

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 07 RH GN0000 001 E

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	ROCKSOIL	Dicembre 2019	S. Vagnozzi	Dicembre 2019	A. Barreca	Dicembre 2019	ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Mod. Ing. Alessandro Sciotta Ordine degli Ingegneri di Roma n° 18946 <i>Sciotta</i>
C	EMISSIONE ESECUTIVA	ROCKSOIL	Febbraio 2020	S. Vagnozzi	Febbraio 2020	A. Barreca	Febbraio 2020	
D	EMISSIONE ESECUTIVA	ROCKSOIL	Maggio 2020	S. Vagnozzi	Maggio 2020	A. Barreca	Maggio 2020	
E	EMISSIONE ESECUTIVA	ROCK	Maggio 2021	S. Vagnozzi	Maggio 2021	A. Barreca	Maggio 2021	
		<i>Barreca</i>		<i>Vagnozzi</i>		<i>Barreca</i>		

File: RS3T30D07RHGN000001E

n. Elab.: 07_1

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</p> <p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</p> <p>TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	3 di 378

INDICE

1.	PREMESSA	15
2.	SCOPO DEL DOCUMENTO	15
3.	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	16
4.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	17
5.	ALLEGATI.....	17
6.	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	17
7.	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	21
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	21
7.2	OPERE DI IMBOCCO	32
7.3	OPERE PER LA SICUREZZA IN GALLERIA.....	34
7.4	OPERE TECNOLOGICHE.....	39
8.	METODOLOGIA DI LAVORO	40
9.	FASE CONOSCITIVA.....	41
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	41
9.2	ASSETTO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO.....	50
9.3	ASSETTO GEOMORFOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO	56
9.4	INDAGINI GEOTECNICHE	61
9.5	MISURE E CONTROLLI DI CONCENTRAZIONE DI METANO NEI FORI DI SONDAGGIO	69
9.6	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	70
9.6.1	<i>Formazione TRV.....</i>	<i>71</i>
9.6.2	<i>Caratteristiche meccaniche da prove di Laboratorio TRV Lotto 3.....</i>	<i>129</i>
9.6.3	<i>Caratterizzazione del TRV ad alte coperture.....</i>	<i>131</i>
9.6.4	<i>Formazione TRVa.....</i>	<i>133</i>

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	4 di 378

9.6.5	Caratterizzazione del TRVa.....	172
9.6.6	Formazione TRVb.....	174
9.6.7	Formazione GTL1 (facies rocciosa).....	183
9.6.8	Formazione GTL2.....	191
9.6.9	Formazione GTL3.....	207
9.6.10	Formazione TPL.....	224
9.6.11	Formazione GPQ.....	232
9.6.12	Formazione FYN4.....	246
9.6.13	Caratteristiche meccaniche da prove di Laboratorio FYN4 Lotto 3.....	297
9.6.14	Formazione AV.....	300
9.6.15	Caratteristiche meccaniche da prove di Laboratorio AV Lotto 3.....	330
9.7	IL REGIME IDRAULICO.....	332
10.	FASE DI DIAGNOSI.....	339
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	339
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	340
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	340
11.	FASE DI TERAPIA.....	344
11.1	DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO.....	344
11.2	METODO DI SCAVO TRADIZIONALE.....	344
11.3	METODO DI SCAVO MECCANIZZATO.....	349
11.4	SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO.....	355
11.4.1	Smaltimento acque di infiltrazione in fase di esercizio.....	355
11.4.2	Smaltimento acque di piattaforma in fase di esercizio.....	355
11.5	RISCHI POTENZIALI.....	357
11.5.1	Instabilità del fronte e del cavo.....	357

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30 D 07</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. E</p>	<p>FOGLIO 5 di 378</p>

11.5.2	<i>Eterogeneità litologica e presenza di blocchi lapidei</i>	357
11.5.3	<i>Fenomeni deformativi</i>	358
11.5.4	<i>Venute d'acqua in galleria e carichi idraulici elevati</i>	359
11.5.5	<i>Interferenza con movimenti franosi</i>	359
11.5.6	<i>Carsismo e fenomeni di dissoluzione</i>	365
11.5.7	<i>Esposizione ambientale e attacco chimico</i>	365
11.5.8	<i>Scavo in presenza di gas</i>	368
12.	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	374
12.1	SCAVO TRADIZIONALE	374
12.2	SCAVO MECCANIZZATO	375
12.3	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	376
13.	CONCLUSIONI	378

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Profilo galleria Santa Catena.....	21
Figura 2 - Profilo galleria Nuova Marianopoli.....	22
Figura 3 - Profilo galleria Trabona	23
Figura 4 - Profilo galleria Salito 1	24
Figura 5 - Profilo galleria Salito 2	25
Figura 6 - Profilo galleria Masareddu	26
Figura 7 - Profilo galleria Xirbi.....	27
Figura 8 – Sezione di intradosso galleria di linea a singolo binario per scavo tradizionale (sezione corrente)	30
Figura 9 – Sezione di intradosso galleria di linea a singolo binario in scavo meccanizzato (sezione corrente)	31
Figura 10 – Carpenteria gallerie artificiali (gallerie scavate in tradizionale)	32
Figura 11 – Carpenteria gallerie artificiali (gallerie scavate in TBM) tratti fuori sella.....	33
Figura 12 – Carpenteria gallerie artificiali (gallerie scavate in TBM) tratti su sella.....	34
Figura 13 - Sezione di intradosso uscita/accesso laterale pedonale (sezione corrente) ogni 1000m	35
Figura 14 – Sezione di intradosso cunicolo parallelo di sicurezza (scavo meccanizzato e tradizionale)	36
Figura 15 - Sezione di intradosso collegamento trasversale pedonale (sezione corrente) ogni 1000m	37
Figura 16 - Sezione di intradosso collegamento trasversale carrabile (sezione corrente) ogni 4000m	37
Figura 17 – Pianta collegamento trasversale carrabile (ogni 4000m) con allargo per svolta mezzi all’innesto con il cunicolo parallelo carrabile di sicurezza.....	38
Figura 18 - Colonna stratigrafica dell’area del bacino di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010), estrapolabile al settore di studio. Si noti che le sigle TRVa e TRVb indicate in figura e relative alla formazione Terravecchia, non corrispondono ai codici utilizzati nelle carte e nei profili di progetto, che sono TRV e TRVa rispettivamente; la sottounità TRVc non affiora nell’area di studio.	42
Figura 19: Galleria Santa Catena – TRV – peso dell’unità di volume.....	72
Figura 20: Galleria Santa Catena – TRV—fuso granulometrico.....	73
Figura 21: Galleria Santa Catena – TRV—indice di plasticità.....	74
Figura 22: Galleria Santa Catena – TRV—contenuto d’acqua naturale	75
Figura 23: Galleria Santa Catena – TRV—carta di plasticità	76
Figura 24: Galleria Santa Catena – TRV – resistenza al taglio non drenata da prove SPT.....	77
Figura 25: Galleria Santa Catena – TRV - Inviluppo di resistenza delle prove triassiali.....	78
Figura 26: Galleria Santa Catena – TRV - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	79
Figura 27: Galleria Santa Catena – TRV - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	79
Figura 31: Galleria Santa Catena – TRV – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)	81
Figura 32: Galleria Santa Catena – TRV – modulo di Young da prove pressiometriche.....	82
Figura 33: Galleria Santa Catena – TRV—range caratteristici - modulo di Young operativo	83

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</p> <p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</p> <p>TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	7 di 378

Figura 34: Galleria Santa Catena – TRV - modulo di Young operativo a profondità maggiori di 50m	84
Figura 35: Galleria Santa Catena – TRV – permeabilità da prove in sito	85
Figura 36: Galleria Nuova Marianopoli - TRV - peso dell'unità di volume	87
Figura 37: Galleria Nuova Marianopoli – TRV -fuso granulometrico	88
Figura 38: Galleria Nuova Marianopoli – TRV -Carta di plasticità di Casagrande	89
Figura 39: Galleria Nuova Marianopoli – TRV Indice di plasticità	90
Figura 40: Galleria Nuova Marianopoli – TRV Contenuto d’acqua naturale	91
Figura 41: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche	92
Figura 42: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– resistenza al taglio non drenata da prove dilatometriche	93
Figura 43: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– resistenza al taglio non drenata da prove dilatometriche, da prove pressiometriche, da pocket e da prove ad espansione laterale libera	94
Figura 44: Galleria Nuova Marianopoli – TRV - Inviluppo di resistenza delle prove triassiali.....	95
Figura 45: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – Inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	96
Figura 49: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)	97
Figura 50: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove pressiometriche.....	98
Figura 51: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove dilatometriche	99
Figura 52: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove dilatometriche, da prove pressiometriche e da prove sismiche	101
Figura 53: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di elasticità non drenato da prove dilatometriche, da prove pressiometriche, da pocket e da prove ad espansione laterale libera	102
Figura 54: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– Coefficiente di permeabilità	103
Figura 55: Galleria Trabona - TRV - peso dell'unità di volume	105
Figura 56: Galleria Trabona - TRV – indice di plasticità	106
Figura 57: Galleria Trabona - TRV – contenuto di acqua naturale	107
Figura 58: Galleria Trabona - TRV - carta di plasticità di Casagrande.....	108
Figura 59: Galleria Trabona – TRV – Inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	109
Figura 63: Galleria Trabona – TRV – moduli di Young da prove sismiche	110
Figura 64: TRV – peso dell’unità di volume	113
Figura 65: TRV – Fuso granulometrico.....	114
Figura 66: TRV – indice di plasticità	115
Figura 67: TRV – contenuto di acqua naturale	116
Figura 68: TRV – Carta di plasticità di Casagrande	117
Figura 69: TRV – resistenza al taglio non drenata da prove SPT	118
Figura 70: TRV – OCR da prove SPT	119
Figura 71: Galleria Xirbi – TRV - Inviluppo di resistenza delle prove triassiali.....	120
Figura 72: Galleria Xirbi – TRV – Inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	121
Figura 73: Galleria Xirbi – TRV - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD).....	121
Figura 74: TRV - modulo di Young da prove sismiche	123
Figura 75: TRV - modulo di Young da dilatometriche.....	124

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 76: TRV - modulo di elasticità operativo da prove sismiche e da prove dilatometriche	126
Figura 77: TRV – coefficiente di permeabilità	127
Figura 78: Lotto 3 – TRV - inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	129
Figura 79: Lotto 3 – TRV - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	130
Figura 80: Lotto 3 – TRV - inviluppo di resistenza prove triassiali (TX-CIU, TX-CID).....	130
Figura 81: Lotto 3 – TRV ad alte coperture – inviluppo curvilineo	132
Figura 82: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – peso di volume	133
Figura 83: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – fuso granulometrico	134
Figura 84: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – indice di plasticità.....	135
Figura 85: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – contenuto d’acqua	136
Figura 86: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – carta di plasticità	137
Figura 87: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – resistenza al taglio non drenata da prove SPT	138
Figura 88: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche	139
Figura 89: Galleria Santa Catena – TRVa limoso-argilloso - prove triassiali	140
Figura 90: Galleria Santa Catena – TRVa - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	141
Figura 91: Galleria Santa Catena – TRVa - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	141
Figura 92: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso— modulo di Young da prove sismiche	142
Figura 93: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso— modulo di Young da prove pressiometriche.....	143
Figura 94: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso—range caratteristici - modulo di Young operativo ...	144
Figura 95: Galleria Santa Catena - TRVa argilloso – permeabilità da prove in sito Errore. Il segnalibro non è definito.	
Figura 96: TRVa – peso dell’unità di volume	146
Figura 97: TRVa – Fuso granulometrico.....	147
Figura 98: TRVa – Indice di plasticità	148
Figura 99: TRVa – Contenuto d’acqua	149
Figura 100: TRVa – Carta di plasticità	150
Figura 101: TRVa – resistenza al taglio non drenata da prove triassiali non consolidate non drenate (TX - UU).....	151
Figura 102: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche	152
Figura 103: TRVa – modulo operativo da prove dilatometriche	153
Figura 104:– TRVa argilloso— indagini lotto 3a - range caratteristici - modulo di Young operativo.....	154
Figura 105: TRVa – coefficiente di permeabilità da prove in sito	155
Figura 106: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso- peso dell’unità di volume da prove SPT.....	157
Figura 107: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso – fuso granulometrico	158
Figura 108: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso— indice di porosità da prove SPT.....	159
Figura 109: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso— densità relativa da prove SPT.....	160

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 110: Galleria Santa Catena – TRVa - Inviluppo di resistenza delle prove triassiali.....	161
Figura 111: Galleria Santa Catena – TRVa - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	162
Figura 112: Galleria Santa Catena – TRVa - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD).....	163
Figura 113: Galleria Santa Catena -TRVa sabbioso– angolo di resistenza al taglio a volume costante da prove SPT	163
Figura 114: Galleria Santa Catena -TRVa sabbioso– angolo di resistenza al taglio da prove SPT	164
Figura 115: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso – modulo di taglio da prove SPT.....	165
Figura 116: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso– modulo di Young da prove SPT	166
Figura 117: Galleria Santa Catena - TRVa arenaceo– Peso dell’unità di volume	167
Figura 118: Galleria Santa Catena - TRVa arenaceo—indice Is prove Point Load	168
Figura 119: Galleria Santa Catena - TRVa Arenaceo - conglomeratico – RQD	169
Figura 120: Galleria Santa Catena - TRVa Arenaceo - conglomeratico – GSI	170
Figura 121: Galleria Santa Catena - TRVa Arenaceo - conglomeratico – modulo di deformabilità dalle dilatometriche	171
Figura 122: Galleria Trabona - TRVb - peso dell'unità di volume	174
Figura 123: Galleria Trabona - TRVb - curve di distribuzione granulometrica	175
Figura 124: Galleria Trabona - TRVb – indice di plasticità	176
Figura 125: Galleria Trabona - TRVb – contenuto di acqua naturale	177
Figura 126: Galleria Trabona - TRVb - carta di plasticità di Casagrande	178
Figura 127: Galleria Trabona – TRVb - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	179
Figura 128: Galleria Trabona – TRVb - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	179
Figura 129: Galleria Trabona – TRVb – modulo di elasticità operativo da prove pressiometriche e da prove dilatometriche	180
Figura 130: Galleria Trabona - TRVb – coefficiente di permeabilità	181
Figura 131: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – peso specifico della matrice.....	183
Figura 132: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – resistenza a compressione monoassiale della matrice	184
Figura 133: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – Is da Point Load	185
Figura 134: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – RQD su profondità.....	186
Figura 135: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 - GSI	187
Figura 136: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – modulo di Young da prove dilatometriche	188
Figura 137: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – modulo di Young da prove sismiche	189
Figura 138: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 - peso dell'unità di volume.....	191
Figura 139: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – curve di distribuzione granulometrica	192
Figura 140: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – indice di plasticità	193
Figura 141: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – contenuto naturale d’acqua	194

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 142: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – Carta di plasticità di Casagrande.....	195
Figura 143: Galleria Nuova Marianopoli – GTL2 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	196
Figura 144: Galleria Nuova Marianopoli – GTL2 – involuppo lineare di rottura da prove di taglio diretto (TD)	197
Figura 145: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – modulo di Young da prove dilatometriche	198
Figura 146: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)	199
Figura 147: Galleria Nuova Marianopoli – GTL2 – modulo di Young da prove dilatometriche, da prove pressiometriche e da prove sismiche	200
Figura 148: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – coefficiente di permeabilità	201
Figura 149: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – resistenza a compressione monoassiale della matrice	203
Figura 150: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – Is da Point Load	204
Figura 151: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – indice RQD.....	205
Figura 152: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – indice GSI.....	206
Figura 153: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 - peso dell'unità di volume	207
Figura 154: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – curve di distribuzione granulometrica	208
Figura 155: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – indice ci plasticità	209
Figura 156: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – contenuto d’acqua	210
Figura 157: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – contenuto d’acqua	211
Figura 158: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	212
Figura 159: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH).....	213
Figura 160: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – modulo di Young da prove dilatometriche	214
Figura 161: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – modulo di Young da prove dilatometriche e da prove sismiche	215
Figura 162: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – coefficiente di permeabilità	216
Figura 163: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – permeabilità complesso idrogeologico gessoso-marnoso.....	217
Figura 164: Galleria Trabona – GTL3 – peso specifico matrice rocciosa	219
Figura 165: Galleria Trabona – GTL3 – resistenza a compressione monoassiale.....	220
Figura 166: Galleria Trabona – GTL3 – RQD	221
Figura 167: Galleria Trabona – GTL3 – GSI	222
Figura 168: Galleria Nuova Marianopoli - TPL – resistenza a compressione monoassiale della matrice	224
Figura 169: Galleria Nuova Marianopoli - TPL – Is da point Load	225
Figura 170: Galleria Nuova Marianopoli - TPL - RQD su profondità.....	226
Figura 171: Galleria Nuova Marianopoli - TPL - GSI su profondità	227
Figura 172: Galleria Nuova Marianopoli - TPL – moduli di Young da prove dilatometriche.....	228
Figura 173: Galleria Nuova Marianopoli - TPL coefficiente di permeabilità	229
Figura 174: Galleria Nuova Marianopoli - TPL permeabilità complesso idrogeologico	230

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 175: Galleria Trabona – GPQ – peso dell’unità di volume.....	232
Figura 176: Galleria Trabona – GPQ – Fuso granulometrico	233
Figura 177: Galleria Trabona – GPQ – Indice di plasticità	234
Figura 178: Galleria Trabona – GPQ – contenuto di acqua	235
Figura 179: Galleria Trabona – GPQ – carta di plasticità	236
Figura 180: Galleria Trabona – GPQ – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche e prove ad espansione laterale libera.....	237
Figura 181: Galleria Trabona – GPQ - Involuppo di resistenza delle prove triassiali.....	238
Figura 182: Galleria Trabona – GPQ - Involuppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	239
Figura 183: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young da prove pressiometriche.....	240
Figura 184: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young da prove sismiche	241
Figura 185: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young – ranges caratteristici	243
Figura 186: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young – range caratteristici.....	244
Figura 187: Galleria Salito 2 - Tratta 13 – FYN4 – peso dell’unità di volume	246
Figura 188: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove di triassiali non consolidate non drenate (TX-UU).....	247
Figura 189: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT	248
Figura 190: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da pocket	249
Figura 191: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche.....	250
Figura 192: Galleria Salito 2 – FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)	251
Figura 193: Galleria Salito 2 – FYN4 – involuppo di resistenza da prove di taglio diretto (TD).....	252
Figura 194: Galleria Salito 2 – FYN4 – intervalli di resistenza da prove di taglio diretto derivanti da involuppo (TD).....	252
Figura 195: Galleria Salito 2 – FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU)	253
Figura 196: Galleria Salito 2 – FYN4 – involuppo di resistenza da prove triassiali (TX).....	254
Figura 197: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH).....	255
Figura 198: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo di Young da prove dilatometriche	256
Figura 199: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo di Young da prove pressiometriche	257
Figura 200: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo edometrico.....	258
Figura 201: FYN4 – peso dell’unità di volume	260
Figura 202: FYN4 – Fuso granulometrico.....	261
Figura 203: FYN4 – Composizione mineralogica	261
Figura 204: FYN4 Indice di plasticità.....	262
Figura 205: FYN4 Contenuto di acqua	263
Figura 206: FYN4 Carta di plasticità di Casagrande	264
Figura 207: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT	265
Figura 208: FYN4 – OCR da prove Cu SPT	266

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</p> <p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</p> <p>TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	12 di 378

Figura 209: FYN4 – coesione non drenata da prove triassiali TX – UU, da prove SPT e da prove ad espansione laterale libera.....	267
Figura 210: Galleria Masareddu – FYN4 - prova triassiale	268
Figura 211: Galleria Masareddu – FYN4 - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	269
Figura 212: Galleria Masareddu– FYN4- intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	269
Figura 213: FYN4 – modulo di Young da prove dilatometriche.....	271
Figura 214: FYN4 – modulo di Young da prove sismiche.....	272
Figura 215: FYN4 – Diagramma del modulo di elasticità tangenziale G da prova in colonna risonante ..	273
Figura 216: FYN4 – modulo di Young operativo da prove sismiche e dilatometriche	275
Figura 217: FYN4 – coefficiente di permeabilità	276
Figura 218: FYN4 – peso dell’unità di volume	278
Figura 219: FYN4 – Fuso granulometrico.....	279
Figura 220: FYN4 – indice di plasticità	280
Figura 221: FYN4 – contenuto di acqua naturale	281
Figura 222: FYN4 – carta di plasticità	282
Figura 223: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT	283
Figura 224: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche.....	284
Figura 225: FYN4 – OCR da SPT	285
Figura 226: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT, da pocket, da prove SPT e da prove TX-UU	286
Figura 227: Galleria Xirbi – FYN4 – inviluppo di resistenza delle prove triassiali.....	287
Figura 228: Galleria Xirbi – FYN4 - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	288
Figura 229: Galleria Xirbi – FYN4- intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)....	288
Figura 230: FYN4 – modulo di Young da prove dilatometriche.....	290
Figura 231: FYN4 – modulo di Young da prove pressiometriche	291
Figura 232: AV – Diagramma del modulo di elasticità tangenziale G da prova in colonna risonante	292
Figura 233: FYN4 – modulo di Young da prove pressiometriche e dilatometriche	294
Figura 234: FYN4 – coefficiente di permeabilità	295
Figura 235: Lotto 3 – FYN4 - inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	297
Figura 236: Lotto 3 – FYN4 - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	298
Figura 237: Lotto 3 – FYN4 - inviluppo di resistenza prove triassiali.....	299
Figura 238: AV – peso dell’unità di volume	300
Figura 239: AV – Fuso granulometrico	301
Figura 240: AV – Indice di plasticità.....	302
Figura 241: AV – Contenuto d’acqua	303
Figura 242: AV – Carta di plasticità di Casagrande	304
Figura 243: AV – coesione non drenata da prove SPT e da prove ad espansione laterale libera	305

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 244: Galleria Masareddu – AV – prova triassiale.....	306
Figura 245: Galleria Masareddu – AV - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)	307
Figura 246: AV – modulo di Young da prove sismiche.....	308
Figura 247: AV – modulo di Young da prove dilatometriche.....	309
Figura 248: AV – modulo di Young operativo da prove sismiche e dilatometriche	312
Figura 249: AV – coefficiente di permeabilità	313
Figura 250: AV – peso dell’unità di volume	315
Figura 251: AV – fuso granulometrico	316
Figura 252: AV – Indice di plasticità.....	317
Figura 253: AV – contenuto di acqua	318
Figura 254: AV Carta di plasticità di Casagrande	319
Figura 255: AV – resistenza al taglio non drenata da prove di triassiali non consolidate non drenate (TX-UU).....	320
Figura 256: AV – resistenza al taglio non drenata da prove di triassiali non consolidate non drenate (TX-UU) e da pocket	321
Figura 257: Galleria Xirbi – AV – inviluppo di resistenza delle prove triassiali.....	322
Figura 258: Galleria Xirbi – AV - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD).....	323
Figura 259: AV – modulo di Young da prove dilatometriche	324
Figura 260: AV – modulo di Young da prove sismiche	325
Figura 261: AV – modulo di Young da prove sismiche e dilatometriche.....	327
Figura 262: AV – coefficiente di permeabilità da prove in sito	328
Figura 263: Lotto 3 – AV - inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)	330
Figura 264: Lotto 3 – AV - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD).....	331
Figura 265: Lotto 3 – AV - inviluppo di resistenza prove triassiali.....	331
Figura 142 - Schema di una macchina TBM, tipo EPB (1. Testa Fresante; 2. Camera di scavo; 3. Parete di contenimento dotata di sistema d’accesso (camera iperbarica) alla camera di scavo; 4. Pistoni di avanzamento; 5. Coclea; 6. Erettore dei conci; 7. Anelli di sostegno già posti in opera)	350
Figura 143 – Tipologia drenaggi in avanzamento dallo scudo TBM.....	354
Figura 274 – Sistema di smaltimento acque scavo tradizionale	356
Figura 145 – Sistema di smaltimento acque scavo meccanizzato.....	356
Figura 276 - Fase provvisoria - Opere di imbocco galleria Salito 1 lato Palermo	360
Figura 277 – Fase provvisoria - Opere di imbocco galleria Masareddu lato Palermo.....	361
Figura 278 - Fase provvisoria - Opere di imbocco galleria Xirbi lato Palermo	362
Figura 279 - Esempio di sistemazione provvisoria opere di imbocco –Sezione trasversale	363
Figura 280 - Esempio di sistemazione definitiva opere di imbocco – Sezione trasversale	364
Figura 281 - Particolare raccolta acque ed elemento verticale di contenimento.....	364
Figura 282 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016	366
Figura 283 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016.....	367
Figura 284 : Evidenze della presenza di gas nell’area limitrofa al tracciato del Lotto 3	371



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA
TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	14 di 378

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	15 di 378

1. **PREMESSA**

All'interno del presente elaborato vengono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi alla fase di progettazione definitiva dei lavori riguardanti le opere in sotterraneo del nuovo collegamento Palermo-Catania della Diretrice ferroviaria Messina - Palermo-Catania.

La tratta in esame è la Lercara – Caltanissetta Xirbi, Lotti 3a e 3b, la cui estensione è di 46703.290 km, compresa tra le stazioni di Lercara Diramazione, sita al km 0+000 (coincidente con la pk 76+730 circa della linea storica Palermo Catania), e Caltanissetta Xirbi, sita al km 46+703.290 (coincidente con la pk 126+412 circa della linea storica Palermo Catania).

Il progetto è realizzato in variante di tracciato rispetto alla linea storica esistente, con la quale presenta interconnessioni negli attuali impianti di:

- Stazione di Lercara Diramazione (di lunghezza complessiva di 500 m, da km 0+000.000 a km 0+500.000);
- Posto di Movimento Marcatobianco (di lunghezza complessiva di 98 m, da km 5+452.000 a km 5+550.000);
- Stazione di Vallelunga (di lunghezza complessiva di 991 m, da km 17+205.000 a km 18+196.000);
- Posto di Movimento Marianopoli (di lunghezza complessiva di 609 m, da km 25+826.000 a km 26+435.000);
- Stazione di Caltanissetta-Xirbi (di lunghezza complessiva di 53 m di pertinenza del Lotto 3b, da km 46+650.000 a km 46+703.000);

2. **SCOPO DEL DOCUMENTO**

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione delle gallerie naturali e delle relative opere accessorie. Per l'analisi degli aspetti geotecnici e strutturali si rimanda alla Relazione geotecnica e di calcolo delle opere in sotterraneo.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 16 di 378

3. **NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO**

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”.
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.
- Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- Rif. [9] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977.
- Rif. [10] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 C “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (21/12/2018);
- Rif. [11] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 C “Manuale di Progettazione delle opere civili” (21/12/2018);
- Rif. [12] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).

	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 17 di 378

Rif. [13]

4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Rif. [14] Italferr, Progetto Preliminare/Progetto di fattibilità tecnico economica;

Rif. [15] Italferr - Dossier dati e requisiti di base.

Rif. [16] U.O. Geologia - RS3T30D69RGGE000100 “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica”;

Rif. [17] U.O. Sicurezza, manutenzione e interoperabilità “Elaborati specialistici”

Rif. [18] U.O. Gallerie, “Profili geotecnici”;

Rif. [19] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).

Rif. [20] NIR n°28: NOTA INTERREGIONALE DEL 13/01/2005 “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3a edizione”

Rif. [21] NIR n°44: NOTA INTERREGIONALE DEL 28/05/2012 “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù TBM”

Rif. [22] Linea Guida “Grisù – TBM”. Scavo meccanizzato di grande sezione con TBM – EPB in terreni grisutosi, maggio 2015.

Rif. [23] Linea Guida “Grisù”. Scavi in sotterraneo con metodo a piena sezione e tecnica tradizionale in terreni grisutosi, luglio 2014.

5. ALLEGATI

Non sono presenti allegati.

6. DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono illustrati negli elaborati grafici specialistici allegati al progetto:

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	18 di 378

N°	Descrizione elaborato	scala	CODIFICA ELABORATO																			
			COMMESSA		LOTTO		FASE	ENTE		TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA						PROGR.		REV.			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ELABORATI GENERALI																						
07_1	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	R	H	G	N	0	0	0	0	0	1	B
07_2	Caratteristiche dei materiali - Note generali	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	S	P	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_3	Computo metrico estimativo	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	C	E	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_4	Analisi e descrizione voci aggiuntive	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	A	P	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_5	Schema WBS	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	S	P	G	N	0	0	0	0	0	2	A
GALLERIE DI LINEA E CUNICOLI PARALLELI																						
07_9	Scavo tradizionale - Sezione tipo A1 - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	B
07_10	Scavo tradizionale - Sezione tipo A2 - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	B
07_11	Scavo tradizionale - Sezione tipo B1 - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	3	B
07_12	Scavo tradizionale - Sezione tipo B2 - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	4	B
07_13	Scavo tradizionale - Sezione tipo C2 - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	5	B
07_14	Scavo tradizionale - Sezione tipo C2v - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	6	B
07_15	Scavo tradizionale - Sezione tipo C2p - Carpenteria, scavi e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	7	B
07_17	Rivestimento conci prefabbricati - Anello universale carpenteria e sviluppata tipo 1 (45cm)	Varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	N	0	0	0	0	0	2	B
07_18	Rivestimento conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo 1 (45cm)	1:10	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	K	G	N	0	0	0	0	0	1	B
07_20	Rivestimento conci prefabbricati - Anello universale carpenteria e sviluppata tipo 2 (50cm)	Varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	N	0	0	0	0	0	4	B
07_21	Rivestimento conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo 2 (50cm)	1:10	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	K	G	N	0	0	0	0	0	2	B
07_23	Rivestimento conci prefabbricati - Anello universale carpenteria e sviluppata tipo 3 (45cm)	Varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	N	0	0	0	0	0	6	B
07_24	Rivestimento conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo 3 (45cm)	1:10	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	K	G	N	0	0	0	0	0	3	B
07_25	Scavo tradizionale - Nicchie standard - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_26	Scavo tradizionale - Nicchie tecnologiche IS, TE - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_27	Scavo tradizionale - Nicchie tecnologiche TLC - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_28	Scavo tradizionale - Nicchie tecnologiche MT/BT - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_29	Scavo meccanizzato - Nicchie standard - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_30	Scavo meccanizzato - Nicchie tecnologiche IS, TE - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_31	Scavo meccanizzato - Nicchie tecnologiche TLC - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_32	Scavo meccanizzato - Nicchie tecnologiche MT/BT - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	1	A
07_35	Collegamenti trasversali carrabili - Galleria di linea in scavo meccanizzato - Pianta e sezioni - Tav. 1 di 2	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_36	Collegamenti trasversali carrabili - Galleria di linea in scavo meccanizzato - Pianta e sezioni - Tav. 2 di 2	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_37	Collegamento trasversale di esodo - Sezione tipo B1 - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_38	Collegamento trasversale di esodo - Sezione tipo B2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_39	Collegamento trasversale di esodo - Sezione tipo C2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti - Tav. 1 di 2	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_40	Collegamento trasversale di esodo - Sezione tipo C2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti - Tav. 2 di 2	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_41	Collegamento trasversale di esodo - Sezione tipo C2v - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_42	Collegamenti trasversali carrabili - Sezione tipo B2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
07_43	Collegamenti trasversali carrabili - Sezione tipo C2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	N	0	0	0	0	0	2	A
GALLERIA SANTA CATENA																						
07_46	Relazione geotecnica e di calcolo	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	C	L	G	N	0	1	0	0	0	0	A
07_47	Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	C	L	G	N	0	0	0	0	0	0	A
07_48	Profilo Geotecnico	1:5000/500	R	S	3	T	3	0	D	0	7	F	5	G	N	0	1	0	0	0	0	B
GALLERIA SANTA CATENA - IMBOCCO LATO PALERMO																						
07_51	Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	I	0	1	0	0	0	0	A
07_52	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	I	0	1	0	0	0	0	A
07_53	Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi	varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	I	0	1	0	0	0	0	A
07_54	Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	A	0	2	0	0	0	0	B
07_55	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	A	0	2	0	0	0	0	B
07_56	Dima - carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	I	0	1	0	0	0	0	A
07_57	Galleria artificiale policentrica - Carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	2	0	0	0	0	A
07_58	Portale di imbocco - Carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	2	0	0	0	0	A
GALLERIA SANTA CATENA - IMBOCCO LATO CATANIA																						
07_59	Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	I	0	2	0	0	0	0	A
07_60	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche - Tav. 1 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	I	0	2	0	0	0	0	A
07_61	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche - Tav. 2 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	I	0	2	0	0	0	0	A
07_62	Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi	varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	I	0	2	0	0	0	0	A
07_63	Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	A	0	3	0	0	0	0	B
07_64	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche - Tav. 1 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	A	0	3	0	0	0	0	B
07_65	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche - Tav. 2 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	A	0	3	0	0	0	0	B
07_66	Dima - carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	I	0	3	0	0	0	0	A
07_67	Galleria artificiale policentrica - Carpenteria - Tav. 1 di 2	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	3	0	0	0	0	A
07_68	Galleria artificiale policentrica - Carpenteria - Tav. 2 di 2	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	3	0	0	0	0	A
07_69	Portale di imbocco - Carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	3	0	0	0	0	A
GALLERIA NUOVA MARIANOPOLI																						
07_70	Relazione geotecnica e di calcolo	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	C	L	G	N	0	2	0	0	0	0	A
07_71	Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	-	R	S	3	T	3	0	D	0	7	C	L	G	N	0	0	0	0	0	0	A
07_72	Profilo Geotecnico	1:5000/500	R	S	3	T	3	0	D	0	7	F	5	G	N	0	2	0	0	0	0	B
GALLERIA NUOVA MARIANOPOLI - IMBOCCO LATO PALERMO																						
07_75	Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	I	0	3	0	0	0	0	A
07_76	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	I	0	3	0	0	0	0	A
07_77	Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi	varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	I	0	3	0	0	0	0	A
07_78	Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	A	0	5	0	0	0	0	B
07_79	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	A	0	5	0	0	0	0	B
07_80	Dima - carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	I	0	5	0	0	0	0	A
07_81	Galleria artificiale policentrica - Carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	5	0	0	0	0	A
07_82	Portale di imbocco - Carpenteria	1:50	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	B	G	A	0	5	0	0	0	0	A
GALLERIA NUOVA MARIANOPOLI - IMBOCCO LATO CATANIA GALLERIA DI LINEA																						
07_83	Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	I	0	4	0	0	0	0	A
07_84	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche - Tav. 1 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	I	0	4	0	0	0	0	A
07_85	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche - Tav. 2 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	I	0	4	0	0	0	0	A
07_86	Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi	varie	R	S	3	T	3	0	D	0	7	B	Z	G	I	0	4	0	0	0	0	A
07_87	Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	L	9	G	A	0	6	0	0	0	0	B
07_88	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche - Tav. 1 di 2	1:200	R	S	3	T	3	0	D	0	7	W	9	G	A	0	6	0	0	0	0	B
07_89	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche - Tav. 2 di 2	1:200	R	S	3	T	3															

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

7. DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La lunghezza totale del tracciato della tratta Lercara-Caltanissetta Xirbi, è di circa 46.7 km, e si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 20.96 km, mediante 7 gallerie naturali denominate: Santa Catena, Nuova Marianopoli, Trabona, Salito 1, Salito 2, Masareddu, Xirbi.

Le gallerie Santa Catena e parte della Nuova Marianopoli sono progettate nella configurazione meccanizzata tramite l'uso di TBM-EPB, mentre le altre gallerie sono progettate nella configurazione tradizionale. La velocità di tracciato è di 200 km/h (Rif. [15]). in galleria si ha una pendenza longitudinale massima pari a circa 18 ‰.

La galleria Santa Catena è costituita da un tratto in naturale di 7759.6 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 48.4 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 47.4 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 7855.4 m, dal km 8+010.80 al km 15+866.20. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 485.13 m s.l.m., il tracciato procede in discesa con pendenza del circa 8‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 457.28 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, in corrispondenza delle progressive km 9+000 circa. Lo scavo viene effettuato con metodo meccanizzato all'interno della litologia del TRV e del TRVa lungo tutto il percorso del tracciato (Figura 1). La copertura massima è di circa 200 metri. Lo scavo della galleria è prevista mediante il ricorso a quattro TBMs, assemblate ai due imbocchi della galleria; a fine scavo, le TBMs verranno smontate in galleria ed estratte a ritroso dai rispettivi imbocchi.

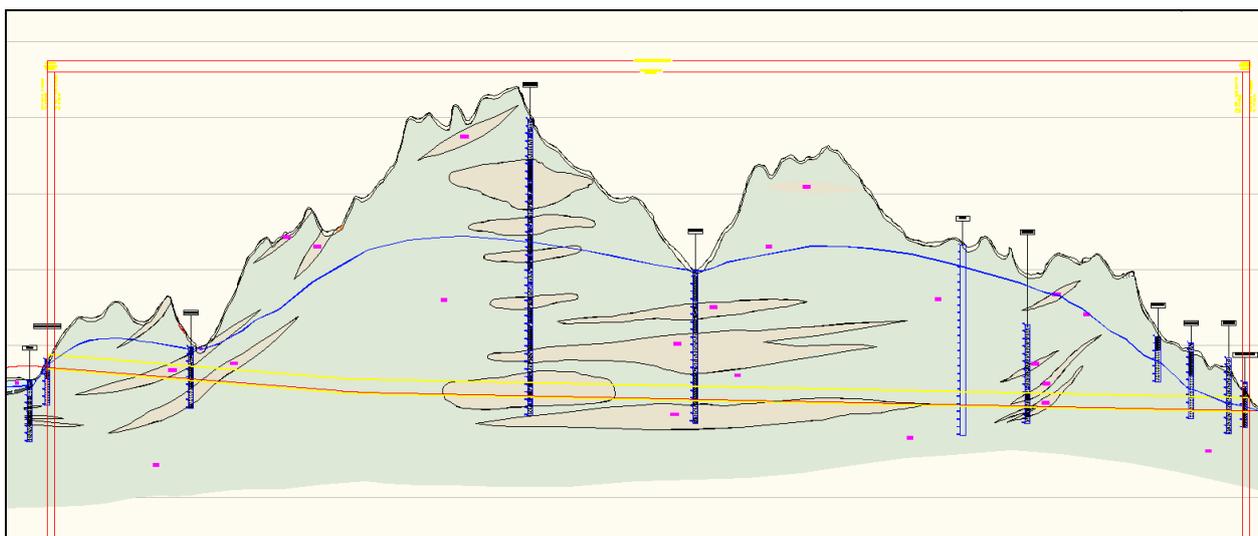


Figura 1 - Profilo galleria Santa Catena

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	22 di 378

La galleria Nuova Marianopoli è costituita da un tratto in naturale di 6539.7 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 34.4 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 38.4 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 6612.5 m, dal km 28+085.60 al km 34+698.10. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 352.79 m s.l.m., il tracciato procede in discesa con pendenza del circa 2‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 341.60 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, in corrispondenza delle progressive km 28+600 circa. Lo scavo viene effettuato all'interno della litologia del TRV con metodo meccanizzato fino alla progressiva km 32+774 circa, mentre con metodo tradizionale per la restante parte del tracciato che incontra le litologie dei TPL, GTL1, GTL2 e GTL3. (Figura 2). La copertura massima è di circa 500 metri. Per lo scavo meccanizzato, si prevede il ricorso a due TBMs che verranno assemblate e partiranno dall'imbocco lato PA fino a raggiungere pk 32+774 circa per poi essere smontate in galleria ed estratte dal medesimo imbocco. Per lo scavo in tradizionale, si prevede di attaccare dai due fronti, rispettivamente, della galleria di linea e del cunicolo parallelo di sicurezza, all'imbocco lato Catania.

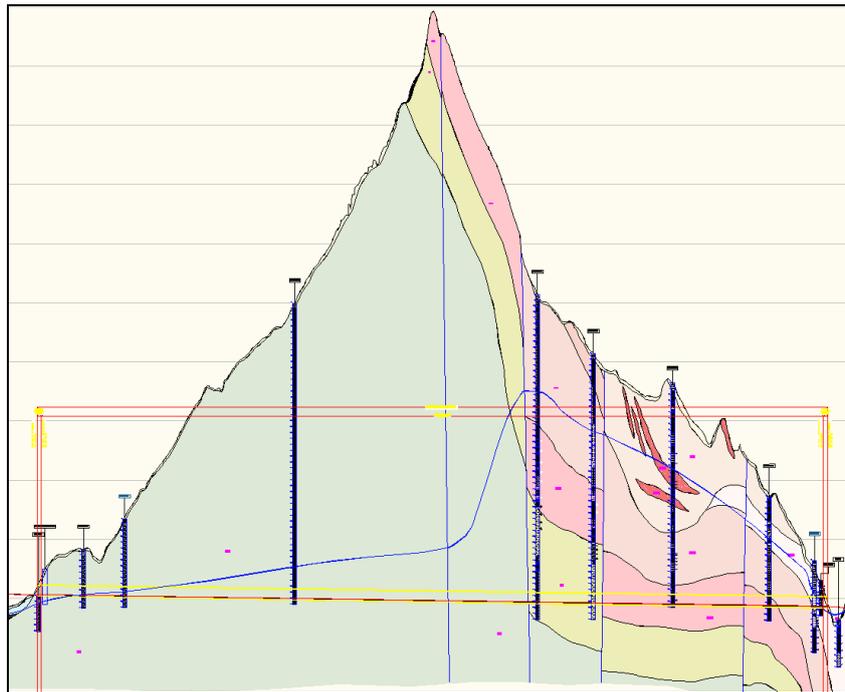


Figura 2 - Profilo galleria Nuova Marianopoli

La Galleria Trabona è costituita da un tratto in naturale di 1637.2 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 99.4 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 59.4 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 1796 m, dal km 35+238.10 al km 37+034.10. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 332.43 m s.l.m., il tracciato procede in discesa con

pendenza circa del 16‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 308.60 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, in corrispondenza delle progressive km 35+350 circa e km 36+650. Lo scavo viene effettuato all'interno della litologia del GPQ con metodo tradizionale fino alla progressiva km 36+130 circa, mentre continua con metodo tradizionale per la restante parte del tracciato che incontra le litologie dei TRV brecciato e TRV. (Figura 3). La copertura massima è di circa 100 metri. Si prevedono due fronti di scavo, rispettivamente, a partire dall'imbocco lato Palermo e dall'imbocco lato Catania.

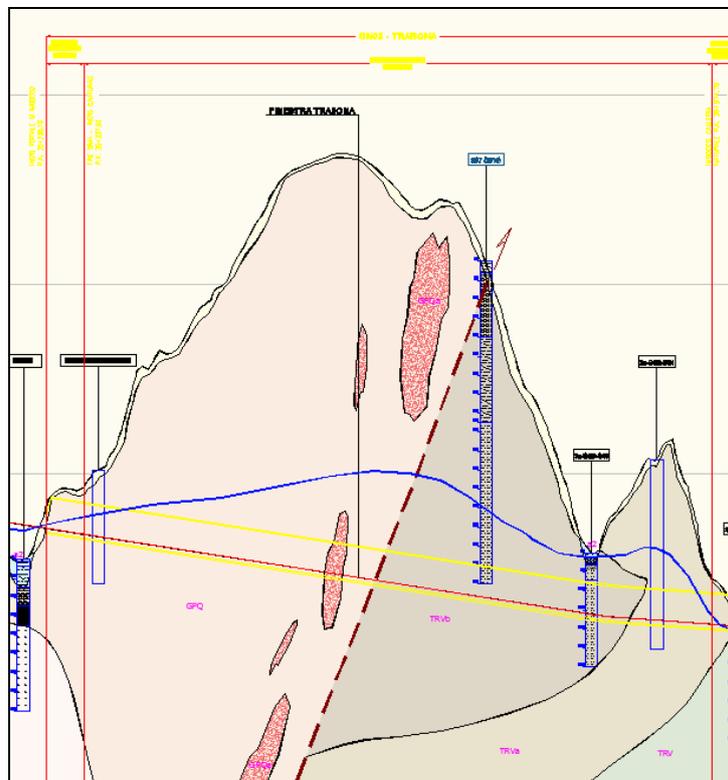


Figura 3 - Profilo galleria Trabona

La Galleria Salito 1 è costituita da un tratto in naturale di 274.92 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 42.4 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 28.02 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 345.34 m, dal km 37+068.00 al km 37+413.32. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 307.62 m s.l.m., il tracciato procede in discesa con pendenza circa del 8‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 305.57 m s.l.m.. Lo scavo viene effettuato all'interno della litologia del TRV con metodo tradizionale fino alla progressiva km 37+370 circa, mentre continua con metodo tradizionale all'interno dei GPQ (Figura 4). La copertura massima è di circa 40 metri. Si prevede un fronte di scavo a partire dall'imbocco lato Catania.

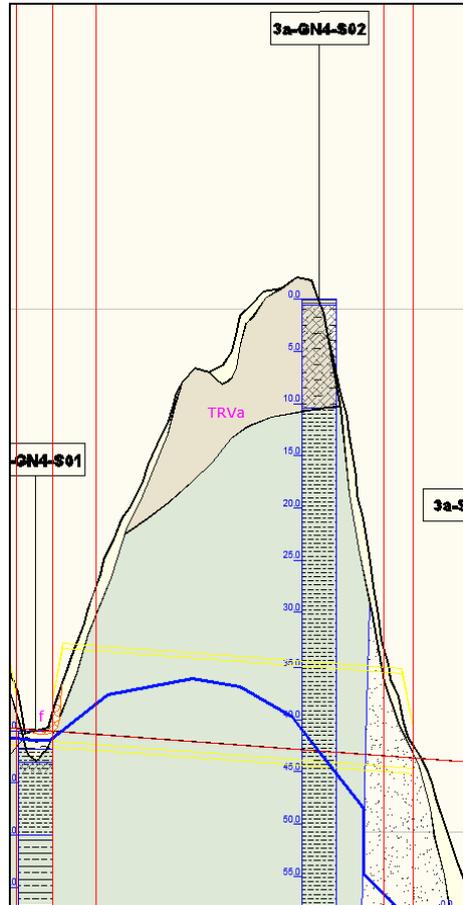


Figura 4 - Profilo galleria Salito 1

La Galleria Salito 2 è costituita da un tratto in naturale di 832.2 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 34.4 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 59.46 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 926.06 m, dal km 38+193.10 al km 39+119.10. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 302.21 m s.l.m., il tracciato procede in salita con circa pendenza del 7‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 308.21 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, in corrispondenza delle progressive km 38+900 circa. Lo scavo viene effettuato all'interno della litologia del FYN4 con metodo tradizionale per tutta la lunghezza della galleria. (Figura 5). La copertura massima è di circa 70 metri. Si prevede un fronte di scavo a partire dall'imbocco lato Palermo.

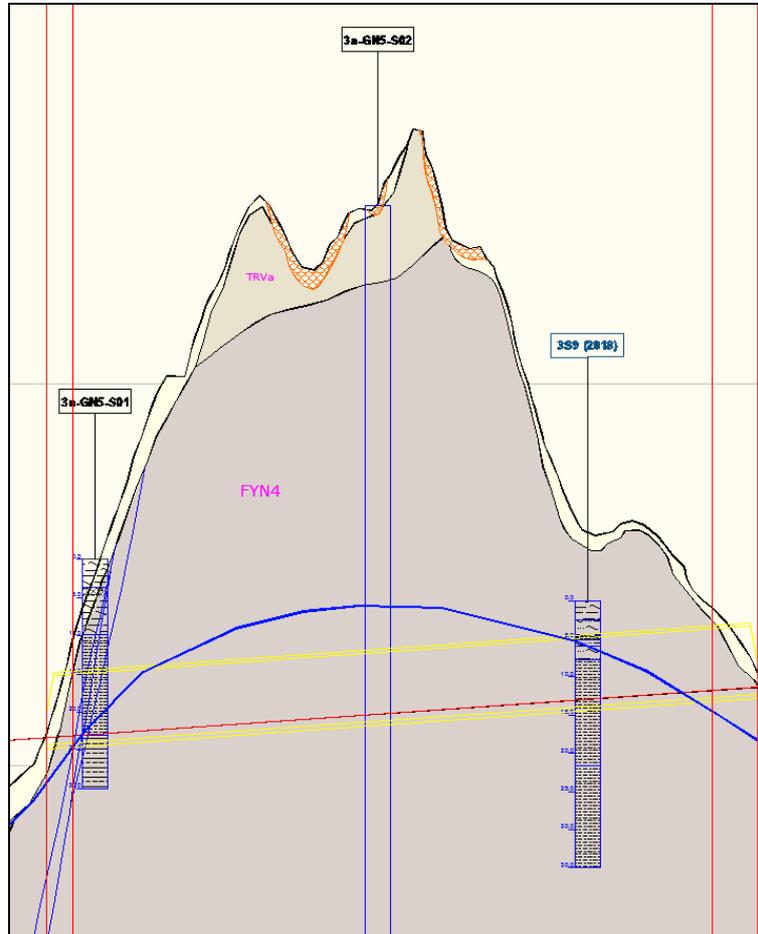


Figura 5 - Profilo galleria Salito 2

La Galleria Masareddu è costituita da un tratto in naturale di 1225.76 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 70.98 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 28.55 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 1325.29 m, dal km 42+507.52 al km 43+828.60. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 344.61 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza circa del 18‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 366.30 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, in corrispondenza delle progressive km 43+330 circa e km 43+400. Lo scavo viene effettuato all'interno della litologia del FYN4 con metodo tradizionale fino alla progressiva km 43+360 circa, mentre continua sempre con metodo tradizionale per la restante parte del tracciato che incontra le litologie delle AV. (Figura 6). La copertura massima è di circa 60 metri. Si prevedono due fronti di scavo, rispettivamente, a partire dall'imbocco lato Palermo e dall'imbocco lato Catania.

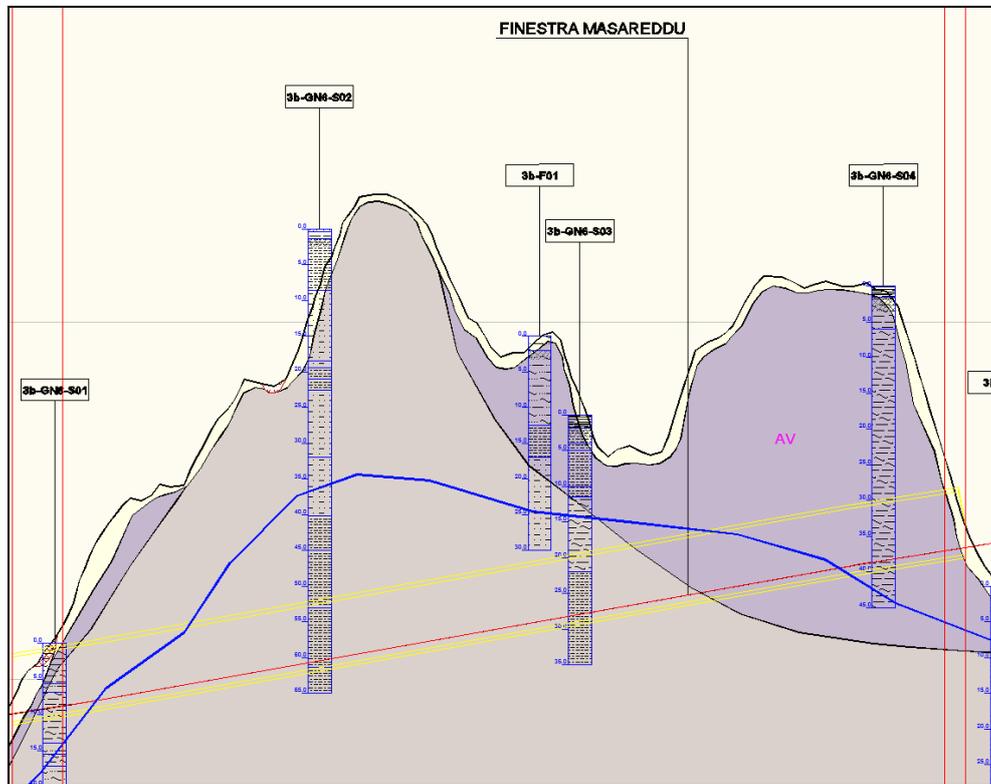


Figura 6 - Profilo galleria Masareddu

La Galleria Xirbi è costituita da un tratto in naturale di 1976.2 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi (lato Palermo e lato Catania) di lunghezza complessiva pari a 79.4 m per l'imbocco lato Palermo e pari a 49.4 m per l'imbocco lato Catania. L'opera interessa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 2105 m, dal km 44+224.10 al km 46+329.10. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 374.37 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza del 18‰ circa, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di 409.09 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, dalle progressive km 44+875 circa a km 45+465. Lo scavo viene effettuato all'interno della litologia del TRV con metodo tradizionale fino alla progressiva km 44+950 circa, mentre continua sempre con metodo tradizionale fino alla progressiva km 45+810 in FYN4 ed infine, per la restante parte del tracciato, incontra le litologie delle AV. (Figura 6). La copertura massima è di circa 60 metri. Si prevedono due fronti di scavo, rispettivamente, a partire dall'imbocco lato Palermo e dall'imbocco lato Catania.

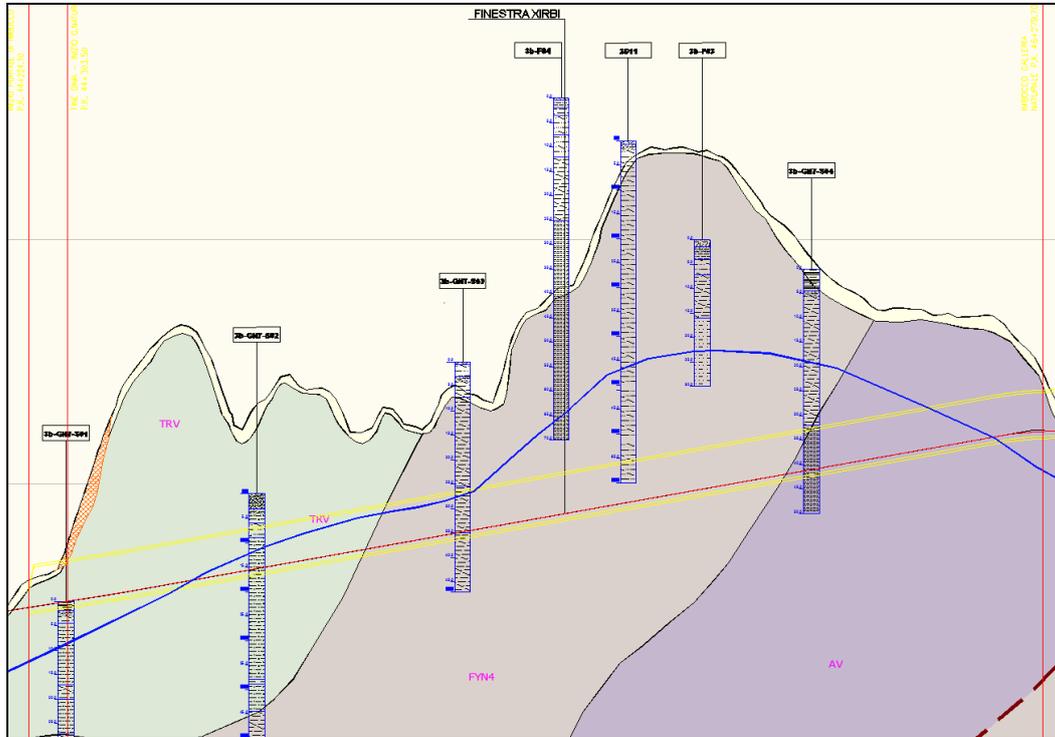


Figura 7 - Profilo galleria Xirbi

In tabella sono riportate le progressive delle opere in sotterraneo previste lungo la tratta e delle opere di imbocco ad esse connesse.

Tabella 1 Progressive delle gallerie Santa Catena, Nuova Marianopoli, Trabona, Salito 1, Salito 2, Masareddu, Xirbi ed Uscite/Accessi F1, F2 e F3

Gallerie di linea	WBS	Opera	PK inizio	PK fine	Lunghezza parziale [m]	Lunghezza totale [m]
Santa Catena	GA03	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	8+010.80	8+059.20	48.4	7855.4
Santa Catena	GN01	Galleria naturale	8+059.20	15+818.80	7759.6	
Santa Catena	GA04	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	15+818.80	15+866.20	47.4	
Nuova Marianopoli	GA06	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	28+085.60	28+120.00	34.4	6612.5

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	28 di 378

Gallerie di linea	WBS	Opera	PK inizio	PK fine	Lunghezza parziale [m]	Lunghezza totale [m]
Nuova Marianopoli	GN02	Galleria naturale	28+120.00	34+659.70	6539.7	
Nuova Marianopoli	GA07	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	34+659.70	34+698.10	38.4	
Trabona	GA09	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	35+238.10	35+337.50	99.4	
Trabona	GN03	Galleria naturale	35+337.50	36+974.70	1637.2	1796
Trabona	GA10	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	36+974.70	37+034.10	59.4	
Salito 1	GA11	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	37+068.00	37+110.40	42.4	
Salito 1	GN04	Galleria naturale	37+110.40	37+385.323	274.92	345.34
Salito 1	GA12	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	37+385.323	37+413.32	28.02	
Salito 2	GA13	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	38+193.10	38+227.50	34.4	
Salito 2	GN05	Galleria naturale	38+227.50	39+059.70	832.2	926.06
Salito 2	GA14	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	39+059.70	39+119.10	59.46	
Masareddu	GA15	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	42+507.52	42+578.50	70.98	
Masareddu	GN06	Galleria naturale	42+578.50	43+799.20	1225.76	1325.29
Masareddu	GA16	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	43+799.20	43+828.60	28.55	
Xirbi	GA17	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Palermo	44+224.10	44+303.50	79.4	
Xirbi	GN07	Galleria naturale	44+303.50	46+279.70	1976.2	2105
Xirbi	GA18	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco - lato Catania	46+279.70	46+329.10	49.4	

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	29 di 378

Gallerie di linea	WBS	Opera	PK inizio	PK fine	Lunghezza parziale [m]	Lunghezza totale [m]
Uscita/accesso pedonale e cunicolo pedonale G.Trabona – F1	GA24	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco	0+028.40	0+050.00	21.6	498.17
	GN10	Galleria naturale finestra	0+050.00	0+526.57	476.57	
Uscita/accesso pedonale e cunicolo pedonale G.Masareddu – F2	GA25	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco	0+008.90	0+039.50	30.6	500.0
	GN11	Galleria naturale finestra	0+039.50	0+508.93	469.43	
Uscita/accesso pedonale e cunicolo pedonale G.Xirbi – F3	GA26	Galleria Artificiale e Portale di Imbocco	0+081.40	0+142.00	60.6	763.32
	GN12	Galleria naturale finestra	0+142.00	0+844.72	702.72	
	GN12	Galleria naturale cunicolo			385.50	385.50

Le gallerie sono progettate per consentire il transito del Gabarit C (PMO n°5) (Rif. [15]).

Le sezioni geometrico funzionali previste sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [11]) idonee al transito del Gabarit indicato e velocità di progetto sino 200 km/h. Al suo interno è previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV (Rif. [15]).

La sezione di intradosso delle gallerie di linea realizzate con metodo tradizionale è costituita da una sezione policentrica con un raggio di 2.85 m in chiave calotta e di 5.50 m in corrispondenza del piedritto, sviluppa un'area libera di poco superiore ai 38 m² e un perimetro pari a circa 24 m (cfr. Tavole 23, 24, 25 del Manuale di Progettazione RFI, Rif. [11]).

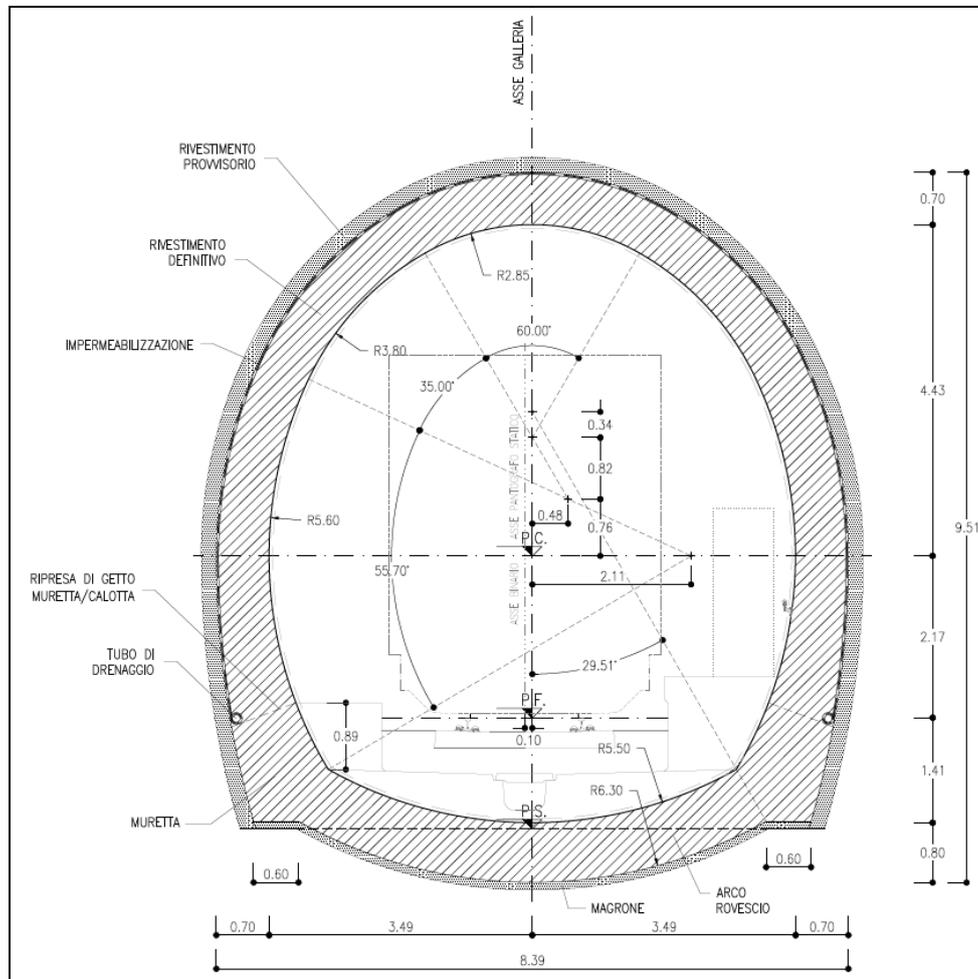


Figura 8 – Sezione di intradosso galleria di linea a singolo binario per scavo tradizionale (sezione corrente)

La sezione d'intradosso della galleria a singolo binario realizzata con scavo meccanizzato ha raggio pari a 4,00 m, sviluppa un'area libera di circa 43 m² e un perimetro pari a circa 25 m.

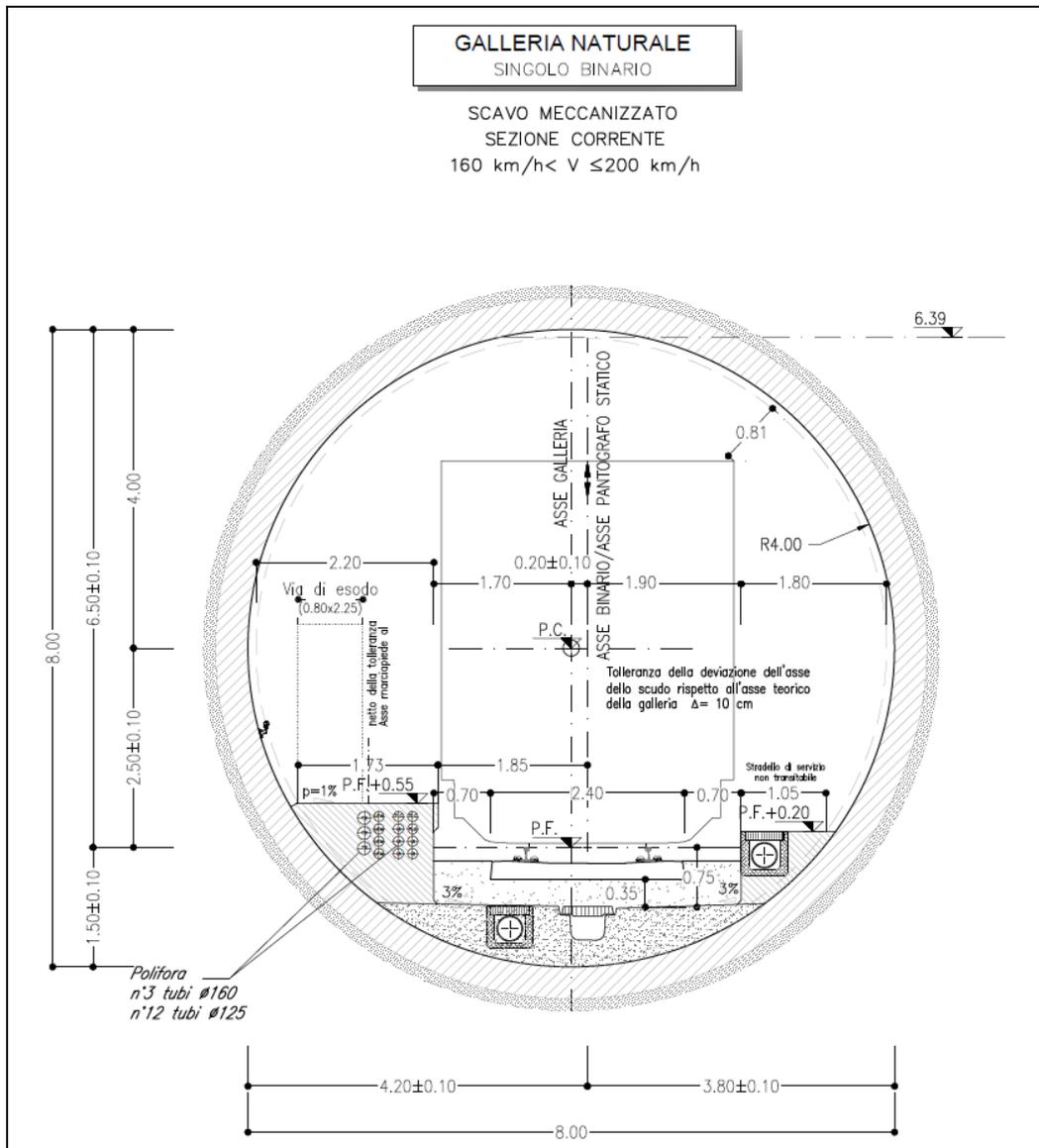


Figura 9 – Sezione di intradosso galleria di linea a singolo binario in scavo meccanizzato (sezione corrente)

Le sezioni di intradosso delle gallerie presentano un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della quota del binario attiguo. Nello specifico, l'altezza del ciglio risulta pari a + 55 cm, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, è pari a 113 cm (Rif. [11])

Tale camminamento ha una larghezza non inferiore a 120 cm ed è corredato da corrimano posto ad una quota di 1m dal piano di calpestio del marciapiede.

7.2 Opere di imbocco

Al fine di sostenere gli scavi delle opere di imbocco sono state progettate paratie di pali di diametro 1000 mm a passo 1.50 m multitirantate. In corrispondenza dell'imbocco lato Catania della galleria naturale Salito 1 è stata prevista invece una sistemazione con paratie di micropali di diametro 240 mm a passo 0.30 m multitirantate.

Per quanto riguarda le zone di imbocco delle gallerie realizzate in galleria TBM non sono stati previsti ordini di tiranti a trefoli in acciaio ma si è progettato un tampone realizzato con pali plastici da piano campagna a tergo della paratia.

Per quanto riguarda i tratti in artificiale, si ha una sagoma univoca per tutte le gallerie tradizionali lungo il tracciato, con medesimi intradossi delle gallerie di linea in tradizionale. Gli spessori della calotta sono pari a 0.90 m, lo spessore del piedritto è di 1.10 m e lo spessore dell'arco rovescio è di 1.00 m.

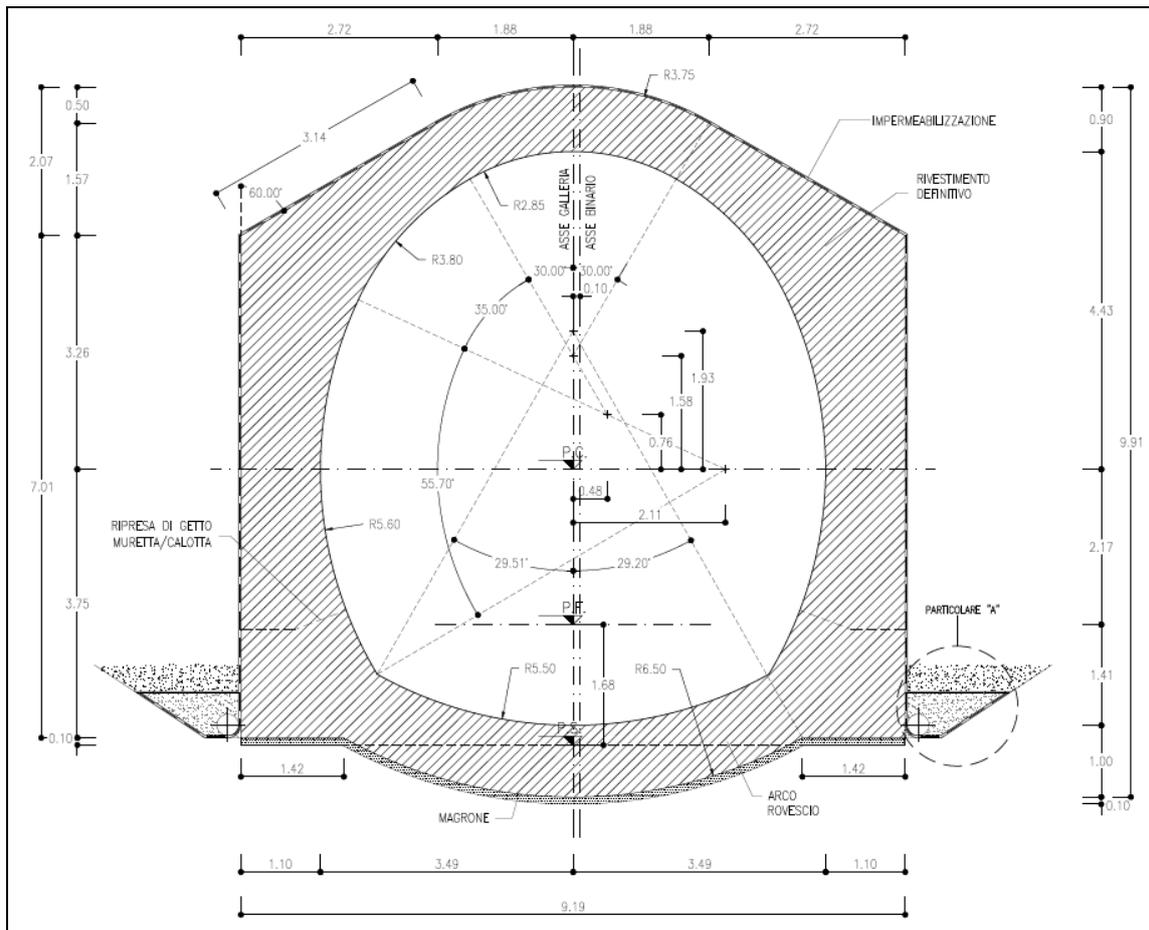


Figura 10 – Carpenteria gallerie artificiali (gallerie scavate in tradizionale)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	33 di 378

Per quanto riguarda le gallerie realizzate in TBM , le gallerie artificiali presentano uno spessore della calotta di 0.90 m, uno spessore di piedritto di 1.50 m e uno spessore di arco rovescio di 1.00 m nei tratti fuori sella, mentre nei tratti su sella (realizzata per alloggiare la TBM) presentano spessore incrementato in arco rovescio.

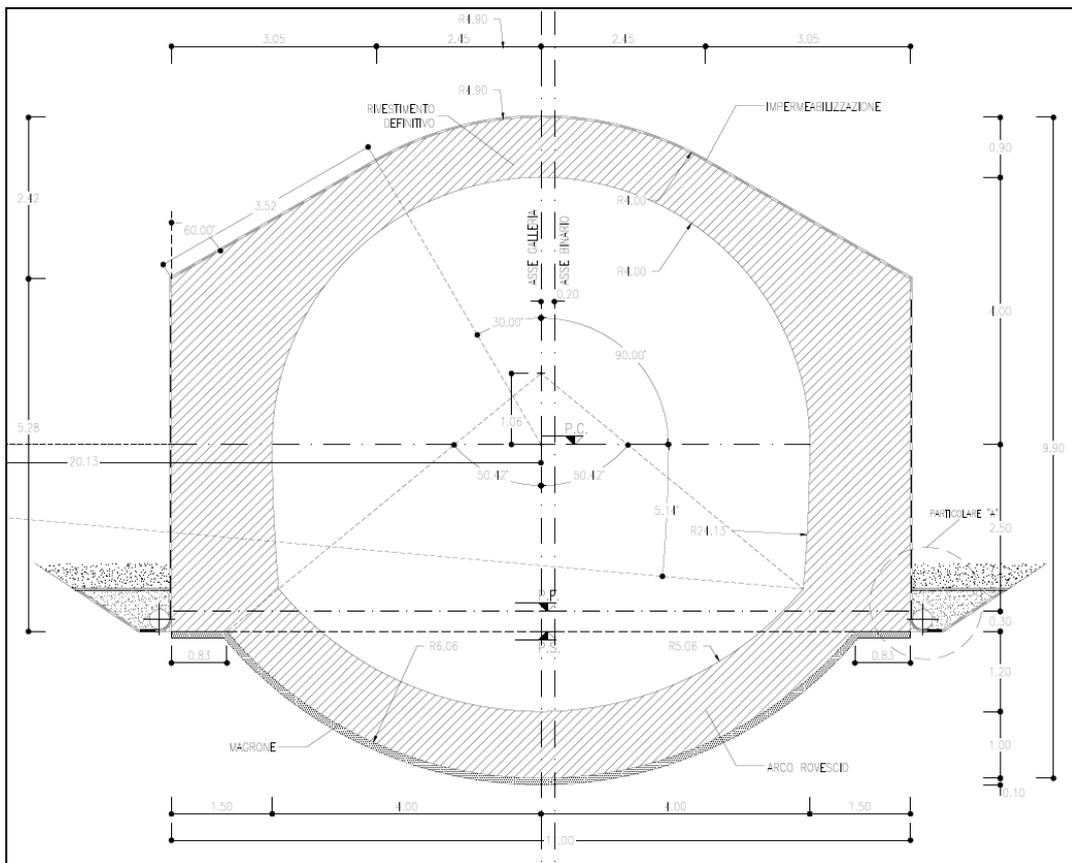


Figura 11 – Carpenteria gallerie artificiali (gallerie scavate in TBM) tratti fuori sella

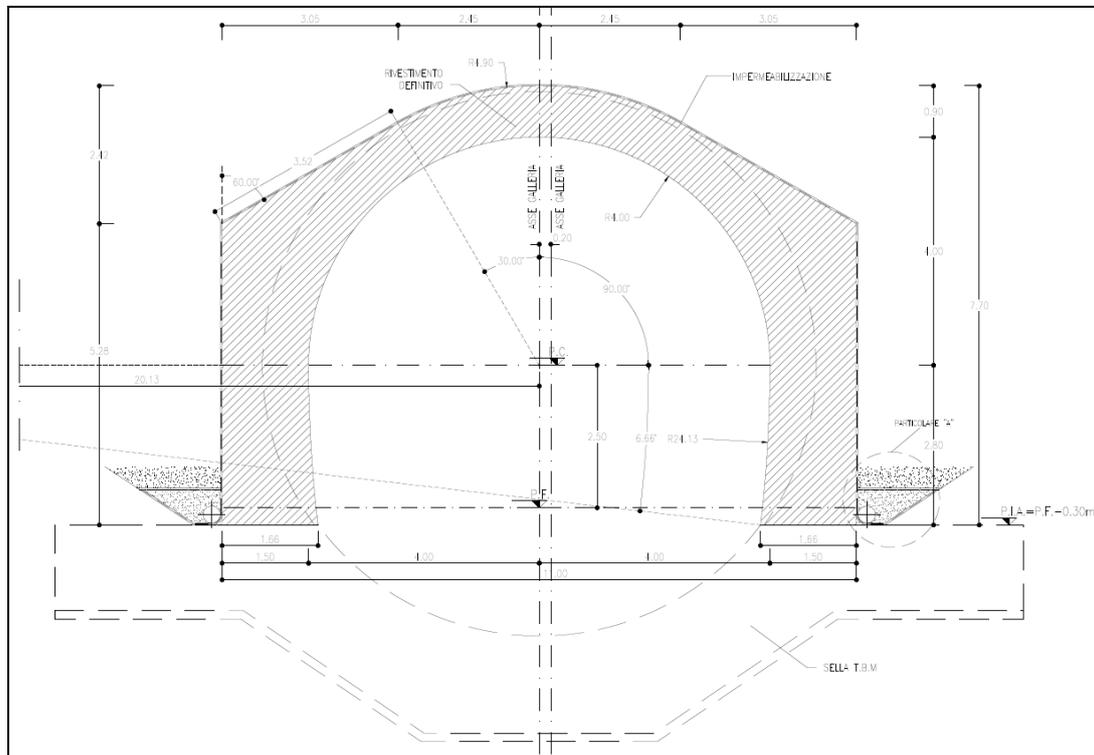


Figura 12 – Carpenteria gallerie artificiali (gallerie scavate in TBM) tratti su sella

7.3 Opere per la sicurezza in galleria

In accordo a quanto previsto negli elaborati della U.O. Sicurezza, manutenzione e interoperabilità (Rif. [17]), i requisiti di sicurezza previsti per le gallerie in esame sono conformi alle disposizioni legislative emanate in campo europeo attraverso la Specifica Tecnica di Interoperabilità STI-SRT 2014 "Safety in Railway Tunnels" (Rif. [4]) e le indicazioni del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [10]).

Al fine di garantire l'accesso alle aree di sicurezza, le gallerie sono dotate di uscite/accessi laterali pedonali (Figura 13) ogni 1000 m. Non sono previste uscite/accessi carrabili per gallerie inferiori a 4000m.

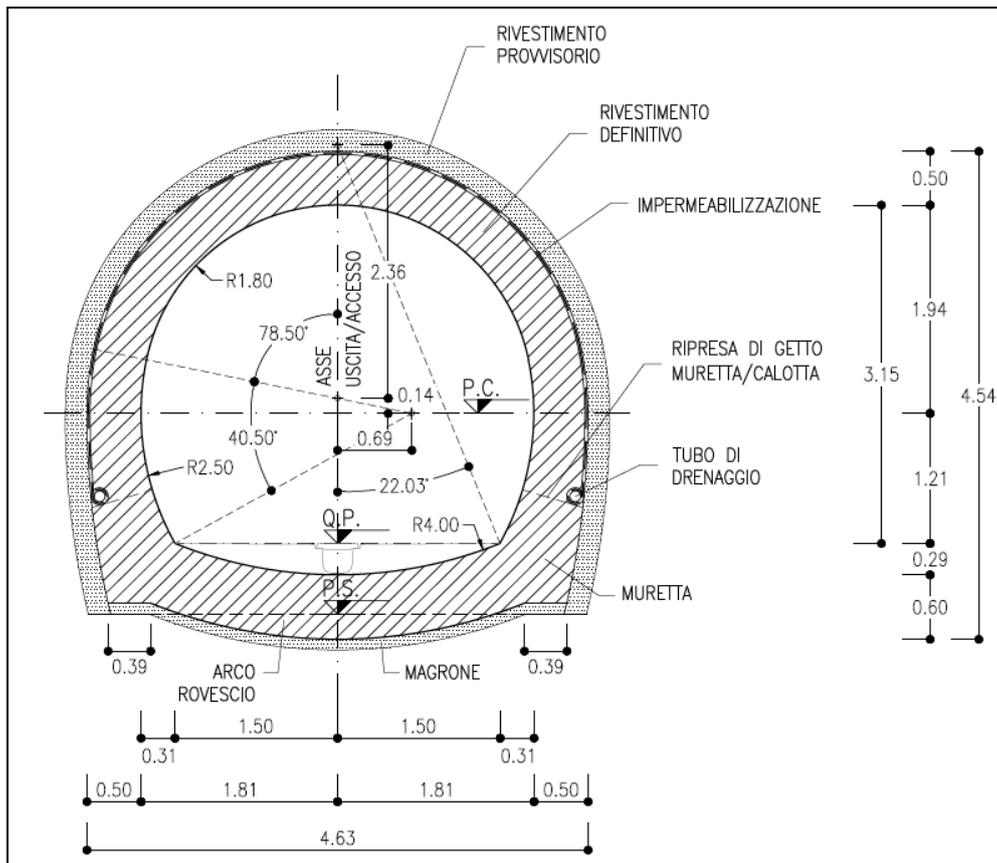


Figura 13 - Sezione di intradosso uscita/accesso laterale pedonale (sezione corrente) ogni 1000m

Per le Gallerie Santa Catena e Marianopoli è stato previsto un cunicolo parallelo alla galleria di linea, avente medesima sezione (Figura 14). Il cunicolo parallelo è connesso alla galleria di linea tramite collegamenti trasversali pedonali ogni 1000 m (Figura 15) e carrabili ogni 4000 m (Figura 16 e Figura 17). Per consentire la svolta dei mezzi di soccorso in entrata dal cunicolo parallelo sul collegamento trasversale carrabile ed in uscita dallo stesso, è previsto un allargò (Figura 17) all'innesto tra il collegamento trasversale carrabile ed il cunicolo parallelo di sicurezza.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	36 di 378

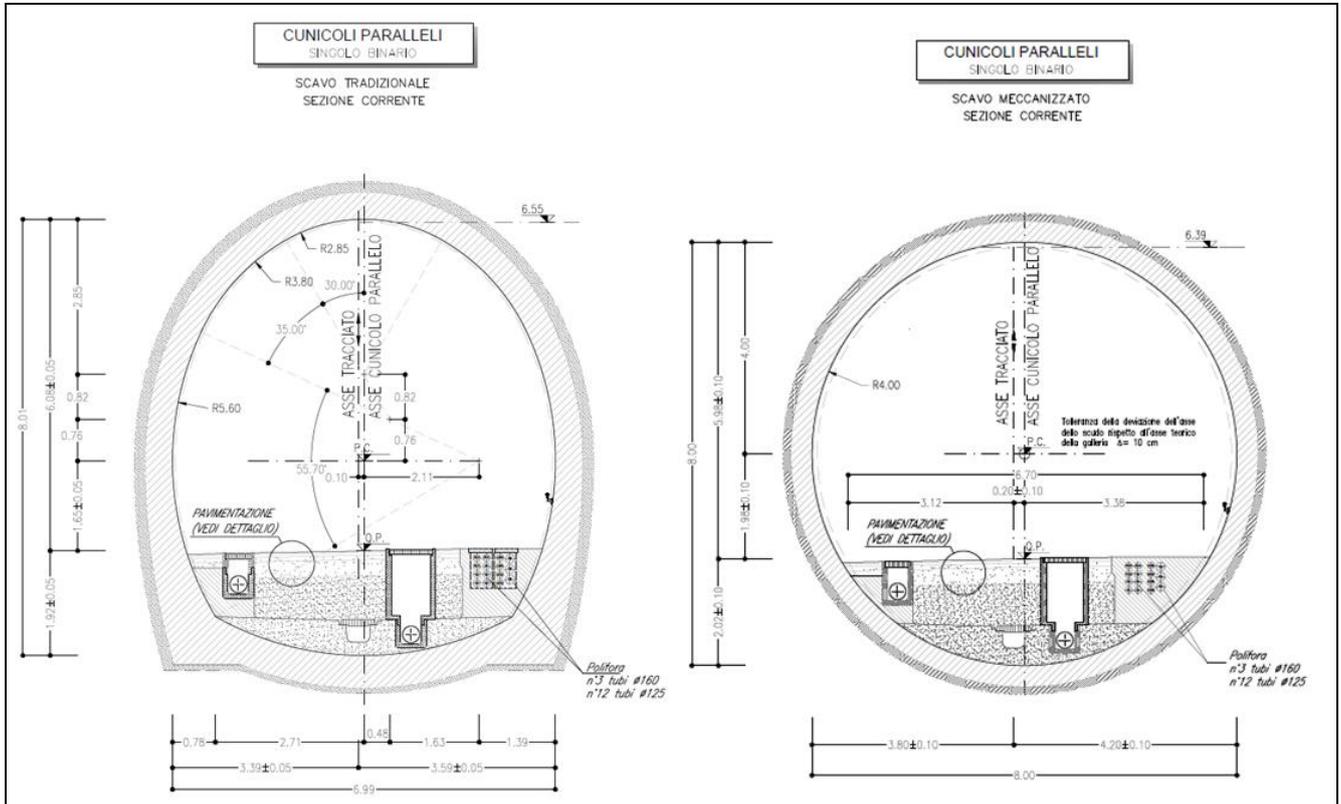


Figura 14 – Sezione di intradosso cunicolo parallelo di sicurezza (scavo meccanizzato e tradizionale)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	37 di 378

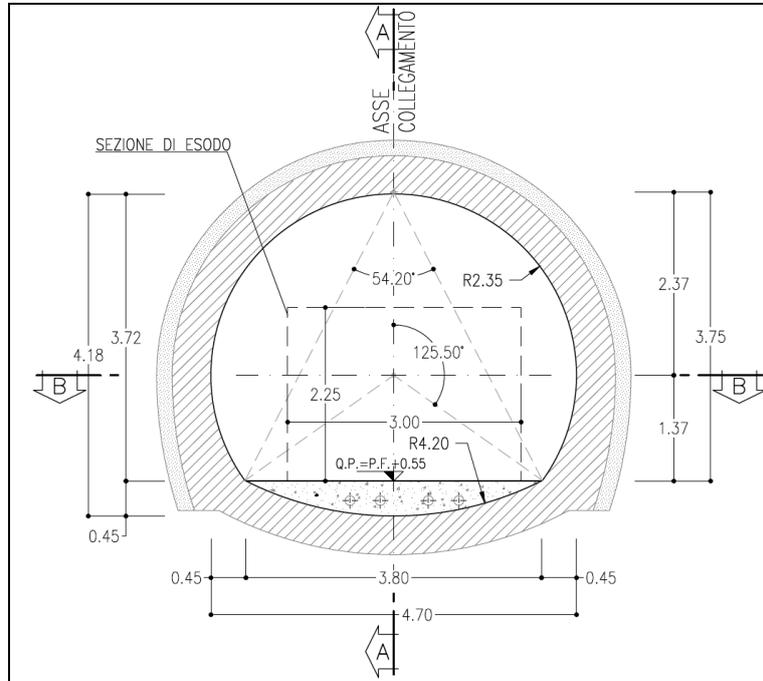


Figura 15 - Sezione di intradosso collegamento trasversale pedonale (sezione corrente) ogni 1000m

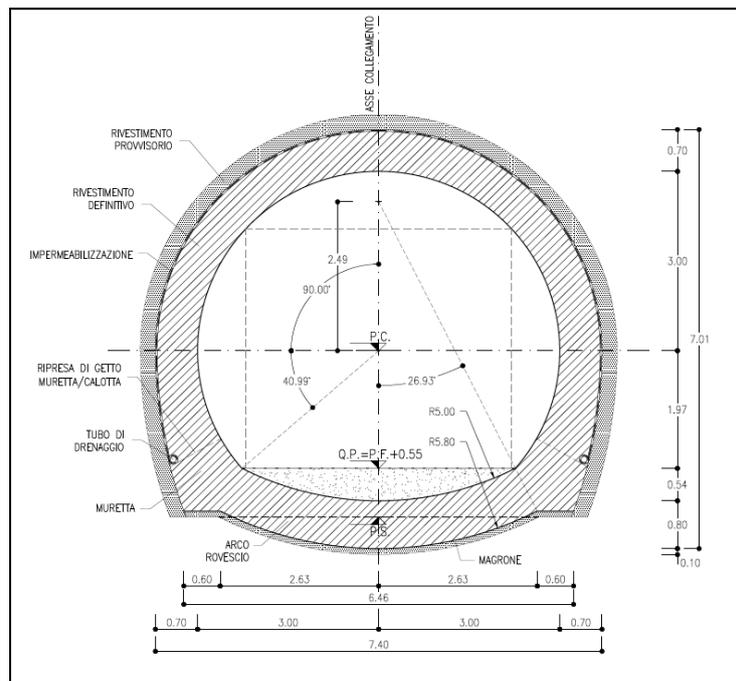


Figura 16 - Sezione di intradosso collegamento trasversale carrabile (sezione corrente) ogni 4000m

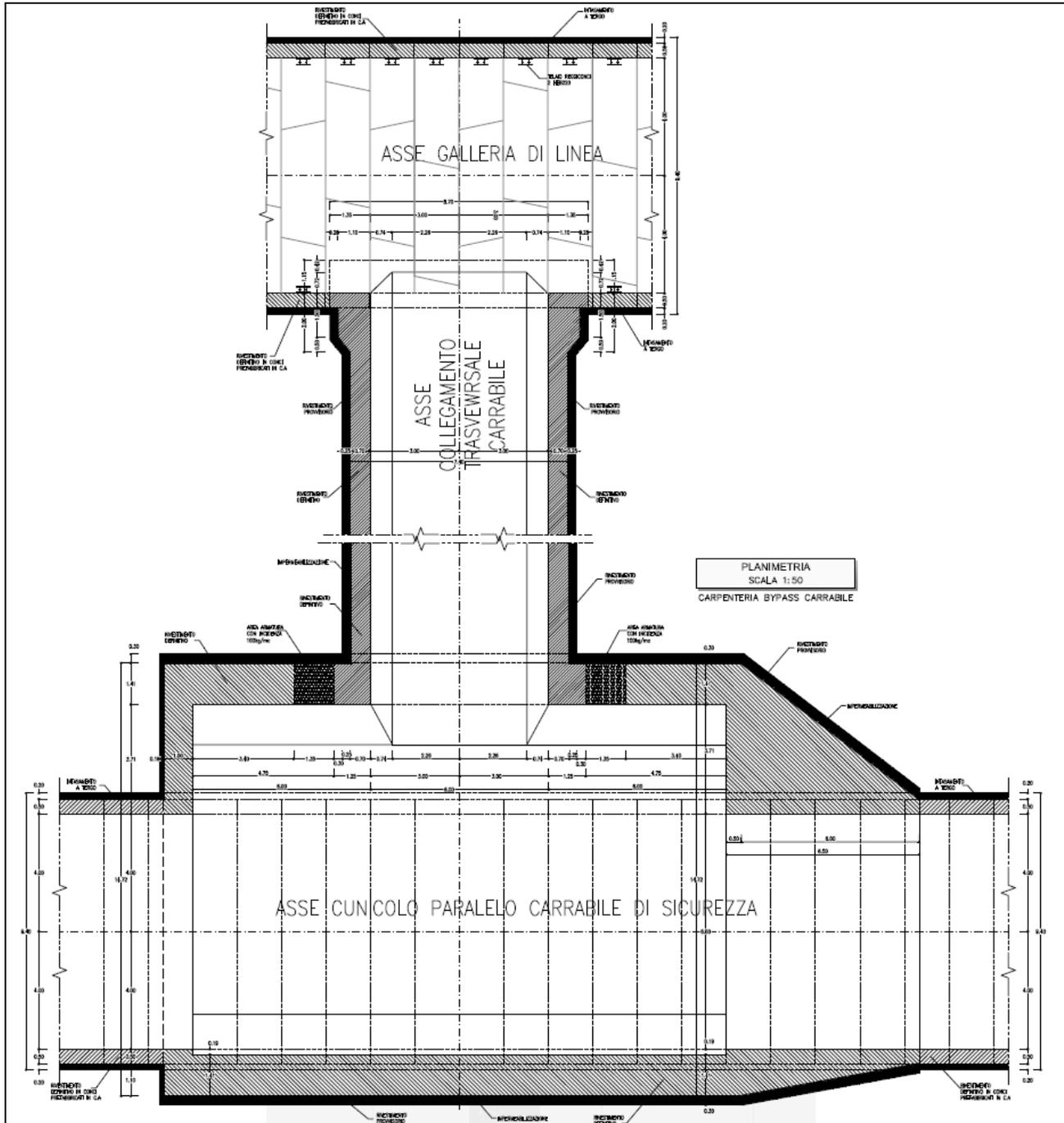


Figura 17 – Pianta collegamento trasversale carrabile (ogni 4000m) con allargo per svolta mezzi all'innesto con il cunicolo parallelo carrabile di sicurezza.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

La Galleria Trabona, è dotata di un'uscita/accesso laterale pedonale che si innesta alla galleria di linea alla pk 36+051 circa, caratterizzata da un tratto di galleria naturale di sviluppo pari a 606 m circa. La finestra della galleria Trabona è realizzata in tradizionale interamente all'interno della litologia GPQ.

Per le Gallerie Salito 1 e Salito 2, poiché entrambe hanno uno sviluppo inferiore a 1000m, non sono previste uscite/accessi laterali.

La Galleria Masareddu è dotata di un'uscita/accesso laterale pedonale che si innesta alla galleria di linea alla pk 43+441, caratterizzata da un tratto di galleria naturale con sviluppo pari a 592 m. La finestra della galleria Masareddu è realizzata interamente in tradizionale all'interno della litologia FYN4.

Per la Galleria Xirbi, di lunghezza superiore ai 2 km, sono state previste due uscite/accessi laterali pedonali, che si innestano alla galleria di linea alla pk 44+979 e alla pk 45+329. L'uscita/accesso pedonale prevista in corrispondenza della pk 45+329 è caratterizzata da un tratto di galleria naturale con sviluppo pari a 697.98 m e da un tratto in artificiale di 71.30 m. Tra la pk 44+979 e la pk 45+329 è previsto un cunicolo pedonale parallelo alla galleria di linea di lunghezza pari a 350 m. La finestra della galleria Xirbi è realizzata interamente in tradizionale all'interno della litologia FYN4.

7.4 Opere tecnologiche

In accordo al Manuale di Progettazione RFI (Rif. [10]), le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale.

Per quanto riguarda le gallerie di linea sono presenti:

- a. Nicchie standard, aventi larghezza di 2.80m, lunghezza 3.55m e altezza di 2.45m;
- b. Nicchie tecnologiche IS-TE, aventi larghezza di 2.80m, lunghezza 4.10m e altezza di 2.95m;
- c. Nicchie tecnologiche TLC, aventi larghezza di 2.80m, lunghezza di 5.75m e altezza di 2.95m;
- d. Nicchie cabine MT-BT, aventi larghezza di 5.60 m, lunghezza di 10.00m e altezza di 4.06m.

Per quanto riguarda le uscite/accessi pedonali delle Gallerie Masareddu, Trabona e Xirbi ed il cunicolo pedonale parallelo della Galleria Xirbi, sono presenti:

- e. Nicchie standard, aventi larghezza di 2.80m, lunghezza 3.55m e altezza di 2.45m.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 40 di 378

8. METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [19]), si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
2. fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9. FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

9.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'assetto geologico e litostratigrafico dell'area di progetto è stato ricostruito integrando i dati bibliografici disponibili con le informazioni dedotte da fotointerpretazione e da rilievi geologici di terreno, il tutto validato dal confronto con i dati delle indagini in sito, eseguite sia nella presente fase di progettazione definitiva, sia nella precedente fase di progettazione preliminare.

Lo schema strutturale generale mostra nell'area una serie di unità di substrato, formatesi a partire dal Burdigaliano inferiore, strutturate in sovrascorrimenti con vergenza meridionale che formano l'ossatura della catena.

La successione stratigrafica è riassunta schematicamente nella colonna di Figura 18, riferita al bacino di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010), ma che può essere estrapolata alla zona descritta nel presente rapporto.

Si distinguono in sostanza due gruppi principali: i) il substrato cretaco-burdigaliano a dominante componente argillosa, esposto lungo i margini meridionali e settentrionali dei bacini e localmente al nucleo di alcune delle anticlinali maggiori e ii) la sequenza stratigrafica dei bacini di thrust-top.

La stratigrafia dei bacini di thrust-top è dominata dalle argille e marne della formazione Terravecchia (Tortoniano superiore), dalle evaporiti messiniane e dai gessi, marne e calcareniti plioceniche che chiudono la sequenza.

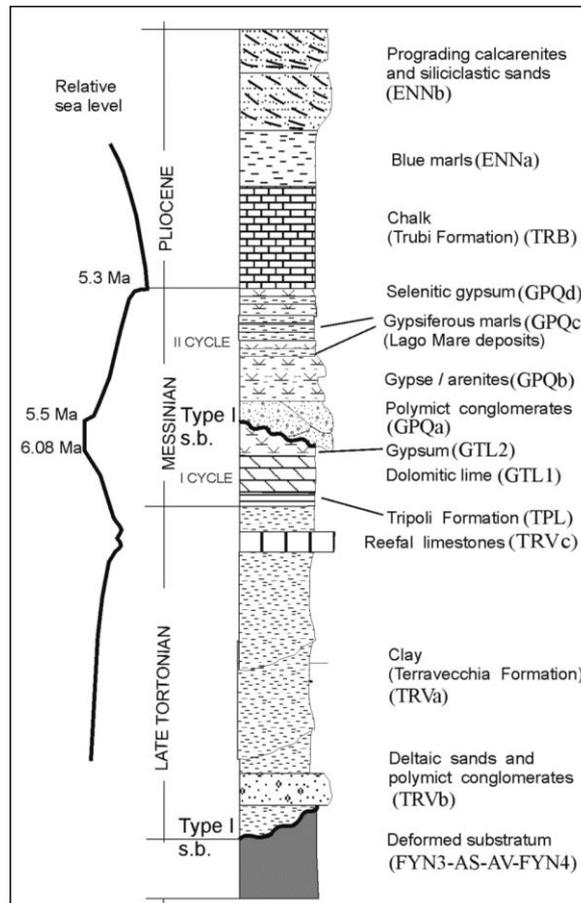


Figura 18 - Colonna stratigrafica dell'area del bacino di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010), estrapolabile al settore di studio. Si noti che le sigle TRVa e TRVb indicate in figura e relative alla formazione Terravecchia, non corrispondono ai codici utilizzati nelle carte e nei profili di progetto, che sono TRV e TRVa rispettivamente; la sottounità TRVc non affiora nell'area di studio.

L'unità di Nicosia è costituita, dal basso verso l'alto, dalle seguenti sottounità (Maniscalco et al., 2010), ovvero le Argille Variegate e il Flysch Numidico:

	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 43 di 378

▪ **Argille Variegata (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 Variegata) si presentano in affioramenti poco estesi, generalmente alla base del Flysch Numidico.

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" (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.

	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30 D 07</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. E</p>	<p>FOGLIO 44 di 378</p>

▪ **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.

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

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 variegata. 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 variegata.

L'unità mostra brusche variazioni laterali di facies e di spessore, essendosi depositata alla sommità e al fronte degli alti strutturali in fase di innalzamento. Essa include anche formazioni di patch-reef che occupano la sommità di paleorilievi locali, generalmente impostati sul Flysch Numidico o sulle stesse argille di Terravecchia (Grasso & Pedley, 1988).

La formazione Terravecchia affiora con continuità nell'area di studio e appoggia in discordanza sopra alle unità del substrato deformato (Argille Variegata e Flysch Numidico).

La parte superiore della formazione Terravecchia, poggiante sugli alti strutturali passa superiormente alla formazione del Calcare di Base.

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

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 46 di 378

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.

Gli spessori arrivano fino a 40 m, raggiungendo localmente 70-80 m (Contrada Gaspa, Grasso et al., 1990).

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

- le evaporiti marine del Messiniano inferiore (**Formazione di Cattolica**) comprendenti il Calcarea 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 LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

▪ **Formazione di Cattolica:**

Membro del Calcarea di Base (GTL1)

Il Membro del Calcarea di Base è composto da calcari dolomitici e calcari marnosi peloidali, intercalati ad argille marnose e argilliti. Le facies carbonatiche sono spesso brecciate e contengono comunemente pseudomorfi di salgemma e livelli di gesso laminato (“balatino”) e di gessareniti. Il Calcarea di Base è solitamente associato a mineralizzazioni a zolfo derivati dalla trasformazione diagenetica per riduzione batterica del gesso.

La tipica facies brecciata del Calcarea di Base è riferibile a processi autoclastici indotti dalla dissoluzione delle intercalazioni saline e gessose ad opera delle acque meteoriche di infiltrazione, con conseguente locale franamento e/o collasso in posto della sequenza stratificata (Pedley & Grasso, 1993). I debris flow che localmente ne derivavano si originavano generalmente in prossimità dei paleorilievi coevi con la deposizione dei sedimenti.

Tutte le tessiture sono controllate da una combinazione di tettonica locale e fasi di prosciugamento, all'interno di bacini sospesi tra loro strettamente interconnessi. Durante le fasi di innalzamento marino, i margini dei bacini erano diffusamente sede di deposizione di fango calcareo biomedata da batteri.

Lungo i margini meno profondi del bacino prossimale, l'intensa evaporazione ha prodotto condizioni di salinità molto elevata. In queste zone la crescita di gesso pseudomorfo era onnipresente nei sedimenti prima della diagenesi carbonatica. A livello locale, possono essere presenti anche sottili strati di gesso intercalati.

L'incarcamento sinsedimentario dei margini del bacino superficiale, con o senza abbassamento eustatico, causava l'emersione dei fanghi carbonatici. Se già diagenizzati, questi calcari venivano interessati dalla dissoluzione meteorica degli pseudomorfi, cui potevano seguire dei collassi in sito. Il locale franamento lungo paleo-pendii, innescato dalla tettonica o dalle piogge che agivano su questi depositi semiconsolidati, è probabilmente all'origine della formazione di debris flows subaerei lobati, localmente ispessiti, intorno alle paleo-scarpate più ripide.

Dall'altro lato, quando le fasi di evaporazione erano particolarmente prolungate, l'abbassamento eustatico causava il temporaneo isolamento dei bacini sospesi, che aveva come conseguenza un prosciugamento alla scala dell'intero bacino. All'interno dei bacini ossigenati avveniva la tipica precipitazione di gesso selenitico (a coda di rondine) associata a sottili intercalazioni di fanghi carbonatici.

Laddove i bacini profondi risultavano impoveriti in ossigeno, era più frequente la deposizione di fanghi neri solforosi ricchi di materia organica, in associazione a sottili livelli di evaporiti.

Il Calcarea di Base sovrasta transizionalmente il Tripoli (quando presente), ma può anche trovarsi in transizione sulle argille della formazione di Terravecchia. L'età messiniana è determinata in base alla posizione stratigrafica. Lo spessore arriva fino a 50 m circa.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

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.

Membro Salifero (GTL3)

Queste evaporiti non affiorano nell'area, essendo ricoperte o dalla formazione di Pasquasia o da depositi di versante che in parte la preservano dai fenomeni di dissoluzione, fenomeni che sono comunque testimoniati dalla diffusa presenza di sorgenti, con portata estremamente ridotta, da cui fuoriescono acque sature in sali e brine.

Le evaporiti sono principalmente costituite da NaCl (salgemma) e K-MgCl. Esse raggiungono uno spessore massimo tra 400 e 1100 m nei bacini a nord di Caltanissetta (Corvillo, Mandre). Lo spessore originario era probabilmente inferiore, tuttavia questi livelli sono fortemente deformati, come dimostrato dalla presenza in affioramento di strutture correlate all'interno dei depositi più recenti (pieghe rovesciate e coricate che coinvolgono le formazioni di Pasquasia e dei Trubi).

I log dei pozzi minerari spesso non raggiungono la base dei sali. Tuttavia, in alcuni pozzi è possibile trovare sedimenti riferiti alle formazioni di "Cattolica" e "Tripoli" (argille, gesso, sedimenti bituminosi). L'età è Messiniana.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 49 di 378

▪ **Formazione di Pasquasia (GPQ)**

La formazione di Pasquasia (ciclo evaporitico superiore) è un deposito clastico che giace in discordanza sulla formazione di Cattolica, ma localmente anche sopra alle argille della formazione di Terravecchia.

La deposizione del ciclo evaporitico superiore inizia con conglomerati fluviali e di fan-delta, la cui attuale giacitura è dovuta alla successiva subsidenza tettonica del bacino. Essi passano stratigraficamente verso l'alto ad una spessa successione data da argille sterili contenenti intercalazioni gessarenitiche di delta che diventano più sottili e spariscono verso sud. Corpi gessosi lenticolari occupano le parti più distali del bacino e probabilmente sono il risultato di brevi eventi di disseccamento.

L'unità è costituita da conglomerati e quarzareniti ciottolose alla base della successione, passanti verso l'alto ad arenarie bruno-rossastre a grana media o fine, in gruppi di strati tabulari da sottili a spessi (unità di delta-top) con base erosiva, gradazione normale, stratificazione interna da orizzontale a leggermente inclinata e stratificazione incrociata a dune. Corpi lenticolari di gesso selenitico e strati di gesso alabastrino, intercalati ad argille e marne, sono sviluppati nella parte superiore della successione e occupano le aree più distali del bacino.

L'età è tardo-messiniana.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	50 di 378

9.2 Assetto geologico lungo il tracciato

Galleria Santa Catena – Imbocco lato Palermo

La galleria artificiale è impostata nei litotipi prevalentemente sabbiosi del membro arenaceo della formazione Terravecchia (TRVa). È presente uno strato di coltre eluvio-colluviale di spessore compreso tra 1.5 e 3 m.

Galleria Santa Catena

La galleria si sviluppa all'interno della formazione Terravecchia, attraversando il membro arenaceo (TRVa) dall'imbocco lato Palermo fino approssimativamente alla pk 14+740, quindi il membro pelitico (TRV) fino all'imbocco lato Catania. La posizione esatta del limite, che si ritiene stratigrafico, è stimata con un margine di indeterminazione dell'ordine di 100 m almeno; essa si colloca comunque tra i sondaggi 3S1 a Ovest e 3a-F02 / 3a-GN1-S07 a Est.

Non sono presenti elementi strutturali di rilievo. La stratificazione si dispone in media con un'inclinazione di 15-30° verso NW, ma con ondulazioni a scala decametrica o ettometrica che potrebbero farne variare l'orientazione anche in maniera significativa, rispetto alla direzione di scavo.

All'interno del membro arenaceo è possibile incontrare intercalazioni di arenarie cementate dello spessore massimo di 1-2 m e/o strati di conglomerati debolmente cementati a matrice sabbiose (con ciottoli arrotondati di diametro massimo fino a 10-15 cm) dello spessore di 3-5 m. In relazione alla giacitura della stratificazione, questi livelli potrebbero essere seguiti lungo lo scavo per lunghezze dell'ordine anche di alcune decine di metri.

Nel complesso, viste le caratteristiche litologiche e geotecniche si stima per il membro arenaceo TRVa una percentuale di materiale a comportamento di tipo litoide intorno al 15% della lunghezza totale attraversata dalla galleria, valore che invece scende intorno al 5% al massimo per l'unità TRV.

Galleria Santa Catena – Imbocco lato Catania

La galleria artificiale è impostata nei litotipi argilloso-marnosi dell'unità TRV, che lungo il versante risultano ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di spessore variabile tra 1 e 4 m circa.

Galleria Nuova Marianopoli – Imbocco lato Palermo

L'imbocco e la galleria artificiale saranno realizzati nei litotipi argilloso-marnosi del membro TRV della formazione di Terravecchia, in assenza di criticità geologiche di particolare rilievo. Il substrato in posto è coperto da una coltre eluvio-colluviale a dominante granulometria fine (limoso-argillosa) di spessore variabile tra 1.5 e 4 m.

Galleria Nuova Marianopoli

Le formazioni attraversate dalla galleria sono procedendo da Ovest verso Est le seguenti:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

- Formazione Terravecchia, membro pelitico-marnoso (TRV), pk 28+126 - 32+195
- Formazione del Tripoli (TPL), pk 32+195 - 32+620
- Formazione di Cattolica, membro del Calcare di Base (GTL1), pk 32+620 - 34+280
- Formazione di Cattolica, membro Selenitico (GTL2), pk 34+280 - 34+570
- Formazione di Cattolica, membro Salino (GTL3), pk 34+570 - 34+662

A partire dall'imbocco lato Palermo i terreni intercettati sono di natura essenzialmente argilloso marnosa, riferibili al membro argilloso-marnoso della formazione di Terravecchia (TRV). Sulla base dei dati di terreno è possibile che la galleria intercetti una zona di faglia ad alto angolo intorno alla pk 31+520; la posizione esatta della struttura non è determinabile con precisione per cui si stima un margine di incertezza almeno dell'ordine di ± 100 m. La faglia è a quota galleria interamente compresa nell'unità TRV e non si ritiene che possa senza comportare cambiamenti litologici.

Si ritiene probabile che anche il passaggio alle formazioni del Tripoli e quindi del Calcare di Base avvenga attraverso zone di faglia che tenderebbero a ribassare la sequenza stratigrafica verso est. La principale di queste faglie corre lungo la strada che sale verso Marianopoli da est, dove (pur non affiorando mai chiaramente) costituisce un limite abbastanza netto all'affioramento in superficie del Calcare di Base.

Le marne e marne calcaree \pm bituminose riferibili al Tripoli sono state attraversate dal sondaggio 3a-GN2-S04, per una lunghezza di almeno 95 m (cioè almeno fino a fondo foro), il che rappresenta un dato un po' anomalo poiché lo spessore massimo riportato in letteratura per questa formazione è dell'ordine dei 40 m.

Il membro del Calcare di Base è rappresentato da calcari e calcari marnosi, caratterizzati da un diffuso microcarsismo, associati a facies brecciate (autoclastiche), con interstratificazioni più o meno sottili di marne calcaree e calcareniti e talora con tracce più o meno evidenti di idrocarburi. Si tratta comunque di una formazione litologicamente piuttosto eterogenea.

Il successivo passaggio ai Membri Selenitico e successivamente Salino della formazione di Cattolica determina la transizione da un ammasso francamente litoide a un ammasso stratigraficamente molto eterogeneo, caratterizzato da dominanti facies argilloso-marnose e da subordinate brecce argillose a clasti litoidi (calcare, gesso) con intercalazioni marnose, gessarenitiche, gessose e, verso est, saline.

La successione stratigrafica attraversata dalla galleria è caratterizzata da una generale giacitura monoclinale, immergente tra 20 e 35-40° verso SE (il versante montuoso opposto a quello su cui sorge l'abitato di Marianopoli è impostato lungo la superficie di strato che costituisce verosimilmente il limite superiore del calcare di base). Sono presenti però a scala locale numerose deformazioni legate a piegamenti a scala decametrico-ettometrica, legati probabilmente alla messa in posto delle unità tettoniche della catena, che determinano variazioni anche significative dell'assetto giaciturale. È quindi

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

probabile che anche a quota galleria l'assetto strutturale generale sia molto più complicato di quanto sia possibile ricostruire in base ai sondaggi e ai dati di superficie.

Al di là della probabile eterogeneità a livello strutturale (e quindi di rapporti geometrici tra le unità), la tratta collocata tra il contatto con le argille marnose dell'unità TRV e l'imbocco lato Catania è caratterizzata da potenziali rischi geologici di diversa natura, in particolare:

- possibili fenomeni di microcarsismo tali da indurre la presenza di cavità localizzate, potenzialmente associate a venute d'acqua concentrate.
- potenziale presenza di acque chimicamente aggressive per il calcestruzzo (solfuri, cloruri), in corrispondenza dei litotipi gessosi; questo rischio è da considerare esteso all'intero sviluppo della formazione di Cattolica.
- fenomeni di dissoluzione a breve e brevissimo termine all'interno degli orizzonti di salgemma intercettati dallo scavo; strati da metrici a plurimetrici di salgemma e sali di K-Mg sono stati incontrati a più livelli dai sondaggi 3a-GN2-S07 e 3S6 (2018), oltre che dai sondaggi 3a-S54 e 3a-S55 realizzati a est dell'imbocco lato CT della galleria. La presenza di salgemma in sottosuolo è quindi confermata.
- fenomeni di dissoluzione a medio-lungo termine sia negli orizzonti salini sia nei livelli gessosi e gessarenitici non direttamente intaccati dallo scavo della galleria.
- subsidenze superficiali in corrispondenza di orizzonti gessosi e salini soggetti a dissoluzione accelerata.

In bibliografia si rinvengono cenni relativi alla presenza di anidriti, localmente associate ai gessi della Formazione di Cattolica. Non si hanno conferme in tal senso dai sondaggi eseguiti lungo l'asse della galleria in fase di Progetto Definitivo, così come le analisi diffrattometriche eseguite in fase di Progetto Preliminare su tre campioni prelevati nel sondaggio 3S6 non avevano fornito conferme in tal senso. Il rischio di fenomeni di rigonfiamento in livelli di anidrite messi a contatto con i rivestimenti del tunnel è da ritenere basso, ma comunque da monitorare in fase di scavo attraverso un'accurata analisi dei litotipi incontrati.

Nel complesso, viste le caratteristiche litologiche e geomeccaniche dei litotipi osservate sia in affioramento sia in sondaggio, si stimano per le diverse unità geologiche incontrate in galleria le percentuali di materiale con comportamento di tipo litoide riassunte nella tabella sottostante, per un totale di circa il 30% della lunghezza totale.

Galleria Nuova Marianopoli – Imbocco lato Catania

La galleria artificiale si sviluppa integralmente all'interno della formazione di Cattolica (membro salino, GTL3) che caratterizza il tratto terminale della galleria naturale GN02, al passaggio verso la soprastante formazione di Pasquasia (GPQ). Si riscontra quindi un ammasso stratigraficamente molto eterogeneo, caratterizzato dall'alternanza di argille ± marnose, talora laminate, brecce a clasti litoidi (calcare, gesso) in matrice argillosa, laminiti gessose, gessareniti e livelli metrici o plurimetrici di gesso e sali di Na/K/Mg.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Galleria Trabona – Imbocco lato Palermo

La galleria artificiale si sviluppa integralmente all'interno della formazione di Pasquasia (GPQ). Si riscontra quindi un ammasso stratigraficamente molto eterogeneo, caratterizzato dall'alternanza di argille \pm marnose, talora laminate, brecce a tessitura massiva matrix-supported, con clasti litoidi (calcare, gesso) in matrice argillosa, laminiti gessose, gessareniti e livelli o blocchi metrici/plurimetrici di gesso stratificato (balatino) e/o cristallino.

Galleria Trabona

Le formazioni attraversate dalla galleria sono procedendo da Ovest a Est le seguenti

- Formazione di Pasquasia (GPQ)
- Formazione di Terravecchia, membro argilloso a tessitura caotica (TRVb)
- Formazione di Terravecchia, membro arenaceo-conglomeratico (TRVa)

La formazione di Pasquasia presenta le caratteristiche già descritte per le tratte precedenti, si tratta quindi di una formazione detritica in cui domina la componente argillosa, con alternanze di silti, argille marnose, livelli sabbiosi e mud-brecce a clasti carbonatici e gessosi; la frazione gessosa rappresenta una parte importante della componente clastica. A partire dal versante a est della vallecchia dell'affluente laterale del T. Mimiani iniziano ad affiorare all'interno della formazione dei blocchi e livelli di dimensioni da plurimetriche a ettometriche di gessi stratificati (alternanza di strati di gesso selenitico e balatino con intercalazioni pelitiche \pm gessose) e di gessareniti, annegati nelle argille (GPQb).

Il contatto con la formazione di Terravecchia avviene probabilmente per sovrascorrimento lungo un piano tettonico debolmente immergente verso NW, che potrebbe essere intersecato dall'asse di linea intorno alla pk 36+100, con un margine di incertezza piuttosto elevato (\pm 100 m).

I due membri TRVb e TRVa non sono facilmente delimitabili sul terreno, sia a causa della coltre eluvio-colluviale che ne maschera i rapporti stratigrafici, sia per la comune presenza di facies sabbiose anche all'interno del membro TRVb. Nel sondaggio 3a-GN3-S03 è evidente una facies argillosa di colore grigio, caratterizzata da tessiture brecciate, differente dai classici conglomerati riferibili al TRVa in quanto caratterizzate dalla presenza di clasti poligenici a spigoli vivi. Il probabile passaggio al membro TRVa avviene nel tratto interessato dalla galleria artificiale.

Nel complesso, viste le caratteristiche litologiche e geomeccaniche dei litotipi osservate sia in affioramento sia in sondaggio, si stima che nelle diverse unità geologiche incontrate in galleria le tratte caratterizzate da materiale con comportamento di tipo litoide corrispondano a circa il 10% della lunghezza totale

Galleria Trabona – Imbocco lato Catania e Galleria Salito 1 – Imbocco lato Palermo

La tratta si sviluppa al passaggio, probabilmente di tipo stratigrafico, tra il membro sabbioso della formazione di Terravecchia (TRVa) e il membro argilloso-marnoso della medesima unità (TRV).Il

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

substrato è coperto da una coltre di tipo eluvio-colluviale e detritico-colluviale continua, di spessore massimo individuato in sondaggio dell'ordine di 2.5-3 m.

Galleria Salito 1

La galleria si sviluppa quasi interamente all'interno delle argille \pm marnose e siltose del membro argilloso della formazione di Terravecchia (TRV). All'estremità est della galleria l'unità TRV è interrotta da una zona di faglia potente circa 2-4 m, visibile in affioramento lungo il corso del F. Salito. La faglia, con immersione ad alto angolo (80°ca.) verso NW, mette a contatto la formazione TRV a NW con una sequenza stratificata di sabbie e silti a SE, che è stata riferita alla formazione di Pasquasia del gruppo della Gessoso-Solfifera (GPQa), sulla base della locale presenza, nella frazione detritica, di una componente clastica gessosa.

La zona di faglia presenta un movimento di tipo obliquo-inverso, definito da indicatori cinematici come l'uncinatura a scala metrica della stratificazione; la potenza della fascia di disturbo tettonico varia come già detto da 2 a 4 m ca. In base alla sua posizione cartografata sul terreno e alla giacitura, la zona di faglia dovrebbe intersecare l'asse di linea intorno alla pk 37+370.

La stratificazione delle sabbie e silti riferite all'unità GPQa immerge di circa 30° verso NNW con frequenti variazioni legate a ondulazioni a grande scala.

Galleria Salito 1 – Imbocco lato Catania

L'imbocco si sviluppa interamente all'interno della sequenza stratificata di sabbie e silti riferita alla formazione di Pasquasia (GPQa), a SE della faglia che separa quest'unità dalle argille marnoso-siltose della formazione di Terravecchia (TRV). La stratificazione delle sabbie e silti immerge di circa 30° verso NNW con frequenti variazioni legate a ondulazioni a grande scala. Al piede del versante si osservano accumuli poco potenti di materiale detritico fine derivante dalla progressiva disgregazione del substrato, che affiora diffusamente grazie all'erosione operata dal F. Salito. Affioramenti del substrato si possono osservare inoltre lungo il corso del fiume, in corrispondenza di alcuni meandri addossati al versante.

I depositi alluvionali del F. Salito nei dintorni della zona di imbocco costituiscono un materasso dello spessore massimo di 2 m che forma alcuni terrazzi di meandro. Sono costituiti da sabbie e ghiaie stratificate con frequenti patine saline biancastre.

Galleria Salito 2 – Imbocco lato Palermo

La formazione attraversata dalla galleria è rappresentata dal Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4), caratterizzato da una successione monotona di argille \pm marnose, localmente con interstrati sabbioso centimetrici o decimetrici.

Galleria Salito 2

La galleria attraversa una successione monotona di litotipi prevalentemente argillosi riferibili al Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4). Il sondaggio 3a-GN5-S01 ha attraversato una sequenza di argille limose grigie, quindi una zona caratterizzata da tessitura brecciata e da numerose discontinuità che è

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

stata interpretata come una zona di faglia ad alto angolo, impostata in una litofacies sempre di natura argilloso-siltosa ma prevalentemente litoide, che si segue fino a fondo foro. La zona di faglia è caratterizzata dalla presenza di diversi piani di fratturazione, per uno spessore complessivo (lungo asse foro) di circa 9 m, che considerando la giacitura dei piani di frattura si traducono in uno spessore reale di 2-3 m al massimo. La faglia immerge presumibilmente verso NW ma non se ne hanno evidenze in superficie, a causa della coltre detritico-colluviale che ricopre uniformemente il versante. Essa dovrebbe presumibilmente essere attraversata dalla galleria nella tratta iniziale, intorno alla pk 38+240. Il sondaggio 3S9 ha invece attraversato una successione monotona di argille grigie a tessitura scagliosa.

Galleria Salito 2 – Imbocco lato Catania

Analogamente alla galleria naturale, l'imbocco est è impostato in una successione monotona di litotipi prevalentemente argillosi riferibili al Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4).

Galleria Masareddu – Imbocco lato Palermo

L'imbocco è impostato in corrispondenza di un possibile limite tra le Argille Variegate (AV) e il Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4), con giacitura immergente a basso angolo verso W. La natura essenzialmente argillosa di tutti i litotipi non consente di definire con certezza la posizione di questo contatto, che oltretutto rimane mascherato dai depositi superficiali (coltre eluvio-colluviale). Anche il sondaggio 3b-GN6-S01 non appare risolutivo da questo punto di vista attraversando una sequenza omogenea e monotona di argille limose grigie. È presente una coltre detritico-colluviale di spessore variabile tra 2 e 5 m ca., localmente interessata da dissesti per colamento lento o compositi.

Galleria Masareddu

La galleria si sviluppa all'interno delle unità a dominante componente argillosa del Flysch Numidico, membro di Nicosia (fino alla pk 43+460 circa) e delle Argille Variegate (da 43+460 fino all'imbocco lato Catania). La posizione del limite tra le due unità è incerta in quanto sia in superficie sia in sondaggio i litotipi argillosi che le compongono non sono facilmente distinguibili. Le distinzioni tra queste unità proposte nella cartografia CARG (Foglio Caltanissetta) si basano essenzialmente su analisi micropaleontologiche per cui in assenza di elementi che ne suggeriscano una revisione, tali distinzioni vengono qui mantenute. In sintesi la galleria attraversa una successione omogenea e monotona di litotipi che comprende argille s.s., argille siltose, limi argilloso-sabbiosi e, specie all'interno del Flysch Numidico, facies argilloso-marnose.

