

# ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

## PA 12/09

### CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

### ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

### S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

### AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

### Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

## PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



## GEOTECNICA Relazione geotecnica Relazione Geotecnica Generale

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12\_09 - E 0 0 0 G E 2 0 9 G T 0 1 Z R M 0 0 1 B

Scala:  
-

|      |             |             |              |             |           |             |  |
|------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------|-------------|--|
| F    |             |             |              |             |           |             |  |
| E    |             |             |              |             |           |             |  |
| D    |             |             |              |             |           |             |  |
| C    |             |             |              |             |           |             |  |
| B    | Luglio 2011 | EMISSIONE   | G. NICOLETTI | M. D'ANGELO | M. LITI   | P. PAGLINI  |  |
| A    | Aprile 2011 | EMISSIONE   | G. NICOLETTI | M. D'ANGELO | M. LITI   | P. PAGLINI  |  |
| REV. | DATA        | DESCRIZIONE | REDATTO      | VERIFICATO  | APPROVATO | AUTORIZZATO |  |

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO FRAMINI

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PREMESSA</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1.1. IL TRACCIATO</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO</b>                      | <b>7</b>  |
| 2.1. INDAGINI CONDOTTE NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI                                     | 7         |
| 2.1.1. <i>Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988 (progetto preliminare).</i>            | 7         |
| 2.1.2. <i>Campagna del Progetto Definitivo</i>   | 8         |
| 2.2. INDAGINI INTEGRATIVE DEL PROGETTO ESECUTIVO - FASE 1 DEL 2010                           | 18        |
| 2.3. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 2 DEL 2010   | 27        |
| 2.3.1. <i>Esecuzione delle Indagini</i>  | 27        |
| 2.4. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 3 DEL 2011   | 32        |
| 2.4.1. <i>Esecuzione delle Indagini</i>  | 33        |
| <b>3. DETERMINAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE E ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI</b> | <b>37</b> |
| 3.1. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO A  | 37        |
| 3.1.1. <i>Modellazione geotecnica</i>  | 38        |
| 3.1.1.1. Modello Geotecnico 1 (1-A): da prog. 0 a prog. 1+020÷040                            | 38        |
| 3.1.1.1.1. <i>Parametri geotecnici ammassi lapidei</i>                                       | 38        |
| 3.1.1.1.2. <i>Stima dei parametri di progetto classificazione RMR e Q</i>                    | 40        |
| 3.1.1.1.3. <i>Classificazione di Bieniawski</i>  | 40        |
| 3.1.1.1.4. <i>Resistenza dell'ammasso roccioso in condizione di picco e residue.</i>         | 42        |
| 3.1.1.1.5. <i>Resistenza a compressione di picco e residua</i>                               | 43        |
| 3.1.1.1.6. <i>Deformabilità dell'ammasso roccioso</i>  | 44        |
| 3.1.1.1.7. <i>Determinazione parametri meccanici</i>   | 45        |
| 3.1.1.2. Modello Geotecnico 2 (1-A): da prog. 1+020÷040 a prog. 1+260÷290                    | 48        |
| 3.1.1.3. Modello Geotecnico 3 (1-A): da prog. 1+260÷290 a prog. 1+340÷440                    | 49        |
| 3.1.1.4. Modello Geotecnico 4 (1-A): da prog. 1+340÷440 a prog. 1+515                        | 50        |
| 3.1.1.5. Modello geotecnico 5 (1-A): da prog. 1+515 a prog. 4+500                            | 50        |
| 3.2. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B  | 54        |

|                                    |                               |                 |
|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11  |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 1 di 126 |

|  |                  |
|--|------------------|
| <b>3.2.1. Modellazione geotecnica</b>  | <b>55</b>        |
| 3.2.1.1. 1-B - Modello Geotecnico 1: da prog. 4+500 a prog. 5+225  | 55               |
| 3.2.1.2. 1-B - Modello Geotecnico 2: da prog. 5+225 a prog. 6+400+420                                      | 56               |
| 3.2.1.3. 1-B - Modello Geotecnico 3: da prog. 6+400+420 a prog. 9+500                                      | 57               |
| <b>3.3. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C</b>   | <b>58</b>        |
| <b>3.3.1. Modellazione geotecnica</b>  | <b>60</b>        |
| 3.3.1.1. 1-C - Modello Geotecnico 1 – GA Favarella: da prog. 9+500 a prog. 10+000                          | 60               |
| 3.3.1.2. 1-C - Modello Geotecnico 2 – VD Favarella: da prog.10+000 a prog.10+250                           | 61               |
| 3.3.1.3. 1-C - Modello Geotecnico 4 – VD Mumia: da prog. 11+080 a prog. 11+550                             | 62               |
| 3.3.1.4. 1-C - Modello Geotecnico 5 – GA San Cataldo: da prog.11+550 a prog.12+183                         | 64               |
| <b>3.4. TRATTO 2</b>   | <b>65</b>        |
| <b>3.4.1. Modellazione geotecnica</b>  | <b>68</b>        |
| 3.4.1.1. 2 - Modello Geotecnico 1: da prog. 12+183 a prog. 12+570  | 68               |
| 3.4.1.2. 2 - Modello Geotecnico 2: da prog. 12+570 a prog. 12+880  | 69               |
| 3.4.1.3. 2 - Modello Geotecnico 4 – VD S. Giuliano e VD S. Filippo Neri: da prog. 16+960 a prog.<br>17+435 | 70               |
| <b>3.5. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO A</b>   | <b>71</b>        |
| <b>3.5.1. Modellazione geotecnica</b>  | <b>72</b>        |
| 3.5.1.1. 3-A - Modello Geotecnico 1 – VD Busita I: da prog. 17+640 a prog. 17+940                          | 72               |
| 3.5.1.2. 3-A - Modello Geotecnico 2 – GA S. Filippo Neri: da prog.17+940 a prog.18+060                     | 74               |
| 3.5.1.3. 3-A - Modello Geotecnico 3 – VD Busita II: da prog.18+060 a prog.18+450                           | 75               |
| 3.5.1.4. 3-A - Modello Geotecnico 4 – GA Bersaglio: da prog.18+450 a prog.19+500                           | 77               |
| <b>3.6. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO B</b>   | <b>79</b>        |
| <b>3.6.1. Modellazione geotecnica</b>  | <b>80</b>        |
| 3.6.1.1. 3-B - Modello Geotecnico 1: da prog. 19+500 a prog. 22+600  | 80               |
| 3.6.1.2. 3-B - Modello Geotecnico 2: da prog. 22+600 a prog. 25+830  | 83               |
| 3.6.1.3. 3B - Modello Geotecnico 4: da prog. 26+020 a prog. 26+600   | 86               |
| 3.6.1.4. 3-C - Modello Geotecnico: da prog. 26+600 a prog. 28+080  | 88               |
| <b>3.7. MODULO ELASTICO</b>  | <b>91</b>        |
| <b>3.8. DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE <math>V_p</math></b>                             | <b>93</b>        |
| <b><u>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PER LA FORMAZIONE DEL CORPO STRADALE</u></b>                        | <b><u>99</u></b> |
| <b>4.1. GRUPPO A1</b>  | <b>101</b>       |
| <b>4.2. GRUPPO A3</b>  | <b>102</b>       |

|                                    |                               |                 |
|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11  |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 2 di 126 |

|  |                   |
|--|-------------------|
| <b>4.3. SOTTOGRUPPI A2-4 E A2-5</b>                                      | <b>102</b>        |
| <b>4.4. SOTTOGRUPPI A2-6 E A2-7</b>                                      | <b>103</b>        |
| <b>4.5. GRUPPI A4, A5, A6 E A7</b>                                       | <b>103</b>        |
| <b>4.6. TERRENI PROVENIENTI DAGLI SCAVI</b>                              | <b>104</b>        |
| <br>   |                   |
| <b><u>5. SOTTOFONDO DEL TRACCIATO STRADALE</u></b>                       | <b><u>107</u></b> |
| <br>   |                   |
| <b>5.1. MATERIALI PER IL SOTTOFONDO</b>                                  | <b>107</b>        |
| <b>5.2. REQUISITI DEI MATERIALI PER SOTTOFONDO</b>                       | <b>108</b>        |
| <br>   |                   |
| <b><u>6. PIANO DI POSA DEI RILEVATI.</u></b>                             | <b><u>110</u></b> |
| <br>   |                   |
| <b>6.1. TERRENI CEDEVOLI</b>   | <b>110</b>        |
| <b>6.2. REQUISITI DI PORTANZA</b>  | <b>110</b>        |
| <b>6.2.1. <i>Valutazione delle prove di carico su piastra.</i></b>       | <b><i>111</i></b> |
| <b>6.3. CRITERI PER LA BONIFICA DEL PIANO DI POSA</b>                    | <b>112</b>        |
| <b>6.4. STRATI ANTICAPILLARI</b>   | <b>113</b>        |
| <br>   |                   |
| <b><u>7. SPECIFICA DI CONTROLLO PER L'ACCETTAZIONE DEI MATERIALI</u></b> | <b><u>114</u></b> |
| <br>   |                   |
| <b><u>8. PROCEDURE PER LA CONDUZIONE DEGLI SCAVI A CIELO APERTO</u></b>  | <b><u>116</u></b> |
| <br>   |                   |
| <b>8.1. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO A</b>                                     | <b>119</b>        |
| <b>8.2. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B</b>                                     | <b>119</b>        |
| <b>8.3. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C</b>                                     | <b>120</b>        |
| <b>8.4. TRATTO 2</b>   | <b>122</b>        |
| <b>8.5. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO A</b>                                     | <b>123</b>        |
| <b>8.6. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B</b>                                     | <b>125</b>        |
| <b>8.7. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C</b>                                     | <b>126</b>        |

## PREMESSA

La presente relazione è relativa allo studio geotecnico a supporto del progetto esecutivo di *ammodernamento ed adeguamento alla Cat. B D.M. 5/11/2001 della S.S. 640 Agrigento – Caltanissetta tratto dal Km 44+1000 allo svincolo con l'autostrada A19*, ed è redatta in ottemperanza al D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" ed alla Circolare 02/02/2009 n. 617 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14/01/2008" nel rispetto dei contenuti previsti dal punto 4.9 dell'Allegato NG15 - A.N.A.S. "Capitolato d'Oneri – Prescrizioni per la redazione del progetto esecutivo"

Lo studio è stato condotto sulla scorta del progetto definitivo nonché dei risultati delle indagini dirette e indirette effettuate nella campagna integrativa svolta tra la fine di luglio e l'inizio di settembre 2010.

La prima parte dello studio è finalizzato alla definizione delle unità geotecniche caratterizzate sia per tipologia che per spessori e successione stratigrafica, ed all'assegnazione dei relativi parametri. Ciò è stato eseguito a partire dall'esame delle unità geologico-tecniche descritte nella relazione geologica, con l'ausilio ed elaborazione delle risultanze dei sondaggi, delle prove geotecniche in sito ed in laboratorio. Tale trattazione prevede la descrizione di tutte le indagini in sito ed in laboratorio effettuate nel corso dei tre livelli di progettazione.

Una seconda parte è stata dedicata alla realizzazione delle opere in terra, mediante l'individuazione delle caratteristiche dei materiali da costruzione, con l'indicazione dei processi di trattamento dei materiali provenienti dagli scavi, la definizione dei piani di controllo per l'accettazione dei materiali da costruzione, la definizione dei criteri per la preparazione ed eventuale bonifica del piano di posa sia dei rilevati che della fondazione stradale, verifica di stabilità dei rilevati in relazione alle condizioni di appoggio, analisi dei cedimenti in corrispondenza del piano di posa. Nell'ambito di tale parte sono state affrontate le problematiche inerenti gli scavi a cielo aperto, e le verifiche di pendii potenzialmente instabili.

La terza parte è stata dedicata al calcolo e verifica delle opere di sostegno e delle fondazioni delle opere d'arte.

### 1.1. IL TRACCIATO

La S.S. 640 è un'importante asse stradale di collegamento tra la provincia di Agrigento e Caltanissetta e congiunge i principali assi autostradali della Sicilia: l'autostrada A19 Palermo- Catania, la

|   |                                      |                        |
|---|--------------------------------------|------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11  |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 4 di 126 |

S.S. 189 Agrigento- Palermo, la S.S. 123 Canicatti - Licata, la S.S. 626 Caltanissetta- Gela ed indirettamente la S.S. 115 Sud Occidentale Sicula.

Il tratto della SS 640 oggetto del presente progetto di ammodernamento e raddoppio, ha inizio dal km 44 +100 in territorio comunale di Serradifalco (CL) in prossimità di Contrada Grotta Rossa e termina con lo svincolo per l'autostrada A19 Palermo – Catania.

In coerenza a quanto riportato negli studi specialistici del Progetto esecutivo, nella presente relazione si farà riferimento alla suddivisione in tratti e sottotratti così come di seguito riportato:

| Tratto | Sottotratto | Denominazione              | Progressive     |
|--------|-------------|----------------------------|-----------------|
| 1      | A           | Grottarossa                | 0+000 ÷ 4+500   |
| 1      | B           | Grotta d'Acqua - Favarella | 4+500 ÷ 9+500   |
| 1      | C           | Seconda variante           | 9+500 ÷ 12+140  |
| 2      |             | Caltanissetta              | 12+140 ÷ 17+640 |
| 3      | A           | Busita                     | 17+640 ÷ 19+500 |
| 3      | B           | Abbazia - Arenella         | 19+500 ÷ 26+600 |
| 3      | C           | Imera                      | 26+600 – 28+080 |

Nella tabella sottostante si riportano le principali opere d'arte previste per ogni singolo sottotratto di progetto:

| Tratta e sottotratta | Opera d'arte                      | Lunghezza             |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
|                      |                                   | (m)                   |
| 1-A                  | Svincolo "Serradifalco"           |                       |
|                      | Viadotto "Giulfo"                 | 795 (SX) 800 (DX)     |
| 1-B                  | Svincolo "Delia Sommatino"        |                       |
|                      | Ponte "Serra"                     | 40                    |
| 1-C                  | Galleria artificiale "Favarella"  | 285 (SX) 238 (DX)     |
|                      | Viadotto "Favarella"              | 122                   |
|                      | Galleria naturale "Papazzo"       | 741 (SX) 743 (DX)     |
|                      | Viadotto "Mumia"                  | 423 (SX) 430 (DX)     |
|                      | Galleria "S. Cataldo"             | 187                   |
| 2                    | Cavalcaferrovia "Grotticelle"     | 45                    |
|                      | Svincolo "Caltanissetta Sud"      |                       |
|                      | Galleria naturale "Caltanissetta" | 4.036 (SX) 4.022 (DX) |
|                      | Ponte "San Giuliano"              | 40 (SX) 31 (DX)       |
|                      | Viadotto "San Filippo Neri"       | 188 (SX) 170 (DX)     |
|                      | Galleria Naturale "S. Filippo"    | 178 (SX) 194 (DX)     |
| 3-A                  | Viadotto "Busita I"               | 247 (SX) 229 (DX)     |
|                      | Galleria artificiale "S. Filippo" | - (SX) 120 (DX)       |

| Tratta e sottotratta | Opera d'arte                       | Lunghezza  |            |
|----------------------|------------------------------------|------------|------------|
|                      |                                    | (m)        |            |
|                      | Viadotto "Busita II"               | 285 (SX)   | 251 (DX)   |
|                      | Galleria artificiale "Bersaglio"   | 305.8 (SX) | 300 (DX)   |
|                      | Viadotto "Busita III"              | 350 (SX)   | 347.9 (DX) |
|                      | Svincolo "Caltanissetta Nord"      |            |            |
| 3-B                  | Viadotto "Santuzza II"             | 425 (SX)   | 430 (DX)   |
|                      | Viadotto "Santuzza III"            | 220 (SX)   | 218.3 (DX) |
|                      | Viadotto "Arenella I"              | 184.8 (SX) | 184 (DX)   |
|                      | Viadotto "Arenella II"             | 122 (SX)   | 122 (DX)   |
|                      | Viadotto "Arenella III"            | 587 (SX)   | 618 (DX)   |
|                      | Galleria naturale "Cozzo Garlatti" | 183 (SX)   | 156 (DX)   |
|                      | Svincolo "S.S. 626"                |            |            |
| 3-C                  | Viadotto "Salso"                   | 1.484 (SX) | 1.487 (DX) |
|                      | Svincolo "A19"                     |            |            |

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO

Si riporta di seguito la sintesi delle indagini svolte sia durante le precedenti fasi progettuali sia negli ultimi mesi ad integrazione di quanto sinora svolto (indagini integrative 2010 di fase 1).

### 2.1. INDAGINI CONDOTTE NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI

#### 2.1.1. Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988 (progetto preliminare).

In fase di redazione del progetto preliminare del raddoppio di carreggiata dell'intera S.S. 640 è stata eseguita una campagna di indagine direttamente a cura dell'ANAS, sviluppatasi lungo tutto il tracciato esistente della S.S. 640 da Agrigento a Caltanissetta.

Sono stati effettuati n. 46 sondaggi a carotaggio continuo, di cui n. 17 ricadenti in corrispondenza delle tratte oggetto del progetto cui fa riferimento il presente studio. Dai sondaggi sono stati prelevati in totale 27 campioni indisturbati sottoposti a specifiche prove di laboratorio.

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva  | N°  | Sondaggio | Profondità (m) | Campioni |               |                |
|---|-----|-----------|----------------|----------|---------------|----------------|
|   |     |           |                | N°       | Denominazione | Profondità (m) |
| <b>I/A</b><br><b>Grottarossa</b><br><b>prog.</b><br><b>0.000÷4.500</b>                          | 1   | A39       | 14,00          | 1        | A39C1r        | 13,50          |
|   | 2   | A40       | 25,00          | 1        | A40C1r        | 3,50           |
|   |     |           |                | 2        | A40C1         | 21,00 – 21,60  |
|   | 3   | A33       | 22,00          | 1        | A33C1         | 21,00 – 21,60  |
|   | 4   | A30       | 22,00          | 1        | A30C1         | 12,00 – 12,60  |
| 2   |     |           |                | A30C2    | 21,00 – 21,60 |                |
| 5   | A34 | 19,00     | 1              | A34C1    | 18,00 – 18,60 |                |
| <b>I/B</b><br><b>Grotta d'Acqua</b><br><b>– Favarella</b><br><b>prog.</b><br><b>4.500÷9.500</b> | 6   | A9        | 25,00          | 1        | A9C1r         | 4,00           |
|   |     |           |                | 2        | A9C1          | 6,00 – 6,60    |
|   |     |           |                | 3        | A9C2          | 24,00 – 24,60  |
|   | 7   | A11       | 22,00          | 1        | A11C1         | 13,00 – 13,60  |
|   |     |           |                | 2        | A11C2         | 21,00 – 21,60  |
|   | 8   | A14       | 11,00          | 1        | A14C1         | 6,00 – 6,60    |
|   |     |           |                | 2        | A14C1r        | 11,00          |
|   | 9   | A16       | 13,00          | 1        | A16C1r        | 6,00           |
|   |     |           |                | 2        | A16C1         | 12,00 – 12,60  |
|   | 10  | A20       | 25,00          | 1        | A20C1r        | 3,50           |
| 2   |     |           |                | A20C1    | 9,00 – 9,60   |                |
| 3   |     |           |                | A20C2    | 24,00 – 24,60 |                |



| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva                          | N° | Sondaggio | Profondità<br>(m) | Campioni |               |                |
|---|----|-----------|-------------------|----------|---------------|----------------|
|   |    |           |                   | N°       | Denominazione | Profondità (m) |
|   | 11 | A23       | 22,00             | 1        | A23C1         | 7,00 – 7,60    |
|   |    |           |                   | 2        | A23C2         | 21,00 – 21,60  |
|   | 12 | A26       | 7,00              | 1        | A26C1         | 6,00 – 6,50    |
|   | 13 | A29       | 19,00             | 1        | A29C1         | 18,00 – 18,60  |
|   | 14 | A31       | 10,00             | 1        | A31C1         | 9,00 – 9,60    |
|   | 15 | A32       | 7,00              | 1        | A32C1         | 6,00 – 6,60    |
| <b>II</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>prog.</b><br><b>12.140 ÷ 17.640</b> | 16 | A37       | 14,00             | 1        | A37C1         | 9,00 – 9,60    |
|   | 17 | A38       | 25,00             | 1        | A38C1         | 6,50 – 7,00    |

### 2.1.2. Campagna del Progetto Definitivo

Le indagini e prove geotecniche sono state programmate e suddivise in due distinte fasi.

**Fase 1**, eseguita nel periodo Febbraio ÷ Aprile 2006, finalizzata a ricostruire il modello geologico generale del territorio;

**Fase 2**, eseguita nel mese di Maggio 2006, ad infittimento delle indagini di prima fase, finalizzata alla definizione del modello geologico-tecnico del sottosuolo per il corretto dimensionamento di tutte le opere d'arte e manufatti interagenti con il terreno (viadotti, gallerie, rilevati opere di corredo, ecc.).

Complessivamente le indagini eseguite possono così riassumersi:

| Tipo indagine                 | I FASE | II FASE | Complessivo |
|-------------------------------|--------|---------|-------------|
| Perforazioni a rotazione      | 32     | 27      | <b>59</b>   |
| Piezometri                    | 9      | 2       | <b>11</b>   |
| Campioni indisturbati         | 87     | 71      | <b>158</b>  |
| Prove pressiometriche         | 9      | 10      | <b>19</b>   |
| Sondaggi sismici superficiali | 0      | 24      | <b>24</b>   |
| Sondaggi sismici Down Hole    | 0      | 2       | <b>2</b>    |
| Inclinometri                  | 0      | 1       | <b>1</b>    |
| Prove di permeabilità Lefranc | 1      | 2       | <b>3</b>    |
| Pozzetti esplorativi          | 0      | 28      | <b>28</b>   |
| Prove di carico su piastra    | 0      | 14      | <b>14</b>   |

**Tabella riepilogativa campagna indagini in Situ 2006 - S.S. 640.**

Sondaggi meccanici:

Perforazioni a rotazione con carotaggio continuo e in parte a distruzione di nucleo, finalizzate alla determinazione dei profili stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche dei vari livelli litologici. Le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state raccolte, catalogate e fotografate nelle apposite cassette, per eseguire la ricostruzione delle stratigrafie.

Complessivamente sono stati eseguiti n°59 sondaggi pari 1.670 metri così suddivisi:

- I FASE: n°32 complessivi di cui 9 attrezzati con piezometro
  - n°27 a carotaggio continuo (per viadotti, trincee e gallerie minori con profondità variabile da 15 m a 40 m);
  - n°5 a distruzione di nucleo + carotaggio continuo (per la galleria di Caltanissetta con profondità da 80 m a 130 m).
- II FASE: n°27 complessivi di cui 2 attrezzati con piezometro
  - n°24 a carotaggio continuo (per viadotti, trincee e gallerie minori con profondità variabile da 15 m a 50 m);
  - n°3 a distruzione di nucleo + carotaggio continuo (per la galleria di Caltanissetta con profondità da 80 m a 140 m).

Per ogni sondaggio sono stati prelevati in media da due a quattro campioni indisturbati, in relazione alla litologia riscontrata ed all'opera d'arte da realizzare, per condurre le analisi a prove geotecniche di laboratorio. Complessivamente sono stati prelevati n. 158 campioni indisturbati così suddivisi:

- I FASE: n°87
- II FASE: n°71

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                           | N° | Sondaggio | Profondità (m) | Campioni |               |                |
|--|----|-----------|----------------|----------|---------------|----------------|
|  |    |           |                | N°       | Denominazione | Profondità (m) |
| <b>1/A</b><br><b>Grottarossa</b><br><b>prog.</b><br><b>0.000÷4.500</b> | 1  | S01       | 15,00          | 1        | S01CR1        | 8,00-8,40      |
|  |    |           |                | 2        | S01C1         | 14,00-14,50    |
|  | 2  | S02       | 15,00          | 1        | S02CR1        | 3,00-3,50      |
|  |    |           |                | 2        | S02C1         | 5,00-5,50      |
|  |    |           |                | 3        | S02C2         | 8,00-8,50      |
|  | 3  | S04       | 25,00          | 1        | S04C1         | 13,00-13,50    |
|  |    |           |                | 2        | S04C2         | 19,50-19,50    |
|  | 4  | S03       | 15,00          | 1        | S03C1         | 2,80-3,30      |
|  |    |           |                | 2        | S03C2         | 9,00-9,50      |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva  | N°  | Sondaggio | Profondità<br>(m) | Campioni |                    |                |             |
|---|-----|-----------|-------------------|----------|--------------------|----------------|-------------|
|   |     |           |                   | N°       | Denominazio-<br>ne | Profondità (m) |             |
|   | 5   | S05       | 30,00             | 1        | S05C1              | 3,00-3,50      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S05C2              | 8,90-9,40      |             |
|   |     |           |                   | 3        | S05C3              | 25,00-25,50    |             |
|   | 6   | S06       | 25,00             | 1        | S06C1              | 4,00-4,50      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S06C2              | 10,50-11,00    |             |
|   |     |           |                   | 3        | S06C3              | 21,50-22,00    |             |
|   | 7   | S07       | 30,00             | 1        | S07C1              | 3,50-4,00      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S07C2              | 15,00-15,50    |             |
|   |     |           |                   | 3        | S07C3              | 25,00-25,50    |             |
|   | 8   | S10       | 35,00             | 1        | S10C1              | 2,00-2,50      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S10C2              | 10,00-10,50    |             |
|   |     |           |                   | 3        | S10C3              | 20,00-20,50    |             |
| 9   | S08 | 30,00     | 1                 | S08C1    | 4,00-4,50          |                |             |
|   |     |           | 2                 | S08C2    | 9,00-9,50          |                |             |
|   |     |           | 3                 | S08C3    | 14,50-15,00        |                |             |
|   |     |           | 4                 | S08C4    | 17,00-17,50        |                |             |
| 10  | S11 | 20,00     | 1                 | S11C1    | 6,60-7,10          |                |             |
|   |     |           | 2                 | S11C2    | 10,80-11,30        |                |             |
|   |     |           | 3                 | S11C3    | 20,00-20,50        |                |             |
| <b>1/B</b><br><b>Grotta d'Acqua</b><br><b>- Favarella</b><br><b>Progr</b><br><b>4.500 ÷ 9.500</b> | 11  | S32       | 10,00             | 1        | S32C1              | 2,00-2,50      |             |
|   | 12  | S12       | 20,00             | 1        | S12C1              | 4,00-4,50      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S12C2              | 8,00-8,50      |             |
|   |     |           |                   | 3        | S12C3              | 14,00-14,50    |             |
|   | 13  | S13       | 15,00             | 1        | S13C1              | 4,50-5,00      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S13C2              | 10,00-10,50    |             |
|   |     |           |                   | 3        | S13C3              | 14,50-15,00    |             |
|   | 14  | S15       | 25,00             | 1        | S15C1              | 3,50-4,00      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S15C2              | 7,00-7,50      |             |
|   |     |           |                   | 3        | S15C3              | 11,00-11,50    |             |
|   |     |           |                   | 4        | S15C4              | 19,00-19,50    |             |
| 15  | S09 | 20,00     | 1                 | S09C1    | 5,00-5,50          |                |             |
|   |     |           | 2                 | S09C2    | 17,50-18,00        |                |             |
| <b>1/C</b><br><b>Seconda va-</b><br><b>riante</b><br><b>Progr</b><br><b>9.500 ÷ 12.140</b>        | 16  | S16       | 25,00             | 1        | S16C1              | 8,00-8,50      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S16C2              | 16,00-16,50    |             |
|   |     |           |                   | 3        | S16C3              | 24,00-24,50    |             |
|   | 17  | S17       | 30,00             | 1        | S17C1              | 3,50-4,00      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S17C2              | 10,00-10,50    |             |
|   |     |           |                   | 3        | S17C3              | 20,40-20,90    |             |
|   | 18  | S18       | 30,00             | 1        | S18C1              | 3,00-3,50      |             |
|   |     |           |                   | 2        | S18C2              | 8,00-8,50      |             |
|   |     |           |                   | 3        | S18C3              | 15,50-16,00    |             |
|   |     |           |                   | 4        | S18C4              | 25,00-25,50    |             |
|   | 19  | S44       | 50,00             | 50,00    | 1                  | S44C1          | 33,00-33,50 |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva | N°   | Sondaggio | Profondità<br>(m)                     | Campioni |                    |                |               |               |
|--|--|-----------|---------------------------------------|----------|--------------------|----------------|---------------|---------------|
|  |  |           |                                       | N°       | Denominazio-<br>ne | Profondità (m) |               |               |
|  |  |           |                                       | 2        | S44C2              | 40,00-40,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 3        | S44C3              | 45,50-46,00    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S19C1              | 20,50-21,00    |               |               |
|  | 20   | S19       | 40,00                                 | 2        | S19C2              | 28,50-29,00    |               |               |
|  |  |           |                                       | 3        | S19C3              | 32,00-32,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S20C1              | 25,00-25,50    |               |               |
|  | 21   | S20       | 40,00                                 | 2        | S20C2              | 31,50-32,00    |               |               |
|  |  |           |                                       | 3        | S20C3              | 35,00-35,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S14C1              | 28,00-28,50    |               |               |
|  | 22   | S14       | 40,00                                 | 2        | S14C2              | 33,00-33,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 3        | S14C3              | 38,00-38,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S21C1              | 4,30-4,80      |               |               |
|  | 23   | S21       | 30,00                                 | 2        | S21C2              | 10,00-10,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 3        | S21C3              | 20,00-20,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S22C1              | 9,90-10,40     |               |               |
|  | 24   | S22       | 25,00                                 | 2        | S22C2              | 15,00-15,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 3        | S22C3              | 24,80-25,30    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S46C1              | 16,00-16,50    |               |               |
|  | 25   | S46       | 30,00                                 | 2        | S46C2              | 21,00-21,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S23C1              | 20,70-21,20    |               |               |
|  | 25   | S23       | 25,00                                 | 2        | S23C2              | 24,00-24,50    |               |               |
|  |  |           |                                       | 1        | S24C1              | 11,80-12,30    |               |               |
|  | <b>2</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>Progr</b><br><b>12.140 ÷ 17.640</b> | 27        | S24                                   | 25,00    | 2                  | S24C2          | 19,50-20,00   |               |
|  |  |           |                                       |          | 1                  | S47C1          | 12,20-12,70   |               |
| 28   |  | S47       | 25,00                                 | 1        | 1                  | S48C1          | 6,00-6,50     |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S48C2         | 17,50-18,00   |
| 29   |  | S48       | 25,00                                 | 1        | 1                  | S49C1          | 5,60-6,10     |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S49C2         | 18,00-18,50   |
| 30   |  | S49       | 25,00                                 | 1        | 1                  | S26C1          | 66,00-66,50   |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S26C2         | 70,00-70,50   |
| 31   |  | S26       | 80,00 (di<br>cui 50,00<br>a distr.)   | 1        | 1                  | S26C3          | 78,00-78,50   |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S50C1         | 120,00-120,50 |
|  |  |           |                                       |          |                    | 3              | S50C2         | 125,00-125,50 |
| 32   |  | S50       | 140,00 (di<br>cui 110,00<br>a distr.) | 1        | 1                  | S50C3          | 130,00-130,50 |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S25C1         | 114,00-114,50 |
|  |  |           |                                       |          |                    | 3              | S25C2         | 119,00-119,50 |
| 33   |  | S25       | 130,00 (di<br>cui 60,00<br>a distr.)  | 1        | 1                  | S25C3          | 127,00-127,50 |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S51C1         | 115,00-115,50 |
|  |  |           |                                       |          |                    | 3              | S51C2         | 120,00-120,50 |
| 34   |  | S51       | 130,00 (di<br>cui 110,00<br>a distr.) | 1        | 1                  | S51C3          | 125,00-125,50 |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              | S27C1         | 115,00-115,50 |
|  |  |           |                                       |          |                    | 3              | S27C2         | 120,00-120,50 |
| 35   |  | S27       | 130,00 (di<br>cui 60,00<br>a distr.)  | 1        | 1                  | S27C3          | 125,00-125,50 |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 2              |               |               |
|  |  |           |                                       |          |                    | 3              |               |               |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva                     | N° | Sondaggio | Profondità<br>(m)                   | Campioni |                    |                |
|--|----|-----------|-------------------------------------|----------|--------------------|----------------|
|  |    |           |                                     | N°       | Denominazio-<br>ne | Profondità (m) |
|  | 36 | S28       | 50,00 (di<br>cui 50,00<br>a distr.) | -        | -                  | -              |
|  | 37 | S52       | 80,00 (di<br>cui 50,00<br>a distr.) | 1        | S52C1              | 55,00-55,50    |
| 2  |    |           |                                     | S52C2    | 65,00-65,50        |                |
| 3  |    |           |                                     | S52C3    | 75,00-75,50        |                |
|  | 38 | S29       | 55,00 (di<br>cui 30,00<br>a distr.) | 1        | S29C1              | 42,00-42,50    |
| 2  |    |           |                                     | S29C2    | 49,50-50,00        |                |
| 3  |    |           |                                     | S29C3    | 54,50-55,00        |                |
|  | 39 | S53       | 30,00                               | 1        | S53C1              | 8,00-8,50      |
| 2  |    |           |                                     | S53C2    | 18,00-18,50        |                |
| 3  |    |           |                                     | S53C3    | 24,00-24,50        |                |
|  | 40 | S30       | 30,00                               | 1        | S30C1              | 10,00-10,50    |
| 2  |    |           |                                     | S30C2    | 17,00-17,50        |                |
| 3  |    |           |                                     | S30C3    | 25,00-25,50        |                |
|  | 41 | S31       | 35,00                               | 1        | S31C1              | 20,00- 20,50   |
| 2  |    |           |                                     | S31C2    | 25,00-25,50        |                |
| 3  |    |           |                                     | S31C3    | 30,00-30,50        |                |
| <b>3/A<br/>Busita<br/>Progr.<br/>17.640 ÷ 19.500</b>                   | 42 | S33       | 25,00                               | 1        | S33C1              | 15,00-15,50    |
|  |    |           |                                     | 2        | S33C2              | 20,00-20,50    |
|  | 43 | S34       | 30,00                               | 1        | S34C1              | 8,20-8,70      |
|  |    |           |                                     | 2        | S34C2              | 16,00-16,50    |
|  |    |           |                                     | 3        | S34C3              | 26,00-26,50    |
|  | 44 | S35       | 130,00                              | 1        | S35C1              | 3,60-4,10      |
|  |    |           |                                     | 2        | S35C2              | 9,80-10,30     |
|  |    |           |                                     | 3        | S35C3              | 22,00-22,50    |
|  | 45 | S36       | 25,00                               | 1        | S36C1              | 7,80-8,30      |
|  |    |           |                                     | 2        | S36C2              | 18,80-19,30    |
|  | 46 | S54       | 25,00                               | 1        | S54C1              | 8,30-8,80      |
|  |    |           |                                     | 2        | S54C2              | 16,10-16,60    |
|  |    |           |                                     | 3        | S54C3              | 20,00-20,50    |
|  | 47 | S55       | 25,00                               | 1        | S55C1              | 3,50-4,00      |
|  |    |           |                                     | 2        | S55C2              | 10,00-10,50    |
|  | 48 | S37       | 30,00                               | 1        | S37C1              | 9,00-9,50      |
|  |    |           |                                     | 2        | S37C2              | 18,00-18,50    |
|  |    |           |                                     | 3        | S37C3              | 28,00-28,50    |
| <b>3/B<br/>Abbazia - Are-<br/>nella<br/>Progr.<br/>19.500 ÷ 26.600</b> | 49 | S38       | 25,00                               | 1        | S38C1              | 9,00-9,50      |
|  |    |           |                                     | 2        | S38C2              | 18,00-18,50    |
|  | 50 | S56       | 30,00                               | 1        | S56C1              | 8,00-8,50      |
|  |    |           |                                     | 2        | S56C2              | 15,80-16,30    |
|  |    |           |                                     | 3        | S56C3              | 26,30-26,80    |
|  | 51 | S39       | 30,00                               | 1        | S39C1              | 3,60-4,10      |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva                    | N°  | Sondaggio | Profondità<br>(m) | Campioni |                    |                |
|---|-----|-----------|-------------------|----------|--------------------|----------------|
|   |     |           |                   | N°       | Denominazio-<br>ne | Profondità (m) |
|   |     |           |                   | 2        | S39C2              | 12,00-12,50    |
|   |     |           |                   | 3        | S39C3              | 25,00-25,50    |
|   |     |           |                   | 1        | S40C1              | 8,80-9,30      |
|   | 52  | S40       | 30,00             | 2        | S40C2              | 14,80-15,30    |
|   |     |           |                   | 3        | S40C3              | 25,00-25,50    |
|   |     |           |                   | 1        | S41C1              | 8,00-8,50      |
|   | 53  | S41       | 30,00             | 2        | S41C2              | 18,00-18,50    |
|   |     |           |                   | 3        | S41C3              | 25,50-26,00    |
|   |     |           |                   | 1        | S57C1              | 3,00-3,50      |
|   | 54  | S57       | 25,00             | 2        | S57C2              | 10,00-10,50    |
|   |     |           |                   | 1        | S42C1              | 4,00-4,50      |
|   | 55  | S42       | 25,00             | 2        | S42C2              | 12,00-12,50    |
|   |     |           |                   | 3        | S42C3              | 25,00-25,50    |
|   |     |           |                   | 1        | S58C1              | 8,10-8,60      |
|   | 56  | S58       | 30,00             | 2        | S58C2              | 16,00-16,50    |
| 3   |     |           |                   | S58C3    | 26,00-26,50        |                |
| 1   |     |           |                   | S43C1    | 4,50-5,00          |                |
| 57  | S43 | 30,00     | 2                 | S43C2    | 12,00-12,50        |                |
|   |     |           | 3                 | S43C3    | 25,00-25,50        |                |
|   |     |           | 1                 | S45C1    | 6,30-6,80          |                |
| <b>3/C</b><br><b>Imera</b><br><b>Progr.</b><br><b>26.600 – 28.080</b> | 58  | S45       | 30,00             | 2        | S45C2              | 15,00-15,50    |
|   |     |           |                   | 3        | S45C3              | 22,50-23,00    |
|   |     |           |                   | 1        | S59C1              | 10,00-10,50    |
|   | 59  | S59       | 30,00             | 2        | S59C2              | 16,00-16,50    |
|   |     |           |                   | 3        | S59C3              | 26,00-26,50    |

### Prove pressiometriche

Sono state eseguite 19 prove con pressimetro tipo "Menard" nei fori di sondaggio in prossimità delle gallerie Caltanissetta e Papazzo così suddivise:

- I FASE: n°9 in corrispondenza della galleria Calt anissetta (sondaggi S25 – S26 – S27-S29);
- II FASE: n° 10 in corrispondenza della galleria Pa pazzo (sondaggi S44 – S14) e galleria Caltanissetta (S50 – S51 – S52);

### Prove penetrometriche:

Sono state eseguite prove penetrometriche del tipo SPT in foro, statiche e dinamiche così suddivise:

|                                    |                                      |                  |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA         | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | Pagina 13 di 126 |

- I FASE:
  - n°9 SPT nei sondaggi S19 e S 20 (Galleria Papazzo );
  - n° 12 dinamiche
  - n° 2 statiche
- II FASE:
  - n° 28 dinamiche

#### Sondaggi sismici superficiali:

Prospezioni sismiche a rifrazione con stendimento di 80 m tali da indagare circa 30 metri di profondità del sottosuolo.

