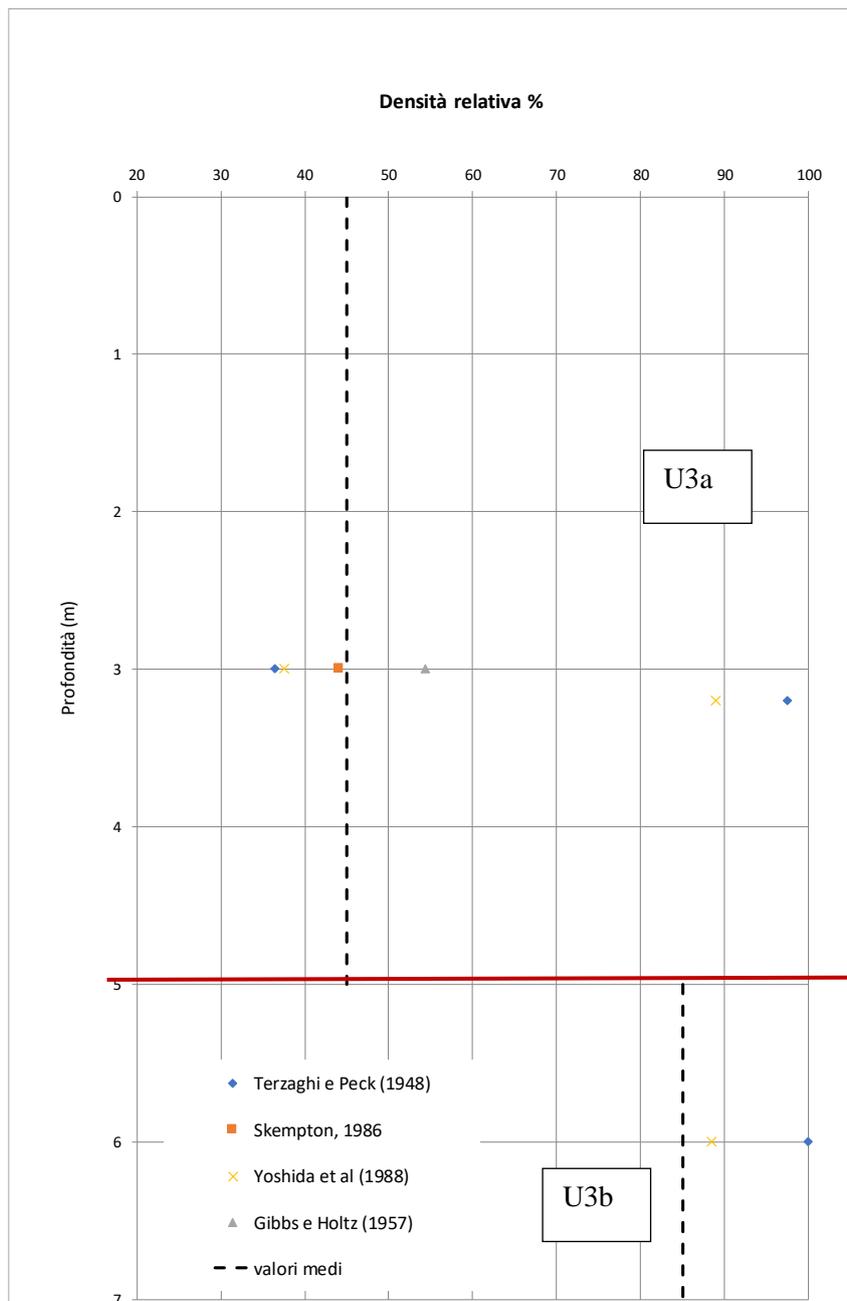
Nel presente capitolo e nei successivi riguardanti l'interpretazione delle prove SPT si riportano i valori di progetto assunti per le unità geotecniche U3a e U3b del modello geotecnico 2a (pk 29+050-29+650) e l'unità geotecnica U3b del modello geotecnico 2b dalla pk 29+650-30+100.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	219 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Modello 2a

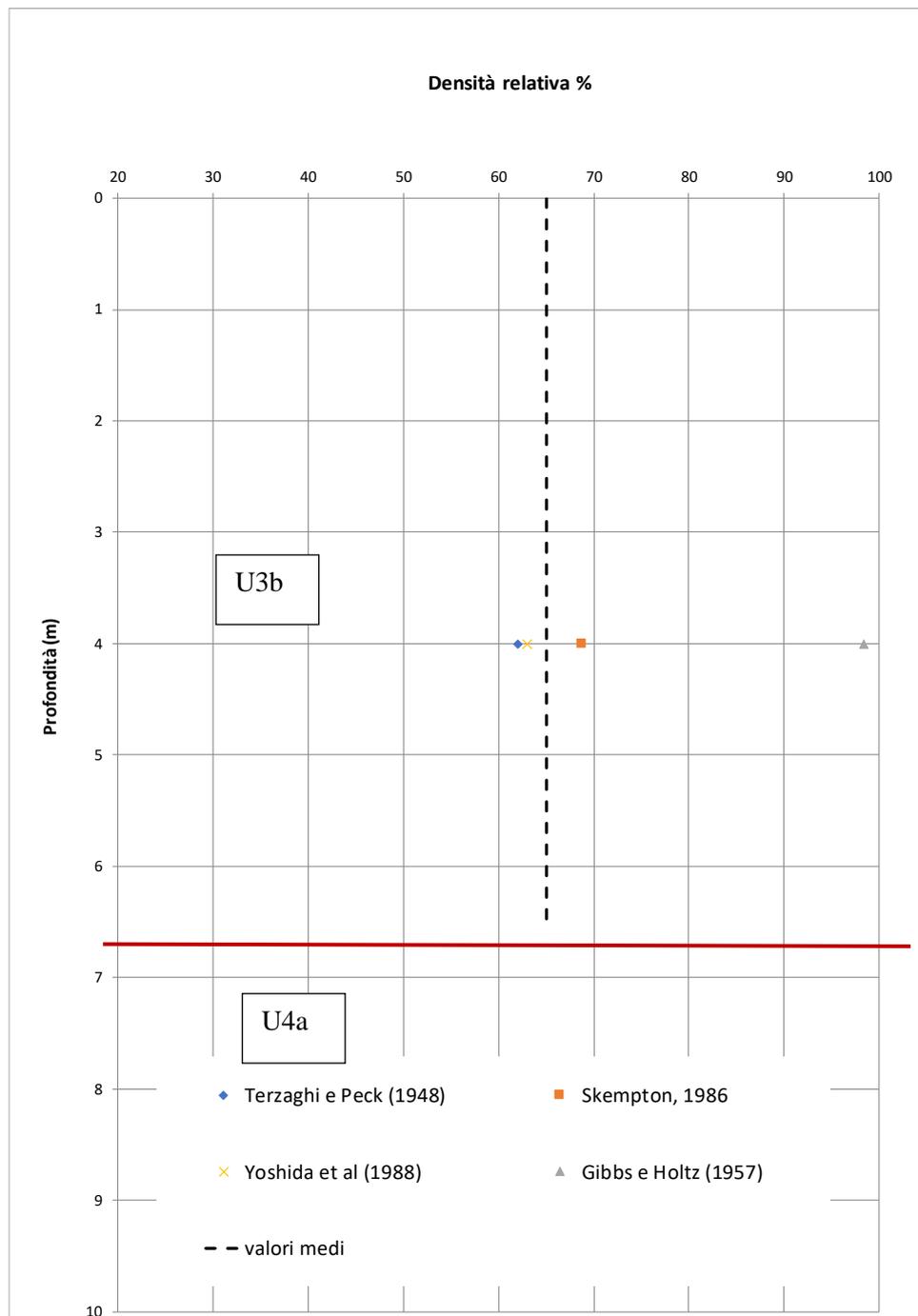


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	220 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Modello 2b



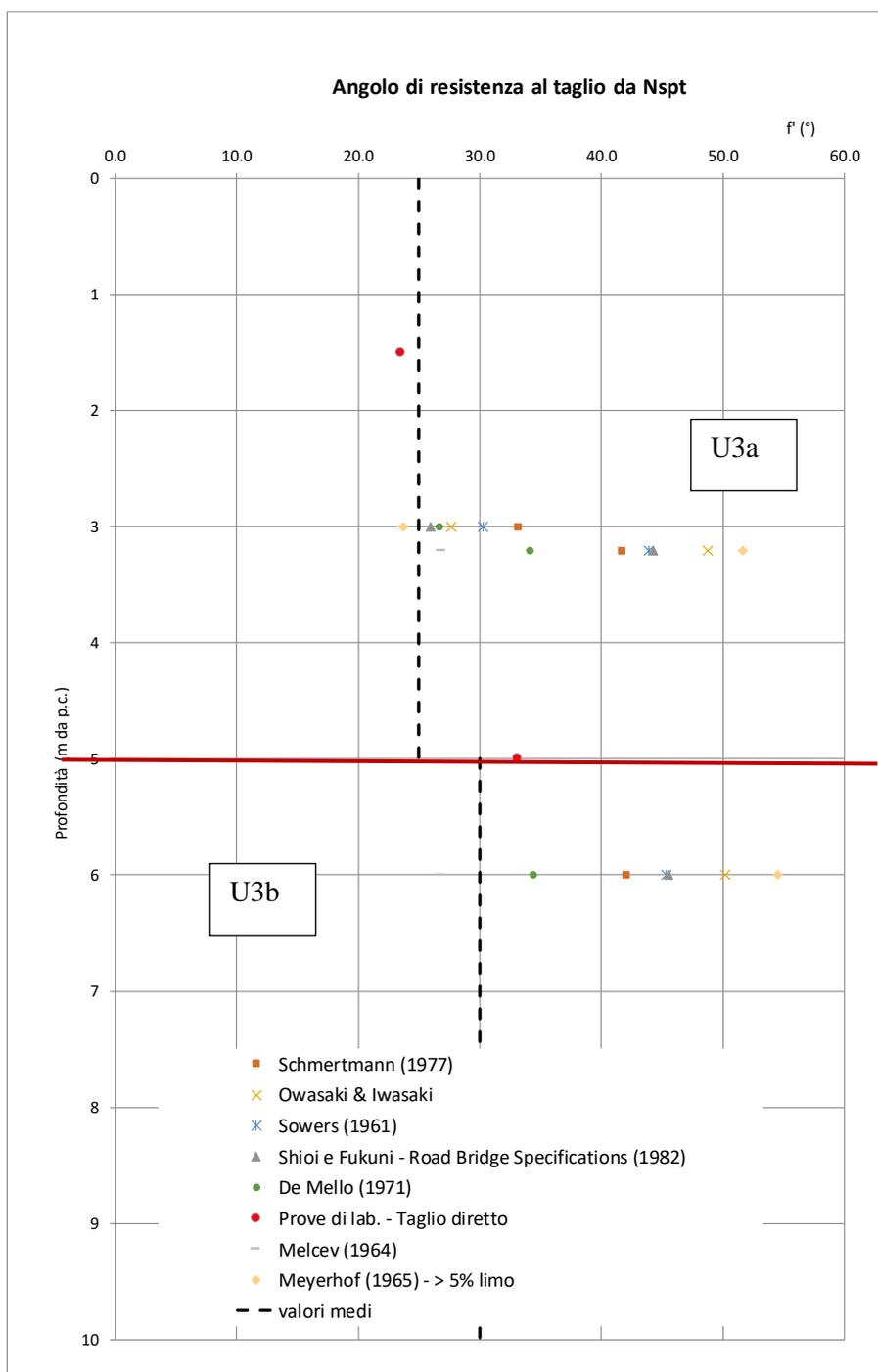
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	221 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco

Modello 2a

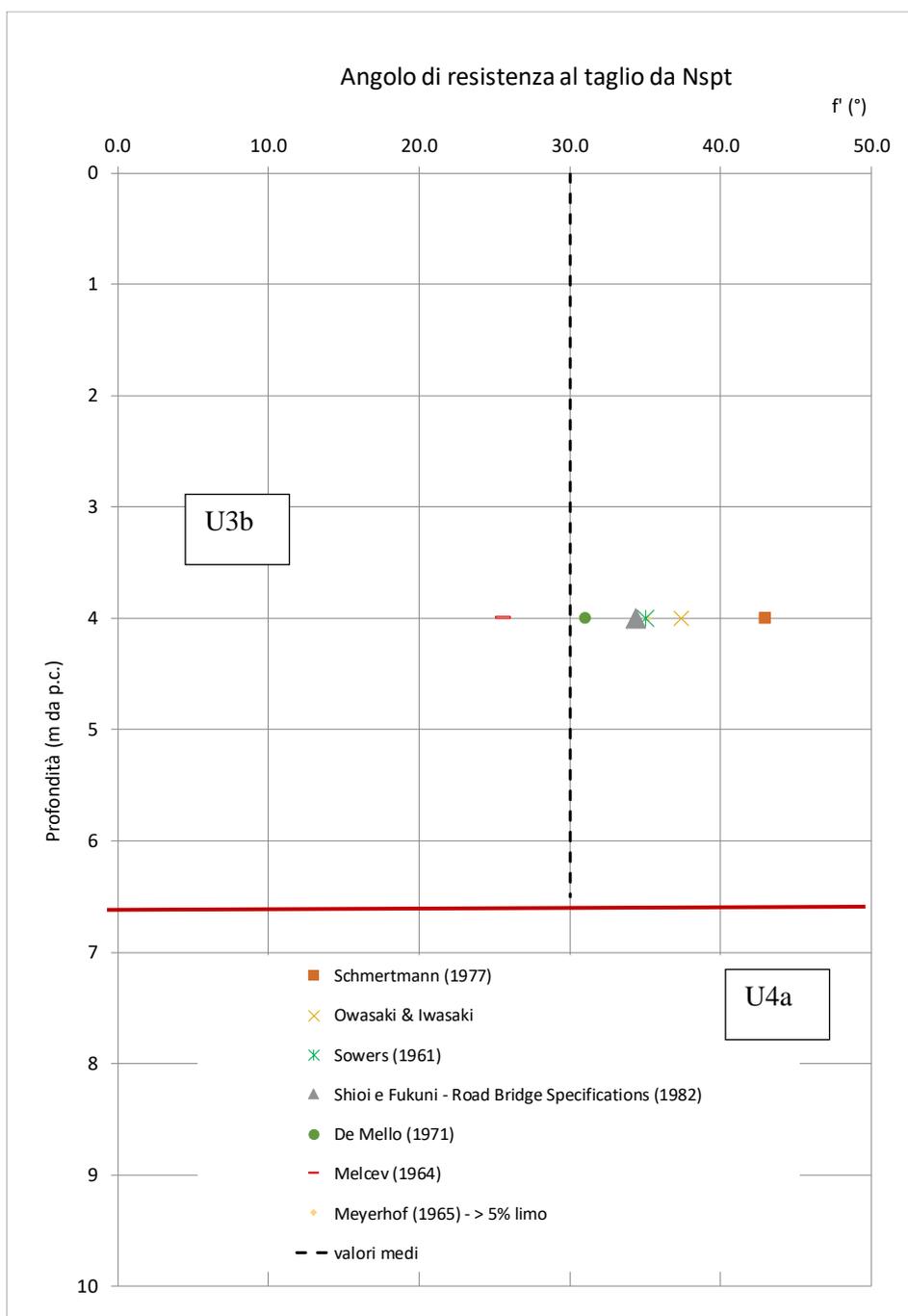


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	222 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Modello 2b



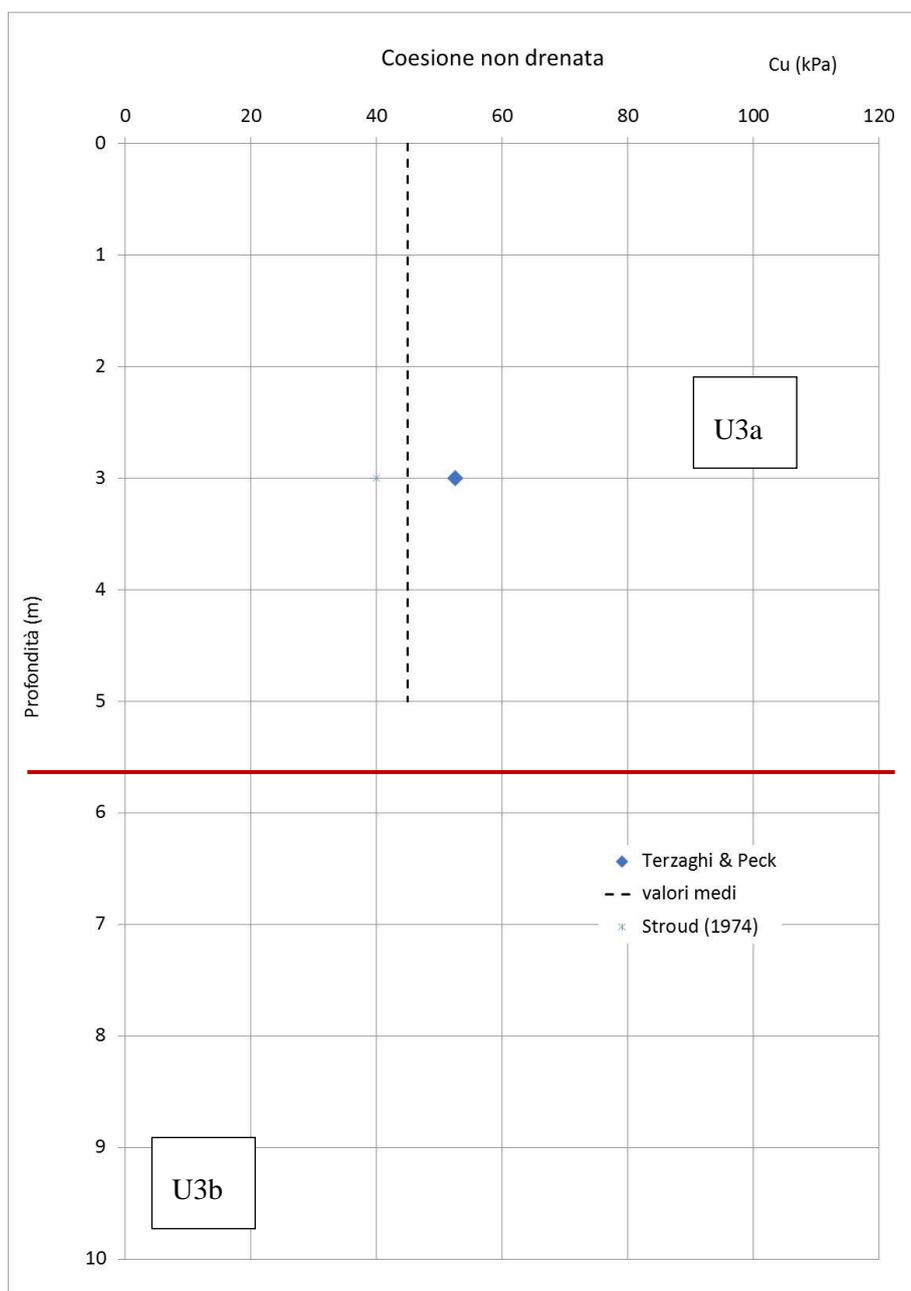
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	223 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.2.5 Interpretazione prove in sito SPT: coesione non drenata

#### Modello 2a





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	224 di 452

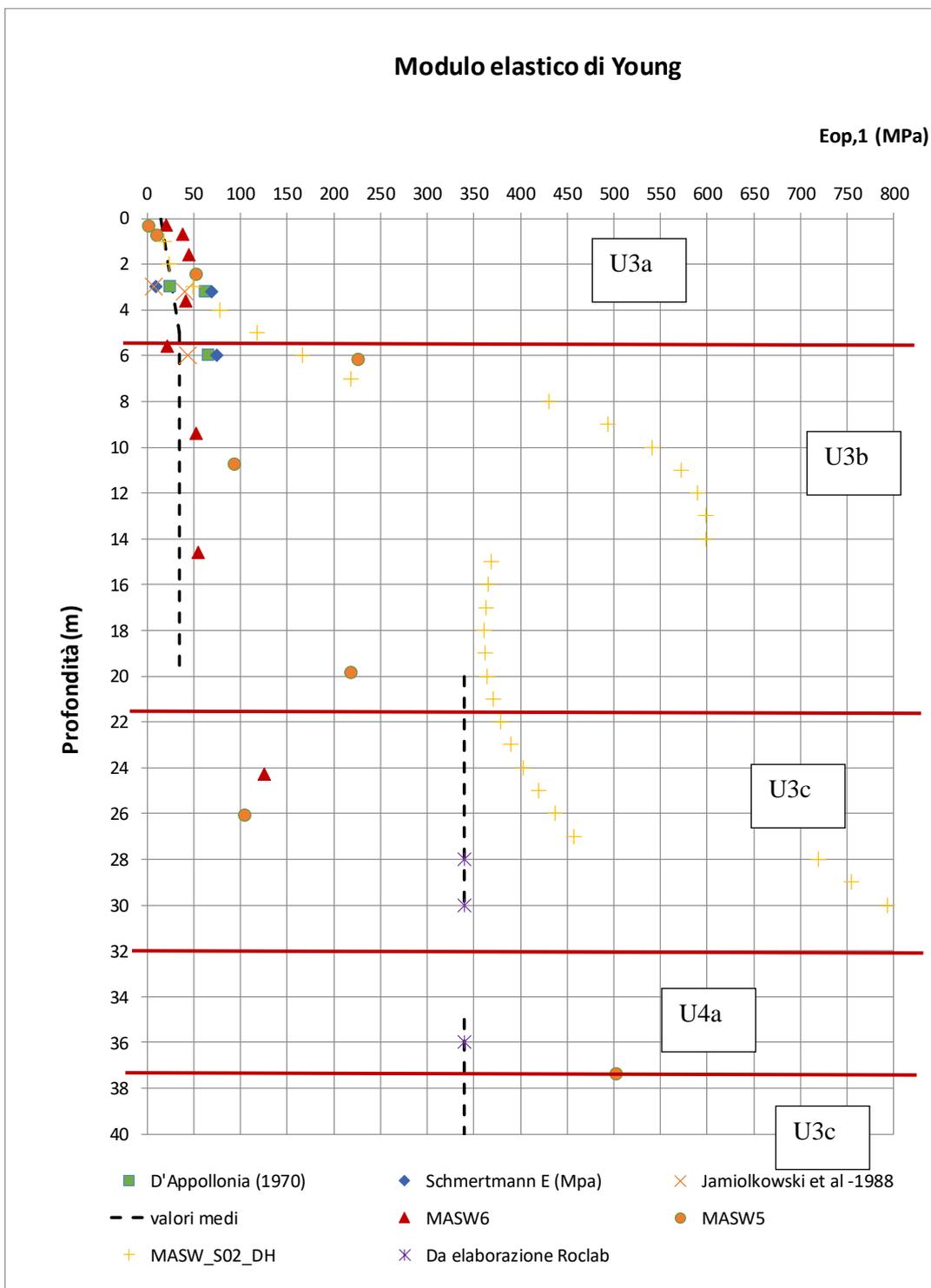
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### ***10.2.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico $E_{op,1}$ (contributo parziale da $NS_{pt}$ )***

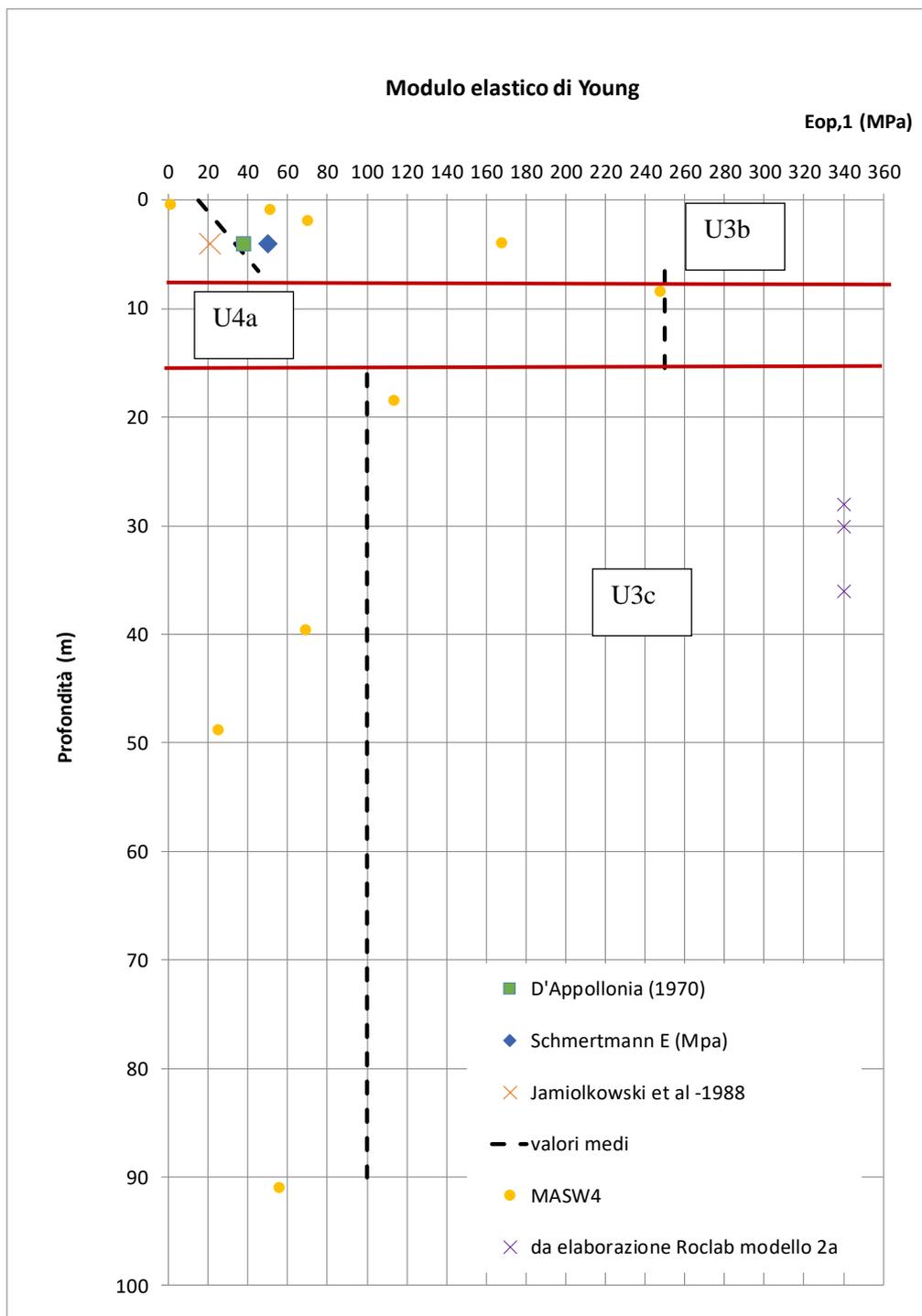
Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.

Modello 2a



Modello 2b



	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p>227 di 452</p>

### 10.2.7 Modulo edometrico

Per le unità U3a, U3b del modello 2a e l'unità U3b del modello 2b, il modulo edometrico  $M$  è stato ricavato da  $E_{op,1}$  con la seguente formulazione, assumendo  $\nu = 0.3$  (coefficiente di Poisson):

$$E = \frac{M(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Inoltre per l'unità U3a si hanno a disposizione i risultati di una prova edometrica.

### 10.2.8 Modulo elastico non drenato

Sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976), a partire dal grado di sovraconsolidazione OCR e l'indice di plasticità  $I_p$ , è stato ricavato il rapporto  $k = E_u/c_u$  tra il modulo elastico non drenato e la coesione non drenata.

Sulla base delle prove di laboratorio condotte, per le unità U2a e U3a si rileva un indice di plasticità  $I_p$  del terreno circa pari a 15. Considerando la presenza di terreni leggermente sovraconsolidati ( $OCR = 2$ ), è stato utilizzato un rapporto  $k = E_u/c_u = 900$ . Il valore di progetto di  $E_u$  riportato nelle tabelle di sintesi è stato stimato tramite tale correlazione.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	228 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

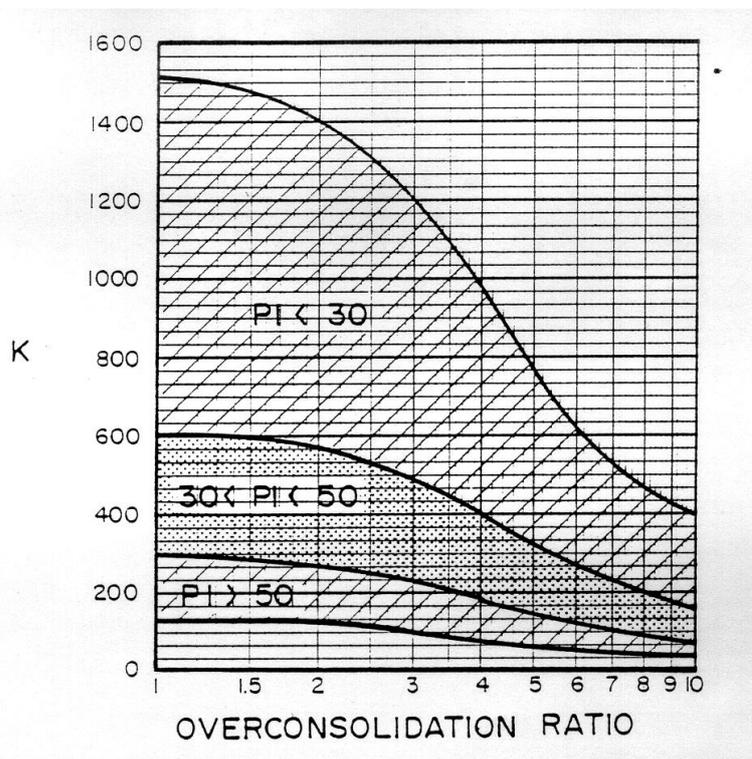


Figura 67 – Duncan & Buchigani

### 10.2.9 Coefficiente di permeabilità e coefficiente di consolidazione verticale

Si riportano in seguito i risultati delle prove di permeabilità condotte in sito. In rosso sono evidenziati i sondaggi di interesse per il modello 2, mentre in blu quelli del modello 3, a cui si è fatto riferimento per i parametri geotecnici dell'unità U2a superficiale.

sondaggio	profondità prova	K media
n.	da (m)	(cm/s)
S02- DH - 2017	6.50	3.35E-03
S03 - PZ - 2017	10.50	1.35E-02
S04 - PZ - 2017	8.00	1.48E-03
S05 - DH - 2017	5.00	3.98E-03
S06 - DH - 2017	10.50	3.35E-03
S07 - PZ - 2017	20.00	6.68E-03
S08 - DH - 2017	15.00	1.00E-03
S09 - DH - 2017	10.50	3.17E-03
S11 - PZ - 2017	10.50	4.60E-03
S12 - PZ - 2017	15.00	5.49E-03
S13 - PZ - 2017	20.50	1.71E-02
S01 - PZ - 2018	8.00	2.16E-03
S02 - PZ - 2018	7.00	2.12E-03
S03 - PZ - 2018	11.00	8.13E-04
S04 - PZ - 2018	16.00	6.58E-04
S06 - PZ - 2018	9.00	2.80E-04
S07 - PZ - 2018	14.00	3.76E-05
S X1 - PZ - 2019	3.00	9.88E-05
S X2 - PZ - 2019	3.00	1.11E-04
S X4 - PZ - 2019	3.00	3.07E-03
S X6 - PZ - 2019	3.00	1.38E-05
S X6 - PZ - 2019	7.00	5.30E-05

Unità U2a (Modello 3)

Unità U3b (Modello 2a/2b)

Unità U2a (Modello 3)

Unità U4a/U3c (Modello 2b)

Unità U3a (Modello 2a)

Unità U3b (Modello 2a)

Il coefficiente di consolidazione dei terreni con componente fine (U2a e U3a) è stato stimato a partire dal coefficiente di permeabilità con la seguente espressione:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	230 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$c_v = \frac{K}{\gamma_w} \cdot M$$

dove

K è il coefficiente di permeabilità (m/s)

$\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>)

M è il modulo edometrico dello strato (kPa)

Inoltre per l'unità U3a si hanno a disposizione i risultati della prova edometrica:

$$K = 6 \cdot 10^{-9} \div 6 \cdot 10^{-12} \text{ m/s } (6 \cdot 10^{-7} \div 6 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s})$$

$$c_v = 2.5 \cdot 10^{-6} \div 3.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

In sintesi, per i coefficienti di permeabilità e di consolidazione dei terreni si hanno a disposizione i seguenti dati.

### **Modello 2a**

#### Unità U2a

Da Lefranc:  $K = 1.48 \cdot 10^{-3} / 9.88 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$

Valore medio assunto:  $K = 8 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s } (8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s})$

$M = 26 \text{ MPa}$

$C_v = 2.1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

#### Unità U3a

*Da Lefranc*

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	231 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$K = 3.07 \cdot 10^{-3} \div 1.38 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Valore medio per stima di cv:  $K = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$  ( $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ )

$$M = 34 \text{ MPa}$$

$$C_v = 5.1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

*Da edometrica*

$$K = 6 \cdot 10^{-7} \div 6 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s}$$

$$c_v = 2.5 \cdot 10^{-6} \div 3.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

*Valori di progetto (medi)*

$$K = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$$

$$c_v = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Unità U3b

Da Lefranc:  $K = 5.3 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$

**Modello 2b**

Unità U3b

Da Lefranc:  $K = 3.35 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$

Unità U3c

Da Lefranc:  $K = 6.58 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p>232 di 452</p>

### *10.2.10 Interpretazione prove in sito MASW e Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico*

Come già accennato nel capitolo 8.2 relativo alle correlazioni utilizzate, di seguito si riporta l'interpretazione delle prove geofisiche; si sottolinea che i valori ottenuti risultano essere, soprattutto per le profondità maggiori, molto elevati. Pertanto, si ritiene opportuno limitare l'utilizzo dei valori di angoli e moduli di progetto ricavati da tali prove e di fare riferimento ai valori ottenuti dalle prove di laboratorio e dalle altre prove disponibili.

Nel dettaglio, per questo tratto di linea ferroviaria, le prove geofisiche hanno consentito di stimare angoli e moduli delle unità geotecniche più profonde, confrontandoli anche con i capitoli generali relativi alle medesime unità. Il modulo elastico  $E_{op}$  è stato calcolato dividendo il modulo elastico  $E$  per 10.

Per l'unità U3a caratterizzata dalla presenza di terreno a grana fine, è stato ricavato da G0 il modulo non drenato alle piccole deformazioni  $E_{u,0}$  (utilizzando  $\nu = 0.5$ , coefficiente di Poisson), da cui si ricava  $E_u$  adottando un fattore di riduzione pari a 10.

I valori medi di  $E_{op,1}$  sono stati utilizzati come confronto con quelli ricavati dalle prove SPT, per la definizione del valore di progetto.

Si riportano per completezza anche i valori degli angoli di attrito ricavati dalle  $V_s$ , anche se non sono stati considerati nella definizione del modello geotecnico di progetto, in quanto ritenuti troppo elevati.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	233 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

MASW\_502\_DH Modello 2a

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	Eu,0 (kPa)	Eu (MPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop,1 (Mpa)	Unità geotecnica	Valore medio Eop,1 (MPa)
1	213	0.3	15	69372			180366	180	18	U2a	30
2	220	0.3	18	88807			230899	231	23		
3	321	0.3	18	189066			491572	492	49		
4	405	0.3	18	300963	902890	90	782505	783	78	U3a	100
5	497	0.3	18	453228	1359683	136	1178392	1178	118		
6	591	0.3	18	640883			1666295	1666	167		
7	677	0.3	18	840971			2186524	2187	219	U3b	400
8	748	0.3	29	1653987			4300367	4300	430		
9	801	0.3	29	1896680			4931368	4931	493		
10	839	0.3	29	2080908			5410361	5410	541		
11	863	0.3	29	2201662			5724320	5724	572		
12	876	0.3	29	2268492			5898079	5898	590		
13	882	0.3	29	2299673			5979151	5979	598		
14	882	0.3	29	2299673			5979151	5979	598		
15	879	0.3	18	1417690			3685994	3686	369		
16	875	0.3	18	1404817			3652523	3653	365		
17	872	0.3	18	1395200			3627520	3628	363		
18	870	0.3	18	1388807			3610899	3611	361		
19	871	0.3	18	1392002			3619205	3619	362		
20	874	0.3	18	1401607			3644179	3644	364		
21	881	0.3	18	1424149			3702786	3703	370	U3c	500
22	891	0.3	18	1456662			3787322	3787	379		
23	903	0.3	18	1496163			3890025	3890	389		
24	919	0.3	18	1549653			4029098	4029	403		
25	937	0.3	18	1610952			4188476	4188	419		
26	957	0.3	18	1680457			4369188	4369	437		
27	979	0.3	18	1758607			4572379	4572	457		
28	1002	0.3	27	2763314			7184616	7185	718		
29	1027	0.3	27	2902924			7547602	7548	755		
30	1053	0.3	27	3051768			7934597	7935	793		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	234 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**MASW5 Modello 2a**

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop,1 (Mpa)	Unità geotecnica	Valore medio Eop,1 (MPa)
0.4	85	0.3	16	11784	30638	31	3	U2a	22
0.8	161	0.3	16	42277	109920	110	11		
2.5	333	0.3	18	203466	529012	529	53		
6.2	690	0.3	18	873578	2271303	2271	227	U3b	180
10.8	444	0.3	18	361717	940465	940	94		
19.9	678	0.3	18	843457	2192988	2193	219		
26.1	471	0.3	18	407048	1058324	1058	106	U3c	285
37.4	1027	0.3	18	1935283	5031735	5032	503		
97.1	719	0.3	18	948552	2466236	2466	247		

**MASW6 Modello 2a**

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop,1 (Mpa)	Unità geotecnica	Valore medio Eop,1 (MPa)
0.3	216	0.3	16	76095	197848	198	20	U2a	36
0.7	301	0.3	16	147769	384200	384	38		
1.6	306	0.3	18	171809	446704	447	45		
3.6	294	0.3	18	158598	412355	412	41		
5.6	210	0.3	18	80917	210385	210	21	U3b	43
9.4	330	0.3	18	199817	519523	520	52		
14.6	339	0.3	18	210864	548247	548	55		
24.3	512	0.3	18	480998	1250595	1251	125	U3c	216
58.6	803	0.3	18	1183136	3076153	3076	308		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	235 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**MASW4 Modello 2b**

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop,1 (Mpa)	Unità geotecnica	Valore medio Eop,1 (MPa)
0.3	48	0.3	16	3758	9770	10	1	U3b	72
0.8	346	0.3	16	195255	507664	508	51		
1.8	383	0.3	18	269154	699801	700	70		
3.8	593	0.3	18	645228	1677592	1678	168		
8.3	720	0.3	18	951193	2473101	2473	247	U4a	247
18.4	487	0.3	18	435172	1131448	1131	113	U3c	66
39.5	379	0.3	18	263561	685260	685	69		
48.7	229	0.3	18	96222	250177	250	25		
90.9	341	0.3	18	213360	554735	555	55		

**MASW4**
**Angoli di attrito**

Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
				Limite superiore	Limite inferiore		
0,3	48	5,4	100	30	23	35	U3b
0,8	346	5,4	100	30	23		
1,8	383	14,4	562	63	57		
3,8	593	32,4	508	60	54		
8,3	720	68,4	652	68	61	61	U4a
18,4	487	149,4	651	67	61	37	U3c
39,5	379	331,2	361	52	46		
48,7	229	711	232	43	37		
90,9	341	876,6	133	34	27		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	236 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

MASW6				Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Limite superiore	Limite inferiore		
0.3	216	5.4	448	57	51	50	U2a
0.7	301	12.6	505	60	54		
1.6	306	28.8	418	55	49		
3.6	294	64.8	328	50	44		
5.6	210	100.8	210	41	35	38	U3b
9.4	330	169.2	289	47	41		
14.6	339	262.8	266	46	39		
24.3	512	437.4	354	52	45	48	U3c
58.6	803	1054.8	446	57	51		

MASW5				Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Limite superiore	Limite inferiore		
0.4	85	7.2	164	37	31	39	U2a
0.8	161	14.4	261	45	39		
2.5	333	45	407	55	49		
6.2	690	111.6	671	68	62	54	U3b
10.8	444	194.4	376	53	47		
19.9	678	358.2	493	60	53		
26.1	471	469.8	320	49	43	50	U3c
37.4	1027	673.2	638	67	61		
97.1	719	1747.8	352	51	45		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	237 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**MASW\_S02\_DH**

Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
				Limite superiore	Limite inferiore		
1	213	18	327	50	44	44	U2a
2	220	36	284	47	41		
3	321	54	374	53	47		
4	405	72	440	57	51	52	U3a
5	497	90	510	61	54		
6	591	108	580	64	58	62	U3b
7	677	126	639	67	61		
8	748	144	683	69	63		
9	801	162	710	70	64		
10	839	180	724	71	65		
11	863	198	728	71	65		
12	876	216	723	71	64		
13	882	234	713	70	64		
14	882	252	700	70	63		
15	879	270	686	69	63		
16	875	288	672	68	62		
17	872	306	659	68	62		
18	870	324	648	67	61		
19	871	342	640	67	61		
20	874	360	635	67	61		
21	881	378	632	67	60	61	U3c
22	891	396	632	67	60		
23	903	414	633	67	60		
24	919	432	637	67	61		
25	937	450	643	67	61		
26	957	468	651	67	61		
27	979	486	659	68	62		
28	1002	504	669	68	62		
29	1027	522	679	69	63		
30	1053	540	691	69	63		



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

### Modello 2a\_2 – Da pk 29+350 a 29+650

Come detto, dal punto di vista stratigrafico tra la progressiva 29+350-29+650, nei primi 3.5m circa da piano campagna, si è incontrata una litologia limo sabbiosa (U2a) pertanto per le opere IN04, IV01 e muro di sostegno 29+568-29+650 verrà utilizzata la tabella seguente.

MODELLO 2a\_2 Dalla pk 29+350 alla pk 29+650

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da p.c.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ piccolo (°)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ cv (°)	Coesione efficace c' (kPa)	Coesione non drenata Cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Modulo edometrico M (Mpa)	K rilevata (cm/s)	K media (cm/s)	Coefficiente di consolidazione cv (m <sup>2</sup> /s)	RQD (%)	GSI	Resistenza a compressione (Mpa)
U2a	Limo argilloso sabbioso	0	3,5	3,5	1,75	17	GG	45	26	23	10	60	20	40	54	26	$1,48 \cdot 10^{-7} / 9,88 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-4}$	2,1E-02	-	-	-
U3a	PVL- Depositi vulcanici limoso sabbiosi debolmente argillosi	3,5	5	1,5	0,75	16,5	GG/GF	45	25	22	10	45	25	50	40	34	$3,07 \cdot 10^{-3} / 1,38 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	-	-	-
U3b	PVS-Depositi vulcanici: sabbia limosa debolmente addensato con rari inclusi litici eterogenei	5	20	15	7,5	16,5	GG	85	30	22	0	-	35	70	-	47	$5,30 \cdot 10^{-5}$	$5,30 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	9
U3c	PVL-Depositi vulcanici litoidi addensato con inclusi litici eterogenei di tufo	20	30	10	5	16	GG	-	36	-	200	-	340	-	-	-	-	-	-	-	20	27
U4a	Vulcanite di origine basaltica	30	35	5	2,5	27	R	-	34	-	1500	-	2500	-	-	-	-	-	-	60	46	28
U3c	PVL-Depositi vulcanici addensato con inclusi litici eterogenei di tufo	35	45	10	5	16	GG	-	36	-	200	-	340	-	-	-	-	-	-	-	20	28

### Modello 2b – Da pk 29+650 a 30+100

Per il modello geotecnico 2b (pk 29+650-30+100) relativo all'opera IN05 si usufruirà dei parametri geotecnici sintetizzati nella tabella seguente.

MODELLO 2b Dalla pk 29+650 alla pk 30+100

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da p.c.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ piccolo (°)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ cv (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Modulo edometrico M (Mpa)	K rilevata (cm/s)	RQD (%)	Coefficiente di consolidazione cv (m <sup>2</sup> /s)	GSI	Resistenza a compressione (Mpa)
U3b	PVS-Depositi vulcanici debolmente addensato con inclusi litici eterogenei	0	6,5	6,5	3,25	16	GG	65	30	24,5	0	-	30	60	-	40	$3,35 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-
U4a	Rocce basaltica	6,5	16	9,5	4,75	27	R	-	45	-	1700	-	5500	-	-	-	-	70	-	60	160
U3c	PVL-Depositi vulcanici litoidi addensato con inclusi litici eterogenei di tufo	16	30	14	7	16	GG	-	36	-	200	-	100	-	-	-	$6,58 \cdot 10^{-4}$	-	-	20	28

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>240 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	240 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	240 di 452								

Si evidenzia che nelle tabelle sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei parametri di resistenza e deformabilità dell'unità geotecnica U2a si è fatto riferimento al modello 3.



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	241 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	<b>FOGLIO</b>
	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	<b>242 di 452</b>

### 10.3 Modello geotecnico 3 – pk 30+100-31+700

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni (S03-2018, S04-2017, SX1-2019 e S05-2017);
- prove penetrometriche (CPT3 e CPT4);
- prove geofisiche (Down hole sondaggio S05-2017, MASW 3-2019 e MASW 1 e 2-2019)
- prove di laboratorio meccaniche (prova di taglio diretto, prova compressione monoassiale e point load test).

Si precisa che per il sondaggio S05-PZ-2017, sebbene fuori asse di circa 150m dalla linea di progetto, sono state considerate ugualmente le prove in sito e di laboratori. Nel presente modello vengono incontrate le seguenti unità geotecniche:

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)
U2a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	4
		4	10,5
U3b	PVL-Depositi vulcanici: sabbia limosa molto consistenza con presenza di clasti litici di tufo debolmente litoide	10,5	15,5
U4a	Roccia basaltica	15,5	18,5
U3b	PVL-Depositi vulcanici - Sabbia limosa con presenza di ghiaia	18,5	29
U4b	Roccia debolmente alterata e fratturata con livelli di piroclastite alterata	29	30

Nel dettaglio le profondità sono indicative per le progressive indicate nel modello.

Nel seguito sono presentate anche le caratterizzazioni geomeccaniche della formazione rocciosa di tipo basaltico incontrata dalle verticali di indagini. Nel dettaglio dell'unità U4 è caratterizzata da roccia effusiva di tipo basaltico di colore grigio o grigio scuro da grana fine a finissima alterato e fratturato alternato a livelli metrici di probabili piroclastiti molto fratturate e alterate (sondaggio S04-PZ-2017).

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	243 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

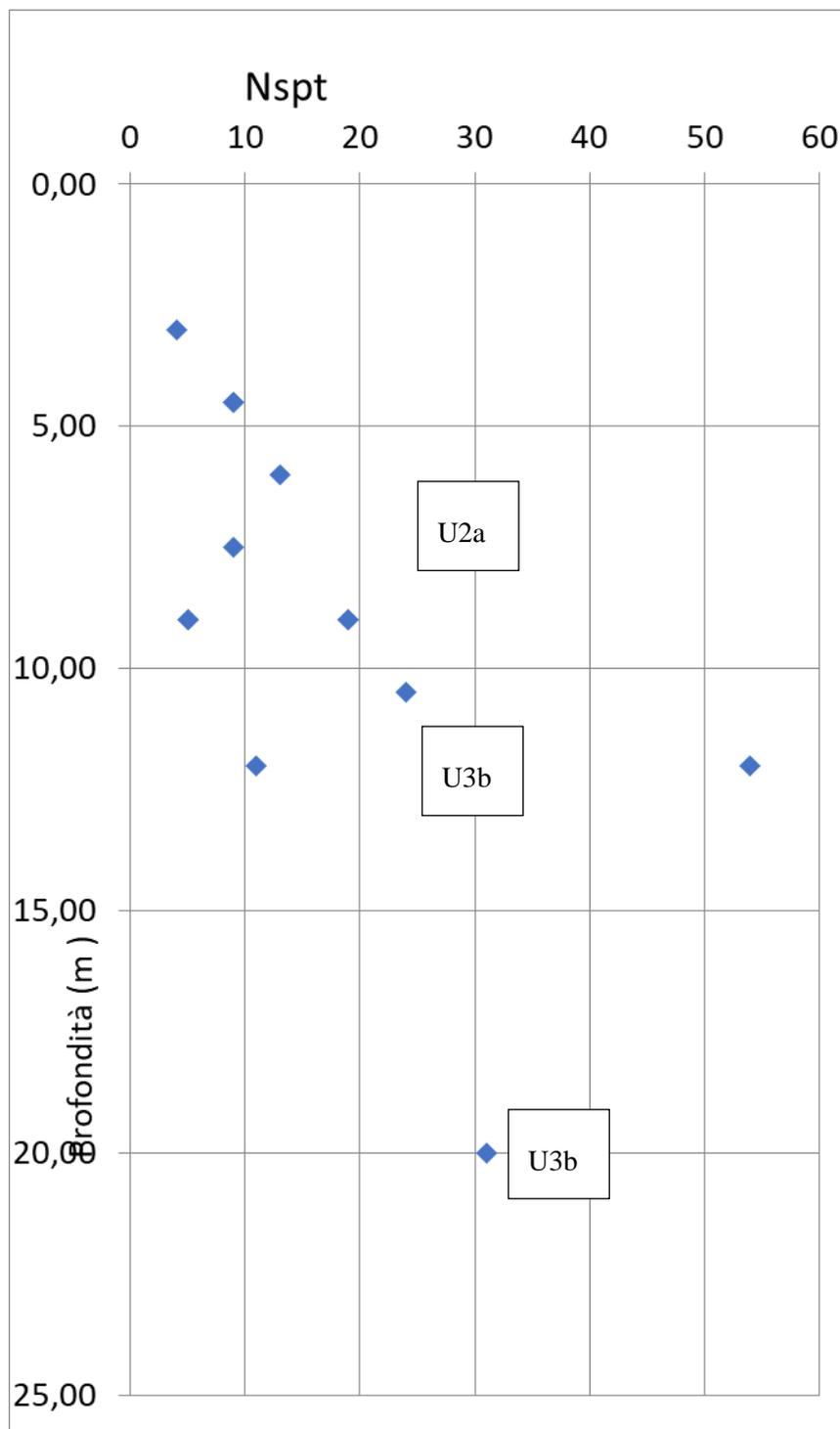
### 10.3.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità (m)	Nspt
<b>S03_PZ-2017</b>	10,50	24
<b>S04_PZ-2017</b>	7,50	9
	12,00	11
	20,00	31
<b>S_X1</b>	3	4
	6	13
	9	19
	9	19
	12	54
<b>S05_DH-2017</b>	4,50	9
	9,00	5
<b>S05_DH-2017</b>	4,50	9
	9,00	5

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	244 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	245 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

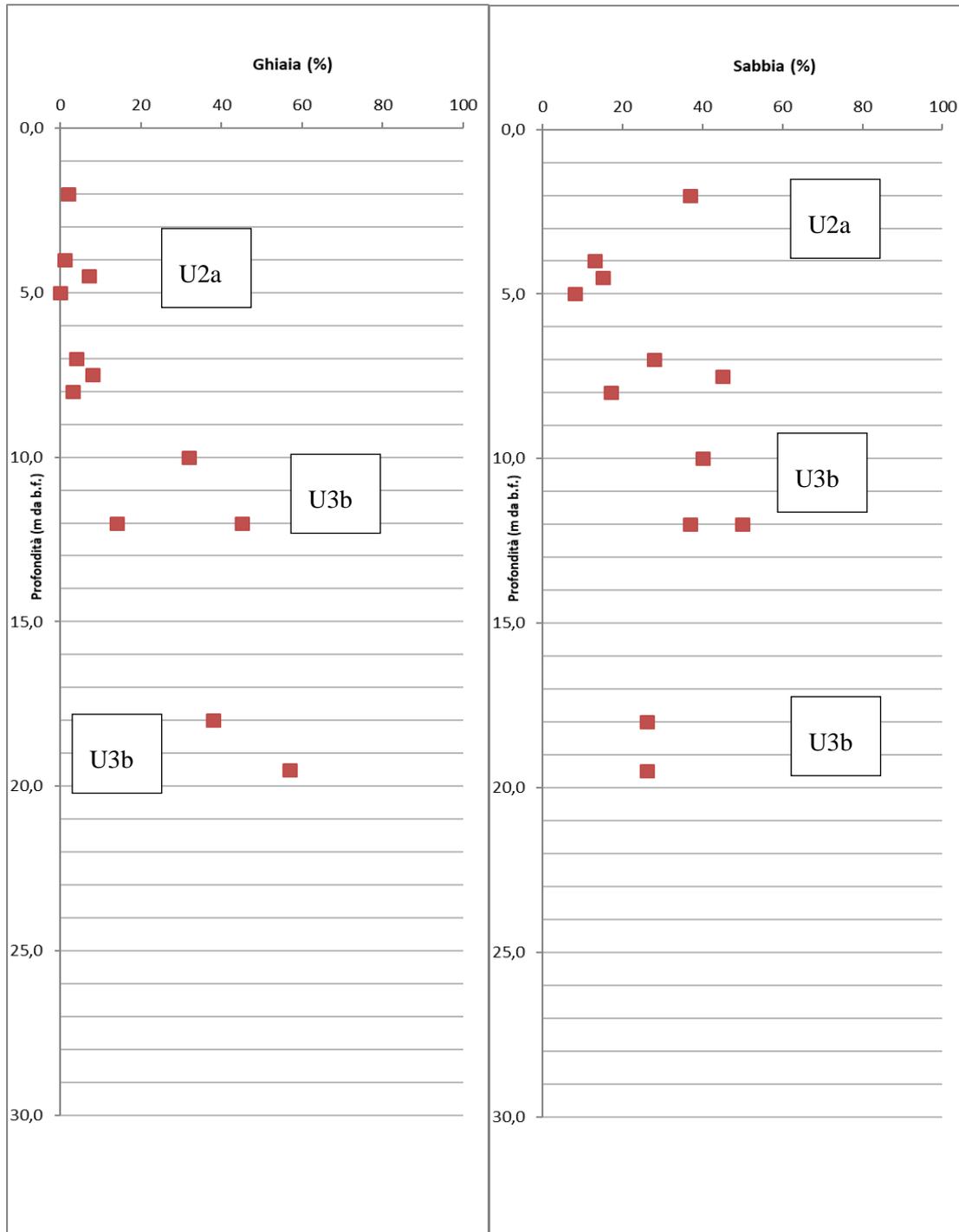
### 10.3.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	GRANULOMETRIA			
			ghiaia	sabbia	limo	argilla
			%	%	%	%
S03_PZ	CI1	2,0	2	37	51	10
	CI2	5,0	0	8	84	8
	CI3	8,0	3	17	70	10
S04_PZ	CI1	4,5	7	15	56	22
	CI2	10,0	32	40	24	4
S05_DH	CI1	7,5	8	45	41	6
	CI2	12,0	14	50	33	3
	CR3	18,0	38	26	33	3
	CR4	22,4				
S_X1	CI1	4	1	13	68	18
	CI2	12	45	37	17	1
	CR1	7	4	28	47	21
	CR2	12,65				
	CR3	17,1				
	CR4	19,5	57	26	14	3
	CR5	29				

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	246 di 452

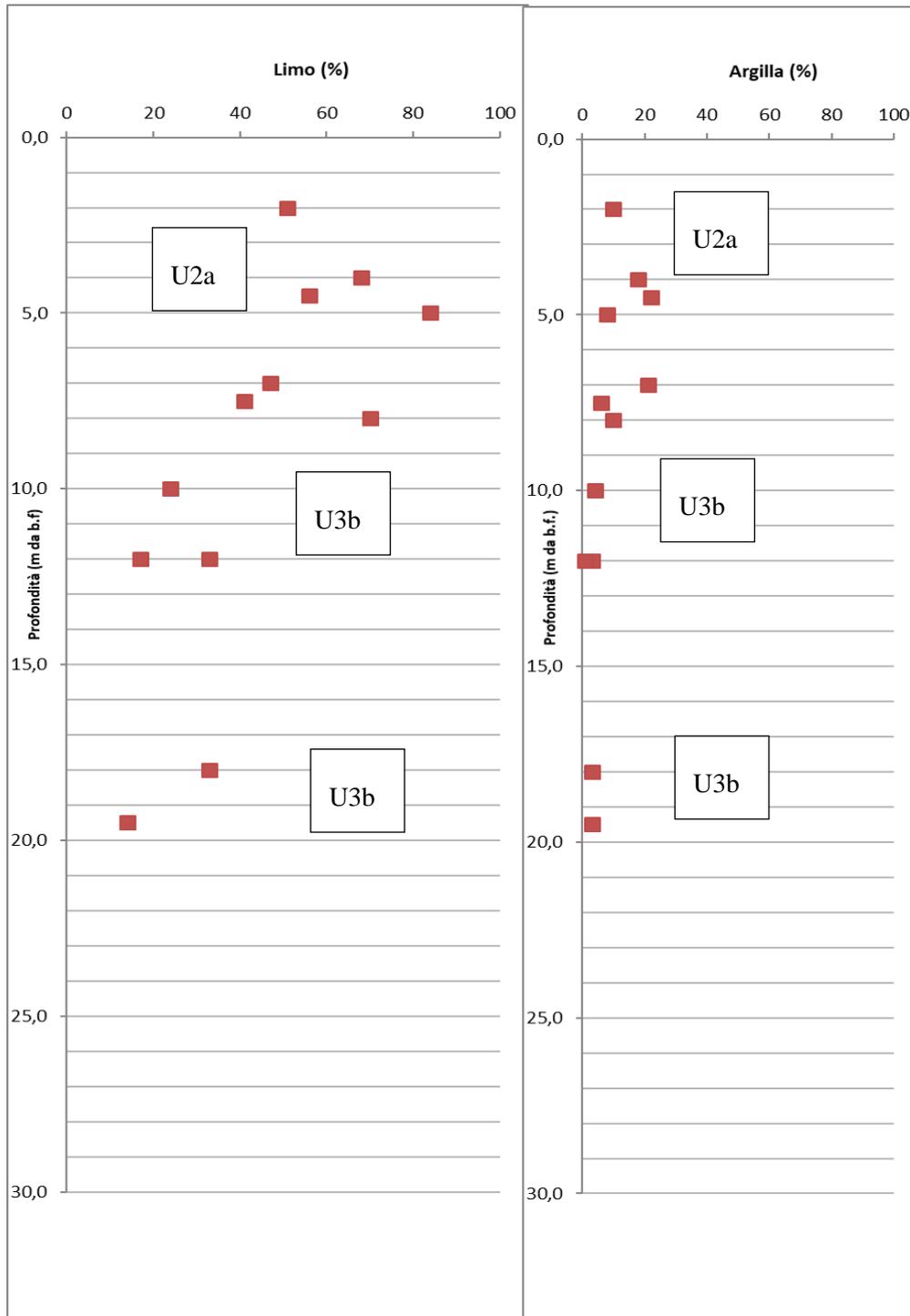
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	247 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	248 di 452

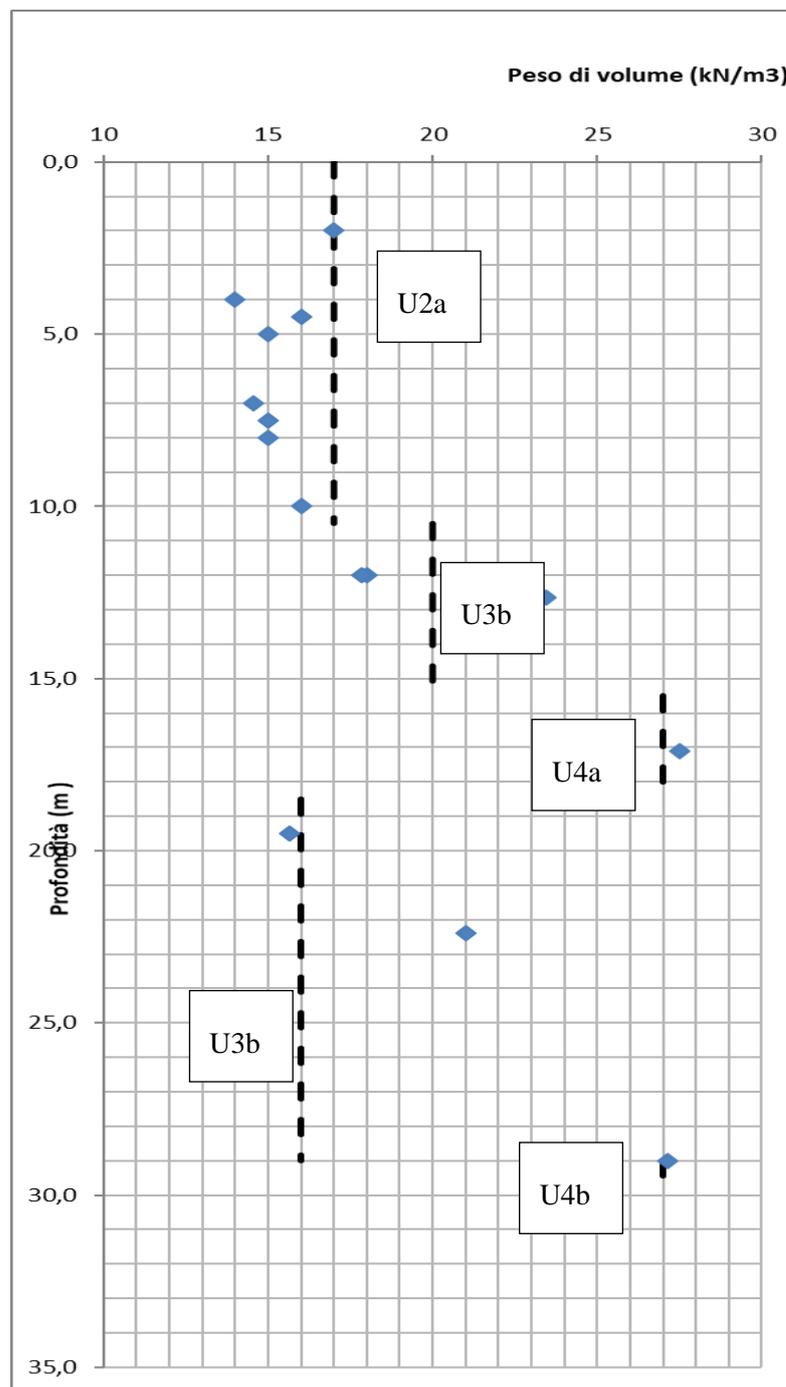
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m3)
S03_PZ	CI1	2,0	17
	CI2	5,0	15
	CI3	8,0	15
S04_PZ	CI1	4,5	16
	CI2	10,0	16
S05_DH	CI1	7,5	15
	CI2	12,0	18
	CR3	18,0	-
	CR4	22,4	21
S_X1	CI1	4	14
	CI2	12	17,85
	CR1	7	14,54
	CR2	12,65	23,44
	CR3	17,1	27,49
	CR4	19,5	15,64
	CR5	29	27,16

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	249 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

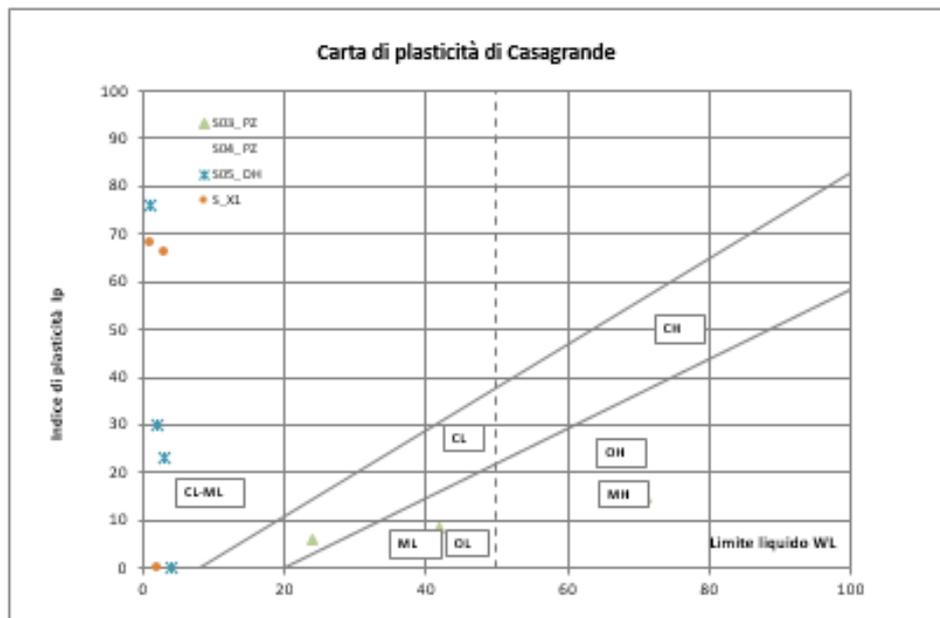


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	250 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S03_PZ	CI1	2,0	24	18	6
	CI2	5,0	42	34	8,2
	CI3	8,0	71	56	15
S04_PZ	CI1	4,5	50	29	20,8
	CI2	10,0	41	27	14
S05_DH	CI1	7,5	76	55	20,9
	CI2	12,0	30	18	11,9
	CR3	18,0	23	19	4,2
	CR4	22,4	-	-	-
S_X1	CI1	4	68	37	31
	CI2	12	-	-	-
	CR1	7	66	48	18,2
	CR2	12,65	-	-	-
	CR3	17,1	-	-	-
	CR4	19,5	-	-	-
	CR5	29	-	-	-



CL= Limi organici; argille limose organiche di bassa plasticità  
 ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità  
 CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre  
 CH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici  
 MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastic  
 CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	251 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Si è associato al peso di volume un valore pari a 27 kN/m<sup>3</sup> è stato determinato dalle prove a compressione monoassiale eseguite in alcuni provini di roccia nel sondaggio SX1-2019 confrontandolo con dati bibliografici.

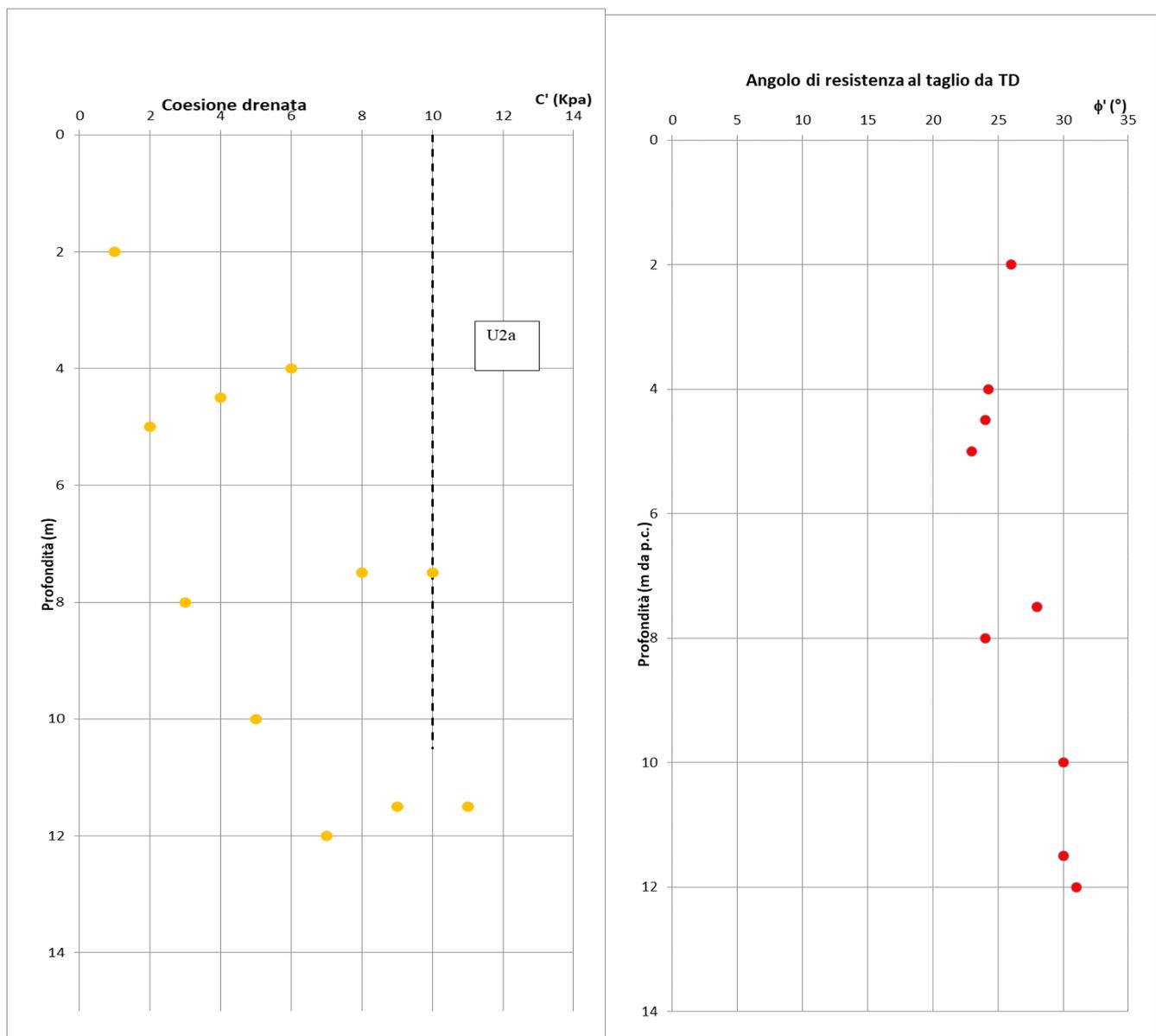
### 10.3.3 Prove meccaniche di laboratorio

Prove di lab. - Taglio diretto			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
26	11	2	S03_PZ-2017
23	12	5	
24	9	8	
24	13	4,5	S04_PZ-2017
30	5	10	
24,27	7,28	4	S_X1-2019
31	2,78	12	S05_DH
28	6	7,5	
30	5	11,5	
28	6	7,5	S05_DH-2017
30	5	11,5	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	252 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Per quanto riguarda la roccia incontrata durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>253 di 452</p>

<i>Prove di lab. - Prova monoassiale</i>		
$\alpha$ Mpa	Profondità (m)	Sondaggio
67,3	17,1	SX01-PZ-2019
60,9	29	SX01-PZ-2019

I valori di resistenza alla compressione  $\sigma_c$  ottenuti dalle prove di compressione monoassiale sono compresi tra 60 e 67 MPa. Dalle descrizioni stratigrafiche dei sondaggi e dai valori di RQD, compreso tra 60% e 80% riportati sui log dei sondaggi, il materiale risulta essere, su tutta la profondità investigata, caratterizzato da livelli di alterazione e fratturazione variabili: debolmente alterati e poco fratturati. Complessivamente comunque, sia dai sondaggi che dai rilievi geomeccanici degli affioramenti, il materiale risulta in buone condizioni tra la profondità di 15.50m e 18.50m.