Galleria Masareddu – Imbocco lato Catania

L'imbocco è impostato all'interno delle Argille Variegate (AV), attraversando una sequenza omogenea e monotona di argille limose grigie. È presente una coltre detritico-colluviale di spessore variabile tra 2 e 4 m ca., che non risulta interessata da dissesti.

Galleria Xirbi – Imbocco lato Palermo

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

L'imbocco è realizzato nei litotipi argilloso-marnosi della formazione di Terravecchia (TRV), ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di versante di spessore compreso tra 2 e 4 m.

Galleria Xirbi

La galleria attraversa nell'ordine, da ovest a est, i litotipi della formazione di Terravecchia, membro argilloso-marnoso (TRV) e membro arenaceo (TRVa), il membro di Nicosia del Flysch Numidico (FYN4) e le Argille Variegate (AV). La formazione TRV/TRVa è stata attraversata dai sondaggi 3b-GN7-S01 e 3b-GN7-S02; il secondo in particolare ha messo in evidenza la presenza di facies sabbiose, che si ritiene siano interdigitate stratigraficamente con la facies argilloso-marnosa, come indicato nel profilo geologico allegato. La parte di galleria impostata nelle unità del substrato pre-tortoniano FYN4 e AV vede la prevalenza di litotipi argilloso-marnoso-siltosi o francamente argillosi, difficilmente differenziabili.

Galleria Xirbi – Imbocco lato Catania

L'imbocco sarà realizzato all'interno dei litotipi argillosi delle Argille Variegate (AV). È presente una coltre eluvio-colluviale di versante di spessore compreso tra 1 e 3 m circa.

9.3 Assetto geomorfologico lungo il tracciato

Galleria Santa Catena – Imbocco lato Palermo

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto per quanto riguarda la dinamica dei versanti, che sono interessati in maniera irregolare da lenti processi di soliflusso a carico della coltre superficiale.

Galleria Santa Catena

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per la galleria in progetto, che, per la profondità alla quale si sviluppa, non è interessata dagli effetti di eventuali dissesti superficiali. Al tempo stesso, si escludono lungo la tratta in esame fenomeni di dissesto estesi in profondità.

Galleria Santa Catena – Imbocco lato Catania

Non sono presenti dissesti in corrispondenza dell'imbocco, che non risulta interessato da criticità di tipo geomorfologico.

Galleria Nuova Marianopoli – Imbocco lato Palermo

In corrispondenza dell'imbocco non si rilevano criticità geomorfologiche di rilievo.

Galleria Nuova Marianopoli

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per la galleria in progetto, che per la profondità alla quale si sviluppa non è interessata dagli effetti di eventuali dissesti superficiali. Al tempo stesso, si escludono lungo la tratta in esame fenomeni di dissesto estesi in profondità.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Galleria Nuova Marianopoli – Imbocco lato Catania

Non sono presenti elementi geomorfologici di particolare rilievo. L'imbocco si colloca su un pendio regolare ad oggi non interessato da fenomeni particolari.

Galleria Trabona – Imbocco lato Palermo

Non sono presenti elementi geomorfologici di particolare rilievo. L'imbocco si colloca su un pendio regolare ad oggi non interessato da fenomeni particolari.

Galleria Trabona

Le principali criticità lungo la galleria sono rappresentate dalla presenza di un tratto caratterizzato da coperture inferiori a 20 m, tra le pk 36+630 e 36+690, corrispondente a una vallecola secondaria con fondovalle su cui è deposto uno strato di circa 3 m di depositi alluvionali e colluviali (sondaggio 3a-GN3-S03). Lo spessore di substrato indisturbato (argille a tessitura caotico-brecciata) compreso tra la volta della galleria e la base dei depositi alluvionali sciolti arriva in questo tratto a un minimo di circa 4 m.

Galleria Trabona – Imbocco lato Catania e Galleria Salito 1 – Imbocco lato Palermo

La vallecola che separa i due imbocchi è interessata da fenomeni diffusi di colamento lento, prevalentemente quiescenti, a carico dei terreni della coltre eluvio-colluviale superficiale. Questi fenomeni sono causati essenzialmente dallo scarso drenaggio di questi materiali, a sua volta determinato sia dalla permeabilità relativamente bassa dei depositi, sia da una morfologia locale poco acclive che tende a favorire il ristagno prolungato sui versanti e sul fondovalle delle acque di infiltrazione. Il corso d'acqua stagionale che percorre il fondovalle è caratterizzato da un'attività erosiva moderata e tende a incidere il piede dei depositi colluviali favorendone la destabilizzazione; le sponde sono definite da scarpate di erosione di altezza variabile tra 0.5 e 3 m, che localmente mostrano la tendenza ad arretrare per progressivo cedimento del ciglio.

Lungo il tracciato in esame si evidenziano le seguenti criticità:

- presenza di dissesti superficiali quiescenti a carico della coltre eluvio-colluviale,
- drenaggio superficiale difficoltoso su tutta l'area,
- presenza di un corso d'acqua con tendenza erosiva a carico delle sponde e del piede dei versanti,
- presenza all'imbocco est della GN04 di terreni parzialmente soggetti a colamento lento quiescente, per uno spessore di 2 m ca.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	58 di 378

Galleria Salito 1

Non sono presenti criticità geomorfologiche di rilievo per il tratto in galleria.

Galleria Salito 1 – Imbocco lato Catania

L'imbocco è situato in corrispondenza di una scarpata alta circa 50-60 m, originata dall'azione erosiva del corso d'acqua che in questo punto erode direttamente il substrato prequaternario; la scarpata in corrispondenza dell'asse della linea non è direttamente interessata dall'erosione fluviale, poiché è affacciata sulla superficie alluvionale terrazzata di un meandro. È però interessata da processi diffusi di erosione superficiale per ruscellamento che portano al progressivo denudamento del substrato, prevalentemente sabbioso, e generano localmente piccoli franamenti puntuali che interessano uno spessore di materiale che va da pochi decimetri fino a un massimo di 1,5-2 m. Al piede del pendio si osservano accumuli di materiale detritico-colluviale depositi sulla superficie del terrazzo alluvionale che testimoniano questa lenta degradazione superficiale.

Possibili criticità sono:

- fenomeni di erosione diffusa a carico del versante,
- acclività del pendio,
- processi di ruscellamento superficiale erosivo.

Galleria Salito 2 – Imbocco lato Palermo

La zona di imbocco si colloca su un tratto di versante regolare, interessato da fenomeni di colamento lento superficiale in stato quiescente, che si incanalano nel vallone a est dell'asse di linea e lungo il pendio a ovest. Il corridoio di progetto non è interessato da dissesti in atto o quiescenti ma sono comunque evidenti le tracce di processi di soliflusso a carico dello strato di terreno agrario e della coltre eluvio-colluviale.

Galleria Salito 2

Non si rilevano situazioni di particolare interesse dal punto di vista geomorfologico. I processi di dissesto che insistono sul versante attraversato dal tunnel hanno carattere superficiale e non si estendono oltre lo strato di coltre eluvio-colluviale, interessando solo localmente anche la porzione più superficiale di substrato alterato, a contatto con i terreni di copertura.

Galleria Salito 2 – Imbocco lato Catania

Non si rilevano criticità particolari dal punto di vista geomorfologico. Il versante risulta stabile.

Galleria Masareddu – Imbocco lato Palermo

In corrispondenza dell'imbocco si riscontra una frana attiva che presenta le caratteristiche di un movimento complesso, iniziato come rotazionale ed evoluto a colamento lento. La frana è descritta nelle

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

schede dissesti al n. 77b. Il corpo di frana risulta traslato di pochi metri nella parte apicale, mentre i meccanismi di colamento lento che si instaurano al suo interno tendono a far espandere l'accumulo al piede incanalandolo nell'impluvio che incide il versante, con asse di drenaggio circa parallelo al tracciato ferroviario.

Nella nicchia di distacco è esposta la stratigrafia della parte superficiale del versante, con una coltre detritica coinvolta nel dissesto che qui ha spessore compreso tra 2.5 e 2.7 m; la coltre appoggia su un substrato argilloso-marnoso grigio che non appare coinvolto in maniera significativa dal dissesto.

Sul lato destro dell'impluvio, a nord del tracciato, è presente un'area a franosità diffusa che corrisponde a una scarpata incisa nel substrato in posto, che non viene arata a fini agricoli in quanto troppo inclinata. Di conseguenza, la scarpata rimane esposta all'erosione, che innesca piccoli cedimenti a carico di uno strato sottile di coltre e/o del substrato stesso man mano che questo viene progressivamente alterato e disgregato dagli agenti atmosferici.

Le principali criticità rilevate in corrispondenza dell'imbocco in esame sono:

- Presenza di una frana composita attiva coinvolgente uno spessore di materiale di 2-3 m direttamente a monte dell'imbocco.
- Presenza di ristagni idrici e zone con drenaggio difficoltoso lungo tutto il versante.
- Presenza di una zona a franosità diffusa a nord dell'imbocco, che non rappresenta un elemento di rischio significativo per il tracciato ma di cui è consigliabile eseguire la sistemazione in fase di realizzazione dell'imbocco.

Galleria Masareddu

Non si evidenzino elementi geomorfologici particolarmente significativi nei confronti della galleria.

Galleria Masareddu – Imbocco lato Catania

In base alla ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica, nel tratto in esame il tracciato della linea si colloca al di sopra della quota della falda, che è in equilibrio con il corso d'acqua principale (soggiacenza a -4 m dal p.c. nel foro 3b-S11 realizzato nel fondovalle del T. Taurino).

Galleria Xirbi – Imbocco lato Palermo

Lo scavo della galleria artificiale interesserà parte di un corpo franoso. Il sondaggio 3b-GN7-S01 realizzato nella parte alta del corpo franoso, esattamente nel punto in cui è previsto lo scavo, attraversa uno spessore di materiale detritico non superiore a 1.9 m, cui segue un substrato argilloso (formazione di Terravecchia) debolmente alterato (tracce di ossidazione) ma comunque indisturbato. Il dissesto coinvolge quindi uno spessore di coltre eluvio-colluviale piuttosto modesto.

Le principali criticità quindi sono:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 60 di 378

- Presenza di una frana composta quiescente in corrispondenza della volta della galleria artificiale. La frana coinvolge uno spessore di detriti di circa 2 m nel tratto di versante intersecato dall'asse di linea.
- Probabili condizioni di drenaggio difficoltoso/rallentato nei terreni della coltre in occasione di piogge intense e/o prolungate.

Galleria Xirbi

Non vi sono particolarità geomorfologiche tali da influire sullo sviluppo dell'opera. È però da segnalare un tratto compreso tra le pk 44+875 e 45+485 caratterizzato da copertura topografica inferiore a 20 m.

Galleria Xirbi – Imbocco lato Catania

L'imbocco si affaccia sulla valle di un affluente di sinistra del F. Salito. Non vi sono aspetti geomorfologici di particolare rilievo.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	61 di 378

9.4 Indagini geotecniche

Ai fini della modellazione e della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo in progetto, sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne geotecniche di seguito elencate:

Per la fase progettuale definitiva sono stati eseguiti:

- n. 179 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 30 m e 250 m dal piano campagna), attrezzati con piezometri ed inclinometri (laddove previsti);
- n. 80 prove dilatometriche/pressiometriche nei fori di sondaggio;
- n. 129 prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 31 prospezioni sismiche MASW.
- n. 44 prove sismiche in foro tipo down-hole;

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3a-S01	30		1		1				1	1	
3a-S02	40		1		1				1	1	
3a-S03	40		1					1			
3a-SI-01	40		1	1	1						
3a-SI-02	40		1	1	1						
3a-S05	40		1					1			
3a-S06	40		1	1		1			1	1	
3a-S07	40		1			1			1	1	
3a-S08	40		1					1			
3a-S09	40		1	1	1				1	1	
3a-S10	40		1					1			
3a-S10bis	30		1		1				1	1	
3a-S11	40		1					1			
3a-S12	40		1	1	1						
3a-S13	40		1					1			
3a-S14	40		1	1		1			1	1	
3a-S15	40		1		1				1	1	
3a-S17	40		1		1						
3a-S18	40		1		1				1	1	

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	62 di 378

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3a-S19	40		1			1					
3a-S21	40		1		1				1	1	
3a-GN1-S01	30	1	1	1	1						
3a-GN1-S01a	30	1						1			
3a-GN1-S01b	30	1									1
3a-GN1-S04	40	1	1	1		1					
3a-GN1-S05	195	1	1	1	1						
3a-GN1-S06	100	1	1	1		1					
3a-GN1-S07	50	1	1	1		1					
3a-GN1-S08	30	1	1	1		1					
3a-GN1-S08a	30	1						1			
3a-S22	40		1		1				1	1	
3a-S23	30		1		1						
3a-S24	40		1		1				1	1	
3a-S25	40		1	1				1			
3a-S26	40		1			1					
3a-S27	40		1	1				1			
3a-S29	40		1		1				1	1	
3a-S30	40		1	1				1			
3a-S31	30		1		1				1	1	
3a-S32	30		1		1				1	1	
3a-S33	40		1		1				1	1	
3a-S34	40		1		1						
3a-S35	40		1	1				1			
3a-S36	40		1						1	1	1
3a-S36a	18					1					
3a-S37	40		1	1				1			
3a-S38	40		1		1				1	1	
3a-SI-05	40		1	1	1						
3a-S39	40		1	1				1			
3a-S40	40		1	1	1					1	
3a-S41	40		1	1				1			
3a-S42	40		1	1	1						

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	63 di 378

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3a-S43	40		1	1				1			
3a-S44	40		1	1	1					1	
3a-S45	30		1	1	1						
3a-S46	30		1	1	1						
3a-S46bis	30								1	1	1
3a-S47	30		1	1				1			
3a-S48	30		1	1	1						
3a-S49	40		1	1	1					1	
3a-S50	40		1					1			
3a-S51	40		1	1							
3a-S52	40		1						1	1	1
3a-S52a	10					1					
3a-S52bis	30		1	1							
3a-GN2-S01	30					1					
3a-GN2-S01a	30							1			
3a-GN2-S01b	30										1
3a-GN2-S02	45		1	1		1					
3a-GN2-S03	255	1	1	1				1			
3a-GN2-S04	275	1	1	1	1						
3a-GN2-S05	225	1	1	1	1						
3a-GN2-S06	200	1	1	1	1						
3a-GN2-S07	105	1	1	1	1						
3a-GN2-S07b	105							1			
3a-GN2-S08	30	1	1	1		1					
3a-GN2-S08a	30										1
3a-GN2-S08b								1			
3a-S53	40		1	1	1						
3a-S54	40		1	1	1					1	
3a-S53bis	30		1	1	1						
3a-S55	40		1	1				1			
3a-GN3-S01	30/1/00	1	1	1	1						

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	64 di 378

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3a-GN3-S01a	30	1						1			
3a-GN3-S01b	30	1									1
3a-GN3-S02	150	1	1	1	1						
3a-GN3-S03	30	1	1	1		1					
3a-GN3-S04	50		1	1	1						
3a-GN4-S01	30					1					
3a-GN4-S02	30	1	1	1	1						
3a-GN4-S02a	30	1	1	1				1			
3a-S56	40		1	1	1						
3a-S56bis	40										
3a-S57	40		1	1	1				1	1	
3a-GN5-S01	30	1	1	1	1						
3a-GN5-S01a	30		1					1			
3a-GN5-S01b											1
3a-GN5-S03	30	1	1	1	1						
3a-GN5-S03a	30							1			
3a-GN5-S03b	30										1
3a-SI-08a	30										1
3a-SI-08	30		1	1		1					
3b-S01	30		1			1					
3a-SI-09	30		1	1		1					
3a-SI-09a	30										1
3b-S02	40		1					1			
3b-S03	40		1	1							1
3b-S03a	10				1						
3b-S04	30		1		1				1	1	
3b-S05	30		1		1						
3b-S06	40		1					1			
3b-S07	40		1	1							1
3b-S07a	10					1					
3b-S08	40		1					1			

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	65 di 378

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3b-S09	40		1	1	1					1	
3b-GN6-S01	35	1	1	1				1			
3b-GN6-S01a	35										1
3b-GN6-S01b	18					1					
3b-GN6-S02	65	1	1	1		1					
3b-GN6-S03	35	1	1	1		1					
3b-GN6-S04	45	1	1	1				1			
3b-GN6-S04a	32					1					
3b-S10	40		1					1			
3b-S11	40		1	1	1					1	
3b-S12	40		1					1			
3b-GN7-S01	35	1	1	1				1			
3b-GN7-S01a	30										1
3b-GN7-S01b	30					1					
3b-GN7-S02	40	1	1	1		1					
3b-GN7-S03	40	1	1	1		1					
3b-GN7-S04	50	1	1	1		1					
3b-GN7-S05	30	1	1	1				1			
3b-GN7-S05a	30										1
3b-GN7-S05b	25					1					
3b-GN8-S01	30	1	1	1		1			1	1	
3b-S13	30		1			1			1	1	
3a-V04	40		1		1				1	1	
3a-V04bis	30		1		1				1	1	
3a-V06	40		1		1				1	1	
3a-V07	40		1		1				1	1	
3a-V09	40		1		1				1	1	
3a-V10	40		1		1				1	1	
3a-V13	40		1		1				1	1	
3a-SI-03	30		1	1	1						
3a-SI-04	40		1	1		1					

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	66 di 378

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3a-SI-04a	40										1
3a-SI-06	30		1	1		1					
3a-SI-06a	30										1
3a-SI-07	30		1	1		1					
3a-SI-07a	30										1
3a-VI19	40		1	1				1			
3a-VI20	40		1	1	1						
3a-VI21	40		1	1				1			
3a-VI22	40		1	1	1						
3a-VI23	30		1	1	1						
3b-V16	30		1			1					
3b-V18	30		1			1					
3b-SI-10	30		1	1		1					
3b-SI-10a	30										1
3b-SI-V08	30		1			1					
3b-SI-V09	40		1	1		1					
3a-SI-13	30		1	1		1					
3b-V19	35					1					
3b-V20	40							1			
3b-V21	35										1
3b-V21a	35					1					
3a-F01	125	1	1	1			1				
3a-F02	30	1	1	1		1					
3a-F02a	30	1						1			
3a-F03	30	1	1	1		1					
3a-F03a	30							1			
3a-F04	90	1	1	1		1					
3b-F01	30	1	1	1				1			
3b-F01a	15					1					
3b-F01b	25										1
3b-F02	70	1	1	1		1					
3b-F03	30	1	1	1		1					

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	67 di 378

ID	Prof.	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove Menard DTM	PZ Norton	PZ Casagrande	Pz elettrico	Down Hole	Masw	HVSR	Inclinometro
3b-F03a	30							1			
3b-F04	80	1	1	1		1					

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 68 di 378

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 177. Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- prove di taglio diretto (TD);
- prove di compressione triassiale (CIU, CID, UU);
- prove di compressione monoassiale;
- prove di rigonfiamento impedito;
- prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg.

Nel corso della campagna di indagini eseguita nel 2018, complessivamente nel Lotto 3 sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- n. 14 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, di cui 13 strumentati con piezometri. All'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite n. 24 prove di permeabilità, n. 16 prove pressiometriche ed n. 66 prove SPT.

Il numero totale dei campioni prelevati nel settore di intervento del Lotto 3 e sottoposti a prove di laboratorio è di 94, di cui 60 campioni indisturbati di terreno, 34 rimaneggiati. Sui campioni prelevati sono state compiute le seguenti prove:

- prove di taglio diretto (TD);
- prove di compressione triassiali (CIU, CID, UU);
- prove edometriche.

Nella campagna di indagini pregressa (2013) sono state, invece, eseguite le seguenti indagini:

- n. 4 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, strumentati con piezometri. Prove di permeabilità ed SPT in foro di sondaggio.
- n. 3 prospezioni sismiche MASW.
- prove di laboratorio.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda al documento "Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica" (Rif. [16]).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.5 Misure e controlli di concentrazione di metano nei fori di sondaggio

Durante la perforazione dei fori di sondaggio (Campagna di indagini 2018-2019, cfr. 9.4), lungo il tracciato della galleria, sono state misurate e controllate eventuali concentrazioni di gas. Le misure sono state eseguite a boccaforo, con esplosimetri manuali che rilevano concentrazioni di O₂, H₂S, CO e CH₄. Gli esplosimetri utilizzati forniscono valori volumetrici in percentuale (O₂) e ppm (H₂S e CO). La concentrazione di metano è espressa come percentuale del “Limite inferiore di esplosività” (LEL), pari al 5% in volume.

Le rilevazioni sono state eseguite a boccaforo aperto (ovvero non chiuso ermeticamente con tappo impermeabilizzante), generalmente:

- al termine di ogni manovra di recupero della carota, nei fori perforati con carotaggio continuo; ogni (1,0÷1,5) m di avanzamento, interrompendo temporaneamente la perforazione, nei sondaggi a distruzione di nucleo.

Sono inoltre analizzati i risultati delle indagini geognostiche e dei rilievi gas eseguiti a boccaforo dei sondaggi lungo i tracciati degli altri Lotti, che interessano le stesse formazioni attraversate dalle gallerie del Lotto 3.

Dall’analisi dei risultati si ricava che è stato rilevato metano nell’attraversamento di tutte le formazioni interessate dal tracciato, in particolare:

- Si è rilevato metano nella litofacies sabbioso-conglomeratica (TRVa) del Terravecchia (Figura 98). In particolare, nel sondaggio 3a-GN1-S06 (2019) concentrazioni di metano non nulle (2÷8%LEL) a boccaforo sono state misurate al raggiungimento di 40,5 m s.p.c., in corrispondenza di argille limoso marnose con livelli di sabbia fine cementata. Sempre nel TRVa, nel foro 3S01 (2018), strumentato con piezometro a tubo aperto, che ha intercettato alternanze di livelli permeabili (sabbie da debolmente addensate ad addensate e ghiaie) e livelli praticamente impermeabili (argille ed argille limose), nel tratto fenestrato (circa a quota galleria), un mese dopo la fine della perforazione, si è registrato il 24%LEL (1,2% in volume di metano in aria).
- Nella Formazione di Pasquasia (GPQ) e nella Formazione di Cattolica (GTL1, GTL2 e GTL3), il sondaggio 3a-GN2-S07 ha mostrato presenza di gas a varie profondità, a partire da 22,7 m s.p.c., anche a foro aperto (non impermeabilizzato con tappo a chiusura ermetica).
- Il sondaggio 3S11 ha attraversato argille limose, debolmente sabbiose e localmente marnose, a struttura scagliettata, appartenenti alla formazione del Flysh Numidico FYN4; dopo un mese dal completamento della perforazione il rilievo ha fornito un’elevata concentrazione di metano pari a 92%LEL (4,6% in volume di metano in aria).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 70 di 378

9.6 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato. L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati nell'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [17]). Nei paragrafi che seguono si riepilogano in sintesi i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica per ciascuna delle formazioni interessate dallo scavo delle gallerie.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 71 di 378

9.6.1 Formazione TRV

La formazione Terravecchia (TRV) (Tortoniano superiore - Messiniano inferiore) è costituita prevalentemente da limi e argille e/o marne grigie e grigio verdastre o azzurrognole. Intercetta solo la parte finale del tracciato della galleria

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del TRV.

Galleria Santa Catena

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	72 di 378

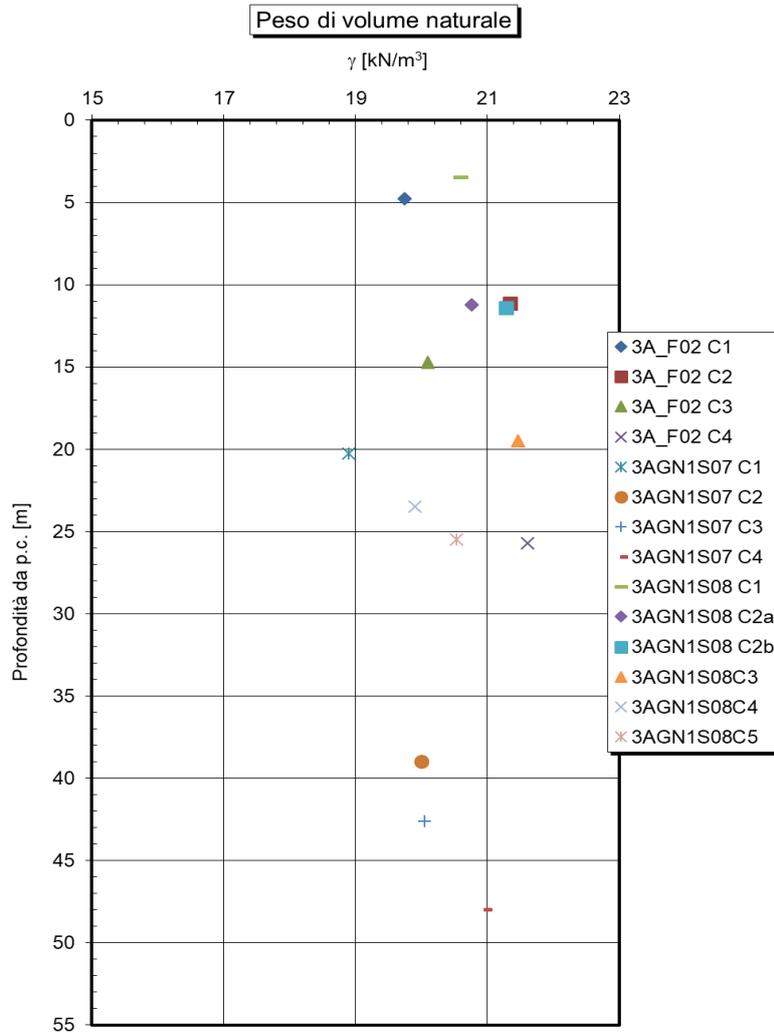


Figura 19: Galleria Santa Catena – TRV – peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	73 di 378

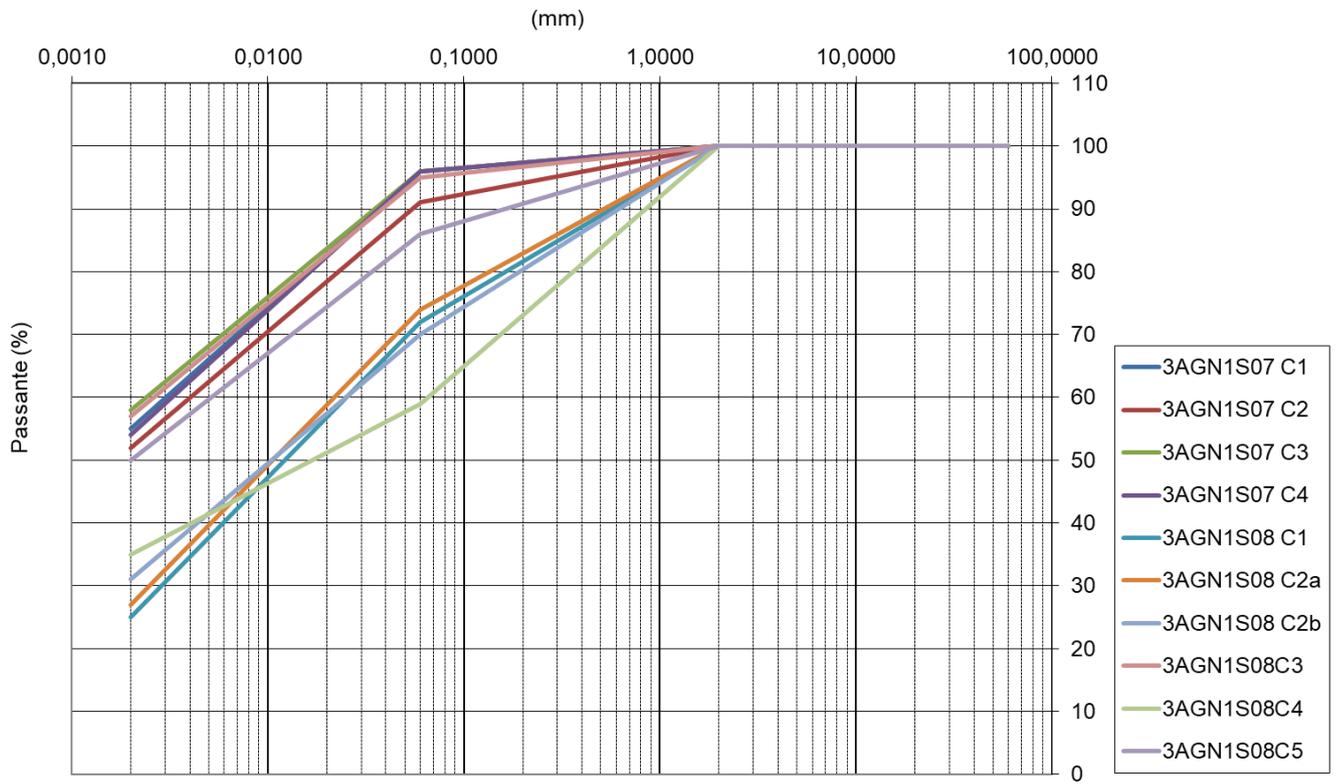


Figura 20: Galleria Santa Catena – TRV—fuso granulometrico

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	74 di 378

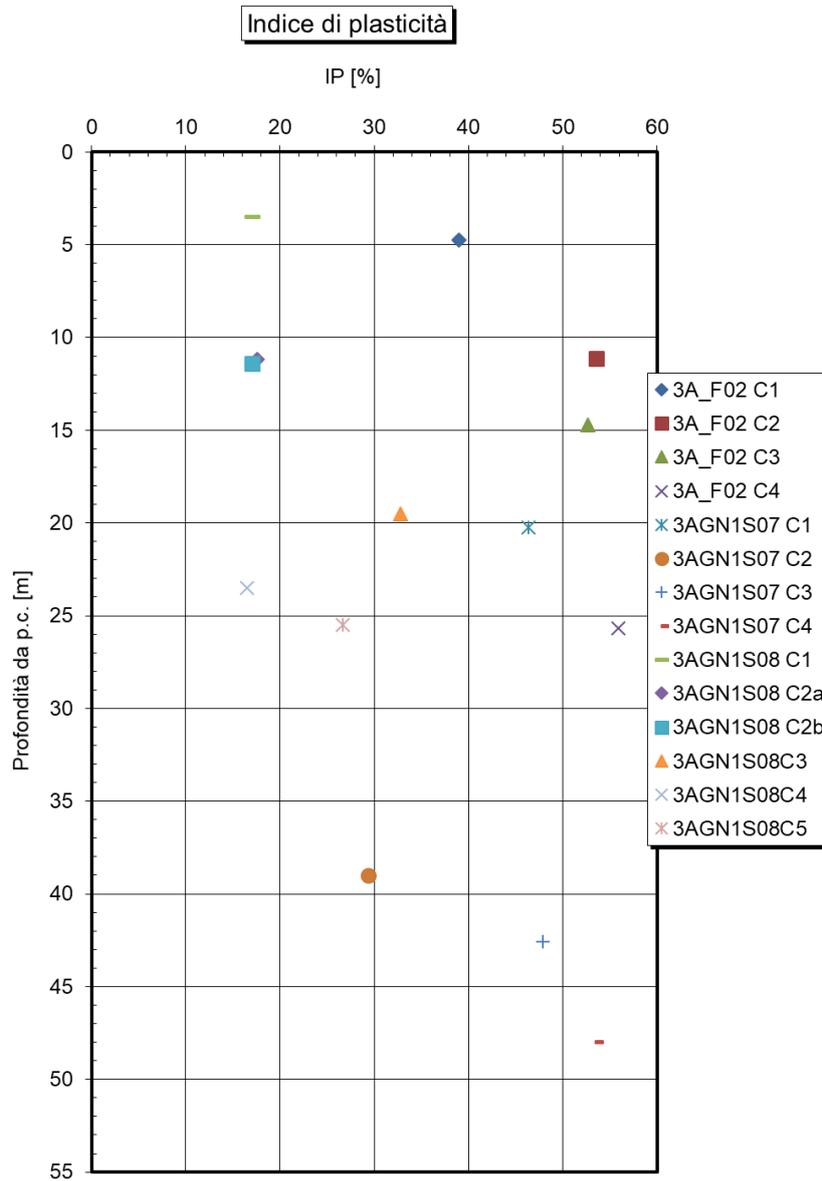


Figura 21: Galleria Santa Caterina – TRV—indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	75 di 378

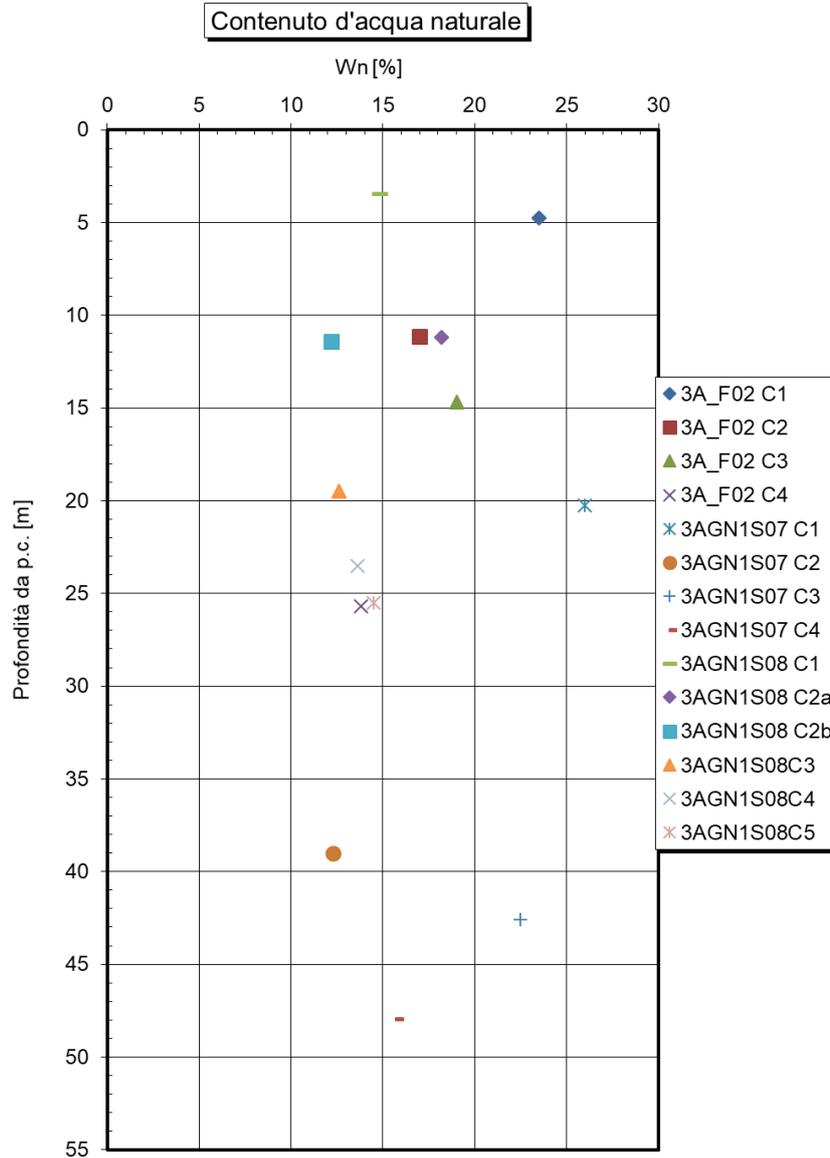


Figura 22: Galleria Santa Catena – TRV—contenuto d'acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

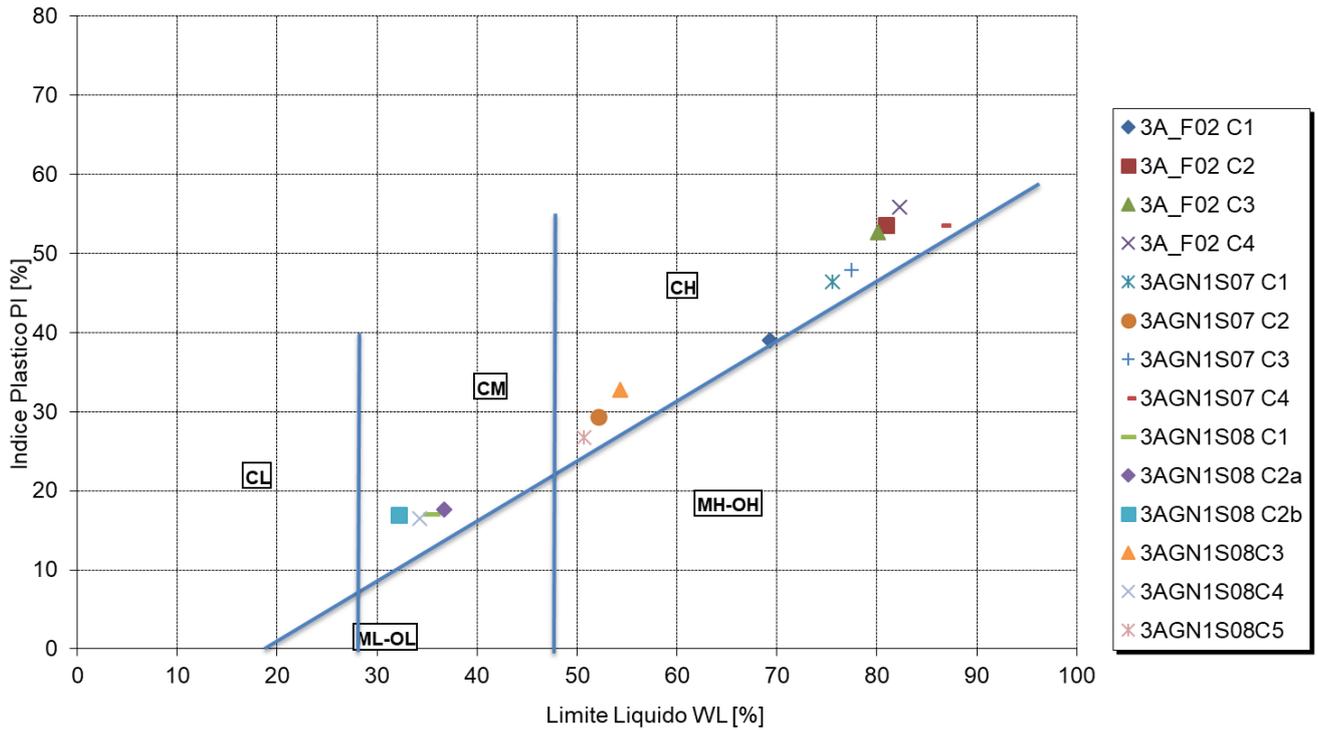


Figura 23: Galleria Santa Catena – TRV—carta di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	77 di 378

Sono state eseguite n.2 prove triassiali non consolidate non drenate sui campioni del sondaggio 3AGN1S08, da cui si sono ottenuti valori della resistenza al taglio non drenata di 423 kPa e 136 kPa rispettivamente alle profondità di 24 metri e 48 metri.

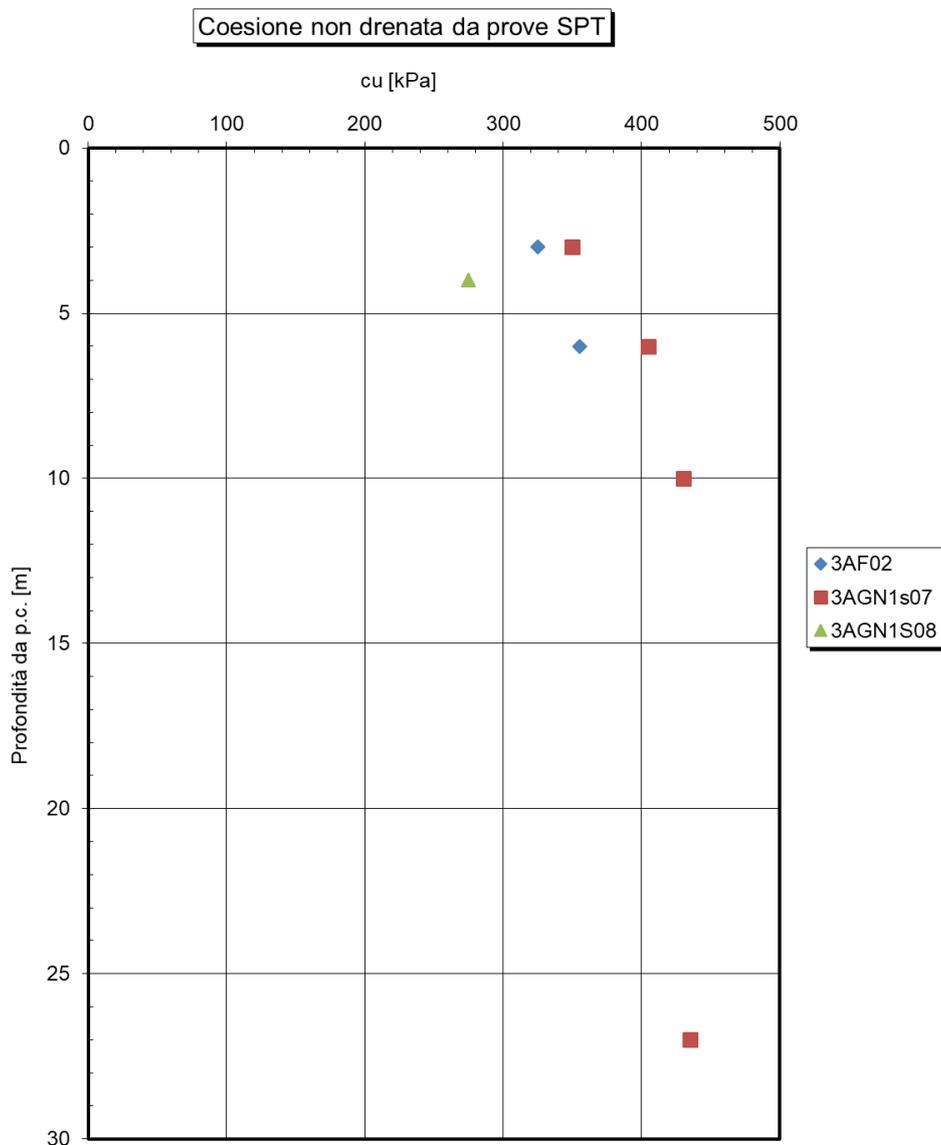


Figura 24: Galleria Santa Catena – TRV – resistenza al taglio non drenata da prove SPT

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' derivante dall'elaborazione delle prove triassiali condotte sui due campioni dei sondaggi 3a-GN1-S07 (C13) e 3a-GN1-S08 (C15) restituisce valori di intercetta di coesione c' pari a 16 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 27° . I risultati si riferiscono a campioni prelevati a profondità rispettivamente di 42,6 m e 25,5 m da piano campagna.

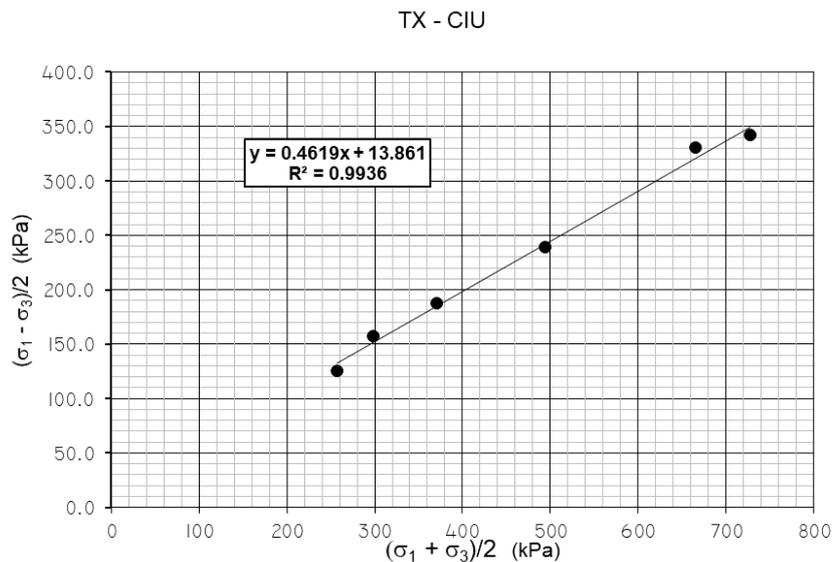


Figura 25: Galleria Santa Catena – TRV - Involuppo di resistenza delle prove triassiali

Le 9 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati evidenziano un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 45 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 24° . Le profondità di prelievo dei 9 campioni variano tra 11,4 e 48 m da piano campagna.

TD - TRV

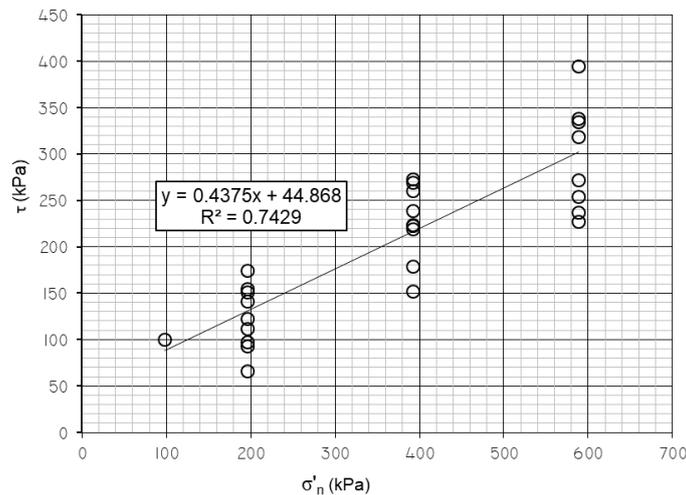


Figura 26: Galleria Santa Catena – TRV - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Come si evince dalla Figura 26 i risultati delle prove forniscono valori abbastanza dispersi; risulta pertanto possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli inviluppi di resistenza (Figura 27). Nello specifico l'inviluppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 13 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 21° , mentre quello superiore coesione c' pari a 50 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 28° .

TD - TRV

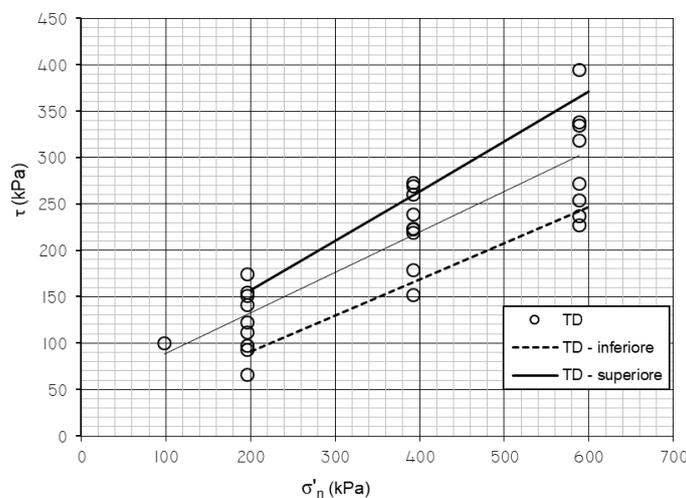


Figura 27: Galleria Santa Catena – TRV - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Complessivamente sono state eseguite 6 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN1-S06, 3a-GN1-S07 e 3a-GN7-S02 a profondità comprese tra 34,8 e 88 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ medio-bassi e riassunti nella Tabella 4.

Tabella 2 – TRV - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN1-S07	CI 3	42.6	3.3
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	1.4
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	2.9
3a-GN1-S06	CI 3	76.2	2.7
3a-GN1-S06	CI 4	81.7	2.3
3a-GN1-S06	CI 5	88.0	2.4

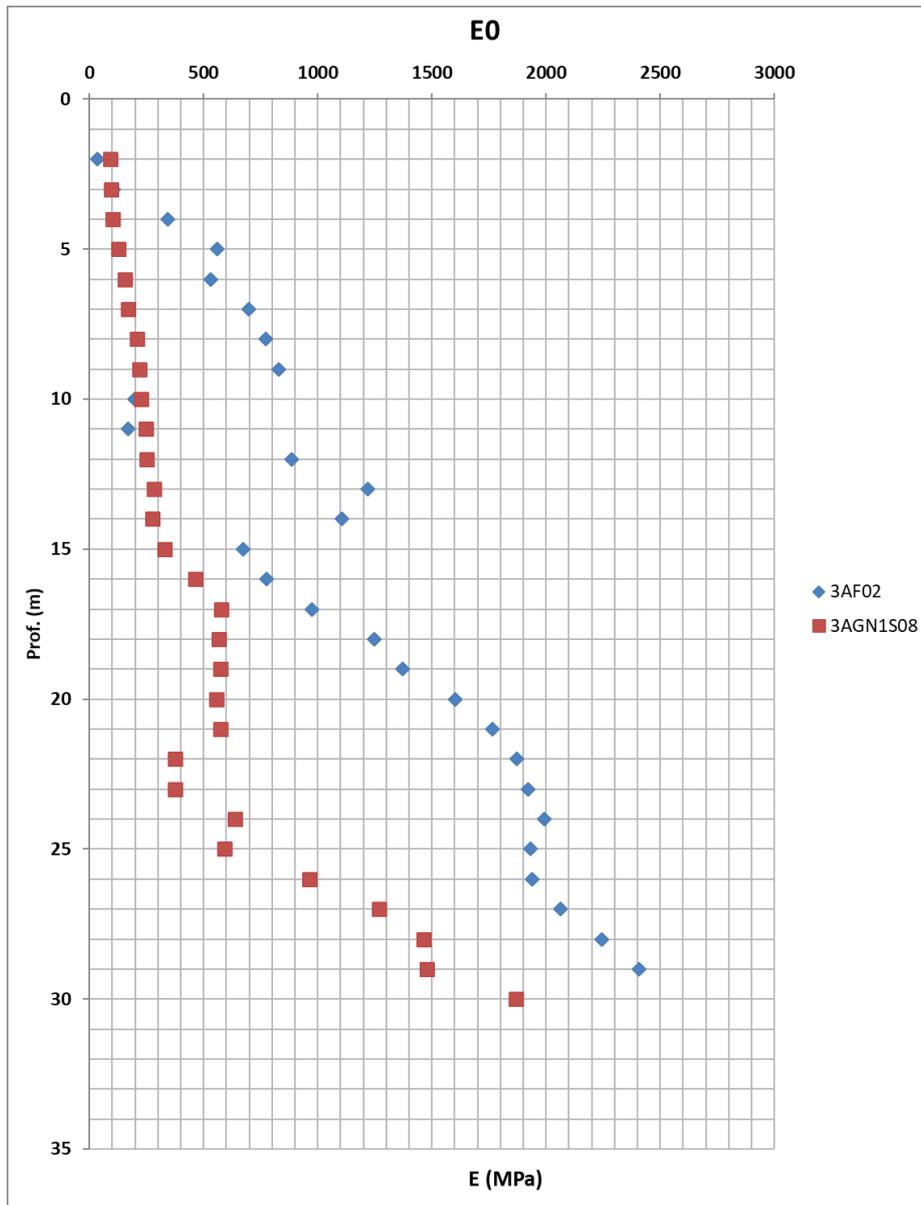


Figura 28: Galleria Santa Catena – TRV – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)

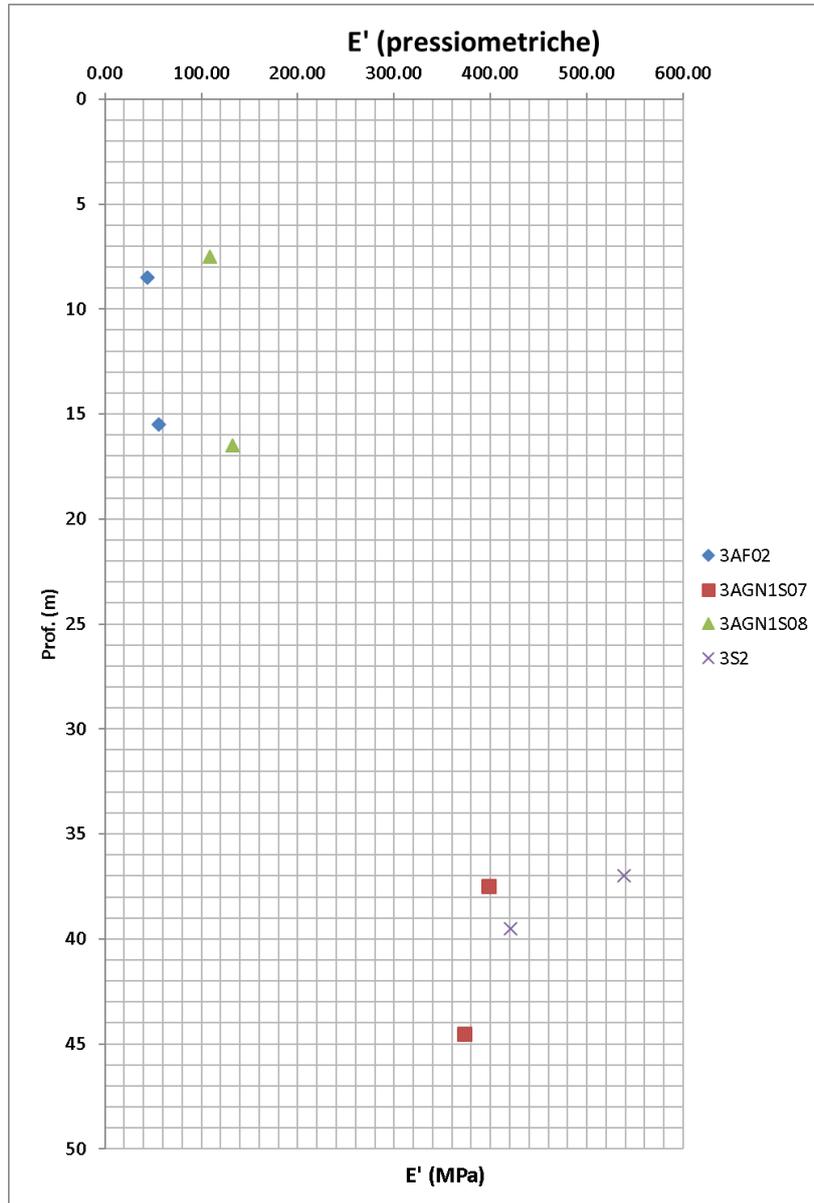


Figura 29: Galleria Santa Catena – TRV – modulo di Young da prove pressiometriche

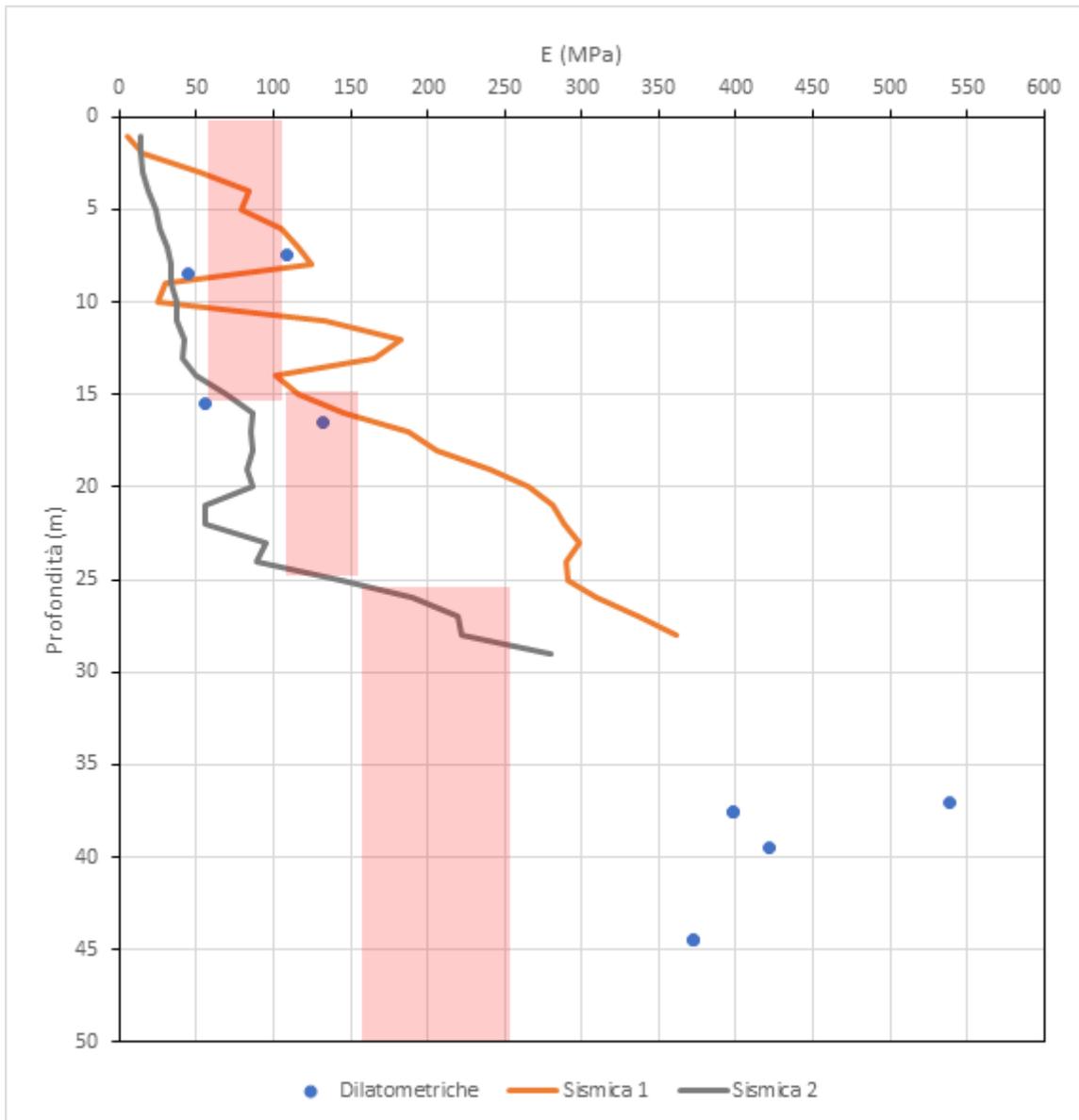


Figura 30: Galleria Santa Catena – TRV—range caratteristici - modulo di Young operativo

Si è considerato un fattore riduttivo del modulo dinamico pari a 0.15 in assenza di informazioni in merito.

Per profondità maggiori si fa riferimento alle elaborazioni dell'intero lotto, in particolare a quelle effettuate a grandi profondità nella medesima formazione per la galleria Nuova Marianopoli con particolare riferimento quindi

alle indagini disponibile per coperture maggiori di 50m e relativo andamento teorico caratteristico preso a riferimento nei calcoli.

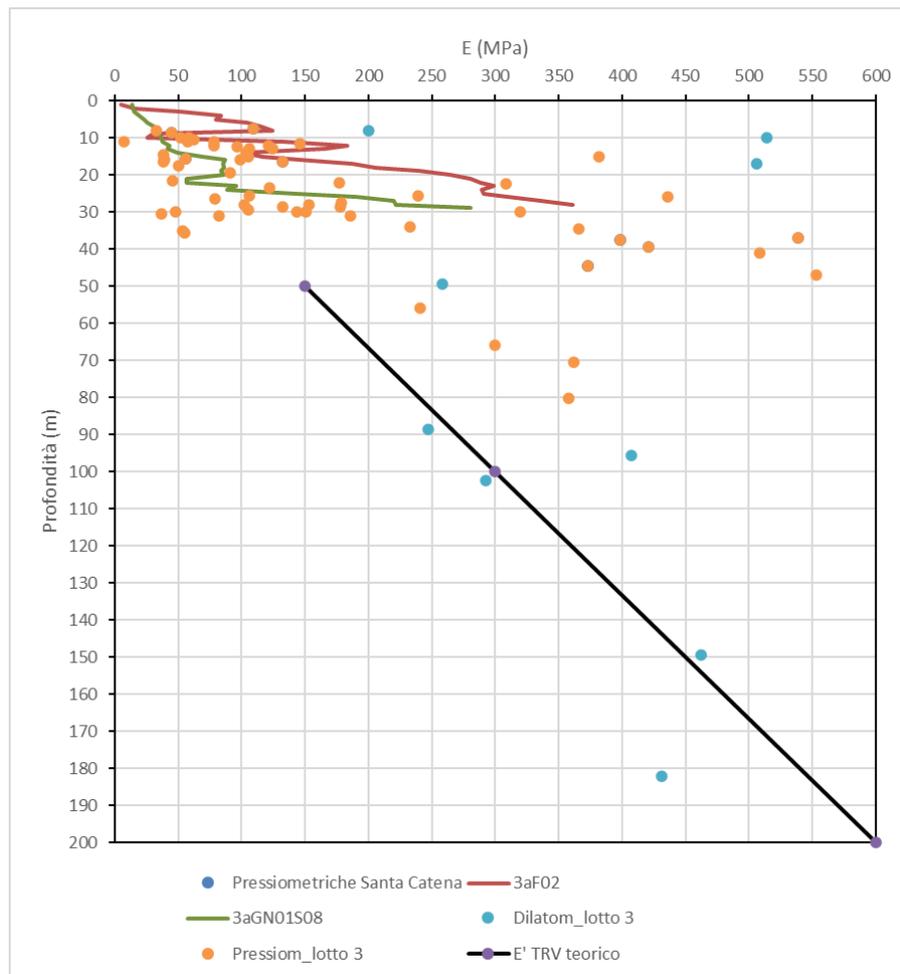


Figura 31: Galleria Santa Catena – TRV - modulo di Young operativo a profondità maggiori di 50m

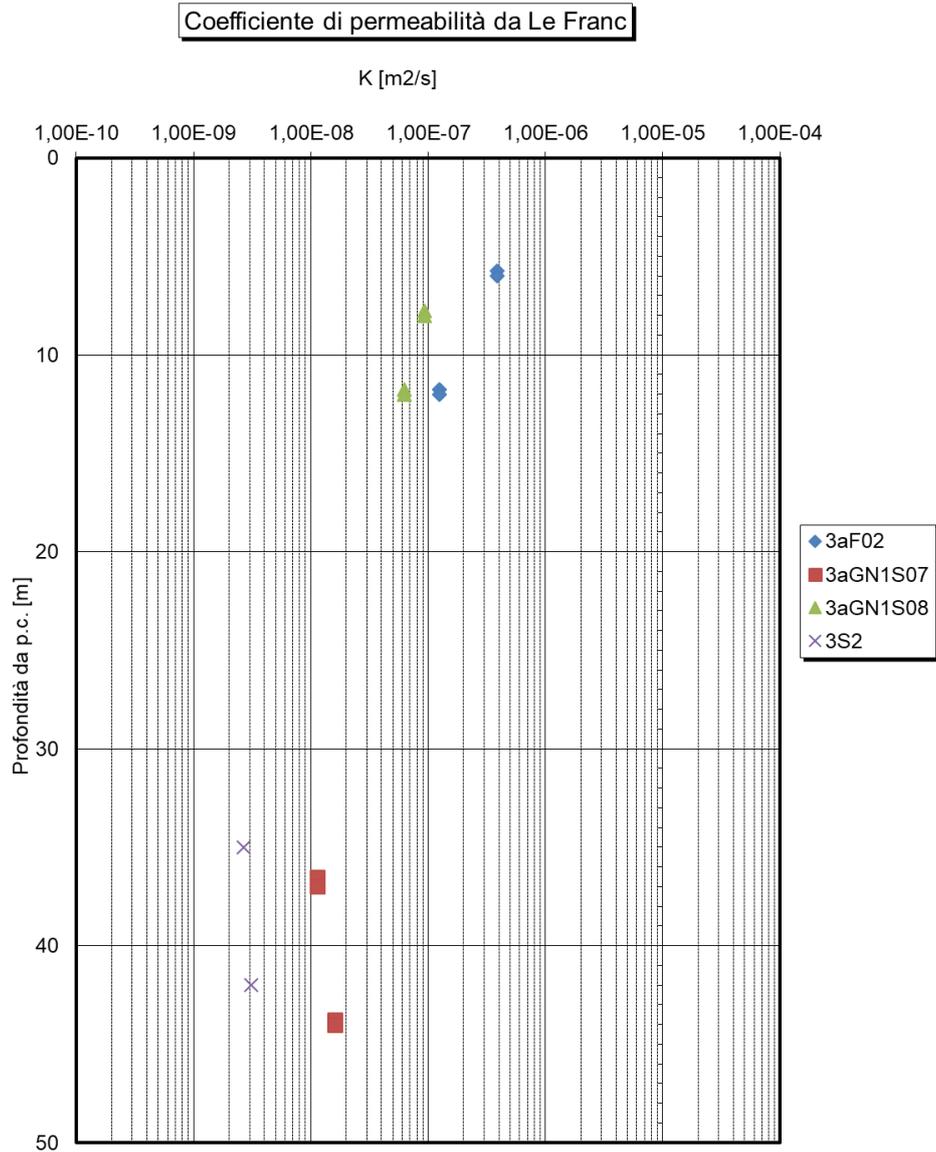


Figura 32: Galleria Santa Catena – TRV – permeabilità da prove in sito

Si riportano dunque le tabelle per classi di copertura dei parametri assunti lungo il tracciato della Galleria Santa Catena.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 3 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Santa Catena – TRV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν	E	c'	C_u	ϕ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-15	TRV	21	-	-	-	0.3	0.050-0.100	24-51	225	19-27
15-25	TRV	21	-	-	-	0.3	0.100-0.150	24-51	225	19-27
25-50	TRV	21	-	-	-	0.3	0.150-0.250	24-51	500	19-27
50-78	TRV	22	-	-	-	0.3	0.250-0.300	59-81	500-594	19-20

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 m_i = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza, per profondità fino a 50 m da p.c., sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.2, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione TRV per il Lotto 3.

Per i parametri di resistenza per profondità maggiori di 50 m da p.c., si è fatto riferimento all'involuppo curvilineo riportato nel capitolo 9.6.3, che fornisce il valore di resistenza a taglio in funzione dello stato tensionale efficace in sito.

Galleria Nuova Marianopoli

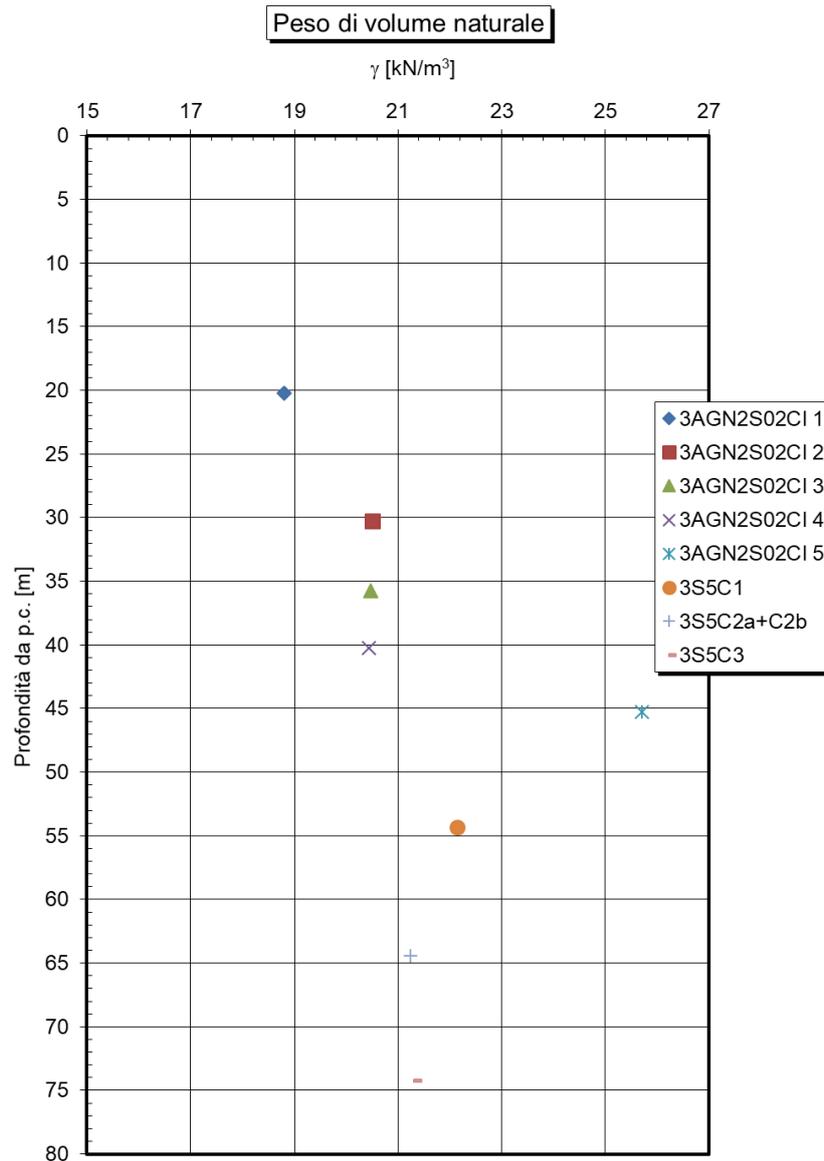


Figura 33: Galleria Nuova Marianopoli - TRV - peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	88 di 378

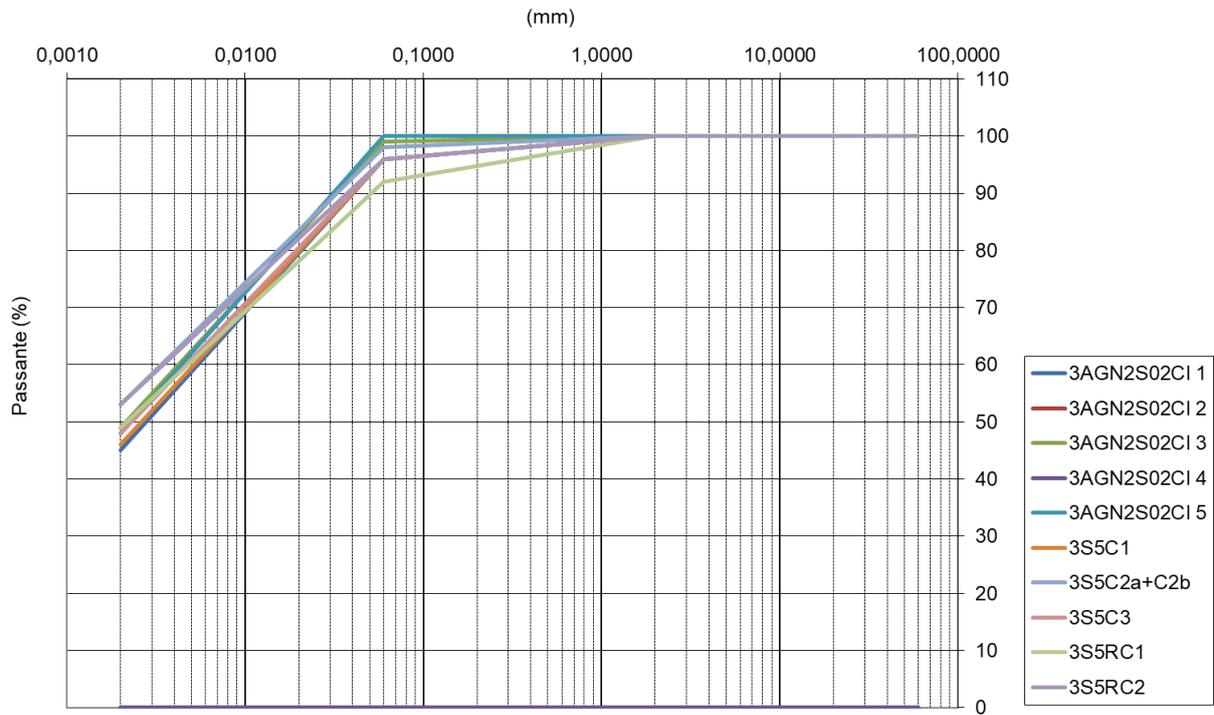


Figura 34: Galleria Nuova Marianopoli – TRV -fuso granulometrico

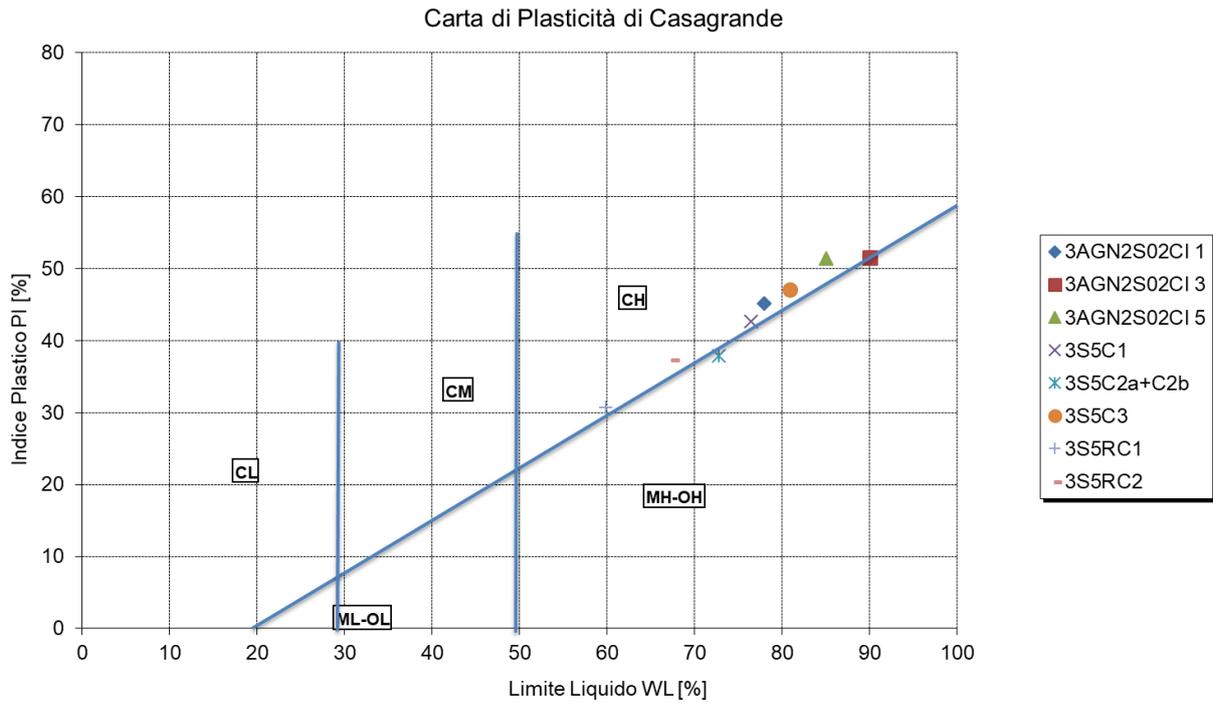


Figura 35: Galleria Nuova Marianopoli – TRV -Carta di plasticità di Casagrande

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	90 di 378

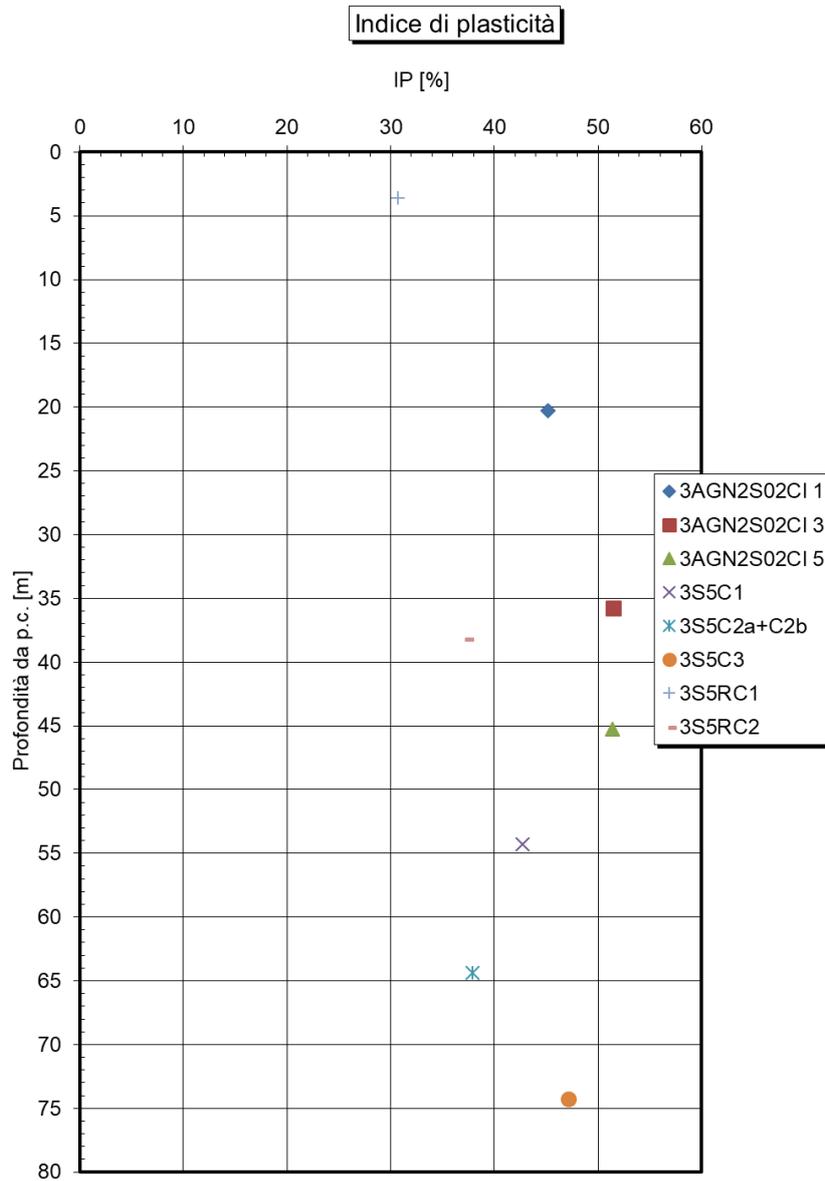


Figura 36: Galleria Nuova Marianopoli – TRV Indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	91 di 378

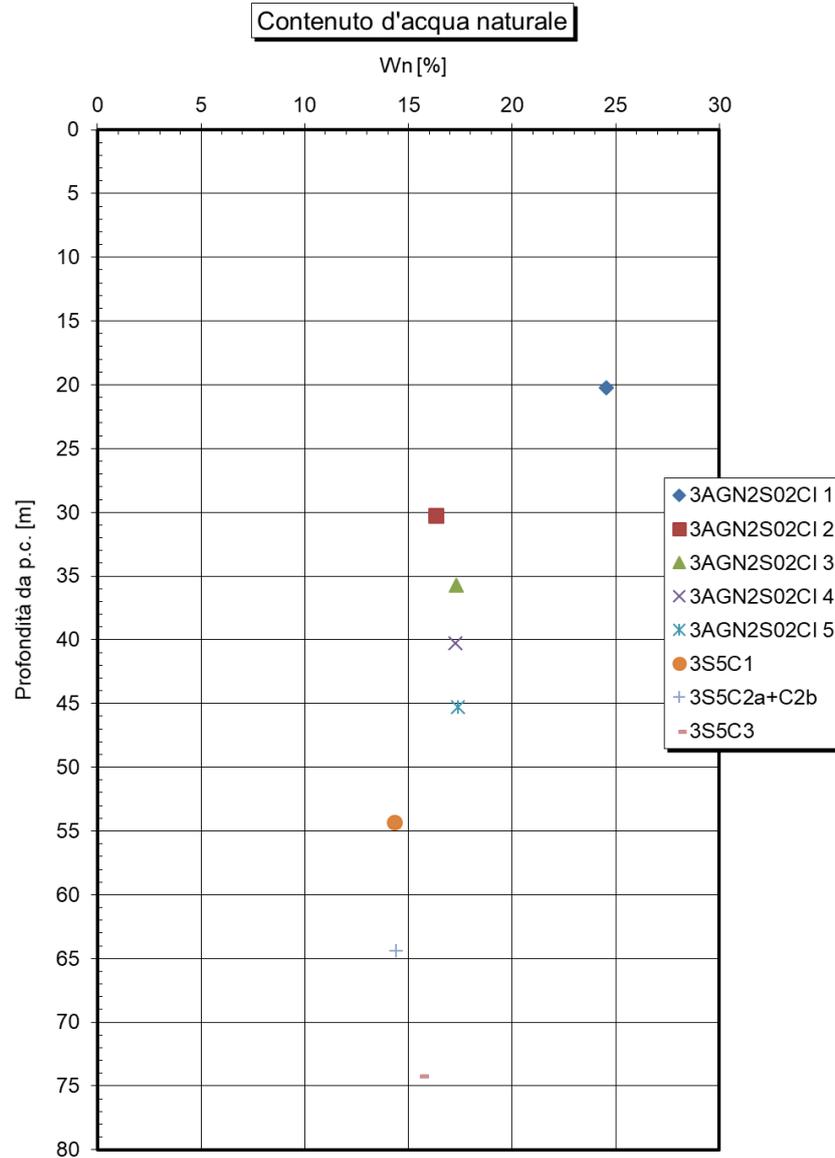


Figura 37: Galleria Nuova Marianopoli – TRV Contenuto d'acqua naturale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Sono state eseguite n.3 prove con il pocket su campioni del sondaggio 3S5 da cui è stato possibile ottenere valori della coesione non drenata di circa 300 kPa alle profondità di 55 metri, 65 metri e 75 metri. Sono inoltre state eseguite n.3 prove ad espansione laterale libera (n.2 su campioni del sondaggio 3AGN2S02, n.1 su un campione del sondaggio 3AGN2S03) da cui si sono ottenuti valori della coesione non drenata di 230 kPa, 316 kPa e 2365 kPa rispettivamente alle profondità di 35 metri, 40 metri e 250 metri.

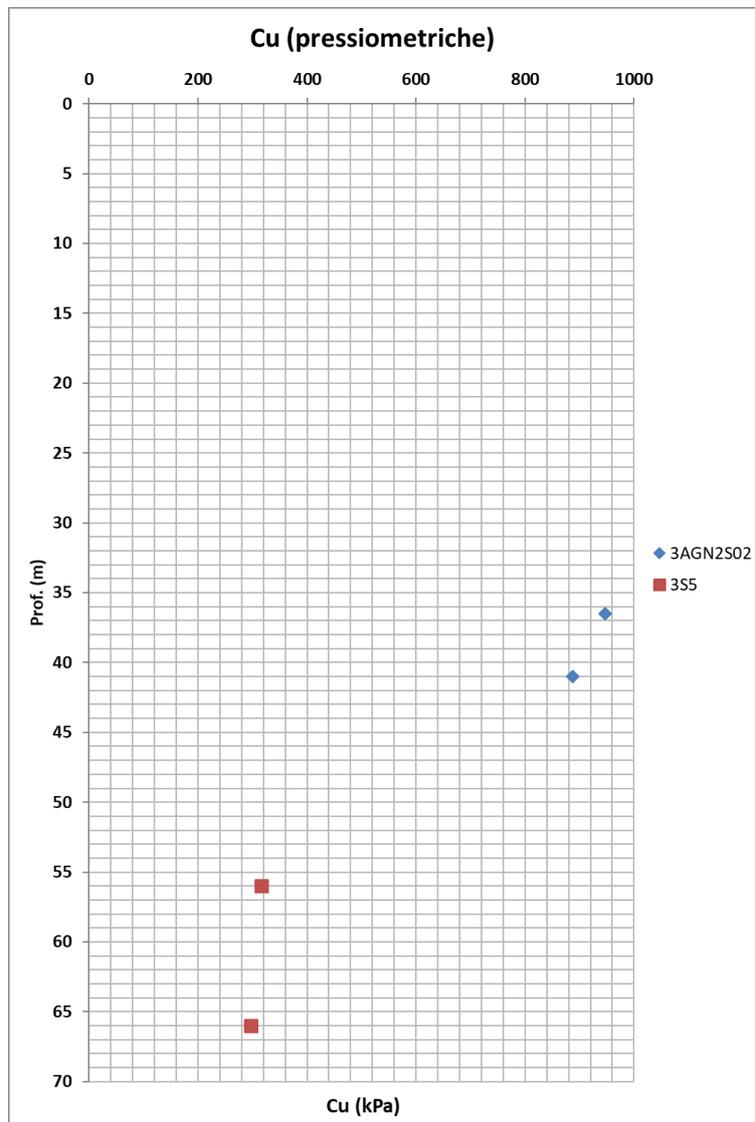


Figura 38: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche

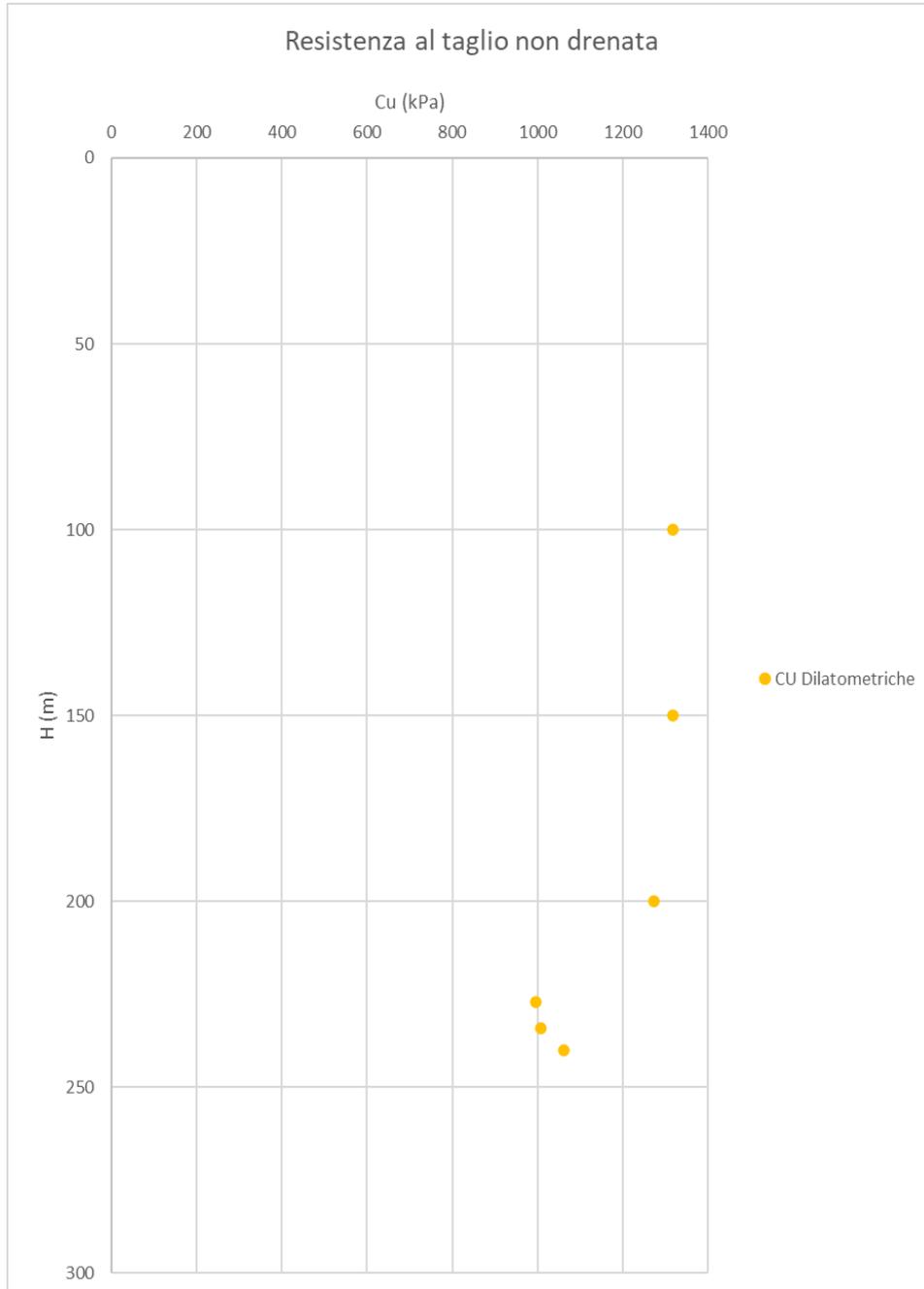


Figura 39: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– resistenza al taglio non drenata da prove dilatometriche

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO					
	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA					
TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI						
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	94 di 378

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. In questo caso una volta stimata la pressione limite efficace anche dalle prove dilatometriche si è pensato di sfruttare le note correlazioni di letteratura (Amar e Jezequel, 1972): $C_u = (p_l - p_o) / 5.5$ (KPa). Pertanto i valori di C_u hanno consentito di valutare la modifica delle caratteristiche di consistenza della formazione in esame anche ad elevate profondità e quindi avere indirettamente informazioni sulla modifica delle caratteristiche di rigidità ad essa correlata. Per i parametri di resistenza non drenati si evidenzia soprattutto se si analizziamo i dati dell'intero lotto una grande variabilità dei valori soprattutto nei primi 50m circa di profondità probabilmente connessa con strati sovraconsolidati e/o marnosi più consistenti. In profondità tale dispersione sembra essere meno evidente complice probabilmente anche il numero più esiguo di prove disponibili. Una valutazione teorica cautelativa dei range caratteristici e del relativo andamento è rappresentata nel grafico: per coperture maggiori di 50m si è assunto un profilo cautelativo linearmente crescente con la profondità pari a $C_u = 5.9z$ che interpola i dati disponibili e si avvicina ad un andamento tipico di un argilla NC.

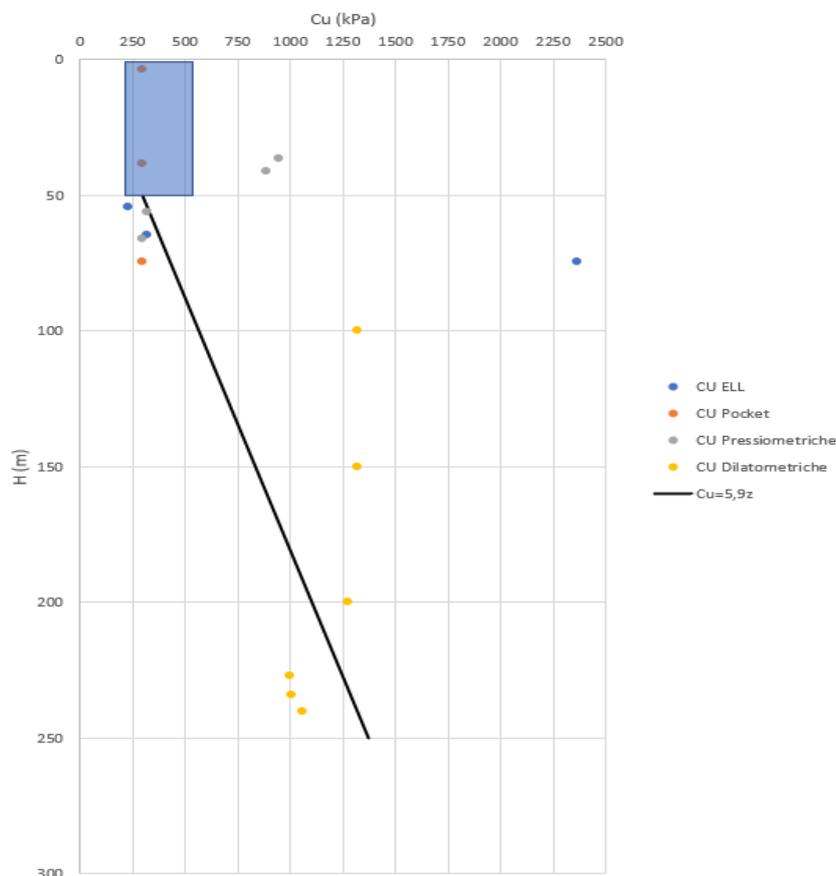


Figura 40: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– resistenza al taglio non drenata da prove dilatometriche, da prove pressiometriche, da pocket e da prove ad espansione laterale libera

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' derivante dall'elaborazione delle prove triassiali consolidate drenate condotte su due campioni del sondaggio 3a-GN2-S01 (MC2 e MC4) e su due campioni del sondaggio 3a-GN2-S02 (CI2 e CI4) restituisce una buona correlazione con valori di intercetta di coesione c' pari a 26 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 23°. I risultati si riferiscono a campioni prelevati a profondità comprese tra 13,5 m e 40,5 m da piano campagna.

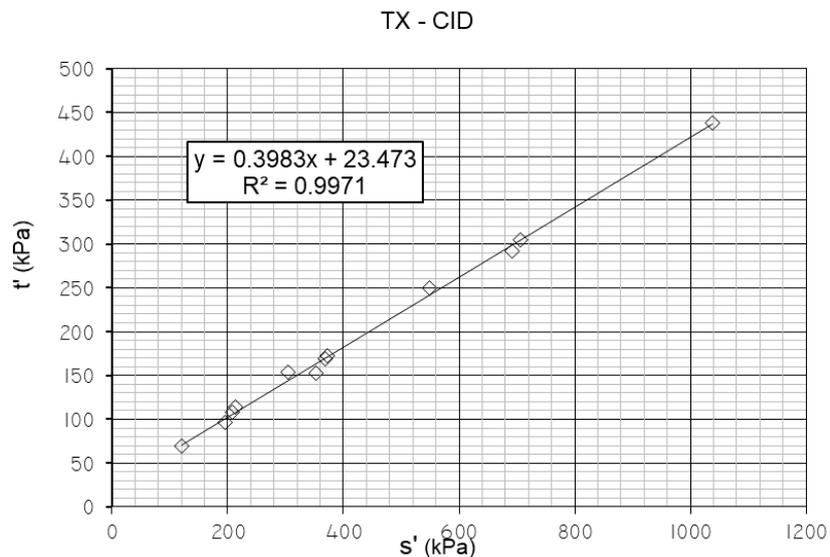


Figura 41: Galleria Nuova Marianopoli – TRV - Involuppo di resistenza delle prove triassiali

Le 5 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN2-S01 e 3a-GN2-S02 evidenziano un involuppo di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb con una buona correlazione con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 25 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 22°. Le profondità di prelievo dei 5 campioni variano tra 10,5 e 45,5 m da piano campagna.

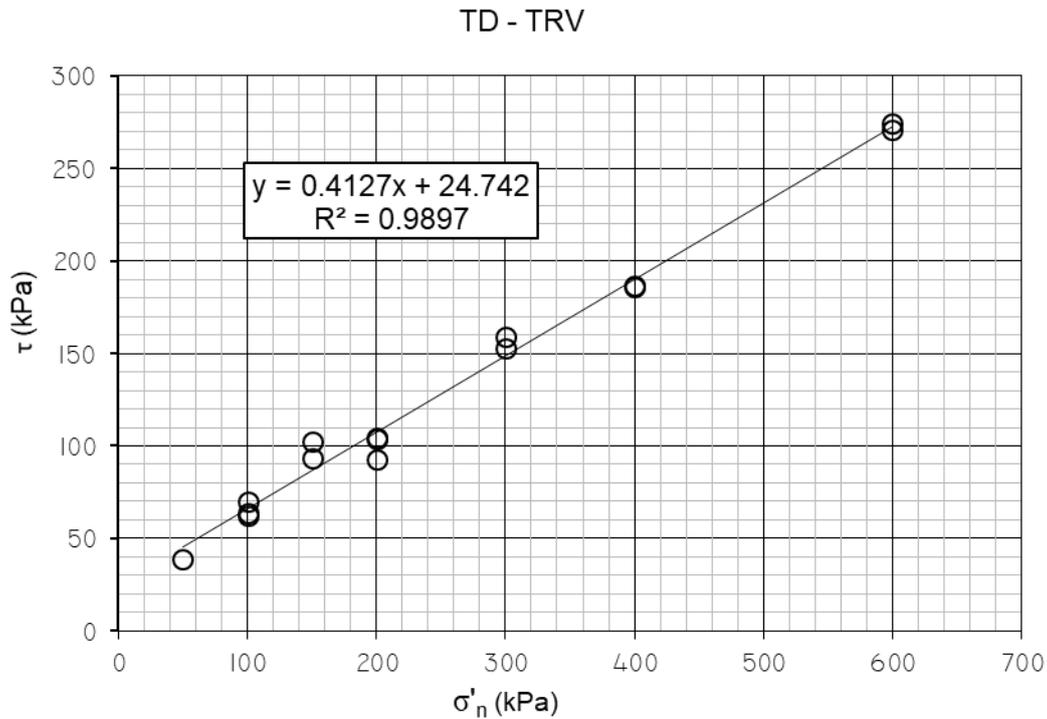


Figura 42: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – Inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Complessivamente sono state eseguite 6 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN1-S06, 3a-GN1-S07 e 3a-GN7-S02 a profondità comprese tra 34,8 e 88 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ medio-bassi e riassunti nella Tabella 4.

Tabella 4 – TRV - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN1-S07	CI 3	42.6	3.3
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	1.4
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	2.9
3a-GN1-S06	CI 3	76.2	2.7
3a-GN1-S06	CI 4	81.7	2.3
3a-GN1-S06	CI 5	88.0	2.4

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	97 di 378

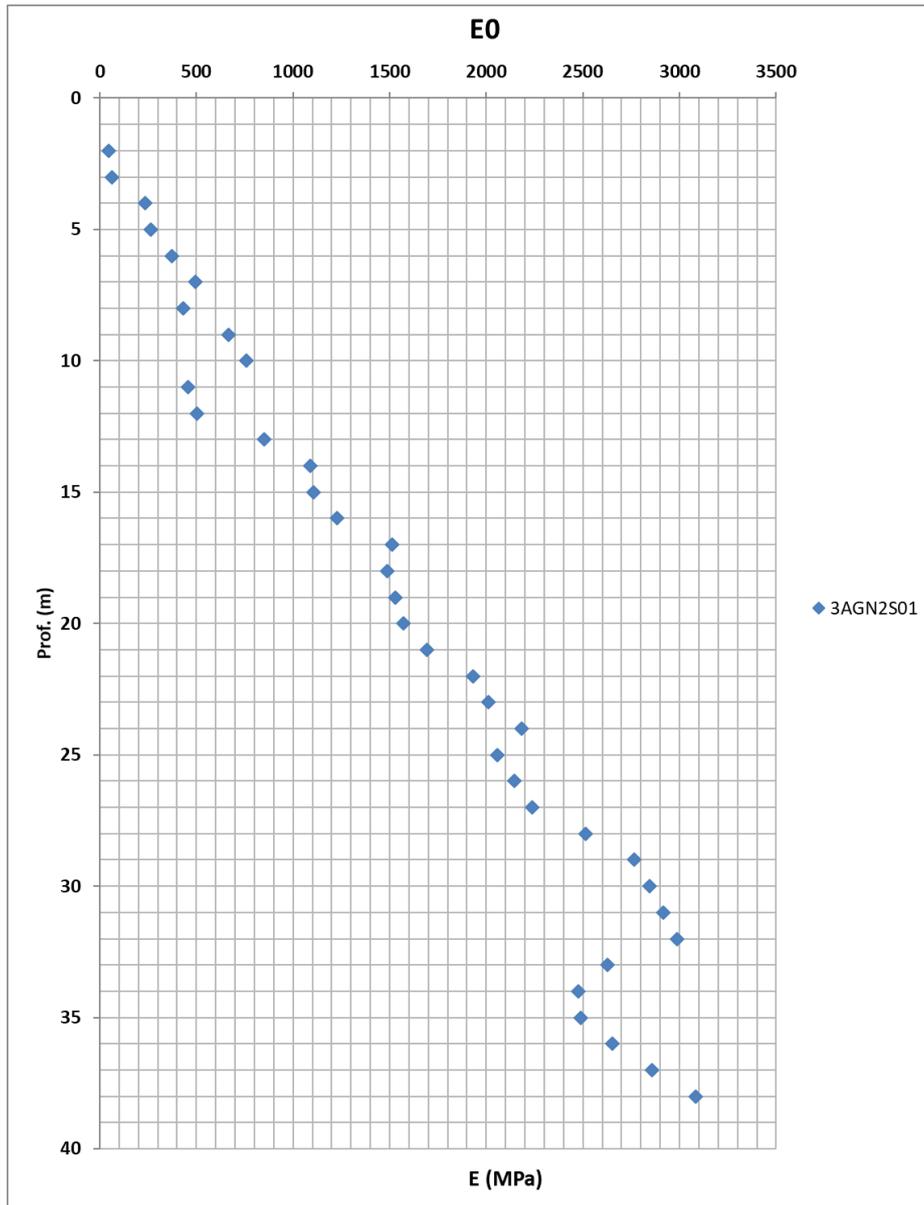


Figura 43: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	98 di 378

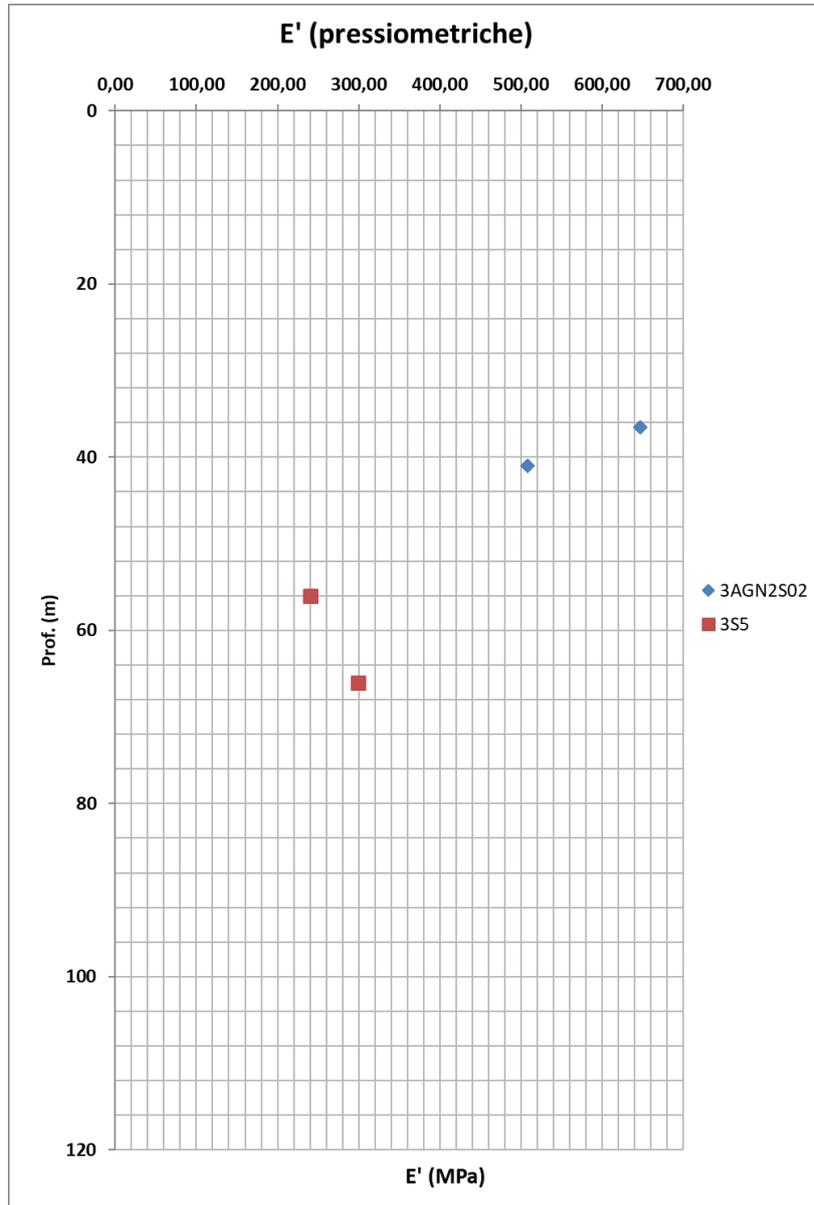


Figura 44: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove pressiometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	99 di 378

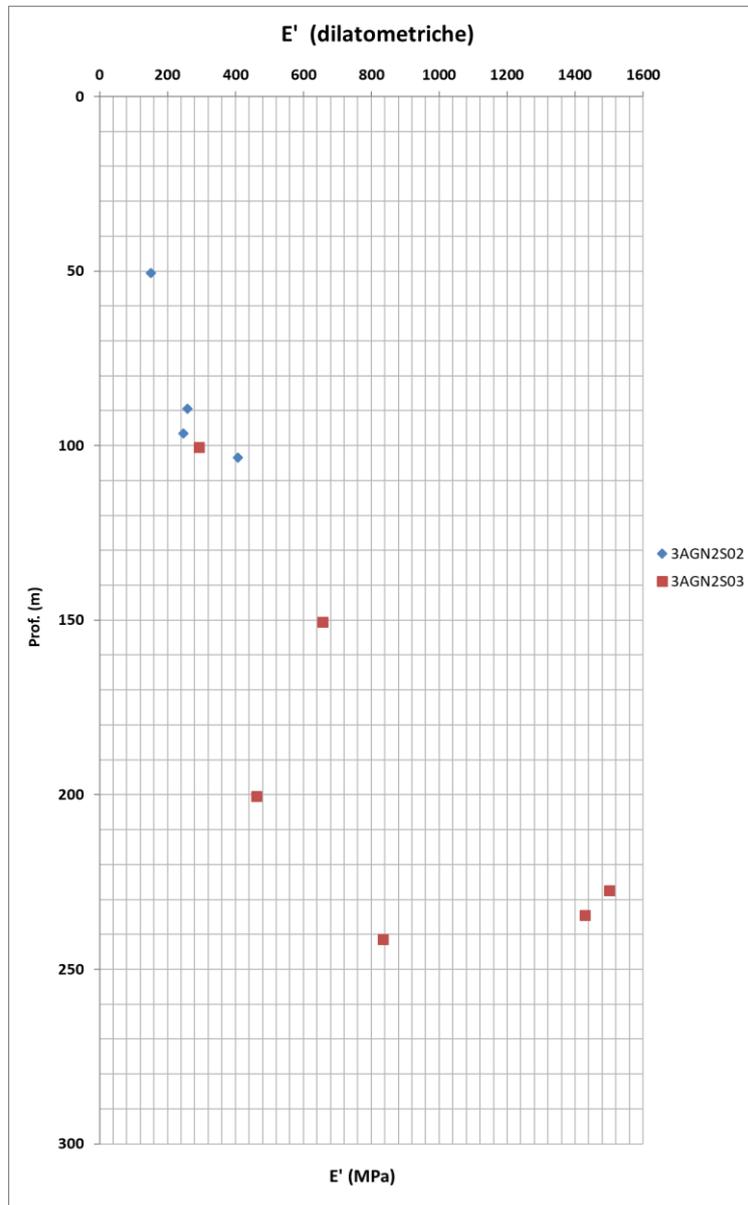
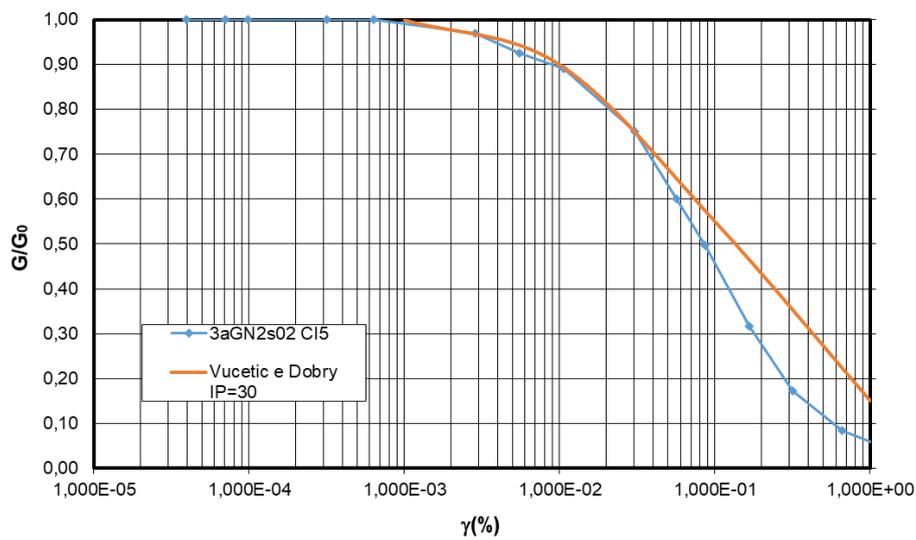


Figura 45: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	100 di 378

Si riportano di seguito le prove in colonna risonante effettuate in corrispondenza o in prossimità della tratta in esame; si riportano anche le curve teoriche che meglio approssimano l'andamento.



3AGN2S02 PROVINO CI5				
G [MPa]	G/Gmax	γ (%)	D (%)	D/D0
67,51	1,000	0,0000393	2,39	1
67,51	1,000	0,0000708	2,4	1,004184
67,51	1,000	0,0000986	2,43	1,016736
67,51	1,000	0,000317	2,43	1,016736
67,51	1,000	0,000633	2,44	1,020921
65,48	0,970	0,00286	3,68	1,539749
62,51	0,926	0,0055	5,08	2,125523
60,08	0,890	0,0107	5,35	2,238494
50,63	0,750	0,0304	7,51	3,142259
40,6	0,601	0,0567	9,8	4,100418
33,62	0,498	0,0861	12,03	5,03347
21,34	0,316	0,167	15,59	6,523013
11,63	0,172	0,317	17,5	7,322176
5,68	0,084	0,659	19,49	8,154812
1,84	0,027	1,73	20,48	8,569038

SONDAGGIO	PROFONDITA'	LITOLOGIA	WBS	ν	G ($\gamma=0.1$)	E (MPa)
3AGN2S02	45-45.5	TRV	GN2	0,5	33,62	100,86

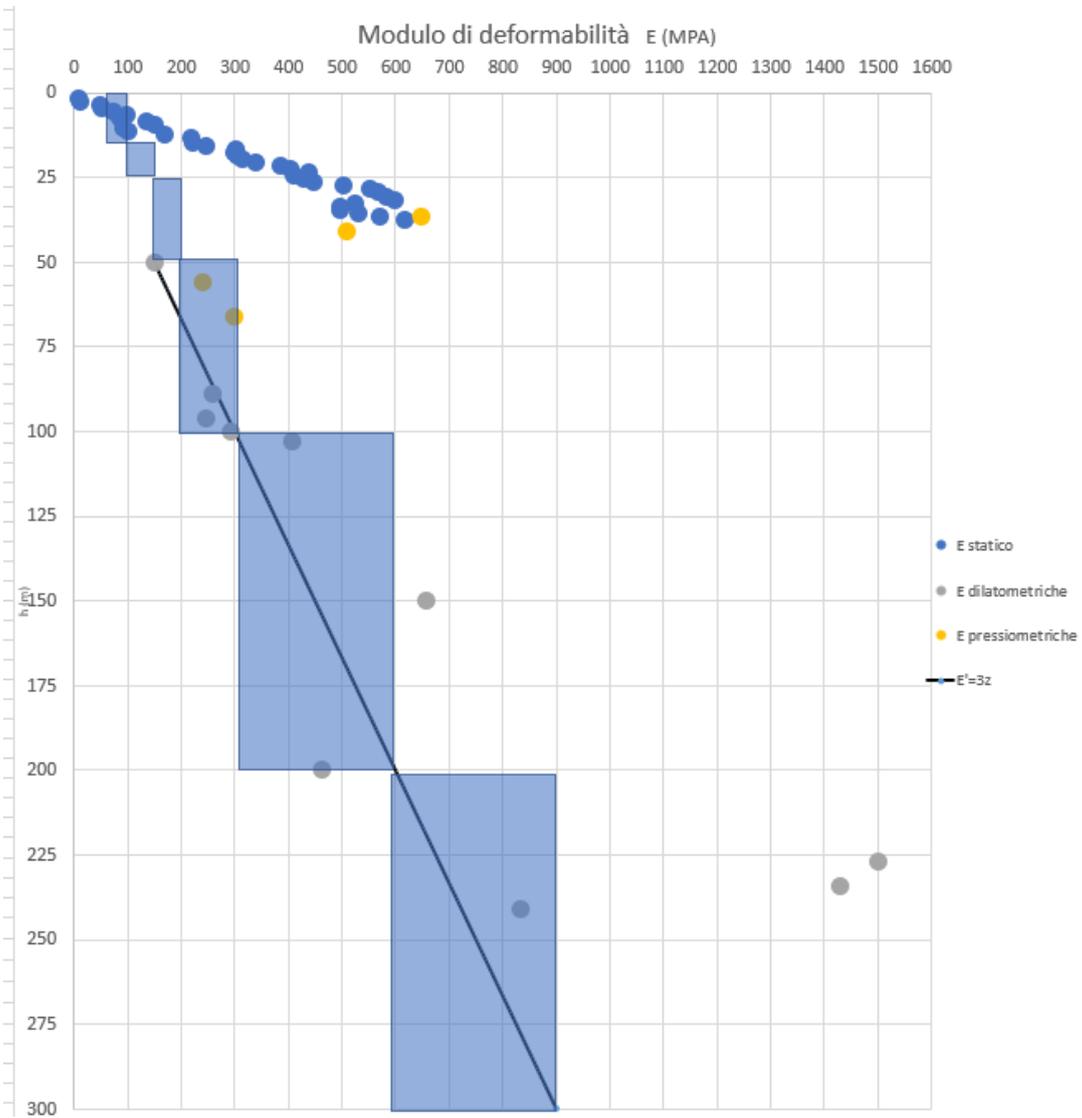


Figura 46: Galleria Nuova Marianopoli – TRV – modulo di Young da prove dilatometriche, da prove pressiometriche e da prove sismiche

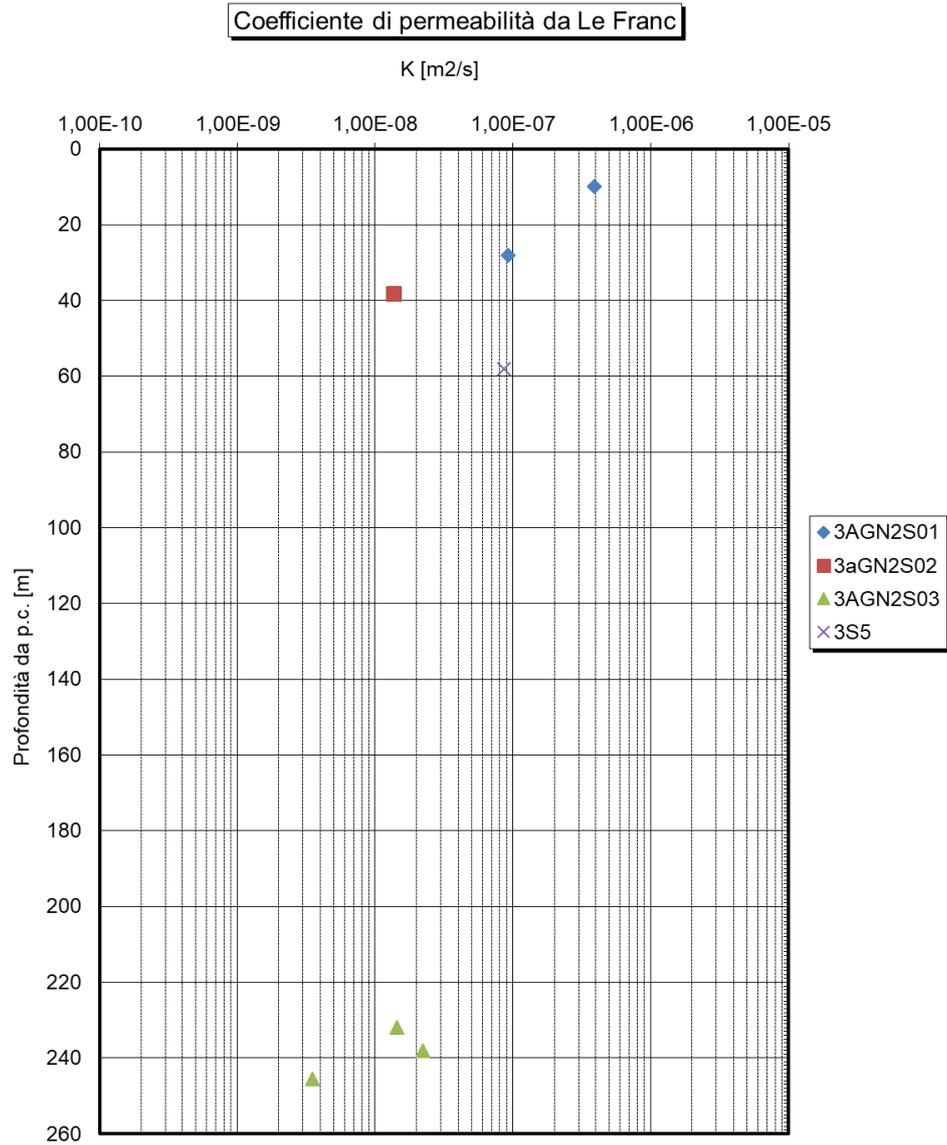


Figura 48: Galleria Nuova Marianopoli – TRV– Coefficiente di permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del TRV.

Tabella 5 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Nuova Marianopoli - TRV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν'	E'	c'	C_u	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-15	TRV	21	-	-	-	0.3	0.05-0.10	24-51	225	19-27
15-25	TRV	21	-	-	-	0.3	0.10-0.15	24-51	225	19-27
25-50	TRV	21	-	-	-	0.3	0.15-0.2	24-51	500	19-27
50-100	TRV	22	-	-	-	0.3	0.2-0.3	86-153	500-594	17-19
100-200	TRV	22	-	-	-	0.3	0.3-0.6	153-268	594-1188	15-17
200-300	TRV	22	-	-	-	0.3	0.6-0.9	268-372	1188-1782	14-15
300-400	TRV	22	-	-	-	0.3	0.9-1.2	279-470	1188-1782	13-15
400-500	TRV	22	-	-	-	0.3	1.2-1.5	463-557	1188-1782	12-13

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

m_i = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$C_{u,k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza, per profondità fino a 50 m da p.c., sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.2, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione TRV per il Lotto 3.

Per i parametri di resistenza per profondità maggiori di 50 m da p.c., si è fatto riferimento all'involuppo curvilineo riportato nel capitolo 9.6.3, che fornisce il valore di resistenza a taglio in funzione dello stato tensionale efficace in sito.

Per quanto riguarda la tratta in faglia alla pk. 32+200 con 270m di copertura si assumono i seguenti parametri:

H	Formazione	γ	Hw	c'	ϕ'	E'
(m)	-	(kN/m ³)	(m)	(kPa)	(°)	MPa
270	TRV (faglia)	22	130	282	15	800

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	105 di 378

Galleria Trabona

Per quanto riguarda i parametri afferenti alla formazione del TRV si fa riferimento ai grafici generali del lotto.