Le prospezioni eseguite sono state così suddivise:

- I FASE: n° 0
- II FASE: n° 24 per complessivi 1920 metri di stendimento

#### Sondaggi sismici Down Hole:

In corrispondenza dei sondaggi S14 (galleria Papazzo) e S46 (sbocco) sono stati eseguiti dei sondaggi sismici Down Hole con sorgente energizzante in superficie, e geofono da foro calato a diverse profondità di stazionamento.

- I FASE: n° 0
- II FASE: n° 2

#### Pozzetti esplorativi

In II FASE, sono stati eseguiti n.° 28 pozzetti esplorativi spinti ad una profondità variabile da 1,5 a 2,0 metri che hanno consentito di investigare il sottosuolo in prossimità dei rilevati stradali da eseguire per verificare direttamente in situ le litologie, i livelli di alterato da bonificare, la presenza di eventuale falda superficiale.

Inoltre su n° 3 rilevati esistenti si è verificata la densità in situ e i valori di costipazione.

#### Prove di carico su piastra

In II FASE all'interno di alcuni dei pozzetti esplorativi sono stati eseguiti n° 14 prove di carico su piastra sul fondo del pozzetto (a circa 1.5 m di profondità) che hanno consentito di verificare in situ la capacità portante dei terreni, il modulo elastico, la deformabilità ed i cedimenti dei terreni che saranno interessati dai carichi del rilevato stradale e dell'infrastruttura.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 14 di 126 |

Nella tabella che segue è riportato il riepilogo di tutte le indagini sopra elencate (ad esclusione dei carotaggi) suddivise per tratte e sottotratte. In corrispondenza della colonna dei pozzetti esplorativi, sono stati evidenziati i pozzetti all'interno dei quali sono state eseguite le prove di carico su piastra indicandone il numero progressivo.

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                | Tipologia                         | Sigla           | Dimensione   |
|---|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| 1/A<br>Grottarossa<br>prog.<br>0.000÷4.500                  | Penetrometriche dinamiche         | P1              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P2              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P3              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P4              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P5              | Prof= 9,80 m |
|   | Prospezioni sismiche a rifrazione | SS1             | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS2             | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS3             | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS4             | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS13            | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS12            | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS11            | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS14            | L= 78,00 m   |
|   | Pozzetti esplorativi              | PZ1             | Prof.= 2.0 m |
|   |                                   | PZ2             | Prof.= 2.0 m |
|   |                                   | <b>PZ3 (P1)</b> | Prof.= 2.0 m |
|   |                                   | <b>PZ4 (P2)</b> | Prof.= 2.0 m |
| PZ5   |                                   | Prof.= 2.0 m    |              |
| 1/B<br>Grotta d'Acqua – Favarella<br>Progr<br>4.500 ÷ 9.500 | Penetrometriche dinamiche         | P6              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P7              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P8              | Prof= 2,60 m |
|   |                                   | P9              | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | P10             | Prof= 9,80 m |
|   |                                   | CPT1            | Prof= 4,60 m |
|   |                                   | CPT2            | Prof= 9,60 m |
|   | Prospezioni sismiche a rifrazione | SS05            | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS23            | L= 78,00 m   |
|   |                                   | SS21            | L= 78,00 m   |



| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                                   | Tipologia                         | Sigla             | Dimensione   |
|--|-----------------------------------|-------------------|--------------|
|  |                                   | SS22              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS20              | L= 78,00 m   |
|  | Pozzetti esplorativi              | <b>PZ6 (P3)</b>   | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ7 (P4)</b>   | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ8               | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ9 (P5)</b>   | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ10 (P6)</b>  | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ11              | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ12 (P7)</b>  | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ13              | Prof.= 2.0 m |
| <b>1/C</b><br><b>Seconda variante</b><br><b>Progr</b><br><b>9.500 ÷ 12.140</b> | Penetrometriche dinamiche         | P11               | Prof= m 8,60 |
|  |                                   | P12               | Prof= m 8,50 |
|  |                                   | P13               | Prof= m 9.80 |
|  | Prospezioni sismiche a rifrazione | SS19              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS06              | L= 78,00 m   |
|  | Pozzetti esplorativi              | PZ14              | Prof.= 2.0 m |
| <b>2</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>Progr</b><br><b>12.140 ÷ 17.640</b>     | Penetrometriche dinamiche         | P14               | Prof= 7,70 m |
|  |                                   | P03 F1            | Prof= 8,70 m |
|  | Pozzetti esplorativi              | <b>PZ15 (P8)</b>  | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ16 (P9)</b>  | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ17 (P10)</b> | Prof.= 2.0 m |
| <b>3/A</b><br><b>Busita</b><br><b>Progr.</b><br><b>17.640 ÷ 19.500</b>         | Penetrometriche dinamiche         | P04 F1            | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P15               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P16               | Prof= 6,10 m |
|  |                                   | P17               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P18               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P05 F1            | Prof= 9,80 m |
|  | Pozzetti esplorativi              | PZ18              | Prof.= 2.0 m |

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva           | Tipologia                         | Sigla             | Dimensione   |
|--|-----------------------------------|-------------------|--------------|
| 3/B<br>Abbazia - Arenella<br>Progr.<br>19.500 ÷ 26.600 | Penetrometriche dinamiche         | P19               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P20               | Prof= 9,40 m |
|  |                                   | P21               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P22               | Prof= 8,50 m |
|  |                                   | P23               | Prof= 7,30 m |
|  |                                   | P24               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P06 F1            | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P25               | Prof= 9,50 m |
|  |                                   | P26               | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P07 F1            | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P08 F1            | Prof= 4,30 m |
|  |                                   | P27               | Prof= 8,90 m |
|  |                                   | P09 F1            | Prof= 6,50 m |
|  |                                   | P10 F1            | Prof= 9,80 m |
|  |                                   | P28               | Prof= 5,40 m |
|  | Prospezioni sismiche a rifrazione | SS18              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS16              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS17              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS15              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS10              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS07              | L= 78,00 m   |
|  |                                   | SS08              | L= 78,00 m   |
|  | Pozzetti esplorativi              | <b>PZ19 (P11)</b> | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ20              | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ21 (P12)</b> | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ22              | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ23              | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ24              | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | PZ25              | Prof.= 2.0 m |
|  |                                   | <b>PZ26 (P13)</b> | Prof.= 2.0 m |

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva | Tipologia                 | Sigla             | Dimensione   |
|--|---------------------------|-------------------|--------------|
|  |                           | PZ27              | Prof.= 2.0 m |
|  |                           | <b>PZ28 (P14)</b> | Prof.= 2.0 m |
| 3/A<br>Busita<br>Progr.<br>17.640 ÷ 19.500   | Penetrometriche dinamiche | P11 F1            | Prof= 4,20 m |
|  |                           | P12 F1            | Prof= 4,40 m |

In corrispondenza della colonna dei pozzetti esplorativi sono stati evidenziati quelli all'interno dei quali si è proceduto alle prove di carico su piastra.

## 2.2. INDAGINI INTEGRATIVE DEL PROGETTO ESECUTIVO - FASE 1 DEL 2010

La campagna integrativa di indagini è stata condotta tra luglio e settembre 2010, al fine di approfondire la conoscenza geologica e geotecnica, coerentemente con il nuovo quadro normativo di riferimento (N.T.C. 2008).

Le indagini integrative sono state costituite da:

- Sondaggi meccanici

Sono stati eseguiti n. 22 perforazioni a carotaggio continuo condotti con profondità comprese tra 20 e 150 m da p.c., localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono state scelte in funzione dell'opera d'arte interessata, pertanto, nel caso delle gallerie si è provveduto al raggiungimento di una quota sufficiente al superamento dell'opera intera, così come per la Galleria naturale Caltanissetta 3 sondaggi sono stati spinti sino a 150 m dal p.c., a carotaggio continuo per l'intero sondaggio. I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia stabiliti in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati:

- Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- Peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua ;
- Prove di taglio diretto

|                                    |                                      |                  |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA         | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | Pagina 18 di 126 |

- Prove triassiali
- Prove edometriche ed determinazione del coefficiente Cv

Si è provveduto, inoltre, su alcuni campioni prelevati durante i sondaggi a diverse altezze, ad effettuare apposite determinazioni chimiche atte a verificare se i terreni risultano idonei al trattamento di bonifica a calce:

- Contenuto di Sostanze Organiche;
- Determinazione del valore di Blu di metilene VB;
- Contenuto di solfati, solfuri e nitrati;

Nelle seguenti tabelle è riportato il quadro completo delle indagini e prove in situ eseguite, distinte per tratta

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva   | N° | Sondaggio | Tipologia                                 | Note   | Profondità (m) | Campioni |               |                |
|--|----|-----------|---|--|----------------|----------|---------------|----------------|
|  |    |           |   |  |                | N°       | Denominazione | Profondità (m) |
| <b>1/A</b><br><b>Grottarossa</b><br><b>prog.</b><br><b>0.000÷4.500</b>                     | 1  | S1        | Down Hole                                 | -  | 30,00          | 1        | C1            | 6,00-6,40      |
|  |    |           |   |  |                | 2        | C2            | 11,50-12,00    |
|  |    |           |   |  |                | 3        | C3            | 17,50-18,00    |
|  |    |           |   |  |                | 4        | C4            | 24,50-25,00    |
|  |    |           |   |  |                | 5        | C5            | 29,50-30,00    |
|  | 2  | S2        | -   | -  | 30,00          | 1        | C1            | 6,00-6,40      |
|  |    |           |   |  |                | 2        | C2            | 14,00-14,50    |
|  |    |           |   |  |                | 3        | C3            | 17,50-18,00    |
|  |    |           |   |  |                | 4        | C4            | 24,00-24,50    |
|  |    |           |   |  |                | 5        | C5            | 29,50-30,00    |
| <b>1/C</b><br><b>Seconda varian-</b><br><b>te</b><br><b>Progr</b><br><b>9.500 ÷ 12.140</b> | 3  | S3        | Down Hole                                 | -  | 30,00          | 1        | C1            | 6,00-6,50      |
|  |    |           |   |  |                | 2        | C2            | 12,00-12,50    |
|  |    |           |   |  |                | 3        | C3            | 18,00-18,50    |
|  |    |           |   |  |                | 4        | C4            | 24,00-24,50    |
|  |    |           |   |  |                | 5        | C5            | 29,50-30,00    |
|  | 4  | S4        | Piez. di Cas.<br>(prof. m. 20 e<br>m. 50) | Eseguite<br>n. 4 prove presi-<br>siometriche<br>(prof. m.<br>15.00 -35.00<br>45.00 -55.00) | 60,00          | 1        | C1            | 6,50-7,00      |
|  |    |           |   |  |                | 2        | C2            | 13,70-14,20    |
|  |    |           |   |  |                | 3        | C3            | 30,00-30,50    |
|  |    |           |   |  |                | 4        | C4            | 40,00-40,0     |
|  |    |           |   |  |                | 5        | C5            | 45,00-45,50    |
|  |    |           |   |  |                | 6        | C6            | 50,00-50,50    |
|  | 5  | S5        | -   | -  | 30,00          | 1        | C1            | 5,00-5,50      |
|  |    |           |   |  |                | 2        | C2            | 10,00-10,50    |
|  |    |           |   |  |                | 3        | C3            | 15,00-15,50    |
|  |    |           |   |  |                | 4        | C4            | 20,00-20,50    |
|  |    |           |   |  |                | 5        | C5            | 25,00-25,50    |
|  | 6  | S6        | -   | -  | 25,00          | 1        | C1            | 5,00-5,50      |
|  |    |           |   |  |                | 2        | C2            | 20,00-20,5     |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva | N°   | Sondaggio     | Tipologia                                 | Note  | Profondità<br>(m)  | Campioni |               |   |   |
|--|--|---------------|---|---|--|----------|---------------|---|---|
|  |  |               |   |   |  | N°       | Denominazione | Profondità (m)                            |   |
| 2<br>Caltanissetta<br>Progr<br>12.140 ÷ 17.640     | 7  | S7            | Down Hole                                 | Eseguite<br>n. 4 prove pres-<br>siometriche<br>(prof.m. 10; 20;<br>30; 40)        | 40,00  | 3        | C3            | 24,50-25,00                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 1        | C1            | 5,00-5,40                                 |   |
|  |  |               |   |   |  | 2        | C2            | 10,00-10,50                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 3        | C3            | 15,00-15,40                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 4        | C4            | 20,00-20,50                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 5        | C5            | 25,00-25,50                               |   |
|  | 8  | S8            | Piez. di Cas.<br>(prof. m. 15 e<br>m.130) | Eseguite<br>n. 5 prove pres-<br>siometriche<br>(prof. m. 10; 20;<br>60; 100; 130) | 150,00   | 6        | C6            | 35,00-35,50                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 1        | C1            | 25,00-25,30                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 2        | C2            | 50,00-50,40                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 3        | C3            | 75,30-75,70                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 4        | C4            | 99,30-99,60                               |   |
|  |  |               |   |   |  | 5        | C5            | 110,00-110,30                             |   |
|  |  |               |   |   |  | 6        | C6            | 119,00-119,30                             |   |
|  |  |               |   |   |  | 7        | C7            | 130,00-130,30                             |   |
|  |  |               |   |   |  | 8        | C8            | 139,80-140,10                             |   |
|  | 2<br>Caltanissetta<br>Progr<br>12.140 ÷ 17.640 | 9             | S9  | Piez. di Cas.<br>(prof. m. 15 e<br>m.130)   | Eseguite<br>n. 7 prove pres-<br>siometriche<br>(prof. m. 10 ;30;<br>50; 70; 90; 110;<br>130) | 150,00   | 9             | C9  | 149,90-150,10   |
|  |  |               |   |   |  |          | 1             | C1  | 6,00-6,50   |
|  |  |               |   |   |  |          | 2             | C2  | 12,00-12,50   |
|  |  |               |   |   |  |          | 3             | C3  | 18,00-18,50   |
| 4  |  |               |   |   |  |          | C4            | 24,00-24,50                               |   |
| 5  |  |               |   |   |  |          | C5            | 29,50-30,00                               |   |
| 6  |  |               |   |   |  |          | C6            | 36,00-36,50                               |   |
| 7  |  |               |   |   |  |          | C7            | 43,00-43,50                               |   |
| 8  |  |               |   |   |  |          | C8            | 48,00-48,40                               |   |
| 9  |  |               |   |   |  |          | C9            | 54,00-54,40                               |   |
| 10   |  |               |   |   |  |          | C10           | 60,00-60,50                               |   |
| 10   |  |               |   |   |  |          | S10           | Piez. di Cas.<br>(prof. m. 15 e<br>m.130) | Eseguite<br>n. 5 prove pres-<br>siometriche<br>(prof. m. 10; 30;<br>60; 100; 130) |
|  |  | 12            | C12                                       | 72,00-72,50   |  |          |               |   |   |
|  |  | 13            | C13                                       | 85,00-85,35   |  |          |               |   |   |
|  |  | 14            | C14                                       | 100,00-100,50   |  |          |               |   |   |
|  |  | 15            | C15                                       | 110,00-110,50   |  |          |               |   |   |
|  |  | 16            | C16                                       | 120,30-120,50   |  |          |               |   |   |
|  |  | 17            | C17                                       | 130,00-130,50   |  |          |               |   |   |
| 18   |  | C18           | 139,80-140,20                             |   |  |          |               |   |   |
| 19   | C19  | 149,50-150,00 |   |   |  |          |               |   |   |
| 1  | C1   | 30,90-31,30   |   |   |  |          |               |   |   |
| 2  | C2   | 50,00-50,40   |   |   |  |          |               |   |   |
| 3  | C3   | 88,50-89,00   |   |   |  |          |               |   |   |
| 4  | C4   | 99,20-99,60   |   |   |  |          |               |   |   |
| 5  | C5   | 109,40-109,70 |   |   |  |          |               |   |   |
| 6  | C6   | 120,70-121,00 |   |   |  |          |               |   |   |
| 7  | C7   | 129,60-130,00 |   |   |  |          |               |   |   |
| 8  | C8   | 139,50-139,80 |   |   |  |          |               |   |   |
| 9  | C9   | 150,00-150,30 |   |   |  |          |               |   |   |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva   | N°   | Sondaggio | Tipologia              | Note  | Profondità<br>(m) | Campioni |               |                |             |
|--|--|-----------|------------------------|---|-------------------|----------|---------------|----------------|-------------|
|  |  |           |                        |   |                   | N°       | Denominazione | Profondità (m) |             |
|  | 11   | S11       | Inclinometro/Down Hole | Eseguite<br>n. 4 prove pres-<br>siometriche<br>(prof. m. 10; 20;<br>30; 40) | 40,00             | 1        | C1            | 5,00-5,40      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 10,00-10,50    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 15,00-15,40    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 20,00-20,50    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 5        | C5            | 25,00-25,50    |             |
|  | 12   | S12bis    | -                      | -   | 63,00             | 1        | C1            | 35,00-35,50    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 40,00-40,50    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 45,00-45,50    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 54,00-54,40    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 5        | C5            | 55,60-66,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 6        | C6            | 62,60-63,00    |             |
|  | 13   | S13       | -                      | -   | 20,00             | 1        | C1            | 5,80-6,20      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 10,00-10,40    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 15,00-15,40    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 20,20,40       |             |
|  | 14   | S14       | Inclinometro/Down Hole | -   | 35,00             | 1        | C1            | 5,50-6,00      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 11,50-12,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 17,50-18,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 23,50-24,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 5        | C5            | 29,50-30,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 6        | C6            | 34,50-35,00    |             |
|  | <b>2</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>Progr</b><br><b>12.140 ÷ 17.640</b> | 15        | S15                    | -   | -                 | 30,00    | 1             | C1             | 6,00-6,50   |
|  |  |           |                        |   |                   |          | 2             | C2             | 11,50-12,00 |
|  |  |           |                        |   |                   |          | 3             | C3             | 17,50-18,00 |
| 4  |  |           |                        |   |                   |          | C4            | 23,50-24,00    |             |
| 5  |  |           |                        |   |                   |          | C5            | 29,50-30,00    |             |
| <b>3/A</b><br><b>Busita</b><br><b>Progr.</b><br><b>17.640 ÷ 19.500</b>                         | 16   | S16       | Down Hole              | -   | 40,00             | 1        | C1            | 5,50-6,00      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 11,25-11,75    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 18,00-18,40    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 25,00-25,50    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 5        | C5            | 30,40-30,70    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 6        | C6            | 40,00-40,30    |             |
|  | 17   | S17       | Down Hole              | -   | 30,00             | 1        | C1            | 5,50-6,00      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 11,50-12,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 17,50-18,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 25,50-26,00    |             |
| <b>3/B</b><br><b>Abbazia - Are-</b><br><b>nella</b><br><b>Progr.</b><br><b>19.500 ÷ 26.600</b> | 18   | S18       | -                      | -   | 30,00             | 1        | C1            | 5,50-6,00      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 11,50-12,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 3        | C3            | 17,50-18,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 4        | C4            | 23,50-24,00    |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 5        | C5            | 29,50-30,00    |             |
|  | 19   | S19       | Down Hole              | -   | 30,00             | 1        | C1            | 5,50-6,00      |             |
|  |  |           |                        |   |                   | 2        | C2            | 12,00-12,30    |             |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva | N°  | Sondaggio | Tipologia | Note | Profondità<br>(m) | Campioni |               |                |             |
|--|---|-----------|-----------|------|-------------------|----------|---------------|----------------|-------------|
|  |   |           |           |      |                   | N°       | Denominazione | Profondità (m) |             |
|  |   |           |           |      |                   | 3        | C3            | 17,50-18,00    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 4        | C4            | 23,50-24,00    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 5        | C5            | 29,50-30,00    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 1        | C1            | 5,50-6,00      |             |
|  |   |           |           |      |                   | 2        | C2            | 12,50-12,80    |             |
|  | 20  | S20       | -         | -    | 25,00             | 3        | C3            | 17,50-18,00    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 4        | C4            | 18,00-18,50    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 5        | C5            | 25,00-25,50    |             |
|  | <b>3/C<br/>Imera<br/>Progr.<br/>26.600 – 28.080</b> | 21        | S21       | -    | -                 | 30,00    | 1             | C1             | 7,00-7,50   |
|  |   |           |           |      |                   |          | 2             | C2             | 11,50-12,00 |
| 3  |   |           |           |      |                   |          | C3            | 18,00-18,50    |             |
| 4  |   |           |           |      |                   |          | C4            | 24,00-24,50    |             |
| 5  |   |           |           |      |                   |          | C5            | 30,00-30,60    |             |
| 22   |   | S22       | Down Hole | -    | 33,00             | 1        | C1            | 6,70-7,00      |             |
|  |   |           |           |      |                   | 2        | C2            | 12,30-12,70    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 3        | C3            | 17,60-18,00    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 4        | C4            | 20,00-20,40    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 5        | C5            | 26,00-26,40    |             |
|  |   |           |           |      |                   | 6        | C6            | 32,60-33,00    |             |

o Prove geotecniche in situ

- Prove penetrometriche CPT: n. 69 prove spinte sino a 10 m di profondità o a rifiuto, opportunamente localizzate lungo il tracciato in progetto, in corrispondenza dei viadotti e dei rilevati. Le prove sono state eseguite in avanzamento con attrezzatura standard (Penetrometro DPSH modello THOR 200 prodotto dalla FONDECO dal peso complessivo di 2200 kg, semovente su cingoli, S.N. 0002), le cui caratteristiche strumentali, fornite dalla ditta esecutrice dei lavori, possono essere così riassunte:

- Peso Massa battente 63.5 Kg
- Altezza di caduta libera 0.75 m
- Peso sistema di battuta 8 Kg
- Diametro punta conica 50.46 mm
- Area di base punta 20 cm<sup>2</sup>
- Lunghezza delle aste 1 m
- Peso aste a metro 6.3 Kg/m
- Profondità giunzione prima asta 0.80 m
- Avanzamento punta 0.20 m

- Numero colpi per punta N(20)
- Coeff. Correlazione 1.504
- Rivestimento/fanghi No
- Angolo di apertura punta 90

Per ciascuna prova sono state effettuate elaborazioni statistiche dei dati numerici acquisiti ed una stima dei parametri ottenuta mediante correlazioni geotecniche rapportate alla specifica natura dei litotipi incontrati in fase di esecuzione della prova. Nelle tabelle seguenti viene riportata l'ubicazione delle prove per singola tratta del tracciato in progetto. Si rimanda agli specifici elaborati per la consultazione dei parametri stimati.

|   |                                      |                         |
|---|--------------------------------------|-------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11   |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 23 di 126 |



| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva  | N°Prova | Profondità<br>(m) | Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva   | N°Prova | Profondità<br>(m) | Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva                    | N°Prova | Profondità<br>(m) |
|---|---------|-------------------|--|---------|-------------------|---|---------|-------------------|
| <b>1/A</b><br><b>Grottarossa prog.</b><br><b>0.000÷4.500</b>                                      | PD1     | 6.60              | <b>3/A</b><br><b>Busita</b><br><b>Progr.</b><br><b>17.640 ÷ 19.500</b>                         | PD30    | 9.80              | <b>3/C</b><br><b>Imera</b><br><b>Progr.</b><br><b>26.600 – 28.080</b> | PD59    | 7.60              |
|   | PD2     | 3.00              |  | PD31    | 7.40              |   | PD60    | 2.40              |
|   | PD3     | 9.40              |  | PD32    | 7.20              |   | PD61    | 6.00              |
|   | PD4     | 3.40              |  | PD33    | 9.60              |   | PD62    | 8.20              |
|   | PD5     | 7.0               |  | PD34    | 7.60              |   | PD63    | 7.20              |
|   | PD6     | 8.60              |  | PD35    | 6.80              |   | PD64    | 8.00              |
|   | PD7     | 8.20              |  | PD36    | 7.80              |   | PD65    | 8.80              |
|   | PD8     | 7.40              |  | PD37    | 10.00             |   | PD66    | 4.00              |
|   | PD9     | 5.40              |  | PD38    | 8.20              |   | PD67    | 7.60              |
|   | PD10    | 6.60              |  | PD39    | 8.60              |   | PD68    | 7.00              |
|   | PD11    | 8.20              |  | PD40    | 6.00              |   | PD69    | 6.40              |
| <b>1/B</b><br><b>Grotta d'Acqua –</b><br><b>Favarella</b><br><b>Progr</b><br><b>4.500 ÷ 9.500</b> | PD12    | 8.80              | <b>3/B</b><br><b>Abbazia - Are-</b><br><b>nella</b><br><b>Progr.</b><br><b>19.500 ÷ 26.600</b> | PD41    | 5.60              |   |         |                   |
|   | PD13    | 4.00              |  | PD42    | 6.80              |   |         |                   |
|   | PD14    | 8.40              |  | PD43    | 3.40              |   |         |                   |
|   | PD15    | 7.00              |  | PD44    | 7.20              |   |         |                   |
|   | PD16    | 9.60              |  | PD45    | 3.80              |   |         |                   |
|   | PD17    | 9.60              |  | PD46    | 7.00              |   |         |                   |
|   | PD18    | 8.40              |  | PD47    | 7.40              |   |         |                   |
|   | PD19    | 3.80              |  | PD48    | 8.40              |   |         |                   |
|   | PD20    | 5.40              |  | PD49    | 7.60              |   |         |                   |
|   | PD21    | 7.20              |  | PD50    | 7.00              |   |         |                   |
|   | PD22    | 6.20              |  | PD51    | 8.80              |   |         |                   |
| <b>1/C</b><br><b>Seconda variante</b><br><b>Progr</b><br><b>9.500 ÷ 12.140</b>                    | PD23    | 7.60              |  | PD52    | 7.80              |   |         |                   |
|   | PD24    | 8.60              |  | PD53    | 7.20              |   |         |                   |
|   | PD25    | 2.20              |  | PD54    | 6.40              |   |         |                   |
|   | PD26    | 6.20              |  | PD55    | 5.60              |   |         |                   |
|   | PD27    | 7.60              |  | PD56    | 6.60              |   |         |                   |
|   | PD28    | 9.20              |  | PD57    | 7.40              |   |         |                   |
| <b>2</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>Progr</b><br><b>12.140 ÷ 17.640</b>                        | PD29    | 6.60              |  | PD58    | 7.20              |   |         |                   |

- Saggi superficiali – prove di carico su piastra: Lungo l'intero tracciato, in corrispondenza delle principali nuove viabilità complementari, e per i tratti sui quali verranno realizzati i nuovi rilevati di raddoppio nel tronco di adeguamento in progetto, sono stati realizzati in totale n.14 saggi esplorativi con escavatore a benna rovescia, spinti sino ad una profondità massima di circa 1.0 m.; tali saggi hanno permesso di indagare lo strato superficiale da bonificare. Per la parametrizzazione del terreno di fondazione (determinazione del Modulo di deformazione Md) sono state eseguite n.14 prove con piastra circolare da 30 cm. I controlli sono stati eseguiti in conformità alla Norma del C.N.R. – Bollettino Ufficiale (Norme Tecniche) – A. XXVI – N. 146 - 1992 “Determinazione dei Moduli di deformazione Md. e M'd. mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare”, ed i risultati così ottenuti e le relative elaborazioni sono sintetizzati nella tabella seguente e riportati nell'apposito allegato.

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva  | N° prova | N° pozzetto | Profondità (cm) | Modulo di deformazione (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---|----------|-------------|-----------------|---|
| <b>1/A</b><br><b>Grottarossa</b><br><b>prog.</b><br><b>0.000÷4.500</b>                  | 14       | Pe1         | 70              | 38.8  |
|   | 13       | Pe2         | 80              | 22.3  |
|   | 11       | Pe3         | 80              | 40.5  |
|   | 12       | Pe 4        | 100             | 23.6  |
|   | 10       | Pe 5        | 80              | 29.8  |
| <b>1/B</b><br><b>Grotta d'Acqua – Favarella</b><br><b>Progr</b><br><b>4.500 ÷ 9.500</b> | 9        | Pe 6        | 90              | 28.9  |
|   | 8        | Pe 7        | 80              | 64.3  |
|   | 7        | Pe 8        | 70              | 41.3  |
|   | 6        | Pe9         | 70              | 34.7  |
| <b>2</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>Progr</b><br><b>12.140 ÷ 17.64</b>               | 5        | Pe10        | 80              | 17.1  |
| <b>3/A</b><br><b>Busita</b><br><b>Progr.</b><br><b>17.640 ÷ 19.500</b>                  | 4        | Pe11        | 90              | 16.9  |
| <b>3/B</b><br><b>Abbazia - Arenella</b><br><b>Progr.</b><br><b>19.500 ÷ 26.600</b>      | 2        | Pe12        | 100             | 30.5  |
|   | 3        | Pe 13       | 80              | 5.3   |
|   | 1        | Pe 14       | 70              | 7.2   |

○ Posa in opera di strumentazione geotecnica

- Inclinometri: n° 2 inclinometri installati per l'intera lunghezza di altrettanti sondaggi profondi 30 m (S11) e 40 m (S14), in corrispondenza di opere d'arte ubicate in zone di versante particolarmente critiche, con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio con cadenza quadrimestrale;
- Piezometri con celle di Casagrande: n° 4 piezometri (S4, S8, S9, S10) costituiti da 2 celle di casagrande per ogni sondaggio, attrezzati in altrettanti sondaggi a c.c. (compresi tra i 22 previsti), con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio con cadenza trimestrale.

○ Prospezioni geofisiche

- Sismica in foro: n° 9 prove tipo down-hole effettuate nei sondaggi a c.c., opportunamente attrezzati (S1, S3, S7, S16, S17, S19, S22), oltre che in 2 inclinometri (S11 e S14), finalizzati alla determinazione del parametro  $V_{S30}$  per la caratterizzazione sismica dei litotipi di imposta delle fondazioni ai sensi del DM 14/01/2008.
- Sismica di superficie: n° 22 traverse di sismica a rifrazione con risoluzione tomografica, lunghe 80 m ciascuna, ubicate laddove è prevista la realizzazione di opere particolari (viadotti, gallerie) corrispondenti alle zone ove necessita una maggiore definizione (ad es. corpi in frana); le traverse saranno utilizzate per la caratterizzazione dei sismostrati utili alla definizione del parametro  $V_{S30}$  in aggiunta alle prove down-hole in foro; in particolare, con riferimento alle planimetrie in allegato, le traverse sono state così suddivise:

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                                   | stendimento | N° traverse | stendimento (m) |
|--|-------------|-------------|-----------------|
| <b>1/C</b><br><b>Seconda variante</b><br><b>Progr</b><br><b>9.500 ÷ 12.140</b> | SS1         | 5           | 390             |
| <b>2</b><br><b>Caltanissetta</b><br><b>Progr</b><br><b>12.140 ÷ 17.640</b>     | SS3         | 1           | 78              |
|  | SS4         | 1           | 78              |
|  | SS5         | 3           | 234             |
| <b>3/A</b><br><b>Busita</b><br><b>Progr.</b><br><b>17.640 ÷ 19.500</b>         | SS6         | 3           | 234             |
| <b>3/B</b><br><b>Abbazia - Arenella</b>  | SS7         | 6           | 468             |
|  | SS10        | 2           | 120             |

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                          | stendimento | N°<br>traverse | stendimento<br>(m) |
|---|-------------|----------------|--------------------|
| <b>Progr.</b><br><b>19.500 ÷ 26.600</b>                               | SS11        | 1              | 60                 |
| <b>3/C</b><br><b>Imera</b><br><b>Progr.</b><br><b>26.600 – 28.080</b> | SS12        | 8              | 624                |

- Prospezioni elettromagnetiche: n° 19 sondaggi elettromagnetici con metodologia ad alta risoluzione nel dominio del tempo (TDEM), con configurazioni di lato pari a 100 m e possibilità di ottenere profondità di indagine pari a circa 200 m; tali indagini sono state finalizzate all'ottenimento dei profili di resistività del terreno, utili alla definizione dell'andamento degli orizzonti litostratigrafici, in corrispondenza del tracciato progettuale, laddove prevista la realizzazione delle gallerie di maggiore lunghezza.

### 2.3. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 2 DEL 2010

Ad integrazione ed approfondimento delle indagini svolte a supporto del progetto esecutivo, tra il mese di ottobre ed inizio dicembre 2010, è stato attuato un Piano d'indagini dirette ed indirette, prodotto nell'ottobre 2010 ed attuato nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2010.

#### 2.3.1. Esecuzione delle Indagini

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche è stata eseguita dalla società SIDERCEM S.R.L. di Caltanissetta (CL), che ha svolto le attività affidatele secondo quanto previsto nelle specifiche tecniche del Capitolato Speciale di Appalto di cui agli allegati 1b "Norme tecniche per l'esecuzione di indagini geotecniche e geofisiche" e 1c "Norme tecniche per l'esecuzione delle prove di laboratorio", nonché a quanto prescritto al par. 1.3 "Indagini geotecniche" del capitolato d'oneri NG 15.

La predetta campagna indagini, realizzata nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2010, è consistita pertanto in una serie di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove geotecniche in situ ed indagini geofisiche, articolate come appresso meglio specificato.

#### Sondaggi geognostici

In totale sono stati eseguiti **n. 17** sondaggi geognostici a carotaggio continuo, condotti a profondità variabili tra i 20 e i 150 m da p.c., per un totale di **690 metri lineari** di perforazione, localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono state scelte in funzione dell'opera d'arte interessata.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 27 di 126 |

In particolare, **n. 9** fori di sondaggio sono stati condizionati con piezometri a tubo aperto (S23,S24,S25,S27,S28,S32,S35,S36,S38), **n. 3** sono stati condizionati con inclinometro (S29,S30 nel quale è stata eseguita anche una prova down hole e S31) e **n. 3** con tubazione per l'esecuzione di prova sismica in foro di tipo down-hole, effettuata nei sondaggi a c.c., opportunamente attrezzati (S33,S34,S37). Nel corso di ogni sondaggio geognostico, ai fini delle determinazioni delle caratteristiche fisiche e meccaniche, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati. In linea di massima si è provveduto mediamente al prelievo di n° 1 campione per ogni metro lineare di perforazione per ciascun sondaggio, per un totale di **n. 37** campioni indisturbati. Nel caso dei sondaggi più profondi, effettuati in corrispondenza della galleria Caltanissetta, i campioni sono stati prelevati con intervalli più ampi e precisamente ogni 40÷50 m circa sino alla profondità non interessata dall'opera, e ogni 20 m nella fascia di interesse dell'opera. Nei sondaggi attrezzati a piezometro non è stato ritenuto necessario effettuare alcun prelievo.

La loro ubicazione viene riportata in dettaglio nell'apposito elaborato Allegato E "Planimetria con ubicazione delle indagini".

Le stratigrafie particolareggiate dei sondaggi, la relativa documentazione fotografica, le quote di prelievo dei campioni, il tipo di condizionamento del foro di sondaggio, sono riportate nelle allegate risultanze delle indagini geognostiche redatte dalla Ditta esecutrice dei lavori (cfr. Elaborati di Progetto Esecutivo 000GE209GT03ZIG011A "Rapporto di prova generale - 2 fase", 000GE209GT03ZIG012A "All. A Colonne stratigrafiche - 2 fase", 000GE209GT03ZIG015A "All. D Documentazione fotografica - 2 fase"). Le cassette catalogatrici, singolarmente fotografate, sono state riposte, su indicazioni della committenza, presso la sede di Racalmuto (AG) della società "Empedocle 2 SCPA".