Dalla stratigrafia dei sondaggi SX1-PZ-2019 e S04-PZ-2017 si riscontra come la roccia di tipo basaltico è fortemente alterata e fratturata nell'ultimo metro dei rispettivi sondaggi.



**Figura 68 – Cassetta catalogatrice sondaggio SX1-2019**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	254 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



**Figura 69 - Cassetta catalogatrice sondaggio S04-2017**

In base a queste evidenze ed in base a quanto emerso dai rilievi geomeccanici eseguiti sugli affioramenti di le formazioni rocciose si è scelto di caratterizzarle con un valore di GSI di 65 per la roccia intatta, mentre un valore pari a 25 di GSI per la roccia debolmente alterata con livelli di piroclastite alterata. Il valore del parametro  $m$  è stato assunto pari a 20.

Sulla base di questi dati e considerando un grado di disturbo  $D$ , provocato dalla realizzazione delle opere, considerato pari a 0.1, si sono valutati i parametri che definiscono il criterio di rottura curvilineo dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Brown. Successivamente si sono derivati, in corrispondenza dell'intervallo di pressioni di interesse per la progettazione, i valori dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso caratterizzanti il criterio di rottura alla Mohr – Coulomb tangente a quello curvilineo dell'ammasso stesso. I risultati, prendendo in considerazione il provino di roccia basaltica con le caratteristiche di resistenza a compressione migliori, vengono riportati Figura 70; mentre per il provino di roccia con le caratteristiche maggiormente scadenti illustrato in Figura 71.

Si sottolinea che i risultati in termini di parametri di resistenza tipo Mohr – Coulomb ottenuti dall'involuppo di rottura curvilineo della roccia, mentre per i moduli elastici di Young si è utilizzata l' analisi elastico-lineari o elastico-lineare equivalente e i parametri sono stati assunti sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e fisico-meccaniche della roccia stessa.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	255 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 67 MPa  
 GSI = 65  $m_i$  = 25 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

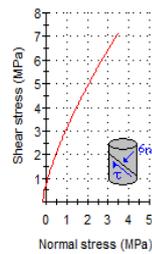
$m_b$  = 6.707  $s$  = 0.0179  $a$  = 0.502

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 1.171 MPa friction angle = 61.34 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.179 MPa  
 uniaxial compressive strength = 8.893 MPa  
 global strength = 23.880 MPa  
 deformation modulus = 4787.47 MPa



**Figura 70 - Campione a profondità 17m del sondaggio SX1-PZ-2019**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	256 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 35 MPa  
 GSI = 25  $m_i$  = 25 Disturbance factor (D) = 0.1  
 intact modulus (Ei) = 8400 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 1.491  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.332 MPa friction angle = 46.35 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.004 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.359 MPa  
 global strength = 5.020 MPa  
 deformation modulus = 446.92 MPa

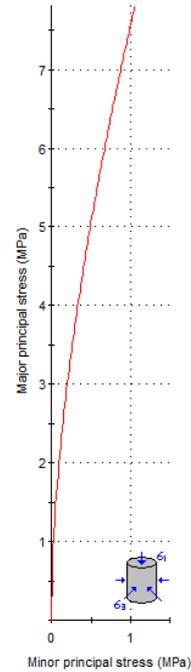
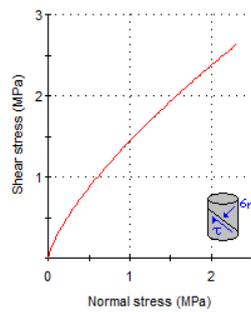
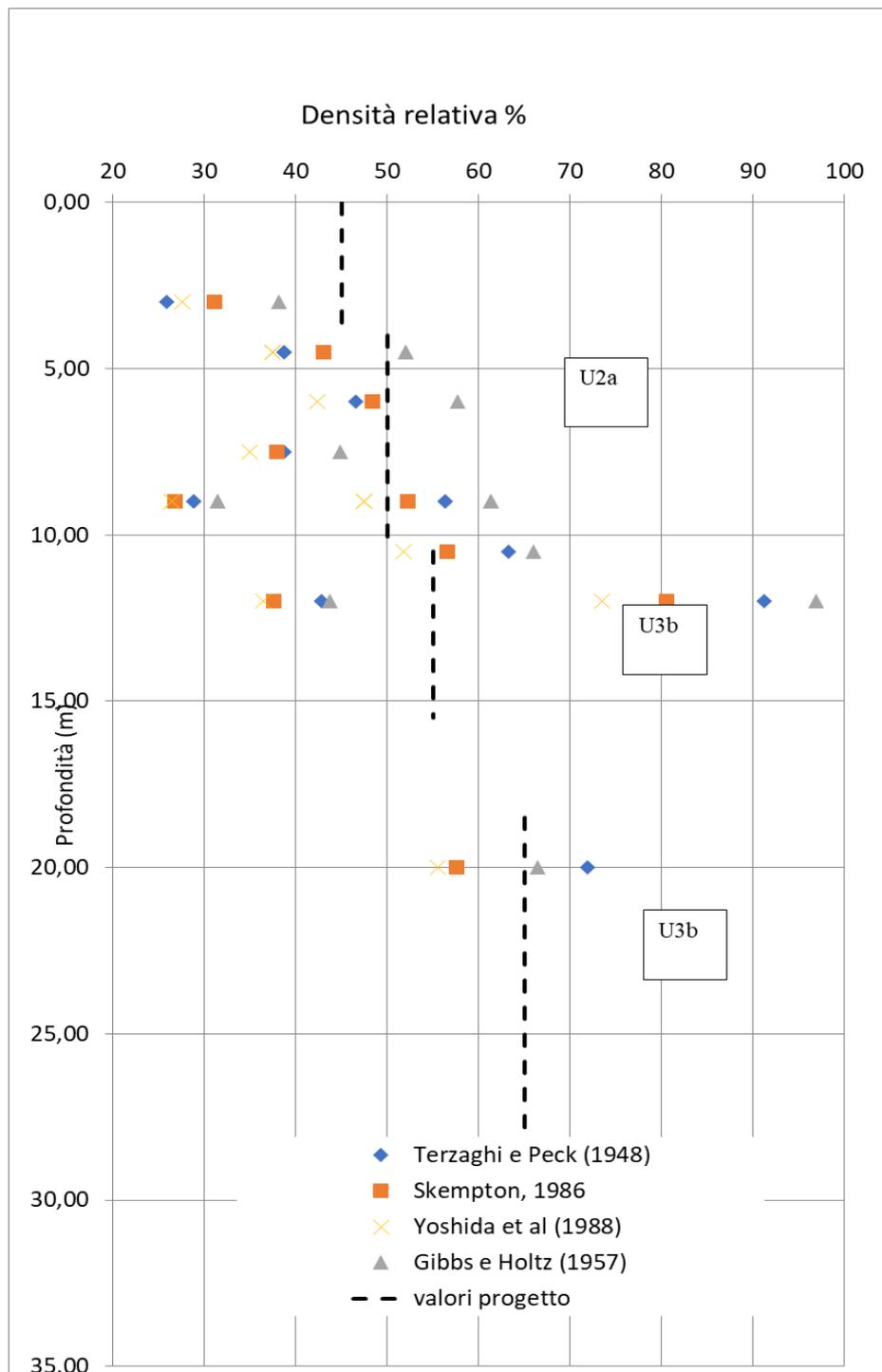


Figura 71 - Campione a profondità 29m del sondaggio SX1-PZ-2019

### 10.3.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

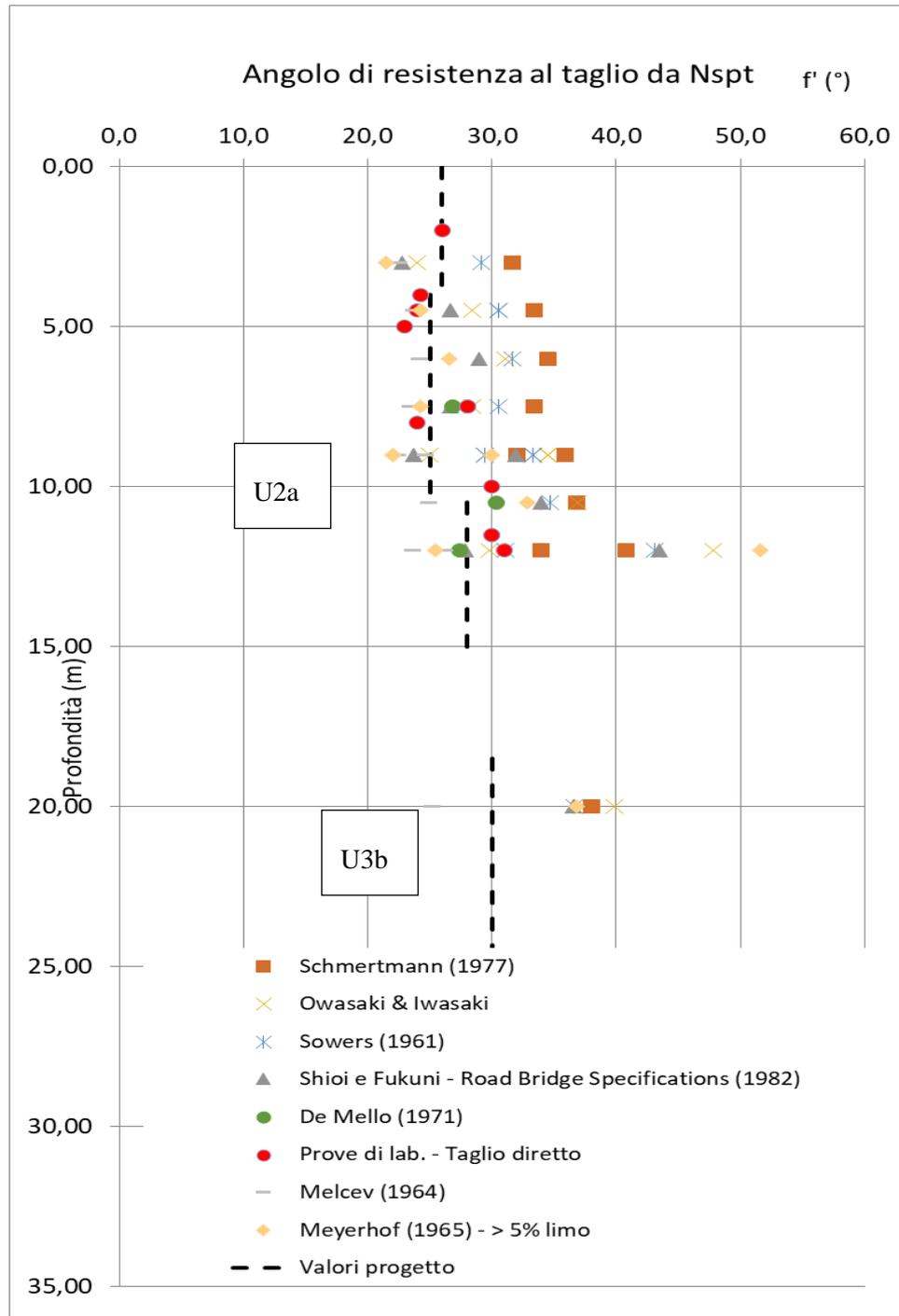


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	258 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.3.5 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio

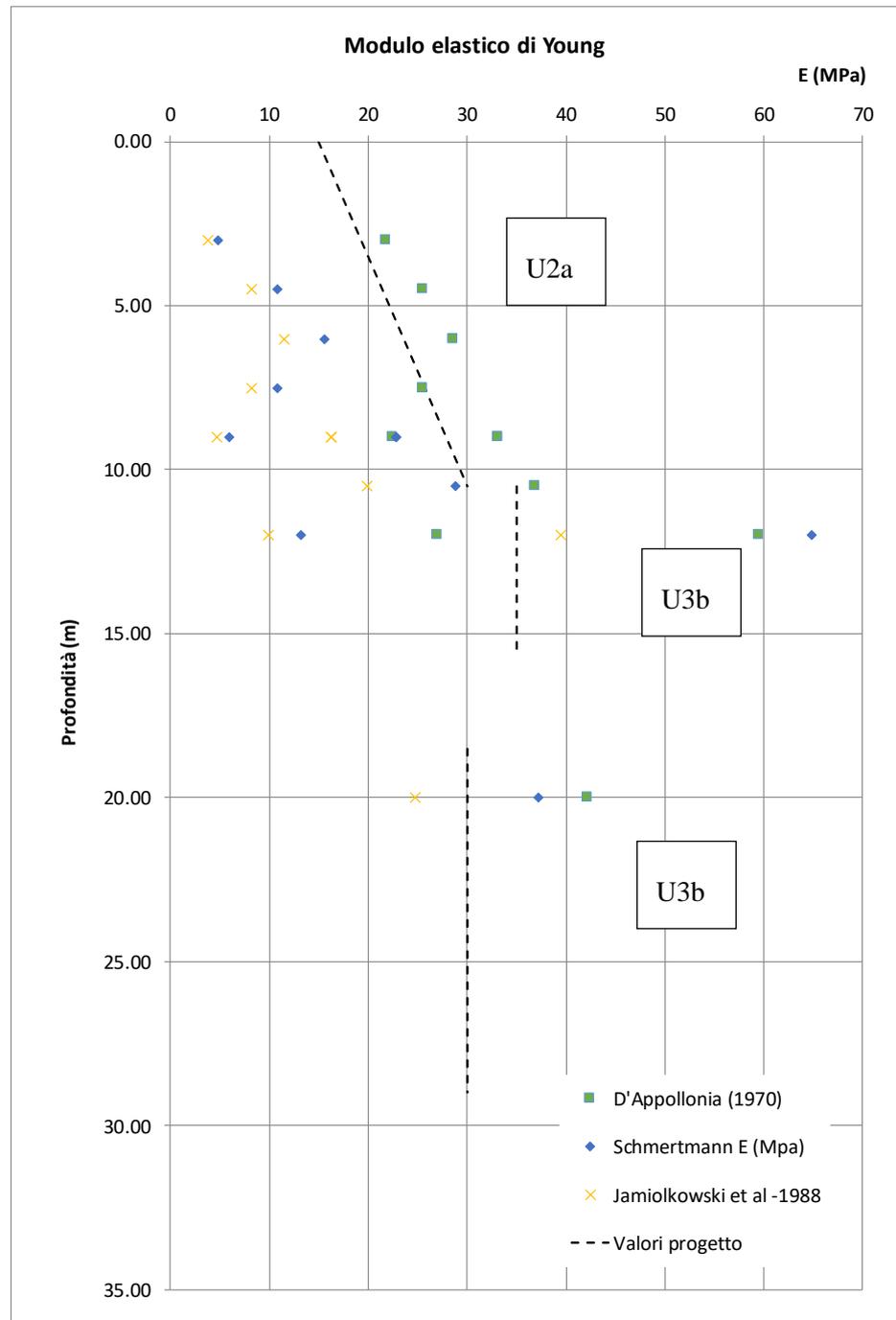


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	259 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.3.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico

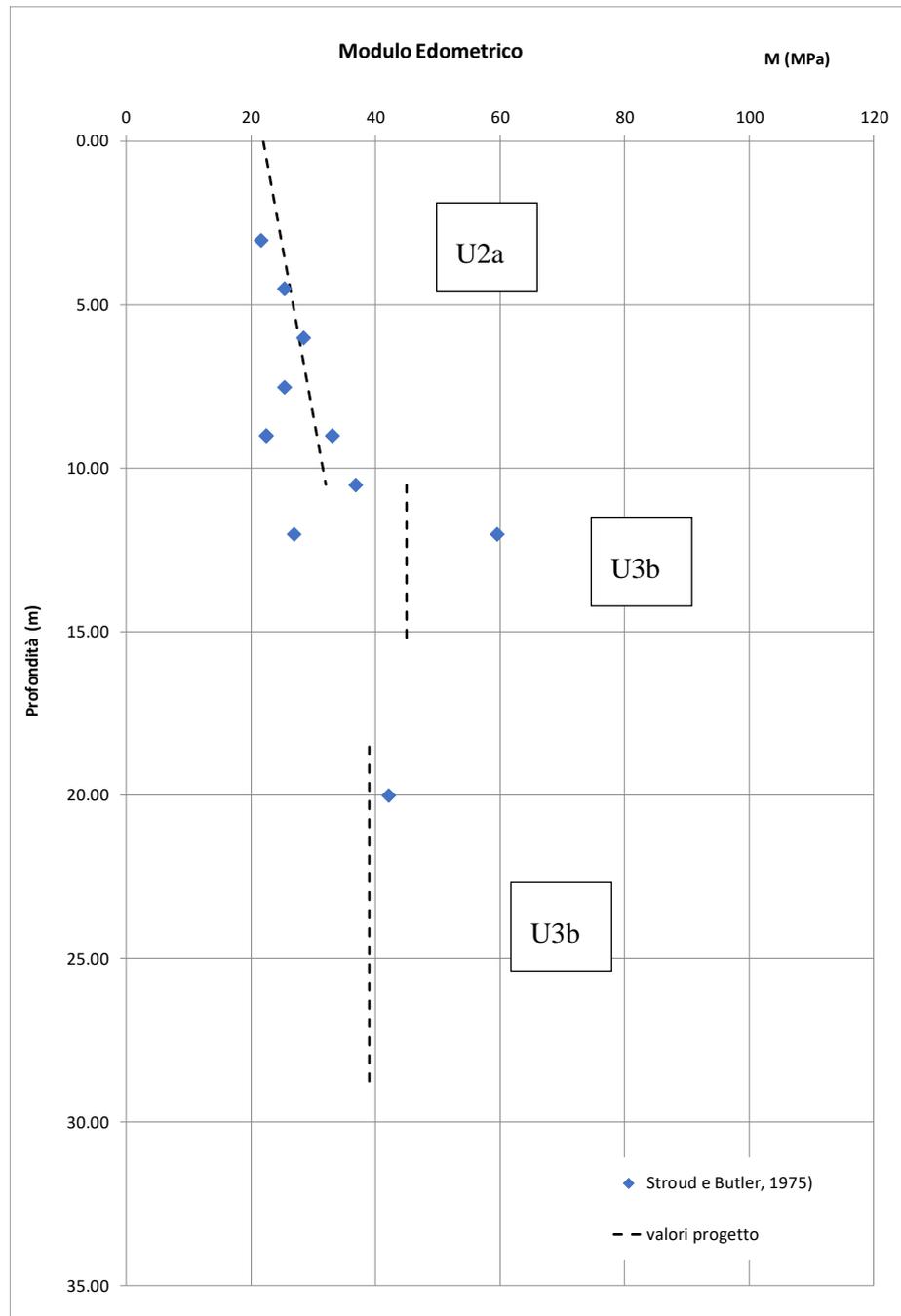


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	260 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.3.7 Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico

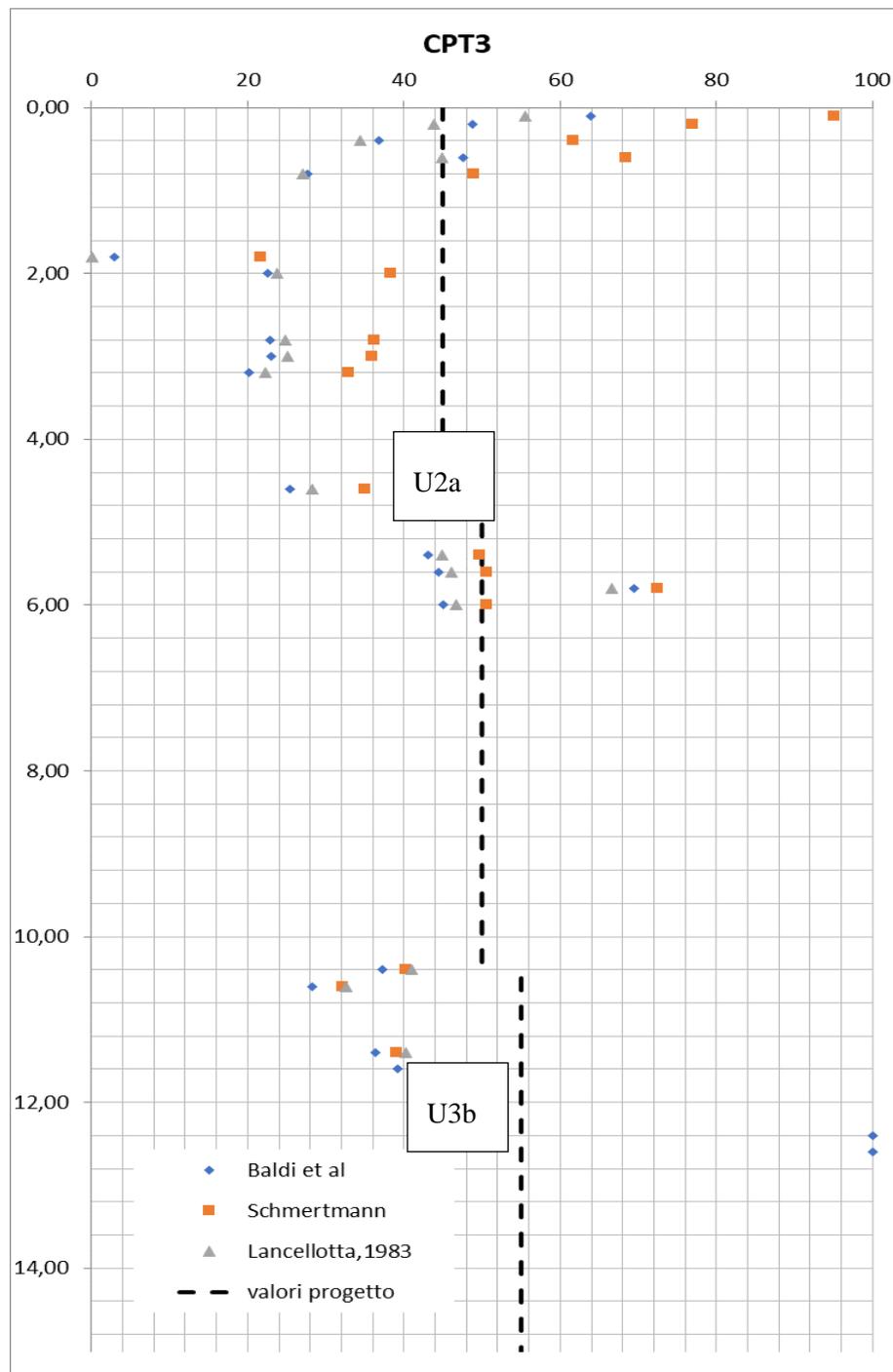


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	261 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

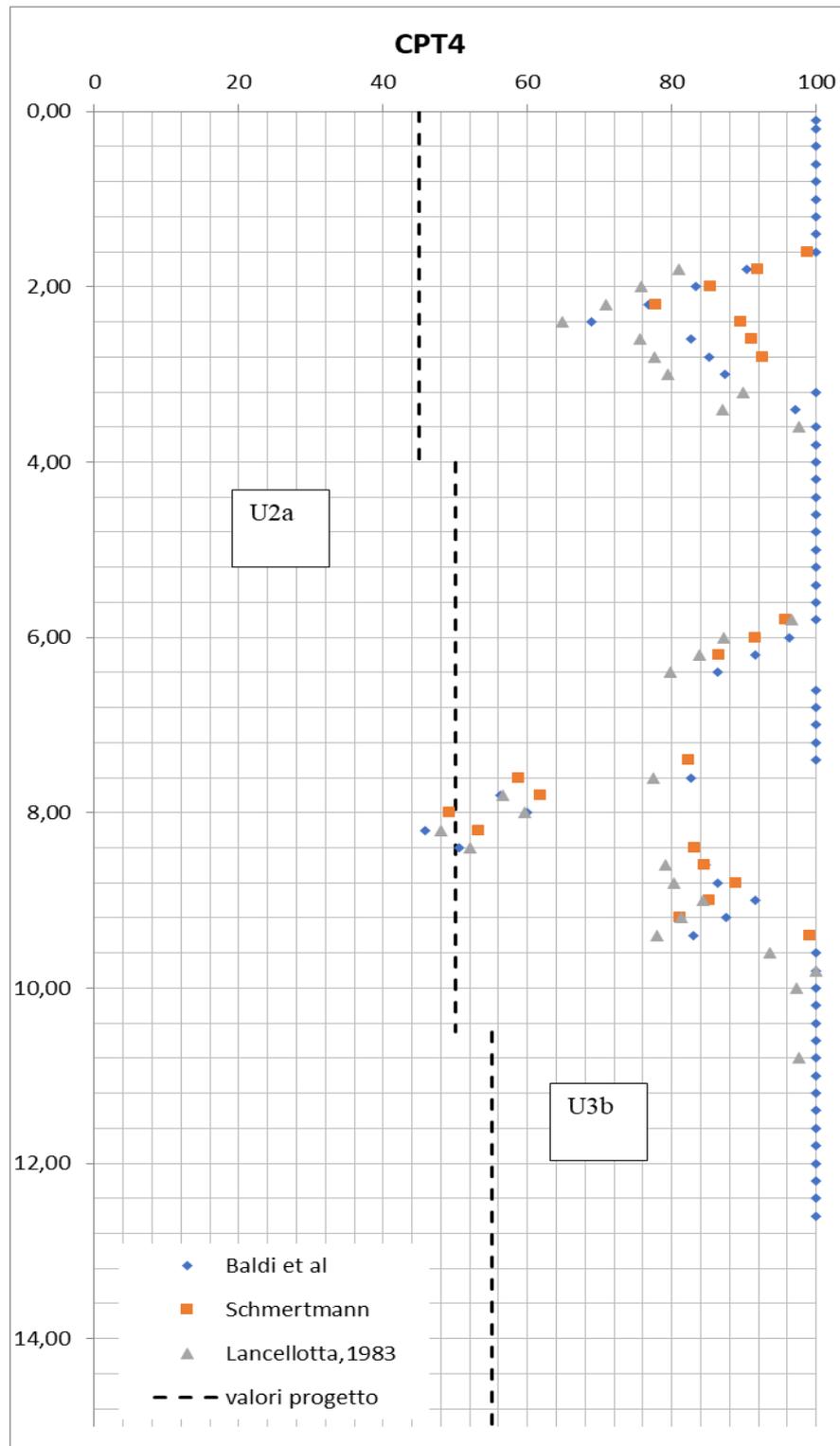
### 10.3.8 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	262 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



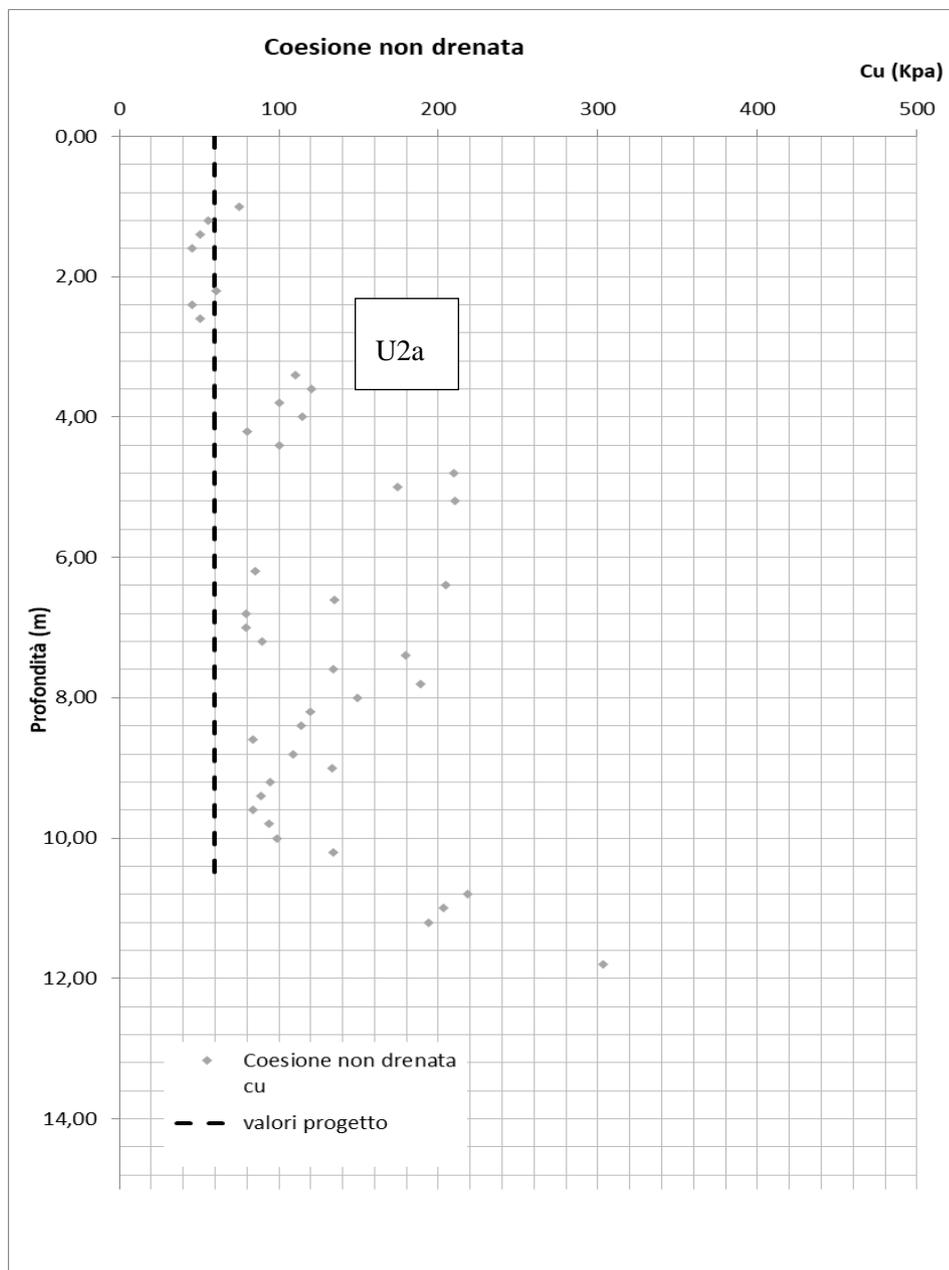
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	263 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.3.9 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coesione non drenata

Il valore della coesione non drenata considerato per l'unità geotecnica U2a (profondità 0-10.50m) è stato considerato cautelativamente pari a 60Kpa.

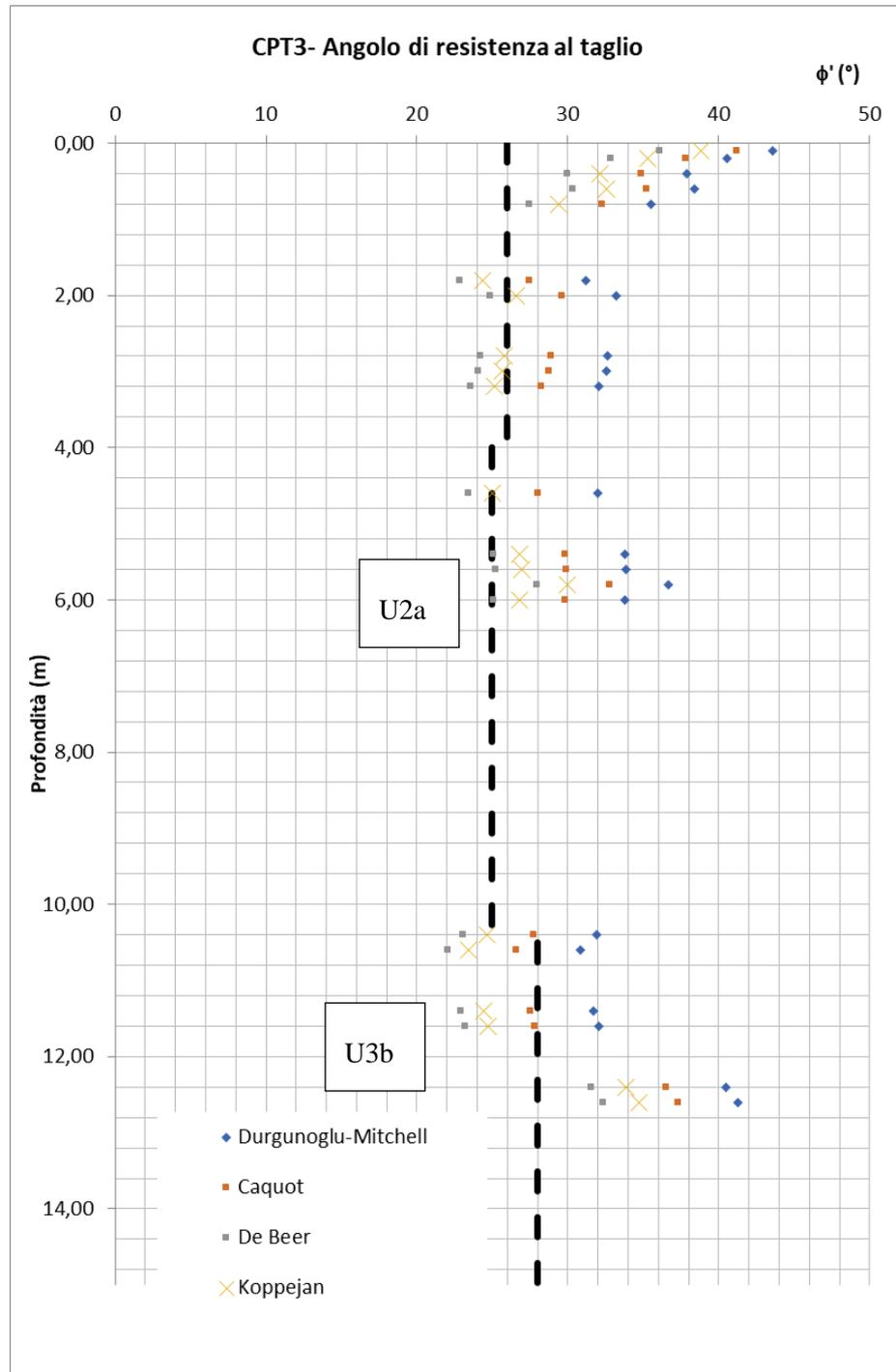


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	264 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

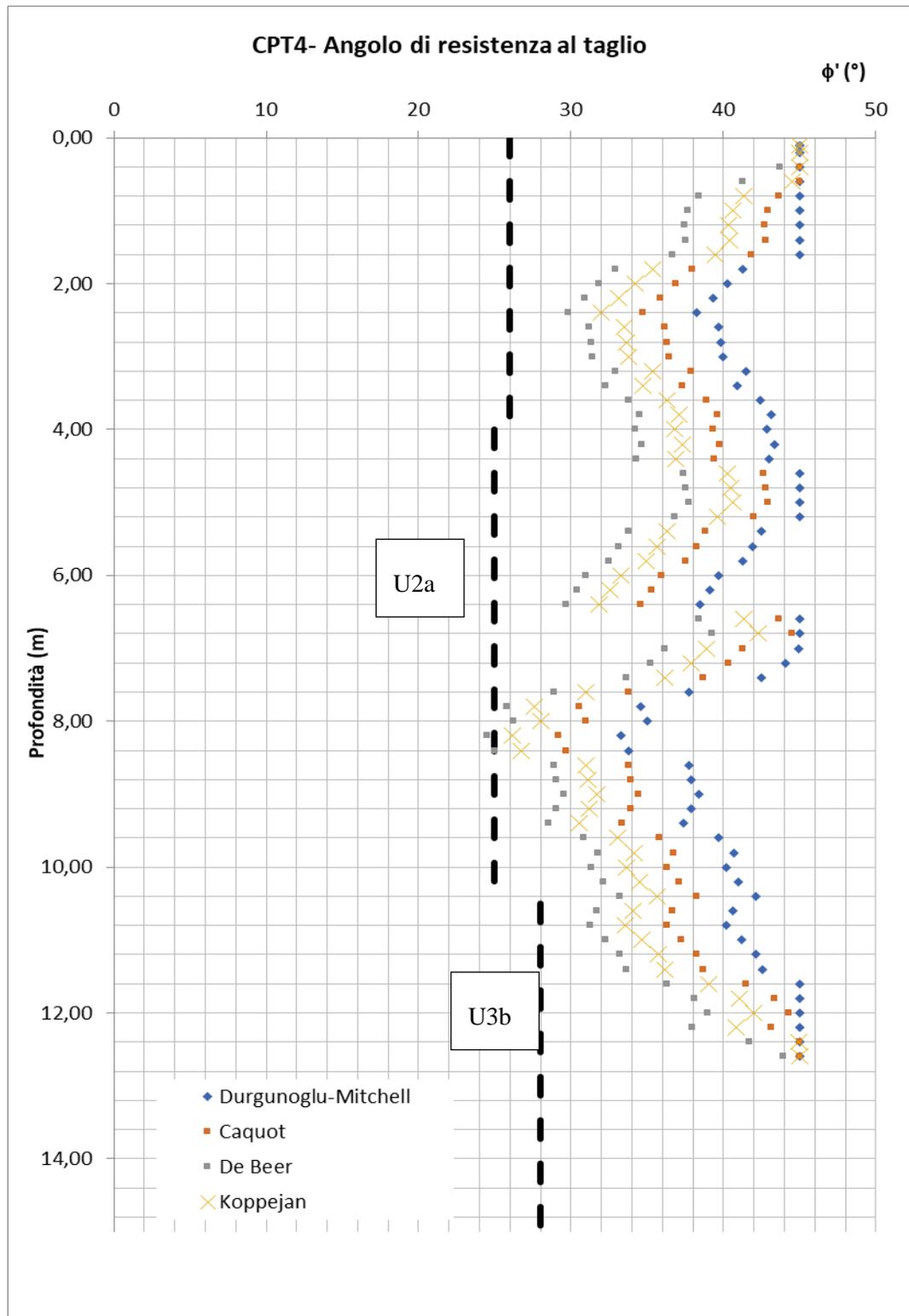
**10.3.10 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio**



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	265 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

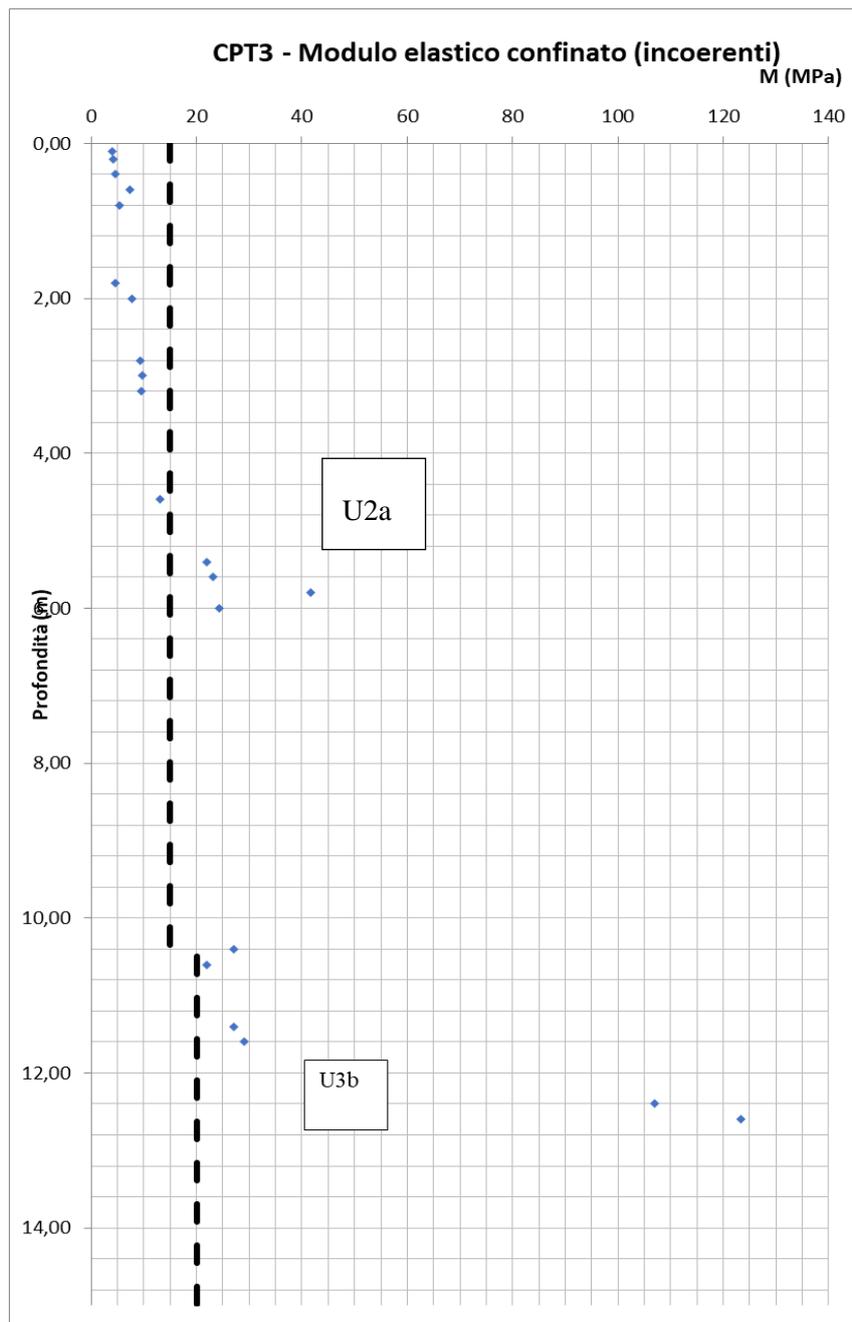


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	266 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**10.3.11 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico confinato**



### 10.3.12 Interpretazione prove in sito MASW e Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico

Come già accennato nel capitolo 8.2 relativo alle correlazioni utilizzate, di seguito si riportano l'interpretazione delle prove geofisiche; si sottolinea che i valori ottenuti risultano essere, soprattutto per le profondità maggiori, molto elevati. Pertanto si ritiene opportuno limitare l'utilizzo dei valori di angoli e moduli di progetto ricavati da tali prove e di fare riferimento ai valori ottenuti dalle prove di laboratorio e dalle altre prove disponibili.

Down Hole in S05-2017				Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Limite superiore	Limite inferiore		
1	202	18	310	49	42	38	U2a
2	202	36	261	45	39		
3	202	54	236	43	37		
4	339	72	368	52	46		
5	339	90	348	51	45		
6	221	108	217	42	35		
7	221	126	209	41	35		
8	221	144	202	40	34		
9	221	162	196	40	34		
10	221	180	191	39	33		
11	221	198	186	39	33	47	U3b
12	538	216	444	57	51		
13	538	234	435	56	50		
14	538	252	427	56	50		
15	538	270	420	56	49		
16	538	288	413	55	49	48	U4a
17	538	306	407	55	49		
18	538	324	401	55	48		
19	538	342	396	54	48		
20	538	360	391	54	48	51	U3b
21	538	378	386	54	47		
22	538	396	381	53	47		
23	646	414	453	58	51		
24	919	432	637	67	61		
25	646	450	444	57	51		
26	646	468	439	57	51		
27	646	486	435	56	50		
28	646	504	431	56	50	50	U4b
29	646	522	427	56	50		
30	646	540	424	56	50		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	268 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**Down Hole in S05-2017**

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	E (Mpa)
1	202	0,3	16	66551	173032	173	22
2	202	0,3	16	66551	173032	173	22
3	202	0,3	16	66551	173032	173	22
4	339	0,3	18	210864	548247	548	69
5	339	0,3	18	210864	548247	548	69
6	221	0,3	18	89617	233003	233	29
7	221	0,3	18	89617	233003	233	29
8	221	0,3	18	89617	233003	233	29
9	221	0,3	18	89617	233003	233	29
10	221	0,3	18	89617	233003	233	29
11	221	0,3	18	89617	233003	233	29
12	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
13	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
14	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
15	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
16	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
17	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
18	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
19	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
20	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
21	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
22	538	0,3	20	590100	1534260	1534	192
23	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277
24	919	0,3	20	1721837	4476776	4477	560
25	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277
26	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277
27	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277
28	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277
29	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277
30	646	0,3	20	850797	2212073	2212	277

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	269 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**MASW1**

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	E (Mpa)
0,4	262	0,3	16	111958	291090	291	36
0,7	201	0,3	16	65894	171323	171	21
1,9	330	0,3	18	199817	519523	520	65
4	312	0,3	18	178613	464393	464	58
10,6	294	0,3	18	158598	412355	412	52
15	389	0,3	18	277653	721898	722	90
20,7	605	0,3	18	671606	1746174	1746	218
57,5	765	0,3	18	1073807	2791899	2792	349

**MASW2**

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	E (Mpa)
0,2	556	0,3	16	504197	1310913	1311	164
2,4	327	0,3	16	174400	453440	453	57
3,4	174	0,3	18	55552	144436	144	18
5,5	248	0,3	18	112851	293414	293	37
8,4	150	0,3	18	41284	107339	107	13
11,8	281	0,3	18	144883	376695	377	47
15,6	301	0,3	18	166240	432225	432	54
23,8	549	0,3	18	553029	1437876	1438	180
53,7	751	0,3	18	1034864	2690647	2691	336

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	270 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### MASW3

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume (KN/m3)	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop (Mpa)
0,2	190	0,3	16	58879	153085	153	19
1	248	0,3	16	100312	260812	261	33
2,1	196	0,3	16	62656	162906	163	20
3,9	327	0,3	16	174400	453440	453	57
7,2	209	0,3	16	71243	185232	185	23
10,2	251	0,3	16	102754	267160	267	33
20	374	0,3	16	228136	593154	593	74
26,6	609	0,3	16	604903	1572747	1573	197
106,3	608	0,3	16	602918	1567586	1568	196

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

### SINTESI DELLA CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA LUNGO LA LINEA FERROVIARIA tra le pk 30+100 e pk 31+700

Modello geotecnico 3 tra le pk 30+100 e pk 31+700

La falda di progetto è pari a 9.98m da piano campagna.

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ picco (°)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ cv (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico E (MPa)	Modulo edometrico M (Mpa)	RQD (%)	GSI	Resistenza a compressione (Mpa)	K rilevata (cm/s)	K media (cm/s)
U2a	Limo argilloso sabbioso	0	4	4	2	17	GG	45	26	26	10	60	15-30	22-39	-	-	-	1,48*10 <sup>-3</sup> /9,88*10 <sup>-5</sup>	4,95*10 <sup>-5</sup>
		4	10,5	6,5	3,25	17	GG	50	25	25									
U3b	PVL-Depositi vulcanici: sabbia limosa molto consistenza con presenza di clasti litici di tufo debolmente litoide	10,5	15,5	5	2,5	20	GG	55	28	25	0	0	35	45	-	-	-	-	-
U4a	Roccia basaltica	15,5	18,5	3	1,5	27	R	-	42	-	-	-	4800	-	70	65	67	-	-
U3b	PVL-Depositi vulcanici - Sabbia limosa con presenza di ghiaia	18,5	29	3	1,5	16	GG	65	30	25	0	0	30	39	-	-	-	-	-
U4b	Roccia debolmente alterata e fratturata con livelli di piroclastite alterata	29	30	10,5	5,25	27	R	-	40	-	-	-	4500	-	20	25	35	-	-

Nel dettaglio la tabella riassuntiva soprastante indica spessori indicativi che riguardano le progressive dalla 30+600 alla 31+200. Vista la mancanza di informazioni profonde oltre i 10m del sondaggio S03-2017 (pk 30+100 – 30+600) e indicativamente dalla pk 31+200 alla pk 31+700 in relazione al sondaggio S05-2017 fuori asse di 150m, si ritiene di considerare le tabelle esplicitate di seguito per le progressive indicate.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

pk 31+200-31+700

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ cv (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico E (MPa)	Modulo edometrico M (Mpa)	K rilevata (cm/s)	K media (cm/s)
U2a	Limo argilloso sabbioso	0	4	4	2	17	GG	45	26	26	10	60	15-30	22-39	1,48*10 <sup>-3</sup> /9,88*10 <sup>-5</sup>	4,95*10 <sup>-5</sup>
		4	10,5	6,5	3,25	17	GG	50	25	25						
U3b	PVL-Depositi vulcanici: sabbia limosa molto consistenza con presenza di clasti litici di tufo debolmente litoide	10,5	15,5	5	2,5	20	GG	55	28	25	0	0	35	45	-	-
U3a	PVI-depositi vulcanici incoerenti: Sabbia con limo debolmente argillosa	15,5	30	14,5	7,25	16	GG	70	26	21	0	0	15	25	-	-

pk 30+100-30+600

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ cv (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico E (MPa)	Modulo edometrico M (Mpa)	K rilevata (cm/s)	K media (cm/s)
U2a	Limo argilloso sabbioso	0	4	4	2	17	GG	45	26	26	10	60	15-30	22-39	1,48*10 <sup>-3</sup> /9,88*10 <sup>-5</sup>	4,95*10 <sup>-5</sup>
		4	10,5	6,5	3,25	17	GG	50	25	25						
U3a	PVI-depositi vulcanici incoerenti: Sabbia con limo debolmente argillosa	10,5	30	19,5	9,75	16	GG	70	26	21	0	0	15	25	-	-

Per quanto appena descritto in relazione all'unità geotecnica U3a si utilizzano i parametri geotecnici definiti nel modello 4, pertanto si rimanda ai grafici e all'interpretazione delle prove relative a quest'ultimo modello per l'unità geotecnica citata.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	273 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

#### 10.4 Modello geotecnico 4 – pk 31+700-32+950

Si tratta di uno dei modelli non oggetto di indagini integrative per il quale si è mantenuto in questa fase di PD, la stessa caratterizzazione e assunzione dei parametri che era stata determinata nel PD 2018 – relazione NR1J01D29GEGE0005001A. Si riportano nel seguito per completezza le suddette determinazioni:

Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	K media (m/s)
Terreno sabbioso limoso con resti di materiale antropico	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Limo sabbioso debolmente argilloso	1	6	5	16	GF	26	10	35	20	
Sabbia con limo debolmente argilloso	6	11	5	16	GG	26	0	-	15	-
Depositi di materiale derivante da attività vulcanica - Sabbia con limo / Limo con sabbia	11	22	11	18	GG	30	0	-	30	5,50*10 <sup>-3</sup>
Limo sabbioso	22	30	8	16	GG	26	0	-	20	-

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	274 di 452

### 10.5 Modello geotecnico 5 – pk 32+950-34+600

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggio geotecnico con prelievo di campioni (S06-DH-2017);
- prova penetrometrica (CPTU5);
- prove di laboratorio meccaniche (prove di taglio diretto e prova di compressione monoassiale);
- prova geofisica Down-Hole nel sondaggio S06-DH-2017.

Il presente modello geotecnico è stato suddiviso in funzione alle indagini in sito e di laboratorio e vengono incontrate le seguenti unità geotecniche.

#### Modello 5 – pk 32+950 alla pk 33+400 (relativo alla prova CPTU5)

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	7	7
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia ghiaiosa limosa	7	13	6

#### Modello 5 - pk 33+400 alla pk 34+600 (relativo al solo S06-DH-2017)

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)
U2a	Sabbia limosa /limo sabbioso	0	6	6
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia ghiaiosa limosa	6	13	7
U4a	Rocchia basaltica	13	30	17

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

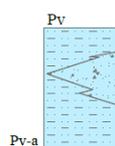
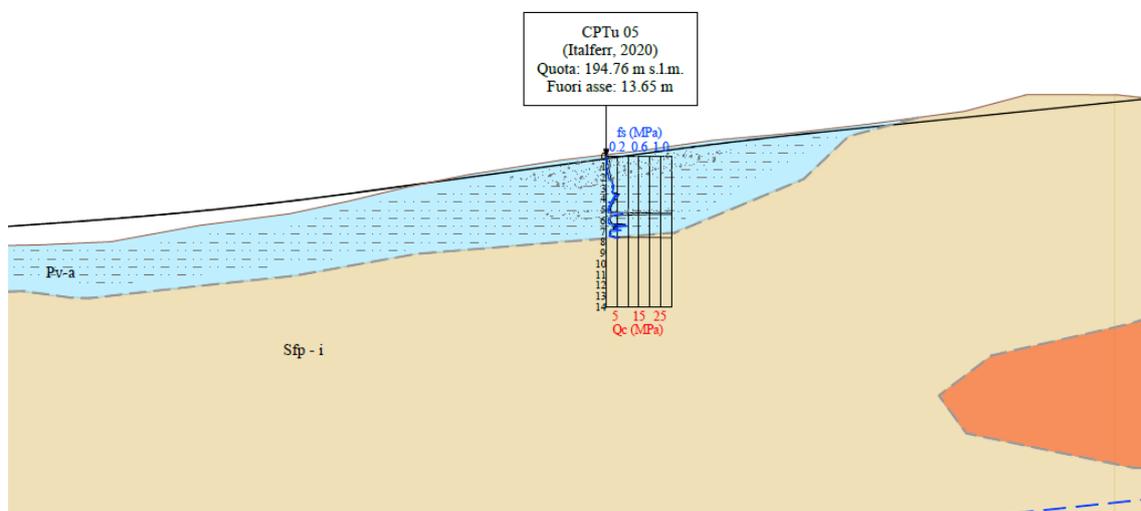
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	275 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

Nel seguito sono presentate anche le caratterizzazioni geomeccaniche della formazione rocciosa di tipo basaltico incontrata dalla verticale di indagine (U4a), caratterizzata da roccia effusiva di tipo basaltico di colore grigio o grigio scuro da grana fine a finissima (S06-DH-2017).

La porzione più superficiale dell'unità U1a è ascrivibile al deposito locale individuato nel profilo di Geologia ("Pv-a" superficiali), di cui si riporta un estratto in seguito. **Questo tipo di deposito viene individuato in corrispondenza della prova CPTU5.** Nel dettaglio nel profilo geologico tale deposito viene descritto come terreni prevalentemente fini: limi - limi sabbiosi argillosi - limi con argilla e terreni prevalentemente granulari: sabbie - sabbie limose ghiaiose (evidenza di una piccola lente nella prova CPTU5 alla profondità di 5.50m).



**Depositi alluvionali, eluvio - colluviali**

L'intervallo granulometrico si estende da argille a ghiaia. Lo spessore di questo complesso raggiunge circa 20 m lungo gli assi delle valli principali. Prodotti del dilavamento (terreni eluviali colluviali) e alluvioni attuali.

(Pv-a) Terreni prevalentemente fini: Limi - Limi Sabbiosi Argillosi - Limi con Argilla

(Pv-b) Terreni prevalentemente granulari: Sabbie - Sabbie limose ghiaiose

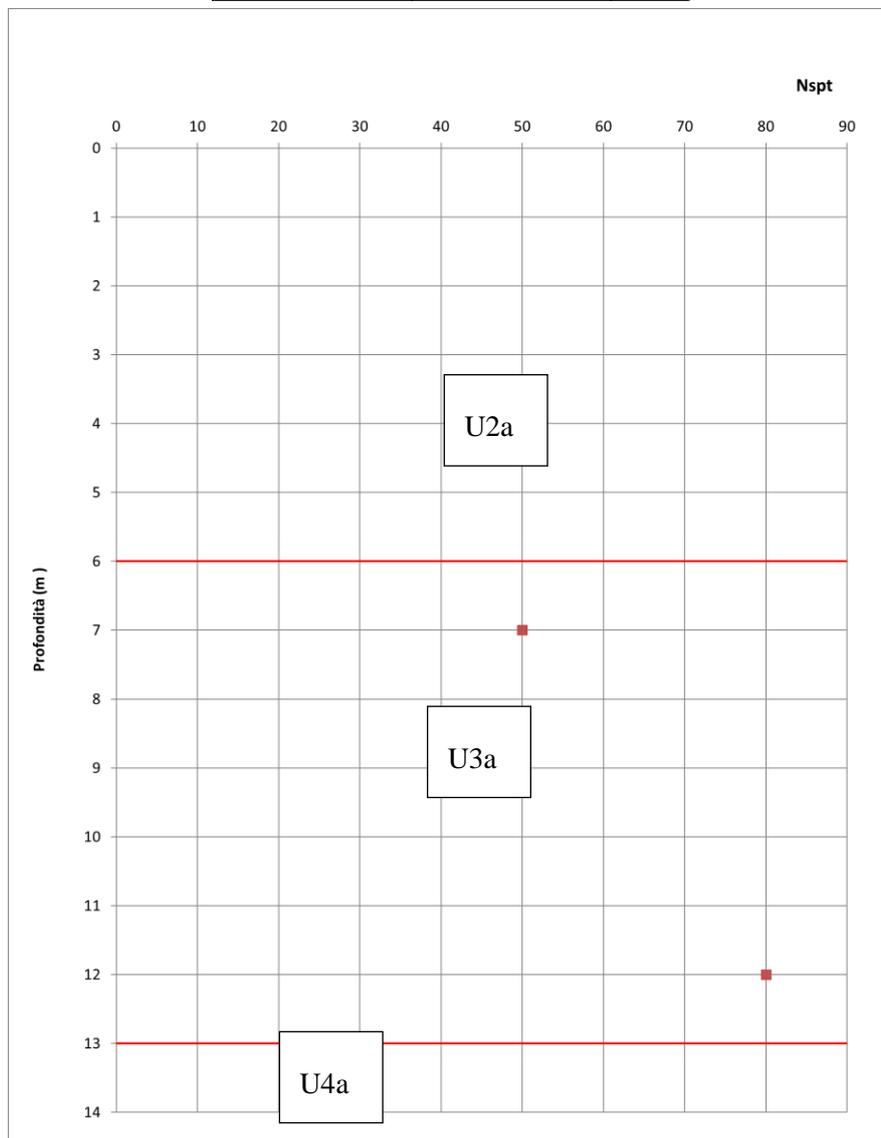
**10.5.1 Sondaggio a carotaggio continuo e prove SPT**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	276 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	Profondità	Nspt
	m	
S06_DH-2017	7	50
	12	80



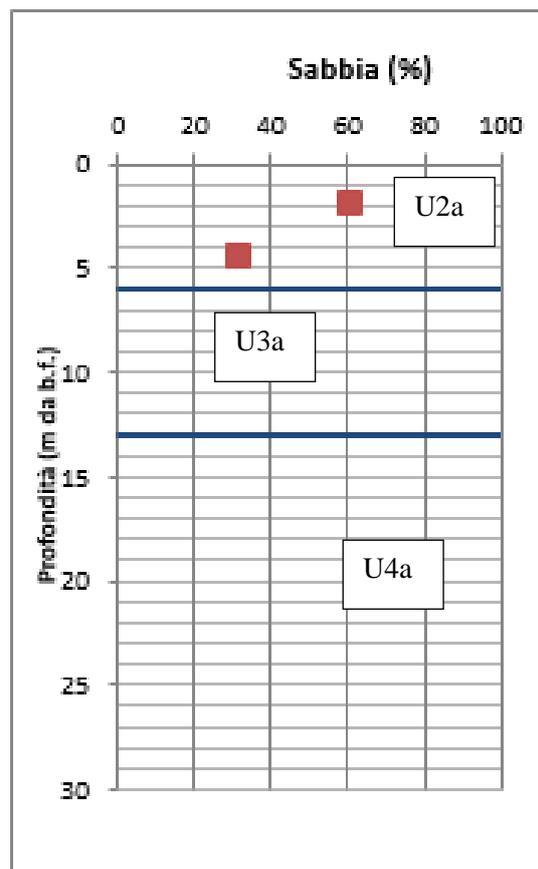
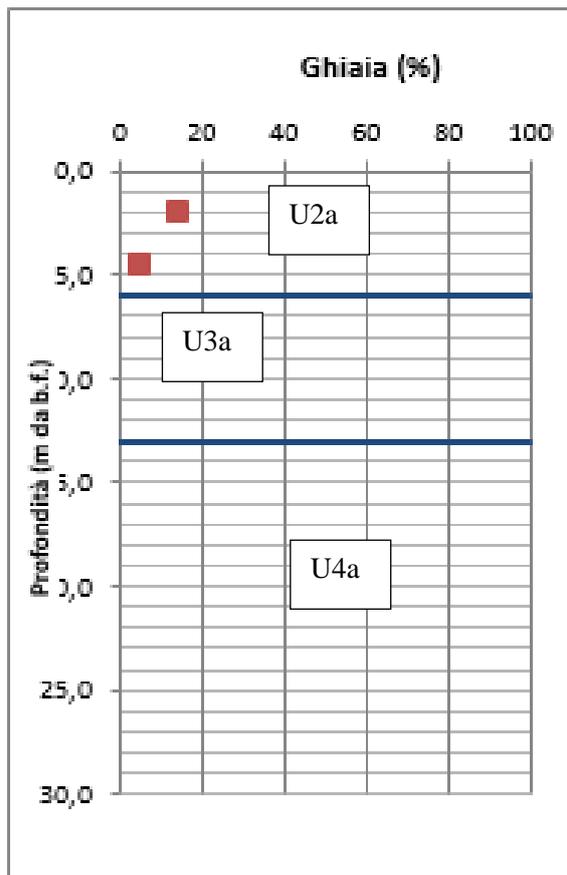
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	277 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

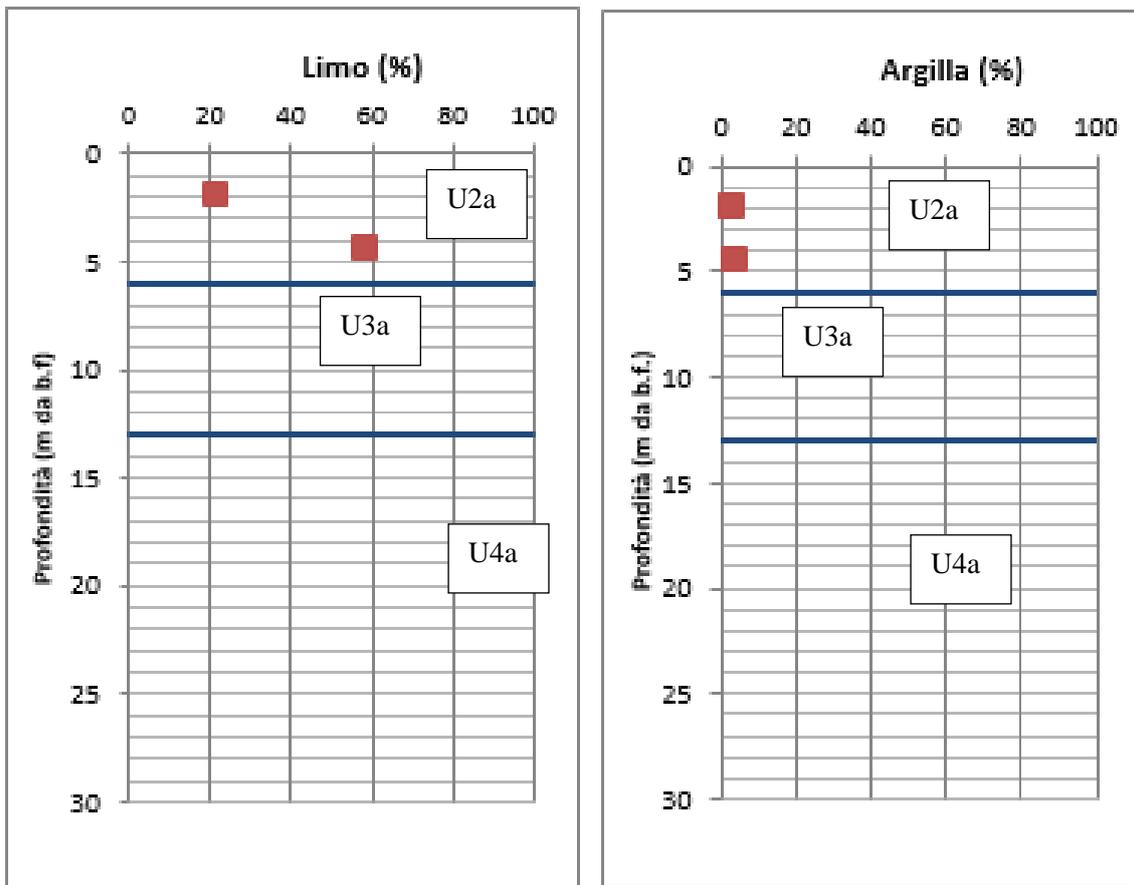
Sondaggio	Campione	Profondità (m)	GRANULOMETRIA			
			ghiaia	sabbia	limo	argilla
S06-DH-2017	CI1	2,0	14	61	22	3
	CI2	4,5	5	32	59	4
	CR3	14,3				



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	278 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

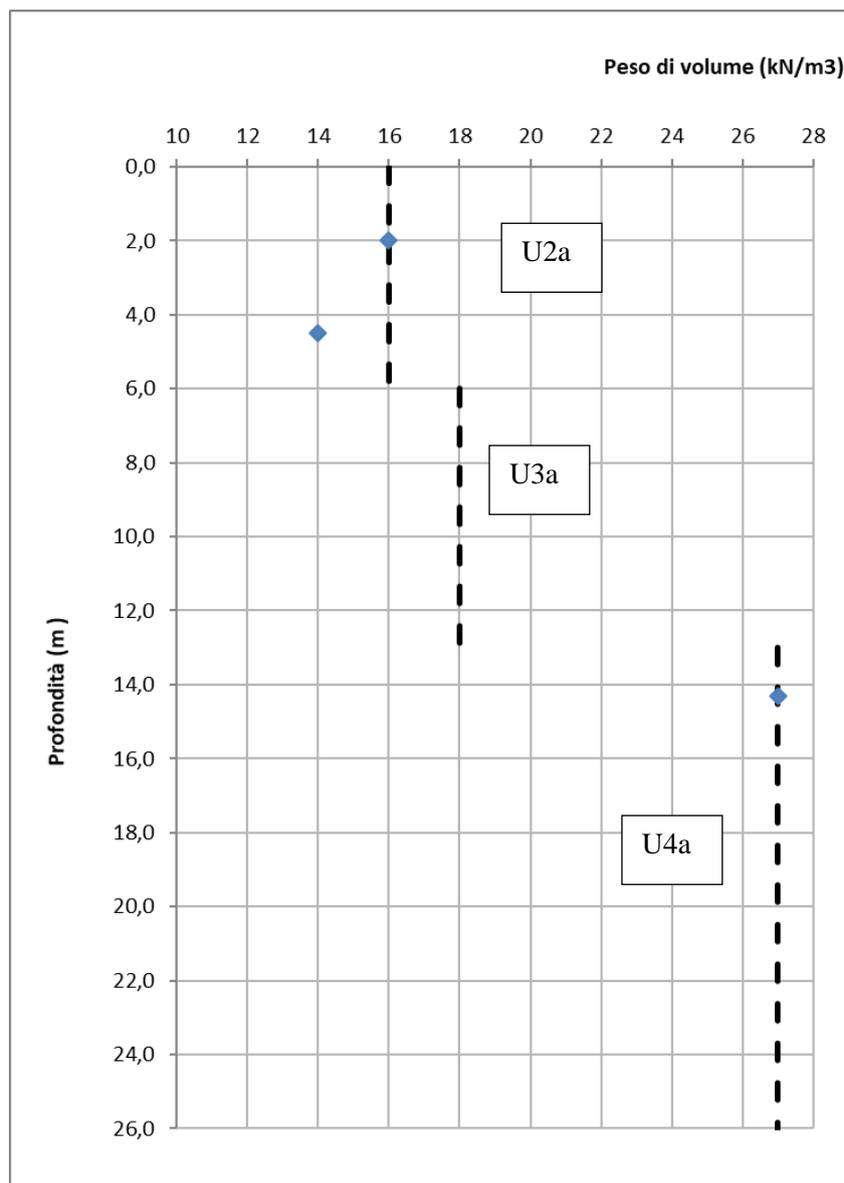


Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m3)
S06-PZ-2017	CI1	2,0	16
	CI2	4,5	14
	CR3	14,3	27

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	279 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

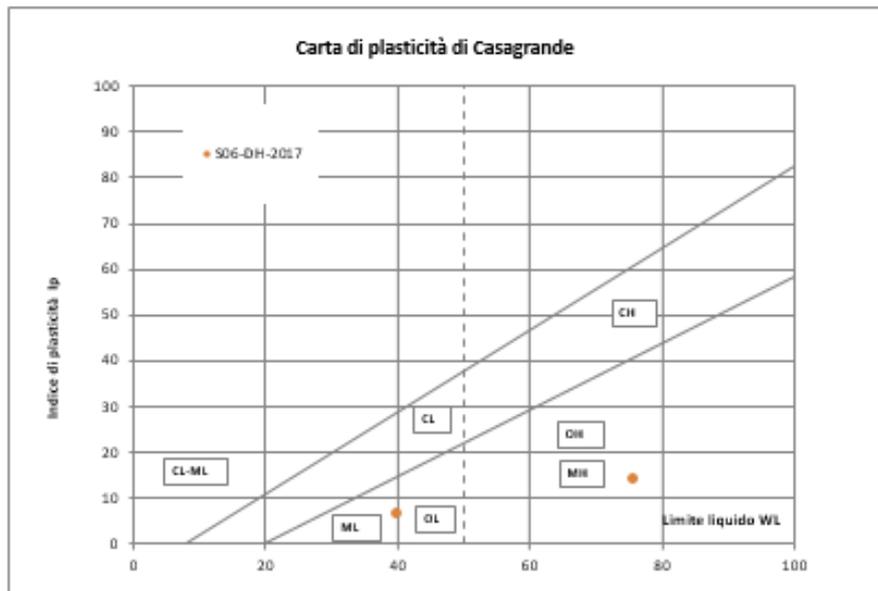


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	280 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S06-DH-2017	CR1	2	40	34	6,2
	CR2	4,5	76	62	13,7



OL= Limi organici, argillo limoso organico di bassa plasticità
ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; finine di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità
CL= Argillo inorganico di medio bassa plasticità; argillo ghiaioso o sabbioso; argillo limoso; argillo magro
CH= Argillo organico di medio alta plasticità; limi organici
MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi oleosi

### 10.5.3 Prove meccaniche di laboratorio

Le prove di laboratorio consistono in:

- prove di taglio diretto;
- prova di compressione monoassiale.