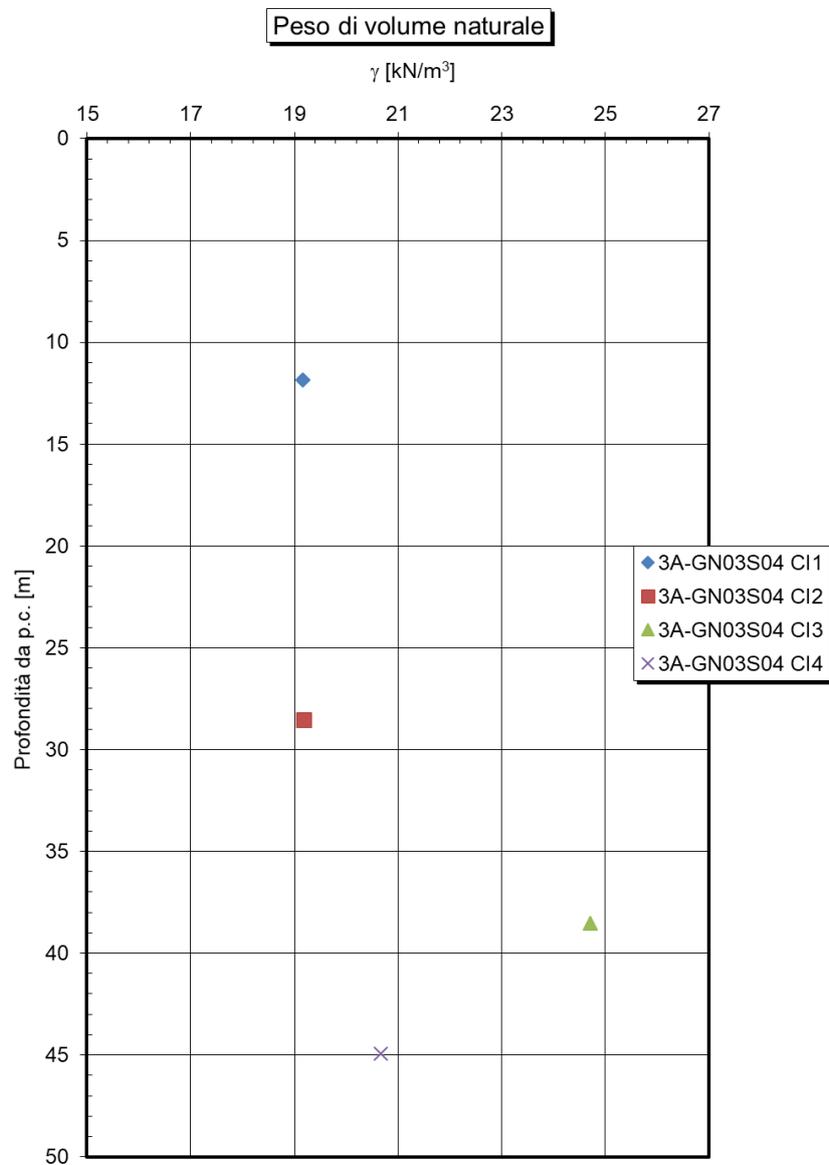


Figura 49: Galleria Trabona - TRV - peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	106 di 378

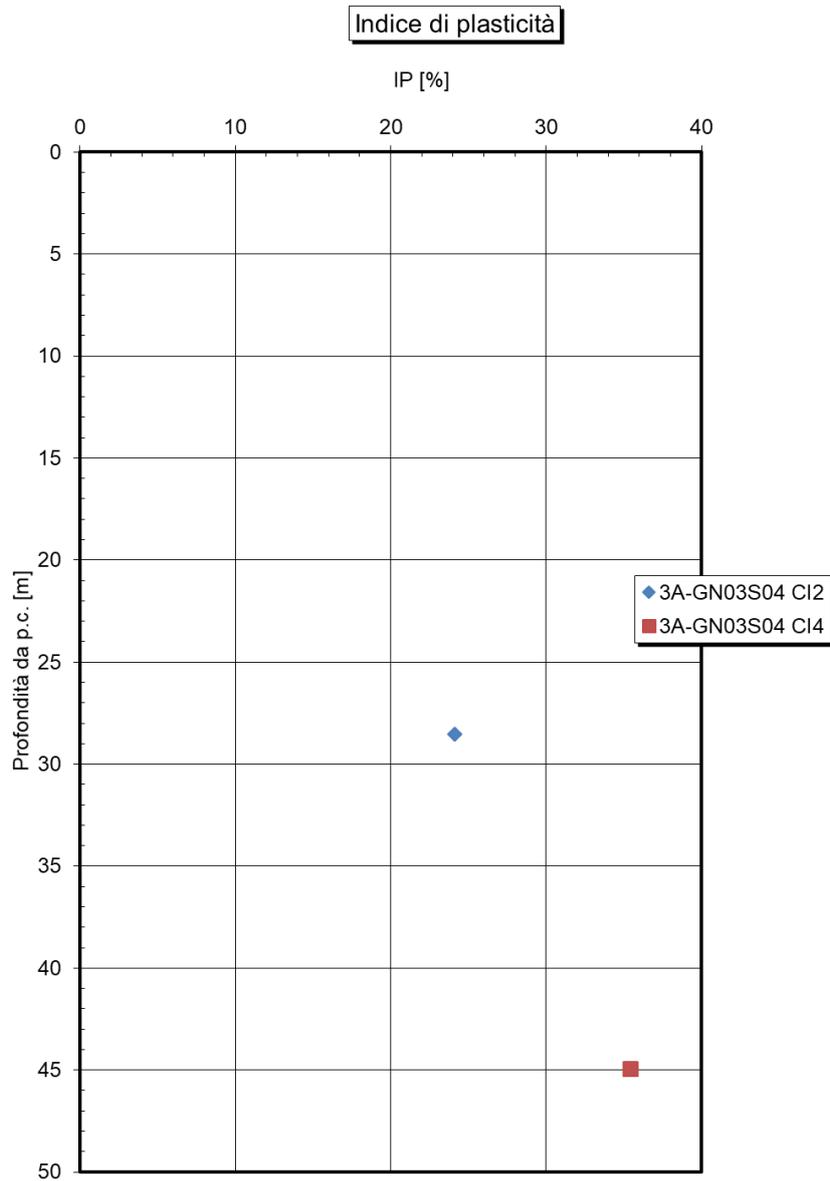


Figura 50: Galleria Trabona - TRV – indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	107 di 378

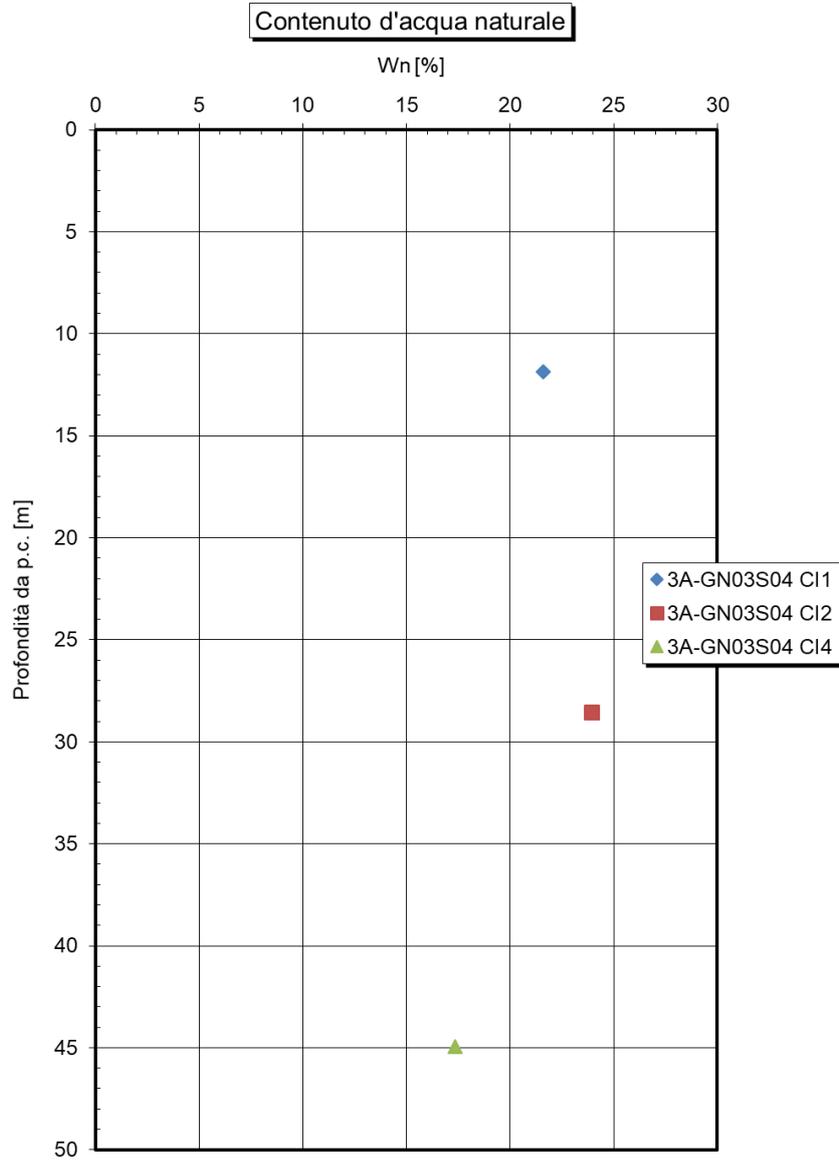


Figura 51: Galleria Trabona - TRV – contenuto di acqua naturale

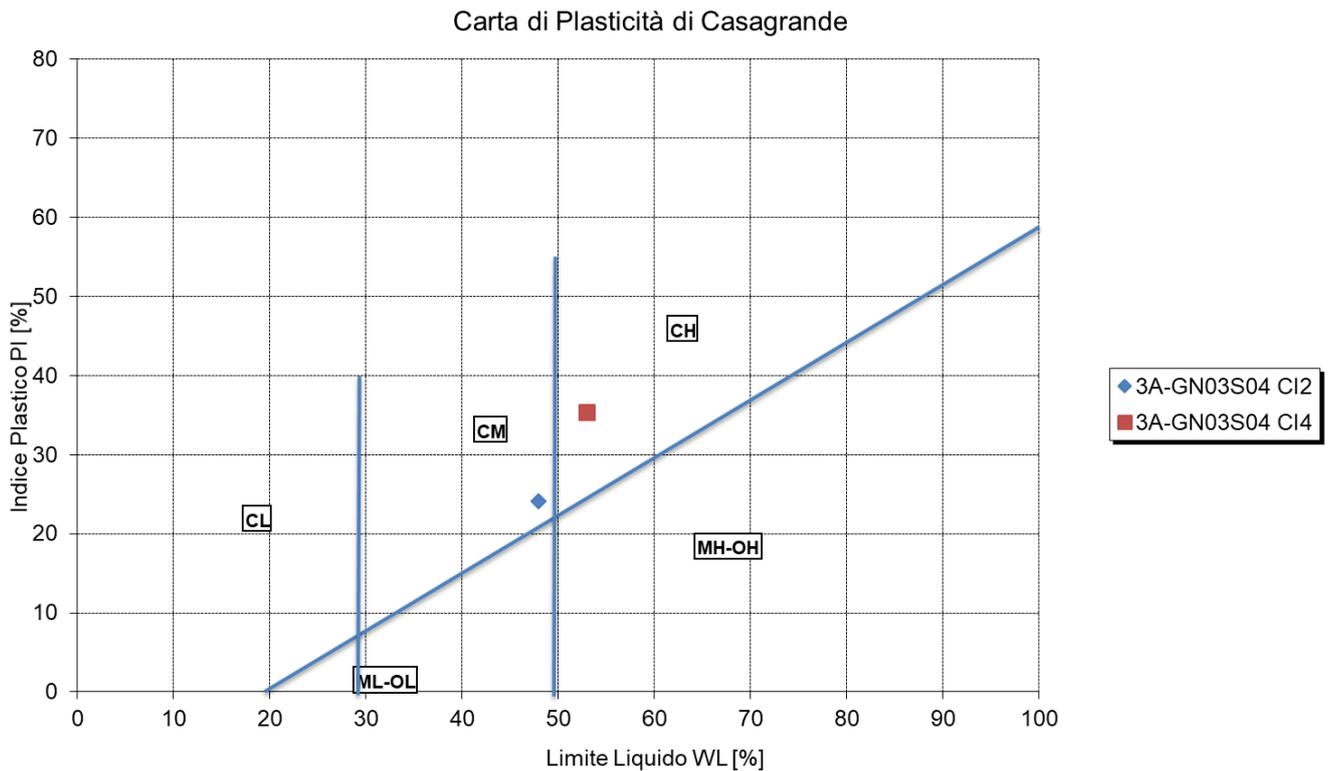


Figura 52: Galleria Trabona - TRV - carta di plasticità di Casagrande

Le 3 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati del sondaggio 3a-GN3-S04 evidenziano un involuppo di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb con una buona correlazione con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 28 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 22°. Le profondità di prelievo dei 3 campioni variano tra 11,9 e 45 m da piano campagna

TD - TRV

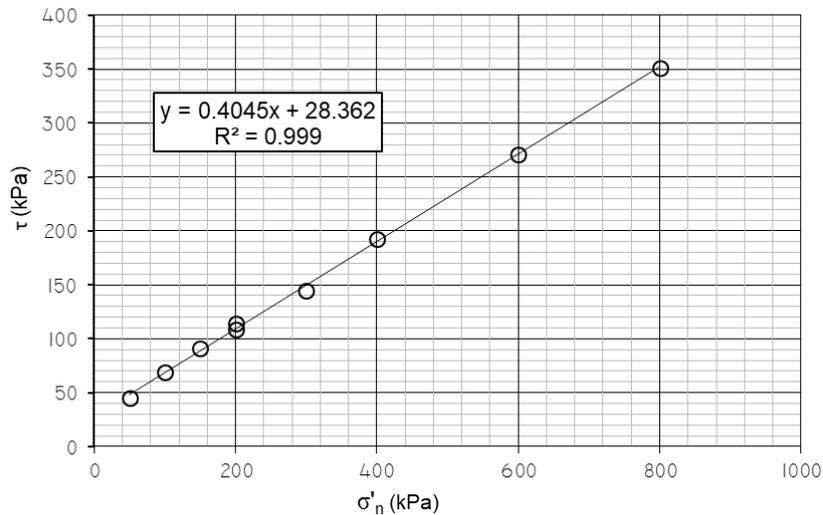


Figura 53: Galleria Trabona – TRV – Involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Complessivamente sono state eseguite 6 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN1-S06, 3a-GN1-S07 e 3a-GN7-S02 a profondità comprese tra 34,8 e 88 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ medio-bassi e riassunti nella Tabella 4.

Tabella 6 – TRV - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN1-S07	CI 3	42.6	3.3
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	1.4
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	2.9
3a-GN1-S06	CI 3	76.2	2.7
3a-GN1-S06	CI 4	81.7	2.3
3a-GN1-S06	CI 5	88.0	2.4

Si considera la sismica dell'adiacente Galleria Salito 1.

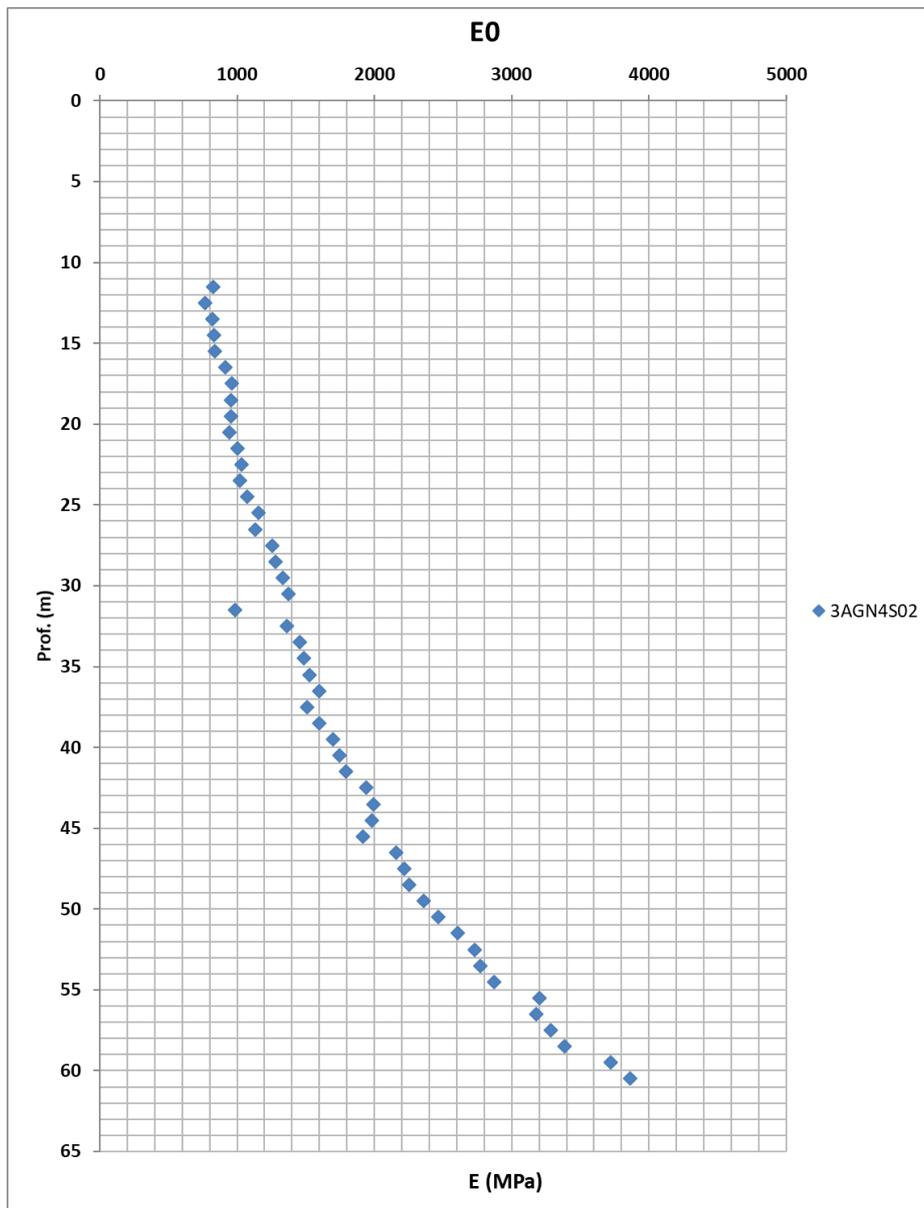


Figura 54: Galleria Trabona – TRV – moduli di Young da prove sismiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 7 – Parametri derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Trabona - TRV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	v'	E'	c'	C_u	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
--										
15-25	TRV	21	-	-	-	0.3	0.2-0.5	24-51	-	19-27
0-15	TRV	21	-	-	-	0.3	0-0.2	24-51	-	19-27

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza, per profondità fino a 50 m da p.c., sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.2, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione TRV per il Lotto 3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Galleria Salito 1

Per quanto riguarda i parametri afferenti alla formazione del TRV si fa riferimento ai grafici generali del lotto (cfr. 9.6.2).

Tabella 8 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Salito 1 - TRV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν	E	c'	Cu	φ'
[m]		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
4-15	TRV	21	-	-	-	0.3	0.05-0.10	24-51	85	19-27
15-25	TRV	21	-	-	-	0.3	0.10-0.15	24-51	142	19-27
25-40	TRV	21	-	-	-	0.3	0.15-0.20	24-51	227	19-27
15-25	TRV	21	-	-	-	0.3	0.10-0.15	24-51	142	19-27

I parametri di resistenza, per profondità fino a 50 m da p.c., sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.2, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazioe TRV per il Lotto 3.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	113 di 378

Galleria Xirbi

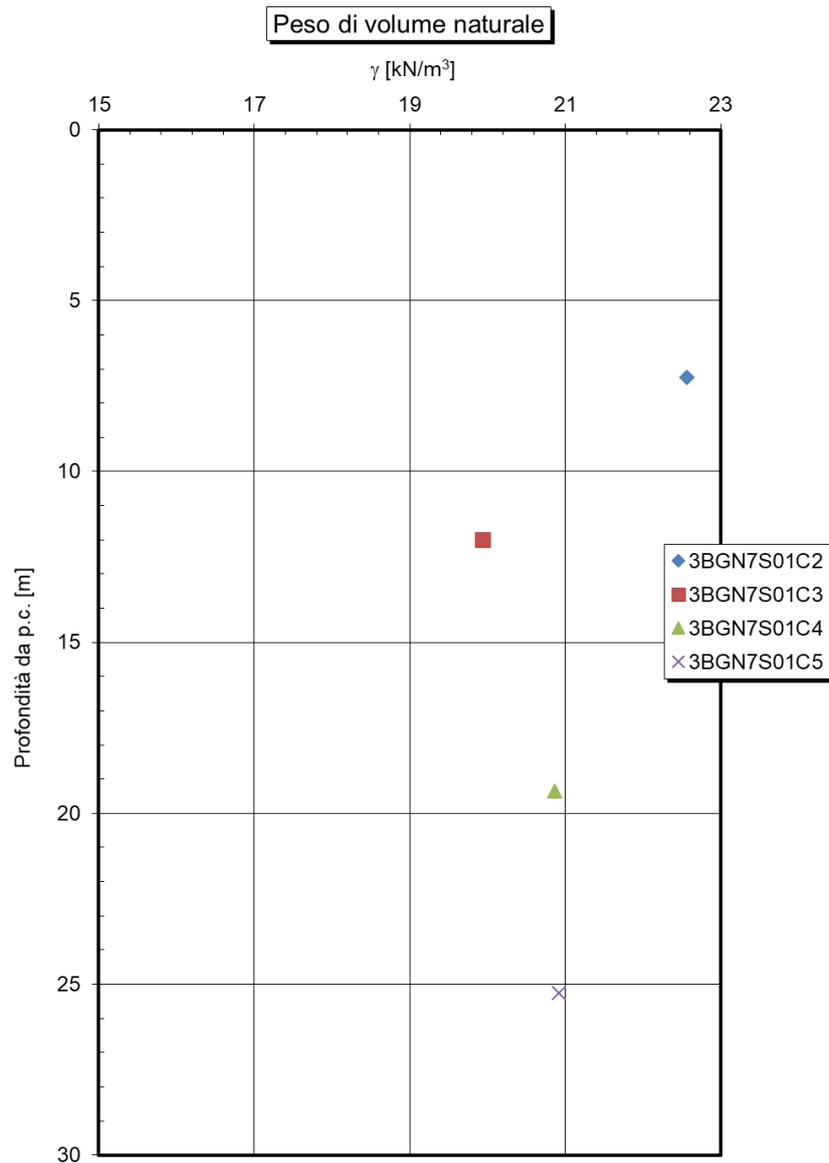


Figura 55: TRV – peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	114 di 378

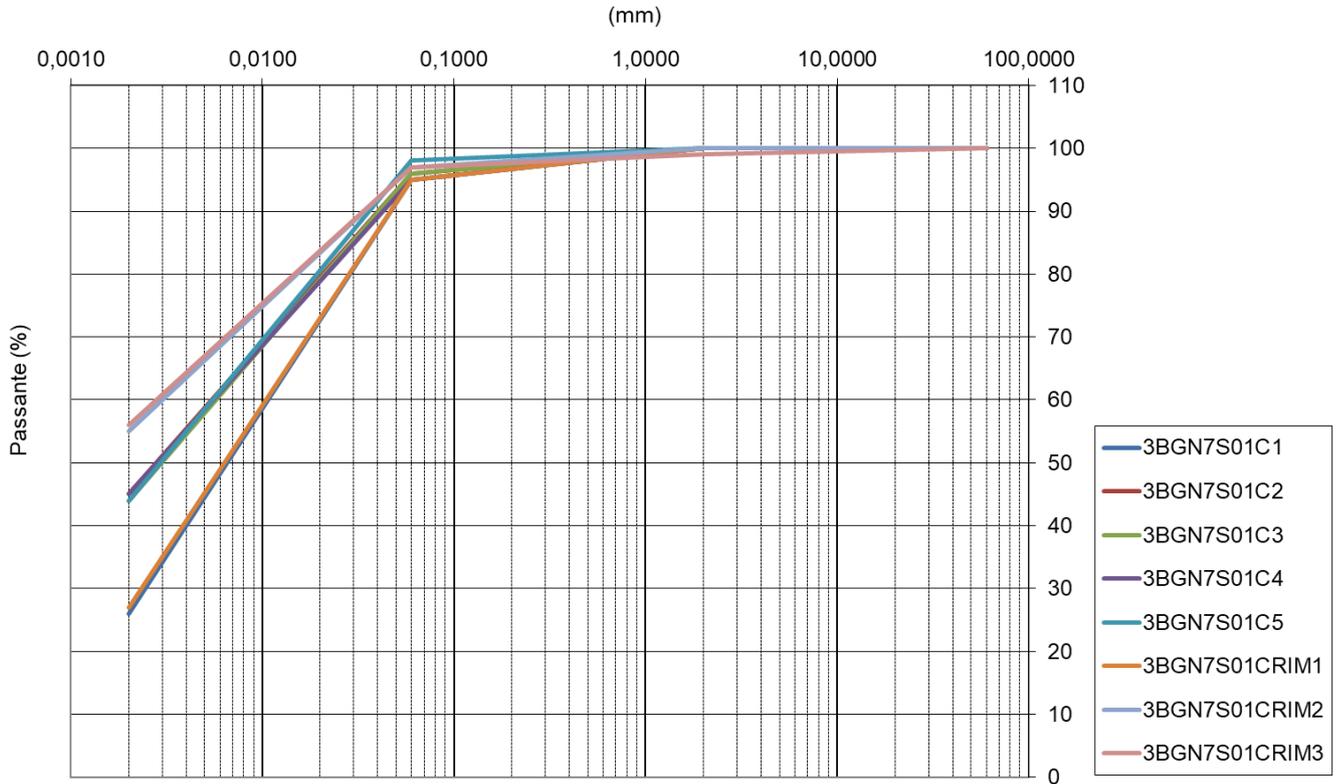


Figura 56: TRV – Fuso granulometrico

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	115 di 378

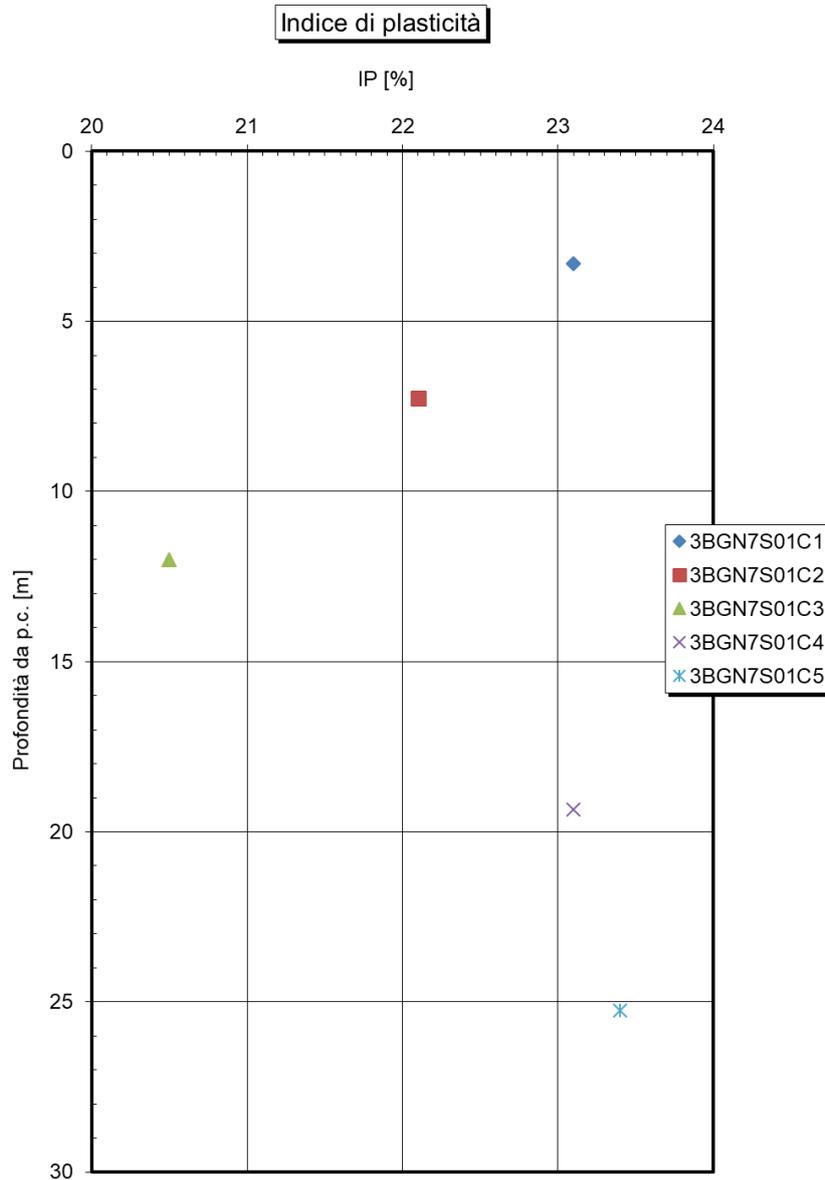


Figura 57: TRV – indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sottterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	116 di 378

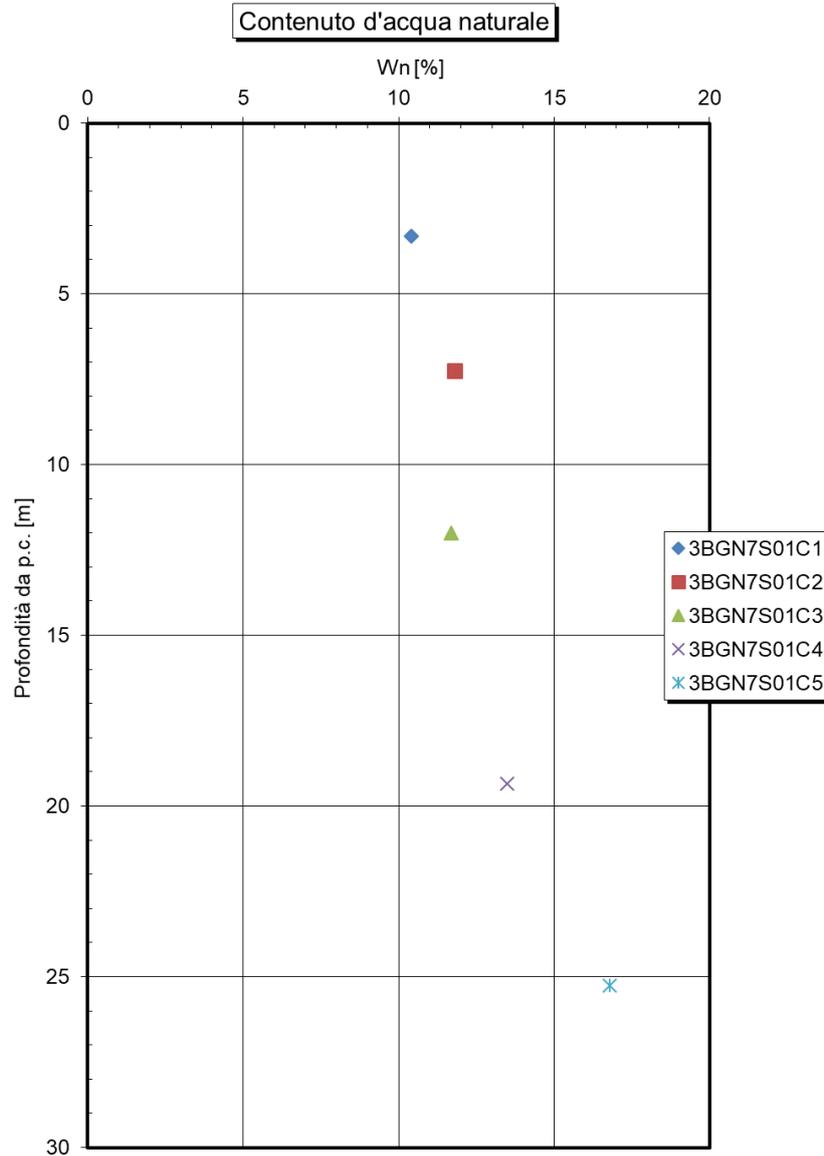


Figura 58: TRV – contenuto di acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

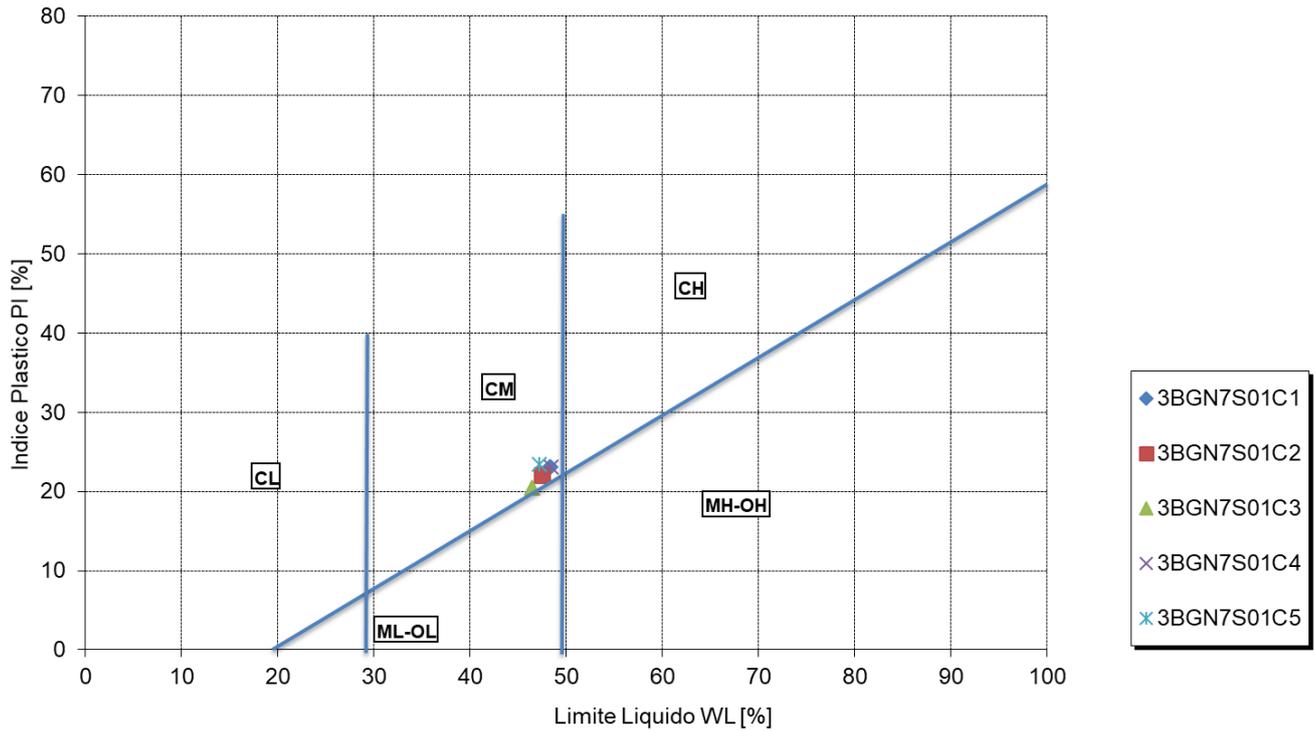


Figura 59: TRV – Carta di plasticità di Casagrande

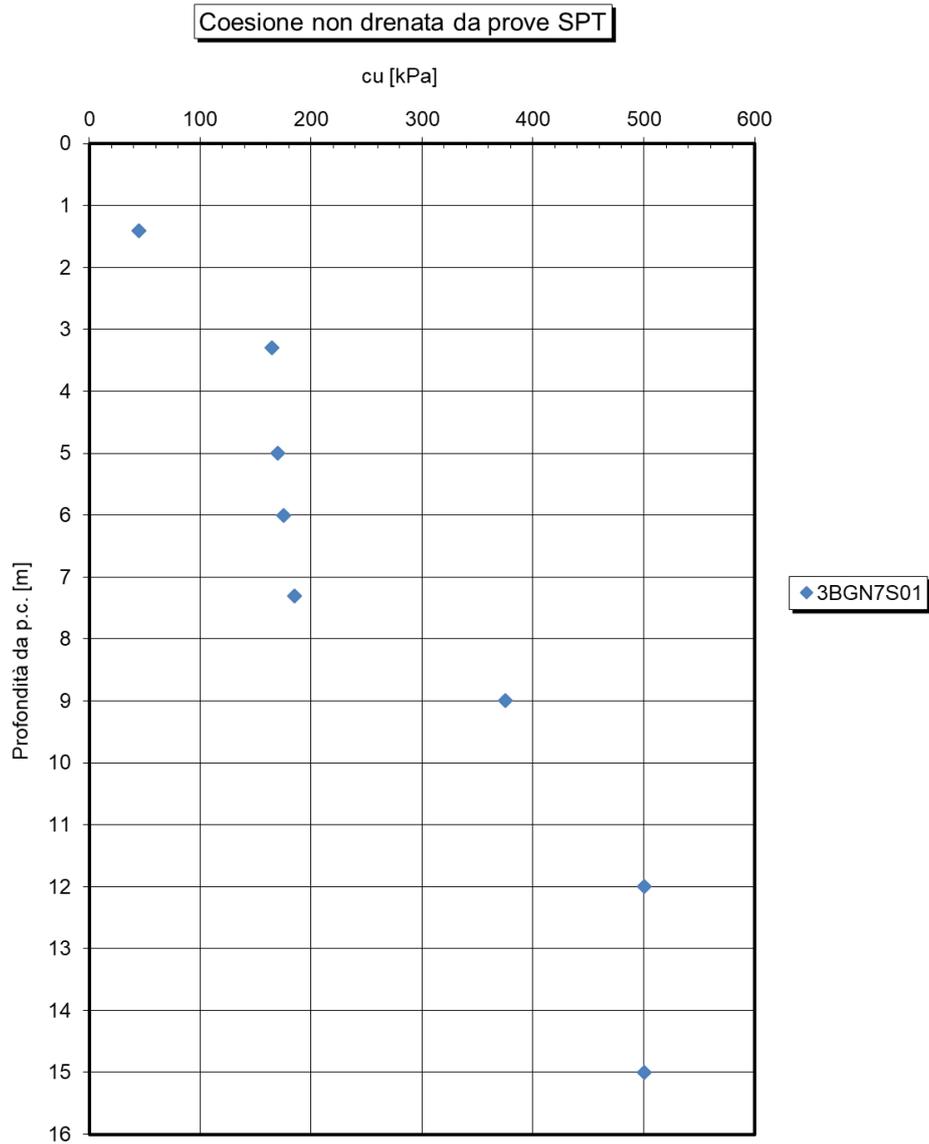


Figura 60: TRV – resistenza al taglio non drenata da prove SPT

OCR da SPT

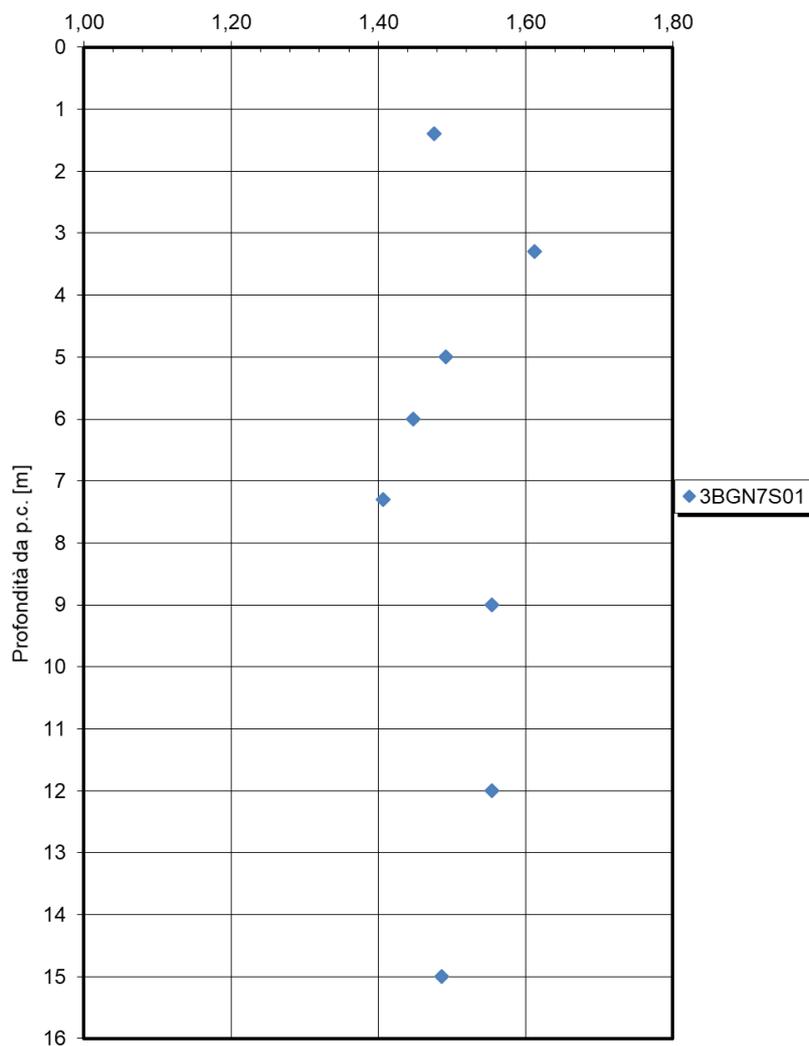


Figura 61: TRV – OCR da prove SPT

La prova triassiale consolidata non drenata condotta sul campione CI3 (12 m da p.c.) del sondaggio 3b-GN7-S01 restituisce valori di coesione c' pari a 12 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 21° .

TX - CIU

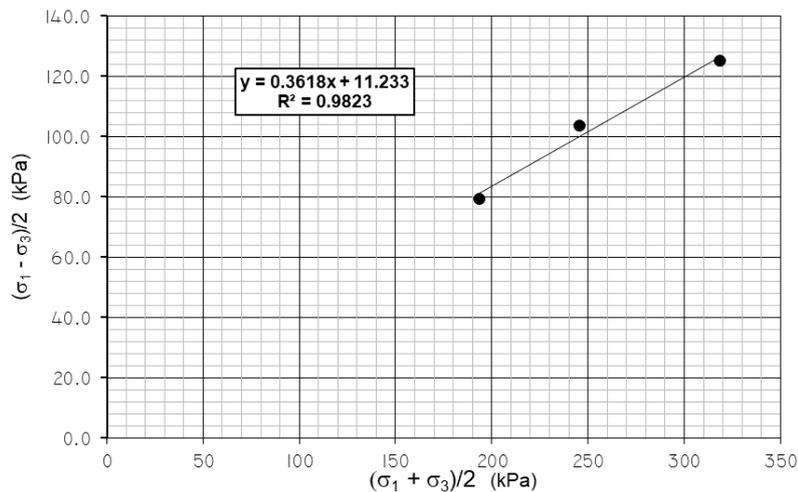
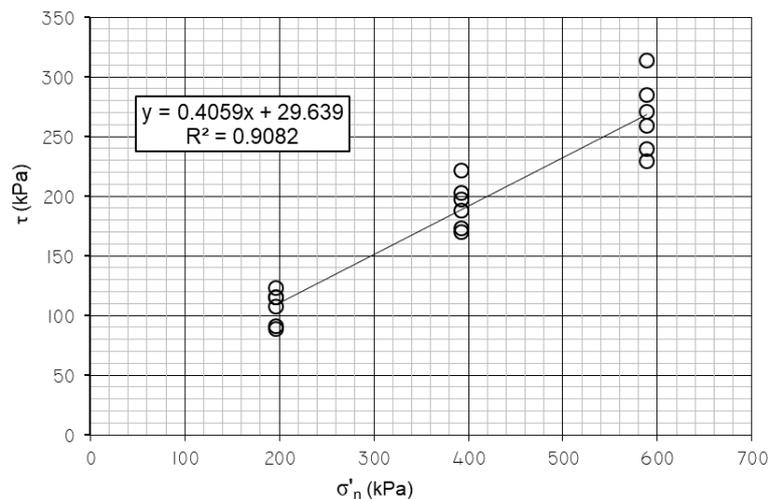


Figura 62: Galleria Xirbi – TRV - Inviluppo di resistenza delle prove triassiali

Le 6 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati dei sondaggi 3b-GN7-S01 e 3b-GN7-S02 evidenziano un inviluppo di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 63) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 30 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 22°. Le profondità di prelievo dei 6 campioni sono variabili tra 18,3 e 42,3 m da piano campagna. Non sono stati considerati nell'inviluppo 2 campioni dei sondaggi 3b-GN7-S01 e 3b-GN7-S02, rispettivamente C15 (25,3 m da p.c.) e C11 (12,5 m da p.c.), in quanto molto discordanti dall'inviluppo definito dalle restanti prove.

TD - TRV



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 63: Galleria Xirbi – TRV – Inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Come si evince dalla Figura 72, risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli inviluppi di resistenza (Figura 64). Nello specifico l'inviluppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 16 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 21° , mentre quello superiore coesione c' pari a 40 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 24° .

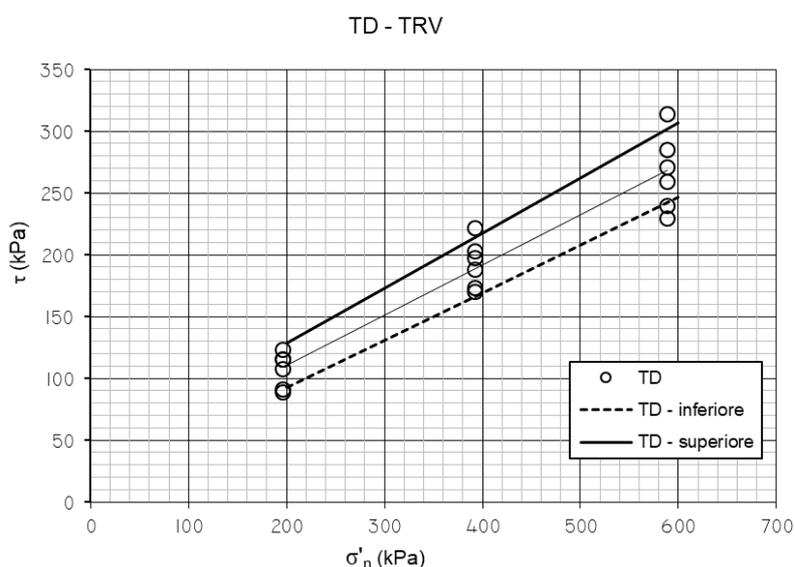


Figura 64: Galleria Xirbi – TRV - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Complessivamente sono state eseguite 6 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN1-S06, 3a-GN1-S07 e 3a-GN7-S02 a profondità comprese tra 34,8 e 88 m da p.c.

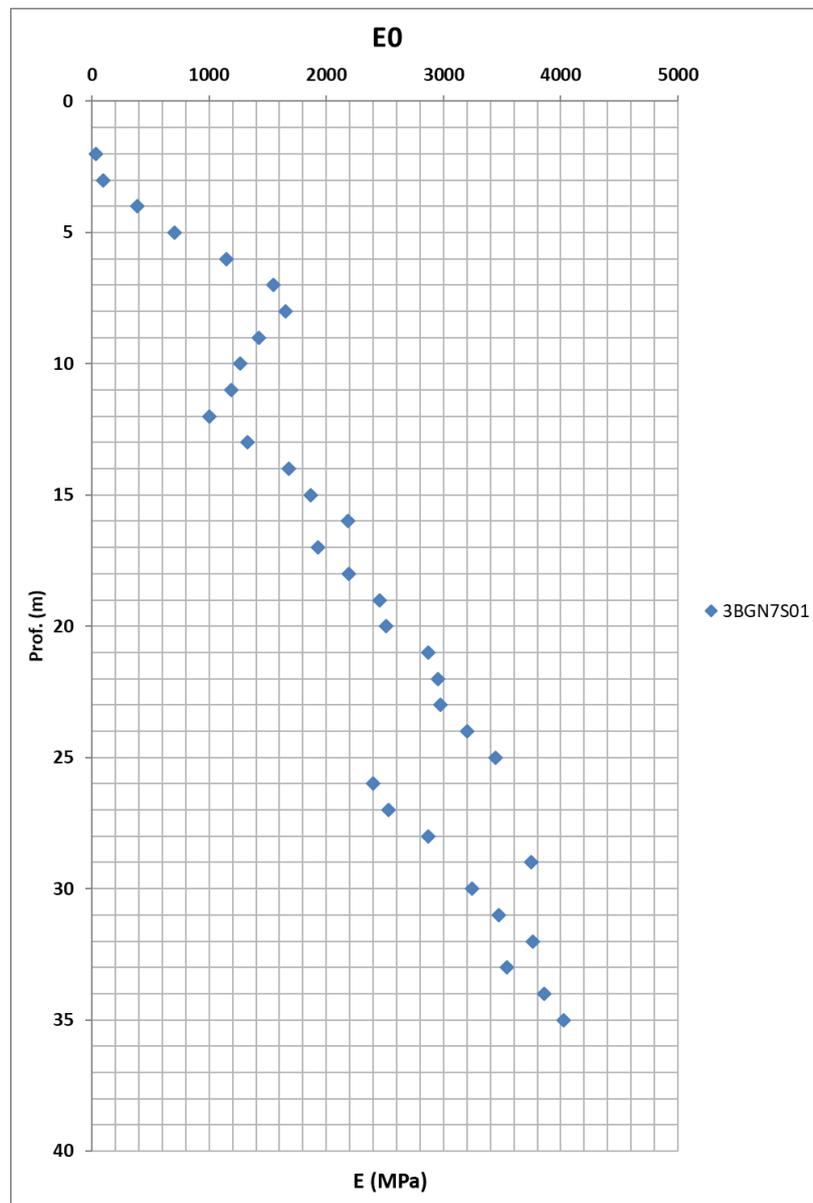
L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ medio-bassi e riassunti nella Tabella 4.

Tabella 9 – TRV - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	122 di 378

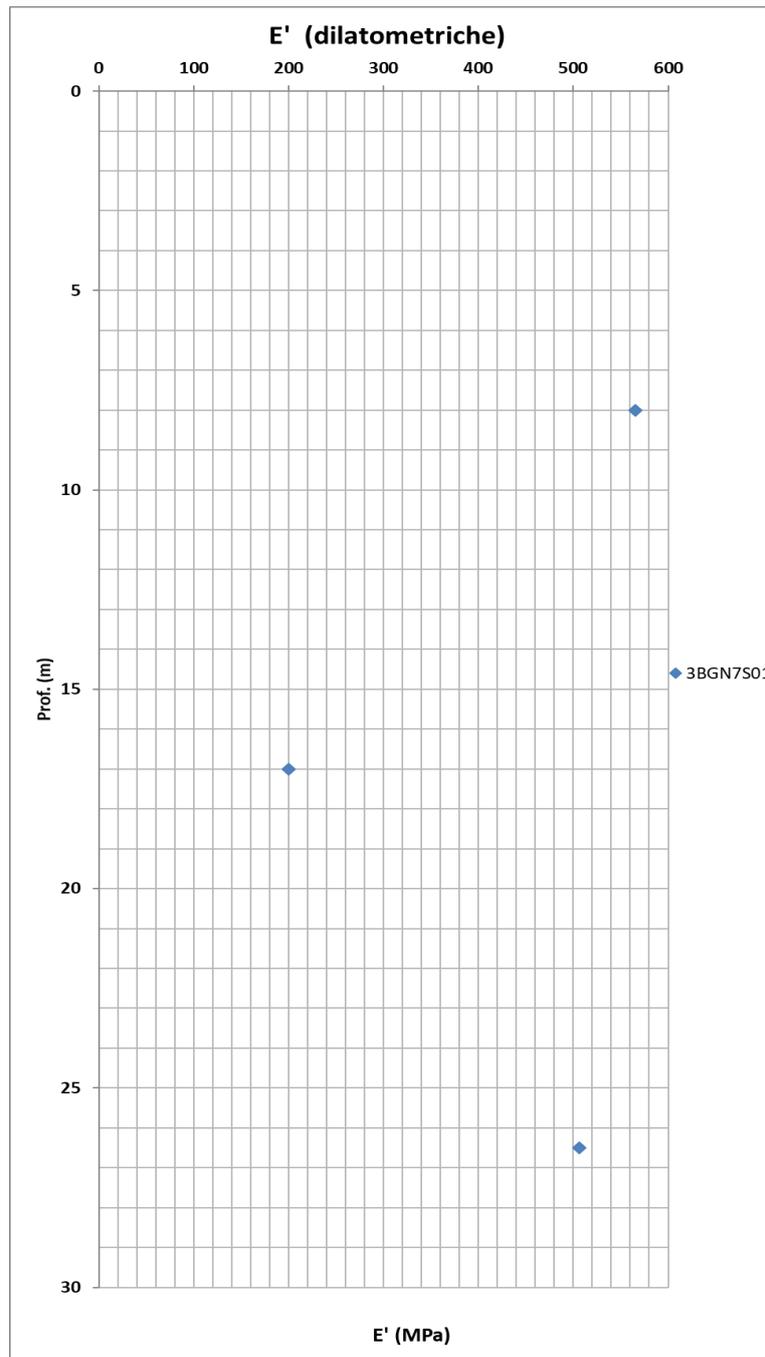
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100\text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN1-S07	CI 3	42.6	3.3
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	1.4
3a-GN7-S02	CI 4	34.8	2.9
3a-GN1-S06	CI 3	76.2	2.7
3a-GN1-S06	CI 4	81.7	2.3
3a-GN1-S06	CI 5	88.0	2.4



Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	123 di 378

Figura 65: TRV - modulo di Young da prove sismiche



 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30 D 07</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. E</p>	<p>FOGLIO 124 di 378</p>

Figura 66: TRV - modulo di Young da dilatometriche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Per quanto riguarda le prove di rigonfiamento disponibili si hanno i seguenti risultati

Campione		Rigonfiamento		
Sigla	Profondità [m]	Pressione kPa	Formazione	Prova
3B_GN07_S02 CI4	34,50 - 34,80	120	TRV	ISP/HA
3B_GN07_S02 CI5	42,00 - 42,30	303,7	TRV	ISP
3B_GN07_S02 CI6	47,00 - 47,30		TRV	HA
3B_GN07_S02 CI7	51,00 - 51,35	44,1	TRV	ISP

Dall'interpretazione delle prove Huder Amberg disponibili si sono quindi ottenuti i seguenti parametri k:

Galleria	Sondaggio	Campione	Formazione	Profondità	k_{100H-A}
(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)
XIRBI	3BGN7S02	CI 4	TRV	34	1.75
XIRBI	3BGN7S02	CI 6	TRV	47	2.96

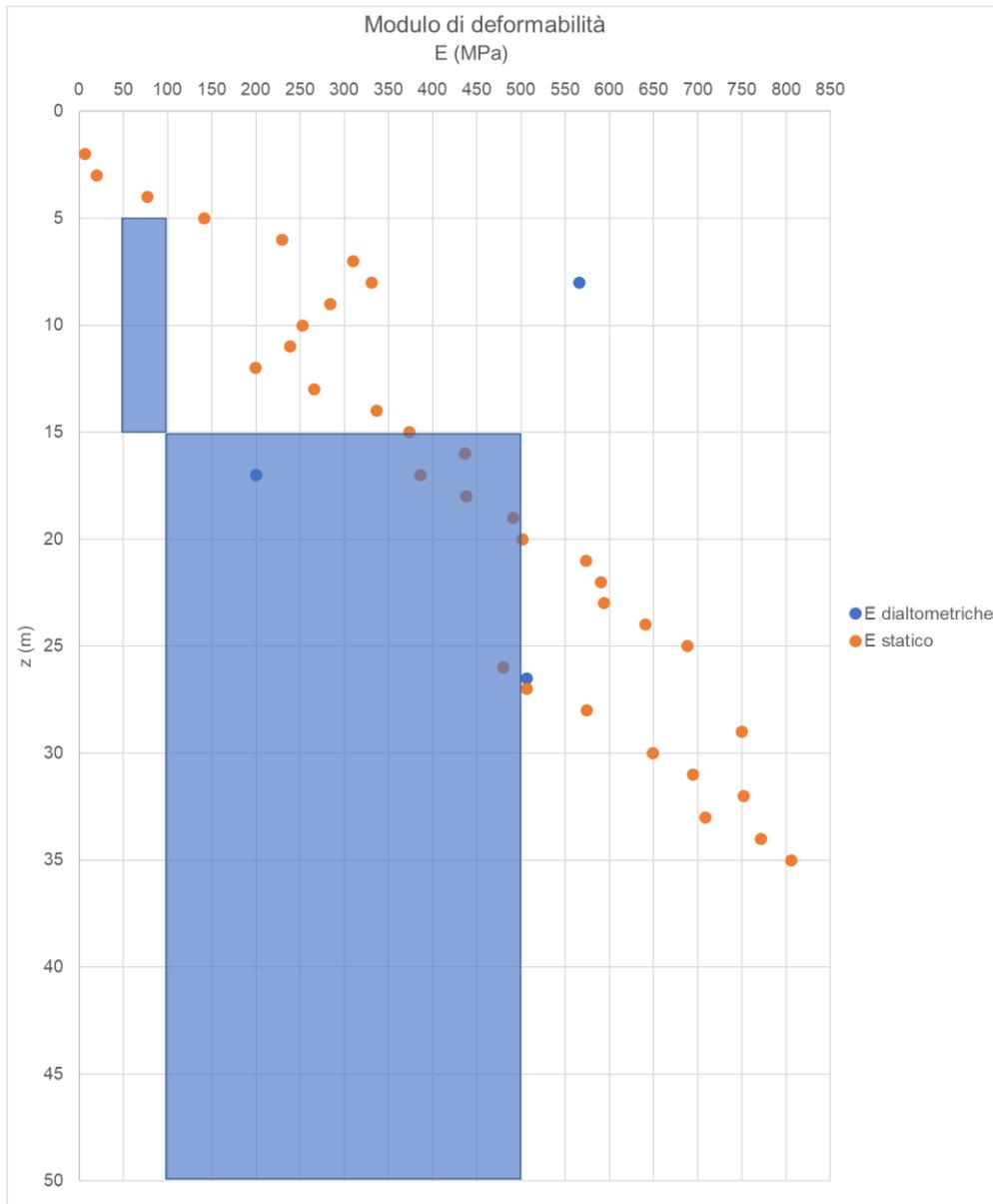


Figura 67: TRV - modulo di elasticità operativo da prove sismiche e da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	127 di 378

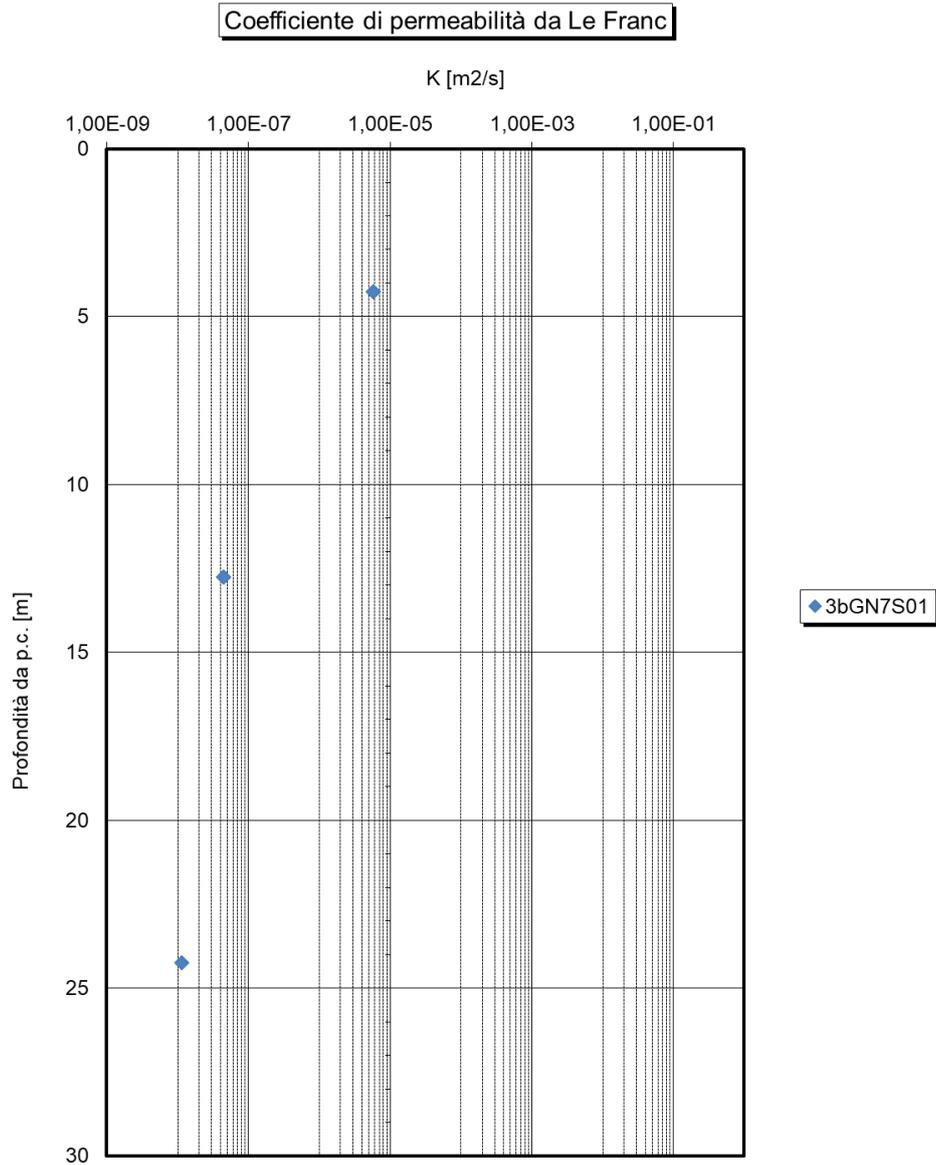


Figura 68: TRV – coefficiente di permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 10 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Xirbi - TRV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	v'	E'	c'	C_u	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
--										
5-15	TRV	21	-	-	-	0.3	0.05 - 0.10	24-52	100	19-27
15-50	TRV	21	-	-	-	0.3	0.10 - 0.50	24-52	200	19-27

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 m_i = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza, per profondità fino a 50 m da p.c., sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.2, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione TRV per il Lotto 3.

9.6.2 Caratteristiche meccaniche da prove di Laboratorio TRV Lotto 3

L'insieme delle prove rappresentate per le singole galleria sono state elaborate in maniera complessiva così da definire un unico involucro di resistenza per la formazione TRV per il Lotto 3, per profondità fino a 50 m da piano campagna.

L'insieme delle prove di taglio diretto, per un totale di 26 prove, condotte sui campioni afferenti alla formazione TRV per il Lotto 3 evidenziano un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 69) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 32 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 23°. Le profondità di prelievo dei 26 campioni sono variabili tra 4,9 e 48 m da piano campagna. Nell'involucro non stati considerati i campioni che anche negli involucchi delle singole gallerie non erano stati ritenuti rappresentativi della formazione in riferimento.

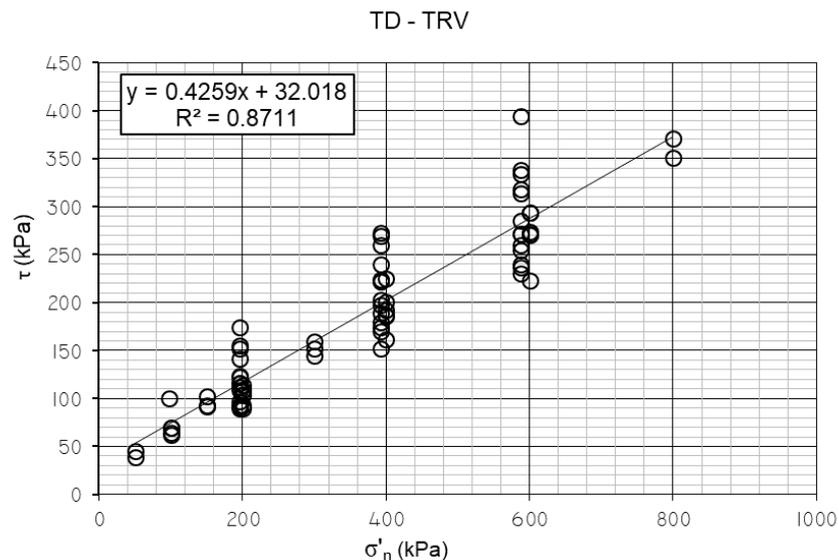


Figura 69: Lotto 3 – TRV - involucro di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Come si evince dalla Figura 69, risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli involucchi di resistenza (Figura 70). Nello specifico l'involucro inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 24 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 19°, mentre quello superiore coesione c' pari a 51 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 27°.

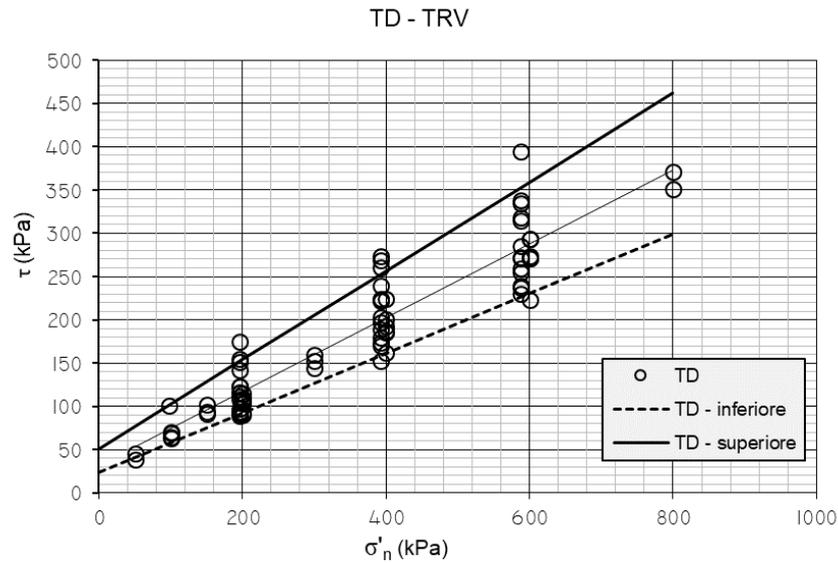


Figura 70: Lotto 3 – TRV - intervallo involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

L'insieme delle 13 prove triassiali consolidate drenate e consolidate non drenate, condotte sui campioni afferenti alla formazione TRV per il Lotto 3 evidenziano un involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' con una buona correlazione con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 25 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 24° . Le profondità di prelievo dei 13 campioni sono variabili tra 9,5 e 42,6 m da piano campagna.

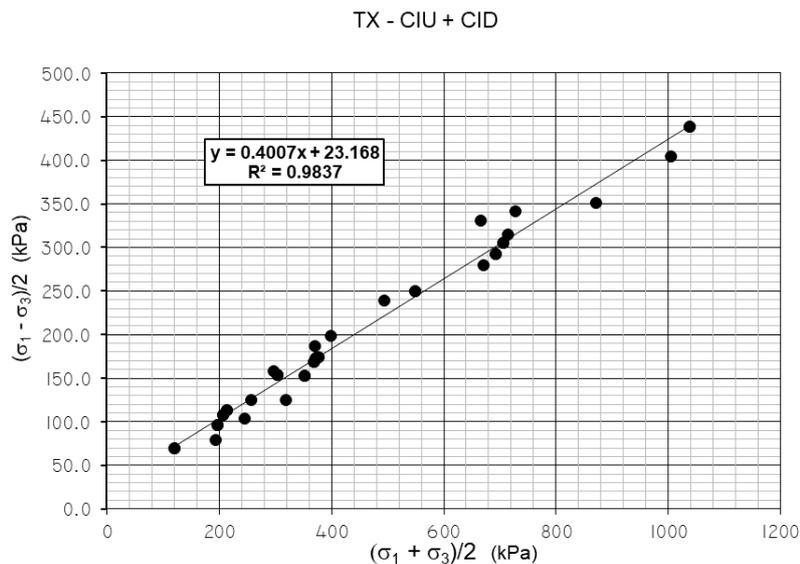


Figura 71: Lotto 3 – TRV - involuppo di resistenza prove triassiali (TX-CIU, TX-CID)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.6.3 Caratterizzazione del TRV ad alte coperture

La caratterizzazione di tale formazione per coperture maggiori di 50 m (le coperture raggiungono anche i 600 m di profondità) si basa su un modello geotecnico che parte da alcune assunzioni di comportamento. A profondità molto elevate il numero e la rappresentatività delle prove è risultato un aspetto critico: gli stati tensionali di prova infatti per quanto spinti al massimo delle potenzialità delle attrezzature di laboratorio non sono risultati in linea con quelli litostatici. Anche il prelievo dei campioni ad elevate profondità ha mostrato delle criticità con un rischio di non rappresentatività dello stato indisturbato del campione e delle conseguenti prove di laboratorio. La consistenza della formazione ad elevate profondità (fino a 250 m), rilevata sia tramite ispezione visiva delle carote sia in base ai risultati delle prove a rottura dei campioni, non è risultata assimilabile a quella di una roccia.

Da una certa profondità in poi, per l'analisi delle caratteristiche meccaniche della formazione è stato fatto riferimento ai risultati delle prove in sito (prove pressiometriche e dilatometriche in foro) attraverso le quali è stato possibile ricavare in maniera indiretta un andamento crescente della coesione non drenata, ricavando quindi per interpolazione i valori anche ad elevate profondità, laddove non fosse disponibile il dato di laboratorio. In maniera analoga si è proceduto per i parametri di deformabilità i cui valori sono stati desunti interpolando i risultati delle prove dilatometriche profonde.

Per la determinazione dei parametri di resistenza drenati è stato necessario ricorrere ad involuppi teorici, presenti nella letteratura tecnico-scientifica, per ricavare i parametri di resistenza a stati tensionali paragonabili a quelli litostatici. Gli involuppi sono stati tarati sui risultati delle prove di laboratorio disponibili eseguite a stati tensionali massimi raggiunti in laboratorio.

Parametri non drenati

Per la determinazione dei valori sperimentali della resistenza non drenata sono state considerate prevalentemente le prove in sito, soprattutto ad elevate profondità, poiché ritenute più affidabili e meno affette dal disturbo del campione che nella formazione in esame è risultato essere a volte particolarmente evidente. Pertanto sono state elaborate le prove pressiometriche e dilatometriche che hanno consentito, attraverso correlazioni presenti nella letteratura tecnico-scientifica (Amar & Jezequel, 1972), di stimare le caratteristiche della formazione in esame con la profondità.

Pertanto, per i parametri di resistenza non drenati 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: $E_u = 500 C_u$.

Parametri drenati

Poiché, come evidenziato in precedenza, per profondità elevate, le prove di laboratorio eseguite non risultano rappresentative dei relativi stati tensionali, per i parametri di resistenza drenati è stato fatto ricorso ad un involucro curvilineo tarato sui dati sperimentali disponibili (cfr. relazione Geotecnica generale), dal quale è possibile ricavare i valori dei parametri di resistenza al variare dello stato tensionale.

Si riporta di seguito l'involucro curvilineo, nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 72) tarato sull'insieme delle prove di taglio e delle prove triassiali eseguite per la formazione TRV del Lotto 3:

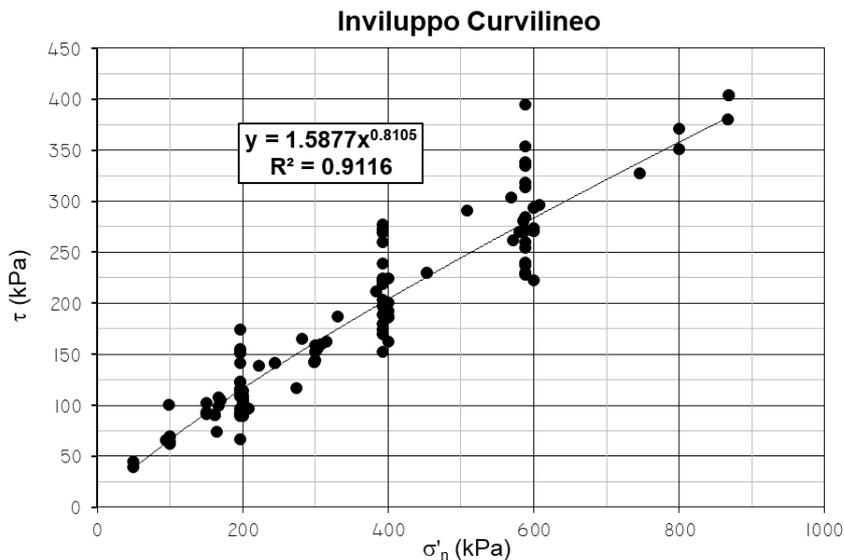


Figura 72: Lotto 3 – TRV ad alte coperture – involucro curvilineo

Per i moduli elastici è stato assunto un andamento che interpola i dati sperimentali, con equazione pari a $E' = 3 z$. Per E_u anche in questo caso è stato assunto un valore proporzionale ai valori di C_u secondo la correlazione di $E_u = 500 C_u$.

9.6.4 Formazione TRVa

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del TRVa.

9.6.4.1 Litotipo argilloso

Galleria Santa Catena

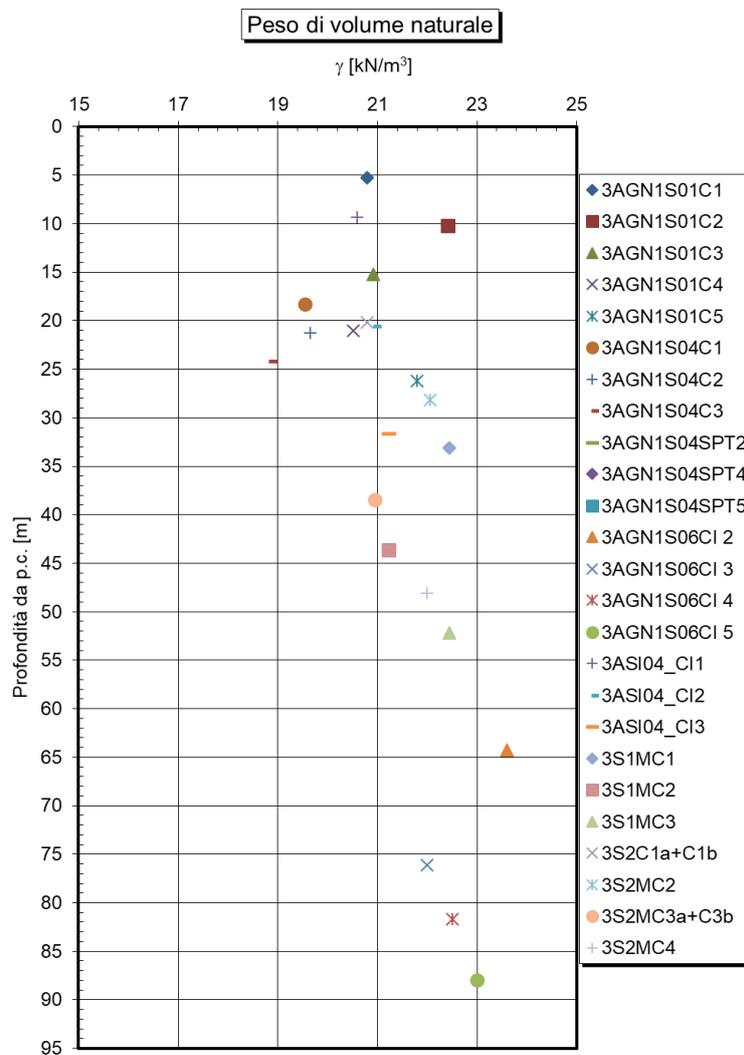


Figura 73: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – peso di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	134 di 378

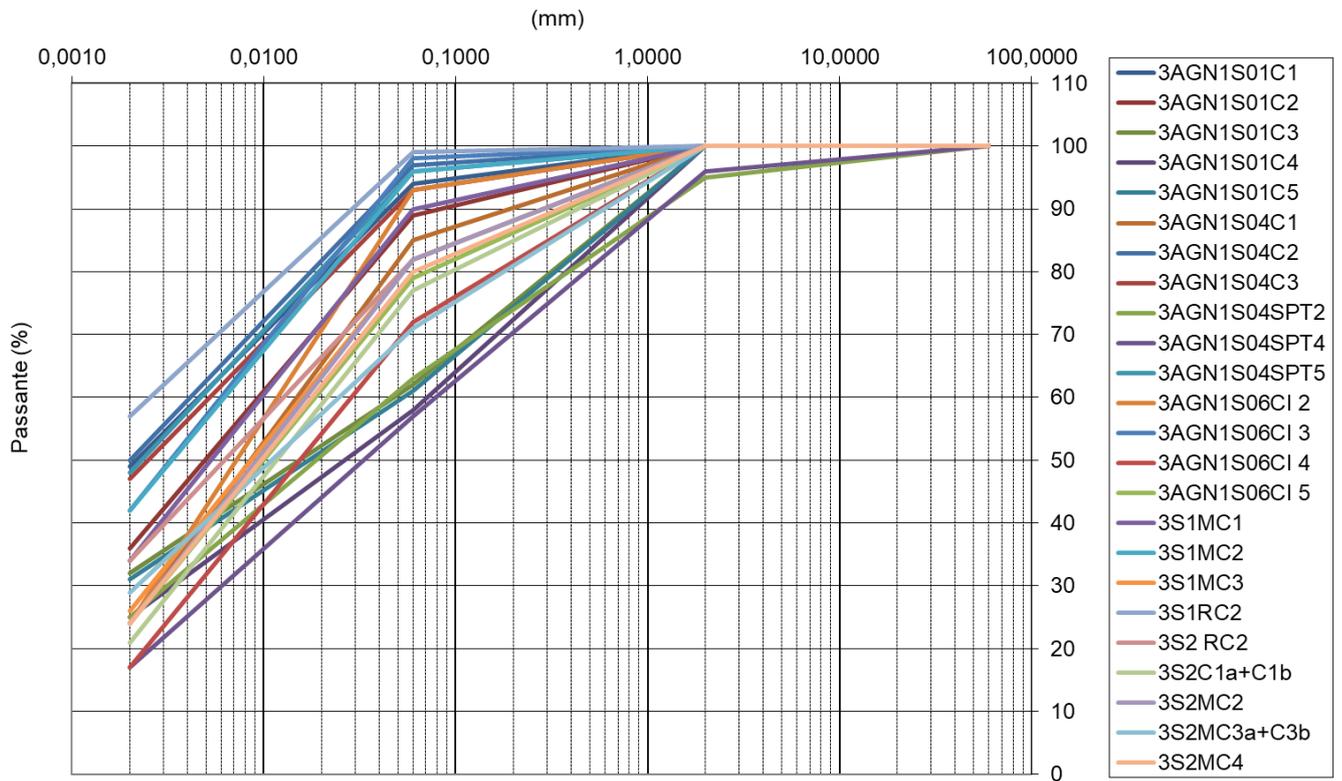


Figura 74: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – fuso granulometrico

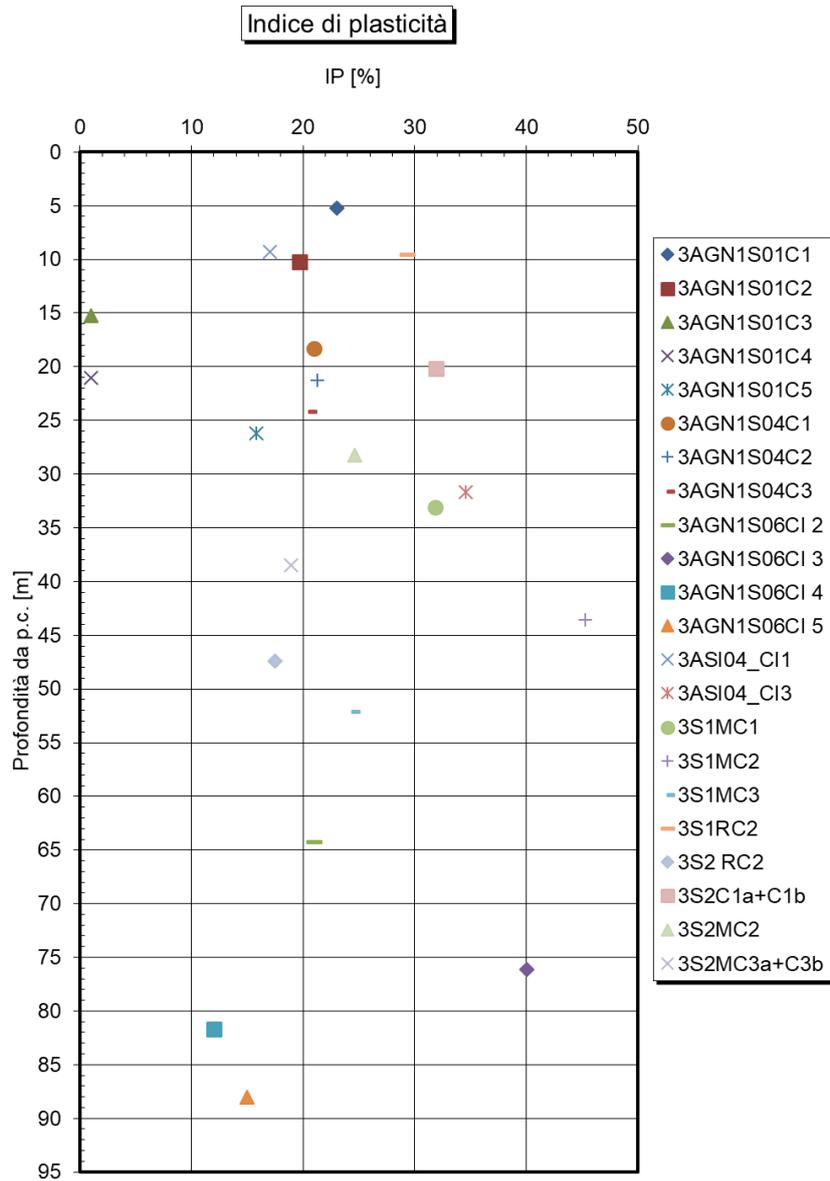


Figura 75: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – indice di plasticità

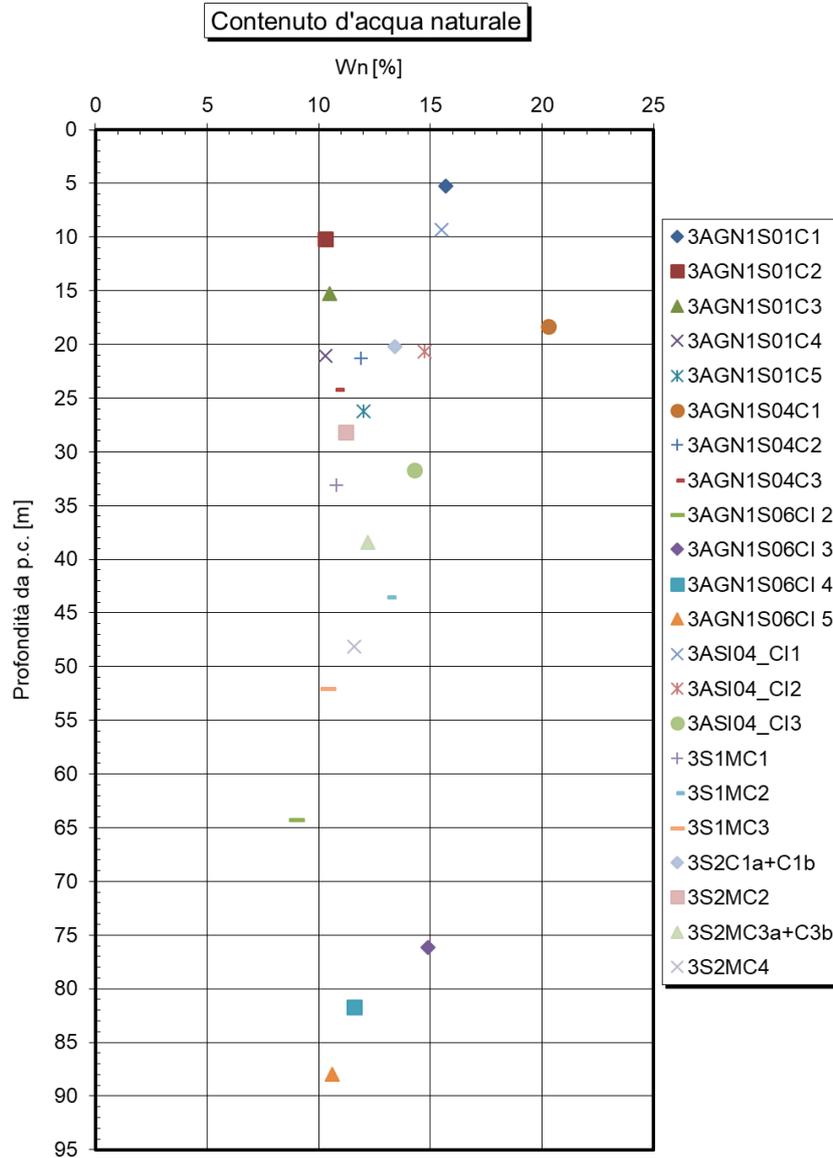


Figura 76: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – contenuto d'acqua

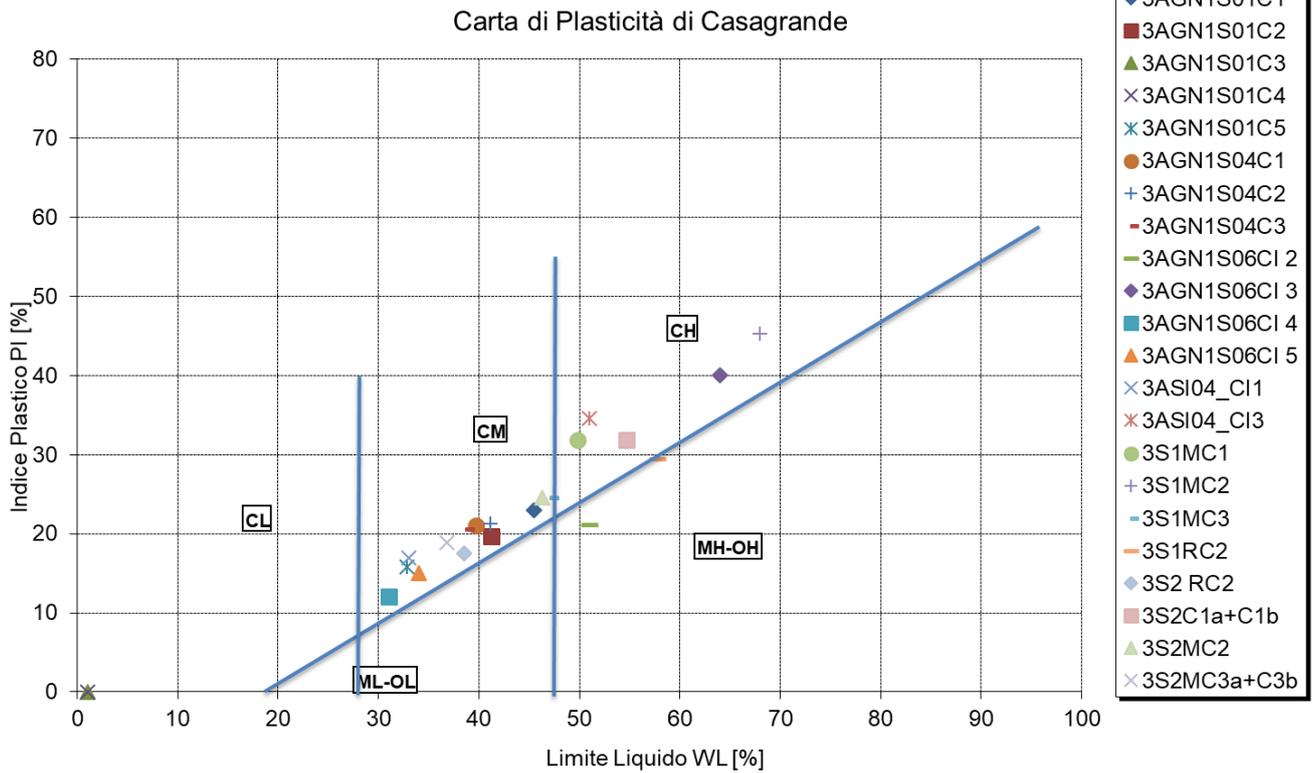


Figura 77: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – carta di plasticità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Sono state eseguite n.2 prove triassiali non consolidate non drenate da cui si sono determinati valori della resistenza la taglio non drenata pari a 198 kPa e 210 kPa rispettivamente alle profondità di 21 metri e di 32 metri.

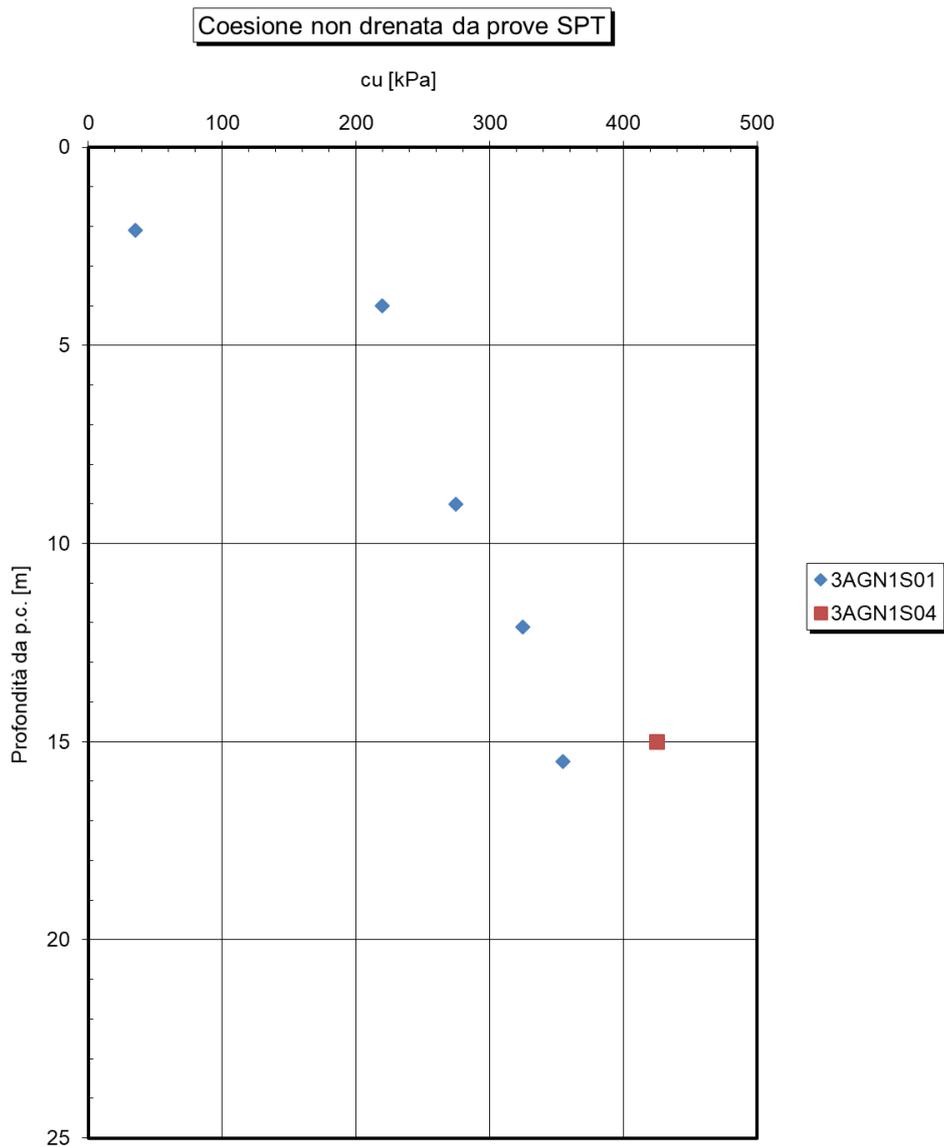


Figura 78: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – resistenza al taglio non drenata da prove SPT

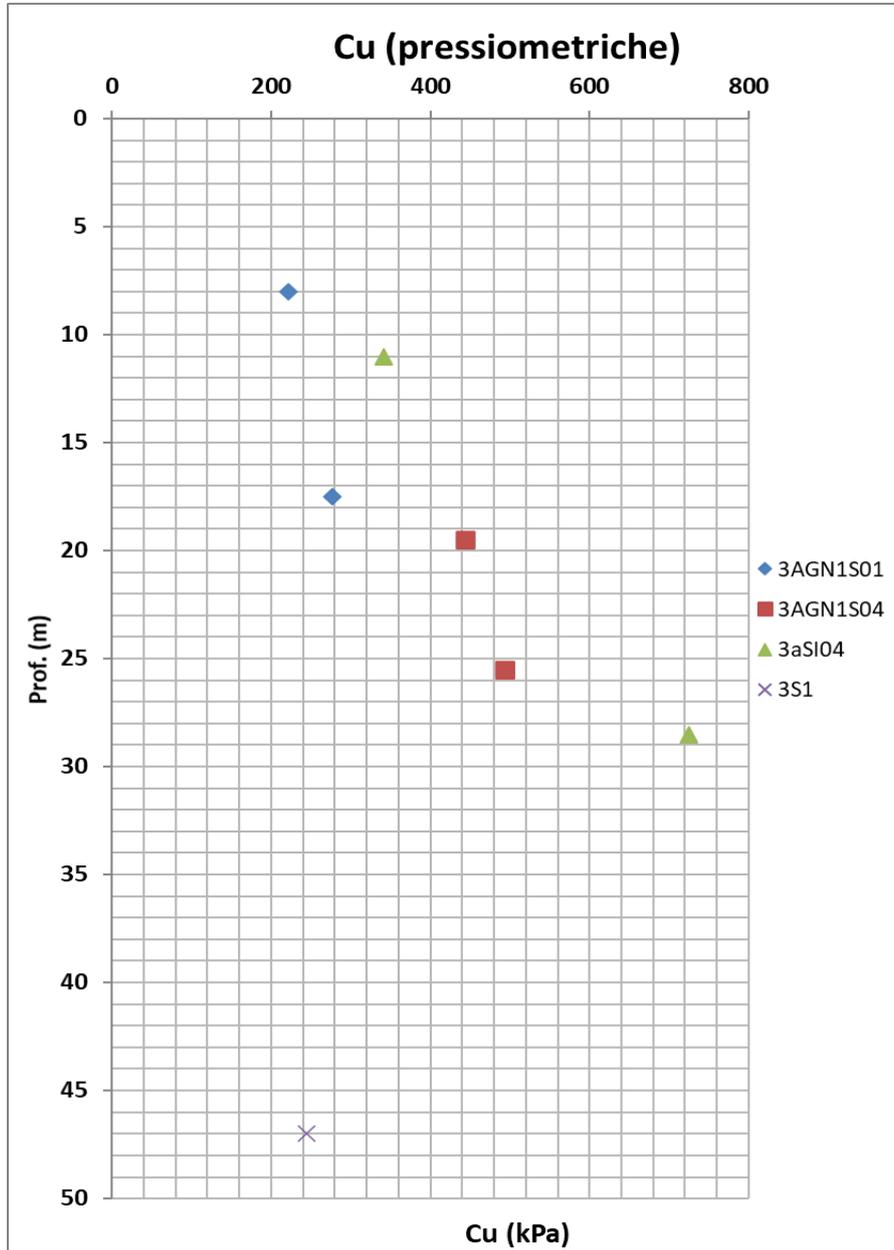


Figura 79: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Le due prove triassiali eseguite sui campioni con componente limoso-argillosa prevalente (CI1 del sondaggio 3a-GN1-S01 prelevato a 5,5 m e CI2 del sondaggio 3a-GN1-S06, prelevato a 64,3 m da p.c) forniscono un involucro di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' con valori di intercetta di coesione c' pari a 29 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 28° (Figura 80).

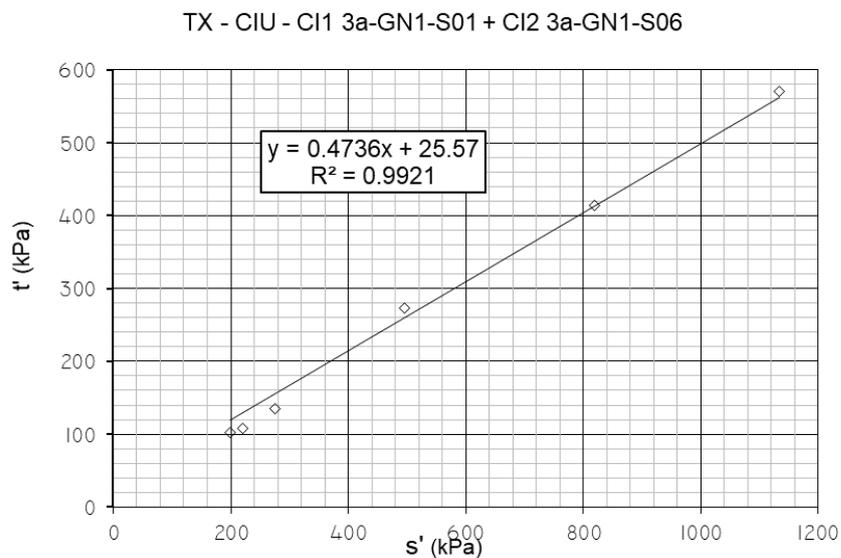


Figura 80: Galleria Santa Catena – TRVa limoso-argilloso - prove triassiali

Le 5 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati con prevalente percentuale limoso-argillosa evidenziano un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 81) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 22 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 23°. Le profondità di prelievo dei 6 campioni variano tra 18,5 e 88 m da piano campagna.

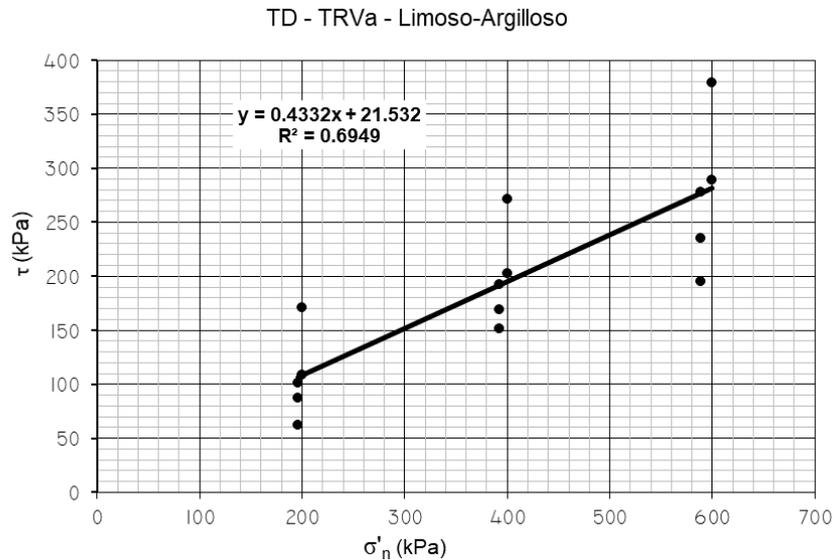


Figura 81: Galleria Santa Catena – TRVa - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Come si evince dalla Figura 81 l'inviluppo risulta piuttosto disperso e pertanto risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli inviluppi di resistenza (Figura 82). Nello specifico l'inviluppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 9 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 19° , mentre quello superiore coesione c' pari a 65 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 28° .

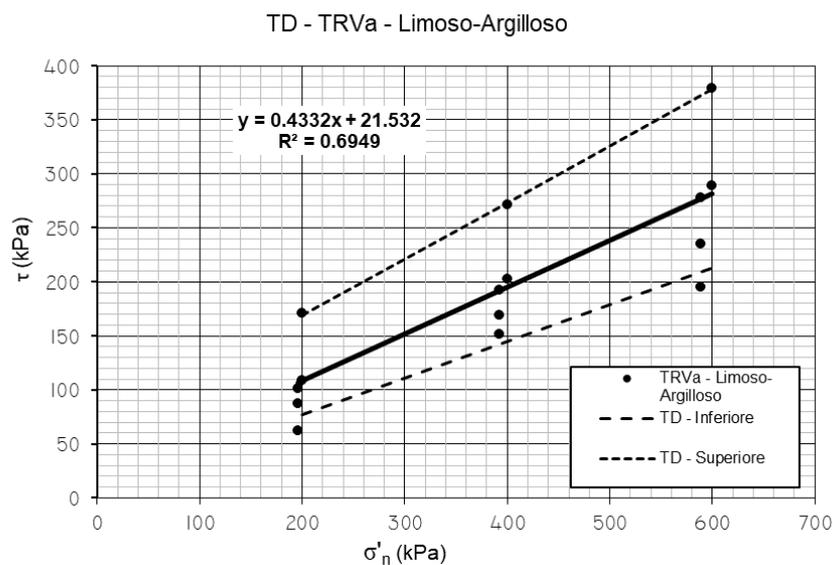


Figura 82: Galleria Santa Catena – TRVa - intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	142 di 378

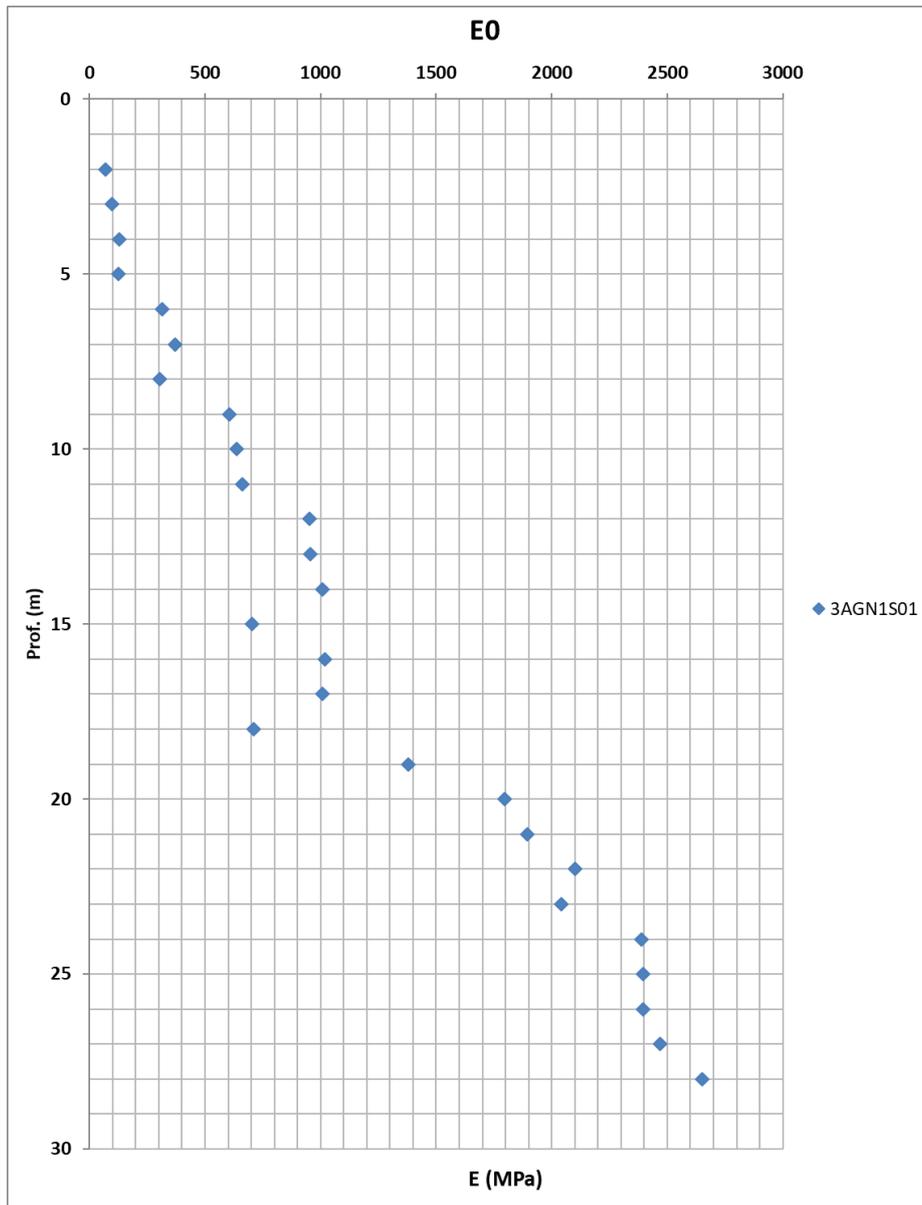


Figura 83: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso— modulo di Young da prove sismiche

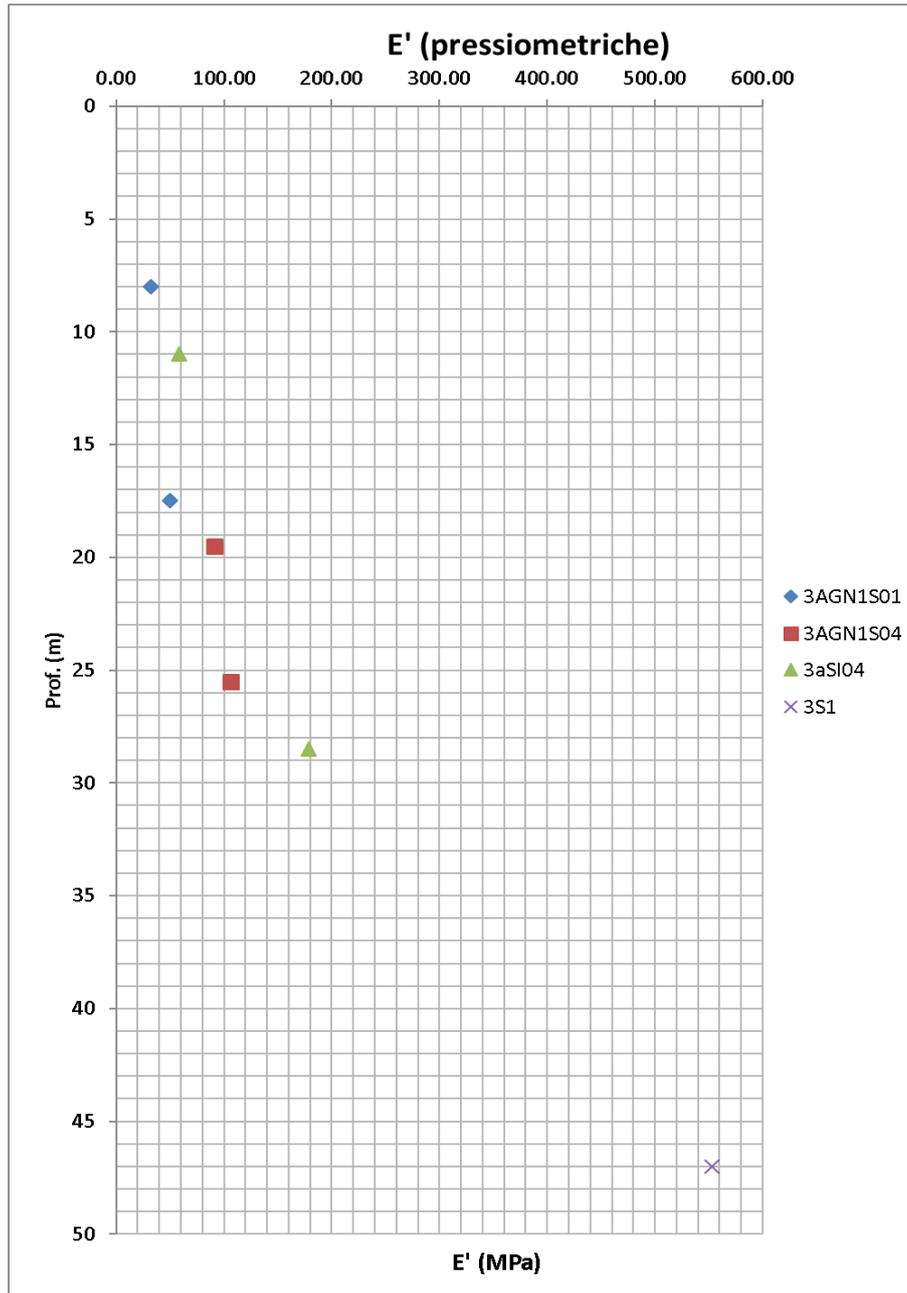


Figura 84: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso– modulo di Young da prove pressiometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	144 di 378

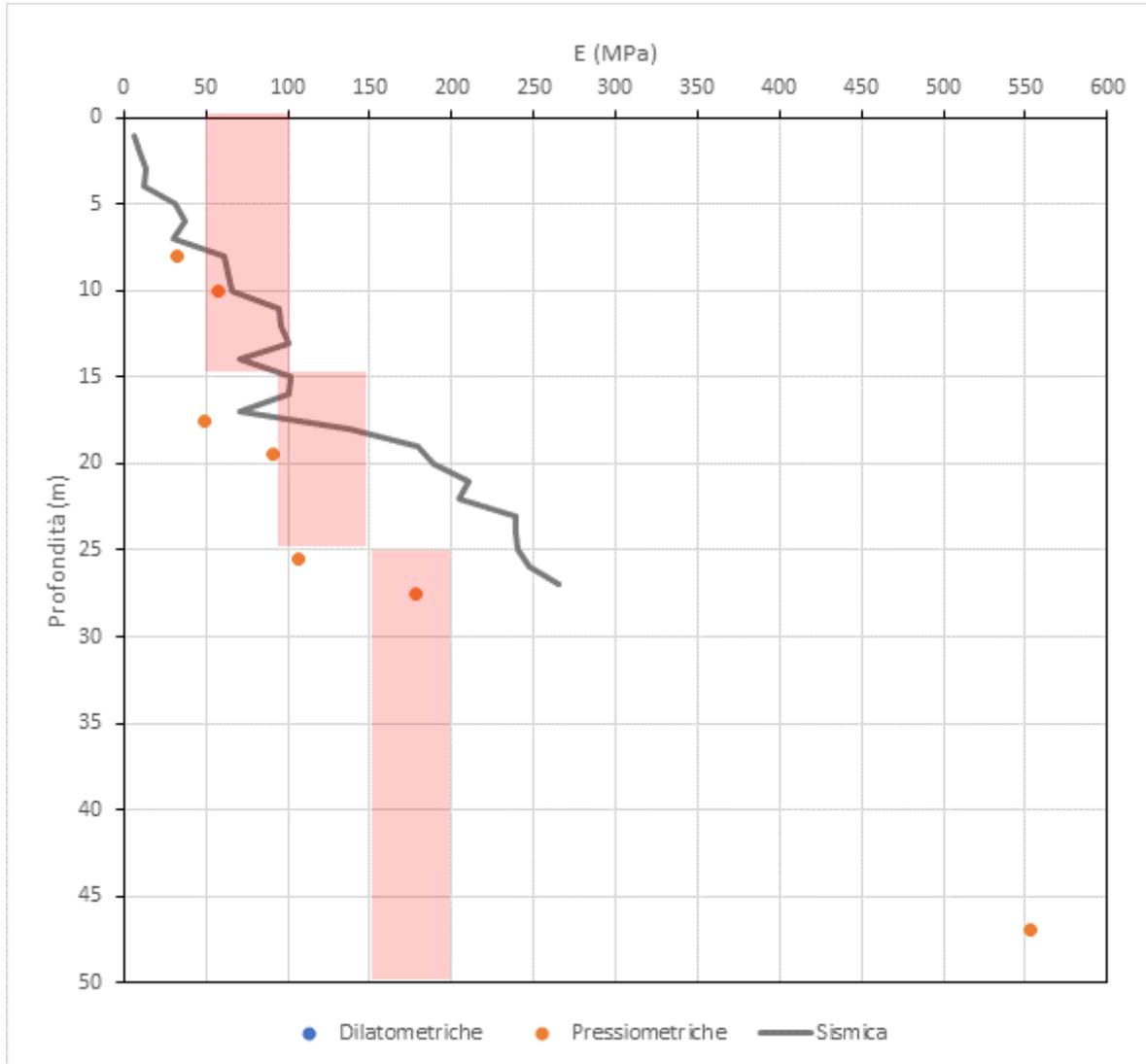


Figura 85: Galleria Santa Caterina – TRVa argilloso—range caratteristici - modulo di Young operativo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 11 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Santa Catena – TRVa argilloso

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	v	E	c'	Cu	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-15	TRVa	21	-	-	-	0.3	0.030-0.080	9-65	225	19-28
15-25	TRVa	21	-	-	-	0.3	0.050-0.270	9-65	225	19-28
25-50	TRVa	21	-	-	-	0.3	0,105-0.55	9-65	500	19-28
50-100	TRVa	22	-	-	-	0.3	*	*	*	*
100-200	TRVa	22	-	-	-	0.3	*	*	*	*

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 Cu_k = valore caratteristico della coesione non drenata

* Per profondità maggiori a quelle investigate, per la facies argillosa, si ritiene comunque rappresentativo e sufficientemente cautelativo il modello di comportamento di resistenza e deformabilità specifico della formazione del TRV così come descritto nello specifico capitolo

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	146 di 378

Galleria Xirbi

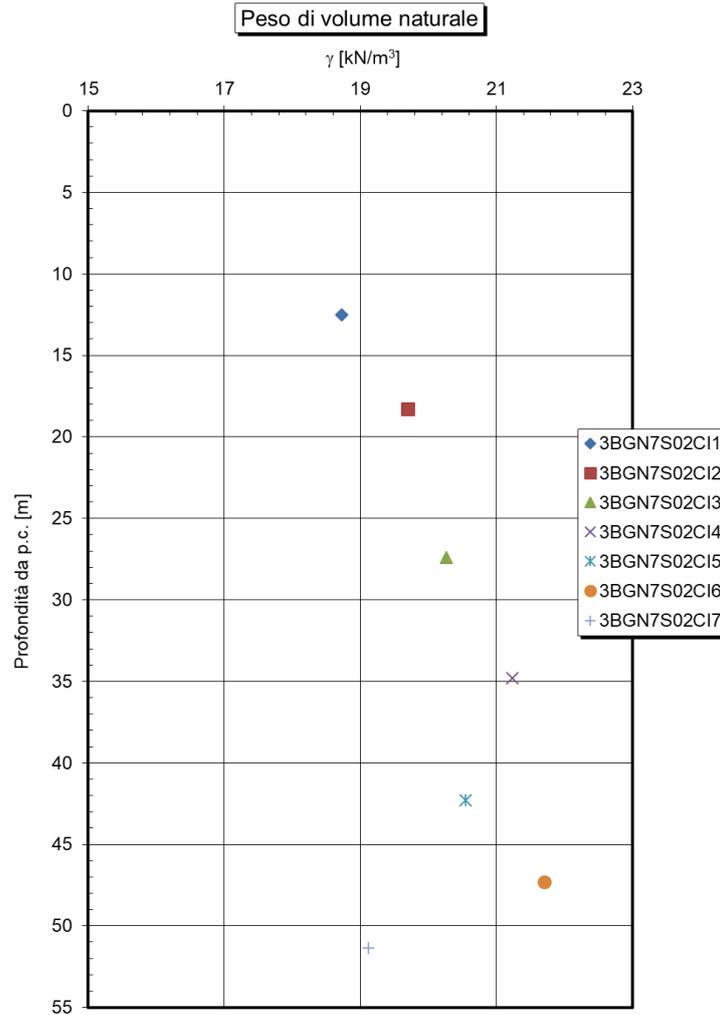


Figura 86: TRVa – peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	147 di 378

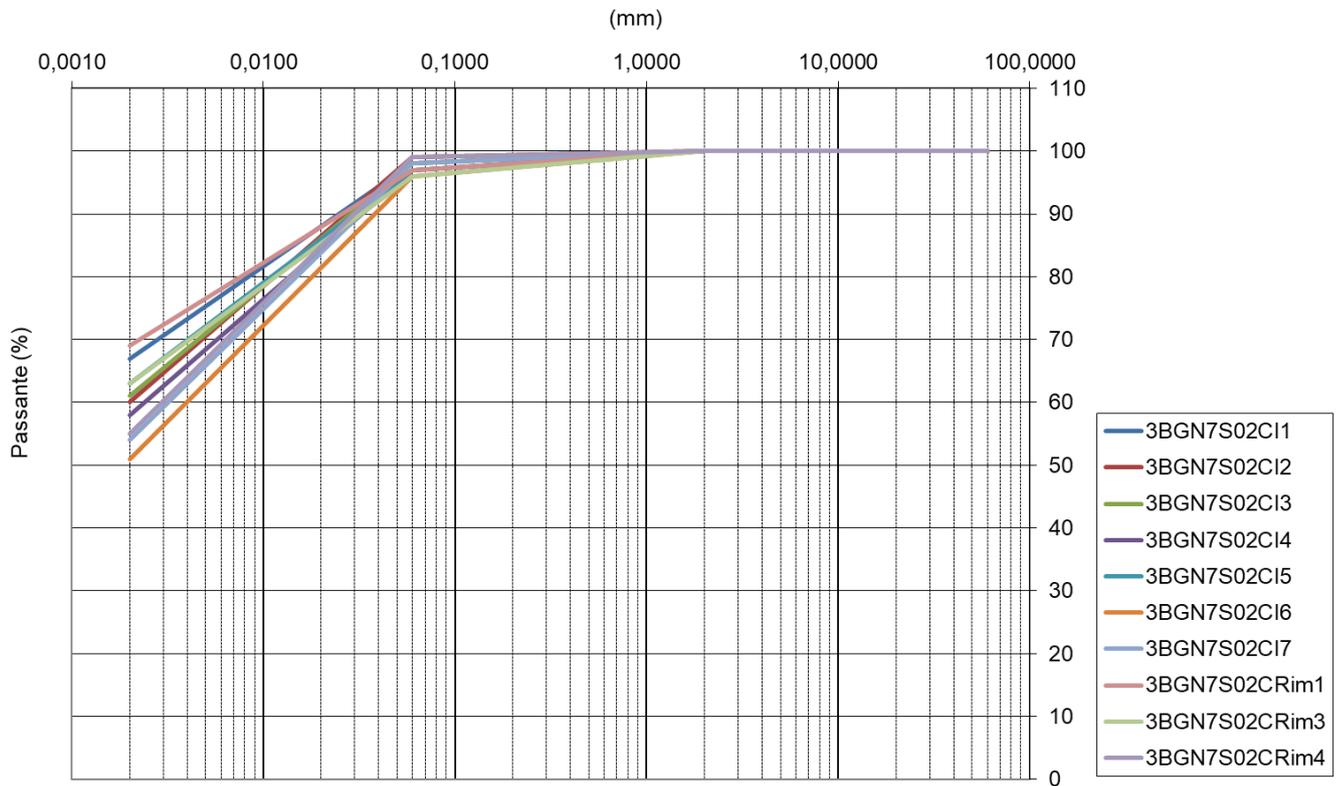


Figura 87: TRVa – Fuso granulometrico

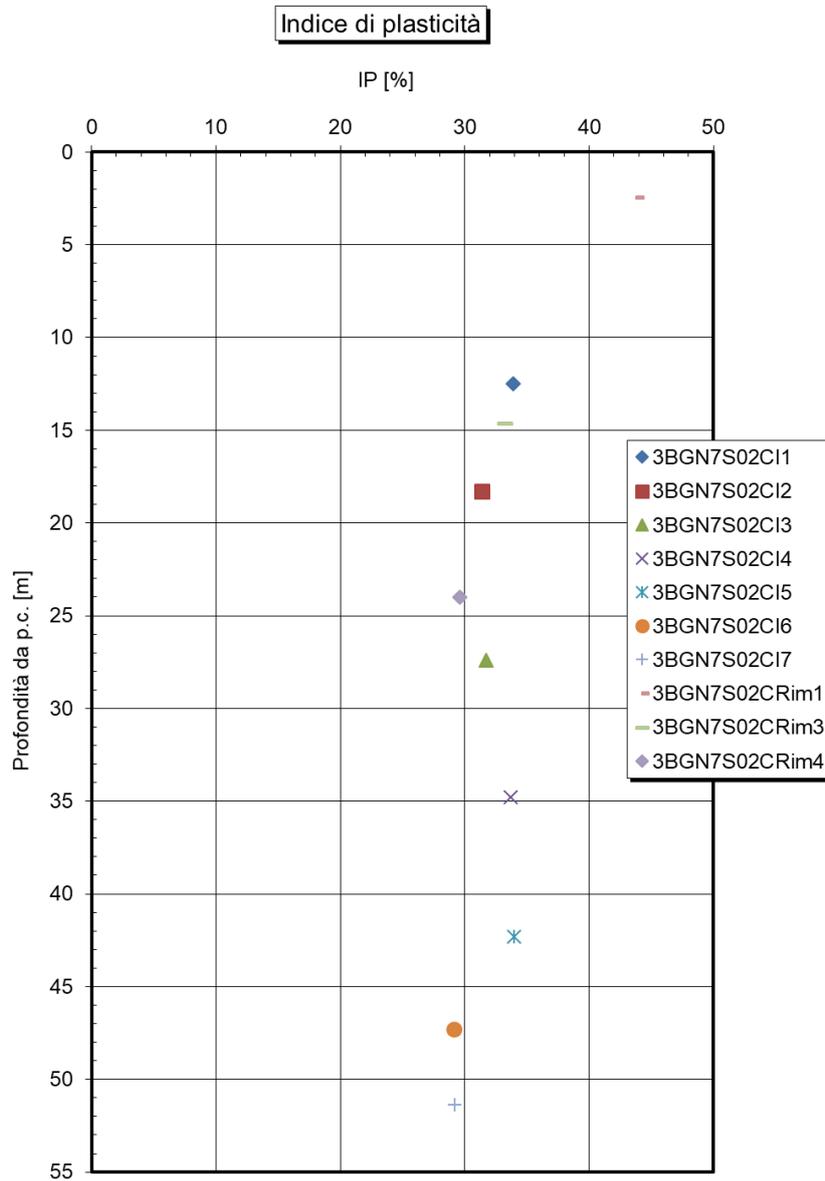


Figura 88: TRVa – Indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	149 di 378

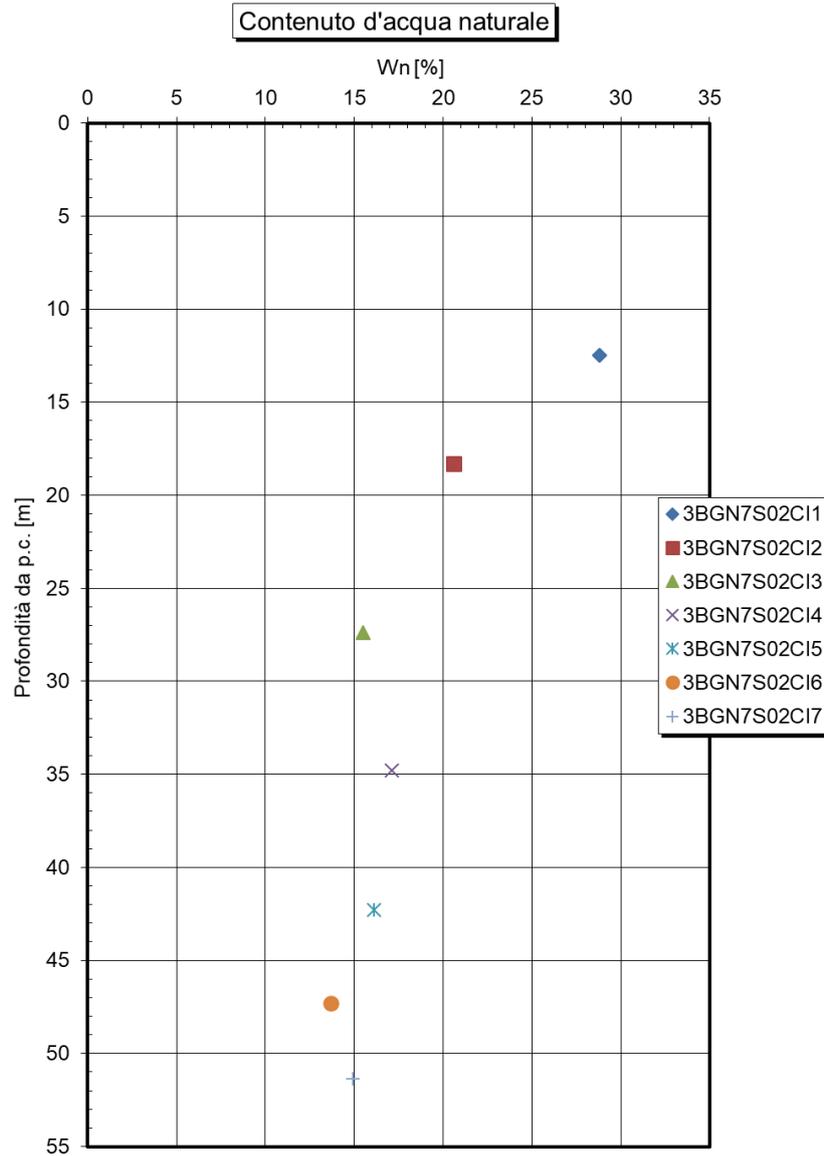


Figura 89: TRVa – Contenuto d'acqua

Carta di Plasticità di Casagrande

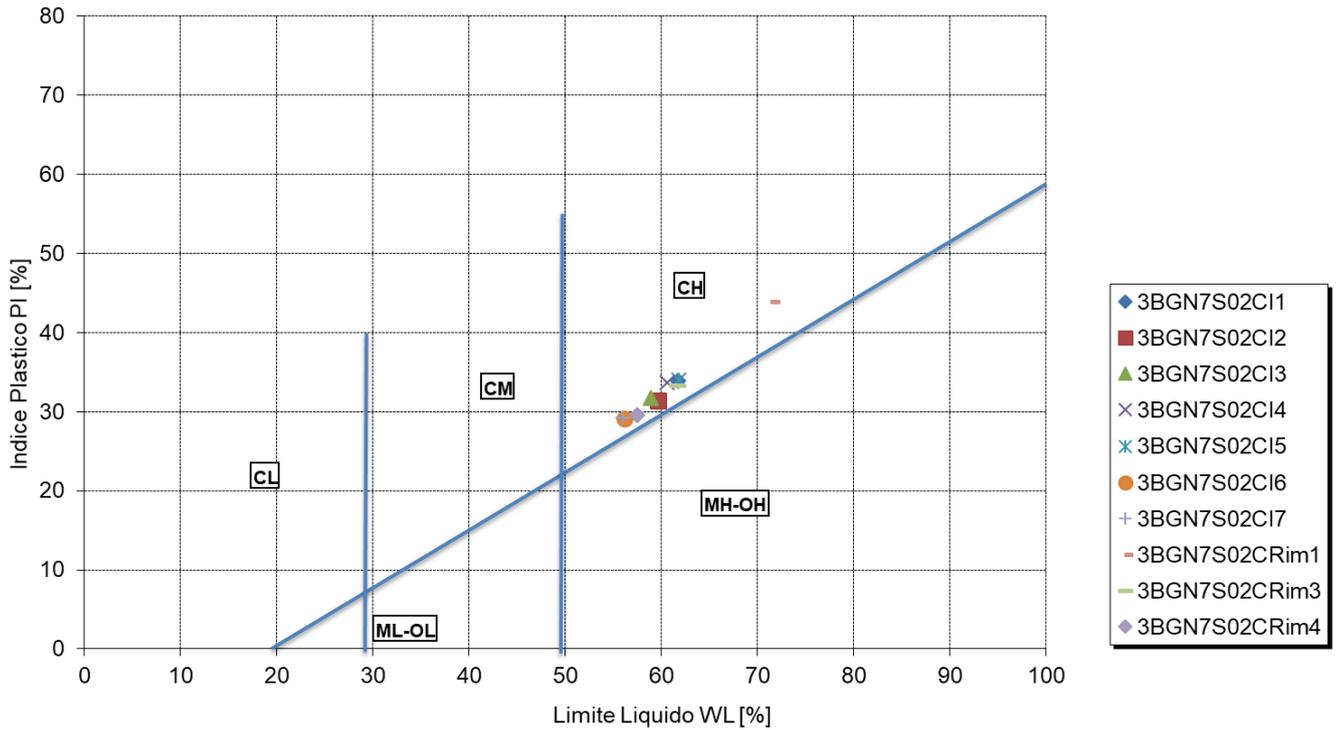


Figura 90: TRVa – Carta di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	151 di 378