### **Prove geofisiche**

Sono state eseguite le seguenti prove:

- Sismica di superficie a riflessione: sono state realizzate **n. 8** traverse sismiche di lunghezza compresa tra 46 e 132 m per una lunghezza totale di circa 716 m, distribuite in corrispondenza dell'asse longitudinale della Galleria Naturale Caltanissetta, con profondità raggiunte superiori ai 200 m; le prove sono state eseguite con un interspazio compreso tra i 2 e i 4 metri;
- Sismica in foro: sono state realizzate in totale **n. 4** prove tipo down-hole (SI30, SI33,SI34,SI37), di cui **n. 3** effettuate nei fori di sondaggio opportunamente attrezzati con tubo in PVC e **n. 1** invece è stata effettuata in foro di sondaggio già attrezzato con tubo inclinometrico (S30);

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 28 di 126 |

- Sismica di superficie: sono state realizzate **n. 21** prove sismiche passive RE.MI. (Re.MI 1÷23), finalizzate alla determinazione dell'andamento delle onde  $V_s$  con la profondità e in particolare del parametro  $V_{S30}$  richiesto dalla vigente normativa in materia (NTC 2008); le ultime due prove, in particolare, sono state svolte in asse alla prevista Galleria Caltanissetta, anche per verificare, in corrispondenza dei sondaggi SI27 ed SI26, in modo speditivo e indiretto l'andamento della stratigrafia ed effettuare una ricostruzione 2D della sezione in corrispondenza dei suddetti sondaggi;
- Sismica di superficie: **n. 22** prove sismiche passive (NS 1÷22), finalizzate alla definizione della risposta sismica di sito mediante l'acquisizione di rumore sismico (noise) per la valutazione della frequenza del sito e di eventuali effetti di amplificazione sismica locale, in corrispondenza dei maggiori viadotti e distribuite lungo il tracciato della SS640 dal km 44+000 allo svincolo con l'A19;
- Stesa elettrica di superficie: è stata realizzata **n. 1** stesa elettrica 2D a risoluzione tomografica.

### **Campionamento delle acque di falda**

In corrispondenza dei piezometri installati (S23, S24, S25, S28, S32, S35, S36, S38) in data 30/11/2010, laddove è stata riscontrata la presenza di acqua (SI23, SI25, SI36, SI38), sono stati effettuati dei prelievi di acqua di falda per la determinazione dei seguenti parametri:

- solfati
- pH
- CO<sub>2</sub>

I campionamenti sono stati eseguiti con metodo dinamico (pompa sommersa) previo adeguato spurgo, effettuato tramite il prelievo di volumi almeno tripli a quelli contenuti all'interno del piezometro. L'acqua prelevata a basso flusso è stata immediatamente riposta in bottiglie in vetro brunito da 1 lt con tappo a vite e sottotappo in teflon. Le stesse bottiglie sono state riposte in contenitori termici refrigerati (4÷6 °C) sino alla consegna al laboratorio.

### **Esecuzione dei pozzetti**

I n° 15 pozzetti esplorativi in questione (**PT1÷15**) sono stati effettuati con escavatore e le loro dimensioni sono state pari a 1 m x 1 m, spinti sino alla prof. max di 1,5 m.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 29 di 126 |

A fondo scavo si è provveduto al prelievo di 0,4÷0,5 mc di terreno che è stato posto in appositi contenitori ed inviato al laboratorio per l'esecuzione delle seguenti prove:

- Curva granulometrica cumulativa
- Indici di consistenza (Ic) e di plasticità (Ip)
- Classificazione UNI 10006
- Contenuto in sostanza organica

Inoltre su ogni campione sono state eseguite le determinazioni chimiche in ottemperanza ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, ai sensi del D.M. Ambiente 27/09/2010, al fine di verificare la eventualità di trattamento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberi di produzione.

Per poter simulare al meglio l'operatività di cantiere i campioni prelevati sono stati raggruppati in zone individuabili con tratte del tracciato di progetto e le prove di stabilizzazione sono state eseguite sulle miscele ottenute secondo le norme riportate nel B.U. CNR n. 36.

In particolare le tratte individuate sono le seguenti:

- Tratta 0+000 ÷ 4+500: PT1, PT2, PT3, PT4, PT5
- Tratta 4+500 ÷ 9+500: PT6, PT7
- Tratta 9+500 ÷ 12+900: PT8, PT9, PT10
- Tratta 16+930 ÷ 19+400: PT11, PT12, PT13
- Tratta 19+400 ÷ 25+010: PT14, PT15

Sulle miscele ottenute sono state eseguite le seguenti prove:

- Curva granulometrica cumulativa
- Indici di consistenza (Ic) e di plasticità (Ip)
- Classificazione UNI 10006
- Contenuto in sostanza organica
- Solfati totali
- Solfuri
- Azoto Nitrico (NO<sub>3</sub>)

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 30 di 126 |

- Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
- Indice CBR
- Indice CBR immediato (IPI).

### **Esecuzione delle trincee sui rilevati esistenti**

Sono state eseguite con escavatore n° 84 trincee ( **TR1÷84**), trasversali all'attuale sede stradale, che hanno interessato quasi la metà della larghezza della sede stradale, con dimensione 3 m x 1 m, spinte sino alla prof. max di 2 m, nei casi in cui lo spessore del rilevato lo ha consentito, altrimenti ci si è attestati alla base dello stesso. Alla profondità di circa 1 m, nella zona dello scavo si è proceduto al prelievo di un campione rimaneggiato, per un quantitativo di circa 50 Kg.

Il campione prelevato, è stato inviato al laboratorio per l'esecuzione delle seguenti prove:

- Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
- Indice CBR immediato (IPI).

### **Prove di laboratorio geotecnico**

Sui campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia stabiliti in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati:

- Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- Peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua ;
- Prove di taglio diretto
- Prove triassiali
- Prove edometriche ed determinazione del coefficiente Cv

|   |                                      |                         |
|---|--------------------------------------|-------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11   |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 31 di 126 |



## 2.4. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 3 DEL 2011

L'analisi condotta sui risultati delle indagini integrative svolte in Fase 1 e Fase 2, hanno indotto ad effettuare ulteriori approfondimenti (attualmente ancora in corso), soprattutto in merito alla definizione dei seguenti aspetti, relativi alla opera d'arte progettuale individuata con la Galleria Naturale Caltanissetta:

- Parametrizzazione geomeccanica collegata all'assetto tettonico-strutturale ricostruito grazie alle indagini effettuate e approfondimento sulle zone interessate dalla fasce tettonizzate;
- Assetto idrogeologico e idraulica di falda in corrispondenza delle quote interessate dallo scavo della galleria, con parametrizzazione della permeabilità degli acquiferi e studio della potenziale falda acquifera con elevato battente sulla galleria (fino ad oltre 100 m);
- Individuazione lungo il tracciato della galleria di eventuali orizzonti lapidei riconducibili a quelli direttamente individuati in corrispondenza del sondaggio SI27 di Fase 2;
- Presenza di gas interstiziali nei terreni interessati dagli scavi.

Il programma delle indagini definito è stato basato sugli assetti e sulle problematiche geologiche riscontrate in fase di esecuzione delle precedenti indagini e di elaborazione dei dati acquisiti e si è ritenuto, pertanto, necessario alla definizione ultima del modello geologico e geomeccanico di riferimento per la progettazione esecutiva dell'opera in questione.

Nello specifico le indagini sono state programmate tenendo conto dei criteri nel seguito descritti, distinti per ognuna delle problematiche da affrontare. Per i dettagli su tali criteri e sulle metodologie d'indagine adottate si veda l'elaborato progettuale GE208GI01ZRD008 "Relazione tecnica conclusiva delle indagini geognostiche integrative di 3° Fase".

Sui campioni indisturbati sono state effettuate le opportune prove di laboratorio (cfr. elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG020 "All. C Prove di laboratorio – 3° fase").

- **SSR9** lunghezza = 252 m
- **SSR10** lunghezza = 114 m
- **SSR11** lunghezza = 75 m
- **SSR12** lunghezza = 72 m

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 32 di 126 |

### 2.4.1. Esecuzione delle Indagini

Le indagini integrative di Fase 3 sono costituite da:

- Perforazione di sondaggi
  - Sondaggi geognostici: Si è proceduto alla realizzazione di n. 8 perforazioni a carotaggio continuo condotte con profondità comprese tra 105 e 140 m di prof. da p.c., localizzate opportunamente lungo il tracciato in progetto; le profondità sono dipese dalla quota della galleria e dalle finalità da perseguire;
  - Esecuzione di pozzi: nelle immediate vicinanze di n. 3 piezometri installati in questa fase (SI40, SI42, SI43) si proceduto alla esecuzione di perforazione a distruzione di nucleo per la installazione di altrettanti pozzi (PZ1 prof. 140 m, PZ2 prof. 120 m, PZ3 prof. 120 m) utili alla esecuzione di prove di emungimento, finalizzate alla determinazione dei parametri idraulici degli acquiferi interessati dal cavo della galleria;
  - Prelievo di campioni indisturbati: durante l'esecuzione di n. 4 sondaggi a carotaggio continuo (SI39, SI40, SI41, SI42), da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi riscontrati, con n° 1 campione indisturbato ogni 10 m di sondaggio a partire dalle profondità ritenute opportune sulla base della quota della galleria; il numero dei campioni e le quote a cui prelevarli sono indicati in tabella 6.2; Sui campioni indisturbati sono state effettuate le opportune prove di laboratorio (cfr. elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG020 "All. C Prove di laboratorio – 3° fase").

**Tab. 2.1 - Modalità esecutive dei sondaggi di Fase 3**

| N° | Sondaggio | Piezometro                     | Profondità (m) | Campioni |               |                 |
|----|-----------|--------------------------------|----------------|----------|---------------|-----------------|
|    |           |                                |                | N°       | Denominazione | Profondità (m)  |
| 1  | SI39      | 1 cella di Cas. (prof. m. 90)  | 120,00         | 1        | C1            | 71,00 - 71,30   |
|    |           |                                |                | 2        | C2            | 80,00 - 80,60   |
|    |           |                                |                | 3        | C3            | 90,00 - 90,60   |
|    |           |                                |                | 4        | C4            | 104,00 - 104,50 |
|    |           |                                |                | 5        | C5            | 111,00 - 111,5  |
|    |           |                                |                | 6        | C6            | 118,65 - 119,00 |
| 2  | SI40      | 1 cella di Cas. (prof. m. 120) | 130,00         | 1        | C1            | 79,60 - 79,85   |
|    |           |                                |                | 2        | C2            | 90,80 - 91,10   |
|    |           |                                |                | 3        | C3            | 100,00 - 100,35 |
|    |           |                                |                | 4        | C4            | 109,60 - 109,85 |
|    |           |                                |                | 5        | C5            | 120,00 - 120,50 |

| N° | Sondaggio | Piezometro  | Profondità (m) | Campioni |               |                 |
|----|-----------|---|----------------|----------|---------------|-----------------|
|    |           |   |                | N°       | Denominazione | Profondità (m)  |
|    |           |   |                | 6        | C6            | 129,60 - 130,00 |
| 3  | S41       | 2 celle di Cas.<br>(prof. m. 80,<br>prof. m. 100) | 120,00         | 1        | C1            | 80,00 - 80,25   |
|    |           |   |                | 2        | C2            | 89,90 - 90,20   |
|    |           |   |                | 3        | C3            | 100,00 - 100,30 |
|    |           |   |                | 4        | C4            | 110,00 - 110,25 |
|    |           |   |                | 5        | C5            | 118,70 - 119,00 |
| 4  | SI42      | 2 celle di Cas.<br>(prof. m. 70,<br>prof. m. 110) | 117            | 1        | C1            | 80,00 - 80,25   |
|    |           |   |                | 2        | C2            | 88,60 - 89,20   |
| 5  | SI43      | 1 cella di Cas.<br>(prof. m. 105)                 | 110,00         | -        | -             | -               |
| 6  | SI44      | Piezometro tubo aperto 3"                         | 105,00         | -        | -             | -               |
| 7  | SI45      | Piezometro tubo aperto 3"                         | 130,00         | -        | -             | -               |
| 8  | SI46      | 1 cella di Cas.<br>(prof. m. 110)                 | 130,00         | -        | -             | -               |

○ Posa in opera di strumentazione geotecnica/ambientale

- Piezometri con cella di Casagrande: in n. 6 sondaggi (SI39, SI40, SI41, SI42, SI43, SI46) sono stati installati altrettanti piezometri con celle di Casagrande, doppi o singoli così come indicato in tab. 6.2;
- Piezometri tubo aperto 3": n. 2 installati nei sondaggi SI44 e SI45;
- Pozzi DN 4,5": n. 3 installati nei sondaggi a distruzione denominati PZ1, PZ2 e PZ3.

○ Prove in situ

- Prove di permeabilità in foro: in fase di perforazione dei 4 sondaggi saranno eseguite delle prove di permeabilità in foro, in corrispondenza delle quote di installazione delle celle di Casagrande e laddove ritenuto necessario in fase di esecuzione;
- Prove di emungimento in pozzi appositamente realizzati: sui tre pozzi PZ1, PZ2 e PZ3 sono state eseguite altrettante prove idrauliche di lunga durata (48 ore) con la metodologia e la modalità esposta in § 6.4.2;
- Prova di portata a gradini: sul pozzo PZ2 è stata effettuata una prova di portata a gradini (n. 3) per verificare la capacità di immagazzinamento e ricarica dell'acquifero interessato;

- Slug Test: In corrispondenza di n. 8 piezometri (S8, S9, S10, S40, S41, S43, S45, S46) installati nelle 3 fasi di indagini integrative, si è proceduto all'effettuazione di determinate prove consistenti nell'esecuzione dello spurgo all'interno di ogni singolo punto, con lo scopo di provocare un abbassamento consistente (se non l'intero svuotamento) del livello idrico in esso contenuto e la conseguente misurazione dei livelli di risalita;
- Prospezioni geofisiche
  - N. 4 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione, lungo l'asse longitudinale della galleria Caltanissetta, di lunghezza compresa tra 70 e 250 m;
- Prove di laboratorio
  - I n. 22 campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sottoposti a prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia da stabilire in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati, nel seguito elencate:
    - Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
    - Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
    - Peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua ;
    - Prove di taglio diretto
    - Prove triassiali
    - Prove edometriche e di determinazione del coefficiente Cv
    - Pressione di rigonfiamento ISP
    - Deformazione di rigonfiamento ISS
    - Prove finalizzate alla determinazione della capacità di adesione delle argille sulla macchina
    - Determinazione mineralogiche per il riscontro di presenza di minerali argillosi con caratteristiche rigonfianti
    - Prove chimiche finalizzate al riutilizzo con stabilizzazione a calce
  - Il campione di acqua prelevato durante l'esecuzione della prova di emungimento condotta su PZ2, è stato sottoposto ad analisi chimica per la caratterizzazione di base idrogeologica; i parametri ricercati sono stati i seguenti:

|   |                                      |                         |
|---|--------------------------------------|-------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11   |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 35 di 126 |

- Temperatura
- pH
- Conducibilità elettrica specifica a 20°C
- Residuo fisso a 180°C
- Durezza °F
- CO2 libera
- SiO2
- H<sub>2</sub>S
- Cationi: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>
- Anioni: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, CL<sup>-</sup>

**Tab. 2.3 - Riepilogo indagini dirette e prove in sito**

|    | <b>Sigla</b> | <b>Prog. Km</b> | <b>Prof. (m)</b> | <b>Camp. Ind. (n)</b> | <b>Tipologia installazione</b>   | <b>Prove</b>            |
|----|--------------|-----------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1  | SI39         | 13+600          | 120              | 6                     | n. 1 cella Casagrande            | 2 Lefranc               |
| 2  | SI40         | 14+150          | 130              | 7                     | n. 1 cella Casagrande            | 2 Lefranc – 1 Slug test |
| 3  | SI41         | 15+770          | 120              | 6                     | n. 2 celle Casagrande            | 2 Lefranc – 1 Slug test |
| 4  | SI42         | 15+900          | 117              | 6                     | n. 2 celle Casagrande            | 3 Lefranc               |
| 5  | SI43         | 13+710          | 110              | -                     | n. 1 cella Casagrande            | 1 Slug test             |
| 6  | SI44         | 16+000          | 105              | -                     | Piezometro a tubo aperto DN 3"   | 1 Lefranc               |
| 7  | SI45         | 14+275          | 130              | -                     | Piezometro a tubo aperto DN 3"   | 1 Lefranc – 1 Slug test |
| 8  | SI46         | 14+115          | 130              | -                     | n. 1 cella Casagrande            | 2 Lefranc – 1 Slug test |
| 9  | PZ1          | 14+190          | 140              | -                     | Piezometro a tubo aperto DN 4,5" | Emungimento             |
| 10 | PZ2          | 15+890          | 120              | -                     | Piezometro a tubo aperto DN 4,5" | Emungimento             |
| 11 | PZ3          | 13+700          | 120              | -                     | Piezometro a tubo aperto DN 4,5" | Emungimento             |

**Tab. 2.4 – Riepilogo delle indagini geofisiche di superficie**

|   | <b>Sigla</b> | <b>Lungh. (m)</b> | <b>Tipologia</b>      | <b>Prog. Km</b> |
|---|--------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | SSR09        | 252               | Sismica a riflessione | 15+500          |
| 2 | SSR10        | 114               | Sismica a riflessione | 13+220          |
| 2 | SSR11        | 75                | Sismica a riflessione | 14+950          |
| 3 | SSR12        | 72                | Sismica a riflessione | 15+130          |

### 3. DETERMINAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE E ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI

#### 3.1. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO A

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 0+000 alla progressiva 4+500.

| Tratto | Sottotratto | Denominazione    | Progressive   |
|--------|-------------|------------------|---------------|
| 1      | A           | C.da Grottarossa | 0+000 ÷ 4+500 |

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue:

| Denominazione                    | Progressive |       |
|----------------------------------|-------------|-------|
|                                  | Inizio      | Fine  |
| Svincolo "Serradifalco"          | 1+260       | 1+520 |
| Galleria artificiale "Rovetello" | 2+720       | 3+000 |
| Viadotto "Giulfo"                | 3+140       | 3+940 |

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto A è interessato dalle seguenti formazioni:

1. dalla prog. 0+000 alla 1+515 il tracciato ricade sull'unità dei calcari evaporitici messiniani quasi sempre ricoperti da un ampio mantello detritico eluviale; dalla prog. 1+260+290 alla 1+340+440 il tracciato è interessato da un rilievo morfologico di calcari evaporitici;
2. dalla prog. 1+515 alla 3+640 si passa al complesso plastico delle argille ed argille marnose tortoniane;
3. dalla prog. 3+640 alla 3+700 le argille tortoniane sono ricoperte da pochi metri (2÷3 m) di alluvioni fluviali;
4. dalla prog. 3+700 sino alla fine del sottotratto in esame (Km 4+500) si riscontrano le argille tortoniane, talora ricoperte da depositi eluvio-colluviali, di spessore dell'ordine del metro, e con un marginale affioramento di trubi sulla sinistra, tra le progressive 4+050 e 4+110.

Parte del tracciato si snoda su un *layer* superficiale detritico, alterato e rimaneggiato, riscontrato con continuità tanto in superficie quanto in profondità ed avente spessori rilevati in sondaggio

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 37 di 126 |

compresi tra 2.00 m e 5.00 m in grado, quindi, di condizionare la realizzazione delle opere previste. Relativamente alle opere d'arte inserite nel tratto in esame, si ha quanto segue. Lo Svincolo "Serradifalco", interagirà solo con le formazioni superficiali (trubi e calcari). Il Viadotto "Giulfo", sarà interessato dalle formazioni delle Argille Marnose tortoniane, in quanto le alluvioni non interesseranno il piano di posa fondazioni, posto a -3 m dall'attuale p.c..

### 3.1.1. Modellazione geotecnica

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definiti n.5 modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame.

Nel seguito si riportano le risultanze della modellazione geotecnica del tratto in esame.

#### 3.1.1.1. Modello Geotecnico 1 (1-A): da prog. 0 a prog. 1+020÷040

Si rileva la presenza di un deposito eluviale dello spessore di 2 metri circa, costituito da limo argilloso di colore brunastro con abbondante frazione detritica di origine calcarea (DT1). Procedendo in profondità la frazione litoide tende ad aumentare fino a divenire un livello prettamente detritico alla profondità di circa 6.00 m (DT2) fino a passare ai sottostanti calcari evaporitici (CL1). La formazione calcarea poggia direttamente sul complesso argilloso Tortoniano (TRV1).

All'interno di tale tratto è stato eseguito il seguente sondaggio:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |        |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|--------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla  | Profondità (m) |
| S01            | Carotaggio continuo | 15,00     | 0+615     | 1        | S01CR1 | 8,00-8,40      |
|                |                     |           |           | 2        | S01C1  | 14,00-14,50    |

#### 3.1.1.1.1. Parametri geotecnici ammassi lapidei

La caratterizzazione dei calcari evaporitici, trattandosi di formazione lapidea, viene effettuata con i criteri di classificazione degli ammassi rocciosi ricalcanti il seguente procedimento che prevede:

- l'identificazione dei più significativi parametri influenzanti il comportamento dell' ammasso roccioso;
- la suddivisione della formazione lapidea in un certo numero di classi ordinate secondo svariati livelli qualitativi;
- la definizione di un criterio base per la valutazione delle caratteristiche di ognuna di dette classi;
- la determinazione dei dati quantitativi necessari alla progettazione intesa in senso strettamente tecnico.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 38 di 126 |

A differenza degli altri materiali usati in ingegneria, la roccia presenta problemi sempre differenziati caso per caso. La roccia è infatti un materiale a composizione e struttura complessa con proprietà fisiche-meccaniche ampiamente mutevoli che possono influenzare variabilmente, dal punto di vista della stabilità, gli affioramenti oggetto di studio. Il punto fondamentale, sul quale sono state elaborate diverse teorie, è quello di relazionare le proprietà fisico-meccaniche associate alla scala di ammasso con quelle relative alla scala di provino strutturalmente continuo. Le prime proprietà, come è facilmente intuibile, prevalgono sulle seconde in maniera talmente preponderante da rendere queste ultime poco significative ai fini della progettazione geotecnica.

E' necessario, tuttavia, conoscere le proprietà del materiale roccioso intatto in quanto queste, anche se si esplicano localmente, possono influenzare il comportamento a grande scala: le discontinuità, le relative ampiezze e spaziature la consistenza e l'alterazione della roccia intatta, le proprietà intrinseche ecc. anche se limitatamente presenti nell'ammasso sicuramente influenzano il comportamento meccanico dell'intero ammasso roccioso.

I parametri descrittivi di una roccia fratturata sono numerosi e vanno considerati, non per gruppi separati, ma simultaneamente. Allo scopo, è necessario descrivere pienamente e quantitativamente il litotipo a scala di ammasso.

Di importanza fondamentale è *la resistenza limite del materiale naturale*; questa può essere determinata attraverso prove di campagna indirette o da prove di laboratorio su provini di roccia integra.

Il secondo parametro comunemente impiegato, definito con la sigla *RQD "rock quality designation"*, rappresenta un indice qualitativo legato all'integrità e alla consistenza delle carote estratte dai sondaggi. Prendendo in considerazione solo i cilindretti di roccia aventi lunghezza superiore o uguale a 10 mm., l'RQD dato dal rapporto percentuale tra la sommatoria delle lunghezze di detti cilindretti e la lunghezza totale del sondaggio) fisicamente definisce, in relazione alla frequenza delle fratture, la qualità del materiale in esame. Detto parametro da solo, non è sufficiente a descrivere pienamente l'ammasso di natura lapidea. Bisogna infatti

definire altri parametri essenziali quali:

- la spaziatura delle discontinuità
- le condizioni fisiche delle discontinuità (scabrosità, continuità, grado di apertura, grado di riempimento, natura del materiale di riempimento, deterioramento della roccia che si affaccia lungo le sconessioni indotto dai fluidi e dagli aeriformi circolanti, etc.)

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 39 di 126 |



- l'orientazione delle discontinuità
- le condizioni delle acque filtranti (portata e pressione)

### 3.1.1.1.2. Stima dei parametri di progetto classificazione RMR e Q

Come già esposto la determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità relativi ad un ammasso roccioso nel suo complesso (roccia intatta + giunti) rappresenta un problema di particolare difficoltà e al tempo stesso un punto cruciale nella progettazione. Le difficoltà nascono dall'impossibilità pratica di effettuare prove triassiali o di taglio sull'ammasso roccioso ad una scala appropriata rappresentativa del versante oggetto di studio.

Le classificazioni geomeccaniche, ideate e sviluppate inizialmente al fine di consentire il dimensionamento dei mezzi di rinforzo sono divenute con il tempo uno strumento di sintesi delle informazioni raccolte rilevatosi indispensabile per risolvere il passaggio dalla caratterizzazione della roccia intatta alla caratterizzazione dell'ammasso.

In questo ambito assumono interesse particolare le classificazioni dell'ammasso roccioso proposte da *Bieniawski* [*Bieniawski*; 1973, 1974, 1976, 1979, 1989, 1993b] e da *Barton* [(*Barton, Lien, Lunde*; 1974) e (*Barton*; 1994)]. Queste classificazioni, che si sono affinate nel corso degli anni, man mano che si rendevano disponibile le esperienze maturate in tutto il mondo, consentono di stimare le caratteristiche di deformabilità e di resistenza dell'ammasso roccioso, attribuendo un peso diverso ai parametri che concorrono all'individuazione degli indici di qualità *RMR* (*Rock Mass Rating*) secondo *Bieniawski* e *Q* (*Rock Mass Qualità*) secondo *Barton*.

### 3.1.1.1.3. Classificazione di Bieniawski

La classificazione di *Bieniawski*, nel corso degli anni, è stata più volte modificata ed aggiornata da vari autori pertanto, opportunamente, i vari parametri, a seconda della versione a cui questa si riferisce, viene indicata con l'anno di riferimento posto al pedice (ad esempio le correlazioni originariamente proposte da *Floek e Flrown* [1988] si riferiscono all'edizione de 1976 e quindi si scrive  $RMR_{76}$ ).

I dati fondamentali necessari alla classificazione sono rappresentati dalla resistenza uniassiale della roccia intatta, dall'indice RQD, dalle condizioni e spaziatura dei giunti. La versatilità di queste metodologie ad adattarsi ad esigenze scaturenti da specifiche realtà geostrutturali, ha suggerito a vari autori ( *Hoek e Brown* [1980; 1988]), un procedimento che consente l'aggiornameto degli indici RMR e Q con parametri scaturenti da altri fattori. E' opportuno rimarcare in questo contesto, ad esempio, la possibilità di

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 40 di 126 |

aggiornare gli indici RMR e Q con dei parametri che tengono conto anche dell'orientazione di una galleria rispetto alla giacitura dei giunti, delle tensioni in sito, della presenza d'acqua nell'ammasso ecc. Nella considerazione che l'indice RMR, è poco affidabile per ammassi rocciosi scadenti (RMR <25), al fine di coprire l'intera casistica delle varie conformazioni geomeccaniche riscontrabili in natura, è stato introdotto ([Hoek; 1994; 1996.a] [Hoek; Kaiser; Bawden; 1995]) un nuovo indice, detto GSI (Geological Strengili Index), variabile da 9 (rocce pessime) a 100 (rocce intatte o molto resistenti).

L'indice GSI si calcola con i punteggi qi relativi ai parametri, desumibili dalla tabella seguente.

| Punteggi per la valutazione dell'indice GSI |                           |  |   |   |   |   |                           |         |
|---|---------------------------|--|---|---|---|---|---------------------------|---------|
| Parametri                                   |                           | Campo dei Valori                                       |   |   |   |   |                           |         |
| 1   | Resistenza roccia intatta |  |   |   |   |   |                           |         |
|   | Carico puntuale           | > 8 Mpa  | 4 - 8 Mpa   | 2 - 4 Mpa   | 1 - 2 Mpa                               | Non applicabile   |                           |         |
|   | Compressione uniaassiale  | >200Mpa  | 100-200 Mpa                                       | 50-100 Mpa  | 25-50 Mpa                               | 10-25 Mpa   | 3-10 Mpa                  | 1-3 Mpa |
|   | Indice                    | 15   | 12  | 7   | 4                                       | 2   | 1                         | 0       |
| 2   | RQD                       | 90-100%  | 75-90%  | 50-75%  | 25-50%                                  | <25%  |                           |         |
|   | Indice                    | 20   | 17  | 13  | 8                                       | 3   |                           |         |
| 3   | Spaziatura giunti         | > 3.00.m   | 1.00-3.00.m                                       | 0.30 -1.00.m                                      | 50 - 300..mm                            | < 50. mm  |                           |         |
|   | Indice                    | 30   | 25  | 20  | 10                                      | 5   |                           |         |
| 4   | Condizione dei giunti     | Superfici molto scabre non continue pareti roccia dura | Superfici scabre apert. <1. mm pareti roccia dura | Superfici scabre apert. <1. mm pareti roccia dura | Superfici lisce o laminate riemp. < 5mm | Riempimento terreno spessore >5mm o giunti aperti > 5mm giunti continui |                           |         |
|   | Indice                    | 25   | 20  | 12  | 6                                       | 0   |                           |         |
| 5   | Condizioni idrauliche     | Afflusso per 10 mt lungh. tunnel                       | Assente   |   | <25 lit/min                             | 25-125lit/min   | >125 lit/min              |         |
|   |                           | Rapporto Press. acqua Soll. nat. situ                  | 0   |   | 0.0-0.20                                | 0.2-0.5   | <0.5                      |         |
|   |                           | Condizioni generali                                    | Completamente asciutto                            |   | Solo umidità                            | Acqua in debole press.  | Severi problemi idraulici |         |
|   | Indice                    | 10   |   | 7   | 4                                       | 0   |                           |         |

Tale valore è dato dalla relazione

$$GSI = 10 + \sum qi$$

L'indice corrisponde al valore  $RMR_{76}$  in condizione di assenza d'acqua.

Allorquando l'indice GSI risulta < 25 è consigliabile utilizzare la classificazione proposta da **Barton, Lien e Lunde** con la quale si calcola l'indice Q' dato dalla seguente espressione':

$$Q' = \frac{RQD J_r}{J_n J_a}$$

dove  $J_n$ ,  $J_r$  e  $J_a$  sono dei punteggi legati al numero di famiglie di giunti, alla loro scabrezza e al loro stato di alterazione. In questo caso l'espressione dell'indice  $GSI$  è data dalla seguente relazione:

$$GSI = 44 + 9 \ln(Q')$$

#### 3.1.1.1.4. Resistenza dell'ammasso roccioso in condizione di picco e residue.

Sperimentalmente è stato notato che il comportamento di un ammasso roccioso fratturato, rispetto alle dimensioni del provino, dipende dalle tensioni principali  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ . Un criterio che interpreta bene il comportamento dell'ammasso è stato esplicitato, da Hoek e Brown, attraverso la relazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \sqrt{\left(m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s\right)}$$

e aggiornato dagli autori Hoek, Wood, Shah che, in alternativa, hanno proposto la seguente relazione:

dove :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s\right)$$

$\sigma_1$  = tensione principale efficace maggiore a rottura

$\sigma_3$  = tensione principale efficace minore a rottura

$\sigma_c$  = resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta

$m$ ,  $s$  ed  $a$  sono delle costanti che dipendono dalla rottura dell'ammasso e del suo stato di fatturazione ( $m$  varia da 0.05 a 35 ed  $s$  da 0 a 1); essi assumono i seguenti valori.

per  $GSI \geq 30$

$$m = m_i e^{[GSI-100]/28}$$

$$s = e^{[GSI-100]/9}$$

$$a = 0.5$$

per  $GSI < 30$

$$m = m_i e^{[GSI-100]/28}$$

$$s = 0$$

$$a = 0.65 - (GSI/200)$$

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 42 di 126 |

mi risulta tabellato in funzione del tipo di roccia

| <b>TIPO DI ROCCIA</b>  | <b>mi</b> |
|--|-----------|
| Dolomie - Calcare - marne  | 7         |
| Argillite - argilloscisto - fillade  | 10        |
| Arenarie e quarziti  | 15        |
| Rocce ignee cristalline a grana fine (vulcaniti):<br>andesite- dolerite- diabase- riolite                                    | 17        |
| Rocce ignee a grana grossa (plutoniti) rocce<br>metamorfiche, cristalline: gabbro- gneiss granito-<br>norite- quarzodiorite. | 25        |

Analogamente per l'ammasso disturbato o in condizioni residue si ha:

per  $GSI \geq 30$

$$m_{res} = mi e^{(GSI-100)/14}$$

$$s_{res} = e^{(GSI-100)/6}$$

$$a = 0.5$$

per  $GSI < 30$

$$m_{res} = mi e^{(GSI-100)/14}$$

$$s_{res} = 0$$

$$a = 0.65 - (GSI/200)$$

Conseguentemente all'assunzione di tale criterio comportamentale dell'ammasso, si è pervenuto alle seguenti espressioni della resistenza a compressione nelle condizioni di picco e residue.

### 3.1.1.1.5. Resistenza a compressione di picco e residua

Per  $GSI \geq 30$

$$\sigma_{c,a} = \sigma_c \sqrt{s} \quad \sigma_{res,a} = \sigma_c \sqrt{s_{res}}$$

per  $GSI < 30$

$$\sigma_{c,a} = 0 \quad \sigma_{res,a} = 0$$

Nel piano  $\sigma$ - $\tau$ , con le relazioni che seguono

$$\sigma = \sigma_3 + \left( \frac{\sigma_c m r^a}{2 + a m r^{(a-1)}} \right)$$

$$\tau = \left( \frac{\sigma_c m r^a}{2 + a m r^{(a-1)}} \right) \sqrt{1 + a m r^{(a-1)}}$$

è possibile costruire, per punti la curva dell'involuppo a rottura. Il valore di r si ricava dalla seguente espressione:

$$r = \frac{m\sigma_3 + s}{\sigma_c}$$

la costruzione della curva involuppo, consente di calcolare i parametri geotecnici ( $\varphi$  e  $c$ ) dati dalla retta tangente alla curva in un determinato valore di tensione normale  $\sigma$  assunto fra quelli che usualmente agiscono sulle superficie di discontinuità (1- 2 Mpa). La soluzione del problema si può ottenere, anche in forma chiusa, seguendo il seguente il seguente step di calcolo:

- 1)  $h = 1 + \frac{16(m\sigma + s\sigma_c)}{3m^2\sigma_c}$
- 2)  $\vartheta = \frac{1}{3} \left[ 90 + \text{atn} \left( \frac{1}{\sqrt{h^3 - 1}} \right) \right]$
- 3)  $\varphi = \text{atn} \left( \frac{1}{\sqrt{4h\cos\vartheta^2 - 1}} \right)$

Altri autori (**Aydan[ 1993 1996]**), basandosi su studi sperimentali, hanno fornito le seguenti correlazioni:

Velocità delle ande di taglio

$$V_p = 1.4 + 0.2\sigma_{c,a}^{0.7}$$

$$\varphi = 20\sigma_{c,a}^{0.25}$$

$$\sigma_{res,a} / \sigma_{c,a} = e^{-(0.3\sigma_{c,a})};$$

$$\varphi_r / \varphi = 1.3 - 0.3 e^{-(0.2\sigma_{c,a})};$$

### 3.1.1.1.6. Deformabilità dell'ammasso roccioso

Lo stato di alterazione, le caratteristiche di resistenza della roccia intatta, il grado di fratturazione e la giacitura dei vari strati, influiscono sulla deformabilità dell'ammasso

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 44 di 126 |

roccioso. La variabilità di tali parametri nelle diverse zone da investigare, non potendosi facilmente ottenere valori rappresentativi con prove in sito, ha condotto vari autori ad effettuare sperimentazioni atti a correlare gli indici della classificazione geomeccanica al modulo di deformabilità.

**Serafim e Pereira [1983]**, sulla base di analisi e misurazioni di deformazioni rilevate su fonazioni di dighe, hanno proposto la seguente relazione in funzione dell'indice GSI:

$$E_d = 10^{(GSI-10)/40} \quad (\text{GPA})$$

**Hoek [1996]** rilevando, per ammassi aventi caratteristiche geomeccaniche di bassa consistenza, la scarsa attendibilità dei valori calcolati con la relazione precedente (valori di calcolo eccessivamente alti) ha proposto la seguente espressione in cui, oltre all'influenza dei parametri precedentemente espressi, viene considerata pure l'influenza della resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_c$  (espressa in MPA):

$$E = (\sigma_c/100)^{1/2} 10^{(GSI-10)/40} \quad (\text{GPA})$$

con  $\sigma_c < 100$  Mpa

### 3.1.1.1.7. Determinazione parametri meccanici

La caratterizzazione di una roccia dal punto di vista geotecnica, come già esposto, dipende da diversi fattori, questi sono legati alle caratteristiche intrinseche della roccia, valutate attraverso prove di laboratorio e alle caratteristiche di ammasso (stratificazione, famiglie di fratture, dimensione dei giunti e dei blocchi, rugosità ecc..) definite attraverso il rilievo geostrutturale.

