

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE DELLE OPERE ALL'APERTO – Lotto 4a

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 GE GE0000 001 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma ROCKSOIL- Edin	Dicembre 2019	M. Arcangeli	Dicembre 2019	A. Barreca	Dicembre 2019	F. Arduini Aprile 2020 ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Fabrizio Arduini Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 16392 del 4/4
B	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma ROCKSOIL- Edin	Gennaio 2020	M. Arcangeli	Gennaio 2020	A. Barreca	Gennaio 2020	
C	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma ROCKSOIL- Edin	Febbraio 2020	M. Arcangeli	Febbraio 2020	A. Barreca	Febbraio 2020	
D	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma ROCKSOIL- Edin	Aprile 2020	M. Arcangeli	Aprile 2020	A. Barreca	Aprile 2020	

INDICE

1.	PREMESSA	17
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	18
2.1	DOCUMENTI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO	18
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	20
3.	INDAGINI ESEGUITE.....	21
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	26
4.1	LE UNITÀ SICILIDI	27
4.2	CARATTERI STRUTTURALI.....	30
4.3	STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO DEFORMATO	33
4.3.1	<i>Unità di Nicosia</i>	33
4.3.1.1	<i>Argille Variegate (AV)</i>	33
4.3.1.2	<i>Flysch Numidico - Membro di Nicosia (FYN4)</i>	33
4.4	STRATIGRAFIA DEL BACINO DI THRUST-TOP	34
4.4.1	<i>Formazione Terravecchia (TRV)</i>	34
4.4.2	<i>Tripoli (TPL)</i>	35
4.4.3	<i>Gruppo della Gessoso-Solfifera</i>	35
4.4.3.1	<i>Formazione di Cattolica (GTL)</i>	36
4.4.3.1.1	<i>Membro Selenitico (GTL2)</i>	36
4.4.4	<i>Trubi (TRB)</i>	36
4.4.5	<i>Gruppo di Enna</i>	36
4.4.5.1	<i>Marne di Enna (ENNa)</i>	36
4.4.5.2	<i>Calcareni di Capodarso (ENNb)</i>	36
4.5	DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI	37
4.5.1	<i>Depositi alluvionali antichi</i>	37
4.5.2	<i>Depositi alluvionali recenti</i>	37
4.5.3	<i>Depositi alluvionali attuali</i>	38
4.5.4	<i>Depositi di versante</i>	38
4.5.5	<i>Coltre eluvio-colluviale</i>	38

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

5. UNITÀ GEOTECNICHE	39
6. CRITICITÀ GEOTECNICHE LUNGO IL TRACCIATO	40
6.1 QUADRO SINTESI DELLE CRITICITÀ	43
7. CRITERI DI SCELTA DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	44
8. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE PER I TERRENI INCOERENTI	45
8.1 PARAMETRI FISICI E STATO INIZIALE DEL DEPOSITO	45
8.2 DENSITÀ RELATIVA	47
8.3 INDICE DEI VUOTI INIZIALE E PESI DI VOLUME	50
8.4 RESISTENZA IN CONDIZIONI DRENATE	52
8.5 DEFORMABILITÀ	54
8.5.1 Moduli elastici a piccole deformazioni	54
8.5.2 Moduli elastici a medie e grandi deformazioni	57
8.5.3 Modelli di calcolo convenzionali elastico lineari	60
8.6 COEFFICIENTI DI SMORZAMENTO INTRINSECO	63
8.7 PERMEABILITÀ	66
9. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE PER I TERRENI COESIVI	67
9.1 CARATTERISTICHE FISICHE	67
9.2 STATO INIZIALE	68
9.3 RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA	68
9.4 PROVE DI LABORATORIO	69
9.5 VALUTAZIONE DI C_u DA PROVE SPT	69
9.6 VALUTAZIONE DI C_u DA PROVE PRESSIOMETRICHE E DILATOMETRICHE	69
9.7 PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO IN TERMINI DI SFORZI EFFICACI	70
9.8 CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITÀ	71
9.8.1 Moduli elastici a piccole deformazioni	71
9.8.2 Moduli elastici a medie e grandi deformazioni	74
9.8.3 Modelli di calcolo convenzionali elastico lineari	76

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

9.9	COEFFICIENTI DI SMORZAMENTO INTRINSECO.....	77
9.10	COEFFICIENTI DI PERMEABILITÀ E DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA	80
9.11	COEFFICIENTI DI CONSOLIDAZIONE PRIMARIA E SECONDARIA.....	81
10.	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE PER AMMASSI ROCCIOSI	82
10.1	DESCRIZIONE MINERALOGICA E CARATTERISTICHE FISICHE	82
10.2	RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DELLE ROCCE COSTITUENTI L'AMMASSO	82
10.3	RESISTENZA AL TAGLIO LUNGO LE DISCONTINUITÀ NATURALI.....	82
10.4	CLASSIFICAZIONI DELL'AMMASSO	85
10.5	MODELLAZIONE DELL'AMMASSO	88
10.6	PARAMETRI DELL'AMMASSO	88
10.7	DEFORMABILITÀ	90
	10.7.1 Moduli elastici a piccole deformazioni	90
	10.7.2 Moduli elastici a medie deformazioni.....	91
10.8	PERMEABILITÀ.....	92
10.9	STATO INIZIALE.....	92
11.	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA GENERALE	94
11.1	UNITÀ TRV – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA.....	94
	11.1.1 Granulometrie	94
	11.1.2 Caratteristiche fisiche.....	95
	11.1.3 Carta di Casagrande.....	98
	11.1.4 Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR	98
	11.1.5 Caratteristiche di resistenza drenate	104
	11.1.6 Caratteristiche meccaniche di deformabilità	107
	11.1.7 Caratteristiche di permeabilità	114
11.2	UNITÀ TRVA – FORMAZIONE DI TERRAVECCHIA.....	117
	11.2.1 Caratteristiche fisiche.....	117
	11.2.2 Facies granulare poco cementata	118

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 5 di 379

11.2.3	Caratteristiche di resistenza drenate	122
11.2.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	123
11.3	UNITÀ FYN4 – FLYSCH NUMIDICO	124
11.3.1	Granulometrie	124
11.3.2	Caratteristiche fisiche.....	125
11.3.3	Carta di Casagrande.....	127
11.3.4	Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR	128
11.3.5	Caratteristiche di resistenza drenate	130
11.3.6	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	132
11.3.7	Caratteristiche di permeabilità	135
11.4	UNITÀ AV – GRUPPO DELLE ARGILLE VARIEGATE	136
11.4.1	Caratteristiche fisiche.....	137
11.4.2	Carta di Casagrande.....	140
11.4.3	Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR	140
11.4.4	Caratteristiche di resistenza drenate	141
11.4.5	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	143
11.4.6	Caratteristiche di permeabilità	143
11.5	UNITÀ A2 – DEPOSITI ALLUVIONALI	144
11.5.1	Granulometrie	144
11.5.2	Caratteristiche fisiche.....	145
11.5.3	Carta di Casagrande.....	147
11.5.4	Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR	148
11.5.5	Caratteristiche di resistenza drenate	152
11.5.6	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	153
11.5.7	Caratteristiche di permeabilità	158
11.6	UNITÀ A – DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI.....	160
11.6.1	Caratteristiche fisiche.....	161

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

11.6.2	<i>Caratteristiche di resistenza drenate</i>	165
11.6.3	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i>	167
11.6.4	<i>Caratteristiche di permeabilità</i>	172
12.	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI – CARATTERIZZAZIONE GENERALE	173
13.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTE OMOGENEE	175
13.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 1 (DA PK 0+000 A PK 1+000)	175
13.1.1	TRV	175
13.1.1.1	<i>Caratteristiche fisiche</i>	175
13.1.1.2	<i>Caratteristiche di resistenza drenata</i>	175
13.1.1.3	<i>Caratteristiche di resistenza non drenata</i>	176
13.1.1.4	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i>	176
13.1.1.5	<i>Caratteristiche di permeabilità</i>	176
13.1.2	FYN4	177
13.1.2.1	<i>Caratteristiche fisiche</i>	177
13.1.2.2	<i>Caratteristiche di resistenza drenata</i>	182
13.1.2.3	<i>Caratteristiche di resistenza non drenata</i>	183
13.1.2.4	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i>	184
13.1.2.5	<i>Caratteristiche di permeabilità</i>	186
13.1.3	Parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1	187
13.1.3.1	STAZIONE CALTANISSETTA-XIRBI	188
13.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 2 (DA PK 1+000 A PK 4+108)	189
13.2.1	a2	190
13.2.1.1	<i>Caratteristiche fisiche</i>	190
13.2.1.2	<i>Caratteristiche di resistenza drenate</i>	193
13.2.1.3	<i>Caratteristiche di resistenza non drenate</i>	194
13.2.1.4	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i>	197
13.2.1.5	<i>Caratteristiche di permeabilità</i>	198
13.2.2	TRV	199
13.2.2.1	<i>Caratteristiche fisiche</i>	199
13.2.2.2	<i>Caratteristiche di resistenza drenate</i>	203
13.2.2.3	<i>Caratteristiche di resistenza non drenate</i>	206
13.2.2.4	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i>	209
13.2.2.5	<i>Caratteristiche di permeabilità</i>	214
13.2.3	Parametri geotecnici caratteristici – tratta 2	215
13.2.3.1	VIADOTTO VI02	216
13.2.3.2	VIADOTTO VI03	216
13.2.3.3	VIADOTTO VI04	217
13.2.3.4	VIADOTTO VI05	218
13.2.3.5	GA01	218

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 3 (DA PK 4+108 A PK 6+468)	219
13.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 4 (DA PK 6+468 A PK 7+702)	220
13.4.1	a	221
13.4.1.1	Caratteristiche fisiche	221
13.4.1.2	Caratteristiche di resistenza drenate	223
13.4.1.3	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	224
13.4.1.4	Caratteristiche di permeabilità	224
13.4.2	a2	225
13.4.2.1	Caratteristiche fisiche	225
13.4.2.2	Caratteristiche di resistenza drenate	225
13.4.2.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	226
13.4.2.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	228
13.4.2.5	Caratteristiche di permeabilità	229
13.4.3	TRV	230
13.4.3.1	Caratteristiche fisiche	230
13.4.3.2	Caratteristiche di resistenza drenate	234
13.4.3.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	237
13.4.3.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	238
13.4.3.5	Caratteristiche di permeabilità	241
13.4.4	Parametri geotecnici caratteristici – tratta 4	242
13.4.4.1	VIADOTTO VI06	243
13.5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 5 (DA PK 7+702 A PK 11+549)	245
13.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 6 (DA PK 11+549 A PK 13+427)	246
13.6.1	a2	247
13.6.1.1	Caratteristiche fisiche	247
13.6.1.2	Caratteristiche di resistenza drenate	251
13.6.1.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	252
13.6.1.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	253
13.6.2	TRV	255
13.6.2.1	Caratteristiche fisiche	255
13.6.2.2	Caratteristiche di resistenza drenate	259
13.6.2.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	262
13.6.2.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	264
13.6.2.5	Caratteristiche di permeabilità	269
13.6.3	Parametri geotecnici caratteristici – tratta 6	270
13.7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 7 (DA PK 13+427 A PK 26+928)	272
13.8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTA 8 (DA PK 26+928 A PK 27+523)	273
13.8.1	TRV	274

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13.8.1.1	Caratteristiche fisiche.....	274
13.8.1.2	Caratteristiche di resistenza drenate.....	278
13.8.1.3	Caratteristiche di resistenza non drenate.....	280
13.8.1.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità.....	282
13.8.1.5	Caratteristiche di permeabilità.....	283
13.8.2	Parametri geotecnici caratteristici – tratta 8.....	284
13.9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VARIANTE LINEA STORICA TRATTA 1 (DA PK 0+000 A PK 0+900)	285
13.9.1	TRV.....	286
13.9.2	FYN4.....	287
13.9.3	Parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1 Linea Storica	290
13.10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VARIANTE LINEA STORICA TRATTA 2 (DA PK 0+900 A PK 2+536)	291
13.10.1	TRV	292
13.10.2	a2.....	296
13.10.3	Parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1 Linea Storica.....	298
13.10.3.1	GA51.....	299
14.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ – SINTESI GRAFICA.....	300
14.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV04A.....	300
14.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV04B.....	301
14.2.1	a2	301
14.2.1.1	Caratteristiche fisiche.....	301
14.2.1.2	Caratteristiche di resistenza drenate.....	303
14.2.1.3	Caratteristiche di resistenza non drenate.....	304
14.2.1.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità.....	306
14.2.1.5	Caratteristiche di permeabilità.....	307
14.2.2	TRV.....	308
14.2.2.1	Caratteristiche fisiche.....	308
14.2.2.2	Caratteristiche di resistenza drenata.....	312
14.2.2.3	Caratteristiche di resistenza non drenate.....	313
14.2.2.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità.....	316
14.2.2.5	Caratteristiche di permeabilità.....	319
14.2.3	Parametri geotecnici caratteristici – Viabilità NV04b.....	320
14.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV04E.....	321
14.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV05A.....	322
14.5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV05D.....	323

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

14.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV05E	324
14.7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV93	325
14.8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV94	326
14.8.1	TRV	326
14.8.1.1	Caratteristiche fisiche	326
14.8.1.2	Caratteristiche di resistenza drenate	330
14.8.1.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	332
14.8.1.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	333
14.8.1.5	Caratteristiche di permeabilità	336
14.8.2	Parametri geotecnici caratteristici – Viabilità NV94	337
14.8.2.1	VIADOTTO NV94	338
14.9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ NV97	339
14.9.1	a2	339
14.9.1.1	Caratteristiche fisiche	339
14.9.1.2	Caratteristiche di resistenza drenate	342
14.9.1.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	342
14.9.1.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	342
14.9.1.5	Caratteristiche di permeabilità	342
14.9.2	TRV	343
14.9.2.1	Caratteristiche fisiche	343
14.9.2.2	Caratteristiche di resistenza drenate	346
14.9.2.3	Caratteristiche di resistenza non drenate	348
14.9.2.4	Caratteristiche meccaniche di deformabilità	349
14.9.2.5	Caratteristiche di permeabilità	349
14.9.3	Parametri geotecnici caratteristici – Viabilità NV97	350
14.9.3.1	VIADOTTO NV97	351
15.	SISMICA	352
15.1	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	352
15.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA	352
15.3	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	352
15.4	CATEGORIA DI SUOLO	354
15.5	ACCELERAZIONE SISMICA SU SUOLO RIGIDO	356
16.	ANALISI LIQUEFAZIONE	357
16.1	VERIFICA TRIMITE PROVE SPT	359
16.1.1	Risultati	361

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 10 di 379</p>

16.2	VERIFICA TRAMITE PROVE SISMICHE	363
16.2.1	<i>Risultati</i>	364
16.3	STIMA DEL CEDIMENTO POST-SISMA	368
16.4	RISULTATI.....	369
16.4.1	<i>TRVa</i>	369
16.4.2	<i>a</i>	369
17.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SCAVATI AI FINI DEL RIUTILIZZO PER RILEVATI	370
18.	CONCLUSIONI.....	379

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

<i>Figura 1 – Domini strutturali nel Mediterraneo centrale</i>	26
Figura 2 - Areale di affioramento delle Unità Sicilidi s.l.	27
<i>Figura 3 – Schema rappresentativo della deposizione fluvio- deltizia della Formazione Terravecchia</i>	28
Figura 4 – Ricostruzione schematica della Catena Appenninico-Maghrebide	30
Figura 5 – Carta strutturale della Sicilia.....	32
<i>Figura 6: unità geotecniche presenti nel lotto</i>	39
Figura 7: Correlazione di Bellotti	46
Figura 8: Fattore Csg correttivo di Tokimatsu & Yoshimi, 1983	50
Figura 9: Espressioni di f(e) secondo vari Autori	55
Figura 10– Curve di decadimento secondo Lo Presti,1989	59
Figura 11– Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry,1991	60
Figura 12: Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry,1991	65
Figura 13: Curve di decadimento e smorzamento tipologiche	66
Figura 14– Coefficiente “m” secondo Mesri e AbdelGhafar (1993).....	70
Figura 15: Coefficienti S, “n” e “m” secondo Mancuso (1997).....	73
Figura 16:Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry (1991)	76
Figura 17: Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry (1991)	79
Figura 18– Profili tipici secondo Barton (1977)	84
Figura 19: TRV - curve di distribuzione granulometrica	94
Figura 20: TRV- peso dell'unità di volume	95
Figura 21a: TRV - contenuto naturale d'acqua	96
Figura 22b: TRV – indice di plasticità	97
Figura 23: TRV - carta di plasticità di Casagrande	98
Figura 24: TRV - coesione non drenata da prove SPT.....	99
Figura 25: TRV - coesione non drenata da prove pressiometriche	100
Figura 26: TRV – coesione non drenata da pocket.....	101
Figura 27: TRV – OCR da correlazioni con la resistenza al taglio non drenata	102
Figura 28: OCR da correlazioni con prove SPT.....	103
Figura 29: TRV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	104
Figura 30: TRV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate drenate (TX-CID)	105
Figura 31: TRV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU)	106
Figura 32: TRV - moduli di Young da prove dilatometriche.....	107
Figura 33: TRV – moduli di Young da prove pressiometriche	108
Figura 34: TRV – velocità delle onde di taglio S.....	109
Figura 35: TRV – modulo di Young.....	110
Figura 36: TRV – modulo edometrico	111
Figura 37: TRV - coefficiente di compressione Cc e di rigonfiamento Cs	112
Figura 38: TRV – coefficiente di consolidazione monodimensionale cv	113
Figura 39: TRV - coefficiente di permeabilità monodimensionale	114
Figura 40: TRV - coefficiente di permeabilità in situ da Le Franc	115

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Figura 41: TRVa – peso dell'unità di volume da prove SPT	118
Figura 42: TRVa – risultati da prove SPT in sito (sinistra) e risultati corretti (destra)	119
Figura 43: TRVa – densità relativa da correlazioni con prove SPT secondo Skempton (sinistra) e Bazaara (destra).....	120
Figura 44: TRVa - indice di porosità determinato da correlazione con prove SPT	121
Figura 45: TRVa – angolo di resistenza a taglio a volume costante (destra) e di picco (sinistra).	122
Figura 46: TRVa – modulo di Young da prove SPT	123
Figura 47: FYN4 – curve di distribuzione granulometrica	124
Figura 48: FYN4 – peso dell'unità di volume	125
Figura 49: FYN4 - contenuto naturale d'acqua e indice di plasticità	126
Figura 50: FYN4 – carta di plasticità di Casagrande.....	127
Figura 51: FYN4 – coesione non drenata da prove SPT	128
Figura 52: FYN4 - OCR.....	129
Figura 53: FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	130
Figura 54: FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate drenate (TX-CID)	131
Figura 55: FYN4 – moduli di Young da prove pressiometriche	132
Figura 56: FYN4 – coefficiente di compressione Cc e di rigonfiamento Cs	133
Figura 57: FYN4 – coefficiente di consolidazione primaria cv	134
Figura 58: AV- peso dell'unità di volume	137
Figura 59a: AV - contenuto naturale d'acqua.....	138
Figura 60b: AV – indice di plasticità.....	139
Figura 61: AV - carta di plasticità di Casagrande	140
Figura 62: AV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	141
Figura 63: AV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate drenate (TX-CID).....	142
Figura 64: a2 - curva di distribuzione granulometrica	144
Figura 65: a2 - peso dell'unità di volume.....	145
Figura 66: - contenuto naturale d'acqua e indice di plasticità	146
Figura 67: a2 – carta di plasticità di Casagrande	147
Figura 68: a2 - resistenza al taglio non drenata da prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU)	148
Figura 69: a2 - resistenza al taglio non drenata da prove SPT	149
Figura 70: a2 - resistenza al taglio non drenata determinata attraverso il pocket.....	150
Figura 71: OCR determinato attraverso correlazioni empiriche	151
Figura 72: a2 - coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	152
Figura 73: a2 - velocità delle onde di taglio S	153
Figura 74:: a2 - modulo di Young.....	154
Figura 75: a2 – modulo di elasticità tangenziale G0.....	155
Figura 76: a2 – modulo edometrico	156
Figura 77: a2 – coefficienti c _c e c _s	157
Figura 78: a2 - coefficiente di permeabilità monodimensionale da prova edometrica.....	158

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Figura 79: a2 - coefficiente di permeabilità da Le Franc	159
Figura 80: a - peso dell'unità di volume da prove SPT.....	161
Figura 81: a - risultati da prove SPT in sito (sinistra) e risultati corretti (destra)	162
Figura 82: a - densità relativa da prove SPT (Bazaara)	163
Figura 83: a - indice di porosità da prove SPT	164
Figura 84: a - angolo di resistenza a taglio a volume costante da correlazioni con prove SPT.....	165
Figura 85: a - angolo di resistenza a taglio di picco da correlazioni empiriche con prove SPT	166
Figura 86: a - velocità di taglio S da prove SPT	167
Figura 87: a - modulo di elasticità tangenziale G0 da prove SPT.....	168
Figura 88: a – modulo di Young E0 da prove SPT	169
Figura 89: a - velocità di taglio da prove sismiche.....	170
Figura 90: a - modulo di elasticità tangenziale G0 da prove sismiche	171
Figura 91: a - modulo di Young da prove sismiche	172
Figura 92: TRV – TRATTA 1- Risultati prove di taglio diretto	176
Figura 93: FYN4 – TRATTA 1- fuso granulometrico.....	177
Figura 94: FYN4 – TRATTA 1- indice di plasticità	178
Figura 95: FYN4 – TRATTA 1- contenuto d'acqua naturale	179
Figura 96: FYN4 – TRATTA 1- carta di plasticità di Casagrande	180
Figura 97: FYN4 – TRATTA 1- peso di volume naturale	181
Figura 98: FYN4 – TRATTA 1- caratteristiche di resistenza drenate	182
Figura 99: FYN4 – TRATTA 1- caratteristiche di resistenza non drenate.....	183
Figura 100: FYN4 – TRATTA 1- modulo edometrico da prove di laboratorio	184
Figura 101: FYN4 – TRATTA 1- coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	185
Figura 102: FYN4 – TRATTA 1- coefficiente c_v da prove edometriche.....	186
Figura 103: a2 – TRATTA 2- fuso granulometrico	190
Figura 104: a2 – TRATTA 2- peso di volume naturale.....	191
Figura 105: a2 – TRATTA 2- <i>indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale</i>	192
Figura 106: a2 – TRATTA 2- <i>carta di plasticità di Casagrande</i>	193
Figura 107: a2 – TRATTA 2- <i>resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio</i>	194
Figura 108: a2 – TRATTA 2- <i>resistenza al taglio non drenata da prove SPT</i>	195
Figura 109: a2 – TRATTA 2- <i>resistenza al taglio non drenata pocket</i>	196
Figura 110: a2 – TRATTA 2- <i>modulo di Young da indagini sismiche</i>	197
Figura 111: a2 – TRATTA 2- <i>modulo edometrico da prove edometriche</i>	198
Figura 112: TRV – TRATTA 2- <i>fuso granulometrico</i>	199
Figura 113: TRV – TRATTA 2- <i>peso di volume naturale</i>	200
Figura 114: TRV – TRATTA 2- <i>indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale</i>	201
Figura 115: TRV – TRATTA 2- <i>carta di plasticità di Casagrande</i>	202
Figura 116: TRV – TRATTA 2- <i>coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto</i>	203
Figura 117: TRV – TRATTA 2- <i>coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID</i>	204
Figura 118: TRV – TRATTA 2- <i>coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CIU</i>	205
Figura 119: TRV – TRATTA 2- <i>coesione non drenata da SPT</i>	206
Figura 120: TRV – TRATTA 2- <i>coesione non drenata da pocket</i>	207

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Figura 121: TRV – TRATTA 2- coesione non drenata da pressiometriche	208
Figura 122: TRV – TRATTA 2- modulo edometrico da prove edometriche	209
Figura 123: TRV – TRATTA 2- coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	210
Figura 124: TRV – TRATTA 2- modulo di deformabilità da sismiche	211
Figura 125: TRV – TRATTA 2- modulo di deformabilità da dilatometriche	212
Figura 126: TRV – TRATTA 2- modulo di deformabilità da pressiometriche	213
Figura 127: TRV – TRATTA 2- permeabilità da prove in situ	214
Figura 128: a – TRATTA 4 - peso specifico da SPT	221
Figura 129: a – TRATTA 4 - densità relativa e indice dei vuoti iniziale da SPT	222
Figura 130: a – TRATTA 4 - angolo di resistenza al taglio da SPT, tramite correlazione	223
Figura 131: a – TRATTA 4 - modulo di deformabilità da prove sismiche	224
Figura 132: a_2 – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	225
Figura 133: a_2 – TRATTA 4 - coesione non drenata da SPT	226
Figura 134: a_2 – TRATTA 4 - coesione non drenata da pocket	227
Figura 135: a_2 – TRATTA 4 - modulo edometrico da prove edometriche	228
Figura 136: a_2 – TRATTA 4 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	229
Figura 137: TRV – TRATTA 4 - fuso granulometrico	230
Figura 138: TRV – TRATTA 4 - peso di volume naturale	231
Figura 139: TRV – TRATTA 4 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	232
Figura 140: TRV – TRATTA 4 - carta di plasticità di Casagrande	233
Figura 141: TRV – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	234
Figura 142: TRV – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID	235
Figura 143: TRV – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CIU	236
Figura 144: TRV – TRATTA 4 - coesione non drenata da prove SPT	237
Figura 145: TRV – TRATTA 4 - modulo edometrico da prove edometriche	238
Figura 146: TRV – TRATTA 4 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	239
Figura 147: TRV – TRATTA 4 - modulo di Young da sismiche	240
Figura 148: TRV – TRATTA 4 - modulo di Young da dilatometriche	241
Figura 149: a_2 – TRATTA 6 - fuso granulometrico	247
Figura 150: a_2 – TRATTA 6 - peso di volume naturale	248
Figura 151: a_2 – TRATTA 6 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	249
Figura 152: a_2 – TRATTA 6 - carta di plasticità di Casagrande	250
Figura 153: a_2 – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	251
Figura 154: a_2 – TRATTA 6 - coesione non drenata da SPT	252
Figura 155: a_2 – TRATTA 6 - modulo edometrico da prove edometriche	253
Figura 156: a_2 – TRATTA 6 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	254
Figura 157: TRV – TRATTA 6 - fuso granulometrico	255
Figura 158: TRV – TRATTA 6 - peso di volume naturale	256
Figura 159: TRV – TRATTA 6 - indice di plasticità e volume d'acqua naturale	257
Figura 160: TRV – TRATTA 6 - carta di plasticità di Casagrande	258
Figura 161: TRV – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	259
Figura 162: TRV – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CIU	260

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Figura 163: TRV – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID	261
Figura 164: TRV – TRATTA 6 - coesione non drenata da prove SPT	262
Figura 165: TRV – TRATTA 6 - coesione non drenata da pocket	263
Figura 166: TRV – TRATTA 6 - modulo edometrico da prove edometriche	264
Figura 167: TRV – TRATTA 6 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	265
Figura 168: TRV – TRATTA 6 - modulo di Young da sismiche	266
Figura 169: TRV – TRATTA 6 - modulo di Young da dilatometriche	267
Figura 170: TRV – TRATTA 6 - modulo di Young da pressiometriche	268
Figura 171: TRV – TRATTA 6 - permeabilità da prove in situ	269
Figura 172: TRV – TRATTA 8 - fuso granulometrico	274
Figura 173: TRV – TRATTA 8 - peso di volume naturale	275
Figura 174: TRV – TRATTA 8 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	276
Figura 175: TRV – TRATTA 8 - carta di plasticità di Casagrande	277
Figura 176: TRV – TRATTA 8 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	278
Figura 177: TRV – TRATTA 8 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID	279
Figura 178: TRV – TRATTA 8 - coesione non drenata da prove SPT	280
Figura 179: TRV – TRATTA 8 - coesione non drenata da pocket	281
Figura 180: TRV – TRATTA 8 - modulo edometrico da prove edometriche	282
Figura 181: TRV – TRATTA 8 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	283
Figura 182: TRV – TRATTA 1 LINEA STORICA - modulo di Young da pressiometriche	286
Figura 183: FYN4 – TRATTA 1 LINEA STORICA - modulo edometrico da prove edometriche	287
Figura 184: FYN4 – TRATTA 1 LINEA STORICA - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	288
Figura 185: FYN4 – TRATTA 1 LINEA STORICA - modulo di Young da pressiometriche	289
Figura 186: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo edometrico da prove edometriche	292
Figura 187: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	293
Figura 188: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo di Young da pressiometriche	294
Figura 189: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo di Young da sismiche	295
Figura 190: a2 – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo edometrico da prove edometriche	296
Figura 191: a2 – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo di Young da sismiche	297
Figura 192: a2 – NV04b - fuso granulometrico	301
Figura 193: a2 – NV04b - peso di volume naturale	302
Figura 194: a2 – NV04b - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	303
Figura 195: a2 – TRATTA 2 - resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio	304
Figura 196: a2 – NV04b - resistenza al taglio non drenata pocket	305
Figura 197: a2 – NV04b - modulo di Young da indagini sismiche	306
Figura 198: a2 – NV04b - modulo edometrico da prove edometriche	307
Figura 199: TRV – NV04b - fuso granulometrico	308
Figura 200: TRV – NV04b - peso di volume naturale	309
Figura 201: TRV – NV04b - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	310
Figura 202: TRV – NV04b - carta di plasticità di Casagrande	311
Figura 203: TRV – NV04b - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	312
Figura 204: TRV – NV04b - coesione non drenata da SPT	313

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Figura 205: TRV – NV04b - coesione non drenata da pocket	314
Figura 206: TRV – NV04b - coesione non drenata da pressiometriche.....	315
Figura 207: TRV – NV04b - modulo edometrico da prove edometriche	316
Figura 208: TRV – NV04b - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	317
Figura 209: TRV – NV04b - modulo di deformabilità da sismiche	318
Figura 210: TRV – NV04b - modulo di deformabilità da pressiometriche	319
Figura 211: TRV – NV94 - fuso granulometrico	326
Figura 212: TRV – NV94 - peso di volume naturale	327
Figura 213: TRV – NV94 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	328
Figura 214: TRV – NV94 - carta di plasticità di Casagrande	329
Figura 215: TRV – NV94 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	330
Figura 216: TRV – NV94 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID	331
Figura 217: TRV – NV94 - coesione non drenata da prove SPT	332
Figura 218: TRV – NV94 - modulo edometrico da prove edometriche	333
Figura 219: TRV – NV94 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche	334
Figura 220: TRV – NV94 - modulo di Young da sismiche	335
Figura 221: TRV – NV94 - modulo di Young da dilatometriche	336
Figura 222: a2 – NV97 - peso di volume naturale.....	339
Figura 223: a2 – NV97 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale.....	340
Figura 224: a2 – NV97 - carta di plasticità di Casagrande	341
Figura 225: a2 – NV97 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	342
Figura 226: TRV – NV97 - peso di volume naturale	343
Figura 227: TRV – NV97 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale	344
Figura 228: TRV – NV97 - carta di plasticità di Casagrande	345
Figura 229: TRV – NV97 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto	346
Figura 230: TRV – NV97 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID	347
Figura 231: TRV – NV97 - coesione non drenata da prove di laboratorio	348
Figura 232 – Grafico di Youd e Idriss,2001	359
Figura 233: Mappe interattive di pericolosità sismica	366
Figura 234: Disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni	367
Figura 235: Valori di Magnitudo per differenti distanze dall'epicentro.....	367

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 17 di 379</p>

1. **PREMESSA**

Il presente documento, riguardante le opere allo scoperto, si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici del progetto definitivo della Direttrice ferroviaria Messina-Palermo-Catania, tratte Lercara – Xirbi e Caltanissetta Xirbi - Dittaino, suddivise rispettivamente nel lotto 3 (da pk 0+000 a pk 19+113.22 e da pk 19+113.22 a pk 46+703.29) e nei lotti funzionali 4a (Caltanissetta Xirbi – Enna) e 4b (Enna – Dittaino).

Sono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al complesso di opere allo scoperto che costituiscono in gran parte tali tratte.

La tratta Lercara – Xirbi (Lotto 3) si estende tra le stazioni di Lercara Diramazione (inclusa) e Caltanissetta Xirbi (inclusa), dal km 0+000 (coincidente con la pk 76+730 della linea storica Palermo Catania) al km 19+113.22 e dal km 19+113.22 al km 46+703.29 (coincidente con la pk 126+412 della linea storica Palermo Catania).

La tratta Caltanissetta Xirbi – Enna (4a) si estende tra le stazioni di Caltanissetta Xirbi (esclusa) ed Enna (esclusa), dal km 0+000 (coincidente con la pk 125+759 della linea storica Palermo Catania) al km 26+700 (coincidente con la pk 157+130 della linea storica Palermo Catania).

La tratta Enna – Dittaino (4b) si estende tra le stazioni di Enna (inclusa) e Dittaino (inclusa), dal km 0+000 (coincidente all'incirca con la pk 157+130 della linea storica Palermo Catania) al km 15+000 (coincidente con la pk 173+530 della linea storica Palermo Catania).

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

2.1 Documenti progettuali di riferimento

29_137	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto	-	A4	R	S	3	U	4	0	D	2	9	G	E	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	C
29_138	Profilo geotecnico linea - Tav. 1 di 6	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	D
29_139	Profilo geotecnico linea - Tav. 2 di 6	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	D
29_140	Profilo geotecnico linea - Tav. 3 di 6	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	D
29_140_1	Profilo geotecnico linea - Tav. 4 di 6	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	A
29_140_2	Profilo geotecnico linea - Tav. 5 di 6	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	A
29_140_3	Profilo geotecnico linea - Tav. 6 di 6	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	A
29_145	Profilo geotecnico Variante linea storica	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	D
29_147	Profilo geotecnico viabilità NV04A, NV04B e NV04C	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	C
29_155	Profilo geotecnico viabilità NV94	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	C
29_156	Profilo geotecnico viabilità NV97	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	B
29_156_1	Profilo geotecnico viabilità NV04E	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	A
29_156_2	Profilo geotecnico viabilità NV05A	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	A
29_156_3	Profilo geotecnico viabilità NV05D	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	A
29_156_4	Profilo geotecnico viabilità NV05E	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	A
29_156_5	Profilo geotecnico viabilità NV93	1:2000/200	A0	R	S	3	U	4	0	D	2	9	F	6	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	A

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per le tratte 3, 5 e 7 dove sono presenti le gallerie naturali e i relativi imbocchi sono di seguito riportati i relativi elaborati.

GALLERIA MONTE STRETTO	
Relazione geotecnica e di calcolo	RS3U40D07CLGN0100001
Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	RS3U40D07CLGA0000001
Profilo Geotecnico	RS3U40D07F5GN0100001
GALLERIA SALSO	
Relazione geotecnica e di calcolo	RS3U40D07CLGN0200001
Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	RS3U40D07CLGA0000002
Profilo Geotecnico	RS3U40D07F5GN0200001
GALLERIA TRINACRIA	
Relazione geotecnica e di calcolo	RS3U40D07CLGN0300001
Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	RS3U40D07CLGA0000003
Profilo Geotecnico - Tav. 1 di 2	RS3U40D07F5GN0300001
Profilo Geotecnico - Tav. 2 di 2	RS3U40D07F5GN0300002
USCITA/ACCESSO LATERALE PEDONALE F1 - GALLERIA MONTE STRETTO	
Relazione geotecnica e di calcolo	RS3U40D07CLGN0400001
Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	RS3U40D07CLGA0000004
Profilo geotecnico	RS3U40D07F5GN0400001

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 20 di 379</p>

2.2 Normativa e standard di riferimento

- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali, EN 1997-1:2005
- Eurocodice7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini Geotecniche in sito e in laboratorio, EN 1997-2:2007
- Eurocode 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole Generali, azioni sismiche e regole per gli edifici, EN 1998-1:2005
- Eurocode 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici, EN 1998-5:2005
- D.M. 17/01/2018: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilita dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, D.M. 11 Marzo 1988, Circ. Min. 24 Ottobre 1988 n° 30483
- Circolare 01/02/2009, n.617 – Istruzione per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008.
- RFI DTC SI MA IFS 001 A – Manuale di progettazione delle opere civili
- RFI DTC SI SP IFS 001 A – Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili
- Associazione Geotecnica Italiana (AGI) 1977 –raccomandazioni sulla programmazione edesecuzione delle indagini geotecniche Books of the Italian Geological Survey EN ISO Standards
- AGI: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1977
- AGI: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, 2005
- Cestari F.: Prove geotecniche in situ, Dario Flaccovio Editore, 1996

3. INDAGINI ESEGUITE

ID	Prof. ipotizzata	log	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressiometriche e dilatometriche	Piezometro casagrande	Piezometro norton	Piezometro Elettrico	Piezometro	DH	MASW	HVSR	inclinometro
4a-S01	40	1		1	1	1			1		1	1	
4a-S02	40	1		1	1					1			
4a-S03	40	1		1	1	1			1				
4a-S04	40	1		1	1	1			1				
4a-S06	40	1		1									1
4a-S06bis	10	1				1			1				
4a-S07	40	1		1	1	1			1				
4a-S08	40	1		1	1	1			1				
4a-S09	40	1		1									1
4a-S11	40	1		1	1	1			1				
4a-S12	40	1		1	1	1			1				
4a-S13	40	1		1	1	1			1		1	1	
4a-S14	40	1		1	1	1			1				
4a-S15	40	1		1						1			
4a-S16	40	1		1	1	1			1		1	1	
4a-S17	40	1		1	1					1			
4a-GN1-S01	40	1	1	1	1	1			1		1	1	
4a-GN1-S02	85	1		1	1				1				
4a-GN1-S03	140	1	1	1	1	1			1				
4a-GN1-S04	135	1	1	1	1	1			1				
4a-GN1-S05	95	1				1							
4a-GN1-S06	30	1			1	1			1				
4a-GN1-S06a	30	1											
4a-GN1-S06b	30	1								1			1
4a-SIGN1	35									1			
4a-SIGN1a	35												1
4a-SIGN1b	20					1							
4a-S20	40	1		1	1	1							
4a-S21	40	1		1						1			
4a-S22	40	1		1		1			1				
4a-S24	40	1		1						1			
4a-GN2-S07	40	1	1	1	1	1			1				

Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto –
Lotto 4a

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	GE	GE0000 001	D	22 di 379

4a-GN2-S07a	40	1							1			
4a-GN2-S07b	40	1										1
4a-GN2-S07bis	50	1	1			1						
4a-GN2-S08	145	1	1	1		1		1	1			
4a-GN2-S09	70	1		1			1		1			
4a-GN2-S10	30	1					1					
4a-GN2-S10a	30	1										1
4a-GN2-S10b	30	1										
4a-S26	40	1		1		1			1			
4a-S27	40	1		1						1	1	
4a-S28	40	1		1			1		1			
4a-S28a	6	1						1	1			
4a-S29	40	1		1			1			1	1	
4a-GN3-S11	30	1	1	1		1			1			
4a-GN3-S11a	30	1								1		
4a-GN3-S12	75	1				1		1				
4a-GN3-S13	80	1		1			1		1			
4a-GN3-S13a	20	1					1		1			
4a-GN3-S14	85	1		1		1			1			
4a-GN3-S15	265	1	1	1		1		1				
4a-GN3-S16	280	1	1	1		1		1	1			
4a-GN3-S17	170	1	1	1		1		1	1			
4a-GN3-S19	35	1		1		1			1		1	1
4a-GN3-S19b	30	1								1		
4a-GN3-S20_int	200											
4a-S30/40m	40	1				1						
4a-V01/30m	40	1		1						1	1	
4aS31	30	1		1								
4aS32	30	1		1				1	1			
4aS33	30	1		1				1	1		1	1
4aV02	30	1		1		1				1		
4aV03	30	1		1		1		1	1			
4aV05	30	1		1		1			1		1	1
4aV06	30	1		1			1					
4a-V04	30	1		1				1	1		1	1
4aV07	30	1										

Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto –
Lotto 4a

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	GE	GE0000 001	D	23 di 379

4aV08	40	1			1							
4aV09	40	1							1			
4aV10	40	1										
4aV11	50	1							1	1	1	
4aV12	40	1							1			
4aV12a	12	1				1						
4a SI 01	30	1				1						
4a SI 01bis	30	1										
4a SI - 02	30	1		1				1				
4a SI - 03	30	1		1		1						
4a SI - 04	30	1				1						
4a SI - 06	30	1										1
4a SI - 06a	20	1				1						
4a SI - 07	30											1
4a SI - 07a	15					1						
4a SI - 08	30											1
4a SI - 08a	17					1						
4a SI - 08b	6					1						
4aV14	40	1							1			
4aV15	40	1										1
4aV15a	20	1				1						
4aV16	40	1										1
4aV16a	20	1				1						
4aV17	30	1						1				
4a SI 01bis	30	1				1						
4a-F01	30	1		1	1	1						
4a-F01a	30	1							1			
4a-F01b	30	1										1
4a-F02	45	1		1	1	1			1			

Tabella 1: Indagini in foro eseguite

Per quanto riguarda invece la determinazione delle caratteristiche di resistenza drenate, sono state eseguite 254 prove di laboratorio, le quali comprendono: prove di taglio diretto, prove triassiali consolidate drenate, prove triassiali consolidate non drenate, prove triassiali non consolidate non drenate e prove edometriche.

ID	TD	TX - CID	TX - CIU	TX - UU	EDOMETRICA
3BS13	1				
4AF01	3		2	1	2
4AF02	5		1		2
4AGN1S01	3		1		1
4AGN1S02	4		1		
4AGN1S06			1		
4AGN2S07	3		3		
4AGN2S07a	1		1		
4AGN2S07bis	5		3		2
4AGN2S08	2				
4AGN2S09	1				
4AGN2S10	1		2		1
4AGN3S11			2		
4AGN3S13	4		1		
4AGN3S14	1				
4AGN3S16	1				
4AGN3S17	2			1	
4AGN3S19	5	2			2
4AS01	2			1	1
4AS02	2			1	1
4AS03	2				1
4AS04	3			1	
4AS06	1			1	1
4AS07	1		1	2	2
4AS08	1			2	2
4AS09	2		1	2	2
4AS11	2	1	1		1
4AS12	4				
4AS13	1				
4AS14	5			1	1
4AS15	1				1
4AS16	3			2	1
4AS17	1				
4AS21	5		1		
4AS22	1				1

4AS24	3		1	2	
4AS26	1			1	
4AS27	3			2	
4AS28	2			2	
4AS29	7				
4AS31	3			2	
4AS32	3			2	1
4AS33	3				1
4ASI01	5	1			
4ASI01bis	3	1			
4ASI02	3	1		1	
4ASI03	2	1		1	
4ASI04	1	1			1
4ASIGN1S01	1			1	
4AV02	1				
4AV04	1			1	
4AV06	1				
4AV14	6				
4AV15	4	1		1	
4AV16	3			1	
4AV17	2				
4S01	2				1
4S02	2				
4S03	3				1
4S04	2				
4S05	2				
4S06	2	1			1
4S07	2				1
4S08	1				
4S10	2				1
4S4					1

Tabella 2: Prove di laboratorio eseguite

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La Sicilia rappresenta un segmento della Catena Appenninico-Maghrebide in cui affiorano unità tettoniche di diversa attribuzione paleogeografica, che collega l'Appennino al Nordafrica attraverso l'Arco Calabro-Peloritano.

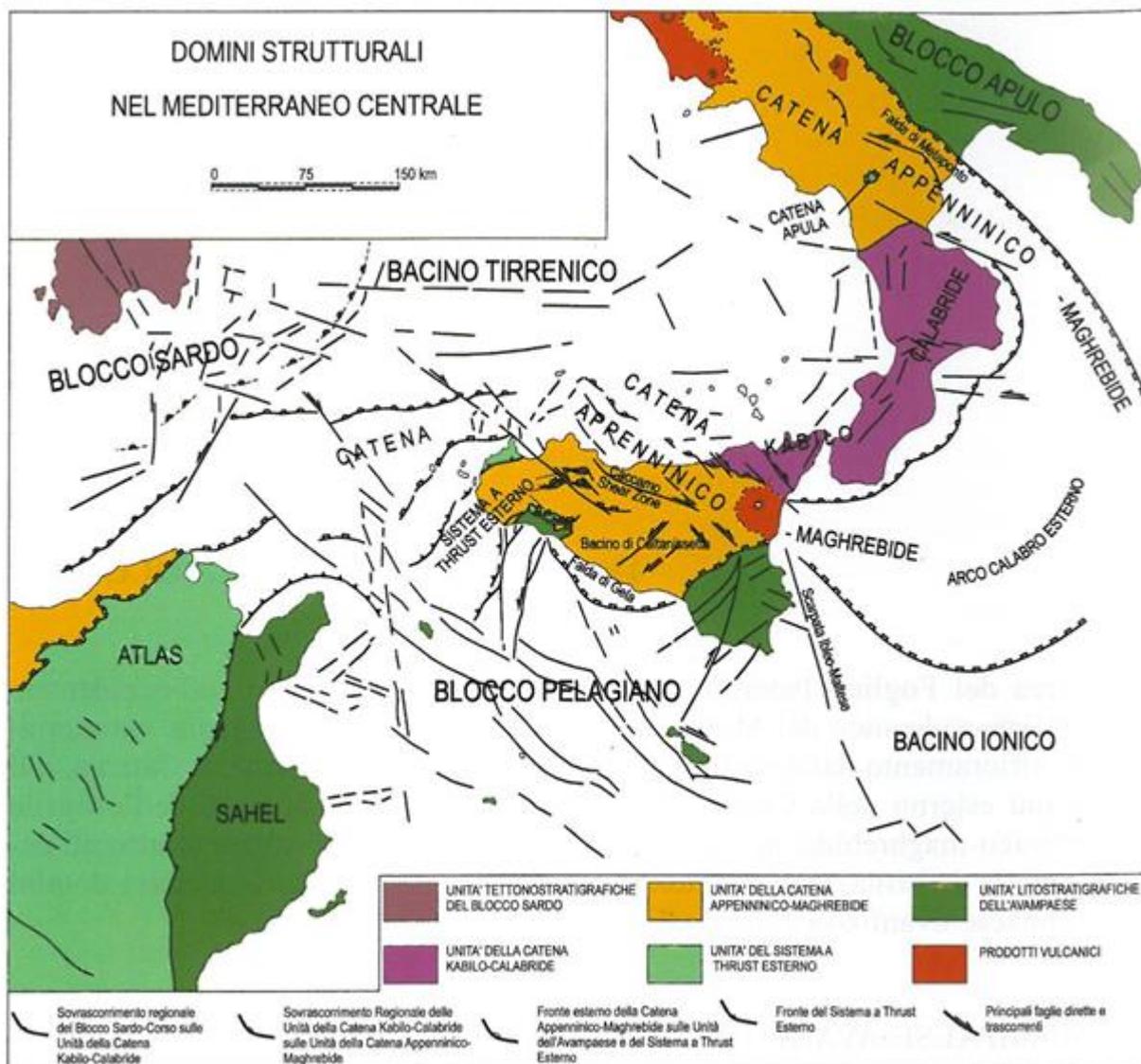


Figura 1 – Domini strutturali nel Mediterraneo centrale

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

4.1 Le Unità Sicilidi

A causa delle ripetute fasi tettoniche sovrapposte, attive fino al Quaternario e associate a una notevole mobilità tettonica, le Unità Sicilidi si sono progressivamente estese verso sud fino a raggiungere il cuneo frontale della catena.

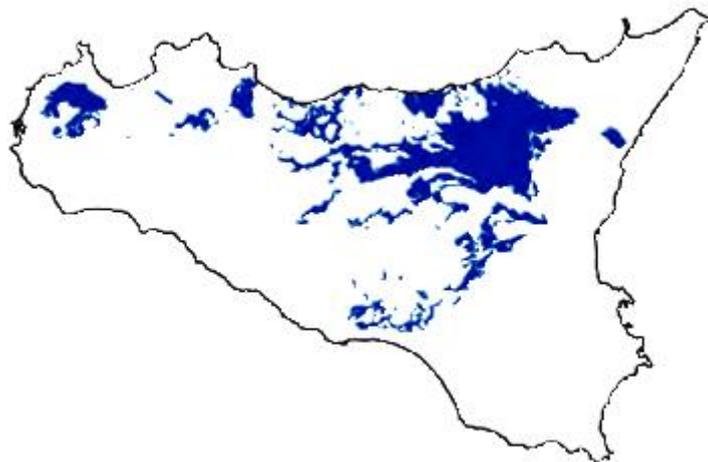


Figura 2 - Areale di affioramento delle Unità Sicilidi s.l.

All'interno del complesso delle Sicilidi, il Flysch Numidico è la formazione maggiormente rappresentata in Sicilia, in quanto fa parte di differenti domini paleogeografici ed è caratterizzata da un notevole spessore (> 3'000 m) e da una grande estensione laterale (oltre 2'000 km, da Gibilterra all'Appennino meridionale).

Dal punto di vista litologico si tratta di un'alternanza di argille brune e quarzareniti, talora grossolane, in strati e banchi che nella parte alta prevalgono sulle peliti. L'intervallo basale a dominante componente argillosa è datato all'Oligocene superiore, mentre quello quarzarenitico è datato all'Aquitaniiano-Burdigaliano. Le quarzareniti passano più o meno gradualmente, verso l'alto, a depositi prevalentemente pelitico-marnosi del Burdigaliano superiore-Langhiano (formazione Tavernola e Marne di Castelbuono).

Il termine "Flysch Numidico" è in realtà poco appropriato e ha più che altro valenza storica, in quanto quest'unità non è correlata a una fascia orogenica e non ha le caratteristiche tipiche dei flysch. La sua collocazione paleogeografica e paleotettonica nell'ambito dell'orogene è stata oggetto di notevoli controversie nella letteratura geologica, che si sono tradotte in una serie di suddivisioni e denominazioni di volta in volta diverse.

Oggi appare accertato che essa formasse la copertura oligo-miocenica di differenti successioni mesozoico-terziarie e che il suo considerevole spessore sia in realtà determinato da ripetizioni tettoniche, con più orizzonti strutturali sovrapposti che isolano unità tettoniche distinte con nomi diversi.

A partire dal Serravalliano e fino a tutto il Tortoniano, il parziale sollevamento delle zone più interne della catena in fase di strutturazione determina la creazione di un'avanfossa in posizione più esterna (meridionale). Inizia quindi la sedimentazione delle molasse della Formazione Terravecchia, che vanno a ricoprire le unità già deformate. Questa sedimentazione avveniva in due contesti distinti:

- verso sud, al fronte delle unità in sovrascorrimento (avanfossa s.s.);
- verso nord, all'interno di piccoli bacini di piggy-back, colmati da conglomerati, sabbie e argille di ambiente fluvio-deltizio (*Figura 3*), provenienti dallo smantellamento delle aree emerse della catena (paleo-Madonie) e dal basamento cristallino (unità calabridi).

Il bacino di sedimentazione della Formazione Terravecchia può quindi essere diviso in due grandi settori:

- uno meridionale di paleo-avanfossa, con sedimenti argillosi marini depositi in discordanza angolare su un substrato debolmente deformato;
- uno settentrionale, il cui assetto tettonico (substrato costituito da unità alloctone a thrust), determina lo sviluppo di bacini satellite caratterizzati da sistemi deposizionali fluvio-deltizi.

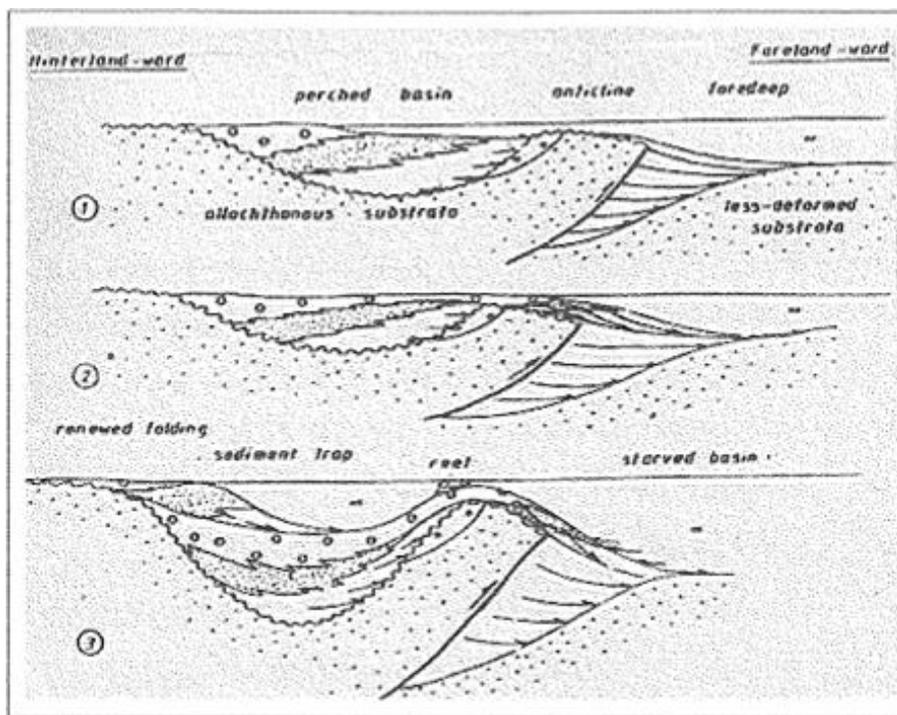


Figura 3 – Schema rappresentativo della deposizione fluvio- deltizia della Formazione Terravecchia

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 29 di 379</p>

La facies più diffusa del Calcarea di Base è costituita da rocce carbonatiche autoclastiche interessate da un diffuso carsismo interstrato. La stratificazione del Calcarea di Base testimonia il ripetersi di cicli di trasgressione-regressione marina a piccola scala. Depositi di gesso selenitico primario (tipo rose del deserto) testimoniano locali situazioni di emersione temporanea, con sviluppo di carsismo. I singoli strati del Calcarea di Base, separati spesso da sottili livelli di laminiti gessose, aumentano di spessore in direzione del bacino (cioè verso la Formazione di Cattolica). La formazione è terminata dalla discordanza intra-Messiniana che separa la Formazione di Cattolica in posizione inferiore (Membro Selenitico Inferiore) e la Formazione di Pasquasia in posizione superiore (Membro Selenitico Superiore).

L'ulteriore abbassamento del livello marino intra-messiniano (post-Calcarea di Base) si è sviluppato su un substrato in continuo movimento tettonico. Localmente, attorno ai fianchi delle anticlinali di thrust in emersione, si sono formati dei debris-flow costituiti da brecce carbonatiche e megaruditi gessose derivanti dal collasso, verso il bacino, delle successioni marginali.

All'interno del bacino si rinvengono diatomiti, argille e potenti depositi evaporitici che si correlano con il Calcarea di Base e con le laminiti gessose presenti ai suoi margini (Butler et al., 1995b).

I depocentri del Messiniano superiore si sovrappongono generalmente alle strutture del Messiniano inferiore. In tal modo, le aree sopraelevate vengono bypassate dalla sedimentazione, oppure sviluppano superfici di scivolamento profonde. La Formazione di Pasquasia (Messiniano superiore) è caratterizzata da spessi accumuli di gesso risedimentato e da successioni argillose che contengono interstrati ciclici di gesso balatino e selenitico. La geometria degli strati testimonia la continua deformazione tettonica della regione interessata da una lenta trasgressione.

Nel Pliocene inferiore si instaurano nuovamente condizioni marine normali; i sedimenti del Pliocene, depositi anch'essi al di sopra e al fronte delle strutture della catena in fase di evoluzione, rappresentano una singola megasequenza, definita alla base da una superficie di massima sommersione (Pliocene inferiore) che segue il ricongiungimento del Mediterraneo con il livello marino globale, avvenuto verso la fine del Messiniano. La stratigrafia interna di questa megasequenza comprende i) i Trubi, rocce marnoso-calcaree tipiche di un ambiente marino relativamente profondo (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991), ii) marne azzurre e iii) una successione costiera di calcareniti con subordinate sabbie silicoclastiche.

4.2 Caratteri strutturali

La catena Appenninico-Maghrebide è un sistema a pieghe e sovrascorrimenti (*thrust-and-fold belt*) sviluppatosi a partire dal Miocene inferiore ed essenzialmente costituito da successioni sedimentarie meso-cenozoiche di ambiente marino (Bianchi et al. 1987; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 2000; Bello et al. 2000; Lavecchia et al. 2007). L'intero sistema è caratterizzato da numerose faglie inverse e transpressive (Lavecchia et al. 2007), in particolare nel settore occidentale prevalgono faglie da trascorrenti a inverse con direzione circa E-W, che tagliano i sovrascorrimenti delle maggiori unità tettonostratigrafiche, anch'essi con orientazione circa E-W (Ghisetti & Vezzani 1984).

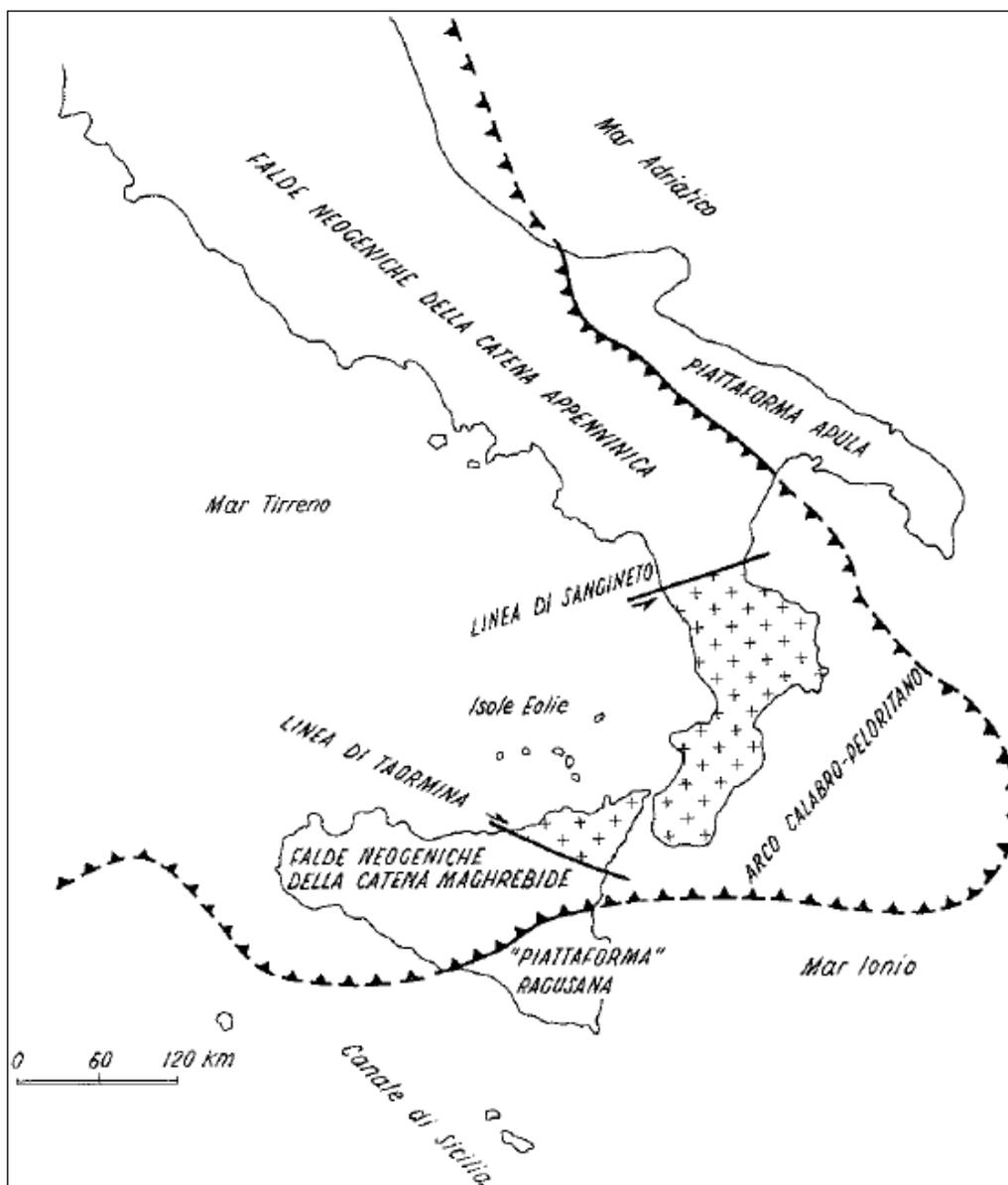


Figura 4 – Ricostruzione schematica della Catena Appenninico-Maghrebide

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Nell'area oggetto di studio l'evoluzione deformativa può essere schematizzata in tre distinte fasi (Carbone et al. 1982; Bello et al. 2000; Monaco et al. 2002):

- fase transtensiva (Cretacico – Eocene);
- fase compressiva (Oligocene superiore – Messiniano);
- fase deformativa finale (Pliocene – Quaternario).

Quest'ultima in particolare determina la riattivazione in regime estensionale delle principali faglie preesistenti ed è connessa a importanti sollevamenti differenziali, testimoniati dalla presenza di numerosi bacini peri-tirrenici (Carbone et al. 1982; Monaco et al. 2010).

La propagazione del sistema M. Kumeta-Alcantara (Figura 5) ha interessato il dominio di avampaese fino al raggiungimento dell'area di Sciacca, probabilmente caratterizzata da un'importante zona di debolezza crostale (Ghisetti & Vezzani 1984; Lavecchia et al. 2007). Il raccorciamento crostale è stato accomodato da un sistema di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti. Queste ultime, in particolare, sono spesso di modesta entità e mostrano un'età via via più recente verso sud (Ghisetti & Vezzani 1984). Nel complesso, i rigetti sono difficilmente quantificabili, poiché la profondità di scollamento delle falde non è ben nota, anche se ipotizzabile al di sopra delle serie terrigene di età triassica.

Secondo studi recenti (Lavecchia et al. 2007) la profondità dei piani di scollamento dovrebbe essere compresa entro i primi 30 km e tendere ad aumentare verso nord. Il livello principale dei *thrust* della catena si estenderebbe a partire dal settore a NW del Canale di Sicilia, formando un arco convesso che attraversa il mare e rientra in prossimità di Sciacca-Gela, proseguendo quindi fino a Catania (Bonardi et al. 1976; Lentini et al. 1995; Catalano et al. 1996; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000).

Parte della successione plio-pleistocenica di avanfossa è sepolta sotto alle coltri alloctone del sistema frontale dell'AMC (denominate "Falda di Gela"; Ogniben 1969; Di Geronimo et al. 1978); un'altra porzione si è deposta al tetto dell'alloctono durante le ultime fasi di migrazione verso sud (Torelli et al. 1998). Più a ovest, il sistema frontale affiora in superficie in contatto tettonico con i depositi di avanfossa, lungo una faglia trascorrente sinistra orientata circa N-S. Verso nord infine, le successioni alloctone sono interessate da una serie di scaglie embriciate a vergenza meridionale (Unità di M. Judica), messe in posto su rampe di *thrust* orientate circa E-W e caratterizzate da movimenti obliqui destri (Bello et al. 2000; Torrisi et al. 2008).

L'assetto delle strutture affioranti in superficie definisce due fasce con direzione generale NNE-SSO, rappresentate dall'alto strutturale M. San Calogero - Stazione di Roccapalumba e dalla dorsale Cozzo Dipilo - Monte dei Cervi, separate da un'importante depressione morfotettonica percorsa dai fiumi Torto e Imera settentrionale (Catalano et al. 2000; 2011). Le strutture sono caratterizzate da un generale approfondimento verso nord, accompagnato verso SE dal sollevamento tettonico delle unità di piattaforma carbonatica. In generale, sono riconoscibili tre livelli strutturali, separati da superfici tettoniche a basso angolo (Catalano et al. 2000)3+6*:

- il livello strutturale inferiore è un cuneo spesso 6-7 km di lembi di piattaforma carbonatica scollati dal basamento cristallino, apparentemente non deformato (Catalano et al. 2000). Sono state riconosciute unità di piattaforma carbonatica di pertinenza panormide sovrapposte a unità della piattaforma carbonatica trapanese (Catalano et al. 2011).
- Il livello strutturale intermedio, di spessore complessivo di 1-2 km, è un insieme di unità derivanti

dalla deformazione del Dominio Imerese e delle relative coperture oligo-mioceniche del Flysch Numidico (Catalano et al. 2011). Tali unità sovrascorrono lungo un livello di scollamento debolmente immergente a N sulle unità embricate di piattaforma carbonatica.

- Il livello strutturale superiore è un elemento tettonico complesso, costituito in gran parte dai depositi permo-triassici del Bacino di Lercara (Catalano et al. 2000). Generalmente sepolto, esso affiora piuttosto estesamente a N, nella regione di Cerda e nell'area adiacente alla stazione di Roccapalumba (Catalano et al. 2011).

Le unità carbonatiche di piattaforma sono localizzate al di sotto di una grande antiforمة vergente a SE, in buona parte costituita da embrici di terreni imeresi (Miucci et al. 1988; Catalano et al. 2011). I terreni paleozoico-triassici occupano la regione tra i monti Imerese e le Madonie, spingendosi anche a sud della congiungente Castronovo-Valledolmo. Essi sono generalmente ricoperti da cunei tettonici deformati del Flysch Numidico, anche se le deformazioni successive hanno prodotto dislocazioni interne ai due corpi e inversioni rispetto alla sovrapposizione originaria (Catalano et al. 2011).

Nell'area di Lercara, le coltri triassico-paleozoiche si sovrappongono alle Unità Sicane, che riaffiorano nella regione di Castronuovo-Cammarata e si immergono verso SE al di sotto della Falda di Gela (Catalano et al. 2011). L'assetto strutturale è ancora quello di un cuneo di unità di piattaforma carbonatica su cui poggiano le unità mesozoico-paleogeniche di bacino, i cunei tettonici oligo-miocenici del Flysch Numidico e i terreni permo-triassici più interni (Catalano et al. 2000; 2011).

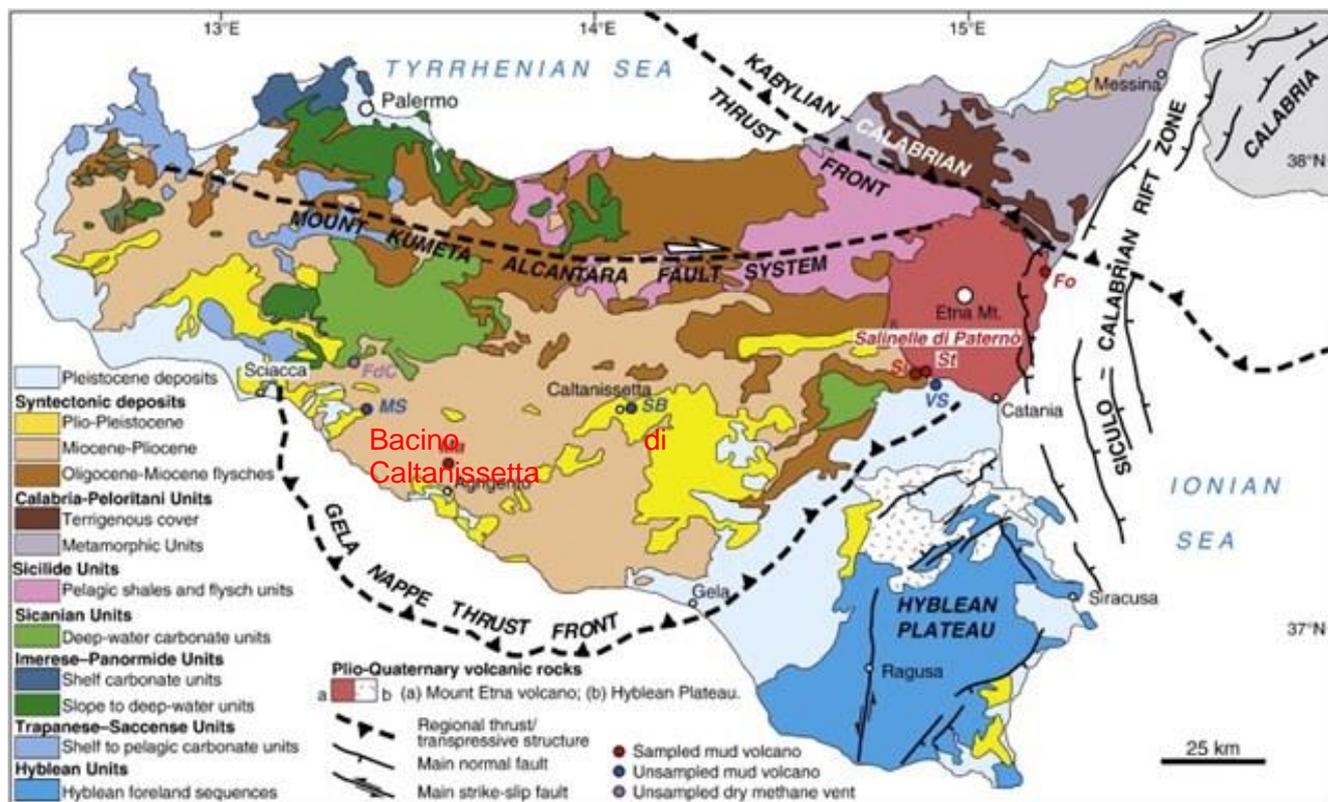


Figura 5 – Carta strutturale della Sicilia

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

4.3 Stratigrafia del substrato deformato

Il substrato deformato della regione comprende due principali unità tettoniche appartenenti al Flysch Numidico: a) Unità di Nicosia e b) Membro di Geraci Siculo.

4.3.1 Unità di Nicosia

L'unità di Nicosia è costituita, dal basso verso l'alto, dalle seguenti sottounità (Maniscalco et al., 2010):

- Argille Scagliose (AS)
- Argille Variegate (AV)
- Flysch Numidico - Membro di Nicosia (FYN4).

Solo le ultime due sottounità sono rappresentate nell'area di studio.

4.3.1.1 Argille Variegate (AV).

Argille grigio-verdi e rosse scagliettate e debolmente stratificate, a struttura caotica, con intercalazioni decimetriche di radiolariti grigio-verdi e rossastre a frattura prismatica, silt micacei, quarzareniti fini, calcisiltiti e calcareniti grigie e nocciola con patine manganesifere e interstrati di microconglomerati. Verso l'alto passano gradualmente ad argille rosse con *Tubotumaculum*. Le Argille Varicolori (o Argille Variegate) si presentano in affioramenti poco estesi, generalmente alla base del Flysch Numidico.

Il contenuto faunistico comprende foraminiferi agglutinati come *Cyclammina acutidorsata*, *Glomerina sp.* e *Hyperammina sp.* I livelli superiori contengono una fauna con *Globorotalia opima nana*, *Catapsydrax stainforthi*, *Globigerinoides trilobus immaturus*.

Si tratta di una successione estremamente tettonizzata caratterizzata dalla presenza di numerose zone di taglio, al cui interno si possono rinvenire, inclusi tettonicamente, blocchi di dimensioni variabili da poche decine di metri fino a qualche chilometro, riferibili a formazioni appartenenti a differenti domini paleogeografici. In particolare, blocchi di basalti afirici (γ), calcari detritici di piattaforma con frammenti di echinidi, rudiste e alghe (cr), calcari marnosi biancastri e marne rosate tipo "Scaglia" con associazioni a foraminiferi planctonici (sc) e blocchi di arenarie glauconitiche grigio-verdastre con intercalati livelli di marne grigio-brune (ag).

Lo spessore di questa successione è difficilmente definibile e in affioramento è comunque superiore a 300 metri. Depositi di piana batiale e base scarpata. Cretacico - Oligocene inferiore.

4.3.1.2 Flysch Numidico - Membro di Nicosia (FYN4).

Il membro di Nicosia è sovrascorso sopra all'unità di Monte Salici nel Langhiano. È composto da prevalenti argille e argille siltose di colore bruno, con interstrati siltitici di spessore da decimetrico a centimetrico e di quarzoareniti torbiditiche bruno-giallastre e conglomerati giallo-marroni in strati spessi 1-2 m. Questi livelli silicoclastici torbiditici mostrano frequenti strutture di flusso (groove, load cast) e strati gradati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Le argille contengono i seguenti foraminiferi planctonici del Miocene inferiore (burdigaliano): *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides subquadratus*, *Globigerinoides trilobus* e *Paragloborotalia acrostoma*.

I litotipi che compongono le bancate più competenti sono molto fratturati e sono frequenti livelli di brecce di frizione concentrati lungo numerose strutture di taglio. In affioramento la formazione presenta pessori massimi di circa 300 metri, mentre è stata attraversata al di sotto dei sedimenti tortoniani della Formazione Terravecchia, per circa 700 metri dal sondaggio Caltanissetta 001 e per circa 2000 metri dal sondaggio Morello 001.

4.4 Stratigrafia del bacino di thrust-top

4.4.1 Formazione Terravecchia (TRV).

La formazione Terravecchia è composta nella parte basale da conglomerati fluvio-deltizi e da sabbie di ambiente marino poco profondo (TRVa), cui segue un'unità a grana più fine, argilloso-marnosa (TRV), spesso caratterizzata da un'associazione faunistica francamente marina. Localmente si rinvengono facies argilloso-limose a struttura brecciata, scagliosa o indistinta (TRVb), con livelli di sabbie limose grigie, ghiaie poligeniche da angolose a subangolose, argille marnose e argilliti di colore grigio-verdastro, a struttura brecciata o finemente scagliosa, e olistoliti eterometrici di quarzareniti numidiche e argille variegatae.

Nella carta del CARG (Foglio Caltanissetta) queste tre facies principali sono descritte come segue:

- TRV: membro pelitico argilloso. Argille limose e argille marnose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro, marrone per alterazione, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, talora con laminate e con strati irregolari e lentiformi, con frequenti livelli millimetrici di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono passaggi di marne, marne argillose e argilliti di colore grigio e grigio-verdastro, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata.
- TRVa: membro sabbioso-conglomeratico. Arenarie e conglomerati a clasti poligenici ad elementi eterometrici carbonatici, silicei, cristallini, graniti e porfiriti dacitico-andesitiche, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, rosso e giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata; a luoghi sono presenti intercalazioni di arenarie giallastre e livelli di sabbie grossolane grigie e rossastre, in strati da sottili a spessi.

TRVb: membro brecciato. Argille, argille limose e limi argillosi di colore grigio e marrone, a struttura brecciata o a blocchetti poliedrici, talora scagliosa o indistinta, con locali livelli di sabbie limose grigie e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; a luoghi si rinvengono passaggi di argille marnose e argilliti di colore grigio-verdastro, a struttura brecciata o finemente scagliosa, e olistoliti eterometrici di quarzareniti numidiche e argille variegatae. La formazione Terravecchia affiora con continuità nell'area di studio e appoggia in discordanza sopra alle unità del substrato deformato (Argille Variegatae e Flysch Numidico). Le argille e argille marnose della formazione Terravecchia sono caratterizzate da associazioni di microfauna a *Neogloboquadrina acostaensis*, *Globigerinoides obliquus*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

extremus, *Globorotalia suterae* e *G. saheliana* della Zona a *Globigerinoides obliquus extremus* del Tortoniano superiore (Iaccarino, 1985).

La parte superiore della formazione Terravecchia, poggiate sugli alti strutturali e passante superiormente alla formazione del Calcere di Base, contiene i foraminiferi planctonici *Globorotalia conomiozea* e *Globorotalia mediterranea* indicanti un'età Messiniana inferiore (Zona a *Globorotalia conomiozea*), coeva con la base della Formazione del Tripoli.

Lo spessore in affioramento è di 100-150 m e l'età va dal Tortoniano superiore al Messiniano inferiore.

4.4.2 Tripoli (TPL)

Localmente, la formazione di Terravecchia passa gradualmente alla formazione nota come Tripoli, rappresentata da depositi di bacino euxinico del Messiniano inferiore, costituiti da diatomiti e marne diatomitiche laminate e fissili da bianche a grigio chiaro con resti di pesci, alternate a marne laminate con abbondanti foraminiferi planctonici, talora bituminose, torbaniti (sapropel) e calcari marnosi.

Lo spessore non supera di norma i 40 metri.

I depositi del Tripoli, depositatisi all'interno di bacini marini confinati o isolati, sono parzialmente equivalenti nel tempo alla formazione di Terravecchia e sono caratterizzati da una ciclicità litologica ben sviluppata. L'analisi della microfauna mostra associazioni dominate da foraminiferi planctonici, abbondanti diatomee e coccoliti, meno frequentemente da radiolari, spicole di spugna e resti di pesci (*Bregmaceros sp.*, *Myctophum sp.* e *Syngnathus sp.*; Grasso et al., 1990) e dinoflagellati.

La presenza di *Globigerinoides obliquus extremus*, *Turborotalita multiloba* e *Neogloboquadrina acostaensis destrorsa* è indicativa del Messiniano pre-evaporitico (Iaccarino et al., 2008). Gli spessori arrivano fino a 40 m, raggiungendo localmente 70-80 m (Contrada Gaspa, Grasso et al., 1990).

4.4.3 Gruppo della Gessoso-Solfifera

I depositi del Gruppo della Gessoso-Solfifera sono divisi in due formazioni:

- le evaporiti marine del Messiniano inferiore (Formazione di Cattolica) comprendenti il Calcere di Base, il Membro Selenitico Inferiore e il Membro Salino Inferiore, che mostrano un trend regressivo.
- La formazione trasgressiva di Pasquasia, costituita da gessareniti, dal Membro Selenitico superiore e dall'unità di Arenazzolo, da una discordanza regionale (Decima & Wezel, 1971; Butler et al., 1995b).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

4.4.3.1 Formazione di Cattolica (GTL).

4.4.3.1.1 Membro Selenitico (GTL2).

Il membro è costituito da gesso selenitico primario, dominato da grandi cristalli geminati a coda di rondine e da laminiti gessose (“Gessi di Cattolica”, Decima & Wezel, 1971) in strati fino a 2 m di spessore. Questi si alternano a strati a scala decimetrica di argille grigio-nere e marne bituminose, spesso prive di foraminiferi.

Il membro si trova sopra al Membro del Calcare di Base o direttamente sopra alle formazioni di Terravecchia o del Tripoli. È spesso ampiamente coperto da depositi antropogenici derivanti dall'attività estrattiva presso diverse miniere abbandonate. Nell'area di studio si rinviene in affioramento a est della dorsale di Marianopoli, dove sembra interamente costituito da facies di gesso risedimentato.

Lo spessore va da 0 a 50 metri e l'età è messiniana.

4.4.4 Trubi (TRB)

La formazione dei Trubi è rappresentata da depositi di bacino pelagico del Pliocene inferiore (Zancleano), poggianti in discordanza sui litotipi del Gruppo della Gessoso Solifera. Lo spessore massimo riconosciuto della formazione è di circa 100 m.

Essa consiste di marne calcaree e calcari micritici marnosi bianchi a foraminiferi planctonici, a frattura concoide, organizzati in strati decimetrici. Localmente si rinvengono potenti orizzonti di argille brecciate grigio scuro (TRBb) contenenti clasti di gesso e localmente blocchi di gessi (GTL2), calcari evaporitici (GTL1) e di argille varicolori (AV).

L'abbondante associazione planctonica alla base della formazione è caratterizzata dalla concomitante presenza di *Globorotalia margaritae* e *G. puncticulata*.

4.4.5 Gruppo di Enna

Il Gruppo di Enna è costituito nella parte superiore da una successione di calcareniti costiere con subordinati apporti di sabbie silicoclastiche (Calcareniti di Capodarso, ENNb; Roda, 1967) e da un intervallo basale di marne azzurre (Marne di Enna, ENNa). Il Gruppo affiora al di sopra dei calcari marnosi dei Trubi.

4.4.5.1 Marne di Enna (ENNa).

Argille marnose grigio-azzurre a frattura concoide, stratificazione indistinta ma con rari interstrati di arenaria (Calcareniti di Capodarso, ENNb), che diventano più frequenti verso l'alto. Le marne contengono un'associazione di foraminiferi planctonici con *Globigerina bulloides*, *Globigerinoides elongatus*, *Globorotalia bononiensis*, *G. crassaformis aemiliana* e rara *Sphaeroidinellopsis seminulina*.

Lo spessore massimo è di 200 m, l'età è riferibile al Pliocene medio.

4.4.5.2 Calcareniti di Capodarso (ENNb).

Le Calcareniti di Capodarso sono costituite da rocce carbonatiche bioclastiche e da subordinate sabbie silicoclastiche con laminazione incrociata e clinoforni. Contengono una ricca fauna (non diagnostica) a

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Pecten sp., Venus sp., Lucina sp., Ostrea sp. Lo spessore è di 50-70 m. L'età è dubitativamente assegnata al Pliocene superiore data l'assenza di fauna distintiva.

4.5 Depositi continentali quaternari

I depositi quaternari che si rinvencono lungo il corridoio di progetto sono costituiti essenzialmente da depositi alluvionali di età diverse e da depositi detritico-colluviali derivanti e dall'accumulo dei prodotti della disaggregazione e alterazione dei litotipi del substrato.

4.5.1 Depositi alluvionali antichi

I depositi alluvionali antichi (Pleistocene sup.-Olocene) si rinvencono in genere lungo superfici subpianeggianti e a morfologia attenuata, sopraelevate rispetto all'alveo attuale dei corsi d'acqua. Si tratta di depositi di alveo fluviale, piana esondabile, meandro e conoide alluvionale, a dominante composizione sabbioso-ghiaiosa, di spessore massimo inferiore a 20 m.

Comprendono:

- ghiaie poligeniche ed eterometriche, a clasti da subangolosi ad arrotondati, con tessitura da clast- a matrix-supported in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone, bruno e giallastro, da scarsa ad abbondante;
- limi sabbiosi e sabbioso-argillosi, con livelli di argille e argille limose nei quali la frazione grossolana è subordinata o assente.
- locali paleosuoli nerastri poco evoluti e livelli di sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi di colore marrone, con diffuse ghiaie poligeniche da subangolose ad arrotondate.

4.5.2 Depositi alluvionali recenti

I depositi alluvionali recenti (Olocene) costituiscono la maggior parte delle pianure alluvionali dei fondovalle attuali (sia principali sia secondari); nei fondovalle principali i depositi recenti risultano sovente terrazzati o incisi da paleoalvei non riattivabili. Sono inclusi in questo gruppo depositi di alveo fluviale, piana esondabile, meandro e conoide alluvionale a dominante composizione sabbioso-ghiaiosa, con spessore massimo dedotto dalle stratigrafie dei sondaggi dell'ordine dei 15 m ca.

Dal punto di vista litologico comprendono limi e limi argillosi con subordinate sabbie e sabbie limose di colore marrone, grigio e giallastro, a stratificazione più o meno ben definita, talora con laminazione incrociata, con abbondanti ghiaie poligeniche da subangolose ad arrotondate; sovente si rinvencono lenti e livelli da metrici a plurimetrici di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da subangolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone e grigio-giallastro, da scarsa ad abbondante.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 38 di 379</p>

4.5.3 Depositi alluvionali attuali

I depositi alluvionali attuali costituiscono il riempimento degli alvei di piena attuali, anche temporaneamente abbandonati, e di piana esondabile. Lo spessore massimo è dell'ordine di alcuni metri.

Comprendono ghiaie eterometriche a ciottoli poligenici da arrotondati a subarrotondati, con tessitura clast-supported in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa a abbondante; sabbie e sabbie limose in matrice limoso-argillosa con intercalazioni di argille limose e locali livelli ghiaiosi. Il colore è generalmente da marrone a ocra, la tessitura è massiva o laminata.

4.5.4 Depositi di versante

Il materiale sciolto classificato come “depositi detritici di versante” deriva dal trasporto ed accumulo, lungo i versanti e alla loro base, dei prodotti di disgregazione/alterazione del substrato, in particolare se di natura litoide (calcari, calcareniti, ecc.). Possono essere localmente eteropici con i depositi della coltre eluvio-colluviale, o essere da questa ricoperti. Lo spessore massimo è di circa 5-8 m.

Si tratta di depositi a tessitura massiva da clast- a matrix-supported, costituiti da ciottoli, blocchi e ghiaie poligeniche ed eterometriche, con clasti da angolosi a subangolosi, immersi in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, bruno e giallastro. Localmente passano a prevalenti sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone e giallastro, a tessitura massiva, con subordinate ghiaie poligeniche.

4.5.5 Coltre eluvio-colluviale

Depositi sottili derivanti dalla degradazione meccanica e in parte dall'alterazione dei litotipi del substrato, che ricoprono in maniera pressoché ubiquitaria. Lo spessore massimo è di circa 2-3 m, localmente maggiore al piede dei versanti, laddove possono essere presenti accumuli più consistenti; nei primi 1-1.5 m dalla superficie sono spesso intensamente rimaneggiati dalle attività agricole (aratura).

Comprendono argille limose e argille sabbiose, localmente passanti a sabbie argillose e a limi argilloso-sabbiosi, con frequenti livelli sabbioso-ghiaiosi a clasti poligenici da angolosi a subarrotondati. Il colore varia a seconda del litotipo di origine da grigio a marrone e bruno-rossastro; la tessitura è massiva, con abbondanti resti vegetali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

5. UNITÀ GEOTECNICHE

Il tracciato nelle tratte allo scoperto ricade principalmente all'interno di aree di fondovalle caratterizzate da unità di substrato ricoperte da estesi depositi eterogenei quaternari di natura alluvionale. Tali unità di substrato risultano affioranti o ricoperte da coltri eluvio-colluviali di qualche metro di spessore. Nelle seguenti tabelle sono definite le unità geotecniche superficiali e substrati presenti lungo le tratte in esame.

Depositi alluvionali

a2 (a2): Limi e limi argillosi con subordinate sabbie limose

a (a): Ghiaie, sabbie, sabbie limose

Trubi

TRB (TRB): Marne calcaree e calcari marnosi, argille, limi argillosi

Formazione di Pasquasia

GPQ (GPQ): mame, mame argillose e argille mamose

Formazione di Cattolica

GTL2 **Membro selenitico**
 (GTL2): gessi e gessi massivi alternati ad argille gassose

Tripoli

TPL (TPL): diatomiti e marne diatomitiche

Formazione Terravecchia

TRV (TRV): argille limose e argille mamose

TRVa (TRVa): sabbie e arenarie con intercalazioni di conglomerati

Membro di Nicosia

FYN4 (FYN4): alternanza di prevalenti argille e argille siltose di colore da bruno a **bruno tabacco con siltiti e quarzoareniti torbiditiche**

Gruppo delle Argille Variegata

AV **ag**
Y **cl**
sc
 Argilliti scagliettate con intercalazioni di radiolariti, arenarie e calcareniti

Figura 6: unità geotecniche presenti nel lotto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

6. CRITICITÀ GEOTECNICHE LUNGO IL TRACCIATO

In questo capitolo, vengono sintetizzate, le criticità che sono presenti lungo il tracciato.

Per quanto riguarda la tratta compresa tra le pk 0+000 (inizio lotto) e 4+000, l'area indicata nella cartografia P.A.I. come soggetta ad erosione concentrata o diffusa risulta in realtà definita da diversi tipi di fenomeni, comprendenti aree a franosità diffusa, colamenti lenti e soliflusso. Il tracciato in progetto è interessato esclusivamente da processi di soliflusso, che non rappresentano una situazione di dissesto effettivo e non costituiscono un elemento di criticità per le strutture in progetto. Il fenomeno può essere agevolmente controllato attraverso l'adozione di opere di sostegno ordinarie di scarpate e sbancamenti sia temporanei sia definitivi e la regimazione delle acque superficiali, analogamente a quanto avviene per i settori di pendio interessati da scavi e privi di qualsiasi tipo di processo superficiale.

Analoghe considerazioni valgono per tutte le altre aree in soliflusso identificate lungo lo sviluppo del tracciato; pertanto le opere in progetto sono compatibili con le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area in esame.

Per quanto riguarda la tratta compresa tra la pk 4+000 e 6+560, i dissesti superficiali riconosciuti lungo il tracciato della galleria non determinano alcun tipo di interferenza con l'opera poiché non coinvolgono in alcun modo il substrato prequaternario. I dissesti identificati dal P.A.I. sono ubicati circa 30 m al di sopra della galleria naturale Monte Stretto e non rappresentano un elemento di criticità. I dissesti identificati in corrispondenza dell'imbocco lato Catania della GN01 richiedono invece interventi di sistemazione e stabilizzazione di cui si è tenuto conto nella progettazione delle opere, prevedendo la regimazione delle acque superficiali e l'adozione di misure di protezione dei pendii dall'erosione e di sostegno di scarpate e sbancamenti.

In definitiva, fatti salvi gli accorgimenti di cui sopra, per i quali si rimanda alla relazione geotecnica di progetto, le opere previste sono compatibili con le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area in esame.

Per quanto riguarda la tratta compresa tra la pk 6+560 e 7+600, si osserva che il tratto d'alveo in questione è stato sottoposto a interventi di regimazione idraulica, protezione delle sponde e canalizzazione, per cui il livello di pericolosità definito dal P.A.I. è da rivalutare. Il tracciato di linea si svilupperà in viadotto, ragion per cui sarà eventualmente necessario prevedere la protezione delle pile di fondazione, nelle immediate adiacenze dell'attraversamento del corso d'acqua, da parte di azioni erosive da corrente, in occasione di eventi di piena eccezionale.

In considerazione di ciò e fatti salvi i necessari accorgimenti progettuali, l'opera in progetto non interferirà con il deflusso delle acque, anche nell'eventualità di un'esondazione del torrente, fenomeno

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 41 di 379

che comunque è fortemente mitigato dagli interventi di risistemazione idraulica eseguiti. L'opera in progetto è quindi compatibile con l'assetto geologico e geomorfologico del settore in esame.

Per quanto riguarda la tratta compresa tra la pk 7+600 e 11+600, i dissesti individuati sia dal rilevamento geomorfologico di dettaglio, sia dalla cartografia P.A.I. (questi ultimi in parte riclassificati in base ai risultati del rilevamento stesso) non interessano il tracciato della galleria in quanto sono confinati allo strato superficiale di copertura del basamento prequaternario, dello spessore massimo di pochi metri. Nessuno dei dissesti individuati interessa il substrato stabile, per cui non è ipotizzabile alcun tipo di interferenza. I fenomeni superficiali di soliflusso individuati in prossimità degli imbocchi non rappresentano una condizione di dissesto. L'area a franosità diffusa quiescente individuata presso l'imbocco lato Palermo lambisce solo marginalmente l'asse di linea e non è caratterizzata da movimenti profondi, rappresentando un processo erosivo di un fianco di impluvio in graduale approfondimento.

Tutti i fenomeni superficiali eventualmente presenti in zona di imbocco possono essere agevolmente gestiti con l'adozione dei consueti accorgimenti progettuali per il drenaggio delle acque superficiali, il sostegno delle scarpate e degli sbancamenti sia provvisori sia definitivi e la protezione dei pendii dall'erosione superficiale. Le opere in progetto sono quindi compatibili con le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area in esame.

Per quanto riguarda la tratta compresa tra la pk 11+600 e 13+300, i fenomeni potenzialmente interferenti con alcune strutture in progetto, in particolare riferite alla nuova viabilità esterna, sono rappresentati da frane superficiali a evoluzione lenta, in corrispondenza delle quali sono stati previsti interventi di mitigazione del rischio e misure di sostegno e protezione delle opere e di regimazione delle acque superficiali che costituiscono il principale elemento in grado di condizionare l'innescò e l'evoluzione di questi processi. Di questi fenomeni si è dato conto nell'analisi delle criticità inerenti al tracciato di linea (cfr. relazione geologica di progetto) e nelle allegate schede dissesti. Per i dettagli dei singoli interventi si rimanda invece alla relazione geotecnica di progetto.

Fatta salva l'adozione degli interventi di cui sopra e considerato il carattere superficiale e arealmente limitato dei fenomeni osservati, le opere in progetto risultano compatibili con le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area in esame.

Per quanto riguarda la tratta compresa tra la pk 13+300 e 27+523 (fine lotto), tutti i dissesti individuati nella cartografia P.A.I., e nell'ambito dei rilievi geologico-geomorfologici di dettaglio condotti per il Progetto definitivo del lotto 4a, non presentano alcuna interferenza con la galleria naturale trinacria (GN03) che si sviluppa a notevole profondità senza essere in alcun modo interessata dai fenomeni superficiali descritti nei paragrafi precedenti. Non è quindi ipotizzabile nessuna criticità di rilievo nei confronti delle opere in progetto, in relazione alla dinamica dei versanti. Gli imbocchi lato Palermo e lato Catania della GN03 non risultano interessati da dissesti di alcun tipo ma esclusivamente da processi di

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 42 di 379

soliflusso. Analogamente, la breve tratta all'aperto che porta dall'imbocco lato Catania alla nuova stazione di Enna (termine lotto) non è caratterizzato da dissesti di rilievo.

In conclusione, le opere in progetto sono pienamente compatibili con le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area in esame.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

6.1 Quadro sintesi delle criticità

La tabella seguente presenta una sintesi delle criticità descritte nei paragrafi precedenti, suddivise per macrotratte e per singole WBS.

Macrotratta	Criticità	Incidenza
Tratta all'aperto pk 0+000 ÷ 1+148	nessuna criticità di rilievo	-
	drenaggio superficiale privo di regimazione	media
	Movimenti complessi al km 1+350 e aree in soliflusso	-
Tratta all'aperto pk 6+187 ÷ 7+719	Movimenti complessi al km 6+500 e aree in soliflusso	
	nessuna criticità di rilievo	-
	ciglio di scarpata fluviale in erosione	alta
	nessuna criticità di rilievo	-
Tratta all'aperto pk 11+530 ÷ 13+448	Movimenti complessi e aree in soliflusso al km 12+800-13+100	
	nessuna criticità di rilievo	-
Tratta all'aperto pk 26+899 ÷ 27+522	nessuna criticità di rilievo	-

Tabella 3: Sintesi delle criticità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 44 di 379

7. CRITERI DI SCELTA DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Come definito dalla Normativa per valore caratteristico si intende un parametro geotecnico che corrisponde ad una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni si deducono dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità.

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene generalmente in due fasi.

La prima fase comporta l'identificazione dei *parametri geotecnici appropriati* ai fini progettuali cioè quei parametri da riferirsi alla tipologia specifica di opera ed al suo comportamento tenso-deformativo.

La seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, perché a larga scala si compensano le eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura ha una ridotta rigidità.

Una valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune valutazioni statistiche.

La variabilità intrinseca dei terreni è dovuta prevalentemente ai processi geologici e geomorfologici naturali agenti sui volumi di terreno in situ. Gli errori di misura sono dovuti alle limitazioni tecnologiche della strumentazione, ad imperfezioni nelle procedure di prova, a possibili errori dell'operatore e ad una componente di errore aleatorio. I risultati di prova possono inoltre essere affetti da incertezze di tipo statistico e da errori di campionamento, dovuti a numerosità limitata delle misure.

Pertanto, statistiche riguardanti le proprietà geotecniche dei terreni derivanti da analisi di variabilità totale, sono applicabili benché limitatamente al sito specifico, al gruppo geotecnico analizzato, alla strumentazione e tipologia di prova impiegata.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

8. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE PER I TERRENI INCOERENTI

In questa sede per terreni incoerenti a grana grossa si intendono quei materiali caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) generalmente inferiori a 30-35%.

In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica si basa sull'interpretazione delle prove in sito (SPT, sismiche,...) e delle prove di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati.

La caratterizzazione evidenzia i seguenti aspetti:

- parametri fisici e stato iniziale in sito;
- resistenza al taglio;
- deformabilità;
- permeabilità.

8.1 Parametri fisici e stato iniziale del deposito

Per quanto concerne i parametri fisici, in base alle prove del laboratorio effettuate su provini disturbati e/o rimaneggiati si sono potute ottenere delle informazioni sui fusi granulometrici caratteristici (fuso medio e range di variabilità suffragato da considerazioni di tipo probabilistico) e sulle principali caratteristiche granulometriche medie (D_{10} , D_{60} , D_{50}), valori del peso di volume dei granuli γ_s . Per i fusi granulometrici si faranno anche considerazioni statistiche evidenziando il fuso medio ed i fusi "estremi" statisticamente rappresentativi (distribuzione di t-Student) e le percentuali medie delle componenti granulometriche, nonché, laddove numericamente significativo, la distribuzione delle percentuali con la profondità.

Laddove si è reso disponibile è stato possibile ottenere dalle prove i valori delle densità massime e minime.

Lo stato iniziale del deposito è definito in termini di:

- tensioni geostatiche iniziali;
- pressioni interstiziali;
- indice dei vuoti iniziale o densità relativa D_r .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per quanto riguarda i punti a) e b), le indicazioni relative al livello di falda e quindi ai valori delle pressioni neutre si è fatto riferimento alle indicazioni di carattere geologico.

Per la storia dello stato tensionale necessaria per la determinazione delle tensioni orizzontali per il tramite di K_0 , è stato possibile avere delle indicazioni provenienti dagli studi di carattere geologico.

Per la stima di K_0 , oltre alle informazioni di carattere geologico, (es: entità dell'erosione,...) si possono utilizzare le seguenti correlazioni che tengono implicitamente conto di

stato di addensamento

- storia tensionale
- fenomeni di aging

- terreni normalconsolidati

$$k_{0\text{nc}} = (1 - \sin\phi') \quad \text{Jaky (1944)} \quad ; \quad (-)$$

correlazione di [Bellotti \(1985\)](#) per materiali granulari riportato nella seguente figura.

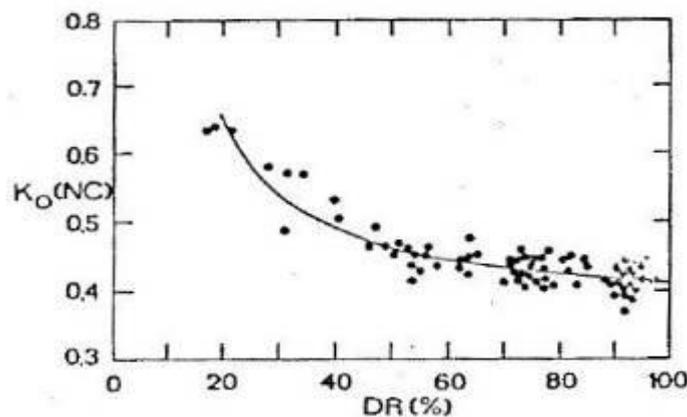


Figura 7: Correlazione di Bellotti

- terreni sovraconsolidati

$$k_{0\text{sc}} = k_{0,\text{NC}} \cdot (\text{OCR})^{0.5} \quad (\text{Mayne and Kulhawy (1982)}) \quad (-)$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

con OCR=grado di sovra consolidazione

- terreni caratterizzati da fenomeni di “aging”

$$k_0 = k_{0nc} \cdot \left(\frac{t}{t_p} \right)^{\frac{C_{ae}}{C_c}} \quad (\text{Mesri (1989)}) \quad (-)$$

dove:

t= tempo intercorso dalla deposizione

t_p=tempo necessario per il completamento della consolidazione primaria (stimato 1 anno)

C_{ae}=coefficiente di consolidazione secondaria

C_c= coefficiente di consolidazione primaria. Per i terreni granulari si pone C_{ae} / C_c = 0.02

Per il punto c) l'indice dei vuoti iniziale (e_o) e la densità relativa (D_r) vengono ricavati dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT (per e_o laddove disponibili o stimabili e_{max} ed e_{min}, altrimenti in condizioni sature si sfrutta la correlazione di Foti di cui al par 2.2.1.2).

8.2 Densità relativa

La densità relativa si definisce:

$$D_r = \frac{e_{max} - e_o}{e_{max} - e_{min}}$$

essendo:

e_{max} = indice dei vuoti massimo del materiale (-)

e_{min} = indice dei vuoti minimo del materiale (-)

e_o = indice dei vuoti in sito del materiale (-)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per quanto riguarda i terreni incoerenti **prevalentemente sabbiosi** la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente legge di [Skempton \(1986\)](#):

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

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in **tabella**

σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota
della prova SPT

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm corrispondente ad una energia di infissione pari ad una percentuale di quella teorica (60%)

(K_o) = coefficiente di spinta a riposo per terreni (-)

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 sovraconsolidate	27,5÷43,3	$(21,7 \div 27,5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (k_o)_{sc}}{1 + 2 \cdot (k_o)_{nc}}$

Per quanto riguarda i terreni incoerenti **prevalentemente costituiti da sabbie e ghiaie** la determinazione della densità relativa D_r rischia di essere meno rappresentativa sia per motivi di natura operativa (tipo di attrezzatura utilizzata) sia per la presenza di valori a rifiuto che non sono necessariamente indice di elevati gradi di addensamento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

L'interpretazione dei valori N_{SPT} verrà fatta in accordo al metodo proposto da [Cubrinowski & Ishihara \(1999\)](#) utilizzando la seguente espressione:

$$D_r = \left\{ \frac{(N_{SPT})_{78\%} \cdot \left(0,23 + \frac{0,06}{D_{50}}\right)^{1,7}}{9} \cdot \left(\frac{98}{\sigma'_{vo}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{k_{o,NC}}{k_{o,SC}}\right)^{1/2} \right\}^{1/2}$$

essendo:

D_r = densità relativa (-)

$(N_{SPT})_{78\%}$ = numero di colpi/30 cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica

$$(N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT}) \cdot \frac{ER}{78}$$

D_{50} = diametro delle particelle corrispondente al 50% di passante (mm)

Il valore del D_{50} è stato desunto sulla base delle curve granulometriche disponibili dalle prove di laboratorio per le formazioni in esame. Nelle correlazioni si è considerato il valore corrispondente al fuso granulometrico medio delle formazioni.

σ'_{vo} = pressione verticale efficace geostatica (kPa)

$k_{o,NC}$ = coefficiente di spinta a riposo di terreni normalmente consolidati (-)

$k_{o,SC}$ = coefficiente di spinta a riposo di terreni sovraconsolidati (-)

Per quanto riguarda il criterio di applicazione della correlazione di Skempton piuttosto che di Cubrinowski per il calcolo di D_r , si sono considerate le analisi granulometriche disponibili.

I valori di N_{spt} sono stati corretti ($N'_{spt} = C_{sg} \cdot N_{spt}$) tenendo conto dell'effetto della dimensione delle particelle, in particolare della ghiaia, secondo quanto proposto da [Tokimatsu & Yoshimi, 1983](#) (fattore correttivo C_{sg}) in funzione del D_{50} .

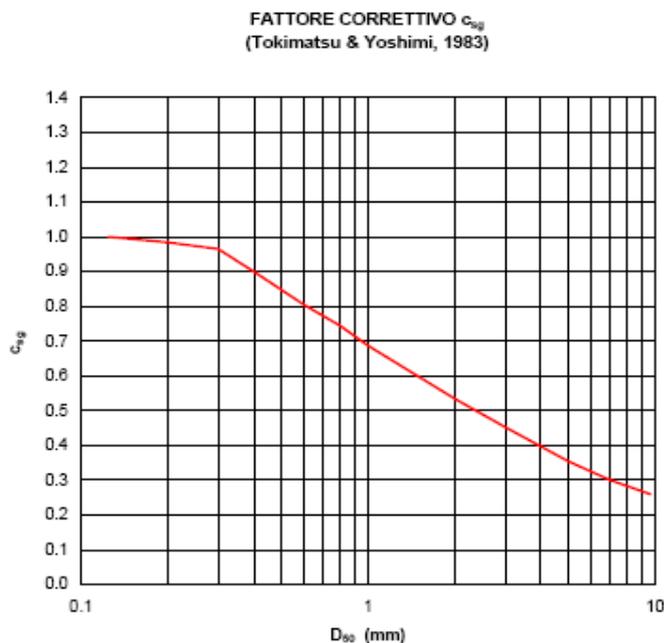


Figura 8: Fattore C_{sg} correttivo di Tokimatsu & Yoshimi, 1983

La densità relativa è stata determinata anche utilizzando la correlazione di Bazaara [1967]:

$$D_r = [N'_{SPT}/(20+0.8\sigma'_{vo})]^{0.5} \text{ per } \sigma'_{vo} < 73.2 \text{ kPa}$$

$$D_r = [N'_{SPT}/(65+0.2\sigma'_{vo})]^{0.5} \text{ per } \sigma'_{vo} > 73.2 \text{ kPa}$$

In cui:

N'_{SPT} = Numero di colpi risultanti dalla prova SPT, corretto in funzione del rendimento del sistema di infissione;

σ'_{vo} = pressione geostatica verticale efficace.

8.3 Indice dei vuoti iniziale e pesi di volume

Una volta noto il valore di D_r calcolato come esplicitato nel capitolo precedente, il valore dell'indice dei

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 51 di 379</p>

vuoti in sito e del peso di volume del secco possono essere determinati dalla relazione:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_o}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \cdot \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}}$$

una volta noti i valori di e_{\max} , e_{\min} , $\square_{d\max}$ e $\square_{d\min}$. Essi possono essere determinati in laboratorio.

In questa sede, in mancanza del valore e_{\min} , noto o stimato il valore e_{\max} (Youd (1973)) è stato possibile determinare e_o una volta noto il valore di D_r e quello della differenza $e_{\max} - e_{\min}$ attraverso le relazioni di Cubrinowski & Ishihara (1999):

$$(e_{\max} - e_{\min}) = 0.23 + 0.06 / D_{50}$$

con D_{50} in mm

Si riportano al proposito anche le relazioni di Youd (1973):

$$e_{\max} = 0.554 + 0.154 R^{-1}$$

$$e_{\min} = 0.359 + 0.082 R^{-1}$$

essendo R definito come “rotondità” delle particelle e stimabile mediamente pari a 0.5.

Per terreni saturi può essere utilizzata la relazione di Foti et al. (2002) che sfrutta i risultati delle prove sismiche in foro (cross hole o down hole) per determinare la porosità e quindi l'indice dei vuoti:

$$n = \frac{\rho^S - \sqrt{(\rho^S)^2 - \frac{4(\rho^S - \rho^F)K^F}{V_P^2 - 2\left(\frac{1-\nu^SK}{1-2\nu^SK}\right)V_S^2}}}{2(\rho^S - \rho^F)}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

essendo V_p e V_s le misure sperimentali delle velocità di compressione e di taglio, ρ^s la densità di massa dei grani, ρ^f la densità di massa del fluido, v^{sk} coefficiente drenato dello scheletro solido, K^F modulo volumico del fluido ($2.25 \cdot 10^6$ KPa).

$$e_0 = \frac{n}{1-n}$$

In questo caso è possibile, nelle stesse verticali, fare un confronto fra i valori di e_0 calcolati con la correlazione di Foti con quelli calcolati attraverso la formula della D_r , consentendo una verifica delle correlazioni utilizzate.

Il confronto è possibile anche laddove esistono misure di laboratorio di e_0 .

Per la determinazione di \square_d , in mancanza di determinazioni di laboratorio per \square_{dmax} e \square_{dmin} si può fare riferimento a dati di letteratura per i siti in esame ([Jamiolkowski and Lo Presti, 2003](#)).

Dalla relazione $n=1-\gamma_d/\gamma_s$ si può quindi ricavare n o viceversa γ_d una volta nota la porosità n .

Noti il peso di volume dei granuli e l'indice dei vuoti iniziale, considerando il mezzo saturo ($S_r=1$), è possibile stimare il peso di volume in sito:

$$\gamma = \frac{\gamma_s + e}{1 + e} \cdot \gamma_w$$

Essendo γ_s la densità di massa dei grani.

8.4 Resistenza in condizioni drenate

L'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ'_{picco} è stato determinato facendo riferimento a diverse correlazioni:

- correlazione di [Schmertmann \(1975\)](#)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

- $\varphi' (\circ) = 28 + 0.14 \cdot D_r$ per Sabbia fine uniforme
- $\varphi' (\circ) = 31.5 + 0.115 \cdot D_r$ per Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata
- $\varphi' (\circ) = 34.5 + 0.10 \cdot D_r$ per Sabbia grossa uniforme e sabbia ben gradata
- $\varphi' (\circ) = 38 + 0.08 \cdot D_r$ per Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa
- correlazioni di [De Mello \(1971\)](#)

$$\varphi D' = 19 - 0.38 \cdot \sigma_v' + 8.73 \log (N_{1(60)})$$

- al metodo proposto da [Bolton \(1986\)](#) in base al quale:

$$\varphi_{cv}' = \varphi'_{picco} - m \cdot DI$$

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

$$\varphi'_{picco} = \text{angolo di attrito di picco} \quad (\circ)$$

Q = coefficiente che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle, assunto in questa sede pari a 10

$$p_f' = 1,4 \cdot \sigma_{ff}' \quad (\text{vedi } \a href="#">Jamolkowski et al. 1988) \quad (\text{kPa})$$

σ_{ff}' = tensione efficace normale alla superficie di rottura = 272 kPa

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti a rottura (vedi **tabella**)

$$\varphi_{cv}' = \text{angolo di attrito di stato critico} \quad (\circ)$$

$$D_r = \text{densità relativa} \quad (-)$$

Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Condizioni di rottura	m(·)
Prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
Prova triassiale in estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5
σ_2' = tensione principale efficace intermedia σ_3' = tensione principale efficace minore	

Anche le prove pressiometriche permettono di stimare ϕ' con una buona approssimazione.

Per cui i valori di ϕ' possono ricavarsi dalla relazione:

$$P'l = 0.25 \times 2(\phi'/4-6)$$

con P'l pressione limite in MPa.

8.5 Deformabilità

8.5.1 Moduli elastici a piccole deformazioni

Come è noto il comportamento deformativo dei terreni a piccole deformazioni (deformazioni di taglio $\gamma < \gamma_l$ con γ_l soglia di linearità) si presenta lineare e dipende da variabili dipendenti dalla tipologia dei materiali (granulometria, caratteristiche fisiche dei grani,...) e da variabili di stato (stato tensionale, addensamento, storia tensionale,...).

In generale per i terreni incoerenti, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- G_0 aumenta all'aumentare della pressione media p' ;
- G_0 diminuisce all'aumentare dell'indice dei vuoti e ;
- G_0 aumenta all'aumentare del grado di sovraconsolidazione **OCR**;

- G_0 aumenta all'aumentare del grado di cementazione c ;
- G_0 non risente sensibilmente della velocità di applicazione dei carichi.

In generale la relazione che lega G_0 ai parametri di cui sopra è del tipo:

$$G_o = S \cdot f(e) \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n \cdot OCR^k$$

Nel caso di terreni incoerenti l'equazione può essere riscritta in:

$$G_o = S \cdot f(e) \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n$$

essendo modesta l'influenza di OCR.

Mancuso et al. (1997) assume per la funzione $f(e)$ l'espressione: $f(e) = \frac{(2.973 - e)^2}{(1 + e)}$

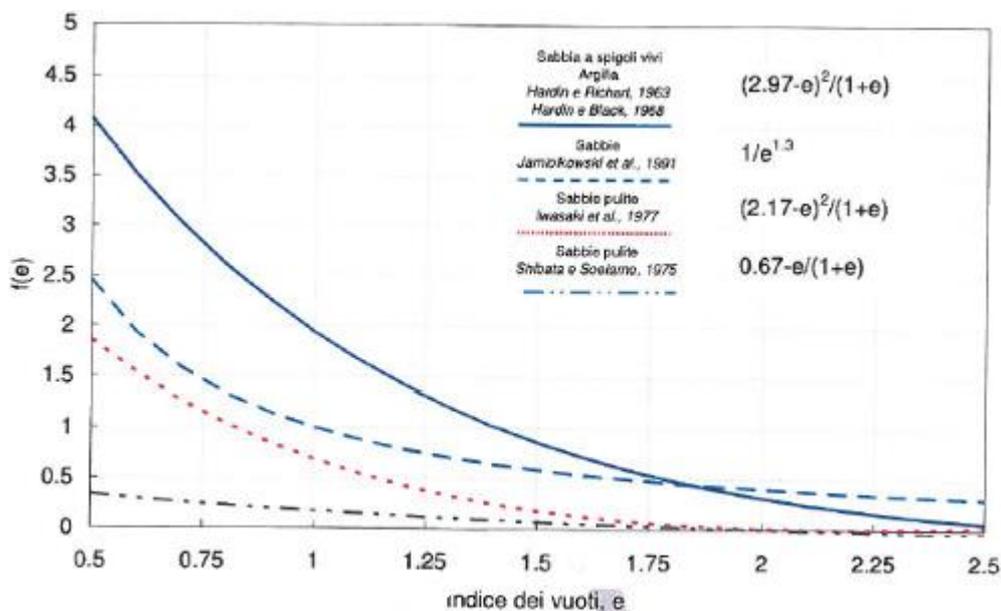


Figura 9: Espressioni di $f(e)$ secondo vari Autori

S rappresenta un fattore che dipende dalla mineralogia, microstruttura e tessitura degli aggregati mentre

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

n rappresenta un fattore che rappresenta la sensibilità della variazione con p' .

I moduli iniziali di taglio (G_o) e di Young (E_o), corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie p' , possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

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

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,20-0,30

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

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente da prove geofisiche “down hole” e “cross hole” o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT.

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, può essere ricavata sulla base alla correlazione proposta da [Ohta & Goto \(1978\)](#) (vedi anche [Baldi et al., 1989](#)); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{\text{SPT}})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

$C = 67,3$

z = profondità dal p.c. in metri

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedi la **tabella**)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedi la **tabella**)

Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A

(funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G

(funzione della composizione granulometrica del deposito)

f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

8.5.2 Moduli elastici a medie e grandi deformazioni

Il comportamento deformativo a medie deformazioni ($\gamma_I < \gamma < \gamma_v$ con γ_v soglia di deformazione volumetrica) ed a grandi deformazioni di taglio ($\gamma > \gamma_v$) si manifesta in modo fortemente non lineare.

In generale per i terreni incoerenti, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- $G(\gamma)/G_0$ aumenta all'aumentare della pressione media p' : all'aumentare di p' le curve si spostano verso l'alto e verso destra, cioè lo stesso rapporto $G(\gamma)/G_0$ si manifesta per γ più elevate;
- $G(\gamma)/G_0$ aumenta all'aumentare di e ;
- $G(\gamma)/G_0$ non risente del grado di sovraconsolidazione **OCR**;
- $G(\gamma)/G_0$ aumenta all'aumentare del grado di cementazione **c**.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Le curve di $\mathbf{G}(\gamma)$ risultano normalizzate rispetto a \mathbf{G}_0 per valutare l'effetto di alcuni fattori indipendentemente da quelli che influenzano \mathbf{G}_0 riportati nel precedente paragrafo.

La soglia di linearità γ_1 per terreni granulari può fissarsi già a partire da un valore pari a 0.001%: essa diminuisce al crescere della dimensione dei grani ed aumenta con la pressione \mathbf{p}' di confinamento. Esistono varie correlazioni in letteratura per definire opportune curve di degrado del modulo in funzione dei parametri sopra menzionati.

Tali curve risultano valide anche per terreni a grana fine per i quali si rimanda allo specifico paragrafo e possono utilizzarsi in **modelli di calcolo elastici non lineari**.

Si riporta di seguito la relazione di [Ishibashi e Zang \(1993\)](#):

$$\frac{G}{G_0} = K(\gamma, Ip) \cdot (p')^{m(\gamma, Ip) - m_0}$$

$$K(\gamma, Ip) = 0.5 \cdot \left[1 + \tanh \left(\ln \left(\frac{0.000102 + n(Ip)}{\gamma} \right)^{0.492} \right) \right]$$

$$m(\gamma, Ip) - m_0 = 0.272 \cdot \left[1 - \tanh \left(\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right) \right] \cdot \exp(-0.0145 \cdot Ip^{1.3})$$

$$0.0 \quad Ip = 0$$

$$n(Ip) = 3.37 \cdot 10^{-6} Ip^{1.404} \quad 0\% < Ip < 15\%$$

$$7.0 \cdot 10^{-7} Ip^{1.976} \quad 15\% < Ip < 70\%$$

$$2.7 \cdot 10^{-5} Ip^{1.115} \quad Ip > 70\%$$

Si riportano di seguito anche le curve teoriche proposte rispettivamente da [Lo Presti \(1989\)](#) e da [Vucetic e Dobry \(1991\)](#).

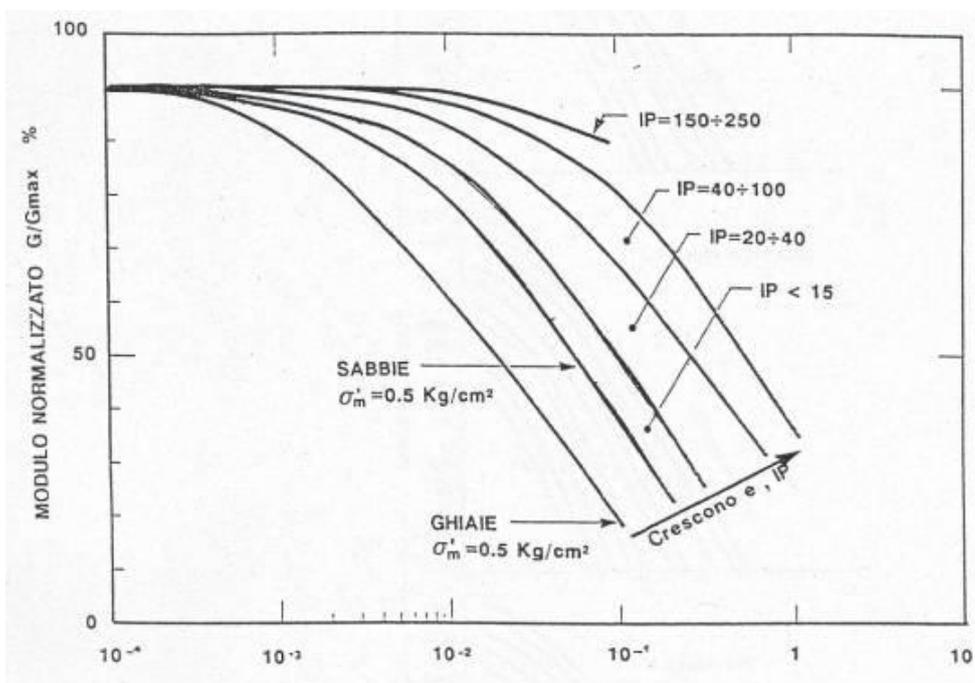
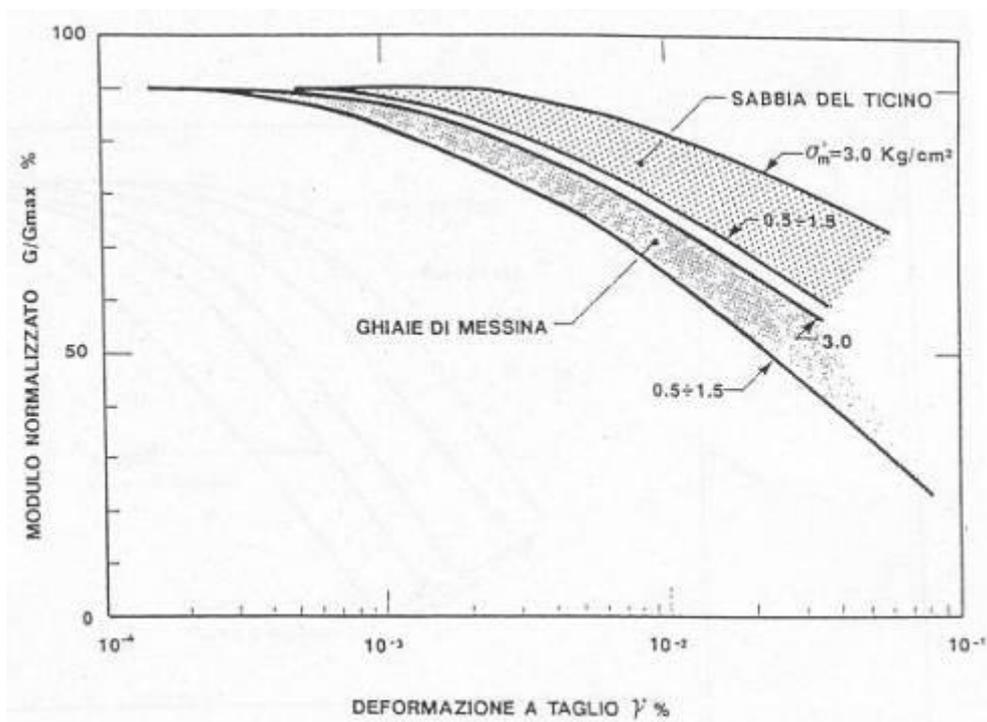


Figura 10– Curve di decadimento secondo Lo Presti,1989

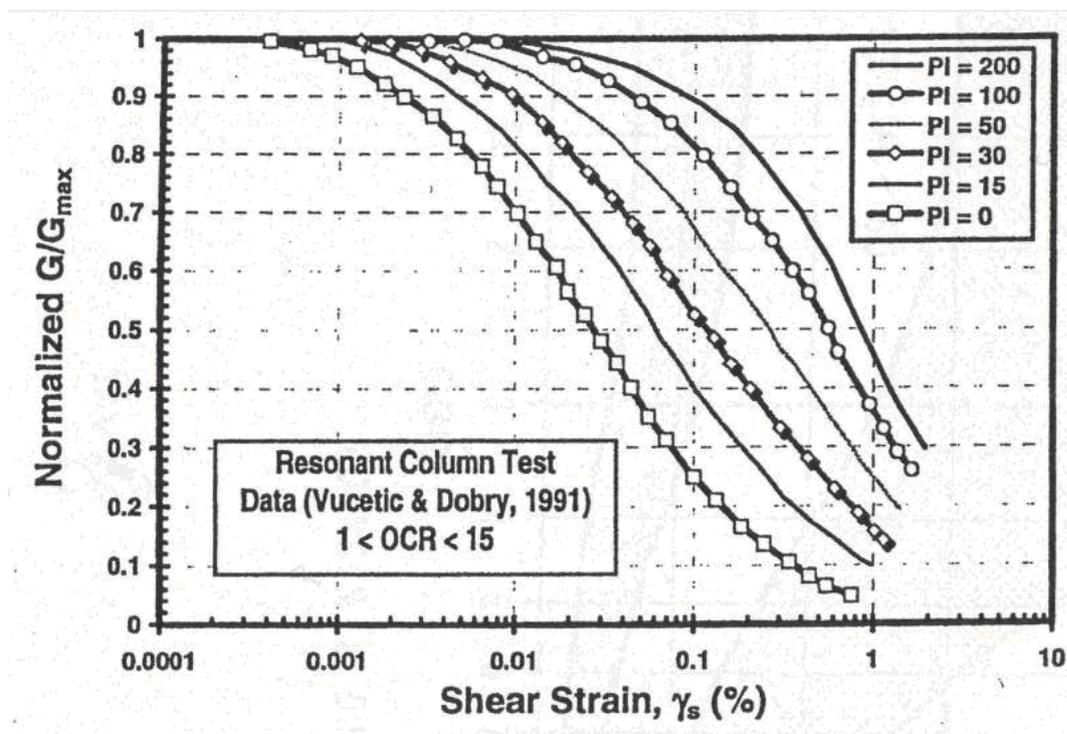


Figura 11– Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry,1991

8.5.3 Modelli di calcolo convenzionali elastico lineari

In questo caso si ha che la scelta del modulo elastico operativo viene fatta convenzionalmente essendo a conoscenza del range di deformazioni indotte dalle opere in esame:

Fronti di scavo ed opere di sostegno: i moduli statici sono pari a circa $(1/3 \div 1/5) \cdot E_0$ in quanto le deformazioni indotte risultano relativamente contenute, dell'ordine di $1 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-3}$ e prevalentemente di scarico o scarico-ricarico.

Fondazioni profonde e dirette: i moduli statici E' possono ritenersi pari a circa $(1/3 \div 1/5) \cdot E_0$ con valori prossimi all'estremo inferiore del range, in considerazione del livello deformativo indotto e del fatto che gli spostamenti totali e differenziali ammissibili per l'opera devono essere comunque contenuti.

Rilevati: i moduli statici E' sono pari a circa $1/5 \div 1/10 \cdot E_0$: per tali strutture in terra infatti si hanno cedimenti totali e differenziali maggiori di quelli delle fondazioni profonde e dirette. L'estremo

superiore del range (1/5) sarà considerato nel caso in cui la stima di E_0 possa ritenersi già cautelativa (es: interpolazione dei valori medi-minimi,...).

Fondazioni su pali:

$$E_{MR} = E_{MR,0} + k_h \times z$$

dove:

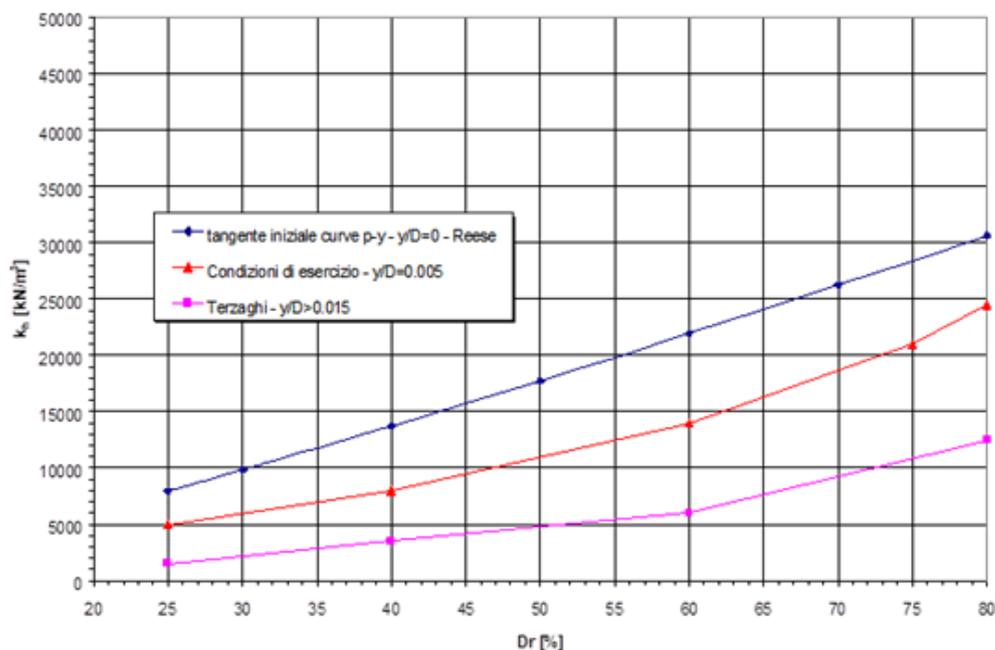
$E_{MR,0}$ = valore del modulo di reazione a testa palo;

k_h = gradiente del modulo di reazione del terreno funzione principalmente della D_r ;

z = profondità a partire dalla sommità del palo.

Per il calcolo di k_h nei terreni incoerenti sotto falda, riportare il grafico sottostante e fare riferimento alle condizioni di esercizio

Andamento del gradiente del modulo di reazione orizzontale - Terreni incoerenti sotto falda



Invece per la definizione di k_h nei terreni incoerenti sopra falda possiamo far riferimento alla seguente tabella

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Recommended k	Relative Density		
	Loose	Medium	Dense
MN/m^3 (pci)	6.8 (25.0)	24.4 (90.0)	61.0 (225.0)

In generale la costante di sottofondo può determinarsi secondo la seguente espressione (Bowles, 1998):

$$K_s = A_s + B_s Z^n$$

dove:

$$A_s = C (c N_c s_c + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma)$$

$$B_s Z = C (\gamma N_q s_q) Z$$

$$C = 40$$

$N_c, N_q, N_\gamma, s_c, s_q, s_\gamma$ = coefficienti di capacità portante e di forma

n un esponente per tenere conto della variabilità con la profondità, tarabile nel caso si abbiano a disposizione prove di carico su piastra.

Per le platee si può assumere che B_s sia uguale a zero.

I moduli di Young possono essere determinati e confrontati con i valori ottenuti come precedentemente indicato, in base all'esito delle prove pressiometriche o dilatometriche sulla base delle relazioni seguenti:

$$E_m = 3 / (1/E_1 + 1/E_2 + 1/E_3)$$

$$E_i = (1+\nu) \Delta p D_0 / \Delta D_i$$

essendo:

E_i = Modulo di Young nella direzione del trasduttore i -esimo 1 o 2 o 3;

ν = Coefficiente di Poisson = 0.25;

Δp = Intervallo di pressione radiale applicata;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

D_0 = Diametro iniziale del foro;

ΔD_j = Variazione diametrale per l'applicazione di P misurata dal trasduttore i-esimo.

In generale, laddove le misurazioni lo renderanno possibile, si privilegeranno i valori di scarico e ricarico, soprattutto nel caso di prove effettuate in profondità e quindi rappresentative del comportamento di opere caratterizzate da comportamenti in scarico o scarico ricarico.

Laddove tali prove fornissero solo i valori di carico saranno evidenziate nel testo.

8.6 Coefficienti di smorzamento intrinseco

Il comportamento non lineare di un terreno in condizioni di carico ciclico è rappresentabile non solo attraverso **G** ma anche attraverso il fattore di smorzamento **D** allo scopo di riassumere le proprietà dissipative globalmente mostrate dal materiale nel corso di un ciclo di scarico-ricarico.

Anche per **D** l'evoluzione complessiva del comportamento del terreno al crescere del livello di sollecitazione è convenzionalmente rappresentata dall'andamento con la deformazione tangenziale γ .

A piccole deformazioni ($\gamma < \gamma_l$) sotto la soglia di linearità, il legame tra tensioni e deformazioni il legame è, ai fini pratici, interpretabile con una relazione di tipo lineare e le proprietà dissipative possono ritenersi costanti ed essere misurate durante un ciclo di carico-scarico attraverso la percentuale di energia di deformazione dispersa nel ciclo completo rispetto a quella immagazzinata nella fase di carico.

E' lecito ipotizzare, che gli stessi fattori che influenzano **G₀** a piccole deformazioni ne regolino anche lo smorzamento **D₀** anche se con un peso diverso.

In generale per i terreni incoerenti, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- **D₀** diminuisce limitatamente all'aumentare della pressione media **p'**;
- **D₀** aumenta all'aumentare dell'indice dei vuoti **e**;
- **D₀** diminuisce limitatamente all'aumentare del grado di sovraconsolidazione **OCR**;
- **D₀** può aumentare all'aumentare del grado di cementazione **c**;
- **D₀** può aumentare con la velocità di applicazione dei carichi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Generalmente, per i terreni incoerenti, D_0 assume un valore trascurabile.