Si sono analizzate per prime le prove di taglio diretto riassunte di seguito:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

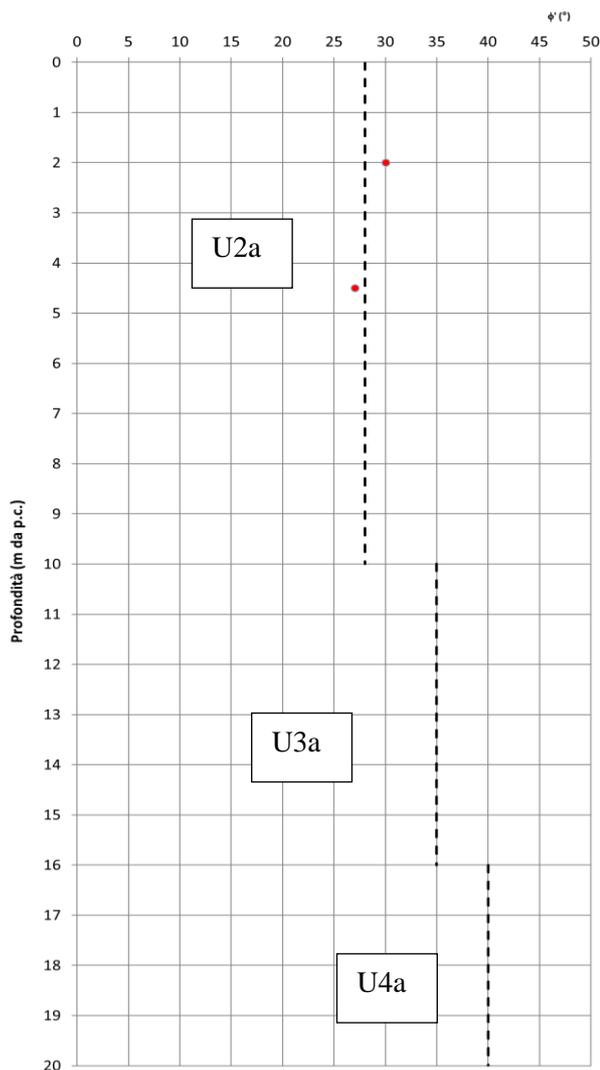
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	281 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

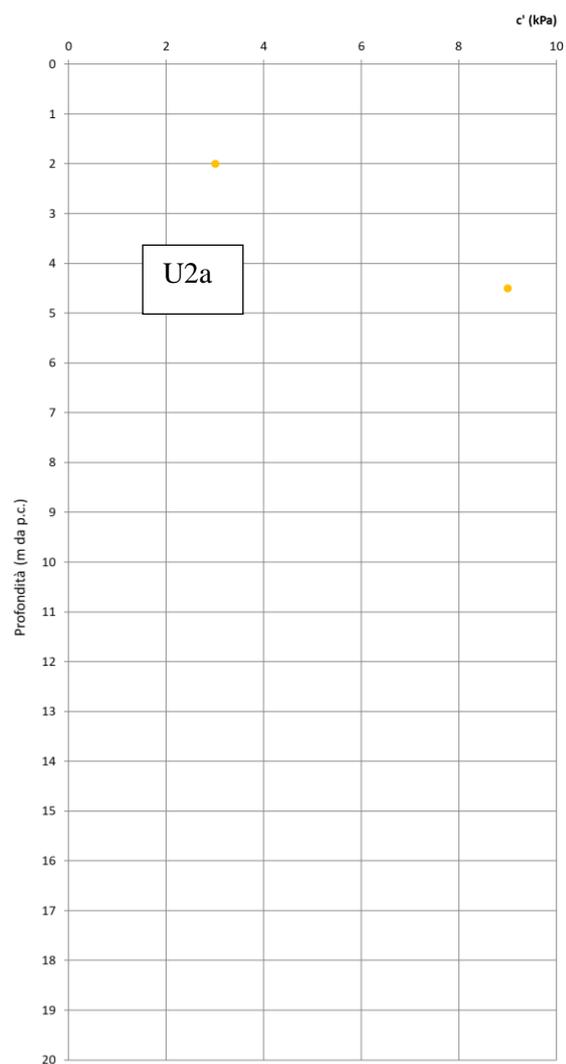
*Prove di lab. - Taglio diretto*

Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
30	3	2	S06-PZ-2017
27	9	4,5	

**Angolo di resistenza al taglio da TD**



**Coesione drenata da TD**



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

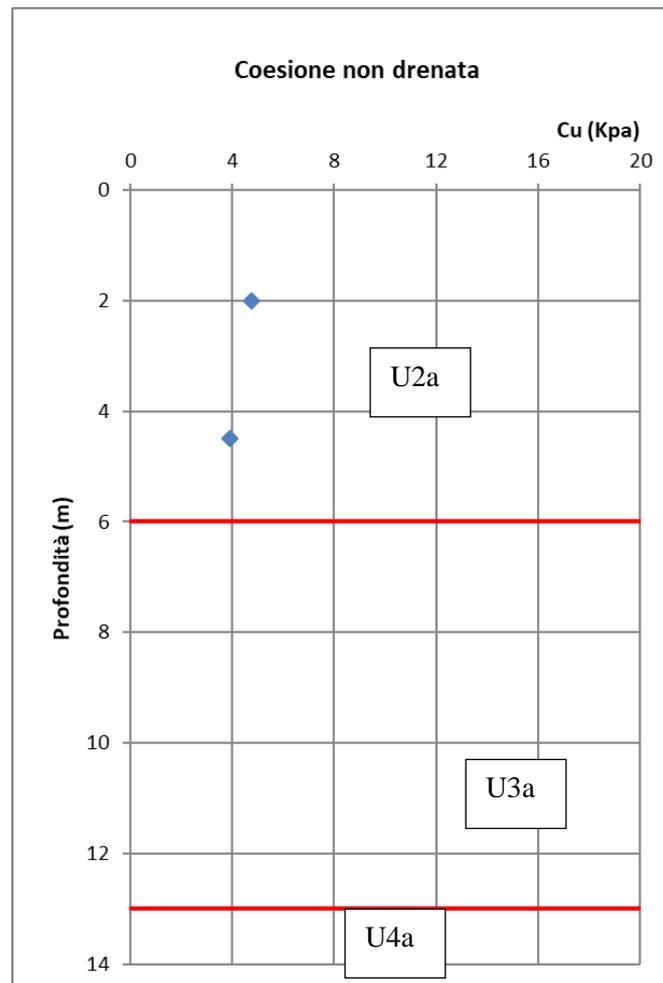
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	282 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Gli angoli di attrito ricavati dalle prove di taglio diretto fanno riferimento a valori di picco. Vista la natura maggiormente incoerente dell'unità geotecnica U2a, dove ricadono le prove di laboratorio eseguite, si ritiene cautelativamente considerare una coesione efficace nulla. Nel grafico vengono anche indicati gli angoli di resistenza al taglio di picco delle unità più profonde (U3a e U4a) individuati dalle prove in sito successivamente esplicitate.

Inoltre si riporta l'interpretazione dei valori di  $c_u$  ottenuti con la correlazione di Skempton a partire dall'indice di plasticità per ottenere la coesione non drenata.

				Skempton, 1957
Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Indice di Plasticità IP%	$c_u$ (Kpa)
S06-DH-2017	CR1	2	6,2	4,8
	CR2	4,5	13,7	3,92



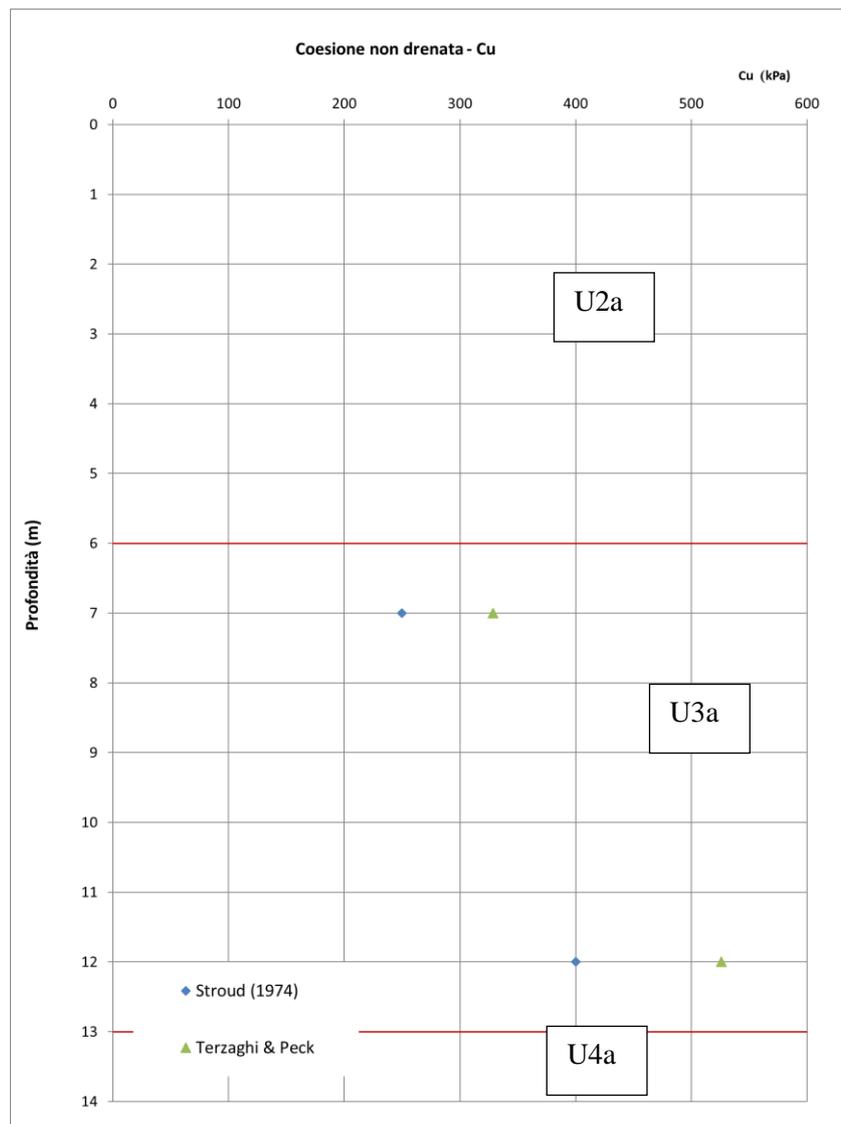
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	283 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Vista la natura maggiormente incoerente dell'unità geotecnica U2a si ritiene cautelativamente attribuirgli una coesione non drenata nulla. Vista la natura piu' incoerente segnalata, a differenza di altri litotipi limo argillosi della tratta con plasticita' piu' significativa, si ritiene di non considerare per tale terreno un comportamento coesivo di resistenza di breve termine, distinguibile da una resistenza a taglio di lungo termine.

Di seguito si riporta l'interpretazione delle prove SPT per la determinazione della coesione non drenata, considerando i valori molto elevati di SPT i risultati delle correlazioni portano a dati eccessivamente alti. Vista la natura maggiormente incoerente delle unità geotecniche incontrate nel sondaggio si ritiene cautelativamente attribuire alle singole unità una coesione non drenata nulla, secondo quanto gia' detto.



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	284 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Per quanto riguarda gli strati prevalentemente rocciosi (U4a) caratterizzati principalmente da roccia di tipo basaltico incontrata durante l'esecuzione del sondaggio S06-2017, è stata eseguita la prova di compressione monoassiale su un provino di roccia ed ha consentito di determinare le caratteristiche di seguito riportate.

<i>Prove di lab. - Prova monoassiale</i>		
$\alpha$	Profondità (m)	Sondaggio
Mpa		
116,22	14,3	S06-PZ-2017

Le prove SPT condotte all'interno dell'unità U4a non sono state eseguite per la natura litologica incontrata.

Complessivamente il materiale nella stratigrafia è descritto come roccia effusiva basalto debolmente alterato e da debolmente a mediamente fratturato; l'alterazione nelle fratture è debole e raramente si intravedono segni di riempimento o ossidazioni. L'RQD è ottimo da 70% a 96%. Complessivamente comunque, sia dli sondaggio che dai rilievi geomeccanici degli affioramenti, il materiale risulta in buone condizioni, l'alterazione nelle fratture è debole e raramente si intravedono segni di riempimento o ossidazioni. Da 22,50m fino a fondo foro mentre tra 13,50m e 22,50m è molto variabile a causa della presenza in alcuni tratti di abbondanti fratture.



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	285 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>286 di 452</p>



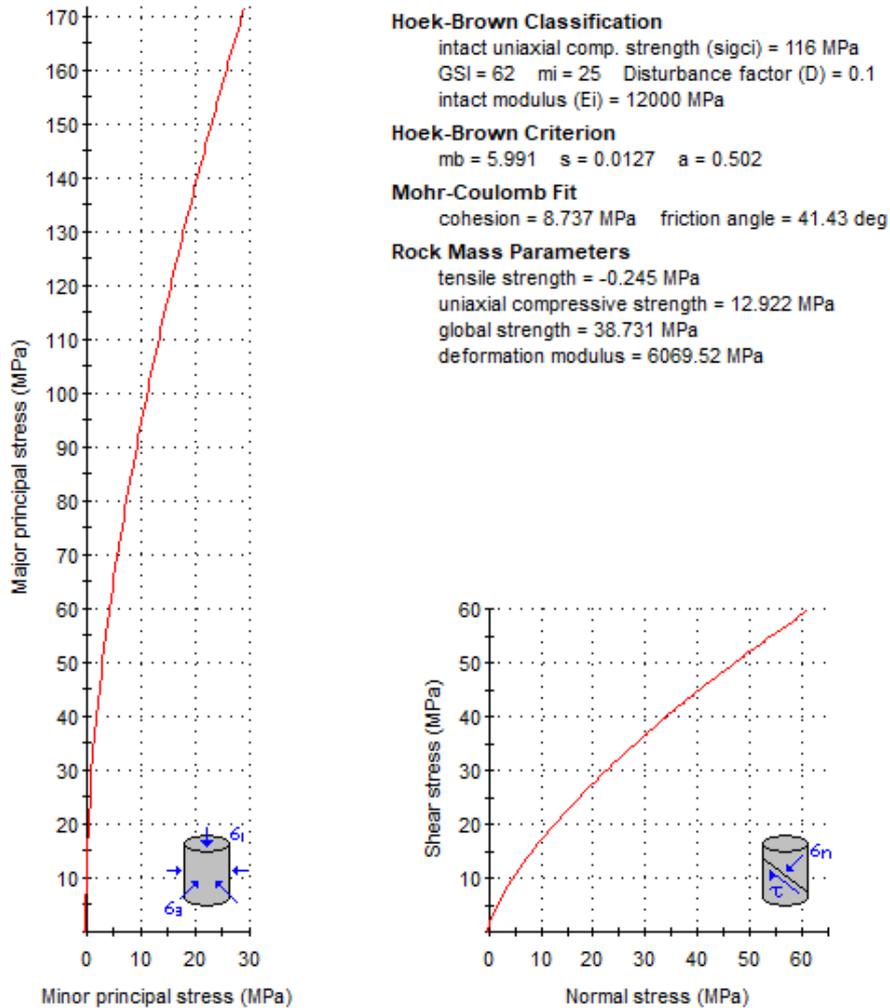
**Figura 72 - Cassette catalogatrici sondaggio S06-2017- unità U4a**

In base a queste evidenze ed in base a quanto emerso dai rilievi geomeccanici eseguiti sugli affioramenti delle formazioni si è scelto di caratterizzare l'unità geotecnica con un valore di GSI medio di 62. Il valore del parametro  $m$  è stato assunto pari a 25.

Sulla base di questi dati e considerando un grado di disturbo  $D$ , provocato dalla realizzazione delle opere, considerato pari a 0.1, si sono valutati i parametri che definiscono il criterio di rottura curvilineo dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Hoek e Brown. Successivamente si sono derivati, in corrispondenza dell'intervallo di pressioni di interesse per la progettazione, i valori dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso caratterizzanti il criterio di rottura alla Mohr – Coulomb tangente a quello curvilineo dell'ammasso stesso. I risultati, prendendo in considerazione il campione descritto.

Si sottolinea che i risultati in termini di parametri di resistenza tipo Mohr – Coulomb sono stati ottenuti dall'involuppo di rottura curvilineo della roccia tufacea, mentre per i moduli elastici di Young si è utilizzata l'analisi elastico-lineare o elastico-lineare equivalente e i parametri sono stati assunti sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e fisico-meccaniche della roccia stessa.

Pertanto per quanto descritto per l'unità U4a si considerano le caratteristiche:

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Figura 73 - Campione a profondità 14.30m del sondaggio S06-PZ-2017.**

Per quanto descritto sopra, i parametri di resistenza e deformabilità dell'unità geotecnica U4a profonda sono i seguenti, in conformità con quanto già previsto dal PD 2018.

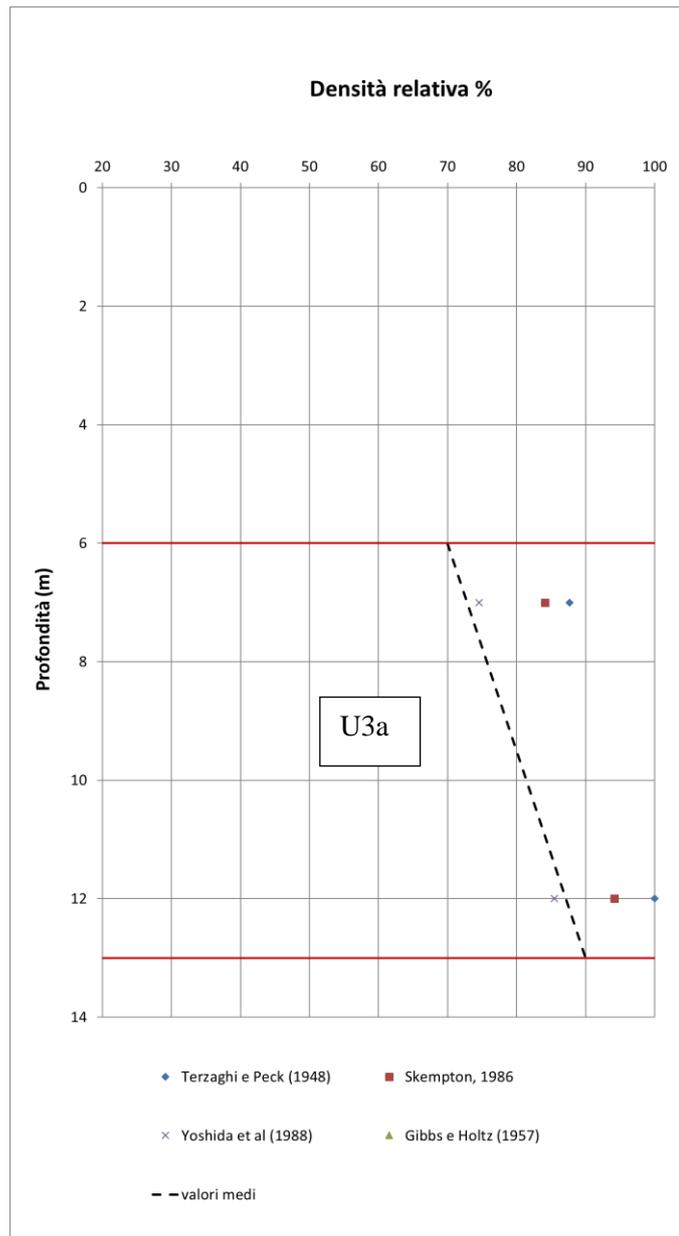
Unità geotecnica	Descrizione	z Iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume ( $kN/m^3$ )	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Modulo elastico $E_{op,1}$ (MPa)	RQD (%)	GSI	Resistenza a compressione (Mpa)
U4a	Rocchia basaltica	13	30	17	27	40	—	6000	80	62	116

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	288 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

#### 10.5.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

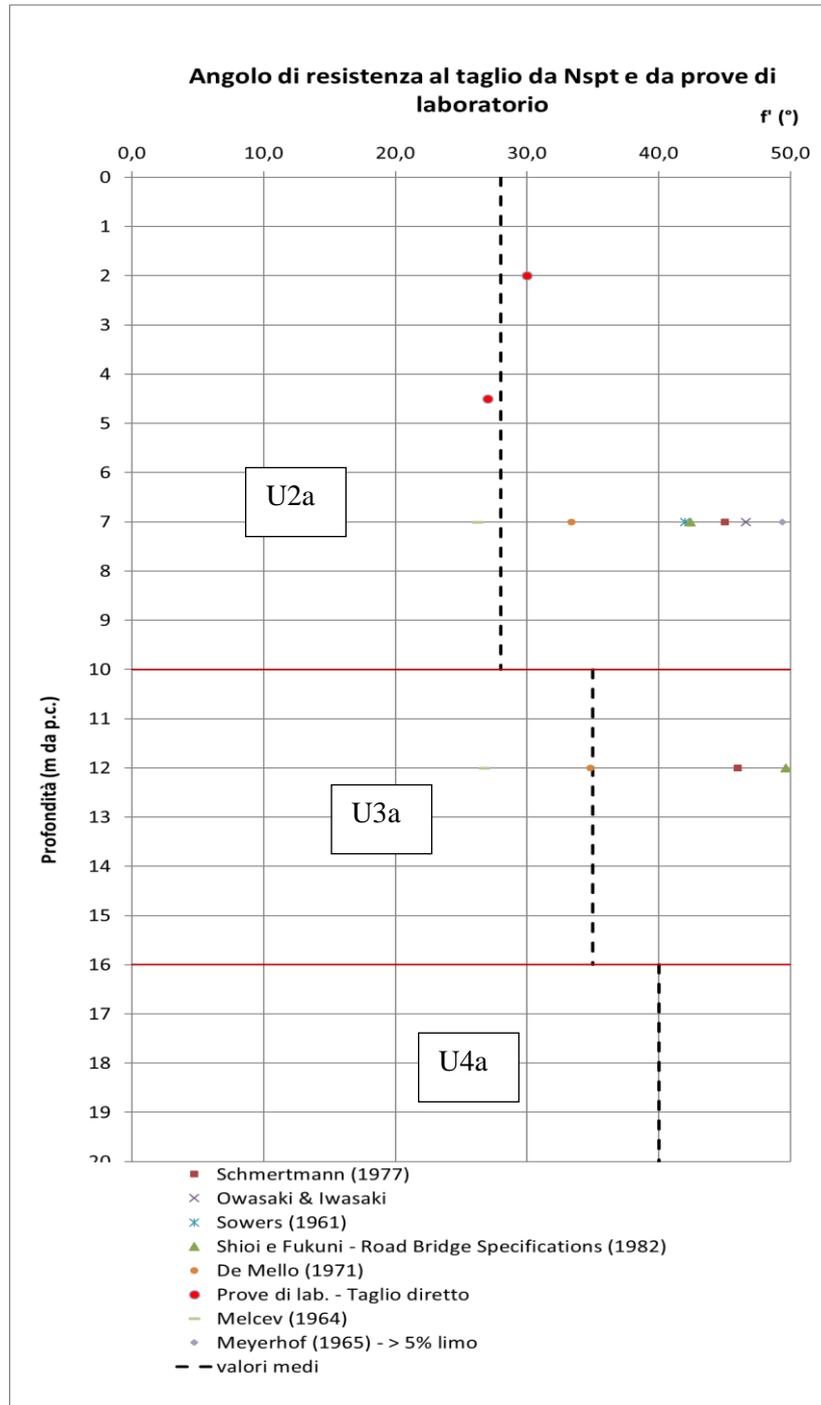


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	289 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.5 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

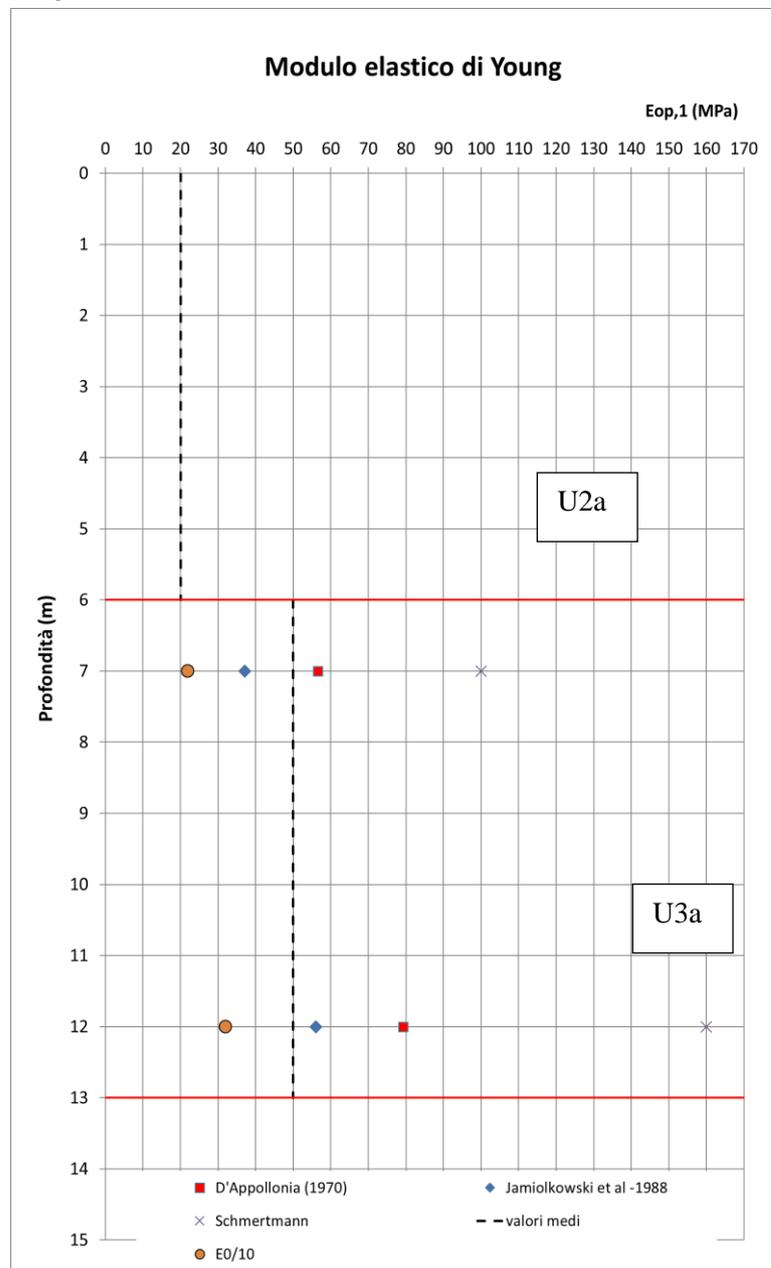
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	290 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.6 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico $E_{op,1}$

Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura. Il valore relativo all'unità U2a è stato attribuito considerando il capitolo generale relativo alla caratterizzazione dell'unità stessa.





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	291 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.7 Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico

Per le unità geotecniche U2a e U3a il modulo edometrico  $M$  è stato ricavato da  $E_{op,1}$  con la seguente formulazione, assumendo  $\nu = 0.3$  (coefficiente di Poisson):

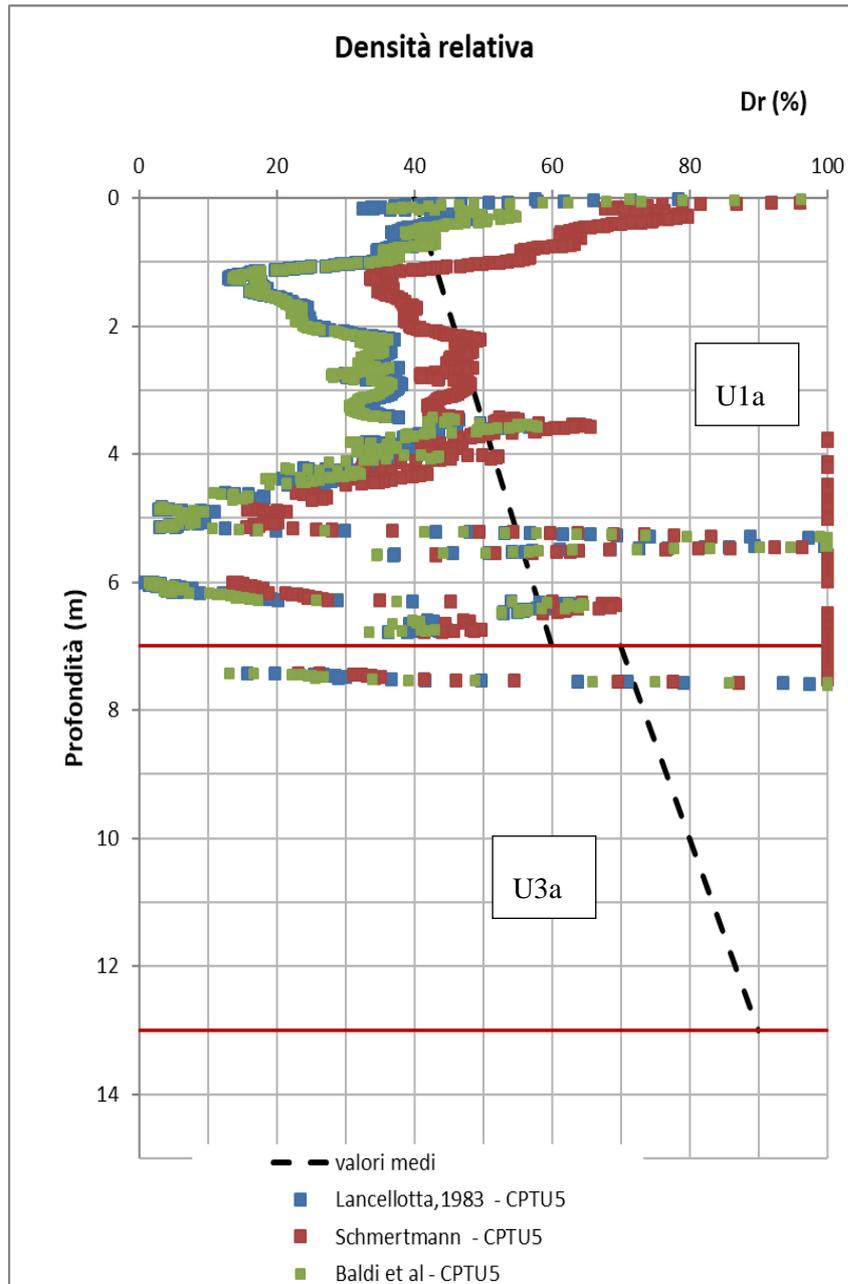
$$E = \frac{M(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	292 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.8 Interpretazione prova in sito CPTU: densità relativa

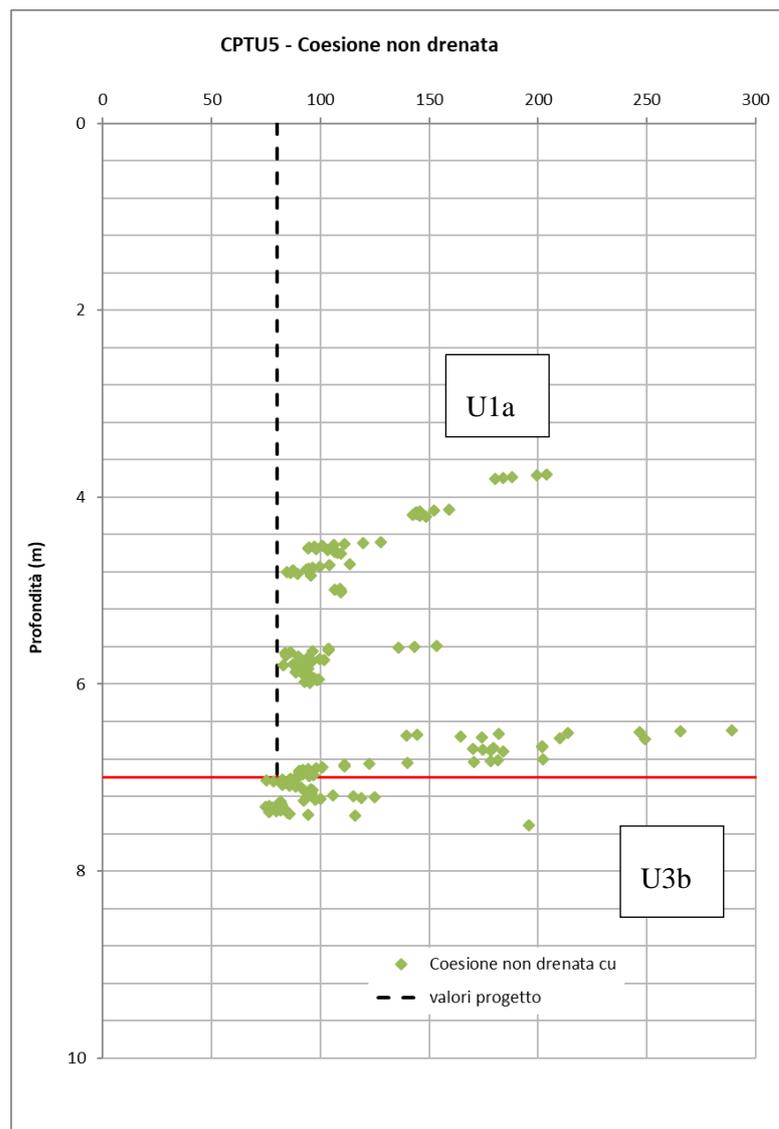


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	293 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.9 Interpretazione prova in sito CPTU: coesione non drenata

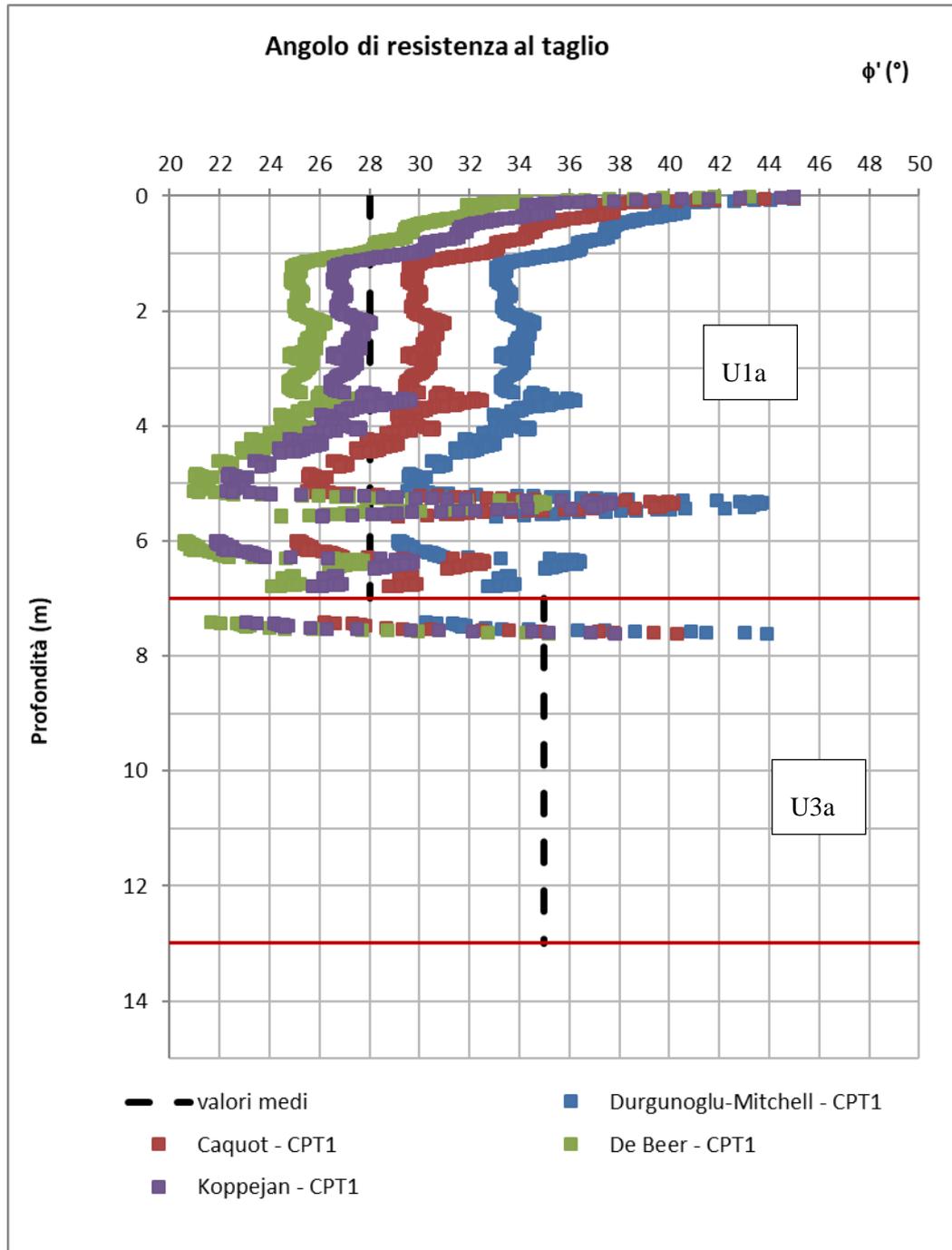


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	294 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**10.5.10 Interpretazione prova in sito CPTU: angolo di resistenza al taglio di picco**



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

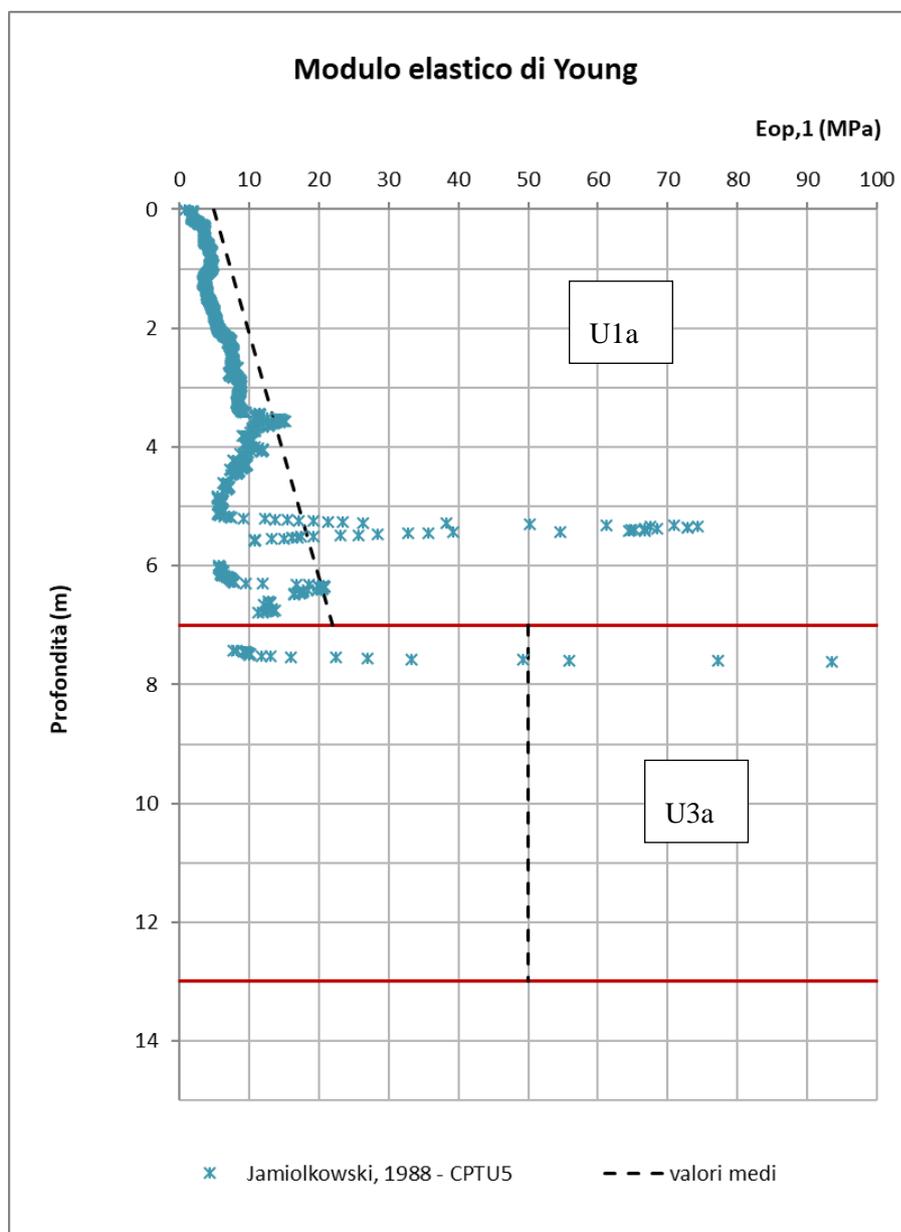
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	295 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.11 Interpretazione prova in sito CPTU: modulo elastico $E_{op,1}$

Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo  $E_{25}$  riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.

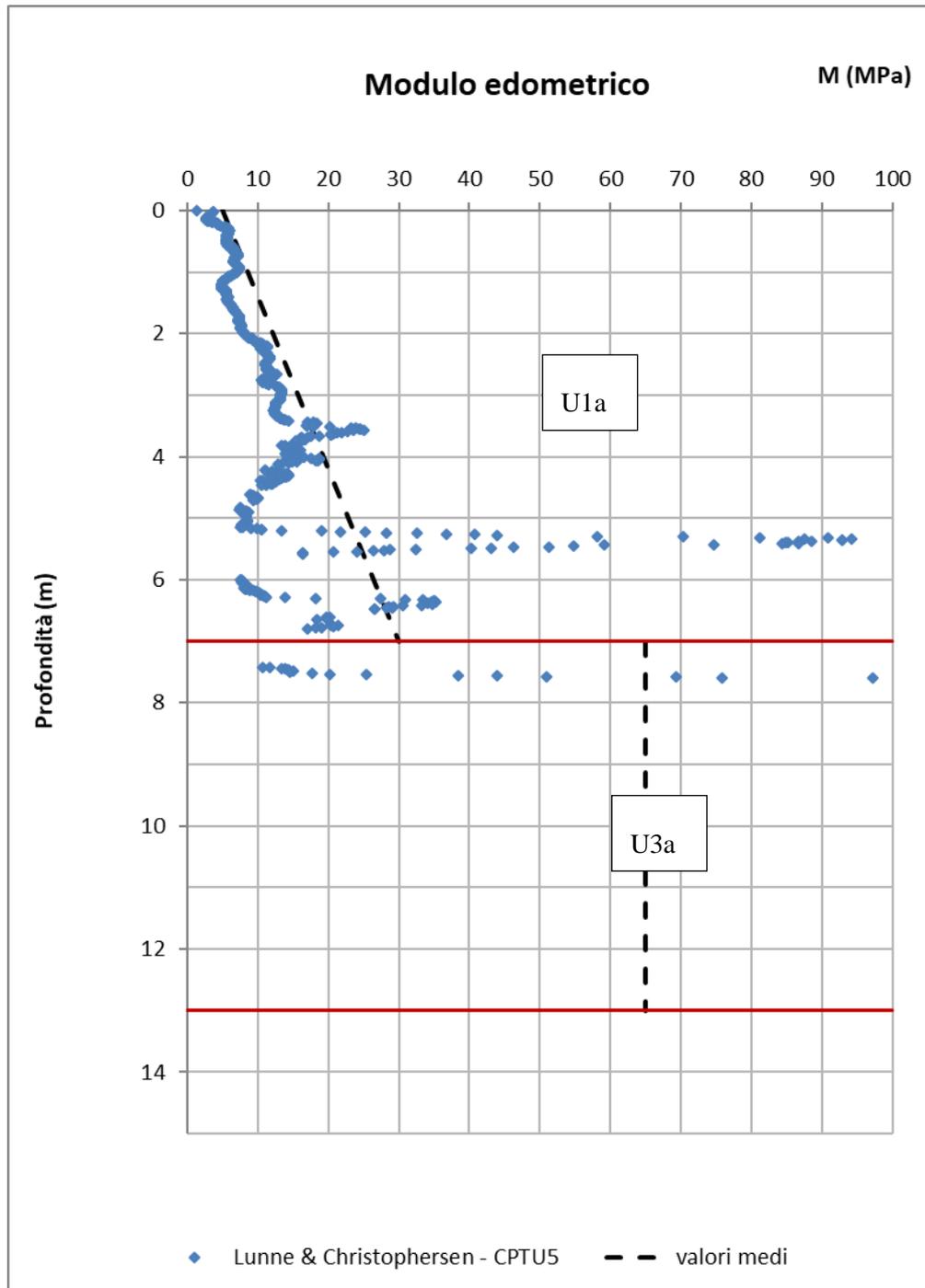


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	296 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

*10.5.12 Interpretazione prova in sito CPTU: modulo edometrico*



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	297 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.5.13 Modulo elastico non drenato

Sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976), a partire dal grado di sovraconsolidazione OCR e l'indice di plasticità  $I_p$ , è stato ricavato il rapporto  $k = E_u/c_u$  tra il modulo elastico non drenato e la coesione non drenata.

Sulla base delle prove di laboratorio condotte, si rileva un indice di plasticità  $I_p$  del terreno medio di circa 10. Considerando la presenza di terreni normalconsolidati ( $OCR = 1$ ), è stato utilizzato un rapporto  $k = E_u/c_u = 900$ .

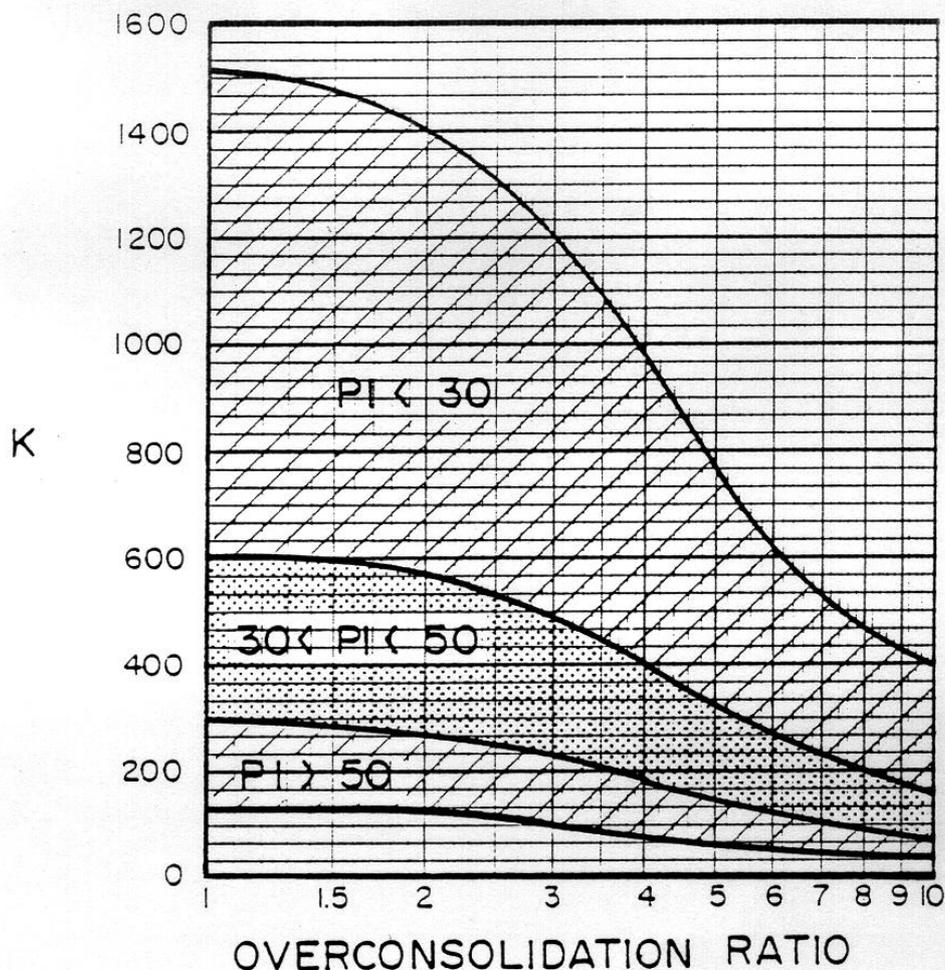


Figura 74 – Duncan & Buchigani

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  NR1J	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A	<b>FOGLIO</b> <b>298 di 452</b>

**10.5.14 Interpretazione prova in sito CPTU: coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di permeabilità**

Il coefficiente di permeabilità dei terreni può essere stimato con la correlazione di *Robertson (2010)* a partire dall'indice del tipo di terreno  $I_c$ :

$$1.0 < I_c \leq 3.27 \quad k = 10^{(0.952 - 3.04 I_c)} \quad \text{m/s}$$

$$3.27 < I_c < 4.0 \quad k = 10^{(-4.52 - 1.37 I_c)} \quad \text{m/s}$$

Il coefficiente di consolidazione è stato stimato a partire dal coefficiente di permeabilità con la seguente espressione:

$$c_v = \frac{K}{\gamma_w} \cdot M$$

dove

$K$  è il coefficiente di permeabilità (m/s)

$\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>)

$M$  è il modulo edometrico dello strato (kPa)

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	299 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

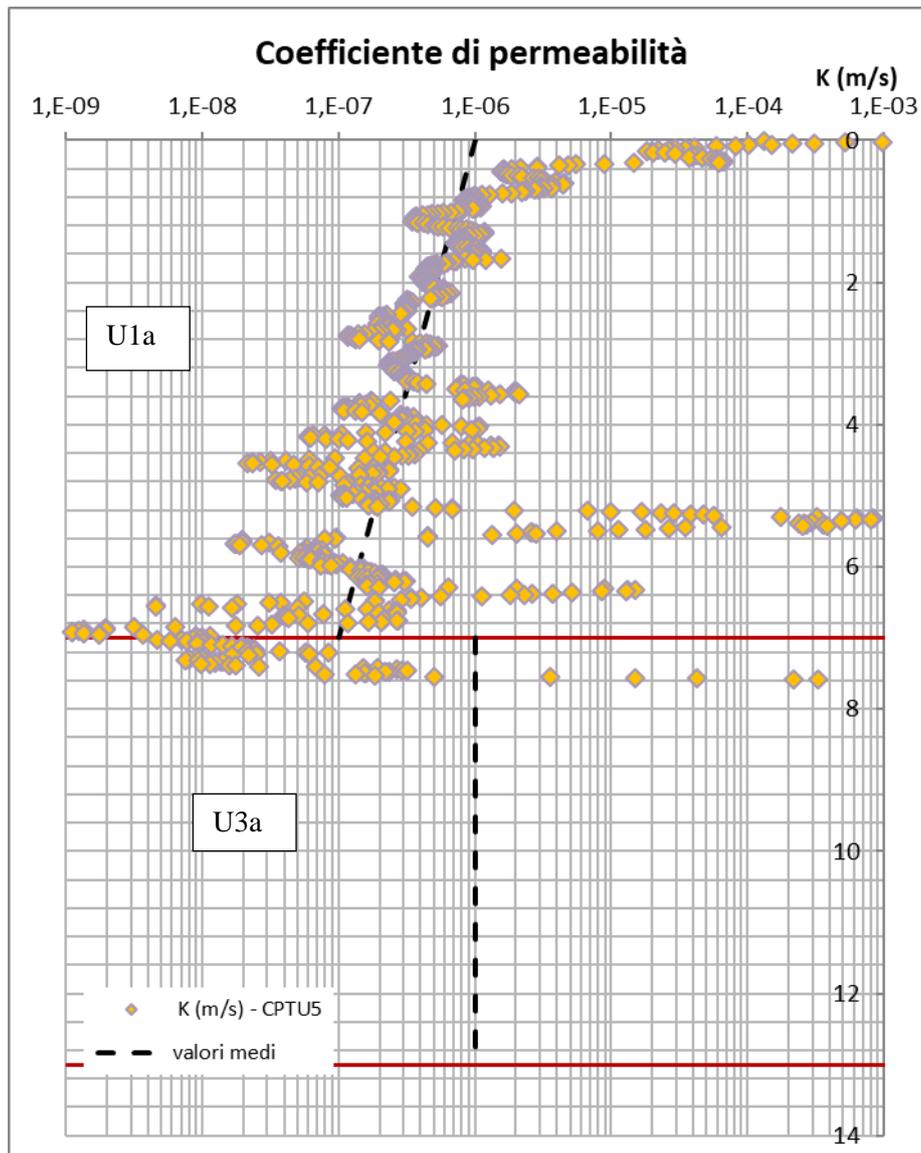
Parametro	ricavato da	mediante
coefficiente consolidazione primaria, $c_v$ (cm <sup>2</sup> /s)	curve di consolidazione (w.log t)	$c_v = \frac{T_x H^2}{4t_x}$
coeff. consolidazione secondaria, $c_{\alpha}$ (%/min)		$c_{\alpha} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \log t}$
modulo edometrico, $E_{ed}$ (MPa)	curva tensione-deformazione ( $\sigma'_v : \varepsilon_z$ )	$E_{ed} = \frac{\Delta \sigma'_v}{\Delta \varepsilon_z}$
coefficiente di permeabilità, $k$ (cm/s)	$c_v$ e $E_{ed}$	$k = \frac{c_v \gamma_w}{E_{ed}}$
tensione di snervamento*, $\sigma'_{vy}$ (kPa)	curva di compressibilità (e.log $\sigma'_v$ )	metodi vari (p. es. Casagrande)
indice di ricomprensione, $C_r$		$C_r = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} (\sigma'_v < \sigma'_{vy})$
indice di compressibilità, $C_c$		$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} (\sigma'_v > \sigma'_{vy})$
indice di rigonfiamento, $C_s$		$C_s = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v}$ (in scarico)

Si riporta nel grafico seguente il coefficiente di permeabilità stimato con la correlazione di Robertson.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	300 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



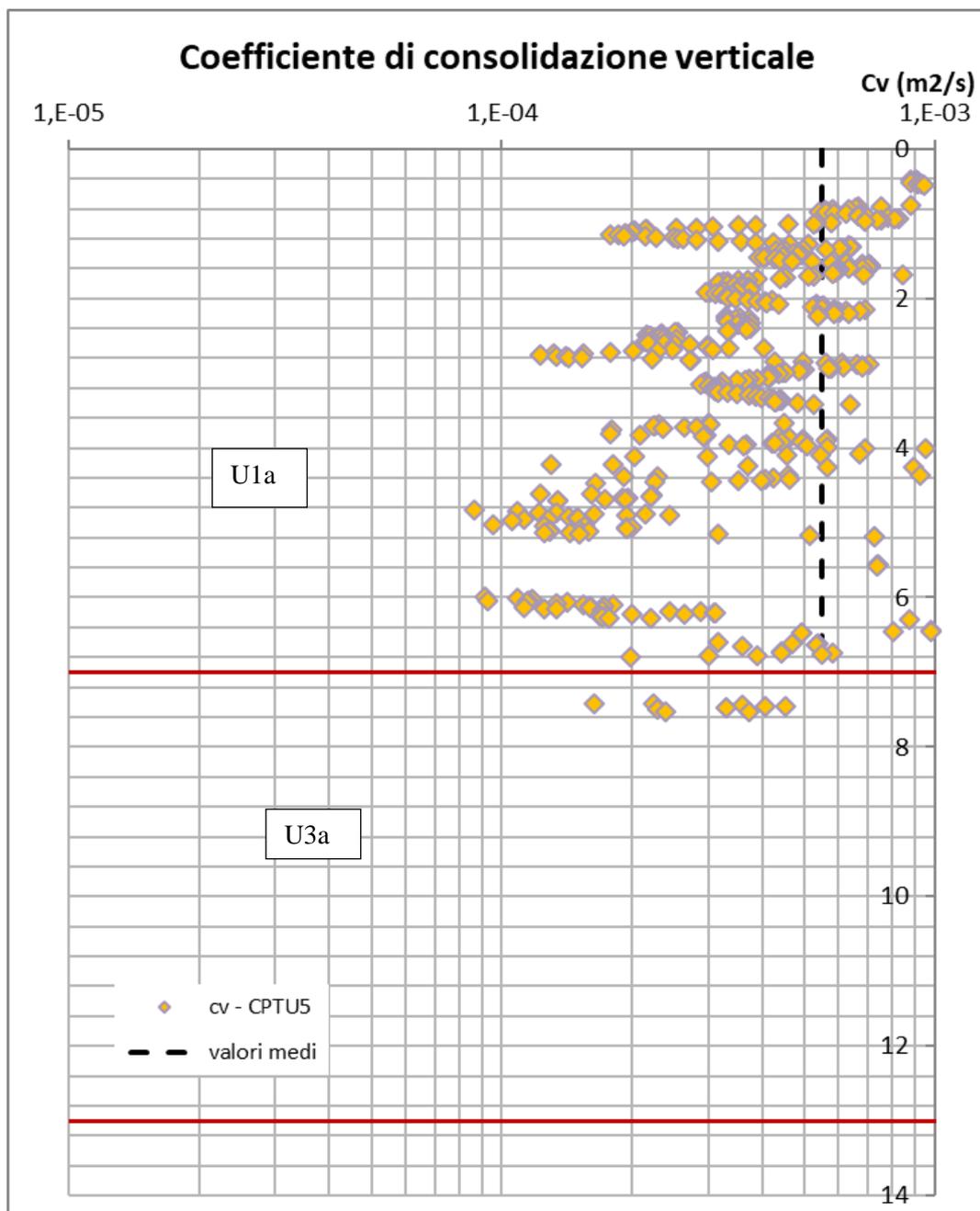
Inoltre per l'unità U3a è stata eseguita una prova Lefranc alla profondità di 10.50m con un valore di permeabilità  $K$  pari a  $9,53 \cdot 10^{-3}$  cm/s.

Per la stima di  $c_v$  per l'unità U1A si è considerato il modulo edometrico ricavato dall'elaborazione della prova CPTU5. L'elaborazione ha stimato un valore medio di  $5,50 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. Di seguito si riporta il  $c_v$  lungo la verticale investigata dalla prova.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	301 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



In sintesi si hanno a disposizione i seguenti dati.

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  NR1J	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A	<b>FOGLIO</b>  <b>302 di 452</b>

### Depositi U1a

K a Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-6}$  m/s

Valore medio assunto di K:  $5.5 \cdot 10^{-7}$  m/s ( $5.5 \cdot 10^{-5}$  cm/s)

Utilizzando tale K medio ( $5.5 \cdot 10^{-7}$  m/s) e un M medio di strato di 12.5 MPa, il Cv di P1 stimato e' pari  $6.9 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

Dalla prova CPTU5 il valore medio di cv è pari  $5.50 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

Pertanto il valore utilizzato per i calcoli relativo al parametro cv sarà pari a  $5.50 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

### Unità U3a

Da Lefranc:  $9.53 \cdot 10^{-5}$  m/s

Da Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s

Valore medio assunto:  $5.3 \cdot 10^{-5}$  m/s ( $5.3 \cdot 10^{-3}$  cm/s)

#### ***10.5.15 Interpretazione prova in sito Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico***

Come già accennato nel capitolo 8.2 relativo alle correlazioni utilizzate, di seguito si riporta l'interpretazione della prova geofisica; si sottolinea che i valori ottenuti risultano essere, soprattutto per le profondità maggiori, molto elevati. Pertanto, si ritiene opportuno limitare l'utilizzo dei valori di angoli e moduli di progetto ricavati da tali prove e di fare riferimento ai valori ottenuti dalle prove di laboratorio e dalle altre prove disponibili.

Nel dettaglio, per questo tratto di linea ferroviaria, la prova geofisica ha consentito di stimare angoli e moduli delle unità geotecniche, confrontandoli anche con i capitoli generali relativi alle medesime unità. Il modulo elastico Eop è stato calcolato dividendo il modulo elastico E per 10.

I valori medi di Eop,1 sono stati utilizzati come confronto con quelli ricavati dalle prove SPT, per la definizione del valore di progetto.

Si riportano per completezza anche i valori degli angoli di attrito ricavati dalle Vs, anche se non sono stati considerati nella definizione del modello geotecnico di progetto, in quanto ritenuti troppo elevati.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	303 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop,1 (Mpa)	Unità geotecnica	Valore medio Eop,1 (MPa)
1	231	0,3	16	87031	226281	226	23	U2a	32
2	231	0,3	16	87031	226281	226	23		
3	293	0,3	16	140019	364049	364	36		
4	293	0,3	16	140019	364049	364	36		
5	293	0,3	16	140019	364049	364	36		
6	293	0,3	16	140019	364049	364	36		
7	372	0,3	18	253916	660181	660	66	U3a	77
8	372	0,3	18	253916	660181	660	66		
9	372	0,3	18	253916	660181	660	66		
10	372	0,3	18	253916	660181	660	66		
11	441	0,3	18	356846	927799	928	93		
12	441	0,3	18	356846	927799	928	93		
13	441	0,3	18	356846	927799	928	93		
14	441	0,3	27	535269	1391699	1392	139	U4a	342
15	441	0,3	27	535269	1391699	1392	139		
16	271	0,3	27	202131	525541	526	53		
17	271	0,3	27	202131	525541	526	53		
18	271	0,3	27	202131	525541	526	53		
19	271	0,3	27	202131	525541	526	53		
20	271	0,3	27	202131	525541	526	53		
21	487	0,3	27	652759	1697173	1697	170		
22	487	0,3	27	652759	1697173	1697	170		
23	487	0,3	27	652759	1697173	1697	170		
24	487	0,3	27	652759	1697173	1697	170		
25	487	0,3	27	652759	1697173	1697	170		
26	1112	0,3	27	3403332	8848663	8849	885		
27	1112	0,3	27	3403332	8848663	8849	885		
28	1112	0,3	27	3403332	8848663	8849	885		
29	1112	0,3	27	3403332	8848663	8849	885		
30	1112	0,3	27	3403332	8848663	8849	885		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	304 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
				Limite superiore	Limite inferiore		
1	231	16	365	52	46	44	U2a
2	231	32	307	48	42		
3	293	48	352	51	45		
4	293	64	328	50	44		
5	293	80	310	49	42		
6	293	96	296	48	41		
7	372	126	351	51	45	45	U3a
8	372	144	340	51	44		
9	372	162	330	50	44		
10	372	180	321	49	43		
11	441	198	372	53	47		
12	441	216	364	52	46		
13	441	234	357	52	46	45	U4a
14	441	378	316	49	43		
15	441	405	311	49	43		
16	271	432	188	39	33		
17	271	459	185	39	33		
18	271	486	183	39	32		
19	271	513	180	38	32		
20	271	540	178	38	32		
21	487	567	316	49	43		
22	487	594	312	49	43		
23	487	621	309	49	42		
24	487	648	305	48	42		
25	487	675	302	48	42		
26	1112	702	683	69	63		
27	1112	729	677	69	62		
28	1112	756	671	68	62		
29	1112	783	665	68	62		
30	1112	810	659	68	62		

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

## SINTESI DELLA CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA LUNGO LA LINEA FERROVIARIA tra le pk 32+950 e pk 34+600

### Modello 5 – pk 32+950 alla pk 33+400 (relativo alla prova CPTU5)

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa Dr (%)	Angolo di resistenza al taglio picco $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ (°)	Coesione efficace c' (kPa)	Coesione non drenata cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di consolidazione cv (m <sup>2</sup> /s)	K da prove Lefranc (cm/s)	K media (cm/s)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	7	7	17	GF/GG	40-60	28	25,5	10	60	5-22	10-44	5-30	54	5,5E-04	-	-
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia ghiaiosa limosa	7	13	6	18	GG	70-90	35	28,8	0	-	40	80	65	-	-	9,53*10-3	5,27E-03

### Modello 5 - pk 33+400 alla pk 34+600 (relativo al solo S06-DH-2017)

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa Dr (%)	Angolo di resistenza al taglio picco $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ (°)	Coesione efficace c' (kPa)	Coesione non drenata cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di consolidazione cv (m <sup>2</sup> /s)	K da prove Lefranc (cm/s)	K media (cm/s)	RQD (%)	GSI	Resistenza a compressione (Mpa)	
U2a	Sabbia limosa /limo sabbioso	0	6	6	16	GG	55-65	28	23,6	0	-	20	40	27	-	-	-	-	-	-	-	-
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia ghiaiosa limosa	6	13	7	18	GG	70-90	35	28,8	0	-	50	100	68	-	-	9,53*10-3	5,27E-03	-	-	-	
U4a	Roccia basaltica	13	30	17	27	R	-	40	-	0	-	6000	-	-	-	-	-	-	80	62	116	

Il Modello 5 – pk 33+400 alla pk 34+600 non interessa direttamente le opere in progetto.

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

La falda durante le indagini non è stata rilevata, pertanto la falda di progetto si assume oltre i 30 m di profondità del sondaggio S06-2017. Analogamente a quanto detto per le profondità degli strati, è opportuno confrontare la profondità della falda con la quota piezometrica riportata nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera di interesse.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	306 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.6 Modello geotecnico 6 – pk 34+600-36+050

Si tratta di uno dei modelli non oggetto di indagini integrative per il quale si è mantenuto in questa fase di PD, la stessa caratterizzazione e assunzione dei parametri che era stata determinata nel PD 2018 – relazione NR1J01D29GE0005001A. Si riportano nel seguito per completezza le suddette determinazioni:

Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	C' (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	K media (m/s)	RQD (%)	GSI	Resistenza a compressione sigma (Mpa)
Terreno di riporto	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sabbia limosa / limo sabbioso	1	10	9	16	GG	30	0	20	-	-	-	-
Depositi vulcanici - Sabbia limosa con ghiaia limosa	10	18	8	17	GG	32	0	55	4,60*10 <sup>-3</sup>	-	-	-
Limo sabbioso debolmente argilloso	18	21	3	15	GF	25	10	15	-	-	-	-
Rocce basaltica	21	30	9	26	R	39	-	5500	-	80	60	150(*)

(\*) Cautelativamente si abbassa il valore resistenza a compressione della roccia considerando i primi 2m circa (16-18m b.f. S07\_PZ e 23-25m b.f. S11\_PZ) di zona di cappellaccio alterato

### 10.7 Modello geotecnico 7 – pk 36+050-37+270

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggio geotecnico con prelievo di campioni (S08-DH-2017);
- prova geofisica Down Hole nel sondaggio S08-2017;
- prove penetrometriche (CPTU6 e CPTU7);
- prove di laboratorio meccaniche (prove di taglio diretto).

Nel presente modello vengono incontrate le seguenti unità geotecniche.

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	6	6
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia debolmente limosa mediamente addensata con ghiaia	6	30	24

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata. In generale per l'andamento del contatto/inizio strato U3a lungo tale profilo, e' stato considerato anche il contributo del sondaggio SA-03-2018. Per meglio definire i parametri geotecnici dell'unità U3a si è confrontato anche con il modello precedente e si può far riferimento anche a tale verticale.

Tutte le prove citate sono state interpretate e considerate per ottenere i parametri di resistenza e deformabilità dei terreni incontrati, si precisa che per il sondaggio S08-DH-2017 e le prove penetrometriche CPTU6 e CPTU7 sono fuori asse rispetto alla linea ferroviaria di progetto rispettivamente di circa 111m, 25m e 12m. Pertanto, per l'attribuzione dei parametri geotecnici, si sono considerati anche i capitoli 9.1 e 9.5 relativi rispettivamente, alla descrizione delle unità geotecniche lungo l'intera linea, per l'unità U1a e U3a.