Nello studio in esame, tenendo conto dei rilievi effettuati, si riportano di seguito i valori minimi ottenuti con le prove in sito effettuate con il martello di SCHMIDT n°24 ,.

| RISULTATI PROVE SCLEROMETRICHE            |                         |   |
|---|-------------------------|---|
| Ubicazione prova                          | Valori medi di rimbalzo | Compressione uniassiale                     |
| Roccia fratt. $\sigma_c$ min<br>Classe E1 | $R_{medio} = 23$        | $\sigma_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ (18.0 MP)  |
| Roccia fratt. $\sigma_c$ max<br>Classe E1 | $R_{medio} = 35$        | $\sigma_c = 245 \text{ Kg/cm}^2$ ((24.5 MP) |

Al valore di resistenza  $\sigma_c = 18 \text{ Mp}$ , è associato un punteggio (vedi tabella punteggi degli indici GSI)

$$q_1 = 2$$

In relazione al tipo di formazione e al grado di fessurazione rilevato, si pone il valore dell'RQD, pari a:

$$\text{RQD} = 60\% - 80\%$$

per questo valore di RQD, dalla tabella, si ottiene:

$$q_2 = 13$$

Spaziatura dei giunti  $< 50 \text{ mm}$

$$q_3 = 5$$

condizione dei giunti (Superfici lisce o laminate riempimento  $< 5 \text{ mm}$ )

$$q_4 = 6$$

Condizioni idrauliche (acqua in debole pressione)

$$q_5 = 4$$

per i punteggi precedentemente esposti si ricava l'indice GSI:

$$\text{GSI} = 10 + \sum_{i=1}^4 q_i = 10 + 2 + 13 + 5 + 6 + 4 = 39 > 30$$

Il tipo di roccia in esame è costituita da calcari; pertanto in funzione di questo tipo di roccia si assume

$$m_i = 7$$

inoltre assumendo un valore di tensione efficace significativo per lo studio in argomento, pari a

$$\sigma = 4.0 \text{ kg/cmq} = 0.7 \text{ Mpa}$$

e facendo riferimento alle varie relazione esposte in precedenza in condizione residue e di picco, si determinano i parametri meccanici esposti nella tabella seguente.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 46 di 126 |

**CONDIZIONE RESIDUE**

per  $GSI \geq 30$

$$m_{res} = m_i e^{(GSI-100)/14}$$

$$s_{res} = e^{(GSI-100)/6}$$

$$a = 0.5$$

per  $GSI < 30$

$$m_{res} = m_i e^{(GSI-100)/14}$$

$$s_{res} = 0$$

$$a = 0.65 - (GSI/200)$$

$$1) \quad h = 1 + \frac{16(m\sigma + s\sigma_c)}{3m^2\sigma_c}$$

$$2) \quad \vartheta = \frac{1}{3} \left[ 90 + \operatorname{atan} \left( \frac{1}{\sqrt{h^3 - 1}} \right) \right]$$

$$3) \quad \varphi = \operatorname{atan} \left( \frac{1}{\sqrt{4h \cos^2 \vartheta - 1}} \right)$$

| $\sigma$ | $\sigma_c$ | GSI | $m_i$ | cond. residue |          | cond. residue |          |           |
|----------|------------|-----|-------|---------------|----------|---------------|----------|-----------|
| [Mp]     | [MP]       |     |       | m             | s        | h             | $\theta$ | $\varphi$ |
| 0,40     | 18,00      | 39  | 7     | 0.0128        | 0.000039 | 2.34          | 35,40°   | 24°       |

$$E = (\sigma_c/100)^{1/2} 10^{(GSI-10)/40} = (18/100)^{1/2} 10^{(39-10)/40} = 2.2523 \text{ (GPA)}$$

| Profondità (m)   | Litotipo  | Parametri Geotecnici         |
|------------------|---|------------------------------|
| 0 ÷ 2.00         | <u>Depositi eluvio-colluviali – DT1:</u><br>limo argilloso di colore brunastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica | $\gamma = 1.70 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | Cu = --                      |
|                  |   | $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\varphi' = 18^\circ$        |
| 2.00 ÷ 6.00      | <u>Depositi eluvio-colluviali – DT2:</u><br>limo sabbioso con abbondante detrito calcareo.  | $\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | Cu = --                      |
|                  |   | $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |   | $\varphi' = 18^\circ$        |
| 6.00 ÷ 13.00     | <u>Calcare evaporitico – CL1:</u><br>Formazione calcarea con caratteristiche litoidi  | $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $\varphi' = 18^\circ$        |
|                  |   | $E = 22523 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\varphi' = 18^\circ$        |
| 13.00 ÷ in prof. | <u>Complesso argilloso sommitale – TRV1:</u><br>argilla limo - sabbiosa alterata, plastica  | $\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | Cu = 0.4 Kg/cmq              |
|                  |   | $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |   | $\varphi' = 17.4^\circ$      |

Di seguito sono riportati, per ogni modello, i fattori di correlazione desumibili dalla tabella 6.4.IV allegata al D.M. 14/01/2008, che occorre utilizzare per il calcolo della resistenza caratteristica dei pali di fondazioni profonde, calcolati in funzione del numero di sondaggi eseguiti.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 47 di 126 |



| Numero di verticali indagate | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | >=10 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ξ3                           | 1,70 | 1,65 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,40 |
| ξ4                           | 1,70 | 1,55 | 1,48 | 1,42 | 1,34 | 1,28 | 1,21 |

**Tab. 6.4.IV**

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 1    |
| ξ3                           | 1,70 |
| ξ4                           | 1,70 |

### 3.1.1.2. **Modello Geotecnico 2 (1-A): da prog. 1+020÷040 a prog. 1+260÷290**

Il deposito eluviale dello spessore di 2 metri circa (DT1) poggia su una formazione calcareo-marnosa alterata presente fino alla profondità di circa 15.00 m (CL2). La formazione calcareo-marnosa poggia direttamente sul complesso argilloso Tortoniano (TRV1).

All'interno di tale tratto è stato eseguito il seguente sondaggio:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |        |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|--------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla  | Profondità (m) |
| S02            | Carotaggio continuo | 15,00     | 1+125     | 1        | S02CR1 | 3,00-3,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S02C1  | 5,00-5,50      |
|                |                     |           |           | 3        | S02C2  | 8,00-8,50      |

e le seguenti Indagini indirette:

| Sismica a rifrazione | Dimensione | Prog. Km |
|----------------------|------------|----------|
| SS1                  | L= 78,00 m | 1+220    |

| CALCARI MARNOSI – CL2 |              |              |              |              |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Campione              | γ            | c'           | Cu           | Φ            |
|                       | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq        | (°)          |
| s2c1                  | 18,53        | 41,60        | 72,40        | 24,50        |
| s2c2                  | 18,47        | 22,00        | 52,52        | 25,50        |
| Valori medi           | <b>18,50</b> | <b>31,80</b> | <b>62,46</b> | <b>25,00</b> |
| Valori minimi         | 18,47        | 22,00        | 52,52        | 24,50        |
| Valori massimi        | 18,53        | 41,60        | 72,40        | 25,50        |

| Profondità (m)   | Litotipo  | Parametri Geotecnici         |
|------------------|---|------------------------------|
| 0.00 ÷ 2.00      | <u>Depositi eluvio –colluviali – DT1:</u><br>limo argilloso di colore brunoastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica | $\gamma = 1.70 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $C_u = --$                   |
|                  |   | $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\phi' = 18^\circ$           |
| 2.00 ÷ 15.00     | <u>Calcari marnosi – CL2:</u><br>Formazione calcarea alterata e sciolta con livelli litoidi.  | $\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $C_u = 0.6 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |   | $\phi' = 25^\circ$           |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Complesso argilloso sommitale – TRV1:</u><br>argilla limo - sabbiosa alterata, plastica  | $\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $C_u = 0.4 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |   | $\phi' = 17.4^\circ$         |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 1    |
| $\xi_3$                      | 1,70 |
| $\xi_4$                      | 1,70 |

### 3.1.1.3. Modello Geotecnico 3 (1-A): da prog. 1+260÷290 a prog. 1+340÷440

Il deposito eluviale va assottigliandosi sulla sottostante formazione calcareo-marnosa alterata che per un tratto di circa 100 m affiora in superficie. Al di sotto è presente, fino alla profondità di circa 15.00 m, il calcare evaporitico (CL1) che poggia direttamente sul complesso argilloso Tortoniano (TRV2).

All'interno di tale tratto non sono presenti sondaggi mentre sono state eseguite le seguenti indagini indirette:

| Sismica a rifrazione | Dimensione | Prog. Km |
|----------------------|------------|----------|
| SS2                  | L= 78,00 m | 1+300    |
| SS3                  | L= 78,00 m | 1+380    |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|------------------|--|------------------------------|
| 0 ÷ 2.00         | <u>Depositi eluvio-colluviali – DT1:</u><br>limo argilloso di colore brunoastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica | $\gamma = 1.70 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $C_u = --$                   |
|                  |  | $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 18^\circ$           |
| 2.00 ÷ 10.00     | <u>Calcare evaporitico – CL1:</u><br>Formazione calcarea con caratteristiche litoidi   | $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $\phi' = 18^\circ$           |
|                  |  | $E = 22523 \text{ Kg/cmq}$   |
| 10.00 ÷ in prof. | <u>Complesso argilloso intermedio – TRV2a:</u><br>argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.      | $\gamma = 1.88 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $C_u = 1.10 \text{ Kg/cmq}$  |
|                  |  | $c' = 0.24 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 21^\circ$           |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 1    |
| ξ3                           | 1,70 |
| ξ4                           | 1,70 |

### 3.1.1.4. Modello Geotecnico 4 (1-A): da prog. 1+340÷440 a prog. 1+515

Il tratto di calcari marnosi in affioramento è presente fino alla profondità di circa 12.00 m e poggia sul complesso argilloso Tortoniano intermedio (TRV2a). All'interno di tale tratto è stato eseguito il seguente sondaggio:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S04            | Carotaggio continuo | 25,00     | 1+380     | 1        | S04C1 | 13,00-13,50    |
|                |                     |           |           | 2        | S04C2 | 19,50-19,50    |

e le seguenti Indagini indirette:

| Sismica a rifrazione | Dimensione | Prog. Km |
|----------------------|------------|----------|
| SS4                  | L= 78,00 m | 1+460    |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|------------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 12.00     | Calcari marnosi – CL2:<br>Formazione calcarea alterata e sciolta con livelli litoidi.                                      | $\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 0.6 \text{ Kg/cm}^2$   |
|                  |  | $c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$   |
|                  |  | $\phi' = 25^\circ$           |
| 12.00 ÷ in prof. | Complesso argilloso intermedio – TRV2a:<br>argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa. | $\gamma = 1.88 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 1.10 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.24 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $\phi' = 21^\circ$           |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 1    |
| ξ3                           | 1,70 |
| ξ4                           | 1,70 |

### 3.1.1.5. Modello geotecnico 5 (1-A): da prog. 1+515 a prog. 4+500

E' riscontrabile il complesso argilloso che presenta quasi sempre un primo livello sommitale costituito da argille e argille limo-sabbiose alterate e plastiche dello spessore variabile di 6- 7 metri seguite in profondità da un livello basale di argille grigio-azzurre compatte a tratti scagliose, con migliori caratteristiche geotecniche, distinto in due unità; una prima formazione definita intermedia che si sviluppa fino alla profondità di circa 15.00 m ed una formazione definita profonda, presente dai 15.00 m in profondità.

All'interno di tale tratto sono stati eseguiti i seguenti sondaggi:

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 50 di 126 |

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S03            | Carotaggio continuo | 15,00     | 1+860     | 1        | S03C1 | 2,80-3,30      |
|                |                     |           |           | 2        | S03C2 | 9,00-9,50      |
| S05            | Carotaggio continuo | 30,00     | 2+860     | 1        | S05C1 | 3,00-3,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S05C2 | 8,90-9,40      |
|                |                     |           |           | 3        | S05C3 | 25,00-25,50    |
| S06            | Carotaggio continuo | 25,00     | 3+000     | 1        | S06C1 | 4,00-4,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S06C2 | 10,50-11,00    |
|                |                     |           |           | 3        | S06C3 | 21,50-22,00    |
| S07            | Carotaggio continuo | 30,00     | 3+130     | 1        | S07C1 | 3,50-4,00      |
|                |                     |           |           | 2        | S07C2 | 15,00-15,50    |
|                |                     |           |           | 3        | S07C3 | 25,00-25,50    |
| S10            | Carotaggio continuo | 35,00     | 3+650     | 1        | S10C1 | 2,00-2,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S10C2 | 10,00-10,50    |
|                |                     |           |           | 3        | S10C3 | 20,00-20,50    |
| S08            | Carotaggio continuo | 30,00     | 3+710     | 1        | S08C1 | 4,00-4,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S08C2 | 9,00-9,50      |
|                |                     |           |           | 3        | S08C3 | 14,50-15,00    |
|                |                     |           |           | 4        | S08C4 | 17,00-17,50    |
| S11            | Carotaggio continuo | 20,00     | 4+200     | 1        | S11C1 | 6,60-7,10      |
|                |                     |           |           | 2        | S11C2 | 10,80-11,30    |
|                |                     |           |           | 3        | S11C3 | 20,00-20,50    |

| Sondaggio 2010<br>Fase 1 | Tipologia                        | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|--------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                          |                                  |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S01                      | Carotaggio continuo<br>Down-Hole | 30,00     | 2+800     | 1        | CI01  | 6,00-6,50      |
|                          |                                  |           |           | 2        | CI02  | 11,50-12,00    |
|                          |                                  |           |           | 3        | CI03  | 17,50-18,00    |
|                          |                                  |           |           | 4        | CI04  | 24,50-25,00    |
|                          |                                  |           |           | 5        | CI05  | 29,50-30,50    |
| S02                      | Carotaggio continuo              | 30,00     | 3+900     | 1        | CI01  | 6,00-6,50      |
|                          |                                  |           |           | 2        | CI02  | 11,50-12,00    |
|                          |                                  |           |           | 3        | CI03  | 17,50-18,00    |
|                          |                                  |           |           | 4        | CI04  | 24,00-24,50    |
|                          |                                  |           |           | 5        | CI05  | 29,50-30,50    |

e le seguenti Indagini indirette:

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione   | Prog. Km |
|--------------------------------|--------------|----------|
| P1                             | Prof= 9,80 m | 1+730    |
| P2                             | Prof= 9,80 m | 2+300    |
| P3                             | Prof= 9,80 m | 3+320    |
| P4                             | Prof= 9,80 m | 3+510    |
| P5                             | Prof= 9,80 m | 4+460    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km         |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| PD3                            | Prof.= 9,40 m | Sv. Serradifalco |
| PD4                            | Prof.= 4,00 m | Sv. Serradifalco |
| PD5                            | Prof.= 7,00 m | 1+820            |
| PD6                            | Prof.= 8,60 m | 2+180            |
| PD7                            | Prof.= 8,20 m | 2+260            |
| PD8                            | Prof.= 7,40 m | 3+460            |
| PD9                            | Prof.= 5,40 m | 3+830            |
| PD10                           | Prof.= 6,60 m | 4+120            |
| PD11                           | Prof.= 8,20 m | 4+380            |

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS13                      | L= 78,00 m | 3+490    |
| SS12                      | L= 78,00 m | 3+550    |
| SS11                      | L= 78,00 m | 3+610    |
| SS14                      | L= 78,00 m | 3+730    |
| SS24                      | L= 78,00 m | 4+400    |

| COMPLESSO ARGILLOSO SOMMITALE - TRV1 |                   |               |               |               |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Campione                             | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/mq | $Cu$<br>KN/mq | $\Phi$<br>(°) |
| S3C1                                 | 16,40             | 10,50         | 32,75         | 12,00         |
| S1C1 (2010)                          | 18,30             | 7,90          | 21,70         | 25,00         |
| S5C1                                 | 18,37             | 13,30         | 37,02         | 16,00         |
| S6C1                                 | 18,46             | 3,50          | 42,18         | 14,00         |
| S7C1                                 | 18,46             | 14,39         | 66,70         | 19,80         |
| Valori medi                          | <b>18,00</b>      | <b>9,92</b>   | <b>40,07</b>  | <b>17,36</b>  |
| Valori minimi                        | 16,40             | 3,50          | 21,70         | 12,00         |
| Valori massimi                       | 18,46             | 14,39         | 66,70         | 25,00         |

| COMPLESSO ARGILLOSO INTERMEDIO - TRV2a |              |              |               |              |
|--|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                               | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$          | $\phi$       |
|  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S4C1                                   | 18,50        | 28,75        | 70,55         | 21,70        |
| S4C2                                   | 18,18        | 27,18        | 109,39        | 20,20        |
| S3C2                                   | 18,14        | 11,00        | 125,63        | 14,00        |
| S1C1                                   | 19,6         | 15           | 93,8          | 21,2         |
| S5C2                                   | 18,49        | 26,00        |               | 23,00        |
| S6C2                                   | 19,06        | 60,00        | 99,96         | 18,00        |
| S8C1                                   | 18,54        |              | 130,76        |              |
| S8C2                                   | 19,29        | 10,54        | 64,38         | 21,90        |
| S8C3                                   | 19,35        | 20,22        | 90,07         | 27,40        |
| S2C1                                   | 19,03        | 22,10        |               | 22,60        |
| S2C2                                   | 19,91        |              | 277,1         |              |
| S11C1                                  | 18,12        | 30,10        | 45,7          | 24,60        |
| S11C2                                  | 18,23        | 20,00        |               | 16,00        |
| Valori medi                            | <b>18,80</b> | <b>24,63</b> | <b>110,73</b> | <b>20,96</b> |
| Valori minimi                          | 18,12        | 10,54        | 45,70         | 14,00        |
| Valori massimi                         | 19,91        | 60,00        | 277,10        | 27,40        |

| COMPLESSO ARGILLOSO PROFONDO - TRV2b |              |              |               |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                             | $g$          | $c'$         | $Cu$          | $F$          |
|                                      | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S1C3                                 | 19,60        | 16,80        |               | 18,10        |
| S1C4                                 | 19,78        |              |               |              |
| S1C5                                 | 19,65        |              |               |              |
| S5C3                                 | 18,51        | 29,00        | 54,79         | 17,00        |
| S6C3                                 | 18,92        | 30,30        |               | 19,00        |
| S7C2                                 | 18,31        | 20,70        | 62,2          | 17,90        |
| S7C3                                 | 18,65        |              |               |              |
| S8C4                                 | 19,74        | 63,41        | 107,3         | 17,00        |
| S2C3                                 | 19,72        |              |               |              |
| S2C4                                 | 19,99        | 58,70        |               | 11,20        |
| S2C5                                 | 18,96        |              | 254,4         |              |
| 1C3                                  | 18,06        | 24           |               | 18           |
| Valori medi                          | <b>19,16</b> | <b>34,70</b> | <b>119,67</b> | <b>16,89</b> |
| Valori minimi                        | 18,06        | 16,80        | 54,79         | 11,20        |
| Valori massimi                       | 19,99        | 63,41        | 254,40        | 19,00        |

| Profondità (m)   | Litotipo  | Parametri Geotecnici         |
|------------------|---|------------------------------|
| 0.00 ÷ 7.00      | <u>Complesso argilloso sommitale – TRV1:</u><br>argilla limo - sabbiosa alterata, plastica  | $\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $Cu = 0.4 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |   | $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |   | $\phi' = 17.4^\circ$         |
| 7.0 ÷ 15.00      | <u>Complesso argilloso intermedio – TRV2a:</u><br>argilla limo- sabbiosa di colore grigio az-<br>zuro consistente a tratti scagliosa. | $\gamma = 1.88 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.24 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\phi' = 21^\circ$           |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Complesso argilloso profondo – TRV2b:</u><br>argilla limo- sabbiosa di colore grigio az-<br>zuro consistente a tratti scagliosa.   | $\gamma = 1.92 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $Cu = 1.19 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.34 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\phi' = 16.9^\circ$         |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| Numero di verticali indagate | $\geq 10$ |
| $\xi 3$                      | 1,40      |
| $\xi 4$                      | 1,21      |

### 3.2. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 4+500 alla progressiva 9+500.

| Tratto | Sottotratto | Denominazione              | Progressive   |
|--------|-------------|----------------------------|---------------|
| 1      | B           | Grotta d'Acqua - Favarella | 4+500 ÷ 9+500 |

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue.

| Denominazione              | Progressive |       |
|----------------------------|-------------|-------|
|                            | Inizio      | Fine  |
| Svincolo "Delia Sommatino" | 7+580       | 7+940 |
| Ponte "Serra"              | 8+200       | 8+220 |

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto B è interessato dalle seguenti formazioni:

- dalla prog. 4+500 alla 5+225 il tracciato ricade sulla formazione delle argille tortoniane distinte da un punto di vista geotecnico su tre livelli: sommitali, intermedie e profonde;
- dalla prog. 5+225 alla 6+400÷420 si riscontra la formazione dei trubi, con un livello sommitale alterato (marna argillosa) ed un sottostante livello più consistente (marna argillosa calcarea con livelli litoidi);

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 54 di 126 |

3. dalla prog. 6+400÷420 alla 9+500 è presente la formazione pliocenica delle Marne e marne argillose grigio-azzurre, grigio-biancastre (ENNa). La campagna d'indagine ha evidenziato la presenza al disopra delle argille plioceniche di un deposito eluvio-colluviale dello spessore di 8 metri circa, costituito da limi e limi sabbiosi di colore bruno - giallastro, alterati e plastici, con presenza di inclusi lapidei, minuti cristalli di gesso e sostanza organica.

### 3.2.1. Modellazione geotecnica

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definiti n.3 profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti

#### 3.2.1.1. 1-B - Modello Geotecnico 1: da prog. 4+500 a prog. 5+225

Indagini dirette di riferimento:

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD12                           | Prof.= 8,80 m | 4+780    |
| PD13                           | Prof.= 4,00 m | 5+125    |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS05                      | L= 78,00 m | 5+220    |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|------------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 7.00      | <u>Argille tortoniane sommitali – TRV1:</u><br>argilla limo - sabbiosa alterata, plastica  | $\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 0.4 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |  | $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |  | $\phi' = 17.4^\circ$         |
| 7.0 ÷ 15.00      | <u>Argille tortoniane intermedie – TRV2a:</u><br>argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa. | $\gamma = 1.89 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 1.16 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $c' = 0.24 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 21^\circ$           |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Argille tortoniane profonde – TRV2b:</u><br>argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.   | $\gamma = 1.92 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 1.19 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $c' = 0.34 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 16.9^\circ$         |

(per l'attribuzione dei valori si è fatto riferimento al tratto 1-A mod.5)

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| Numero di verticali indagate | $\geq 10$ |
| $\xi_3$                      | 1,40      |
| $\xi_4$                      | 1,21      |



### 3.2.1.2. 1-B - Modello Geotecnico 2: da prog. 5+225 a prog. 6+400÷420

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia                      | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                                |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S32            | Carotaggio continuo            | 10,00     | 5+300     | 1        | S32C1 | 2,00-2,50      |
| S12            | Carotaggio continuo piezometro | 20,00     | 5+825     | 1        | S12C1 | 4,00-4,50      |
|                |                                |           |           | 2        | S12C2 | 8,00-8,50      |
|                |                                |           |           | 3        | S12C3 | 14,00-14,50    |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Progr. Km |
|--------------------------------|---------------|-----------|
| P6 – Fase 2                    | Prof.= 9,80 m | 5+750     |
| P7 – Fase 2                    | Prof.= 9,80 m | 6+100     |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Progr. Km |
|--------------------------------|---------------|-----------|
| PD14                           | Prof.= 8,40 m | 5+600     |
| PD15                           | Prof.= 7,00 m | 6+245     |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Progr. Km |
|---------------------------|------------|-----------|
| SS05                      | L= 78,00 m | 5+230     |
| SS23                      | L= 78,00 m | 5+840     |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|------------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 10.00     | <u>Marna argillosa – TRB1 – livello sommitale:</u><br>Marna argillosa calcarea alterata. | $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 0.66 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |  | $\phi' = 21.77^\circ$        |
| 10.00 ÷ in prof. | <u>Marna argillosa – TRB2:</u><br>Marna argillosa calcarea con livelli litoidi.          | $\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 0.6 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |  | $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$    |
|                  |  | $\phi' = 25^\circ$           |

| MARNA ARGILLOSA LIVELLO SOMMITALE |              |              |               |              |
|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                          | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$          | $\Phi$       |
|                                   | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s32c1                             | 17,82        | 10,30        | 266,34        | 17,30        |
| s12c1                             | 18,94        | 8,00         | 64,81         | 21,00        |
| s12c2                             | 19,14        | 22,60        |               | 25,30        |
| Valori medi                       | <b>18,63</b> | <b>13,63</b> | <b>165,58</b> | <b>21,20</b> |
| Valori minimi                     | 17,82        | 8,00         | 64,81         | 17,30        |
| Valori massimi                    | 19,14        | 22,60        | 266,34        | 25,30        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 2    |
| ξ3                           | 1,65 |
| ξ4                           | 1,55 |

### 3.2.1.3. 1-B - Modello Geotecnico 3: da prog. 6+400÷420 a prog. 9+500

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia                      | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                                |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S13            | Carotaggio continuo piezometro | 15,00     | 6+450     | 1        | S13C1 | 4,50-5,00      |
|                |                                |           |           | 2        | S13C2 | 10,00-10,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S13C3 | 14,50-15,00    |
| S15            | Carotaggio continuo            | 25,00     | 7+775     | 1        | S15C1 | 3,50-4,00      |
|                |                                |           |           | 2        | S15C2 | 7,00-7,50      |
|                |                                |           |           | 3        | S15C3 | 11,00-11,50    |
|                |                                |           |           | 4        | S15C4 | 19,00-19,50    |
| S09            | Carotaggio continuo piezometro | 20,00     | 9+030     | 1        | S09C1 | 5,00-5,50      |
|                |                                |           |           | 2        | S09C2 | 17,50-18,00    |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P8 – Fase 2                    | Prof.= 4,30 m | 6+620    |
| P9 – Fase 2                    | Prof.= 6,50 m | 6+950    |
| P10 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 7+585    |
| CPT1 – Fase 1                  | Prof.= 4,60 m | 8+710    |
| CPT2 – Fase 1                  | Prof.= 9,60 m | 9+470    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km                 |
|--------------------------------|---------------|--------------------------|
| PD16                           | Prof.= 9,60 m | 6+625                    |
| PD17                           | Prof.= 9,60 m | 7+470                    |
| PD18                           | Prof.= 8,40 m | Svincolo Delia-Sommatino |
| PD19                           | Prof.= 3,80 m | Svincolo Delia-Sommatino |
| PD20                           | Prof.= 5,40 m | 7+995                    |
| PD21                           | Prof.= 7,20 m | 8+505                    |
| PD22                           | Prof.= 6,20 m | 9+270                    |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS21                      | L= 78,00 m | 6+440    |
| SS22                      | L= 78,00 m | 6+910    |
| SS20                      | L= 78,00 m | 8+760    |

| Profondità (m)  | Litotipo   | Parametri Geotecnici              |
|-----------------|--|-----------------------------------|
| 0.00 ÷ 8.00     | <u>Depositi eluvio-colluviali – DT:</u><br>limo argilloso di colore brunastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica . | $\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$      |
|                 |  | $\text{Cu} = 0.95 \text{ Kg/cmq}$ |
|                 |  | $c' = 0.19 \text{ Kg/cmq}$        |
|                 |  | $\varphi' = 22.4^\circ$           |
| 8.00 ÷ in prof. | <u>Argille Plioceniche - ENNa:</u><br>argilla limosa con intercalazioni sabbiose a tratti scagliosa, consistente                       | $\gamma = 1.87 \text{ T/mc}$      |
|                 |  | $\text{Cu} = 1.00 \text{ Kg/cmq}$ |
|                 |  | $c' = 0.22 \text{ Kg/cmq}$        |
|                 |  | $\varphi' = 20.9^\circ$           |

| DEPOSITI ELUVIO COLLUVIALI |              |              |              |              |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Campione                   | $\gamma$     | $c'$         | $\text{Cu}$  | $\Phi$       |
|                            | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq        | (°)          |
| s15c1                      | 18,6         | 12,7         | 101,41       | 16           |
| s9c1                       | 18,979       | 6,04         | 79,36        | 26,1         |
| s15c2                      | 18,045       | 40           | 105          | 25           |
| Valori medi                | <b>18,54</b> | <b>19,58</b> | <b>95,26</b> | <b>22,37</b> |
| Valori minimi              | 18,05        | 6,04         | 79,36        | 16,00        |
| Valori massimi             | 18,98        | 40,00        | 105,00       | 26,10        |

| ARGILLE PLIOCENICHE |              |              |               |              |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione            | $\gamma$     | $c'$         | $\text{Cu}$   | $\Phi$       |
|                     | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s13c2               | 18,89        | 31,50        | 68,49         | 19,00        |
| s15c3               | 18,39        | 18,60        | 132,00        | 23,30        |
| s9c2                | 18,96        | 16,60        |               | 20,60        |
| Valori medi         | <b>18,75</b> | <b>22,23</b> | <b>100,25</b> | <b>20,97</b> |
| Valori minimi       | 18,39        | 16,60        | 68,49         | 19,00        |
| Valori massimi      | 18,96        | 31,50        | 132,00        | 23,30        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 3    |
| $\xi_3$                      | 1,60 |
| $\xi_4$                      | 1,48 |

### 3.3. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 9+500 alla progressiva 12+140. Si precisa che il tratto che interessa la galleria naturale "Papazzo" (prog.10+280 - 11+020) non verrà trattato nella presente relazione in quanto oggetto di separato studio.

| Tratto | Sottotratto | Denominazione    | Progressive    |
|--------|-------------|------------------|----------------|
| 1      | C           | Seconda variante | 9+500 ÷ 12+140 |

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue:

| Denominazione                     | Progressive |        |
|-----------------------------------|-------------|--------|
|                                   | Inizio      | Fine   |
| Galleria artificiale "Favarella"  | 9+720       | 10+020 |
| Viadotto "Favarella"              | 10+090      | 10+200 |
| Galleria naturale "Papazzo"       | 10+280      | 11+020 |
| Viadotto "Mumia"                  | 11+080      | 11+520 |
| Galleria artificiale "S. Cataldo" | 11+580      | 11+760 |

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto C è interessato dalle seguenti formazioni:

1. dalla prog. 9+500 alla 10+380 il tracciato ricade sulla formazione pliocenica delle Argille marnose di Geracello (**GER**); si tratta di prevalentemente di argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi, il cui livello sommitale risulta alterato per uno spessore di circa 8 m; tra le prog. 10+000 e 10+250 le argille sono ricoperte da un sottile strato (circa 2 m) di alluvioni attuali, recenti e terrazzate;
2. dalla prog. 10+380 alla 10+930 lungo il tracciato si riscontra la formazione delle Sabbie di Lannari (**SLN**), sabbie fini di colore variabile tra il giallo, il bruno chiaro ed il rosso, con stratificazione irregolare e con intercalati banchi cementati;
3. dalla prog. 10+930 alla 11+200 il tracciato ricade sulla formazione pliocenica delle Argille marnose di Geracello (**GER**);
4. dalla prog. 11+200 alla 11+480, in corrispondenza del Vallone Mumia, si riscontra un modesto spessore (8÷10 m) di depositi alluvionali costituiti da limi argillosi e sabbiosi con inclusi lapidei di varia natura, che ricoprono la sottostante formazione pliocenica delle Marne e marne argillose grigio-azzurre;
5. dalla prog. 11+480 alla 12+140 riaffiora la formazione delle Sabbie di Lannari, che, con spessori di poco inferiori ai 10 m, ricopre la serie pliocenica delle facies argilloso-sabbiose delle Argille Marnose di Geracello (**GER**).

NOTA: Si tenga presente che la Galleria Naturale Papazzo non è oggetto di questa trattazione ma rientra in uno studio specialistico separato dal presente contesto.

### 3.3.1. Modellazione geotecnica

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definiti n.5 profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti.

#### 3.3.1.1. 1-C - Modello Geotecnico 1 – GA Favarella: da prog. 9+500 a prog. 10+000

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Prog. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |          | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S16            | Carotaggio continuo | 25,00     | 9+875    | 1        | S16C1 | 8,00-8,50      |
|                |                     |           |          | 2        | S16C2 | 16,00-16,50    |
|                |                     |           |          | 3        | S16C3 | 24,00-24,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia                     | Prof. (m) | Prog. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|----------|----------|-------|----------------|
|                       |                               |           |          | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S03                   | Carotaggio continuo Down-Hole | 30,00     | 9+820    | 1        | C1    | 6,00-6,50      |
|                       |                               |           |          | 2        | C2    | 12,00-12,50    |
|                       |                               |           |          | 3        | C3    | 18,00-18,50    |
|                       |                               |           |          | 4        | C4    | 24,00-24,50    |
|                       |                               |           |          | 5        | C5    | 29,50-30,00    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD23                           | Prof.= 7,60 m | 9+650    |

| ARGILLE PLIOCENICHE SOMMITALI GER1 |                   |               |               |               |
|------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Campione                           | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/mq | $Cu$<br>KN/mq | $\phi$<br>(°) |
| S3C1                               | 21,05             | 35,00         | 82,60         | 21,80         |
| S16C1                              | 19,22             | 22,00         | 111,84        | 27,00         |
| Valori medi                        | <b>20,14</b>      | <b>28,50</b>  | <b>97,22</b>  | <b>24,40</b>  |
| Valori minimi                      | 19,22             | 22,00         | 82,60         | 21,80         |
| Valori massimi                     | 21,05             | 35,00         | 111,84        | 27,00         |

| ARGILLE PLIOCENICHE INTERMEDIE GER2 |              |              |               |              |
|-------------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                            | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\Phi$       |
|                                     | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S3C2                                | 21,05        | 10,60        |               | 29,80        |
| S3C5                                | 21,00        |              | 338,30        |              |
| S3bisC1                             | 20,20        | 25,00        | 331,80        | 26,00        |
| S3bisC2                             | 20,78        |              | 428,20        |              |
| S16C2                               | 19,03        | 57,60        | 249,05        | 23,50        |
| S16C3                               | 19,16        | 22,00        |               | 29,10        |
| Valori medi                         | <b>20,20</b> | <b>28,80</b> | <b>336,84</b> | <b>27,10</b> |
| Valori minimi                       | 19,03        | 10,60        | 249,05        | 23,50        |
| Valori massimi                      | 21,05        | 57,60        | 428,20        | 29,80        |

| Profondità (m)  | Litotipo   | Parametri Geotecnici           |
|-----------------|--|--------------------------------|
| 0.00 ÷ 8.00     | <u>Argille Plioceniche sommitali GER1:</u><br>Limo argilloso, plastico, con presenza di sostanza organica                  | $\gamma = 2.01$ T/mc           |
|                 |  | Cu = 0.97 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                 |  | $c' = 0.28$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                 |  | $\phi' = 24.4^\circ$           |
| 8.00 ÷ in prof. | <u>Argille Plioceniche intermedie GER2:</u><br>argilla limosa con intercalazioni sabbiose a tratti scagliosa, consistente. | $\gamma = 2.02$ T/mc           |
|                 |  | Cu = 3.36 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                 |  | $c' = 0.29$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                 |  | $\phi' = 27.1^\circ$           |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 2    |
| $\xi_3$                      | 1,65 |
| $\xi_4$                      | 1,55 |

### 3.3.1.2. 1-C - Modello Geotecnico 2 – VD Favarella: da prog.10+000 a prog.10+250

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S17            | Carotaggio continuo | 30,00     | 10+100    | 1        | S17C1 | 3,50-4,00      |
|                |                     |           |           | 2        | S17C2 | 10,00-10,50    |
|                |                     |           |           | 3        | S17C3 | 20,40-20,90    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione     | Prog. Km |
|--------------------------------|----------------|----------|
| PD24                           | Prof. = 8,60 m | 10+030   |
| PD25                           | Prof. = 2,20 m | 10+210   |

| Profondità (m) | Litotipo  | Parametri Geotecnici  |
|----------------|---|-----------------------|
| 0.00 ÷ 2.00    | Alluvioni terrazzate TF:<br>limo argilloso, plastico con inclusi lapidei                                      | $\gamma = 1.80T/mc$   |
|                |   | $Cu = 0.75 Kg/cm^2$   |
|                |   | $c' = 0.50 Kg/cm^2$   |
|                |   | $\phi' = 16^\circ$    |
| 2.00 ÷ 7.00.   | Argille Plioceniche sommitali – GER1:<br>Limo argilloso, plastico, con presenza di<br>sostanza organica .     | $\gamma = 1.86T/mc$   |
|                |   | $Cu = 0.84 Kg/cm^2$   |
|                |   | $c' = 0.44 Kg/cm^2$   |
|                |   | $\phi' = 13.4^\circ$  |
| 7.00 ÷ in prof | Argille Plioceniche – GER2:<br>argilla limosa con intercalazioni sabbiose<br>a tratti scagliosa, consistente. | $\gamma = 1.98 T/mc$  |
|                |   | $Cu = 2.0 Kg/cm^2$    |
|                |   | $c' = 0.37 Kg/cm^2$   |
|                |   | $\phi' = 23.95^\circ$ |

| ARGILLE PLIOCENICHE SOMMITALI GER1 |          |       |       |        |
|------------------------------------|----------|-------|-------|--------|
| Campione                           | $\gamma$ | $c'$  | Cu    | $\phi$ |
|                                    | KN/mc    | KN/mq | KN/mq | (°)    |
| s17c1                              | 18,65    | 44,60 | 84,54 | 13,40  |

| ARGILLE PLIOCENICHE GER2 |              |              |               |              |
|--------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                 | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\phi$       |
|                          | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s17c2                    | 20,01        | 26,00        | 200,01        | 25,70        |
| s17c3                    | 19,69        | 48,70        |               | 22,20        |
| Valori medi              | <b>19,85</b> | <b>37,35</b> | <b>200,01</b> | <b>23,95</b> |
| Valori minimi            | 19,69        | 26,00        | 200,01        | 22,20        |
| Valori massimi           | 20,01        | 48,70        | 200,01        | 25,70        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 1    |
| $\xi_3$                      | 1,70 |
| $\xi_4$                      | 1,70 |