Può determinarsi da prove sismiche cross-hole laddove si rendono disponibili le misurazioni o da prove di laboratorio (es: colonna risonante) su campioni indisturbati prelevati con la tecnica del congelamento.

A medie deformazioni ($\gamma_l < \gamma < \gamma_v$), sotto la soglia di deformazione volumetrica (condizioni drenate) o in assenza di sovrappressioni interstiziali (condizioni non drenate), il comportamento del terreno comincia a manifestarsi non lineare. Esso non conserva memoria della storia pregressa al termine di un ciclo completo ed il terreno ritorna nello stato iniziale, tendendo a ripercorrere la stessa curva tensione-deformazione se nuovamente sottoposto ad una medesima storia di carichi tangenziali: il comportamento tensione-deformazione è quindi “stabile”, e permette di essere modellato sempre con un’unica coppia di valori dei parametri $G(\gamma)$ e $D(\gamma)$.

Anche in questo caso è lecito ipotizzare, che gli stessi fattori che influenzano $G(\gamma)$ a medie deformazioni ne regolino anche lo smorzamento $D(\gamma)$ anche se con un peso diverso.

In generale per i terreni incoerenti, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- $D(\gamma)/D_0$ diminuisce all’aumentare della pressione media p' : all’aumentare di p' le curve si spostano verso il basso e verso destra, cioè lo stesso rapporto $D(\square)/D_0$ si manifesta per \square più elevate;
- $D(\gamma)/D_0$ diminuisce all’aumentare di e ;
- $D(\gamma)/D_0$ non risente del grado di sovraconsolidazione **OCR**;
- $D(\gamma)/D_0$ diminuisce all’aumentare del grado di cementazione **c**.

Si riporta di seguito la relazione di [Ishibashi e Zang \(1993\)](#):

$$D = 0.333 \cdot \frac{1 + \exp(-0.0145 I_p^{1.3})}{2} \cdot \left[0.586 \cdot \left(\frac{G}{G_0} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_0} + 1 \right]$$

Si riportano di seguito anche le curve teoriche proposte rispettivamente da [Vucetic e Dobry \(1991\)](#):

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

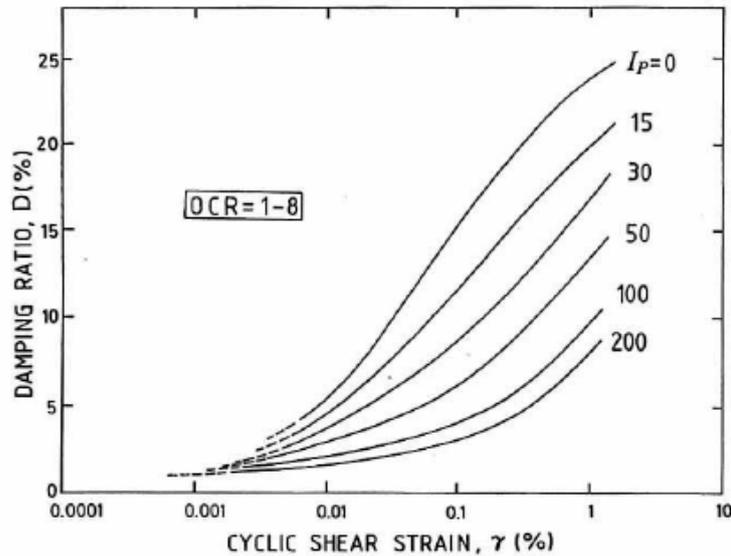


Figura 12: Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry, 1991

A deformazioni elevate ($\gamma > \gamma_v$), sopra la soglia volumetrica, il comportamento del terreno diviene affetto in maniera significativa da modifiche irreversibili dell'assetto particellare: si evidenzia l'effetto dei fattori legati alla non monotonicità delle sollecitazioni: le caratteristiche di deformabilità del terreno, lette in termini di parametri di rigidità e dissipazione, variano all'aumentare del numero di cicli.

In particolare, per alcuni materiali (ad esempio le sabbie sciolte asciutte) si possono verificare fenomeni di graduale addensamento, fino al "rientro" in condizioni di stabilità dopo un certo numero di cicli. In gran parte dei casi, viceversa, i materiali manifestano tendenza alla degradazione progressiva, segnalata dall'incremento di deformazioni tangenziali non recuperabili. Inoltre, per effetto del comportamento dilatante o contraente dello scheletro solido, si accumulano deformazioni volumetriche in condizioni drenate, sovrappressioni neutre in condizioni non drenate. Dopo escursioni a deformazioni maggiori di γ_v , una nuova fase di carico deviatorico darà quindi luogo ad una risposta iniziale (**Go e Do**) del terreno modificata rispetto a quella esibita dal materiale non presollecitato.

L'insieme dei fenomeni appena descritti viene indicato come **degradazione ciclica**. L'approccio lineare equivalente precedentemente introdotto è improponibile, perché le relazioni **G(γ) e D(γ)** non sono più univoche (comportamento instabile). In tali casi, può essere sufficiente una generalizzazione del modello con l'introduzione dell'effetto del numero dei cicli N.

Generalmente si ha che:

- G_0 , $G(\gamma)$ aumentano col numero dei cicli N (terreni incoerenti asciutti);
- D_0 , $D(\gamma)$ diminuiscono col numero dei cicli N (terreni incoerenti asciutti);
- G_0 , $G(\gamma)$ diminuiscono col numero dei cicli N (terreni incoerenti saturi);
- D_0 , $D(\gamma)$ aumentano col numero dei cicli N (terreni incoerenti saturi).

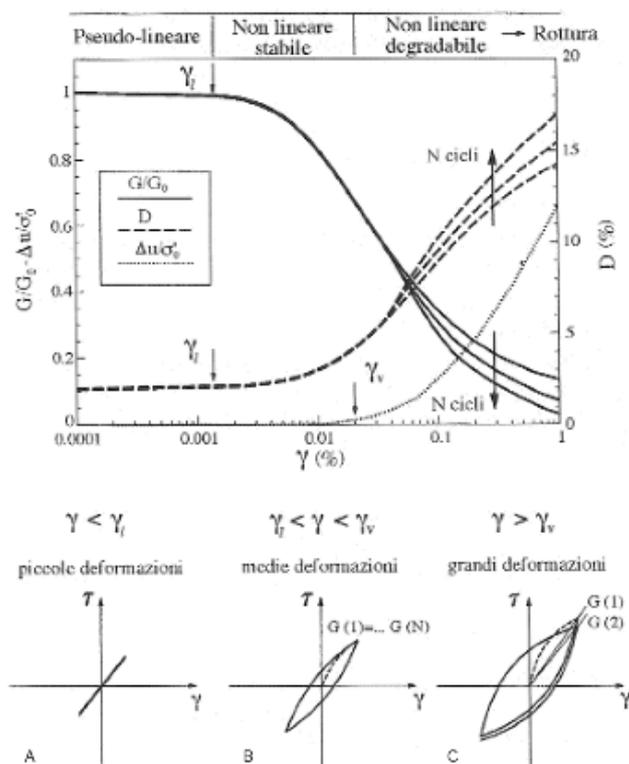


Figura 13: Curve di decadimento e smorzamento tipologiche

8.7 Permeabilità

I coefficienti di permeabilità k verranno determinati sulla base dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Lugeon in foro di sondaggio.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 67 di 379

9. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE PER I TERRENI COESIVI

La caratterizzazione geotecnica dei terreni coesivi si basa sia sull'interpretazione delle prove di laboratorio, laddove disponibili, sia all'interpretazione delle prove in sito.

La caratterizzazione evidenzia i seguenti aspetti:

- parametri fisici e stato iniziale in sito;
- resistenza al taglio;
- deformabilità;
- permeabilità.

9.1 Caratteristiche fisiche

La classificazione dei terreni a grana fine verrà effettuata facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di :

- fusi granulometrici;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- grado di saturazione;
- contenuti d'acqua naturale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

9.2 Stato iniziale

La valutazione dello stato tensionale iniziale verrà fatta sulla base:

- di quanto desumibile dagli studi di carattere geologico;
- dell'interpretazione delle prove di laboratorio, laddove disponibili.

Lo stato tensionale in sito può essere valutato in termini di grado di sovraconsolidazione ($OCR = \sigma_{vmax}' / \sigma_{vo}'$), essendo σ_{vmax}' la pressione di preconsolidazione desumibile dalle prove edometriche e σ_{vo}' la pressione verticale efficace geostatica.

In alternativa OCR può determinarsi anche sulla base delle seguenti espressioni (vedi [Ladd & Foot, 1974](#); [Ladd et al. 1977](#)):

$$(OCR)^{0.85} = \frac{\frac{c_u}{\sigma_{vo}'}}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{vo}'}\right)_{NC}}$$

dove:

$$\left(\frac{c_u}{\sigma_{vo}'}\right)_{NC} \cong 0.30 \text{ (Chandler et al., 1988)}$$

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

σ_{vo}' = pressione verticale efficace geostatica.

Il coefficiente di spinta del terreno a riposo k_o sarà stimato sulla base della seguente espressione:

$$k_o = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{OCR}$$

essendo:

φ' = angolo di attrito.

9.3 Resistenza al taglio non drenata

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

La resistenza al taglio non drenata c_u verrà valutata facendo riferimento ai risultati delle seguenti prove:

- di laboratorio TX-UU;
- all'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT;
- all'interpretazione delle prove pressiometriche.

La resistenza al taglio non drenata dipende:

- dalla pressione di consolidazione e dall'OCR o dall'indice dei vuoti iniziale;
- dal percorso di carico.

9.4 Prove di laboratorio

In questa sede si farà riferimento, laddove disponibili, ai risultati di prove triassiali non consolidate non drenate di compressione e carico (TX-UU) effettuate su campioni indisturbati.

9.5 Valutazione di c_u da prove SPT

La resistenza al taglio non drenata di materiali saturi sotto falda, associabile a quella di prove triassiali di compressione e carico, consolidate alle tensioni efficaci geostatiche, verrà stimata adottando la correlazione empirica proposta da Stroud (1974) (vedi anche Clayton, 1995). In base a tale correlazione risulta quanto segue:

$$c_u = 5.0 - 5.5 N_{spt} \quad (\text{kPa})$$

9.6 Valutazione di c_u da prove pressiometriche e dilatometriche

Per ricavare il valore della c_u si sono utilizzate le relazioni proposte da Amar e Jezequel che legano direttamente la c_u al valore della pressione limite netta $p'_l = p_l - p_o$ (Amar e Jezequel, 1972):

$$c_u = (p_l - p_o) / 5.5 \quad \text{se } p_l < 0.3 \text{ Mpa} \quad (\text{KPa})$$

$$c_u = [(p_l - p_o) / 10] + 25 \quad \text{se } p_l > 0.3 \text{ Mpa} \quad (\text{KPa})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

9.7 Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I parametri di resistenza di picco in termini di sforzi efficaci verranno determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio:

- per i parametri di picco e per quelli di stato critico si farà riferimento a prove di taglio diretto (TD) e triassiali consolidate non drenate e drenate (TX-CIU e TX-CID);
- per quelli di resistenza residua, laddove disponibili, si farà riferimento anche ai risultati di prove di taglio residuo.

Gli involuipi di rottura nel piano $\sigma - \sigma'_n$, per argille sovraconsolidate, mostrano un andamento curvilineo che secondo [Mesri e AbdelGhafar \(1993\)](#) assumono la seguente forma:

$$\tau_{oc} = \sigma'_n \tan \varphi' \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} \right)^{(1-m)}$$

ove:

σ'_p = pressione di preconsolidazione

σ'_n = pressione efficace sulla superficie di rottura

m = coefficiente che dipende dalla struttura e dalla composizione dell'argilla. Secondo gli Autori m decresce (aumentando la curvatura) all'aumentare dell'indice di plasticità I_p , ed invece cresce con l'angolo di attrito φ' . Tipici valori sono di seguito riportati [Mesri e AbdelGhafar \(1993\)](#):

Material	m	
	Intact	Destructured
Cemented soft clays	0.4–0.5	0.5–0.7
Stiff clays and shales	0.5–0.6	0.6–0.8
Soft clays	0.6–0.7	0.7–0.9

Figura 14– Coefficiente “m” secondo Mesri e AbdelGhafar (1993)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

L'angolo di attrito è quello corrispondente ai materiali in esame in condizioni di normalconsolidazione.

Gli involuppi di rottura saranno distinti, possibilmente, per rottura in condizioni piane ($\sigma'_2 \neq \sigma'_3$) e per rottura in condizioni triassiali ($\sigma'_2 = \sigma'_3$).

Per quanto riguarda i valori operativi c' e ϕ' che possono essere ricavati dall'involuppo a rottura di cui sopra è opportuno distinguere i seguenti casi:

- nei modelli di calcolo che simulano la diminuzione della resistenza (strain-softening), i dati di input consisteranno nei parametri c' e ϕ' di picco inserendo la legge di decadimento dal picco, da determinare in base alle prove di laboratorio;
- nei modelli di calcolo convenzionali che non simulano la diminuzione della resistenza (es: Mohr Coulomb) si farà riferimento a parametri di resistenza operativi pari a quelli di picco cautelativi, confrontati eventualmente con i dati pubblicati nella letteratura tecnica, oppure a valori intermedi con quelli di stato critico.

In entrambi i modelli di calcolo, nel caso di materiali interessati in passato da fenomeni di rottura, lungo superfici di scivolamento già formate si applicheranno invece le resistenze residue.

9.8 Caratteristiche di deformabilità

9.8.1 Moduli elastici a piccole deformazioni

Come è noto il comportamento deformativo dei terreni a piccole deformazioni (deformazioni di taglio $\gamma < \gamma_l$ con γ_l soglia di linearità) si presenta lineare e dipende da variabili dipendenti dalla tipologia dei materiali (granulometria, caratteristiche fisiche dei grani,...) e da variabili di stato (stato tensionale, addensamento, storia tensionale,...).

In generale per i terreni coesivi, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- G_0 aumenta all'aumentare della pressione media p' ;
- G_0 aumenta all'aumentare dell'indice di plasticità IP per argille oc mentre risulta tendenzialmente stabile per argille n.c.;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 72 di 379</p>

- G_0 aumenta all'aumentare del grado di sovraconsolidazione **OCR**;
- G_0 aumenta all'aumentare del grado di cementazione **c**;
- G_0 risente sensibilmente della velocità di applicazione dei carichi.

In generale la relazione che lega G_0 ai parametri di cui sopra è del tipo:

$$G_o = S \cdot f(e) \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n \cdot OCR^m$$

Nel caso di terreni coesivi l'equazione può essere riscritta in:

$$G_o = S \cdot \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n OCR^m$$

S, n, m rappresentano fattori che dipendono dalla mineralogia, microstruttura e tessitura degli aggregati mentre; n rappresenta un fattore che rappresenta la sensibilità della variazione con p' .

In figura sono rappresentate le variazioni di tali parametri con IP ([Mancuso et al, 1997](#)).

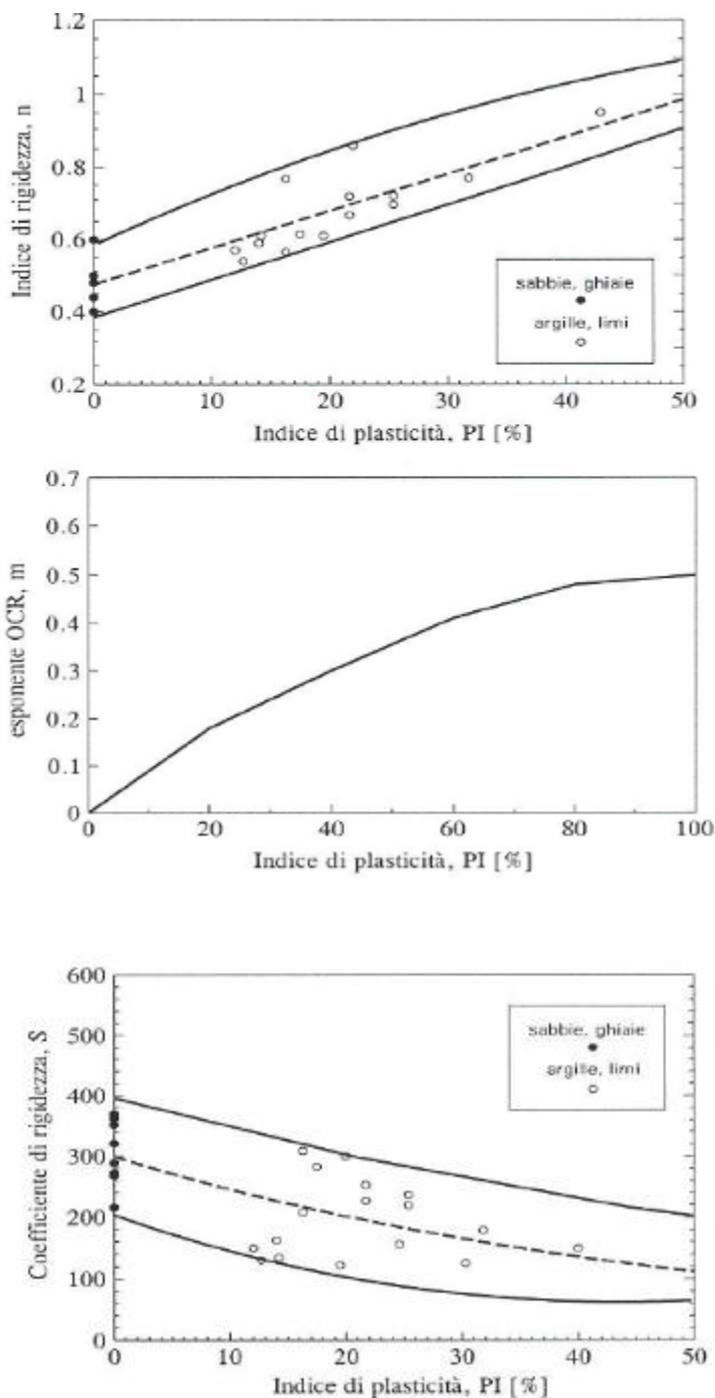


Figura 15: Coefficienti S , “ n ” e “ m ” secondo Mancuso (1997)

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0), corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie p' ,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

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

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,20-0,30

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

9.8.2 Moduli elastici a medie e grandi deformazioni

Il comportamento deformativo a medie deformazioni ($\gamma_1 < \gamma < \gamma_v$ con γ_v soglia di deformazione volumetrica) ed a grandi deformazioni di taglio ($\gamma > \gamma_v$) si manifesta in modo fortemente non lineare.

In generale per i terreni coesivi, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- $\mathbf{G}(\gamma)/\mathbf{G}_0$ per argille n.c. aumenta all'aumentare della pressione media \mathbf{p}' , mentre è tendenzialmente stabile per argille o.c.;
- $\mathbf{G}(\gamma)/\mathbf{G}_0$ aumenta all'aumentare di \mathbf{IP} ;
- $\mathbf{G}(\gamma)/\mathbf{G}_0$ non risente del grado di sovraconsolidazione \mathbf{OCR} ;
- $\mathbf{G}(\gamma)/\mathbf{G}_0$ aumenta all'aumentare del grado di cementazione \mathbf{c} ;

Le curve di $\mathbf{G}(\gamma)$ risultano normalizzate rispetto a \mathbf{G}_0 per valutare l'effetto di alcuni fattori indipendentemente da quelli che influenzano \mathbf{G}_0 riportati nel precedente paragrafo.

La soglia di linearità γ_1 per terreni coesivi dipende dall'indice di plasticità \mathbf{IP} : essa cresce al crescere di \mathbf{IP} .

Le argille in generale (ad esclusione di quelle scagliose), caratterizzate da legami interparticellari,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

presentano una soglia di linearità mediamente superiore a quella dei terreni granulari.

Esistono varie correlazioni in letteratura per definire opportune curve di degrado del modulo in funzione dei parametri sopra menzionati.

Tali curve risultano possono utilizzarsi in **modelli di calcolo elastici non lineari** e potranno essere confrontate con quelle ricavabili da prove di laboratorio (es: colonne risonanti)

Si riporta di seguito la relazione teorica di [Ishibashi e Zang \(1993\)](#):

$$\frac{G}{G_0} = K(\gamma, Ip) \cdot (p')^{m(\gamma, Ip) - m_0}$$

$$K(\gamma, Ip) = 0.5 \cdot \left[1 + \tanh \left(\ln \left(\frac{0.000102 + n(Ip)}{\gamma} \right)^{0.492} \right) \right]$$

$$m(\gamma, Ip) - m_0 = 0.272 \cdot \left[1 - \tanh \left(\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right) \right] \cdot \exp(-0.0145 \cdot Ip^{1.3})$$

$$n(Ip) = \begin{matrix} 0.0 & Ip = 0 \\ 3.37 \cdot 10^{-6} Ip^{1.404} & 0\% < Ip < 15\% \\ 7.0 \cdot 10^{-7} Ip^{1.976} & 15\% < Ip < 70\% \\ 2.7 \cdot 10^{-5} Ip^{1.115} & Ip > 70\% \end{matrix}$$

Si riportano di seguito anche le curve teoriche proposte da [Vucetic e Dobry \(1991\)](#)

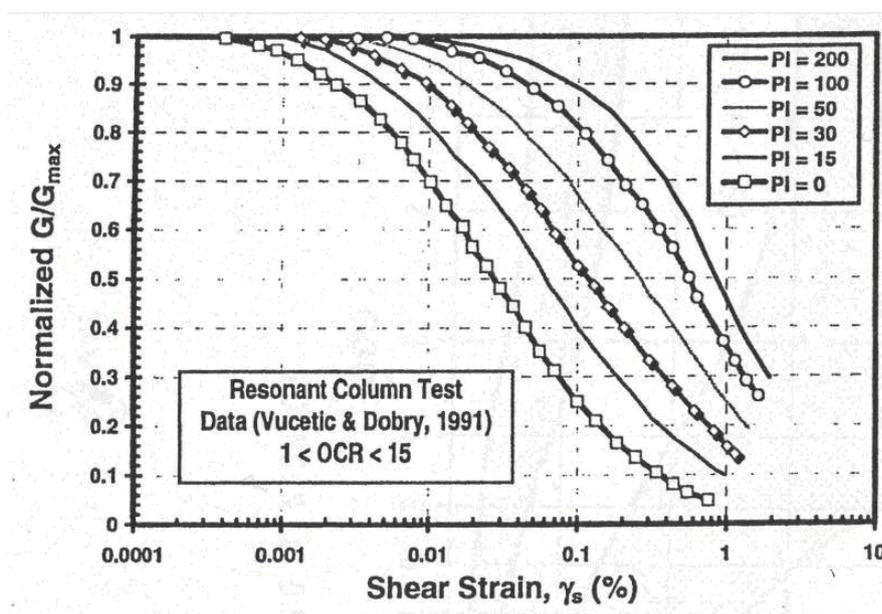


Figura 16: Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry (1991)

In relazione a quanto esposto sino ad ora la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

9.8.3 Modelli di calcolo convenzionali elastico lineari

In questo caso si ha che la scelta del modulo elastico operativo viene fatta convenzionalmente essendo a conoscenza del range di deformazioni indotte dalle opere in esame:

Fronti di scavo sostenuti ed opere di sostegno: i moduli statici sono pari a circa $(1/3 \div 1/5) \cdot E_0$ o $(400 \div 500) \cdot c_u$ in quanto le deformazioni indotte risultano relativamente contenute, dell'ordine di $1 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-3}$ e prevalentemente di scarico o scarico-ricarico.

Fondazioni profonde e dirette, rilevati: per tali problemi di carico i moduli statici possono ritenersi pari a $(150 \div 200) \cdot c_u$ oppure, in generale, $1/10 \cdot E_0 \div 1/5 \cdot E_0$. I risultati delle prove edometriche (E_{ed}) potranno essere considerati soprattutto nel caso di terreni normal consolidati.

Fondazioni su pali: nel caso del progetto di pali di fondazione il modulo di reazione orizzontale "operativo", nel caso di ricorso a calcoli semplificati lineari, può essere assunto pari a:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

$E_{MR} = k \times c_u$, con $k = 300 \div 450$,

essendo c_u la resistenza al taglio non drenata.

Valori di riferimento per le costanti di sottofondo possono essere dedotti dalle seguenti indicazioni di letteratura:

$K_s = 12000 - 24000 \text{ KN/m}^3$ per $C_u < 200 \text{ KPa}$

$K_s = 24000 - 48000 \text{ KN/m}^3$ per $200 \text{ KPa} < C_u < 400 \text{ KPa}$

$K_s > 48000 \text{ KN/m}^3$ per $C_u > 400 \text{ KPa}$

9.9 Coefficienti di smorzamento intrinseco

Il comportamento non lineare di un terreno in condizioni di carico ciclico è rappresentabile non solo attraverso G ma anche attraverso il fattore di smorzamento D allo scopo di riassumere le proprietà dissipative globalmente mostrate dal materiale nel corso di un ciclo di scarico-ricarico.

Anche per D l'evoluzione complessiva del comportamento del terreno al crescere del livello di sollecitazione è convenzionalmente rappresentata dall'andamento con la deformazione tangenziale \square .

A piccole deformazioni ($\gamma < \gamma_l$), sotto la soglia di linearità, il legame tra tensioni e deformazioni il legame è, ai fini pratici, interpretabile con una relazione di tipo lineare e le le proprietà dissipative possono ritenersi costanti ed essere misurate durante un ciclo di carico-scarico attraverso la percentuale di energia di deformazione dispersa nel ciclo completo rispetto a quella immagazzinata nella fase di carico.

E' lecito ipotizzare, che gli stessi fattori che influenzano G_0 a piccole deformazioni ne regolino anche lo smorzamento D_0 anche se con un peso diverso.

In generale per i terreni coesivi, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- D_0 diminuisce all'aumentare della pressione media p' ;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 78 di 379</p>

- D_0 aumenta all'aumentare dell'indice di plasticità **IP**;
- D_0 diminuisce all'aumentare del grado di sovraconsolidazione **OCR**;
- D_0' aumenta all'aumentare del grado di cementazione **c**;
- D_0 aumenta con la velocità di applicazione dei carichi.

D_0 può determinarsi da prove sismiche cross-hole laddove si rendono disponibili le misurazioni o da prove di laboratorio (es: colonna risonante) su campioni indisturbati.

A medie deformazioni ($\gamma_l < \gamma < \gamma_v$), sotto la soglia di deformazione volumetrica (condizioni drenate) o in assenza di sovrappressioni interstiziali (condizioni non drenate), il comportamento del terreno comincia a manifestarsi non lineare. Esso non conserva memoria della storia pregressa al termine di un ciclo completo ed il terreno ritorna nello stato iniziale, tendendo a ripercorrere la stessa curva tensione-deformazione se nuovamente sottoposto ad una medesima storia di carichi tangenziali: il comportamento tensione-deformazione è quindi "stabile", e permette di essere modellato sempre con un'unica coppia di valori dei parametri **G(γ)** e **D(γ)**.

Anche in questo caso è lecito ipotizzare, che gli stessi fattori che influenzano **G(γ)** a medie deformazioni ne regolino anche lo smorzamento **D(γ)** anche se con un peso diverso.

In generale per i terreni incoerenti, a parità delle altre condizioni, si ha che:

- $D(\gamma)/D_0$ diminuisce all'aumentare della pressione media **p'**, nel caso di argille n.c., mentre è tendenzialmente costante per le argille o.c.;
- $D(\gamma)/D_0$ diminuisce all'aumentare di **IP**;
- $D(\gamma)/D_0$ non risente del grado di sovraconsolidazione **OCR**;
- $D(\gamma)/D_0$ diminuisce tendenzialmente all'aumentare del grado di cementazione **c**.

Si riporta di seguito la relazione di [Ishibashi e Zang \(1993\)](#):

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

$$D = 0.333 \cdot \frac{1 + \exp(-0.0145I_p^{1.3})}{2} \cdot \left[0.586 \cdot \left(\frac{G}{G_0} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_0} + 1 \right]$$

Si riportano di seguito anche le curve teoriche proposte rispettivamente da [Vucetic e Dobry \(1991\)](#):

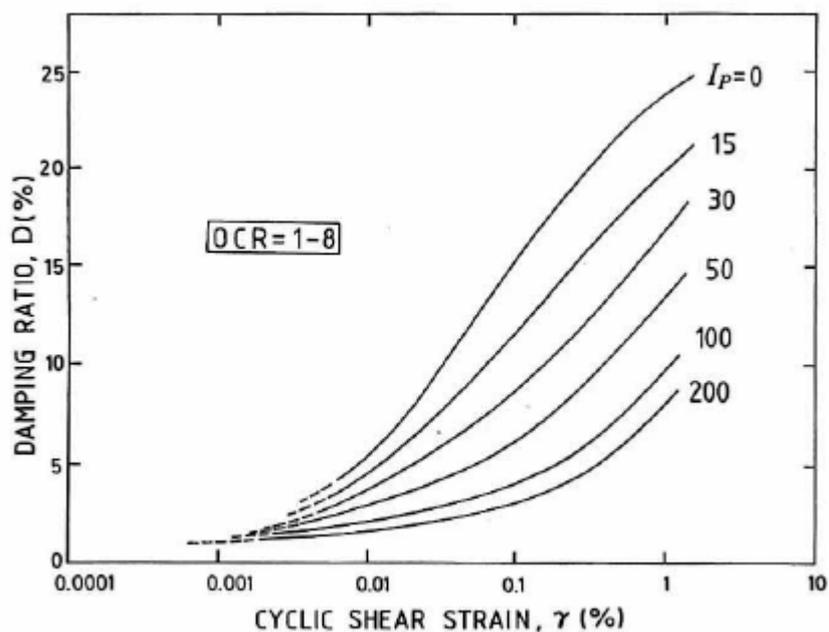


Figura 17: Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry (1991)

A deformazioni elevate ($\gamma > \gamma_v$), sopra la soglia volumetrica, il comportamento del terreno diviene affetto in maniera significativa da modifiche irreversibili: si evidenzia l'effetto dei fattori legati alla non monotonicità delle sollecitazioni: le caratteristiche di deformabilità del terreno, lette in termini di parametri di rigidità e dissipazione, variano all'aumentare del numero di cicli.

I materiali manifestano tendenza alla degradazione progressiva, segnalata dall'incremento di deformazioni tangenziali non recuperabili: tale fenomeno è controllato sia dalle variazioni di pressione neutra sia dal deterioramento dei legami interparticellari. Dopo escursioni a deformazioni maggiori di γ_v , una nuova fase di carico deviatorico darà quindi luogo ad una risposta iniziale (**Go e Do**) del terreno modificata rispetto a quella esibita dal materiale non presollecitato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

L'insieme dei fenomeni appena descritti viene indicato come **degradazione ciclica**. L'approccio lineare equivalente precedentemente introdotto è improponibile, perché le relazioni **G(γ)** e **D(γ)** non sono più univoche (comportamento instabile). In tali casi, può essere sufficiente una generalizzazione del modello con l'introduzione dell'effetto del numero dei cicli N.

Generalmente si ha che:

- **D₀, D(γ)** aumentano tendenzialmente col numero dei cicli N (argille o.c. e argille n.c.);
- **G₀, G(γ)** diminuiscono col numero dei cicli N (argille n.c.).

9.10 Coefficienti di permeabilità e di consolidazione primaria

Nella definizione delle caratteristiche di permeabilità si farà riferimento ai risultati:

- Di prove di laboratorio (edometri) in corrispondenza di pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche, ovvero in corrispondenza di indici dei vuoti pari a quelli iniziali e_0 .
- Dell'applicazione della seguente correlazione empirica ([Rocchi, 2003](#)), applicabile a condizioni di pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche:

$$\log \frac{e}{e_L} = 1.22 + 0.19 \cdot \log k_v$$

essendo:

e = indice dei vuoti corrente

e_L = indice dei vuoti corrispondente al limite liquido

k_v = coefficiente di permeabilità verticale corrente un cm/sec.

- Delle prove di permeabilità tipo Lefranc in foro.

Il coefficiente di permeabilità con l'indice dei vuoti corrente, potrà essere stimata sulla base della seguente espressione:

$$\log k = \log k_0 - \frac{e_0 - e}{C_k}$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 81 di 379

essendo:

k = coefficiente di permeabilità corrente

k_0 = coefficiente di permeabilità corrispondente all'indice dei vuoti iniziale e_0

e = indice dei vuoti corrente

e_0 = indice dei vuoti iniziale

$$C_k = 0.5 \cdot e_0.$$

Dalle prove edometriche si ricavano i coefficienti di permeabilità in direzione verticale k_v ;

Dalle prove in foro i coefficienti di permeabilità in direzione orizzontale k_h .

9.11 Coefficienti di consolidazione primaria e secondaria

I coefficienti di consolidazione primaria c_v e secondaria c_{α} , utilizzabili nell'ambito di teorie di consolidazione convenzionali e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale, saranno ricavati dalle prove di laboratorio (edometri).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 82 di 379

10. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE PER AMMASSI ROCCIOSI

10.1 Descrizione mineralogica e caratteristiche fisiche

Attraverso l'analisi delle prove di laboratorio su provini, laddove disponibili, potrà essere effettuata una descrizione mineralogica nonché potranno essere determinati i valori dei pesi di volume e del grado di saturazione.

10.2 Resistenza e deformabilità delle rocce costituenti l'ammasso

I valori di resistenza potranno essere determinati dalle prove di compressione non confinata effettuate in laboratorio.

Per la deformabilità della matrice si ha che:

$$E_{50} = \frac{\sigma_c}{(\varepsilon_a)_{\frac{\sigma_c}{2}}}$$

Essendo ε_a la deformazione corrispondente a $\sigma_c/2$.

Tale valore risente dell'eventuale disturbo del campione e dalle caratteristiche del medesimo (campione irregolare, disturbato, con discontinuità,...).

10.3 Resistenza al taglio lungo le discontinuità naturali

I modelli di mezzo discontinuo normalmente utilizzati sono di tipo rigido o elasto-plastico.

Dal punto di vista della resistenza a i giunti viene attribuita una resistenza nulla a trazione e una resistenza a taglio funzione dello sforzo normale, usualmente definita con un criterio lineare o con un criterio non lineare; quest'ultimo rappresenta meglio il comportamento di giunti scabri privi di riempimento.

Il criterio non lineare suggerito è quello di [Barton \(1974\)](#), definito dalla relazione seguente:

$$\tau = \sigma_n \tan [JRC \cdot \log_{10} (JCS/\sigma_n) + \phi_r]$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

essendo:

JRC = Joint Roughness Coefficient (coefficiente di scabrezza)

JCS = Joint Wall Compressive Strength (coefficiente di resistenza delle pareti)

ϕ_r = angolo di attrito residuo

Il criterio di Barton può essere linearizzato in modo da avere parametri di

resistenza in termini di c' e ϕ' mediante le seguenti equazioni:

$$\phi = \arctan \left(\frac{\partial \tau}{\partial \sigma_n} \right)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial \sigma_n} = \tan \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_b \right) - \frac{\pi \cdot JRC}{180 \cdot \ln 10} \cdot \left[\tan^2 \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right) + 1 \right]$$

$$c = \tau - \sigma_n \cdot \tan \phi$$

JRC e JCS essi possono essere determinati da apposite prove di taglio da eseguire sulle discontinuità.

In mancanza di tali prove si può ricorrere ai dati dei rilievi geostrutturali e facendo ricorso alle correlazioni empiriche. Al proposito si riporta di seguito quanto proposto per **JRC** da [Barton \(1977\)](#); **JCS** è determinato mediante misure con martello di Schimdt.

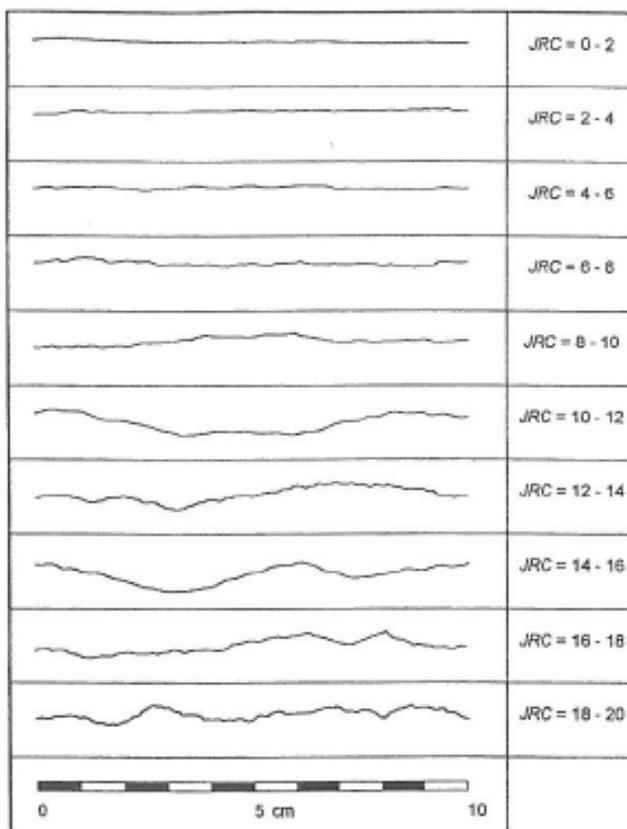


Figura 18– Profili tipici secondo Barton (1977)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

10.4 Classificazioni dell'ammasso

Si adotta il sistema tradizionale di classificazione di [Bieniawski \(1989\)](#).

Per ogni litotipo, in base a quanto scaturito dai rilievi geostrutturali, viene stimato il parametro RMR_{89} come somma dei seguenti 8 indici (I1→I8):

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

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

- Qualità della roccia RQD (**I2**)

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

- Spaziatura delle discontinuità (**I3**)

	I3
> 2 m	20

0.6 m÷2 m	15
200 mm÷600 mm	10
60 mm÷200 mm	8
< 60 mm	4

- 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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

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

Nel calcolo di RMR₈₉:

- 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

- L'indice legato alla presenza dell'acqua verrà assunto pari a quello associabile a condizioni "dry". Gli effetti della presenza dell'acqua verranno messi in conto nella definizione del modello geotecnico da utilizzare nelle analisi di progetto.

Il parametro GSI (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi [Sjoberg, 1997](#)):

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

10.5 Modellazione dell'ammasso

In considerazione dell'elevato grado di fratturazione e delle dimensioni delle opere da realizzare, la caratterizzazione geotecnica di tali formazioni verrà fatta facendo tendenzialmente riferimento allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) facendo riferimento ai sistemi di classificazione precedentemente descritti.

10.6 Parametri dell'ammasso

Nel caso si debba utilizzare il modello continuo 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 \(2002\)](#).

L'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

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

essendo:

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 89 di 379</p>

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

D = 0 per “undisturbed rock masses”

D = 1 per “disturbed rock masses”

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

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ_1' = tensione principale efficace maggiore

σ_3' = tensione principale efficace minore

σ_c = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

Per il coefficiente m_i , in mancanza di dati sperimentali, si farà riferimento a quanto riportato nella seguente tabella, in quanto, in mancanza di prove specifiche è stato ritenuto il modo tecnicamente più affidabile di procedere:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Coefficiente m_i relativo alla roccia intatta (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)

Rocce	m_i (-)
Metamorfiti	33
Conglomerato	22
Arenaria	19
Calcere	10
Argilliti	4

In presenza di ammassi rocciosi eterogenei, alternanze di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR_{89} verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da [Hoek et al. \(1998\)](#):

10.7 Deformabilità

10.7.1 Moduli elastici a piccole deformazioni

I moduli iniziali di taglio (G_o) e di Young (E_o) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie p_o' , possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{o1} = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_{o1} = G_{o1} \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

ν' = rapporto di Poisson del terreno = $0,15 \div 0,20$

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

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche down hole.

I moduli iniziali di taglio (G_o) e di Young (E_o) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci medie generiche p'_o , possono essere ricavati dalle seguenti espressioni:

$$G_o/p_a = A \times (p'_o/p_a)^n \quad (\text{kPa})$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \dots (\text{kPa})$$

10.7.2 Moduli elastici a medie deformazioni

- Per problemi ingegneristici caratterizzati dallo sviluppo di deformazioni dell'ordine di 10^{-3} (**opere di sostegno,...**) i moduli operativi potranno essere definiti come $(1/3 \div 1/5) \cdot E_o$. I moduli iniziali potranno essere scalati di un fattore che dipenderà dal confronto con i valori operativi ottenuti come di seguito esposto.
- I moduli di Young “operativi” E dell'ammasso roccioso possono essere generalmente stimati anche sulla base della seguente espressione ([Bieniawski, 1978](#); [Serafim & Pereira, 1983](#); [Hoek et al., 2002](#)):

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

essendo:

D = coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1. ($D=1$ per rilevati, $D=0,5$ in generale)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

I moduli di Young relativi alle fasi di carico e di scarico possono essere determinati dalle prove dilatometriche sulla base delle relazioni seguenti:

- $E_m = 3 / (1/E_1 + 1/E_2 + 1/E_3)$
- $E_i = (1+\nu) \Delta p D_0 / \Delta D_j$

essendo:

E_i = Modulo di Young nella direzione del trasduttore i-esimo 1 o 2 o 3;

ν = Coefficiente di Poisson = 0.25;

Δp = Intervallo di pressione radiale applicata;

D_0 = Diametro iniziale del foro;

ΔD_j = Variazione diametrale per l'applicazione di P misurata dal trasduttore i-esimo.

In generale, laddove le misurazioni lo renderanno possibile, si privilegeranno i valori di scarico e ricarico, soprattutto nel caso di prove effettuate in profondità e quindi rappresentative del comportamento di opere come fronti di scavo.

10.8 Permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso sono determinati con prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, laddove disponibili.

10.9 Stato iniziale

Lo stato tensionale in sito è stabilito in base a considerazioni di carattere geologico e può essere determinato in base a prove all'interno dei sondaggi (fatturazione idraulica)

In mancanza di tali elementi, a partire dalla formulazione di Heim, lo stato tensionale tende alle condizioni di tipo idrostatico in profondità, a causa di fenomeni viscosi ed a causa della ridotta capacità di assorbire elevate tensioni deviatoriche.

In prima approssimazione quindi:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 93 di 379</p>

- per elevate profondità è plausibile definire verticali ed orizzontali le tensioni principali e pari alla profondità moltiplicata per i pesi di volume;
- per basse profondità (<30÷40m), in presenza di irregolarità morfologiche ed in funzione della storia geologica le tensioni principali non sono più verticali ed orizzontali ed una maniera per determinare la loro intensità è quello di effettuare specifiche analisi numeriche atte a simulare i passi salienti della storia tensionale del deposito (erosione, deposizione,...) inserendo le opportune condizioni al contorno (geometriche, tensionali,...).

11. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA GENERALE

Nella seguente sezione sono trattate le varie Formazioni che, dal punto di vista geotecnico, interessano la Direttrice ferroviaria Messina-Palermo-Catania, tratte Lercara – Xirbi e Caltanissetta Xirbi - Dittaino, suddivise rispettivamente nel lotto funzionale 3 e nei lotti funzionali 4a (Caltanissetta Xirbi – Enna) e 4b (Enna – Dittaino).

11.1 Unità TRV – Formazione di Terravecchia

Membro TRV: argille limose e argille marnose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro, marrone per alterazione, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, con frequenti livelli millimetrici di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; localmente si rinvencono passaggi di marne, marne argillose e argilliti di colore grigio-verdastro.

11.1.1 Granulometrie

Dalle seguenti curve di distribuzione granulometrica eseguite sui campioni prelevati, è possibile osservare la prevalenza della componente limosa (49%) e argillosa (41%) con una modesta percentuale di sabbia (10%). Il terreno è classificabile come limo sabbioso con argilla (AGI, 1977).

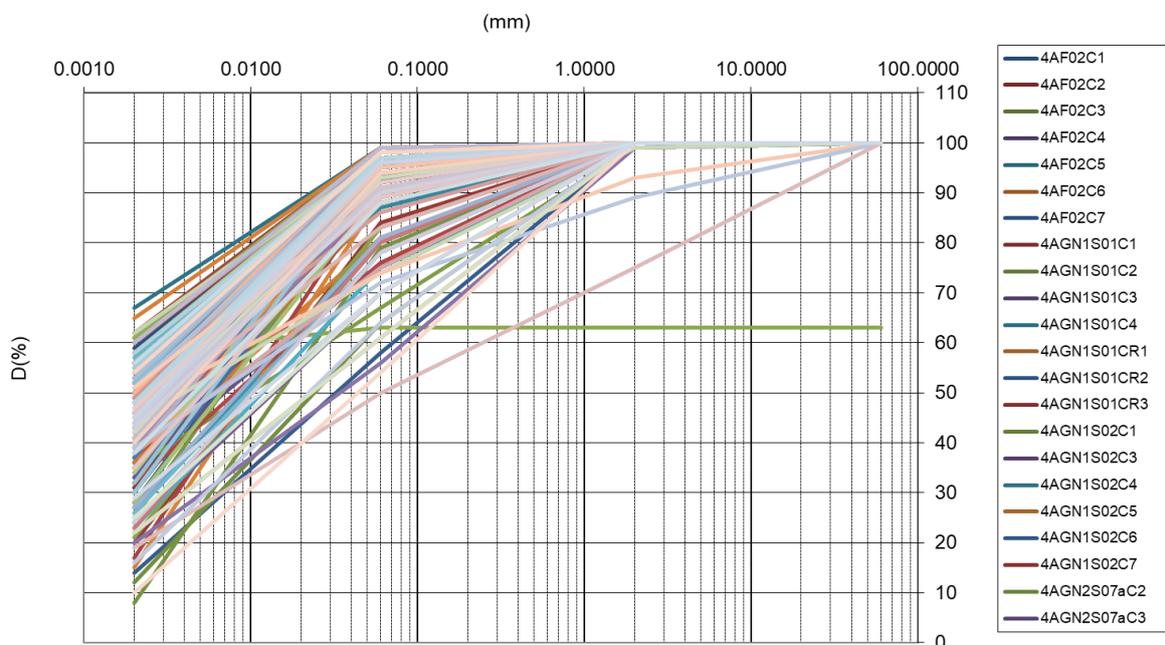


Figura 19: TRV - curve di distribuzione granulometrica

11.1.2 Caratteristiche fisiche

Per quanto concerne le caratteristiche fisiche del TRV, di seguito i grafici relativi alla variazione del peso dell'unità di volume, del contenuto naturale d'acqua e dell'indice di plasticità con la profondità.

È possibile osservare come il peso dell'unità sia complessivamente compreso tra 19 kN/m³ e 22 kN/m³, riportando valori più vicini a quest'ultimo all'aumentare della profondità.

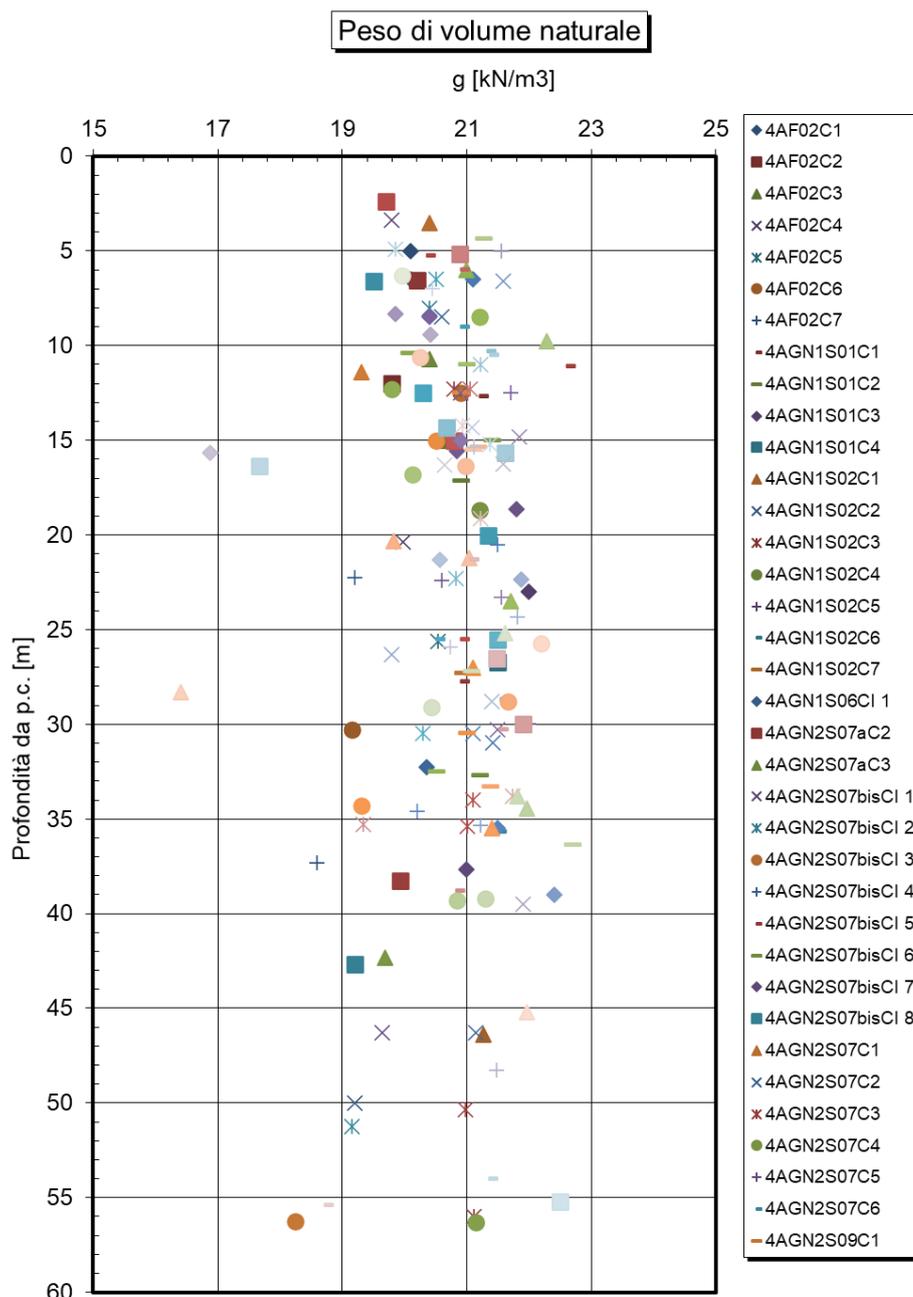


Figura 20: TRV- peso dell'unità di volume

Il contenuto naturale d'acqua mostra un intervallo ampio di valori compresi tra 10% e 25%. A profondità elevate, tale intervallo si assottiglia attestandosi intorno al 15%.

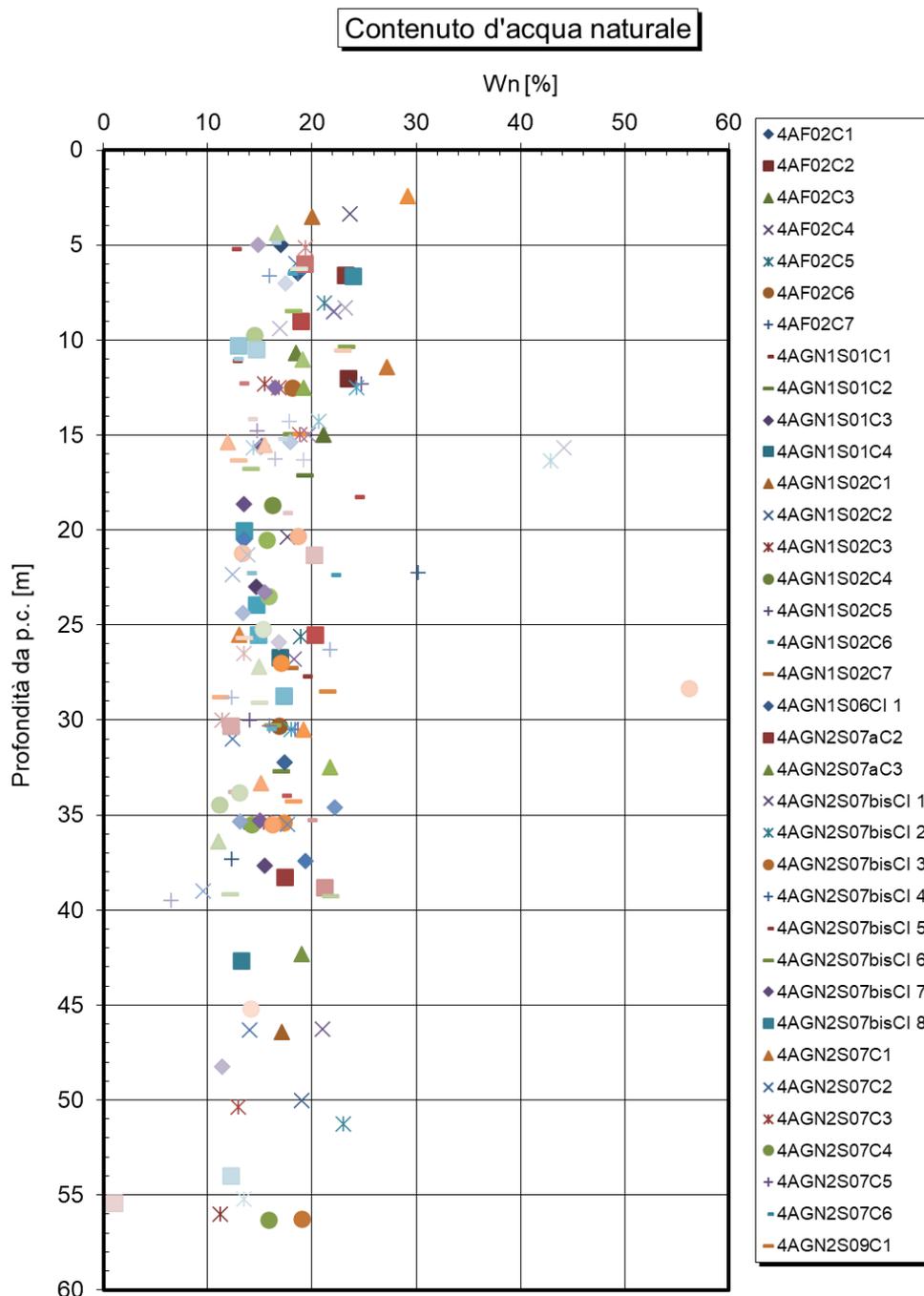


Figura 21a: TRV - contenuto naturale d'acqua

Dall'analisi dei campioni prelevati è possibile osservare come l'indice di plasticità risulti compreso mediamente tra il 20% e il 50%.

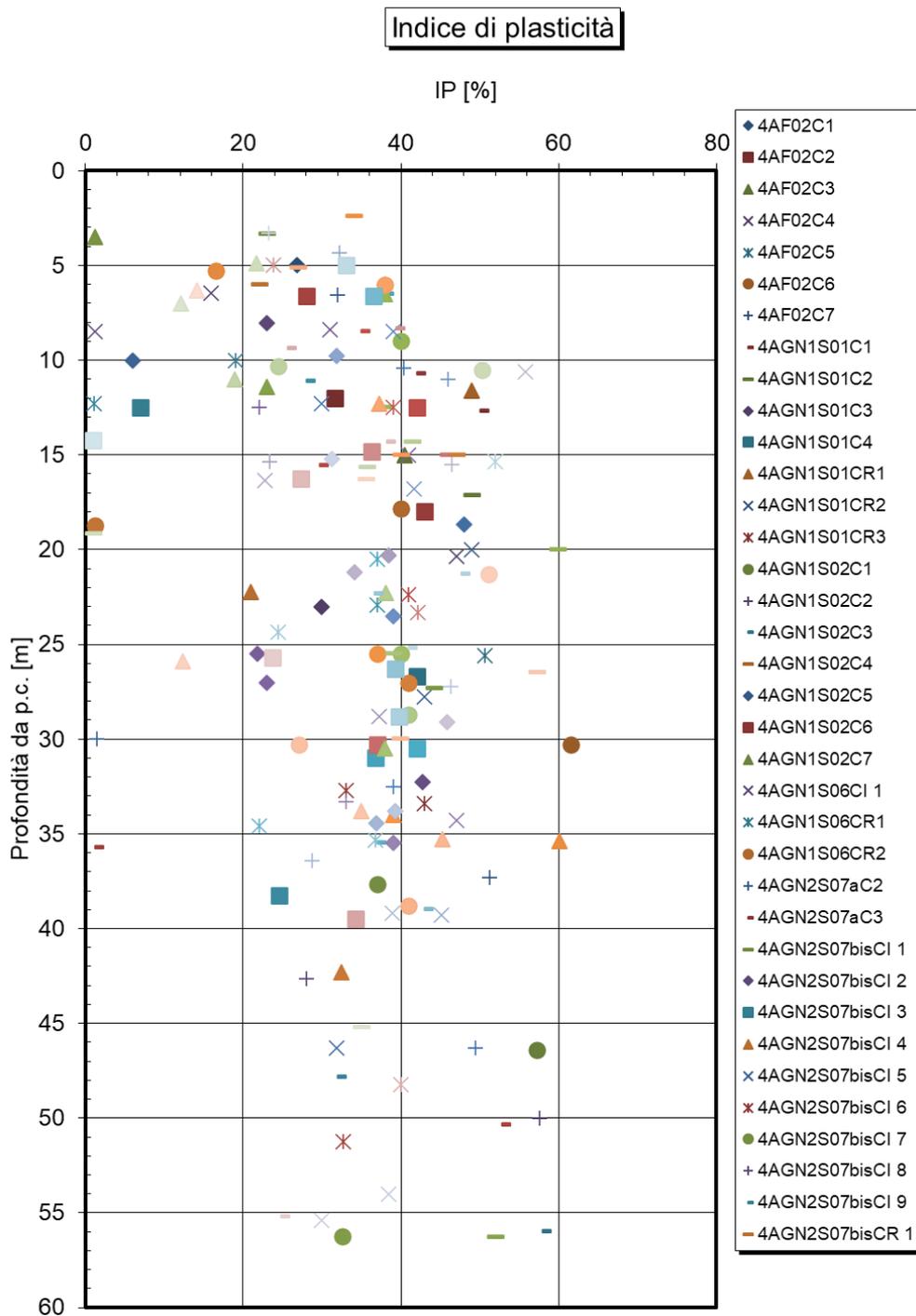


Figura 22b: TRV – indice di plasticità

11.1.3 Carta di Casagrande

Dalla carta di Casagrande è possibile distinguere, in funzione delle varie regioni individuate sulla carta, la presenza di argille inorganiche di media ed alta plasticità e di alcuni punti al di sotto della retta inclinata indicativi di limi organici a media ed alta compressibilità e di argille organiche.

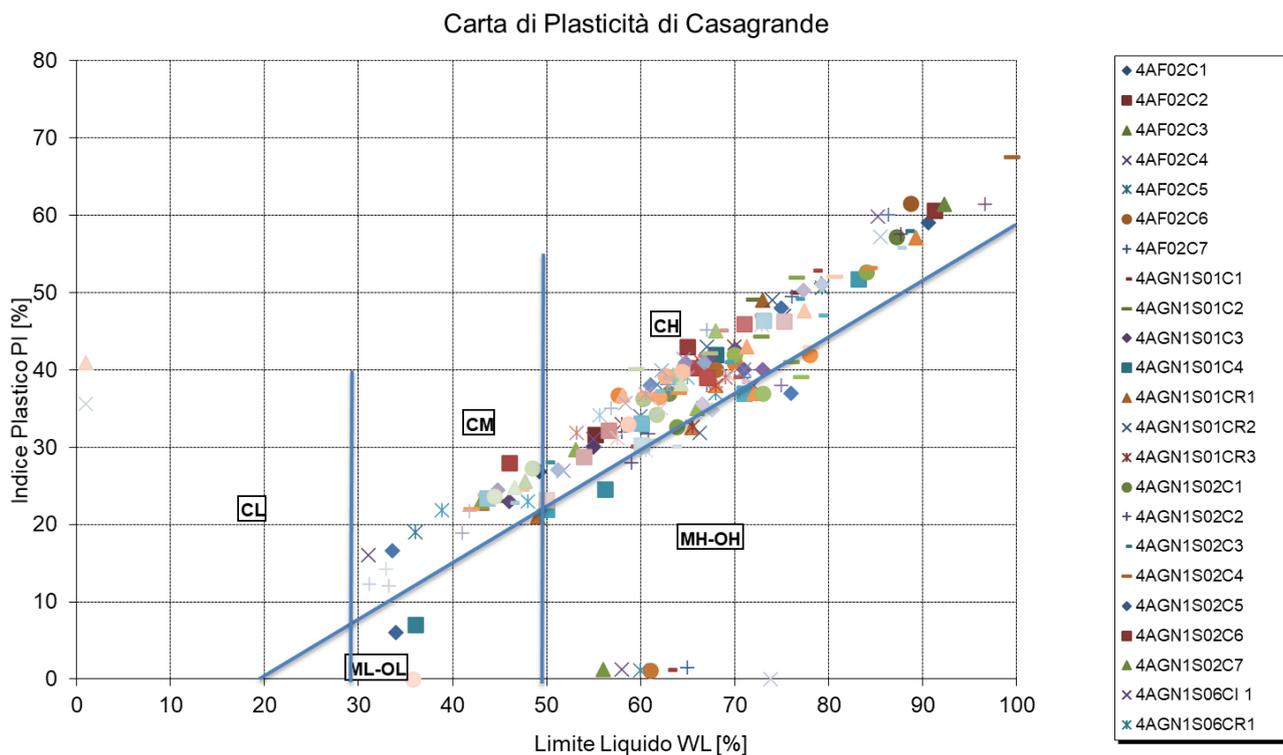


Figura 23: TRV - carta di plasticità di Casagrande

11.1.4 Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza al taglio non drenata, sono state eseguite diverse prove non consolidate non drenate (TX – UU). È stato inoltre possibile determinare la resistenza a taglio in condizioni non drenate attraverso le correlazioni con i risultati delle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio, attraverso relazioni empiriche, dai risultati ottenuti da prove pressiometriche ed attraverso il pocket.

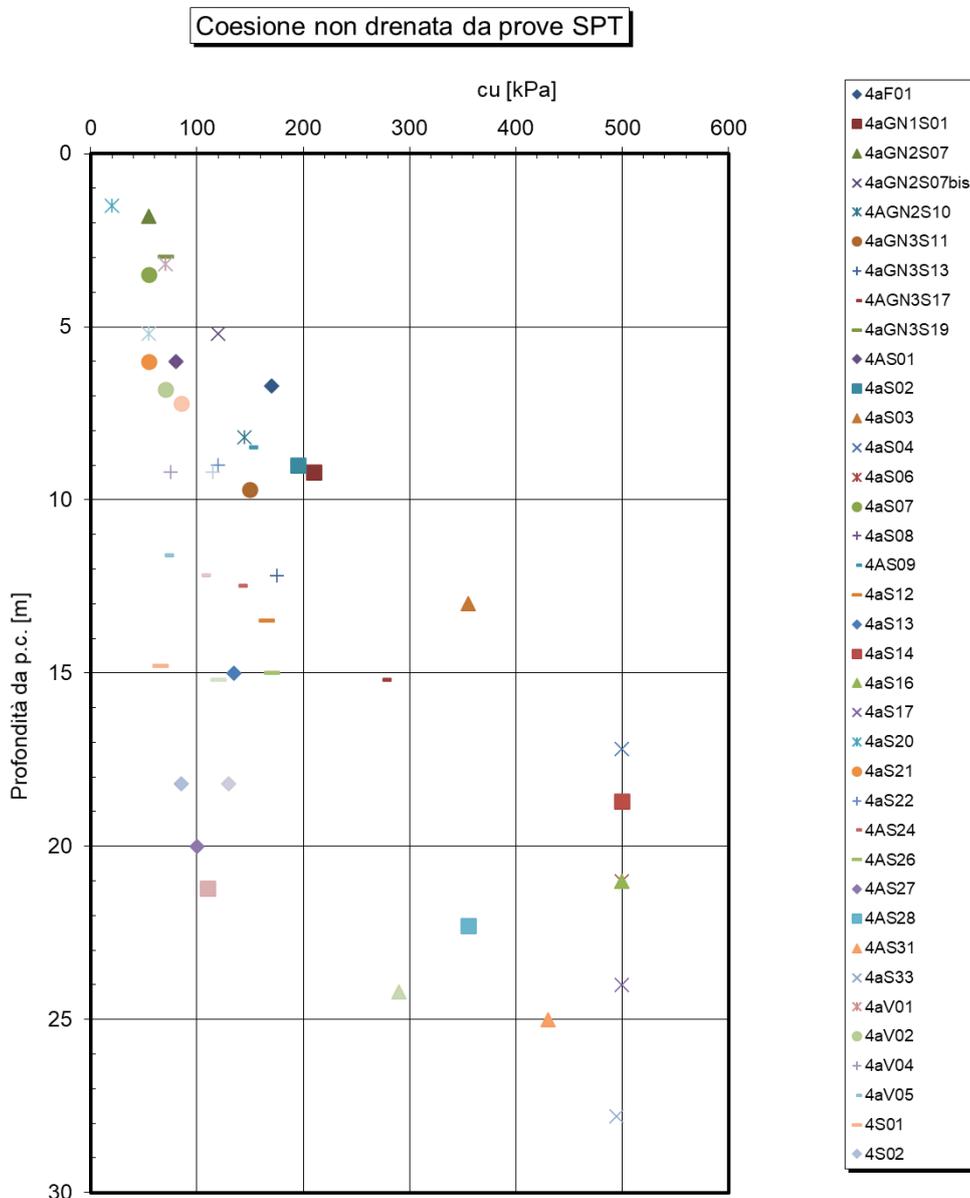


Figura 24: TRV - coesione non drenata da prove SPT

L'intervallo di valori ottenuto dalle prove in sito risulta compreso tra 50 e 500 kPa.

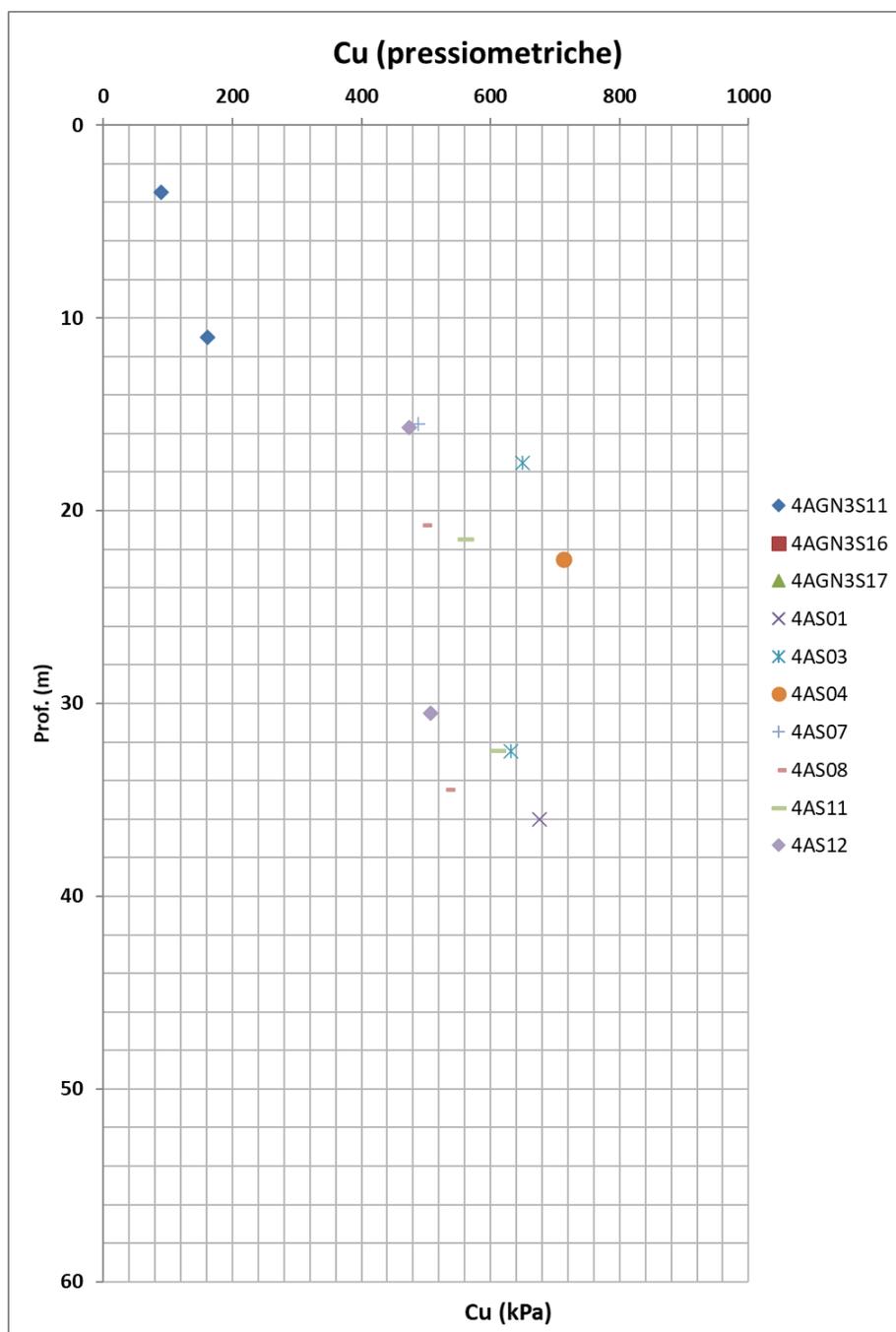


Figura 25: TRV - coesione non drenata da prove pressiometriche

Dalle relazioni empiriche con prove pressiometriche è stato invece possibile ottenere valori nell'intervallo tra 100 kPa e 700 kPa.

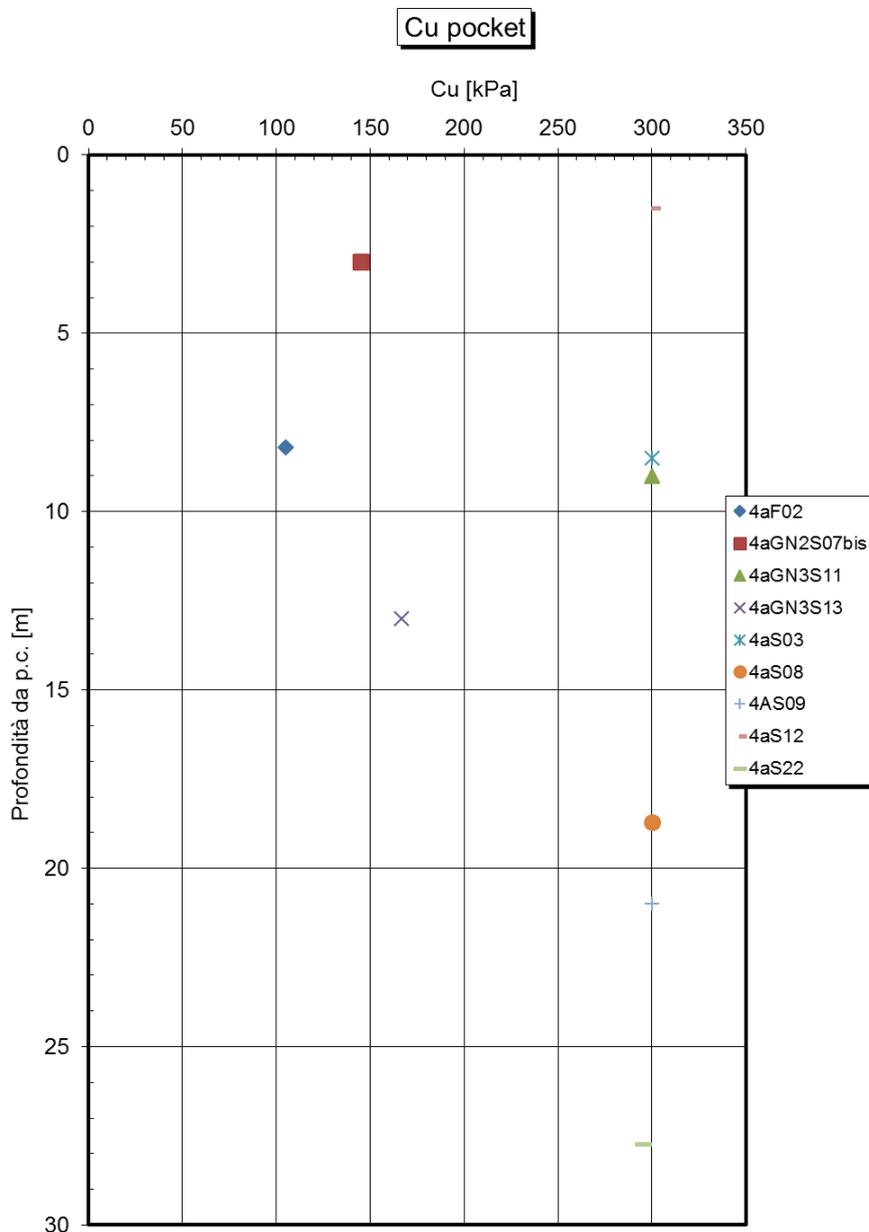


Figura 26: TRV – coesione non drenata da pocket

Per quanto riguarda i valori di OCR: questi sono stati determinati attraverso correlazioni empiriche dalla resistenza al taglio non drenata ed attraverso correlazioni da prove SPT.

Di seguito sono riportati i relativi risultati.

È possibile osservare come i valori di OCR siano compresi tra 1,3 e 1,5 per profondità minori di 40 metri. Attraverso le correlazioni empiriche da prove SPT è possibile determinare l'OCR che mostra lo stesso intervallo di valori ottenuto precedentemente.

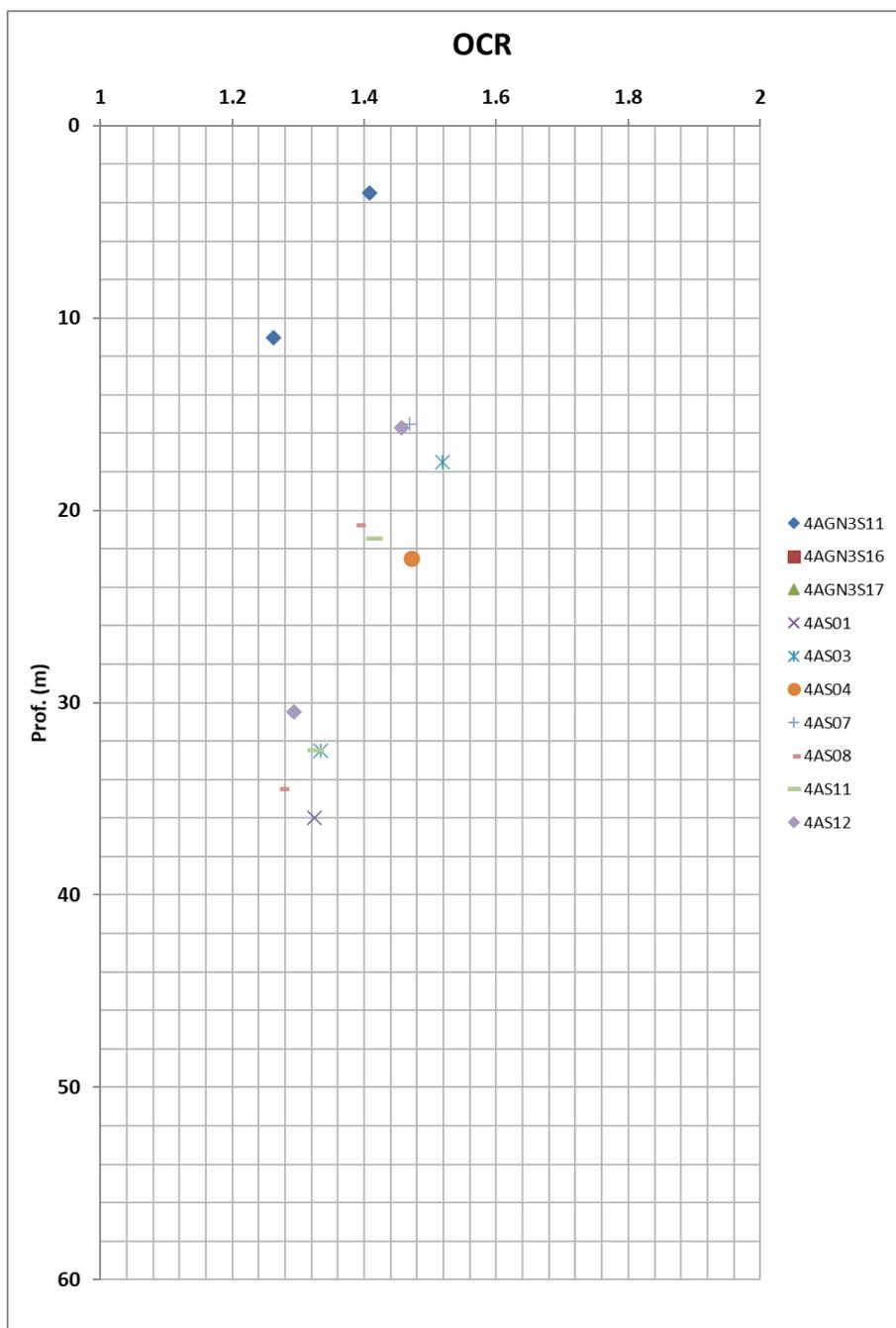


Figura 27: TRV – OCR da correlazioni con la resistenza al taglio non drenata

OCR da SPT

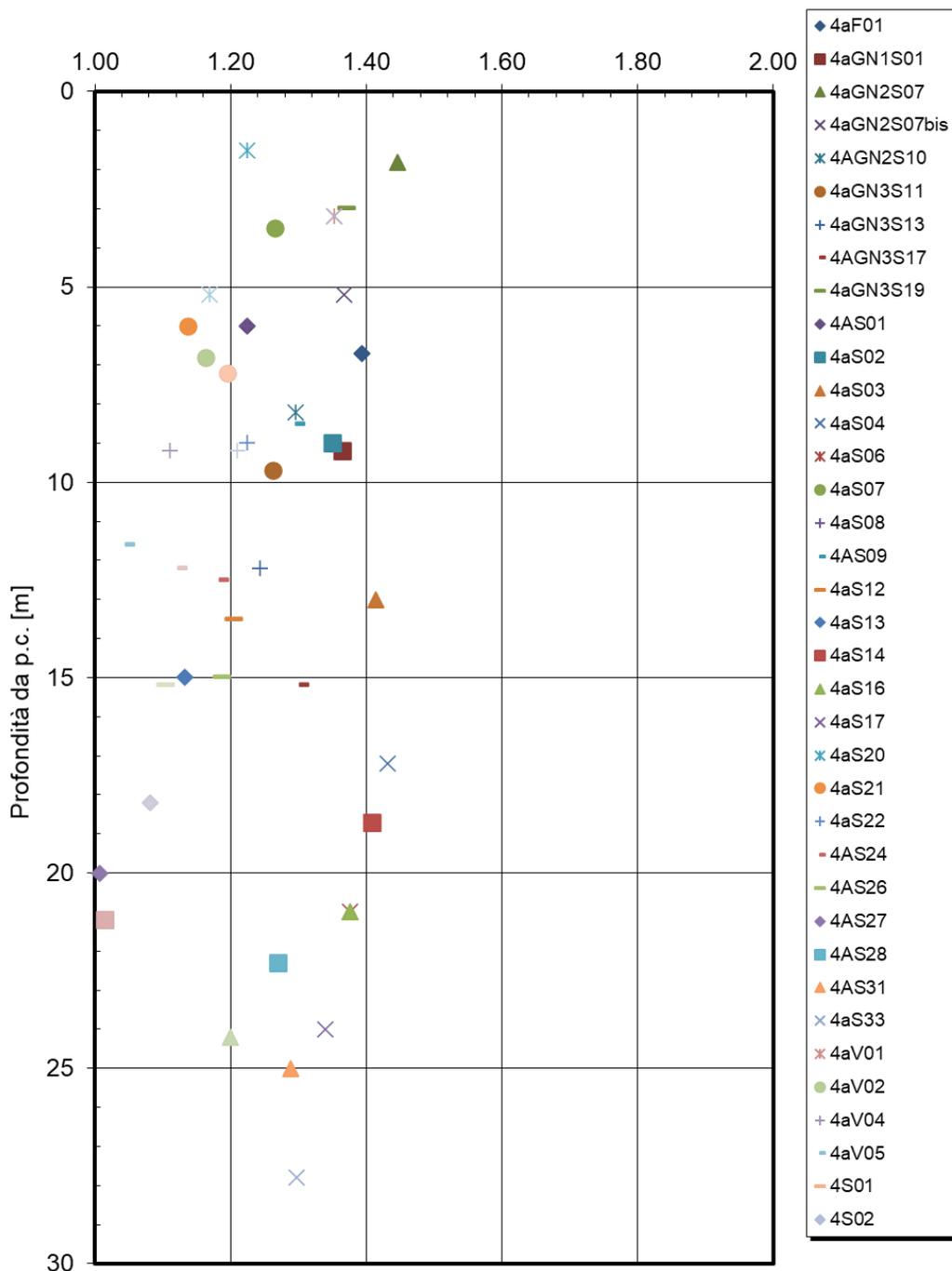


Figura 28: OCR da correlazioni con prove SPT

11.1.5 Caratteristiche di resistenza drenate

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza a taglio in condizione drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio ottenuti da prove di taglio (TD), prove triassiali consolidate drenate (TX-CID) e prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU).

Per quanto concerne le prime, è possibile notare come i valori, in termini di coesione efficace, ricadano nell'intervallo compreso tra 5 kPa e 70 kPa.

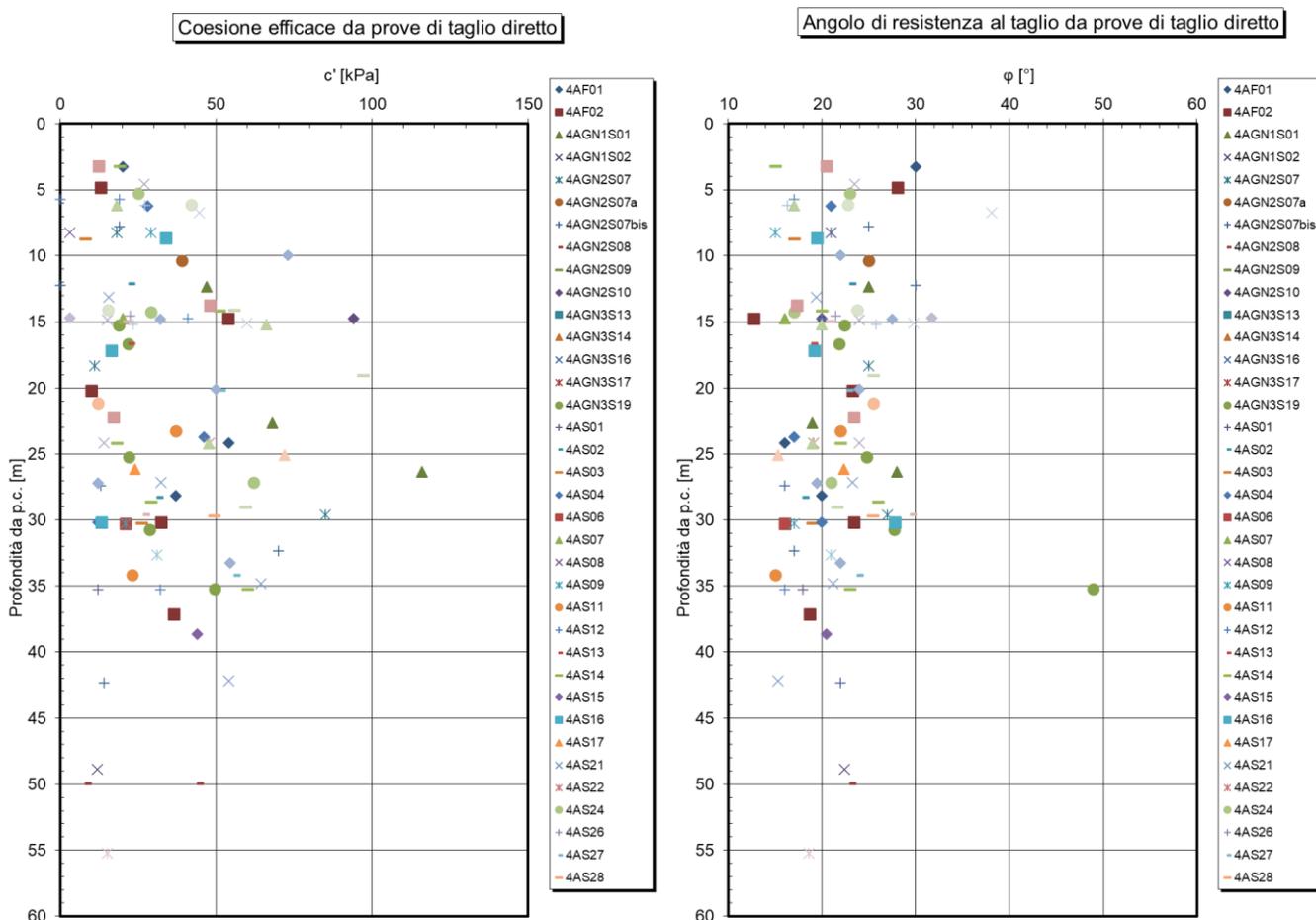


Figura 29: TRV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)

Per quanto riguarda l'angolo di resistenza a taglio determinato con le prove di taglio diretto: questo ricade nell'intervallo compreso tra 15° e 30°.

Per quanto concerne le prove triassiali consolidate drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza a taglio per quattro campioni.

I valori di coesione ottenuti in questo caso si attestano in un intervallo compreso tra 10 kPa e 35 kPa.

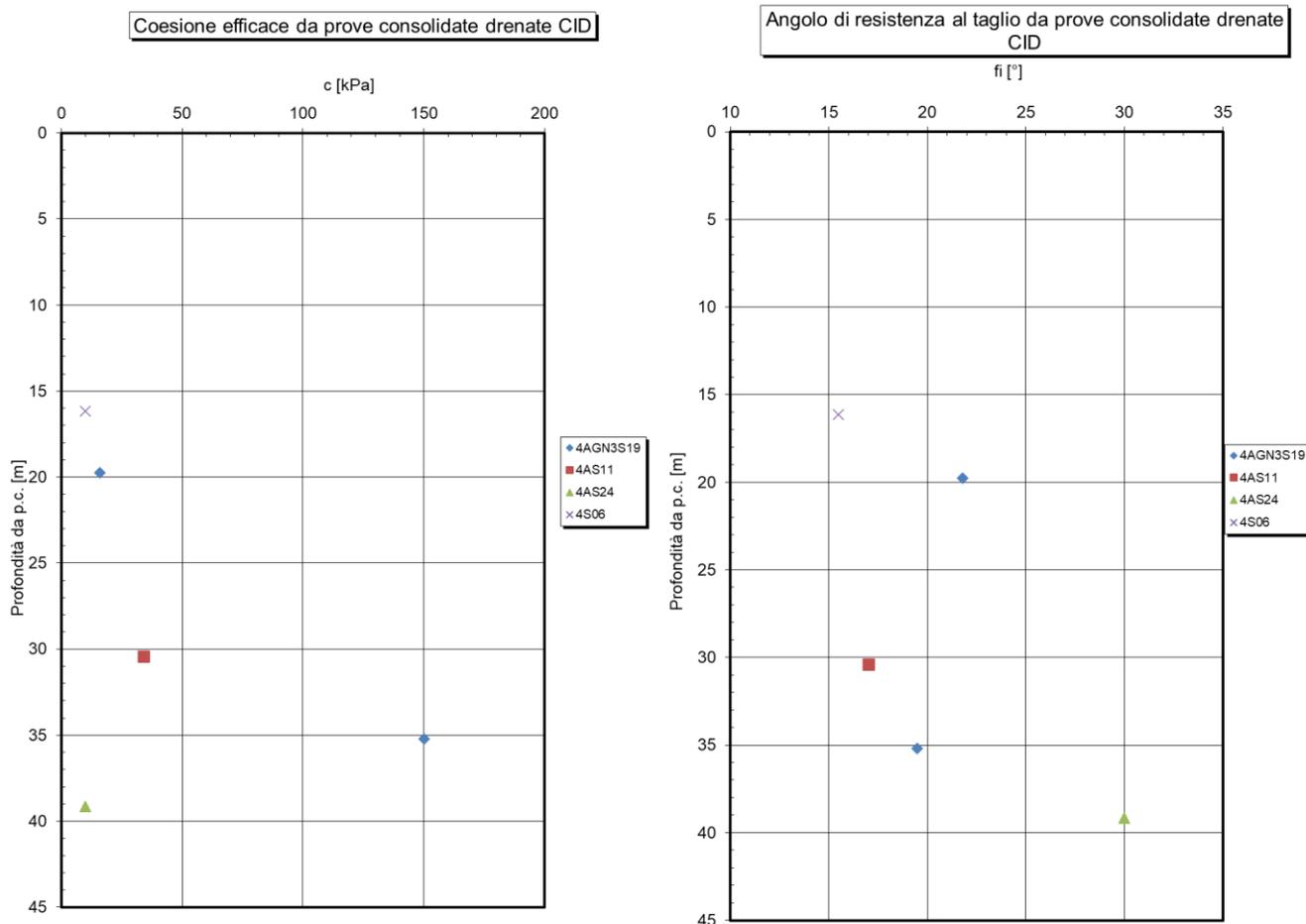


Figura 30: TRV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate drenate (TX-CID)

Mentre per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio: questo risulta compreso in un intervallo tra 15° e 22°.

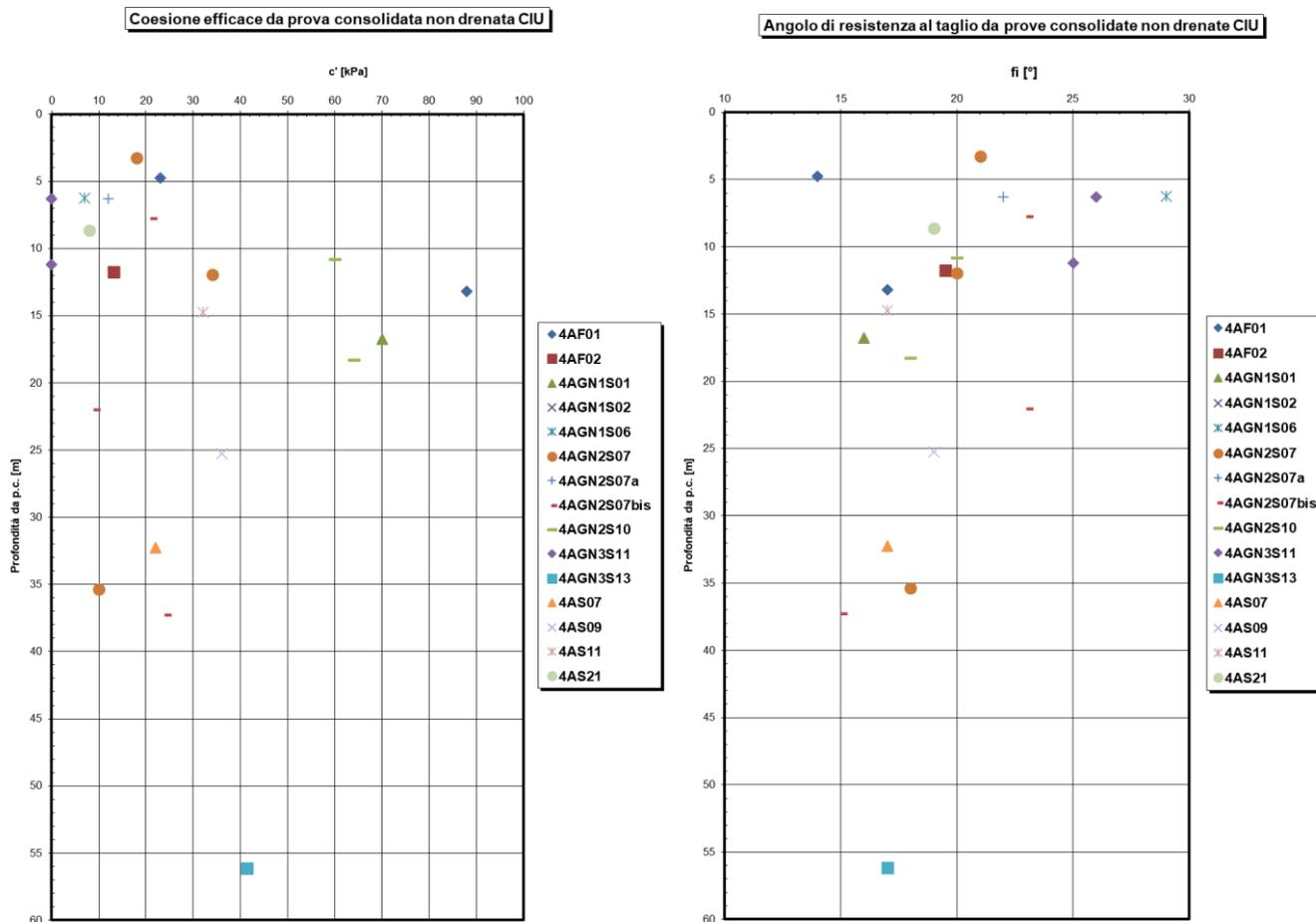


Figura 31: TRV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU)

I risultati ottenuti, in termini di coesione efficace, da prove triassiali consolidate non drenate mostrano valori compresi tra 10 kPa e 60 kPa; in termini di angolo di resistenza al taglio, invece, i valori sono compresi tra 16° e 29°.

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio del terreno, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- **$c' = 9\div 49$ kPa;**
- **$f' = 16\div 26^\circ$.**

11.1.6 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità sono state determinate attraverso prove in situ e prove di laboratorio.

Sono state eseguite quindi prove dilatometriche, pressiometriche e prove sismiche down-hole (DH) al fine di determinare i parametri di deformabilità della Formazione; inoltre sono state eseguite prove edometriche volte non solo a determinare il modulo edometrico ma anche il coefficiente di consolidazione “cv” oltreché l'indice di compressione “Cc” e di rigonfiamento “Cs”.

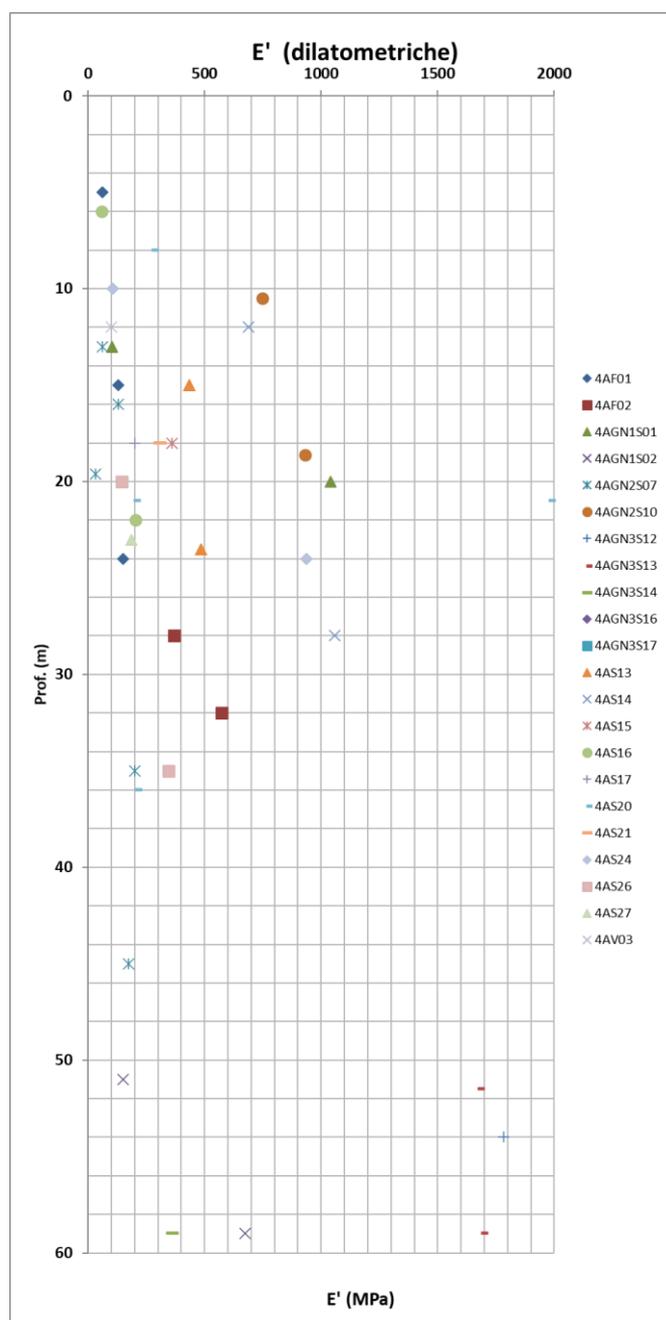


Figura 32: TRV - moduli di Young da prove dilatometriche

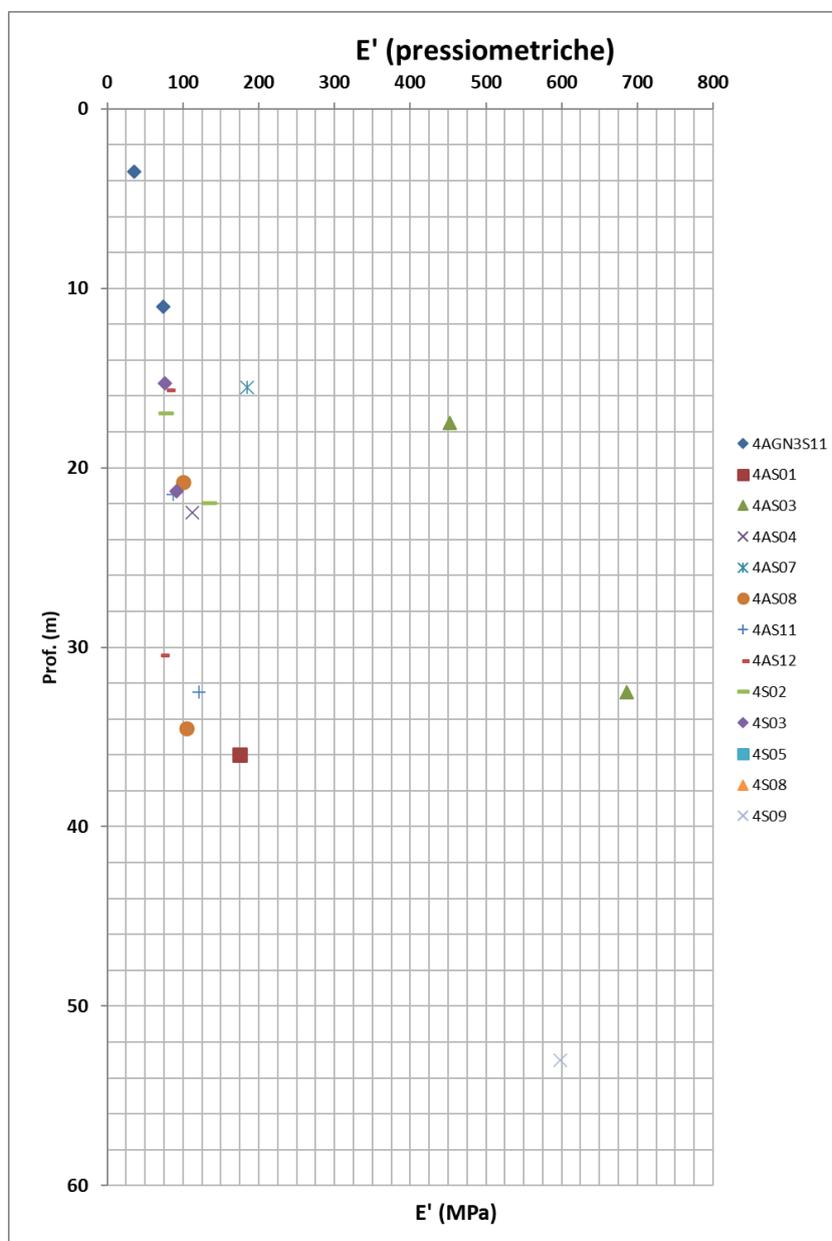


Figura 33: TRV – moduli di Young da prove pressiometriche

Dalle prove dilatometriche è possibile osservare come il modulo di Young vari in un intervallo di valori molto variabile compreso tra 50 MPa e 1700 MPa.

Dalle prove pressiometriche in foro è stato possibile ottenere valori compresi tra 20 MPa e 400 MPa.

Dalle prove sismiche down-hole (DH) è stato possibile ottenere l'andamento delle velocità di taglio con la profondità oltreché l'andamento del modulo di Young.

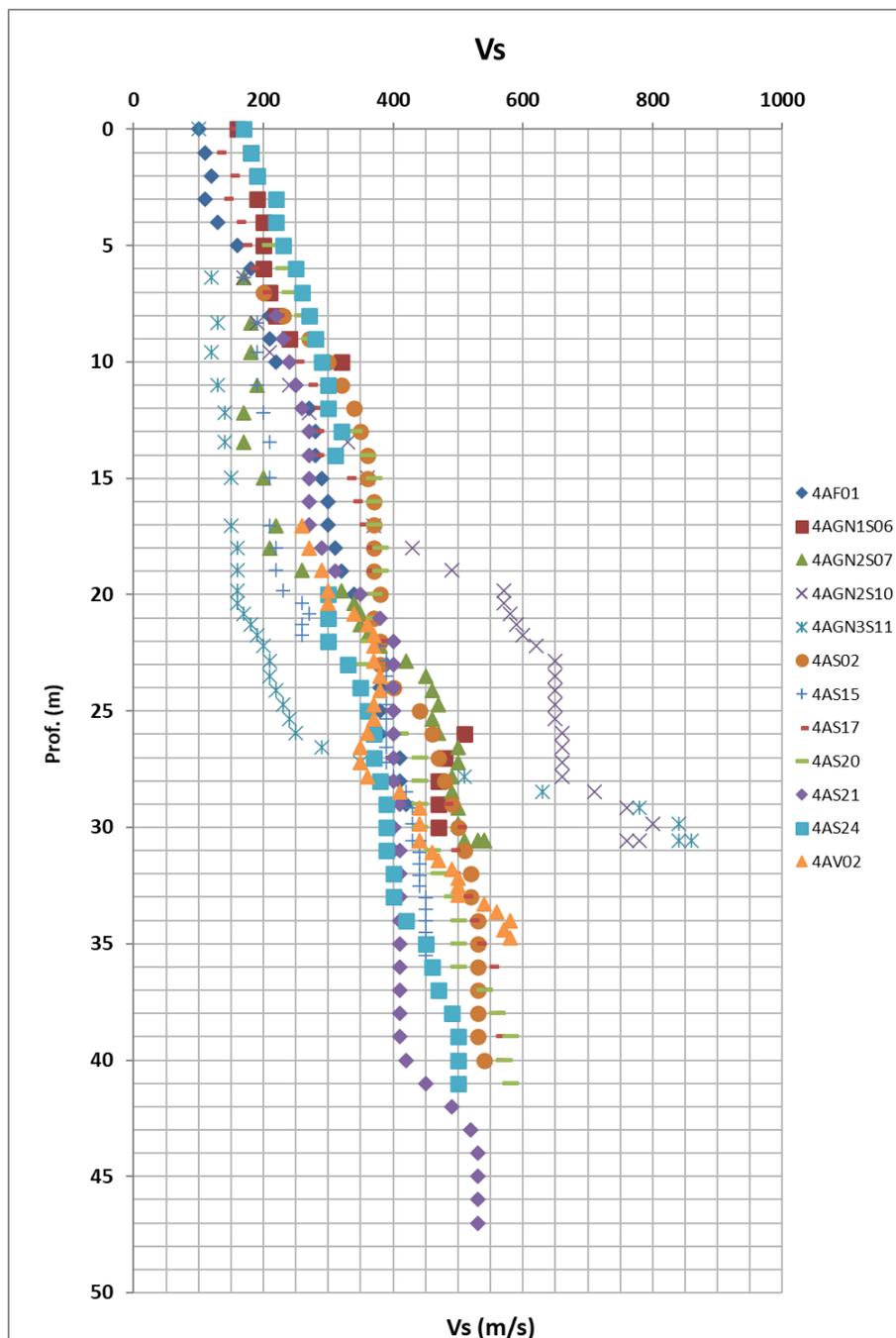


Figura 34: TRV – velocità delle onde di taglio S

Dall'interpretazione dell'andamento delle onde di taglio con la profondità è evidente come le caratteristiche di deformabilità migliorino all'aumentare della profondità, presentando, come di seguito riportato, valori intorno a 1.5 GPa a profondità maggiori di 30 metri. È possibile notare un intervallo di valori più basso per profondità minori.

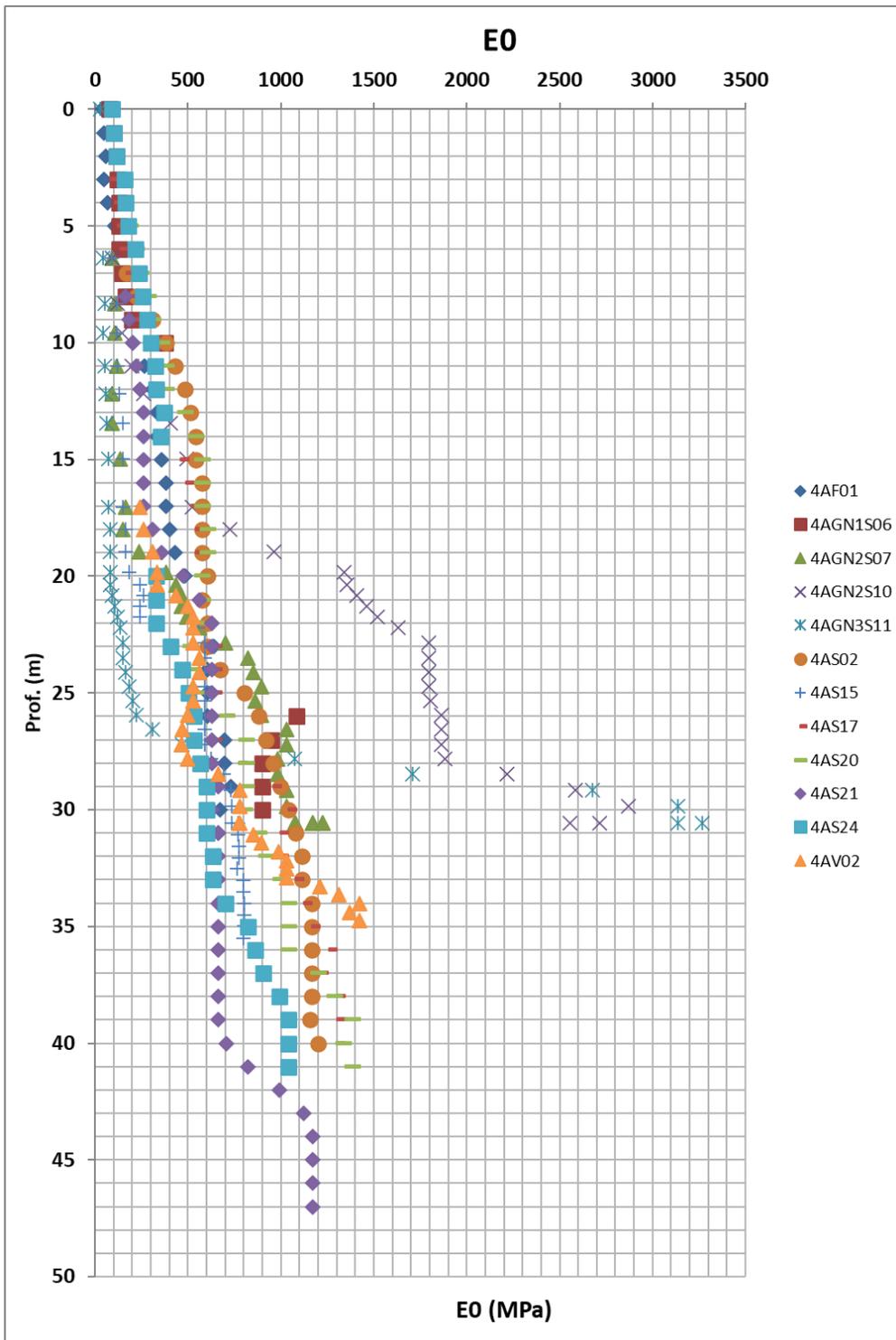


Figura 35: TRV – modulo di Young

Dai risultati delle prove di compressione edometrica è stato possibile invece risalire al modulo edometrico ed ai coefficienti di consolidazione, di compressione e di rigonfiamento come di seguito riportato.

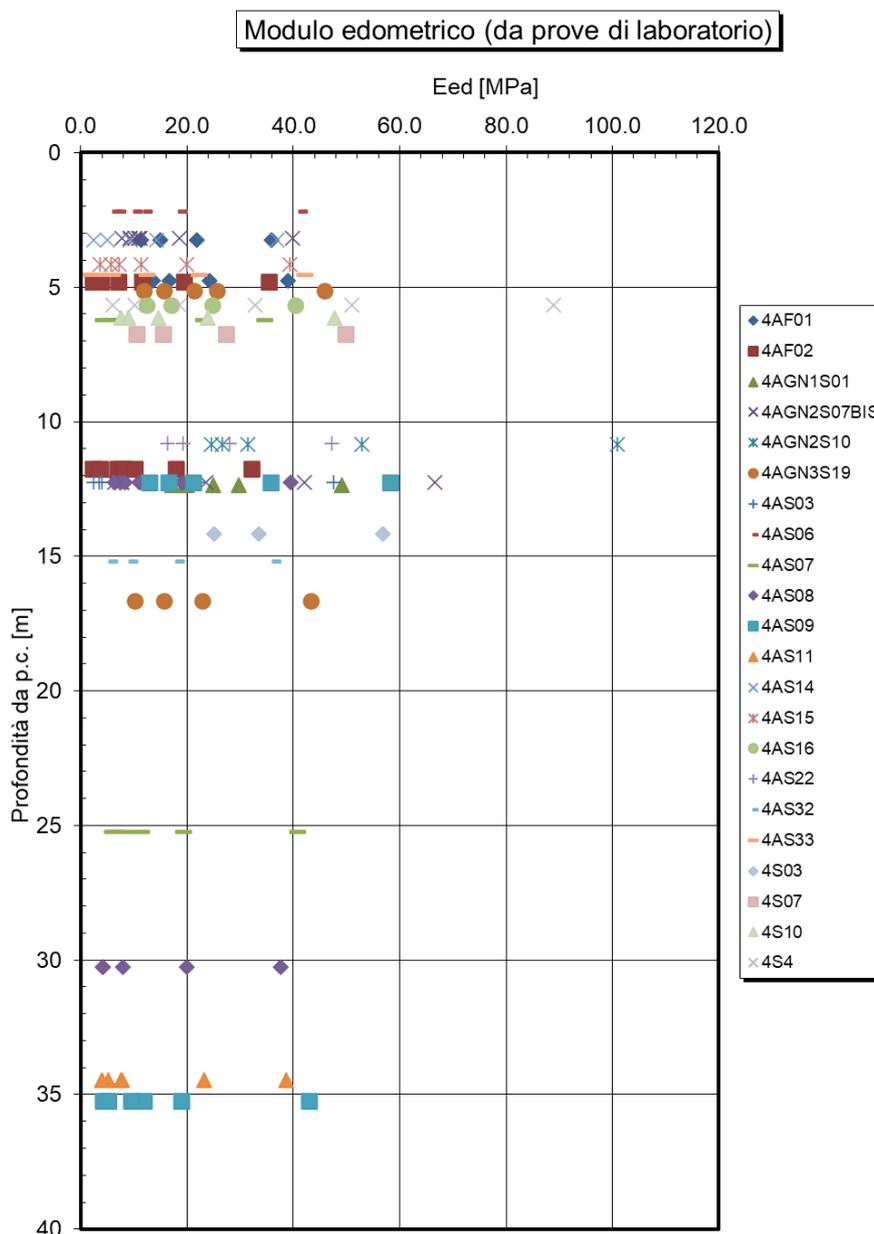


Figura 36: TRV – modulo edometrico

I risultati finali ottenuti dalle prove mostrano valori compresi tra 40 e 60 MPa.

Per quanto riguarda il coefficiente di compressione “Cc”, di rigonfiamento “Cs” e di consolidazione primaria monodimensionale “cv”, sono di seguito riportati i risultati ottenuti.

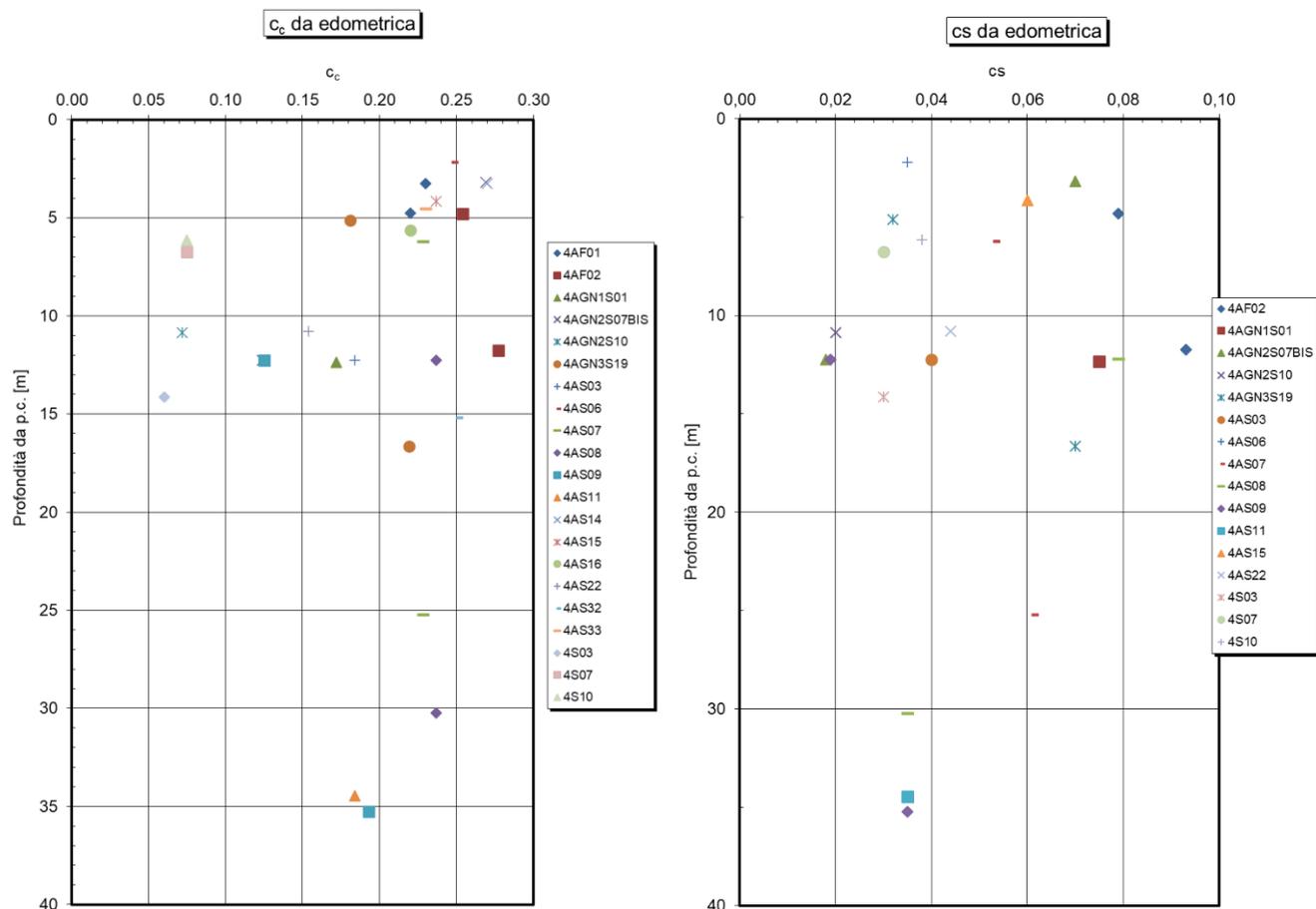


Figura 37: TRV - coefficiente di compressione Cc e di rigonfiamento Cs

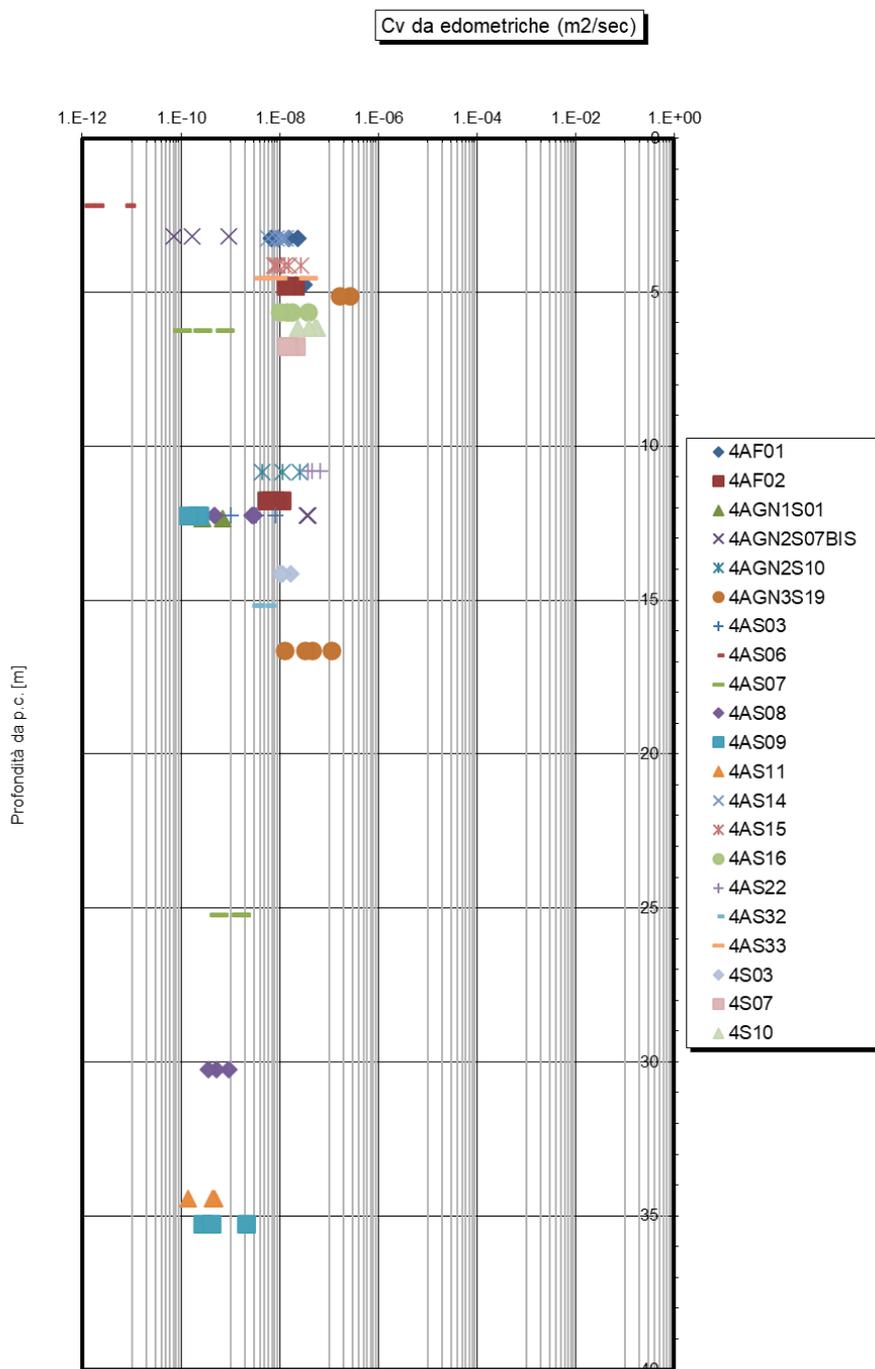


Figura 38: TRV – coefficiente di consolidazione monodimensionale cv

11.1.7 Caratteristiche di permeabilità

Per quanto concerne le caratteristiche di permeabilità, è stato possibile ottenere il coefficiente di permeabilità monodimensionale in laboratorio attraverso le prove di compressione edometrica, mentre, attraverso prove Le Franc, è stato possibile ottenere il coefficiente di permeabilità.

Coefficiente di permeabilità verticale da edometrica

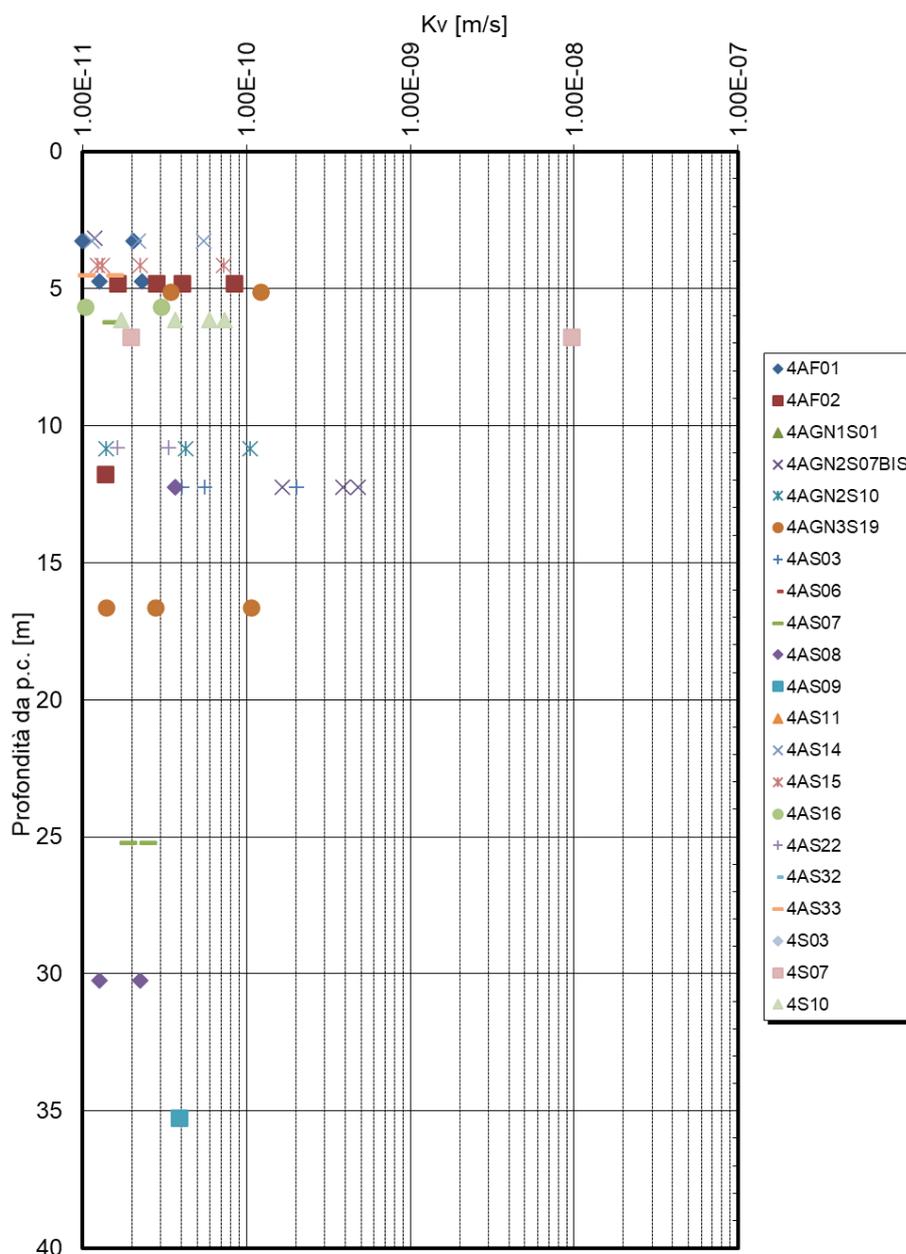


Figura 39: TRV - coefficiente di permeabilità monodimensionale

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

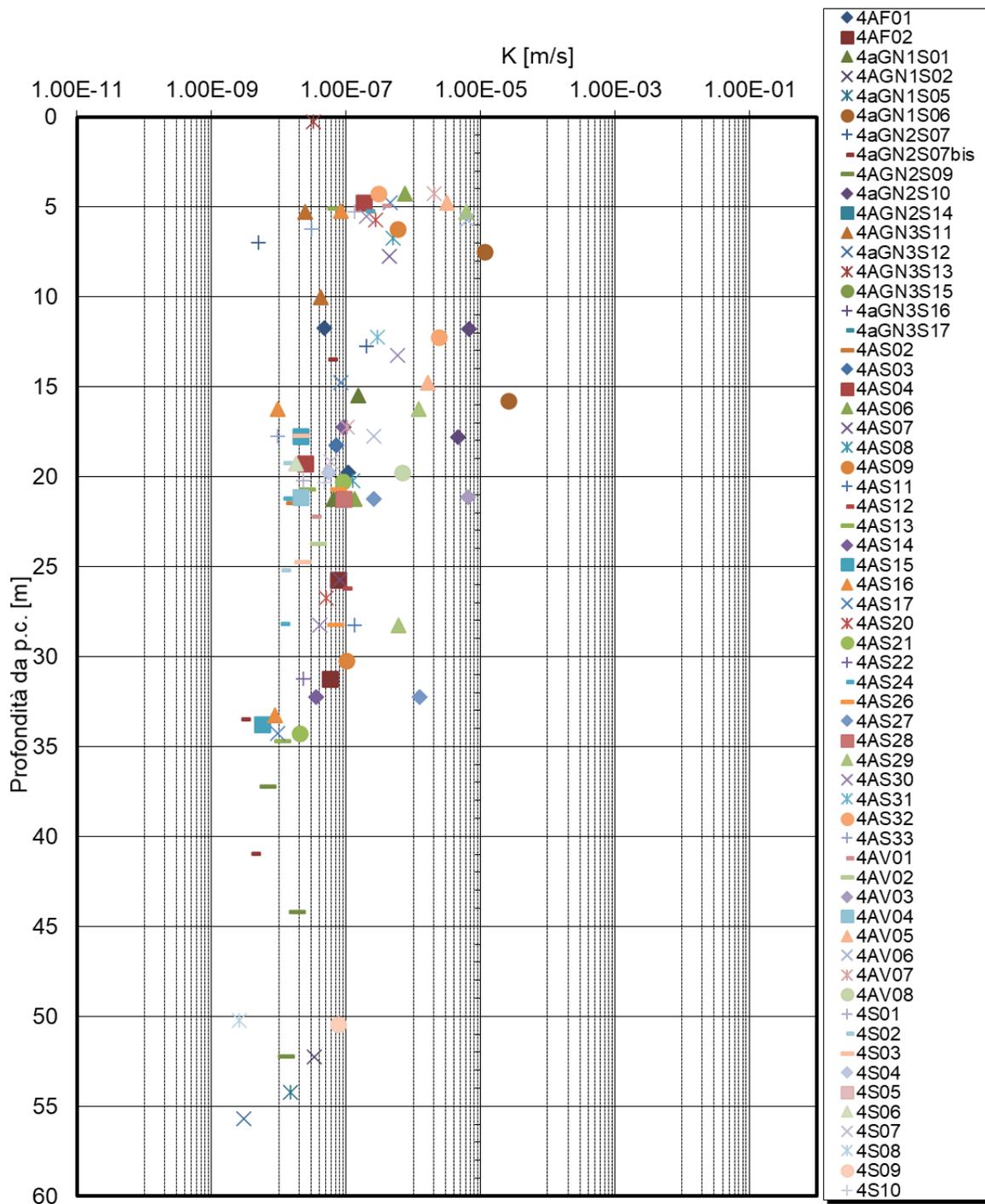
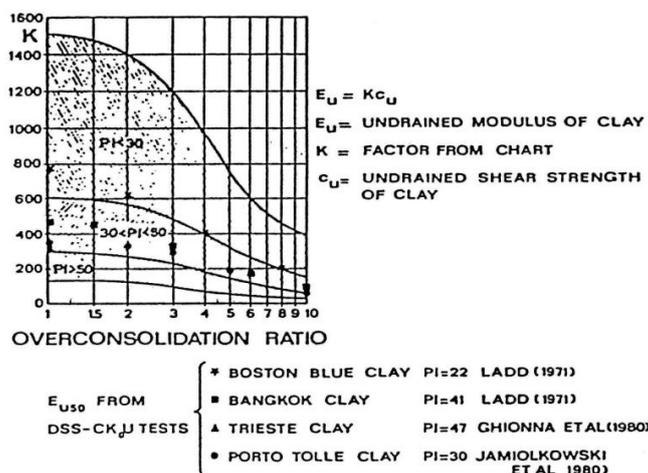


Figura 40: TRV - coefficiente di permeabilità in situ da Le Franc

Parametri non drenati

Per la determinazione dei valori sperimentali di C_u sono stati considerate prevalentemente le prove in situ, soprattutto ad elevate profondità, perché ritenute più affidabili e meno affette dal disturbo del campione che nella formazione in esame è risultato essere a volte particolarmente evidente. Pertanto si sono elaborate le prove pressiometriche le quali hanno consentito di valutare la modifica delle caratteristiche della formazione in esame con la profondità. In questo caso si è pensato di sfruttare le note correlazioni di letteratura con la pressione limite efficace p_l (Amar e Jezequel, 1972): $C_u = (p_l - p_o) / 5.5$ (KPa).

Per i parametri di resistenza non drenati quindi a coperture maggiori di 50m si è assunto un profilo linearmente crescente con la profondità pari a $C_u = 5.9z$ che interpola l'andamento con la profondità dei dati sperimentali. Il modulo non drenato è stato assunto proporzionale al valore di C_u secondo la correlazione sotto riportata assumendo $E_u = 500C_u$.



Parametri drenati

Dal momento che le prove di laboratorio in profondità son meno numerose e gli stati tensionali di prova non sono rappresentativi degli elevati stati tensionali profondi, per i parametri di resistenza drenati si può utilizzare un involucro curvilineo dei dati sperimentali disponibili (vd. relazione Geotecnica generale), dal quale, è possibile calcolare i valori dei parametri meccanici di resistenza al variare dello stato tensionale, per argille OC. I risultati vengono mostrati nella figura sottostante.

Per coperture molto elevate (400m e 600m) si è comunque tenuto conto di uno stato tensionale che risente dell'elevato rilascio tensionale indotto al contorno degli scavi ed imputabile anche all'ipotesi di sovrascavo adottata. Per i moduli elastici si è assunto un profilo cautelativo che comunque interpola i dati sperimentali pari a $E' = 3z$. per E_u si è assunto un valore proporzionale ai valori di C_u secondo la correlazione di Lancellotta $E_u = 500C_u$.