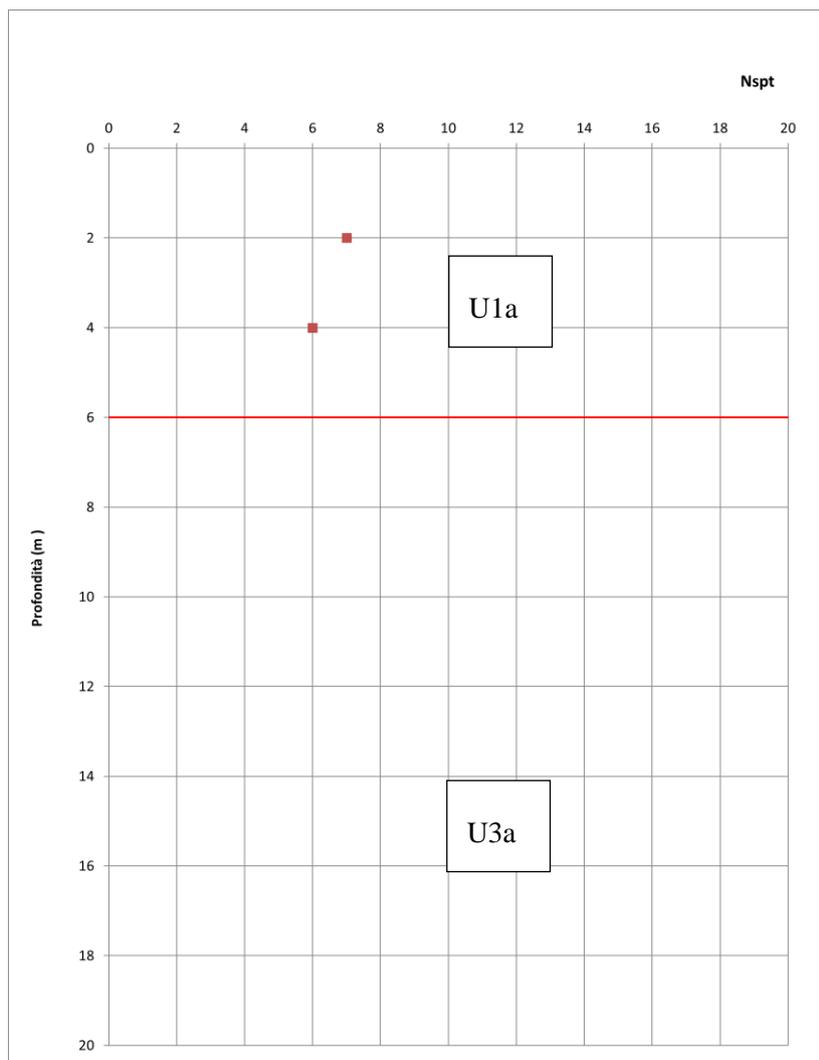
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	308 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.7.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità	Nspt
	m	
S08_DH-2017	2,00	7
	4,00	6



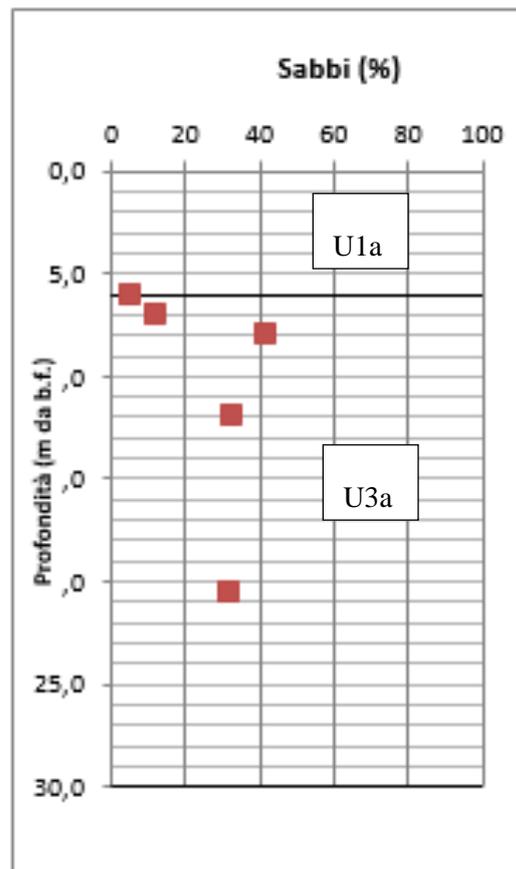
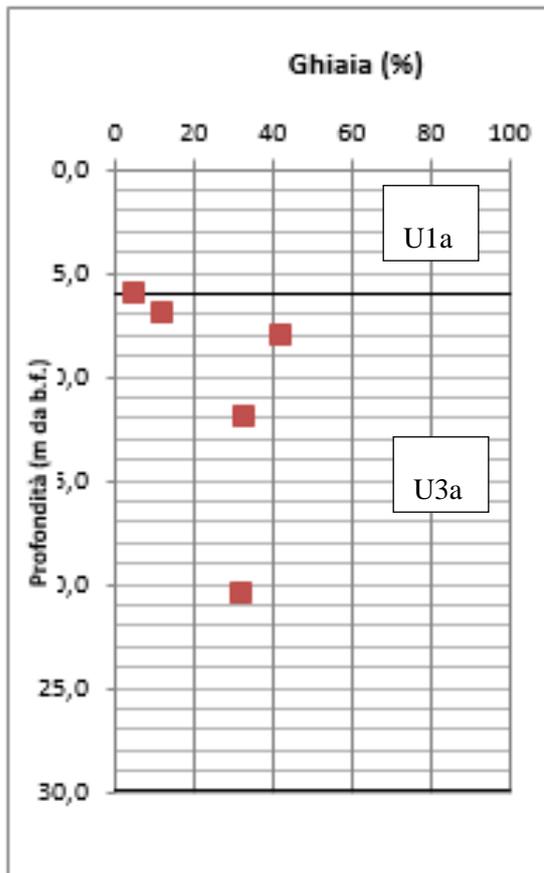
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	309 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.7.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	GRANULOMETRIA			
			ghiaia	sabbia	limo	argilla
S08_DH-2017	CR1	6,0	5	22	36	37
	CI2	7,0	12	30	26	32
	CR3	8,0	42	26	24	8
	CI4	12,0	33	32	23	12
	CI5	20,5	32	34	22	12



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NR1J

01

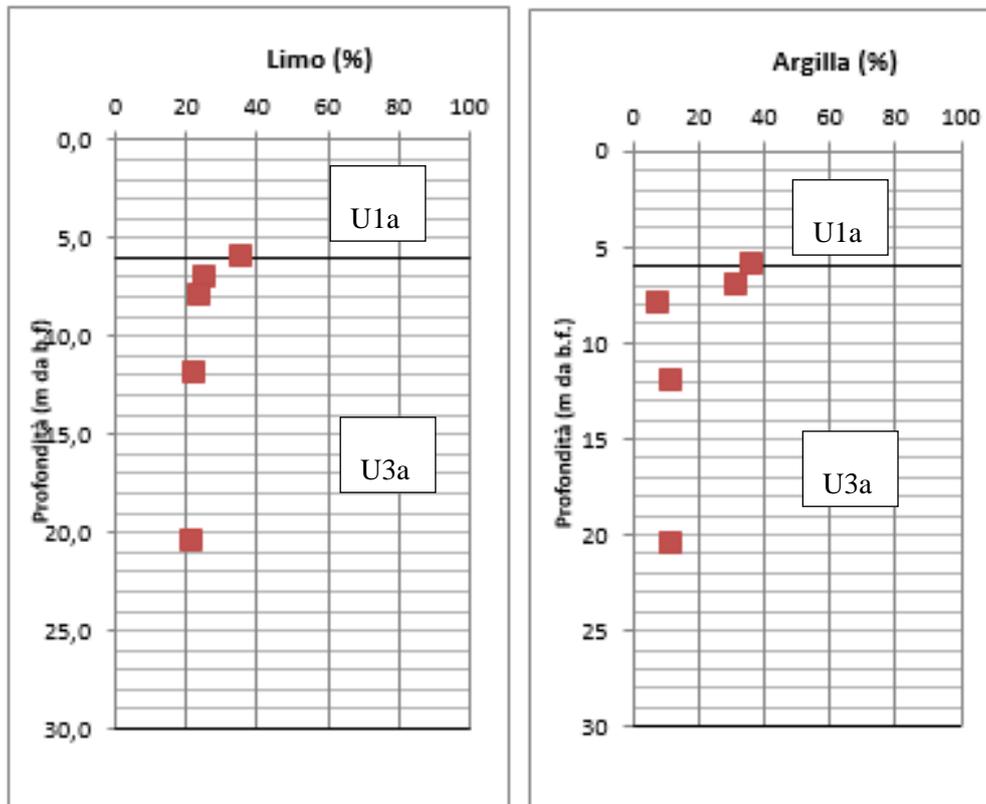
D 29 GE

GE 00 05 001

A

310 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

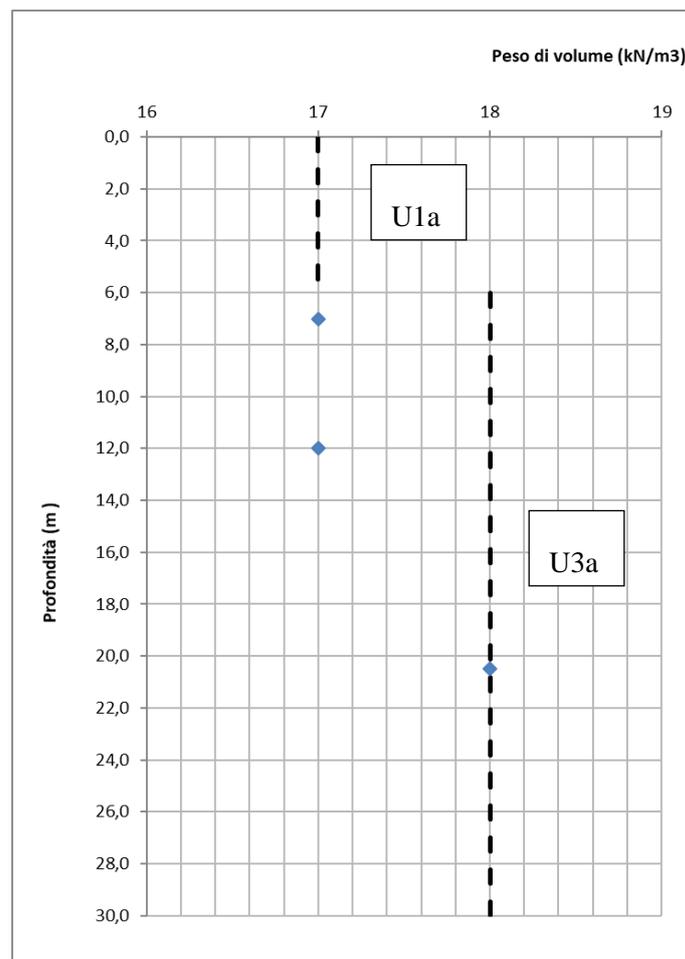


Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m3)
S08_DH-2017	CR1	6,0	
	CR2	7,0	17
	CR3	8,0	
	CR4	12,0	17
	CR5	20,5	18

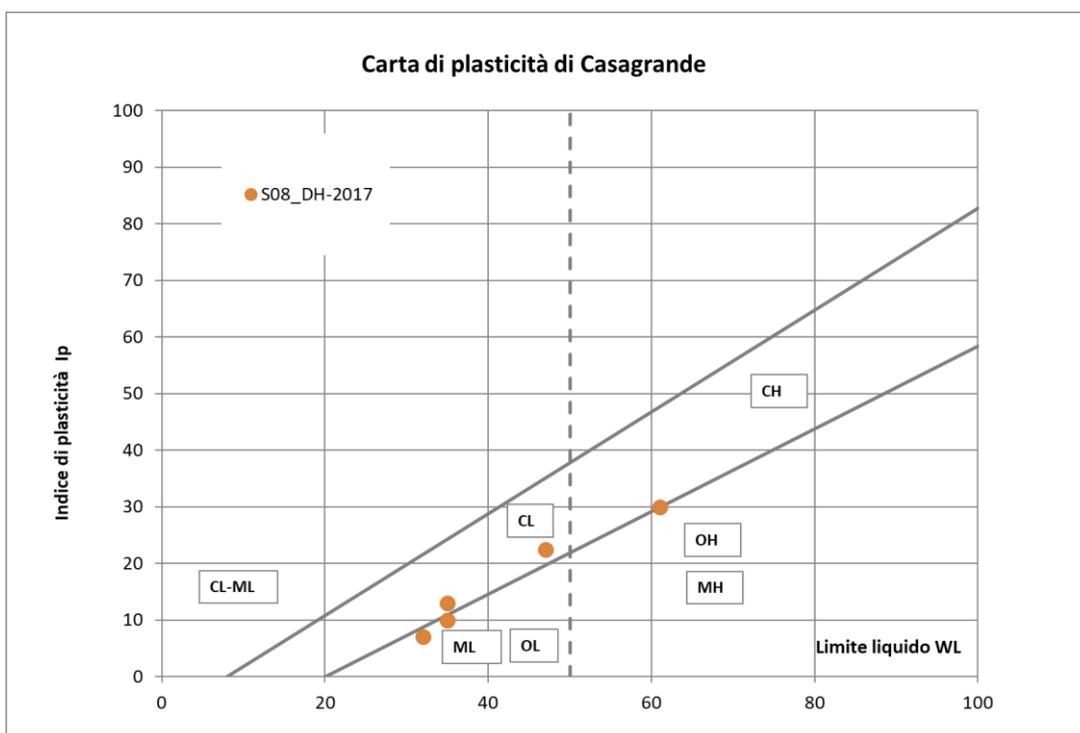
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	311 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S08_DH-2017	CR1	6,0	47	24	22,4
	CI2	7,0	61	31	30
	CR3	8,0	32	25	7
	CI4	12,0	35	25	10
	CI5	20,5	35	22	13



OL= Limi organici; argille limose organiche di bassa plasticità
ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità
CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre
OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici
MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici
CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

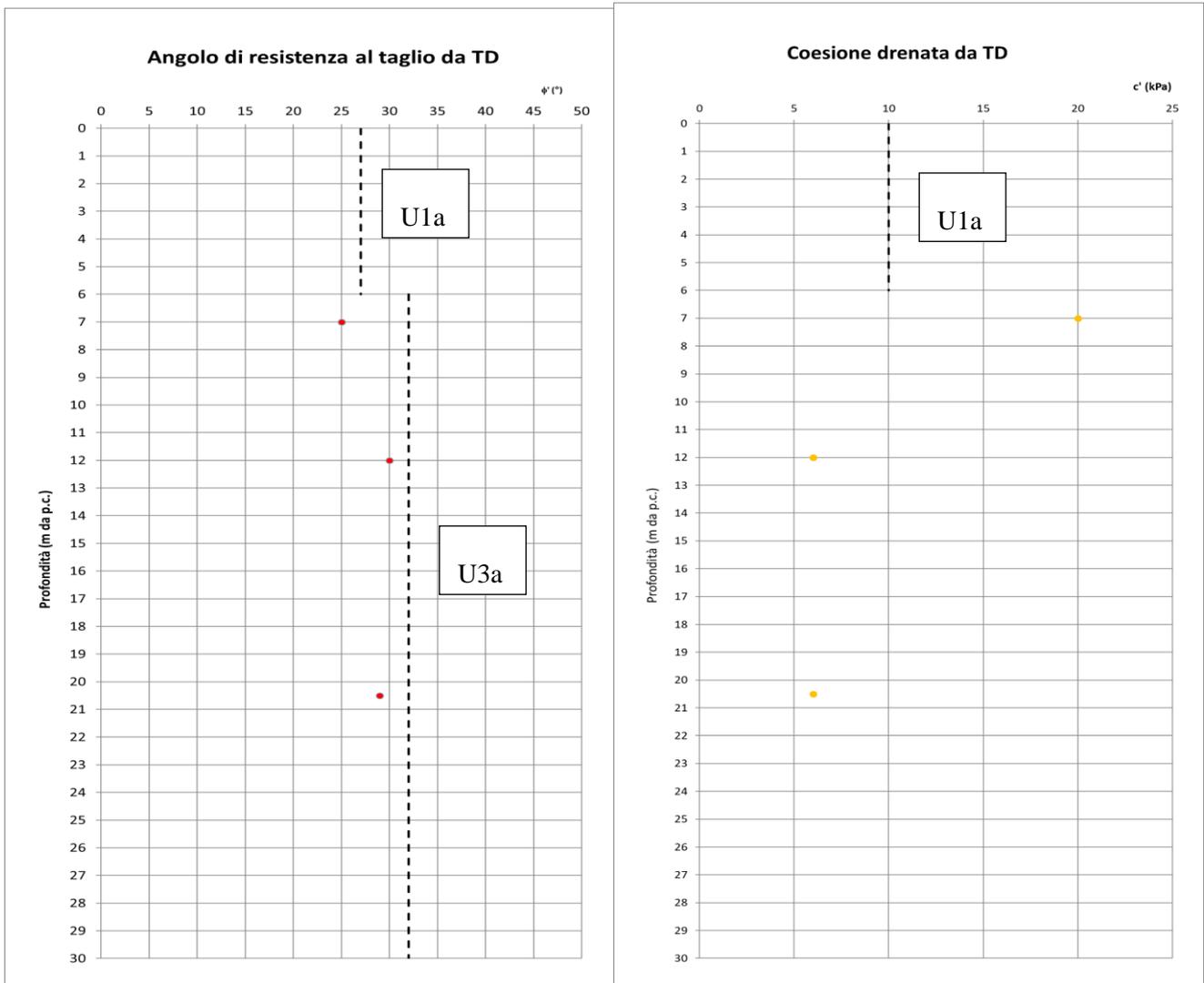
### 10.7.3 Prove meccaniche di laboratorio

Prove di lab. - Taglio diretto			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
25	20	7	S08_DH
30	6	12	
29	6	20,5	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	313 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Gli angoli di attrito ricavati dalle prove di taglio diretto fanno riferimento a valori di picco.

Considerando anche il capitolo generale 9.1 relativo alla descrizione delle unità geotecniche lungo l'intera linea, per l'unità U1a si è attribuita cautelativamente una coesione efficace di 10 kPa. Nei grafici riportati sopra si indicano i valori di progetto considerati a seguito anche dell'interpretazione delle prove in sito.

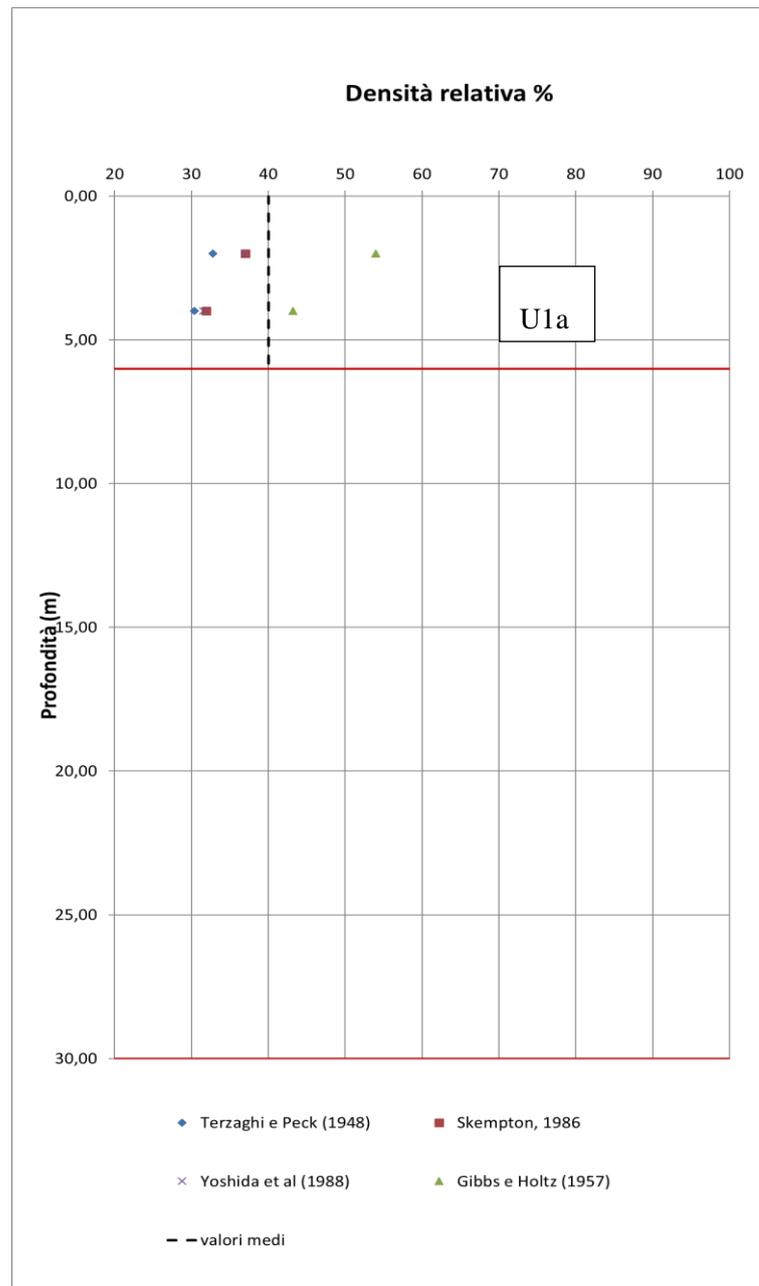
Mentre per l'unità U3a ai fini della definizione del modello geotecnico sono stati considerati valori nulli per la coesione efficace.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

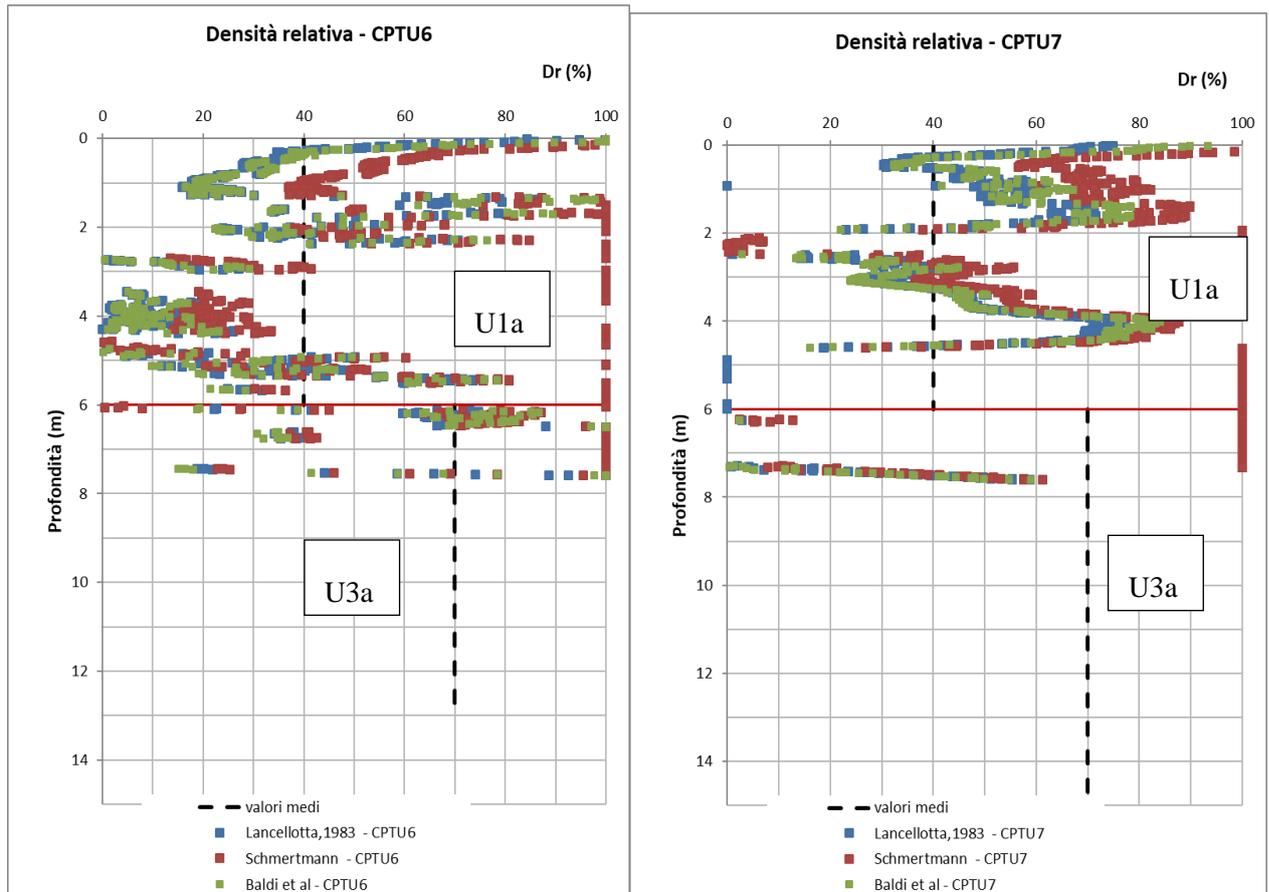
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	314 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

#### 10.7.4 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa



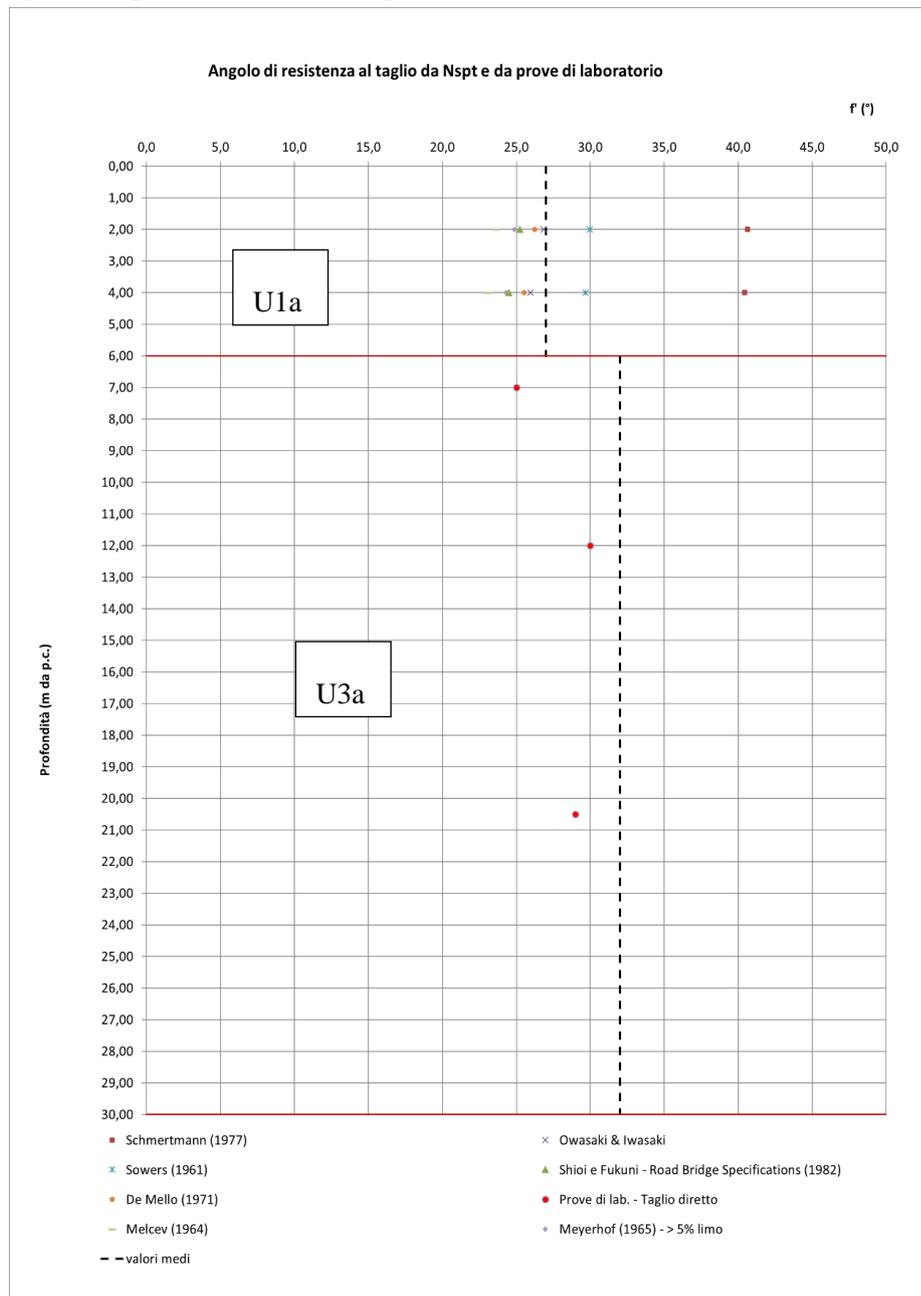
### 10.7.5 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa



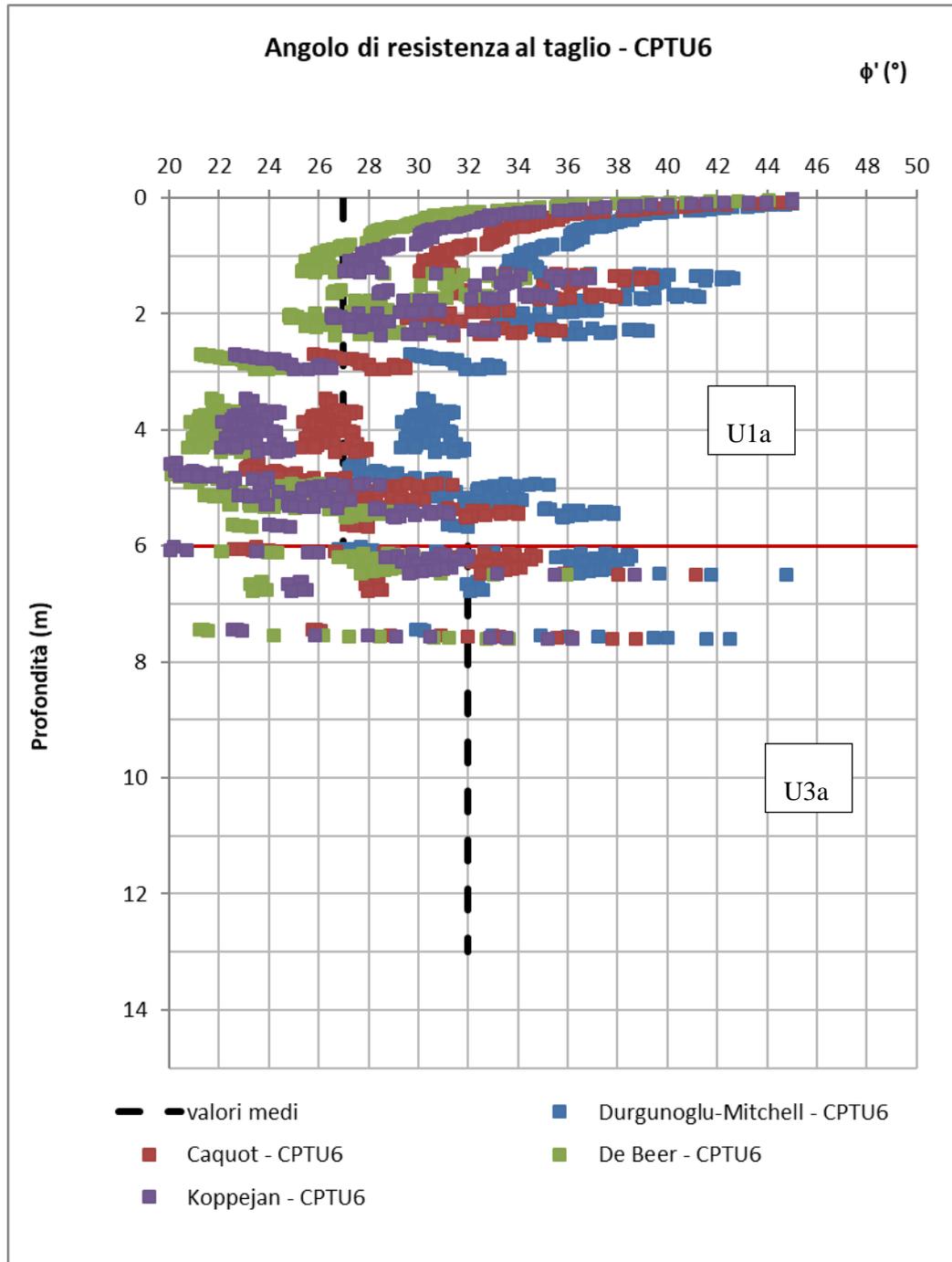
Per l'unità U3a si è considerato un valore medio in riferimento alla elaborazione del capitolo generale 9.5.

### 10.7.6 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco

Nel grafico riportato si indicano i valori di progetto considerati a seguito anche dell'interpretazione delle prove in sito, soprattutto per il valore indicato per l'unità U3a.



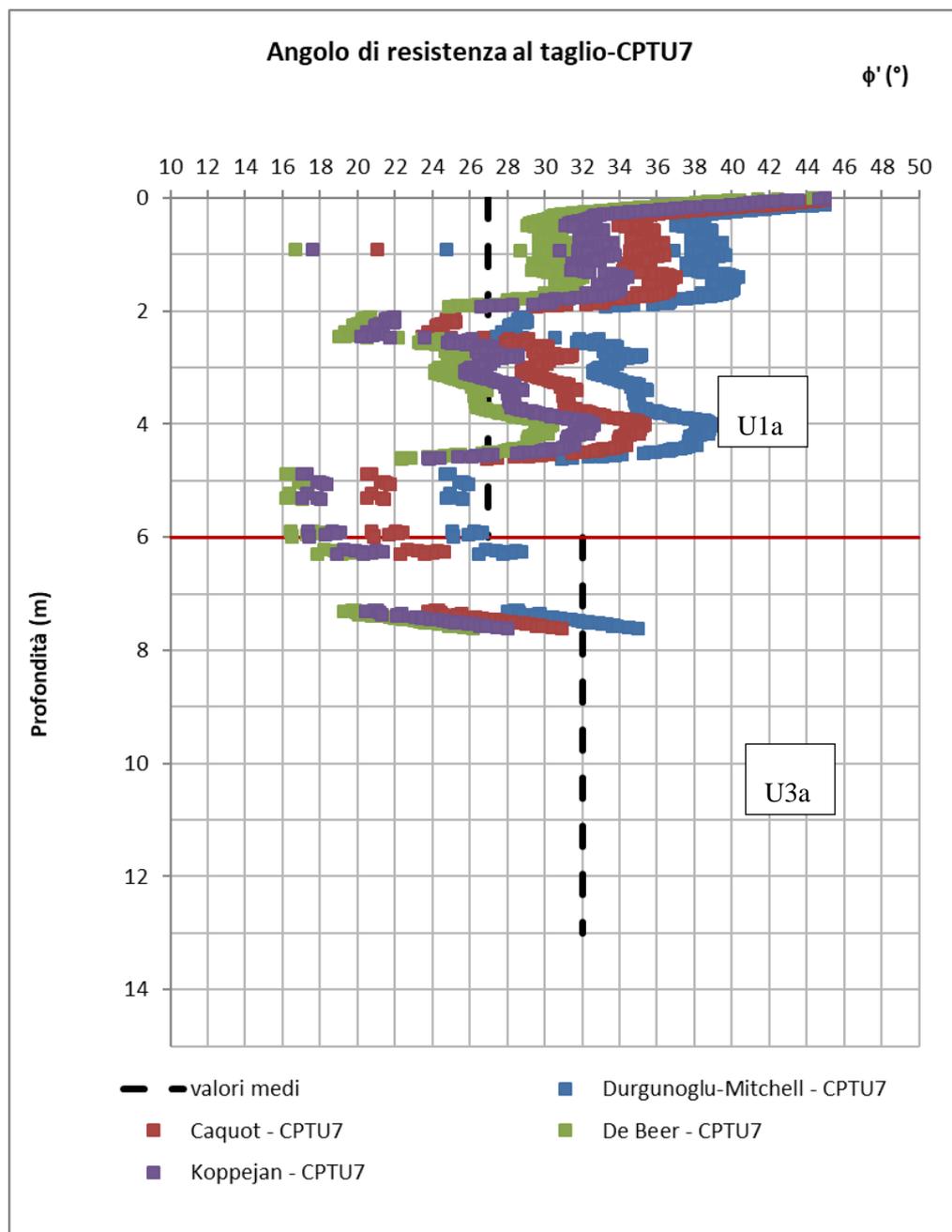
**10.7.7 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio di picco**



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	318 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



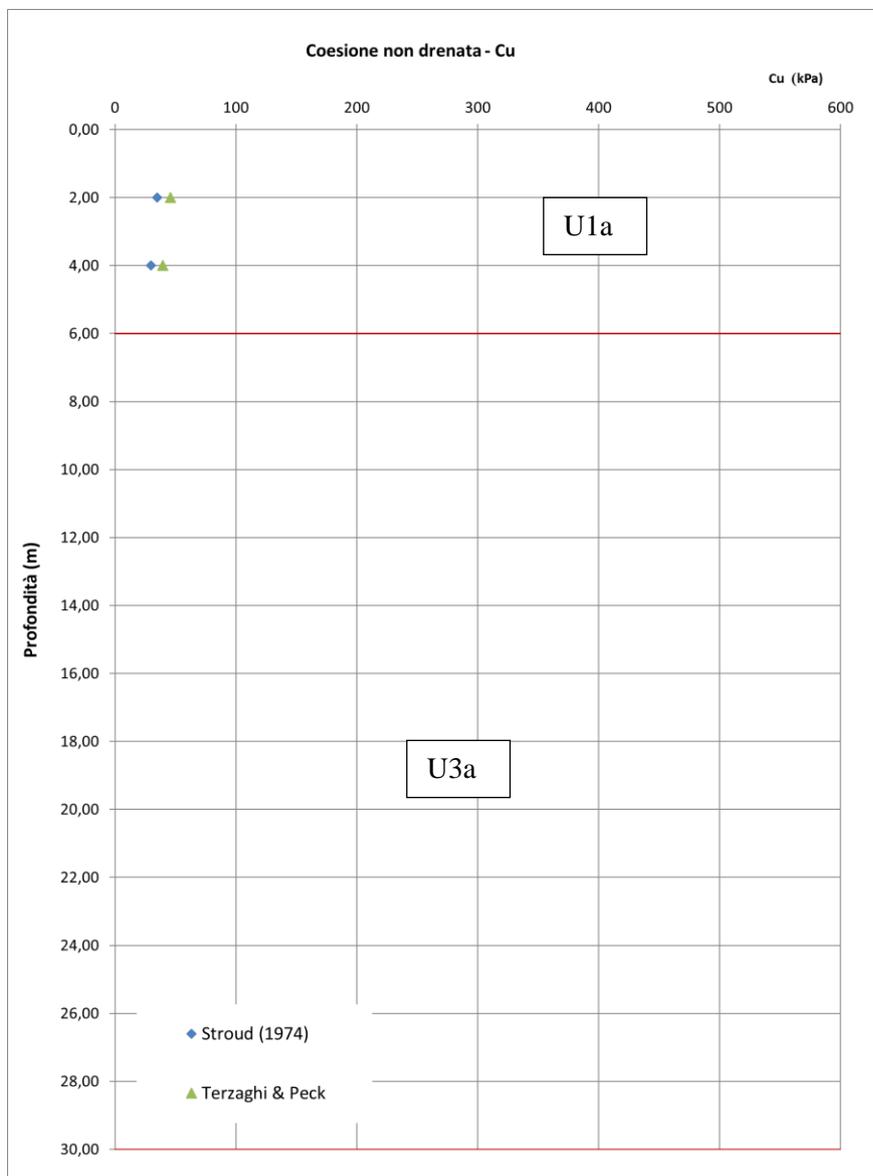
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	319 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.7.8 Interpretazione prove in sito SPT e CPT: coesione non drenata

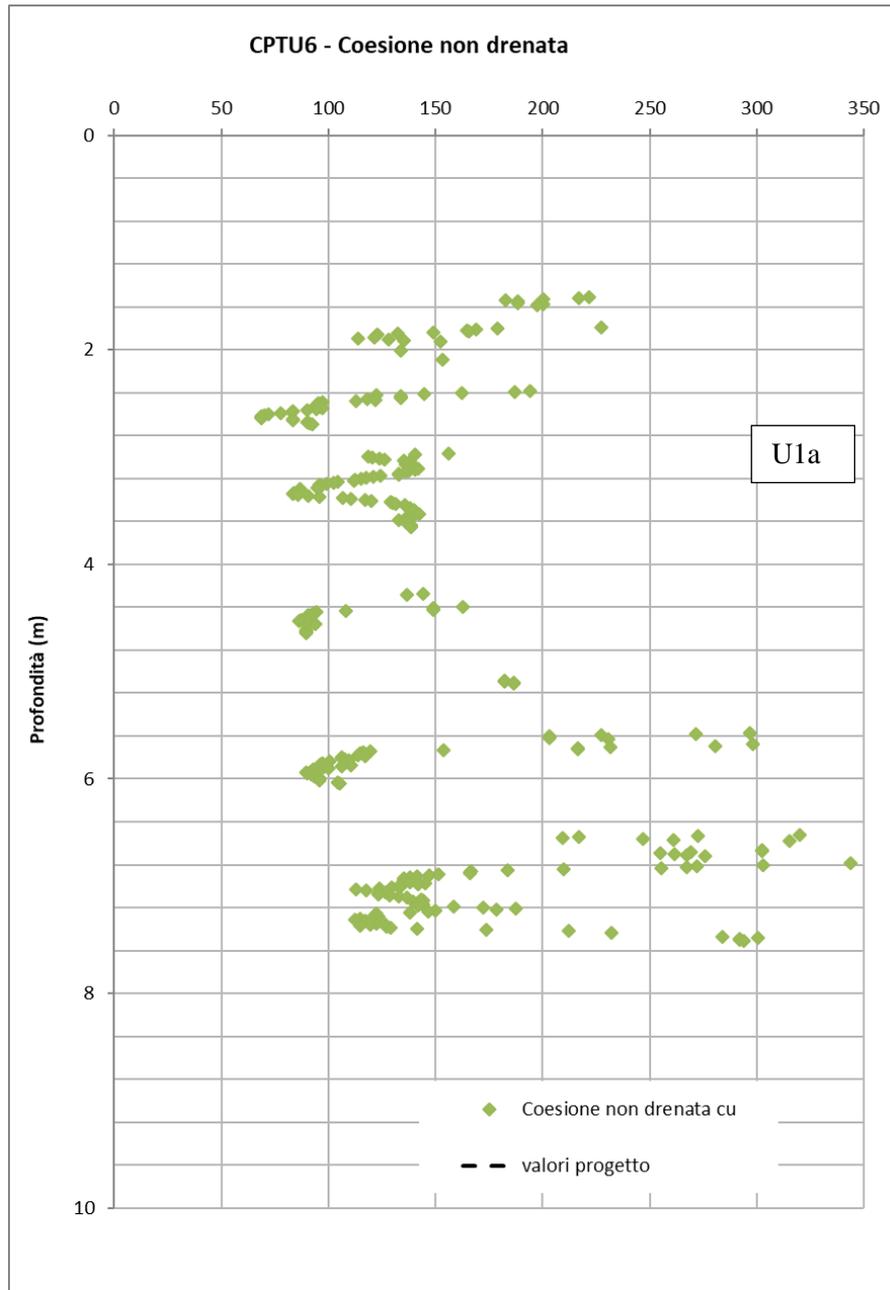
Come già accennato visto anche la distanza fuori asse di 25m e 11m rispettivamente delle prove penetrometriche CPTU6 e CPTU7 e del sondaggio geognostico e considerando la natura piu' incoerente caratterizza da una litologia debolmente argillosa, si ritiene di non considerare per tale terreno un comportamento coesivo di resistenza di breve termine.



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	320 di 452

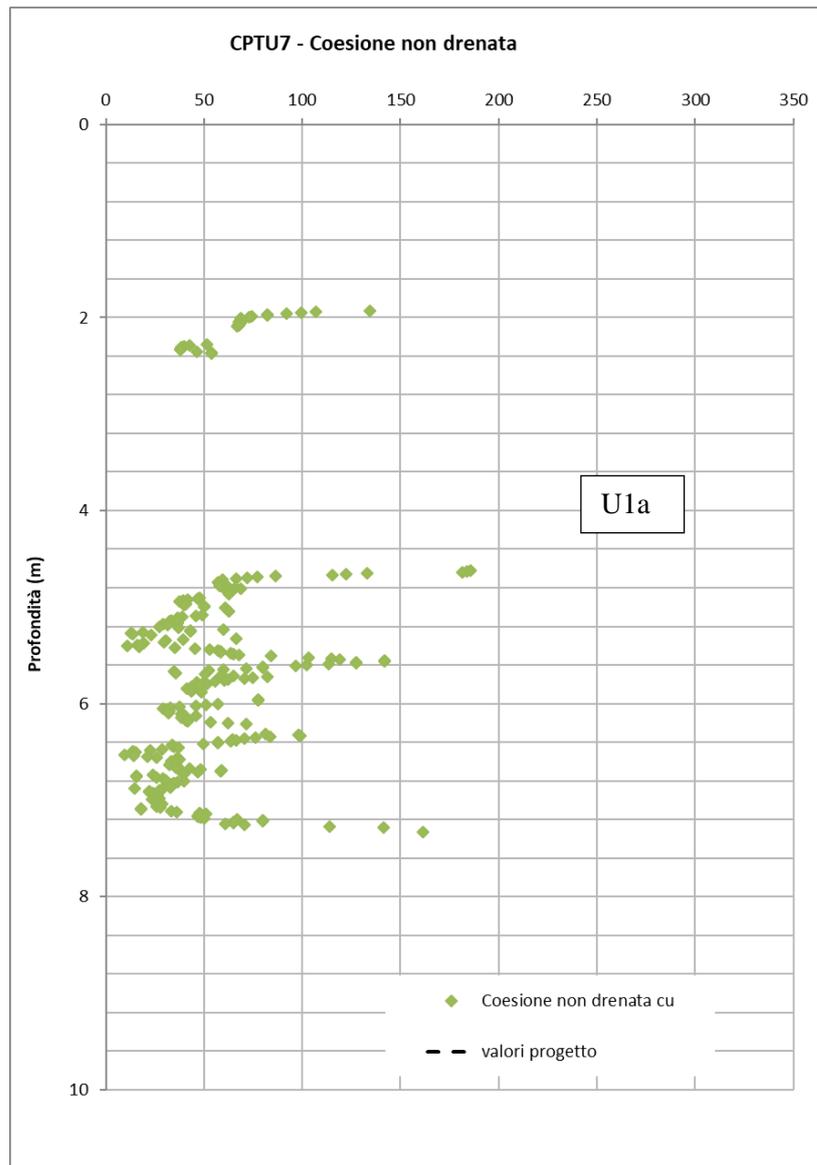
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	321 di 452

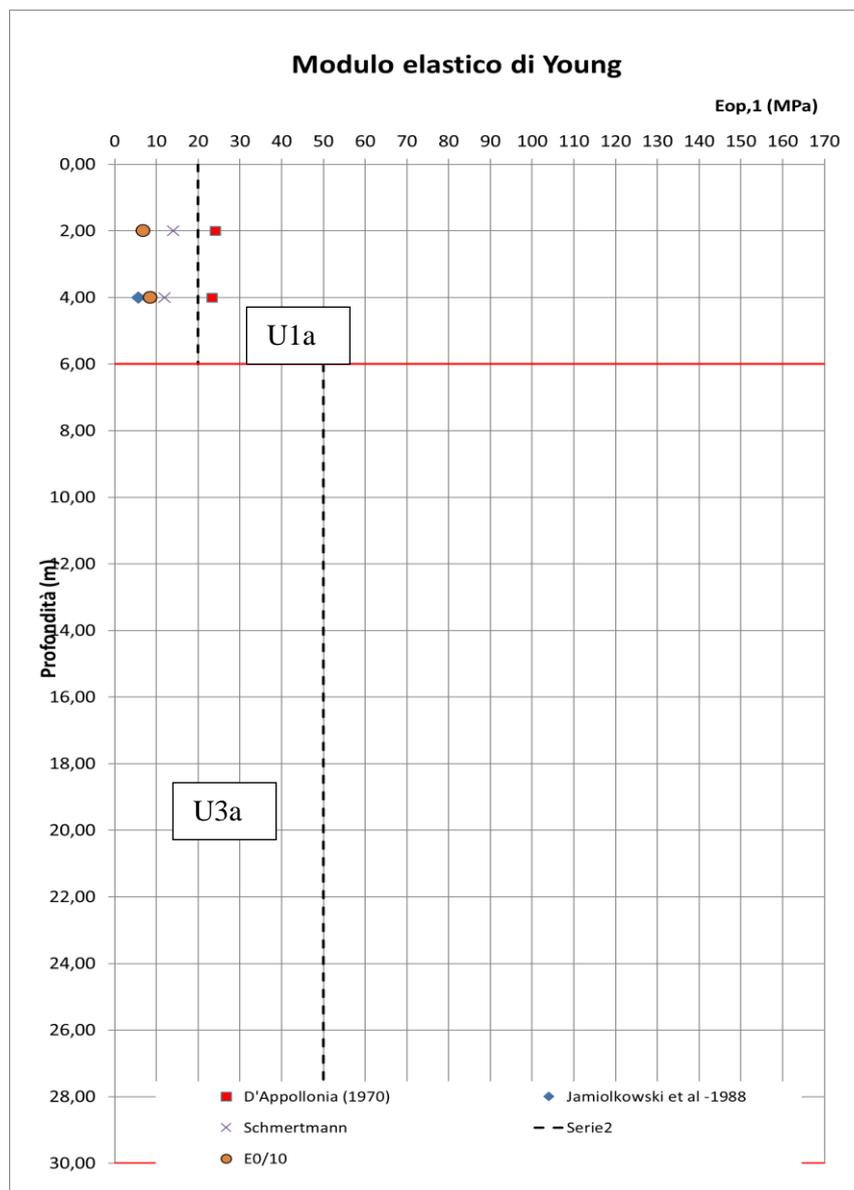
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



### 10.7.9 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico $E_{op,1}$

Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.



### 10.7.10 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico $E_{op,1}$

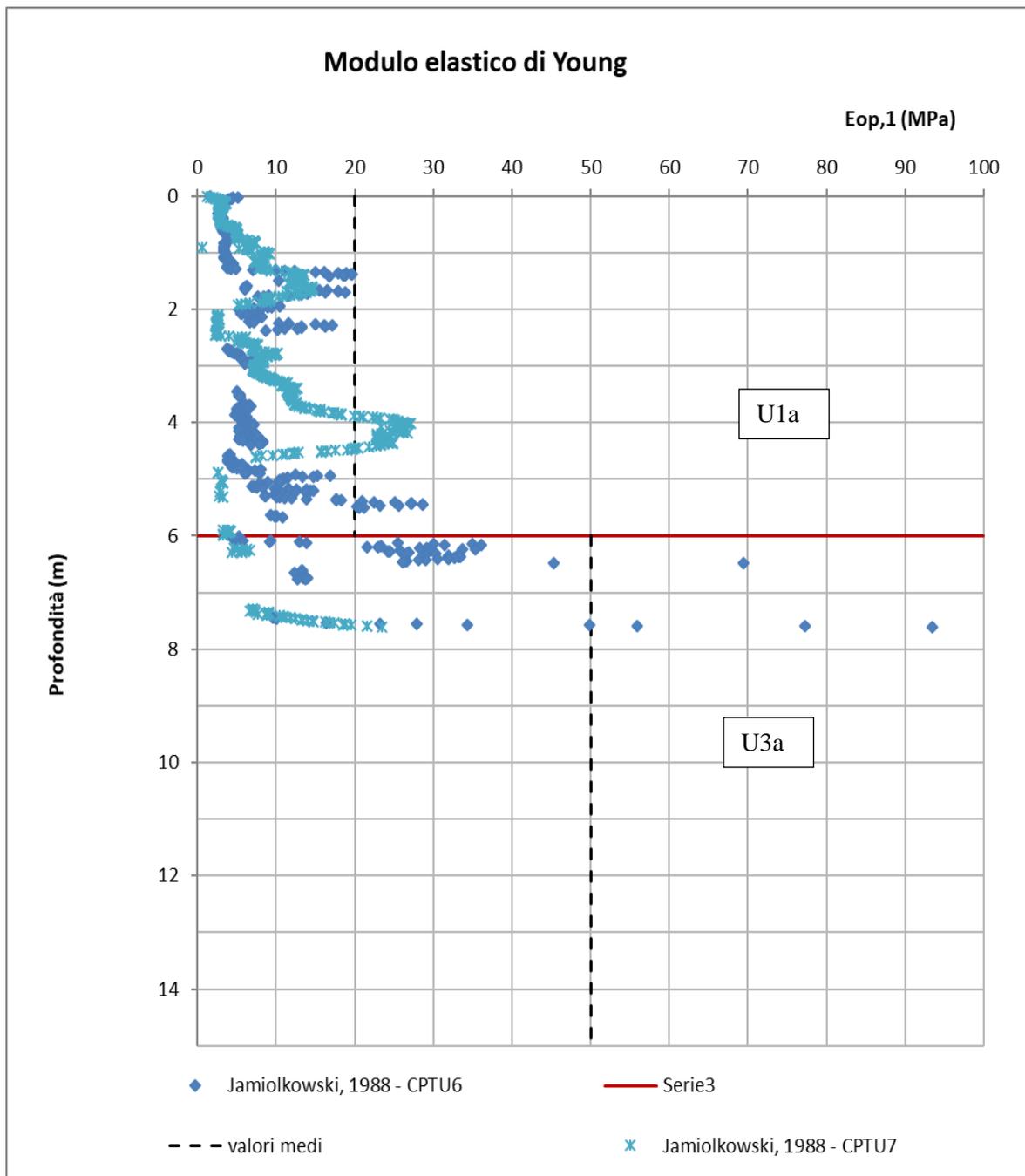
Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.

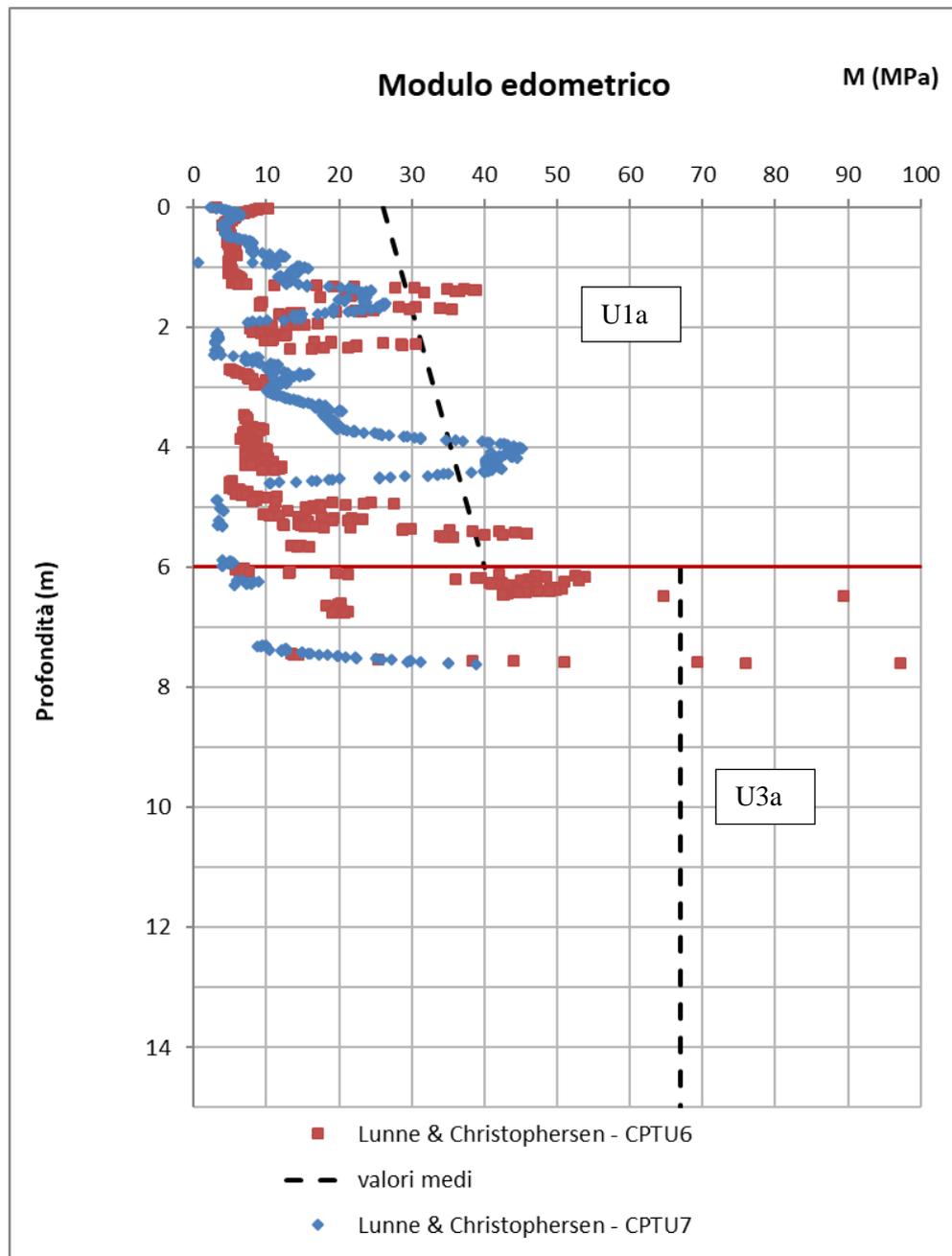
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	323 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



*10.7.11 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo edometrico*



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	<b>FOGLIO</b>
	<b>NR1J</b>	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	<b>325 di 452</b>

### 10.7.12 Interpretazione prove in sito SPT: modulo edometrico

Per le unità geotecniche U2a e U3a il modulo edometrico  $M$  è stato ricavato da  $E_{op,1}$  con la seguente formulazione, assumendo  $\nu = 0.3$  (coefficiente di Poisson):

$$E = \frac{M(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

### 10.7.13 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coefficiente di permeabilità

Il coefficiente di permeabilità dei terreni può essere stimato con la correlazione di *Robertson (2010)* a partire dall'indice del tipo di terreno  $I_c$ :

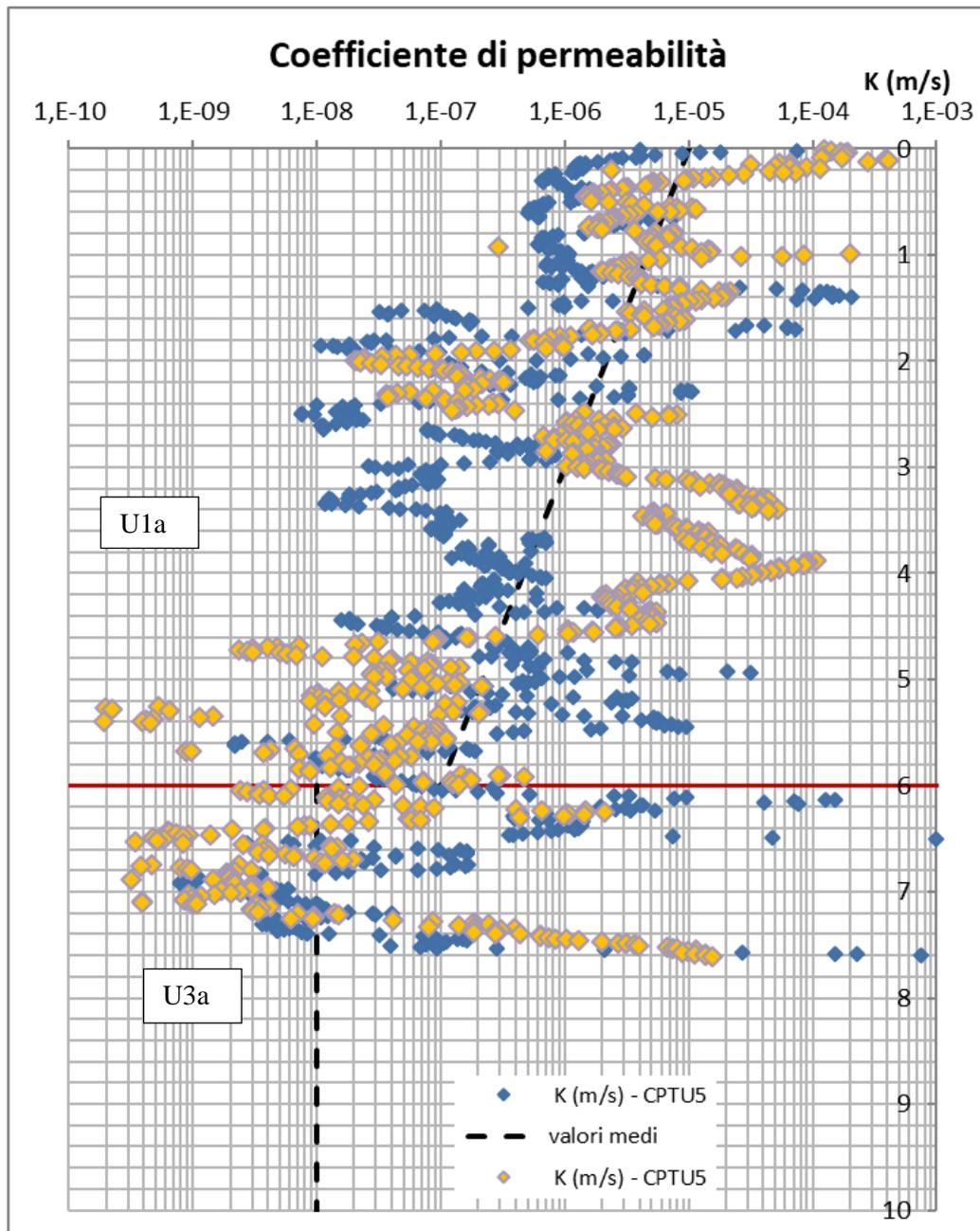
$1.0 < I_c \leq 3.27$	$k = 10^{(0.952 - 3.04 I_c)}$	m/s
$3.27 < I_c < 4.0$	$k = 10^{(-4.52 - 1.37 I_c)}$	m/s

Si riporta nel grafico seguente il coefficiente di permeabilità stimato con la correlazione di Robertson.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	326 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Inoltre per l'unità U3a è stata eseguita una prova Lefranc alla profondità di 15m con un valore di permeabilità  $K$  pari a  $3,76 \cdot 10^{-3}$  cm/s.

In sintesi, per i coefficienti di permeabilità dei terreni si hanno a disposizione i seguenti dati.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	327 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### Depositi U1a

Da Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-7}$  m/s

Valore medio assunto:  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s ( $5 \cdot 10^{-4}$  cm/s)

### Unità U3a

Da Lefranc:  $3.76 \cdot 10^{-3}$  cm/s

Da Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s

Valore medio assunto:  $5 \cdot 10^{-7}$  m/s ( $5 \cdot 10^{-5}$  cm/s)

#### ***10.7.14 Interpretazione prova in situ Down-Hole: angolo di resistenza al taglio e modulo elastico***

Come già accennato nel capitolo 8.2 relativo alle correlazioni utilizzate, di seguito si riporta l'interpretazione della prova geofisica; si sottolinea che i valori ottenuti risultano essere, soprattutto per le profondità maggiori, molto elevati. Pertanto, si ritiene opportuno limitare l'utilizzo dei valori di angoli e moduli di progetto ricavati da tali prove e di fare riferimento ai valori ottenuti dalle prove di laboratorio e dalle altre prove disponibili.

Nel dettaglio, per questo tratto di linea ferroviaria, la prova geofisica ha consentito di stimare angoli e moduli delle unità geotecniche, confrontandoli anche con i capitoli generali relativi alle medesime unità. Il modulo elastico  $E_{op}$  è stato calcolato dividendo il modulo elastico  $E$  per 10.

I valori medi di  $E_{op,1}$  sono stati utilizzati come confronto con quelli ricavati dalle prove SPT, per la definizione del valore di progetto.

Si riportano per completezza anche i valori degli angoli di attrito ricavati dalle  $V_s$ , anche se non sono stati considerati nella definizione del modello geotecnico di progetto, in quanto ritenuti troppo elevati.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	328 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Profondità	Vs (m/s)	Poisson	Peso di volume	G0 (kPa)	E0 (kPa)	E0 (MPa)	Eop,1 (Mpa)	Unità geotecnica	Valore medio Eop,1 (MPa)
1	135	0,3	17	31583	82115	82	8	U1a	29
2	135	0,3	17	31583	82115	82	8		
3	224	0,3	17	86951	226073	226	23		
4	224	0,3	17	86951	226073	226	23		
5	355	0,3	17	218392	567819	568	57		
6	355	0,3	17	218392	567819	568	57		
7	355	0,3	18	231239	601220	601	60		
8	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163	U3a	284
9	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
10	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
11	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
12	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
13	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
14	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
15	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
16	584	0,3	18	625791	1627056	1627	163		
17	628	0,3	18	723640	1881465	1881	188		
18	628	0,3	18	723640	1881465	1881	188		
19	628	0,3	18	723640	1881465	1881	188		
20	628	0,3	18	723640	1881465	1881	188		
21	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
22	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
23	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
24	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
25	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
26	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
27	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
28	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
29	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		
30	975	0,3	18	1744266	4535092	4535	454		

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	329 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Profondità	Vs (m/s)	$\sigma'v0$	Vs1	Angoli di attrito		Valore medio limite inferiore	Unità geotecnica
				Limite superiore	Limite inferiore		
1	135	17	210	41	35	U1a	39
2	135	34	177	38	32		
3	224	51	265	45	39		
4	224	68	247	44	38		
5	355	85	370	53	46		
6	355	102	353	52	45		
7	355	126	335	50	44	U3a	56
8	584	144	533	62	56		
9	584	162	518	61	55		
10	584	180	504	60	54		
11	584	198	492	60	53		
12	584	216	482	59	53		
13	584	234	472	59	52		
14	584	252	464	58	52		
15	584	270	456	58	51		
16	584	288	448	57	51		
17	628	306	475	59	53		
18	628	324	468	58	52		
19	628	342	462	58	52		
20	628	360	456	58	51		
21	975	378	699	70	63		
22	975	396	691	69	63		
23	975	414	684	69	63		
24	975	432	676	69	62		
25	975	450	669	68	62		
26	975	468	663	68	62		
27	975	486	657	68	62		
28	975	504	651	67	61		
29	975	522	645	67	61		
30	975	540	640	67	61		

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

### SINTESI DELLA CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA LUNGO LA LINEA FERROVIARIA tra le pk 36+050-37+270

Modello geotecnico 7 – pk 36+050-37+270

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa Dr (%)	Angolo di resistenza al taglio picco $\phi'$ (°)	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv}$ (°)	Coesione efficace c' (kPa)	Coesione non drenata cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	K da prove Lefranc (cm/s)	K media (cm/s)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	6	6	17	GF/GG	40	27	24,5	10	-	20	40	26-40	-	5*10 <sup>-4</sup>
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia debolmente limosa mediamente addensata con ghiaia	6	30	24	18	GG	70	32	25,8	0	-	50	100	68	1*10 <sup>-3</sup>	5*10 <sup>-5</sup>

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

La falda durante le indagini non è stata rilevata, pertanto la falda di progetto si assume oltre i 30 m cdi profondità del sondaggio S08-2017. Analogamente a quanto detto per le profondità degli strati, è opportuno confrontare la profondità della falda con la quota piezometrica riportata nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera di interesse.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	331 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.8 Modello geotecnico 8 – pk 37+270-38+000

Si tratta di uno dei modelli non oggetto di indagini integrative per il quale si è mantenuto in questa fase di PD, la stessa caratterizzazione e assunzione dei parametri che era stata determinata nel PD 2018 – relazione NR1J01D29GEGE0005001A. Si riportano nel seguito per completezza le suddette determinazioni:

Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	K media (m/s)
Terreno vegetale	0	1	1	-	GF	-	-	-	-	-
Limo argilloso mediamente addensato con sabbia (terreno eluviale)	1	9	8	18	GF	25	5	30	20	-
Depositi vulcanici - Sabbia limosa argillosa con ghiaia mediamente addensata	9	30	21	18	GG	34	0	-	50	3,17*10 <sup>-3</sup>

### 10.9 Modello geotecnico 9 – pk 38+000-39+497

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di studio si basa su:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni (SA01-2018, S06-2018 S07-2018 e S13-2017);
- prove penetrometriche (CPTU8, CPTU9 e CPTU10);
- prove di laboratorio meccaniche (prove di taglio diretto).

Nel presente modello vengono incontrate le seguenti unità geotecniche.

#### Modello 9a

Unità Geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)
P1	Depositi superficiali zona Lago Morto	0	4	4
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	4	8	4
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	8	30	22

#### Modello 9b (relativo al solo S13-PZ-2017)

Unità Geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	4	4
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	4	15	11
U2b	Sabbia limosa	15	27.5	12.5
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	27.5	30	2.5

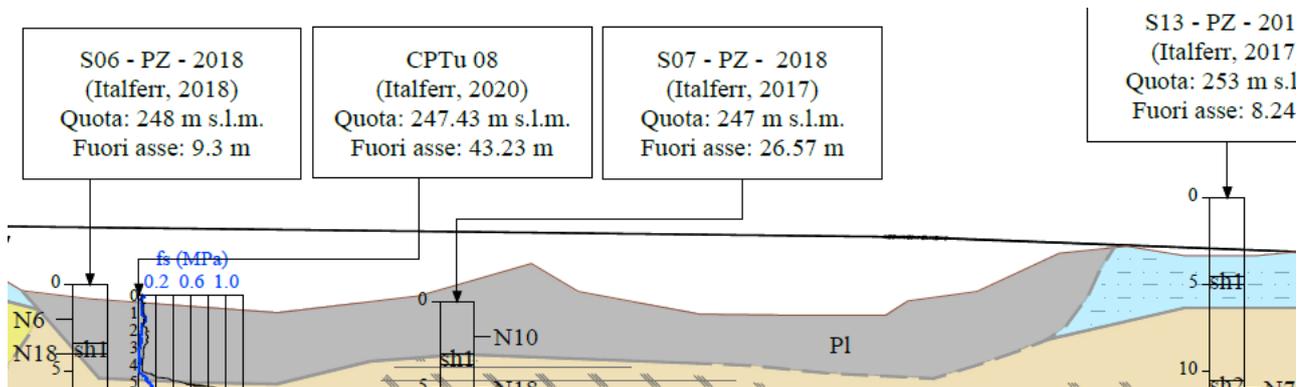
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	333 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

La porzione più superficiale dell'unità U1a (4-5 m) è ascrivibile al deposito locale individuato nel profilo di Geologia ("P1" superficiali nella zona Lagomorto), di cui si riporta un estratto in seguito. **Questo tipo di deposito P1 non viene individuato in corrispondenza del sondaggio S13 e comunque la sua presenza viene riscontrata solo all'interno dell'unità U1a.**



La presenza dell'U2B (terreni prevalentemente sabbiosi limosi) è esclusivamente riferibile all'intorno del sondaggio S13-PZ-2017, pertanto tale strato, caratterizzato con quanto disponibile, non fa parte della stratigrafia del modello 9 utilizzata per il dimensionamento delle opere civili.