### 3.3.1.3. 1-C - Modello Geotecnico 4 – VD Mumia: da prog. 11+080 a prog. 11+550

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia                      | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                                |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S21            | Carotaggio continuo            | 30,00     | 11+075    | 1        | S21C1 | 4,30-4,80      |
|                |                                |           |           | 2        | S21C2 | 10,00-10,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S21C3 | 20,00-20,50    |
| S22            | Carotaggio continuo piezometro | 25,00     | 11+350    | 1        | S22C1 | 9,90-10,40     |
|                |                                |           |           | 2        | S22C2 | 15,00-15,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S22C3 | 24,80-25,30    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD26                           | Prof.= 9,60 m | 11+260   |
| PD27                           | Prof.= 9,20 m | 11+480   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2010 | Dimensione     | Prog. Km        |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS1                       | L= 78,00 m x 5 | 11+100 ÷ 11+500 |

| Spalla Sud      |  |                                   |
|-----------------|--|-----------------------------------|
| Profondità (m)  | Litotipo   | Parametri Geotecnici              |
| 0.00 ÷ 7.00     | <u>Sabbie di Lannari (SLN):</u>  | $\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$      |
|                 |  | $\text{Cu} = 0.63 \text{ Kg/cmq}$ |
|                 |  | $c' = 0.43 \text{ Kg/cmq}$        |
|                 |  | $\phi' = 17.1^\circ$              |
| 7.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose - GER :</u><br>argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi . | $\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$      |
|                 |  | $\text{Cu} = 1.72 \text{ Kg/cmq}$ |
|                 |  | $c' = 0.64 \text{ Kg/cmq}$        |
|                 |  | $\phi' = 17.74^\circ$             |

| Settore centrale |  |                                   |
|------------------|--|-----------------------------------|
| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici              |
| 0.00 ÷ 9.00      | <u>Alluvioni terrazzate:</u><br>limo argilloso, plastico con inclusi lapidei   | $\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$      |
|                  |  | $\text{Cu} = 0.63 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |  | $c' = 0.43 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |  | $\phi' = 17.1^\circ$              |
| 9.00 ÷ in prof.  | <u>Argille marnose - GER :</u><br>argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi . | $\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$      |
|                  |  | $\text{Cu} = 1.72 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |  | $c' = 0.64 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |  | $\phi' = 17.74^\circ$             |

| Spalla Nord      |   |                                   |
|------------------|---|-----------------------------------|
| Profondità (m)   | Litotipo  | Parametri Geotecnici              |
| 0.00 ÷ 15.00     | <u>Sabbie e Sabbie argillose SLN:</u><br>Sabbie giallastre con livelli costituiti da calcareniti e quarzareniti e intercalazioni di argille sabbiose con gusci fossili. | $\gamma = 2.26 \text{ T/mc}$      |
|                  |   | $\text{Cu} = 1.82 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |   | $c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |   | $\phi' = 20.45^\circ$             |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose - GER :</u><br>argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi .              | $\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$      |
|                  |   | $\text{Cu} = 1.72 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |   | $c' = 0.64 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |   | $\phi' = 17.74^\circ$             |

| SABBIE DI LANNARI SLN (spalla sud) |          |       |             |        |
|------------------------------------|----------|-------|-------------|--------|
| Campione                           | $\gamma$ | $c'$  | $\text{Cu}$ | $\phi$ |
|                                    | KN/mc    | KN/mq | KN/mq       | (°)    |
| s21c1                              | 20,28    | 43,40 | 63,03       | 17,10  |



| ARGILLE MARNOSE GER |              |              |               |              |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione            | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\Phi$       |
|                     | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s21c2               | 19,42        | 66,90        | 173,79        | 18,30        |
| s21c3               | 19,63        | 49,61        |               | 17,70        |
| s22c1               | 18,61        | 53,00        | 78,10         | 15,70        |
| s22c2               | 18,63        | 104,00       | 326,11        | 19,00        |
| s22c3               | 19,34        | 47,70        | 112,05        | 18,00        |
| Valori medi         | <b>19,13</b> | <b>64,24</b> | <b>172,51</b> | <b>17,74</b> |
| Valori minimi       | 18,61        | 47,70        | 78,10         | 15,70        |
| Valori massimi      | 19,63        | 104,00       | 326,11        | 19,00        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 2    |
| $\xi_3$                      | 1,65 |
| $\xi_4$                      | 1,55 |

### 3.3.1.4. 1-C - Modello Geotecnico 5 – GA San Cataldo: da prog.11+550 a prog.12+183

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S46            | Carotaggio continuo | 30,00     | 11+580    | 1        | S46C1 | 16,00-16,50    |
|                |                     |           |           | 2        | S46C2 | 21,00-21,50    |
| S23            | Carotaggio continuo | 25,00     | 11+750    | 1        | S23C1 | 20,70-21,20    |
|                |                     |           |           | 2        | S23C2 | 24,00-24,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S06                   | Carotaggio continuo | 25,00     | 11+660    | 1        | C1    | 5,00-5,50      |
|                       |                     |           |           | 2        | C2    | 20,00-20,5     |
|                       |                     |           |           | 3        | C3    | 24,50-25,00    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD28                           | Prof.= 9,60 m | 12+115   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS06                      | L= 78,00 m | 11+750   |

| SABBIE e SABBIE ARGILLOSE - SLN |              |              |               |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                        | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\phi$       |
|                                 | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S6C1                            | 20,84        | 15,00        |               | 19,70        |
| S46C1                           | 24,40        | 31,70        | 182,80        | 21,20        |
| Valori medi                     | <b>22,62</b> | <b>23,35</b> | <b>182,80</b> | <b>20,45</b> |
| Valori minimi                   | 20,84        | 15,00        | 182,80        | 19,70        |
| Valori massimi                  | 24,40        | 31,70        | 182,80        | 21,20        |

| ARGILLE MARNOSE GER |              |              |               |              |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione            | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\phi$       |
|                     | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S46C2               | 20,07        | 54,60        |               | 22,30        |
| S23C1               | 20,26        | 42,10        | 267,72        | 24,30        |
| S23C2               | 20,27        | 23,00        | 237,19        | 26,50        |
| S6C2                | 20,32        |              | 193,50        |              |
| S6C3                | 21,18        | 29,20        | 297,30        | 24,10        |
| Valori medi         | <b>20,42</b> | <b>37,23</b> | <b>248,93</b> | <b>24,30</b> |
| Valori minimi       | 20,07        | 23,00        | 193,50        | 22,30        |
| Valori massimi      | 21,18        | 54,60        | 297,30        | 26,50        |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici           |
|------------------|--|--------------------------------|
| 0.00 ÷ 18.00     | Sabbie e Sabbie argillose - SLN:<br>Sabbie giallastre con livelli costituiti da calcareniti e quarzareniti e intercalazioni di argille sabbiose con gusci fossili. | $\gamma = 2.26$ T/mc           |
|                  |  | Cu = 1.82 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                  |  | $c' = 0.23$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                  |  | $\phi' = 20.45^\circ$          |
| 18.00 ÷ in prof. | Argille marnose - GER :<br>argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi .                | $\gamma = 2.04$ T/mc           |
|                  |  | Cu = 2.49 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                  |  | $c' = 0.37$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                  |  | $\phi' = 24.3^\circ$           |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 3    |
| $\xi_3$                      | 1,60 |
| $\xi_4$                      | 1,48 |

### 3.4. TRATTO 2

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 9+500 alla progressiva 12+140 alla progressiva 17+640

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 65 di 126 |

| Tratto | Sottotratto | Denominazione | Progressive     |
|--------|-------------|---------------|-----------------|
| 2      |             | Caltanissetta | 12+140 ÷ 17+640 |

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue:

| Denominazione                     | Progressive |        |
|-----------------------------------|-------------|--------|
|                                   | Inizio      | Fine   |
| Cavalcaferrovia "Grotticelle"     | 12+290      | 12+355 |
| Svincolo "Caltanissetta Sud" -    | 12+420      | 12+680 |
| Galleria naturale "Caltanissetta" | 12+885      | 16+930 |
| Viadotto "San Giuliano"           | 16+955      | 17+135 |
| Viadotto "San Filippo Neri"       | 17+225      | 17+405 |
| Galleria Naturale "S. Filippo"    | 17+450      | 17+640 |

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto C è interessato dalle seguenti formazioni:

1. dalla prog. 12+140 alla 12+960 affiora la formazione delle Sabbie di Lannari del Pliocene superiore (**SLN**); alla prog. 12+840 inizia l'attraversamento del rilievo collinare tramite la galleria Caltanissetta; le sabbie ricoprono in discordanza, con spessori di circa 10÷15 m, un substrato argilloso-marnoso costituito dalle Argille marnose di Geracello del Pliocene superiore (**GER**);
2. alla prog. 12+960 una discontinuità tettonica diretta ribassa, con un rigetto di oltre 35 m, la serie del Pliocene sup. portandola a contatto della formazione dei Trubi del Pliocene inf. (**TRB**), che interessa il tracciato della galleria sino alla prog. 13+100;
3. dalla prog. 13+100 il tracciato della galleria ricade nella formazione delle Argille marnose di Geracello (**GER**), sino alla prog. 13+380 dove un sovrascorrimento tettonico fa sopravanzare la serie stratigrafica portando la formazione dei Trubi e delle sottostanti Argille Brecciate del Tortoniano (**TRVB**) in ricoprimento sulle suddette argille marnose; alla prog. 13+260 il tracciato è interessato da una dislocazione tettonica associata ad una faglia di tipo diretto; è importante evidenziare che a partire dalla prog. 13+380 sino alla 13+840 il tracciato è fortemente interessato da una serie di fasce tettonizzate che ricoprono oltre il 60% di tale distanza, per un totale di circa 300 m, evidenziati dalla indagini svolte (sondaggi e sismica a riflessione);

4. dalla prog. 13+380 sino alla 13+580, il tracciato attraversa la zona di contatto tra i Trubi (**TRB**) e le sottostanti Argille brecciate (**TRVB**);
5. dalla prog. 13+580 alla 15+240 il tracciato della galleria attraversa le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**); lungo tale percorso alle prog. 13+920, 14+060, 14+380 e 14+520, la formazione argillosa è interessata da discontinuità tettoniche dirette a basso rigetto; alla prog. 14+380 la discontinuità ribassa la formazione dei sovrastanti Trubi sino ad interessare la galleria;
6. dalla prog. 15+240 alla 15+460 lo stile plicativo che caratterizza l'intera area porta il tracciato della galleria ad attraversare nuovamente i Trubi (**TRB**);
7. dalla prog. 15+460 il tracciato della galleria ritorna ad interessare le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**), sino alla prog 15+640 dove un sovrascorrimento porta tali argille a sovrastare i Trubi (**TRB**) che vengono nuovamente attraversati dalla galleria; questa zona è interessata da intensa tettonizzazione dovuta alla presenza di due importanti sovrascorrimenti, entrambi riconducibili alla situazione di cui al precedente punto 3;
8. alla prog. 15+800 una importante discontinuità individuabile con una faglia normale (rigetto oltre 30 m) di epoca successiva ai sovrascorrimenti qui individuabili, pone a contatto i Trubi con la formazione dei Calcari evaporitici messiniani (**GTL1**), presenti con una lente di 25÷30 m di spessore, fortemente deformata e fratturata, che interessano in maniera discontinua il tracciato della galleria sino alla prog. 15+960;
9. dalla prog. 15+960 il modello geologico ricostruito prevede che il tracciato della galleria ricade nuovamente nella formazione delle Argille brecciate tortoniane (**TRVB**), sino al termine della stessa galleria (16+965); tale formazione è interessata da varie strutture tettoniche dirette alle prog. 15+960, 16+135 e 16+230; la prima, con un rigetto di oltre 45 m pone i sovrastanti Trubi ad interessare la galleria per una decina di metri; alla prog. 16+825 riaffiora un sovrascorrimento precedentemente posto immediatamente sotto il tracciato della galleria.
10. dalla prog. 16+965 alla 17+640 il tracciato ritorna in affioramento sino alla galleria San Filippo e ricade ancora nelle Argille brecciate tortoniane (**TRVB**); sono ricoperte da una fascia di alterazione limoso-argillosa giallastra spessa qualche metro.

NOTA: Si tenga presente che la Galleria Naturale Caltanissetta (dalla prog. 12+840 alla prog. 16+690), come anche la Galleria Naturale San Filippo non è oggetto di questa trattazione ma rientra in uno studio specialistico separato dal presente contesto.

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 67 di 126 |

### 3.4.1. Modellazione geotecnica

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definiti n.5 profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti.

#### 3.4.1.1. 2 - Modello Geotecnico 1: da prog. 12+183 a prog. 12+570

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia                      | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                                |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S24            | Carotaggio continuo            | 25,00     | 12+320    | 1        | S24C1 | 11,80-12,30    |
|                |                                |           |           | 2        | S24C2 | 19,50-20,00    |
| S47            | Carotaggio continuo piezometro | 25,00     | 12+470    | 1        | S47C1 | 12,20-12,70    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km              |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|
| PD29                           | Prof.= 6,60 m | 12+265                |
| PD30                           | Prof.= 9,80 m | 12+400                |
| PD31                           | Prof.= 7,40 m | Sv. Caltanissetta Sud |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici              |
|------------------|--|-----------------------------------|
| 0.00 ÷ 20.00     | <u>Sabbie e Sabbie argillose - SLN:</u><br>Sabbie giallastre con livelli di argille limo-sabbiose con gusci fossili intercalati a livelli quarzarenitici | $\gamma = 1.99 \text{ T/mc}$      |
|                  |  | $\text{Cu} = 1.89 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |  | $c' = 0.26 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |  | $\phi' = 23.83^\circ$             |
| 20.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose - GER :</u><br>argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi | $\gamma = 2.04 \text{ T/mc}$      |
|                  |  | $\text{Cu} = 2.49 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |  | $c' = 0.37 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |  | $\phi' = 24.3^\circ$              |

| SABBIE E SABBIE ARGILLOSE |                   |               |                      |               |
|---------------------------|-------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Campione                  | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/mq | $\text{Cu}$<br>KN/mq | $\Phi$<br>(°) |
| S24C1                     | 19,84             | 10,00         | 210,77               | 24,00         |
| S24C2                     | 20,40             | 35,30         | 222,81               | 23,00         |
| s47c1                     | 19,57             | 33,44         | 134,17               | 24,50         |
| Valori medi               | <b>19,94</b>      | <b>26,25</b>  | <b>189,25</b>        | <b>23,83</b>  |
| Valori minimi             | 19,57             | 10,00         | 134,17               | 23,00         |
| Valori massimi            | 20,40             | 35,30         | 222,81               | 24,50         |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 2    |
| $\xi_3$                      | 1,65 |
| $\xi_4$                      | 1,55 |

### 3.4.1.2. 2 - Modello Geotecnico 2: da prog. 12+570 a prog. 12+880

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S48            | Carotaggio continuo | 25,00     | 12+600    | 1        | S48C1 | 6,00-6,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S48C2 | 17,50-18,00    |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km              |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|
| PD32                           | Prof.= 7,20 m | Sv. Caltanissetta Sud |
| PD33                           | Prof.= 9,60 m | 12+830                |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici              |
|------------------|--|-----------------------------------|
| 0.00 ÷ 10.00     | <u>Sabbie e Sabbie argillose - SLN:</u><br>Sabbie giallastre con livelli di argille limo-sabbiose con gusci fossili intercalati a livelli quarzarenitici | $\gamma = 1.86 \text{ T/mc}$      |
|                  |  | $\text{Cu} = 1.11 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |  | $c' = 0.04 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |  | $\phi' = 25.50^\circ$             |
| 10.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose - GER :</u><br>argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi | $\gamma = 1.86 \text{ T/mc}$      |
|                  |  | $\text{Cu} = 2.08 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |  | $c' = 0.22 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |  | $\phi' = 21.00^\circ$             |

| SABBIE E SABBIE ARGILLOSE SLN |          |       |             |        |
|-------------------------------|----------|-------|-------------|--------|
| Campione                      | $\gamma$ | $c'$  | $\text{Cu}$ | $\phi$ |
|                               | KN/mc    | KN/mq | KN/mq       | (°)    |
| s48c1                         | 18,61    | 4,20  | 111,66      | 25,50  |

| ARGILLE MARNOSE GER |          |       |             |        |
|---------------------|----------|-------|-------------|--------|
| Campione            | $\gamma$ | $c'$  | $\text{Cu}$ | $\phi$ |
|                     | KN/mc    | KN/mq | KN/mq       | (°)    |
| s48c2               | 18,60    | 22,30 |             | 21,00  |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 1    |
| $\xi 3$                      | 1,70 |
| $\xi 4$                      | 1,70 |

**3.4.1.3. 2 - Modello Geotecnico 4 – VD S. Giuliano e VD S. Filippo Neri: da prog. 16+960 a prog. 17+435**

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S30            | Carotaggio continuo | 30,00     | 17+230    | 1        | S30C1 | 10,00-10,50    |
|                |                     |           |           | 2        | S30C2 | 17,00-17,50    |
|                |                     |           |           | 3        | S30C3 | 25,00-25,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia                       | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|---------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                                 |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S12bis                | Distruzione Carotaggio continuo | 63,00     | 17+070    | 1        | C1    | 35,00-35,50    |
|                       |                                 |           |           | 2        | C2    | 40,00-40,50    |
|                       |                                 |           |           | 3        | C3    | 45,00-45,50    |
|                       |                                 |           |           | 4        | C4    | 54,00-54,40    |
|                       |                                 |           |           | 5        | C5    | 55,60-66,00    |
|                       |                                 |           |           | 6        | C6    | 62,60-63,00    |
| S13                   | Carotaggio continuo             | 20,00     | 17+170    | 1        | C1    | 5,80-6,20      |
|                       |                                 |           |           | 2        | C2    | 10,00-10,40    |
|                       |                                 |           |           | 3        | C3    | 15,00-15,40    |
|                       |                                 |           |           | 4        | C4    | 20,20,40       |

| Sondaggio 2010 Fase 2 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |        |                |
|-----------------------|---------------------|-----------|-----------|----------|--------|----------------|
|                       |                     |           |           | N°       | Sigla  | Profondità (m) |
| S129                  | Carotaggio continuo | 40,00     | 17+220    | 1        | SI29C1 | 06,00 - 06,25  |
|                       |                     |           |           | 2        | SI29C2 | 17,00 - 17,30  |
|                       |                     |           |           | 3        | SI29C3 | 22,80 - 23,30  |
|                       |                     |           |           | 4        | SI29C4 | 29,00 - 29,30  |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P3 – Fase1                     | Prof.= 9,60 m | 17+270   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD34                           | Prof.= 9,60 m | 17+270   |
| PD35                           | Prof.= 9,60 m | 17+370   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2010 | Dimensione     | Prog. Km        |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS5                       | L= 78,00 m x 3 | 17+170 ÷ 17+400 |

| Profondità (m) | Litotipo  | Parametri Geotecnici |
|----------------|---|----------------------|
| 0.00 ÷ 4.00    | Argille brecciate sommitali alterate –<br>TRVB1 :<br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.85T/mc$  |
|                |   | $Cu = 0.50 Kg/cmq$   |
|                |   | $c' = 0.15 Kg/cmq$   |
|                |   | $\phi' = 19^\circ$   |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici           |
|------------------|--|--------------------------------|
| 4.00 ÷ 15.00     | Argille brecciate intermedie – TRVB 2a:<br>argilla limosa a tratti scagliose                                       | $\gamma = 2.16$ T/mc           |
|                  |  | $Cu = 4.49$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                  |  | $c' = 0.19$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                  |  | $\phi' = 23.10^\circ$          |
| 15.00 ÷ in prof. | Argille brecciate profonde – TRVB 2b: ar-<br>gilla e argilla limosa consistente brecciate<br>scagliose consistenti | $\gamma = 2.08$ T/mc           |
|                  |  | $Cu = 3.80$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                  |  | $c' = 0.25$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                  |  | $\phi' = 22.15^\circ$          |

| ARGILLE BRECCIAE INTERMEDIE TRVB 2a |                   |                           |                           |               |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Campione                            | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/m <sup>2</sup> | $Cu$<br>KN/m <sup>2</sup> | $\Phi$<br>(°) |
| SI29C11                             | 21,62             | 19,00                     | 449,73                    | 23,10         |

| ARGILLE BRECCIAE PROFONDE TRVB 2b |                   |                           |                           |               |
|-----------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Campione                          | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/m <sup>2</sup> | $Cu$<br>KN/m <sup>2</sup> | $\Phi$<br>(°) |
| SI29C12                           | 21,04             | 47,30                     | 141,85                    | 18,80         |
| SI29C13                           | 19,80             | 10,00                     |                           | 24,00         |
| SI29C14                           |                   | 22,00                     |                           | 22,00         |
| S30C1                             | 21,68             | 15,90                     | 541,30                    | 24,20         |
| S30C2                             | 20,49             | 34,01                     | 403,34                    | 23,00         |
| S30C3                             | 20,83             | 19,85                     | 514,10                    | 23,70         |
| S12bC1                            | 20,83             |                           | 300,60                    |               |
| S12bC2                            | 21,30             | 25,00                     |                           | 19,50         |
| S12bC4                            | 20,48             | 25,00                     |                           | 22,00         |
| Valori medi                       | <b>20,81</b>      | <b>24,88</b>              | <b>380,24</b>             | <b>22,15</b>  |
| Valori minimi                     | 19,80             | 10,00                     | 141,85                    | 18,80         |
| Valori massimi                    | 21,68             | 47,30                     | 541,30                    | 24,20         |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 4    |
| $\xi_3$                      | 1,55 |
| $\xi_4$                      | 1,42 |

### 3.5. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO A

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 17+640 alla progressiva 19+500.

| Tratto | Sottotratto | Denominazione | Progressive     |
|--------|-------------|---------------|-----------------|
| 3      | A           | Busita        | 17+640 ÷ 19+500 |

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue:

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 71 di 126 |



| Denominazione                     | Progressive |        |
|-----------------------------------|-------------|--------|
|                                   | Inizio      | Fine   |
| Viadotto "Busita I"               | 17+680      | 17+920 |
| Galleria artificiale "S. Filippo" | 17+950      | 18+050 |
| Viadotto "Busita II"              | 18+135      | 18+415 |
| Galleria artificiale "Bersaglio"  | 18+460      | 18+755 |
| Viadotto "Busita III"             | 18+850      | 19+195 |
| Svincolo Caltanissetta Nord       | 19+120      | 19+540 |

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto A è interessato dalle seguenti formazioni:

1. dalla prog. 17+640 alla 18+450 le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**) costituite da argille marnose brune, a struttura spiccatamente brecciata, *puddingoide*, talvolta scagliettata per la sovrapposizione di differenti piani di taglio, in matrice siltosa e contenenti abbondanti elementi *esotici* di natura prevalentemente quarzarenitica; sono ricoperte da una fascia di alterazione limoso-argillosa color tabacco il cui spessore varia tra un minimo di 5 m ad un massimo di circa 15 m, laddove si riscontrano accumuli di materiale argilloso detritico; dal punto di vista geotecnico la parte non alterata è suddivisibile in una zona intermedia, sino a 15÷20 m, e in una più profonda da 15÷20 m in giù
2. dalla prog. 18+450 alla 19+500 il complesso plastico delle argille ed argille marnose tortoniane (**TRV**), ricoperte da una fascia di alterazione limoso-argillosa giallastra spessa qualche metro; dal punto di vista geotecnico la parte non alterata è suddivisibile in una zona intermedia, sino a 15÷20 m, e in una più profonda da 15÷20 m in giù; l'affioramento è dovuto ad una struttura tettonica inversa che ha portato la serie tortoniana in ricoprimento su quella pliocenica.

### 3.5.1. Modellazione geotecnica

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definiti n.4 profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti.

#### 3.5.1.1. 3-A - Modello Geotecnico 1 – VD Busita I: da prog. 17+640 a prog. 17+940

Indagini dirette di riferimento:

|                                    |                               |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 72 di 126 |

| Sondaggio 2010<br>Fase 2 | Tipologia              | Prof.<br>(m) | Progr.<br>Km | Campioni |        |                |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|--------|----------------|
|                          |                        |              |              | N°       | Sigla  | Profondità (m) |
| SI30                     | Carotaggio<br>continuo | 50,00        | 17+760       | 1        | SI30C1 | 06,00 - 06,50  |
|                          |                        |              |              | 2        | SI30C2 | 12,10 - 12,50  |
|                          |                        |              |              | 3        | SI30C3 | 18,00 - 18,50  |
|                          |                        |              |              | 4        | SI30C5 | 30,00 - 30,30  |
|                          |                        |              |              | 5        | SI30C7 | 44,50 - 44,75  |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P04 – Fase 1                   | Prof.= 9,80 m | 17+710   |
| P15 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 17+920   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione     | Prog. Km |
|--------------------------------|----------------|----------|
| PD36                           | Prof.= 7,80 m  | 17+780   |
| PD37                           | Prof.= 10,00 m | 17+870   |

| ARGILLE BRECCIATE SOMMITALI ALTERATE TRVB 1 |          |       |       |        |
|---|----------|-------|-------|--------|
| Campione                                    | $\gamma$ | $c'$  | Cu    | $\phi$ |
|   | KN/mc    | KN/mq | KN/mq | (°)    |
| SI 30-CI1                                   | 21,61    | 23,50 |       | 24,40  |

| ARGILLE BRECCIATE INTERMEDIE TRVB 2a |          |       |        |        |
|--------------------------------------|----------|-------|--------|--------|
| Campione                             | $\gamma$ | $c'$  | Cu     | $\phi$ |
|                                      | KN/mc    | KN/mq | KN/mq  | (°)    |
| SI 30-CI2                            | 21,68    | 40,00 | 396,03 | 27,00  |

| ARGILLE BRECCIATE profonde TRVB 2b |              |              |       |              |
|------------------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Campione                           | $\gamma$     | $c'$         | Cu    | $\phi$       |
|                                    | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq | (°)          |
| SI 30-CI3                          | 21,71        | 85,00        |       | 24,00        |
| SI 30-CI5                          | 21,70        | 37,00        |       | 21,00        |
| SI 30-CI7                          | 21,69        | 45,00        |       | 19,00        |
| Valori medi                        | <b>21,70</b> | <b>55,67</b> |       | <b>21,33</b> |
| Valori minimi                      | 21,69        | 37,00        | 0,00  | 19,00        |
| Valori massimi                     | 21,71        | 85,00        | 0,00  | 24,00        |

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici |
|----------------|--|----------------------|
| 0.00 ÷ 7.00    | Argille Brecciate sommitali alterate –<br><u>TRVB1:</u><br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed<br>alterata | $\gamma = 2.16T/mc$  |
|                |  | $Cu = 0.60 Kg/cmq$   |
|                |  | $c' = 0.23 Kg/cmq$   |
|                |  | $\phi' = 24.4^\circ$ |

|                  |   |                              |
|------------------|---|------------------------------|
| 7.00 ÷ 15.00     | <u>Argille Brecciate intermedie – TRVB 2a:</u><br>argilla limosa a tratti scagliose                                       | $\gamma = 2.17 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $Cu = 3.96 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.40 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\phi' = 27.0^\circ$         |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Argille Brecciate profonde – TRVB 2b:</u> ar-<br>gilla e argilla limosa consistente brecciate<br>scagliose consistenti | $\gamma = 2.2 \text{ T/mc}$  |
|                  |   | $Cu = 1.58 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.55 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\phi' = 21.3^\circ$         |

### 3.5.1.2. 3-A - Modello Geotecnico 2 – GA S. Filippo Neri: da prog.17+940 a prog.18+060

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S33            | Carotaggio continuo | 25,00     | 17+980    | 1        | S33C1 | 15,00-15,50    |
|                |                     |           |           | 2        | S33C2 | 20,00-20,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia                     | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                               |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S16                   | Carotaggio continuo Down-Hole | 40,00     | 18+020    | 1        | C1    | 5,50-6,00      |
|                       |                               |           |           | 2        | C2    | 11,25-11,75    |
|                       |                               |           |           | 3        | C3    | 18,00-18,40    |
|                       |                               |           |           | 4        | C4    | 25,00-25,50    |
|                       |                               |           |           | 5        | C5    | 30,40-30,70    |
|                       |                               |           |           | 6        | C6    | 40,00-40,30    |

| ARGILLE BRECCIAE INTERMEDIE TRVB2a |              |              |               |              |
|------------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                           | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$          | $\phi$       |
|                                    | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S16C2                              | 20,48        | 29,10        | 311,00        | 21,80        |
| S33C1                              | 19,59        |              | 124,10        |              |
| Valori medi                        | <b>20,04</b> | <b>29,10</b> | <b>217,55</b> | <b>21,80</b> |
| Valori minimi                      | 19,59        | 29,10        | 124,10        | 21,80        |
| Valori massimi                     | 20,48        | 29,10        | 311,00        | 21,80        |

| ARGILLE BRECCIAE PROFONDE TRVB2b |              |              |       |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Campione                         | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$  | $\phi$       |
|                                  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq | (°)          |
| S33C2                            | 19,41        | 28,00        |       | 24,20        |
| S16C4                            | 21,73        | 24,10        |       | 22,00        |
| S16C5                            | 21,27        | 37,60        |       | 28,20        |
| Valori medi                      | <b>20,80</b> | <b>29,90</b> |       | <b>24,80</b> |
| Valori minimi                    | 19,41        | 24,10        | 0,00  | 22,00        |
| Valori massimi                   | 21,73        | 37,60        | 0,00  | 28,20        |

| Profondità (m)  | Litotipo   | Parametri Geotecnici  |
|---|--|---|
| 0.00 ÷ 9.00 <sup>(1)</sup><br>0.00 ÷ 15.00 <sup>(2)</sup>         | <u>Argille Brecciate sommitali alterate – TRVB1</u> :<br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata              | $\gamma = 1.94 \text{ T/mc}$<br>$Cu = 0.50 \text{ Kg/cmq}$<br>$c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$<br>$\phi' = 19^\circ$    |
| 9.00 ÷ 17.00 <sup>(1)</sup><br>15.00 ÷ 23.00 <sup>(2)</sup>       | <u>Argille Brecciate intermedie – TRVB 2a</u> :<br>argilla limosa a tratti scagliose                                       | $\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$<br>$Cu = 2.17 \text{ Kg/cmq}$<br>$c' = 0.29 \text{ Kg/cmq}$<br>$\phi' = 21.80^\circ$ |
| 15.00 ÷ in prof. <sup>(1)</sup><br>23.00 ÷ in prof <sup>(2)</sup> | <u>Argille Brecciate profonde – TRVB 2b</u> : ar-<br>gilla e argilla limosa consistente brecciate<br>scagliose consistenti | $\gamma = 2.1 \text{ T/mc}$<br>$Cu = 1.58 \text{ Kg/cmq}$<br>$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$<br>$\phi' = 24.80^\circ$  |

Nota: I differenti valori di (1) e (2) sono relativi, rispettivamente all'asse dx e all'asse sn, dovuti a differenti spessori di accumuli di materiale argilloso detritico, presente soprattutto sull'asse sn; poiché la GA si svilupperà sull'asse dx si possono assumere per tale opera i valori contrassegnati da (1).

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 2    |
| ξ3                           | 1,65 |
| ξ4                           | 1,55 |

### 3.5.1.3. 3-A - Modello Geotecnico 3 – VD Busita II: da prog.18+060 a prog.18+450

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S34            | Carotaggio continuo | 30,00     | 18+150    | 1        | S34C1 | 8,20-8,70      |
|                |                     |           |           | 2        | S34C2 | 16,00-16,50    |
|                |                     |           |           | 3        | S34C3 | 26,00-26,50    |
| S35            | Carotaggio continuo | 30,00     | 18+460    | 1        | S35C1 | 3,60-4,10      |
|                |                     |           |           | 2        | S35C2 | 9,80-10,30     |
|                |                     |           |           | 3        | S35C3 | 22,00-22,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 2 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S131                  | Carotaggio continuo | 40,00     | 18+180    | 1        | S31C1 | 07,60 - 07,90  |
|                       |                     |           |           | 2        | S31C2 | 12,00 - 12,50  |
|                       |                     |           |           | 3        | S31C4 | 27,40 - 27,90  |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P16 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 18+265   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD38                           | Prof.= 8,20 m | 18+230   |
| PD39                           | Prof.= 8,60 m | 18+370   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2010 | Dimensione     | Prog. Km        |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS6                       | L= 78,00 m x 2 | 18+140 ÷ 18+340 |

| Profondità (m)   | Litotipo  | Parametri Geotecnici               |
|------------------|---|------------------------------------|
| 0.00 ÷ 6.00      | <u>Argille Brecciate sommitali alterate – TRVB1:</u><br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata              | $\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$       |
|                  |   | $\text{Cu} = 0.70 \text{ Kg/cm}^2$ |
|                  |   | $c' = 0.12 \text{ Kg/cm}^2$        |
|                  |   | $\phi' = 15.0^\circ$               |
| 6.00 ÷ 15.00     | <u>Argille Brecciate intermedie – TRVB 2a:</u><br>argilla limosa a tratti scagliese                                       | $\gamma = 2.04 \text{ T/mc}$       |
|                  |   | $\text{Cu} = 1.98 \text{ Kg/cm}^2$ |
|                  |   | $c' = 0.36 \text{ Kg/cm}^2$        |
|                  |   | $\phi' = 19.75^\circ$              |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Argille Brecciate profonde – TRVB 2b:</u> ar-<br>gilla e argilla limosa consistente brecciate<br>scagliese consistenti | $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$       |
|                  |   | $\text{Cu} = 1.58 \text{ Kg/cm}^2$ |
|                  |   | $c' = 0.26 \text{ Kg/cm}^2$        |
|                  |   | $\phi' = 21.73^\circ$              |

| ARGILLE BRECCIATE SOMMITALI TRVB1 |                   |               |                      |               |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Campione                          | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/mq | $\text{Cu}$<br>KN/mq | $\Phi$<br>(°) |
| s35c1                             | 19,07             | 12,15         | 70,81                | 15,00         |

| ARGILLE BRECCIATE INTERMEDIE TRVB 2a |                   |               |                      |               |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Campione                             | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/mq | $\text{Cu}$<br>KN/mq | $\Phi$<br>(°) |
| S34c1                                | 19,37             | 31,40         | 145,16               | 23,60         |
| s35c2                                | 19,13             | 22,40         | 124,30               | 19,20         |
| SI31C1                               | 21,59             | 77,40         | 325,02               | 17,70         |
| SI31C2                               | 21,64             | 15,00         |                      | 18,50         |
| Valori medi                          | <b>20,43</b>      | <b>36,55</b>  | <b>198,16</b>        | <b>19,75</b>  |
| Valori minimi                        | 19,13             | 15,00         | 124,30               | 17,70         |
| Valori massimi                       | 21,64             | 77,40         | 325,02               | 23,60         |

| ARGILLE BRECCIATE PROFONDE TRVB2b |              |              |               |              |
|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                          | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\Phi$       |
|                                   | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| S34c2                             | 18,96        | 42,00        | 151,00        | 24,10        |
| S34c3                             | 19,75        |              | 166,00        |              |
| s35c3                             | 19,47        | 33,00        |               | 22,50        |
| SI31C4                            | 20,09        | 4,50         |               | 18,60        |
| Valori medi                       | <b>19,57</b> | <b>26,50</b> | <b>158,50</b> | <b>21,73</b> |
| Valori minimi                     | 18,96        | 4,50         | 151,00        | 18,60        |
| Valori massimi                    | 20,09        | 42,00        | 166,00        | 24,10        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 3    |
| $\xi_3$                      | 1,60 |
| $\xi_4$                      | 1,48 |

In assenza di valori di Cu ricavati da prove di laboratorio (3A Mod.1), si sono adottati gli stessi valori o valori medi in presenza di più dati, dei modelli su tratti adiacenti che interessano le stesse formazioni (3A Mod.2 – 3A Mod.3).