Pertanto dall'analisi dei valori delle prove eseguite e dalle assunzioni evidenziate in precedenza si possono ricavare i parametri riportati nella tabella seguente, con le precisazioni di seguito esplicitate.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 117 di 379

11.2 Unità TRVa – Formazione di Terravecchia

Membro TRVa: presenta due facies geotecniche:

- facies granulare debolmente cementata costituita da sabbie limose e ghiaie a clasti poligenici (comprendenti rocce carbonatiche, silicee, cristalline s.l., graniti e porfiriti dacitico-andesitiche), eterometrici, da arrotondati a subarrotondati. È rappresentativa soprattutto dei primi metri di profondità che riguardano le opere in esame.
- facies costituita da arenarie giallastre e conglomerati a matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, rosso e giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata. Questa facies coinvolge marginalmente le opere in esame, in quanto compare in modo persistente ad elevate profondità.

11.2.1 Caratteristiche fisiche

È stato possibile determinare il peso dell'unità di volume del materiale attraverso correlazioni empiriche con prove SPT. Il peso dell'unità di volume varia da 21 kN/m³ a 25 kN/m³, mostrando valori medi più vicini a 22 kN/m³.

11.2.2 Facies granulare poco cementata

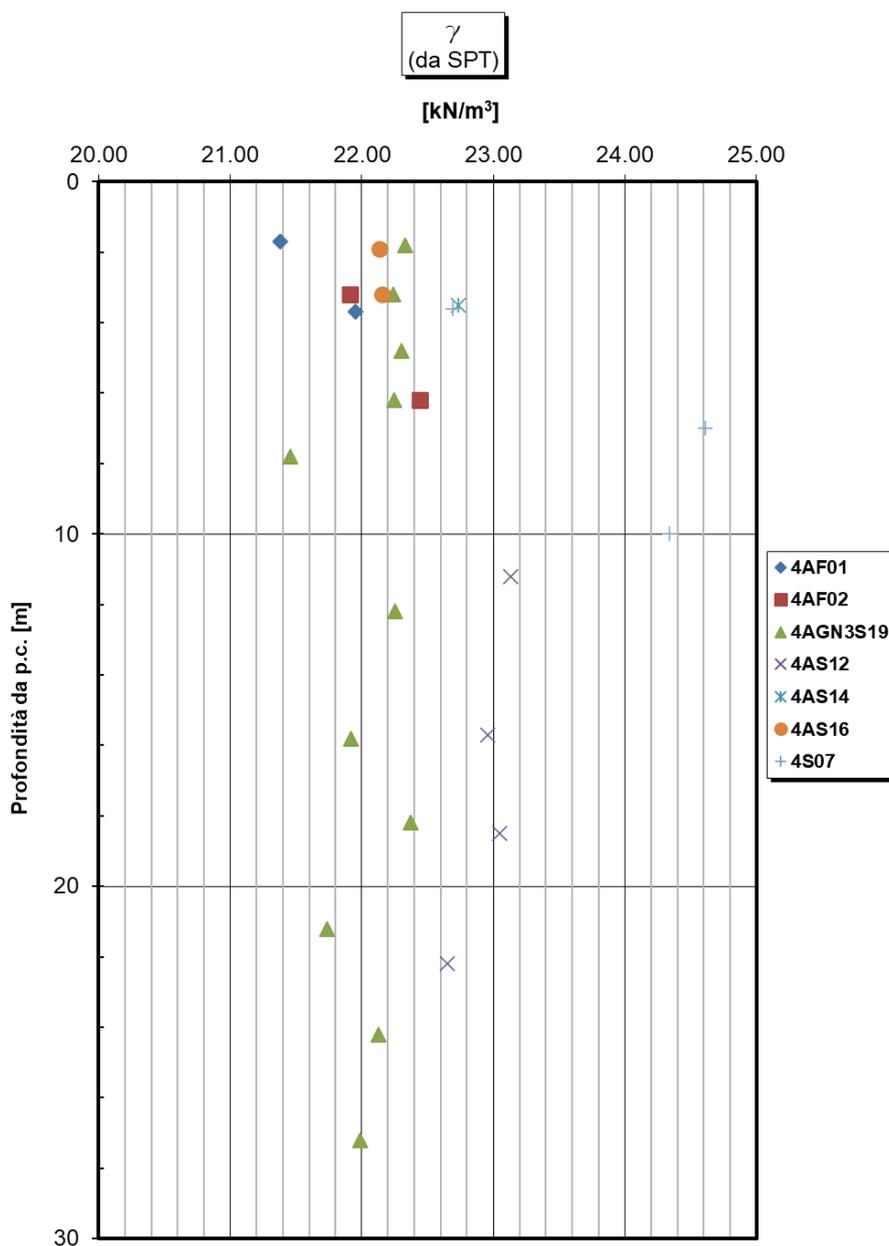


Figura 41: TRVa – peso dell'unità di volume da prove SPT

Tra le altre caratteristiche fisiche, è stato possibile determinare la densità relativa D_r attraverso correlazioni empiriche con i risultati di prove SPT, che sono stati dapprima corretti considerando un'energia di infissione pari al 60% di quella teorica.

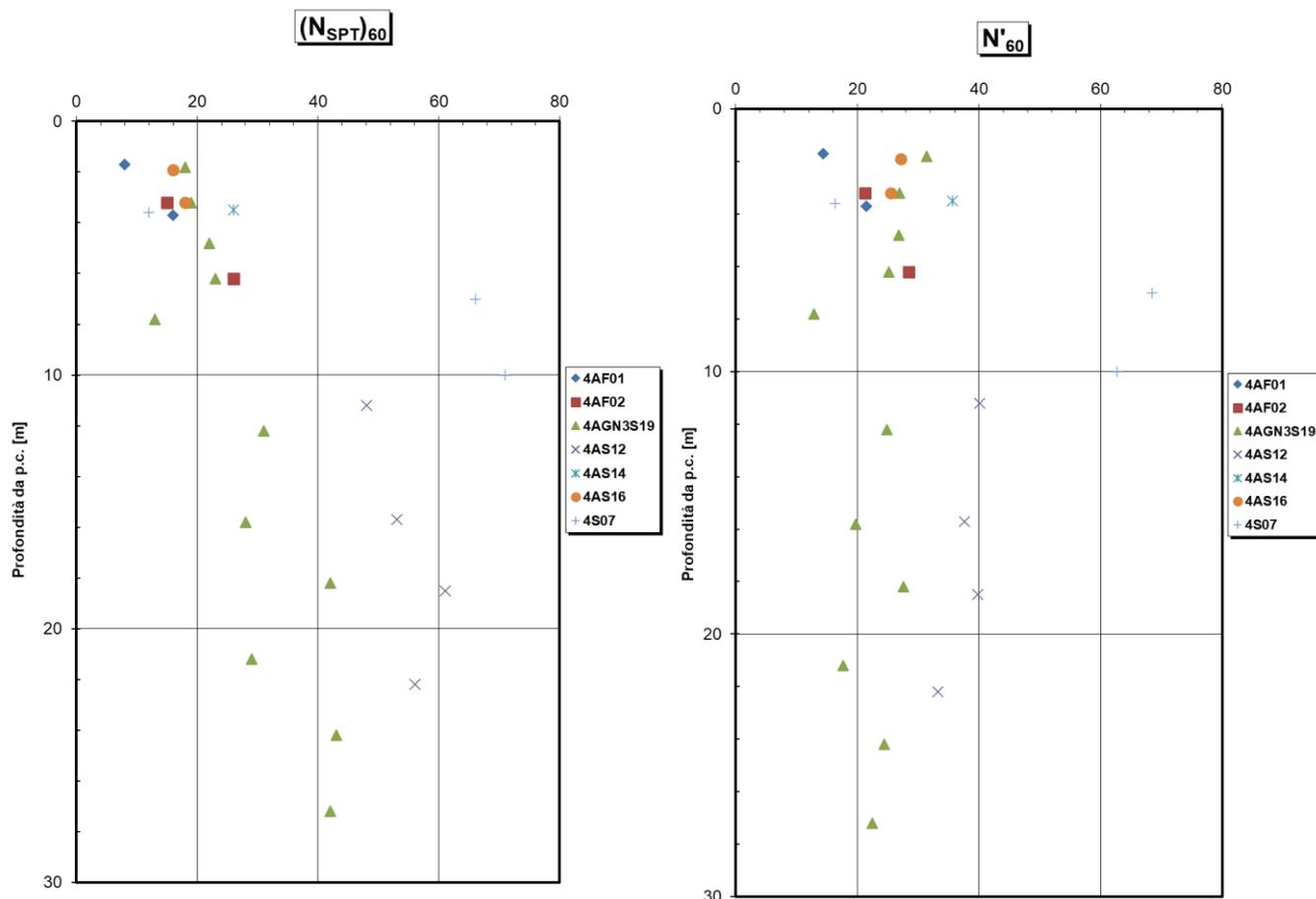


Figura 42: TRVa – risultati da prove SPT in sito (sinistra) e risultati corretti (destra)

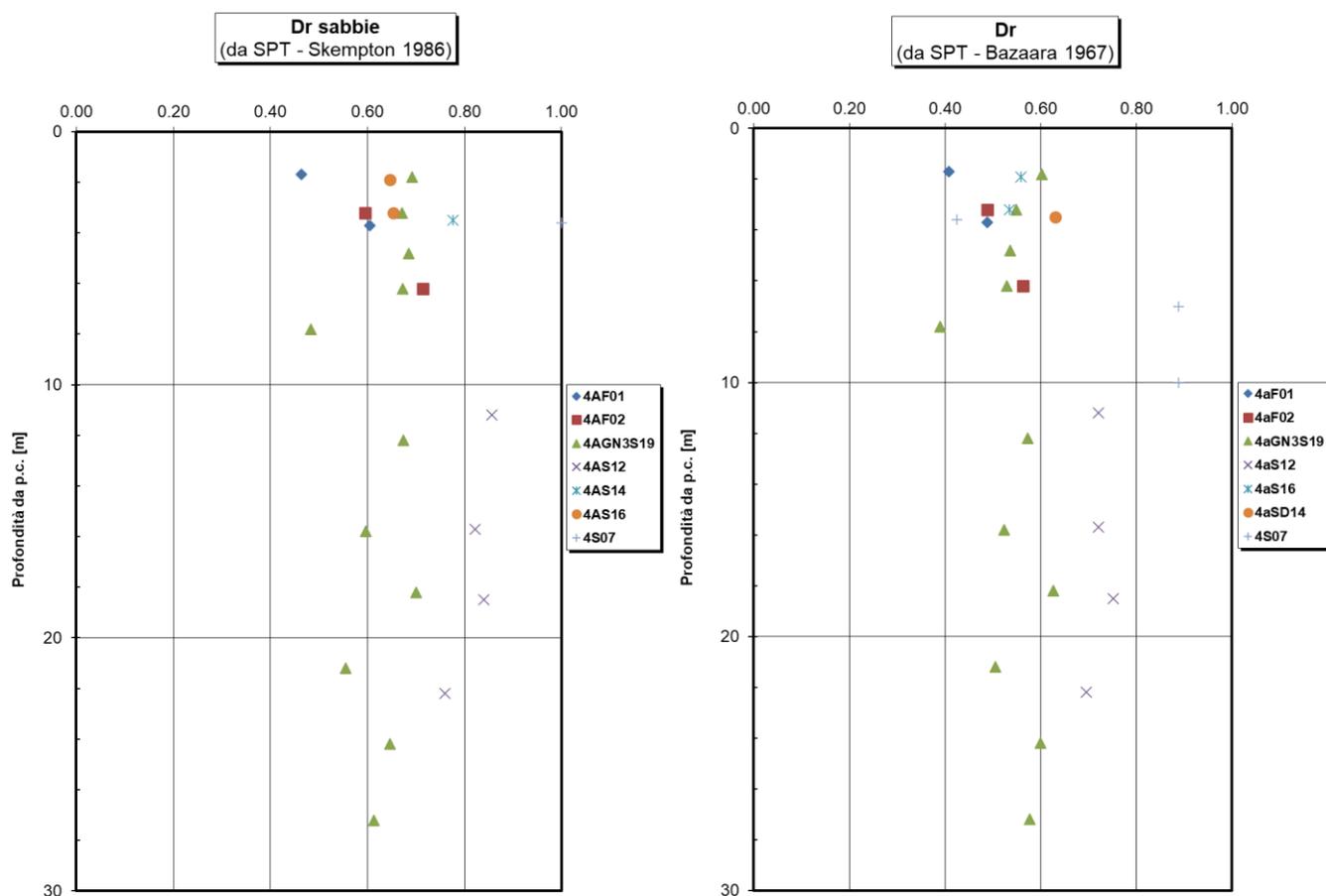


Figura 43: TRVa – densità relativa da correlazioni con prove SPT secondo Skempton (sinistra) e Bazaara (destra)

11.2.3 Caratteristiche di resistenza drenate

È stato possibile ottenere gli angoli di resistenza al taglio sempre attraverso correlazioni empiriche da prove SPT. È stata impiegata la relazione di Bolton per risalire all'angolo di resistenza a taglio a volume costante, mentre attraverso la relazione di Schmertmann è stato possibile risalire all'angolo di resistenza a taglio di picco come di seguito riportato.

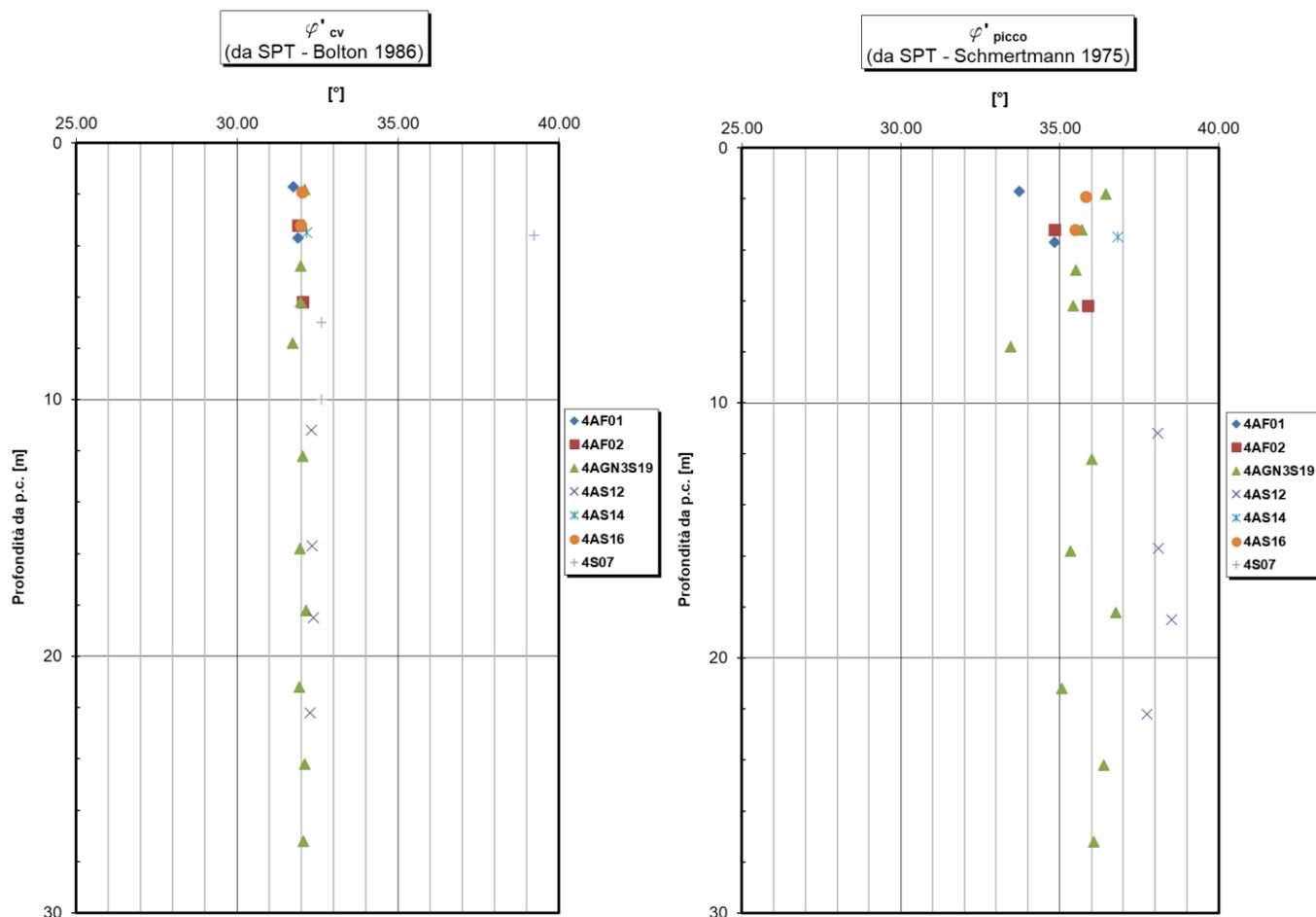


Figura 45: TRVa – angolo di resistenza a taglio a volume costante (destra) e di picco (sinistra).

I valori dell'angolo di resistenza a taglio a volume ovviamente sono costanti con la profondità e si attestano ad un valore di 32°.

I valori dell'angolo di resistenza a taglio di picco risultano compresi nell'intervallo tra 35° e 38°.

11.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

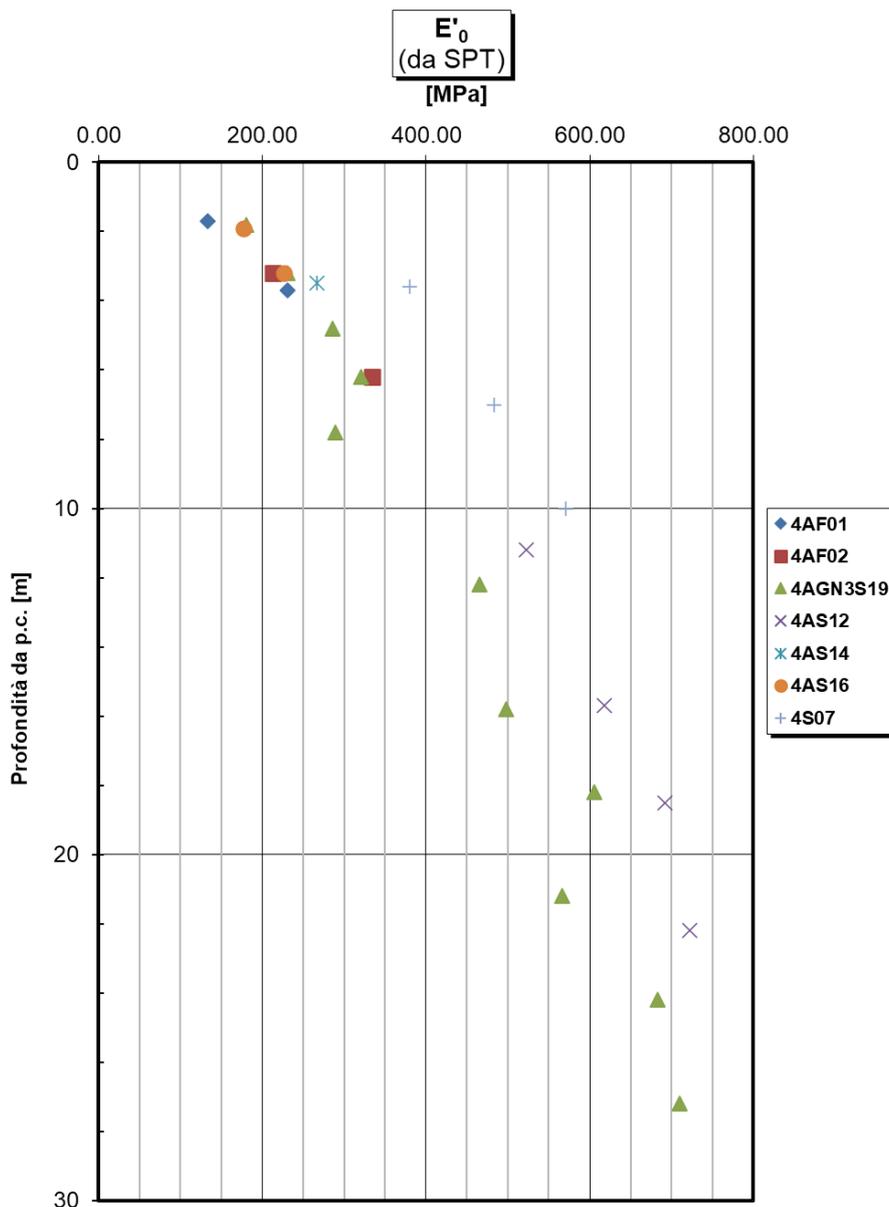


Figura 46: TRVa – modulo di Young da prove SPT

I valori del modulo di Young dinamico variano da 200MPa per la zona superficiale ed arrivano sino a 700MPa in profondità.

11.3 Unità FYN4 – Flysch Numidico

Membro di Nicosia (FYN4): esso è costituito da un'alternanza di prevalenti argille e argille siltose di colore da bruno a bruno tabacco con sottili interstrati siltitici, in intervalli di spessore da decametrico a centimetrico, e di quarzoareniti torbiditiche bruno-giallastre in strati, in genere, lenticolari di spessore generalmente metrico. Le bancate numidiche si presentano estremamente fratturate con livelli di brecce tettoniche di frizione lungo le numerose strutture di taglio. In affioramento questa formazione presenta spessori massimi di circa 300 metri, tuttavia secondo sondaggi di bibliografia può raggiungere circa 2000 metri.

11.3.1 Granulometrie

Dalle seguenti curve di distribuzione granulometrica eseguite sui campioni prelevati, è possibile osservare la prevalenza della componente argillosa (51%) e limosa (46%) con una debole percentuale di sabbia (3%). Il terreno è classificabile come argilla con limo e debole percentuale di sabbia (AGI, 1977).

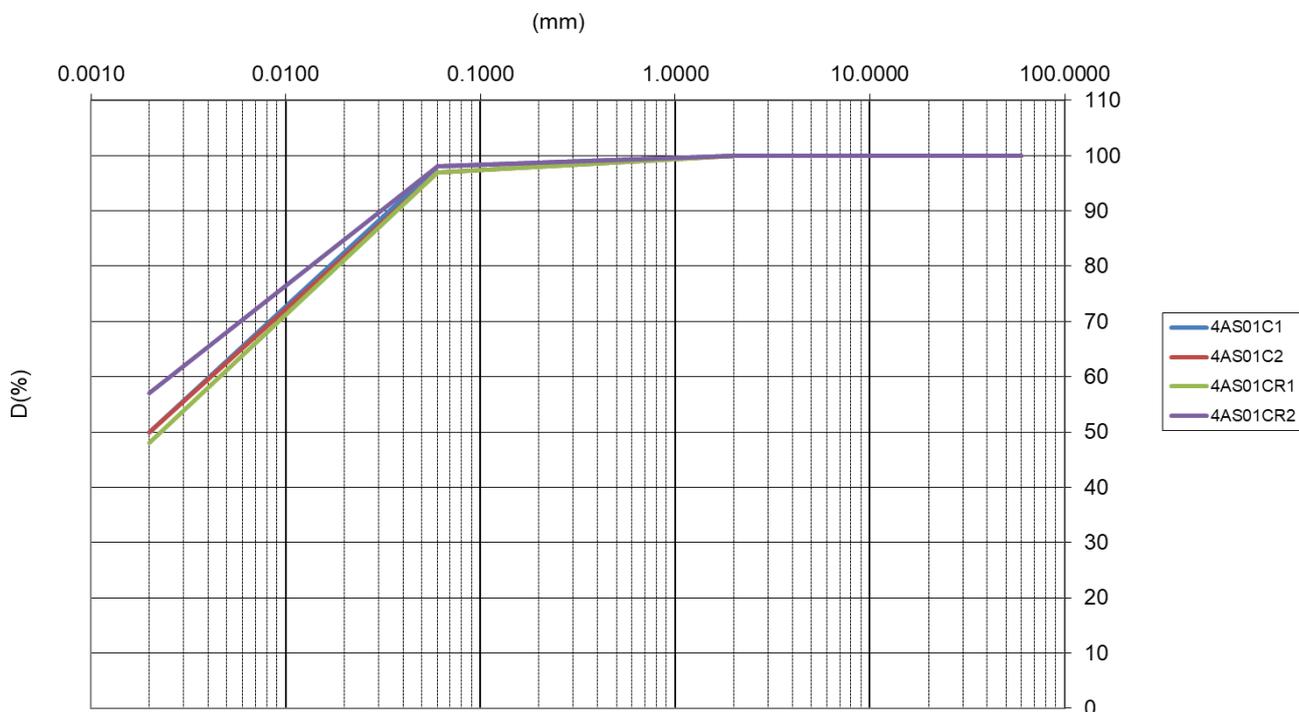


Figura 47: FYN4 – curve di distribuzione granulometrica

11.3.2 Caratteristiche fisiche

Il peso dell'unità di volume varia tra 20 kN/m³ e 20.5 kN/m³.

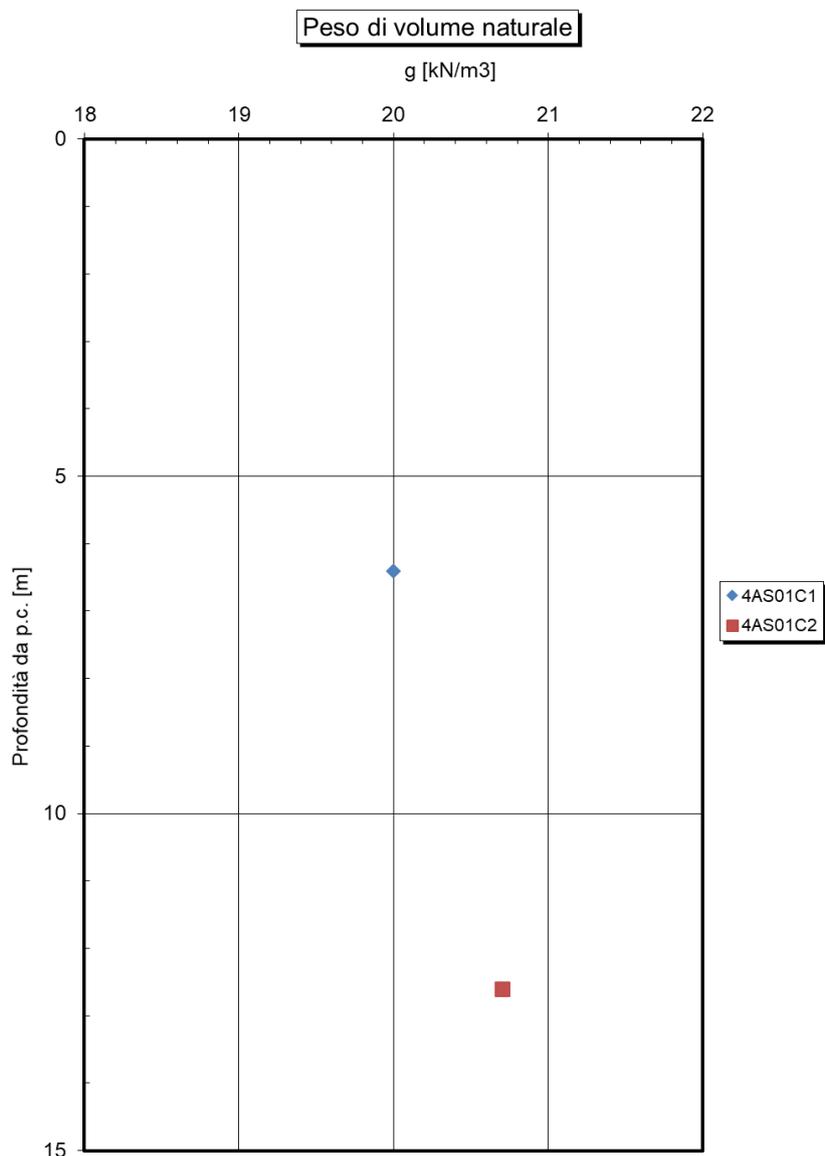


Figura 48: FYN4 – peso dell'unità di volume

Di seguito sono riportati i valori relativi al contenuto naturale d'acqua e all'indice di plasticità. Il primo varia in maniera più significativa tra il 15% e il 25%, il secondo, invece, tra il 39% e il 42%.

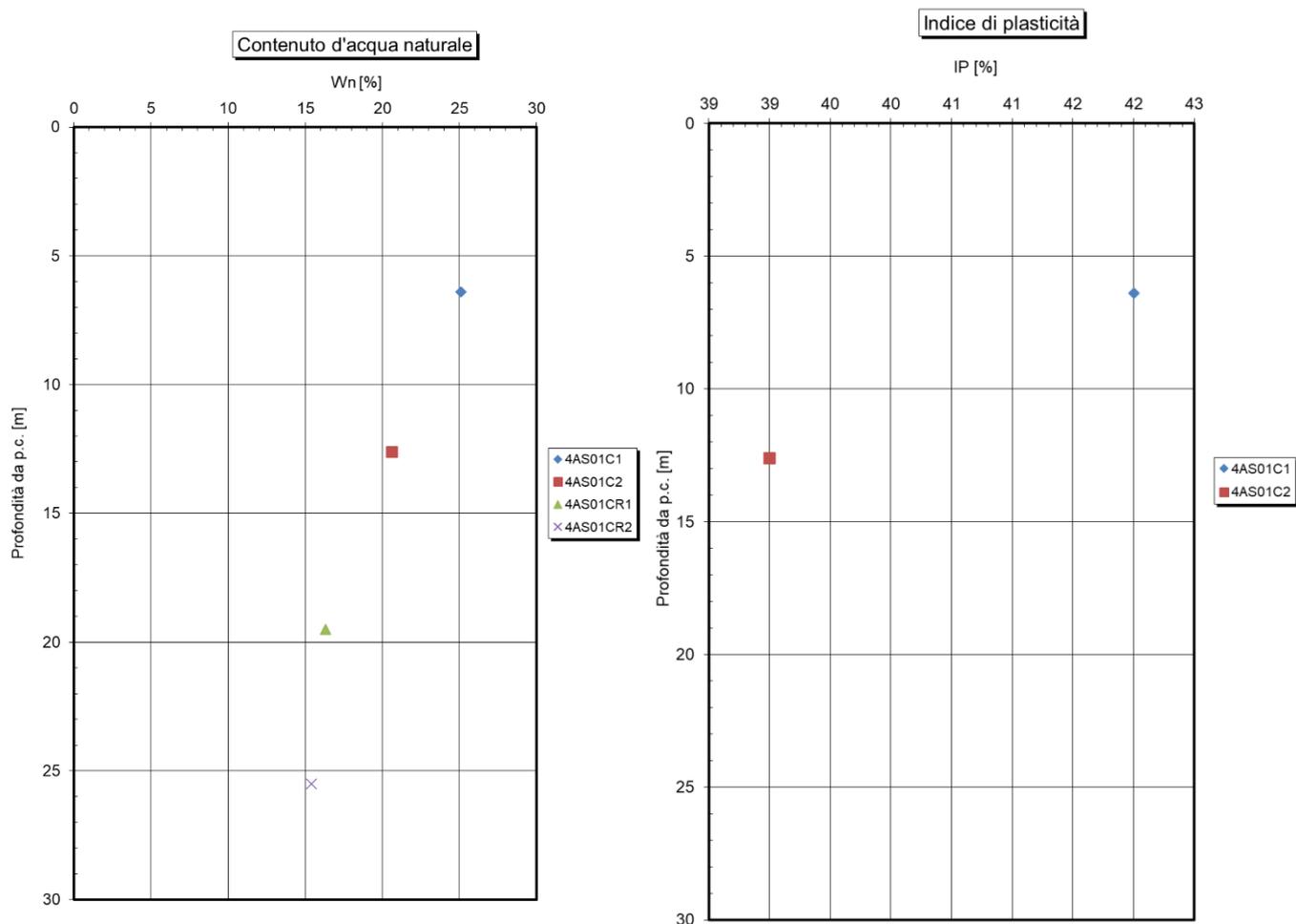


Figura 49: FYN4 - contenuto naturale d'acqua e indice di plasticità

11.3.3 Carta di Casagrande

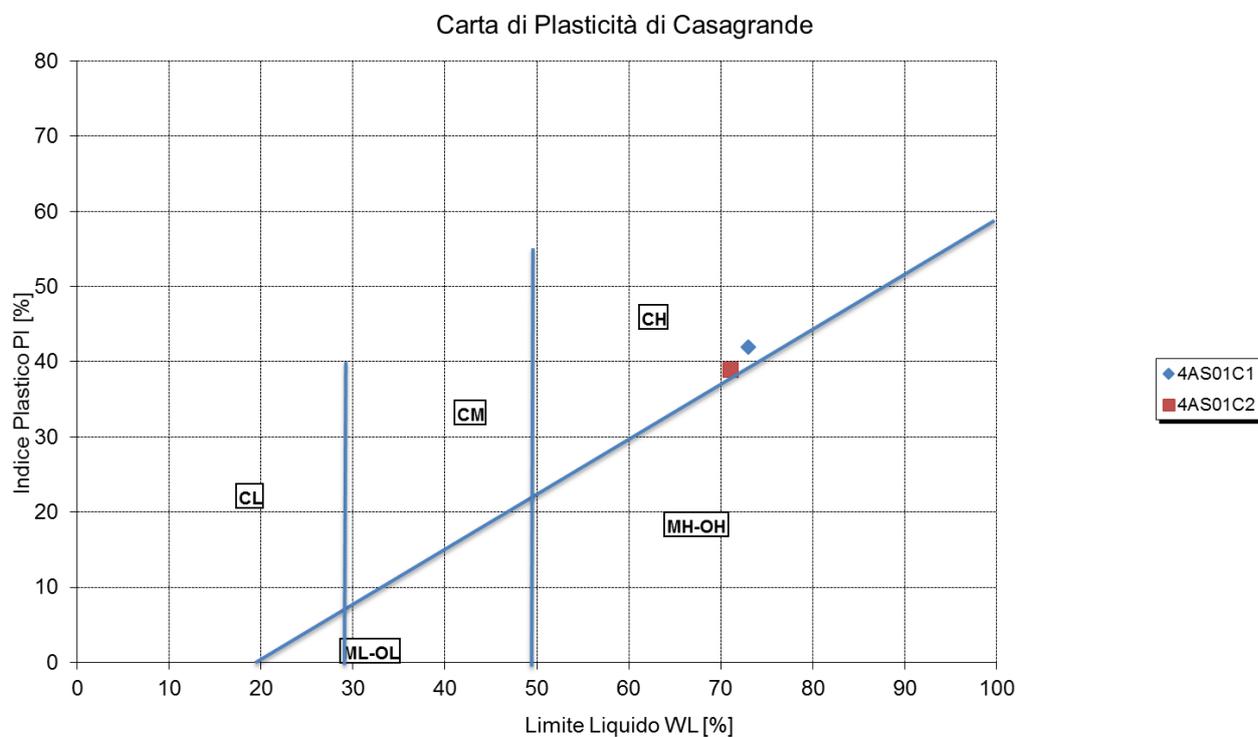


Figura 50: FYN4 – carta di plasticità di Casagrande

11.3.4 Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR

Per quanto le caratteristiche di resistenza non drenate, sono state eseguite prove SPT attraverso cui è stato possibile, per mezzo delle note correlazioni empiriche, risalire ai valori di coesione non drenata in funzione della profondità.

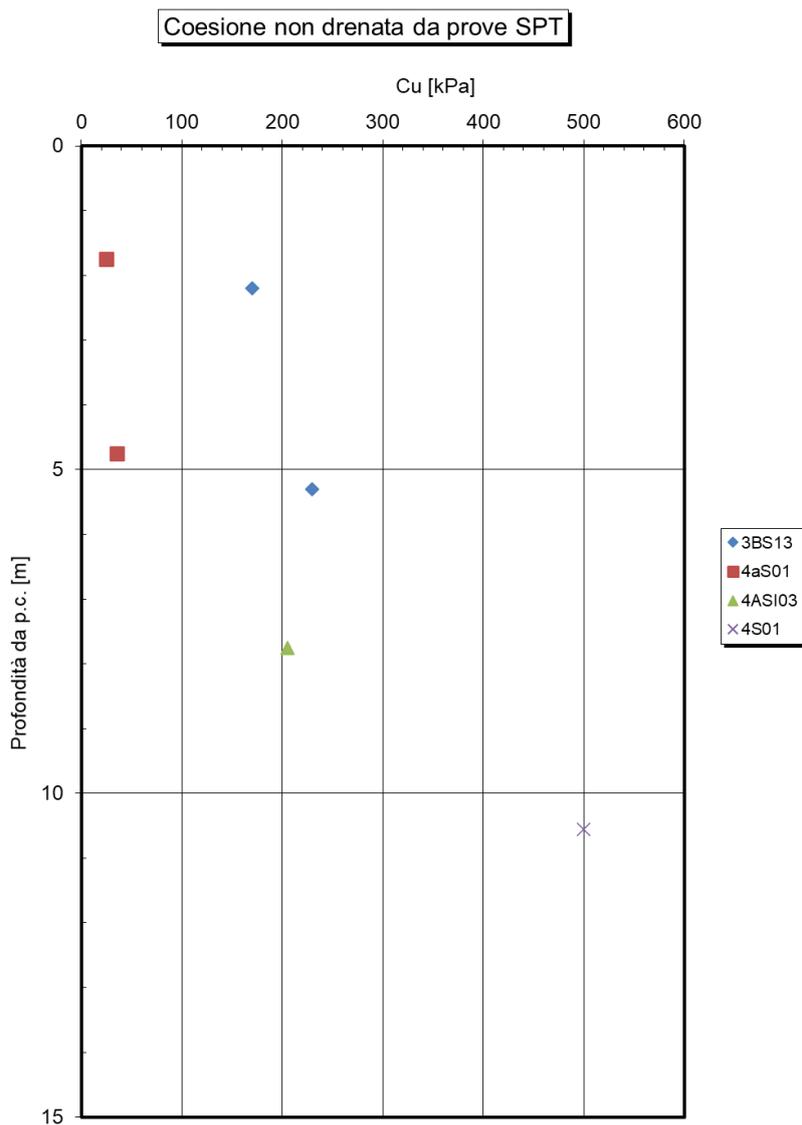


Figura 51: FYN4 – coesione non drenata da prove SPT

È possibile notare che la coesione non drenata varia da 25 kPa a 50 kPa aumentando con la profondità. È riportato inoltre il valore di OCR in funzione della profondità.

OCR da SPT

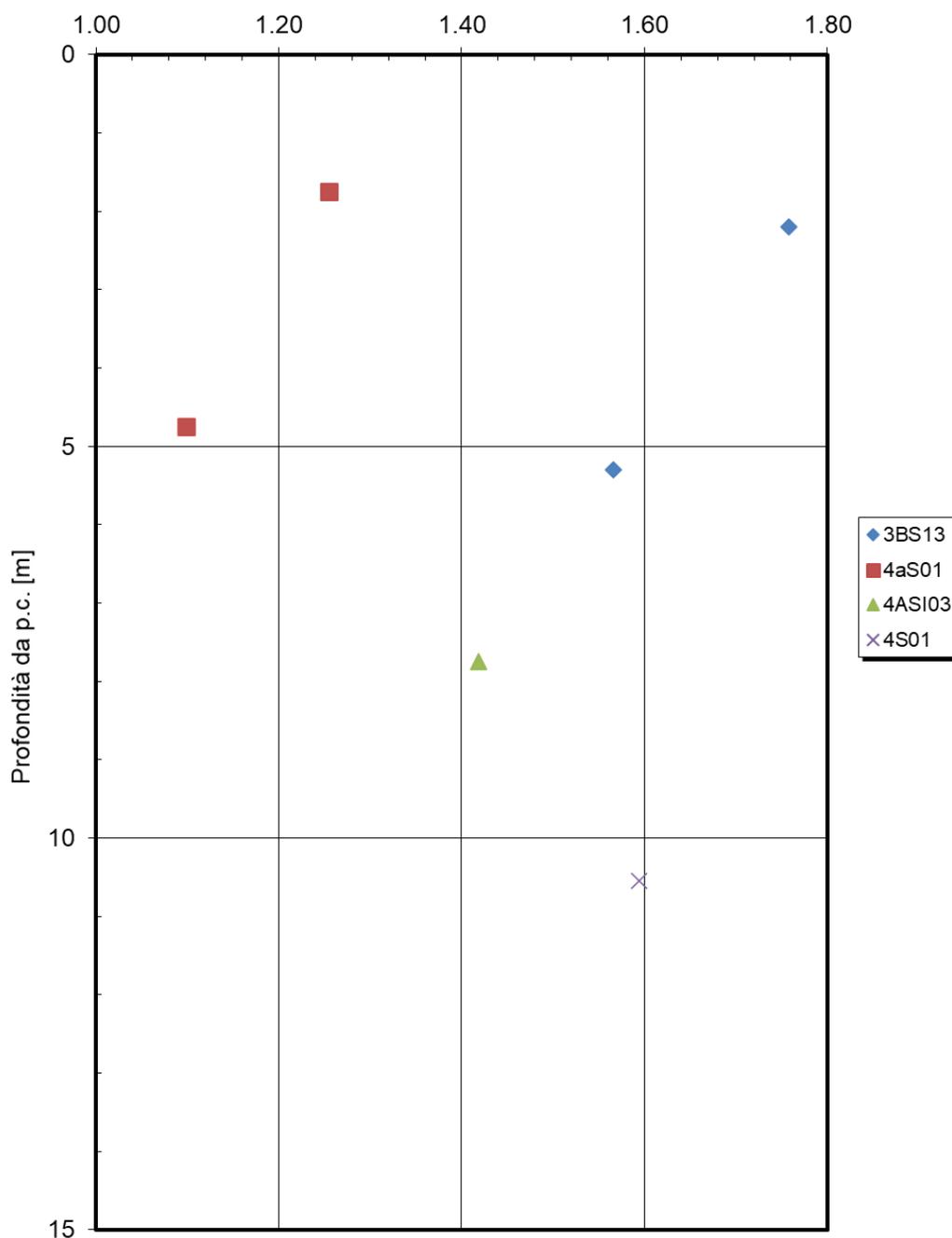


Figura 52: FYN4 - OCR

11.3.5 Caratteristiche di resistenza drenate

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza a taglio in condizione drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio ottenuti da prove di taglio (TD) e prove triassiali consolidate drenate (TX-CID).

È possibile notare come i valori, in termini di coesione efficace, ricadano nell'intervallo compreso tra 20kPa e 27 kPa, mentre l'angolo di resistenza al taglio varia tra 15° e 27°.

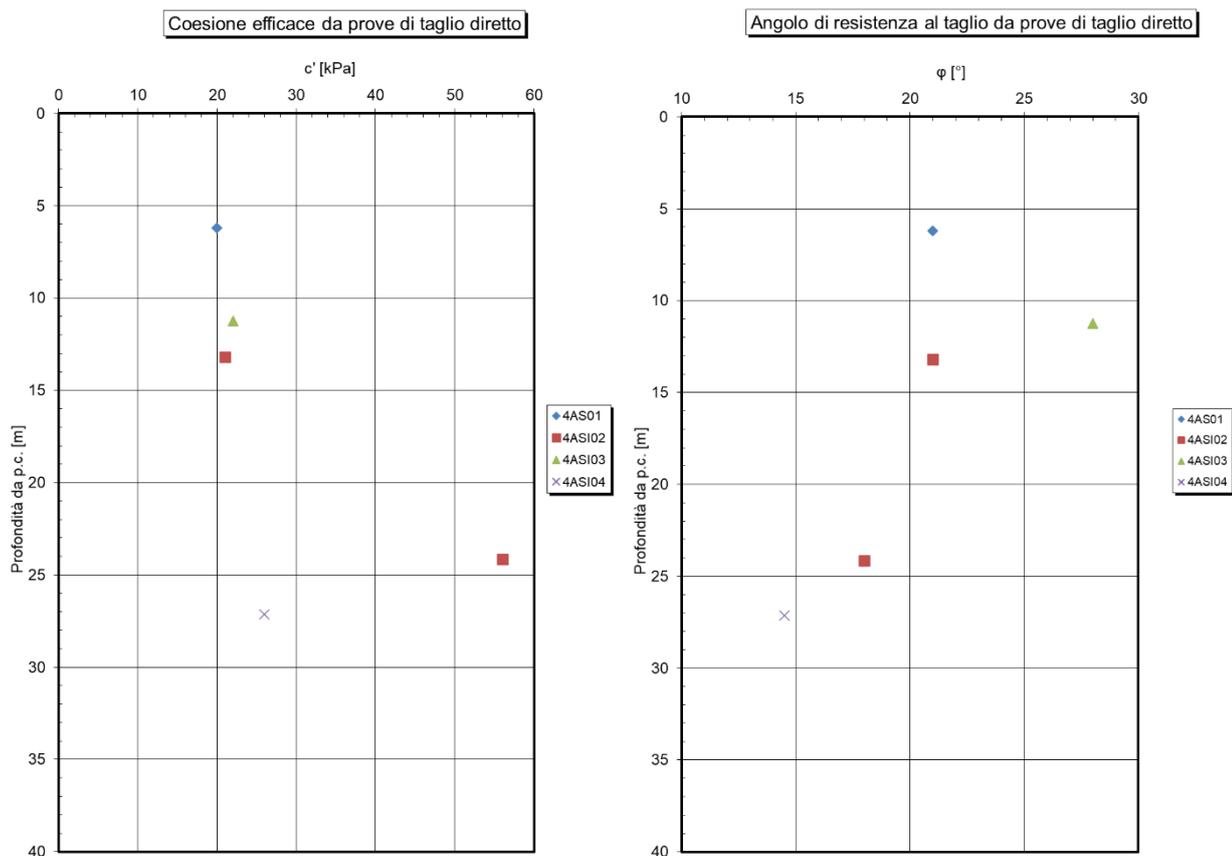


Figura 53: FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)

Per quanto concerne le prove triassiali consolidate drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza a taglio per quattro campioni.

I valori di coesione ottenuti in questo caso si attestano in un intervallo compreso tra 10 kPa e 60 kPa.

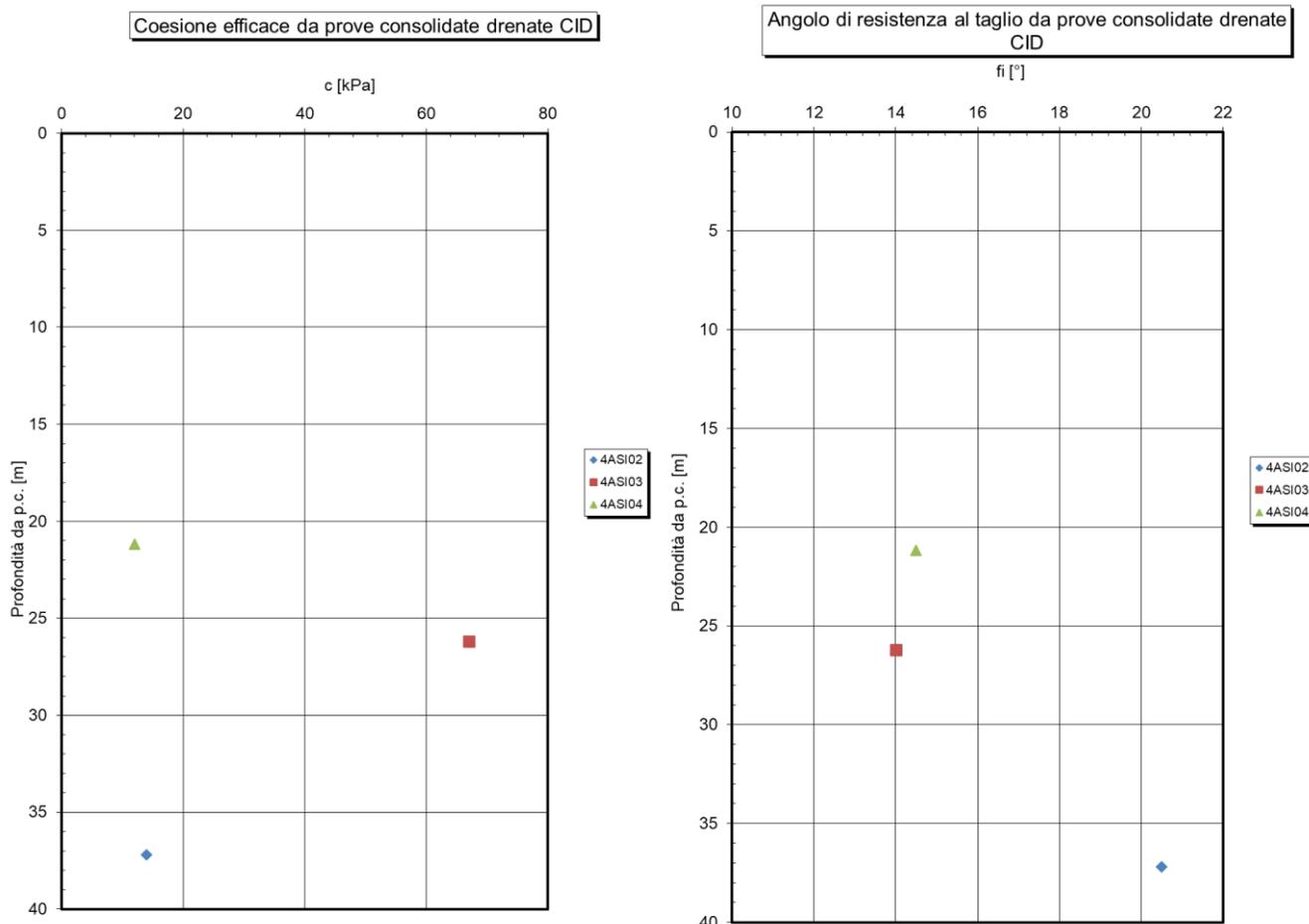


Figura 54: FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate drenate (TX-CID)

Mentre per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio: questo risulta compreso in un intervallo tra 14° e 21°.

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio del terreno, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 11 \div 48$ kPa;
- $f' = 15 \div 22$ °.

11.3.6 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità sono state valutate, attraverso correlazioni empiriche, da prove pressiometriche.

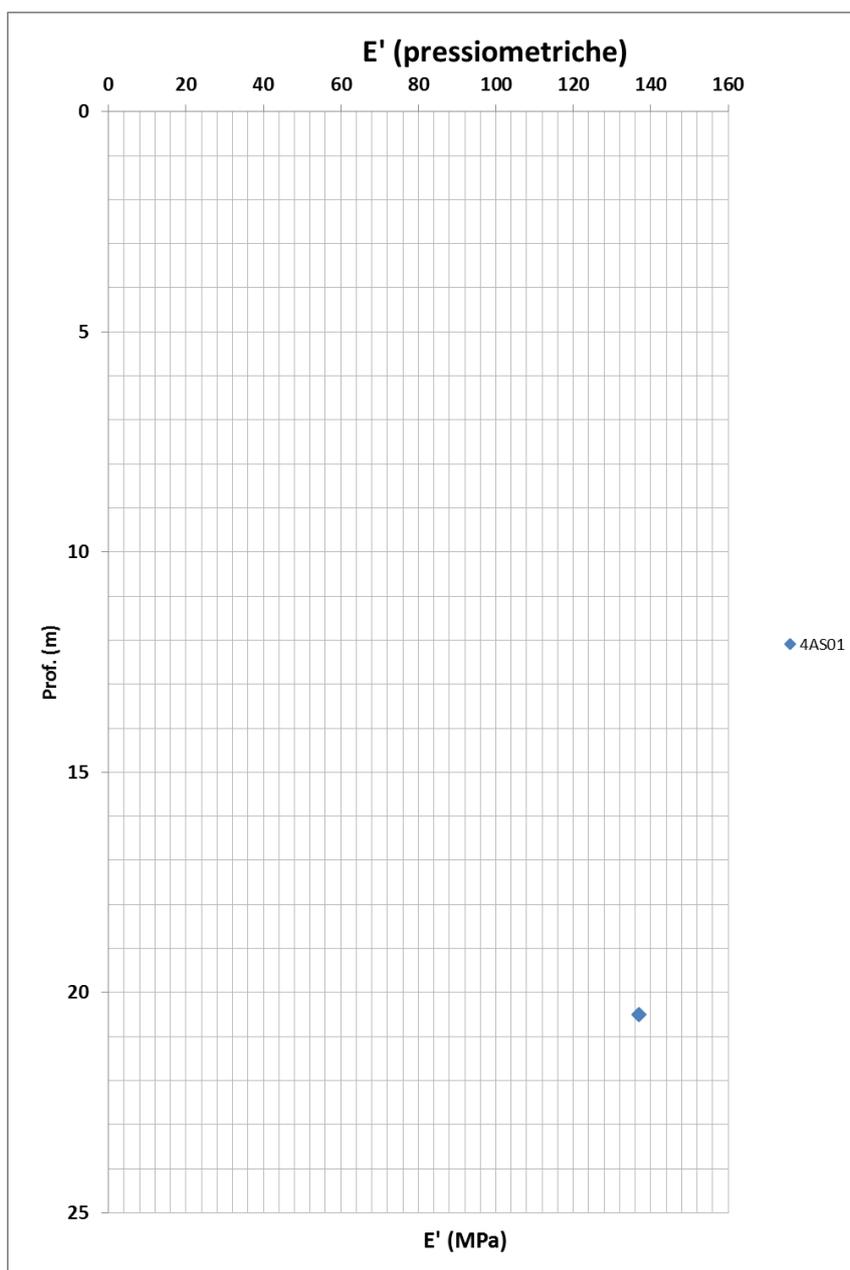


Figura 55: FYN4 – moduli di Young da prove pressiometriche

Per quanto riguarda le prove di compressione edometrica, sono di seguito riportati i risultati in termini di coefficiente di compressione, di rigonfiamento e di consolidazione monodimensionale.

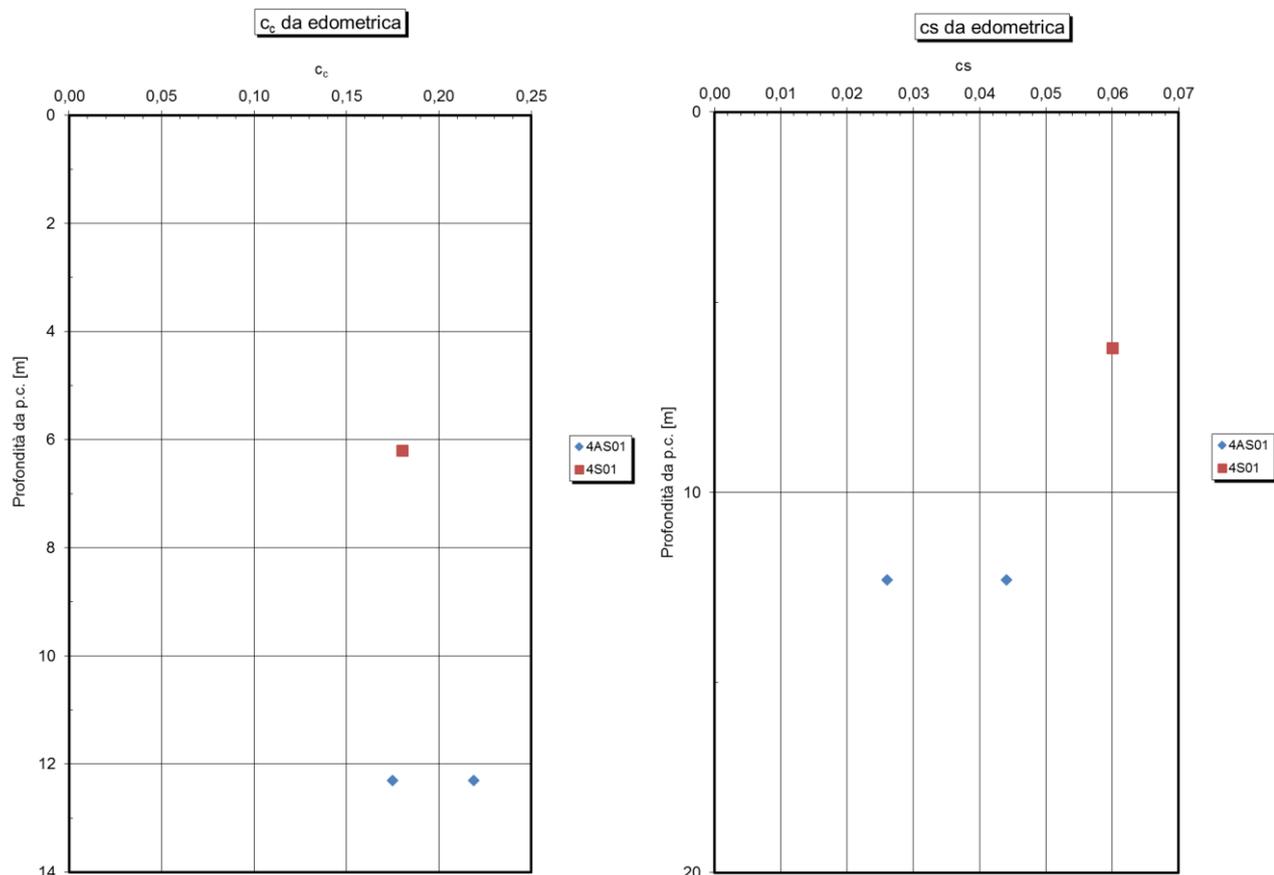


Figura 56: FYN4 – coefficiente di compressione C_c e di rigonfiamento C_s

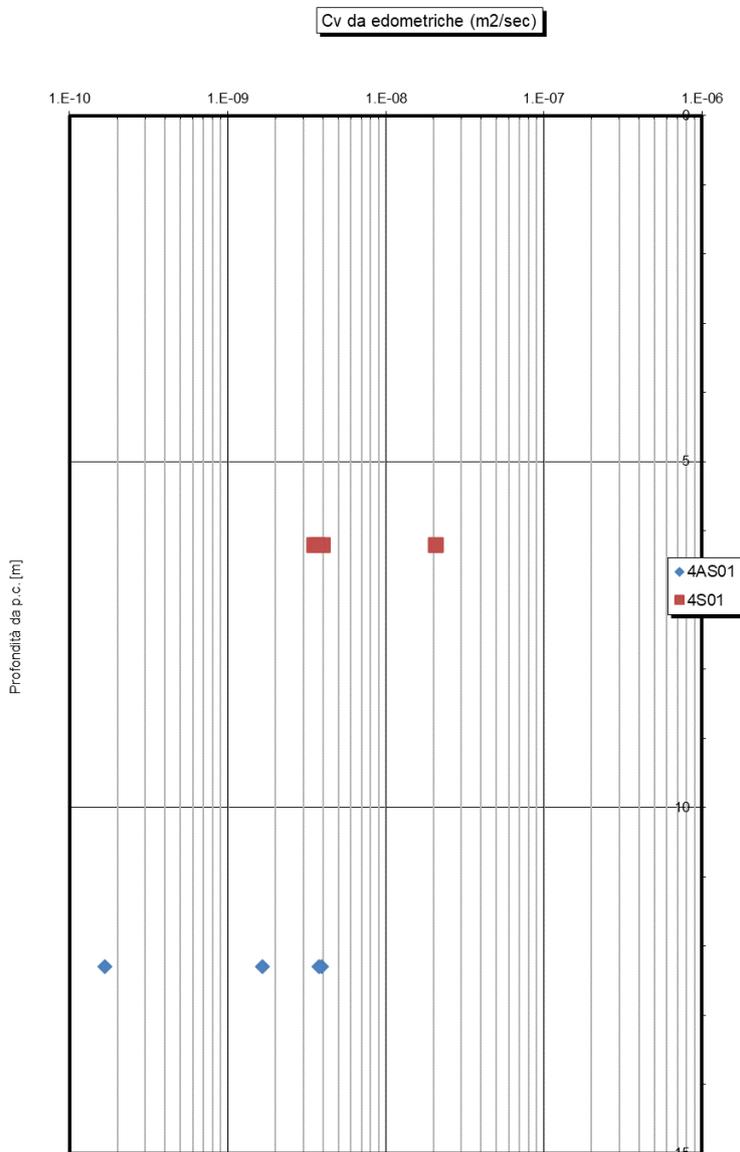


Figura 57: FYN4 – coefficiente di consolidazione primaria cv

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio del terreno, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 11 \div 48$ kPa;
- $f' = 15 \div 22^\circ$.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 135 di 379

11.3.7 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati da letteratura.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 136 di 379</p>

11.4 Unità AV – Gruppo delle Argille Variegate

Si tratta di piana batiale e base scarpata, costituiti da prevalenti argilliti scagliettate a struttura caotica, di colore variabile da rosso vinaccia, a verde, a grigio ferro, contenenti intercalazioni di spessore decimetrico di radiolariti grigio-verdi e rossastre a frattura prismatica, arenarie fini e calcisiltiti e calcareniti grigie e nocciola con patine manganesifere in strati di spessore centimetrico a decimetrico.

Si tratta di una successione estremamente tettonizzata, caratterizzata dalla presenza di numerose zone di taglio. Al suo interno sono inclusi elementi tettonici di dimensioni variabili da poche decine di metri fino a qualche chilometro, costituiti da lembi di altre formazioni appartenenti a differenti domini paleogeografici. In particolare: blocchi di basalti afirici, calcari detritici di piattaforma con frammenti di echinidi, rudiste e alghe, calcari marnosi biancastri e marne rosate tipo “Scaglia” con associazioni a foraminiferi planctonici e blocchi di arenarie glauconitiche grigio-verdastre con intercalati livelli di marne grigio-brune. Lo spessore di questa successione è difficilmente definibile, comunque superiore ai 300 metri, e presumibilmente fino a 1000 metri.

Per quanto concerne il Lotto 4, l'unità AV è presente solo in alcune viabilità limitrofe alla Tratta 1, di seguito si riportano i valori per gli unici sondaggi disponibili (4aSI01 e 4aSI01bis) in tale unità per il Lotto in esame.

Per quanto riguarda i parametri per cui non sono disponibili prove si è fatto riferimento a valori di letteratura.

11.4.1 Caratteristiche fisiche

Per quanto concerne le caratteristiche fisiche di AV, di seguito i grafici relativi alla variazione del peso dell'unità di volume, del contenuto naturale d'acqua e dell'indice di plasticità con la profondità.

È possibile osservare come il peso dell'unità sia complessivamente compreso tra 19 kN/m³ e 20 kN/m³, riportando valori più vicini a quest'ultimo all'aumentare della profondità.

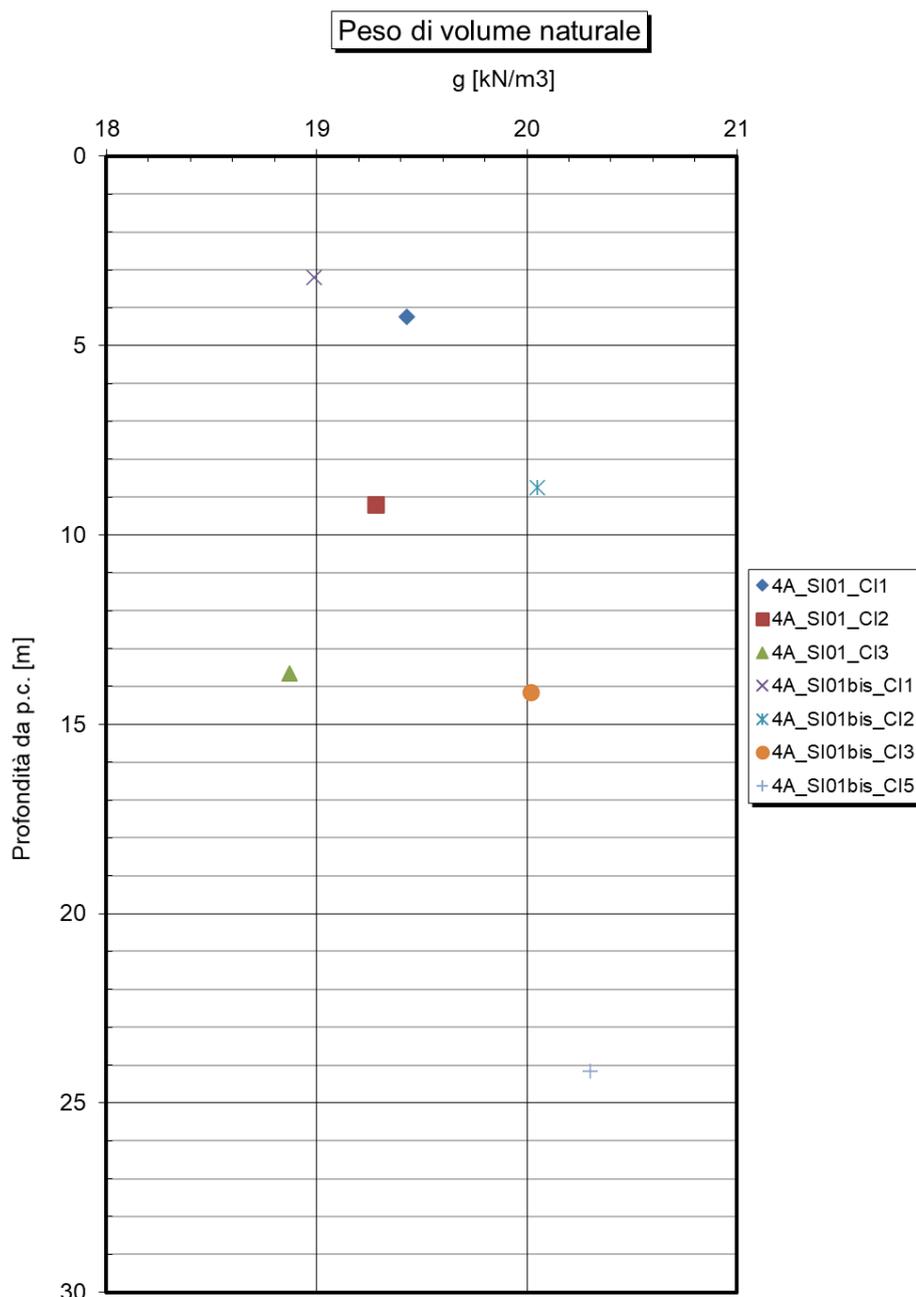


Figura 58: AV- peso dell'unità di volume

Il contenuto naturale d'acqua mostra un intervallo ampio di valori compresi tra 15% e 25%.

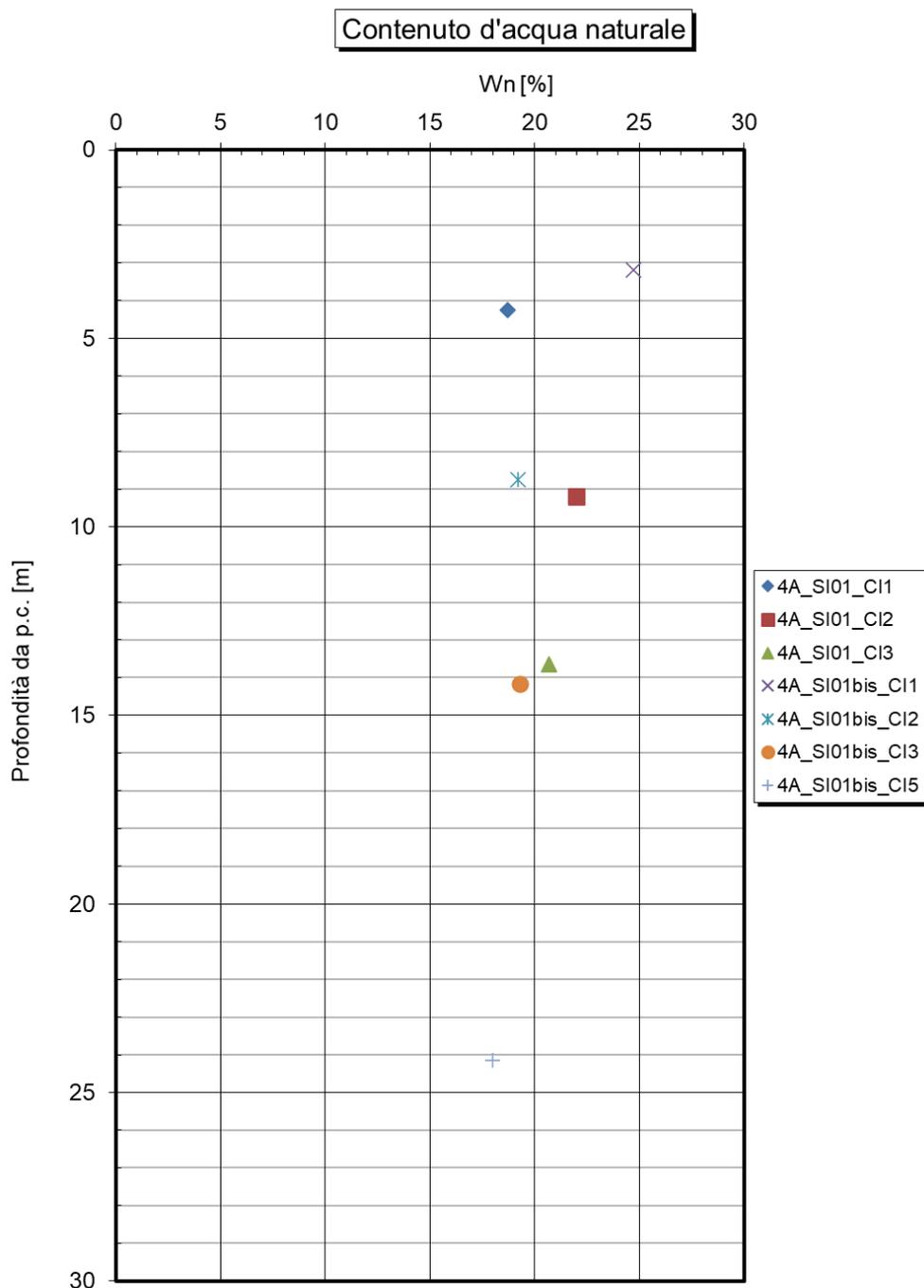


Figura 59a: AV - contenuto naturale d'acqua

Dall'analisi dei campioni prelevati è possibile osservare come l'indice di plasticità risulti compreso mediamente tra il 40% e il 60%.

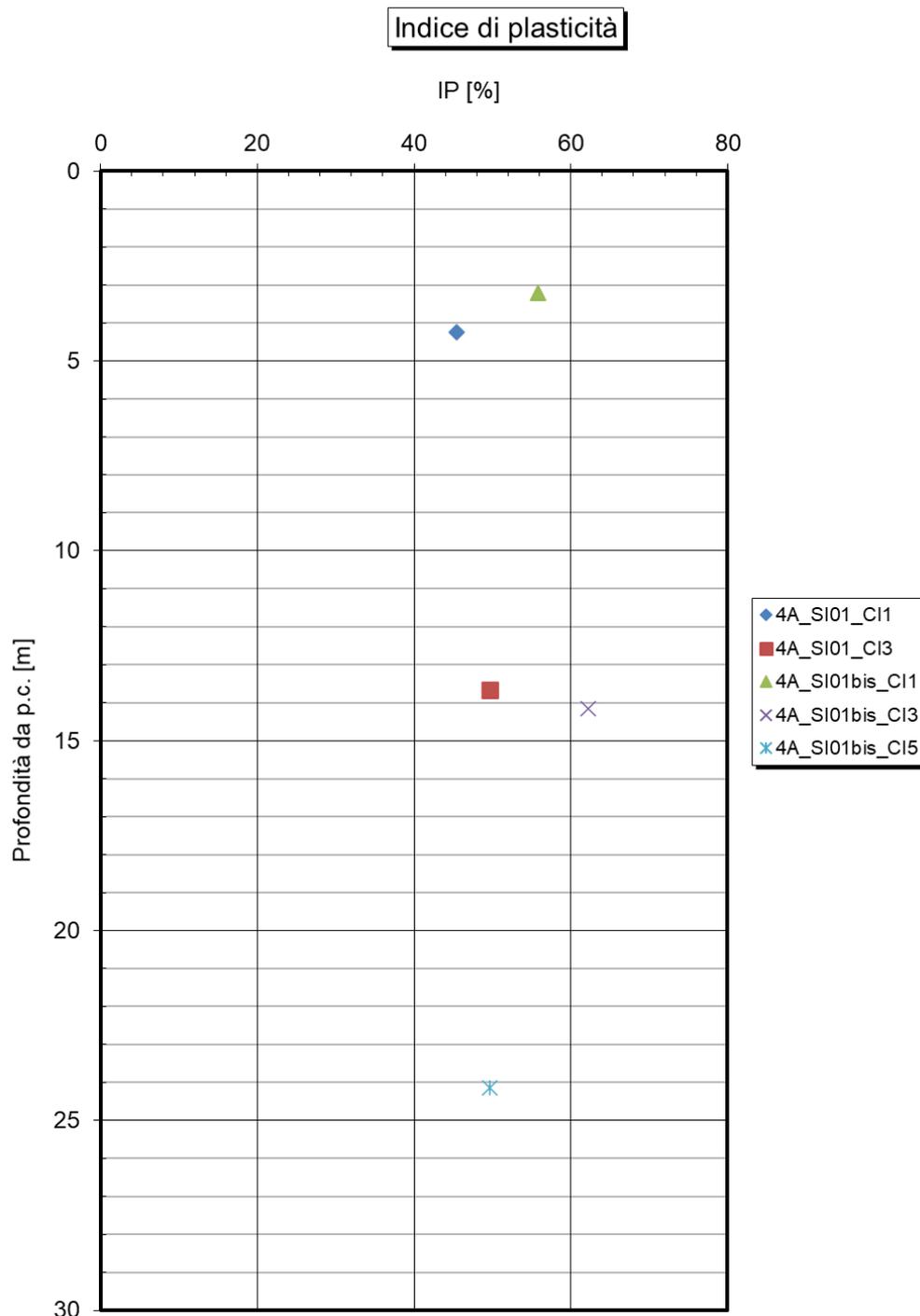


Figura 60b: AV – indice di plasticità

11.4.2 Carta di Casagrande

Dalla carta di Casagrande è possibile distinguere, in funzione delle varie regioni individuate sulla carta, la presenza di argille inorganiche di media ed alta plasticità e di alcuni punti al di sotto della retta inclinata indicativi di limi organici a media ed alta compressibilità e di argille organiche.

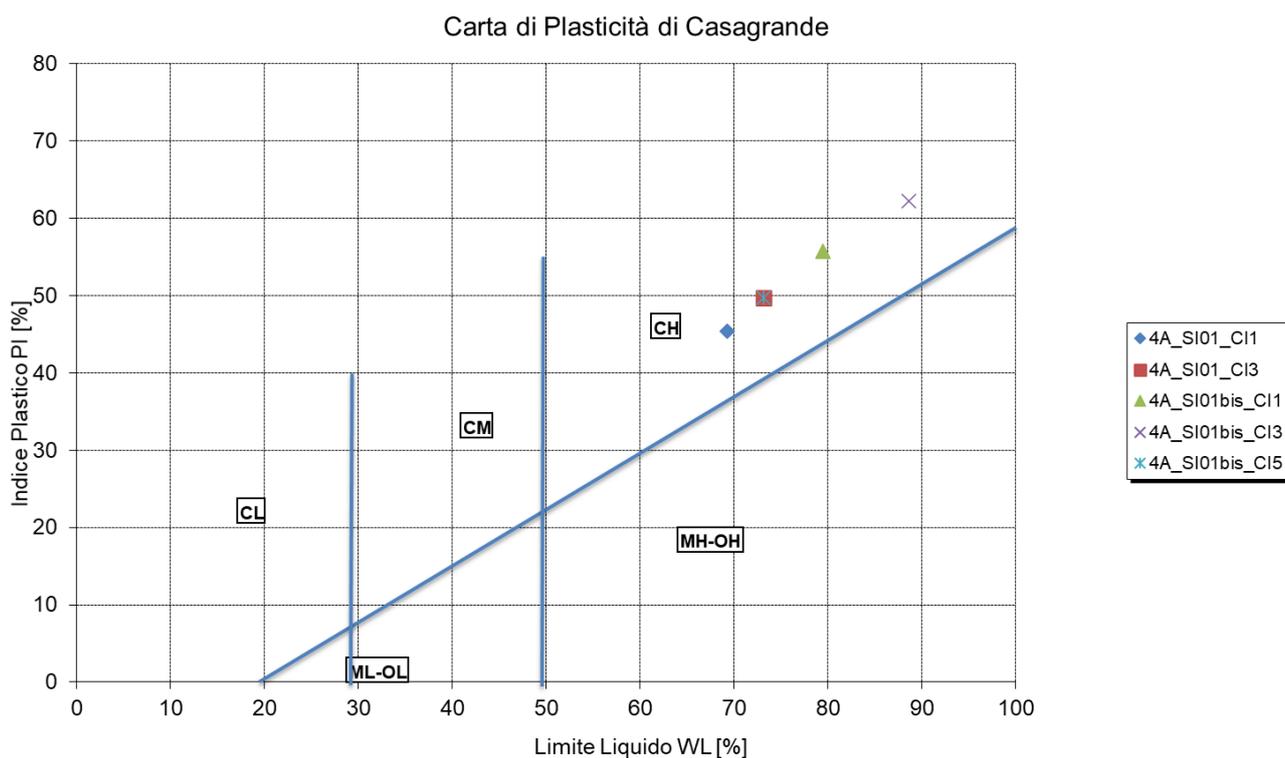


Figura 61: AV - carta di plasticità di Casagrande

11.4.3 Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR

Non ci sono dati disponibili per tanto si rimanda a valori da letteratura.

11.4.4 Caratteristiche di resistenza drenate

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza a taglio in condizione drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio ottenuti da prove di taglio (TD) e prove triassiali consolidate drenate (TX-CID).

Per quanto concerne le prime, è possibile notare come i valori, in termini di coesione efficace, ricadano nell'intervallo compreso tra 10 kPa e 40 kPa.

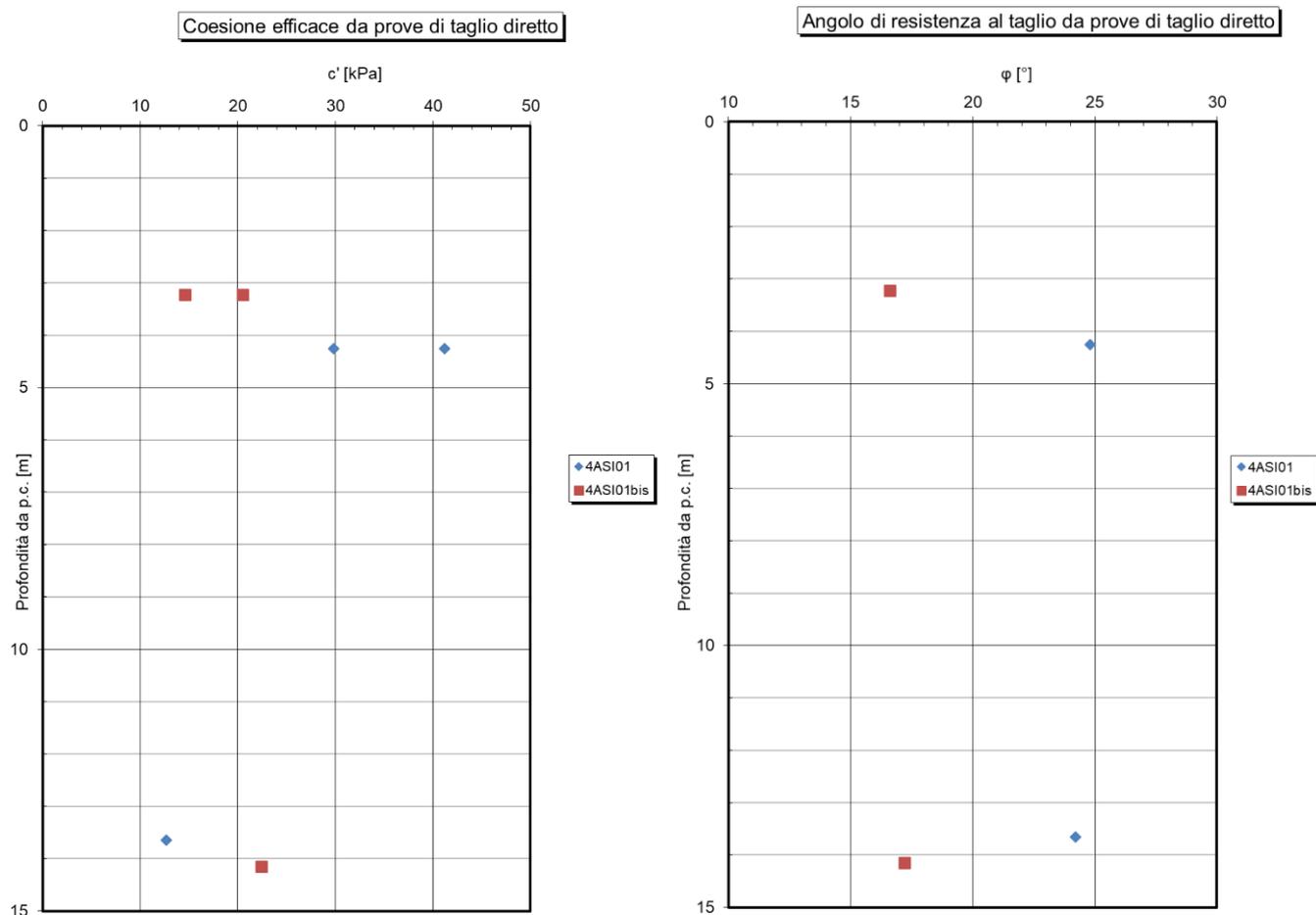


Figura 62: AV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)

Per quanto riguarda l'angolo di resistenza a taglio determinato con le prove di taglio diretto: questo ricade nell'intervallo compreso tra 15° e 25°.

Per quanto concerne le prove triassiali consolidate drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza a taglio per quattro campioni.

I valori di coesione ottenuti in questo caso si attestano in un intervallo compreso tra 10 kPa e 25 kPa.

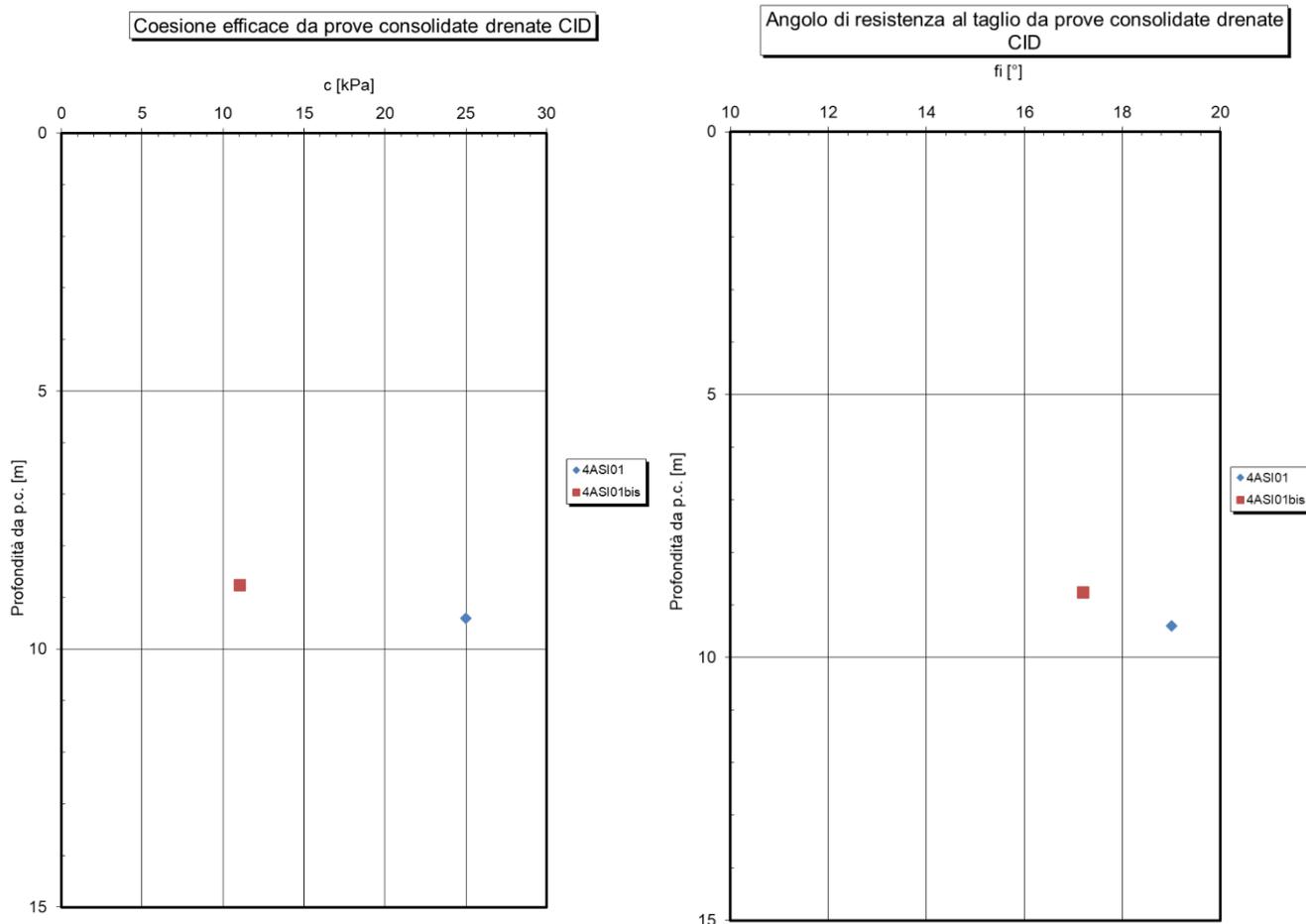


Figura 63: AV – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate drenate (TX-CID)

Mentre per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio: questo risulta compreso in un intervallo tra 15° e 20°.

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio del terreno, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 12 \div 30$ kPa;
- $f' = 17 \div 22$ °.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 143 di 379

11.4.5 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Non ci sono dati disponibili per tanto si rimanda a valori da letteratura.

11.4.6 Caratteristiche di permeabilità

Non ci sono dati disponibili per tanto si rimanda a valori da letteratura.

11.5 Unità a2 – Depositi alluvionali

Rappresenta la facies coesiva delle formazioni alluvionali.

(a2): limi e limi argillosi con subordinate sabbie e sabbie limose di colore marrone, grigio e giallastro, a stratificazione più o meno ben definita, talora con laminazione incrociata.

11.5.1 Granulometrie

Dalle seguenti curve di distribuzione granulometrica eseguite sui campioni prelevati, è possibile osservare la prevalenza della componente argillosa (37%) e limosa (35%) con una buona percentuale di sabbia (23%) e la restante parte di ghiaia. Il terreno è classificabile come argilla con limo sabbioso (AGI, 1977).

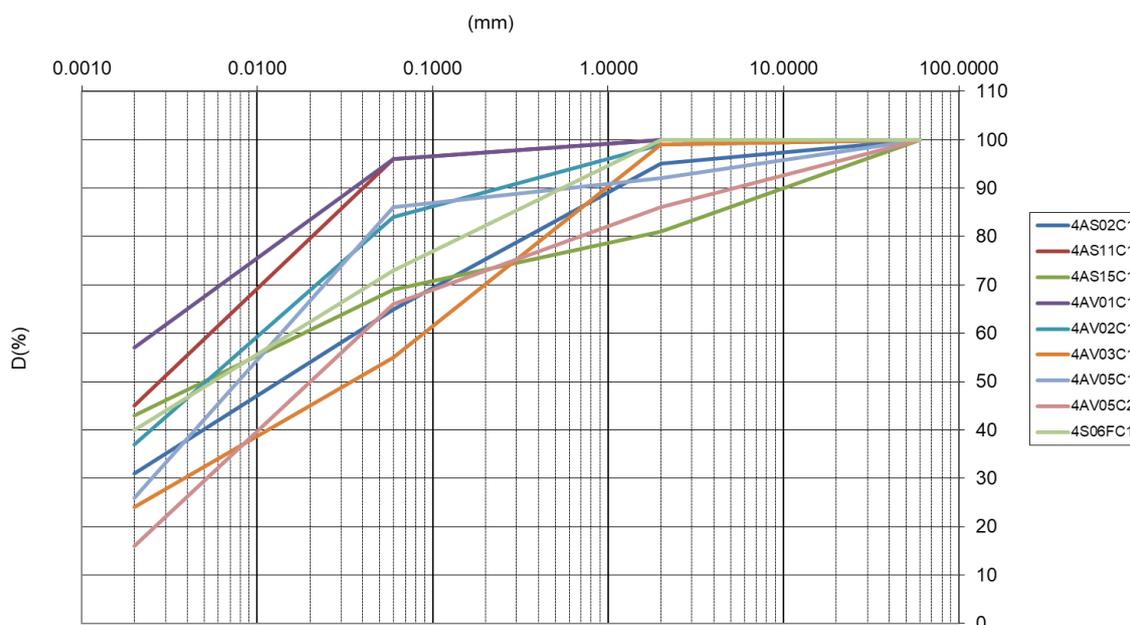


Figura 64: a2 - curva di distribuzione granulometrica

11.5.2 Caratteristiche fisiche

Per quanto concerne le caratteristiche fisiche del deposito alluvionale a2, di seguito i grafici relativi alla variazione del peso dell'unità di volume, del contenuto naturale d'acqua e dell'indice di plasticità con la profondità.

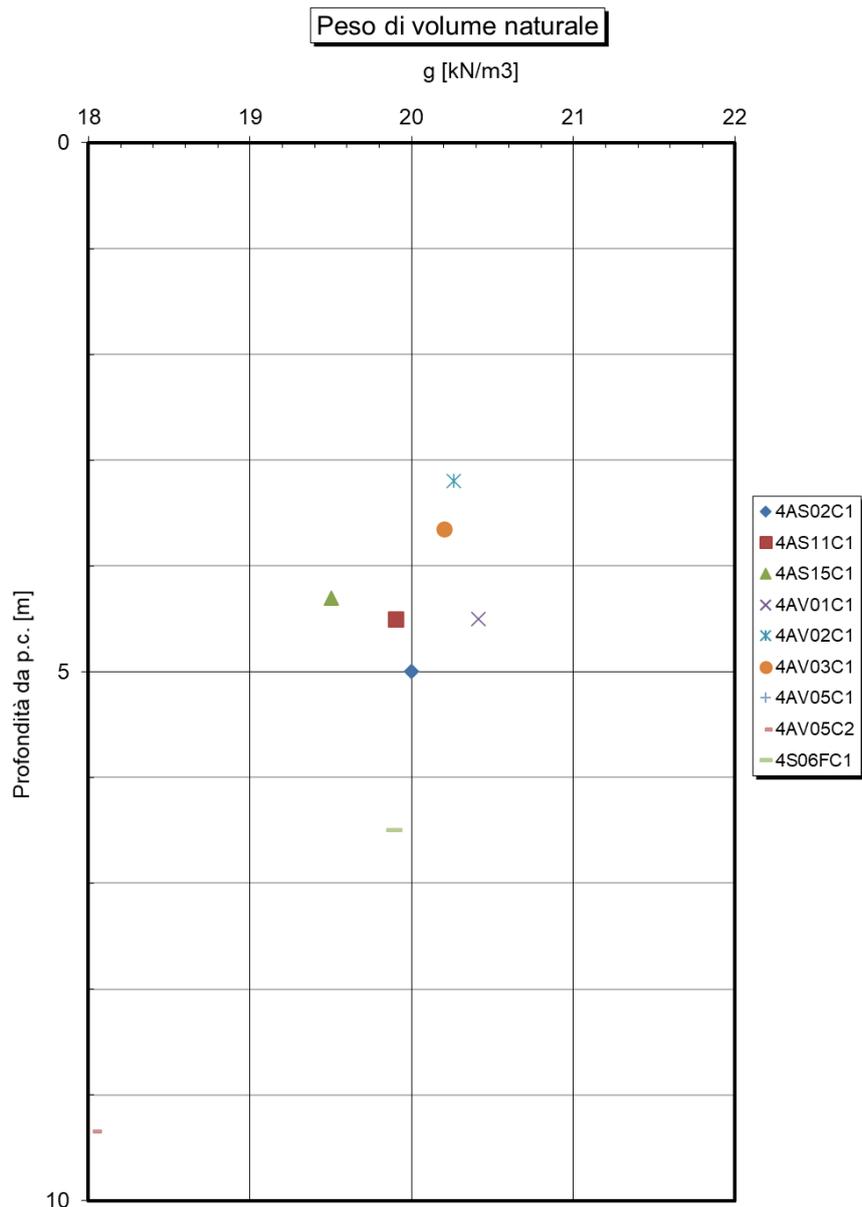


Figura 65: a2 - peso dell'unità di volume

È possibile osservare come il peso dell'unità sia complessivamente compreso tra 19.5 kN/m³ e 20.5 kN/m³.

Il contenuto naturale d'acqua mostra un intervallo ampio di valori compresi tra 18% e 26% per profondità minori di circa 10 metri.

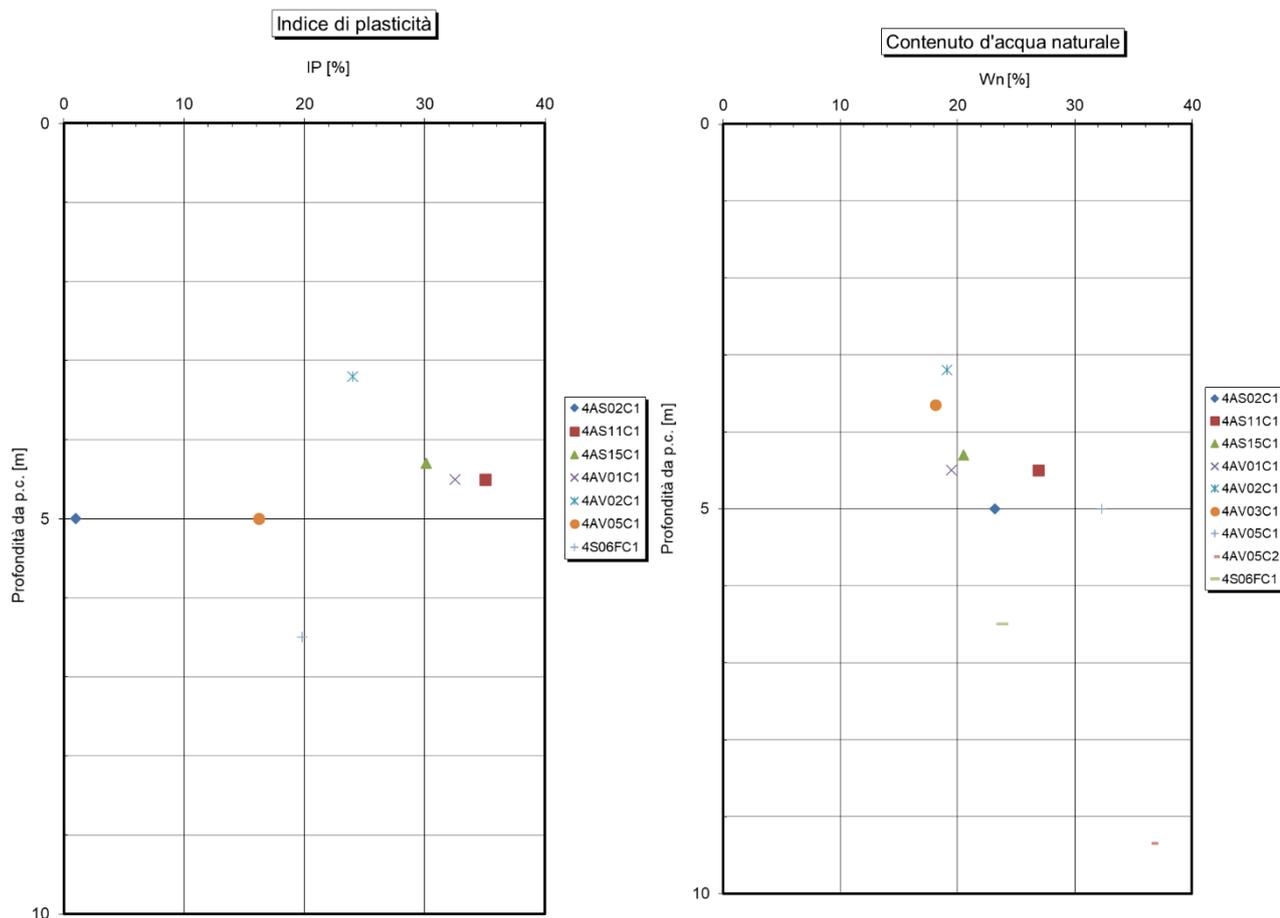


Figura 66: - contenuto naturale d'acqua e indice di plasticità

L'indice di plasticità risulta comprese nell'intervallo tra il 2% e il 35% a profondità minori di 10 metri.

11.5.3 Carta di Casagrande

Dalla carta di Casagrande è possibile distinguere, in funzione delle varie regioni individuate sulla carta, la presenza di argille inorganiche di media ed alta plasticità.

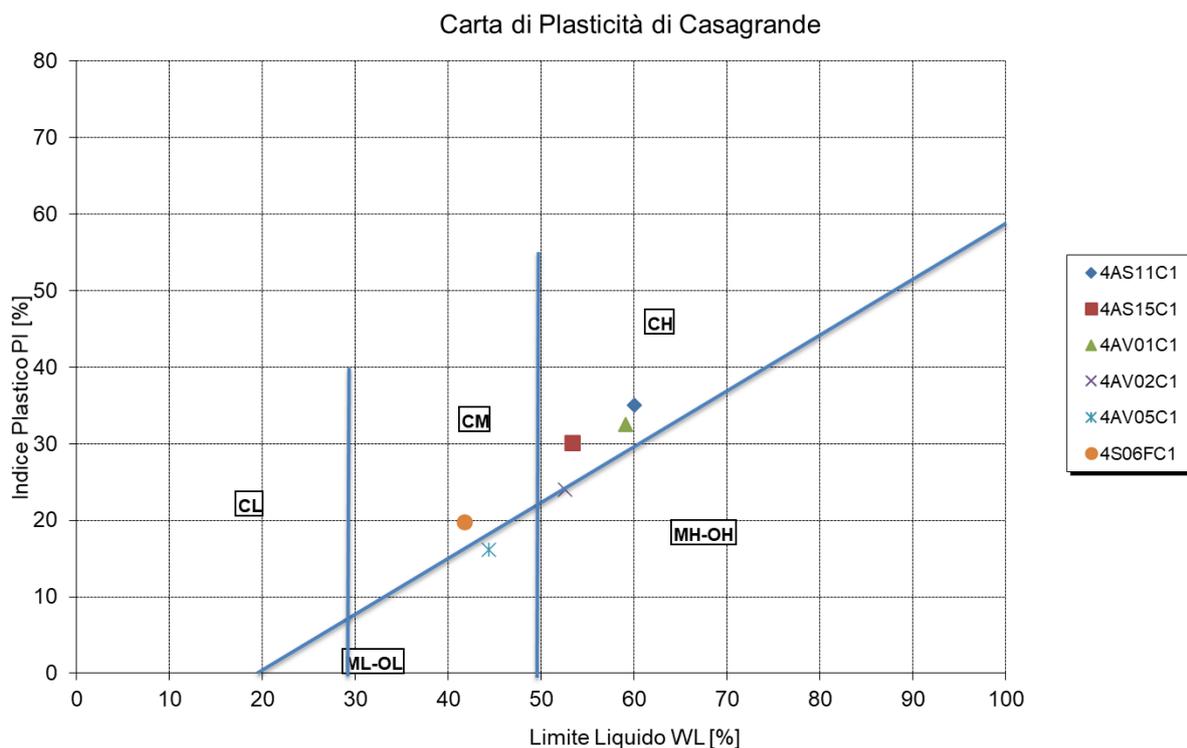


Figura 67: a2 – carta di plasticità di Casagrande

11.5.4 Caratteristiche di resistenza non drenate e OCR

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza al taglio non drenata, sono state eseguite diverse prove non consolidate non drenate (TX – UU). È stato inoltre possibile determinare la resistenza a taglio in condizioni non drenate attraverso le correlazioni con i risultati delle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio ed attraverso il pocket.

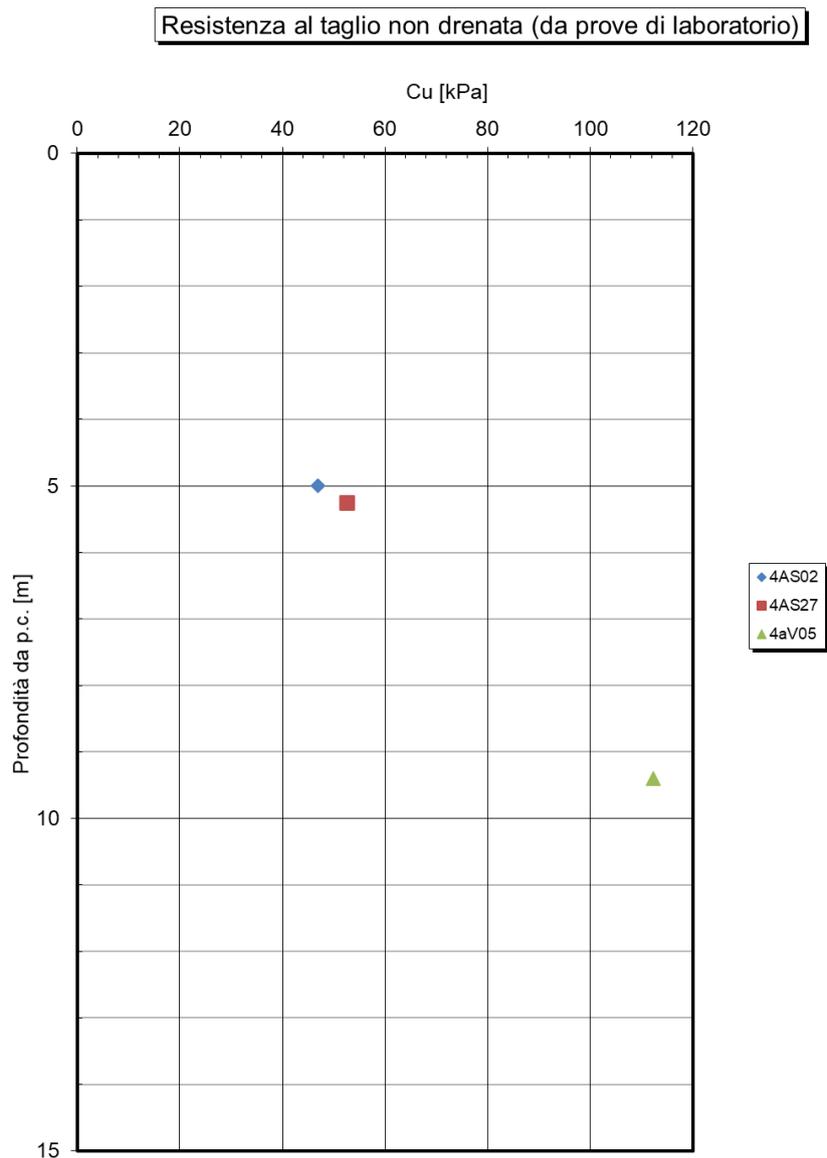


Figura 68: a2 - resistenza al taglio non drenata da prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU)

Dalle prove disponibili, la resistenza al taglio non drenata risulta nell'intervallo fra è pari a 45 kPa e 110 kPa.

Da correlazioni con prove SPT è stato possibile ottenere un numero significativo di valori della resistenza al taglio non drenata. Per le profondità considerate precedentemente i valori ottenuti dalle prove SPT si collocano nello stesso intervallo di valori.

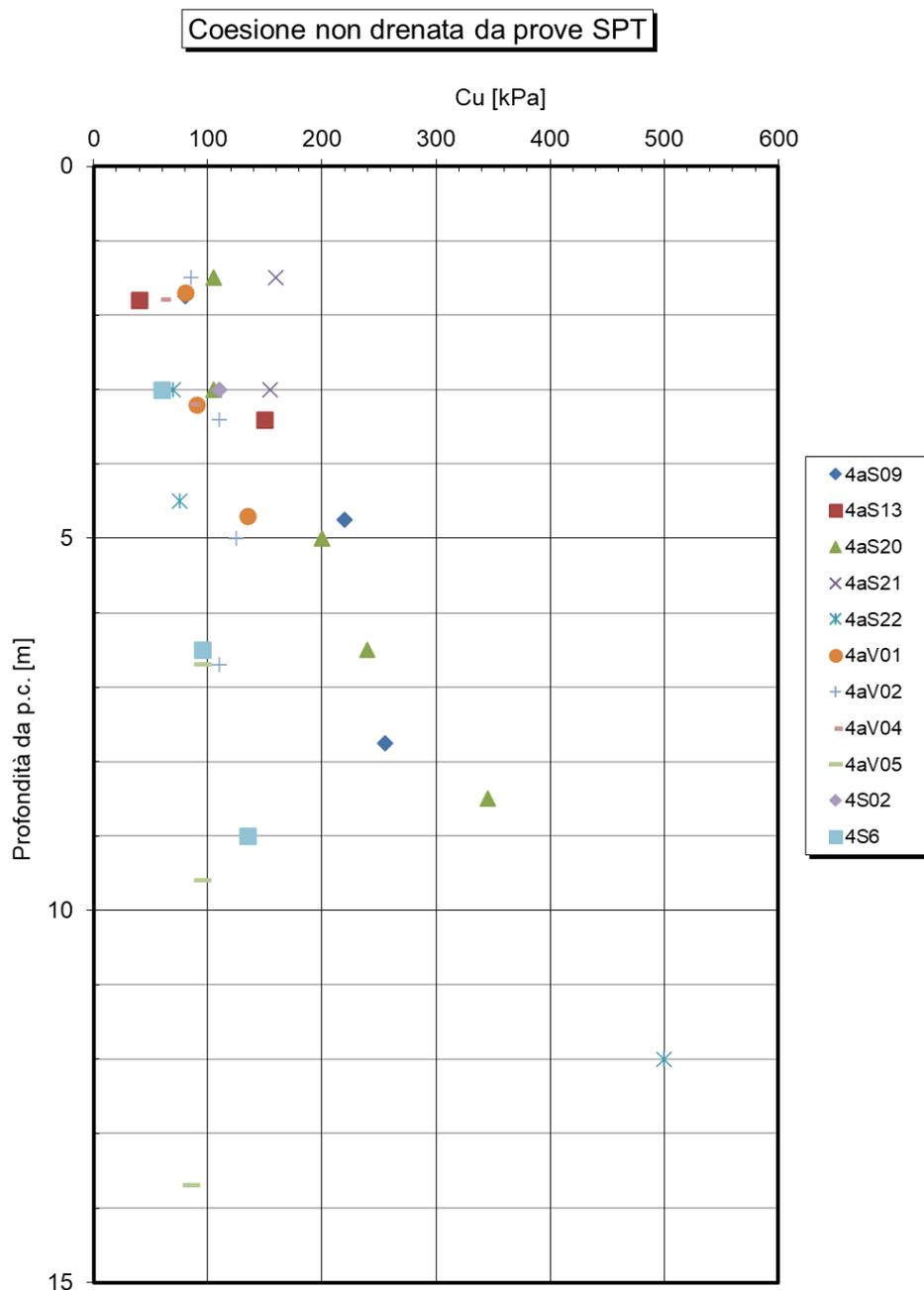


Figura 69: a2 - resistenza al taglio non drenata da prove SPT

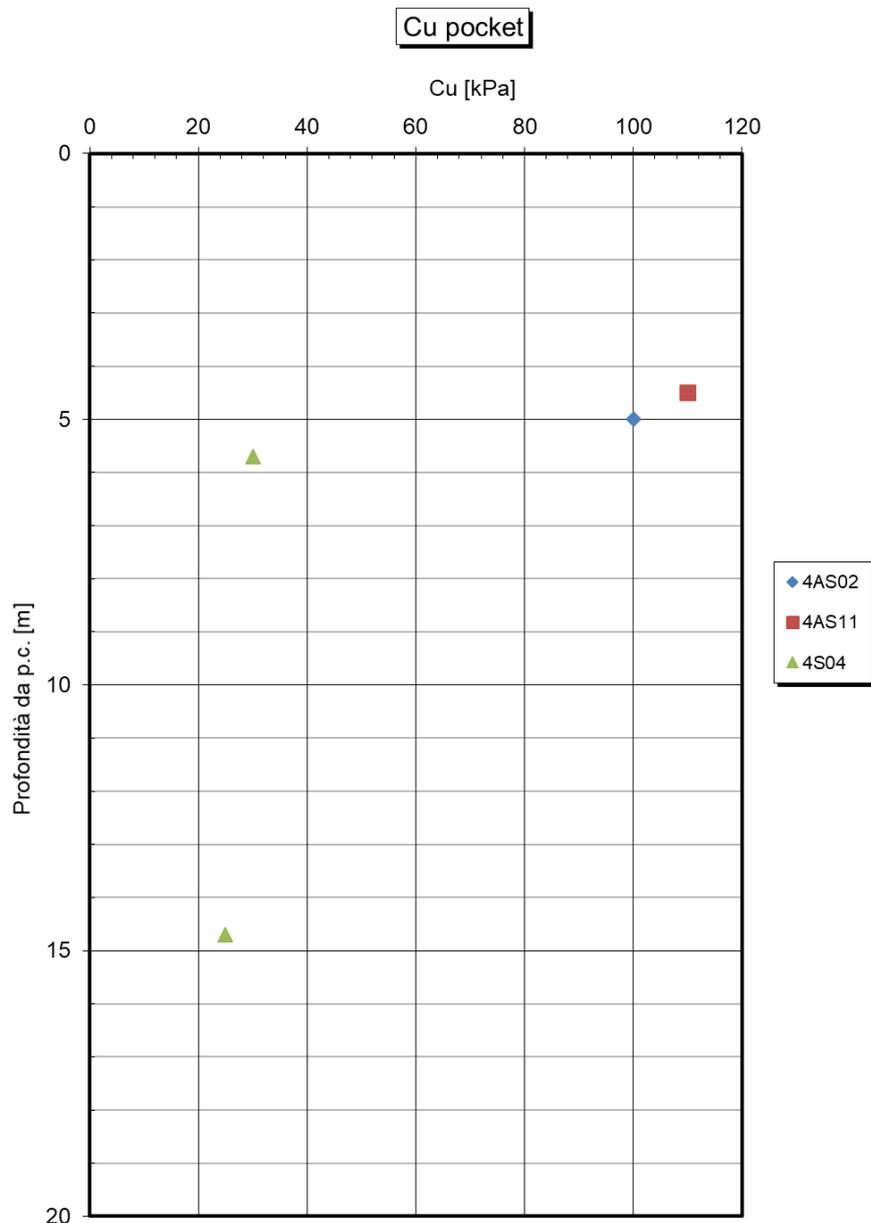


Figura 70: a2 - resistenza al taglio non drenata determinata attraverso il pocket

Per quanto riguarda l'OCR, è stato possibile determinarlo sia mediante relazioni empiriche con la resistenza al taglio non drenata sia attraverso le correlazioni empiriche con i risultati ottenuti con le prove SPT.

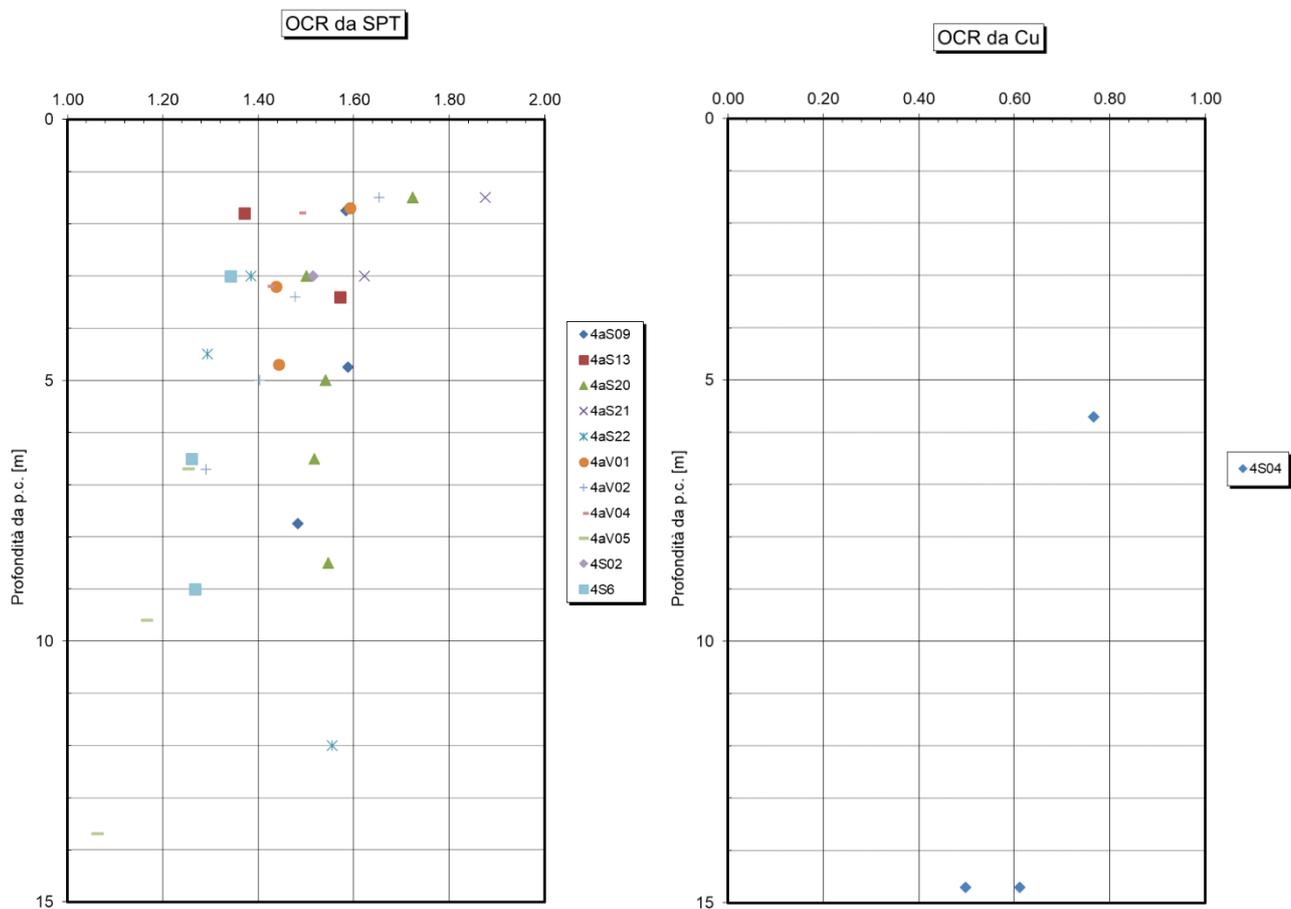
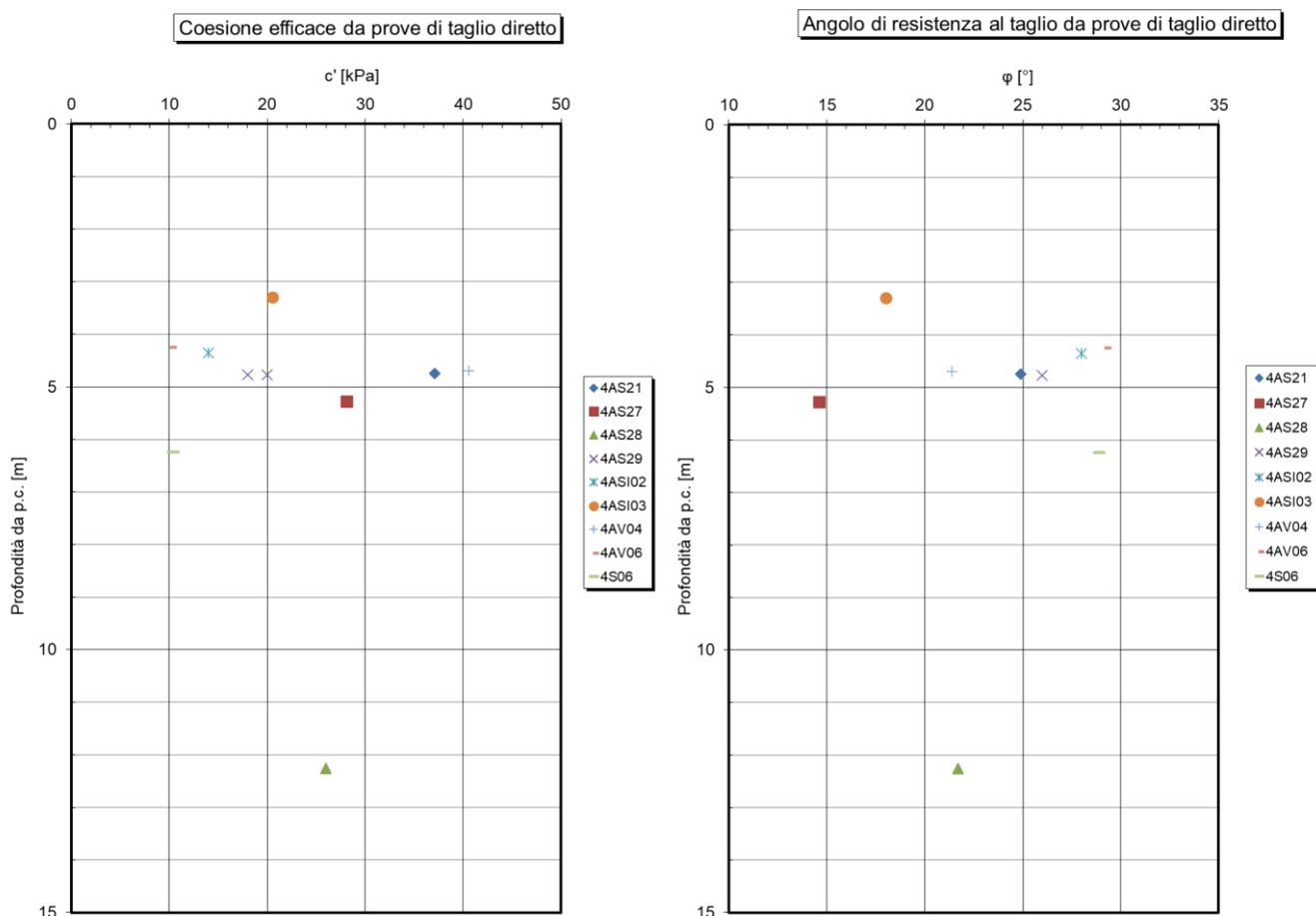


Figura 71: OCR determinato attraverso correlazioni empiriche

11.5.5 Caratteristiche di resistenza drenate

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza a taglio in condizione drenate, sono di seguito riportati i risultati in termini di coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio ottenuti da prove di taglio diretto (TD).

È possibile notare come i valori, in termini di coesione efficace, ricadano nell'intervallo compreso tra 10kPa e 40 kPa, mentre l'angolo di resistenza al taglio varia tra 15° e 30°.



11.5.6 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità sono state determinate attraverso prove in situ e prove di laboratorio.

Sono state eseguite prove sismiche down-hole (DH) al fine di determinare i parametri di deformabilità della Formazione; inoltre sono state eseguite prove edometriche volte a determinare il modulo edometrico.

Dalle prove sismiche down-hole (DH) è stato possibile ottenere l'andamento delle velocità di taglio con la profondità oltreché l'andamento del modulo di Young.

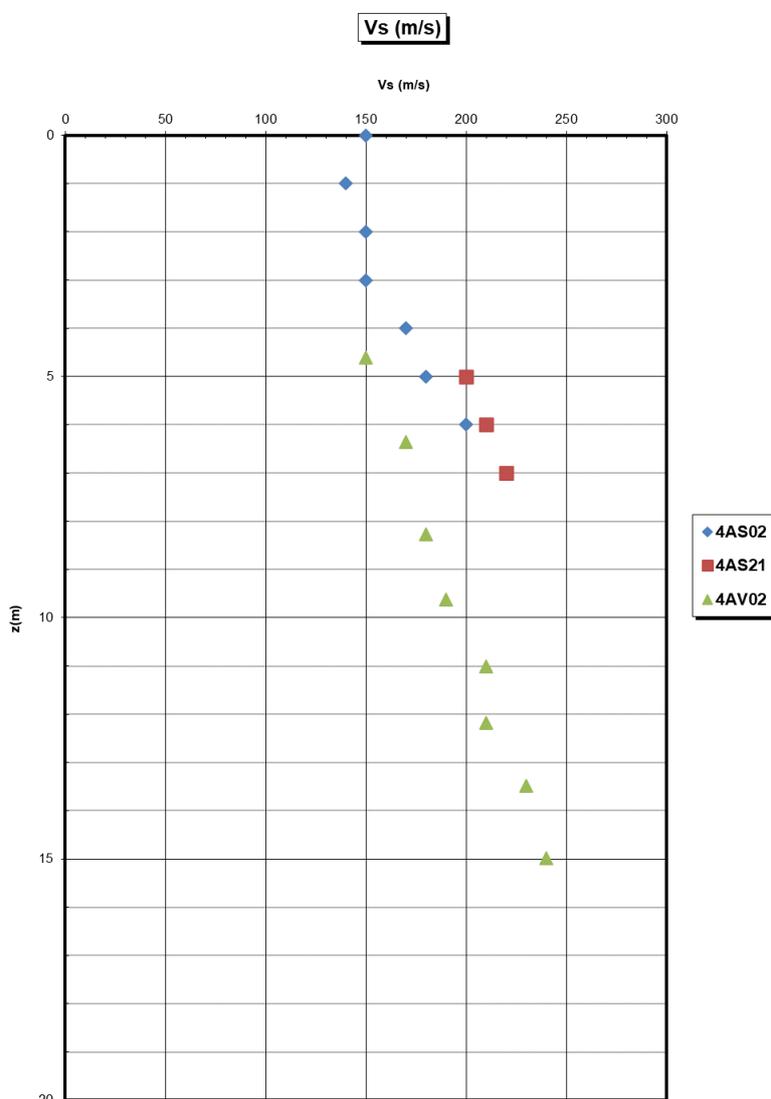


Figura 73: a2 - velocità delle onde di taglio S

Dall'interpretazione dell'andamento delle onde di taglio con la profondità è evidente come le caratteristiche di deformabilità migliorino all'aumentare della profondità, presentando, come di seguito riportato, valori intorno a 70 MPa a basse profondità, arrivando a 200 MPa a profondità maggiori.

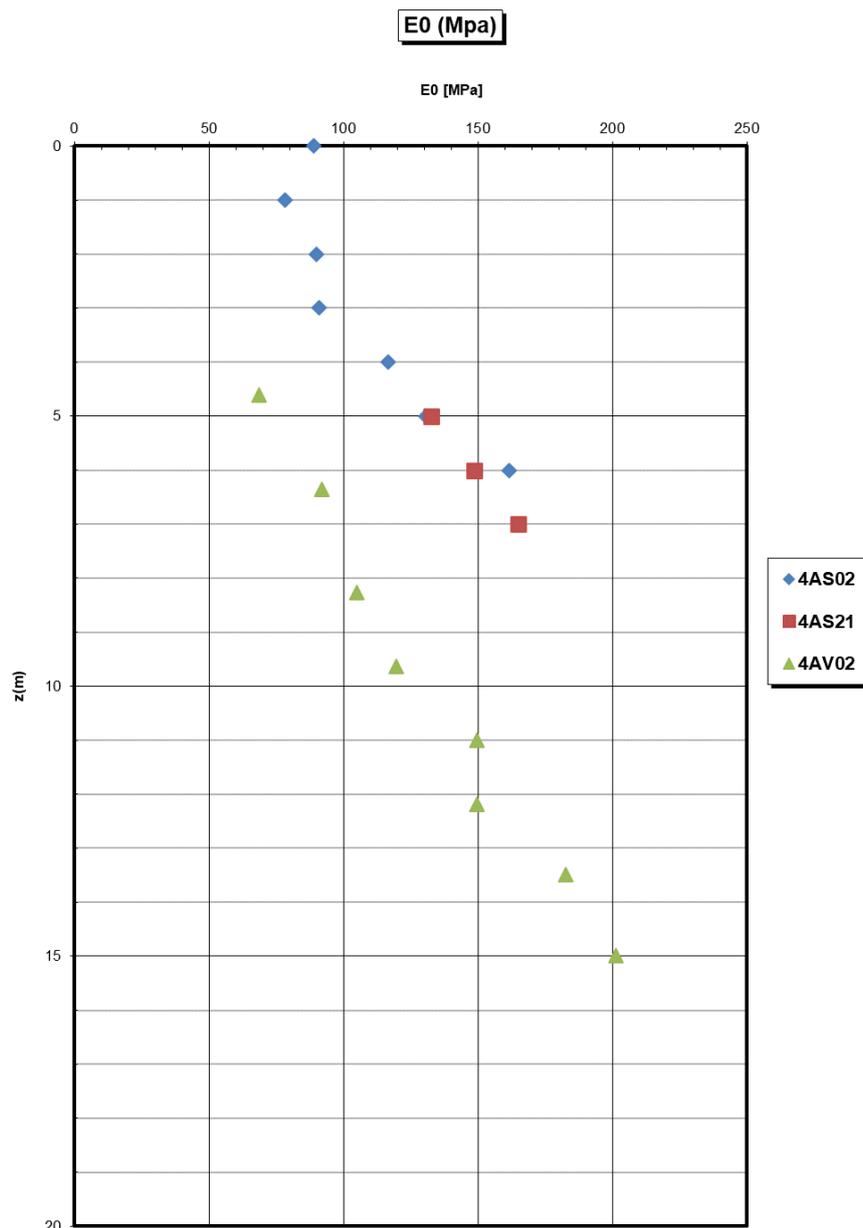


Figura 74:: a2 - modulo di Young

È stato possibile determinare il modulo di elasticità tangenziale G_0 come di seguito riportato.

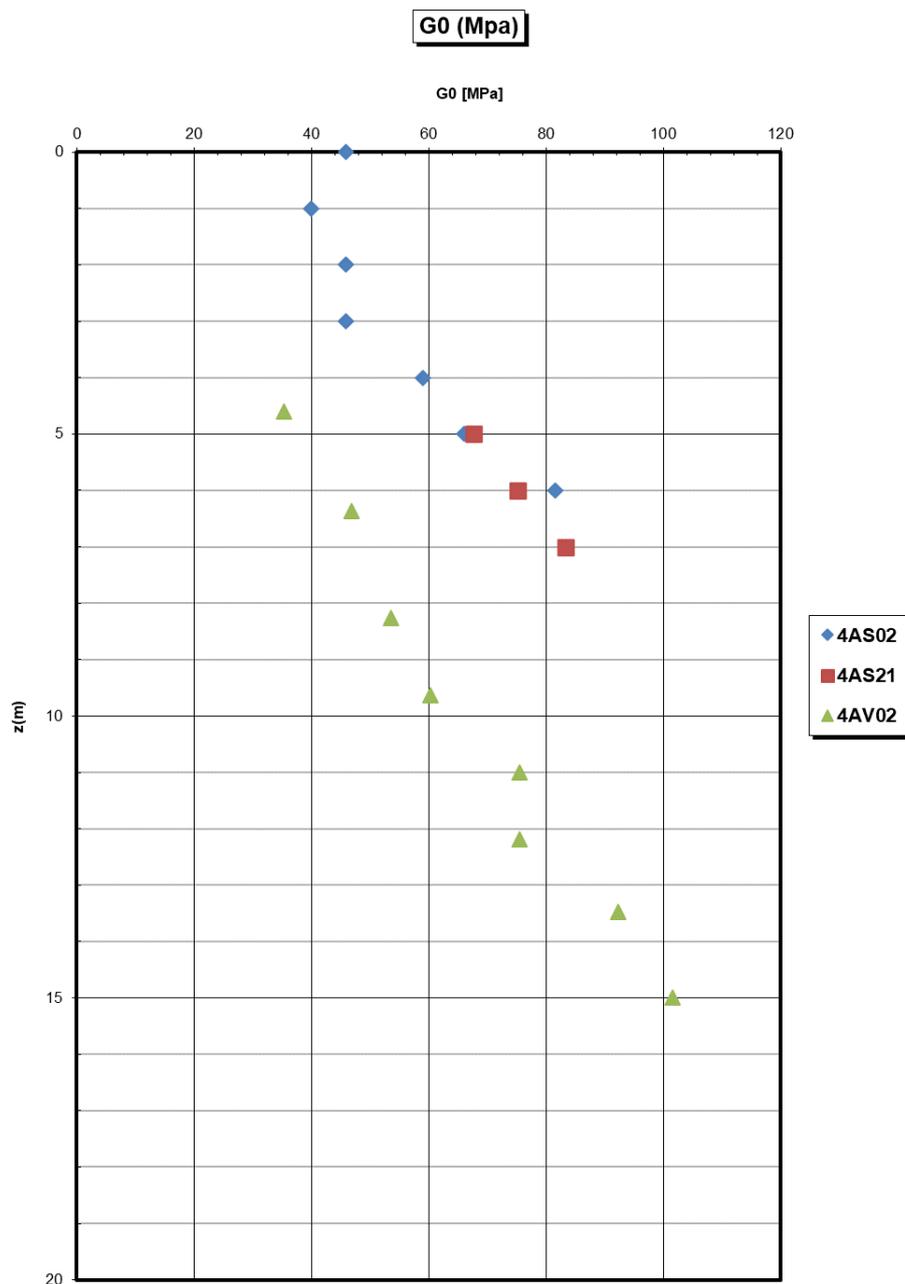


Figura 75: a2 – modulo di elasticità tangenziale G_0

Come è possibile notare, anche G_0 presenta lo stesso andamento di E_0 .

Dai risultati delle prove di compressione edometrica è stato possibile invece risalire al modulo edometrico ed ai coefficienti di consolidazione, di compressione e di rigonfiamento come di seguito riportato.