La prova penetrometrica CPTU9 è stata interpretata e considerata per calibrare i valori ottenuti, essendo fuori asse rispetto alla linea ferroviaria di progetto di circa 135m. Anche le prove penetrometriche CPTU8 e CPTU10 risultano a circa 50m dalla linea ferroviaria.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	334 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

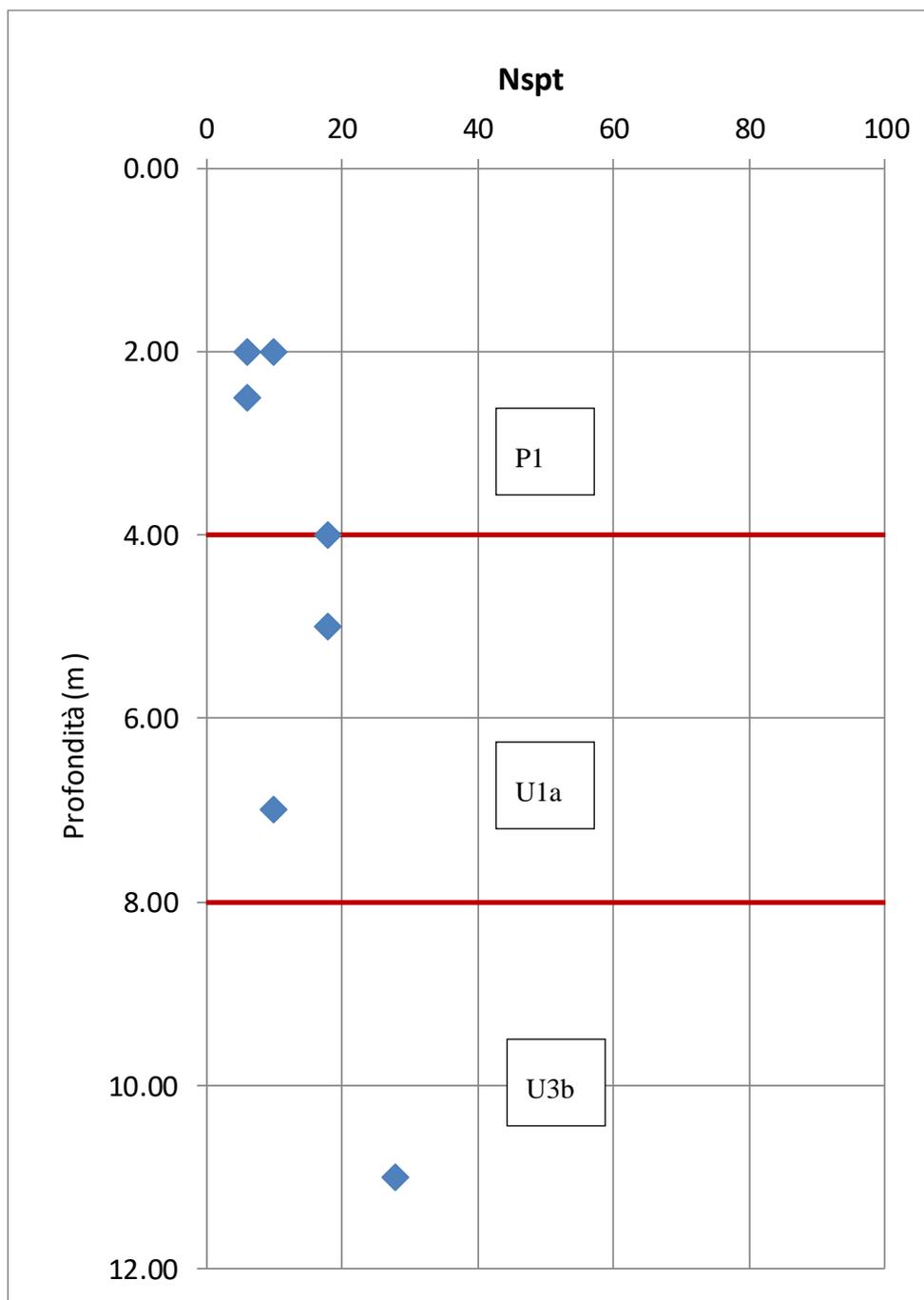
### 10.9.1 Sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT

	Profondità (m)	Nspt
S7-PZ-2018	2.00	10
	5.00	18
S6-PZ-2018	2.00	6
	4.00	18
SA01-2018	2.50	6
	7.00	10
S13-PZ-2017	11.00	74
	15.50	20
	18.50	21

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	335 di 452

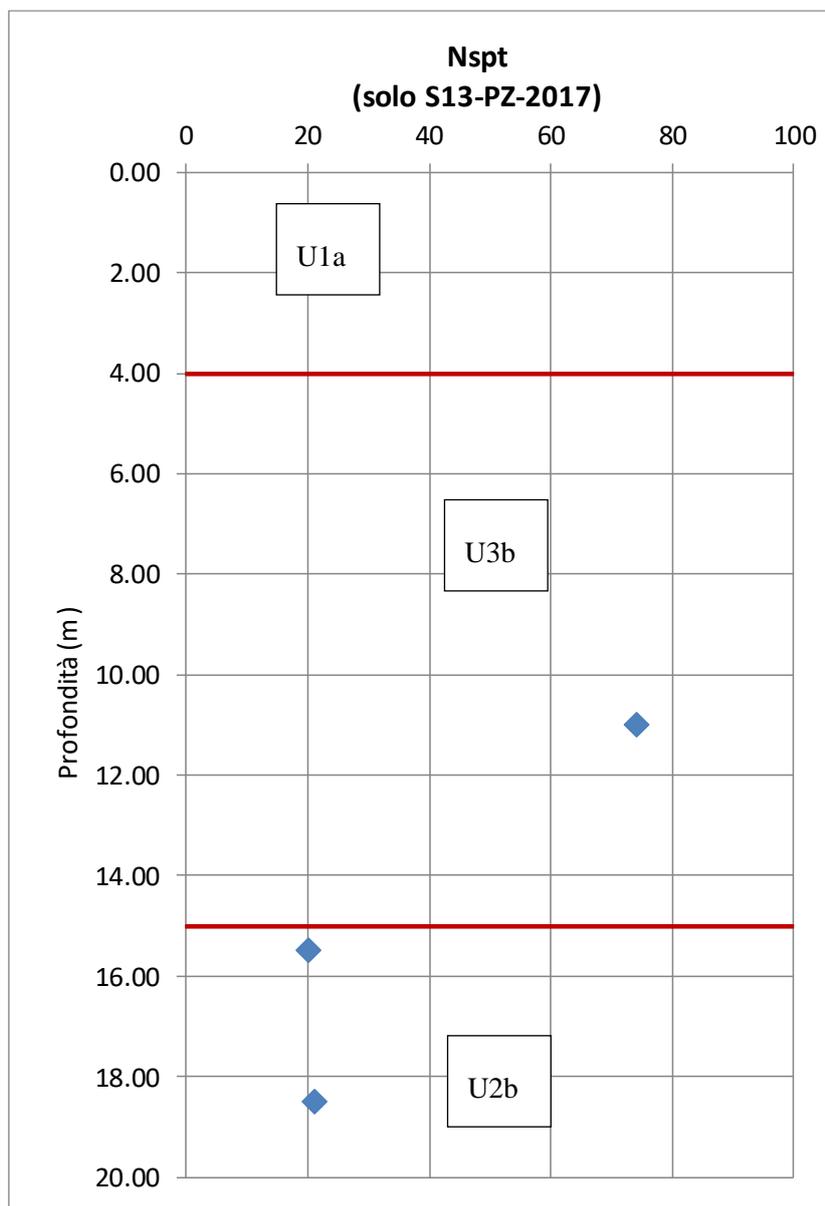
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	336 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	337 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

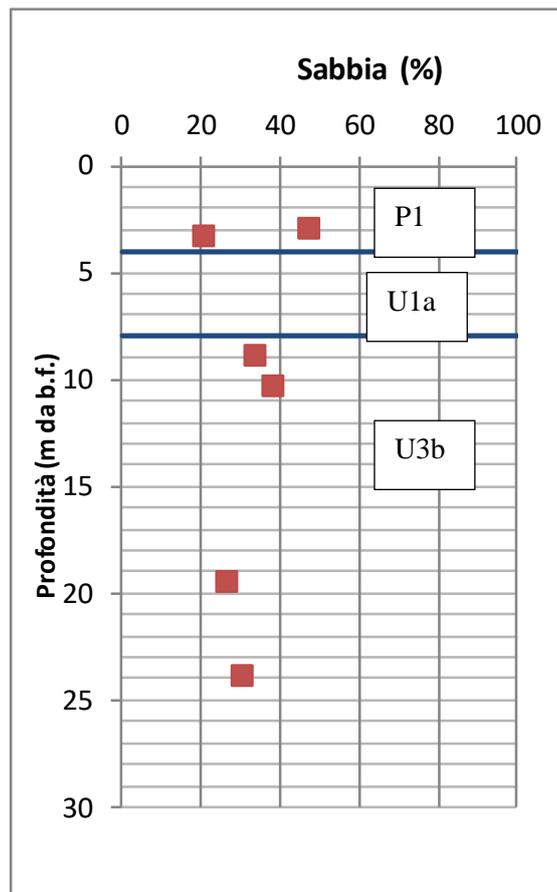
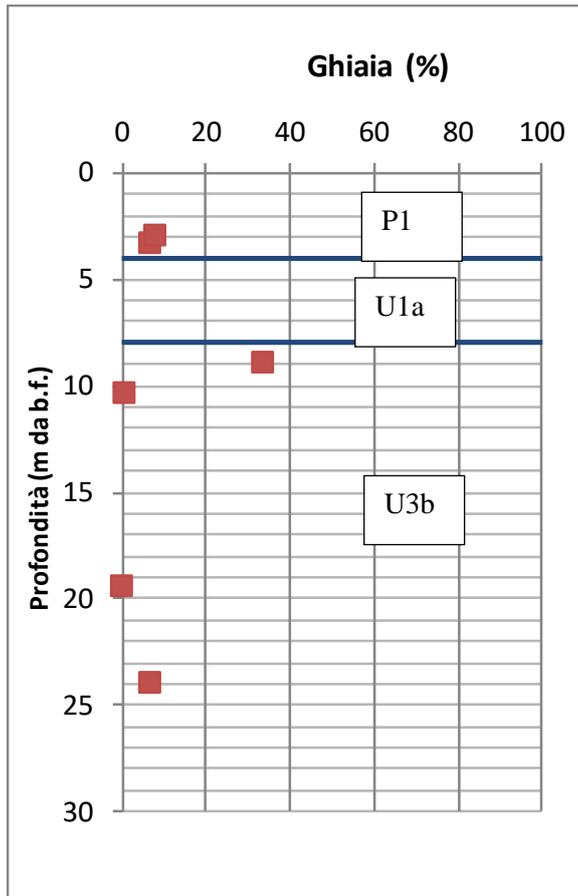
### 10.9.2 Analisi granulometrica, limiti di Atterberg e peso dell'unità di volume

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	GRANULOMETRIA			
			ghiaia	sabbia	limo	argilla
			%	%	%	%
S13_PZ-2017	CR1	2.0	7	37	48	8
	CI2	4.5	23	60	14	3
	CI3	10.5	15	66	14	5
	CI4	20.0	17	63	16	4
S06-2018	CI1	3.4	7	21	38	33
	CI2	10.4	1	39	54	5
S07-2018	CI1	3	8	48	38	5.66
	CI2	9	34	34	30	2
	CI3	24	7	31	55	7
SA01-2018	CR1	19.5	0	27	70	3

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	338 di 452

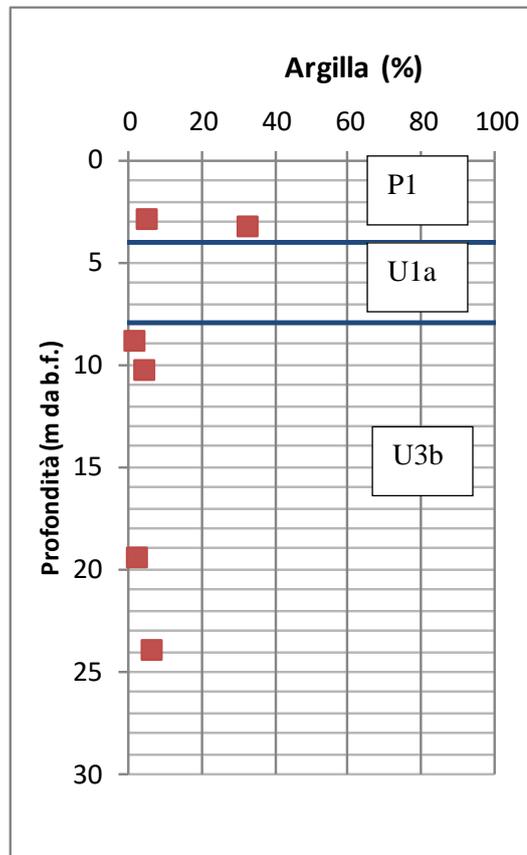
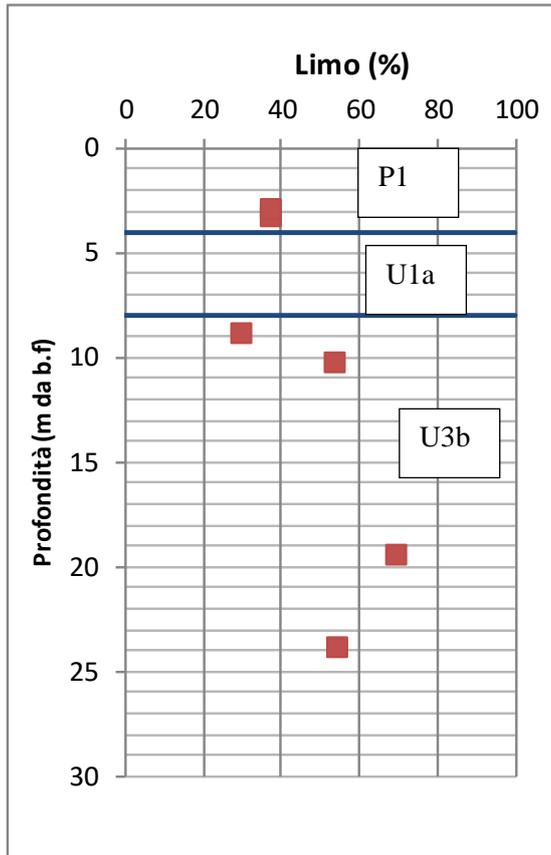
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	339 di 452

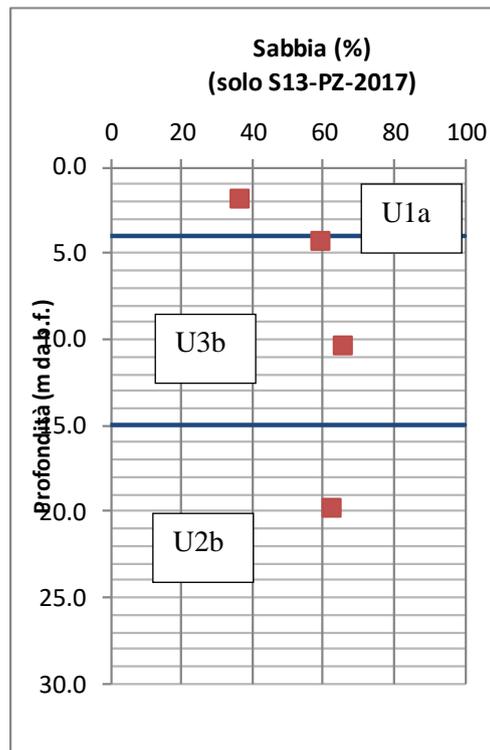
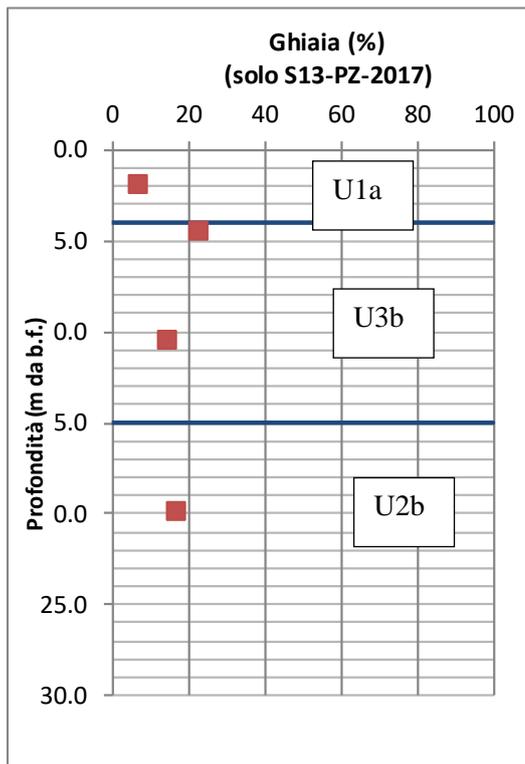
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	340 di 452

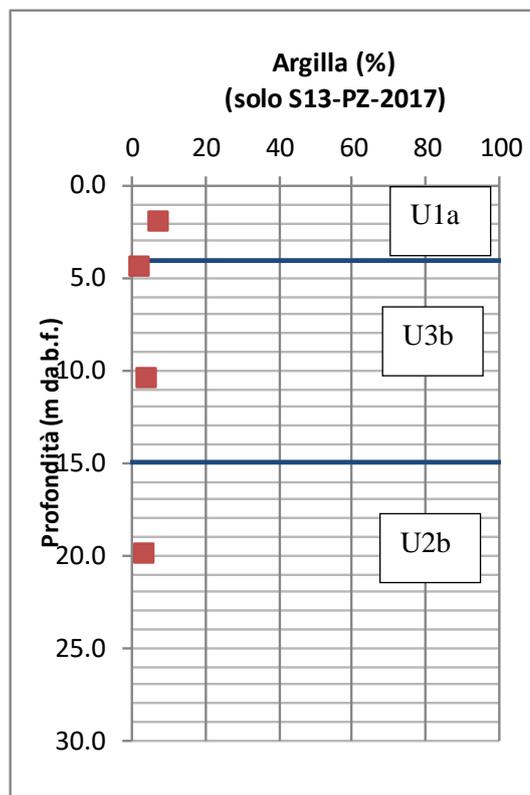
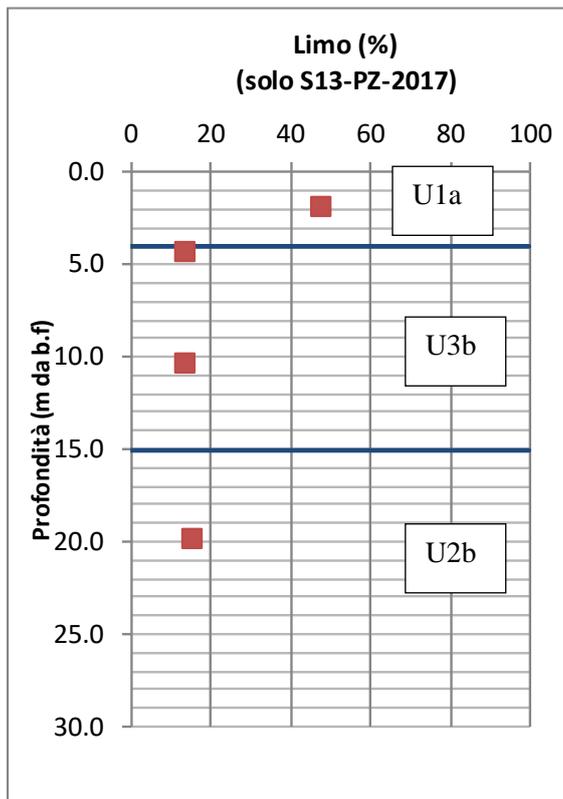
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	341 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

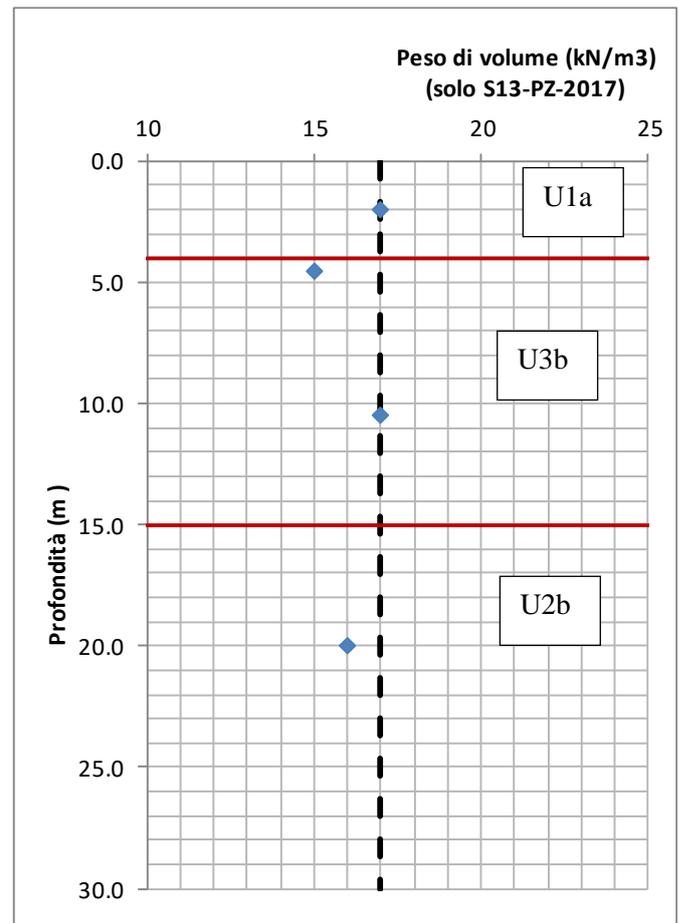
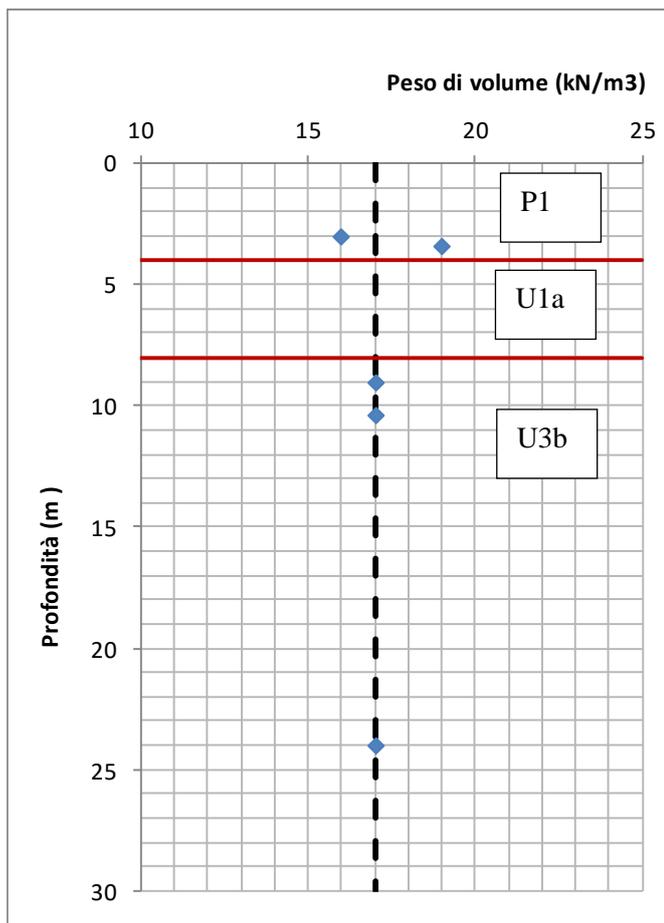


Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )
S13_PZ-2017	CR1	2.0	17.0
	CI2	4.5	15.0
	CI3	10.5	17.0
	CI4	20.0	16.0
S06-2018	CI1	3.4	19.0
	CI2	10.4	17.0
S07-2018	CI1	3	16.0
	CI2	9	17.0
	CI3	24	17.0
SA01-2018	CR1	19.5	-

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	342 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

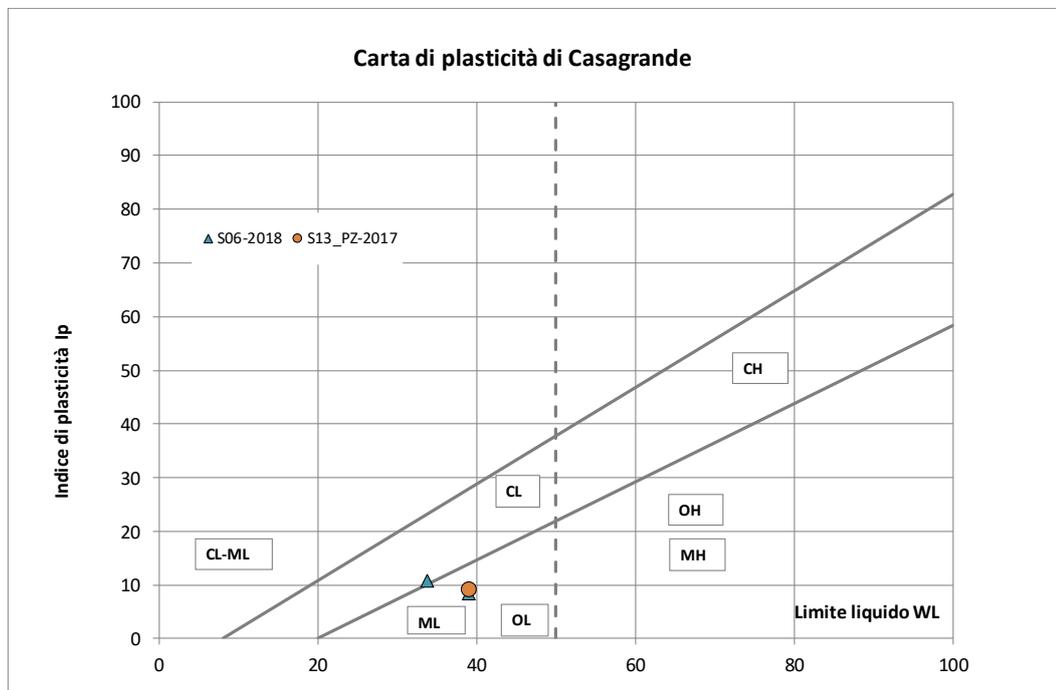


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	343 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Limiti Atterberg		
			WL	WP	Ip
S13_PZ-2017	CR1	2.0	39	30	9.1
	CI2	4.5	-	-	-
	CI3	10.5	-	-	-
	CI4	20.0	-	-	-
S06-2018	CI1	3.4	33.7	23	10.7
	CI2	10.4	39	30.8	8.3
S07-2018	CI1	3	-	-	-
	CI2	9	-	-	-
	CI3	24	-	-	-
SA01-2018	CR1	19.5	-	-	-



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	344 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

OL= Limi organici; argille limose organiche di bassa plasticità
ML= Limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità
CL= Argille inorganiche di medio bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre
OH= Argille organiche di medio alta plasticità; limi organici
MH= Limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici
CH= Argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse

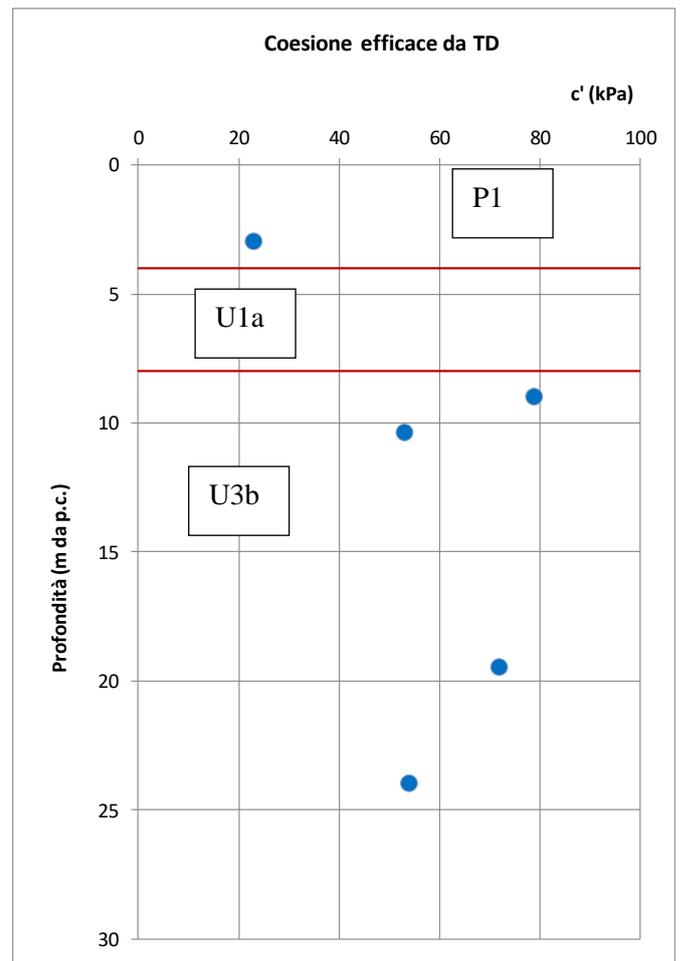
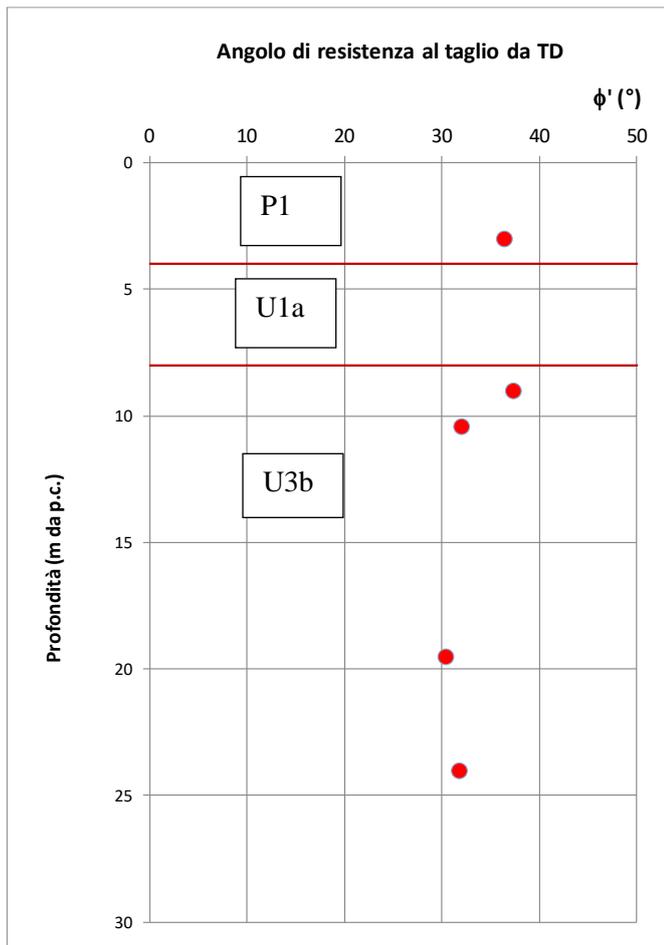
### 10.9.3 Prove meccaniche di laboratorio

Prove di lab. - Taglio diretto			
Angolo di attrito	Coesione	Profondità (m)	Sondaggio
f'	c		
		3.4	S6-2018
32	53	10.4	
36.4	23.1	3	S7-2018
37.4	79	9	
31.8	54	24	
30.4	72	19.5	SA01-2018
30.72	3.35	20	S13_PZ-2017

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	345 di 452

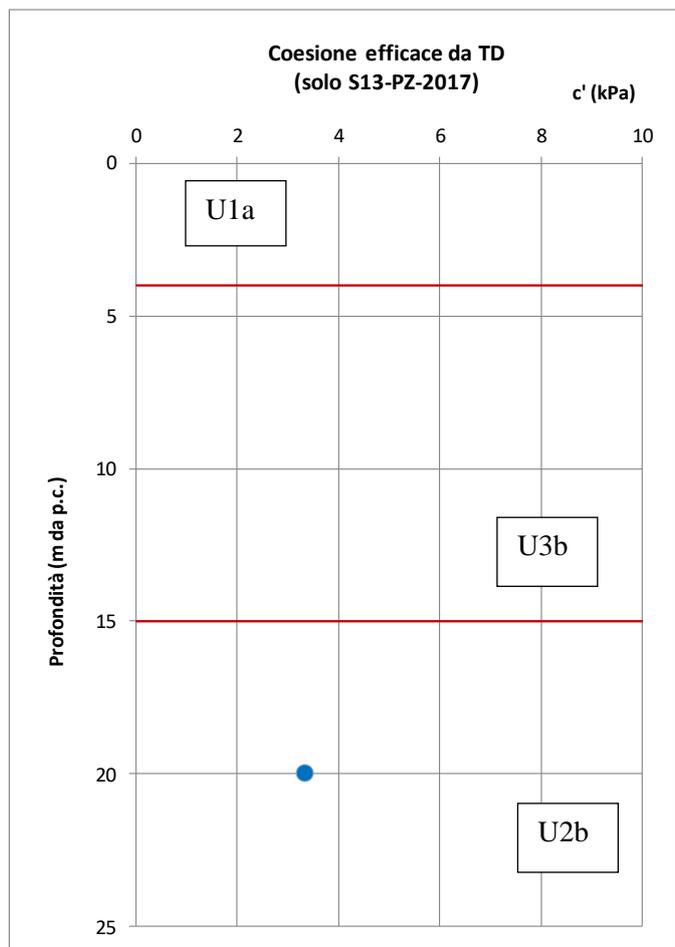
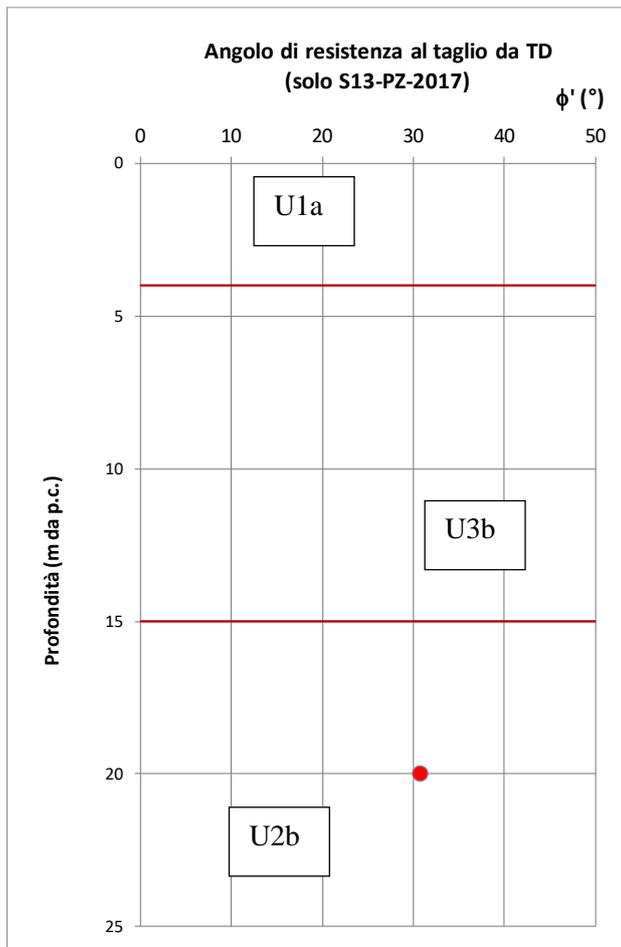
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	346 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Gli angoli di attrito ricavati dalle prove di taglio diretto fanno riferimento a valori di picco.

I valori di coesione efficace relativi a prove condotte a profondità superiori a 10 m, con particolare riferimento all'unità U3b nei sondaggi S06, S07, S01A, si riferiscono a rette di involuppo a tensioni alte. La curvatura del probabile involuppo di rottura porterebbe ad una coesione apparente che può essere stimata pari a circa la metà dei valori ricavati dalla prova.

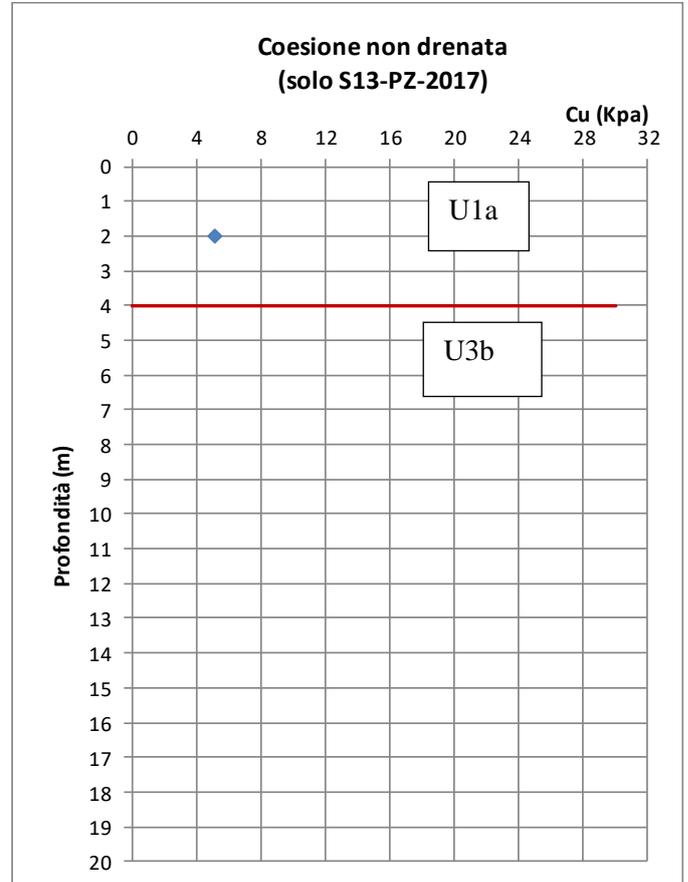
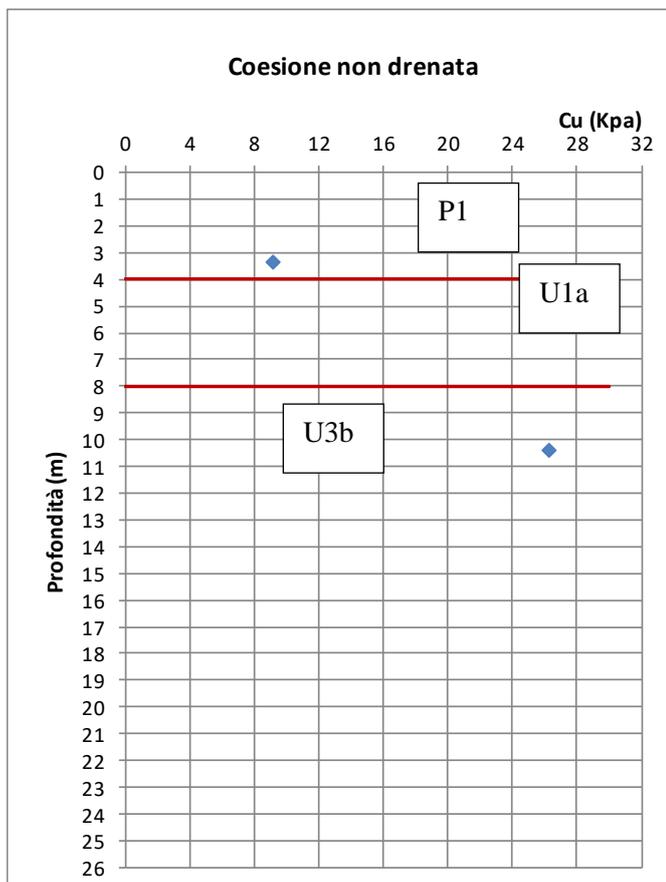
L'unità U3b è di natura prevalentemente granulare (Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici), pertanto ai fini della definizione del modello geotecnico sono stati considerati valori cautelativi per la coesione efficace, anche rispetto ai valori ridotti di cui sopra.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	347 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

				Skempton, 1957
Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Indice di Plasticità IP%	Cu (Kpa)
S13_PZ-2017	CR1	2.0	9.1	5.17
	CI2	4.5	-	
	CI3	10.5	-	
	CI4	20.0	-	
S06-2018	CI1	3.4	10.7	9.15
	CI2	10.4	8.3	26.30
S07-2018	CI1	3	-	
	CI2	9	-	
	CI3	24	-	
SA01-2018	CR1	19.5	-	



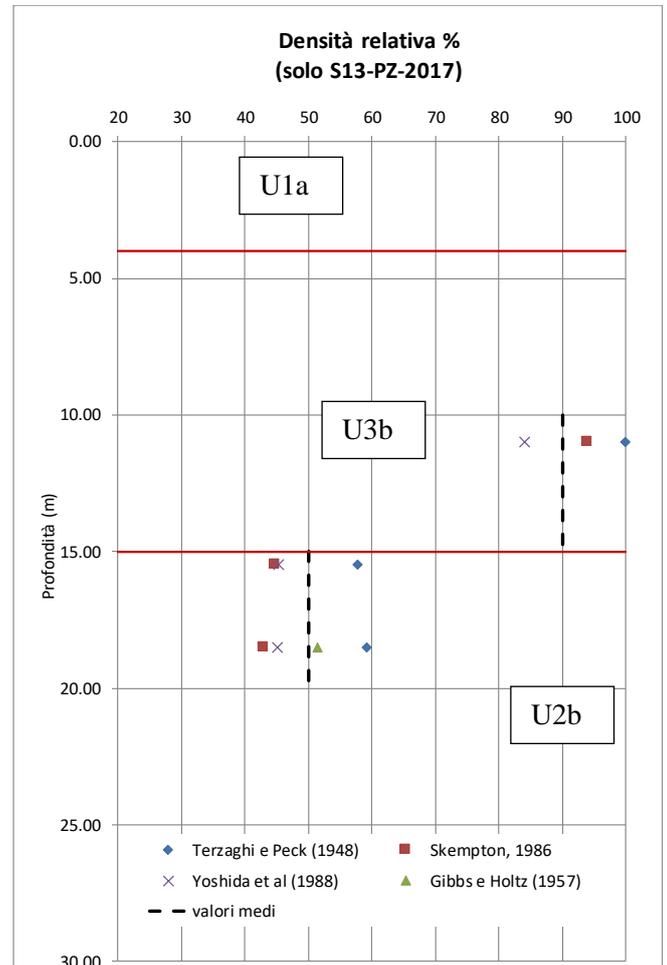
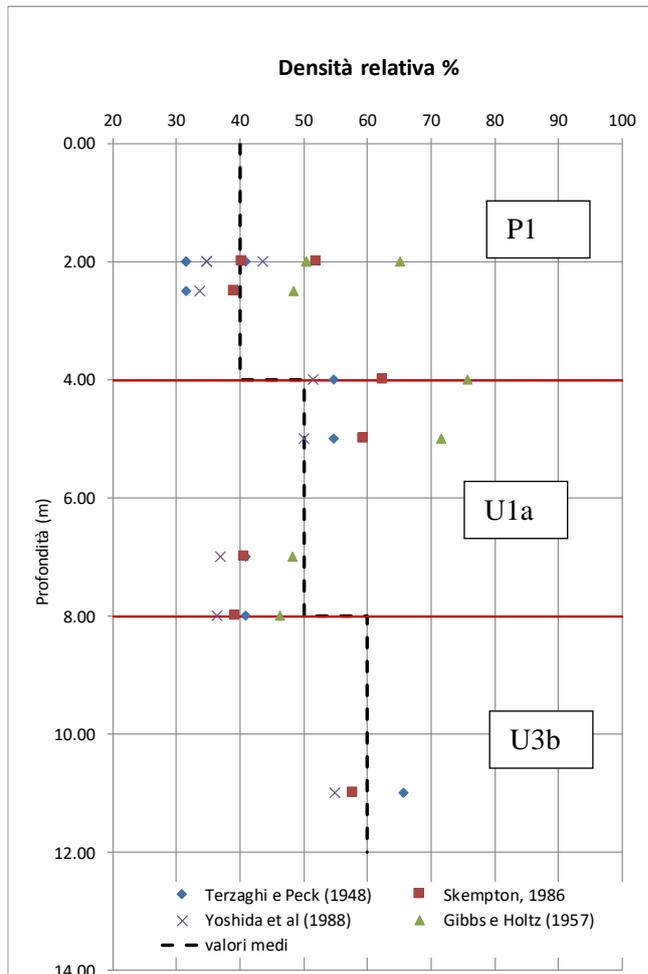
I valori di  $c_u$  ottenuti con la correlazione di Skempton a partire dall'indice di plasticità, vengono utilizzati come confronto con quelli ricavati dalle prove CPT e SPT.

#### 10.9.4 Premessa alle interpretazioni delle prove

Poiché la prova penetrometrica CPTU9 è fuori asse rispetto alla linea ferroviaria di progetto di circa 135m, è stata interpretata separatamente e considerata solo per confronto e calibrazione dei valori ottenuti con le altre due prove.

Non sono infatti chiaramente individuabili i confini tra le unità geotecniche definite, così come invece riscontrabili nelle altre prove, in particolare la CPTU8.

#### 10.9.5 Interpretazione prove in sito SPT: densità relativa

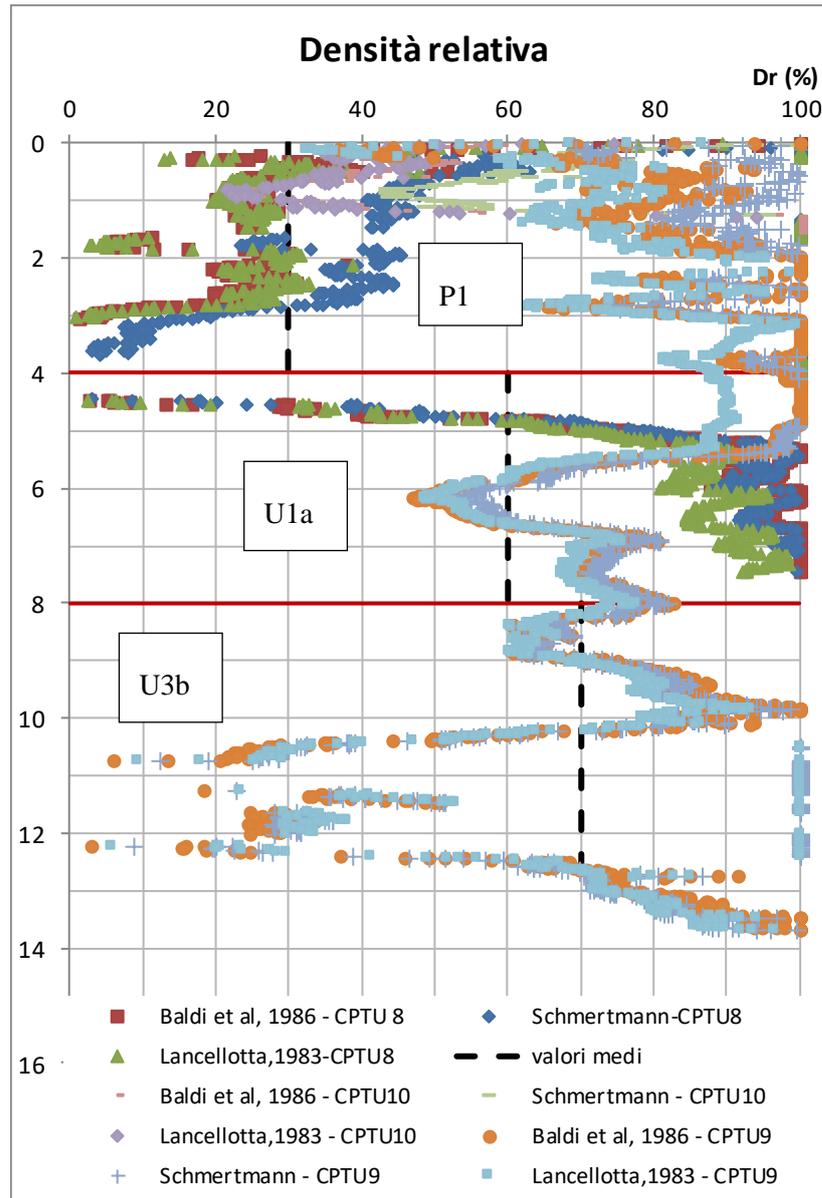


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

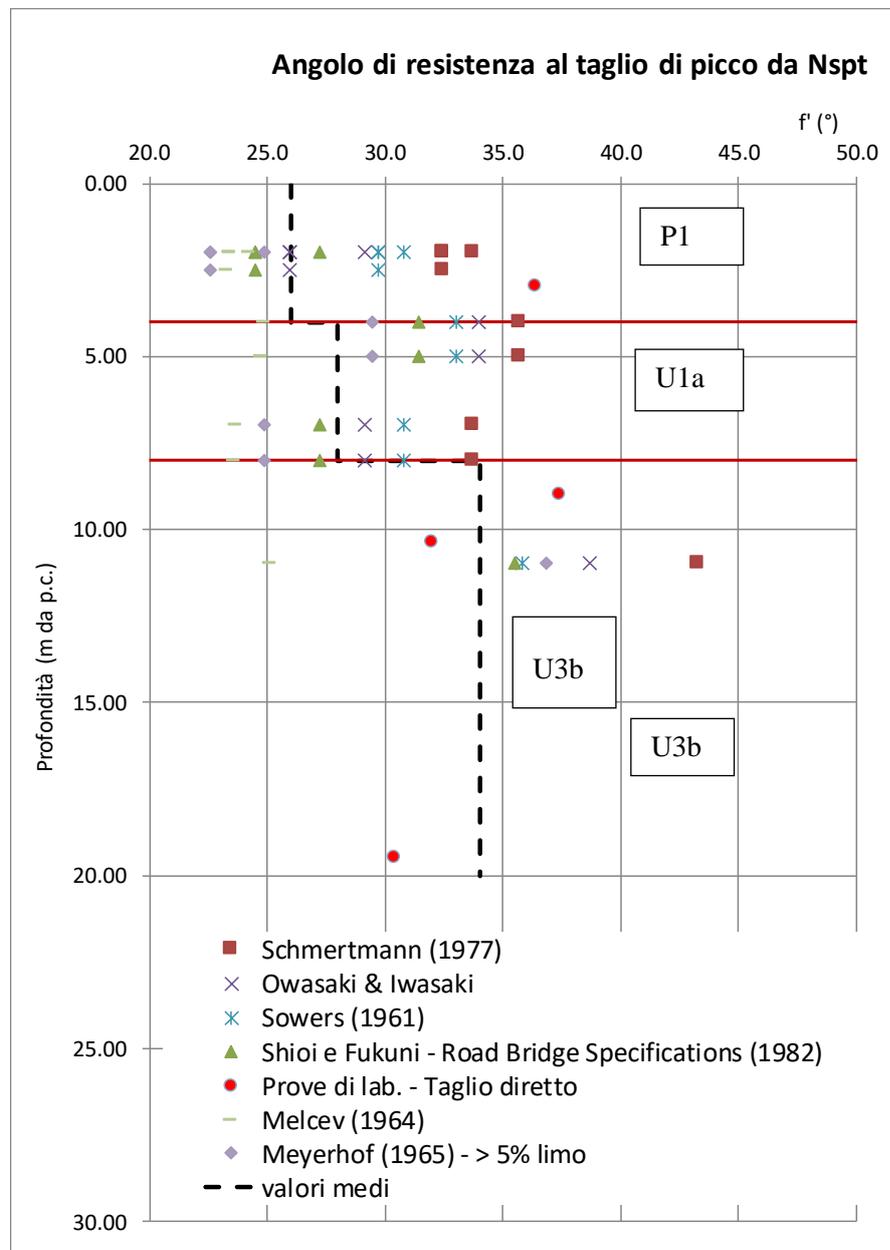
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	349 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.9.6 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: densità relativa



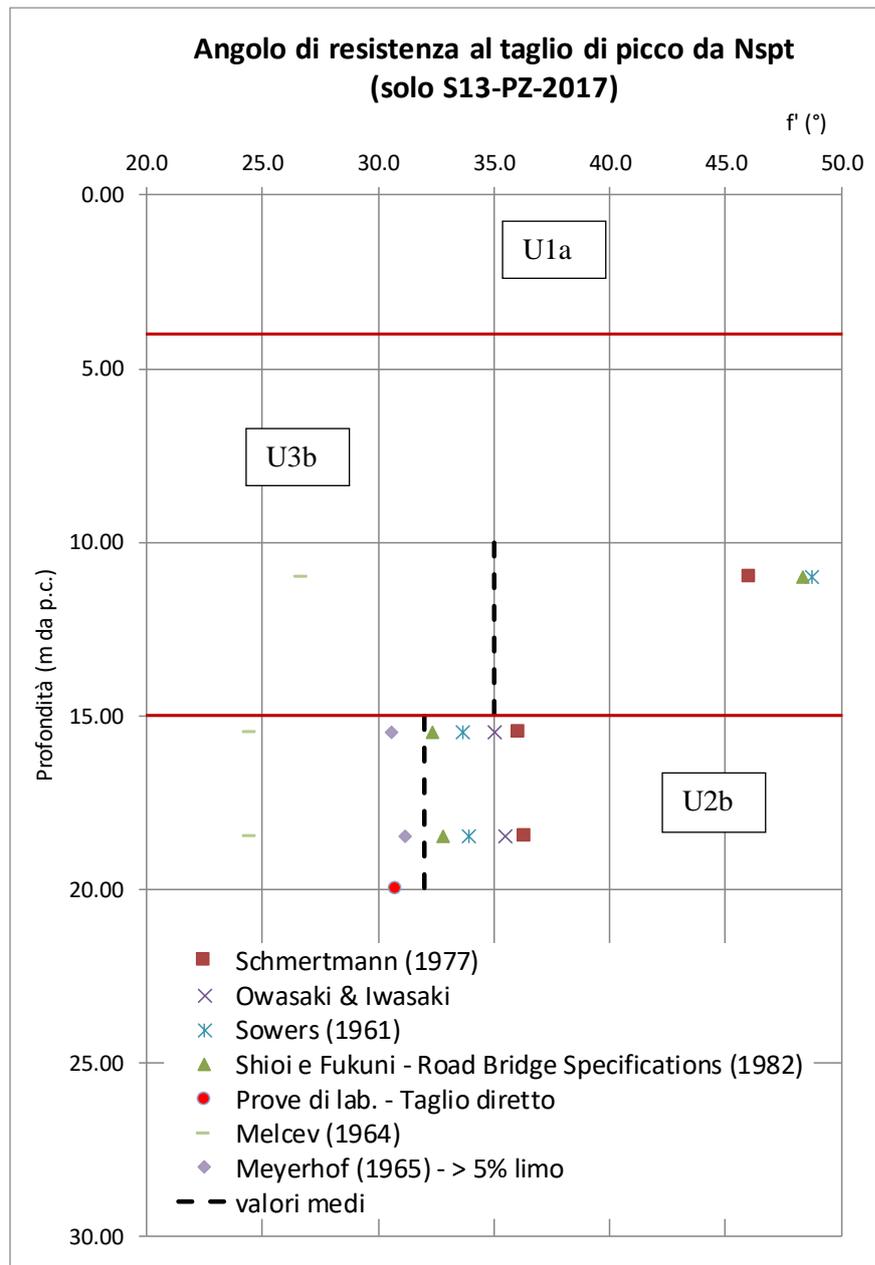
**10.9.7 Interpretazione prove in sito SPT: angolo di resistenza al taglio di picco**



LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	351 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

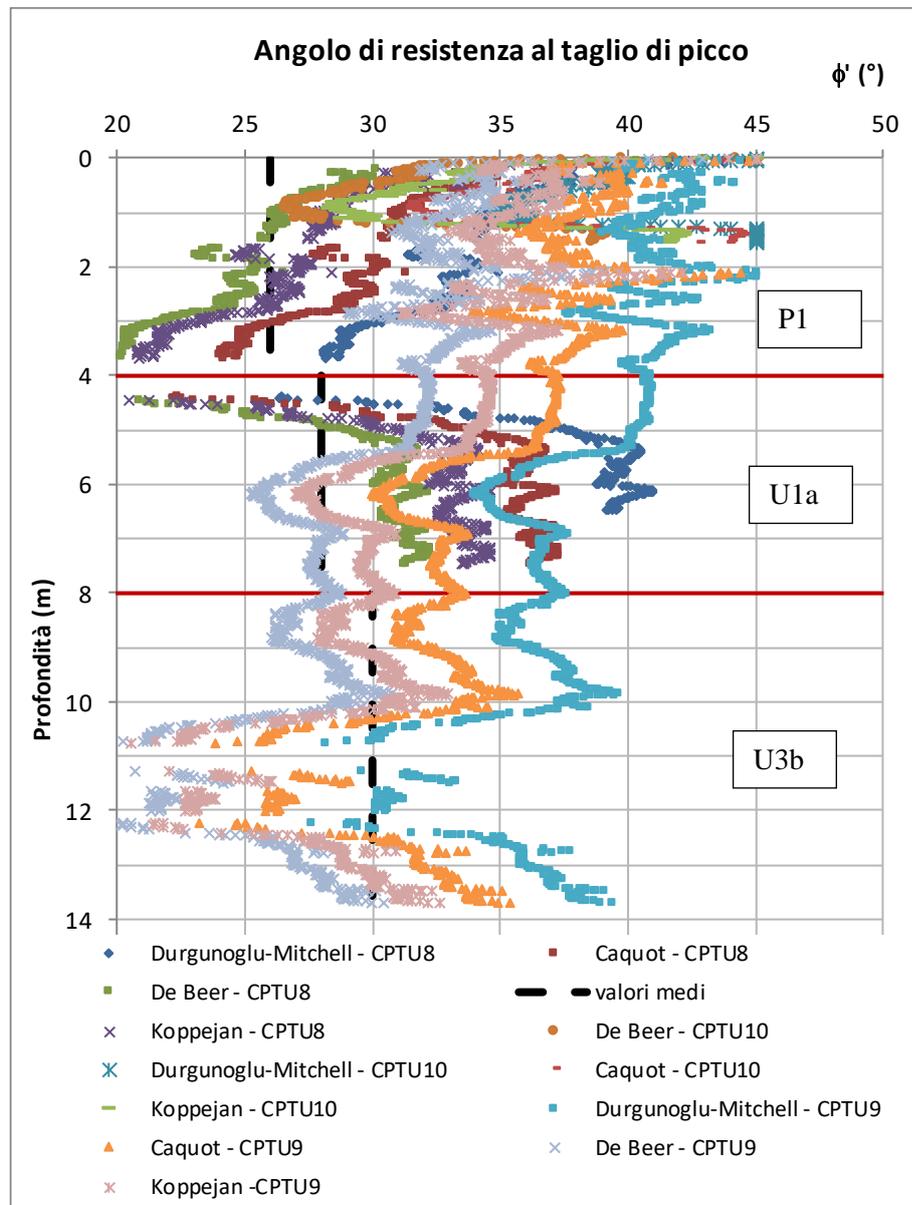


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	352 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**10.9.8 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: angolo di resistenza al taglio di picco**

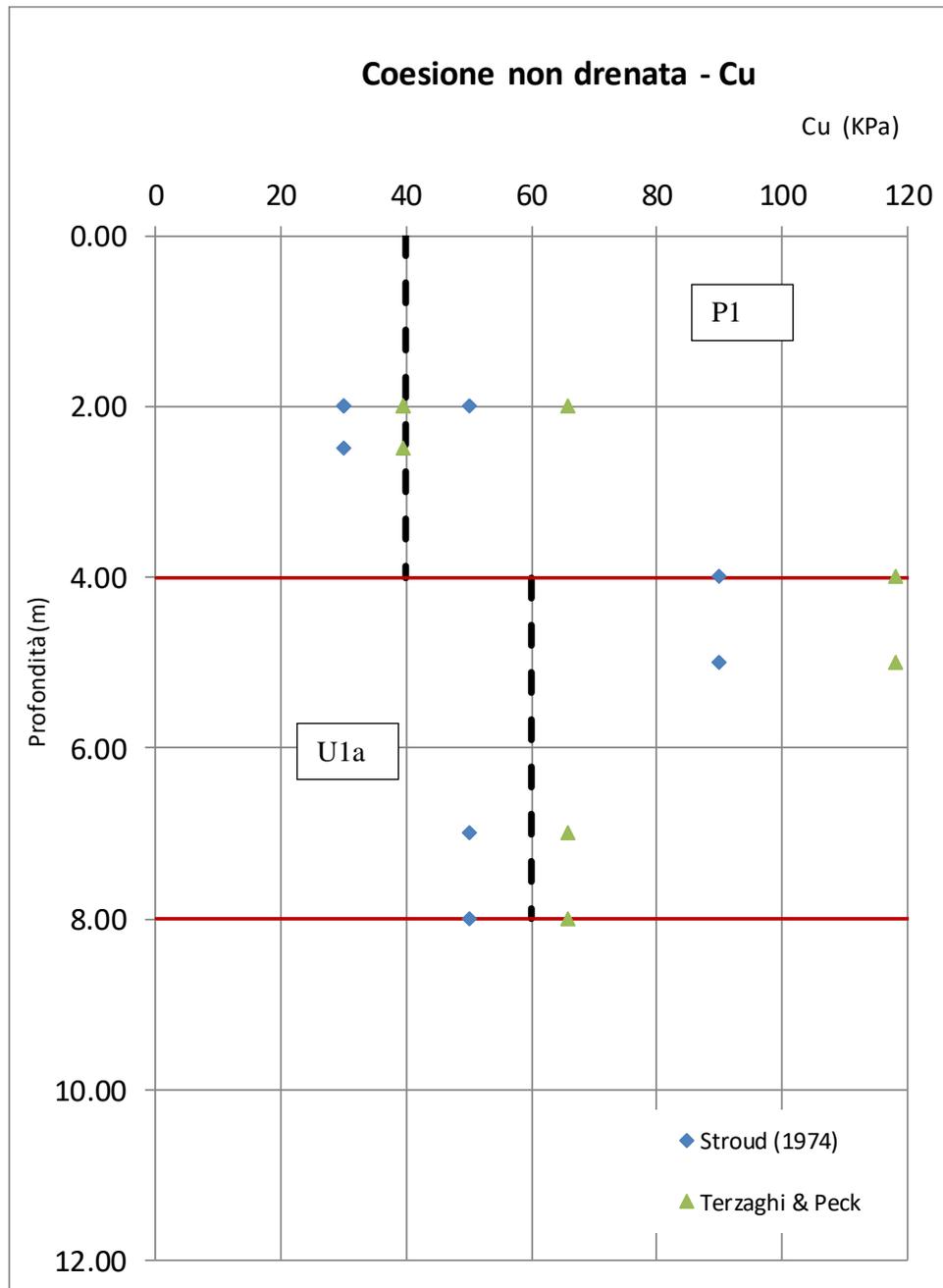


LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

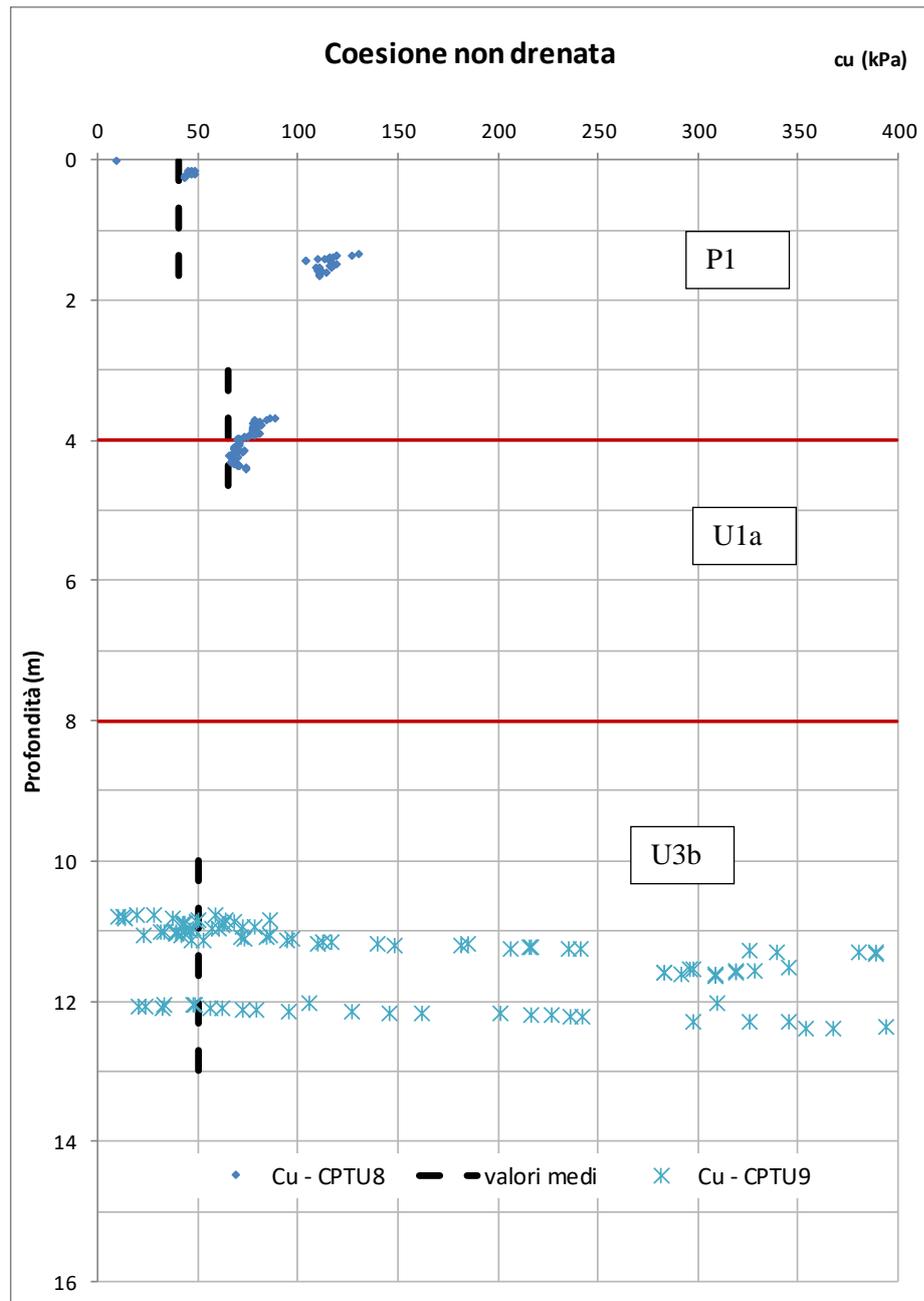
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	353 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**10.9.9 Interpretazione prove in sito SPT: coesione non drenata**



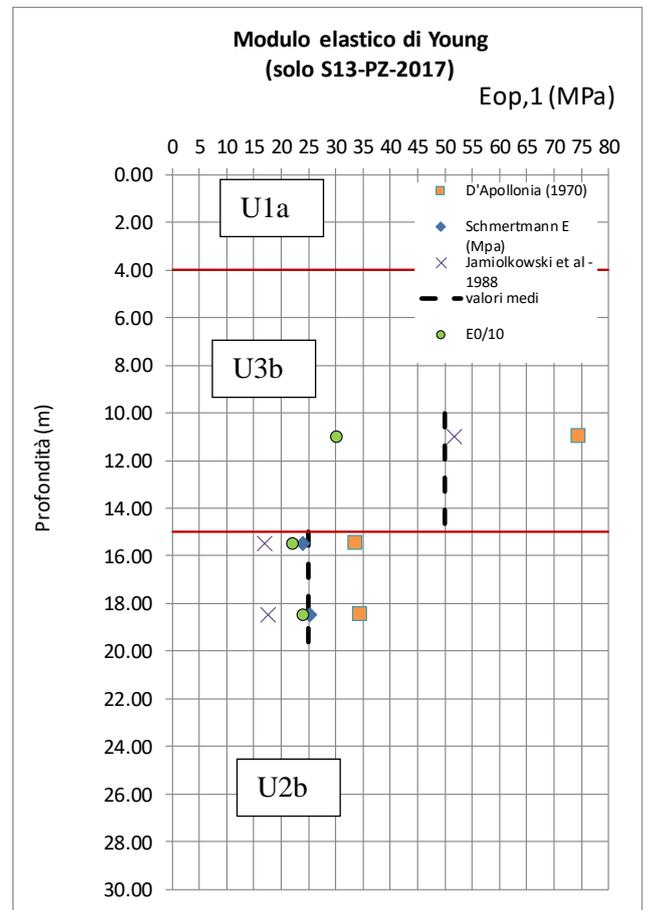
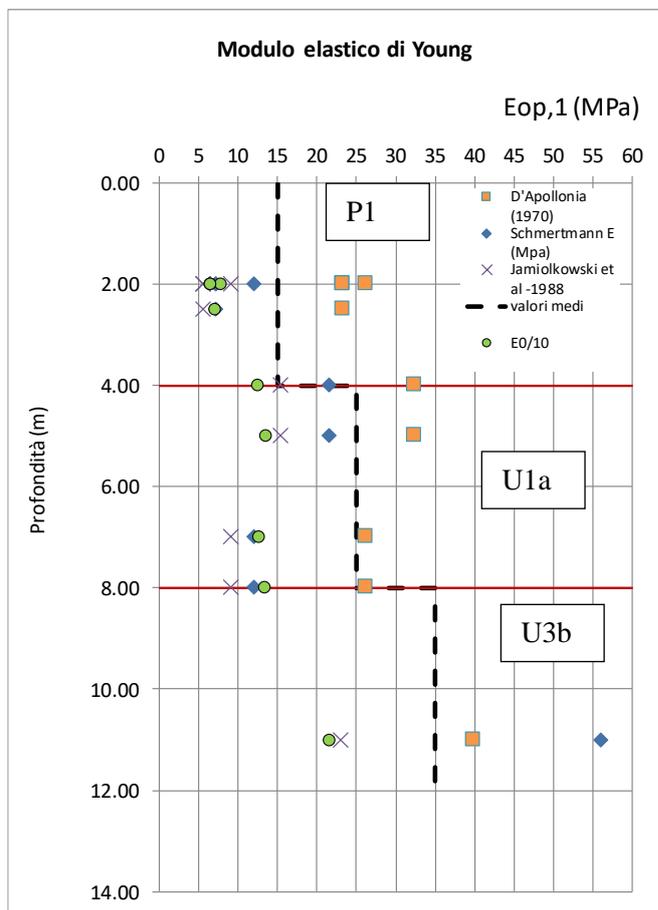
**10.9.10 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coesione non drenata**



### 10.9.11 Interpretazione prove in sito SPT: modulo elastico $E_{op,1}$

Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo  $E_{25}$  riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.





INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	356 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.9.12 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo elastico $E_{op,1}$

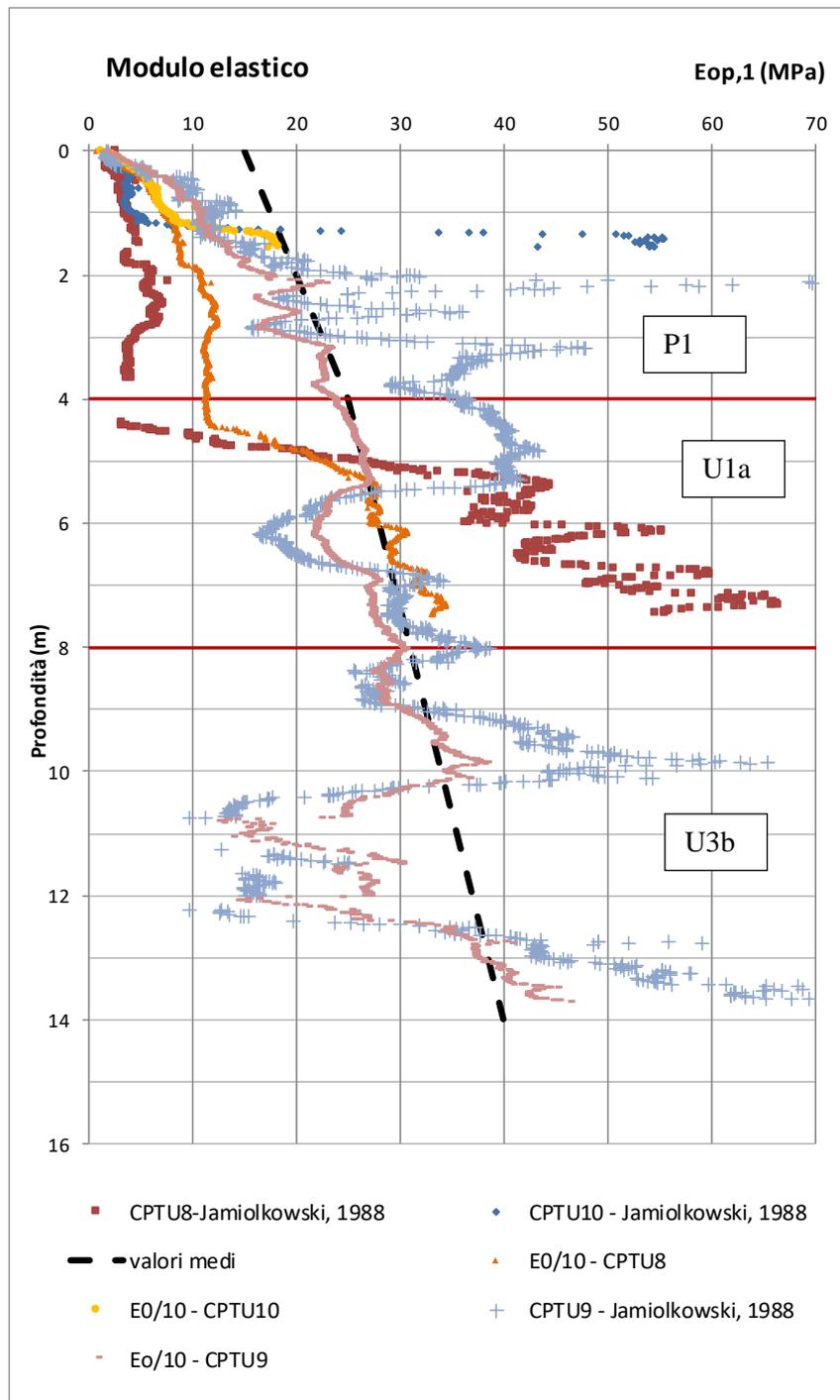
Si riportano in seguito i moduli elastici  $E_{op,1}$  da utilizzare per il calcolo dei cedimenti.