### 3.5.1.4. 3-A - Modello Geotecnico 4 – GA Bersaglio: da prog.18+450 a prog.19+500

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S36            | Carotaggio continuo | 25,00     | 18+640    | 1        | S36C1 | 7,80-8,30      |
|                |                     |           |           | 2        | S36C2 | 18,80-19,30    |
| S54            | Carotaggio continuo | 25,00     | 18+840    | 1        | S54C1 | 8,30-8,80      |
|                |                     |           |           | 2        | S54C2 | 16,10-16,60    |
|                |                     |           |           | 3        | S54C3 | 20,00-20,50    |
| S55            | Carotaggio continuo | 25,00     | 19+045    | 1        | S55C1 | 3,50-4,00      |
|                |                     |           |           | 2        | S55C2 | 10,00-10,50    |
| S37            | Carotaggio continuo | 30,00     | 19+160    | 1        | S37C1 | 9,00-9,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S37C2 | 18,00-18,50    |
|                |                     |           |           | 3        | S37C3 | 28,00-28,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia                     | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                               |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S17                   | Carotaggio continuo Down-Hole | 30,00     | 18+545    | 1        | C1    | 5,50-6,00      |
|                       |                               |           |           | 2        | C2    | 11,25-11,75    |
|                       |                               |           |           | 3        | C3    | 18,00-18,40    |
|                       |                               |           |           | 4        | C4    | 25,00-25,50    |
|                       |                               |           |           | 5        | C5    | 30,40-30,70    |
|                       |                               |           |           | 6        | C6    | 40,00-40,30    |

| Sondaggio 2010 Fase 2 | Tipologia | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |           |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |

| Sondaggio 2010<br>Fase 2 | Tipologia                           | Prof.<br>(m) | Progr.<br>Km | Campioni |       |                |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|----------|-------|----------------|
|                          |                                     |              |              | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| SI33                     | Carotaggio<br>continuo<br>Down-Hole | 30,00        | 19+280       | 1        | S34C1 | 07,60 - 07,90  |
|                          |                                     |              |              | 2        | S34C2 | 12,00 - 12,50  |
|                          |                                     |              |              | 3        | S34C4 | 27,40 - 27,90  |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P17 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 18+755   |
| P18 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 19+295   |
| P05 – Fase 1                   | -             | 19+440   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km               |
|--------------------------------|---------------|------------------------|
| PD40                           | Prof.= 6,00 m | 18+885                 |
| PD41                           | Prof.= 5,60 m | 19+990                 |
| PD42                           | Prof.= 6,80 m | 19+120                 |
| PD43                           | Prof.= 3,40 m | Sv. Caltanissetta Nord |
| PD44                           | Prof.= 7,20 m | Sv. Caltanissetta Nord |
| PD45                           | Prof.= 3,80 m | Sv. Caltanissetta Nord |

| ARGILLE MARNOSE SOMMITALI TRV1 |          |       |           |        |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|--------|
| Campione                       | $\gamma$ | $c'$  | <b>Cu</b> | $\phi$ |
|                                | KN/mc    | KN/mq | KN/mq     | (°)    |
| S55C1                          | 19,18    | 21,40 | 130,25    | 14,90  |

| ARGILLE MARNOSE INTERMEDIE TRV2a |              |              |               |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                         | $\gamma$     | $c'$         | <b>Cu</b>     | $\phi$       |
|                                  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| SI33c1                           | 20,42        | 29,10        |               | 18,90        |
| SI33c2                           | 20,63        | 15,00        |               | 14,70        |
| S36C1                            | 19,54        | 20,40        | 164,99        | 19,30        |
| S54C1                            | 20,56        | 14,87        | 196,25        | 19,60        |
| S37C1                            | 20,14        | 29,00        | 192,21        | 18,00        |
| S55C2                            | 19,50        | 24,50        | 151,41        | 18,80        |
| Valori medi                      | <b>20,13</b> | <b>22,15</b> | <b>176,22</b> | <b>18,22</b> |
| Valori minimi                    | 19,50        | 14,87        | 151,41        | 14,70        |
| Valori massimi                   | 20,63        | 29,10        | 196,25        | 19,60        |

| ARGILLE MARNOSE PROFONDE TRV2b |              |              |               |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$          | $\phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| SI33c3                         | 21,25        | 38,00        |               | 20,00        |
| SI33c5                         | 21,03        | 25,00        |               | 24,00        |
| s54c2                          | 19,97        | 18,65        | 228,90        | 20,40        |
| s37c2                          | 19,80        | 26,00        |               | 20,00        |
| s36c2                          | 19,22        | 28,00        | 104,20        | 24,70        |
| s54c3                          | 20,22        |              | 241,10        |              |
| s17c5                          | 21,21        | 30,90        |               | 18,60        |
| Valori medi                    | <b>20,39</b> | <b>27,76</b> | <b>191,40</b> | <b>21,28</b> |
| Valori minimi                  | 19,22        | 18,65        | 104,20        | 18,60        |
| Valori massimi                 | 21,25        | 38,00        | 241,10        | 24,70        |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|------------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 6.00      | <u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u><br>argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 1.30 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $c' = 0.21 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 14.90^\circ$        |
| 6.00 ÷ 15.00     | <u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u><br>argilla marnosa a tratti scagliosa         | $\gamma = 2.01 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 1.76 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $c' = 0.22 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 18.22^\circ$        |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa  | $\gamma = 2.04 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 1.91 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $c' = 0.28 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |  | $\phi' = 21.28^\circ$        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 6    |
| $\xi^3$                      | 1,50 |
| $\xi^4$                      | 1,34 |

### 3.6. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO B

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 19+500 alla progressiva 26+600.

| Tratto | Sottotratto | Denominazione      | Progressive     |
|--------|-------------|--------------------|-----------------|
| 3      | B           | Abbazia - Arenella | 19+500 ÷ 26+600 |

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue:

| Denominazione          | Progressive |        |
|------------------------|-------------|--------|
|                        | Inizio      | Fine   |
| Viadotto "Santuzza I"  | 19+800      | 19+960 |
| Viadotto "Santuzza II" | 20+340      | 20+765 |



|                                    |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|
| Viadotto "Santuzza III"            | 20+820 | 21+040 |
| Viadotto "Arenella I"              | 22+655 | 22+830 |
| Viadotto "Arenella II"             | 24+550 | 24+680 |
| Viadotto "Arenella III"            | 25+180 | 25+775 |
| Galleria naturale "Cozzo Garlatti" | 25+830 | 26+010 |
| Svincolo "S.S. 626"                | 26+220 | 26+460 |

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto B è interessato dalle seguenti formazioni:

1. dalla prog. 19+500 alla prog. 25+830 affiora il complesso plastico delle argille ed argille marnose tortoniane (**TRV**); sono ricoperte da una fascia di alterazione limoso-argillosa giallastra il cui spessore varia tra lo spessore massimo di 8 m ad un minimo di 3÷4, laddove si riscontrano le coperture alluvionali del vallone Arenella, a partire dal Km 22+700. Dal punto di vista geotecnico la parte non alterata è stata suddivisa in una zona intermedia, sino a 15÷20 m, e in una più profonda da 15÷20 m in giù.
2. (dalla prog. 25+830 alla 26+070 il tratto è interessato dalla galleria naturale "Cozzo Garlatti" oggetto di separato studio);
3. Dalla prog. 26+070 sino alla prog. 26+600 ritornano in affioramento le argillose tortoniane ricoperte da qualche metro di alluvioni recenti della Valle del Fiume Salso.

### 3.6.1. Modellazione geotecnica

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definiti n.4 profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti.

#### 3.6.1.1. 3-B - Modello Geotecnico 1: da prog. 19+500 a prog. 22+600

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S38            | Carotaggio continuo | 25,00     | 19+910    | 1        | S38C1 | 9,00-9,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S38C2 | 18,00-18,50    |
| S56            | Carotaggio continuo | 30,00     | 20+335    | 1        | S56C1 | 8,00-8,50      |
|                |                     |           |           | 2        | S56C2 | 15,80-16,30    |
|                |                     |           |           | 3        | S56C3 | 26,30-26,80    |
| S39            | Carotaggio continuo | 30,00     | 20+670    | 1        | S39C1 | 3,60-4,10      |
|                |                     |           |           | 2        | S39C2 | 12,00-12,50    |

| Sondaggio 2006 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S40            | Carotaggio continuo | 30,00     | 20+990    | 3        | S39C3 | 25,00-25,50    |
|                |                     |           |           | 1        | S40C1 | 8,80-9,30      |
|                |                     |           |           | 2        | S40C2 | 14,80-15,30    |
|                |                     |           |           | 3        | S40C3 | 25,00-25,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia           | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                     |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S18                   | Carotaggio continuo | 30,00     | 20+790    | 1        | C1    | 5,50-6,00      |
|                       |                     |           |           | 2        | C2    | 11,50-12,00    |
|                       |                     |           |           | 3        | C3    | 17,50-18,00    |
|                       |                     |           |           | 4        | C4    | 23,50-24,00    |
|                       |                     |           |           | 5        | C5    | 29,50-30,00    |

| Sondaggio 2010 Fase 2 | Tipologia                     | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |        |                |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|--------|----------------|
|                       |                               |           |           | N°       | Sigla  | Profondità (m) |
| SI34                  | Carotaggio continuo Down-Hole | 40,00     | 19+870    | 1        | SI34C1 | 08,00 - 08,25  |
|                       |                               |           |           | 2        | SI34C2 | 13,45 - 13,85  |
|                       |                               |           |           | 3        | SI34C3 | 19,00 - 19,50  |
|                       |                               |           |           | 4        | SI34C4 | 26,00 - 26,50  |
|                       |                               |           |           | 5        | SI34C5 | 32,40 - 32,90  |
|                       |                               |           |           | 6        | SI34C6 | 39,00 - 39,40  |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P19 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 19+800   |
| P20 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 19+990   |
| P21 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 20+475   |
| P22 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 20+795   |
| P23 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 21+410   |
| P24 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 21+735   |
| P06 – Fase 1                   | Prof.= 9,80 m | 22+065   |
| P25 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 22+365   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD46                           | Prof.= 7,00 m | 19+620   |
| PD47                           | Prof.= 7,40 m | 20+210   |
| PD48                           | Prof.= 8,40 m | 20+860   |
| PD49                           | Prof.= 7,60 m | 21+290   |
| PD50                           | Prof.= 7,00 m | 21+895   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS18                      | L= 78,00 m | 20+710   |
| SS16                      | L= 78,00 m | 21+650   |
| SS17                      | L= 78,00 m | 21+750   |
| SS15                      | L= 78,00 m | 22+470   |

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici |
|----------------|--|----------------------|
| 0.00 ÷ 7.50    | Argille marnose sommitali alterate –<br>TRV1:<br>argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 2.02T/mc$  |
|                |  | $Cu = 1.65 Kg/cmq$   |
|                |  | $c' = 0.26 Kg/cmq$   |

|                  |   |                                   |
|------------------|---|-----------------------------------|
|                  |   | $\phi' = 19.75^\circ$             |
| 7.50 ÷ 15.00     | <u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u><br>argilla marnosa a tratti scagliosa        | $\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$      |
|                  |   | $\text{Cu} = 1.28 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |   | $c' = 0.36 \text{ Kg/cmq}$        |
| 15.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa | $\phi' = 19.3^\circ$              |
|                  |   | $\gamma = 2.05 \text{ T/mc}$      |
|                  |   | $\text{Cu} = 1.78 \text{ Kg/cmq}$ |
|                  |   | $c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$        |
|                  |   | $\phi' = 21.66^\circ$             |

| ARGILLE MARNOSE SOMMITALI TRV1 |              |              |               |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | $\text{Cu}$   | $\Phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s39c1                          | 19,85        | 9,00         | 165,61        | 18,50        |
| s18bc1                         | 20,64        | 43,50        |               | 21,00        |
| Valori medi                    | <b>20,25</b> | <b>26,25</b> | <b>165,61</b> | <b>19,75</b> |
| Valori minimi                  | 19,85        | 9,00         | 165,61        | 18,50        |
| Valori massimi                 | 20,64        | 43,50        | 165,61        | 21,00        |

| ARGILLE MARNOSE INTERMEDIE TRV2a |              |              |               |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                         | $\gamma$     | $c'$         | $\text{Cu}$   | $\Phi$       |
|                                  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| SI34C1                           | 21,36        | 23,30        | 76,00         | 19,20        |
| SI34C2                           | 21,57        | 24,50        |               | 20,20        |
| s56c1                            | 18,94        | 19,55        | 68,18         | 21,10        |
| s39c2                            | 18,97        | 19,30        | 133,02        | 20,90        |
| s40c2                            | 20,93        | 94,40        | 234,75        | 15,00        |
| Valori medi                      | <b>20,35</b> | <b>36,21</b> | <b>127,99</b> | <b>19,28</b> |
| Valori minimi                    | 18,94        | 19,30        | 68,18         | 15,00        |
| Valori massimi                   | 21,57        | 94,40        | 234,75        | 21,10        |

| ARGILLE MARNOSE PROFONDE TRV2b |              |              |               |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$          | $\Phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| SI34C3                         | 21,30        |              | 284,70        |              |
| SI34C4                         | 21,58        | 24,00        |               | 22,00        |
| SI34C5                         | 21,40        |              |               |              |
| SI34C6                         | 20,00        | 20,00        |               | 17,50        |
| s56c2                          | 19,90        | 41,50        | 93,20         | 20,20        |
| s38c2                          | 20,03        | 12,70        | 155,66        | 21,60        |
| s18bc2                         | 21,76        | 31,80        | 236,70        | 28,20        |
| s39c3                          | 20,23        | 16,10        |               | 21,30        |
| s40c3                          | 19,35        | 13,50        | 125,60        | 20,80        |
| s56c3                          | 19,28        |              | 173,21        |              |
| Valori medi                    | <b>20,48</b> | <b>22,80</b> | <b>178,18</b> | <b>21,66</b> |
| Valori minimi                  | 19,28        | 12,70        | 93,20         | 17,50        |
| Valori massimi                 | 21,76        | 41,50        | 284,70        | 28,20        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 6    |
| $\xi_3$                      | 1,50 |
| $\xi_4$                      | 1,34 |

### 3.6.1.2. 3-B - Modello Geotecnico 2: da prog. 22+600 a prog. 25+830

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia                      | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                                |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S41            | Carotaggio continuo            | 30,00     | 22+710    | 1        | S41C1 | 8,00-8,50      |
|                |                                |           |           | 2        | S41C2 | 18,00-18,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S41C3 | 25,50-26,00    |
| S57            | Carotaggio continuo            | 25,00     | 23+700    | 1        | S57C1 | 3,00-3,50      |
|                |                                |           |           | 2        | S57C2 | 10,00-10,50    |
| S42            | Carotaggio continuo piezometro | 25,00     | 24+610    | 1        | S42C1 | 4,00-4,50      |
|                |                                |           |           | 2        | S42C2 | 12,00-12,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S42C3 | 25,00-25,50    |
| S58            | Carotaggio continuo            | 30,00     | 25+240    | 1        | S58C1 | 8,10-8,60      |
|                |                                |           |           | 2        | S58C2 | 16,00-16,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S58C3 | 26,00-26,50    |
| S43            | Carotaggio continuo            | 30,00     | 25+490    | 1        | S43C1 | 4,50-5,00      |
|                |                                |           |           | 2        | S43C2 | 12,00-12,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S43C3 | 25,00-25,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia                     | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                               |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S19                   | Carotaggio continuo Down-Hole | 30,00     | 25+820    | 1        | C1    | 5,50-6,00      |
|                       |                               |           |           | 2        | C2    | 12,00-12,30    |
|                       |                               |           |           | 3        | C3    | 17,50-18,00    |
|                       |                               |           |           | 4        | C4    | 23,50-24,00    |

| Sondaggio 2010<br>Fase 1 | Tipologia | Prof.<br>(m) | Progr.<br>Km | Campioni |       |                |
|--------------------------|-----------|--------------|--------------|----------|-------|----------------|
|                          |           |              |              | N°       | Sigla | Profondità (m) |
|                          |           |              |              | 5        | C5    | 29,50-30,00    |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P26– Fase 2                    | Prof.= 9,80 m | 22+835   |
| P07– Fase 1                    | Prof.= 9,80 m | 23+110   |
| P08 – Fase 1                   | Prof.= 9,80 m | 23+510   |
| P27 – Fase 2                   | Prof.= 9,80 m | 24+675   |
| P09 – Fase 1                   | Prof.= 9,80 m | 25+290   |
| P10 – Fase 1                   | Prof.= 9,80 m | 25+685   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD51                           | Prof.= 8,80 m | 22+610   |
| PD52                           | Prof.= 7,80 m | 22+780   |
| PD53                           | Prof.= 7,20 m | 23+010   |
| PD54                           | Prof.= 6,40 m | 23+590   |
| PD55                           | Prof.= 5,60 m | 23+655   |
| PD56                           | Prof.= 6,60 m | 23+665   |
| PD57                           | Prof.= 7,40 m | 23+865   |
| PD58                           | Prof.= 7,20 m | 24+205   |
| PD59                           | Prof.= 7,60 m | 24+480   |
| PD60                           | Prof.= 2,40 m | 24+570   |
| PD61                           | Prof.= 6,00 m | 24+745   |
| PD62                           | Prof.= 8,20 m | 25+025   |
| PD63                           | Prof.= 7,20 m | 25+200   |
| PD64                           | Prof.= 8,00 m | 25+625   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS10                      | L= 78,00 m | 25+720   |

| Sismica a rifrazione 2010 | Dimensione     | Prog. Km        |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS7                       | L= 78,00 m x 5 | 25+120 ÷ 25+780 |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici                |
|------------------|--|-------------------------------------|
| 0.00 ÷ 6.00      | <u>Alluvioni TF1:</u><br>sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa.               | $\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$        |
|                  |  | $\text{Cu} = 2.98 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.05 \text{ Kg/cm}^2$         |
|                  |  | $\phi' = 23.0^\circ$                |
| 6.00 ÷ 10.00     | <u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u><br>argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$        |
|                  |  | $\text{Cu} = 1.29 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.19 \text{ Kg/cm}^2$         |
|                  |  | $\phi' = 21.17^\circ$               |
| 10.00 ÷ 20.00    | <u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u><br>argilla marnosa a tratti scagliosa         | $\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$        |
|                  |  | $\text{Cu} = 1.99 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.24 \text{ Kg/cm}^2$         |
|                  |  | $\phi' = 19.26^\circ$               |
| 20.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa  | $\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$        |
|                  |  | $\text{Cu} = \dots \text{ Kg/cm}^2$ |
|                  |  | $c' = 0.21 \text{ Kg/cm}^2$         |
|                  |  | $\phi' = 22.75^\circ$               |

| ALLUVIONI TF1  |              |             |               |              |
|----------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| Campione       | $\gamma$     | $c'$        | Cu            | $\phi$       |
|                | KN/mc        | KN/mq       | KN/mq         | (°)          |
| s57c1          | 19,53        |             | 525,92        |              |
| s42c1          | 19,81        | 0,00        |               | 27,00        |
| s19c1          | 20,08        | 11,80       | 71,20         | 19,00        |
| Valori medi    | <b>19,81</b> | <b>5,90</b> | <b>298,56</b> | <b>23,00</b> |
| Valori minimi  | 19,53        | 0,00        | 71,20         | 19,00        |
| Valori massimi | 20,08        | 11,80       | 525,92        | 27,00        |

| ARGILLE MARNOSE SOMMITALI TRV1 |              |              |               |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s41c1                          | 18,77        | 18,60        | 68,02         | 17,40        |
| s58c1                          | 19,97        | 17,60        | 190,84        | 23,30        |
| s57c2                          | 20,21        | 21,70        |               | 22,80        |
| Valori medi                    | <b>19,65</b> | <b>19,30</b> | <b>129,43</b> | <b>21,17</b> |
| Valori minimi                  | 18,77        | 17,60        | 68,02         | 17,40        |
| Valori massimi                 | 20,21        | 21,70        | 190,84        | 23,30        |

| ARGILLE MARNOSE INTERMEDIE TRV2a |              |              |               |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                         | $\gamma$     | $c'$         | Cu            | $\phi$       |
|                                  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s42c2                            | 20,31        | 27,00        | 150,00        | 22,60        |
| s43c2                            | 20,12        | 22,30        | 215,00        | 15,00        |
| s19c2                            | 19,36        | 10,00        |               | 16,50        |
| s58c2                            | 20,14        | 37,61        | 234,20        | 22,70        |
| s41c2                            | 19,26        | 22,00        |               | 19,50        |
| Valori medi                      | <b>19,84</b> | <b>23,78</b> | <b>199,73</b> | <b>19,26</b> |
| Valori minimi                    | 19,26        | 10,00        | 150,00        | 15,00        |
| Valori massimi                   | 20,31        | 37,61        | 234,20        | 22,70        |

| ARGILLE MARNOSE PROFONDE TRV2b |              |              |       |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | Cu    | $\phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq | (°)          |
| s43c3                          | 19,17        | 10,00        |       | 24,10        |
| s41c3                          | 19,03        | 32,00        |       | 21,40        |
| s58c3                          | 19,95        |              |       |              |
| Valori medi                    | <b>19,38</b> | <b>21,00</b> |       | <b>22,75</b> |
| Valori minimi                  | 19,03        | 10,00        |       | 21,40        |
| Valori massimi                 | 19,95        | 32,00        |       | 24,10        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 5    |
| ξ3                           | 1,50 |
| ξ4                           | 1,34 |

### 3.6.1.3. 3B - Modello Geotecnico 4: da prog. 26+020 a prog. 26+600

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2010<br>Fase 1 | Tipologia              | Prof.<br>(m) | Progr.<br>Km | Campioni |       |                |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|-------|----------------|
|                          |                        |              |              | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S20                      | Carotaggio<br>continuo | 25,00        | 26+030       | 1        | C1    | 5,50-6,00      |
|                          |                        |              |              | 2        | C2    | 12,50-12,80    |
|                          |                        |              |              | 3        | C3    | 17,50-18,00    |
|                          |                        |              |              | 4        | C4    | 18,00-18,50    |
|                          |                        |              |              | 5        | C5    | 25,00-25,50    |

| Sondaggio 2010<br>Fase 2 | Tipologia              | Prof.<br>(m) | Progr.<br>Km | Campioni |        |                |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|--------|----------------|
|                          |                        |              |              | N°       | Sigla  | Profondità (m) |
| SI37                     | Carotaggio<br>continuo | 40,00        | 26+325       | 1        | SI37C1 | 13,00 - 13,40  |
|                          |                        |              |              | 2        | SI37C2 | 20,00 - 20,35  |
|                          |                        |              |              | 3        | SI37C3 | 26,00 - 26,40  |
|                          |                        |              |              | 4        | SI37C4 | 32,00 - 32,25  |
|                          |                        |              |              | 5        | SI37C5 | 32,25 - 32,40  |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P28- Fase 2                    | Prof.= 9,80 m | 26+290   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km  |
|--------------------------------|---------------|-----------|
| PD65                           | Prof.= 8,80 m | Sv. SS626 |
| PD66                           | Prof.= 4,00 m | Sv. SS626 |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2006 | Dimensione | Prog. Km |
|---------------------------|------------|----------|
| SS07                      | L= 78,00 m | 26+070   |
| SS08                      | L= 78,00 m | 26+150   |
| SS09                      | L= 78,00 m | 26+540   |

| Sismica a rifrazione 2010 | Dimensione     | Prog. Km        |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS10                      | L= 78,00 m x 2 | 25+960 ÷ 26+100 |
| SS11                      | L= 78,00 m     | 26+050          |

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici        |
|----------------|--|-----------------------------|
| 0.00 ÷ 5.00    | Alluvioni TF1:<br>sabbie e ghiaie immerse in matrice limo<br>sabbiosa. | $\gamma = 1.85T/mc$         |
|                |  | $Cu = 0.50 \text{ Kg/cmq}$  |
|                |  | $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$  |
|                |  | $\phi' = 19^\circ$          |
| 5.00 ÷ 10.00   | Argille marnose sommitali alterate –<br>TRV1:                          | $\gamma = 2.00T/mc$         |
|                |  | $Cu = \dots \text{ Kg/cmq}$ |

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
|                  | argilla limosa plastica ed alterata   | $c' = 0.09 \text{ Kg/cmq}$<br>$\phi' = 31.10^\circ$  |
| 10.00 ÷ 20.00    | <u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u><br>argilla marnosa a tratti scagliosa        | $\gamma = 2.3 \text{ T/mc}$<br>$Cu = \text{---} \text{ Kg/cmq}$<br>$c' = 0.59 \text{ Kg/cmq}$<br>$\phi' = 25.05^\circ$ |
| 20.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa | $\gamma = 2.11 \text{ T/mc}$<br>$Cu = \text{---} \text{ Kg/cmq}$<br>$c' = 0.40 \text{ Kg/cmq}$<br>$\phi' = 25.5^\circ$ |

| ARGILLE MARNOSE SOMMITALI TRV1 |          |       |       |        |
|--------------------------------|----------|-------|-------|--------|
| Campione                       | $\gamma$ | $c'$  | $Cu$  | $\phi$ |
|                                | KN/mc    | KN/mq | KN/mq | (°)    |
| s20c1                          | 19,97    | 9,00  |       | 31,10  |

| ARGILLE MARNOSE INTERMEDIE TRV2a |              |              |       |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Campione                         | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$  | $\phi$       |
|                                  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq | (°)          |
| SI37C1                           | 20,76        | 110,00       |       | 18,50        |
| s20c2                            | 19,65        |              |       |              |
| s20c3                            | 20,52        | 8,20         |       | 31,60        |
| Valori medi                      | <b>20,31</b> | <b>59,10</b> |       | <b>25,05</b> |
| Valori minimi                    | 19,65        | 8,20         | 0,00  | 18,50        |
| Valori massimi                   | 20,76        | 110,00       | 0,00  | 31,60        |

| ARGILLE MARNOSE PROFONDE TRV2b |              |              |       |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | $Cu$  | $\phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq | (°)          |
| SI37C2                         | 21,21        |              |       |              |
| SI37C3                         | 21,52        | 30,00        |       | 21,00        |
| SI37C14/b                      | 20,66        | 81,10        |       | 31,50        |
| SI37C4/a                       | 21,74        | 39,50        |       | 20,40        |
| s20c4                          | 20,74        | 9,70         |       | 29,00        |
| Valori medi                    | <b>21,17</b> | <b>40,08</b> |       | <b>25,48</b> |
| Valori minimi                  | 20,66        | 9,70         | 0,00  | 20,40        |
| Valori massimi                 | 21,74        | 81,10        | 0,00  | 31,50        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 2    |
| $\xi_3$                      | 1,65 |
| $\xi_4$                      | 1,55 |



In assenza di valori di Cu ricavati da prove di laboratorio, per il presente modello, sono stati mediati i valori ricavati per analoghe formazioni presenti dalla progressiva 18+450 alla progressiva 28+080 come risulta dalla tabella di seguito riportata:

|                        | TRV1          | TRV2a         | TRV2b         |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                        | Cu (kN/mq)    | Cu (kN/mq)    | Cu (kN/mq)    |
| 3A Mod.4               | 130,00        | 191,00        | 176,00        |
| 3B Mod.1               | 165,00        | 128,00        | 178,00        |
| 3B Mod.2               | 129,00        | 199,00        |               |
| 3C                     | 243,00        | 270,00        | 270,00        |
| 3B Mod.4 (valori medi) | <b>166,75</b> | <b>197,00</b> | <b>208,00</b> |

Con analoga procedura si attribuisce il valore di Cu al litotipo TRV2b del modello 3B Mod.2 e 2 Mod.2 che viene posto pari a 208,00 kN/mq.

### 3.6.1.4. 3-C - Modello Geotecnico: da prog. 26+600 a prog. 28+080

Indagini dirette di riferimento:

| Sondaggio 2006 | Tipologia                      | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                |                                |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S45            | Carotaggio continuo piezometro | 30,00     | 26+725    | 1        | S45C1 | 6,30-6,80      |
|                |                                |           |           | 2        | S45C2 | 15,00-15,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S45C3 | 22,50-23,00    |
| S59            | Carotaggio continuo            | 30,00     | 27+850    | 1        | S59C1 | 10,00-10,50    |
|                |                                |           |           | 2        | S59C2 | 16,00-16,50    |
|                |                                |           |           | 3        | S59C3 | 26,00-26,50    |

| Sondaggio 2010 Fase 1 | Tipologia                     | Prof. (m) | Progr. Km | Campioni |       |                |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------|
|                       |                               |           |           | N°       | Sigla | Profondità (m) |
| S21                   | Carotaggio continuo           | 30,00     | 27+385    | 1        | C1    | 7,00-7,50      |
|                       |                               |           |           | 2        | C2    | 11,50-12,00    |
|                       |                               |           |           | 3        | C3    | 18,00-18,50    |
|                       |                               |           |           | 4        | C4    | 24,00-24,50    |
|                       |                               |           |           | 5        | C5    | 30,00-30,60    |
| S22                   | Carotaggio continuo Down-Hole | 30,00     | Sv. A19   | 1        | C1    | 6,70-7,00      |
|                       |                               |           |           | 2        | C2    | 12,30-12,70    |
|                       |                               |           |           | 3        | C3    | 17,60-18,00    |
|                       |                               |           |           | 4        | C4    | 20,00-20,40    |
|                       |                               |           |           | 5        | C5    | 26,00-26,40    |
|                       |                               |           |           | 6        | C6    | 32,60-33,00    |

| Penetrometriche dinamiche 2006 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| P11- Fase 2                    | Prof.= 9,80 m | 27+145   |
| P12- Fase 2                    | Prof.= 9,80 m | 27+600   |

| Penetrometriche dinamiche 2010 | Dimensione    | Prog. Km |
|--------------------------------|---------------|----------|
| PD67                           | Prof.= 7,60 m | 27+730   |
| PD68                           | Prof.= 7,00 m | 27+045   |
| PD69                           | Prof.= 6,40 m | 26+620   |

Indagini indirette di riferimento:

| Sismica a rifrazione 2010 | Dimensione     | Prog. Km        |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS12                      | L= 78,00 m x 8 | 26+660 ÷ 27+840 |

| Profondità (m)   | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|------------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 15.00     | <u>Alluvioni TF1:</u><br>sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa.               | $\gamma = 2.0 \text{ T/mc}$  |
|                  |  | $Cu = 1.26 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.26 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $\phi' = 21.73^\circ$        |
| 15.00 ÷ 20.00    | <u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u><br>argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 2.09 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 2.43 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.19 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $\phi' = 23.6^\circ$         |
| 20.00 ÷ 25.00    | <u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u><br>argilla marnosa a tratti scagliosa         | $\gamma = 2.06 \text{ T/mc}$ |
|                  |  | $Cu = 2.70 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $c' = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $\phi' = 22.9^\circ$         |
| 25.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa  | $\gamma = 2.0 \text{ T/mc}$  |
|                  |  | $Cu = 2.7 \text{ Kg/cm}^2$   |
|                  |  | $c' = 0.43 \text{ Kg/cm}^2$  |
|                  |  | $\phi' = 21.1^\circ$         |

| ALLUVIONI TF1  |                   |               |               |               |
|----------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Campione       | $\gamma$<br>KN/mc | $c'$<br>KN/mq | $Cu$<br>KN/mq | $\Phi$<br>(°) |
| s45c1          | 18,70             | 38,00         | 39,51         | 21,20         |
| S21C1          | 21,26             | 10,00         |               | 23,00         |
| s59c1          | 20,23             | 24,00         | 213,40        | 19,50         |
| S21C2          | 21,63             | 33,10         |               | 23,20         |
| Valori medi    | <b>20,46</b>      | <b>26,28</b>  | <b>126,46</b> | <b>21,73</b>  |
| Valori minimi  | 18,70             | 10,00         | 39,51         | 19,50         |
| Valori massimi | 21,63             | 38,00         | 213,40        | 23,20         |

| ARGILLE MARNOSE SOMMITALI TRV1 |              |              |               |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                       | $\gamma$     | $c'$         | $C_u$         | $\phi$       |
|                                | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s59c2                          | 20,22        | 27,10        | 243,00        | 20,80        |
| S21C3                          | 21,17        | 15,30        |               | 28,00        |
| S22C4                          | 21,46        | 15,00        |               | 22,00        |
| Valori medi                    | <b>20,95</b> | <b>19,13</b> | <b>243,00</b> | <b>23,60</b> |
| Valori minimi                  | 20,22        | 15,00        | 243,00        | 20,80        |
| Valori massimi                 | 21,46        | 27,10        | 243,00        | 28,00        |

| ARGILLE MARNOSE INTERMEDIE TRV2a |              |              |               |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Campione                         | $\gamma$     | $c'$         | $C_u$         | $\phi$       |
|                                  | KN/mc        | KN/mq        | KN/mq         | (°)          |
| s45c1                            | 20,05        | 43,50        | 270,20        | 21,10        |
| s59c1                            | 21,29        | 28,00        |               | 24,80        |
| Valori medi                      | <b>20,67</b> | <b>35,75</b> | <b>270,20</b> | <b>22,95</b> |
| Valori minimi                    | 20,05        | 28,00        | 270,20        | 21,10        |
| Valori massimi                   | 21,29        | 43,50        | 270,20        | 24,80        |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Numero di verticali indagate | 4    |
| $\xi_3$                      | 1,55 |
| $\xi_4$                      | 1,42 |

Nelle valutazioni da effettuare per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (in fondazioni superficiali o in una frana il volume interessato dalla superficie di rottura è grande), con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

- terreno di sedime di fondazioni superficiali;
- pali per la portata laterale;
- pendii (coltre di frana) e fronti di scavo;
- opere di contenimento di notevole altezza;
- struttura rigida.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno

- terreno di base di un palo
- verifica a scorrimento di un muro
- plinti e travi non collegati
- fronti di scavo di modesta ampiezza e muri di H contenuta
- struttura con insufficiente rigidezza

con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidezza.

### 3.7. MODULO ELASTICO

Per la determinazione del modulo elastico (modulo di Young) sono stati utilizzati i valori ottenuti con le prove penetrometriche dinamiche svolte nella campagna d'indagini del 2010 distribuite lungo il percorso come nella tabella di seguito riportata.

| Tratta/Sottotratta denominazione progressiva  | N°Prova | Profondità (m) | Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                           | N°Prova | Profondità (m) | Tratta/Sottotratta denominazione progressiva                          | N°Prova | Profondità (m) |
|---|---------|----------------|--|---------|----------------|---|---------|----------------|
| <b>1/A</b><br><b>Grottarossa prog.</b><br><b>0.000÷4.500</b>                            | PD1     | 6.60           | <b>3/A</b><br><b>Busita</b><br><b>Progr.</b><br><b>17.640 ÷ 19.500</b> | PD30    | 9.80           | <b>3/C</b><br><b>Imera</b><br><b>Progr.</b><br><b>26.600 – 28.080</b> | PD59    | 7.60           |
|   | PD2     | 3.00           |  | PD31    | 7.40           |   | PD60    | 2.40           |
|   | PD3     | 9.40           |  | PD32    | 7.20           |   | PD61    | 6.00           |
|   | PD4     | 3.40           |  | PD33    | 9.60           |   | PD62    | 8.20           |
|   | PD5     | 7.0            |  | PD34    | 7.60           |   | PD63    | 7.20           |
|   | PD6     | 8.60           |  | PD35    | 6.80           |   | PD64    | 8.00           |
|   | PD7     | 8.20           |  | PD36    | 7.80           | PD65  | 8.80    |                |
|   | PD8     | 7.40           |  | PD37    | 10.00          | PD66  | 4.00    |                |
|   | PD9     | 5.40           |  | PD38    | 8.20           | PD67  | 7.60    |                |
|   | PD10    | 6.60           |  | PD39    | 8.60           | PD68  | 7.00    |                |
|   | PD11    | 8.20           |  | PD40    | 6.00           | PD69  | 6.40    |                |
| <b>1/B</b><br><b>Grotta d'Acqua – Favarella</b><br><b>Progr</b><br><b>4.500 ÷ 9.500</b> | PD12    | 8.80           | <b>3/B</b><br><b>Abbazia - Arenella</b>                                | PD41    | 5.60           |   |         |                |
|   | PD13    | 4.00           |  | PD42    | 6.80           |   |         |                |
|   | PD14    | 8.40           |  | PD43    | 3.40           |   |         |                |
|   | PD15    | 7.00           |  | PD44    | 7.20           |   |         |                |
|   | PD16    | 9.60           |  | PD45    | 3.80           |   |         |                |
|   | PD17    | 9.60           |  | PD46    | 7.00           |   |         |                |
|   | PD18    | 8.40           |  | PD47    | 7.40           |   |         |                |

| Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva           | N°Prova | Profondità<br>(m) | Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva | N°Prova | Profondità<br>(m) | Tratta/Sottotratta<br>denominazione<br>progressiva | N°Prova | Profondità<br>(m) |  |
|--|---------|-------------------|--|---------|-------------------|--|---------|-------------------|--|
|  | PD19    | 3.80              | <b>Progr.<br/>19.500 ÷ 26.600</b>                  | PD48    | 8.40              |  |         |                   |  |
|  | PD20    | 5.40              |  | PD49    | 7.60              |  |         |                   |  |
|  | PD21    | 7.20              |  | PD50    | 7.00              |  |         |                   |  |
|  | PD22    | 6.20              |  | PD51    | 8.80              |  |         |                   |  |
| <b>1/C<br/>Seconda variante<br/>Progr<br/>9.500 ÷ 12.140</b> | PD23    | 7.60              |  | PD52    | 7.80              |  |         |                   |  |
|  | PD24    | 8.60              |  | PD53    | 7.20              |  |         |                   |  |
|  | PD25    | 2.20              |  | PD54    | 6.40              |  |         |                   |  |
|  | PD26    | 6.20              |  | PD55    | 5.60              |  |         |                   |  |
|  | PD27    | 7.60              |  | PD56    | 6.60              |  |         |                   |  |
|  | PD28    | 9.20              |  | PD57    | 7.40              |  |         |                   |  |
| <b>2<br/>Caltanissetta<br/>Progr<br/>12.140 ÷ 17.640</b>     | PD29    | 6.60              |  |         | PD58              | 7.20   |         |                   |  |

In particolare i valori ottenuti sono stati raggruppati e mediati per tratti ritenuti omogenei. Si riporta di seguito la tabella con l'elaborazione dei dati desunti dalle certificazioni rilasciate dalle società esecutrici delle prove.

| Valori medi Moduli elastici da prove penetrometriche |               |  |    |               |  |    |               |  |    |               |
|--|---------------|--|----|---------------|--|----|---------------|--|----|---------------|
| N  | E (Kg/cmq)    |  | N  | E (Kg/cmq)    |  | N  | E (Kg/cmq)    |  | N  | E (Kg/cmq)    |
| 1  | 395,60        |  | 16 | 218,10        |  | 34 | 275,20        |  | 52 | 246,70        |
| 2  | 205,10        |  | 17 | 264,40        |  | 35 | 341,60        |  | 53 | 200,30        |
|  | <b>300,35</b> |  | 18 | 361,10        |  | 36 | 340,10        |  | 54 | 180,50        |
|  |               |  | 19 | 391,00        |  | 37 | 300,80        |  | 55 | 185,90        |
| 3  | 232,10        |  | 20 | 82,70         |  | 38 | 267,70        |  | 56 | 252,70        |
| 4  | 434,10        |  | 21 | 196,30        |  | 39 | 284,10        |  | 57 | 287,10        |
|  |               |  | 22 | 290,70        |  |    | <b>301,58</b> |  | 58 | 216,60        |
| 5  | 253,90        |  |    | <b>257,76</b> |  |    |               |  | 59 | 359,60        |
| 6  | 237,70        |  |    |               |  | 40 | 496,30        |  | 60 | 294,50        |
| 7  | 300,80        |  | 23 | 342,90        |  | 41 | 313,60        |  | 61 | 383,50        |
| 8  | 282,00        |  | 24 | 255,70        |  | 42 | 159,89        |  | 62 | 228,90        |
| 9  | 268,50        |  | 25 | 194,20        |  | 43 | 498,40        |  | 63 | 245,30        |
| 10   | 335,20        |  |    | <b>264,27</b> |  | 44 | 191,30        |  | 64 | 191,80        |
| 11   | 230,60        |  |    |               |  | 45 | 391,00        |  |    | <b>251,80</b> |
|  | <b>272,67</b> |  | 26 | 339,50        |  |    | <b>341,75</b> |  |    |               |
|  |               |  | 27 | 241,40        |  |    |               |  | 65 | 239,40        |
|  |               |  |    | <b>290,45</b> |  | 46 | 226,20        |  | 66 | 118,10        |
| 12   | 293,30        |  |    |               |  | 47 | 117,50        |  |    |               |
| 13   | 328,80        |  | 28 | 298,70        |  | 48 | 207,10        |  | 67 | 174,00        |
|  | <b>311,05</b> |  | 29 | 265,30        |  | 49 | 350,40        |  | 68 | 263,20        |
|  |               |  | 30 | 244,40        |  | 50 | 280,30        |  | 69 | 209,80        |
| 14   | 324,60        |  | 31 | 233,60        |  | 51 | 131,90        |  |    | <b>215,67</b> |
| 15   | 444,60        |  | 32 | 285,80        |  |    | <b>218,90</b> |  |    |               |
|  | <b>384,60</b> |  | 33 | 334,60        |  |    |               |  |    |               |
|  |               |  |    | <b>277,07</b> |  |    |               |  |    |               |

### 3.8. DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE $V_p$

Con l'utilizzo essenzialmente dei risultati delle prospezioni sismiche a rifrazione eseguite nella campagna d'indagini del 2006, unitamente alle tomografie sismiche e prove down hole del 2010, sono stati attribuiti i valori delle velocità delle onde P ai vari litotipi rappresentati nei profili geotecnici di progetto. Procedendo per progressive dall'inizio alla fine del tracciato in direzione AG-A19 si ha quanto segue:

#### Progressive 1+200-1+500 (SS1-SS2-SS3-SS4)

sondaggio SS1: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 556.7 m/s ed una profondità variabile da 2.2m a 4.8m; un secondo strato con una velocità di 1277.4 m/s che termina ad una profondità compresa tra 13.7m e 19.3m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 2388.5 m/s.

sondaggio SS2: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 421.8 m/s ed una profondità variabile da 1.2m a 4.1m; un secondo strato con una velocità di 857.0 m/s che termina ad una profondità compresa tra 9.5m e 19.3m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 1929.5 m/s.

sondaggio SS3: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 427.3 m/s ed una profondità variabile da 1.8m a 5.0m; un secondo strato con una velocità di 1057.7 m/s che termina ad una profondità compresa tra 10.7m e 18.4m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 1682.9 m/s.

sondaggio SS4: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 367.8 m/s ed una profondità variabile da 1.8m a 5.2m; un secondo strato con una velocità di 1398.4 m/s che termina ad una profondità compresa tra 10.9m e 24.7m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 2485.6 m/s.

| Sondaggio   | strato 1     | strato 2        | strato 3        |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|
| SS1         | 556,7        | 1277,4          | 2388,5          |
| SS2         | 421,8        | 857             | 1929,5          |
| SS3         | 427,3        | 1075,7          | 1682,9          |
| SS4         | 367,8        | 1398,4          | 2485,6          |
| Valori medi | <b>443,4</b> | <b>1152,125</b> | <b>2121,625</b> |

#### Progressive 3+450-4+500 (SS12-SS13-SS14-SS24)

sondaggio SS12: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 1014.9 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.40 m a 4.90 m, il secondo con una velocità di 2763.4 m/s e spessore indefinito.

sondaggio SS13: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 508.9 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.40 m a 4.80 m, il secondo con una velocità di 2446.8 m/s e spessore indefinito.

sondaggio SS14: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 651.4 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.20 m a 4.10 m, il secondo con una velocità di 3092.2 m/s e spessore indefinito.

sondaggio SS24: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 455.4 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 4.10 m a 6.0 m, il secondo con una velocità di 1908.6 m/s e spessore indefinito.

| Sondaggio   | strato 1      | strato 2      |
|-------------|---------------|---------------|
| SS11        | 1171,7        | 2563          |
| SS12        | 1014,9        | 2763,4        |
| SS13        | 508,9         | 2446,8        |
| SS14        | 651,4         | 3092,2        |
| SS24        | 455,4         | 1908,6        |
| Valori medi | <b>760,46</b> | <b>2554,8</b> |

#### Progressiva 5+300 (SS5) – tratto 1-B Modello Geotecnico 1

|                                    |                                      |                  |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA         | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | Pagina 94 di 126 |

sondaggio SS5: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 499.4 m/s ed una profondità variabile da 1.60 m a 6.10 m; un secondo strato con una velocità di 1536.3 m/s che ha il letto ad una profondità compresa tra 13.40 m e 29.80 m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 3478.3 m/s.