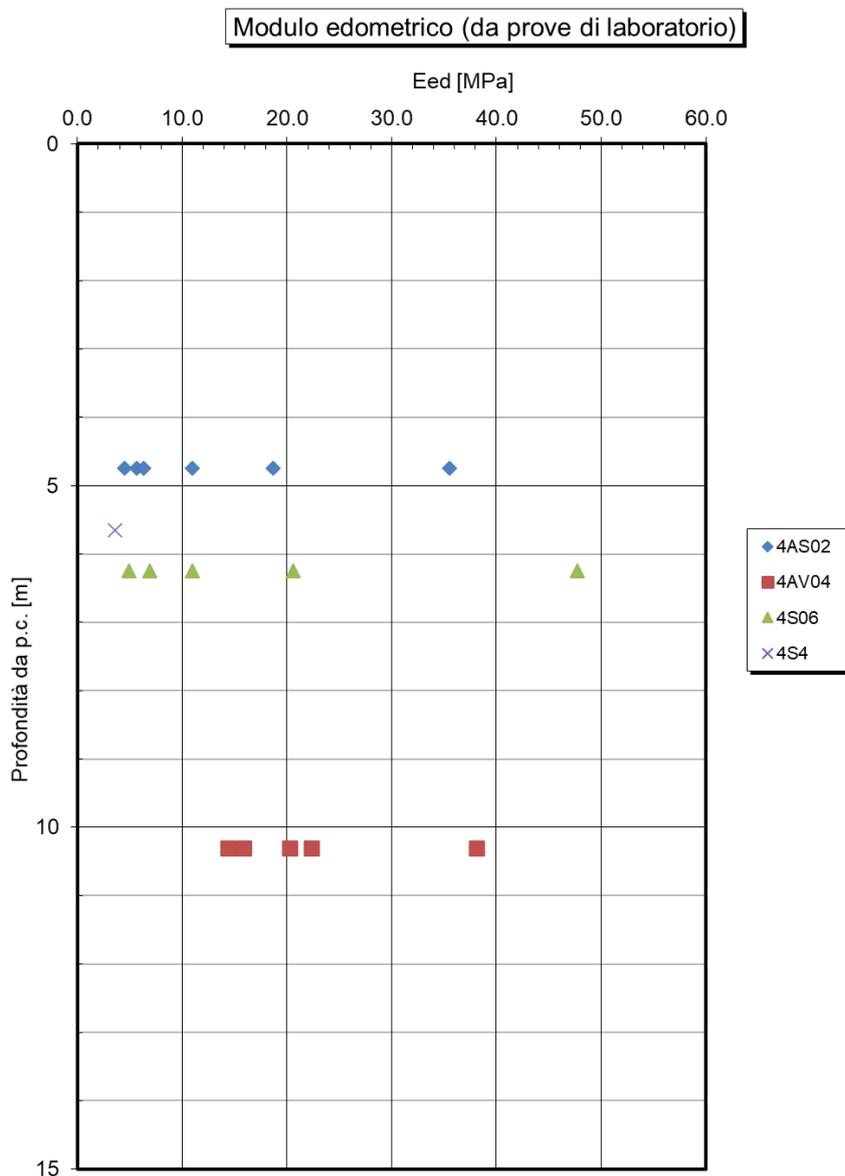


Figura 76: a2 – modulo edometrico

Vengono inoltre riportati i grafici di c_c e c_s .

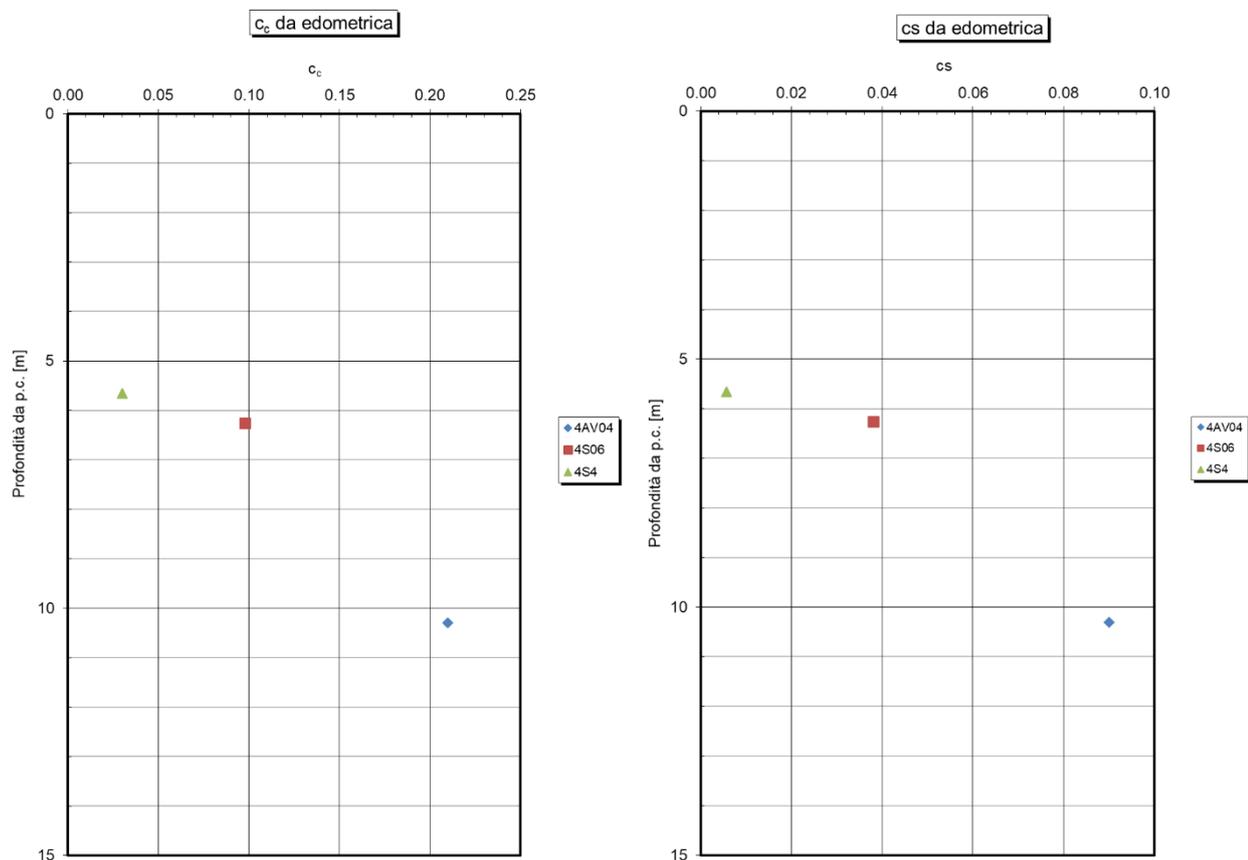


Figura 77: a2 – coefficienti c_c e c_s

11.5.7 Caratteristiche di permeabilità

Per quanto concerne le caratteristiche di permeabilità, è stato possibile ottenere il coefficiente di permeabilità monodimensionale in laboratorio attraverso le prove di compressione edometrica, mentre, attraverso prove LeFranc, è stato possibile ottenere il coefficiente di permeabilità.

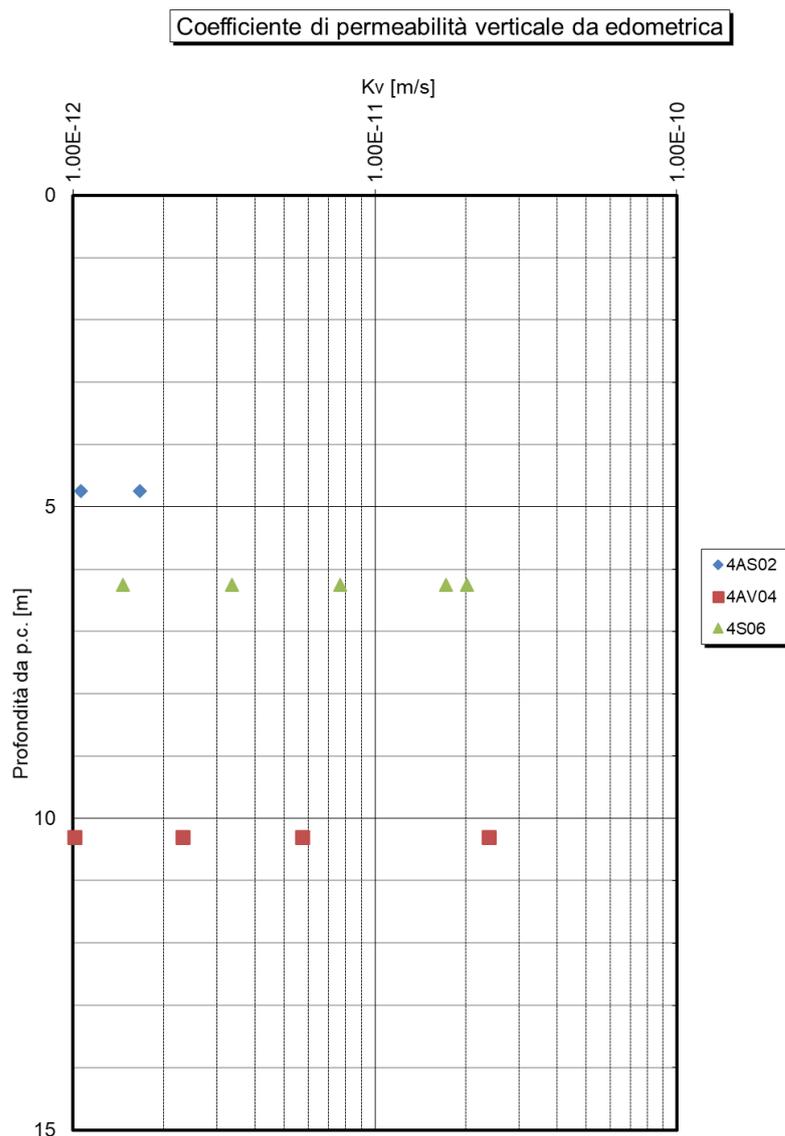


Figura 78: a2 - coefficiente di permeabilità monodimensionale da prova edometrica

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

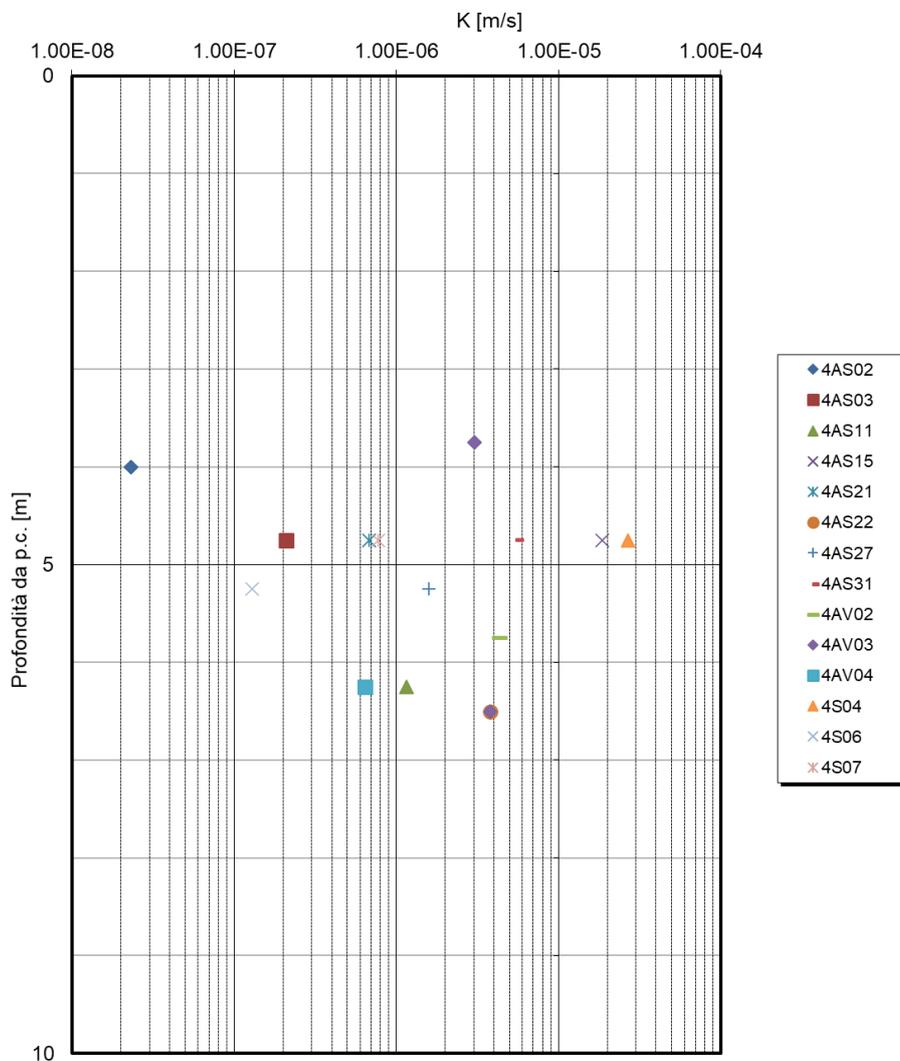


Figura 79: a2 - coefficiente di permeabilità da Le Franc

Dalle prove di permeabilità Le Franc è stato possibile risalire ai coefficienti di permeabilità del deposito alluvionale a2 in un intervallo compreso tra 10^{-5} m/s e 10^{-7} m/s.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 160 di 379

11.6 Unità a – Depositi alluvionali recenti

Rappresenta la facies incoerente delle formazioni alluvionali.

(a): ghiaie eterometriche a ciottoli poligenici da arrotondati a subarrotondati, con tessitura clast-supported in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; sabbie e sabbie limose in matrice limoso-argillosa

11.6.1 Caratteristiche fisiche

È stato possibile determinare il peso dell'unità di volume del materiale attraverso correlazioni empiriche con prove SPT. Il peso dell'unità di volume varia da 20.5 kN/m³ a 26.5 kN/m³.

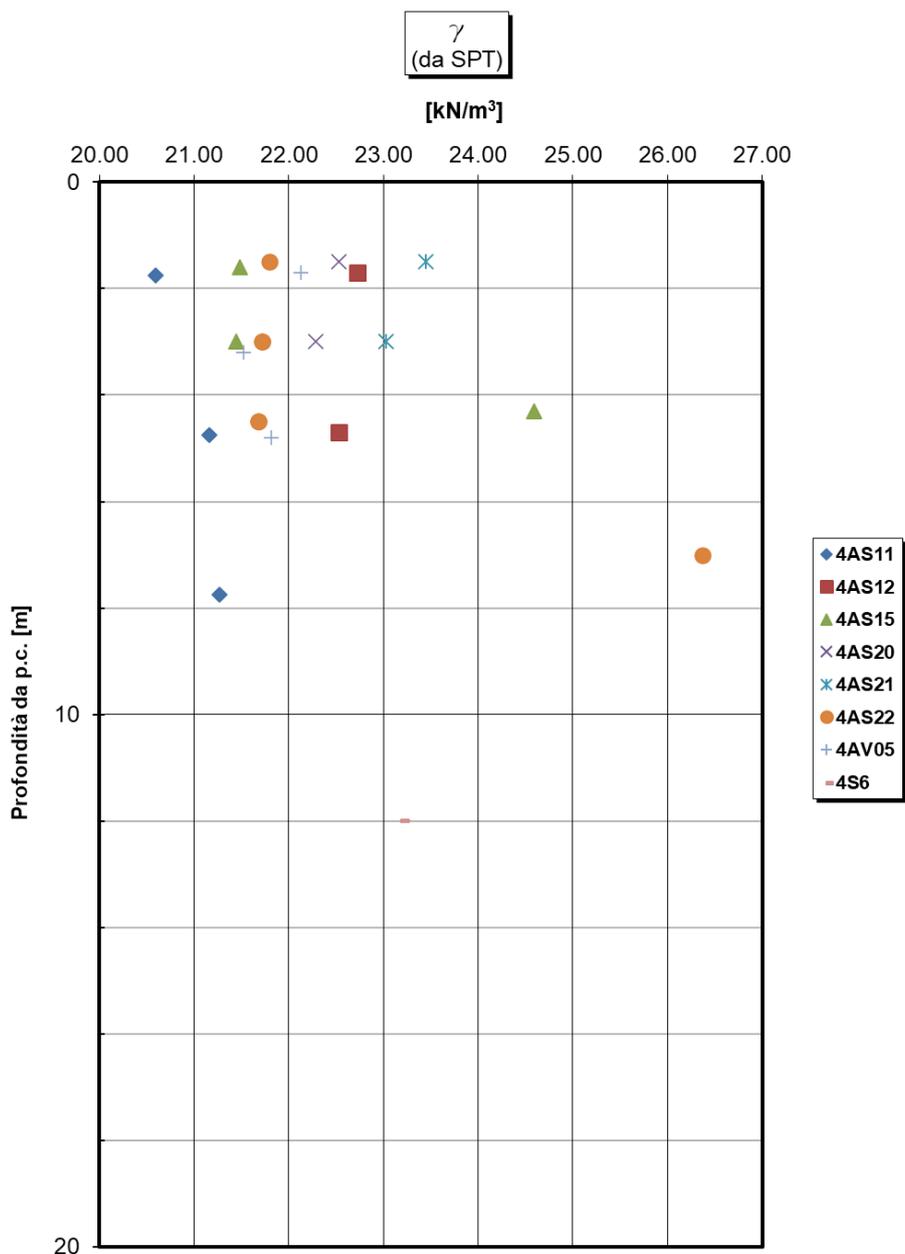


Figura 80: a - peso dell'unità di volume da prove SPT

Tra le altre caratteristiche fisiche, è stato possibile determinare la densità relativa D_r attraverso correlazioni empiriche con i risultati di prove SPT, che sono stati dapprima corretti considerando un'energia di infissione pari al 60% di quella teorica.

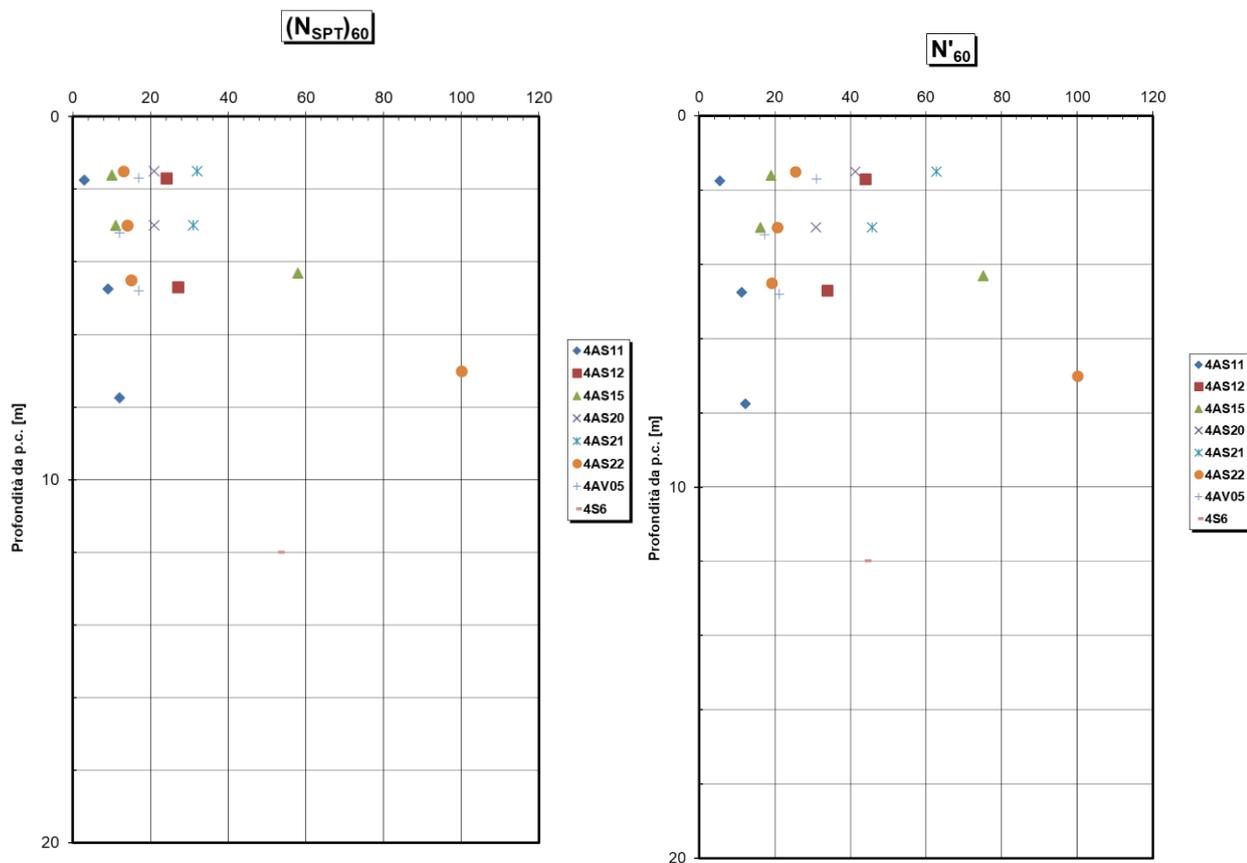


Figura 81: a - risultati da prove SPT in sito (sinistra) e risultati corretti (destra)

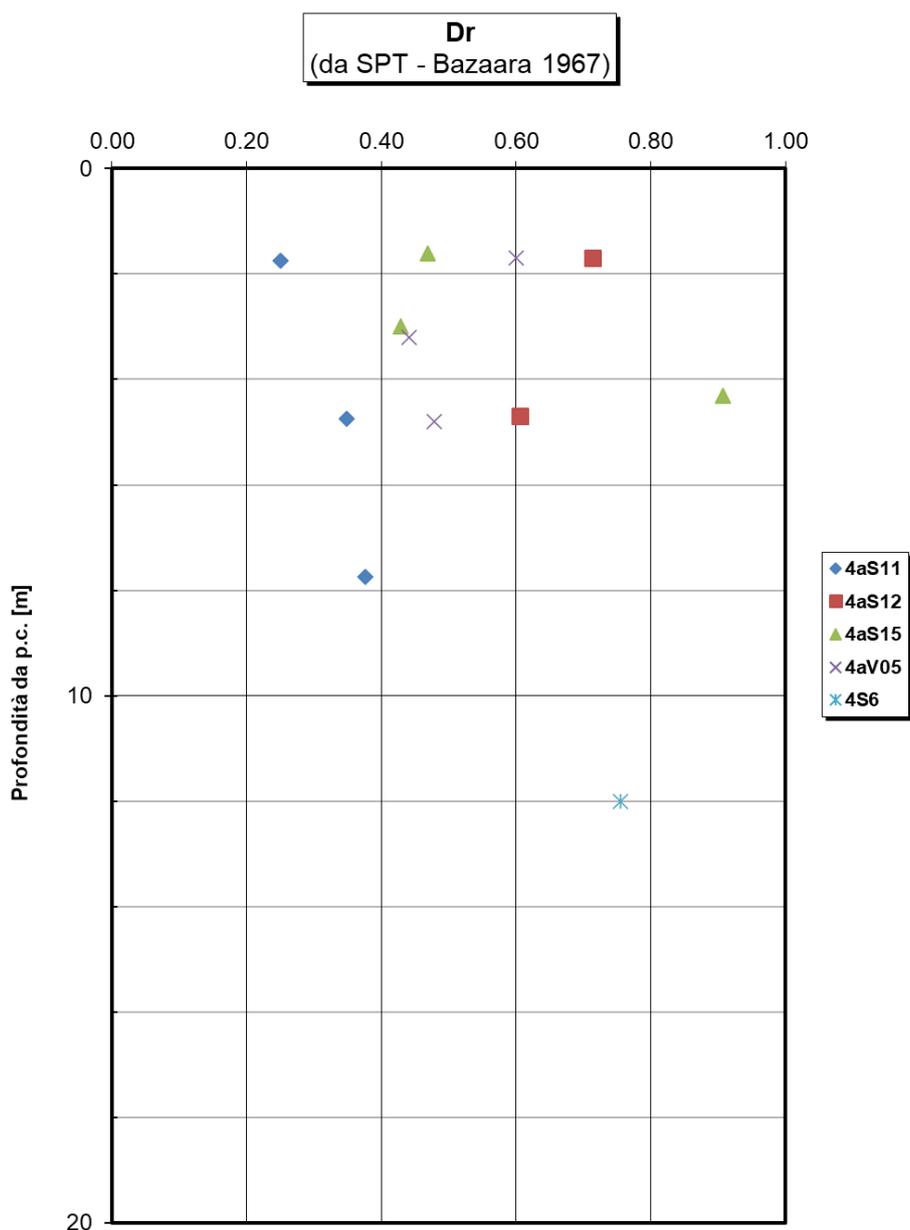


Figura 82: a - densità relativa da prove SPT (Bazaara)

11.6.2 Caratteristiche di resistenza drenate

È stato possibile ottenere gli angoli di resistenza al taglio sempre attraverso correlazioni empiriche da prove SPT. È stata impiegata la relazione di Bolton per risalire all'angolo di resistenza a taglio a volume costante, mentre attraverso la relazione di Schmertmann è stato possibile risalire all'angolo di resistenza a taglio di picco come di seguito riportato; inoltre per quanto riguarda l'angolo di resistenza a taglio di picco, sono state impiegate anche le correlazioni di De Mello.

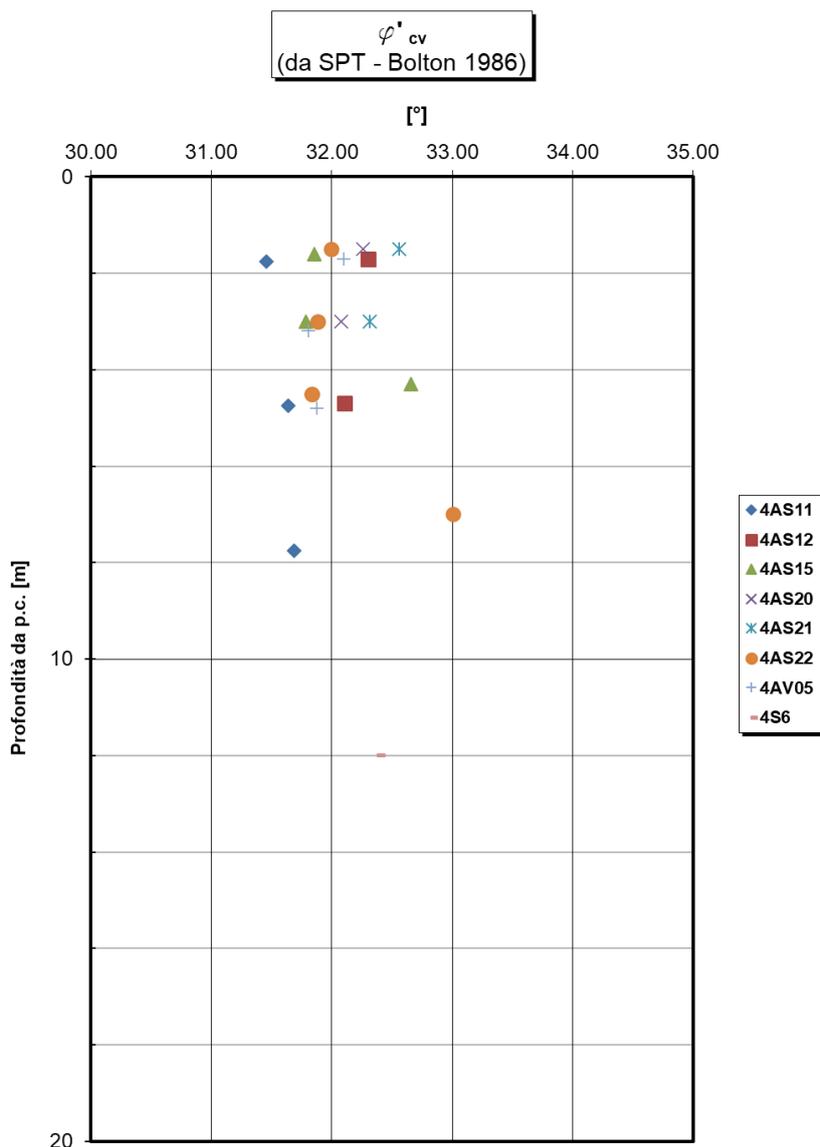


Figura 84: a - angolo di resistenza a taglio a volume costante da correlazioni con prove SPT

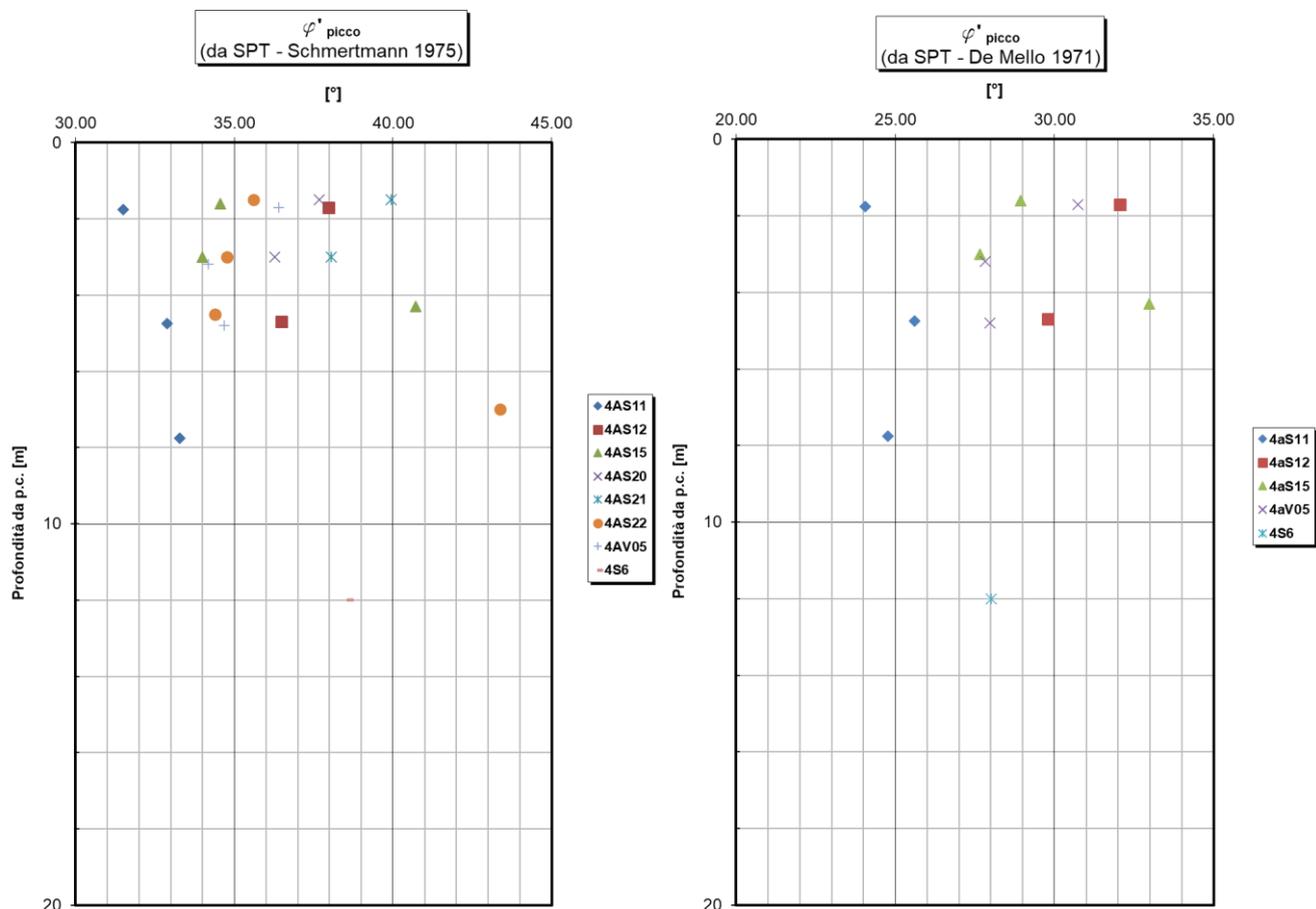


Figura 85: a - angolo di resistenza a taglio di picco da correlazioni empiriche con prove SPT

I valori dell'angolo di resistenza a taglio a volume ovviamente sono costanti con la profondità e si attestano a valori compresi in un intervallo tra 31° e 33°.

Per quanto riguarda l'angolo di resistenza a taglio di picco, sono stati ottenuti valori di questo compresi in un intervallo tra 30° e 40° impiegando le relazioni di Schmertmann.

Valori minori compresi in un intervallo tra 24° e 33° sono stati ottenuti impiegando le relazioni di De Mello.

11.6.3 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, sono state eseguite diverse prove sismiche di tipo down-hole (DH) e MASW; a supporto di queste sono stati determinati anche i valori delle velocità di taglio e i moduli di elasticità mediante le correlazioni empiriche con prove SPT.

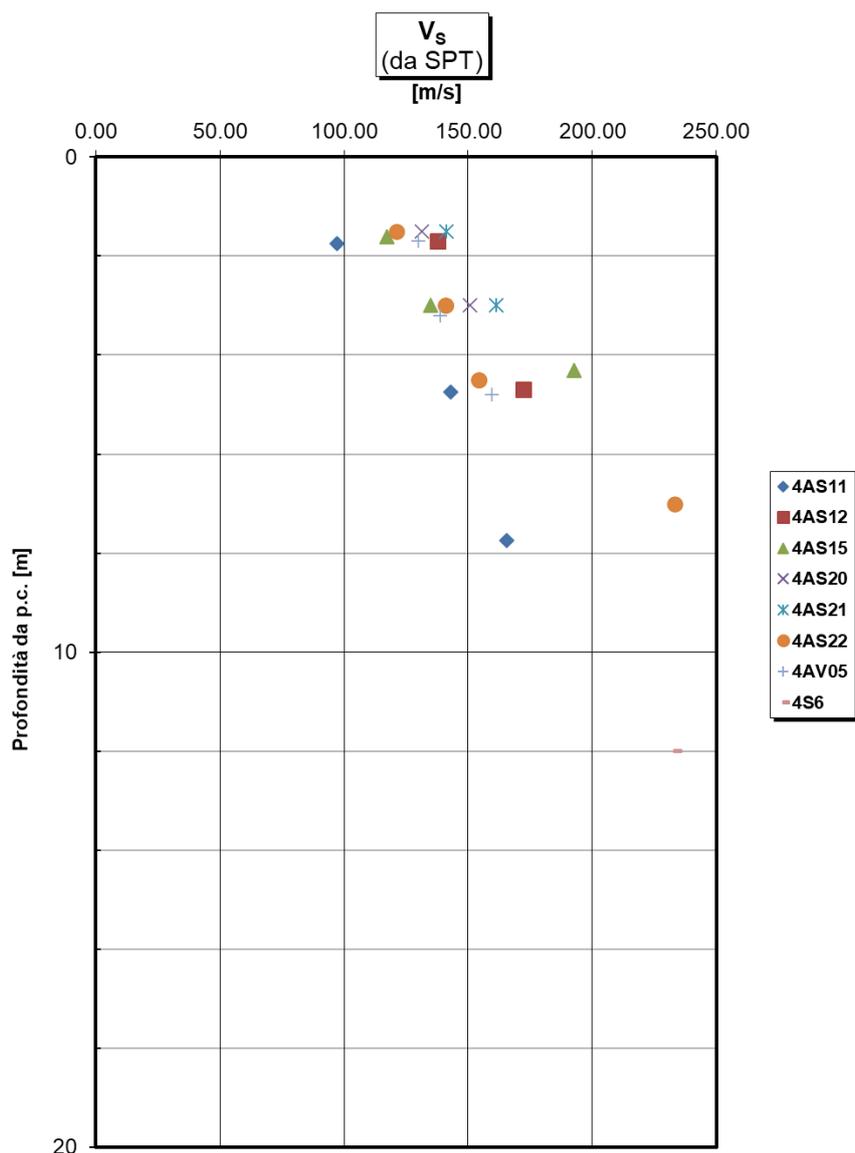


Figura 86: a - velocità di taglio S da prove SPT

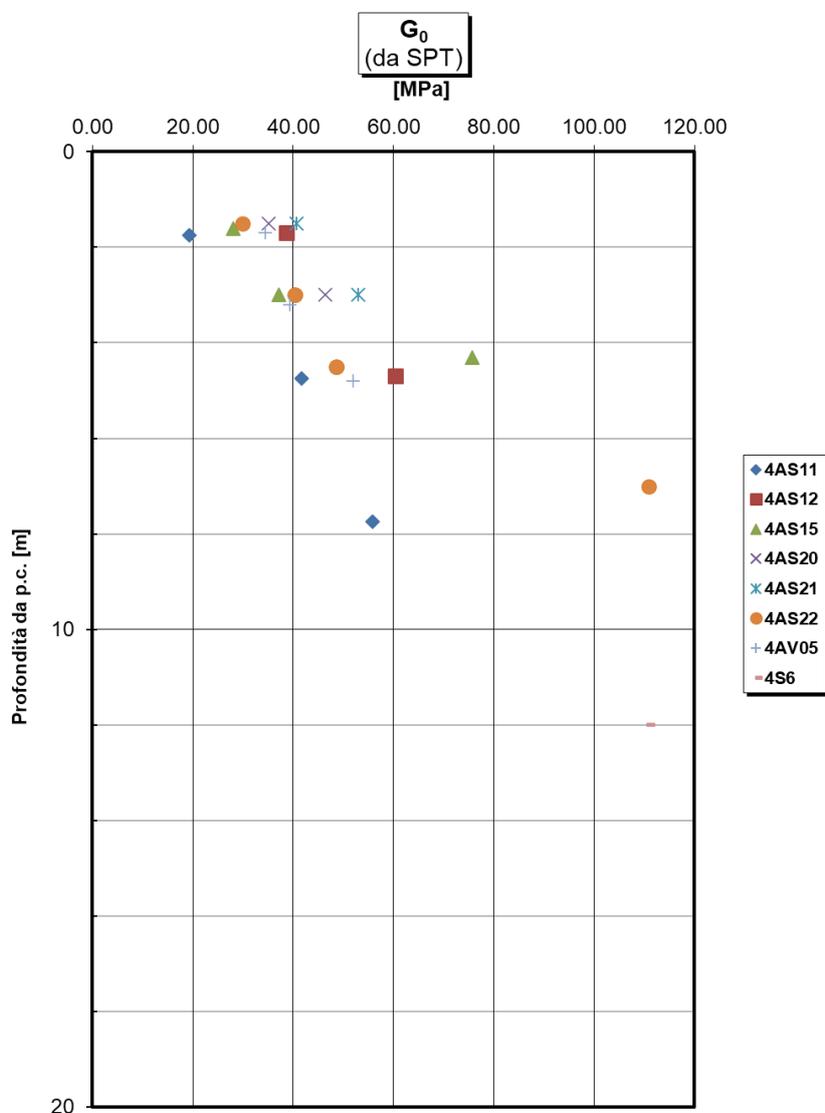


Figura 87: a - modulo di elasticità tangenziale G₀ da prove SPT

I moduli di elasticità tangenziale aumentano con la profondità, risultando compresi, a profondità maggiori di 5 metri, tra 60 MPa e 80 MPa.

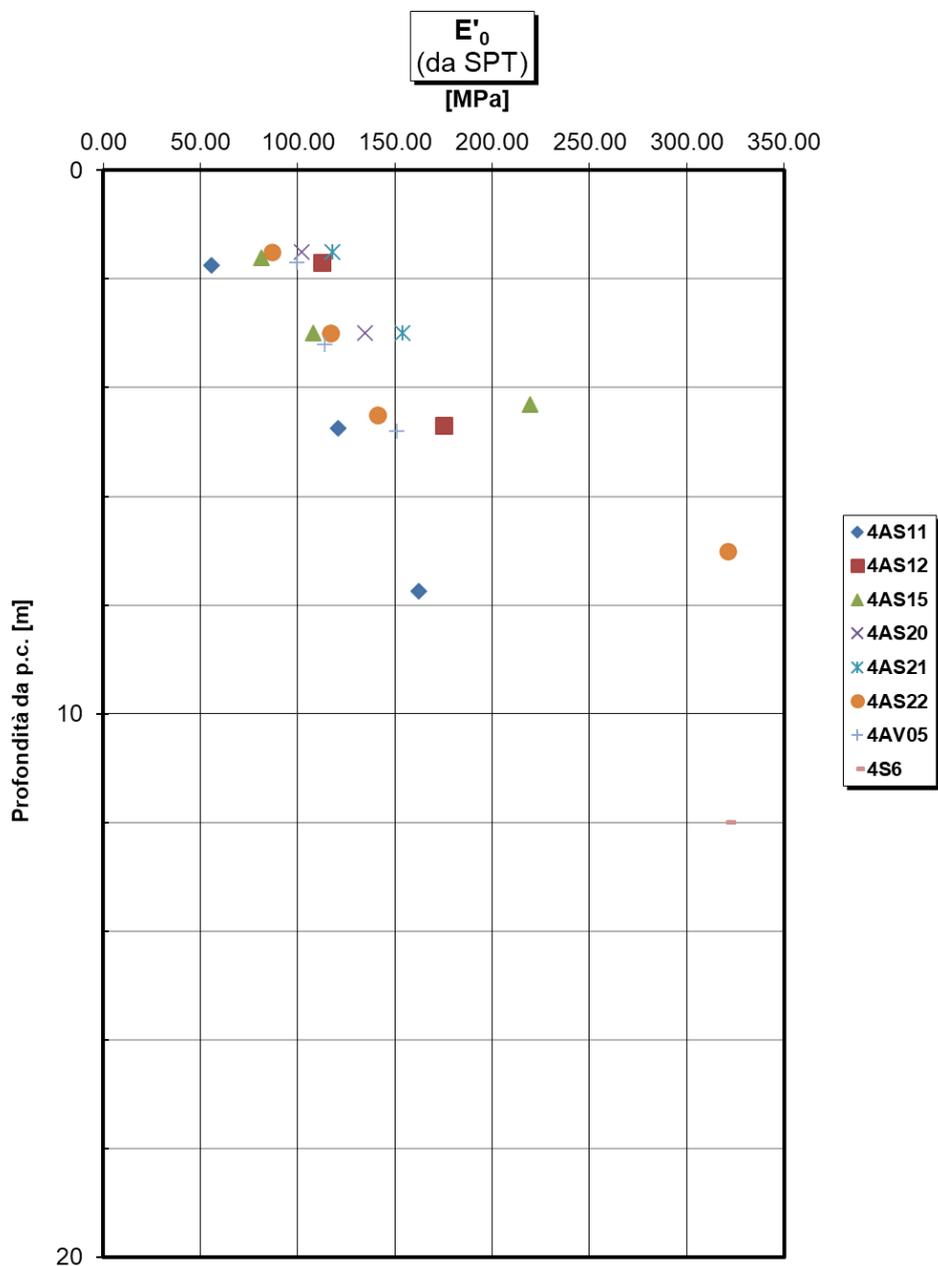


Figura 88: a – modulo di Young E_0 da prove SPT

Dalle prove sismiche è stato possibile ricavare i moduli di Young e di elasticità tangenziale, una volta note le velocità delle onde di taglio con la profondità.

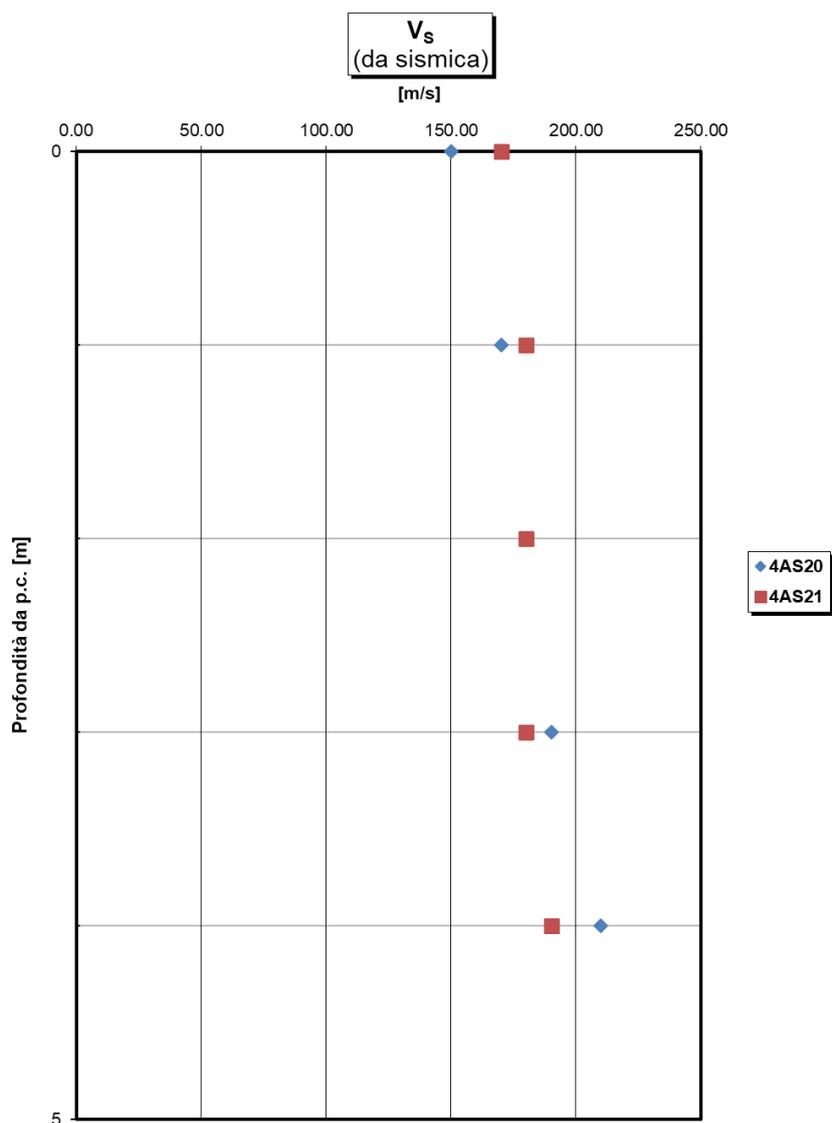


Figura 89: a - velocità di taglio da prove sismiche

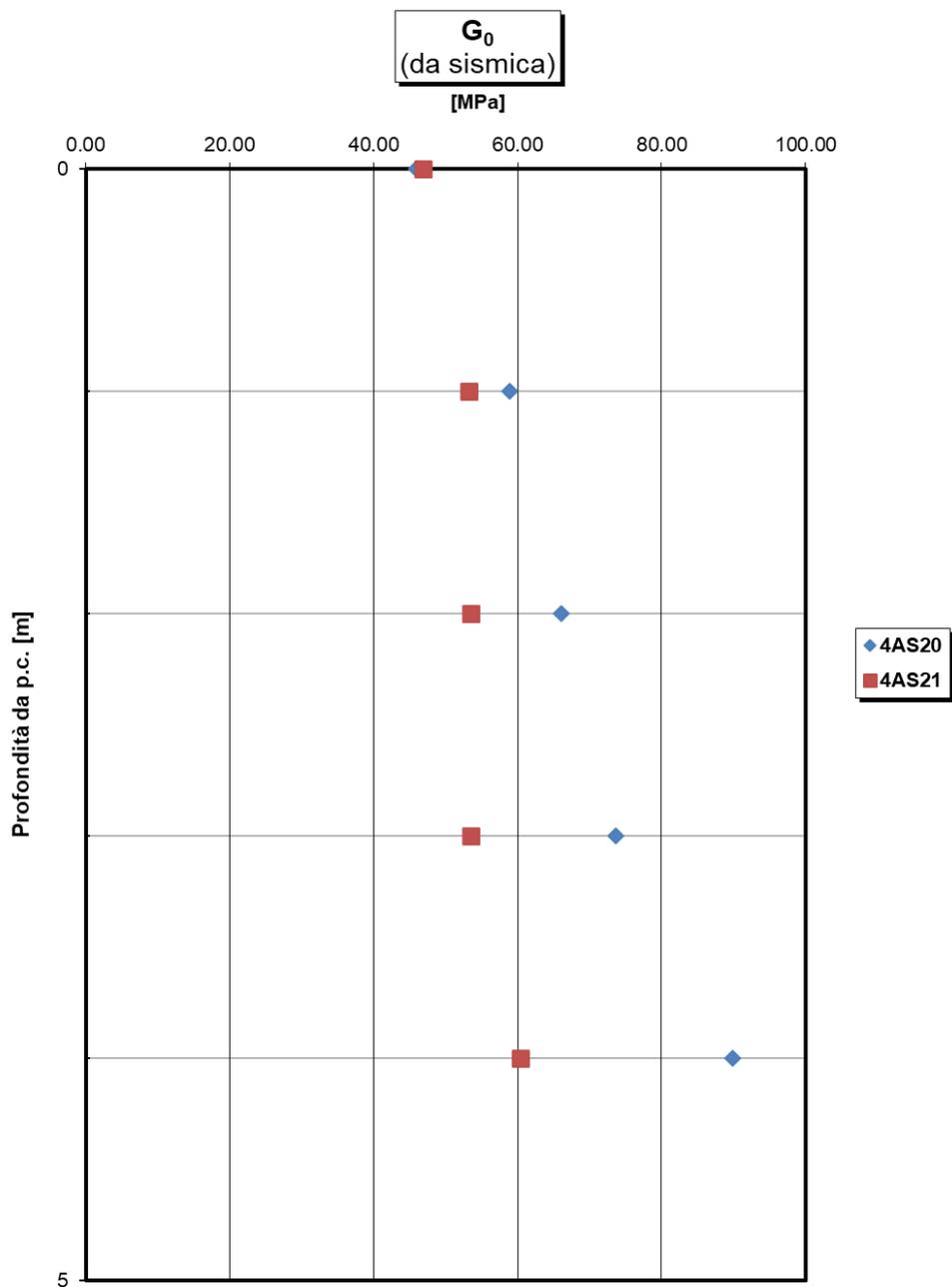


Figura 90: a - modulo di elasticità tangenziale G_0 da prove sismiche

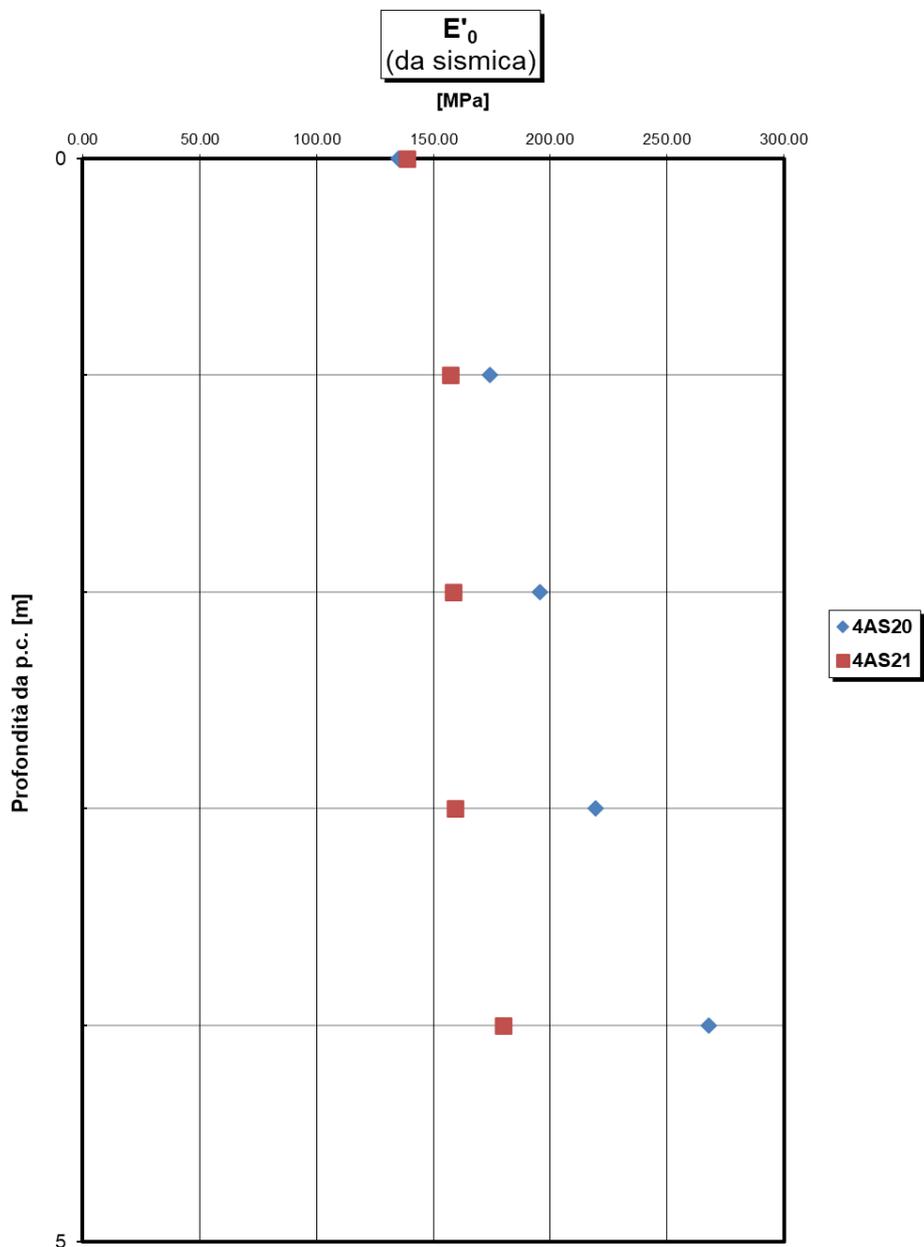


Figura 91: a - modulo di Young da prove sismiche

11.6.4 Caratteristiche di permeabilità

Per quanto concerne le caratteristiche di permeabilità, si rimanda ai risultati da letteratura.

12. PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI – CARATTERIZZAZIONE GENERALE

descrizione	COLTRE (0-3M)	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	ALLUVIONI Sabbia e ghiaie	Formazione Terravecchia: sabbie - sabbie deb. cementate/ TRValt	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt	Aargille variegate	Flysh numidico: alternanza di argille
GRUPPO GEOTECNICO	C	a2	a	TRVa (facies sabbioso arenacea)	TRV (Facies argillosa)	AV	FYN4
γ (kN/m ³)	18-20	18-20	19-20	20-22	20-22	19-20	
Dr(%)			40-70	z=0-10m 50-80 z=10-20m 80			
c' (kPa)	0-5	11-30	0	0-5	z=0-40m 10-49	12-30	11-48
c'res (kPa)	0						
ϕ' (°)picco	25-15	29-20	33-38	z=0-20m 38-40	z=0-40m 26-16	17-22	22-15
ϕ' cv(°)			28-32	30-35			
ϕ' res(°)	10-15				10-15		10-15
Cu (kPa)		50-100			z 0-40m 100-1000	z=0-40m 50-200	z=0-50 50-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	50-100	z=0-11m 100-150	z=0-11m 70-300	z=0-10m 300-600 z=10-20m 600			z=0-50m 80-500
E'op (MPa)					z=0-40 30-300	z=0-40m 20-150	z=0-50m 140
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR		z=0-10m 1,5-1			z 0-40m 4-1	z=0-30m 1,5-1	z=0-30m 2-1
Eed(MPa)		2-40			2-40		4-40
Cc		0,03-0,2			0,07-0,25		0,17-0,22

Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto –
Lotto 4a

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	GE	GE0000 001	D	174 di 379

Cs		0,01-0,08			0,02-0,08		0,02-0,06
Cv		1e-6-1e-8					
GSI							
mi							
σ_c (MPa)							
Em (MPa)							
K0		$(1-\sin(\phi')) \cdot (\text{OCR})^{0,5}$		$1-\sin(\phi')$	$(1-\sin(\phi')) \cdot (\text{OCR})^{0,5}$	$1-\sin(\phi')$	$1-\sin(\phi')$
k (m/s)	1,00E-07	1e-8 - 1e-5	1e-5 - 1e-4	1e-7 - 1e-5	1e-5-1e-8		1e-9 - 1e-7

Tabella 4: Caratterizzazione geotecnica generale (c, a2, a, TRVa, TRV, AV, FYN4)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TRATTE OMOGENEE

13.1 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 1 (da pk 0+000 a pk 1+000)

La tratta 1 è interessata dalla presenza della Formazione AV, FYN4 e TRV. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

Di seguito sono riportate in tabella le WBS e le relative opere da realizzare nella tratta in esame (da pk 0+000 a pk 1+000).

WBS	OPERA
RI01	RILEVATO
-	STAZIONE CALTANISSETTA/XIRBI

TRATTA 1	NV05D; NV05C; NV05B; NV05A; IN-PT64; NV04E; NV04D; NV04A; NV04B; NV05E
-----------------	--

Tabella 5: Tratta 1 – Rispettivamente WBS con relative opere tratta con viabilità

13.1.1 TRV

13.1.1.1 Caratteristiche fisiche

Per la Formazione seguente, nella tratta in esame, non sono disponibili dati relativi alle caratteristiche, per le quali si rimanda alla caratterizzazione generale.

13.1.1.2 Caratteristiche di resistenza drenata

Per questa tratta, si ha a disposizione una sola prova di taglio diretto che ha fornito il seguente risultato in termini di coesione e di angolo di resistenza a taglio:

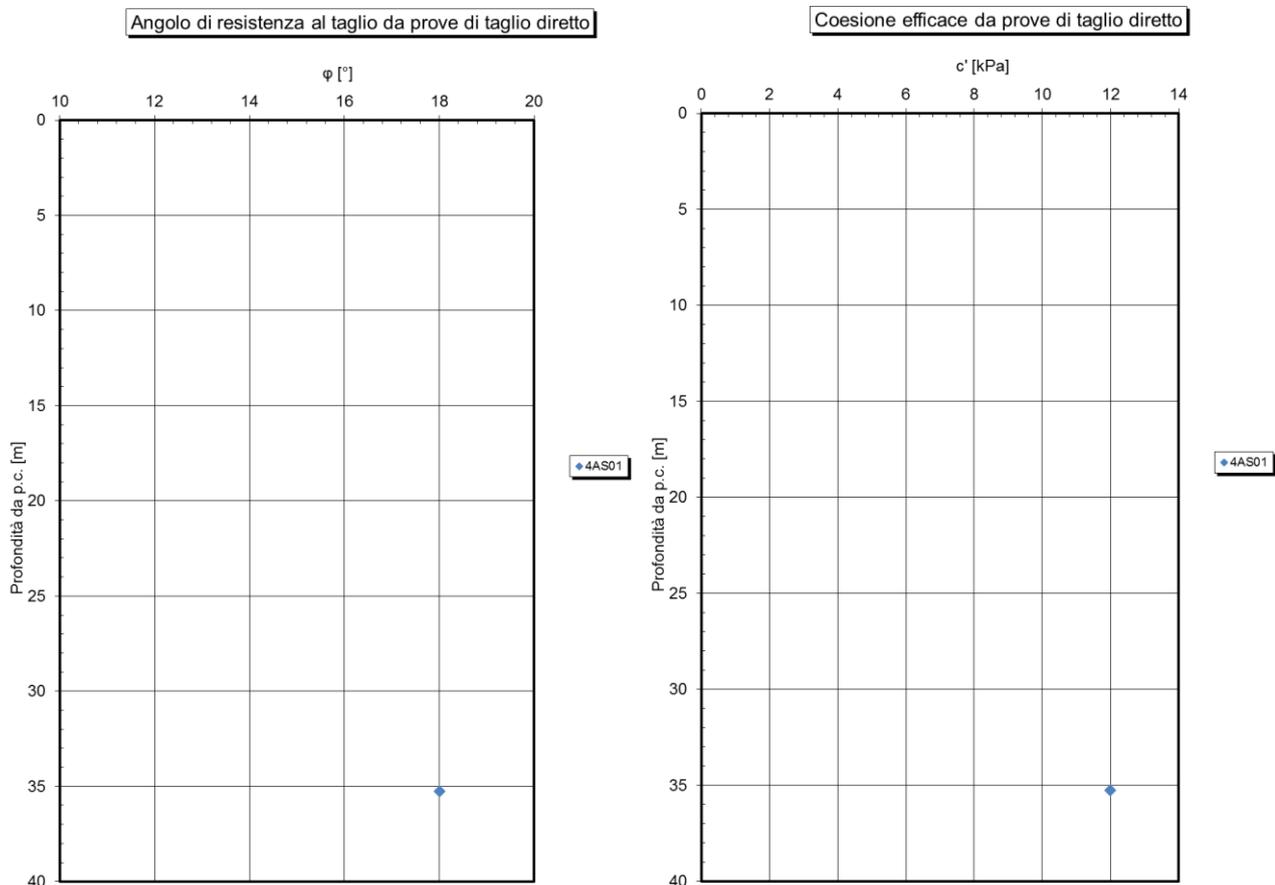


Figura 92:: TRV – TRATTA 1- Risultati prove di taglio diretto

13.1.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenata

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza drenata, si rimanda alla trattazione generale.

13.1.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Si rimanda alla trattazione generale.

13.1.1.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda alla trattazione generale.

13.1.2 FYN4

13.1.2.1 Caratteristiche fisiche

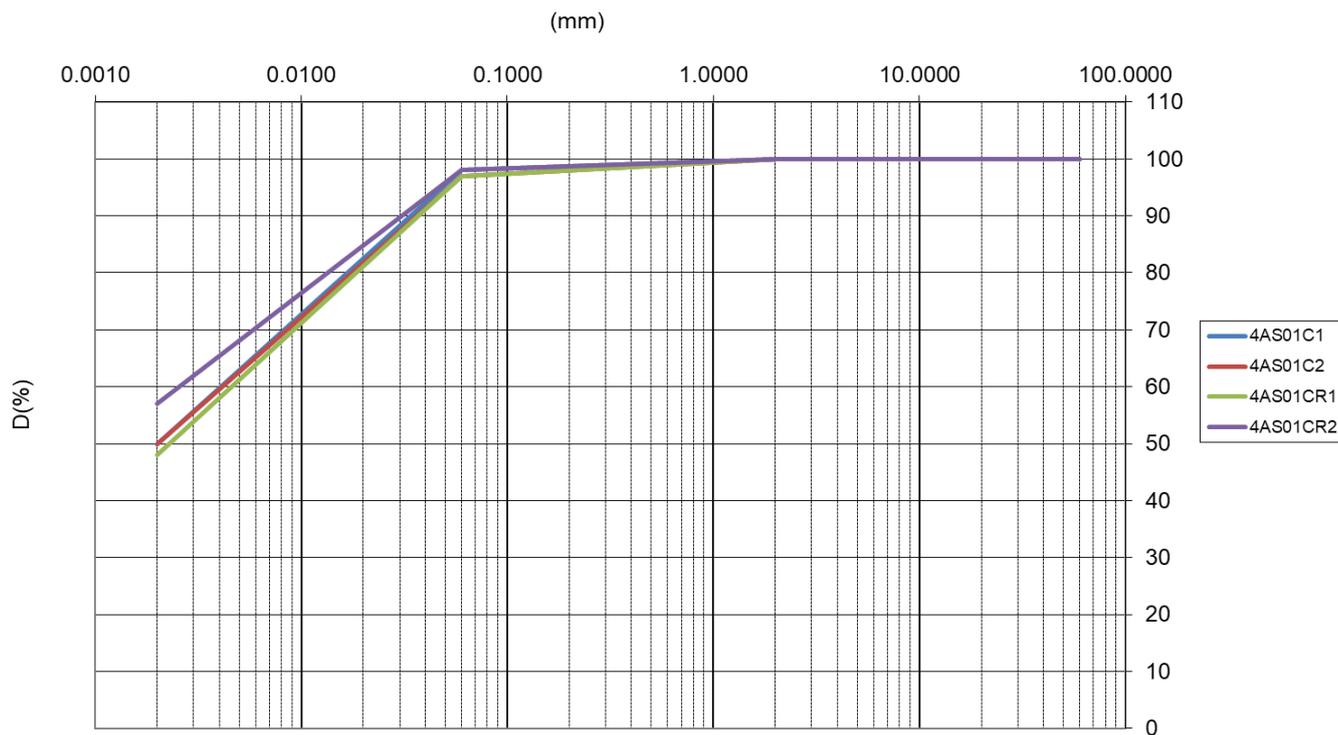


Figura 93: FYN4 – TRATTA 1- fuso granulometrico

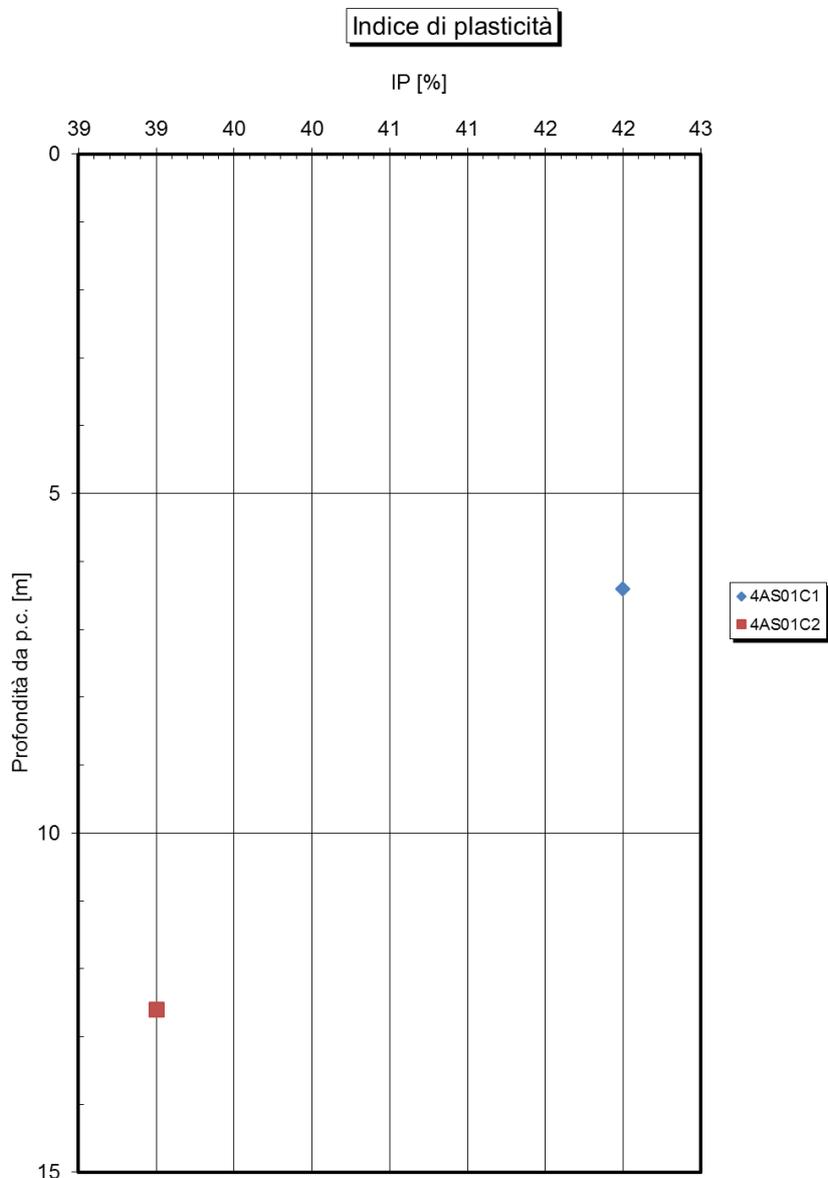


Figura 94: FYN4 – TRATTA 1- indice di plasticità

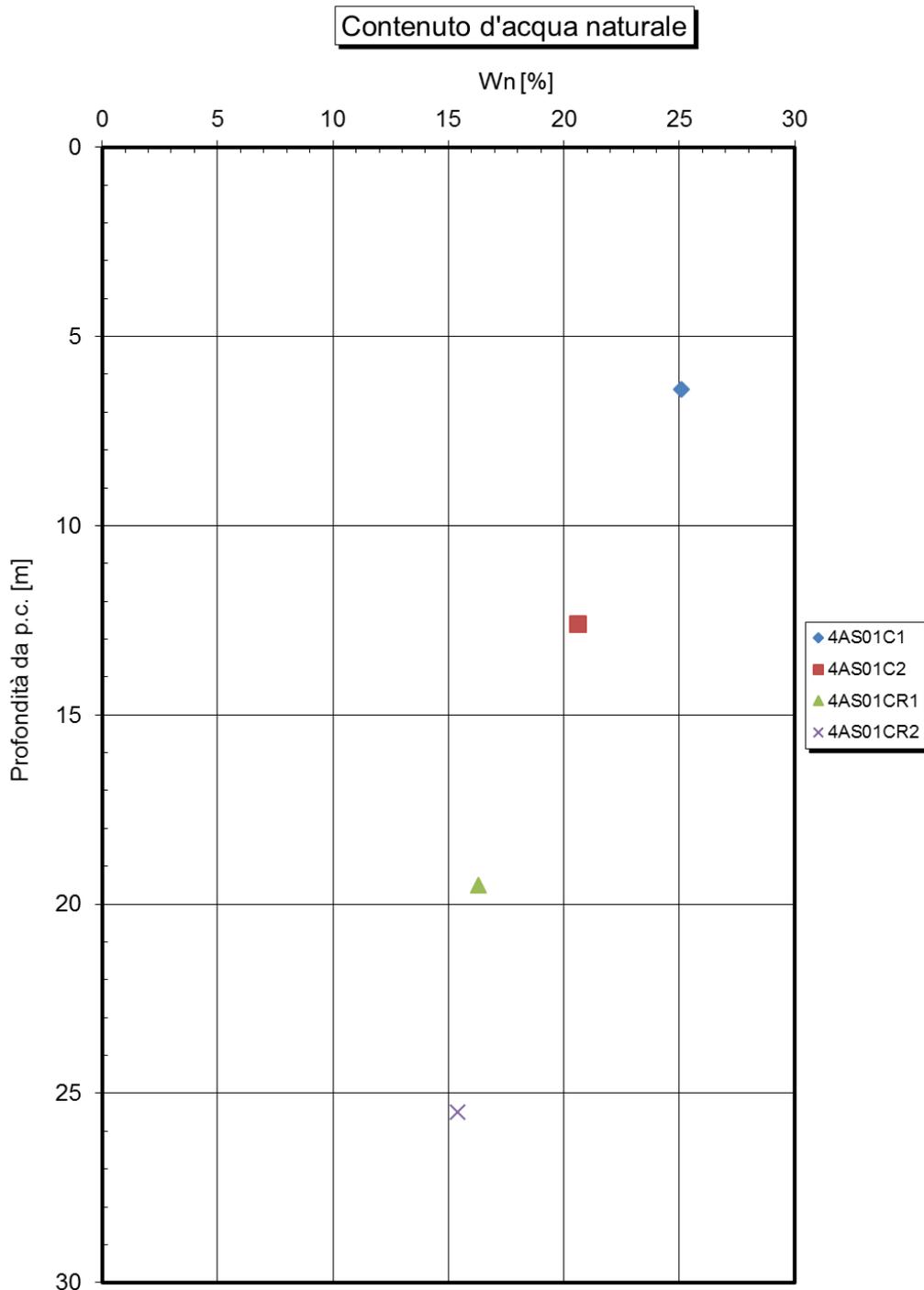


Figura 95: FYN4 – TRATTA 1- contenuto d'acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

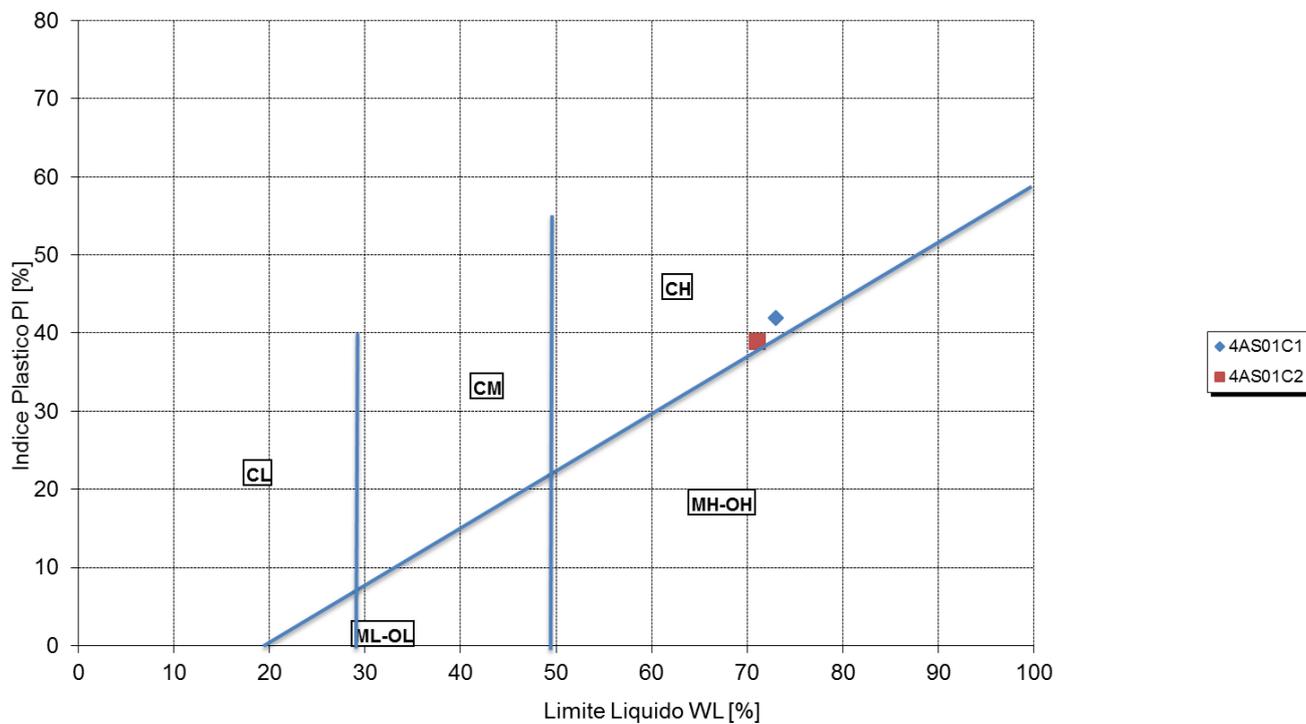


Figura 96: FYN4 – TRATTA 1- carta di plasticità di Casagrande

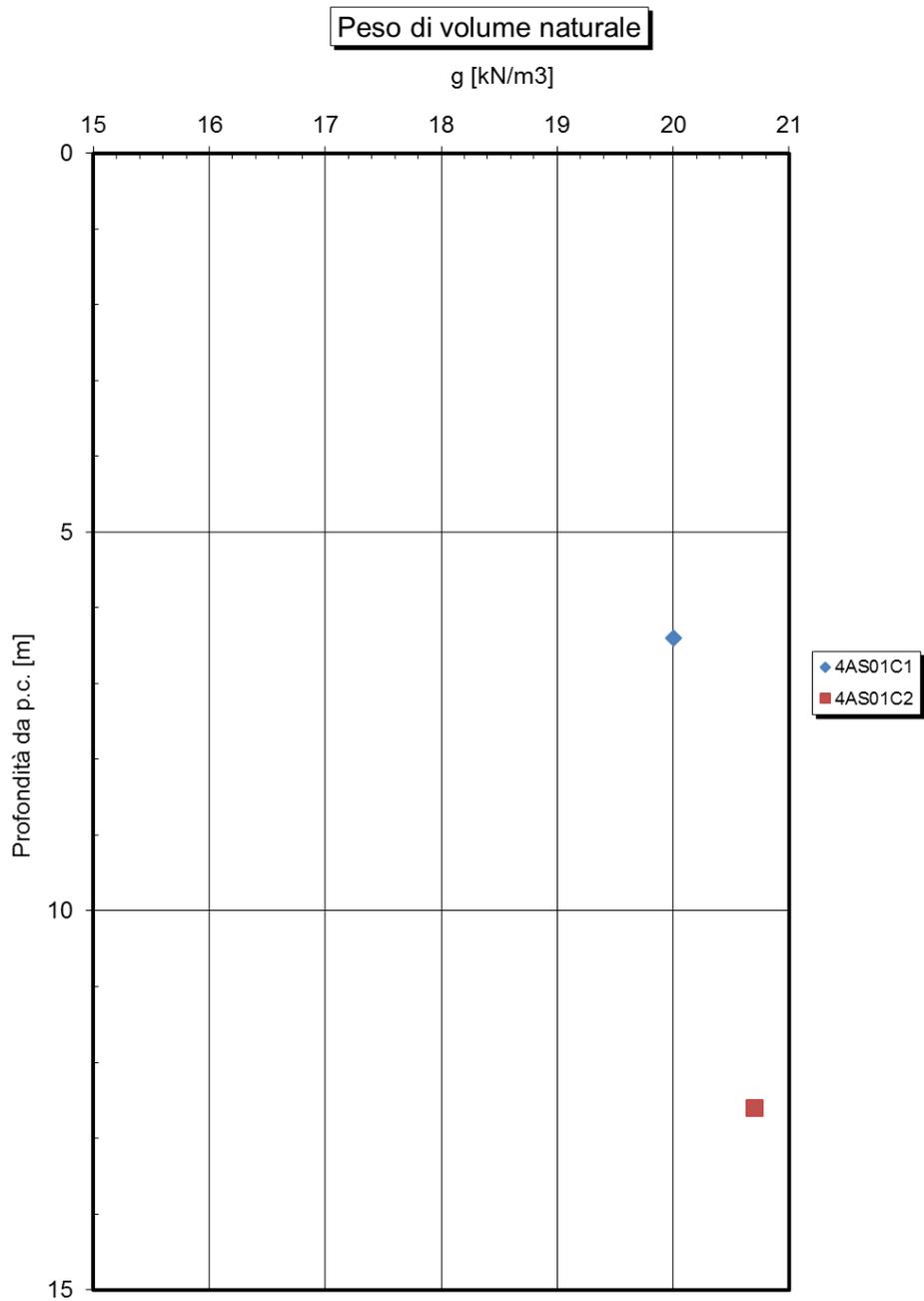


Figura 97: FYN4 – TRATTA 1- peso di volume naturale

13.1.2.2 Caratteristiche di resistenza drenata

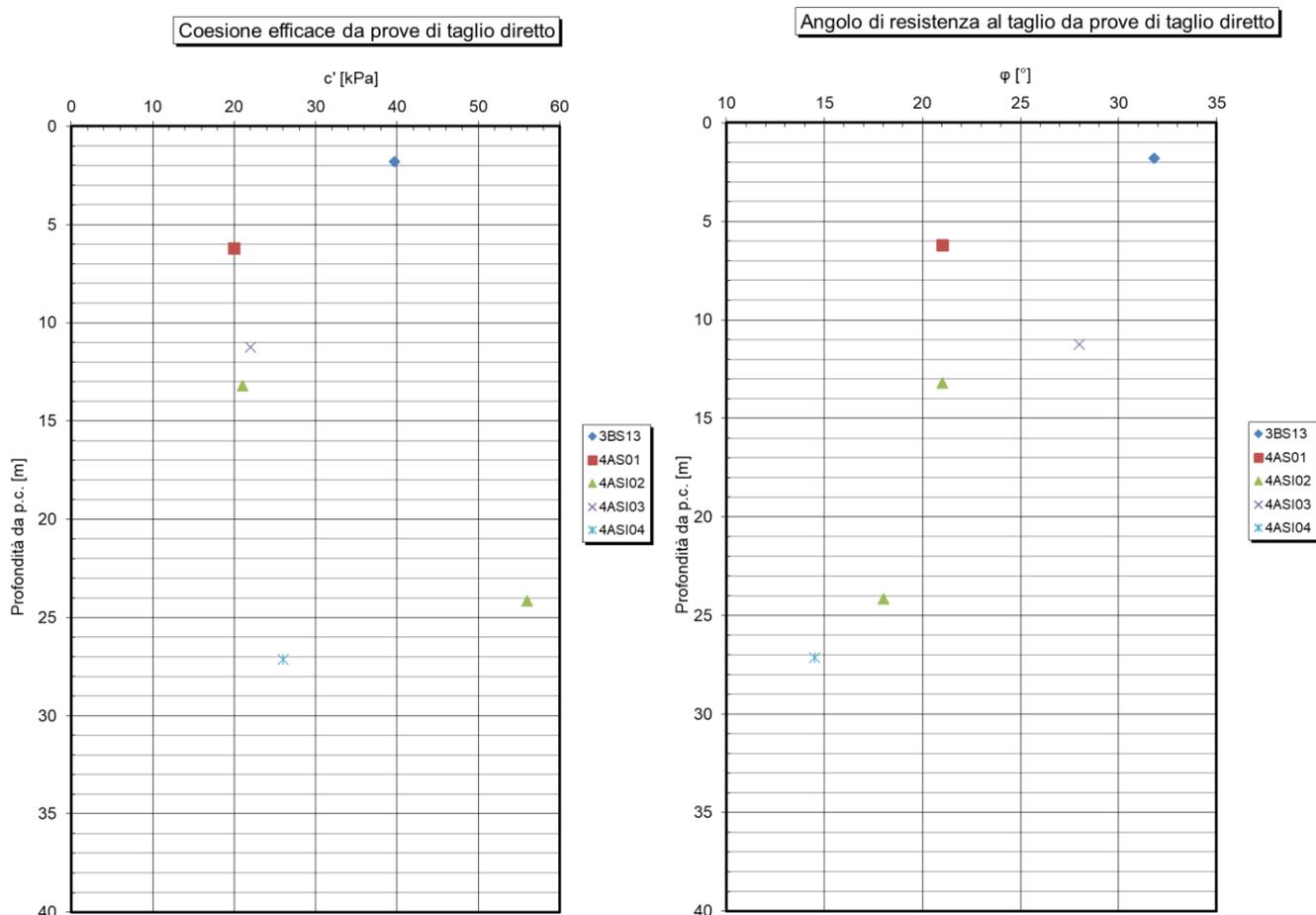


Figura 98: FYN4 – TRATTA 1- caratteristiche di resistenza drenate

13.1.2.3 Caratteristiche di resistenza non drenata

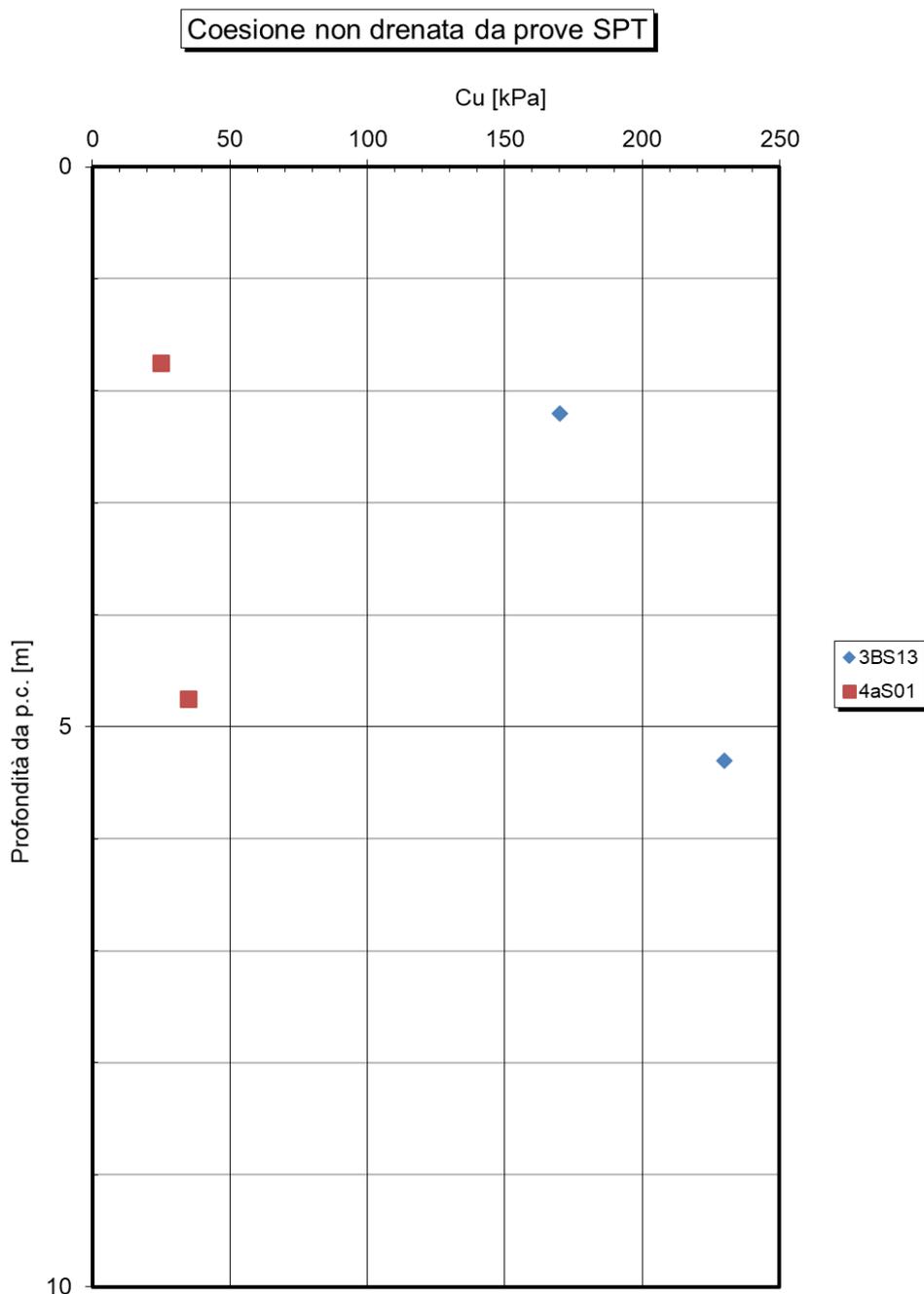


Figura 99: FYN4 – TRATTA 1- caratteristiche di resistenza non drenate

13.1.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

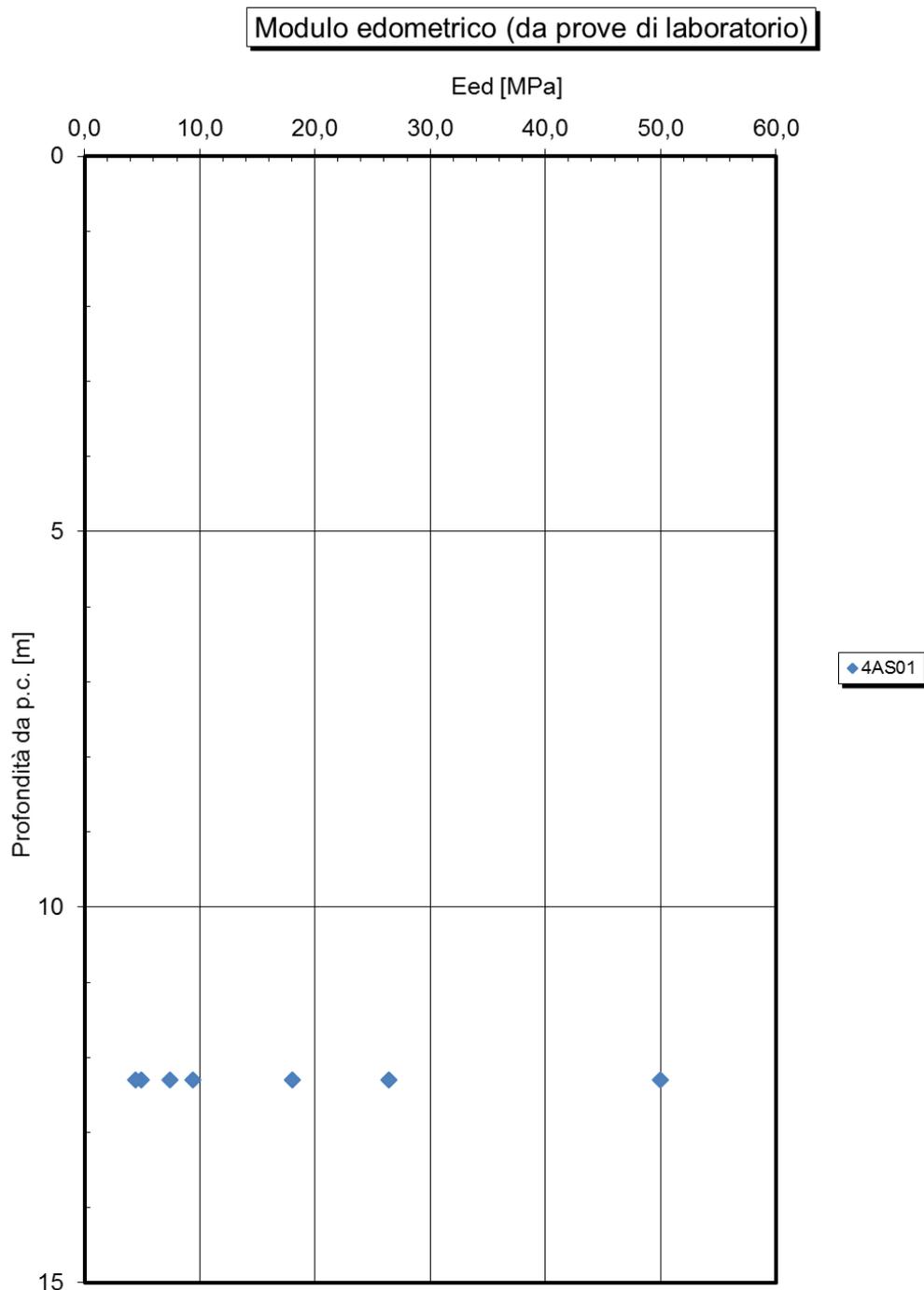


Figura 100: FYN4 – TRATTA 1- modulo edometrico da prove di laboratorio

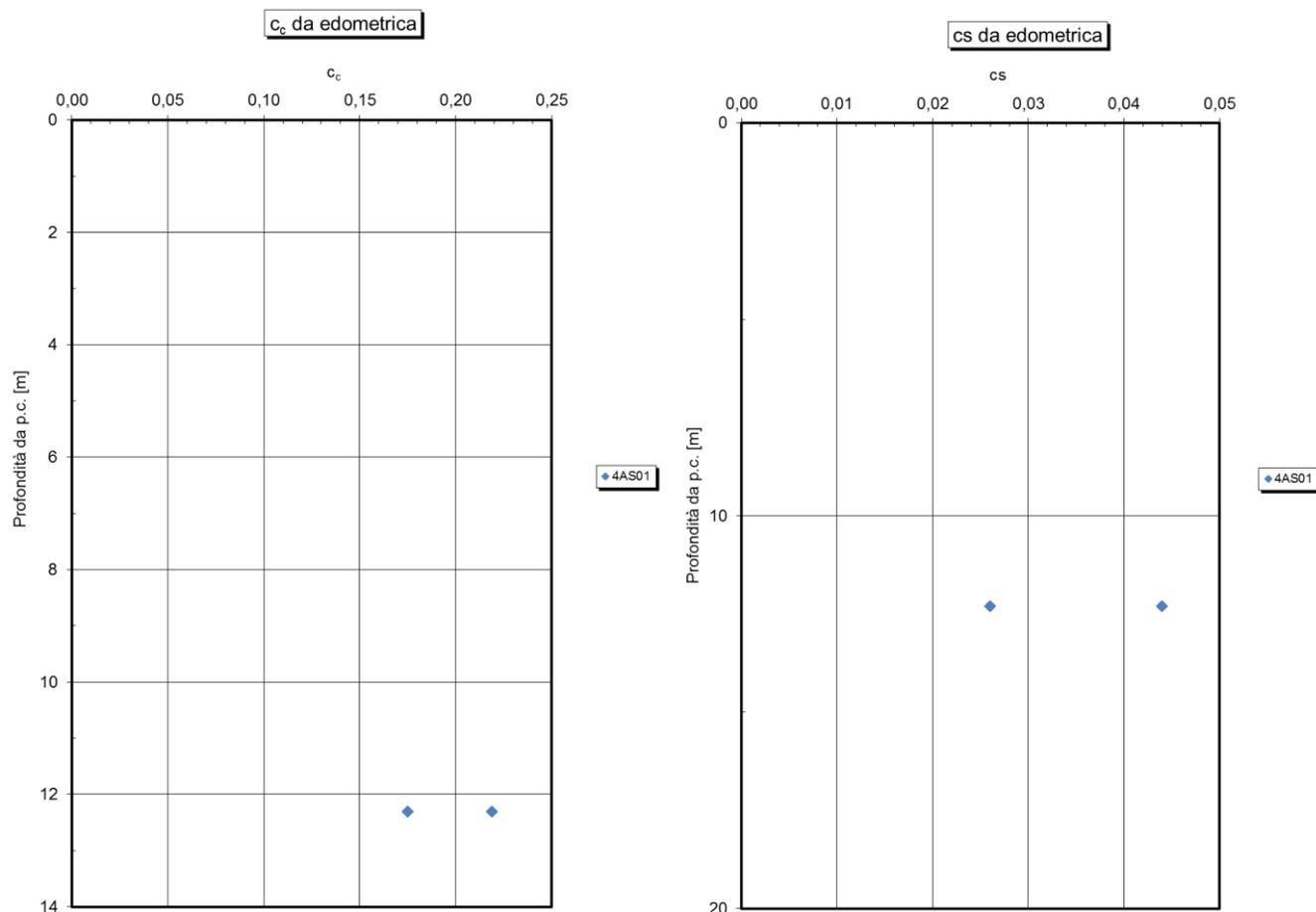


Figura 101: FYN4 – TRATTA 1- coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

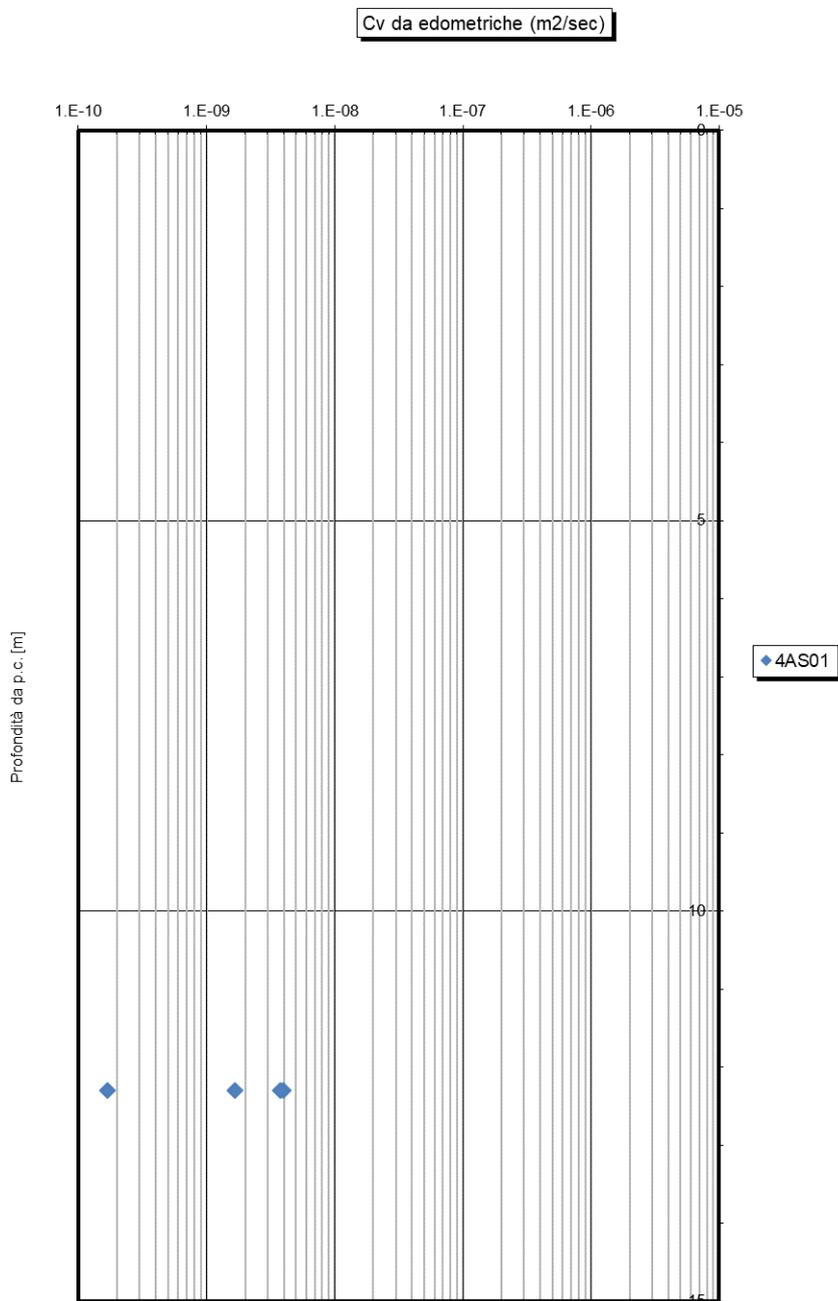


Figura 102: FYN4 – TRATTA 1- coefficiente c_v da prove edometriche

13.1.2.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati generali.

13.1.3 Parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia AV e TRV, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale

descrizione	COLTRE (0-3M)	Flysh numidico: alternanza di argille
GRUPPO GEOTECNICO	C	FYN4
γ (kN/m ³)	18-20	
Dr(%)		
c' (kPa)	0-5	10 -50
c' res (KPa)	0	
ϕ' (°)picco	25-15	22 - 15
ϕ' cv(°)		
ϕ' res(°)	10-15	10-15
Cu (kPa)		z=0-50 50-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	50-100	z=0-50m 80-500
E' op (MPa)		z=0-50m 140
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR		z=0-30m 2-1
Eed(MPa)		2-50
Cc		0,17-0,22
Cs		0,02-0,06
Cv		

Tabella 6: Caratterizzazione geotecnica Tratta 1 (c,FYN4)

Per la stazione di Caltanissetta-Xirbi è stata comunque effettuata una caratterizzazione specifica, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nella tabella sottostante.

13.1.3.1 STAZIONE CALTANISSETTA-XIRBI

descrizione	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt	Flysh numidico: alternanza di argille
GRUPPO GEOTECNICO	a2	TRV (Facies argillosa)	FYN4
γ (kN/m ³)	18-20	20-22	
Dr(%)			
c' (kPa)	12	z=0-40m 12	14 - 56
c'res (KPa)			
ϕ' (°)picco	26	z=0-40m 18	23 - 16
ϕ' cv(°)			
ϕ' res(°)		10-15	10-15
Cu (kPa)	50-100	z 0-40m 100-300	z=0-50 50-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=0-11m 100-400		z=0-50m 200-2000
E'op (MPa)		z=0-40 30-300	z=0-50m 40-400
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR	z=0-10m 1,5-1	z 0-40m 4-1	z=0-30m 2-1
Eed(MPa)	2-20		
Cc	0,2-0,3	0,17-0,22	
Cs	0,05-0,1	0,05-0,08	
Cv			

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13.2 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 2 (da pk 1+000 a pk 4+108)

La tratta 2 è interessata dalla presenza della Formazione a2 e TRV. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

Di seguito sono riportate in tabella le WBS e le relative opere da realizzare nella tratta in esame (da pk 0+900 a pk 4+108).

WBS	OPERA
RI01	RILEVATO
RI02	RILEVATO
RI03	RILEVATO
VI02	VIADOTTO
VI03	VIADOTTO
RI05	RILEVATO
RI06	RILEVATO
VI04	VIADOTTO
VI05	VIADOTTO
TR02	TRINCEA
TR03	TRINCEA
TR04	TRINCEA
TR05	TRINCEA
TR06	TRINCEA
TR07	TRINCEA
RI07	RILEVATO
RI08	RILEVATO
RI09	RILEVATO
GA01	GALLERIA ARTIFICIALE

WBS viabilità	NV05E; NV06; NV01
----------------------	-------------------

Tabella 7: Tratta 2 - Rispettivamente WBS con relative opere tratta con viabilità a2

13.2.1 a2

13.2.1.1 Caratteristiche fisiche

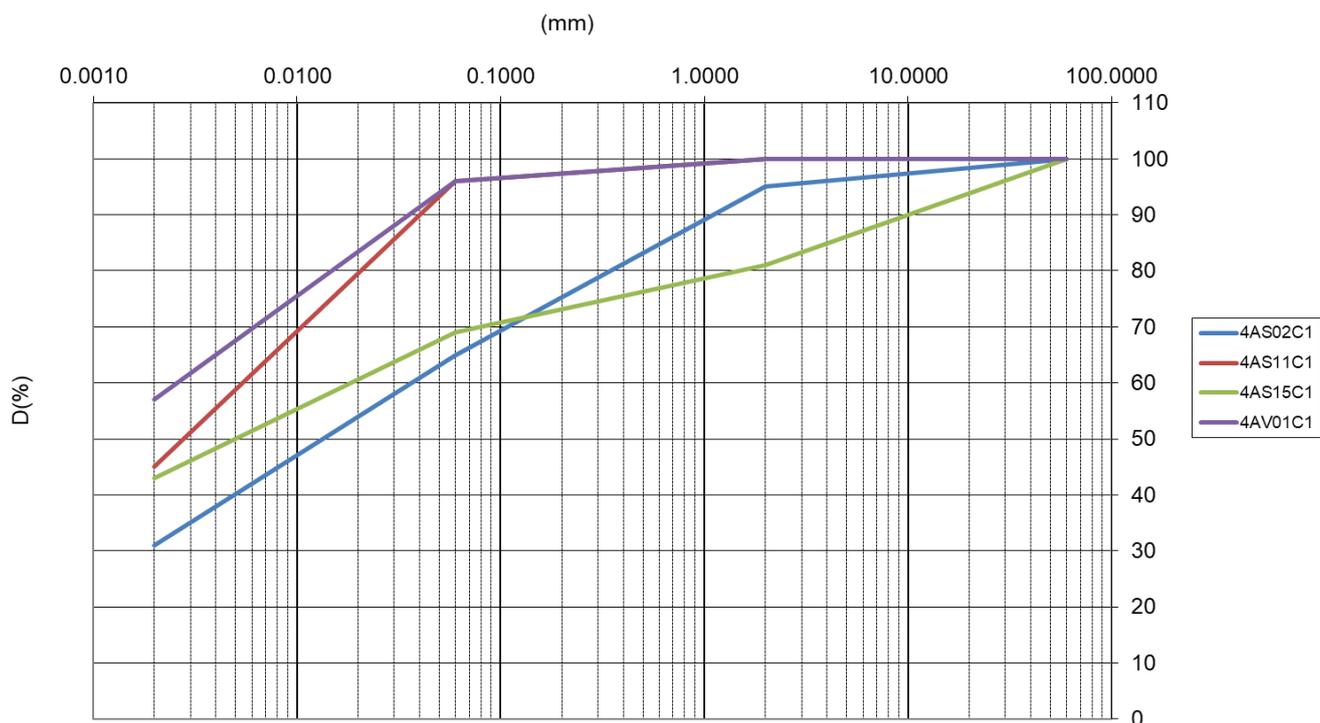


Figura 103: a2 – TRATTA 2- fuso granulometrico

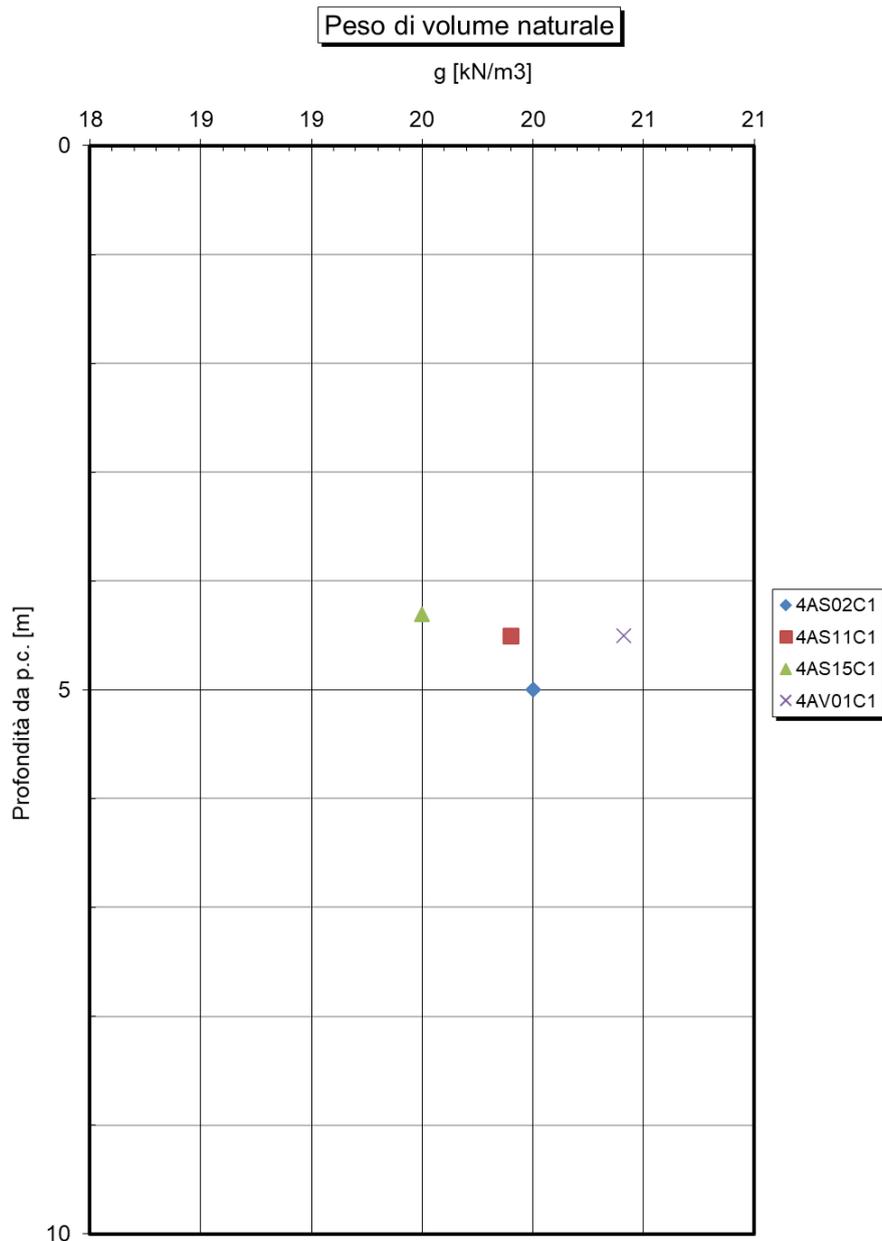


Figura 104: a2 – TRATTA 2- peso di volume naturale

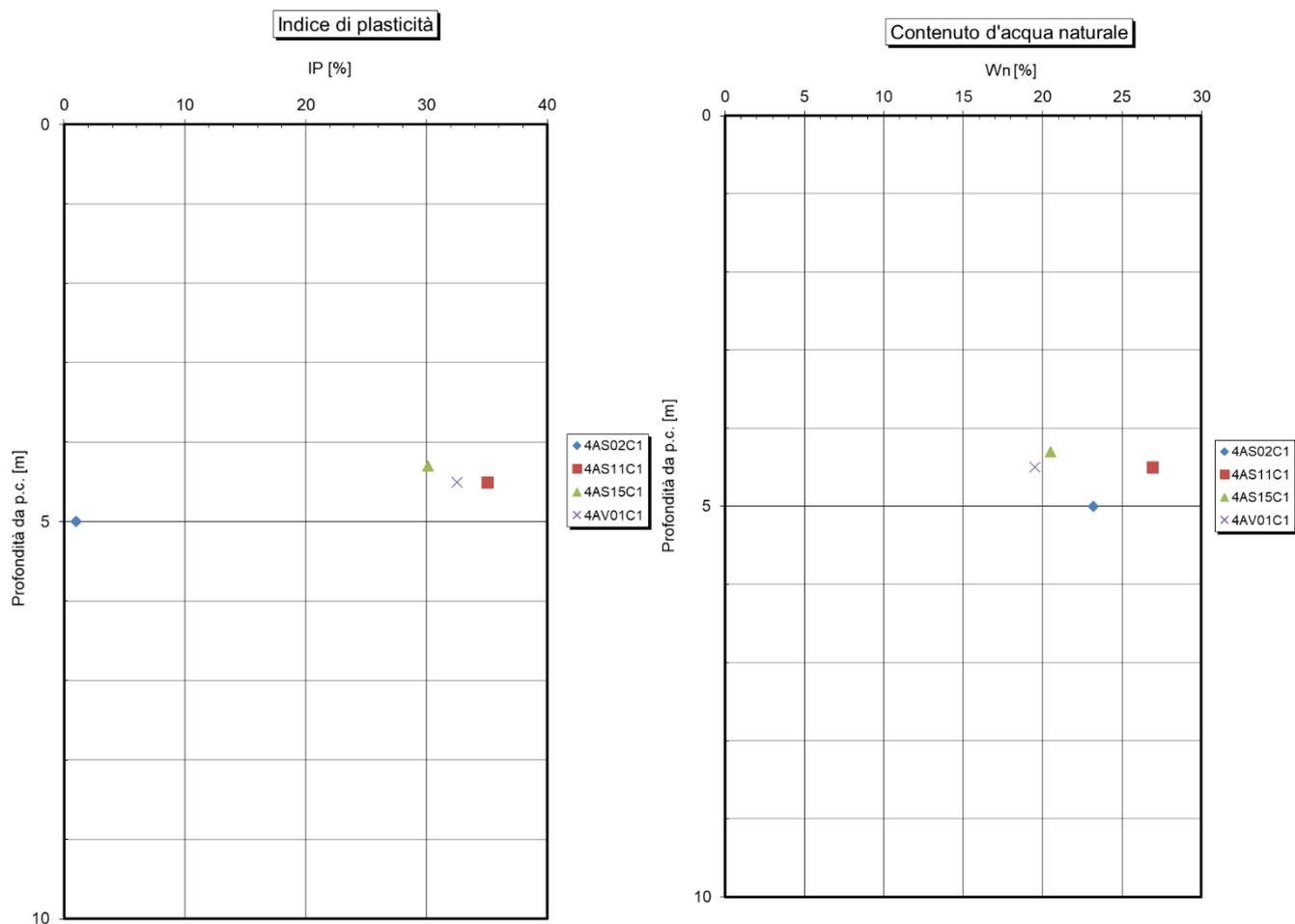


Figura 105: a2 – TRATTA 2- indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

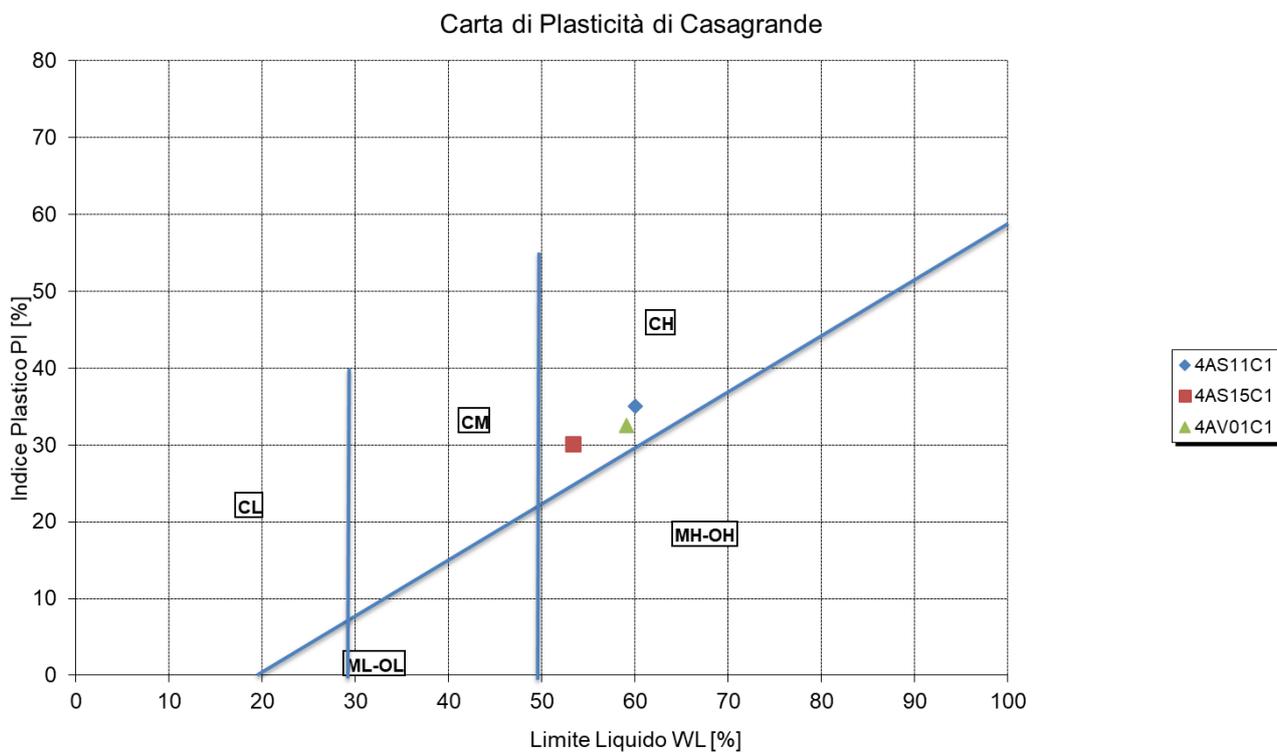


Figura 106: a2 – TRATTA 2- carta di plasticità di Casagrande

13.2.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

13.2.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

Resistenza al taglio non drenata (da prove di laboratorio)

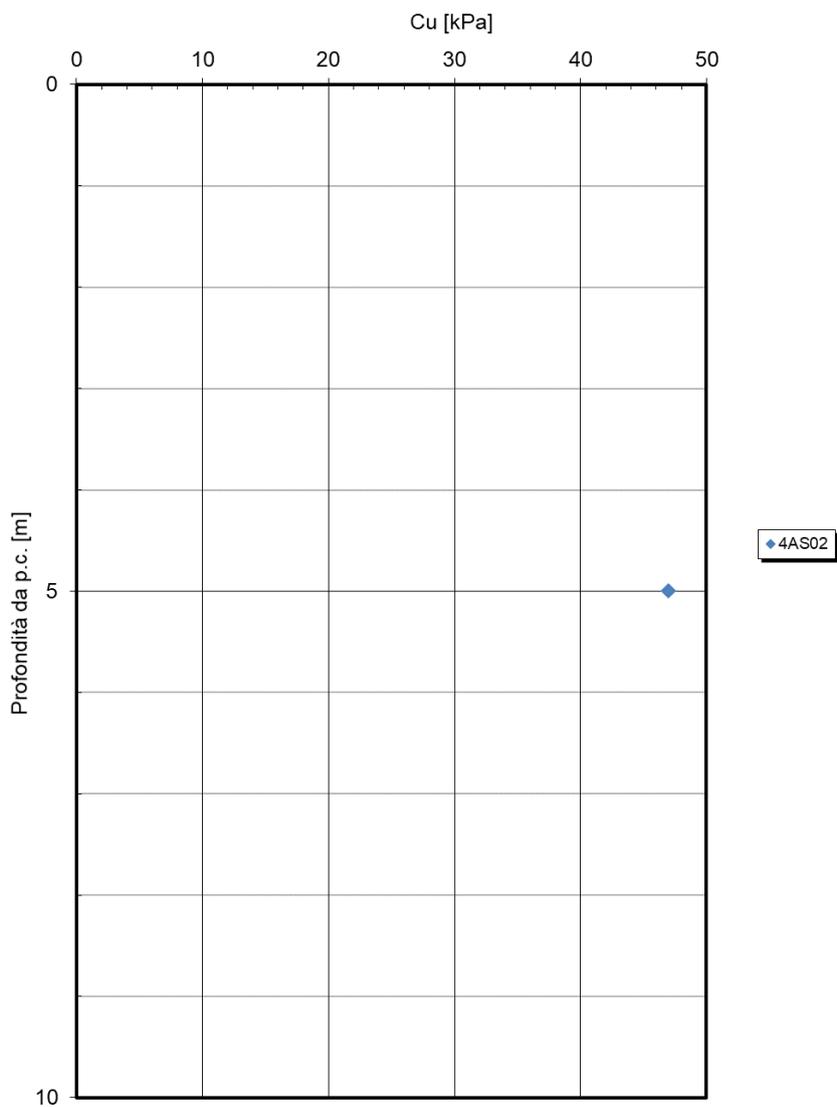


Figura 107: a2 – TRATTA 2- resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio

Coesione non drenata da prove SPT

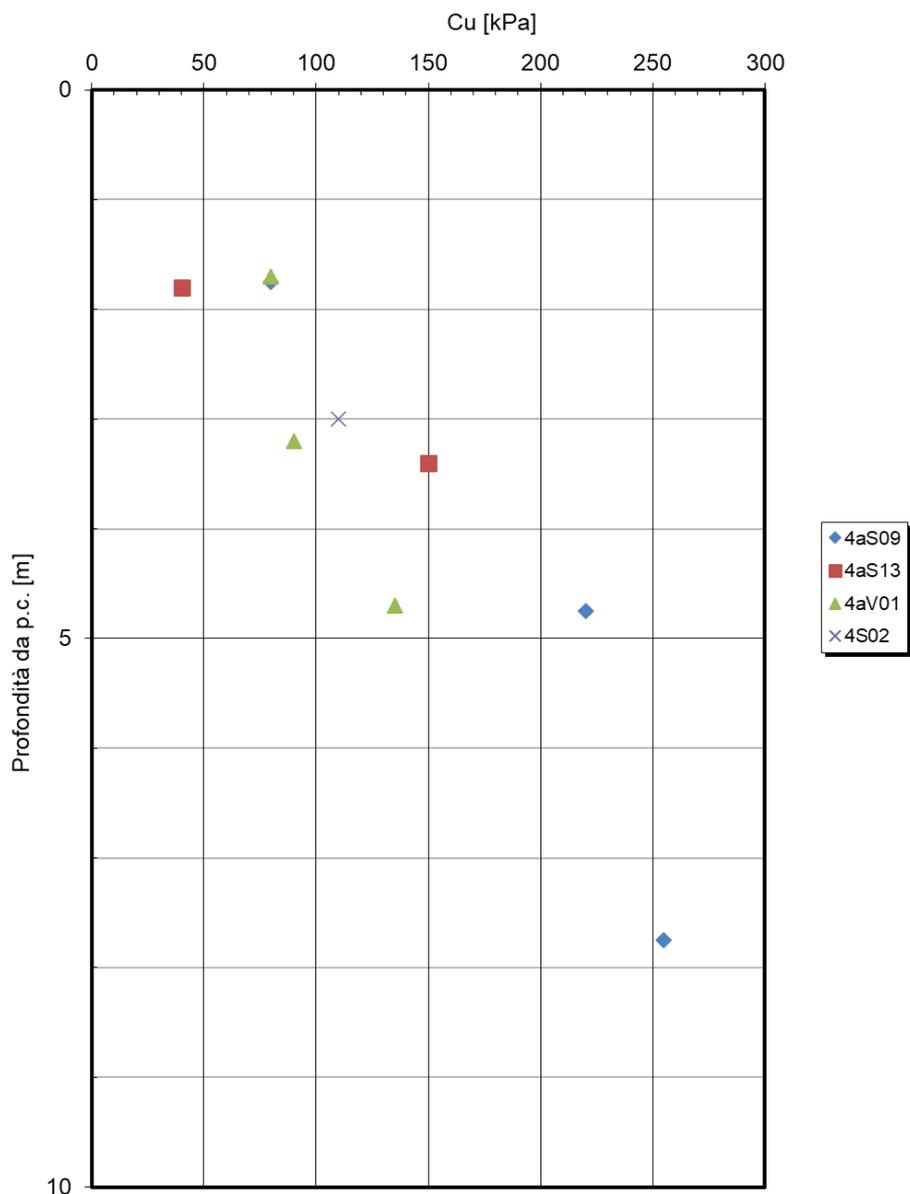


Figura 108: a2 – TRATTA 2- resistenza al taglio non drenata da prove SPT

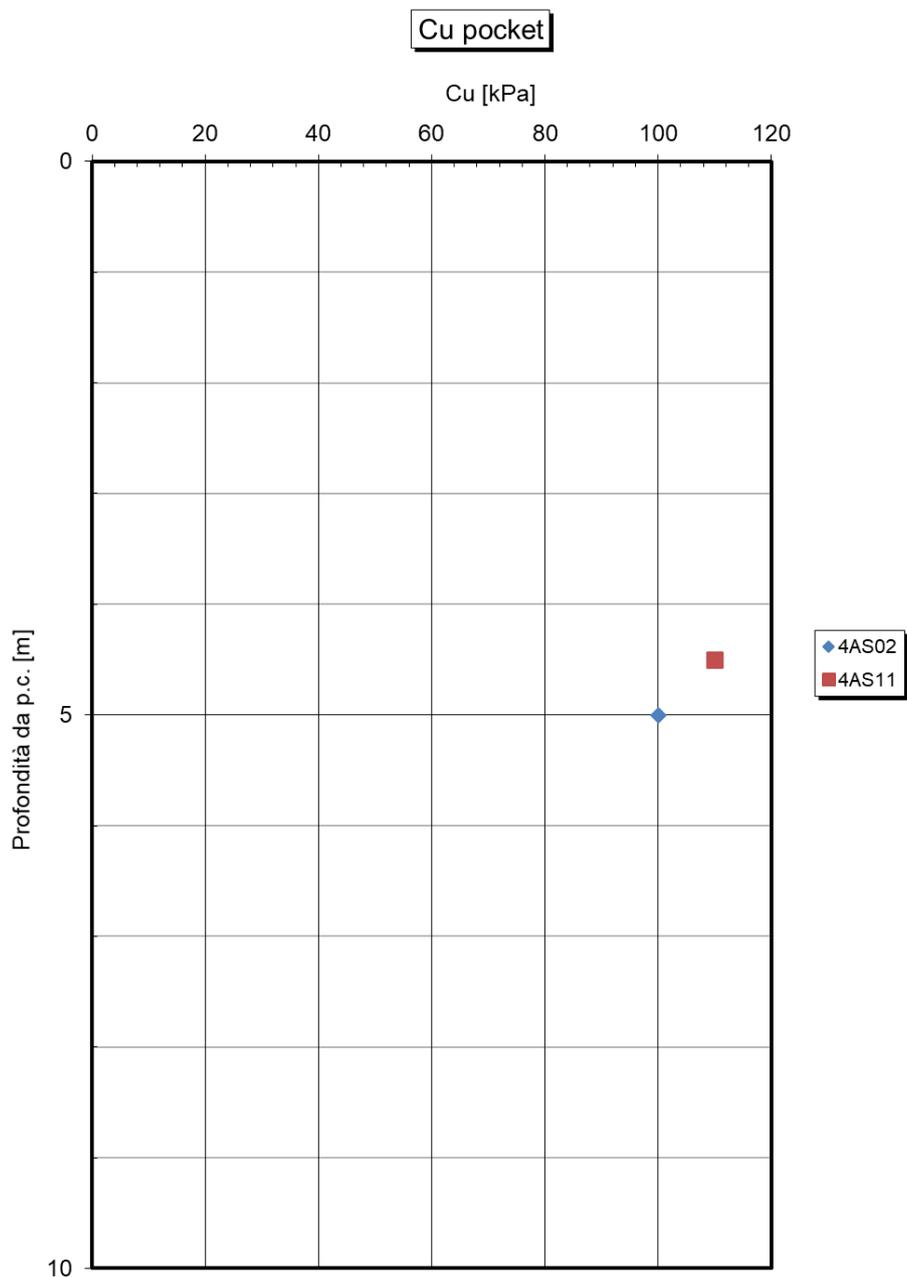


Figura 109: a2 – TRATTA 2- resistenza al taglio non drenata pocket

13.2.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

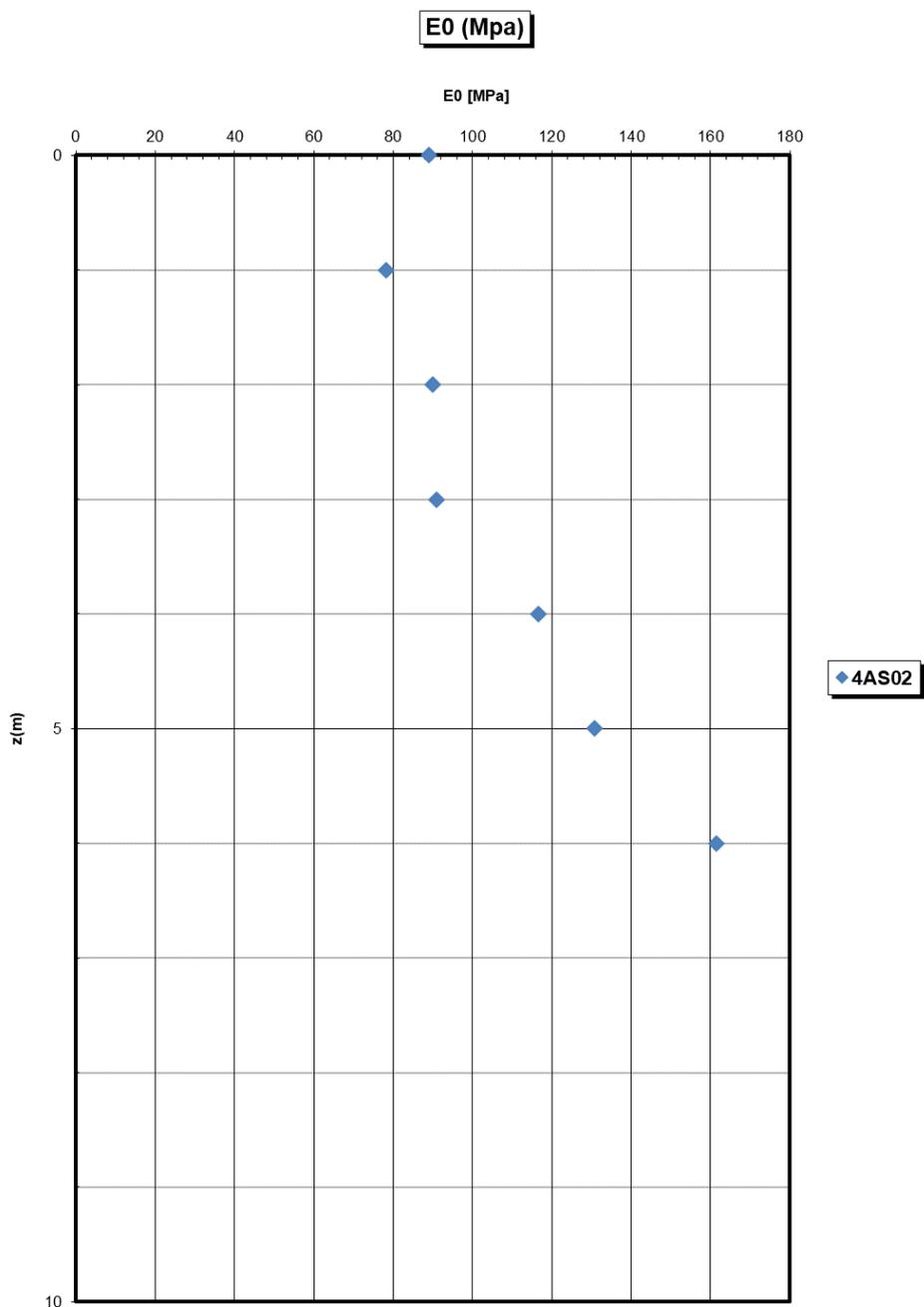


Figura 110: a2 – TRATTA 2- modulo di Young da indagini sismiche

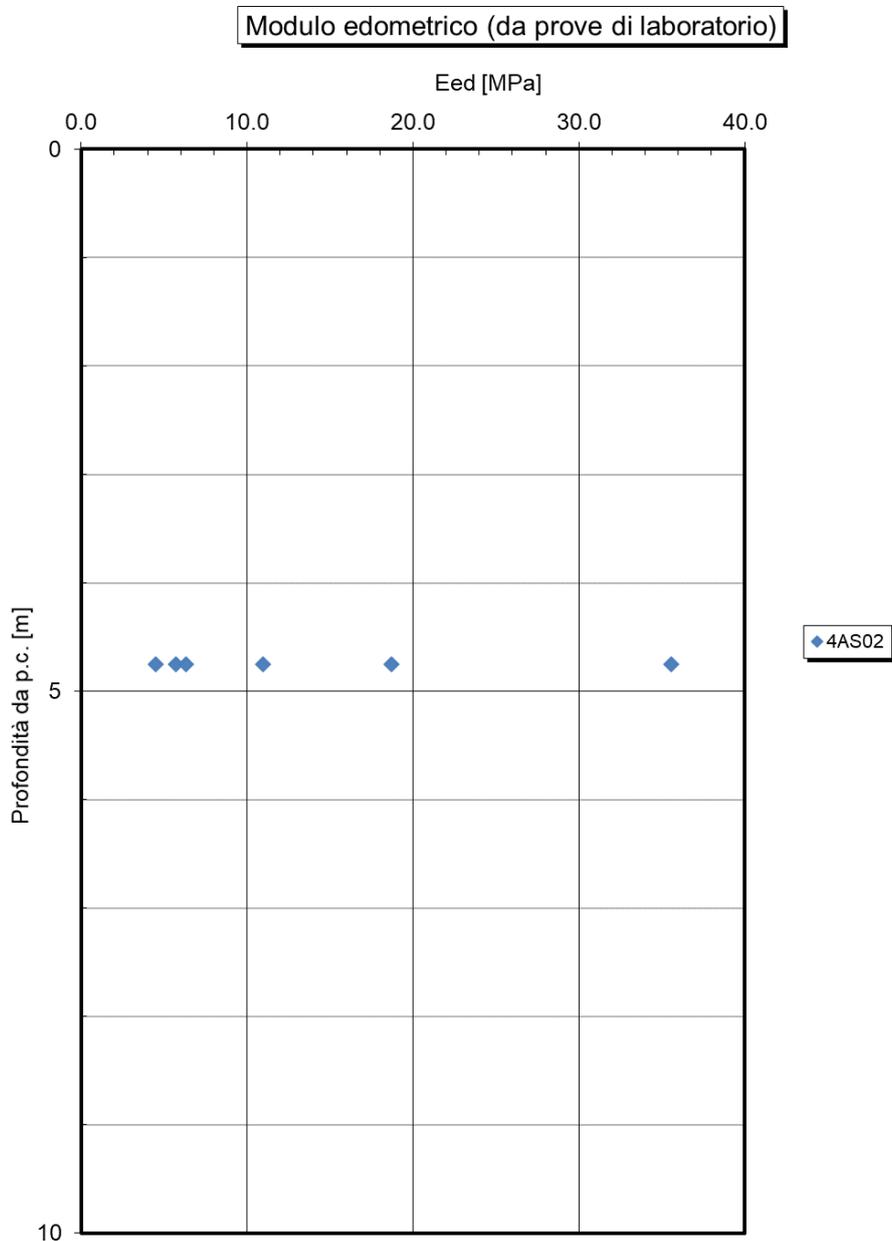


Figura 111: a2 – TRATTA 2- modulo edometrico da prove edometriche

13.2.1.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

13.2.2 TRV

13.2.2.1 Caratteristiche fisiche

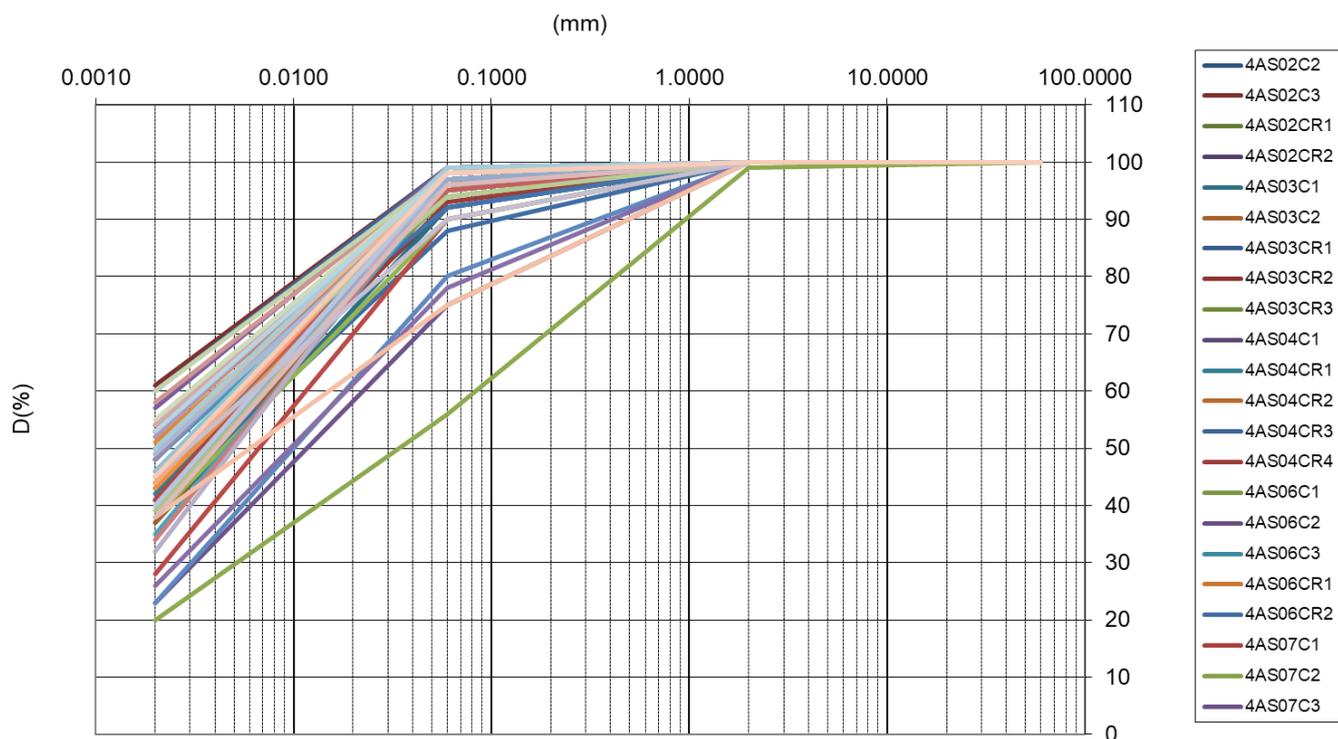


Figura 112: TRV – TRATTA 2- fuso granulometrico

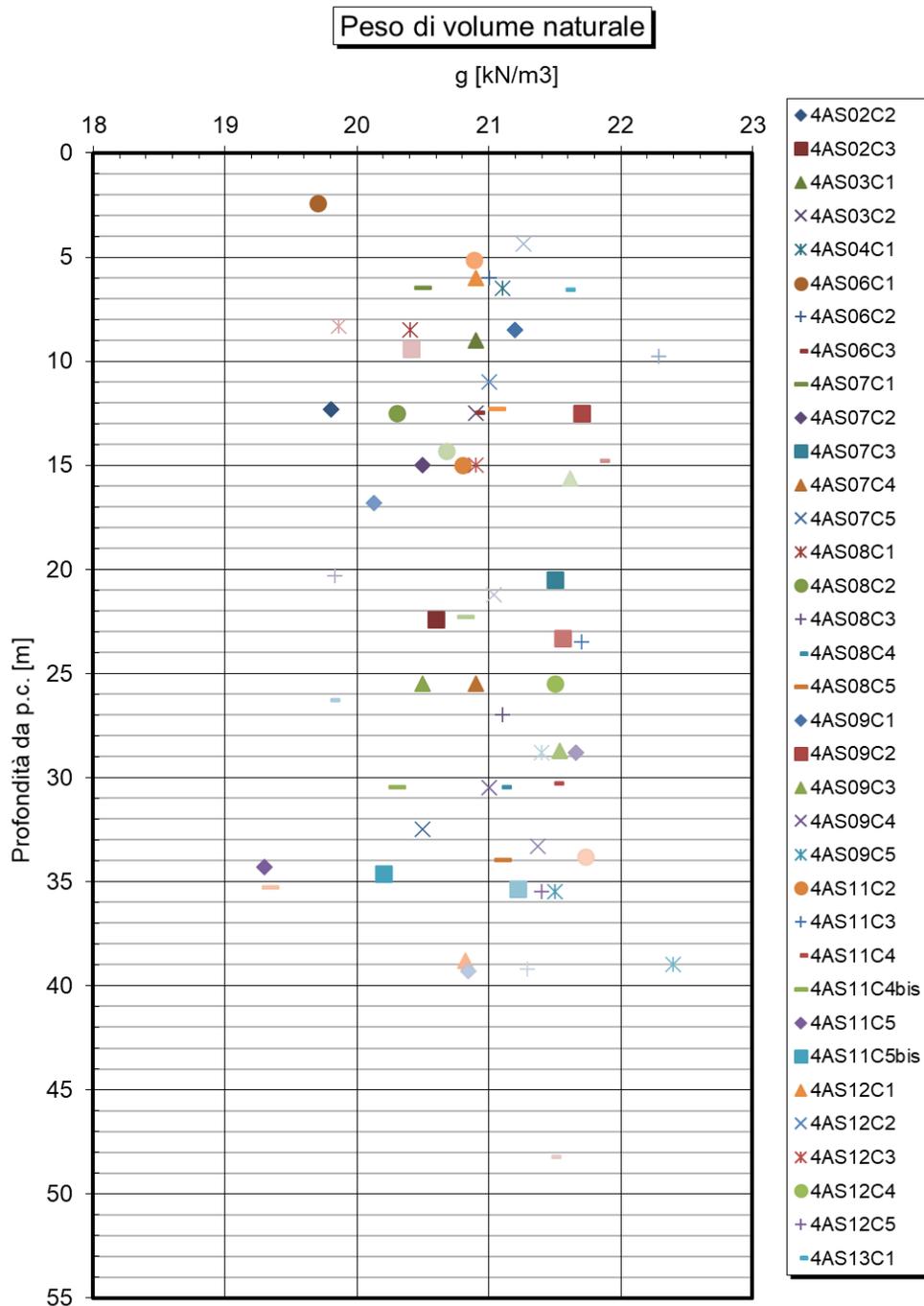


Figura 113: TRV – TRATTA 2- peso di volume naturale

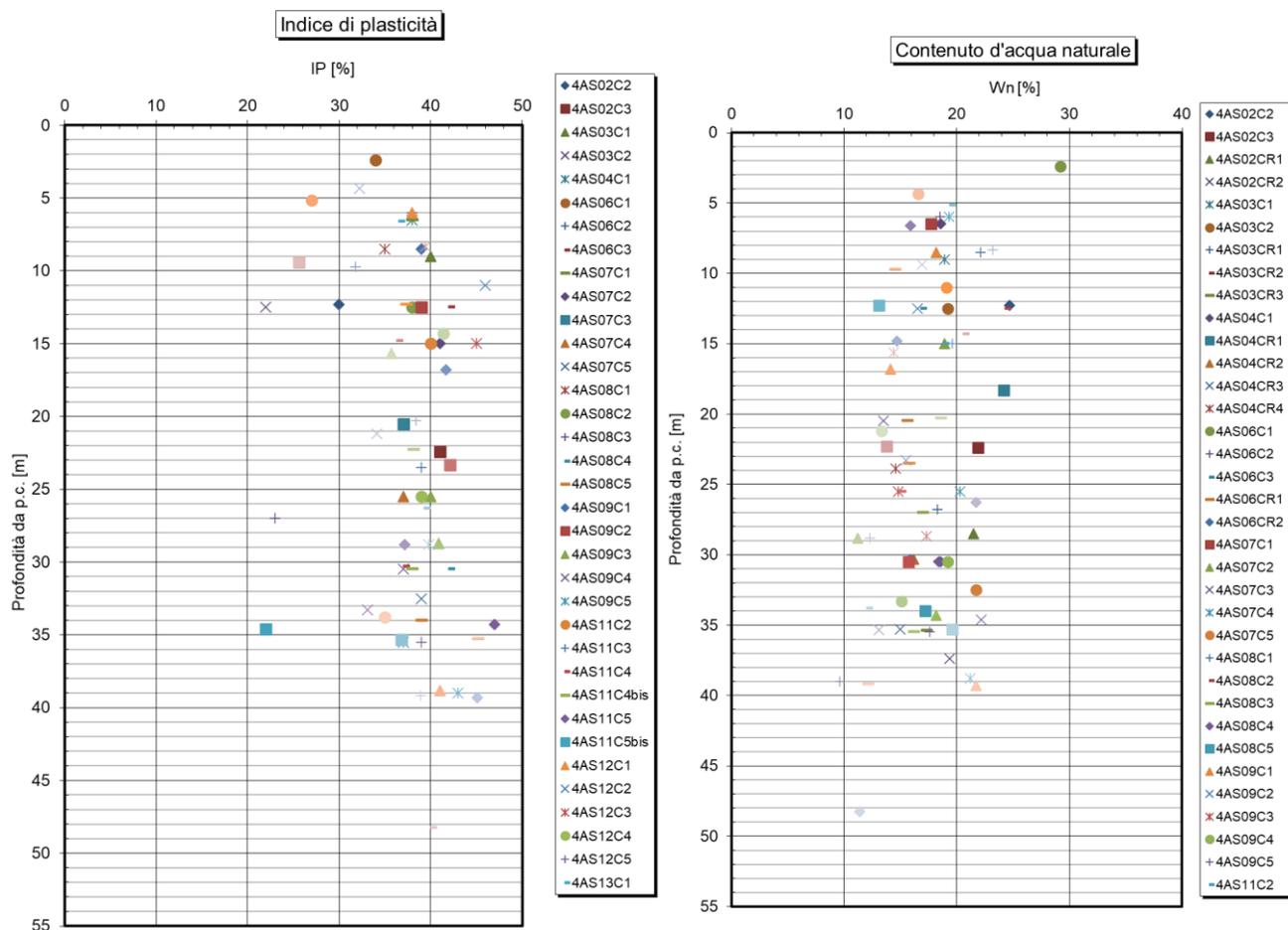


Figura 114: TRV – TRATTA 2- indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