Tali moduli sono dell'ordine di grandezza di  $E_0/10$  e sono assimilabili al modulo E25 riferito al raggiungimento del 25% dello sforzo a rottura.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	357 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

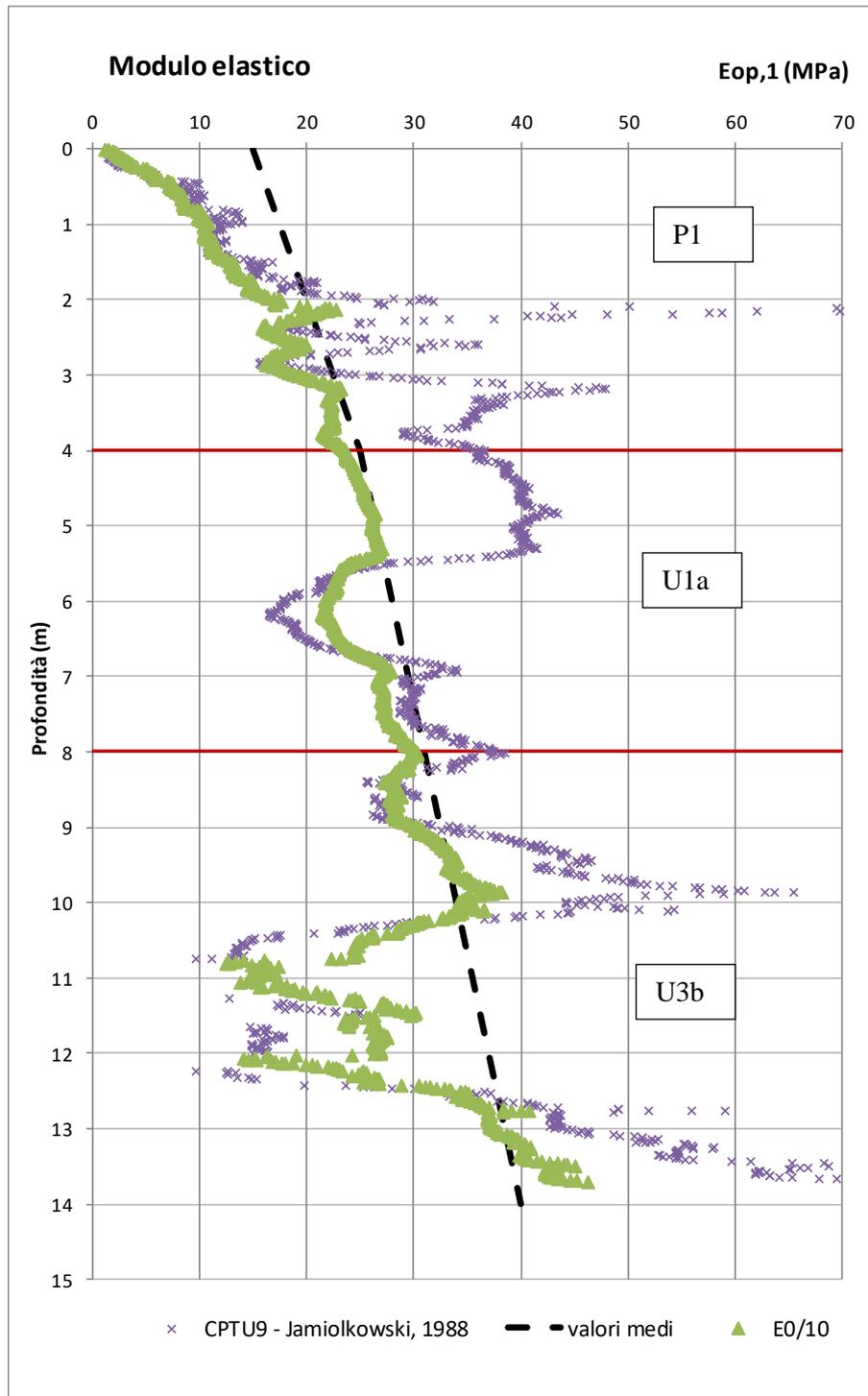


Nel grafico successivo è possibile osservare la taratura del modulo elastico Eop,1 con E0/10, con riferimento alla prova CPTU9.

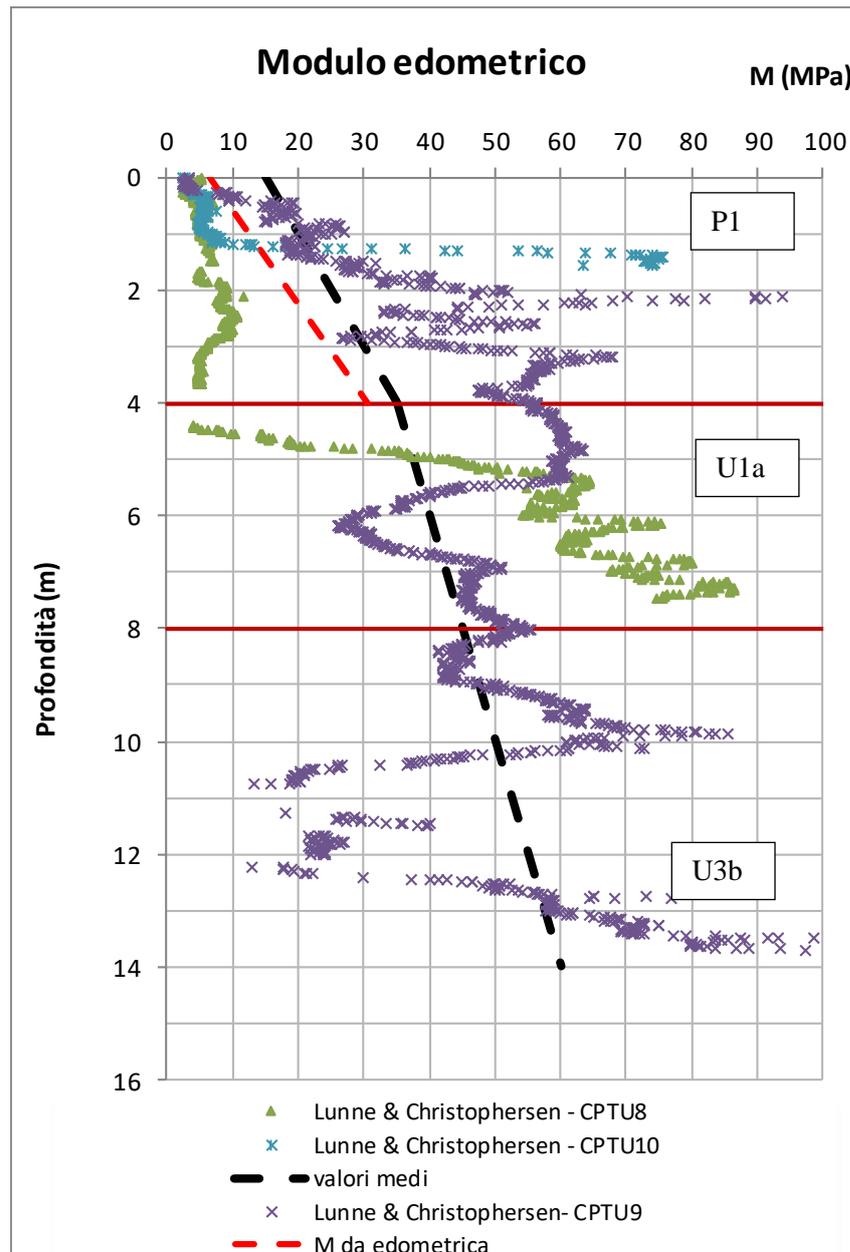
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	358 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



### 10.9.13 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: modulo edometrico



Per il modulo edometrico del deposito superficiale P1, si è fatto anche riferimento alla prova edometrica eseguita nel sondaggio S6-2018 alla profondità di 3.4 m /4m

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	360 di 452

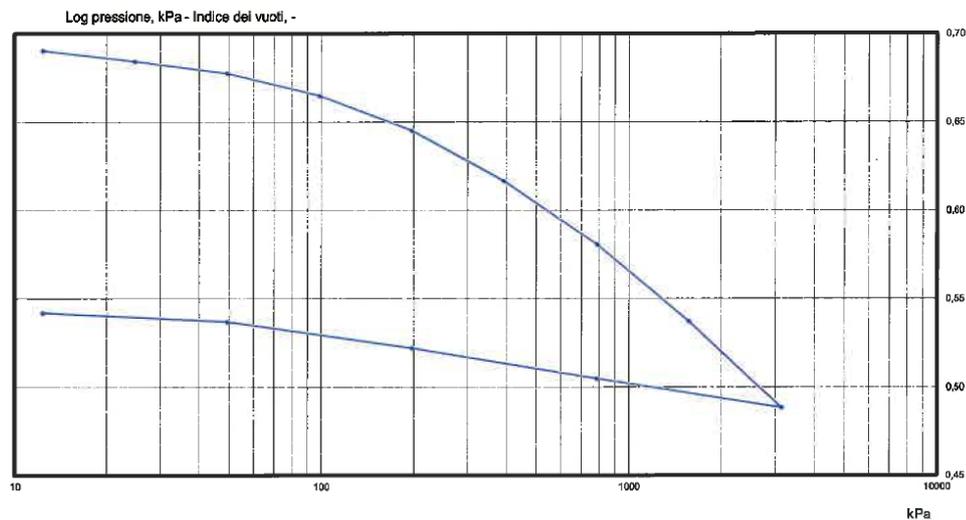
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

I risultati della prova forniscono valori più cautelativi rispetto a quelli derivanti dall'elaborazione delle prove in sito. In particolare si può considerare un range di valori, di quelli indicati nella scheda della prova, compreso tra 6.6 MPa e 30.7 MPa, riferito all'intervallo tensionale 98÷1569 kPa. Per problemi progettuali che comportino variazioni nell'ambito della curva di scarico e ricarica, si può assumere un modulo edometrico pari a 2÷3 volte i valori suddetti.

Sondaggio: **S6**  
 Campione: **C.I.1** Profondità m: **03,40 - 04,00** Stato: **Indisturbato**

**PROVA EDOMETRICA**

Foglio 4/ 4



PRESSIONE	CEDIMENTI	$\Delta H/H$	INDICE VUOTI	MODULO EDOMETRICO	COEFF. PERMEABILITA' K	COEFF. CONSOLIDAZIONE $C_v$
[kPa]	[mm]	[%]	-	$[kN/m^2]$	[mm/sec]	[mm <sup>2</sup> /sec]
12,26	0,228	1,14	0,6907	-	-	-
24,52	0,299	1,50	0,6846	3453	-	-
49,04	0,378	1,89	0,6778	6207	-	-
98,07	0,526	2,83	0,6652	6626	3,94,E-08	2,66,E-02
196,14	0,757	3,79	0,6454	8491	4,33,E-08	3,75,E-02
392,28	1,091	5,46	0,6169	11745	4,48,E-08	5,37,E-02
784,56	1,510	7,55	0,5810	16725	3,15,E-08	6,02,E-02
1569,12	2,020	10,10	0,5374	30767	1,59,E-08	4,98,E-02
3138,24	2,591	12,96	0,4886	54960	8,93,E-09	5,00,E-02
784,56	2,400	12,00	0,5049	-	-	-
196,14	2,197	10,99	0,5223	-	-	-
49,04	2,022	10,11	0,5373	-	-	-
12,26	1,963	9,82	0,5423	-	-	-

Lo Spedimentatore  
 dott. geol. Sabrina Chivetta

Il Direttore di Laboratorio  
 dott. geol. Marco Venturi

Per la definizione del modulo edometrico in corrispondenza del sondaggio S13 (modello geotecnico 9b) si è operato come segue:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	361 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

- Per l'unità U1a si è fatto riferimento ai valori ricavati per il modello 9a (così come fatto per gli altri parametri);
- Per l'unità U2b, avendo valori del modulo elastico  $E_{op,1}$  analoghi all'unità U1a, è stato attribuito anche per il modulo edometrico lo stesso valore assegnato all'unità U1a;
- Per l'unità U3b, il modulo edometrico  $M$  è stato ricavato da  $E_{op,1}$  con la seguente formulazione, assumendo  $\nu = 0.3$  (coefficiente di Poisson):

$$E = \frac{M(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	362 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 10.9.14 Modulo elastico non drenato

Sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976), a partire dal grado di sovraconsolidazione OCR e l'indice di plasticità  $I_p$ , è stato ricavato il rapporto  $k = E_u/c_u$  tra il modulo elastico non drenato e la coesione non drenata.

Sulla base delle prove di laboratorio condotte, si rileva un indice di plasticità  $I_p$  del terreno circa pari a 10. Considerando la presenza di terreni normalconsolidati ( $OCR = 1$ ), è stato utilizzato un rapporto  $k = E_u/c_u = 900$ .

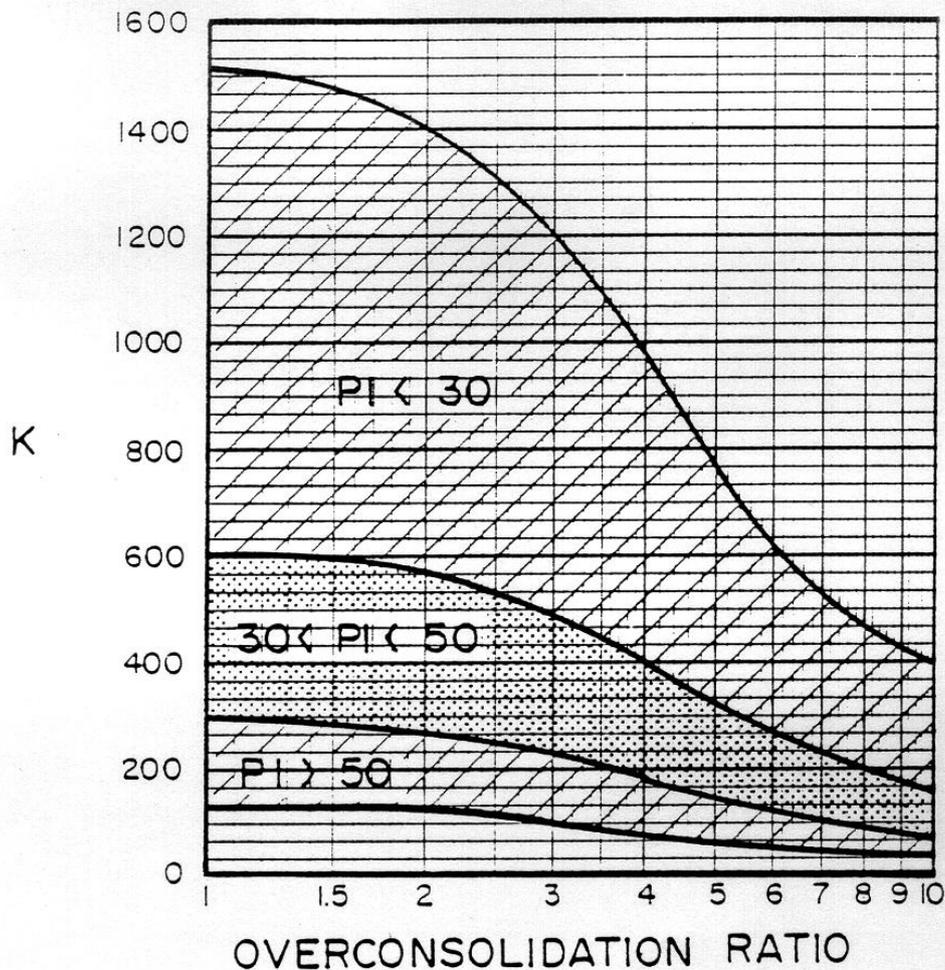


Figura 75 – Duncan & Buchignani

### 10.9.15 Interpretazione prove in sito CPT e CPTU: coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di permeabilità

Il coefficiente di permeabilità dei terreni può essere stimato con la correlazione di *Robertson (2010)* a partire dall'indice del tipo di terreno  $I_c$ :

$$1.0 < I_c \leq 3.27 \quad k = 10^{(0.952 - 3.04 I_c)} \quad \text{m/s}$$

$$3.27 < I_c < 4.0 \quad k = 10^{(-4.52 - 1.37 I_c)} \quad \text{m/s}$$

Il coefficiente di consolidazione è stato stimato a partire dal coefficiente di permeabilità con la seguente espressione:

$$c_v = \frac{K}{\gamma_w} \cdot M$$

dove

$K$  è il coefficiente di permeabilità (m/s)

$\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>)

$M$  è il modulo edometrico dello strato (kPa)

Parametro	ricavato da	mediante
coefficiente consolidazione primaria, $c_v$ (cm <sup>2</sup> /s)	curve di consolidazione (w·log t)	$c_v = \frac{T_x H^2}{4t_x}$
coeff. consolidazione secondaria, $c_\alpha$ (%/min)		$c_\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \log t}$
modulo edometrico, $E_{ed}$ (MPa)	curva tensione-deformazione ( $\sigma'_v: \varepsilon_v$ )	$E_{ed} = \frac{\Delta \sigma'_v}{\Delta \varepsilon_z}$
coefficiente di permeabilità, $k$ (cm/s)	$c_v$ e $E_{ed}$	$k = \frac{c_v \gamma_w}{E_{ed}}$
tensione di snervamento*, $\sigma'_{vy}$ (kPa)	curva di compressibilità (e·log $\sigma'_v$ )	metodi vari (p. es. Casagrande)
indice di ricompressione, $C_r$		$C_r = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad (\sigma'_v < \sigma'_{vy})$
indice di compressibilità, $C_c$		$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad (\sigma'_v > \sigma'_{vy})$
indice di rigonfiamento, $C_s$		$C_s = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad (\text{in scarico})$



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	364 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

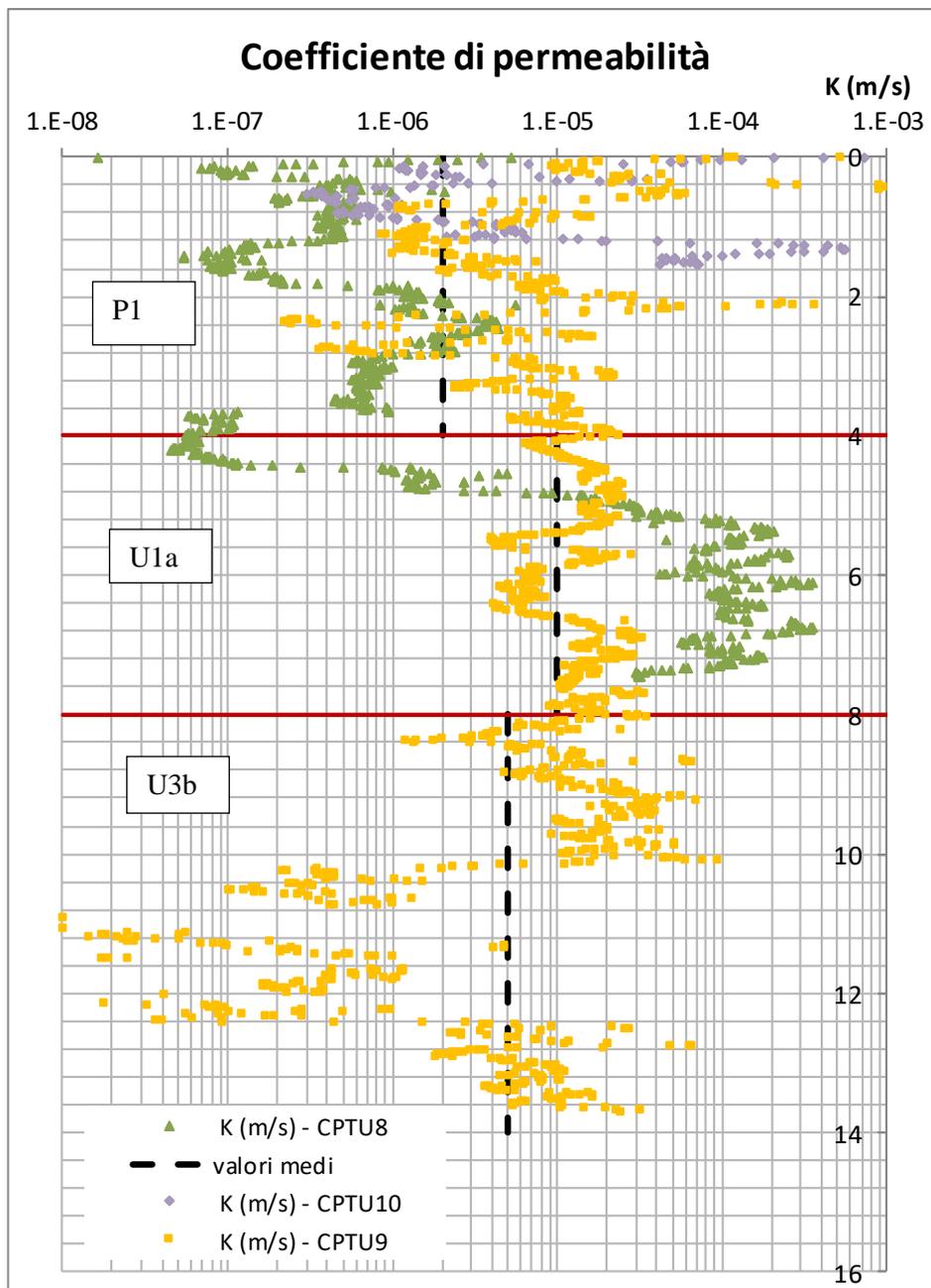
Il modulo edometrico utilizzato nella correlazione per la stima di  $c_v$  è quello ricavato dall'elaborazione delle prove CPT e, limitatamente all'unità P1, anche quello derivante dalla prova edometrica, ossia facendo una media tra i valori della correlazione e quelli derivanti dal laboratorio.

**Sempre per la sola P1, nella stima dei  $C_v$  si è considerato per  $K$  anche il valore medio tra i dati indicati nella prova di laboratorio e quelli derivanti dalla correlazione suddetta.**

Si ritiene che i valori di  $c_v$  del deposito P1 tabellati nel resoconto della prova edometrica (dell'ordine di  $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ), siano troppo cautelativi per estenderli a livello di modello, ad un terreno che non è puramente coesivo, quindi per la definizione dei valori di progetto di  $C_v$  si è fatto prevalentemente riferimento a quelli ricavati con la metodologia sopra esposta.



Si riporta nel grafico seguente il coefficiente di permeabilità stimato con la correlazione di Robertson. Si evidenzia che i valori medi indicati nel grafico con la retta tratteggiata non rappresentano quelli di progetto riportati nella tabella di sintesi del modello geotecnico, che sono invece ricavati come media tra le risultanze delle prove (Lefranc; edometriche) e i valori di K calcolati con la correlazione di Robertson.



	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>367 di 452</p>

In sintesi, per i coefficienti di permeabilità dei terreni si hanno a disposizione i seguenti dati.

#### Depositi P1

- Da edometrica:  $3.5 \cdot 10^{-11}$  m/s
- Da Robertson (CPTU):  $2 \cdot 10^{-6}$  m/s (è il valore medio riportato nel grafico con la retta tratteggiata)
- Valore medio assunto nel modello geotecnico, considerando sia la prova edometrica che la correlazione di Robertson:  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s ( $5 \cdot 10^{-6}$  cm/s)

Utilizzando tale K medio ( $5 \cdot 10^{-8}$  m/s) e un M medio di strato di 25 MPa, il Cv di P1 stimato e' pari =  $1,25 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

#### Unità U1a

- Da Lefranc:  $2.16 \cdot 10^{-5}$  m/s
- Da Robertson (CPTU):  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s (è il valore medio riportato nel grafico con la retta tratteggiata)
- Valore medio assunto nel modello geotecnico, considerando sia la prova Lefranc che la correlazione di Robertson:  $2.16 \cdot 10^{-5}$  m/s ( $2.16 \cdot 10^{-3}$  cm/s)

#### Unità U3b

- Da Lefranc:  $2.8 \cdot 10^{-6} \div 3.76 \cdot 10^{-7}$  m/s
- Da Robertson (CPTU):  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s (è il valore medio riportato nel grafico con la retta tratteggiata)
- Valore medio assunto nel modello geotecnico, considerando sia la prova Lefranc che la correlazione di Robertson:  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s ( $1 \cdot 10^{-5}$  cm/s)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

## SINTESI DELLA CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA LUNGO LA LINEA FERROVIARIA tra le pk 38+000 e pk 39+497

### Modello 9a

Modello 9a - Da pk 38+000 alla pk 39+150

Unità Geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da p.c.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio a volume picco $\phi' (^{\circ})$	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv} (^{\circ})$	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di consolidazione cv (m <sup>2</sup> /s)	K da prove Lefranc (cm/s)	K media (cm/s)
P1	Depositi superficiali zona Lago Morto	0	4	4	2	17	GF/GG	30-40	26	25	10	40	18	36	25	36	$1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	-	$5 \cdot 10^{-6}$
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	4	8	4	2	17	GF/GG	50-60	28	24.5	10	60	26	52	40	54	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	8	30	22	11	17	GG	60-70	32	27	5	-	35	70	50	-	-	$2,80 \cdot 10^{-4} / 3,76 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$

### Modello 9 b (relativo al solo S13-PZ-2017)

Modello 9b - Da pk 39+150-39+497

Unità Geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da p.c.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio a volume picco $\phi' (^{\circ})$	Angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi'_{cv} (^{\circ})$	Coesione efficace c' (kPa)	Coesione non drenata cu (kPa)	Modulo elastico Eop,1 (MPa)	Modulo elastico Eop,2 (MPa)	Modulo edometrico M (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	Coefficiente di consolidazione cv (m <sup>2</sup> /s)	K da prove Lefranc (cm/s)	K media (cm/s)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	4	4	2	17	GF/GG	50-60	28	24.5	10	60	26	52	40	54	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	4	15	11	5.5	17	GG	80-90	35	27.5	5	-	50	100	65	-	-	$2,80 \cdot 10^{-4} / 3,76 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
U2b	Sabbia limosa	15	27.5	12.5	6.25	17	GG	50	32	28.5	2	-	25	50	40	-	-	$1,71 \cdot 10^{-2}$	-
U3b	PVS-Depositi vulcanici -Sabbia limosa addensata con presenza di ghiaia e litici vulcanici	27.5	30	2.5	1.25	17	GG	80-90	35	27.5	5	-	50	100	65	-	-	-	-

Il modello 9b non interessa direttamente le opere in progetto.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>NR1J</b></p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p><b>369 di 452</b></p>

Per l'ultimo muro di sottoscarpa, va comunque utilizzato il modello 9a; al più si può fare riferimento al modello 9b per quanto riguarda i parametri dell'unità U3b.

Si evidenzia che nella tabella sono riportate profondità e spessori medi delle unità stratigrafiche, in quanto molto variabili lungo il profilo geotecnico. Al fine del dimensionamento delle opere civili è quindi opportuno fare riferimento agli spessori puntuali rilevati nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera studiata.

La falda di progetto si trova a circa 25 m di profondità da piano campagna. Analogamente a quanto detto per le profondità degli strati, è opportuno confrontare la profondità della falda con la quota piezometrica riportata nel profilo geotecnico in corrispondenza dell'opera di interesse

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>370 di 452</p>

## 11 SISMICITA' E CARATTERIZZAZIONE IN BASE ALLE NTC 2018 E DGR LAZIO N. 387 DEL 22 MAGGIO 2009

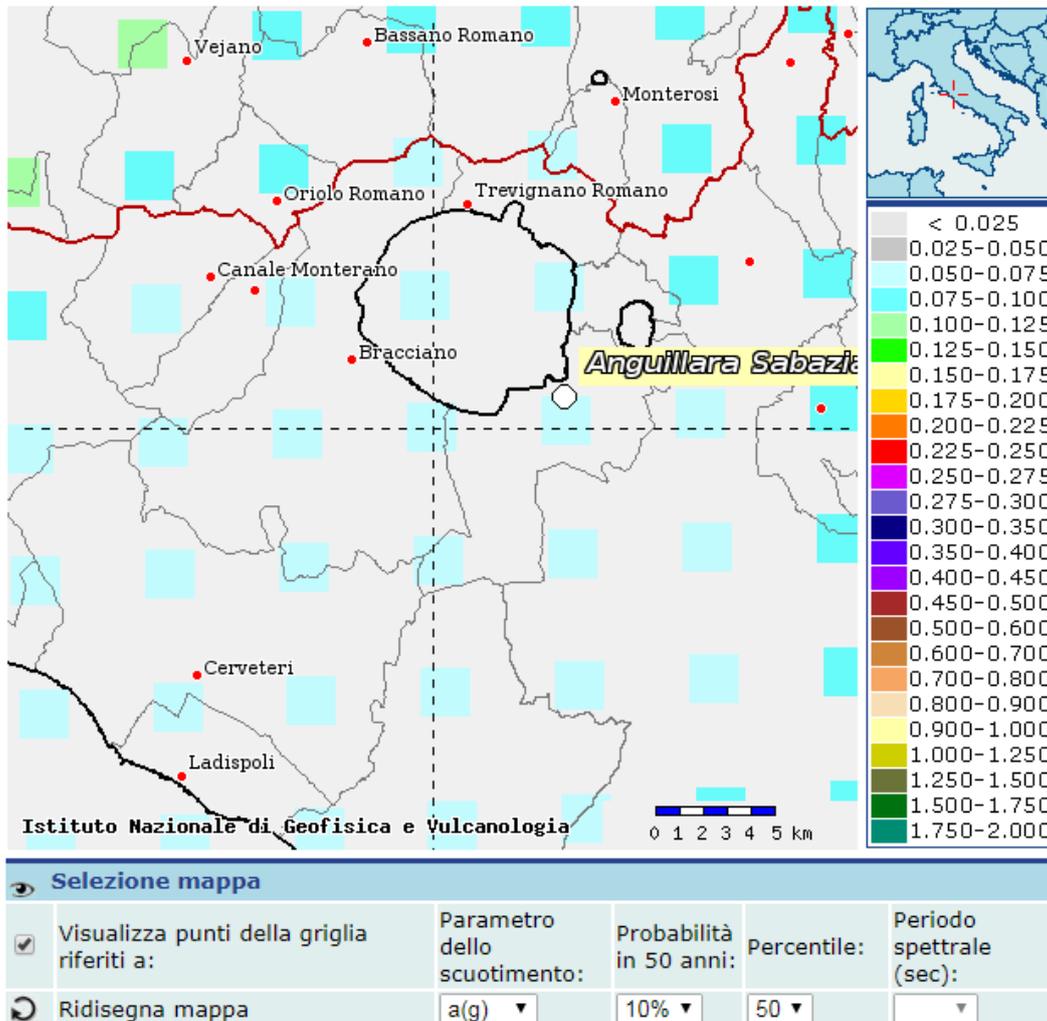
Ai sensi dell' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, tutti i comuni italiani risultano classificati in zona sismica, ripartiti in quattro ambiti riferiti a diversi livelli di rischio decrescente da 1 a 4.

Recentemente, le disposizioni in merito alle verifiche di resistenza delle costruzioni sottoposte all'azione sismica sono state riviste con il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia. Secondo tale normativa, il territorio del comune di Aprilia ricadeva in Zona sismica 3, ovvero aree che potrebbero essere interessate da eventi sismici abbastanza forti ma rari.

In seguito a tale classificazione, effettuata per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede uno studio condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

In particolare, si è posta l'attenzione sul concetto di una classificazione di pericolosità sismica uniforme a livello nazionale, stimata sulla base di quattro fondamentali zone sismiche. Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono continue e graduali.



### 11.1 Classificazione stratigrafica ai fini della amplificazione della azione sismica

La caratterizzazione sismica del terreno è condotta in accordo con il DM 17-01-2018, dove i terreni possono essere suddivisi nelle categorie riportate in Tabella 9.1. Secondo il nuovo decreto si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  NR1J	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  =spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$  =velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N =numero di strati;

H =profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tabella 9.1.

**Tabella 11.1 - Categorie di sottosuolo (NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

I valori di  $V_S$  sono ottenuti mediante specifiche prove, nel dettaglio sono riportate nella

Tabella 5.3. Le prove eseguite mostrano generalmente un andamento delle velocità crescente lungo la profondità investigata.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	373 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Le prove down-hole e MASW condotte sono state opportunamente analizzate determinando per ciascuna verticale indagata il valore di  $V_{s,30}$ ; nella Tabella 11.2 sono riportati i tratti di interesse con le rispettive  $V_{s,30}$  prese in considerazione dalle prove disponibili e della categoria di suolo corrispondente secondo le NTC2018.

**Tabella 11.2 - Categorie di sottosuolo per ciascun tratto chilometrico di interesse**

Modello	Tratto di interessato	$V_s$ 30 (m/s)	Categoria di suolo
1	dalla pk 27+769 alla pk 29+050	656	<b>B</b>
2a	dalla pk 29+050 alla pk 29+650	358	<b>E</b>
2b	dalla pk 29+650 alla pk 30+100	358	<b>E</b>
3	dalla pk 30+100 alla pk 31+700	351	<b>C</b>
4	dalla pk 31+700 alla pk 32+950	371	<b>C</b>
5	dalla pk 32+950 alla pk 34+600	341	<b>C</b>
6	dalla pk 34+600 alla p k36+050	467	<b>E</b>
7	dalla pk 36+050 alla pk 37+250	467	<b>E</b>
8	dalla pk 37+250 alla pk 38+000	466	<b>B</b>
9	dalla pk 38+000 alla pk 39+497	466	<b>B</b>

Per il modello 4, visto il valore di  $V_{s,30}$  appena superiore al limite tra suolo C e B (360 m/s), è stata assunta cautelativamente una categoria di suolo C.

Per i modelli 6 e 7 è stata assunta una categoria di suolo E perché il valore medio delle velocità delle onde di taglio entro i primi 20 m è pari a  $V_{s,eq} = 370$  m/s, di poco superiore al limite di 360 m/s che indica il passaggio da suolo C a B. Essendo  $V_{s,eq}$  relativa a terreni posti al di sopra del substrato roccioso con  $V_s > 800$  m/s, si ricade nell'ambito del suolo E.

## 11.2 Azione sismica di progetto

Il D.M.2018 non riporta i valori dei parametri spettrali secondo il reticolo di coordinate valido per il resto del territorio italiano, ma più semplicemente riporta i valori tabulati in funzione dell'isola ove è ubicato il sito di progetto e del tempo di ritorno.



Figura 76 - Griglia di riferimento per il settore oggetto di studio, con individuazione del tracciato di progetto (in nero) e dei punti del grigliato scelti (in nero).

Si riporta nel seguito la tabella di riferimento con i parametri spettrali per l'area in studio:

ID	LON	LAT	Tr=475		
			$a_g$	$F_0$	$T_c$
27621	12,2780	42,0780	0,678	2,88	0,34
27622	12,3450	42,0790	0,722	2,88	0,34
27843	12,2790	42,0280	0,662	2,91	0,34
27844	12,3460	42,0290	0,708	2,92	0,34
27620	12,2100	42,0780	0,651	2,88	0,34
27842	12,2110	42,0280	0,628	2,90	0,34

Tabella 11.3 – Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE  RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

Vengono riportate nella tabella sottostante le coordinate geografiche delle stazioni prese in considerazione per il calcolo dell'accelerazione al suolo.

Coordinate	Latitudine	Longitudine
Stazione di Anguillara Sabazia	42,06703	12,29268
Stazione di Vigna di Valle	42,07699	12,21078

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Nel presente caso le opere ricadono come tipologia di costruzione all'interno di infrastrutture ferroviarie definite come costruzioni con livelli di prestazione ordinari, come riportato nella Tabella 9.4.

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

**Tabella 11.4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso III:

**Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$**

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

**Tabella 11.5 – valori del coefficiente d'uso**

Dove nello specifico viene utilizzata la Classe d'uso II per le opere lungo linea mentre per i cavalcaferrovia ci si avvale della Classe d'uso IV e  $V_N$  pari a 100 anni.

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.

Il coefficiente d'uso  $C_u$  è pari a : 1

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>												
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR1J</td> <td>01</td> <td>D 29 GE</td> <td>GE 00 05 001</td> <td>A</td> <td>376 di 452</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	376 di 452
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	376 di 452								

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ .

Pertanto  $V_R = 75 \cdot 1 = 75$  anni

Per le opere lungo il tracciato di si adotta il seguente:

Periodo di riferimento dell'opera

Classe d'uso II
$C_u=1$
$V_n=75$
$V_R=75$

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 DM 5/11/2001, 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.

Il coefficiente d'uso  $C_u$  è pari a : 2

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ .

Pertanto  $V_R = 100 \cdot 2 = 200$  anni

Per i cavalcaferrovia lungo il tracciato di progetto si adotta il seguente:

Periodo di riferimento dell'opera
Classe d'uso IV
$C_u=2$
$V_n=100$
$V_R=200$

Per i comuni interessati le Linee Guida per l'utilizzo degli Indirizzi e Criteri generali per gli Studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio di cui alla DGR Lazio n. 387 del 22 maggio 2009; modifica della DGR n. 2649/1999, classificano sismicamente il territorio regionale, in alcuni comuni, in maniera più severa rispetto alla normativa nazionale.

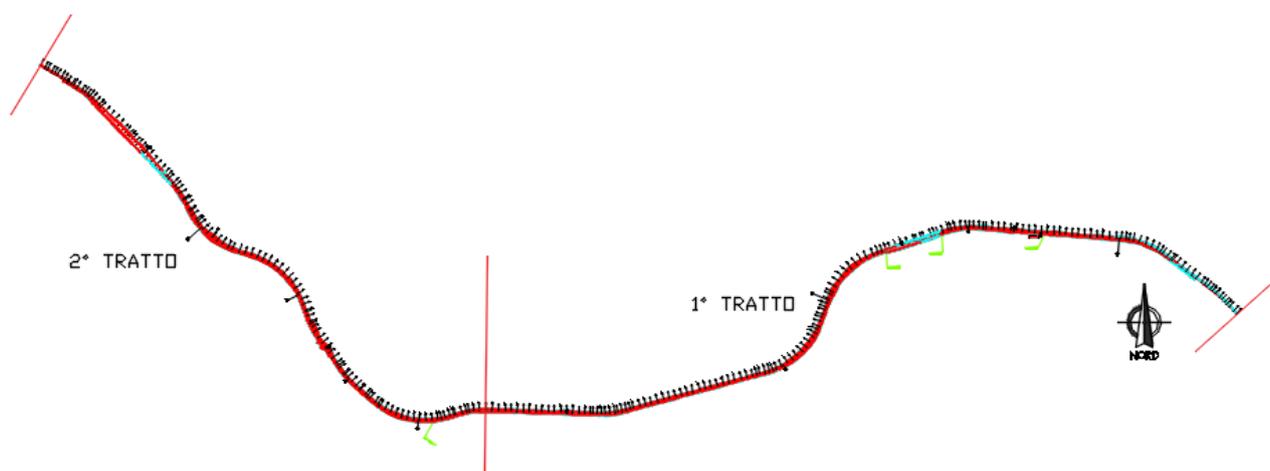
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	377 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Il tracciato oggetto di studio ha una lunghezza di circa 12 km. Dal punto di vista della caratterizzazione sismica è stato suddiviso in due tratte (Figura 77):

- Tratto 1: dalla pk 27 +769 alla pk 34+500
- Tratto 2: dalla pk 34+500 alla pk 39+497



**Figura 77 – Stralcio della planimetria di progetto**

All'interno del tratto 1 sono state individuate tre categorie di sottosuolo:

- Categoria di sottosuolo B a cui corrisponde un valore di  $S_s$  pari a 1.20
- Categoria di sottosuolo C a cui corrisponde un valore di  $S_s$  pari a 1.50
- Categoria di sottosuolo E a cui corrisponde un valore di  $S_s$  pari a 1.60

Per il tratto 1 le categorie di sottosuolo sono la C e la E, mentre nel tratto 2 si hanno le categorie B ed E.

### **11.2.1 Tratto 1 - dalla pk 27 +769 alla pk 34+500**

Accelerazione di picco al suolo: si confrontano i valori dati da NTC2018 e quelli dati dalle Linee Guida Regione Lazio n. 545 del 26/11/2010 vigenti, per il Comune di Anguillara Sabazia (indicativamente dalla pk 27+769 alla pk 34+500):



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	378 di 452

Periodo di rif. da pk 27+769 a pk 34+500						
Comune	Vn	VR	TR	NTC2018	DGR Lazio	Fattore moltiplicativo
Anguillara Sabazia	(anni)	(anni)	(anni)	ag/g	ag/g	-
	50	50	475	0,068	0,0704	1,0353
	75	75	1068	0,074	0,0766	(*)
	100	200	1898	0,09	0,0932	(*)

(\*) Il valore di ag/g indicato dalla DGR Lazio per Vn = 50 anni è più severo rispetto a quello ottenuto da NTC2018 e viene pertanto assunto in progetto. Il valore ag/g riferito a Vn=75 anni per la DGRL viene ottenuto dal corrispondente valore dato dalle NTC per il sito, amplificandolo del fattore K che per le coordinate geografiche selezionate vale  $0.0704/0.068 = 1,0353$

Pertanto, per le opere aventi VN pari a 75anni, ricadenti nel primo tratto (dalla pk 27+769 alla pk 34+500), il valore che verrà utilizzato sarà pari a 0.0766 ag/g. Per quanto riguarda i cavalcaferrovia con VN pari a 100anni verrà utilizzato un valore di ag/g pari a 0.0932.

#### Amplificazione stratigrafica:

La categoria di sottosuolo risulta essere la E per l'intero intervento ad esclusione tra le pk 29+900 e pk 32+950 che la categoria di suolo si assume essere la C. In base alle NTC per le opere con VR = 75 anni si adotta, per la categoria di suolo E un valore di Ss = 1.6, mentre per la categoria di suolo C un valore di Ss=1.5. Le linee guida regionali non comportano ulteriori amplificazioni. Analoghe considerazioni valgono anche per il coefficiente topografico, che per le opere in esame vale St = 1,0.

Di conseguenza per tutte le opere ricadenti nel tratto considerato si adottano Ss ed St ricavati con le formule/tabelle delle NTC.

In definitiva lo spettro di risposta elastico riferito ad un periodo VR viene ottenuto dal corrispondente spettro calcolato con le NTC semplicemente amplificando le ordinate dello spettro con il fattore K (=1,0353 per le coordinate geografiche selezionate) per la nuova stazione di Anguillara Sabazia.

Lo spettro di risposta elastico allo SLV la nuova stazione di Anguillara Sabazia sarà caratterizzato dai seguenti valori riportati di seguito.

In particolare, il valore dello spettro di ancoraggio vale (VR=75 anni):

$$Se(T=0) = ag/g \times S = 0.0919 \text{ (Categoria di suolo B con } Ss=1.2)$$

$$Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1149 \text{ (Categoria di suolo C con } Ss=1.5)$$

$$Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1226 \text{ (Categoria di suolo E con } Ss=1.6)$$

In particolare, il valore dello spettro di ancoraggio vale (VR=200 anni):

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	379 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

 $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1118$  (Categoria di suolo B con  $S_s=1.2$ )

 $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1398$  (Categoria di suolo C con  $S_s=1.5$ )

 $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1491$  (Categoria di suolo E con  $S_s=1.6$ )

 Dettaglio dei parametri valutati secondo NTC2018, si riportano i quattro set di parametri individuati dalla NTC per  $VR = 75$  e  $VR = 200$  sempre allo SLV con categorie di suolo B, C ed E:

 per  $VR=150$  categoria di suolo B e  $TR(SLV)=1424$ anni:

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,074 g
$F_o$	2,941
$T_c$	0,351 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,356
$S_T$	1,000
$q$	1,000

Parametri dipendenti	
$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,359 s
$T_C$	0,476 s
$T_D$	1,898 s

 per  $VR=112,5$  categoria di suolo B e  $TR(SLV)=1068$ anni:

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,079 g
$F_o$	2,978
$T_c$	0,361 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,348
$S_T$	1,000
$q$	1,000

Parametri dipendenti	
$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,362 s
$T_C$	0,487 s
$T_D$	1,916 s

 per  $VR=75$  categoria di suolo C e  $TR(SLV)=712$ anni:

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,074 g
$F_o$	2,941
$T_c$	0,351 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,483
$S_T$	1,000
$q$	1,000

Parametri dipendenti	
$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,174 s
$T_C$	0,521 s
$T_D$	1,898 s

 per  $VR=200$  categoria di suolo C e  $TR(SLV)=949$ anni:

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,079 g
$F_o$	2,978
$T_c$	0,361 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,469
$S_T$	1,000
$q$	1,000

Parametri dipendenti	
$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,177 s
$T_C$	0,531 s
$T_D$	1,916 s

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	380 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

per VR=75 categoria di suolo E e TR(SLV)=712anni:

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,074 g
$F_o$	2,941
$T_C$	0,351 s
$S_S$	1,600
$C_C$	1,747
$S_T$	1,000
$q$	1,000

per VR=200 categoria di suolo E e TR(SLV)=949anni:

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,079 g
$F_o$	2,978
$T_C$	0,361 s
$S_S$	1,600
$C_C$	1,728
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,600
$\eta$	1,000
$T_B$	0,205 s
$T_C$	0,614 s
$T_D$	1,898 s

**Parametri dipendenti**

$S$	1,600
$\eta$	1,000
$T_B$	0,208 s
$T_C$	0,624 s
$T_D$	1,916 s

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

**Elaborazioni grafiche**

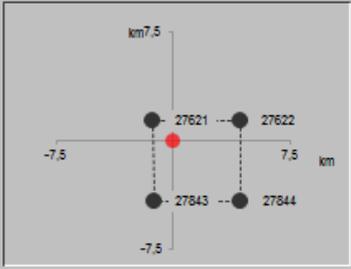
Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri |>

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

### 11.2.2 Tratto 2 - dalla pk 34+500 alla pk 39+497

Accelerazione di picco al suolo: si sono presi i valori dati da NTC2018 per la stazione di Vigna di Valle:

Periodo di rif_ da pk 34+500 alla pk 39+497,781	Vn	VR	TR	NTC2018
Stazione di Vigna di Valle	(anni)	(anni)	(anni)	ag/g
	50	50	475	0,065
	75	75	712	0,071
	100	200	949	0,086

Per la stazione sopra riportata ricadente nell'omonimo comune, la DGR Lazio n. 545 del 26/11/2010 non discretizza tale comune, pertanto si utilizzeranno i valori di ag/g da NTC2018.

Amplificazione stratigrafica:

La categoria di sottosuolo risulta essere la B per il tratto dalla pk 37+250 alla pk 39+497; mentre per il tratto dalla pk 34+600 alla pk 37+250 risulta essere di categoria E. In base ad NTC il valore di Ss risulta essere pari a 1.2 per la categoria di suolo B, mentre per la categoria di suolo E il valore di Ss è pari a 1.6. Le linee guida regionali non comportano ulteriori amplificazioni. Analoghe considerazioni valgono anche per il coefficiente topografico, che per le opere in esame vale  $St = 1,0$ .

Di conseguenza per tutte le opere ricadenti nel tratto considerato si adottano Ss ed St ricavati con le formule/tabelle delle NTC.

Lo spettro di risposta elastico allo SLV le stazioni sopra riportate saranno caratterizzati dai seguenti valori riportati di seguito. Si prenderanno, per i calcoli di progetto delle opere, i valori di ag/g relativi alla stazione di Vigna di Valle.

In particolare, il valore dello spettro di ancoraggio vale ( $VR=75$  anni):

- $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.0852$  (Categoria di suolo B con  $Ss=1.2$  e  $ag/g=0.071$ )
- $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1136$  (Categoria di suolo E con  $Ss=1.6$  e  $ag/g=0.071$ )

In particolare, il valore dello spettro di ancoraggio vale ( $VR=200$  anni):

- $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1032$  (Categoria di suolo B con  $Ss=1.2$  e  $ag/g=0.086$ )
- $Se(T=0) = ag/g \times S = 0.1376$  (Categoria di suolo E con  $Ss=1.6$  e  $ag/g=0.086$ )

Dettaglio dei parametri valutati secondo NTC2018, si riportano i quattro set di parametri individuati dalla NTC per  $VR = 75$  e  $VR = 200$  sempre allo SLV con categorie di suolo B ed E:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	382 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

 per VR=75 categoria di suolo B e  
 TR(SLV)=712anni:

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,071 g
$F_o$	2,945
$T_c$	0,350 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,357
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,158 s
$T_C$	0,475 s
$T_D$	1,885 s

 per VR=200 categoria di suolo B e  
 TR(SLV)=949anni:

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,086 g
$F_o$	3,052
$T_c$	0,398 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,323
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,175 s
$T_C$	0,526 s
$T_D$	1,945 s

 per VR=75 categoria di suolo E e  
 TR(SLV)=712anni:

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,071 g
$F_o$	2,945
$T_c$	0,350 s
$S_s$	1,600
$C_c$	1,750
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,600
$\eta$	1,000
$T_B$	0,204 s
$T_C$	0,613 s
$T_D$	1,885 s

 per VR=200 categoria di suolo E e  
 TR(SLV)=949anni:

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,086 g
$F_o$	3,052
$T_c$	0,398 s
$S_s$	1,600
$C_c$	1,663
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,600
$\eta$	1,000
$T_B$	0,220 s
$T_C$	0,661 s
$T_D$	1,945 s

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE  
12,21078

LATTITUDINE  
42,07699

REGIONE  
Lazio

PROVINCIA  
Roma

COMUNE

Elaborazioni grafiche

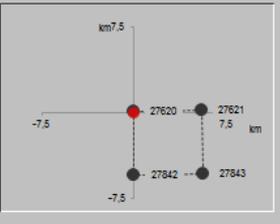
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Le condizioni topografiche superficiali dell'area nella quale ricade le opere in progetto sono ascrivibili nella categoria topografica **T1**, Tabella 11.6. In funzione della categoria topografica si attribuisce al coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$  (cfr. Tabella 11.7).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 11.6 – Categorie topografiche

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Tabella 11.7 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	384 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Il coefficiente stratigrafico  $S_s$  è determinato con le relazioni riportate in Tabella 11.8, differenziate in base alla categoria di sottosuolo, in funzione di  $F_o$  e  $T_c^*$ .

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_{\text{E}}}{\sigma_{\text{E}}} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_{\text{E}}}{\sigma_{\text{E}}} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_{\text{E}}}{\sigma_{\text{E}}} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_{\text{E}}}{\sigma_{\text{E}}} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

**Tabella 11.8 – Coefficienti  $S_s$  e  $C_c$**

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>385 di 452</p>

## 12 SUSCETTIBILITÀ DEI TERRENI ALLA LIQUEFAZIONE

### 12.1 Introduzione al fenomeno e limiti normativi

Il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che causano una riduzione della tensione efficace nel terreno e quindi una riduzione della resistenza al taglio:

$$\tau_f = (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg}\phi'$$

Se la pressione interstiziale  $u$  aumenta fino ad eguagliare la pressione totale  $\sigma$ , la pressione efficace si annulla e la resistenza al taglio si azzerava portando a fluidificazione il terreno.

La probabilità che un deposito incoerente raggiunga le condizioni di liquefazione dipende da molteplici fattori tra i quali:

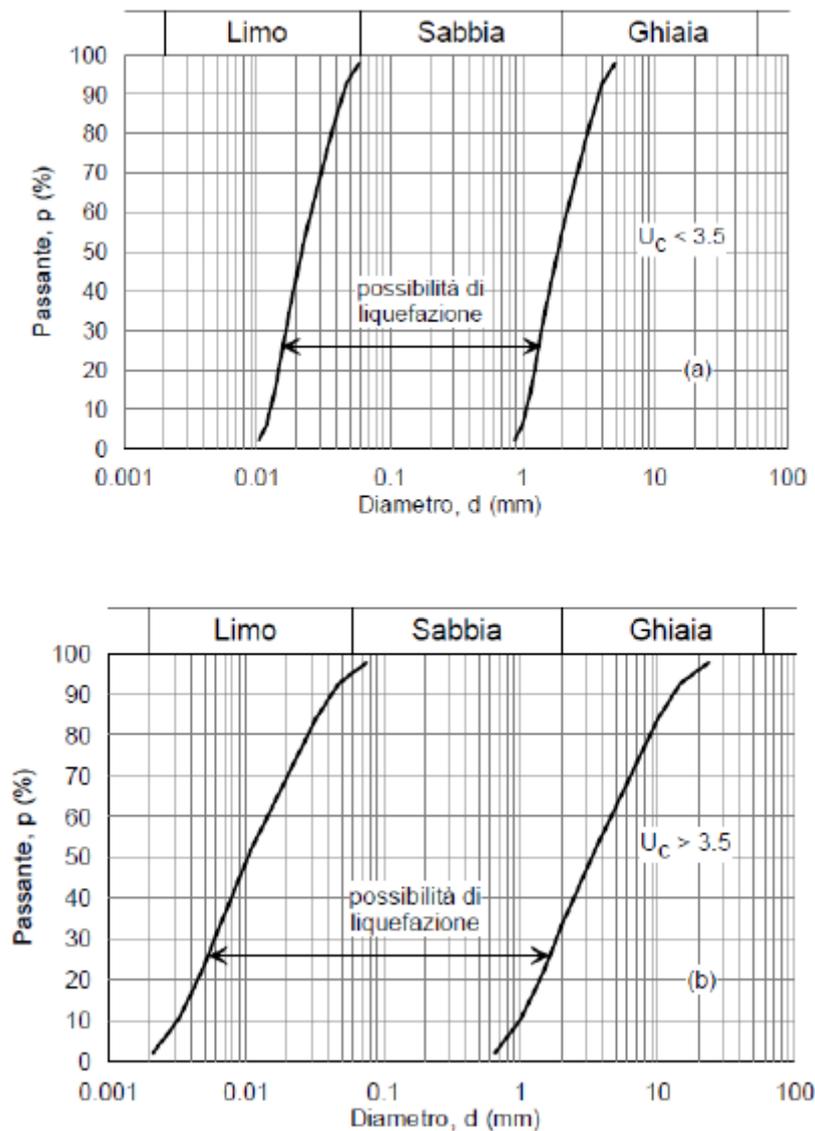
- proprietà geotecniche del terreno (stato di addensamento, composizione granulometrica);
- condizioni di drenaggio;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Ad un minore grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) corrisponde un aumento della probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per la modalità di dissipazione della pressione interstiziale in eccesso.

Secondo quanto riportato nelle nuove “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC-2018) è necessario controllare la presenza di strati di terreno sabbiosi che possono essere potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione. In particolare, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$ ; dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 46 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 46 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



**Figura 78 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione**

Non tutti i valori di accelerazione massima  $a_{max}$  attesa al piano campagna per il sito in oggetto sono inferiori a  $0.1g$ , quindi non è possibile escludere la verifica alla liquefazione sulla base della condizione 1).

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	387 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

La quota della falda è stata rilevata complessivamente tra 1.60 e 29.35m dal p.c. sia dalla campagna di indagini eseguite sia dai monitoraggi del livello piezometrico. Di seguito si riportano i tratti di linea con associate le profondità della falda di progetto:

Modello geotecnico di riferimento	Tratto di linea	Indagini geognostiche	Profondità falda (m)
<b>1</b>	<b>27+769-29+050</b>	<b>SX2-2019; CPT1; CPT2; S01-2017</b>	<b>3.86</b>
<b>2a</b>	<b>29+050-29+650</b>	<b>SX6-2019; SX4-2019; S02-DH-2017; MASW S02-2017; MASW5 e 6-2019</b>	<b>2.82</b>
<b>2b</b>	<b>29+650-30+100</b>	<b>SA04-2018; MASW 3 e 4-2019</b>	<b>1.60</b>
<b>3</b>	<b>30+100-31+700</b>	<b>S03-2017; S04-2017; SX1-2019; S05-2017; DH-S05; MASW1 e 2-2019; CPT3; CPT4; CPTU5 (falda non rilevata)</b>	<b>9.98</b>
<b>4</b>	31+700-32+950	S12-2017	>30
<b>5</b>	32+950-34+600	S06-2017	>30
<b>6</b>	34+600-36+050	S07-2017; S11-2017; SA3-2018	23.07
<b>7</b>	36+050-37+250	S08-2017; CPTU7; CPTU6	>30
<b>8</b>	37+250-38+000	SA02-2018; S09-2017	23.40
<b>9</b>	38+000-39+497	SA01-2018; CPTU10; CPTU9; CPTU8; S13-2017; S06-2018; S07-2018	25.00



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	388 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Pertanto per i tratti evidenziati in grassetto non è possibile escludere la verifica alla liquefazione sulla base della condizione 2).

La condizione 3) non è sempre soddisfatta.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NR1J 01 D 29 GE GE 00 05 001 A 389 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

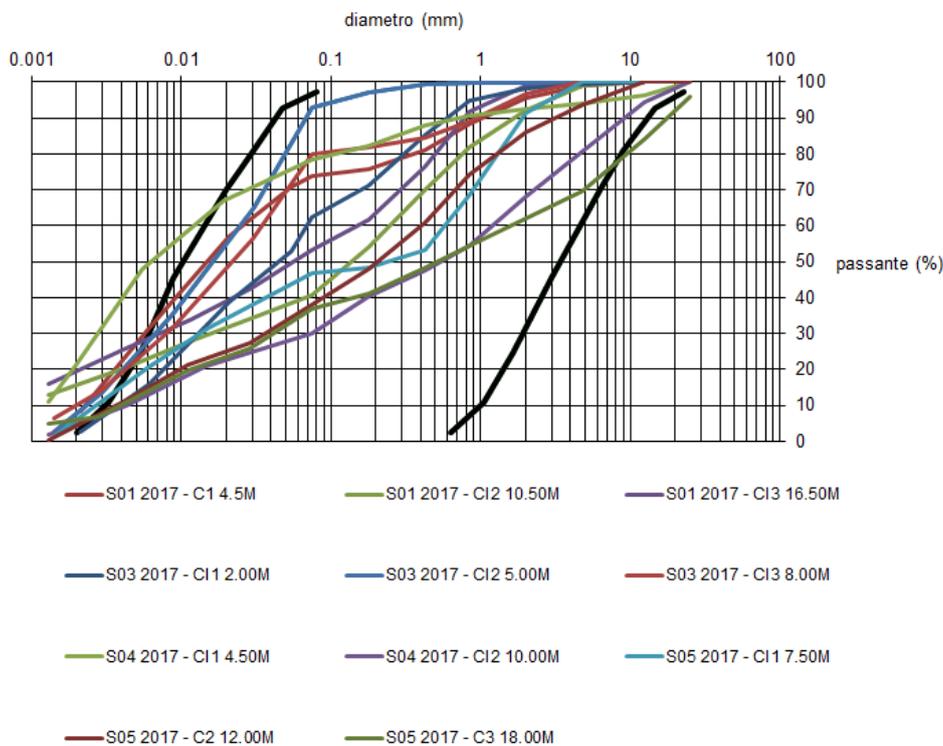
	Z (m)	Nspt	falda (m)	σ <sub>v</sub>	su	σ <sub>v</sub>	Ce	Cb	Cs	Cr	Cn	N:60	N60
S01 - 2017	2.00	9	9	38	0	38	1	1	1	0.75	1.60673	10.8	6.8
S01 - 2017	5.00	18	9	95	0	95	1	1	1	0.85	1.01618	15.5	15.3
S01 - 2017	8.00	5	9	152	0	152	1	1	1	0.95	0.80336	3.8	4.8
S02 - 2017	5.00	R	10	95	0	95	1	1	1	0.85	1.01618	R	
S03 - 2017	10.50	24	10	199.5	15	184.5	1	1	1	1	0.72918	17.5	24.0
S04 - 2017	7.30	9	10.7	138.7	0	138.7	1	1	1	0.95	0.841	7.2	8.6
S04 - 2017	11.80	11	10.7	224.2	28	196.2	1	1	1	1	0.70711	7.8	11.0
S04 - 2017	20.00	31	10.7	380	110	270	1	1	1	1	0.60277	18.7	31.0
S05 - 2017	2.00	6	30	38	0	38	1	1	1	0.75	1.60673	7.2	4.5
S05 - 2017	4.50	9	30	85.5	0	85.5	1	1	1	0.85	1.07115	8.2	7.7
S05 - 2017	9.00	5	30	171	0	171	1	1	1	0.95	0.75742	3.6	4.8
S06 - 2017	7.30	50	30	138.7	0	138.7	1	1	1	0.95	0.841	39.9	47.5
S06 - 2017	11.80	80	30	224.2	0	224.2	1	1	1	1	0.66148	52.9	80.0
S07 - 2017	10.30	54	30	195.7	0	195.7	1	1	1	1	0.70801	38.2	54.0
S07 - 2017	15.00	R	30	285	0	285	1	1	1	1	0.58669	R	
S08 - 2017	1.80	7	30	34.2	0	34.2	1	1	1	0.75	1.69364	8.9	5.3
S08 - 2017	4.30	6	30	81.7	0	81.7	1	1	1	0.85	1.09578	5.6	5.1
S08 - 2017	7.30	R	30	138.7	0	138.7	1	1	1	0.95	0.841	R	
S09 - 2017	6.80	38	30	129.2	0	129.2	1	1	1	0.95	0.87137	31.5	36.1
S09 - 2017	11.80	43	0	224.2	28	196.2	1	1	1	1	0.70711	30.4	43.0
S09 - 2017	20.00	73	30	380	0	380	1	1	1	1	0.50809	37.1	73.0
S11 - 2017	2.90	32	30	55.1	0	55.1	1	1	1	0.75	1.33432	32.0	24.0
S11 - 2017	3.70	59	30	70.3	0	70.3	1	1	1	0.75	1.18129	52.3	44.3
S11 - 2017	5.30	24	30	100.7	0	100.7	1	1	1	0.85	0.98701	20.1	20.4
S12 - 2017	7.00	5	30	133	0	133	1	1	1	0.95	0.85883	4.1	4.8
S12 - 2017	12.00	9	30	228	0	228	1	1	1	1	0.65594	5.9	9.0
S12 - 2017	20.00	31	30	380	0	380	1	1	1	1	0.50809	15.8	31.0
S13 - 2017	11.00	74	30	209	0	209	1	1	1	1	0.68511	50.7	74.0
S13 - 2017	15.50	20	30	294.5	0	294.5	1	1	1	1	0.57715	11.5	20.0
S13 - 2017	18.50	21	30	351.5	0	351.5	1	1	1	1	0.52829	11.1	21.0
S01 - 2018	2.00	6	30	38	0	38	1	1	1	0.75	1.60673	7.2	4.5
S01 - 2018	8.00	10	30	152	0	152	1	1	1	0.95	0.80336	7.6	9.5
S01 - 2018	13.30	19	30	252.7	0	252.7	1	1	1	1	0.62306	11.8	19.0
S02 - 2018	3.60	69	30	68.4	0	68.4	1	1	1	0.75	1.19759	62.0	51.8
S02 - 2018	8.00	67	30	152	0	152	1	1	1	0.95	0.80336	51.1	63.7
S02 - 2018	18.00	39	30	342	0	342	1	1	1	1	0.53558	20.9	39.0
S03 - 2018	3.60	8	30	68.4	0	68.4	1	1	1	0.75	1.19759	7.2	6.0
S03 - 2018	10.20	35	30	193.8	0	193.8	1	1	1	1	0.71147	24.9	35.0
S03 - 2018	22.00	52	30	418	0	418	1	1	1	1	0.48445	25.2	52.0
S04 - 2018	4.00	25	4.5	76	0	76	1	1	1	0.75	1.13613	21.3	18.8
S06 - 2018	2	6	30	38	0	38	1	1	1	0.75	1.60673	7.2	4.5
S06 - 2018	4	18	30	76	0	76	1	1	1	0.75	1.13613	15.3	13.5
S06 - 2018	11	28	30	209	0	209	1	1	1	1	0.68511	19.2	28.0
S07 - 2018	2	10	30	38	0	38	1	1	1	0.75	1.60673	12.1	7.5
S07 - 2018	5	18	30	95	0	95	1	1	1	0.85	1.01618	15.5	15.3
S07 - 2018	10	R	30	190	0	190	1	1	1	0.95	0.71855	R	
S07 - 2018	20	R	30	380	0	380	1	1	1	1	0.50809	R	
S X1 - 2019	3	4	12.38	57	0	57	1	1	1	0.75	1.31189	3.9	3.0
S X1 - 2019	6	13	12.38	114	0	114	1	1	1	0.85	0.92765	10.3	11.1
S X1 - 2019	9	19	12.38	171	0	171	1	1	1	0.95	0.75742	13.7	18.1
S X1 - 2019	12.2	54	12.38	231.8	0	231.8	1	1	1	1	0.65055	35.1	54.0
S X2 - 2019	3	7	19.96	57	0	57	1	1	1	0.75	1.31189	6.9	5.3
S X2 - 2019	6.3	9	19.96	119.7	0	119.7	1	1	1	0.95	0.90529	7.7	8.6
S X2 - 2019	9.32	14	19.96	177.08	0	177.08	1	1	1	0.95	0.7443	9.9	13.3
S X2 - 2019	12	58	19.96	228	0	228	1	1	1	1	0.65594	38.0	58.0
S X2 - 2019	15	R	19.96	285	0	285	1	1	1	1	0.58669	R	
S X2 - 2019	18	R	19.96	342	0	342	1	1	1	1	0.53558	R	
S X4 - 2019	3	57	5.38	57	0	57	1	1	1	0.75	1.31189	56.1	42.8
S X4 - 2019	6	62	5.38	114	-30	144	1	1	1	0.85	0.82538	43.5	52.7
S X4 - 2019	9	R	5.38	171	0	171	1	1	1	0.95	0.75742	R	
S X4 - 2019	12	R	5.38	228	30	198	1	1	1	1	0.70389	R	
S X4 - 2019	15	R	5.38	285	60	225	1	1	1	1	0.6603	R	
S X4 - 2019	18	R	5.38	342	90	252	1	1	1	1	0.62393	R	
S X6 - 2019	3	8	6.56	57	0	57	1	1	1	0.75	1.31189	7.9	6.0
S X6 - 2019	5.3	R	6.56	100.7	0	100.7	1	1	1	0.85	0.98701	R	
S X6 - 2019	9	R	6.56	171	0	171	1	1	1	0.95	0.75742	R	

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	390 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

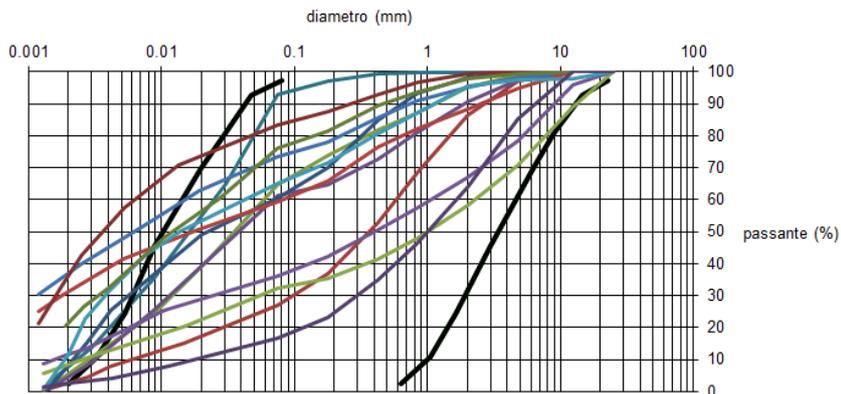
Si riportano in seguito le granulometrie dei campioni di terreno analizzati in laboratorio, confrontati con i fusi granulometrici limite da Normativa per un coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ . I fusi granulometrici dei campioni prelevati risultano esterni alle zone indicate solo per alcune verticali e per determinate profondità. In considerazione anche della variabilità granulometrica dei depositi non è possibile omettere la verifica a liquefazione secondo questa condizione lungo l'intero tracciato.



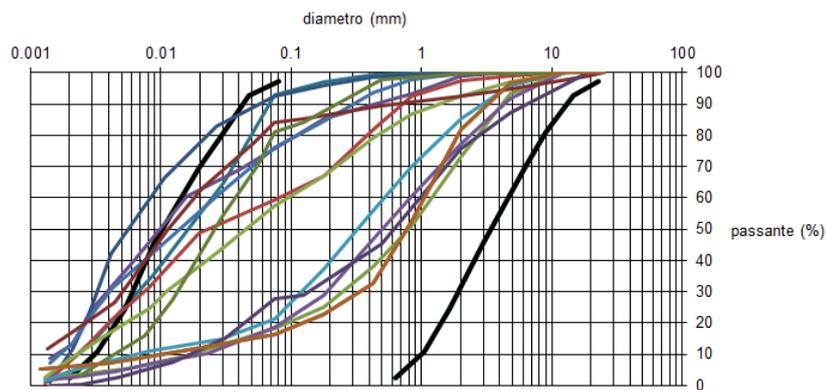
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	391 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



— S06 2017 - C1 2.00M	— S06 2017 - C2 4.50M	— S07 2017 - C1 4.50M
— S07 2017 - C2 10.00M	— S08 2017 - C1 6.00M	— S08 2017 - C2 7.00M
— S08 2017 - C3 8.00M	— S08 2017 - CI412.00M	— S09 2017 - CI1 2.00M
— S09 2017 - CI2 4.00M	— S09 2017 - CI3 5.00M	— S09 2017 - CI4 9.00M



— S11 2017 - CI 7.5.00M	— S11 2017 - CI2 12.00M	— S12 2017 - CI1 2.00M
— S12 2017 - CI2 4.50M	— S12 2017 - CI3 7.50M	— S13 2017 - CI1 2.00M
— S13 2017 - CI2 4.50M	— S13 2017 - CI3 10.50M	— S3 2018 - CI1 3.00M
— S4 2018 - CI1 5.40M	— S1 2018 - Cr1 19.50M	— S2 2018 - Cr1 7.40M
— S11 2017 - CI 7.5.00M		

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>392 di 452</p>

**Pertanto sulla base di quanto sopra esposto ed in considerazione dei dati a disposizione, non si può omettere a priori la possibilità di liquefazione lungo l'intero tratto di intervento.**

**In particolare per i modelli 4, 5, 6, 7, 8, 9 è possibile omettere la verifica a liquefazione in quanto la profondità rilevata della falda è maggiore di 15 m, mentre per i modelli 1, 2a, 2b e 3 sono state condotte le verifiche a liquefazione sulla base dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT, delle prove penetrometriche statiche CPT e delle prove MASW, con i metodi esposti in seguito.**

Ai fini della determinazione della magnitudo dell'evento sismico atteso, necessaria per la definizione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) definita in seguito, si è fatto riferimento alla zonazione sismogenetica ZS.9 che suddivide il territorio italiano in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo momento massima. La suddetta zonazione è stata definita dal Gruppo di Lavoro (2004) istituito per la definizione degli Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica.

Le opere in progetto non ricadono all'interno di nessuna zona sismogenetica ZS9, la magnitudo è stata caratterizzata nella relazione geologica (elaborato[8]) e risulta essere paria ad una magnitudo momento massima  $M_w = 6.14$ .

## 12.2 Verifica dei terreni alla liquefazione

Per valutare la possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione si hanno a disposizione diverse metodologie che vanno da semplici metodi qualitativi e semi-empirici, metodi di analisi semplificata, metodi di analisi dinamica, fino alla modellistica fisica.

Verranno discussi in seguito i metodi di analisi semplificata, frequentemente adottati nelle applicazioni ingegneristiche in funzione alle indagini geognostiche disponibili per l'opera di progetto. Nel dettaglio, con applicazioni relative ai differenti tipi di prova disponibili, si ritengono più affidabili le prove penetrometriche e le prove SPT rispetto a quelle geofisiche, il cui campo di applicazione è più ristretto e presentano maggiori dispersioni di risposta in relazione anche ai tipi di terreno.