Progressiva 5+900 (SS23) - tratto 1-B Modello Geotecnico 2

sondaggio SS23: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 591.9 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 7.60 m a 9.40 m, il secondo con una velocità di 2492.2 m/s e spessore indefinito.

Progressiva 6+400-6+900 (SS21-SS22) - tratto 1-B Modello Geotecnico 3

sondaggio SS21: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 401.0 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.10 m a 4.40 m, il secondo con una velocità di 1630.3 m/s e spessore indefinito.

sondaggio SS22: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 376.2 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 4.70 m a 6.10 m, il secondo con una velocità di 1682.5 m/s e spessore indefinito.

| Sondaggio   | strato 1      | strato 2       |
|-------------|---------------|----------------|
| ss21        | 401,00        | 1630,30        |
| ss22        | 376,20        | 1682,50        |
| Valori medi | <b>388,60</b> | <b>1656,40</b> |

Progressiva 8+800 (SS20) - tratto 1-B Modello Geotecnico 3

sondaggio SS20: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 417.7 m/s ed una profondità variabile da 2.50 m a 4.30 m; un secondo strato con una velocità di 990.7 m/s che termina ad una profondità compresa tra 9.30 m e 13.80 m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 1947.5 m/s.

Progressiva 11+300 (SS1 2010) - tratto 1-C Modello Geotecnico 4

Sezione sismica SS1: sono stati rilevati valori bassi di velocità da 400 a 900 m/s per la presenza di terreni di riporto e depositi alluvionali presenti soprattutto nella parte centrale della sezione; i valori aumentano nell'intervallo da 900 a 1700 m/s per la presenza di argilla limosa e sabbiosa per uno spessore che arriva fino ai 12.00 m oltre il quale le velocità aumentano anche oltre i 3000 m/s

Progressiva 11+800 (SS6) - tratto 1-C Modello Geotecnico 5

sondaggio SS6: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 404.2 m/s ed una profondità variabile da 0.4m a 2.6m; un secondo strato con una velocità di 720.5 m/s che ha il letto ad



una profondità compresa tra 11.1m e 15.0m. Il terzo ed ultimo strato individuato ha spessore indefinito ed una velocità di 2578.0 m/s. Nel modello geotecnico i primi due strati sono stati unificati in unico litotipo (SLN).

Progressiva 17+300 (SS5 2010) - tratto 2-C Modello Geotecnico 4

Sezione sismica SS5: sono stati individuati tre intervalli di velocità corrispondenti ad altrettanti strati di argille da rimaneggiate a consolidate: un primo strato di spessore pari a circa 4.00 m con valori bassi di velocità da 400 a 900 m/s; i valori aumentano nell'intervallo da 900 a 1800 m/s per uno spessore di circa 7.00-10.00 m per arrivare a valori anche oltre i 3000 m/s per strati profondi.

Progressiva 18+000 (DH-S16 2010) - tratto 3-A Modello Geotecnico 2

Per il tratto in esame si è preso in considerazione la prospezione sismica in foro (down hole) eseguita all'interno del sondaggio S16 2010 dal quale si rilevano tre strati con differente velocità come da tabella di seguito riportata.

| spessore (m) | densità (kg/m <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Vp/Vs | Modulo di Poisson | Modulo di taglio (N/m <sup>2</sup> ) | Modulo di Young (N/m <sup>2</sup> ) | Modulo di incompressibilità (N/m <sup>2</sup> ) |
|--------------|------------------------------|----------|----------|-------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 0.00-2.00    | 1700                         | 450      | 203      | 2.21  | 0.37              | 7.03E+07                             | 1.93E+08                            | 2.50E+08  |
| 2.00-13.00   | 1800                         | 1128     | 320      | 3.52  | 0.45              | 1.78E+08                             | 5.18E+08                            | 2.09E+09  |
| 13.00-30.00  | 1900                         | 1911     | 352      | 5.42  | 0.48              | 2.34E+08                             | 6.93E+08                            | 6.50E+09  |

Progressiva 18+550 (DH-S17 2010) - tratto 3-A Modello Geotecnico 4

Per il tratto in esame si è preso in considerazione la prospezione sismica in foro (down hole) eseguita all'interno del sondaggio S17 2010 dal quale si rilevano tre strati con differente velocità come da tabella di seguito riportata.

| spessore (m) | densità (kg/m <sup>3</sup> ) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Vp/Vs | Modulo di Poisson | Modulo di taglio (N/m <sup>2</sup> ) | Modulo di Young (N/m <sup>2</sup> ) | Modulo di incompressibilità (N/m <sup>2</sup> ) |
|--------------|------------------------------|----------|----------|-------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 0.00-6.00    | 1700                         | 766      | 159      | 4.80  | 0.48              | 4.32E+07                             | 1.28E+08                            | 9.42E+08  |
| 6.00-30.01   | 1800                         | 1755     | 408      | 4.30  | 0.47              | 3.02E+08                             | 8.88E+08                            | 5.18E+09  |
| 6.00-30.00   | 1900                         | 1941     | 421      | 4.62  | 0.48              | 3.36E+08                             | 9.92E+08                            | 6.71E+09  |

Progressiva 20+700 (SS18) - tratto 3-B Modello Geotecnico 1

sondaggio SS18: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 423.0 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.40 m a 6.50 m, il secondo con una velocità di 1766.5 m/s e spessore indefinito.

Progressiva 21+650-21+750 (SS16-SS17) - tratto 3-B Modello Geotecnico 1

sondaggio SS16: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità delle onde sismiche primarie pari a 465.6 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.40 m a 4.50 m; il secondo sismostrato possiede una velocità di 1804.1 m/s e spessore indefinito.

sondaggio SS17: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità delle onde sismiche primarie pari a 497.9 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.10 m a 4.0 m; il secondo con una velocità di 1941.4 m/s e spessore indefinito.

| Sondaggio   | strato 1     | strato 2       |
|-------------|--------------|----------------|
| SS16        | 465,5        | 1804,1         |
| SS17        | 497,9        | 1941,4         |
| valori medi | <b>481,7</b> | <b>1872,75</b> |

#### Progressiva 22+500 (SS15) - tratto 3-B Modello Geotecnico 1

sondaggio SS15: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 425.9 m/s ed una profondità del riflettore variabile da 3.20 m a 5.10 m, il secondo con una velocità di 1593.5 m/s e spessore indefinito.

#### Progressiva 25+750-26+100 (SS10-SS07) - tratto 3-B Modello Geotecnico 2

sondaggio SS7: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 712.5 m/s ed una profondità variabile da 3.10 m a 4.60 m. Il secondo ha una velocità di propagazione delle onde P pari a 3085.2 m/s ed ha spessore indefinito.

sondaggio SS10: è stato rilevato un primo sismostrato con una velocità di 747.1 m/s ed uno spessore variabile da 5.40 m a 6.30 m ed un secondo strato con una velocità di 3417.3 m/s con spessore indefinito.

| Sondaggio   | strato 1     | strato 2       |
|-------------|--------------|----------------|
| SS7         | 712,5        | 3085,2         |
| SS10        | 747,1        | 3417,3         |
| valori medi | <b>729,8</b> | <b>3251,25</b> |

Nel presente tratto sono inoltre presenti le Sezioni sismiche SS10 ed SS11 delle indagini tomografiche 2010. I valori minimi e massimi di velocità rilevate sono prossimi a quelli dei sondaggi sopra riportati; in tal caso vengono però evidenziate tre formazioni con tre intervalli di velocità, il primo da 300 a 900 m/s; il secondo da 900 a 1800 m/s ed un il terzo con valori anche oltre i 3000 m/s.

#### Progressiva 26+200-26+600 (SS10-SS07) - tratto 3-B Modello Geotecnico 4

sondaggio SS8: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 1194.1 m/s ed una profondità variabile da 0.70 m a 4.20 m. Il secondo ha una velocità di propagazione delle onde P pari a 2737.6 m/s ed ha spessore indefinito.

|                                    |                                      |                  |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA         | Data: 26/08/11   |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | Pagina 97 di 126 |

sondaggio SS9: sono stati rilevati due sismostrati; il primo con una velocità di 913.5 m/s ed una profondità variabile da 6.10 m a 7.20 m. Il secondo ha una velocità di 2038.5 m/s e spessore indefinito.

| Sondaggio   | strato 1       | strato 2       |
|-------------|----------------|----------------|
| SS8         | 1194,10        | 2737,60        |
| SS9         | 913,50         | 2038,50        |
| valori medi | <b>1053,80</b> | <b>2388,05</b> |

Progressiva 27+250 (SS12 2010) - tratto 3-C.

Sezione sismica SS12: sono stati individuati tre intervalli di velocità: bassi valori di velocità compresi tra 300 m/s e 600 m/s dovuti a presenza di una coltre superficiale di terreno di riporto; valori variabili tra 600 m/s e 1800 m/s rilevano la presenza di depositi alluvionali con spessori variabili fino alla profondità di 20.00 m; il substrato costituito da argille consistenti fa registrare velocità anche oltre i 3000 m/s.

#### **4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PER LA FORMAZIONE DEL CORPO STRADALE**

I materiali sciolti da impiegare nella realizzazione dei rilevati, sia che essi derivino dalla scomposizione di formazioni naturali di terreni o di rocce lapidee nelle aree di cantiere, ovvero dall'estrazione da cave di prestito, dovranno essere qualificati e classificati secondo quanto riportato nella norma CNR-UNI 10006/63 "Costruzione e manutenzione delle strade - Tecnica di impiego delle terre". Si riporta di seguito la tabella allegata alla suddetta norma.

|   |                                      |                         |
|---|--------------------------------------|-------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11   |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 99 di 126 |

| Classificazione generale   | Terre ghiaia - sabbiosa   |      |   |  |         |      |      | Terre limo - argillose   |                          |   |  |   | Torbe e terre organiche palustri   |
|--|---|------|---|--|---------|------|------|--|--------------------------|---|--|---|--|
|  | Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 ≤ 35%                              |      |   |  |         |      |      | Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 >35%                                      |                          |   |  |   |  |
| Gruppo   | A1  |      | A3  | A2   |         |      |      | A4   | A5                       | A6  | A7   |   | A8   |
| Sottogruppo  | A1 a  | A1 b |   | A2-4   | A2-5    | A2-6 | A2-7 |  |                          |   |  |   |  |
| granulometrica - Frazione passante al setaccio                   |   |      |   |  |         |      |      |  |                          |   |  |   |  |
| 2 UNI 2332 %   | ≤ 80  |      |   |  |         |      |      |  |                          |   |  |   |  |
| 0,4 UNI 2332 %   | ≤ 30  | ≤ 80 | ≥ 80  |  |         |      |      |  |                          |   |  |   |  |
| 0,075 UNI 2332 %   | ≤ 15  | ≤ 25 | ≤ 10  | ≤ 35   | ≤ 35    | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35   | ≤ 35                     | ≤ 35  | ≤ 35                                       | ≤ 35  |  |
| Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI 2332 |   |      |   |  |         |      |      |  |                          |   |  |   |  |
| Limite liquido   | 0   |      |   | ≤ 40   | > 40    | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40   | > 40                     | ≤ 40  | ≤ 40                                       | ≤ 40  |  |
| Indice di plasticità   | ≤ 6   |      | N.P.  | ≤ 10   | ≤ 10max | > 10 | > 10 | ≤ 10   | £ 10                     | > 10  | (IP>LL30)                                  | (IP>LL30)                                   |  |
| Indice di gruppo   | 0   |      | 0   | 0  |         | ≤ 4  |      | ≤ 8  | ≤ 12                     | ≤ 18  | ≤ 20                                       |   |  |
| Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo   | ghiaia e breccia, sabbione, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane |      | Sabbia fine                                   | ghiaia e sabbia limosa e argillosa   |         |      |      | Limi poco compressibili  | Limi fort. compressibili | Argille poco compressibili  | Argille fort. compressibili med. plastiche | Argille fort. compressibili fort. plastiche | Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre |
| Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo  | da eccellenti a buone   |      |   |  |         |      |      | Da mediocre a scadente   |                          |   |  |   | Da scartare come sottofondo  |
| Azione del gelo sulla qualità portanti del terreno di sottofondo | Nessuna o lieve   |      |   | Media  |         |      |      | media  | elevata                  | Media   | elevata                                    | Media                                       |  |
| Ritiro o rigonfiamento   | Nulla   |      |   | Nulla o lieve  |         |      |      | Lieve o media  |                          | elevato   | elevato                                    | molto elevato                               |  |
| Permeabilità   | Elevata   |      |   | Media o scarsa   |         |      |      |  | Scarsa o nulla           |   |  |   |  |
| Identificazione dei territori in sito                            | Facilmente individuabili a vista  |      | Aspri al tatto Incoerenti allo stato asciutto | La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media e elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla |         |      |      | prova di scuotimento - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente |                          | Non reagiscono alla prova di scuotimento - Tenaci allo stato asciutto - Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido |  |   | Fibrosi di colore bruno a nero - facilmente individuabili a vista          |

Prima di impiegare i materiali provenienti dagli scavi o dalle cave di prestito, l'Impresa, per ogni zona di provenienza, deve procedere a qualificare le terre da impiegare attraverso una campagna di indagine corredata dei risultati di prove di laboratorio. Nella formazione dei rilevati con materie provenienti dagli scavi debbono essere utilizzati, in ordine di priorità, i materiali sciolti dei gruppi A1, A2-4, A2-5, A3, A2-6, A2-7.

Per le terre appartenenti ai gruppi A4, A5, A6 ed A7 si deve valutare se adoperarle con le cautele appresso descritte, se prevederne un trattamento, ovvero se portarle a rifiuto. Quando l'umidità delle terre scavate è tale da non consentire il costipamento necessario a raggiungere l'addensamento e la portanza richiesti dal capitolato, occorre mettere in atto i provvedimenti correttivi per modificare in senso conveniente il contenuto d'acqua naturale e/o, a seconda dei casi, a migliorarle mediante stabilizzazione. I materiali impiegati, qualunque sia il gruppo di appartenenza, devono essere del tutto esenti da sostanze organiche, vegetali e da elementi solubili o comunque instabili nel tempo. Terre con contenuto di sostanza organica di origine vegetale minore del 5% possono essere utilizzate per strati di rilevato posti a più di 2 metri dal piano di posa della pavimentazione. In ordine alle possibilità e modalità di impiego delle terre si considerano le seguenti proprietà dei diversi gruppi; queste determinano le scelte delle lavorazioni e le modalità di posa in opera.

#### 4.1. GRUPPO A1

Appartengono a questo gruppo i materiali rocciosi non evolutivi e le terre granulari, generalmente di più o meno grossa pezzatura, pressoché insensibili all'azione dell'acqua e del gelo, che sotto il profilo dei movimenti di terra possono dar luogo ad un ampio spettro di comportamenti, in relazione:

- al contenuto di fino (frazione minore di 0,075 mm);
- all'assortimento granulometrico;
- alla presenza di elementi di grossa pezzatura.

Nel prevederne l'impiego occorre considerare che le ghiaie e le sabbie alluvionali con poco fino (meno del 5%), permeabili e prive di coesione, dopo costipamento risultano tanto più soggette all'erosione dell'acqua meteorica quanto più l'assortimento granulometrico è mal graduato. Per evitare che possano prodursi danni, si deve rigorosamente procedere al rivestimento con terra vegetale delle scarpate man mano che cresce l'altezza del rilevato; la semina per l'inerbimento, ugualmente, deve essere effettuata il più rapidamente possibile. I detriti di falda, le rocce alterate, i depositi morenici ed anche le alluvioni eterogenee con un contenuto di fino compreso tra il 10 ed

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 101 di 126 |

il 15% danno luogo a strati molto compatti e difficilmente erodibili; richiedono, tuttavia, un attento controllo dell'umidità di costipamento al fine di attingere valori elevati di portanza.

I materiali con elementi superiori a  $D=50\text{mm}$  e, in particolare, quelli provenienti da scavi in roccia (dura e tenace) richiedono cautele e particolari provvedimenti per quel che riguarda la stesa in strati di spessore regolare ed il costipamento. I provvedimenti da adottarsi consistono nelle seguenti operazioni:

- scarto degli elementi di dimensioni maggiori di  $D=500\text{ mm}$ ;
- correzione granulometrica (per frantumazione e/o aggiunta di pezzature in difetto).

Di norma l'ultimo strato al di sotto della sovrastruttura stradale in esso compreso lo strato in materiale anidro stabilizzato, sia per i tratti in rilevato, sia per i tratti in sbancamento, sarà costituito, quando non vi siano norme particolari in contrasto, da un cassonetto di materiale granulare appartenente ai gruppi A1a della classifica AASHO dello spessore finito di  $\text{cm } 30$  costipato, disposto e rullato in modo da raggiungere una densità secca in sito pari al 95% della densità massima AASHO modificata.

#### **4.2. GRUPPO A3**

Le sabbie di questo gruppo, specialmente quando presentano una frazione ghiaiosa ( $> 2\text{mm}$ ) modesta, si prestano male al costipamento ed alla circolazione dei mezzi di cantiere, per mancanza di coesione e di portanza. L'impiego senza particolari accorgimenti dovrà limitarsi alla realizzazione di bonifiche dei piani di posa dei rilevati e di strati anticapillari; terre di questo gruppo possono essere impiegate nella formazione del corpo del rilevato se presentano un coefficiente di uniformità ( $D_{60}/D_{10}$ ) non inferiore a 7. Per le sabbie a granulometria uniforme deve prevedersi, invece, o un trattamento con cemento, o una correzione granulometrica, ovvero entrambi i provvedimenti.

#### **4.3. SOTTOGRUPPI A2-4 E A2-5**

Le ghiaie e le sabbie limose a bassa plasticità di questi due sottogruppi sono convenientemente adoperate per la costruzione dei rilevati, peraltro senza difficoltà di esecuzione: la bassa plasticità ( $IP < 10$ ) e la frazione fine non eccessiva ( $< 35\%$ ) permettono, infatti, di modificare facilmente il loro contenuto d'acqua. Generalmente presentano bassa permeabilità e modesta risalita capillare: perciò non richiedono particolari provvedimenti per proteggere dal gelo lo strato di sottofondo (o sottofondazione) e la soprastante pavimentazione. Tenuto conto della sensibilità all'umidità di

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 102 di 126 |

costipamento e dei rapidi cambiamenti di consistenza della frazione fine al variare del contenuto d'acqua, i lavori vanno immediatamente sospesi quando l'umidità naturale superi significativamente quella ottimale di costipamento e quando le condizioni atmosferiche portino ad un incremento del contenuto d'acqua.

Per tali terre, pertanto, occorre adottare programmi operativi che permettano di contenere i periodi di sospensione dei lavori, procedendo:

- all'estrazione per strati suborizzontali, allorché si vogliono favorire le variazioni di umidità;
- all'estrazione frontale, nel caso contrario.

Quando la frazione fine non supera il 12 % e se non sono presenti elementi di grossa pezzatura ( $D > 71$  mm) queste terre non presentano particolari problemi di costipamento.

#### **4.4. SOTTOGRUPPI A2-6 E A2-7**

Le ghiaie e le sabbie argillose di questi sottogruppi sono, di norma, convenientemente utilizzate per la formazione dei rilevati, specialmente quando presentino un indice di gruppo  $IG=0$ . Il loro comportamento, tuttavia, è molto influenzato dalla quantità e dalla natura della frazione argillosa presente. Portanza e caratteristiche meccaniche attingono valori intermedi tra quelle delle ghiaie e delle sabbie che costituiscono l'ossatura litica del materiale e quelle delle argille che costituiscono la frazione fine. Poste in opera, esse presentano da media a bassa permeabilità ed altezza di risalita capillare, ciò che determina elevato rischio di formazione di lenti di ghiaccio per azione del gelo. Per questo motivo, in presenza di falda superficiale e di prolungata durata di condizioni climatiche di bassa temperatura, il loro impiego deve essere evitato nella formazione di strati di sottofondo e limitato agli strati posti al di sotto di 2,00 m dal piano di posa della pavimentazione stradale, previa predisposizione, a quota inferiore, di uno strato anticapillare di spessore non inferiore a 30 cm. L'energia e l'umidità di costipamento delle terre dei sottogruppi in esame debbono essere costantemente controllate; quando il contenuto d'acqua risulta prossimo o supera il limite di plasticità della frazione fine; si rischia, infatti, di provocare instabilità e cadute di portanza per sovracostipamento del materiale. Se lo stato delle terre e le condizioni ambientali non obbligano alla sospensione dei lavori, è opportuno adottare basse energie di costipamento, operando su strati di modesto spessore.

#### **4.5. GRUPPI A4, A5, A6 E A7**

L'opportunità di adoperare terre di questi gruppi deve essere valutata secondo i seguenti criteri:

|   |                                      |                          |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11    |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 103 di 126 |



- disponibilità di terre sostitutive, anche in relazione alle distanze di trasporto ed alle esigenze di carattere ambientale;
- provvedimenti da adottare per la protezione da venute d'acqua (gravitazionali o di capillarità) nelle opere in terra con esse realizzate;
- tecniche di miglioramento, quale il trattamento a calce, finalizzate a ricondurre le proprietà fisico-chimiche e meccaniche entro limiti di garanzia delle prestazioni, nel volgere della vita economica dell'opera.

Per l'impiego dei materiali dei gruppi A4 ed A5 occorre considerare che:

- la consistenza di queste terre (IP<10) cambia sensibilmente per modeste variazioni del contenuto d'acqua; anche per modesti incrementi d'umidità si passa rapidamente da comportamenti tipici di terreni asciutti, difficili da compattare, a quelli di terreni troppo umidi, per i quali risulta talvolta impossibile ottenere il grado di addensamento richiesto;
- in relazione all'assortimento granulometrico ed all'addensamento, la permeabilità ed il potere di risalita capillare possono variare entro limiti abbastanza ampi; ne risulta un forte potere di imbibizione (portate d'invasamento capillare) e, quindi, un'estrema sensibilità al rigonfiamento ed all'azione del gelo. I rilevati realizzati con questi terreni, pertanto, debbono essere protetti dalle acque interne ed esterne, mediante strati anticapillari, schermi drenanti, tempestivi rinfianchi laterali con inerbimento;
- la presenza di ciottoli ed elementi di più grossa pezzatura può impedire l'azione dei mezzi di miscelazione e, quindi, renderne impossibile la stabilizzazione a calce.

Le difficoltà di compattazione delle argille dei gruppi A6 ed A7, le proprietà meccaniche generalmente modeste degli strati, come pure i provvedimenti di difesa dalle acque da mettere in atto per evitare rischi di ritiro-rigonfiamento del materiale posto in opera, limitano l'impiego di queste terre a rilevati di modesta importanza o a riempimenti non strutturali.

Se non sono presenti elementi di grosse dimensioni, le terre dei gruppi A6 ed A7 si prestano bene alla stabilizzazione con calce.

#### 4.6. TERRENI PROVENIENTI DAGLI SCAVI

Nell'ambito della campagna d'indagini a supporto della progettazione esecutiva, sono stati eseguiti 15 prelievi di materiale (PT1 – PT15) lungo il tracciato per verificare l'opportunità di utilizzare terreni provenienti dagli sbancamenti, come materiali da costruzione per le opere in terra.

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 104 di 126 |

A seguito delle risultanze di laboratorio eseguite dalla Sidercem S.r.l. e riportate nell'apposito rapporto di prova cui si rimanda, si sono elaborate le seguenti tabelle

| Classe | Prog. Km         | PT | Sost. Org. % | Class. UNI 10006 | IP % | MISCELE |                  |                   |               |           |              |            |       |
|--------|------------------|----|--------------|------------------|------|---------|------------------|-------------------|---------------|-----------|--------------|------------|-------|
|        |                  |    |              |                  |      | IP %    | Class. UNI 10007 | solfiti tot mg/Kg | solfuri mg/Kg | NO3 mg/Kg | Sost. Org. % | CBR imm. % | CBR % |
| 5      | 0+000<br>4+500   | 1  | 4,40         | A6               | 18   | 26      | A6               | 2380              | <100          | <50       | 3,40         | 37,00      | 10,00 |
|        |                  | 2  | 1,20         | A4               | 7    |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
|        |                  | 3  | 3,10         | A7 5             | 35   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
|        |                  | 4  | 3,50         | A6               | 15   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
|        |                  | 5  | 3,20         | A6               | 25   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
| 1      | 4+500<br>9+500   | 6  | 1,70         | A6               | 23   | 23      | A6               | 842               | <100          | <50       | 3,80         | 37,00      | 18,00 |
|        |                  | 7  | 5,10         | A6               | 23   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
| 4      | 9+500<br>12+900  | 8  | 3,30         | A6               | 19   | 17      | A6               | 801               | <100          | <50       | 2,90         | 33,00      | 8,00  |
|        |                  | 9  | 2,70         | A6               | 24   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
|        |                  | 10 | 2,60         | A6               | 24   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
| 3      | 16+930<br>19+400 | 11 | 2,70         | A6               | 16   | 17      | A6               | 10670             | <100          | <50       | 2,60         | 31,00      | 9,00  |
|        |                  | 12 | 2,60         | A6               | 14   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
|        |                  | 13 | 2,20         | A6               | 19   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |
| 2      | 19+400<br>25+100 | 14 | 2,00         | A7 6             | 30   | 30      | A7 6             | 2303              | <100          | <50       | 2,50         | 22,00      | 6,00  |
|        |                  | 15 | 3,30         | A7 6             | 30   |         |                  |                   |               |           |              |            |       |

**Legenda**

**Classi**

1 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce (>2%), non utilizzabili per sovrastrutture, ma solo per sottofondo

2 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 6% per sovrastrutture

3 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5,5% per sovrastrutture

4 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture

5 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture

Valori di CBR inferiori a 50 (limite di utilizzo per sovrastrutture, come da B.U. CNR N. 36)

| Classe | Prog. Km         | PT | Sost. Org. % | Class. UNI 10006 | IP % | MISCELE         |       |     |          |            |       |                   |          |            |       |     |          |
|--------|------------------|----|--------------|------------------|------|-----------------|-------|-----|----------|------------|-------|-------------------|----------|------------|-------|-----|----------|
|        |                  |    |              |                  |      | con trattamento |       |     |          |            |       | senza trattamento |          |            |       |     |          |
|        |                  |    |              |                  |      | CBR imm. %      | CBR % | IP% | Compr. * | CBR imm. % | CBR % | IP%               | Compr. * | CBR imm. % | CBR % | IP% | Compr. * |
| 5      | 0+000<br>4+500   | 1  | 4,40         | A6               | 18   | Calce 3,5%      |       |     |          |            |       | Calce 4,0%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 2  | 1,20         | A4               | 7    | Calce 2,0%      |       |     |          |            |       | Calce 2,5%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 3  | 3,10         | A7.5             | 35   | Calce 5,0%      |       |     |          |            |       | Calce 5,5%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 4  | 3,50         | A6               | 15   | Calce 5,5%      |       |     |          |            |       | Calce 6,0%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 5  | 3,20         | A6               | 25   | Calce 6,0%      |       |     |          |            |       | Calce 6,5%        |          |            |       |     |          |
| 1      | 4+500<br>9+500   | 6  | 1,70         | A6               | 23   | Calce 5,0%      |       |     |          |            |       | Calce 5,5%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 7  | 5,10         | A6               | 23   | Calce 5,5%      |       |     |          |            |       | Calce 6,0%        |          |            |       |     |          |
| 4      | 9+500<br>12+900  | 8  | 3,30         | A6               | 19   | Calce 5,5%      |       |     |          |            |       | Calce 6,0%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 9  | 2,70         | A6               | 24   | Calce 6,0%      |       |     |          |            |       | Calce 6,5%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 10 | 2,60         | A6               | 24   | Calce 6,5%      |       |     |          |            |       | Calce 7,0%        |          |            |       |     |          |
| 3      | 16+930<br>19+400 | 11 | 2,70         | A6               | 16   | Calce 6,0%      |       |     |          |            |       | Calce 6,5%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 12 | 2,60         | A6               | 14   | Calce 6,5%      |       |     |          |            |       | Calce 7,0%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 13 | 2,20         | A6               | 19   | Calce 7,0%      |       |     |          |            |       | Calce 7,5%        |          |            |       |     |          |
| 2      | 19+400<br>25+100 | 14 | 2,00         | A7.6             | 30   | Calce 7,5%      |       |     |          |            |       | Calce 8,0%        |          |            |       |     |          |
|        |                  | 15 | 3,30         | A7.6             | 30   | Calce 8,0%      |       |     |          |            |       | Calce 8,5%        |          |            |       |     |          |

**Legenda**

**Classi**

- 1 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce (>2%), non utilizzabili per sovrastrutture, ma solo per sottofondo
- 2 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 6% per sovrastrutture
- 3 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5,5% per sovrastrutture
- 4 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture
- 5 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture

Valori da B.U. CNR N. 36  
 Indice CBR con 7 gg di stagionatura e imbibizione a 4 gg  
 > 50 per sovrastrutture  
 > 20 per sottofondi  
 Resistenza a compressione dopo stagionatura di 7 gg  
 > 0,49 Mpa per sovrastrutture  
 > 0,29 Mpa per sottofondi

NOTE : \* Valori ottenuti dalle prove di compressione uniaassiale dopo stagionatura di 3 gg

## 5. SOTTOFONDO DEL TRACCIATO STRADALE

Particolare importanza ricopre lo strato di sottofondo, costituito dal volume di terra nel quale risultano ancora sensibili le sollecitazioni indotte dal traffico stradale e trasmesse dalla pavimentazione; rappresenta la zona di transizione fra il terreno in sito (nelle sezioni in trincea o a raso campagna) ovvero tra il rilevato e la pavimentazione. Per assicurare i requisiti richiesti ai sottofondi delle pavimentazioni stradali, particolarmente per quanto riguarda la portanza (nello spazio e nel tempo) e la regolarità della superficie finita, è necessario prevedere la sistemazione dei sottofondi, generalmente, mediante la realizzazione di uno strato di caratteristiche idonee a coniugare le imperfezioni e l'eterogeneità dei movimenti di terra con l'omogeneità richiesta, invece, per la posa in opera della pavimentazione. Questo strato (strato più superficiale del rilevato o bonifica del fondo naturale di trincea su cui poggia la pavimentazione), detto "strato di sottofondo" deve consentire:

- di conferire al supporto della pavimentazione, in ogni suo punto, una portanza sufficiente a garantire i livelli di stabilità e di funzionalità ammessi in progetto per la soprastruttura (omogeneizzazione della portanza);
- di proteggere, in fase di costruzione, gli strati sottostanti dall'infiltrazione d'acqua di pioggia e, durante l'esercizio, lo strato di fondazione soprastante dalle risalite di fino inquinante; quest'ultima funzione può essere assegnata ad uno strato ad hoc (in sabbia) o ad un geotessile non tessuto.

In termini generali, lo spessore totale dello strato di sottofondo (da realizzare, a seconda dei casi, con la stesa ed il costipamento di uno o più strati) dipende dalla natura del materiale utilizzato, dalla portanza del supporto e da quella assunta in progetto per il piano di posa della soprastruttura.

### 5.1. MATERIALI PER IL SOTTOFONDO

Non tutti i materiali adottati per la costruzione dei rilevati possono essere impiegati per realizzare strati di sottofondo. La regolarità richiesta per il piano di posa della pavimentazione porta ad escludere materiali con elementi maggiori di  $D=100$  mm; nel caso in cui si impieghino materiali non legati, per ottenere le proprietà meccaniche e l'impermeabilità richieste per gli strati, occorre utilizzare terre granulari, con assortimento granulometrico ben graduato (curve compatte), costituite preferibilmente da elementi a spigoli vivi, dotate di poco fino (passante allo 0,075 mm minore del 12%) e non plastiche ( $IP < 6$ ). I tout-venant di cava ed i misti di fiume (naturali o corretti

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 107 di 126 |

granulometricamente), con granulometria 0/100 mm ben assortita, appartenenti al gruppo A1-a della classificazione CNR-UNI 10006, si prestano bene a costituire ottimi strati di sottofondo. Possono essere impiegate, anche senza trattamento con legante, terre con indice di gruppo IG=0, purché prive di elementi maggiori di D>100 mm e rispondenti ai requisiti di portanza. Inoltre, nel rispetto delle dimensioni massime sopra specificate, possono essere impiegate:

- terre dei gruppi A1-b, A2-4 ed A2-5, con passante allo 0.075 mm maggiore del 12%, previa stabilizzazione a cemento od a calce-cemento;
- terre dei gruppi A2-6 ed A2-7 con una percentuale di fino maggiore al 5% previa stabilizzazione mista (a calce e cemento) od a sola calce;
- limi dei gruppi A4 ed A5 previa stabilizzazione a calce e cemento, nonché le argille dei gruppi A6 ed A7, dotate di plasticità non eccessivamente elevata (IP<25%), previa stabilizzazione con sola calce.