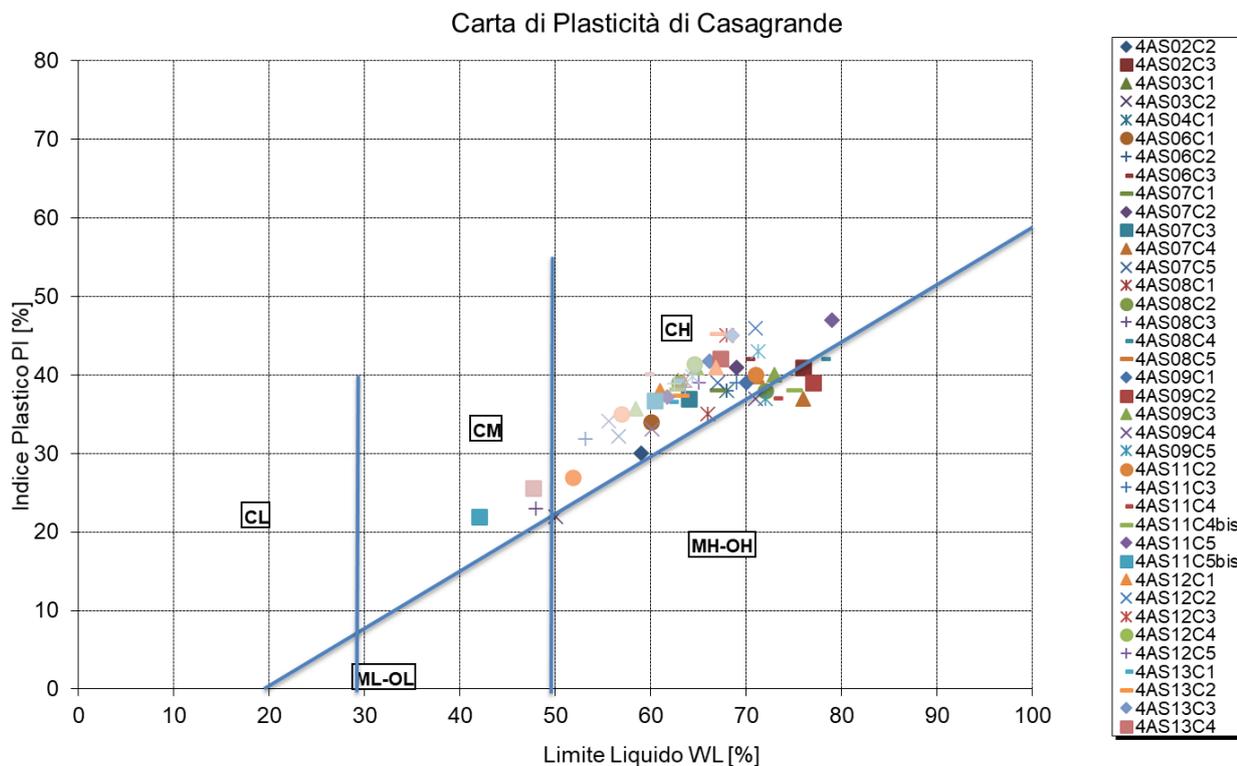


Figura 115: TRV – TRATTA 2- carta di plasticità di Casagrande

13.2.2.2 Caratteristiche di resistenza drenate

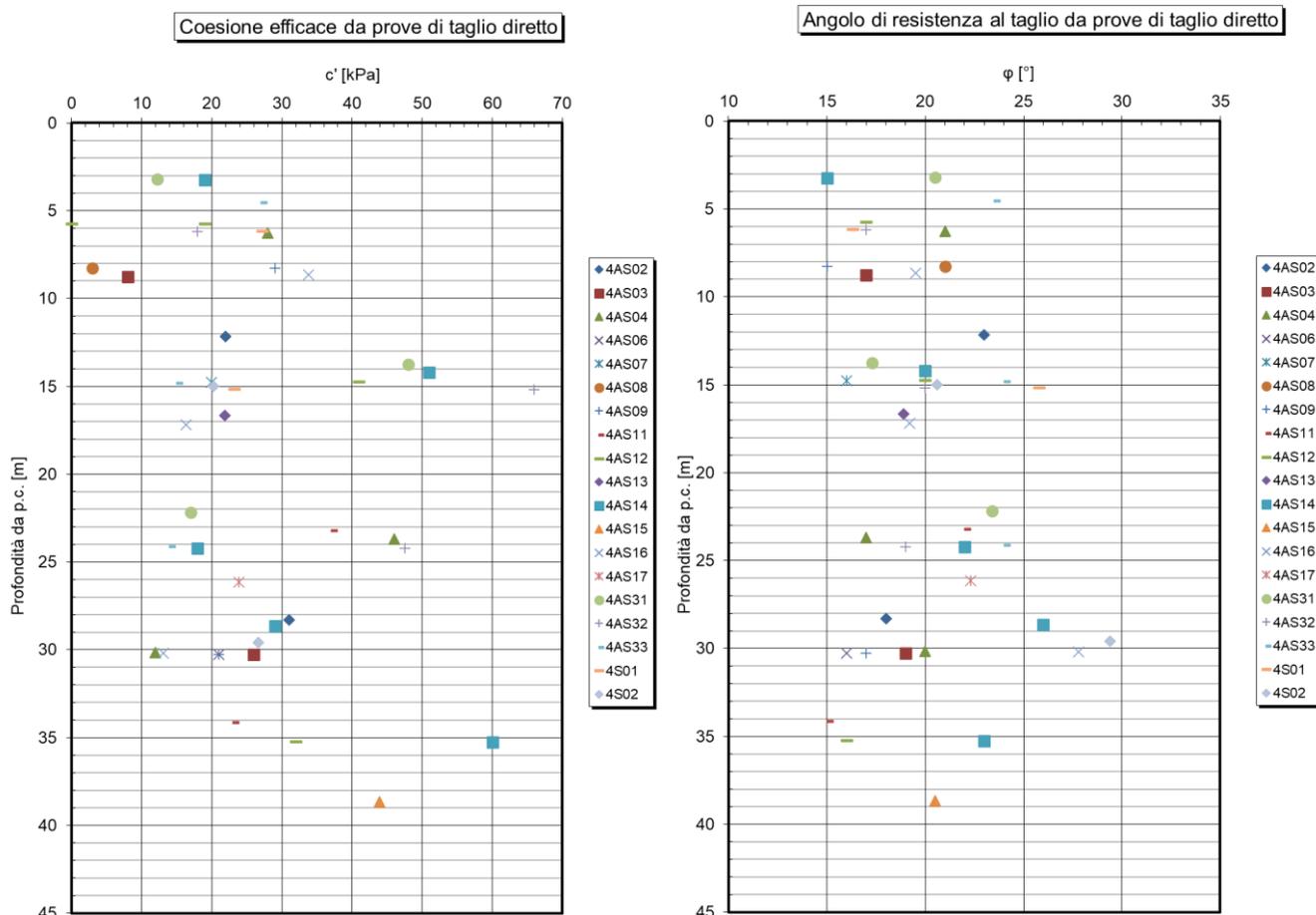


Figura 116: TRV – TRATTA 2- coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

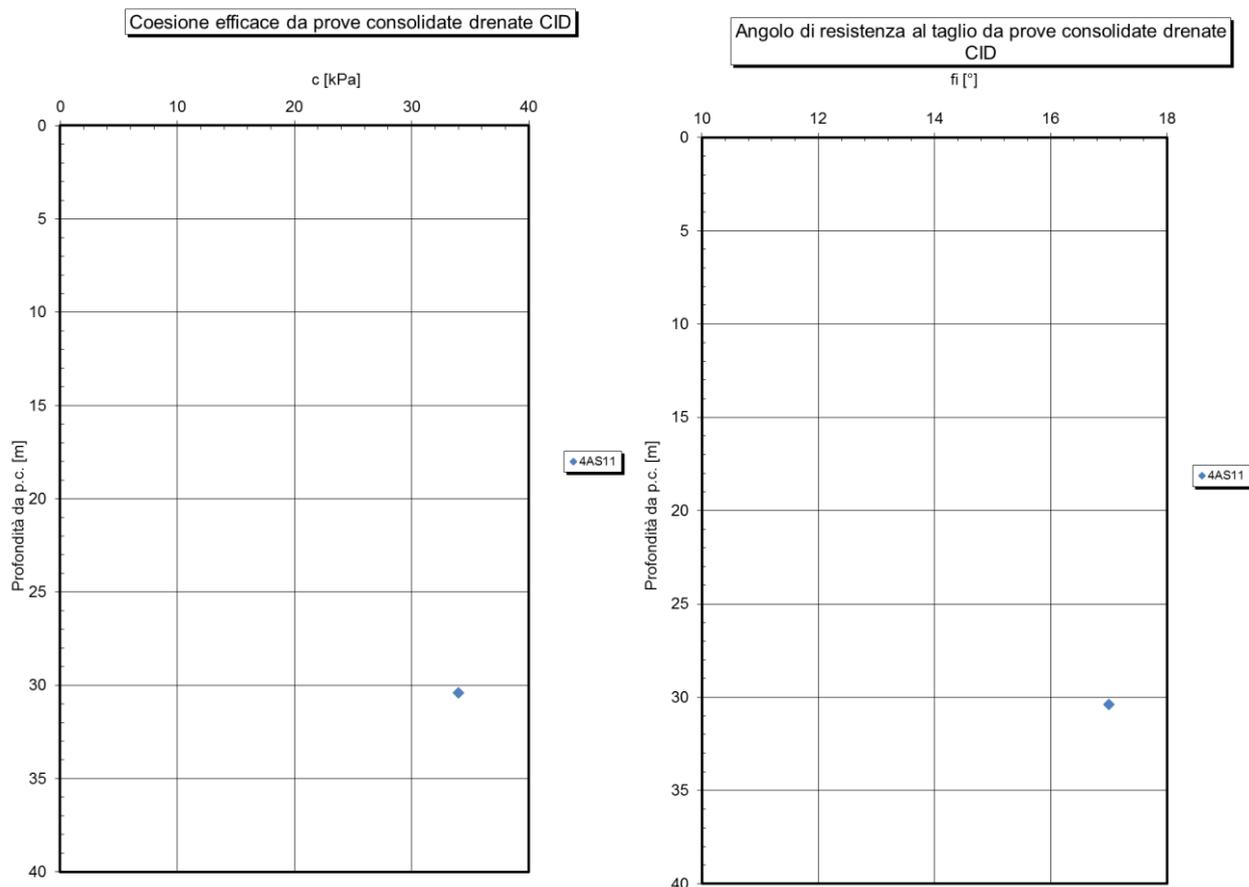


Figura 117: TRV – TRATTA 2- coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

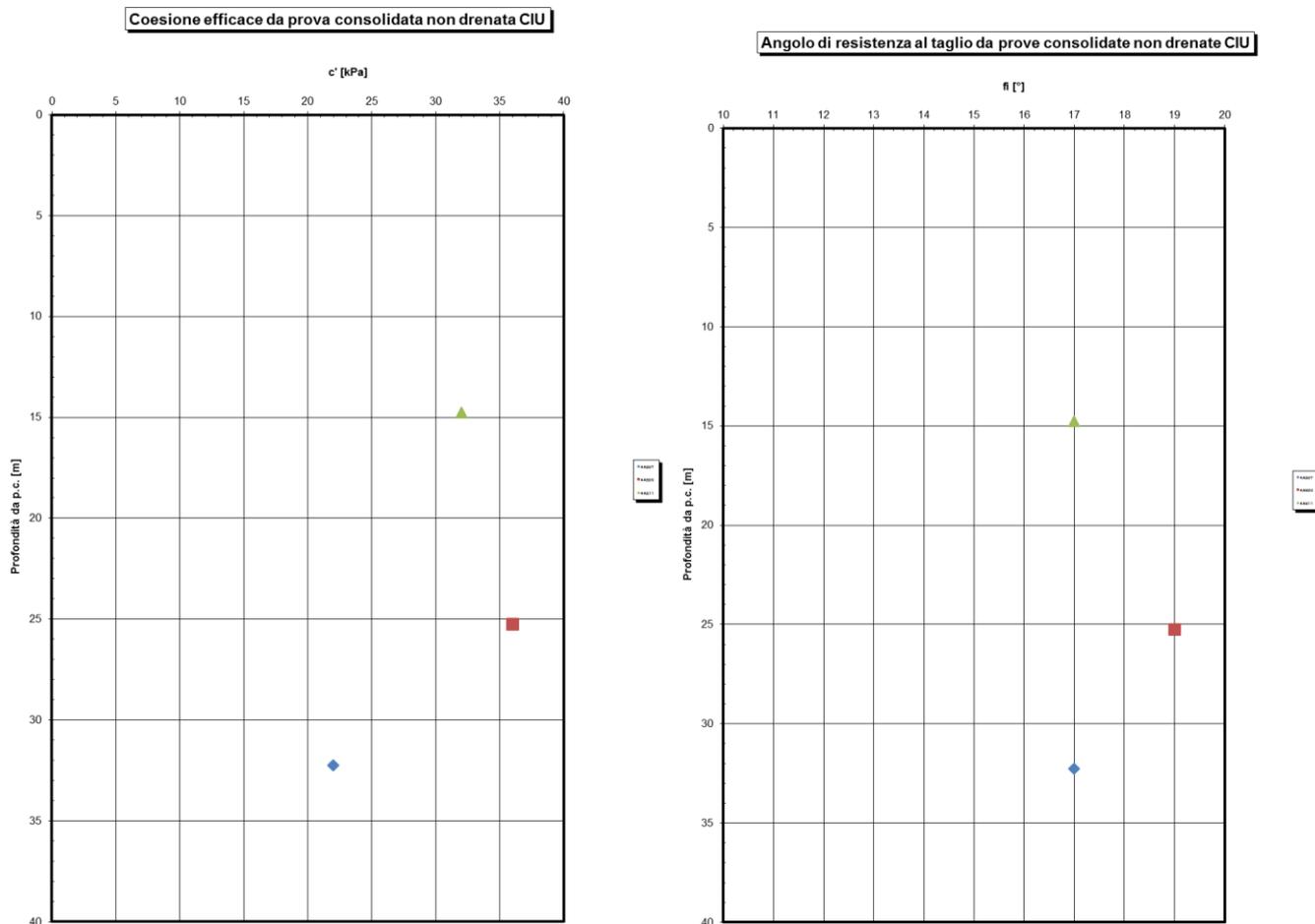


Figura 118: TRV – TRATTA 2- coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CIU

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio della Formazione “TRV”, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 21 \div 38$ kPa;
- $\varphi' = 17 \div 21$ °.

13.2.2.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

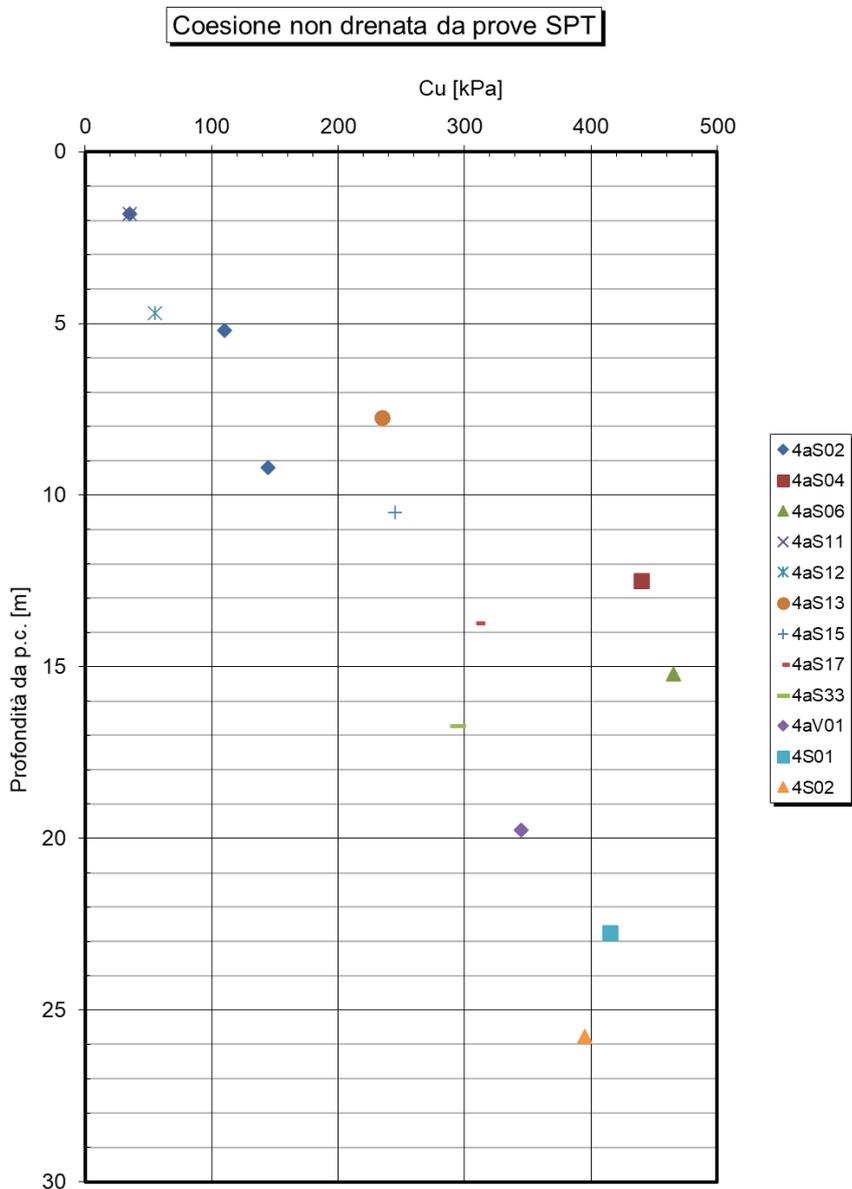


Figura 119: TRV – TRATTA 2- coesione non drenata da SPT

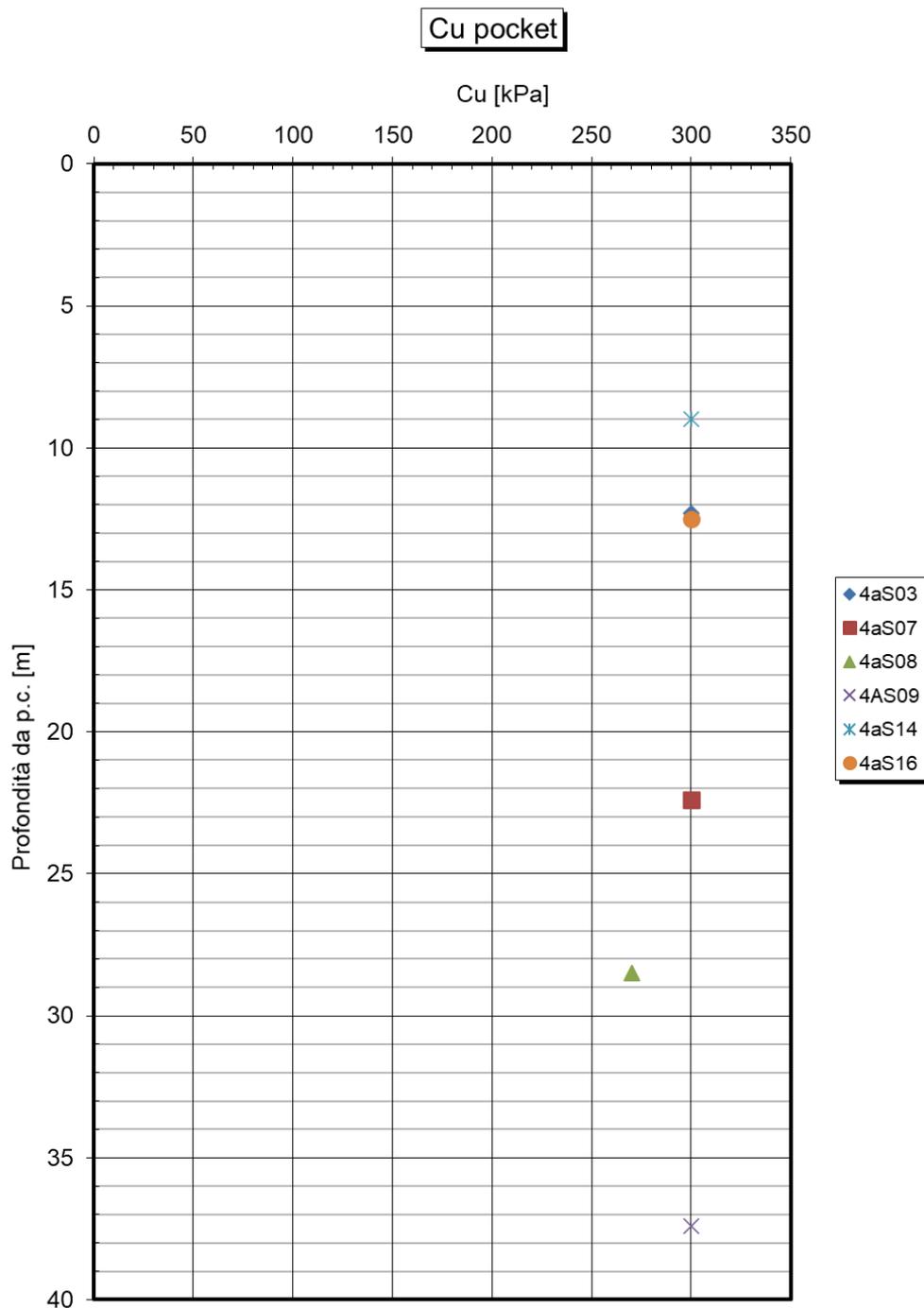


Figura 120: TRV – TRATTA 2- coesione non drenata da pocket

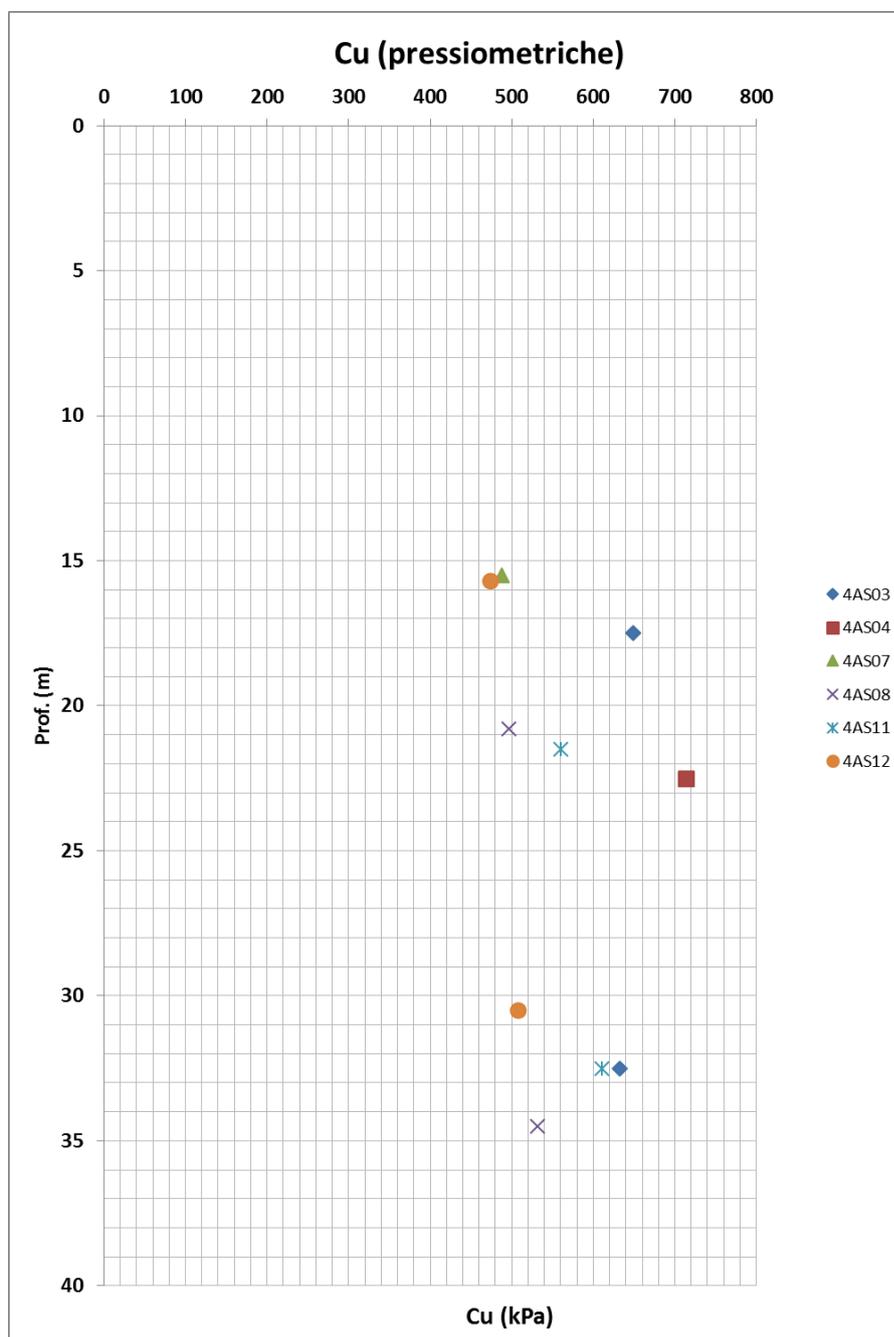


Figura 121: TRV – TRATTA 2- coesione non drenata da pressiometriche

13.2.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

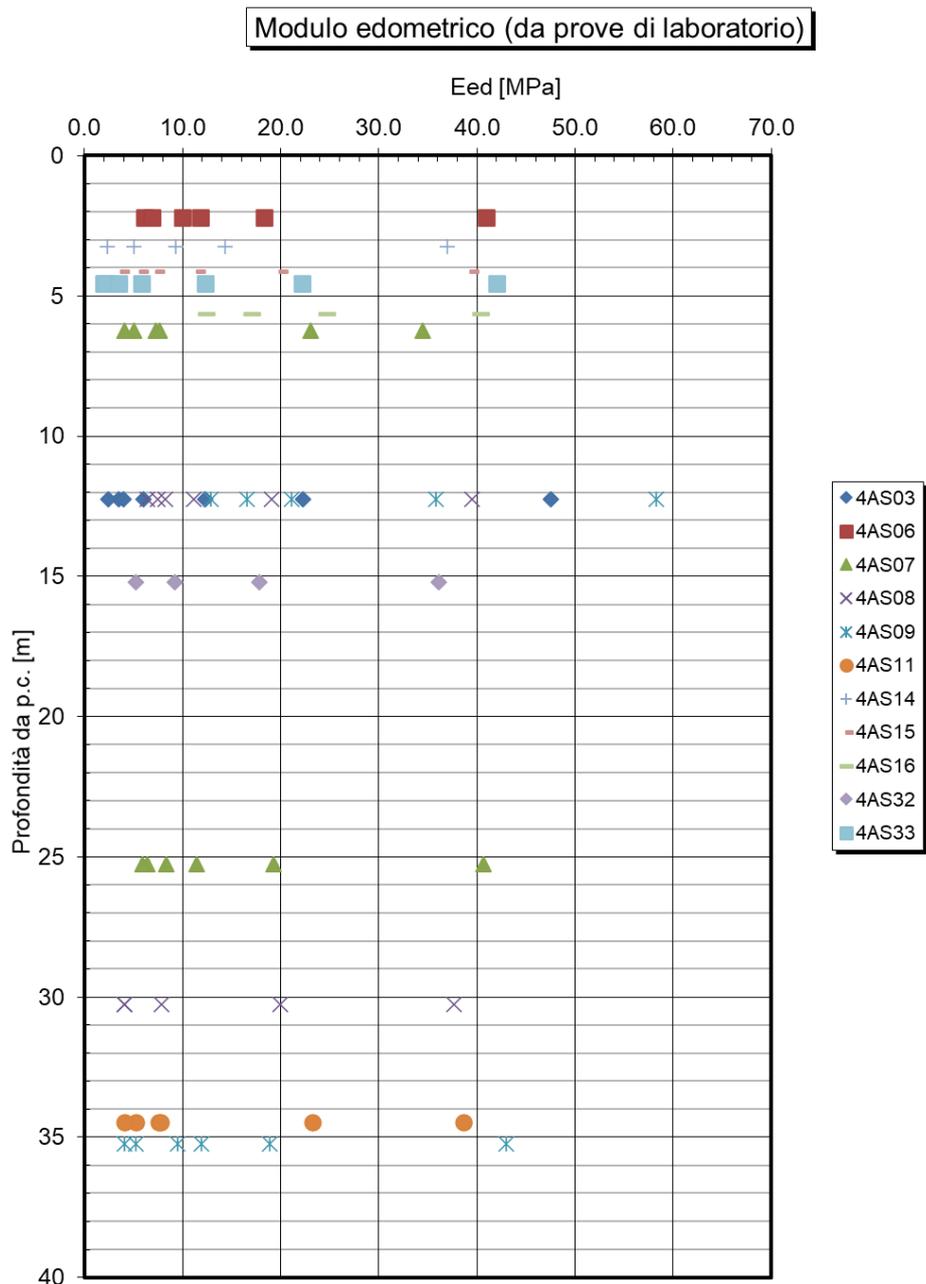


Figura 122: TRV – TRATTA 2- modulo edometrico da prove edometriche

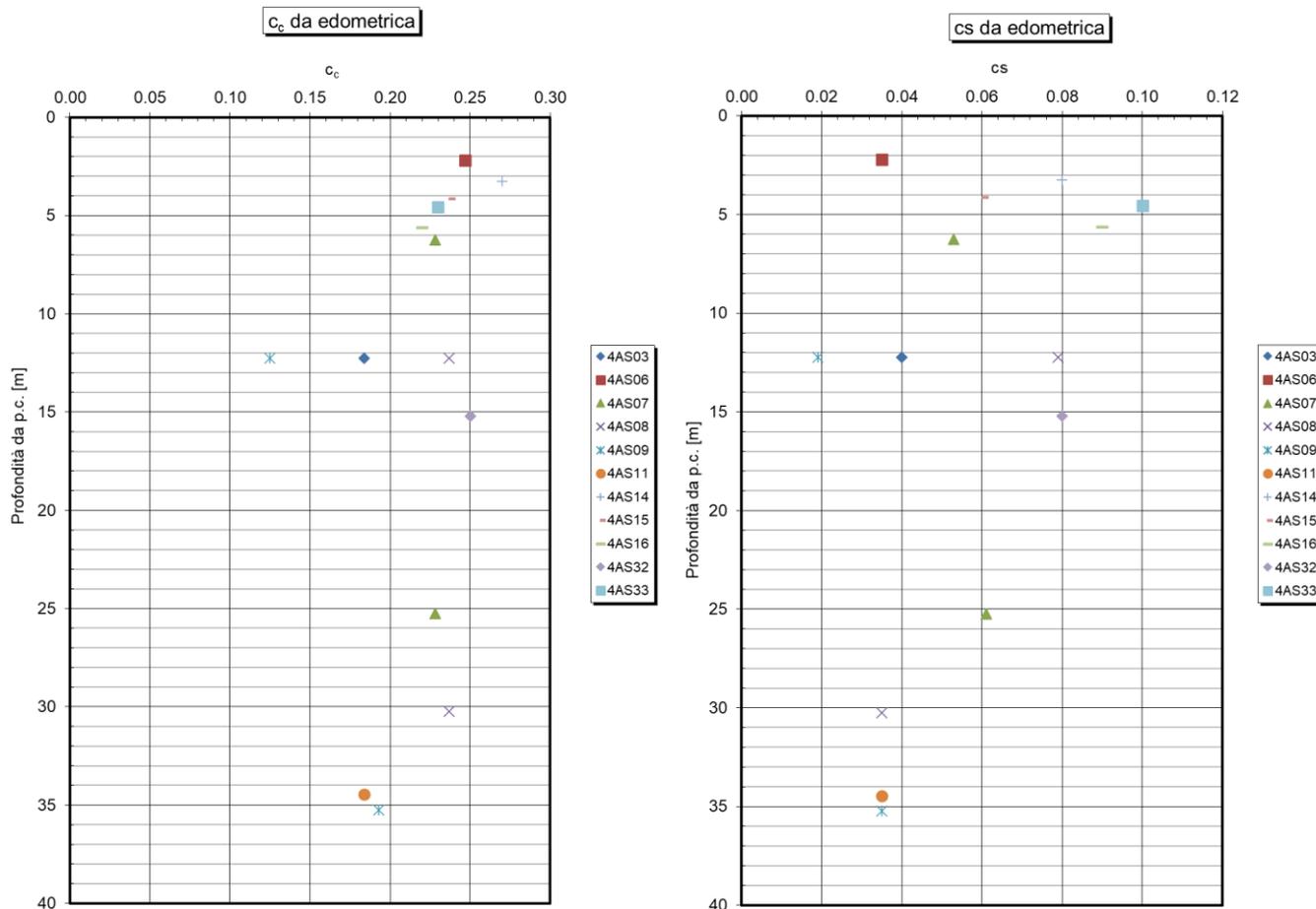


Figura 123: TRV – TRATTA 2- coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

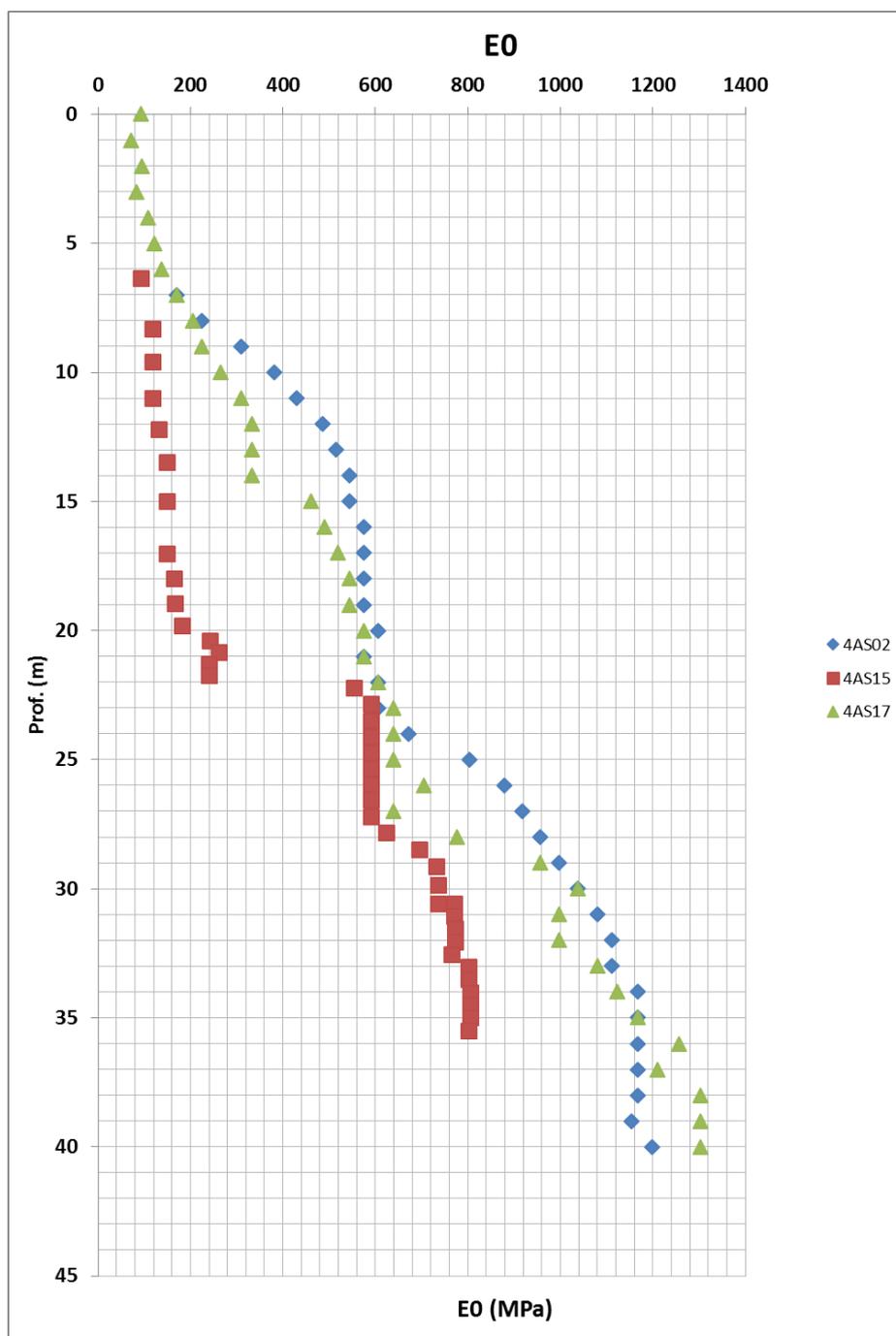


Figura 124: TRV – TRATTA 2- modulo di deformabilità da sismiche

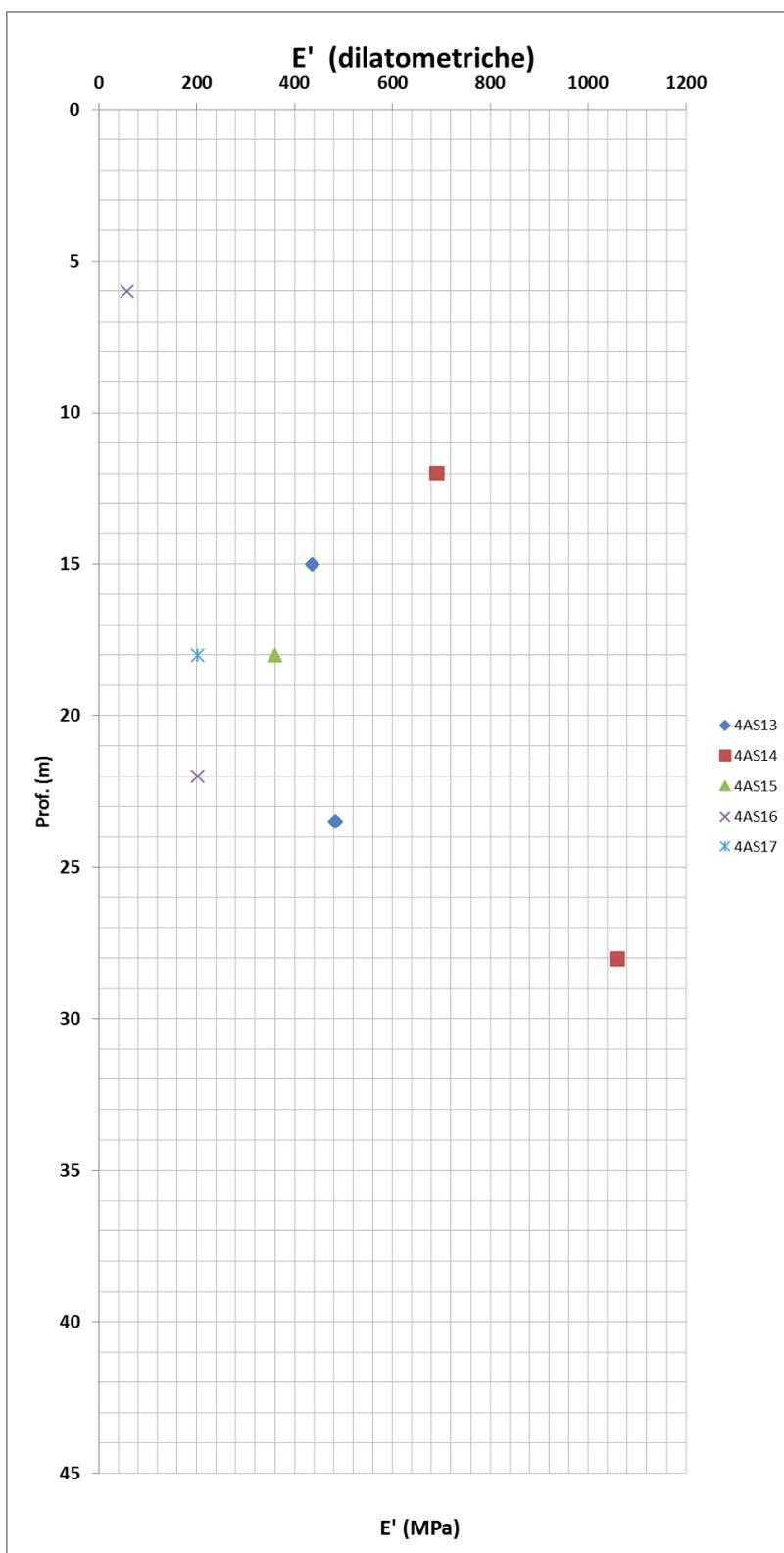


Figura 125: TRV – TRATTA 2- modulo di deformabilità da dilatometriche

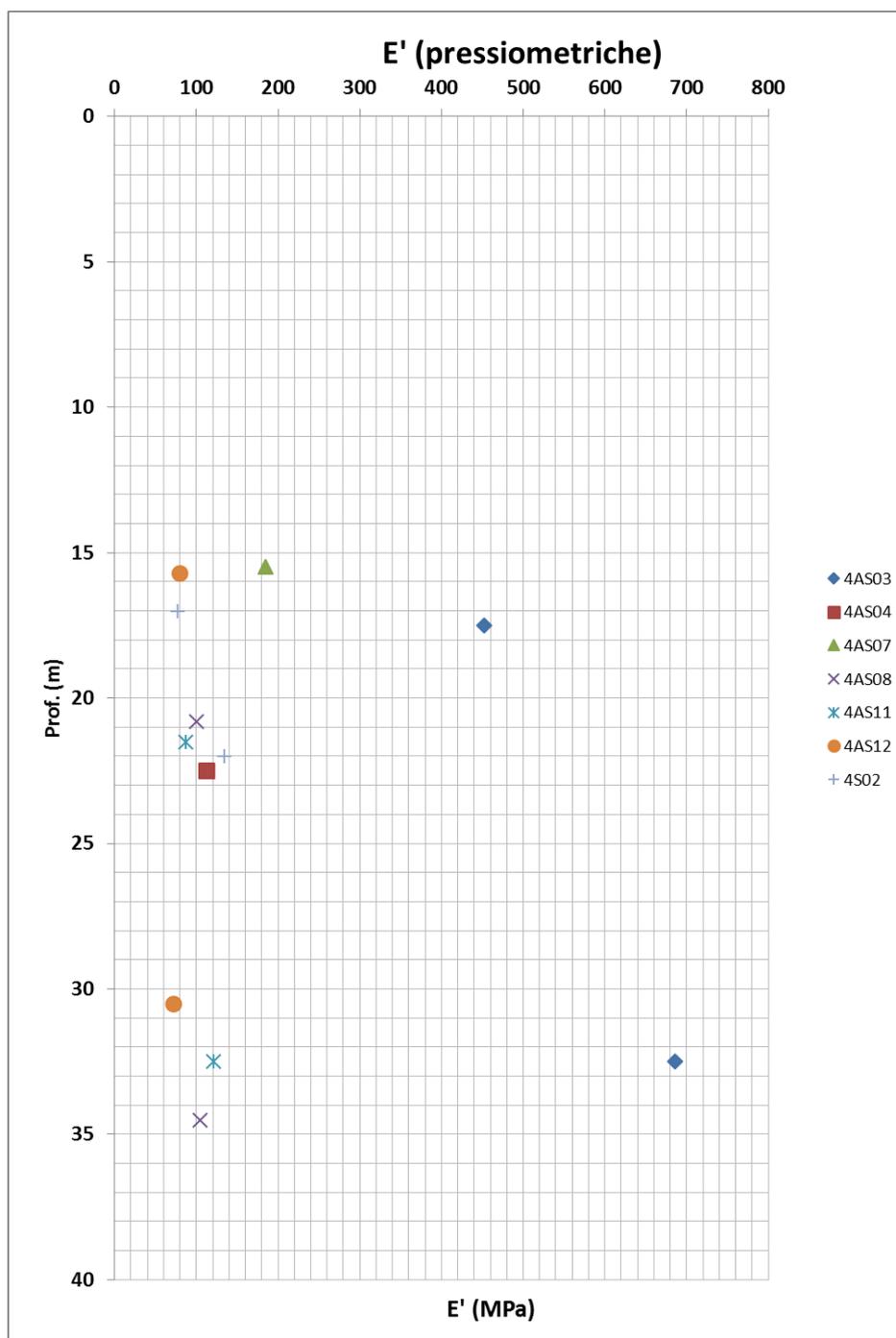


Figura 126: TRV – TRATTA 2- modulo di deformabilità da pressiometriche

13.2.2.5 Caratteristiche di permeabilità

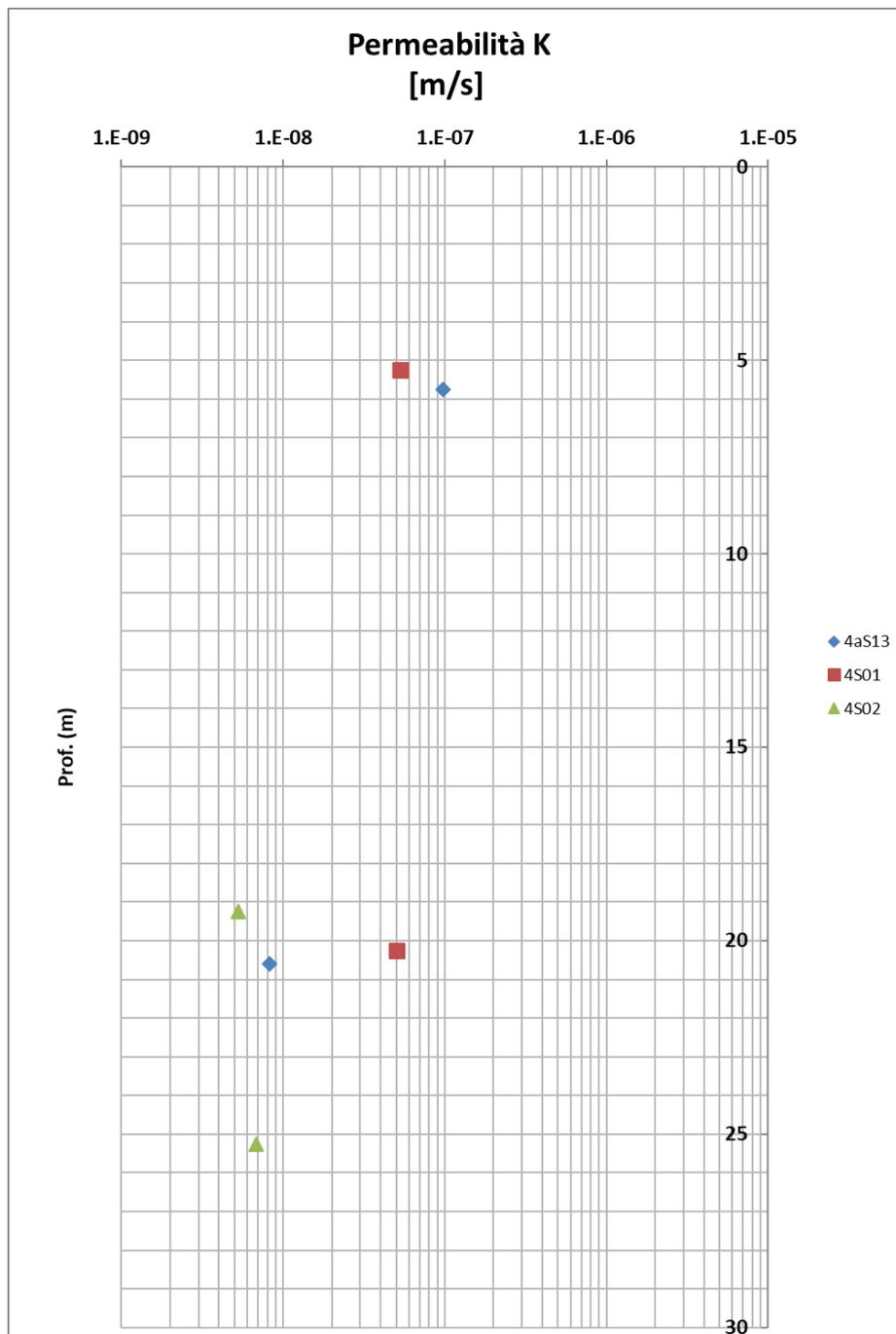


Figura 127: TRV – TRATTA 2- permeabilità da prove in situ

13.2.3 Parametri geotecnici caratteristici – tratta 2

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta.

descrizione	COLTRE (0-3M)	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRV
GRUPPO GEOTECNICO	C	a2	TRV (Facies argillosa)
γ (kN/m ³)	18-20	18-20	20-22
Dr(%)			
c' (kPa)	0-5	11 - 30	z=0-40m 21 - 38
c'res (kPa)	0		
ϕ' (°)picco	25-15	29 - 20	z=0-40m 21 - 17
ϕ' cv(°)			
ϕ' res(°)	10-15		10-15
Cu (kPa)		50-100	z 0-40m 100-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	50-100	z=0-11m 75-150	z=0-40m 100-1000
E'op (MPa)			z=0-40 30-300
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR		z=0-10m 1,5-1	z 0-40m 4-1
Eed(MPa)		2-40	2-40
Cc		0,03-0,2	0,1-0,25
Cs		0,01-0,08	0,02-0,08
Cv		1e-6-1e-8	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per i viadotti e gallerie artificiali è stato comunque effettuata una caratterizzazione specifica, laddove possibile, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nelle tabelle sottostanti.

13.2.3.1 VIADOTTO VI02

sondaggi riferimento	Falda	Falda progetto	Cat. Sism	n. verticali per pali	VI02 da 1+121,87 a fine viadotto													
	2m pc	testa palo	C		zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
4aS04 - 4aS06	a2			2	0	5	20		10	30		20	50				20000	
	TRV				5	40	20		20	20			200				80000	

Tabella 8: parametri geotecnici viadotto VI02

13.2.3.2 VIADOTTO VI03

sondaggi riferimento	Falda	Cat. Sism	VI03 da 1+657 a 1+794 e da 1+841 a 1+961																
	3 - 10 m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)			
4aS31 - 4aS1 - 4aS07 - 4aS08 - 4aS09	TRV		3	40	20		37	17		100	200				80000	2.67E-07			

Tabella 9: parametri geotecnici viadotto VI03-1

sondaggi riferimento	Falda	Cat. Sism	VI03 da 1+794 a 1+841																
	1 - 2 m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)			
4aS31 - 4aS1 - 4aS07 - 4aS08 - 4aS09	a2		0	2	20		10	30			75				30000	*			
	TRV		2	40	20		37	17		100	200				80000	2.67E-07			

Tabella 10: parametri geotecnici viadotto VI03-2

sondaggi riferimento	Falda	Cat. Sism	VI03 da 1+961 a 1+978																
	20 m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)			
4aS31 - 4aS1 - 4aS07 - 4aS08 - 4aS09	a2		0	4	20		10	30			75				30000	*			
	TRV		4	40	20		37	17		100	200				80000	2.67E-07			

Tabella 11: parametri geotecnici viadotto VI03-3

13.2.3.3 VIADOTTO VI04

sondaggi riferimento 4aS11	Falda	Cat. Sism	VI04 da 1+995 a 2+047													
	10m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
			a2	0	9	20		10	30		75				30000	1.16E-06
			TRV	9	40	20		20	20		200				80000	*

Tabella 12: parametri geotecnici viadotto VI04-1

sondaggi riferimento 4aS11	Falda	Cat. Sism	VI04 da 2+047 a 2+089													
	10m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
			a		*	*	*	*		*						*
			TRV	9	40	20		20	20		200				80000	*

Tabella 13: parametri geotecnici viadotto VI04-2

sondaggi riferimento 4aS11	Falda	Cat. Sism	VI04 da 2+089 a 2+150													
	10m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
			TRV	9	40	20		20	20		200				80000	*

Tabella 14: parametri geotecnici viadotto VI04-3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13.2.3.4 VIADOTTO VI05

sondaggi riferimento	Falda a pc	Cat. Sism C	VI05 da 2+912 a 2+9782 e da 3+072 a 3+488													
			zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)	
4aS14, 4aS15, 4AS16, 4AS17		TRV	1 - 4m	40	*	*	20	24				75			30000	7.94E-08

Tabella 15: parametri geotecnici viadotto VI05-1

sondaggi riferimento	Falda a pc	Cat. Sism B/C	VI05 da 2+979 a 3+072													
			zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)	
4aS14, 4aS15, 4AS16, 4AS17		a	0	5	*	*	*	*			*					*
		TRV	5	40	*	*	20	24			20	75			30000	7.94E-08

Tabella 16: parametri geotecnici viadotto VI05-2

(*) si rimanda alla caratterizzazione generale.

13.2.3.5 GA01

GA01 (lotto 4a)	pk	2+285	2+839	TRATTA	2
U.G.	Distanza da p.c.	γ	c'	ϕ'	Eop
[-]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
C	0-3.0	19	0	20	15
TRV	2.0-40	21	29	19	165
falda a -2.15 m					

Tabella 17: parametri geotecnici GA01

ϕ'

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 219 di 379</p>

13.3 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 3 (da pk 4+108 a pk 6+468)

Per la caratterizzazione di questa tratta si rimanda agli elaborati specifici della GN Monte Stretto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13.4 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 4 (da pk 6+468 a pk 7+702)

La tratta 4 è interessata dalla presenza della Formazione a, a2, TRV e TRVa. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

Di seguito sono riportate in tabella le WBS e le relative opere da realizzare nella tratta in esame (da pk 6+468 a pk 7+702).

WBS	OPERA
RI10	RILEVATO
VI06	VIADOTTO
RI11	RILEVATO
TR08	TRINCEA
TR09	TRINCEA

WBS viabilità	NV93; NV94
---------------	------------

Tabella 18: Tratta 4 - Rispettivamente WBS con relative opere tratta con viabilità

13.4.1 a

13.4.1.1 Caratteristiche fisiche

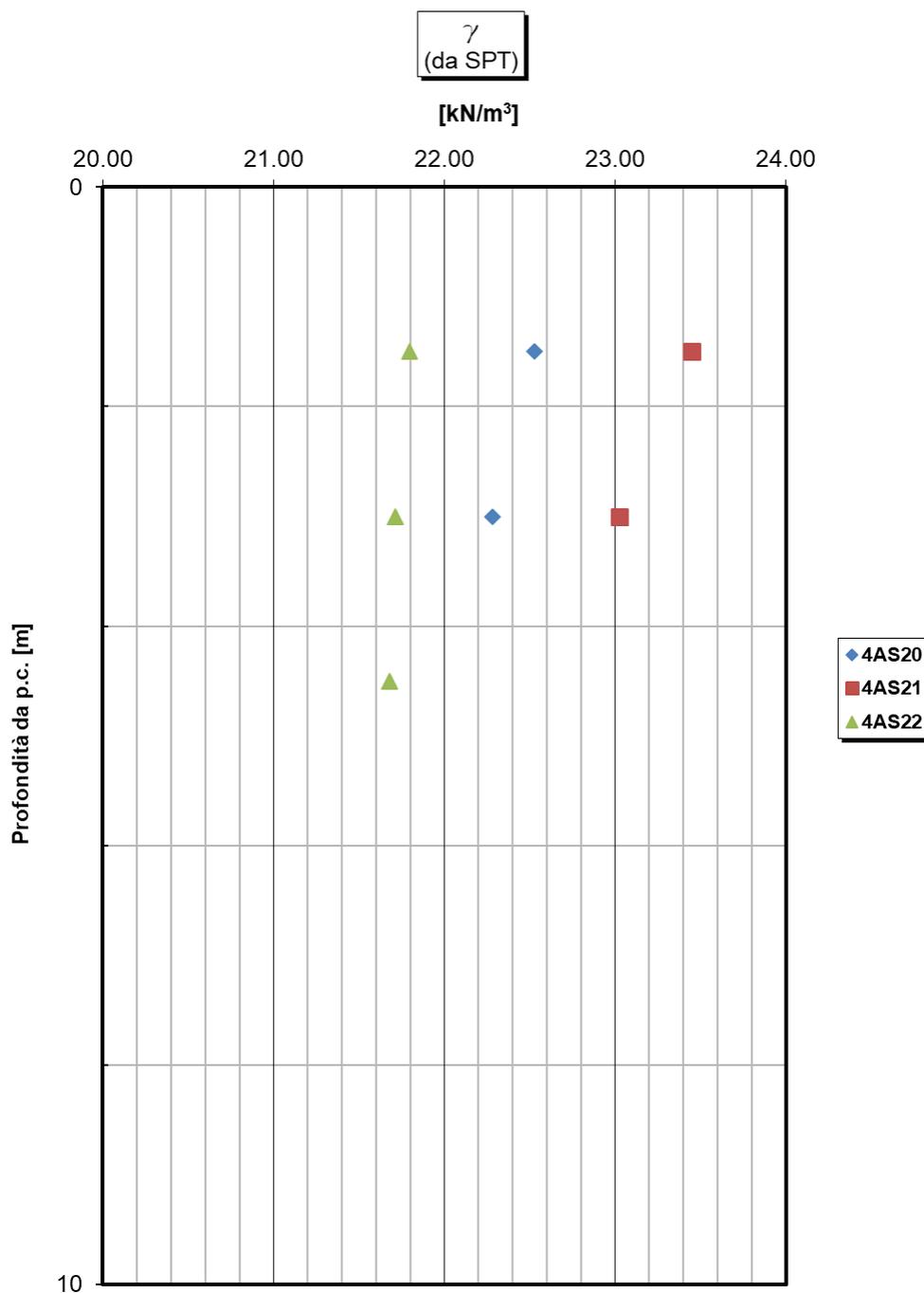


Figura 128: a – TRATTA 4 - peso specifico da SPT

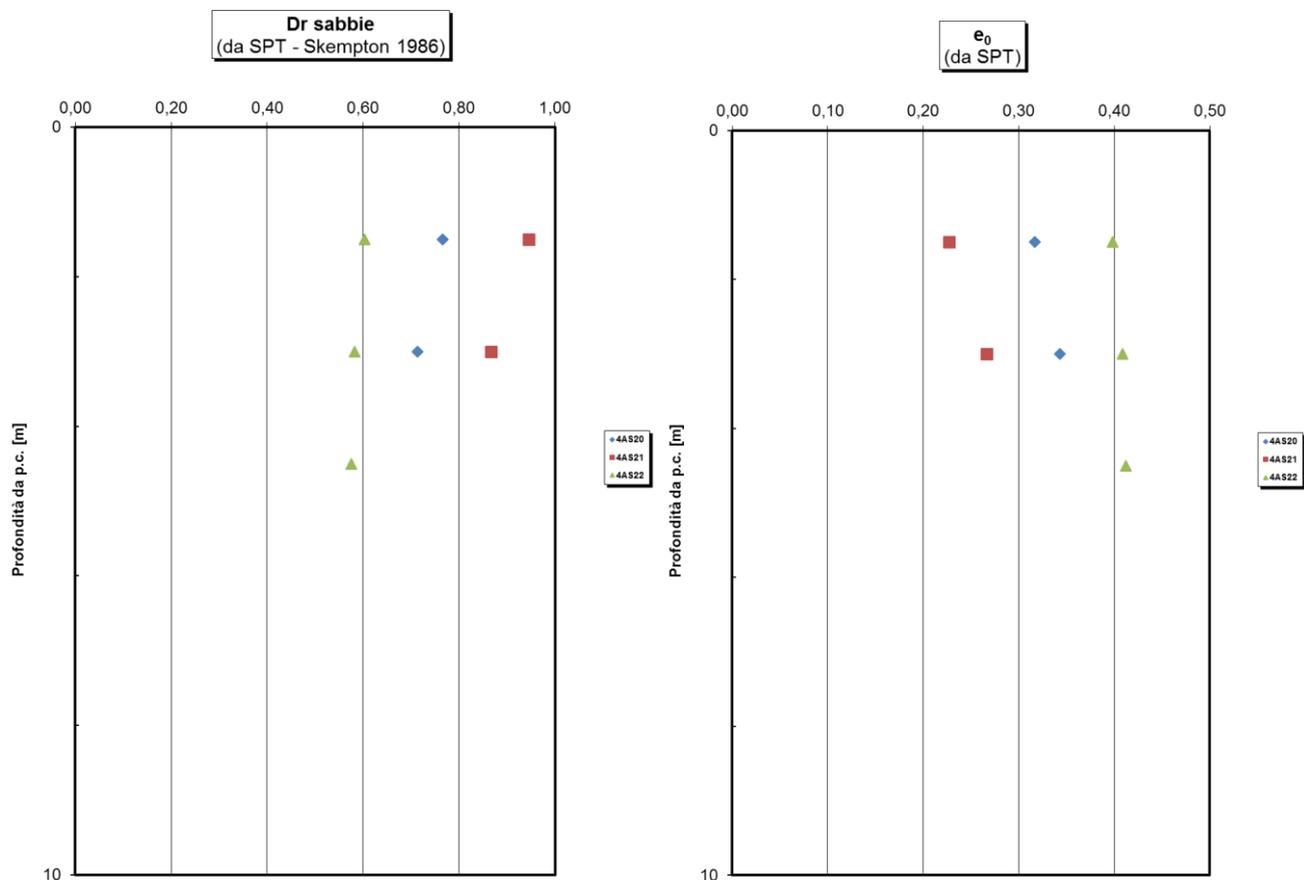


Figura 129: a – TRATTA 4 - densità relativa e indice dei vuoti iniziale da SPT

13.4.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

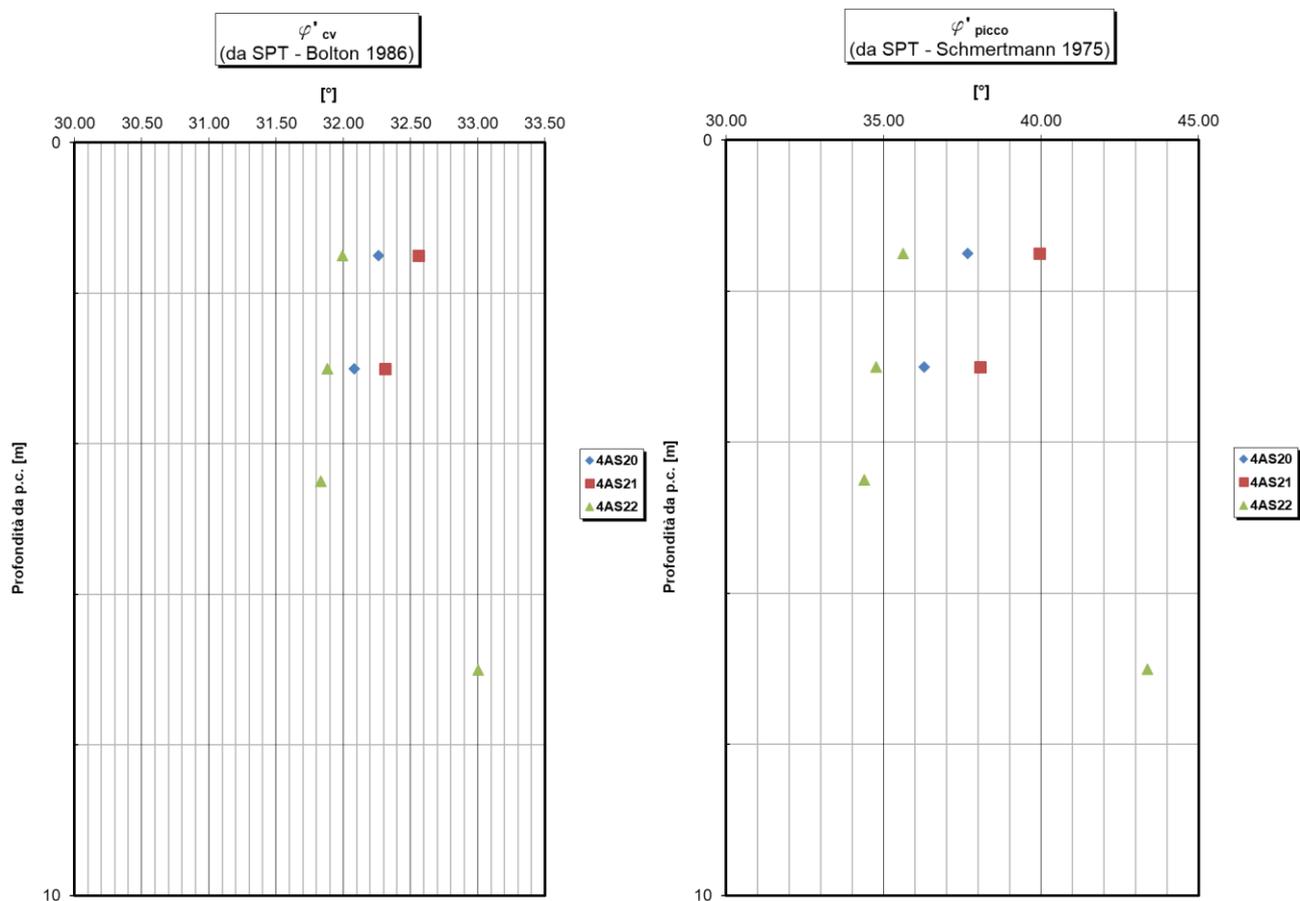


Figura 130: a – TRATTA 4 - angolo di resistenza al taglio da SPT, tramite correlazione

13.4.1.3 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

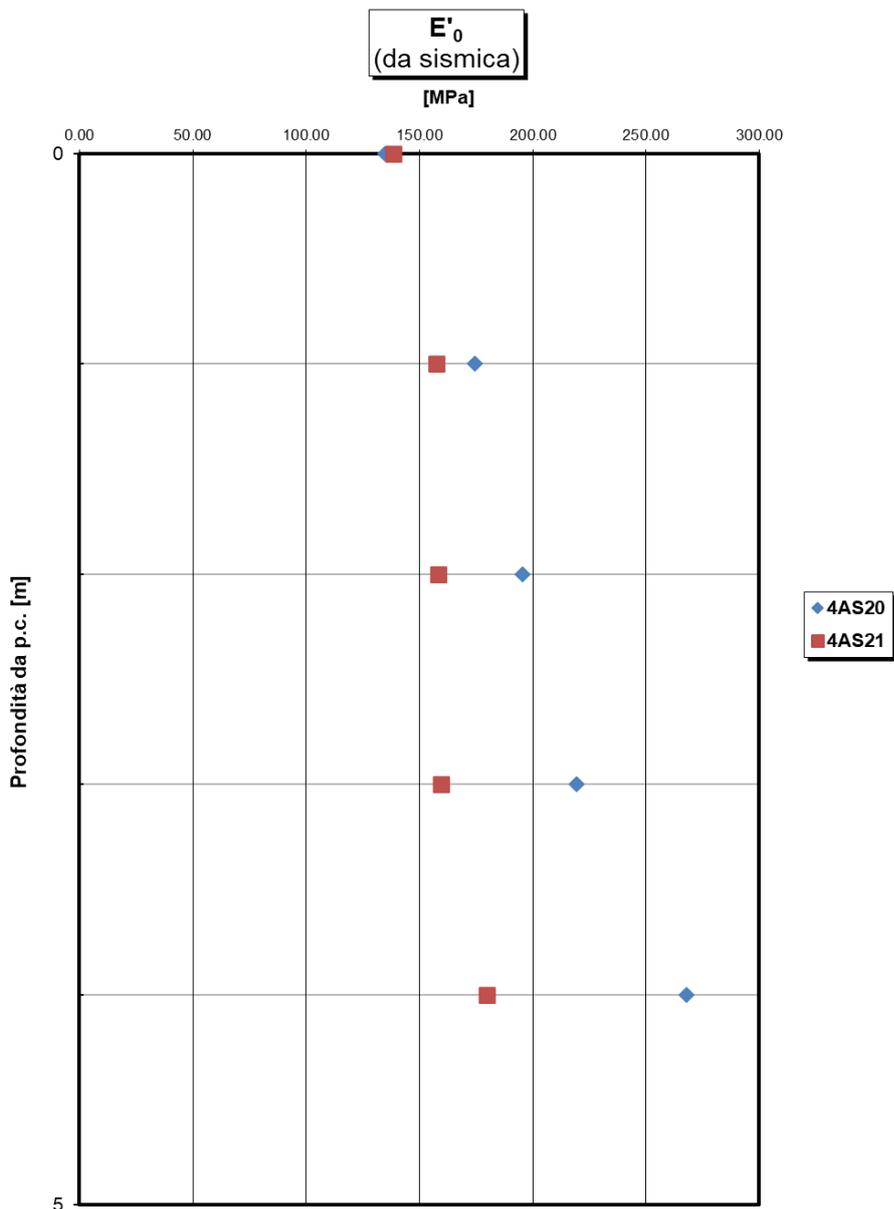


Figura 131: a – TRATTA 4 - modulo di deformabilità da prove sismiche

13.4.1.4 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA				
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001

13.4.2 a2

13.4.2.1 Caratteristiche fisiche

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

13.4.2.2 Caratteristiche di resistenza drenate

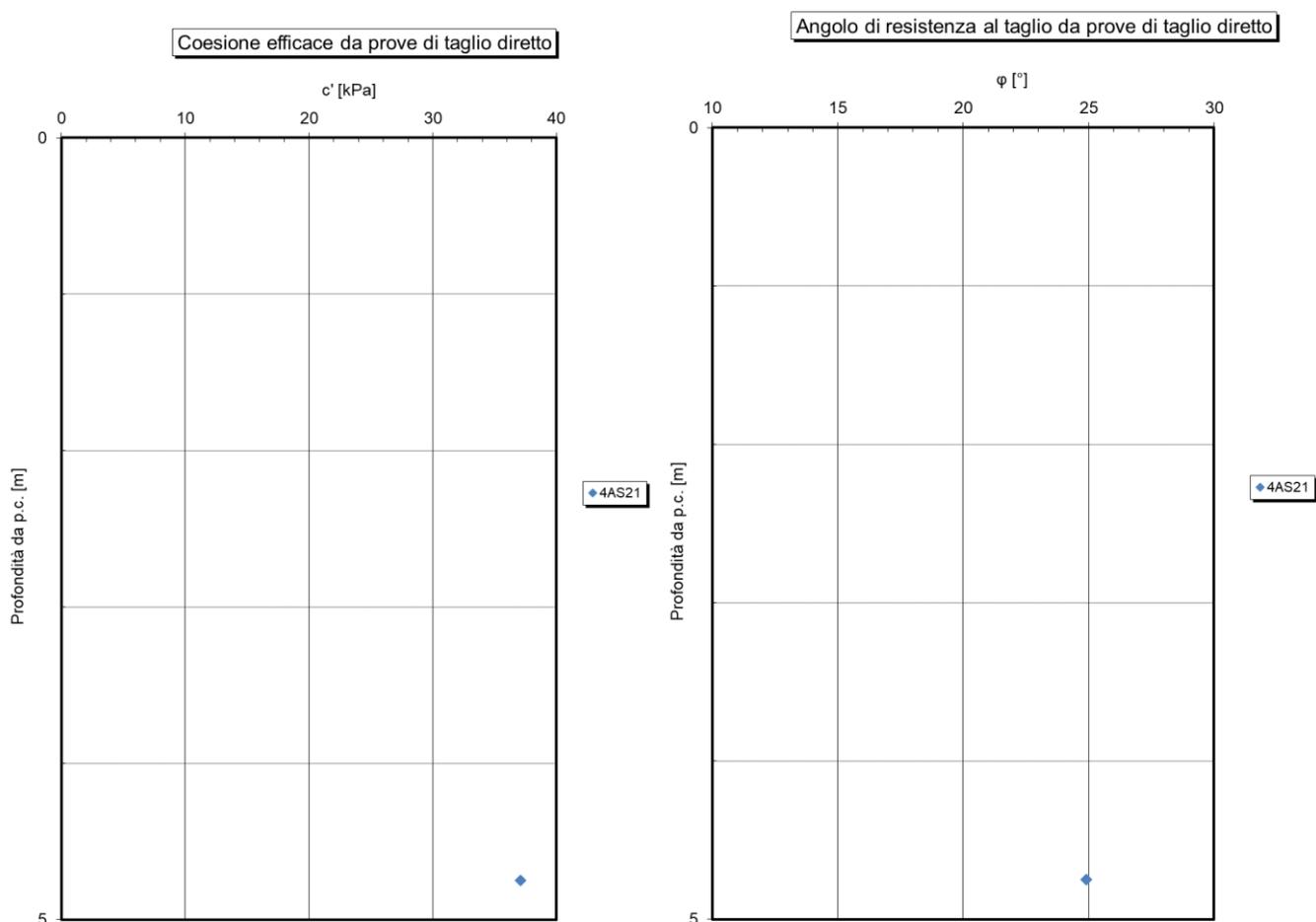


Figura 132: a2 – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

13.4.2.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

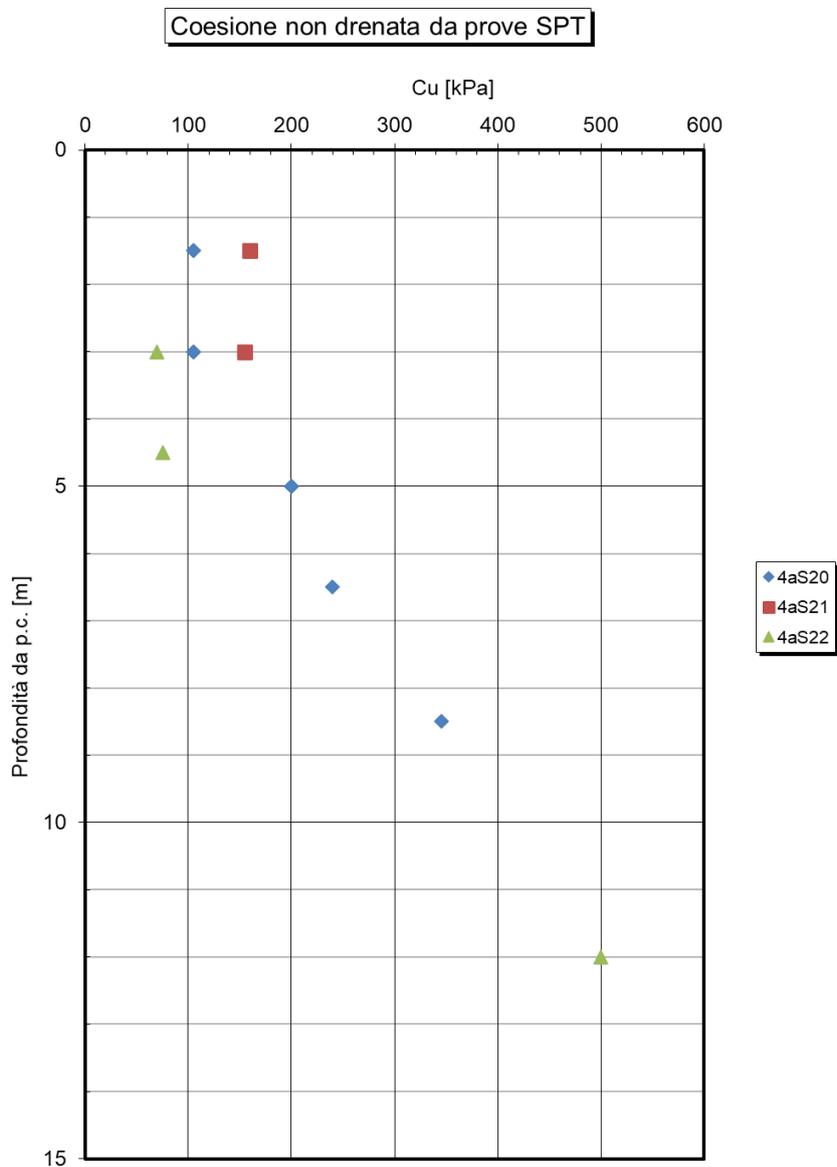


Figura 133: a2 – TRATTA 4 - coesione non drenata da SPT

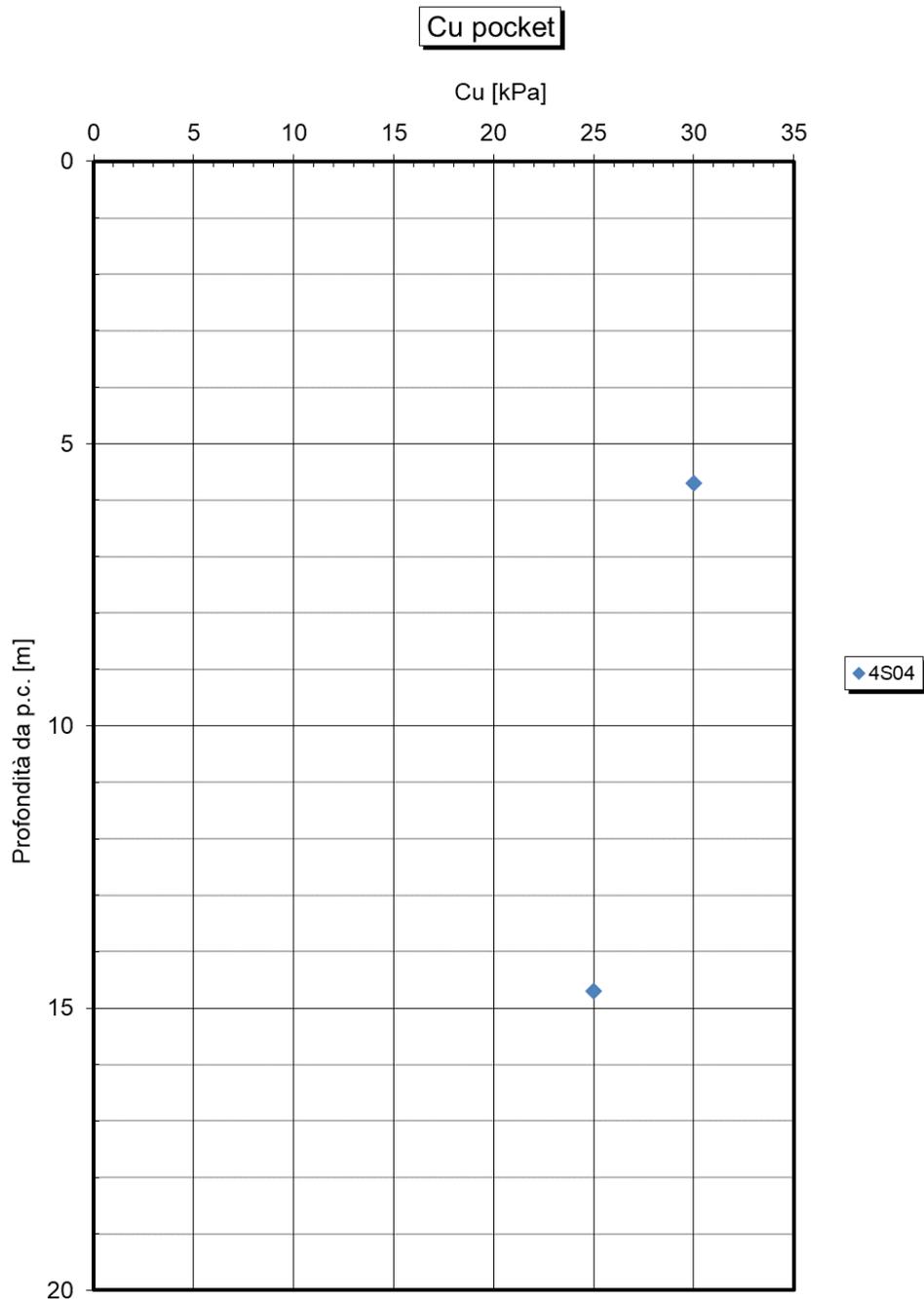


Figura 134: a2 – TRATTA 4 - coesione non drenata da pocket

13.4.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

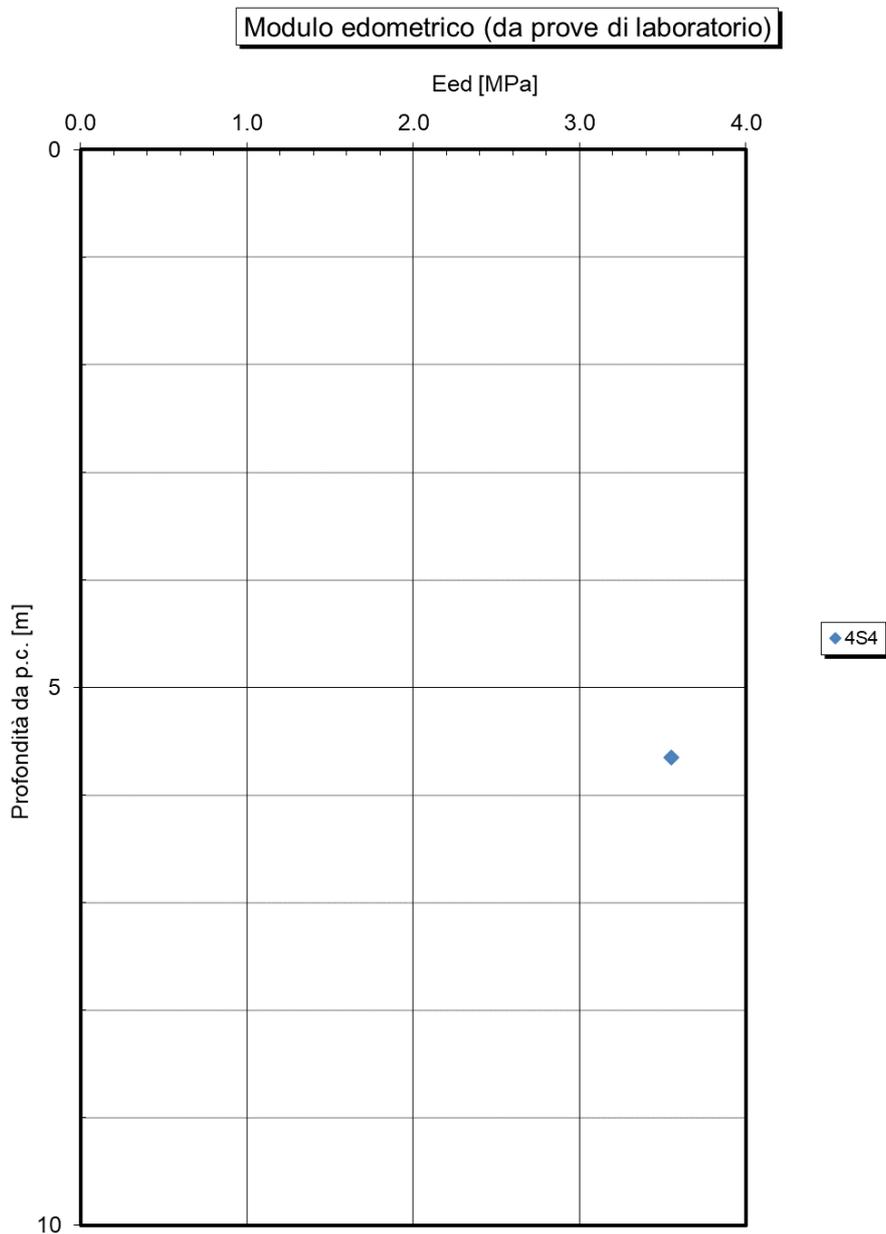


Figura 135: a2 – TRATTA 4 - modulo edometrico da prove edometriche

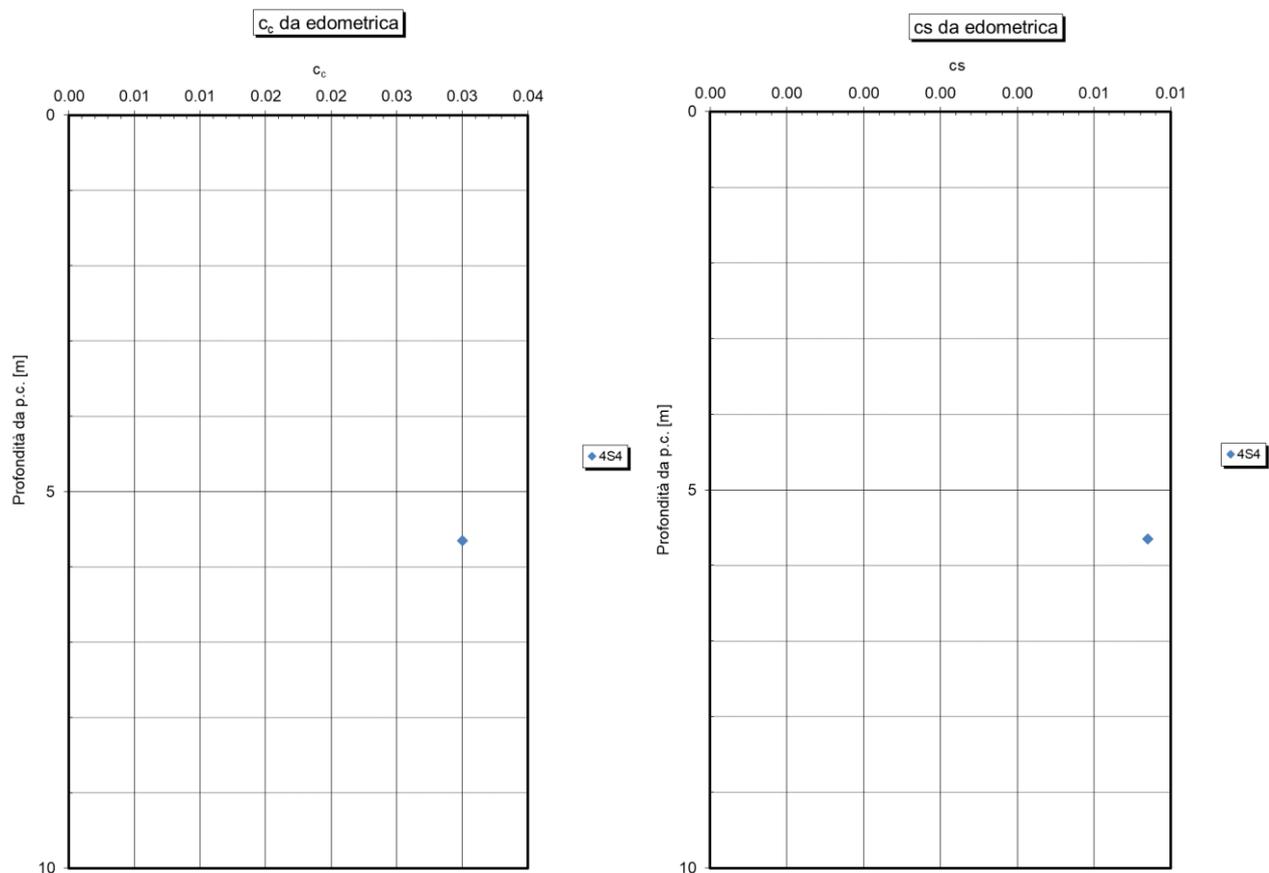


Figura 136: a2 – TRATTA 4 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

13.4.2.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda alla caratterizzazione generale.

13.4.3 TRV

13.4.3.1 Caratteristiche fisiche

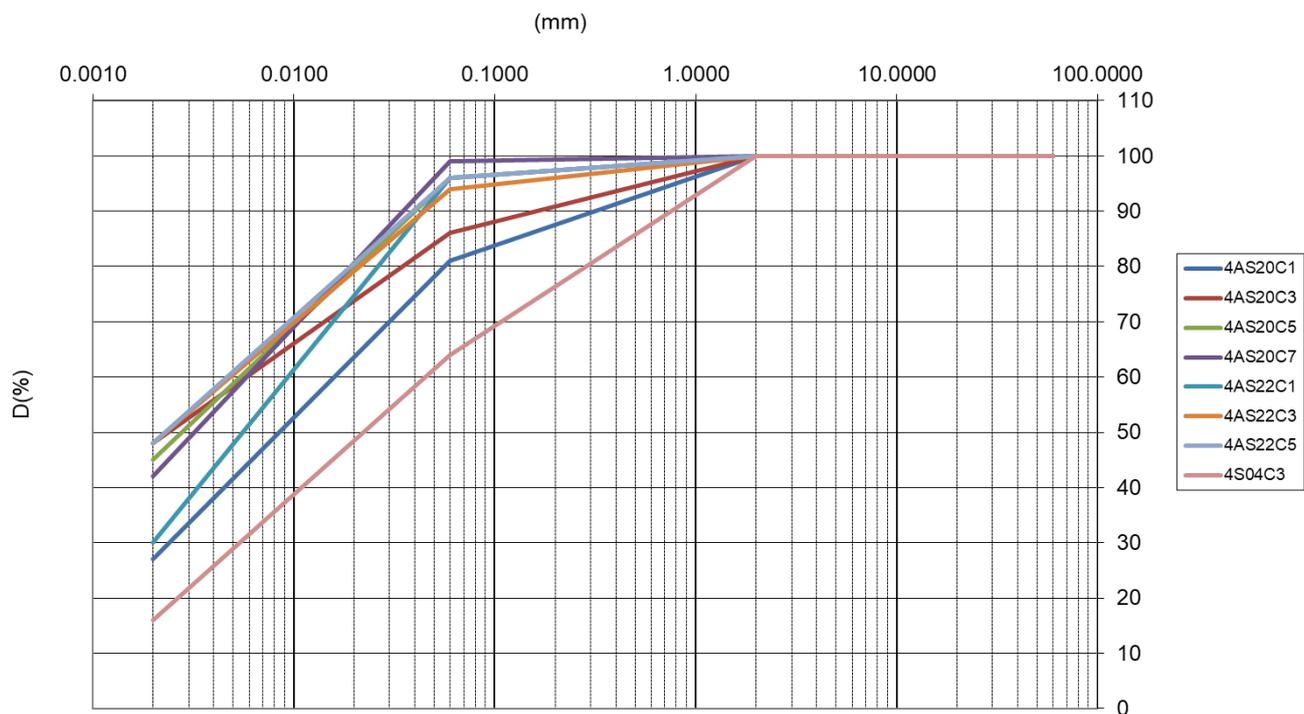


Figura 137: TRV – TRATTA 4 - fuso granulometrico

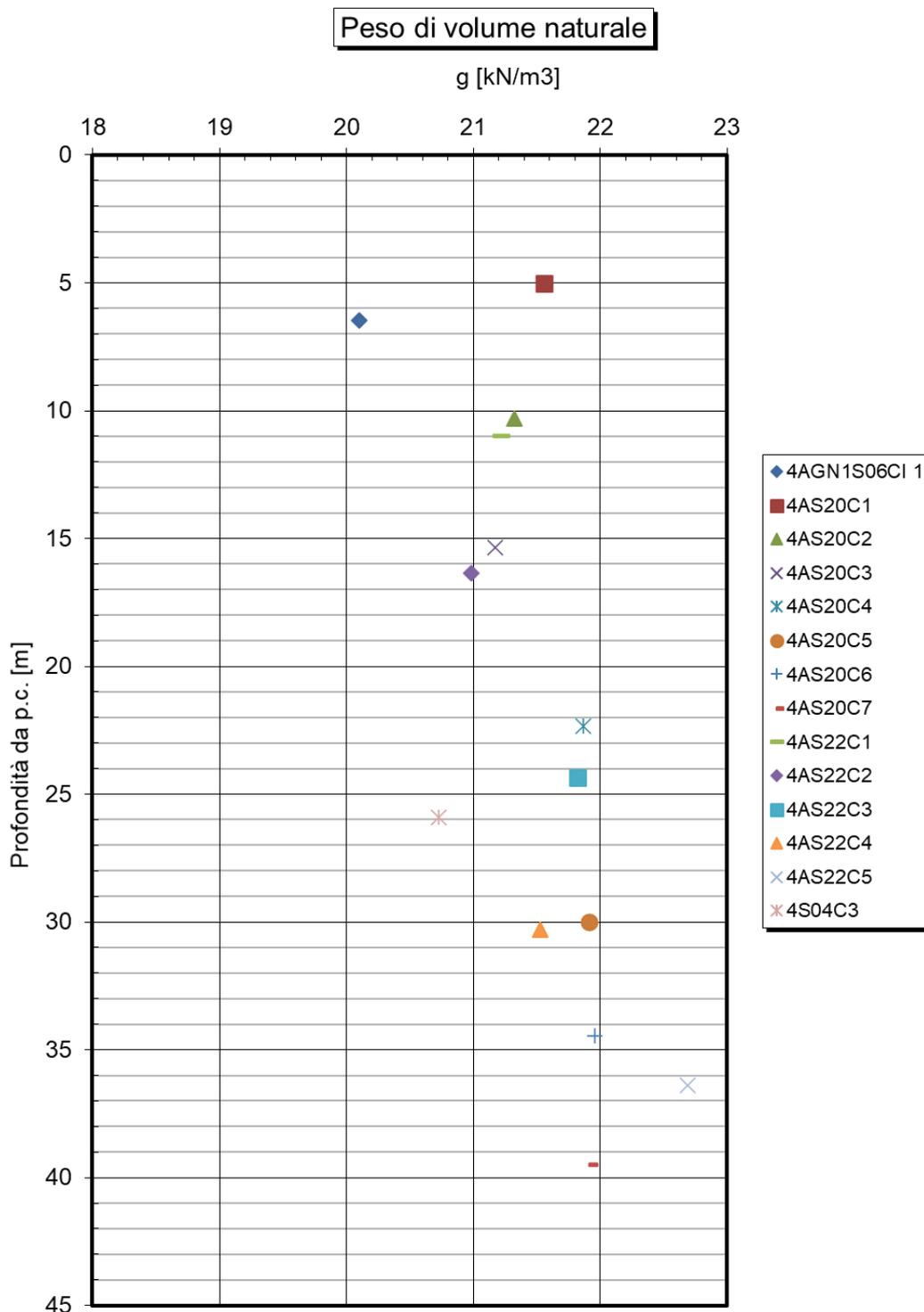


Figura 138: TRV – TRATTA 4 - peso di volume naturale

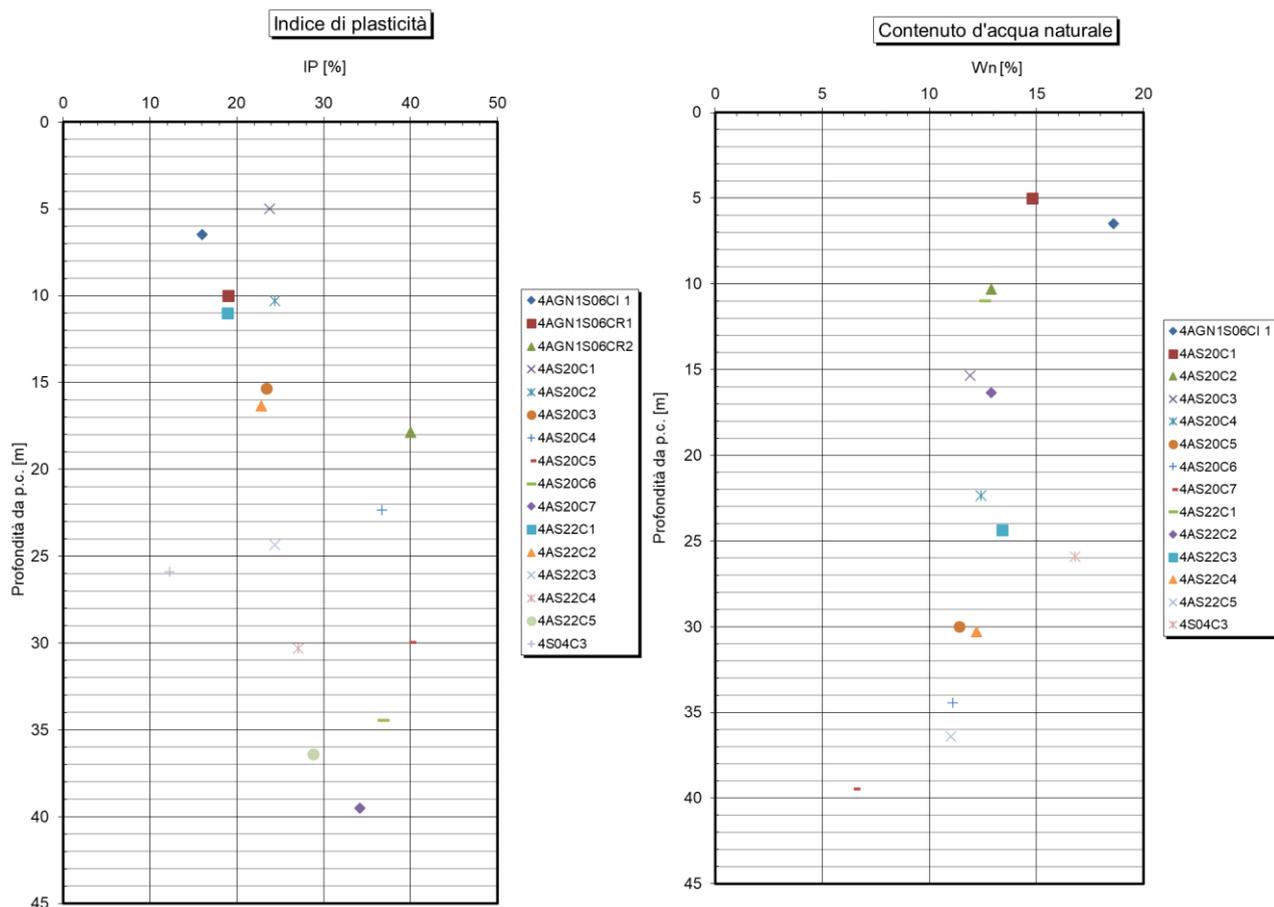


Figura 139: TRV – TRATTA 4 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

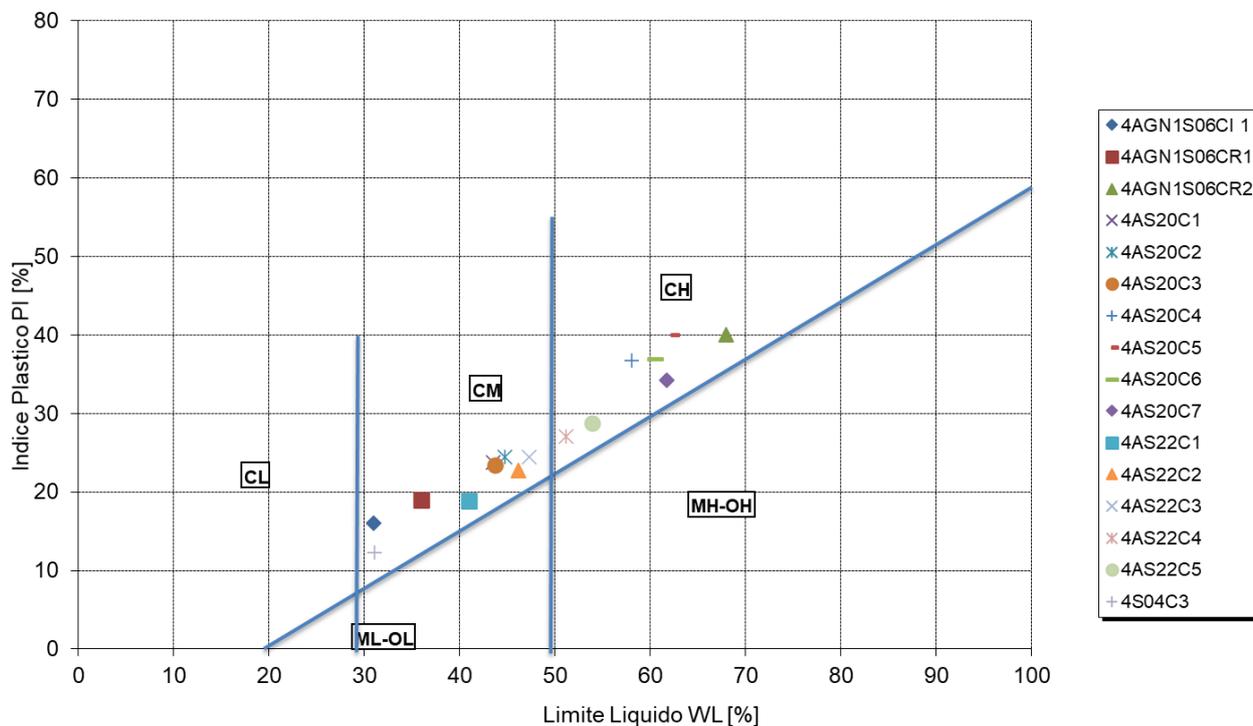


Figura 140: TRV – TRATTA 4 - carta di plasticità di Casagrande

13.4.3.2 Caratteristiche di resistenza drenate

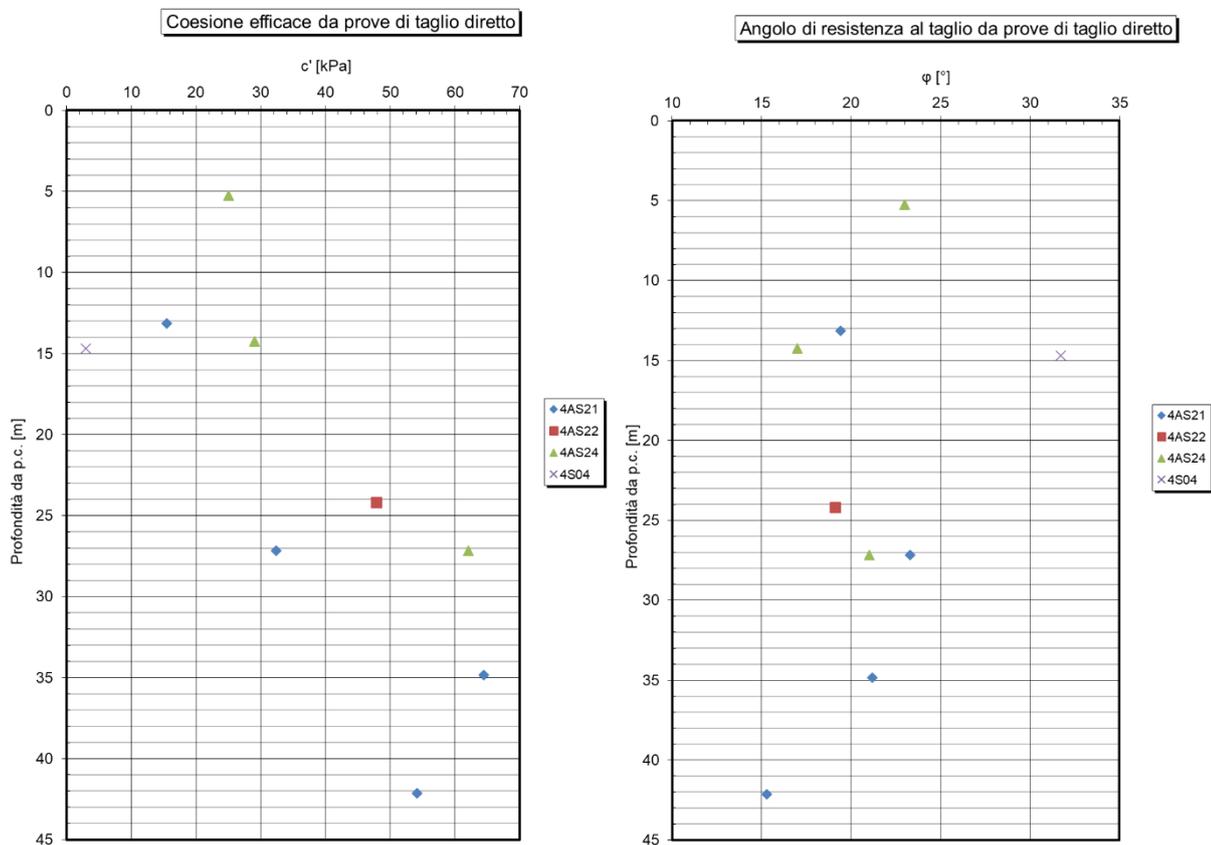


Figura 141: TRV – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

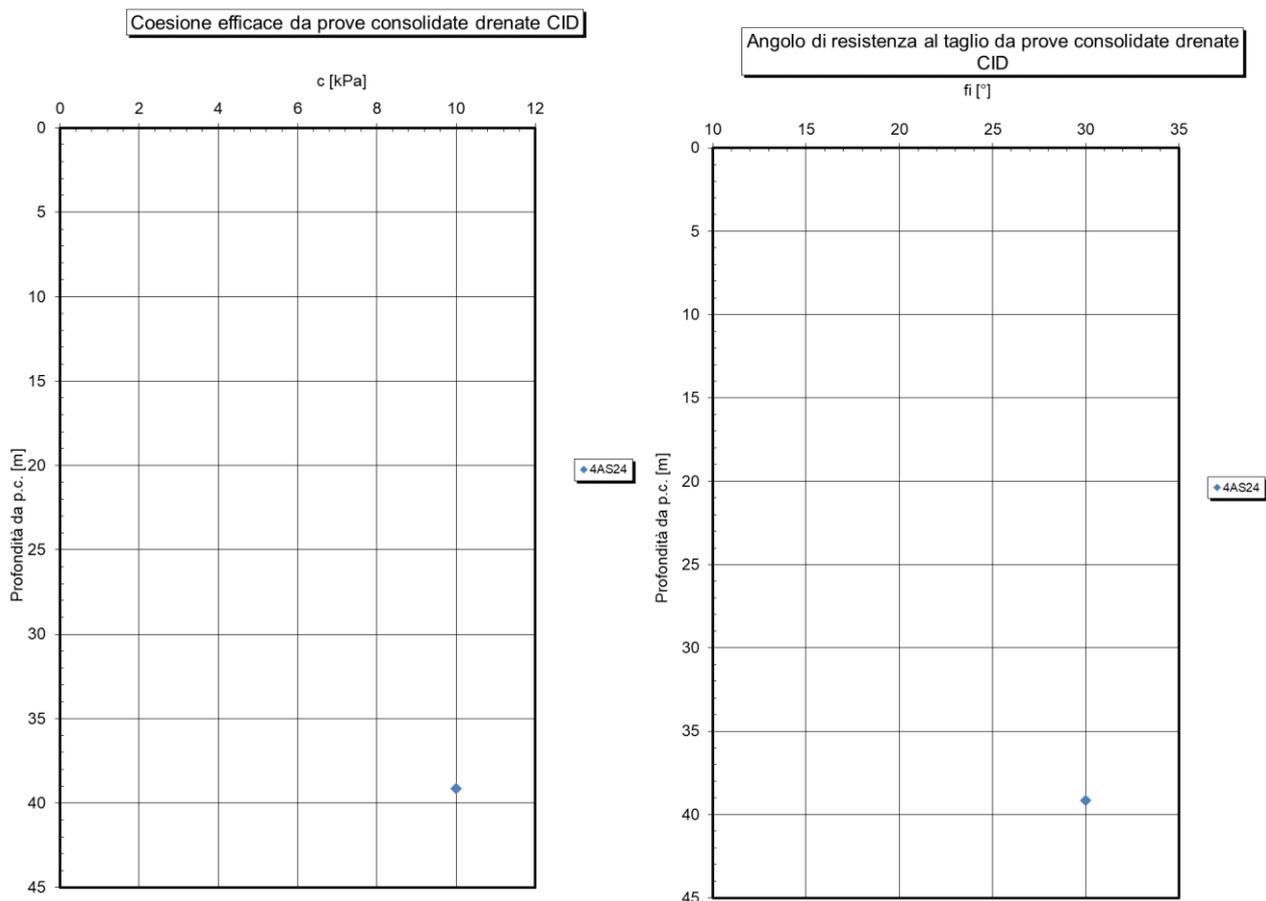


Figura 142: TRV – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

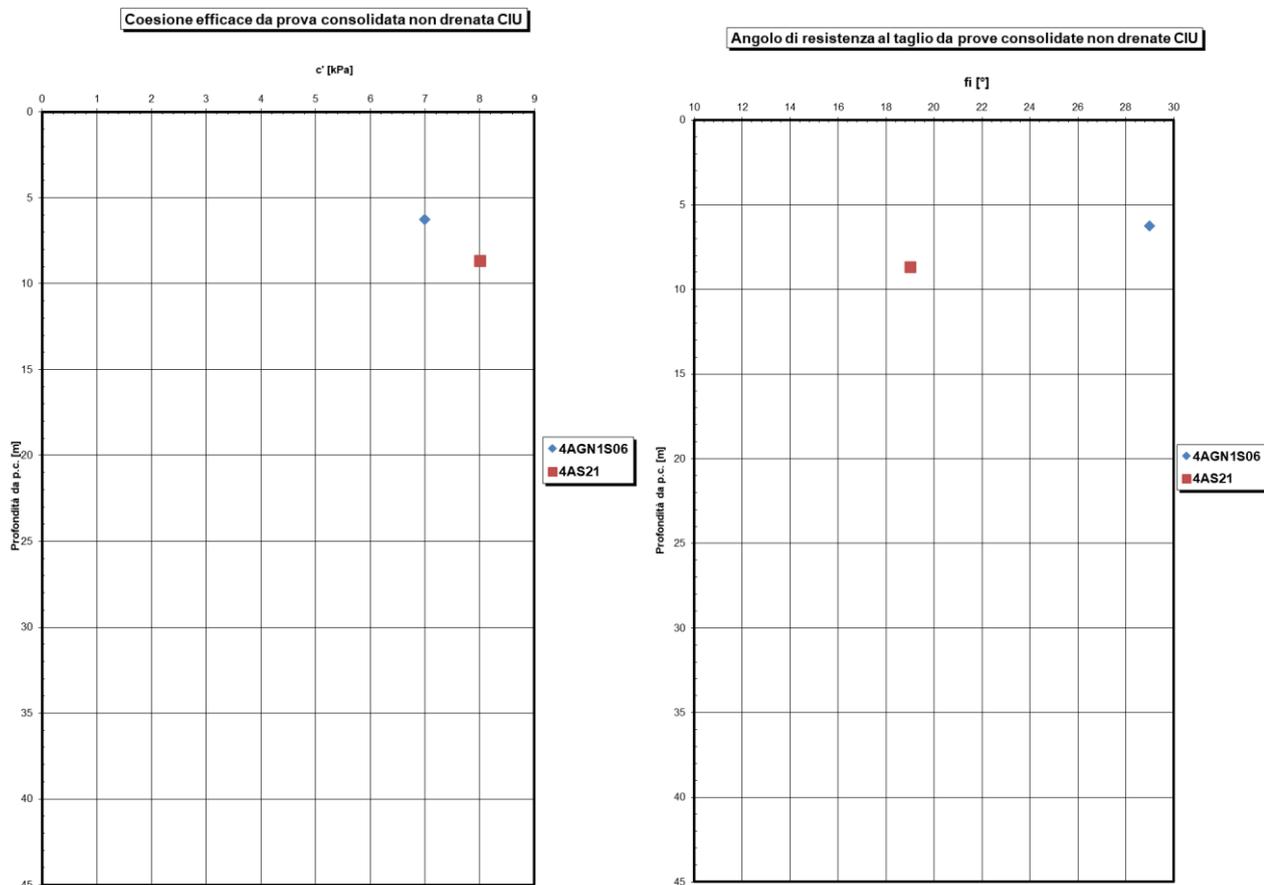


Figura 143: TRV – TRATTA 4 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CIU

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio della Formazione “TRV”, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 11 \div 31$ kPa;
- $\varphi' = 23 \div 28^\circ$.