Resistenza al taglio non drenata (da prove di laboratorio)

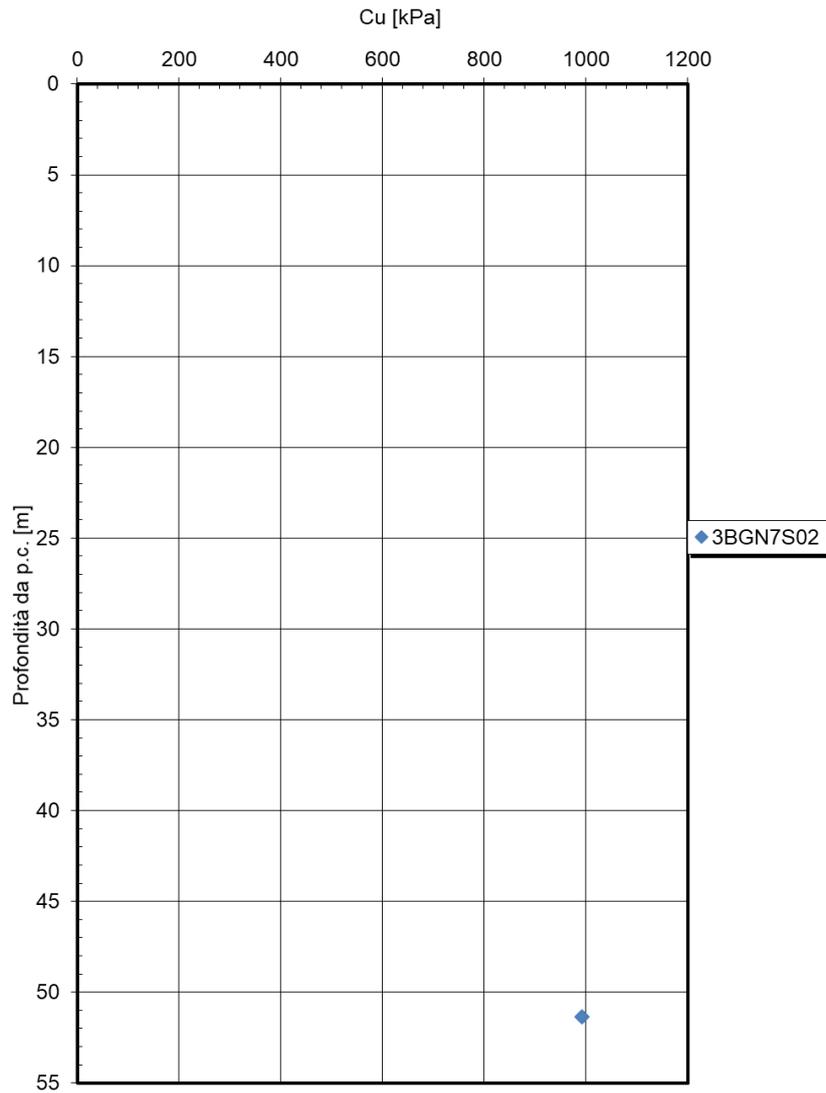


Figura 91: TRVa – resistenza al taglio non drenata da prove triassiali non consolidate non drenate (TX - UU)

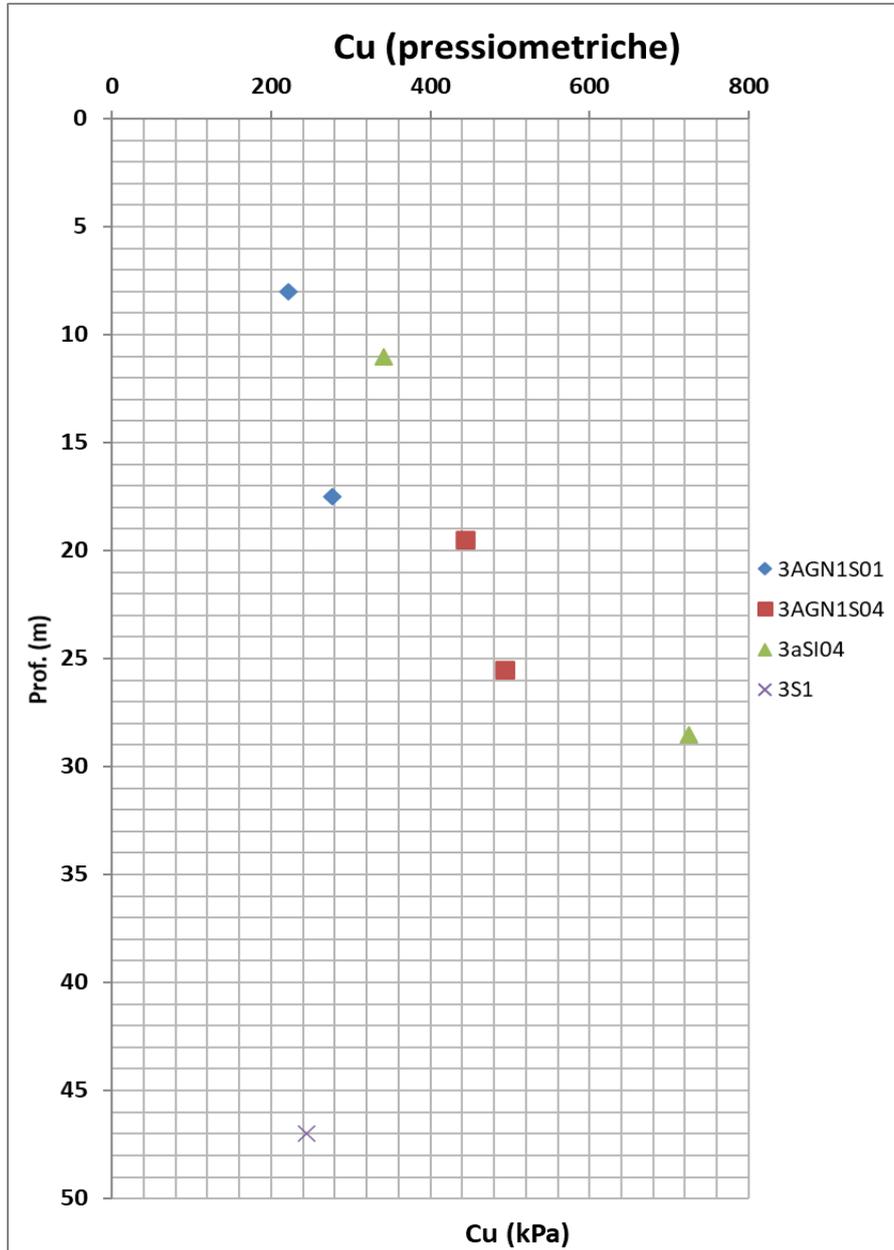


Figura 92: Galleria Santa Catena – TRVa argilloso – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	153 di 378

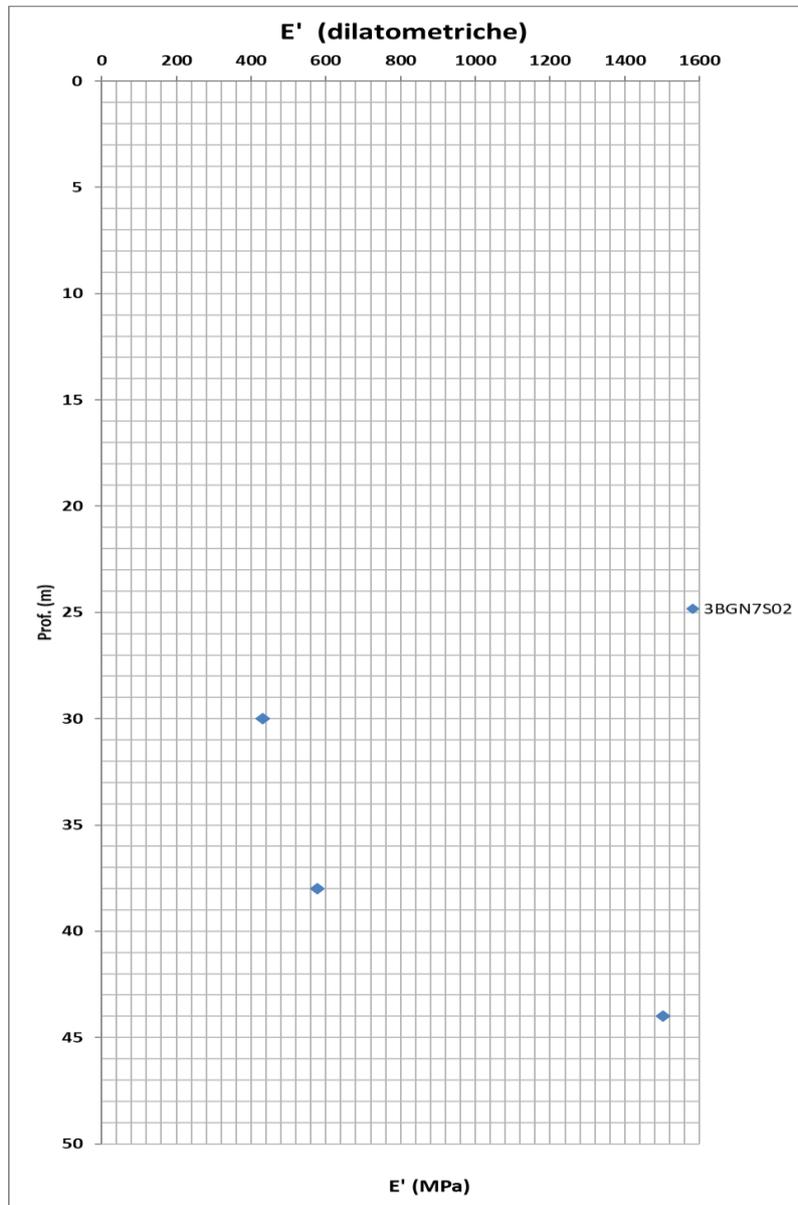


Figura 93: TRVa – modulo operativo da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	154 di 378

Vista l'esiguità delle prove si riporta di seguito l'esito delle indagini dell'intero lotto 3a

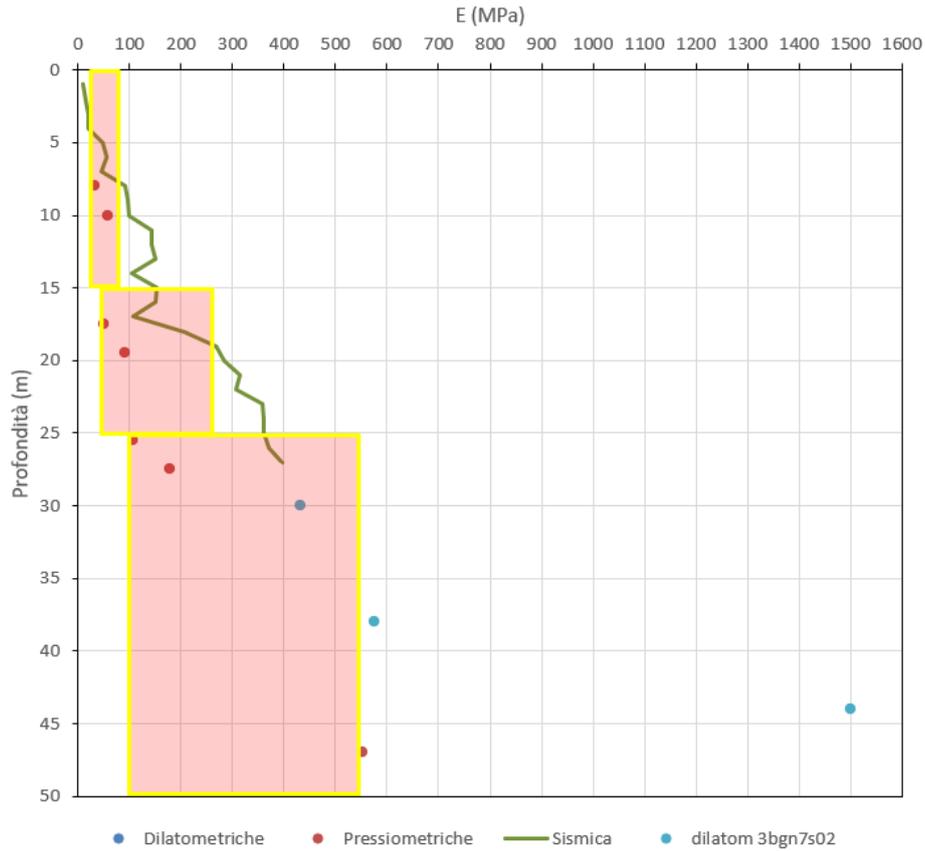


Figura 94:- TRVa argilloso— indagini lotto 3a - range caratteristici - modulo di Young operativo

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

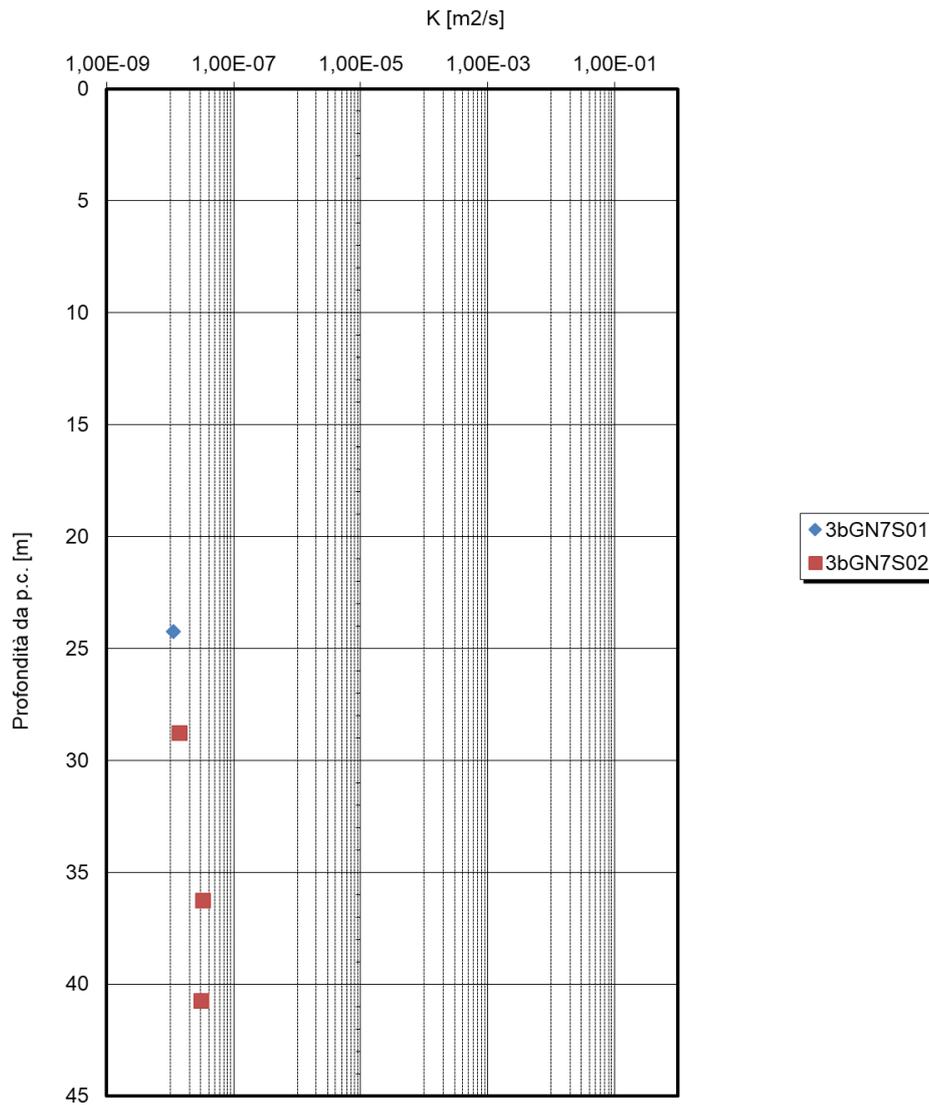


Figura 95: TRVa – coefficiente di permeabilità da prove in sito

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Considerando l'esiguità delle prove si è rimandato alla caratterizzazione della galleria Santa Catena

Tabella 12 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Xirbi – TRVa argilloso

COPERTURA	FORMAZIONE	Y	GSI	mi	σ_m	v	E	c'	Cu	ϕ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
15-25	TRVa	21	-	-	-	0.3	0.050-0.270	9-65	225	19-28
25-40	TRVa	21	-	-	-	0.3	0,105-0.55	9-65	500	19-28

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $c_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	157 di 378

9.6.4.2 Litotipo sabbioso

Galleria Santa Catena

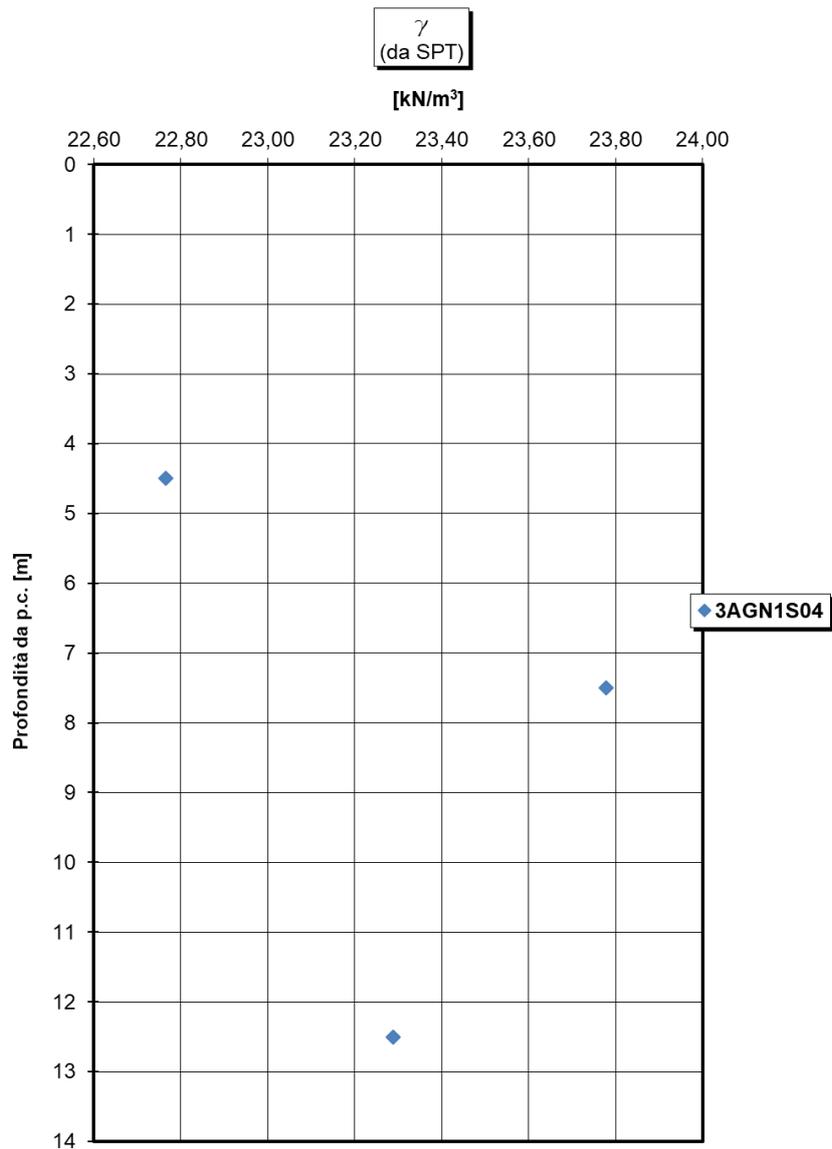


Figura 96: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso- peso dell'unità di volume da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	158 di 378

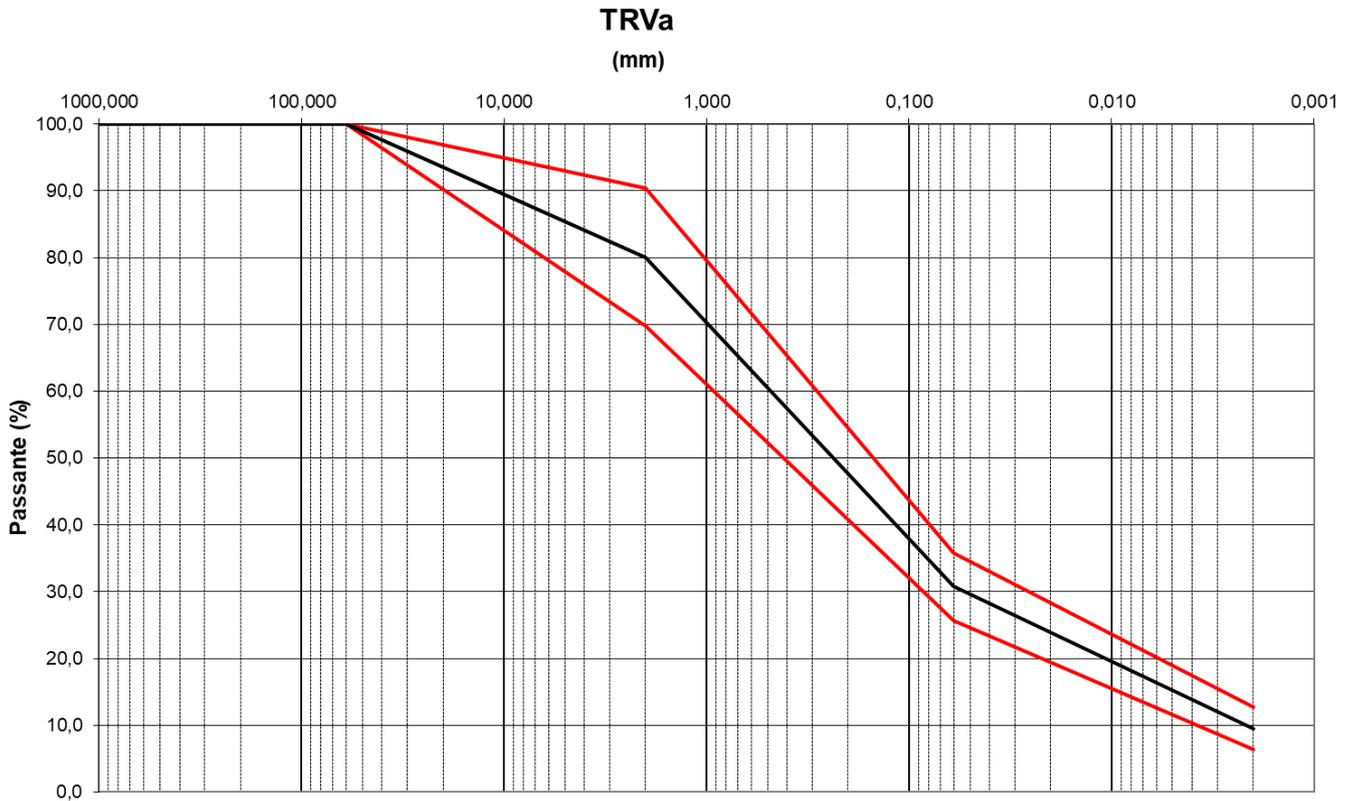


Figura 97: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso – fuso granulometrico

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	159 di 378

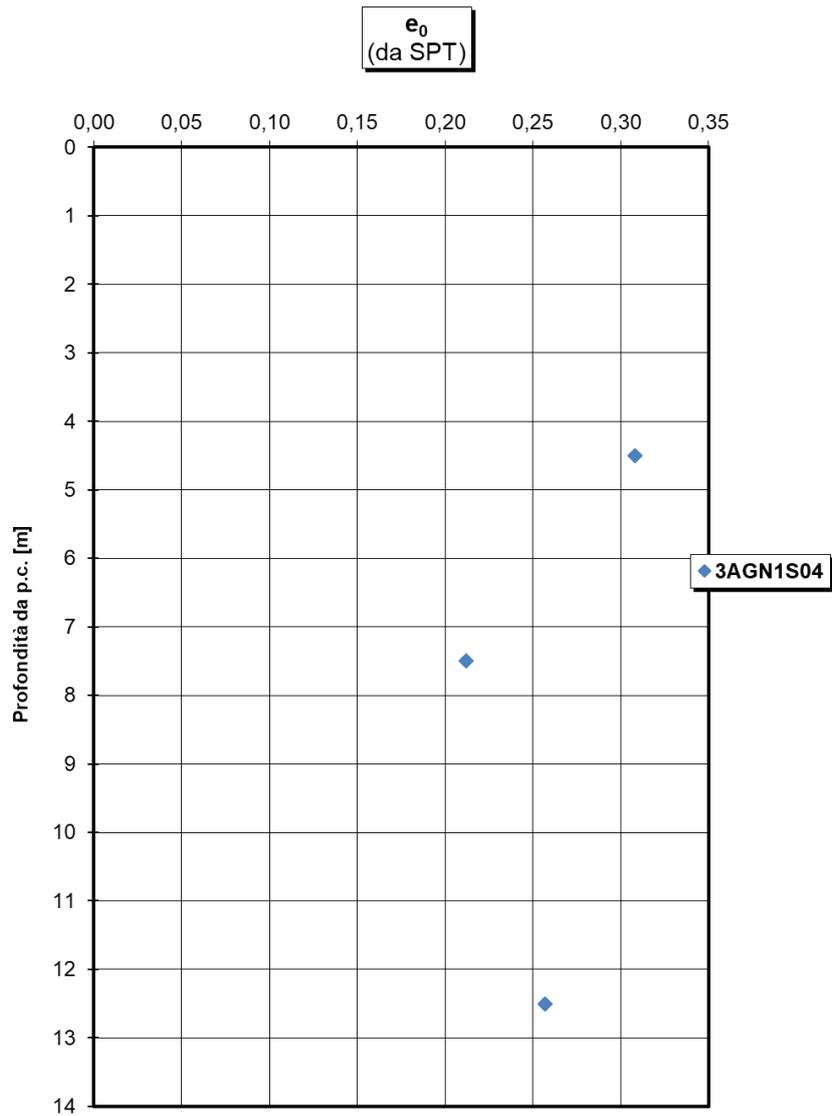


Figura 98: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso— indice di porosità da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	160 di 378

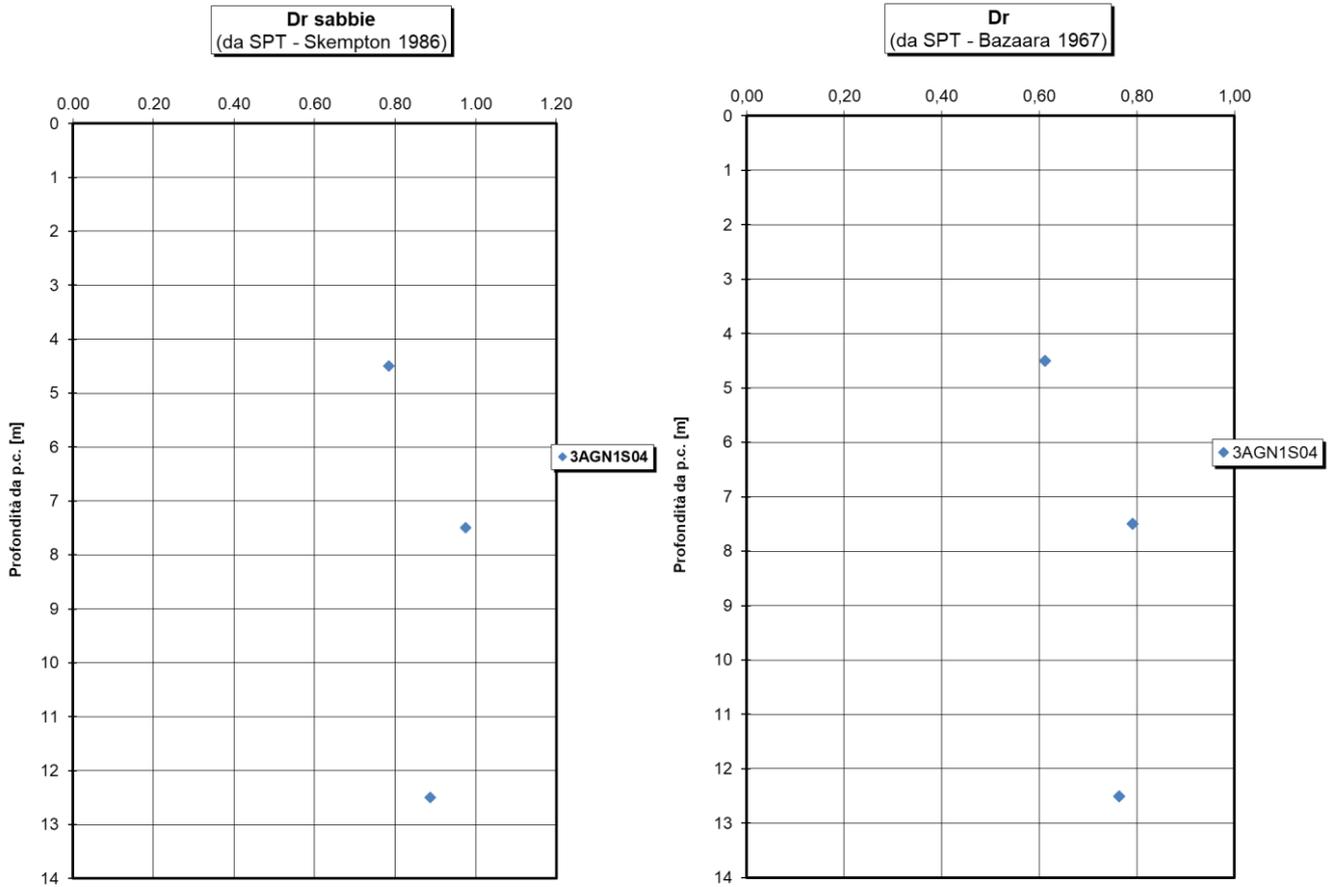


Figura 99: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso– densità relativa da prove SPT

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Per quanto concerne i campioni con componente sabbiosa prevalente (CI4 del sondaggio 3a-GN1-S01 e CI4 del sondaggio 3a-GN1-S06, prelevati rispettivamente a 21,5 e 81,7 m da p.c., l'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' derivante dall'elaborazione delle prove triassiali restituisce valori di intercetta di coesione c' pari a 48 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 32°.

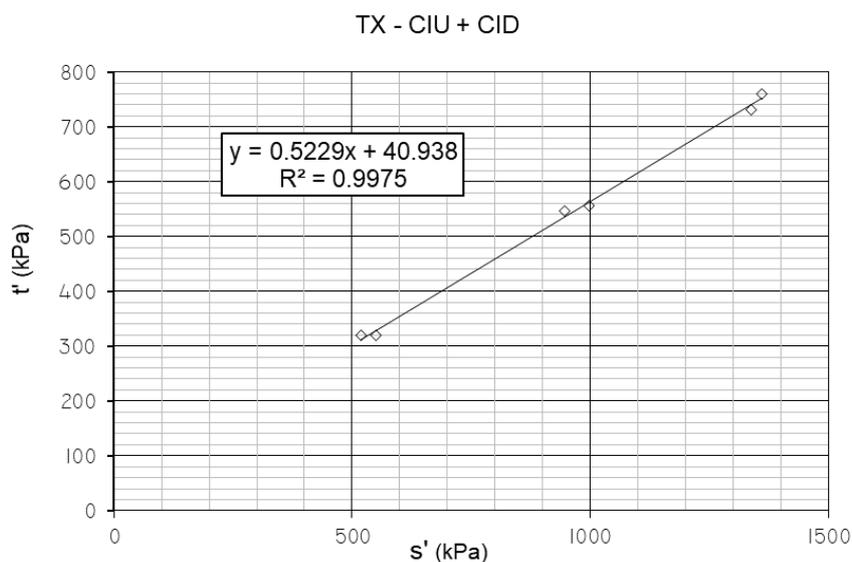


Figura 100: Galleria Santa Catena – TRVa - Involuppo di resistenza delle prove triassiali

Le 6 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati con prevalente percentuale sabbiosa evidenziano un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 101) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 25 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 34°. Le profondità di prelievo dei 6 campioni variano tra 15,5 e 106 m da piano campagna.

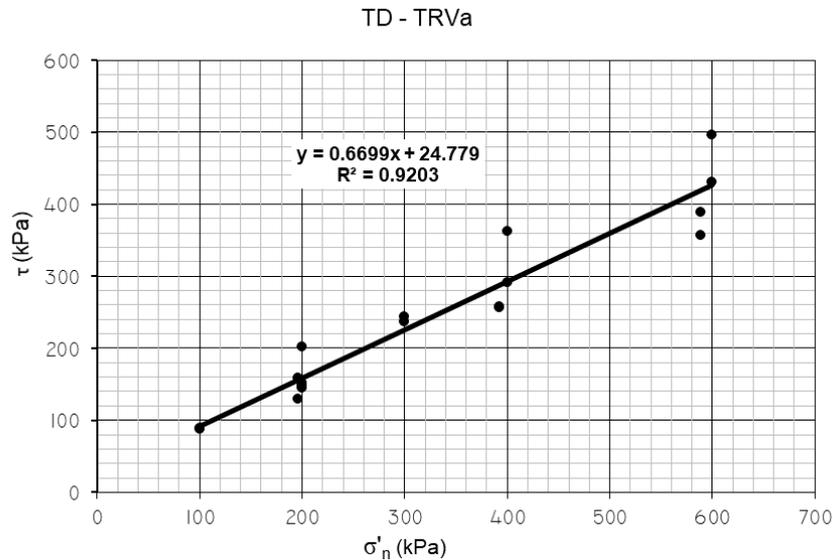
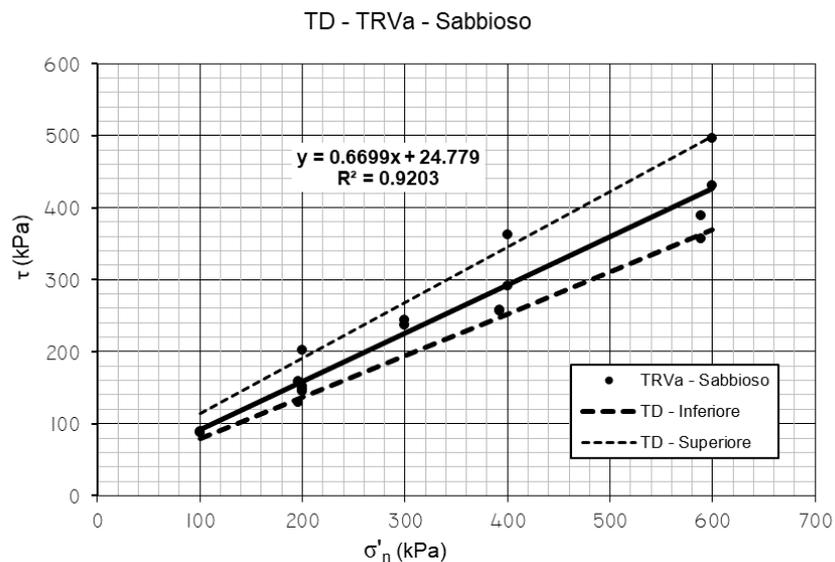


Figura 101: Galleria Santa Catena – TRVa - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Come si evince dalla Figura 101 risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli inviluppi di resistenza (Figura 102). Nello specifico l’inviluppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 21 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 30° , mentre quello superiore coesione c' pari a 38 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 38° .



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Figura 102: Galleria Santa Catena – TRVa - intervallo involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

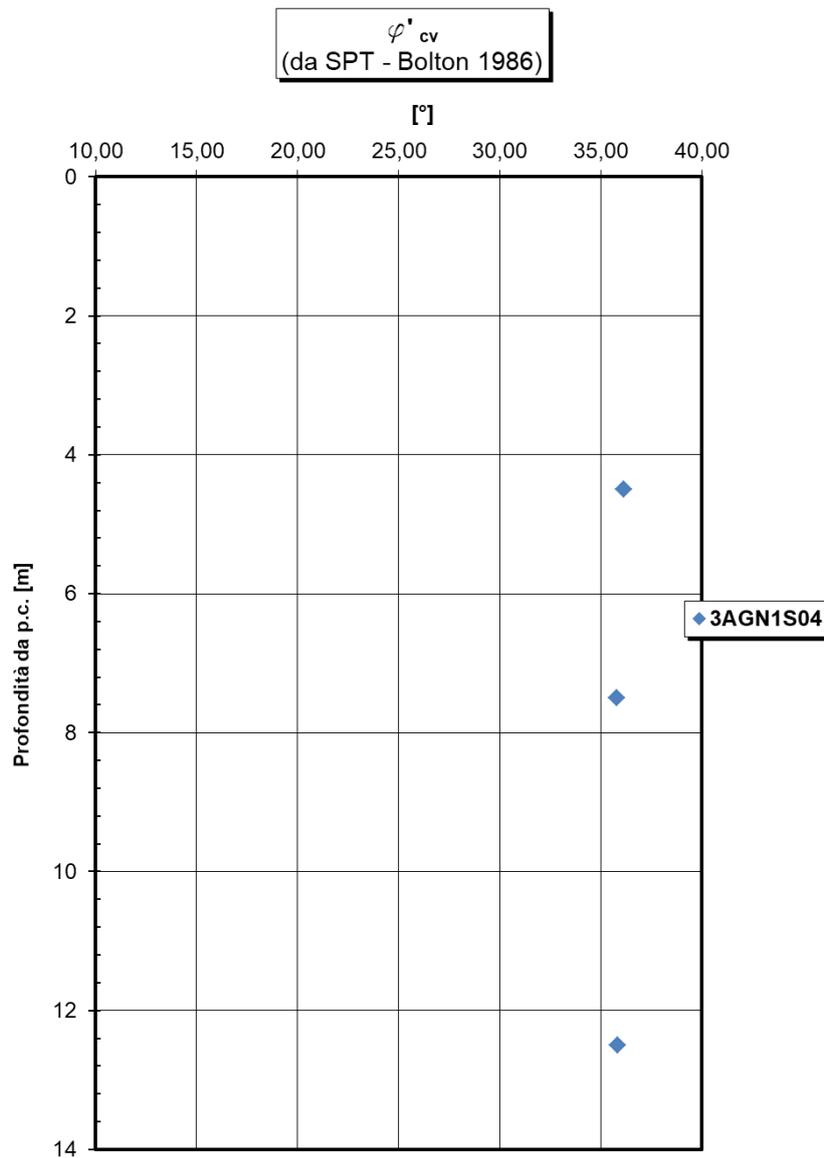


Figura 103: Galleria Santa Catena -TRVa sabbioso– angolo di resistenza al taglio a volume costante da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	164 di 378

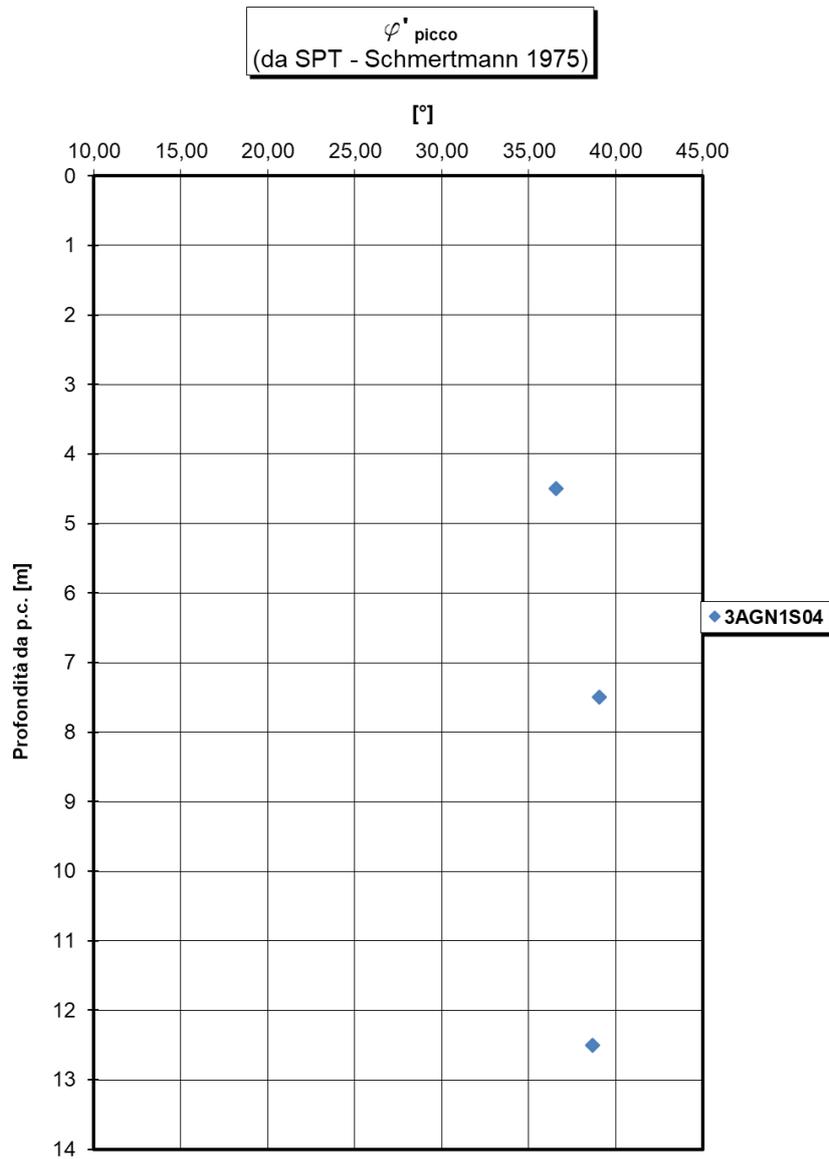


Figura 104: Galleria Santa Catena -TRVa sabbioso- angolo di resistenza al taglio da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	165 di 378

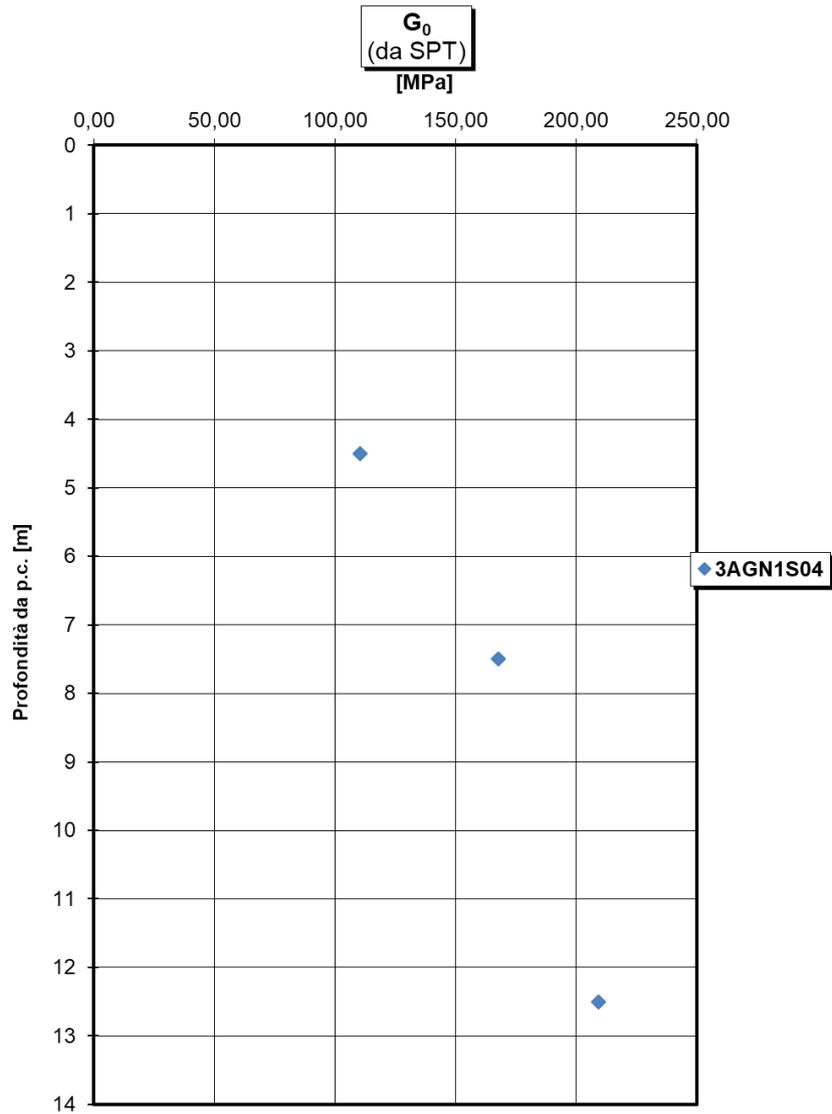


Figura 105: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso – modulo di taglio da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	166 di 378

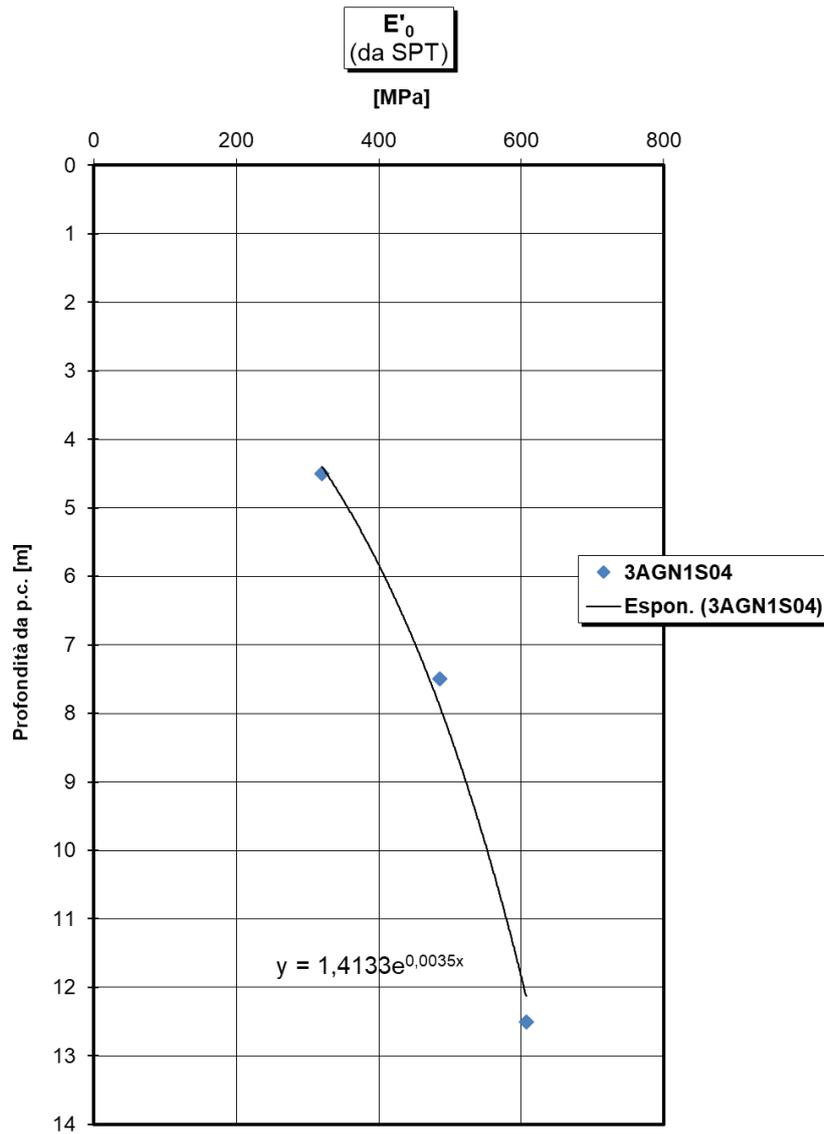


Figura 106: Galleria Santa Catena – TRVa Sabbioso— modulo di Young da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	167 di 378

9.6.4.3 Litotipo arenaceo – conglomeratico

Galleria Santa Catena

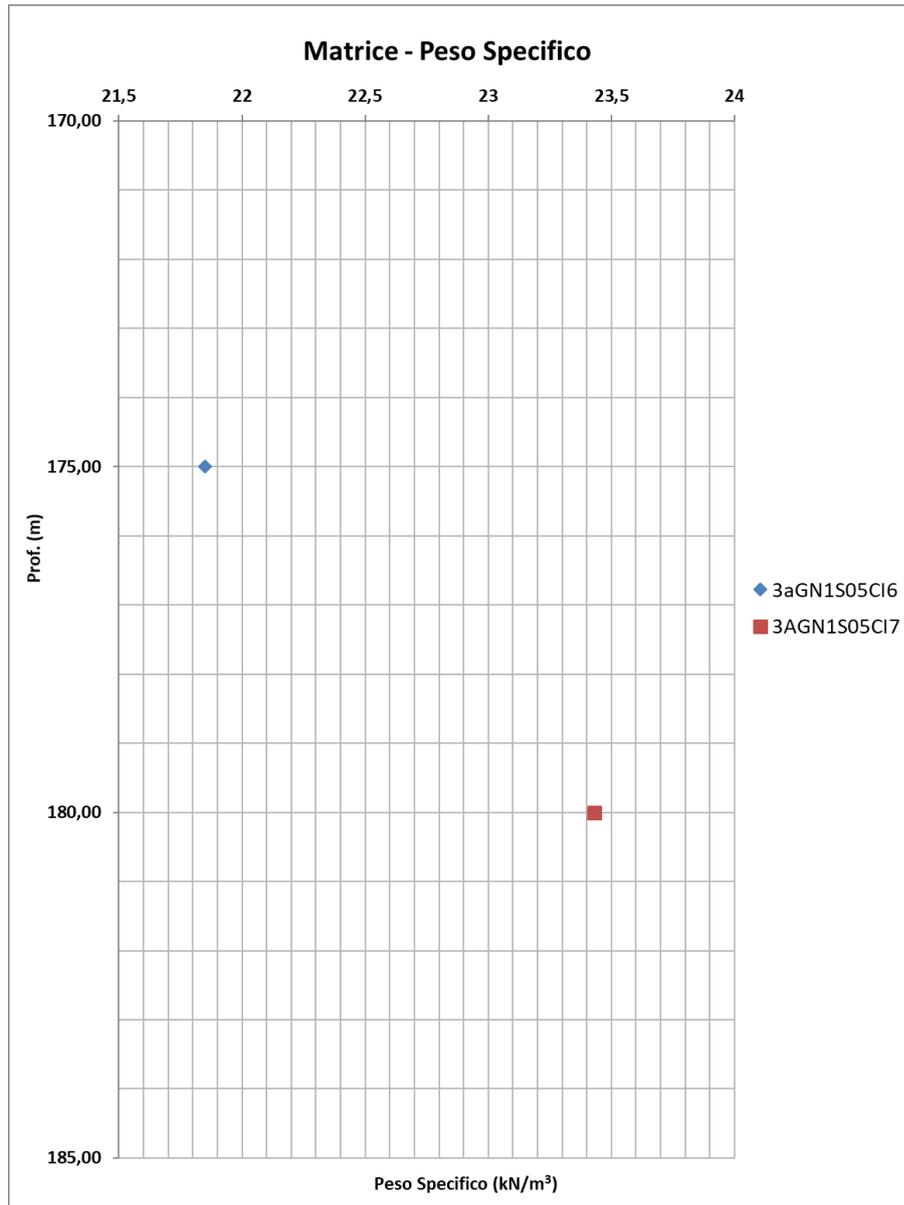


Figura 107: Galleria Santa Catena - TRVa arenaceo— Peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	168 di 378

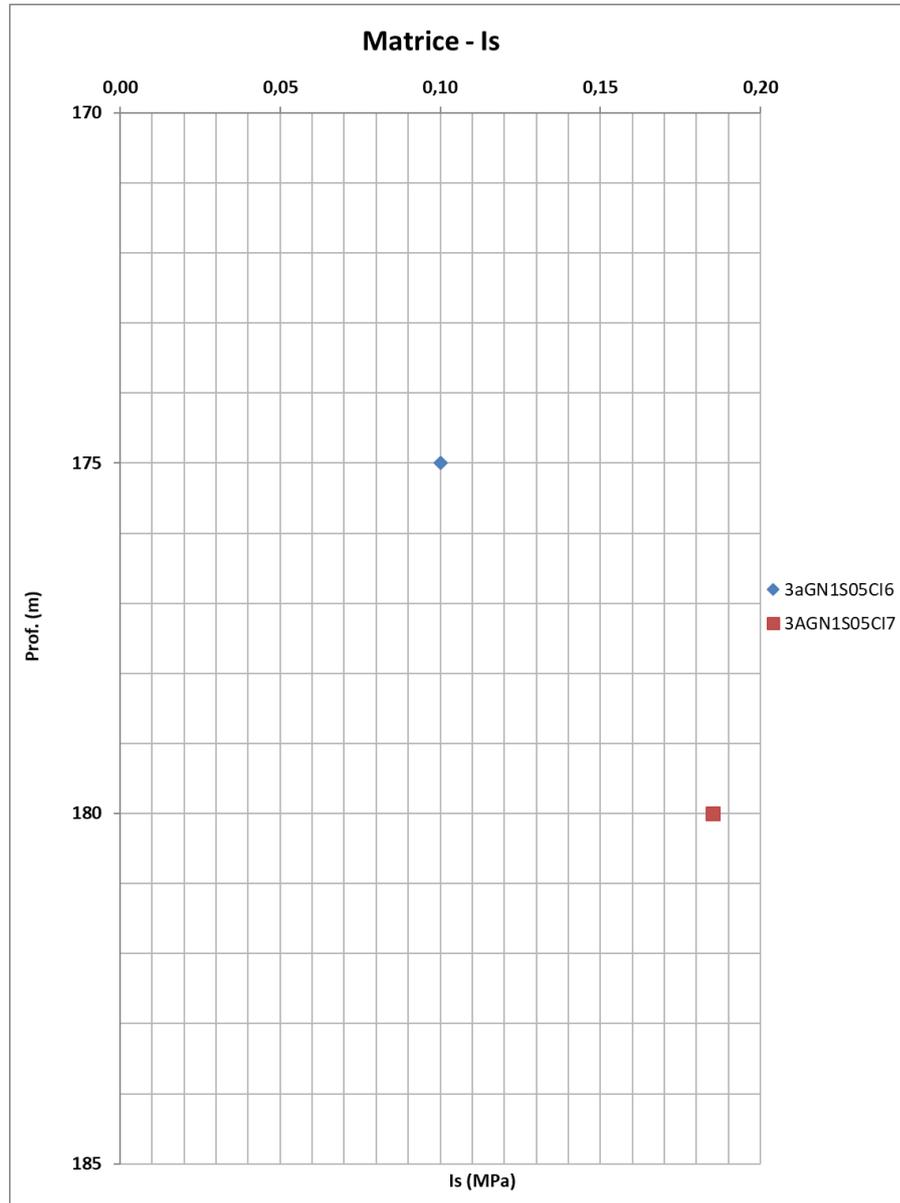


Figura 108: Galleria Santa Catena - TRVa arenaceo—indice Is prove Point Load

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	169 di 378

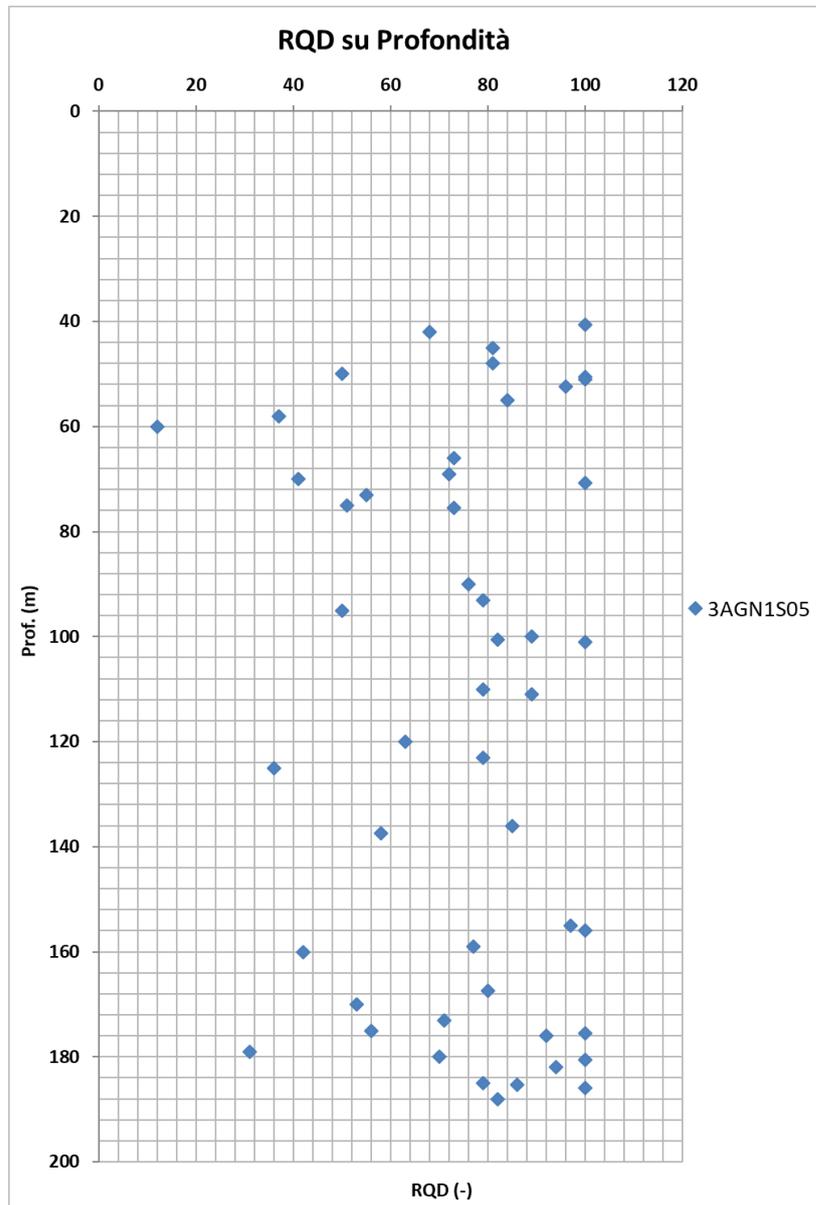


Figura 109: Galleria Santa Catena - TRVa Arenaceo - conglomeratico – RQD

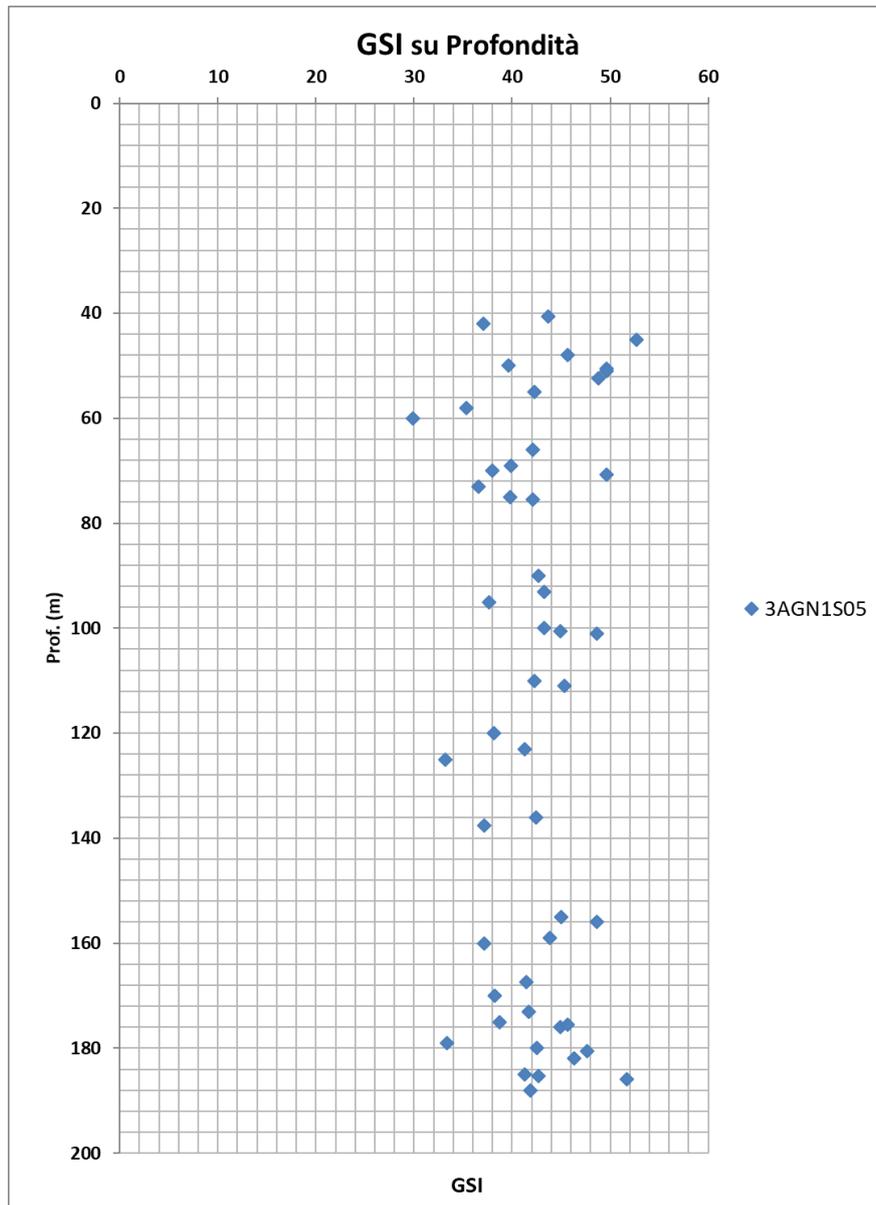


Figura 110: Galleria Santa Catena - TRVa Arenaceo - conglomeratico – GSI

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	171 di 378

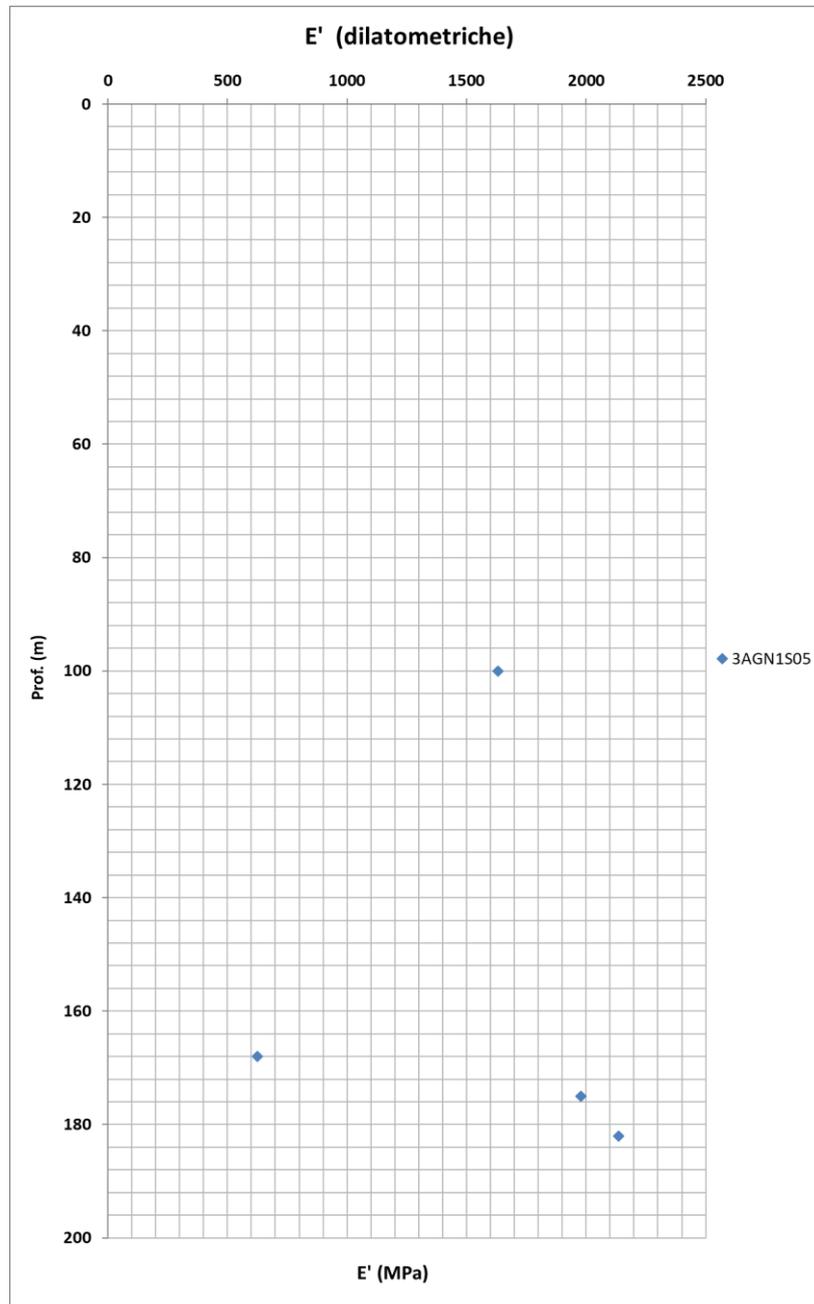


Figura 111: Galleria Santa Catena - TRVa Arenaceo - conglomeratico – modulo di deformabilità dalle dilatometriche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.6.5 Caratterizzazione del TRVa

Per quanto riguarda il litotipo sabbioso-conglomeratico, alla luce dell'esito delle indagini si rileva dai sondaggi e dai rilievi entro 50m di profondità un debole livello di cementazione che sembra essere più elevato in profondità evidenziandosi, a fasce, anche una consistenza conglomeratica.

Pertanto nei primi 50m di profondità il materiale è stato caratterizzato come prevalentemente incoerente e pertanto caratterizzato in base all'esito delle prove SPT sia dal punto di vista della resistenza che della deformabilità (correlazioni da SPT).

Più in profondità l'esito del carotaggio e relativo rilievo geomeccanico ha consentito di determinare i parametri tipici di una roccia seppur debolmente cementata. L'esito delle prove di laboratorio (σ_m) e del rilievo geomeccanico (GSI), assumendo per mi dei valori tipici di letteratura, ha pertanto consentito di ottenere i parametri di Hoek Brown e relativa linearizzazione per ricavare i corrispondenti parametri del criterio di resistenza di Mohr Coulomb.

Tabella 13 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Santa Catena – TRVa argilloso

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	v	E	c'	Cu	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-15	TRVa	21	-	-	-	0.3	0.050-0.100	9-65	225	19-28
15-25	TRVa	21	-	-	-	0.3	0.100-0.150	9-65	225	19-28
25-50	TRVa	21	-	-	-	0.3	0.150-0.200	9-65	500	19-28
50-100	TRVa	22	-	-	-	0.3	0.200-0.300(*)	68-102(*)	594	18-20
100-200	TRVa	22	-	-	-	0.3	0.300-0.600(*)	103-201(*)	1188	15-18

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 Cu_k = valore caratteristico della coesione non drenata

* Per profondità maggiori a quelle investigate, per la facies argillosa, si ritiene comunque rappresentativo e sufficientemente cautelativo il modello di comportamento di resistenza e deformabilità specifico della formazione del TRV così come descritto nello specifico capitolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 14 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Santa Catena – TRVa sabbioso - conglomeratico

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	v	E	c'_k	c_{uk}	ϕ'_k
[m]		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-50	TRVa sabbioso	21	-	-	-	0.3	0-0.2	21-38	-	30-38
50-100	TRVa sabbioso-conglomeratico	22	40	17	3	0.3	0.2-0.7	115-180	-	30-35
100-200	TRVa sabbioso-conglomeratico	22	40	17	3	0.3	0.7-2	180-270	-	25-30

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 c_{uk} = valore caratteristico della coesione non drenata

(*) Per la il litotipo sabbioso-conglomeratico, per elevate profondità, ci si può riferire a parametri di resistenza medi (tra parentesi) fra quelli rappresentativi della facies sabbiosa e quelli della facies più cementata e/o conglomeratica ottenuti col modello di Hoek Brown

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.6.6 Formazione TRVb

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del TRVb.

Galleria Trabona

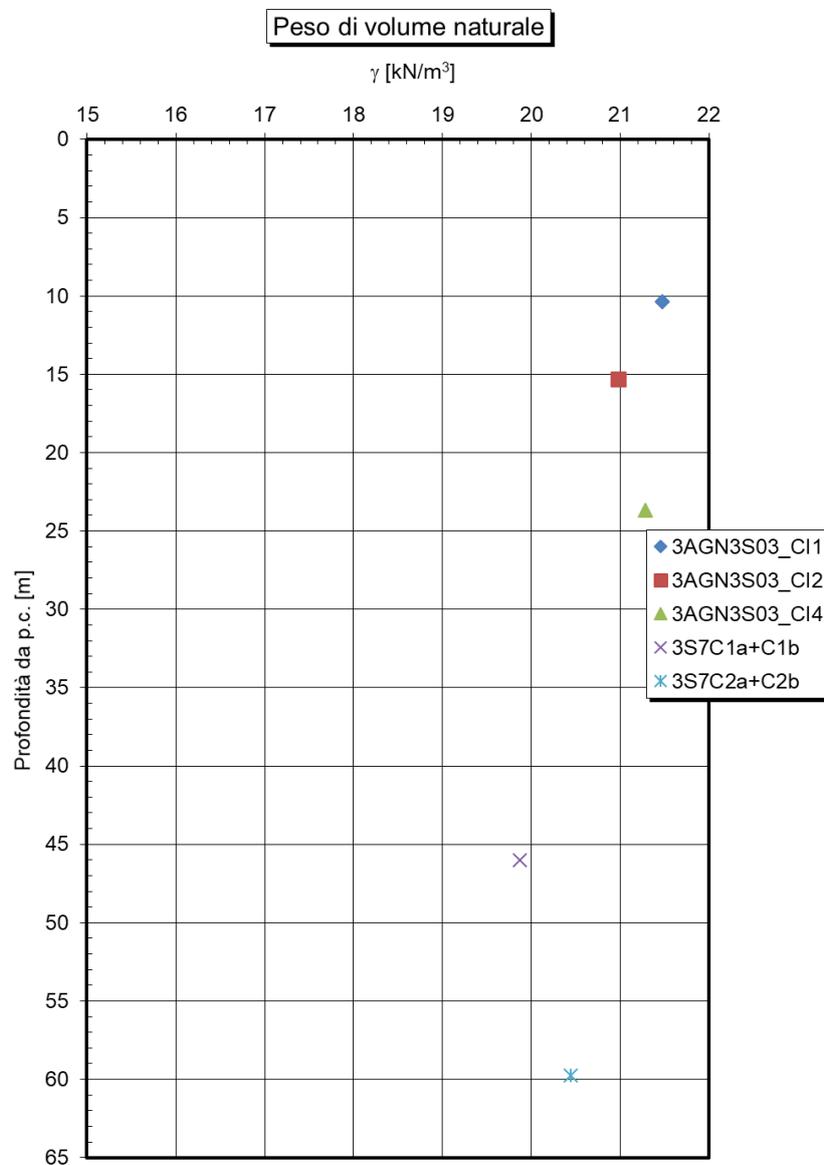


Figura 112: Galleria Trabona - TRVb - peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	175 di 378

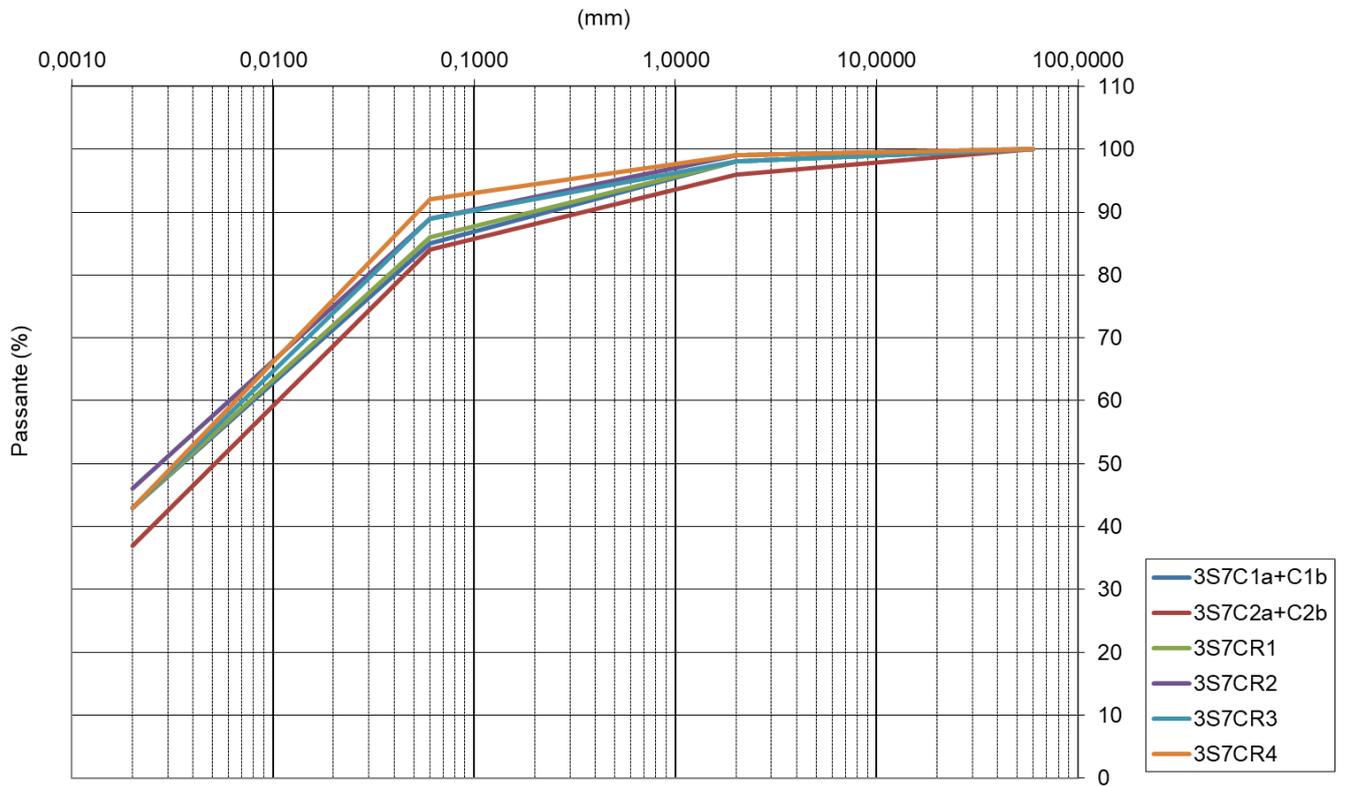


Figura 113: Galleria Trabona - TRVb - curve di distribuzione granulometrica

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	176 di 378

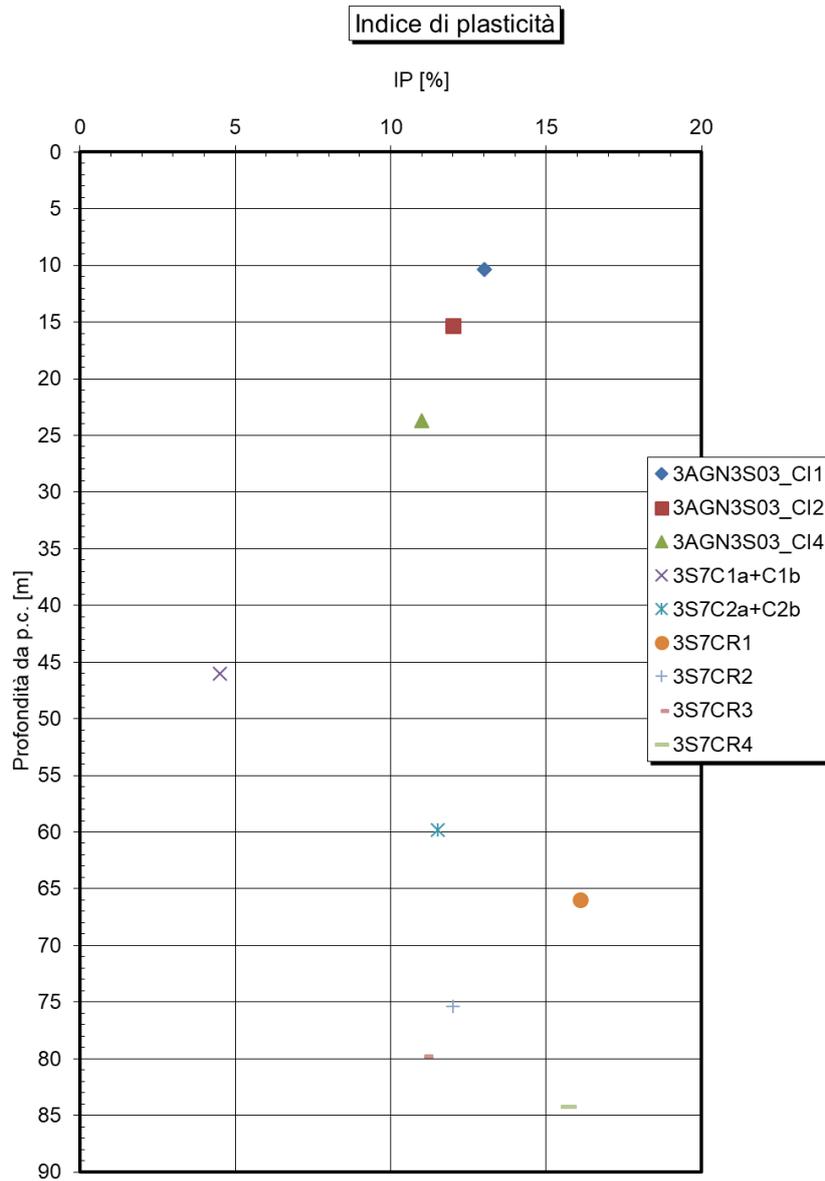


Figura 114: Galleria Trabona - TRVb – indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	177 di 378

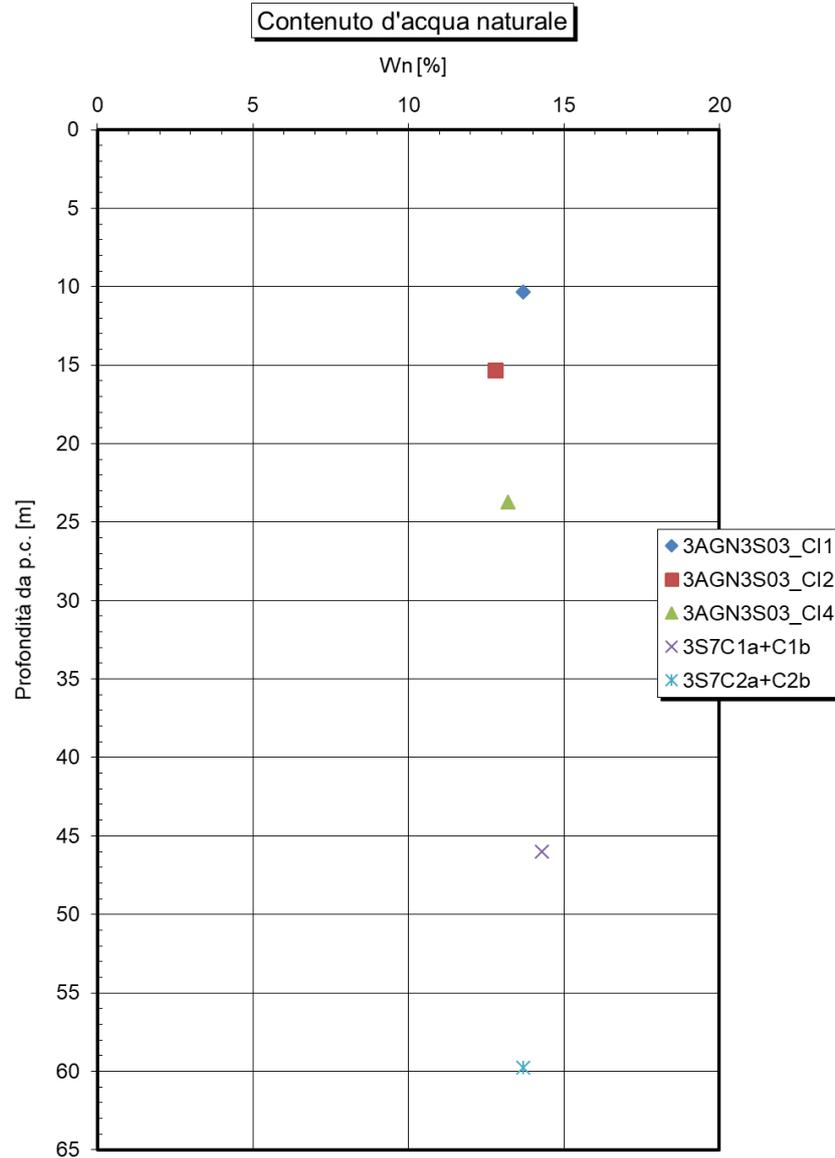


Figura 115: Galleria Trabona - TRVb – contenuto di acqua naturale

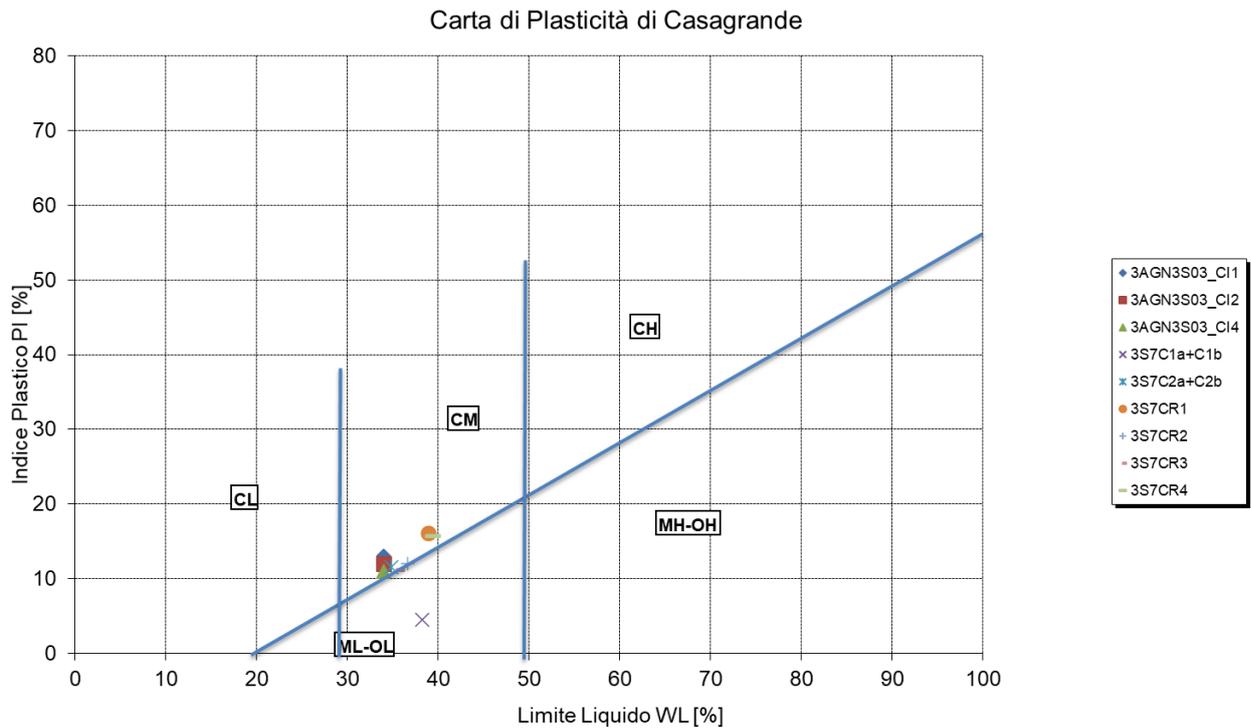


Figura 116: Galleria Trabona - TRVb - carta di plasticità di Casagrande

Sono state eseguite n.2 prove pressiometriche nel foro del sondaggio 3S7, da cui è stato possibile, mediante le note correlazioni, ricavare valori della coesione non drenata pari a 342 kPa e 333 kPa rispettivamente alle profondità di 71 metri e 80 metri.

Le 5 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati dei sondaggio 3S7 e 3a-GN3-S03 evidenziano un involuppo di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 117) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 37 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 24° . Le profondità di prelievo degli 9 campioni variano tra 10,7 e 84,2 m da piano campagna.

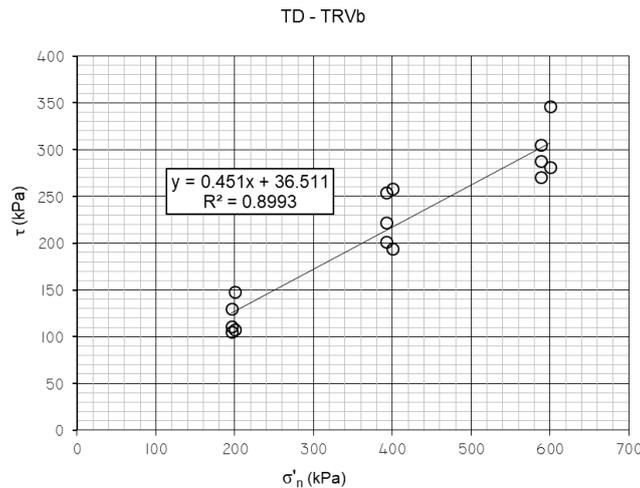


Figura 117: Galleria Trabona – TRVb - Involuppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Come si evince dalla Figura 117 risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli involuppi di resistenza (Figura 118); Nello specifico l'involuppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 34 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 23° , mentre quello superiore coesione c' pari a 53 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 25° .

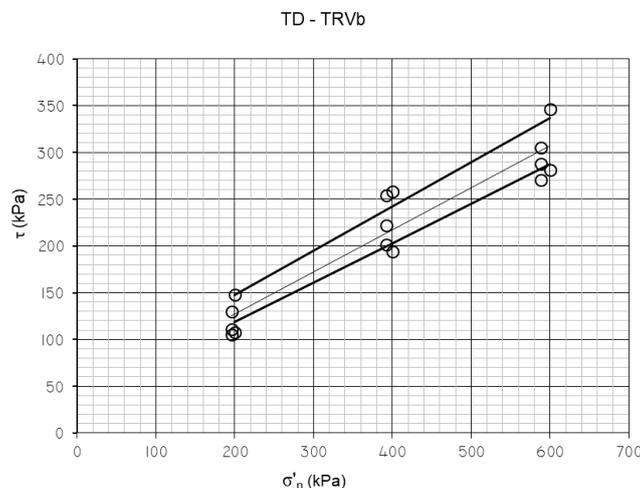


Figura 118: Galleria Trabona – TRVb - intervallo involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Sono state eseguite n.2 prove pressiometriche nel foro del sondaggio 3S7, da cui si sono ottenuti valori del modulo di elasticità pari a 361.5 MPa e 358.5 MPa rispettivamente alle profondità di 70.5 metri e 80 metri. Sono state eseguite anche n.2 prove dilatometriche nel foro del sondaggio 3AGN3S03, da cui si sono ottenuti valori del modulo di elasticità pari a 100 MPa e 514 MPa rispettivamente alle profondità di 10 metri e 19 metri.

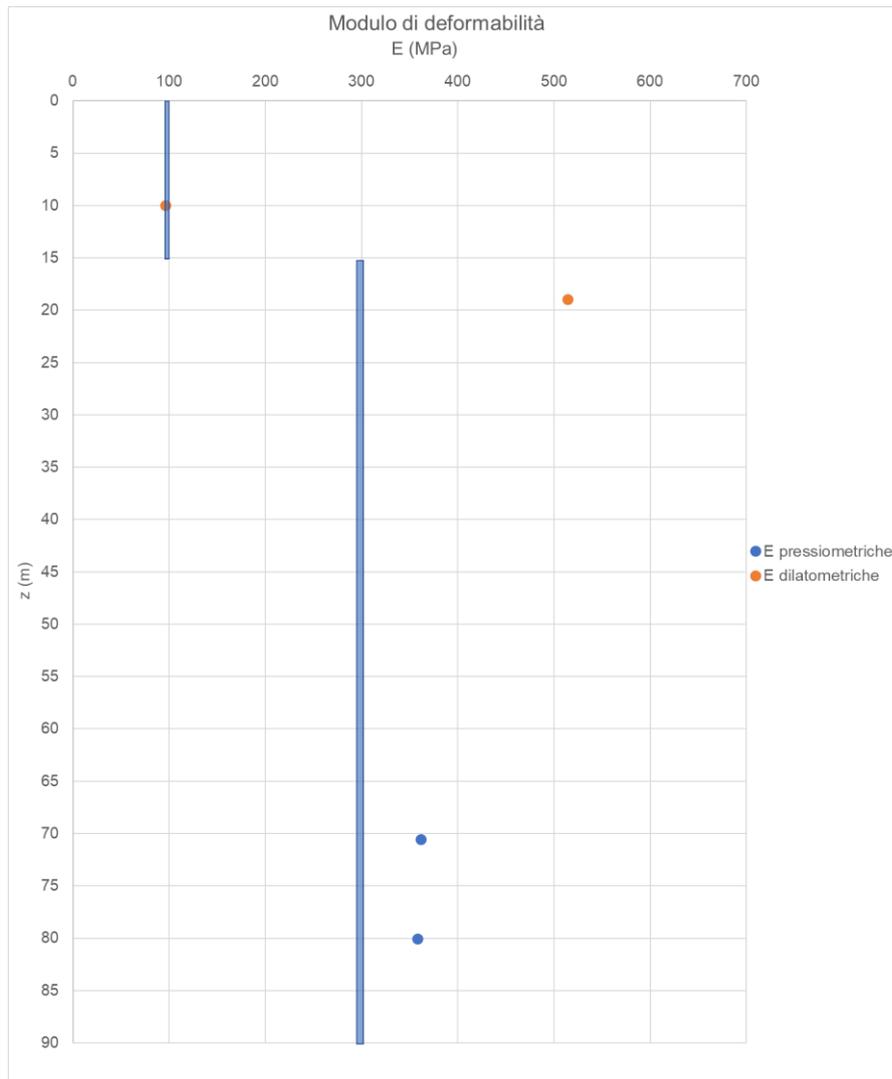


Figura 119: Galleria Trabona – TRVb – modulo di elasticità operativo da prove pressiometriche e da prove dilatometriche

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

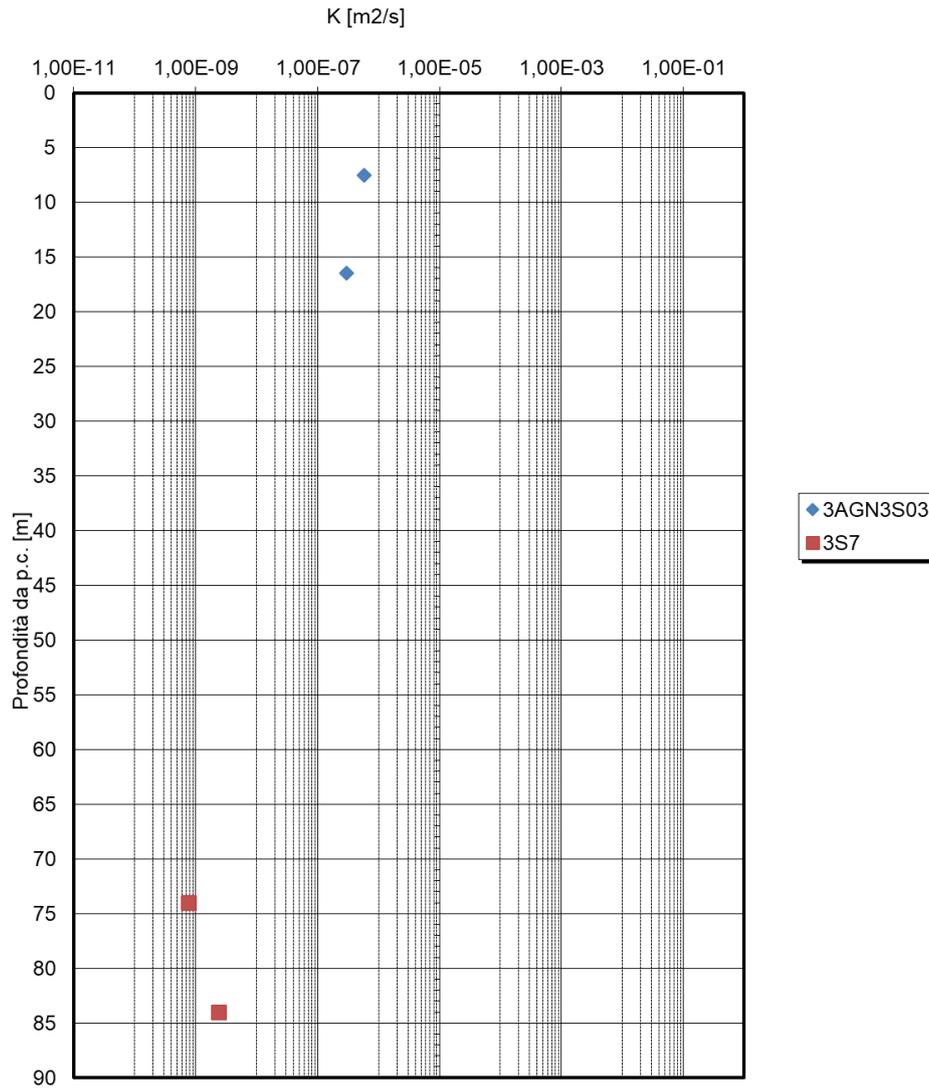


Figura 120: Galleria Trabona - TRVb – coefficiente di permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 15 – Parametri derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Trabona - TRVb

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν'	E'	c'	C_u	ϕ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-15	TRVb	21	-	-	-	0.3	0.1	34-53	0-15	23-25
15-90	TRVb	21	-	-	-	0.3	0.3	34-53	15-90	23-25

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

m_i = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$c_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

9.6.7 Formazione GTL1 (facies rocciosa)

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del GTL1

Galleria Nuova Marianopoli

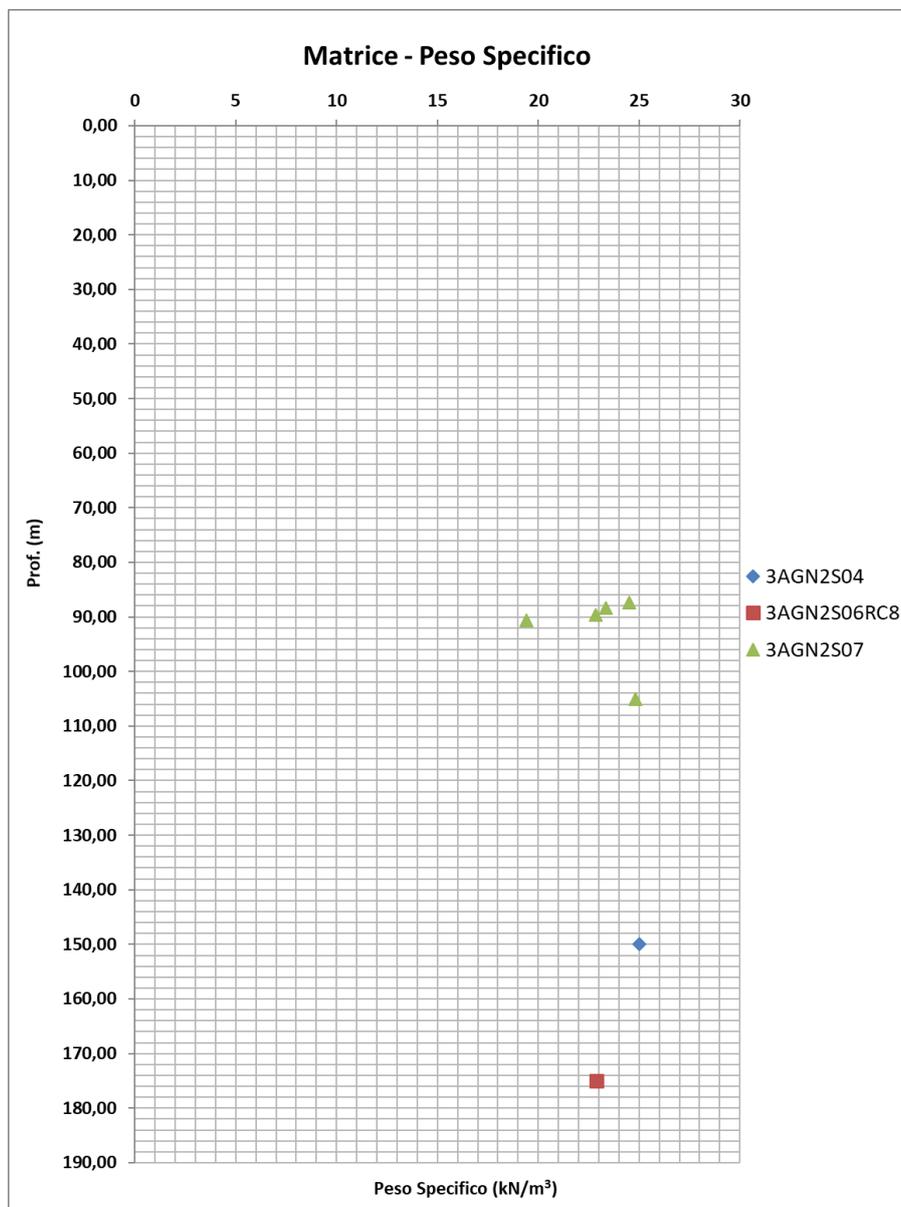


Figura 121: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – peso specifico della matrice

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	184 di 378

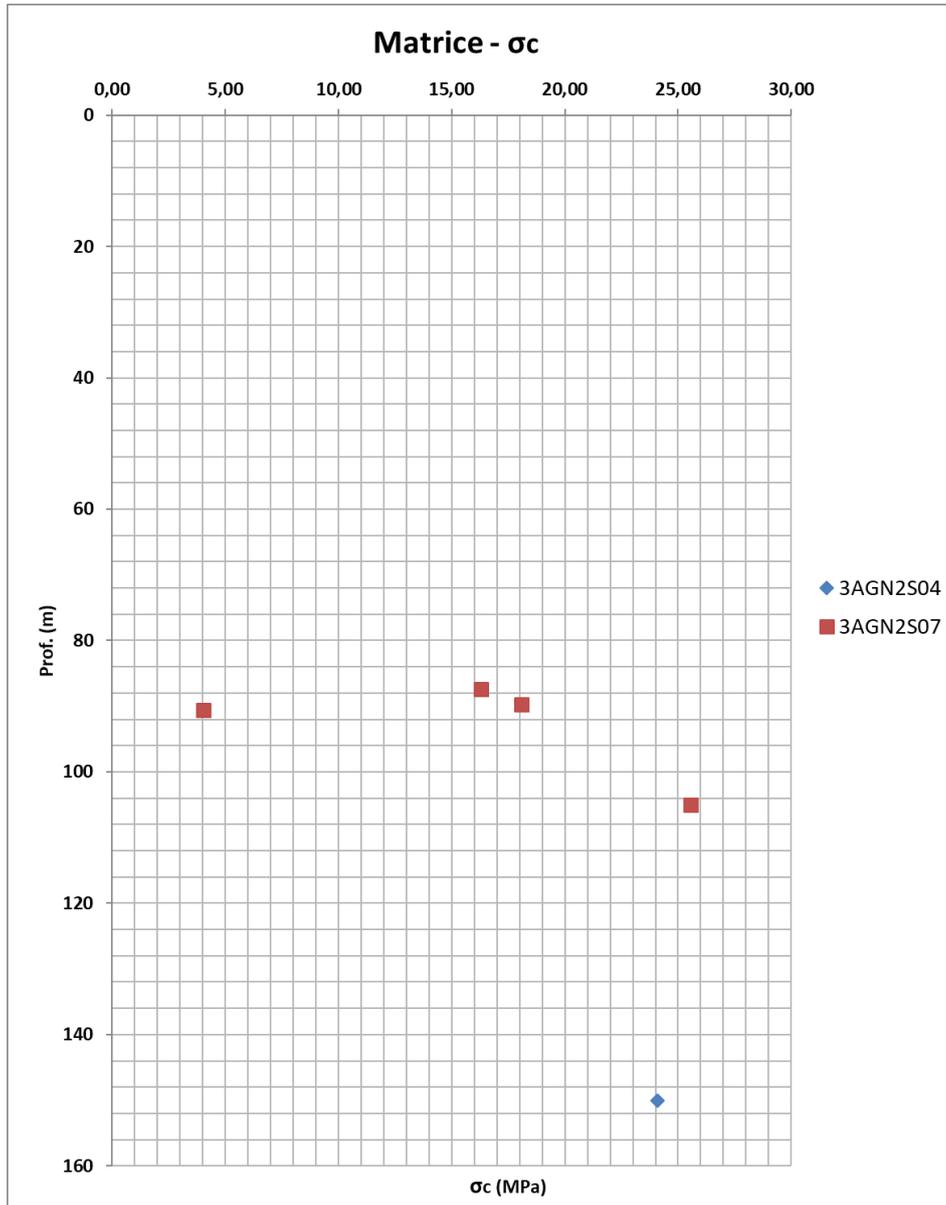


Figura 122: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – resistenza a compressione monoassiale della matrice

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	185 di 378

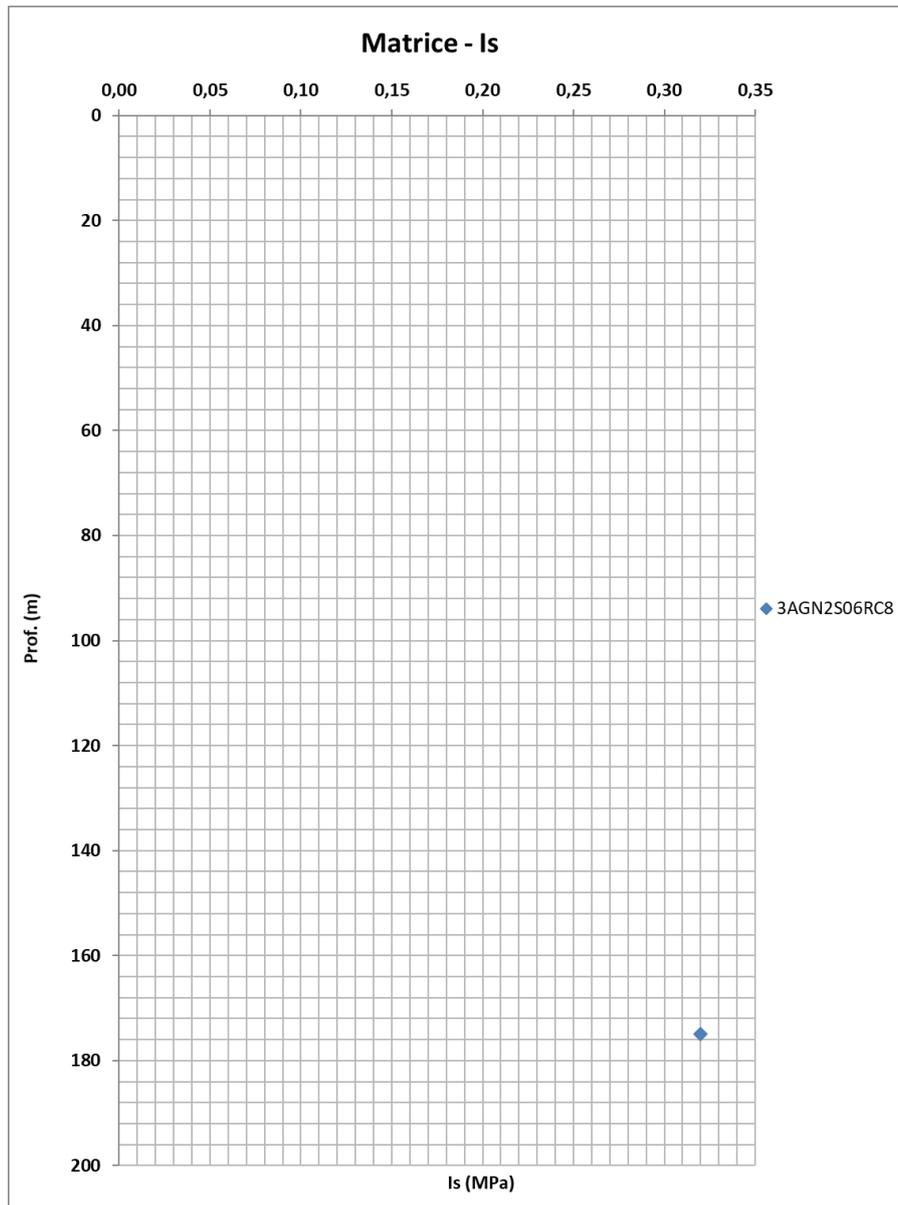


Figura 123: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – Is da Point Load

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	186 di 378

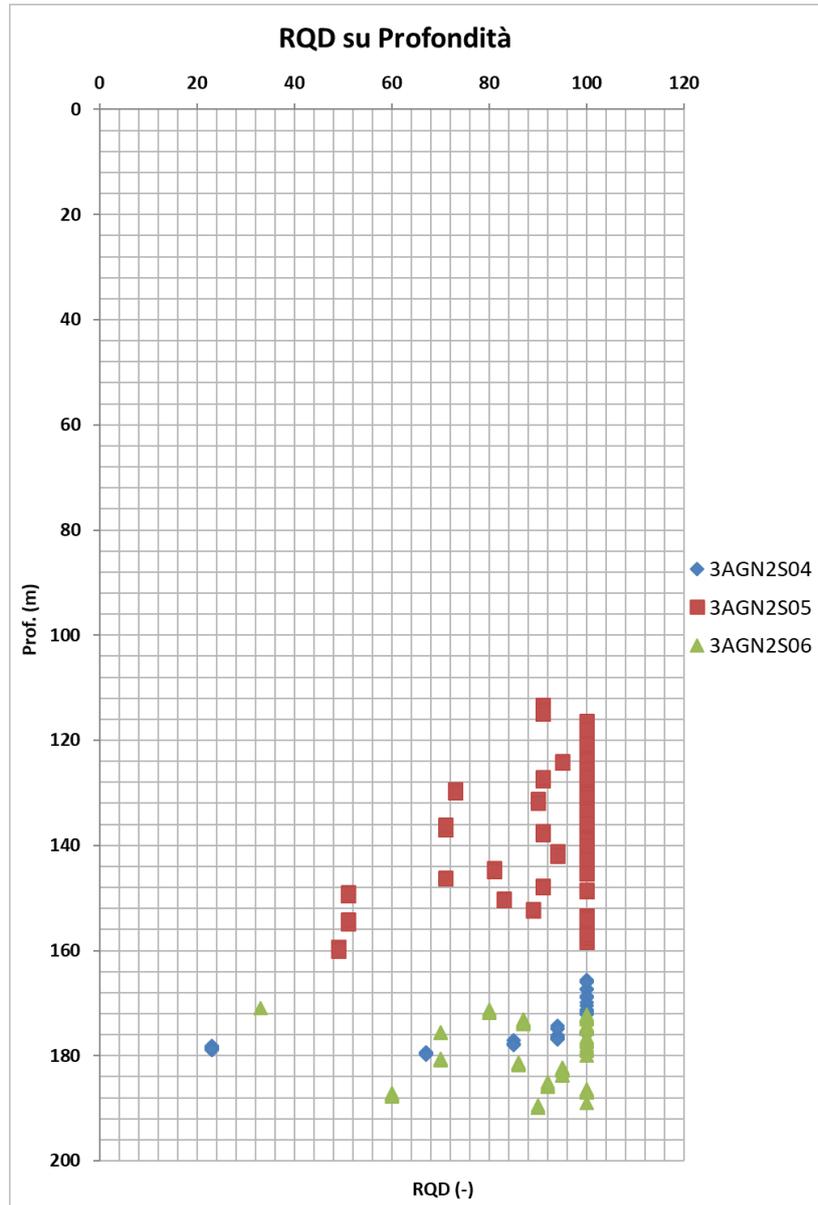


Figura 124: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – RQD su profondità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	187 di 378

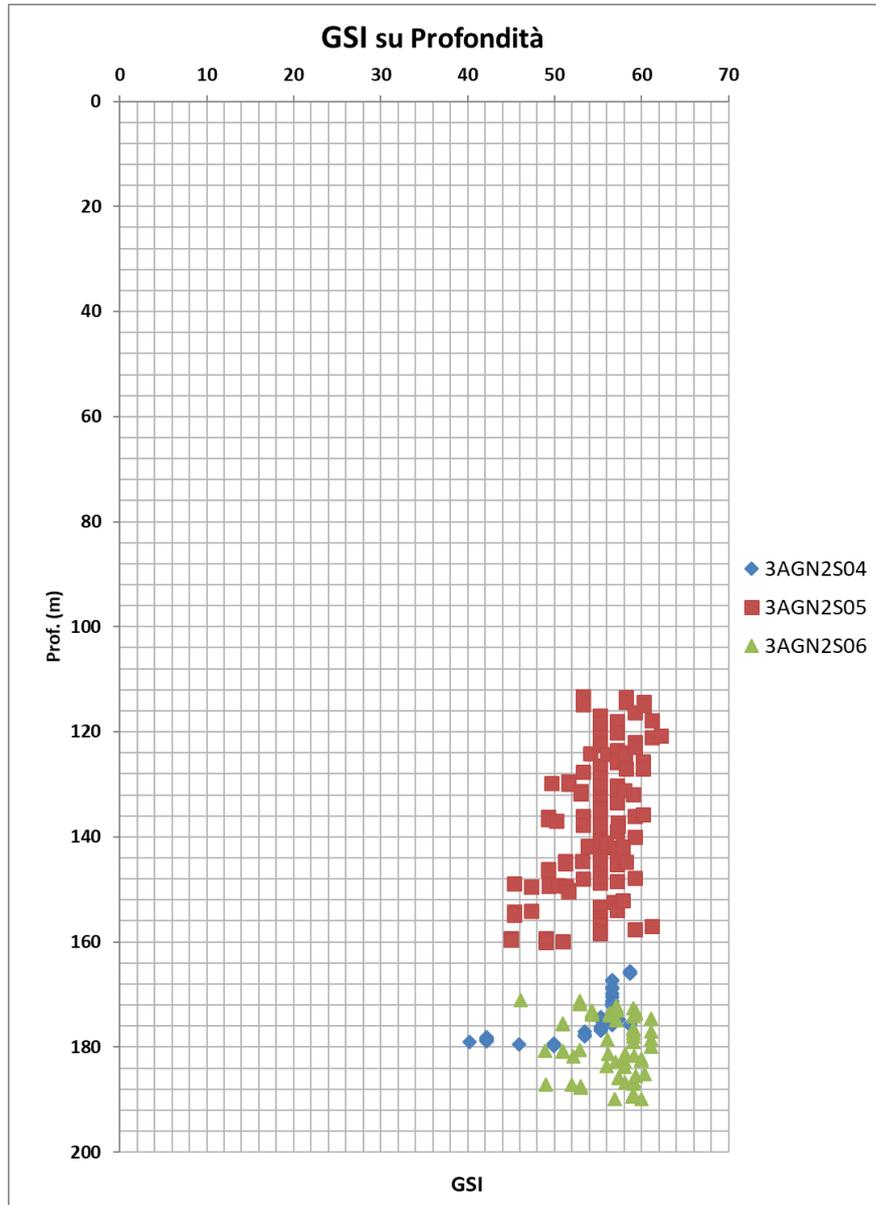


Figura 125: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 - GSI

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	188 di 378

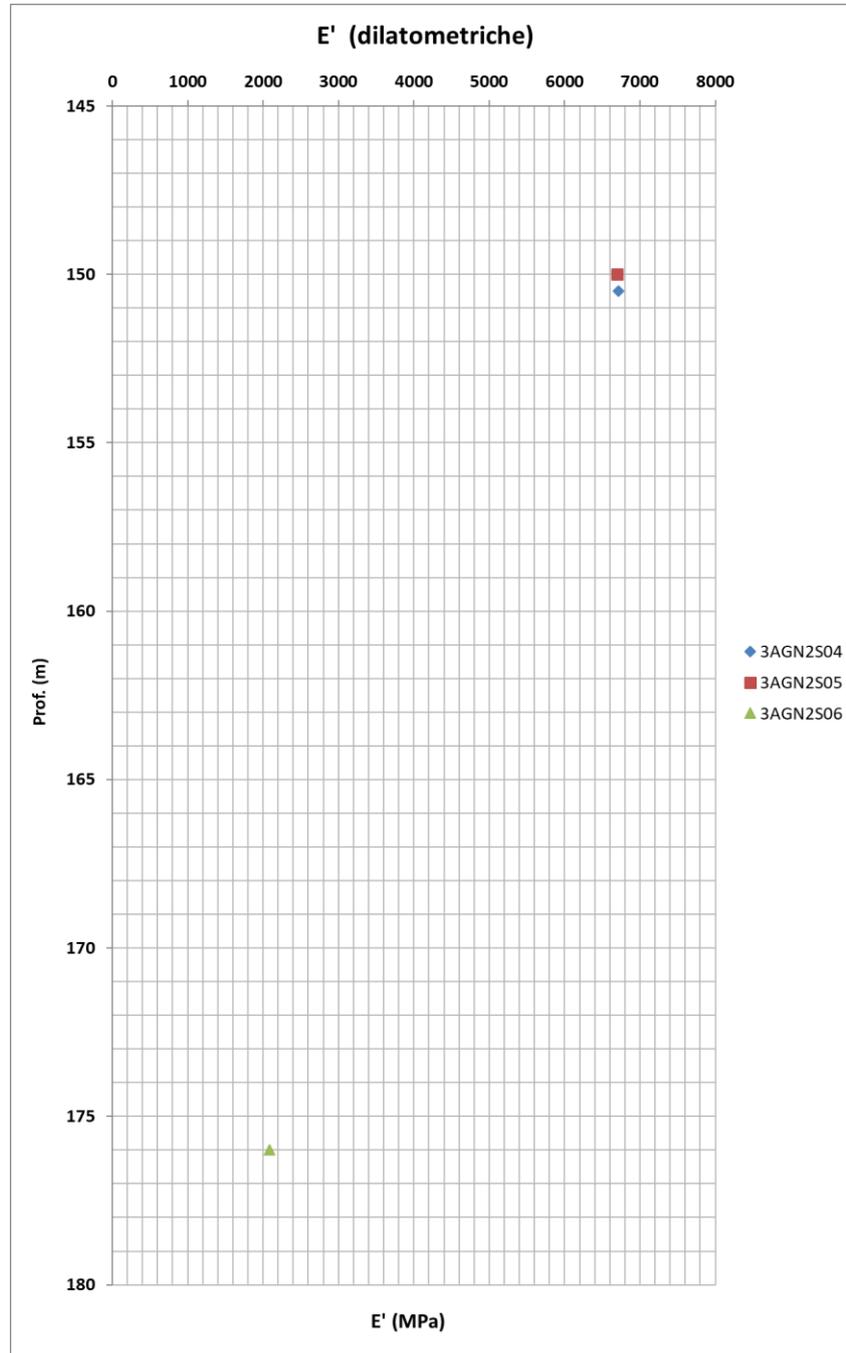


Figura 126: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – modulo di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	189 di 378

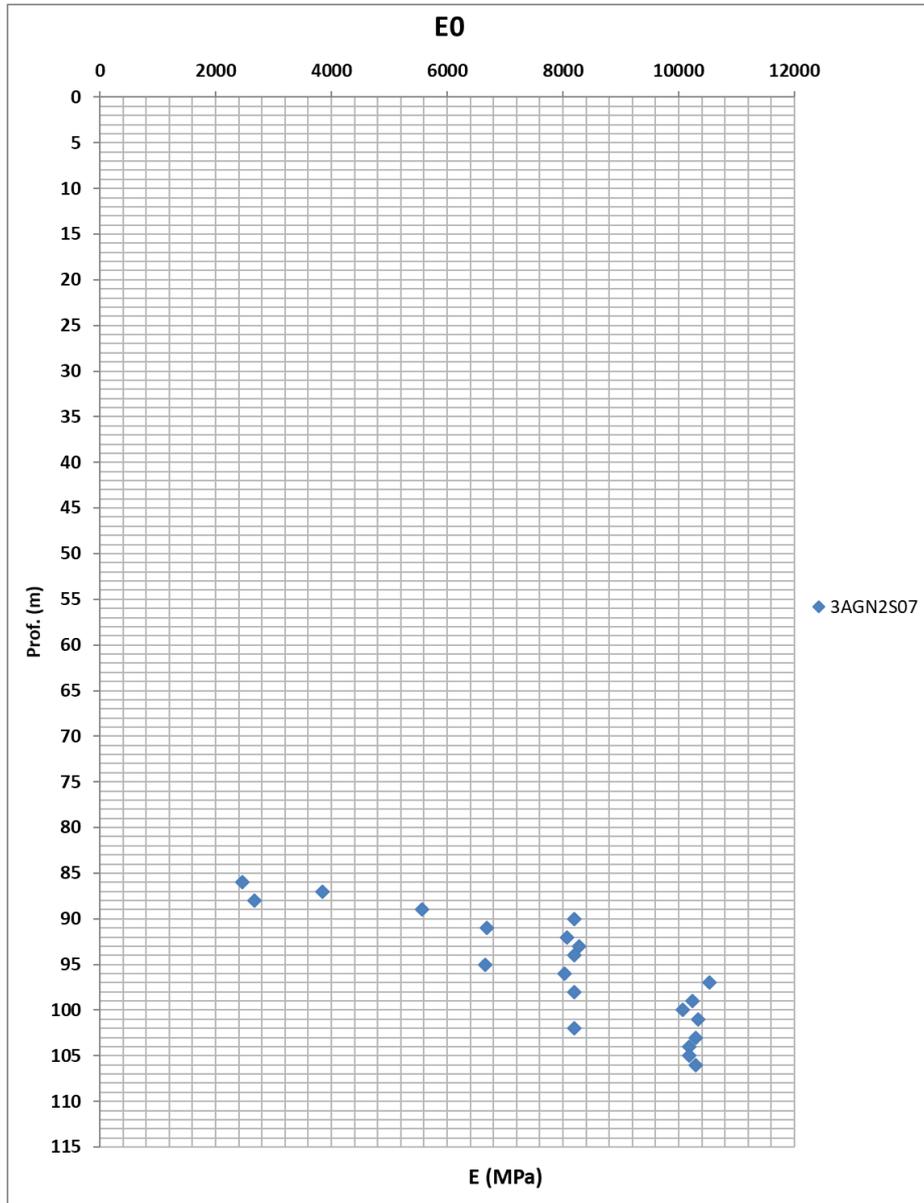


Figura 127: Galleria Nuova Marianopoli - GTL1 – modulo di Young da prove sismiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Si riporta di seguito l'esito delle prove di permeabilità in sito eseguite

PROVA	Conducibilità (m/s)	profondità prova: da (m da p.c.)	profondità prova: a (m da p.c.)	Sondaggi	Geologia
Lugeon	1,64E-07	-177	-178,5	3a GN2 S06	GTL1
Lugeon	3,90E-08	-86	-89	3a GN2 S07	GTL1

Alla scala d'ammasso si possono riportare le seguenti considerazioni generali di natura idrogeologica che collocano diversamente il range di permeabilità attribuibile alla formazione in esame



Tabella 16 – Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Nuova Marianopoli – GTL1

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ _m	v'	E'	c'	Cu	φ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
--	GTL1	22	40-60	10	18	0.3	1.4-3.2	300-460	-	35-41

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

mi = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

φ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

C_{u k} = valore caratteristico della coesione non drenata

9.6.8 Formazione GTL2

9.6.8.1 Facies limo-argillosa

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del GTL2.