### 12.2.1 Metodi semplificati

I metodi semplificati prevedono la determinazione del fattore di sicurezza alla liquefazione:

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR}$$

dove:

CSR (Cyclic Stress Ratio)                      sforzo di taglio indotto dal terremoto

CRR (Cyclic Resistance Ratio)                resistenza al taglio ciclica del terreno

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  NR1J	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A	<b>FOGLIO</b> <b>393 di 452</b>

Per valori di FSL inferiori a 1.25 si assume che il terreno sia suscettibile di liquefazione (si veda Eurocodice 8, parte 5).

### 12.2.2 Domanda di resistenza alla liquefazione (CSR)

La domanda di resistenza alla liquefazione o rapporto di tensione ciclica (CSR) è espressa dalla seguente relazione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_v} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

dove:

$$\tau_{media} = 0.65 \cdot \tau_{max} \quad \text{sforzo di taglio ciclico medio;}$$

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \sigma_v \cdot r_d \quad \text{sforzo di taglio ciclico massimo;}$$

$a_{max}$  massima accelerazione orizzontale in sito;

$\sigma_v, \sigma'_v$  sforzo verticale totale e efficace;

$r_d$  fattore di riduzione delle tensioni dipendente dalla profondità.

Il fattore  $r_d$  è stato valutato con la seguente espressione di Seed e Idriss (1971):

$$r_d = 1 - 0.00765 \cdot z \quad \text{per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{per } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.774 - 0.008 \cdot z \quad \text{per } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{per } z > 30 \text{ m}$$

### 12.2.3 Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove SPT

La capacità di resistenza alla liquefazione o rapporto di resistenza ciclica (CRR) riferita ad un terremoto di magnitudo momento  $M = 7.5$  è stata valutata a partire dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>394 di 452</p>

In corrispondenza dello shelter di Calenzano, dove non si hanno a disposizione prove N<sub>spt</sub>, sono stati utilizzati i risultati delle prove DPSH, convertendo opportunamente i valori N<sub>20</sub> in N<sub>spt</sub>.

Si fa riferimento ai valori di N<sub>spt</sub> normalizzati e corretti:

$$(N_1)_{60} = N_{spt} \cdot CN \cdot CE \cdot CB \cdot CR \cdot CS$$

dove

$CN = (p_{atm}/s' \cdot v_0)^n$  è un coefficiente che tiene conto della pressione efficace del terreno sovrastante;

$CE = ER/60$  è un coefficiente che tiene conto del rendimento del sistema di infissione (secondo Cestari (1996) per i sistemi di battitura presenti in Italia è possibile trascurare questa correzione).

I coefficienti CB (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), CR (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e CS (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario) possono essere assunti unitari nel caso in cui le prove siano eseguite sulla base delle Raccomandazioni AGI (1977).

Il valore di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> può essere corretto anche per tenere conto della presenza di frazione fine FC (passante al setaccio 200 ASTM), con la seguente espressione proposta da Idriss e Boulanger (2004):

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \exp \left( 1.63 + \frac{9.7}{FC} - \left( \frac{15.7}{FC} \right)^2 \right)$$

La capacità di resistenza alla liquefazione o rapporto di resistenza ciclica (CRR) riferita ad un terremoto di magnitudo momento M = 7.5 viene valutata con la seguente espressione proposta da Idriss e Boulanger (2004):

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	395 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$CRR = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right]$$

#### 12.2.4 Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove penetrometriche CPT

La capacità di resistenza alla liquefazione può essere anche valutata a partire dai risultati delle prove penetrometriche statiche CPT. A tal fine è stato utilizzato il software CLiq (v. 2.2.1.4) della ditta Geologismiki.

È stato adottato il metodo di Robertson (2009), che include nella verifica la presenza di terreni con frazione fine e terreni coesivi tramite l'indice di comportamento del terreno  $I_c$  definito in seguito.

Per  $I_c \leq 2.7$

$$CRR_{7.5} = 93 \cdot \left[ \frac{Q_{tn,cs}}{1000} \right]^2 + 0.08 \quad \text{se } 50 \leq Q_{tn,cs} \leq 160$$

$$CRR_{7.5} = 0.833 \cdot \left[ \frac{Q_{tn,cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{se } Q_{tn,cs} < 50$$

dove:

$$Q_{tn,cs} = K_c \cdot Q_{tn}$$

$$Q_{tn} = [(q_t - \sigma_{vo}) / p_{atm}] / (p_{atm} / \sigma'_{vo})^n \quad \text{resistenza alla punta normalizzata}$$

$$K_c = 1 \quad \text{se } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = 5.581 I_c^3 - 0.403 I_c^4 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88 \quad \text{se } 1.64 < I_c \leq 2.5$$

$$K_c = 6 \cdot 10^{-7} (I_c)^{16.76} \quad \text{se } 2.5 < I_c < 2.7$$

Per  $I_c \geq 2.7$

$$CRR_{7.5} = 0.053 \cdot Q_{tn} \cdot K_\alpha$$

dove  $K_\alpha$  è un fattore correttivo di riduzione del rapporto di resistenza ciclica che tiene conto della pendenza del piano campagna, assunto pari a 0.9.

Per la determinazione dell'indice di comportamento del terreno  $I_c$  è stato utilizzato il metodo interpretativo proposto da P.K. Robertson et al. (1990 e succ. aggiornamenti) che consente di ottenere un'accurata investigazione della natura dei terreni attraversati tramite la definizione dei seguenti parametri adimensionali:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	396 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$Q_{tn} = [(q_t - \sigma_{v0}) / p_{atm}] / (p_{atm} / \sigma'_{v0})^n \quad \text{resistenza alla punta normalizzata}$$

$$F_r (\%) = [f_s / (q_t - \sigma_{v0})] \times 100 \quad \text{rapporto di frizione normalizzato}$$

Dove:

- $q_t$  resistenza alla punta del penetrometro statico, valutata come  $q_c + u_2 (1-a)$ , dove  $u_2$  è la sovrappressione neutra misurata durante l'esecuzione della prova e  $a$  è un coefficiente adimensionale che dipende dalle caratteristiche della punta del penetrometro (nel caso in esame, in assenza delle determinazioni di  $u_2$ , si assume  $q_t = q_c$ );
- $f_s$  resistenza di attrito laterale misurata nella prova penetrometrica statica;
- $n$  fattore variabile da 0.5 (sabbie pulite) a 1 (terreni argillosi);
- $\sigma_{v0}$  tensione litostatica verticale totale;
- $\sigma'_{v0}$  tensione litostatica verticale efficace;
- $p_{atm}$  pressione atmosferica.

L'esponente  $n$  della resistenza di punta normalizzata viene valutato con la seguente procedura.

Si assume inizialmente  $n = 1$  e si calcolano la resistenza di punta normalizzata  $Q_{t,n=1}$  e il relativo indice di comportamento del terreno  $I_c$ :

$$I_c = [(\log Q_{t,n=1} - 3.47)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$$

Se risulta  $I_{c,n=1} > 2.6$ , il valore  $n = 1$  viene confermato. Se invece  $I_{c,n=1} < 2.6$  l'esponente  $n$  viene calcolato con la seguente equazione:

$$n = 0.381 \cdot I_{c,n=1} + 0.05(\sigma'_{v0} / p_{atm}) - 0.15 \geq 0.5$$

e si aggiornano i valori di  $Q_{tn}$  e  $I_c$ .

Si riportano nella tabella seguente le classi di appartenenza dei terreni in funzione dell'indice  $I_c$ .

**Tabella 9 – Indice di classificazione  $I_c$  (Robertson, 1990)**

Zone	Soil Behavior Type	$I_c$
1	<i>Sensitive, fine grained</i>	N/A
2	<i>Organic soils – clay</i>	> 3.6
3	<i>Clays – silty clay to clay</i>	2.95 – 3.6
4	<i>Silt mixtures – clayey silt to silty clay</i>	2.60 – 2.95
5	<i>Sand mixtures – silty sand to sandy silt</i>	2.05 – 2.6
6	<i>Sands – clean sand to silty sand</i>	1.31 – 2.05
7	<i>Gravelly sand to dense sand</i>	< 1.31
8	<i>Very stiff sand to clayey sand*</i>	N/A
9	<i>Very stiff, fine grained*</i>	N/A

\* Heavily overconsolidated or cemented

### 12.2.5 Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove geofisiche

È possibile utilizzare i risultati delle prove MASW e Down-Hole per stimare la resistenza alla liquefazione CRR dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$ , utilizzando la metodologia proposta di seguito.

Si precisa che si è assunto l'accelerazione massima ( $a_{max}$ ) relativa al sondaggio più prossimo alla prova geofisica.

La velocità  $V_s$  è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione (Scora, 1987; Kayen et al., 1992; Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = V_s \cdot \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

dove

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio normalizzata rispetto alle tensioni verticali;

$V_s$  = velocità delle onde di taglio misurate in situ da prova;

$P_a$  = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa;

$\sigma'_{v0}$  = pressione effettiva iniziale alla stessa unità di misura di  $P_a$ .

Da  $V_{s1}$  può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante la seguente equazione (Andrus e Stokoe, 1997):

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	398 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$CRR = \left[ a \cdot \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \cdot \left( \frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right]$$

dove

 $V_{s1}^*$  = limite superiore critico del valore della velocità delle onde di taglio necessario per la liquefazione

a e b = valori usati per tracciare le curve pari rispettivamente a 0.022 e 2.8;

 $V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio normalizzata rispetto alle tensioni verticali.

 I valori di  $V_{s1}^*$  variano linearmente da 200 m/s per suoli con contenuto di fine > 35% a 215 m/s per suoli con contenuto di fine ≤ 5%. Il valore di  $V_{s1}^*$  è ottenuto dalla seguente formula:

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5)$$

dove

FC = contenuto di fine in percentuale.

Si precisa che si è assunto il contenuto fine FC del campione più superficiale relativo al sondaggio più prossimo alla prova geofisica.

 Come detto,  $V_{s1}^*$  rappresenta il limite superiore critico del valore della velocità delle onde di taglio normalizzata  $V_{s1}$  necessario per la liquefazione. Tale valore limite è compreso tra 200 e 215 m/s in funzione del contenuto di fine; nel grafico seguente è infatti possibile osservare che per valori di  $V_{s1}$  superiori al limite critico, si ricade nella zona di non liquefacibilità dei terreni.

 Per un riferimento più approfondito a tale trattazione, si rimanda alla pubblicazione “Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity” tratta dal *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering* (novembre 2000), a cura di R.D. Andrus e K.H. Stokoe.

 L’assunzione di un limite superiore per  $V_{s1}$  equivale a quella comunemente adottata per le analisi di liquefazione di sabbie pulite basate sulle prove SPT o CPT, dove per  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  si assume che i terreni non siano liquefacibili.

 Si riportano nel grafico seguente i punti relativi alle MASW analizzate, con riferimento ai valori minimi di  $V_{s1}$  e ai valori di CSR.

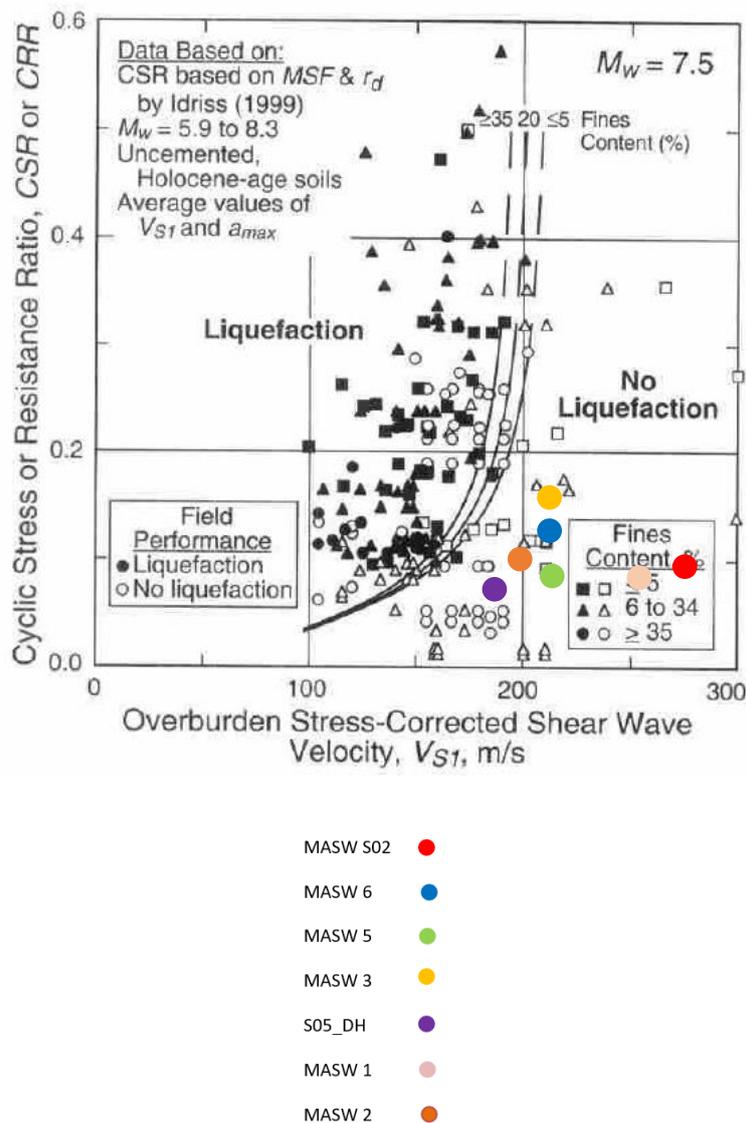


Fig. 12-1. Zone di liquefacibilità sulla base di  $V_{S1}$  (Andrus e Stokoe, 2000)

### 12.2.6 Fattore di correzione della magnitudo ( $MSF$ )

Come detto, la capacità di resistenza alla liquefazione valutata con i metodi semplificati è riferita ad un terremoto di magnitudo momento  $M = 7.5$ . Per considerare nelle verifiche una magnitudo diversa è necessario introdurre un fattore di correzione  $MSF$  (Magnitude Scaling Factor), che moltiplica il rapporto di resistenza ciclica  $CRR$  ottenuto:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	400 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF$$

Il fattore MSF viene calcolato con la seguente espressione proposta da Idriss e Boulanger (2004):

$$MSF = 6.9 \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$

### 12.2.7 Valutazione degli effetti della liquefazione

E' possibile ottenere una stima degli effetti della liquefazione attraverso il metodo proposto da Iwasaki et al (1982), spesso utilizzato nella pratica tecnica, che introduce un indice del potenziale di liquefazione IPL, definito dalla seguente espressione:

$$IPL = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove:

$z_{crit}$  profondità oltre la quale si possono escludere fenomeni di liquefazione, pari a 15÷20 m;

$F(z) = 0$  per  $FSL > 1$ ;  $F(z) = 1 - FSL$  per  $FSL < 1$ ;

$w(z) = 10 - 10 \cdot (z/z_{crit})$ ;

$z$  profondità dal piano campagna in metri.

Sulla base del valore dell'indice IPL calcolato è possibile stimare il rischio di liquefazione del deposito sulla base delle indicazioni riportate nella tabella seguente:

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	401 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Indice del potenziale di liquefazione $IP_L$	Rischio liquefazione
$IP_L = 0$	Molto basso
$0 < IP_L \leq 5$	Basso
$5 < IP_L \leq 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	402 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### 12.2.8 Risultati delle analisi di liquefazione da prove SPT

Si riportano in seguito i risultati delle analisi di liquefazione condotte con riferimento alle prove SPT eseguite per i tratti di linea ferroviaria oggetto di studio. Nelle figure sottostanti vengono evidenziati i fattori di sicurezza di liquefazione delle singole verticali analizzate con le quote di falda assunte nella modellazione.

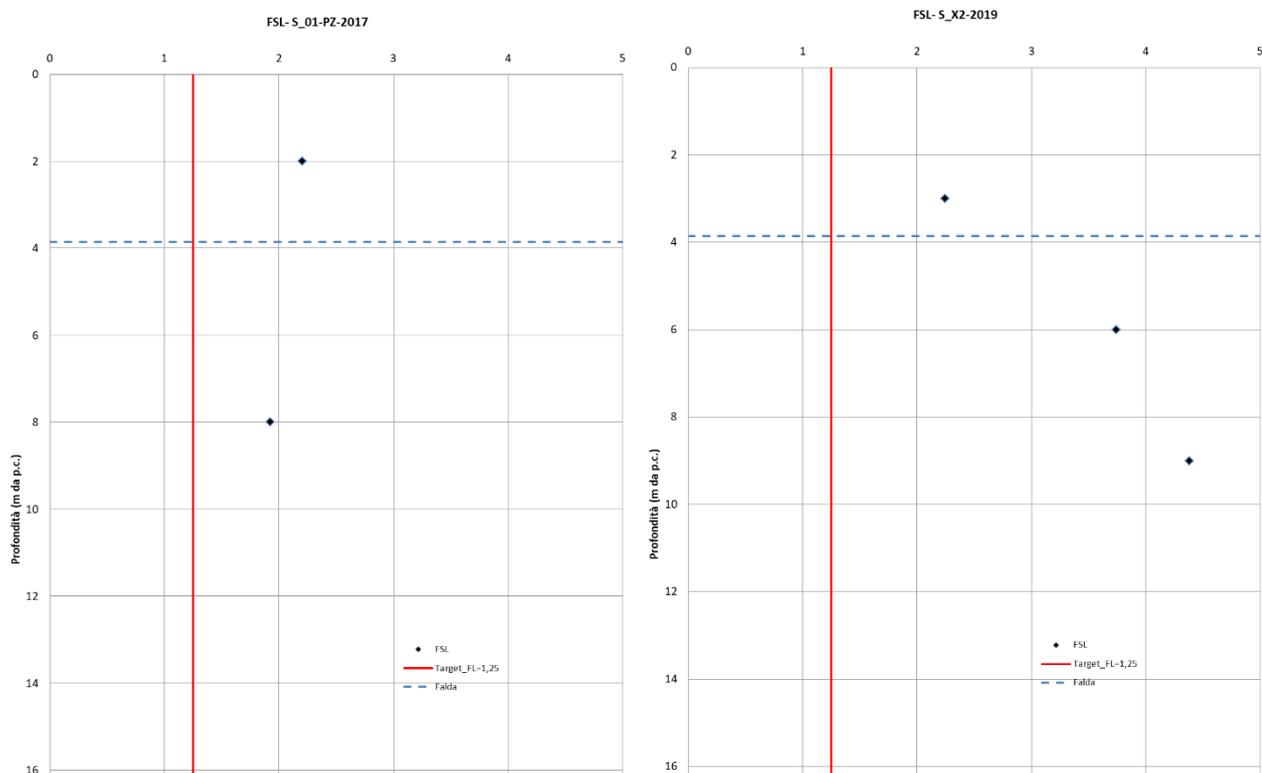


Figure 1 – Modello1 - 27+769-29+050

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	403 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

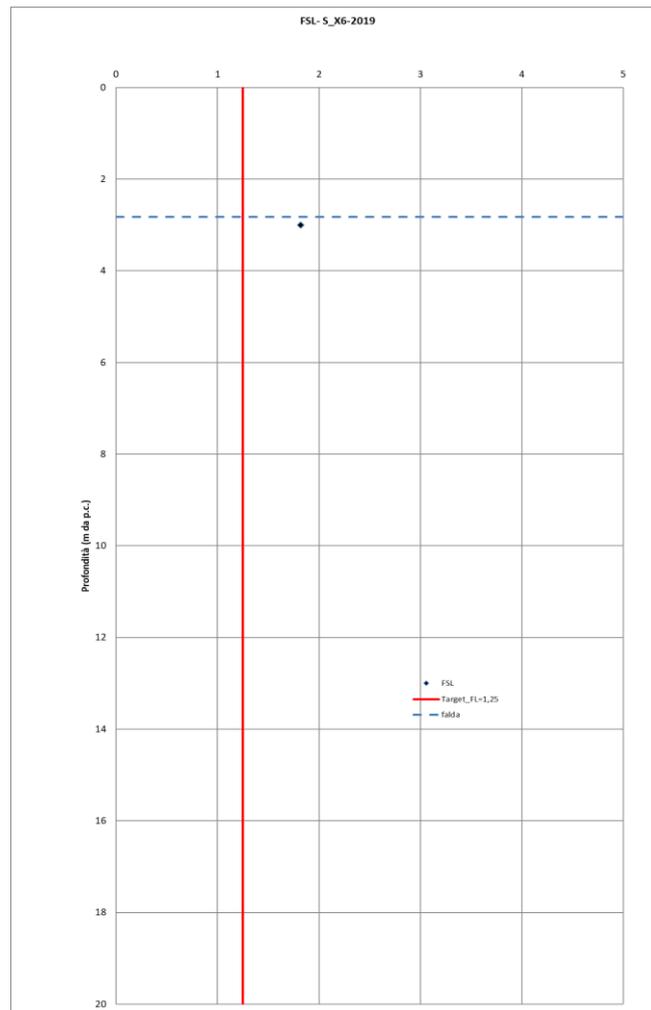
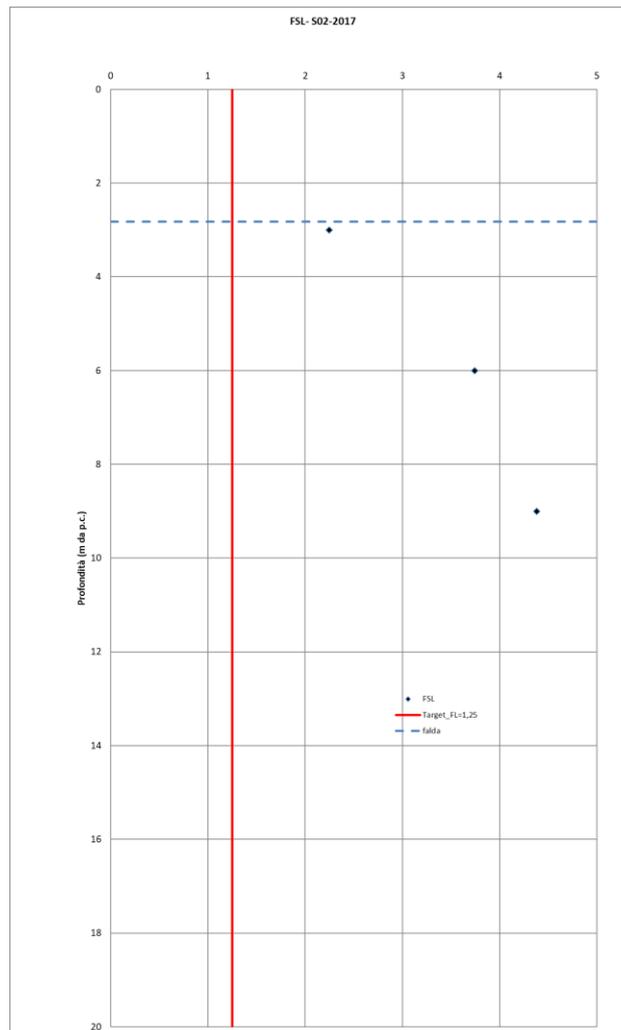


Figure 2 – Modello 2a – pk 29+050-29+650 (i valori di FS del SX4-2019 sono >> 5 e quindi non visibili nel grafico)

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	404 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



**Figure 3 – Modello 2a – pk 29+050-29+650**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	405 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

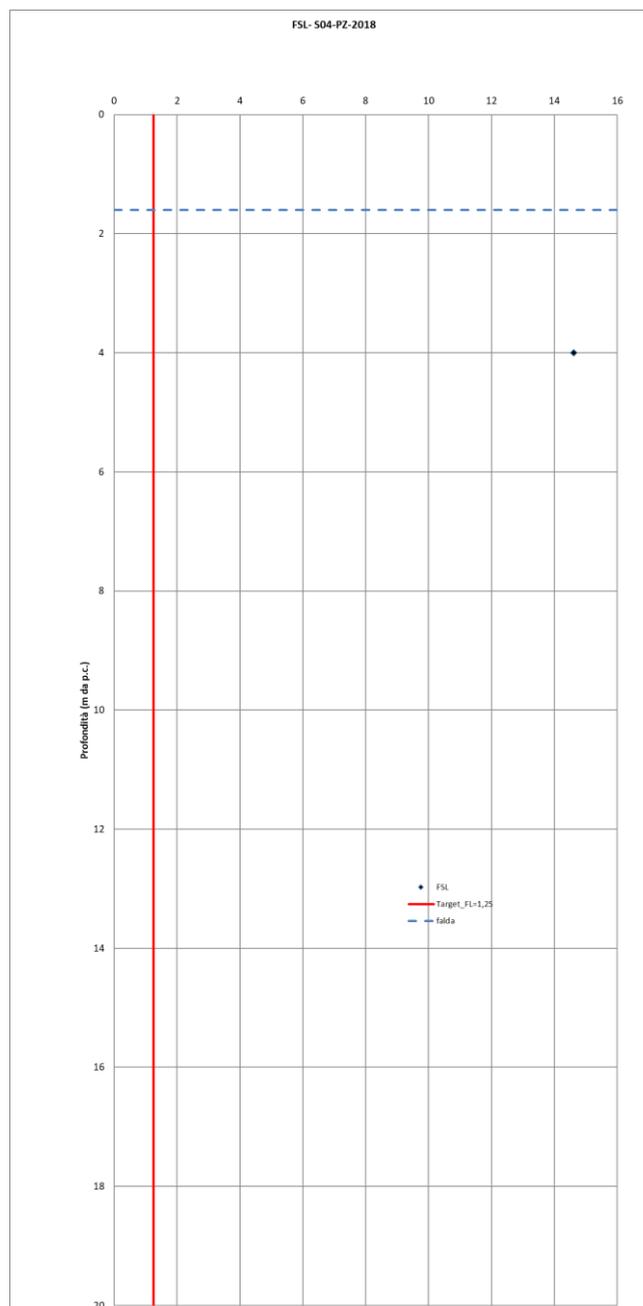


Figure 4 – Modello 2b – pk 29+650-30+100

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	406 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

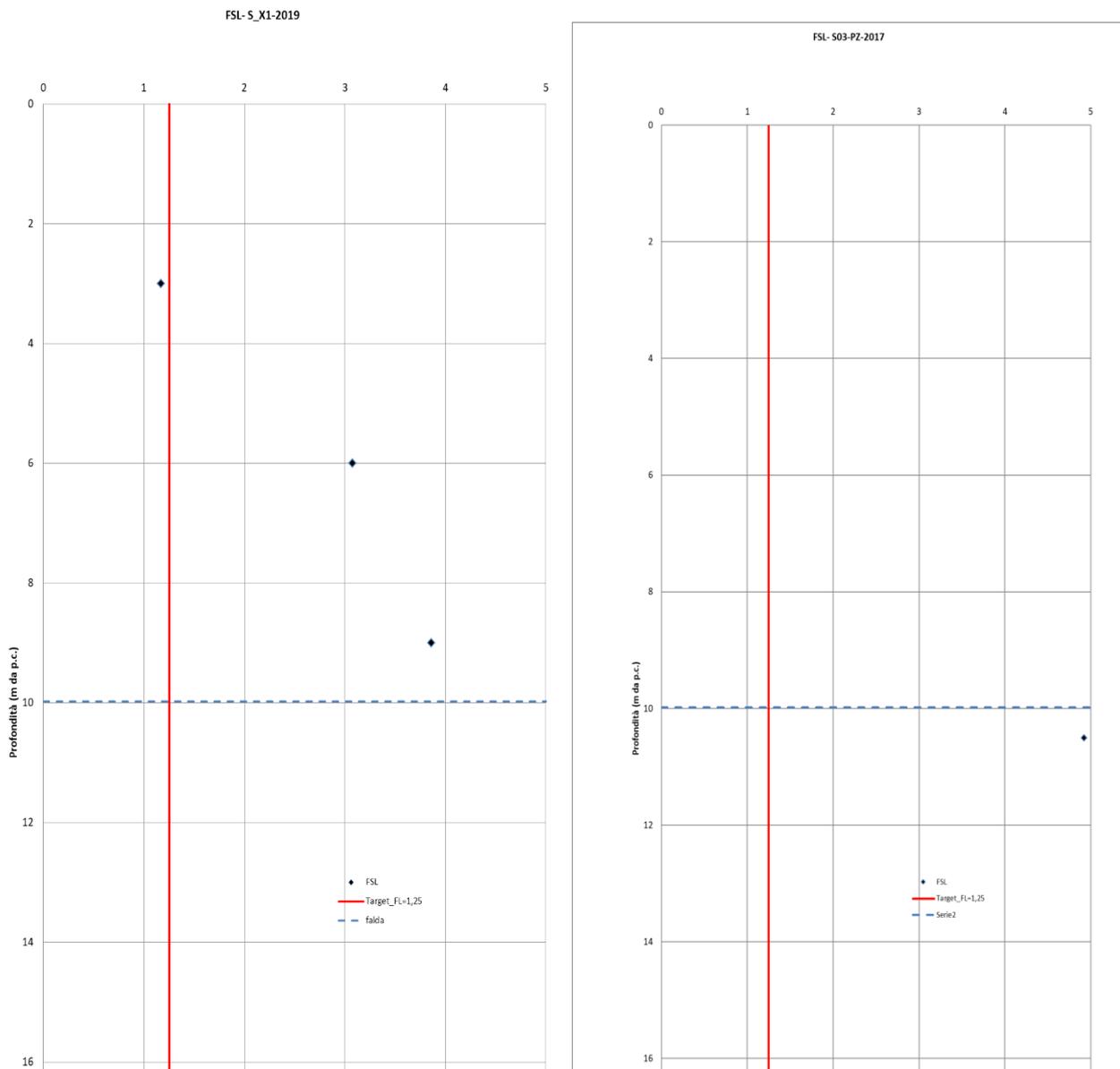
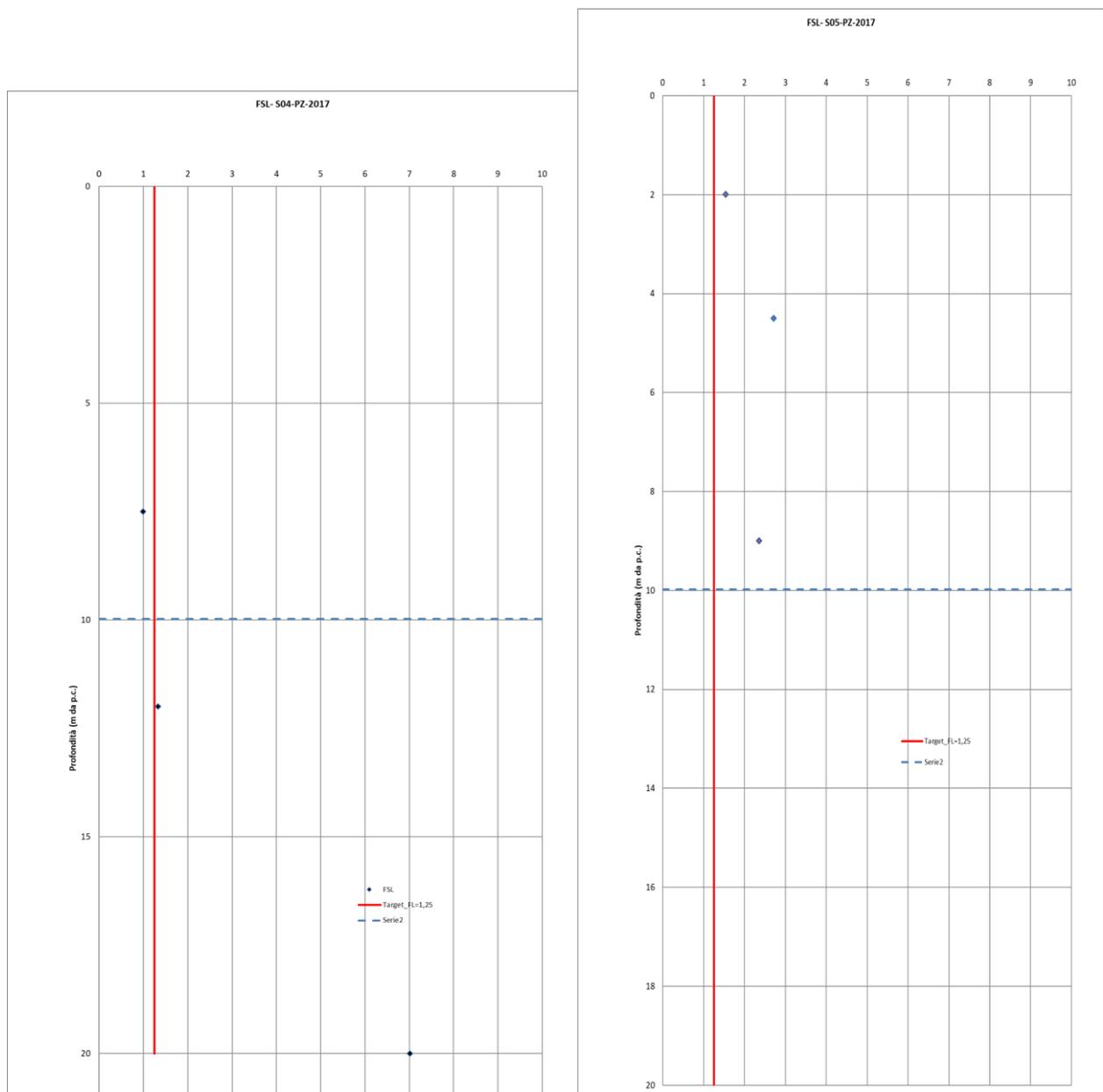


Figure 5 – Modello 3 – pk 30+100-31+700

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	407 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



**Figure 6 – Modello 3 – pk 30+100-31+700**

I punti con  $FSL < 1.25$  (SX1\_2019 e S04\_2017 nel modello 3) si trovano sopra falda, pertanto in questa zona gli strati di terreno non sono liquefacibili e per tale motivo non sono stati calcolati i cedimenti post-sisma. L'indice del potenziale di liquefazione che ne deriva è  $IPL = 0$ , associabile ad un rischio molto basso.

In Allegato 3 sono riportati i risultati dell'elaborazione delle prove SPT per il fattore di sicurezza di liquefazione.

### 12.2.9 Risultati delle analisi di liquefazione da prove CPT e CPTU

Si riportano in seguito i risultati delle analisi di liquefazione condotte con riferimento alle prove penetrometriche CPT e CPTU nelle quali è stata rilevata la falda.

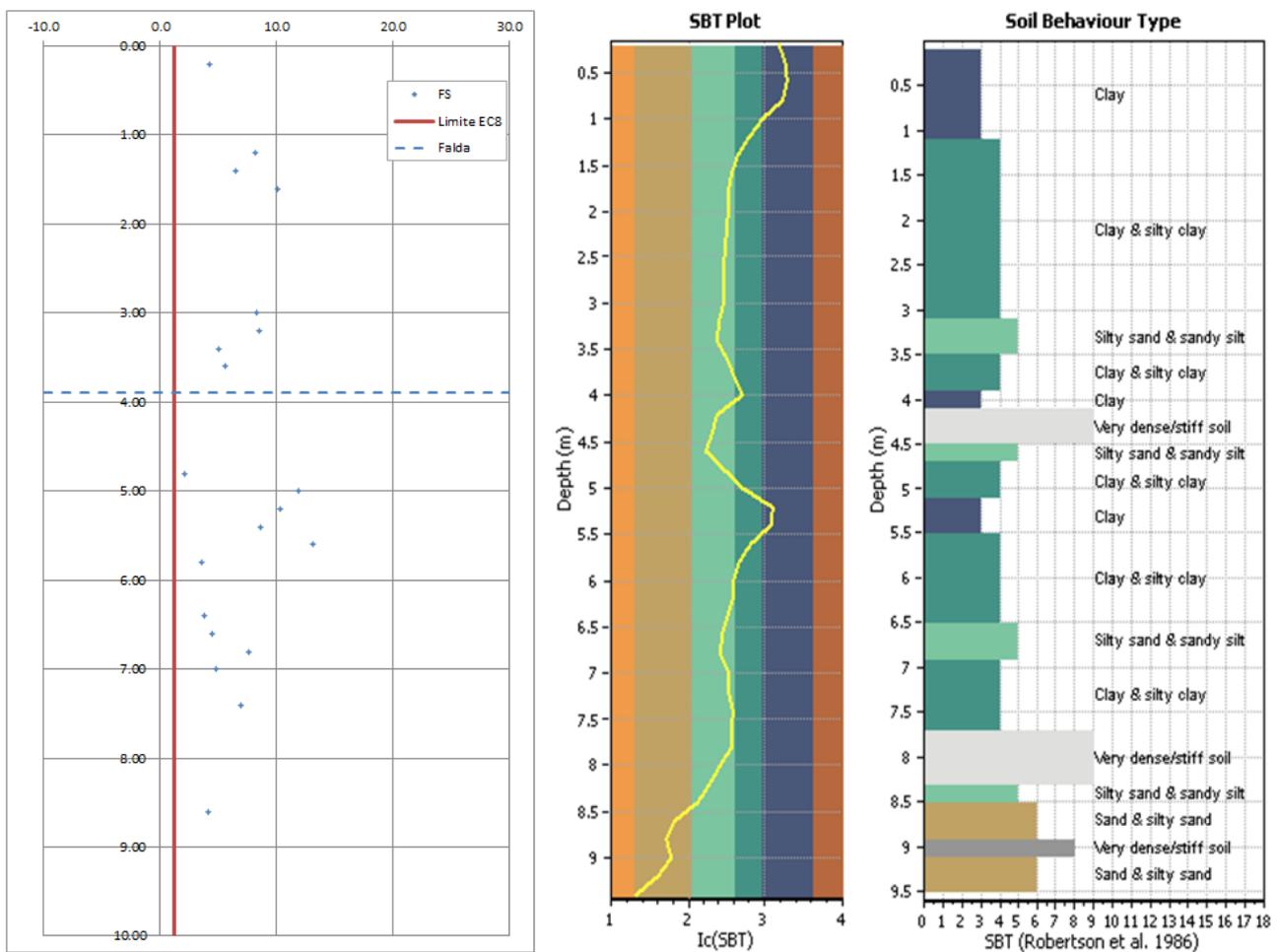


Figura 79-CPT1

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	409 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

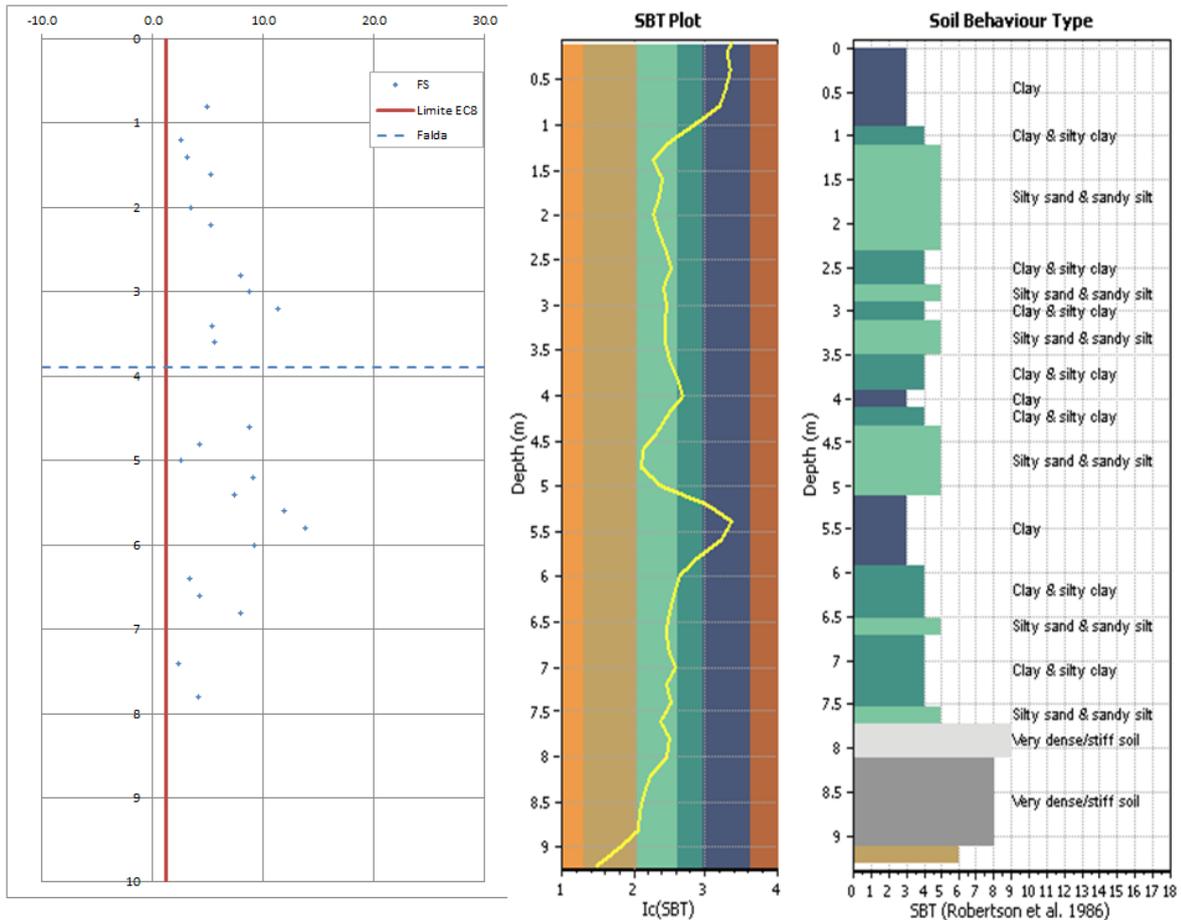


Figura 80 – CPT2

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	410 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

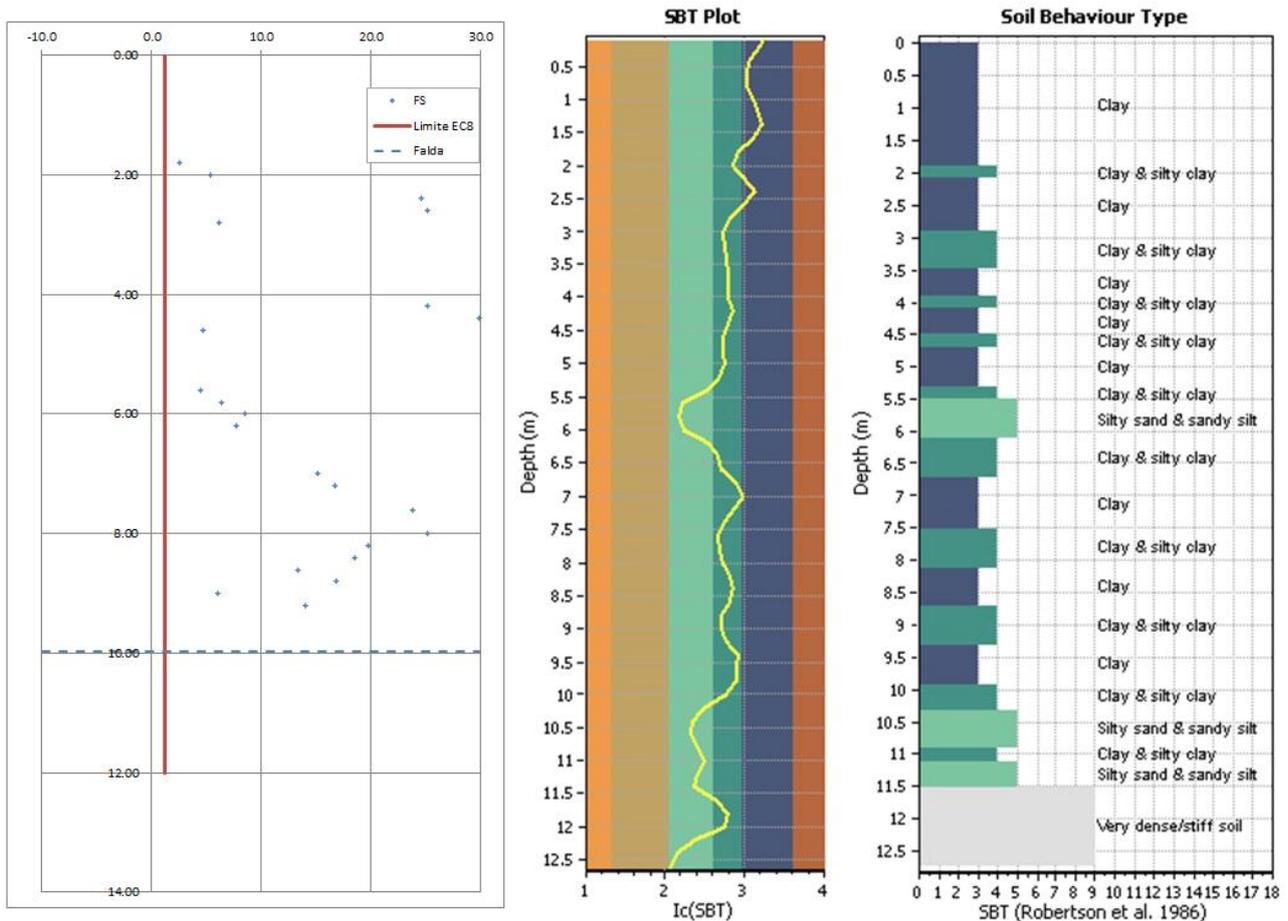


Figura 81-CPT3

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	411 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

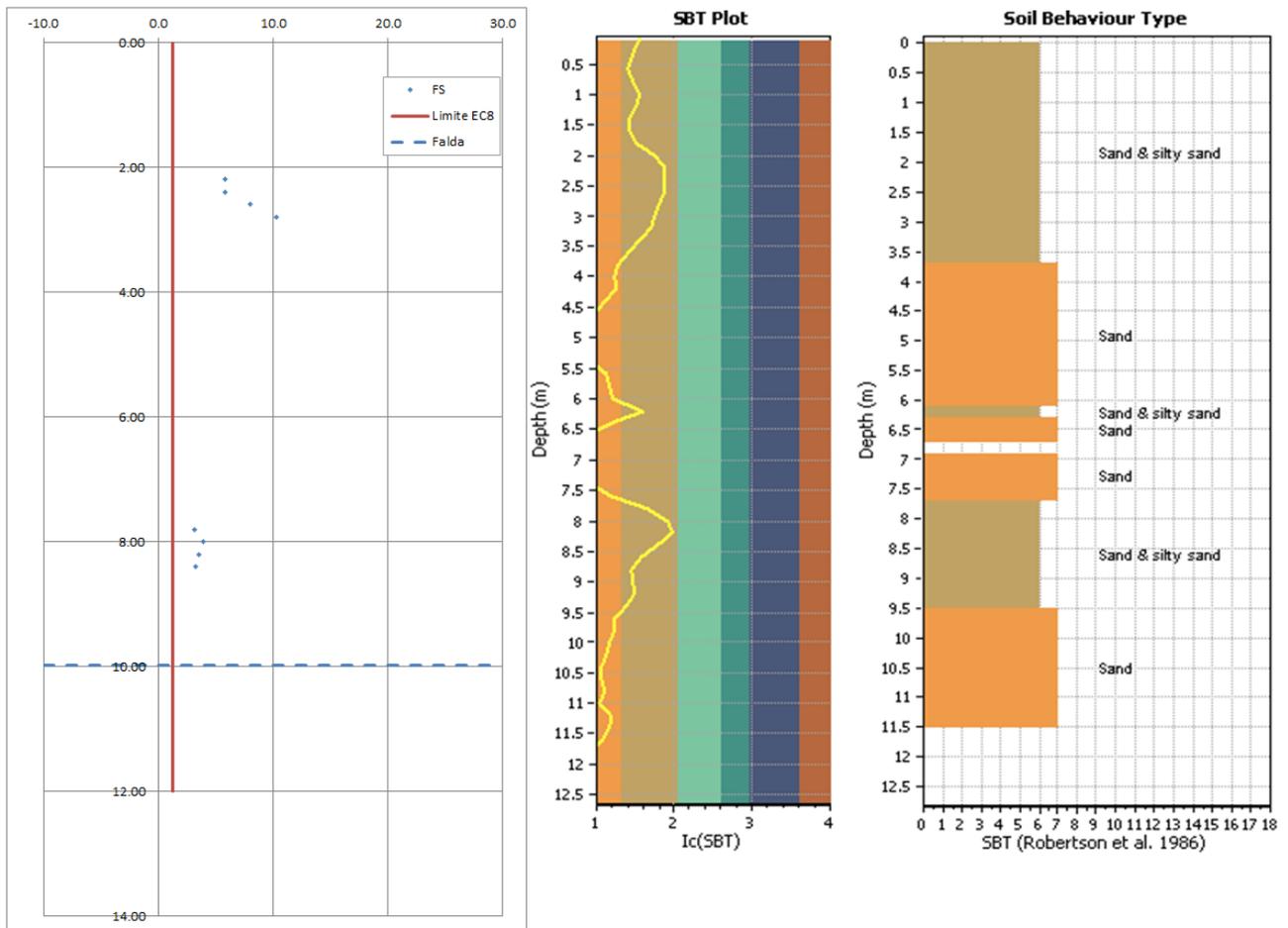


Figura 82 – CPT4

### 12.2.10 Risultati delle analisi di liquefazione da prove geofisiche

Si analizzano in seguito le sole prove geofisiche lungo i tratti di linea ferroviaria suscettibili all'innescio di un fenomeno di liquefazione.

Si evidenzia che le analisi vengono condotte fino alla profondità critica di 20 m per il manifestarsi di possibili fenomeni di liquefazione; nelle verifiche vengono considerati solo i punti sotto falda.

Modello geotecnico di riferimento	Tratto di linea	Indagini geognostiche	Profondità falda (m)
2a	29+050-29+650	SX6-2019; SX4-2019; S02-DH-2017; MASW S02-2017; MASW5 e 6-2019	2.82
2b	29+650-30+100	SA04-2018; MASW 3 e 4-2019	1.60
3	30+100-31+700	S03-2017; S04-2017; SX1-2019; S05-2017; DH-S05; MASW1 e 2-2019	9.98

Nelle tabelle seguenti il termine dz rientra nella formulazione dell'indice del potenziale di liquefazione e rappresenta lo spessore di ciascuno strato considerato nella verifica:

$$IP_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	413 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**Modello 2a**

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	177.5	m/s	5%<=FC<=35%	80
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	37%

A max	0.1491
Mw,max	6.14
MSF	1.93 Youd et al, 2001
MSF	1.43 Idriss e Boulanger, 2004

 Falda 2.82  
 MASW\_S02\_DH

m	kPa	kPa		m/s	m/s		Seed e Idriss,1971					m		
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
1	19	19	1.40	213	298	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.50	0.00	1.00	0.00
2	38	38	1.27	220	280	non liquefacibile	non liquefacibile	0.98	0.10	non liquefacibile	9.00	0.00	1.00	0.00
3	55.2	57	1.16	321	372	non liquefacibile	non liquefacibile	0.98	0.10	non liquefacibile	8.50	0.00	1.00	0.00
4	64.2	76	1.12	405	452	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.11	non liquefacibile	8.00	0.00	1.00	0.00
5	73.2	95	1.08	497	537	non liquefacibile	non liquefacibile	0.96	0.12	non liquefacibile	7.50	0.00	1.00	0.00
6	82.2	114	1.05	591	621	non liquefacibile	non liquefacibile	0.95	0.13	non liquefacibile	7.00	0.00	1.00	0.00
7	91.2	133	1.02	677	693	non liquefacibile	non liquefacibile	0.95	0.13	non liquefacibile	6.50	0.00	1.00	0.00
8	100.2	152	1.00	748	748	non liquefacibile	non liquefacibile	0.94	0.14	non liquefacibile	6.00	0.00	1.00	0.00
9	109.2	171	0.98	801	784	non liquefacibile	non liquefacibile	0.93	0.14	non liquefacibile	5.50	0.00	1.00	0.00
10	118.2	190	0.96	839	805	non liquefacibile	non liquefacibile	0.91	0.14	non liquefacibile	5.00	0.00	1.00	0.00
11	127.2	209	0.94	863	813	non liquefacibile	non liquefacibile	0.88	0.14	non liquefacibile	4.50	0.00	1.00	0.00
12	136.2	228	0.93	876	811	non liquefacibile	non liquefacibile	0.85	0.14	non liquefacibile	4.00	0.00	1.00	0.00
13	145.2	247	0.91	882	803	non liquefacibile	non liquefacibile	0.83	0.14	non liquefacibile	3.50	0.00	1.00	0.00
14	154.2	266	0.90	882	791	non liquefacibile	non liquefacibile	0.80	0.13	non liquefacibile	3.00	0.00	1.00	0.00
15	163.2	285	0.88	879	774	non liquefacibile	non liquefacibile	0.77	0.13	non liquefacibile	2.50	0.00	1.00	0.00
16	172.2	304	0.87	875	761	non liquefacibile	non liquefacibile	0.75	0.13	non liquefacibile	2.00	0.00	1.00	0.00
17	181.2	323	0.86	872	750	non liquefacibile	non liquefacibile	0.72	0.12	non liquefacibile	1.50	0.00	1.00	0.00
18	190.2	342	0.85	870	742	non liquefacibile	non liquefacibile	0.69	0.12	non liquefacibile	1.00	0.00	1.00	0.00
19	199.2	361	0.84	871	736	non liquefacibile	non liquefacibile	0.67	0.12	non liquefacibile	0.50	0.00	1.00	0.00
20	208.2	380	0.83	874	733	non liquefacibile	non liquefacibile	0.64	0.11	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
21	217.2	399	0.82373	881	733.94	non liquefacibile	non liquefacibile	0.61	0.11	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
22	226.2	418	0.815412	891	736.32	non liquefacibile	non liquefacibile	0.59	0.11	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
23	235.2	437	0.807497	903	742.09	non liquefacibile	non liquefacibile	0.59	0.11	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
24	244.2	456	0.799951	919	749.55	non liquefacibile	non liquefacibile	0.58	0.11	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
25	253.2	475	0.792746	937	758.66	non liquefacibile	non liquefacibile	0.57	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
26	262.2	494	0.785854	957	769.35	non liquefacibile	non liquefacibile	0.57	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
27	271.2	513	0.779251	979	780.81	non liquefacibile	non liquefacibile	0.56	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
28	280.2	532	0.772917	1002	793.79	non liquefacibile	non liquefacibile	0.55	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
29	289.2	551	0.766832	1027	807.47	non liquefacibile	non liquefacibile	0.54	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
30	298.2	570	0.76098	1053	801.31	non liquefacibile	non liquefacibile	0.53	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00

IPL	0.00
-----	------



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	414 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	61%

A max  
Mw,max  
MSF  
MSF

0.1398  
6.14  
1.93 Youd et al, 2001  
1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 2.82  
MASW5\_2019

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
0.4	7.6	7.6	1.40	85	119	0.05	0.07	1.00	0.09	0.82	9.80	0.00	0.40	0.00
0.8	15.2	15.2	1.40	161	225	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.09	non liquefacibile	9.60	0.00	0.40	0.00
2.5	47.5	47.5	1.20	333	401	non liquefacibile	non liquefacibile	0.98	0.09	non liquefacibile	8.75	0.00	1.70	0.00
6.2	84	117.8	1.04	690	721	non liquefacibile	non liquefacibile	0.95	0.12	non liquefacibile	6.90	0.00	3.70	0.00
10.8	125.4	205.2	0.94	444	420	non liquefacibile	non liquefacibile	0.89	0.13	non liquefacibile	4.60	0.00	4.60	0.00
19.9	207.3	378.1	0.83	678	565	non liquefacibile	non liquefacibile	0.64	0.11	non liquefacibile	0.05	0.00	9.10	0.00
26.1	263.1	495.9	0.79	471	370	non liquefacibile	non liquefacibile	0.57	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	6.20	0.00
37.4	364.8	710.6	0.72	1027	743	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.09	non liquefacibile	0.00	0.00	11.30	0.00
97.1	902.1	1844.9	0.58	719	415	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.09	non liquefacibile	0.00	0.00	59.70	0.00

IPL 0.00

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	61%

A max  
Mw,max  
MSF  
MSF

0.1398  
6.14  
1.93 Youd et al, 2001  
1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 2.82  
MASW6\_2019

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
0.3	5.7	5.7	1.40	216	302	non liquefacibile	non liquefacibile	1.00	0.09	non liquefacibile	9.85	0.00	0.30	0.00
0.7	13.3	13.3	1.40	301	421	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.09	non liquefacibile	9.65	0.00	0.40	0.00
1.6	30.4	30.4	1.35	306	412	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.09	non liquefacibile	9.20	0.00	0.90	0.00
3.6	60.6	68.4	1.13	294	333	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.10	non liquefacibile	8.20	0.00	2.00	0.00
5.6	78.6	106.4	1.06	210	223	non liquefacibile	non liquefacibile	0.96	0.12	non liquefacibile	7.20	0.00	2.00	0.00
9.4	112.8	178.6	0.97	330	320	non liquefacibile	non liquefacibile	0.92	0.13	non liquefacibile	5.30	0.00	3.80	0.00
14.6	159.6	277.4	0.89	339	302	non liquefacibile	non liquefacibile	0.78	0.12	non liquefacibile	2.70	0.00	5.20	0.00
24.3	246.9	461.7	0.80	512	408	non liquefacibile	non liquefacibile	0.58	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	9.70	0.00
58.6	555.6	1113.4	0.65	803	523	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.09	non liquefacibile	0.00	0.00	34.30	0.00

IPL 0.00

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	415 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## Modello 2b

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	37%

A max 0.1491  
Mw,max 6.14  
MSF 1.93 Youd et al, 2001  
MSF 1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 1.6

MASW3\_2019

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
0.2	3.8	3.8	1.40	190	266	non liquefacibile	non liquefacibile	1.00	0.10	non liquefacibile	9.90	0.00	0.20	0.00
1	19	19	1.40	248	347	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.50	0.00	0.80	0.00
2.1	34.9	39.9	1.30	196	255	non liquefacibile	non liquefacibile	0.98	0.11	non liquefacibile	8.95	0.00	1.10	0.00
3.9	51.1	74.1	1.18	327	387	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.14	non liquefacibile	8.05	0.00	1.80	0.00
7.2	80.8	136.8	1.05	209	220	non liquefacibile	non liquefacibile	0.94	0.16	non liquefacibile	6.40	0.00	3.30	0.00
10.2	107.8	193.8	0.98	251	246	non liquefacibile	non liquefacibile	0.90	0.16	non liquefacibile	4.90	0.00	3.00	0.00
20	196	380	0.85	374	316	non liquefacibile	non liquefacibile	0.64	0.12	non liquefacibile	0.00	0.00	9.80	0.00
26.6	255.4	505.4	0.79	609	452	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.11	non liquefacibile	0.00	0.00	6.60	0.00
106.3	972.7	2019.7	0.57	608	344	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.10	non liquefacibile	0.00	0.00	79.70	0.00

IPL 0.00

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	61%

A max 0.1398  
Mw,max 6.14  
MSF 1.93 Youd et al, 2001  
MSF 1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 1.6

MASW4\_2019

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
0.3	5.7	5.7	1.40	48	67	0.02	0.02	1.00	0.09	0.27	9.85	0.00	0.30	0.00
0.8	15.2	15.2	1.40	346	484	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.09	non liquefacibile	9.60	0.00	0.50	0.00
1.8	32.2	34.2	1.33	383	508	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.10	0.00	1.00	0.00
3.8	50.2	72.2	1.19	593	704	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.13	non liquefacibile	8.10	0.00	2.00	0.00
8.3	90.7	157.7	1.02	720	738	non liquefacibile	non liquefacibile	0.94	0.15	non liquefacibile	5.85	0.00	4.50	0.00
18.4	181.6	349.6	0.86	487	420	non liquefacibile	non liquefacibile	0.68	0.12	non liquefacibile	0.80	0.00	10.10	0.00
39.5	371.5	750.5	0.72	379	273	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.09	non liquefacibile	0.00	0.00	21.10	0.00
48.7	454.3	925.3	0.68	229	157	0.11	0.15	0.50	0.09	1.62	0.00	0.00	9.20	0.00
90.9	834.1	1727.1	0.59	339	199	5.44	7.77	0.50	0.09	82.58	0.00	0.00	42.20	0.00

IPL 0.00

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	416 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### Modello 3

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC	
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35	A max
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	47%	Mw,max MSF MSF

0.1149  
6.14  
1.93 Youd et al, 2001  
1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 30

S05\_DH-2017

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
1	19	19	1.40	202	283	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.07	non liquefacibile	9.50	0.00	1.00	0.00
2	38	38	1.27	202	257	non liquefacibile	non liquefacibile	0.98	0.07	non liquefacibile	9.00	0.00	1.00	0.00
3	57	57	1.15	202	232	non liquefacibile	non liquefacibile	0.98	0.07	non liquefacibile	8.50	0.00	1.00	0.00
4	76	76	1.07	339	363	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.07	non liquefacibile	8.00	0.00	1.00	0.00
5	95	95	1.01	339	343	non liquefacibile	non liquefacibile	0.96	0.07	non liquefacibile	7.50	0.00	1.00	0.00
6	114	114	0.97	221	214	non liquefacibile	non liquefacibile	0.95	0.07	non liquefacibile	7.00	0.00	1.00	0.00
7	133	133	0.93	221	206	non liquefacibile	non liquefacibile	0.95	0.07	non liquefacibile	6.50	0.00	1.00	0.00
8	152	152	0.90	221	199	2.98	4.25	0.94	0.07	60.67	6.00	0.00	1.00	0.00
9	171	171	0.87	221	193	0.48	0.69	0.93	0.07	9.94	5.50	0.00	1.00	0.00
10	190	190	0.85	221	188	0.30	0.43	0.91	0.07	6.37	5.00	0.00	1.00	0.00
11	209	209	0.83	221	184	0.23	0.33	0.88	0.07	5.07	4.50	0.00	1.00	0.00
12	228	228	0.81	538	438	non liquefacibile	non liquefacibile	0.85	0.06	non liquefacibile	4.00	0.00	1.00	0.00
13	247	247	0.80	538	429	non liquefacibile	non liquefacibile	0.83	0.06	non liquefacibile	3.50	0.00	1.00	0.00
14	266	266	0.78	538	421	non liquefacibile	non liquefacibile	0.80	0.06	non liquefacibile	3.00	0.00	1.00	0.00
15	285	285	0.77	538	414	non liquefacibile	non liquefacibile	0.77	0.06	non liquefacibile	2.50	0.00	1.00	0.00
16	304	304	0.76	538	407	non liquefacibile	non liquefacibile	0.75	0.06	non liquefacibile	2.00	0.00	1.00	0.00
17	323	323	0.75	538	401	non liquefacibile	non liquefacibile	0.72	0.05	non liquefacibile	1.50	0.00	1.00	0.00
18	342	342	0.74	538	396	non liquefacibile	non liquefacibile	0.69	0.05	non liquefacibile	1.00	0.00	1.00	0.00
19	361	361	0.73	538	390	non liquefacibile	non liquefacibile	0.67	0.05	non liquefacibile	0.50	0.00	1.00	0.00
20	380	380	0.72	538	385	non liquefacibile	non liquefacibile	0.64	0.05	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
21	399	399	0.71	538	381	non liquefacibile	non liquefacibile	0.61	0.05	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
22	418	418	0.70	538	376	non liquefacibile	non liquefacibile	0.59	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
23	437	437	0.69	646	447	non liquefacibile	non liquefacibile	0.59	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
24	456	456	0.68	646	442	non liquefacibile	non liquefacibile	0.58	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
25	475	475	0.68	646	438	non liquefacibile	non liquefacibile	0.57	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
26	494	494	0.67	646	433	non liquefacibile	non liquefacibile	0.57	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
27	513	513	0.66	646	429	non liquefacibile	non liquefacibile	0.56	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
28	532	532	0.66	646	425	non liquefacibile	non liquefacibile	0.55	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
29	551	551	0.65	646	422	non liquefacibile	non liquefacibile	0.54	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00
30	570	570	0.65	646	418	non liquefacibile	non liquefacibile	0.53	0.04	non liquefacibile	0.00	0.00	1.00	0.00

IPL	0.00
-----	------

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	417 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	37%

A max 0.14912  
 Mw,max 6.14  
 MSF 1.93 Youd et al, 2001  
 MSF 1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 10

MASW1\_2019

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
0.4	7.6	7.6	1.40	262	367	non liquefacibile	non liquefacibile	1.00	0.10	non liquefacibile	9.80	0.00	0.40	0.00
0.7	13.3	13.3	1.40	201	281	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.65	0.00	0.30	0.00
1.9	36.1	36.1	1.29	330	426	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.05	0.00	1.20	0.00
4	76	76	1.07	312	334	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.09	non liquefacibile	8.00	0.00	2.10	0.00
10.6	195.4	201.4	0.85	294	249	non liquefacibile	non liquefacibile	0.89	0.09	non liquefacibile	4.70	0.00	6.60	0.00
15	235	285	0.81	389	314	non liquefacibile	non liquefacibile	0.77	0.09	non liquefacibile	2.50	0.00	4.40	0.00
20.7	286.3	393.3	0.77	605	465	non liquefacibile	non liquefacibile	0.62	0.08	non liquefacibile	0.00	0.00	5.70	0.00
57.5	617.5	1092.5	0.63	765	485	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.09	non liquefacibile	0.00	0.00	36.80	0.00

IPL	0.00
-----	------

	Vs,1*	215	m/s	FC<=5%	FC
	Vs,1*	200	m/s	5%<=FC<=35%	35
	Vs,1* assunto	200	m/s	FC > 35%	37%

A max 0.14912  
 Mw,max 6.14  
 MSF 1.93 Youd et al, 2001  
 MSF 1.43 Idriss e Boulanger, 2004

Falda 10

MASW2\_2019

m	kPa	kPa		m/s	m/s			Seed e Idriss,1971					m	
profondità	sigma'	sigma	Cv	Vs	Vs,1	CRR 7.5	CRR M	rd	CSR	FSL	w(z)	F(z)	dz	w(z)*F(z)*dz
0.4	7.6	7.6	1.40	262	367	non liquefacibile	non liquefacibile	1.00	0.10	non liquefacibile	9.80	0.00	0.40	0.00
0.7	13.3	13.3	1.40	201	281	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.65	0.00	0.30	0.00
1.9	36.1	36.1	1.29	330	426	non liquefacibile	non liquefacibile	0.99	0.10	non liquefacibile	9.05	0.00	1.20	0.00
4	76	76	1.07	312	334	non liquefacibile	non liquefacibile	0.97	0.09	non liquefacibile	8.00	0.00	2.10	0.00
10.6	195.4	201.4	0.85	294	249	non liquefacibile	non liquefacibile	0.89	0.09	non liquefacibile	4.70	0.00	6.60	0.00
15	235	285	0.81	389	314	non liquefacibile	non liquefacibile	0.77	0.09	non liquefacibile	2.50	0.00	4.40	0.00
20.7	286.3	393.3	0.77	605	465	non liquefacibile	non liquefacibile	0.62	0.08	non liquefacibile	0.00	0.00	5.70	0.00
57.5	617.5	1092.5	0.63	765	485	non liquefacibile	non liquefacibile	0.50	0.09	non liquefacibile	0.00	0.00	36.80	0.00

IPL	0.00
-----	------

I punti con FSL < 1.25 (MASW5\_2019 nel modello 2a e MASW4\_2019 nel modello 2b) si trovano sopra falda, pertanto in questa zona gli strati di terreno non sono liquefacibili e per tale motivo non sono stati calcolati i cedimenti post-sisma. L'indice del potenziale di liquefazione che ne deriva è IPL = 0, associabile ad un rischio molto basso.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>418 di 452</p>

### 12.2.11 Conclusioni delle analisi di liquefazione

Nel precedente paragrafo sono stati interpretati i risultati delle prove SPT, sismiche e CPTU ai fini della valutazione del rischio di potenziale liquefazione.

Gli strati in cui è evidenziato possibile rischio di liquefazione sono quelli caratterizzati da valori del fattore di sicurezza a liquefazione FLS inferiore ai limiti normativi e per cui è stato necessario valutare la possibile interferenza con le opere in progetto. Questa analisi ha riscontrato la sola presenza di opere di linea in rilevato ferroviario.

In questo capitolo si analizzano e si motivano i risultati delle elaborazioni relative alla suscettibilità dei terreni a liquefare dei tratti ferroviari ai quali si è riscontrato, attraverso le indagini geognostiche eseguite nelle varie campagne, una non conformità dal punto di vista normativo.

Per quanto riguarda il **tratto ferroviario da pk 27+769 a pk 29+050 (Modello 1)** è possibile fare le seguenti considerazioni ed escludere in questo tratto il fenomeno della liquefazione:

- dal punto di vista geologico localmente nei pressi del sondaggio S01-PZ-2017 si evidenziano depositi alluvionali ed eluvio-colluviali (unità Pv), a confermare la litologia coesiva, e quindi anche l'esclusione del fenomeno della liquefazione, sono le prove penetrometriche CPT1 e CPT2 (Figura 79 e Figura 80). Queste ultime evidenziano terreni argillosi limosi e limo sabbiose, riconducibili a depositi Pv-a (terreni prevalentemente fini: limi-limi sabbiosi argillosi-limi con argilla);
- per quanto riguarda l'interpretazione delle prove SPT nei sondaggi S01-PZ-2017 e S\_X2-2019, anche con falda inferiore a 15m (3.86m) i fattori di sicurezza riscontrati risultano essere tutti superiori al limite normativo.
- **Si ritiene viste le considerazioni esposte, per il tratto ferroviario da pk 27+769 a pk 29+050, di escludere il rischio di liquefazione.**

Per quanto riguarda il **tratto ferroviario da pk 29+050 a pk 29+650 (Modello 2a)** è possibile fare le seguenti considerazioni ed escludere in questo tratto il fenomeno della liquefazione:

- Dal punto di vista geologico si hanno depositi piroclastici da caduta ("Tufi stratificati di La Storta") prevalentemente incoerenti in superficie; le indagini di riferimento (S02-DH-2017, S\_X6-2019 e S\_X4-2019) evidenziano che tutti i valori di SPT risultano avere un  $FS > 1.25$ . Inoltre, nel caso di terreni con presenza di frazione limo-argillosa significativa è possibile supportare maggiormente l'esclusione dell'innescarsi di fenomeni di liquefazione se l'indice di plasticità  $IP > 20$  (Seed et al., 2003). Nei terreni in esame, con riferimento al sondaggio S\_X6-2019, si ha  $IP = 23.8$  a profondità 1.5 m (Figura 83). Si precisa che le prove SPT nel sondaggio S\_X6-2019 oltre la profondità di 3m sono andate a rifiuto, mentre per il sondaggio S02-DH-2017 e SX4-2019 i valori di FS sono maggiori di 1.25.
- Con riferimento all'interpretazione delle prove geofisiche MASW-S02-2017 e MASW6 si ricade sempre nell'ambito di non liquefacibilità dei terreni ( $V_{s1} > V_{s1}^*$ ). La MASW5-2019 indica un solo punto con  $FSL < 1.25$  a quota -0.4 m: si tratta però di una zona sopra falda, pertanto si ritiene di poter escludere il rischio di liquefazione sulla base di tale prova geofisica.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	419 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

- Il punto con  $FSL < 1.25$  (MASW5\_2019 nel modello 2a) si trova sopra falda, pertanto in questa zona gli strati di terreno non sono liquefacibili e per tale motivo non sono stati calcolati i cedimenti post-sisma. L'indice del potenziale di liquefazione che ne deriva è  $IPL = 0$ , associabile ad un rischio molto basso.
- Si ritiene viste le considerazioni esposte, per il tratto ferroviario da pk 29+050 a pk 29+650, di escludere il rischio di liquefazione.