13.4.3.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

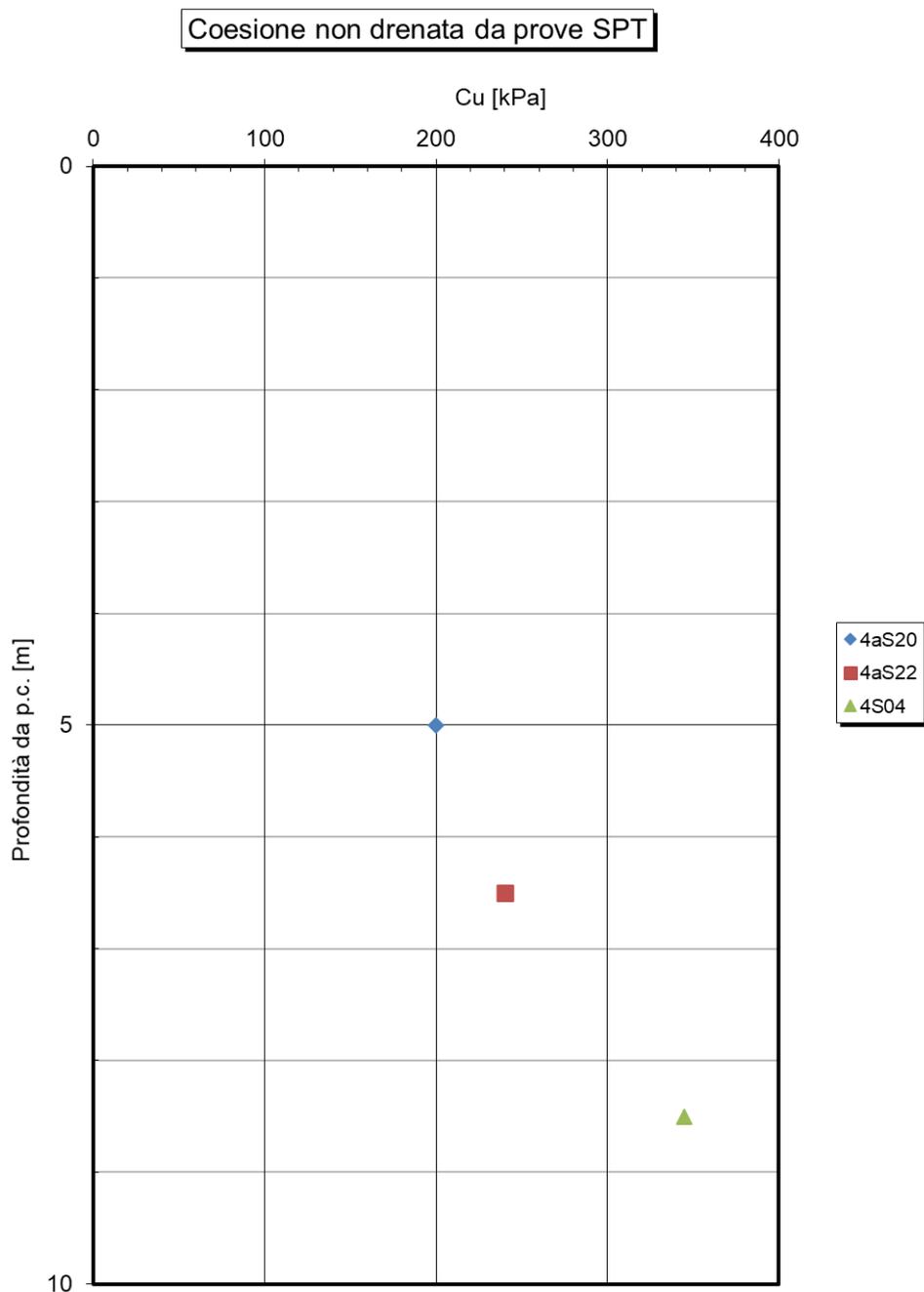


Figura 144: TRV – TRATTA 4 - coesione non drenata da prove SPT

13.4.3.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Modulo edometrico (da prove di laboratorio)

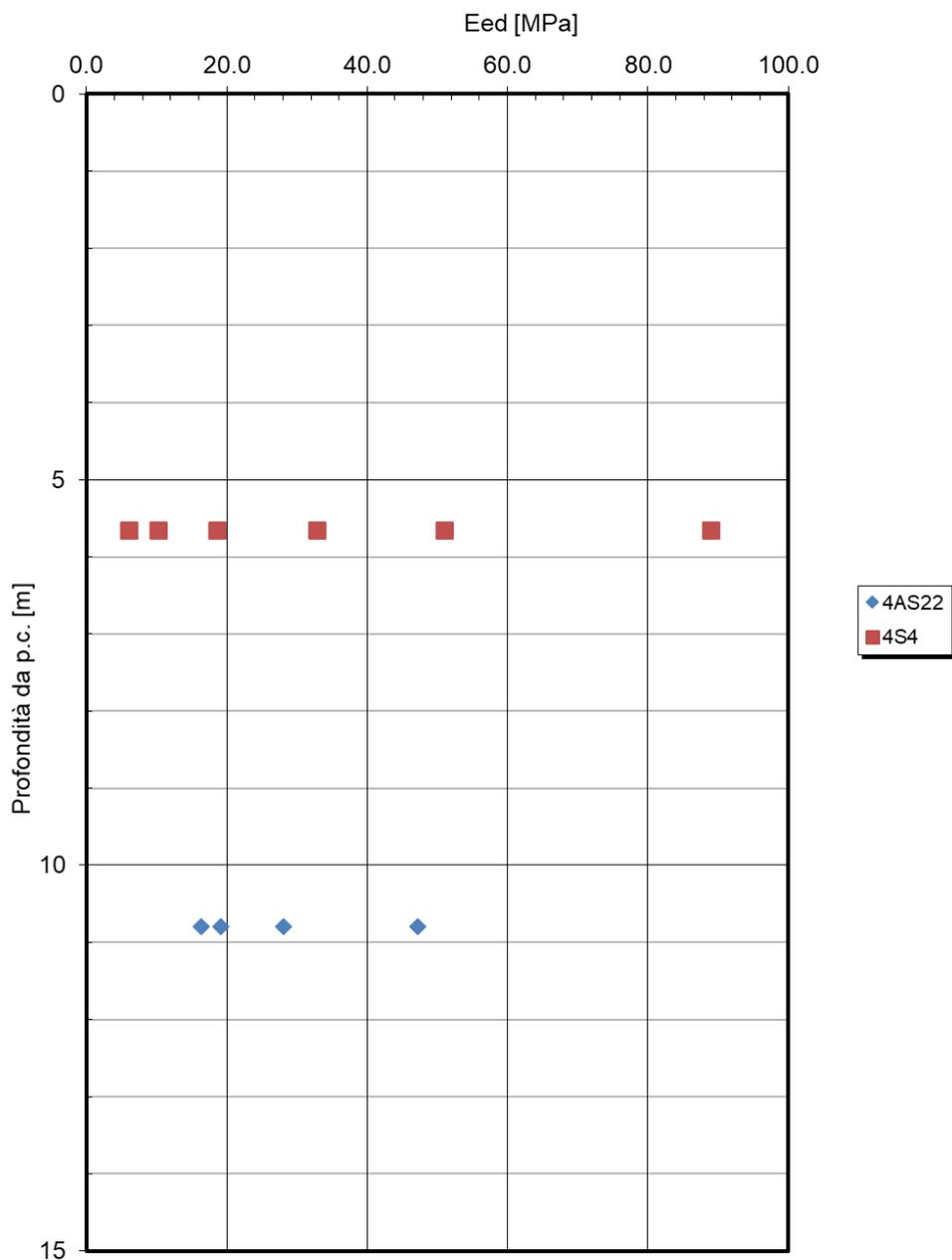


Figura 145: TRV – TRATTA 4 - modulo edometrico da prove edometriche

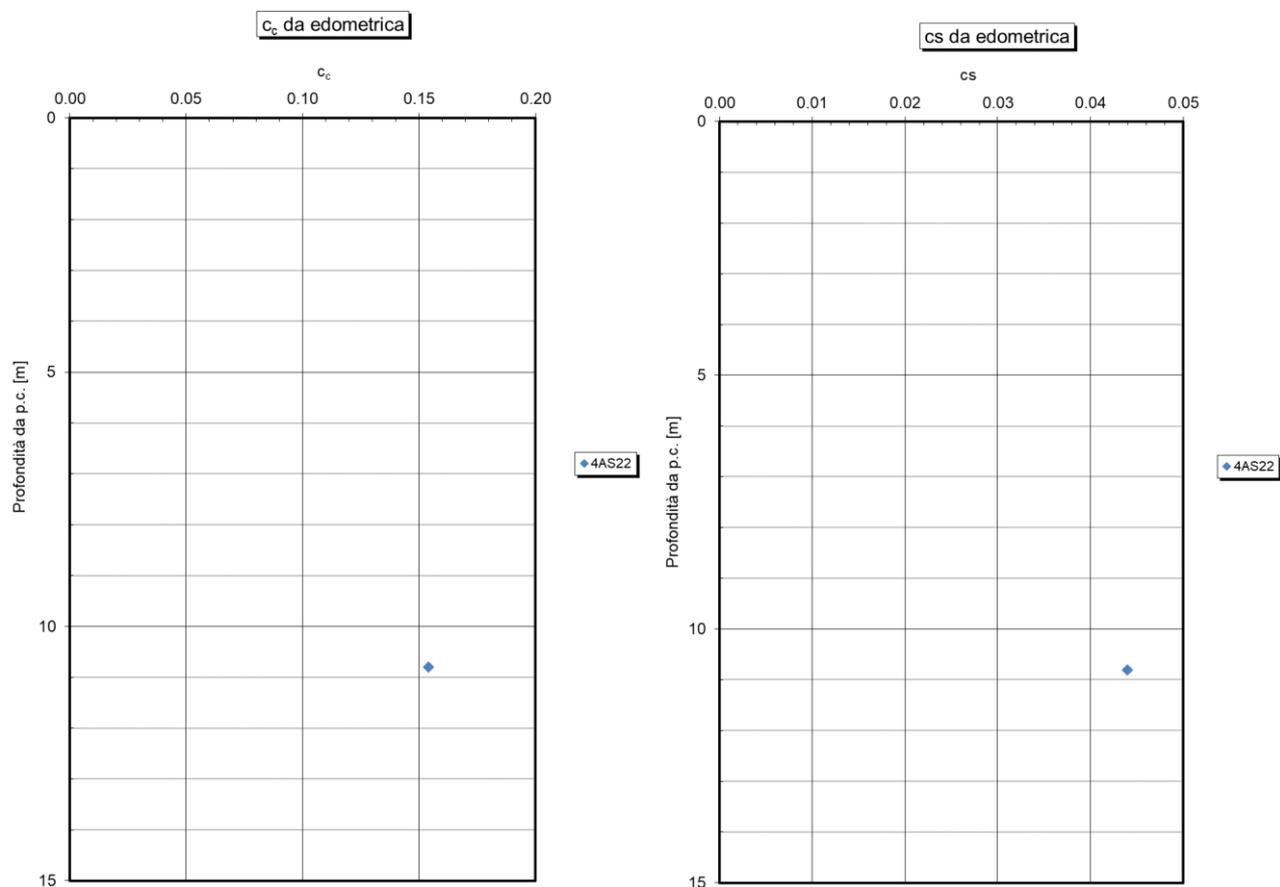


Figura 146: TRV – TRATTA 4 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

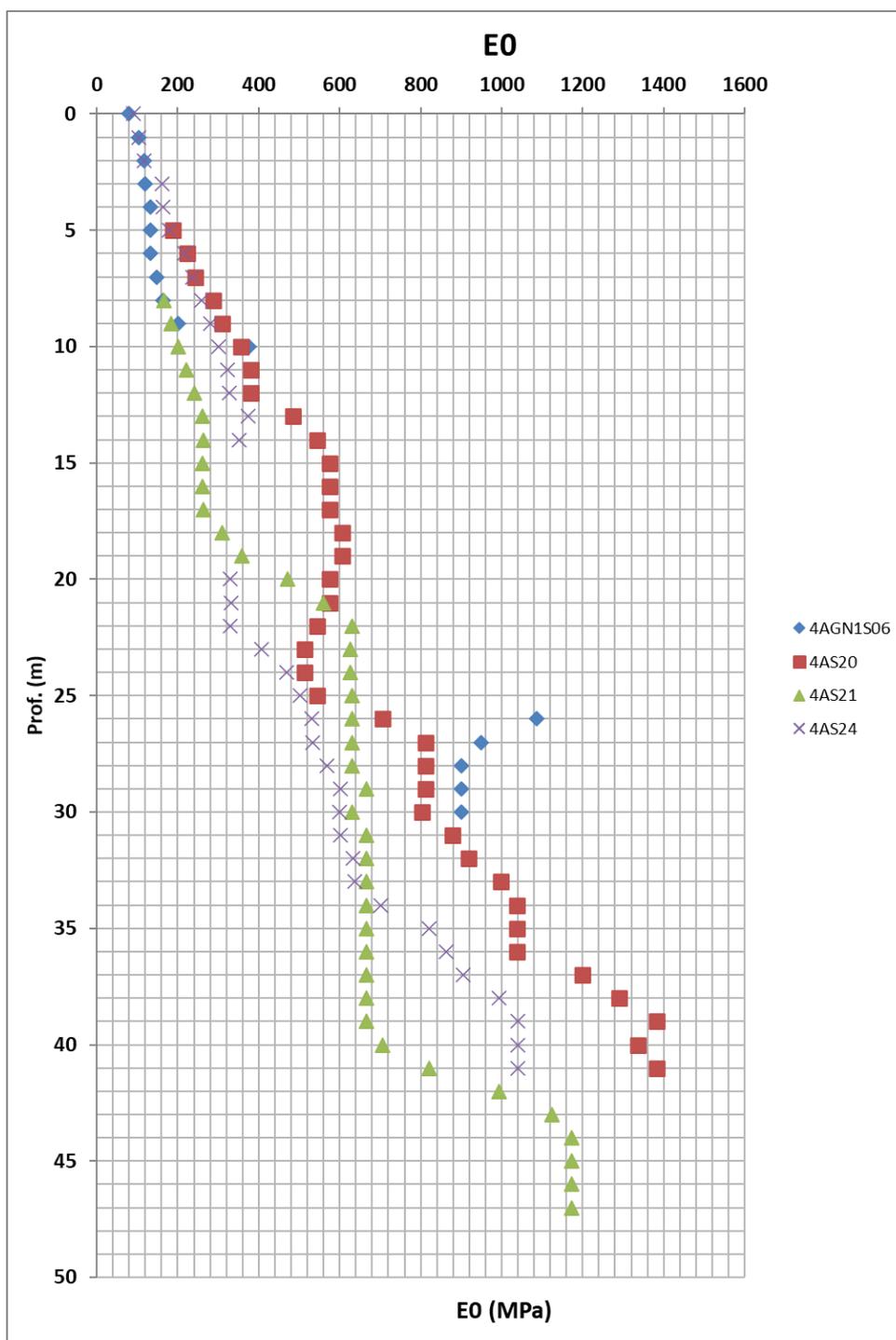


Figura 147: TRV – TRATTA 4 - modulo di Young da sismiche

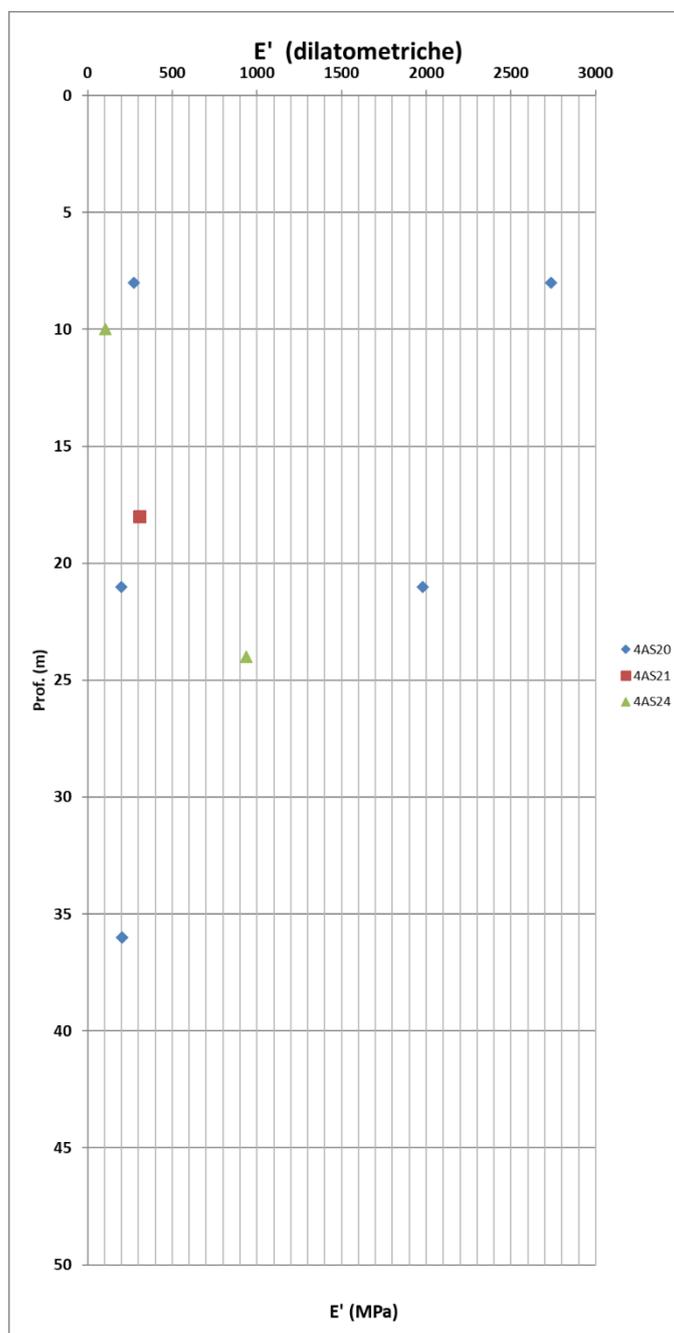


Figura 148: TRV – TRATTA 4 - modulo di Young da dilatometriche

13.4.3.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

13.4.4 Parametri geotecnici caratteristici – tratta 4

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia TRVa, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	COLTRE (0-3M)	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	ALLUVIONI Sabbia e ghiaie	Formazione Terravecchia: sabbie - sabbie deb. cementate/ TRVa	Formazione Terravecchia: arenarie - conglomerati	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRV
GRUPPO GEOTECNICO	C	a2	a	TRVa (facies sabbioso arenacea)		TRV (Facies argillosa)
γ (kN/m ³)	18-20	18-20	19-20	20-22	21-23	20-22
Dr(%)			40-70	z=0-10m 50-80 z=10-20m 80		
c' (kPa)	0-5	11 - 30	0	0-5	Hoek Brown	z=0-40m 11 - 31
c'res (KPa)	0					
ϕ' (°)picco	25-15	29 - 20	33-38	z=0-20m 38-40	Hoek Brown	z=0-40m 28 - 23
ϕ' cv(°)			28-32	30-35		
ϕ' res(°)	10-15					10-15
Cu (kPa)		50-100				z 0-40m 100-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	50-100	z=0-11m 100-150	z=0-11m 70-300	z=0-10m 300-600 z=10-20m 600		z=0-40m 100-1000
E'op (MPa)						z=0-40 30-300
v'(-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,3	0,25-0,3
OCR		z=0-10m 1,5-1				z 0-40m 4-1
Eed(MPa)		2-40				18-48
Cc		0,03-0,2				0,15
Cs		0,01-0,08				0,044
Cv		1e-6-1e-8				

Per i viadotti è stato comunque effettuata una caratterizzazione specifica, laddove possibile, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nelle tabelle sottostanti.

13.4.4.1 VIADOTTO VI06

sondaggi riferimento 4AGN1S06, 4s19, 4s4, 4as20, 4as21, 4as22, 4as24	Falda	Cat. Sism	VI06 da 6+552 a 6+611													
	4 - 8 m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
		TRV	0	40	*	*	22	24		20 - 100	100				40000	8.65E-08

Tabella 19: parametri geotecnici viadotto VI06-1

sondaggi riferimento 4AGN1S06, 4s19, 4s4, 4as20, 4as21, 4as22, 4as24	Falda	Cat. Sism	VI06 da 6+611 a 6+658 e da 7+408 a 7+508													
	5m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
		a2	0	8	20		37	25			50				20000	1.37E-05
		TRV	8	40	*	*	22	24		20 - 100	100				40000	8.65E-08

Tabella 20: parametri geotecnici viadotto VI06-2

sondaggi riferimento 4AGN1S06, 4s19, 4s4, 4as20, 4as21, 4as22, 4as24	Falda	Cat. Sism	VI06 da 6+658 a 6+970 e da 7+086 a 7+408													
	5m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
		a2	0	1.5	20		37	25			50				20000	1.37E-05
		a	1.5	5	20	65	0	33		40			16500	40		*
		TRV	8	40	*	*	22	24		20 - 100	100				40000	8.65E-08

Tabella 21: parametri geotecnici viadotto VI06-3

sondaggi riferimento 4AGN1S06, 4s19, 4s4, 4as20, 4as21, 4as22, 4as24	Falda 5 - 10 m pc	Cat. Sism C	VI06 da 6+970 a 7+086														
			zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)	
		a	1.5	5	20	65	0	33			40			16500	40		*
		a2	0	1.5	20		37	25			50					20000	1.37E-05
		TRV	8	40	*		22	24			20 - 100	100			40000	8.65E-08	

Tabella 22: parametri geotecnici viadotto VI06-4

sondaggi riferimento 4AGN1S06, 4s19, 4s4, 4as20, 4as21, 4as22, 4as24	Falda 5 - 10 m pc	Cat. Sism C	VI06 da 7+508 a 7+598													
			zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
		a2	0	5	20		37	25			50				20000	1.37E-05
		TRV	5	15	*		22	24			20 - 100	100			40000	8.65E-08
		TRVa	15	20	*		*	*			60		*	*		*
		TRV	20	40	*		22	24			60 - 100	100			40000	8.65E-08

Tabella 23: parametri geotecnici viadotto VI06-5

(*) si rimanda alla caratterizzazione generale.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 245 di 379</p>

13.5 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 5 (da pk 7+702 a pk 11+549)

Per la caratterizzazione di questa tratta si rimanda agli elaborati specifici della GN Salso.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

13.6 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 6 (da pk 11+549 a pk 13+427)

La tratta 6 è interessata dalla presenza della Formazione a, a2, TRV e TRVa. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

Di seguito sono riportate in tabella le WBS e le relative opere da realizzare nella tratta in esame (da pk 11+549 a pk 13+427).

WBS	OPERA
TR10	TRINCEA
VI07	VIADOTTO
R112	RILEVATO
R113	RILEVATO
TR11	TRINCEA

WBS viabilità	NV96; NV02; NV98
----------------------	------------------

Tabella 24: Tratta 6 - Rispettivamente WBS con relative opere tratta con viabilità

13.6.1 a2

13.6.1.1 Caratteristiche fisiche

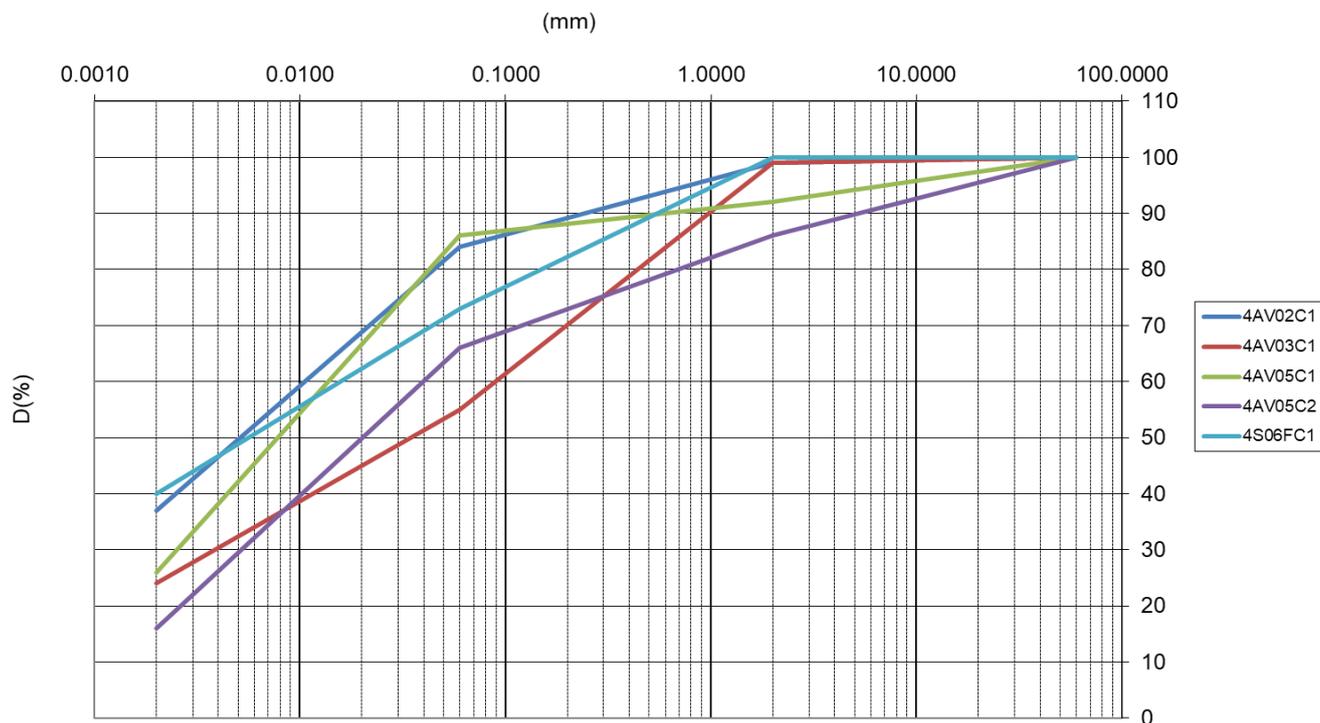


Figura 149: a2 – TRATTA 6 - fuso granulometrico

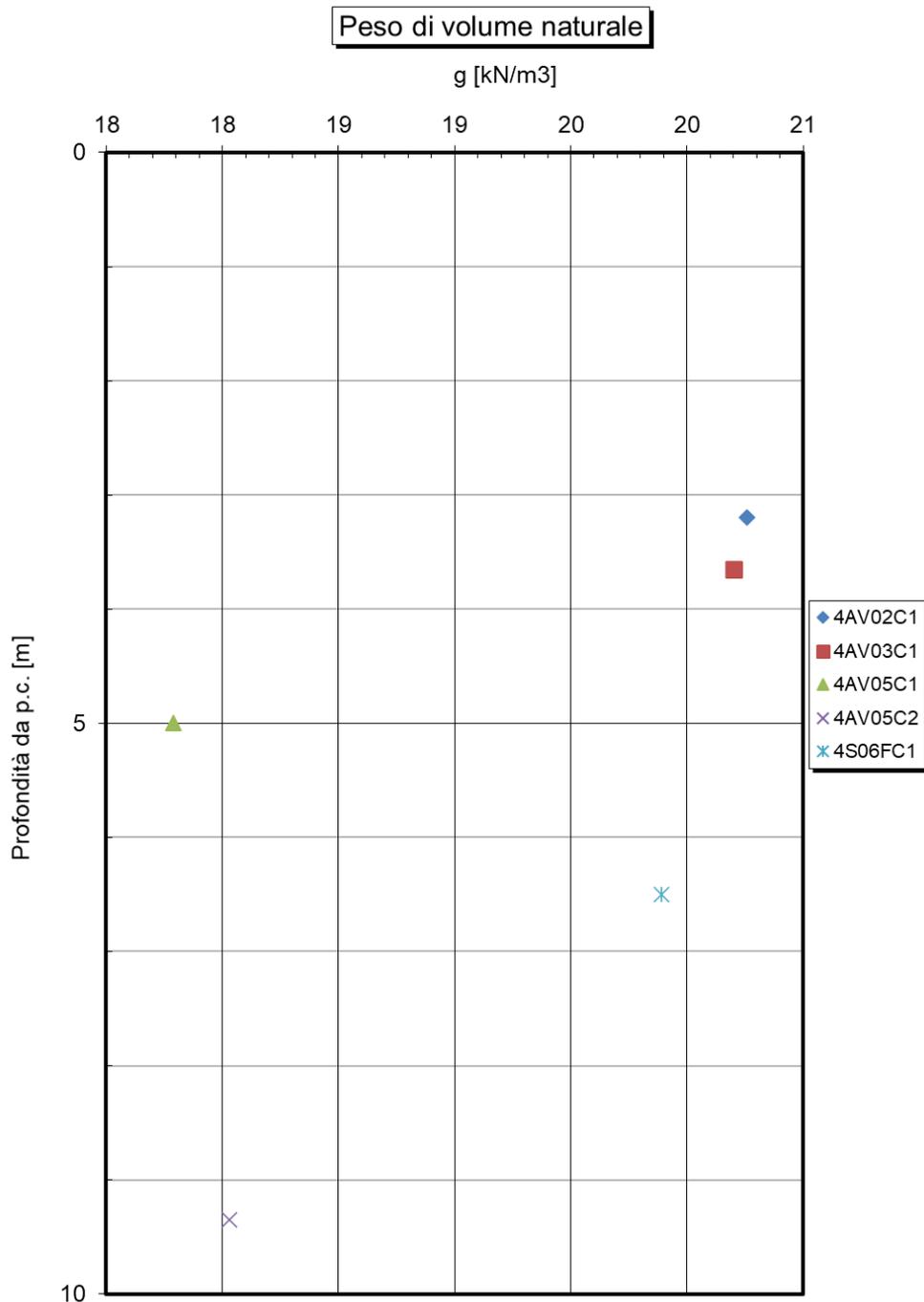


Figura 150: a2 – TRATTA 6 - peso di volume naturale

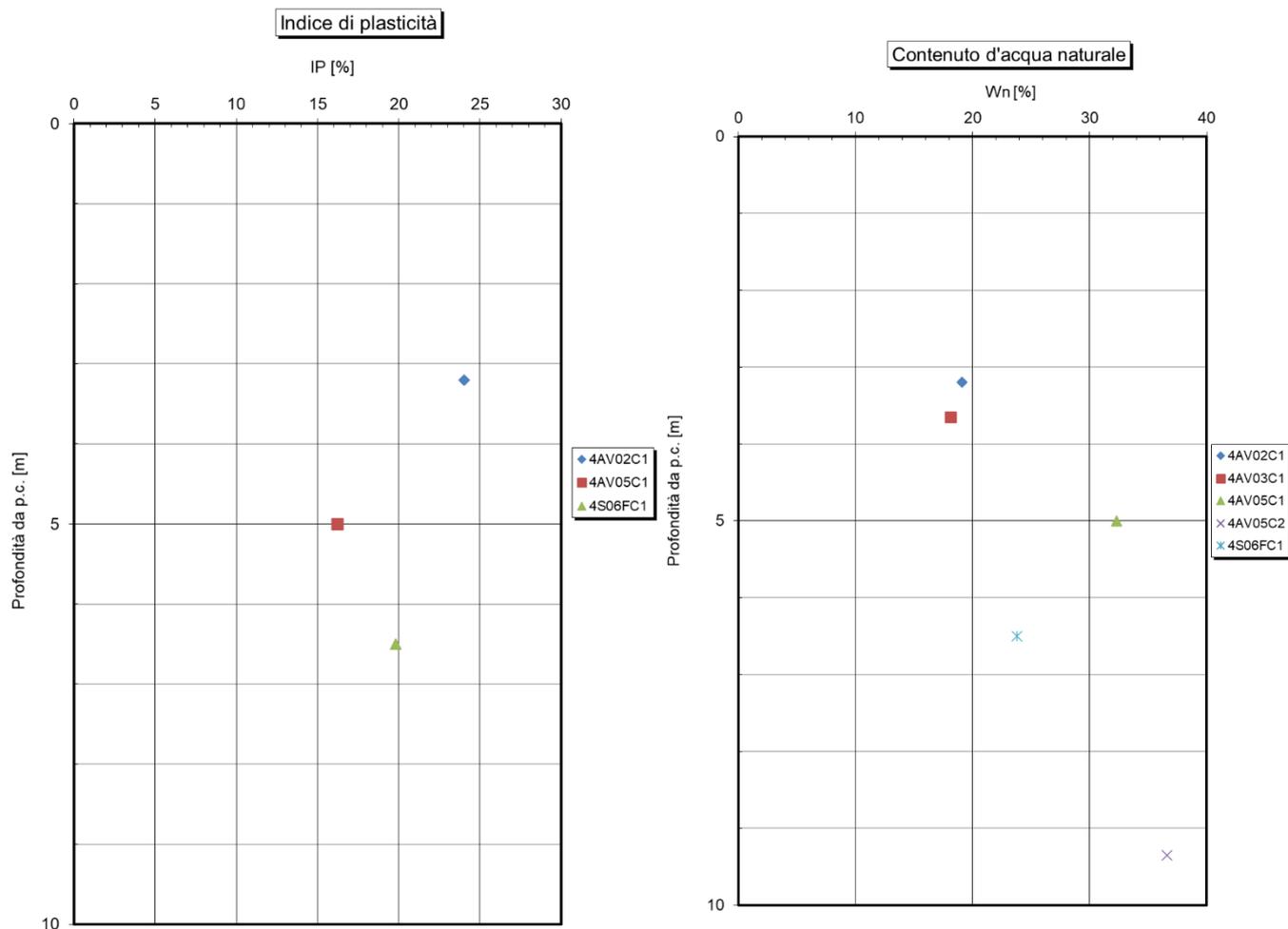


Figura 151: a2 – TRATTA 6 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

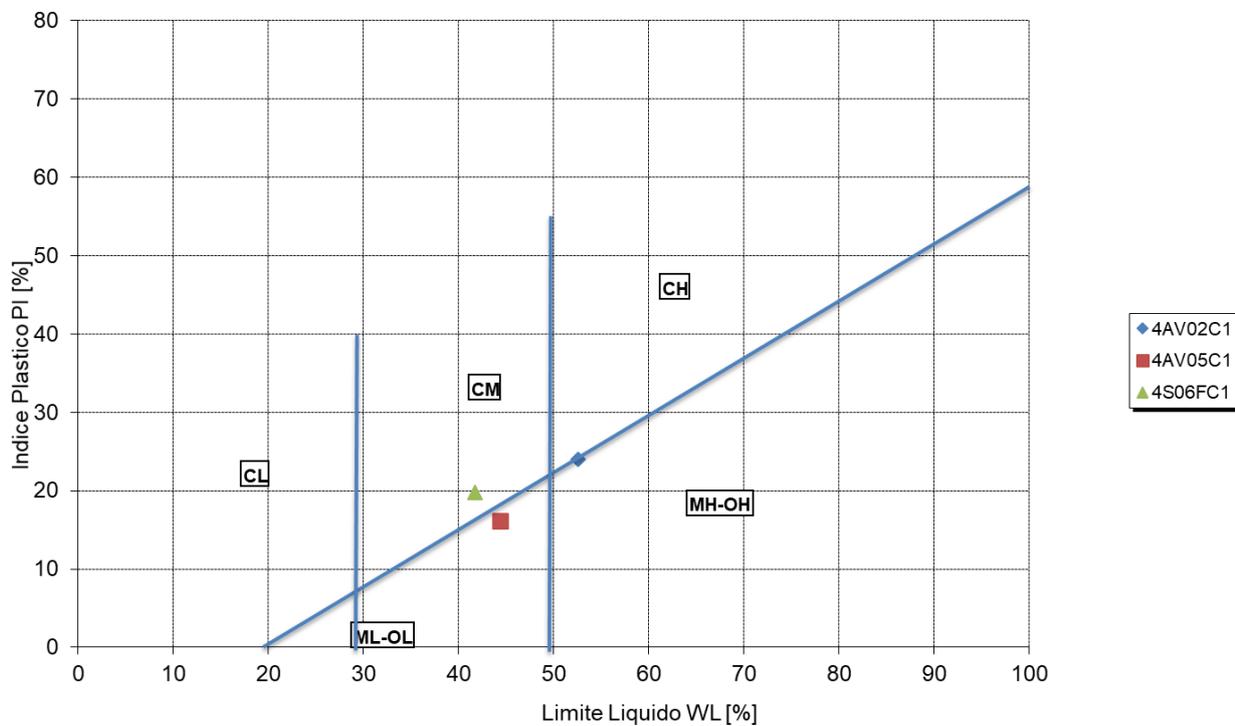


Figura 152: a2 – TRATTA 6 - carta di plasticità di Casagrande

13.6.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

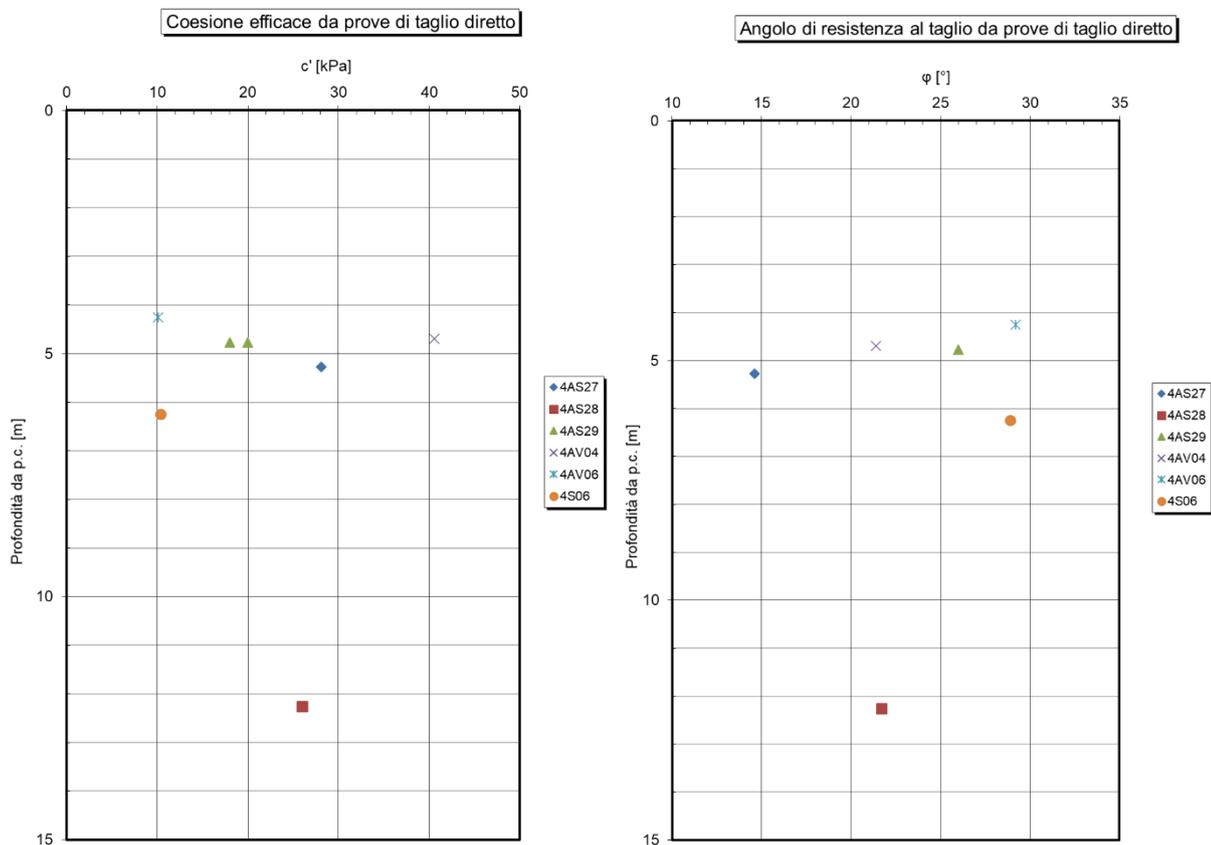


Figura 153: a2 – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

13.6.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

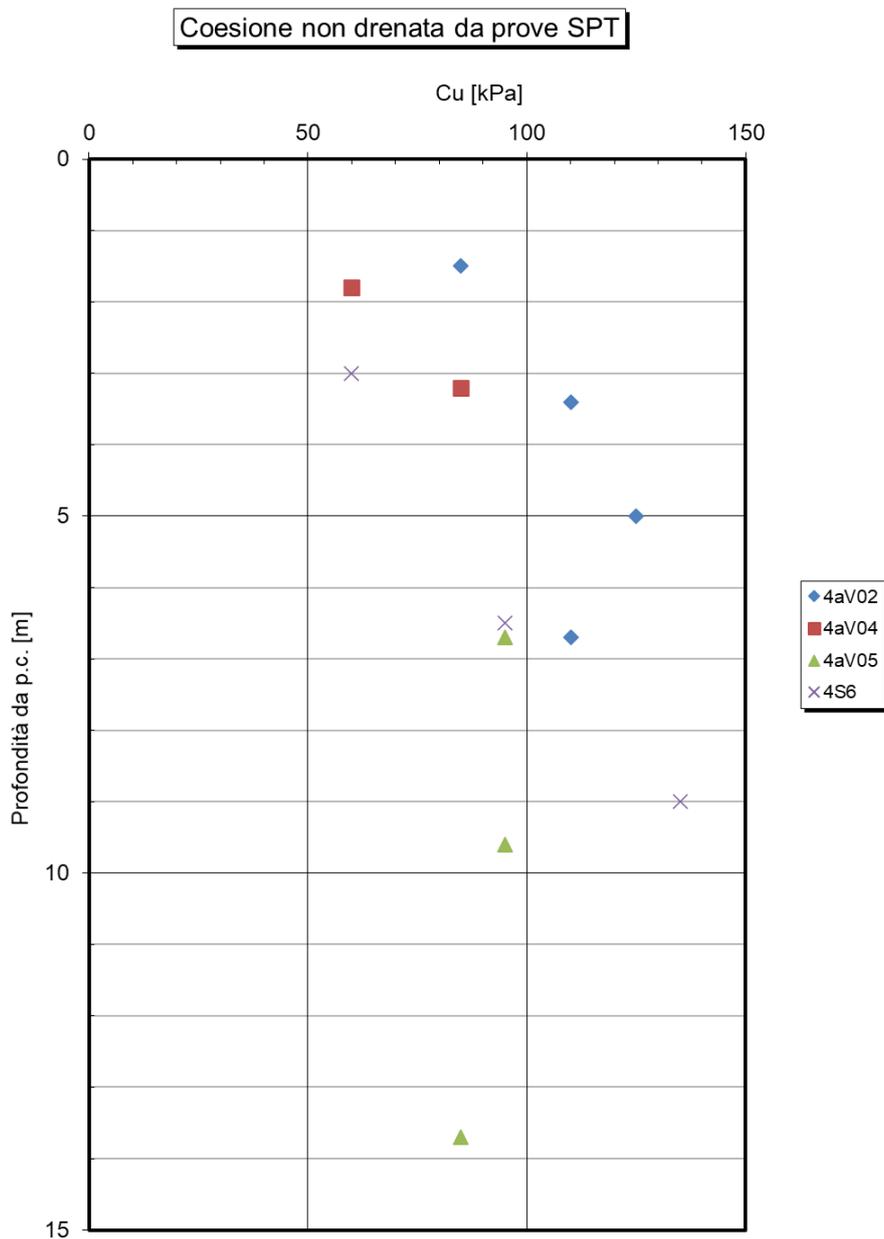


Figura 154: a2 – TRATTA 6 - coesione non drenata da SPT

13.6.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

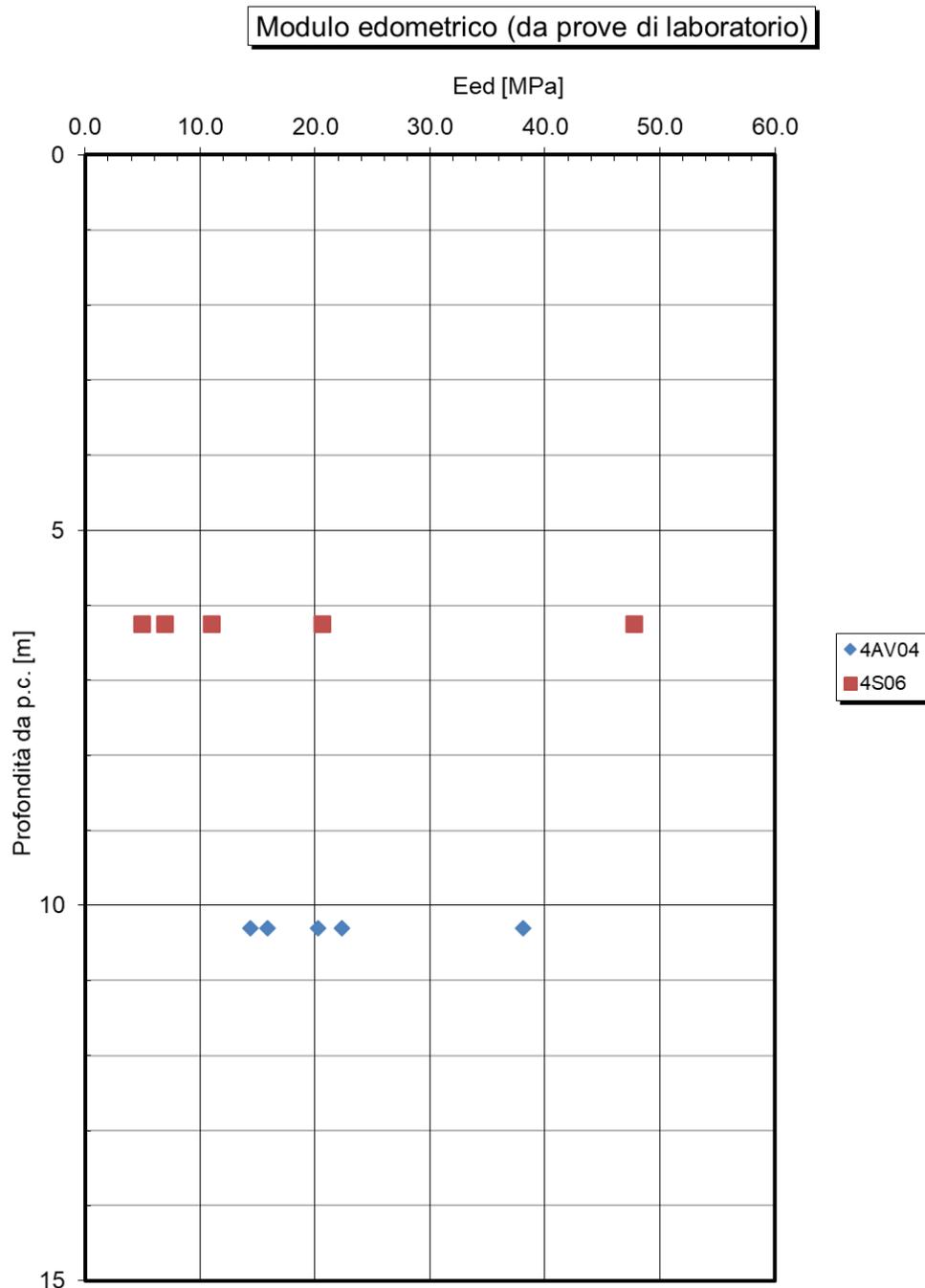


Figura 155: a2 – TRATTA 6 - modulo edometrico da prove edometriche

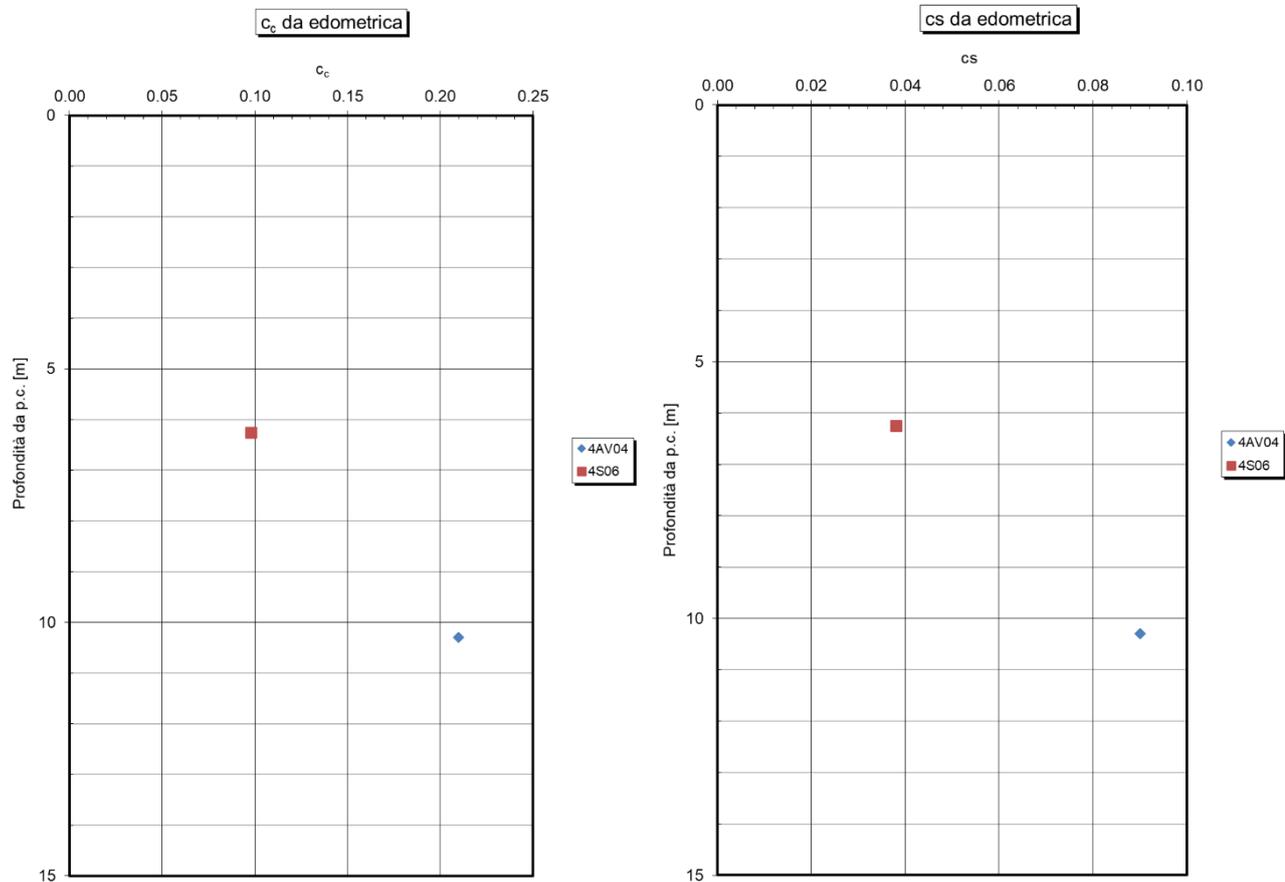


Figura 156: a2 – TRATTA 6 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

13.6.2 TRV

13.6.2.1 Caratteristiche fisiche

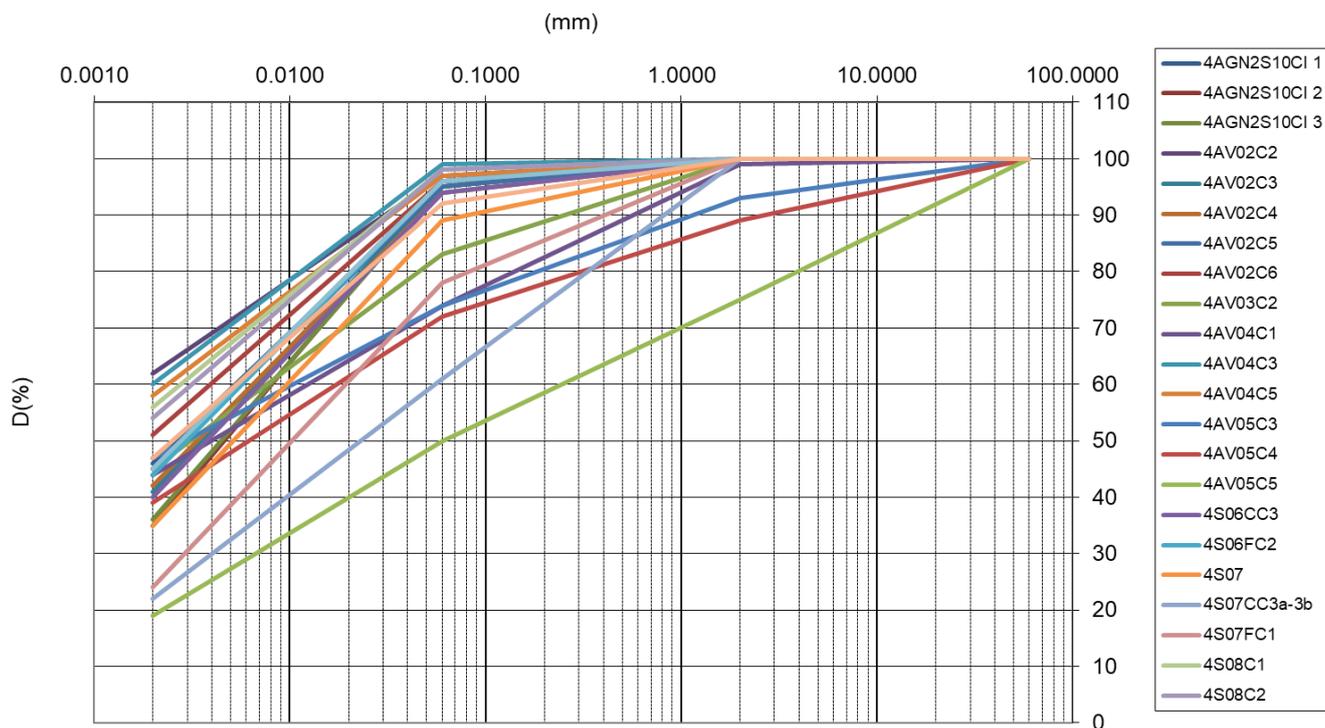


Figura 157: TRV – TRATTA 6 - fuso granulometrico

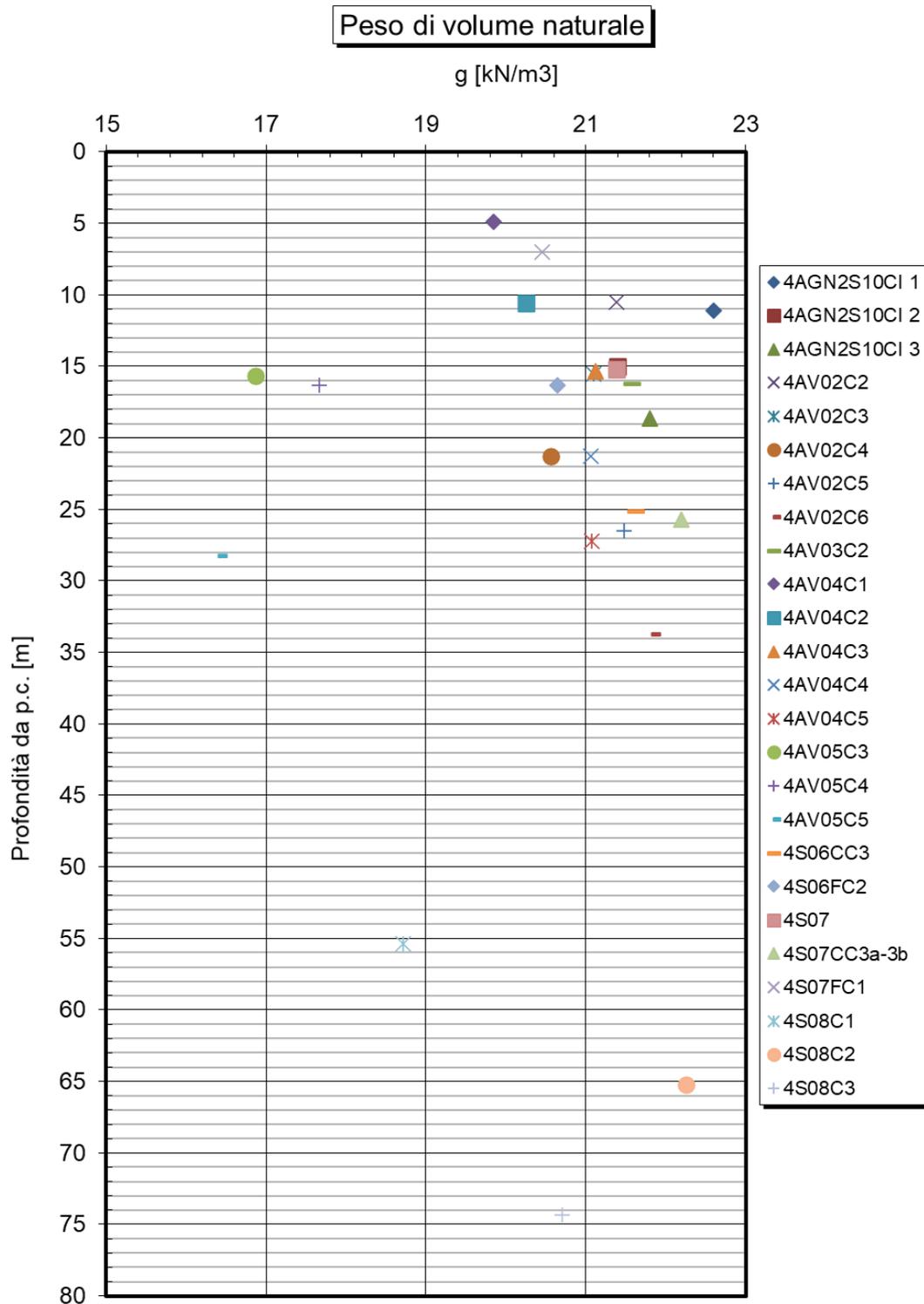


Figura 158: TRV – TRATTA 6 - peso di volume naturale

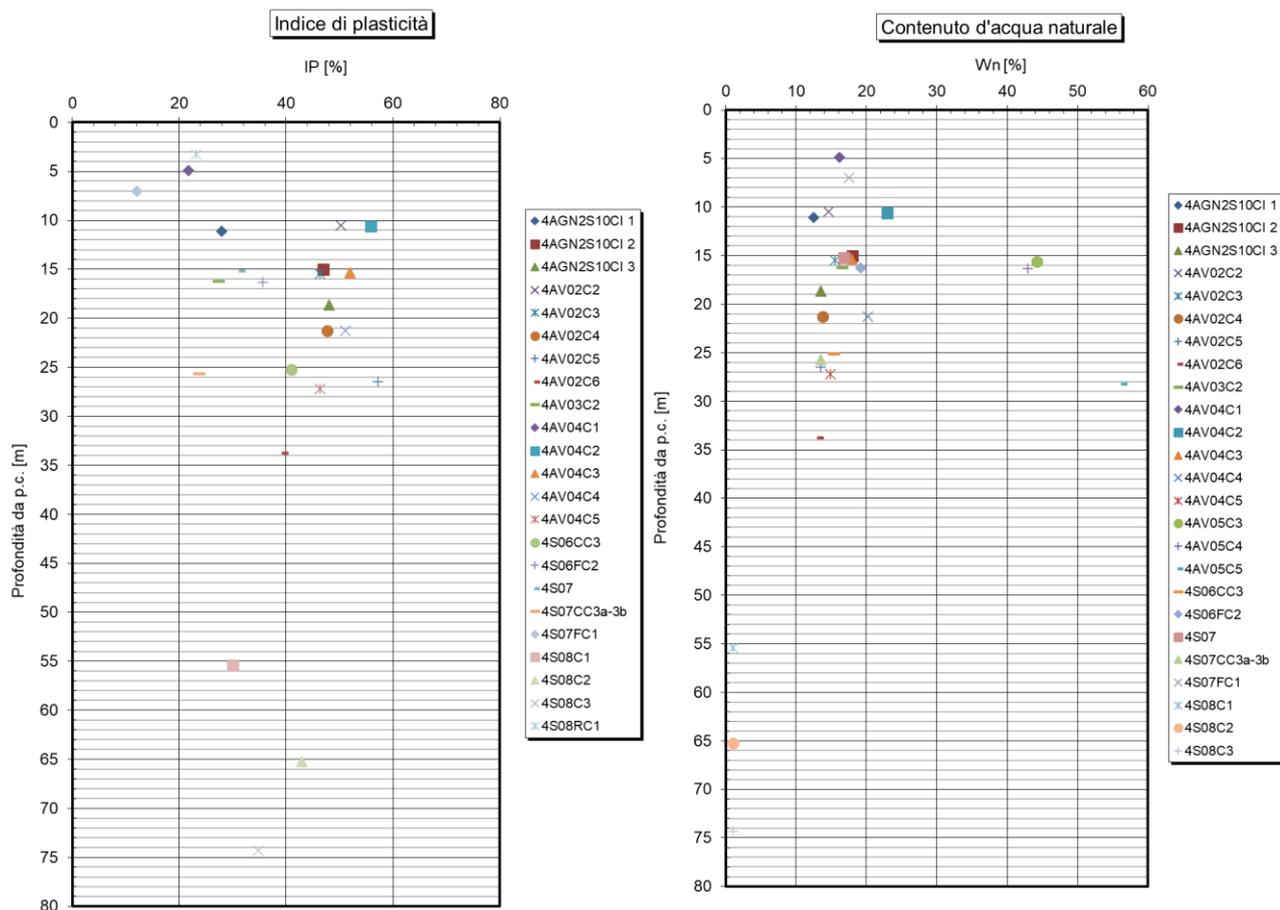


Figura 159: TRV – TRATTA 6 - indice di plasticità e volume d'acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

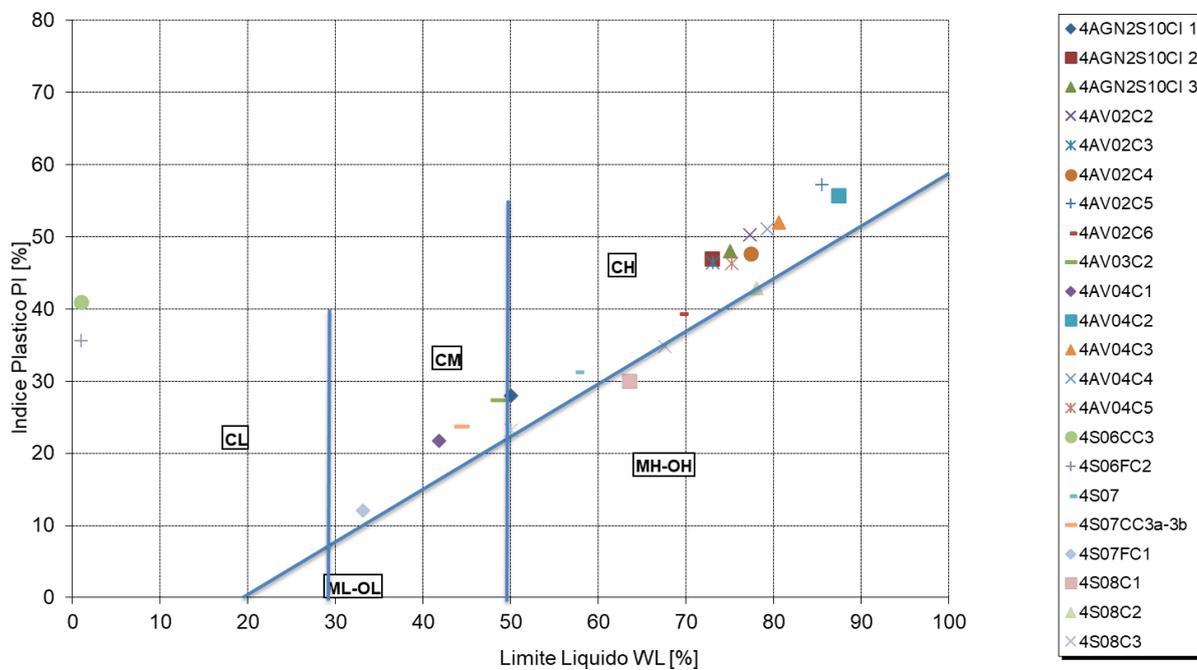


Figura 160: TRV – TRATTA 6 - carta di plasticità di Casagrande

13.6.2.2 Caratteristiche di resistenza drenate

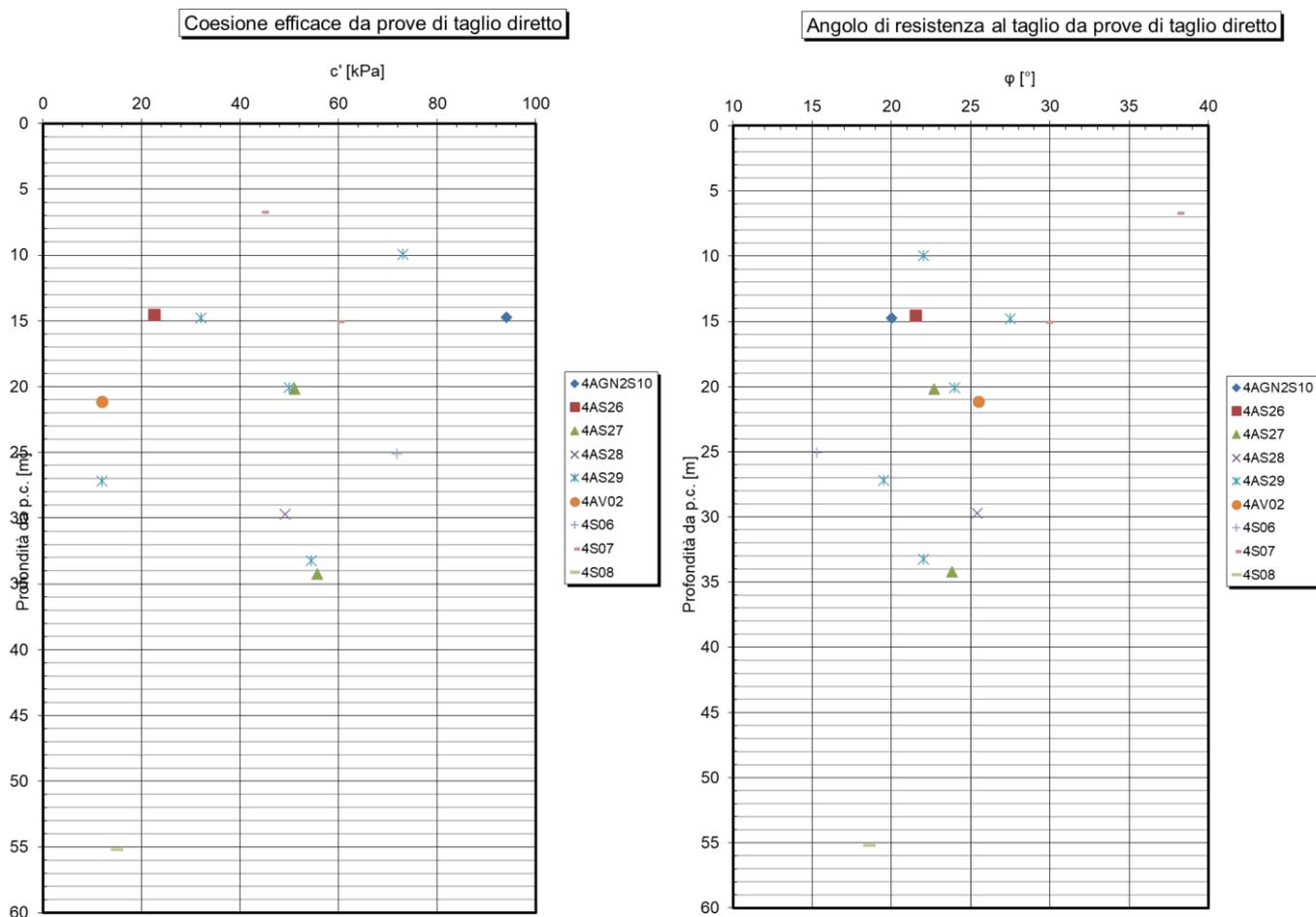


Figura 161: TRV – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

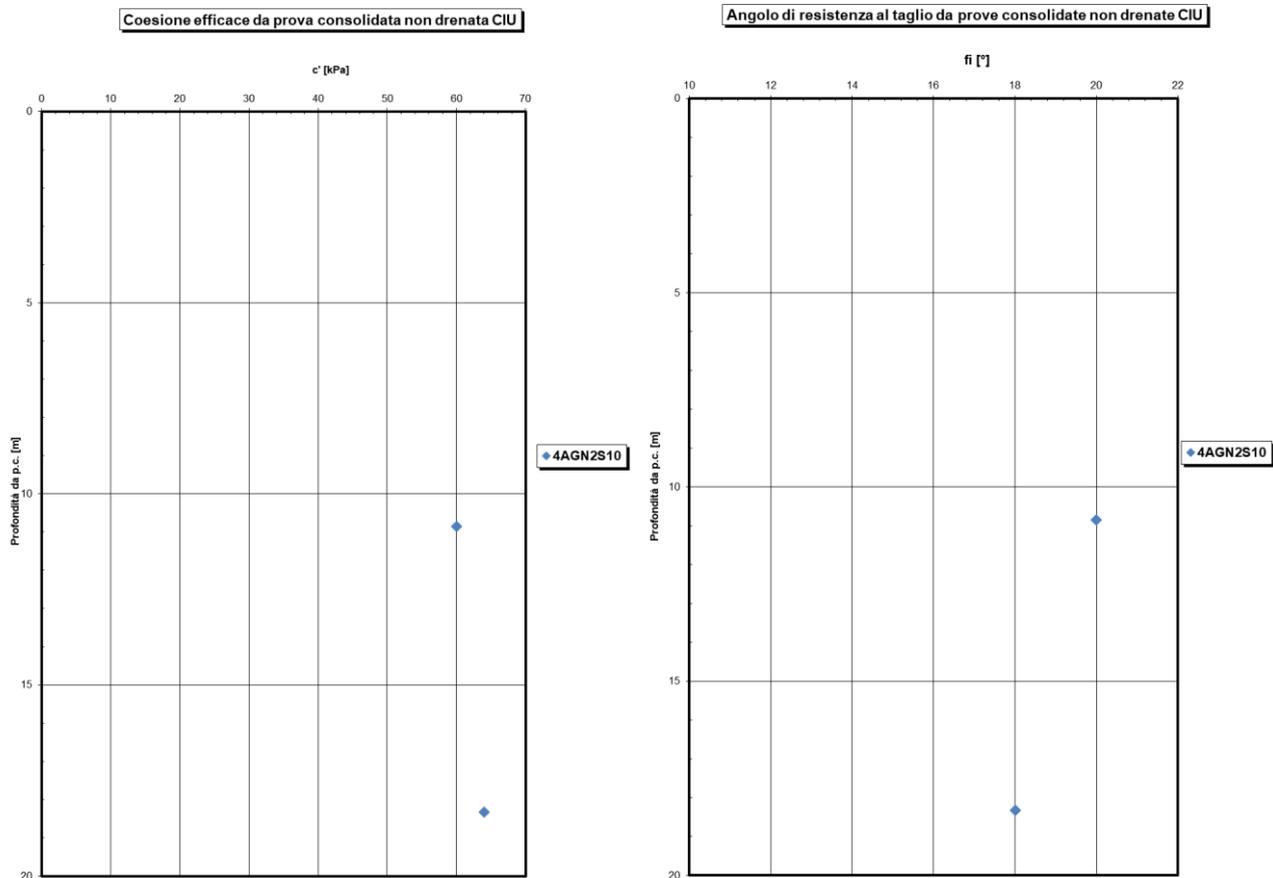


Figura 162: TRV – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CIU

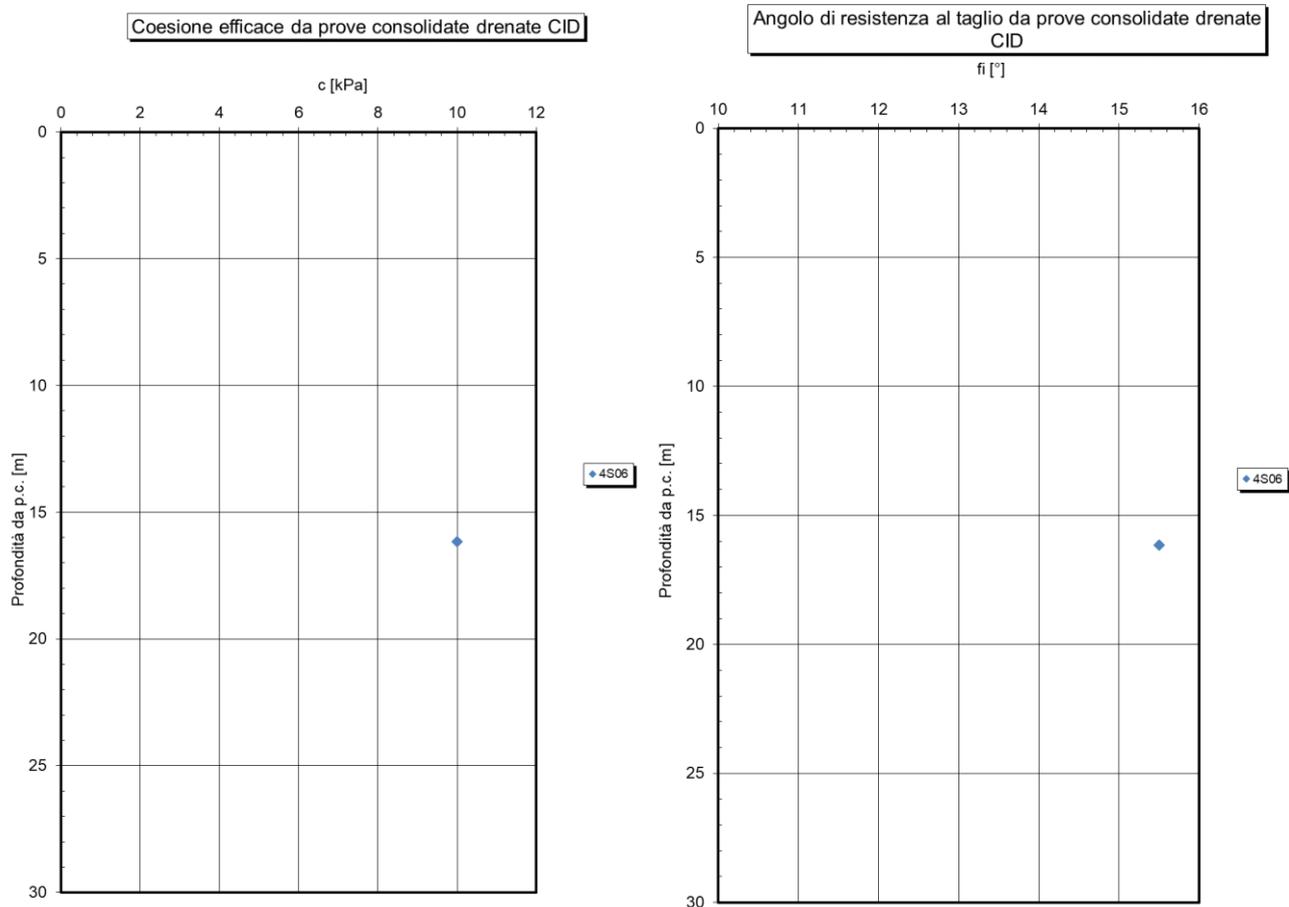


Figura 163: TRV – TRATTA 6 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio della Formazione "TRV", in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 26 \div 54$ kPa;
- $\varphi' = 18 \div 24^\circ$.

13.6.2.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

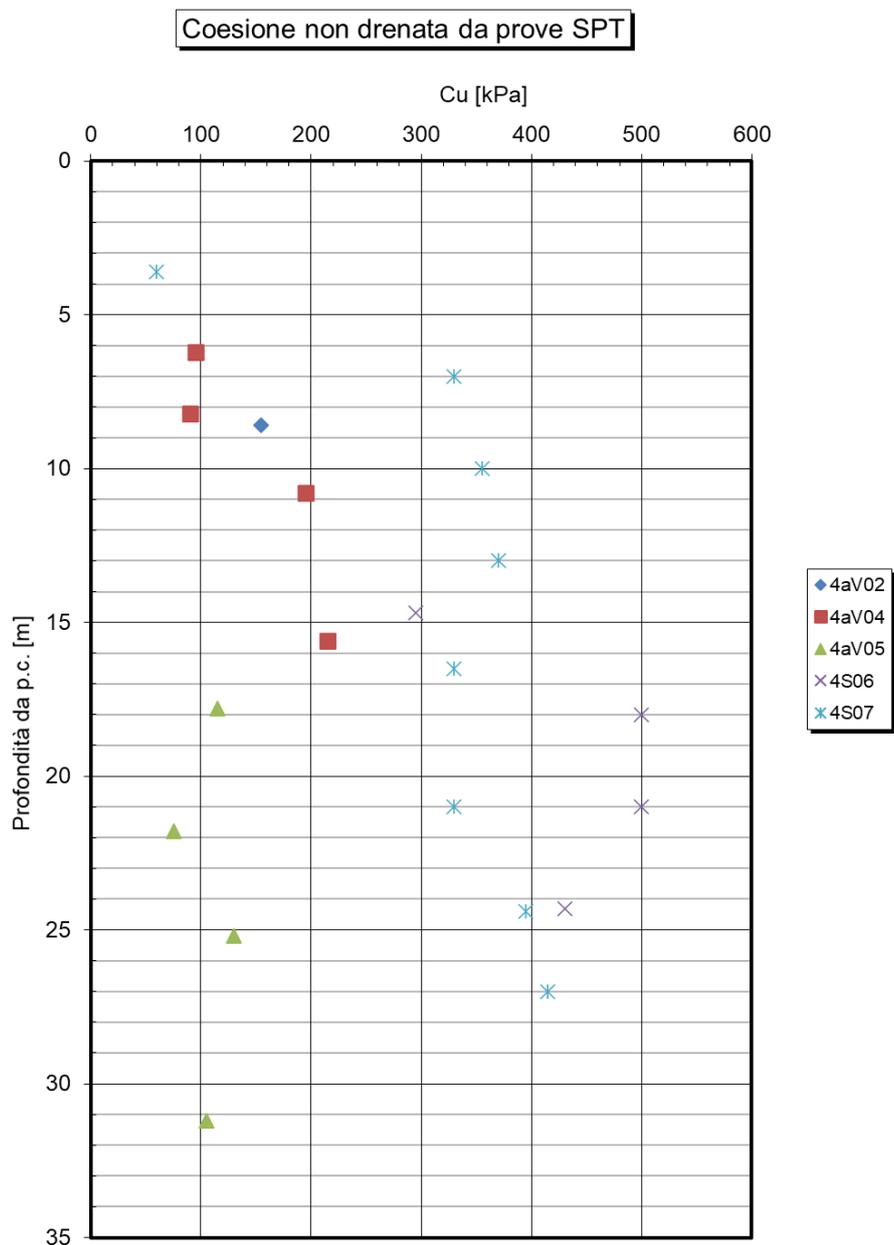


Figura 164: TRV – TRATTA 6 - coesione non drenata da prove SPT

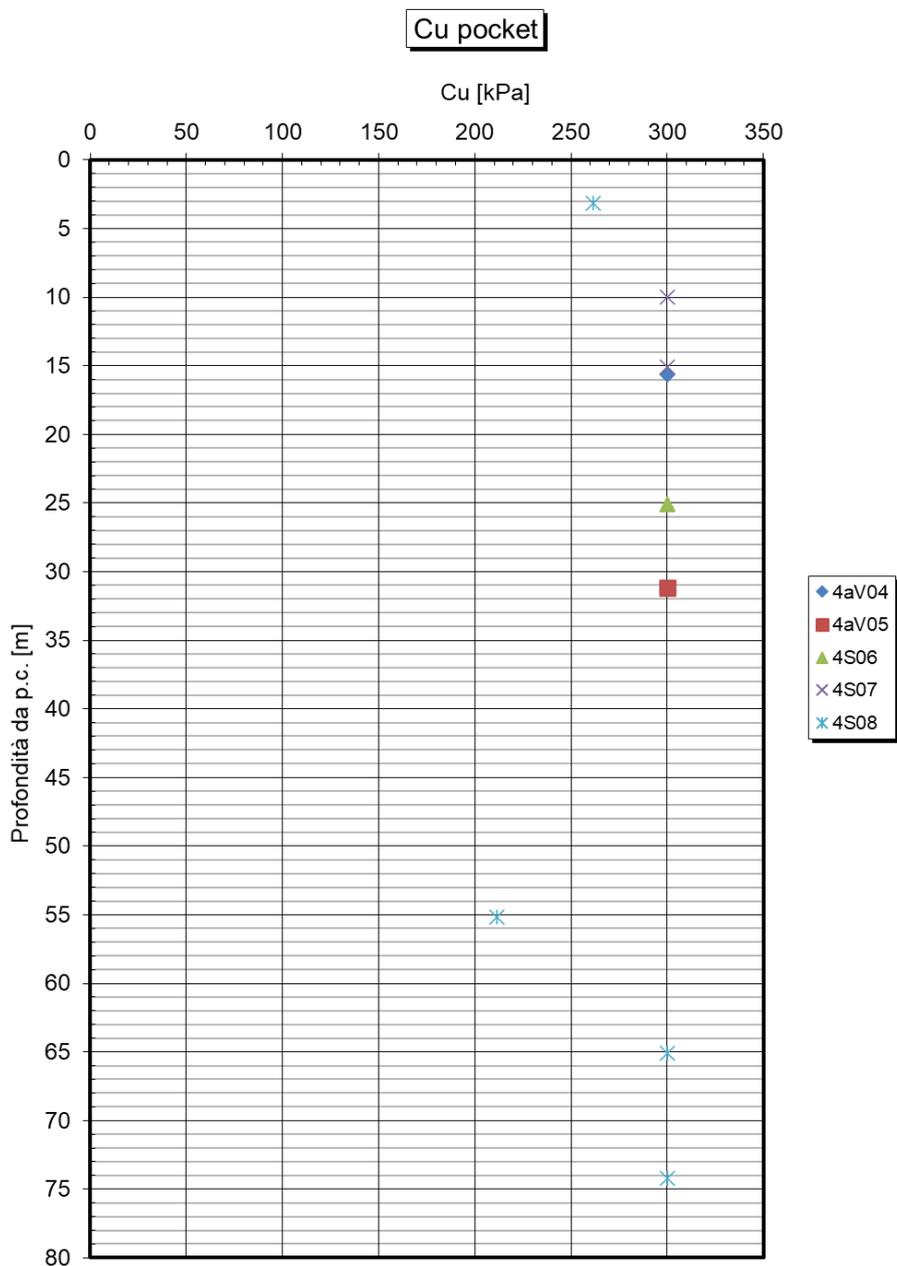


Figura 165: TRV – TRATTA 6 - coesione non drenata da pocket

13.6.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

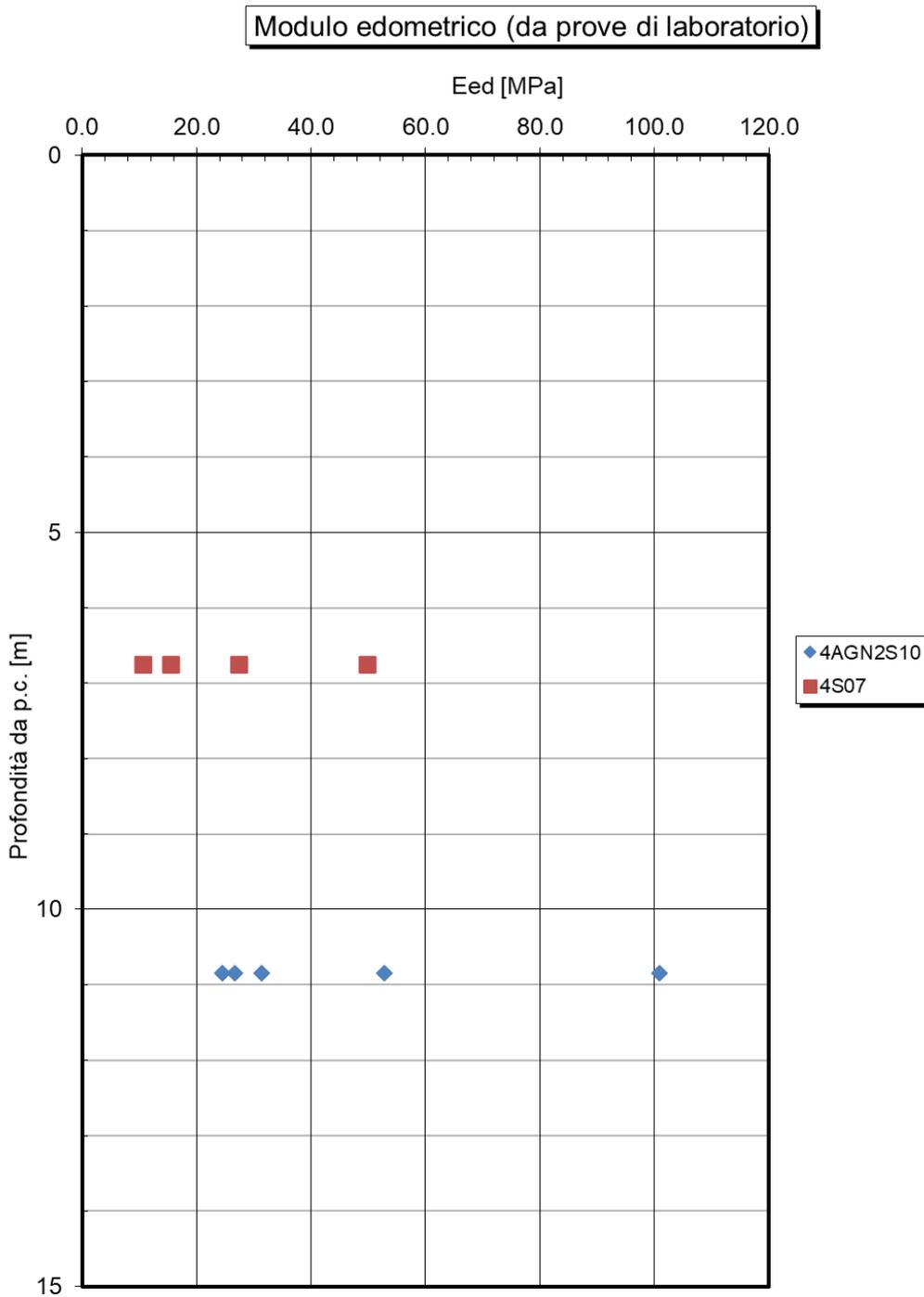


Figura 166: TRV – TRATTA 6 - modulo edometrico da prove edometriche

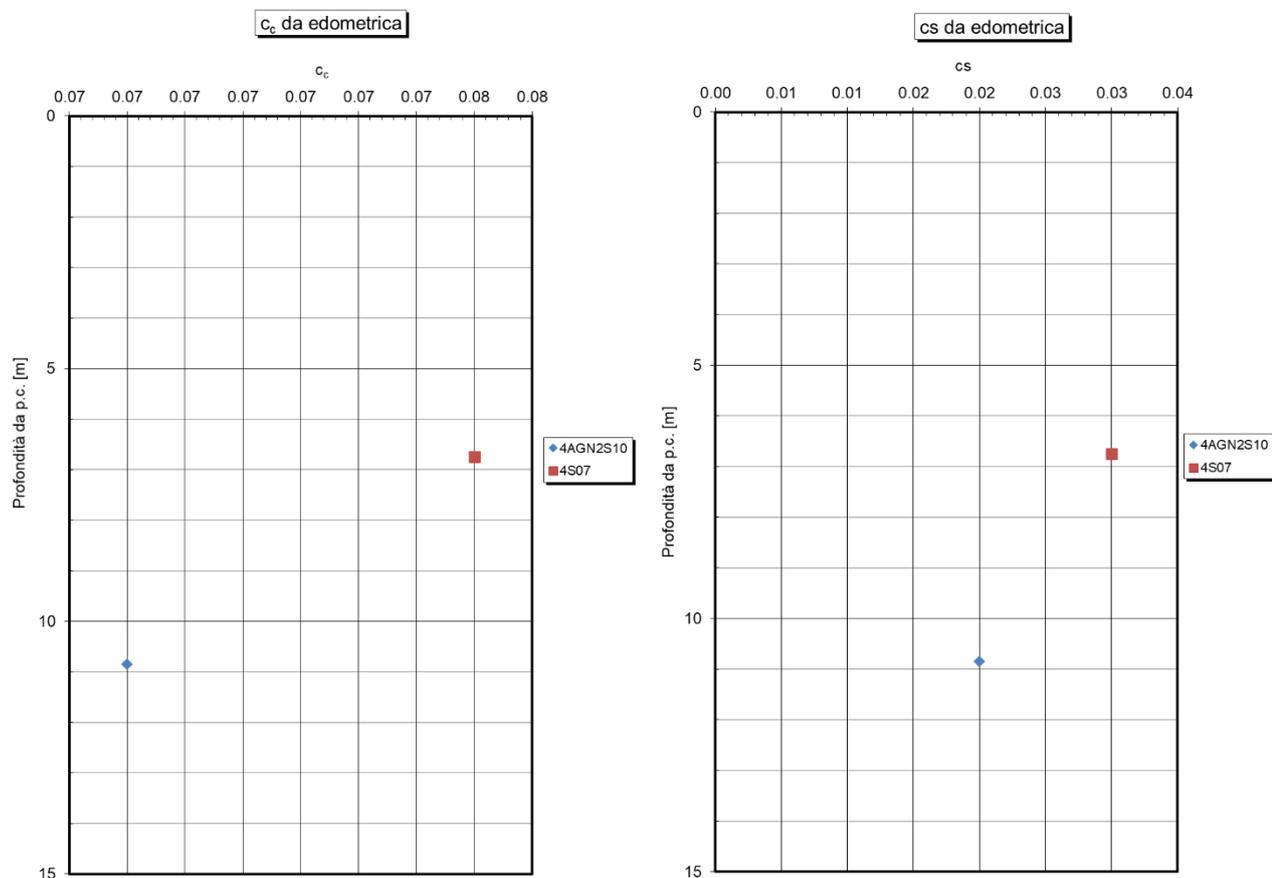


Figura 167: TRV – TRATTA 6 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

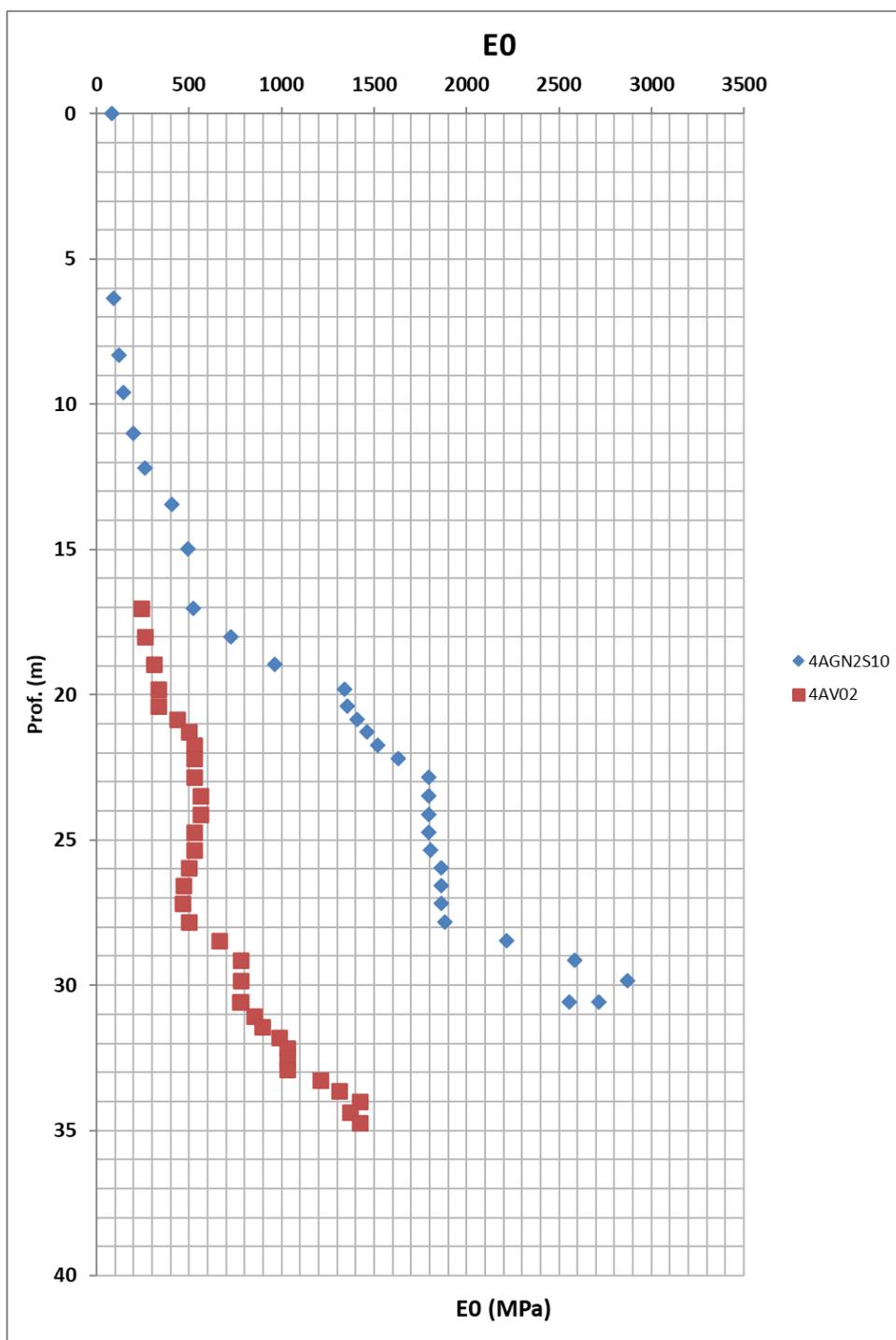


Figura 168: TRV – TRATTA 6 - modulo di Young da sismiche

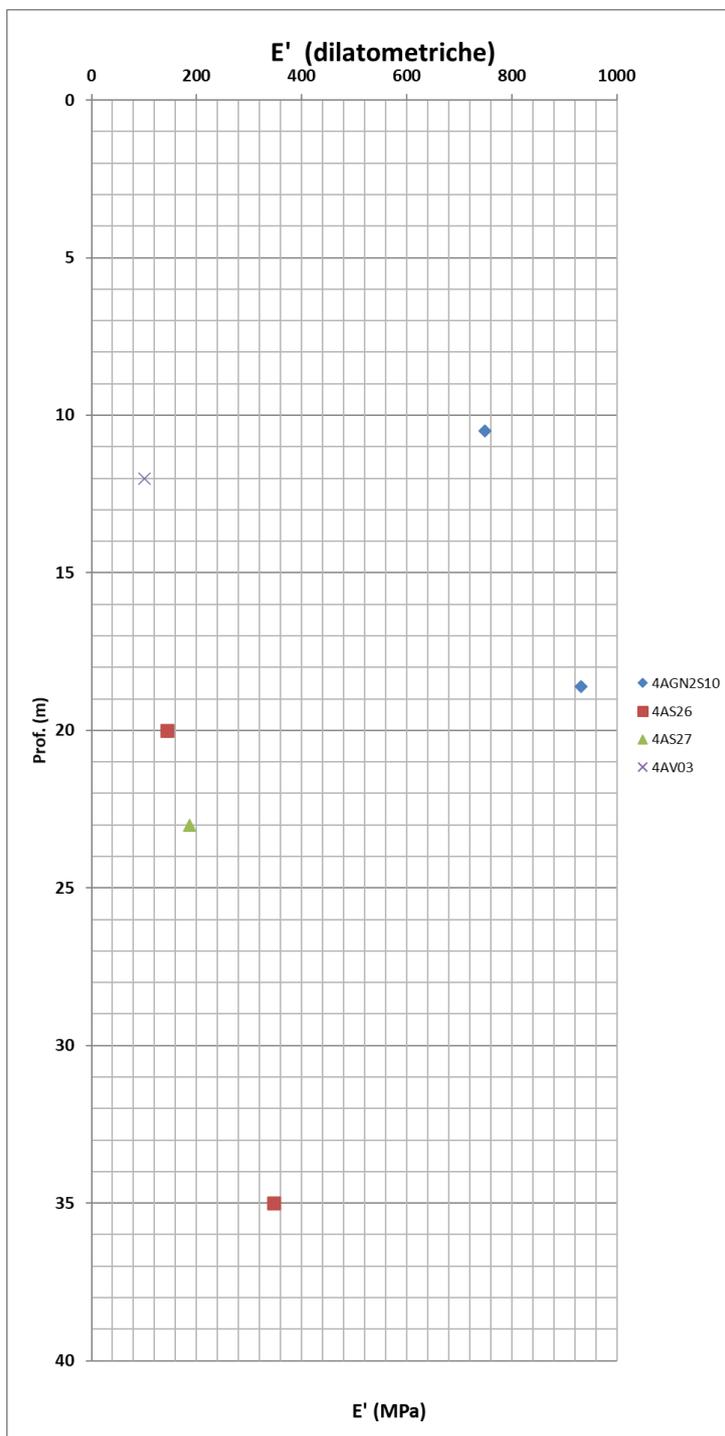


Figura 169: TRV – TRATTA 6 - modulo di Young da dilatometriche

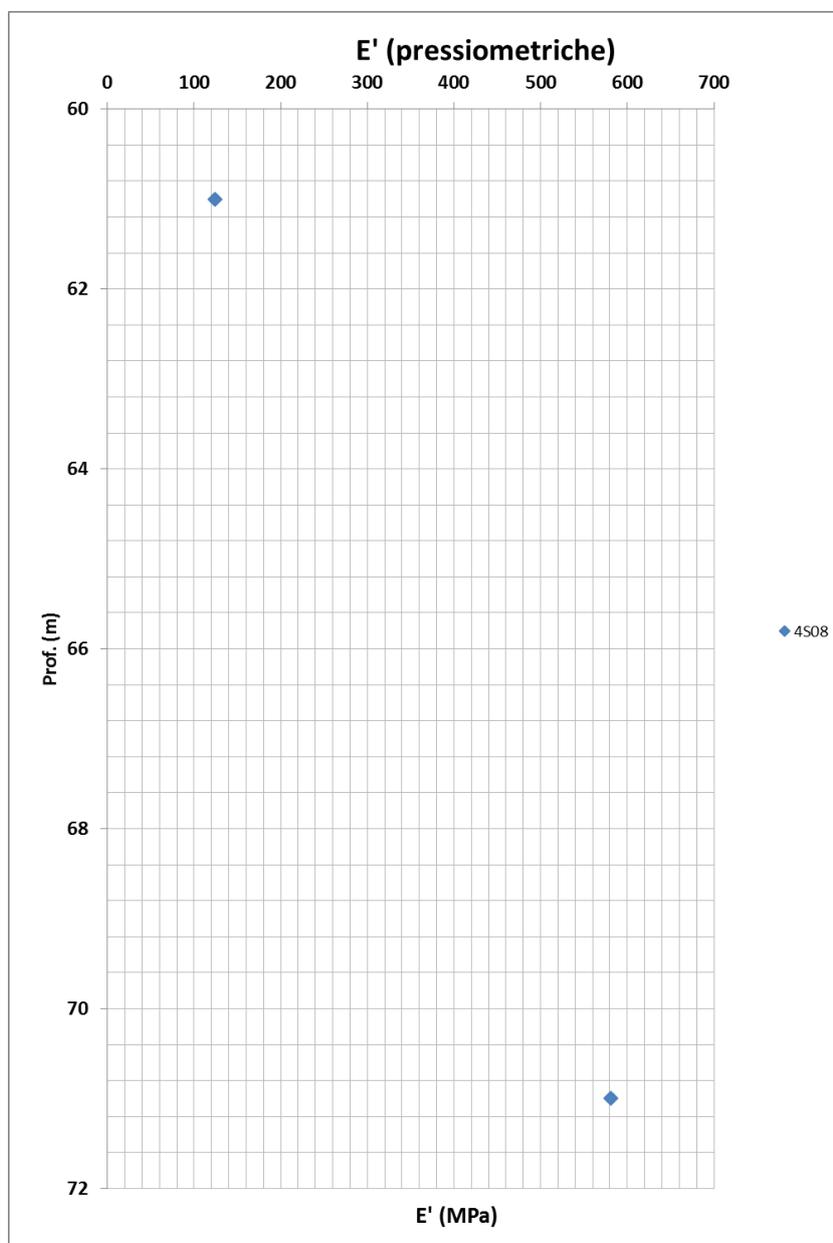


Figura 170: TRV – TRATTA 6 - modulo di Young da pressiometriche

13.6.2.5 Caratteristiche di permeabilità

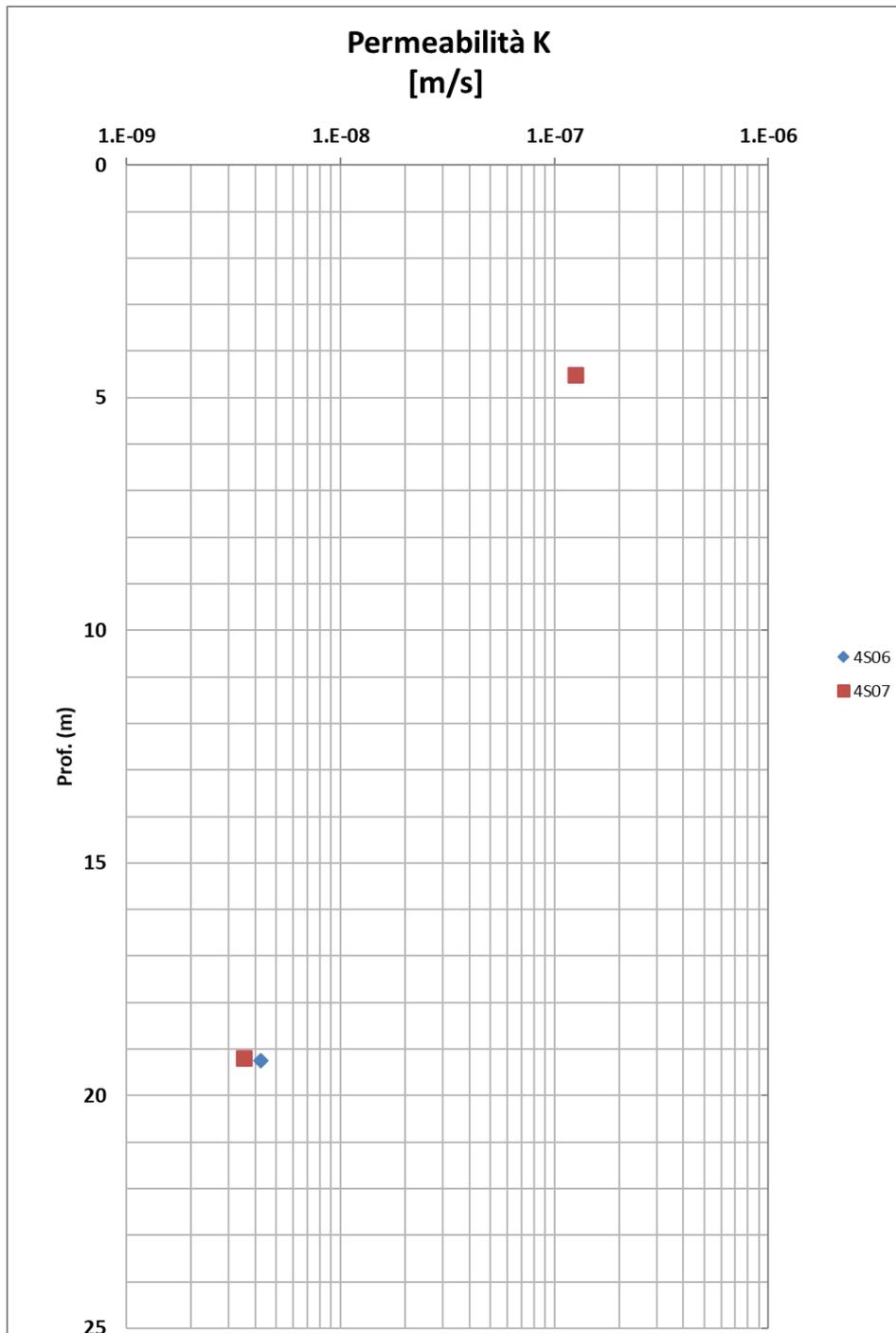


Figura 171: TRV – TRATTA 6 - permeabilità da prove in situ

13.6.3 Parametri geotecnici caratteristici – tratta 6

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia a e TRVa, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	COLTRE (0-3M)	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	ALLUVIONI Sabbia e ghiaie	Formazione Terravecchia: sabbie - sabbie deb. cementate/ TRVa	Formazione Terravecchia: arenarie - conglomerati	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRV
GRUPPO GEOTECNICO	C	a2	a	TRVa (facies sabbioso arenacea)		TRV (Facies argillosa)
γ (kN/m ³)	18-20	18-20	19-20	20-22	21-23	20-22
Dr(%)			40-70	z=0-10m 50-80 z=10-20m 80		
c' (kPa)	0-5	11 - 30	0	0-5	Hoek Brown	z=0-40m 26- 54
c'res (KPa)	0					
ϕ' (°)picco	25-15	29 - 20	33-38	z=0-20m 38-40	Hoek Brown	z=0-40m 24 – 18
ϕ' cv(°)			28-32	30-35		
ϕ' res(°)	10-15					10-15
Cu (kPa)		50-100				z 0-40m 100-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	50-100	z=0-11m 100-150	z=0-11m 70-300	z=0-10m 300-600 z=10-20m 600		z=0-40m 100-1000
E'op (MPa)						z=0-40 100-300
v'(-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3	0,3	0,25-0,3
OCR		z=0-10m 1,5-1				z 0-40m 4-1
Eed(MPa)		5-50				2-40
Cc		0,1-0,2				0,07
Cs		0,04-0,09				0,02-0,03
Cv		5e-7-4e-8				

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per i viadotti è stato comunque effettuata una caratterizzazione specifica, laddove possibile, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nelle tabelle sottostanti.

VIADOTTO VI07

sondaggi riferimento, 4s6, 4as26, 4as27, 4as28	Falda	Cat. Sism	VI07 da 11+733 a 11+952 e da 12+249 a 12+287 e da 12+428 a 12+553													
	5m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
	a2		0	15		20	26	22		*	50				20000	7.86E-07
	TRV		15	40		20	26	19		*	200				80000	2.29E-07

Tabella 25: parametri geotecnici viadotto VI07-1

sondaggi riferimento, 4s6, 4as26, 4as27, 4as28	Falda	Cat. Sism	VI07 da 11+952 a 12+249													
	5m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
	a		0	6	*	*	*	*		*			*	*		7.06E-05
	a2		6	8		20	26	22		*	50				20000	7.86E-07
	TRV		8	40		20	26	19		*	200				80000	2.29E-07

Tabella 26: parametri geotecnici viadotto VI07-2

sondaggi riferimento, 4s6, 4as26, 4as27, 4as28	Falda	Cat. Sism	VI07 da 12+287 a 12+428													
	5m pc	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	Cu [kPa]	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
	a2		0	8		20	26	22		*	50				20000	7.86E-07
	a		8	12	*	*	*	*		*			*	*		7.06E-05
	TRV		12	40		20	26	19		*	200				80000	2.29E-07

Tabella 27: parametri geotecnici viadotto VI07-3

(*) si rimanda alla caratterizzazione generale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 272 di 379

13.7 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 7 (da pk 13+427 a pk 26+928)

Per la caratterizzazione di questa tratta si rimanda agli elaborati specifici della GN Trinacria.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 273 di 379

13.8 Caratterizzazione Geotecnica Tratta 8 (da pk 26+928 a pk 27+523)

La tratta 8 è interessata dalla presenza della Formazione TRV. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

Di seguito sono riportate in tabella le WBS e le relative opere da realizzare nella tratta in esame (da pk 26+928 a pk 27+523 – fine lotto).

WBS	OPERA
TR12	TRINCEA

Tabella 28: Tratta 8 - Rispettivamente WBS con relative opere tratta con viabilità

13.8.1 TRV

13.8.1.1 Caratteristiche fisiche

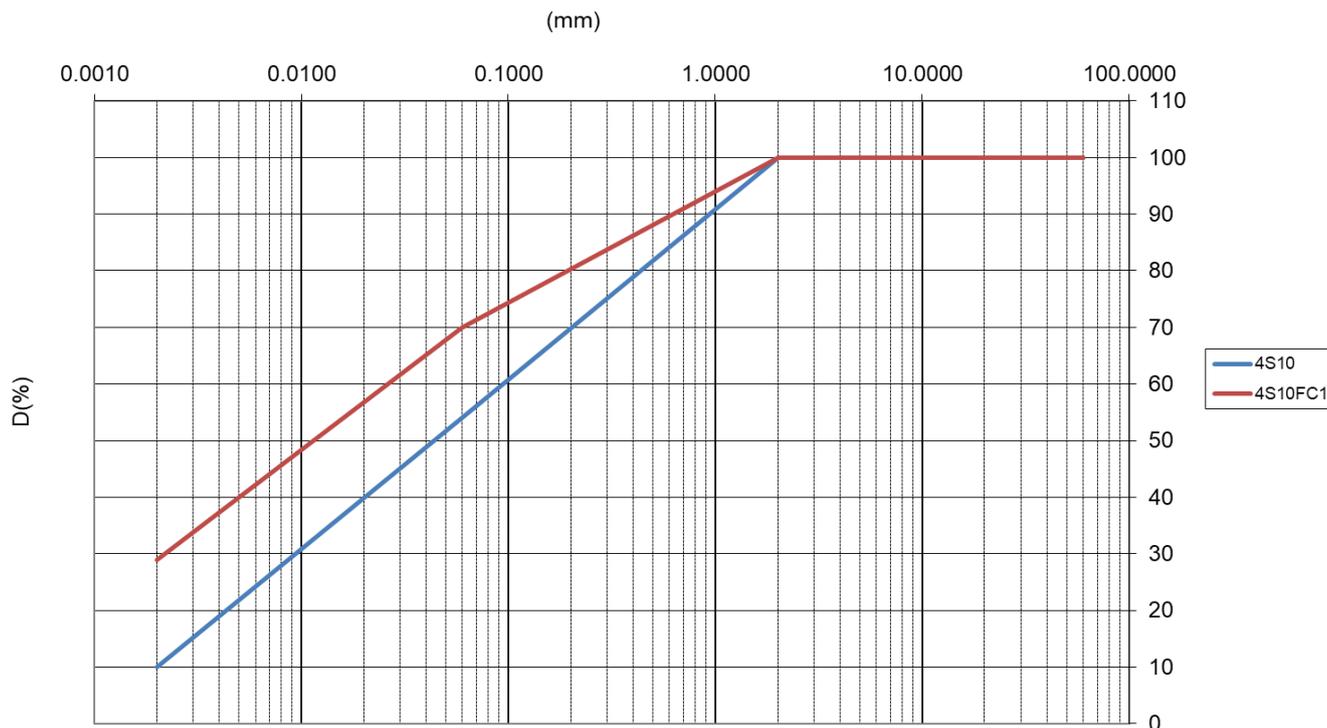


Figura 172: TRV – TRATTA 8 - fuso granulometrico

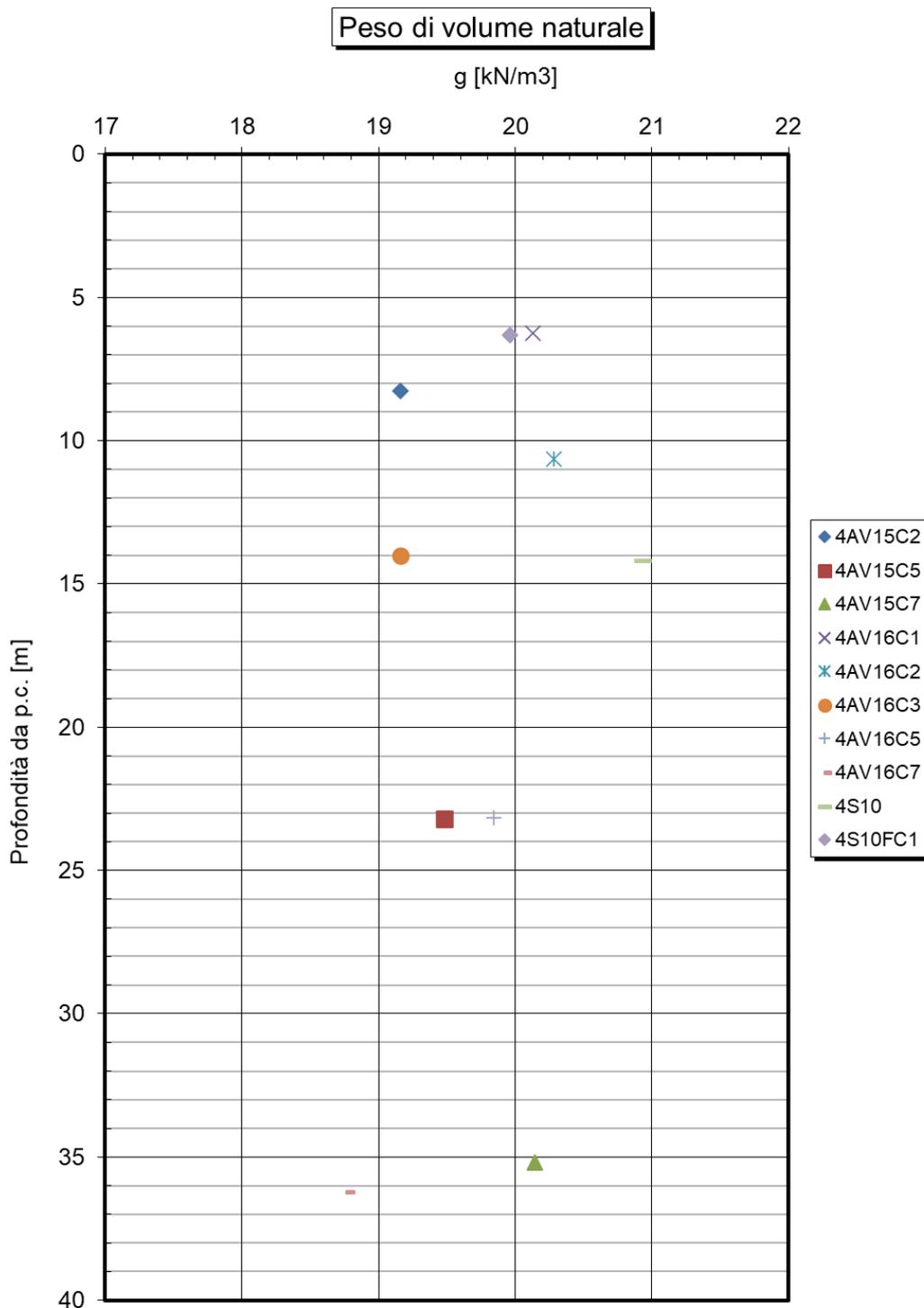


Figura 173: TRV – TRATTA 8 - peso di volume naturale

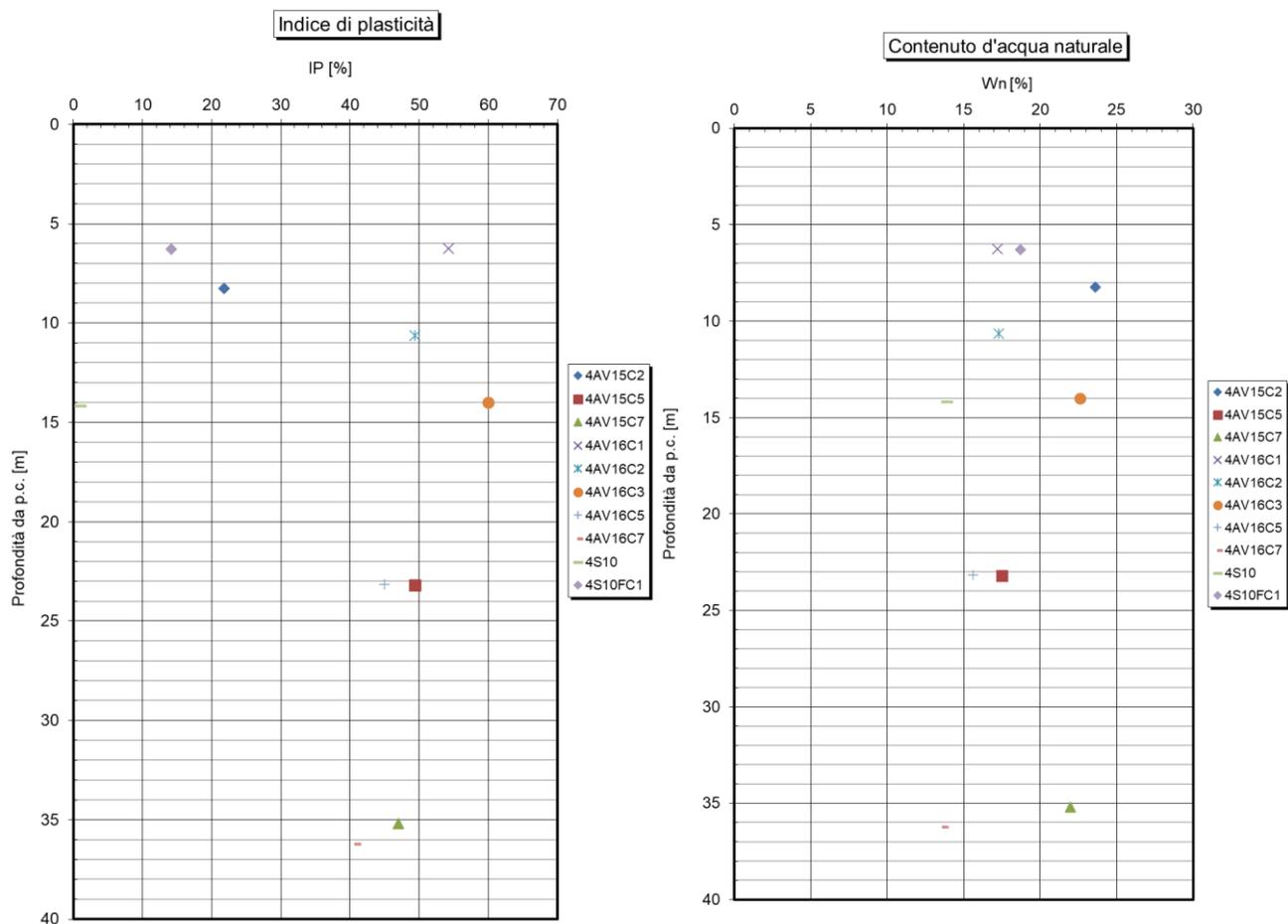


Figura 174: TRV – TRATTA 8 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

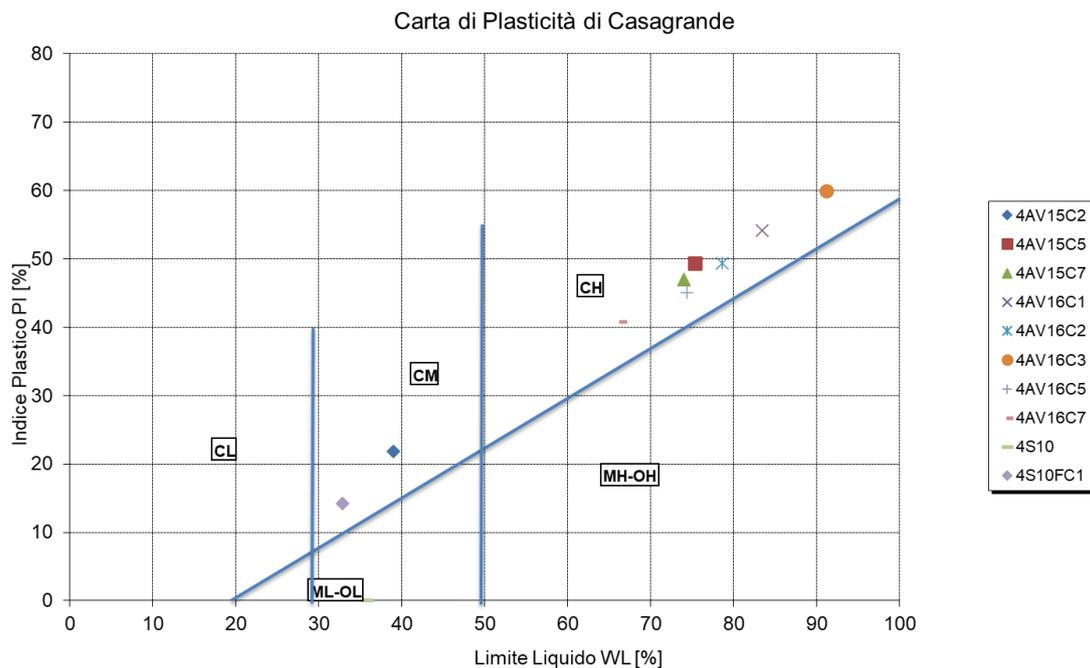


Figura 175: TRV – TRATTA 8 - carta di plasticità di Casagrande

13.8.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

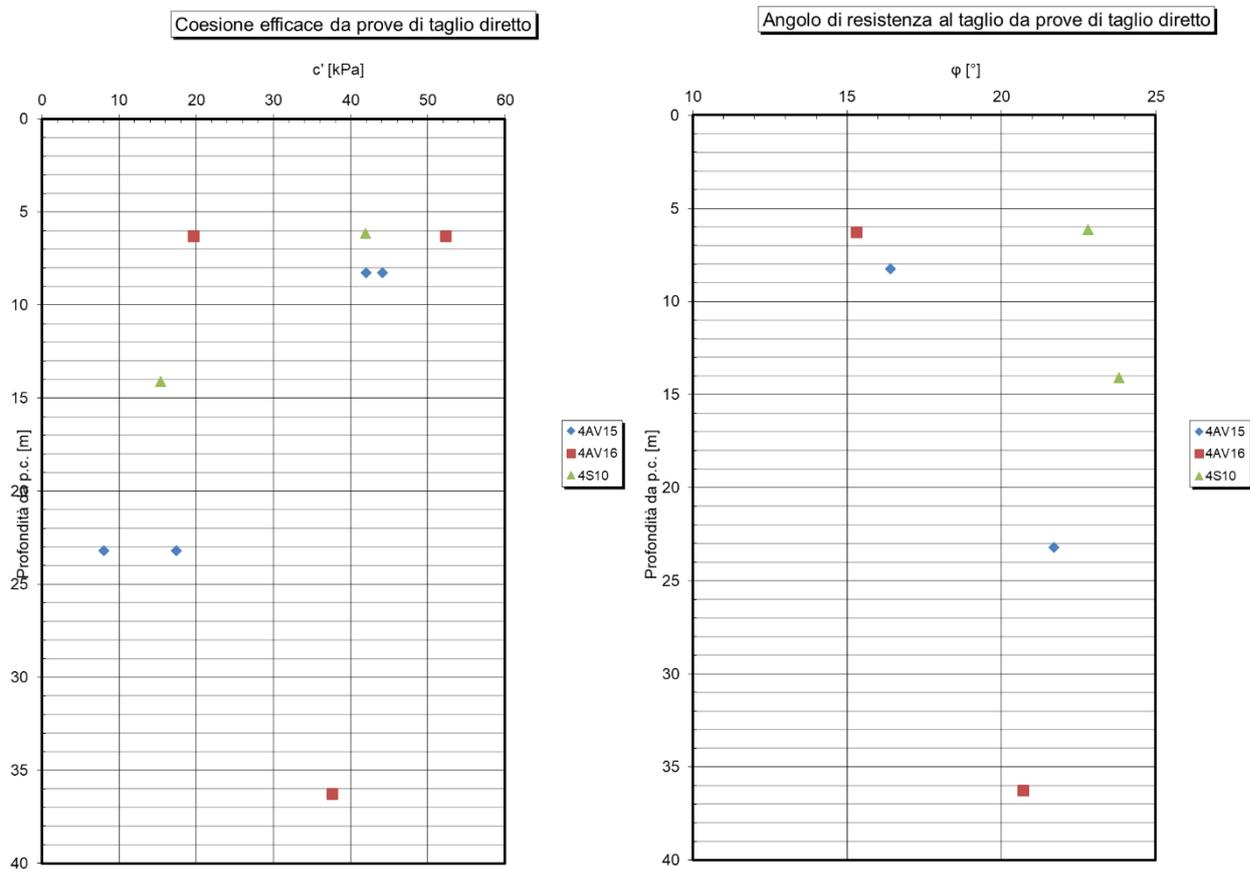


Figura 176: TRV – TRATTA 8 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

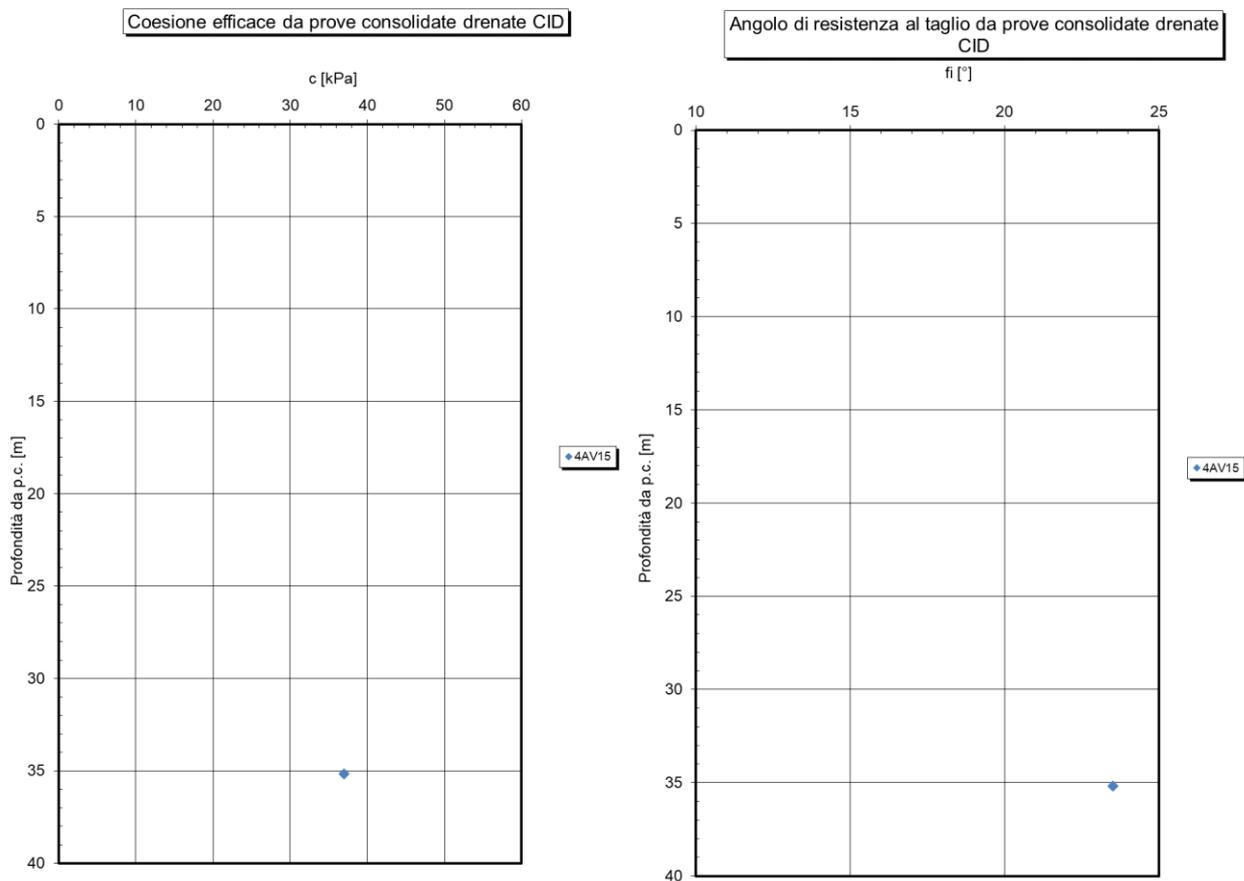


Figura 177: TRV – TRATTA 8 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

Sulla base di un approccio statistico riguardante le prove eseguite, per la caratterizzazione dei parametri di resistenza a taglio della Formazione “TRV”, in condizione drenate, si riconoscono i seguenti range di variabilità:

- $c' = 40 \text{ kPa}$;
- $\varphi' = 21^\circ$.