Galleria Nuova Marianopoli

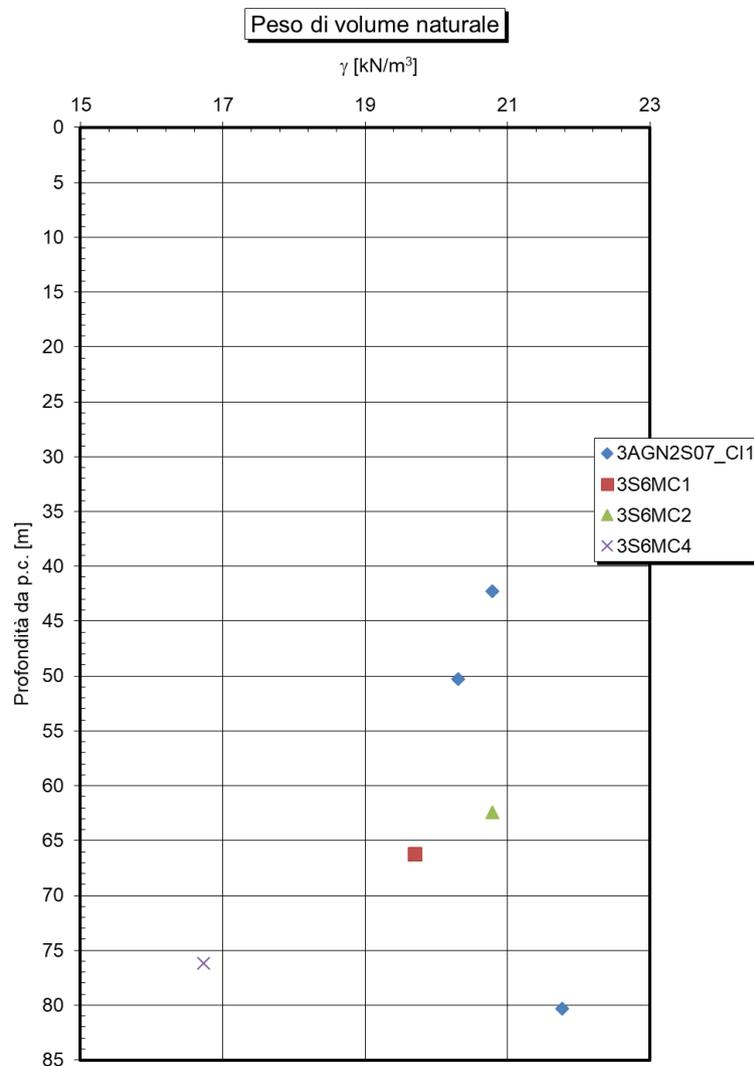


Figura 128: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 - peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	192 di 378

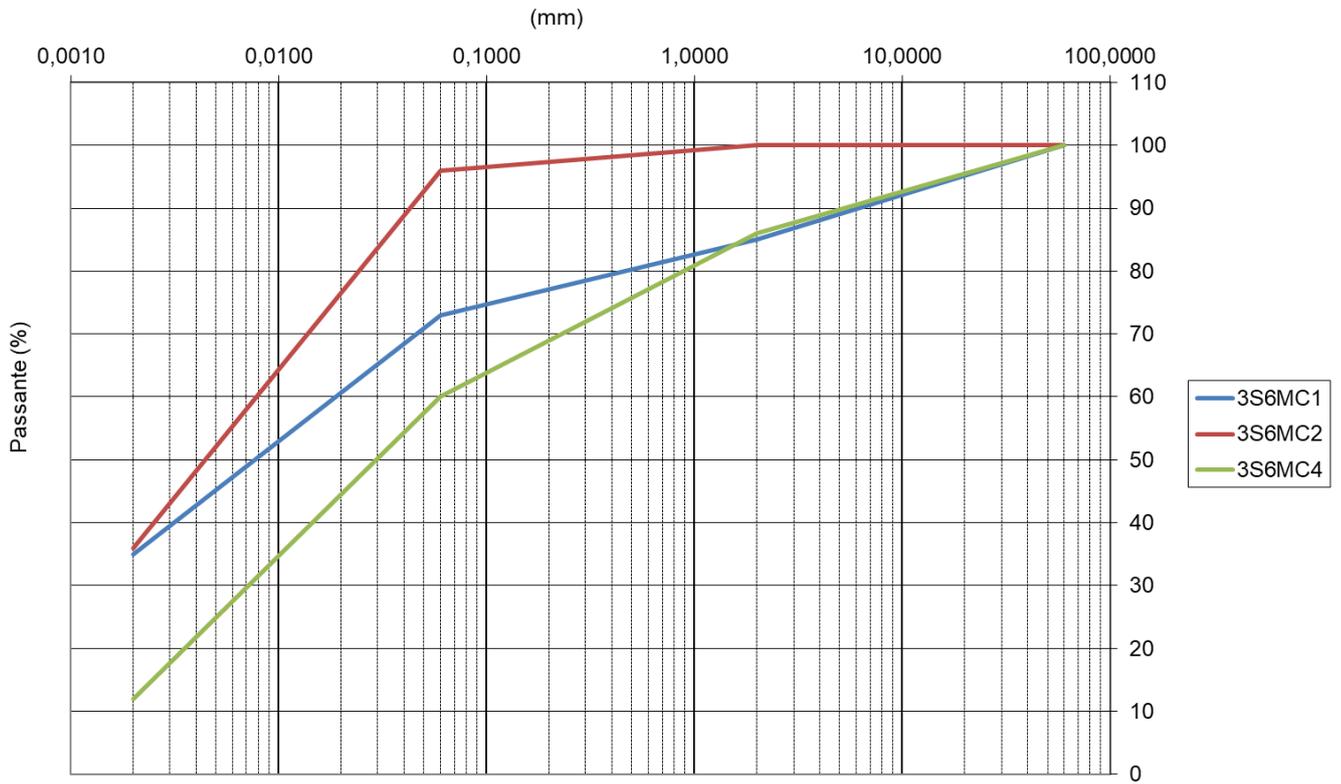


Figura 129: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – curve di distribuzione granulometrica

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	193 di 378

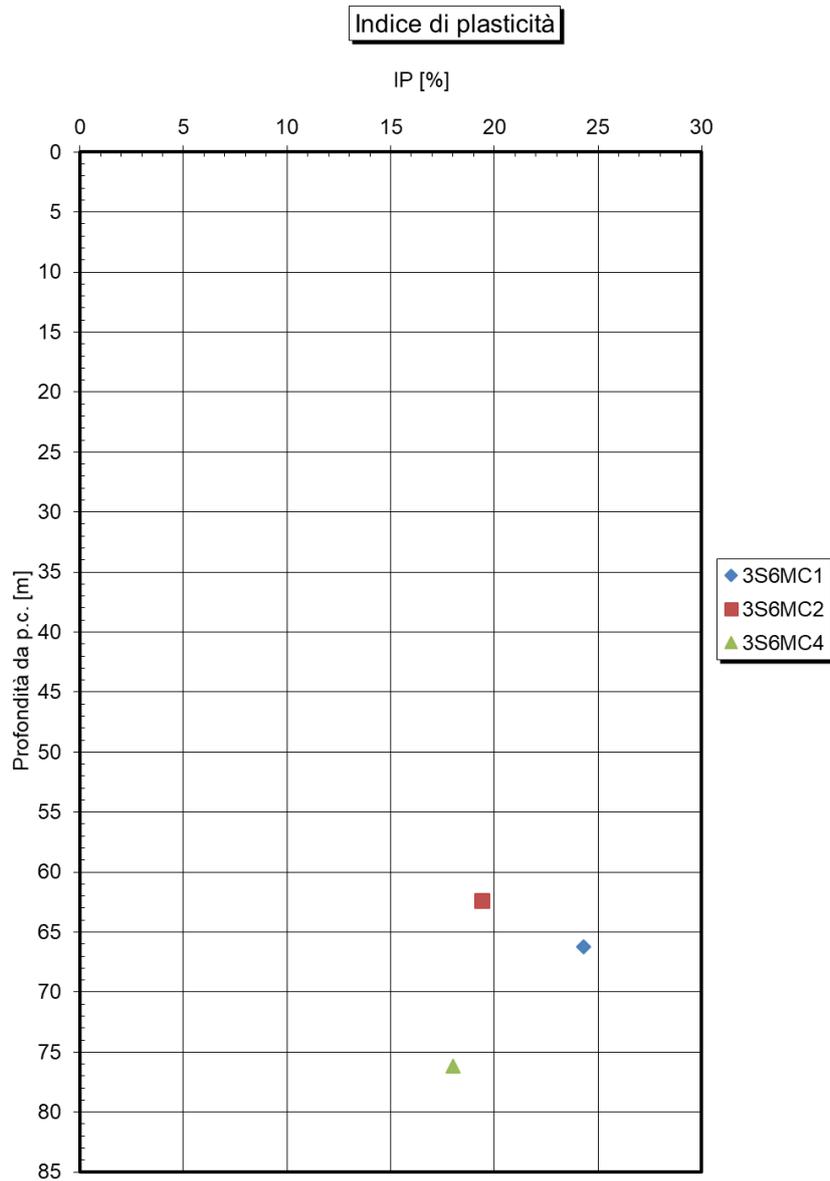


Figura 130: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	194 di 378

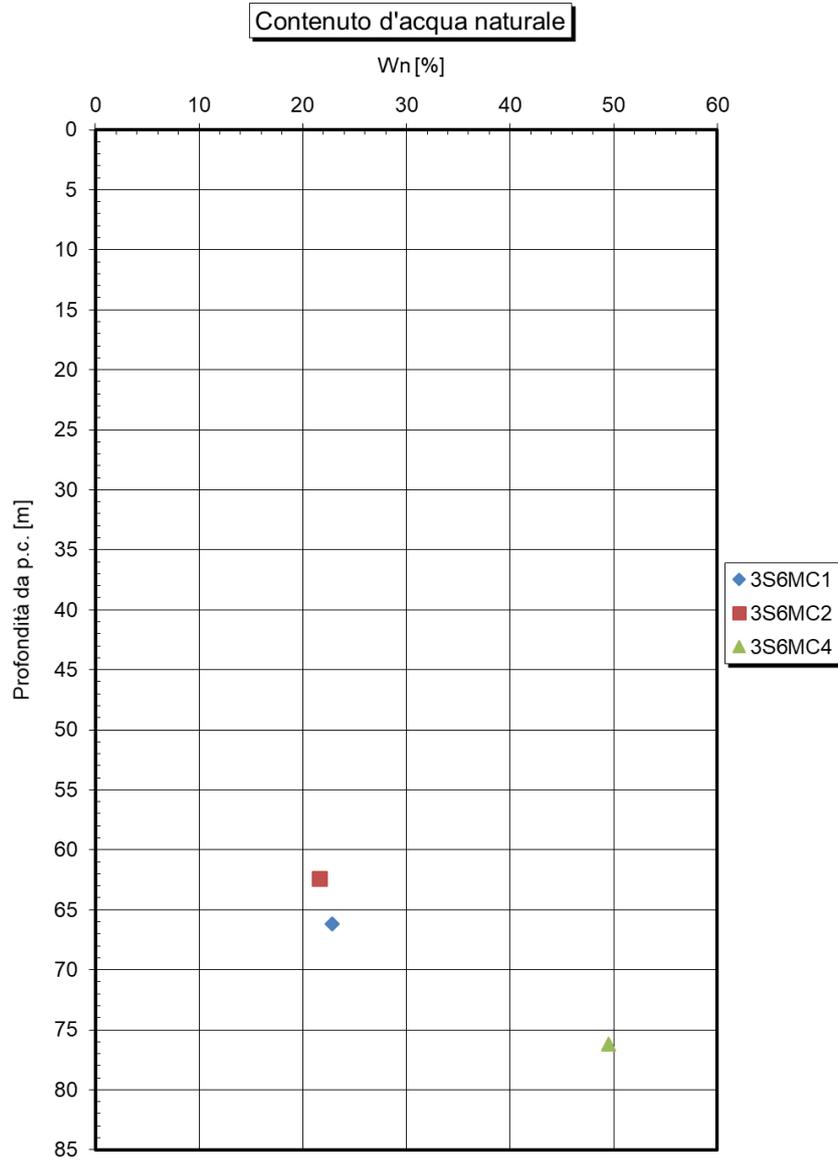


Figura 131: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – contenuto naturale d'acqua

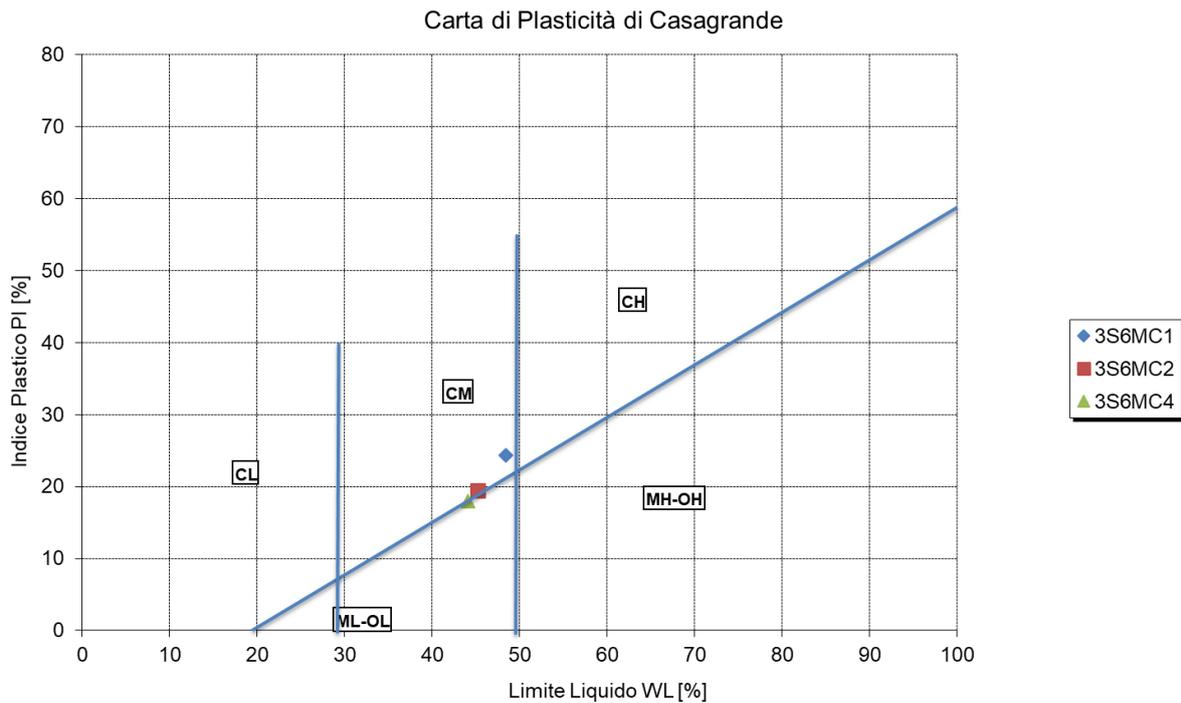


Figura 132: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – Carta di plasticità di Casagrande

Sono state eseguite n.2 prove pressiometriche nel foro del sondaggio 3S6 da cui è stato possibile ricavare, mediante le note correlazioni, valori della coesione non drenata di 426 MPa e 853 MPa a profondità rispettivamente di circa 59 metri e 68 metri.

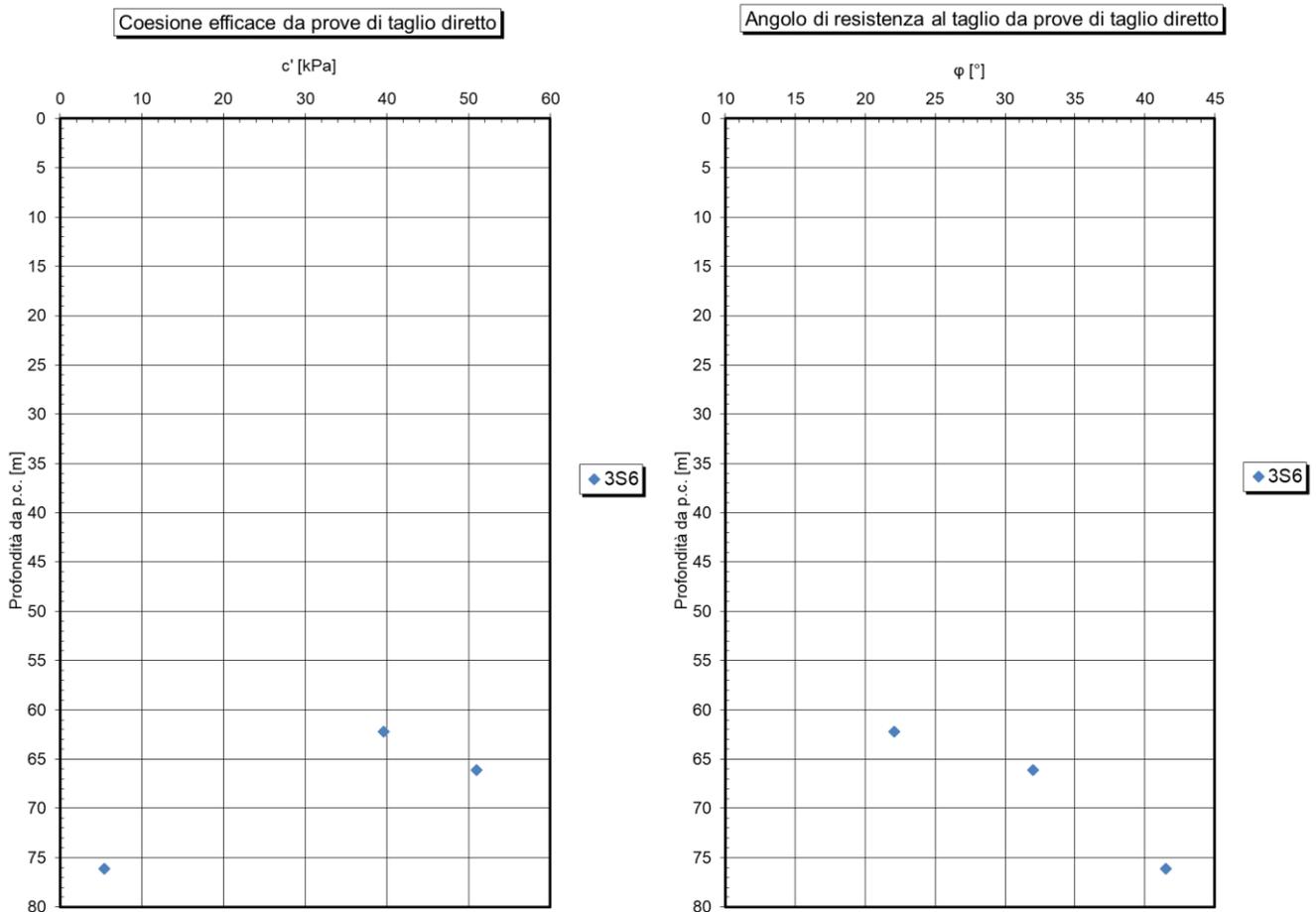


Figura 133: Galleria Nuova Marianopoli – GTL2 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)

Per le prove di taglio diretto riportate in

Figura 133 è stato realizzato un'involuppo lineare di rottura come riportato nel seguito, che ha fornito un valore di coesione efficace pare a 32 kPa ed angolo di resistenza al taglio pari a 32°. E' stato inoltre definito un intervallo inferiore e superiore degli involuppi di resistenza (Figura 134). Nello specifico l'involuppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 40 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 22°, mentre quello superiore coesione c' pari a 24 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 42°.

TD - GTL2

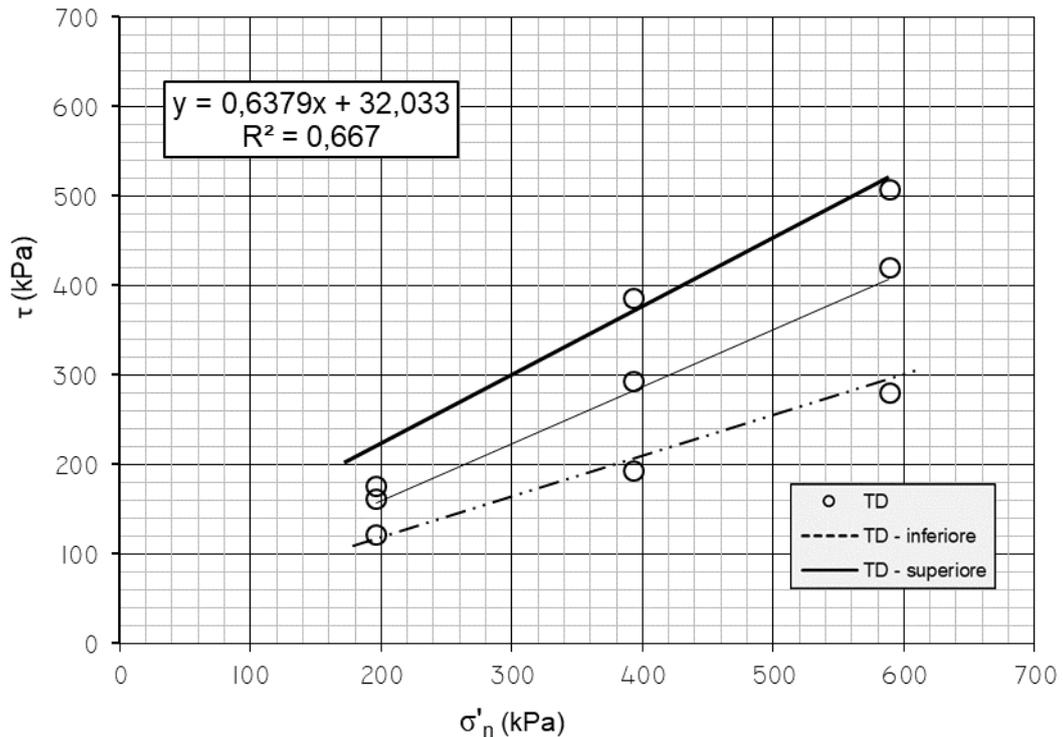


Figura 134: Galleria Nuova Marianopoli – GTL2 – inviluppo lineare di rottura da prove di taglio diretto (TD)

Sono state eseguite n.2 prove pressiometriche nel foro del sondaggio 3S6 da cui è stato possibile ottenere valori del modulo elastico di 426 MPa e di 853 MPa rispettivamente alle profondità di 58 metri e 68 metri.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	198 di 378

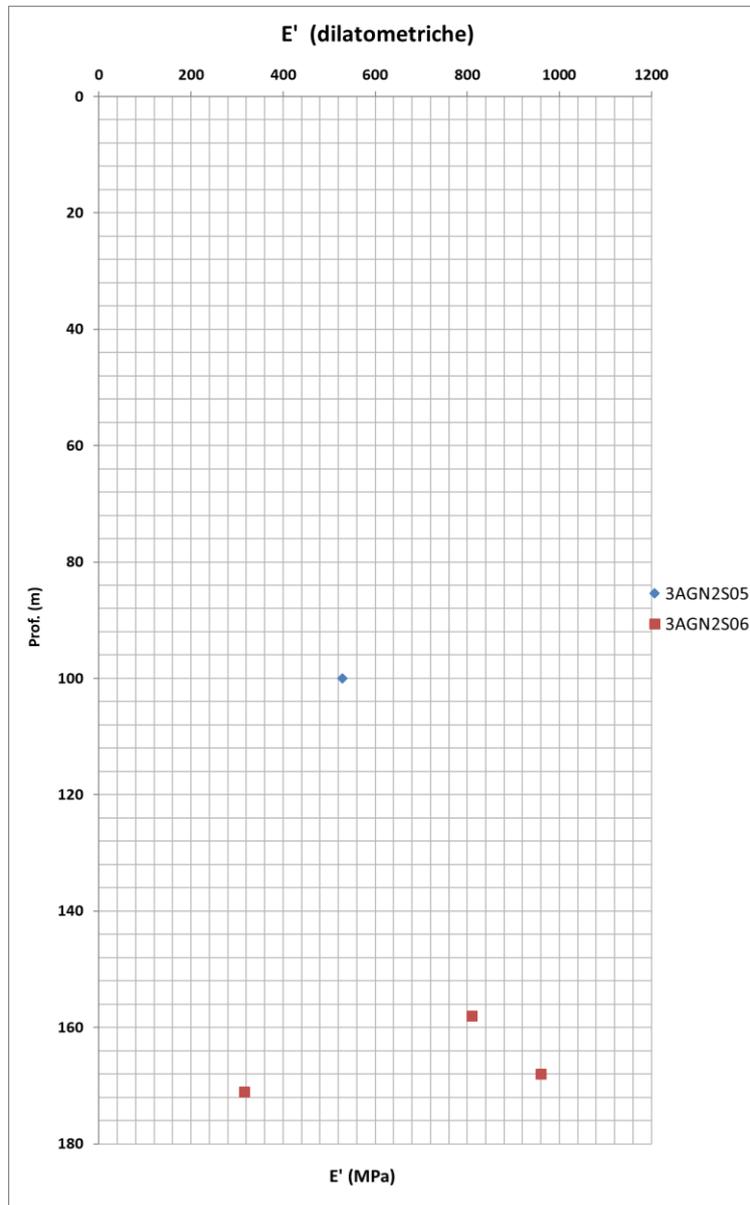


Figura 135: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – modulo di Young da prove dilatometriche

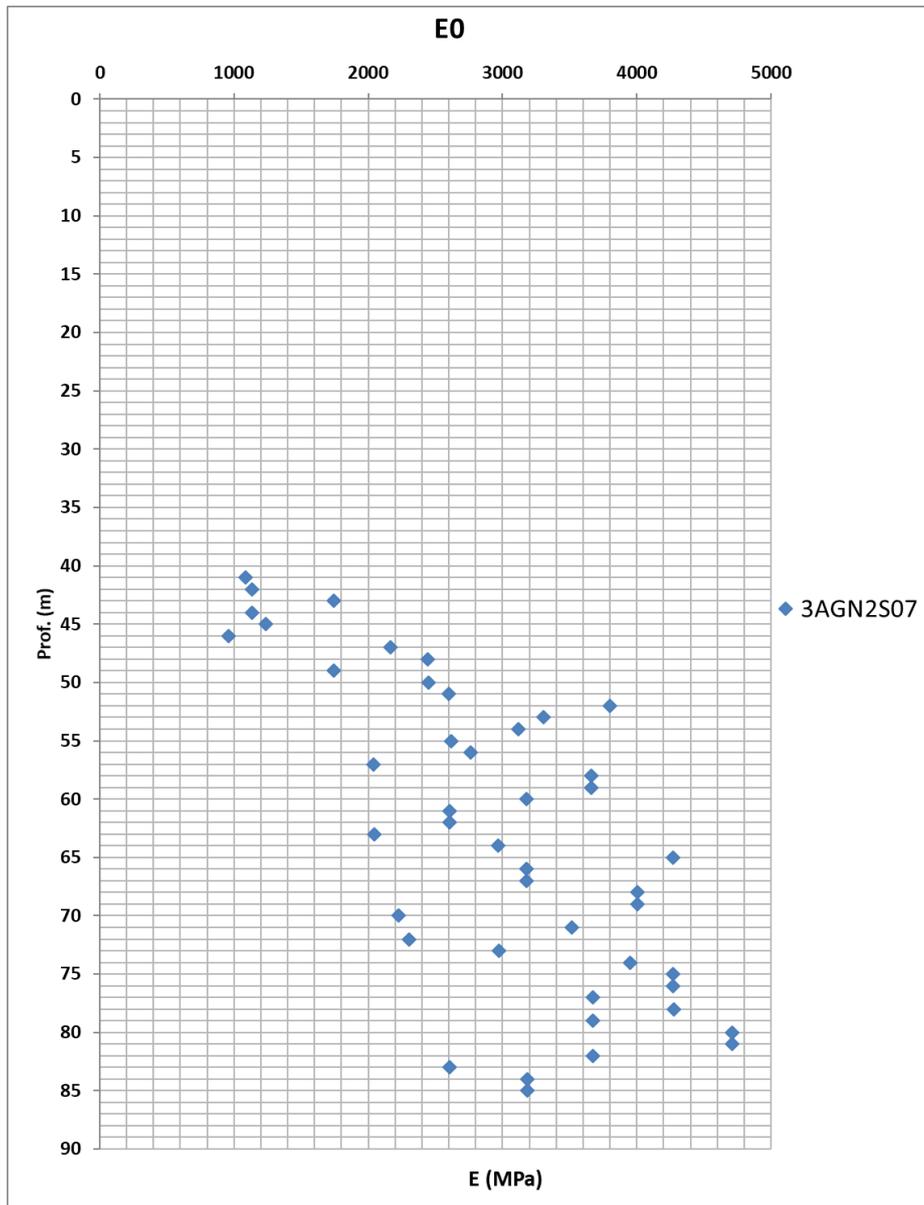


Figura 136: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)

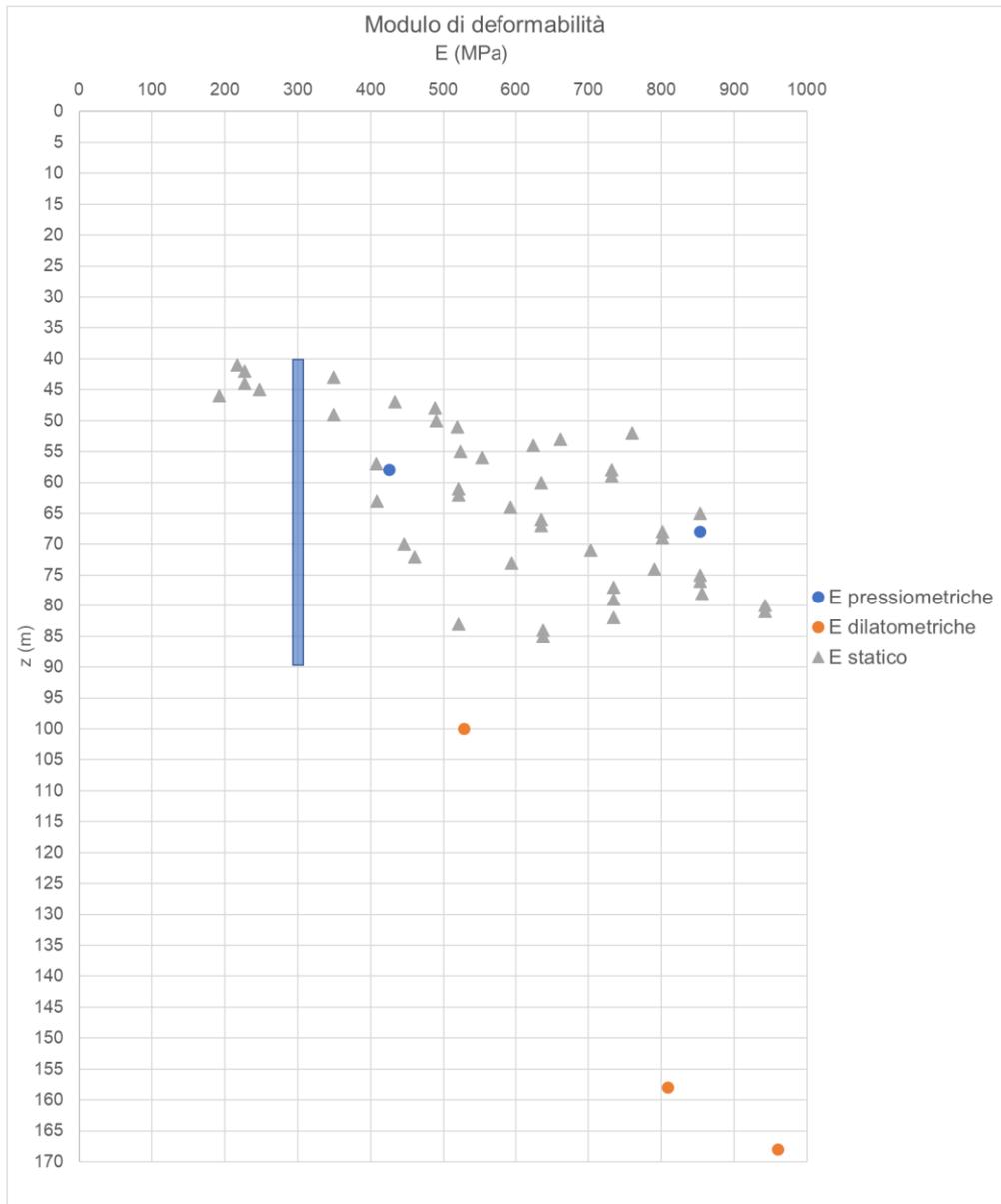


Figura 137: Galleria Nuova Marianopoli – GTL2 – modulo di Young da prove dilatometriche, da prove pressiometriche e da prove sismiche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	201 di 378

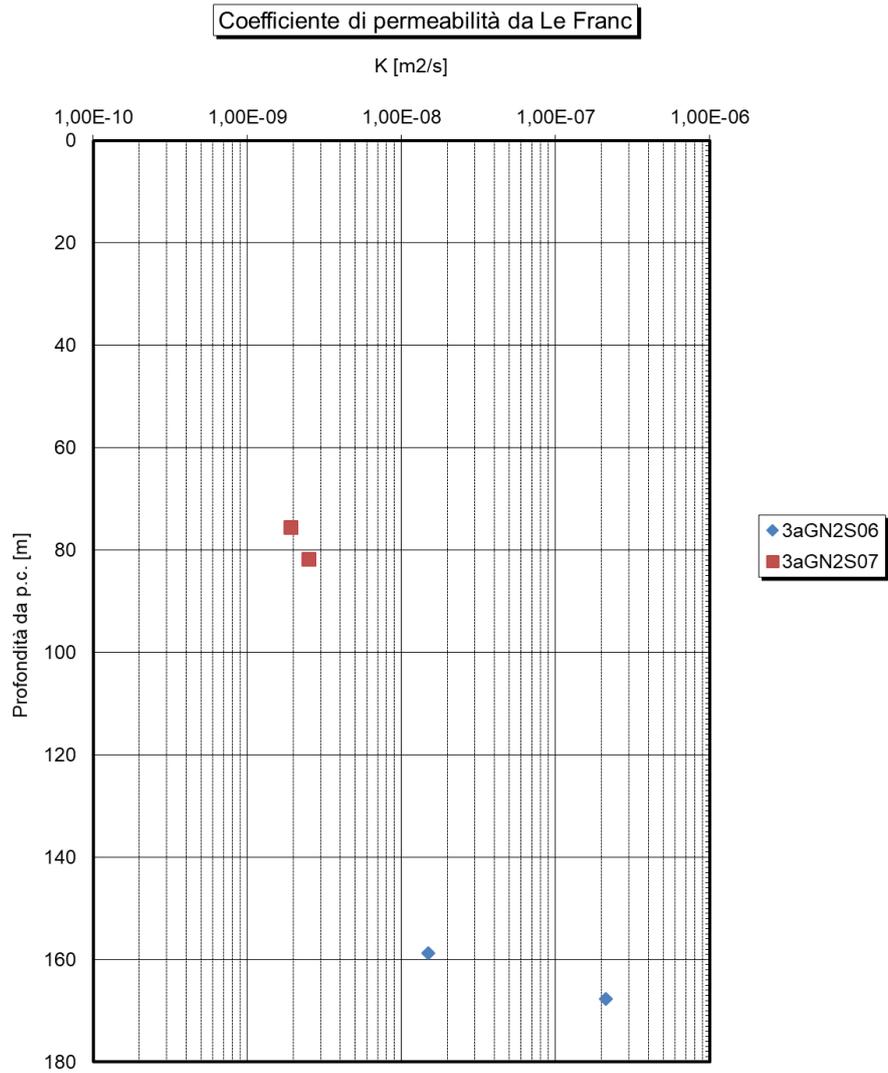


Figura 138: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – coefficiente di permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 17: Parametri derivati dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Nuova Marianopoli – GTL2

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν'	E'	c'	C_u	ϕ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
30-90	GTL2	19	-	-	-	0.3	0.3-0.8	24-40	250	22-42

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 m_i = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</p> <p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</p> <p>TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
	<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<p>COMMESSA</p> <p>RS3T</p>	<p>LOTTO</p> <p>30 D 07</p>	<p>CODIFICA</p> <p>RH</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GN 00 00 001</p>	<p>REV.</p> <p>E</p>

9.6.8.2 Facies gessosa

Galleria Nuova Marianopoli

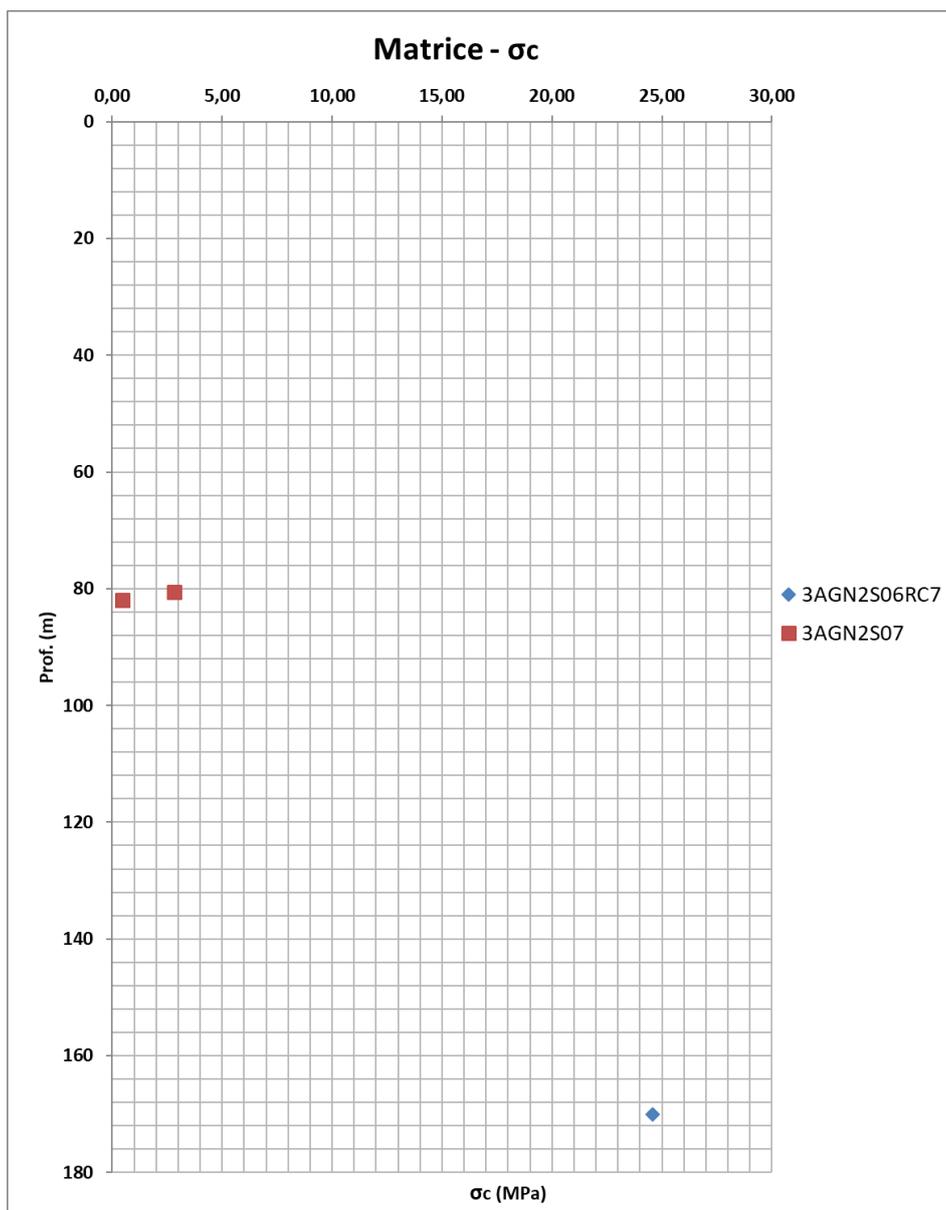


Figura 139: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – resistenza a compressione monoassiale della matrice

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	204 di 378

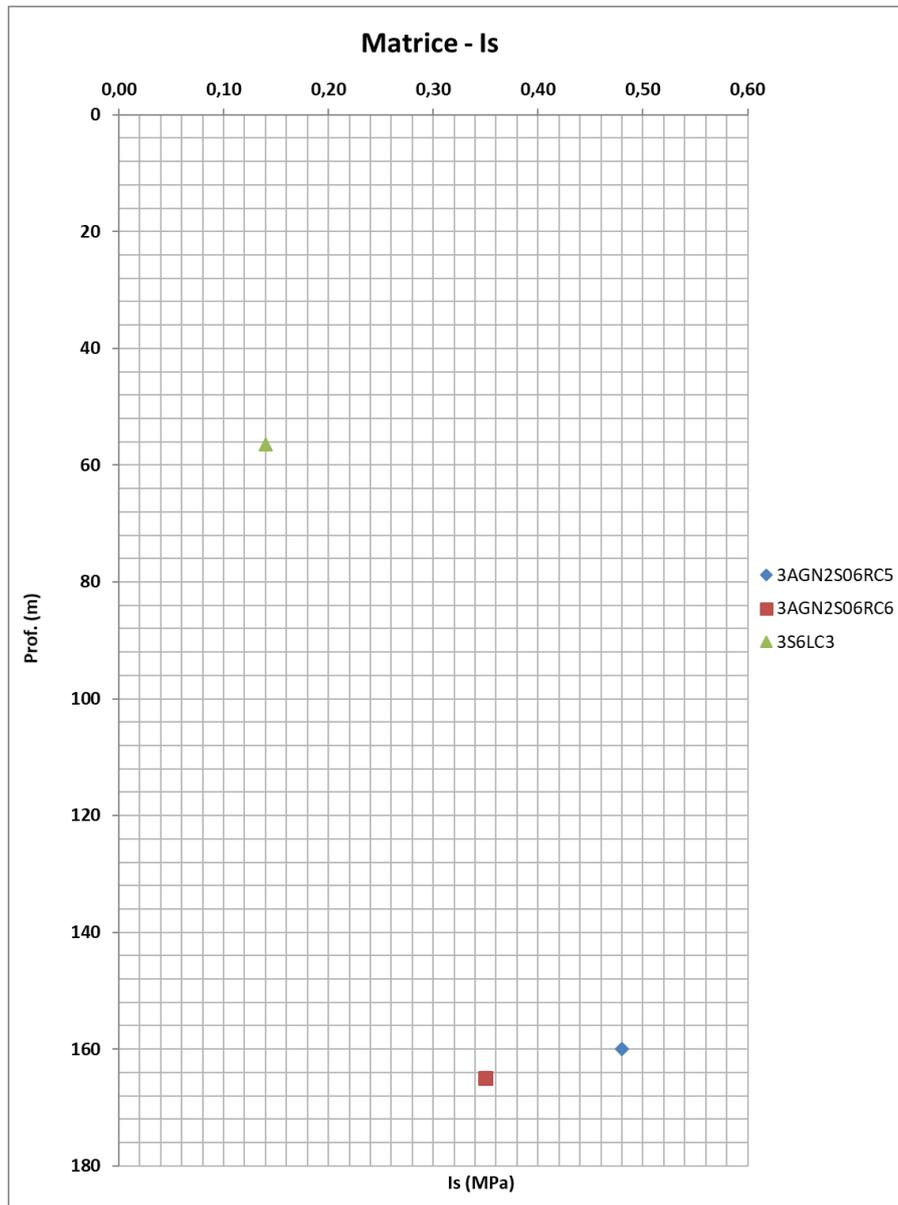


Figura 140: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – Is da Point Load

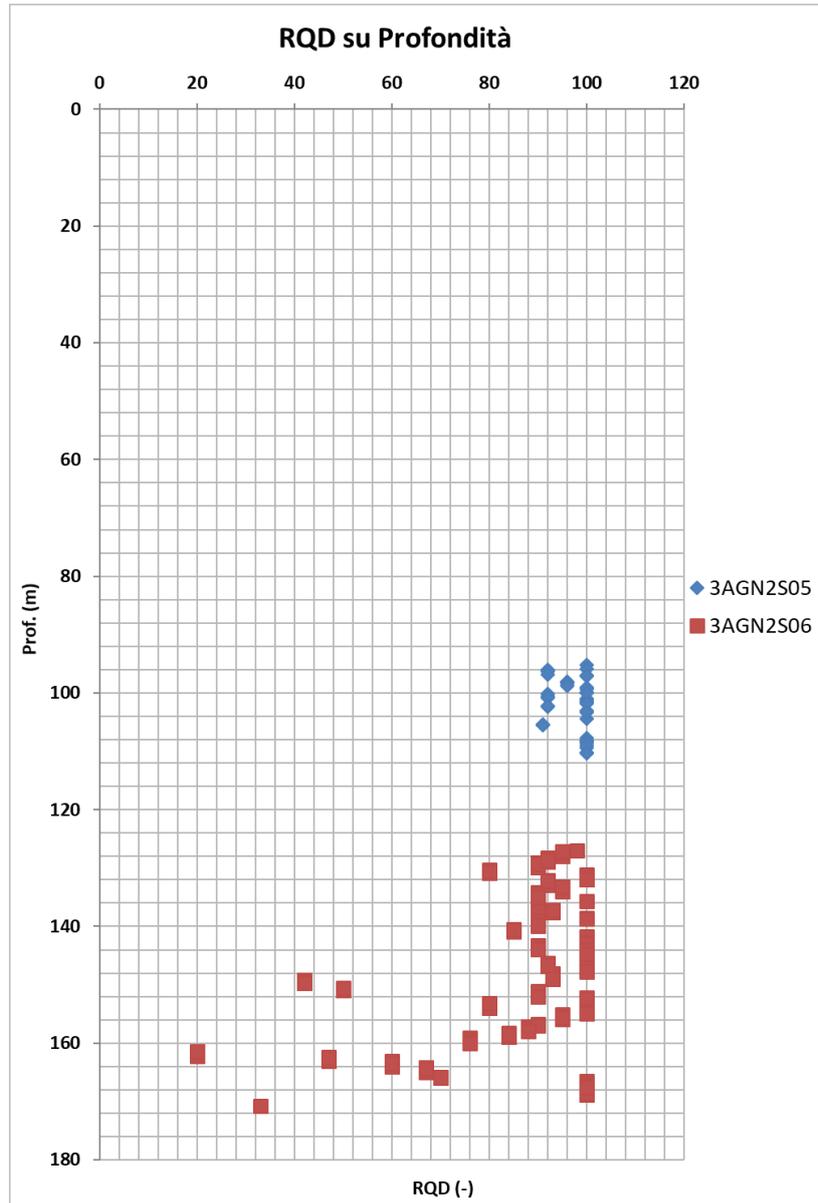


Figura 141: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – indice RQD

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	206 di 378

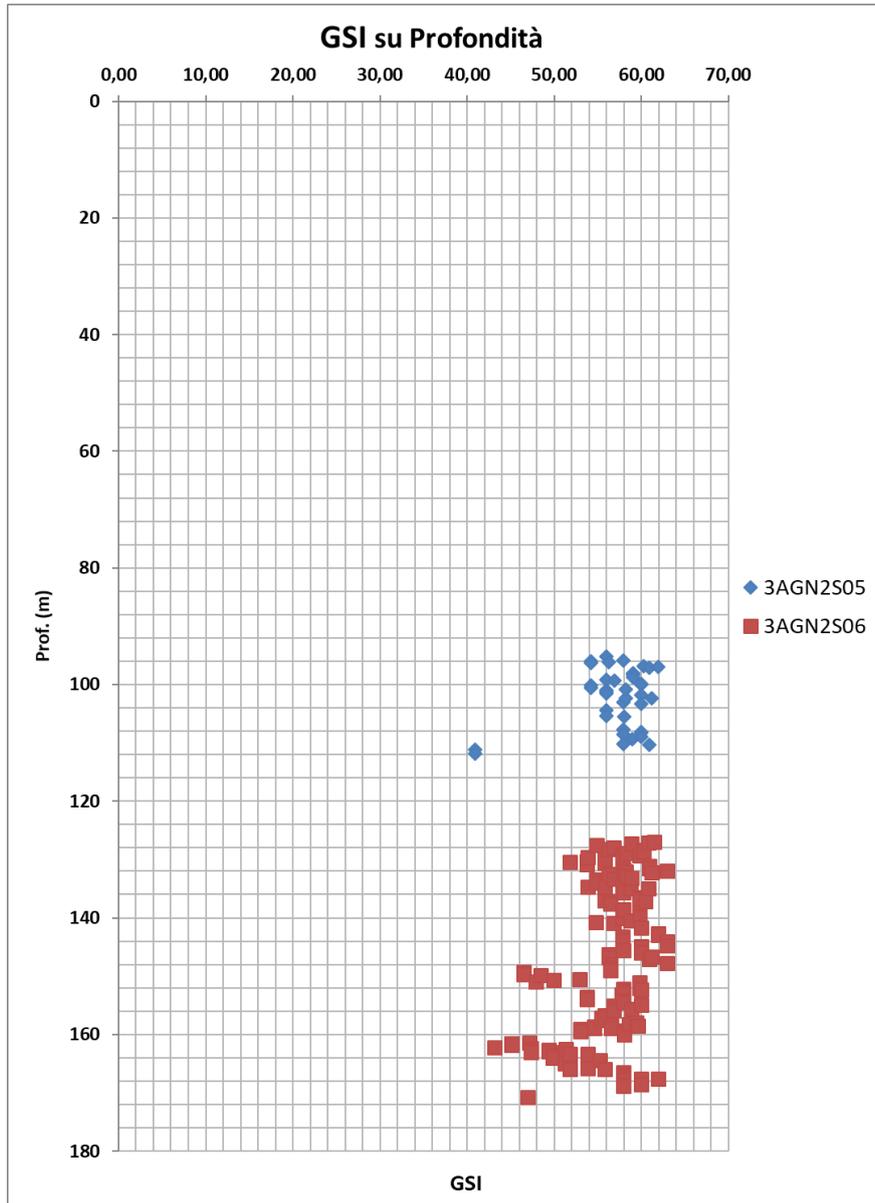


Figura 142: Galleria Nuova Marianopoli - GTL2 – indice GSI

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.6.9 Formazione GTL3

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del GTL3.

Galleria Nuova Marianopoli

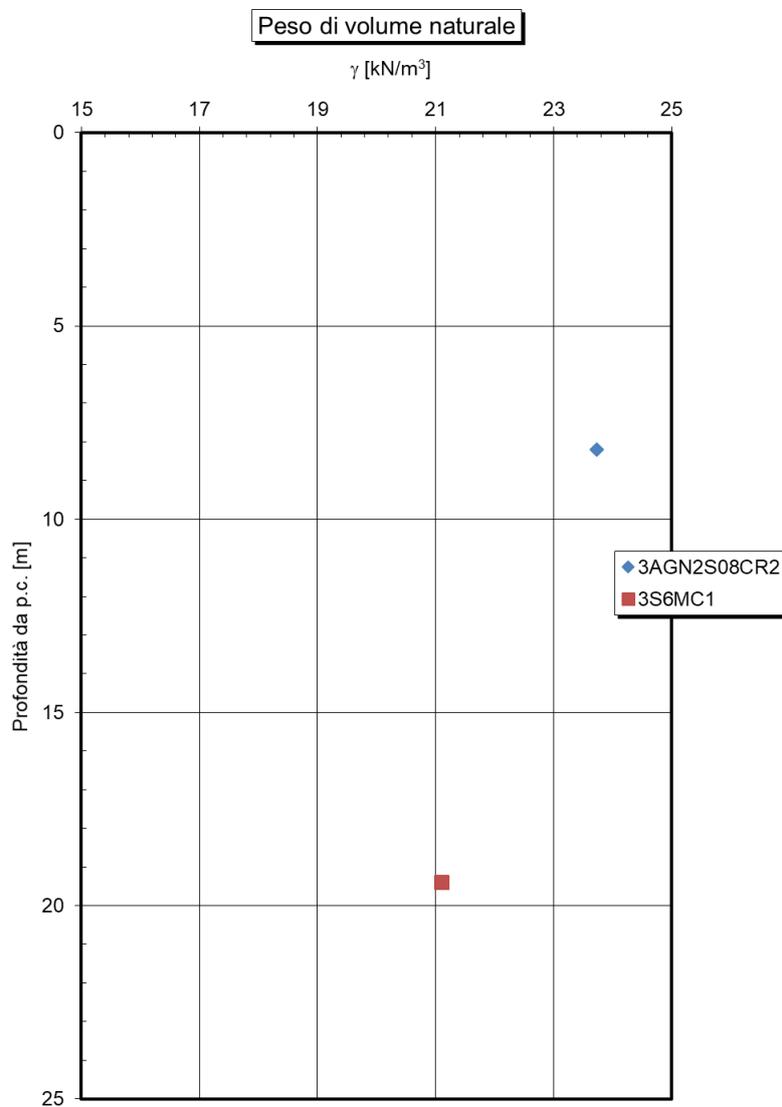


Figura 143: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 - peso dell'unità di volume

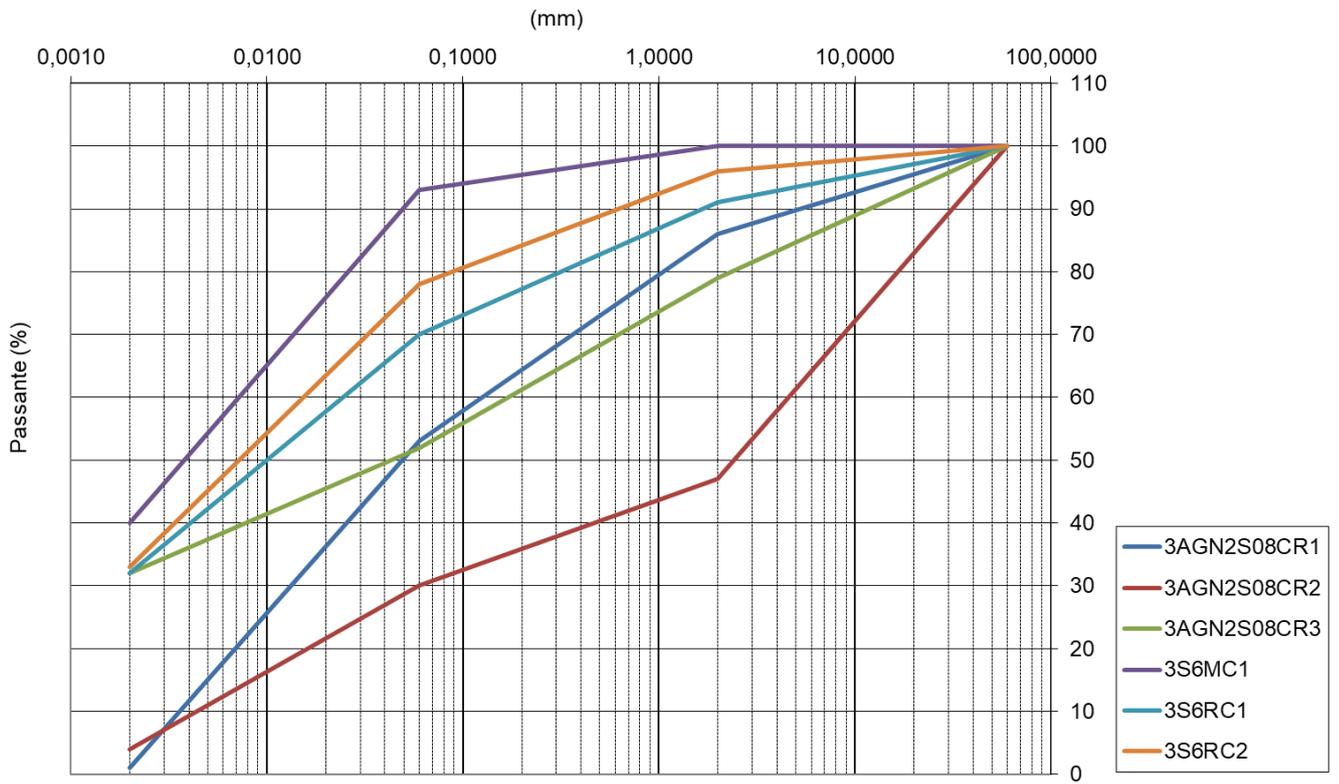


Figura 144: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – curve di distribuzione granulometrica

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	209 di 378

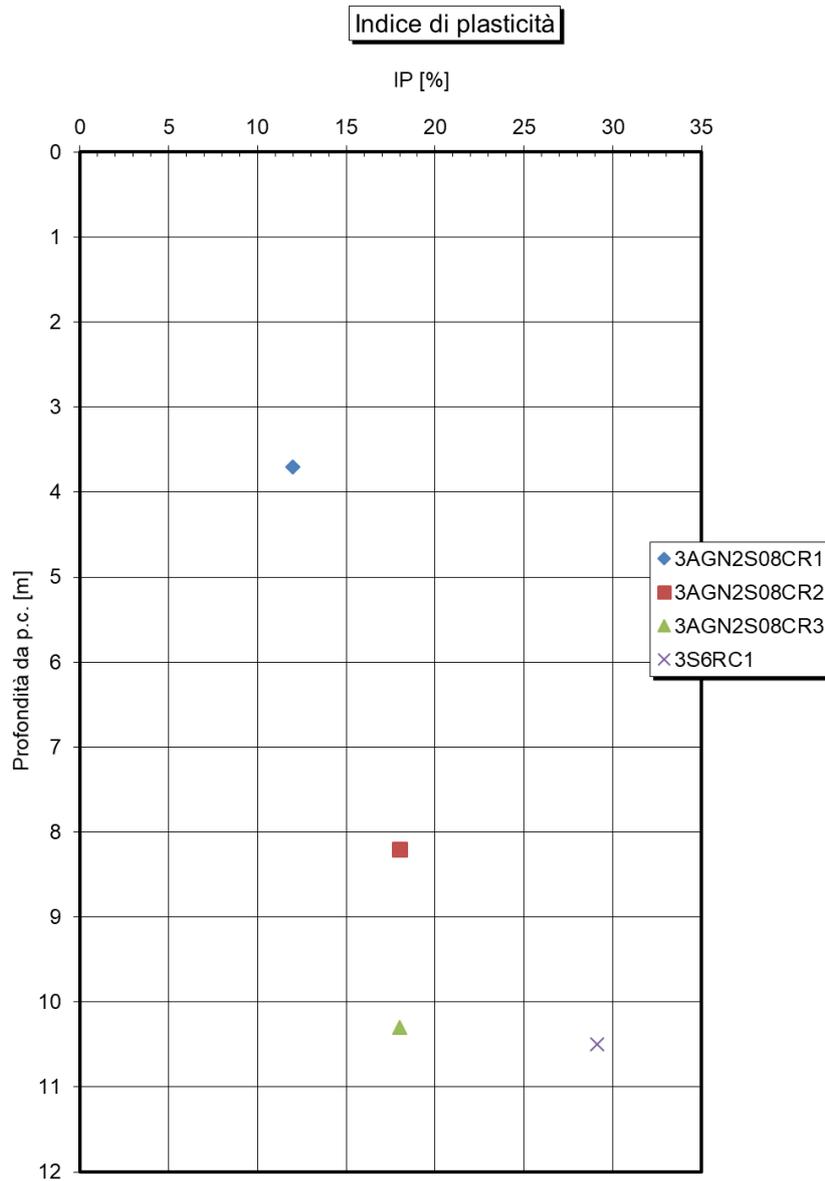


Figura 145: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	210 di 378

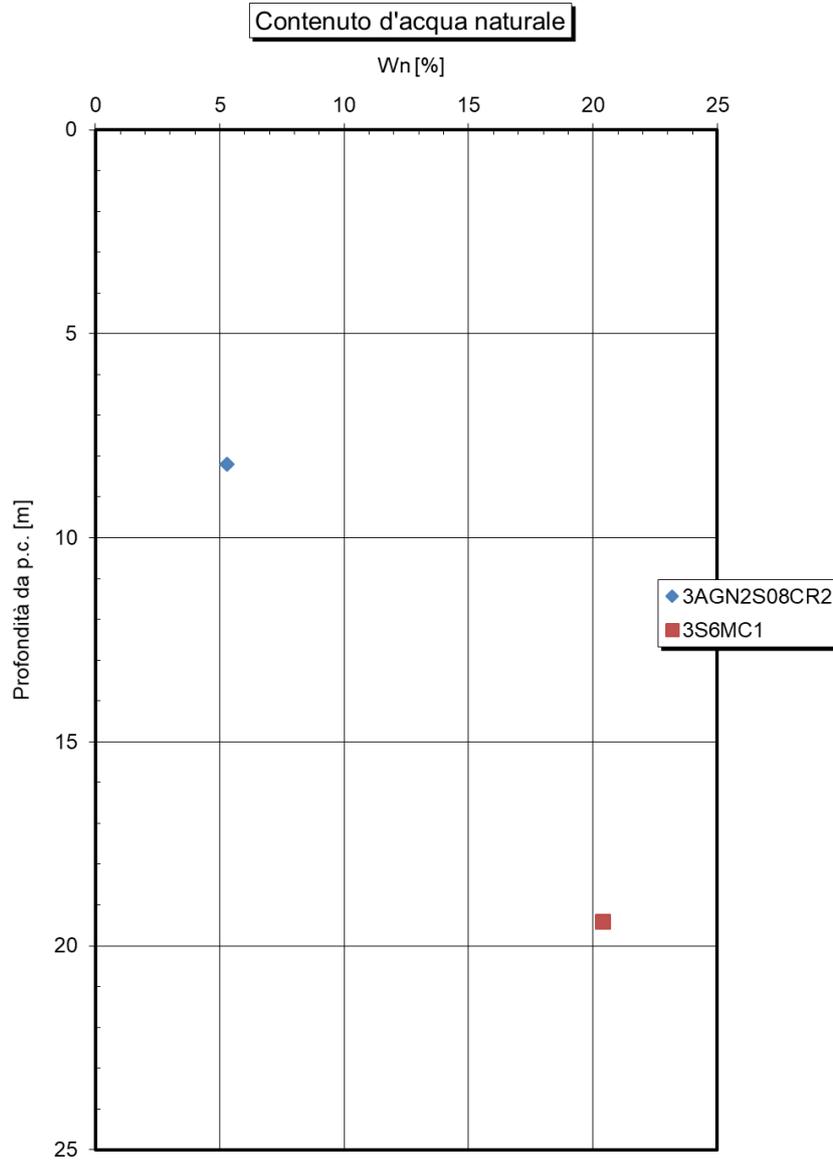


Figura 146: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – contenuto d'acqua

Carta di Plasticità di Casagrande

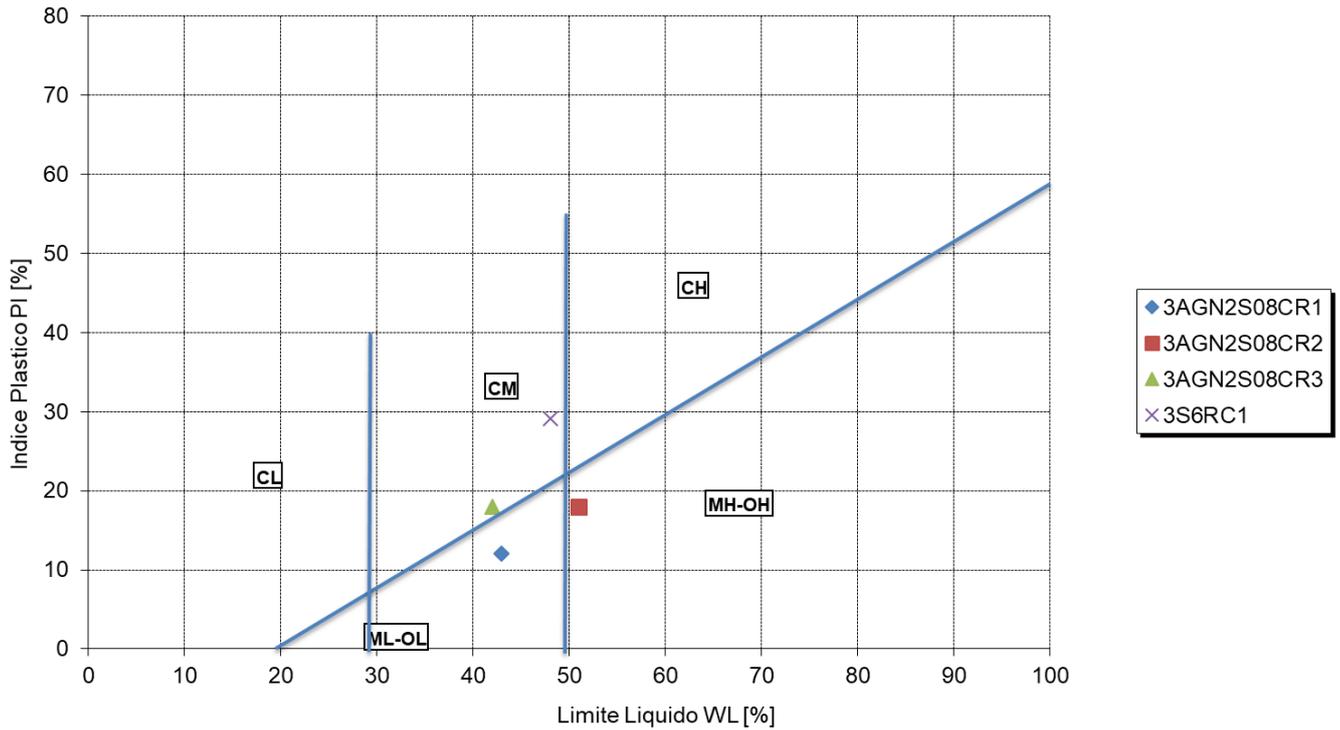


Figura 147: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – contenuto d'acqua

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	212 di 378

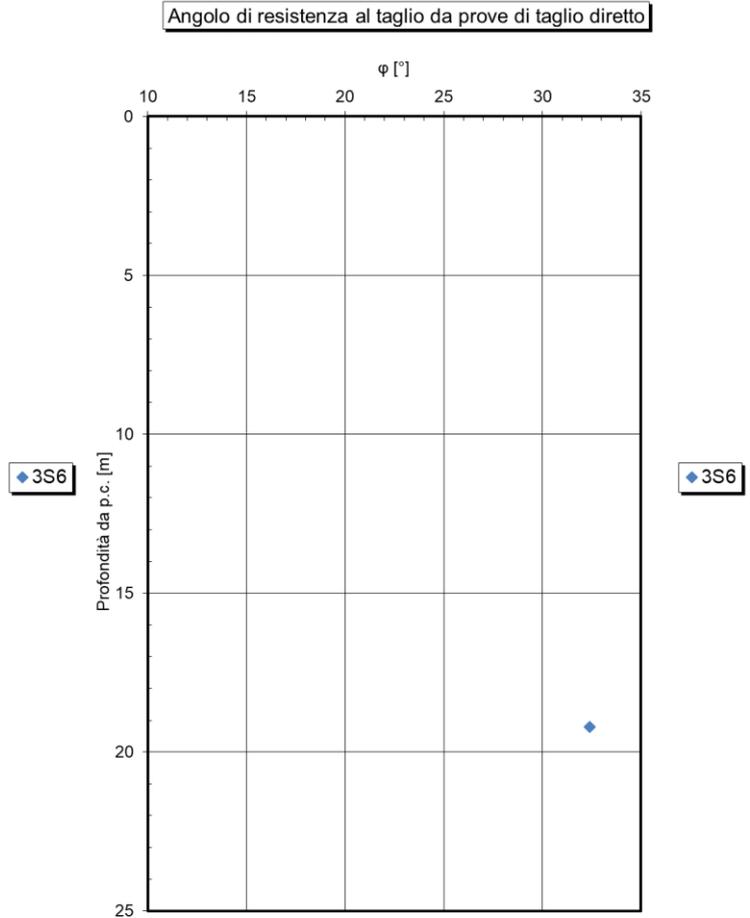
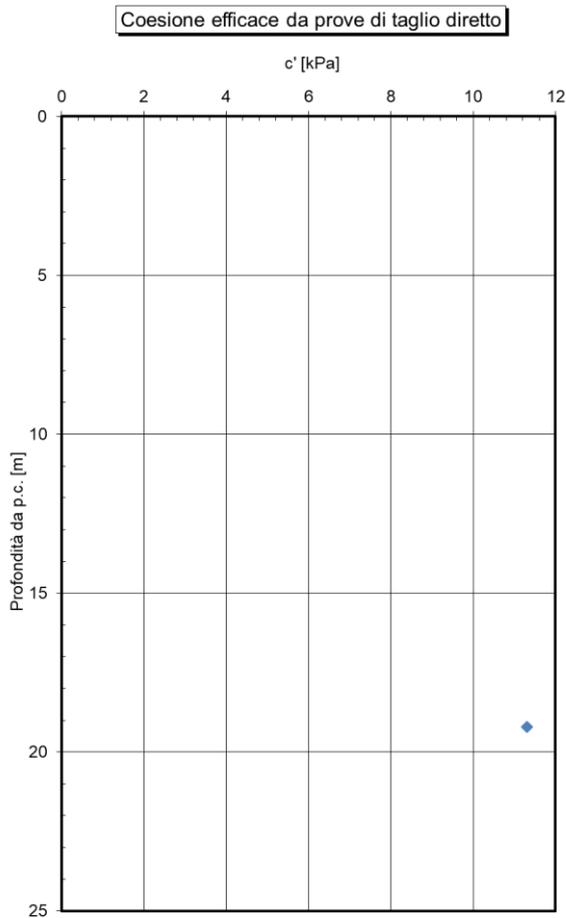


Figura 148: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	213 di 378

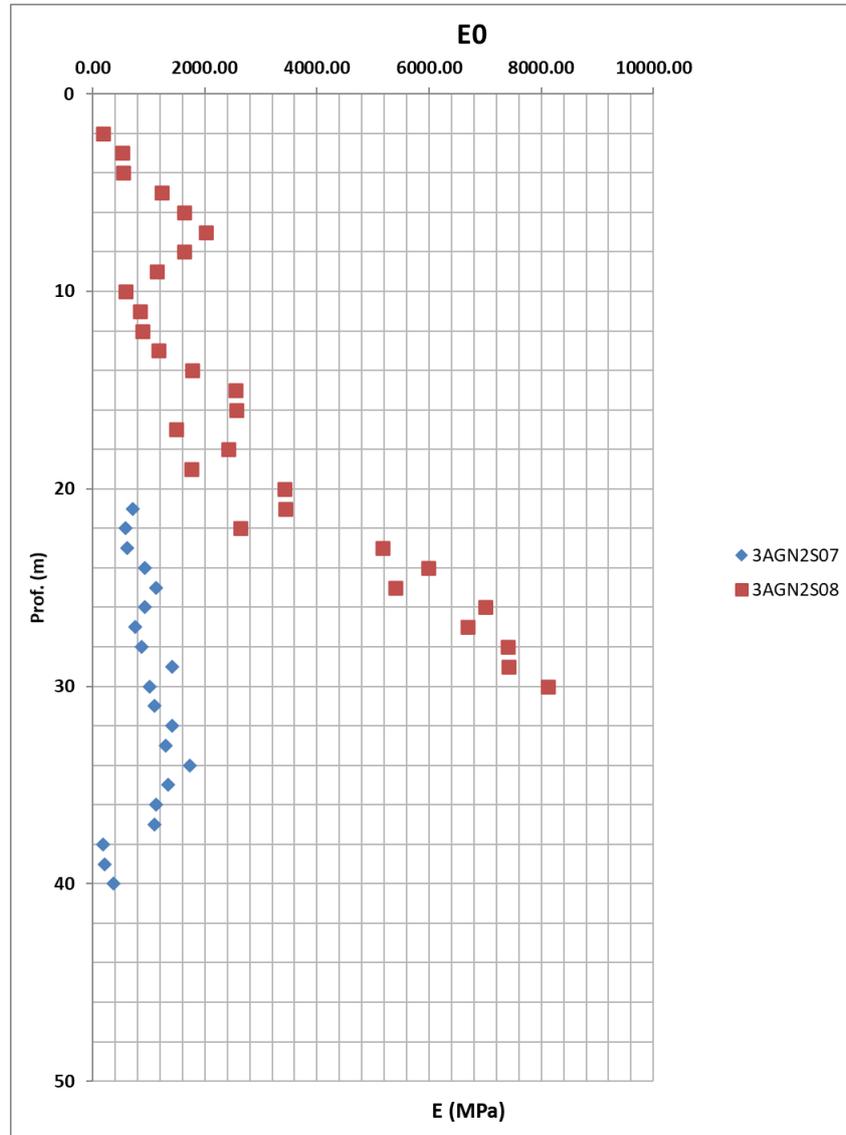


Figura 149: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	214 di 378

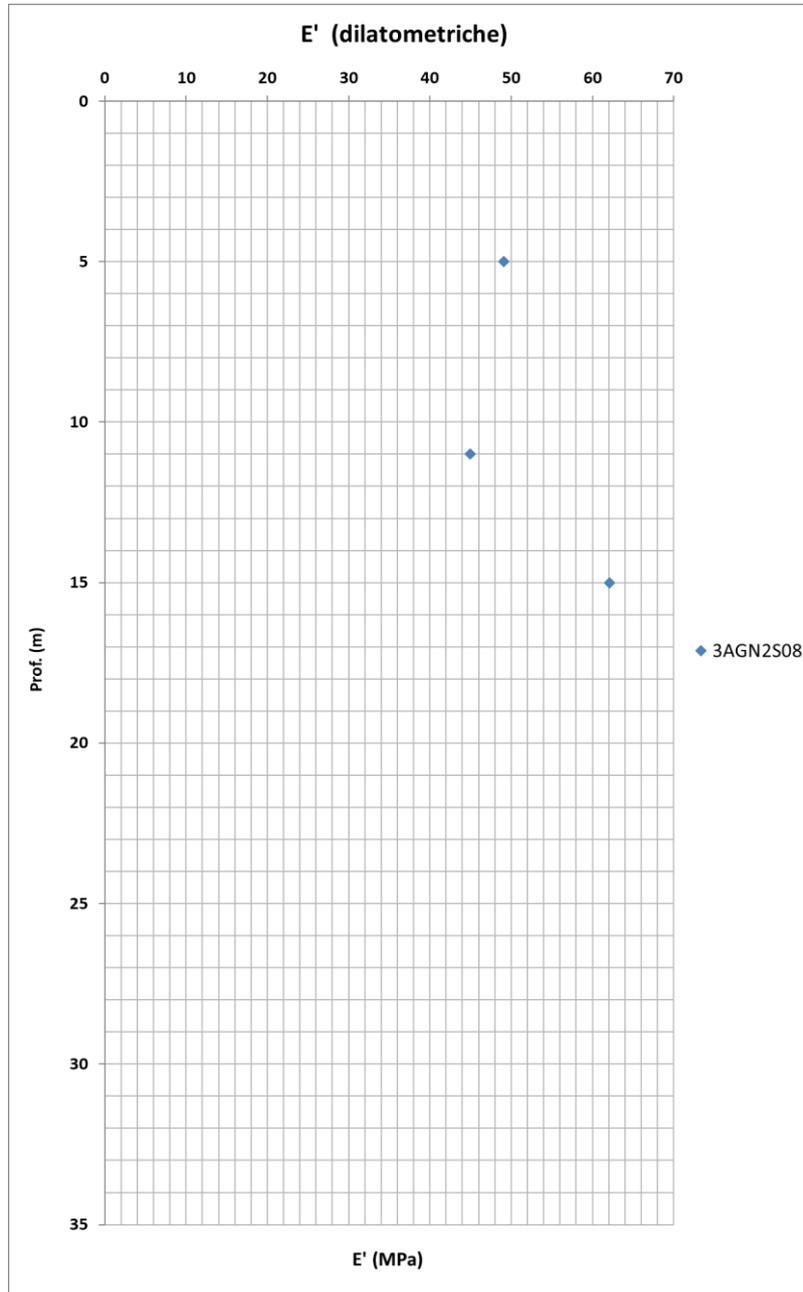


Figura 150: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – modulo di Young da prove dilatometriche

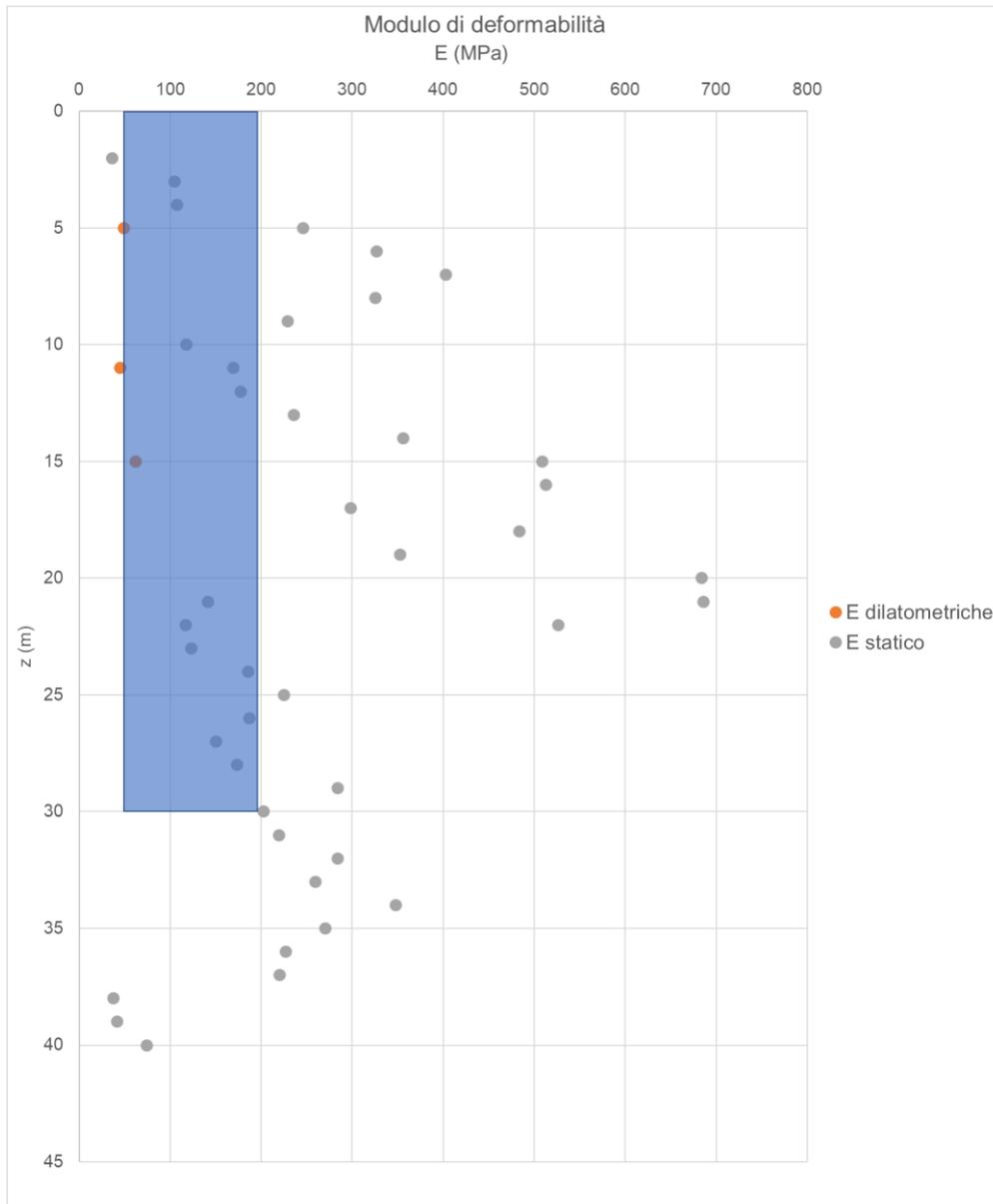


Figura 151: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – modulo di Young da prove dilatometriche e da prove sismiche

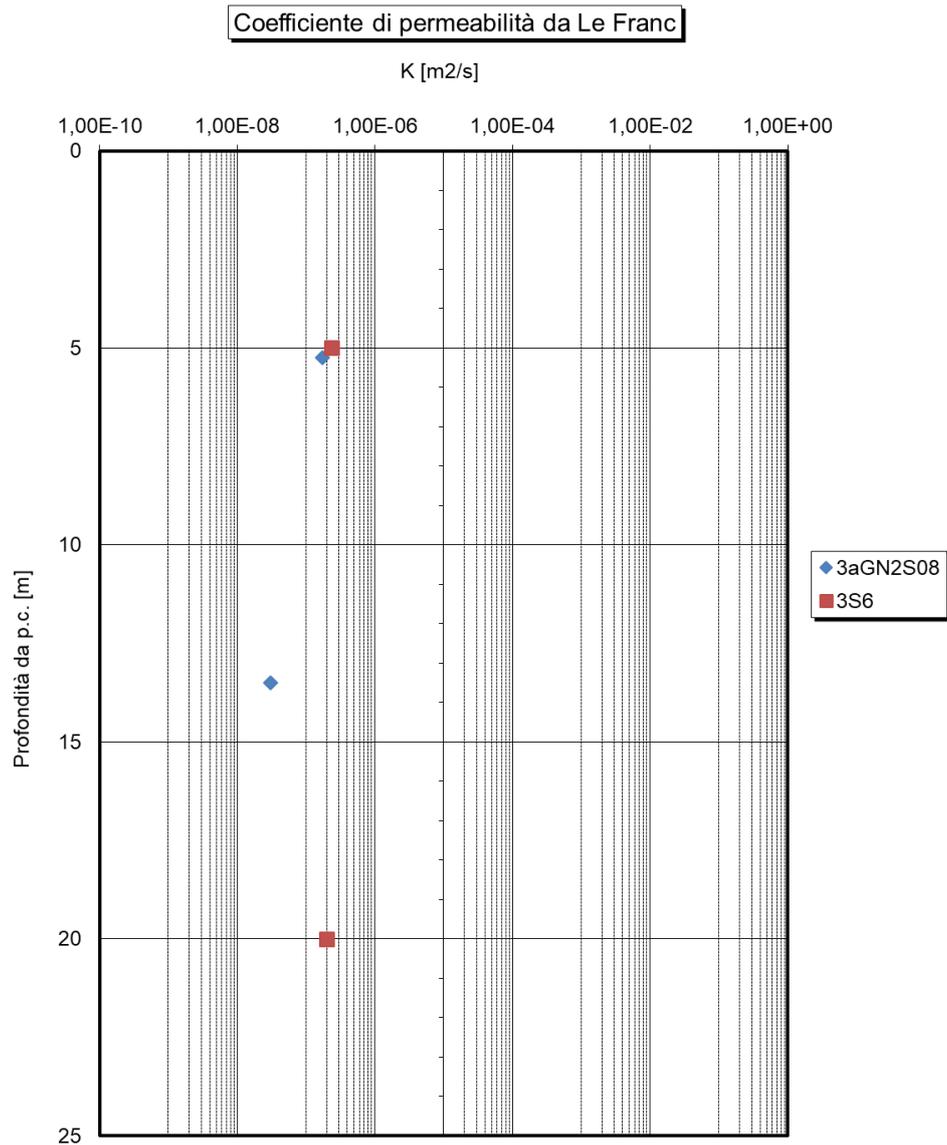


Figura 152: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – coefficiente di permeabilità

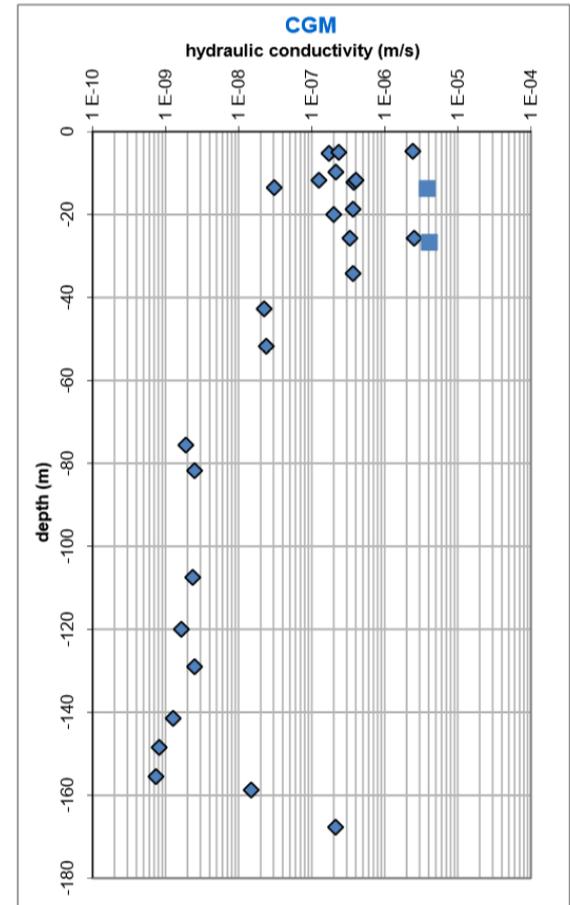


Figura 153: Galleria Nuova Marianopoli – GTL3 – permeabilità complesso idrogeologico gessoso-marnoso

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 18 – Parametri derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Nuova Marianopoli – GTL3

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	v'	E'	c'	C_u	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
15 - 30	GTL3	21	-	-	-	0.3	0.05-0.2	10	170	30
0 - 15	GTL3	21	-	-	-	0.3	0.05-0.2	10	170	30

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

mi = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$c_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	219 di 378

Galleria Trabona

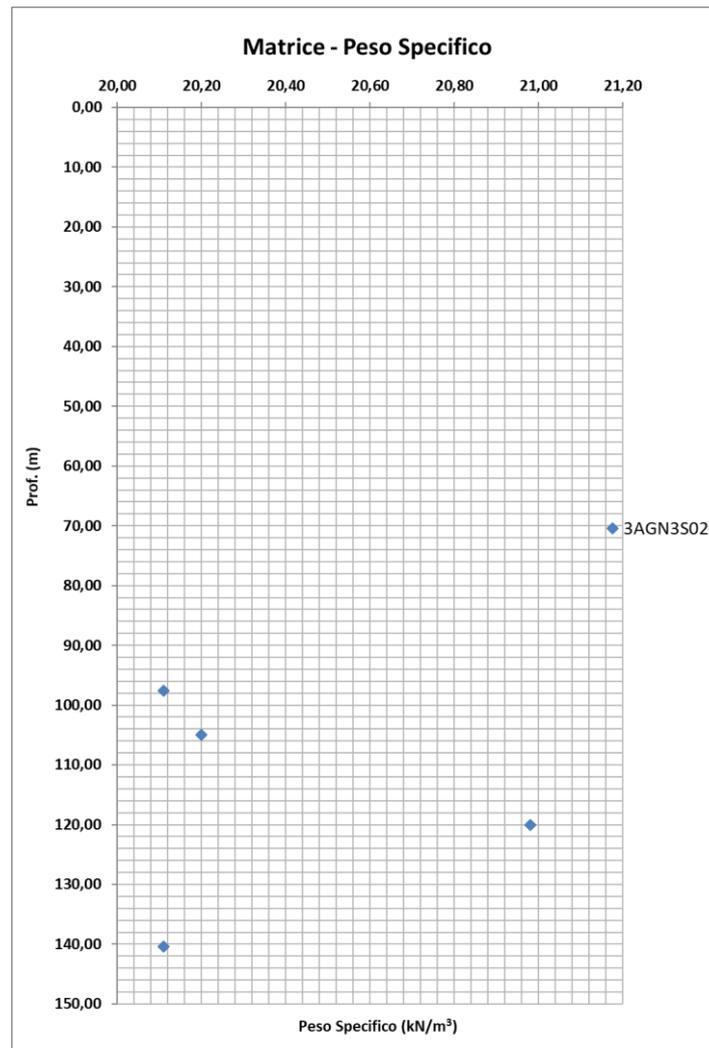


Figura 154: Galleria Trabona – GTL3 – peso specifico matrice rocciosa

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	220 di 378

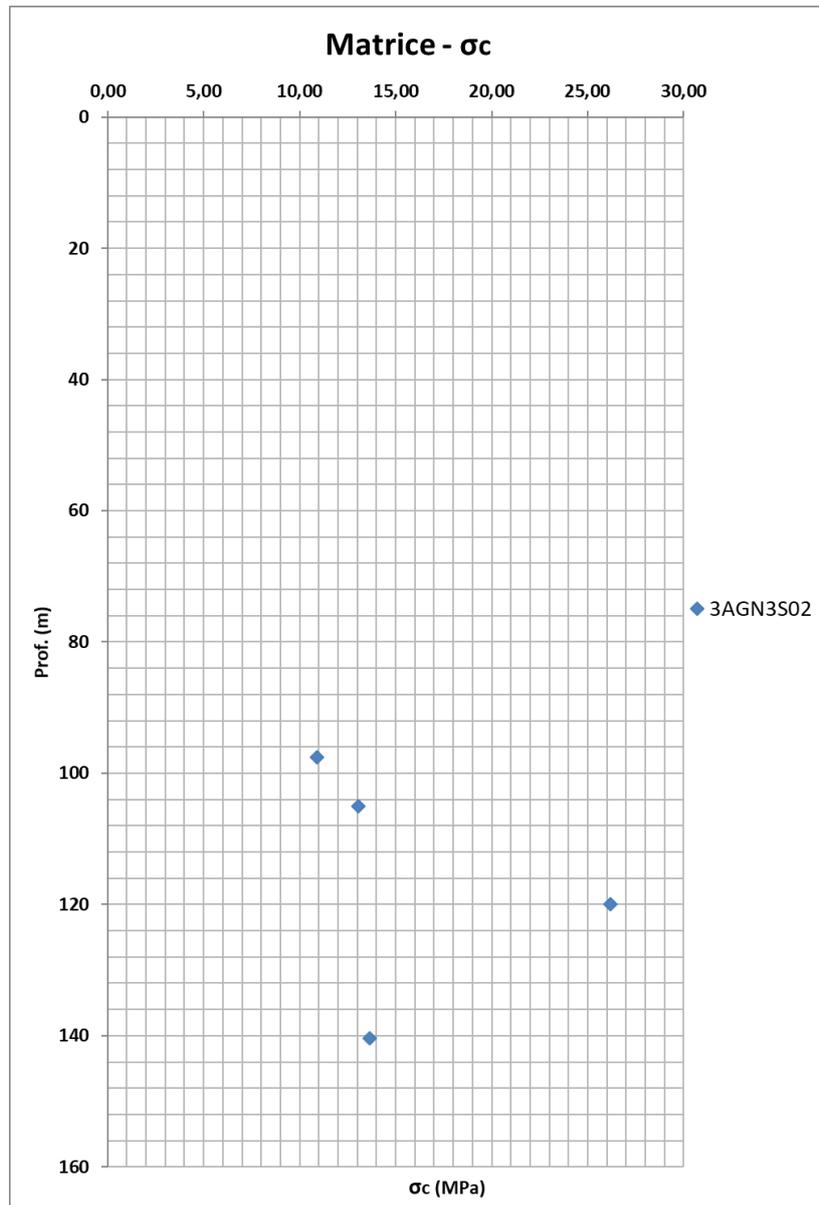


Figura 155: Galleria Trabona – GTL3 – resistenza a compressione monoassiale

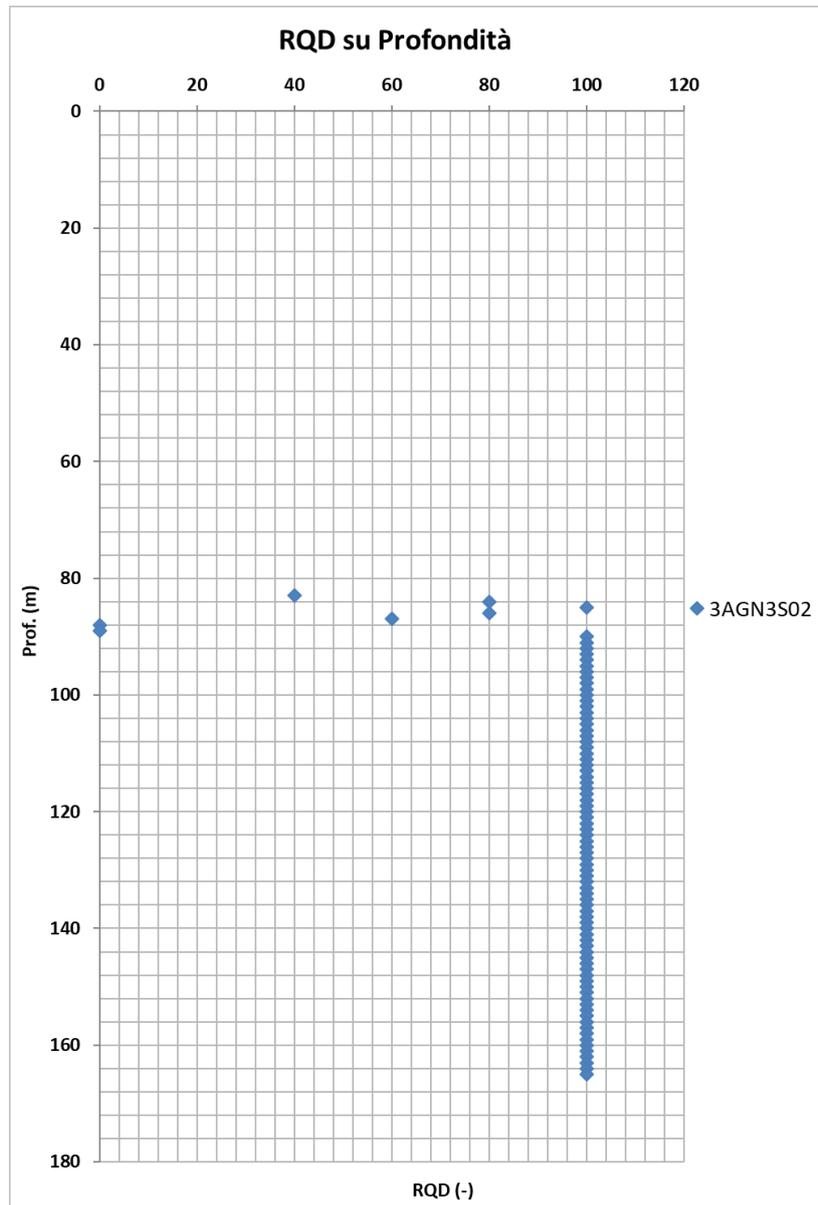


Figura 156: Galleria Trabona – GTL3 – RQD

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	222 di 378

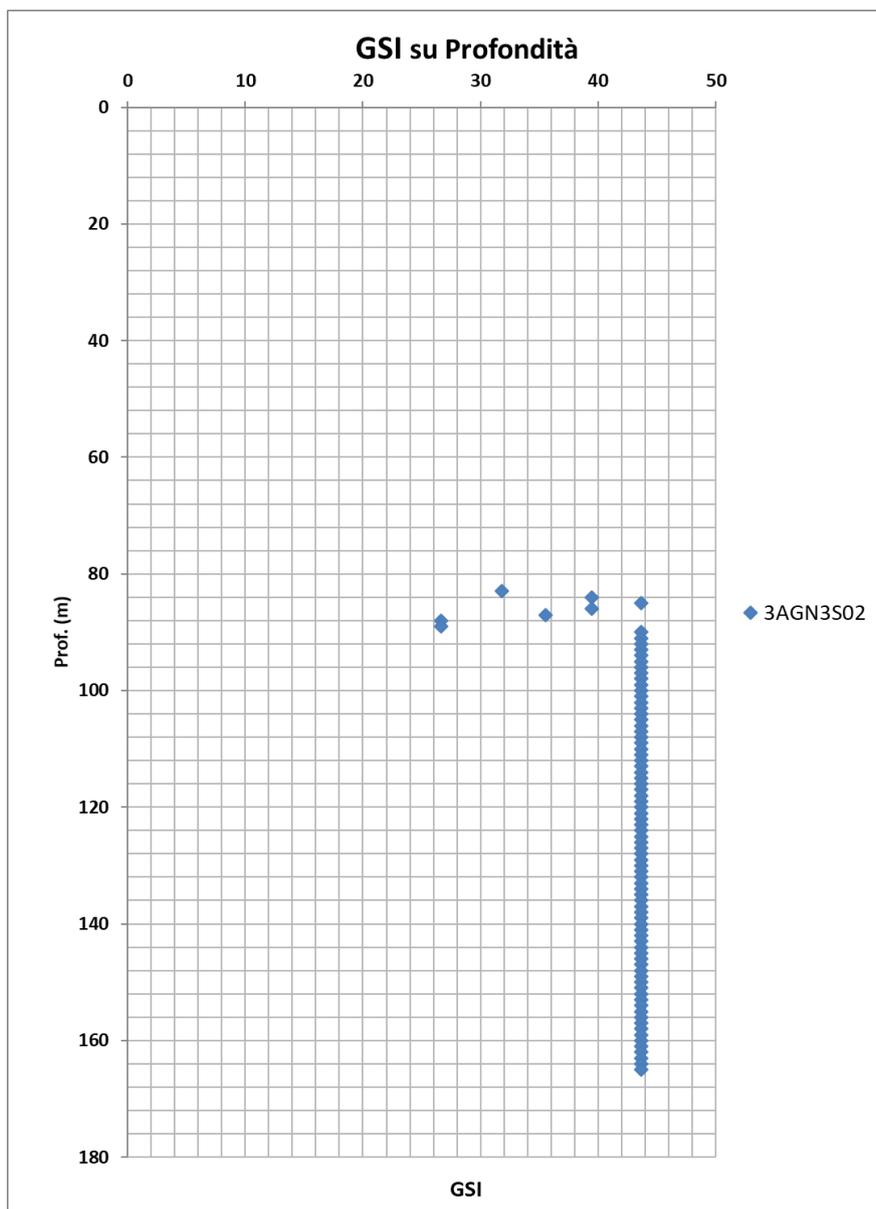


Figura 157: Galleria Trabona – GTL3 – GSI

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 19: Parametri derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Trabona – GTL3

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν'	E'	c'	C_u	ϕ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
90-100	GTL3	21	40	8	15	-	540	210	-	34

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 m_i = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.6.10 Formazione TPL

Galleria Nuova Marianopoli

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle contenenti i parametri per le singole gallerie in esame per la formazione del TPL.

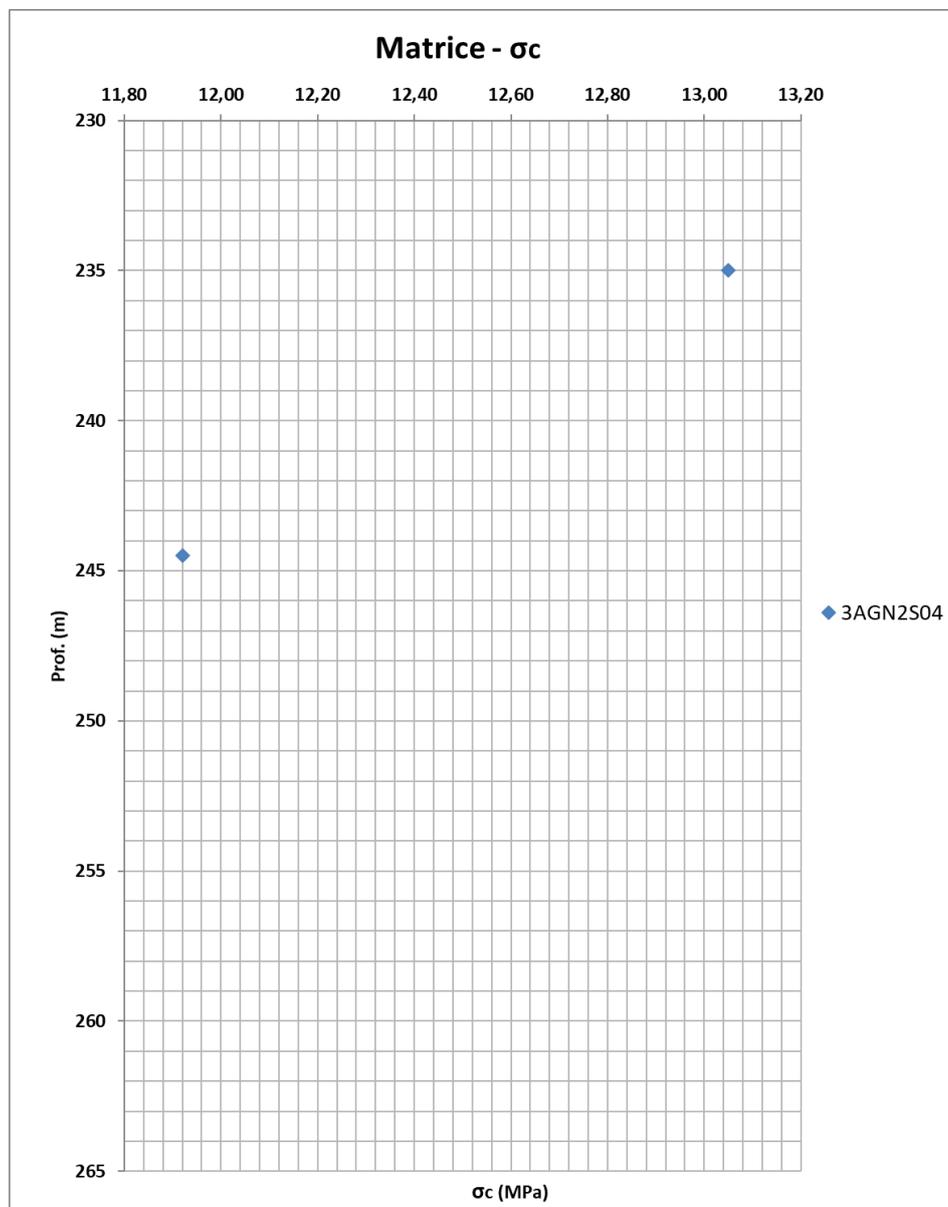


Figura 158: Galleria Nuova Marianopoli - TPL – resistenza a compressione monoassiale della matrice

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	225 di 378

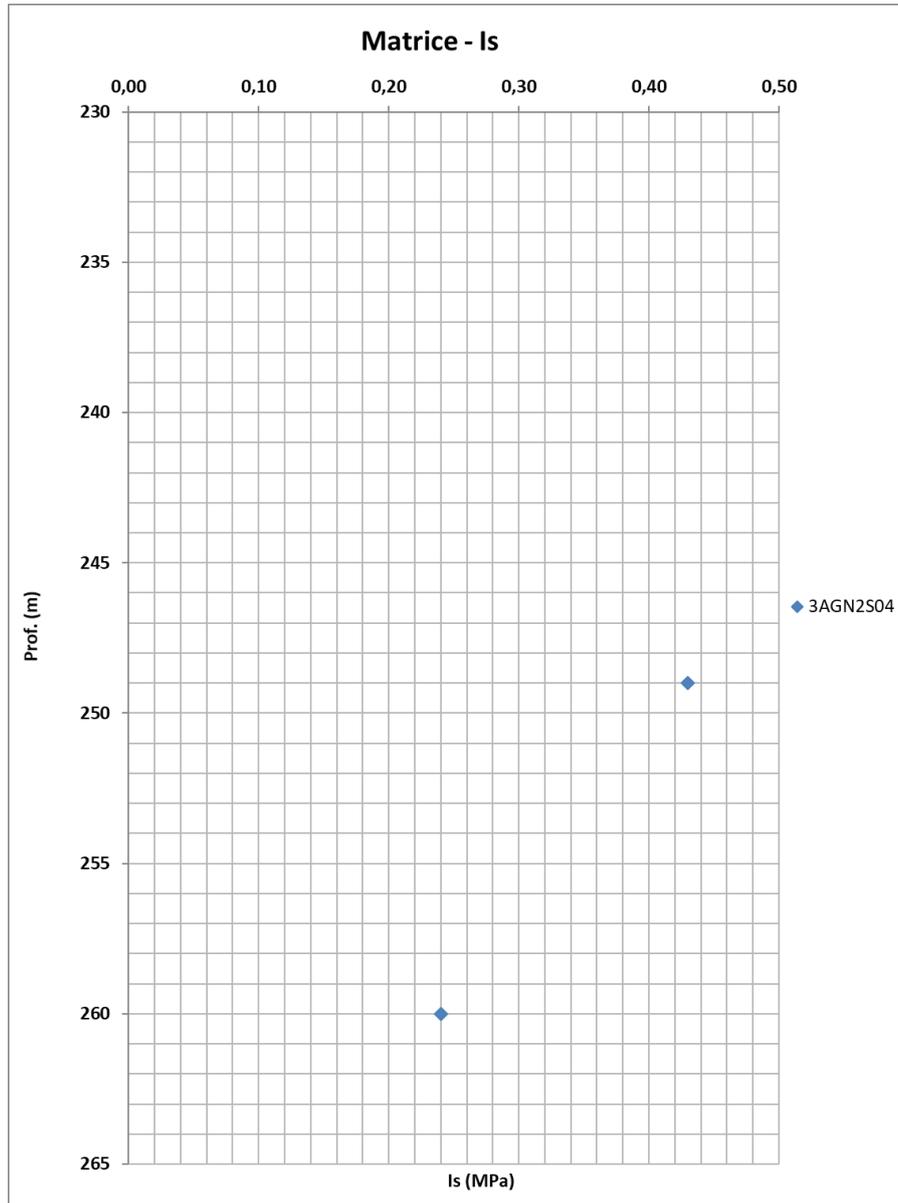


Figura 159: Galleria Nuova Marianopoli - TPL – Is da point Load

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	226 di 378

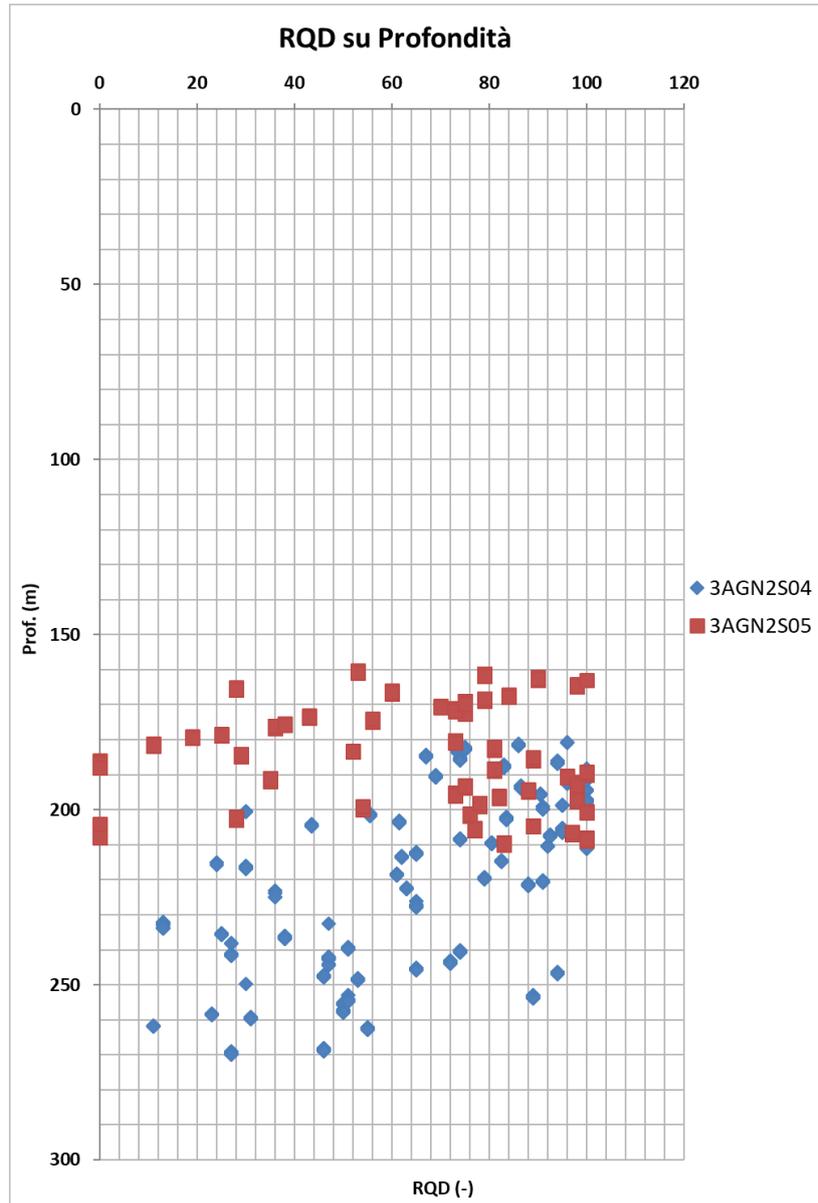


Figura 160: Galleria Nuova Marianopoli - TPL - RQD su profondità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	227 di 378

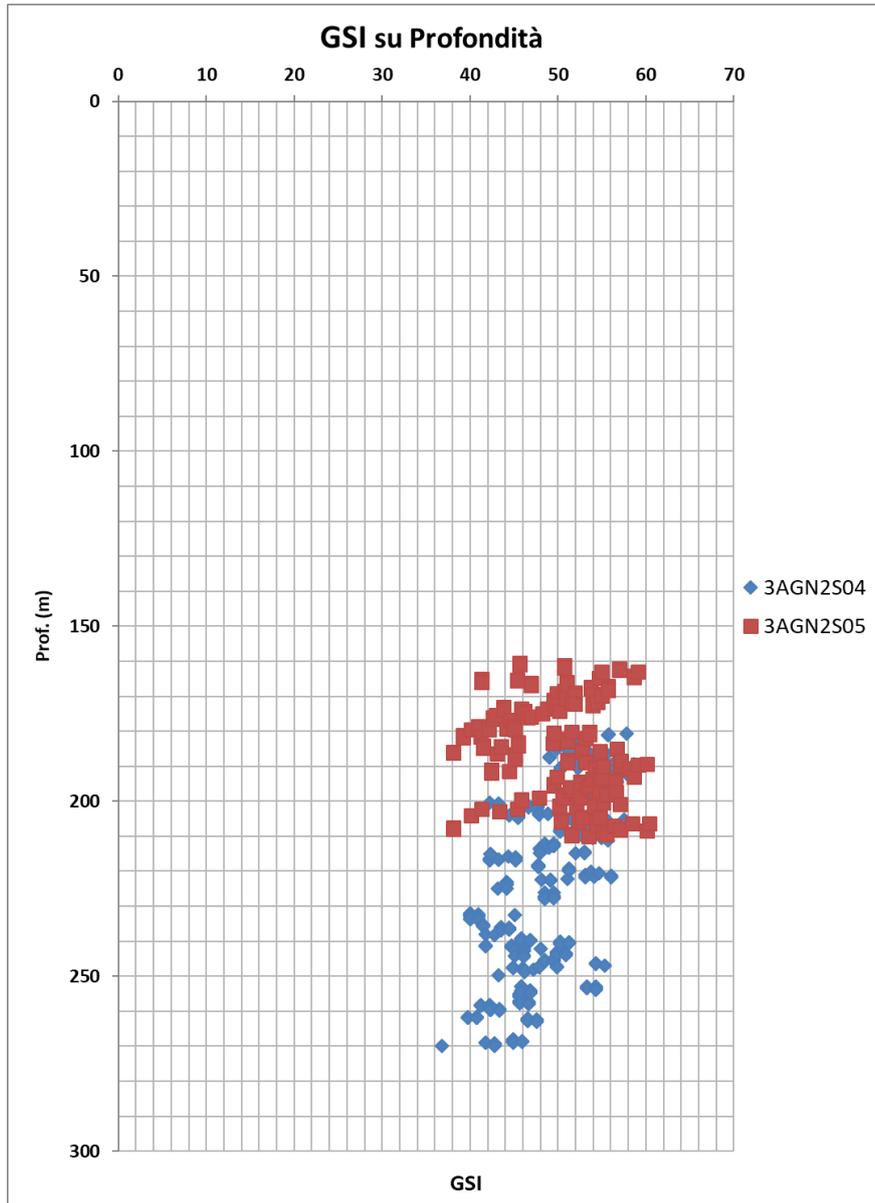


Figura 161: Galleria Nuova Marianopoli - TPL - GSI su profondità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	228 di 378

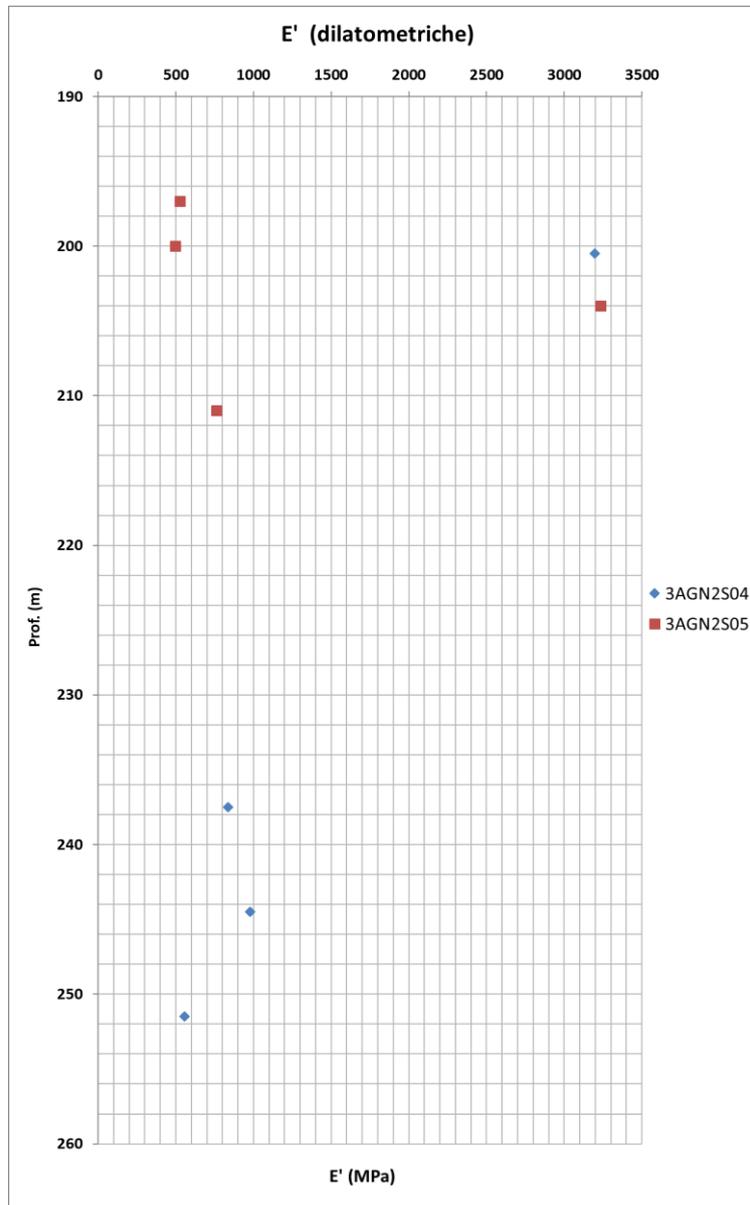


Figura 162: Galleria Nuova Marianopoli - TPL – moduli di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	229 di 378

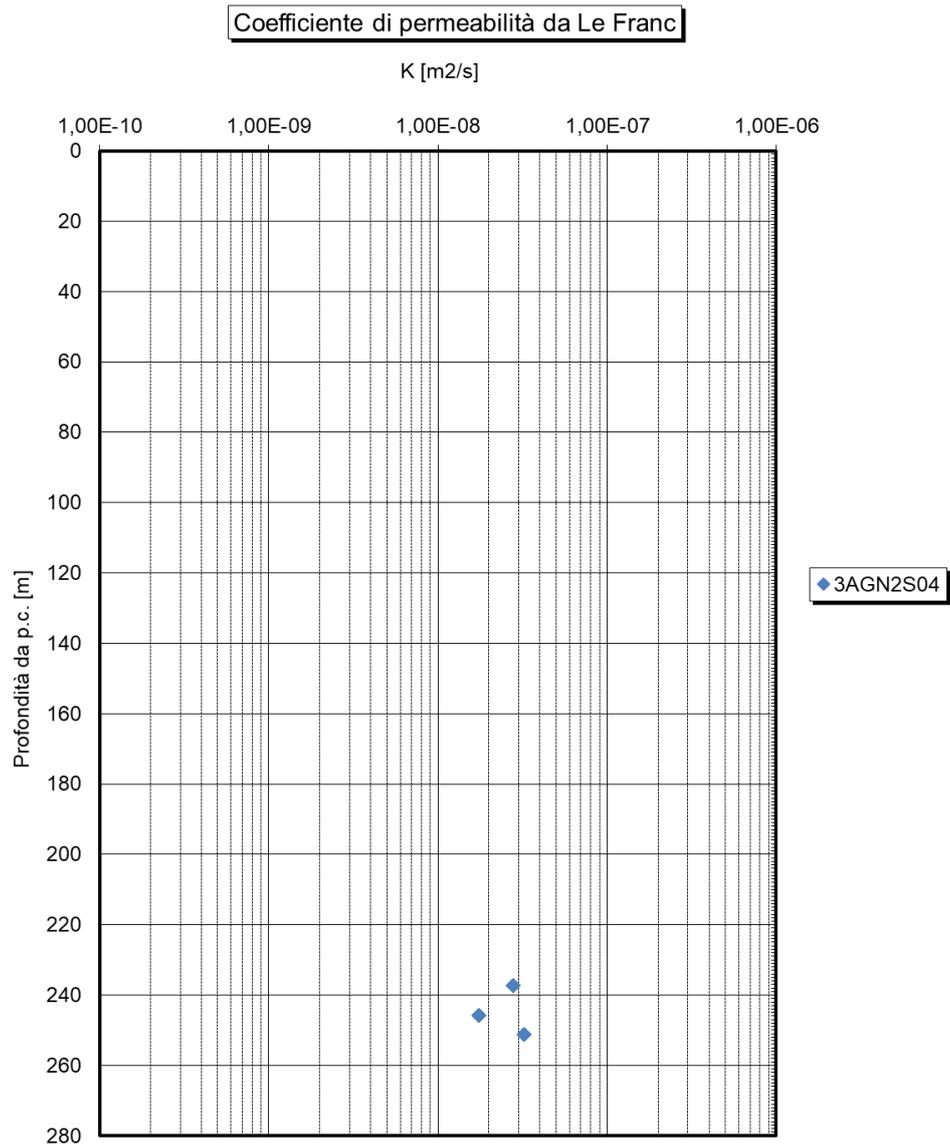


Figura 163: Galleria Nuova Marianopoli - TPL coefficiente di permeabilità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	230 di 378

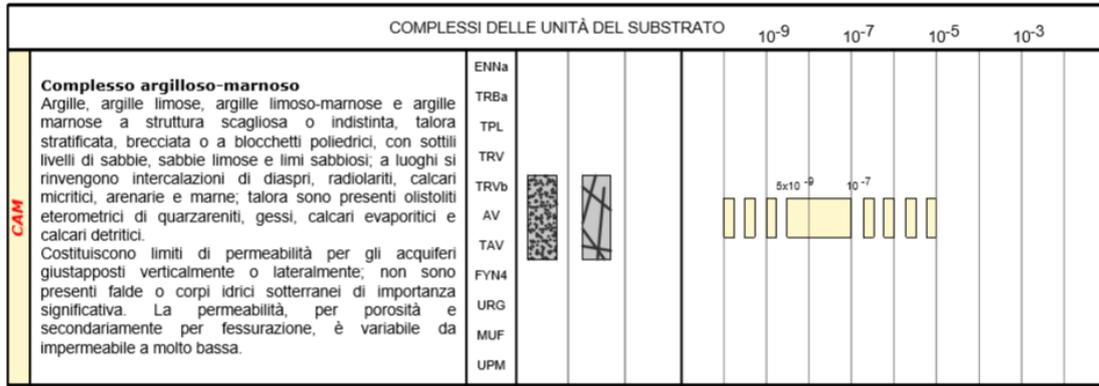


Figura 164: Galleria Nuova Marianopoli - TPL permeabilità complesso idrogeologico

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 20: Parametri derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Nuova Marianopoli – TPL

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	ν'	E'	c'	C_u	ϕ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
190-270	TPL	22	40-60	10	13	0.3	0.5 - 1.3	400-500	-	29-32

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 C_{uk} = valore caratteristico della coesione non drenata

9.6.11 Formazione GPQ

Galleria Trabona

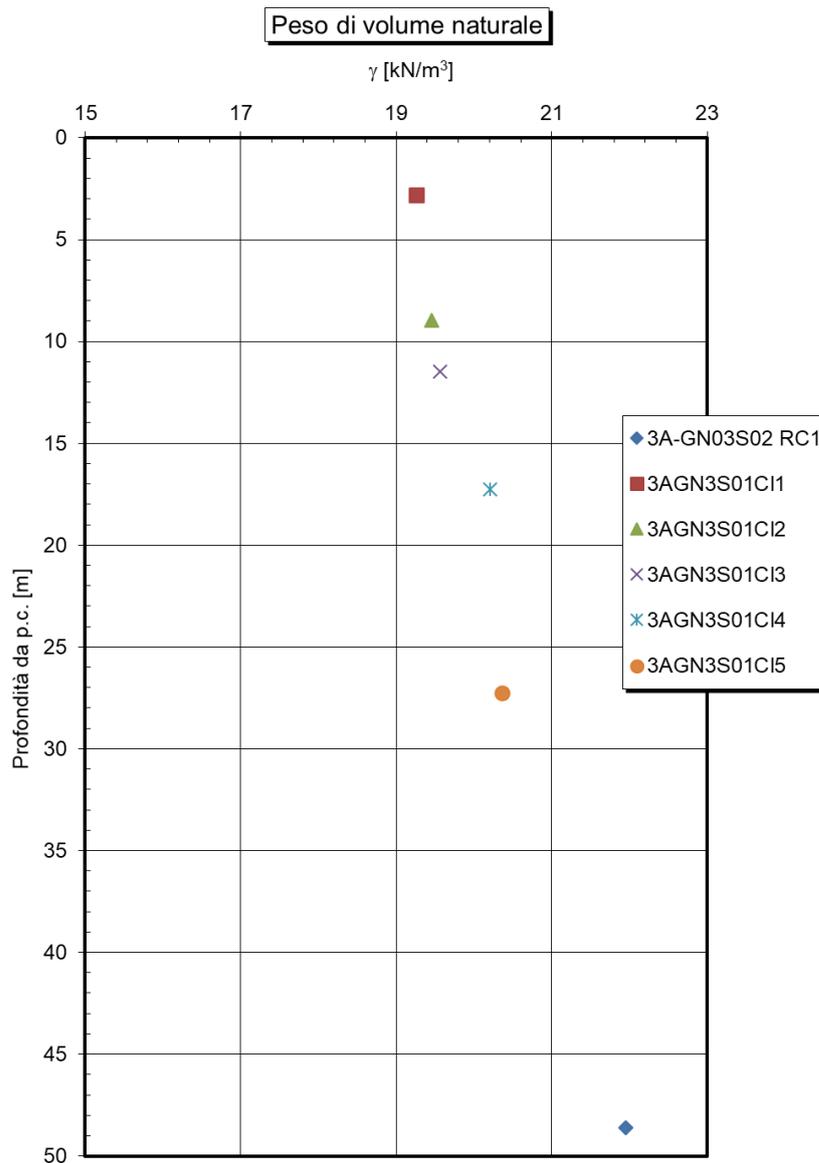


Figura 165: Galleria Trabona – GPQ – peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	233 di 378

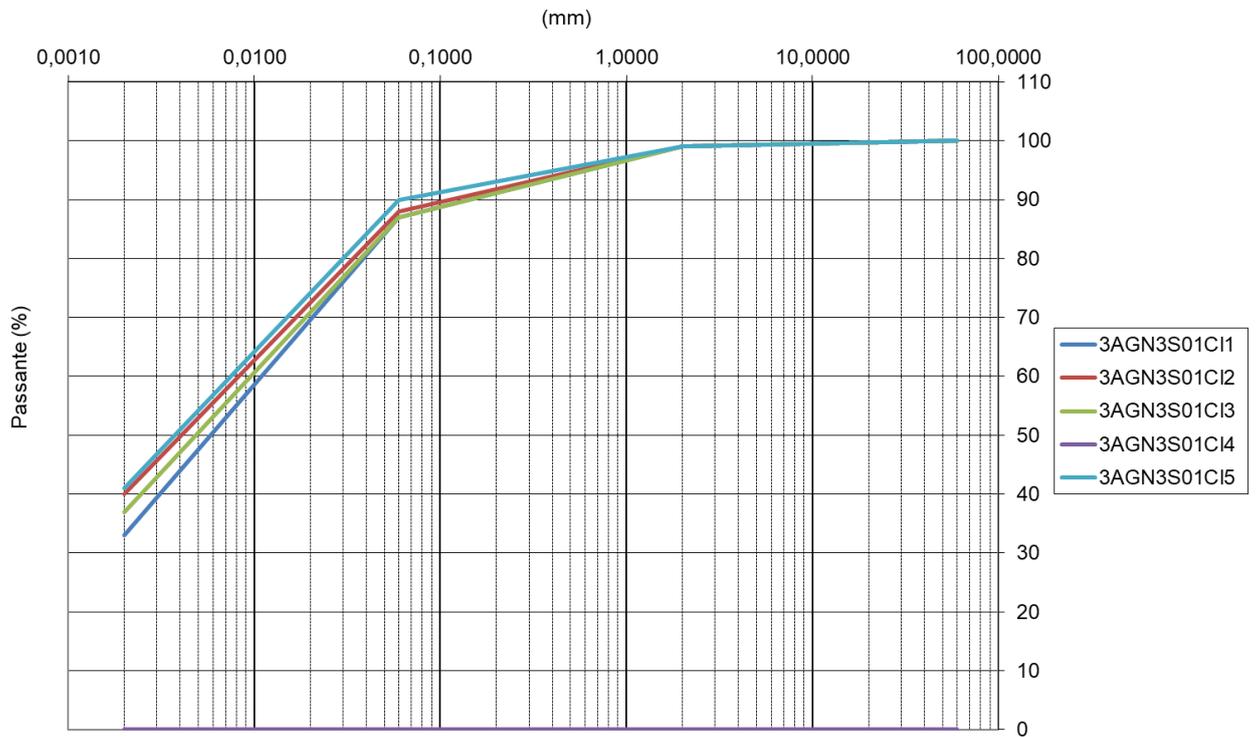


Figura 166: Galleria Trabona – GPQ – Fuso granulometrico

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	234 di 378

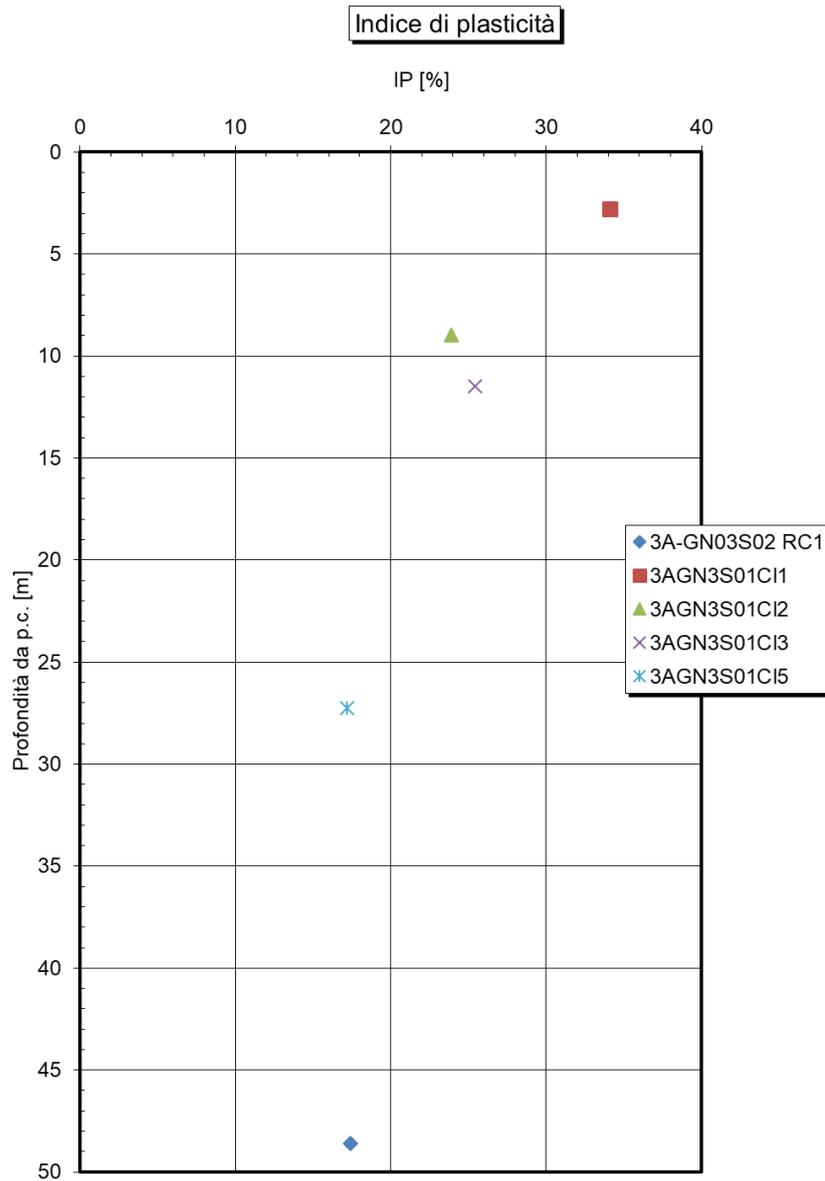


Figura 167: Galleria Trabona – GPQ – Indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	235 di 378

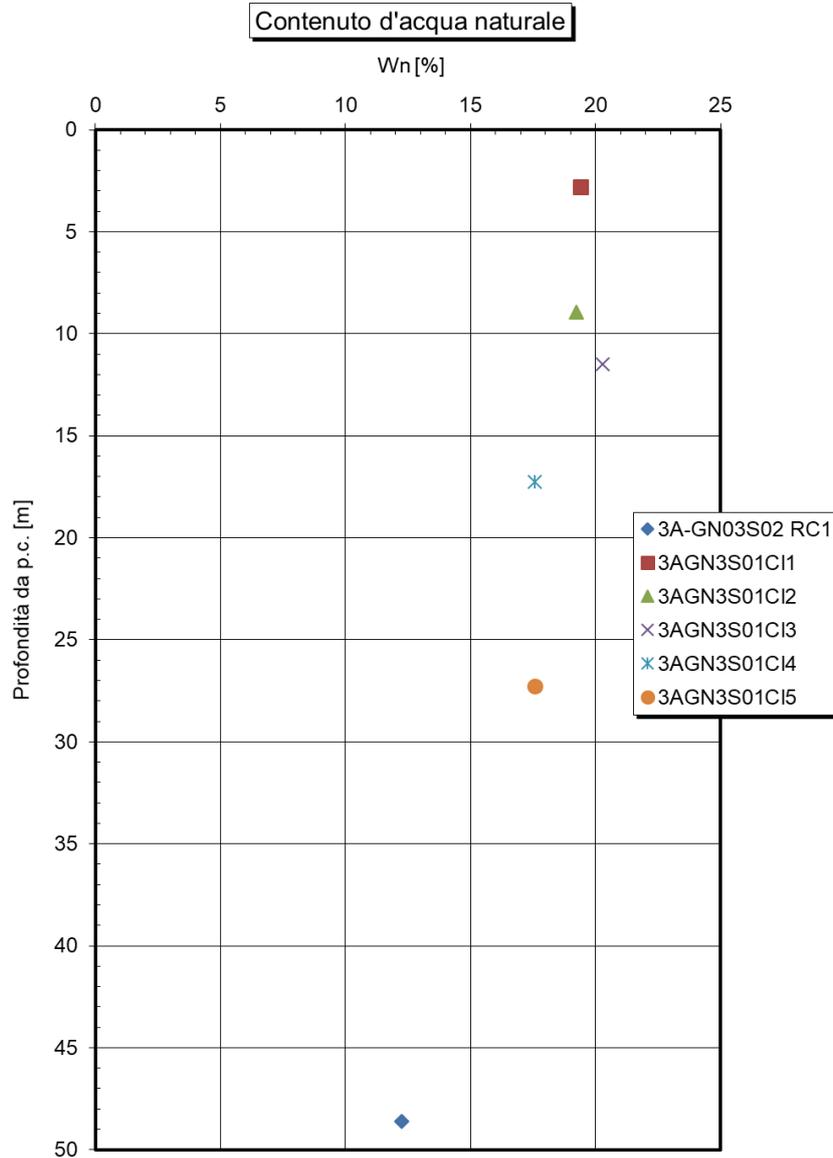


Figura 168: Galleria Trabona – GPQ – contenuto di acqua

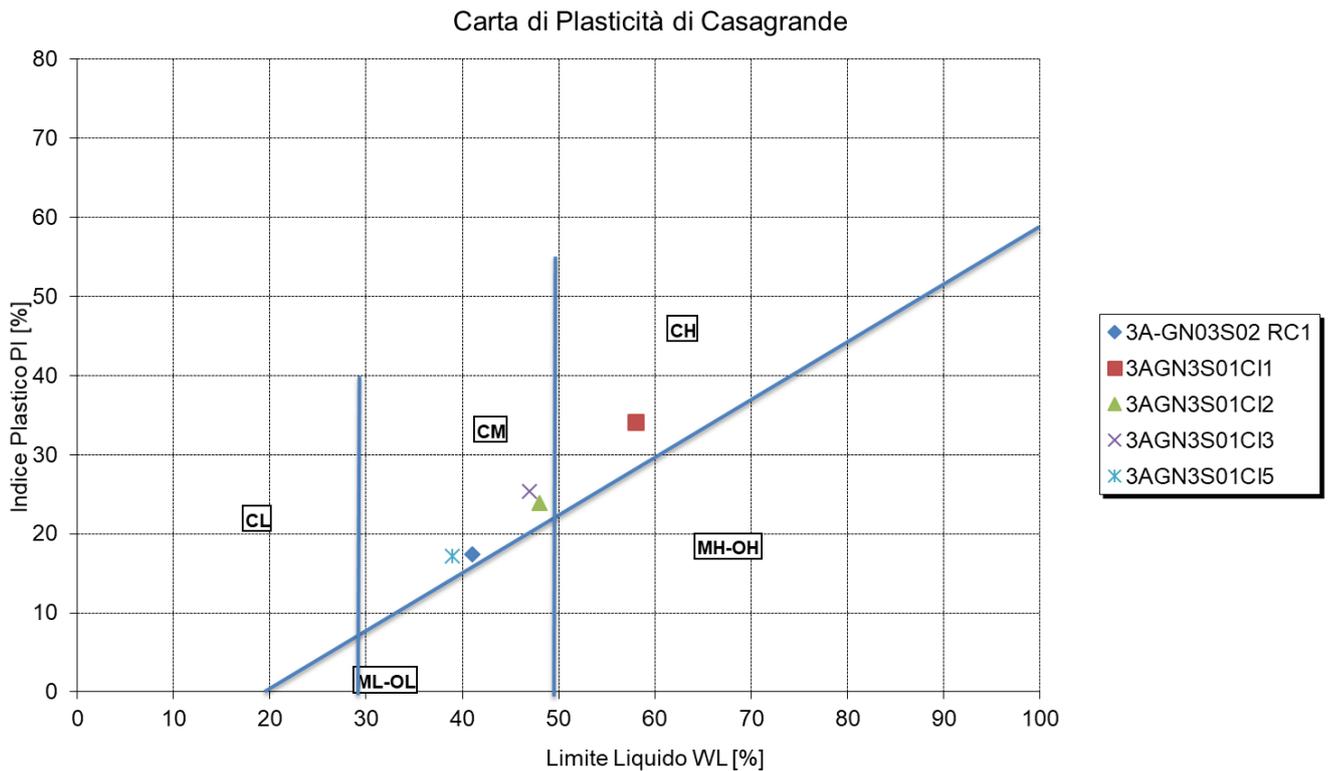


Figura 169: Galleria Trabona – GPQ – carta di plasticità

Sono state eseguite n.2 prove pressiometriche nel sondaggio 3AGN3S01 da cui è stato possibile ricavare, con le note correlazioni, valori della coesione non drenata pari a 138 kPa e 199 kPa rispettivamente per le profondità di 5.5 metri e 13.5 metri.