## 5.2. REQUISITI DEI MATERIALI PER SOTTOFONDO

Nel caso in cui le prove di portanza CBR di laboratorio risultino significative (materiale con dimensioni inferiori a 20 mm), l'idoneità all'impiego della terra può essere accettata se essa presenta valori di indice di portanza CBR (energia AASHO Modificata) non inferiori a quanto appresso specificato:

a) nel caso di sottofondi costituiti da terreni granulari, clima asciutto, assenza di rischi d'imbibizione per infiltrazione laterale o dall'alto o per risalita capillare:

$$\text{CBR} = 20 \text{ (} w = w_{opt} \pm 2 \% \text{; senza immersione);}$$

b) per sottofondi costituiti da terreni granulari, nel caso in cui una delle condizioni sopracitate venga a mancare:

$$\text{CBR} = 20 \text{ (} w = w_{opt} \pm 2 \% \text{; 4 giorni di immersione);}$$

c) nel caso di sottofondi costituiti da terreni limo-argillosi o in presenza di drenaggi insufficienti:

$$\text{CBR} = 20 \text{ (} w = w_{opt} \pm 2 \% \text{; saturazione completa).}$$

Infine, possono essere utilizzate per la formazione degli strati di sottofondo terre stabilizzate a cemento, a calce o a calce e cemento, e materiali provenienti da demolizione, nonché rocce tenere in disfacimento e/o autocementanti. In questi ultimi casi, l'attitudine all'impiego deve essere valutata o mediante prove CBR di laboratorio, verificando il rispetto dei valori di portanza sopra indicati, ovvero attraverso misure di modulo di deformazione Md sugli strati posti in opera. Per un

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 108 di 126 |

rapido allontanamento delle acque meteoriche i piani di sottofondo debbono essere sistemati con falde pendenti verso l'esterno (in rilevato) o verso le opere di raccolta delle acque, con pendenza trasversale non inferiore al 4%.

|   |                                      |                          |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11    |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 109 di 126 |

## 6. PIANO DI POSA DEI RILEVATI.

Immediatamente prima della costruzione del rilevato (per evitare l'esposizione alle acque piovane dei terreni denudati), occorre procedere alla rimozione ed all'asportazione della terra vegetale, facendo in modo che il piano di posa risulti quanto più regolare possibile, privo di avvallamenti e, in ogni caso, tale da evitare il ristagno di acque piovane. Durante i lavori di scoticamento si deve evitare che i mezzi possano rimaneggiare i terreni di impianto. Ogni qualvolta i rilevati debbano poggiare su declivi con pendenza superiore al 15% circa, si deve procedere alla sistemazione a gradoni del piano di posa dei con superfici di appoggio eventualmente in leggera pendenza. Per la continuità spaziale delle gradonature si deve curare, inoltre, che le alzate verticali si corrispondano, mantenendo costante la loro distanza dall'asse stradale. Inoltre, le gradonature debbono risultare di larghezza contenuta, compatibilmente con le esigenze di cantiere e le dimensioni delle macchine per lo scavo. In corrispondenza di allargamenti di rilevati esistenti il terreno costituente il corpo del rilevato, sul quale addossare il nuovo materiale, deve essere ritagliato a gradoni orizzontali, avendo cura di procedere per fasi, in maniera tale da far seguire ad ogni gradone (di alzata non superiore a 50 cm) la stesa ed il costipamento del corrispondente strato di ampliamento di pari altezza. L'operazione di gradonatura deve essere sempre preceduta dalla rimozione dello strato di terreno vegetale e deve essere effettuata immediatamente prima della costruzione del rilevato, per evitare l'esposizione alle acque piovane dei terreni denudati.

### 6.1. TERRENI CEDEVOLI

Quando siano prevedibili cedimenti eccedenti i 15 cm dei piani di posa dei rilevati, occorre prevedere un programma per il loro controllo ed il monitoraggio per l'evoluzione nel tempo. La costruzione del rilevato deve essere programmata in maniera tale che il cedimento residuo ancora da scontare, al termine della sua costruzione, risulti inferiore al 10% del cedimento totale stimato e comunque minore di 5 cm.

### 6.2. REQUISITI DI PORTANZA

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni, il modulo di deformazione (o altrimenti detto di compressibilità)  $M_d$ , determinato sul piano di posa (naturale o bonificato), secondo la norma CNR 146/92, al primo ciclo di carico, nell'intervallo compreso tra  $0,05 \pm 0,15$  N/mm<sup>2</sup>, deve risultare non inferiore a:

|   |                                      |                          |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11    |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 110 di 126 |

- 15 N/mm<sup>2</sup> (valore minimo per consentire il corretto costipamento degli strati soprastanti), quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è maggiore di 2,00 m;
- 20 N/mm<sup>2</sup>, quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 1,00 e 2,00 m;
- 30 N/mm<sup>2</sup>, quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 0.50 e 1,00 m.

### **6.2.1. Valutazione delle prove di carico su piastra.**

Nella tabella che segue si riportano i valori di  $M_d$  calcolati con i cedimenti rilevati nell'intervallo compreso tra 0,05÷0,15 N/mm<sup>2</sup> applicando la seguente relazione:

$$M_D = D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

dove

- D= diametro della piastra;
- $\Delta P$  = intervallo di carico;
- $\Delta S$  = cedimento della piastra nell'intervallo.

|   |                                      |                          |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11    |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 111 di 126 |



| N. prova   | Pozzetto | Profondità | S (0,005) | S (0,015) | Ds   | Md           | T/R | h        | Verifica |
|------------|----------|------------|-----------|-----------|------|--------------|-----|----------|----------|
| PROVE 2006 |          |            |           |           |      |              |     |          |          |
| 1          | PZ3      | 200        | 7,28      | 10,41     | 3,13 | <b>9,58</b>  | R   |          |          |
| 2          | PZ4      | 200        | 10,24     | 12,5      | 2,26 | <b>13,27</b> | R   |          |          |
| 3          | PZ6      | 200        | 4,49      | 6,65      | 2,16 | <b>13,89</b> | R   | 0,30     | no       |
| 4          | PZ7      | 200        | 9,15      | 11,7      | 2,55 | <b>11,76</b> | R   | 1,82     | no       |
| 5          | PZ9      | 200        | 6,52      | 8,78      | 2,26 | <b>13,27</b> | R   | 3,3      | no       |
| 6          | PZ10     | 200        | 8,67      | 11,11     | 2,44 | <b>12,30</b> | R   | 2        | no       |
| 7          | PZ12     | 200        | 9,63      | 11,27     | 1,64 | <b>18,29</b> | R   | 2,3      | ok       |
| 8          | PZ15     | 200        | 14,83     | 18,96     | 4,13 | <b>7,26</b>  | R   | SVINCOLO | no       |
| 9          | PZ16     | 200        | 9,97      | 11,85     | 1,88 | <b>15,96</b> | V   |          |          |
| 10         | PZ17     | 200        | 9,15      | 10,97     | 1,82 | <b>16,48</b> | T   | 5,7      |          |
| 11         | PZ19     | 200        | 18,23     | 19,8      | 1,57 | <b>19,11</b> | R   | 2        | ok       |
| 12         | PZ21     | 200        | 12,43     | 13,98     | 1,55 | <b>19,35</b> | R   | 6        | ok       |
| 13         | PZ26     | 200        | 8,7       | 12,05     | 3,35 | <b>8,96</b>  | R   | 0,61     | no       |
| 14         | PZ28     | 200        | 12,31     | 13,12     | 0,81 | <b>37,04</b> | R   | 0,5      | ok       |
| PROVE 2010 |          |            |           |           |      |              |     |          |          |
| 14         | Pe1      | 70         | 0,12      | 4,31      | 4,19 | <b>7,16</b>  |     |          |          |
| 13         | Pe2      | 80         | 0,3       | 5,98      | 5,68 | <b>5,28</b>  |     |          |          |
| 11         | Pe3      | 80         | 0,18      | 1,95      | 1,77 | <b>16,95</b> |     |          |          |
| 12         | Pe 4     | 100        | 0,16      | 1,15      | 0,99 | <b>30,30</b> |     |          |          |
| 10         | Pe 5     | 80         | 0,51      | 2,27      | 1,76 | <b>17,05</b> | T   | 0,30     |          |
| 9          | Pe 6     | 90         | 0,31      | 1,17      | 0,86 | <b>34,88</b> | R   | 1,15     | ok       |
| 8          | Pe 7     | 80         | 0,15      | 0,88      | 0,73 | <b>41,10</b> | T   | 1,63     | ok       |
| 7          | Pe 8     | 70         | 0,09      | 0,55      | 0,46 | <b>65,22</b> |     | SVINCOLO |          |
| 6          | Pe9      | 70         | 0,18      | 1,21      | 1,03 | <b>29,13</b> | T   | 1,32     | ok       |
| 5          | Pe10     | 80         | 0,2       | 1,21      | 1,01 | <b>29,70</b> | R   | 6,1      | ok       |
| 4          | Pe11     | 90         | 0,31      | 1,59      | 1,28 | <b>23,44</b> | R   | SVINCOLO |          |
| 2          | Pe12     | 100        | 0,56      | 1,91      | 1,35 | <b>22,22</b> | R   | 0,48     | no       |
| 3          | Pe 13    | 80         | 0,2       | 0,94      | 0,74 | <b>40,54</b> | R   | 0,925    | ok       |
| 1          | Pe 14    | 70         | 0,16      | 0,93      | 0,77 | <b>38,96</b> | R   | 1,1      | ok       |

Come si evince dalla tabella, in corrispondenza dei tratti ove i valori di Md risultano inferiori a quelli minimi sopra citati, occorrerà provvedere alla bonifica del piano di posa per uno spessore variabile da 30 a 50 cm, previa rimozione dello strato vegetale.

### 6.3. CRITERI PER LA BONIFICA DEL PIANO DI POSA

La bonifica del terreno di appoggio del rilevato, nell'accezione più generale, dovrà essere eseguita ogni qualvolta nel corso dei lavori si dovessero trovare zone di terreno non idoneo e/o comunque non conforme alle specifiche di progetto. Pertanto il terreno in sito, per la parte di scadenti caratteristiche meccaniche o contenente notevoli quantità di sostanze organiche, dovrà essere sostituito con materiale selezionato appartenente ai gruppi (CNR-UNI 10006):

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 112 di 126 |

- A1, A3 se proveniente da cave di prestito; nel caso in cui il materiale appartenga al gruppo A3, deve presentare un coefficiente di uniformità (D60/D10) maggiore o uguale a 7;
- A1, A2-4 , A2-5, A3, se proveniente dagli scavi; il materiale appartenente al gruppo A3 deve presentare un coefficiente di uniformità (D60/D10) maggiore o uguale a 7.

Il materiale dovrà essere messo in opera a strati di spessore non superiore a 50 cm (materiale sciolto) e compattato fino a raggiungere il 95% della massa volumica del secco massima ottenuta attraverso la prova di compattazione AASHO modificata (CNR 69 - 1978), (CNR 22 - 1972). Per il materiale dei gruppi A2-4 e A2-5 , gli strati dovranno avere spessore non superiore a 30 cm (materiale sciolto). Il modulo di deformazione dovrà risultare non inferiore a 20 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 0,05 e 0,15 N/mm<sup>2</sup>). Nel caso in cui la bonifica di zone di terreno di cui al punto a) debba essere eseguita in presenza d'acqua, si dovrà provvedere ai necessari emungimenti per mantenere costantemente asciutta la zona di scavo da bonificare fino ad ultimazione dell'attività stessa.

#### 6.4. STRATI ANTICAPILLARI

Gli strati anticapillari sono strati di rilevato costituiti da materiali granulari ad alta permeabilità eventualmente protetti da geotessili con funzione anticontaminante. Lo strato anticapillare in materiale naturale, dello spessore generalmente compreso tra 30 e 50 cm, deve essere costituito da terre granulari (ghiaia, ghiaietto, ghiaino), con granulometria compresa tra 2 e 50 mm, con passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in peso e, comunque, con un passante al setaccio 0,075 mm non superiore al 3%. Il materiale deve risultare del tutto esente da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da resti vegetali. Salvo maggiori e più restrittive verifiche, il controllo qualitativo dello strato anticapillare va effettuato mediante analisi granulometriche da eseguirsi in ragione di almeno 1 prova ogni 100 mc di materiale posto in opera. In associazione allo strato granulare anticapillare può essere posto sul piano di appoggio del rilevato uno strato geotessile. I geotessili sono costituiti, salvo diversa prescrizione specifica, da tessuto non tessuto, a caratteristiche il più possibile isotrope, ottenuto da fibre 100% polipropilene o poliestere di prima qualità (con esclusione di fibre riciclate). Il piano di stesa del geotessile deve essere perfettamente regolare, la giunzione dei teli deve essere realizzata mediante sovrapposizione per almeno 30 cm, sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale. I teli non debbono essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 113 di 126 |

## 7. SPECIFICA DI CONTROLLO PER L'ACCETTAZIONE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le procedure di controllo preventive all'accettazione dei materiali per la realizzazione delle opere in terra. La documentazione di riferimento comprende tutta quella contrattuale e, più specificatamente, quella di progetto quale disegni, specifiche tecniche, ecc.; sono altresì comprese tutte le norme tecniche vigenti in materia.

L'Impresa, per poter essere autorizzata ad impiegare i vari tipi di materiali (misti lapidei, terre, calci, cementi, etc), dovrà esibire alla D.L., prima dell'impiego, i relativi Certificati di Qualità rilasciati da un Laboratorio Ufficiale e comunque secondo quanto prescritto dalla Circ. ANAS n°14/1979. Tali certificati dovranno contenere tutti i dati relativi alla provenienza e alla individuazione dei singoli materiali o loro composizione, agli impianti o luoghi di produzione, nonché i dati risultanti dalle prove di laboratorio atte ad accertare i valori caratteristici richiesti per le varie categorie di lavoro o di fornitura in un rapporto a dosaggi e composizioni proposte. I certificati dovranno essere esibiti tanto se i materiali sono prodotti direttamente, quanto se prelevati da impianti, da cave, da stabilimenti anche se gestiti da terzi e dovranno comunque essere rinnovati ogni qualvolta risultino incompleti o si verifichi una variazione delle caratteristiche dei materiali, delle miscele o degli impianti di produzione. I materiali da impiegare a rilevato, dovranno essere caratterizzati e classificati secondo le Norme CNR-UNI 10006/63, e riportati nella relativa tabella. La normativa di riferimento per esercitare i controlli conseguenti, sono indicati nel seguente prospetto

|   |                                      |                          |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| <i>Cod. elab.:</i> GE209-GT01ZRM-001_B    | <i>Titolo:</i> RELAZIONE GEOTECNICA  | <i>Data:</i> 26/08/11    |
| <i>Nome file:</i> GE209-GT01ZRM-001_B.doc | <b>Relazione Geotecnica Generale</b> | <i>Pagina</i> 114 di 126 |

| CATEGORIE DI LAVORO E MATERIALI                    | CONTROLLI PREVISTI   | NORMATIVA DI RIFERIMENTO   |
|--|--|--|
| MOVIMENTI DI TERRA                                 |  | D.M. 11.03.1988<br>C.LL.PP. n.30483 del 24.09.1988   |
| PIANI DI POSA DEI RILEVATI                         | Classificazione delle terre<br>Grado di costipamento<br>Massa volumica in sito<br>CBR<br>Prova di carico su piastra                        | C.N.R.-UNI 10006/63<br>B.U.- C.N.R. n.69<br>B.U.- C.N.R. n.22<br>CNR - UNI 10009<br>B.U.- C.N.R. n.146 A.XXVI                            |
| PIANI DI POSA DELLE FONDAZIONI STRADALI IN TRINCEA | Classificazione delle terre<br>Grado di costipamento<br>Massa volumica in sito<br>CBR<br>Prova di carico su piastra                        | C.N.R.-UNI 10006/63<br>B.U.- C.N.R. n.69<br>B.U.- C.N.R. n.22<br>CNR - UNI 10009<br>B.U.- C.N.R. n.146 A.XXVI                            |
| FORMAZIONE DEI RILEVATI                            | Classificazione delle terre<br>Grado di costipamento<br>Massa volumica in sito<br>Prova di carico su piastra<br>CBR<br>Impiego della calce | C.N.R.-UNI 10006/63<br>B.U.- C.N.R. n.69<br>B.U.- C.N.R. n.22<br>B.U.- C.N.R. n.146 A.XXVI<br>CNR - UNI 10009<br>B.U.- C.N.R. n.36 A VII |

La frequenza minima delle prove ufficiali sarà quella indicata nella seguente Tabella:

| TIPO DI PROVA   | RILEVATI STRADALI         |                           |                           |                           | TERRE RINFORZATE          |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|   | Corpo del rilevato        |                           | Ultimo strato di cm 30    |                           | primi 5000 m <sup>3</sup> | successivi m <sup>3</sup> |
|   | primi 5000 m <sup>3</sup> | successivi m <sup>3</sup> | primi 5000 m <sup>3</sup> | successivi m <sup>3</sup> |                           |                           |
| Classificazione CNR-UNI 10006/63  | 500                       | 10000                     | 500                       | 2500                      | 500                       | 5000                      |
| Costipamento AASHO Mod. CNR   | 500                       | 10000                     | 500                       | 2500                      | 500                       | 5000                      |
| Massa volumica in sito B.U. CNR n.22  | 250                       | 5000                      | 250                       | 1000                      | 250                       | 1000                      |
| Prova di carico su piastra CNR 9 - 67   | *                         | *                         | 500                       | 2000                      | 1000                      | 5000                      |
| Controllo umidità   | **                        | **                        | **                        | **                        | **                        | **                        |
| Resistività   | *                         | *                         | *                         | *                         | 500                       | 5000                      |
| pH  | *                         | *                         | *                         | *                         | 500                       | 5000                      |
| Solfati e cloruri   | *                         | *                         | *                         | *                         | 5000                      | 5000                      |
| * Su prescrizione delle Direzione Lavori  |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| ** Frequenti e rapportate alle condizioni meteorologiche locali e alle caratteristiche di omogeneità dei materiali portati a rilevato |                           |                           |                           |                           |                           |                           |

## 8. PROCEDURE PER LA CONDUZIONE DEGLI SCAVI A CIELO APERTO

Sono denominati lavori di sbancamento gli scavi occorrenti per:

- l'apertura della sede stradale, dei piazzali e delle pertinenze in trincea secondo i disegni di progetto e le particolari prescrizioni che può dare la Direzione Lavori in sede esecutiva;
- la formazione dei cassonetti, per far luogo alla pavimentazione ed all'eventuale bonifica del sottofondo stradale in trincea;
- la bonifica del piano di posa dei rilevati, ivi compresa la formazione delle gradonature previste in progetto, nel caso di terreni con pendenza generalmente superiore al 20%;
- la realizzazione di trincee e i relativi allargamenti per l'inserimento di opere di sostegno;
- l'impianto delle opere d'arte (spalle di ponti, spallette di briglie, muri di sostegno, ecc.) per la parte ricadente al di sopra del piano orizzontale passante per il punto più depresso del terreno naturale.

Inoltre, possono considerarsi scavi di sbancamento anche tutti i tagli a larga sezione agevolmente accessibili, mediante rampa, sia ai mezzi di scavo, sia a quelli di trasporto delle materie, a pieno carico. Nell'esecuzione degli scavi è di fondamentale importanza, ai fini della sicurezza del lavoro, valutare in modo rigoroso se la parete di scavo è in grado di autosostenersi o è necessario approntare opere di stabilizzazione. È sempre possibile dare allo scavo un'inclinazione (definita Inclinazione di sicurezza, scarpa, angolo di scarpa) tale per cui essa risulti stabile **nel breve periodo** e non vi sia pericolo di crollo. Tra i fattori da considerare nello studio dei fronti di scavo vanno ricordati:

- le condizioni geologiche (presenza di discontinuità quali, ad esempio, fratture e/o intercalazioni di livelli litologicamente differenti) e idrogeologiche (eventuale presenza e condizioni di circolazione delle acque sotterranee);
- le caratteristiche geometriche (altezza);
- le caratteristiche geotecniche del terreno (peso specifico angolo di attrito interno, coesione);
- le condizioni al contorno dello scavo (presenza di sovraccarichi in prossimità della parete di scavo, quali costruzioni, edifici, ecc.).

A tale riguardo è opportuno ricordare che:

- la presenza di discontinuità (fratture, diaclasi, giunti, ecc.) agisce a sfavore della stabilità;
- le condizioni di saturazione del terreno diminuiscono il valore della resistenza interna del materiale; la presenza di falde idriche sospese nell'ambito del versante, analogamente alla

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 116 di 126 |

presenza di costruzioni o ingombri di qualsivoglia natura in prossimità del limite della parete di scavo, costituiscono sovraccarichi che agiscono a sfavore della stabilità;

- l'aumentare dell'altezza agisce a sfavore della stabilità, per inclinazioni superiori generalmente al valore dell'angolo di attrito interno.

La stabilità nei terreni incoerenti dipende direttamente dalle caratteristiche geotecniche e può essere sostanzialmente ricondotta, indipendentemente dall'altezza dello scavo, al valore dell'angolo di attrito interno del materiale non coesivo. Tale stabilità può essere valutata attraverso il *Fattore di Sicurezza* (FS) di una parete di scavo pari a:

$$F_s = \frac{tg\varphi}{tg\beta}$$

dove:

- $\varphi$  = angolo di attrito interno del materiale;
- $\beta$  = inclinazione della parete di scavo.

Per valori di  $F_s$  maggiori o uguali a 1 lo scavo può essere considerato stabile, in assenza di significative variazioni delle condizioni al contorno. Nei terreni coesivi si può superare l'inclinazione dell'angolo d'attrito, in virtù della maggiore resistenza interna del materiale, per la presenza di forze di coesione tra le particelle. Anzi, queste condizioni vengono convenzionalmente definite mediante le notazioni " $\varphi = \varphi_u = 0$ ;  $c = c_u > 0$ ", per indicare che il terreno reagisce alle tensioni indotte essenzialmente grazie alla coesione interna, poiché le forze di attrito risultano inibite dalle sovrappressioni neutre. Ciò risulta particolarmente evidente nei terreni argillosi, dove è possibile, per un tempo limitato, realizzare pareti verticali in grado di auto sostenersi.

Per le verifiche di sicurezza deve risultare rispettata la condizione (6.2.1 NTC), verificando che non si raggiunga una condizione di stato limite ultimo con i valori di progetto delle azioni e dei parametri geotecnici. Le verifiche devono essere effettuate secondo l'*Approccio 1- Combinazione 2* (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I. NTC. In condizioni di breve termine, nel caso in cui la reazione dei terreni è funzione sia dell'attrito interno che della coesione, può utilizzarsi la soluzione di Taylor (1948), basata sul metodo dell'equilibrio limite globale. In essa, il margine di sicurezza è tradizionalmente espresso nella forma:

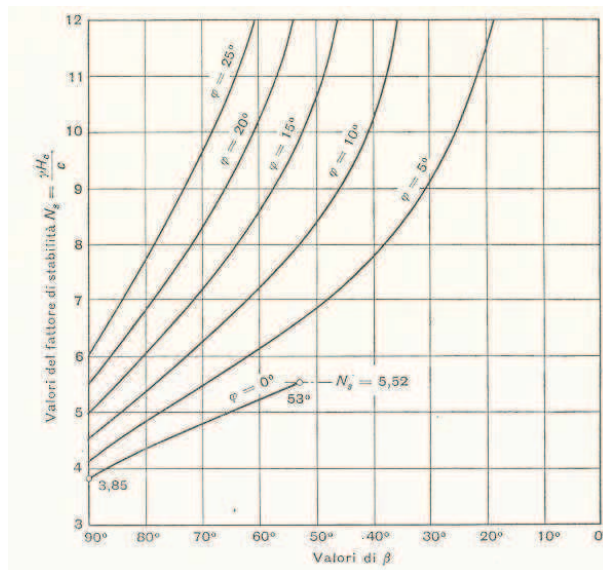
$$F = \frac{N \cdot c_u}{\gamma \cdot H}$$

dove:

- $N$  = fattore di stabilità definito da Taylor (1948) è un coefficiente adimensionale funzione dei valori dell'angolo di attrito interno ( $\varphi$ ) del materiale e dell'angolo di scarpa ( $\beta$ ).
- $\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Cod. elab.: GE209-GT01ZRM-001_B    | Titolo: RELAZIONE GEOTECNICA  | Data: 26/08/11    |
| Nome file: GE209-GT01ZRM-001_B.doc | Relazione Geotecnica Generale | Pagina 117 di 126 |

- H = altezza del fronte di scavo;
- c = coesione del terreno.



Nell'applicazione del metodo, il margine di sicurezza può essere inteso come rapporto tra la resistenza e l'azione di progetto. Applicando i coefficienti parziali previsti al § 6.8 delle NTC, risulta:

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{1}{\gamma_R} \left[ \frac{c'}{\gamma_c} \cdot \frac{N}{\gamma \cdot H} \right]$$

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

| CARICHI                                   | EFFETTO     | Coefficiente Parziale<br>$\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | EQU | (A1)<br>STR | (A2)<br>GEO |
|---|-------------|---|-----|-------------|-------------|
| Permanenti                                | Favorevole  | $\gamma_{G1}$                                       | 0,9 | 1,0         | 1,0         |
|   | Sfavorevole |   | 1,1 | 1,3         | 1,0         |
| Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup> | Favorevole  | $\gamma_{G2}$                                       | 0,0 | 0,0         | 0,0         |
|   | Sfavorevole |   | 1,5 | 1,5         | 1,3         |
| Variabili                                 | Favorevole  | $\gamma_{Q1}$                                       | 0,0 | 0,0         | 0,0         |
|   | Sfavorevole |   | 1,5 | 1,5         | 1,3         |

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

| PARAMETRO                                    | GRANDEZZA ALLA QUALE<br>APPLICARE IL<br>COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE<br>PARZIALE<br>$\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|--|---|--|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$  | $\gamma_{\phi'}$                       | 1,0  | 1,25 |
| Coazione efficace                            | $c'_k$  | $\gamma_{c'}$                          | 1,0  | 1,25 |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$  | $\gamma_{cu}$                          | 1,0  | 1,4  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma$  | $\gamma_\gamma$                        | 1,0  | 1,0  |

**Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.**

|              |           |
|--------------|-----------|
| Coefficiente | <b>R2</b> |
| $\gamma_R$   | 1.1       |

La verifica è da ritenersi soddisfatta se è  $R_d \geq E_d$ . Nei casi in cui l'altezza del fronte scavo sia maggiore dell'altezza critica (altezza per la quale la resistenza risulti inferiore alle azioni) è necessario procedere ad armare gli scavi attraverso opere provvisorie adeguatamente dimensionate. Si riporta di seguito il calcolo dell'altezza critica per i singoli tratti del tracciato.

### 8.1. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO A

Tratto 1-A Modello geotecnico 5 - Tratto 1-B Modello geotecnico 1

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici           |
|----------------|--|--------------------------------|
| 0.00 ÷ 7.00    | <u>Complesso argilloso sommitale – TRV1:</u><br>argilla limo - sabbiosa alterata, plastica | $\gamma = 1.80$ T/mc           |
|                |  | $C_u = 0.4$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                |  | $c' = 0.1$ Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                |  | $\phi' = 17.4^\circ$           |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 1,00 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,80 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,20 | 2,10 |
| 80              | 6,00 | 2,42 |
| 70              | 7,20 | 2,91 |

### 8.2. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B

Tratto 1-B Modello geotecnico 2

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici            |
|----------------|--|---------------------------------|
| 0.00 ÷ 10.00   | <u>Marna argillosa – TRB1 – livello sommitale:</u><br>Marna argillosa calcarea alterata. | $\gamma = 1.90$ T/mc            |
|                |  | $C_u = 0.66$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                |  | $c' = 0.2$ Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                |  | $\phi' = 21.77^\circ$           |



|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,00 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,90 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,70 | 4,36 |
| 80              | 7,10 | 5,44 |
| 70              | 8,90 | 6,81 |

Tratto 1-B Modello geotecnico 3

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici    |
|----------------|--|-------------------------|
| 0.00 ÷ 8.00    | <u>Depositi eluvio-colluviali – DT:</u><br>limo argilloso di colore brunastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica . | $\gamma = 1.85$ T/mc    |
|                |  | Cu = 0.95 Kg/cmq        |
|                |  | c' = 0.19 Kg/cmq        |
|                |  | $\varphi' = 22.4^\circ$ |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 1,90 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,85 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,75 | 4,29 |
| 80              | 7,13 | 5,33 |
| 70              | 8,94 | 6,68 |

8.3. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C

Tratto 1-C Modello geotecnico 1

| Profondità (m) | Litotipo  | Parametri Geotecnici    |
|----------------|---|-------------------------|
| 0.00 ÷ 8.00    | <u>Argille Plioceniche sommitali GER1:</u><br>Limo argilloso, plastico, con presenza di sostanza organica | $\gamma = 2.01$ T/mc    |
|                |   | Cu = 0.97 Kg/cmq        |
|                |   | c' = 0.28 Kg/cmq        |
|                |   | $\varphi' = 24.4^\circ$ |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,80 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,01 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,75 | 5,83 |
| 80              | 7,13 | 7,22 |
| 70              | 8,94 | 9,06 |

Tratto 1-C Modello geotecnico 4

| Spalla Sud     |                          |                              |
|----------------|--------------------------|------------------------------|
| Profondità (m) | Litotipo                 | Parametri Geotecnici         |
| 0.00 ÷ 7.00    | Sabbie di Lannari (SLN): | $\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$ |
|                |                          | $Cu = 0.63 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |                          | $c' = 0.43 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |                          | $\varphi' = 17.1^\circ$      |

| Settore centrale |   |                              |
|------------------|---|------------------------------|
| Profondità (m)   | Litotipo  | Parametri Geotecnici         |
| 0.00 ÷ 9.00      | Alluvioni terrazzate:<br>limo argilloso, plastico con inclusi lapidei | $\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$ |
|                  |   | $Cu = 0.63 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $c' = 0.43 \text{ Kg/cmq}$   |
|                  |   | $\varphi' = 17.1^\circ$      |

|                 |      |       |
|-----------------|------|-------|
| c (t/mq)        | 4,30 |       |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,03 |       |
| $\beta$         | N    | H     |
| 90              | 4,70 | 7,24  |
| 80              | 5,50 | 8,47  |
| 70              | 6,50 | 10,01 |

| Spalla Nord    |  |                              |
|----------------|--|------------------------------|
| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
| 0.00 ÷ 15.00   | Sabbie e Sabbie argillose SLN:<br>Sabbie giallastre con livelli costituiti da calcareniti e quarzareniti e intercalazioni di argille sabbiose con gusci fossili. | $\gamma = 2.26 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 1.82 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\varphi' = 20.45^\circ$     |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,30 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,26 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,50 | 4,07 |
| 80              | 6,85 | 5,07 |
| 70              | 8,30 | 6,14 |

Tratto 1-C Modello geotecnico 5

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 18.00   | Sabbie e Sabbie argillose - SLN:<br>Sabbie giallastre con livelli costituiti da calcareniti e quarzareniti e intercalazioni di argille sabbiose con gusci fossili. | $\gamma = 2.26 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 1.82 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\varphi' = 20.45^\circ$     |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,30 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,26 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,50 | 4,07 |
| 80              | 6,85 | 5,07 |
| 70              | 8,30 | 6,14 |

#### 8.4. TRATTO 2

##### Tratto 2 Modello geotecnico 1

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici     |
|----------------|--|--------------------------|
| 0.00 ÷ 20.00   | <u>Sabbie e Sabbie argillose - SLN:</u><br>Sabbie giallastre con livelli di argille limo-sabbiose con gusci fossili intercalati a livelli quarzarenitici | $\gamma = 1.99$ T/mc     |
|                |  | $Cu = 1.89$ Kg/cmq       |
|                |  | $c' = 0.26$ Kg/cmq       |
|                |  | $\varphi' = 23.83^\circ$ |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,60 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,99 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 6,00 | 5,70 |
| 80              | 7,80 | 7,41 |
| 70              | 9,60 | 9,12 |

##### Tratto 2 Modello geotecnico 2

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici     |
|----------------|--|--------------------------|
| 0.00 ÷ 10.00   | <u>Sabbie e Sabbie argillose - SLN:</u><br>Sabbie giallastre con livelli di argille limo-sabbiose con gusci fossili intercalati a livelli quarzarenitici | $\gamma = 1.86$ T/mc     |
|                |  | $Cu = 1.11$ Kg/cmq       |
|                |  | $c' = 0.04$ Kg/cmq       |
|                |  | $\varphi' = 25.50^\circ$ |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 0,40 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,86 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 6,10 | 0,95 |
| 80              | 7,80 | 1,22 |
| 70              | 9,70 | 1,52 |

Tratto 2 Modello geotecnico 4

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 4.00    | <u>Argille Brecciate sommitali alterate –</u><br><u>TRVB1:</u><br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 0.50 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\phi' = 19^\circ$           |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 1,50 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,85 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,50 | 3,24 |
| 80              | 6,85 | 4,04 |
| 70              | 8,30 | 4,89 |

8.5. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO A

Tratto 3-A \_ Modello Geotecnico 1

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 7.00    | <u>Argille Brecciate sommitali alterate –</u><br><u>TRVB1:</u><br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 2.16 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 0.60 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\phi' = 24.4^\circ$         |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,30 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,16 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 6,00 | 4,65 |
| 80              | 7,70 | 5,96 |
| 70              | 9,60 | 7,43 |

Tratto 3-A \_ Modello Geotecnico 2

| Profondità (m)  | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|---|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 9.00 <sup>(1)</sup><br>0.00 ÷ 15.00 <sup>(2)</sup> | <u>Argille Brecciate sommitali alterate –</u><br><u>TRVB1:</u><br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.94 \text{ T/mc}$ |
|   |  | $Cu = 0.50 \text{ Kg/cmq}$   |
|   |  | $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$   |
|   |  | $\phi' = 19^\circ$           |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 1,50 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,94 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,50 | 3,09 |
| 80              | 6,85 | 3,85 |
| 70              | 8,30 | 4,67 |

Tratto 3-A \_ Modello Geotecnico 3

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici       |
|----------------|--|----------------------------|
| 0.00 ÷ 6.00    | <u>Argille Brecciate sommitali alterate – TRVB1:</u><br>limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.91\text{T/mc}$ |
|                |  | $C_u = 0.70\text{ Kg/cmq}$ |
|                |  | $c' = 0.12\text{ Kg/cmq}$  |
|                |  | $\phi' = 15.0^\circ$       |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 1,20 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,91 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,00 | 2,28 |
| 80              | 6,05 | 2,76 |
| 70              | 7,15 | 3,27 |

Tratto 3-A \_ Modello Geotecnico 4

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici       |
|----------------|--|----------------------------|
| 0.00 ÷ 6.00    | <u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u><br>argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 1.91\text{T/mc}$ |
|                |  | $C_u = 1.30\text{ Kg/cmq}$ |
|                |  | $c' = 0.21\text{ Kg/cmq}$  |
|                |  | $\phi' = 14.90^\circ$      |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,10 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,91 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,00 | 4,00 |
| 80              | 6,05 | 4,84 |
| 70              | 7,15 | 5,72 |

## 8.6. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B

### Tratto 3-B \_ Modello Geotecnico 1

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 7.50    | <u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u><br>argilla limosa plastica ed alterata | $\gamma = 2.02 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 1.65 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.26 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\phi' = 19.75^\circ$        |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,60 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,02 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,50 | 5,15 |
| 80              | 6,85 | 6,41 |
| 70              | 8,30 | 7,77 |

### Tratto 3-B \_ Modello Geotecnico 2

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 6.00    | <u>Alluvioni TF1:</u><br>sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa. | $\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 2.98 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.05 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\phi' = 23.0^\circ$         |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 0,50 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,98 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,80 | 1,07 |
| 80              | 7,20 | 1,32 |
| 70              | 9,00 | 1,65 |

### Tratto 3-B \_ Modello Geotecnico 4

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici         |
|----------------|--|------------------------------|
| 0.00 ÷ 5.00    | <u>Alluvioni TF1:</u><br>sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa. | $\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ |
|                |  | $Cu = 0.50 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$   |
|                |  | $\phi' = 19^\circ$           |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 1,50 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 1,85 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,50 | 3,24 |
| 80              | 6,85 | 4,04 |
| 70              | 8,30 | 4,89 |

## 8.7. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C

Tratto 3-C

| Profondità (m) | Litotipo   | Parametri Geotecnici            |
|----------------|--|---------------------------------|
| 0.00 ÷ 15.00   | <u>Alluvioni TF1:</u><br>sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa. | $\gamma = 2.0$ T/mc             |
|                |  | $C_u = 1.26$ Kg/cm <sup>2</sup> |
|                |  | $c' = 0.26$ Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                |  | $\phi' = 21.73^\circ$           |

|                 |      |      |
|-----------------|------|------|
| c (t/mq)        | 2,60 |      |
| $\gamma$ (t/mc) | 2,00 |      |
| $\beta$         | N    | H    |
| 90              | 5,70 | 5,39 |
| 80              | 7,10 | 6,71 |
| 70              | 8,90 | 8,41 |