13.8.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

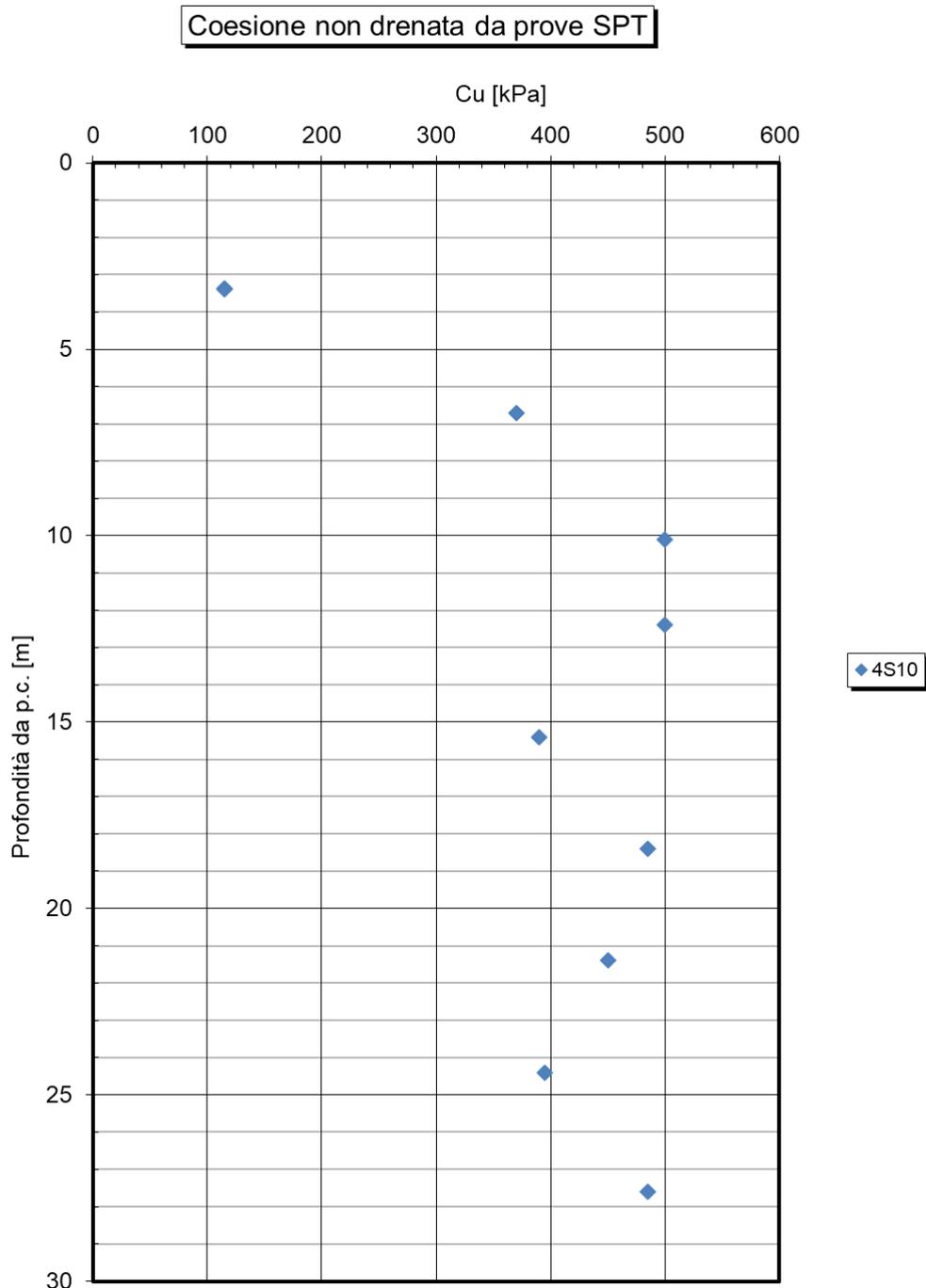


Figura 178: TRV – TRATTA 8 - coesione non drenata da prove SPT

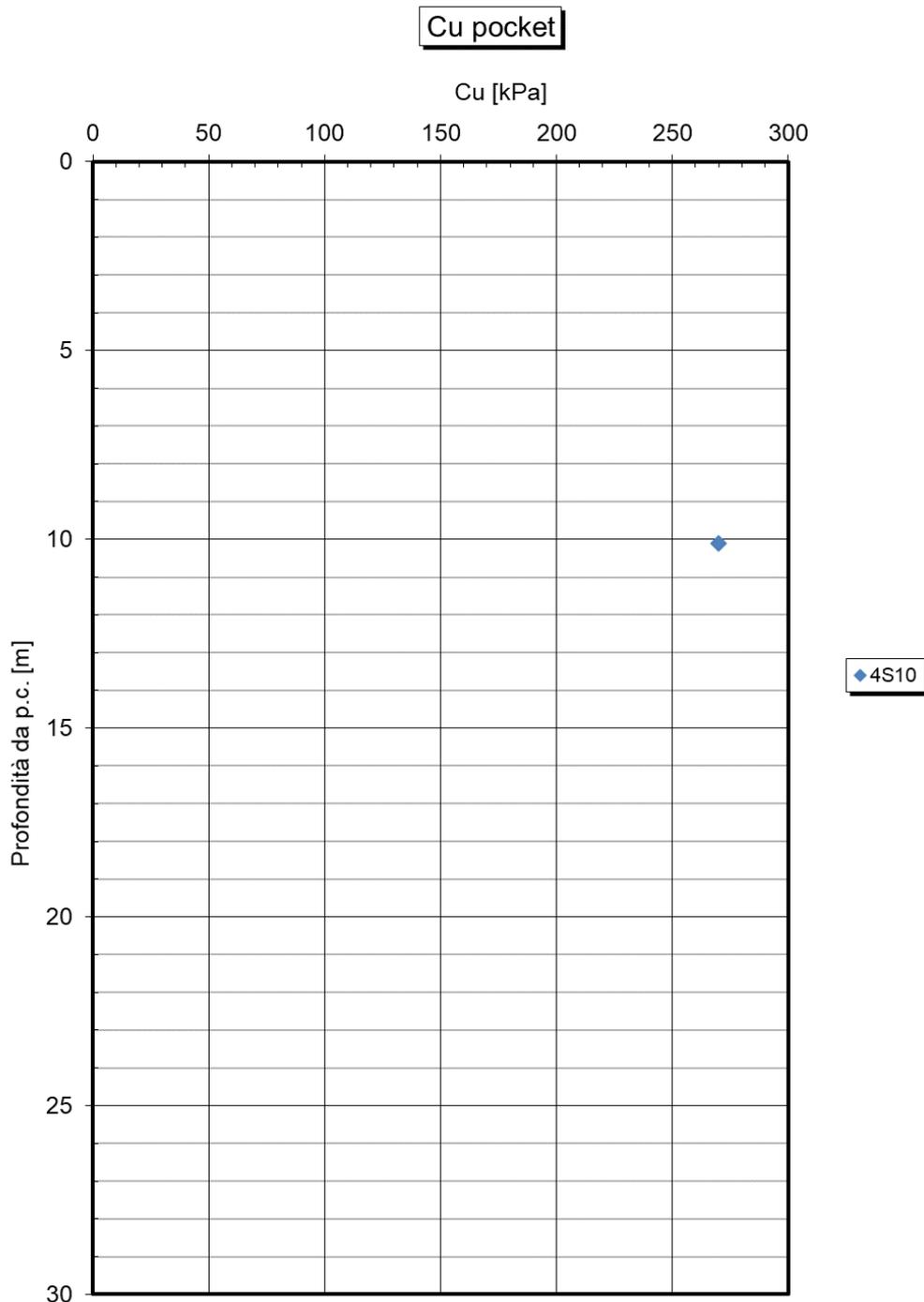


Figura 179: TRV – TRATTA 8 - coesione non drenata da pocket

13.8.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

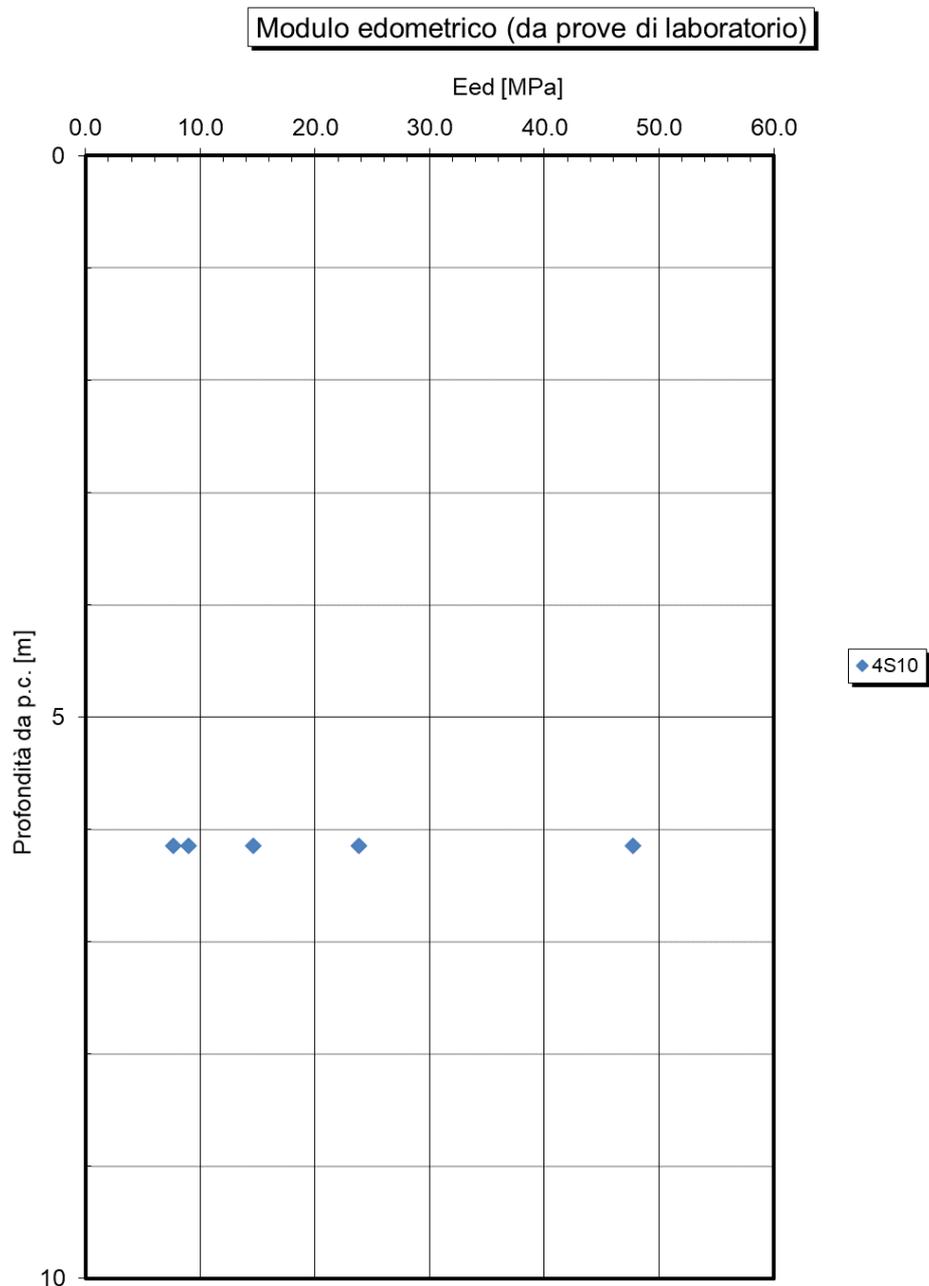


Figura 180: TRV – TRATTA 8- modulo edometrico da prove edometriche

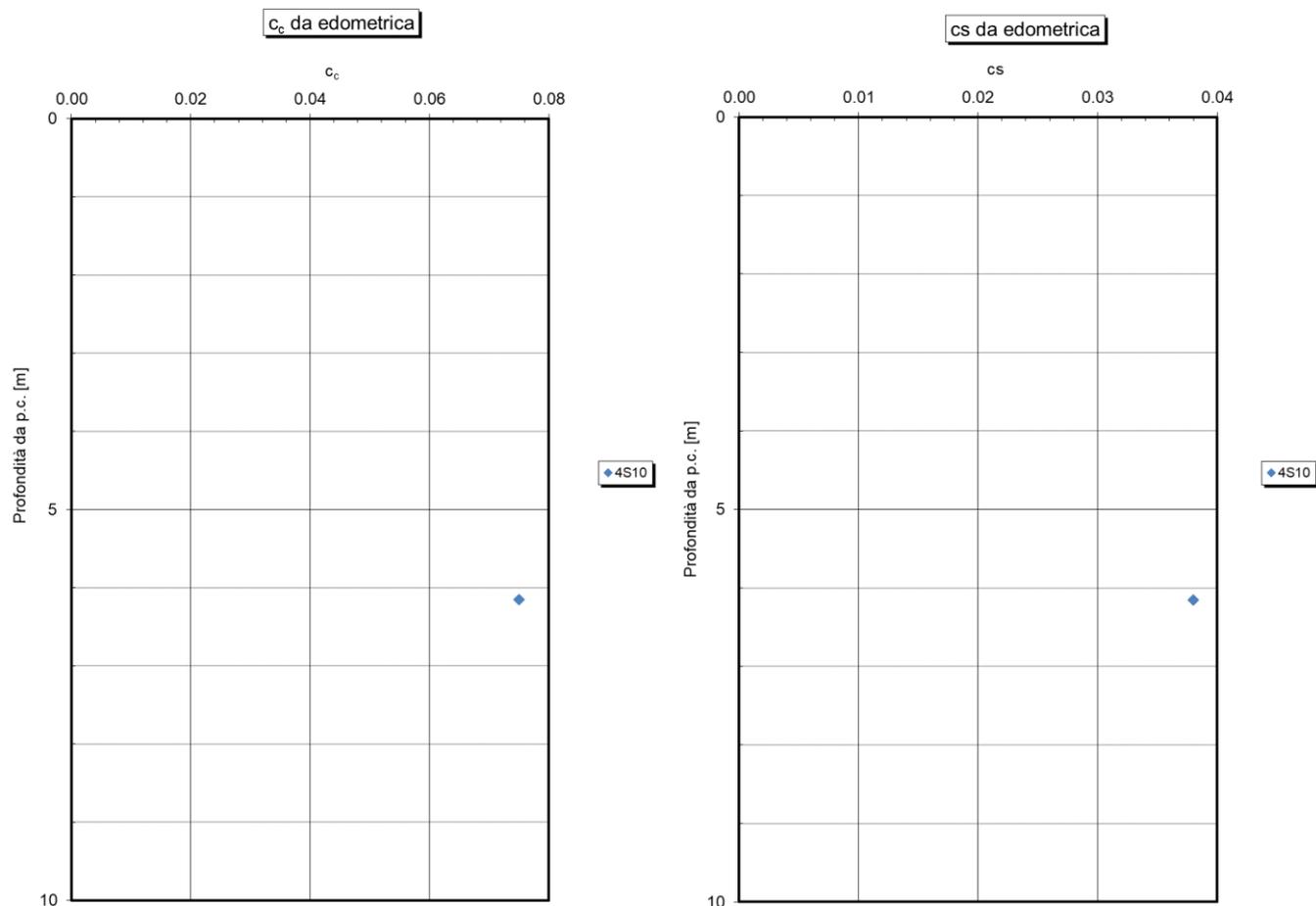


Figura 181: TRV – TRATTA 8- coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

13.8.1.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

13.8.2 Parametri geotecnici caratteristici – tratta 8

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta.

descrizione	COLTRE (0-3M)	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt
GRUPPO GEOTECNICO	C	TRV (Facies argillosa)
γ (kN/m ³)	18-20	20-22
Dr(%)		
c' (kPa)	0-5	z=0-40m 40
c'res (kPa)	0	
ϕ' (°)picco	25-15	z=0-40m 21
ϕ' cv(°)		
ϕ' res(°)	10-15	10-15
Cu (kPa)		z 0-40m 100-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	50-100	z=0-40m 100-1000
E'op (MPa)		z=0-40 30-300
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR		z 0-40m 4-1
Eed(MPa)		8-50
Cc		0,07
Cs		0,04
Cv		

In questa tratta non sono presenti viadotti.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 285 di 379</p>

13.9 Caratterizzazione Geotecnica Variante Linea Storica Tratta 1 (da pk 0+000 a pk 0+900)

La tratta 1 della Variante Linea Storica è interessata dalla presenza della Formazione a2, TRV e FYN4. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

13.9.1 TRV

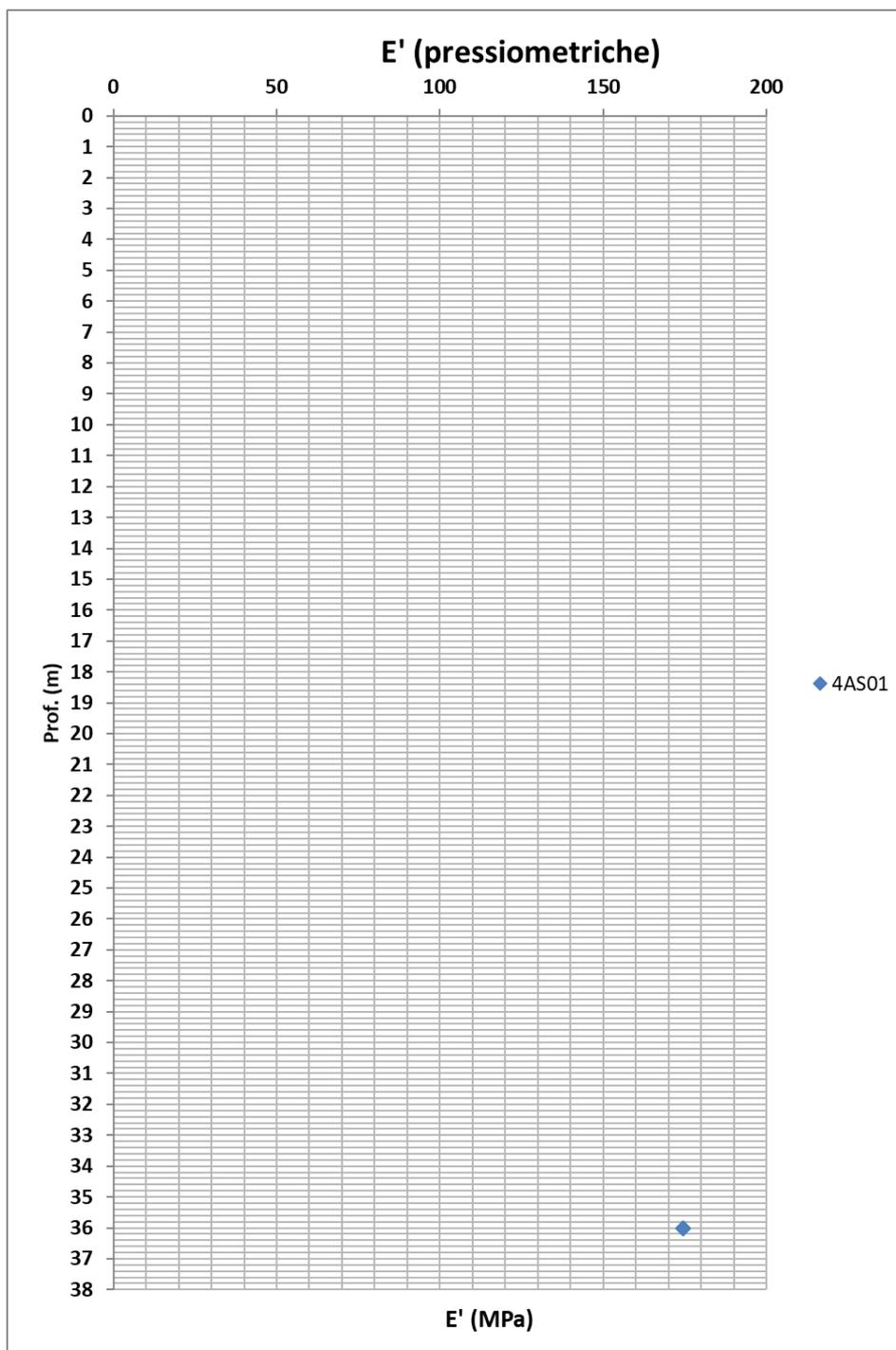


Figura 182: TRV– TRATTA 1 LINEA STORICA - modulo di Young da pressiometriche

13.9.2 FYN4

Modulo edometrico (da prove di laboratorio)

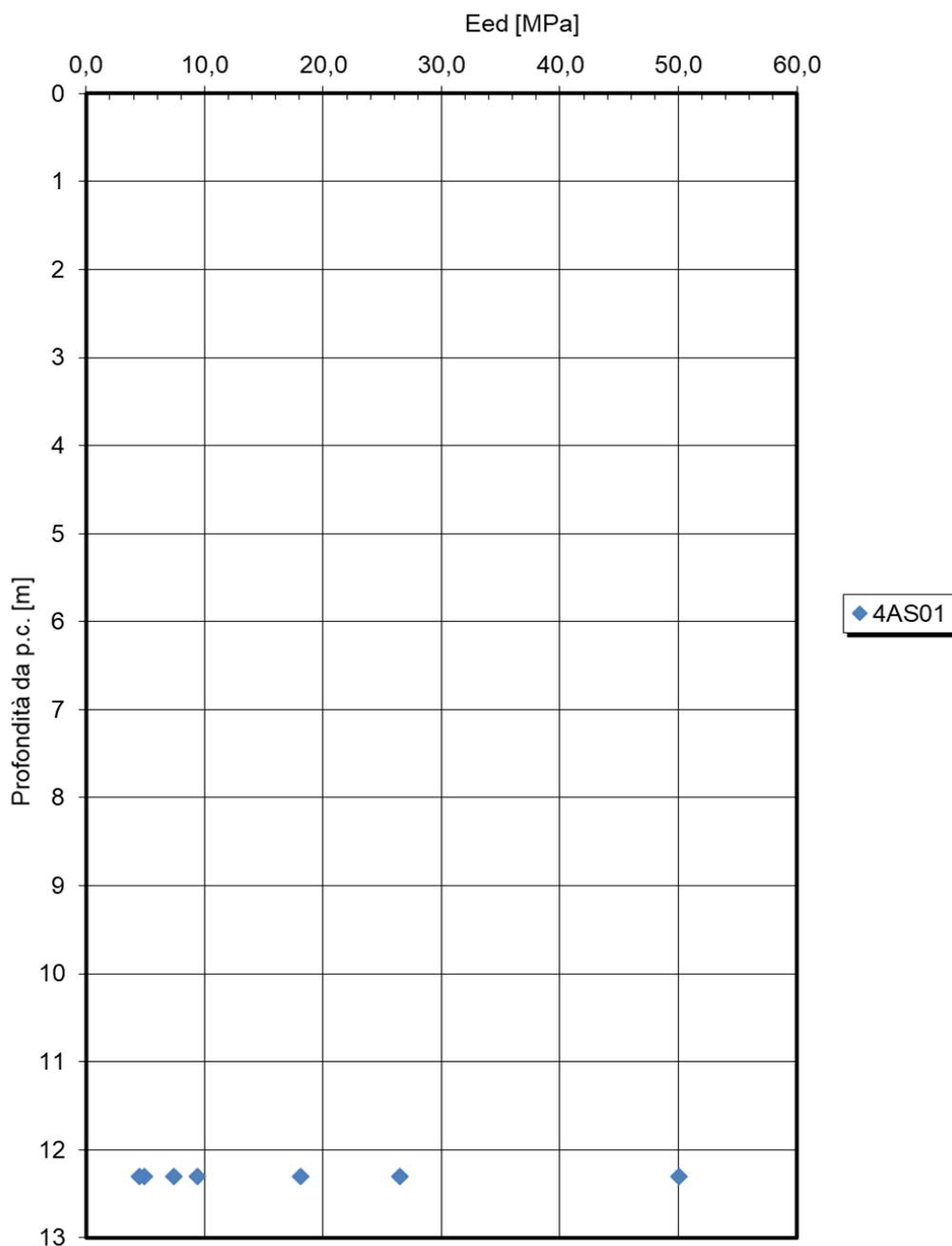


Figura 183: FYN4 – TRATTA 1 LINEA STORICA - modulo edometrico da prove edometriche

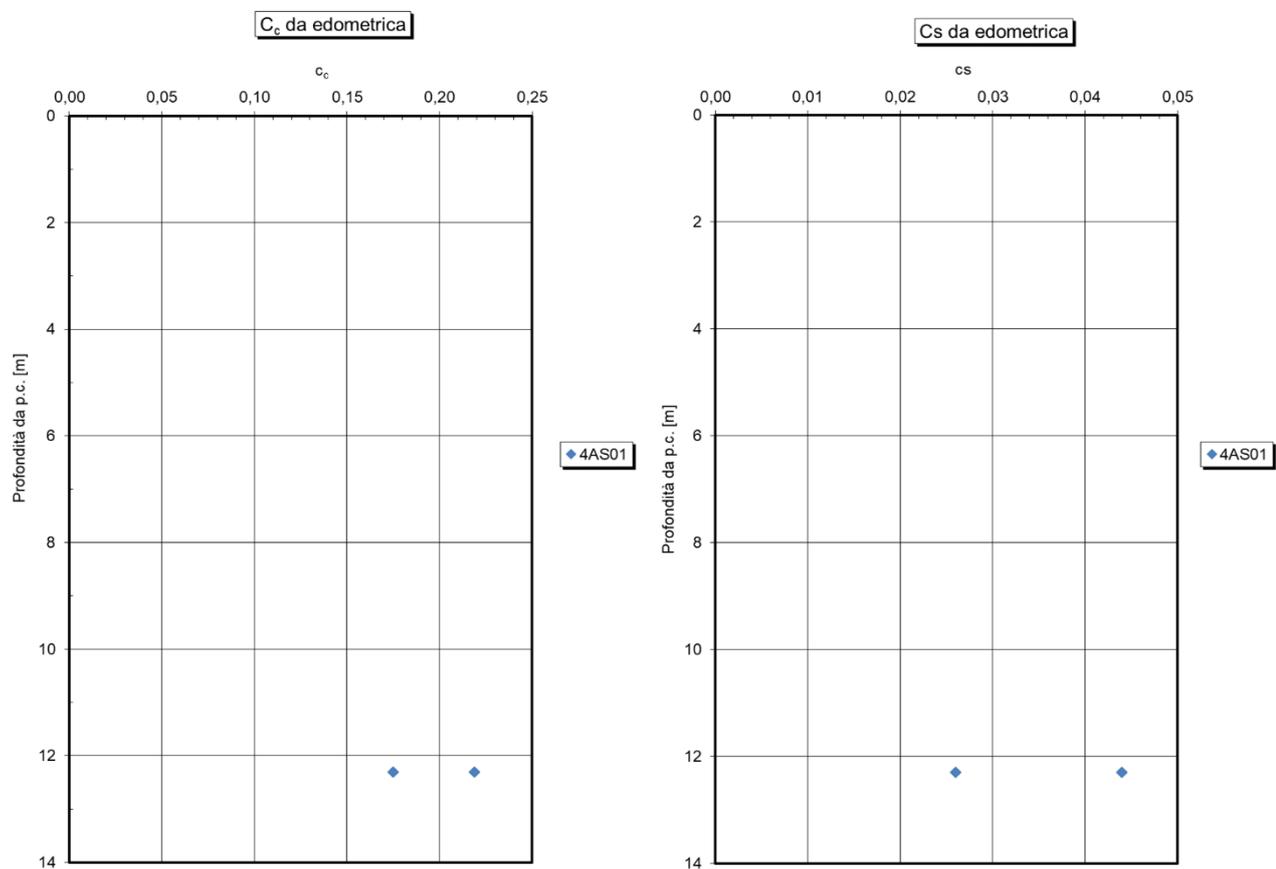


Figura 184: FYN4 – TRATTA 1 LINEA STORICA - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

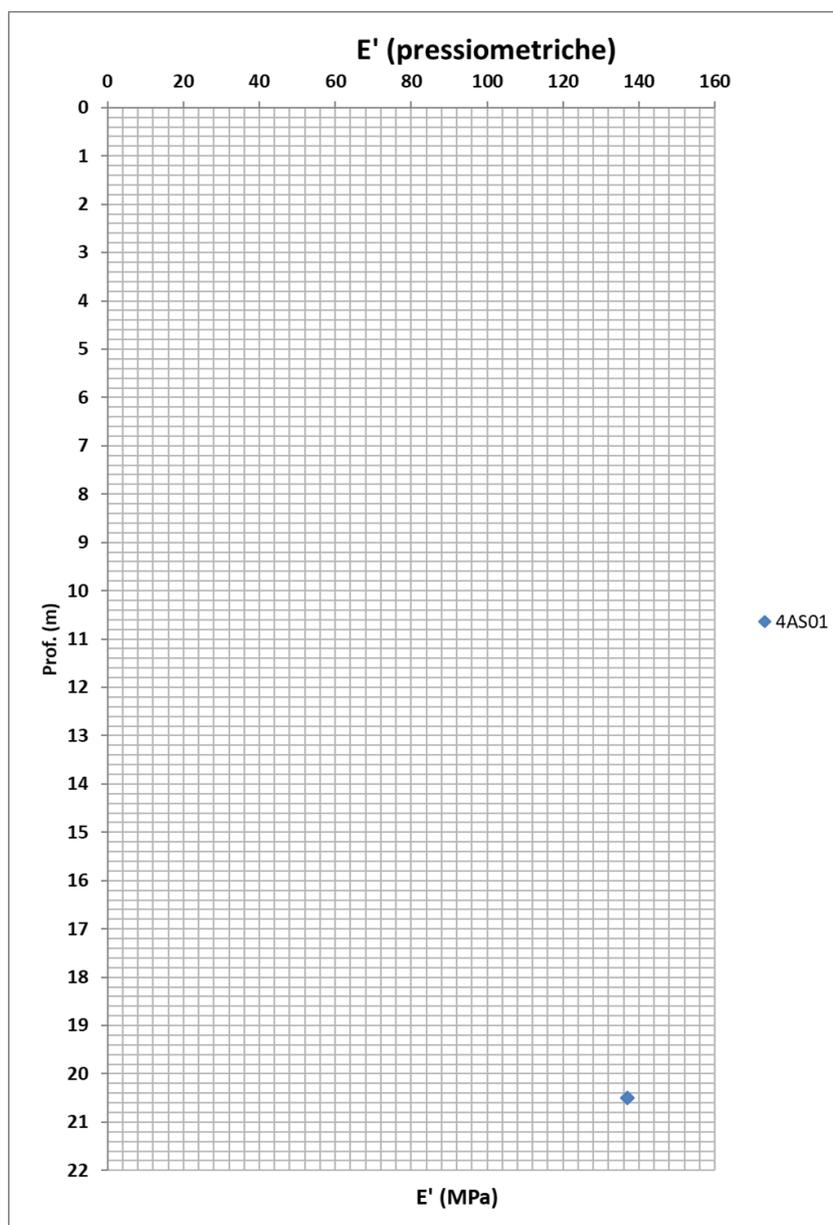


Figura 185: FYN4 – TRATTA 1 LINEA STORICA - modulo di Young da pressiometriche

13.9.3 Parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1 Linea Storica

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia a2, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt	Flysh numidico: alternanza di argille
GRUPPO GEOTECNICO	a2	TRV (Facies argillosa)	FYN4
γ (kN/m ³)	18-20	20-22	
Dr(%)			
c' (kPa)	11 – 30	z=0-40m 12	20
c'res (kPa)			
ϕ' (°)picco	29 – 20	z=0-40m 18	21
ϕ' cv(°)			
ϕ' res(°)		10-15	10-15
Cu (kPa)	50-100	z 0-40m 100-300	z=0-50 50-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=0-11m 100-150	z=0-40m 100-1000	z=0-50m 80-500
E'op (MPa)		z=0-40 170	z=0-50m 140
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR	z=0-10m 1,5-1	z 0-40m 4-1	z=0-30m 2-1
Eed(MPa)	2-40	2-40	5-50
Cc	0,03-0,2	0,07-0,25	0,17-0,22
Cs	0,01-0,08	0,02-0,08	0,025-0,045
Cv	1e-6-1e-8		

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 291 di 379</p>

13.10 Caratterizzazione Geotecnica Variante Linea Storica Tratta 2 (da pk 0+900 a pk 2+536)

La tratta 2 della Variante Linea Storica è interessata dalla presenza della Formazione a2, TRV e FYN4. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

13.10.1 TRV

Modulo edometrico (da prove di laboratorio)

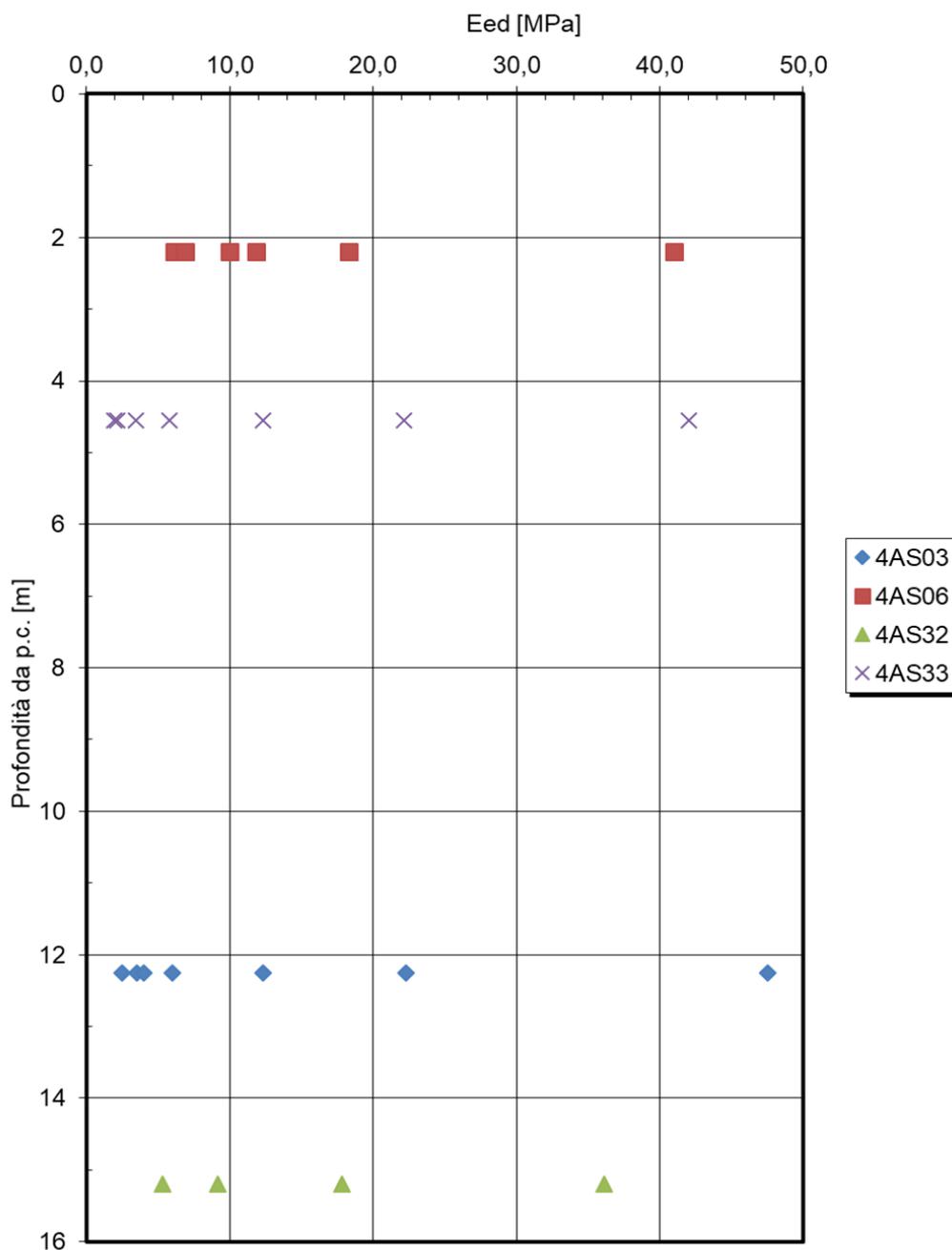


Figura 186: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo edometrico da prove edometriche

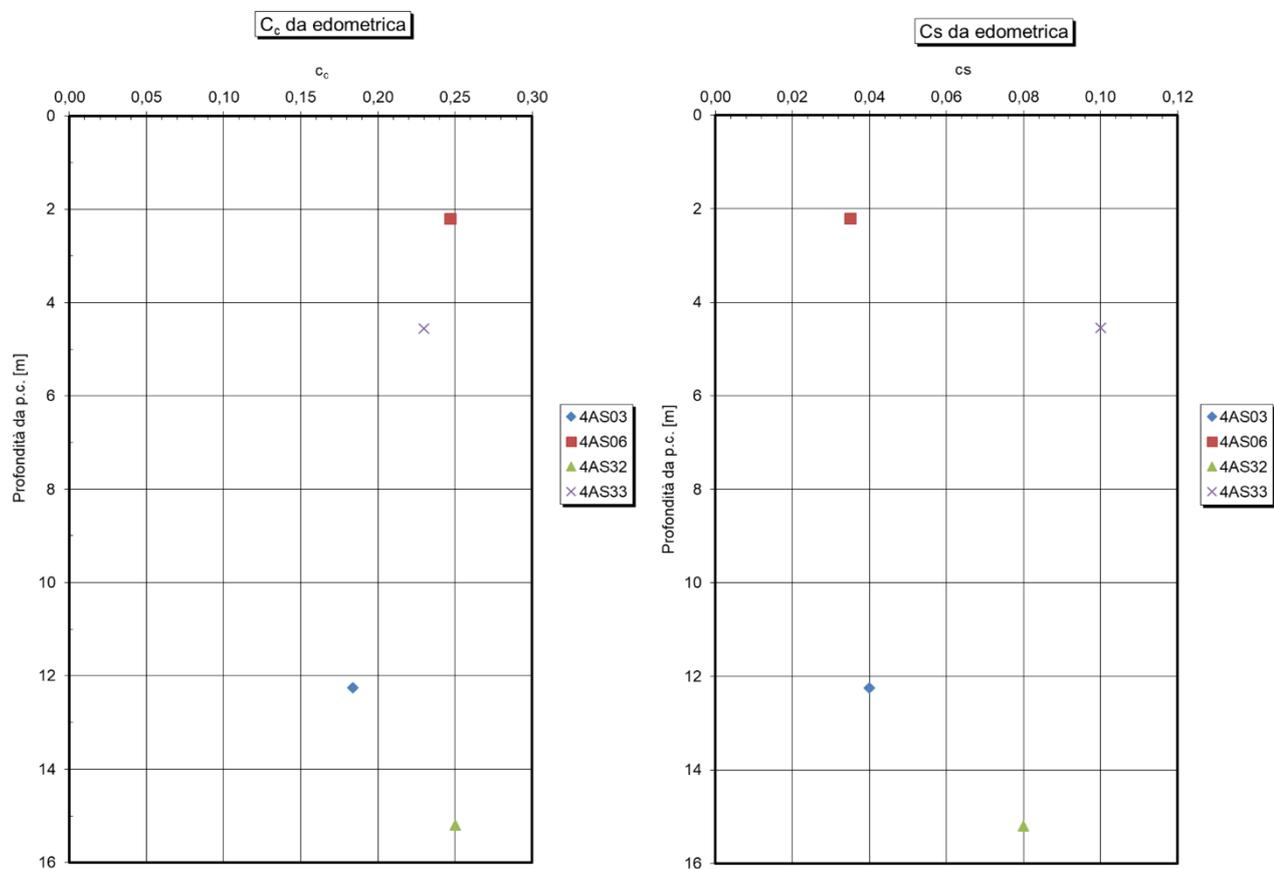


Figura 187: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

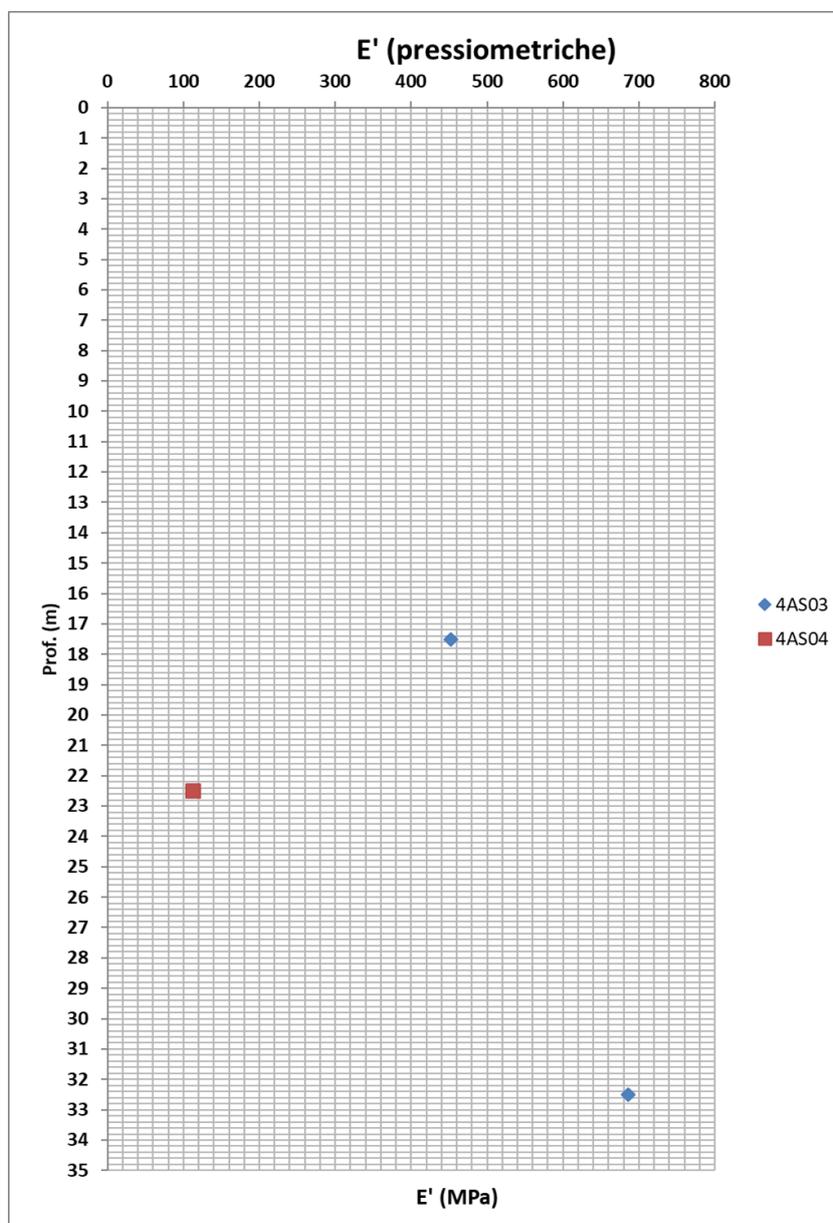


Figura 188: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo di Young da pressiometriche

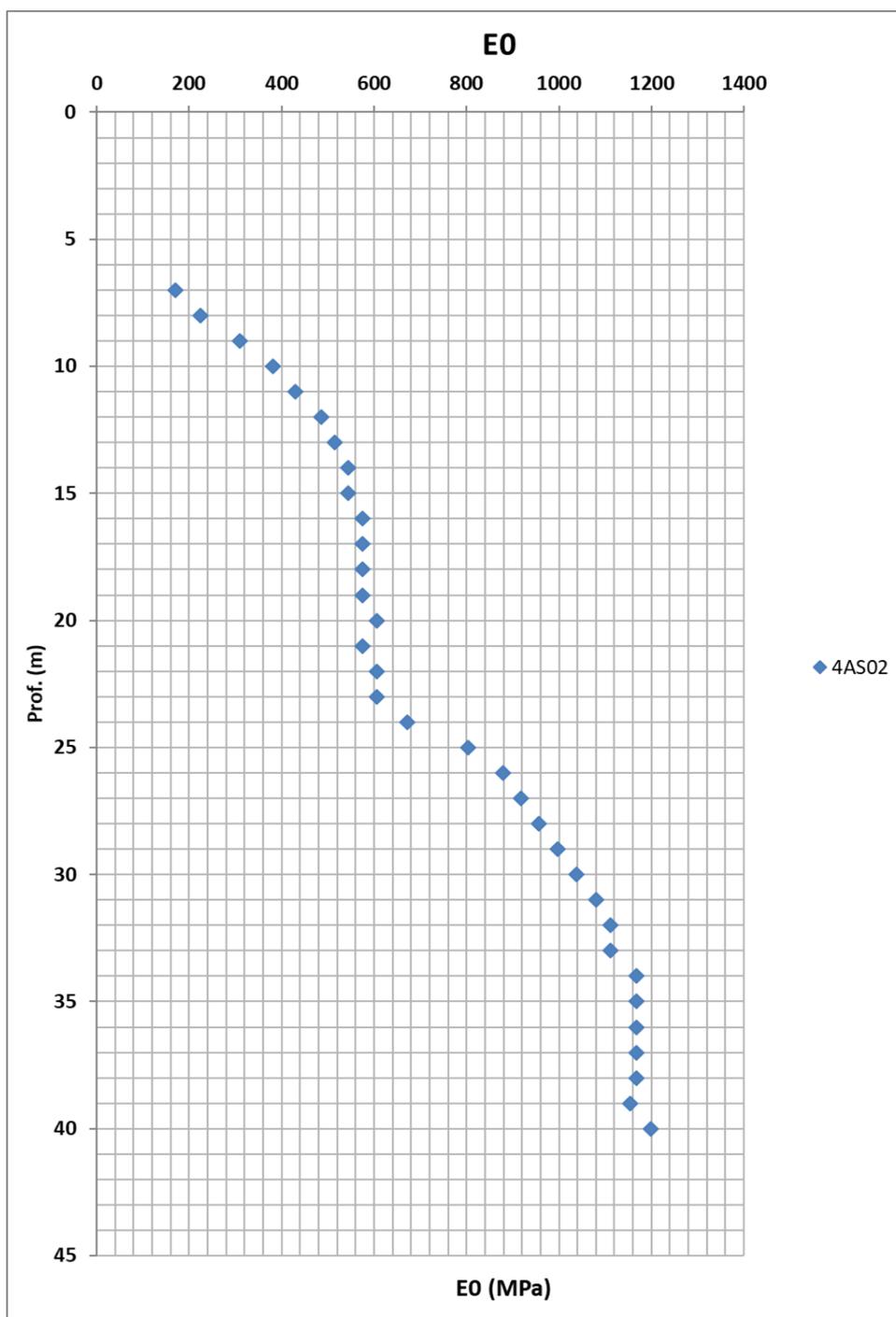


Figura 189: TRV – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo di Young da sismiche

13.10.2 a2

Modulo edometrico (da prove di laboratorio)

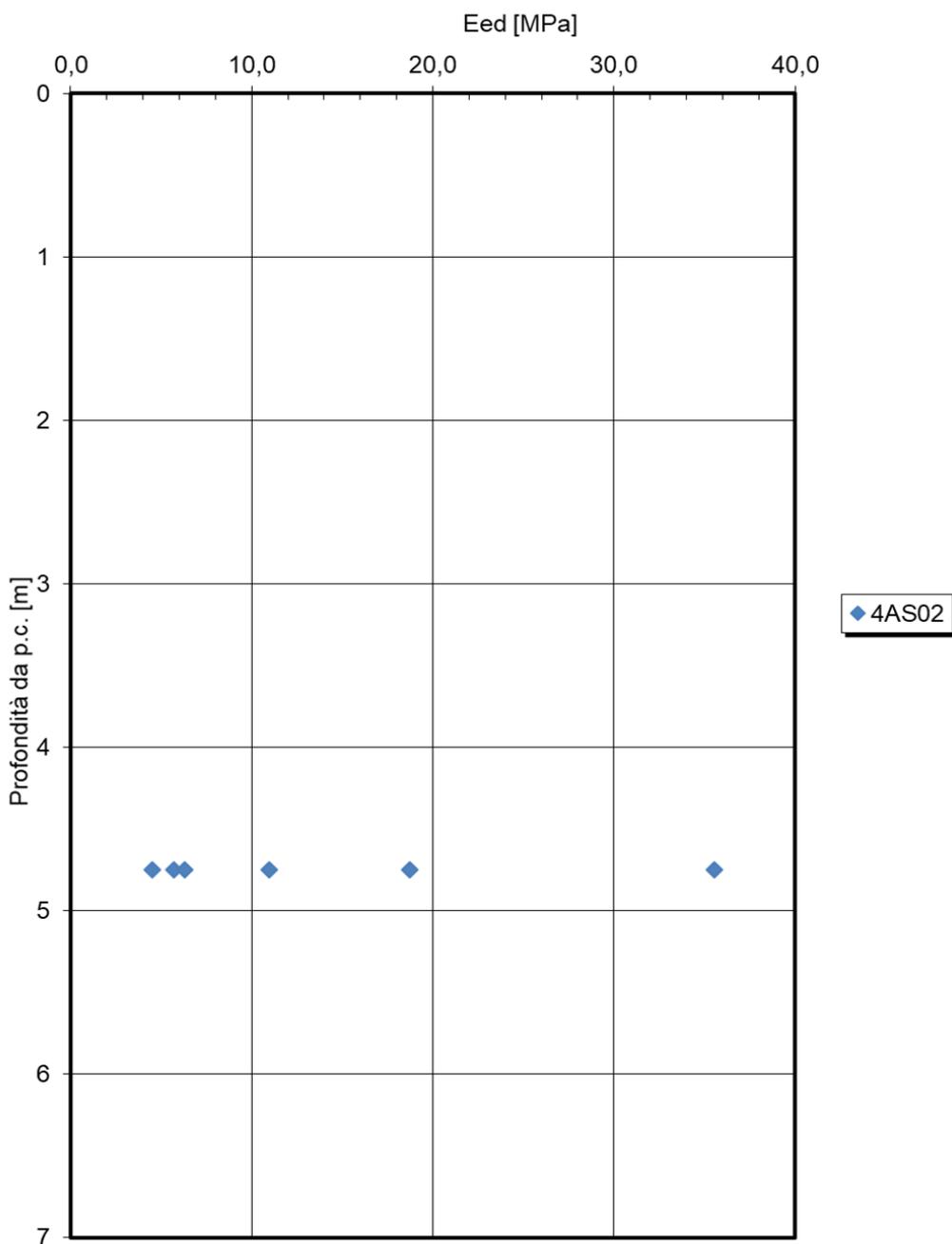


Figura 190: a2 – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo edometrico da prove edometriche

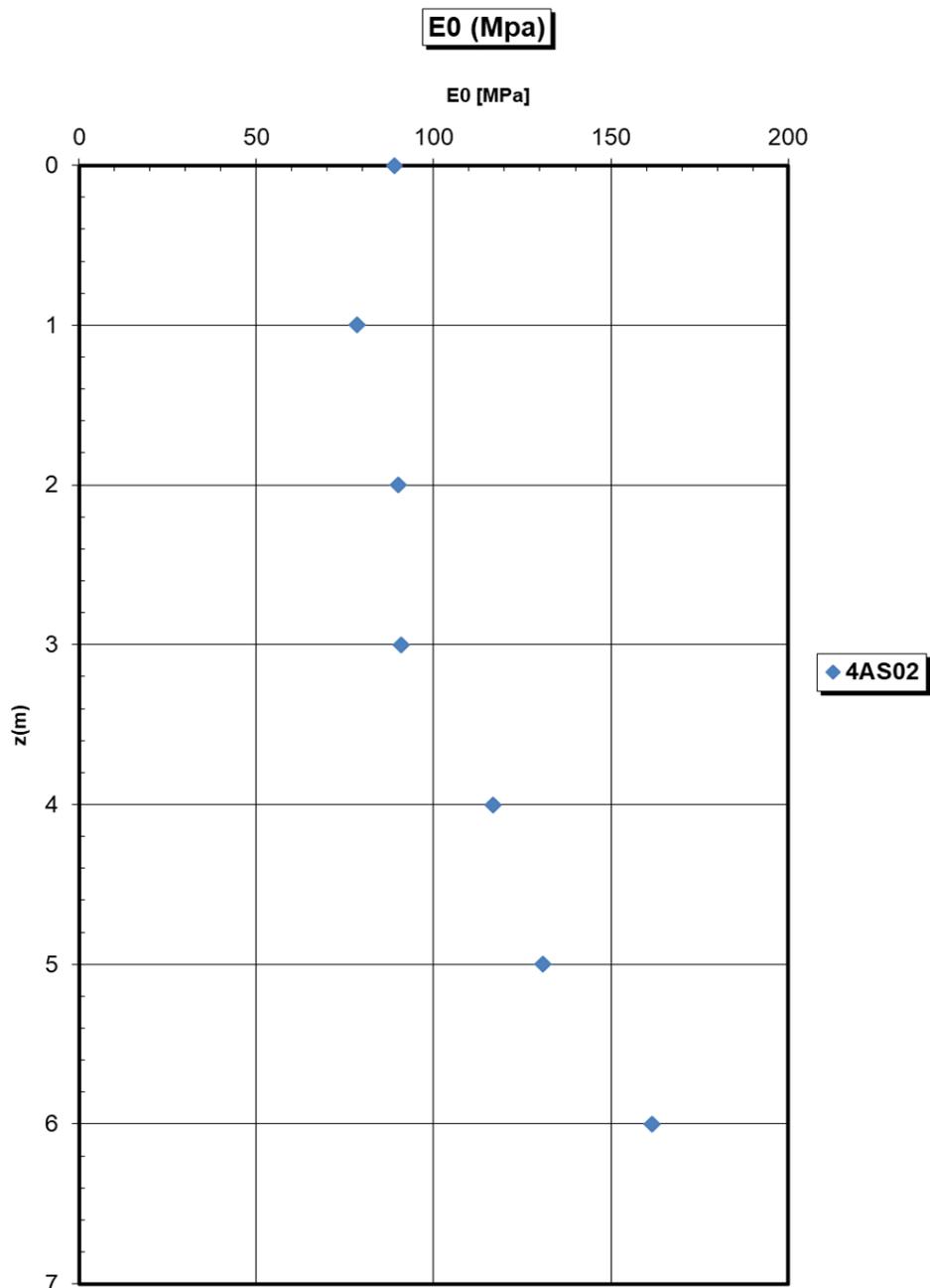


Figura 191: a2 – TRATTA 2 LINEA STORICA - modulo di Young da sismiche

13.10.3 Parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1 Linea Storica

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia FYN4, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt	Flysh numidico: alternanza di argille
GRUPPO GEOTECNICO	a2	TRV (Facies argillosa)	FYN4
γ (kN/m ³)	18-20	20-22	
Dr(%)			
c' (kPa)	11 – 30	z=0-40m 13 - 35	11 – 48
c'res (kPa)			
ϕ' (°)picco	29 – 20	z=0-40m 17 - 21	22 – 15
ϕ' cv(°)			
ϕ' res(°)		10-15	10-15
Cu (kPa)	50-100	z 0-40m 100-300	z=0-50 50-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=0-11m 100-150	z=0-40m 200-1200	z=0-50m 200-2000
E'op (MPa)		z=0-40 30-300	z=0-50m 40-400
v'(-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR	z=0-10m 1,5-1	z 0-40m 4-1	z=0-30m 2-1
Eed(MPa)	5-35	2-40	
Cc	0,03-0,2	0,07-0,25	
Cs	0,01-0,08	0,02-0,08	
Cv	7e-11		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per la galleria artificiale GA51 è stata comunque effettuata una caratterizzazione specifica, laddove possibile, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nelle tabelle sottostanti.

13.10.3.1 GA51

GA51 (lotto 4a-VLS)	pk	1+435 (VLS)	1+599 (VLS)	TRATTA	2 (della LV)
U.G.	Distanza da p.c.	γ	c'	ϕ'	Eop
[-]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
C	0-3.0	19	0	20	15
TRV	2.0-40	21	30	20	150
falda a -7.00 m					

Tabella 29: parametri geotecnici GA51

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 300 di 379

14. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA VIABILITÀ – SINTESI GRAFICA

Di seguito si riporta la caratterizzazione geotecnica caratteristica delle viabilità del lotto 4 interessate dalla presenza di opere specifiche (viadotti, muri di sostegno etc), per quanto riguarda le rimanenti viabilità si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

14.1 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV04a

La Viabilità NV04a è interessata dalla presenza della Formazione AV e FYN4. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità delle litologie per le viabilità in esame, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica della Tratta 1.

Si fa notare che l'interpretazione della formazione AV riportate nella caratterizzazione globale è stata effettuata basandosi sulle prove della viabilità in esame, le uniche disponibili.

14.2 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV04b

La Viabilità NV04b è interessata dalla presenza della Formazione a2, TRV e FYN4. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

14.2.1 a2

14.2.1.1 Caratteristiche fisiche

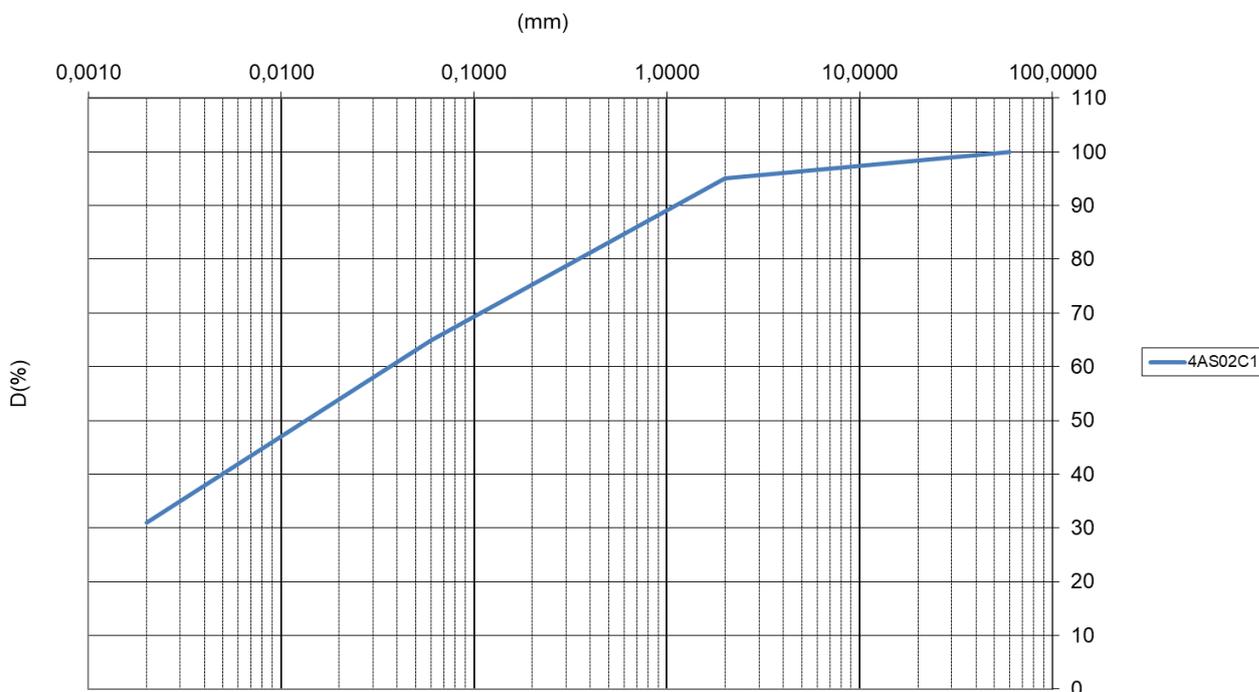


Figura 192: a2 – NV04b- fuso granulometrico

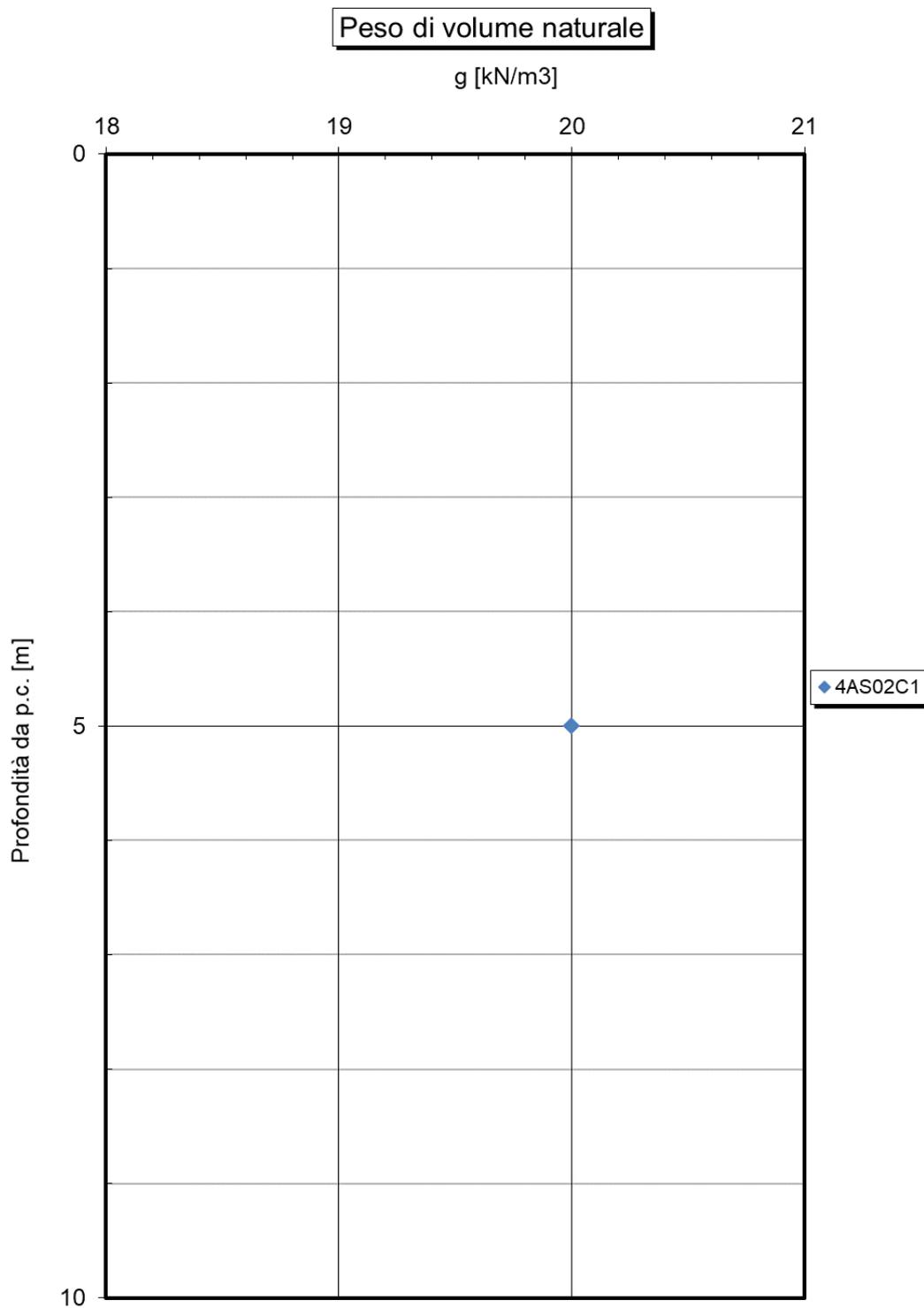


Figura 193: a2 – NV04b - peso di volume naturale

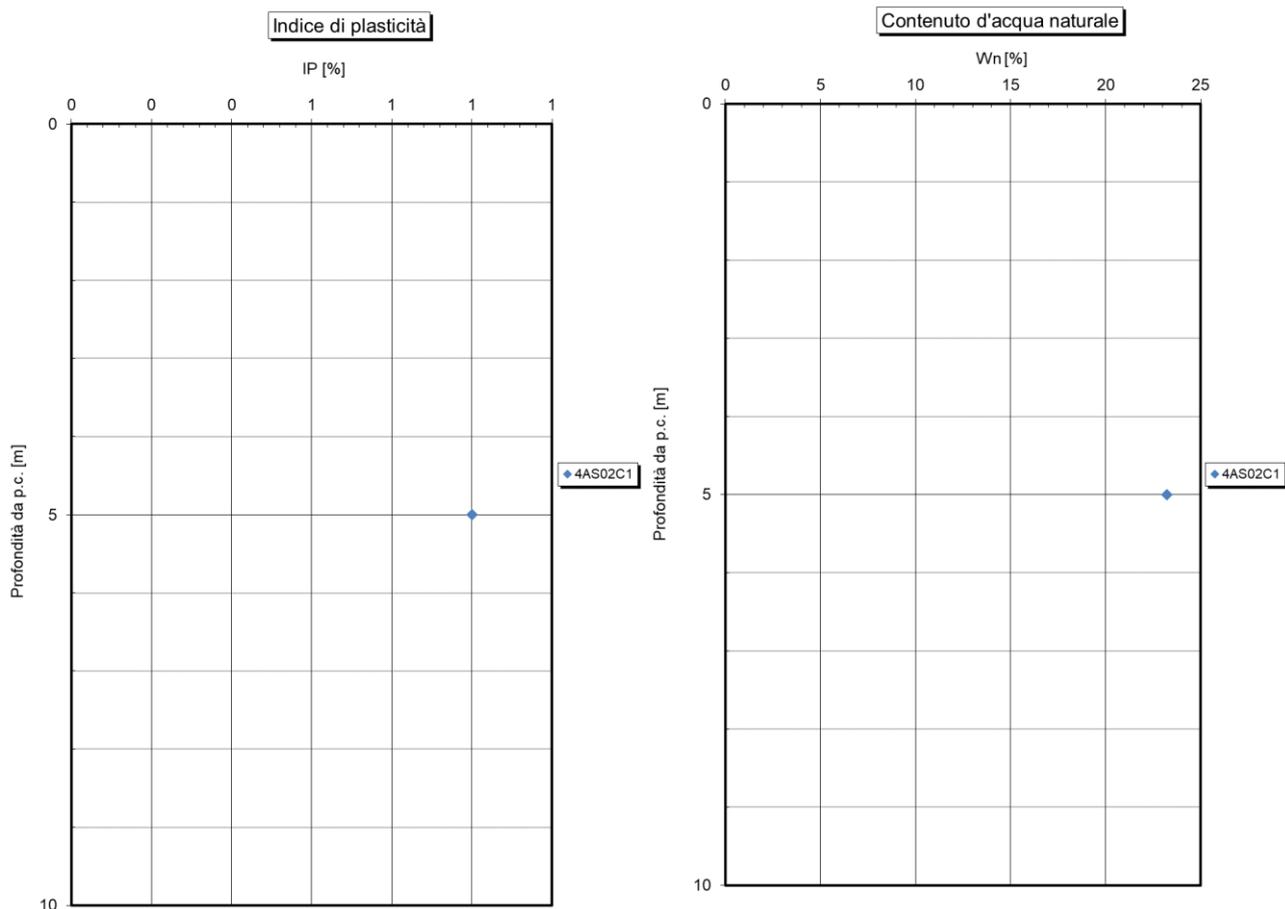


Figura 194: a2 – NV04b - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

14.2.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.2.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

Resistenza al taglio non drenata (da prove di laboratorio)

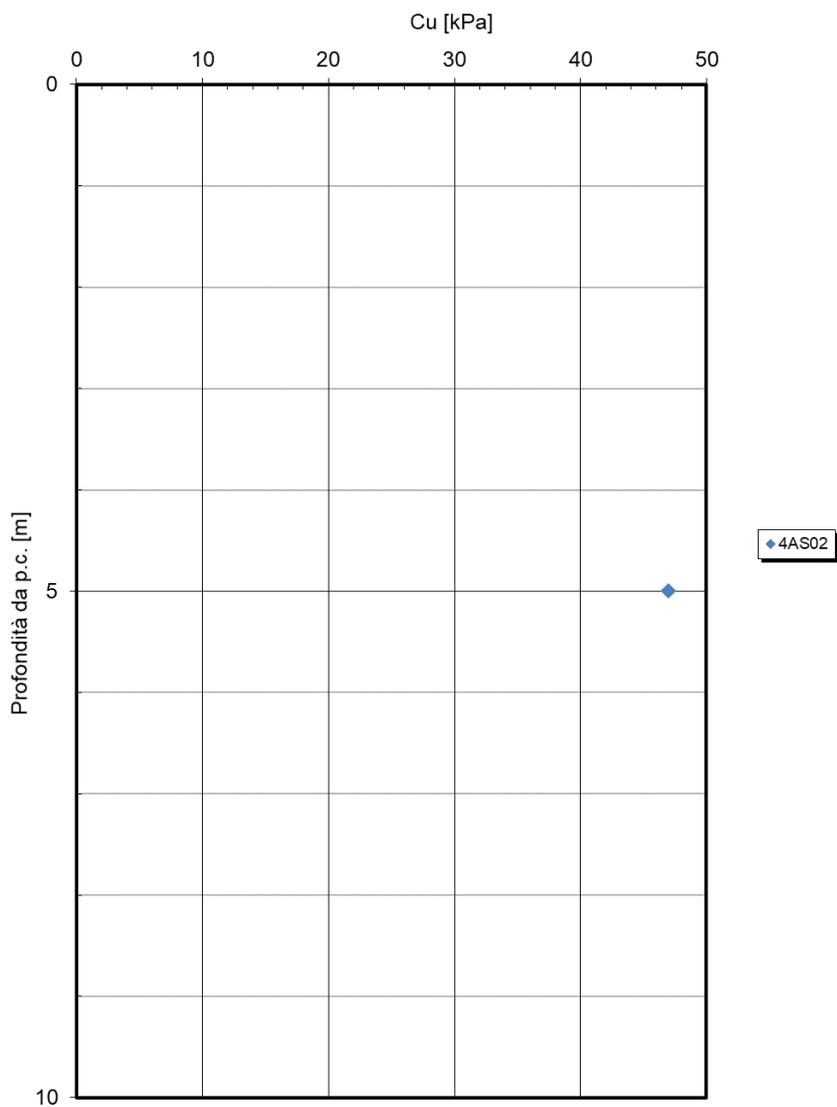


Figura 195: a2 – TRATTA 2- resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio

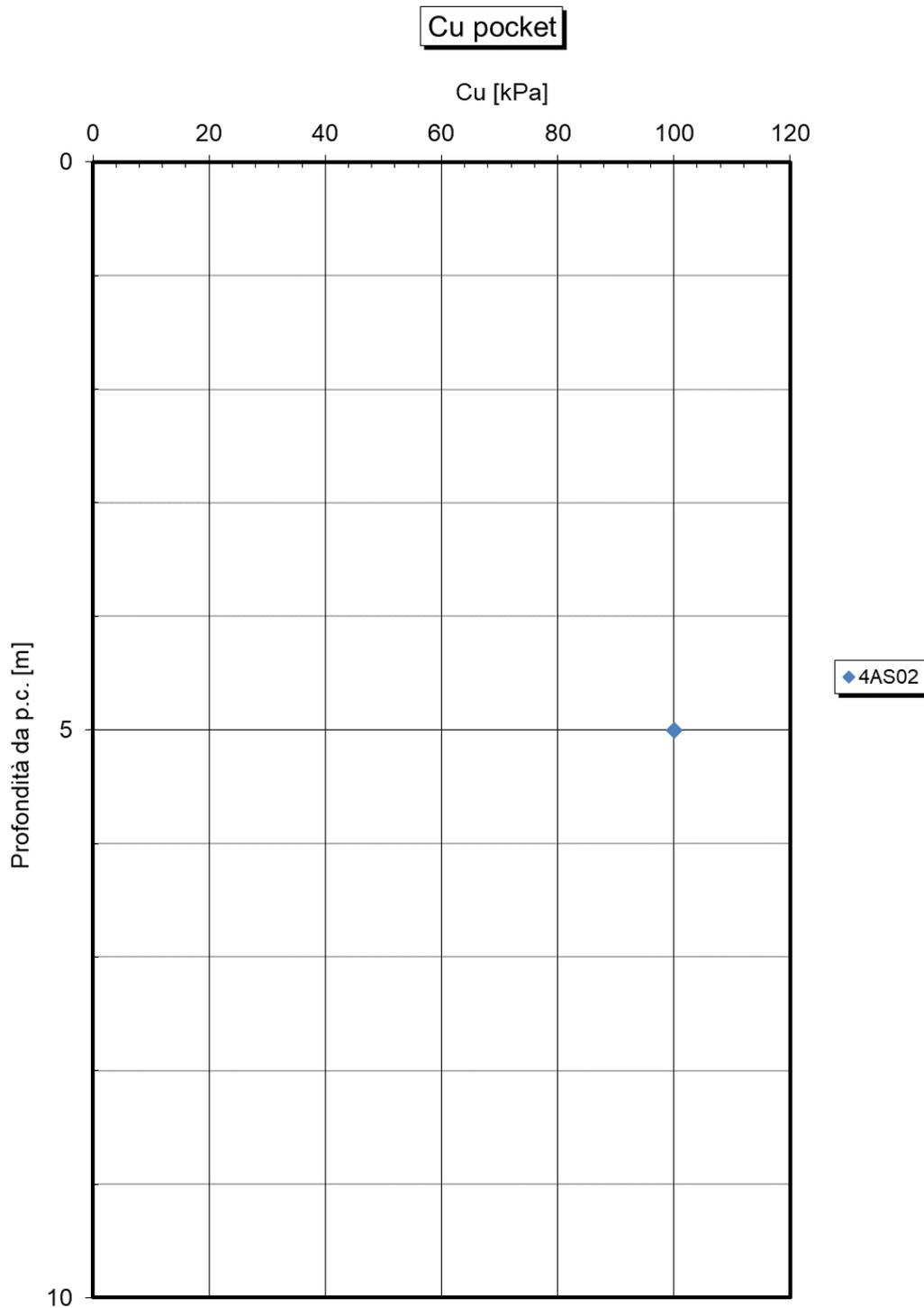


Figura 196: a2 – NV04b - resistenza al taglio non drenata pocket

14.2.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

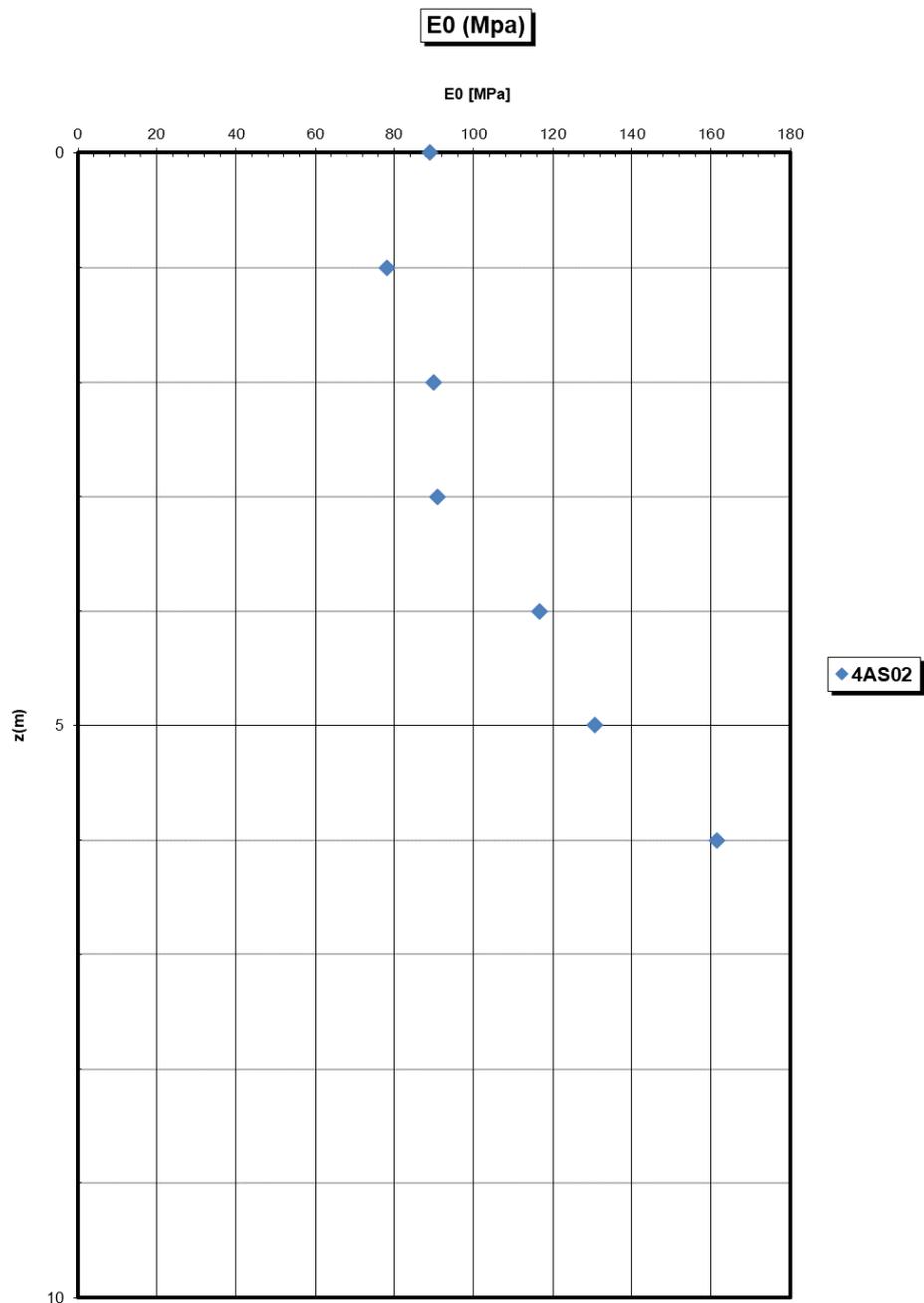


Figura 197: a2 – NV04b- modulo di Young da indagini sismiche

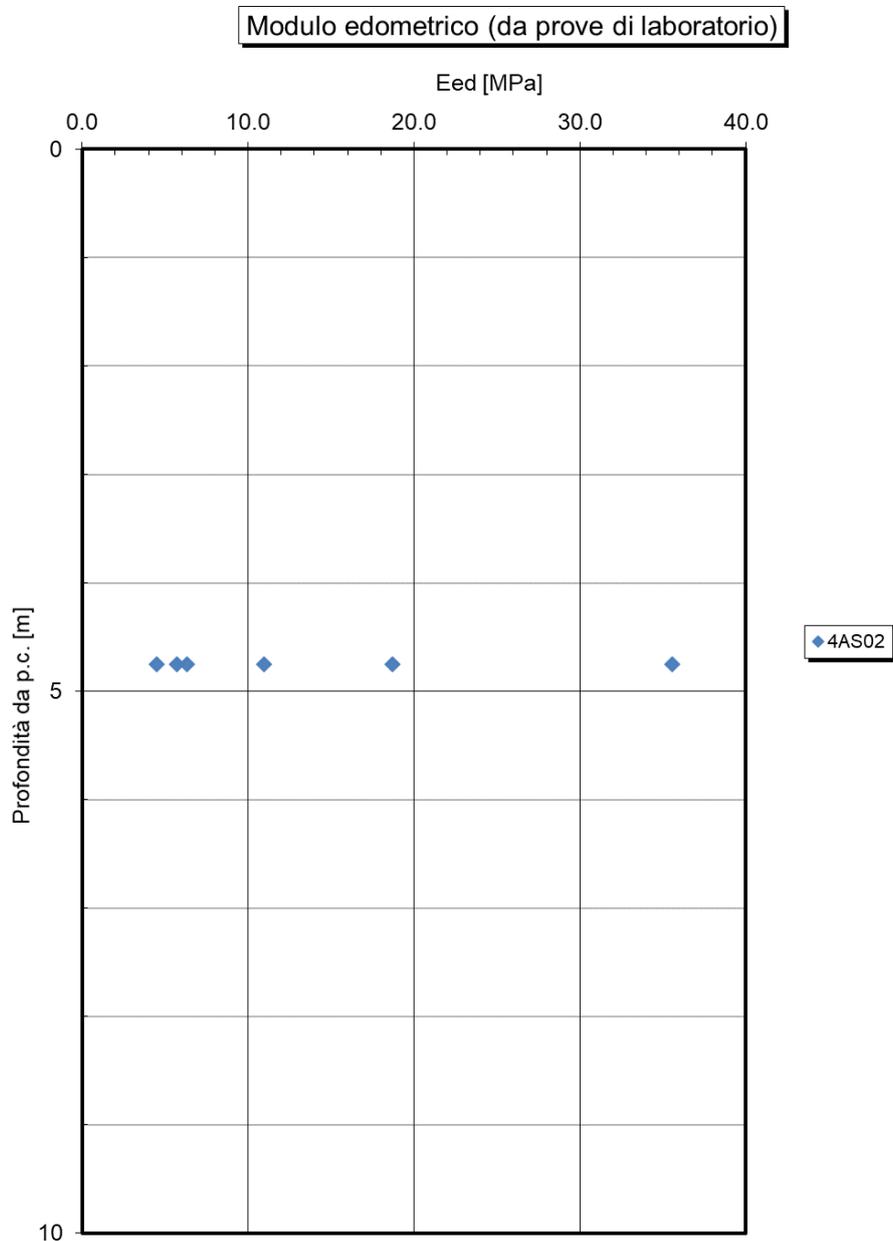


Figura 198: a2 – NV04b - modulo edometrico da prove edometriche

14.2.1.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.2.2 TRV

14.2.2.1 Caratteristiche fisiche

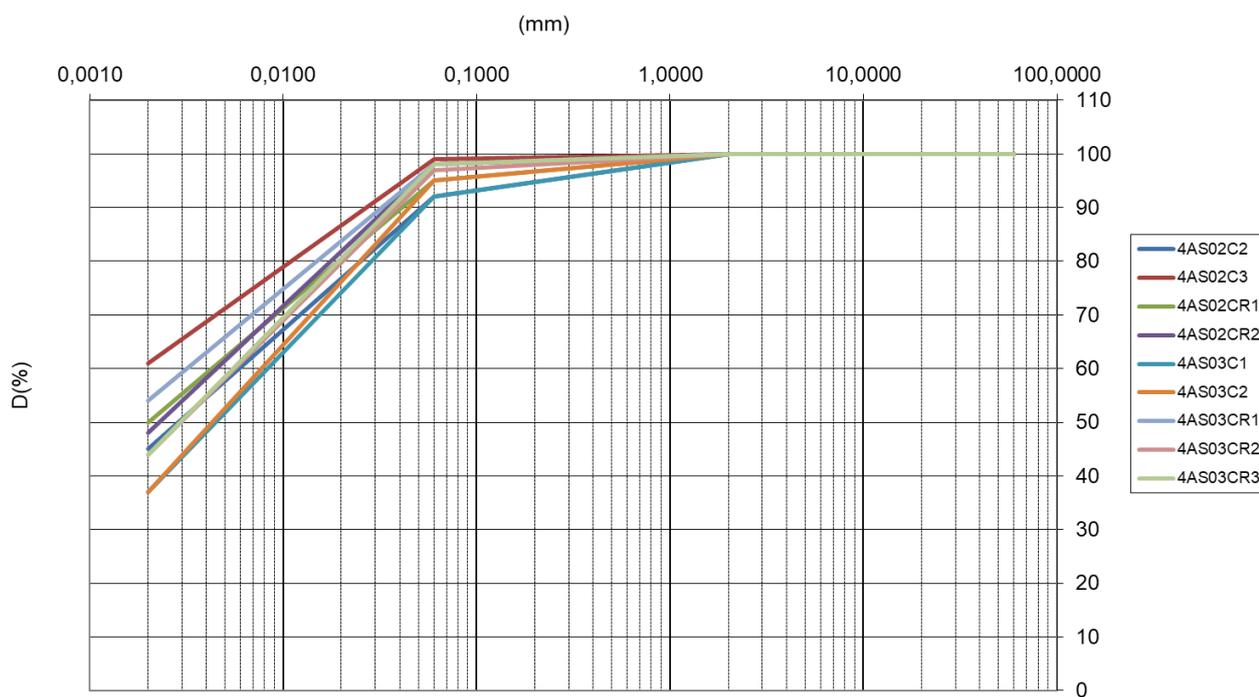


Figura 199: TRV – NV04b - fuso granulometrico

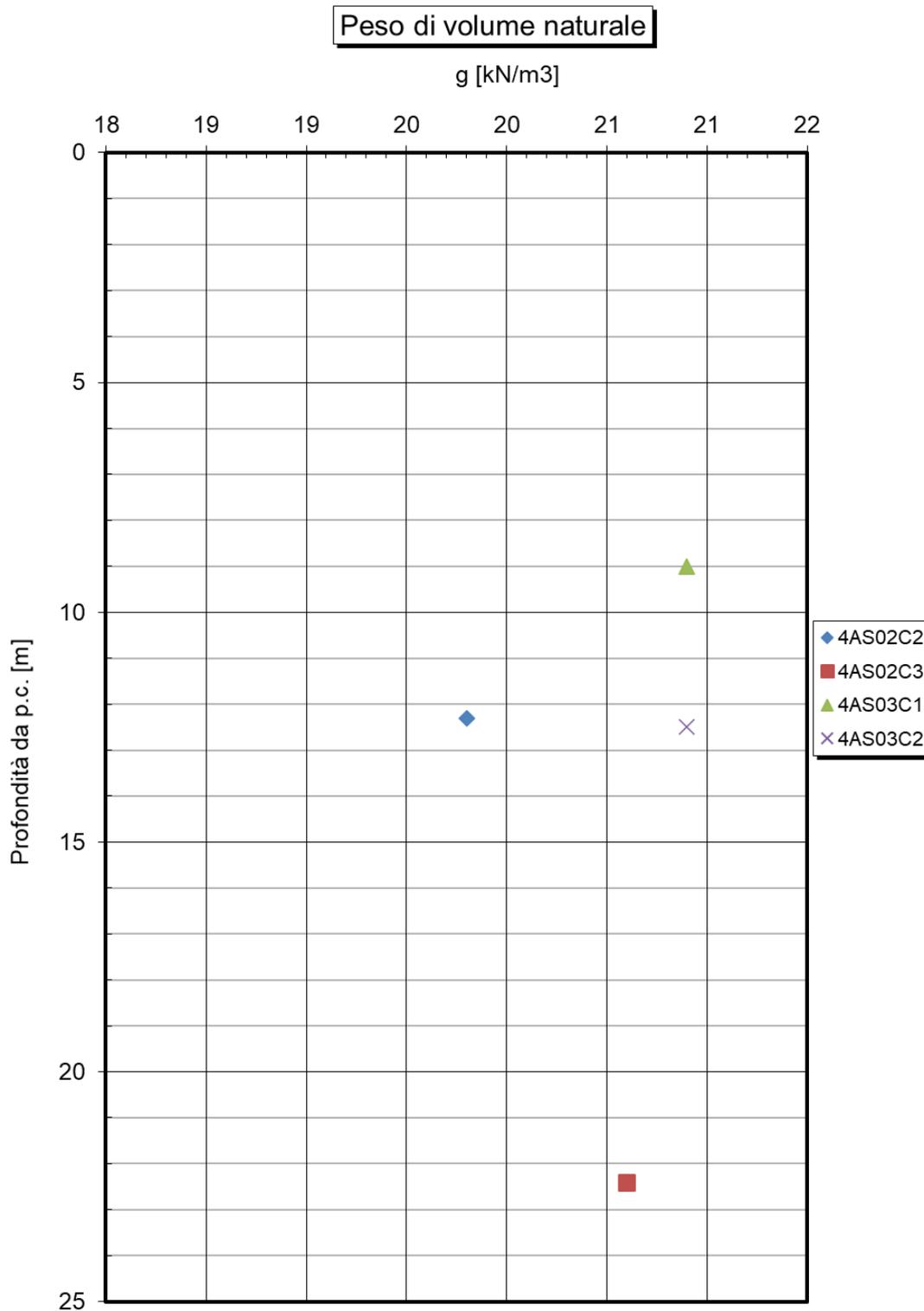


Figura 200: TRV – NV04b - peso di volume naturale

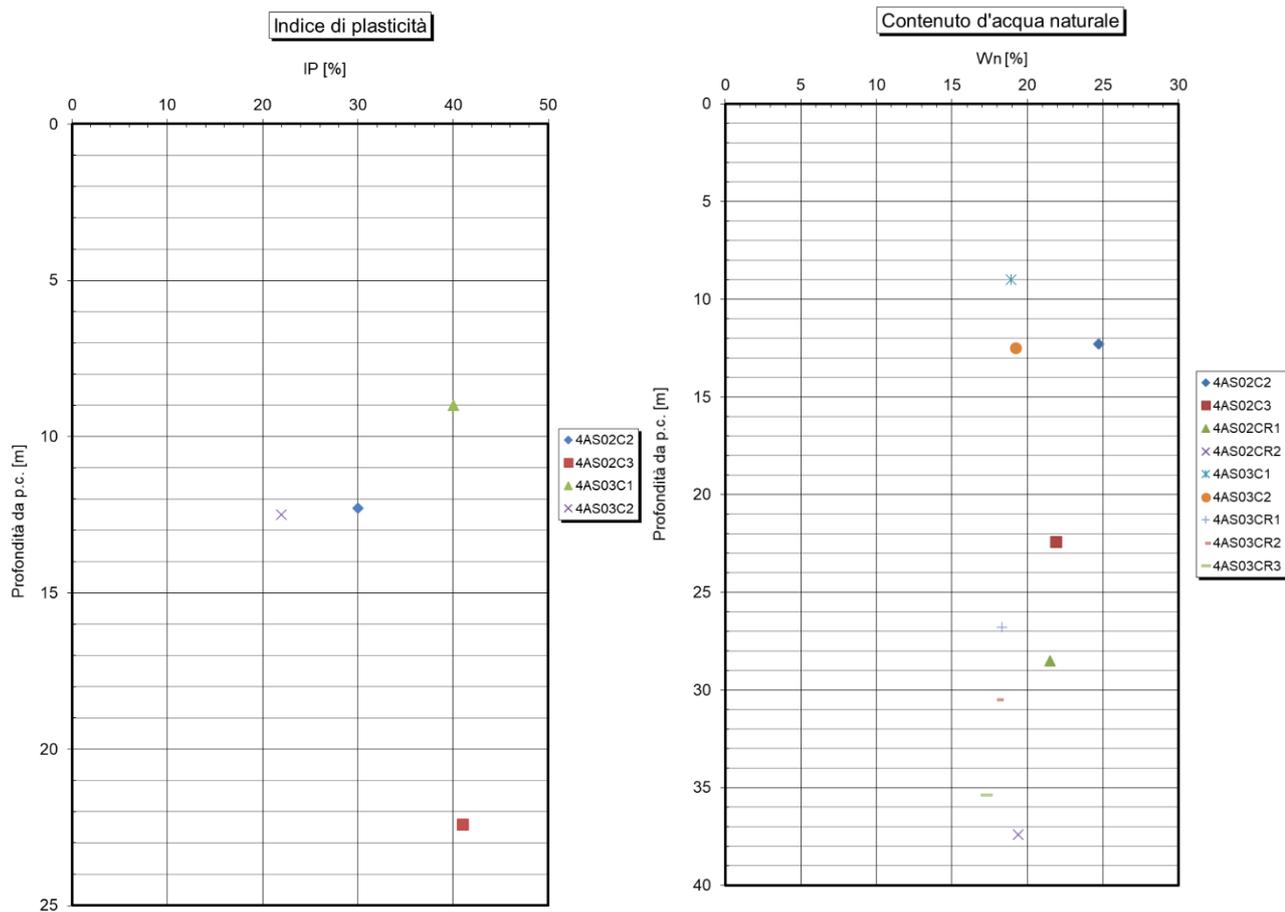


Figura 201: TRV – NV04b - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

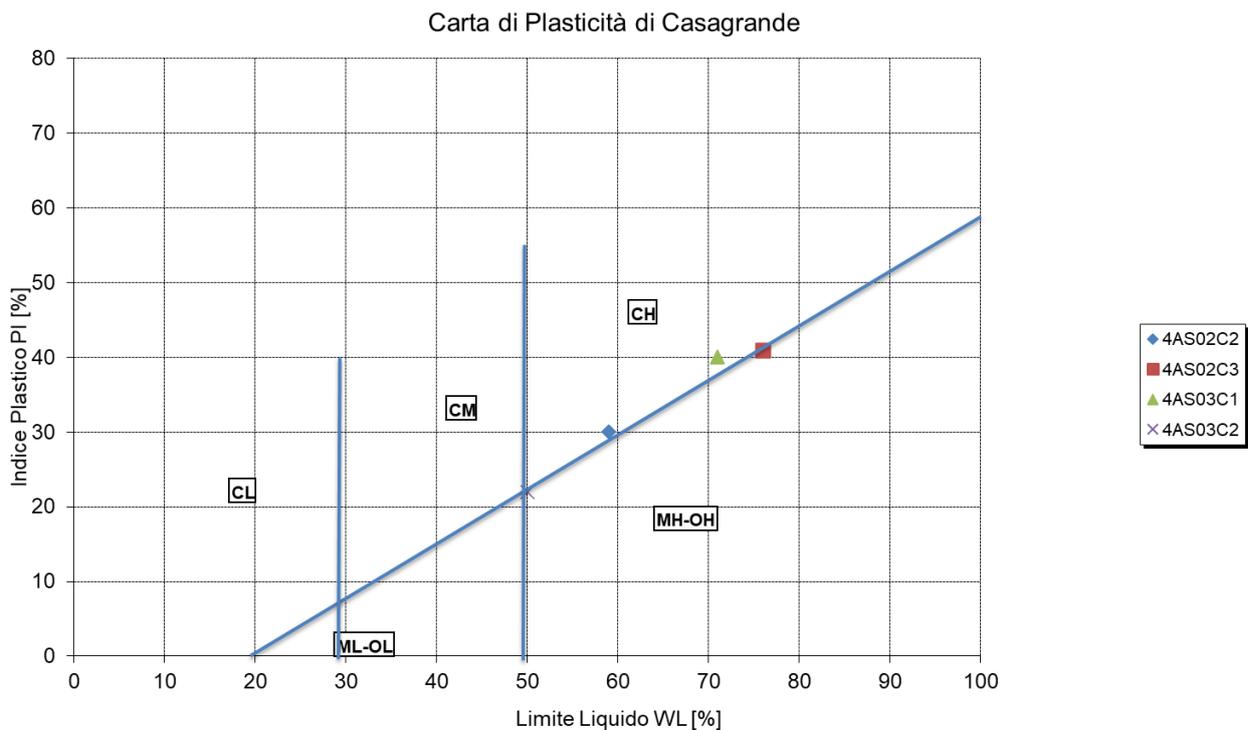


Figura 202: TRV – NV04b- carta di plasticità di Casagrande

14.2.2.2 Caratteristiche di resistenza drenata

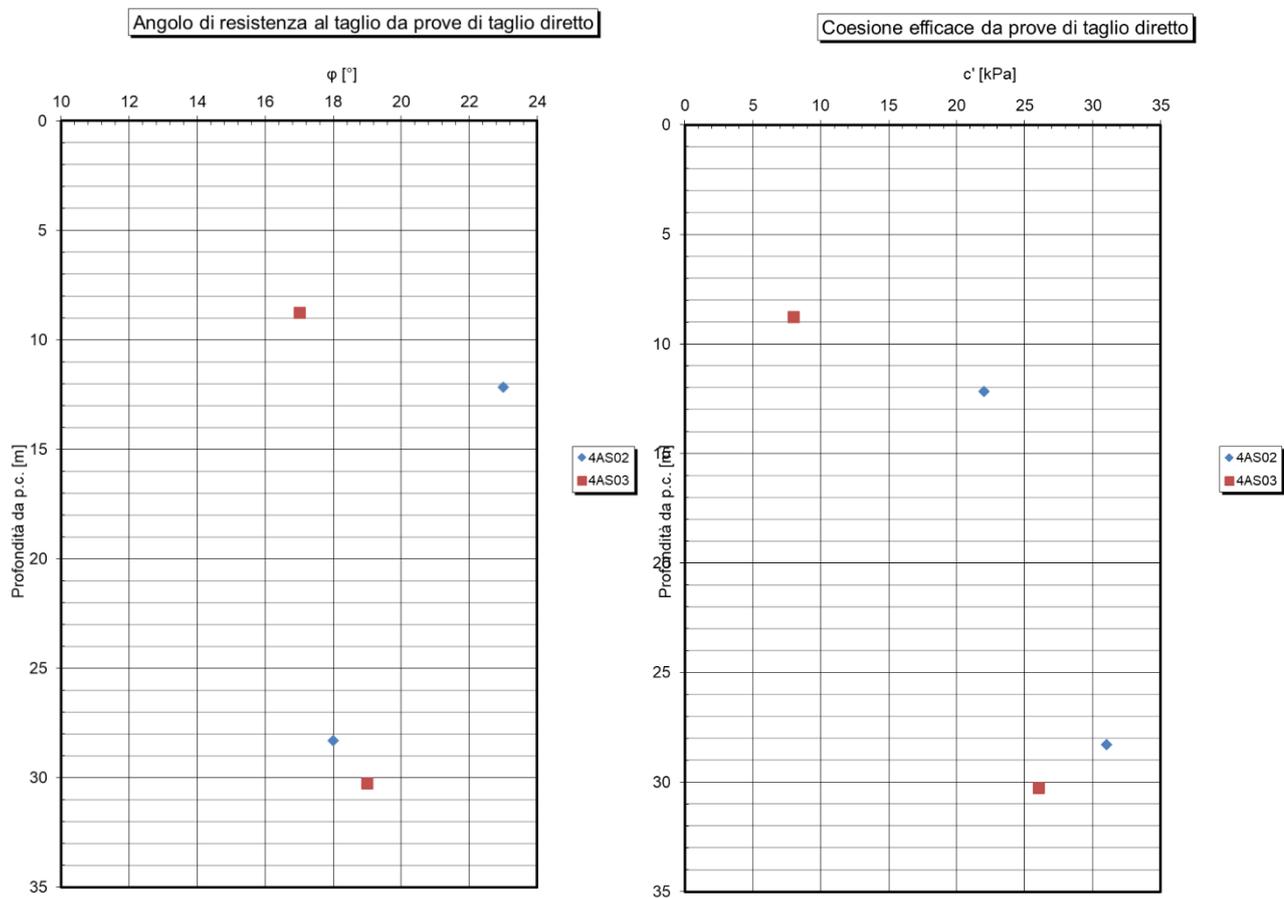


Figura 203: TRV – NV04b - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

14.2.2.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

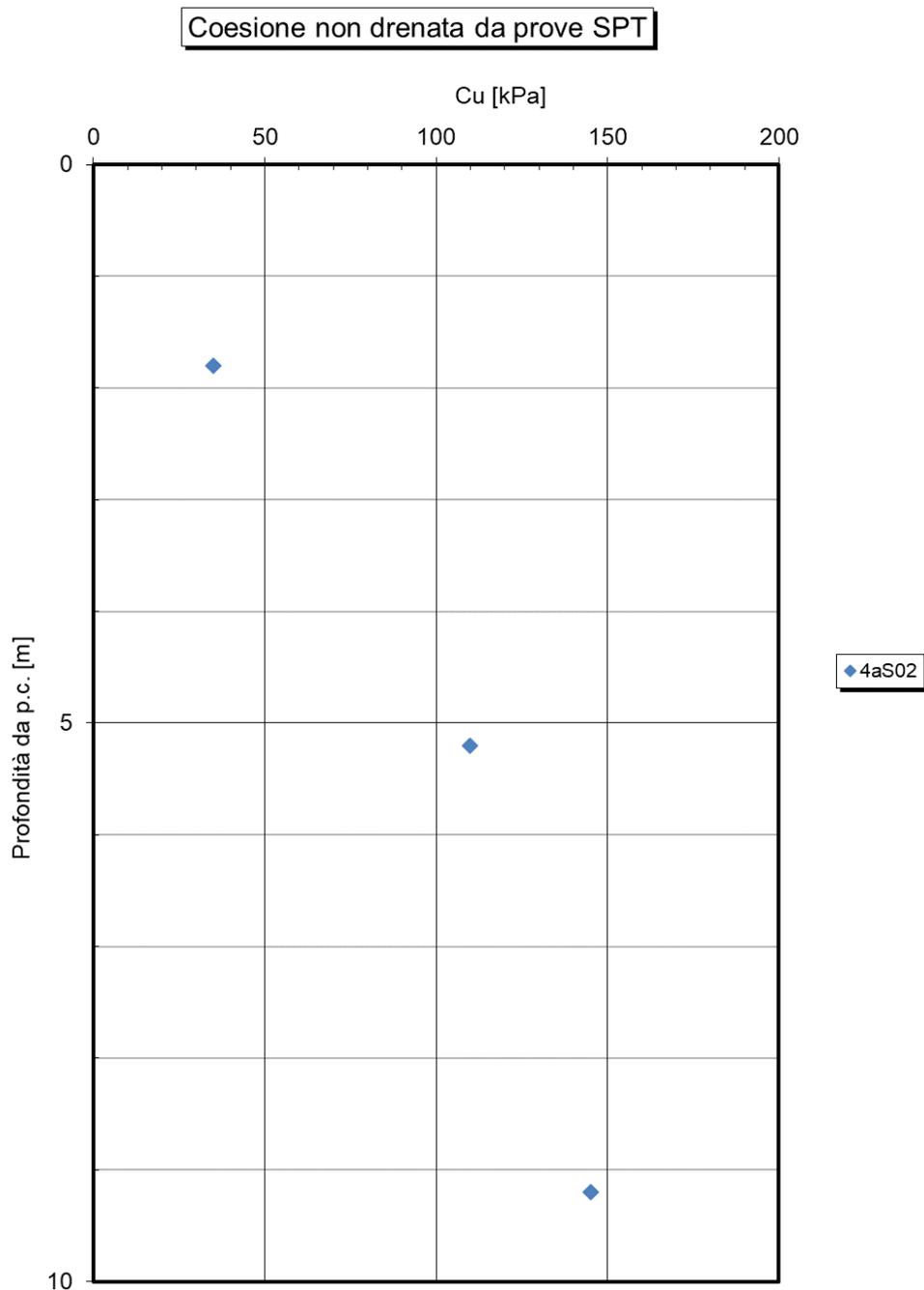


Figura 204: TRV – NV04b - coesione non drenata da SPT

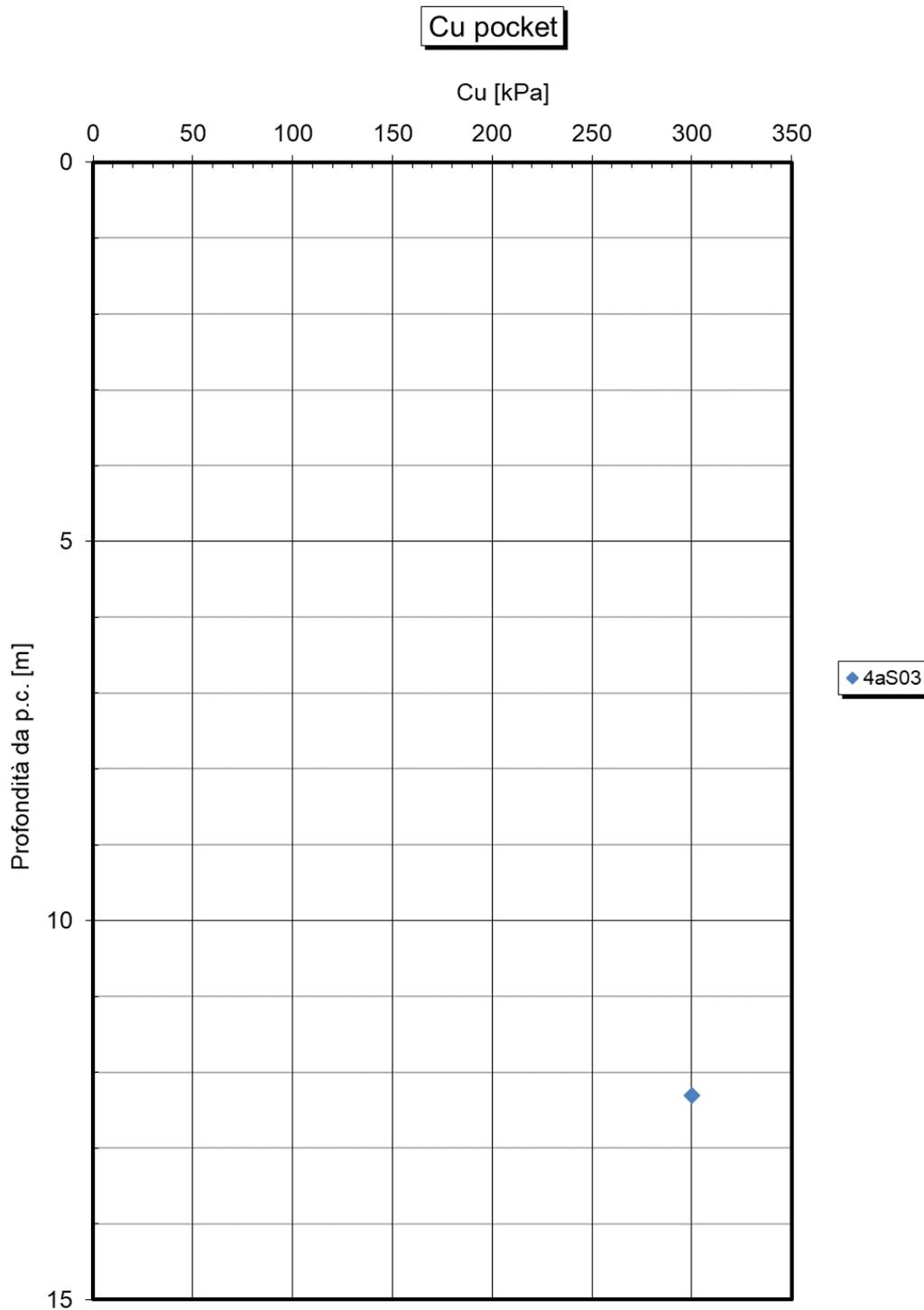


Figura 205: TRV– NV04b - coesione non drenata da pocket

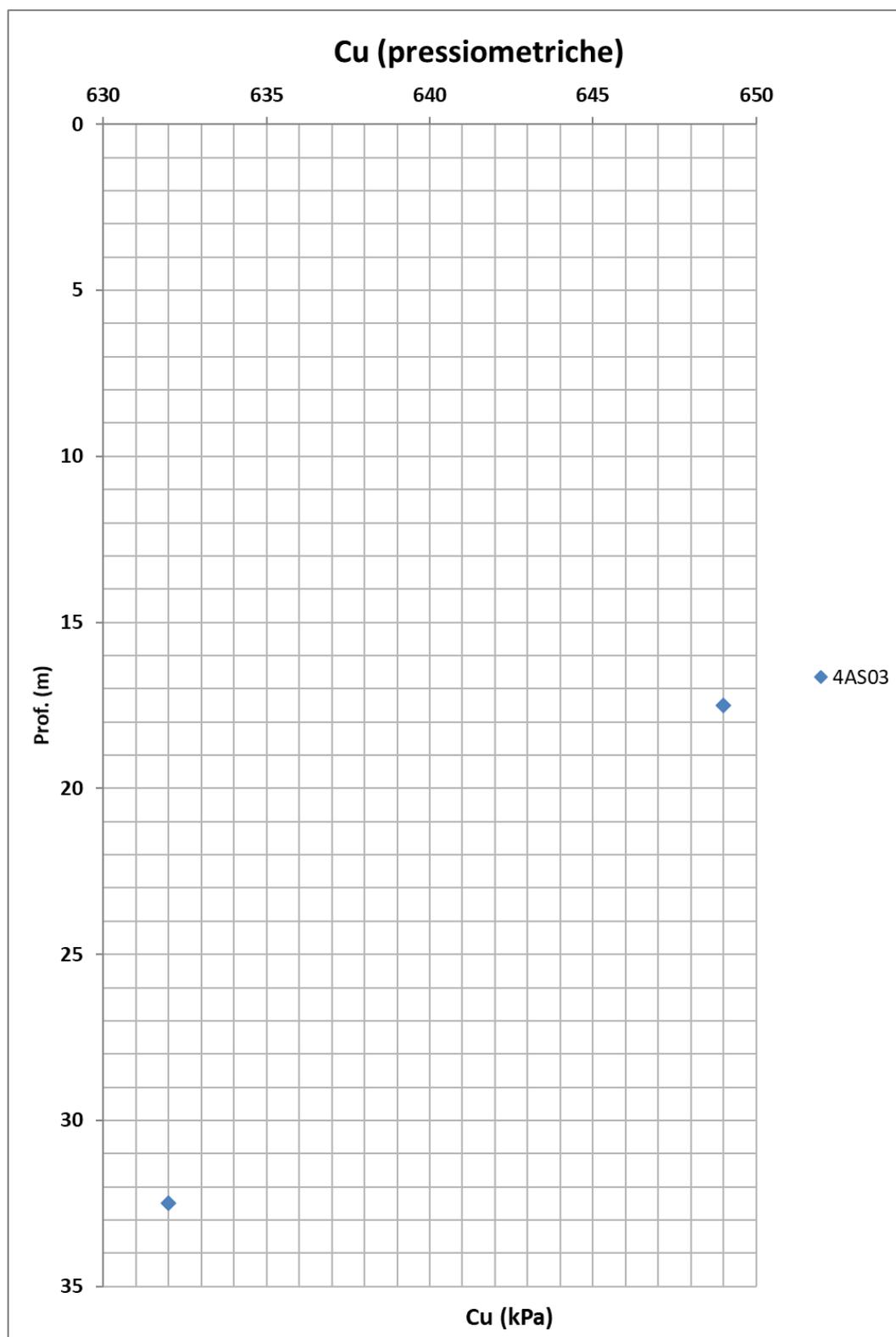


Figura 206: TRV – NV04b - coesione non drenata da pressiometriche

14.2.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

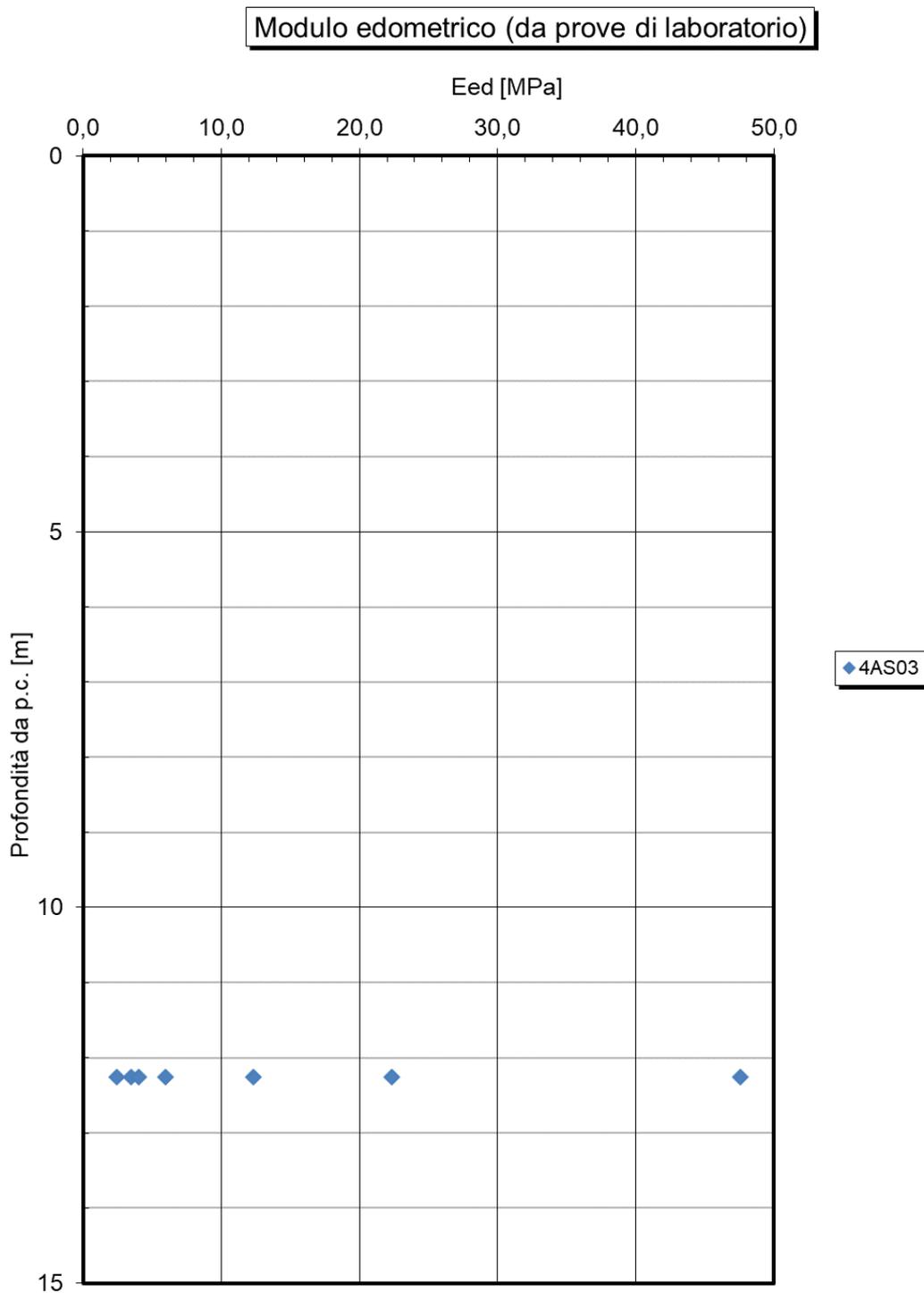


Figura 207: TRV – NV04b - modulo edometrico da prove edometriche

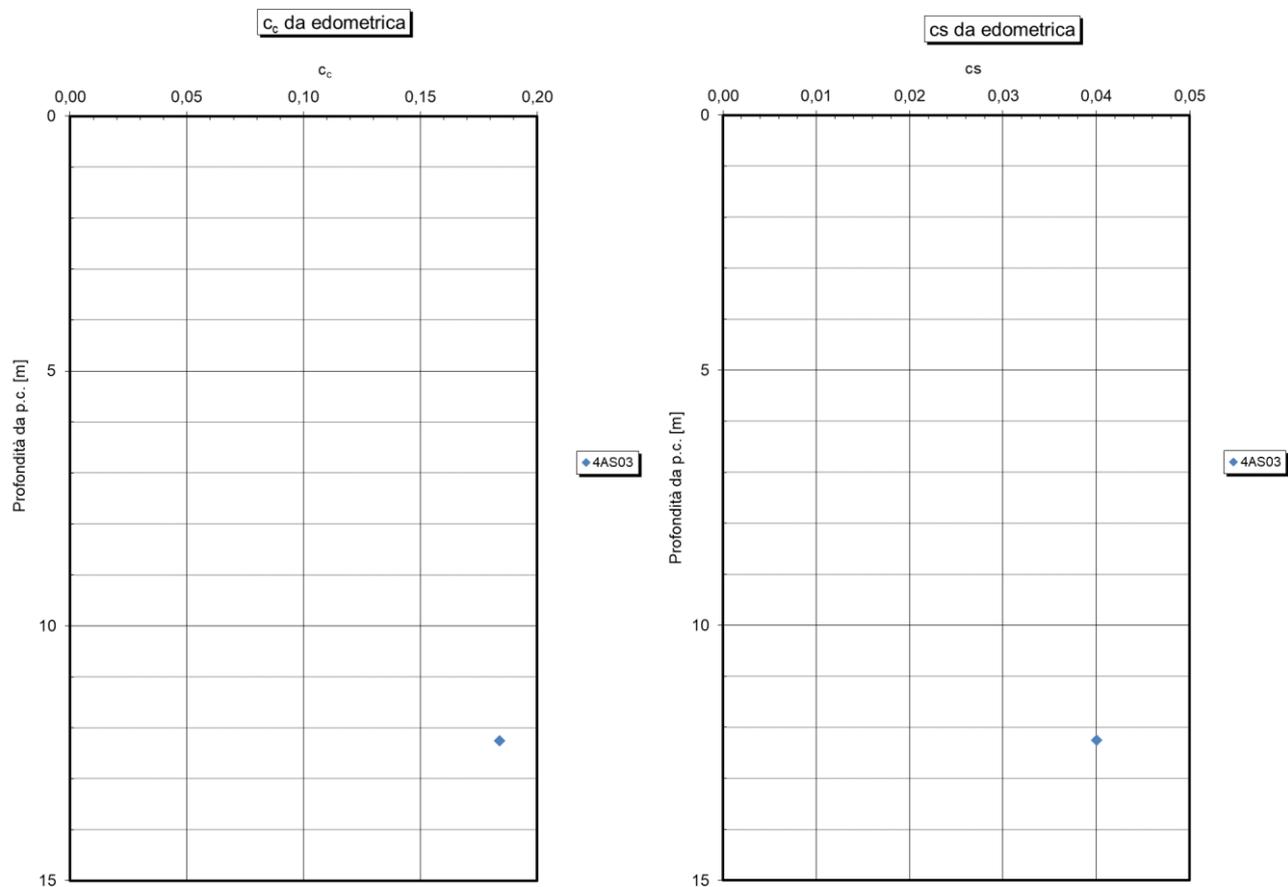


Figura 208: TRV – NV04b - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

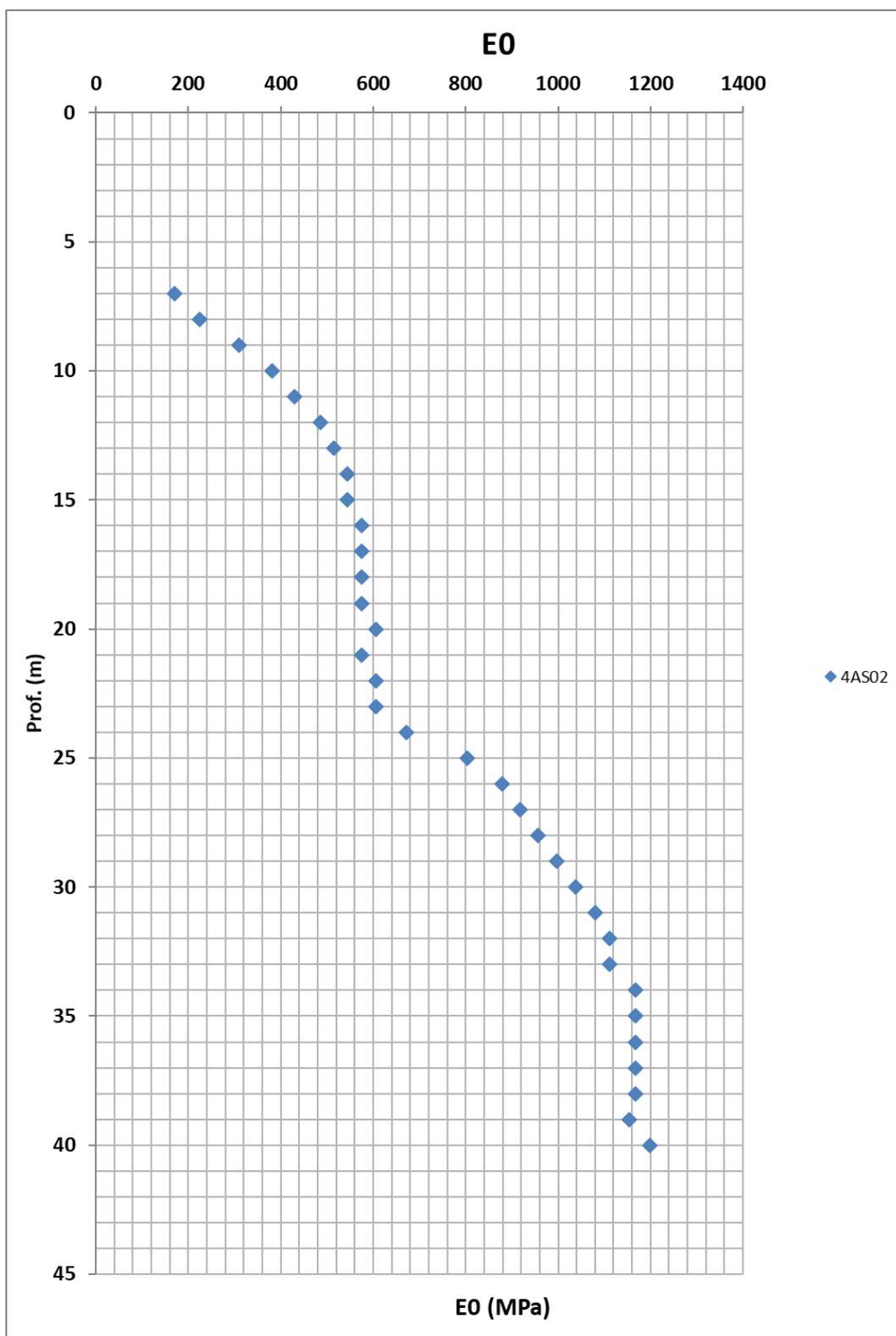


Figura 209: TRV – NV04b - modulo di deformabilità da sismiche

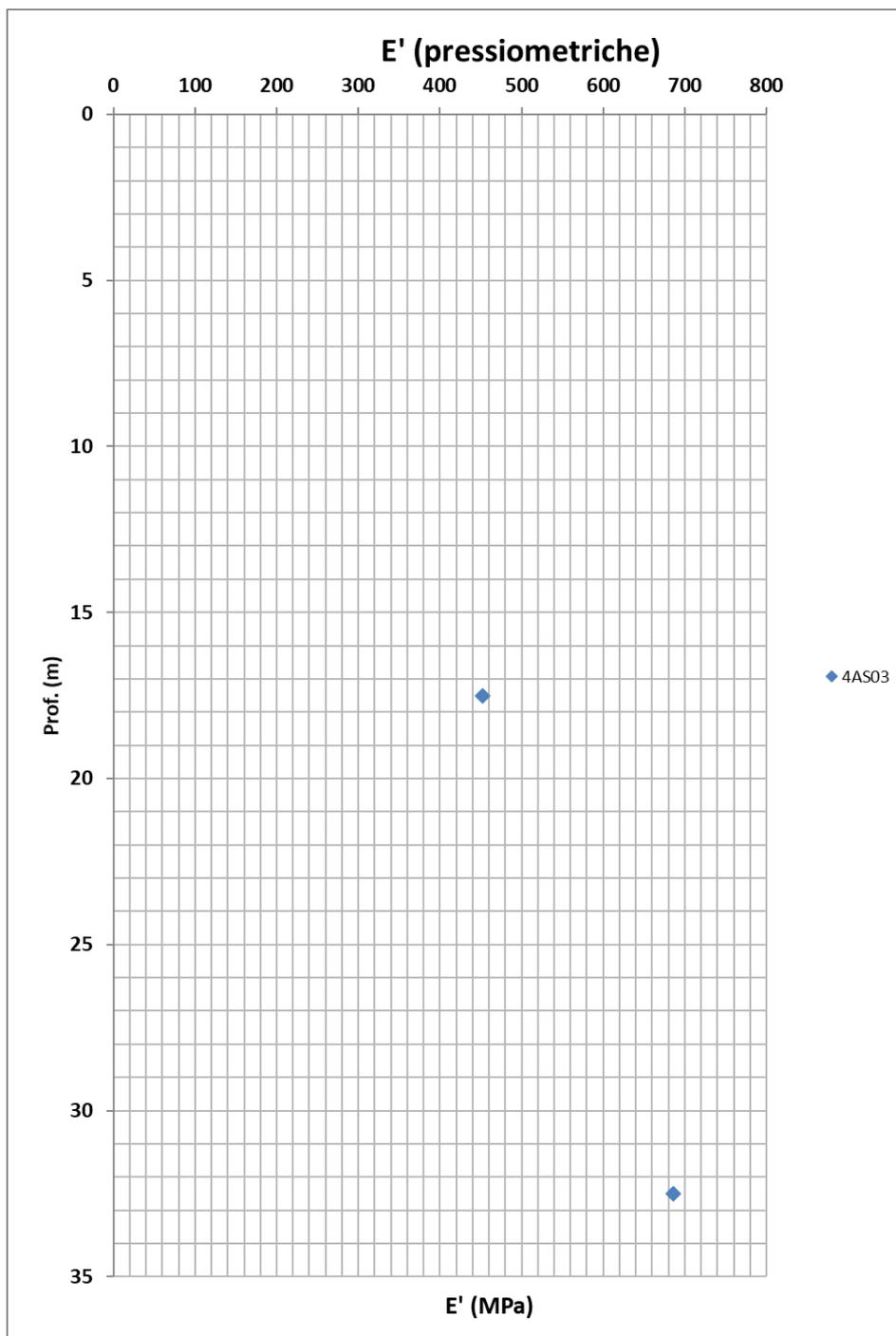


Figura 210: TRV – NV04b - modulo di deformabilità da pressiometriche

14.2.2.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.2.3 Parametri geotecnici caratteristici – Viabilità NV04b

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia FYN4, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt	Flysh numidico: alternanza di argille
GRUPPO GEOTECNICO	a2	TRV (Facies argillosa)	FYN4
γ (kN/m ³)	18-20	20-22	
Dr(%)			
c' (kPa)	12	z=0-40m 9 – 49	42
c'res (kPa)			
ϕ' (°)picco	26	z=0-40m 26 – 16	18
ϕ' cv(°)			
ϕ' res(°)		10-15	10-15
Cu (kPa)	50-100	z 0-40m 100-300	z=0-50 50-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=0-11m 100-400		z=0-50m 200-2000
E'op (MPa)		z=0-40 30-300	z=0-50m 40-400
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR	z=0-10m 1,5-1	z 0-40m 4-1	z=0-30m 2-1
Eed(MPa)	2-20		
Cc	0,2-0,3	0,17-0,22	
Cs	0,05-0,1	0,05-0,08	
Cv			

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 321 di 379

14.3 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV04e

La Viabilità NV04e è interessata dalla presenza della Formazione AV e FYN4. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità delle litologie per le viabilità in esame, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica della Tratta 1.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 322 di 379

14.4 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV05a

La Viabilità NV05a è interessata dalla presenza della Formazione AV e FYN4. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità delle litologie per le viabilità in esame, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica della Tratta 1.

Si fa notare che l'interpretazione della formazione AV riportate nella caratterizzazione globale è stata effettuata basandosi sulle prove della viabilità in esame, le uniche disponibili.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 323 di 379</p>

14.5 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV05d

La Viabilità NV05d è interessata dalla presenza della Formazione AV e FYN4. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità delle litologie per le viabilità in esame, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica della Tratta 1.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA</p>					
<p>Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA GE</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. D</p>	<p>FOGLIO 324 di 379</p>

14.6 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV05e

La Viabilità NV05e è interessata dalla presenza della Formazione TRV e FYN4. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità della litologia TRV, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica della Tratta 2. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità della litologia TRV, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 325 di 379

14.7 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV93

La Viabilità NV93 è interessata dalla presenza della Formazione a2 e TRVa. Per le proprietà fisiche, meccaniche e di deformabilità delle litologie per le viabilità in esame, dato il limitato numero di indagini, si rimanda alla caratterizzazione geotecnica della Tratta 4.