Sono state eseguite inoltre n.2 prove ad espansione laterale libera dalle quali si sono ottenuti valori della coesione non drenata di 101 kPa e 215 kPa rispettivamente alle profondità di 12 metri e 17 metri.

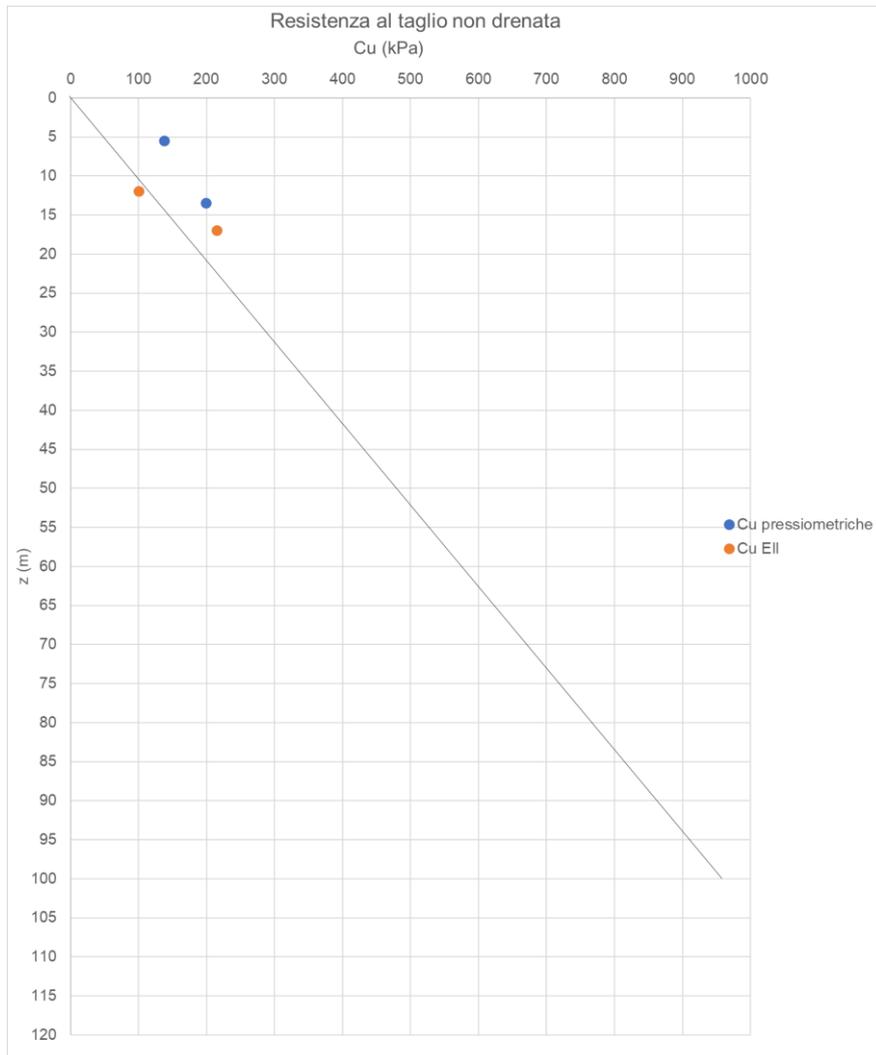


Figura 170: Galleria Trabona – GPQ – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche e prove ad espansione laterale libera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' derivante dall'elaborazione delle prove triassiali condotte sui due campioni del sondaggio 3a-GN3-S01 (CI2, CI4), prelevati 9,2 e 17,5 m da p.c., restituisce valori di intercetta di coesione c' pari a 22 kPa e di resistenza al taglio φ' pari a 23° (Figura 171).

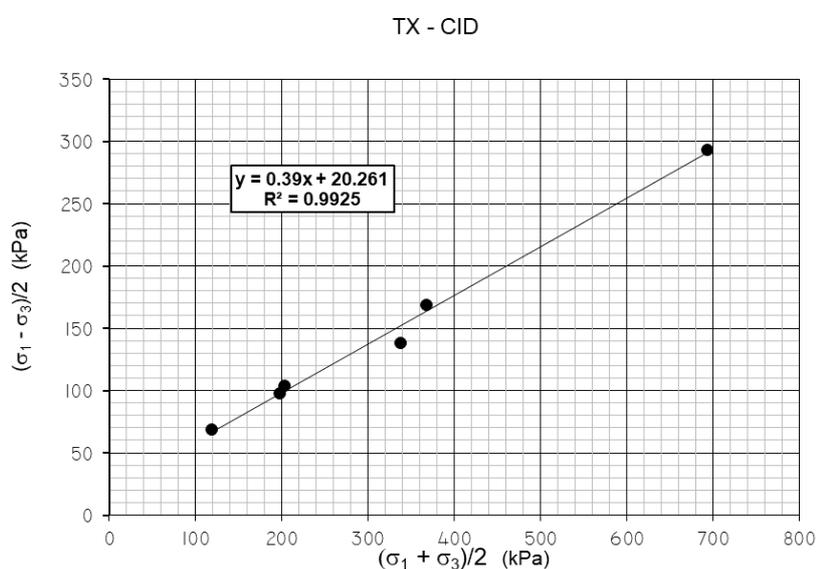


Figura 171: Galleria Trabona – GPQ - Involuppo di resistenza delle prove triassiali

Sono state eseguite 8 prove di taglio diretto nella formazione GPQ per la galleria Trabona. Le profondità di prelievo dei campioni è variabile tra 3 e 81,5 m da piano campagna. Le 8 prove di taglio mostrano un angolo di resistenza al taglio costante e pari a 23° ed una coesione crescente pressoché linearmente con la profondità con valori variabili tra 21 e 56 kPa. Per tale motivo si è deciso di elaborare due involuppi di resistenza, una per profondità inferiori a 50 m ed uno per profondità superiori. L'involuppo di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 172 - sopra), per profondità inferiori a 50 m, mostra valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 30 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 23° . L'involuppo di resistenza (Figura 172 - sotto), per profondità superiori a 50 m, mostra invece valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 51 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 23° .

I valori di coesione, presi a riferimento dalle singole prove, per i primi 50 m di profondità risultano variabili tra 21 e 44 kPa; per profondità maggiori, risultano invece variabili tra 44 e 65 kPa (quest'ultimo valore estendendo l'incremento lineare con la profondità rilevato dalla singole prove fino ad una profondità di 105 m da p.c.).

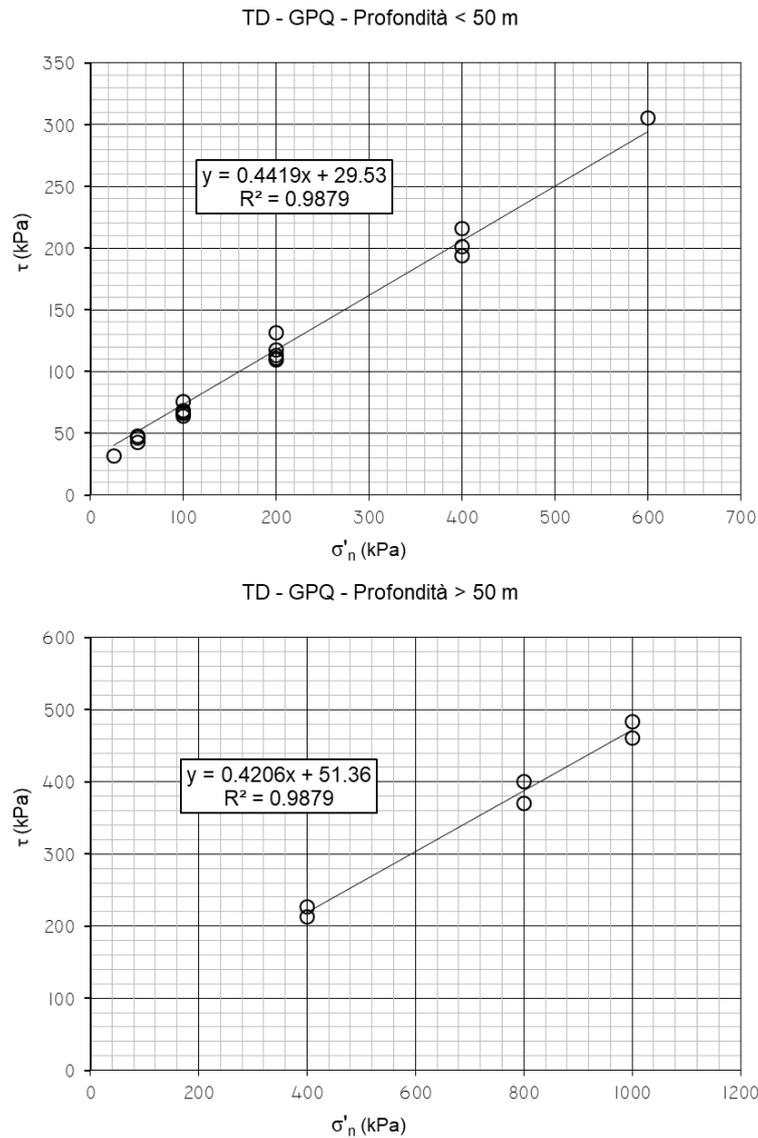


Figura 172: Galleria Trabona – GPQ - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	240 di 378

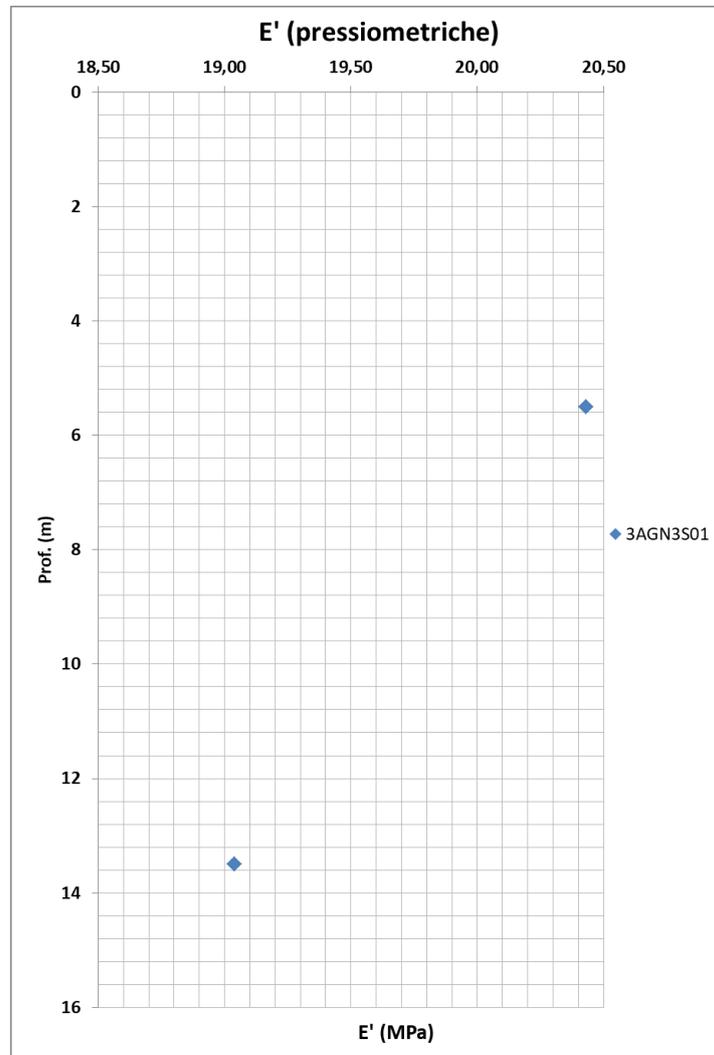


Figura 173: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young da prove pressiometriche

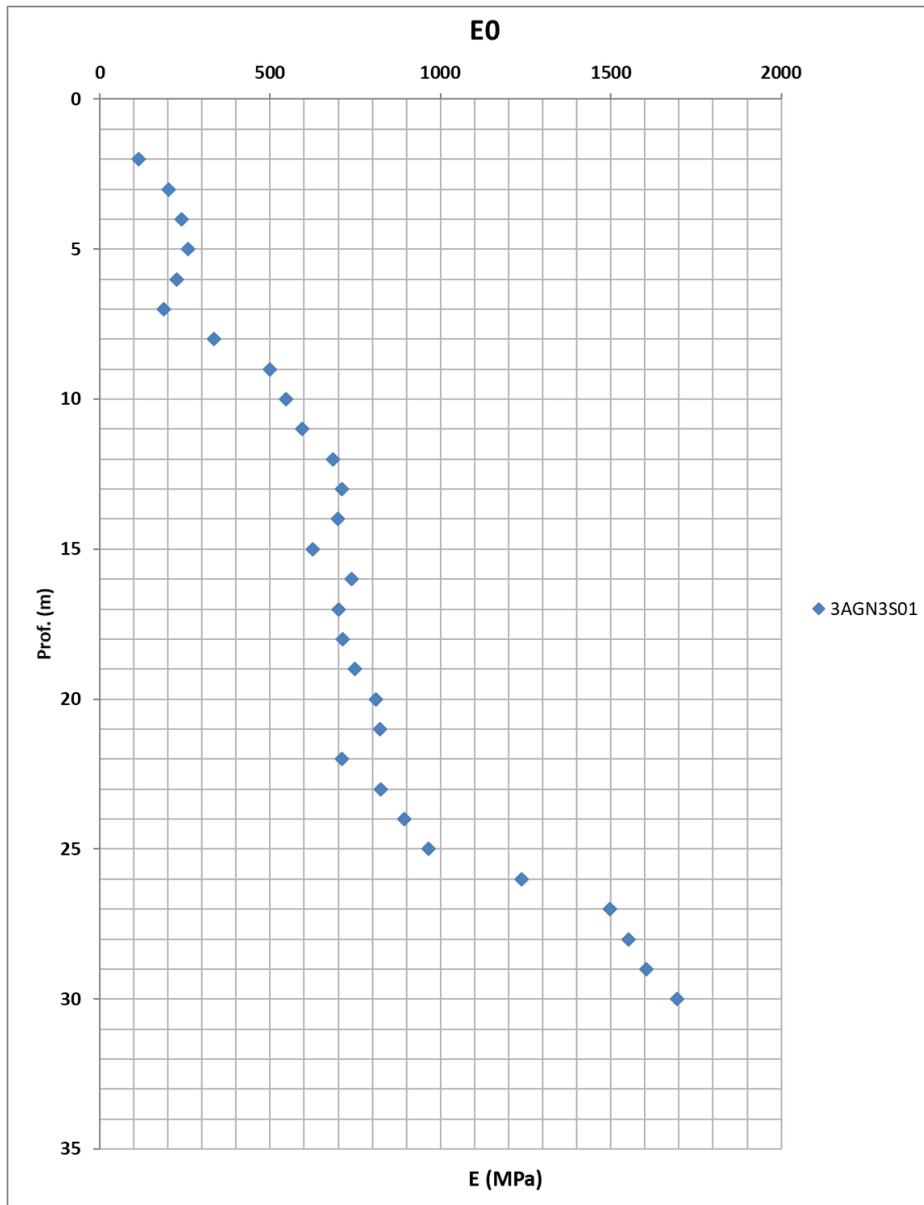
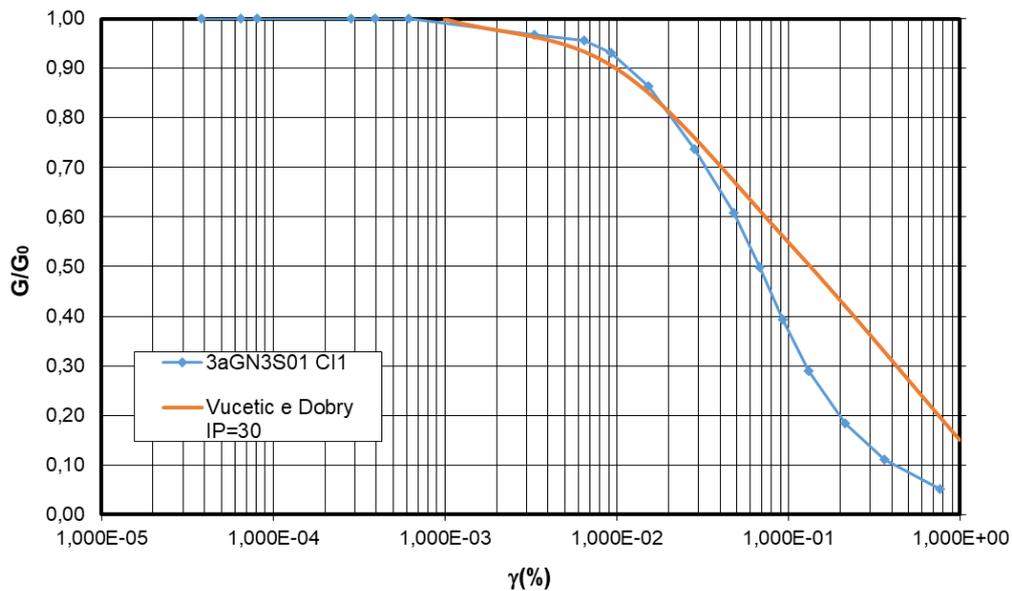


Figura 174: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young da prove sismiche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	242 di 378

Si riportano di seguito le prove in colonna risonante effettuate in corrispondenza o in prossimità della tratta in esame; si riportano anche le curve teoriche che meglio approssimano l'andamento.



G [MPa]	G/Gmax	γ (%)	D (%)	D/D0
94,26	1,000	0,0000381	2,83	1
94,26	1,000	0,0000652	2,89	1,021201
94,26	1,000	0,0000805	2,92	1,031802
94,26	1,000	0,000286	2,94	1,038869
94,26	1,000	0,000395	2,95	1,042403
94,26	1,000	0,000617	2,95	1,042403
91,26	0,968	0,00334	3,04	1,074205
90,07	0,956	0,00649	3,17	1,120141
87,72	0,931	0,00927	4,02	1,420495
81,42	0,864	0,0154	4,18	1,477032
69,51	0,737	0,0286	6,10	2,155477
57,36	0,609	0,0482	7,52	2,657244
47,02	0,499	0,0684	9,41	3,325088
37,13	0,39391	0,0926	11,55	4,081272
27,25	0,289094	0,132	13,61	4,809187
17,44	0,18502	0,214	16,2	5,724382
10,51	0,1115	0,361	18,38	6,4947
4,86	0,05156	0,768	20,68	7,30742

SONDAGGIO	PROFONDITA'	LITOLOGIA	WBS	ν	G ($\gamma=0.1$)	E (MPa)
3aGN3S01	27-27.50	GPQ	GN3	0,5	37,13	111,39

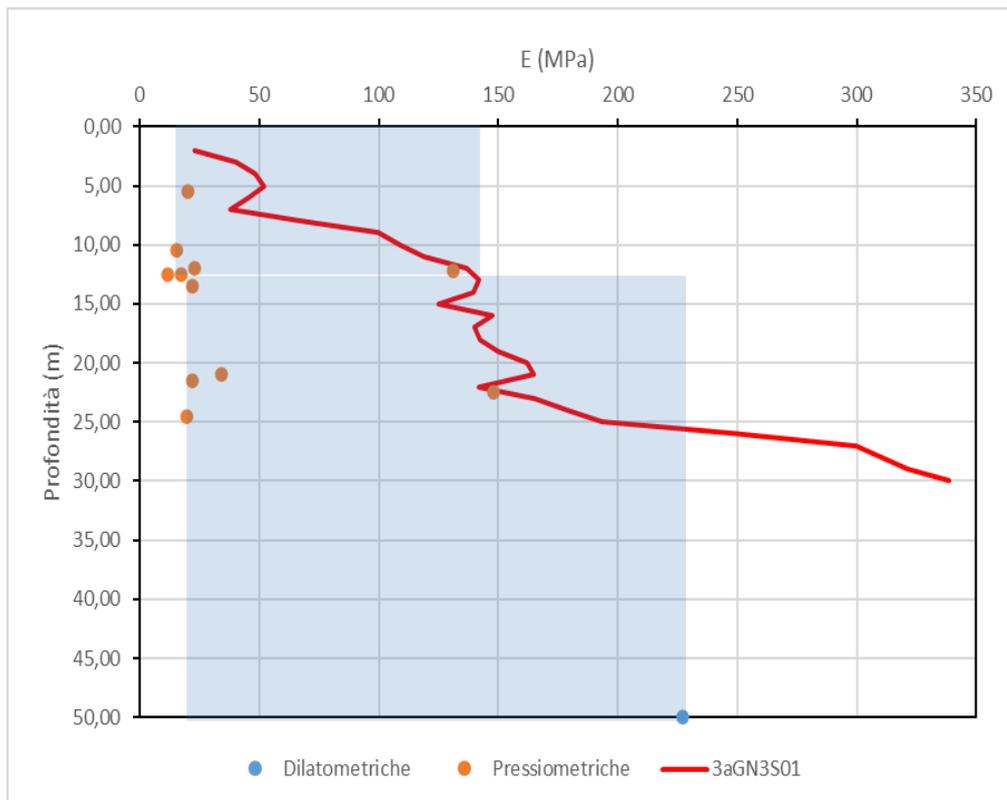


Figura 175: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young – ranges caratteristici

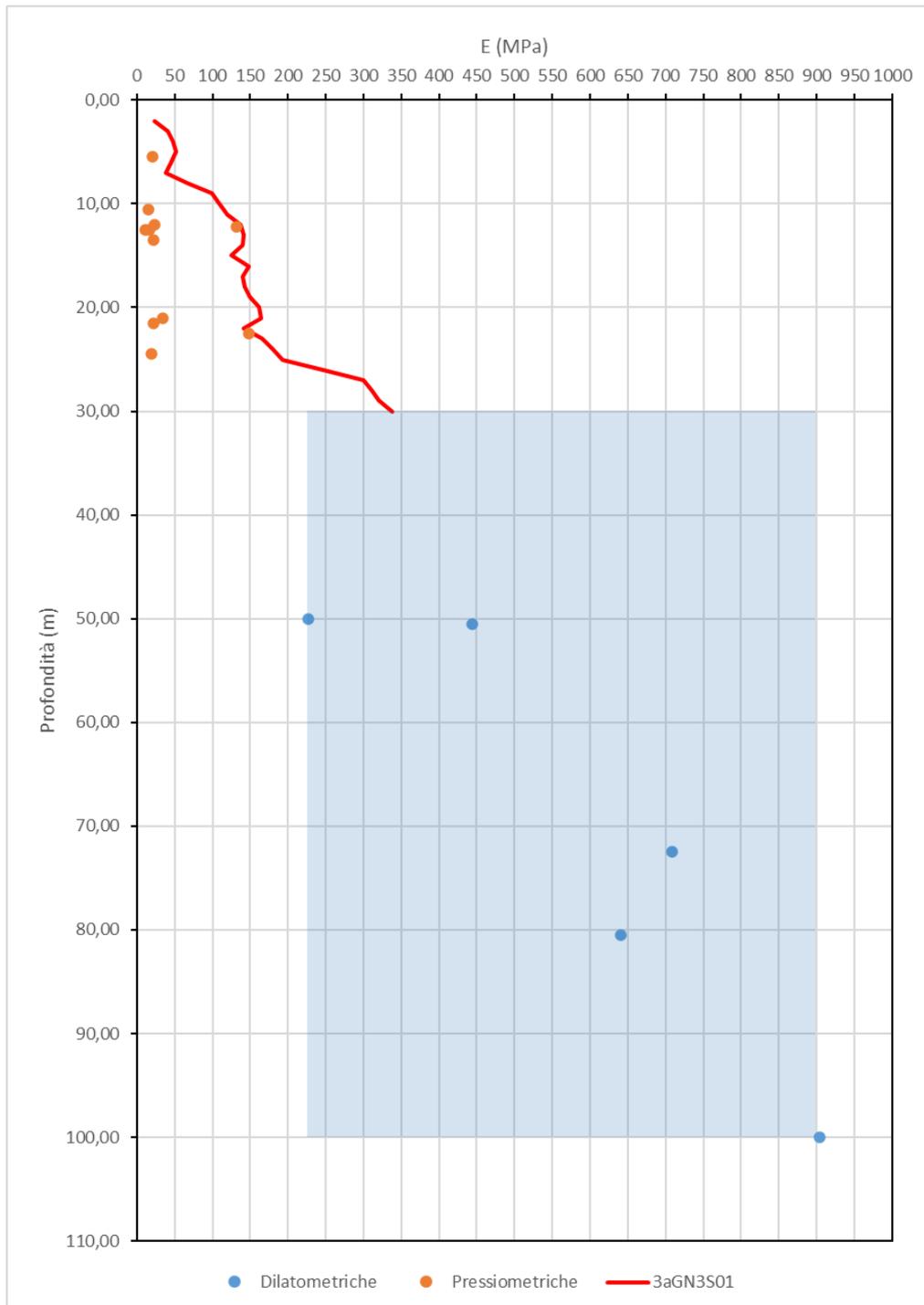


Figura 176: Galleria Trabona – GPQ – modulo di Young – range caratteristici

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

È stata eseguita una prova di permeabilità Le Franc a 10 metri di profondità nel foro del sondaggio 3AGN3S01, da cui si è ottenuto un valore del coefficiente di permeabilità pari a 2.14E-07 m/s

Tabella 21 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Trabona - GPQ

COPERTURA	FORMAZIONE	γ [kN/m ³]	GSI	m_i	σ_m [MPa]	ν'	E' [GPa]	c' [kPa]	C_u [kPa]	ϕ' [°]
--										
0-15	GPQ	20	-	-	-	0.3	0.015-0.14	21-44	100	23
15-50	GPQ	20	-	-	-	0.3	0.14-0.225	21-44	150	23
50-100	GPQ	22	-	-	-	0.3	0.225-0.905	44-65	200	23

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

m_i = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

9.6.12 Formazione FYN4

Galleria Salito 2

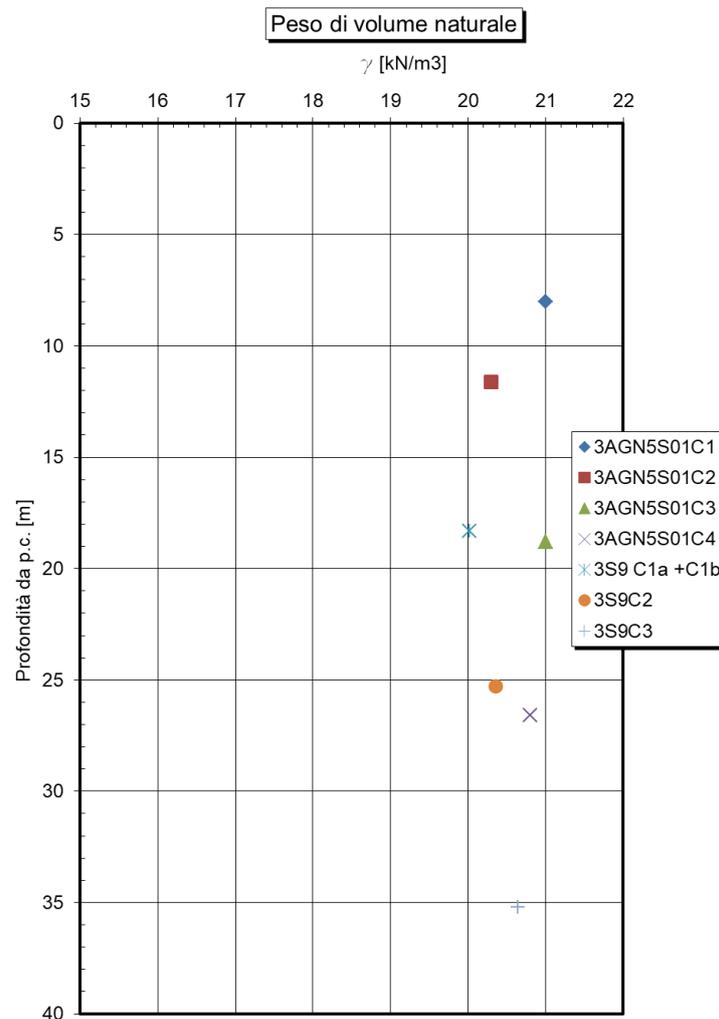


Figura 177: Galleria Salito 2 - Tratta 13 – FYN4 – peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	247 di 378

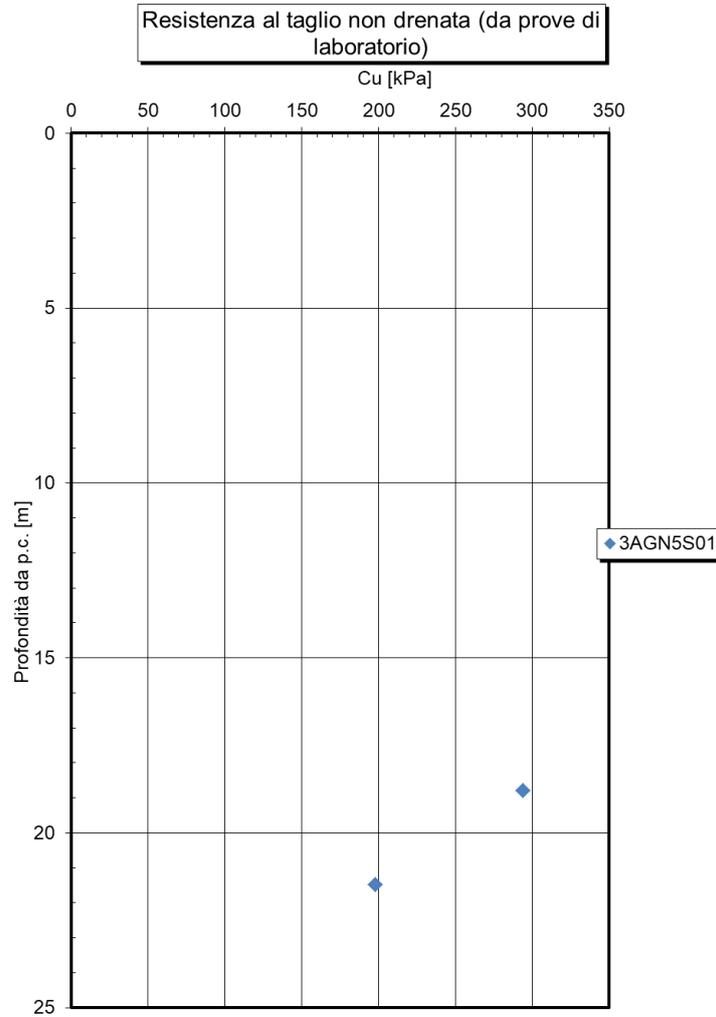


Figura 178: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove di triassiali non consolidate non drenate (TX-UU)

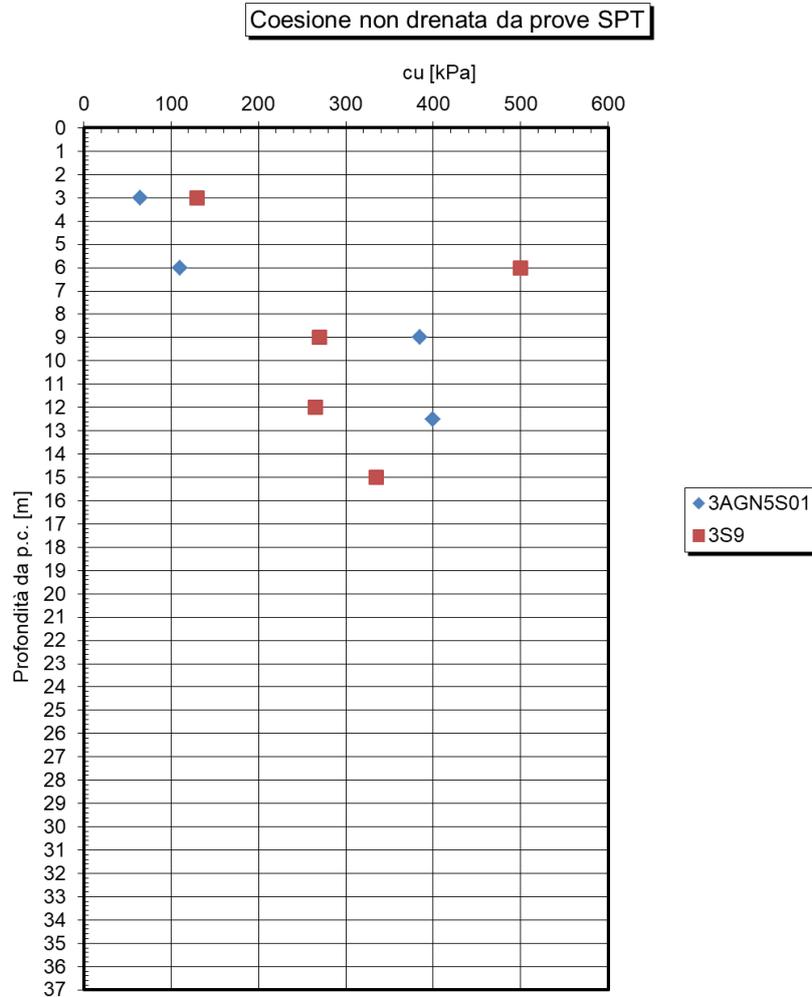


Figura 179: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	249 di 378

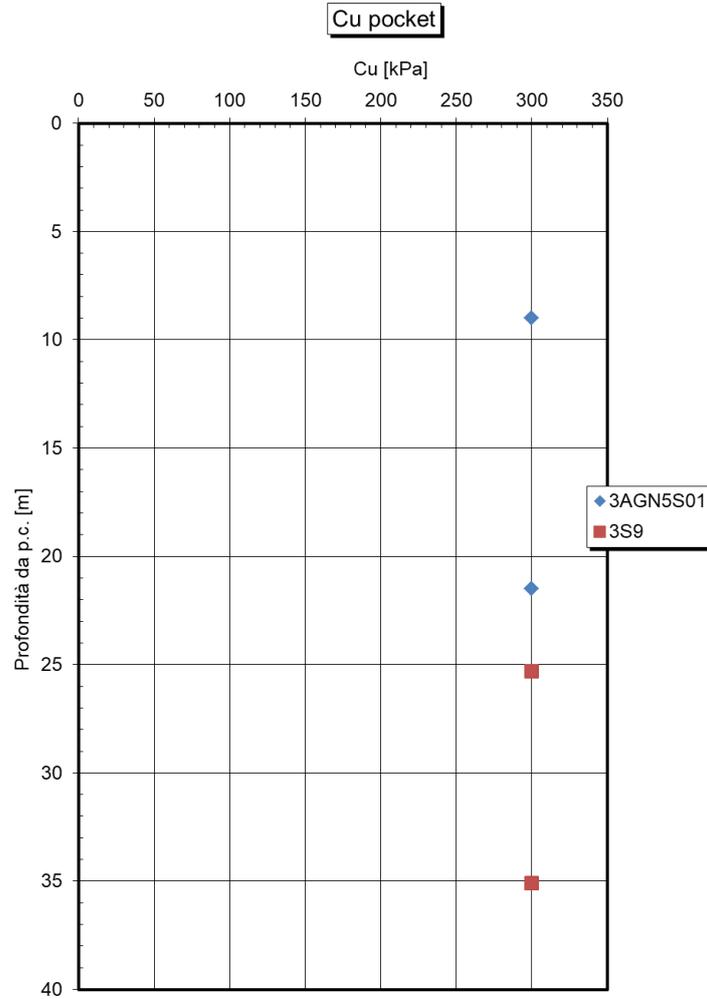


Figura 180: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da pocket

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	250 di 378

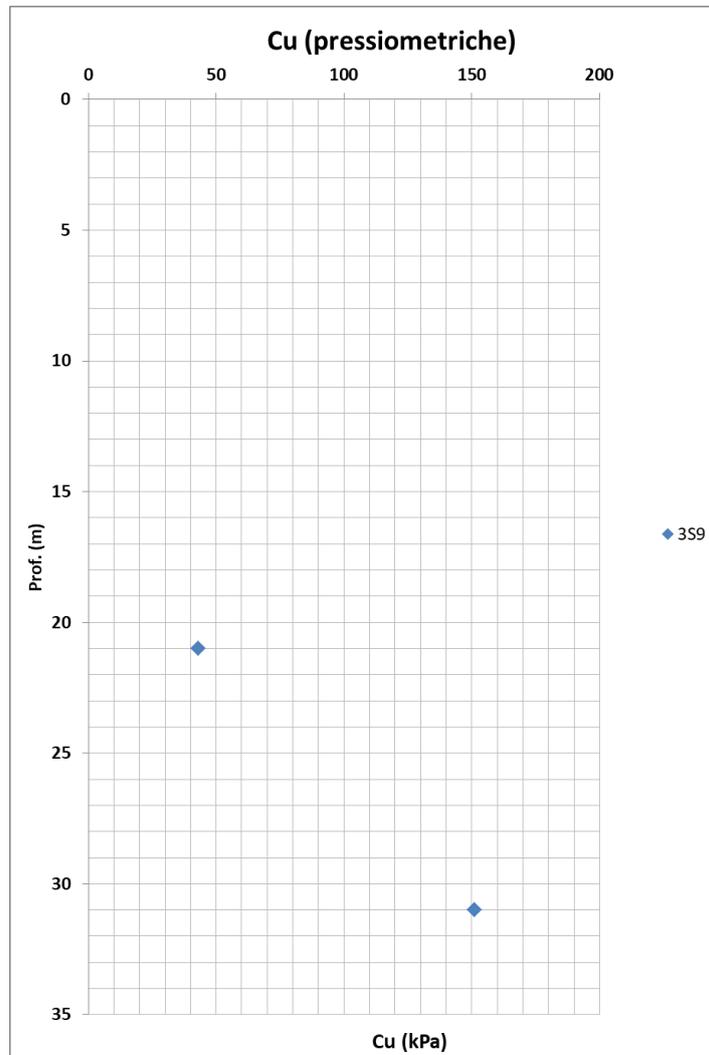
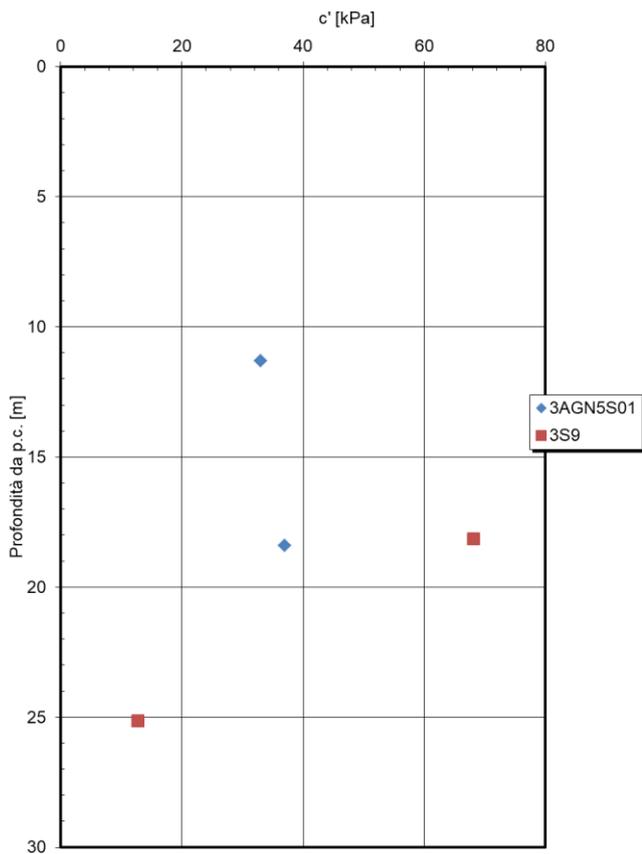


Figura 181: Galleria Salito 2 – FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	251 di 378

Coesione efficace da prove di taglio diretto



Angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

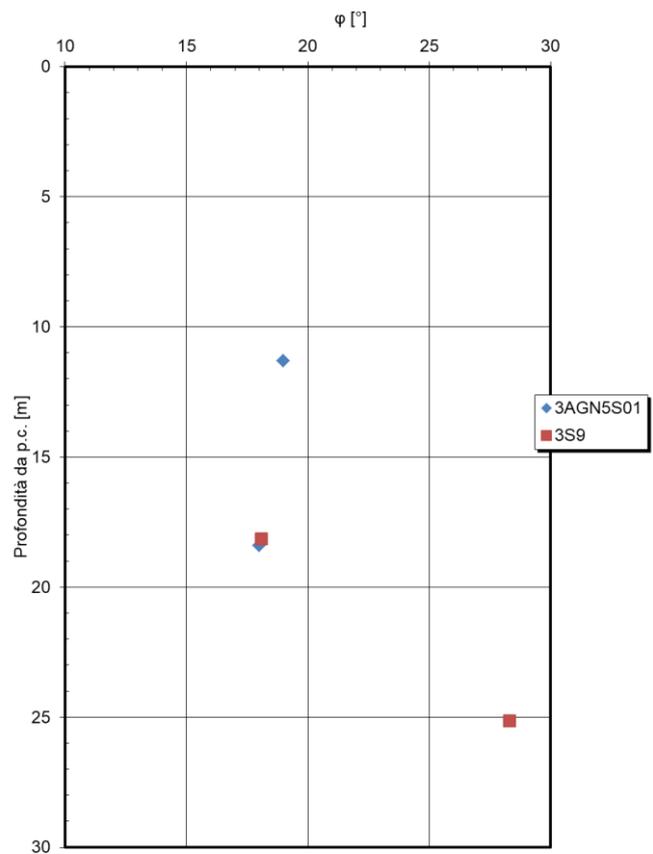


Figura 182: Galleria Salito 2 – FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto (TD)

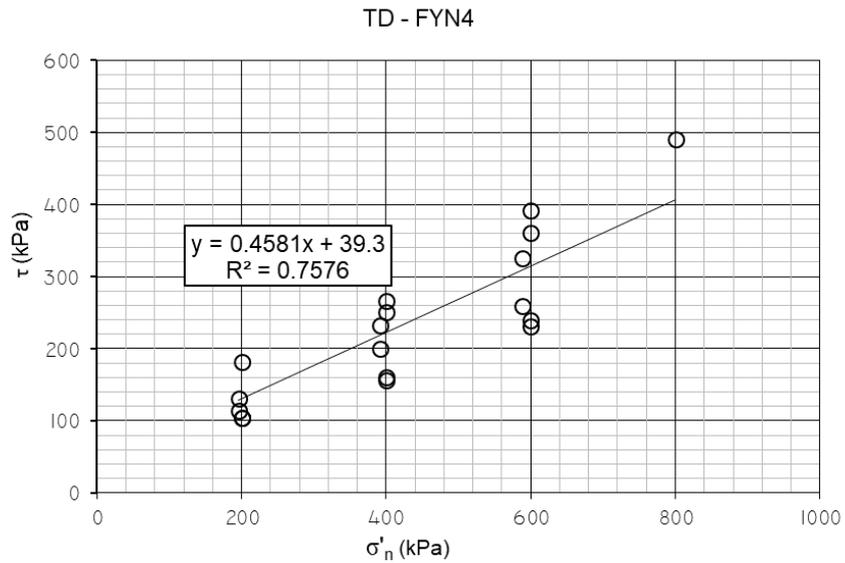


Figura 183: Galleria Salito 2 – FYN4 – involucro di resistenza da prove di taglio diretto (TD)

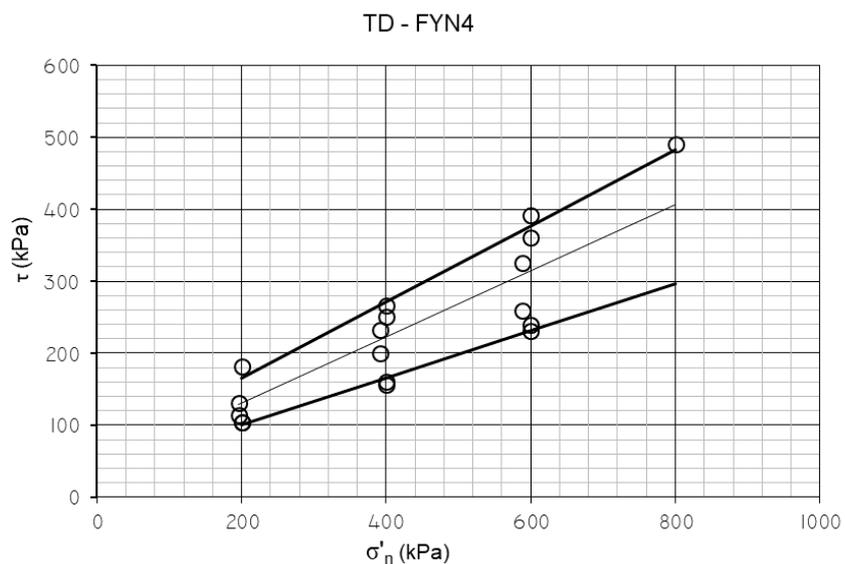


Figura 184: Galleria Salito 2 – FYN4 – intervalli di resistenza da prove di taglio diretto derivanti da involucro (TD)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	253 di 378

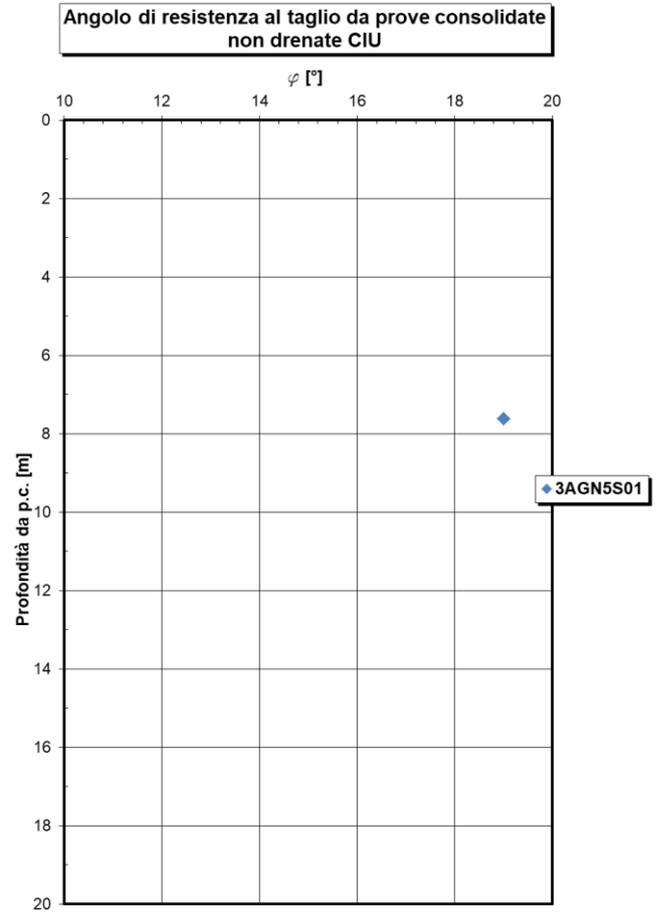
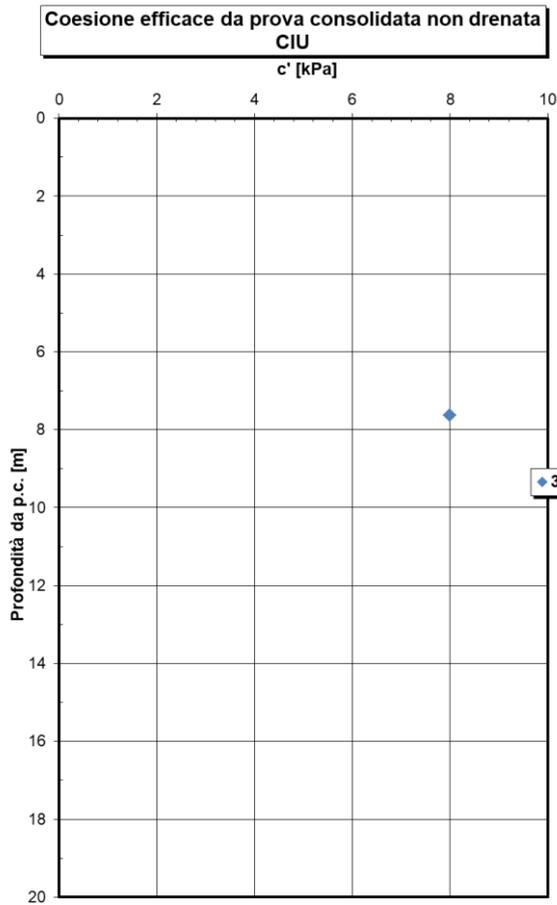
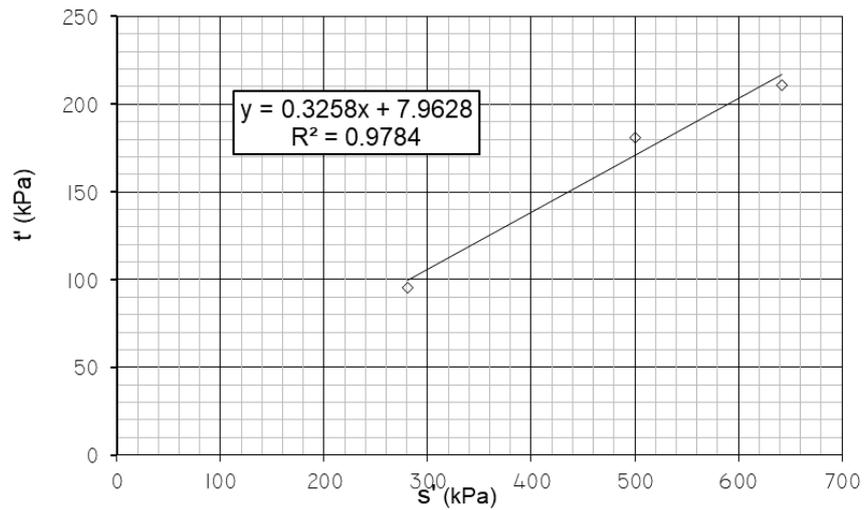


Figura 185: Galleria Salito 2 – FYN4 – coesione efficace ed angolo di resistenza al taglio da prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU)

TX - CIU - 3a-GN5-S01



TX - CID 3a-GN5-S03

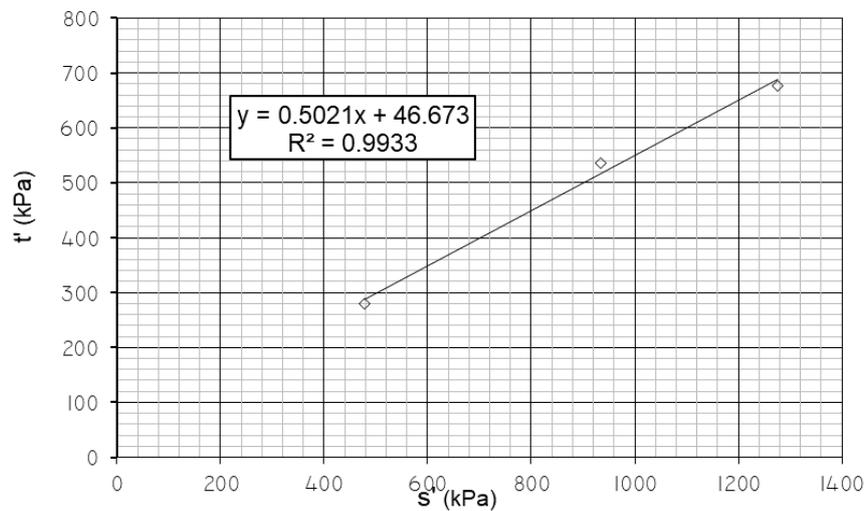


Figura 186: Galleria Salito 2 – FYN4 – involucro di resistenza da prove triassiali (TX)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	255 di 378

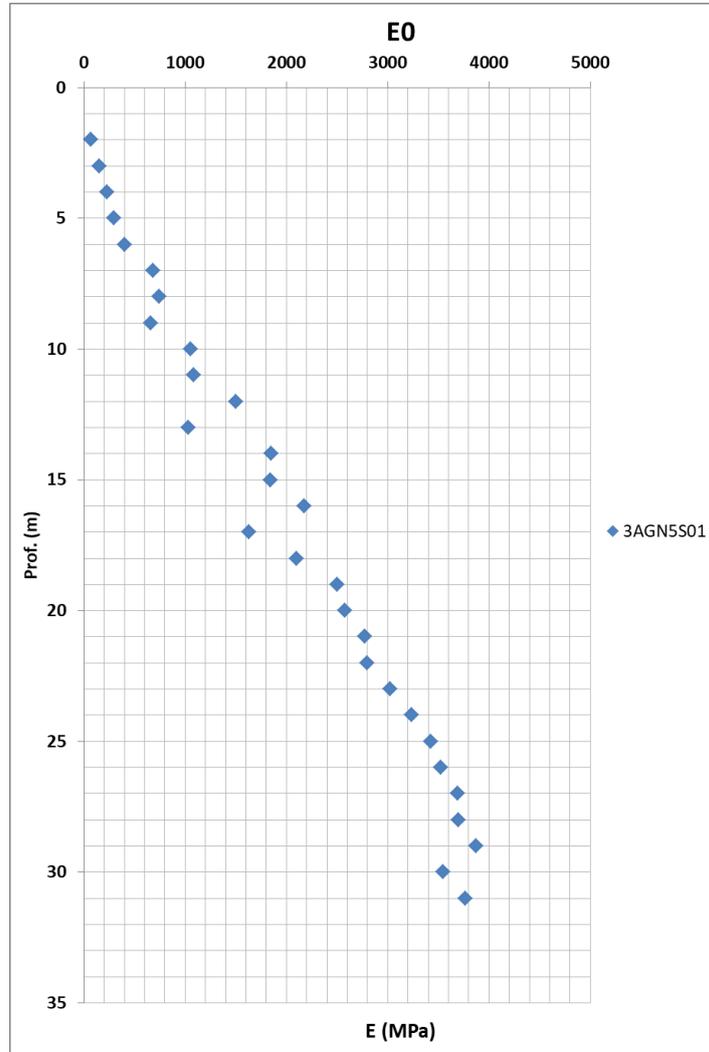


Figura 187: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo di Young da prove sismiche down-hole (DH)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	256 di 378

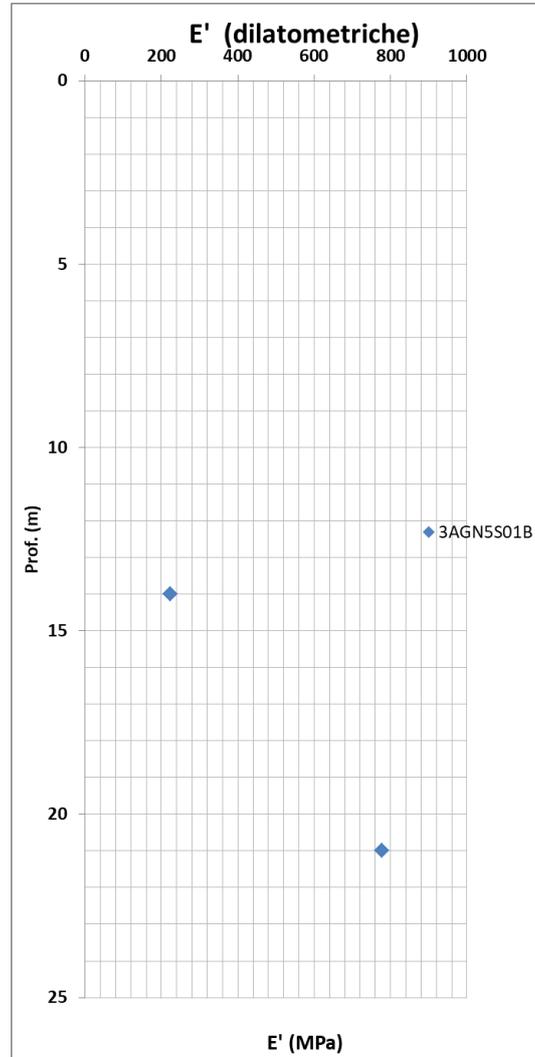


Figura 188: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	257 di 378

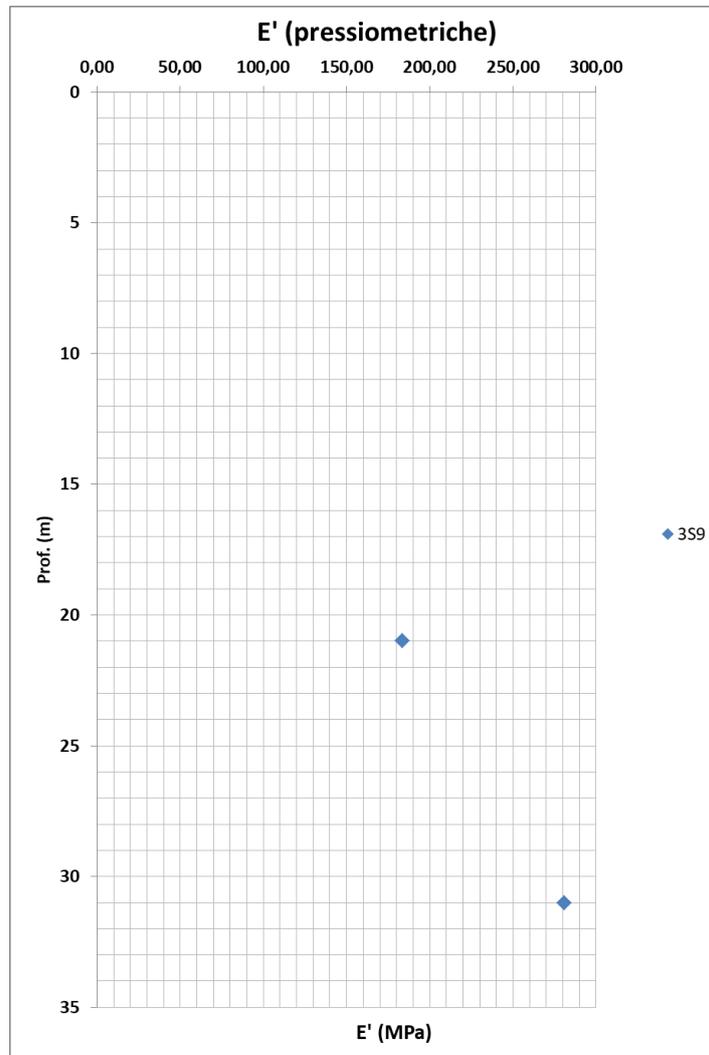


Figura 189: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo di Young da prove pressiometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	258 di 378

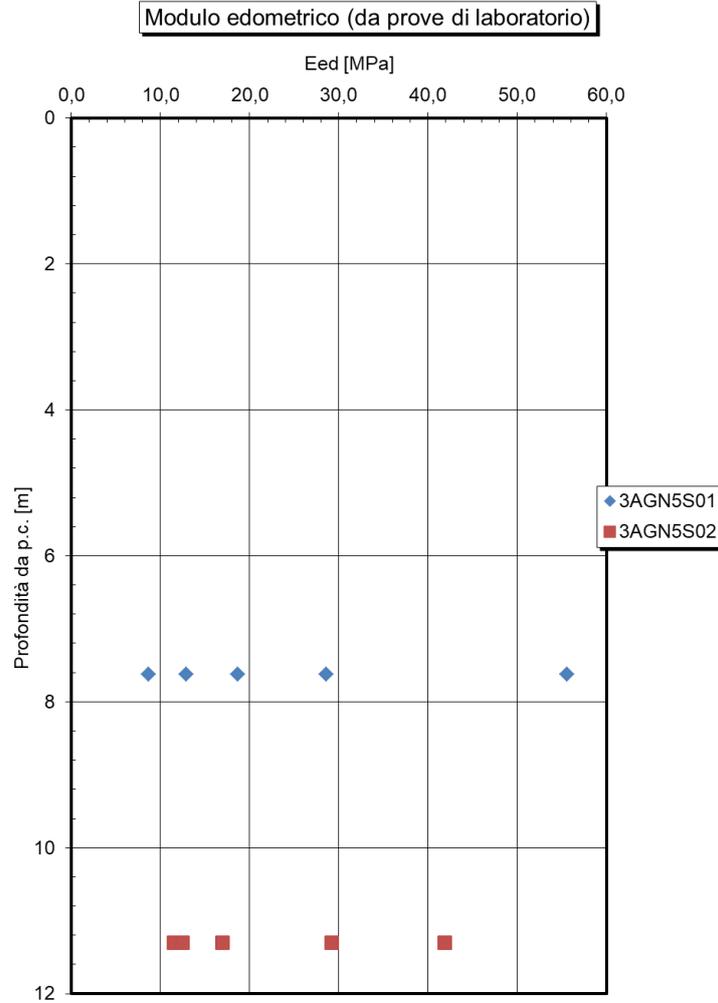


Figura 190: Galleria Salito 2 – FYN4 – modulo edometrico

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 22 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Salito 2 – FYN4

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν	E	c'	Cu	φ'
[m]		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
5-15	FYN4	20	-	-	-	0.3	0.05-0.15	28-44	81	18-23
15-25	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.15-0.34	28-44	142	18-23
25-50	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.34-0.80	28-44	284	18-23
50-70	FYN4	22	-	-	-	0.3	0.8	28-44	416	18-23
25-50	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.34-0.80	28-44	284	18-23
15-25	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.15-0.34	28-44	142	18-23
5-15	FYN4	20	-	-	-	0.3	0.05-0.15	28-44	81	18-23

I parametri di resistenza, per profondità fino a 50 m da p.c., sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.13, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione FYN4 per il Lotto 3.

Galleria Masareddu

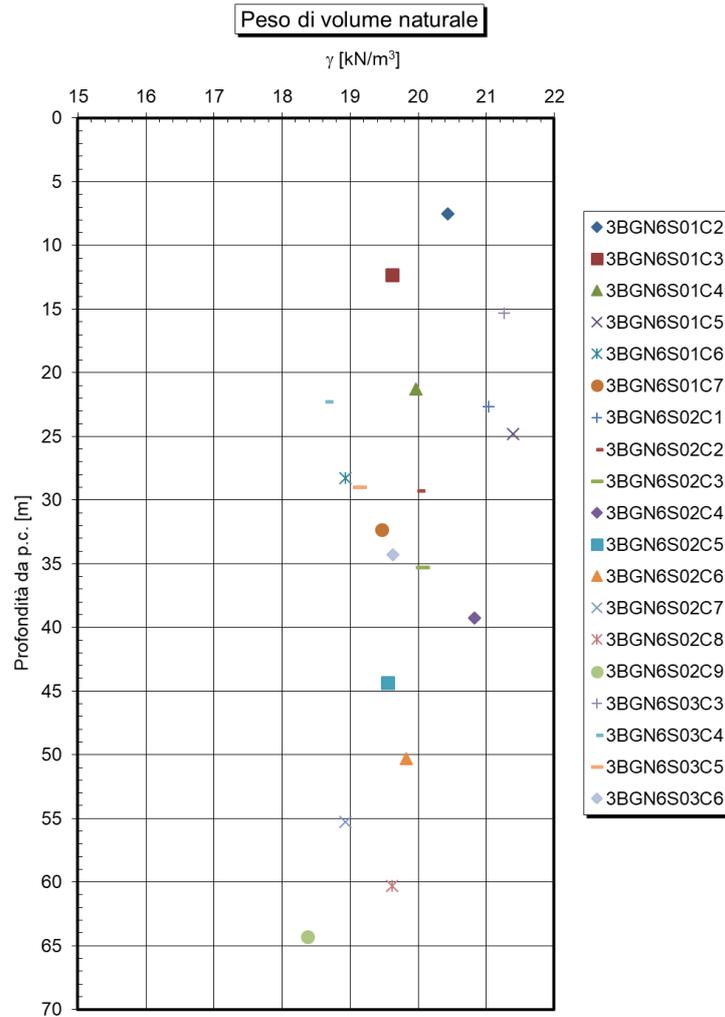


Figura 191: FYN4 – peso dell'unità di volume

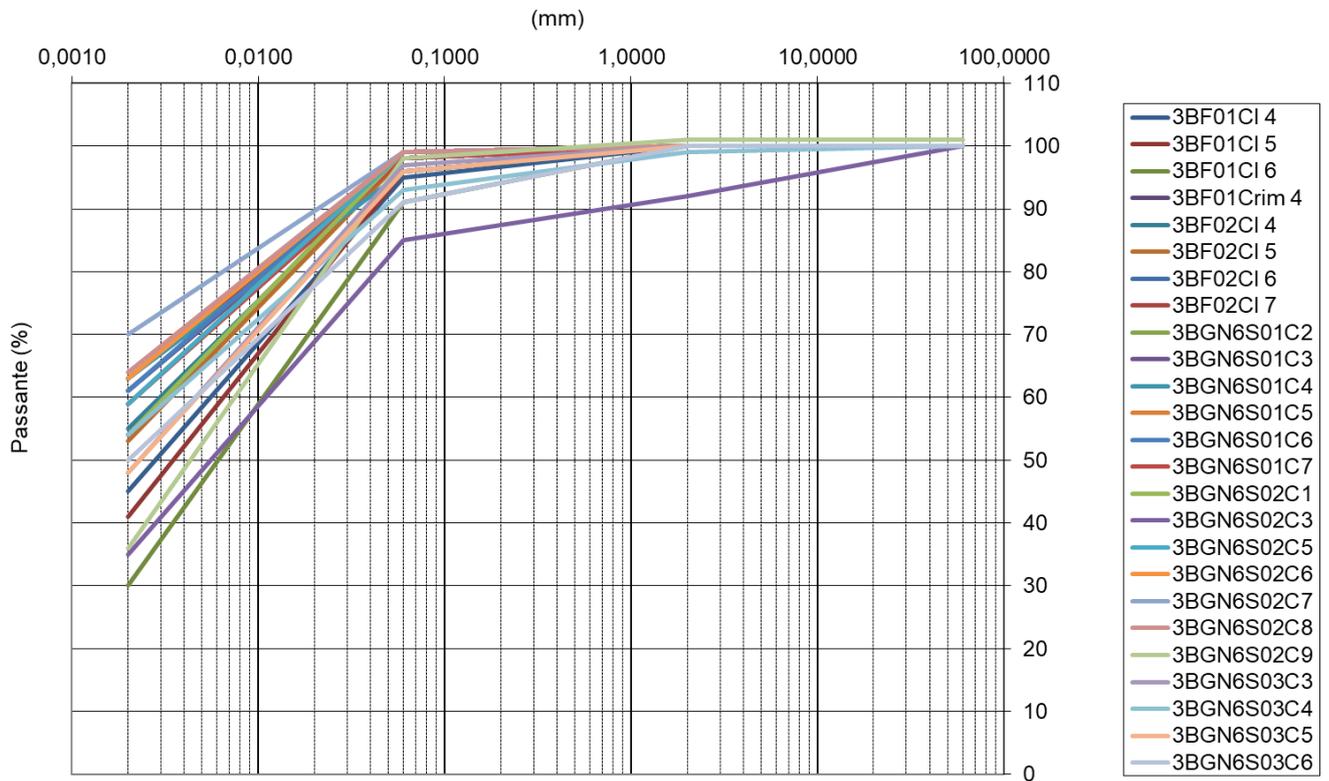


Figura 192: FYN4 – Fuso granulometrico

Campione									
Sigla	Profondità [m]	Formazione	Tratta	WBS	Quarzo (%)	Calcite (%)	Feldspati (%)	Kaolinite (%)	Illite (%)
3B_GN06_S01 CI4	21,00 - 21,30	FYN4	15	GN6	54	26	10	10	0
3B_GN06_S01 CI7	32,00 - 32,30	FYN4	15	GN6	59	22	11	8	0

Figura 193: FYN4 – Composizione mineralogica

La formazione non è caratterizzata da minerali rigonfianti.

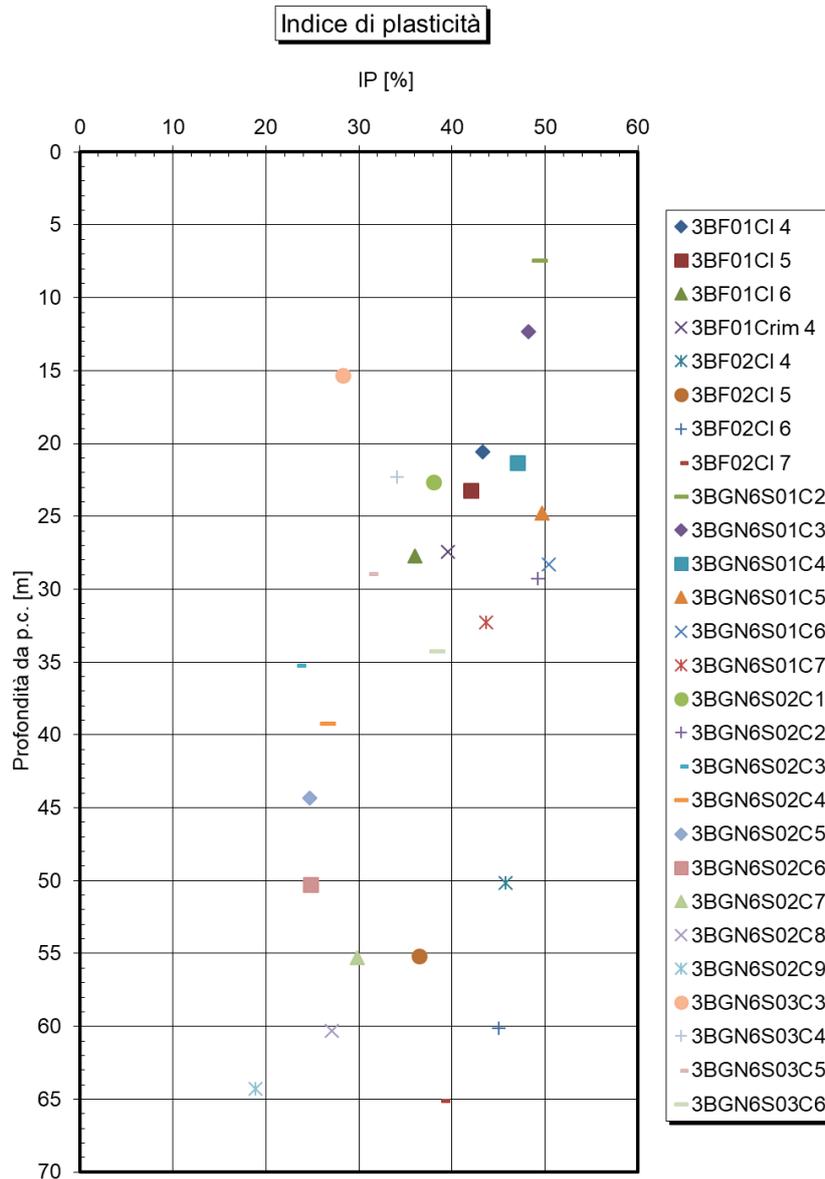


Figura 194: FYN4 Indice di plasticità

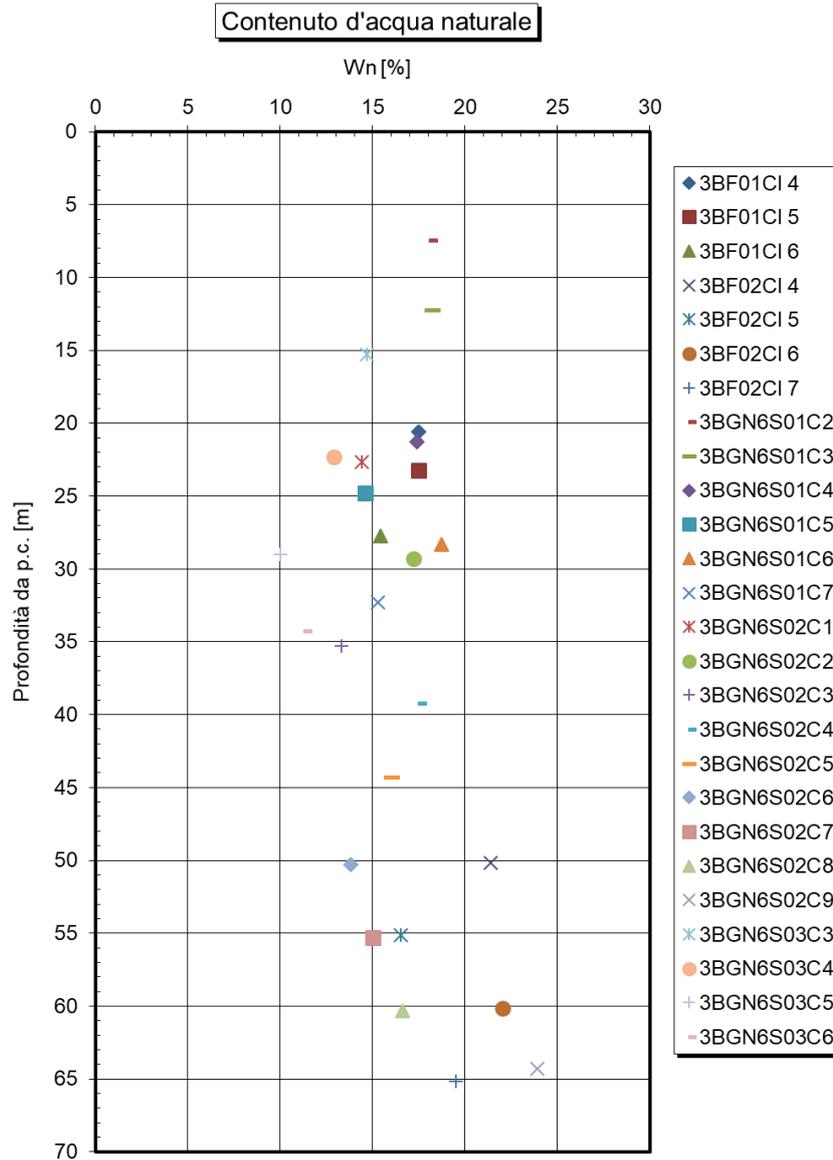


Figura 195: FYN4 Contenuto di acqua

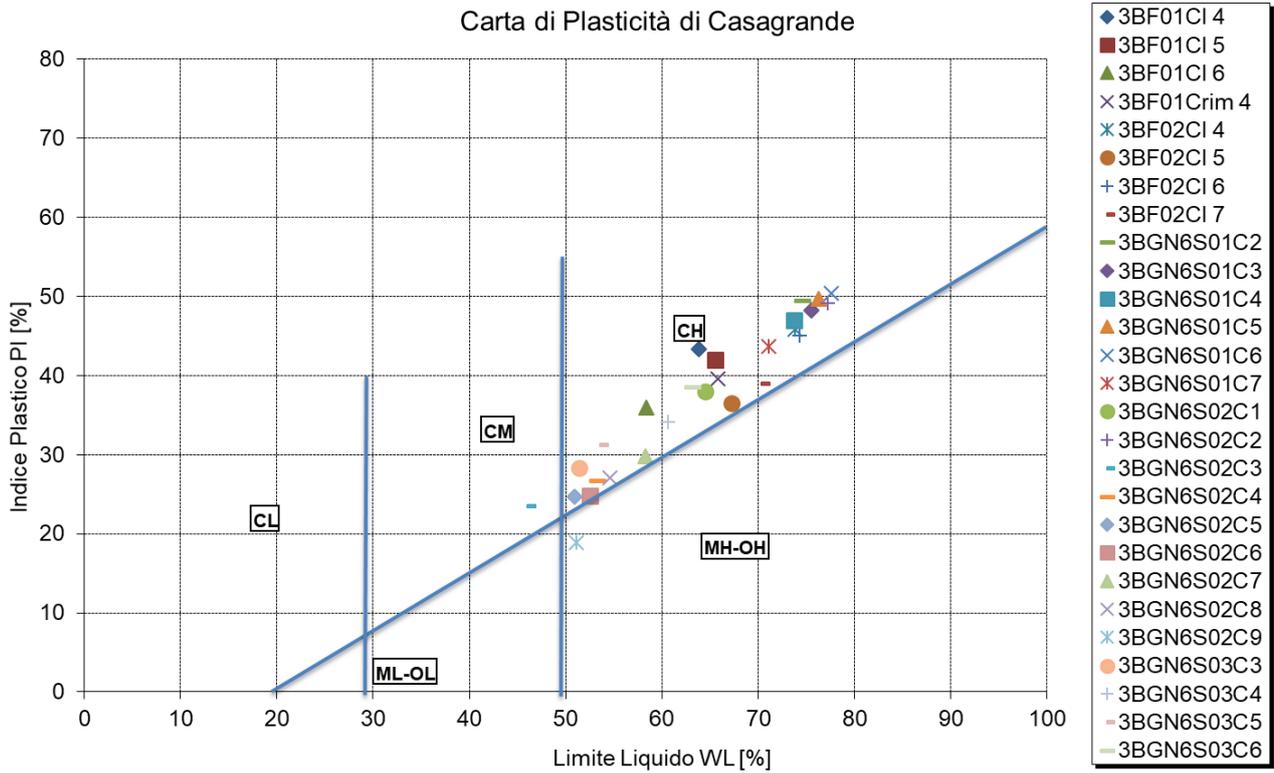


Figura 196: FYN4 Carta di plasticità di Casagrande

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	265 di 378

Sono state eseguite n.2 prove triassiali non consolidate non drenate su campioni prelevati alle profondità di 22.5 metri e 34 metri, dalle quali è stato possibile ottenere rispettivamente valori della coesione non drenata pari a 480 kPa e 720 kPa. Sono state eseguite anche n.2 prove ad espansione laterale libera, le quali restituiscono, alle profondità di 20.5 metri e 50 metri, valori della coesione non drenata rispettivamente pari a 68 kPa e 101 kPa.

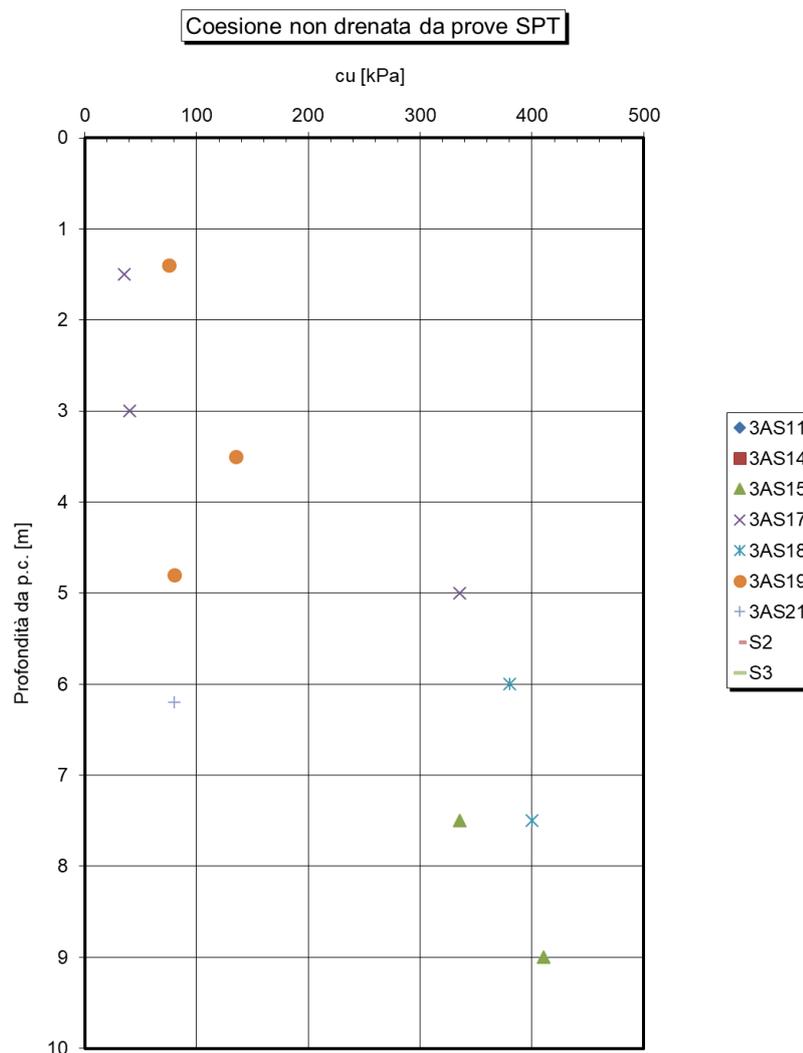


Figura 197: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	266 di 378

OCR da SPT

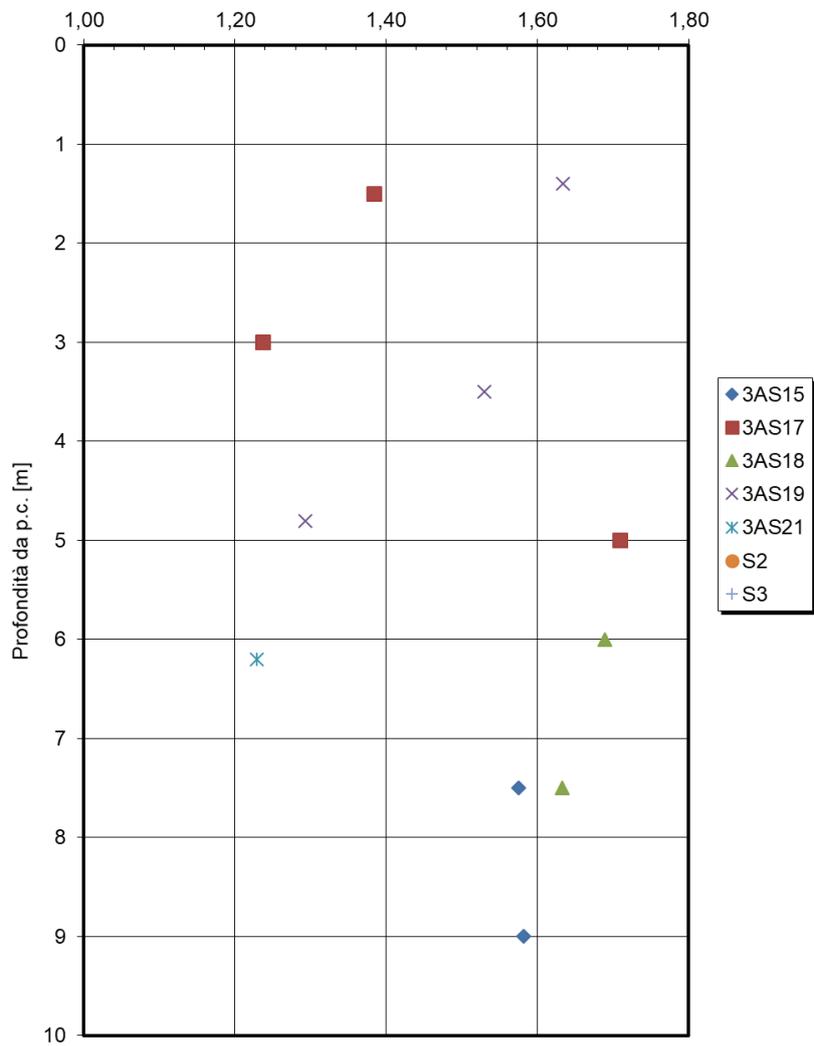


Figura 198: FYN4 – OCR da prove Cu SPT

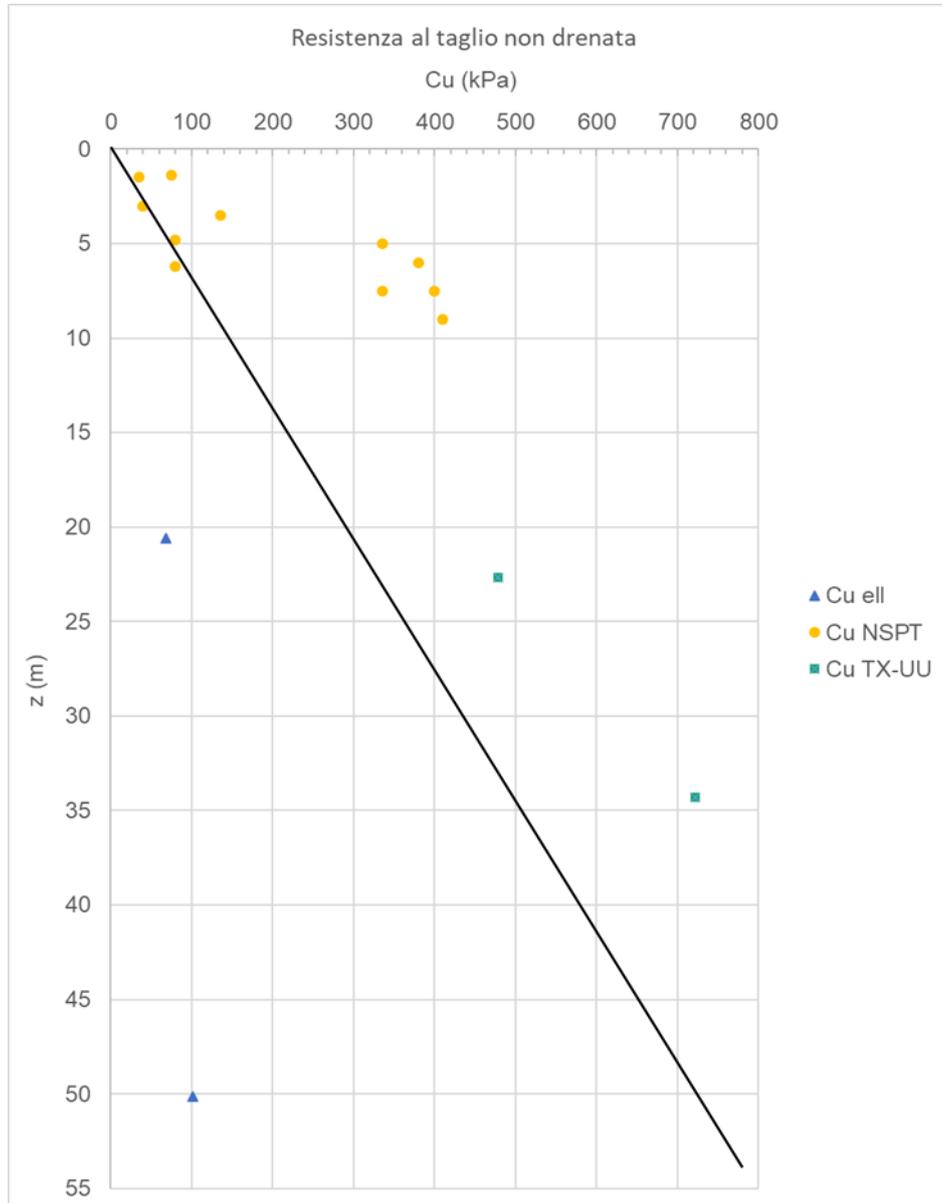


Figura 199: FYN4 – coesione non drenata da prove triassiali TX – UU, da prove SPT e da prove ad espansione laterale libera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

La prova triassiale consolidata non drenata eseguita sul campione CI6 del sondaggio 3b-GN6-S02, prelevato a 50,3 m di profondità, fornisce valori di coesione c' pari a 13 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 21° (Figura 200).

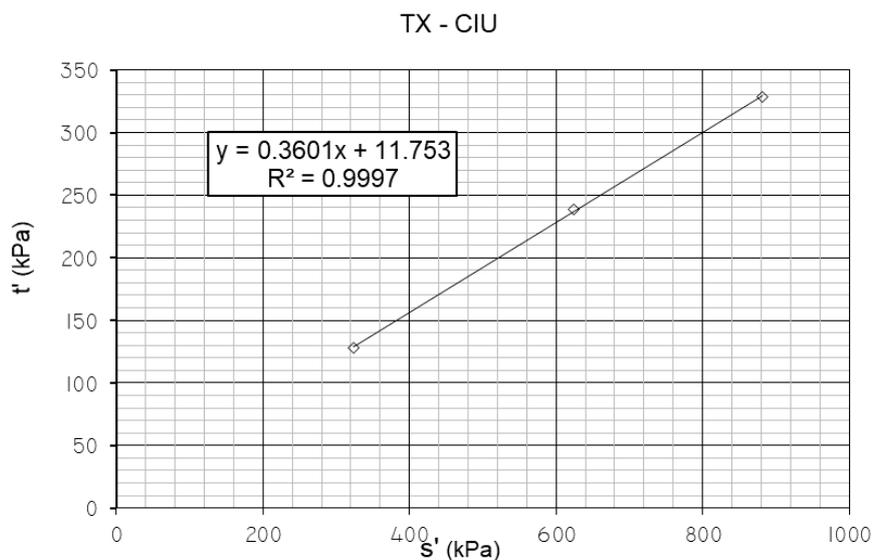


Figura 200: Galleria Masareddu – FYN4 - prova triassiale

Per la galleria Masareddu, tra i sondaggi previsti per la galleria di linea e quelli della finestra, sono state eseguite 16 prove di taglio diretto di picco su campioni indisturbati dai sondaggi 3b-GN6-S01, 3b-GN6-S02, 3b-GN6-S03, 3b-F01 e 3b-F02. L'insieme delle prove restituisce un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 201) con parametri di resistenza di coesione c' pari a 27 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 21° . Le profondità di prelievo dei 6 campioni variano tra 3,5 e 65,3 m da piano campagna.

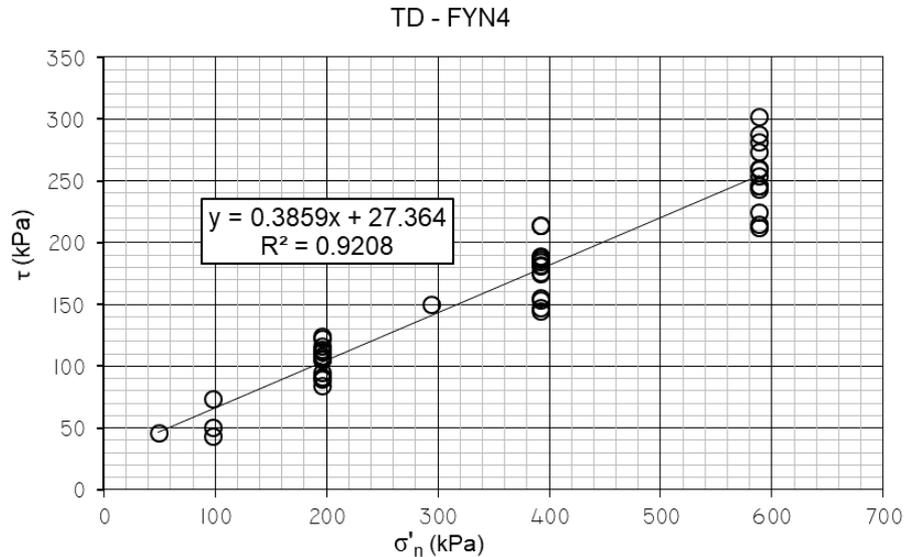


Figura 201: Galleria Masareddu – FYN4 - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Attraverso l'elaborazione riportata in *Figura 201* risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli inviluppi di resistenza (*Figura 202*). Nello specifico l'inviluppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 21 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 18° , mentre quello superiore coesione c' pari a 33 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 23° .

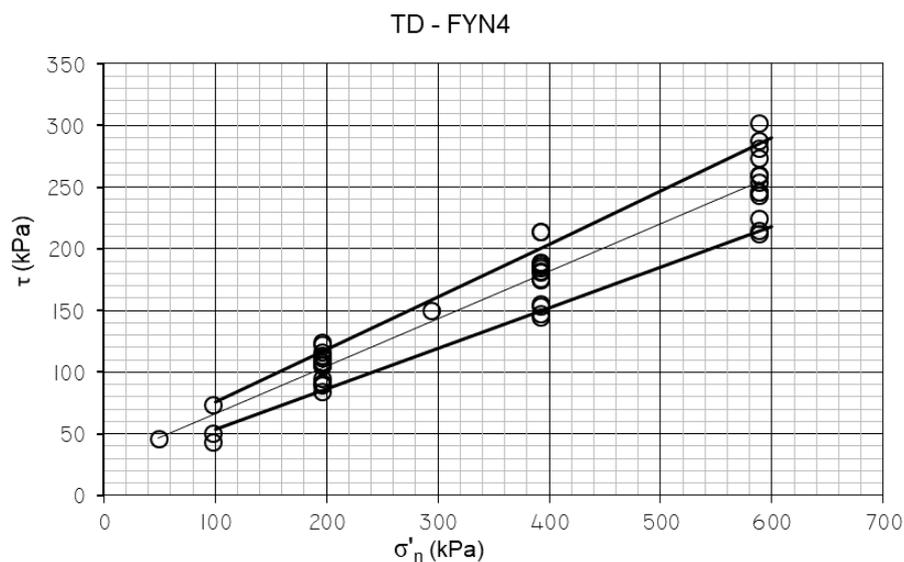


Figura 202: Galleria Masareddu– FYN4- intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Complessivamente sono state eseguite 4 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN6-S01, 3a-GN6-S02, 3a-GN7-S04 e 3b-F04 a profondità comprese tra 32 e 72,3 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ riassunti nella Tabella 23.

Tabella 23 – FYN4 - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN7-S04	CI 4	32.0	1.4
3a-GN6-S02	CI 9	64.3	5.7
3a-GN6-S01	CI 7	32.3	7.3
3b-F04	CI 7	72.3	3.0

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	271 di 378

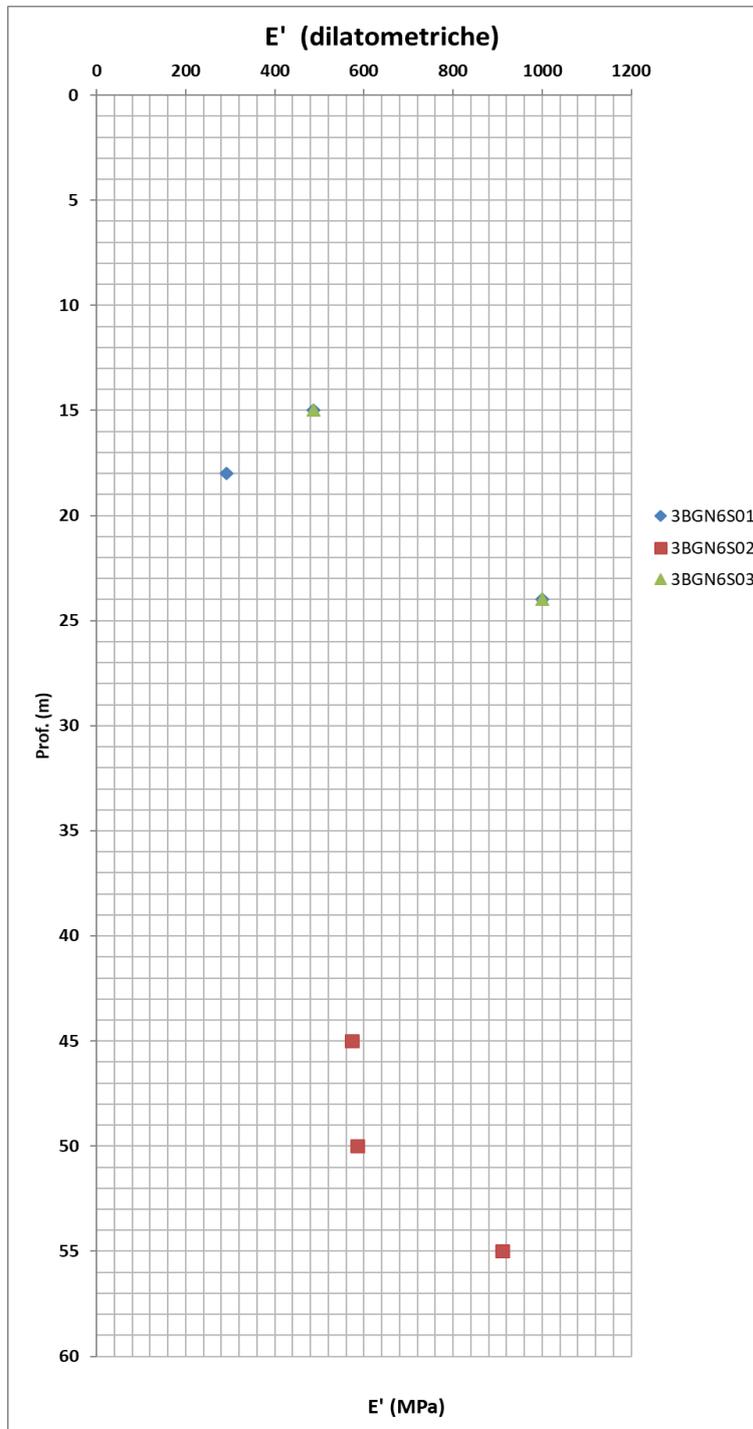


Figura 203: FYN4 – modulo di Young da prove dilatometriche

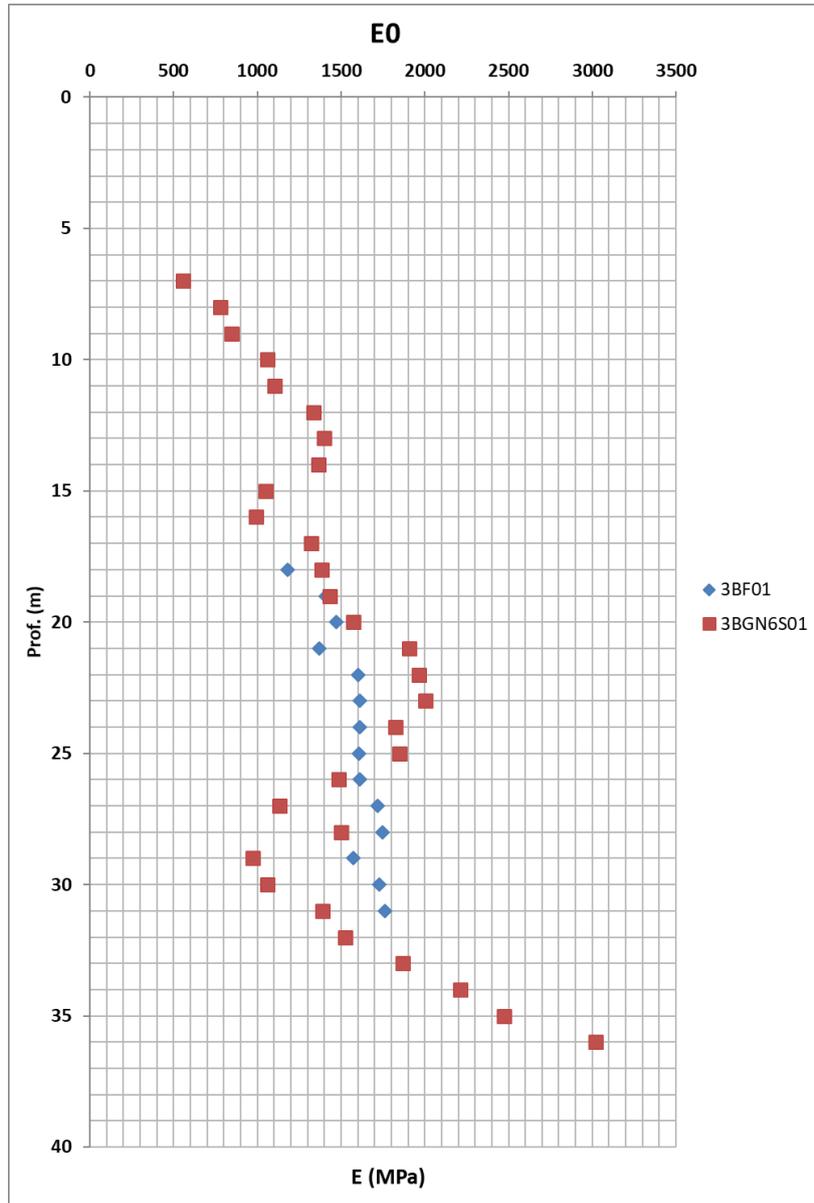


Figura 204: FYN4 – modulo di Young da prove sismiche

Si riportano di seguito le prove in colonna risonante effettuate in corrispondenza o in prossimità della tratta in esame; si riportano anche le curve teoriche che meglio approssimano l'andamento.

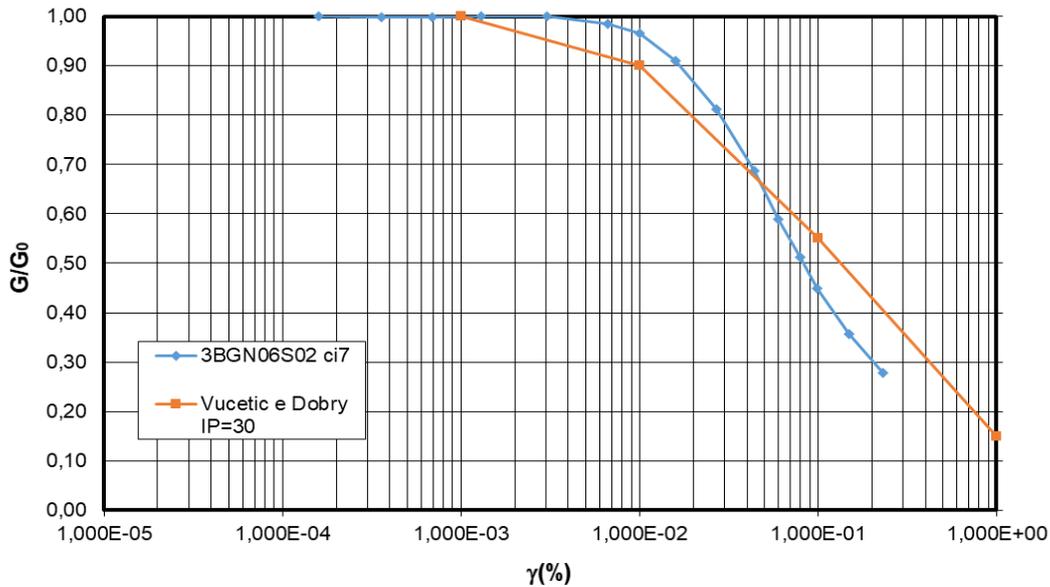


Figura 205: FYN4 – Diagramma del modulo di elasticità tangenziale G da prova in colonna risonante

G [MPa]	G/Gmax	γ (%)	D (%)	D/D0
147,82	1,000	0,00016	3,58	1
147,65	0,999	0,00036	4,03	1,125698
147,52	0,998	0,00069	3,96	1,106145
147,81	1,000	0,0013	4,04	1,128492
147,83	1,000	0,00201	4,02	1,122905
147,81	1,000	0,00302	4,06	1,134078
145,68	0,986	0,00662	4,1	1,145251
142,66	0,965	0,01	4,18	1,167598
134,58	0,910	0,01596	4,4	1,22905
120,04	0,812	0,027	4,84	1,351955
101,54	0,687	0,044	5,62	1,569832
87,18	0,590	0,06	6,43	1,796089
75,61	0,512	0,0792	7,2	2,011173
66,5	0,450	0,0994	7,78	2,173184
52,7	0,357	0,15	8,93	2,494413
41,12	0,278	0,23	9,98	2,787709

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

SONDAGGIO	PROFONDITA'	LITOLOGIA	WBS	v	G ($\gamma=0.1$)	E (MPa)
3bGN6S02	55-55.30	FYN4	GN6	0,5	66,5	199,5

Per quanto riguarda le prove di rigonfiamento disponibili si hanno i seguenti risultati

Campione		Rigonfiamento		
Sigla	Profondità [m]	Pressione kPa	Formazione	Prova
3B_GN06_S01 CI4	21,00 - 21,30	159,3	FYN4	ISP
3B_GN06_S01 CI7	32,00 - 32,30		FYN4	HA
3B_GN06_S01 CI9	64,00 - 64,30		FYN4	HA

Dall'interpretazione delle prove Huder Amberg disponibili si sono quindi ottenuti i seguenti parametri k ed il relativo modulo edometrico E:

Galleria	Sondaggio	Campione	Formazione	Profondità	$k_{100\ H-A}$	E
(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(kPa)
MASAREDDU	3a-GN6-S02	CI 9	FYN4	64	5,7	69560
MASAREDDU	3a-GN6-S01	CI 7	FYN4	32	7,3	36836

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	275 di 378

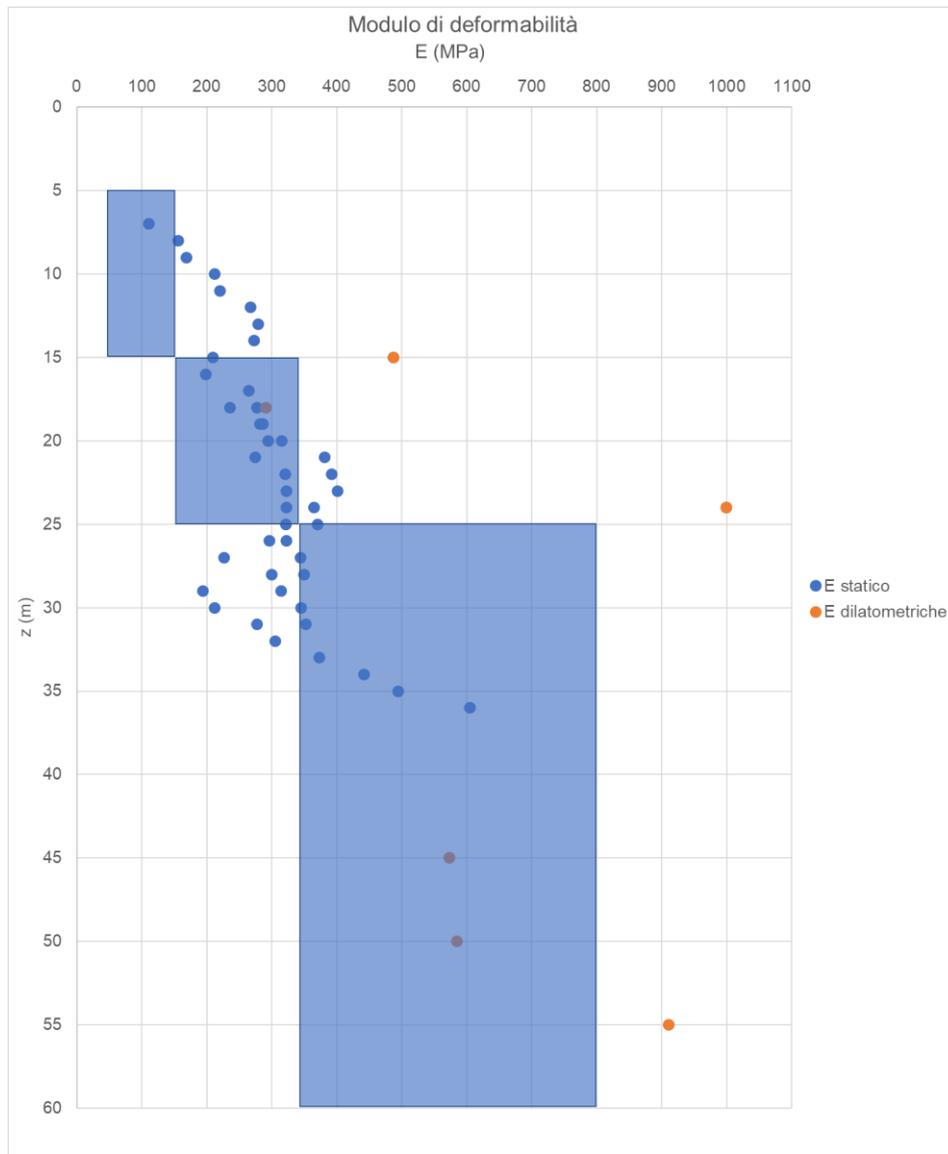


Figura 206: FYN4 – modulo di Young operativo da prove sismiche e dilatometriche

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

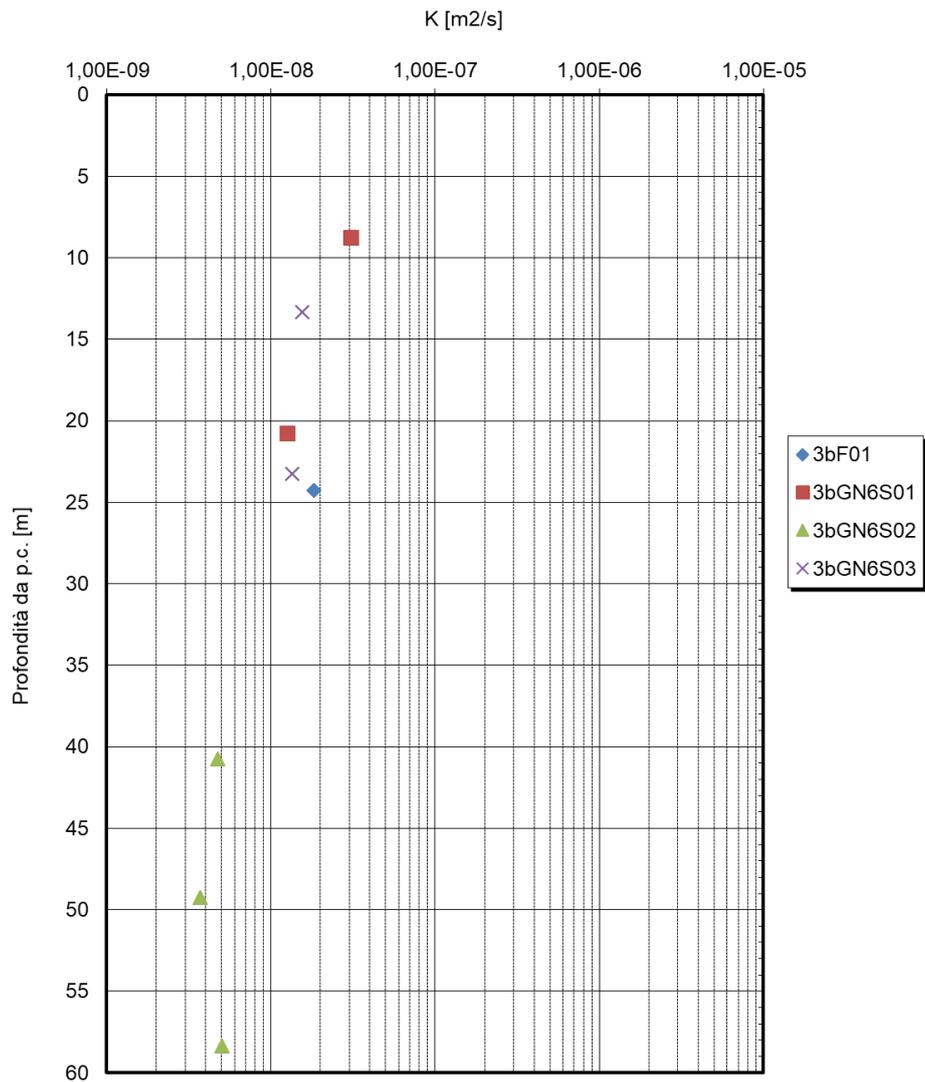


Figura 207: FYN4 – coefficiente di permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 24 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Masareddu – FYN4

COPERTURA	FORMAZIONE	γ [kN/m ³]	GSI	m_i	σ_m [MPa]	ν'	E' [GPa]	c' [kPa]	C_u [kPa]	ϕ' [°]
5-15	FYN4	20	-	-	-	0.3	0.05-0.15	28-44	80	18-23
15-25	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.15-0.34	28-44	300	18-23
25-50	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.34-0.80	28-44	400	18-23
50-60	FYN4	22	-	-	-	0.3	0.8	28-44	600	18-23
25-50	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.34-0.80	28-44	400	18-23

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

m_i = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$C_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.13, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione FYN4 per il Lotto 3.