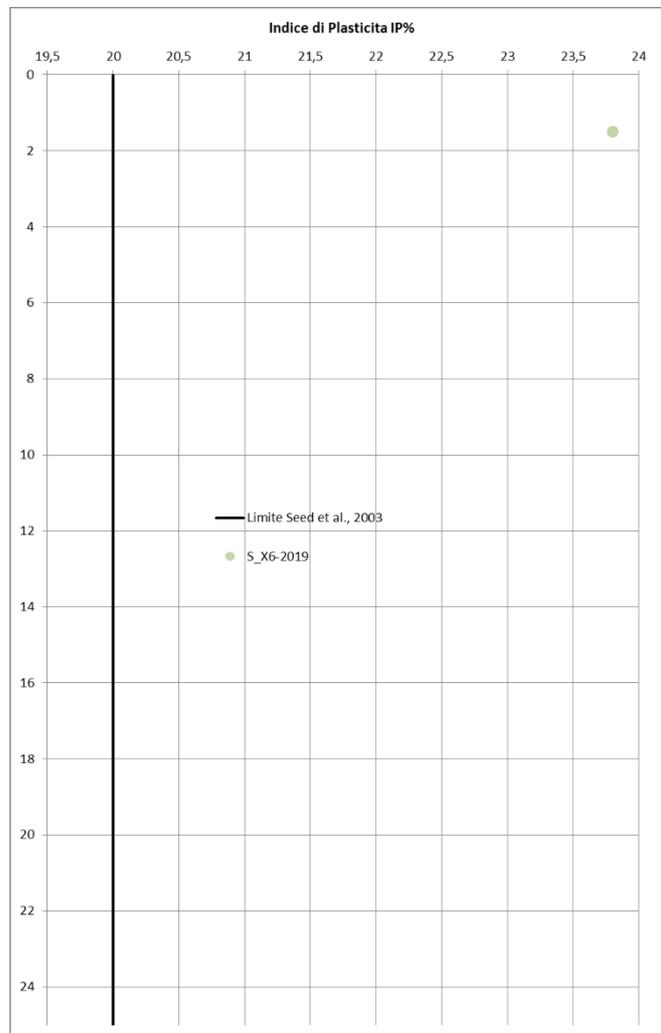


Figura 83 – Indice di Plasticità sondaggio S\_X6-2019

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>420 di 452</p>

Per quanto riguarda il **tratto ferroviario da pk 29+650 a pk 30+100 (Modello 2b)** è possibile fare le seguenti considerazioni:

- L'area in oggetto è segnalata dal PAI (artt9 e 27) Area di attenzione idraulica definita lungo i corsi d'acqua principali classificati pubblici (DGR n° 452/2005);
- Per quanto riguarda la verifica a liquefazione utilizzando le prove SPT il sondaggio S04 -2018 i valori risultano tutti superiore al limite di legge (capitolo 12.2.8);
- Con riferimento all'interpretazione della prova geofisica MASW3-2019 si ricade nell'ambito di non liquefacibilità dei terreni ( $V_{s1} > V_{s1}^*$ ). La MASW4-2019 indica un solo punto con  $FSL < 1.25$  a quota - 0.3 m: si tratta però di una zona sopra falda, pertanto si ritiene di poter escludere il rischio di liquefazione sulla base di tale prova geofisica.
- **Il punto con  $FSL < 1.25$  (MASW4\_2019 nel modello 2b) si trova sopra falda, pertanto in questa zona gli strati di terreno non sono liquefacibili e per tale motivo non sono stati calcolati i cedimenti post-sisma. L'indice del potenziale di liquefazione che ne deriva è  $IPL = 0$ , associabile ad un rischio molto basso.**
- **Si ritiene viste le considerazioni esposte, per il tratto ferroviario 29+650-30+100, di escludere il rischio di liquefazione.**

Per quanto riguarda il **tratto ferroviario da pk 30+100-31+700 (Modello 3)** è possibile fare le seguenti considerazioni:

- L'area in oggetto è segnalata dal PAI (artt9 e 27) Area di attenzione idraulica definita lungo i corsi d'acqua principali classificati pubblici (DGR n° 452/2005);
- Il sondaggio S\_X1-2019 e la prova CPT4 (Figura 82) ubicati vicini rispecchiano una litologia incoerente caratterizzata da sabbia limosa. La verifica a liquefazione secondo le prove SPT (capitolo 12.2.8) del sondaggio citato mostra solo un valore di  $FSL$  inferiore a 1.25 alla profondità di 3m, ma esso risulta essere sopra alla soggiacenza rilevata pari a 9.98m, pertanto si ritiene che lo strato in oggetto non sia liquefacibile. Inoltre, il campione a profondità 4m, più prossimo alla prova SPT, risulta avere una granulometria maggiormente coesiva composta da argilla=18% e limo=68%, sabbia=13% con indice di plasticità di 31.1% (Figura 84);
- Il sondaggio S04-PZ-2017 e la prova CPT3 (Figura 81) ubicati nell'attraversamento idraulico di progetto del fosso Casaccia, evidenziano depositi alluvionali ed eluvio colluviali (unità Pv) con granulometrie argilloso limose debolmente sabbiose. Il valore di SPT alla profondità di 7.50m del sondaggio S04-PZ-2017 nel capitolo 12.2.8 risulta avere un  $FS < 1.25$ , ma esso risulta essere sopra alla soggiacenza rilevata pari a 9.98m, pertanto si ritiene che lo strato in oggetto non sia liquefacibile. Inoltre, si evidenzia che, il campione a profondità 10m, più prossimo alla prova SPT, risulta avere una granulometria maggiormente coesiva composta da ghiaia=7%, argilla=22% e limo=56%, sabbia=15% con indice di plasticità di 20.80%.
- I risultati derivanti dalle analisi di liquefazione da prove SPT (capitolo 12.2.8) nel sondaggio S05-DH-2017 hanno riscontrato fattori di sicurezza tutti maggiori al limite di normativa pari a 1.25. Anche per il sondaggio S03-2017 la prova SPT eseguita al disotto della soggiacenza rilevata (9.98m) risulta avere un  $FS > 1.25$ ;
- Con riferimento all'interpretazione delle prove geofisiche MASW1-2019, MASW2-2019, S05\_DH\_2017 si

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	421 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

ricade sempre nell'ambito di non liquefacibilità dei terreni ( $V_{s1} > V_{s1}^*$ ).

- **I punti con  $FSL < 1.25$  (SX1\_2019 e S04\_2017 nel modello 3) si trovano sopra falda, pertanto in questa zona gli strati di terreno non sono liquefacibili e per tale motivo non sono stati calcolati i cedimenti post-sisma. L'indice del potenziale di liquefazione che ne deriva è  $IPL = 0$ , associabile ad un rischio molto basso.**
- **Si ritiene viste le considerazioni esposte, per il tratto ferroviario 30+100-31+700, di escludere il rischio di liquefazione.**

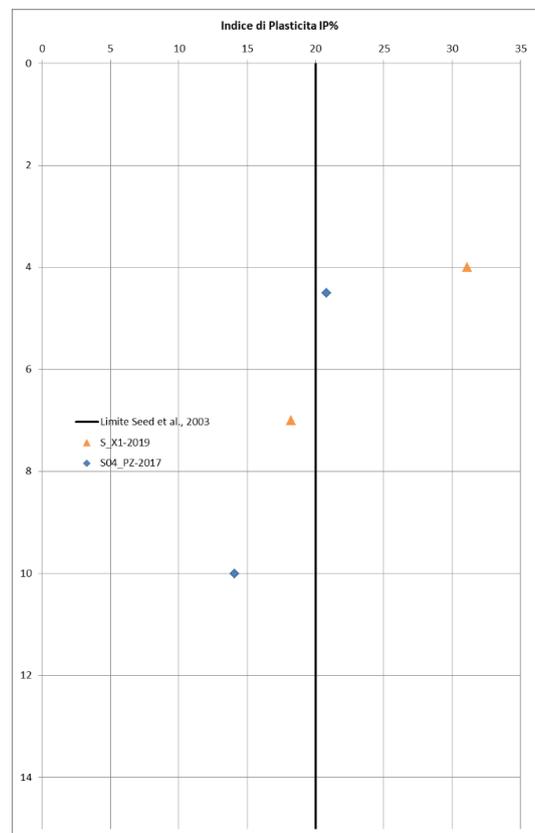


Figura 84– Indice di Plasticità sondaggi S\_X1-2019 e S04\_PZ\_2017

In conclusione per la linea ferroviari in oggetto ed in particolare per i tratti studiati, alla luce di tutte le stime e le verifiche condotte e delle considerazioni riportate in questi capitoli, stando all'attuale quadro conoscitivo di indagine si ritiene di escludere un rischio significativo ai fini di un eventuale innesco di fenomeni di liquefazione.

	<p>INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.</p> <p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NR1J</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 29 GE</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 05 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>422 di 452</p>

## 13 INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

### 13.1 Normativa e raccomandazioni di riferimento

- Circ. LL.PP. 24 settembre n. 30483. “Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. 2004.
- Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 17 gennaio 2018.

### 13.2 Premessa

La presente sezione rimanda alla relazione di compatibilità geomorfologia NR1J01D69RGGE0001002A che ha come oggetto le criticità idrogeologiche individuate presso il km 36+000 circa della linea di progetto; la suddetta relazione fornisce evidenza circa l’eventuale interferenza delle opere previste per il raddoppio della tratta Cesano – V. di Valle, itinerario Roma - Viterbo, con i settori di territorio perimetrati e/o classificati nelle cartografie del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio. Nel seguito, vengono riportati gli studi di stabilità della scarpata esistente prima e post intervento di stabilizzazione.

Per quanto riguarda il monitoraggio della criticità incontrata si rimanda alla relazione del monitoraggio delle opere di linea (doc. NR1J01D29RGMF0000001A) e alla relativa tavola con l’ubicazione della strumentazione.

**Tale capitolo è rimasto inalterato rispetto alla revA del 2018 in quanto le analisi relative agli interventi di stabilizzazione non sono state oggetto di revisioni nella fase successiva di integrazioni indagini.**

### 13.3 Metodologie di calcolo

Le verifiche di stabilità del pendio sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche in accordo a quanto previsto dalla normativa vigente.

L’esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell’equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il codice di calcolo denominato GEOSLOPE 2018, in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni.

In accordo con le NTC2018 la valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la tensione di taglio agente lungo la superficie di scorrimento, è stata eseguita impiegando sia per i parametri geotecnici sia per le azioni il loro valore caratteristico. Le verifiche di sicurezza sono state eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quelle riconosciute con le indagini.



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	423 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

### 13.4 Modello geotecnico di riferimento

I parametri del terreno da utilizzare nelle verifiche sono stati stimati a partire dalla sezione geologica riportata in Figura 6 e dai risultati dei sondaggi effettuati in prossimità del pendio.

In particolare, per stimare le caratteristiche del basalto si è fatto riferimento alle prove di resistenza effettuate sui campioni di roccia prelevati nelle vicinanze del pendio. Rielaborando i risultati ottenuti mediante il software RocLab (Rocscience), considerando un valore medio di  $\sigma_c = 70$  kPa, si ottengono i seguenti valori di coesione e angolo d'attrito:

$$c' = 5 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 40^\circ$$

#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 70 MPa  
GSI = 62  $m_i = 20$  Disturbance factor (D) = 0.1  
intact modulus (Ei) = 12000 MPa

#### Hoek-Brown Criterion

mb = 4.793 s = 0.0127 a = 0.502

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 4.983 MPa friction angle = 39.49 deg

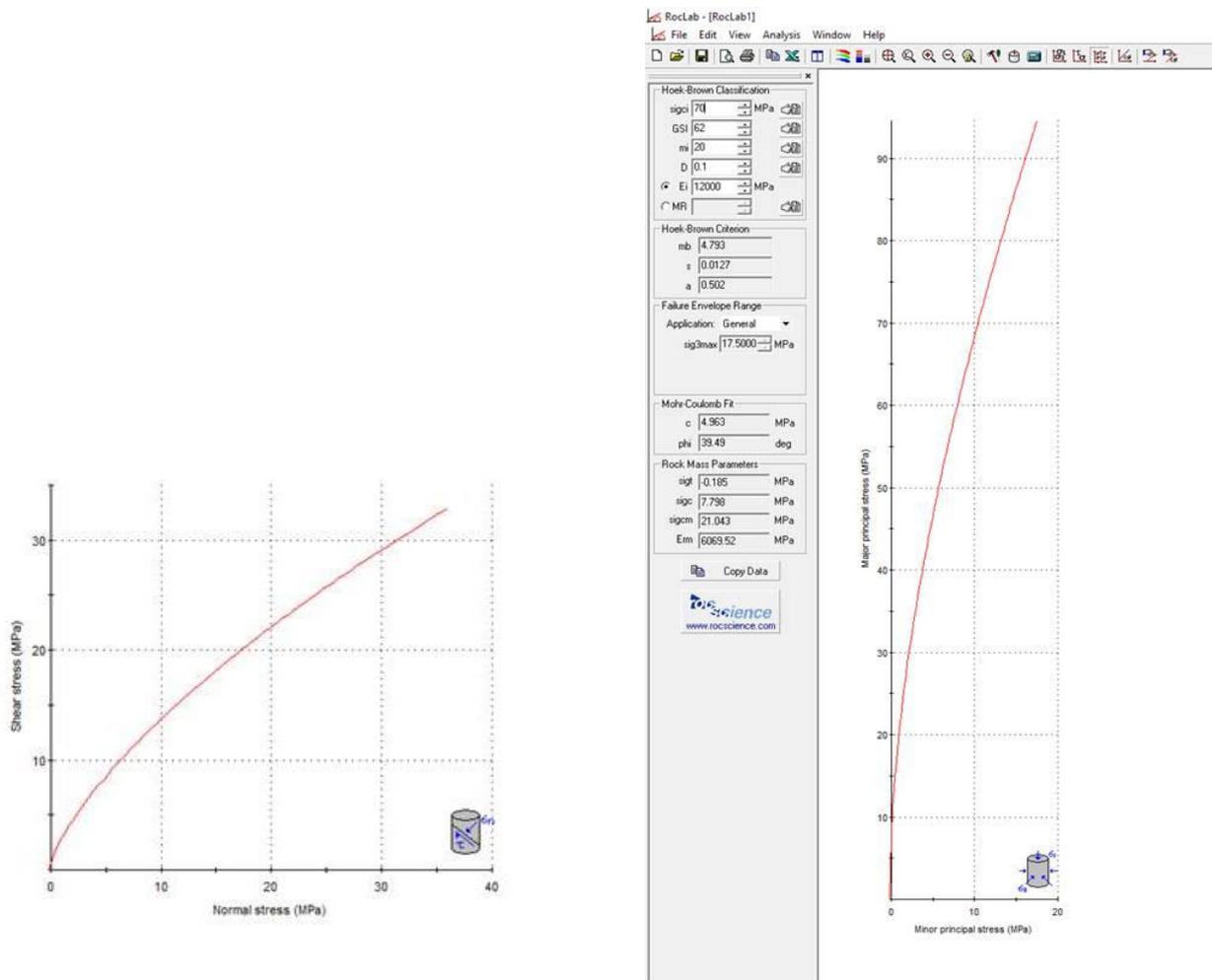
#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.185 MPa  
uniaxial compressive strength = 7.798 MPa  
global strength = 21.043 MPa  
deformation modulus = 6069.52 MPa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	424 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Attraverso una back analysis sono stati stimati i parametri di coesione e angolo d'attrito "ideali" del tufo sottostante con i quali il pendio risulta essere in sicurezza:

$$c' = 8 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 30.5^\circ$$

tali valori sono coerenti con le risultanze delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel vicino sondaggio geonostico (S11).

Il modello geotecnico utilizzato viene schematizzato nella figura seguente:



### 13.5 Azione sismica

L'analisi delle condizioni di stabilità del pendio è stata eseguita mediante metodi pseudostatici in cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Le componenti orizzontale e verticale di tale forza sono:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

dove:

$k_h$  = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$k_v$  = coefficiente sismico in direzione verticale;

	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.  RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA  <b>NR1J</b>	LOTTO  01	CODIFICA  D 29 GE	DOCUMENTO  GE 00 05 001	REV.  A

$a_{max}$  = accelerazione massima attesa al sito;  $g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella Tab. 7.11.I delle NTC2018 al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

L'accelerazione massima al sito:

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove:

$S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ )

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

$a_g = 0,071g$
$S_s = 1,6$ (categoria di sottosuolo E)
$S_T = 1,2$ (categoria topografica T2 - Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ )
$a_{max} = 0,136g$
$\beta_s = 0,20$
<b><math>kh = 0,027</math>    <math>kv = \pm 0,014</math></b>

### 13.6 Risultati

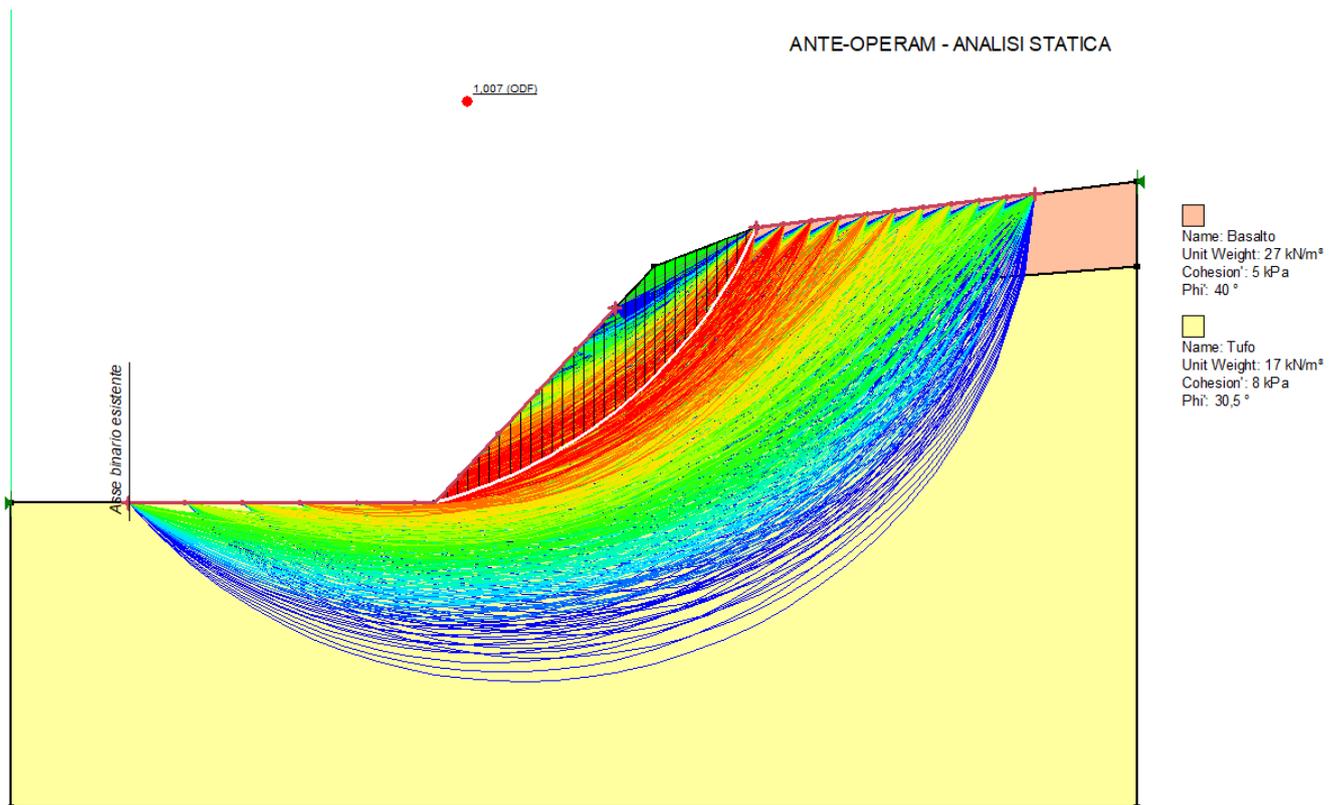
Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità della scarpata sia in condizioni statiche che sismiche. I tabulati di calcolo sono riportati in Appendice B.

Per le analisi statiche il fattore di sicurezza risulta di poco superiore all'unità mentre in condizioni sismiche risulta minore dell'unità.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	427 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

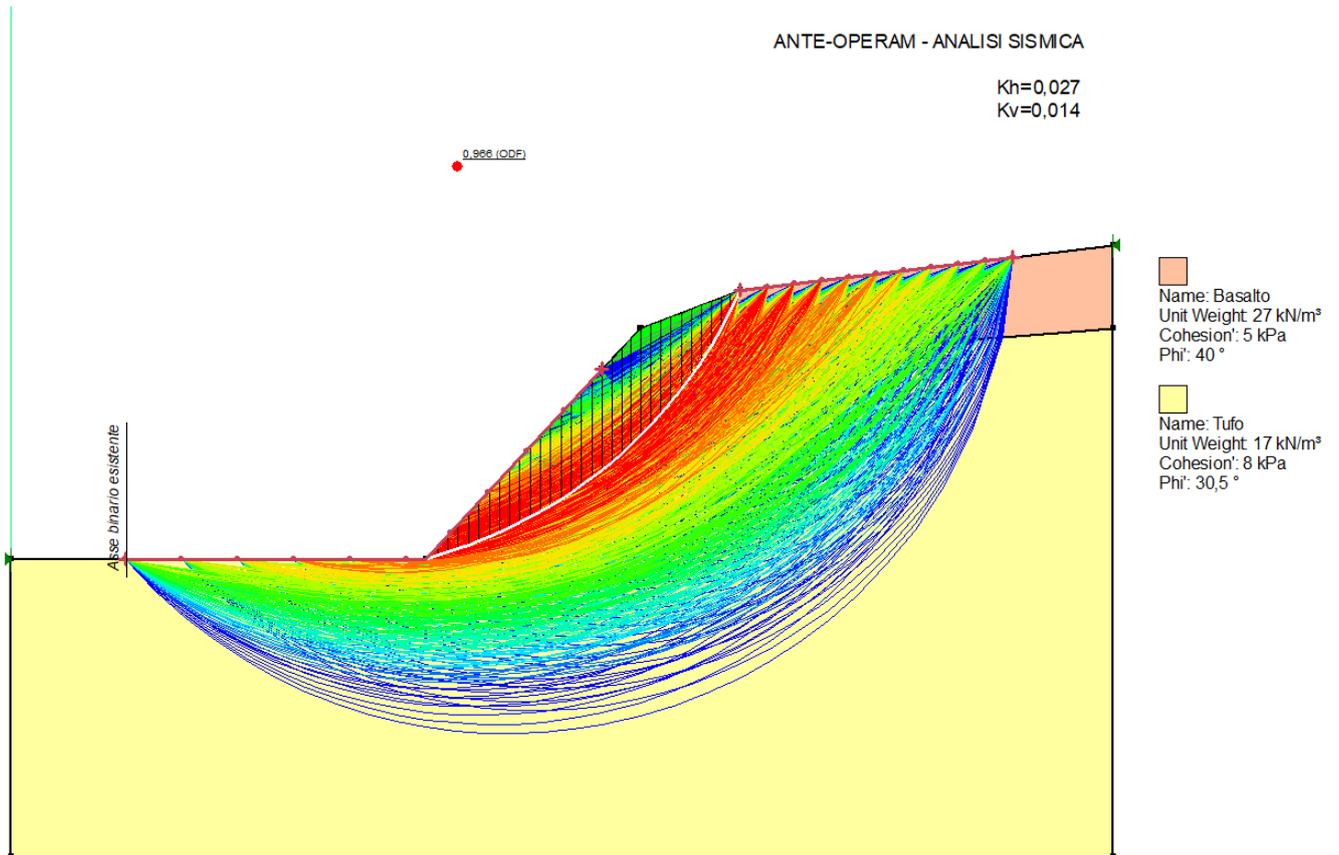


Analisi statica ante-operam – FS = 1,007

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	428 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Analisi sismica ante-operam – FS = 0,966

### 13.7 Descrizione degli interventi

Dalle verifiche di stabilità svolte risulta che il pendio è stabile in condizioni statiche (con  $FS=1,001$ ) mentre in condizioni sismiche il fattore di sicurezza risulta inferiore all'unità ( $FS=0,966$ ). Si è proceduto quindi a prevedere interventi per la messa in sicurezza del versante con il sistema denominato "Soil Nailing". L'obiettivo del soil nailing è migliorare la stabilità del terreno quando si manifestano condizioni di stabilità sfavorevoli. La stabilità è raggiunta inserendo nel terreno barre di rinforzo che sono iniettate e rese solidali al terreno per tutta la loro lunghezza (chiodature). Le chiodature mobilizzano forze attrittive lungo l'intera lunghezza e contribuiscono a migliorare le condizioni di stabilità. Le forze attrittive stabilizzanti sono quindi generate passivamente con l'inizio della rottura nel terreno. Si prevedono barre  $\varnothing 24$  di lunghezza 4 m in acciaio B450C ad aderenza migliorata e testa filettata disposte a maglia quadrata 3m x 3m.



**Stabilizzazione mediante soil nailing**

La protezione della superficie esposta del terreno rinforzato dai chiodi è ottenuta mediante un rivestimento con una biostuoia e una rete metallica che svolgono la funzione di contenere il terreno tra i chiodi e prevenire fenomeni di erosione. Si prevede quindi un rivestimento vegetativo realizzato con rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali tipo 8x10 protetta con un rivestimento in lega zinco-alluminio e sottostante biostuoia in fibra di paglia o juta. La posa della biostuoia e della rete metallica avviene in maniera differenziata, pertanto è possibile rendere la biostuoia ben aderente alla scarpata. La rete preme sulla scarpata migliorando l'aderenza della stuoia ed impedendo i piccoli rilasci gravitativi tipici delle scarpate molto ripide.



**Rivestimento antierosivo mediante biostuoia e rete metallica a doppia torsione**

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	430 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Per l'inerbimento della scarpata si prevede una idrosemina a spessore. Questo tipo di idrosemina, in cui alla miscela dell'idrosemina base si aggiunge mulch di fibre di legno, è adatto alle situazioni in cui il substrato è particolarmente povero di materiale organico, sassoso, o costituito da rocce tenere alterate.



**Inerbimento della scarpata mediante idrosemina**

Viene prevista una ulteriore protezione contro gli eventuali distacchi di materiale dal versante sulla sede ferroviaria. L'opera consiste in un muro in c.a. fondato su micropali con duplice funzione:

- protezione dall'eventuale distacco di materiale non trattenuto dalla rete metallica e dal rivestimento vegetativo;
- stabilizzazione del piede della scarpata.

Per i dettagli sugli interventi di stabilizzazione descritti riferirsi all'elaborato grafico specifico.

### 13.8 Verifiche di stabilità post-operam

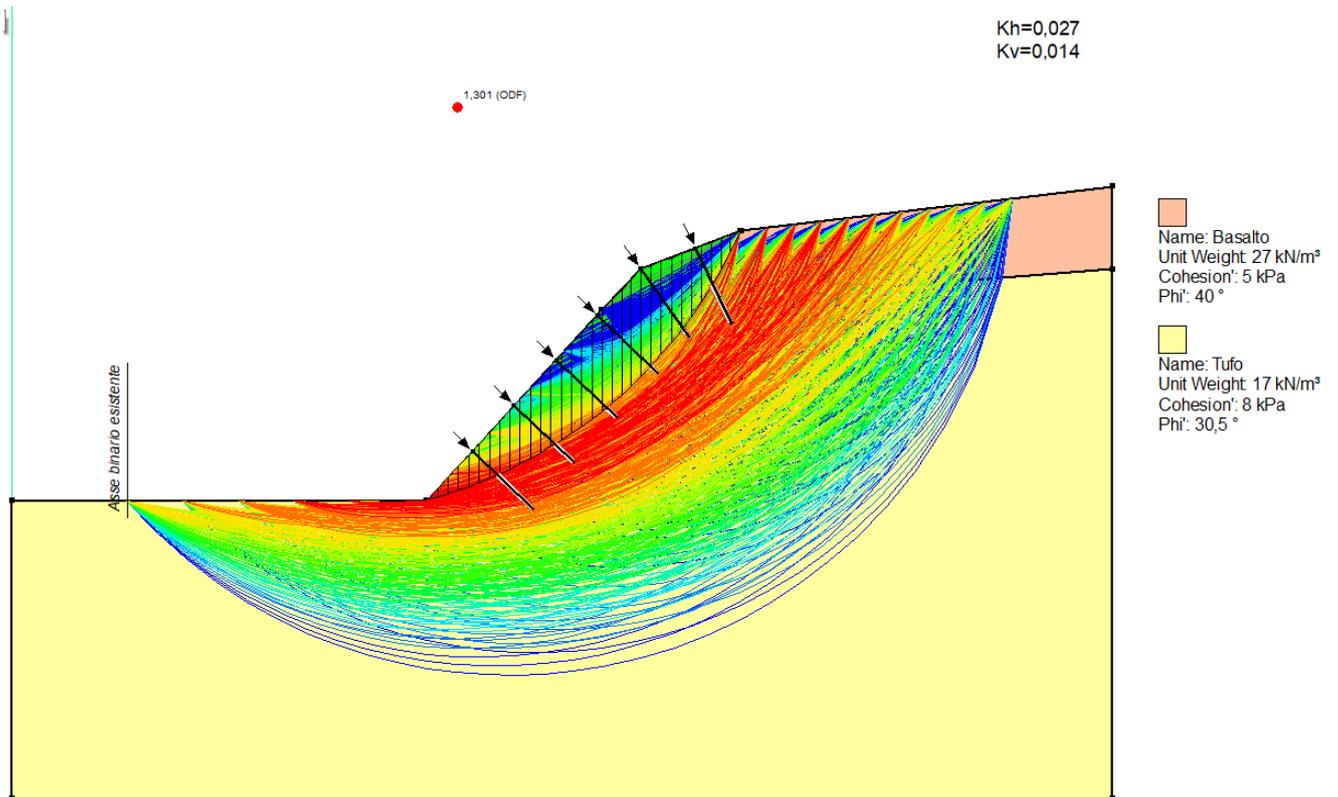
Di seguito si riportano le verifiche di stabilità del pendio dopo la realizzazione del soil nailing per evidenziare l'incremento di sicurezza indotto dall'intervento di stabilizzazione.

Come richiesto dalla normativa vigente, NTC2018, oltre alla valutazione dell'incremento di sicurezza indotto dagli interventi di stabilizzazione nei confronti del meccanismo di collasso più critico, sono state verificate le condizioni di sicurezza connesse anche agli altri meccanismi di collasso, compatibili con gli interventi ipotizzati.

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	431 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE



Analisi sismica post-operam – FS = 1,301

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NR1J 01 D 29 GE GE 00 05 001 A 432 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## 14 ALLEGATO 1 – CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA ALLA LIQUEFAZIONE DA PROVE SPT

Sondaggio	m	m	kNm3	sigma_v	u idro	sigma'_v	sigma''_v	Nsp	(Boulanger e Idriss, 2004 - sull'esponimento, vedi linee guida AGI pag.35)				Idris e Boulanger, 2004	Liao e Whitmann, 1986	Seed e Idriss, 1971	Idris e Boulanger, 2004	Idris e Boulanger, 2004	Fattore di sicurezza	VERIFICA EC8			Sommerz (2003)			Iwasaki et al, 1982		
									Cn	Ca	Cr	Cs							NI (N10)	NI (N20)	rd	CSR	CRF,7.5	CRF,4	FSL > 1.25	FZ	Wp)
S01_Pz	2	3.86	16	32	0	32	0.32	9	1.6659	1	1	1	15.03	20.5914	0.9847	0.0588	0.2133	0.3947	2.2033	OK	0	16	0	0	9	0	
	5	3.86	16	80	11	69	0.69	18	1.1848	1	1	1	21.33	26.8895	0.9618	0.0670	0.3428	0.4898	5.5092	OK	0	10	0	0	7.5	0	
	3	19.96	16	48	0	48	0.48	7	1.9914	1	1	1	9.74	16.3465	0.9771	0.0584	0.2247	0.1991	2.2447	OK	0	14	0	0	8.5	0	
S_X02	6	19.96	16	96	0	96	0.96	9	1.0185	1	1	1	9.17	14.7328	0.9541	0.0570	0.1530	0.2198	3.7403	OK	0	8	0	0	7	0	
	9	19.96	16	144	0	144	1.44	14	0.8487	1	1	1	11.88	16.6479	0.9312	0.0566	0.1706	0.2438	4.3814	OK	0	2	0	0	5.5	0	
	12	19.96	16	192	0	192	1.92	18	0.7456	1	1	1	14.35	18.0122	0.8936	0.0510	0.163489	0.233560	4.6795076	OK	0	-4	0	0	4	0	
S_X06	3	3.52	18	54	0	54	0.54	8	1.3192	1	1	1	10.56	16.0764	0.9771	0.0778	0.1654	0.2383	1.9128	OK	0	14	0	0	8.5	0	
S_X04	3	2.82	18	54	2	52	0.52	13	1.3386	1	1	1	76.37	81.9107	0.9771	0.0680	2.8005E+30	1.7208E+31	OK	0	14	0	0	8.5	0		
	6	2.82	18	108	32	76	0.76	62	1.1301	1	1	1	70.07	75.6074	0.9541	0.1311	1.2316E+21	1.0305E+22	OK	0	8	0	0	7	0		
SA_04-2018	4	4.5	18	72	0	72	0.72	25	1.1590	1	1	1	28.98	34.5464	0.9694	0.0772	1.0104	1.4435	14.6101	OK	0	12	0	0	8	0	
S09_PZ-2018	10.50	-	16	168	0	168	1.68	24	0.7918	1	1	1	19.00	24.5471	0.8937	0.0812	0.2797	0.3996	4.9204	OK	0	-1	0	0	4.75	0	
	7.50	1.6	16	120	59	61	0.61	9	1.2491	1	1	1	11.24	16.5120	0.9428	0.1685	0.1694	0.2420	0.9912	NO	1	5	5	8.83ME-03	6.25	5.5217E-02	
S1	12.00	1.6	16	192	104	88	0.88	11	1.0593	1	1	1	11.65	16.9213	0.8536	0.1692	0.1732	0.2474	1.3282	OK	0	-4	0	0	4	0	
	20.00	1.6	16	320	194	136	1.36	31	0.8708	1	1	1	26.99	32.2641	0.6400	0.1368	0.6717	0.5996	7.0126	OK	0	-20	0	0	0	0	
	5.00	8.1	16	80	0	80	0.80	9	1.0566	1	1	1	9.95	15.5133	0.9618	0.0575	0.1605	0.2293	3.3753	OK	0	10	0	0	7.5	0	
S2	10.00	8.1	16	160	19	141	1.41	23	0.8527	1	1	1	18.85	24.4110	0.9070	0.0615	0.2767	0.3953	6.4288	OK	0	0	0	0	5	0	
	12.00	8.1	16	208	49	159	1.59	32	0.8117	1	1	1	25.97	31.5266	0.8209	0.0646	0.6001	0.8573	13.2603	OK	0	-6	0	0	3.5	0	
	15.50	8.1	16	248	74	174	1.74	33	0.7764	1	1	1	41.31	48.8701	0.7602	0.0647	63.3857	119.1295	160.3363	OK	0	-11	0	0	2.25	0	
S_X1	4.00	8.4	16	64	0	64	0.64	10	1.2224	1	1	1	12.22	17.7888	0.9694	0.0579	0.1815	0.2594	3.2042	OK	0	12	0	0	8	0	
	7.00	8.4	16	112	0	112	1.12	17	0.9503	1	1	1	16.15	21.7174	0.9485	0.0565	0.2288	0.3269	5.7806	OK	0	6	0	0	6.5	0	
	11.00	8.4	16	176	26	150	1.50	25	0.8332	1	1	1	20.63	26.3931	0.8903	0.0617	0.3272	0.4674	7.5745	OK	0	-2	0	0	4.5	0	
S_05	3	12.66	16	48	0	48	0.48	4	1.3143	1	1	1	5.57	11.0915	0.9771	0.0688	0.1258	0.1797	1.1673	NO	1	14	14	0	0	0	
	6	12.66	16	96	0	96	0.96	13	1.0165	1	1	1	13.24	18.8219	0.9541	0.0687	0.1923	0.2748	3.0736	OK	0	8	0	0	7	0	
	9	12.66	16	144	0	144	1.44	19	0.8487	1	1	1	16.12	21.7095	0.9312	0.0686	0.2286	0.3603	5.8203	OK	0	2	0	0	5.5	0	
S05_DH-2017	12	12.66	16	192	0	192	1.92	34	0.7462	1	1	1	40.28	44.3514	0.8536	0.0776	22.8319	32.8187	420.5243	OK	0	-4	0	0	4	0	
	4.50	-	18	81	0	81	0.81	9	1.0995	1	1	1	9.90	15.5066	0.9696	0.0721	0.1604	0.2292	2.7138	OK	0	11	0	0	7.75	0	
	9.00	-	18	162	0	162	1.62	5	0.8049	1	1	1	4.02	9.5491	0.9312	0.0695	0.1149	0.1642	2.3614	OK	0	2	0	0	5.5	0	
S12_PZ-2017	6.50	-	18	117	0	117	1.17	5	0.9318	1	1	1	4.68	10.2657	0.9503	0.0710	0.1199	0.1713	2.4140	OK	0	7	0	0	6.75	0	
	12.00	-	18	216	0	216	2.16	9	0.7071	1	1	1	6.36	11.9709	0.8536	0.0638	0.1522	0.1889	2.9634	OK	0	-4	0	0	4	0	
	20.00	-	18	360	0	360	3.60	33	0.5619	1	1	1	17.42	23.0238	0.6400	0.0478	0.2498	0.3669	7.4670	OK	0	-30	0	0	0	0	
S06_DH-2017	7	-	18	126	0	126	1.26	36	0.9072	1	1	1	45.06	50.6962	0.9485	0.0754	977.1681	1396.0256	1815.4209	OK	0	6	0	0	6.5	0	
	12	-	18	216	0	216	2.16	39	0.7071	1	1	1	16.97	23.1649	0.8536	0.0697	2.8131E+18	4.0186E+18	4.8024E+18	OK	0	-4	0	0	4	0	
S07_PZ-2017	10	23.07	18	180	0	180	1.80	50	0.7676	1	1	1	38.38	43.9840	0.9070	0.0811	19.2862	27.5932	338.6505	OK	0	0	0	0	5	0	
S11_PZ-2017	3	-	18	54	0	54	0.54	32	1.3195	1	1	1	42.23	46.7983	0.9771	0.0721	46.6038	66.5902	681.3427	OK	0	14	0	0	8.5	0	
	5	-	18	90	0	90	0.90	30	1.0486	1	1	1	61.86	65.4377	0.9618	0.0710	6.1712E+10	8.8164E+10	1.1471E+12	OK	0	10	0	0	7.5	0	
	9	-	18	162	0	162	1.62	28	0.8049	1	1	1	19.32	22.8865	0.9312	0.0688	0.2475	0.3335	5.1418	OK	0	2	0	0	5.5	0	
S08_DH-2017	2.00	-	17	34	0	34	0.34	7	1.6249	1	1	1	11.37	16.9402	0.9847	0.0727	0.1733	0.2476	1.5165	OK	0	16	0	0	9	0	
	4.00	-	17	68	0	68	0.68	6	1.1895	1	1	1	7.14	12.7028	0.9694	0.0716	0.1378	0.1968	2.0587	OK	0	12	0	0	8	0	
	3.60	-	17	61	0	61	0.61	8	1.2473	1	1	1	9.86	15.5408	0.9725	0.0718	0.1607	0.2296	2.2127	OK	0	12.8	0	0	8.2	0	
SA_09-2018	10.20	-	17	173	0	173	1.73	35	0.7806	1	1	1	27.32	32.8836	0.9017	0.0696	0.7440	1.0629	15.9643	OK	0	-0.4	0	0	4.9	0	
	22.00	-	17	374	0	374	3.74	52	0.5523	1	1	1	28.72	34.2844	0.5886	0.0433	0.9596	1.3713	31.6597	OK	0	-24	0	0	-1	0	
	7.00	-	17	119	0	119	1.19	38	0.9247	1	1	1	35.14	38.7118	0.9465	0.0524	2.7784	3.9694	76.7313	OK	0	6	0	0	6.5	0	
S09_DH-2017	2.00	-	18	36	0	36	0.36	7	1.9371	1	1	1	11.09	16.6971	0.9847	0.0725	0.1711	0.2444	1.5448	OK	0	16	0	0	9	0	
	12.00	-	17	204	0	204	2.04	43	0.7255	1	1	1	31.20	34.7716	0.8536	0.0473	1.0574	1.5107	31.9576	OK	0	-4	0	0	4	0	
	20.00	-	17	340	0	340	3.40	73	0.5765	1	1	1	42.09	45.6609	0.6400	0.0354	43.3999	62.0030	1749.3612	OK	0	-20	0	0	0	0	
SA_02-2018	3.60	-	17	61	0	61	0.61	69	1.2473	1	1	1	86.06	91.6245	0.9725	0.0539	9.04										



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	433 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## 15 APPENDICE A. - MODELLI GEOTECNICI

I modelli 4, 6 e 8 non sono stati oggetto della presente revisione B, in quanto, sostanzialmente non interessati dalle indagini integrative: sono stati per essi mantenute le caratterizzazioni geotecniche del PD 2018 (rev.A relazione geotecnica).

Modello 4 – pk 31+700-32+950

Indagini considerate: S12-PZ-2017

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ picco (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico E (MPa)	K media (m/s)
U1a	Limo sabbioso debolmente argilloso	0	6	6	16	GF	50	26	10	35	20	-
U3a	Sabbia con limo debolmente argillosa	6	12	6	16	GG	40	26	0	-	15	-
U3b	PVI- Depositi di materiale derivante da attività vulcanica - Sabbia con limo / Limo con sabbia	12	22	10	18	GG	60	30	0	-	30	5,49*10 <sup>-3</sup>
U2b	Limo sabbioso	22	30	8	16	GG	55	26	0	-	20	-

Modello 6 – pk 34+600-36+050

Indagini considerate: S07-PZ-2017, S11-PZ-2017, SA01-2018

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	z media (m da b.f.)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio di picco $\phi'$ (°)	C' (kPa)	Modulo elastico E (MPa)	K rilevata (cm/s)	K media (cm/s)	RQD (%)	GSI	Resistenza a compressione (Mpa)
U2a	Sabbia limosa /limo sabbioso	0	10	10	5	16	GG	30	0	20	-	-	-	-	-
U3a	PVI-Depositi vulcanici - Sabbia limosa con ghiaia limosa	10	18	8	4	17	GG	32	0	55	6,68*10 <sup>-3</sup> /4,60*10 <sup>-3</sup> /8,13*10 <sup>-4</sup>	4,30*10 <sup>-4</sup>	-	-	-
U4a	Rocchia basaltica	18	30	12	6	26	R	40	0	5000 (*)	-	-	75	65	110(*)

(\*) Cautelativamente si abbassa il valore della roccia considerando i primi 2m circa (16-18m b.f. S07\_PZ e 23-25m b.f. S11\_PZ) di zona di cappellaccio alterato

Modello 8 – pk 37+270 – 38+100

Indagini considerate: SA02-2018, S09-DH-2017, prova geofisica Down Hole nel sondaggio S09

Unità geotecnica	Descrizione	z iniz (m)	z fin (m)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio di picco $\phi'$ (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	K rilevata (cm/s)
U1a	Limo argilloso mediamente addensato con sabbia (terreno eluviale)	0	9	9	18	GF	25	5	30	20	-
U3b	PVS-Depositi vulcanici - Sabbia limosa argillosa con ghiaia mediamente addensata	9	30	21	18	GG	34	0	-	50	3,17*10 <sup>-3</sup>



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	434 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## 16 APPENDICE B. ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO GEOSTUDIO 2018 (SLOPE/W).

### 16.1 Analisi Statica ANTE-OPERAM

#### ANALYSIS SETTINGS

##### Stability

Kind: **SLOPE/W**

Method: **Bishop**

Settings

PWP Conditions from: **(none)**

Limit State Design Approach: **valori caratteristici**

Unit Weight of Water: **9,807 kN/m<sup>3</sup>**

Slip Surface

Direction of movement: **Right to Left**

Use Passive Mode: **No**

Slip Surface Option: **Entry and Exit**

Critical slip surfaces saved: **1**

Optimize Critical Slip Surface Location: **No**

Tension Crack Option: **(none)**

Distribution

ODF Calculation Option: **Constant**

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: **0,03048 m**

Number of Slices: **30**

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: **100**

Tolerable difference in ODF: **0,001**

#### MATERIALS

##### Basalto

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **27 kN/m<sup>3</sup>**

Cohesion: **5 kPa**

Phi: **40 °**

Phi-B: **0 °**

##### Tufo



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	435 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion: 8 kPa

Phi: 30,5 °

Phi-B: 0 °

### SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (5,5890262; 14,699986) m

Left-Zone Right Coordinate: (28,900008; 24,099987) m

Left-Zone Increment: 10

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (35,660015; 27,98448) m

Right-Zone Right Coordinate: (49,000014; 29,607693) m

Right-Zone Increment: 10

Radius Increments: 10

### SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 14,699986) m

Right Coordinate: (53,900009; 30,200011) m

### SEISMIC COEFFICIENTS

Horz Seismic Coef.: 0

Vert Seismic Coef.: 0

### DESIGN FACTOR SET: VALORI CARATTERISTICI

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	436 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## POINTS

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	0 m	14,699986 m
Point 3	20,299985 m	14,699986 m
Point 4	28,900008 m	24,099987 m
Point 5	30,80001 m	26,099994 m
Point 6	35,700005 m	27,999995 m
Point 7	53,900009 m	30,200011 m
Point 8	53,900009 m	0 m
Point 9	53,900009 m	26,099994 m

## REGIONS

	Material	Points	Area
Region 1	Tufo	1;2;3;4;9;8	1.092,7 m <sup>2</sup>
Region 2	Basalto	4;5;6;7;9	82,355 m <sup>2</sup>

## CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 128

Overdesign Factor: 1,007

Degree of Utilization: 0,993

 Volume: 15,033584 m<sup>3</sup>

Weight: 290,3766 kN

Resisting Moment: 4.370,0696 kN·m

Activating Moment: 4.340,1358 kN·m

Slip Rank: 1 of 1.331 slip surfaces

Exit: (20,357498; 14,762849) m

Entry: (35,660012; 27,984487) m

Radius: 23,378686 m

Center: (14,227713; 37,323627) m

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	437 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	20,608748 m	14,834137 m	0 kPa	1,0328379 kPa	0,60838799 kPa	8 kPa
Slice 2	21,111249 m	14,98284 m	0 kPa	6,6263318 kPa	3,9032077 kPa	8 kPa
Slice 3	21,61375 m	15,143922 m	0 kPa	11,903727 kPa	7,0118314 kPa	8 kPa
Slice 4	22,11625 m	15,317657 m	0 kPa	16,86784 kPa	9,9359169 kPa	8 kPa
Slice 5	22,618751 m	15,504347 m	0 kPa	21,52078 kPa	12,676708 kPa	8 kPa
Slice 6	23,121251 m	15,704327 m	0 kPa	25,863964 kPa	15,235039 kPa	8 kPa
Slice 7	23,623752 m	15,91797 m	0 kPa	29,898109 kPa	17,611332 kPa	8 kPa
Slice 8	24,126253 m	16,145691 m	0 kPa	33,623226 kPa	19,805594 kPa	8 kPa
Slice 9	24,628753 m	16,387949 m	0 kPa	37,038605 kPa	21,817406 kPa	8 kPa
Slice 10	25,131254 m	16,645254 m	0 kPa	40,142787 kPa	23,645909 kPa	8 kPa
Slice 11	25,633754 m	16,918178 m	0 kPa	42,933534 kPa	25,289784 kPa	8 kPa
Slice 12	26,136255 m	17,207356 m	0 kPa	45,407782 kPa	26,747228 kPa	8 kPa
Slice 13	26,638756 m	17,513501 m	0 kPa	47,561585 kPa	28,015914 kPa	8 kPa
Slice 14	27,141256 m	17,837413 m	0 kPa	49,39004 kPa	29,092957 kPa	8 kPa
Slice 15	27,643757 m	18,179996 m	0 kPa	50,887206 kPa	29,974855 kPa	8 kPa
Slice 16	28,146257 m	18,542272 m	0 kPa	52,045987 kPa	30,657429 kPa	8 kPa
Slice 17	28,648758 m	18,925406 m	0 kPa	52,857998 kPa	31,13574 kPa	8 kPa
Slice 18	29,137508 m	19,31902 m	0 kPa	54,756433 kPa	32,254004 kPa	8 kPa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	438 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Slice 19	29,612509 m	19,723299 m	0 kP	57,674676 kPa	33,97298 kPa	8 kPa
Slice 20	30,087509 m	20,150237 m	0 kP	60,145657 kPa	35,4285 kPa	8 kPa
Slice 21	30,562509 m	20,60157 m	0 kP	62,150078 kPa	36,609194 kPa	8 kPa
Slice 22	31,047395 m	21,089885 m	0 kP	60,92174 kPa	35,885647 kPa	8 kPa
Slice 23	31,542166 m	21,618943 m	0 kP	56,603031 kPa	33,341733 kPa	8 kPa
Slice 24	32,036937 m	22,182667 m	0 kP	51,966837 kPa	30,610806 kPa	8 kPa
Slice 25	32,531707 m	22,785107 m	0 kP	46,99616 kPa	27,682854 kPa	8 kPa
Slice 26	33,026478 m	23,431322 m	0 kP	41,671521 kPa	24,546401 kPa	8 kPa
Slice 27	33,521249 m	24,127779 m	0 kP	35,970591 kPa	21,188297 kPa	8 kPa
Slice 28	34,005057 m	24,864778 m	0 kP	25,423723 kPa	21,333036 kPa	5 kPa
Slice 29	34,477901 m	25,650206 m	0 kP	17,198806 kPa	14,431512 kPa	5 kPa
Slice 30	34,950746 m	26,513558 m	0 kP	8,7732172 kPa	7,3616033 kPa	5 kPa
Slice 31	35,42359 m	27,475635 m	0 kP	0,20934178 kPa	0,17565861 kPa	5 kPa



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	439 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## 16.2 Analisi Sismica ANTE-OPERAM

### ANALYSIS SETTINGS

#### Stability

Kind: **SLOPE/W**

Method: **Bishop**

##### Settings

PWP Conditions from: **(none)**

Staged Pseudo Static Analysis Option: **Effective Stress Strengths**

Limit State Design Approach: **valori caratteristici**

Unit Weight of Water: **9,807 kN/m<sup>3</sup>**

##### Slip Surface

Direction of movement: **Right to Left**

Use Passive Mode: **No**

Slip Surface Option: **Entry and Exit**

Critical slip surfaces saved: **1**

Optimize Critical Slip Surface Location: **No**

Tension Crack Option: **(none)**

##### Distribution

ODF Calculation Option: **Constant**

##### Advanced

##### Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: **0,03048 m**

Number of Slices: **30**

##### Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: **100**

Tolerable difference in ODF: **0,001**

### MATERIALS

#### Basalto

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **27 kN/m<sup>3</sup>**

Cohesion': **5 kPa**

Phi': **40 °**

Phi-B: **0 °**

Cohesion R: **0 kPa**

Phi R: **0 °**

#### Tufo

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **17 kN/m<sup>3</sup>**

Cohesion': **8 kPa**



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	440 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Phi': 30,5 °

Phi-B: 0 °

Cohesion R: 0 kPa

Phi R: 0 °

### SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (5,5890262; 14,699986) m

Left-Zone Right Coordinate: (28,900008; 24,099987) m

Left-Zone Increment: 10

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (35,660015; 27,98448) m

Right-Zone Right Coordinate: (49,000014; 29,607693) m

Right-Zone Increment: 10

Radius Increments: 10

### SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 14,699986) m

Right Coordinate: (53,900009; 30,200011) m

### SEISMIC COEFFICIENTS

Horz Seismic Coef.: 0,027

Vert Seismic Coef.: 0,014

### DESIGN FACTOR SET: VALORI CARATTERISTICI

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	441 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## POINTS

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	0 m	14,699986 m
Point 3	20,299985 m	14,699986 m
Point 4	28,900008 m	24,099987 m
Point 5	30,80001 m	26,099994 m
Point 6	35,700005 m	27,999995 m
Point 7	53,900009 m	30,200011 m
Point 8	53,900009 m	0 m
Point 9	53,900009 m	26,099994 m

## REGIONS

	Material	Points	Area
Region 1	Tufo	1;2;3;4;9;8	1.092,7 m <sup>2</sup>
Region 2	Basalto	4;5;6;7;9	82,355 m <sup>2</sup>

## CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 128  
 Overdesign Factor: 0,966  
 Degree of Utilization: 1,035  
 Volume: 15,033584 m<sup>3</sup>  
 Weight: 290,3766 kN  
 Resisting Moment: 4.370,0696 kN·m  
 Activating Moment: 4.521,8195 kN·m  
 Slip Rank: 1 of 1.331 slip surfaces  
 Exit: (20,357498; 14,762849) m  
 Entry: (35,660012; 27,984487) m  
 Radius: 23,378686 m  
 Center: (14,227713; 37,323627) m

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	442 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

### Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	20,608748 m	14,834137 m	0 kPa	0,97775359 kPa	0 kPa	8,608388 kPa
Slice 2	21,111249 m	14,98284 m	0 kPa	6,6146757 kPa	0 kPa	11,903208 kPa
Slice 3	21,61375 m	15,143922 m	0 kPa	11,928043 kPa	0 kPa	15,011831 kPa
Slice 4	22,11625 m	15,317657 m	0 kPa	16,920924 kPa	0 kPa	17,935917 kPa
Slice 5	22,618751 m	15,504347 m	0 kPa	21,595668 kPa	0 kPa	20,676708 kPa
Slice 6	23,121251 m	15,704327 m	0 kPa	25,953913 kPa	0 kPa	23,235039 kPa
Slice 7	23,623752 m	15,91797 m	0 kPa	29,996591 kPa	0 kPa	25,611332 kPa
Slice 8	24,126253 m	16,145691 m	0 kPa	33,723914 kPa	0 kPa	27,805594 kPa
Slice 9	24,628753 m	16,387949 m	0 kPa	37,135365 kPa	0 kPa	29,817406 kPa
Slice 10	25,131254 m	16,645254 m	0 kPa	40,229675 kPa	0 kPa	31,645909 kPa
Slice 11	25,633754 m	16,918178 m	0 kPa	43,004787 kPa	0 kPa	33,289784 kPa
Slice 12	26,136255 m	17,207356 m	0 kPa	45,457815 kPa	0 kPa	34,747228 kPa
Slice 13	26,638756 m	17,513501 m	0 kPa	47,584993 kPa	0 kPa	36,015914 kPa
Slice 14	27,141256 m	17,837413 m	0 kPa	49,381601 kPa	0 kPa	37,092957 kPa
Slice 15	27,643757 m	18,179996 m	0 kPa	50,841883 kPa	0 kPa	37,974855 kPa
Slice 16	28,146257 m	18,542272 m	0 kPa	51,958939 kPa	0 kPa	38,657429 kPa
Slice 17	28,648758 m	18,925406 m	0 kPa	52,724595 kPa	0 kPa	39,13574 kPa
Slice 18	29,137508 m	19,31902 m	0 kPa	54,573898 kPa	0 kPa	40,254004 kPa
Slice 19	29,612509 m	19,723299 m	0 kPa	57,43748 kPa	0 kPa	41,97298 kPa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	443 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Slice 20	30,087509 m	20,150237 m	0 kPa	59,845758 kPa	0 kPa	43,4285 kPa
Slice 21	30,562509 m	20,60157 m	0 kPa	61,779456 kPa	0 kPa	44,609194 kPa
Slice 22	31,047395 m	21,089885 m	0 kPa	60,480008 kPa	0 kPa	43,885647 kPa
Slice 23	31,542166 m	21,618943 m	0 kPa	56,097713 kPa	0 kPa	41,341733 kPa
Slice 24	32,036937 m	22,182667 m	0 kPa	51,401288 kPa	0 kPa	38,610806 kPa
Slice 25	32,531707 m	22,785107 m	0 kPa	46,374985 kPa	0 kPa	35,682854 kPa
Slice 26	33,026478 m	23,431322 m	0 kPa	41,00096 kPa	0 kPa	32,546401 kPa
Slice 27	33,521249 m	24,127779 m	0 kPa	35,259086 kPa	0 kPa	29,188297 kPa
Slice 28	34,005057 m	24,864778 m	0 kPa	24,589462 kPa	0 kPa	26,333036 kPa
Slice 29	34,477901 m	25,650206 m	0 kPa	16,479827 kPa	0 kPa	19,431512 kPa
Slice 30	34,950746 m	26,513558 m	0 kPa	8,2213185 kPa	0 kPa	12,361603 kPa
Slice 31	35,42359 m	27,475635 m	0 kPa	-0,10490002 kPa	0 kPa	5,1756586 kPa



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	444 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## 16.3 Analisi Sismica POST-OPERAM

### ANALYSIS SETTINGS

#### Stability

Kind: **SLOPE/W**

Method: **Bishop**

Settings

PWP Conditions from: **(none)**

Staged Pseudo Static Analysis Option: **Effective Stress Strengths**

Limit State Design Approach: **valori caratteristici**

Unit Weight of Water: **9,807 kN/m<sup>3</sup>**

Slip Surface

Direction of movement: **Right to Left**

Use Passive Mode: **No**

Slip Surface Option: **Entry and Exit**

Critical slip surfaces saved: **1**

Optimize Critical Slip Surface Location: **No**

Tension Crack Option: **(none)**

Distribution

ODF Calculation Option: **Constant**

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: **0,03048 m**

Number of Slices: **30**

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: **100**

Tolerable difference in ODF: **0,001**

### MATERIALS

#### Basalto

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **27 kN/m<sup>3</sup>**

Cohesion': **5 kPa**

Phi': **40 °**

Phi-B: **0 °**

Cohesion R: **0 kPa**

Phi R: **0 °**



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	445 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## Tufo

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [17 kN/m<sup>3</sup>](#)

Cohesion': [8 kPa](#)

Phi': [30,5 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

Cohesion R: [0 kPa](#)

Phi R: [0 °](#)

## SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: [\(5,5890262; 14,699986\) m](#)

Left-Zone Right Coordinate: [\(28,900008; 24,099987\) m](#)

Left-Zone Increment: [10](#)

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: [\(35,660015; 27,98448\) m](#)

Right-Zone Right Coordinate: [\(49,000014; 29,607693\) m](#)

Right-Zone Increment: [10](#)

Radius Increments: [10](#)

## SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: [\(0; 14,699986\) m](#)

Right Coordinate: [\(53,900009; 30,200011\) m](#)

## SEISMIC COEFFICIENTS

Horz Seismic Coef.: [0,027](#)

Vert Seismic Coef.: [0,014](#)

## REINFORCEMENTS

### Reinforcement 1

Type: [Nail](#)

Outside Point: [\(30,80001; 26,099994\) m](#)

Inside Point: [\(33,094331; 22,823394\) m](#)

Slip Surface Intersection: [\(32,842743; 23,182695\) m](#)

Length: [4,0000021 m](#)



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	446 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Direction: 125 °  
ODF Dependent: Yes  
Force Distribution: Concentrated  
Anchorage: Yes  
Pullout Resistance: 200 kPa  
Resistance Reduction Factor: 1  
Bond Diameter: 0,024 m  
Nail Spacing: 3 m  
Tensile Capacity: 172 kN  
Reduction Factor: 1  
Shear Force: 100 kN  
Shear Reduction Factor: 1  
Apply Shear: Parallel to Slip  
Factored Pullout Resistance: 1,5320919 kN/m  
Max. Pullout Force: 6,1283708 kN  
Factored Tensile Capacity: 17,4752 kN  
Pullout Force: 0,51666877 kN  
Pullout Force per Length: 1,177922 kN/m  
Available Length: 0,43862732 m  
Required Length: 0,43862732 m  
Governing Component: Pullout Resistance

## Reinforcement 2

Type: Nail  
Outside Point: (33,499989; 27,100012) m  
Inside Point: (35,190471; 23,474782) m  
Slip Surface Intersection: (34,311032; 25,360734) m  
Length: 4,0000029 m  
Direction: 115 °  
ODF Dependent: Yes  
Force Distribution: Concentrated  
Anchorage: Yes  
Pullout Resistance: 200 kPa  
Resistance Reduction Factor: 1  
Bond Diameter: 0,024 m  
Nail Spacing: 3 m  
Tensile Capacity: 172 kN  
Reduction Factor: 1  
Shear Force: 100 kN  
Shear Reduction Factor: 1  
Apply Shear: Parallel to Slip  
Factored Pullout Resistance: 1,5320919 kN/m  
Max. Pullout Force: 6,128372 kN  
Factored Tensile Capacity: 17,4752 kN  
Pullout Force: 2,4511613 kN  
Pullout Force per Length: 1,177922 kN/m  
Available Length: 2,0809199 m



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	447 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Required Length: 2,0809199 m

Governing Component: Pullout Resistance

### Reinforcement 3

Type: Nail

Outside Point: (28,699998; 23,800003) m

Inside Point: (31,577341; 21,021355) m

Slip Surface Intersection: (31,268816; 21,319298) m

Length: 3,9999982 m

Direction: 136 °

ODF Dependent: Yes

Force Distribution: Concentrated

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 200 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,024 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 172 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 100 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 1,5320919 kN/m

Max. Pullout Force: 6,1283649 kN

Factored Tensile Capacity: 17,4752 kN

Pullout Force: 0,50521415 kN

Pullout Force per Length: 1,177922 kN/m

Available Length: 0,42890289 m

Required Length: 0,42890289 m

Governing Component: Pullout Resistance

### Reinforcement 4

Type: Nail

Outside Point: (26,699992; 21,599987) m

Inside Point: (29,577335; 18,821339) m

Slip Surface Intersection: (29,096846; 19,285347) m

Length: 3,9999982 m

Direction: 136 °

ODF Dependent: Yes

Force Distribution: Concentrated

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 200 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,024 m

Nail Spacing: 3 m



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	448 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Tensile Capacity: 172 kN  
Reduction Factor: 1  
Shear Force: 100 kN  
Shear Reduction Factor: 1  
Apply Shear: Parallel to Slip  
Factored Pullout Resistance: 1,5320919 kN/m  
Max. Pullout Force: 6,1283649 kN  
Factored Tensile Capacity: 17,4752 kN  
Pullout Force: 0,78680646 kN  
Pullout Force per Length: 1,177922 kN/m  
Available Length: 0,66796143 m  
Required Length: 0,66796143 m  
Governing Component: Pullout Resistance

## Reinforcement 5

Type: Nail  
Outside Point: (24,600012; 19,400002) m  
Inside Point: (27,477354; 16,621354) m  
Slip Surface Intersection: (26,587058; 17,481112) m  
Length: 3,9999982 m  
Direction: 136 °  
ODF Dependent: Yes  
Force Distribution: Concentrated  
Anchorage: Yes  
Pullout Resistance: 200 kPa  
Resistance Reduction Factor: 1  
Bond Diameter: 0,024 m  
Nail Spacing: 3 m  
Tensile Capacity: 172 kN  
Reduction Factor: 1  
Shear Force: 100 kN  
Shear Reduction Factor: 1  
Apply Shear: Parallel to Slip  
Factored Pullout Resistance: 1,5320919 kN/m  
Max. Pullout Force: 6,1283649 kN  
Factored Tensile Capacity: 17,4752 kN  
Pullout Force: 1,4578719 kN  
Pullout Force per Length: 1,177922 kN/m  
Available Length: 1,2376642 m  
Required Length: 1,2376642 m  
Governing Component: Pullout Resistance

## Reinforcement 6

Type: Nail  
Outside Point: (22,600006; 17,100012) m



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	449 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Inside Point: (25,477348; 14,321363) m  
Slip Surface Intersection: (23,761444; 15,978411) m  
Length: 3,9999982 m  
Direction: 136 °  
ODF Dependent: Yes  
Force Distribution: Concentrated  
Anchorage: Yes  
Pullout Resistance: 200 kPa  
Resistance Reduction Factor: 1  
Bond Diameter: 0,024 m  
Nail Spacing: 3 m  
Tensile Capacity: 172 kN  
Reduction Factor: 1  
Shear Force: 100 kN  
Shear Reduction Factor: 1  
Apply Shear: Parallel to Slip  
Factored Pullout Resistance: 1,5320919 kN/m  
Max. Pullout Force: 6,1283649 kN  
Factored Tensile Capacity: 17,4752 kN  
Pullout Force: 2,8098147 kN  
Pullout Force per Length: 1,177922 kN/m  
Available Length: 2,3853996 m  
Required Length: 2,3853996 m  
Governing Component: Pullout Resistance

## DESIGN FACTOR SET: VALORI CARATTERISTICI

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
Effective Cohesion: 1  
Effective Coefficient of Friction: 1  
Undrained Strength: 1  
Shear Strength (Other Models): 1  
Pullout Resistance: 1  
Shear Force: 1  
Tensile Strength: 1  
Compressive Strength: 1  
Seismic Coefficients: 1  
Earth Resistance: 1



INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA RETE FERROVIARIA REGIONALE – AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DELLA LINEA CESANO-VIGNA DI VALLE

RADDOPPIO DELLA TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	450 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

## POINTS

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	0 m	14,699986 m
Point 3	20,299985 m	14,699986 m
Point 4	28,900008 m	24,099987 m
Point 5	30,80001 m	26,099994 m
Point 6	35,700005 m	27,999995 m
Point 7	53,900009 m	30,200011 m
Point 8	53,900009 m	0 m
Point 9	53,900009 m	26,099994 m

## REGIONS

	Material	Points	Area
Region 1	Tufo	1;2;3;4;9;8	1.092,7 m <sup>2</sup>
Region 2	Basalto	4;5;6;7;9	82,355 m <sup>2</sup>

## CURRENT SLIP SURFACE

Slip Surface: 128  
 Overdesign Factor: 1,301  
 Degree of Utilization: 0,769  
 Volume: 15,033584 m<sup>3</sup>  
 Weight: 290,3766 kN  
 Resisting Moment: 5.881,4108 kN·m  
 Activating Moment: 4.521,8195 kN·m  
 Slip Rank: 166 of 1.331 slip surfaces  
 Exit: (20,357498; 14,762849) m  
 Entry: (35,660012; 27,984487) m  
 Radius: 23,378686 m  
 Center: (14,227713; 37,323627) m

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	451 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

**Slip Slices**

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	20,608748 m	14,834137 m	0 kPa	1,5560221 kPa	0 kPa	8,9346486 kPa
Slice 2	21,111249 m	14,98284 m	0 kPa	7,4748837 kPa	0 kPa	12,388532 kPa
Slice 3	21,61375 m	15,143922 m	0 kPa	13,089491 kPa	0 kPa	15,667102 kPa
Slice 4	22,11625 m	15,317657 m	0 kPa	18,400439 kPa	0 kPa	18,770623 kPa
Slice 5	22,618751 m	15,504347 m	0 kPa	23,40769 kPa	0 kPa	21,69899 kPa
Slice 6	23,121251 m	15,704327 m	0 kPa	28,11056 kPa	0 kPa	24,451725 kPa
Slice 7	23,623752 m	15,91797 m	0 kPa	25,994879 kPa	0 kPa	23,347295 kPa
Slice 8	24,126253 m	16,145691 m	0 kPa	36,597074 kPa	0 kPa	29,426447 kPa
Slice 9	24,628753 m	16,387949 m	0 kPa	40,37592 kPa	0 kPa	31,645485 kPa
Slice 10	25,131254 m	16,645254 m	0 kPa	43,840711 kPa	0 kPa	33,682946 kPa
Slice 11	25,633754 m	16,918178 m	0 kPa	46,987098 kPa	0 kPa	35,536217 kPa
Slice 12	26,136255 m	17,207356 m	0 kPa	49,809847 kPa	0 kPa	37,202169 kPa
Slice 13	26,638756 m	17,513501 m	0 kPa	36,216907 kPa	0 kPa	29,58631 kPa
Slice 14	27,141256 m	17,837413 m	0 kPa	54,458558 kPa	0 kPa	39,956692 kPa
Slice 15	27,643757 m	18,179996 m	0 kPa	56,2688 kPa	0 kPa	41,035916 kPa
Slice 16	28,146257 m	18,542272 m	0 kPa	57,723697 kPa	0 kPa	41,908965 kPa
Slice 17	28,648758 m	18,925406 m	0 kPa	58,811951 kPa	0 kPa	42,569139 kPa
Slice 18	29,137508 m	19,31902 m	0 kPa	38,565549 kPa	0 kPa	31,199595 kPa
Slice 19	29,612509 m	19,723299 m	0 kPa	64,511611 kPa	0 kPa	45,962709 kPa

LINEA ROMA – VITERBO. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 GE	GE 00 05 001	A	452 di 452

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Slice 20	30,087509 m	20,150237 m	0 kPa	67,460583 kPa	0 kPa	47,723038 kPa
Slice 21	30,562509 m	20,60157 m	0 kPa	69,918694 kPa	0 kPa	49,199327 kPa
Slice 22	31,047395 m	21,089885 m	0 kPa	44,727298 kPa	0 kPa	34,973011 kPa
Slice 23	31,542166 m	21,618943 m	0 kPa	64,297506 kPa	0 kPa	45,965644 kPa
Slice 24	32,036937 m	22,182667 m	0 kPa	59,398709 kPa	0 kPa	43,120384 kPa
Slice 25	32,531707 m	22,785107 m	0 kPa	54,102547 kPa	0 kPa	40,040033 kPa
Slice 26	33,026478 m	23,431322 m	0 kPa	23,916203 kPa	0 kPa	22,881287 kPa
Slice 27	33,521249 m	24,127779 m	0 kPa	42,20462 kPa	0 kPa	33,104019 kPa
Slice 28	34,005057 m	24,864778 m	0 kPa	30,203934 kPa	0 kPa	30,839721 kPa
Slice 29	34,477901 m	25,650206 m	0 kPa	5,5983842 kPa	0 kPa	10,660726 kPa
Slice 30	34,950746 m	26,513558 m	0 kPa	11,108086 kPa	0 kPa	14,678087 kPa
Slice 31	35,42359 m	27,475635 m	0 kPa	1,1676398 kPa	0 kPa	6,1965869 kPa