14.8 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV94

La Viabilità NV94 è interessata dalla presenza della Formazione a, a2 e TRV. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

14.8.1 TRV

14.8.1.1 Caratteristiche fisiche

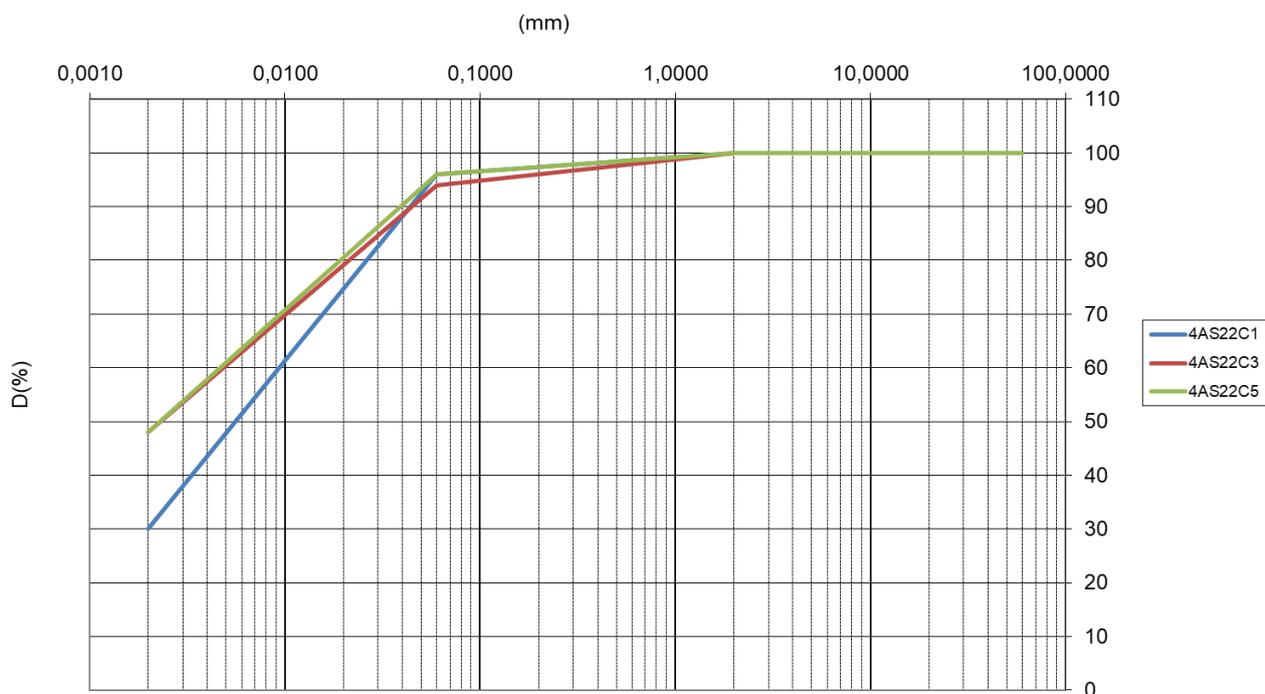


Figura 211: TRV – NV94 - fuso granulometrico

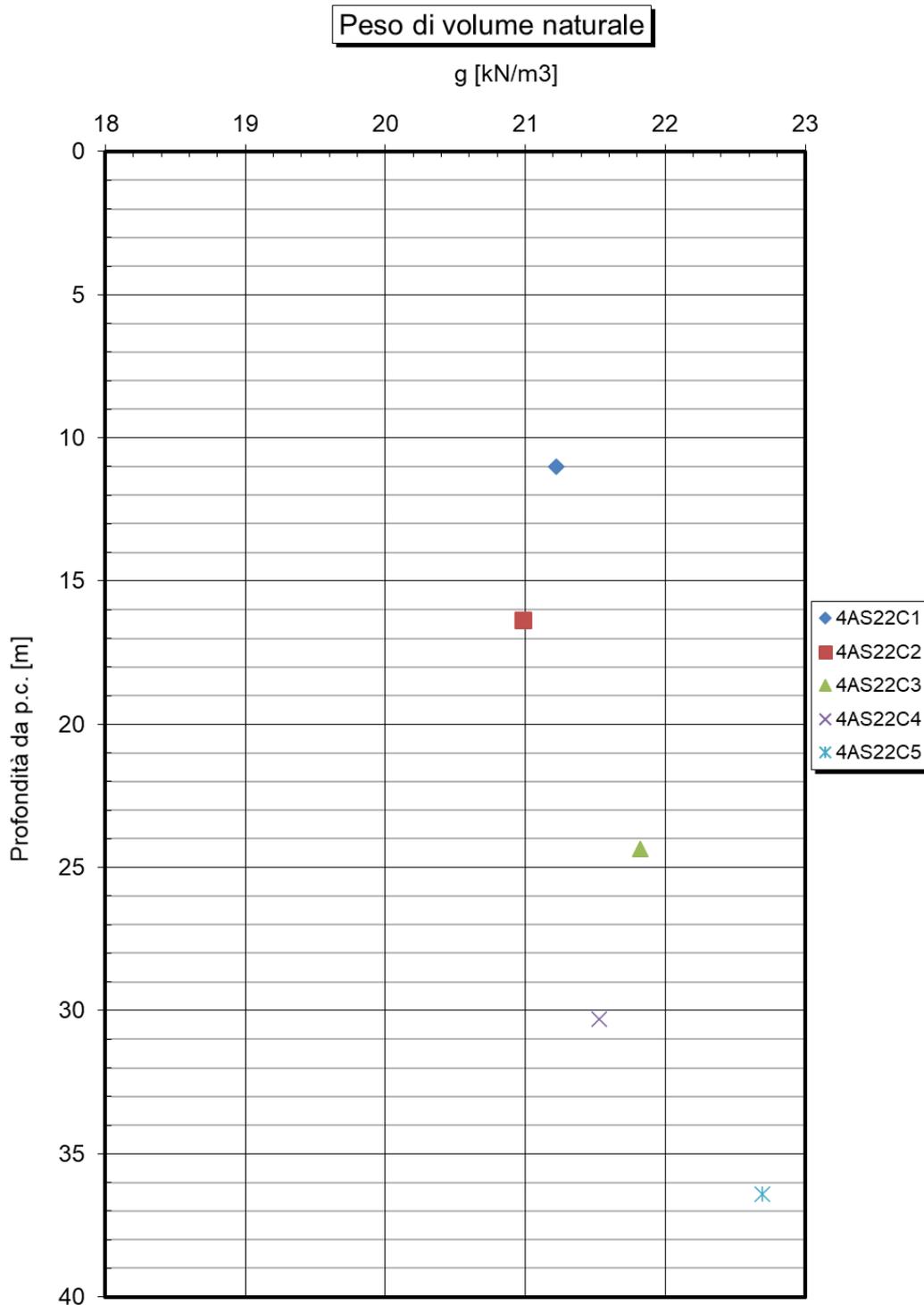


Figura 212: TRV – NV94 - peso di volume naturale

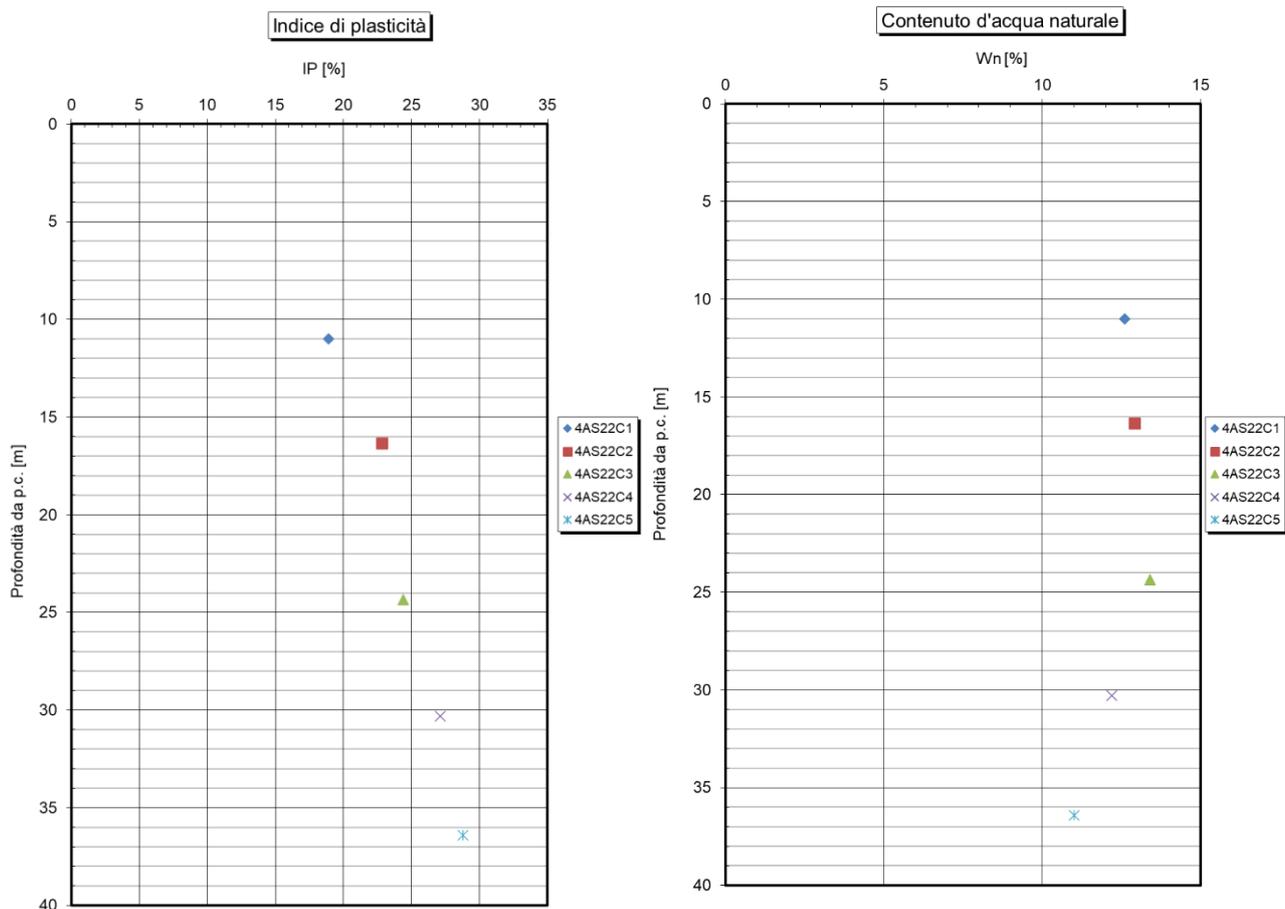


Figura 213: TRV – NV94 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

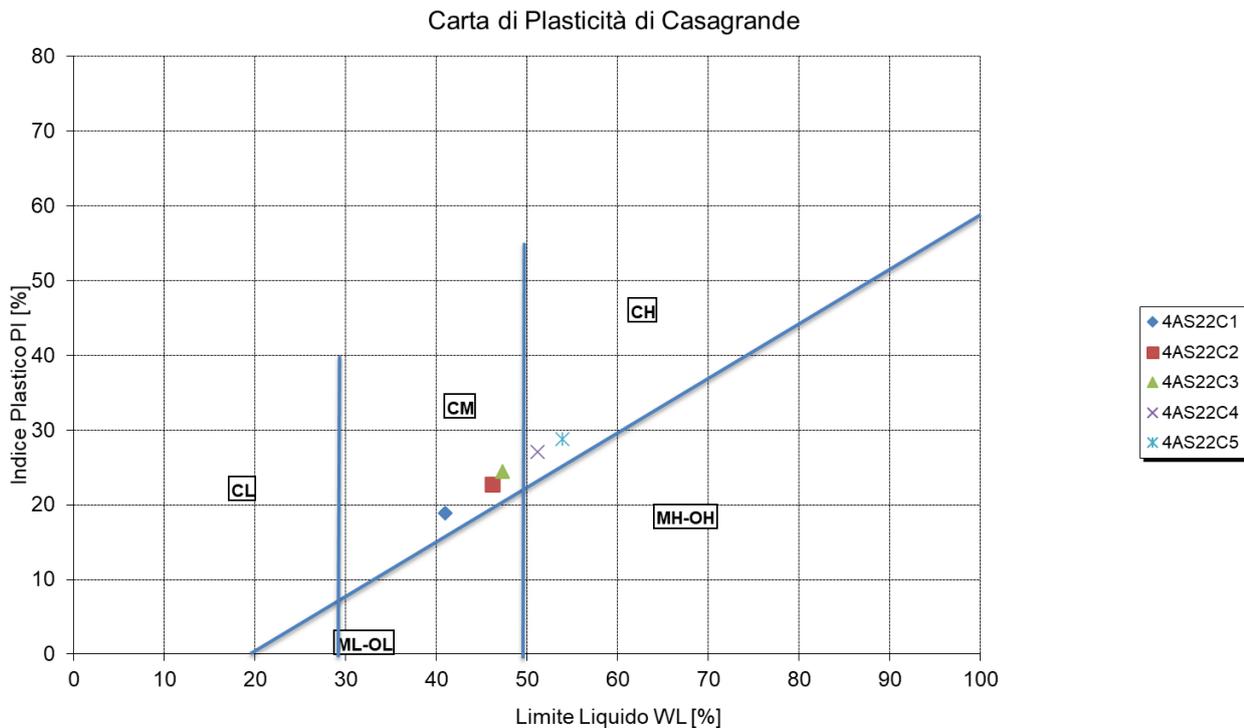


Figura 214: TRV – NV94 - carta di plasticità di Casagrande

14.8.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

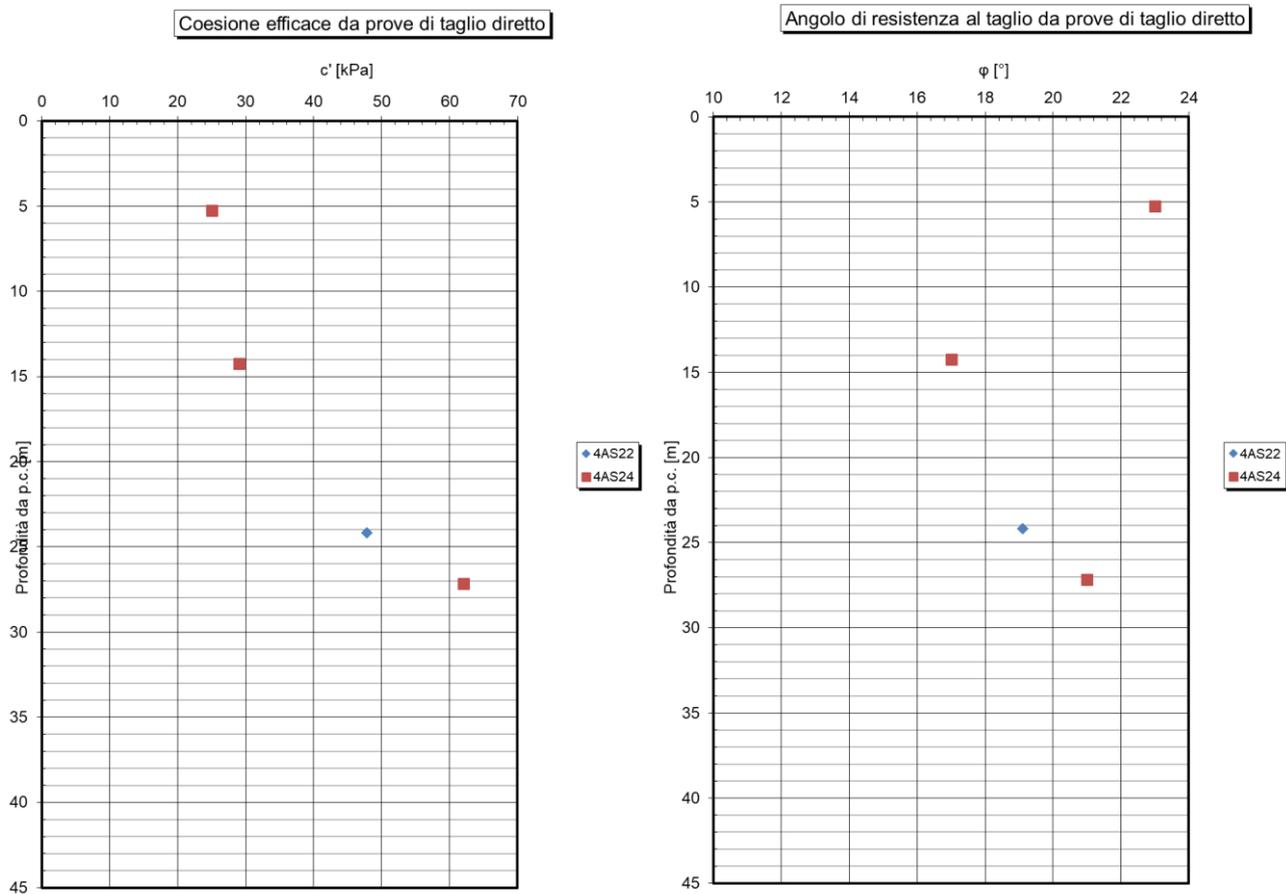


Figura 215: TRV – NV94 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

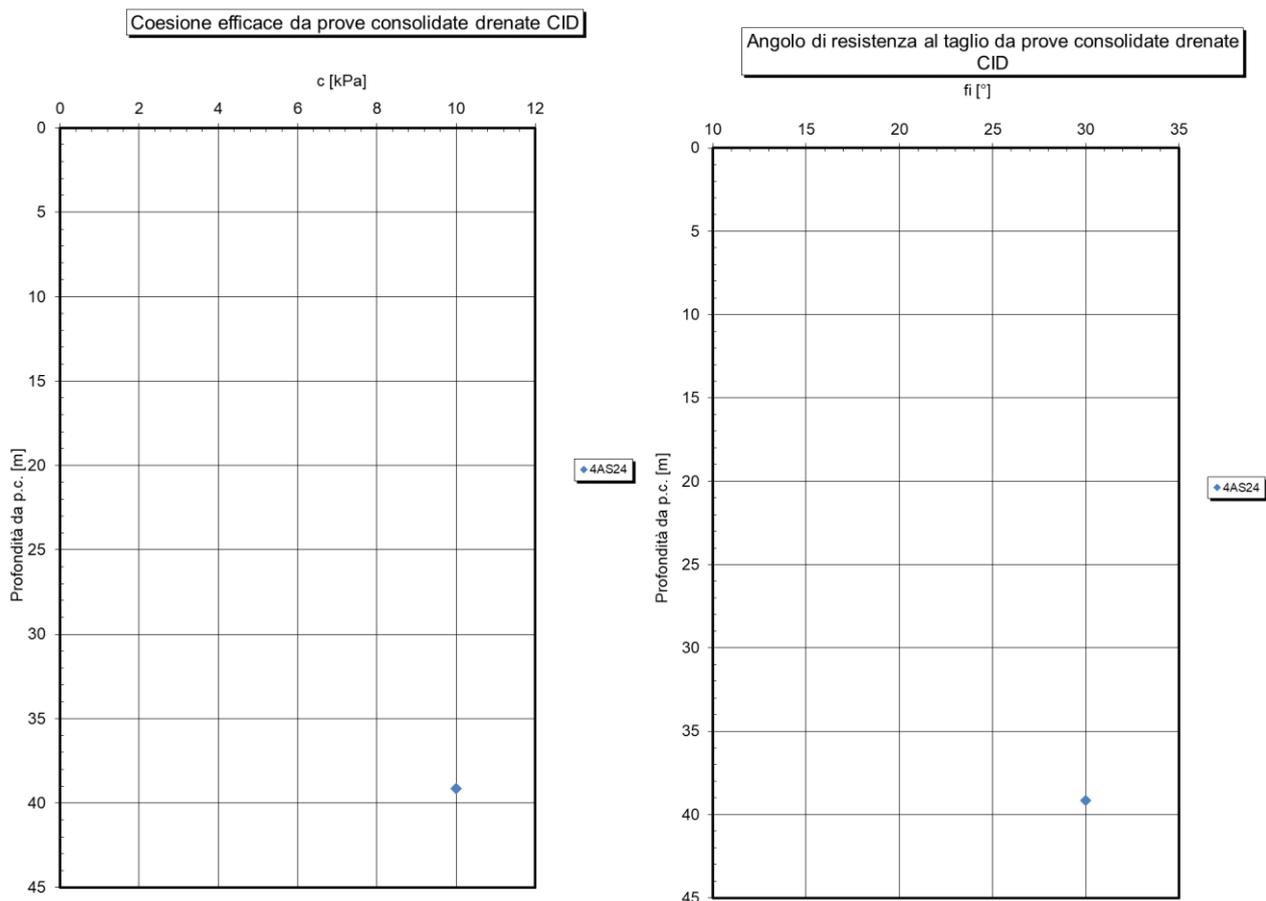


Figura 216: TRV – NV94 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

14.8.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

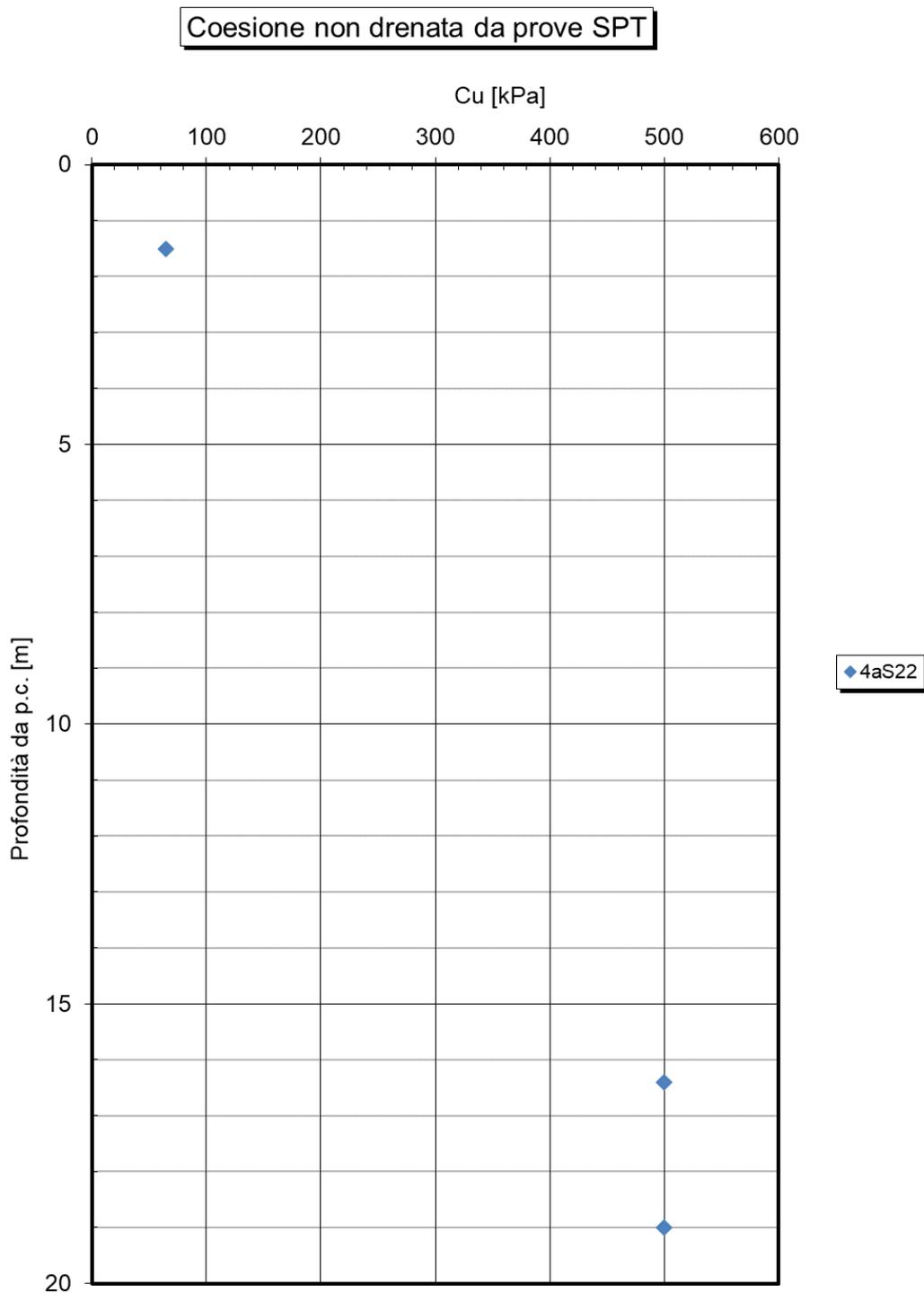


Figura 217: TRV – NV94 - coesione non drenata da prove SPT

14.8.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

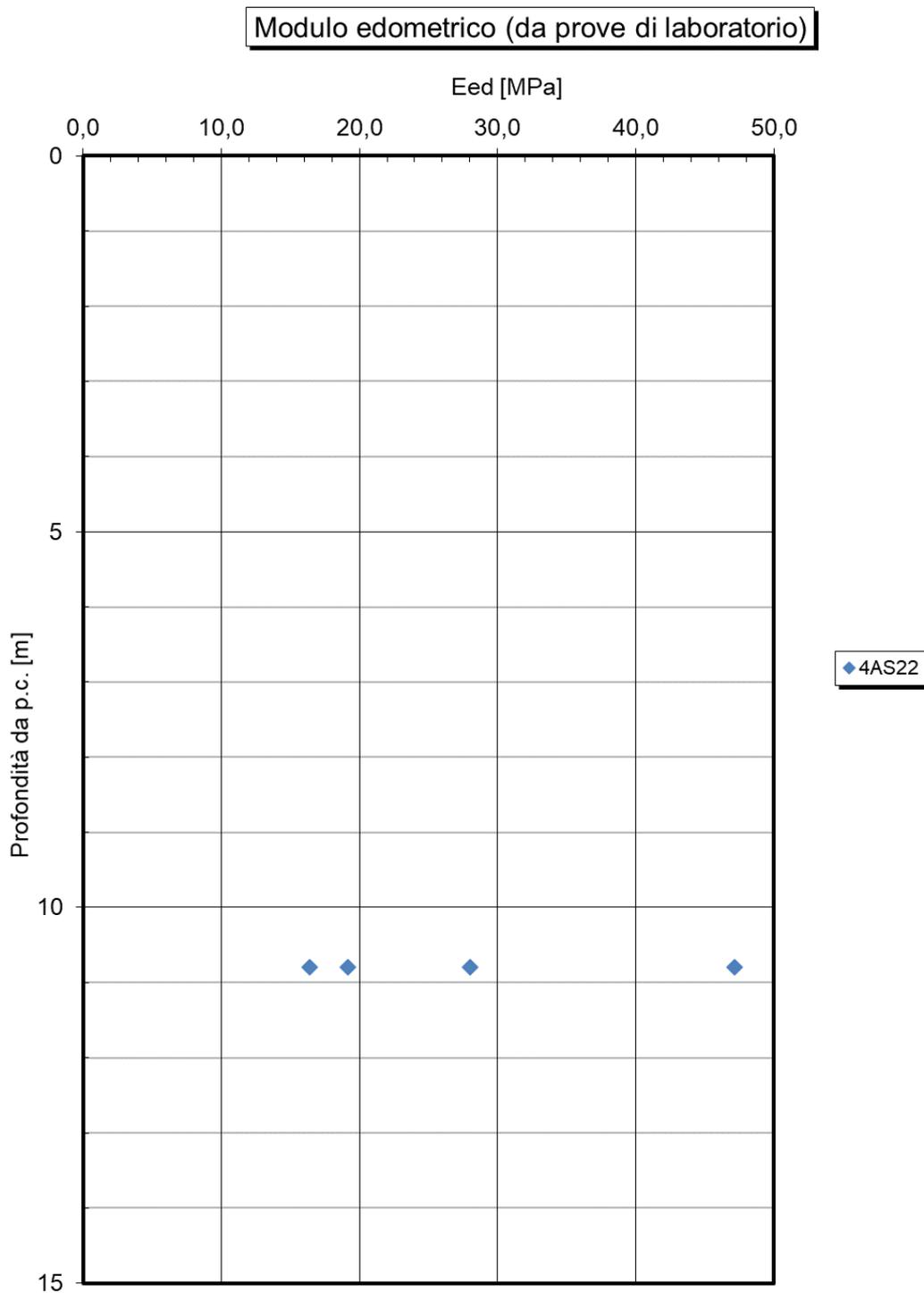


Figura 218: TRV – NV94 - modulo edometrico da prove edometriche

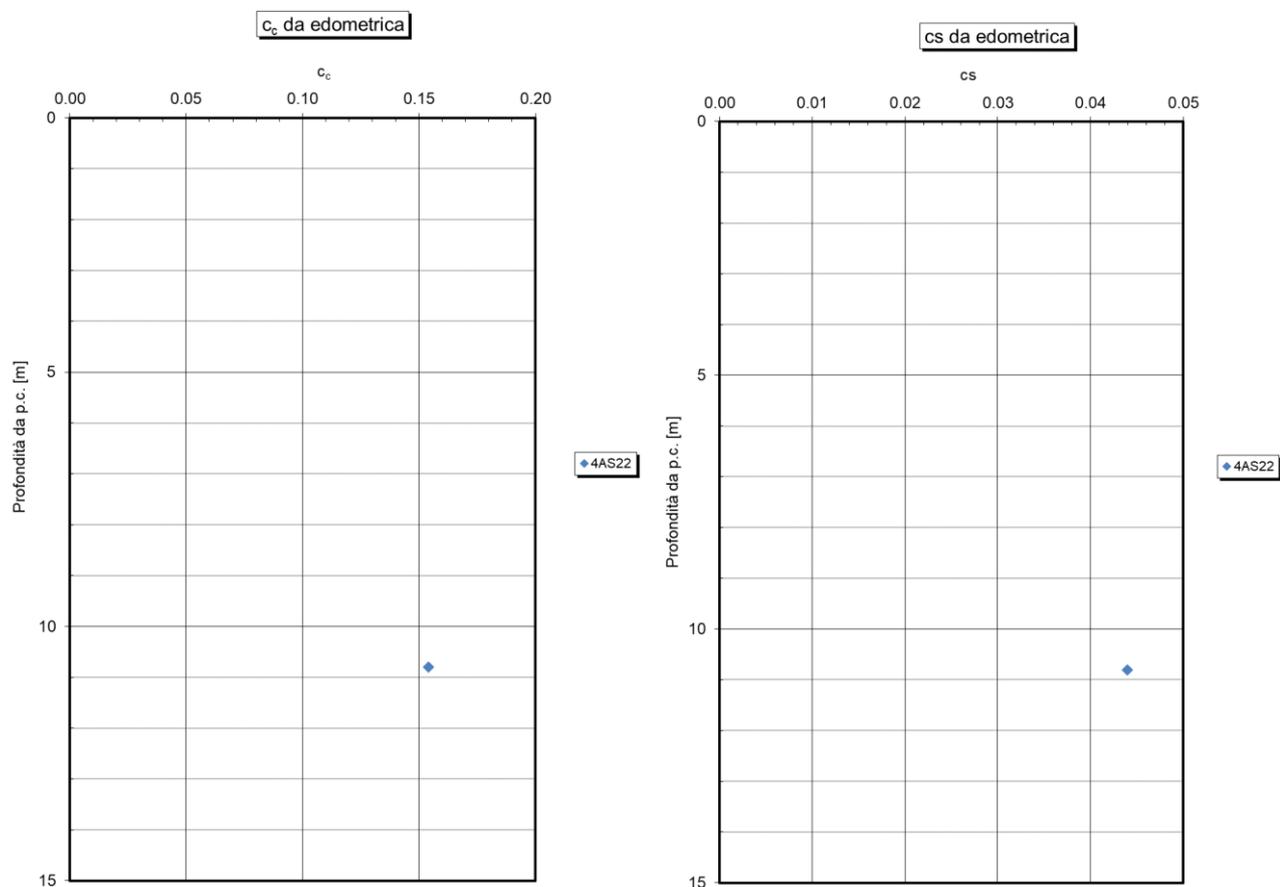


Figura 219: TRV – NV94 - coefficienti c_c e c_s da prove edometriche

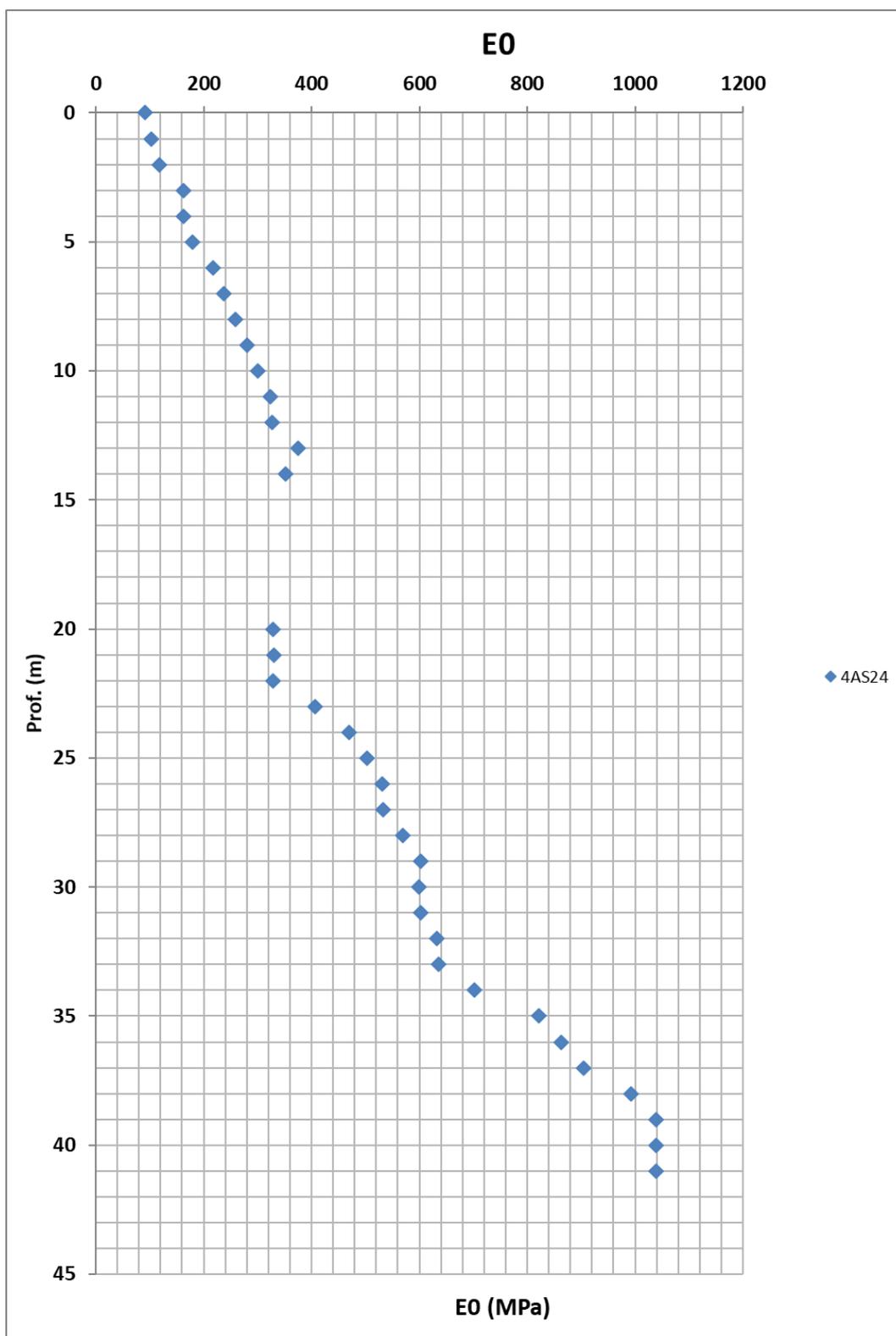


Figura 220: TRV – NV94 - modulo di Young da sismiche

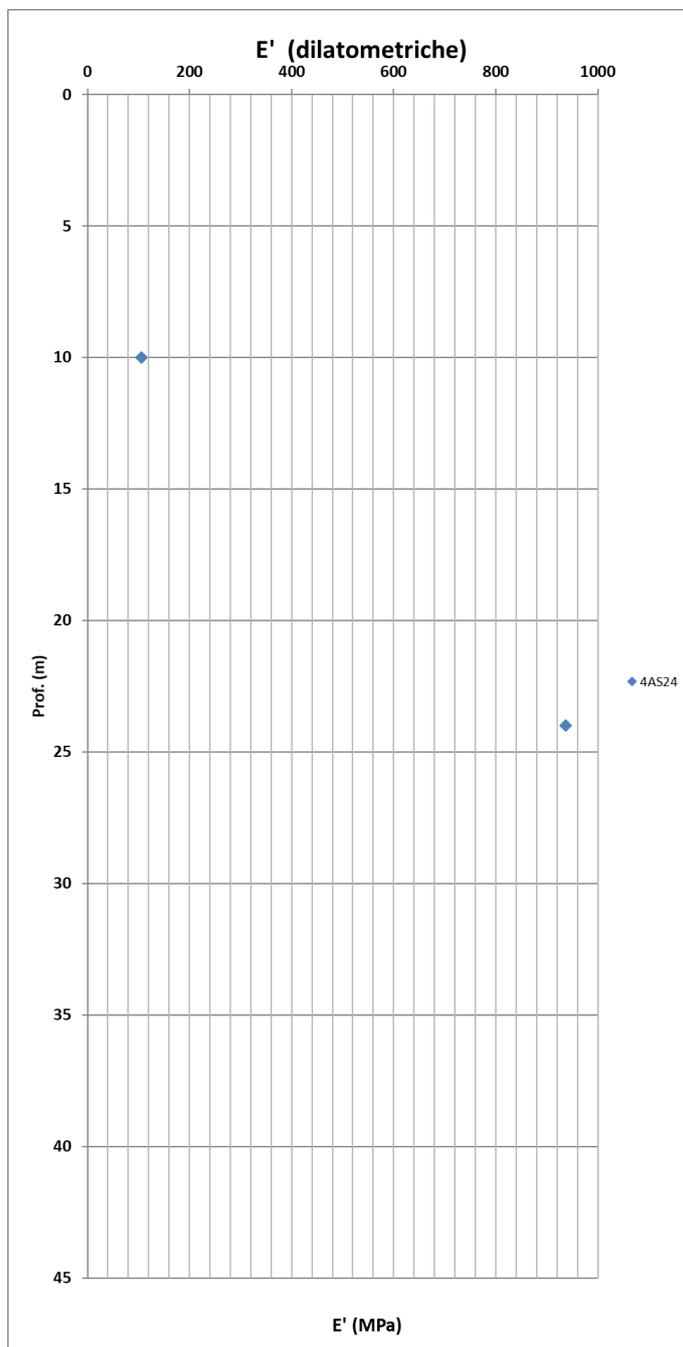


Figura 221: TRV – NV94 - modulo di Young da dilatometriche

14.8.1.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.8.2 Parametri geotecnici caratteristici – Viabilità NV94

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia a e a2, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	ALLUVIONI Sabbia e ghiaie	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt
GRUPPO GEOTECNICO	a	a2	TRV
γ (kN/m ³)	19-20	18-20	20-22
Dr(%)	40-70		
c' (kPa)	0	11 - 30	z=0-40m 18 -33
c' res (KPa)			
ϕ' (°) picco	33-38	29 - 20	z=0-40m 26-24
ϕ' cv (°)	28-32		
ϕ' res (°)			10-15
Cu (kPa)		50-100	z 0-40m 100-300
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=0-11m 70-300	z=0-11m 100-400	z=0-40m 100-1000
E'op (MPa)			z=0-40 30-300
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR		z=0-10m 1,5-1	z 0-40m 4-1
Eed(MPa)		2-20	15-50
Cc		0,2-0,3	0,15
Cs		0,05-0,1	0,04
Cv			

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per i viadotti è stata comunque effettuata una caratterizzazione specifica, laddove possibile, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nelle tabelle sottostanti.

14.8.2.1 VIADOTTO NV94

sondaggi riferimento 4AS22 - 4AS24	Falda	Cat. Sism	NW01 da 0+100 a 0+280													
	2,5 - 4 m p.c	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
			c	0	1	*	*	*	*	*	*				*	*
			a2	1	1,2 - 3m	*	*	*	*	*	*				*	*
			a	1,2 - 3m	3 - 8m	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*
			TRV	3 - 8m	40	*		23	25		*	*			*	*

Tabella 30: parametri geotecnici viadotto NV94 – tratta 1

sondaggi riferimento 4AS22 - 4AS24	Falda	Cat. Sism	NW01 da 0+280 a 0+300													
	2,5 - 4 m p.c	C	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
			c	0	1	*	*	*	*	*	*				*	*
			a2	1	3	*	*	*	*	*	*				*	*
			TRV	3	40	*		23	25		*	*			*	*

Tabella 31: parametri geotecnici viadotto NV94 – tratta 2

(*) Parametri geotecnici della caratterizzazione generale.

14.9 Caratterizzazione Geotecnica Viabilità NV97

La Viabilità NV94 è interessata dalla presenza della Formazione a2, a, TRV. Di seguito per ogni Formazione sono riportate le caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità principali.

14.9.1 a2

14.9.1.1 Caratteristiche fisiche

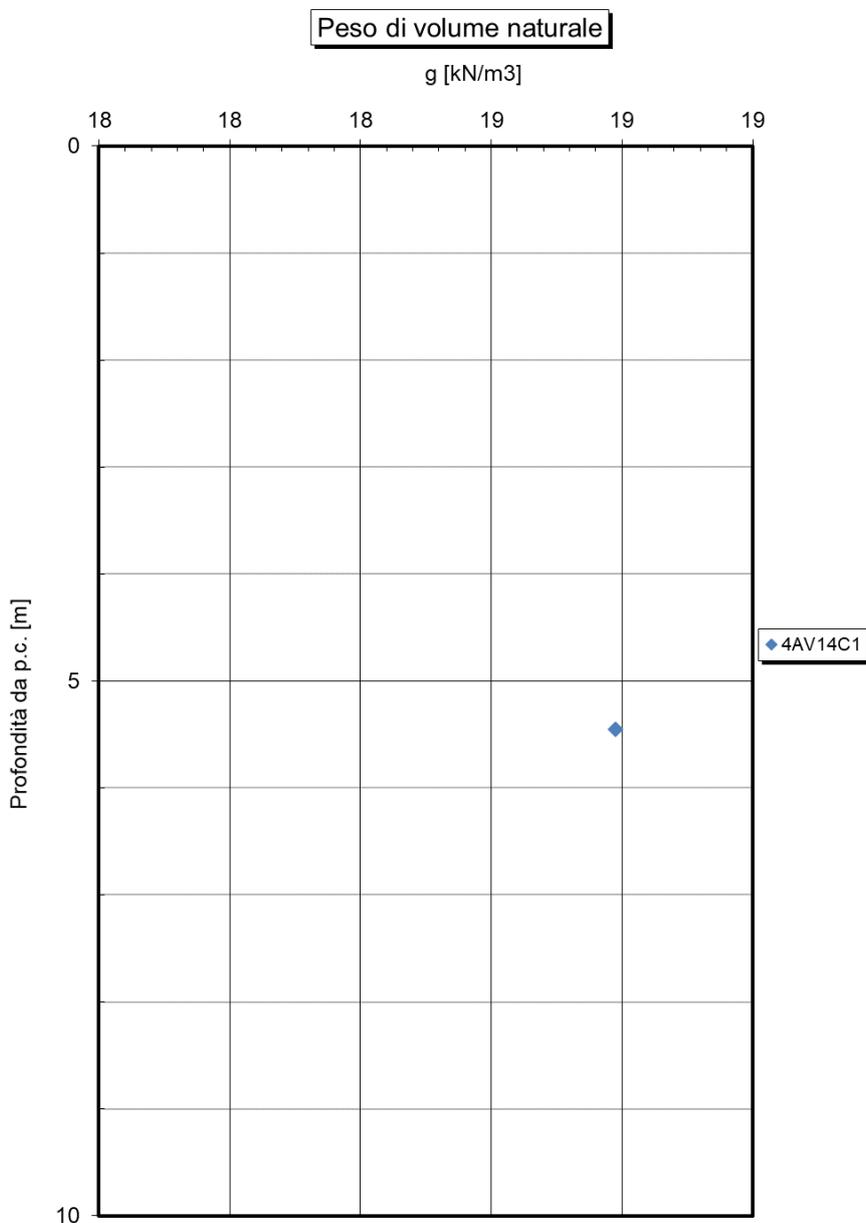


Figura 222: a2 – NV97 - peso di volume naturale

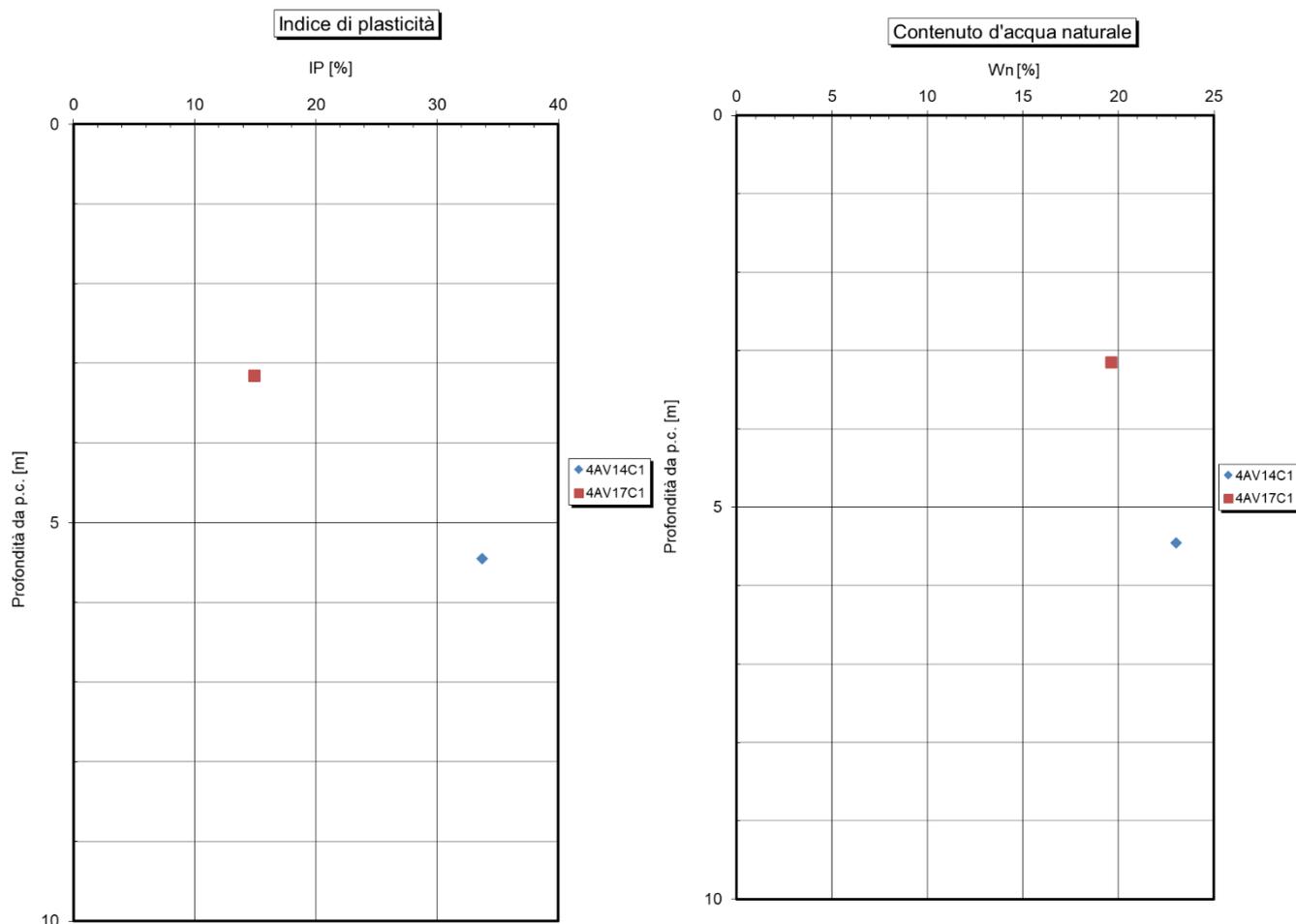


Figura 223: a2 – NV97 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

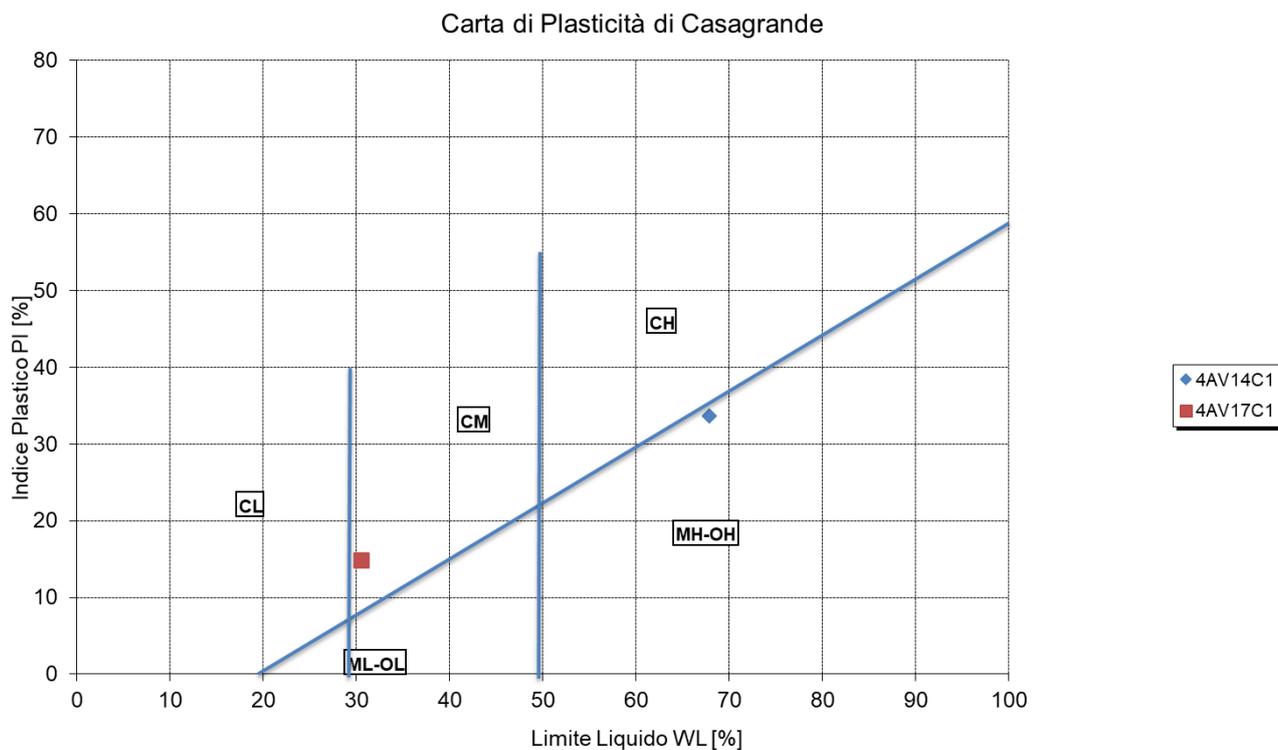


Figura 224: a2 – NV97 - carta di plasticità di Casagrande

14.9.1.2 Caratteristiche di resistenza drenate

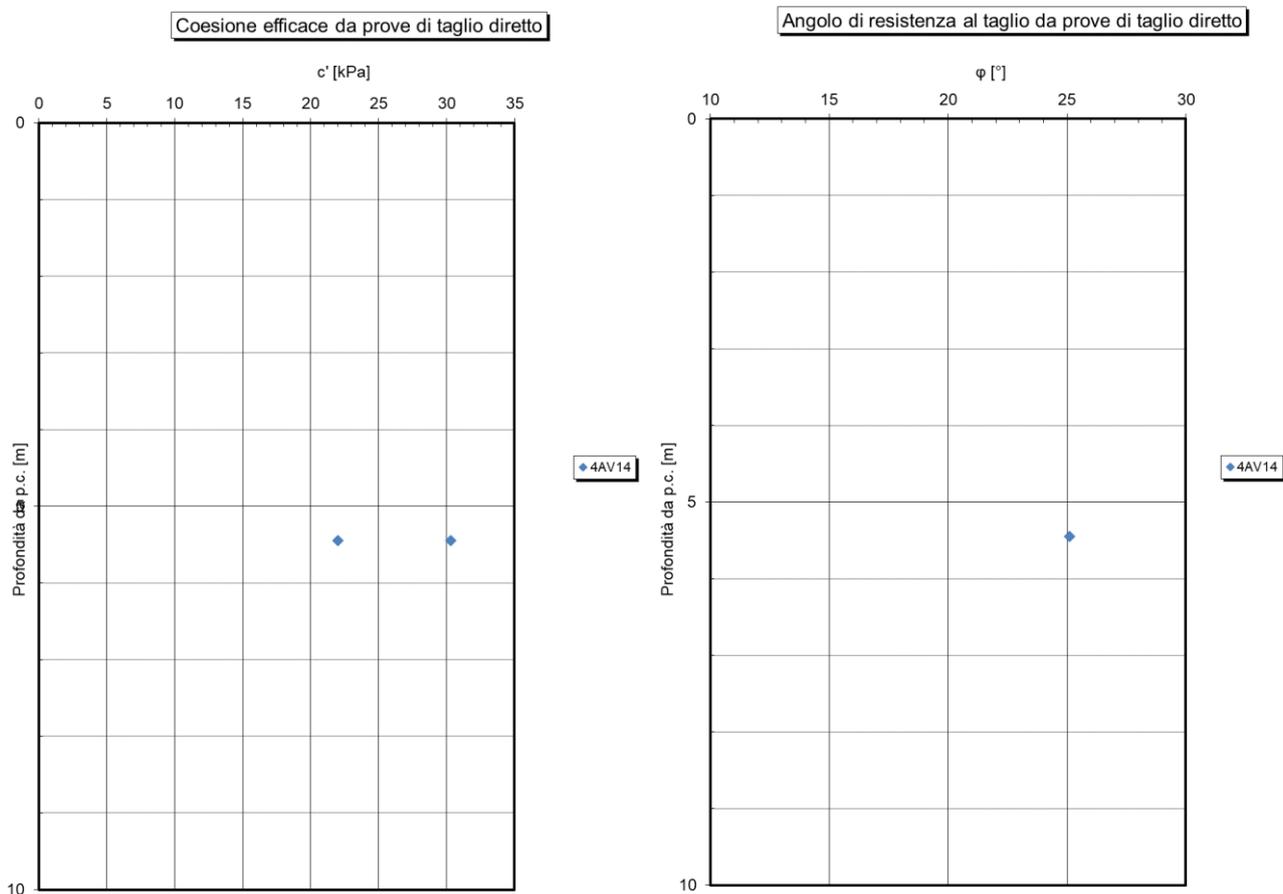


Figura 225: a2 – NV97 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

14.9.1.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.9.1.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.9.1.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.9.2 TRV

14.9.2.1 Caratteristiche fisiche

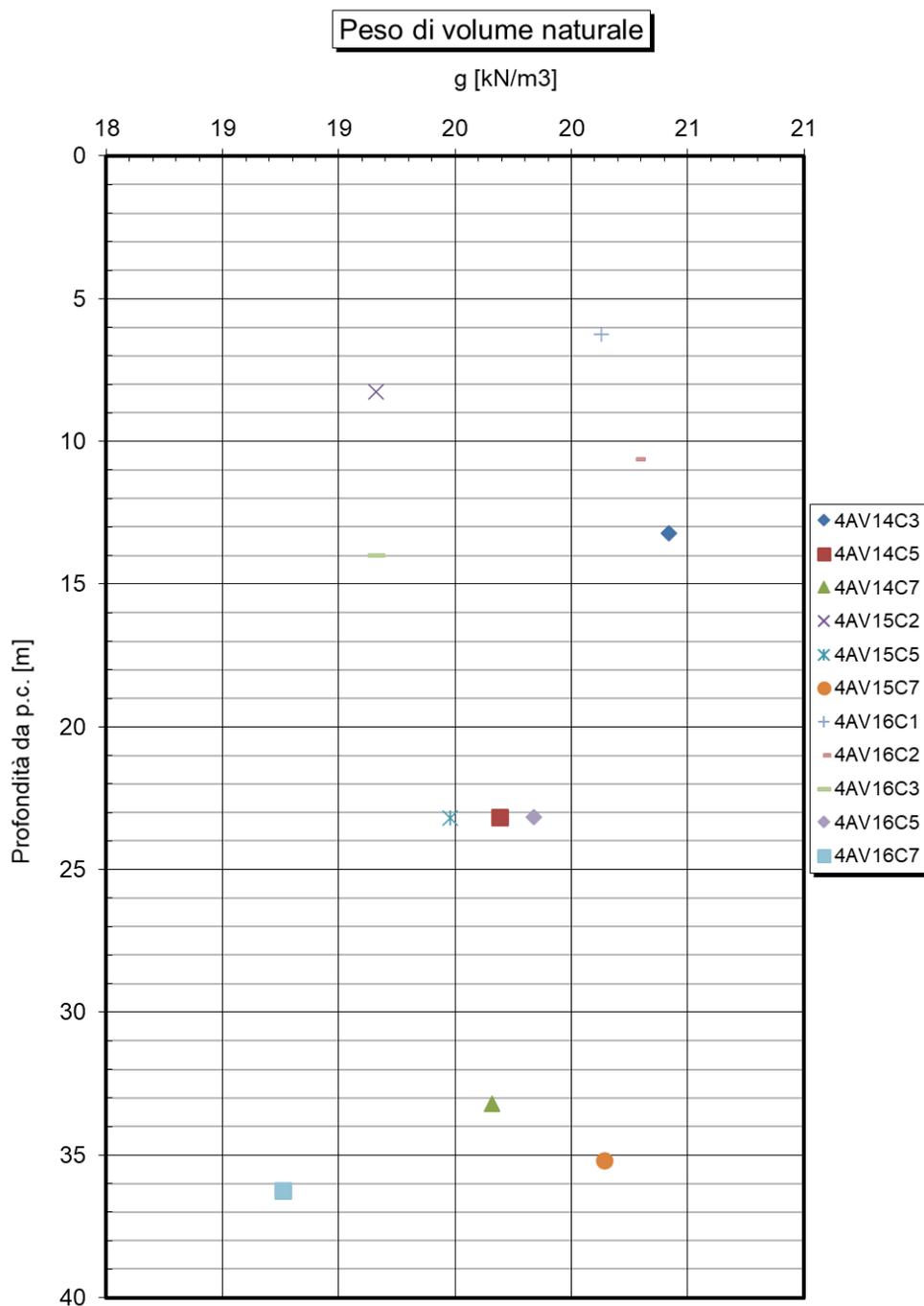


Figura 226: TRV – NV97 - peso di volume naturale

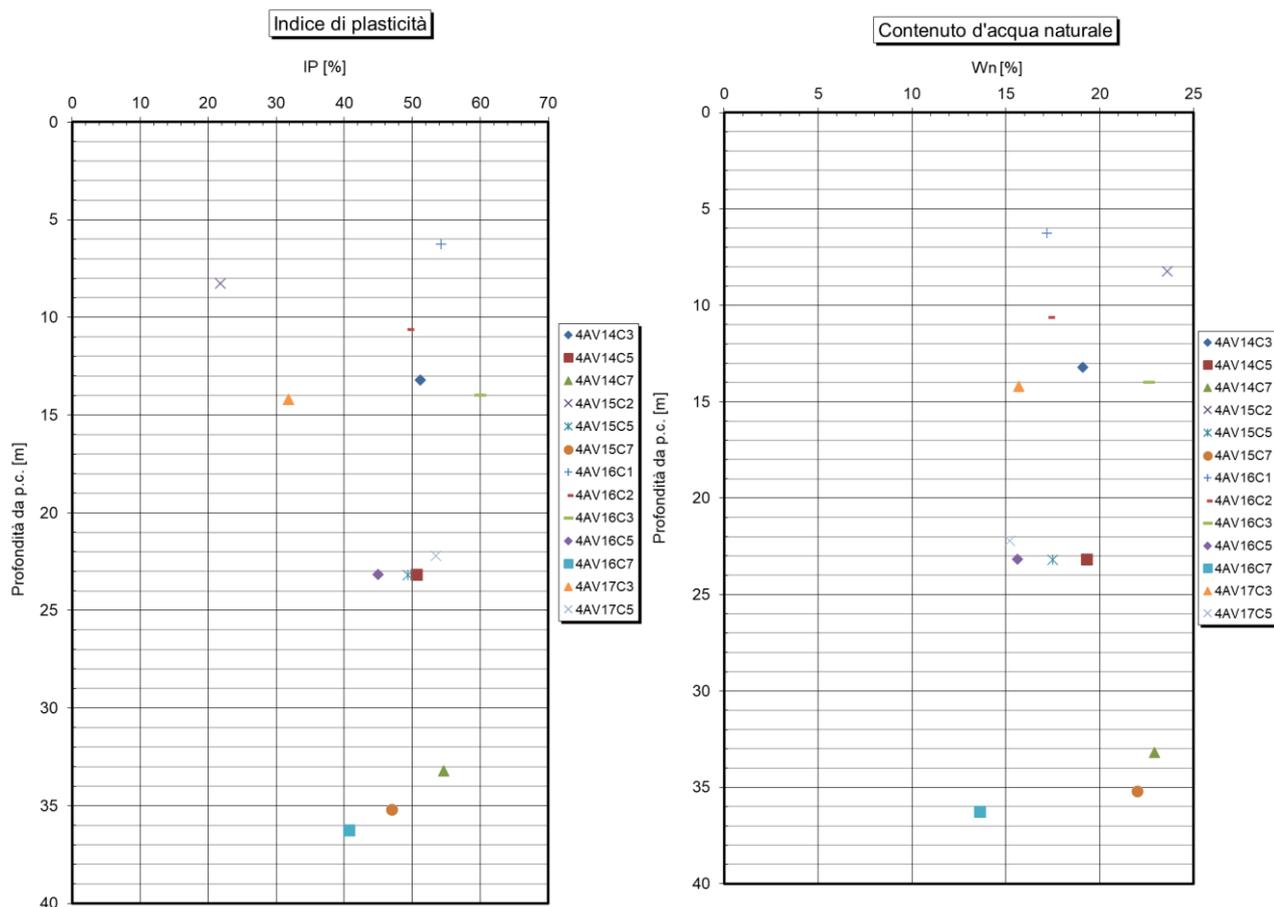


Figura 227: TRV – NV97 - indice di plasticità e contenuto d'acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

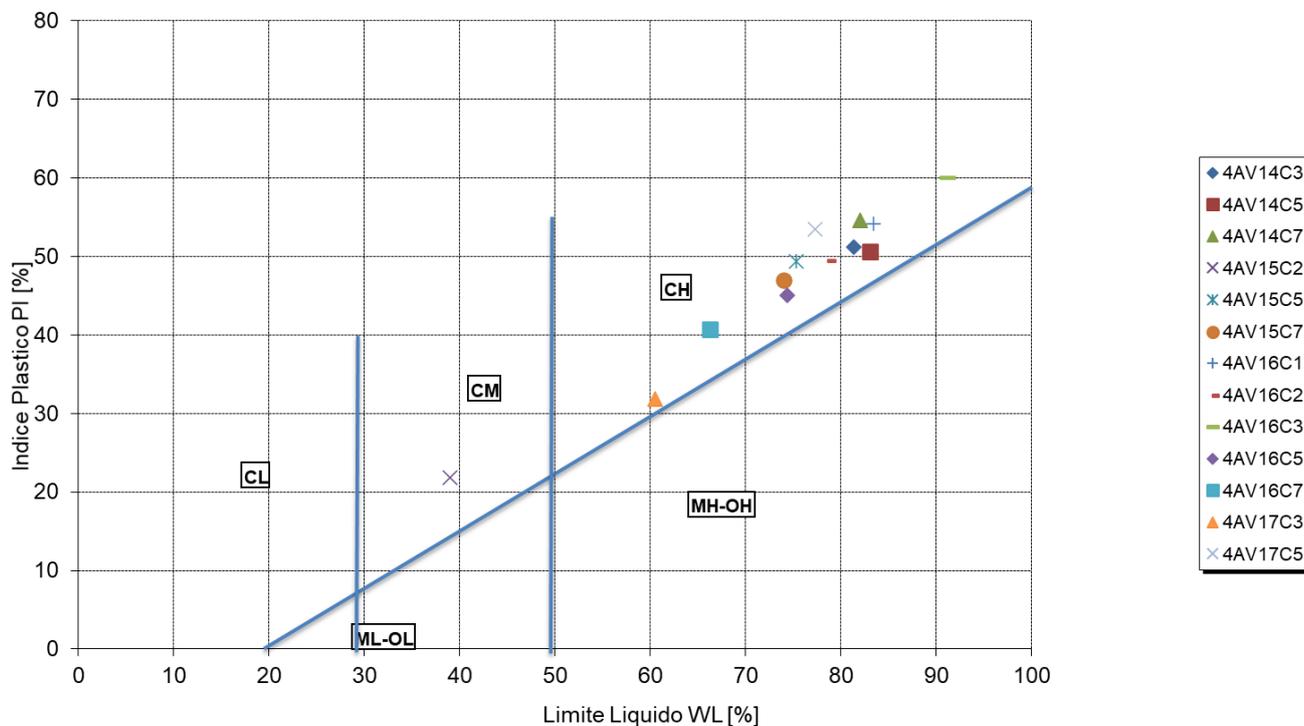


Figura 228: TRV – NV97 - carta di plasticità di Casagrande

14.9.2.2 Caratteristiche di resistenza drenate

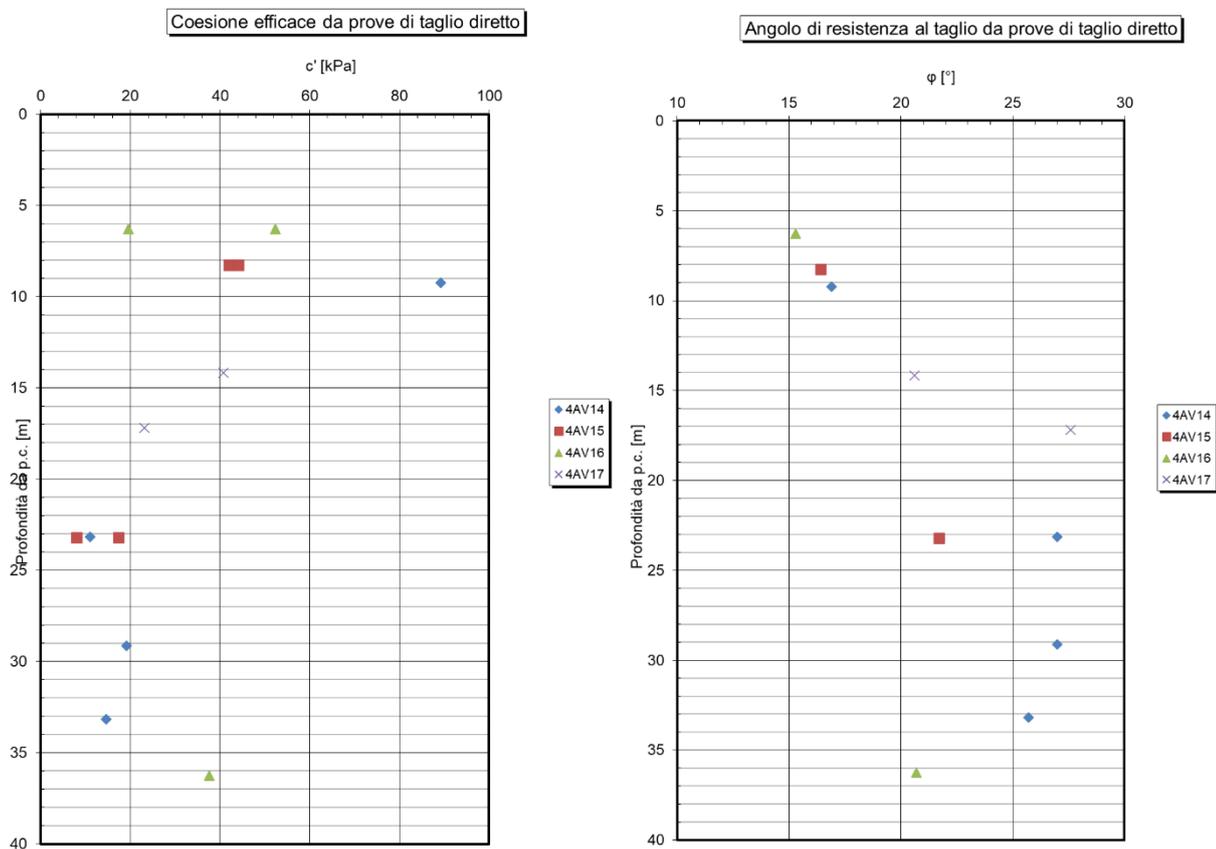


Figura 229: TRV – NV97 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

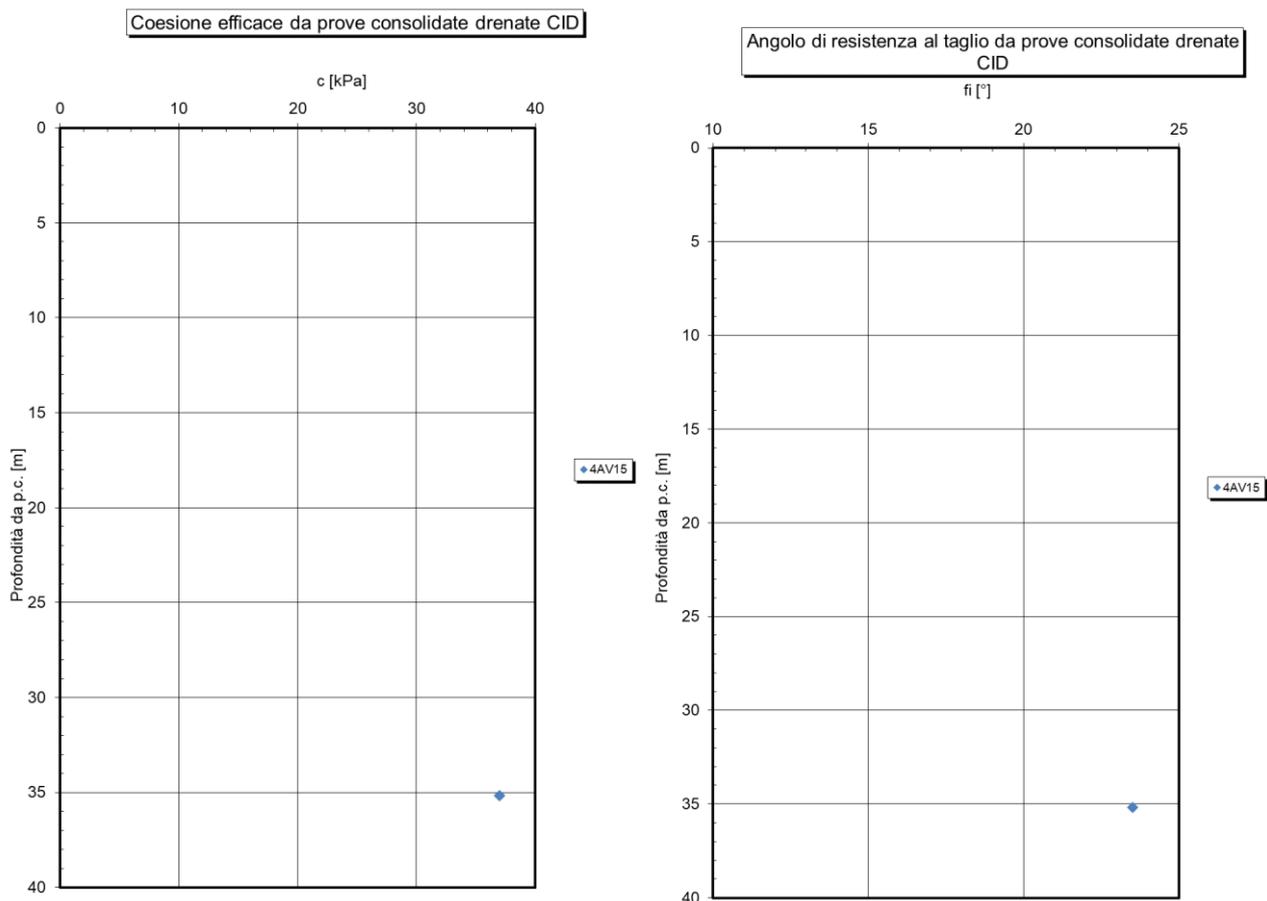


Figura 230: TRV – NV97 - coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

14.9.2.3 Caratteristiche di resistenza non drenate

Resistenza al taglio non drenata (da prove di laboratorio)

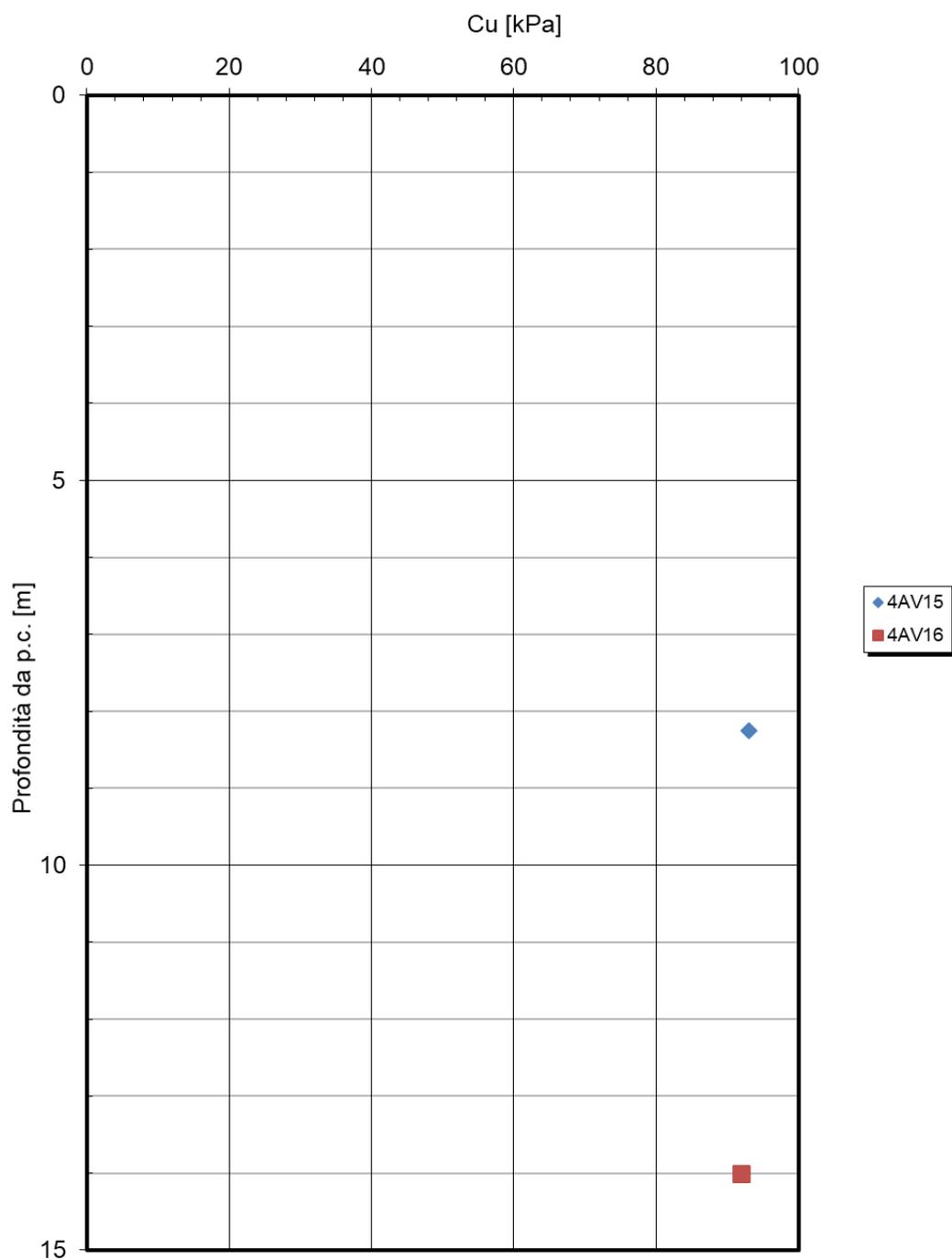


Figura 231: TRV – NV97 - coesione non drenata da prove di laboratorio

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 349 di 379

14.9.2.4 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.9.2.5 Caratteristiche di permeabilità

Si rimanda ai risultati della caratterizzazione generale.

14.9.3 Parametri geotecnici caratteristici – Viabilità NV97

Nella seguente tabella si riportano i parametri di resistenza e deformabilità derivanti dalle indagini eseguite in questa specifica tratta. Per la litologia a, dato il limitato numero di indagini si rimanda alla caratterizzazione geotecnica generale.

descrizione	ALLUVIONI Argilla e argilla limosa	ALLUVIONI Sabbia e ghiaie	Formazione Terravecchia: argille/ peliti/ TRValt
GRUPPO GEOTECNICO	a2	a	TRV (Facies argillosa)
γ (kN/m ³)	18-20	19-20	20-22
Dr(%)		40-70	
c' (kPa)	11 - 30	0	z=0-40m 25-47
c'res (kPa)			
ϕ' (°)picco	29 - 20	33-38	z=0-40m 25-20
ϕ' cv(°)		28-32	
ϕ' res(°)			10-15
Cu (kPa)	50-100		z 0-40m 90
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=0-15m 50-200	z=0-11m 70-300	z=0-40m 200-1200
E'op (MPa)			z=0-40 30-300
ν' (-)	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25-0,3
OCR	z=0-10m 1,5-1		z 0-40m 4-1
Eed(MPa)	2-40		2-40
Cc	0,03-0,2		0,07-0,25
Cs	0,01-0,08		0,02-0,08
Cv	1e-6-1e-8		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

Per i viadotti è stata comunque effettuata una caratterizzazione specifica, laddove possibile, che tiene conto dell'esito delle prove e delle indagini locali. I risultati sono mostrati nelle tabelle sottostanti.

14.9.3.1 VIADOTTO NV97

sondaggi riferimento 4AV14 - 4AV15 - 4AV16 - 4AV17	Falda	Cat. Sism	NW02 da 0+135 a 0+173													
	1- 2 m p.c	B	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
				c	0	1-4m	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			a	1-4m	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			TRV	6	40	*		34	24		*	90			36000	*

Tabella 32: parametri geotecnici viadotto NV97 – tratta 1

sondaggi riferimento 4AV14 - 4AV15 - 4AV16 - 4AV17	Falda	Cat. Sism	NW02 da 0+173 a 0+206 e da 0+239 a 0+504													
	1- 2 m p.c	B	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
				c	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			a2	1	1-4m	*		30	25		*	*			*	*
			a	1-4m	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			TRV	6	40	*		34	24		*	90			36000	*

Tabella 33: parametri geotecnici viadotto NV97 – tratta 2 e tratta 4

sondaggi riferimento 4AV14 - 4AV15 - 4AV16 - 4AV17	Falda	Cat. Sism	NW02 da 0+206 a 0+239													
	1- 2 m p.c	B	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
				c	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			a2	1	4	*		30	25		*	*			*	*
			TRV	4	40	*		34	24		*	90			36000	*

Tabella 34: parametri geotecnici viadotto NV97 – tratta 3

sondaggi riferimento 4AV14 - 4AV15 - 4AV16 - 4AV17	Falda	Cat. Sism	NW02 da 0+504 a 0+520													
	1- 2 m p.c	B	zi [m]	zf[m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ϕ' res [°]	Eop[MPa]	cu	Eu	kh [kN/m ²]	Emr0	Emr	K(m/s)
				c	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			TRV	1	40	*		34	24		*	90			36000	*

Tabella 35: parametri geotecnici viadotto NV97 – tratta 5

(*) Parametri geotecnici della caratterizzazione generale.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

15. SISMICA

15.1 Categoria di sottosuolo

Si assumono le categorie di suolo riportate in *Tabella 37* sulla base delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti lungo il tracciato, dalla seguente descrizione: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180m/s e 360m/s”.*

Nelle fasi di progettazione successive dovranno essere eseguite indagini integrative atte a definire la categoria di suolo.

15.2 Categoria topografica

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, la morfologia dell'area può essere ricondotta alla configurazione T1, dalla seguente descrizione: *“Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”*

15.3 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

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.

Secondo quanto riportato nel Manuale di progettazione delle opere civili l'opera può essere assimilata alla categoria *“Altre opere nuove a velocità $V < 250$ km/h”* per la quale è prevista una vita nominale di 75 anni.

In accordo col DM 17/01/2018 le azioni sismiche vengono valutate in relazione al periodo di riferimento V_R che è ricavato, per ciascun tipo di opera, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u , per le tratte correnti si ottiene:

$$V_R = 75 \times 1.50 = 112.5 \text{ anni.}$$

Mentre per le viabilità sono di seguito riportate la vita nominale, la classe d'uso e la vita di riferimento.

WBS	Categoria funzionale della strada	V_n [anni]	C_u	V_r [anni]
NV04A - Nuova viabilità - Accesso alla stazione di CL-Xirbi SUD	CAT. F1 (corsie 3,50 m, banchine 1 m)	75	1.5	112.5
NV04B - Nuova viabilità - Accesso alla stazione di CL-Xirbi SUD	CAT. F1 (corsie 3,50 m, banchine 1 m)	75	1.5	112.5
NV04E - Adeguamento viabilità esist - Accesso all'area di stoccaggio	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,00 m) (Corsia 4,00 m, banchine da 1,00 m)	50	1.5	75
NV05A - Adeguam. viabilità esist. - Accesso alla stazione di CL-Xirbi NORD	CAT. F1 (corsie 3,50 m, banchine 1 m)	75	1.5	112.5
NV05B - Adeguam. viabilità esist. - Accesso alla stazione di CL-Xirbi NORD	CAT. C2 (corsie da 3,50 m, banchina 1,25 m)	100	1.5	150

NV05C - Adeguam. viabilità esist. - Accesso alla stazione di CL-Xirbi NORD	CAT. C2 (corsie da 3,50 m, banchina 1,25 m)	100	1.5	150
NV05E - Ripristino viabilità esistente - Interpodereale	DESTINAZIONE PARTICOLARE (4,00 m) (Corsia 3,00 m, banchine da 0,50 m)	50	1.5	75
NV01 - Adeguamento viabilità esistente - Accesso contrada	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 m) (corsie 2,75 m, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV06 - Adeguamento viabilità esistente - Accesso contrada	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 m) (corsie 2,75 m, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV02 - Adeguamento viabilità esistente - Interpodereale	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 m) (corsie 2,75 m, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV03 - Adeguamento viabilità esistente - Variante S.S. 192	CAT. C2 (corsie 3,50, banchine 1,25 m)	100	1.5	150
NV90 - Viabilità di accesso al piazzale di soccorso - Galleria Montestretto (Lato Palermo)	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 M) (corsie 2,75, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV91 - Viabilità di accesso alle uscite di emergenza - Galleria Montestretto	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 M) (corsie 2,75, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV93 - Viabilità di accesso al piazzale di soccorso - Galleria Montestretto (Lato Catania)	DESTINAZIONE PARTICOLARE (4,00 M) (corsia 3,00, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV94 - Viabilità di accesso al piazzale di soccorso - Galleria Salso (Lato Palermo)	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 M) (corsie 2,75, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV95 - Viabilità di accesso al piazzale di soccorso - Galleria Salso (Lato Catania)	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 M) (corsie 2,75, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV96 - Viabilità di accesso al piazzale di soccorso - Galleria Salso (Lato Catania)	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 M) (corsie 2,75, banchine 0,50 m)	50	1.5	75
NV97 - Viabilità di accesso al piazzale di soccorso - Galleria Trinacria (Lato Palermo)	CAT. F1 (corsie 3,50 m, banchine 1 m)	75	1.5	112.5
NV98 - Viabilità di accesso al Piazzale PM Villarosa	DESTINAZIONE PARTICOLARE (6,50 M) (corsie 2,75, banchine 0,50 m)	50	1.5	75

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

15.4 Categoria di suolo

Grazie ai risultati delle indagini geofisiche eseguite in situ, è stato possibile definire la categoria di sottosuolo di alcuni comuni attraverso il valore del parametro $V_{s,eq}$. Le valutazioni hanno permesso di ottenere una categoria di sottosuolo C per quasi tutta l'area di progetto.

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>

Tabella 36: Categorie di sottosuolo

Le indagini sismiche che hanno permesso tale classificazione, vengono di seguito riportate.

WBS	pk inizio [m]	pk fine [m]	L (m)	ID	Down-Hole	Masw	HVSR	$V_{s,eq}$ [m/s] (NTC2018)	Categoria di suolo indagine
FV CALTANISSETTA	0	861	861	3bS13		1	1	487	B
TR01	0	861	861	3bS13		1	1	487	B
RI01	861	1134	273	4aS01		1	1	350	C
				4aS02	1			270	C
TR04	2181	2285	104	4aV01		1	1	238	C
GA01	2285	2839	554	4aS13		1	1	317	C
VI05	2912	3488	576	4aS15	1			271	C
				4aS16		1	1	412	B
				4aS17	1			250	C

GN01	4188	6444	2256	4aGN1S01		1	1	225	C
				4aF01	1			222	C
GA03	6444	6468	24	4aGN1S06	1			331	C
VI06	6552	7598	1046	4aS21	1			260	C
				4aS24	1			273	C
GN02	7742	11477	3735	4aGN2S07	1			387	C
				4aGN2S10	1			408	E
RI12	11574	11733	159	4aV04		1	1	265	C
VI07	11733	12553	820	4aS27		1	1	336	C
RI13	12599	13356	757	4aV02	1			283	C
				4aS29		1	1	375	B
GN03	13477	26876	13399	4aGN3S11	1			182	C
				4aGN3S19	1	1	1	263	C
VI02				4aS04		1		249	C
VI03				4aS07		1		224	C
VI04				4aS11		1		230	C
VI07				4aS26		1		258	C
NW02 NV97				4aV16		1		209	C
				4aV17		1		314	C
				IV03		1		211	C
NV93				4aV05		1	1	443	B
NV97				4aS29		1	1	375	B
VARIANTE LINEA STORICA				3bS13		1	1	487	B
				4aS01		1	1	350	C
				4aS02	1			270	C

Tabella 37: Indagini sismiche eseguite

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

15.5 Accelerazione sismica su suolo rigido

Per la linea ferroviaria:

- Vita nominale: $V_N = 75$ anni
- Classe d'uso: CIII
- Coefficiente d'uso: $C_U = 1.50$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 112.5$ anni

Di seguito vengono riportate le caratteristiche sismiche principali determinate lungo il tracciato a differenti progressive, considerando la categoria di suolo di tipo rigido (A) e lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

PROGRESSIVA pk 1+121.87

S	η	TB	TC	TD	ag	Fo	TC*	Ss	Cc	St	q
1,000	1,000	0,158	0,474	1,987	0,097	2,657	0,474	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabella 38: caratteristiche sismiche alla progressiva pk 1+121.87

PROGRESSIVA pk 1+680

S	η	TB	TC	TD	ag	Fo	TC*	Ss	Cc	St	q
1,000	1,000	0,171	0,514	1,999	0,100	2,641	0,514	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabella 39: caratteristiche sismiche alla progressiva pk 1+680

PROGRESSIVA pk 2+000

S	η	TB	TC	TD	ag	Fo	TC*	Ss	Cc	St	q
1,000	1,000	0,164	0,491	1,988	0,097	2,651	0,491	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabella 40: caratteristiche sismiche alla progressiva pk 2+000

PROGRESSIVA pk 2+920

S	η	TB	TC	TD	ag	Fo	TC*	Ss	Cc	St	q
1,000	1,000	0,171	0,512	1,998	0,099	2,639	0,512	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabella 41: caratteristiche sismiche alla progressiva pk 2+920

PROGRESSIVA pk 6+950

S	η	TB	TC	TD	ag	Fo	TC*	Ss	Cc	St	q
1,000	1,000	0,169	0,508	2,014	0,103	2,642	0,508	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabella 42: caratteristiche sismiche alla progressiva pk 6+950

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

16. ANALISI LIQUEFAZIONE

In condizioni non drenate, i depositi di terreni granulari sciolti possono liquefare, ovvero si possono trasformare in fluidi.

Come riportato nella normativa vigente (NTC 2018 – par. 7.11.3.4.2) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 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;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per gli strati di terreno per cui nessuna delle suddette condizioni risulta verificata è stato valutato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione attraverso metodi semplificati.

Al fine di valutare la suscettibilità alla liquefazione o potenziale di liquefazione di un deposito granulare attraverso metodi semplificati occorre stimare gli sforzi di taglio indotti dal terremoto atteso (CSR) e la resistenza ciclica non drenata del terreno (CRR).

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione è:

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} MSF$$

con MSF (magnitude scaling factor) dato da (Idriss 1990):

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

L'indice per misurare il potenziale di liquefazione entro i primi 20m da p,.c., I_L (Iwasaki et al., 1982), è definito come:

$$I_L = \int_0^{20m} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove z è la profondità in metri e $w(z)$ and $F(z)$ sono:

$$w(z) = 10 - 0.5 \cdot z$$

$$F(z) = \max \begin{cases} 1 - F_L \\ 0 \end{cases}$$

Iwasaki et al. (1982) propone la seguente classificazione del rischio di liquefazione:

$I_L \leq 5$	<i>low</i>
$5 < I_L \leq 15$	<i>high</i>
$I_L > 15$	<i>very high</i>

Di seguito si espongono i metodi semplificati per effettuare in modo speditivo la verifica alla liquefazione.

Per quanto riguarda gli sforzi di taglio indotti dal terremoto atteso, esso viene indicato come CSR (cyclic stress ratio) e può essere determinato mediante le espressioni di seguito riportate (Seed e Idriss 1982, Youd e Idriss 2001):

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_{v0}) = 0.65 (a_{max} / g) (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) r_d$$

dove: a_{max} = massima accelerazione orizzontale attesa al suolo;

g = accelerazione di gravità;

r_d = fattore riduttivo degli sforzi di taglio in funzione di $z(m)$ (Youd e Idriss 2001).

Per quanto riguarda la resistenza ciclica non drenata del terreno CRR (cyclic resistance ratio) può essere convenientemente stimata mediante opportune prove di laboratorio, in condizioni non drenate, eseguite su campioni indisturbati congelati.

16.1 Verifica trimite prove SPT

In alternativa è diventata pratica comune ricorrere ai risultati di prove in sito ed in particolare alla prova SPT ed alla Geofisica per la determinazione di CRR.

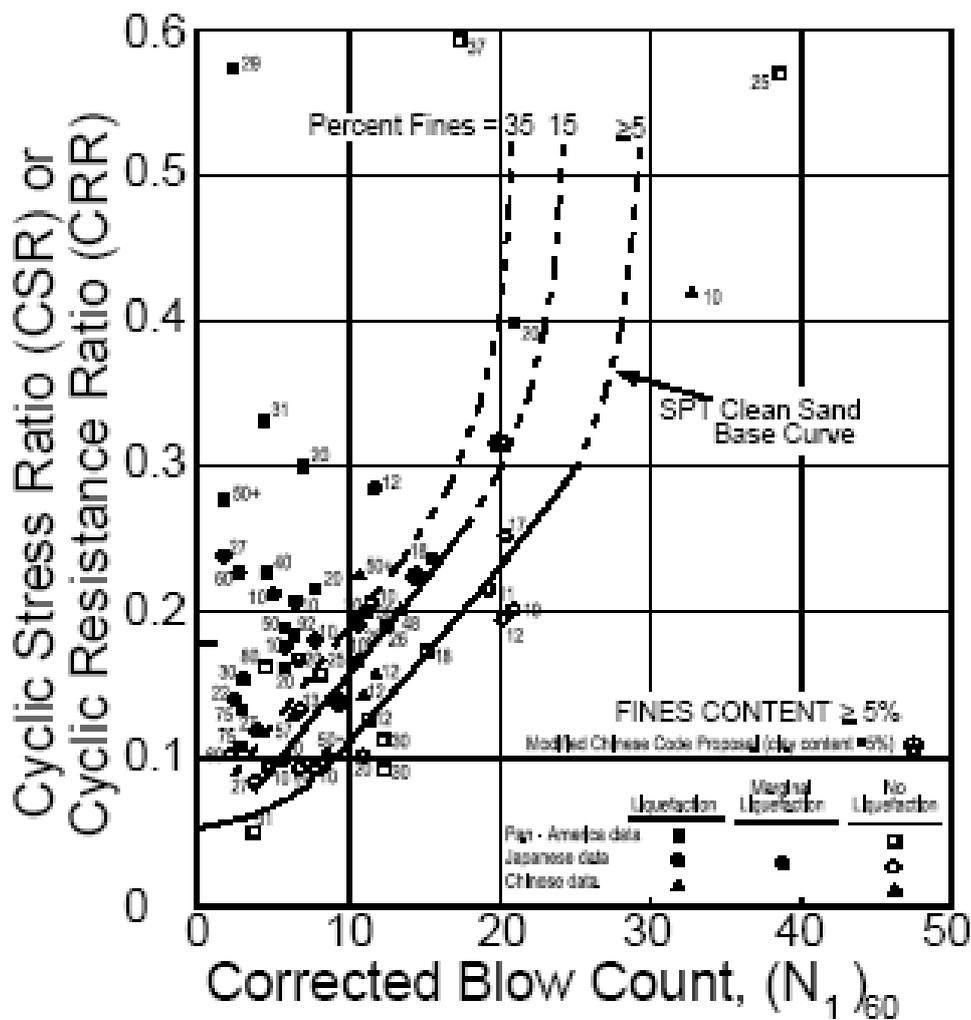


Figura 232 – Grafico di Youd e Idriss, 2001

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

La Figura (Youd e Idriss 2001) consente di ricavare CRR nel caso di terremoti di Magnitudo 7.5, noto il valore di $(N1)_{60}$.

Le curve sono posizionate in modo da separare la regione che contiene i casi di liquefazione (parziale o totale) da quella di non liquefazione. Sono state ricavate tre curve: una per terreni granulari con contenuto di fine inferiore al 5 % (SPT clean sand base curve), le altre due sono relative a terreni granulari con un contenuto di fine pari al 15 e 35 % rispettivamente.

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - N_{160}} + \frac{N_{160}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot N_{160} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

valida per $N_{160} < 30$

Per tenere conto della percentuale di fine FC si calcola N_{160cs} :

$$N_{160cs} = \alpha + \beta (N_{160})$$

$$a = 0 \rightarrow FC \leq 5\%$$

$$a = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \rightarrow 5\% \leq FC \leq 35\%$$

$$a = 0 \rightarrow FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \rightarrow FC \leq 5\%$$

$$\beta = \left[0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000} \right) \right] \rightarrow 5\% \leq FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1.2 \rightarrow FC \geq 35\%$$

16.1.1 Risultati

Le seguenti verifiche sono state eseguite allo stato limite di collasso (SLC) considerando una categoria di sottosuolo di tipo C.

sondaggio	LITOLOGIA	z [m]	zw [m]	Nspt	γ [kN/m ³]	σ_v [kPa]	σ'_v [kPa]	N ₁₆₀	FC (%)	N _{160cs}	amax/g	CSR	CRR ₇₅	M	MSF	CRR _m	FS
4AF01	TRVa	1,7	2	8	20,5	35	35	14	11	16	0,20	#N/D	0,171	5,5	1,687	0,288	N/D
4AF01	TRVa	3,7	2	16	20,5	76	59	22	11	23	0,20	0,163	0,262	5,5	1,687	0,442	2,71
4AF02	TRVa	3,2	2	15	20,5	66	54	21	11	23	0,20	0,155	0,258	5,5	1,687	0,434	2,80
4AF02	TRVa	6,2	2	26	20,5	127	85	28	11	30	0,20	0,185		5,5	1,687		N/D
4AGN3S19	TRVa	1,8	2	18	20,5	37	37	31	11	34	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AGN3S19	TRVa	3,2	2	19	20,5	66	54	27	11	29	0,20	0,155	0,404	5,5	1,687	0,681	4,39
4AGN3S19	TRVa	4,8	2	22	20,5	98	70	27	11	29	0,20	0,175	0,397	5,5	1,687	0,669	3,82
4AGN3S19	TRVa	6,2	2	23	20,5	127	85	25	11	27	0,20	0,185	0,340	5,5	1,687	0,573	3,10
4AGN3S19	TRVa	7,8	2	13	20,5	160	102	13	11	14	0,20	0,192	0,154	5,5	1,687	0,260	1,36
4AGN3S19	TRVa	12,2	2	31	20,5	250	148	25	11	27	0,20	0,186	0,332	5,5	1,687	0,559	3,00
4AGN3S19	TRVa	15,8	2	28	20,5	324	186	20	11	22	0,20	0,170	0,235	5,5	1,687	0,397	2,33
4AGN3S19	TRVa	18,2	2	42	20,5	373	211	28	11	30	0,20	0,158	0,441	5,5	1,687	0,744	4,70
4AGN3S19	TRVa	21,2	2	29	20,5	435	243	18	11	19	0,20	0,142	0,207	5,5	1,687	0,350	2,47
4AGN3S19	TRVa	24,2	2	43	20,5	496	274	24	11	26	0,20	0,130	0,320	5,5	1,687	0,540	4,17
4AGN3S19	TRVa	27,2	2	42	20,5	558	306	22	11	24	0,20	0,125	0,278	5,5	1,687	0,469	3,76
4AS11	a	2,1	2	3	20	42	41	5	20	9	0,20	0,131	0,104	5,5	1,687	0,175	1,34
4AS11	a	4,8	2	9	20	95	68	11	20	16	0,20	0,176	0,167	5,5	1,687	0,282	1,60
4AS11	a	7,8	2	12	20	155	98	12	20	17	0,20	0,194	0,178	5,5	1,687	0,301	1,55
4AS12	a	1,7	2	24	20	34	34	44	20	51	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AS12	a	4,7	2	27	20	94	67	34	20	40	0,20	0,176		5,5	1,687		N/D
4AS12	a	1,7	2	24	20	34	34	44	20	51	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AS12	a	4,7	2	27	20	94	67	34	20	40	0,20	0,176		5,5	1,687		N/D
4AS12	TRVa	11,2	2	48	20,5	230	138	40	11	42	0,20	0,190		5,5	1,687		N/D
4AS12	TRVa	15,7	2	53	20,5	322	185	38	11	40	0,20	0,171		5,5	1,687		N/D
4AS12	TRVa	18,5	2	61	20,5	379	214	40	11	42	0,20	0,156		5,5	1,687		N/D
4AS12	TRVa	22,2	2	56	20,5	455	253	33	11	35	0,20	0,136		5,5	1,687		N/D
4AS14	TRVa	3,5	2	26	20,5	72	57	36	11	38	0,20	0,160		5,5	1,687		N/D
4AS15	a	1,6	2	10	20	32	32	19	20	24	0,20	#N/D	0,274	5,5	1,687	0,462	N/D
4AS15	a	3,0	2	11	20	60	50	16	20	21	0,20	0,152	0,230	5,5	1,687	0,388	2,54
4AS15	a	4,3	2	58	20	86	63	75	20	85	0,20	0,172		5,5	1,687		N/D
4AS16	TRVa	1,9	2	16	20,5	39	39	27	11	29	0,20	#N/D	0,413	5,5	1,687	0,697	N/D

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

4AS16	TRVa	3,2	2	18	20,5	66	54	26	11	27	0,20	0,155	0,350	5,5	1,687	0,591	3,81
4AS20	a	1,5	2	21	20	30	30	41	20	48	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AS20	a	3,0	2	21	20	60	50	31	20	37	0,20	0,152		5,5	1,687		N/D
4AS21	a	1,5	2	32	20	30	30	63	20	71	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AS21	a	3,0	2	31	20	60	50	46	20	53	0,20	0,152		5,5	1,687		N/D
4AS21	a	1,5	2	32	20	30	30	63	20	71	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AS21	a	3,0	2	31	20	60	50	46	20	53	0,20	0,152		5,5	1,687		N/D
4AS22	a	3,0	2	14	20	60	50	21	20	26	0,20	0,152	0,311	5,5	1,687	0,524	3,44
4AS22	a	4,5	2	15	20	90	65	19	20	24	0,20	0,174	0,277	5,5	1,687	0,468	2,69
4AS22	a	7,0	2	100	20	140	90	100	20	100	0,20	0,191		5,5	1,687		N/D
4AS22	a	1,5	2	13	20	30	30	26	20	31	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AS22	a	3,0	2	14	20	60	50	21	20	26	0,20	0,152	0,311	5,5	1,687	0,524	3,44
4AS22	a	4,5	2	15	20	90	65	19	20	24	0,20	0,174	0,277	5,5	1,687	0,468	2,69
4AV05	a	1,7	2	17	20	34	34	31	20	37	0,20	#N/D		5,5	1,687		N/D
4AV05	a	3,2	2	12	20	64	52	17	20	22	0,20	0,156	0,246	5,5	1,687	0,415	2,66
4AV05	a	4,8	2	17	20	96	68	21	20	26	0,20	0,177	0,322	5,5	1,687	0,544	3,08
4S07	TRVa	3,6	2	12	20,5	74	58	16	11	18	0,20	0,161	0,191	5,5	1,687	0,323	2,00
4S07	TRVa	7,0	2	66	20,5	144	94	69	11	72	0,20	0,189		5,5	1,687		N/D
4S07	TRVa	10,0	2	71	20,5	205	125	63	11	66	0,20	0,193		5,5	1,687		N/D
4S6	a	12,0	2	53	20	240	140	44	20	51	0,20	0,190		5,5	1,687		N/D

Tabella 43: Lotto4 – verifica a liquefazione da SPT

Siccome tutti i valori di FS risultano maggiori di 1.25, la verifica risulta soddisfatta e non è necessario calcolare il valore del potenziale di liquefazione I_L che risulterebbe uguale a 0, indicando nullo rischio di liquefazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

16.2 Verifica tramite prove sismiche

Grazie alle prove sismiche si può calcolare la velocità delle di propagazione delle onde di taglio S (V_s) e queste ultime possono essere utilizzate per le verifiche alla liquefazione.

La velocità di propagazione delle onde di taglio S, V_s è normalizzata secondo le seguenti espressioni:

$$V_{s1} = C_v V_s$$

essendo

$$C_v = \left(\frac{p_a}{\sigma'v} \right)^{0.25} < 1.4$$

essendo $p_a = 100$ KPa

La curva limite è data da:

$$CRR = 0.022 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 2.8 \cdot \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right)$$

essendo (Idriss e Boulanger, 2004):

per $FC \leq 5\%$, $V_{s1}^* = 215$ m/s

per $5\% \leq FC \leq 35\%$, $V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5)$ m/s

per $FC > 35\%$, $V_{s1}^* = 200$ m/s

16.2.1 Risultati

Le seguenti verifiche sono state eseguite allo stato limite di collasso (SLC) considerando una categoria di sottosuolo di tipo C.

sondaggio	LIT.	z [m]	zw [m]	γ [kN/m ³]	VS [m/s]	G0 [MPa]	E'0 [MPa]	amax/g	M	$\sigma'v$ [kPa]	σv [kPa]	r_d	CSR	MSF	(CSR) _{lim2,5}	C _v	V _{s1}	V ^{*s1}	CRR	FS
4AGN1S06	TRVa	11	4	19,8	410	339,3	990,7	0,20	5,5	148	218	0,742	0,142	1,687	0,084	0,907	372	200,0	0,405	4,81
4AGN1S06	TRVa	12	2	20,4	460	440	1294	0,20	5,5	145	245	0,714	0,157	1,687	0,093	0,912	419	212,0	0,519	5,57
4AGN1S06	TRVa	13	2	20,7	490	506,6	1490	0,20	5,5	159	269	0,688	0,151	1,687	0,090	0,890	436	212,0	0,563	6,28
4AGN1S06	TRVa	14	2	20,9	510	554,1	1629	0,20	5,5	173	293	0,662	0,146	1,687	0,086	0,872	445	212,0	0,586	6,78
4AGN1S06	TRVa	15	2	21	520	578,8	1702	0,20	5,5	185	315	0,637	0,141	1,687	0,084	0,857	446	212,0	0,588	7,04
4AGN1S06	TRVa	16	2	21,1	530	604,2	1776	0,20	5,5	198	338	0,612	0,136	1,687	0,081	0,843	447	212,0	0,591	7,33
4AGN1S06	TRVa	17	2	21,3	550	656,8	1931	0,20	5,5	212	362	0,589	0,131	1,687	0,078	0,829	456	212,0	0,615	7,93
4AGN1S06	TRVa	18	2	21,3	550	656,8	1931	0,20	5,5	223	383	0,568	0,127	1,687	0,075	0,818	450	212,0	0,599	7,98
4AGN1S06	TRVa	19	2	21,4	560	684,1	2011	0,20	5,5	237	407	0,547	0,122	1,687	0,072	0,806	452	212,0	0,604	8,33
4AGN1S06	TRVa	20	2	21,4	560	684,1	2011	0,20	5,5	248	428	0,528	0,118	1,687	0,070	0,797	446	212,0	0,589	8,39
4AGN1S06	TRVa	21	2	21,4	560	684,1	2011	0,20	5,5	259	449	0,510	0,115	1,687	0,068	0,788	441	212,0	0,576	8,46
4AGN1S06	TRVa	22	2	21,4	560	684,1	2011	0,20	5,5	271	471	0,493	0,112	1,687	0,066	0,780	437	212,0	0,563	8,52
4AGN1S06	TRVa	23	2	21,4	560	684,1	2011	0,20	5,5	282	492	0,478	0,108	1,687	0,064	0,772	432	212,0	0,552	8,58
4AGN1S06	TRVa	24	2	21,7	590	770	2279	0,20	5,5	301	521	0,465	0,105	1,687	0,062	0,759	448	212,0	0,594	9,58
4AGN1S06	TRVa	25	2	21,7	590	770	2279	0,20	5,5	313	543	0,452	0,102	1,687	0,060	0,752	444	212,0	0,583	9,63
4AGN3S19	TRVa	1	2	15,4	150	35,32	101,7	0,20	5,5	15	15	0,992	0,129	1,687	0,076	1,400	210	212,0	0,578	7,56
4AGN3S19	TRVa	2	2	14,6	120	21,43	63,01	0,20	5,5	29	29	0,973	0,127	1,687	0,075	1,360	163	212,0	0,094	1,26
4AGN3S19	TRVa	3	2	15,2	140	30,37	87,46	0,20	5,5	36	46	0,952	0,159	1,687	0,094	1,295	181	212,0	0,124	1,31
4AGN3S19	TRVa	4	2	16	170	47,14	136,7	0,20	5,5	44	64	0,929	0,176	1,687	0,104	1,228	209	212,0	0,402	3,86
4AGN3S19	TRVa	5	2	16,7	210	75,07	214,7	0,20	5,5	54	84	0,905	0,184	1,687	0,109	1,169	246	212,0	0,150	1,38
4AGN3S19	TRVa	6	2	17,5	250	111,5	316,6	0,20	5,5	65	105	0,879	0,185	1,687	0,109	1,114	278	212,0	0,215	1,96
4AGN3S19	TRVa	7	2	17,4	240	102,2	288,1	0,20	5,5	72	122	0,852	0,188	1,687	0,111	1,086	261	212,0	0,181	1,63
4AGN3S19	TRVa	8	2	17,7	260	122	344	0,20	5,5	82	142	0,825	0,186	1,687	0,110	1,052	274	212,0	0,206	1,86
4AGN3S19	TRVa	8	2	17,7	260	122	346,4	0,20	5,5	82	142	0,825	0,186	1,687	0,110	1,052	274	212,0	0,206	1,86
4AGN3S19	TRVa	9	2	17,9	270	133	377,8	0,20	5,5	91	161	0,797	0,183	1,687	0,109	1,024	276	212,0	0,211	1,94
4AGN3S19	TRVa	10	2	17,6	260	121,3	359	0,20	5,5	96	176	0,769	0,183	1,687	0,109	1,010	263	212,0	0,185	1,70
4AGN3S19	TRVa	11	2	17,9	270	133	393,7	0,20	5,5	107	197	0,742	0,178	1,687	0,105	0,983	266	212,0	0,190	1,81
4AGN3S19	TRVa	12	2	18,5	310	181,2	532,8	0,20	5,5	122	222	0,714	0,169	1,687	0,100	0,952	295	212,0	0,246	2,45
4AGN3S19	TRVa	13	2	18,4	310	180,2	533,5	0,20	5,5	129	239	0,688	0,166	1,687	0,098	0,938	291	212,0	0,238	2,43
4AGN3S19	TRVa	14	2	18	280	143,9	428,7	0,20	5,5	132	252	0,662	0,164	1,687	0,097	0,933	261	212,0	0,182	1,87

Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto –
 Lotto 4a

 COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS3U 40 D 29 GE GE0000 001 D 365 di 379

4AGN3S19	TRVa	15	2	17,8	270	132,3	394,2	0,20	5,5	137	267	0,637	0,161	1,687	0,096	0,924	250	212,0	0,159	1,66
4AGN3S19	TRVa	16	2	18,3	300	167,9	500,3	0,20	5,5	153	293	0,612	0,153	1,687	0,090	0,899	270	212,0	0,199	2,20
4AGN3S19	TRVa	17	2	18,6	320	194,2	574,7	0,20	5,5	166	316	0,589	0,146	1,687	0,086	0,881	282	212,0	0,221	2,56
4AGN3S19	TRVa	18	2	18,9	340	222,7	659,2	0,20	5,5	180	340	0,568	0,139	1,687	0,083	0,863	293	212,0	0,243	2,94
4AGN3S19	TRVa	19	2	19	350	237,3	702,3	0,20	5,5	191	361	0,547	0,134	1,687	0,080	0,851	298	212,0	0,251	3,15
4AGN3S19	TRVa	20	2	18,6	320	194,2	574,7	0,20	5,5	192	372	0,528	0,133	1,687	0,079	0,850	272	212,0	0,202	2,57
4AGN3S19	TRVa	21	2	18,5	310	181,2	540,1	0,20	5,5	199	389	0,510	0,130	1,687	0,077	0,842	261	212,0	0,182	2,37
4AGN3S19	TRVa	22	2	18,1	280	144,7	431,1	0,20	5,5	198	398	0,493	0,129	1,687	0,076	0,843	236	212,0	0,125	1,64
4AGN3S19	TRVa	23	2	18,5	310	181,2	540,1	0,20	5,5	216	426	0,478	0,123	1,687	0,073	0,825	256	212,0	0,172	2,36
4AGN3S19	TRVa	24	2	18,4	310	180,2	537,1	0,20	5,5	222	442	0,465	0,120	1,687	0,071	0,820	254	212,0	0,168	2,36
4AGN3S19	TRVa	25	2	19,6	390	303,9	899,5	0,20	5,5	260	490	0,452	0,111	1,687	0,066	0,788	307	212,0	0,269	4,10
4AGN3S19	TRVa	26	2	20,9	510	554,1	1618	0,20	5,5	303	543	0,441	0,103	1,687	0,061	0,758	386	212,0	0,439	7,20
4AGN3S19	TRVa	27	2	21,1	530	604,2	1764	0,20	5,5	320	570	0,431	0,100	1,687	0,059	0,748	396	212,0	0,462	7,80
4AGN3S19	TRVa	28	2	21	520	578,8	1690	0,20	5,5	328	588	0,423	0,099	1,687	0,058	0,743	386	212,0	0,439	7,51
4AGN3S19	TRVa	29	2	21,1	530	604,2	1764	0,20	5,5	342	612	0,416	0,097	1,687	0,057	0,735	390	212,0	0,446	7,79
4AGN3S19	TRVa	30	2	21,1	520	581,6	1698	0,20	5,5	353	633	0,410	0,096	1,687	0,057	0,730	379	212,0	0,422	7,45
4AGN3S19	TRVa	31	2	20,9	510	554,1	1618	0,20	5,5	358	648	0,405	0,095	1,687	0,057	0,727	371	212,0	0,403	7,12
4AGN3S19	TRVa	32	2	20,7	490	506,6	1479	0,20	5,5	362	662	0,402	0,096	1,687	0,057	0,725	355	212,0	0,368	6,49
4AGN3S19	TRVa	33	2	20,9	510	554,1	1607	0,20	5,5	380	690	0,400	0,094	1,687	0,056	0,716	365	212,0	0,390	6,97
4AGN3S19	TRVa	34	2	20,7	490	506,6	1469	0,20	5,5	384	704	0,399	0,095	1,687	0,056	0,714	350	212,0	0,357	6,32
4AGN3S19	TRVa	35	2	20,2	440	398,6	1164	0,20	5,5	377	707	0,400	0,098	1,687	0,058	0,718	316	212,0	0,286	4,95
4AGN3S19	TRVa	36	2	20,6	480	483,8	1403	0,20	5,5	402	742	0,402	0,096	1,687	0,057	0,706	339	212,0	0,334	5,83
4AS20	a	1	2	20	170	58,92	174,4	0,20	5,5	20	20	0,992	0,129	1,687	0,076	1,400	238	207,5	0,136	1,78
4AS20	a	2	2	20	180	66,06	195,5	0,20	5,5	40	40	0,973	0,127	1,687	0,075	1,257	226	207,5	0,102	1,35
4AS20	a	4	2	20	210	89,91	267,9	0,20	5,5	60	80	0,929	0,161	1,687	0,095	1,136	239	207,5	0,138	1,44
4AS21	a	0,5	2	15,9	170	46,84	138,6	0,20	5,5	8	8	1,001	0,130	1,687	0,077	1,400	238	207,5	0,136	1,76
4AS21	a	1	2	16,1	180	53,17	157,4	0,20	5,5	16	16	0,992	0,129	1,687	0,076	1,400	252	207,5	0,166	2,17
4AS21	a	2	2	16,2	180	53,5	158,4	0,20	5,5	32	32	0,973	0,127	1,687	0,075	1,325	239	207,5	0,137	1,83
4AS24	TRVa	15	2	18,5	310	181,2	532,8	0,20	5,5	148	278	0,637	0,156	1,687	0,092	0,907	281	212,0	0,220	2,39
4AS24	TRVa	16	2	18,5	310	181,2	532,8	0,20	5,5	156	296	0,612	0,151	1,687	0,090	0,895	277	212,0	0,213	2,38
4AS24	TRVa	17	2	18,4	310	180,2	533,5	0,20	5,5	163	313	0,589	0,147	1,687	0,087	0,885	274	212,0	0,207	2,37
4AS24	TRVa	18	2	18,4	310	180,2	533,5	0,20	5,5	171	331	0,568	0,143	1,687	0,085	0,874	271	212,0	0,201	2,37
4AS24	TRVa	19	2	18,3	300	167,9	497	0,20	5,5	178	348	0,547	0,139	1,687	0,083	0,866	260	212,0	0,179	2,18

Tabella 44: Lotto4 – verifica a liquefazione da prove sismiche

Siccome tutti i valori di FS risultano maggiori di 1.25, la verifica risulta soddisfatta e non è necessario calcolare il valore del potenziale di liquefazione I_L che risulterebbe uguale a 0, indicando nullo rischio di liquefazione.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
	Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D

In Tabella 43 e Tabella 44 sono riportate le verifiche a liquefazione per quelle litologie che presentano un contenuto di frazione fine inferiore al 30%.

È stato verificato inoltre che l'accelerazione massima risulta la maggiore per le opere all'aperto comprese le viabilità.

Laddove il valore del $N1(60)_{CS}$ risulta maggiore di 30 le verifiche non vengono eseguite e difatti il coefficiente non risulta disponibile (ND).

Per quanto riguarda la profondità della falda, corrispondente a circa 2 metri in tutte le verifiche eseguite, si è deciso di considerare il suddetto valore in quanto rappresentativo, in taluni casi cautelativo, della posizione della falda più gravosa lungo il profilo.

Per quanto concerne, invece, la magnitudo, è stato assunto un valore pari a 5.5, ottenuto dalle analisi di disaggregazione sismica come di seguito riportato.

Il suddetto valore di 5.5 presenta la probabilità più elevata per piccole distanze dall'epicentro come di seguito riportato.

Il limite di F_s in accordo alla normativa vigente (EC8) risulta maggiore di 1.25.

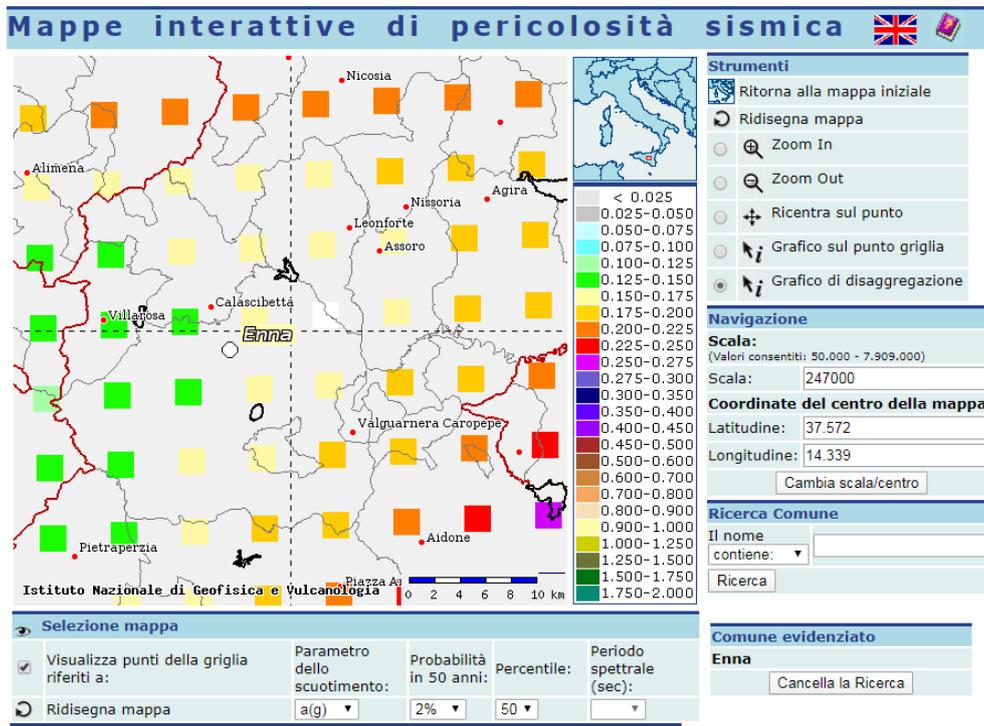


Figura 233: Mappe interattive di pericolosità sismica

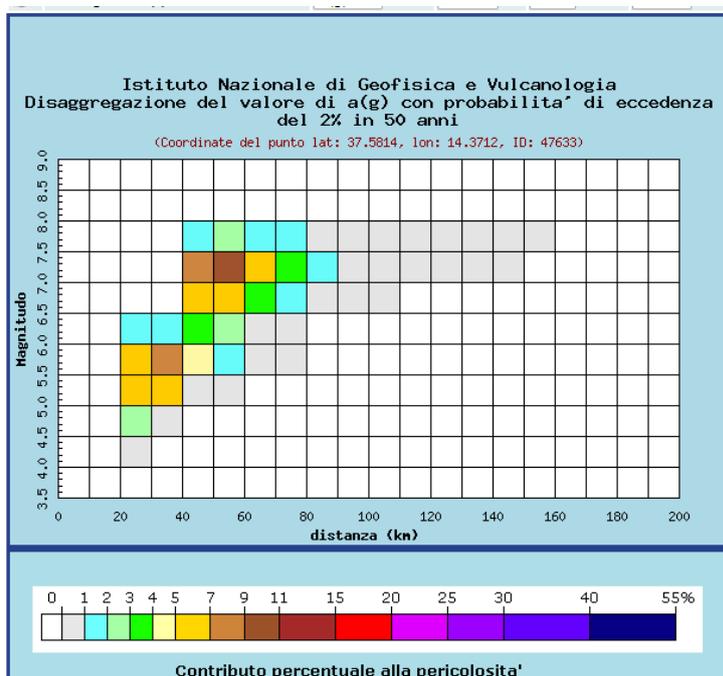


Figura 234: Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 2% in 50 anni

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 2% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 37.5814, lon: 14.3712, ID: 47633)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.045	2.860	5.910	5.920	1.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.519	5.140	7.800	1.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.664	4.090	3.450	5.170	7.540	1.690	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.002	1.090	2.570	5.910	9.980	2.400	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.088	0.730	3.340	6.790	1.770	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.088	1.530	3.960	1.110	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.497	1.960	0.599	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.902	0.307	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.360	0.146	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.128	0.072	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.049	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.026	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.008	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
6.510	49.700	1.970

Figura 235: Valori di Magnitudo per differenti distanze dall'epicentro

16.3 Stima del cedimento post-sisma

Sulla base dei risultati delle prove eseguite in sito (SPT, CPT) è possibile stimare i cedimenti permanenti potenzialmente indotti dalla dissipazione delle sovrappressioni generate dal carico ciclico del sisma.

Per questa stima si è fatto riferimento al metodo proposto da Idriss and Boulanger (2008) a partire dai dati di prove SPT. Gli autori hanno osservato, sulla base di numerose prove di laboratorio, che le deformazioni volumetriche ε_v sono correlabili direttamente alle deformazioni di taglio massime supportate dal campione durante lo scuotimento (carico ciclico non drenato) γ_{max} e alla densità relativa D_R del campione. Inoltre è stato osservato come le deformazioni di taglio massime supportate dal campione siano correlabili al coefficiente di sicurezza alla liquefazione FL e alla densità relativa del terreno.

In particolare si ha:

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(2.551 - 1.147(q_{c1Ncs})^{0.264}\right) \cdot \min(0.08; \gamma_{max}) \quad (1)$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(-0.369 \cdot ((N_1)_{60cs})^{0.5}\right) \cdot \min(0.08; \gamma_{max}) \quad (2)$$

dove, posti

$$F_\alpha = -11.74 + 8.34(q_{c1Ncs})^{0.264} - 1.371(q_{c1Ncs})^{0.528} \quad (1)$$

$$F_\alpha = 0.032 + 0.69 \cdot ((N_1)_{60cs})^{0.5} - 0.13 \cdot (N_1)_{60cs} \quad (2)$$

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(2.163 - 0.478(q_{c1Ncs})^{0.264}\right)^3 \geq 0 \quad (1)$$

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(11 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{46}\right)^{0.5}\right)^3 \geq 0 \quad (2)$$

(1) calcolo da prove CPT

(2) calcolo da prove SPT

per $FL > 2$ $\gamma_{max} = 0$; per $FL < F_\alpha$ $\gamma_{max} = \gamma_{lim}$ e per $2 > FL > F_\alpha$ γ_{max} è dato dalla seguente espressione:

$$\gamma_{max} = \min\left(\gamma_{lim}; 0.035(2 - FL) \left(\frac{1 - F_\alpha}{FL - F_\alpha}\right)\right)$$

E il cedimento si può calcolare come segue:

$$ced, tot = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{v,i} \cdot h_i$$

16.4 Risultati

Sulla base dei dati disponibili si sono selezionate per la verifica del cedimento post-sisma le sezioni con lo strato sabbioso più esteso e con il fattore di sicurezza minore.

16.4.1 TRVa

Cedimento stimato pari a 0,46 cm.

sondaggio	4AGN3S19	Idriss and Boulanger (2008)							
		LITOLOGIA	F.L.	N1(60)	$F\alpha$	γ_{lim}	γ_{max}	ε_v (%)	$\Delta_{ced,tot}$ (cm)
3.2	TRVa	4.39	26.9	0.11	0.07	0.00	0.00000	0	
4.8	TRVa	3.82	26.8	0.12	0.07	0.00	0.00000	0	
6.2	TRVa	3.10	25.2	0.22	0.09	0.00	0.00000	0	
7.8	TRVa	1.36	12.9	0.83	0.35	0.01	0.00286	0.46	
12.2	TRVa	3.00	24.9	0.24	0.09	0.00	0.00000	0	
15.8	TRVa	2.33	19.8	0.53	0.16	0.00	0.00000	0	
18.2	TRVa	4.70	27.6	0.07	0.06	0.00	0.00000	0	
21.2	TRVa	2.47	17.7	0.64	0.21	0.00	0.00000	0	
24.2	TRVa	4.17	24.4	0.27	0.09	0.00	0.00000	0	
27.2	TRVa	3.76	22.5	0.38	0.12	0.00	0.00000	0	0.46

Tabella 45: TRVa – stima del cedimento post-liquefazione da prove SPT

16.4.2 a

Cedimento stimato pari a 1,39 cm.

sondaggio	4AS11	Idriss and Boulanger (2008)							
		LITOLOGIA	F.L.	N1(60)	$F\alpha$	γ_{lim}	γ_{max}	ε_v (%)	$\Delta_{ced,tot}$ (cm)
2.1	a	1.34	9.0	0.93	0.53	0.00	0.00191	0.40	
4.8	a	1.60	15.7	0.72	0.25	0.00	0.00152	0.40	
7.8	a	1.55	16.8	0.68	0.23	0.01	0.00195	0.59	1.39

Tabella 46: a – stima del cedimento post-liquefazione da prove SPT

17. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SCAVATI AI FINI DEL RIUTILIZZO PER RILEVATI

I materiali scavati sono stati qualificati e classificati secondo quanto riportato nella norma CNR-UNI 10006/63. Di seguito si riporta l'esito delle indagini.

Come risulta evidente e come era prevedibile in base alla caratterizzazione geologica e geotecnica i materiali estratti soprattutto dallo scavo delle gallerie sono prevalentemente di natura argillosa ed appartenenti prevalentemente ai gruppi A4, A6 e A7-6 pertanto non risultano idonei ad essere impiegati tal quali come materiali da rilevato.

Sigla	Profondità [m]	Classificazione UNI 10006
4A GN3 S16 CI7	235,00 - 235,50	A7-5
4A GN3 S16 CI8	245,00 - 245,50	A7-6
4A GN3 S16 CI9	252,00 - 252,50	A7-5
4A GN3 S16 CI10	259,00 - 259,50	A7-6
4A GN3 S16 CI11	265,00 - 265,50	A7-5
4A GN3 S17 C1	105	-
4A GN3 S17 C2	110	A7-6
4A GN3 S17 C3	120,00	A7-5
4A GN3 S17 C4	130,00	A7-5
4A GN3 S17 RC3	140,00	A7-5
4A GN3 S17 RC4	147	A7-5
4A GN3 S17 RC5	155	A7-5
4A GN3 S17 RC6	162,60	A7-5
4A_GN1_S02 CI1	46,00 - 46,40	A7-5
4A_GN1_S02 CI2	47,70 - 50,00	-
4A_GN1_S02 CI3	56,00 - 56,30	A7-5
4A_GN1_S02 CI4	62,80 - 63,15	A7-5
4A_GN1_S02 CI5	71,00 - 71,25	A7-5
4A_GN1_S02 CI6	75,90 - 76,30	A7-5
4A_GN1_S02 CI7	78,70 - 79,10	A7-5
4A_F02 CI1	04,60 - 05,00	A7-6
4A_F02 CI2	11,50 - 12,00	A7-6
4A_F02 CI3	14,50 - 15,00	A7-6
4A_F02 CI4	20,00 - 20,35	A7-6
4A_F02 CI5	25,30 - 25,60	A7-6
4A_F02 CI6	30,00 - 30,30	A7-6
4A_F02 CI7	37,00 - 37,30	A7-6
4AGN3S13_CI1	46,00-46,30	A7-6

4AGN3S13_CI2	50,00-50,35	-
4AGN3S13_CI3	56,00-56,30	A7-6
4AGN3S13_CI4	64,00-64,35	A7-6
4AGN3S13_CI5	71,00-71,35	A7-5
4AGN3S13_CI6	76,00-76,25	A7-5
4AGN3S13_CI7	79,00-79,25	A7-6
4AGN2S09_CI1	27,00-27,30	A7-6
4AGN2S09_CI2	32,00-32,25	-
4AGN2S09_CI3	38,00-38,25	A7-5
4AGN2S09_CI4	42,00-42,32	-
4AGN2S09_CI5	46,00-46,28	A7-5
4AGN2S09_CI6	51,00-51,27	-
4AGN2S09_CI7	56,00-56,25	A7-5
4AGN2S09_CI8	63,00-63,30	-
4AS22_CI1	10,60-11,00	A7-6
4AS22_CI2	16,00-16,35	-
4AS22_CI3	24,00-24,35	A7-6
4AS22_CI4	30,00-30,30	-
4AS22_CI5	36,00-36,40	A7-6
4AGN3S19_CI1	05,00 - 05,25	A4
4AGN3S19_CI2	10,00 - 10,40	A7-6
4AGN3S19_CI3	15,00 - 15,55	A7-6
4AGN3S19_CI4	19,50 - 20,00	A7-6
4AGN3S19_CI5	25,00 - 25,50	A6
4AGN3S19_CI6	30,45 - 31,00	A7-6
4AGN3S19_CI7	35,00 - 35,40	A7-6
4A3S13_CI1	06,20 - 06,60	A7-6
4A3S13_CI2	12,00 - 12,30	A7-6
4A3S13_CI3	16,50 - 16,80	A7-6
4A3S13_CI4	23,00 - 23,30	-
4A3S13_CI5	28,40 - 28,70	A7-6
4A3S13_CI6	33,00 - 33,30	-
4A3S13_CI7	38,75 - 39,00	A7-6
4AV03_CI1	03,25 - 03,65	A4
4AV03_CI4	16,20 - 16,25	A7-6
4AS15_CI1	04,00 - 04,30	A7-6
4AS15_CI2	04,75 - 05,15	-
4AS15_CI3	09,50 - 09,75	A7-6

4AS15_CI4	14,50 - 14,80	A7-6
4AS15_CI5	22,00 - 22,30	A7-6
4AS15_CI6	28,50 - 28,80	A7-6
4AS15_CI7	35,00 - 35,35	A7-6
4AS15_CI8	38,50 - 38,80	A7-6
4AS20_CI1	04,50-05,00	A7-6
4AS20_CI2	10,00-10,30	-
4AS20_CI3	15,00-15,35	A7-6
4AS20_CI4	22,00-22,35	-
4AS20_CI5	29,70-30,00	A7-6
4AS20_CI6	34,10-34,45	-
4AS20_CI7	39,00-39,50	A7-6
4AV04_CI1	04,50 - 04,90	A7-6
4AV04_CI2	10,00 - 10,60	-
4AV04_CI3	15,00 - 15,35	A7-6
4AV04_CI4	21,00 - 21,30	-
4AV04_CI5	27,00 - 27,20	A7-6
4AV06_CI1	04,00 - 04,50	A7-6
4AV06_CI3	12,60 - 12,95	A6
4AV01_CI1	04,00-04,50	A7-6
4AV01_CI2	09,00 - 09,40	A7-6
4AV01_CI3	15,40-15,65	A7-6
4AV01_CI4	21,00-21,20	A7-6
4AV01_CI5	28,60-28,80	A7-6
4AV01_CI6	33,60-33,80	A7-6
4AV01_CI7	39,00-39,20	A7-6
4AV01_CI8	48,00-48,25	A7-6
4AV05_CI1	04,50 - 05,00	A7-6
4AV05_CI2	09,00 - 09,35	A4
4AV05_CI3	15,40-15,65	A4
4AV05_CI4	16,00 - 16,35	A4
4AV05_CI5	28,00-28,30	A4
4AV02_CI1	02,90-03,20	A7-6
4AV02_CI2	10,00-10,50	A7-6
4AV02_CI3	15,00-15,50	A7-5
4AV02_CI4	21,00-21,30	A7-6
4AV02_CI5	26,00-26,50	A7-6
4AV02_CI6	33,50-33,80	A7-5

4AS17_CI1	04,00 - 04,35	A7-6
4AS17_CI2	08,00 - 08,32	-
4AS17_CI3	14,00 - 14,30	A7-6
4AS17_CI4	20,00 - 20,30	-
4AS17_CI5	26,00 - 26,30	A7-6
4AS17_CI6	35,00 - 35,30	-
4AS17_CI7	39,00 - 39,30	A7-6
4AS28_CI1	12,00 - 12,50	A7-6
4AS28_CI2	18,00 - 18,40	A7-6
4AS28_CI3	24,60 - 25,00	A7-6
4AS28_CI4	29,50 - 29,90	A7-6
4AS28_CI5	34,60 - 35,00	A7-6
4AS28_CRim1	06,45 - 06,70	-
4AS28_CRim2	14,00 - 14,30	-
4AS28_CRim3	21,00 - 21,30	-
4AS30_CI1	06,45 - 06,85	A6
4AS30_CI2	10,70 - 11,00	A6
4AS30_CI3	15,00 - 15,40	A7-6
4AS30_CI4	19,00 - 19,40	A7-6
4AS30_CI5	24,00 - 24,40	A7-6
4AS30_CI6	29,00 - 29,40	A7-6
4AS30_CI7	36,00 - 36,40	A7-5
4AS30_CRim1	03,45 - 03,70	-
4AS26_CI1	09,30 - 09,70	A7-6
4AS26_CI2	14,30 - 14,80	A7-6
4AS26_CI3	20,00 - 20,50	A7-6
4AS26_CI4	27,30 - 27,80	A7-6
4AS26_CI5	33,70 - 34,00	A7-6
4AS26_CI6	39,60 - 40,00	A7-6
4AS26_CRim1	03,45 - 03,70	-
4AS26_CRim2	07,45 - 07,70	-
4AS26_CRim3	16,45 - 16,70	-
4AV07_CI1	04,00 - 04,55	A7-5
4AV07_CI2	09,65 - 10,00	A7-6
4AV07_CI3	13,00 - 13,40	A7-5
4AV07_CI4	16,00 - 16,45	A7-6
4AV07_CI5	26,00 - 26,45	A7-6
4AS31_CI1	03,00-03,40	A7-5

4AS31_CI2	09,00-09,40	A7-6
4AS31_CI3	13,50-14,00	A7-6
4AS31_CI4	17,00-17,40	A7-6
4AS31_CI5	22,00-22,38	A7-6
4AS31_CI6	27,00-27,50	A7-6
4AV08_CI1	04,60-5,00	A7-6
4AV08_CI2	10,00-10,45	A7-5
4AV08_CI3	12,65-13,00	A7-5
4AV08_CI4	16,60-17,00	A7-5
4AV08_CI5	23,00-23,45	A7-5
4AV08_CI6	29,60-30,00	A7-5
4AV08_CI7	34,00-34,40	A7-5
4AGN1_S05_CI1	50,10-50,40	A7-6
4AGN1_S05_CI2	55,00-55,30	A7-6
4AGN1_S05_CI3	61,00-61,35	A7-6
4AGN1_S05_CI4	67,00-67,35	A7-6
4AGN1_S05_CI5	74,00-74,30	A7-6
4AGN1_S05_CI6	79,00-79,25	A7-6
4AGN1_S05_CI7	84,00-84,30	A7-6
4AGN1_S05_CI8	89,00-89,30	A7-6
4AGN1_S05_CI9	93,00-93,30	A7-5
4AGN1_S05_CR1	48,00-48,30	-
4AGN1_S05_CR2	58,00 - 58,30	-
4AS27_CI1	05,00 - 05,55	A7-6
4AS27_CI2	09,60 - 10,00	A1b
4AS27_CI3	14,00 - 14,40	A7-6
4AS27_CI4	20,00 - 20,40	A7-6
4AS27_CI5	27,00 - 27,40	A7-6
4AS27_CI6	34,00 - 34,45	A7-5
4AS27_CI7	38,60 - 39,00	-
4AS27_CRim1	03,45 - 03,70	-
4AS27_CRim2	07,40 - 07,55	-
4AS27_CRim3	16,00 - 16,35	-
4AF01_CI1	03,00 - 03,50	A7-6
4AF01_CI2	04,50 - 05,00	A7-6
4AF01_CI3	08,50 - 09,00	A7-6
4AF01_CI4	13,00 - 13,40	A7-6
4AF01_CI5	18,00 - 18,40	A7-6

4AF01_CI6	24,00 - 24,30	A7-5
4AF01_CI7	28,00 - 28,30	A7-5
4AS29_CI1	04,55-05,00	A7-6
4AS29_CI2	09,70-10,20	A7-6
4AS29_CI3	14,60-15,00	A7-6
4AS29_CI4	20,00-20,20	A7-6
4AS29_CI5	27,00-27,40	A7-6
4AS29_CI6	33,00-33,50	A7-6
4AS29_CI7	38,00-38,35	A7-6
4AS29_CRim1	03,45-03,60	-
4AS29_CRim2	07,50-07,75	-
4AS29_CRim3	17,00-17,35	-
4AS14_CI1	03,00 - 03,50	A7-6
4AS14_CI2	08,00 - 08,35	A7-6
4AS14_CI3	14,00 - 14,40	A7-6
4AS14_CI4	19,00 - 19,40	A7-6
4AS14_CI5	24,00 - 24,40	A7-6
4AS14_CI6	28,50 - 28,80	A7-6
4AS14_CI7	35,00 - 35,30	A7-6
4AS32_CI1	06,00 - 06,35	A7-6
4AS32_CI2	11,00 - 11,40	A7-6
4AS32_CI3	15,00 - 15,40	A7-6
4AS32_CI4	19,00 - 19,45	A7-6
4AS32_CI5	24,00 - 24,40	A7-6
4AS32_CI6	29,00 - 29,40	A7-5
4AS24_CI1	05,00-05,50	A6
4AS24_CI2	10,00-10,50	A6
4AS24_CI3	14,00-14,50	A7-6
4AS24_CI4	25,50-23,00	A7-6
4AS24_CI5	27,00-27,30	A7-6
4AS24_CI6	33,00-33,55	A7-6
4AS24_CI7	39,00-39,30	A7-6
4ASI02_CI1	04,10 - 04,60	A7-5
4ASI02_CI2	09,00 - 09,50	-
4ASI02_CI3	13,00 - 13,40	A7-6
4ASI02_CI4	19,00 - 19,35	-
4ASI02_CI5	24,00 - 24,30	A7-6
4ASI02_CI6	30,70 - 31,00	-

4ASI02_CI7	37,00 - 37,40	A7-6
4ASI02_CRim1	08,00 - 08,30	-
4ASI02_CRim2	12,00 - 12,30	-
4ASI02_CRim3	18,00 - 18,30	-
4ASI03_CI1	03,00 - 03,60	A7-6
4ASI03_CI2	08,00 - 08,50	-
4ASI03_CI3	11,00 - 11,50	A7-6
4ASI03_CI4	16,00 - 16,50	-
4ASI03_CI5	21,60 - 22,00	-
4ASI03_CI6	26,00 - 26,40	A7-6
4ASI03_CRim1	08,80 - 09,00	-
4ASI03_CRim2	12,80 - 13,00	-
4ASI03_CRim3	17,40 - 17,60	-
4AS33_CI1	04,30 - 04,80	A7-6
4AS33_CI2	09,50 - 09,80	A7-6
4AS33_CI3	14,70 - 15,00	A7-6
4AS33_CI4	19,50 - 19,75	A7-6
4AS33_CI5	24,00 - 24,25	A7-6
4AS33_CI6	28,50 - 28,75	A7-6
4ASI04_CI1	05,60 - 06,00	A7-6
4ASI04_CI2	08,00 - 08,45	-
4ASI04_CI3	11,00 - 11,50	A7-5
4ASI04_CI4	17,00 - 17,35	-
4ASI04_CI5	21,00 - 21,35	-
4ASI04_CI6	27,00 - 27,35	A7-6
4ASI04_CRim1	05,10 - 05,30	-
4ASI04_CRim2	09,70 - 10,00	-
4ASI04_CRim3	15,00 - 15,30	-
4AS21_CI1	04,50 - 05,00	A7-6
4AS21_CI2	08,50 - 08,80	A7-5
4AS21_CI3	13,00 - 13,30	A7-6
4AS21_CI4	20,00 - 20,35	A7-5
4AS21_CI5	27,00 - 27,30	A7-6
4AS21_CI6	34,65 - 35,00	A7-6
4AS21_CI7	42,00 - 42,30	A7-6
4AS16_CI1	05,40 - 05,90	A7-6
4AS16_CI2	08,40 - 08,90	A7-6
4AS16_CI3	14,00 - 14,35	A7-6

4AS16_CI4	17,00 - 17,35	A7-6
4AS16_CI5	25,00 - 25,35	A7-6
4AS16_CI6	30,00 - 30,35	A7-6
4AS16_CI7	36,70 - 37,00	A7-6
4AGN3_S14-CI4	74,00 -74,35	A7-6
4AGN3_S14-CI5	79,00 - 79,35	A7-6
4AGN3_S14-CI6	84,00 - 84,30	A7-6
4AGN3_S14-CI7	90,00 - 90,30	A7-6
4AGN3_S14-CI8	94,00 - 94,30	A7-6
4ASIGN1_S01-CI1	03,00 - 03,45	-
4ASIGN1_S01-CI2	06,40 - 06,75	A7-5
4ASIGN1_S01-CI3	10,60 - 10,95	-
4ASIGN1_S01-CI4	15,00 - 15,30	-
4ASIGN1_S01-CI5	18,00 - 18,30	A7-6
4ASIGN1_S01-CI6	23,00 - 23,30	-
4ASIGN1_S01-CI7	28,00 - 28,30	-
4ASIGN1_S01-CI8	32,50 - 32,80	A7-6
4ASIGN1_S01- CRim1	05,00 - 05,40	-
4ASIGN1_S01- CRim2	08,00 - 08,30	-
4ASIGN1_S01- CRim3	13,00 - 13,30	-
4ASIGN1_S01- CRim4	17,00 - 17,35	-
4A_V15_CI1	04,50 - 05,00	-
4A_V15_CI2	08,00 - 08,50	A6
4A_V15_CI3	13,00 - 13,60	-
4A_V15_CI4	16,00 - 16,30	-
4A_V15_CI5	23,00 - 23,40	A7-6
4A_V15_CI6	28,50 -28,85	-
4A_V15_CI7	35,00 - 35,35	A7-6
4A_V15_CRim1	02,00 - 02,30	-

4A_V15_CRim2	07,00 - 07,30	-
4A_V15_CRim3	11,00 - 11,30	-
4A_V16_CI1	06,00 - 06,55	A7-6
4A_V16_CI2	10,50 - 10,80	A7-6
4A_V16_CI3	13,83 - 14,18	A7-6
4A_V16_CI4	18,00 - 18,30	-
4A_V16_CI5	23,00 - 23,30	A7-6
4A_V16_CI6	27,00 - 27,35	-
4A_V16_CI7	36,10 - 36,40	A7-6
4A_V16_CRim1	08,00 - 08,30	-
4A_V16_CRim1bis	00,90 - 01,30	-
4A_V16_CRim2	12,00 - 12,30	-
4A_V17_CI1	03,00 - 03,30	A4
4A_V17_CI2	09,00 - 09,40	-
4A_V17_CI3	14,00 - 14,35	A7-6
4A_V17_CI4	17,00 - 17,35	-
4A_V17_CI5	22,00 - 22,40	A7-6
4A_V17_CRim1	07,60 - 08,00	-
4A_V17_CRim2	11,00 - 11,50	-
4A_V17_CRim3	19,00 - 19,45	-

Tabella 47: Caratteristiche dei materiali scavati

Il TRV per quanto riguarda il trattamento a calce rientra nei limiti di accettazione riportati nel capitolo RFI-Sezione 18.

È previsto il trattamento a calce di circa l'80% del litotipo TRV proveniente dagli scavi, per la formazione del corpo dei rilevati (Elab. 29_111 e 29_175_1).

Il contenuto di sostanze organiche è al limite ammissibile, quindi si prevede di adottare una percentuale di calce pari al 3.5 % (da verificare con opportuno campo prova).

Per quanto riguarda il chimismo delle acque (solfati, acqua a contenuto elevato di anidride carbonica libera (CO₂); acque acide (pH<4); presenza di magnesio (Mg⁺⁺); presenza di ammonio (NH⁴⁺)) si rimanda agli elaborati specifici.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto – Lotto 4a	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. D	FOGLIO 379 di 379

18. CONCLUSIONI

Nel presente documento si sono analizzate le tematiche e gli aspetti geotecnici relativi al progetto definitivo delle opere allo scoperto del nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania, in particolare della tratta Caltanissetta Xirbi – Dittaino dalla pk 0+000 alla pk 27+522.853. Il collegamento ferroviario tra Palermo e Catania fa parte del Corridoio n.5 Helsinki – La Valletta della Rete Trans-Europea di trasporto.

Sono stati riportati i risultati delle prove eseguite in sito nei fori di sondaggio ed in laboratorio, attraverso cui è stato possibile determinare i parametri di resistenza, di deformabilità e permeabilità delle Formazioni che interessano la tratta in esame sia a livello globale che per tratte più circoscritte.

Inoltre è stato effettuato un inquadramento sismico delle zone in esame con la definizione delle relative caratteristiche spettrali su suolo rigido nonché delle categorie di suolo derivanti dall'esito delle prove effettuate.