Galleria Xirbi

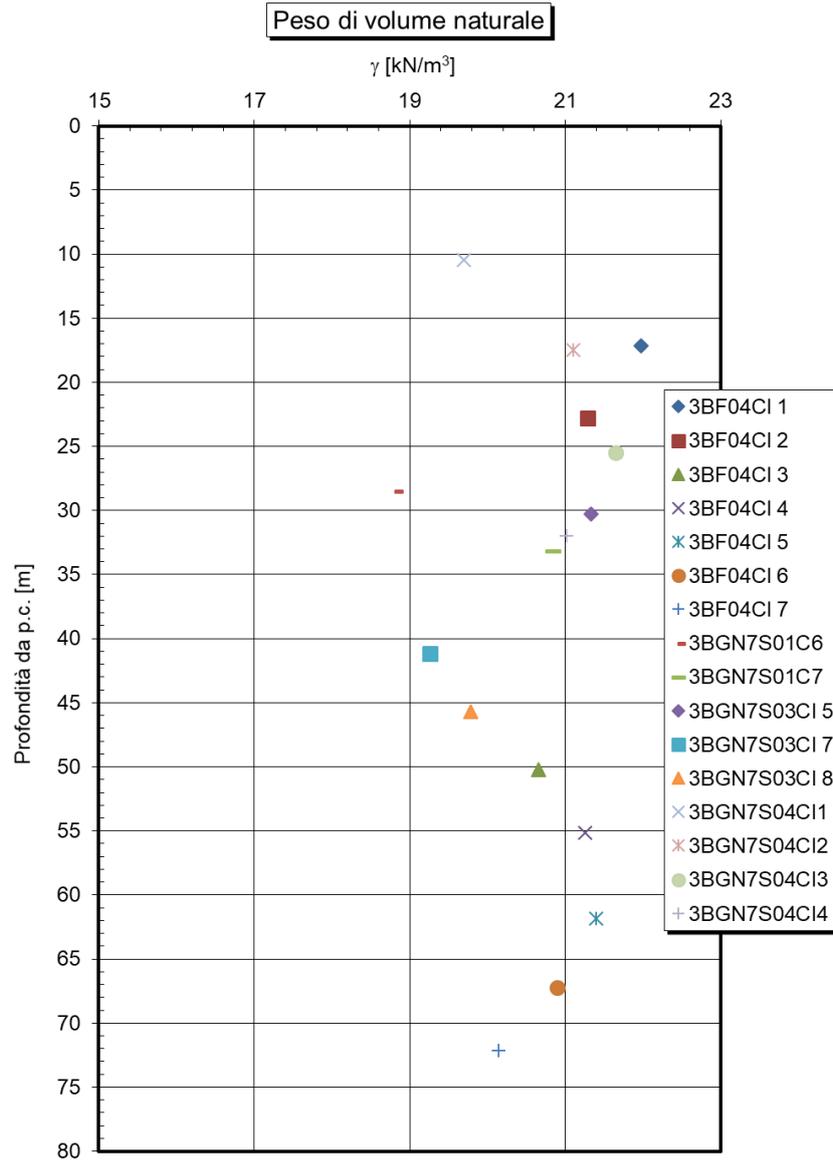


Figura 208: FYN4 – peso dell'unità di volume

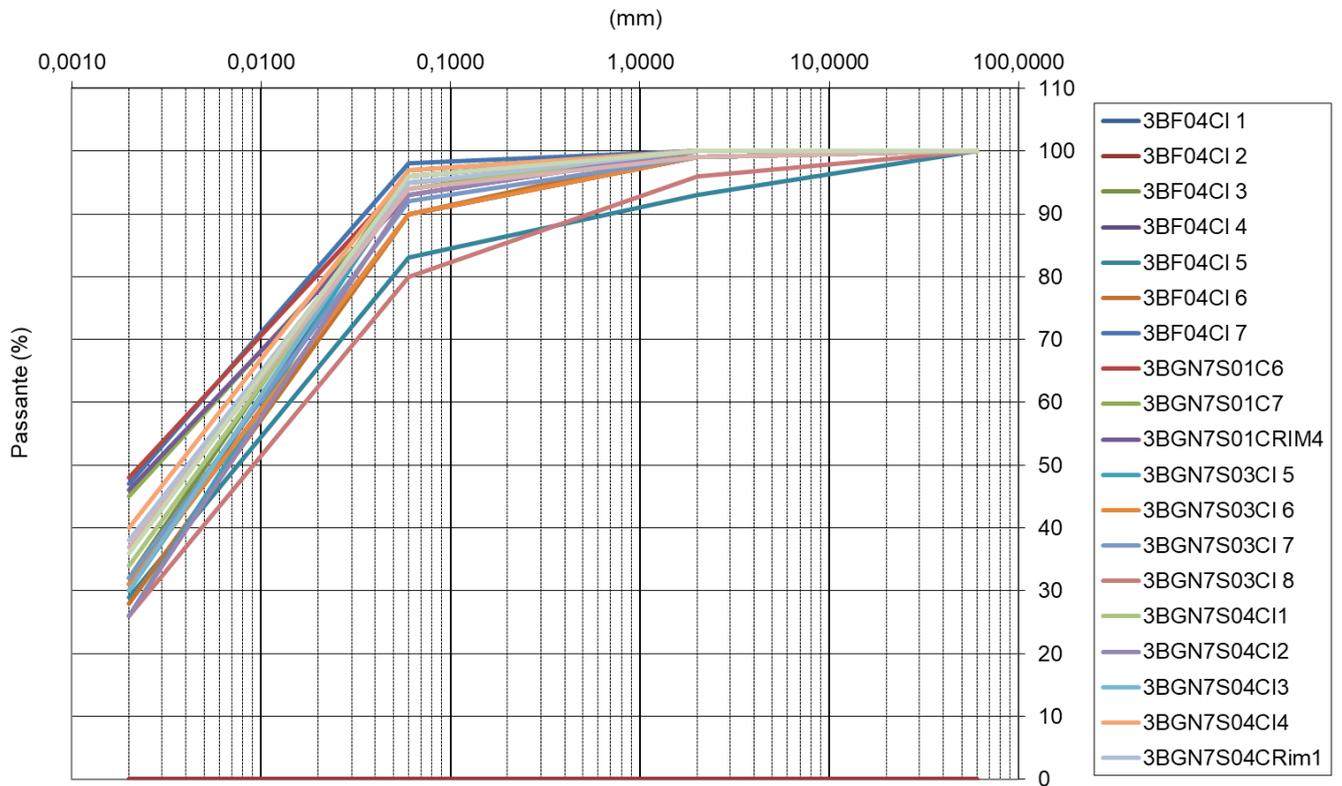


Figura 209: FYN4 – Fuso granulometrico

Campione							
Sigla	Profondità [m]	Formazione	Quarzo (%)	Calcite (%)	Feldspati (%)	Kaolinite (%)	Illite (%)
3B_F03 CI5	25,00-25,50	FYN4	41	18	15	19	7
3B_F03 CI6	29,60-30,00	FYN4	56	21	0	15	8
3B_GN07_S04 CI4	31,60 - 32,00	FYN4	67	13	0	20	0

La formazione non è caratterizzata da minerali rigonfianti.

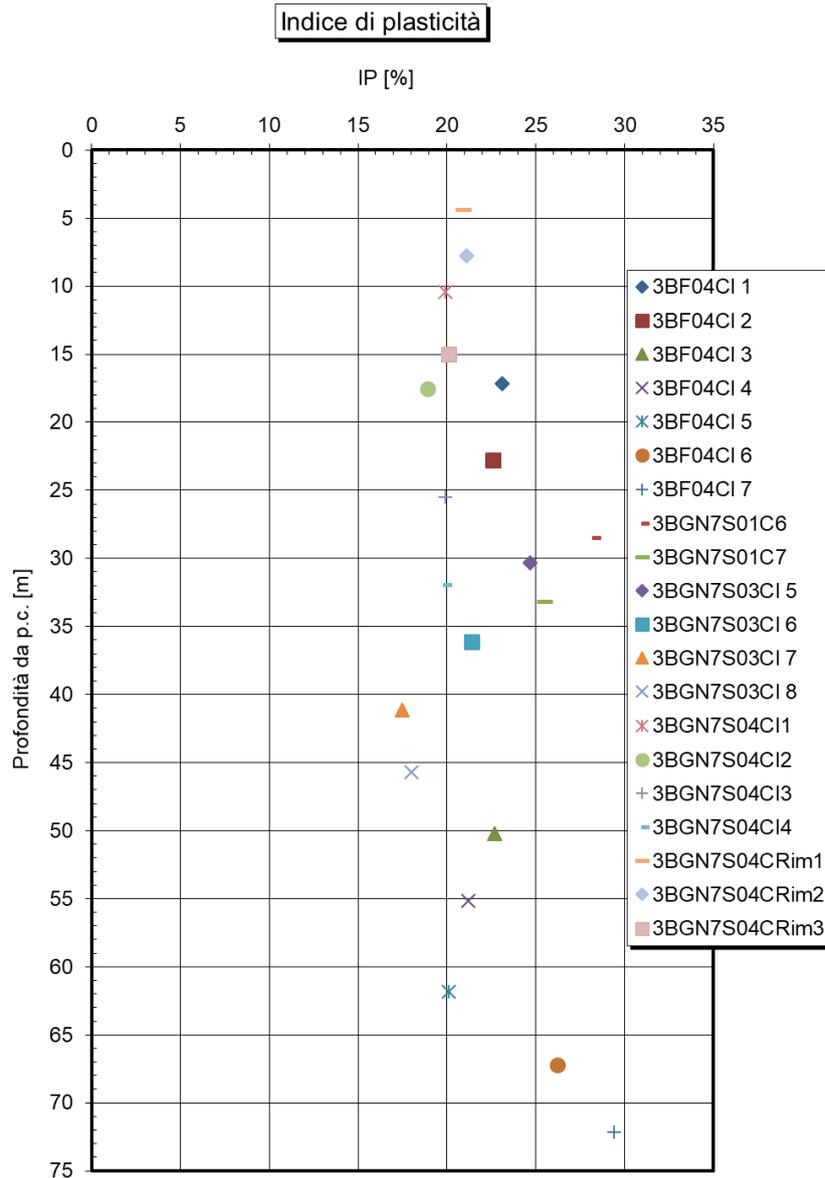


Figura 210: FYN4 – indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	281 di 378

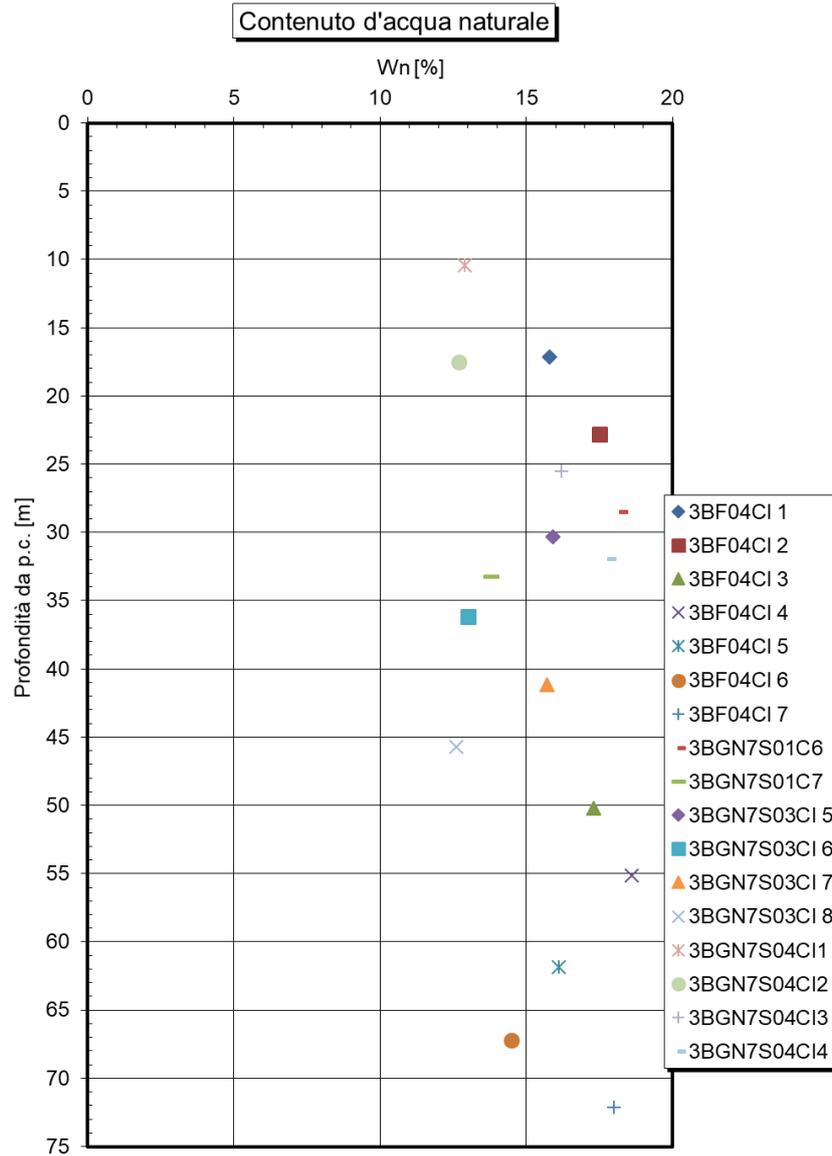


Figura 211: FYN4 – contenuto di acqua naturale

Carta di Plasticità di Casagrande

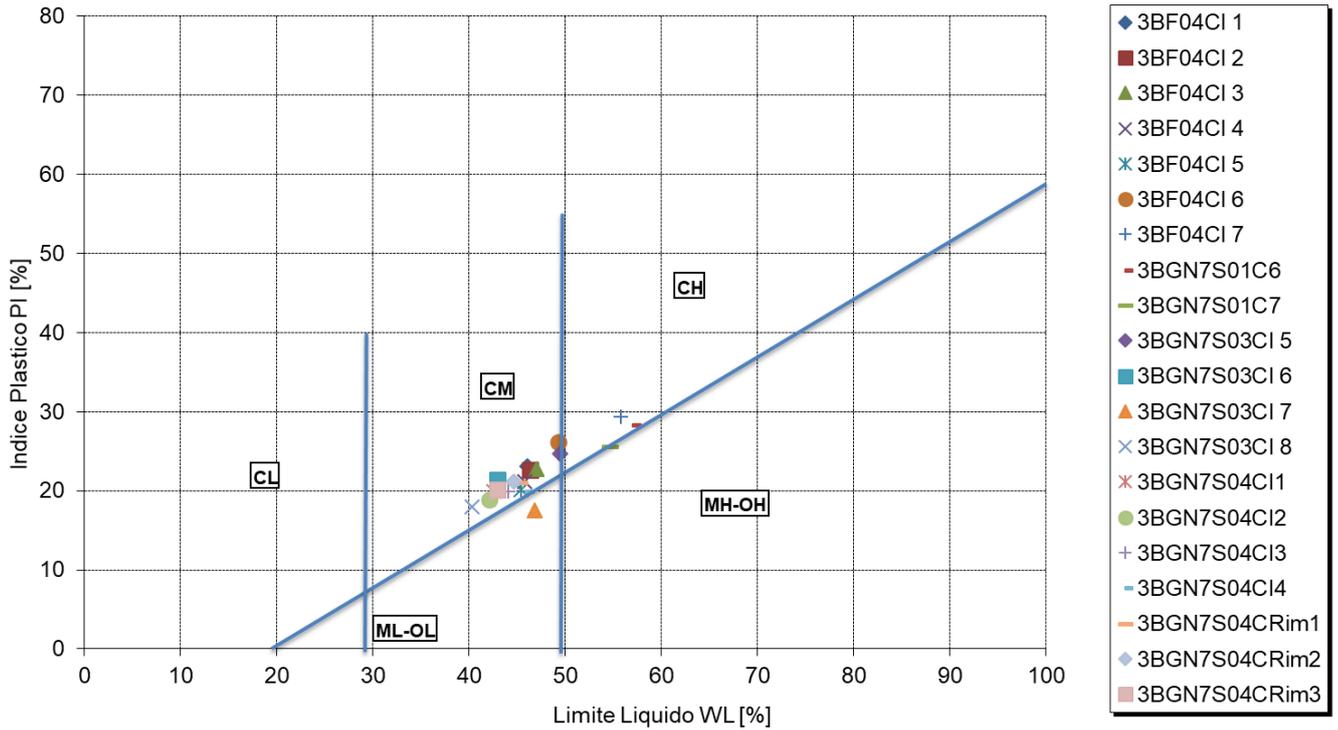


Figura 212: FYN4 – carta di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	283 di 378

È stata eseguita n.1 prova triassiale non consolidata non drenata su un campione del sondaggio 3BGN7S04 da cui si è ottenuto un valore della resistenza al taglio non drenata di circa 230 kPa ad una profondità di 32 metri.

Sul campione prelevato a 32 metri di profondità del sondaggio 3BGN7S03 è stata ricavata la coesione non drenata, per mezzo del pocket, da cui si è ottenuto un valore di 233 kPa.

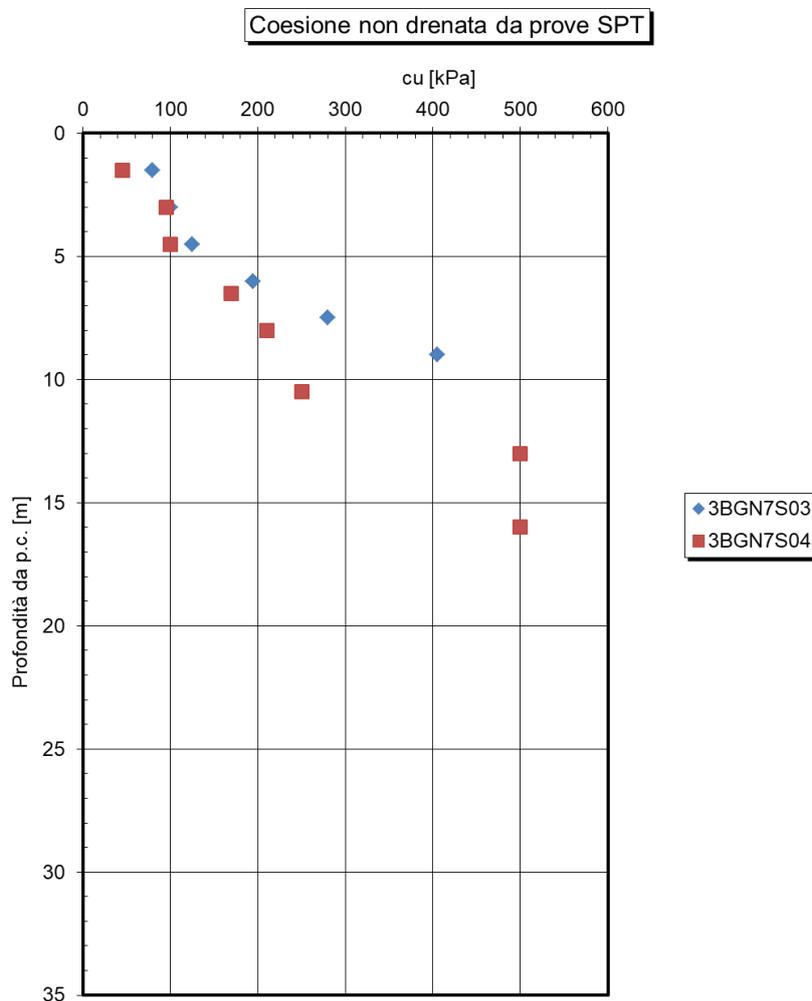


Figura 213: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	284 di 378

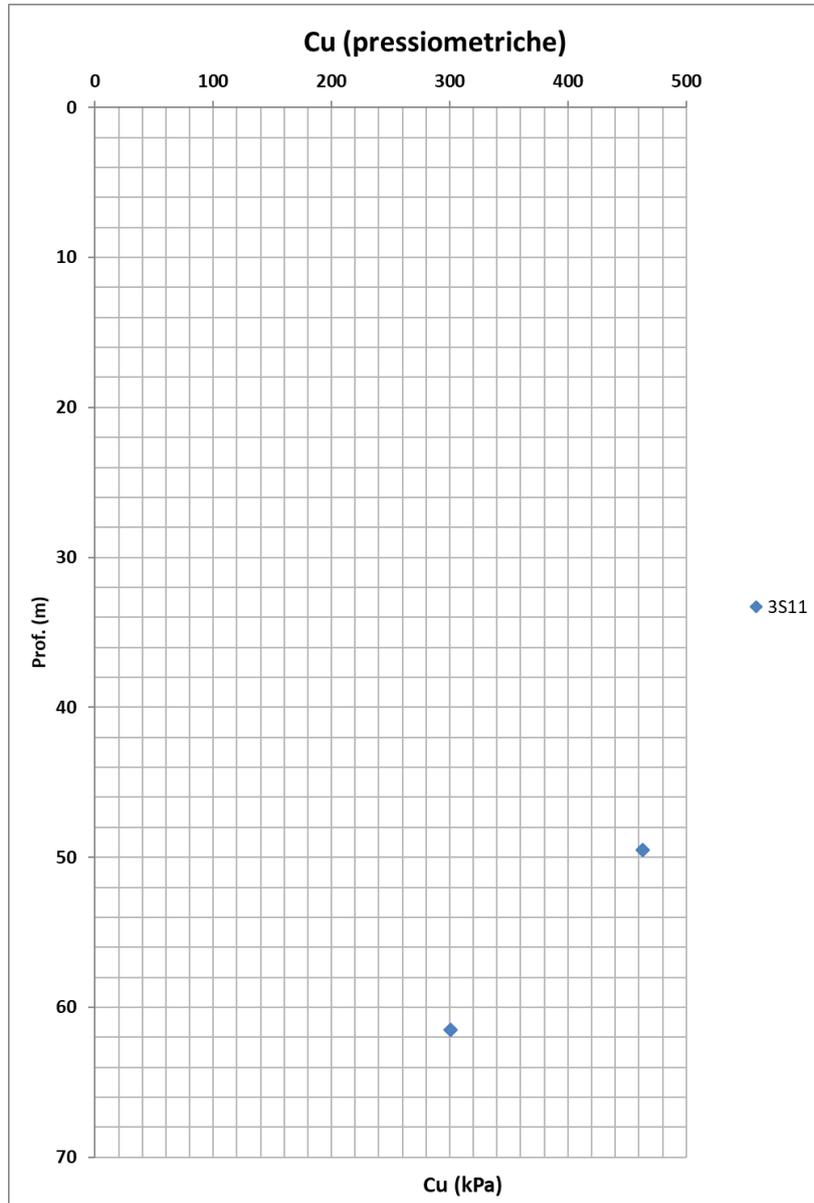


Figura 214: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove pressiometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	285 di 378

OCR da SPT

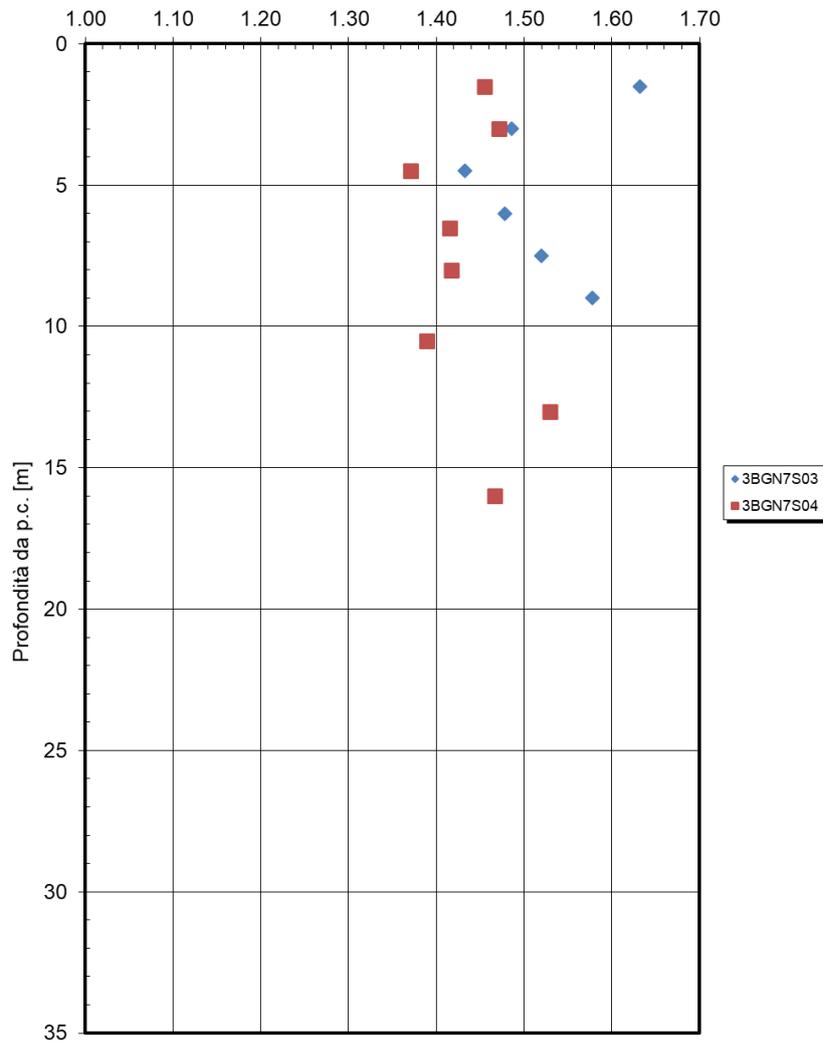


Figura 215: FYN4 – OCR da SPT

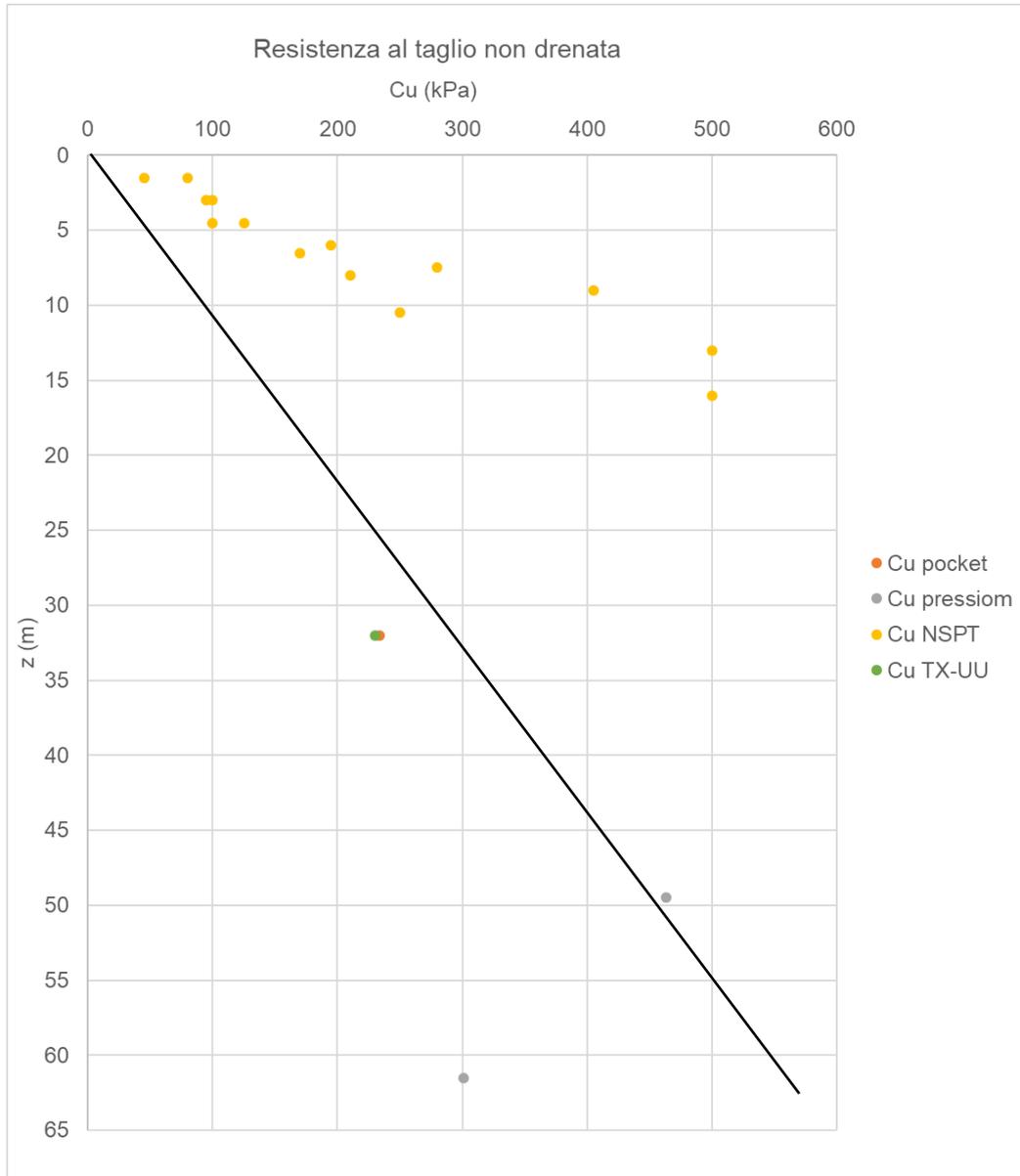


Figura 216: FYN4 – resistenza al taglio non drenata da prove SPT, da pocket, da prove SPT e da prove TX-UU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Le 4 prove triassiali consolidate non drenate eseguite sui campioni indisturbati dei sondaggi 3b-F02 (CI3, CI4, CI6) e 3b-GN7-S03 (CI5), tra le profondità di 30,5 e 67,4 m da p.c., forniscono un involucro non soddisfacente con coefficiente R^2 inferiore a 0.8, valori di coesione c' pari a 16 kPa e di resistenza al taglio ϕ' pari a 19° (Figura 217).

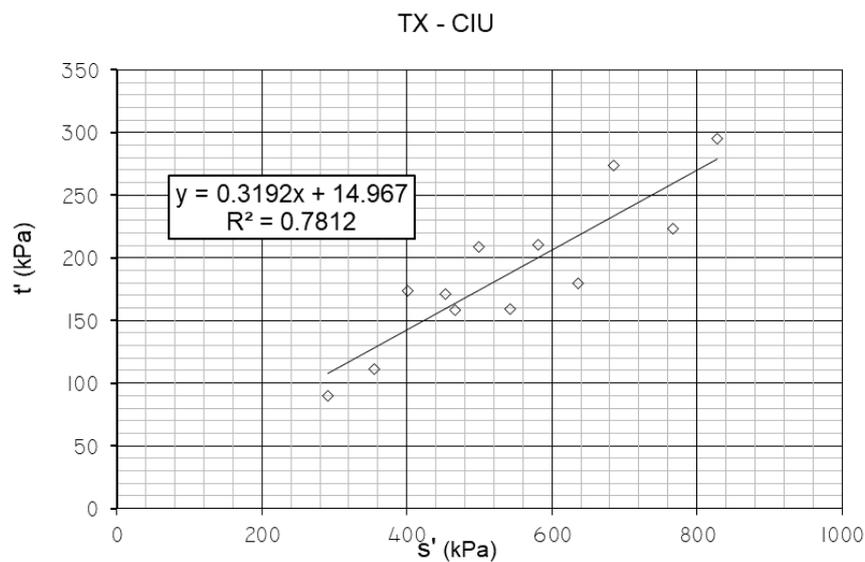


Figura 217: Galleria Xirbi – FYN4 – involucro di resistenza delle prove triassiali

Sono state considerate 6 prove di taglio diretto di picco su campioni indisturbati dai sondaggi 3b-GN7-S03, 3b-GN7-S04, 3b-F03 e 3b-F04. L'insieme delle prove restituisce un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 218) con parametri di resistenza di coesione c' pari a 44 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 23° . Le profondità di prelievo dei 6 campioni variano tra 14 e 72,3 m da piano campagna.

TD - FYN4

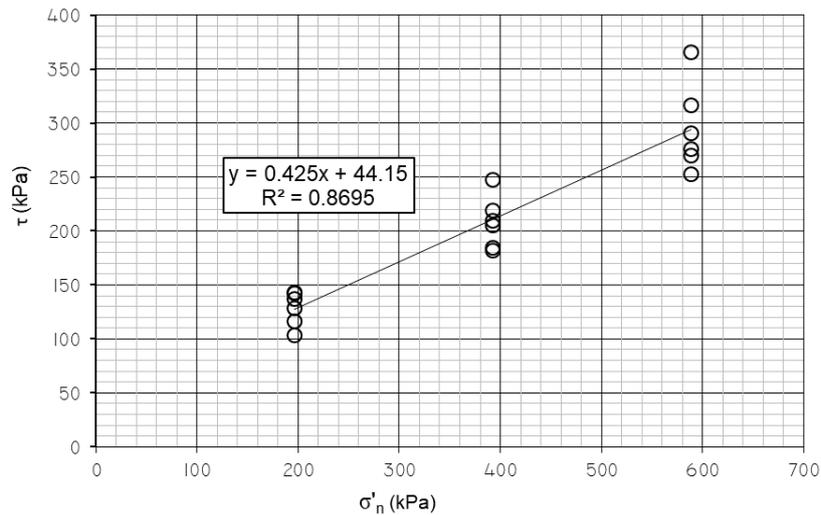


Figura 218: Galleria Xirbi – FYN4 - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

L'inviluppo di resistenza fornisce dei risultati dispersi e risulta pertanto possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli inviluppi di resistenza (Figura 219). Nello specifico l'inviluppo inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 32 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 21° , mentre quello superiore coesione c' pari a 46 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 27° .

TD - FYN4

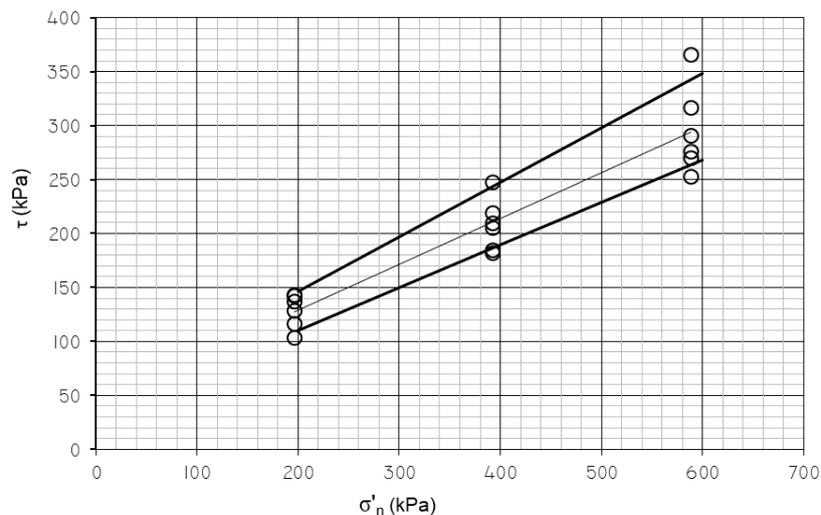


Figura 219: Galleria Xirbi – FYN4- intervallo inviluppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Complessivamente sono state eseguite 4 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati dei sondaggi 3a-GN6-S01, 3a-GN6-S02, 3a-GN7-S04 e 3b-F04 a profondità comprese tra 32 e 72,3 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ riassunti nella Tabella 23.

Tabella 25 – FYN4 - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN7-S04	CI 4	32.0	1.4
3a-GN6-S02	CI 9	64.3	5.7
3a-GN6-S01	CI 7	32.3	7.3
3b-F04	CI 7	72.3	3.0

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	290 di 378

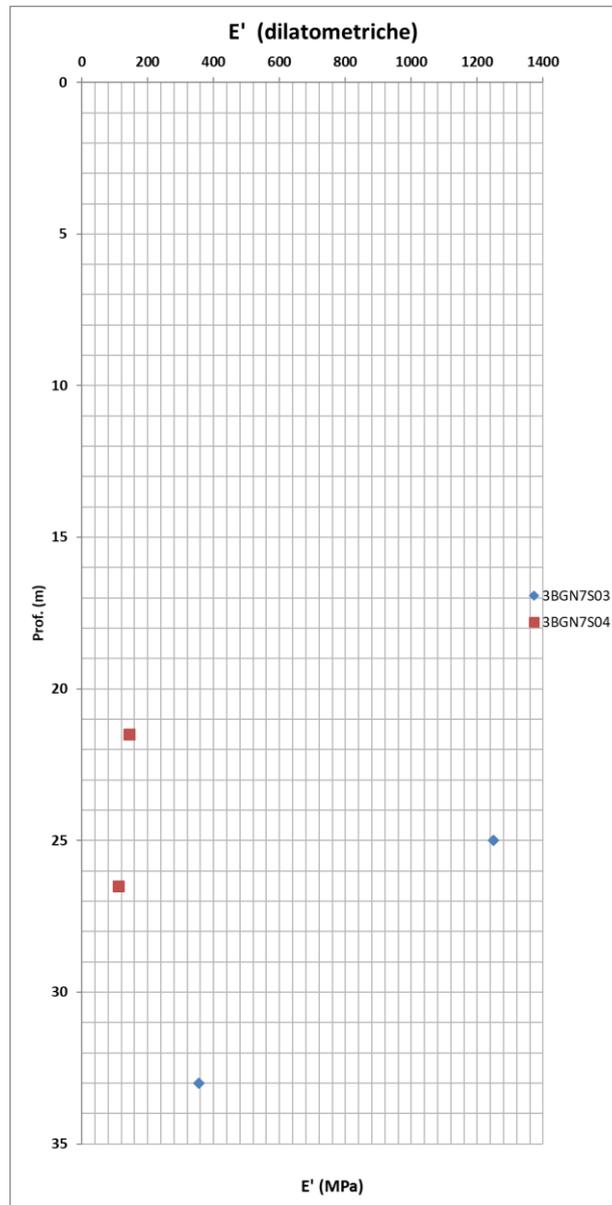


Figura 220: FYN4 – modulo di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	291 di 378

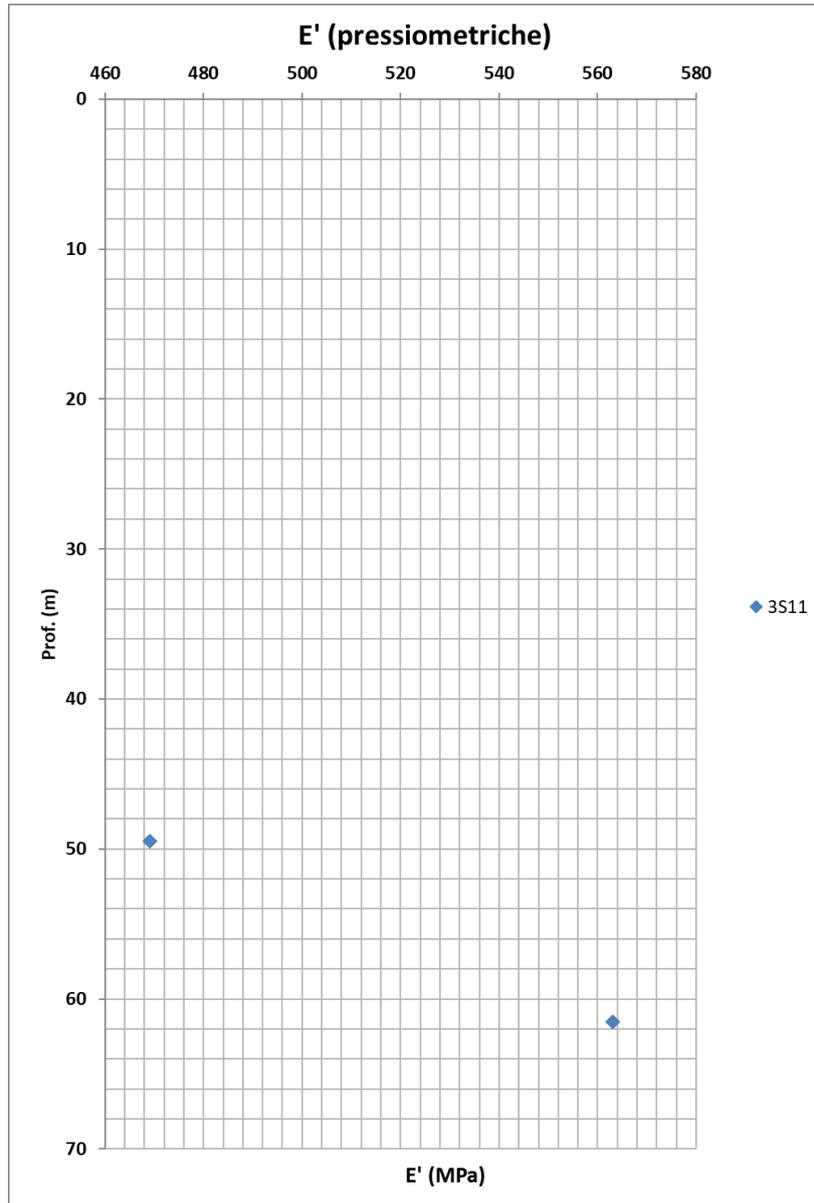


Figura 221: FYN4 – modulo di Young da prove pressiometriche

Si riportano di seguito le prove in colonna risonante effettuate in corrispondenza o in prossimità della tratta in esame; si riportano anche le curve teoriche che meglio approssimano l'andamento.

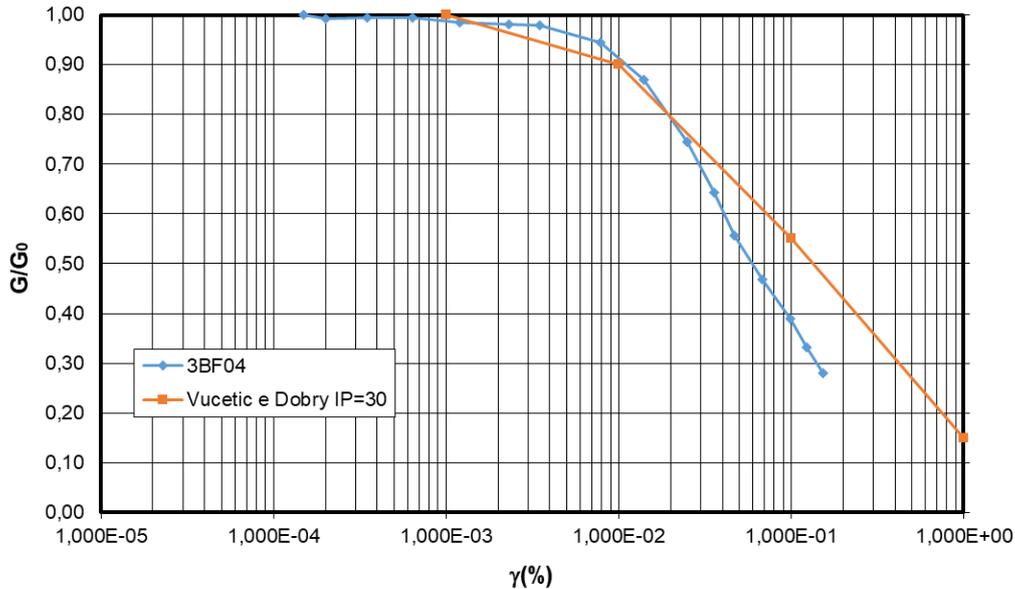


Figura 222: AV – Diagramma del modulo di elasticità tangenziale G da prova in colonna risonante

3BF04 PROVINO CI5						
G [MPa]	G/Gmax	γ (%)	D (%)	D/D0	U (kPa)	DU/sigmac
212,98	1,000	0,00015	3,8	1	100	0
211,26	0,992	0,0002	4,32	1,136842	100	0
211,63	0,994	0,00035	4,6	1,210526	100	0
211,6	0,994	0,00064	4,7	1,236842	100	0
209,91	0,986	0,0012	4,71	1,239474	100	0
209,08	0,982	0,00232	4,61	1,213158	100	0
208,53	0,979	0,0035	4,73	1,244737	100	0
201,29	0,945	0,00785	4,77	1,255263	100	0
185,06	0,869	0,014	4,9	1,289474	100	0
158,76	0,745	0,025	5,28	1,389474	100	0
136,76	0,642	0,0357	6,17	1,623684	100	0
118,59	0,557	0,047	7,04	1,852632	101	0,002
99,66	0,468	0,068	8,04	2,115789	103	0,004
82,98	0,390	0,099	9,08	2,389474	103	0,005
70,69	0,332	0,123	10,09	2,655263	106	0,01
59,71	0,280	0,153	11	2,894737	109	0,014

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

SONDAGGIO	PROFONDITA'	LITOLOGIA	WBS	v	G ($\gamma=0.1$)	E (MPa)
3bF04	61.70-62	FYN4	GN7	0,5	82,98	248,94

Per quanto riguarda le prove di rigonfiamento disponibili si hanno i seguenti risultati

Campione		Rigonfiamento		
Sigla	Profondità [m]	Pressione kPa	Formazione	Prova
3B_F03 CI5	25,00-25,50	24,5	FYN4	ISP/HA
3B_F03 CI6	29,60-30,00	36,8	FYN4	ISP
3B_GN07_S04 CI4	31,60 - 32,00	85,8	FYN4	ISP/HA

Dall'interpretazione delle prove Huder Amberg disponibili si sono quindi ottenuti i seguenti parametri k ed il relativo modulo edometrico E:

Galleria	Sondaggio	Campione	Formazione	Profondità	$k_{100\ H-A}$	E
(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(kPa)
XIRBI	3a-GN7-S04	CI 4	FYN4	32	1,4	25434
XIRBI	3b-F04	CI 7	FYN4	72	3,0	61043

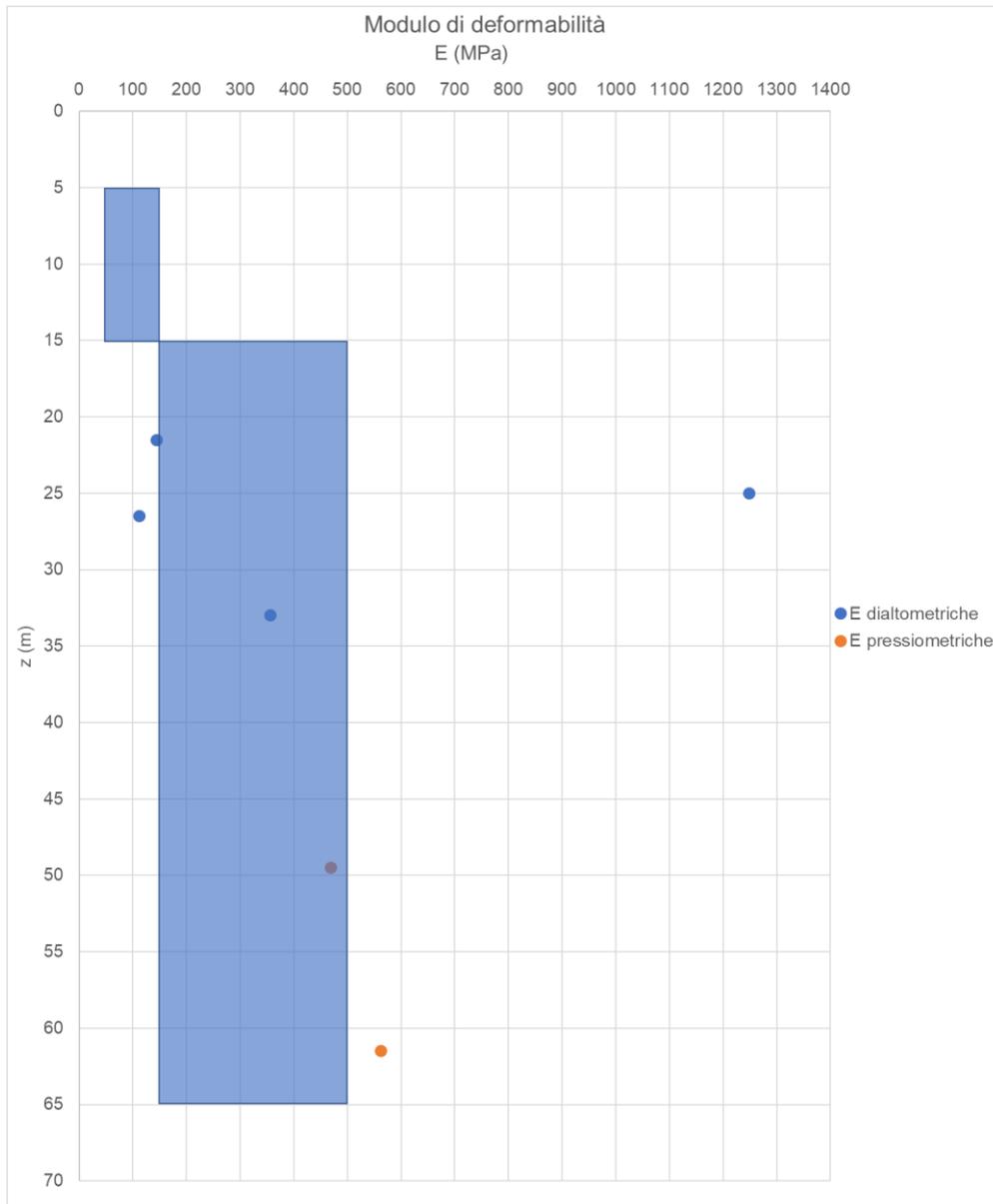


Figura 223: FYN4 – modulo di Young da prove pressiometriche e dilatometriche

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

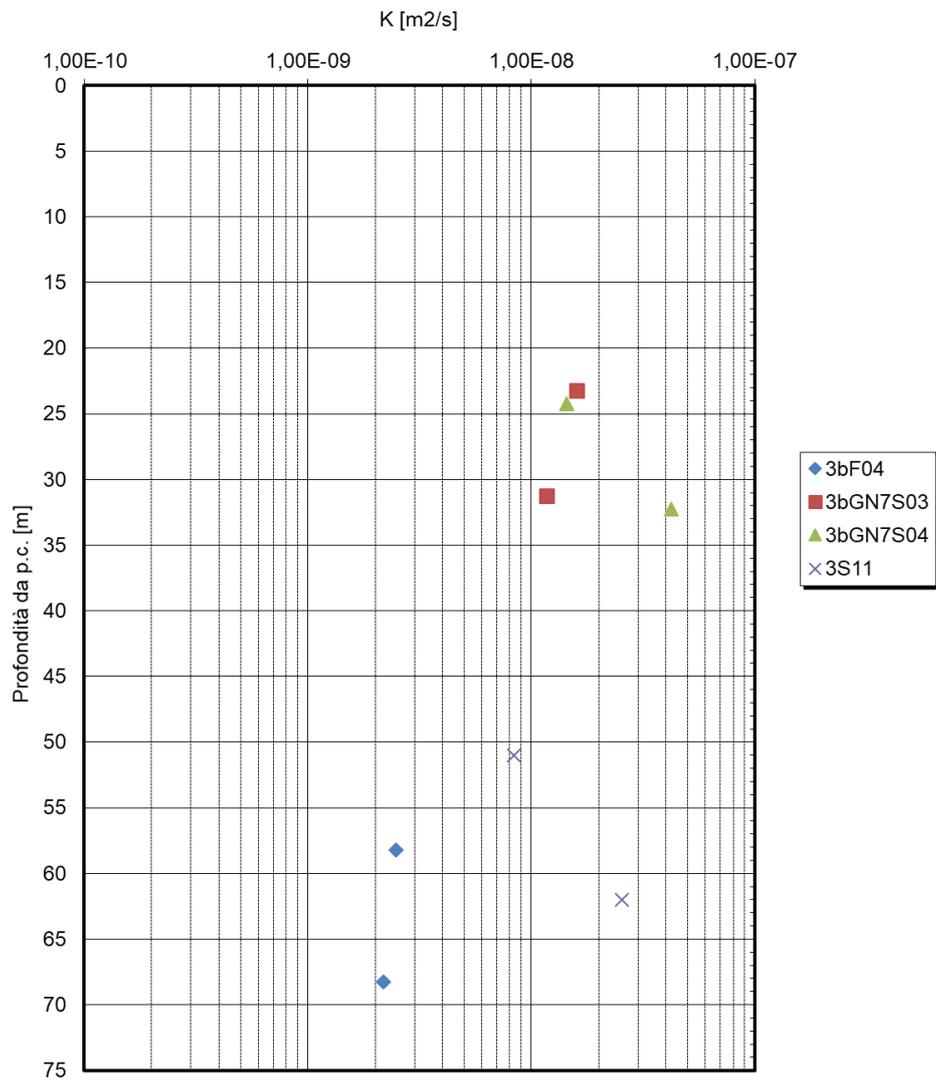


Figura 224: FYN4 – coefficiente di permeabilità

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	296 di 378

Tabella 26 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Xirbi – FYN4

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	ν	E	c'	C_u	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
0-25	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.05-0.1	28-44	100	18-23
25-50	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.1-0.50	28-44	200	18-23
50-65	FYN4	22	-	-	-	0.3	0.5	28-44	500	18-23
40-50	FYN4	21	-	-	-	0.3	0.1-0.50	28-44	200	18-23

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

mi = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

c_{uk} = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.13, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione FYN4 per il Lotto 3.

9.6.13 Caratteristiche meccaniche da prove di Laboratorio FYN4 Lotto 3

L'insieme delle prove delle singole gallerie sono state elaborate in maniera complessiva così da definire un unico involucro di resistenza per la formazione FYN4 per il Lotto 3, per profondità fino a 65 m da piano campagna.

L'insieme delle prove di taglio diretto condotte sui campioni afferenti alla formazione FYN4 per il Lotto 3 evidenziano un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 225) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 31 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 21°. Le profondità di prelievo dei 28 campioni sono variabili tra 3,5 e 65,3 m da piano campagna.

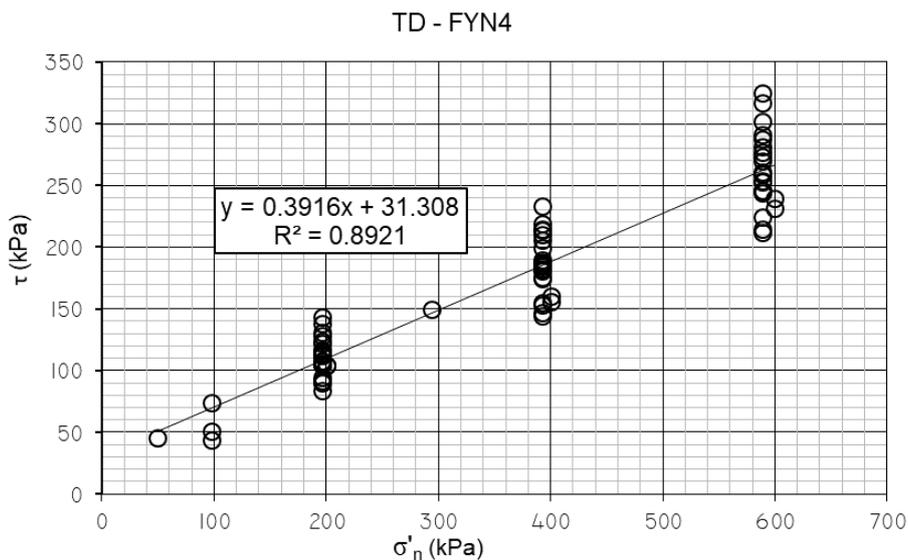


Figura 225: Lotto 3 – FYN4 - involucro di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Come si evince dalla Figura 225, risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli involucri di resistenza (Figura 226). Nello specifico l'involucro inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 28 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 18°, mentre quello superiore coesione c' pari a 44 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 23°.

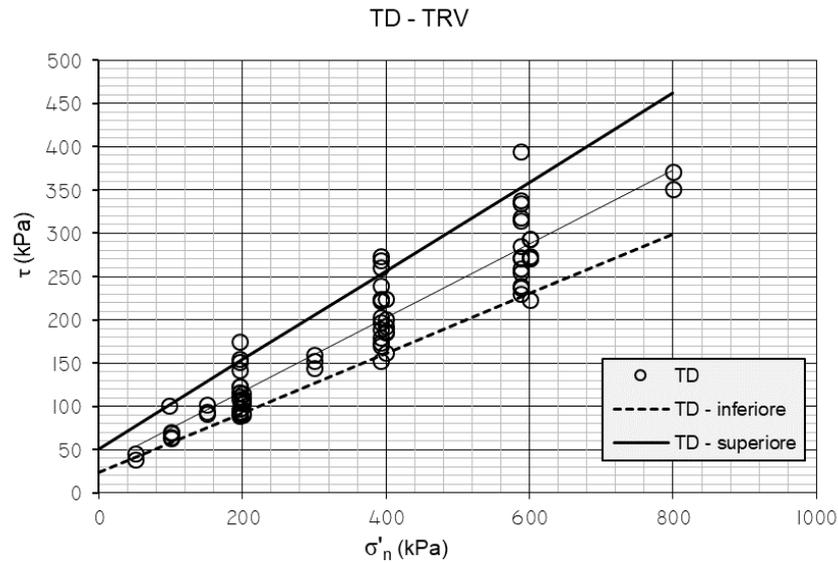
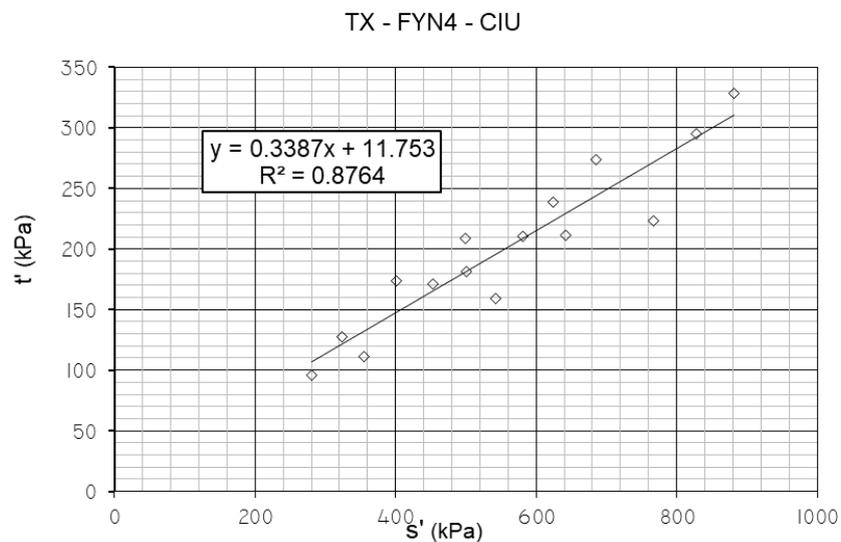


Figura 226: Lotto 3 – FYN4 - intervallo involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Nella determinazione del involuppo di resistenza derivante dalle prove triassiali condotte sui campioni afferenti alla formazione FYN4 per il Lotto 3, sono state escluse le due prove eseguite sui campioni CI3 e CI4 dei sondaggi 3b-GN5-S03 e 3b-F04 in quanto molto discordi dall'involuppo delle restanti 5 prove triassiali. L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' così definito (Figura 227) presenta valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 13 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 20° . Le profondità di prelievo dei 5 campioni sono variabili tra 8,0 e 67,4 m da piano campagna.



 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>Relazione tecnica delle opere in sotterraneo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 07</td> <td>RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>E</td> <td>299 di 378</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	299 di 378
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	299 di 378								

Figura 227: Lotto 3 – FYN4 - involuppo di resistenza prove triassiali

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	300 di 378

9.6.14 Formazione AV

Galleria Masareddu

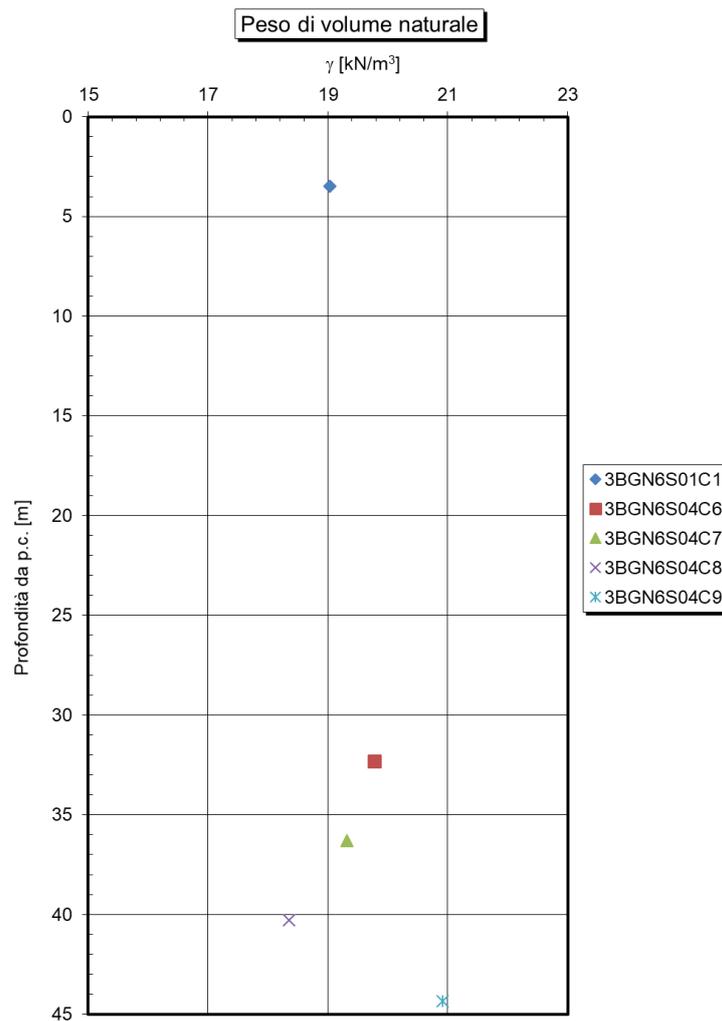


Figura 228: AV – peso dell'unità di volume

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	301 di 378

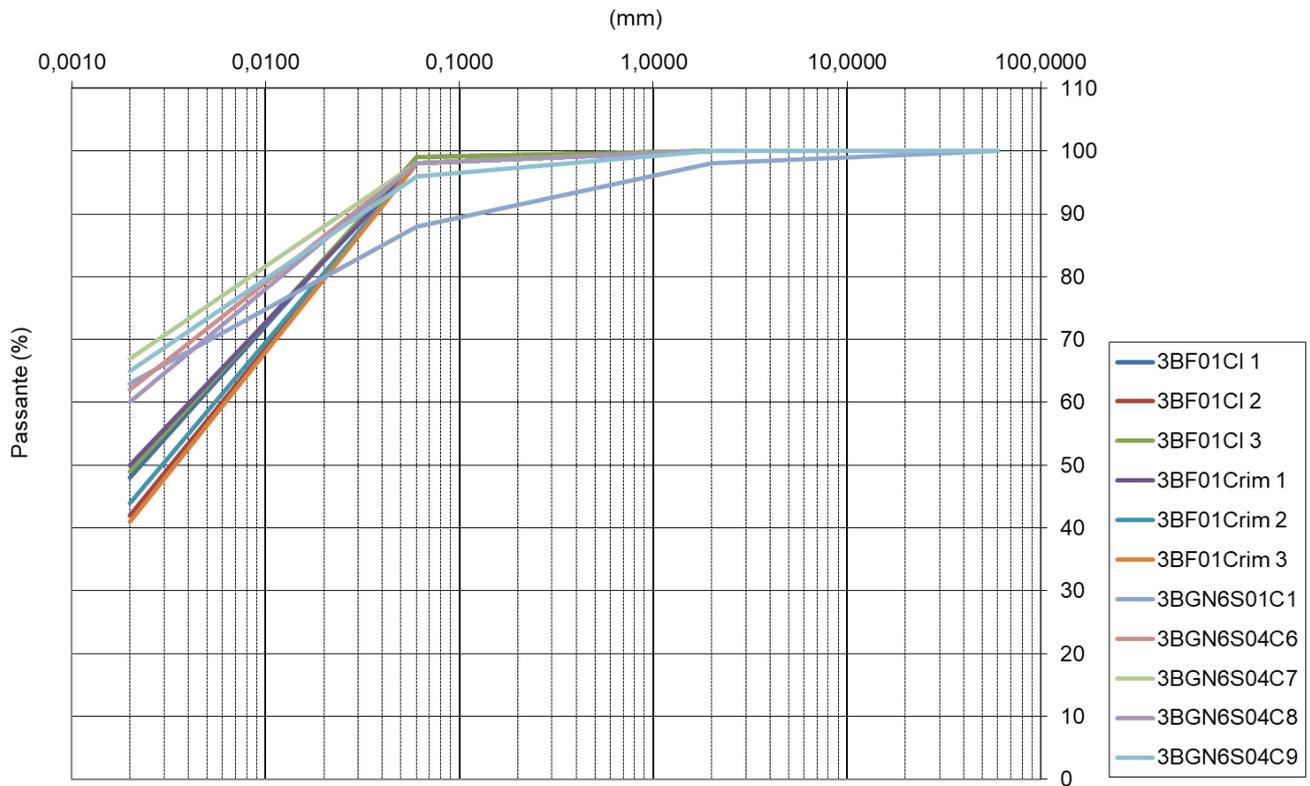


Figura 229: AV – Fuso granulometrico

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	302 di 378

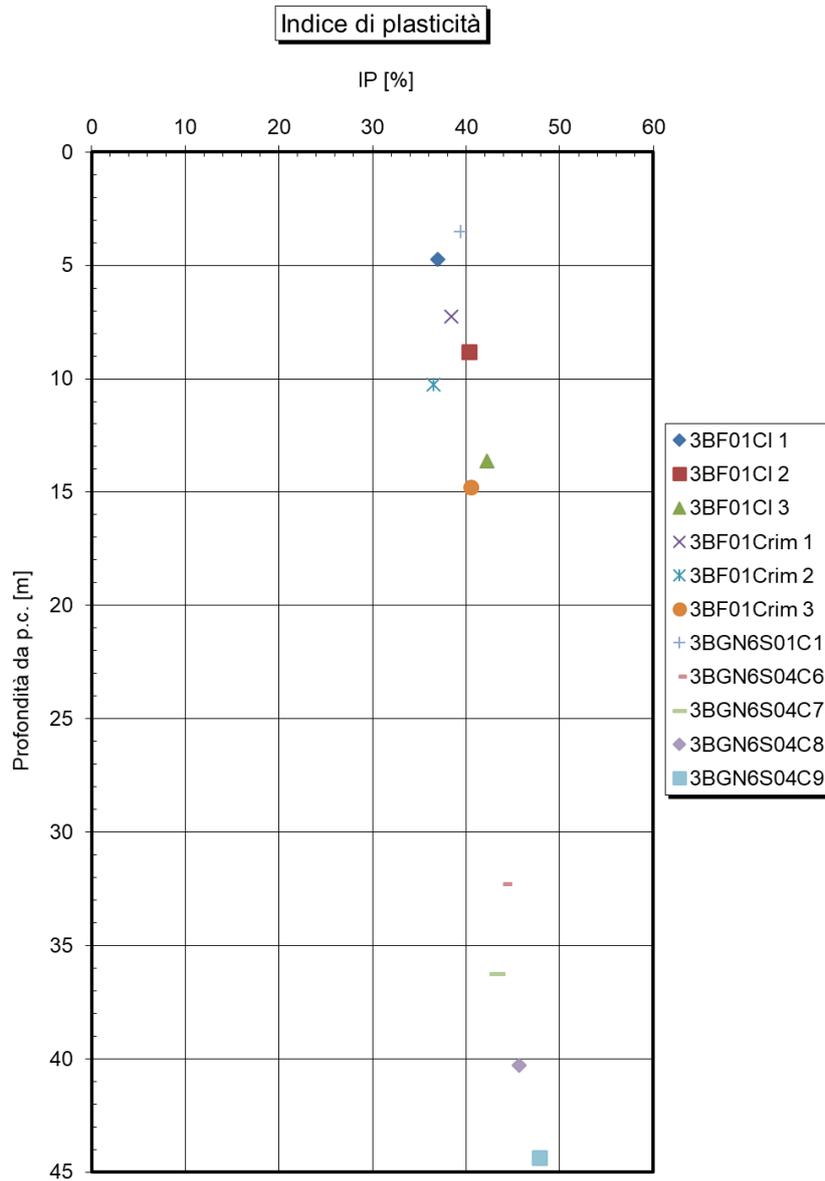


Figura 230: AV – Indice di plasticità

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	303 di 378

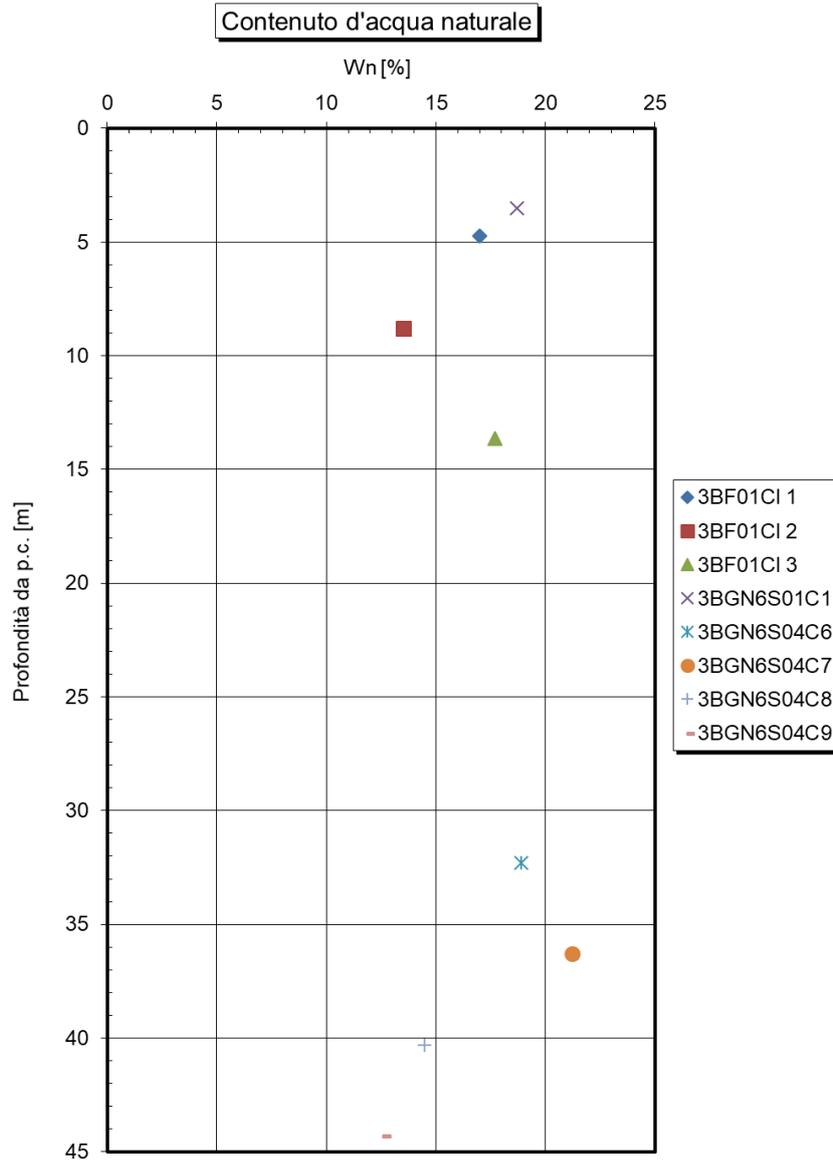


Figura 231: AV – Contenuto d'acqua

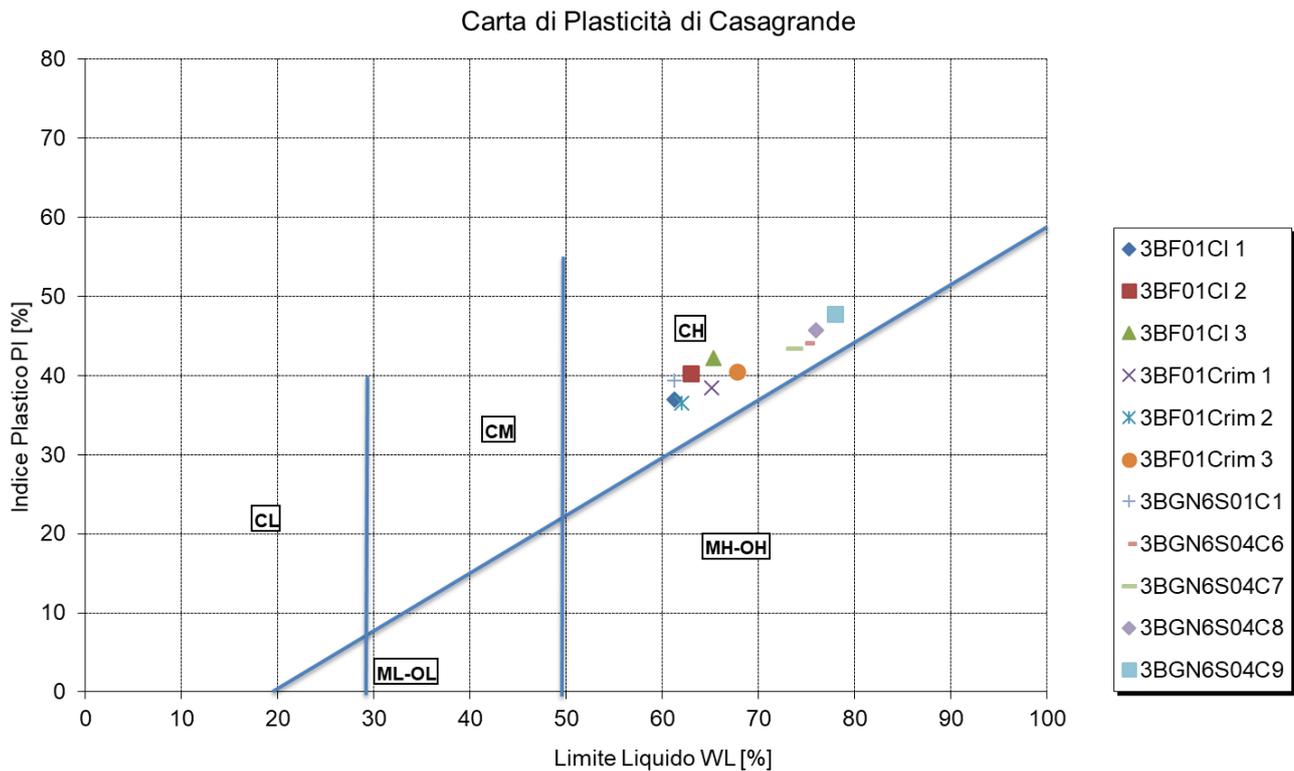


Figura 232: AV – Carta di plasticità di Casagrande

Dai risultati ottenuti da n.1 prova SPT sul sondaggio 3BGN6S04, è stato possibile ricavare, per mezzo delle note correlazioni, i valori della coesione non drenata.

Tali valori risultano compresi tra 100 kPa e 350 kPa per profondità comprese tra 1 metro e 18 metri.

È stata eseguita n.1 prova ad espansione laterale libera sul campione prelevato a 10 metri di profondità del sondaggio 3BF01 da cui si è ottenuto un valore della coesione non drenata pari a 65.2 kPa.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	305 di 378

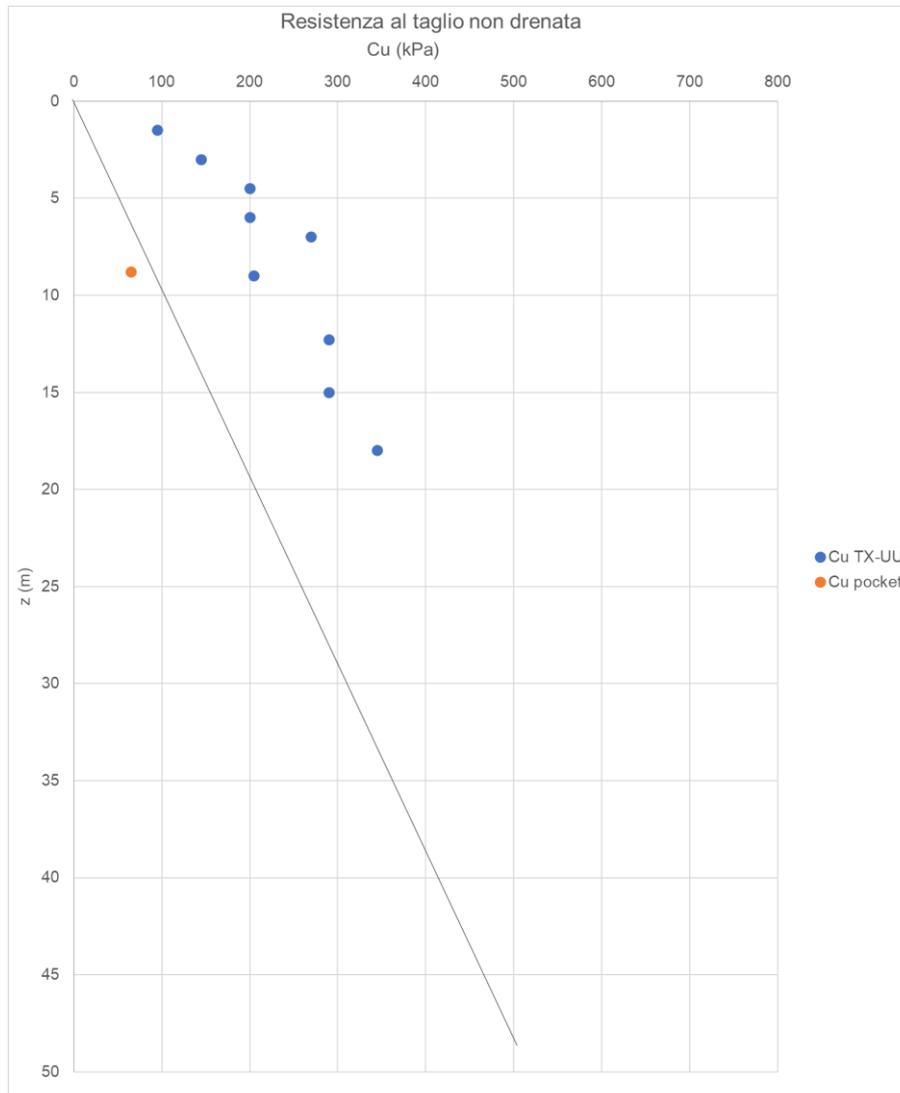


Figura 233: AV – coesione non drenata da prove SPT e da prove ad espansione laterale libera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI				
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001

La prova triassiale consolidata non drenata eseguita sul campione indisturbato CI6 del sondaggio 3b-GN6-S04, prelevato ad una profondità di 32,3 m da p.c., fornisce un involucro con valori di coesione c' pari a 20 kPa e di resistenza al taglio φ' pari a 17° (Figura 234).

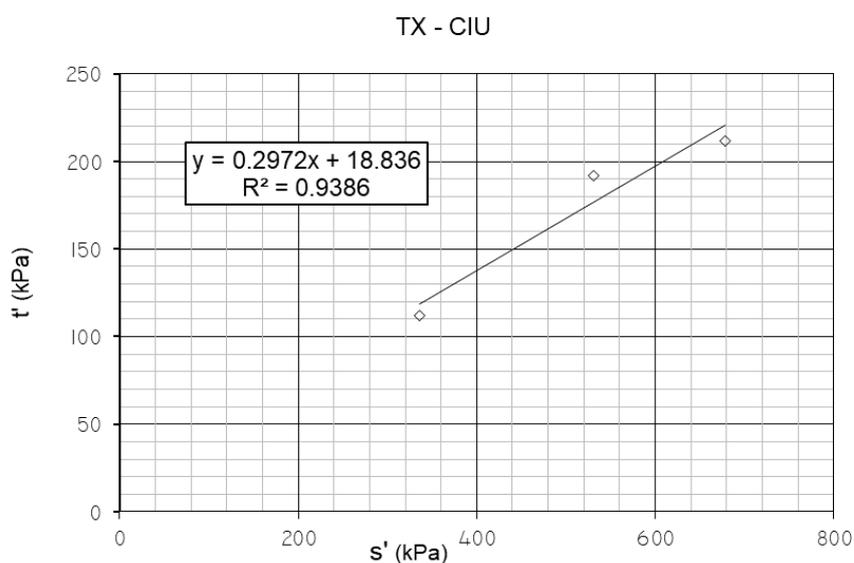


Figura 234: Galleria Masareddu – AV – prova triassiale

Sono state considerate 3 prove di taglio diretto di picco su campioni indisturbati dai sondaggi 3b-GN6-S04 e 3b-F01. L'insieme delle prove restituisce un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 235) con parametri di resistenza di coesione c' pari a 31 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 20° . Le profondità di prelievo dei 3 campioni variano tra 5 e 36,3 m da piano campagna. Nella definizione dell'involucro non è stata considerata la prova eseguita sul campione CI2 del sondaggio 3b-F01 che, elaborata singolarmente, fornisce un valore di coesione maggiore di 80 kPa.

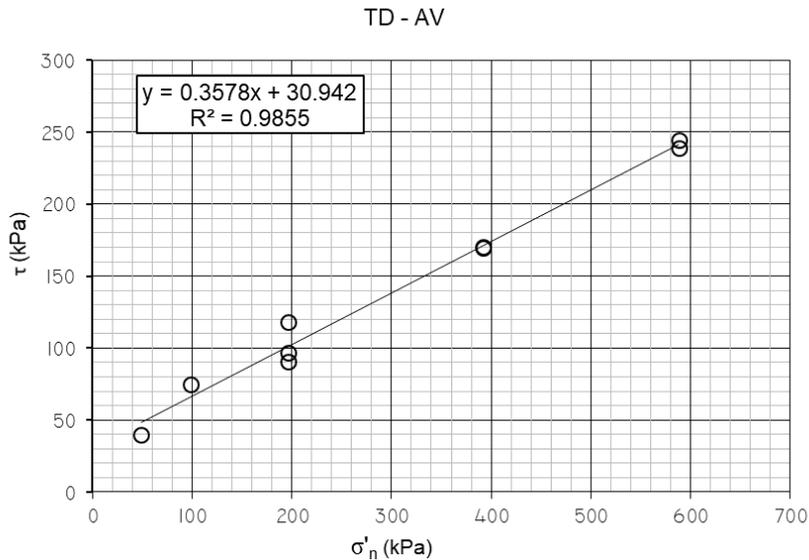


Figura 235: Galleria Masareddu – AV - Involuppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Complessivamente sono state eseguite 3 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati del sondaggio 3a-GN7-S04 a profondità comprese tra 38,4 e 45,4 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ riassunti nella Tabella 27.

Tabella 27 – AV - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN7-S04	CI 5	38.4	2.8
3a-GN7-S04	CI 6	45.4	3.1
3a-GN6-S04	CI 9	44.4	5.2

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	308 di 378

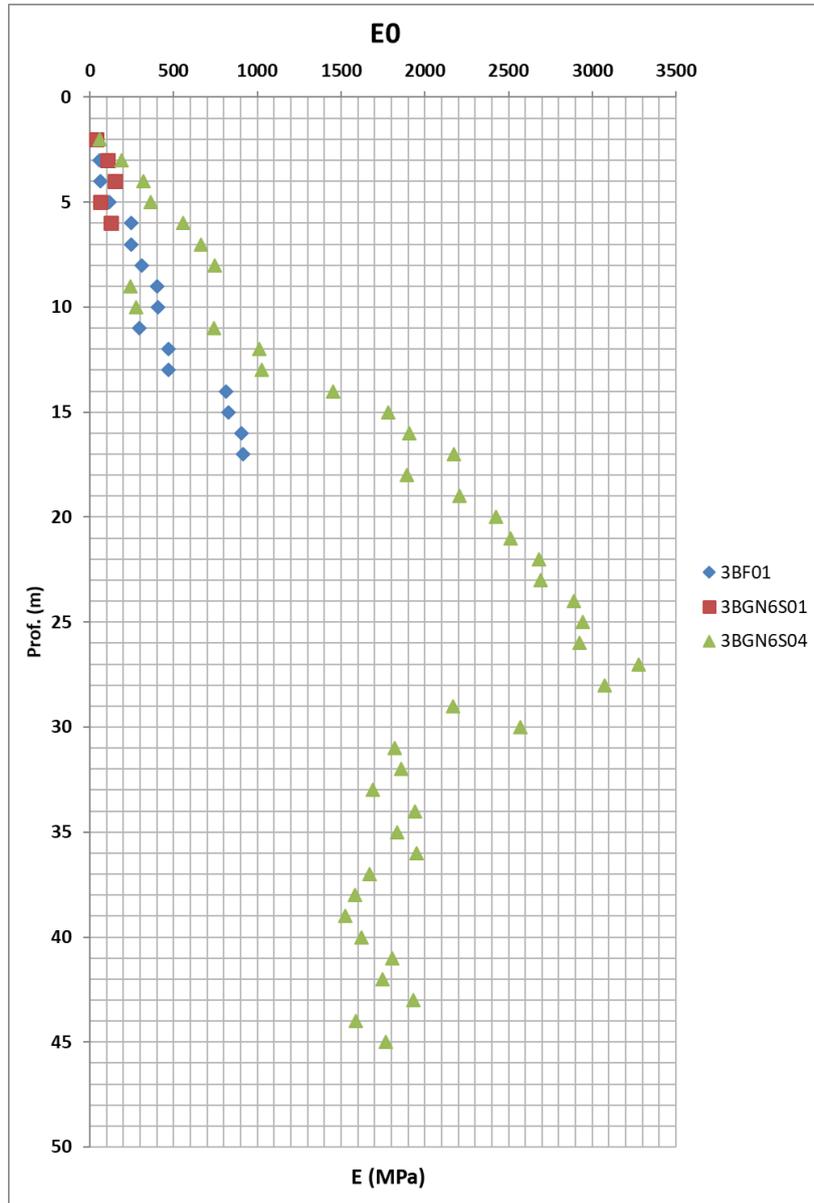


Figura 236: AV – modulo di Young da prove sismiche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	309 di 378

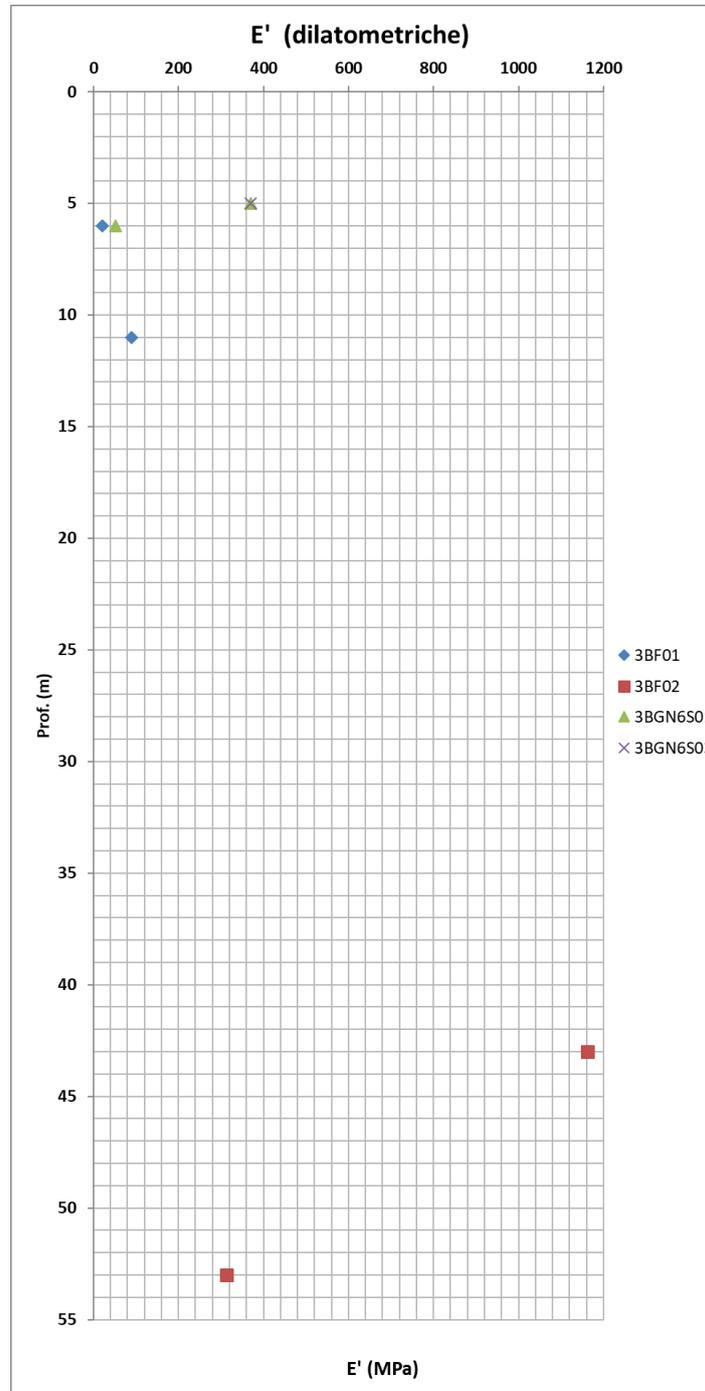
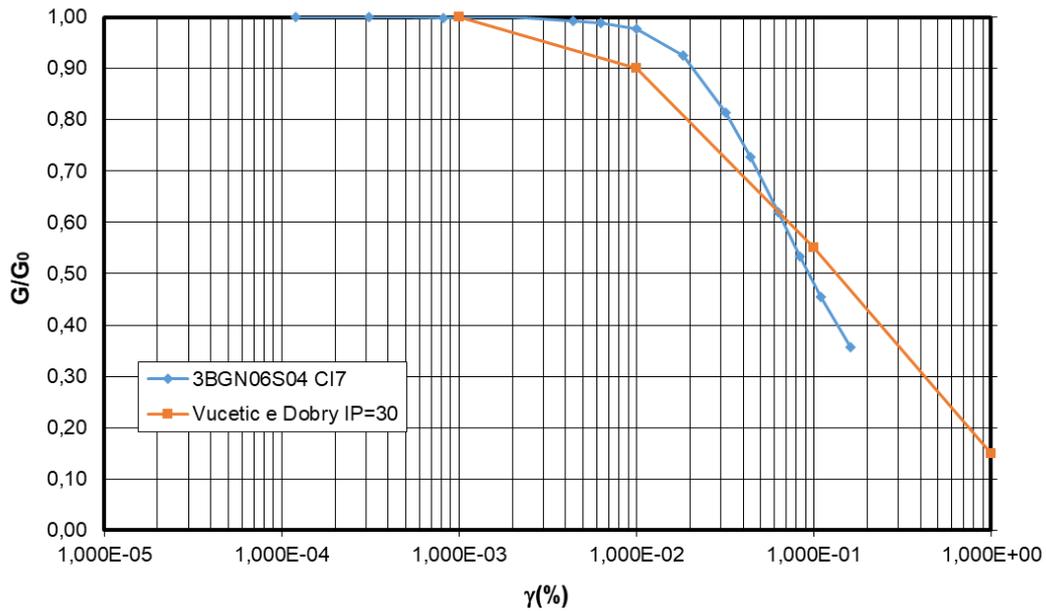


Figura 237: AV – modulo di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	310 di 378

Si riportano di seguito le prove in colonna risonante effettuate in corrispondenza o in prossimità della tratta in esame; si riportano anche le curve teoriche che meglio approssimano l'andamento.



G [MPa]	G/Gmax	γ (%)	D (%)	D/D0
173,03	1,000	0,00012	0,47	1
172,94	0,999	0,00031	4,43	9,425532
173,12	1,001	0,00055	4,44	9,446809
172,6	0,998	0,00082	4,32	9,191489
173,05	1,000	0,00123	4,48	9,531915
173,1	1,000	0,002	4,43	9,425532
171,63	0,992	0,00439	4,42	9,404255
171,2	0,989	0,00633	4,48	9,531915
169,01	0,977	0,01	4,55	9,680851
159,92	0,924	0,0183	4,82	10,25532
140,74	0,813	0,032	5,24	11,14894
125,83	0,727	0,0442	6	12,76596
107,25	0,620	0,0628	6,84	14,55319
92,2	0,533	0,0833	7,7	16,38298
78,82	0,456	0,11	8,63	18,3617
61,75	0,357	0,162	9,55	20,31915

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Per quanto riguarda le prove di rigonfiamento disponibili si hanno i seguenti risultati

Campione		Rigonfiamento		
Sigla	Profondità [m]	Pressione kPa	Formazione	Prova
3B_GN06_S04 CI8	40,00 - 40,30	237,8	AV	ISP
3B_GN06_S04 CI9	44,00 - 44,30		AV	HA

Dall'interpretazione delle prove Huder Amberg disponibili si sono quindi ottenuti i seguenti parametri k ed il relativo modulo edometrico E:

Galleria	Sondaggio	Campione	Formazione	Profondità	$k_{100\ H-A}$	E
(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(kPa)
MASAREDDU	3a-GN6-S04	CI 9	AV	44	5,2	41352

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	312 di 378

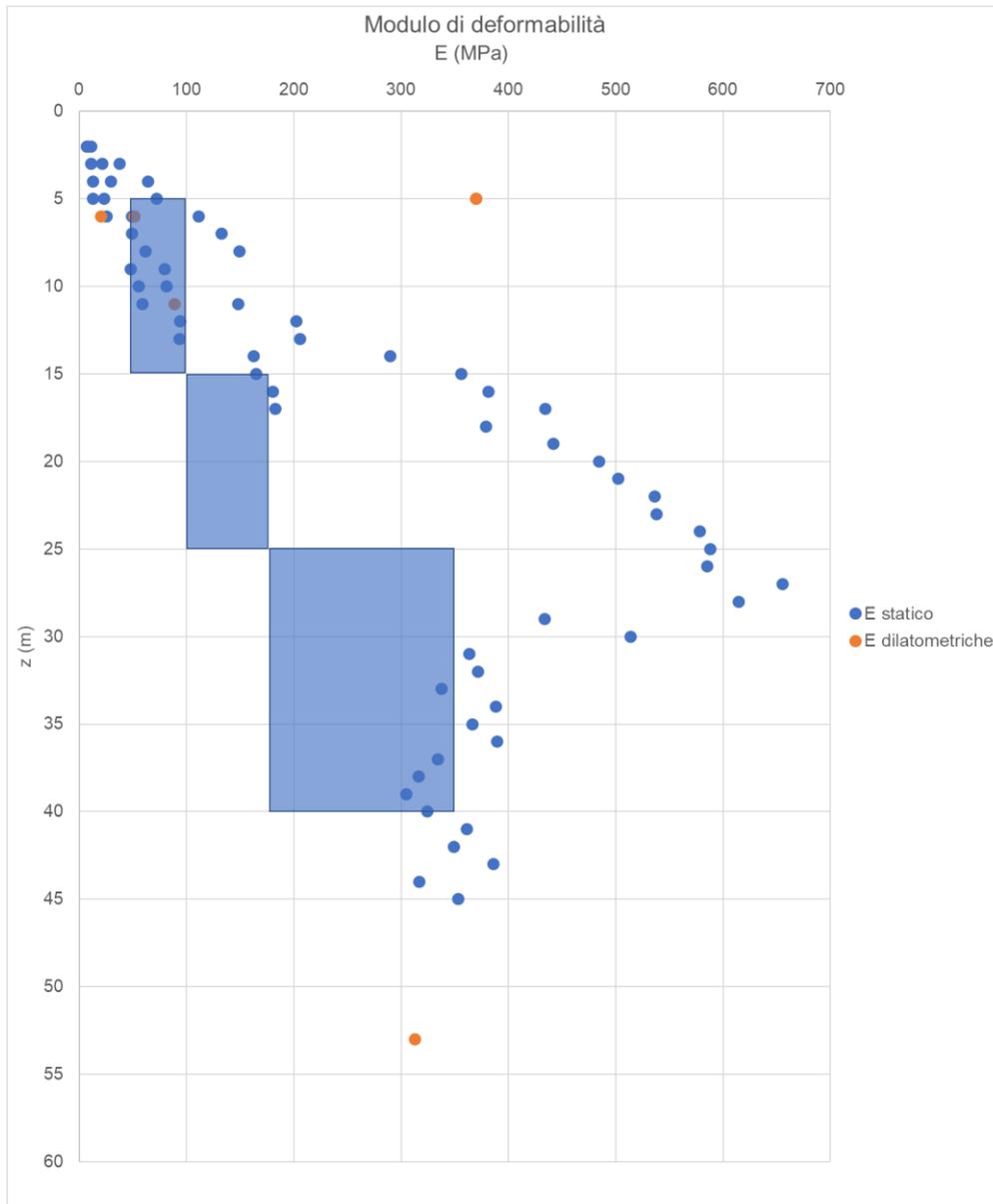


Figura 238: AV – modulo di Young operativo da prove sismiche e dilatometriche

Coefficiente di permeabilità da Le Franc

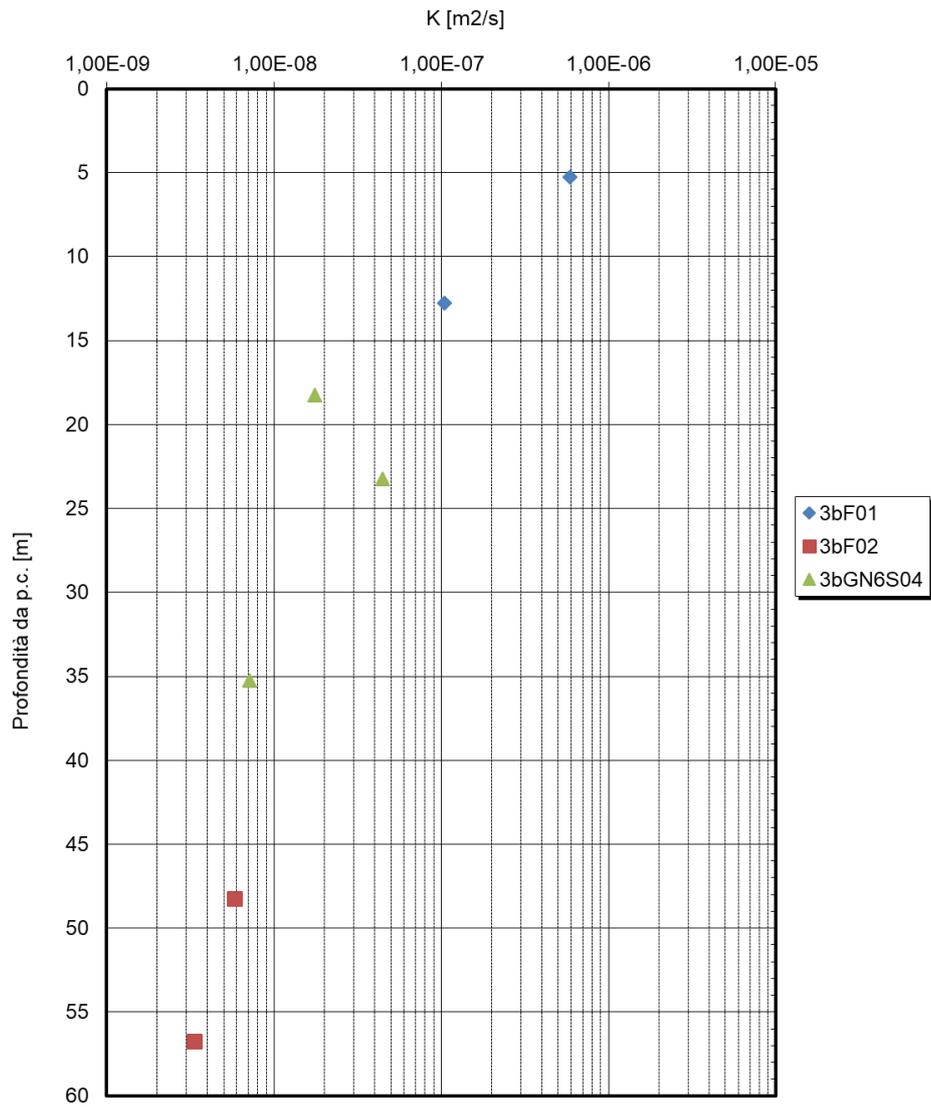


Figura 239: AV – coefficiente di permeabilità

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 28 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Masareddu - AV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	mi	σ_m	v'	E'	c'	C_u	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
25-40	AV	21	-	-	-	0.3	0.18-0.35	20-47	300	21-24
15-25	AV	21	-	-	-	0.3	0.1-0.18	20-47	200	21-24
5 -15	AV	21	-	-	-	0.3	0.50-0.1	20-47	100	21-24

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

GSI = geological strength index

mi = costante del materiale

σ_m = resistenza a compressione monoassiale

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

$C_{u,k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.15, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione AV per il Lotto 3.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	315 di 378

Galleria Xirbi

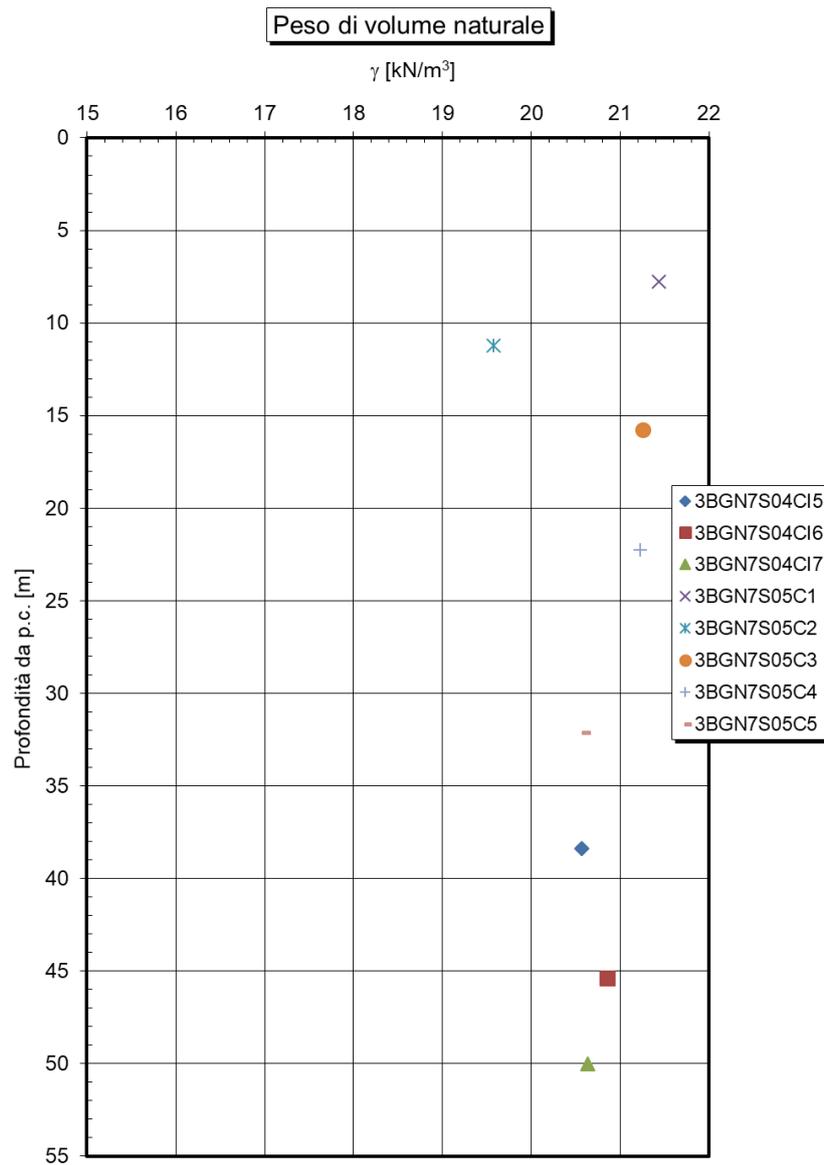


Figura 240: AV – peso dell'unità di volume

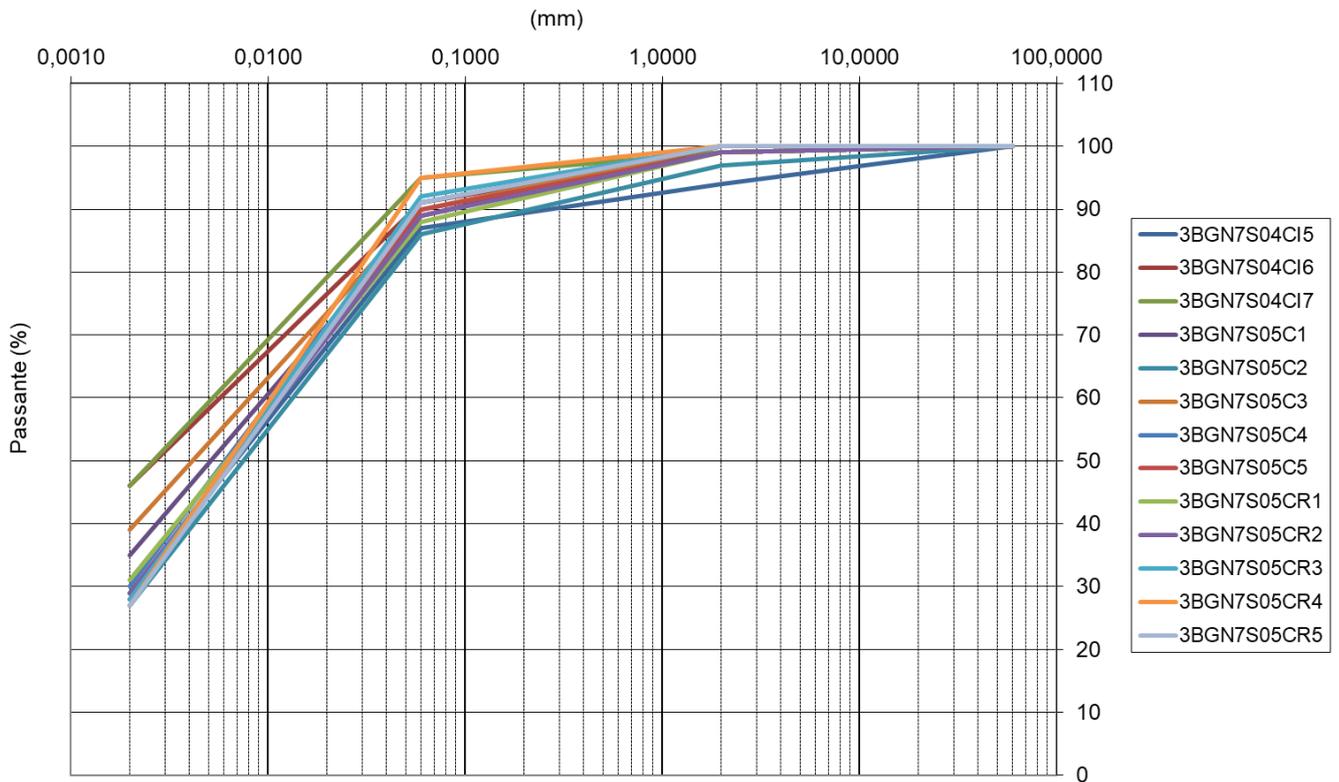


Figura 241: AV – fuso granulometrico

Campione							
Sigla	Profondità [m]	Formazione	Quarzo (%)	Calcite (%)	Feldspati (%)	Kaolinite (%)	Illite (%)
3B_GN07_S04 CI6	45,00 - 45,40	AV	43	27	5	25	0
3B_GN08_S01 CI4	23,50 - 24,00	AV	81	10	5	4	0

La formazione non è caratterizzata da minerali rigonfianti.

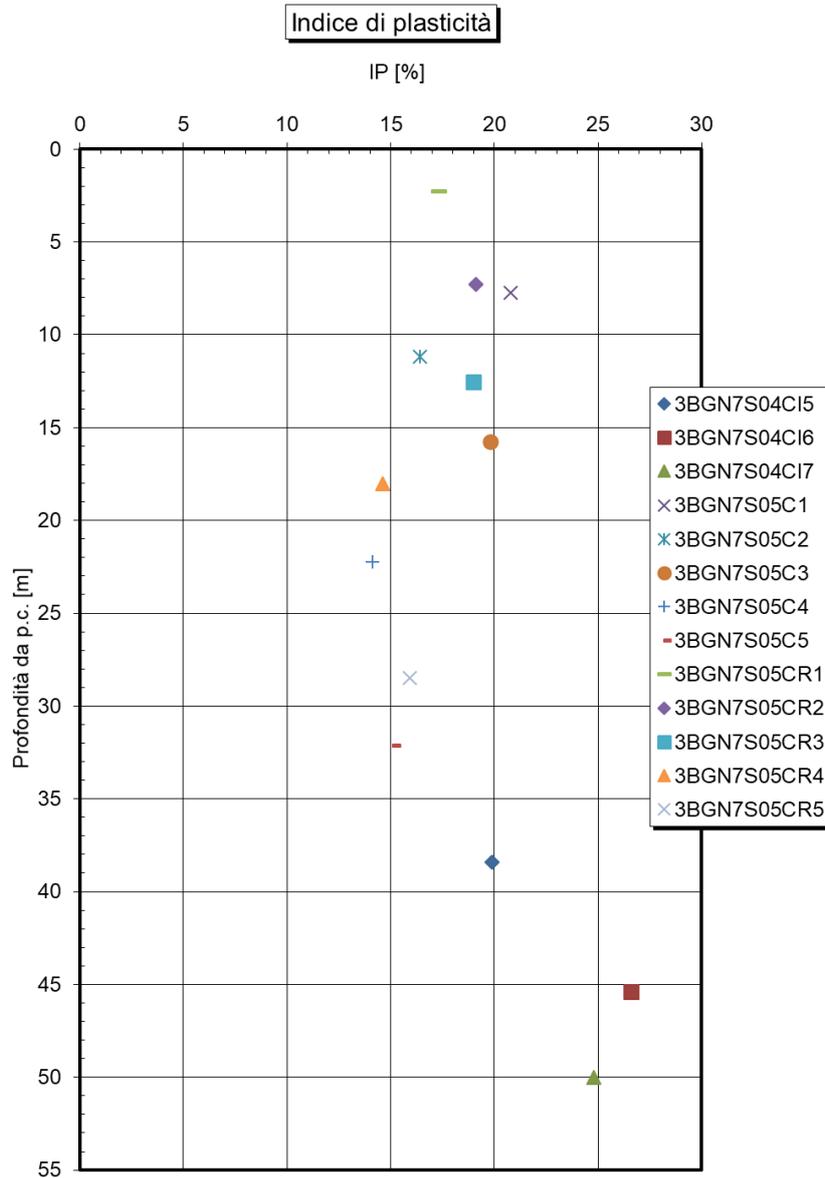


Figura 242: AV – Indice di plasticità

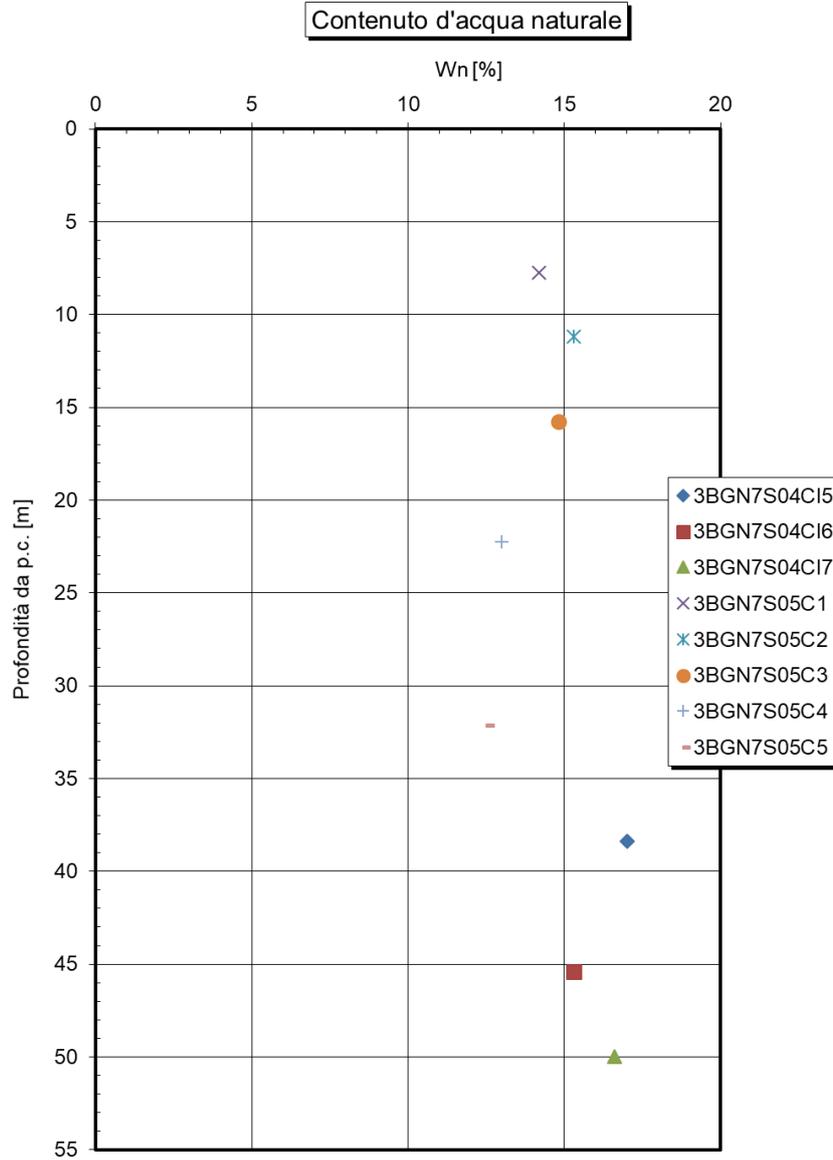


Figura 243: AV – contenuto di acqua

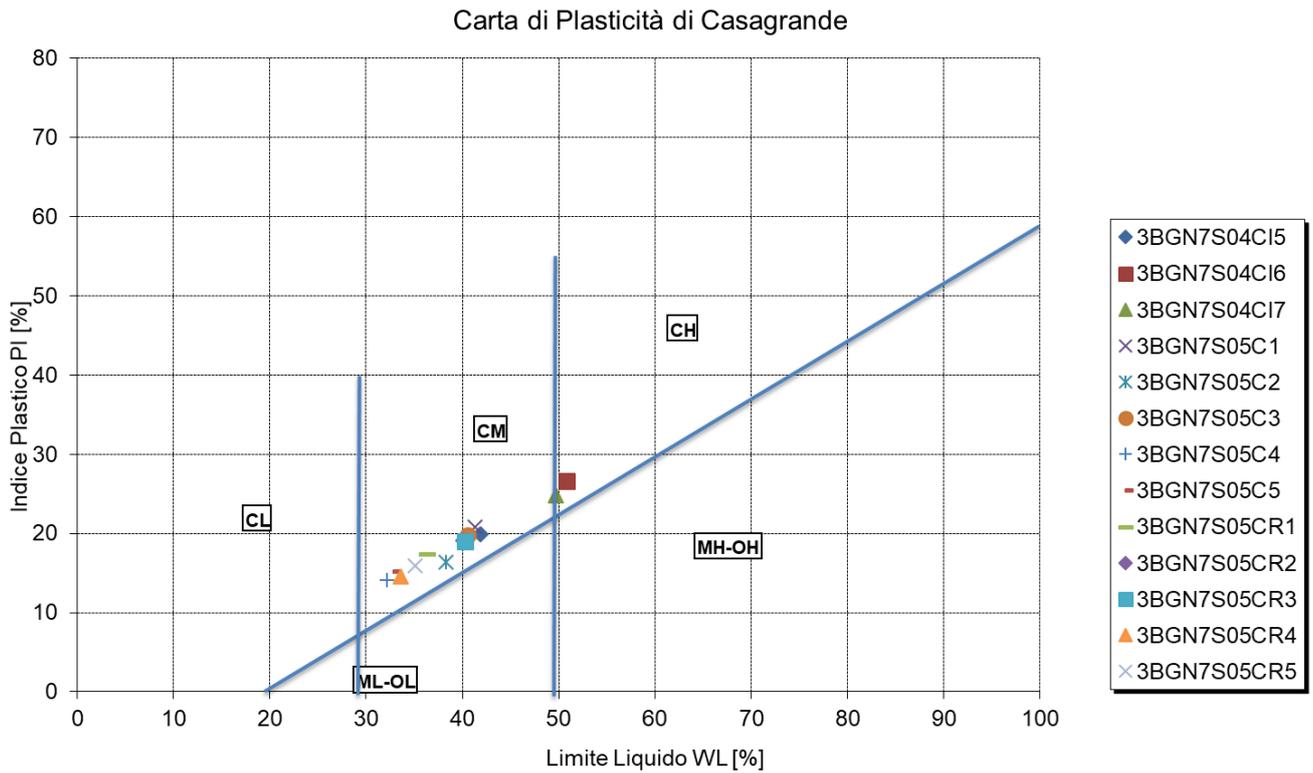


Figura 244: AV Carta di plasticità di Casagrande

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

È stata eseguita n.1 prova con il pocket su un campione del sondaggio 3BGN7S04 prelevato ad una profondità di 45.5 metri, da cui si è ottenuto un valore della resistenza al taglio non drenata di circa 300 kPa.

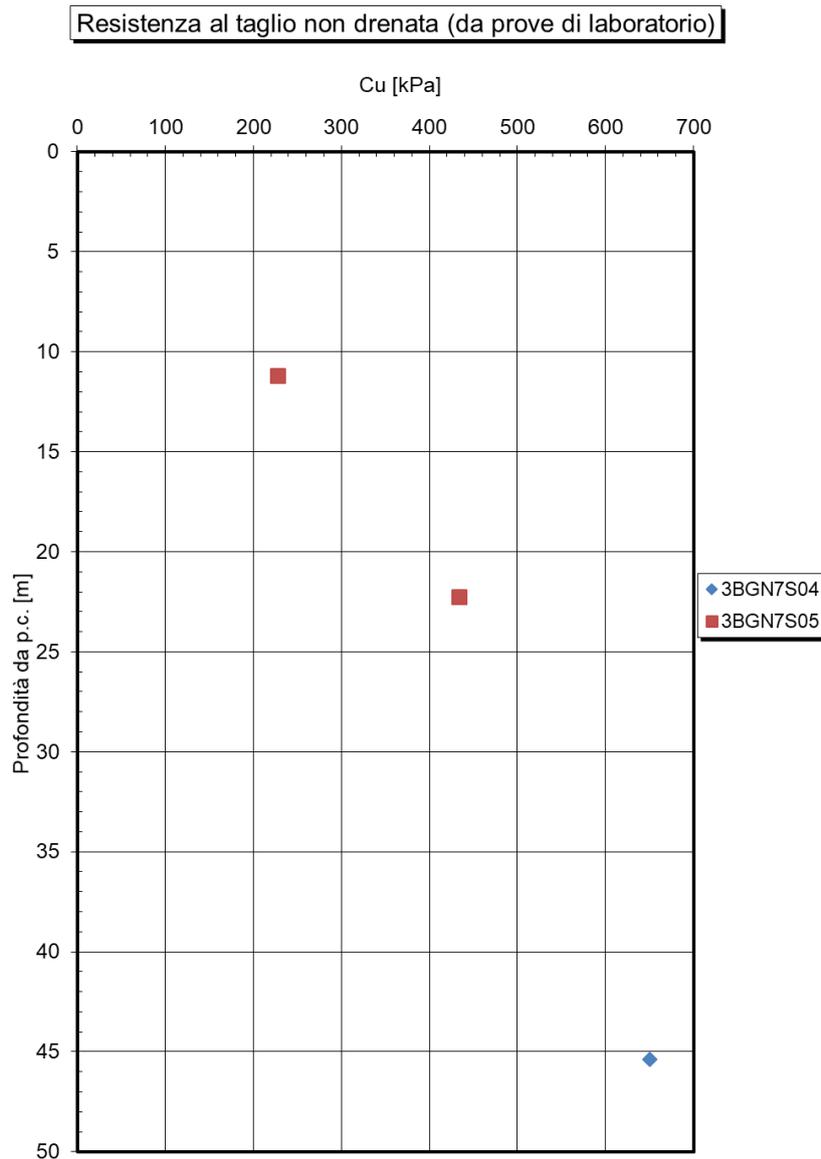


Figura 245: AV – resistenza al taglio non drenata da prove di triassiali non consolidate non drenate (TX-UU)

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	321 di 378

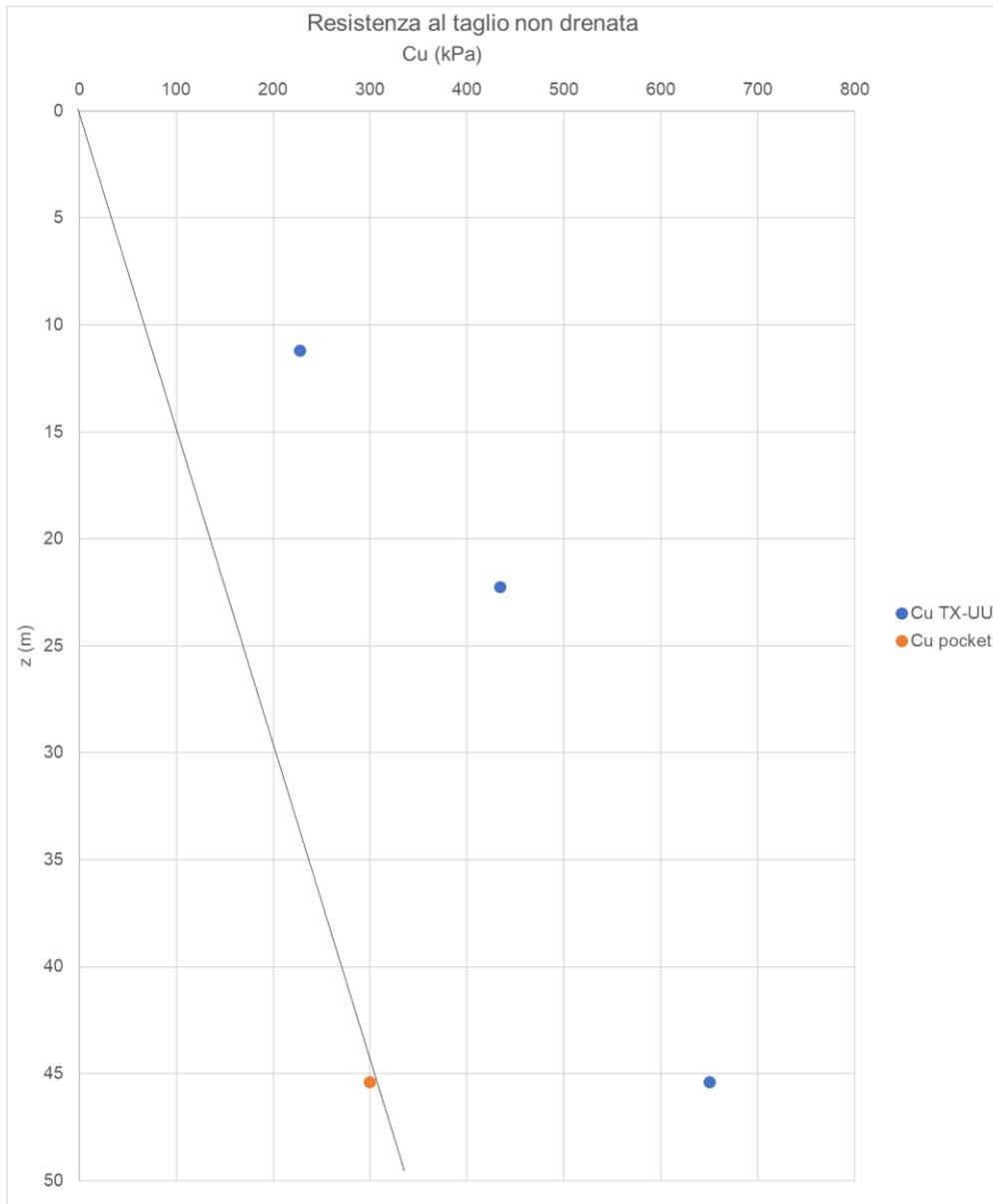


Figura 246: AV – resistenza al taglio non drenata da prove di triassiali non consolidate non drenate (TX-UU) e da pocket

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Le 2 prove triassiali consolidate non drenate eseguite sui campioni indisturbati del sondaggio 3b-GN7-S04 (CI5, CI7), prelevati alle profondità di 38,4 e 50,0 m da p.c., forniscono un involucro con valori di coesione c' pari a 23 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 21° (Figura 247).

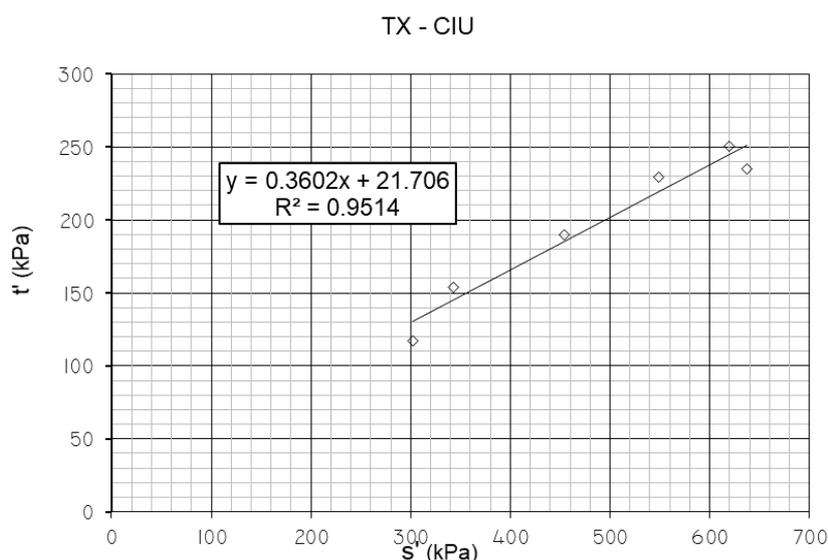


Figura 247: Galleria Xirbi – AV – involucro di resistenza delle prove triassiali

Le 6 prove di taglio diretto di picco eseguite sui campioni indisturbati dai sondaggi 3b-GN7-S05, 3S12 e VI17 forniscono un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 248) con parametri di resistenza di coesione c' pari a 37 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 24°. Le profondità di prelievo dei 6 campioni variano tra 5,1 e 32,3 m da piano campagna.

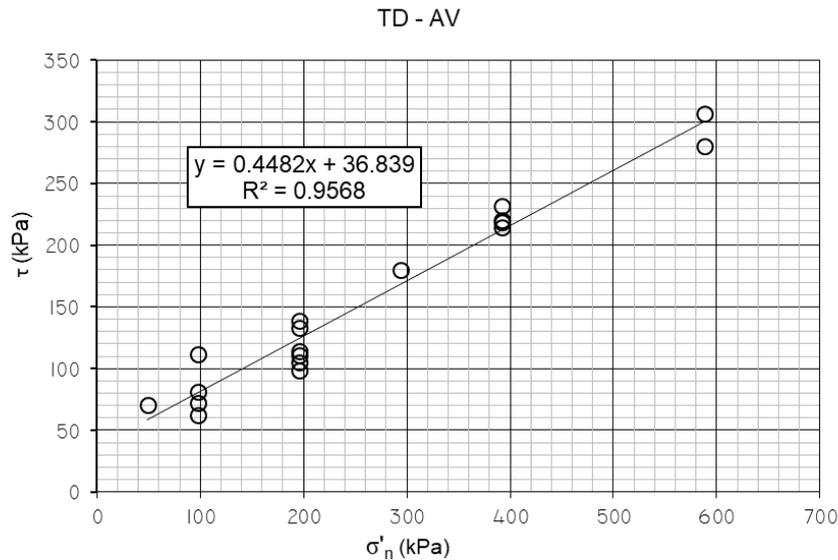


Figura 248: Galleria Xirbi – AV - Inviluppo di resistenza delle delle prove di taglio diretto di picco (TD)

Complessivamente sono state eseguite 3 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg sui campioni indisturbati del sondaggio 3a-GN7-S04 a profondità comprese tra 38,4 e 45,4 m da p.c.

L'elaborazione delle due prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori di coefficiente $k_{100 \text{ H-A}}$ riassunti nella Tabella 27.

Tabella 29 – AV - Valori di k_{100} derivante da prove Huder-Amberg

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
3a-GN7-S04	CI 5	38.4	2.8
3a-GN7-S04	CI 6	45.4	3.1
3a-GN6-S04	CI 9	44.4	5.2

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	324 di 378

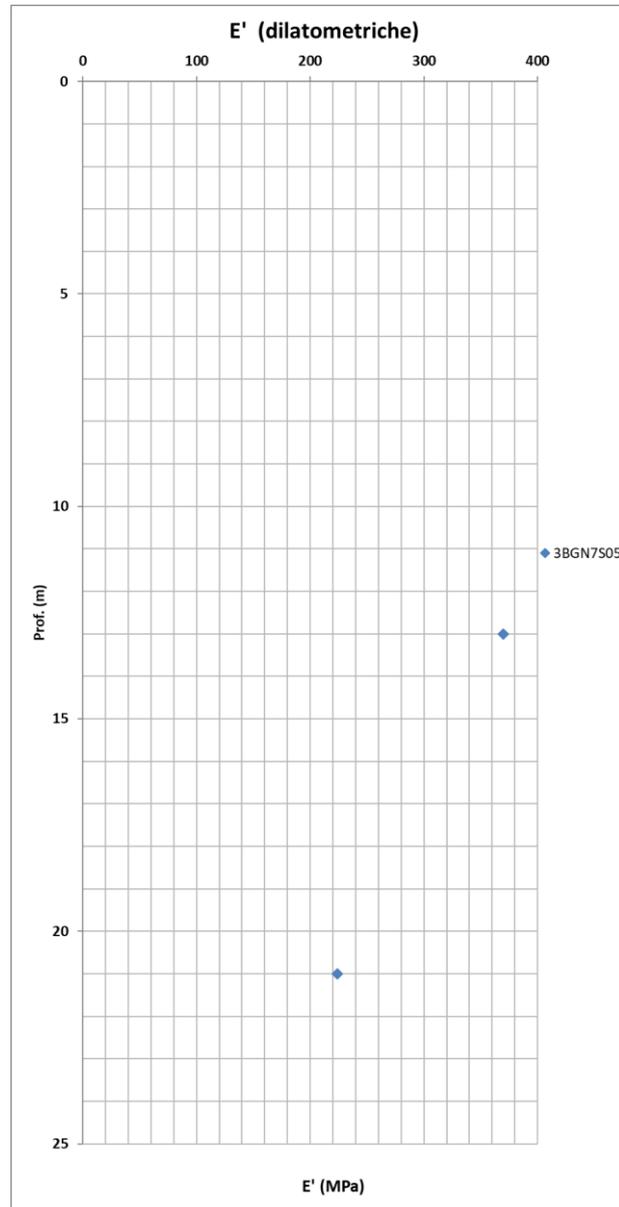


Figura 249: AV – modulo di Young da prove dilatometriche

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	325 di 378

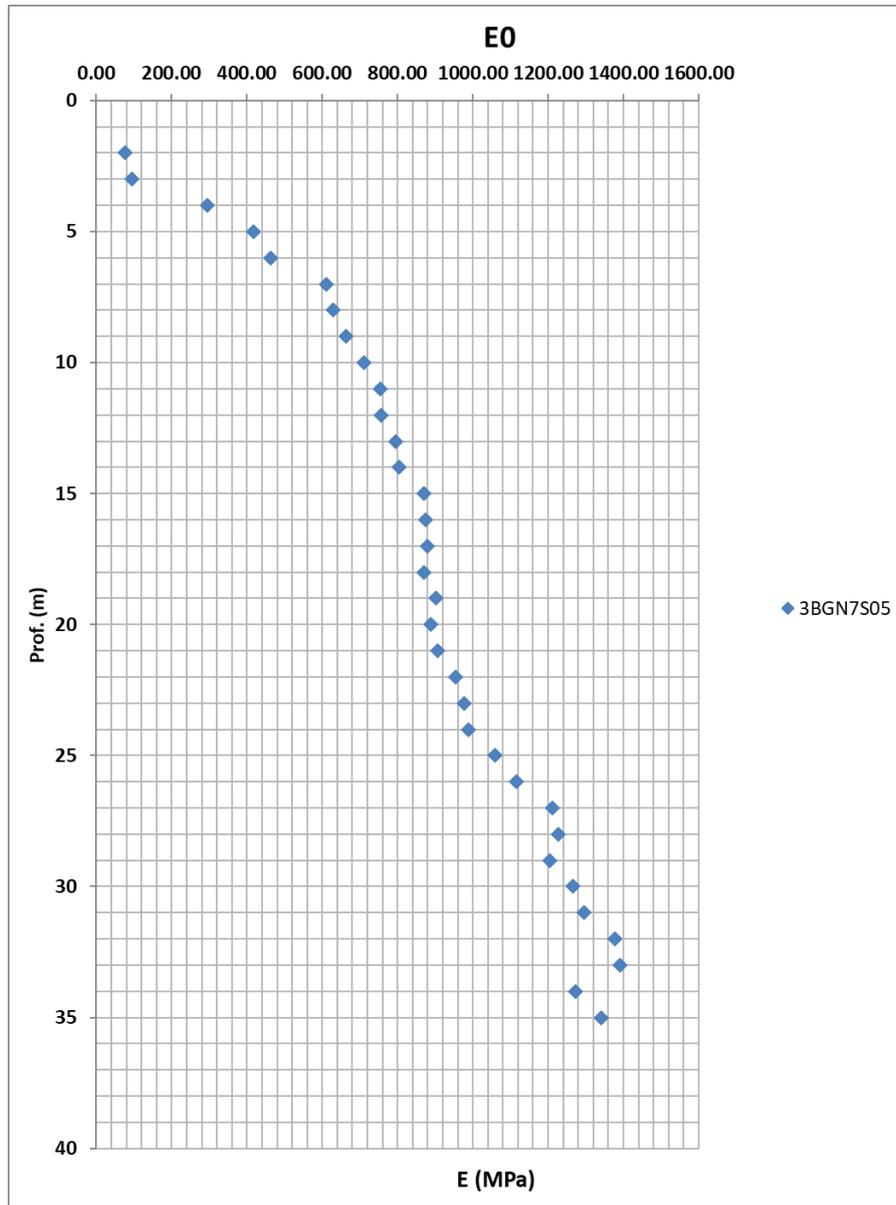


Figura 250: AV – modulo di Young da prove sismiche

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Per quanto riguarda le prove di rigonfiamento disponibili si hanno i seguenti risultati.

Campione		Rigonfiamento		
Sigla	Profondità [m]	Pressione kPa	Formazione	Prova
3B_GN07_S04 CI5	38,00 - 38,40	24,5	AV	ISP/HA
3B_GN07_S04 CI6	45,00 - 45,40	201	AV	ISP/HA

Dall'interpretazione delle prove Huder Amberg disponibili si sono quindi ottenuti i seguenti parametri k ed il relativo modulo edometrico E:

AV						
Galleria	Sondaggio	Campione	Formazione	Profondità	$k_{100\ H-A}$	E
(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(kPa)
XIRBI	3a-GN7-S04	CI 5	AV	38	2,8	23077
XIRBI	3a-GN7-S04	CI 6	AV	45	3,1	73956

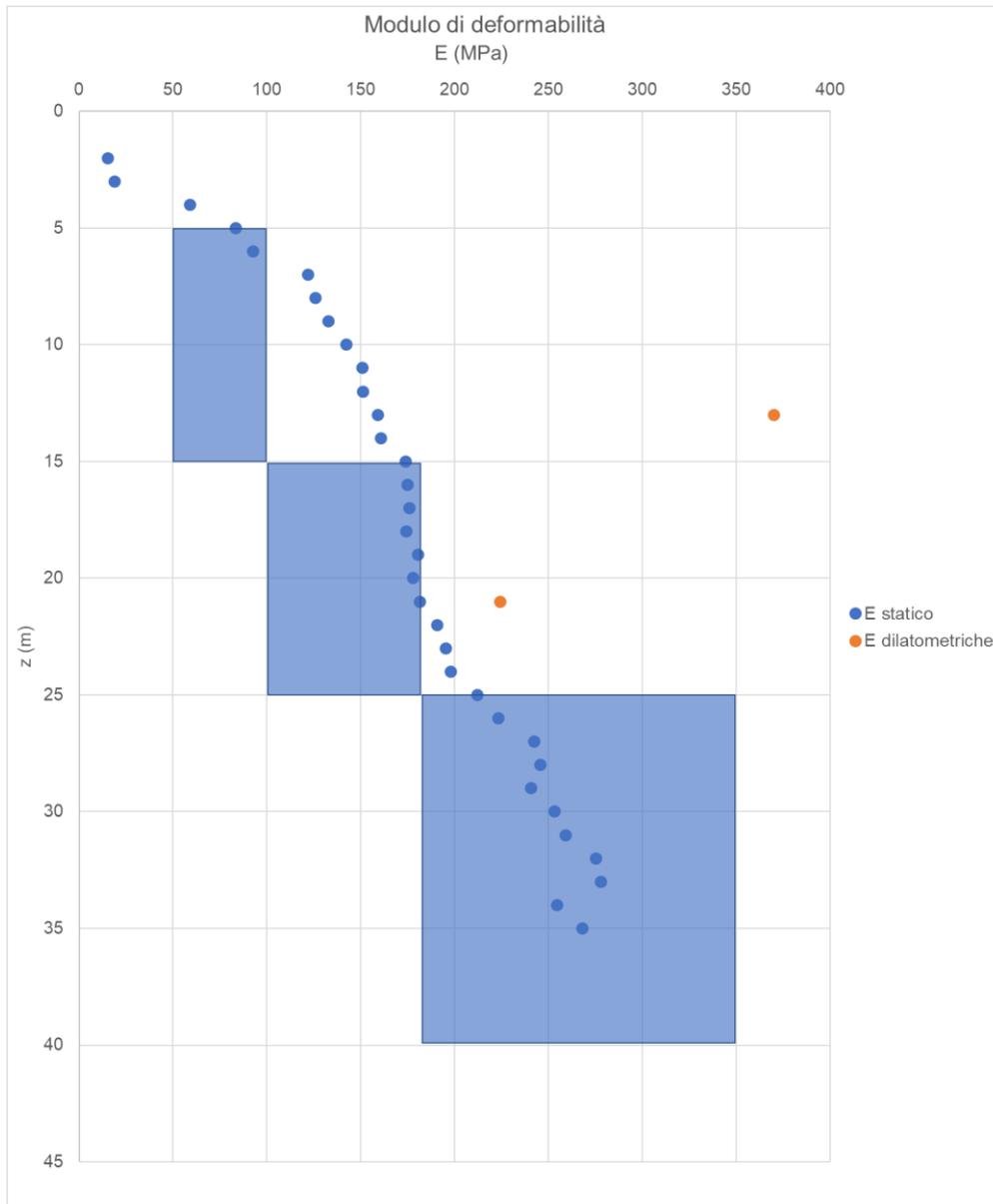


Figura 251: AV – modulo di Young da prove sismiche e dilatometriche

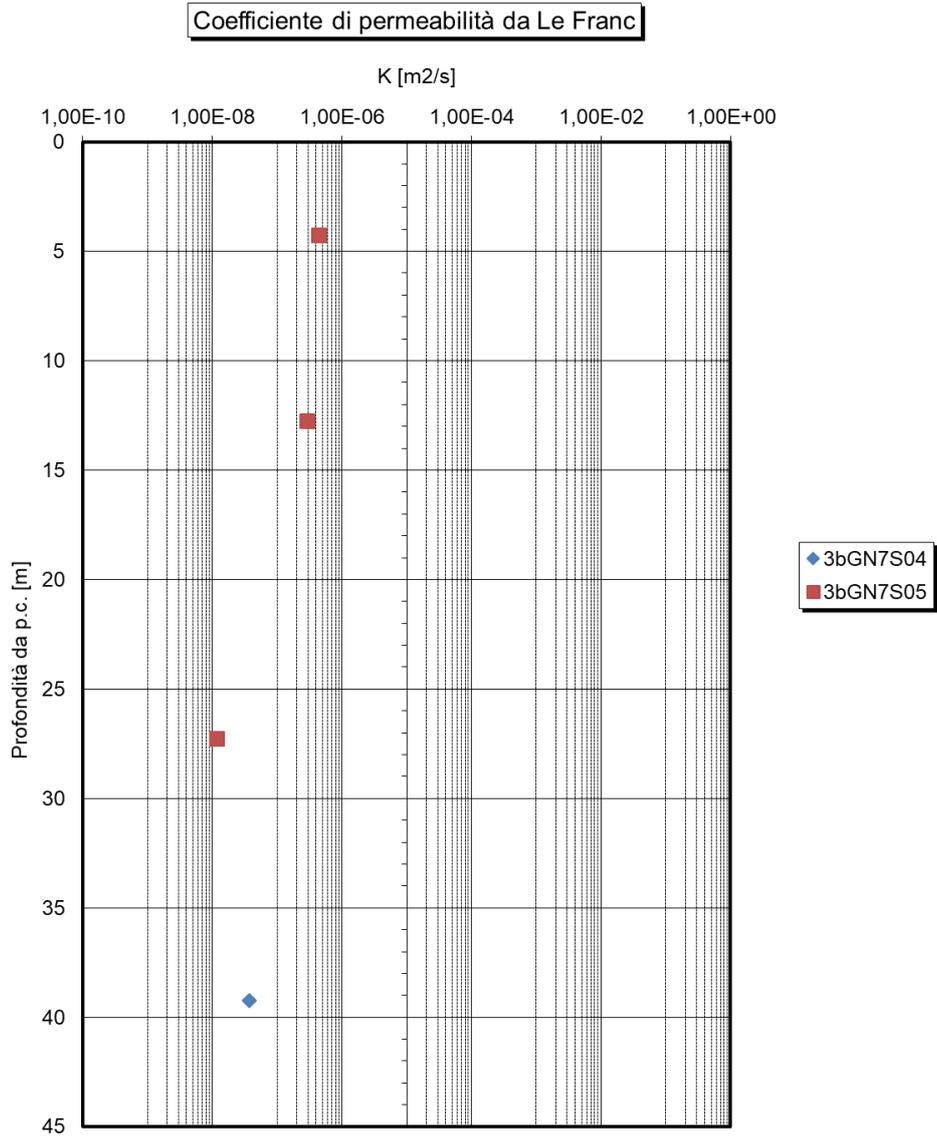


Figura 252: AV – coefficiente di permeabilità da prove in sito

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 30 – Parametri geotecnici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Xirbi - AV

COPERTURA	FORMAZIONE	Y	GSI	mi	σ_m	v	E	c'	Cu	ϕ'
		[kN/m ³]			[MPa]		[GPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
25-40	AV	21	-	-	-	0.3	0.18-0.35	20-47	198	21-24
15-25	AV	21	-	-	-	0.3	0.10-0.18	20-47	142	21-24
5-15	AV	21	-	-	-	0.3	0.05-0.10	20-47	85	21-24

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 GSI = geological strength index
 mi = costante del materiale
 σ_m = resistenza a compressione monoassiale
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 $c_{u k}$ = valore caratteristico della coesione non drenata

I parametri di resistenza sono definiti sulla base di quanto riportato nel capitolo 9.6.15, elaborando in maniera complessiva l'insieme di tutte le prove eseguite per la formazione AV per il Lotto 3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.6.15 Caratteristiche meccaniche da prove di Laboratorio AV Lotto 3

L'insieme delle prove rappresentate per le singole galleria sono state elaborate in maniera complessiva così da definire un unico involucro di resistenza per la formazione AV per il Lotto 3, per profondità fino a 50 m da piano campagna.

L'insieme delle prove di taglio diretto condotte sui campioni afferenti alla formazione AV per il Lotto 3 evidenziano un involucro di resistenza nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 253) con valori dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 39 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 22° . Le profondità di prelievo dei campioni sono variabili tra 5 e 36.3 m da piano campagna.

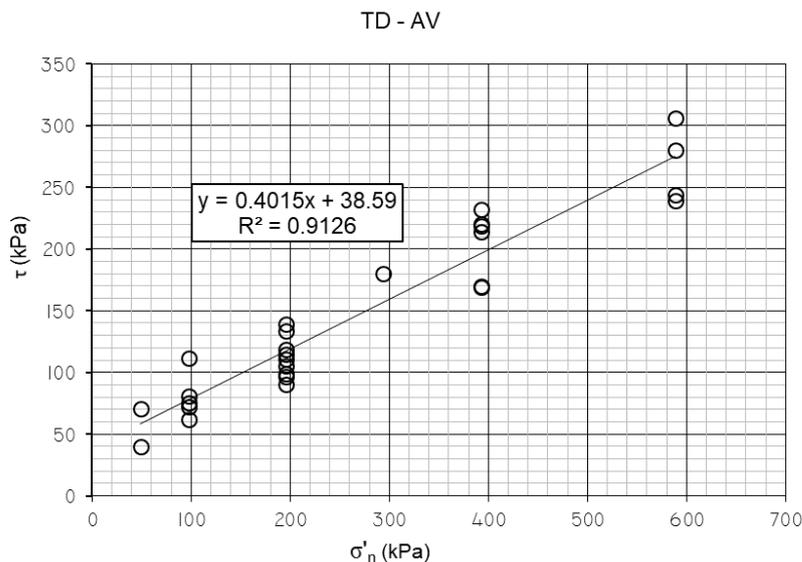


Figura 253: Lotto 3 – AV - involucro di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

risulta possibile definire un intervallo inferiore e superiore degli involucchi di resistenza (Figura 254). Nello specifico l'involucro inferiore restituisce dei parametri di resistenza con coesione c' pari a 20 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 21° , mentre quello superiore coesione c' pari a 47 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a 24° .

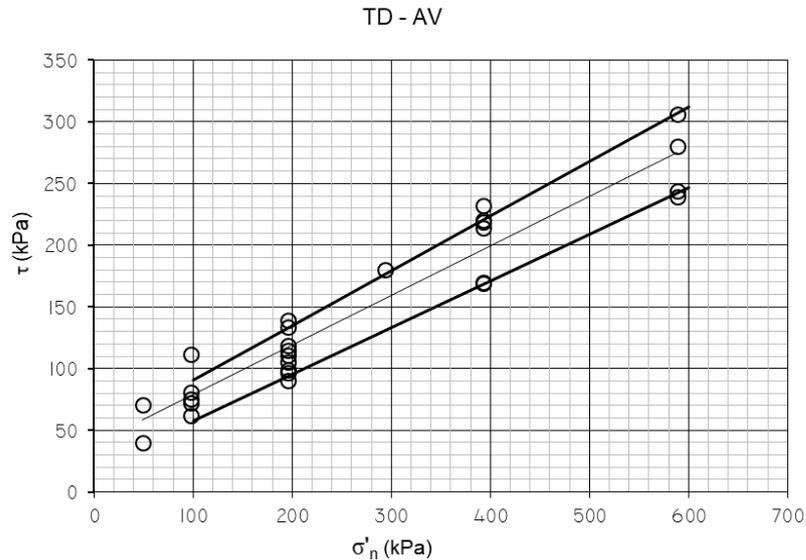


Figura 254: Lotto 3 – AV - intervallo involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

L'involuppo di resistenza, derivante dalle 3 prove triassiali non consolidate non drenate descritte in precedenza, nel piano degli invarianti t' ed s' si presenta con valori dispersi e parametri di resistenza con coesione c' pari a 30 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a 19°. Le profondità di prelievo dei 5 campioni sono variabili tra 32,3 e 50,0 m da piano campagna.

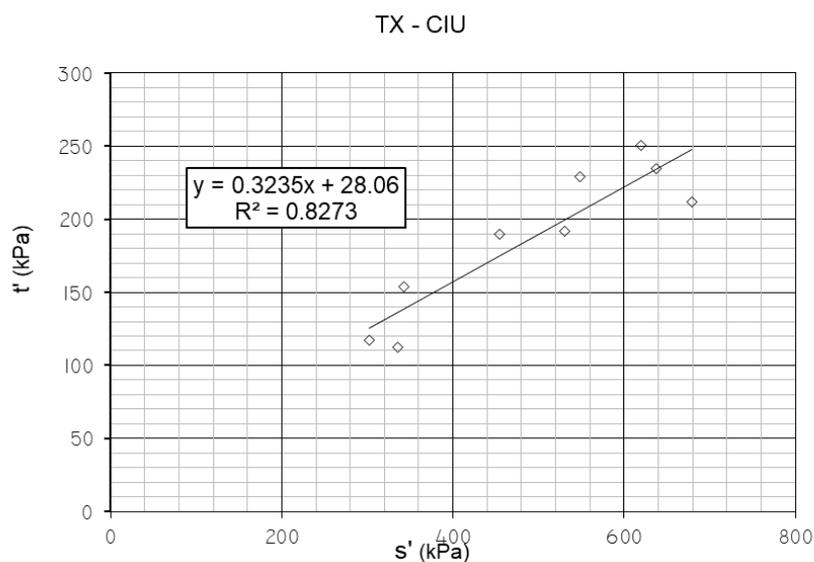


Figura 255: Lotto 3 – AV - involuppo di resistenza prove triassiali

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

9.7 Il regime idraulico

Lungo il tracciato sono stati individuati i seguenti complessi idrogeologici Rif. [16]:

Galleria Santa Catena – Imbocco lato Palermo

L'imbocco è impostato nei litotipi del complesso idrogeologico CCA, con intervallo di permeabilità media compreso tra $1E-05$ e $1E-07$. I dati piezometrici dei due sondaggi 3a-GN1-S01 e 3a-S21 collocano la superficie della falda libera a circa 3-3.8 m dal p.c.

È prevedibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si formi un livello saturo all'interfaccia coltre/substrato, anche se l'infiltrazione nel substrato prevalentemente sabbioso e quindi a permeabilità relativamente alta tende a mitigare questo effetto.

Galleria Santa Catena

Dal punto di vista idrogeologico la galleria GN01 attraversa due complessi a permeabilità differente: il complesso CCA (intervallo di riferimento tra $1E-05$ e $1E-07$) e il complesso CAM (intervallo di riferimento tra $1E-07$ e $1E-09$).

I sondaggi disponibili indicano la presenza di un carico idraulico che segue approssimativamente l'andamento della topografia, con valori massimi stimabili intorno a 100 m tra le pk 10+000 e 11+500 e tra le pk 12+750 e 13+500. Da segnalare il fatto che i carichi maggiori si hanno all'interno del complesso più permeabile.

Una criticità da rilevare è il possibile carico idraulico elevato tra le pk 10+000 e 11+500 e tra le pk 12+750 e 13+500.

Galleria Santa Catena – Imbocco lato Catania

L'imbocco è interamente impostato nel complesso idrogeologico CAM a bassa permeabilità ($1E-09 < k < 1E-07$). Il sondaggio 3a-GN1-S08 indica un carico idraulico collocato al di sotto di 15 m dal p.c. a monte dell'imbocco, con possibilità di interferenza con lo scavo soprattutto nella parte terminale, all'innesto con la galleria naturale.

Lo strato superficiale argilloso-limoso riferibile alla coltre eluvio-colluviale (complesso CAL) suscettibile di essere saturato, in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate, lungo l'interfaccia coltre/substrato, in relazione alla minore permeabilità relativa del substrato rispetto ai terreni sciolti della coltre.

Galleria Nuova Marianopoli – Imbocco lato Palermo

L'imbocco è interamente impostato nel complesso idrogeologico CAM a bassa permeabilità ($1E-09 < k < 1E-07$). Il sondaggio 3a-GN1-S08 indica un carico idraulico collocato al di sotto di 15 m dal p.c. a monte dell'imbocco, con possibilità di interferenza con lo scavo soprattutto nella parte terminale, all'innesto con la galleria naturale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Lo strato superficiale argilloso-limoso riferibile alla coltre eluvio-colluviale (complesso CAL) suscettibile di essere saturato, in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate, lungo l'interfaccia coltre/substrato, in relazione alla minore permeabilità relativa del substrato rispetto ai terreni sciolti della coltre.

Galleria Nuova Marianopoli

La galleria in esame attraversa i seguenti complessi idrogeologici delle unità del substrato:

- CAM (k variabile tra 1E-07 e 1E-09): formazione di Terravecchia;
- CCM (k variabile tra 1E-04 e 1E-06, con componente non trascurabile legata al carsismo): formazioni del Tripoli e di Cattolica (Calcere di Base);
- CGM (k variabile tra 1E-08 e 1E-07, con possibile componente legata al carsismo): formazione di Cattolica, membro selenitico e membro salino.

All'interno del complesso CAM possibili variazioni della permeabilità verso valori più elevati si possono verificare in corrispondenza di facies a componente limoso-sabbiosa non trascurabile, la cui presenza è in genere sempre possibile; tuttavia la permeabilità generalmente bassa del complesso nel suo insieme riduce la possibilità che questi orizzonti a permeabilità relativamente più elevata possano costituire degli acquiferi significativi.

A livello di rischi potenziali di natura idrogeologica, è già stato fatto cenno sia all'aggressività chimica di parte delle acque intercettate in galleria, sia alla possibile presenza di circuiti idrici sotterranei associati al microcarsismo sviluppato nei litotipi carbonatici.

L'aggressività delle acque è confermata da test eseguiti su campioni di acqua prelevati dai sondaggi 3a-GN2-S07 e 3a-GN2-S08, che attestano la presenza di un "ambiente chimico altamente aggressivo" come definito dalla norma UNI 206:2016 (certificati Sidercem CCC C/AMB-CL n. 003087 e 003088 del 25/11/19).

Per quanto riguarda il flusso idrico sotterraneo, evidenze di microcarsismo sono state osservate sia in affioramento sia in sondaggio, all'interno del Calcere di Base. Tuttavia, le problematiche legate sia al carsismo sia all'eventuale presenza di carichi idraulici elevati non possono non essere considerate in relazione alla presenza di un elemento di forte condizionamento del regime idrogeologico locale, rappresentato dalla galleria ferroviaria storica di Marianopoli, lungo cui corre la linea attuale e che si sviluppa secondo un tracciato quasi esattamente parallelo a quello di progetto e a un interasse di circa 50-70 m, che all'estremità est aumentano fino a circa 200 m.

La galleria storica svolge sicuramente una funzione drenante nei confronti di tutti gli acquiferi intercettati e questo fin dall'epoca della sua realizzazione (seconda metà dell'800). L'assetto idrogeologico attuale deve quindi essere interpretato come stabilizzato, ma al tempo stesso perturbato (rispetto alle condizioni naturali originarie) a causa del drenaggio continuo operato dalla galleria esistente. Questo aspetto costituisce un fattore di mitigazione del rischio legato alla presenza di venute d'acqua in galleria, poiché è improbabile che il tunnel in progetto intercetti delle direttrici di deflusso che non siano già state drenate dalla galleria storica.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Galleria Nuova Marianopoli – Imbocco lato Catania

La galleria artificiale è realizzata all'interno del complesso idrogeologico CGM (k variabile tra $1E-08$ e $1E-07$, con possibile componente legata al carsismo) ma a scala locale non risultano presenti livelli di gesso o salgemma, quindi i fenomeni di dissoluzione ipotizzati per la galleria naturale non sembrano qui costituire una criticità di rilievo.

Permane comunque elevata la probabilità l'eventuale falda incontrata nella parte più interna del versante sia caratterizzata da acque chimicamente aggressive come confermato dai test chimici eseguiti nei sondaggi 3a-GN2-S07 e S08.

Il livello della superficie piezometrica si colloca in base ai dati dei sondaggi tra 10 e 20 m dal p.c.

Data la permeabilità relativamente bassa del substrato è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa generare una falda temporanea che satura l'interfaccia tra il substrato e la coltre detritico-colluviale (complesso idrogeologico CAL).

Presenza di acque potenzialmente aggressive verso il calcestruzzo in relazione alla presenza di gesso nei sedimenti.

Galleria Trabona – Imbocco lato Palermo

La galleria artificiale è realizzata all'interno del complesso idrogeologico CGM (k variabile tra $1E-08$ e $1E-07$, con possibile componente legata al carsismo). In corrispondenza dell'imbocco non sembrano esservi corpi di dimensioni significative di gesso o salgemma. Esiste tuttavia la possibilità che siano incontrate acque chimicamente aggressive, poiché i sedimenti della formazione di Pasquasia contengono una rilevante frazione di gesso detritico.

Il livello della superficie piezometrica è stimato intorno a 10-11 m dal p.c.

Data la permeabilità relativamente bassa del substrato è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa generare una falda temporanea che satura l'interfaccia tra il substrato e la coltre detritico-colluviale (complesso idrogeologico CAL).

Una probabile criticità è data dalla presenza di acque aggressive verso il calcestruzzo in relazione alla presenza di gesso nei sedimenti.

Galleria Trabona

Le due gallerie, naturale e artificiale, sono scavate, in ordine di pk crescenti, all'interno dei complessi del substrato CGM ($1E-08 < k < 1E-07$), CAM ($1E-07 < k < 1E-05$) e CCA ($1E-07 < k < 1E-05$). Le problematiche idrogeologiche variano a seconda del complesso attraversato e saranno legate, in particolare, alla probabile presenza di acque chimicamente aggressive nel complesso CGM e a permeabilità relativamente elevate nel complesso CCA.

Non si ritengono probabili fenomeni di carsismo diffuso nonostante la presenza di corpi allungati e masse a prevalente composizione gessosa, poiché queste masse risultano annegate in un complesso a

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

dominante composizione argillosa, poco permeabile, per cui non è ipotizzabile l'instaurarsi di estesi circuiti idrici di tipo carsico; gli stessi fenomeni di dissoluzione potenzialmente attivi nei corpi gessosi sono probabilmente circoscritti a scala molto locale.

All'interno dei litotipi sabbiosi del complesso CCA sono ipotizzabili permeabilità relativamente elevate, come già detto, tuttavia non si prospettano criticità particolari tenuto conto del fatto che il carico idraulico definito in base alle misurazioni fatte in sondaggio si mantiene relativamente basso rispetto alla quota del p.f. (dell'ordine dei 20 m in base al foro 3a-GN3-S03), pur seguendo l'andamento della superficie topografica. Nelle zone in cui il carico idraulico è potenzialmente più elevato (complessi CGM e CAM) esso è associato a permeabilità basse, per cui non sono ipotizzabili venute d'acqua significative in galleria.

Una relativa maggiore quantità di acqua potrebbe essere registrata in corrispondenza della zona di sovrascorrimento che mette a contatto i complessi CGM e CAM, che si presume possa collocarsi intorno alla pk 36+135. Venute d'acqua puntuali o diffuse potrebbero registrarsi per una decina di metri da ogni lato della zona di deformazione, tuttavia si osserva che questo presunto sovrascorrimento mette a contatto due complessi a dominante componente argillosa, per cui l'incremento di permeabilità nella fascia di deformazione potrebbe non essere così significativo.

Data la permeabilità relativamente bassa del substrato è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa generare una falda temporanea che satura l'interfaccia tra il substrato e la coltre detritico-colluviale (complesso idrogeologico CAL), in particolare dove prevalgono i litotipi argillosi (formazioni GPQ e TRVb).

Una potenziale criticità è data dalla presenza di acque chimicamente aggressive nella formazione di Pasquasia.

Galleria Trabona – Imbocco lato Catania e Galleria Salito 1 – Imbocco lato Palermo

L'asse vallivo è caratterizzato dalla presenza di una falda libera molto prossima alla superficie, come indicato sia dal sondaggio 3a-GN4-S01 (la cella Casagrande installata indica una superficie piezometrica a meno di 1 m dal p.c.) sia dalla presenza di diverse aree di evidente ristagno idrico, a monte del tracciato di progetto.

Galleria Salito 1

Le uniche informazioni disponibili riguardanti la posizione della superficie piezometrica sono relative ai sondaggi 3a-GN4-S01 e 3a-S56 e S56bis (realizzati verso l'imbocco lato CT). Correlando questi dati con il livello di base imposto dal corso del F. Salito (quota 280 m ca.) è possibile ipotizzare una superficie piezometrica in costante abbassamento da ovest verso est. Un probabile brusco abbassamento si verifica in corrispondenza della zona di faglia principale, che costituisce verosimilmente un corridoio di deflusso sotterraneo a permeabilità più elevata. È presumibile che la galleria si trovi al di sopra della zona satura a partire all'incirca dalla pk 37+320.

In relazione alla presenza locale di una frazione gessosa nelle sabbie dell'unità GPQa sarebbe in teoria ipotizzabile un rischio correlato alla presenza di acque chimicamente aggressive. Tuttavia, in considerazione del fatto che nel tratto in cui la galleria attraversa la formazione GPQb essa si trova

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

sopra falda, nonché del fatto che la presenza di elementi gessosi nelle sabbie è solo occasionale, questo rischio è da considerare molto basso.

Galleria Salito 1 – Imbocco lato Catania

In base ai dati disponibili l'imbocco si colloca sopra falda. Si evidenziano fenomeni di ruscellamento superficiale lungo il versante.

Galleria Salito 2 – Imbocco lato Palermo

In base ai dati disponibili la galleria GA12 è posizionata sopra falda.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso idrogeologico CAM con k compresa tra $1E-07$ e $1E-09$) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato.

Galleria Salito 2

La galleria attraversa il complesso idrogeologico CAM a permeabilità medio-bassa ($1E-09 < k < 1E-07$). Le informazioni relative ai sondaggi 3a-GN5-S01 e 3b-S01 (localizzato a est dell'imbocco lato CT) indicano la presenza di un carico idraulico la cui superficie segue approssimativamente l'andamento della topografia, con un valore massimo stimato in 15 m ca. dal piano del ferro.

Non si evidenziano problematiche idrogeologiche di rilievo. La zona di faglia incontrata alla pk 38+240 ca. potrebbe costituire un canale a permeabilità relativamente più elevata ma l'alimentazione dall'acquifero circostante rimane molto ridotta, data la sua natura argillosa, quindi non si prevedono apporti idrici consistenti in galleria, in corrispondenza della faglia.

Galleria Salito 2 – Imbocco lato Catania

Non si evidenziano problematiche idrogeologiche di rilievo. In base ai dati di sondaggio la galleria artificiale dovrebbe mantenersi sopra falda.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso idrogeologico CAM con k compresa tra $1E-07$ e $1E-09$) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato.

Galleria Masareddu – Imbocco lato Palermo

Si riscontrano ristagni di acqua localizzati all'interno dei corpi in frana cartografati nei dintorni dell'imbocco; tali ristagni favoriscono la lenta evoluzione per colamento del materiale sciolto che costituisce i corpi di accumulo. La nicchia della frana attiva che interseca il tracciato rappresenta inoltre una zona di infiltrazione preferenziale delle acque di ruscellamento superficiale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	337 di 378

Per quanto riguarda l'idrogeologia del substrato argilloso poco permeabile (complesso idrogeologico CAM) non si riscontrano criticità di rilievo; il livello della superficie piezometrica dovrebbe mantenersi in questo segmento al di sotto della quota del tracciato.

Galleria Masareddu

I dati relativi ai carichi idraulici misurati nelle celle installate nei diversi sondaggi disponibili sono ad oggi piuttosto contrastanti. In linea generale essi suggeriscono un carico idraulico il cui andamento segue quello della superficie topografica. Il complesso idrogeologico CAM in cui si sviluppa la galleria è caratterizzato da permeabilità medio-basse e i valori di k misurati in sondaggio arrivano molto spesso fino a $1E-09$, indicando in sostanza un mezzo pressoché impermeabile. In questo contesto, picchi di carico locali misurati da alcune celle (come nel sondaggio 3b-GN5-S02, che riporta una superficie piezometrica a -5 m dal p.c.) non sono probabilmente interpretabili come espressione di una falda vera e propria, ma solo di un carico locale legato a orizzonti anche saturi, ma non produttivi.

Come modello di riferimento, e in base ai dati ad oggi disponibili, si ritiene quindi più probabile un carico idraulico complessivo che arrivi fino 20-25 m al di sopra della galleria.

Galleria Masareddu – Imbocco lato Catania

In base alla ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica, nel tratto in esame il tracciato della linea si colloca al di sopra della quota della falda, che è in equilibrio con il corso d'acqua principale (soggiacenza a -4 m dal p.c. nel foro 3b-S11 realizzato nel fondovalle del T. Taurino).

Galleria Xirbi – Imbocco lato Palermo

In base alla ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica, nel tratto in esame il tracciato della linea si colloca al di sopra della quota della falda.

Tuttavia, condizioni di drenaggio difficoltoso e/o rallentato sono probabili all'interno del corpo di frana complessa, in stato quiescente, che si trova in asse al tracciato.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso CAM, k compresa tra $1E-07$ e $1E-09$) è inoltre probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato, anche al di fuori della zona in frana.

Galleria Xirbi

I litotipi attraversati dalla galleria sono riferibili ai complessi idrogeologici CAM (unità TRV, FYN4 e AV; $1E-09 < k < 1E-07$) e CCA (unità TRVa; $1E-07 < k < 1E-05$). In base ai dati dei sondaggi disponibili si ritiene che gran parte del tracciato sia caratterizzata da un carico idraulico che si mantiene prossimo a quota tunne. Si prevede che il carico possa risalire fino a 25-30 m sopra alla quota del p.f. tra le pk 45+300 e 45+800.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 338 di 378

Galleria Xirbi – Imbocco lato Catania

In base ai dati disponibili l'area di imbocco si colloca sopra falda.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso CAM, k compresa tra 1E-07 e 1E-09) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato.

Per il dettaglio delle quote dei livelli piezometrici lungo le galleria si rimanda all'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [17]).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

10. FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [19]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [19]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensionali sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 340 di 378

Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

10.2 Determinazione delle categorie di comportamento

Per la determinazione delle categorie di comportamento sono stati utilizzati due metodi di analisi:

- per le tratte ad alta copertura è stato utilizzato il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento); tale metodo consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi. Nella fase di diagnosi, poiché la finalità è la valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso in assenza di interventi di stabilizzazione, le analisi consistono nella valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) senza considerare l'interazione con i sostegni.
- Per le tratte a bassa copertura sono stati utilizzati i metodi di analisi della stabilità del fronte all'equilibrio limite.

10.3 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, esaminati in modo critico tenendo conto dell'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza), delle condizioni idrauliche al contorno, di eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e di possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, è stato possibile concludere che:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	341 di 378

- per la Galleria Santa Catena si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione TRV/TRVa, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (Instabile);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Santa Catena” (Rif. [17]).

- per la Galleria Nuova Marianopoli si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione TRV, da pk km 28+120 a pk km 32+200, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);
 - si prevede una categoria di comportamento di tipo C prevalente (instabile), per le tratte di scavo che interessano la formazione TPL, da pk km 32+200 a pk km 32+820;
 - nel tratto interessato dalla formazione GTL1, da pk km 32+820 a pk km 34+280, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria B prevalente (stabile a breve termine);
 - si prevede una categoria di comportamento di tipo B prevalente (stabile a breve termine), per le tratte di scavo che interessano la formazione GTL2, da pk km 34+280 a pk km 34+540;
 - si prevede una categoria di comportamento di tipo C prevalente (instabile), per le tratte di scavo che interessano la formazione GTL3, da pk km 34+540 a pk km 34+670;

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Nuova Marianopoli” (Rif. [17]).

- per la Galleria Trabona si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione GPQ, da pk km 35+337 a pk km 36+130, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);
 - si prevede una categoria di comportamento di tipo C prevalente (Instabile), per le tratte di scavo che interessano la formazione TRVb, da pk km 36+130 a pk km 36+760;
 - nel tratto interessato dalla formazione TRV(a), da pk km 36+760 a pk km 36+974.70, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (stabile a breve termine);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Trabona” (Rif. [17]).

- per la Galleria Salito 1 si prevede:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	342 di 378

- nel tratto interessato dalla formazione TRV, da pk km 37+110.40 a pk km 37+370, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);
- si prevede una categoria di comportamento di tipo C prevalente (Instabile), per le tratte di scavo che interessano la formazione GPQ, da pk km 37+370 a pk km 37+385.32;

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Salito 1” (Rif. [17]).

- per la Galleria Salito 2 si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione FYN4, da pk km 38+227.50 a pk km 39+059.70, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Salito 2” (Rif. [17]).

- per la Galleria Masareddu si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione FYN4, da pk km 42+578.50 a pk km 43+420, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);
 - nel tratto interessato dalla formazione AV, da pk km 43+420 a pk km 43+799.20, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Masareddu” (Rif. [17]).

- per la Galleria Xirbi si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione TRV, da pk km 44+303.50 a pk km 44+900, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);
 - nel tratto interessato dalla formazione FYN4, da pk km 44+900 a pk km 45+810, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);
 - nel tratto interessato dalla formazione AV, da pk km 45+810 a pk km 46+329.10, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Galleria Xirbi” (Rif. [17]).

- per la Finestra della Galleria Trabona si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione GPQ, da pk km 00+050 a pk km 00+530, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 343 di 378

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Finestra Galleria Trabona” (Rif. [17]).

- per la Finestra della Galleria Masareddu si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione FYN4, da pk km 00+030 a pk km 00+520, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Finestra Galleria Masareddu” (Rif. [17]).

- per la Finestra della Galleria Xirbi si prevede:
 - nel tratto interessato dalla formazione FYN4, da pk km 00+080 a pk km 00+850, è atteso un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C prevalente (Instabile);

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel “Profilo geotecnico – Finestra Galleria Xirbi” (Rif. [17]).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

11. FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono, quindi, descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive; i dettagli delle sezioni di scavo e consolidamento sono illustrati nei pertinenti elaborati progettuali.

11.1 Definizione del metodo di scavo

La scelta dei metodi di scavo ritenuti più idonei per la realizzazione delle gallerie naturali presenti nella Tratta Lercara - Caltanissetta Xirbi deriva dall'analisi del tracciato plano-altimetrico, dall'inquadramento geologico-idrogeologico, dalla previsione della risposta deformativa allo scavo (determinazione della categoria di comportamento), dall'estensione e dalla configurazione delle gallerie (singolo binario, oppure, singolo binario con cunicolo parallelo carrabile).

In particolare, per le Gallerie Santa Catena e Nuova Marianopoli (configurazione a doppia canna), si prevede il ricorso allo scavo meccanizzato, ad eccezione di una tratta della Galleria Nuova Marianopoli lato Catania, interessata dallo scavo di litologie in cui si ha la possibile presenza di cavità, ovvero dove lo scavo avviene all'interno del GPQ e GTL (Gruppo delle Formazioni gessoso solfifere).

Per le restanti gallerie di linea (Salito 1 e 2, Masareddu e Xirbi), tutte a singolo binario e di sviluppo inferiore a 2000m, è previsto lo scavo con metodo tradizionale.

11.2 Metodo di scavo tradizionale

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione delle sezioni tipo definite, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece al Profilo geotecnico di ciascuna galleria (Rif. [17]). Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle sezioni tipo applicate sia in galleria di linea che all'interno delle finestre.

Tabella 31 – Sezioni tipo Gallerie di linea

Sezione Tipo	Area di scavo	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
A1	64.11	-	-	-	2+2 tubi microfessurati in PVC

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	345 di 378

Sezione Tipo	Area di scavo	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
					L=30m sovrapposizione 10m
A2	64.11	-	-	n°10/11±20% bulloni φ24 (o tipo swellex) ad ancoraggio continuo disposti in raggiere alternate, lunghezza 4.5 m, interasse=1.2m	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
B1	71.91	8.50	30±20% elementi strutturali in VTR, L=13.50m sovrapposizione 5m, cementati con miscele cementizie	21 tubi in acciaio φ127mm sp.10mm L=12m, sovrapposizione 3.5m, valvolati (1vlv/m) passo 0.40m	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 13m
B2	67.81	10.00	30±20% elementi strutturali in VTR, L=17m sovrapposizione 7m, cementati con miscele cementizie	-	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
C2	71.96	10.00	35±20% elementi strutturali in VTR, L=18m sovrapposizione 8m, cementati con miscele cementizie	43±20% elementi strutturali in VTR, L=15m, sovrapposizione 5m, passo 0.50m, cementati con miscele cementizie	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
C2v	74.91	8.50	35±20% elementi strutturali in	43±20% elementi strutturali in	2+2 tubi microfessurati in PVC

Sezione Tipo	Area di scavo	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
			VTR, L=20m sovrapposizione 11.50m, cementati con miscele cementizie	VTR, L=17m, sovrapposizione 8.50m, passo 0.50m, cementati con miscele espansive + 23 tubi in acciaio cementati ϕ 127mm sp.10mm L=14m, sovrapposizione 5.5m, passo 0.40m	L=30m sovrapposizione 13m
C2p	79.98	10.00	40 \pm 20% elementi strutturali in VTR, L=20m sovrapposizione 10m, cementati con miscele cementizie	43 \pm 20% elementi strutturali in VTR, L=20m, sovrapposizione 10.00m, passo 0.50m, cementati con miscele cementizie	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m

Tabella 32 – Rivestimenti provvisori e definitivi per le sezioni tipo adottate Gallerie di linea

Sezione Tipo	Rivestimento provvisorio				Rivestimento definitivo
	Spritz fibrorinforzato al contorno	Spritz fibrorinforzato al fronte (fine campo)	Centine	Bulloni radiali	Spessori
[-]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[m]
A1	15	-	2IPN 140/1.20m \pm 20%	-	arco rovescio e murette= 0.70m; calotta= 0.60m;
A2	15	-	2IPN 140/1.20m \pm 20%	n°10/11 \pm 20% bulloni ϕ 24 (o tipo)	arco rovescio e murette=

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	347 di 378

				swellex) ad ancoraggio continuo disposti in raggiera alternate, lunghezza 4.5 m, interasse=1.2m	0.70m; calotta=0.60m;
B1	20	15	2IPN 160/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette=0.80m; calotta=0.50±1.15m;
B2	20	15	2IPN 160/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette=0.80m; calotta=0.70m;
C2	25	15	2IPN 180/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette=0.90m; calotta=0.80m;
C2i	25	15	2IPN 180/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette=0.90m; calotta=0.55±1.30m;
C2p	30	15	HEB 240/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette=1.00m; calotta=0.90m;

Tabella 33 – Sezioni tipo Uscite/Accessi delle Gallerie di linea

Sezione Tipo	Area di scavo [m ²]	Lunghezza campo [m]	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte [-]	interventi al contorno [-]	drenaggi [-]
F-B1	20	8.50	12±20% elementi strutturali in VTR, L=13.50m sovrapposizione 5m, cementati con miscele cementizie	15 tubi in acciaio ϕ 127mm sp.10mm L=12m, sovrapposizione 3.5m, valvolati (1vlv/m) passo	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 13m

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	348 di 378

Sezione Tipo	Area di scavo	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
				0.40m	
F-B2	22	10.00	12±20% elementi strutturali in VTR, L=17m sovrapposizione 7m, cementati con miscele cementizie	-	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
F-C2	22	10.00	19±20% elementi strutturali in VTR, L=18m sovrapposizione 8m, cementati con miscele cementizie	29±20% elementi strutturali in VTR, L=15m, sovrapposizione 5m, passo 0.50m, cementati con miscele cementizie	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m
F-C2v	22	8.50	19±20% elementi strutturali in VTR, L=20m sovrapposizione 11.50m, cementati con miscele cementizie	29±20% elementi strutturali in VTR, L=17m, sovrapposizione 8.50m, passo 0.50m, cementati con miscele espansive+ 15 tubi in acciaio cementati φ127mm sp.10mm L=14m, sovrapposizione 5.5m, passo 0.40m	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 13m
F-C2p	22	10.00	19±20% elementi strutturali in VTR, L=20m sovrapposizione 10m, cementati con miscele	29±20% elementi strutturali in VTR, L=20m, sovrapposizione 10.00m, passo 0.50m,	2+2 tubi microfessurati in PVC L=30m sovrapposizione 10m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Sezione Tipo	Area di scavo	Lunghezza campo	Interventi di precontenimento e presostegno		
			interventi al fronte	interventi al contorno	drenaggi
[-]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]
			cementizie	cementati con miscele cementizie	

Tabella 34 – Rivestimenti provvisori e definitivi per le sezioni tipo adottate per le Uscite/Accessi delle Gallerie di Linea

Sezione Tipo	Rivestimento provvisorio				Rivestimento definitivo
	Spritz fibrorinforzato al contorno	Spritz fibrorinforzato al fronte (fine campo)	Centine	Bulloni radiali	Spessori
[-]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[m]
F-B1	20	15	2IPN 160/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette= 0.60m; calotta= 0.40÷1.10m;
F-B2	20	15	2IPN 160/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette= 0.60m; calotta= 0.50;
F-C2	25	15	2IPN 180/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette= 0.70m; calotta= 0.60m;
F-C2i	25	15	2IPN 180/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette= 0.60m; calotta= 0.40÷1.15m;
F-C2p	25	15	HEB 180/1.00m ±20%	-	arco rovescio e murette= 0.70m; calotta= 0.60m;

11.3 Metodo di scavo meccanizzato

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Per la Galleria Santa Catena e parte della Galleria Nuova Marianopoli sono state valutate diverse tipologie di Tunnel Boring Machine (TBM), individuando quella ritenuta più valida in base alle risultanze delle fasi conoscitiva e di diagnosi.

Scelta della tipologia di TBM

La scelta della tipologia di TBM si è orientata sull'impiego di TBM-EPB (Earth Balance Pressure) che, esercitando una pressione attiva sul fronte, è utilizzabile anche in caso di comportamento del fronte di scavo instabile. Tale tipologia di macchina consente, quindi, il superamento di condizioni complesse dal punto di vista geologico e geotecnico (zone di faglia, tratte a bassa copertura, presenza di carichi idraulici), limitando sensibilmente i risentimenti indotti al contorno dell'opera in sotterraneo.

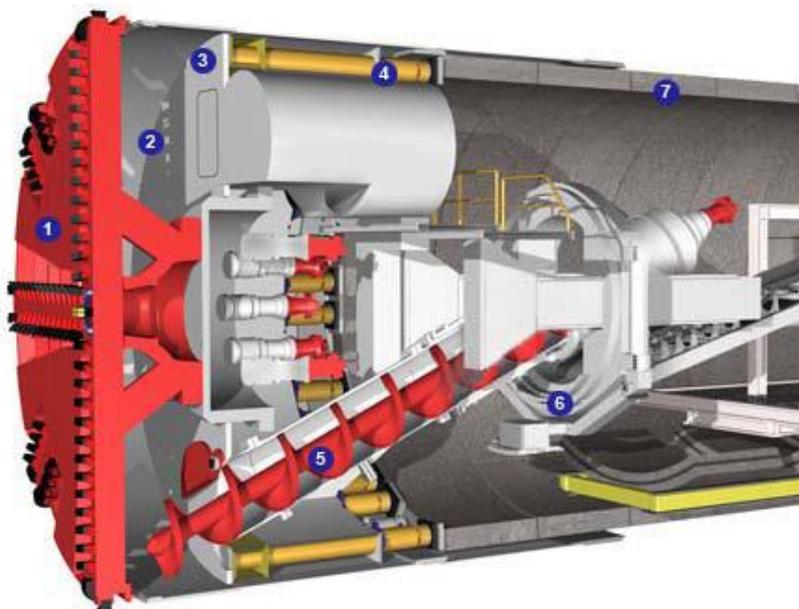


Figura 256 - Schema di una macchina TBM, tipo EPB (1. Testa Fresante; 2. Camera di scavo; 3. Parete di contenimento dotata di sistema d'accesso (camera iperbarica) alla camera di scavo; 4. Pistoni di avanzamento; 5. Coclea; 6. Erettore dei concii; 7. Anelli di sostegno già posti in opera)

Per le Gallerie Santa Catena e Nuova Marianopoli le condizioni più critiche di avanzamento sono rappresentate:

- dalle tratte iniziali a bassa copertura;
- dalle tratte con alte coperture (> 250 m) nella formazione di Terravecchia (TRV);
- dalle tratte di attraversamento di zone fratturate e tettonizzate;
- dalle tratte di attraversamento in presenza di carichi idraulici elevati.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 351 di 378

L'attraversamento di tali zone è gestito con la possibilità di avanzare con il fronte in pressione, oltre alla progettazione di una TBM con adeguate caratteristiche, quali ad esempio:

- realizzazione di uno scudo e testa fresante di robusta costruzione, per sopportare i carichi radiali dell'ammasso;
- possibilità di realizzare uno scudo con geometria tronco-conica o scalettata e lunghezza più ridotta possibile (compatibilmente con le dimensioni degli organi interni della macchina), per ridurre l'attrito con il terreno;
- possibilità di incrementare il diametro di scavo con un sovrascavo superiore a quello standard, per ottenere un vuoto anulare intorno allo scudo in modo da permettere all'ammasso roccioso una certa deformazione di convergenza, evitando il rischio dell'intrappolamento e riducendo i carichi di ammasso agenti sul rivestimento in conci prefabbricati;
- possibilità di lubrificare la superficie esterna dello scudo per ridurre l'attrito tra mantello e terreno, mediante l'iniezione di liquidi lubrificanti (bentonite o polimeri) attraverso un numero adeguato di fori predisposti nel mantello.

Oltre quanto appena descritto, la TBM dovrà essere progettata in modo tale da poter eseguire eventuali drenaggi in avanzamento ed indagini in avanzamento per l'identificazione delle strutture tettoniche.

Infine, considerato il fatto che lo scavo meccanizzato è realizzato all'interno di formazioni che potrebbero presentare manifestazioni gassose, la macchina deve essere adeguatamente attrezzata ed equipaggiata in tal senso; per dettagli in merito agli apprestamenti previsti a riguardo si rimanda al Piano di Sicurezza e Coordinamento di progetto.

Sezione di avanzamento

La sezione tipo di avanzamento in scavo meccanizzato fa riferimento ad una configurazione standard per comportamenti d'ammasso tipo prevalente C (ovvero instabile).

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche (per la Galleria Santa Catena):

- raggio interno: 4.00 m
- diametro scavo: 4.65-4.70 m (in testa)
- macchina scudata dotata di conicità radiale centimetrica (differenza di raggio fra testa e coda)
- sovrascavo massimo 10cm
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 45 cm

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 352 di 378

- lunghezza conci: 1.5 m
- guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali).

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche:

- raggio interno: 4m (con spessore anello 0.45m Santa Catena), 4.05m (spessore anello 0.45m Nuova Marianopoli, 0.5m Nuova Marianopoli)
- diametro scavo: 4.65m (Santa Catena) 4,70 m (Nuova marianopoli)
- macchina scudata dotata di conicità radiale centimetrica (differenza di raggio fra testa e coda)
- sovrascavo permanente max 50 mm (raggio) tramite gauge cutters
- sovrascavo eccezionale in testa (tramite copy cutter): 5-10cm (per coperture superiori ai 100 m)
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 45 e 50 cm
- lunghezza conci: 1,5m
- guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali)

Si è scelto di adottare un anello di tipo universale, che consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali necessarie correzioni in corso d'opera, senza ricorrere ad elementi speciali.

Per una rappresentazione completa della sezione in scavo meccanizzato e del rivestimento in conci prefabbricati si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto.

Modalità di avanzamento

Si prevede una modalità chiusa di avanzamento per tutta la galleria Santa Catena e Nuova Marianopoli, con range di pressioni fino a 5 bar con il valore massimo alle massime coperture e/o in presenza di battente idraulico massimo pari a 50m che si realizza in presenza della facies più permeabili che in questo caso è rappresentata prevalentemente dalla facies denominata TRVa.

Per il dettaglio delle modalità di avanzamento previste lungo il tracciato si rimanda all'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [17]).

Di seguito si riporta, per ciascuna formazione, il range dei valori di pressione derivanti dalle verifiche di stabilità del fronte condotte.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Tabella 35 - Avanzamento in modalità chiusa - Valori della contropressione al fronte

Formazione	P_{min} [bar]	P_{max} [bar]
TRV	0	5
TRVa	3	5

Tali valori risultano compatibili con quelli garantiti dalla tipologia di TBM prevista in progetto.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	354 di 378

Drenaggio della falda in avanzamento dalla TBM

L'intervento in avanzamento, previsto essenzialmente per la galleria Santa Catena è costituito da 4-10 drenaggi da 30m di lunghezza e inclinati di 12.5° rispetto all'asse della TBM. Verranno realizzati dallo scudo della TBM in anticipo rispetto alla fascia più permeabile (TRVa) laddove caratterizzata da battenti idraulici elevati (maggiori di 50m).

L'obiettivo è di ridurre la pressione idrostatica in avanzamento da un valore di circa 8-9 bar ad un valore minore o uguale a 5 bar che risulta essere la massima pressione che la TBM è in grado di esercitare al fronte.

Non si esclude che tale intervento possa essere applicabile nelle altre gallerie eseguite con scavo meccanizzato in fasce che dovessero rivelarsi relativamente più permeabili con elevati battenti idraulici.

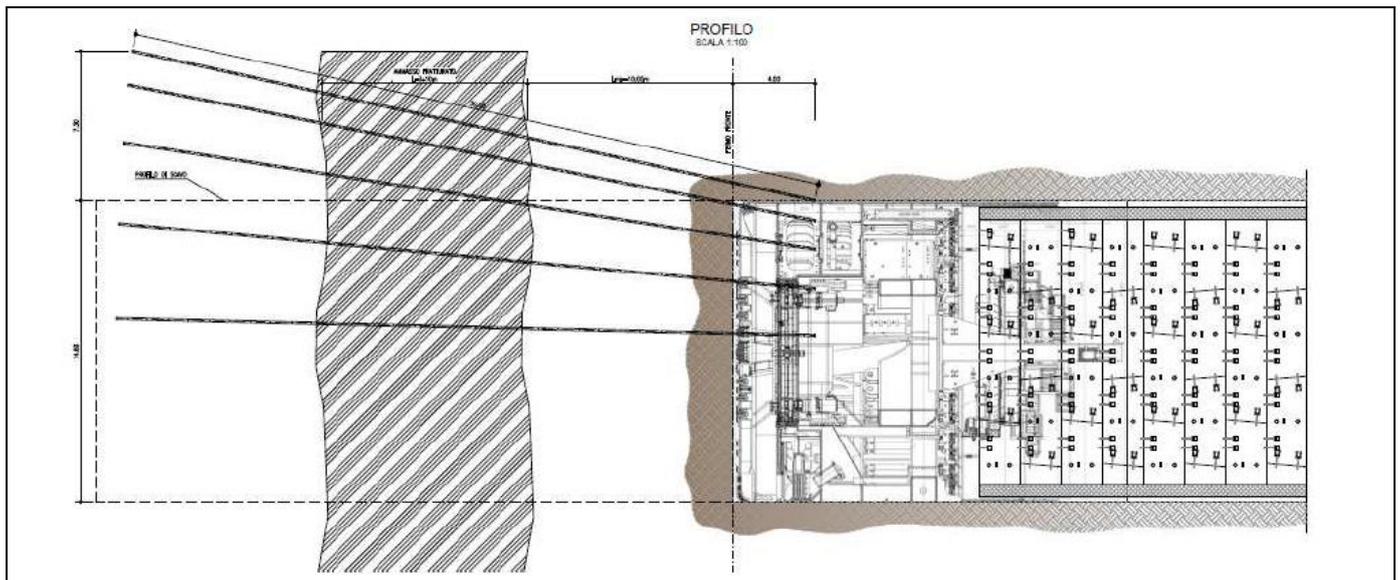


Figura 257 – Tipologia drenaggi in avanzamento dallo scudo TBM

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

11.4 Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio in fase di esercizio

Il sistema di smaltimento acque prevede la separazione tra le eventuali acque provenienti dall'ammasso e quelle provenienti dalla piattaforma ferroviaria.

11.4.1 Smaltimento acque di infiltrazione in fase di esercizio

Nei tratti scavati in tradizionale, tra il rivestimento provvisorio e quello definitivo, è prevista la posa in opera del manto impermeabile, costituito da un telo in PVC su supporto di tessuto non tessuto. Le eventuali acque intercettate dall'impermeabilizzazione verranno smaltite da tubazioni microfessurate ubicate al piede del manto in PVC, protette dal tessuto non tessuto che, a loro volta, saranno collegate con tubazioni trasversali in PVC ai collettori posti a quota inferiore collocati, rispettivamente, nello stradello di servizio e nel solettone di riempimento in arco rovescio, in prossimità della canaletta di raccolta acque di piattaforma (Figura 258).

Nei tratti scavati in meccanizzato, nei quali il rivestimento è costituito da anelli in conci prefabbricati direttamente montati dalla TBM scudata, l'impermeabilizzazione della galleria è assicurata tramite guarnizioni di tenuta idraulica posti sull'intero perimetro di ciascun concio che costituisce l'anello (Figura 259 (a)). Tuttavia, qualora si manifestassero condizioni di carico idraulico non sostenibili dal rivestimento prefabbricato, si renderà necessario ricorrere all'impiego di sistemi di captazione delle acque operando un drenaggio del terreno attraverso fori predisposti nel rivestimento prefabbricato (Figura 259 (b)), che raccolgono l'acqua e la convogliano (analogamente a quanto previsto nelle sezioni in scavo tradizionale) con tubi laterali ai collettori, rispettivamente, nello stradello di servizio e nel solettone di riempimento in arco rovescio, in prossimità della canaletta di raccolta acque di piattaforma. Ad interasse di 50m, sono previsti pozzetti ispezionabili per consentire la manutenzione dei collettori.

Lo smaltimento dell'acqua di infiltrazione avviene per gravità in tutte le gallerie presenti lungo la tratta.

11.4.2 Smaltimento acque di piattaforma in fase di esercizio

Per il recapito delle acque di piattaforma, è prevista la posa in opera nel solettone di riempimento in arco rovescio di una canaletta centrale di raccolta acque (ispezionabile lungo tutto il suo sviluppo) posta nel riempimento in arco rovescio, sia nel caso di scavo tradizionale che nel caso di scavo meccanizzato. Analogamente al sistema di raccolta delle acque di ammasso, lo smaltimento avviene per gravità.

Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

11.5 Rischi potenziali

Sono di seguito descritte le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie, e le conseguenti azioni di mitigazione previste in progetto. La mappatura dei diversi rischi è illustrata nell'elaborato "Profilo geotecnico" di ogni singola galleria (Rif. [17]). Oltre alle criticità di seguito riportate, che riguardano l'intero Lotto, si rimanda alla Relazione geotecnica e di calcolo di ciascuna galleria, in cui sono descritte le criticità.

11.5.1 Instabilità del fronte e del cavo

Potenziali rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare la realizzazione delle gallerie lungo l'intero sviluppo, in misura ampiamente minore nell'unità del Membro del Calcere di Base (GTL1) della Formazione di Cattolica.

Nelle tratte realizzate con metodo di scavo tradizionale, l'avanzamento avverrà con l'esecuzione di interventi di preconsolidamento al fronte e al contorno in grado di controllare lo sviluppo dei fenomeni deformativi indotti dallo scavo e prevenire lo sviluppo di eventuali meccanismi di collasso.

Per le tratte realizzate con scavo meccanizzato mediante TBM-EPB, i fenomeni di instabilità del fronte e del cavo sono limitati dal contrasto esercitato dalla pressione attiva in camera di scavo e dalla immediata messa in opera dell'anello di rivestimento definitivo in conci prefabbricati.

Per l'attraversamento di zone tettonizzate e intensamente fratturate, nel caso di scavo tradizionale è prevista l'adozione di avanzamenti con sfondi di lunghezza limitata, preceduti da interventi di consolidamento al fronte e/o al contorno, in relazione al grado di tettonizzazione ed all'entità dei fenomeni deformativi attesi.

Per le gallerie realizzate con scavo meccanizzato, invece, potrà essere messo a punto un opportuno sistema di indagini in avanzamento, per valutare le condizioni geotecniche del fronte di scavo, in grado di prevedere in anticipo la presenza di tali fasce tettonizzate. La TBM dovrà, pertanto, essere predisposta in modo da permettere tali attività.

11.5.2 Eterogeneità litologica e presenza di blocchi lapidei

Le formazioni appartenenti al Gruppo della Gessoso-Solfifera sono caratterizzate da una notevole variabilità litologica, legata alle caratteristiche dell'ambiente di sedimentazione. Si hanno quindi formazioni in cui si alternano a scala da metrica a pluridecmetrica litotipi molto diversi tra loro per composizione, granulometria, e parametri geotecnici: argille, brecce a matrice argillosa, siltiti, calcari, marne, gessi, livelli salini e sequenze fittamente stratificate di litofacies diverse.

In alcuni casi (ad es. nella formazione di Pasquasia) si possono trovare blocchi e masse da decametriche a plurietometriche, generalmente stratiformi, a comportamento litoide (es. gessareniti, gessi) in un mezzo a componente argillosa dominante.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

L'attraversamento di queste formazioni è previsto con metodo di scavo tradizionale, pertanto, l'eterogeneità dei litotipi incontrati e l'eventuale presenza di blocchi o intercalazioni potranno essere gestite in fase di scavo grazie alla flessibilità del sistema di avanzamento che può essere rapidamente adattato alle puntuali variazioni delle condizioni del fronte.

11.5.3 Fenomeni deformativi

In base ai dati bibliografici, nel gruppo della Gessoso-Solfifera possono essere presenti, associati ai gessi, livelli di anidriti (CaSO_4 anidro) che potrebbero determinare fenomeni di rigonfiamento (*swelling*) al contorno dello scavo, causati dalla loro progressiva idratazione a contatto con l'aria e con acque sotterranee, qualora venissero intercettate dalle gallerie. La presenza di anidriti non è tuttavia stata confermata dai sondaggi realizzati, per cui si ritiene che tale rischio, se non trascurabile, sia comunque basso.

La litofacies argillosa a struttura brecciata, TRVb, della Formazione Terravecchia e la formazione delle Argille Variegate (AV), a struttura scagliosa, possono dare luogo, in particolari condizioni, a lievi fenomeni di rigonfiamento del materiale.

L'attraversamento di queste formazioni avverrà con metodo di scavo tradizionale, tenendo conto del fenomeno nel dimensionamento dei rivestimenti definitivi ed adottando anche opportune geometrie delle carpenterie, caratterizzate, ad esempio, da raggi di curvatura opportunamente studiati per contrastare i fenomeni di rigonfiamento.

Fenomeni di elevate convergenze sono probabili, in particolare, nelle tratte di attraversamento del membro pelitico-argilloso TRV della Formazione di Terravecchia sotto alte coperture.

L'attraversamento del membro TRV ad alte coperture avverrà con metodo di scavo meccanizzato. Lo sviluppo di grandi deformazioni conseguente al rilascio tensionale dovuto allo scavo può comportare elevati carichi radiali dell'ammasso sullo scudo, fino ad arrivare, nei casi più gravi, all'effettivo blocco della macchina di scavo scudata con conseguente intrappolamento della stessa. Per evitare questa criticità in fase di avanzamento dello scavo, si elencano nel seguito una serie di accorgimenti tecnici che dovranno essere presi in considerazione nel progetto della macchina di scavo:

- utilizzare scudi metallici fortemente tronconici e caratterizzati da un rapporto fra la lunghezza dello scudo ed il diametro di scavo possibilmente non superiore ad 1;
- incrementare il diametro di scavo della macchina mediante un sovrascavo allo scopo di aumentare il "gap" radiale fra scudo metallico e profilo di scavo;
- dimensionare opportunamente il sistema di spinta ed avanzamento della macchina; tale sistema di spinta dovrà essere dimensionato per garantire, oltre alla spinta necessaria all'avanzamento ed alla penetrazione al fronte di scavo, il superamento dell'attrito provocato dall'eventuale carico radiale dell'ammasso sullo scudo;
- prevedere la possibilità di iniettare bentonite od iniezioni poliuretatiche da appositi fori presenti entro lo scudo per ridurre l'attrito fra lo scudo e l'ammasso roccioso.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

11.5.4 Venute d'acqua in galleria e carichi idraulici elevati

La facies sabbioso-conglomeratica della Formazione Terravecchia è caratterizzata da permeabilità medio-alta ($1E-07 \text{ m/s} < k < 1E-05 \text{ m/s}$) In funzione del carico idraulico locale, definito attraverso le misure piezometriche, in questa formazione si possono intercettare, in galleria, venute d'acqua non trascurabili.

Per consentire l'avanzamento in sicurezza, nelle gallerie realizzate con metodo tradizionale, le sezioni tipo di scavo e consolidamento prevedono l'esecuzione di drenaggi in avanzamento.

Per lo scavo meccanizzato, dovrà essere garantita la corretta gestione della procedura d'avanzamento, con particolare riferimento al mantenimento in camera di scavo della corretta pressione al fronte secondo i valori di progetto, e al corretto intasamento a tergo dei conci di rivestimento definitivo, per riempire il gap anulare tra il profilo di scavo e l'estradosso del rivestimento ed impedire l'ingresso di acqua. Inoltre, le guarnizioni di tenuta idraulica montate tra i conci prefabbricati garantiscono l'impermeabilizzazione full-round della galleria ed il mantenimento delle condizioni idrauliche ante-operam. Qualora, in fase di scavo, il rischio di venute d'acqua in galleria dovesse rivelarsi maggiore del previsto, oppure, in presenza di elevati carichi idraulici (si veda paragrafo 11.3), si potrà procedere alla eventuale realizzazione di drenaggi dallo scudo della TBM per il controllo delle pressioni idrauliche in avanzamento (si veda paragrafo 12.2).

In fase di esercizio, il rivestimento definitivo in conci prefabbricati è dimensionato in considerazione dell'entità del carico idraulico. Tuttavia, qualora si manifestassero condizioni di carico idraulico eccezionali, ad esempio, nella tratta ad alta copertura (tra 400m e 500m) della Galleria Nuova Marianopoli, non sostenibili dal rivestimento prefabbricato, si renderà necessario ricorrere all'impiego di sistemi di captazione delle acque operando un drenaggio del terreno attraverso fori predisposti nel rivestimento prefabbricato (Figura 259), che raccolgono l'acqua e la convogliano in due tubi collocati nel riempimento in arco rovescio, separatamente dal recapito delle acque di piattaforma convogliate nella canaletta centrale di raccolta acque. In queste tratte, in fase di avanzamento della TBM, il riempimento del gap tra anello e ammasso roccioso verrà effettuato con materiale drenante.

11.5.5 Interferenza con movimenti franosi

La Tratta Lercara – Caltanissetta Xirbi è interessata in più punti da movimenti franosi. Le frane in questione in alcuni casi sono sottoattraversate, con coperture variabili, dalle gallerie, mentre, in altri casi, interferiscono con le opere di imbocco. Le tipologie di dissesto presenti sono principalmente fenomeni superficiali di colamento lento e movimenti complessi; il primo è un fenomeno superficiale a lenta evoluzione, caratterizzato da basse velocità di spostamento, che coinvolge la coltre detritica superficiale e localmente la parte alterata del substrato; il secondo è una combinazione di due o più tipi di movimento, generalmente scivolamenti rotazionali che evolvono in colamenti lenti o veloci. Entrambi le tipologie di frane sono caratterizzate da spessori modesti, compresi tra 2 e 6 metri. Per ulteriori dettagli sull'assetto geomorfologico si rimanda al paragrafo 9.3. Si precisa che, in corrispondenza dei dissesti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

interferenti con le opere in progetto, sono state previste indagini geotecniche e monitoraggio tuttora in corso.

Gli imbocchi interessati dai dissesti sono riportati nella tabella che segue e le planimetrie con le opere di imbocco nella configurazione provvisoria.

Galleria	Lato imbocco
GN6_Masareddu	PA
GN4_Salito 1	PA
GN7_Xirbi	PA

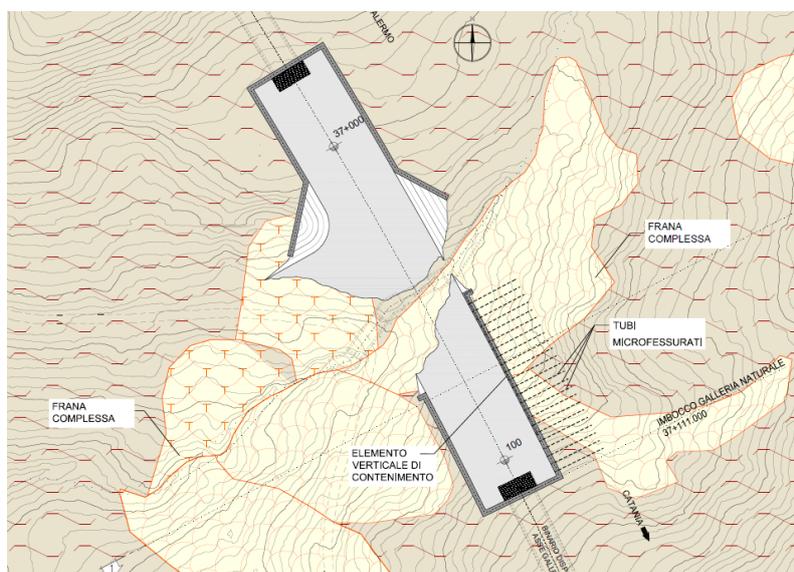


Figura 260 - Fase provvisoria - Opere di imbocco galleria Salito 1 lato Palermo

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	361 di 378

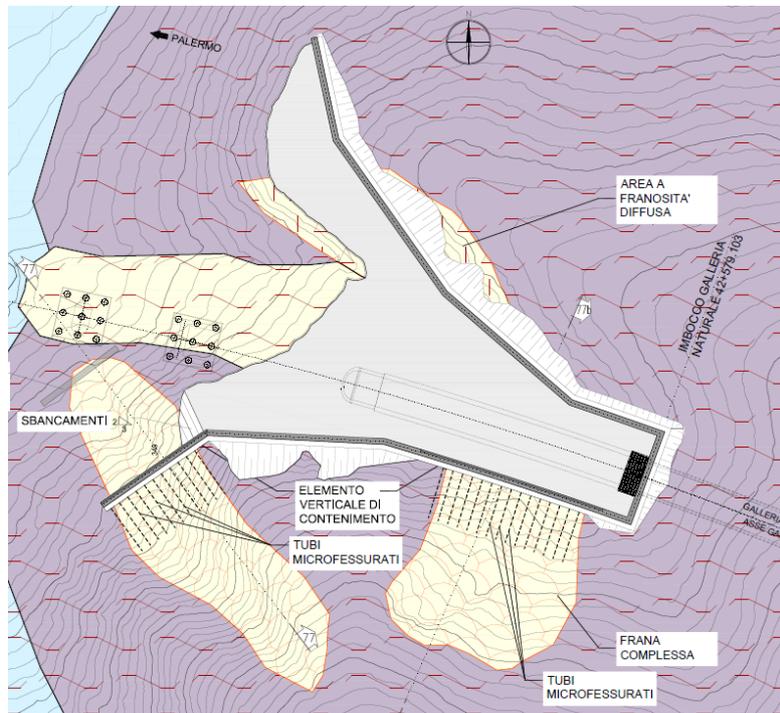


Figura 261 – Fase provvisoria - Opere di imbocco galleria Masareddu lato Palermo

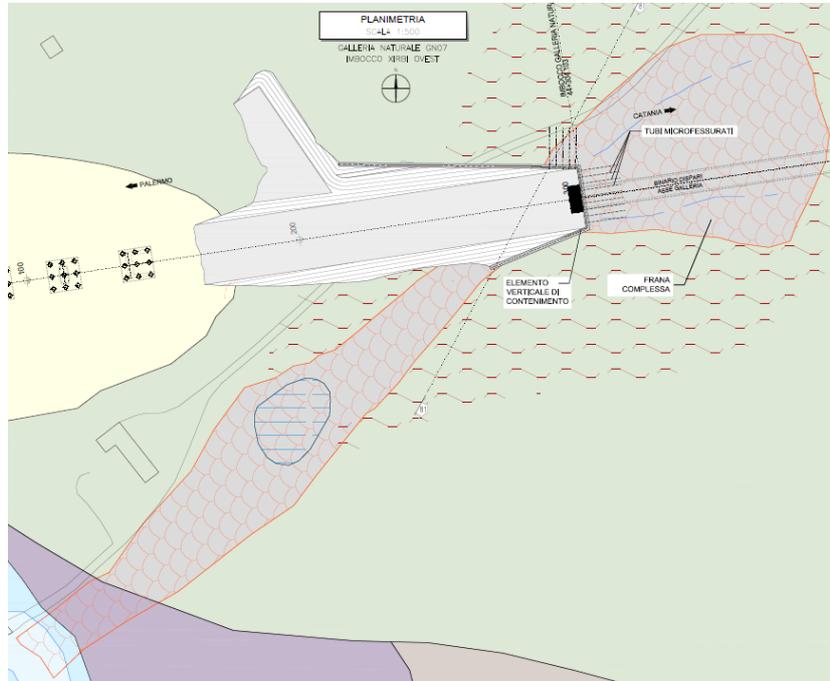


Figura 262 - Fase provvisoria - Opere di imbocco galleria Xirbi lato Palermo

Le opere di sostegno dei suddetti imbocchi sono state dimensionate considerando tra i carichi agenti anche l'azione dovuta al movimento franoso, sia in fase provvisoria che in fase definitiva. Per il dimensionamento e la verifica delle paratie interessate è stato trascurato lo stato quiescente di alcuni dissesti, considerando tutte le frane attive. Di seguito si riporta la descrizione per fasi del procedimento seguito per il calcolo:

1. Analisi di stabilità:

- definizione della geometria della frana a seguito dei rilievi geomorfologici e delle indagini in sito;
- definizione della quota della falda sulla base delle indicazioni dello studio geologico e/o derivanti da dati piezometrici;
- definizione dell'angolo di resistenza residuo sulla base di prove di laboratorio o da relazioni di letteratura;
- determinazione del coefficiente di sicurezza F_s ;

Se il coefficiente di sicurezza F_s , sulla base del modello geotecnico sopra definito, non è prossimo all'unità (*frana attiva*), si procede con affinamenti successivi del modello stesso (geometria della superficie critica, modifica dell'angolo di attrito residuo) con una back analysis.

Ottenuto un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità, si calcola la forza esercitata dalla frana nel punto in cui interseca l'opera di sostegno.

2. Dimensionamento e verifica della paratia considerando l'azione aggiuntiva calcolata nello step precedente.

Cautelativamente è stato previsto anche un'intervento di stabilizzazione che prevede l'inserimento di dreni, trascurati nelle analisi, che hanno lo scopo di dissipare le pressioni interstiziali nel caso di eventuali innalzamenti della falda in corrispondenza della superficie di scorrimento, nella zona prossima all'imbocco. Per il drenaggio si ricorre a tubi microfessurati suborizzontali di lunghezza pari a 15 m, considerati attivi a scavi aperti (Figura 263).

Inoltre, per evitare eventuali colamenti di materiale in fase provvisoria, sono stati previsti degli elementi verticali in aggetto al cordolo della paratia (Figura 263).

In fase definitiva, in prossimità del cordolo della paratia, viene posto in opera un tubo microfessurato $\phi 300$ e realizzato un ritombamento con materiale drenante (Figura 264 e Figura 265).

Sarà, inoltre, previsto un sistema di monitoraggio topografico e geotecnico, costituito da inclinometri e piezometri, atto al controllo delle deformazioni indotte dalla realizzazione delle opere in tutte le fasi di scavo previste.

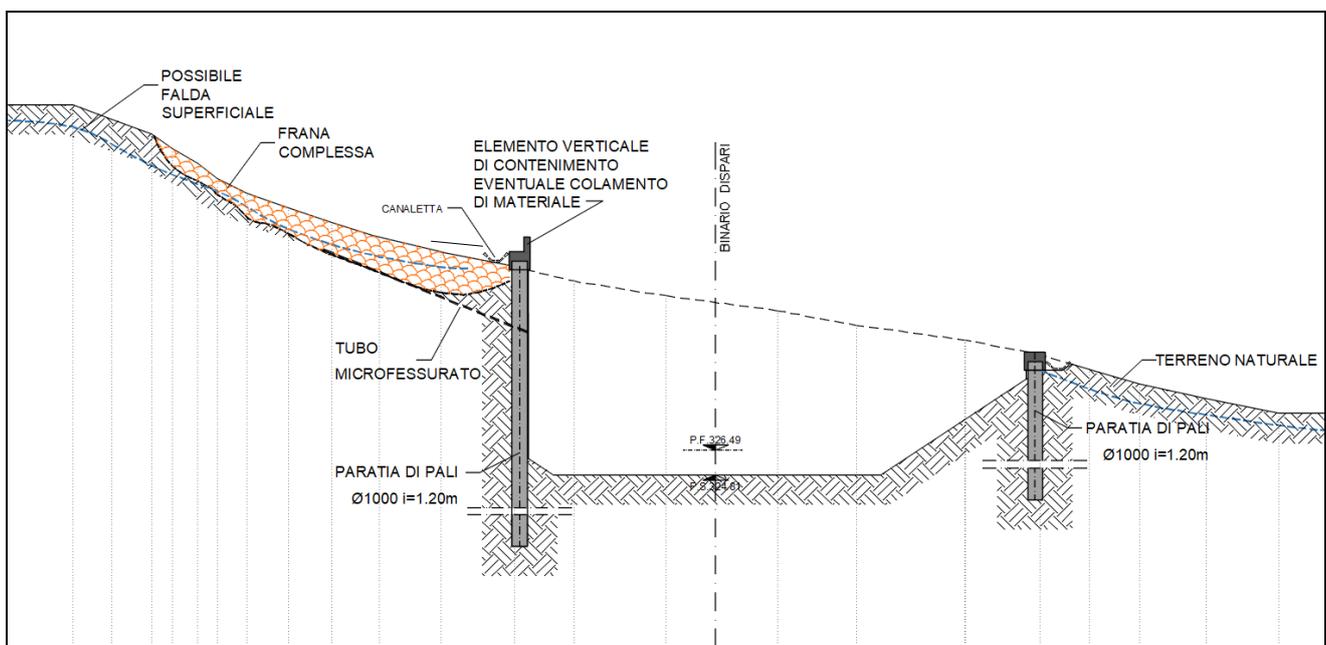


Figura 263 - Esempio di sistemazione provvisoria opere di imbocco –Sezione trasversale

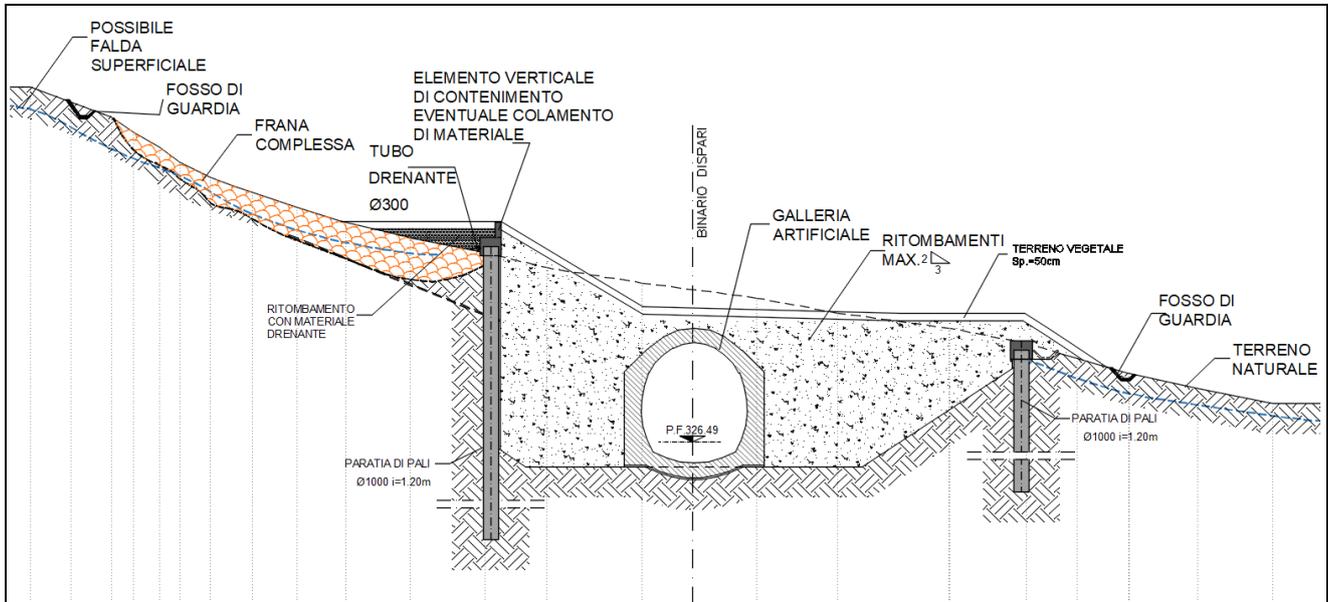


Figura 264 - Esempio di sistemazione definitiva opere di imbocco – Sezione trasversale

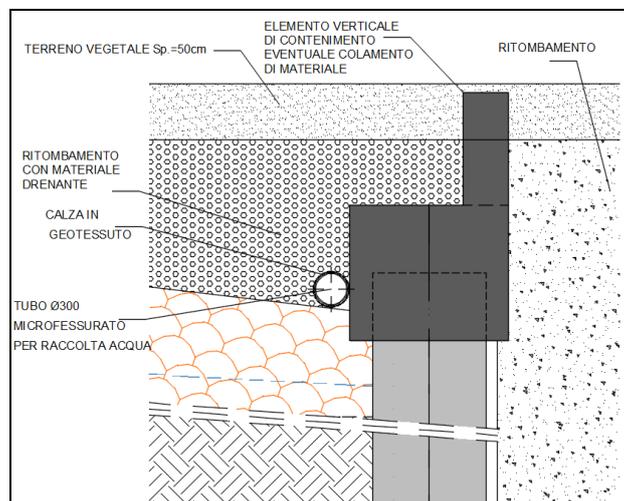


Figura 265 - Particolare raccolta acque ed elemento verticale di contenimento

I fenomeni franosi sono sottoattraversati dalle gallerie naturali in generale con coperture comprese tra i 25 m e i 60 m, tali da escludere interferenze reciproche. Ad ogni modo, sia nel caso di metodo di scavo tradizionale che meccanizzato, si prevede di adottare accorgimenti volti a contenere gli effetti deformativi a piano campagna.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

11.5.6 Carsismo e fenomeni di dissoluzione

I fenomeni di carsismo e dissoluzione interessano principalmente i litotipi del Gruppo della Gessoso-Solfifera, in particolare calcari, gessi e livelli salini, e subordinatamente calcareniti e gessareniti. L'estensione dei fenomeni di dissoluzione dipende dalla presenza di sistemi di flusso sotterraneo sufficientemente sviluppati. La formazione del Calcere di Base, che si sviluppa su una porzione considerevole di territorio è in grado di ospitare un acquifero carsico vero e proprio, ed in effetti le tracce di microcarsismo sono evidenti sia in superficie, sia nei sondaggi. Dall'altro lato, la maggior parte delle lenti e livelli gessosi o salini messiniani si trova confinata in un sedimento prevalentemente argilloso, marnoso o siltoso poco permeabile; questi orizzonti sono quindi interessati da fenomeni di dissoluzione molto lenti.

Le perforazioni propedeutiche agli interventi di consolidamento del fronte e del contorno delle diverse sezioni tipo di avanzamento, dovranno essere utilizzate come strumento di indagine e prospezione al fine di individuare la presenza di eventuali cavità in avanzamento. Perforazioni propedeutiche a tale scopo si dovranno prevedere anche per le sezioni tipo che non prevedono consolidamenti al fronte.

Eventuali cavità intercettate in fase di perforazione dovranno essere opportunamente riempite con malte cementizie prima di poter procedere con il consolidamento. Eventuali cavità di piccole dimensioni che possano non essere individuate con tali perforazioni, non costituiscono elemento di criticità per la riuscita dei consolidamenti e la sicurezza delle operazioni di avanzamento.

11.5.7 Esposizione ambientale e attacco chimico

La presenza di lenti saline all'interno della Gessoso Solfifera è stata confermata sia dai sondaggi eseguiti in fase di Progetto Definitivo, sia dai dati di terreno (presenza diffusa di sorgenti saline, concrezioni di cloruri nei depositi alluvionali del F. Salito). La potenziale aggressività delle acque circolanti all'interno delle formazioni messiniane è confermata dai dati analitici che evidenziano a scala locale un ambiente altamente aggressivo legato alla presenza di solfati (attacco chimico, UNI-EN 206, UNI 11104) e cloruri disciolti (corrosione indotta dai cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare, UNI-EN 206, UNI 11104).

In particolare, per la valutazione della classe di esposizione del calcestruzzo impiegato per i rivestimenti definitivi delle opere in sotterraneo, sono state eseguite prove per la determinazione della concentrazione degli eventuali agenti aggressivi presenti nelle acque e nei terreni, facendo riferimento alla UNI-EN 206-2016, che definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi (ad es. ione solfato SO_4^- nei terreni e nelle acque, ione ammonio NH_4^+ e ione magnesio Mg^{++} nelle acque, presenza di CO_2 aggressiva nelle acque e ambiente acido ($pH \leq 6.5$)) ai quali riferirsi per la determinazione della classe di esposizione (Figura 266).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	366 di 378

Table 2 — Limiting values for exposure classes for chemical attack from natural soil and ground water

Chemical characteristic	Reference test method	XA1	XA2	XA3
Ground water				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 and ≤ 600	> 600 and ≤ 3 000	> 3 000 and ≤ 6 000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 and ≥ 5,5	< 5,5 and ≥ 4,5	< 4,5 and ≥ 4,0
CO ₂ mg/l aggressive	EN 13577	≥ 15 and ≤ 40	> 40 and ≤ 100	> 100 up to saturation
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 and ≤ 30	> 30 and ≤ 60	> 60 and ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 and ≤ 1 000	> 1 000 and ≤ 3 000	> 3 000 up to saturation
Soil				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^a total	EN 196-2 ^b	≥ 2 000 and ≤ 3 000 ^c	> 3 000 ^c and ≤ 12 000	> 12 000 and ≤ 24 000
Acidity according to Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	> 200	Not encountered in practice	
^a Clay soils with a permeability below 10 ⁻⁵ m/s may be moved into a lower class. ^b The test method prescribes the extraction of SO ₄ ²⁻ by hydrochloric acid; alternatively, water extraction may be used, if experience is available in the place of use of the concrete. ^c The 3 000 mg/kg limit shall be reduced to 2 000 mg/kg, where there is a risk of accumulation of sulfate ions in the concrete due to drying and wetting cycles or capillary suction.				

Figura 266 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016

Nella sottostante tabella, sono riepilogati i risultati delle analisi di laboratorio effettuate sulle acque, secondo quanto riportato nella Figura 266.

Tabella 36 – Risultati delle analisi chimiche per la verifica dell'aggressività sul calcestruzzo (analisi delle acque)

Formazioni (quota cavo)	Sondaggio	Analita	U.M.	Risultato	Classe di esposizione	Classe di esposizione
GPQ/GTL3/GTL2/GTL1	3a-GN2-S07	pH	unità di pH	6.6	-	XA3
		Solfati	mg/L	3758	XA3	
		Azoto ammoniacale	mg/L	<0.1	-	
		Magnesio	mg/L	786	XA1	
		CO2 aggressiva	mg CO2/L	<0.2	-	
GTL3	3a-GN2-S08	pH	unità di pH	7.9	-	XA3
		Solfati	mg/L	4024	XA3	
		Azoto ammoniacale	mg/L	<0.1	-	
		Magnesio	mg/L	386	XA1	
		CO2 aggressiva	mg CO2/L	<0.2	-	

Il rischio di attacco chimico è gestito con l'adozione dei provvedimenti previsti dalle norme UNI-EN 206, UNI 11104, UNI 11417-1 e UNI 9156. In particolare, si riportano di seguito (Figura 267) le indicazioni della UNI 11104, che definisce le misure preventive da adottare in termini di massimo rapporto

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	367 di 378

acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento (kg/m³). Per le classi di esposizione XA1, XA2 e XA3 è inoltre da prevedere l'impiego di cementi resistenti ai solfati secondo le indicazioni della UNI 11417 (Figura 267).

Per l'indicazione delle tratte con presenza di acque aggressive, si rimanda ai profili geotecnici delle gallerie, mentre, per le classi di calcestruzzo adottate e la relativa classe di esposizione si rimanda all'elaborato "Caratteristiche dei materiali".

UNI 11104:2016		prospetto 5 Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																
		Classi di esposizione																
		Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotte da cloruri						Attacchi da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico	
Acqua di mare							Cloruri provenienti da altre fonti											
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,45		
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30	C30/37	C32/40	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C32/40	C35/45	
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360	340	360	
Contenuto minimo in aria (%)											b)	4,0 a)						
Altri requisiti					E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare a secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della all'acqua di mare adeguata resistenza ai UNI EN 206 2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati. c)			

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CENrS 12390 -9, UNI CENrR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minima di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con b) Dupper >20mm; per Dupper inferiori limite minima andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per Dupper tra 12 mm e 16 mm).
Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.
c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica del cemento deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11417-1.
d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minima di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.

Figura 267 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

11.5.8 Scavo in presenza di gas

Alla luce delle formazioni attraversate dalle opere in sotterraneo del Lotto 3, è stata affrontata la problematica inerente la possibilità di intercettare gas naturali nel corso delle fasi di scavo delle opere in sotterraneo, avvalendosi della consulenza tecnico-scientifica della società SERENGEIO S.r.l..

Preliminarmente è stata condotta un'analisi bibliografica e storica volta a verificare, in relazione alle differenti unità geologiche individuate e direttamente interessate dal progetto, l'eventuale presenza di termini geologici favorevoli alla presenza di gas. In funzione delle formazioni attraversate, l'analisi è stata rivolta alla presenza in particolare di gas metano (CH₄), inodore, incolore e privo di sapore, di estrema mobilità e facilmente infiammabile.

Le gallerie del Lotto 3 si collocano in un contesto geo-strutturale che presumibilmente comprende trappole di idrocarburi, sistemi di faglie che si ripetono con elevata frequenza e fasce di intensa fratturazione/tettonizzazione e da innumerevoli evidenze della presenza di idrocarburi nel sottosuolo. La letteratura specialistica indica che a pochi km di distanza dal tracciato ed in un contesto geologico analogo sono numerosi i segni della presenza del metano nel sottosuolo:

- le Maccalube Lercara Friddi, Cammarata, Xirbi e Terrapelata, che sono manifestazioni, a giorno, di gas, principalmente metano;
- la Maccaluba “Fattoria di Gesù” (stazione di Marianopoli), nei pressi della galleria Nuova Marianopoli, da cui fuoriescono metano ed acido solforico disciolti in acqua (Mezzadri, 1989);
- le miniere di zolfo Gessolungo, Juncio Tumminelli e Trabonella, a soli 4 ÷ 5 km in linea d'aria dalla galleria Xirbi, storicamente note anche per le detonazioni/deflagrazioni di miscele aria – metano che determinarono la morte di numerosi minatori e la sospensione temporanea/definitiva dell'attività produttiva (cfr. paragrafo 6.2). All'esplosione mortale nella Trabonella (1909) è correlata la rapida e considerevole riduzione dell'intensità emissiva del gas nella Maccaluba di Terrapelata (De Stefani, 1950). Verosimilmente, la correlazione è attribuibile all'interruzione del collegamento idraulico “Maccaluba – trappola di metano” tramite la rete di dislocazioni tettoniche e/o discontinuità, interruzione indotta dall'esplosione della trappola in seguito all'attività produttiva della miniera;
- le gallerie ferroviarie Lercara e Lercara Nuova, distanti pochi km dalla galleria Santa Catena. Durante la loro costruzione sono stati rilevati costantemente ingressi di metano prevalentemente nelle sequenze sabbiose o arenacee del San Cipirello e del Terravecchia (litofacies argillosa e litofacies arenaceo-sabbiosa, Pigorini & Ricci, 2014), formazione quest'ultima che sarà interessata anche dai lavori di scavo delle gallerie del Lotto 3;
- la galleria ferroviaria Marianopoli, distante solamente 90 m in linea d'aria dalla nuova Marianopoli. Durante la sua costruzione è stato intercettato uno strato di sabbia tortoniana mineralizzata ad olio, a basso grado di viscosità. Mottura (1878) aveva sottolineato, prima dell'avvio dei lavori di scavo, che la galleria avrebbe presentato “difficoltà e problemi di non facile

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	369 di 378

soluzione per la presenza di una massa considerevolissima di acqua nello strato sabbioso da attraversare, per i gaz che in copia vi s'incontrano”;

- la galleria ferroviaria di Caltanissetta, a Sud della galleria Xirbi, a 3,3 km circa di distanza. Durante la sua costruzione, l'attraversamento delle argille del Miocene superiore ha fatto registrare costantemente ingressi di metano, inglobato negli strati sabbiosi intercalati alle argille: l'idrogeno carbonato “affluisce in copia allorché si incontrano straterelli di sabbie” e “non è quindi sorprendente che, nelle gallerie scavate nelle argille, allorché si trovano straterelli di sabbia, aventi uno spessore molto minore di 10 centimetri, la massa del gaz sia qualche volta tale da potere alimentare una fiamma in modo continuo e per tempo lunghissimo” (Mottura, 1878) ;
- il permesso di ricerca di idrocarburi “Castronuovo” e diversi pozzi di esplorazione/estrazione di gas alcuni produttivi (triangoli rossi), come il pozzo Lercara 001 (Agip), ed altri che, pur se industrialmente sterili, hanno fatto registrare gas in tracce (croci e triangoli gialli) o in quantità non trascurabili ma non tali da giustificare lo sfruttamento (croci e triangoli arancioni). Nel tratto a cielo aperto compreso tra le gallerie Salito 2 e Masareddu, inoltre, è presente il pozzo S. Cataldo 001 S, profondo soltanto 204 m, di cui non è disponibile la stratigrafia, che ha fatto registrare “manifestazioni di gas”.
- Nei pozzi limitrofi al tracciato si è rilevato gas a partire da poche centinaia di metri s.p.c.:
 - 200 m s.p.c. nel pozzo Castellana 001 E che raggiunge una profondità di 1075 m;
 - 338 m s.p.c. nel pozzo Valledolmo 001, profondo 3197 m, mineralizzato prevalentemente ad olio e bitume;
 - 435 m s.p.c. nel pozzo Roccapalumba 001, profondo 2707 m, nell'attraversamento di quarzareniti, arenarie calcaree e calcari fratturati nelle Argille Variegate e nelle Argille Scagliose dell'Olistostroma Valledolmo;
 - 512 m s.p.c. nel pozzo Traina 001, profondo solo 712 m, in corrispondenza di intercalazioni di arenarie quarzose in argilliti / argilliti siltose.

Inoltre:

- nei sondaggi eseguiti per il progetto in studio e per gli altri Lotti della Palermo Catania, è stato riscontrato gas nelle tre litofacies TRV, TRVa e TRVb e nel membro selenitico (GTL2) della Formazione di Pasquasia, attraversate dalle opere del Lotto 3;
- il Terravecchia ed il Flysch Numidico, attraversati da buona parte delle gallerie del Lotto 3, sono le rocce serbatoio dei giacimenti di idrocarburi gassosi “Gagliano”, “Bronte – S. Nicola” e “Lippone – Mazara del Vallo” e sede di numerose trappole metanifere nel FTB ;
- i principali giacimenti siciliani di zolfo, della Serie Gessoso-solfifera (Formazione di Cattolica e di Pasquasia), si collocano sui fianchi di anticlinali o di sinclinali, che possono essere considerate tra le più frequenti ed importanti sedi di trappole strutturali di idrocarburi. Spesso si è rilevato gas, associato a zolfo, nel Calcare di Base (GTL1), membro calcareo della Formazione di Cattolica (Serie gessoso-solfifera siciliana) in cui è presente la mineralizzazione a zolfo, e nel membro selenitico della Formazione di Cattolica (GTL2);

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 370 di 378

- nell'area limitrofa al tracciato sono presenti giacimenti di salgemma e sali potassici che possono avere dato luogo a trappole strutturali per diapirismo. Mottura (1871) documenta la presenza di idrocarburi nelle “marne salate” del Miocene, membro salifero (GTL3) della Formazione di Cattolica, roccia incassante dei corpi mineralizzati a sale;
- i Tripoli, bituminosi, sono spesso molto ricchi di idrocarburi con tenori di metano che talvolta raggiungono il 40% (Mezzadri, 1989).

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 07	RH	GN 00 00 001	E	371 di 378

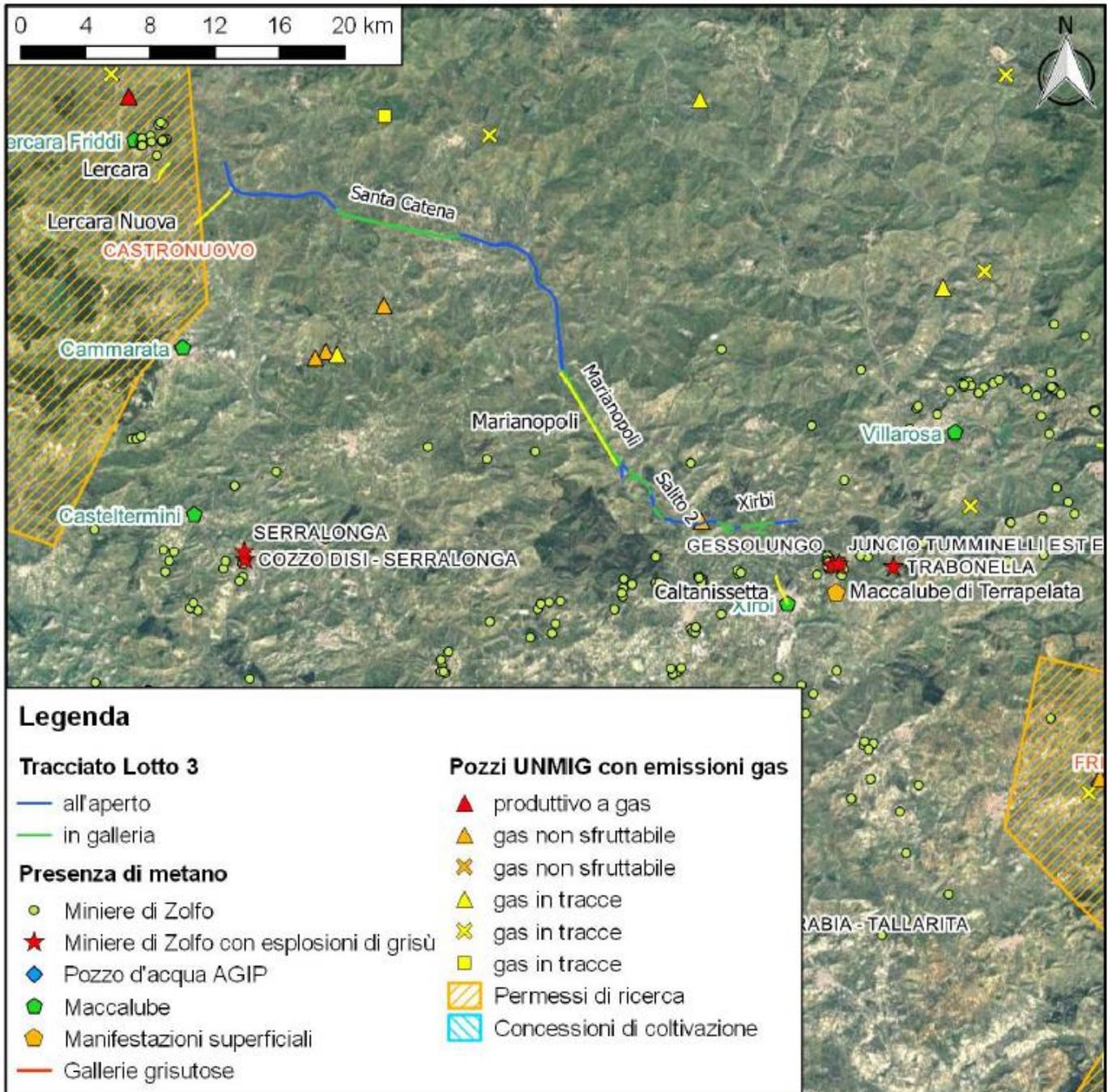


Figura 268 : Evidenze della presenza di gas nell'area limitrofa al tracciato del Lotto 3

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

Un valido strumento che può essere utilizzato per l'approccio al problema legato alla presenza di gas in galleria è rappresentato dal documento "Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3a edizione", recentemente aggiornato dalle seguenti Linee Guida:

- "Scavi in sotterraneo con metodo a piena sezione e tecnica tradizionale in terreni grisutosi", Linea Guida Grisù, datato Luglio 2014;
- "Scavo meccanizzato di grande sezione con TBM – EPB in terreni grisutosi", Linea Guida "Grisù – TBM, datato Maggio 2015.

Con riferimento allo scavo in tradizionale, nelle Linee Guida l'eventualità di rinvenire metano in galleria è differenziata in diverse classi, in base al numero ed al peso attribuito ai parametri che concorrono a caratterizzare la formazione interessata dallo scavo della galleria. In funzione dei risultati derivanti dall'analisi bibliografica e storica e dalle indagini di approfondimento, è stato possibile associare alle gallerie del Lotto 3 della Palermo Catania una classe di rischio gas 2.

Tabella 37 – Classe di rischio gas di appartenenza

class e 2	Gallerie/tratti per le quali le indagini bibliografiche, storiche (storicità delle manifestazioni spontanee e degli interventi industriali per la produzione di idrocarburi, dei fenomeni registrati nell'esecuzione di altre opere) e le indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche, ecc.), fanno ritenere che, a causa della realizzazione degli scavi, siano probabili afflussi significativi di grisù in galleria in corrispondenza di strutture geologiche, tecnicamente note come potenziali trappole di idrocarburi (anticlinali, fasce di intensa fratturazione in corrispondenza delle zone di accavallamento tettonico, ecc.). Attraversando le trappole, o comunque a causa del collegamento idraulico con esse realizzato a seguito dello scavo, sono da attendersi flussi di grisù continui oppure discontinui ma con frequenza tale da non farli ritenere un evento eccezionale.
----------------------	--

Per gli interventi atti a mitigare il rischio connesso alla presenza di gas in fase realizzativa, si può fare riferimento ai documenti sopra citati (Rif. [20] - Rif. [23]); ad ogni modo, per le misure di sicurezza da adottare in fase di scavo si rimanda al Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC).

Rispetto al rischio gas associato all'eventuale gas metano disciolto nell'acqua drenata dall'ammasso, si è scelto di adottare un sistema di drenaggio confinato rispetto all'ambiente galleria (cfr. § 11.4), prevedendo:

- la realizzazione di tubazioni di raccolta delle acque provenienti dall'ammasso, annegate nel riempimento in calcestruzzo, garantendo adeguato spessore di confinamento, al fine di garantire la segregazione con l'atmosfera della galleria,
- la chiusura ermetica (al gas ed ai fumi) di tutti i punti di contatto del circuito di drenaggio verso l'ambiente galleria (es. tubi di spurgo, pozzetti di ispezione), con adeguato isolamento termico e in grado di rispettare la segregazione di cui al punto precedente,
- l'individuazione di apposite procedure per le attività di ispezione, manutenzione o interventi di modifica.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 373 di 378

All'esterno della galleria tale circuito sarà collegato con il sistema di drenaggio previsto per le opere all'aperto (trincee, rilevati), garantendo la naturale degassazione della miscela metano-aria. I punti di recapito all'aperto della suddetta tubazione dedicata dovranno essere opportunamente protetti da potenziali sorgenti di innesco.

Per ulteriori dettagli in merito al sistema di smaltimento delle acque in galleria si rimanda agli specifici elaborati di progetto. In fase realizzativa, particolare cura dovrà essere posta nella posa in opera di tutti gli elementi del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio, a garanzia della massima efficienza delle soluzioni di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E

12. FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

12.1 Scavo tradizionale

Sono di seguito illustrati i criteri che dovranno essere adottati in corso d'opera per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità, nell'ambito delle previsioni del progetto, che sono sintetizzate nei valori attesi delle grandezze caratteristiche. I valori attesi dei fenomeni deformativi al fronte e al cavo (ove pertinente) sono individuati in funzione dei risultati delle analisi numeriche, di esperienze in contesti analoghi e di dati di letteratura (Tabella 38 – Scavo tradizionale – Previsioni progettuali).

In corso d'opera, i rilievi del fronte e i dati di monitoraggio della risposta deformativa del fronte e del cavo, correlati alle fasi di avanzamento, sono confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) per consentire la verifica e la messa a punto del progetto con i criteri di seguito descritti:

1. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con quanto previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: la previsione progettuale è confermata, si procede con la sezione tipo media prevista per la tratta.
2. La risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: la sezione tipo prevista per la tratta è ottimizzata secondo le definite variabilità, che consistono in: aumento/diminuzione ($\pm 20\%$) degli interventi di preconsolidamento, diminuzione/aumento dell'interasse delle centine ($\pm 20\%$ del passo medio), diminuzione/aumento delle distanze del rivestimento definitivo dal fronte di scavo.
3. Le condizioni geologiche e geotecniche osservate sono sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e la risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: si passa ad una diversa sezione tipo, tra quelle definite in progetto come "sezioni eventuali" per quella tratta:

Tabella 38 – Scavo tradizionale – Previsioni progettuali

Sezione tipo	Formazione	Copertura (m)	VALORI ATTESI	
			Convergenza radiale (mm)	Estrusione cumulativa totale (mm)
B1	FYN4	25	25	10
B2	FYN4	50	20	10
B2	GTL2	25	15	10
C2	AV	25	30	10

C2	FYN4	70	40	25
C2	TRV	25	20	10
C2	TRV	50	40	20
C2	FYN4	25	30	10
C2p	AV	50	25	15
C2p	TRVb	100	100	85
F-C2	FYN4	60	15	10

12.2 Scavo meccanizzato

Nel caso di scavo meccanizzato, la flessibilità in fase di avanzamento, in risposta alle condizioni riscontrate, è garantita dalla variabilità dei parametri operativi di controllo della TBM.

Pertanto, sulla base dei dati macchina raccolti durante l'avanzamento e le risultanze del monitoraggio geotecnico e topografico in superficie e in galleria, i parametri macchina (ad es.: contropressione al fronte) saranno modificati operando all'interno della variabilità prevista in fase progettuale.

In merito ai valori di contropressione al fronte da applicare durante l'avanzamento della TBM, nella presente fase progettuale sono forniti dei range ricavati mediante verifiche di stabilità puntuali lungo il tracciato per sezioni rappresentative. Nella progettazione esecutiva sarà redatto il profilo dettagliato delle pressioni operative da applicare lungo tutte le tratte previste con avanzamento in scavo meccanizzato in modalità chiusa, definendo altresì le relative soglie di attenzione e allarme e le corrispondenti azioni da intraprendere al superamento delle stesse.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 376 di 378

12.3 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dalla realizzazione degli imbocchi ed in particolare delle gallerie naturali, in considerazione delle sezioni di scavo e consolidamento previste, ottimizzandole nell'ambito delle variabilità indicata in progetto.

Con riferimento, quindi, alla realizzazione degli imbocchi, in sintesi il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle aree prospicienti alle paratie di imbocco;
- monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali delle paratie e del terreno limitrofo;
- monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sull'opera di sostegno;
- monitoraggio delle sollecitazioni indotte dallo scavo sui tiranti mediante celle di carico;

Con riferimento alle tratte realizzate con metodo di scavo tradizionale il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- all'interno del gruppo della gessoso-solfifera, dovrà essere previsto il prelevamento di campioni indisturbati al fronte (in avanzamento) tramite sondaggio al fine di eseguire prove di resistenza a compressione monoassiale
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il controllo dell'estrusione del fronte, mediante installazione di estrusometri in avanzamento, dove previsto;
- il controllo delle deformazioni al contorno del cavo attraverso gli estensimetri multibase;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase mediante celle di carico, celle di pressione e *strain-gauges*;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo degli spostamenti e delle deformazioni indotte dallo scavo della galleria al piano campagna mediante installazione di assesimetri e inclinometri.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 377 di 378

Con riferimento alle tratte realizzate con metodo di scavo meccanizzato il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il controllo dei principali parametri macchina desunti direttamente in fase di scavo dalla fresa tra cui: pressione di supporto del fronte di scavo, densità del materiale nella camera di scavo, pressione e volume del materiale di intasamento iniettato a tergo dei conci, peso e volume del materiale scavato, condizionamento del terreno;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate sui ferri di armatura dei conci e celle di carico tra i giunti longitudinali degli stessi;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi dei terreni di copertura nelle tratte a bassa copertura mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali nelle tratte a bassa copertura.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere predisposto in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi per le grandezze sopra dette, in modo da poter essere confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) al fine di consentire la verifica e la messa a punto del progetto, e la gestione delle variabilità previste. Per ulteriori dettagli riguardo le frequenze delle letture si rimanda agli elaborati specialistici allegati al progetto.

	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. E	FOGLIO 378 di 378

13. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle gallerie Santa Catena, Nuova Marianopoli, Trabona, Salito 1, Salito 2, Masareddu e Xirbi della tratta Lercara – Caltanissetta Xirbi e le uscite/accessi delle Gallerie Trabona, Masareddu e Xirbi.

La progettazione delle opere in sotterraneo è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [19]), articolandosi nelle seguenti fasi:

- Fase conoscitiva (cap. 9): questa fase è stata dedicata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui sarà realizzata la galleria, considerati anche i dati relativi alle precedenti fasi progettuali, ed ha portato alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo utilizzato per le successive fasi del progetto.
- Fase di diagnosi (cap. 10): in questa fase è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento; sulla base delle analisi condotte, lungo il tracciato della galleria il comportamento del fronte allo scavo risulta sia di tipo stabile o stabile a breve termine (categorie A e B) sia di tipo instabile (categoria C).
- Fase di terapia (cap. 11): si prevede di realizzare lo scavo sia con metodo meccanizzato che con metodo tradizionale. Entrambe le soluzioni progettuali sono state analizzate verificandone adeguatezza ed efficacia in tutte le fasi costruttive previste ed in condizioni di esercizio.

Il progetto è completato dal piano di monitoraggio (cap. 12) da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo e verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali.