

# 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:



## GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

### Relazioni Geologiche

### Relazione Geologica

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12\_09 - E 0 0 0 G E 2 0 8 G I 0 1 Z R D 0 0 5 F

Scala:  
-

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO
F	Luglio 2011	EMISSIONE	M. D'ANGELO	R. CAPOCCHI	M. LITI	P. PAGLINI
E	Maggio 2011	EMISSIONE	M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
D	Aprile 2011	EMISSIONE	M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
C	Gennaio 2011	EMISSIONE	M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
B	Dicembre 2010	EMISSIONE	M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
A	Novembre 2010	EMISSIONE	M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO ARAMINI

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza  
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



## INDICE

<b>PREMESSA</b>	<b>7</b>
<b>1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>9</b>
1.1. TRACCIATO DI PROGETTO	10
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE</b>	<b>13</b>
2.1. BACINO DI CALTANISSETTA	15
2.2. FALDA DI GELA	16
2.3. TETTONICA	17
2.3.1. <i>Fasi deformative</i>	18
2.4. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA	21
2.4.1. <i>Successione del Tortoniano</i>	21
2.4.2. <i>Successione del Messiniano (Gruppo della Gessoso - Solfifera)</i>	23
2.4.3. <i>Successione del Pliocene</i>	27
<b>3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE</b>	<b>30</b>
3.1. GENERALITÀ	30
3.2. MODELLAMENTO DEI VERSANTI E TENDENZE EVOLUTIVE	32
3.2.1. <i>Modellamento fluvio-torrentizio</i>	32
3.2.2. <i>Modellamento gravitativo</i>	37
3.2.3. <i>Modellamento antropico</i>	44
<b>4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE</b>	<b>48</b>
4.1. GENERALITÀ	48
4.2. COMPLESSI IDROGEOLOGICI	48
4.2.1. <i>Complesso Argilloso</i>	50
4.2.2. <i>Complesso Argilloso-Marnoso</i>	50
4.2.3. <i>Complesso Calcarea-Marnoso</i>	51
4.2.4. <i>Complesso Alluvionale Detritico</i>	51
4.2.5. <i>Complesso Conglomeratico</i>	52
4.2.6. <i>Complesso Sabbioso</i>	52

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 1 di 351

<b>4.2.7. Complesso Calcareo-Gessoso</b>	<b>52</b>
<b>5. MACROSISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>54</b>
<b>5.1. GENERALITÀ</b>	<b>54</b>
<b>5.2. ANALISI DELLA SISMICITÀ STORICA DEL TERRITORIO</b>	<b>54</b>
5.2.1. <i>Settore orientale siciliano</i>	54
5.2.2. <i>Settore occidentale siciliano</i>	55
5.2.3. <i>Sismicità dell'area Nissena</i>	57
<b>5.3. PERICOLOSITÀ SISMICA</b>	<b>60</b>
<b>5.4. RISCHI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA</b>	<b>61</b>
<b>5.5. ANALISI DELLA NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CONFRONTO CON LE PRECEDENTI</b>	<b>62</b>
<b>6. CAMPAGNE GEOGNOSTICHE ESEGUITE</b>	<b>65</b>
<b>6.1. INDAGINI CONDOTTE NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI</b>	<b>65</b>
6.1.1. <i>Campagna del Progetto Definitivo</i>	65
6.1.2. <i>Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988</i>	69
<b>6.2. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 1 DEL 2010</b>	<b>69</b>
<b>6.3. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 2 DEL 2010</b>	<b>72</b>
6.3.1. <i>Criteri di scelta della tipologia delle indagini</i>	73
6.3.2. <i>Esecuzione delle Indagini</i>	75
<b>6.4. INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 3 DEL 2011</b>	<b>80</b>
6.4.1. <i>Problematiche idrogeologiche</i>	81
6.4.2. <i>Idraulica delle acque sotterranee</i>	82
6.4.3. <i>Definizione dell'assetto tettonico e stratigrafico</i>	93
6.4.4. <i>Analisi chimiche e mineralogiche</i>	95
6.4.5. <i>Riepilogo delle indagini</i>	95
<b>7. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL TRACCIATO</b>	<b>100</b>
<b>7.1. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO A</b>	<b>100</b>
7.1.1. <i>Indagini geognostiche eseguite</i>	103
7.1.2. <i>Caratteristiche geolitologiche</i>	104
7.1.3. <i>Modellizzazione geotecnica</i>	107
7.1.4. <i>Assetto geomorfologico</i>	112
7.1.5. <i>Caratteristiche idrogeologiche</i>	112
<b>7.2. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B</b>	<b>114</b>
7.2.1. <i>Indagini geognostiche eseguite</i>	116

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 2 di 351

<b>7.2.2. Caratteristiche geolitologiche</b>	<b>117</b>
<b>7.2.3. Modellizzazione geotecnica</b>	<b>119</b>
<b>7.2.4. Assetto geomorfologico</b>	<b>121</b>
<b>7.2.5. Caratteristiche idrogeologiche</b>	<b>122</b>
<b>7.3. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C</b>	<b>123</b>
<b>7.3.1. Indagini geognostiche eseguite</b>	<b>126</b>
<b>7.3.2. Caratteristiche geolitologiche</b>	<b>127</b>
<b>7.3.3. Modellizzazione geotecnica</b>	<b>130</b>
<b>7.3.4. Assetto geomorfologico</b>	<b>134</b>
<b>7.3.5. Caratteristiche idrogeologiche</b>	<b>136</b>
<b>7.4. TRATTO 2</b>	<b>136</b>
<b>7.4.1. Indagini geognostiche eseguite</b>	<b>142</b>
<b>7.4.2. Caratteristiche geolitologiche</b>	<b>143</b>
<b>7.4.3. Modellizzazione geotecnica</b>	<b>147</b>
<b>7.4.4. Assetto geomorfologico</b>	<b>150</b>
<b>7.4.5. Caratteristiche idrogeologiche</b>	<b>153</b>
<b>7.5. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO A</b>	<b>154</b>
<b>7.5.1. Indagini geognostiche eseguite</b>	<b>158</b>
<b>7.5.2. Caratteristiche geolitologiche</b>	<b>158</b>
<b>7.5.3. Modellizzazione geotecnica</b>	<b>161</b>
<b>7.5.4. Assetto geomorfologico</b>	<b>166</b>
<b>7.5.5. Caratteristiche idrogeologiche</b>	<b>168</b>
<b>7.6. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO B</b>	<b>169</b>
<b>7.6.1. Indagini geognostiche eseguite</b>	<b>172</b>
<b>7.6.2. Caratteristiche geolitologiche</b>	<b>173</b>
<b>7.6.3. Modellizzazione geotecnica</b>	<b>176</b>
<b>7.6.4. Assetto geomorfologico</b>	<b>181</b>
<b>7.6.5. Caratteristiche idrogeologiche</b>	<b>183</b>
<b>7.7. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO C</b>	<b>183</b>
<b>7.7.1. Indagini geognostiche eseguite</b>	<b>185</b>
<b>7.7.2. Caratteristiche geolitologiche</b>	<b>186</b>
<b>7.7.3. Modellizzazione geotecnica</b>	<b>187</b>
<b>7.7.4. Assetto geomorfologico</b>	<b>189</b>
<b>7.7.5. Caratteristiche idrogeologiche</b>	<b>190</b>
<b>8. QUALITÀ DELLE ACQUE E LORO AGGRESSIVITÀ SUL CLS</b>	<b>191</b>

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 3 di 351

<b>9. VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE TERRE PROVENIENTI DAGLI SCAVI</b>	<b>195</b>
9.1. RIUTILIZZO DEI TERRENI	195
9.1.1. <i>Realizzazione dei rilevati stradali</i>	195
9.1.2. <i>Ripristini ambientali</i>	199
9.2. EVENTUALITÀ DI SMALTIMENTO DEI TERRENI ESCAVATI COME RIFIUTO	201
9.2.1. <i>Materiali derivanti dalle operazioni di scavo</i>	201
9.2.2. <i>Materiali derivanti dai rilevati esistenti</i>	202
9.2.3. <i>Materiali provenienti dallo scavo della galleria naturale Caltanissetta</i>	202
<b>RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO</b>	<b>202</b>
<b>10. GALLERIA NATURALE PAPAZZO: ASSETTO GEOLOGICO</b>	<b>204</b>
10.1. GEOLOGIA	204
10.2. IDROGEOLOGIA	205
10.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI	206
<b>11. GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA: ASSETTO GEOLOGICO</b>	<b>207</b>
11.1. INDAGINI SVOLTE	207
11.1.1. <i>Fase 1 della campagna geognostica 2010</i>	207
11.1.2. <i>Fase 2 della campagna geognostica 2010</i>	209
11.1.3. <i>Fase 3 della campagna geognostica 2011</i>	210
11.2. GEOLOGIA	212
11.3. SITUAZIONI DI PARTICOLARE INTERESSE	217
11.3.1. <i>Orizzonti litoidi</i>	217
11.3.2. <i>Prove di condizionamento e adesività delle argille</i>	219
11.3.3. <i>Acque sotterranee</i>	220
11.3.4. <i>Prove mineralogiche sulle argille</i>	221
11.4. ASSETTO TETTONICO LOCALE	222
11.5. IDROGEOLOGIA	226
11.6. IDRAULICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE	231
11.6.1. <i>Prova di emungimento sulla stazione PZ2-SI42</i>	232
11.6.2. <i>Prova di emungimento sulla stazione PZ3-SI43</i>	243
11.6.3. <i>Prova a gradini di portata sulla stazione PZ2-SI42</i>	253
11.6.4. <i>Slug test sui piezometri</i>	255
11.6.5. <i>Confronto tra i valori di permeabilità ottenuti nelle varie prove</i>	263
11.7. CARATTERI GEOMORFOLOGICI	264

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 4 di 351

<b>11.8. MANIFESTAZIONI DI GAS</b>	<b>265</b>
<b>11.8.1. Presenza di idrocarburi leggeri</b>	<b>265</b>
<b>11.8.2. Presenza di metano e altri gas</b>	<b>267</b>
<b>11.8.3. Correlazioni con i fenomeni delle maccalube di Caltanissetta</b>	<b>270</b>
<b><u>12. GALLERIA NATURALE SAN FILIPPO: ASSETTO GEOLOGICO</u></b>	<b><u>272</u></b>
<b>12.1. GEOLOGIA</b>	<b>272</b>
<b>12.2. IDROGEOLOGIA</b>	<b>272</b>
<b>12.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI</b>	<b>273</b>
<b><u>13. GALLERIA NATURALE COZZO GARLATTI: ASSETTO GEOLOGICO</u></b>	<b><u>275</u></b>
<b>13.1. GEOLOGIA</b>	<b>275</b>
<b>13.1.1. Assetto geostrutturale</b>	<b>275</b>
<b>13.2. IDROGEOLOGIA</b>	<b>279</b>
<b>13.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI</b>	<b>279</b>
<b><u>APPENDICE 1 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</u></b>	<b><u>281</u></b>
<b><u>APPENDICE 2 - MONOGRAFIE DISSESTI GEOMORFOLOGICI</u></b>	<b><u>291</u></b>
<b><u>APPENDICE 3 - TABELLA CLASSI DI ESPOSIZIONE AGGRESSIVITÀ SUI CLS</u></b>	<b><u>315</u></b>
<b><u>APPENDICE 4 - INTERPRETAZIONI DEI PROFILI DI SISMICA A RIFLESSIONE</u></b>	<b><u>333</u></b>

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 5 di 351

### ELENCO ALLEGATI CARTOGRAFICI

GE208GI02ZA5 001÷009	CARTA GEOLOGICA D'INSIEME – SCALA 1:5.000 – TAVV. 1÷9
GE208GI02ZW9 010÷030	SEZIONI GEOLOGICHE – SCALA 1:200 – TAVV. 1÷21
GE208GI02ZG7 001÷053	CARTA GEOLOGICA – SCALA 1:1.000 – TAVV. 1÷53
GE208GI03ZG6 001÷023	CARTA GEOMORFOLOGICA – SCALA 1:2.000 – TAVV. 1÷23
GE208GI04ZG6 001÷023	CARTA IDROGEOLOGICA – SCALA 1:2.000 – TAVV. 1÷23
GE208GI05ZG6 001	CARTA GEOLOGICO-STRUTTURALE DI DETTAGLIO - SCALA 1:1.000 - TAV. 1
GE208GI06ZF7 001÷047	PROFILO GEOLOGICO ASSE DIREZIONE A19-AG – SCALA 1:1.000 – TAVV. 1÷47
GE208GI06ZF7 048÷094	PROFILO GEOLOGICO ASSE DIREZIONE AG-A19 – SCALA 1:1.000 – TAVV. 1÷47
GE208GI07ZFX 001÷024	PROFILI GEOLOGICI DI DETTAGLIO VIADOTTI – SCALA 1:1.000/1:100
GE208GI08ZFX 001÷020	PROFILI GEOLOGICI DI DETTAGLIO GALLERIE NATURALI – SCALA 1:1.000/1:100
GE208GI09ZFX 001÷010	PROFILI GEOLOGICI DI DETTAGLIO GALLERIE ARTIFICIALI – SCALA 1:1.000/1:100
GE208GI10ZW9 001÷010	SEZIONI TRASVERSALI GEOLOGICHE GALLERIE NATURALI – SCALA 1:200
GE208GI11ZW9 001÷009	SEZIONI TRASVERSALI GEOLOGICHE GALLERIE ARTIFICIALI – SCALA 1:200
GE208GI12ZW9 001÷026	SEZIONI TRASVERSALI GEOLOGICHE VIADOTTI – SCALA 1:200

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 6 di 351

## PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla esposizione dello studio specialistico volto alla ricostruzione del modello geologico a corredo 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 secondo quanto previsto dal punto 4.1 dell'Allegato NG15 al Capitolato d'Oneri A.N.A.S. sottoscritto dal Contraente Generale e 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".

Per la caratterizzazione geologica di dettaglio sono state utilizzate, oltre alle indagini dirette e indirette effettuate nelle tre campagne integrative svolte tra la fine di luglio e la fine di dicembre 2010 (Fase 1 e 2) e tra febbraio e aprile 2011 (Fase 3), anche le informazioni stratigrafiche e i dati geotecnici forniti dalle indagini della campagna geognostica a corredo del Progetto Definitivo eseguite nel 2006/2007 e del Progetto Preliminare eseguite nel 1988.

In occasione delle indagini geognostiche integrative di Fase 3 condotte in seno al presente studio è stato ricostruito il modello geologico definitivo dell'intero tracciato e in particolare delle due principali opere d'arte, la Galleria Naturale Caltanissetta e la Galleria Naturale Papazzo. Tale ricostruzione è stata effettuata in collaborazione e sinergia con la Direzione Generale ANAS ed i loro consulenti specialisti, al fine di ottenere un prodotto condiviso e univoco interamente spendibile per gli obiettivi del progetto esecutivo cui tale studio afferisce.

Nella presente relazione sono stati affrontati gli aspetti geologici generali, geologico-tecnici, geomorfologici e idrogeologici, rimandando alle relative relazioni specialistiche gli aspetti geotecnici e della sismicità di dettaglio, così come previsto dalle NTC 2008, sebbene siano stati riportati, in maniera sintetica, alcuni aspetti geotecnici quali la parametrizzazione delle unità litotecniche e il derivante modello geotecnico sintetico.

A tal fine il presente elaborato è stato suddiviso nei seguenti punti:

- 1) Inquadramento territoriale;
- 2) Inquadramento geologico generale dell'area interessata dall'intero tracciato stradale in progetto;
- 3) Inquadramento geomorfologico generale dell'area interessata dall'intero tracciato

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 7 di 351

stradale in progetto;

- 4) Inquadramento idrogeologico generale dell'area interessata dall'intero tracciato stradale in progetto;
- 5) Macrosismicità dell'area;
- 6) Descrizione sintetica delle campagne geognostiche svolte;
- 7) Caratterizzazione di dettaglio del tracciato;
- 8) Qualità delle acque sotterranee e loro aggressività sul CLS;
- 9) Valutazione delle caratteristiche delle terre provenienti dagli scavi;
- 10) Assetto della Galleria Naturale Papazzo;
- 11) Assetto della Galleria Naturale Caltanissetta;
- 12) Assetto della Galleria Naturale San Filippo;
- 13) Assetto della Galleria Naturale Cozzo Garlatti;

Nei punti 10 e 11, in particolare, si esamina l'assetto geologico, idrogeologico e geomorfologico delle due principali opere d'arte del tracciato stradale, rappresentate dalle due gallerie naturali di maggior sviluppo:

- ⇒ la Galleria Naturale Papazzo, costituita da 2 canne lunghe ognuna quasi 750 m,
- ⇒ la Galleria Naturale Caltanissetta, costituita da 2 canne lunghe ognuna oltre 4000 m.

I punti 12 e 13 esaminano gli assetti delle altre due gallerie naturali previste, di minore dimensione e importanza, sebbene la Cozzo Garlatti interessi l'unico affioramento roccioso di un certo rilievo presente lungo il tracciato.

Gli elaborati cartografici di riferimento sono riportati a pag. 7 della presente relazione (Elenco Allegati cartografici), mentre in appendice sono riportati i seguenti elaborati:

- ⇒ Appendice 1 - Documentazione fotografica;
- ⇒ Appendice 2 - Monografie dissesti geomorfologici;
- ⇒ Appendice 3 - Tabella Classi di esposizione aggressività sui CLS per le opere d'arte
- ⇒ Appendice 4 – Interpretazioni dei Profili della Sismica a Riflessione

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 8 di 351

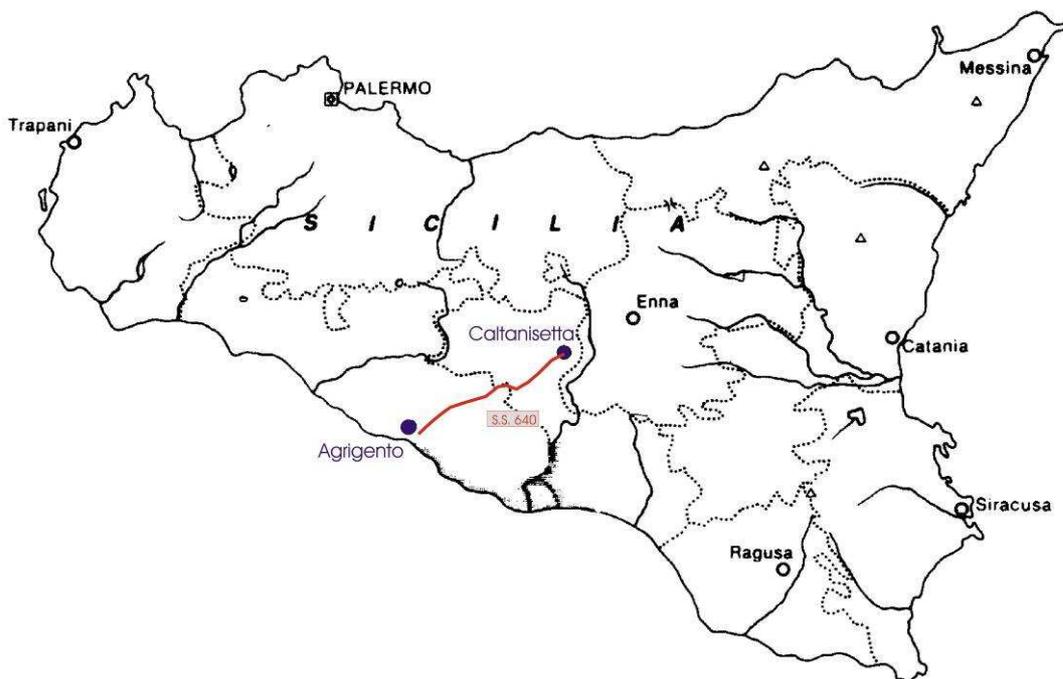
## 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La S.S. 640 è un'importante asse stradale di collegamento tra la provincia di Agrigento e Caltanissetta, e rappresenta l'itinerario preferenziale tra la Sicilia Sud-Occidentale ed il settore Centro-Orientale dell'isola (province di Enna, Catania e Messina).

L'infrastruttura inoltre, congiunge i principali assi autostradali della Sicilia: l'autostrada A19 Palermo- Catania, la S.S. 189 Agrigento- Palermo, la S.S. 123 Canicattì - 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.

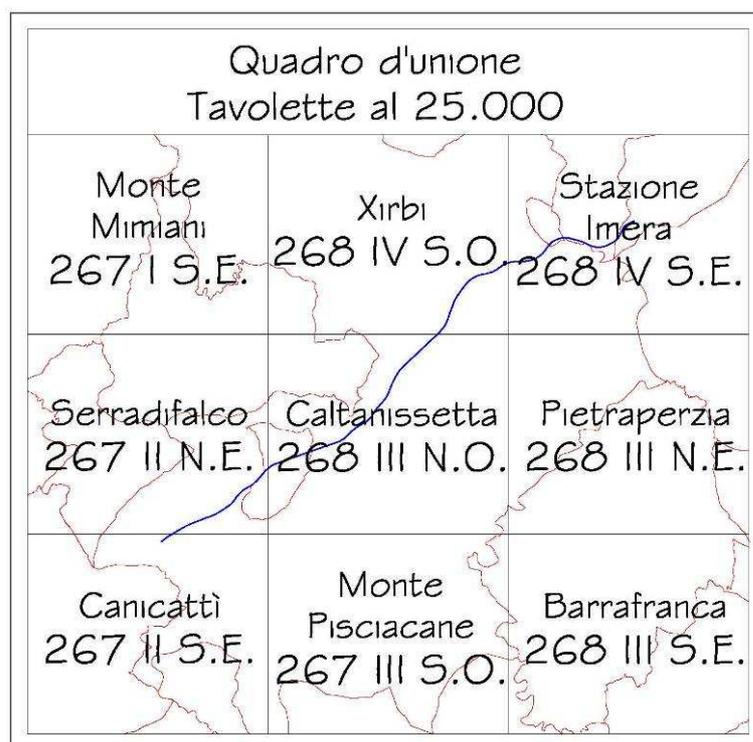
Il tracciato presenta uno sviluppo da SW verso NE, attraversando i comuni di Serradifalco (CL), San Cataldo (CL) e Caltanissetta.



Cartograficamente, il tracciato ricade nelle seguenti tavolette della Carta d'Italia redatta dall'I.G.M.I., nella sequenza progressiva del tracciato da SW verso NE :

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 9 di 351

- F° 267 II S.E. "Canicatti"
- F° 267 II N.E. "Serradifalco"
- F° 268 III N.O. "Caltanissetta"
- F° 268 IV S.O. "Xirbi"
- F° 268 IV S.E. "Stazione Imera"

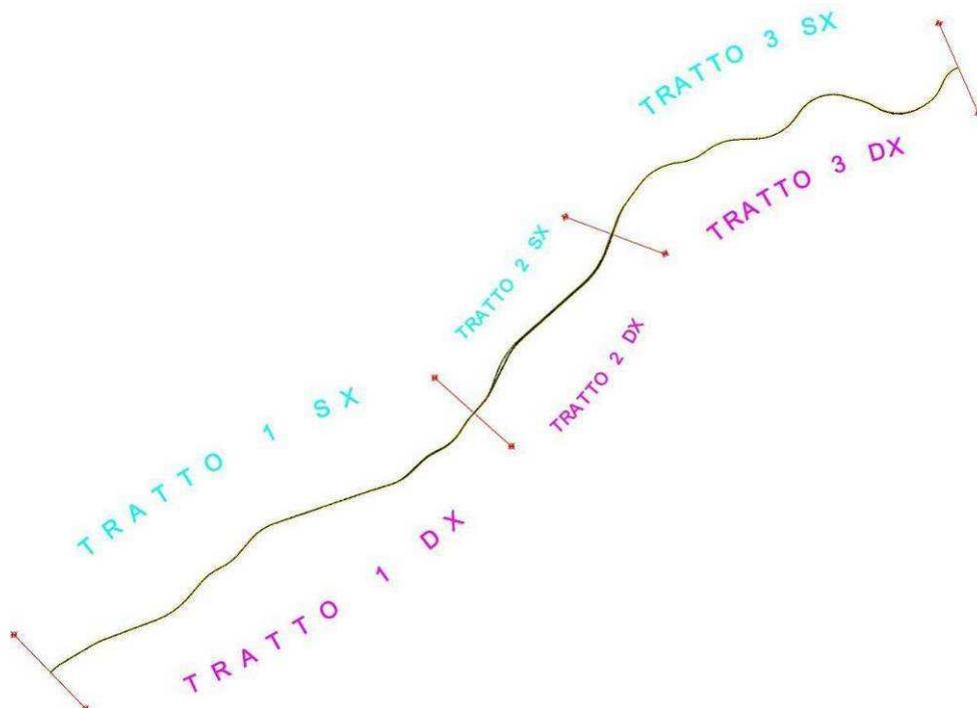


### 1.1. TRACCIATO DI PROGETTO

Così come è stato effettuato negli studi specialistici del Progetto Definitivo, nella presente relazione il tracciato in progetto, complessivamente esteso circa Km 28, viene suddiviso in tratti omogenei per caratteristiche geologiche ed opere da realizzare; per ogni singolo tratto verranno nel seguito esposte, a grandi linee, le componenti geologiche, idrogeomorfologiche e geotecniche nello studio di dettaglio.

In particolare l'intero tracciato è stato suddiviso in tre macrosettori (Fig. 1.1) che, nell'analisi di dettaglio, verranno ulteriormente suddivisi, anche in riferimento alla presenza delle diverse opere d'arte, in sottosectori aventi sviluppi lineari variabili.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 10 di 351



**Figura 1.1 – Tratti stradali di riferimento**

Di seguito si riporta la suddivisione riferita alle progressive chilometriche di progetto:

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:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 11 di 351

Tratta e sottotratta	Opera d'arte	Lunghezza (m)
1-A	Svincolo "Serradifalco"	
	Galleria artificiale "Rovetello"	280 (SX) 280 (DX)
	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)
	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. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Nel seguito si procede alla definizione del modello geologico di riferimento derivante dalle indagini dirette e indirette effettuate nelle tre campagne integrative (Fase 1, Fase 2 e Fase 3) svolte tra la fine di luglio 2010 e aprile 2011, oltre che dalle informazioni e dai dati forniti dalle campagne di indagine geognostica a corredo del Progetto Definitivo eseguite nel 2006/2007 e del Progetto Preliminare eseguite nel 1988.

Punto di partenza è stato lo Studio Geologico del Progetto Definitivo redatto nel 2007, che è stato analizzato nei suoi vari elaborati, al fine di verificarne la corrispondenza con le nuove informazioni e con la rilevante mole di dati derivanti sia dai rilevamenti in campo svolti dallo scrivente, sia con le indagini integrative eseguite, sia con la letteratura geologica di più recente pubblicazione (post 2007) consultata per l'occasione.

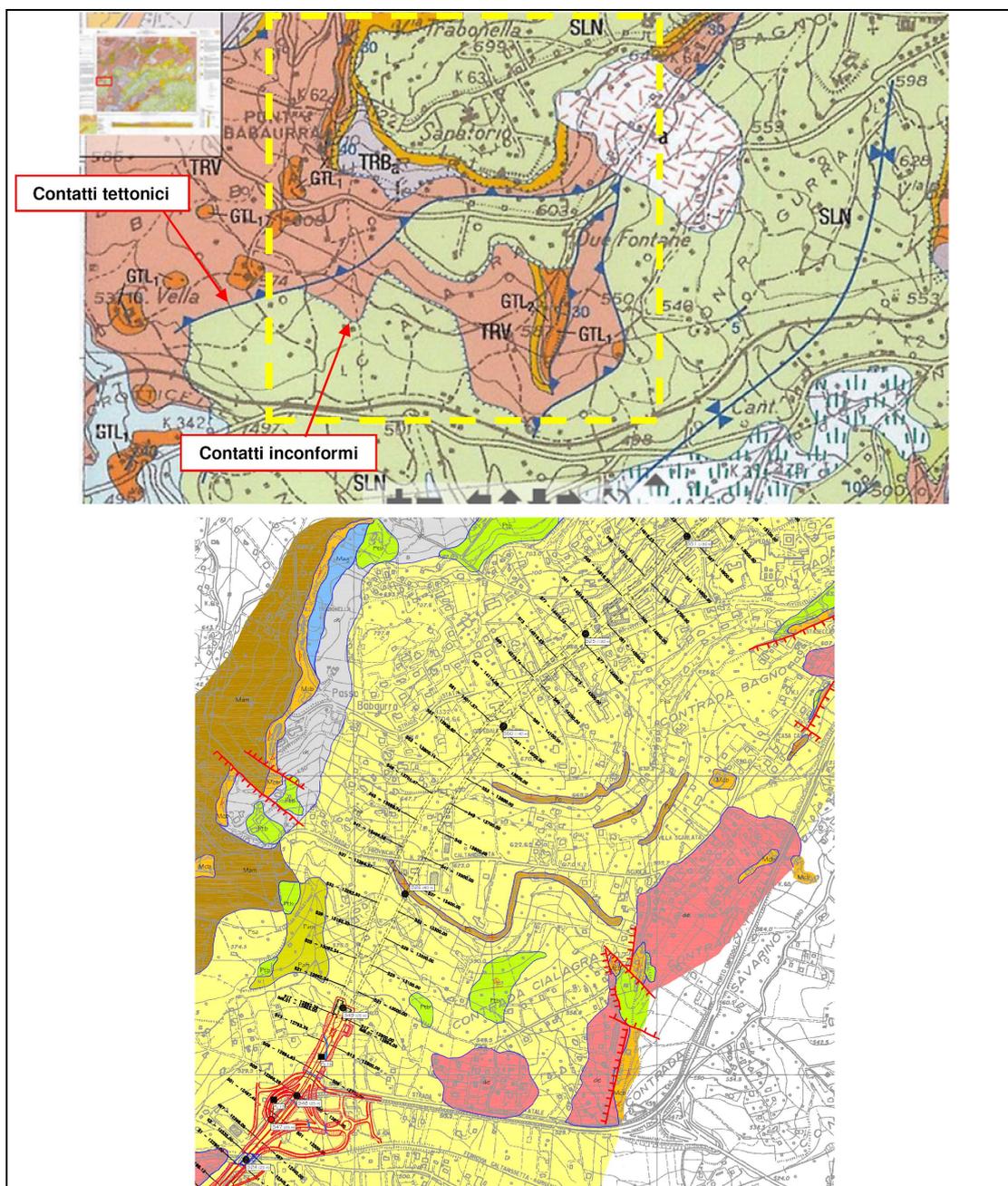
Di fondamentale e rilevante importanza tra i vari documenti consultati (Piano Regolatore Comunale di Caltanissetta, Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico Regionale, Piano Territoriale Paesistico Regionale) può essere considerata la Carta Geologica dell'area di Caltanissetta (Foglio 631 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000), redatta dall'Università di Catania nell'ambito del Progetto CARG curato dal Servizio geologico dell'Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale (ISPRA - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare). Tale documento è di recentissima pubblicazione (2010) ed attualmente disponibile solo sul sito internet dell'ISPRA ([www.apat.gov.it](http://www.apat.gov.it)). In tale elaborato si evince una situazione tettonico-stratigrafico notevolmente differente da quanto illustrato negli elaborati geologici del Progetto Definitivo, laddove situazioni di continuità stratigrafica laterale e verticale sono sconvolti dalla presenza di sovrascorrimenti tettonici e strutture collegate.

L'analisi condotta sulla documentazione consultata e sui risultati delle indagini integrative condotte, pertanto, ha indirizzato lo scrivente a rivedere il modello geologico del Progetto Definitivo, soprattutto in merito alla definizione dell'assetto tettonico-strutturale e stratigrafico e all'inquadramento regionale in cui collocare l'area di studio.

Nel quadro derivante dallo studio geologico attualmente condotto sono state evidenziate varie strutture tettoniche soprattutto in corrispondenza di opere di rilevante interesse (gallerie), che variano l'approccio modellistico sia dal punto di vista stratigrafico sia dal punto di vista geomeccanico e geotecnico. L'assunzione di tale assetto tettonico-strutturale nel presente studio deriva, quindi, da una posizione ufficiale scientifica e riconosciuta ampiamente negli ultimi anni.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 13 di 351

tramite studi condotti da enti di ricerca ufficiali che hanno avallato tesi già avanzate negli anni precedenti.



**Figura 2.1** Confronto tra la cartografia CARG (ISPRA – Università di Catania, 2010) prodotta in scala 1:50.000, posta superiormente, e la carta geologica del Progetto Definitivo (sotto) prodotta in scala 1:5.000, in corrispondenza del tratto meridionale della Galleria Naturale Caltanissetta; il riquadro giallo nella carta del CARG indica la corrispondenza con lo stralcio della carta del PD.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 14 di 351

Dal confronto di Figura 2.1, oltre ad un differente assetto geologico generale, si evince come nella cartografia dello studio geologico a corredo del Progetto Definitivo, nonostante la scala di maggior dettaglio, non siano riportate le strutture delineanti l'assetto tettonico-strutturale evidenziato, pur se a grande scala, nella cartografia CARG, in cui sono riportati contatti di sovrascorrimento secondario o faglie inverse (linee in blu) e contatti stratigrafici inconformi (linee blu con puntini).

Altra motivazione che andrebbe a supporto della definizione di un nuovo modello geologico, in corrispondenza della suddetta galleria, è la ricostruzione del profilo tramite le stratigrafie derivanti dalle indagini condotte, che indurrebbero a definire una situazione stratigrafica complessa non giustificata da semplici eteropie e/o contatti di discontinuità deposizionale, ma che necessiterebbe, dal punto di vista geometrico, di contatti tettonici dati da sovrascorrimenti, faglie inverse e faglie dirette, che pongono differenti orizzonti stratigrafici in posizioni altrimenti non giustificabili con la sola tettonica plicativa, cui è stata notoriamente sottoposta l'area in esame.

Tali posizioni di revisioni del modello geologico del PD sono state ampiamente suffragate dalle indagini sismiche condotte in corrispondenza della Galleria Naturale Caltanissetta (cfr. cap. 11), tramite cui è stato possibile ricostruire delle sezioni parallele e trasversali alla galleria. In tali sezioni sono evidenti delle situazioni di deformazione degli strati imputabili a fasce tettonizzate in cui si riconoscono discontinuità associabili a strutture tettoniche compressive o distensive. Nei successivi capitoli e in particolare nel capitolo riguardante la Galleria Caltanissetta l'argomento è trattato dettagliatamente.

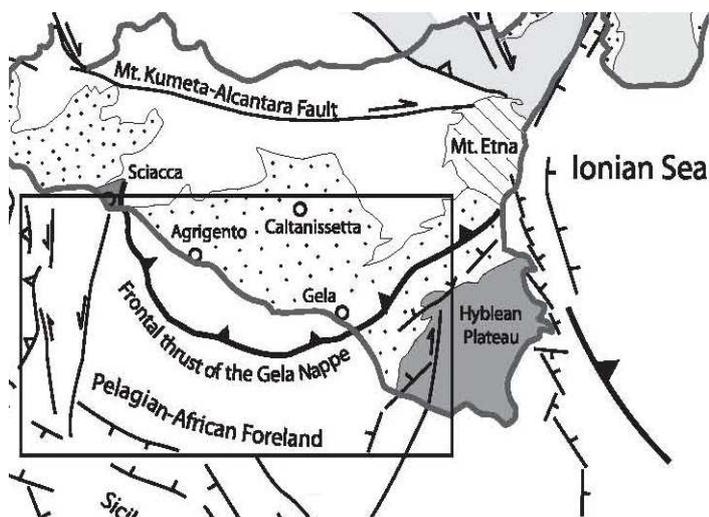
I paragrafi seguenti delineano, in maniera generale, l'ambito geologico in cui si inquadra l'area interessata dal tracciato di progetto.

## 2.1. BACINO DI CALTANISSETTA

L'area interessata dal tracciato della SS 640 in progetto si localizza nel settore centro - meridionale della Sicilia, tra Agrigento e Caltanissetta, ed interessa il tipico sistema collinare dell'entroterra siciliano, che tende a degradare debolmente verso la costa meridionale dell'Isola.

Tale settore fa parte della struttura geologica definita in letteratura come "**Bacino di Caltanissetta**", uno dei domini legati all'orogenesi alpina, subsidente per tutto il Pliocene superiore e in parte del Pleistocene, corrispondente, strutturalmente, ad un settore di *avanfossa* colmato da una copertura terrigeno – evaporitica – carbonatica di età Mio - Pleistocenica, definita come Complesso Postorogeno.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 15 di 351



**Figura 2.2 – Falda di Gela**  
 (F. Ghisetti, A.R. Gorman, M. Grasso and L. Vezzani - 2009)

Quest'ultimo è rappresentato essenzialmente da sedimenti *olistostromici* argillosi molto tettonizzati di età miocenica.

In particolare, si tratta di terreni silico-clastici (Argille, Sabbie e Conglomerati della F.ne Terravecchia) del periodo Tortoniano, terreni evaporitici (Calcari, Gessi e Sali del Gruppo della Gessoso - Solfifera) del periodo Tortoniano-Messiniano e, verso l'alto, marne e calcari marnosi (Trubi) intercalati ad olistostromi argillosi (A.B. IV), calcareniti, sabbie e argille sabbiose del ciclo Plio-Pleistocenico trasgressivi sui precedenti.

Nello specifico le sequenze plio-pleistoceniche possono ritrovarsi sia sepolte al di sotto delle coltri alloctone della Falda di Gela (segmenti frontali) che deposte al di sopra dell'alloctono come risultato della migrazione finale del fronte della struttura.

L'insieme geologico-stratigrafico dell'area viene poi completato dalle coperture continentali, di età Pleistocene sup. - Olocene e fino all'Attuale, costituite di depositi eluviali e terre nere, coltri detritiche, depositi alluvionali, terreni di riporto.

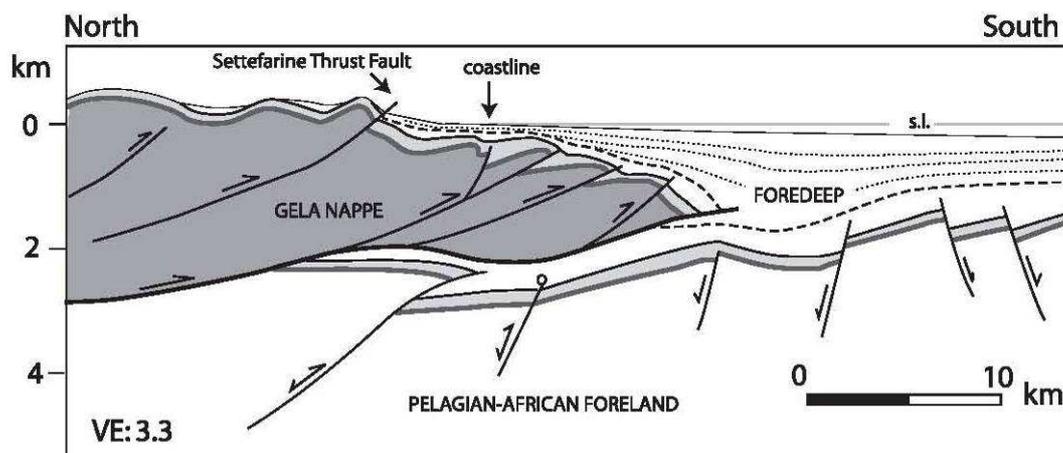
## 2.2. FALDA DI GELA

La "Falda di Gela" costituisce il fronte più avanzato della catena Maghrebide Siciliana (GRASSO, LA MANNA, 1993) rappresenta dunque il fronte meridionale delle catene a falde sovrapposte che caratterizzano il margine settentrionale dell'isola (Fig. 2.2).

L'area in questione risulta compresa in quel segmento di catena siciliana di più recente impilamento, il cui fronte, come dimostrato da numerose perforazioni nel off-shore meridionale siciliano, risulta localizzato nei settori sommersi del canale di Sicilia ed in parte affiorante lungo la linea Gela – Catania (Fig. 2.3).

La struttura in questione risulta costituita da un insieme di Unità tettoniche e da depositi sedimentati in bacini satelliti (NIGRO & RENDA, 2000). Nel complesso, la Falda di Gela è costituita, in prevalenza da successioni flyschoidi, di piattaforma carbonatica pelagica (Mesozoico-Terziario) e successivi depositi sin-tettonici (Plio-Pleistocenici) a prevalenza argillosa ed arenacea.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 16 di 351



**Figura 2.3 – Fronte Falda di Gela**  
 (F. Ghisetti, A.R. Gorman, M. Grasso and L. Vezzani - 2009)

All'interno della Falda di Gela è possibile individuare importanti affioramenti sedimentari sintettonici dai quali è possibile ricostruire con buona approssimazione il condizionamento tettonico (prevalentemente plicativo) ed il controllo esercitato dalle oscillazioni glacio-eustatiche (NIGRO & RENDA, 2001).

Il settore di stretto interesse, coincidente con la parte mediana della Falda di Gela, risulta costituito in prevalenza dai termini appartenenti alle Unità Sicilidi e Numidiche (perforazioni petrolifere profonde) la cui potenza risulta di diverse migliaia di metri.

### 2.3. TETTONICA

Come ampiamente premesso sopra, il settore oggetto dello studio, risulta compreso all'interno del fronte più esterno della catena deformata Maghrebide Siciliana con l'immediata conseguenza che l'intero "pacco" litostratigrafico risulta tettonicamente deformato da "tetto" a "letto". I motivi strutturali peculiarmente riconosciuti e cartografati si inseriscono quindi nel generale quadro deformativo regionale; ed è possibile riconoscere diverse fasi deformative sovrapposte.

Si tratta di strutture riconducibili ad un processo tettonico prevalentemente plicativo che inizia nel Miocene, e che si caratterizza con un primario sollevamento del bacino, con un'intermedia trasgressione marina ed infine con una regressione che produce l'effetto finale di un generale restringimento del bacino fino al colmamento ed alla totale emersione.

I processi deformativi si realizzano dal Miocene inferiore e medio fino a tutto il Pliocene superiore. Si ha originariamente un lento sollevamento del bacino che si realizza, in vari intervalli, dal Mioce-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 17 di 351

ne inferiore e medio fino alla fine del Messiniano, inizio del Pliocene, durante la sedimentazione delle argille basali e dei termini del Gruppo della Gessoso-Solfifera

La fine del Messiniano e l'inizio del Pliocene segnano, con la deposizione dei Trubi, una fase trasgressiva, mentre si hanno ancora episodici sollevamenti ai margini del bacino.

Nel Pliocene inferiore, la fase tettonica raggiunge l'acme e si distingue esclusivamente per il carattere "plicative": si modellano diversi ordini di pieghe più o meno esasperate nelle formazioni già sedimentate (Argille Tortoniane - Trubi), si producono faglie inverse e, a luoghi, sovrascorrimenti; mentre le formazioni più coerenti (calcare e gessi) subiscono un evidente smembramento ed un loro dislocamento in lembi isolati poggianti nella formazione pelitica basale (Argille Tortoniane) o inglobati nelle brecce argillose infraplioceniche (A.B. IV).

A partire dal Pliocene inferiore - medio, si ha una normalizzazione dei movimenti che interessa gli ultimi livelli dei Trubi, tornando essenzialmente ad un lento e generale sollevamento del bacino con la contemporanea diminuzione delle spinte plicative. Inizia la regressione finale, che segna anche l'inizio di un cambiamento di facies, e si creano le condizioni per la deposizione delle marne argillose piacentiane.

Per tutto il Pliocene medio-superiore, e parte del Pleistocene, continua la regressione fino al collassamento del bacino ed alla sua emersione. Si manifestano ulteriormente le spinte plicative che coinvolgono le marne piacentiane, le calcareniti e le sabbie astiane, producendo strutture a piega molto blande che, in più casi, l'erosione ha successivamente ridotto a monoclinali formando le strutture tabulari a "mesa" con fronti a "cuesta" che rappresentano i rilievi più alti della zona.

### 2.3.1. Fasi deformative

In generale l'areale studiato è interessato da diversi sistemi di pieghe orientate lungo l'asse N-S e NE-SO, cui si sommano sistemi minori aventi orientamento grosso modo coincidente con il sistema principale e diversi assi di dislocazione (faglie prevalenti) con rigetti non molto importanti. In prevalenza si tratta di pieghe (anticlinali - sinclinali) asimmetriche ed inclinate mentre i sistemi di faglia definiscono movimenti prevalentemente inversi. Non mancano tuttavia, al limite dei maggiori sistemi plicativi elementi minori, ma localmente significativi, in grado di produrre deformazioni dirette e/o inverse.

In questo contesto geologico strutturale non è possibile escludere inoltre possibili processi deformativi (componenti coesive) e/o di fratturazione (componenti litoidi) legate al diapirismo salino. Tale processo è legato alla presenza di depositi salini a bassa densità (salgemma, gesso, anidrite)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 18 di 351

sottostanti a livelli a densità più elevata: per l'azione delle forze che tendono a ristabilire l'equilibrio nella distribuzione delle masse rocciose, si origina una spinta verso l'alto di tipo idrostatico delle formazioni rocciose meno dense; questa determina una deformazione dei livelli sovrastanti che tendono a piegarsi e ad aprirsi permettendo la risalita delle formazioni saline. Tali fenomenologie possono svilupparsi sia in zone corrugate (area di studio) sia tabulari.

I motivi geo-strutturali sopra sintetizzati sono il risultato di tre differenti fasi deformative (RODA, 1967) di età infrapliocenica, medio pliocenica e suprapliocenica-pleistocenica.

Tali fasi tettoniche e le strutture ad esse legate sono il risultato di un generale "raccorciamento" (pieghe e faglie inverse); mentre risulta difficile associare le eventuali strutture distensive (faglie dirette), peraltro cartografate, a fenomeni di tettonica distensionale (assente nel settore centro meridionale siciliano) quanto piuttosto a fenomeni di "tettonica gravitativa" ovvero di deformazioni gravitative profonde di versante e/o di diapirismo argilloso/salino, in un contesto di generale e continuo sollevamento dell'area.

### **Fase Infra-pliocenica**

Tale fase tettonica ha interessato prevalentemente i Trubi, le Argille brecciate (A.B. IV) ed i termini più antichi (Gessoso Solfifera – Argille Tortoniane).

Le strutture associate a tale fase sono costituite da sistemi principali di pieghe con assi generalmente orientati N-S e NE-SO, sui quali si sovrappongono sistemi a pieghe secondari e dislocazioni di faglie inverse (seconda fase medio pliocenica). Si tratta per lo più di pieghe asimmetriche ed inclinate o "pieghe - faglia" che al culmine della fase deformativa hanno generato sistemi compressivi (faglie inverse) e/o dislocazioni sub – verticali.

In generale tale fase è da considerare come una evoluzione in continuità dei processi orogenetici che hanno determinato lo sviluppo della catena appenninica a Nord dell'areale in studio

### **Fase Medio-pliocenica**

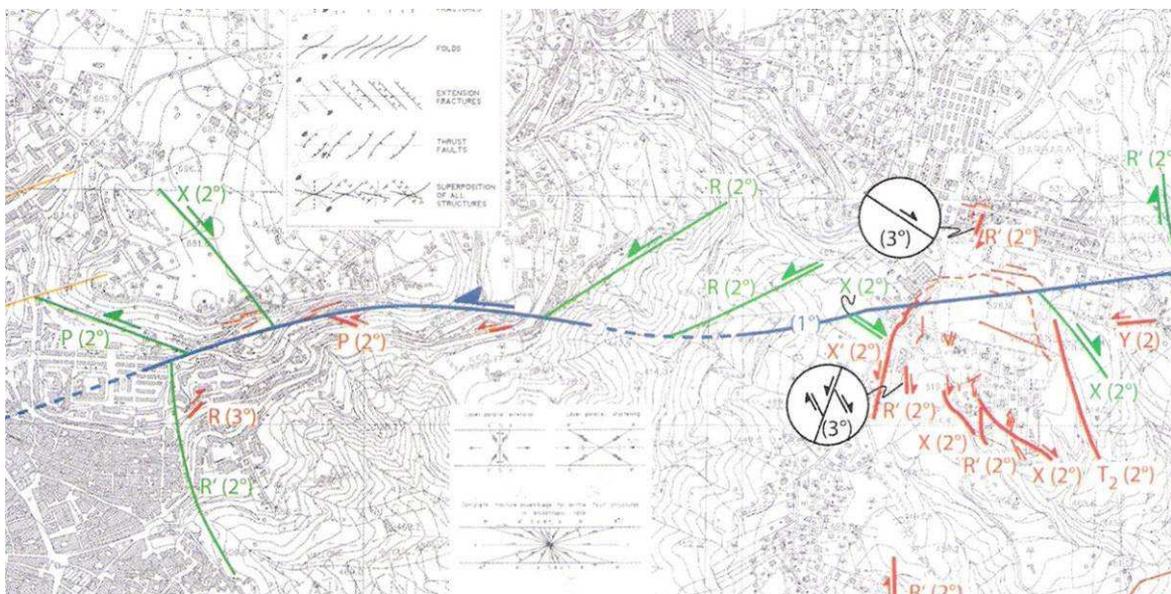
La fase medio-piocenica ha un carattere di tipicamente regionale (RODA, 1967) cui è possibile associare il *colamento* delle argille scagliose (OGNIBEN, 1960), non affioranti nelle immediate pertinenze dell'areale di studio.

### **Fase Supra - pliocenica - pleistocenica**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 19 di 351

Il modello strutturale più recente, posteriore alla deposizione delle Calcareniti di Capodarso (F.ne di Enna), presenta strutture plicative meno evidenti ed accentuate cui si sovrappongono le dislocazioni che interessano la parte terminale della successione di riferimento.

In tale contesto, di carattere prettamente plicativo, sono state recentemente riconosciute (NIGRO, PANZICA, PIRRELLO, RENDA, FAVARA, CUSIMANO E DI STEFANO, 2009) un insieme di strutture che farebbero protendere verso un modello di neo-tettonica di tipo distensivo. In particolare, vengono riconosciute alcune strutture principali di tipo "diretto" lungo la direttrice E-O (Villaggio Santa Barbara) con associati sistemi minori perpendicolari e/o trasversali. Le strutture dirette dislocano, con rigetti notevoli, la formazione sabbioso-limoso (Sabbie di Lannari) e le mettono in contatto con i sottostanti Trubi.



**Figura 2.4 – Strutture distensive individuate nella zona orientale di Caltanissetta (Nigro, Panzica, Pirrello, Renda, Favara, Cusimano e Di Stefano; 2009)**

Le strutture tettoniche (Fig. 2.4) descritte sono state finora considerate tutte quiescenti, tuttavia, da quanto osservato recentemente nella zona di Caltanissetta – Villaggio Santa Barbara, dove lungo i piani di alcune faglie principali si verificano periodicamente repentini movimenti, non si esclude una ripresa dinamica delle superfici di discontinuità.

Risulta tuttavia improbabile, a parere degli Autori, una attivazione di dinamiche tettoniche di tipo distensivo, in accordo con la mancanza, su scala regionale (settore cento – meridionale dell'isola), di evidenti processi distensivi.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 20 di 351

Gli episodi cartografati di recente, oggetto di attenzione da parte dell'INGV e della Protezione Civile, sono riferibili alla riattivazione (*Vulcanismo sedimentario*) dei Vulcanelli di fango del quartiere Santa Barbara e potrebbero inserirsi in un quadro dinamico che prevede fenomeni di diapirismo salino e/o argilloso (volumi non consolidati) con una "ricaduta" di superficie evidenziata da dislocazioni, fratture e dissesti.

In tale contesto anche le deformazioni gravitative profonde, del tutto compatibili con lo stile tettonico dell'area e con la stessa litologia, potrebbero essere parte attiva dei fenomeni attualmente riscontrati.

## 2.4. SUCCESIONE LITOSTRATIGRAFICA

Sulla scorta di quanto sopra articolato è possibile delineare un quadro litologico di riferimento (Fig. 2.5) che si caratterizza per la netta prevalenza di termini coesivi fortemente tettonizzati e spesso a struttura caotica cui si sovrappongono, in discontinuità, termini litoidi evaporitici (calcari, gessi) a loro volta sovrastati da alternanze argilloso-marnose passanti, verso l'alto, a successioni calcarenitiche e/o sabbioso-arenacee. Al di sopra di tali termini affiorano le coperture continentali recenti che, in coincidenza dei maggiori assi fluviali, possono raggiungere spessori notevoli.

### 2.4.1. Successione del Tortoniano

La successione in questione risulta costituita da depositi sin-postorogeni di età *Tortoniana*, identificabili con la F.ne Terravecchia in facies, prevalentemente, argilloso-sabbiosa e con le breccie argillose, denominate in letteratura "A.B. II", presenti sottoforma di vasti *olistostromi* costituiti da marne grigie e da argille brune a struttura brecciata in matrice siltosa con presenza di trovanti litoidi grossolani quarzarenitici.

In sintesi tale successione, dal basso verso l'alto, è così costituita:

- Argille grigio-azzurre e sabbie giallastre (**F.ne Terravecchia**);
- Breccie Argillose ("A.B. II")

### **Formazione Terravecchia (TRV – TRVA)**

Si tratta di una sequenza terrigena argilloso-sabbioso-arenacea; le argille marnose (**TRV**) hanno colore grigio-azzurro, stratificazione in tracce, marcata soltanto ove presenti livelli sabbiosi; le sabbie hanno colore giallastro, talora sono ben classate, e mostrano una composizione quasi esclusivamente quarzosa, le arenarie (**TRVA**) sono giallastre e si ritrovano in banconi separati da interstrati marnoso-sabbiosi poco compatti.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 21 di 351

ETÀ	FORMAZIONI	LITOLOGIA
PLIOCENE SUPERIORE	SABBIE SUPERIORI	Sabbie gialle o rosse a grana fine con intercalazioni di quarzareniti, lumachelle calcareniti
	ARGILLE MARNOSE DI GERACELLO	Argille marnose e siltose azzurre e grigio-giallastre
PLIOCENE INFERIORE - MEDIO	CALCARENITI DI CAPODARSO	Calcareniti giallo-rossastre alternate a sabbie e sabbie argillose
	MARNE DI ENNA	Marne e marne argillose grigie e azzurre
	ARGILLE BRECCIATE A. B. IV	Breccia ad elementi argilloso-marnosi e subordinatamente arenacei e calcarei, con blocchi di argille variegata, di calcari bianco-crema e di Calcare di base. Intercalazione di Trubi nella parte bassa e di Marne di Enna nella parte alta
	TRUBI	Marne bianco-crema a globigerine
MESSINIANO	GESSI	Gesso mm-ritmico e selenitico
	CALC. DI BASE TRIPOLI	Breccia calcarea con partimenti pelitici Alternanza di diatomite e marne
TORTONIANO	ARGILLE BRECCIATE A. B. II	Breccia formata da frammenti di argille brune, di marne grigie e più raramente di quarzarenite

**Figura 2.5 – Successione di riferimento (RODA, 1967)**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 22 di 351

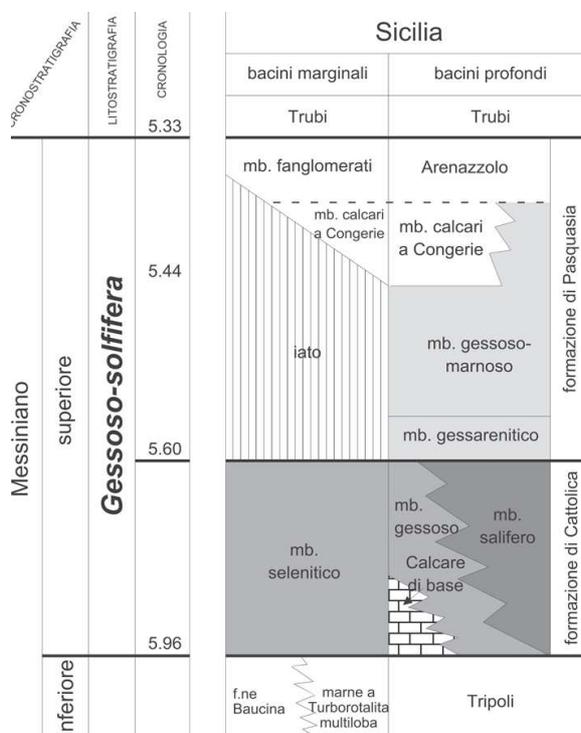
Dove presenti le intercalazioni arenacee sono messe in evidenza da una morfologia acclive, ben visibile lungo le incisioni fluviali. A luoghi sono anche presenti affioramenti calciruditi e calcarenitici a stratificazione incrociata relazionabile a correnti *trattive* che testimoniano un ambiente di deposizione fluvio-deltizio.

Le diverse facies che contraddistinguono la formazione presentano notevoli variazioni di spessore, testimonianza di una varietà degli apporti detritici connessi all'articolazione dell'ambiente deposizionale. La formazione Terravecchia poggia con contatto discordante sul Flysch Numidico ed è ricoperta a sua volta dalle Argille Brecciate (in letteratura note come "A.B. II"), dai depositi della Serie Gessoso-Solfifera e direttamente dalle marne ed arenarie plioceniche. L'età, indicata da microfane appartenenti alla cenozona a *Globorotalia menardii* di CATI et alii (1968), è Tortoniana.

### **Brecce Argillose "A.B. II" (TRVB)**

Al tetto della F.ne Terravecchia sono presenti brecce argillose, a stratificazione indistinta, contenenti esotici di dimensioni da decimetriche a centimetriche della Formazione di Polizzi e del substrato Numidico, denominate da OGNIBEN (1953-54) **A.B. II**. In generale si tratta di olistostromi a struttura caotica ed eterogeneamente costituiti da argille brecciate in matrice siltosa, marne e trovanti litoidi di natura prevalentemente quarzarenitica.

### **2.4.2. Successione del Messiniano (Gruppo della Gessoso - Solfifera)**



**Figura 2.6 – Gruppo della Gessoso - Solfifera**

La successione del Messiniano e/o serie Gessoso-Solfifera individua un complesso di depositi di età miocenica superiore comprendenti lenti di gesso, calcari solfiferi, salgemma e altri sali più solubili intercalati a depositi terrigeni che si ritrovano in tutta la Sicilia centro-meridionale.

Tale successione risulta costituita da sedimenti prevalentemente evaporitici di età Messiniana, compresi fra le marne e le argille del Tortoniano sup. e la formazione dei Trubi del Pliocene basale, deposti in corrispondenza della "crisi di salinità" che ha interessato l'area Mediterranea (DECIMA e WEZEL, 1971).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 23 di 351

In generale tale successione risulta costituita da due cicli sovrapposti (due episodi evaporitici) separati da una discordanza stratigrafica a carattere regionale.

La successione può essere, litologicamente, suddivisa in tre membri: **Tripoli** (diatomiti e peliti euliniche), **Calcarea di base** e "**gessoso**" (gessi, gessareniti, salgemma, etc.).

In Sicilia, l'ultimo membro, è stato a sua volta suddiviso informalmente in due formazioni (**Cattolica** e **Pasquasia**) corrispondenti a due episodi evaporitici distinti nell'ambito della crisi di salinità (complesso evaporitico inferiore e superiore).

La successione Gessoso-Solfifera, caratterizzata dall'estrema eterogeneità litologica, comprende sia facies evaporitiche di precipitazione primaria da acque marine e non-marine, sia facies clastiche.

Studi recenti suggeriscono che le evaporiti clastiche, derivanti dallo smantellamento e accumulo di evaporiti primarie in bacini relativamente profondi attraverso processi gravitativi, poggino sulla discontinuità intra - messiniana, risultando quindi più recenti delle evaporiti primarie.

Per quanto riguarda i bacini siciliani, la Gessoso-Solfifera comprende la F.ne di Cattolica. (gessi inferiori) e la F.ne di Pasquasia (gessi superiori).

### **Tripoli (TPL)**

Si tratta di una formazione diatomitica e marnoso/calcareo che si sviluppa alla base della serie gessoso – solfifera. In Sicilia la formazione è costituita da un'alternanza ritmica di strati diatomitici e marnoso calcarei di spessore decimetrico fino a metrico. Al suo interno è riconoscibile un *pattern* ciclico dato dalla sovrapposizione ordinata di tre litotipi: marne omogenee di colore grigio - verdastro, laminiti bruno-rossastre (**sapropel**), laminiti biancastre (**diatomiti**). Tale ciclicità sedimentaria, controllata dalle variazioni dei parametri orbitali, consente un eccellente controllo stratigrafico. In Sicilia centro-meridionale il Tripoli si trova al tetto della F.ne Terravecchia, con limite graduale tra le due unità. Il limite superiore della formazione è dato dal passaggio netto o, localmente, graduale ai depositi basali del Gruppo della Gessoso-Solfifera (nel bacino di Caltanissetta il Membro del Calcarea di Base della formazione Cattolica) e coincide con l'inizio della crisi di salinità messiniana. Secondo alcuni autori tuttavia l'unità avrebbe rapporti eteropici con il Calcarea di Base, dovuti all'articolazione morfostrutturale dei bacini durante il Messiniano. Nel sottosuolo, i livelli marnosi dell'unità sono ricchi di idrocarburi, gassosi e bituminosi. Localmente, possono intercalarsi a varie altezze del Tripoli straterelli di calcareniti tufacee; talvolta, sono presenti anche alcune intercalazioni di selce grigio-bruna.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 24 di 351

In generale la formazione risulta costituita da diatomiti bianche, sottilmente laminate, con microfaune oligotipiche discretamente abbondanti (per esempio associazioni a Globigerinoides obliquus), ricche di impronte di pesci. E' un deposito *pre-evaporitico* legato ad un ambiente marino a circolazione ristretta. Presenta facies differenti, distribuite in base alla posizione all'interno di un bacino di sedimentazione dal fondo articolato: a volte, infatti, si presenta costituito da diatomiti bianche fogliettate facilmente sfaldabili secondo piani paralleli, altre volte da un'alternanza di diatomiti compatte e sedimenti marnosi di color marroncino ricchi in foraminiferi (Messiniano Inferiore).

### **Calcari di base - Formazione Cattolica (GTL1)**

Con tale terminologia (*OGNIBEN 1957-58*) si indica la porzione basale della successione evaporitica siciliana. Tale formazione è costituita da calcari biancastri o grigiastri in strati e banchi massicci dello spessore 1 ÷ 15 m, caratterizzati dalla locale presenza di pseudomorfi di alite; il numero totale dei banchi calcarei varia generalmente tra 6 e 13; la geometria degli strati è grossolanamente lenticolare, a base irregolare, a tratti erosiva. I banchi principali sono alternati a livelli, aventi potenza da 30 ÷ 150 cm, costituiti da marne calcaree, calcari laminati, dolomie, o, più raramente, da gessi. Talvolta il passaggio dai banchi calcarei alle intercalazioni marnose si realizza tramite l'interposizione di ritmiti calcaree laminate. In altre situazioni i banconi calcarei presentano un aspetto brecciato; la natura di questa tessitura può essere imputata a collasso da dissoluzione di minerali o di interstrati evaporitici e/o a processi meccanici di tipo gravitativi (n.d.r. tale facies è stata riscontrata in corrispondenza della Galleria Naturale Caltanissetta – cfr. 11.1.1). In questo ultimo caso gli strati calcarei mostrano base erosiva, gradazione normale e una divisione gessarenitica, solitamente laminata, al tetto. L'unità è spesso ricoperta da depositi evaporitici laminati (gesso balatino), di natura clastica (gessareniti-gessosiltiti) e/o da precipitazione primaria. Lo spessore del Calcare di Base varia da 20 a circa 60 m per la differenza nel numero e nello spessore degli strati; si riduce, invece, a pochi metri in corrispondenza di una superficie di erosione intramessiniana; in sottosuolo l'unità è stata perforata per 70 m, con uno spessore massimo stimato di circa 80 m.

L'area tipo del Calcare di Base è il bacino di Caltanissetta e le sezioni di riferimento prossime al tracciato stradale possono essere rinvenute in prossimità del T.te Vaccarizzo -.Caltanissetta.

L'unità si trova al tetto del Tripoli, con passaggio netto o, talora, graduale (per ispessimento delle intercalazioni carbonatiche e scomparsa dei livelli diatomitici), oppure ricopre in discordanza direttamente la F.ne Terravecchia. Lateralmente e verso l'alto, essa passa ad un unità clastica, costituita da gessoruditi, gessareniti e calcareniti, messa in posto da processi gravitativi.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 25 di 351

Il Calcarea di Base ha un'origine evaporitica, in acque ipersaline nelle porzioni periferiche del bacino di Caltanissetta, con influssi di acque dolci, in ambiente ristretto e periodicamente soggetto a disseccamento; le condizioni paleoambientali sono in linea di massima confermate dalle analisi isotopiche anche se alcuni valori non escludono processi di riduzione batterica dei solfati.

Alcuni autori ipotizzano rapporti di eteropia tra il Calcarea di Base ed il Tripoli, connessi con l'articolazione morfostrutturale dei bacini: il primo deposto in corrispondenza degli alti strutturali del bacino, e il Tripoli nelle aree più depresse.

L'unità è considerata come un membro della F.ne Gessoso - solfifera. Nell'ambito del Progetto CARG l'unità viene riclassificata come membro della formazione di Cattolica, facente parte del gruppo della Gessoso-Solfifera.

In generale, in riferimento al territorio analizzato, tale formazione affiora a tratti, come il Tripoli, a causa della marcata giacitura lenticolare. Sono stati cartografati esclusivamente gli affioramenti di spessore compatibile con la scala del rilievo ho in grado di influenzare il tracciato stradale.

Spesso la formazione si presenta in grandi blocchi discontinui, mal stratificati, vacuolari ed intensamente fratturati; altre volte si presenta in banchi calcarei bianco-grigiastri a laminazione parallela. La presenza di cavità carsiche testimonia il lungo periodo di esposizione subaerea, subita dalla Serie Solfifera, conclusasi con la trasgressione dei Trubi. Spesso il calcarea è mineralizzato a zolfo a causa della presenza delle sottostanti formazioni Terravecchia e Tripoli, ricche di sostanza organica; quest'ultima sviluppava il metano (CH<sub>4</sub>), che risalendo riduceva il gesso mineralizzando il sottostante calcarea di base. Secondo BUTLER (*BUTLER et al., 1995*) il calcarea di base è un deposito relativo a zone di alto strutturale (vedi sopra), in cui, per la presenza di basse colonne d'acqua, si raggiungeva la concentrazione necessaria per la precipitazione dei carbonati. (Messiniano Inferiore)

### **Gessi - Formazione Cattolica (GTL2)**

Tale termine, da considerarsi come il *layer* apicale del Complesso Evaporitico Inferiore, non sempre risulta presente in quanto il Ciclo Evaporitico Superiore poggia, in maniera brusca e discordante, sui calcari di base. Nel complesso si tratta di gessi macrocristallini, caratterizzati dalla classica geminazione a coda di rondine oltre a livelli decimetrici a laminazione mm-ritmica alternati a varve argillose ed evaporitriche.

Sono rocce microcristalline sottilmente laminate con facies gessosa che prevale sulle peliti nei caratteristici strati varvati del tipo primario o gesso "balatino". Hanno colore bianco-grigiastro e sono

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 26 di 351

caratterizzate da laminazione piano-parallela. In alcuni affioramenti, in associazione al gesso primario è stato riscontrato gesso selenitico (o secondario) derivante o dalla trasformazione diagenetica del gesso primario o dalla idratazione di anidrite (OGNIBEN, 1957). Gli ammassi gessosi appaiono fortemente tettonizzati: lo smembramento è da relazionare alla fase tettonica infrapliocenica ed è stato agevolato dalla relativa rigidità della formazione rispetto alle unità incassanti. Per il litotipo in questione l'ambiente di deposizione si può ipotizzare o in corrispondenza della zona depocentrale oppure lungo i fianchi del bacino stesso, dove si interdigita con il calcare di base; quest'ultima zona risulta più propensa per la mineralizzazione a zolfo. Sono state riscontrate pieghe enterolitiche (foto 5) la cui presenza è attribuibile o a fenomeni di slumping sin-sedimentari o a trasformazione anidrite-gesso che comporta un'aumento di volume (Messiniano Inferiore).

### **Gessi - Formazione Pasquasia (GTL3)**

Sequenza di marne, marne argillose e argille marnose grigiastre alternate a livelli sabbiosi. Le argille spesso presentano fitte intercalazioni di lamine gessose alternate a gessareniti, torbiditi gessose e gesso balatino. (Messiniano superiore).

#### **2.4.3. Successione del Pliocene**

### **Trubi (TRB)**

Si tratta di una formazione marnoso-argilloso-calcareo (**TRB**) di ambiente marino aperto, sedimentata al tetto del Gruppo della Gessoso-Solfifera, al termine della crisi di salinità Messiniana, il contatto risulta generalmente concordante o paraccordante con i sottostanti termini del Gruppo della Gessoso-Solfifera.. Essa risulta costituita da un'alternanza ritmica di biomicriti, marne e calcari ricchi in plancton calcareo. Tali litotipi presentano colore variabile dal bianco al giallo e al bruno risultando per lo più privi di frazione terrigena; inoltre, si presentano in strati dello spessore di 20 ÷ 30 cm, ma possono raggiungere anche dimensioni metriche. La ciclicità litologica è controllata da variazioni periodiche dei parametri orbitali. Frequenti risultano le strutture deformative sin-sedimentarie (livelli caoticizzati - brecce intraformazionali). Localmente è possibile riconoscere differenti litozone, sulla base del colore più o meno scuro e della stratificazione. Lo spessore complessivo della formazione è dell'ordine dei 100 metri. La base dei Trubi giace sui depositi del Gruppo della Gessoso-Solfifera, generalmente rappresentati dal membro *Arenazzo* della "F.ne di Pasquasia"; il limite superiore dell'unità è invece dato da un passaggio rapido, ma graduale, ai depositi del Pliocene Inferiore.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 27 di 351

Dal punto di vista cronostratigrafico l'unità è riferibile allo Zancleano (Pliocene Inferiore) ed alla parte basale del Piacenziano (Pliocene Medio).

### **Brecce argillose - A.B. IV (TRBA)**

Con tale termine OGNIBEN (1953-54) individua i depositi argillosi costituiti da inserimenti olistostromici coevi o posteriori ai trubi. Si tratta, generalmente, di argille marnose brune, a struttura spiccatamente brecciata, *puddingoide*, talvolta scagliettata per la sovrapposizione di differenti piani di taglio; contengono abbondanti elementi *esotici* calcarei e gessosi. La formazione è concordante con i Trubi e si può riscontrare a letto, a tetto o intercalata ad essi.

In genere presenta un andamento lenticolare con potenze estremamente variabili e difficilmente valutabili. Nella zona indagata la formazione affiora abbondantemente con rapporti interstratigrafici diversificati: a letto dei trubi e delle marne argillose piacentiane, a letto dei trubi e degli affioramenti del gruppo della gessoso solfifera (calcari e gessi), ed infine direttamente a contatto della formazione tortoniana di base per effetto di una serie di dislocazioni a faglie verticali o subverticali inverse.

### **Formazione di Enna - Gruppo di Geracello (ENNA – ENNB)**

Marne e marne argillose grigio – azzurre, grigio – biancastre (**ENNA**) quando alterate, a tipica frattura concoide debolmente stratificate. Si tratta di una formazione prevalentemente pelitica riferibile al Pliocene medio in facies *piacentiana*. Tale formazione rappresenta la parte basale di un complesso eteropico, che comprende anche le sabbie e le calcareniti astiane (descritte in seguito), legato al progressivo riempimento del bacino di sedimentazione. La formazione costituita da marne e marne argillose generalmente compatte ed a volte con frattura concoide, contiene numerosi fossili di ambiente marino piuttosto profondo.

La sedimentazione di tale formazione avviene, anche se in presenza di una discordanza intrabacinale, in continuità con i sottostanti termini (Trubi), per poi passare, verso l'alto, ad una successione calcarenitica (Calcareniti di Capodarso). Il passaggio litostratigrafico in questione risulta caratterizzato da marcati rapporti eteropici.

Le Calcareniti di Capodarso (**ENNB**) affiorano diffusamente, lungo la cosiddetta monoclinale diretta di Enna-Caltanissetta con direzione prevalente E-O, e vengono evidenziate da imponenti fenomeni di erosione selettiva che ne determinano l'affioramento in coincidenza dei principali rilievi.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 28 di 351

Il termine più rappresentativo di tale unità è costituito da biocalcareniti bruno-giallastre a stratificazione tipicamente piano-parallela e laminazione incrociata, generalmente cementate e ricche di resti fossili (macrofauna ad ostreidi, pectinidi e molluschi in genere).

Le calcareniti rappresentano la tipica litologia di ambiente deltizio, come dimostrato dalle caratteristiche strutture di sedimentazione (laminazione incrociata), in cui si evidenziano apporti terrigeni. Il riempimento del bacino di sedimentazione è avvenuto in fasi sovrapposte, evidenziate in affioramento dall'alternanza di coppie di strati (lenti calcarenitiche – intercalazione argilloso sabbiosa).

Nell'insieme la formazione presenta una serie di lenti calcarenitiche, alternate e/o separate da livelli di sabbie e argille sabbiose. In particolare si evidenziano passaggi graduali a sabbie e sabbie siltose, verso il basso, mentre, verso l'alto, il passaggio ai livelli a maggiore componente siltoso – argillosa avvengono in maniera brusca.

#### **Argille marnose di Geracello - Gruppo di Geracello (GER)**

Si tratta di prevalentemente di argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi. Tale litoitpo poggia in discordanza stratigrafica sui sottostanti termini (Trubi, A.B. IV, Marne di Enna e Calcareniti).

Nella parte alta della formazione si osserva un progressivo aumento della frazione sabbiosa con passaggio graduale alle sabbie gialle della formazione sovrastante. Il passaggio è sempre graduale con parziali eteropie di facies. In vicinanza del Ponte di Capodarso si vedono le Argille marnose di Geracello passare lateralmente verso Nord a sabbie argillose con lenti ghiaiose ed intercalazioni arenacee, che poggiano in discordanza sulle Calcareniti di Capodarso.

#### **Sabbie di Lannari - Gruppo di Geracello (SLN)**

Le argille marnose di Geracello passano verso l'alto, in continuità di sedimentazione e gradualmente, a sabbie sciolte con intercalazioni di arenarie variamente cementate. Tale formazione è costituita da sabbie fini di colore variabile tra il giallo, il bruno chiaro ed il rosso, con stratificazione irregolare e con intercalati banchi cementati, messi in buona evidenza da fenomeni di erosione selettiva.

In generale si tratta di un complesso suprapliocenico riferibile al piano Astiano, di probabile origine deltizia, che segna il colmamento del bacino di sedimentazione. L'alternanza di sabbie e limi presenta intercalazioni arenacee in sedimentazione incrociata a geometria lentiforme con potenze variabili. Sono quasi sempre presenti fossili di malacofauna e di ambiente litorale che si presentano spesso molto rimaneggiati e risedimentati.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 29 di 351

### 3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

Nel presente capitolo sarà delineato il quadro geomorfologico generale del territorio su cui si sviluppa l'intero tracciato stradale, mentre lo studio particolareggiato, le specifiche criticità e l'interazione dell'infrastruttura con l'assetto geomorfologico sarà affrontato nello studio di dettaglio del tracciato. In appendice alla presente relazione sono riportate delle monografie dei dissesti individuati lungo il tracciato di progetto, che potrebbero interferire con le opere.

#### 3.1. GENERALITÀ

L'ambiente fisico nelle sue complesse articolazioni deve considerarsi come una "superficie – limite" sede delle interazioni tra i processi dinamici dell'atmosfera, dell'idrosfera e della litosfera. In generale i processi vengono suddivisi in **endogeni** ed **esogeni** cui corrispondono, come riflesso morfologico, forme **endogene** ed **esogene**.

Al primo gruppo corrispondono i processi direttamente legati ai fenomeni tettonici, sismici ed alla natura litologica delle superfici interessate; al secondo gruppo, corrispondono i processi legati all'atmosfera, all'idrosfera ed alla biosfera, comprendendo in quest'ultimo anche i processi connessi alle attività antropiche.

I fattori sopra sintetizzati, interagendo tra loro, concorrono alla definizione del quadro geomorfologico del territorio e del relativo gradiente evolutivo.

L'assetto morfologico della fascia di territorio interessata dal tracciato della strada in progetto è il risultato del modellamento realizzato dai diversi processi geomorfologici ad opera degli agenti **esogeni** sulle litologie affioranti e della interazione, come anticipato sopra, tra tali processi ed i processi **endogeni**, con particolare riferimento alle vicissitudini tettoniche oltre che con le variazioni climatiche susseguitesesi in epoca quaternaria che hanno determinato l'alternanza di sistemi morfo - climatici con caratteristiche mutevoli.

Nell'area attraversata dal tracciato stradale è possibile identificare nella litologia l'elemento di controllo e condizionamento primario del quadro evolutivo morfologico, tanto in relazione alle fasi tettoniche realizzatesi, quanto alla diversa natura e struttura dei litotipi interessati.

In corrispondenza dei differenti litotipi aventi proprietà fisiche e giaciture diverse e, quindi, differenti grado di resistenza all'erosione (*erosione differenziata*) e di attitudine al dissesto, gli agenti morfogenetici producono effetti differenziati originando morfotipi caratteristici e ben differenziati.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 30 di 351

In termini generali il territorio risulta caratterizzato dai seguenti litotipi, cui si associano morfotipi e forme strutturali ben caratterizzate, in grado di costituire areali morfologici ben distinti:

- **Litotipi litoidi:** si tratta, quasi esclusivamente, della Formazione Gessoso – Solfifera, con particolare riferimento, alle unità litoidi carbonatiche e gessose affioranti estesamente nelle C.de Grotta Rossa, Grotta d'Acqua e Favarella. Tali unità, intensamente tettonizzate si presentano variamente piegate e fagliate e si alternano a morfologie blande e modellate in corrispondenza degli affioramenti a maggior presenza argilloso-sabbiosa. Quanto sopra consente la formazione di rilievi, serre, falesie e testate rocciose di natura calcareo-gessosa, interessate da fenomeni di crolli, ribaltamenti, seppur di modesta entità, e caduta di detrito dalle pareti rocciose; piccoli colamenti si osservano, invece, nei versanti argillosi mentre la morfologia fluviale, in relazione alla permeabilità dei litotipi, si presenta blanda e poco sviluppata.
- **Litotipi plio-pleistocenici:** si tratta dei litotipi posti in testa alla successione litostratigrafica (cfr. § 2.4.3÷5) costituiti da una alternanza marnoso-arenacea con una netta prevalenza di volumi sabbiosi e calcarenitici, interessati da una tettonica plicativa blanda e *terminale*. La morfologia risulta in genere pianeggiante, ad eccezione degli assi di erosione fluvio – torrentizi spesso ben approfonditi, e poco interessata da fenomenologie gravitative profonde. Si evidenziano fenomeni di erosione differenziata (passaggi intraformazionali e/o formazionali) e limitate aree a degrado erosivo superficiale. Le C.de in questione (Pappazzo, Scalazza, Niscima, S. Elia) risultano, non a caso, quelle a maggiore urbanizzazione e sede di attività produttive ed estesa espansione urbana.
- **Litotipi argillosi:** i litotipi in questione, estesamente affioranti nel tratto terminale del tracciato (C.de San Filippo Neri, Busiti, Abbazia Santuzza, Anghillà, Imera) si caratterizzano per la quasi esclusiva presenza di alternanze a comportamento plastico aventi litologia argilloso-sabbiosa e argilloso-marnosa. Tali volumi risultano intensamente tettonizzati e alterati e sono sede di estesi fenomeni erosivi (ruscellamento diffuso con denudazione e calanchi), spesso evolventi in fenomeni gravitativi (colamenti/scorrimenti - creep) profondi. Il reticolo idrografico si presenta ben sviluppato e approfondito ed i *thalweg* sono dotati di un elevato indice erosivo. In generale inoltre, l'idrografia presenta un *pattern* dendritico con bacini ben incisi e gerarchizzati. In tale contesto, non mancano tuttavia limitate aree di affioramenti rocciosi (Cozzo Sgarlatti) tettonizzati e sede di fenomeni gravitativi complessi.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 31 di 351

- **Litotipi detritico-alluvionali:** i litotipi in questione occupano il fondovalle dei principali assi torrentizi e costituiscono l'esteso deposito alluvionale del F.me Salso. Si tratta di areali strettamente connessi alle dinamiche fluvio – torrentizie e caratterizzati dalle tipiche morfologie fluviali (meandri, sponde in erosione, calanchi) che, in funzione del substrato di riferimento, possono dar luogo a fenomeni gravitativi di diversa natura evolventi spesso con stile retrogressivo. I depositi detritici derivanti dal disfacimento fisico delle formazioni e dei pendii, seppur presenti e riscontrati in perforazione, sono stati cartografati estesamente solo nel settore centro – meridionale dell'areale studiato.

### 3.2. MODELLAMENTO DEI VERSANTI E TENDENZE EVOLUTIVE

Al fine di definire le dinamiche morfologiche in atto e quelle potenziali nella fascia di territorio interessata dalla realizzazione dell'asse stradale, ed inquadrare nel contempo le possibili tendenze evolutive si è proceduto alla caratterizzazione del territorio sulla scorta dei processi di modellamento prevalentemente in atto.

Il territorio è stato quindi suddiviso in zone omogenee in base al processo morfogenetico dominante. A tale scopo sono stati considerati i due principali tipi di modellamento alla cui azione sono direttamente imputabili le forme del paesaggio attuale: quello **fluvio-torrentizio** legato alle acque superficiali e quello dovuto all'azione della **gravità**.

Risulta evidente tuttavia che i due principali agenti morfogenetici interagiscono tra di loro, condizionandosi a vicenda, e che l'attività antropica è in grado di influenzare, talvolta pesantemente, l'entità e la *velocità* delle dinamiche morfologiche.

#### 3.2.1. Modellamento fluvio-torrentizio

Il modellamento fluvio-torrentizio è, per definizione, rappresentato dall'insieme delle fenomenologie legate alle azioni delle acque superficiali incanalate e non.

Nell'attuale insieme morfo-climatico l'acqua di precipitazione ed il suo scorrimento superficiale attraverso le successive azioni *organizzative*, rappresenta l'agente dominante il modellamento del rilievo, tanto per ciò che riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge ed i relativi fenomeni erosivi, quanto per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque incanalate ed organizzate in reticolo idrografico.

Le acque non incanalate (acque *selvagge*) originano forme erosive lungo i pendii, anche con acclività medio-bassa in relazione al litotipo di riferimento, dando luogo a fenomeni di ruscellamento dif-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 32 di 351

fuso, con estese forme di denudamento, a luoghi favorite da azioni antropiche non corrette, e formazione di rivoli e solchi aventi differenti profondità.



**Fig. 3.1 – Forme erosive calanchive**



**Fig. 3.2 – Forme erosive calanchive**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 33 di 351

Il successivo approfondimento di tali fenomenologie, in corrispondenza di litotipi a prevalenza coesiva, può dar luogo a particolari forme erosive legate tanto all'azione meccanica del ruscellamento quanto all'innescarsi di progressivi fenomeni gravitativi, spesso retrogressivi, che nel loro insieme prendono il nome di **calanchi** (Figg. 3.1 e 3.2).

La loro distribuzione, oltre che dalla litologia, è fortemente condizionata dalla esposizione, dalla giacitura e dalla acclività dei versanti. E' stato riscontrato in letteratura, e confermato anche in fase di rilievo, che tali forme risultano più frequenti sui versanti esposti a sud, dove si genera un microclima più caldo e asciutto, in grado di favorire, ed accelerare in taluni casi, la genesi di fratture di disseccamento.

Per quanto concerne le acque incanalate è stata rilevata una intensa azione erosiva nelle aste dei torrenti che attraversano l'area studiata con particolare riferimento agli affioramenti argillosi.

L'attività morfogenetica in tali valli, anche quando di piccola entità, si esplica attraverso l'erosione fluviale di fondo ma anche, e soprattutto, lungo le sponde dando luogo, spesso, a fenomeni di scalzamento al piede dei versanti e, conseguentemente, innesco di processi gravitativi profondi e/o superficiali lungo i pendii (Fig. 3.3).

Lungo il corso d'acqua del F.me Salso, in corrispondenza del tratto terminale del tracciato stradale, i processi morfodinamici sono regolati direttamente dalle dinamiche fluviali, il cui regime permanente consente un'alternanza di fenomeni erosivi e di sedimentazione.

In particolare, in relazione alla blanda pendenza ed alla limitata energia della corrente, ad eccezione dei fenomeni di piena, l'alveo risulta ben alluvionato e scorre all'interno di un'ampia piana alluvionale terrazzata con uno sviluppo sinuoso ed a tratti meandriforme.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 34 di 351



**Fig. 3.3 – Fenomeni erosivi fluvio-torrentizi gravitativi**



**Fig. 3.4 – Fenomeni erosivi-deposizionali del F.me Salso**

Lungo i margini esterni delle sponde, in corrispondenza delle occasionali e/o stagionali piene sono piuttosto frequenti i fenomeni erosivi di sponda che incidono sui depositi alluvionali terrazzati, nei tratti in cui il corso d'acqua è incassato in essi, mentre scalzano direttamente al piede i versanti nei tratti in cui il corso d'acqua incide le diverse formazioni litologiche (Figg. 3.3. e 3.4).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 35 di 351

Le forme di modellamento, ed in particolare le fenomenologie di denudamento operate dalle acque defluenti selvaggiamente, agiscono in modo differenziato in relazione al diverso litotipo ed al conseguente grado di alterabilità chimico – fisica e del differente grado di erodibilità. Anche in questo caso si è proceduto ad una primaria differenziazione dell'areale analizzato in funzione del diverso litotipo predominante:

- **Litotipi litoidi:** prevalentemente appartenenti alla Serie gessoso-solfifera e con versanti acclivi, a luoghi ripidi e scoscesi con pareti subverticali, linee di displuvio costituite da creste più o meno definite e zone di dorsali a morfologia arrotondata, le valli presentano profili trasversali a V più o meno ampi, talora asimmetrici; lungo i fronti gli ammassi rocciosi sono soggetti a degradazione meccanica e a fenomeni di crollo;
- **Litotipi plio-pleistocenici,** prevalentemente terreni arenaceo - sabbiosi a giacitura suborizzontale i versanti presentano la tipica morfologia tabulare in sommità, delimitata ai margini da pendii ripidi e scoscesi, tale morfologia si riscontra anche al passaggio intraformazionale con i termini prevalentemente coesivi; le valli sono, in genere, strette ed incise;
- **Litotipi argillosi** in essi il modellamento denudazionale da luogo a versanti generalmente poco acclivi a morfologia mammellonare, le linee di displuvio sono costituite da dorsali collinari a morfologia arrotondata, le valli presentano sezioni a V o a conca ampie, sono osservabili processi di erosione accelerata sia diffusa che incanalata, ruscellamento e denudamento superficiale diffuso. Nel settore ricadente a Nord di Caltanissetta, in coincidenza degli estesi affioramenti argillosi tettonizzati, i pendii si presentano molto più complessi e caratterizzati da pendenze mediamente elevate ed articolate in aree di contropendenze, anche in relazione alla natura argillosa ed alle vicissitudini morfo - tettoniche, spesso coincidenti con aree di erosione accelerata e/o veri e propri fenomeni gravitativi.
- **Litotipi detritico-alluvionali** in essi il modellamento denudazionale risulta limitato o assente mentre prevalgono le forme direttamente legate alle dinamiche fluvio-torrentizie. Nel detrito di versante a matrice pluvio-colluviale risultano invece intense le fenomenologie denudazionali e le forme gravitative di superficie.

In ragione dei processi erosivi sopra sintetizzati, l'areale analizzato risulta interessato dalla presenza di estesi depositi detritici la cui *potenza*, in sottosuolo, documentata dalle indagini geognostiche e geofisiche, raggiunge spessori dell'ordine di diversi metri. Tali depositi generalmente ri-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 36 di 351

maneggiati ed alterati possono, specie in coincidenza delle parti basali dei pendii, associarsi a lenti fenomeni gravitativi (creep).

Oltre a quanto sopra sono presenti diverse zone di accumulo recente ed attuale di fondovalle legate ai processi fluviali in atto costituite da depositi alluvionali sabbioso-limosi-ghiaiosi terrazzati ed in genere non coinvolti nelle dinamiche fluviali attuali di spessore variabile.

### 3.2.2. Modellamento gravitativo

Il modellamento operato dall'azione della forza di gravità si esplica lungo quei versanti caratterizzati da volumi di terreni rocciosi e/o sciolti, in precarie condizioni di equilibrio.

Tali condizioni sono da associare a cause **intrinseche** delle formazioni litologiche (stratificazione, assetto tettonico-strutturale, giacitura, caratteri fisico-meccanici, etc.) o **esterne**, come le pendenze dei versanti, l'intensità di precipitazione, le azioni sismiche, l'azione antropica etc, che operando unitamente e/o separatamente generano la mobilitazione di masse rocciose lungo i pendii.

Nella fascia di territorio attraversata dalla sede stradale i fenomeni gravitativi, nelle diverse forme e grado di intensità, sono ben rappresentati in tutti i litotipi ad eccezione delle coperture plio-pleistoceniche (prevalenza arenaceo-sabbiosa) generalmente a maggior grado di competenza e minor grado di tettonizzazione, ed all'interno delle coperture detritiche dove i prevalenti fenomeni denudazionali, legati alle acque, tendono ad approfondirsi coinvolgendo volumi più profondi.

In particolare il litotipo a maggior grado di erodibilità e conseguente coinvolgimento nelle dinamiche gravitative di versante risulta quello argilloso tettonizzato, estesamente presente a Nord di Caltanissetta e spesso denominato in letteratura con il termine **franiti** (*OGNIBEN*). In particolare il tracciato immediatamente dopo la galleria Caltanissetta, procedendo in direzione della A19 ricade in una zona (C/da San Filippo Neri e C/da Busita) delineata dalla presenza di creste ed avvallamento in litotipi argillosi in cui sono evidenti forme di erosione gravitativa, sebbene in prevalenza che interessano le coltri più superficiali.

Fenomeni gravitativi si riscontrano anche in coincidenza degli affioramenti litoidi tettonizzati della Gessoso-Solfifera ed in coincidenza di Cozzo Sgarlatti (Conglomerati-Arenarie-Marne).

Le fenomenologie osservate possono essere classificate secondo diverse tipologie, hanno estensione variabile e sono riconducibili a fenomeni di tipo localizzato e/o diffuso; in molti casi si tratta di fenomeni attivi o quiescenti con aree di parziale riattivazione.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 37 di 351

Le origini di tali fenomeni sono differenziate, e riconducibili tanto a cause **predisponenti** ovvero le stesse caratteristiche geologico-strutturali e geomorfologiche dei versanti (terreni sciolti con una maggiore propensione al dissesto, rapporti tra terreni sciolti e lapidei e relativa circolazione idrica sotterranea, drenaggio superficiale, pendenza dei versanti, etc.), quanto a cause **scatenanti** quali le condizioni climatiche (rapporti periodi aridi, periodi piovosi, intensità e concentrazione delle precipitazioni, etc.), gli scalzamenti al piede dei pendii da parte dei corsi d'acqua e le azioni antropiche etc.

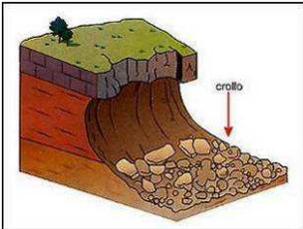
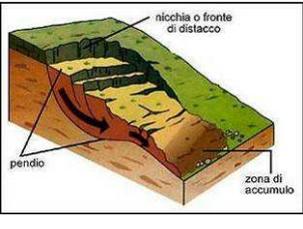
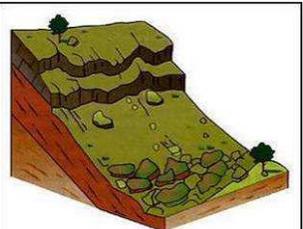
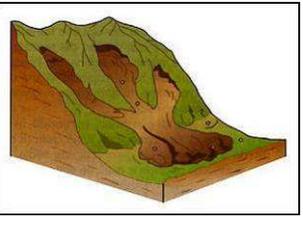
In tale contesto litologico non va dimenticato il controllo strutturale del territorio è lo stadio giovanile del rilievo, ancora in piena evoluzione, in cui i fenomeni franosi rappresentano un normale processo di modellamento ed evolutivo dei versanti.

I fenomeni gravitativi rappresentati nella carta geomorfologica di dettaglio sono stati cartografati mediante rilievi di superficie e analisi foto-interpretativa.

Al fine di caratterizzare le dinamiche gravitative nell'area dell'asse stradale e le eventuali modalità evolutive i fenomeni franosi sono stati classificati utilizzando la tipologia cinematica e secondo la classificazione di Varnes 1978 e successive integrazioni (Tab. 3.1).

Movimento	Rocce	Materiale coinvolto	
		Terre grossolane	preval. fini
<b>Crolli</b>	di roccia	di detrito	di terra
<b>Ribaltamenti</b>	di roccia	di detrito	di terra
<b>Scorrimenti</b>	rotazionali	di detrito	di terra
	traslazionali	blocchi	blocchi
<b>Espandimenti laterali</b>	di roccia	di detrito	di terra
<b>Colate</b>	di roccia	di detrito	di terra
<b>Frane complesse</b>	Combinazione di 2 o più tipi principali		

**Tabella 3.1 – Classificazione fenomeni franosi**

			
<b>Crollo</b>	<b>Scorrimento rotazionale</b>	<b>Scorrimento traslazionale</b>	<b>Colate terre</b>

**Tabella 3.2 – Fenomeni franosi a maggiore diffusione**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 38 di 351

In particolare sono stati distinti:

**Crolli:** gli eventi in questione coinvolgono singoli blocchi e/o ammassi di roccia e di detrito staccatisi da falesie o scarpate morfo-tettoniche, che si muovono in caduta libera, per salti per rimbalzi o per rotolamento; in tale classe sono compresi anche i ribaltamenti.

I fenomeni di crollo interessano essenzialmente i versanti calcarei e gessosi (Fig. 3.5), limitatamente anche le pareti arenacee plio-pleistoceniche e le formazioni di Cozzo Sgarlatti, a morfologia acclive e scoscesa o con pareti strapiombanti e sono favoriti dallo stato di fatturazione che interessa gli ammassi rocciosi. L'origine di questi processi è relazionabile al decadimento della resistenza al taglio lungo superfici preferenziali di debolezza che, intersecandosi vicendevolmente, isolano nell'ammasso roccioso blocchi e massi di svariate dimensioni che sul fronte di esposizione risultano disarticolati dall'ammasso retrostante. In seguito a tale azione si innesca un processo per cui via via che si staccano i singoli blocchi si accrescono i gradi di libertà di altri in origine stabili. Accumuli di blocchi sono disseminati anche ad elevata distanza dal piede delle pareti rocciose. La distanza cui essi si rinvengono non è tanto dovuta al meccanismo del crollo, quanto al fatto che il materiale di accumulo si inserisce in meccanismi di mobilitazione del versante quali *creep* o *colate*.



**Fig. 3.5 – Fenomeni gravitativi di crollo (Gessoso - Solfifera)**

**Scorrimenti:** tali fenomenologie (Fig. 3.6), per lo più coincidenti con gli affioramenti argillosi e di tipo rotazionale, comprendono alcune frane certe, per le quali è possibile riconoscere un movimen-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 39 di 351

to lungo superfici di rottura, talvolta complesse. Suddette frane possono avere spessori elevati dell'ordine anche di qualche decina di metri; lo stato di attività è spesso evidenziato da mobilitazioni di volumi rocciosi e dalla tendenza retrogressiva delle nicchie di distacco. Esse si realizzano in terreni caratterizzati da un elevato contenuto in materiali argillosi e la loro genesi è da attribuire allo scadimento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali in concomitanza con cause **scatenanti** esterne, come l'incremento delle pressioni neutre e localmente, in coincidenza di assi di drenaggio, con lo scalzamento al piede legato all'approfondimento lineare delle aste vallive.

A monte delle masse mobilitate è possibile individuare il ciglio di distacco o scarpata di frana di forma grosso modo circolare e lungo il corpo di frana limitati terrazzi di frana indicanti movimenti rotazionali; fessure di trazione aperte possono rinvenirsi al contorno della scarpata di frana; nelle zone rilevate si riconoscono spesso più superfici di rottura ad andamento retrogressivo, il fenomeno evolve, quindi, per regressioni successive della nicchia di distacco, che si realizzano in tempi successivi, coinvolgendo e mobilizzando, nel tempo, nuove porzioni di territorio.



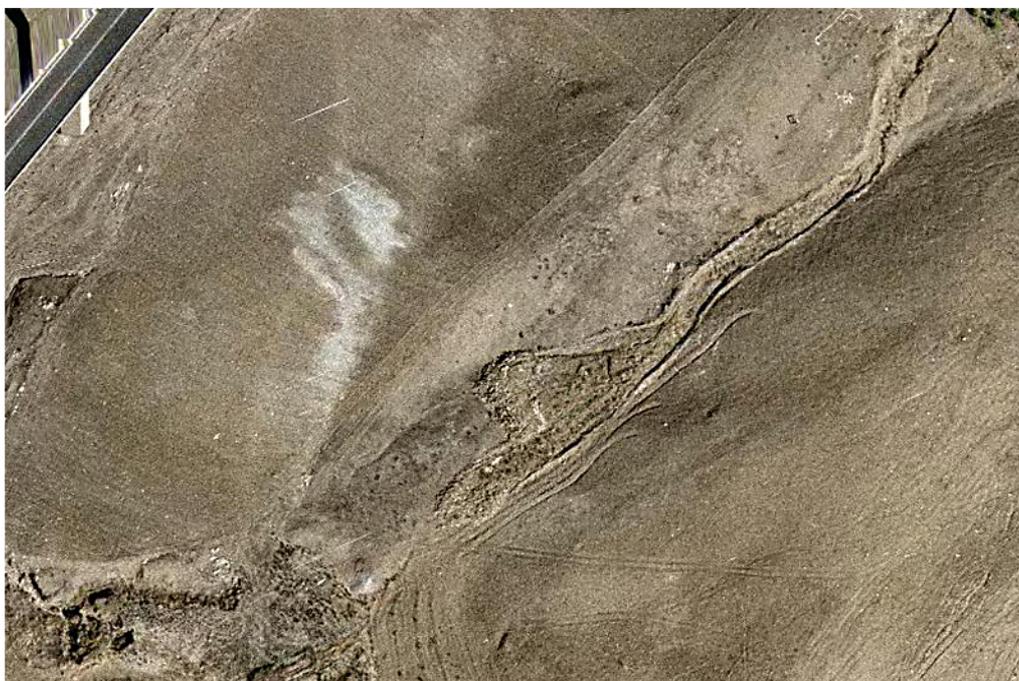
**Fig. 3.6 – Fenomeni gravitativi di scorrimento in C/da San Filippo Neri**

**Colamenti:** tali fenomenologie (Fig. 3.7) comprendono alcune frane lungo pendii argillosi che si realizzano attraverso movimenti a cinematica lenta e comportamento fluido-viscoso dei materiali, che scorrono lungo un *canale* di frana per centinaia di metri. I materiali coinvolti sono generalmen-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 40 di 351

te costituiti da una matrice argillosa fortemente degradata ed alterata, con inclusi *esotici* litoidi provenienti dai pendii a monte o facenti parte della formazione litologica (esotici tettonici). Il corpo delle colate è spesso distinto da numerose fessure. I movimenti, generalmente, hanno un andamento stagionale, con alternarsi di fasi di quiete nella stagione secca e fasi attive nella stagione piovosa, in dipendenza delle variazioni delle pressioni neutre.

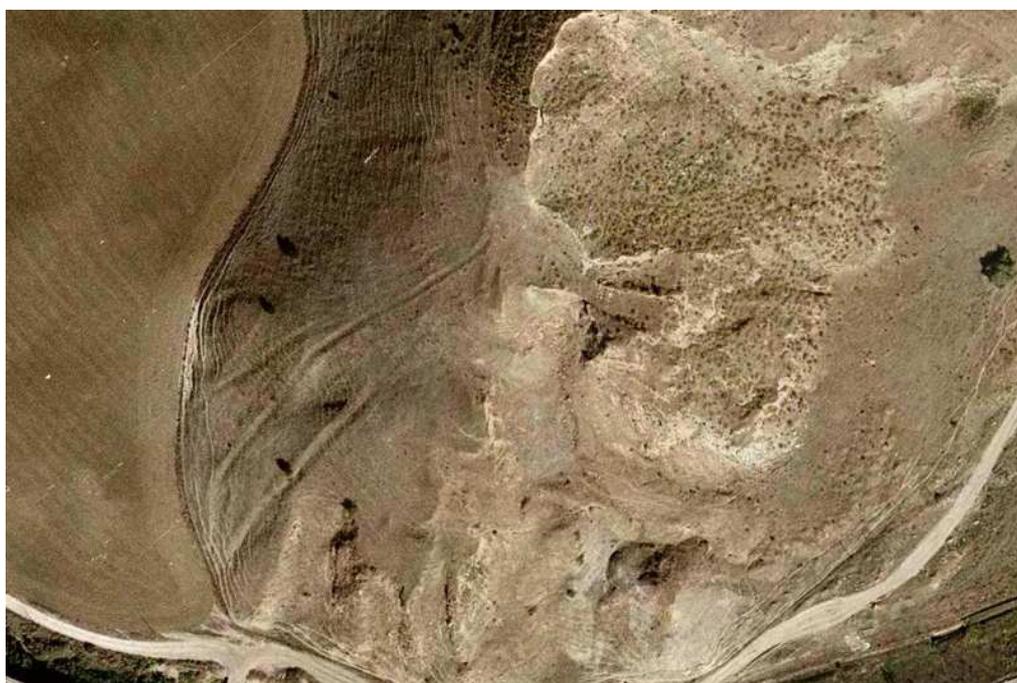
Tali tipologie, alquanto complesse e spesso mascherate, mostrano contorni non ben definiti in cui è talora possibile distinguere una zona di scarpata o di alimentazione, il canale di frana e la zona di accumulo generalmente in forma di lingua allungata. La nicchia di distacco è talvolta poco evidente, soprattutto se si tratta di frane antiche, la genesi del movimento va riferita alla diminuzione dei parametri di resistenza o per eccezionali incrementi di pressioni neutre, per il progredire di deformazioni di tipo viscoso, nel sovraccarico dovuto ad eventuali piccoli dissesti iniziali, nell'erosione operata dai corsi d'acqua al piede dei pendii; fenomeni simili si possono manifestare lungo i versanti coperti dal detrito di falda (**debris-flow**); lungo il canale di frana e nella zona di accumulo è possibile osservare una elevata quantità di blocchi, massi e frammenti lapidei in matrice argillosa. L'origine di tali processi non è spesso imputabile ad alcun singolo fattore, ma vi concorrono più concause, tra le più frequenti la degradazione, che alimenta continuamente la fascia di detriti, rendendone instabile il profilo ed appesantendo il pendio.



**Fig. 3.7 – Fenomeni gravitativi di colamento in C/da Busita**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 41 di 351

**Frane complesse:** comprendono quei fenomeni gravitativi in cui sono riconoscibili almeno due tipologie di movimento principali; generalmente un tipo di movimento predomina sugli altri; tra le frane complesse il movimento più diffuso è di tipo **scorrimento-colata**, derivante dalla mobilitazione in colata degli accumuli prodotti da precedenti scorrimenti. L'origine del dissesto può essere ricondotta, con buona approssimazione, ad un primario dissesto che ha formato il fronte della frana attuale e la nicchia di distacco. Successivamente la degradazione della superficie scoperta della nicchia ha incessantemente arricchito di detriti il corpo di frana che, grazie a questa alimentazione e a intermittenti riprese dei movimenti, in concomitanza con eventi meteorologici intensi, ha potuto progredire in senso longitudinale al pendio, alternando movimenti di apparente equilibrio a riprese del movimento. Oltre al tipo sopra sintetizzato è possibile anche un movimento di tipo **scorrimento-crollo** laddove affiorano alternanze litologicamente eterogenee (Fig. 3.8).



**Fig. 3.8 – Fenomeni gravitativi complessi (C.zzo Sgarlatti)**

**Franosità erosione diffusa:** in tale contesto sono stati identificati quelle aree in cui non è stato possibile individuare singoli corpi di frana ben definiti, ma nelle quali sono presenti elementi morfologici, geologici e vegetazionali tali da mettere in evidenza la presenza di molteplici movimenti gravitativi superficiali, spesso adiacenti o sovrapposti, verificatisi in tempi successivi o anche contemporaneamente. Nei versanti si individuano piccoli cigli di distacco, conche, rotture di pendio, contropendenze, depressioni, a volte acquitrinose, senza tuttavia evidenziarsi contorni di frana ben definiti. La velocità dei movimenti e l'entità delle deformazioni sono in genere piuttosto ridotte. In

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 42 di 351

tale contesto e possibile inserire anche le deformazioni plastiche superficiali di versante che si verificano lungo superfici di scorrimento discontinue e variabili con traslazioni lente e continue o senza vere e proprie superfici di scorrimento. Si riscontrano in genere su ampie porzioni di versanti argillosi, anche con limitate pendenze.

**Erosione accelerata e/o calanchi:** sono comprese sotto questa voce le aree in forte erosione, caratterizzate dalla scarsità di suolo e di copertura vegetale ad elevata densità di drenaggio; vi rientrano le aree a calanchi (Fig. 3.9) caratterizzate dallo sviluppo di minuscole vallecole ripide e spoglie, separate da creste aguzze, ove l'erosione favorisce l'accentuarsi delle incisioni che, regressivamente, si ramificano allungandosi, moltiplicandosi, fino a coprire l'intero versante a disposizione. Le aree caratterizzate da erosione accelerata comprendono le incisioni fluviali a forte erosione laterale e di fondo a seguito delle quale si verificano continui distacchi dalle sponde.



**Fig. 3.9 – Fenomeni gravitativi erosione accelerata/calanchi (zona esterna al tracciato)**

Nel complesso, in riferimento alla litologia dei terreni affioranti ed alle caratteristiche morfologiche del territorio, nell'area attraversata dalla sede stradale sono molto frequenti i fenomeni di dissesto di diversa tipologia ed estensione, di tipo localizzato o diffuso, profondi o superficiali.

Data l'estesa presenza in affioramento dei terreni a componente coesiva-argillosa risultano prevalenti i fenomeni a cinematica lenta che vanno dagli scorrimenti rotazionali e/o traslativi alla colate, alle frane complesse, alla franosità diffusa ed alle deformazioni superficiali plastiche lente.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 43 di 351

Nelle aree in cui affiorano le successioni lapidee (calcari – gessi – arenarie) si realizzano frane a cinematica veloce come crolli e ribaltamenti, la cui geometria è direttamente controllata dall'assetto strutturale (giunti tettonici) delle masse rocciose. Inoltre lungo i pendii posti a valle di falesie scarpate calcareo gessose sono possibili fenomeni di colate detritica o deformazioni superficiali che si attivano in conseguenza di eventi meteorici intensi e prolungati. Spesso tali colate detritiche rappresentano l'evoluzione di fenomeni di scorrimento e/o crollo avvenuti a monte nella zona di alimentazione della colata stessa.

In genere, fatta eccezione per i fenomeni di crollo, la maggior parte dei fenomeni attivi osservati evolvono in modo lento, subendo riattivazioni o improvvise accelerazioni in conseguenza di precipitazioni intense e/o interventi antropici; talvolta tali fenomeni si fermano o rallentano durante l'estate o nei periodi siccitosi per poi rimobilizzarsi durante l'inverno in conseguenza delle precipitazioni più abbondanti.

### **3.2.3. Modellamento antropico**

Nell'ambito dei processi di modellamento morfologico è stata inserita, come anticipato sopra, l'attività antropica che si è esplicata nel tempo attraverso la sovrapposizione di interventi dapprima agricoli, poi industriali – minerari e successivamente, ai nostri giorni, con processi prevalenti di urbanizzazione a scopo sia residenziale che industriale. Anche la *non azione* antropica, ovvero il continuo abbandono delle attività agricole e la conseguente *manutenzione* del territorio ha concorso, nel tempo, al deterioramento ed all'accelerazione dei processi erosivi in estesi areali, a causa del precedente denudamento del suolo privato dalla coltre di vegetazione naturale.

In generale è possibile affermare che tra gli effetti dell'attività antropica che più hanno contribuito all'alterazione fisico ambientale del territorio, vi è in primo luogo la modificazione artificiale degli strati superficiali connessa allo sviluppo dell'urbanizzazione (strade, edifici, rilevati, infrastrutture, serre ecc.). L'effetto si esplicita in modo particolarmente evidente nella modificazione dell'idrologia superficiale ed in parte sotterranea, che viene sensibilmente alterata soprattutto nei valori di punta.

Nelle zone a vocazione agricola, gli effetti negativi si esplicano soprattutto nell'incremento del coefficiente di deflusso e nella riduzione dei tempi di corrivazione delle acque superficiali, con conseguente aumento delle massime piene attendibili lungo i principali assi di deflusso.

Un altro importante fattore artificiale di degrado è legato all'innesco di fenomeni gravitativi in molti punti della rete viaria principale e secondaria. Nella maggior parte dei casi, si tratta di scorrimenti

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 44 di 351

rotazionali, o di cedimenti per instabilità del piede del corpo stradale. L'entità di tali dissesti, seppur spesso modesta, determina una elevata pericolosità e grado di rischio.

Lungo i versanti, soprattutto nelle zone più acclivi, sono diffusamente presenti problematiche connesse all'abbandono delle campagne; aspetto che rientra ovviamente in una più vasta questione che ha importanti risvolti socio-economici, da un lato, e agro-forestali dall'altra.



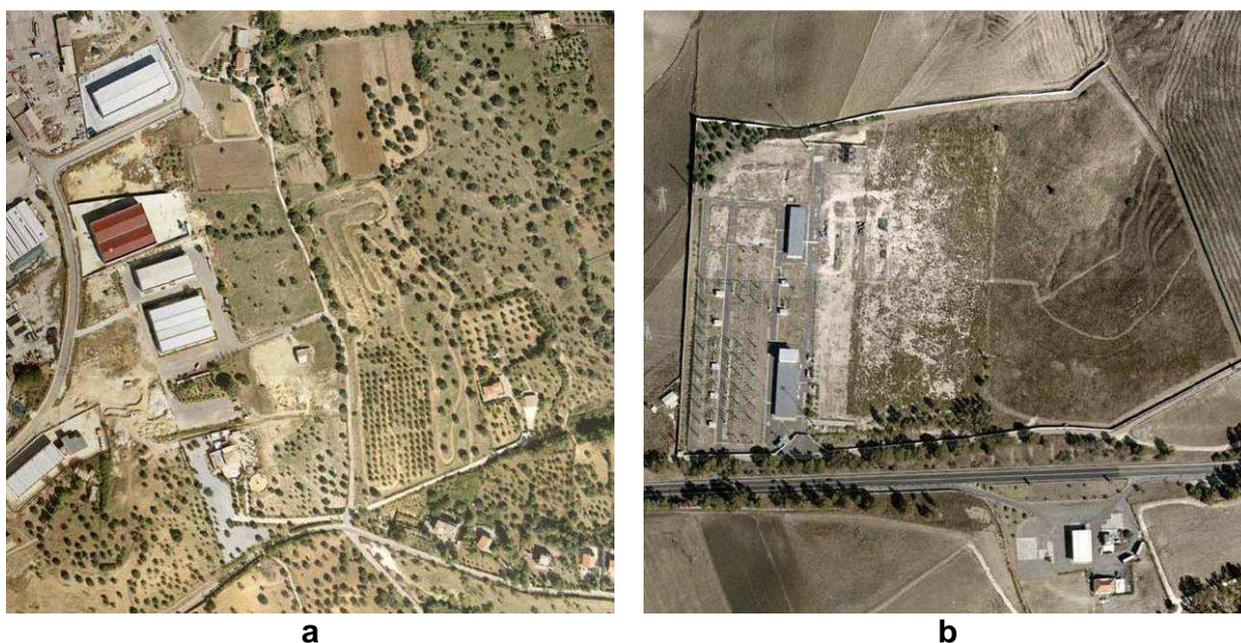
**Fig. 3.10 – Attività minerarie: Cave a) b) c) - Miniere d)**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 45 di 351

L'esodo dalle campagne (inteso come sostanziale cessazione di attività agro-pastorali stabili e come permanente presidio del territorio) ha determinato l'abbandono di tutte quelle forme di manutenzione ordinaria, in primo luogo, ma anche straordinaria, che consentivano alle diverse opere e sistemazioni di svolgere efficacemente una funzione di regimazione e controllo dei processi superficiali di versante.

Al fine di caratterizzare le dinamiche del degrado fisico – ambientale direttamente imputabili alle attività antropiche nell'area dell'asse stradale e determinare gli eventuali riflessi sul quadro morfologico d'insieme le attività antropiche sono state di seguito suddivise.

**Attività minerarie:** in tale macroarea sono state classificate le attività legate alle coltivazioni minerarie, ormai dismesse, ed alle cave in esercizio o abbandonate che operano in funzione delle diverse litologie affioranti. Risulta evidente l'azione particolarmente *impattante*, sugli equilibri morfodinamici dei pendii, di tali attività che, in taluni casi, favoriscono l'accelerazione e/o l'innescio di fenomenologie gravitative, in genere superficiali, ed interferiscono con le dinamiche idrauliche di superficie e sub-superficiali soprattutto quando ubicate nelle dirette pertinenze degli assi fluvio – torrentizi (Fig. 3.10).

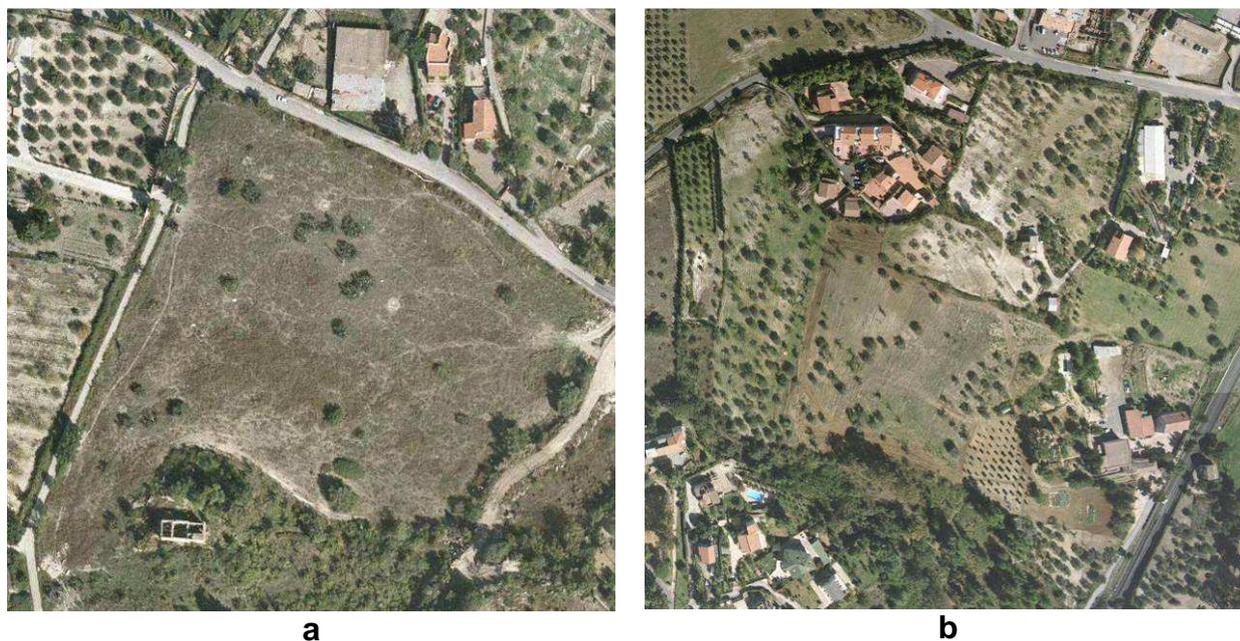


**Fig. 3.11 – Aree antropiche degradate**

**Degrado antropico:** in tale macroarea sono state cartografate quelle superfici occupate da attività antropiche in esercizio e/o dismesse (ex cave e/o discariche abusive, impianti produttivi, etc) che hanno generato un evidente degrado delle aree interessate e di quelle limitrofe. Anche in questo

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 46 di 351

caso possono ravvisarsi elementi di condizionamento dei naturali processi erosivi con accelerazione del denudamento e conseguente degrado morfologico dei livelli superficiali (Fig. 3.11).



**Fig. 3.12 – Aree denudate in ambito agricolo a) e residenziale b)**

**Aree denudate:** in tale macroarea sono state cartografate le superfici, per lo più ex agricole o interessate da urbanizzazione recente, che hanno comportato il denudamento delle superfici con la conseguente esposizione all'erosione accelerata di porzioni più o meno ampie del territorio (Fig. 3.12).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 47 di 351

## 4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

### 4.1. GENERALITÀ

Per quanto concerne il quadro idrogeologico generale la caratteristica peculiare dell'area interessata dal progetto di infrastruttura è rappresentata dalla prevalenza di sedimenti argillosi e argilloso-marnosi a coefficiente di permeabilità (**k**) molto basso o addirittura nullo se riferito alle possibili ricadute di ordine economico (possibili emungimenti).

Localmente, nelle aree poste a Sud, sono presenti rilievi di natura calcarea e gessosa a permeabilità elevata; mentre le coperture plio-pleistoceniche a prevalenza sabbioso-calcarenitica, mediamente permeabili e sede di circolazione idrica, occupano, con potenze variabili, la porzione mediana del tracciato. Nella porzione terminale dell'asse stradale i depositi continentali di tipo alluvionale, aventi permeabilità variabile in relazione alla prevalente granulometria, possono determinare le condizioni per una discreta circolazione idrica sotterranea.

Tali condizioni peculiari non determinano l'esistenza di una significativa circolazione idrica sotterranea omogenea e ben distribuita; quanto piuttosto la presenza di acquiferi localizzati ed isolati, talvolta sufficientemente estesi da garantire una circolazione idrica dalle discrete potenzialità.

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti, contestualmente al loro assetto strutturale, definiscono le condizioni favorevoli o meno alla genesi di idrostrutture in cui si instaurano falde significative ai fini dell'emungimento.

Con lo scopo di descrivere ed al contempo definire il modello idrogeologico del settore interessato dalla costruzione dell'infrastruttura sono stati distinti, sette complessi idrogeologici, indicando con essi l'insieme dei termini litologici caratterizzati da una dimostrata unità spaziale e giaciturale e analogo *range* di variabilità del coefficiente di permeabilità (**k**).

In tal senso è stata operata un'interpretazione idrostrutturale che ha combinato le informazioni derivanti dal rilievo geologico di superficie, dai dati piezometrici misurati in corrispondenza dei fori di sondaggio, dal censimento dei punti di emergenza idrica e dalla permeabilità dei litotipi.

### 4.2. COMPLESSI IDROGEOLOGICI

I complessi idrogeologici individuati e cartografati, a partire dal prodromico rilievo geologico, sono di seguito sintetizzati:

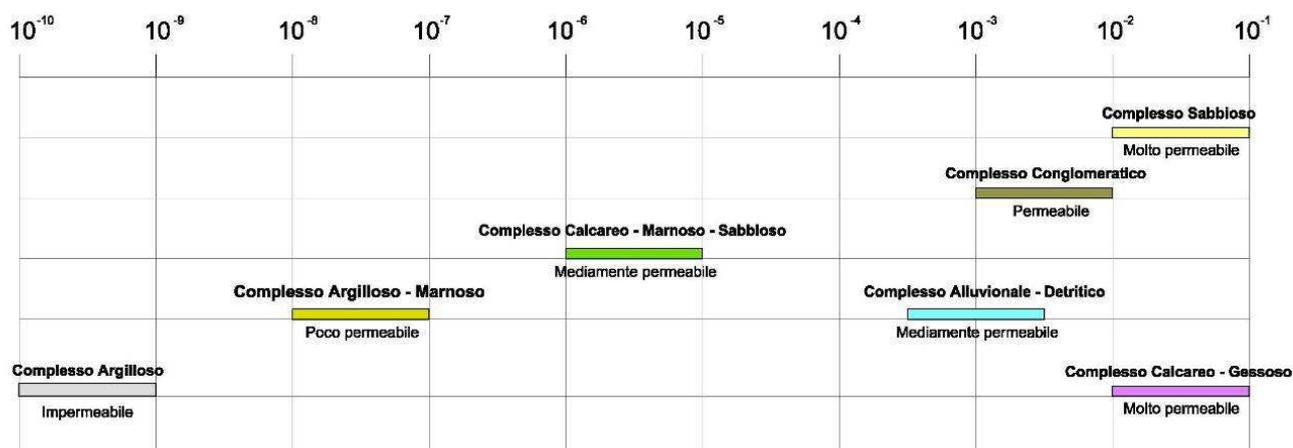
#### 1) Complesso argilloso;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 48 di 351

- 2) **Complesso argilloso-marnoso;**
- 3) **Complesso calcareo-marnoso-sabbioso;**
- 4) **Complesso alluvionale-detritico;**
- 5) **Complesso conglomeratico;**
- 6) **Complesso sabbioso;**
- 7) **Complesso calcareo-gessoso.**

A tali complessi sono stati associati, in via preliminare, i seguenti coefficienti di permeabilità e relativo grado (Tab. 4.1 – Tab. 4.2).

Coefficiente di permeabilità K (m/s)



Range di permeabilità dei complessi idrogeologici

**Tabella 4.1 - Grado di permeabilità dei complessi idrogeologici**

Porosità		Fratturazione	Impermeabile
Depositi continentali:	Alluvioni attuali	Calcareni della Terravecchia	Marne Argillose
	Alluvioni terrazzate	Calcari evaporitici	Argille Marnose
	Detrito	Gessi	Argille
	Sabbie	Trubi	Brecce Argillose
Sabbie plio-pleistoceniche, conglomerati			

## Tabella 4.2 - Tipologia di permeabilità

### 4.2.1. Complesso Argilloso

Comprende l'insieme delle formazioni argillose, prevalentemente tettonizzate, che costituiscono in genere la parte basale della successione litostratigrafica riconosciuta e cartografata.

In particolare il complesso comprende le seguenti formazioni a prevalenza coesiva-argillosa: Flysch Numidico (**FYN<sub>4</sub>**), Argille Variegate (**AV**), Brecce Argillose (**TRV<sub>B</sub>**), Argille Brecciate (**TRB<sub>A</sub>**).

Le argille sono caratterizzate dalla sostanziale assenza di una circolazione idrica degna di nota ad eccezione delle coltri superficiali alterate ed allentate che possono assumere una modesta permeabilità capace di favorire una circolazione idrica sub-superficiale e delle zone intensamente fratturate individuabili nelle fasce tettonizzate interessate da dislocazioni tettoniche e sovrascorrimenti (tale è il caso della zona interessata dalla Galleria Naturale Caltanissetta, meglio illustrato nel § 11.2, cui si rimanda), cui sono associabili a valori di permeabilità notevolmente più elevati ( $k \approx 10^{-5}$ ).

Nella norma, tale formazione assume il ruolo di limite o soglia di permeabilità nei rapporti con gli altri acquiferi con cui è a contatto. (Coefficiente di permeabilità:  $k < 10^{-9}$  m/s).

### 4.2.2. Complesso Argilloso-Marnoso

In questo complesso sono state unificate l'insieme delle formazioni a prevalente natura marnoso-argillosa, con a luoghi livelli sabbiosi e/o gessosi alterati. In particolare il complesso comprende le seguenti formazioni: Marne Argillose e Argille Marnose (**TRV**), Argille ed Argille Marnose (**ENN<sub>A</sub>**), Argille Marnose (**GER**), Sequenza marnosa (**GTL<sub>3</sub>**).

Tale complesso si caratterizza per la sostanziale assenza di una circolazione idrica degna di nota ad eccezione delle coltri superficiali alterate ed allentate che possono assumere una modesta permeabilità capace di favorire una circolazione idrica sub-superficiale, oltre ai volumi marnosi fratturati e non ancora alterati e alle zone intensamente fratturate individuabili nelle fasce tettonizzate interessate da dislocazioni tettoniche e sovrascorrimenti (tale è il caso, meglio illustrato nel § 11.2, cui si rimanda, della zona interessata dalla Galleria Naturale Caltanissetta), cui sono associabili a valori di permeabilità notevolmente più elevati ( $k \approx 10^{-5}$ ).

Nella norma, tale formazione assume il ruolo di limite o soglia di permeabilità nei rapporti con gli altri acquiferi, soprattutto quelli sabbioso-arenacei, con cui è a contatto (Coefficiente di permeabilità:  $10^{-8} < k < 10^{-7}$  m/s).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 50 di 351

### 4.2.3. **Complesso Calcarea-Marnoso**

In questo complesso sono state unificate l'insieme delle formazioni a prevalente natura calcarea - marnosa, con a luoghi livelli sabbiosi e/o alterati. In particolare il complesso comprende le seguenti formazioni: Marne Calcareae *Trubi* (**TRB**), Marne a Diatomiti *Tripoli* (**TPL**).

La permeabilità, relativamente bassa o nulla per porosità, è di grado medio per fessurazione in corrispondenza degli strati calcareao-marnosi i quali possono essere sede di limitati livelli acquiferi. Le intercalazioni argillose, difatti, interrompendo la continuità idraulica dell'acquifero danno luogo a locali emergenze idriche di limitata entità.

La circolazione idrica, localmente importante, risulta quindi fortemente condizionata dall'estensione e dal grado di fatturazione e porosità delle marne calcareae (Trubi). Talvolta la circolazione idrica può realizzarsi con il, sottostante strutturalmente, complesso calcareao-gessoso. (Coefficiente di permeabilità:  $10^{-6} < k < 10^{-5}$  m/s).

Anche in questo caso le zone intensamente fratturate individuabili nelle fasce tettonizzate interessate da dislocazioni tettoniche e sovrascorrimenti (tale è il caso, meglio illustrato nel § 11.2, cui si rimanda, della zona interessata dalla Galleria Naturale Caltanissetta) sono associabili a valori di permeabilità notevolmente più elevati ( $k \approx 10^{-5}$ ).

### 4.2.4. **Complesso Alluvionale Detritico**

Tale complesso riunisce i depositi continentali cartografati come Alluvioni attuali (**A**), Alluvioni terrazzate (**TF**) e Detrito (**DT**), quando presente in estensioni e potenze significative. La permeabilità è in genere medio – alta ed localmente condizionata dalla presenza della frazione limo-argillosa.

La porzione detritica comprende i terreni di copertura detritici, eluvio-colluviali e di riporto. E' costituito da frammenti e blocchi lapidei eterogenei, anche di grandi dimensioni, in matrice limo - sabbioso brunastro, con frammenti lapidei eterogenei. La permeabilità per porosità risulta media in relazione della granulometria e della percentuale di matrice sabbioso-limoso-argillosa.

La porzione alluvionale è costituita di sabbia limosa e limo sabbioso, di colore bruno, con ghiaia poligenica a spigoli arrotondati e trovanti litoidi eterometrici.

In C.da Favarella, in coincidenza di un consistente deposito, possono riconoscersi limitate falde superficiali alimentate direttamente dalle precipitazioni e dai ristagni d'acqua.

Nel settore terminale, in C.da Salso in coincidenza dell'omonimo asse fluviale, il complesso è presente con buona continuità e potenza (mediamente intorno ai 10 m), sostenuto in profondità dalle

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 51 di 351

Argille tortoniane (**TRV - TRV<sub>B</sub>**) ed ospita una falda strettamente legata all'alimentazione esercitata dal corso d'acqua. (Coefficiente di permeabilità:  $10^{-4} < k > 10^{-3}$  m/s).

#### 4.2.5. **Complesso Conglomeratico**

Questo complesso comprende gli isolati volumi conglomeratici, calciruditi e calcareniti, ben stratificati e fratturati che fanno riferimento alla F.ne Terravecchia (**TRV<sub>A</sub>**) e che affiorano nella parte terminale dell'areale studiato (settore Nord).

Il complesso si caratterizza per la presenza di una circolazione idrica ben sviluppata, in relazione alla potenza degli strati e del grado di fatturazione. In termini generali, tuttavia, vista la limitata estensione degli affioramenti non costituiscono un acquifero di interesse. (Coefficiente di permeabilità:  $10^{-3} < k > 10^{-2}$  m/s).

#### 4.2.6. **Complesso Sabbioso**

Il complesso in questione comprende le Sabbie di Lannari (**SLN**) e le Calcareniti di Enna (**ENN<sub>B</sub>**) che affiorano con continuità di superficie e potenza nel settore centrale dell'area analizzata (C.da Papazzo - C.da Sant'Elia).

Il complesso risulta sede di un modesto acquifero, sostenuto alla base dalle argille plioceniche (**ENN<sub>A</sub>**). La geometria dell'acquifero risulta estremamente variabile sia in senso orizzontale che verticale per la natura *eteropica* delle successioni interessate. Le falde in esso contenute sono per lo più modeste ed isolate lateralmente, e si trovano localizzate nei livelli sabbiosi. Da ciò deriva la presenza di un livello piezometrico poco uniforme ed un'oscillazione eterogenea. Mediamente i sondaggi e le letture piezometriche presentano una falda intorno ai 24 metri per Contrada Papazzo e circa 40 m dal p.c. per il settore della galleria Caltanissetta (C.da Sant'Elia).

La permeabilità è di grado medio-alto tanto per porosità quanto per fessurazione. La presenza di intercalazioni argilloso - sabbiose determina una circolazione discontinua, per cui possono rinvenirsi locali falde sospese di scarsa rilevanza in relazione alla limitata estensione degli affioramenti. (Coefficiente di permeabilità:  $k > 10^{-2}$  m/s).

#### 4.2.7. **Complesso Calcereo-Gessoso**

Il complesso in questione comprende i calcari di base (**GTL<sub>1</sub>** - calcari evaporitici) ed il membro dei Gessi selenitici (**GTL<sub>2</sub>** - gessi macrocristallini e gessareniti con intercalati livelli di argille gessose), che affiorano con continuità di superficie e potenza nel settore meridionale del settore analizzato (C.da Grotta Rossa e C.da Grotta d'Acqua). In profondità potenti orizzonti di brecce calcaree, in

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 52 di 351

facies di ripetuti slump, associate ai calcari evaporitici vengono attraversati in corrispondenza del cavo della Galleria Naturale Caltanissetta (cfr. § 11.3.1)

La permeabilità risulta estremamente variabile in relazione allo stato fisico tensionale della roccia, e risulta, generalmente molto bassa o nulla per porosità, mentre è di grado da medio-elevato per fessurazione in relazione alla frequenza ed alla distribuzione delle fratture. Le intercalazioni argillose interrompono la continuità degli acquiferi realizzando emergenze idriche di limitata entità.

Le falde presenti in tali complessi presentano quota piezometrica relativamente profonda, in genere  $\geq 30$  m dal p.c., ed un'importante circolazione idrica.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 53 di 351

## 5. MACROSISMICITA' DELL'AREA

### 5.1. GENERALITÀ

Il presente capitolo definisce il quadro macrosismico generale del territorio attraversato dall'asse stradale in progetto, nell'ottica di una complessiva macrozonazione sismica che abbia come fine ultimo la valutazione della pericolosità sismica, tanto in termini generali quanto in termini di singola opera d'arte da realizzare.

La pericolosità sismica del territorio definisce la probabilità statistica che si verifichi un evento tellurico di una data magnitudo, parametrizzata dalle serie storiche e statistiche, che viene definito come terremoto di progetto, la cui intensità, soprattutto in termini di danni attesi (Rischio-Vulnerabilità Sismica), è condizionata da locali fattori geologici, geomorfologici ed antropici, anch'essi parametrizzati in coefficienti progettuali introdotti dalla Normativa vigente (D.M. 14/01/2008).

### 5.2. ANALISI DELLA SISMICITÀ STORICA DEL TERRITORIO

Il territorio interessato da tale studio, ricade nel settore centro-meridionale dell'isola siciliana, in un contesto geostrutturale di catena a Falde sovrapposte legate alla genesi dell'orogene appenninico; in particolare, il territorio di stretto interesse risulta compreso nel settore mediano della "Falda di Gela" considerata, dall'attuale bibliografia scientifica, il fronte meridionale della catena siciliana.

In generale, si può affermare che la zona Nissena, strutturalmente, è compresa tra il settore occidentale e quello orientale dell'isola, le cui caratteristiche macrosismiche e tettonico-strutturali differenti definiscono due "regioni sismogenetiche".

#### 5.2.1. Settore orientale siciliano

In particolare il settore orientale si caratterizza per la presenza di macrostrutture sismicamente attive e ben differenziate: l'Avampese Ibleo a SE; la Catena costiera a N; ed il massiccio etneo, ad ovest, attraversato da tre sistemi di faglie a direzione prevalente NO-SE, NE-SO ed E-O, che continuano nella catena costiera e che sono stati attivi fino al Pleistocene sup.

La regione costiera settentrionale risulta molto attiva con terremoti di  $M \geq 7$  e periodo di ritorno di circa 70 anni; la regione Iblea, Avampese, anch'essa molto attiva, con terremoti aventi magnitudo comparabili o maggiori con periodi di ritorno più lunghi (300 a). La sismicità etnea, caratterizzata da magnitudo medio – basse, anche se con ipocentri relativamente poco profondi, non sembra avere un'influenza diretta sui territori analizzati.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 54 di 351

Oltre a tali aree "continentali" vanno considerati i settori ricadenti all'interno del bacino meridionale del Tirreno.

In termini di episodi parossistici, il settore orientale, si caratterizza per la frequenza di accadimento dei terremoti più significativi di tutta la regione (intensità massima I = XI MCS), tra i quali si ricordano gli eventi sismici del 1169 e 1693, che hanno provocato distruzione nell'area iblea e nel catenese e l'evento storicamente più vicino Messina 1908 (Fig. 1.1), con magnitudo 7.2 Richter e XI-XII Mercalli.



Figura 5.1 – Epicentro terremoto 1908

### 5.2.2. Settore occidentale siciliano

La sismicità della Sicilia occidentale e i dati di tettonica recente permettono di individuare, all'interno di tale macrosettore, delle "subzone" o aree caratterizzate da un differente comportamento sismotettonico.

In particolare, tra Palermo e Termini Imerese (Area Tirrenica) la sismicità potrebbe essere associata sia alle faglie trascorrenti del Sistema Sud - Tirrenico che alle strutture distensive responsabili del sollevamento della catena costiera.

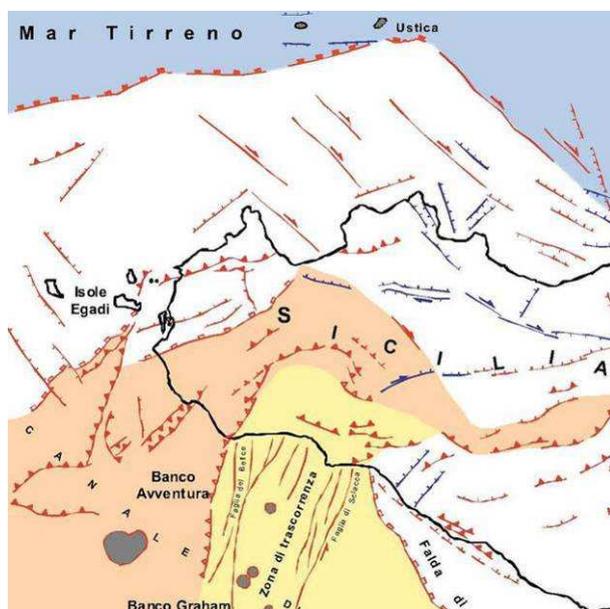
La zona sismogenetica di Corleone si manifesta con sequenze sismiche di bassa energia. I pochi eventi conosciuti hanno aree di avvertibilità limitate che indicano strutture sismogenetiche superficiali.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 55 di 351

La zona simogenetica del Belice, in cui sono localizzati gli eventi sismici del 1968, può relazionarsi sia con il proseguimento in terra della zona di trascorrenza presente nel Canale di Sicilia sia con strutture di rotture lungo una rampa di thrust cieco al di sotto della sinclinale del Belice. I meccanismi focali proposti da vari autori mostrano soluzioni variabili da trascorrenti pure a transpressive a inverse pure, non permettendo di individuare specifiche strutture sismogenetiche.

Lungo la zona meridionale, la sismicità si manifesta con sequenze sismiche di bassa energia ma di lunga durata che interessano quasi esclusivamente Sciacca, talvolta in concomitanza con l'attività vulcanica del Canale di Sicilia.

La zona costiera Egadi – Trapani - Mazara, si caratterizza per la presenza di una sorgente associabile all'attività del thrust delle Egadi o delle faglie che lo dislocano. (Tab. 5.1; Fig. 5.2).



**Figura 5.2 – Schema strutturale Sicilia occidentale**

Nel Settore occidentale, sebbene gli eventi sismici siano caratterizzati da magnitudo minori rispetto a quello orientale, vanno ricordate le sequenze sismiche del 1968 che hanno prodotto ampie devastazioni (I= IX-X MCS) per il verificarsi di numerosi forti scosse nel giro di pochi giorni, riconoscendo pertanto l'area della Valle del Belice come sismica solo in seguito al verificarsi di tali eventi. Questo accade quando si hanno periodi sismici con forti terremoti, alternati a lunghi periodi di quiescenza (migliaia di anni).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 56 di 351

### 5.2.3. Sismicità dell'area Nissena

Quanto sopra, definisce una macro area (Bacino di Caltanissetta) soggetta al "carico sismico" di diverse "regioni sismogenetiche" (Fig. 5.3) con terremoti diversi sia in termini focali che di sorgente, legati all'attiva tettonica regionale, e caratterizzati da elevate intensità e frequenze di accadimento variabili. Il territorio in esame quindi, non è da considerarsi come una regione sismogenetica (Tab. 5.1 – 5.2).

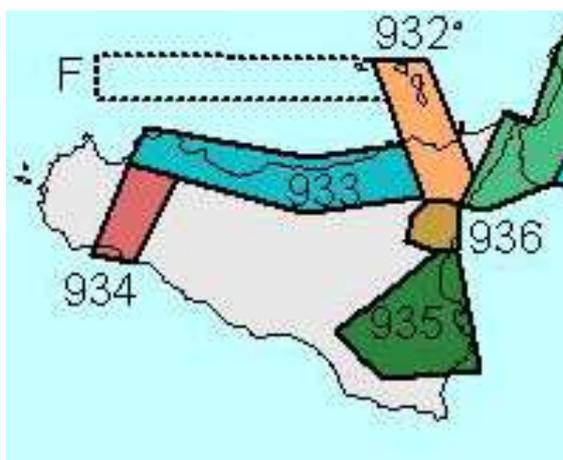


Figura 5.3 – Aree sismogenetiche siciliane (Zonizzazione Z69)

In particolare, nel Rapporto Conclusivo relativo alla redazione della mappa di Pericolosità sismica (Ord. P.C.M. 3274 - 2003) è contenuta la zonizzazione sismogenetica del territorio italiano (Z69 – Fig. 8). Tale zonizzazione, condotta tramite analisi cinematica degli elementi geologici cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale ha definito, per l'area siciliana le seguenti aree sismogenetiche (Fig. 1.3 – Tab. 1.1):

- **936 Etna**, sismicità associata a fagliazione superficiale e all'attenuazione del moto del suolo tipica di un ambiente vulcanico;
- **935 Iblei**, settore direttamente legato alla scarpata ibleo – maltese ed alle maggiori linee di discontinuità come la Scicli – Ragusa, responsabile dell'evento sismico del 1693.
- **934 Belice**, i caratteri sismo genetici di tale zona riconducibili all'unica e grande sequenza sismica del gennaio 1968 nell'area del Belice;
- **933 Sicilia Settentrionale**, tale zona è comunemente ritenuta avere carattere prevalentemente trascorrente (Linea **M.te Kumeta – Alcantara**). In questa zona i principali eventi sismici sembrano essere localizzati sulla costa e pertanto la sismicità andrebbe attribuita alla ZS F, molto superiore al quella della costa siciliana settentrionale e del suo

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 57 di 351

immediato offshore;

- **932 Eolie - Patti**, area definita sulla scorta esclusiva di esplorazioni geofisiche profonde e legata ad una zona di "svincolo" con arretramento del dell'arco calabro e delle strutture sintetiche che segmentano il golfo di Patti.

Zona	N. eventi Md ≥ 2.0	N. eventi Md ≥ 2.5	N. eventi Md ≥ 3.0	Magnitudo Md Max	Classe di Profondità	Profondità efficace (Km)
932	277	194	55	6.14	12 - 20	13
933	413	162	44	6.14	8 - 12	10
934	8	6	3	6.14	8 - 12	10
935	43	34	6	7.29	12 - 20	13
936	374	283	67	5.45	1 - 5	3

Tabella 5.1 - Sintesi aree sismogenetiche

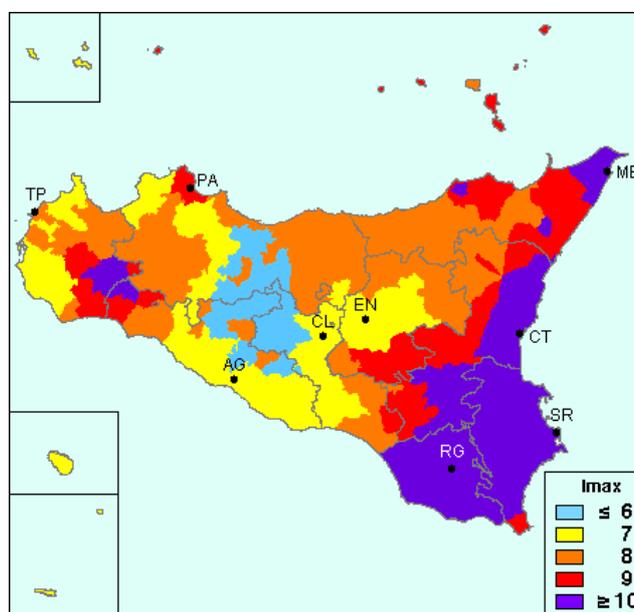


Figura 5.4 – Massima intensità Sicilia (INGV)

Per l'area nissena le seguenti tabelle (Tab. 5.2 – 5.3) sintetizzano gli eventi sismici di maggiore entità.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 58 di 351

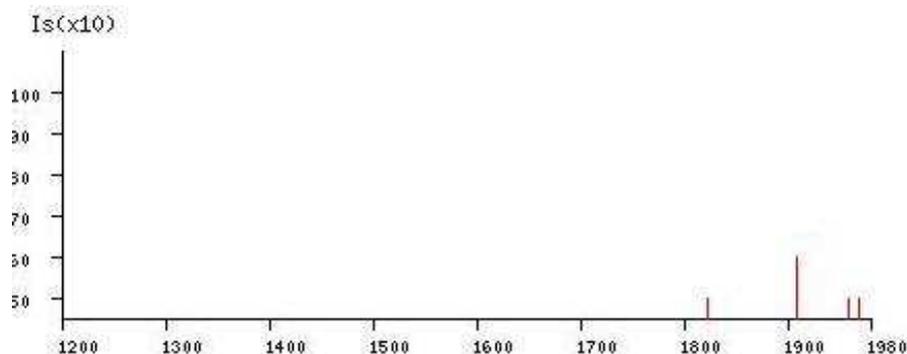
Comune	Lat	Lon	I max
ACQUAVIVA PLATANI	37.57153	13.70284	≤ 6
BOMPENSIERE	37.47221	13.78185	≤ 6
BUTERA	37.18796	14.18390	7
CALTANISSETTA	37.51104	13.71363	≤ 6
CAMPOFRANCO	37.51104	13.71363	≤ 6
DELIA	37.35699	13.92736	≤ 6
GELA	37.07099	14.24023	8
MARIANOPOLI	37.59787	13.91538	≤ 6
MAZZARINO	37.30464	14.21694	8
MILENA	37.47063	13.73563	≤ 6
MONTEDORO	37.45418	13.81548	≤ 6
MUSSOMELI	37.57784	13.75336	≤ 6
NISCEMI	37.14689	14.38920	9
RESUTTANO	37.67917	14.02999	8
RIESI	37.28233	14.08321	7
SAN CATALDO	37.48483	13.98916	≤ 6
SANTA CATERINA VILLARMOSA	37.58988	14.03174	7
SERRADIFALCO	37.45610	13.88141	≤ 6
SOMMATINO	37.33304	13.99246	7
SUTERA	37.52377	13.73314	≤ 6
VALLELUNGA PRATAMENO	37.68243	13.83084	≤ 6
VILLALBA	37.65352	13.84343	≤ 6

**Tabella 5.1 - Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Caltanissetta**  
 (<http://emidius.mi.ingv.it>)

Data Anno	Effetti Is (MCS)	Epicentro	Ix	Ms
1908	60	CALABRO MESSINESE	110	73
1823	50	SICILIA N. OCC.LE	85	59
1959	50	PIANA DI CATANIA	65	47
1968	50	VALLE DEL BELICE	100	59
1967	45	SPERLINGA	80	51
1848	30	AUGUSTA	85	55
1978	30	GOLFO DI PATTI	80	61

1934	20	MADONIE	65	46
1818	NF	MADONIE	75	52
1819	NF	CASTELBUONO	75	52
1977	NF	MISTRETTA	65	40
1980	NF	MODICA	55	40

**Tabella 5.2 - Osservazioni sismiche disponibili per Caltanissetta**  
 (<http://emidius.mi.ingv.it>)



**Figura 5.5 – Storia sismica di Caltanissetta** (<http://emidius.mi.ingv.it>)

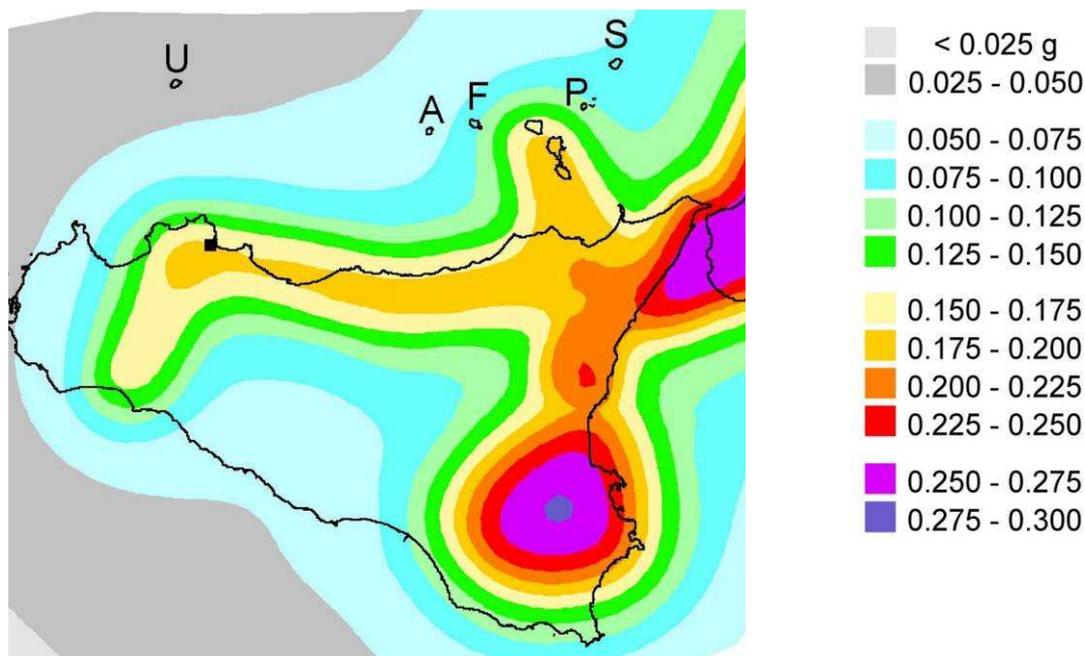
### 5.3. PERICOLOSITÀ SISMICA

La Pericolosità Sismica (Seismic Hazard) viene definita come il probabile livello di scuotimento del suolo associato al verificarsi di un terremoto ed è rappresentata dalla **frequenza** e dalla **forza** dei **terremoti** che lo interessano, ovvero dalla sua **sismicità, diretta o indiretta**.

In particolare, il parametro di cui si è tenuto conto, anche nella successiva Normativa Sismica (D.M. 14/01/08 e s.m.i. vedi successivi paragrafi), tiene conto dell'accelerazione massima ( $a_{max}$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Il tracciato in oggetto ricade del tutto tra le classi 3 ÷ 5, cui corrispondono valori di accelerazione massima ( $a_{max}$ ) **0.050 ÷ 0.125** calcolati su un suolo di riferimento di tipo **A**.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 60 di 351



**Figura 5.6 – Pericolosità sismica, 50°percentile  $a_{max}$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni**

#### 5.4. RISCHI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

L'amplificazione sismica è la prima causa dei danni agli edifici durante un terremoto, molto più della grandezza stessa del terremoto. Un esempio notevole di amplificazione sismica si è avuto in anni recenti, il 19 settembre 1985, quando un terremoto "medio" (M=6.6) colpì il Messico Centrale producendo danni modesti vicino all'epicentro, ma provocando il crollo di 400 palazzi a Città del Messico, distante 240 km dall'epicentro. Analisi successive hanno mostrato come Città del Messico sia costruita su di un bacino sedimentario la cui frequenza, circa 1 Hz, è identica a quella dei palazzi di 10 piani che risultarono essere i più danneggiati dal terremoto. Allo stesso modo, il terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908 (M=7.2) distrusse il 95% delle case di Messina ma lasciò praticamente intatte tutte quelle costruite su roccia e quindi non soggette a amplificazione sismica.

I danni causati dal terremoto e la geologia locale risultano essere in stretta relazione; in particolare, la morfologia superficiale e profonda, il regime delle acque sotterranee, la costituzione del sottosuolo e le proprietà dinamiche dei terreni rappresentano fattori che possono fortemente condizionare l'entità degli effetti in superficie di un sisma. Lo studio del territorio assume perciò enorme importanza per la valutazione dell'esposizione al rischio sismico, in particolare nelle aree critiche dal punto di vista della concentrazione urbana, del patrimonio artistico o delle attività industriali.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 61 di 351

Per quanto riguarda l'area in esame, lo studio sismico effettuato (elaborato di progetto GE208GI12ZRH001B), che ha classificato i suoli che costituiscono l'intero tracciato nella categorie B e C, i profili geologici ricostruiti tramite le indagini dirette e indirette, la situazione macrosismica delineata e le indagini svolte sul rumore sismico (Noise – v. elaborato 000GE209GT03ZIG013B "All. B Indagini Geofisiche - 2 fase") escludono che possano aversi lungo il tracciato forti contrasti di impedenza sismica che diano adito a rischi di amplificazione sismica.

## 5.5. ANALISI DELLA NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CONFRONTO CON LE PRECEDENTI

Sulla scorta di tali informazioni ed alla luce di quanto previsto dal **D.M. LL.PP. 23/09/82** il territorio Nisseno era inserito, ad eccezione di tre comuni, tra le zone non classificate sismiche (**N.C.**); la successiva **Ord. P.C.M. 3274** (2003) recepita, in Sicilia, attraverso il **Decreto Regione Siciliana del 15/01/04** recante la "Nuova Classificazione Sismica della Regione Siciliana", pubblicato nella G.U.R.S. del 13/02/04, n. 7 Parte I, classificava il territorio in prevalente **Zona 4**, ad eccezione di alcuni comuni, cui sono stati successivamente associati i valori di accelerazione ( $a_{max}$ ) per suoli di tipo **A**, alla luce dell'**Ord. P.C.M. 3519** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Fig. 1.7, Tabb. 1.4 – 1.5 – 1.6).

	<b>Classificazione sismica</b> (decreti fino al 1984)	<b>Ord. P.C.M.</b> n°3274 del 20/03/03	<b>Classificazione sismica Regione Sicilia</b> (G.U.R.S. del 13/02/04, n. 7 - I)
Acquaviva Platani	N.C.	4	4
Bompensiere	N.C.	4	4
Butera	N.C.	3	3
Caltanissetta	N.C.	4	4
Campofranco	N.C.	4	4
Delia	N.C.	4	4
Gela	II	2	2
Marianopoli	N.C.	4	4
Mazzarino	N.C.	3	3
Milena	N.C.	4	4
Montedoro	N.C.	4	4
Mussomeli	N.C.	4	4
Niscemi	II	2	2
Resuttano	II	3	2
Riesi	N.C.	3	3
San Cataldo	N.C.	4	4
S. C. Villamosa	N.C.	3	2
Serradifalco	N.C.	4	4
Sommatino	N.C.	4	4
Sutera	N.C.	4	4
Vallelunga Pratameno	N.C.	4	4
Villalba	N.C.	4	4

**Tabella 5.3 - Classificazione sismica Provincia di Caltanissetta (Legislazione a partire dal '84)**

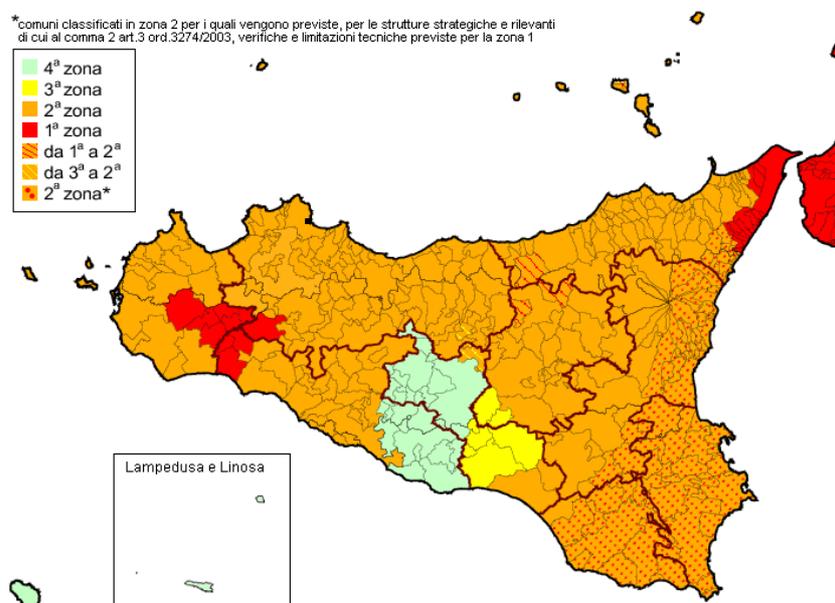
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 62 di 351

Grado di Simicità (L. 64 del 02/02/74)	Coefficiente sismico (C) (D.M. 16/01/96)	$C = S - 2 / 100 = a/g$
Sismicità alta <b>S = 12</b>	<b>0.10 a</b>	
Sismicità media <b>S = 9</b>	<b>0.07 a</b>	
Sismicità bassa <b>S = 6</b>	<b>0.04 a</b>	
N.C.		

**Tabella 5.4 - Grado di Sismicità e relativo Coefficiente**

ZONA	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ )	Accelerazione orizzontale max convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g$ )
1	$0.25 < a_g \leq 0.35 \text{ g}$	0.35 g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 \text{ g}$	0.25 g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 \text{ g}$	0.15 g
4	$\leq 0.05 \text{ g}$	0.05 g

**Tabella 5.5 – Accelerazione al suolo (Ord. P.C.M. 3519 - G.U. 11/05/2006 n. 108)**



**Figura 5.7 – Classificazione sismica regione Sicilia**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 63 di 351

<b>Comune</b>	<b>Classificazione sismica Regione Sicilia</b> (G.U.R.S. del 13/02/04, n. 7 - I)
<b>Caltanissetta</b>	4
<b>Serradifalco (CI)</b>	4
<b>Corfidato - Enna</b>	2
<b>S. C. Villamosa (CI)</b>	2
<b>Villarosa (En)</b>	3

**Tabella 5.6 - Classificazione sismica dell'intero tracciato del Lotto 2 della SS 640**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 64 di 351

## 6. CAMPAGNE GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Si riporta nel 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 e Fase 2 e 2011 Fase 3). Per quanto riguarda la descrizione delle scelte, dei criteri di programmazione delle indagini, dei relativi risultati si rimanda alle Relazioni Tecniche descrittive delle indagini, che costituiscono degli elaborati a parte, distinti dalla presente relazione.

### 6.1. INDAGINI CONDOTTE NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI

#### 6.1.1. Campagna del Progetto Definitivo

Le indagini e prove geotecniche sono state programmate e suddivise in due distinte fasi con obiettivi e tempi d'esecuzione differenti.

Una **Prima Fase**, eseguita nel periodo Febbraio-Aprile 2006, finalizzata a ricostruire il modello geologico generale del territorio, al fine di verificare le criticità progettuali, l'impatto dell'infrastruttura con l'assetto stratigrafico e geomorfologico, ed individuare eventuali soluzioni alternative di tracciato e/o scelte tecnico progettuali.

La **Seconda Fase**, eseguita in Maggio 2006, ad infittimento delle indagini di prima fase, ha consentito di definire il modello geologico-tecnico del sottosuolo per il corretto dimensionamento di tutte le opere ed i manufatti interagenti con il terreno (viadotti, gallerie, rilevati opere di corredo, ecc.).

Complessivamente le indagini eseguite possono così riassumersi:

<b>Tipo indagine</b>	<b>I FASE</b>	<b>II FASE</b>	<b>Complessivo</b>
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>

**Tab. 6.1 – Riepilogo della campagna indagini in situ in effettuate in seno al PD.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 65 di 351

### **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).

### **Prelievo campioni indisturbati:**

Per ogni sondaggio sono stati prelevano 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

### **Prove pressiometriche**

Sono state eseguite 19 prove con pressimetro tipo "Menard" nei fori di sondaggio in prossimità delle gallerie Caltanissetta e Papazzo. La prova è consistita nel dilatare una sonda di forma cilindrica calata in foro, e rilevare la corrispondente curva pressione – volume.

La prova è stata realizzata per definire in corrispondenza delle gallerie il modello geotecnico del sottosuolo, ricavando il comportamento deformativo dei terreni, la valutazione del modulo pressio-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 66 di 351

metrico e attraverso correlazioni sperimentali, la coesione non drenata, l'angolo di attrito, la tensione orizzontale in sito, ecc.

Complessivamente sono state eseguite n°19 prove così suddivise:

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

### **Prove penetrometriche:**

Sono state eseguite prove penetrometriche del tipo SPT in foro, statiche e dinamiche, secondo la litologia ricostruita, ad infittimento dei sondaggi geognostici, al fine di estendere la caratterizzazione geognostica all'intero sviluppo dell'area indagata.

Complessivamente sono state eseguite n°9 SPT in foro, n°2 penetrometrie statiche e n°40 dinamiche per un complessivo di 379 metri lineari così suddivisi

- I FASE:
  - n°9 SPT nei sondaggi S19 e S 20 (Galleria Papazzo);
  - n°12 dinamiche, per metri 100
  - n°2 statiche, per metri 10
- II FASE:
  - n°28 dinamiche, per metri 269

### **Sondaggi sismici superficiali:**

Prospezioni sismiche a rifrazione con stendimento di 80 m tali da indagare circa 30 metri di profondità del sottosuolo. Le prospezioni sono state finalizzate a cogliere eventuali anomalie o discontinuità strutturali nei complessi calcarei, nonché gli spessori degli orizzonti sismici da correlare con le stratigrafie acquisite. Inoltre ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, consentono di definire il profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai sensi dell'art. 3.1 "categorie di suolo di fondazione" dell'allora esistente OPCM n°3274 (costruzione in zona sismica), attualmente integrata e sostituita dal vigente NTC 2008.

Le prospezioni eseguite sono state così suddivise:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 67 di 351

- 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. Anche questo tipo di indagini sono state finalizzate a cogliere eventuali cavità o discontinuità strutturali, nonché a verificare per una maggiore ampiezza e continuità laterale, la stratigrafia acquisita con il singolo sondaggio. Inoltre sono fondamentali per la definizione delle "categorie di suolo di fondazione" dell'allora esistente OPCM n° 3274 (costruzione in zona sismica), attualmente integrata e sostituita dal vigente NTC 2008.

- 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 in prossimità 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.

### **Analisi geotecniche di laboratorio**

Le analisi e prove di laboratorio sono finalizzate al riconoscimento dei litotipi, alla determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche degli orizzonti stratigrafici; in particolare sono state eseguite:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 68 di 351

Determinazione caratteristiche fisiche: contenuto d'acqua, peso dell'unità di volume, peso specifico dei granuli, analisi granulometrica, limiti di Atterberg, indice di porosità, grado di saturazione, indici di consistenza, attività, plasticità, etc.

Prove di resistenza meccanica: prove di taglio diretto in condizioni drenate, con velocità di rottura di almeno 0.01 mm/sec; prove di compressione semplice in condizioni di espansione laterale libera; prove triassiali di tipo UU.

Per la ripartizione delle indagini in riferimento alle tratte di progetto e alle principali opere d'arte, si rimanda alle tabelle in allegato.

Le indagini eseguite sono state altresì integrate con quelle della campagna geognostica effettuata direttamente dall'ANAS in fase di redazione del progetto preliminare, nel seguito descritte sinteticamente.

### **6.1.2. Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988**

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.

## **6.2. INDAGINI INTEGRATIVE DI 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) e nell'ottica della definizione di un modello concettuale geologico di riferimento ai fini progettuali.

Le indagini integrative sono state costituite da:

- Perforazione di sondaggi
  - Sondaggi geognostici: 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 raggiungimen-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 69 di 351

to 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.

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;
- Prelievo di campioni indisturbati, durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi riscontrati, con n° 1 campione indisturbato ogni 6 di sondaggio, nel caso dei sondaggi con profondità compresa tra 20 e 60 m da p.c.. Nel caso dei sondaggi profondi 150 m i campioni saranno prelevati 1 ogni 25 m per i primi 100 m e 1 ogni 10 m nei successivi 50 m.

o 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.

o 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), 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 defi-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 70 di 351

nizione (ad es. corpi in frana); le traverse sono state 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:

- SS1: n. 2 x 80 m
  - SS3: n. 1 x 80m
  - SS4: n. 1 x 80 m
  - SS5: n. 2 x 80 m
  - SS6: n. 2 x 80 m
  - SS7: n. 5 x 80 m
  - SS10: n. 1 x 80 m
  - SS11: n. 1 x 80 m
  - SS12: n. 7 x 80 m
- 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;
  - Saggi superficiali
    - Saggi superficiali con escavatore: n° 15 saggi eseguiti per una profondità fino a circa 0,5 m effettuati in corrispondenza delle nuove viabilità complementari per il tronco di adeguamento alla categoria C1 DM 2001 (da progr. 0+000 a progr. 25+000) e per i tratti sui quali verranno realizzati i nuovi rilevati di raddoppio alla categoria tipo B del DM 2001; tali saggi sono svolti per indagare lo strato superficiale da bonificare per la parametrizzazione del terreno di fondazione, tramite l'esecuzione di prove di carico con piastra da 30 cm ed eseguite con doppio ciclo di carico, sul fondo scavo.
  - Prove di laboratorio

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 71 di 351

- Sui campioni 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
  - 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;

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

Sulla base dei dati disponibili, e delle problematiche di carattere geologico, geomorfologico e geotecnico emerse in occasione delle attività di campagna di "prima fase" effettuate, è stato predisposto un Piano delle Indagini (dirette ed indirette), prodotto nell'ottobre 2010 ed attuato tra il mese di ottobre ed inizio dicembre 2010. Tale piano è stato finalizzato ad un approfondimento del quadro di conoscenze già acquisite nella "prima fase" ed alla necessità di dover verificare il modello geologico e geotecnico di riferimento dei terreni direttamente interessati dalle opere d'arte in progetto, in coerenza con il vigente quadro normativo di riferimento (N.T.C. 2008).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 72 di 351

### **6.3.1. Criteri di scelta della tipologia delle indagini**

Il piano di indagine è stato articolato in funzione delle problematiche geologiche riscontrate derivanti dal quadro geologico delineato tramite le indagini precedentemente svolte e della documentazione della letteratura geologica di recente pubblicazione.

Conseguentemente sono state programmate indagini specifiche, al fine di completare in maniera certa e univoca la conoscenza dell'assetto geologico e del contesto geotecnico cui riferirsi per la definizione dei parametri progettuali.

Nello specifico le indagini sono state programmate tenendo conto dei criteri nel seguito descritti, distinti per ognuna delle problematiche affrontata.

#### **Galleria Papazzo**

In corrispondenza dell'imbocco lato Caltanissetta, al fine di delineare meglio l'assetto tettonico-stratigrafico e l'andamento della falda idrica sotterranea, considerata la bassa profondità da indagare (30 m circa) e la necessità di definire un profilo bidimensionale dell'area, si è proposta l'esecuzione di una indagine geofisica di superficie tramite una stesa elettrica a risoluzione tomografica di estensione pari a circa 280 m.

#### **Galleria Caltanissetta**

In corrispondenza di questa importante opera d'arte le indagini sono consistite nell'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (SI26bis) profondo 90 m e lievemente spostato rispetto all'asse della galleria, per verificare l'assetto stratigrafico, e di altri 2 sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, profondi 50 m (SI26) e 150 m (SI27), con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. In corrispondenza di due fori di sondaggio (SI26 e SI27) sono state svolte delle prove sismiche passive di superficie di tipo Re.Mi., finalizzate alla definizione delle velocità delle onde VS. Il sondaggio SI27, inoltre, è stato attrezzato con tubo piezometrico aperto, al fine di monitorare e campionare l'acqua della falda contenuta nell'acquifero ritrovato tra 58 e 87 m di profondità.

Oltre ai sondaggi, in riferimento alle problematiche emerse, al fine di estendere ad un profilo bidimensionale i dati derivanti dalle perforazioni e dalle indagini geofisiche eseguite, sono state eseguite delle prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione suddivise in 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 rag-

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 73 di 351

giunte superiori ai 200 m; le prove sono state eseguite con un interspazio compreso tra i 2 e i 4 metri.

### **Dissesti gravitativi**

A completamento del quadro delineato con le indagini sismiche di superficie condotte nell'ambito delle indagini integrative appena eseguite, si propone l'esecuzione di n. 3 sondaggi da attrezzare con tubi inclinometrici al fine di monitorare e verificare eventuali movimenti degli eventuali ammassi in dissesto. I tre inclinometri sono stati ubicati in corrispondenza delle seguenti opere d'arte:

- del previsto Viadotto S. Filippo Neri (SI29 prof. 40 m),
- del previsto Viadotto Busita I (SI30 prof. 50 m)
- del previsto Viadotto Busita II (SI31 prof. 40 m).

Dopo l'installazione si provvederà ad eseguire una campagna di monitoraggio con frequenza trimestrale.

### **Sismicità dell'area**

Al fine di completare il quadro della conoscenza necessario alla definizione della micro zonazione sismica dell'area e verificare, pertanto, le risposte di sito e le categorie di suolo in corrispondenza delle principali opere d'arte sono state eseguite le seguenti prove sismiche:

- n. 6 prove sismiche down-hole da eseguire all'interno di fori di sondaggio opportunamente attrezzati (SI26, SI27, SI33, SI34, SI37) oltre che all'interno di un inclinometro (SI30);
- n. 19 prove sismiche passive (Re.Mi. 1÷19) per una restituzione di dettaglio di profili  $V_s$  del sottosuolo, con elaborazione dati in 2D;
- 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.

### **Aggressività delle acque di falda**

In corrispondenza di opere d'arte (viadotti, gallerie naturali e artificiali), le cui parti interrato saranno soggette a interazioni con le acque di circolazione sotterranea, è stata effettuata, all'interno di n. 8 fori di sondaggio profondi 20 m (SI23, SI24, SI25, SI28, SI32, SI35, SI36, SI38), l'installazione di altrettanti piezometri a tubo aperto (DN 3") atti al prelievo di campioni di acqua sotterranea. Tali

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 74 di 351

campioni sono stati sottoposti alla caratterizzazione qualitativa tramite determinazioni analitiche atte alla definizione dell'aggressività chimica dei terreni sulle opere in calcestruzzo ai sensi della norma UNI EN 206-1-2006 con riferimento al prospetto 2 ("Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno").

L'ubicazione dei punti è stata effettuata tenendo conto anche della rappresentatività nei confronti delle varie unità idrogeologiche presenti lungo il tracciato.

### **Riutilizzo delle terre**

Ai fini della verifica della necessità/possibilità di effettuare il trattamento di stabilizzazione a calce dei terreni scavati e per il loro eventuale riutilizzo per la realizzazione dei sottofondi e dei rilevati, è stata ritenuto opportuno effettuare dei pozzetti esplorativi al fine di prelevare dei campioni di terreno per poter eseguire le dovute prove chimiche. L'ubicazione dei pozzetti è stata effettuata in corrispondenza delle zone dove si effettueranno significative escavazioni e in funzione degli affioramenti geologici riscontrabili.

### **Affiancamento alle trincee esistenti**

Per la caratterizzazione qualitativa del materiale utilizzato per la costituzione dei rilevati esistenti è stato ritenuto necessario effettuare delle trincee trasversali all'attuale sede stradale, denominate "trincee", che hanno permesso di verificare lo stato del rilevato, i materiali utilizzati e il prelievo di campioni.

L'ubicazione dei punti di indagine è stata effettuata in corrispondenza delle sezioni stradali di progetto laddove si prevede di affiancare i rilevati esistenti con nuovi rilevati, previsti in progetto.

### **6.3.2. 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**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 75 di 351

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.

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 76 di 351

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);
- 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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 77 di 351

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.

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)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 78 di 351

- Classificazione UNI 10006
- Contenuto in sostanza organica
- Solfati totali
- Solfuri
- Azoto Nitrico (NO<sub>3</sub>)
- 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:

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 79 di 351

- 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

#### **6.4. 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.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 80 di 351

#### 6.4.1. Problematiche idrogeologiche

Al fine di delineare meglio l'andamento della falda idrica sotterranea ed i relativi livelli piezometrici e completare il quadro delineatosi con i piezometri esistenti, si è proceduto alla realizzazione di n. 8 piezometri, installati in altrettanti fori di sondaggio ubicati lungo il tracciato della galleria, a tubo aperto o con 1 o 2 celle di Casagrande per ogni foro, posizionate alle profondità corrispondenti con la galleria.

In particolare l'ubicazione di tali punti di sondaggio ricade nelle seguenti zone:

- Tra le progressive 13+600 e 13+710, laddove non era ubicato alcun punto di monitoraggio della falda, si è provveduto ad installare n. 2 piezometri, denominati rispettivamente SI39 e SI43, con n. 1 cella di Casagrande per ognuno di essi, posizionate, rispettivamente, a 90 m e a 105 m di profondità
- Tra le progressive 14+115 e 14+150, laddove non era ubicato alcun punto di monitoraggio della falda, si è provveduto ad installare n. 2 piezometri, denominati rispettivamente SI46 e SI40, con n. 1 cella di Casagrande per ognuno di essi, posizionate, rispettivamente, a 110 m e a 120 m di profondità
- Alla progressiva 14+275, laddove non era stato precedentemente ubicato alcun punto di monitoraggio della falda, si è provveduto ad installare un piezometro a tubo aperto (SI45) con fenestrazione tra -90 e -120 m di profondità;
- Tra le progressive 15+770 e 16+000, in corrispondenza dell'esistente piezometro a tubo aperto SI27, si è installato n. 1 piezometro (SI42) a circa 90 m in direzione NE lungo il tracciato (prog. 15+900), n. 1 piezometro (SI41) a circa 60 in direzione SO lungo il tracciato (prog. 15+770) e un piezometro (SI44) poco oltre SI42 in direzione NE (prog. 16+000); nel primo caso (SI42) si è proceduto alla installazione di n. 2 celle di Casagrande alla prof. di 70 m e alla prof. di 110 m; nel secondo caso (SI41) si è proceduto alla installazione di n. 2 celle di Casagrande alla prof. di 60 m e alla prof. di 100 m, nel terzo caso (SI44) si è proceduto alla installazione di un tubo aperto con fenestrazione tra -10 e -105 m.

In corrispondenza delle quote di posizionamento delle celle di Casagrande, in fase di perforazione si è proceduto, in alcuni casi, alla esecuzione di prove di permeabilità in foro con metodologia "Lefranc" a carico variabile, finalizzate alla determinazione del coefficiente di permeabilità "K" in corrispondenza degli orizzonti acquiferi indagati.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 81 di 351

## 6.4.2. **Idraulica delle acque sotterranee**

### **Prove di emungimento**

Al fine di verificare le caratteristiche idrauliche degli acquiferi in corrispondenza dalla galleria, in zone di particolare interesse, sono state eseguite **n. 3 prove di emungimento** tramite la realizzazione di appositi pozzi di pompaggio denominati **PZ1**, **PZ2** e **PZ3** realizzati, rispettivamente, nelle immediate vicinanze dei piezometri SI40, SI42 e SI43. Non è stato possibile ubicarne altri pozzi in zone significative e in prossimità di piezometri esistenti in quanto ricadenti in proprietà private i cui titolari non sono favorevoli alla esecuzione di attività di perforazione.

### **Metodologia adottata**

Le prove di emungimento consistono nell'estrazione di acqua sotterranea tramite pozzi, con relativa misura delle portate emunte, dei relativi abbassamenti di livello piezometrico e della risalita dello stesso livello dopo l'arresto dell'emungimento.

In generale tali prove possono essere eseguite su singoli pozzi o su stazioni di prova, in cui si considera un pozzo pilota e uno o più piezometri ubicati all'interno del raggio d'azione dello stesso pozzo.

Le prove di emungimento sulla stazione di misura (pozzo + piezometro) si eseguiranno a **portata costante** interpretando i dati registrati con la teoria del deflusso in regime di non-equilibrio o in regime transitorio (THEIS, 1935), così chiamato perché si ammette che le variazioni di regime idraulico si verifichino non solo nello spazio ma anche nel tempo.

Con tale teoria si dimostra che, intorno ad un pozzo caratterizzato da una portata (Q) costante, la superficie della depressione piezometrica non tende ad una forma stabile e che la zona di influenza dell'opera di captazione idrica si propaga indefinitamente, con velocità decrescente.

Quindi la rialimentazione non compensa l'emungimento; infatti si ammette che l'acquifero non abbia ricariche laterali e che, per tutto il tempo di emungimento, venga liberata (istantaneamente e con perdita di carico) soltanto acqua immagazzinata.

Per la rigorosa applicazione della teoria di deflusso in regime di non-equilibrio sono necessarie anche altre semplificazioni di base, come l'esistenza di un acquifero omogeneo ed isotropo (con trasmissività T costante nel tempo e nello spazio), nonché l'esistenza di una falda infinita (di spessore costante) compresa tra due strati impermeabili orizzontali.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 82 di 351

Con la prova a portata costante si possono calcolare la trasmissività (**T**) ed il coefficiente di immagazzinamento (**S**) dell'acquifero, oltre che la portata specifica ed il raggio d'azione del pozzo ad un determinato tempo (**t**).

⇒ La trasmissività è un parametro funzione della permeabilità (**K**) dell'acquifero e dello spessore saturo dell'acquifero(**e**), introdotto da THEIS nel 1938, con la seguente formula:

$$T = K \times e \quad [(m/s) \times m = m^2/s]$$

La trasmissività può essere definita come il volume di acqua gratifica che passa nell'unità di tempo, per effetto di un gradiente idraulico unitario, attraverso una sezione (ortogonale alla direzione di deflusso delle acque) di larghezza unitaria e di altezza pari allo spessore saturo dell'acquifero. Essa traduce la capacità che ha l'acquifero di trasferire l'acqua.

⇒ Il coefficiente di immagazzinamento rappresenta il volume d'acqua che può essere erogato o immagazzinato, per effetto di una modificazione unitaria di carico idraulico, da un prisma di acquifero di sezione unitaria e di altezza pari allo spessore della falda.

Pertanto il coefficiente di immagazzinamento può essere utilizzato per la valutazione delle riserve idriche esistenti nel sottosuolo. Esso è adimensionale, in quanto risultante dal rapporto tra il volume d'acqua gratifica immagazzinato (**V<sub>g</sub>**) e il volume totale (o apparente) del prisma di acquifero saturo (**V<sub>a</sub>**) e, quindi coincide con la porosità efficace (**p<sub>e</sub>**), ottenendo la seguente formula:

$$S = p_e = V_g / V_a \text{ [m/m]}$$

⇒ Per portata specifica di un pozzo si intende la portata emungibile per ogni metro di depressione piezometrica, misurata all'interno dello stesso pozzo ed è data dalla formula:

$$Q_s = Q / \Delta h_{\text{pozzo}}$$

⇒ Per quanto riguarda il raggio d'azione di un pozzo, con questo termine si intende la distanza, dall'asse del pozzo, dove la depressione piezometrica si annulla dopo un certo tempo (**t**) dall'inizio dell'emungimento.

Quindi la teoria di THEIS (1935) dimostra che:

$$\Delta h_p = (Q/4\pi T) \int (e^{-u}/u) du \quad ( \int \text{compreso tra } u \text{ ed } \infty )$$

dove:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 83 di 351

$\Delta h_p$  = depressione piezometrica (in m) misurata nel piezometro posto a distanza  $r'$  dal pozzo da cui si emunge la portata  $Q$

$Q$  = portata (in  $m^3/s$ ) emunta dal pozzo, in corrispondenza della depressione

$T$  = trasmissività dell'acquifero (in  $m^2/s$ )

$e$  = spessore dell'acquifero confinato

$u$  = parametro adimensionale, che considera la distanza ( $r'$ ) del piezometro di misura dal pozzo, il coefficiente di immagazzinamento ( $S$ ), la trasmissività ( $T$ ) e il tempo ( $t$ ) in cui si ha la depressione considerata, pari a:

$$u = r'^2 S / 4 T t$$

Tralasciando in questa sede i vari passaggi matematici della formula di Theis sopra riportata, si giunge alla formula di approssimazione logaritmica di Jacob (1950), riportata nel seguito:

$$\Delta h_p = (0,183Q/T) \log (2,25 Tt/r'^2 S)$$

che può essere scritta anche nella forma:

$$\Delta h_p = (0,183Q/T) [\log (2,25 St/r'^2 S) + \log(t)]$$

Tale formula semplifica gli assunti matematici di Theis ed è di più facile applicazione, sebbene l'approssimazione dei risultati sia migliore quanto più lungo è il tempo di pompaggio  $t$  (con un minimo di 48 ore), quanto più grande è il rapporto  $T/S$  e quanto più piccola è la distanza tra il pozzo e il piezometro di misura (non superiore ai 150 m).

Ponendo in un diagramma sull'asse delle ordinate le depressioni indotte misurate in un piezometro della stazione di prova e su quello delle ascisse il logaritmo dei tempi di emungimento, dopo un intervallo di tempo sufficientemente lungo i punti si allineano su una retta, rappresentativa della curva data dalla formula di Jacob, la cui equazione è:

$$y = C (\log a + \log x)$$

Questa può essere tracciata sia graficamente che calcolando la retta di regressione con il metodo dei minimi quadrati; le sue variabili sono date da:

$$y = \Delta h_p$$

$$\log x = \log t$$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 84 di 351

mentre il coefficiente angolare è rappresentato da:

$$C = 0,183 Q/T$$

Ma il coefficiente  $C$  è dato anche da:

$$C = \operatorname{tg} \beta = \partial \Delta h_p / \partial (\log t)$$

Se si sceglie il termine  $t$  pari ad un ciclo logaritmico, in modo che

$$\log t = 1$$

il coefficiente  $C$  può essere misurato direttamente sul diagramma, in quanto è pari all'accrescimento di depressione che si verifica in un ciclo logaritmico.

Pertanto la trasmissività è pari a:

$$T = 0,183 Q/C$$

Sostituendo il valore ottenuto di trasmissività nella formula di JACOB, dati la portata e considerando il valore di abbassamento  $\Delta h_p=0$  al tempo  $t_0$  (dato dall'intercetta della retta summenzionata con l'asse delle  $x$ ) nel piezometro distante  $r'$  dal pozzo, si ottiene il coefficiente di immagazzinamento ( $S$ ), dato da:

$$S = 2,25 T t_0 / r'^2$$

Dalla trasmissività si ricava anche il coefficiente di permeabilità ( $K$ ), avendo noto lo spessore ( $e$ ) dell'acquifero saturo:

$$K = T/e$$

Il raggio d'azione ( $R$ ) del pozzo si ricava dalla trasmissività, dal tempo considerato e dal coefficiente di immagazzinamento ed è dato, quindi, dalla formula:

$$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)}$$

Oltre a considerare la situazione dinamica dell'acquifero in fase di emungimento e quindi relativamente agli abbassamenti, per la verifica dei summenzionati parametri ottenuti, esiste un altro fenomeno importante che si presenta dopo l'arresto del pompaggio e che risulta evidenziato dalla **risalita del livello idrico** nel pozzo.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 85 di 351

Infatti la falda continua a defluire verso il pozzo come se l'emungimento continuasse e contemporaneamente si verificasse l'assorbimento, da parte dell'acquifero, di una portata (-Q) pari a quella (+Q) estratta. Si assiste, quindi, al graduale riempimento (a flusso costante) del cono di depressione indotto dall'emungimento.

Se si considerano le portate -Q e +Q precedentemente menzionate e si tiene conto del tempo (t) intercorso tra l'inizio e la fine dell'emungimento, nonché del tempo (t') di risalita (cioè posteriore alla fine dello stesso emungimento), dalla formula di approssimazione logaritmica di Jacob si ottiene la depressione residua ( $\Delta h'_p$ ) riferita al tempo (t+t'):

$$\Delta h'_p = (0,183Q/T) \log [(t+t')/t']$$

che può essere utilizzata per l'interpretazione quantitativa della curva di risalita di un piezometro della stazione di prova, che si ottiene ponendo in un diagramma sull'asse delle ordinate le depressioni residue misurate nel piezometro e su quello delle ascisse il logaritmo di (t+t')/t .

Se si esclude il tratto iniziale di risalita rapida, dove t' è troppo piccolo rispetto a t, e quello finale di risalita lenta (dove  $\Delta h_p$  può essere influenzata da fattori esterni, in quanto le variazioni di livello sono molto piccole), i punti si allineano sulla retta rappresentativa della curva, la cui equazione è del tipo seguente:

$$y = C \log x$$

le cui variabili sono date da:

$$y = \Delta h'_p$$

$$\log x = \log [(t+t')/t']$$

Ma il coefficiente C è dato anche da:

$$C = \operatorname{tg} \beta = \partial \Delta h'_p / \partial \log [(t+t')/t']$$

Se si sceglie il termine t pari ad un ciclo logaritmico, in modo che

$$\log [(t+t')/t'] = 1$$

il coefficiente C può essere misurato direttamente sul diagramma, in quanto è pari all'accrescimento di depressione che si verifica in un ciclo logaritmico. Pertanto, anche nel caso della risalita, la trasmissività è pari a:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 86 di 351

$$T = 0,183 Q/C$$

### **Modalità esecutive**

Le prove in oggetto sono state protratte per un periodo di 48 ore, eseguendo nella stazione di prova (pozzo + piezometro) le misure in manuale dei livelli di falda, relativamente alla soggiacenza e non alla quota assoluta (livello medio del mare), in quanto immediatamente correlabile con l'abbassamento, grandezza di fondamentale importanza nell'interpretazione delle prove. Lo schema esecutivo è stato il seguente:

<b>Tempo dopo inizio prova</b>	<b>Intervallo di misura</b>
Da 0 a 15 minuti	Ogni minuto
Da 15 a 60 minuti	Ogni 5 minuti
Da 60 a 120 minuti	Ogni 10 minuti
Da 120 a 540 minuti	Ogni 30 minuti
Da 540 a 1200 minuti	Ogni ora
Da 1200 a 4320 minuti	Ogni 4 ore

Oltre ai pozzi oggetto di prova (PZ1, PZ2, PZ3), quindi, sono stati monitorati i piezometri presenti a poca distanza dallo stesso, al fine di verificare le influenze a distanza del pompaggio. Nello specifico i piezometri interessati sono stati:

- SI40 nel caso di PZ1;
- SI42 nel caso di PZ2;
- SI43 nel caso di PZ3.

Le misure degli abbassamenti all'interno del pozzo in prova e nel piezometro di controllo sono state effettuate in manuale.

Durante le prove si è effettuato un monitoraggio delle portate emunte, al fine di mantenere la portata costante. La pompa è stata mantenuta ad una quota superiore a 5 m rispetto al fondello del pozzo per evitare fenomeni di intasamento causati dai sedimenti eventualmente presenti sul fondo del piezometro.

Al termine della prova gli abbassamenti registrati sono stati misurati dalla falda immediatamente dopo lo spegnimento della pompa installata nel pozzo in esame e, comunque, sino alla risalita del livello statico di partenza, con il seguente schema:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 87 di 351

<b>Tempo di risalita</b>	<b>Intervallo di misura</b>
Da 0 a 15 minuti	Ogni minuto
Da 15 a 60 minuti	Ogni 5 minuti
Da 60 a 120 minuti	Ogni 10 minuti
Da 120 a 540 minuti	Ogni 30 minuti
oltre 540	Ogni ora

### **Caratteristiche dei pozzi**

I pozzi (PZ1, PZ2 e PZ3) hanno le seguenti caratteristiche:

- Diametro di perforazione: 178 mm
- Profondità: PZ1 = 140 m; PZ2 = 120 m; PZ3 = 120 m
- Tubo piezometrico: PVC DN 4,5" con tratto microfenestrato slot 0,5 mm posto da -60 m a fondo foro per PZ1, da -35 m a fondo foro per PZ2, da -50 a fondo foro per PZ3;
- Prefiltro in ghiaietto siliceo 3÷6 mm posato da -58 m a fondo foro per PZ1, da -33 m a fondo foro per PZ2 e da -48 m a fondo foro per PZ3;
- Tampone anulare di sabbia posto sopra il prefiltro con spessore di circa 0,5 m per i tre pozzi;
- Conseguente sigillatura con miscela ternaria acqua/cemento/bentonite da -56,5 m a pc. per PZ1, da -32,5 m a p.c. per PZ2, da p.c. a -47,5 m a pc. per PZ3.

Le ubicazioni sono le seguenti:

- PZ1: 20 m a SO dell'esistente piezometro SI40 (installato durante la Fase 3 delle Indagini integrative);
- PZ2: 20 m a NE dell'esistente piezometro SI42 (installato durante la Fase 3 delle Indagini integrative);
- PZ3: 5 m a O dell'esistente piezometro SI43 (installato durante la Fase 3 delle Indagini integrative).

### **Determinazione della portata di emungimento**

Il valore della portata di emungimento adottato durante la prova deriva da prove propedeutiche effettuate su ogni singolo pozzo, eseguite durante le operazioni di spurgo con contemporanea misura dei valori di abbassamento all'interno dello stesso pozzo, per la ricostruzione della curva caratteristica  $Q/\Delta h$  e alla conseguente correlazione con la portata ottimale ( $Q_{OTT}$ ). Lo spurgo è stato

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 88 di 351

effettuato a gradini di portata crescenti a partire da 0,5 l/s con incrementi di 1 l/s per ogni gradino sino a un massimo di sei gradini di durata pari a 1 ora ciascuno, raggiungendo la portata massima di 3,0 l/s.

Nel caso in cui sono stati osservati abbassamenti eccessivi all'interno del pozzo sin dal primo gradino (PZ1 e PZ3), gli incrementi di portata per ogni singolo gradino sono stati ridotti a 0,1 l/s, raggiungendo la portata massima di 0,6 l/s.

### **Bibliografia**

- Castany G., 1982 – *Principes et méthodes de l'hydrogéologie* – Dunod, Paris
- Celico P., 1988 – *Prospezioni idrogeologiche* – Liguori Editore, Napoli
- Chiesa G., 1977 – *Manuale di geoidrologia. Idraulica dei pozzi* – A.N.I.P.A., Milano
- Custodio E., 1976 – *Galerías de agua, zanjas de drenaje y pozos excavados. Hidrología subterránea* – Omega, Barcelona
- Francani V., 1975 – *Osservazioni sugli effetti della forma degli acquiferi sul rendimento delle opere di captazione delle falde idriche* – Geologia Applicata e Idrogeologia, n. 10
- Ippolito F., Nicotera P., Lucini P., Civita M., de Riso R., 1975 – *Geologia tecnica* – I.S.E.D.I., Milano
- Jacob C. E., 1963 – *Recovery method for determining the coefficient of transmissibility* – Water Supply Paper 15361, U.S. Geol. Survey
- Puppini U., 1984 – *Valutazione di rendimento e di efficienza di un pozzo per acqua* – Acque Sotterranee, n. 2
- Slater R. J., 1964 – *Applications and limitations of pumping test: engineering aspects* – Proc. Inst. Civil Eng.

### **Prova a gradini di portata sulla stazione PZ2-SI42**

Sulla stazione di prova PZ2-SI42 al fine di verificare la capacità di immagazzinamento e rilascio di acqua da parte dell'acquifero interessato, è stata effettuata una ulteriore prova condotta a gradini di portata sino alla potenza massima della pompa utilizzata. Si è potuto, così verificare la risposta dell'acquifero in condizioni di stress idraulico.

La prova è stata condotta con tre gradini di portata, registrando manualmente gli abbassamenti e le risalite determinate dalla fase di funzionamento e spegnimento della pompa.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 89 di 351

La portata indizionale è stata di 1,8 l/s per una durata della fase di pompaggio di 6 h, a cui è seguita la fase di spegnimento della pompa e, successivamente, gli altri due gradini con portate di 2,5 e 3,3 l/s, per una durata per ciascuna fase di emungimento di 12 h, cui è seguita la fase di stasi della pompa.

Gli intervalli di acquisizione delle misure sono stati i seguenti:

<b>Tempo dopo inizio prova</b>	<b>Intervallo di misura</b>
Da 0 a 15 minuti	Ogni minuto
Da 15 a 60 minuti	Ogni 5 minuti
Da 60 a 120 minuti	Ogni 10 minuti
Da 120 a 720 minuti	Ogni 30 minuti

La procedura eseguita per l'esecuzione della prova è la seguente:

- 1) Rilevazione del livello statico della falda nei due punti (PZ2 e SI42), mediante sonda frea-timetrica;
- 2) Attivazione della pompa alla portata stabilita e verifica ad intervalli regolari della stabilità dei valori di portata;
- 3) Al termine delle 6 h per la prova a portata di 1,8 l/s e delle 12 h per ognuna delle prove a 2,5 e 3,3 l/s, si è provveduto a disattivare la pompa e registrare le variazioni del livello piezometrico agli intervalli di tempo summenzionati, in entrambi i punti di misura.

### **Slug Test**

Al fine di verificare gli effettivi livelli piezometrici dei punti di monitoraggio delle acque ubicati in corrispondenza della galleria e la permeabilità delle formazioni interessate in corrispondenza delle celle, si è proceduto all'effettuazione di determinate prove consistenti nell'esecuzione dello spurgo all'interno di ogni singolo punto, tramite immissione di aria compressa con pressione adeguata, con lo scopo di provocare un abbassamento consistente (se non l'intero svuotamento) del livello idrico in esso contenuto.

Immediatamente dopo lo spurgo si è proceduto all'effettuazione della misura piezometrica, che è stata ripetuta con intervallo di 1 ora nelle prime 6 ore successive e ogni 6 ore nelle 24 ore successive (allo spurgo) e, in seguito, ogni 12 ore sino a stabilizzazione dei livelli.

Le prove sono state eseguite sui seguenti piezometri:

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 90 di 351

Sigla	Tipologia	Prof. (m)	Misure medie livello statico (m)	Note
S8	Casagrande	130	34	
S9	Casagrande	110	12,3	
S10	Casagrande	130	19,5	
SI40	Casagrande	120	21,5	
SI41	Casagrande	100	26	
SI43	Casagrande	105	20	
SI45	Tubo aperto 3"	130	42	Fenestrazione tra 90 e 130 m
SI46	Casagrande	110	44,3	

### Metodologia adottata

Si definisce *slug test* una prova di pozzo eseguita in maniera da produrre una istantanea variazione del livello statico in un pozzo o piezometro e misurare, in funzione del tempo, il conseguente recupero del livello originario nello stesso pozzo attivo. Si tratta, perciò, di una prova eseguita in regime transitorio la cui finalità consiste nella determinazione della conducibilità idraulica dell'acquifero nelle immediate vicinanze del pozzo-piezometro attivo.

La prova può essere eseguita aumentando bruscamente il livello statico misurato nel pozzo attivo tramite aggiunta di un volume d'acqua detto *slug* e monitorando il conseguente declino di livello che si crea per il flusso dal pozzo verso l'acquifero dello *slug* medesimo (*test* in declino o con carico decrescente) o, viceversa, producendo una brusca diminuzione di livello per sottrazione immediata di uno *slug* e monitorando la conseguente risalita che si crea per il flusso dall'acquifero verso il pozzo (*test* in risalita o con carico crescente, detto anche *bail test*, vedi figura sottostante).

Vantaggi: uno *slug test* presenta dei vantaggi innegabili rispetto alla classica prova di falda che sono da ricondursi, innanzitutto, alla semplicità e rapidità di esecuzione e che si traducono in un conseguente minor costo: in particolare, l'esecuzione di uno *slug test* non richiede la disponibilità di pompe o attrezzature complesse né di un pozzo di osservazione diverso dal pozzo attivo. Per la sua semplicità operativa può essere ripetuto nel tempo e in tal modo fornire utili indicazioni sull'eventuale cambiamento delle condizioni idrauliche nell'intorno del pozzo. La sua semplicità operativa e il ridotto costo ne rendono sempre consigliabile l'esecuzione, ogni qualvolta sia stato completato un pozzo o un piezometro.

Svantaggi: per contro, il flusso indotto da uno *slug test* è molto limitato. Ne consegue che la risposta alla brusca variazione di livello indotto, e il conseguente valore di conducibilità idraulica ottenu-

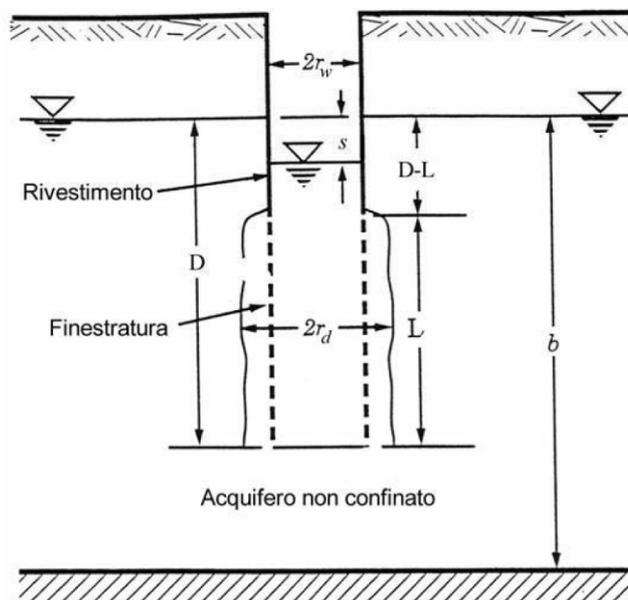
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 91 di 351

to, sono fortemente condizionati dalle condizioni idrauliche esistenti nell'intorno del pozzo (modalità di perforazione, geometria di completamento, eventuale danneggiamento di permeabilità).

In altri termini, l'affidabilità di uno *slug test* non è paragonabile minimamente a quella di una classica prova di falda multipozzo, che resta la modalità fondamentale per caratterizzare un acquifero e, in ogni caso, l'unica in grado di definire la tipologia idraulica del sistema acquifero.

Inoltre, in mezzi porosi permeabili, le misure di variazione del livello non possono essere fatte manualmente ma richiedono l'impiego di trasduttori di pressione con registrazione automatica del dato ogni secondo per l'estrema rapidità del fenomeno di dissipazione del carico indotto.

Per l'interpretazione degli *slug test* a partire dagli anni 50 sono stati sviluppati diversi modelli matematici bidimensionali di tipo analitico e semianalitico: i più utilizzati sono quelli di Hvorslev (Hvorslev, 1951), Cooper, Bredehoeft e Papadopulos (Cooper *et al.*, 1967) e Bouwer e Rice (Bouwer & Rice, 1976). La principale limitazione di questi metodi è quella di non poter tener conto della parziale penetrazione o del parziale completamento di pozzi e di ipotizzare il flusso come assolutamente orizzontale, compreso tra due limiti impermeabili costituiti dai piani orizzontali virtuali passanti per gli estremi del tratto finestrato.



**Fig. 6.1 – Configurazione di uno slug-test**

La soluzione di Bouwer e Rice indica che la variazione di livello in pozzo,  $s$ , varia rispetto al tempo con una legge di tipo semilogaritmico; pertanto, in un caso ideale, i punti  $\ln(s)$  vs  $t$ . Per la determinazione di  $m$  è sufficiente scegliere un punto su tale retta e poi calcolare:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 92 di 351

$$m = [\ln(S_0/S)]/t$$

e quindi:

$$Kr = m * [r_w^2 * \ln(Re/r_d)] / (2L)$$

in cui:

S<sub>0</sub>: innalzamento o abbassamento iniziale;

S : innalzamento o abbassamento al tempo t;

r<sub>w</sub> : raggio del piezometro;

Re : raggio effettivo, distanza a cui si fa risentire l'effetto entro il mezzo poroso;

r<sub>d</sub> : raggio fino a cui l'acquifero è stato stimolato o spurgato dalla perforazione;

L : lunghezza tratto fenestrato

### 6.4.3. Definizione dell'assetto tettonico e stratigrafico

#### Esecuzione di sondaggi

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geomeccanico le fasce tettonizzate e di verificare la presenza ed estensione degli orizzonti calcarei riscontrati direttamente e indirettamente in fase 2, i n. 7 sondaggi eseguiti per tale finalità (SI43 è stato effettuato solo per installare la cella piezometrica e poter costituire la stazione di prova per l'emungimento su PZ3) sono stati spinti sino alle profondità di:

- 120 m da p.c. (**SI39**),
- 130 m da p.c. (**SI40**),
- 120 m da p.c. (**SI41**),
- 117 m da p.c. (**SI42**),
- 105 m da p.c. (**SI44**),
- 130 m da p.c. (**SI45**),
- 130 m da p.c. (**SI46**).

Nei suddetti sondaggi si è proceduto ad effettuare il prelievo di campioni indisturbati secondo lo schema illustrato nella sottostante tabella.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 93 di 351

**Tab. 6.2 - Modalità esecutive dei sondaggi di Fase 3**

N°	Sondaggio	Piezometro	Profondità (m)	Campioni		
				N°	Denominazione	Profondità (m)
1	<b>SI39</b>	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	<b>SI40</b>	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
				6	C6	129,60 - 130,00
3	<b>S41</b>	2 celle di Cas. (prof. m. 80, 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	<b>SI42</b>	2 celle di Cas. (prof. m. 70, prof. m. 110)	117	1	C1	80,00 - 80,25
				2	C2	88,60 - 89,20
5	<b>SI43</b>	1 cella di Cas. (prof. m. 105)	110,00	-	-	-
6	<b>SI44</b>	Piezometro tubo aperto 3"	105,00	-	-	-
7	<b>SI45</b>	Piezometro tubo aperto 3"	130,00	-	-	-
8	<b>SI46</b>	1 cella di Cas. (prof. m. 110)	130,00	-	-	-

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

### **Prospezioni geofisiche**

Oltre ai sondaggi si è proceduto all'esecuzione di ulteriori n. 4 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione finalizzate alla ricostruzione bidimensionale della stratigrafia e dell'assetto tettonico, oltre alla verifica della distribuzione dei parametri sismoelastici tramite la correlazione con la distribuzione e l'andamento della propagazione delle onde sismiche registrate.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 94 di 351

Le prove sismiche sono state così suddivise:

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

La SSR10 è stata eseguita in corrispondenza della zona dell'imbocco lato AG, le SSR11 e SSR12 in corrispondenza del settore centrale della galleria in una zona poco coperta dalle indagini sinora svolte, la SSR09 ricade in corrispondenza del sondaggio SI27, laddove è stata riscontrata la presenza di orizzonti calcarei.

#### **6.4.4. Analisi chimiche e mineralogiche**

##### **Caratterizzazione della matrice acquosa e gassosa**

Durante le prove di emungimento si è provveduto, nel caso del pozzo PZ2, ad effettuare un prelievo di acqua durante la prova, al fine di provvedere alla caratterizzazione di base delle acque, utile allo studio del chimismo della falda.

Al fine di verificare la natura dei gas interstiziali contenuti nei livelli saturi indagati dal sondaggio SI27 si è proceduto all'analisi delle fasi gassose derivanti dal gorgogliamento delle acque campionate.

##### **Caratterizzazione mineralogica dei terreni argillosi**

Su n. 2 campioni di terreni argillosi, rappresentativi delle formazioni da attraversare in fase di scavo della galleria naturale Caltanissetta e prelevati dai sondaggi SI39 (C6) e S40 (C6), sono state effettuate delle determinazioni tramite diffrattometria, al fine di verificare la composizione mineralogica della frazione fine (minore di 2  $\mu\text{m}$ ) e determinare la presenza minerali che possono determinare effetti "rigonfianti" in fase di esecuzione degli scavi.

#### **6.4.5. Riepilogo 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

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 95 di 351

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;
- 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;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 96 di 351

- 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

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 97 di 351

- 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:
  - 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. 6.3 - 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

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 98 di 351

**Tab. 6.4 – 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

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 99 di 351

## 7. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL TRACCIATO

Di seguito si analizzerà nel dettaglio l'interazione tra il tracciato in esame e l'assetto geologico, geotecnico e idro-geomorfologico del territorio, al fine di fornire le specifiche caratterizzazioni geologiche propedeutiche e indispensabili per le scelte progettuali, in riferimento ai singoli tratti in cui è stato suddiviso l'intero tracciato, nel seguito elencati.

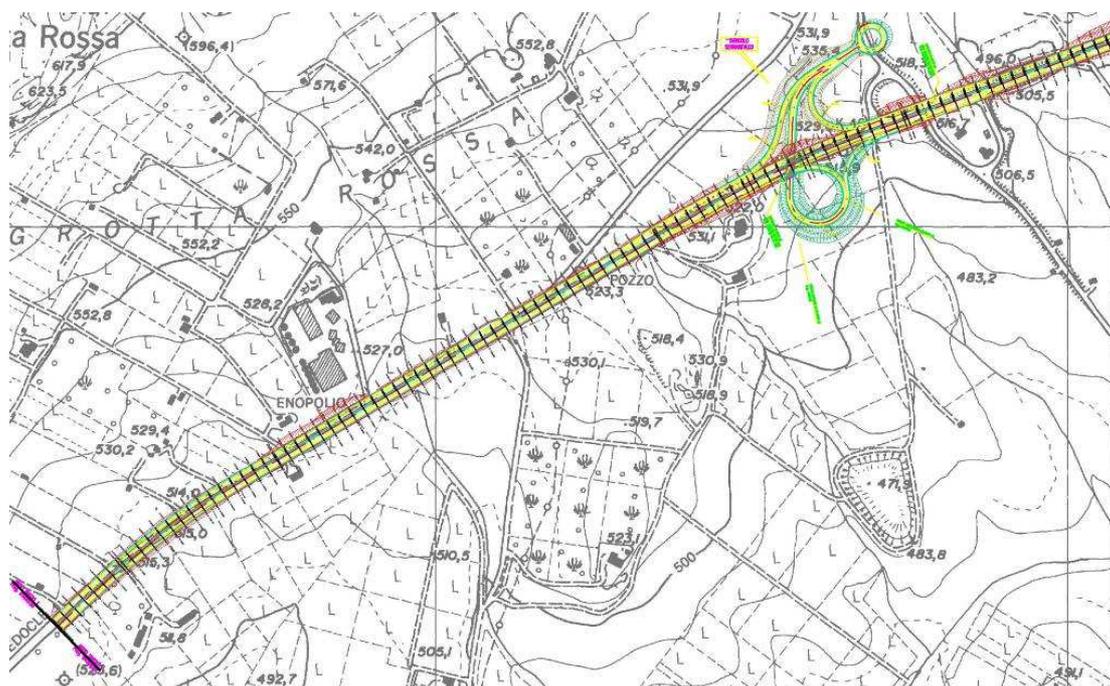
Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
1	A	Grottarossa	0+000 ÷ 4+500
1	B	Grotta d'Acqua - Favarella	4+500 ÷ 9+500
1	C	Seconda variante	9+500 ÷ 12+140
2		Caltanissetta	12+140 ÷ 17+640
3	A	Busita	17+640 ÷ 19+500
3	B	Abbazia - Arenella	19+500 ÷ 26+600
3	C	Imera	26+600 – 28+080

### 7.1. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO A

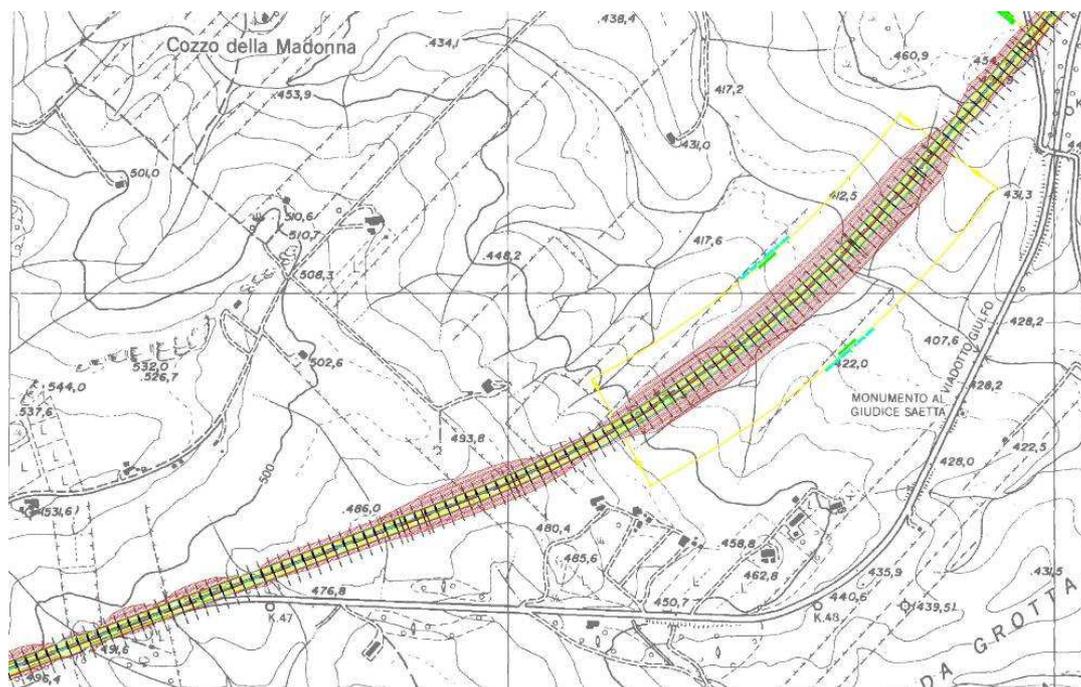
Il settore in questione (Tab. 7.1.1), esteso dalla progressiva 0+000 alla progressiva 4+500 (Fig. 7.1.1 – 7.1.2), segna l'innesto con il primo lotto "Itinerario Agrigento – Caltanissetta/A19 – S.S. 640 di Porto Empedocle dal Km 0+00 al Km 44+00".

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

**Tabella 7.1.1 – Elementi di individuazione del sottotratto 1-A**



**Figura 7.1.1 – Sottotratto 1-A – prima parte**



**Figura 7.1.2 – Sottotratto 1-A – seconda parte**

Le opere d'arte principali comprese nel sottotratto in questione sono lo Svincolo "Serradifalco", la Galleria Artificiale "Rovetello" ed il Viadotto "Giulfo" (Tab. 7.1.2 – Figg. 7.1.1 e 7.1.2).

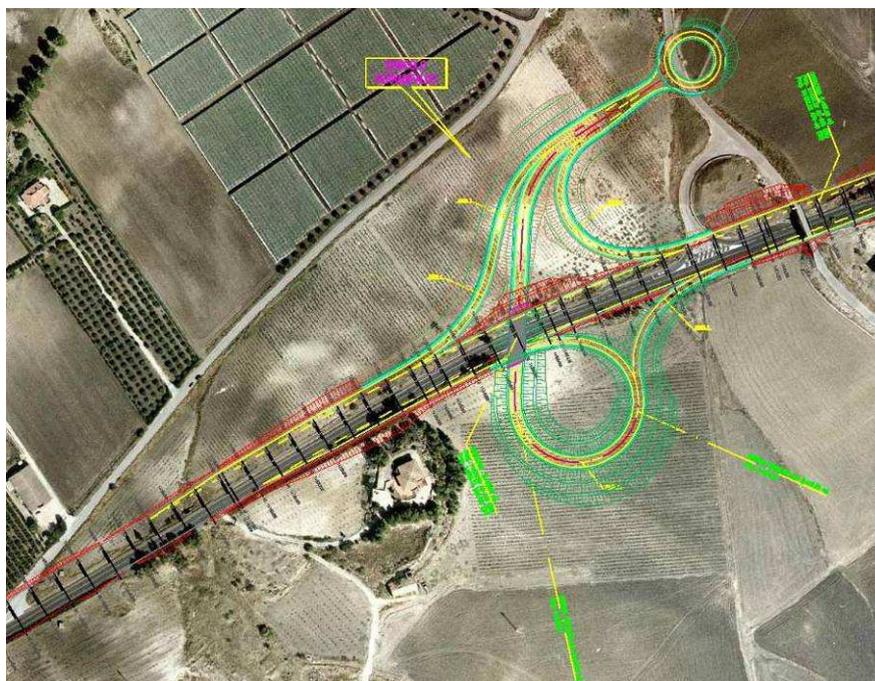
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 101 di 351

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Svincolo "Serradifalco"	1+260	1+520	
Galleria artificiale "Rovetello"	2+720	3+000	280 m (Dx – Sx)
Viadotto "Giulfo"	3+140	3+940	800 m (Dx - Sx)

**Tabella 7.1.2 – Opere d'arte principali del sottotratto 1-A**

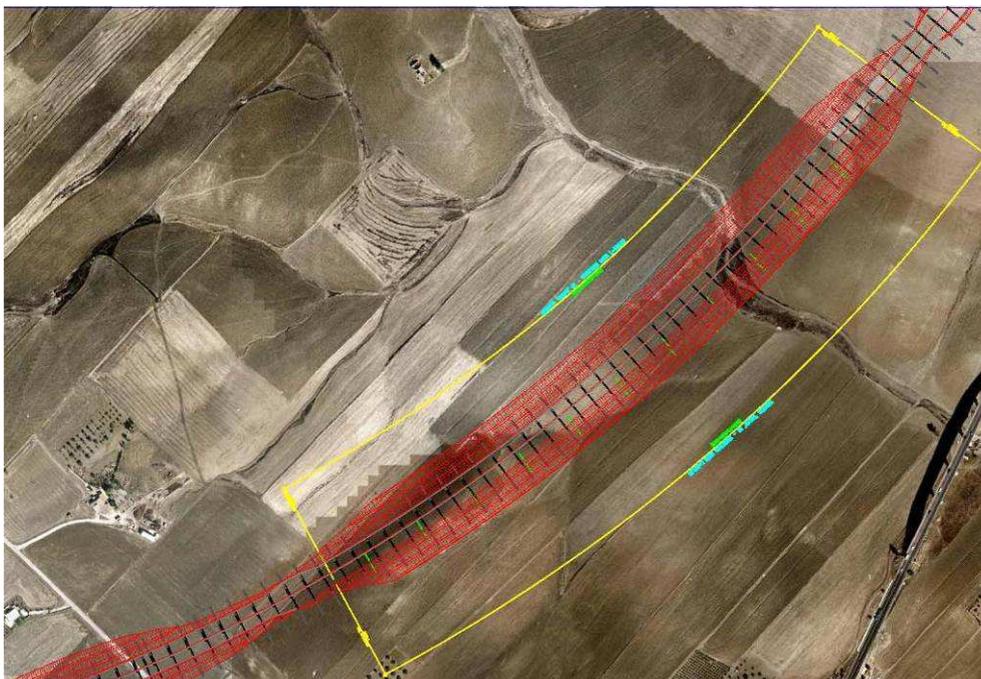
Il tracciato del sottotratto 1-A, sviluppato tra le progressive 0+000 e 4+500, si affianca, per i primi 2+260 Km circa, in sinistra della carreggiata attuale, mantenendo generalmente la stessa quota altimetrica, ed alternando tratti in trincea e tratti in rilevato (Fig. 7.1.3).

A partire dal Km 2+260 circa, il nuovo tracciato, in corrispondenza all'incirca di C.da Grotta d'Acqua, si allontana dalla sede attuale della S.S.640, che in questo tratto compie un'ampia curva verso est, per poi ritornare ad affiancare il vecchio asse stradale in coincidenza del Km 4+380 circa.



**Figura 7.1.3 – Svincolo "Serradifalco"**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 102 di 351



**Figura 7.1.4 – Viadotto “Giulfo”**

Nella tabella 7.1.5 contenuta nel § 7.1.2 sono elencate le singole opere d'arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

#### **7.1.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 6 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

##### **Campagna ANAS 1998**

- 1) A40
- 2) A39
- 3) A34
- 4) A33
- 5) A30

##### **Campagna 2006**

- 1) S01
- 2) S02
- 3) S04
- 4) S03
- 5) S05

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 103 di 351

- 6) S06
- 7) S07
- 8) S10
- 9) S08

#### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S01
- 2) S02

#### **Campagna 2010 Fase 2**

- 1) SI23

Le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del sottotratto in esame.

#### **7.1.2. Caratteristiche geolitologiche**

Il settore di territorio in cui ricade il sottotratto **A**, dal Km 0+000 al Km 4+500, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla contestuale presenza di litotipi, appartenenti a diverse formazioni, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato, le cui caratteristiche geolitologiche sono descritte nel seguito.

1. dalla prog. 0+000 alla 1+515 il tracciato ricade sull'unità dei calcari evaporitici messiniani (**GTL1** – cfr. § 2.4.2), 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 (**TRV** – cfr. § 2.4.1);
3. dalla prog. 3+640 alla 3+700 le argille tortoniane sono ricoperte da pochi metri (2÷3 m) di alluvioni fluviali (**A**);
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.

Sino alla progr. 1+260÷290 il rilevamento di campagna e le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di un deposito eluviale dello spessore di 2÷5 metri circa, costituito da limo argilloso di colore brunastro con abbondante frazione detritica di origine calcarea. Verticalmente la frazione

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 104 di 351

litoide tende sensibilmente ad aumentare con la profondità fino a divenire un livello prettamente detritico che passa ai sottostanti calcari evaporitici del Messiniano. Oltre i 5-6 metri è presente un basamento rigido costituito da calcari e calcari marnosi variamente fratturati e dislocati appartenenti, geologicamente, all'episodio evaporitico (calcarea di base). I calcari, generalmente litoidi, presentano dei livelli marnosi e talora terrosi (partimenti) dello spessore di 1-2 decimetri. Localmente la formazione calcarea affiora direttamente in superficie, intercettando il nuovo tracciato in prossimità delle prog. 0+500÷0+525 (*Enopolio*).

La formazione calcareo-marnosa poggia direttamente e in discordanza sul Tortonianiano, riscontrabile con il complesso argilloso. Quest'ultimo litotipo 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.

Le opere d'arte principali del sottotratto, la galleria artificiale Rovetello e il viadotto Giulfo, interesseranno il livello sommitale limo argilloso (spessore medio 7 metri) per poi raggiungere le argille compatte.

Per quanto concerne invece l'aspetto tettonico – strutturale, pur essendo stata l'area soggetta a successive fasi tettoniche deformative di tipo plicativo (§ 2.3), non si rinvergono elementi in grado di caratterizzare, strutturalmente il territorio, e condizionare l'assetto dell'asse stradale. Tra le formazioni presenti, vista la loro tipica *rigidità*, le unità carbonatiche evaporitiche presentano una fitta trama di discontinuità strutturali che può ben riferirsi a processi deformativi di tipo rigido/fragile.

Nello specifico le formazioni che interessano il tracciato sono di seguito sintetizzate in tabella (Tab. 7.1.3):

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Calcari di Base ( <b>GTL<sub>1</sub></b> )	0+000	1+515	Copertura costituita da depositi eluvio-colluviali
Argille Marnose ( <b>TRV</b> )	1+515	3+640	Alterate in superficie
Alluvioni recenti ( <b>A</b> )	3+640	3+700	Spessore massimo 3 m
Argille Marnose ( <b>TRV</b> )	3+700	4+500	Copertura costituita da depositi eluvio-colluviali a partire da 3+830

**Tabella 7.1.3 – Affioramenti geolitologici nel sottotratto 1-A**

Come sintetizzato nella precedente tabella (Tab. 7.1.3) parte del tracciato si snoda su un *layer* superficiale detritico, alterato e rimaneggiato, riscontrato con continuità tanto in superficie quanto in

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 105 di 351

profondità (perforazioni geognostiche - sismica a rifrazione) ed avente spessori rilevati in sondaggio compresi tra 2 m (SS1/ 2006) e 5,0 m (S01 /2006) in grado, quindi, di condizionare la realizzazione delle opere previste, per tale motivo lo scrivente ha ritenuto opportuno rappresentare cartograficamente, con dignità *formazionale*, il deposito in questione (Tab. 7.1.4).

Formazione	Sezioni		Progressive		Tipologia
	Inizio	Fine	Inizio	Fine	
Depositi eluvio-colluviali (DT)	1	68 - 69	0+000	1+260÷290	Spessore 2.5 – 5.0 m

**Tabella 7.1.4 – Affioramenti detritici sottotratto 1-A**

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del sottotratto stradale **1-A**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.1.5) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opera d'arte principale	Progressive		Terreni di fondazione delle opere d'arte
	Inizio	Fine	
Svincolo "Serradifalco"	1+260	1+520	Calcari di Base ( <b>GTL<sub>1</sub></b> ) da 0 a -10 m da p.c. Argille Marnose ( <b>TRV</b> ) da -10 m da p.c. sino in prof.
GA "Rovetello"	2+780	3+000	Argille Marnose ( <b>TRV</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Giulfo"	3+140	3+940	Argille Marnose ( <b>TRV</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof. Alluvioni ( <b>A</b> ) da 0 m a -3 m da p.c.

**Tabella 7.1.5 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

Per quanto riguarda lo Svincolo "Serradifalco", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà solo con le formazioni superficiali (trubi e calcari).

Per quanto riguarda la Galleria Artificiale "Rovetello", le opere previste in tale ambito interagiranno solo con la formazioni delle Argille Marnose.

Per quanto riguarda il Viadotto "Giulfo", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà solo con la formazioni delle Argille Marnose, in quanto le alluvioni, presenti solo nel tratto centrale non interesseranno il piano di posa fondazioni, posto a -3 m dall'attuale p.c..

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e le eventuali sezioni trasversali.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 106 di 351

### 7.1.3. Modellizzazione geotecnica

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, sono stati sintetizzati cinque profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

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

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

##### **Indagini dirette di riferimento:**

Sondaggio 2006	Tipologia	Prof. (m)	Progr. Km	Campioni		
				N°	Sigla	Profondità (m)
S01	Carotaggio continuo	15,00	0+600	1	S01CR1	8,00-8,40
				2	S01C1	14,00-14,50

Penetrometriche dinamiche 2010	Dimensione	Prog. Km
PD1	Prof.= 6,60 m	0+220
PD2	Prof.= 3,30 m	0+950

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 ÷ 2.00	Depositi eluvio-colluviali – DT1: limo argilloso di colore brunastro 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 ÷ 6.00	Depositi eluvio-colluviali – DT2: limo sabbioso con abbondante detrito calcareo.	$\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$
		$C_u = --$
		$c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 18^\circ$
6.00 ÷ 13.00	Calcarea evaporitico – CL1: Formazione calcarea con caratteristiche litoidi	$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$
		$\phi' = 18^\circ$
		$E = 22523 \text{ Kg/cmq}$
		$\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$
13 .00 ÷ in prof.	Complesso argilloso sommitale – TRV1: argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$C_u = 0.4 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 17.4^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 107 di 351

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

**Indagini dirette di riferimento:**

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

**Indagini indirette di riferimento:**

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

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0.00 ÷ 2.00	<u>Depositi eluvio –colluviali – DT1:</u> limo argilloso di colore brunoastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica	$\gamma = 1.70 \text{ T/mc}$
		$Cu = --$
		$c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 18^\circ$
2.00 ÷ 15.00	<u>Calcarei marnosi – CL2:</u> Formazione calcarea alterata e sciolta con livelli litoidi.	$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.6 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 25^\circ$
15 .00 ÷ in prof.	<u>Complesso argilloso sommitale – TRV1:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.4 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 17.4^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 108 di 351

**1-A - Modello Geotecnico 3: da prog. 1+260÷290 a prog. 1+340÷440**

**Indagini dirette di riferimento: nessuna**

**Indagini indirette di riferimento:**

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

**1-A - Modello Geotecnico 4: da prog. 1+340÷440 a prog. 1+515**

**Indagini dirette di riferimento:**

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

**Indagini indirette di riferimento:**

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: Formazione calcarea alterata e sciolta con livelli litoidi.	$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.6 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 25^\circ$
12.00 ÷ in prof.	Complesso argilloso intermedio – TRV2a: argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.88 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.24 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 21^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 109 di 351

**1-A - Modello geotecnico 5: da prog. 1+515 a prog. 4+500**

**Indagini dirette di riferimento:**

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
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 Fase 1	Tipologia	Prof. (m)	Progr. Km	Campioni		
				N°	Sigla	Profondità (m)
S01	Carotaggio continuo 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

Penetrometriche dinamiche 2006	Dimensione	Prog. Km
P1	Prof= 9,80 m	1+730

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE Relazione Geologica	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 110 di 351

Penetrometriche dinamiche 2006	Dimensione	Prog. Km
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

**Indagini indirette di riferimento:**

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

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0.00 ÷ 7.00	<u>Complesso argilloso sommitale – TRV1:</u> 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> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro 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> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.92 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.19 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.34 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 16.9^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 111 di 351

#### **7.1.4. Assetto geomorfologico**

Il settore di Contrada Grottarossa (dalla prog. 0+000 alla prog. 2+400) presenta una configurazione sub-pianeggiante, e risulta complessivamente stabile senza particolari processi erosivi in atto tali da compromettere i lavori di raddoppio della carreggiata.

Da attenzionare la possibilità di piccoli assestamenti e cedimenti verticali dei rilevati da realizzare legati alla presenza di livelli vegetali e detritico eluviali compressibili.

Nel settore a nord del tracciato e da questo distante più di 500 m, sono state mappate delle scarpate con possibilità di distacchi di detrito e piccoli crolli di materiale lapideo. Tali processi di versante, limitati alle sole creste calcaree di Monte Grotta Rossa, non interessano il tracciato di progetto e pertanto non si prevedono opere specifiche.

Laddove il tracciato di progetto si sposta a nord della SS 640 esistente (dalla prog. 2+400), attraversando un'ampia valle afferente al Vallone Giulfo, la morfologia è caratterizzata da versanti debolmente inclinati, cui segue la valle del Vallone Giulfo anch'essa caratterizzata da forme modellate e dolci. Litologicamente tutto il settore è di natura argillosa e argillo-sabbiosa; i versanti intercettati dal tracciato risultano stabili e non sono stati rilevati fenomeni erosivi tali da compromettere o influenzare significativamente le opere in progetto.

Da segnalare solamente dei ristagni d'acqua legati alla stagione delle piogge, localizzati in prossimità dell'asta fluviale. In tali settori il tracciato è previsto in viadotto con fondazioni indirette che non risentono delle problematiche legate alla saturazione e variazione del contenuto d'acqua dei terreni interessati dai ristagni superficiali.

Il reticolo idrografico insistente sul complesso argilloso impermeabile, è ben sviluppato con impluvi di I e II ordine che confluiscono al Vallone Giulfo; il corso d'acqua presenta un regime prettamente torrentizio stagionale, strettamente legato agli episodi piovosi dei mesi invernali.

#### **7.1.5. Caratteristiche idrogeologiche**

Dal punto di vista idrogeologico il primo tratto del settore (prog. 0+000 ÷ 1+400), è caratterizzato da un esteso affioramento di formazioni permeabili costituite da unità calcaree, poste a monte del tracciato, variamente dislocate e piegate sede di acquifero con falda relativamente estesa e profonda (M.Te Grotta Rossa),

La circolazione idrica sotterranea ricostruita prevede un deflusso in direzione sud con affioramenti di sorgenti lungo il contatto con le formazioni impermeabili poste più a sud del tracciato; in

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 112 di 351

quest'ambito s'inserisce la *Sorgente Savuco* (fuori carta) che viene alimentata dall'acquifero di C.da Grotta Rossa. I sondaggi eseguiti ed i dati disponibili, non hanno evidenziato nella fascia di progetto la presenza di falda idrica nei metri investigati (30 m).

Dallo svincolo SV01 Serradifalco in poi, per la natura impermeabile delle formazioni, è riscontrabile prevalentemente il ruscellamento superficiale delle acque con limitate possibilità di formazione di falda.

In corrispondenza della Galleria Artificiale Rovetello gli strati sommitali alterati della formazione argillosa, con presenza di maggiore frazione limosa, hanno una permeabilità relativamente più alta rispetto agli orizzonti sottostanti, permettendo un certo deflusso idrico sotterraneo sub-superficiale che crea livelli acquiferi sotterranei stagionali spessi qualche metro e che alimentano, nei mesi più piovosi e per un certo periodo successivo a tali periodi, i corsi d'acqua superficiali. Nella zona in questione, durante la campagna geognostica integrativa di fase 2, è stato installato un piezometro a tubo aperto (SI23 profondo 20 m prog. 2+900) su cui sono state effettuate alcune misure piezometriche, oltre ad effettuare un prelievo di acqua di falda. Le misure registrate sono le seguenti:

Piezometro	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data
SI23	Assente	12/10/10	m 2,95	29/11/10	m 3,35	11/01/11

La soggiacenza della falda conferma quanto detto sulla corrispondenza dell'acquifero con gli strati di alterazione sommitale delle argille. Per tale motivo il letto dell'acquifero sarà posto a circa 7÷10 m di prof. da p.c., in dipendenza degli andamenti degli orizzonti limoso-sabbiosi, determinando uno spessore della falda variabile tra i 4 e i 6 m. Dai dati piezometrici si evince, inoltre, che nel primo rilievo non era stata riscontrata la presenza di acqua, cosa poi avvenuta successivamente. Tale situazione è indice di una bassa permeabilità dell'acquifero interessato, nel cui contesto il piezometro installato ha la funzione di "trappola" idrogeologica, così come avviene per le tipiche opere di captazione della zona, costituite da anelli di cemento (DN 1500÷1800) appena forati e posizionati uno sopra l'altro in buche nel terreno profonde qualche metro; la decompressione nel terreno causata da tale opera funge da "trappola" per l'acqua di circolazione sub-superficiale che si accumula, così, all'interno dell'opera.

Le indagini sulla qualità delle acque hanno consentito di verificare che queste, a causa della rilevante presenza di solfati, rientrano nella classe di aggressività XA3 (forte). Per ulteriori dettagli si veda il cap. 12.

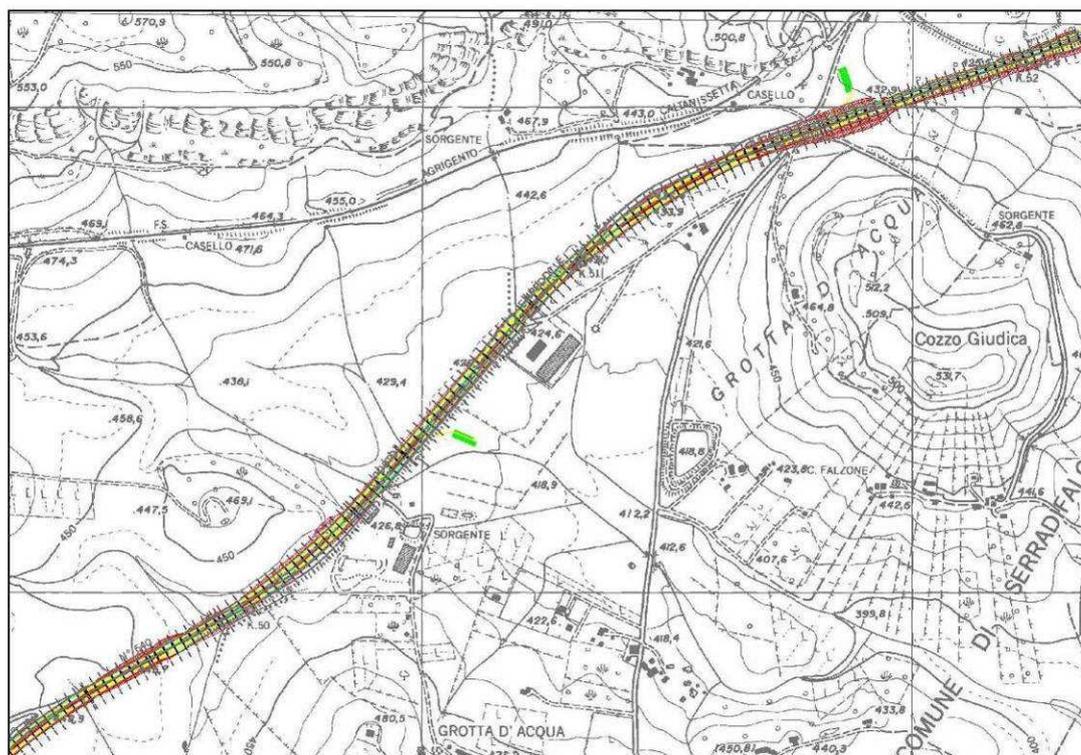
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 113 di 351

## 7.2. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO B

Il settore in questione (Tab. 7.2.1), esteso dalla progressiva 4+500 alla progressiva 9+500 (Fig. 7.2.1 – 7.2.2), si snoda tra le contrade Grotta d'Acqua e Favarella, per circa 4,5 Km.

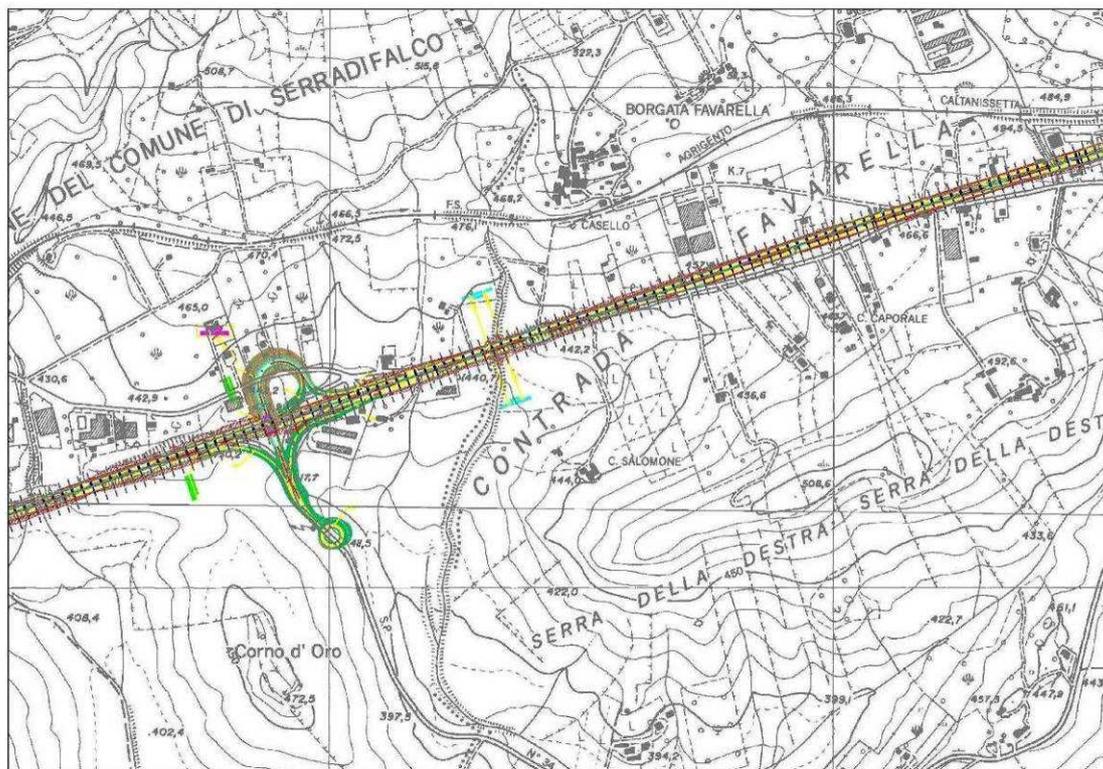
Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
1	B	Grotta d'Acqua - Favarella	4+500 ÷ 9+500

**Tabella 7.2.1 – Elementi di individuazione del sottotratto 1-B**



**Figura 7.2.1 – Sottotratto 1-B – prima parte**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 114 di 351



**Figura 7.2.2 – Sottotratto 1-B – seconda parte**

Le opere d'arte principali comprese nel sottotratto in questione sono lo Svincolo "Delia-Sommatino" ed il Ponte "Serra" (Tab. 7.2.2).

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Svincolo "Delia Sommatino"	7+580	7+940	
Ponte "Serra"	8+200	8+220	29 m (Dx - Sx)

**Tabella 7.2.2 – Opere d'arte principali del sottotratto 1-B**

Il tracciato del sottotratto 1-B si affianca, per i primi 1,500 Km circa, in sinistra della carreggiata attuale, mantenendo generalmente la stessa quota altimetrica, ed alternando tratti in trincea e tratti in rilevato.

A partire dal Km 6+000 circa, il nuovo tracciato, si affianca in destra alla carreggiata attuale, mantenendo generalmente la stessa quota altimetrica, ed alternando tratti in trincea e tratti in rilevato, sino allo Svincolo Delia – Sommatino e proseguendo sempre in destra dell'attuale carreggiata sino al Km 9+240 dove ritorna sulla destra dell'attuale carreggiata, sino al Km 9+500.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 115 di 351

Nella tabella 7.2.5 contenuta nel § 7.2.2 sono elencate le singole opere d'arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

### **7.2.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 6 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

#### **Campagna ANAS 1998**

- 1) A09
- 2) A11
- 3) A14
- 4) A16
- 5) A20
- 6) A23
- 7) A26
- 8) A31
- 9) A32

#### **Campagna 2006**

- 1) S32
- 2) S12
- 3) S13
- 4) S15
- 5) S09

#### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S01
- 2) S02

#### **Campagna 2010 Fase 2**

- 3) SI24

I dettagli dei summenzionati sondaggi e le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del sottotratto in esame.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 116 di 351

## 7.2.2. Caratteristiche geolitologiche

Il settore di territorio in cui ricade il sottotratto **B**, dal Km 4+500 al Km 9+500, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla contestuale presenza di litotipi, appartenenti a diverse formazioni, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato, le cui caratteristiche geolitologiche sono descritte nel seguito.

1. dalla prog. 4+500 alla 5+225 il tracciato ricade sulla formazione delle argille tortoniane (TRV – cfr. § 2.4.1), sino ad una struttura diretta che ribassa il contatto con i trubi;
2. dalla prog. 5+225 alla 6+400÷420 lungo il tracciato si riscontra la formazione dei trubi (TRB – cfr. § 2.4.3), il cui livello sommitale risulta alterato per uno spessore di circa 10 m;
3. dalla prog. 6+400÷420 alla 9+500 affiora la formazione pliocenica delle Marne e marne argillose grigio-azzurre, grigio-biancastre (ENNA – cfr. § 2.4.3) quando alterate, a tipica frattura concoide debolmente stratificate; tra il Km 7+000 e 7+050 è presente un minimo spessore (<2 m) di alluvioni recenti, mentre tra le progressive 7+160 e 7+300 le marne argillose sono ricoperte da un leggero (< 3 m) strato di sabbie astiane (SLN); in corrispondenza dello Svincolo Delia-Sommatino la formazione pliocenica è interessata da una struttura distensiva abbastanza estesa che ribassa la serie.

La campagna di indagine ha evidenziato nell'ambito della formazione argillosa tortoniana un primo livello sommitale costituito da argille e argille limo-sabbiose giallastre alterate e plastiche dello spessore variabile da 5 a 8 metri seguite in profondità da un livello basale di argille grigio azzurre compatte a tratti scagliose, con migliori caratteristiche geotecniche.

Dalla prog. 8+250 sino alla progr. 9+400 il rilevamento di campagna e le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza al disopra delle argille plioceniche di un deposito eluviale 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.

Al fine della definizione di un modello geotecnico – stratigrafico del settore si delineano tre profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

In sintesi le formazioni che interessano il tracciato sono di seguito riportate in tabella (Tab. 7.2.3):

Formazione	Progressive	Note
------------	-------------	------

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 117 di 351

	Inizio	Fine	
Argille Marnose ( <b>TRV</b> )	4+500	5+225	Livello sommitale alterato
Trubi ( <b>TRB</b> )	5+225	6+400÷420	Livello sommitale alterato
Marne Argillose ( <b>ENNA</b> )	1+515	3+640	Livello sommitale alterato

**Tabella 7.2.3 – Affioramenti geolitologici nel sottotratto 1-B**

Anche questo tratto di tracciato è interessato da un *layer* superficiale detritico, alterato e rimaneggiato, riscontrato con continuità tanto in superficie quanto in profondità (perforazioni geognostiche - sismica a rifrazione) ed avente spessori rilevati in sondaggio pari a circa 5 m (S9/ 2006) in grado, quindi, di condizionare la realizzazione delle opere previste, per tale motivo lo Scrivente ha ritenuto opportuno rappresentare cartograficamente, con dignità *formazionale*, il deposito in questione (Tab. 7.2.4).

Formazione	Sezioni		Progressive		Tipologia
	Inizio	Fine	Inizio	Fine	
Depositi eluvio-colluviali ( <b>DT</b> )	444	503÷506	8+260	9+400÷420	Spessore 2.5 – 5.0 m

**Tabella 7.2.4 – Affioramenti detritici sottotratto 1-B**

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del sottotratto stradale **1-B**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.2.5) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opera d'arte principale	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Svincolo "Delia - Sommatino"	7+580	7+940	Marne argillose ( <b>ENNA</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Ponte "Serra"	8+200	8+220	Marne argillose ( <b>ENNA</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.

**Tabella 7.2.5 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

Per quanto riguarda lo Svincolo "Delia - Sommatino", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà solo con i livelli sommitali delle Marne Argillose plioceniche.

Per quanto riguarda il Ponte "Serra", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà solo con la formazione delle Marne Argillose plioceniche.

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e le eventuali sezioni trasversali.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 118 di 351

### 7.2.3. Modellizzazione geotecnica

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, sono stati sintetizzati tre profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

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

#### **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	Argille tortoniane sommitali – TRV1: 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	Argille tortoniane intermedie – TRV2a: 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.	Argille tortoniane profonde – TRV2b: argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.92 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.19 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.34 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 16.9^\circ$

#### **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
				2	S12C2	8,00-8,50
S12	Carotaggio continuo piezometro	20,00	5+825	1	S12C1	4,00-4,50
				3	S12C3	14,00-14,50

Penetrometriche dinamiche 2006	Dimensione	Prog. Km
--------------------------------	------------	----------

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 119 di 351

P6 – Fase 2	Prof= 9,80 m	5+750
P7 – Fase 2	Prof= 9,80 m	6+100

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

**Indagini indirette di riferimento:**

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

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

**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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 120 di 351

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> limo argilloso di colore brunoastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica .	$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.95 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.19 \text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 22.4^\circ$
8.00 ÷ in prof.	<u>Argille Plioceniche - ENNa:</u> argilla limosa con intercalazioni sabbiose a tratti scagliosa, consistente	$\gamma = 1.87 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.00 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.22 \text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 20.9^\circ$

**7.2.4. Assetto geomorfologico**

Il tracciato di contrada Grotta D'Acqua ricade in un settore caratterizzato da un sostanziale assetto pianeggiante con debole pendenza complessiva in direzione Sud.

Nell'assetto morfologico complessivo, il settore rappresenta un basso strutturale compreso tra i rilievi di Gessi e Calcari evaporitici posti a nord e quasi paralleli all'asse stradale, e le collinette argillo-sabbiose, poste a sud sud-est, tipiche della formazione marnoso arenacea.

Tale situazione ha determinato una zona di accumulo di materiale detritico, derivante dai fenomeni gravitativi e di erosione dei rilievi, che ha subito un certo trasporto ad opera delle acque dilavanti e di ruscellamento. Si è pertanto formato un consistente tappeto di detrito eluviale dello spessore medio di circa 8 metri, che ricopre le formazioni in posto. La natura del deposito è prevalentemente limo-sabbiosa con frammenti rocciosi e sostanza organica con conseguente compressibilità e/o tendenza al rigonfiamento del terreno.

L'assetto morfologico e la litologia delle formazioni presenti, caratterizzate da scarsa permeabilità complessiva, determinano la formazione di zone sature con ristagni idrici legati alle acque piovane invernali, che hanno scarsa possibilità di deflusso superficiale o drenaggio profondo.

Tale contesto geomorfologico determina inoltre la formazione di modeste falde superficiali stagio-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 121 di 351

nali contenute nei limi sabbiosi, così come evidenziato dalla lettura dei livelli freatici nei sondaggi attrezzati con piezometro.

### 7.2.5. **Caratteristiche idrogeologiche**

La presenza di rilievi calcareo-gessosi posti a Nord del tracciato e di rilievi sabbiosi posti a Sud, determina una certa circolazione di acque infiltrate nei primi metri di sottosuolo dei detriti costituenti le falde dei rilievi, che poi, a causa della scarsa permeabilità dei substrati argillosi, defluisce in superficie alimentando i numerosi impluvi e corsi d'acqua stagionali presenti nel fondovalle, lungo cui si snoda il tracciato.

In tale contesto idrologico si determina la formazione di modeste falde superficiali stagionali contenute nei livelli sommitali, laddove costituiti da limi sabbiosi, così come evidenziato dalla lettura dei livelli freatici nei sondaggi attrezzati con piezometro.

Nel settore di Favarella è presente un acquifero nell'ambito dei depositi eluviali e delle sottostanti sabbie, sostenuto dalle argille della marnoso arenacea. Dai dati disponibili e da quelli desunti dalla campagna di indagine, la falda presenta livello freatico mediamente a 10-15 m di prof. dal piano di campagna.

Nella zona in questione, durante la campagna geognostica integrativa di fase 2, è stato installato un piezometro a tubo aperto (SI24 profondo 20 m prog. 6+220) su cui sono state effettuate alcune misure piezometriche, senza poter effettuare un prelievo di acqua di falda. Le misure registrate sono le seguenti:

<b>Piezometro</b>	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data
<b>SI24</b>	Assente	12/10/10	Assente	29/11/10	m 18,10	11/01/11

Dai dati piezometrici si evince che nei primi due rilievi non era stata riscontrata la presenza di acqua, cosa poi avvenuta successivamente. Tale situazione è indice di una bassa permeabilità dell'acquifero interessato, nel cui contesto il piezometro installato ha la funzione di "trappola" idrogeologica, così come avviene per le tipiche opere di captazione della zona descritte in § 7.1.5. Anche in questo caso la falda sarà di tipo sub-superficiale e interesserà gli strati di alterazione sommitale delle argille marnose (Trubi). Con le successive misure si potrà determinare lo spessore reale della falda, il cui substrato dovrebbe essere posto a circa 11 m di prof. da p.c..

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 122 di 351

### 7.3. TRATTO 1 – SOTTOTRATTO C

Il settore in questione (Tab. 7.3.1), esteso dalla progressiva 9+500 alla progressiva 12+140 (Fig. 7.3.1), si snoda tra la C/da Favarella, la C/da Papazzo e la C/da Portella Arena, per una lunghezza di circa 2,6 Km.

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

Tabella 7.3.1 – Elementi di individuazione del sottotratto 1-C

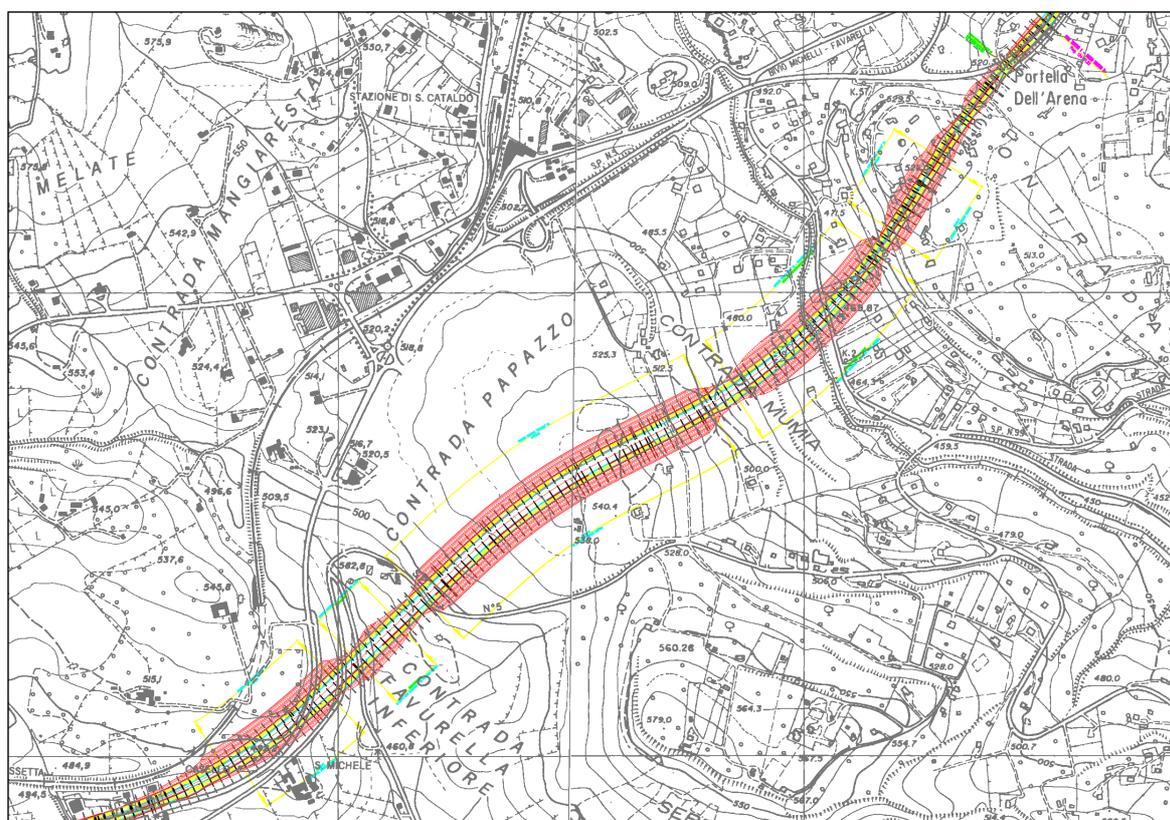


Figura 7.3.1 – Sottotratto 1-C

Le opere d'arte principali comprese nel sottotratto in questione sono di 3 tipologie differenti, tra gallerie naturali, artificiali e viadotti, elencati nella sottostante tabella (Tab. 7.3.2 – Figg. 7.3.2, 7.3.3 e 7.3.4):

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Galleria artificiale "Favarella"	9+720	10+020	285 (SX) 238 (DX)

Viadotto "Favarella"	10+090	10+200	122
Galleria naturale "Papazzo"	10+280	11+020	741 (SX) 743 (DX)
Viadotto "Mumia"	11+080	11+520	423 (SX) 430 (DX)
Galleria artificiale "S. Cataldo"	11+580	11+760	187

**Tabella 7.3.2 – Opere d'arte principali del sottotratto 1-C**

Il tracciato del sottotratto 1-C dal Km 9+500 si stacca dal tracciato stradale esistente, e in variante attraversa, tramite gallerie e i viadotti riportati nella tabella 7.3.2, le vallate e i rilievi che decorrono ad Est. Si ricongiunge al tracciato attuale in corrispondenza di Portella Dell'Arena, in destra della carreggiata, al Km 12+040 e procede sino alla fine del tratto, al Km 12+141.

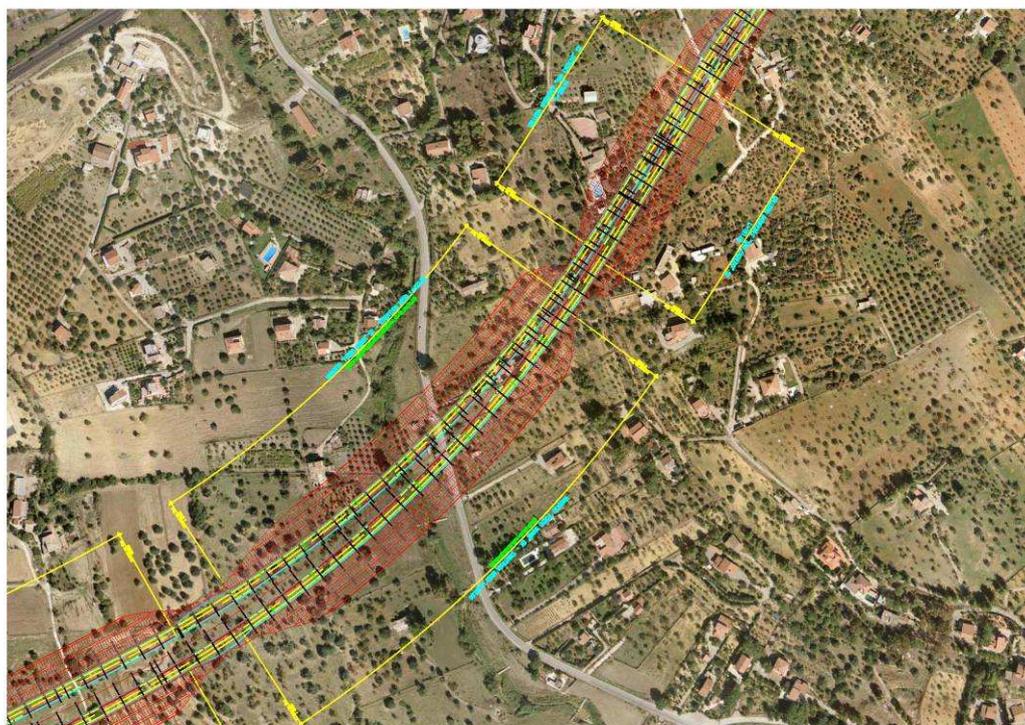


**Figura 7.3.2 – GA "Favarella" e Viadotto "Favarella"**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 124 di 351



**Figura 7.3.3 – GN “Papazzo”**



**Figura 7.3.4 – Viadotto “Mumia” e GA “San Cataldo”**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 125 di 351

Nella tabella 7.3.5 contenuta nel § 7.3.2 sono elencate le singole opere d'arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

### **7.3.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 6 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

#### **Campagna 2006**

- 1) S16
- 2) S17
- 3) S18
- 4) S44
- 5) S19
- 6) S20
- 7) S14
- 8) S21
- 9) S22
- 10) S46
- 11) S23

#### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S03
- 2) S04
- 3) S05
- 4) S06

#### **Campagna 2010 Fase 2**

- 5) SI25

I dettagli dei summenzionati sondaggi e le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del sottotratto in esame.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 126 di 351

### 7.3.2. Caratteristiche geolitologiche

Il settore di territorio in cui ricade il sottotratto **C**, dal Km 9+500 al Km 12+140, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla contestuale presenza di litotipi, appartenenti a diverse formazioni, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato, le cui caratteristiche geolitologiche sono descritte nel seguito.

1. dalla prog. 9+500 alla 10+380 il tracciato ricade sulla formazione pliocenica delle Argille marnose di Geracello (**GER** – cfr. § 2.4.3); 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 terrazze;
2. dalla prog. 10+380 alla 10+930 lungo il tracciato si riscontra la formazione delle Sabbie di Lannari (**SLN** – cfr. § 2.4.3), 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**).

In corrispondenza della galleria artificiale "Favarella lo scavo interesserà un livello di spessore pari a 8 metri di argille e limo argilloso di colore giallastro, alterato e plastico, con presenza di sostanza organica, e frazioni gessose. Tale litotipo costituisce il livello sommitale alterato e rimaneggiato delle argille plioceniche che seguono in profondità.

Segue il viadotto "Favarella", le cui fondazioni su pali interesseranno direttamente le argille plioceniche con il classico livello alterato sommitale spesso circa 5-7 metri a copertura delle argille grigio scure consistenti, superando il leggero strato di depositi alluvionali.

La contrada Papazzo, dove è prevista l'omonima galleria naturale, si caratterizza per la presenza

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 127 di 351

delle litologie della Formazione Marnoso- arenacea del Pliocene medio – Pleistocene inf.. L'opera prevista, attraverserà il modesto rilievo morfologico espressione della tipica deposizione terrigena torbiditica di ambiente costiero, costituita da sabbie, sabbie limose ed argille. Nel cap. 10 viene analizzato con maggiore dettaglio l'assetto geologico-stratigrafico della zona interessata dalla principale opera d'arte del tratto in esame.

Sempre la formazione marnoso- arenacea del Pliocene medio – Pleistocene inf., localmente ricoperta da depositi continentali di tipo alluvionale (*Vallone Mumia*) interesserà opere quali il viadotto Mumia e la galleria artificiale "San Cataldo".

Il viadotto permetterà di superare la valle in corrispondenza del Vallone Mumia che presenta in affioramento depositi alluvioni recenti e terrazzati, costituiti da limi sabbiosi con presenza di elementi litoidi e sostanza organica, generalmente incoerenti o poco coesive. La campagna di indagine eseguita, ha evidenziato uno spessore medio dei depositi alluvionali variabile tra i 4 e 9 metri, al di sotto dei quali si riscontra la formazione delle argille marnose plioceniche.

La galleria artificiale "S. Cataldo" attraversa per tutta la sua lunghezza le facies sabbioso e sabbioso-argillosa plioceniche. I contatti tra queste litologie non sono netti sia in senso orizzontale che verticale, con passaggi spesso gradualmente e interdigitazioni tra sabbie limose e argille sabbiose.

I sondaggi eseguiti hanno evidenziato uno spessore dei depositi sabbiosi variabile da 15 a 25 metri al di sotto dei quali si riscontrano le argille plioceniche.

In sintesi le formazioni che interessano il tracciato sono di seguito riportate in tabella (Tab. 7.3.3):

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Argille marnose ( <b>GER</b> )	9+500	10+380	Livello sommitale alterato
Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> )	10+380	10+930	Spessore di 18÷20 m sovrastante le Marne Argillose
Argille marnose ( <b>GER</b> )	10+930	11+200	Livello sommitale alterato
Depositi alluvionali ( <b>TF</b> )	11+200	11+480	Spessore di 8÷10 m sovrastante le Argillose marnose
Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> )	11+480	12+140	Spessore di 16÷18 m sovrastante le Argillose marnose

**Tabella 7.3.3 – Affioramenti geolitologici nel sottotratto 1-C**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 128 di 351

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del sottotratto stradale **1-B**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.3.4) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Galleria artificiale "Favarella"	9+720	10+020	Marne argillose ( <b>ENNA</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Favarella"	10+090	10+200	Marne argillose ( <b>ENNA</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Galleria naturale "Papazzo"	10+280	11+020	Marne argillose ( <b>ENNA</b> ) da -18÷20 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Mumia"	11+080	11+520	
	<i>Spalla Sud</i>		1. Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> ) da 0 m da p.c. a -6÷7 m 2. Argille marnose ( <b>GER</b> ) da -6÷7 m da p.c.
	<i>Settore Centrale</i>		1. Depositi alluvionali ( <b>TF</b> ) da 0 m da p.c. a -8÷10 m 2. Argille marnose ( <b>GER</b> ) da -18÷20 m da p.c.
Galleria artificiale "S. Cataldo"	11+580	11+760	1. Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> ) da 0 m da p.c. a -7÷8 m 2. Argille marnose di Geracello ( <b>GER</b> ) da -7÷8 m da p.c.
			1. Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> ) da 0 m da p.c. a -14÷16 m 2. Argille marnose di Geracello ( <b>GER</b> ) da -14÷16 m da p.c.

**Tabella 7.3.4 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

Per quanto riguarda la Galleria artificiale "Favarella", le opere previste in tale ambito interagiranno con i livelli sommitali alterati delle Marne Argillose plioceniche, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda il Viadotto "Favarella", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà solo con la formazione delle Marne Argillose plioceniche.

Per quanto riguarda la Galleria naturale "Papazzo", la tipologia costruttiva prevede l'attraversamento solo della formazione delle Marne Argillose plioceniche, eccetto l'imbocco lato Caltanissetta, dove si incontreranno livelli sabbiosi e limoso-sabbiosi. Per ulteriori dettagli si veda il cap. 10.

Per quanto riguarda il Viadotto "Mumia", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà in maniera differenziata a seconda dei settori:

- la spalla lato Sud interesserà la formazione sabbiosa sino a circa 7 m di profondità dall'attuale p.c., dopodichè ci si atterrà sulle Argille marnose plioceniche;

- il settore centrale sino a circa 8 m dall'attuale p.c., poggerà sul deposito alluvionale, dopodichè ci si attesterà sulle Argille marnose plioceniche;
- la spalla lato Nord interesserà la formazione sabbiosa sino a circa 8 m di profondità dall'attuale p.c., dopodichè passerà alle argille sabbiose sino a circa 15 m ed infine ci si attesterà sulle Argille marnose plioceniche.

Per quanto riguarda la Galleria artificiale "San Cataldo", le opere previste in tale ambito interagiranno con la formazione sabbiosa sino a circa 15 m di profondità dall'attuale p.c., dopodichè passerà alle argille sabbiose sino a circa 20 m ed infine si potranno incontrare le Argille marnose plioceniche.

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e alle sezioni trasversali.

### 7.3.3. Modellizzazione geotecnica

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, sono stati sintetizzati cinque profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

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

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

#### **Indagini dirette di riferimento:**

Sondaggio 2006	Tipologia	Prof. (m)	Progr. 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)	Progr. 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	Progr. Km
PD23	Prof.= 7,60 m	9+650

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 130 di 351

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

### 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: limo argilloso, plastico con inclusi lapidei	$\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ $Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.50 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 16^\circ$
2.00 ÷ 7.00.	Argille Plioceniche sommitali – GER1: Limo argilloso, plastico, con presenza di sostanza organica .	$\gamma = 1.86 \text{ T/mc}$ $Cu = 0.84 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.44 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 13.4^\circ$
7.00 ÷ in prof	Argille Plioceniche – GER2: argilla limosa con intercalazioni sabbiose a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.0 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.37 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 23.95^\circ$

### 1-C - Modello Geotecnico 3 – GN Papazzo: da prog. 10+250 a prog. 11+080

#### Vedere monografia geotecnica GN Papazzo

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 131 di 351

### **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>	$\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.63 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.43 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 17.1^\circ$
7.00 ÷ in prof.	<u>Argille marnose - GER :</u> argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi .	$\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.72 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.64 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 17.74^\circ$

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 132 di 351

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

*Nota: le alluvioni terrazzate sono state caratterizzate con gli stessi parametri assegnati alle sabbie di Lannari (spalla sud).*

### **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

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 133 di 351

#### **7.3.4. Assetto geomorfologico**

Il settore di contrada Favarella è caratterizzato dalla presenza di dolci collinette argillose ed incisioni vallive (Vallone Favarella) che vengono superate con una modesta galleria artificiale ed un viadotto. Il tracciato ricade in zona stabile, priva di fenomeni erosivi in atto o situazioni di criticità geomorfologica tali da interferire significativamente con le scelte progettuali.

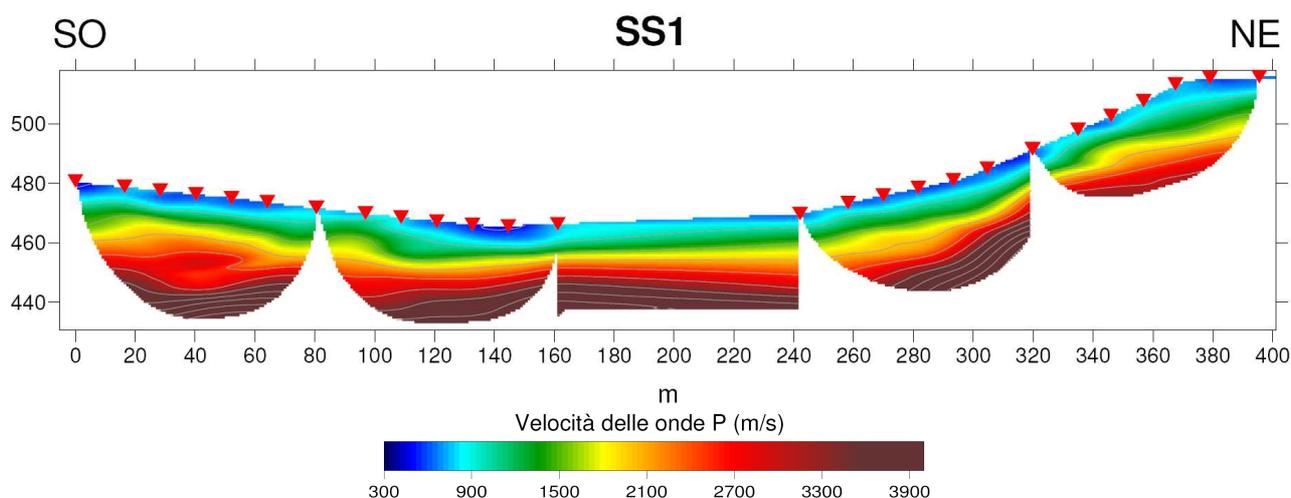
Da segnalare solamente delle soliflussioni in prossimità dei versanti argillosi del Vallone Favarella, dove sono presenti in destra idraulica, dei modesti dissesti superficiali legati alla mancata regimentazioni delle acque di ruscellamento del versante e della viabilità presente.

Nello stesso tratto l'assetto morfologico e la presenza di formazioni scarsamente permeabili, determinano la formazione di zone sature con ristagni idrici legati alle acque piovane invernali che hanno scarsa possibilità di deflusso superficiale o drenaggio profondo.

Il settore della galleria di contrada Papazzo si caratterizza per la presenza di una cresta di origine sabbiosa che emerge dalle formazioni argillose circostanti. Il modesto rilievo presenta la cresta pressoché orizzontale a quota 530 m s.l.m., mentre i versanti hanno pendenze uniformi intorno al 15÷20 % che tendono ad aumentare nelle quote più alte, in prossimità dei livelli metrici di calcareniti intercalati alle sabbie.

Complessivamente la contrada è improntata a complessiva stabilità in tutti i settori interessati. Entrambi i versanti dove insistono gli imbocchi, viste le non eccessive acclività, si sono rivelati abbastanza stabili e non sono stati riscontrati fenomeni gravitativi rilevanti in fase attiva o quiescente. Quindi allo stato attuale le formazioni argilloso-marnose (lato Agrigento) e sabbioso-argillose (lato Caltanissetta) sembrano avere raggiunto un equilibrio statico non soggetto a pericoli di scivolamento e/o frane, sebbene il taglio del pendio e la movimentazione di terre e materiali potrebbe innescare movimenti gravitativi, soprattutto sul versante Sud, se non si attuano le dovute misure di contenimento del pendio. Sarebbe da verificare anche l'imbocco lato Caltanissetta a causa della presenza delle summenzionate strutture tettoniche.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 134 di 351



**Figura 7.3.5 – Profilo ricostruito tramite indagine sismica a rifrazione con risoluzione tomografica, lungo il Vallone del Fosso Mumia; non si riscontrano, lungo i pendii, situazioni associabili a instabilità o accumuli di materiale detritico**

La Contrada Papazzo per la sua conformazione pianeggiante e la vicinanza ai centri abitati di San Cataldo e Caltanissetta, è stata oggetto negli ultimi decenni di urbanizzazione con numerose costruzioni residenziali e commerciali (capannoni industriali). Tale situazione di urbanizzazione diffusa ha indotto ad optare per un tracciato in galleria naturale.

L'assetto geomorfologico compreso tra C/da Papazzo e C/da Portella Arena è sub pianeggiante, condizionato dalla deposizione della formazione marnoso arenacea, che ha tagliato in discordanza i depositi precedenti del Pliocene inf. (Trubi).

La deposizione avvenuta in ambiente di mare basso, ha colmato tutte le morfologie presenti, determinando ampi settori sub orizzontali o debolmente inclinati. Inoltre, tale assetto sub-orizzontale, si è mantenuto anche in considerazione della scarsa o pressoché nulla tettonica post pleistocenica, visto che le fasi deformative maggiormente agenti sull'area sono di età infrapliocenica, medio pliocenica e suprapliocenica – pleistocenica (cfr. § 3.3.1).

L'uniformità del terrazzo pleistocenico è interrotta dalla incisione pluviale del Vallone Mumia, che taglia con un'ampia vallata da nord a sud la contrada. La formazione di tale Vallone sembrerebbe essere stata indotta da strutture tettoniche distensive collegate alla tettonica plicativa.

Da segnalare dei modesti processi erosivi in atto nel Vallone Mumia, che mostra incisione di fondo ed erosione laterale delle scarpate. Pertanto, nel settore è previsto un intervento di sistemazione

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 135 di 351

idraulica a protezione delle pile del viadotto (vedi elaborato specifico), coordinato e compatibile con le opere di regolazione eseguite negli anni passati.

### **7.3.5. Caratteristiche idrogeologiche**

Dal punto di vista idrogeologico nel rilievo di C/da Papazzo è stato rilevato un acquifero superficiale di spessore complessivo inferiore ai 30 m che si insedia nel complesso permeabile della sabbie e calcareniti aventi spessore di 20 metri circa e nei primi metri della sottostanti argille sabbiose e sabbie argillose plioceniche. Il letto dell'acquifero è costituito dalle stesse argille che oltre i primi metri presentano minore componente sabbiosa e sono pressoché impermeabili ed asciutte. Le letture piezometriche eseguite negli ultimi mesi hanno delineato un livello freaticometrico oscillante sui 10 m da p.c..

Sono stati, inoltre installati, nella campagna geognostica del PD, dei piezometri con cella di Casagrande alla profondità di 40 m da p.c., corrispondente alla quota della prevista galleria. Le letture a falda stabilizzata disegnano un livello piezometrico a circa 25 metri dal p.c., indicatore di una falda in pressione contenuta nei livelli più limo-sabbiosi delle argille plioceniche.

Per ulteriori dettagli sul tratto interessato dalla galleria Papazzo si veda il cap. 8, specificamente dedicato all'opera in questione.

Procedendo verso C/da Portella Arena l'elevata permeabilità delle unità litologiche presenti e il particolare assetto morfologico determinano le condizioni per la formazione di un acquifero ospitato nella formazione della sabbie e sabbie argillose.

La campagna di indagine eseguita in fase di PD e le letture dei piezometri, hanno però evidenziato una falda modesta e discontinua, e in alcuni settori potenzialmente favorevoli, totalmente assente.

Le falde individuate sono in corrispondenza delle alluvioni del vallone Mumia e nelle sabbie della galleria artificiale San Cataldo il cui scavo può intercettare modeste falde stagionali,

## **7.4. TRATTO 2**

Il settore in questione (Tab. 7.4.1), esteso dalla progressiva 12+140 alla progressiva 17+640 (Fig. 7.4.1 – 7.4.2), si snoda tra la C/da Portella Arena, la C/da S.Elia e la C/da S. Filippo Neri per circa 5,5 Km, includendo l'opera d'arte principale dell'intero tracciato progettuale: la Galleria naturale Caltanissetta lunga oltre 4 Km.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 136 di 351

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

**Tabella 7.4.1 – Elementi di individuazione del tratto 2**

Le opere d'arte principali comprese nel tratto in questione sono di 3 tipologie differenti, tra svincoli, gallerie naturali e ponti/viadotti, elencati nella sottostante tabella (Tab. 7.4.2 – Figg. 7.4.1 e 7.4.2):

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Cavalcaferrovia "Grotticelle"	12+290	12+355	45
Svincolo "Caltanissetta Sud" -	12+420	12+680	
Galleria naturale "Caltanissetta"	12+885	16+930	4.052 (SX) 4.044 (DX)
Viadotto "San Giuliano"	16+955	17+135	153 (SX) 29 (DX)
Viadotto "San Filippo Neri"	17+225	17+405	188 (SX) 170 (DX)
Galleria Naturale "S. Filippo"	17+450	17+640	176 (SX) 192 (DX)

**Tabella 7.4.2 – Opere d'arte principali del tratto 2**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 137 di 351

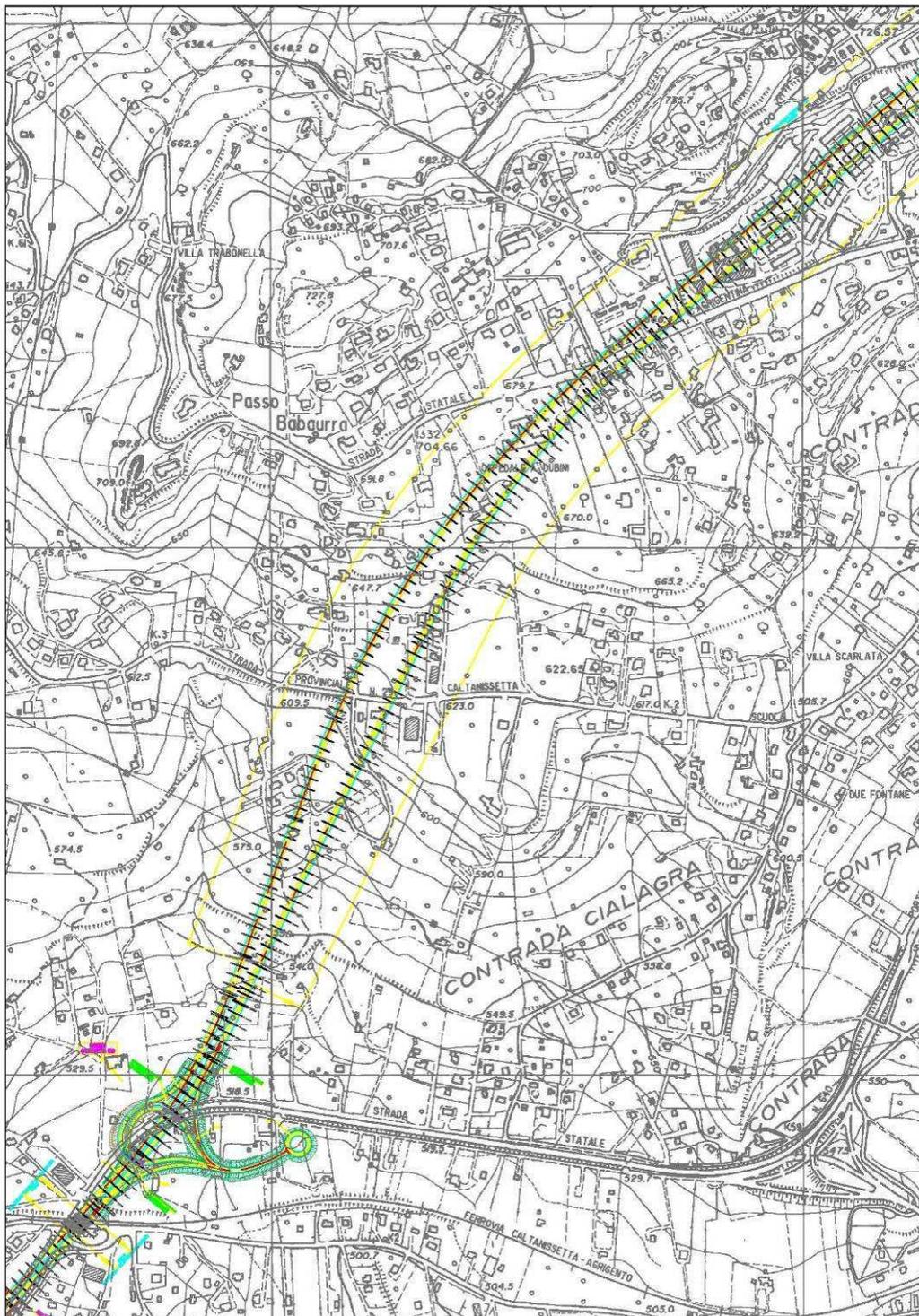
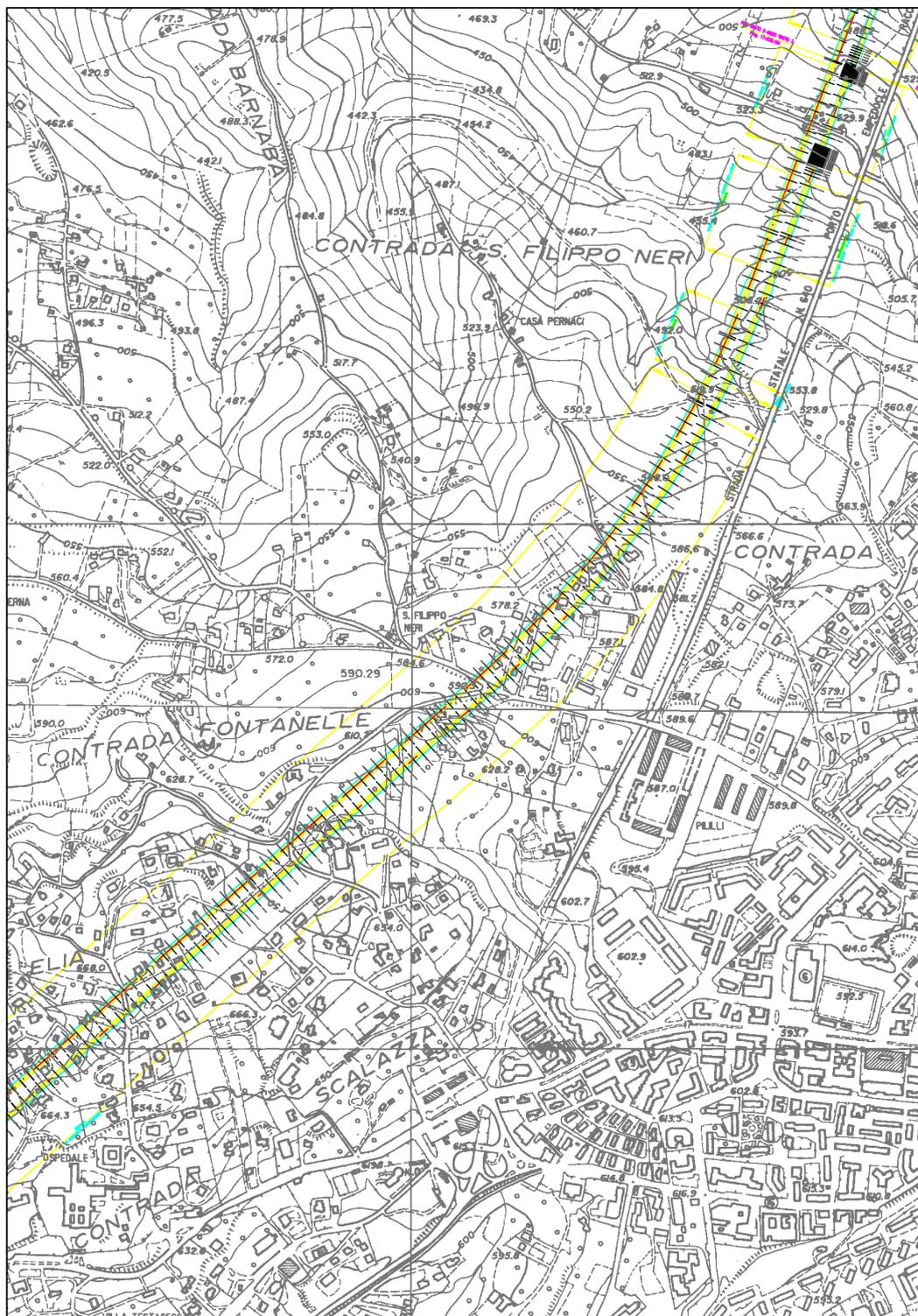


Figura 7.4.1 – Tratto 2 – prima parte

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 138 di 351



**Figura 7.4.2 – Tratto 2 – seconda parte**

Il tracciato del Tratto 2 dal Km 12+140 si sovrappone al percorso esistente della SS640 sino al Km 12+290, dove se ne distacca formando lo Svincolo “Caltanissetta Sud”, e dopo circa 600 m proce-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 139 di 351

de nella variante in sotterraneo della Galleria naturale "Caltanissetta" che per oltre 4 Km attraversa il rilievo della collina di C/da S. Elia. Attraversata la galleria sempre in variante il tracciato si sviluppa tra i rilievi e le vallate di C/da S. Filippo Neri, sino alla fine del tratto al Km 17+640.

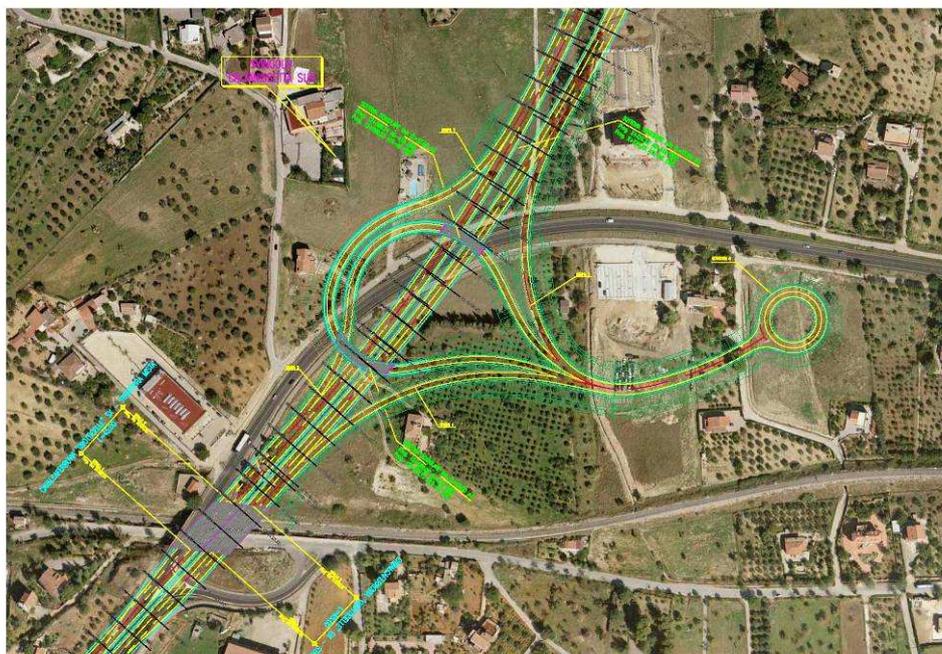
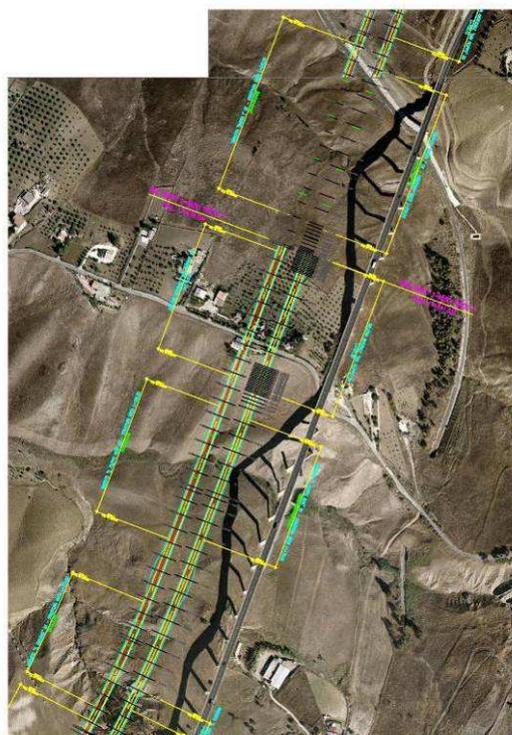


Figura 7.4.3 – Cavalcaferrovia "Grotticelle" e Svincolo "Caltanissetta Sud"



Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 140 di 351

**Figura 7.4.4 – Viadotto “S. Giuliano”, Viadotto “S. Filippo Neri” e GA “S. Filippo”**



**Figura 7.4.5 – Galleria naturale “Caltanissetta”**

Nella tabella 7.4.5 contenuta nel § 7.4.2 sono elencate le singole opere d’arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 141 di 351

#### **7.4.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 6 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

##### **Campagna 2006**

- 1) S24
- 2) S47
- 3) S48
- 4) S26
- 5) S50
- 6) S25
- 7) S51
- 8) S27
- 9) S28
- 10) S52
- 11) S29
- 12) S53
- 13) S30
- 14) S31

##### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S07
- 2) S08
- 3) S09
- 4) S10
- 5) S11
- 6) S12bis
- 7) S13
- 8) S14
- 9) S15

##### **Campagna 2010 Fase 2**

- 1) SI26
- 2) SI26bis
- 3) SI27
- 4) SI28

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 142 di 351

5) SI29

### **Campagna 2011 Fase 3**

6) SI39

7) SI40

8) SI41

9) SI42

10) SI43

11) SI44

12) SI45

13) SI46

14) PZ1

15) PZ2

16) PZ3

I dettagli dei summenzionati sondaggi e le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del tratto in esame.

#### **7.4.2. Caratteristiche geolitologiche**

Il settore di territorio in cui ricade il tratto **2**, dal Km 12+140 al Km 17+640, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla contestuale presenza di affioramenti di litotipi, appartenenti a diverse formazioni, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato, le cui caratteristiche geolitologiche sono descritte nel seguito.

1. dalla prog. 12+140 alla 12+960 affiora la formazione delle Sabbie di Lannari del Pliocene superiore (**SLN** – cfr. 2.4.3); 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** – cfr. 2.4.3);
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** – cfr. 2.4.3), 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 Brec-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 143 di 351

ciate del Tortoniano (**TRVB** – cfr. 2.4.1) 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 (cfr. § 2.3) 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** – cfr. § 2.4.2), 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.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 144 di 351

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.

In corrispondenza dello svincolo Caltanissetta Sud ci si trova in presenza della formazione sabbiosa astiana ricoprente in discordanza le argille tortoniane che a loro volta sono poste, tramite contatto tettonico inverso, in contatto laterale con le marne argillose plioceniche.

Poco più in avanti sempre le sabbie astiane interessano l'imbocco della Galleria Caltanissetta che passa poi alle argille brecciate plioceniche. Come si evince dalla descrizione sopra riportata del tracciato della galleria, questa interessa le varie formazioni argillose del tortoniano e del pliocene, per tutto il suo percorso. Nel successivo cap. 11 viene analizzato con maggiore dettaglio l'assetto geologico-stratigrafico della zona interessata dalla principale opera d'arte del tratto in esame.

La formazione delle brecce argillose plioceniche, ricoperta da fasce di materiale limo-argilloso alterato, interesserà le opere successive alla galleria suddetta, quali il viadotto "S. Giuliano", il viadotto "S. Filippo Neri", la galleria naturale "S. Filippo".

I viadotti permetteranno di superare le valli di incisione torrentizia presenti nella formazione argillosa, mentre la cresta tra le due vallate costituisce il rilievo argilloso che verrà attraversato dalla galleria naturale minore. La campagna di indagine eseguita, ha evidenziato uno orizzonte superficiale alterato della formazione argillosa con spessori inferiori ai 5 m. Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati a diverse profondità hanno evidenziato all'interno dello stesso litotipo un comportamento geotecnico differente.

In sintesi le formazioni che interessano direttamente il tracciato (in affioramento per i tratti scoperti e in sotterraneo per le gallerie) sono di seguito riportate in tabella (Tab. 7.4.3):

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> )	12+140	12+840	Tratto stradale scoperto. spessore di 10÷15 m sovrastante le Argille marnose di Geracello
Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> )	12+840	12+960	Tratto in galleria; spessore di 10÷15 m sovrastante le Argille marnose di Geracello
Trubi ( <b>TRB</b> )	12+960	13+100	Faglia diretta a 12+960
Argille marnose ( <b>GER</b> )	13+100	13+380	Sovrascorrimento a 13+380
Trubi ( <b>TRB</b> )/Argille brecciate ( <b>TRVb</b> )	13+380	13+580	Zona di contatto tra le due formazioni

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 145 di 351

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Argille brecciate ( <b>TRVb</b> )	13+580	15+240	Alle prog. 13+920, 14+060, 14+380 e 14+520 discontinuità tettoniche dirette a basso rigetto; alla prog. 14+380 la discontinuità ribassa la formazione dei sovrastanti Trubi sino ad interessare la galleria
Trubi ( <b>TRB</b> )	15+240	15+460	
Argille brecciate ( <b>TRVb</b> )	15+460	15+640	A 15+640 sovrascorrimento sui Trubi
Trubi ( <b>TRB</b> )	15+640	15+800	A 15+800 importante faglia diretta
Calcari evaporitici ( <b>GTL1</b> )	15+800	15+960	Calcari intensamente tettonizzati e deformati
Argille brecciate ( <b>TRVb</b> )	15+960	17+640	Faglie 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; prog. 16+965 fine tratto in galleria Caltanissetta

**Tabella 7.4.3 – Formazioni geolitologiche nel tratto 2**

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del tratto stradale **2**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.4.4) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Cavalcaferrovia "Grotticelle"	12+290	12+355	1. Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> ) da 0 m da p.c. a -20 m 2. Argille sabbiose di Geracello ( <b>GER</b> ) da -20 m da p.c.
Svincolo "Caltanissetta Sud" -	12+420	12+680	1. Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> ) da 0 m da p.c. a -15÷20 m 2. Argille sabbiose di Geracello ( <b>GER</b> ) da -10 m da p.c.
Galleria naturale "Caltanissetta"	12+840	12+960	Sabbie di Lannari ( <b>SLN</b> )
	12+960	13+100	Trubi ( <b>TRB</b> )
	13+100	13+380	Argille marnose ( <b>GER</b> )
	13+380	13+580	Trubi ( <b>TRB</b> )/Argille brecciate ( <b>TRVb</b> )
	13+580	15+240	Argille brecciate ( <b>TRVb</b> )
	15+240	15+460	Trubi ( <b>TRB</b> )

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 146 di 351

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
	15+460	15+640	Argille brecciate (TRVb)
	15+640	15+800	Trubi (TRB)
	15+800	15+960	Calcari evaporitici (GTL1)
	15+960	16+965	Argille brecciate (TRVb)
Viadotto "San Giuliano"	16+990	17+135	Argille brecciate (TRVb) da 0 m da p.c.
Viadotto "San Filippo Neri"	17+225	17+405	Argille brecciate (TRVb) da 0 m da p.c.
Galleria Naturale "S. Filippo"	17+450	17+640	Argille brecciate (TRVb) da 0 m da p.c.

**Tabella 7.4.4 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

Per quanto riguarda il Cavalcaferrovia "Grotticelle", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà con le sabbie e le argille sabbiose, sino al substrato dalle migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda lo Svincolo "Caltanissetta Sud", la tipologia costruttiva delle opere previste in tale ambito interagirà solo con le sabbie astiane.

Per quanto riguarda la Galleria naturale "Caltanissetta", la tipologia costruttiva prevede all'imbocco lato Sud l'attraversamento della formazione sabbiosa, procedendo nella formazione dei trubi e, talora, attraversando le argille tortoniane, mentre l'imbocco lato Nord insisterà sulle brecce argillose plioceniche. Per ulteriori dettagli si veda il cap. 11.

Per quanto riguarda il Viadotto "San Giuliano" e il Viadotto "San Filippo Neri", la tipologia fondazionale delle opere previste in tali ambiti interagirà solo con la formazione delle brecce argillose plioceniche.

Per quanto riguarda la Galleria naturale "San Filippo", la tipologia costruttiva prevede l'attraversamento solo della formazione delle brecce argillose plioceniche. Particolare attenzione dovrà essere tenuta in corrispondenza degli imbocchi dove si incontreranno i livelli sommitali alterati della argille, con caratteristiche geotecniche più scadenti.

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e alle sezioni trasversali.

### 7.4.3. Modellizzazione geotecnica

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, sono stati sintetizzati cinque profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 147 di 351

geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

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

## **2 - Modello Geotecnico 1: da prog. 12+183 a prog. 12+600**

### **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	Sabbie e Sabbie argillose - SLN: Sabbie giallastre con livelli di argille limosabbiose 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.	Argille marnose - GER : argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio-azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi	$\gamma = 2.04 \text{ T/mc}$
		$\text{Cu} = 2.49 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.37 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 24.3^\circ$

## **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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 148 di 351

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

## 2- Modello Geotecnico 3 – GN Caltanissetta: da prog. 12+880 a prog. 16+960

**Vedere monografia geotecnica GN Caltanissetta**

## 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+070	1	C1	5,80-6,20
				2	C2	10,00-10,40
				3	C3	15,00-15,40
				4	C4	20,20,40

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 149 di 351

Sondaggio 2010 Fase 2	Tipologia	Prof. (m)	Progr. Km	Campioni		
				N°	Sigla	Profondità (m)
SI29	Carotaggio continuo Inclinom.	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 – TRVB1 : limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.50 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 19^\circ$
4.00 ÷ 15.00	Argille brecciate intermedie – TRVB 2a: argilla limosa a tratti scagliose	$\gamma = 2.16 \text{ T/mc}$
		$C_u = 4.49 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.19 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 23.10^\circ$
15.00 ÷ in prof.	Argille brecciate profonde – TRVB 2b: argilla e argilla limosa consistente brecciate scagliose consistenti	$\gamma = 2.08 \text{ T/mc}$
		$C_u = 3.80 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.25 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 22.15^\circ$

## 2 - Modello Geotecnico 5 – GN San Filippo: da prog. 17+435 a prog. 17+640

**Vedere monografia geotecnica GN San Filippo**

### 7.4.4. Assetto geomorfologico

In corrispondenza della zona di imbocco lato Sud della galleria "Caltanissetta" e per tutto il corpo della galleria, gli studi condotti hanno evidenziato in superficie un assetto geomorfologico stabile e conservativo. L'ampia contrada S. Elia presenta una "normale" evoluzione del territorio, mentre

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 150 di 351

sono da escludere fenomeni gravitativi superficiali e profondi. Lo stesso non si può dire in merito alla presenza di faglie o discontinuità strutturali che dislocano e complicano l'assetto stratigrafico sia in superficie che in profondità.

Il settore si caratterizza in superficie per un esteso deposito afferente alla formazione marnoso – arenacea, che ha ricoperto i Trubi, disponendosi in assetto sub orizzontale a formare un ampio e dolce rilievo collinare.

Per il settore di imbocco lato Nord si ha un contesto geomorfologico differente con affioramenti di argille brecciate a costituire un versante debolmente pendente nel tratto iniziale (dove ricade l'imbocco), che diviene aspro e in assetto calanchivo oltre la galleria in prossimità del viadotto che supera l'asta fluviale. Le indagini sismiche condotte in tale zona hanno evidenziato spessori rilevanti (10÷20 m) di materiali a bassa velocità, imputabili a livelli di terreno superficiale soggetto a fenomeni di dissesto gravitativo (scivolamenti, soliflussi ecc.).

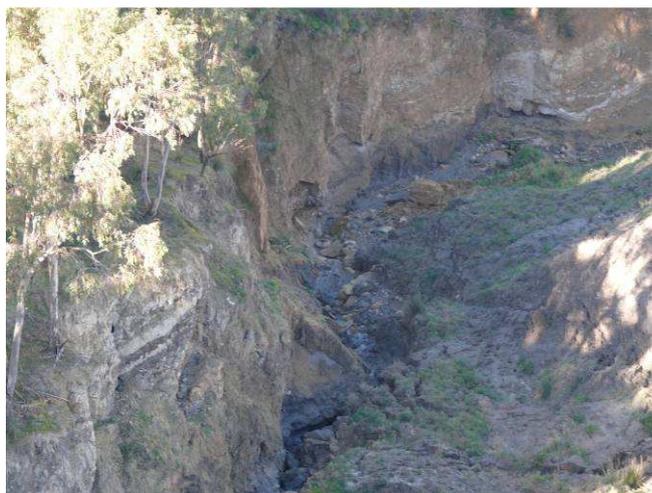
Il versante in oggetto, è interessato da processi erosivi in atto, che iniziano alla base del pendio, in prossimità del vallone, che operano un continuo scalzamento ed erosione dell'ammasso argilloso. Il versante evolve in assetto calanchivo, determinando una continua denudazione e rapida evoluzione del pendio con arretramento verso monte. Procedendo oltre, nel settore di raccordo tra galleria e viadotto, i fenomeni erosivi si limitano a soliflussi generalizzati che interessano la copertura di suolo che presenta modesti lobi e increspature.

Ovviamente nel settore è previsto un intervento di sistemazione idraulica dell'asta fluviale al fine di bloccare l'evoluzione negativa del piede del versante e dell'area calanchiva, a protezione dei manufatti posti a monte. Inoltre i muri di sottoscarpa dei rilevati e le altre opere d'arte a corredo dello sbocco della galleria, sono previste con fondazioni indirette su pali al fine di superare i dissesti superficiali ed ancorarsi al substrato profondo. Per i particolari esecutivi consultare gli specifici elaborati di progetto.

La contrada San Filippo Neri si caratterizza per un vasto e continuo affioramento argilloso in assetto collinare, con creste argillose allungate in senso N-O / S-E e sub parallele tra loro, solcate da impluvi e valloni che hanno determinato delle ampie valli a "V".

I versanti presentano processi di denudazione e modellamento causati dal ruscellamento diffuso e dall'erosione al piede del versante esercitata dai valloni e torrenti. È il caso del torrente in cui si riversa il canale di gronda sottostante il viadotto esistente, inducendo evidente erosione laddove dovrà passare il VD S. Giuliano (cfr. figg. 7.4.7 e 7.4.8)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 151 di 351



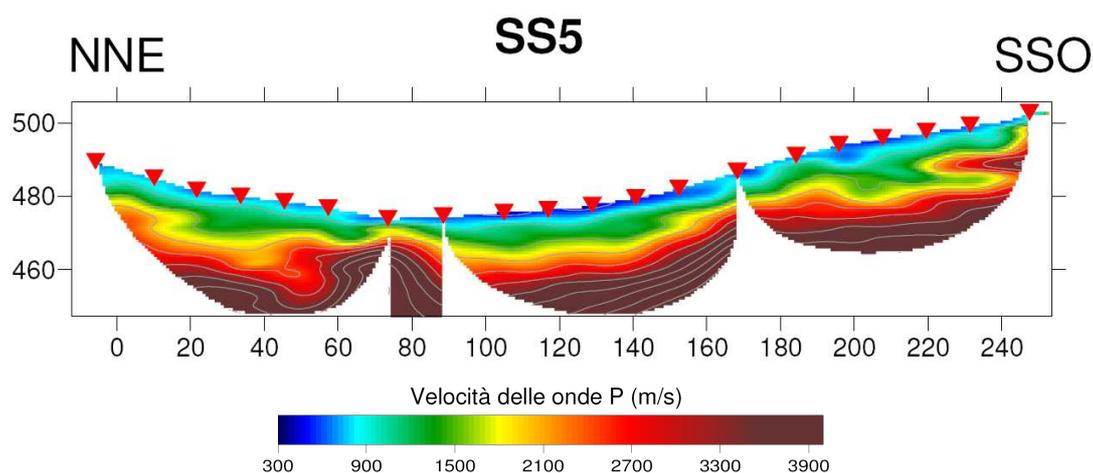
**Fig. 7.4.6 – Zona di attraversamento del VD S. Giuliano interessata da erosione fluvio-torrentizia**



**Fig. 7.4.7 – Lo sbocco della condotta tombata del canale di gronda sottostante il viadotto esistente, che induce evidente erosione laddove dovrà passare il VD S. Giuliano**

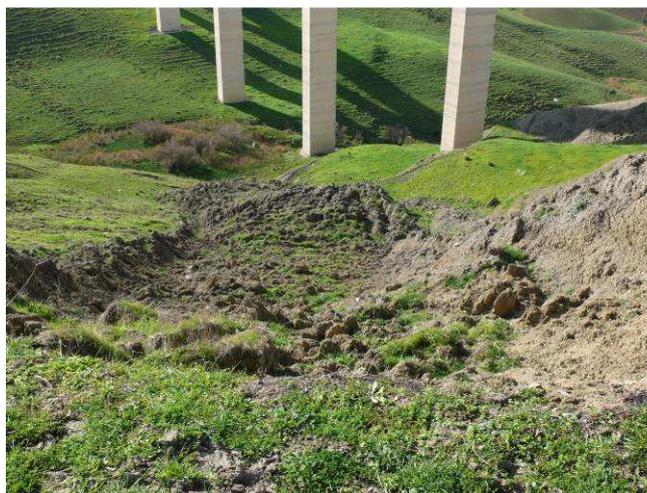
I pendii più dolci presentano soliflussi generalizzati con increspature del terreno e lobi, che possono evolvere in colamenti superficiali dove la pendenza è maggiore. Alcuni versanti molto rapidi in prossimità delle aste fluviali hanno assunto un assetto tipicamente calanchivo.

Il particolare assetto geomorfologico ha determinato la scelta del tracciato, che è stato progettato con una serie di gallerie e viadotti in successione, che tagliano le creste argillose e i valloni in modo da interagire il meno possibile con i soliflussi ed i calanchi.



**Fig. 7.4.8 - Profilo sismico tomografico (SS5) effettuato in corrispondenza del Viadotto S. Filippo Neri e dell'imbocco lato CL della GN San Filippo**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 152 di 351



**Fig. 7.4.9 – Disseso gravitativo superficiale verificatosi a fianco del viadotto esistente, dal lato opposto a dove dovranno attestarsi il VD S. F. Neri e la GN S. Filippo**



**Fig. 7.4.10 – Disseso gravitativo superficiale verificatosi nella zona immediatamente sovrastante l'imbocco della GN S. Filippo**

Le indagini sismiche in risoluzione tomografica (cfr. fig. 7.4.8), effettuate in corrispondenza del Viadotto S. Filippo Neri, hanno evidenziato, su entrambi i versanti della vallata attraversata, la presenza di zone alterate e decomprese con valori di velocità sismica ( $V_p$ ) compresi tra circa 900 m/s e 1500 m/s, associabili alla presenza di argille rimaneggiate, con uno spessore variabile da 3 a 5 metri, che poggiano sopra un substrato caratterizzato da maggiori valori di velocità sismica (che gradualmente arrivano anche oltre i 3000 m/s) interpretabile con la presenza di argille maggiormente consolidate. L'andamento geometrico irregolare dell'interfaccia tra queste litologie è dovuto a fenomeni di dissesto gravitativo.

La rete idrografica risulta sviluppata, con numerosi impluvi di primo e secondo grado a *pattern* convergente e/o subdentritico. I valloni presenti in zona, San Giuliano e S. Filippo Neri sono a regime stagionale limitato al periodo invernale e presentano processi erosivi di fondo con incisione dell'alveo e delle sponde. In tal senso è già nel PD è stato programmato un intervento di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, da riconfermare nel Progetto Esecutivo.

#### **7.4.5. Caratteristiche idrogeologiche**

In merito alla Galleria Caltanissetta per le caratteristiche idrogeologiche si rimanda al cap. 11 specificatamente dedicato all'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico del tratto interessato dall'opera in questione.

Nel tratto antecedente la galleria, nella zona corrispondente allo Svincolo Caltanissetta Sud, i dati piezometrici rilevati nella campagna di indagine del 2006 hanno messo in evidenza una falda su-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 153 di 351

perficiale contenuta nelle sabbie e nei limi sabbiosi del pliocene superiore, soggiacente circa 5÷7 m da p.c. e spessa pochi metri, il cui letto è costituito dagli orizzonti meno permeabili delle argille marnose plioceniche.

Per quanto riguarda la zona di C/da San Filippo Neri, l'affioramento del complesso argilloso impermeabile ha determinato l'assenza di falda o potenziali acquiferi significativi. Sono riscontrabili solo deflussi sub-superficiali di acque presenti nei livelli sommitali alterati delle argille e che seguono, pertanto, la morfologia esterna. Tali deflussi sono più che altro stagionali e tendono ad alimentare solo le acque di scorrimento superficiale che alimentano i vari corsi d'acqua presenti negli impluvi e nelle vallate.

### 7.5. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO A

Il settore in questione (Tab. 7.5.1), esteso dalla progressiva 17+640 alla progressiva 19+500 (Fig. 7.5.1), si snoda tra la C/da S. Filippo Neri, la C/da Busita e la C/da Abbazia, per una lunghezza di circa 1,9 Km.

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

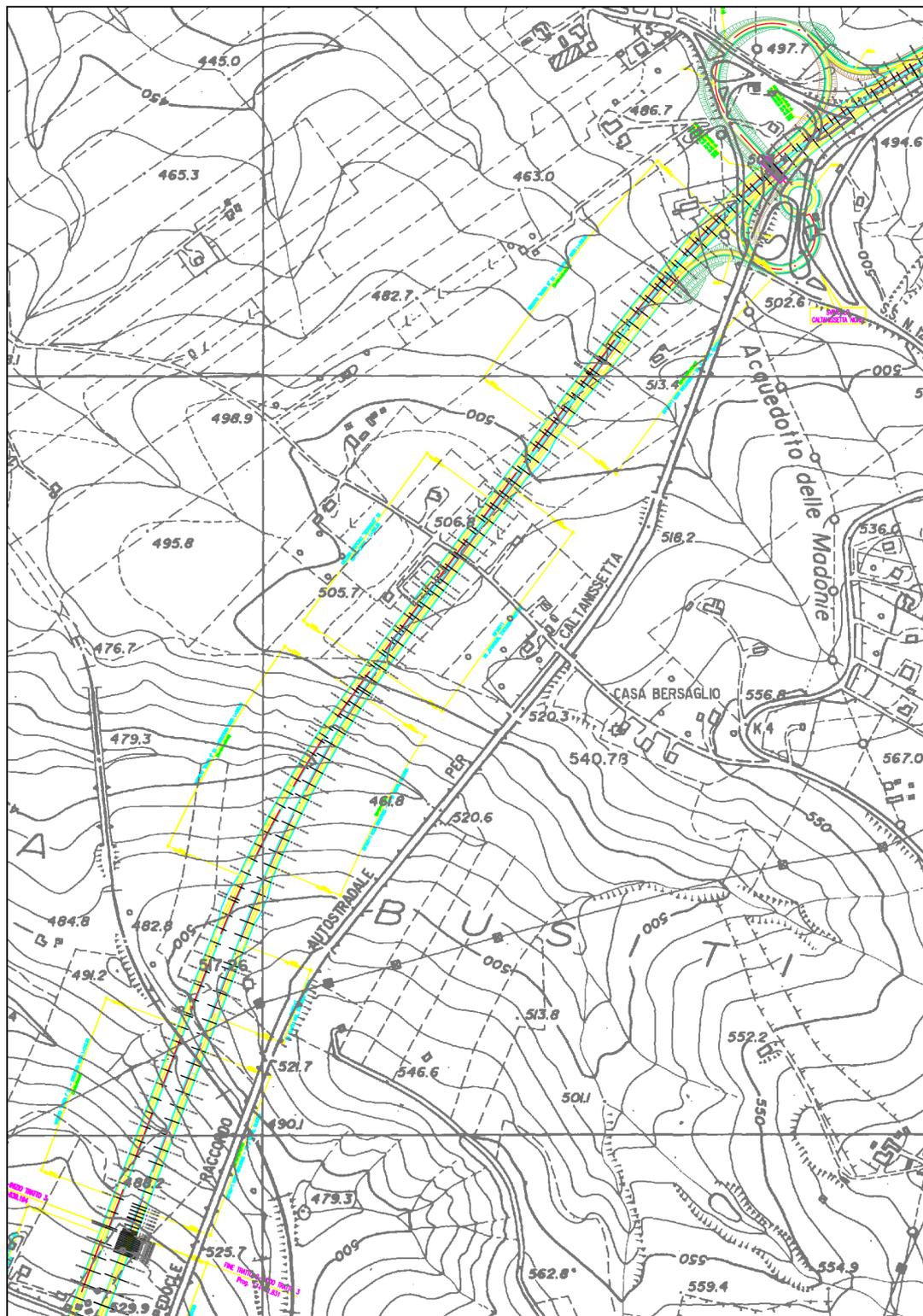
**Tabella 7.5.1 – Elementi di individuazione del sottotratto 3-A**

Le opere d'arte principali comprese nel sottotratto in questione sono di 3 tipologie differenti, tra gallerie artificiali, viadotti e svincolo, elencati nella sottostante tabella (Tab. 7.5.2 – Figg. 7.5.1, 7.5.2 e 7.5.3):

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Viadotto "Busita I"	17+680	17+920	242 (SX) 224 (DX)
Galleria artificiale "S. Filippo"	17+950	18+050	- (SX) 102 (DX)
Viadotto "Busita II"	18+135	18+415	285 (SX) 255 (DX)
Galleria artificiale "Bersaglio"	18+460	18+755	300 (SX) 295 (DX)
Viadotto "Busita III"	18+850	19+195	350 (SX) 350 (DX)
Svincolo Caltanissetta Nord	19+120	19+540	

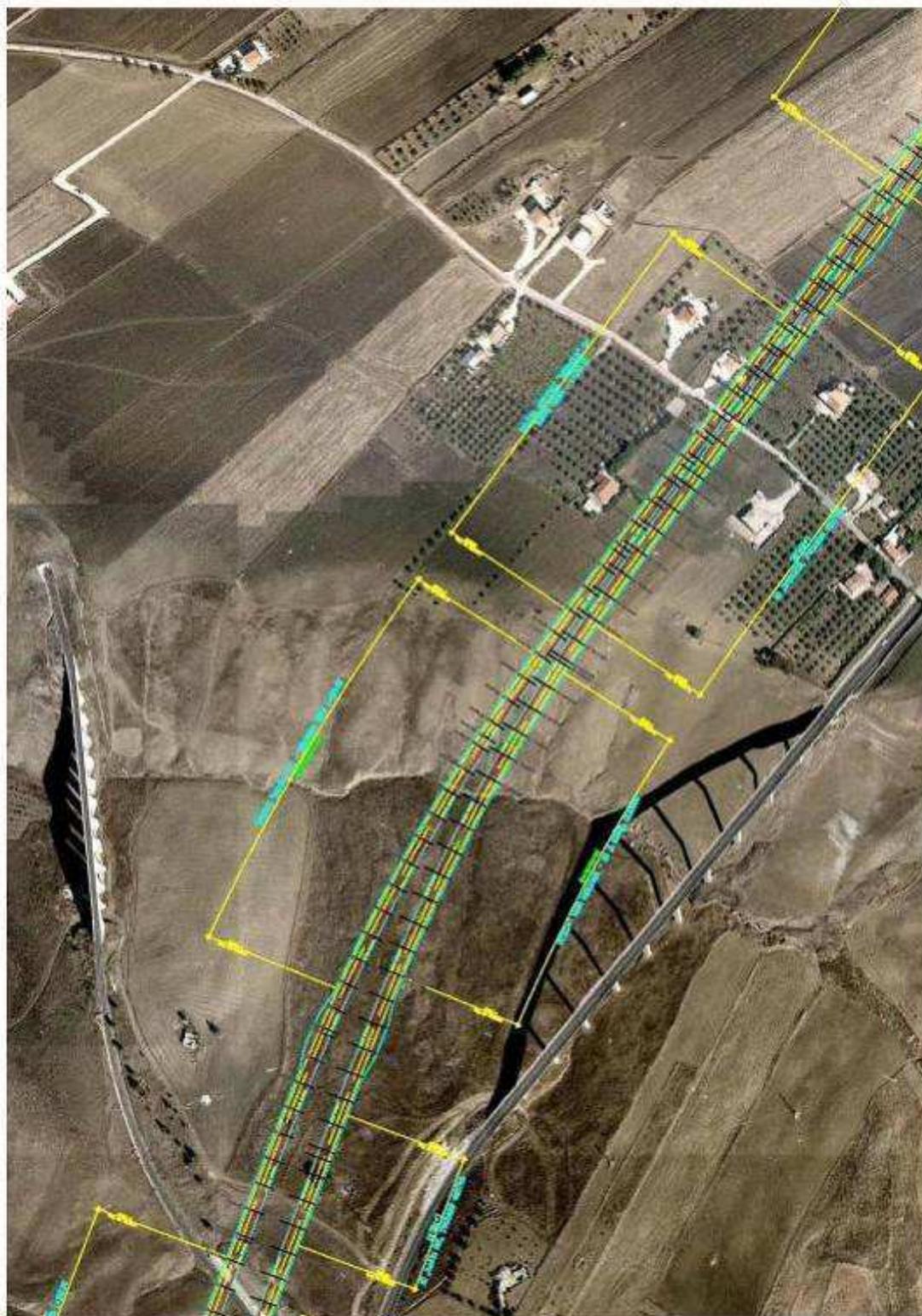
**Tabella 7.5.2 – Opere d'arte principali del sottotratto 3-A**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 154 di 351



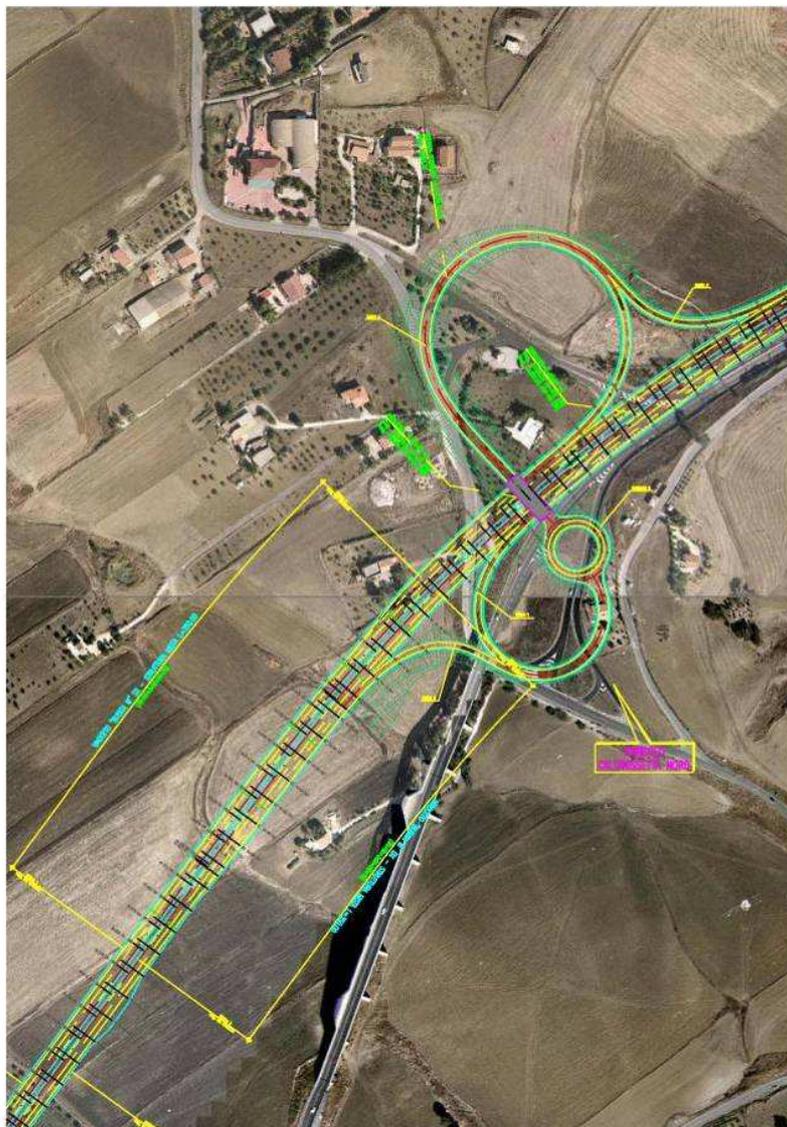
**Figura 7.5.1 – Sottotratto 3-A**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 155 di 351



**Figura 7.5.2 – GA “S. Filippo”, Viadotto “Busita II”, GA “Bersaglio”**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 156 di 351



**Figura 7.5.4 – Viadotto “Busita III” e Svincolo “Caltanissetta Nord”**

Il tracciato del sottotratto 3-A dal Km 17+640 decorre a Ovest del tracciato stradale esistente, e in variante attraversa, tramite le gallerie artificiali e i viadotti riportati nella tabella 7.5.2, le vallate e i rilievi poste sulle formazioni argillose tortoniane. In corrispondenza dello Svincolo di Caltanissetta Nord si riavvicina alla esistente sede stradale, ridisegnando, però, l'intero svincolo rispetto all'attuale.

Nella tabella 7.5.5 contenuta nel § 7.5.2 sono elencate le singole opere d'arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 157 di 351

### **7.5.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 5 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

#### **Campagna 2006**

- 1) S34
- 2) S35
- 3) S36
- 4) S54
- 5) S55
- 6) S37

#### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S16
- 2) S17

#### **Campagna 2010 Fase 2**

- 1) S130
- 2) S131
- 3) S132
- 4) S133

I dettagli dei summenzionati sondaggi e le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del sottotratto in esame.

### **7.5.2. Caratteristiche geolitologiche**

Il settore di territorio in cui ricade il sottotratto **3-A**, dal Km 17+640 al Km 19+500, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla monotona presenza della formazione argillose, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato in base alla profondità, le cui caratteristiche geolitologiche sono descritte nel seguito.

In particolare affiorano:

1. dalla prog. 17+640 alla 18+450 le Argille brecciate tortoniane (**TRVB** – cfr. § 2.4.3) 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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 158 di 351

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** – cfr. § 2.4.1), 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.

Il viadotto “Busita I”, ricade in una zona dove lo spessore alterato delle argille può essere assunto prossimo ai 7 m, mentre la Galleria Artificiale S. Filippo Neri ricade in un settore dove lo spessore delle argille alterate è massimo (circa 15 m), in quanto frammiste ad accumuli di materiale argilloso detritico. Inoltre al disotto di tale copertura si incontra una struttura tettonica inversa che raddoppierebbe la serie delle argille brecciate plioceniche. Tale struttura essendo imputabile a fasi tettoniche plioceniche non dovrebbe produrre situazioni particolari sull’assetto geotecnico della zona, a meno della presenza di orizzonti argillitici dovuti alla antica azione delle alte pressioni di tettonizzazione.

I Viadotti “Busita II” e “Busita III”, ricadono anch’essi sulle argille brecciate tortoniane interessandone sia lo strato alterato superficiale sia quelli più profondi con migliori caratteristiche geotecniche, sebbene il Busita II si sviluppa su una vallata lungo i cui pendii sono stati riscontrati, anche tramite le indagini sismiche tomografiche (SS6), fenomeni gravitativi tipo colamenti superficiali e soliflussi, in atto e quiescenti, che hanno determinato l’accumulo di interessanti spessori di materiali detritici argillosi. Tutti i 3 viadotti permetteranno di superare le valli di incisione torrentizia create dai corsi d’acqua affluenti del Vallone Busiti che defluisce ad Ovest del tracciato. La galleria artificiale “Bersaglio” interesserà le varie zone delle argille brecciate.

In sintesi le formazioni che interessano il tracciato sono di seguito riportate in tabella (Tab. 7.5.3):

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Argille brecciate ( <b>TRVB</b> )	17+640	18+450	Livello sommitale alterato
Argille marnose tortoniane ( <b>TRV</b> )	18+450	19+500	Livello sommitale alterato

**Tabella 7.5.3 – Affioramenti geolitologici nel sottotratto 3-A**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 159 di 351

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del sottotratto stradale **3-A**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.5.4) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Viadotto "Busita I"	17+680	17+920	Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Galleria Art. "S. Filippo"	17+950	18+050	1. Argille alterate da 0 m da p.c. a -10÷15 m 2. Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da -10÷15 m da p.c.
Viadotto "Busita II"	18+135	18+415	
	<i>Spalla Sud</i>		1. Argille alterate da 0 m da p.c. a -5÷6 m 2. Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da -5÷6 m da p.c.
	<i>1° pilone</i>		1. Argille alterate da 0 m da p.c. a -3÷4 m 2. Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da -3÷4 m da p.c.
	<i>2° pilone</i>		1. Argille alterate da 0 m da p.c. a -2÷3 m 2. Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da -2÷3 m da p.c.
	<i>3° pilone</i>		1. Argille alterate da 0 m da p.c. a -5÷6 m 2. Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da -5÷6 m da p.c.
Galleria artificiale "Bersaglio"	<i>Spalla Nord</i>		1. Argille alterate da 0 m da p.c. a -2÷3 m 2. Argille brecciate ( <b>TRVB</b> ) da -2÷3 m da p.c.
	18+460	18+755	Argille marnose ( <b>TRV</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Busita III"	18+850	19+195	Argille marnose ( <b>TRV</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.
Svincolo "Caltanissetta Nord"	19+120	19+540	Argille marnose ( <b>TRV</b> ) da 0 m da p.c. sino in prof.

**Tabella 7.5.4 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

**Nota:** le "Argille alterate" costituiscono i livelli sommitali della formazione argillosa affiorante, interessati da alterazioni sia chimiche che, principalmente, meccaniche e di dilavamento delle acque.

Per quanto riguarda il Viadotto "Busita I", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà con i livelli sommitali alterati delle brecce argillose tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda la Galleria artificiale "S. Filippo Neri", la tipologia costruttiva prevede l'attraversamento di uno spessore di oltre 10 m di argille alterate sovrastante le brecce argillose tortoniane, assimilabile alla fascia alterata delle argille.

Per quanto riguarda il Viadotto "Busita II", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà in maniera differenziata a seconda del settore d'interesse .

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 160 di 351

- la spalla lato Sud interesserà le argille alterate sino a circa 5÷6 m di profondità dall'attuale p.c., dopodiché ci si attesterà sulle brecce argillose tortoniane;
- il 1° pilone interesserà le argille alterate sino a circa 3÷4 m di profondità dall'attuale p.c., dopodiché ci si attesterà sulle brecce argillose tortoniane;
- il 2° pilone interesserà le argille alterate sino a circa 2÷3 m di profondità dall'attuale p.c., dopodiché ci si attesterà sulle brecce argillose tortoniane;
- il 3° pilone interesserà le argille alterate sino a circa 5÷6 m di profondità dall'attuale p.c., dopodiché ci si attesterà sulle brecce argillose tortoniane;
- la spalla lato Nord interesserà le argille alterate sino a circa 2÷3 m di profondità dall'attuale p.c., dopodiché ci si attesterà sulle brecce argillose tortoniane;

Per quanto riguarda la Galleria artificiale "Bersaglio", le opere previste in tale ambito interagiranno con i livelli sommitali alterati delle Argille marnose tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda il Viadotto "Busita III", la tipologia fondazionale delle opere previste in tale ambito interagirà con i livelli sommitali alterati delle Argille marnose tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda lo Svincolo "Caltanissetta Nord", le opere previste in tale ambito interagiranno con i livelli sommitali alterati delle Argille marnose tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e alle sezioni trasversali.

### **7.5.3. Modellizzazione geotecnica**

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, sono stati sintetizzati cinque profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 161 di 351

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

#### **Indagini dirette di riferimento:**

Sondaggio 2010 Fase 2	Tipologia	Prof. (m)	Progr. Km	Campioni		
				N°	Sigla	Profondità (m)
SI30	Carotaggio continuo Inclinom.	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

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0.00 ÷ 7.00	<u>Brecce Argillose sommitali alterate – TRVB1 :</u> limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 2.16 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.60 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 24.4^\circ$
7.00 ÷ 15.00	<u>Brecce Argillose intermedie – TRVB 2a:</u> argilla limosa a tratti scagliose	$\gamma = 2.17 \text{ T/mc}$
		$C_u = 3.96 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.40 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 27.0^\circ$
15.00 ÷ in prof.	<u>Brecce Argillose profonde – TRVB 2b:</u> argilla e argilla limosa consistente brecciate scagliose consistenti	$\gamma = 2.2 \text{ T/mc}$
		$C_u = 1.58 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.55 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 21.3^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 162 di 351

### 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

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0.00 ÷ 9.00 <sup>(1)</sup> 0.00 ÷ 15.00 <sup>(2)</sup>	<u>Brecce Argillose sommitali alterate – TRVB1 :</u> limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 1.94 \text{ T/mc}$ $Cu = 0.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$
9.00 ÷ 17.00 <sup>(1)</sup> 15.00 ÷ 23.00 <sup>(2)</sup>	<u>Brecce Argillose intermedie – TRVB2a:</u> argilla limosa a tratti scagliose	$\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.17 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.29 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.80^\circ$
15.00 ÷ in prof. <sup>(1)</sup> 23.00 ÷ in prof <sup>(2)</sup>	<u>Brecce Argillose profonde – TRVB2b:</u> argilla e argilla limosa consistente brecciate scagliose consistenti	$\gamma = 2.1 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.58 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 24.80^\circ$

#### 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).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 163 di 351

### 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)
SI31	Carotaggio continuo Inclinom.	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	Brecce Argillose sommitali alterate – TRVB1 : limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 1.91 \text{ T/mc}$ $Cu = 0.70 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.12 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 15.0^\circ$
6.00 ÷ 15.00	Brecce Argillose intermedie – TRVB 2a: argilla limosa a tratti scagliose	$\gamma = 2.04 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.98 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.36 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19.75^\circ$
15.00 ÷ in prof.	Brecce Argillose profonde – TRVB 2b: argilla e argilla limosa consistente brecciate scagliose consistenti	$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.58 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.26 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.73^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 164 di 351

### 3-A - Modello Geotecnico 4: 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)
SI33	Carotaggio continuo 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

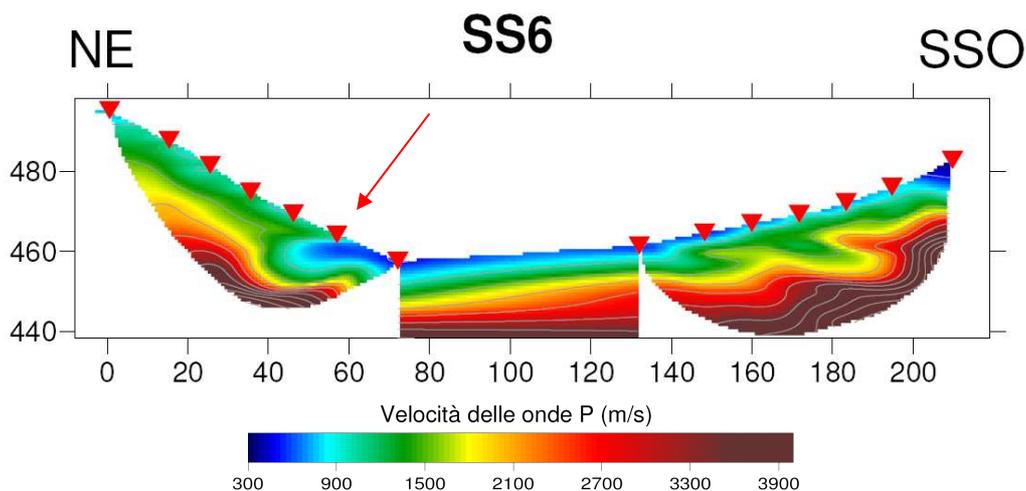
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 165 di 351

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0.00 ÷ 6.00	<u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u> 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> 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	$\gamma = 2.04 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.91 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.28 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 21.28^\circ$

#### 7.5.4. Assetto geomorfologico

La c.da Busita si presenta in piena continuità morfologica con il settore prima esaminato di contrada San Filippo Neri; caratteristica predominante è il vasto e continuo affioramento argilloso in assetto collinare, che nel tratto in esame assume un andamento meno aspro con forme più modellate e pendenze poco accentuate rispetto al segmento di S.Filippo Neri.

I versanti argillosi presentano dei modesti processi di denudazione causati dal ruscellamento diffuso si riscontrano soliflussi generalizzati, con increspature del terreno e lobi che interessano la porzione superficiale di suolo.



**Fig. 7.5.5 - Profilo sismico tomografico (SS6) effettuato in corrispondenza del Viadotto Busita II; la freccia indica la zona interessata da accumuli di detriti di frana.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 166 di 351

In prossimità del Viadotto Busita II il versante in destra idraulica presenta una rapida evoluzione con assetto calanchivo e con accumuli di materiale argilloso detritico con spessore massimo di circa 10 m, in corrispondenza di un vecchio accumulo al piede di una frana oramai stabilizzata compresa tra le progressive di progetto 18+350 e 18+370, evidenziato dal profilo della sismica a rifrazione (SS6), effettuato nelle indagini di Fase 1 della campagna 2010 (cfr. fig. 7.5.5) e in testa al quale sono evidenti dissesti gravitativi superficiali ancora in atto.

Il versante opposto è interessato da dissesti gravitativi superficiali diffusi in corrispondenza dei quali è stato possibile installare di recente un inclinometro (SI31) durante le indagini di Fase 2, per il monitoraggio della stabilità del versante.

Lo spessore medio dello spessore alterato per entrambi i versanti è quello assunto nel modello corrispondente (3-A-3), pari a 6 m, mentre lo spessore degli strati coinvolti in soliflussi e colamenti in atto, presenti soprattutto nel versante in sinistra orografica, è inferiore ai 3 m.



**Fig. 7.5.6 – Versante in destra orografica del vallone che attraverserà il VD Busita II; sono evidenti forme di erosione calanchiva e piccoli fenomeni di dissesto gravitativo superficiale, presenti in corrispondenza della spalla 2 del viadotto (v. cerchietto rosso), mentre la freccia rossa indica la zona di accumulo al piede di dissesti passati, che la sismica a rifrazione ha individuato con spessore nell'ordine dei 10 m.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 167 di 351



**Fig. 7.5.7 – Versante in sinistra orografica del vallone che attraverserà il VD Busita II; sono evidenti forme di dissesto gravitativi superficiale che interessano diffusamente il versante; la freccia indica l'inclinometro SI31 di recente installazione**

### 7.5.5. Caratteristiche idrogeologiche

L'affioramento del complesso argilloso impermeabile ha determinato l'assenza di falda o potenziali acquiferi, mentre la rete idrografica risulta sviluppata, con numerosi impluvi di primo e secondo grado a patterns convergente e/o subdentritico. La rete idrografica è a regime stagionale con deflussi limitati al periodo invernale.

Le misure freaticmetriche registrate nel piezometro installato recentemente lungo il tratto in esame, in corrispondenza della GA Bersaglio, sono riportate nel seguito:

<b>Piezometro</b>	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data
<b>SI32</b>	Assente	27/10/10	Assente	29/11/10	15,10	13/01/11

Dai dati piezometrici si evince che nei primi due rilievi non era stata riscontrata la presenza di acqua, cosa poi avvenuta successivamente. Tale situazione è indice di una bassa permeabilità dell'acquifero interessato, nel cui contesto il piezometro installato ha la funzione di "trappola" idro-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 168 di 351

geologica, così come avviene per le tipiche opere di captazione della zona descritte in § 7.1.5. Anche in questo caso la falda sarà di tipo sub-superficiale e interesserà gli strati di alterazione sommitale delle argille marnose tortoniane. Con le successive misure si potrà determinare lo spessore reale della falda, il cui substrato, seppur indefinito, dovrebbe essere posto a circa 10 m di prof. da p.c..

### 7.6. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO B

Il settore in questione (Tab. 7.6.1), esteso dalla progressiva 19+500 alla progressiva 19+500 (Fig. 7.6.1 – 7.6.2), si snoda tra la C/da Abbazia, la C/da Anghillà e il Vallone Arenella, per una lunghezza di circa 7,1 Km.

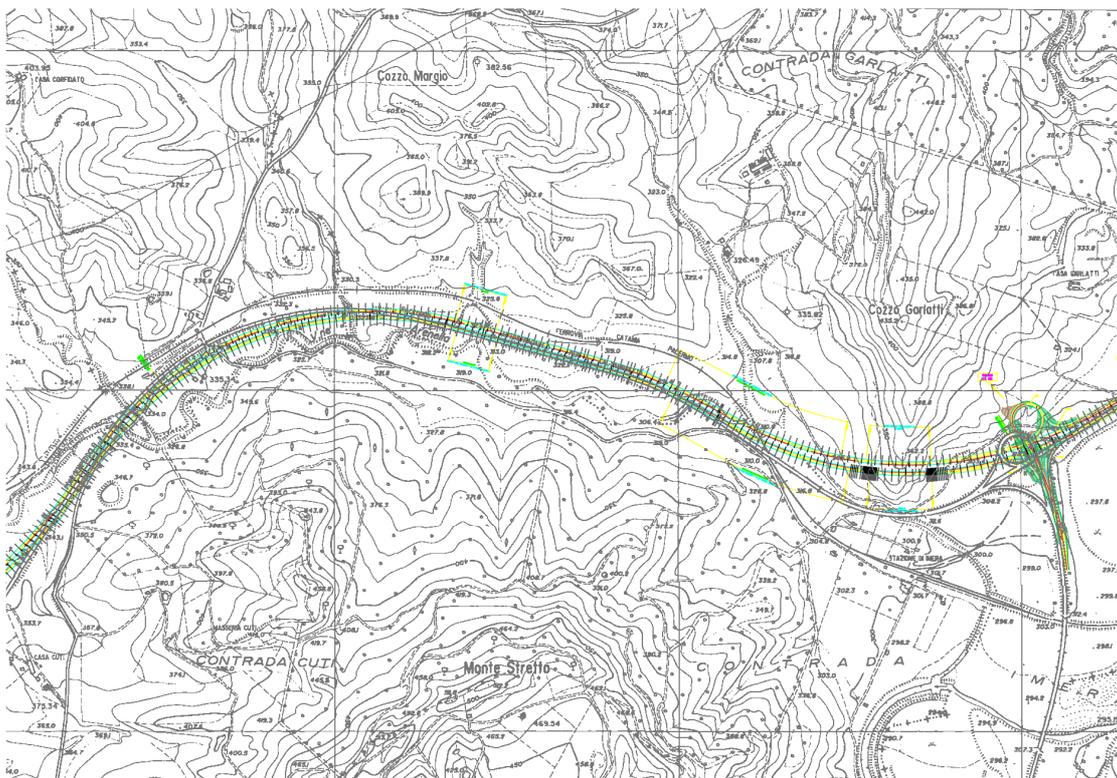
Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
3	B	Abbazia - Arenella	19+500 ÷ 26+600

**Tabella 7.6.1 – Elementi di individuazione del sottotratto 3-B**



**Figura 7.6.1 – Sottotratto 3-B – prima parte**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 169 di 351



**Figura 7.6.2 – 3-B – seconda parte**

Le opere d'arte principali comprese nel sottotratto in questione sono di 3 tipologie differenti, tra gallerie naturali, artificiali e viadotti, elencati nella sottostante tabella (Tab. 7.6.2 – Figg. 7.6.1 e 7.6.2):

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Viadotto "Santuzza I"	19+800	19+960	160 (SX) 160 (DX)
Viadotto "Santuzza II"	20+340	20+765	352 (SX) 412 (DX)
Viadotto "Santuzza III"	20+820	21+040	220 (SX) 220 (DX)
Viadotto "Arenella I"	22+655	22+830	172 (SX) 172 (DX)
Viadotto "Arenella II"	24+550	24+680	122 (SX) 122 (DX)
Viadotto "Arenella III"	25+180	25+775	557 (SX) 555 (DX)
Galleria naturale "Cozzo Garlatti"	25+830	26+010	192 (SX) 175 (DX)
Svincolo "S.S. 626"	26+220	26+460	

**Tabella 7.6.2 – Opere d'arte principali del sottotratto 3-B**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 170 di 351



Figura 7.6.3 – Viadotto “Arenella II”, “Arenella III” e GN “Cozzo Garlatti”

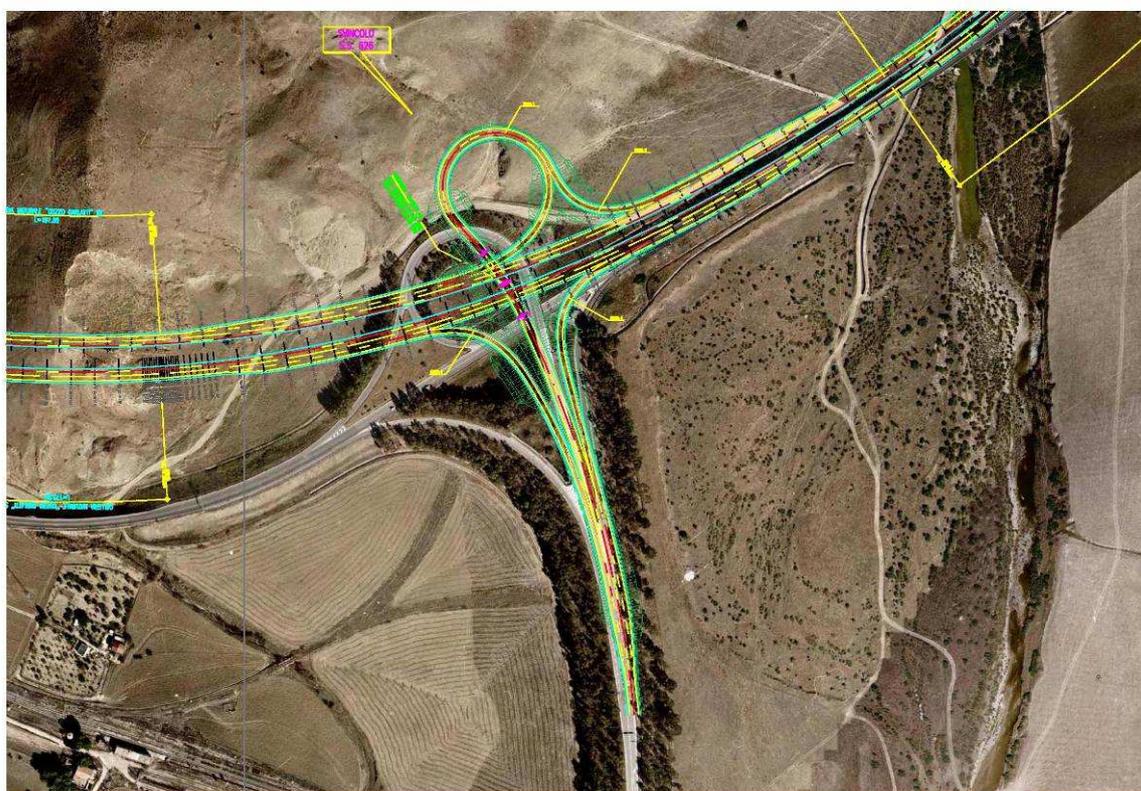


Figura 7.6.4 – Svincolo “SS626”

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 171 di 351

Il tracciato del sottotratto 3-B dal Km 19+500 si snoda su quello stradale esistente e al Km 20+120 in variante sinistra attraversa, tramite i primi due viadotti riportati nella tabella 7.6.2, le vallate e i blandi rilievi poste sulle formazioni argillose tortoniane. Al Km 20+140 il tracciato passa in variante destra rispetto all'esistente sede stradale, sino a giungere, in rilevato, al Km 21+520 dove ricopre l'attuale tracciato, allontanandosene nuovamente in variante sinistra al Km 22+240 sino al Km 23+080 dove ritorna sull'esistente. Da qui segue più o meno il tracciato esistente sino a distaccarsene al Km 25+180 con la spalla 1 del Viadotto Arenella III. In corrispondenza dello Svincolo della SS626 si riavvicina alla esistente sede stradale, ridisegnando, però, l'intero svincolo rispetto all'attuale.

Nella tabella 7.6.5 contenuta nel § 7.6.2 sono elencate le singole opere d'arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

#### **7.6.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 5 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

##### **Campagna 2006**

- 1) S38
- 2) S56
- 3) S39
- 4) S40
- 5) S41
- 6) S57
- 7) S42
- 8) S58
- 9) S43

##### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S18
- 2) S19
- 3) S20

##### **Campagna 2010 Fase 2**

- 1) SI34
- 2) SI35

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 172 di 351

3) SI36

4) SI37

I dettagli dei summenzionati sondaggi e le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del sottotratto in esame.

### 7.6.2. **Caratteristiche geolitologiche**

Il settore di territorio in cui ricade il sottotratto **3-B**, dal Km 19+500 al Km 26+600, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla contestuale presenza di affioramenti di litotipi, appartenenti a diverse formazioni, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato, le cui caratteristiche geolitologiche sono descritte nel seguito:

1. dalla prog. 19+500 alla prog. 25+830 affiora il complesso plastico delle argille ed argille marnose tortoniane (**TRV** – cfr. § 2.4.1); 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 suddivisibile 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 prog. 26+070 affiora la facies sabbiosa del tortoniano, costituita da sabbie di colore giallastro, talora ben classate, e con una composizione quasi esclusivamente quarzosa, e delle arenarie (**TRVA**), di colore giallastro, in banconi separati da interstrati marnoso - sabbiosi poco compatti; a luoghi sono anche presenti affioramenti calciruditeici e calcarenitici a stratificazione incrociata relazionabile a correnti *trattive* che testimoniano un ambiente di deposizione fluvio – deltizio;
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.

Le opere più rilevanti da realizzare nel settore in esame sono tre viadotti in successione (Santuzza II e III) intervallati da tratti in rilevato, oltre alla Galleria naturale Cozzo Garlatti. I sondaggi eseguiti in zona hanno consentito di verificare la stratigrafia del settore ed il piano di sedime delle fondazioni dei tre viadotti.

La campagna di indagine ha evidenziato una corrispondenza ed omogeneità litologica e geotecnica per i tre viadotti che presentano una stratigrafia simile, in particolare il complesso argilloso mostra un livello sommitale alterato di spessore variabile tra i 4 e gli 8 metri costituiti da limi argillo-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 173 di 351

si alterati plastici, passanti in profondità ad argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.

Segue il tratto sub-parallelo al Vallone Arenella; litologicamente il settore è caratterizzato da estesi affioramenti di argille tortoniane ricoperte da alluvioni recenti e/o terrazzate in prossimità dell'alveo del vallone Arenella.

Le alluvioni si caratterizzano per la presenza di sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa, generalmente incoerenti o poco coesive; in prossimità dell'asta fluviale vi è maggiore abbondanza di scheletro litoide con presenza di blocchi di varia natura.

Le indagini dirette eseguite in zona evidenziano uno spessore dei depositi alluvionali variabile da 5 a 6 metri, al di sotto dei quali si riscontra la formazione delle argille tortoniane.

Il complesso tortoniano si presenta come argilla limo- sabbiosa di colore grigio chiaro consistente a tratti scagliosa; il litotipo si mostra plastico ed alterato nei livelli sommitali mentre in profondità, oltre i 15 metri, assume consistenza solido plastica con buoni parametri di resistenza.

Gli affioramenti geologici variano notevolmente nel settore successivo al Km 25+830, dove è prevista l'unica galleria naturale di questa parte terminale di tracciato (Galleria "Cozzo Garlatti") che interseca la formazione Terravecchia, che nell'area è interessata da una importante piega anticlinale il cui lato occidentale ricade lungo il tracciato di progetto insiste in due differenti litologie e modelli geologico-tecnici. Si tratta di arenarie conglomeratiche e conglomerati con ciottoli quarzarenitici e in minore misura granitoidi. Comune è la stratificazione incrociata prodotta da correnti trattive e frequenti sono le interstratificazioni di livelli decimetrici di argille marnoso – sabbiose. E' probabile che la presenza di queste interstratificazioni abbia provocato dei fenomeni superficiali di dissesto con movimenti di scivolamento proprio a contatto di strati meno coerenti in occasione dei maggiori eventi pluviometrici (vedi carta geomorfologica). Anche la stessa giacitura degli strati, con una pendenza che va dai 40-45° a franapoggio può favorire l'innescio di tali fenomeni franosi superficiali. Ad Ovest del rilievo in esame, sembrerebbe decorrere una struttura distensiva che interessa la formazione argillosa.

A questo affioramento litoideo segue il segmento finale (svincolo sulla SS 626) che insiste sui depositi continentali di tipo alluvionale. I depositi alluvionali caratterizzano l'ampia pianura in corrispondenza del Vallone Arenella e del Fiume Salso (Imera Meridionale), litologicamente trattasi di alluvioni recenti costituite da ghiaie e sabbie immerse in matrice limo sabbiosa generalmente incoerenti o poco coesive.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 174 di 351

In sintesi le formazioni che interessano il tracciato sono di seguito riportate in tabella (Tab. 7.6.3):

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Argille marnose (TRV)	19+640	25+830	Livello sommitale alterato. Presente una copertura alluvionale di qualche metro a partire dal Km 22+700
Sabbie, arenarie, calciruditi e calcareniti (TRVA)	25+830	26+070	Rilievo litoide di Cozzo Garlatti
Argille marnose (TRV)	26+070	25+830	Livello sommitale alterato. Presente una copertura alluvionale di qualche metro

**Tabella 7.6.3 – Affioramenti geolitologici nel sottotratto 3-B**

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del sottotratto stradale **3-B**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.5.4) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Viadotto "Santuzza I"	19+800	19+960	Argille marnose (TRV) da 0 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Santuzza II"	20+340	20+765	Argille marnose (TRV) da 0 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Santuzza III"	20+820	21+040	Argille marnose (TRV) da 0 m da p.c. sino in prof.
Viadotto "Arenella I"	22+655	22+830	
	<i>Spalla Sud</i>		Argille marnose (TRV) da 0 m da p.c. sino in prof.
	<i>Centro</i>		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -5÷6 m 2. Argille marnose (TRV) da -5÷6 m da p.c.
	<i>Spalla Nord</i>		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -1÷2 m 2. Argille marnose (TRV) da -1÷2 m da p.c.
Viadotto "Arenella II"	24+550	24+680	1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -5÷6 m 2. Argille marnose (TRV) da -5÷6 m da p.c.
Viadotto "Arenella III"	25+180	25+775	
	<i>Spalla Sud</i>		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -5÷6 m 2. Argille marnose (TRV) da -5÷6 m da p.c.
	<i>1°-6° pilone</i>		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -5÷6 m 2. Argille marnose (TRV) da -5÷6 m da p.c.
	<i>7°-8° pilone</i>		Argille marnose (TRV) da 0 m da p.c. sino in prof.
	<i>9°-16° pilone</i>		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -4÷5 m 2. Argille marnose (TRV) da -4÷5 m da p.c.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 175 di 351

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
	17°-19° pilone Spalla Nord		Argille marnose (TRV) da 0 m da p.c. sino in prof.
Galleria naturale "Cozzo Garlatti"	25+830	26+010	Sabbie, arenarie, calciruditi e calcareniti (TRVA)
Svincolo "S.S. 626"	26+220	26+460	1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -3÷4 m 2. Argille marnose (TRV) da -3÷4 m da p.c.

**Tabella 7.6.4 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

Per quanto riguarda i Viadotti "Santuzza I", "Santuzza II" e "Santuzza III", la tipologia fondazionale delle opere previste in tali ambiti interagirà con i livelli sommitali alterati delle Argille brecciate tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda i Viadotti "Arenella I", "Arenella II" e "Arenella III" la tipologia fondazionale delle opere previste in tali ambiti interagirà in maniera differenziata con i depositi alluvionali e le argille tortoniane, così come riportato in tabella 7.6.4; laddove non sono presenti i depositi alluvionali o sono comunque al disopra dei piani di fondazione, l'interazione avverrà con i livelli sommitali alterati delle Argille brecciate tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda la Galleria naturale "Cozzo Garlatti", la tipologia costruttiva prevede, interamente l'attraversamento di materiali litoidi dati dalla formazione delle Sabbie, arenarie, calciruditi e calcareniti della Terravecchia del Tortoniano .

Per quanto riguarda lo Svincolo "SS 626", le opere previste in tale ambito interagiranno con i depositi alluvionali e con sottostanti livelli sommitali alterati delle Argille brecciate tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche.

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e alle sezioni trasversali.

### **7.6.3. Modellizzazione geotecnica**

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, sono stati sintetizzati quattro profili che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare.

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 176 di 351

### **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
				3	S39C3	25,00-25,50
S40	Carotaggio continuo	30,00	20+990	1	S40C1	8,80-9,30
				2	S40C2	14,80-15,30
				3	S40C3	25,00-25,50

Sondaggio 2010	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	Progr. 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	Progr. Km
PD46	Prof.= 7,00 m	19+620
PD47	Prof.= 7,40 m	20+210

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 177 di 351

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	<u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u> argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 2.02 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.65 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.26 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 19.75^\circ$
7.50 ÷ 15.00	<u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u> argilla marnosa a tratti scagliosa	$\gamma = 2.03 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.28 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.36 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 19.3^\circ$
15.00 ÷ in prof.	<u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa	$\gamma = 2.05 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.78 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.23 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 21.66^\circ$

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

**Indagini dirette di riferimento:**

Sondaggio 2006	Tipologia	Prof. (m)	Prog. 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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 178 di 351

Sondaggio 2010 Fase 1	Tipologia	Prof. (m)	Prog. 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
				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	Alluvioni TF1: sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa.	$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.98 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.05 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 23.0^\circ$
6.00 ÷ 10.00	Argille marnose sommitali alterate – TRV1: argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.29 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.19 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.17^\circ$
10.00 ÷ 20.00	Argille marnose intermedie – TRV2a: argilla marnosa a tratti scagliosa	$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.99 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.24 \text{ Kg/cmq}$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 179 di 351

20.00 ÷ in prof.	Argille marnose profonde – TRV2b: argilla marnosa consistente a tratti scagliosa	$\phi' = 19.26^\circ$
		$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$
		$Cu = \dots - \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.21 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 22.75^\circ$

### **3B - Modello Geotecnico 3 – GN Cozzo Garlatti: da prog. 25+830 a prog. 26+020**

**Vedere monografia geotecnica GN Cozzo Garlatti**

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

**Indagini dirette di riferimento:**

Sondaggio 2010 fase 1	Tipologia	Prof. (m)	Progr. Km	Campioni		
				N°	Sigla	Profondità (m)
S20	Carotaggio 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 Fase 2	Tipologia	Prof. (m)	Progr. Km	Campioni		
				N°	Sigla	Profondità (m)
SI37	Carotaggio continuo Down-Hole	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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 180 di 351

SS08	L= 78,00 m	26+150
SS09	L= 78,00 m	26+540
<b>Sismica a rifrazione 2010</b>	<b>Dimensione</b>	<b>Prog. Km</b>
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: sabbie e ghiaie immerse in matrice limo 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 – TRV1: argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 2.00T/mc$
		$Cu = \text{---} \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.09 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 31.10^\circ$
10.00 ÷ 20.00	Argille marnose intermedie – TRV2a: argilla marnosa a tratti scagliosa	$\gamma = 2.3 \text{ T/mc}$
		$Cu = \text{---} \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.59 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 25.05^\circ$
20.00 ÷ in prof.	Argille marnose profonde – TRV2b: argilla marnosa consistente a tratti scagliosa	$\gamma = 2.11 \text{ T/mc}$
		$Cu = \text{---} \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.40 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 25.5^\circ$

#### 7.6.4. Assetto geomorfologico

Nel primo settore di C/da Abbazia l'elemento caratterizzante del contesto geomorfologico è la presenza della formazione delle argille Tortoniane che determina un assetto collinare e a tratti sub pianeggiante. Il territorio presenta nel suo insieme forme dolci e modellate con versanti debolmente pendenti e valli ampie conformate ad U. A sud del tracciato e da questo distante e non interagente, sono state riscontrate delle frane per colamento in versanti maggiormente pendenti, dovuti a fenomeni di imbibimento del terreno e collassamento verso valle.

Da segnalare infine la presenza negli affioramenti argillosi, di un livello sommitale alterato di natura prevalentemente limosa e limo-sabbiosa con sostanza organica, cui deriva scarsa parametrizzazione geotecnica e fenomeni di compressibilità del terreno. Per i rilevati da realizzare in tali settori, occorre operare un intervento di bonifica del piano di imposta del rilevato.

Il settore di C/da Arenella, così come i tratti precedenti, si imposta su un substrato plastico di natura argillosa in assetto sub-collinare, con modesti versanti, ampie valli alluvionali e tratti sub-pianeggianti.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 181 di 351

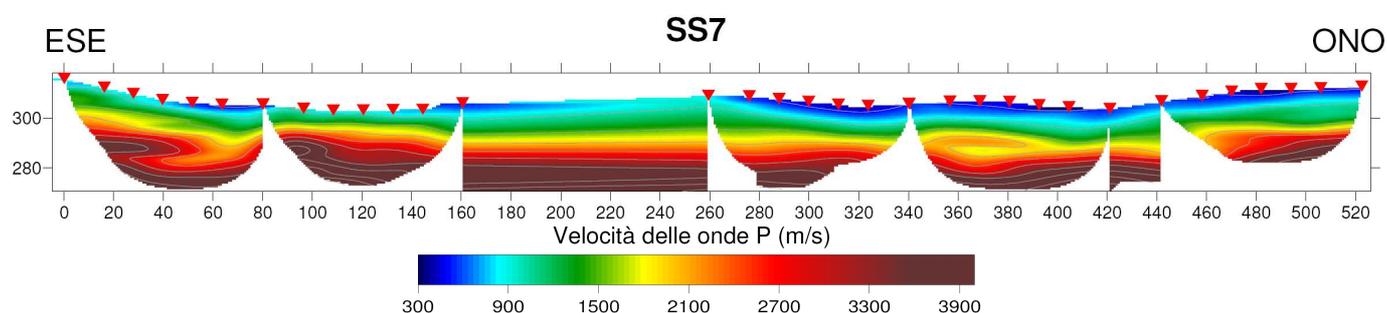
Elemento caratterizzante del settore è il vallone Arenella, affluente del Fiume Salso, che ha strettamente influenzato la progettazione; il tracciato, difatti, si snoda sub-parallelo al Vallone, anche se al di fuori delle aree golenali a rischio di esondazione (vedi studio idraulico), ed intercetta il corso d'acqua in quattro differenti punti dove sono previsti degli attraversamenti in viadotto.

L'Arenella presenta un regime quasi perenne, anche se nei mesi estivi si hanno modeste portate (spesso del tutto nulle), limitate al tratto finale in prossimità della confluenza al Fiume Salso. Il corso d'acqua presenta un andamento meandriforme intervallato da tratti sub rettilinei, a testimonianza di tratti con pendenza variabile e un profilo idraulico ancora in evoluzione (siamo nella parte alta del Bacino del Salso).

I fenomeni morfogenetici direttamente interagenti con il tracciato, sono esclusivamente legati alla dinamica fluviale dell'Arenella, con erosione di fondo ed incisione dell'alveo ed azioni erosive in prossimità della riva concava con erosione laterale della scarpata. In tal senso per i viadotti Arenella I, II e III sono previste opere di protezione e sistemazione idraulica.

La contrada Garlatti si caratterizza per il rilievo di natura calcareo sabbioso che emerge rispetto agli affioramenti argillosi delle contrade Arenella ed Imera, e condiziona l'assetto fluviale del Fiume Salso ed Arenella. Difatti è ben visibile un condizionamento strutturale dell'alveo del corso d'acqua che "aggira" il rilievo di contrada Garlatti, solcandolo alla base e si espande a sud ove sono presenti rocce argillose più erodibili. Il cap. 13 della presente relazione è interamente dedicato a tale opera

Il tracciato in esame dopo aver tagliato il Vallone Arenella in viadotto (Arenella III), attraversa in galleria naturale l'appendice meridionale del rilievo di Cozzo Garlatti, sull'assetto della quale si rimanda al cap. 13.



**Figura 7.6.5 – Profilo ricostruito tramite indagine sismica a rifrazione con risoluzione tomografica, lungo il tracciato del Viadotto Arenella III; si denotano spessori alquanto variabili del sismostrato più superficiale, corrispondente ai depositi alluvionali.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 182 di 351

### 7.6.5. Caratteristiche idrogeologiche

Dal punto di vista idrogeologico la presenza di formazioni scarsamente permeabili, determina l'assenza di falda idrica e il predominare dei fenomeni di ruscellamento diffuso e concentrato, con presenza di numerosi impluvi di primo e secondo grado a reticolo convergente e/o subdentratico. La rete idrografica è a regime stagionale con deflussi limitati al periodo invernale.

Solo in corrispondenza dei depositi alluvionali di maggiore spessore è possibile ritrovare falde stagionali a circolazione ristretta e limitata e con soggiacenze molto variabili in funzione del periodo, in quanto falde direttamente collegata ai regimi pluviometrici.

Le misure freatiche registrate nei piezometri installati lungo il tratto in esame sono riportate nel seguito:

Piezometro	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data	Livello di falda p.c.	Data
SI35	Assente	06/11/10	Assente	29/11/10	Assente	13/01/11
SI36	5,45	08/11/10	5,60	29/11/10	5,78	13/01/11

Dai dati piezometrici si evince che nel piezometro SI35, installato presso il VD Santuzza II, non è stata riscontrata la presenza di acqua, mentre nel piezometro SI36, installato presso il VD Arenella III, il valore è pressoché costante e indica il tetto della falda posto nelle alluvioni, mentre il substrato dovrebbe essere posto nei livelli alterati delle argille e, seppur indefinito, la sua profondità dovrebbe attestarsi sui 10 m da p.c..

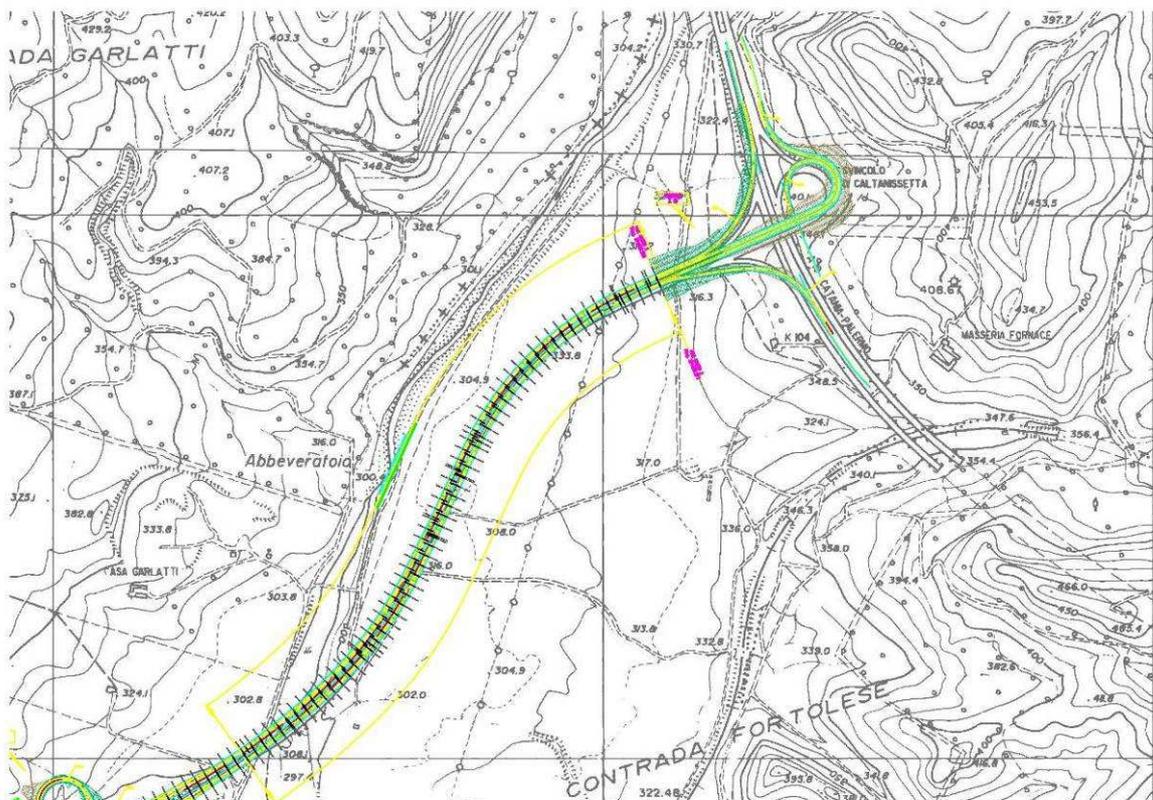
### 7.7. TRATTO 3 – SOTTOTRATTO C

Il settore in questione (Tab. 7.7.1), esteso dalla progressiva 26+600 sino alla fine del tracciato (Fig. 7.7.1), si snoda dallo svincolo della SS626 sino allo svincolo per la A19, passando lungo la valle del Fiume Salso, per una lunghezza di circa 2,5 Km.

Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
3	C	Imera	26+600 – 28+080

Tabella 7.7.1 – Elementi di individuazione del sottotratto 3-B

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 183 di 351



**Figura 7.7.1 – Sottotratto 3-C**

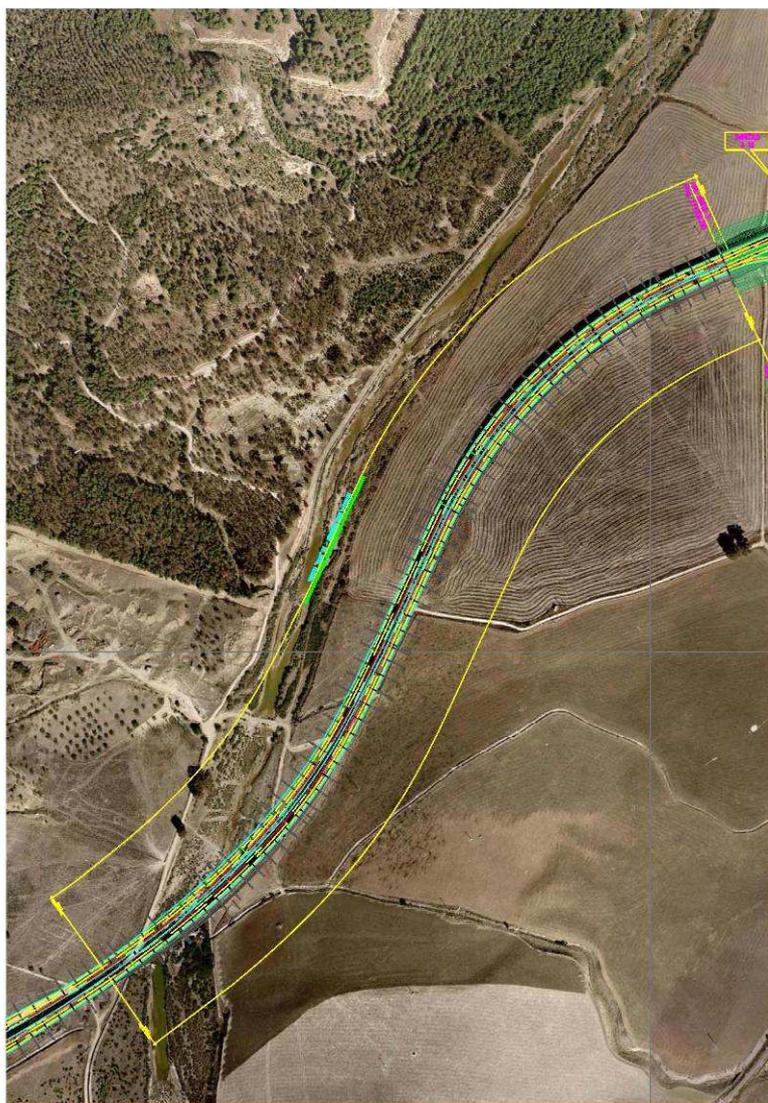
Le opere d'arte principali comprese nel sottotratto in questione sono di 3 tipologie differenti, tra gallerie naturali, artificiali e viadotti, elencati nella sottostante tabella (Tab. 7.7.2 – Fig. 7.7.2):

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Viadotto "Salso"	26+675	27+870	1.194 (SX) 1.194 (DX)
Svincolo "A19"	27+870	28+080	

**Tabella 7.7.2 – Opere d'arte principali del sottotratto 3-C**

Il tracciato del sottotratto 3-C dal Km 19+500 ricalcherà il tracciato stradale esistente sino allo svincolo per la A19, tramite la realizzazione del nuovo viadotto riportato nella tabella 7.7.2, che si snoderà lungo la valle del Fiume Salso.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 184 di 351



**Figura 7.7.2 – Viadotto “Salso”**

Nella tabella 7.7.5 contenuta nel § 7.7.2 sono elencate le singole opere d'arte principali con indicazione delle progressive interessate e delle formazioni geologiche in affioramento su cui tali opere ricadono.

### **7.7.1. Indagini geognostiche eseguite**

Nelle varie campagne di indagine eseguite, illustrate sinteticamente nel Cap. 6 per l'intero tracciato in progetto, la tratta in esame è stata interessata dai seguenti sondaggi geognostici:

#### **Campagna 2006**

- 1) S45
- 2) S59

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 185 di 351

### **Campagna 2010 Fase 1**

- 1) S21
- 2) S22

### **Campagna 2010 Fase 2**

- 3) SI38

I dettagli dei summenzionati sondaggi e le altre tipologie di indagine sono indicate nel paragrafo riguardante la modellizzazione geotecnica del sottotratto in esame.

#### **7.7.2. Caratteristiche geolitologiche**

Il settore di territorio in cui ricade il sottotratto **3-C**, dal Km 26+600 al Km 28+080, è posto in un areale geologicamente caratterizzato dalla monotona presenza della formazione delle argille marnose tortoniane, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato in base alla profondità. Tale formazione è ricoperta da uno spesso livello di depositi alluvionali sia recenti che terrazzate.

In particolare il complesso plastico delle argille ed argille marnose tortoniane (**TRV** – cfr. § 2.4.3) sono caratterizzate da un livello sommitale dato da una fascia di alterazione limoso-argillosa giallastra il cui spessore è variabile intorno ai 5 m. 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'opera più rilevante da realizzare nel settore in esame il lungo viadotto sul Fiume Salso, ricadente per intero sui depositi alluvionali. Litologicamente trattasi di ghiaie e sabbie immerse in matrice limo sabbiosa generalmente incoerenti o poco coesive; in prossimità dell'asta fluviale vi è maggiore abbondanza di scheletro litoide con presenza di blocchi di varia natura.

I sondaggi eseguiti in zona evidenziano uno spessore dei depositi alluvionali variabile da 5 a 9 metri, al di sotto dei quali si riscontra la formazione delle argille tortoniane.

Lo svincolo ricade quasi per intero su un terrazzo fluviale costituito da sabbie limose e ghiaie eterometriche; che gradualmente lascia il posto all'affioramento della formazione argillosa di base.

In sintesi le formazioni che interessano il tracciato sono di seguito riportate in tabella (Tab. 7.7.3):

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Depositi alluvionali e terrazzi fluviali (TF)	26+600	28+080	Substrato costituito dalle Argille marnose (TRV)

**Tabella 7.7.3 – Affioramenti geolitologici nel sottotratto 3-C**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 186 di 351

Alla luce di quanto evidenziato sopra è possibile sintetizzare l'andamento del substrato geologico di riferimento in relazione al progressivo andamento del sottotratto stradale **3-C**, in particolare la seguente tabella (Tab. 7.7.4) espone l'entità degli spessori interessati dalle principali opere in progetto:

Opere d'arte principali	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Viadotto "Salso"	26+675	27+870	
	Spalla 1		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -8÷10 m 2. Argille marnose (TRV) da -8÷10 m da p.c.
	Centro		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -8÷10 m 2. Argille marnose (TRV) da -8÷10 m da p.c.
	Spalla 2		1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -15÷18 m 2. Argille marnose (TRV) da -15÷18 m da p.c.
Svincolo "A19"	27+870	28+080	1. Depositi alluvionali da 0 m da p.c. a -10÷12 m 2. Argille marnose (TRV) da -10÷12 m da p.c.

**Tabella 7.7.4 – Indicazione dei terreni di fondazione delle opere d'arte principali ricadenti nel tratto**

Per quanto riguarda il Viadotto "Salso", la tipologia fondazionale delle opere previste in tali ambiti interagirà con sia con i depositi alluvionali che con i livelli sommitali alterati delle Argille brecciate tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche (livelli di attestazione dei pali profondi).

Per quanto riguarda lo Svincolo "A19", le opere previste in tale ambito interagiranno con i depositi alluvionali dei terrazzi fluviali e con sottostanti livelli sommitali alterati delle Argille brecciate tortoniane, oltre che con quelli a migliori caratteristiche geotecniche, laddove necessario.

Per maggiori dettagli si rimanda ai relativi profili geologici e alle sezioni trasversali.

### **7.7.3. Modellizzazione geotecnica**

Al fine della definizione dei modelli geotecnico-stratigrafici del tratto in esame, è stato sintetizzato un profilo che riassume i comportamenti geotecnici assimilabili, anche in presenza di litotipi geologicamente differenti. Per gli spessori medi delle stratigrafie di calcolo si ipotizzano le situazioni di maggiore criticità (spessori elevati di terreni alterati e compressibili) a tutta sicurezza dei manufatti da realizzare. Nel seguito si riportano le risultanze della modellizzazione geotecnica del tratto in esame.

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 187 di 351

**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	Alluvioni TF1: sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa.	$\gamma = 2.0 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.26 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.26 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.73^\circ$
15.00 ÷ 20.00	Argille marnose sommitali alterate – TRV1: argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 2.09 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.43 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.19 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 23.6^\circ$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 188 di 351

20.00 ÷ 25.00	<u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u> argilla marnosa a tratti scagliosa	$\gamma = 2.06 \text{ T/mc}$
		$Cu = 2.70 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.35 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 22.9^\circ$
25.00 ÷ in prof.	<u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa	$\gamma = 2.0 \text{ T/mc}$
		$Cu = 2.7 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.43 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 21.1^\circ$

#### 7.7.4. Assetto geomorfologico

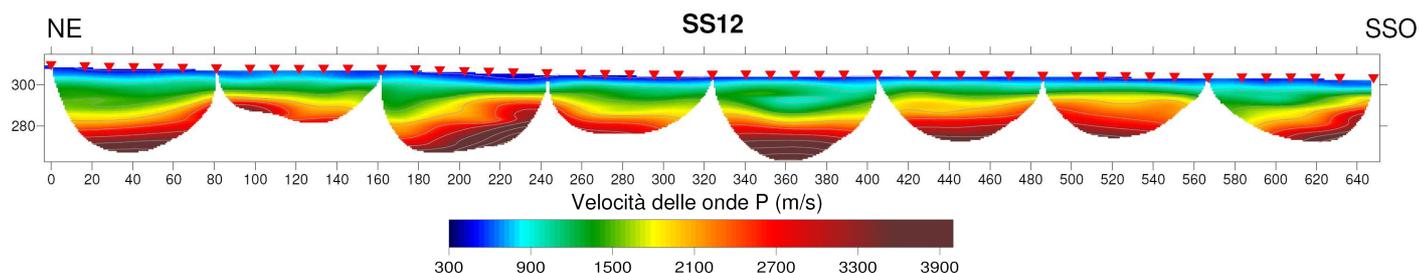
Morfologicamente il settore di contrada Imera è strettamente connesso ai fenomeni erosivi e deposizionali del Fiume Salso che, nel tratto in esame, scorre sul substrato argilloso della Formazione Terravecchia. Il paesaggio, pertanto, si caratterizza per la presenza di un'ampia valle pedemontana alla confluenza tra il Vallone Arenella ed il Fiume Salso.

Tale vallata risulta maggiormente sviluppata in sinistra idraulica del Salso dove affiorano le argille della F.ne Terravecchia, mentre nel versante di destra la presenza di depositi sabbiosi cementati (C.da Garlati) ha ridotto le azioni erosive del corso d'acqua, che si è adattato all'assetto strutturale morfologico.

Il fiume Salso presenta regime perenne, con ampie oscillazioni delle portate tra periodo invernale ed estivo; l'alveo presenta un disegno sub rettilineo solo a tratti meandriche con anse molto larghe ed ampie. Nel settore di confluenza con il Vallone Arenella il corso d'acqua mostra un letto largo con presenza di modeste isole fluviali ciottolose.

I fenomeni morfogenetici direttamente interagenti con il tracciato, sono esclusivamente legati alla dinamica fluviale del Salso, con erosione di fondo, incisione dell'alveo ed azioni erosive in prossimità della riva concava con erosione laterale della scarpata.

Il tracciato in esame è previsto tutto in viadotto e si snoda sub-parallelo al Fiume nell'ambito delle aree golenali e a rischio di esondazione con tempo di ritorno 50 anni (vedi studio idraulico); in tal senso è previsto un ampio intervento di sistemazione idraulica a protezione delle pile del viadotto.



Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 189 di 351

**Figura 7.7.3 – Profilo ricostruito tramite indagine sismica a rifrazione con risoluzione tomografica, lungo il tracciato del Viadotto Salso; si denotano spessori alquanto uniformi del sismostrato più superficiale, corrispondente ai depositi alluvionali, mentre lo strato alterato del substrato argilloso è abbastanza variabile.**

#### **7.7.5. Caratteristiche idrogeologiche**

In riferimento all'assetto idrogeologico il pacco alluvionale è sede di un modesto acquifero strettamente legato al deflusso di sub-alveo del Fiume Salso, che alimenta la falda.

Le letture piezometriche in prossimità del sondaggio S45, effettuate nel 2006, mostrano un livello della falda a - 4÷5 m dal p.c.. Nell'ambito della campagna geognostica 2010 è stato installato un ulteriore piezometro (SI38) in corrispondenza del VD Salso. Le misure registrate, riportate nel seguito, sono concordi con quanto riscontrato in precedenza.

<b>Piezometro</b>	<b>Livello di falda p.c.</b>	<b>Data</b>	<b>Livello di falda p.c.</b>	<b>Data</b>	<b>Livello di falda p.c.</b>	<b>Data</b>
<b>SI38</b>	5,10	15/11/10	5,10	29/11/10	5,25	13/01/11

La falda è alimentata anche dai deflussi provenienti dai terrazzi alluvionali che circondano la vallata, le cui sequenze di depositi alluvionali sono state riscontrate, ad esempio, nel sondaggio S22, con la presenza di sabbie e ghiaie in matrice limosa, all'interno delle quali è contenuta una falda soggiacente anch'essa circa 5 m.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 190 di 351

## 8. QUALITÀ DELLE ACQUE E LORO AGGRESSIVITÀ SUL CLS

Considerata la presenza lungo il tracciato di complessi geolitologici associati alle formazioni della serie gessoso-solfifera che, generalmente, inducono uno stato qualitativo delle acque in cui si riscontra un arricchimento di elementi associabili ad acque selenitose, al fine di determinare con certezza le classi di esposizione dei calcestruzzi per le opere d'arte progettuali, in occasione delle campagne di indagine integrative lungo tutto il tracciato, in corrispondenza di opere d'arte (viadotti, gallerie naturali e artificiali), le cui parti interrato saranno soggette a interazioni con le acque di circolazione sotterranea, è stata effettuata, all'interno di n. 8 fori di sondaggio profondi 20 m (SI23, SI24, SI25, SI28, SI32, SI35, SI36, SI38), l'installazione di altrettanti piezometri a tubo aperto (DN 3") atti al riscontro di falde idriche sotterranee ed all'eventuale prelievo di campioni di acqua sotterranee. I piezometri installati sono indicati nella tabella sottostante, in cui sono riportati anche i valori delle freaticimetrie registrate.

Piezometro	Prog.	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data
SI23	2+900	Assente	12/10/10	2,95	29/11/10	3,35	11/01/11
SI24	6+220	Assente	12/10/10	Assente	29/11/10	18,10	11/01/11
SI25	11+200	10,20	14/10/10	9,90	29/11/10	9,88	11/01/11
SI28	17+090	-	-	Assente	29/11/10	Assente	11/01/11
SI32	18+650	Assente	27/10/10	Assente	29/11/10	15,10	13/01/11
SI35	20+690	Assente	06/11/10	Assente	29/11/10	Assente	13/01/11
SI36	25+680	5,45	08/11/10	5,60	29/11/10	5,78	13/01/11
SI38	27+140	5,10	15/11/10	5,10	29/11/10	5,25	13/01/11

I campioni, prelevati nel mese di novembre 2010 dai piezometri in cui era presente acqua (SI23, SI25, SI36 e SI38) sono stati sottoposti alla caratterizzazione qualitativa tramite determinazioni analitiche atte alla definizione dell'aggressività chimica dei terreni e delle acque sulle opere in calcestruzzo ai sensi della norma UNI EN 206-1-2006 con riferimento al prospetto 2 ("Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno").

L'ubicazione dei punti è stata effettuata tenendo conto anche della rappresentatività nei confronti delle varie unità idrogeologiche presenti lungo il tracciato.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 191 di 351

I campionamenti sono stati eseguiti seguendo le metodologie prescritte dall'Allegato 2 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006 (Norme in materia ambientale - Bonifica di siti contaminati).

Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
<b>Acqua nel terreno</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3 000	>3 000 e ≤6 000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO <sub>2</sub> mg/l aggressiva	prEN 13577:1999	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100

I campioni di acqua sono stati prelevati laddove è stata riscontrata la presenza di acqua ed in particolare nei piezometri SI23, SI25, SI36, SI38. Nel seguito si riportano i risultati.

**Analisi chimica Acqua – Campione SI23**

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.35
CO <sub>2</sub> aggressiva	mg/l	11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	2170

**Analisi chimica Acqua – Campione SI25**

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.38
CO <sub>2</sub> aggressiva	mg/l	6.6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	330

**Analisi chimica Acqua – Campione SI36**

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.34
CO <sub>2</sub> aggressiva	mg/l	15.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1360

<b>Analisi chimica Acqua – Campione SI38</b>		
<b>Prova</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Risultati analisi</b>
pH	unità di pH	7.35
CO <sub>2</sub> aggressiva	mg/l	16.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1580

Dal confronto con i valori limite ne risulta che le acque analizzate siano da considerarsi in un contesto di aggressività per i calcestruzzi da debole a moderato. I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A "Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre".

Ne deriva che:

- SI23, coincidente con la GA Rovetello, ricade in classe di aggressività XA2 (moderata)
- SI25, coincidente con la GN Papazzo, ricade in classe di aggressività XA1 (debole)
- SI36, coincidente con il VD Arenella III, ricade in classe di aggressività XA2 (moderata)
- SI38, coincidente con il VD Salso, ricade in classe di aggressività XA2 (moderata)

In merito a tale argomento le summenzionate opere d'arte nel Progetto Definitivo non contemplavano tali ambienti aggressivi.

Considerata la situazione geologica, la distribuzione dei complessi idrogeologici e l'importanza che hanno sulla alimentazione delle risorse idriche sotterranee gli afflussi idrici superficiali notoriamente ricchi di elementi quali i solfati (v. ad es. il Fiume Salso), il risultato è praticamente estensibile a tutte le zone in cui si riscontra la presenza di acque sotterranee e, soprattutto nelle zone circondate da rilievi gessoso-solfiferi e che drenano acque da questi derivanti.

In Appendice 3 è riportata una tabella in cui sono state associate ad ogni opera d'arte prevista per il tracciato, le classi di aggressività secondo la predetta norma tecnica UNI EN 206-1-2006.

Per quanto riguarda la Galleria Caltanissetta, le acque prelevate dal pozzo Pz2 su cui è stata effettuata la prova di emungimento hanno dato i seguenti esiti analitici:

⇒	Temperatura	= 16,9 °C;	
⇒	pH	= 7,18;	
⇒	Conducibilità	= 5498 mS/cm	→ N.B.: 1055 mS/cm è il limite riferimento acqua potabile per confezionamento cls;
⇒	TDS (solidi totali disciolti)	= 4317 ppm;	
⇒	Salinità	= 5966 ppm;	

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 193 di 351

⇒	Solfati	= 785 mg/l	→ N.B.: 400-1500 mg/l è definito "moderatamente aggressivo" da UNI 8981 (Durabilità opere);
⇒	Cloruri	= 1360 mg/l.	
⇒	Idrogeno solforato	= 91,9 mg/l.	

Con riferimento ai valori riportati nel prospetto 2 ("Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno") della norma UNI EN 206-1-2006, per quanto riguarda i solfati i valori riscontrati rientrano in classe moderatamente aggressiva (XA2).

L'elevato tenore di Cloruri riscontrato fa propendere, però, ad adottare una classe di aggressività associata al rischio di corrosione promossa dal cloruro, qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, così come riportato nel Prospetto 1 della summenzionata norma UNI EN 206-1-2006.

<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>		
Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue: Nota In riferimento alle condizioni di umidità vedere anche sezione 2 del presente prospetto.		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri Pavimentazioni Pavimentazioni di parcheggi

## 9. VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE TERRE PROVENIENTI DAGLI SCAVI

### 9.1. RIUTILIZZO DEI TERRENI

I terreni provenienti dagli scavi sono stati oggetto di valutazione qualitativa per la verifica delle possibilità del loro riutilizzo in due casi:

- 1) Realizzazione dei rilevati stradali in seno al medesimo cantiere e dei relativi sottofondi;
- 2) Ripristini ambientali (colmamenti di cave, reinterri, rilevati non stradali ecc.).

#### 9.1.1. Realizzazione dei rilevati stradali

Ai fini della verifica della necessità/possibilità di effettuare il trattamento di stabilizzazione a calce dei terreni escavati e per il loro eventuale riutilizzo per la realizzazione dei sottofondi e dei rilevati, è stata ritenuto opportuno effettuare dei pozzetti esplorativi con lo scopo di prelevare dei campioni di terreno per poter eseguire le dovute prove chimiche. L'ubicazione dei pozzetti è stata effettuata in corrispondenza delle zone dove si effettueranno significative escavazioni e in funzione degli affioramenti geologici riscontrabili.

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.

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

in accordo alle linee guida ANAS e RFI, secondo cui il trattamento a mezzo di calce è previsto per i terreni limosi e/o argillosi, altrimenti non utilizzabili, che dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- ⇒ Granulometria (vedi fuso granulometrico riportato nella norma CNR B.U. n. 36)
- ⇒ Indice di plasticità > 10
- ⇒ Sostanze organiche < 2% (\*)
- ⇒ Solfati totali (solfati e solfuri) < 0.25% (\*\*)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 195 di 351

- ⇒ Nitrati < 0.1%
- ⇒ Contenuto d'acqua  $W_n \leq 1.3 W_{opt}$  (standard)

*Nota:(\*) Questo valore può essere superato fino al valore del 4% nel caso di impiego del trattamento per il piano di posa del rilevato, purché sia dimostrato il raggiungimento dei requisiti di resistenza, deformabilità e durabilità richiesti.*

*Nota:(\*\*) I terreni con contenuto di solfati totali >1% non sono idonei al trattamento a calce; le terre con un contenuto di solfati totali compreso tra 1% e 0.25 % potrebbero, in casi eccezionali essere accettati, e comunque dopo uno specifico studio di laboratorio. Il Committente sulla base dello studio effettuato deciderà l'idoneità o meno della terra.*

Potranno essere ammesse granulometrie diverse da quelle interamente comprese nel fuso e un valore minore della plasticità a condizione che si dimostri l'idoneità della terra ad essere trattata, attraverso lo studio delle miscele di laboratorio e un campo prova preventivamente approvato dal Committente. In ogni caso l'indice di plasticità dovrà essere  $I_p > 5$ . La terra da stabilizzare dovrà essere libera di vegetazione e di qualsiasi altro materiale estraneo.

I valori ottenuti, soprattutto in relazione al contenuto di sostanza organica, hanno determinato che il riutilizzo dei terreni per rilevati e sottofondi sia possibile solo dietro processo di stabilizzazione a calce per migliorarne le caratteristiche geotecniche richieste. 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:

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

Sulle miscele ottenute sono state eseguite le seguenti prove:

- Curva granulometrica cumulativa
- Indici di consistenza ( $I_c$ ) e di plasticità ( $I_p$ )
- Classificazione UNI 10006
- Contenuto in sostanza organica

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 196 di 351

- Solfati totali
- Solfuri
- Azoto Nitrico (NO<sub>3</sub>)
- Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
- Indice CBR
- Indice CBR immediato (IPI).

I risultati ottenuti hanno permesso di distinguere 5 classi differenti

Classe	Descrizione	Tratto
1	Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce (>2%), non utilizzabili per sovrastrutture, ma solo per sottofondo	4+500 ÷ 9+500
2	Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 6% per sovrastrutture	19+400 ÷ 25+010
3	Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5,5% per sovrastrutture	16+930 ÷ 19+400
4	Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture	9+500 ÷ 12+900
5	Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture	0+000 ÷ 4+500

Nella pagina successiva se ne riportano i risultati, con indicazione delle percentuali di calce utilizzata correlata ai risultati ottenuti.

I risultati completi sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG009A "Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni da scavare".

Pertanto i terreni che derivano dalle escavazioni (trincee, gallerie artificiali ecc. ) condotte nella tratta compresa tra le prog. 0+000 e 4+500 potranno essere riutilizzate per sovrastrutture previo trattamento (in situ o in impianto) di stabilizzazione con aggiunta di calce al 5% e così via per le tratte successive, ad eccezione per quella compresa tra le prog. 4+500 e 9+500, che potrà essere riutilizzata solo per sottofondi previo trattamento (in situ o in impianto) di stabilizzazione con aggiunta di calce al 2%.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 197 di 351

Classe	senza trattamento										con trattamento													
	Prog. Km	PT	Sost. Org. %	Class. UNI 10006	IP %	Class. UNI 10007	sofferti mg/Kg	NO3 mg/Kg	Sost. Org. %	CBR imm. %	CBR %	CBR imm. %	IP %	Compr. *	CBR imm. %	IP %	Compr. *	CBR imm. %	IP %	Compr. *				
5	0+000 4+500	1	4,40	A6	18																			
		2	1,20	A4	7																			
		3	3,10	A7 5	35	26	A6	2380	<100	3,40	37,00	10,00	63,00	43,00	19	0,84	72,00	59,00	15	0,93	78,00	67,00	12	1,02
		4	3,50	A6	15																			
		5	3,20	A6	25																			
1	4+500 9+500	6	1,70	A6	23	A6	842	<100	3,80	37,00	18,00	61,00	35,00	21	0,73	65,00	38,00	20	0,75	67,00	43,00	19	0,83	
		7	5,10	A6	23																			
4	9+500 12+900	8	3,30	A6	19	A6	801	<100	2,90	33,00	8,00	86,00	62,00	15	1,24	72,00	65,00	13	1,30	89,00	69,00	12	1,36	
		9	2,70	A6	24																			
3	16+930 19+400	10	2,60	A6	24	A6																		
		11	2,70	A6	16																			
		12	2,60	A6	14	17	A6	10670	<100	2,60	31,00	9,00	74,00	51,00	16	1,14	79,00	58,00	15	1,22	91,00	61,00	14	1,56
2	19+400 25+100	13	2,20	A6	19																			
		14	2,00	A7 6	30	30	A7 6	2303	<100	2,50	22,00	6,00	59,00	39,00	27	1,00	89,00	61,00	26	1,21	94,00	69,00	25	1,34

**Legenda**

- 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)

**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 uniassiale dopo stagionatura di 3 gg

### 9.1.2. Ripristini ambientali

Specificatamente in relazione alla possibile presenza lungo il tracciato oggetto degli interventi di aree con probabilità di presenza di sostanze inquinanti, è risultato essenziale verificare a priori la natura dei terreni che si dovranno movimentare, al fine di evitare le aree in condizioni tali per cui il materiale debba essere considerato solo come rifiuto, ai sensi del **comma 1 dell'art. 186 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii.**, che recita:

#### Art. 186

1. Le terre e rocce da scavo, anche di gallerie, ottenute quali sottoprodotti, possono essere utilizzate per reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati purché:

- a) siano impiegate direttamente nell'ambito di opere o interventi preventivamente individuati e definiti;
- b) sin dalla fase della produzione vi sia certezza dell'integrale utilizzo;
- c) l'utilizzo integrale della parte destinata a riutilizzo sia tecnicamente possibile senza necessità di preventivo trattamento o di trasformazioni preliminari per soddisfare i requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo ad emissioni e, più in generale, ad impatti ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli ordinariamente consentiti ed autorizzati per il sito dove sono destinate ad essere utilizzate;
- d) sia garantito un elevato livello di tutela ambientale;
- e) sia accertato che non provengono da siti contaminati o sottoposti ad interventi di bonifica ai sensi del titolo V della parte quarta del presente decreto;
- f) le loro caratteristiche chimiche e chimico-fisiche siano tali che il loro impiego nel sito prescelto non determini rischi per la salute e per la qualità delle matrici ambientali interessate ed avvenga nel rispetto delle norme di tutela delle acque superficiali e sotterranee, della flora, della fauna, degli habitat e delle aree naturali protette. In particolare deve essere dimostrato che il materiale da utilizzare non è contaminato con riferimento alla destinazione d'uso del medesimo, nonché la compatibilità di detto materiale con il sito di destinazione;
- g) la certezza del loro integrale utilizzo sia dimostrata. L'impiego di terre da scavo nei processi industriali come sottoprodotti, in sostituzione dei materiali di cava, è consentito nel rispetto delle condizioni fissate all'articolo 183, comma 1, lettera p).

[omissis]

In particolare nei punti e) ed f) si richiede che i materiali da riutilizzare abbiano caratteristiche qualitative tali da garantire la loro estraneità alla provenienza da siti contaminati con superamenti delle CSC (concentrazioni soglia di contaminazione) di cui alla Tab. 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006, compatibilmente con la destinazione d'uso del sito cui tali materiali sono destinati.

Considerato l'ambito progettuale in oggetto (asse viario di rilevante importanza), nel caso specifico le CSC di riferimento sono quelle riportate nella **colonna B (siti ad uso commerciale e industriale)** della **Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006**. Ovviamente nei casi in cui tali materiali andrebbero destinati a riutilizzi esterni rispetto all'opera progettuale (ad es. ripristino di cave), i limiti delle CSC andrebbero rivisti compatibilmente con la destinazione d'uso della zona di riutilizzo, pertanto, si potrebbe far anche riferimento alla **colonna A** della summenzionata **Tabella 1**, se tale sito è assimilabile all'uso verde pubblico, privato e residenziale.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 199 di 351

Per tali fini sono stati prelevati alcuni campioni di terreno i campioni che sono stati sottoposti a specifiche analisi per la determinazione dei seguenti parametri indicatori di contaminazione:

- ⇒ Arsenico
- ⇒ Berillio
- ⇒ Cadmio
- ⇒ Cobalto
- ⇒ Cromo totale
- ⇒ Mercurio
- ⇒ Nichel
- ⇒ Piombo
- ⇒ Rame
- ⇒ Selenio
- ⇒ Zinco
- ⇒ Idrocarburi Totali leggeri C<12
- ⇒ Idrocarburi totali pesanti C>12

Nello specifico i campioni sono stati prelevati:

- dai medesimi 15 pozzetti di scavo menzionati nel § 9.1.1 (**PT1÷15**);
- dalle miscele (n. 13) ottenute dai campioni prelevati dalle 84 trincee eseguite sui rilevati attualmente presenti lungo l'intero tracciato (**T1÷6, T7÷13, T14÷18, T19÷23, T24÷34, T35÷44, T45÷50, T51÷54, T55÷57, T58÷62, T63÷69, T70÷75, T76÷84**)
- da due campioni prelevati rispettivamente dal sondaggio **SI26bis** (prof. m 73,5) e dal sondaggio **SI27** (prof. m 97), effettuati in asse al tracciato della Galleria Naturale Caltanissetta.

I campionamenti sono stati eseguiti in accordo con le modalità previste dall'Allegato 2 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006.

In particolare la formazione dei campioni per le analisi è stata effettuata secondo la seguente sequenza operativa:

- Il terreno è stato prelevato in una aliquota e collocata in contenitori di vetro a chiusura ermetica del volume di circa 1000 ml. I contenitori sono stati conservati in ambiente refrigerato a 4°C.

I campioni rimaneggiati prelevati sono stati privati della frazione maggiore dei 2 cm, scartare in

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 200 di 351

campo.

Le metodiche adottate per ogni singolo parametro ricercato hanno garantito limiti di rilevabilità strumentale circa 10 volte inferiori rispetto ai limiti di riferimento previsti dalla vigente normativa, che per le aree in esame sono stati quelli delle **CSC** della **colonna B** (*siti ad uso industriale e commerciale*) della **Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006**.

Nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG017 "Rapporto generale delle indagini geogostiche in situ delle prove di laboratorio – 3ª Fase" sono riportati i risultati e i relativi certificati analitici per ogni campione (totale n. 30) sottoposto a caratterizzazione chimica.

Dai valori riportati nei summenzionati certificati analitici si denota che, per quanto riguarda la CSC (concentrazioni soglia di contaminazione), di cui alla colonna B (Siti ad uso industriale e commerciale) della Tabella 1 in Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006, non si riscontra alcun superamento. Lo stesso dicasi per le CSC di cui alla colonna A (Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale).

In conseguenza di quanto sopra esposto, per le zone di provenienza dei campioni prelevati la movimentazione dei materiali non richiederà particolari cautele in fase esecutiva, in quanto non provenienti da siti contaminati e quindi riutilizzabili ai sensi dell'art. 186 del D.Lgs. 152/2006, anche in siti esterni all'area di cantiere (ad. es. ripristino ambientale di cave), con qualsiasi destinazione d'uso (industriale, commerciale, residenziale, agricola), con le limitazioni previste dalla vigente normativa.

## 9.2. EVENTUALITÀ DI SMALTIMENTO DEI TERRENI ESCAVATI COME RIFIUTO

### 9.2.1. Materiali derivanti dalle operazioni di scavo

Per la caratterizzazione qualitativa dei materiali derivanti dalle operazioni di scavo come trincee e gallerie artificiali sono state effettuate delle prove chimiche, su ogni campione prelevato dai summenzionati pozzetti (**PT1÷15**), 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 smaltimento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberi di produzione.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che tutti i terreni in questione in merito alla attribuzione del codice CER, nel caso in cui se ne voglia disfare, rientrano nella categoria

### RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 201 di 351

### **CER 17 05 04 “Terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03\*\*”**

e possono, pertanto, essere smaltiti in **Discarica per Rifiuti Inerti**.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A “Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre”.

#### **9.2.2. Materiali derivanti dai rilevati esistenti**

Per la caratterizzazione qualitativa dei materiali derivanti dalle operazioni di smantellamento dei rilevati esistenti sono state effettuate delle prove chimiche, sulle miscele (n. 13) ottenute dai campioni prelevati dalle 84 trincee eseguite lungo l'intero tracciato, 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 smaltimento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberi di produzione.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che tutti i terreni in questione in merito alla attribuzione del codice CER, nel caso in cui se ne voglia disfare, rientrano nella categoria

#### **RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO**

### **CER 17 05 04 “Terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03\*\*”**

e possono, pertanto, essere smaltiti in **Discarica per Rifiuti Inerti**.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A “Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre”.

#### **9.2.3. Materiali provenienti dallo scavo della galleria naturale Caltanissetta**

Su due campioni prelevati rispettivamente dal sondaggio SI26bis e dal sondaggio SI27, effettuati in asse al tracciato della Galleria Naturale Caltanissetta, sono state effettuate 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 smaltimento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberi di produzione.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che tutti i terreni in questione in merito alla attribuzione del codice CER, nel caso in cui se ne voglia disfare, rientrano nella categoria

#### **RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 202 di 351

**CER 17 05 04 “Terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03\*\*”**

e possono, pertanto, essere smaltiti in **Discarica per Rifiuti Inerti**.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A “Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre”.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 203 di 351

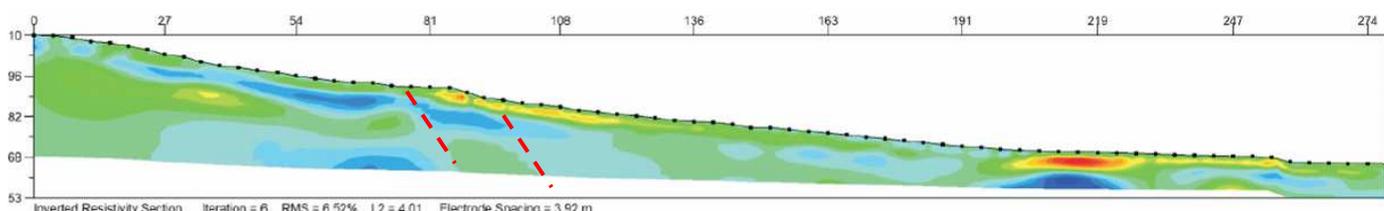
## 10. GALLERIA NATURALE PAPAZZO: ASSETTO GEOLOGICO

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Galleria naturale "Papazzo"	10+280	11+020	741 (SX) 743 (DX)

### 10.1. GEOLOGIA

La contrada Papazzo, dove è prevista l'omonima galleria naturale lunga circa 740 m, si caratterizza per la presenza delle litologie della Formazione Marnoso-arenacea del Pliocene medio-Pleistocene inferiore. L'opera prevista, consente di attraversare la collinetta espressione della tipica deposizione terrigena torbidity di ambiente costiero, costituita da sabbie, sabbie limose ed argille.

Nello specifico la stratigrafia tipo dell'area interessata dalla galleria prevede, dall'alto verso il basso, le *sabbie e sabbie argillose* e l'*unità delle argille ed argille marnose*, che saranno quelle realmente interessate dall'opera per quasi l'intero suo percorso. In corrispondenza dell'imbocco lato CL, la serie delle sabbie viene ribassata da alcune strutture distensive (associate alla tettonica plivativa) sino al livello delle alluvioni del Vallone Mumia, così come si evince dal profilo ricostruito tramite l'indagine geofisica (stesa elettrica con risoluzione tomografica) appositamente eseguita in corrispondenza di tale area.



**Fig. 7.1 – Profilo tomografico derivante dalla stesa elettrica effettuata in corrispondenza dell'imbocco lato CL della Galleria Papazzo; le aree blu indicano zone a minore resistività, mentre le linee rosse tratteggiate indicano le strutture distensive individuate.**

Il primo litotipo è costituito da sabbie giallastre sciolte con intercalati livelli limosi e argillosi generalmente poco cementati, di colore grigio chiaro con sfumature giallastre ricchi di frammenti di gusci fossili ed inclusi lapidei millimetrici

A varie profondità si riscontrano inoltre modesti livelli litoidi costituiti da calcareniti e quarzareniti in matrice sabbiosa e nella parte alta della sequenza veli di calcarenite.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 204 di 351

Lo spessore complessivo del litotipo delle sabbie e sabbie argillose è stato ricostruito per il settore tra 17 e 19 metri dal p.c. oltre i quali si rinvencono le argille plioceniche.

Le argille plioceniche sono costituite da argille ed argille sabbiose generalmente di colore grigio-azzurro, con resti di fossili e, talvolta, minuti cristalli di gesso. L'unità presenta un primo livello alterato costituito da limi e argille sabbiose plastiche, oltre il quale le argille sono omogenee ed a struttura scagliosa. In sintesi si ha:

Opera d'arte	Progressive		Formazioni geologiche interessate
	Inizio	Fine	
Galleria naturale "Papazzo"	10+280	11+020	Marne argillose (ENNA) da -18÷20 m da p.c. sino in prof.

Al fine di definire il modello geotecnico del sottosuolo oltre ai sondaggi e le prove di laboratorio sono state eseguite delle prove pressiometriche in alcuni fori di sondaggio. Le prove hanno consentito di ricavare il comportamento deformativo dei terreni, il modulo pressiometrico e attraverso correlazioni sperimentali, la coesione non drenata, l'angolo di attrito, la tensione orizzontale in sito, ecc.

Per le stratigrafie di calcolo specifiche e per tutte le analisi e prove eseguite si rimanda all'elaborato geotecnico specifico.

## 10.2. IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico nel rilievo di C/da Papazzo è stato riscontrato un acquifero superficiale di spessore complessivo inferiore ai 30 m che si insedia nel complesso permeabile della sabbie e calcareniti aventi spessore di 20 metri circa e nei primi metri della sottostanti argille sabbiose e sabbie argillose plioceniche. Il letto dell'acquifero è costituito dalle stesse argille che oltre i primi metri presentano minore componente sabbiosa e sono pressoché impermeabili ed asciutte. Le letture piezometriche eseguite negli ultimi mesi hanno delineato un livello freaticometrico oscillante sui 10 m da p.c..

Sono stati, inoltre installati, nella campagna geognostica del PD (2006), dei piezometri con cella di Casagrande alla profondità di 40 m da p.c., corrispondente alla quota della prevista galleria. Le letture a falda stabilizzata disegnano un livello piezometrico a circa 26÷30 metri dal p.c., indicatore di una falda in pressione contenuta nei livelli più limo-sabbiosi delle argille plioceniche. I valori registrati durante i rilievi piezometrici sono riportati nel seguito.

### RILIEVI PIEZOMETRICI

Piezometro	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data
------------	-------------------------------	------	-------------------------------	------	-------------------------------	------

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 205 di 351

<b>SI25 *</b>	10,20	14/10/10	9,90	29/11/10	9,88	11/01/11
<b>S19</b>	26	2006	cella Casagrande a -40 m da p.c.			
<b>S20</b>	30	2006	cella Casagrande a -40 m da p.c.			

\* **Piezometro a tubo aperto profondo 20 m**

La fig. 7.1 evidenzia nel settore in cui è previsto l'imbocco lato A19 della galleria, una comunicazione tra la falda superficiale e quella più profonda, attraverso un drenaggio in corrispondenza della faglia posta più a monte, che contribuisce alla alimentazione della suddetta falda profonda entro cui è previsto il cavo dell'opera.

Rispetto allo studio del PD, pertanto, che non prevedeva la presenza di falde acquifere, la progettazione della Galleria Naturale Papazzo deve tenere in conto le situazioni di venute d'acqua e rischi di sifonamento, soprattutto nella zona dell'imbocco lato CL, potenzialmente soggetta a situazioni di instabilità e deflussi idrici, che potrebbero comportare variazioni e modifiche dell'assetto progettuale dell'opera prevista.

### 10.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Entrambi i versanti dove insistono gli imbocchi, viste le non eccessive acclività, si sono rivelati abbastanza stabili e non sono stati riscontrati fenomeni gravitativi rilevanti in fase attiva o quiescente. Quindi allo stato attuale le formazioni argilloso-marnose (lato Agrigento) e sabbioso-argillose (lato Caltanissetta) sembrano avere raggiunto un equilibrio statico non soggetto a pericoli di scivolamento e/o frane, sebbene il taglio del pendio e la movimentazione di terre e materiali potrebbe innescare movimenti gravitativi, soprattutto sul versante Sud, se non si attuano le dovute misure di contenimento del pendio.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 206 di 351

## 11. GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA: ASSETTO GEOLOGICO

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Galleria naturale "Caltanissetta"	12+885	16+930	4.052 (SX) 4.044 (DX)

### 11.1. INDAGINI SVOLTE

Nel seguito sono descritte le indagini eseguite nelle campagne geognostiche integrative effettuate a corredo del Progetto esecutivo, ad integrazione di quanto già svolto nel 2006 in fase di Progetto Definitivo in corrispondenza della Galleria Caltanissetta. Le indagini del PD sono sintetizzate nella Tabella sottostante.

**Tabella 11.1 – Sondaggi geognostici eseguiti in seno al PD nel 2006 lungo il tracciato della galleria**

Nome Sondaggio	A carotaggio	A distruzione	piezometro
	Metri	Metri	
S26	30	50	
S51	20	110	
S29	25	30	( C )
S28		50	
S27	70	60	( C )
S25	70	60	
S50	30	110	
S52	30	50	
S49	25		
S53	30	20	

#### 11.1.1. Fase 1 della campagna geognostica 2010

In occasione della Fase 1 della nuova campagna geognostica condotta tra luglio e settembre 2010, in corrispondenza della GN Caltanissetta e dei suoi imbocchi sono stati eseguiti n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti a profondità variabili tra i 40 e i 150 m da p.c., per un totale di 530 metri lineari di perforazione, localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono state scelte in funzione della profondità della galleria in corrispondenza del punto di indagine, sufficienti al superamento della quota d'imposta dell'arco

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 207 di 351

rovescio.

In particolare, n.3 fori di sondaggio sono stati completati con n. 2 celle di Casagrande ciascuno (S8, S9, S10), n. 1 è stato condizionato con inclinometro (S11), oltre ad effettuare l'esecuzione di prova sismica in foro di tipo down-hole. Nel corso di ogni sondaggio geognostico, ai fini della determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati. In totale si è provveduto al prelievo di n° 48 campioni indisturbati in tutti i sondaggi eseguiti, distribuiti come riportato nella tabella sottostante.

**Tabella 11.2 – Sondaggi geognostici eseguiti in Fase 1 lungo il tracciato della galleria**

N°	Sondaggio	Tipologia	Note	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
1	S7	Down Hole	Eseguite n. 4 prove pressiometriche (prof.m. 10; 20; 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
					6	C6	35,00-35,50
2	S8	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 5 prove pressiometriche (prof. m. 10; 20; 60; 100; 130)	150,00	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
					9	C9	149,90-150,10
3	S9	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 7 prove pressiometriche (prof. m. 10 ;30; 50; 70; 90; 110; 130)	150,00	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
					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
					11	C11	66,00-66,50
					12	C12	72,00-72,50
					13	C13	85,00-85,35
					14	C14	100,00-100,50
					15	C15	110,00-110,50

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 208 di 351

N°	Sondaggio	Tipologia	Note	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
					16	C16	120,30-120,50
					17	C17	130,00-130,50
					18	C18	139,80-140,20
					19	C19	149,50-150,00
4	S10	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 5 prove presiometriche (prof. m. 10; 30; 60; 100; 130)	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
5	S11	Inclinometro/Down Hole	Eseguite n. 4 prove presiometriche (prof. m. 10; 20; 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

Oltre a quanto sopra detto in corrispondenza della galleria sono state effettuate alcune indagini di tipo indiretto consistenti in:

- Sismica di superficie: sono state realizzate n. 2 traverse sismiche a rifrazione, effettuate con risoluzione tomografica, opportunamente localizzate in corrispondenza dell'imbocco lato A19 della galleria;
- Prospezioni elettromagnetiche: n. 17 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, distribuiti lungo l'intero tracciato della galleria.

### 11.1.2. Fase 2 della campagna geognostica 2010

In occasione della Fase 2 della campagna geognostica condotta tra ottobre e dicembre 2010, in corrispondenza di questa importante opera d'arte le indagini sono consistite nell'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (SI26bis) profondo 90 m e lievemente spostato rispetto all'asse della galleria, per verificare l'assetto stratigrafico, e di altri 2 sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, profondi 50 m (SI26) e 150 m (SI27) con prelievo di campioni indisturbati in

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 209 di 351

numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. In corrispondenza dei fori di sondaggio sono state svolte delle prove sismiche passive di superficie di tipo Re.Mi., finalizzate alla definizione delle velocità delle onde VS. Il sondaggio SI27, inoltre, è stato attrezzato con tubo piezometrico aperto, al fine di monitorare e campionare l'acqua della falda contenuta nell'acquifero ritrovato tra 58 e 87 m di profondità.

Oltre ai sondaggi, in riferimento alle problematiche emerse, al fine di estendere ad un profilo bidimensionale i dati derivanti dalle perforazioni e dalle indagini geofisiche eseguite, sono state eseguite delle prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione suddivise in n. 8 traverse di lunghezza compresa tra 46 e 132 m per una lunghezza totale di circa 716 m, distribuite in corrispondenza dell'asse longitudinale della galleria, con profondità raggiunte superiori ai 200 m.

Inoltre si segnala che in fase di esecuzione del sondaggio SI27, ubicato in asse alla GN Caltanissetta e profondo 150 m da p.c., le carote prelevate alla profondità superiore ai 90 m da p.c., in corrispondenza della sequenza argillosa tortoniana, emanavano un forte odore di idrocarburi. Ne è conseguita la necessità di effettuare un prelievo di campioni di matrice terreno per le determinazioni del caso, oltre ad effettuare il prelievo della matrice gassosa presente nel foro di sondaggio, tramite fiala a carboni attivi contenuta in apposito campionatore posto in testa alla colonna di perforazione.

**Tabella 11.3 – Sondaggi geognostici eseguiti in Fase 2 lungo il tracciato della galleria**

N°	Sondaggio	Tipologia	Progr. Km	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
1	SI26		13+460	50,00	1	C1	25,60-26,00
					2	C2	50,00-50,30
2	SI26 bis	-	13+420	90,00	1	C1	24,30-24,60
					2	C2	50,00-50,50
					3	C3	75,00-75,50
3	SI27	Piezometro	15+820	150,00	1	C1	15,00-15,35
					2	C2	40,00-40,50
					3	C3	90,50-90,90
					4	C4	103,50-104,00
					5	C5	125,00-125,40
					6	C6	142,50-143,00

### 11.1.3. Fase 3 della campagna geognostica 2011

In occasione delle indagini integrative di Fase 3 sono 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.,

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 210 di 351

localizzate opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono dipese dalla quota della galleria e dalle finalità da perseguire. All'interno di quasi ogni sondaggi sono state installate 1÷2 celle di Casagrande per il monitoraggio del livello di falda, soprattutto in corrispondenza della galleria, oltre all'installazione di altrettante sonde di monitoraggio per il prelievo dei gas interstiziali. Durante l'esecuzione di 4 sondaggi a carotaggio continuo, si è proceduto al prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi riscontrati, con n° 1 campi one indisturbato ogni 10 m di sondaggio a partire dalle profondità ritenute opportune sulla base della quota della galleria. Sono state, inoltre, eseguite delle prove di permeabilità in foro (tipo Lefranc a carico variabile) per alcuni dei sondaggi eseguiti, in corrispondenza delle quote di installazione delle celle di Casagrande e laddove ritenuto necessario in fase di esecuzione.

Nelle immediate vicinanze di n. 3 piezometri installati in questa fase, denominati SI40, SI42 e SI43, si proceduto alla esecuzione di perforazione a distruzione di nucleo per la installazione di altrettanti pozzi, rispettivamente PZ1 prof. 140 m, PZ2 prof. 120 m, PZ3 prof. 120 m, utili alla esecuzione di prove di emungimento di lunga durata (48 ore), finalizzate alla determinazione dei parametri idraulici degli acquiferi interessati dal cavo della galleria. Si è proceduto, inoltre, alla esecuzione di prove idrauliche di tipo Slug Test in corrispondenza di alcuni piezometri, per la verifica speditiva della permeabilità in corrispondenza degli stessi piezometri, oltre che dei livelli piezometrici effettivi.

Sono state effettuate, a completamento di quanto svolto in Fase 2, n. 4 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione, lungo l'asse longitudinale della galleria Caltanissetta, di lunghezza variabile tra 72 e 252 m.

Per ulteriori dettagli sulla campagna integrativa di Fase 3 si faccia riferimento al § 6.4 della presente relazione.

**Tab. 11.4 Riepilogo indagini dirette e prove in sito eseguiti in Fase 3**

	<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

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		<i>Pagina</i> 211 di 351

	<b>Sigla</b>	<b>Prog. Km</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Camp. Ind. (n)</b>	<b>Tipologia installazione</b>	<b>Prove</b>
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. 11.5 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

## 11.2. GEOLOGIA

La Galleria Caltanissetta consentirà di attraversare in sotterraneo per poco più di 4 Km la Contrada S. Elia, divenuta sede di recente espansione urbana di Caltanissetta.

Il modello geologico generale del settore prevede in affioramento, per gran parte della proiezione del tracciato in superficie, la formazione della sabbie e argille sabbiose della marnoso arenacea che hanno ricoperto, tagliandole al tetto, i sedimenti marnosi e argillo-marnosi del Pliocene inf. (marne argillose della F.ne dei Trubi).

In particolare, distinguendo asse dx (direzione AG-A19) e asse sn (direzione A19-AG), il tracciato è interessato da diverse formazioni, dal comportamento fisico-meccanico sensibilmente differenziato, con la seguente progressione:

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 212 di 351

### **Asse DX (AG→A19)**

1. dalla prog. 12+840 alla 12+960 affiora la formazione delle Sabbie di Lannari del Pliocene superiore (**SLN** – cfr. 2.4.3), laddove inizia l'attraversamento del rilievo collinare tramite la galleria; 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** – cfr. 2.4.3);
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** – cfr. 2.4.3), 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** – cfr. 2.4.1) 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 (cfr. § 2.3) 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 inte-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 213 di 351

- ressata 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** – cfr. § 2.4.2), 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.

#### **Asse SN (A19→AG)**

1. dalla prog. 12+840 alla 12+950 affiora la formazione delle Sabbie di Lannari del Pliocene superiore (**SLN** – cfr. 2.4.3), laddove inizia l'attraversamento del rilievo collinare tramite la galleria; 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** – cfr. 2.4.3);
2. alla prog. 12+950 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** – cfr. 2.4.3), che interessa il tracciato della galleria sino alla prog. 13+060;
3. dalla prog. 13+060 alla 13+330 il tracciato della galleria ricade nella formazione delle Argille marnose di Geracello (**GER**); alla prog. 13+105 il tracciato è interessato da una faglia diretta di rigetto pari a circa 10 m;
4. dalla prog. 13+330 il tracciato interessa la formazione dei Trubi (**TRB**), che dalla prog. 13+410 è coinvolta, con le sottostanti Argille Brecciate del Tortoniano (**TRVB** – cfr. 2.4.1), in due sovrascorrimenti e una faglia normale (prog. 13+720) che comportano la presenza di fasce tettonizzate sino alla prog. 13+810, che ricoprono oltre il 60% di tale distanza, per un totale di circa 300 m;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 214 di 351

5. dalla prog. 13+440 sino alla 13+580, il tracciato attraversa la zona di contatto tra i Trubi (**TRB**) e le sottostanti Argille brecciate (**TRVB**);
6. dalla prog. 13+580 alla 15+230 il tracciato della galleria attraversa le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**); lungo tale percorso alle prog. 13+920, 14+050, 14+380 e 14+530, 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 per circa 70 m prima di tale faglia;
7. dalla prog. 15+230 alla 15+475 lo stile plicativo che caratterizza l'intera area (cfr. § 2.3) porta il tracciato della galleria ad attraversare nuovamente i Trubi (**TRB**);
8. dalla prog. 15+475 il tracciato della galleria ritorna ad interessare le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**), sino alla prog. 15+820 dove una importante discontinuità individuabile con una faglia normale (rigetto oltre 30 m) di epoca successiva ai sovrascorrimenti qui individuabili, pone a contatto le argille con la formazione dei Calcari evaporitici messiniani (**GTL1** – cfr. § 2.4.2), 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+910; alla prog 15+710 si riscontra un importante sovrascorrimento che porta tali argille a sovrastare i Trubi (**TRB**) che rimangono sottostanti la galleria; questa zona è interessata da intensa tettonizzazione dovuta alla presenza di due importanti sovrascorrimenti, entrambi riconducibili alla situazione di cui al precedente punto 4;
9. alla prog. 15+910 il tracciato passa dai Calcari ai Trubi, interessati da un sovrascorrimento e da una importante discontinuità individuabile con una faglia normale (rigetto oltre 30 m) di epoca successiva ai sovrascorrimenti qui individuabili;
10. dalla prog. 16+020 il modello geologico ricostruito prevede che il tracciato della galleria passi dai Trubi alle Argille brecciate tortoniane (**TRVB**), sino al termine della stessa galleria (16+960); tale formazione è interessata da varie strutture tettoniche dirette alle prog. 16+140 e 16+240; alla prog. 16+780 riaffiora un sovrascorrimento precedentemente posto immediatamente sotto il tracciato della galleria.

In sintesi le formazioni che interessano direttamente il tracciato della galleria sono riportate nelle due seguenti tabelle (Tab. 11.6 per l'asse dx e Tab. 11.7 per l'asse sn):

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 215 di 351

**Tabella 11.6 – Formazioni geolitologiche nel tratto della Galleria Caltanissetta – Asse DX (AG→A19)**

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Sabbie di Lannari (SLN)	12+840	12+960	Spessore di 10÷15 m sovrastante le Argille marnose di Geracello
Trubi (TRB)	12+960	13+100	Faglia diretta a 12+960
Argille marnose (GER)	13+100	13+380	Sovrascorrimento a 13+380
Trubi (TRB)/Argille brecciate (TRVb)	13+380	13+580	Zona di contatto tra le due formazioni
Argille brecciate (TRVb)	13+580	15+240	Alle prog. 13+920, 14+060, 14+380 e 14+520 discontinuità tettoniche dirette a basso rigetto; alla prog. 14+380 la discontinuità ribassa la formazione dei sovrastanti Trubi sino ad interessare la galleria
Trubi (TRB)	15+240	15+460	
Argille brecciate (TRVb)	15+460	15+640	A 15+640 sovrascorrimento sui Trubi
Trubi (TRB)	15+640	15+800	A 15+800 importante faglia diretta
Calcari evaporitici (GTL1)	15+800	15+960	Calcari intensamente tettonizzati e deformati
Argille brecciate (TRVb)	15+960	16+960	Faglie 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

**Tabella 11.7 – Formazioni geolitologiche nel tratto della Galleria Caltanissetta – Asse SN (A19→AG)**

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Sabbie di Lannari (SLN)	12+840	12+950	Spessore di 10÷15 m sovrastante le Argille marnose di Geracello
Trubi (TRB)	12+950	13+060	Faglia diretta a 12+950
Argille marnose (GER)	13+060	13+330	Faglia diretta a 13+060
Trubi (TRB)	13+330	13+440	
Trubi (TRB)/Argille brecciate (TRVb)	13+440	13+580	Zona di contatto tra le due formazioni
Argille brecciate (TRVb)	13+580	15+230	Alle prog. 13+920, 14+050, 14+380 e 14+530 discontinuità tettoniche dirette a basso rigetto; alla prog. 14+380 la discontinuità ribassa la formazione dei sovrastanti

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
			ti Trubi sino ad interessare la galleria
Trubi (TRB)	15+230	15+475	
Argille brecciate (TRVb)	15+475	15+820	A 15+710 sovrascorrimento sui Trubi
Trubi (TRB)	15+640	15+800	A 15+800 importante faglia diretta
Calcari evaporitici (GTL1)	15+800	15+910	Calcari intensamente tettonizzati e deformati
Trubi (TRB)	15+910	16+020	A 15+800 importante faglia diretta
Argille brecciate (TRVb)	16+020	16+960	Faglie dirette alle prog. 16+140 e 16+240; alla prog. 16+780 riaffiora un sovrascorrimento

Le progressive riportate sono passibili di variazioni nell'ordine della decine di metri e, in alcuni casi anche di varie decine. I calcari evaporitici potrebbe interessare la galleria per tratte maggiori di quanto sopra riportato: quanto stimato deriva dai dati registrati in fase di indagini e di rilievi che hanno permesso di ricostruire il modello geologico e, pertanto, in fase di scavo si potrebbero avere variazioni anche significative e rilevanti discostamenti dal modello (spessori maggiori, presenza di ulteriori discontinuità e di ulteriori pieghe, estensioni laterali differenti ecc.).

### 11.3. SITUAZIONI DI PARTICOLARE INTERESSE

#### 11.3.1. Orizzonti litoidi

Di rilevante importanza è la situazione riscontrata in corrispondenza dei sondaggi SI27 ed SI42, oltre che in SI41 (in quest'ultimo con spessori molto ridotti) eseguiti in Fase 2 e in Fase 3, già menzionata nel § 2.3, in cui è stato riscontrato un potente intervallo di calcari alterati e fratturati, compreso tra i 55 e i 120 m di profondità che interesseranno il cavo della galleria per circa 160 m dalla prog. Km 15+800 (cfr. fig. 11.9). Aumentando con la profondità si passa da calcari biancastri porosi nei primi metri, a calcari compatti grigiastri verso il fondo dell'intervallo.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 217 di 351



**Fig. 11.1 – Confronto tra i calcari prelevati a circa 64 m (a sn) e a 86 m (a dx).**

Il passaggio alla formazione sottostante delle argille brecciate avviene in maniera repentina (fig. 11.2), sebbene è evidente la situazione di stress cui sono sottoposte le suddette argille in corrispondenza di tale passaggio.



**Fig. 11.2 – Particolare della carota (a dx ingrandimento) in cui avviene il passaggio tra i calcari e le argille brecciate a circa 87 m.**

Questa facies di calcari è individuabile al passaggio tra la formazioni dei trubi e le argille brecciate della "Terravecchia" ed è individuabile con la formazione dei Calcari di Base messiniani, poggianti direttamente sulla Terravecchia.

In C/da Grottarossa, nella zona iniziale del tracciato di progetto, è stata riscontrata la medesima sequenza stratigrafica di calcari alterati e fratturati alternate a livelli argilloso-limosi e marnosi associata ai calcari di base della serie evaporitica messiniana, così come riscontrabile dalla documentazione di Progetto Definitivo, quali le stratigrafie e le foto del sondaggio **S2** eseguito nel **2006**.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 218 di 351

### 11.3.2. Prove di condizionamento e adesività delle argille

Dall'elaborazione dei dati di plasticità e di consistenza delle argille si evince che i dati di PD indicavano la presenza di argille con un rischio di fenomeni di clogging relativamente normali. Considerando invece i dati ricavati dalle prove condotte in seno alle indagini del PE il rischio di questo fenomeno è molto alto come anche confermato dalle sperimentazioni di condizionamento sviluppate nel Laboratorio Gallerie e Opere Sotterranee del DITAG al Politecnico di Torino.

La fotografia di Fig. 11.3 mostra come un campione di argilla Pliocenica addizionata con 8% di acqua oltre l'acqua naturalmente presente nel campione e con agenti schiumogeni (FER=15 e FIR 70%), che corrispondono a dosaggi normali per condizioni analoghe di scavo con EPB resti incollata alle pareti del mixer.



**Fig. 11.3 – Interno della betoniera utilizzate nelle prove per la miscelazione in cui si osserva il comportamento coloso delle argille che si incollano alle pareti della stessa**

In queste condizioni nello scavo con EPB sarà necessario ricorrere a trattamenti di condizionamento con speciali agenti in grado di minimizzare questo rischio.

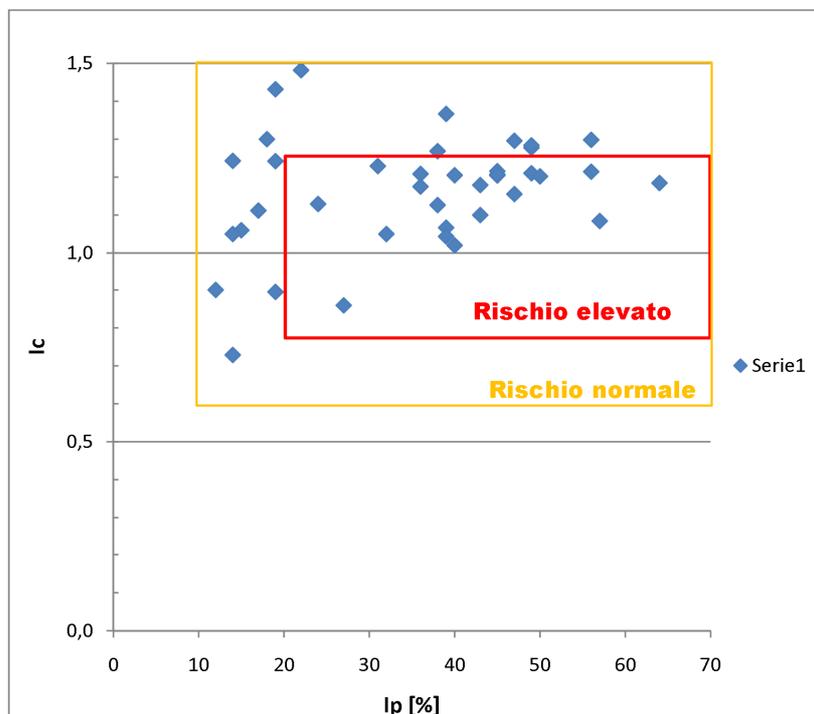
Dai dati riportati nel grafico 11.1 si evince che circa il 55% dei campioni rientra nell'area con elevato rischio di *clogging* ossia del rischio bloccaggio del macchinario di perforazione a causa delle caratteristiche di adesività delle argille.

In totale nella zona critica rientrano n. 23 campioni su 40, distribuiti nelle varie formazioni riscontrabili:

- Marne argillose plioceniche (Trubi)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 219 di 351

- Argille brecciate plioceniche (associate ai Trubi)



Rischio elevato  $\Rightarrow$   $0,75 < I_c < 1,25$   $I_p > 20\%$

**Grafico 11.1 – Diagramma  $I_p/I_c$  indicatore della “adesività” delle argille, in cui sono distribuiti i campioni prelevati durante le 3 fasi delle indagini integrative.**

### 11.3.3. Acque sotterranee

Le acque prelevate dal pozzo Pz2 su cui è stata effettuata la prova di emungimento hanno dato i seguenti esiti analitici:

$\Rightarrow$	Temperatura	= 16,9 °C;
$\Rightarrow$	pH	= 7,76
$\Rightarrow$	Conducibilità	= 5498 mS/cm
$\Rightarrow$	TDS (solidi totali disciolti)	= 4317 ppm;
$\Rightarrow$	Salinità	= 5966 ppm;
$\Rightarrow$	Solfati	= 785 mg/l
$\Rightarrow$	Cloruri	= 1360 mg/l.
$\Rightarrow$	Idrogeno solforato	= 91,9 mg/l.

Con riferimento ai valori riportati nel prospetto 2 (“Valori limite per le classi di esposizione all’attacco chimico nel suolo naturale e nell’acqua del terreno”) della norma UNI EN 206-1-2006, i cui valori

sono riportati nella sottostante tabella, per quanto riguarda i solfati i valori riscontrati rientrano in classe moderatamente aggressiva (XA2).

Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
<b>Acqua nel terreno</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3 000	>3 000 e ≤6 000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO <sub>2</sub> mg/l aggressiva	prEN 13577:1999	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100

L'elevato tenore di Cloruri riscontrato fa propendere, però, alla adozione di una classe di aggressività associata al rischio di corrosione promossa dal cloruro, qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, così come riportato nel Prospetto 1 della summenzionata norma UNI EN 206-1-2006.

<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>		
Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue: Nota In riferimento alle condizioni di umidità vedere anche sezione 2 del presente prospetto.		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri Pavimentazioni Pavimentazioni di parcheggi

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG020A "All. C Prove di laboratorio – 3° fase".

#### **11.3.4. Prove mineralogiche sulle argille**

L'analisi mineralogica condotta con tecnica diffrattometrica sulla frazione < 2 µm dei materiali argillosi esaminati ha permesso di ottenere un tracciato in cui si riconoscono le seguenti percentuali semiquantitative di minerali argillosi:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 221 di 351

- Smectite 40%
- Illite 13%
- Kaolinite 46%

Il gruppo delle Smectiti comprende minerali quali la montmorillonite, le cui proprietà rigonfianti sono note in letteratura e nelle applicazioni pratiche.

Le smectiti sono, quindi, un gruppo di minerali altamente rigonfianti, per assorbimento sia di acqua sia di molecole organiche entro gli strati strutturali. Le smectiti mostrano notevoli proprietà di scambio cationico. Il minerale argilloso che le compone allo stato cristallino deriva dalla devetrificazione e conseguente alterazione chimica di vetri di origine magmatica, generalmente tufi o ceneri vulcaniche. La natura e le origini vulcaniche dei giacimenti bentonitici danno luogo a varietà spesso fortemente eterogenee del minerale. Vengono così a formarsi bentoniti che possono essere descritte in associazione con gli ioni dominanti, quali K, Na, Ca e Al.

Le prove e i relativi grafici e tracciati, con descrizione delle metodologie adottate, sono riportate nei relativi certificati CBC014711 e CBC014712 emessi da SIDERCEM e presenti nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG020A "All. C Prove di laboratorio – 3° fase".

#### **11.4. ASSETTO TETTONICO LOCALE**

L'assetto geologico e tettonico-stratigrafico evidenziato tramite le indagini di Fase 2 è stato confermato dalle ulteriori indagini condotte in Fase 3. Nella zona corrispondente al primo tratto lato Agrigento si denota la presenza di importanti strutture tettoniche compressive associabili alla tettonica plicativa pliocenica, associata ad una serie di *thrustes* e faglie inverse rappresentate nella letteratura geologica più recente e che hanno indotto l'area in esame sotto l'attenzione di approfondite indagini, al fine di verificare la dimensione delle strutture e la loro probabile influenza sull'opera in progetto. Infatti tali discontinuità sono caratterizzate, in corrispondenza delle zone di scorrimento, da fasce di materiale tettonizzato e deformato che indurrebbe a situazioni di peggioramento locale delle caratteristiche geotecniche e sensibile aumento della permeabilità.

In particolare, procedendo da Sud verso Nord, e distinguendo asse dx (direzione AG-A19) e asse sn (direzione A19-AG), le zone tettonizzate individuate sono le seguenti:

##### **Asse DX (AG→A19)**

- a) Oltre ad una faglia normale presente alla prog. 12+960, che ribassa la serie pliocenica, a partire dalla prog. 13+260 sino alla 13+820, i rilievi eseguiti e le indagini dirette e indirette

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 222 di 351

- svolte (sismica a riflessione) hanno evidenziato la presenza di varie discontinuità che formano una serie di fasce tettonizzate che ricoprono oltre il 60% di tale distanza, per un totale di circa 320 m;
- b) 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;
- c) Alla prog 15+640 un sovrascorrimento porta le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**) a sovrastare i Trubi (**TRB**); questa zona è interessata da intensa tettonizzazione dovuta alla presenza di due importanti sovrascorrimenti, entrambi riconducibili alla situazione di cui al precedente punto a);
- d) 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;
- e) Le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**) sono interessate 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

#### **Asse SN (A19→AG)**

- a) Oltre ad una faglia normale presente alla prog. 12+950, che ribassa la serie pliocenica, a partire dalla prog. 13+105 sino alla 13+810, i rilievi eseguiti e le indagini dirette e indirette svolte (sismica a riflessione) hanno evidenziato la presenza di varie discontinuità che formano una serie di fasce tettonizzate che ricoprono oltre il 60% di tale distanza, per un totale di circa 300 m;
- b) Alle prog. 13+920, 14+050, 14+380 e 14+530, 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;
- c) Alla prog 15+640 un sovrascorrimento porta le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**) a sovrastare i Trubi (**TRB**); questa zona è interessata da intensa tettonizzazione dovuta alla presenza di due importanti sovrascorrimenti, entrambi riconducibili alla situazione di cui al precedente punto a);

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 223 di 351

- d) Alla prog. 15+820 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;
- e) Le Argille brecciate tortoniane (**TRVB**) sono interessate da varie strutture tettoniche dirette alle prog. 16+140 e 16+240; alla prog. 16+780 riaffiora un sovrascorrimento precedentemente posto immediatamente sotto il tracciato della galleria

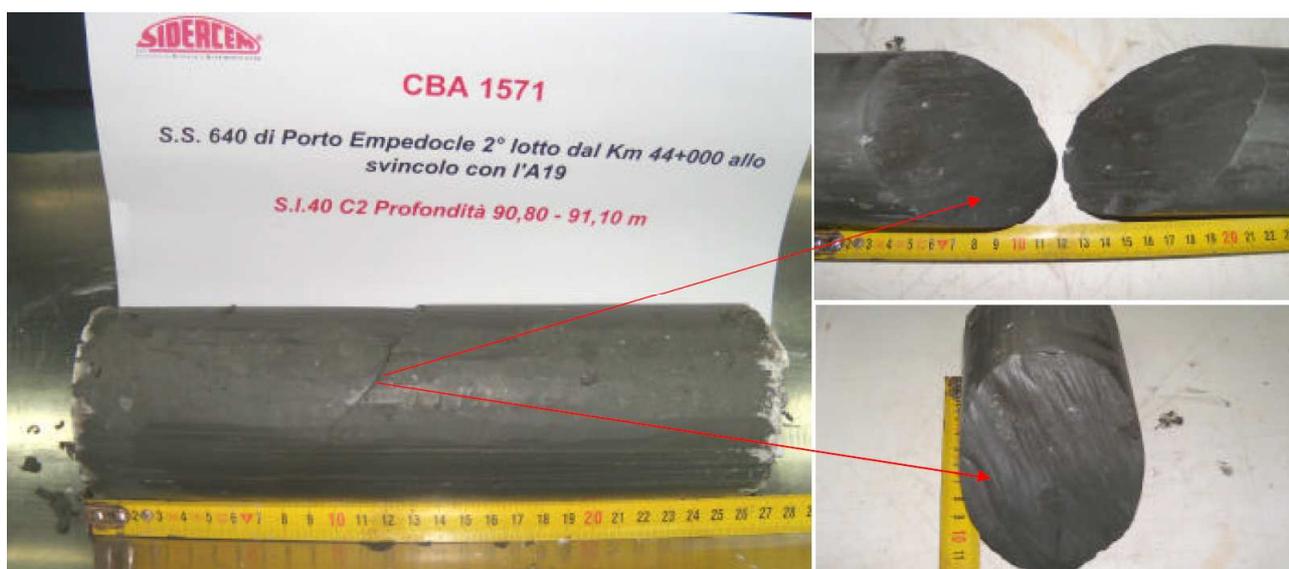
In Appendice 4 sono riportate le interpretazioni dei profili di sismica a riflessione che hanno dato un apporto significativo alla individuazione di tale assetto tettonico. In esse sono evidenti gli andamenti degli orizzonti riflettori e delle variazioni di velocità delle onde sismiche, che delineano, congiuntamente e con chiarezza, la presenza di deformazioni e variazioni latero-verticali imputabili ad una situazione di stress compressivo associato alle fasi avanzate della tettonica plicativa.

Tale situazione ha indotto, nell'eccesso delle spinte deformative, discontinuità e fratture negli strati piegati durante le fasi tensionali preplioceniche e infraplioceniche.

Le strutture di tipo diretto sono associate, invece, più che ad una tettonica distensiva regionale ad una fase di "rilassamento" della compressione che a portato a "cedimenti" e "decompressioni" dei versanti attraverso dissesti gravitativi profondi *supra* e *post* pliocenici, che attualmente non dovrebbero essere più in atto, a meno di episodi collegati a fenomeni di diapirismo o in versanti tutt'ora poco stabili.

Le fasce strettamente interessate dalla tettonizzazione e le zone dove sono state individuate le "sacche" di materiale litoide/calcareo (potrebbero esserne individuate altre di dimensioni tali da essere sfuggite alle indagini condotte), differiscono dal punto di vista geomeccanico dal resto del percorso di scavo della galleria.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 224 di 351



**Fig. 11.4 – Campione indisturbato prelevato nel sondaggio SI40 a circa 91 m di prof., in cui si osserva una superficie di fratturazione con evidenti strie di dislocazione.**



**Fig. 11.5 – Campione indisturbato prelevato nel sondaggio SI39 a circa 71 m di prof., in cui si osserva una superficie di fratturazione con evidenti strie di dislocazione.**

Per quanto riguarda le caratteristiche geomeccaniche e fisiche delle fasce di tettonizzazione, poiché tali discontinuità si sono formate all'interno di formazioni più o meno plastiche e poco competenti, anziché delinearci delle fratture così come avviene nelle formazioni competenti, si sono create delle vere e proprie fasce di stress preferenziale con scorrimenti non individuabili in un unico piano, ma diffusi lungo diversi piani tra loro più o meno paralleli. Per tale motivo in superficie e in profondità non si riscontrano piani di taglio netti che differenziano le formazioni poste a contatto

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 225 di 351

ma, piuttosto, si hanno delle "sfumature" tra formazioni con passaggi evidenziati da forti stress e "caoticizzazione" delle stratificazioni originarie.



**Fig. 11.6 – Cassetta delle carote prelevate da sondaggio SI43 da 105 a 110 m di prof.; si rileva una intensa fratturazione delle argille tortoniane coinvolte nella fascia tettonizzata del sovrascorrimento di tale formazione sulle formazioni plioceniche.**

Dalle evidenze derivanti dalle indagini, allo stato attuale delle conoscenze le zone tettonizzate interessano circa il 25% dell'intero tracciato, mentre circa il 15% sarebbe interessato dalla presenza di materiali lapidei quali i calcari menzionati in precedenza.

Per le stratigrafie di calcolo specifiche e per tutte le analisi e prove eseguite si rimanda ai relativi elaborati geotecnici e geomeccanici.

## 11.5. IDROGEOLOGIA

In merito alla Galleria Caltanissetta nel Progetto Definitivo l'acquifero superficiale ricostruito in zona è quello limitato alle sabbie e sabbie argillose della marnoso-arenacea che affiorano in superficie e presentano spessore di 25÷30 m. Nel breve tratto iniziale dell'imbocco lato AG vengono attraversati tali orizzonti sabbiosi superficiali che possono intercettare delle venute d'acqua.

Un altro livello acquifero superficiale è stato riscontrato procedendo verso l'imbocco Nord della galleria laddove termina la formazione sabbiosa prima dell'affioramento argilloso che funge da sub-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 226 di 351

strato impermeabile e limite laterale imposto della falda idrica sotterranea. I deflussi sono diretti in direzione Nord e il letto della falda è, comunque, posto ad una quota superiore di oltre 30 m la zona di attraversamento della galleria.

Le indagini condotte nell'ambito del Progetto Esecutivo hanno individuato la presenza di acque sotterranee in corrispondenza dell'opera, laddove questa interessa i livelli più profondi.

Tralasciando al relativo elaborato l'enumerazione di tutti i dati piezometrici sinora registrati, nel seguito si riporta una tabella sintetica di tutti i piezometri afferenti alla parte di tracciato interessato dalla Galleria Naturale Caltanissetta.

<b>Sigla (quota s.l.m.)</b>	<b>Prog.</b>	<b>Tipologia</b>	<b>N° celle</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Misure me- die livello piez. statico - soggiacen- ze (m)</b>	<b>Misure medie livel- lo piez. sta- tico - quote assolute (m s.l.m.)</b>	<b>Battente idraulico sulla galleria dx-sn (m)</b>	<b>Note – Formazione geologica interessata</b>
<b>SI39</b> (621 m)	13+600	Casagrande	1	80	42	579	27-24	<b>Trubi</b>
<b>SI43</b> (641 m)	13+710	Casagrande	1	105	20	621	70-66	<b>Argille brecciate</b>
<b>S8</b> (666 m)	13+880	Casagrande	2	15 130	Assente 34	Assente 632	77-77	<b>Argille brecciate</b>
<b>SI46</b> (672 m)	14+115	Casagrande	1	110	44	628	74-71	<b>Argille brecciate</b>
<b>SI40</b> (672 m)	14+150	Casagrande	1	120	21	651	97-94	<b>Argille brecciate</b>
<b>SI45</b> (680 m)	14+275	Tubo aperto 3"	-	130	42	638	83-80	<i>Fenestratura a 90÷130 m</i> <b>Trubi / Argille brecciate</b>
<b>S9</b> (684 m)	14+680	Casagrande	2	15 110	12,5 12,3	671,5 671,7	114-111	<b>Argille brecciate</b>
<b>SI10</b> (661 m)	15+500	Casagrande	2	15 130	Assente 19,5	Assente 641,5	94-91	<b>Argille brecciate</b>
<b>SI41</b> (637 m)	15+770	Casagrande	2	60 100	26,5 24,1	610,5 613	71-67	<b>Argille brecciate</b>
<b>S27</b> (632 m)	15+820	Tubo aperto 4"	-	80	23	609	68-65	<i>Fenestratura a 60÷80 m</i> <b>Trubi / Calcari</b>
<b>SI42</b> (633 m)	15+900	Casagrande	2	70 110	21 35	612 598	59-56	<b>Trubi Calcari</b>
<b>SI44</b> (631 m)	16+000	Tubo aperto 3"	-	105	26	605	70-65	<i>Fenestratura a 6÷105 m</i> <b>Trubi</b>

**Tabella 11.8 – Dati piezometrici derivanti dai piezometri installati in occasione dell'indagine del PE**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 227 di 351

<b>S27 - 2006</b>	45	2006	cella Casagrande a -130 m da p.c.
<b>S29 - 2006</b>	11	2006	cella Casagrande a -55 m da p.c.

**Tabella 11.9 – Dati piezometrici derivanti dai piezometri installati in occasione della campagna di indagine del PD**

In particolare considerando i dati sopra riportati, ne deriva che in 9 casi su 12 casi l'acquifero è rappresentato dai livelli più limosi e permeabili contenuti nella formazione argillose, caratterizzando falde in pressione che potrebbero essere idraulicamente collegate tra loro, soprattutto nei casi dei piezometri posti a poca distanza. I livelli acquiferi sono riscontrabili proprio in corrispondenza della galleria laddove è ubicata la cella di Casagrande. Nel caso del piezometro S27 del 2006 il livello è certamente non in concordanza con quello del piezometro S10 posto in vicinanza, sebbene le misure siano state fatte a distanza di anni. Collegando i livelli delle misure effettuate nel 2010/2011 si delinea un andamento pressappoco assimilato alla morfologia del rilievo entro cui insisterà la galleria, sebbene è azzardato affermare che tali livelli siano riconducibili ad un'unica falda. Piuttosto sembrerebbe che le pressioni piezometriche che permettono tali risalite siano riconducibili alle forti pressioni cui le formazioni argillose che contengono tali acque sono sottosposte per cause tettoniche e intraformazionali.

Nei caso in cui l'acquifero è rappresentato dai calcari che contengono la falda in pressione le zone di alimentazione di tale falda potrebbe essere individuabile negli affioramenti in superficie di tale formazione. Considerato che il tetto della galleria in tale zona è previsto a circa 90 m di profondità, si può affermare che su tale opera insiste una falda in pressione con spessore potenziale di circa 60÷70 m, con tutti i rischi di sifonamento e crolli che ne conseguono.

In sintesi il tracciato della galleria idrogeologicamente indagato può essere suddiviso nelle seguenti zone omogenee, in riferimento al carico idraulico gravante sulla volta della galleria stessa:

- **Zona 1** dalla prog. 13+500 alla 13+680; carico idraulico sulla volta della galleria pari a **30÷50 m**;
- **Zona 2** dalla prog. 13+680 alla 14+000; carico idraulico sulla volta della galleria pari a **50÷80 m**;
- **Zona 3** dalla prog. 14+000 alla 15+600; carico idraulico sulla volta della galleria pari a **80÷115 m**;
- **Zona 4** dalla prog. 15+600 alla 16+020; carico idraulico sulla volta della galleria pari a **60÷80 m**.

I battenti idraulici gravanti sulla volta della galleria riscontrati, compresi tra 30 e 115 m, inducono a considerare situazioni di rilevanti rischi di sifonamento e di elevate pressioni in calotta cui porre attenzione in fase di dimensionamento della macchina di perforazione e delle conseguenti modalità di avanzamento (pressurizzazione, dimensione dei conci, turni di lavoro ecc.). Non bisogna tra-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 228 di 351

scurare, inoltre, i carichi idrici che graveranno sull'opera in fase di esercizio, con le possibili conseguenze a lungo termine (danneggiamento dei giunti, infiltrazioni tra i conci ecc.).

Sondaggio	Prof. [m]	Litologia	$k = -\frac{\pi D^2}{4 \psi} \frac{\ln \frac{h_2}{h_1}}{(t_2 - t_1)}$ [m/sec] per:				
			$\psi = 2D$ $\psi = 0,254$	$\psi = 2,75D$ $\psi = 0,34925$	$L \gg D$ $\psi = 0,5$	$\psi = 1$	$\psi = (2\pi D) + L$ $\psi = 1,298$
SI39	60	Argilla marnosa e marna-argillosa consistente, scagliosa e fratturata di colore grigio-biancastro	$6,96 \cdot 10^{-5}$	$5,06 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	81		$6,65 \cdot 10^{-5}$	$4,84 \cdot 10^{-5}$	$3,38 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-5}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	88		$4,47 \cdot 10^{-5}$	$3,25 \cdot 10^{-5}$	$2,27 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
			$t = 7200 \text{ sec}$	$t = 7200 \text{ sec}$	$t = 7200 \text{ sec}$	$t = 7200 \text{ sec}$	$t = 7200 \text{ sec}$
SI40	120	Argilla marnosa e marna-argillosa scagliosa fortemente consistente - con inclusi litici millimetrici - di colore grigio-verdastro	$5,98 \cdot 10^{-5}$	$4,35 \cdot 10^{-5}$	$3,04 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	130		$9,10 \cdot 10^{-5}$	$6,62 \cdot 10^{-5}$	$4,62 \cdot 10^{-5}$	$2,31 \cdot 10^{-5}$	$1,78 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
SI41	60	Argilla marnosa a struttura brecciata, consistente, scagliosa e fratturata, di colore grigio-biancastro	$6,32 \cdot 10^{-5}$	$4,59 \cdot 10^{-5}$	$3,21 \cdot 10^{-5}$	$1,60 \cdot 10^{-5}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	100	Argilla marnosa molto consistente, scagliosa e fratturata, di colore grigio-biancastro con livelli marnosi sottilmente stratificati	$6,22 \cdot 10^{-5}$	$4,52 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^{-5}$	$1,58 \cdot 10^{-5}$	$1,22 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
SI42	60,50	Argilla marnosa consistente, di colore grigio chiaro con livelli marnosi debolmente fratturati	$8,18 \cdot 10^{-7}$	$5,95 \cdot 10^{-7}$	$4,15 \cdot 10^{-7}$	$2,08 \cdot 10^{-7}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	70,50		Argilla marnosa e marna argillosa consistente, di colore grigio-biancastro con livelli marnosi fratturati	$4,18 \cdot 10^{-5}$	$3,04 \cdot 10^{-5}$	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	110,00	Breccia calcarea in matrice limosa di colore biancastro. Alternata a livelli di argilla limosa di colore grigio-biancastro	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$7,76 \cdot 10^{-5}$	$5,42 \cdot 10^{-5}$	$2,71 \cdot 10^{-5}$	$2,09 \cdot 10^{-5}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
SI44	60	Marna argillosa consistente di colore grigio-biancastro, con inclusi livelli di marna calcarea (Trubi)	$2,29 \cdot 10^{-6}$	$1,67 \cdot 10^{-6}$	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$5,82 \cdot 10^{-7}$	$1,45 \cdot 10^{-6}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
SI45	60	Argilla marnosa e marna argillosa di colore grigio chiaro (Trubi)	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,31 \cdot 10^{-7}$	$9,16 \cdot 10^{-8}$	$4,58 \cdot 10^{-8}$	$3,53 \cdot 10^{-8}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
SI46	60	Marna argillosa di colore grigio chiaro-biancastro (Trubi)	$2,62 \cdot 10^{-6}$	$1,90 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$6,65 \cdot 10^{-7}$	$5,12 \cdot 10^{-7}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$
	95	Argilla limosa e argilla marnosa a struttura brecciata, di colore grigio-verdastro	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-6}$	$7,95 \cdot 10^{-7}$	$3,98 \cdot 10^{-7}$	$3,06 \cdot 10^{-7}$
			$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$	$t = 3600 \text{ sec}$

**Tabella 11.10 – Valori di permeabilità ottenuti dalle prove di permeabilità condotte in foro**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 229 di 351

Le **prove di permeabilità**, effettuate in foro con metodologia *Lefranc* (a carico variabile) durante le perforazioni dei sondaggi di Fase 3, hanno evidenziato, nei casi degli acquiferi associati alle formazioni marnoso-argillose, valori di conducibilità idraulica associabili a classi medio-basse con valori compresi tra  $3$  e  $7 \times 10^{-5}$ , come riportato nella tabella 11.10.

Considerando il fattore di forma  $\psi = 2,75D$ , più rappresentativo per le condizioni presenti, i valori di permeabilità derivanti dalle prove sono:

Sondaggio	Prof. (m)	Permeabilità (m/sec)
SI39	60	$5,06 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	81	$4,84 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	88	$3,25 \cdot 10^{-5}$ $t = 7200 \text{ sec}$
SI40	120	$4,35 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	130	$6,62 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
SI41	60	$4,59 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	100	$4,52 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
SI42	60,50	$5,95 \cdot 10^{-7}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	70,50	$3,04 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	110,00	$7,76 \cdot 10^{-5}$ $t = 3600 \text{ sec}$
SI44	60	$1,67 \cdot 10^{-6}$ $t = 3600 \text{ sec}$
SI45	60	$1,31 \cdot 10^{-7}$ $t = 3600 \text{ sec}$
SI46	60	$1,90 \cdot 10^{-6}$ $t = 3600 \text{ sec}$
	95	$1,14 \cdot 10^{-6}$ $t = 3600 \text{ sec}$

**Tabella 11.11 – Valori di permeabilità considerati, derivanti dalle prove di permeabilità condotte in foro**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 230 di 351

Tali valori, non associabili a formazioni argillose in condizioni normali, sono certamente riconducibili, oltre alla presenza di orizzonti limosi con una certa permeabilità primaria, a situazioni di intensa fratturazione delle suddette argille, causata dalla tettonizzazione riscontrata che induce una permeabilità secondaria per fratturazione che supplisce alla ridotta porosità della matrice argilloso-limosa. Discorso a parte merita la terza prova condotta su SI42, corrispondente alla litologia dei calcari evaporitici intensamente alterati e fratturati, nel cui insieme dell'acquifero, potrebbero avere valori anche superiori a quelli riscontrati.

I valori della permeabilità ottenuti sino ad oggi, congiuntamente alle piezometrie riscontrate, potrebbero far riconsiderare l'assetto progettuale entro cui porre la Galleria Caltanissetta, obbligando a rivedere le pressioni gravanti sia sul cavo, sia sulla macchina nella fase di scavo, sia sull'opera in fase di esercizio.

I nuovi parametri geotecnici e la presenza di acque sotterranee in corrispondenza del cavo della galleria con elevato battente, suggeriscono di riconsiderare il progetto geotecnico strutturale.

In tali condizioni idrogeologiche sarebbe auspicabile effettuare degli opportuni drenaggi orizzontali in fase di avanzamento in corrispondenza delle formazioni argilloso-marnose e di drenaggi verticali (pozzi) in corrispondenza della formazione delle brecce calcaree, in maniera tale da diminuire il carico idraulico gravante in fase di scavo.

Nel caso delle zone degli allarghi, previste in progetto, si dovrebbe prevedere il consolidamento finalizzato a migliorare l'impermeabilizzazione e contestualmente le caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati.

#### **11.6. IDRAULICA DELLE ACQUE SOTTERANEE**

Ai fini della determinazione dei parametri idrodinamici delle falde riscontrate in corrispondenza del cavo della galleria sono state eseguite le prove di emungimento su tre stazioni di monitoraggio (PZ1-SI40, PZ2-SI42, PZ3-SI43) con la metodologia e le modalità illustrate nel § 6.4.2, oltre a prove speditive di tipo *slug-test* per la verifica del parametro di conducibilità idraulica su singolo foro.

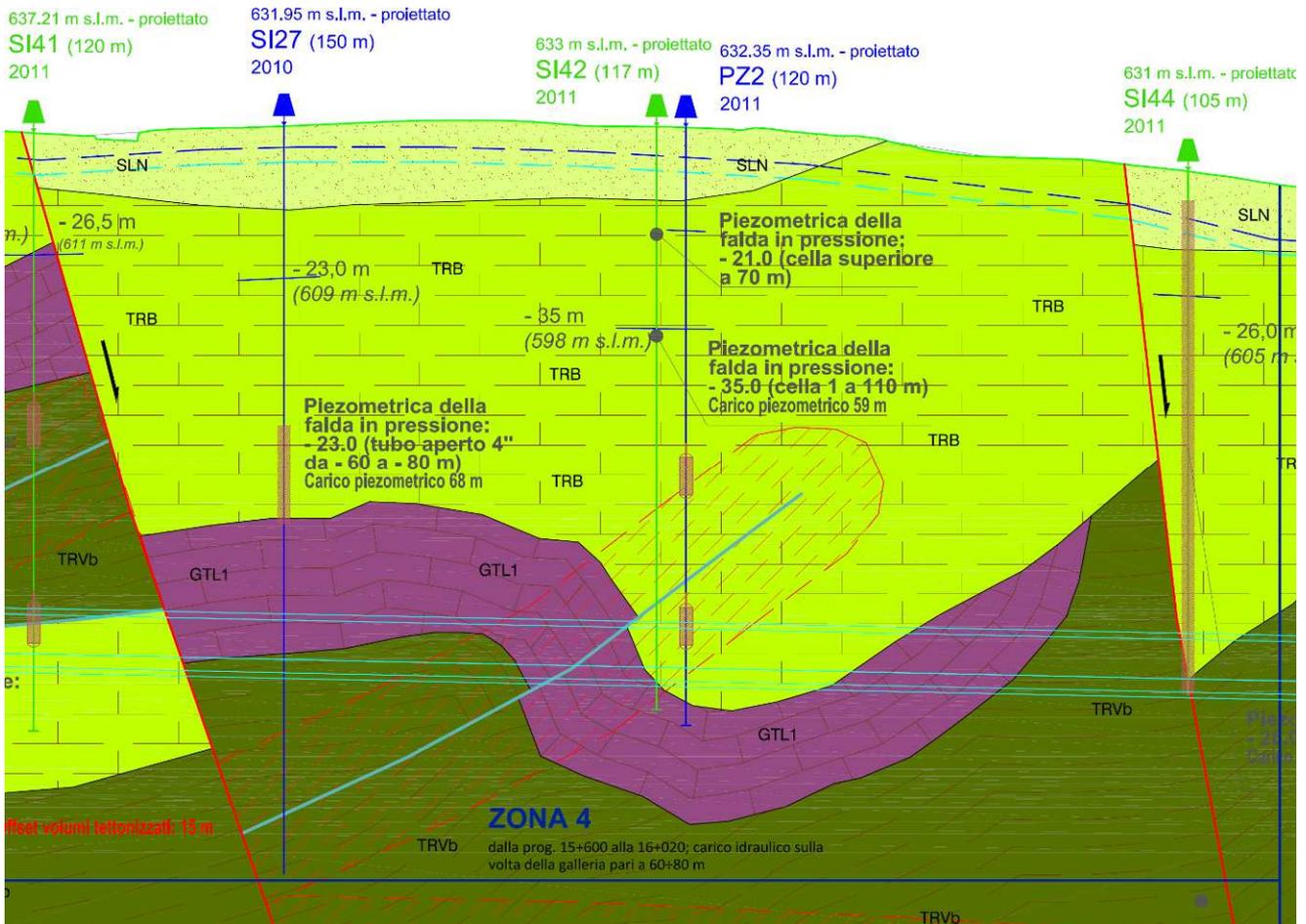
La prova nella **stazione PZ1-SI40** non è stato possibile eseguirla in maniera corretta in quanto il pozzo è risultato non funzionale, con problemi di ripetuti afflussi di sedimenti all'interno della tubazione che hanno impedito il regolare funzionamento della pompa sommersa e, conseguentemente, lo svolgimento della prova, nonostante siano stati effettuati ripetuti spurghi con pompaggi e con il metodo dell'air-lift (immissione di aria compressa all'interno del pozzo).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 231 di 351

### 11.6.1. Prova di emungimento sulla stazione PZ2-SI42

La **prova di emungimento** effettuata nel pozzo PZ2 ha utilizzato come piezometro il punto SI42 in cui sono installate n. 2 celle di Casagrande a -70 m da p.c. e a -110 m da p.c.. Il pozzo è profondo 120 m ed ha la fenestratura tra -75 m e il fondo foro. La prova è stata condotta per 48 ore con una portata media di 1,8 l/s, valore derivante dalla prova di portata effettuata secondo la metodologia prevista nel § 6.4.2.

Al termine della prova nel pozzo si è riscontrato un abbassamento di 30,93 m, mentre nel piezometro l'abbassamento è stato pari a 8,84 m. In Fig. 11.9 è riportato lo stralcio del profilo geologico (destro direzione AG-A19) ricostruito in corrispondenza della zona interessata dalla stazione di prova considerata. Nel seguito si riportano i dati registrati durante la prova in fase di emungimento e di risalita dei livelli e i grafici che sono stati ricostruiti.



**Fig. 11.9 – Stralcio del profilo geologico ricostruito in corrispondenza della stazione di prova considerata; in viola la formazione dei calcari evaporitici (GTL1), in verde chiaro la formazione dei trubi (TRB) e in verde scuro le argille brecciate tortoniane (TRVb).**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 232 di 351

## **FASE DI EMUNGIMENTO (48 ORE)**

<b>T</b> [secondi]	<b>Abbassamenti in PZ2</b> [m]	<b>Abbassamenti in SI42</b> [m]	<b>Livello PZ2</b> [m da p.c.]	<b>Livello SI42</b> [m da p.c.]	<b>T</b> [minuti]	<b>T</b> [ore]
0	0,00	0,00	33,62	34,48	0	
60	9,48	0,02	43,10	34,50	1	
120	13,39	0,22	47,01	34,70	2	
180	14,58	0,41	48,20	34,89	3	
240	15,86	0,58	49,48	35,06	4	
300	16,78	0,74	50,40	35,22	5	
360	17,53	0,90	51,15	35,38	6	
420	18,18	1,05	51,80	35,53	7	
480	18,65	1,18	52,27	35,66	8	
540	19,13	1,30	52,75	35,78	9	
600	19,48	1,42	53,10	35,90	10	
660	19,78	1,53	53,40	36,01	11	
720	20,14	1,66	53,76	36,14	12	
780	20,46	1,75	54,08	36,23	13	
840	20,52	1,83	54,14	36,31	14	
900	20,72	1,92	54,34	36,40	15	
1200	21,13	2,29	54,75	36,77	20	
1500	21,68	2,47	55,30	36,95	25	
1800	22,28	2,77	55,90	37,25	30	
2100	21,73	3,00	55,35	37,48	35	
2400	23,23	3,19	56,85	37,67	40	
2700	23,42	3,35	57,04	37,83	45	
3000	23,68	3,58	57,30	38,06	50	
3300	23,81	3,66	57,43	38,14	55	
3600	23,96	3,76	57,58	38,24	60	1
4200	24,12	3,90	57,74	38,38	70	
4800	24,36	4,13	57,98	38,61	80	
5400	24,51	4,24	58,13	38,72	90	
6000	24,66	4,35	58,28	38,83	100	
6600	24,83	4,43	58,45	38,91	110	
7200	24,90	4,56	58,52	39,04	120	2
9000	25,16	4,81	58,78	39,29	150	
10800	25,41	4,99	59,03	39,47	180	3
12600	25,58	5,16	59,20	39,64	210	
14400	25,71	5,30	59,33	39,78	240	4
16200	25,88	5,38	59,50	39,86	270	
18000	26,02	5,50	59,64	39,98	300	5
19800	26,12	5,60	59,74	40,08	330	
21600	26,33	5,69	59,95	40,17	360	6
23400	26,46	5,75	60,08	40,23	390	
25200	26,52	5,83	60,14	40,31	420	7
27000	26,56	5,91	60,18	40,39	450	
28800	26,73	5,93	60,35	40,41	480	8
30600	26,81	6,00	60,43	40,48	510	

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 233 di 351

T [secondi]	Abbassamenti in PZ2 [m]	Abbassamenti in SI42 [m]	Livello PZ2 [m da p.c.]	Livello SI42 [m da p.c.]	T [minuti]	T [ore]
32400	26,96	6,10	60,58	40,58	540	9
36000	27,14	6,18	60,76	40,66	600	10
39600	27,24	6,24	60,86	40,72	660	11
43200	27,45	6,35	61,07	40,83	720	12
46800	27,52	6,48	61,14	40,96	780	13
50400	27,61	6,60	61,23	41,08	840	14
54000	27,86	6,67	61,48	41,15	900	15
57600	27,99	6,79	61,61	41,27	960	16
61200	28,01	6,87	61,63	41,35	1020	17
64800	28,20	6,98	61,82	41,46	1080	18
68400	28,25	7,09	61,87	41,57	1140	19
72000	28,41	7,16	62,03	41,64	1200	20
86400	28,86	7,40	62,48	41,88	1440	24
100800	29,29	7,71	62,91	42,19	1680	28
115200	29,73	7,95	63,35	42,43	1920	32
129600	30,02	8,10	63,64	42,58	2160	36
144000	30,28	8,39	63,90	42,87	2400	40
158400	30,60	8,62	64,22	43,10	2640	44
172800	30,93	8,84	64,55	43,32	2880	48

Tabella 11.12 – Dati registrati durante la prova condotta sulla stazione di prova PZ2-SI42

PROVA DI EMUNGIMENTO POZZO PZ2 - PIEZOMETRO SI42  
 Diagramma log tempi / abbassamenti - Fase di emungimento

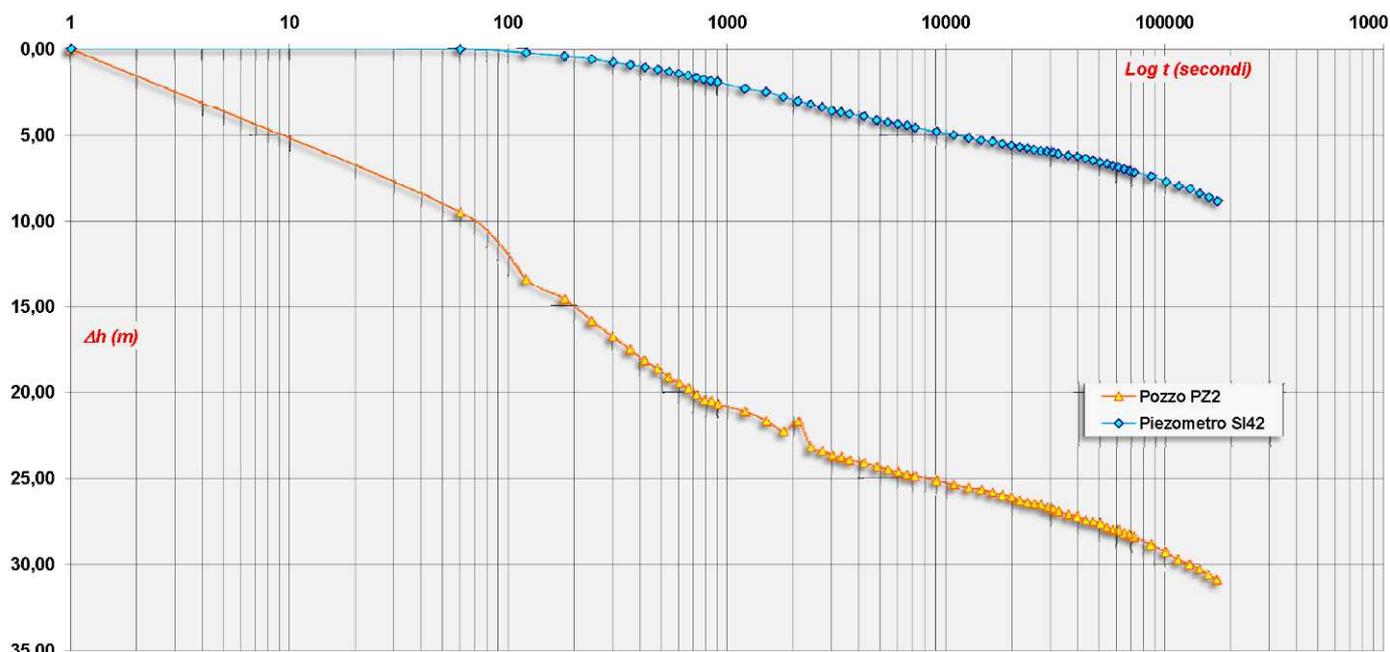
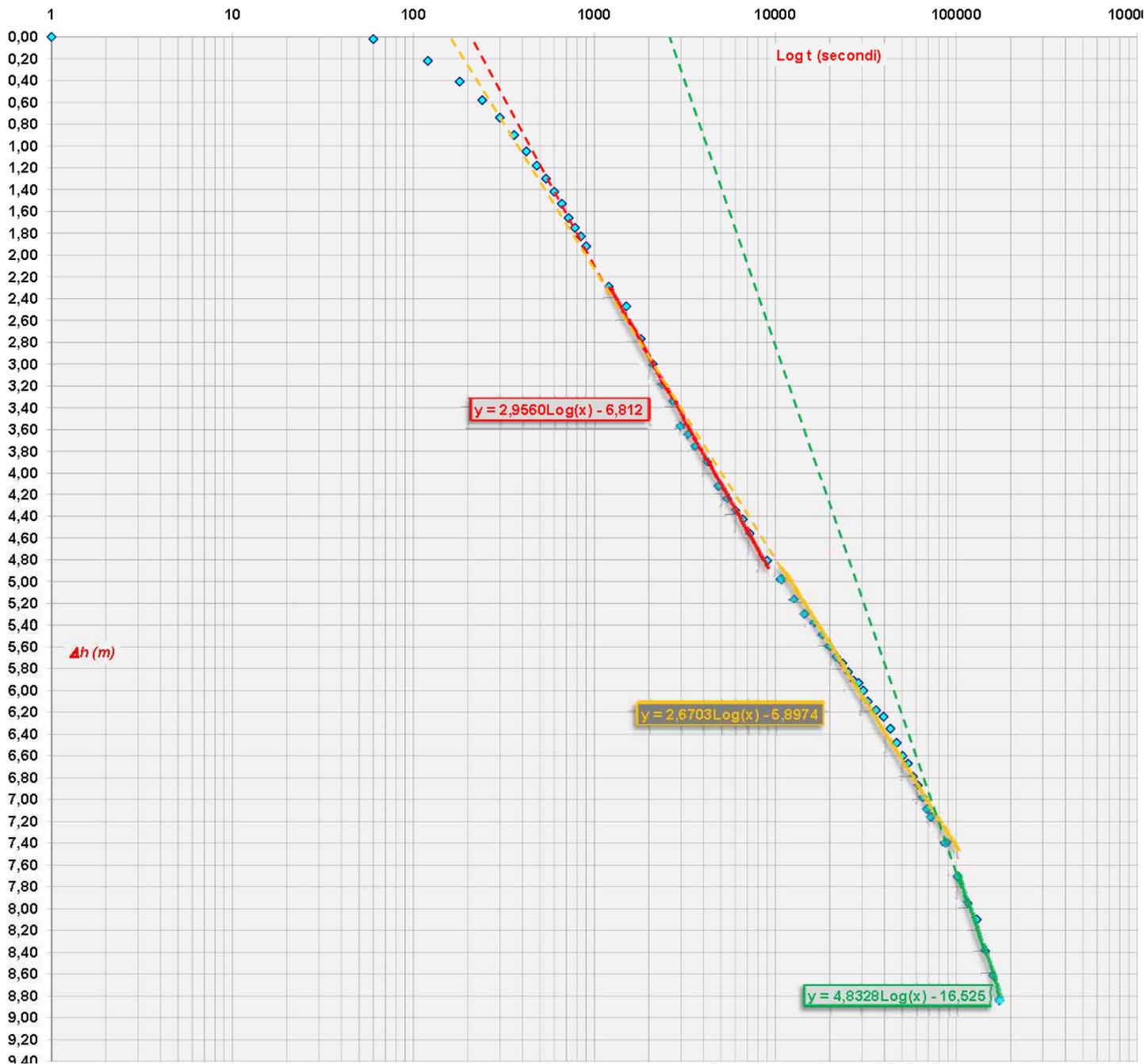


Grafico 11.2 – Andamenti dei valori di abbassamenti riscontrati nel pozzo e nel piezometro nelle 48 ore di prova

**PROVA DI EMUNGIMENTO POZZO PZ2 - PIEZOMETRO S142**  
**Piezometro - Diagramma log tempi/abbassamenti - Fase di emungimento**

Rappresentazione delle rette di regressione



**Grafico 11.3 – Diagramma logaritmico degli abbassamenti riscontrati nel piezometro nelle 48 ore di prova; sono rappresentate anche le rette di regressione da cui si ricavano i coefficienti angolari C da adottare nelle formule di Jacob (cfr. § 6.4.2); le linee tratteggiate rappresentano i prolungamenti delle rette per intersecare l'asse x.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 235 di 351

L'elaborazioni dei dati secondo la teoria illustrata nel § 6.4.2 ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

<b>CICLO 4 (intervallo 20'-2h30')</b>	
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	
$T = 0,183Q/C =$	<b>1,11E-04 mq/s</b>
$K = T / e =$	<b>5,57E-06 m/s</b>
$S = 2,25Tt_0 / r'^2 =$	<b>1,3E-04</b>
$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)} =$	<b>133 m</b>

<b>CICLO 5 (intervallo 3h-28h)</b>	
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	
$T = 0,183Q/C =$	<b>1,23E-04 mq/s</b>
$K = T / e =$	<b>6,17E-06 m/s</b>
$S = 2,25Tt_0 / r'^2 =$	<b>1,1E-04</b>
$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)} =$	<b>500 m</b>

<b>CICLO 6 (intervallo 28h-48h)</b>	
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	
$T = 0,183Q/C =$	<b>6,82E-05 mq/s</b>
$K = T / e =$	<b>3,41E-06 m/s</b>
$S = 2,25Tt_0 / r'^2 =$	<b>1,0E-03</b>
$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)} =$	<b>162 m</b>

Dove T è la trasmissività dell'acquifero (il cui spessore "e" risulta, dalle osservazione stratigrafiche, mediamente pari a 20 m), K la permeabilità, S il coefficiente di immagazzinamento, R il raggio del cono di depressione indotto dall'emungimento al termine del ciclo logaritmico temporale di riferimento.

La diagrammazione dei valori degli abbassamenti ( $\Delta h$ ) registrati nel piezometro SI42 nel tempo ( $\log_{10} T$ ) ha permesso di ottenere la ricostruzione, per ogni ciclo logaritmico temporale, della relativa retta di regressione con andamento logaritmico ( $y = C \log_{10} X + a$ ) in cui il coefficiente angolare  $C$  rappresenta l'abbassamento indotto nel piezometro nel ciclo logaritmico considerato, valore che, secondo la metodologia adottata (§ 6.4.2), è pari al rapporto tra la portata adottata e la trasmissività dell'acquifero indagato ( $C = 0,183Q/T$ ). Tralasciando i primi tre cicli temporali logaritmici, relativi ai primi 30' di prova, le variazioni degli andamenti delle rette ricostruite nel 4°, 5° e 6° ciclo ( cfr. grafico 11.3) sono interpretabili con le caratteristiche fisiche del mezzo acquifero indagato, in particolare:

- ⇒ La prima e la seconda retta (4° e 5° ciclo) hanno coefficienti angolare simili ( $C_4 = 2,959$  e  $C_5 = 2,6703$ ) e sono indicative del fatto che l'azione di emungimento interessa una zona dell'acquifero con caratteristiche abbastanza omogenee e leggere anisotropie;
- ⇒ La terza retta (6° ciclo) ha un coefficiente angolare ( $C_6 = 4,8328$ ) con valore quasi doppio rispetto a quelli delle altre due rette e rappresenta un aumento sensibile degli incrementi di depressione, con relativa diminuzione della trasmissività e della permeabilità.

Dal punto di vista del regime idraulico, la prima e la seconda retta rappresentano il deflusso transitorio nell'intorno della zona indagata, mentre la terza retta è indicativa di una diminuzione della permeabilità lungo la direzione orizzontale.

Si è, quindi, in una situazione in cui si riscontrano dei limiti laterali a minore permeabilità ossia dei limiti idrogeologici coincidenti con discontinuità idrogeologiche e/o idrologiche che, in particolari condizioni idrodinamiche (naturali o influenzate artificialmente), inducono un diminuzione della circolazione idrica sotterranea.

I parametri da adottare sono quelli derivanti dal 5° ciclo logaritmico del tempo (intervallo tra le 3 h e le 28 h), in quanto maggiormente rappresentativo delle condizioni al contorno della stazione di prova e, conseguentemente, dei volumi sotterranei interessati dalle operazioni di scavo.

Se, inoltre, si considera la retta rappresentativa del 5° ciclo e l'intersezione di questa con la retta indicativa del 6° ciclo, si può calcolare la distanza teorica ( $D$ ) esistente tra il pozzo ed i limiti a minore permeabilità con la seguente formula (CASTANY, 1982):

$$D = [(r'/2) \sqrt{(t_1/t_0)}] + r'/2$$

dove:

$r'$  = distanza tra pozzo e piezometro

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 237 di 351

$t_1$  = tempo corrispondente al punto di intersezione tra la due rette a pendenza diversa

$t_0$  = tempo corrispondente al punto di intersezione tra la retta rappresentativa del regime transitorio e l'asse dei tempi

Nel caso specifico si ha:

$$r' = 20 \text{ m}$$

$$t_1 = 80000 \text{ secondi}$$

$$t_0 = 161 \text{ secondi}$$

Quindi da tali valori si ottiene :

$$D = 233 \text{ m}$$

Che dovrebbe corrispondere alla distanza del limite idrogeologico che ha causato la variazione di pendenza della retta rappresentativa dell'andamento degli abbassamenti.

Poiché la variazione di permeabilità non è rilevante (da  $3,08 \times 10^{-6}$  m/s a  $1,7 \times 10^{-6}$  m/s), delle informazioni provenienti dalle indagini geognostiche dirette e indirette e dagli studi geologici condotti nell'area, ne deriva che tale limite non può essere imputato a passaggi di formazione dalle brecce calcaree, in cui insiste la falda oggetto della prova, alle argille circostanti, che dovrebbero avere valori di permeabilità minori di almeno 10 grandezze, ma a variazioni di facies con maggiore matrice limoso-argillosa.

## FASE DI RISALITA

T [secondi]	Abbassamenti in PZ2 (m)	Abbassamenti in SI42 (m)	Livello PZ2 (m da p.c.)	Livello SI42 (m da p.c.)	T [minuti]	t'	(t+t')/t'	T [ore]
1	30,93	8,84	64,55	43,32	0			
60	23,22	8,83	56,84	43,31	1	60	4321,00	
120	20,00	8,81	53,62	43,29	2	120	2161,00	
180	17,28	8,74	50,90	43,22	3	180	1441,00	
240	15,40	8,61	49,02	43,09	4	240	1081,00	
300	13,72	8,49	47,34	42,97	5	300	865,00	
360	12,63	8,36	46,25	42,84	6	360	721,00	
420	11,53	8,31	45,15	42,79	7	420	618,14	
480	10,58	8,08	44,20	42,56	8	480	541,00	
540	9,90	7,95	43,52	42,43	9	540	481,00	
600	9,50	7,78	43,12	42,26	10	600	433,00	
660	9,08	7,68	42,70	42,16	11	660	393,73	
720	8,65	7,54	42,27	42,02	12	720	361,00	
780	8,40	7,43	42,02	41,91	13	780	333,31	
840	8,21	7,28	41,83	41,76	14	840	309,57	
900	8,05	7,16	41,67	41,64	15	900	289,00	
1200	7,45	6,68	41,07	41,16	20	1200	217,00	
1500	7,07	6,31	40,69	40,79	25	1500	173,80	

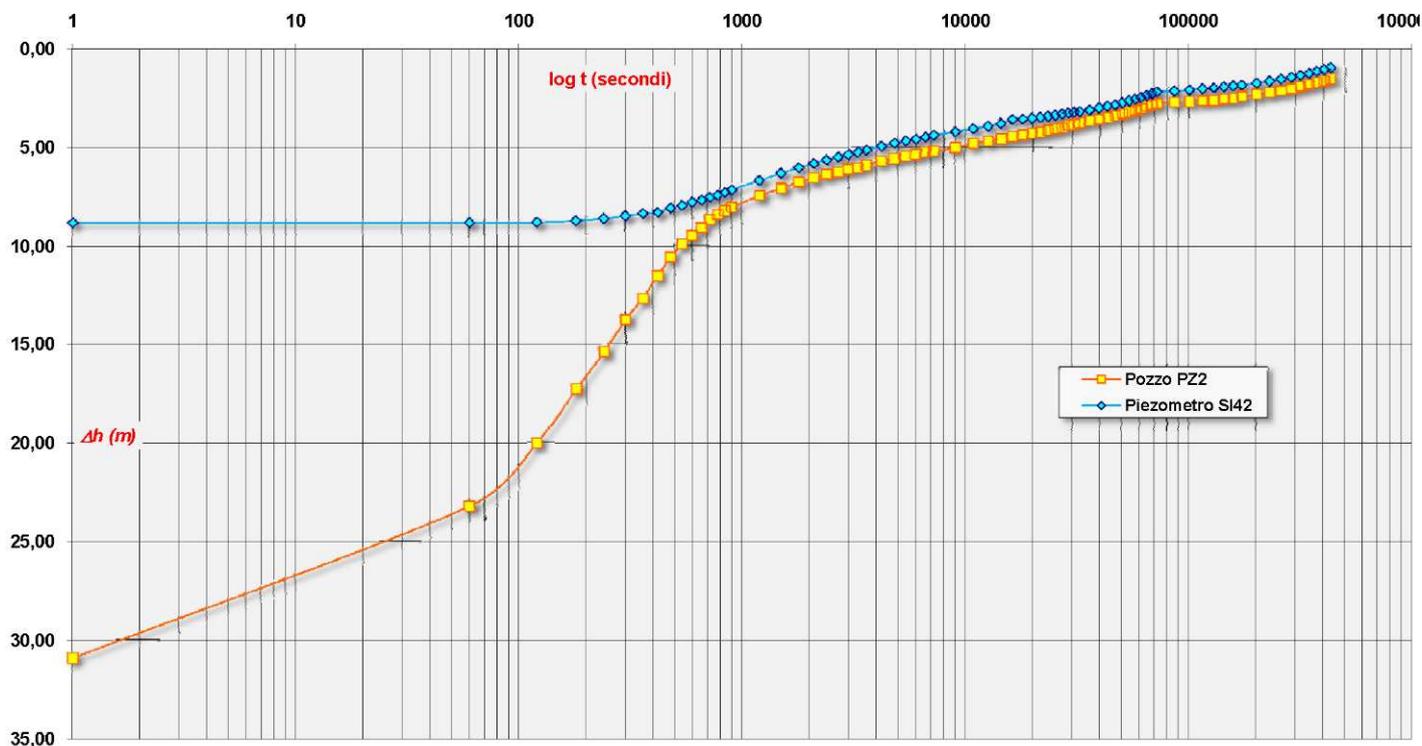
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 238 di 351

T [secondi]	Abbassamenti in PZ2 (m)	Abbassamenti in SI42 (m)	Livello PZ2 (m da p.c.)	Livello SI42 (m da p.c.)	T [minuti]	t'	(t+t')/t'	T [ore]
1800	6,76	6,03	40,38	40,51	<b>30</b>	1800	145,00	
2100	6,56	5,81	40,18	40,29	<b>35</b>	2100	124,43	
2400	6,37	5,64	39,99	40,12	<b>40</b>	2400	109,00	
2700	6,25	5,49	39,87	39,97	<b>45</b>	2700	97,00	
3000	6,10	5,36	39,72	39,84	<b>50</b>	3000	87,40	
3300	6,03	5,24	39,65	39,72	<b>55</b>	3300	79,55	
3600	5,90	5,14	39,52	39,62	<b>60</b>	3600	73,00	<b>1</b>
4200	5,68	4,94	39,30	39,42	<b>70</b>	4200	62,71	
4800	5,57	4,79	39,19	39,27	<b>80</b>	4800	55,00	
5400	5,43	4,67	39,05	39,15	<b>90</b>	5400	49,00	
6000	5,36	4,59	38,98	39,07	<b>100</b>	6000	44,20	
6600	5,24	4,48	38,86	38,96	<b>110</b>	6600	40,27	
7200	5,19	4,39	38,81	38,87	<b>120</b>	7200	37,00	<b>2</b>
9000	5,02	4,21	38,64	38,69	<b>150</b>	9000	29,80	
10800	4,81	4,05	38,43	38,53	<b>180</b>	10800	25,00	<b>3</b>
12600	4,66	3,92	38,28	38,40	<b>210</b>	12600	21,57	
14400	4,57	3,80	38,19	38,28	<b>240</b>	14400	19,00	<b>4</b>
16200	4,47	3,58	38,09	38,06	<b>270</b>	16200	17,00	
18000	4,38	3,56	38,00	38,04	<b>300</b>	18000	15,40	<b>5</b>
19800	4,30	3,51	37,92	37,99	<b>330</b>	19800	14,09	
21600	4,22	3,46	37,84	37,94	<b>360</b>	21600	13,00	<b>6</b>
23400	4,14	3,41	37,76	37,89	<b>390</b>	23400	12,08	
25200	4,07	3,37	37,69	37,85	<b>420</b>	25200	11,29	<b>7</b>
27000	4,00	3,31	37,62	37,79	<b>450</b>	27000	10,60	
28800	3,90	3,25	37,52	37,73	<b>480</b>	28800	10,00	<b>8</b>
30600	3,82	3,21	37,44	37,69	<b>510</b>	30600	9,47	
32400	3,75	3,18	37,37	37,66	<b>540</b>	32400	9,00	<b>9</b>
36000	3,65	3,10	37,27	37,58	<b>600</b>	36000	8,20	<b>10</b>
39600	3,57	3,00	37,19	37,48	<b>660</b>	39600	7,55	<b>11</b>
43200	3,49	2,92	37,11	37,40	<b>720</b>	43200	7,00	<b>12</b>
46800	3,38	2,84	37,00	37,32	<b>780</b>	46800	6,54	<b>13</b>
50400	3,30	2,73	36,92	37,21	<b>840</b>	50400	6,14	<b>14</b>
54000	3,21	2,63	36,83	37,11	<b>900</b>	54000	5,80	<b>15</b>
57600	3,11	2,55	36,73	37,03	<b>960</b>	57600	5,50	<b>16</b>
61200	3,03	2,46	36,65	36,94	<b>1020</b>	61200	5,24	<b>17</b>
64800	2,92	2,36	36,54	36,84	<b>1080</b>	64800	5,00	<b>18</b>
68400	2,83	2,28	36,45	36,76	<b>1140</b>	68400	4,79	<b>19</b>
72000	2,76	2,19	36,38	36,67	<b>1200</b>	72000	4,60	<b>20</b>
86400	2,71	2,14	36,33	36,62	<b>1440</b>	86400	4,00	<b>24</b>
100800	2,67	2,09	36,29	36,57	<b>1680</b>	100800	3,57	<b>28</b>
115200	2,63	2,03	36,25	36,51	<b>1920</b>	115200	3,25	<b>32</b>
129600	2,61	1,98	36,23	36,46	<b>2160</b>	129600	3,00	<b>36</b>
144000	2,56	1,93	36,18	36,41	<b>2400</b>	144000	2,80	<b>40</b>
158400	2,51	1,88	36,13	36,36	<b>2640</b>	158400	2,64	<b>44</b>
172800	2,46	1,84	36,08	36,32	<b>2880</b>	172800	2,50	<b>48</b>
201600	2,42	1,79	36,04	36,27	<b>3360</b>	201600	2,29	<b>56</b>
230400	2,38	1,75	36,00	36,23	<b>3840</b>	230400	2,13	<b>64</b>
259200	2,33	1,70	35,95	36,18	<b>4320</b>	259200	2,00	<b>72</b>

**Tabella 11.13 – Dati registrati durante la fase di risalita alla fine della prova condotta sulla stazione di prova PZ2-SI42**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE Relazione Geologica	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 239 di 351

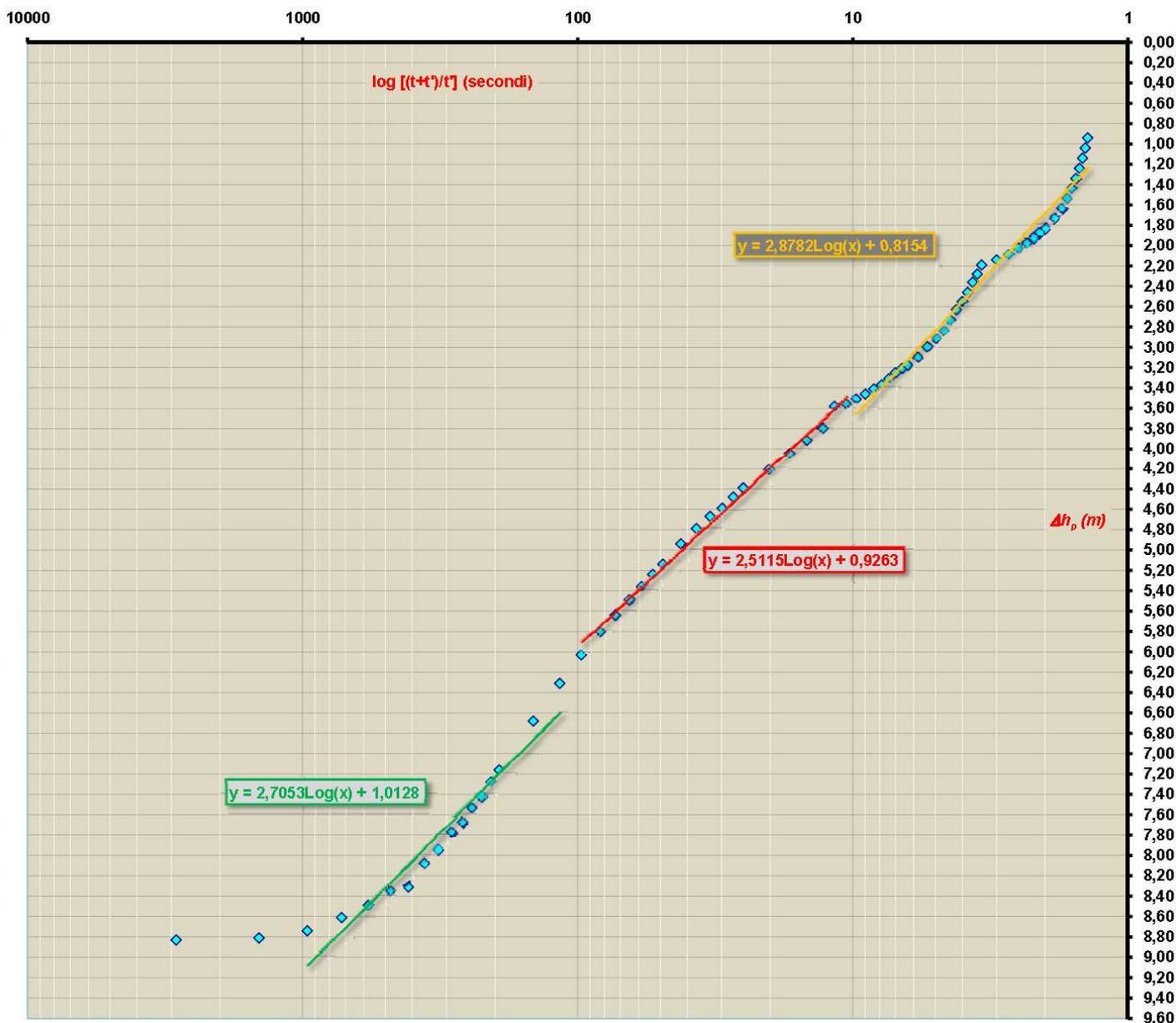
**PROVA DI EMUNGIMENTO PZ2 - SI42**  
**Diagramma log tempi / abbassamenti - Fase di risalita**



**Grafico 11.4 – Andamenti dei valori di risalita nel pozzo e nel piezometro riscontrati successivamente alle 48 ore di prova**

**PROVA DI EMUNGIMENTO POZZO PZ2 - PIEZOMETRO SI42**  
**Diagramma Log $[(t+t')/t']$ / abbassamenti nel piezometro - Fase di risalita**

Rappresentazione delle rette di regressione



**Grafico 11.5 – Diagramma logaritmico dei dati di risalita riscontrati nel piezometro successivamente alle 48 ore di prova; è rappresentata anche la retta di regressione da cui si ricava il coefficiente angolare C da adottare nelle formule di Jacob (cfr. § 2.1.2)**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 241 di 351

L'elaborazione dei dati secondo la teoria illustrata nel § 6.4.2 ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

<b>CICLO 2 (intervallo 5'-40')</b>
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>
$T = 0,183Q/C = 1,22E-04 \text{ mq/s}$
$K = T / e = 6,09E-06 \text{ m/s}$

<b>CICLO 3 (intervallo 45' - 8h)</b>
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>
$T = 0,183Q/C = 1,31E-04 \text{ mq/s}$
$K = T / e = 6,56E-06 \text{ m/s}$

<b>CICLO 4 (intervallo 8h - 120h)</b>
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>
$T = 0,183Q/C = 1,14E-04 \text{ mq/s}$
$K = T / e = 5,72E-06 \text{ m/s}$

I valori sopra riportati per i tre cicli temporali logaritmici sono alquanto simili tra di loro e, soprattutto a quelli ottenuti nel 5° ciclo logaritmico della prova in fase di emungimento.

### Conclusioni

Considerando i parametri ottenuti dalla prova sia in **fase di emungimento** che in **risalita** e condizioni al contorno, per la zona circostante la stazione di prova considerata si può assumere come verosimile il valore medio di **permeabilità** pari a:

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

I valori ottenuti dei parametri idrogeologici e le caratteristiche della prova, rilevano che la falda idrica sotterranea gravante sul cavo della galleria, in corrispondenza della stazione di prova, ha caratteristiche di buona ricarica e condizioni idrauliche che permettono un rilevante afflusso idrico su tale opera, sia in fase di scavo che in fase di esercizio, con un carico idraulico di quasi 80 m.

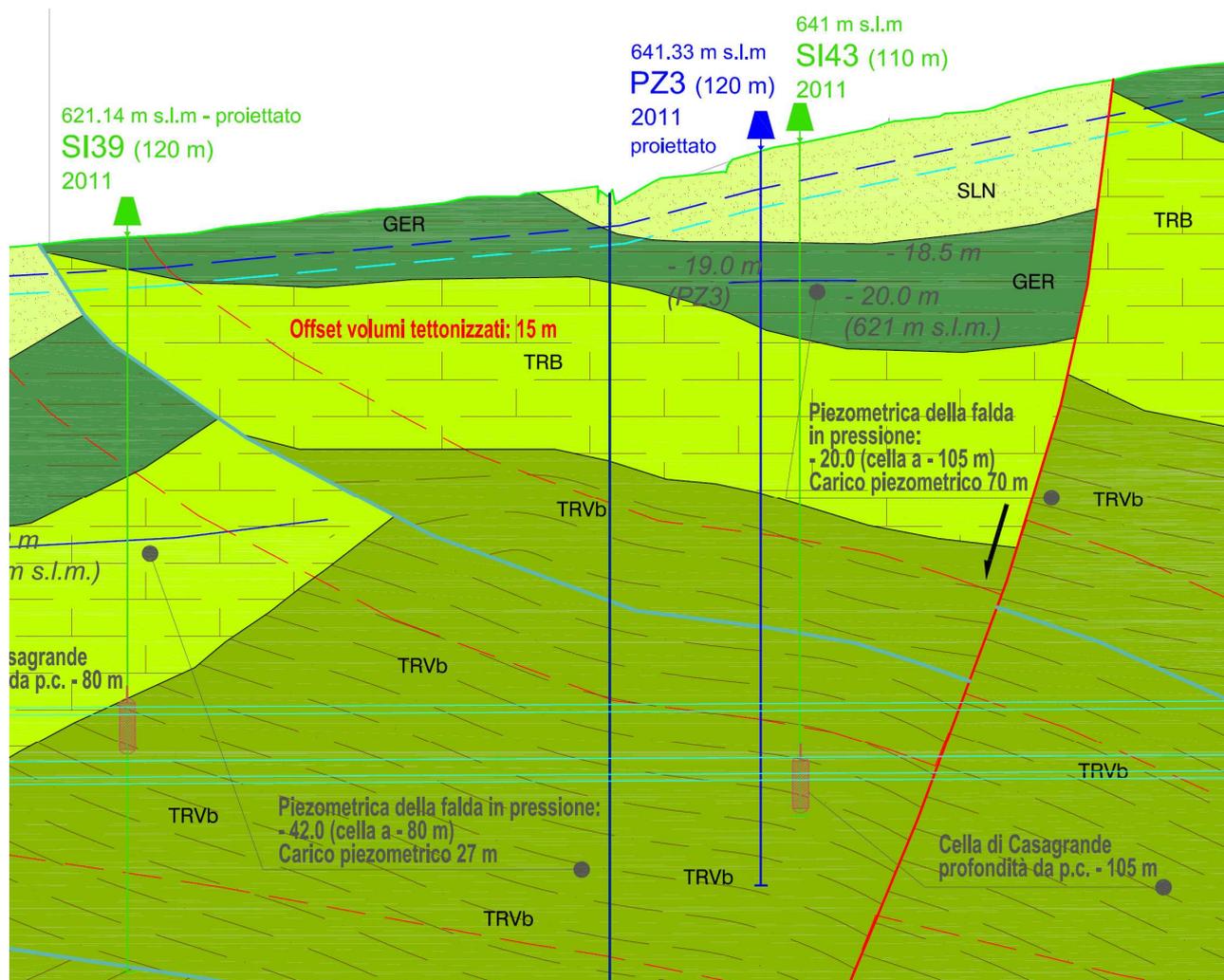
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 242 di 351

### 11.6.2. Prova di emungimento sulla stazione PZ3-SI43

La **prova di emungimento** effettuata nel pozzo PZ3 ha utilizzato come piezometro il punto SI43 in cui è installata n. 1 cella di Casagrande a -105 m da p.c.. Il pozzo è profondo 120 m ed ha la fenestratura tra -50 m e il fondo foro. La prova è stata condotta per 48 ore con una portata media di 0,1 l/s, valore derivante dalla prova di portata effettuata secondo la metodologia prevista nel § 6.4.2.

Al termine della prova nel pozzo si è riscontrato un abbassamento di 68,44 m, mentre nel piezometro l'abbassamento è stato pari a 4,71 m.

Nella seguito è riportato lo stralcio del profilo geologico ricostruito in corrispondenza della zona interessata dalla stazione di prova considerata.



**Fig. 11.10 – Stralcio del profilo geologico ricostruito in corrispondenza della stazione di prova considerata; in giallino le Sabbie di Lannari (SLN), in verde chiaro la formazione dei trubi (TRB), in verde scuro le argille marnose di geracello (GER) e in verde oliva le argille brecciate tortoniane (TRVb).**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 243 di 351

Nel seguito si riportano i dati registrati durante la prova in fase di emungimento e di risalita dei livelli e i grafici che sono stati ricostruiti.

### **FASE DI EMUNGIMENTO (48 ORE)**

T [secondi]	Abbassamenti in PZ3 [m]	Abbassamenti in SI43 [m]	Livello PZ3 [m da p.c.]	Livello SI43 [m da p.c.]	T [minuti]	T [ore]
0	0,00	0,00	19,02	18,55	0	
60	2,52	0,00	21,54	18,55	1	
120	2,60	0,00	21,62	18,55	2	
180	2,25	0,00	21,27	18,55	3	
240	2,98	0,00	22,00	18,55	4	
300	3,52	0,00	22,54	18,55	5	
360	3,83	0,00	22,85	18,55	6	
420	3,97	0,00	22,99	18,55	7	
480	4,12	0,00	23,14	18,55	8	
540	4,44	0,00	23,46	18,55	9	
600	4,82	0,00	23,84	18,55	10	
660	5,05	0,01	24,07	18,56	11	
720	5,19	0,01	24,21	18,56	12	
780	5,22	0,01	24,24	18,56	13	
840	5,69	0,01	24,71	18,56	14	
900	6,02	0,02	25,04	18,57	15	
1200	6,91	0,02	25,93	18,57	20	
1500	7,86	0,02	26,88	18,57	25	
1800	8,53	0,02	27,55	18,57	30	
2100	9,28	0,03	28,30	18,58	35	
2400	9,60	0,04	28,62	18,59	40	
2700	9,72	0,06	28,74	18,61	45	
3000	9,91	0,08	28,93	18,63	50	
3300	10,16	-0,01	29,18	18,54	55	
3600	10,43	0,13	29,45	18,68	60	1
4200	10,89	0,18	29,91	18,73	70	
4800	11,18	0,22	30,20	18,77	80	
5400	11,50	0,27	30,52	18,82	90	
6000	11,83	0,32	30,85	18,87	100	
6600	12,14	0,38	31,16	18,93	110	
7200	12,45	0,43	31,47	18,98	120	2
9000	13,21	0,58	32,23	19,13	150	
10800	13,86	0,70	32,88	19,25	180	3
12600	14,34	0,92	33,36	19,47	210	
14400	14,87	1,09	33,89	19,64	240	4
16200	15,34	1,29	34,36	19,84	270	
18000	15,69	1,44	34,71	19,99	300	5
19800	15,91	1,60	34,93	20,15	330	
21600	16,66	1,75	35,68	20,30	360	6
23400	17,51	1,88	36,53	20,43	390	
25200	18,49	2,00	37,51	20,55	420	7
27000	18,85	2,14	37,87	20,69	450	
28800	19,52	2,29	38,54	20,84	480	8
30600	20,37	2,39	39,39	20,94	510	
32400	21,53	2,54	40,55	21,09	540	9
36000	23,55	2,78	42,57	21,33	600	10

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 244 di 351

T	Abbassamenti in PZ3	Abbassamenti in SI43	Livello PZ3	Livello SI43	T	T
[secondi]	[m]	[m]	[m da p.c.]	[m da p.c.]	[minuti]	[ore]
39600	24,61	3,00	43,63	21,55	660	11
43200	25,76	3,16	44,78	21,71	720	12
46800	28,07	3,35	47,09	21,90	780	13
50400	30,43	3,64	49,45	22,19	840	14
54000	32,43	3,75	51,45	22,30	900	15
57600	34,43	3,85	53,45	22,40	960	16
61200	35,88	3,95	54,90	22,50	1020	17
64800	38,24	4,04	57,26	22,59	1080	18
68400	41,72	4,09	60,74	22,64	1140	19
72000	43,78	4,09	62,80	22,64	1200	20
86400	51,78	4,25	70,80	22,80	1440	24
100800	56,98	4,46	76,00	23,01	1680	28
115200	61,68	4,50	80,70	23,05	1920	32
129600	66,22	4,53	85,24	23,08	2160	36
144000	67,28	4,53	86,30	23,08	2400	40
158400	68,21	4,65	87,23	23,20	2640	44
172800	68,44	4,71	87,46	23,26	2880	48

Tabella 11.14 – Dati registrati durante la prova condotta sulla stazione di prova PZ3-SI43

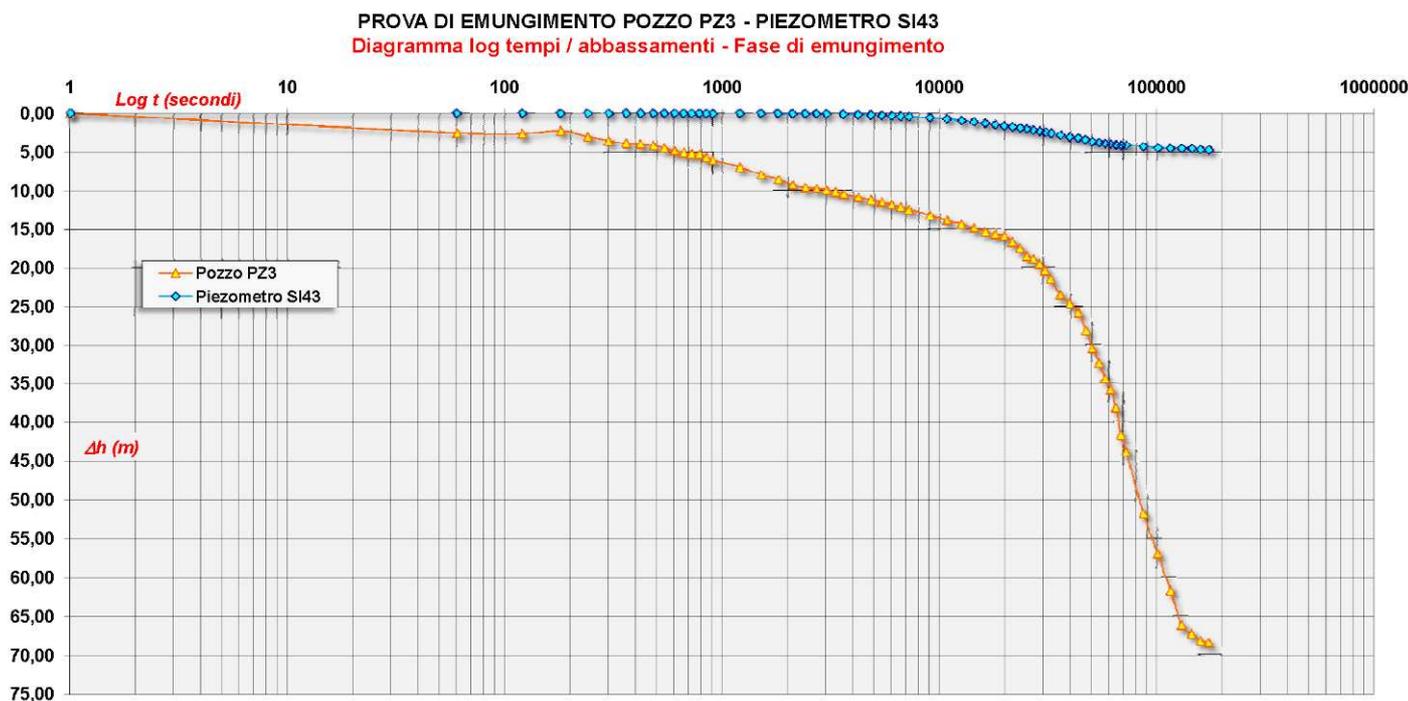
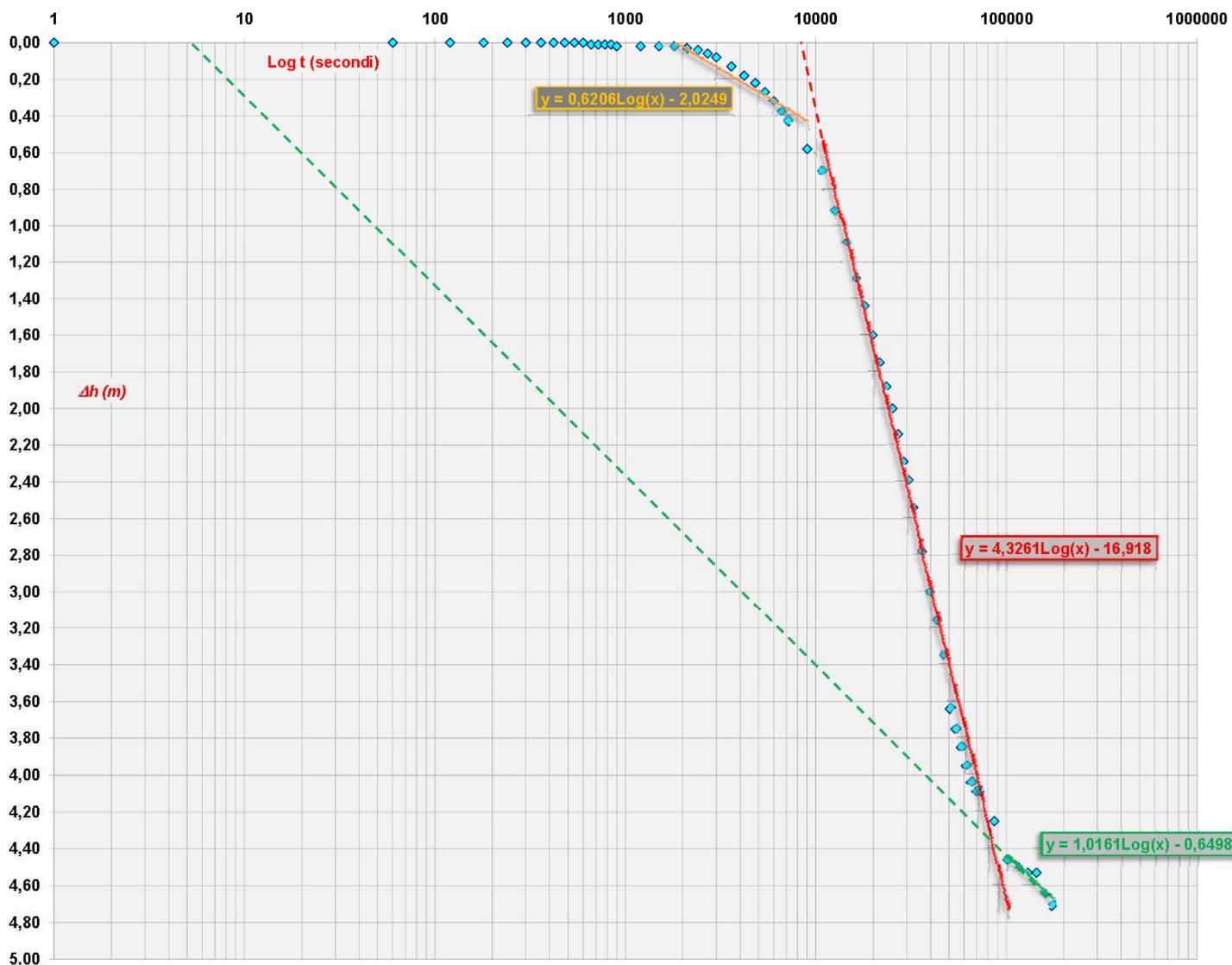


Grafico 11.6 – Andamenti dei valori di abbassamenti riscontrati nel pozzo e nel piezometro nelle 48 ore di prova

PROVA DI EMUNGIMENTO POZZO PZ3 - PIEZOMETRO SI43  
 Piezometro - Diagramma log tempi/abbassamenti - Fase di emungimento

Rappresentazione delle rette di regressione



**Grafico 11.7 – Diagramma logaritmico degli abbassamenti riscontrati nel piezometro nelle 48 ore di prova; sono rappresentate anche le rette di regressione da cui si ricavano i coefficienti angolari C da adottare nelle formule di Jacob (cfr. § 6.4.2); le linee tratteggiate rappresentano i prolungamenti delle rette per intersecare l'asse x.**

L'elaborazioni dei dati secondo la teoria illustrata nel § 6.4.2 ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 246 di 351

<b>CICLO 4 (intervallo 20' - 2h30')</b>	
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	
$T = 0,183Q/C =$	<b>2,95E-05 mq/s</b>
$K = T / e =$	<b>1,47E-06 m/s</b>
$S = 2,25Tt_0 / r^2 =$	<b>7,6E-03</b>
$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)} =$	<b>9 m</b>

<b>CICLO 5 (intervallo 3h - 28h)</b>	
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	
$T = 0,183Q/C =$	<b>4,23E-06 mq/s</b>
$K = T / e =$	<b>2,12E-07 m/s</b>
$S = 2,25Tt_0 / r^2 =$	<b>4,8E-03</b>
$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)} =$	<b>14 m</b>

<b>CICLO 6 (intervallo 28h-48h)</b>	
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	
$T = 0,183Q/C =$	<b>1,80E-05 mq/s</b>
$K = T / e =$	<b>9,01E-07 m/s</b>
$S = 2,25Tt_0 / r^2 =$	<b>1,1E-05</b>
$R = 1,5 \sqrt{(Tt/S)} =$	<b>796 m</b>

Dove T è la trasmissività dell'acquifero (il cui spessore "e" risulta, dalle osservazione stratigrafiche, mediamente pari a 20 m), K la permeabilità, S il coefficiente di immagazzinamento, R il raggio del cono di depressione indotto dall'emungimento al termine del ciclo logaritmico temporale di riferimento.

La diagrammazione dei valori degli abbassamenti ( $\Delta h$ ) registrati nel piezometro SI43 nel tempo ( $\text{Log}_{10}T$ ) ha permesso di ottenere la ricostruzione, per ogni ciclo logaritmico temporale, della relativa retta di regressione con andamento logaritmico ( $y = C\text{Log}_{10}X + a$ ) in cui il coefficiente angolare

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 247 di 351

C rappresenta l'abbassamento indotto nel piezometro nel ciclo logaritmico considerato, valore che, secondo la metodologia adottata (§ 6.4.2), è pari al rapporto tra la portata adottata e la trasmissività dell'acquifero indagato ( $C = 0,183Q/T$ ). Tralasciando i primi tre cicli temporali logaritmici, relativi ai primi 30' di prova, le variazioni degli andamenti delle rette ricostruite nel 4°, 5° e 6° ciclo ( cfr. grafico 11.7) sono interpretabili con le caratteristiche fisiche del mezzo acquifero indagato, caratterizzato da disomogeneità e anisotropie. In particolare:

- ⇒ La prima retta (4° ciclo) ha coefficiente angolare pari a  $C_4 = 0,6206$ , indicativo di una permeabilità media, sebbene riferita ad una zona molto circoscritta nell'intorno del pozzo;
- ⇒ La seconda retta (5° ciclo) ha coefficiente angolare pari a  $C_5 = 4,3261$ , molto più alto della prima retta e indicativo di una zona a minore permeabilità che influenza la prova sino a 28 ore;
- ⇒ La terza retta (6° ciclo) ha un coefficiente angolare ( $C_6 = 1,0161$ ) che ritorna a valori inferiori e rappresenta una diminuzione rilevante degli incrementi di depressione, con relativo aumento della trasmissività e della permeabilità, come se ci si fosse avvicinati ad una zona di alimentazione.

Dal punto di vista del regime idraulico, la prima e la seconda retta rappresentano il deflusso transitorio nell'intorno della zona indagata, mentre la terza retta è indicativa di un aumento della permeabilità lungo la direzione orizzontale e/o ad una sovralimentazione proveniente da un altro acquifero confinante.

Si è, quindi, in una situazione in cui si riscontrano dei limiti a potenziale imposto ossia dei limiti idrogeologici coincidenti con discontinuità idrogeologiche e/o idrologiche che, in particolari condizioni idrodinamiche (naturali o influenzate artificialmente), consentono di tenere fissi determinati livelli idrici sia in entrata che in uscita dell'acquifero, tramite apporti di alimentazione.

Se si considera la retta rappresentativa del 5° ciclo e l'intersezione di questa con la retta indicativa del 4° ciclo, si può calcolare la distanza teorica (D) esistente tra il pozzo ed i limiti a potenziale imposto con la seguente formula (CASTANY, 1982):

$$D = [(r'/2) \sqrt{(t_1/t_0)}] + r'/2$$

dove:

$r'$  = distanza tra pozzo e piezometro

$t_1$  = tempo corrispondente al punto di intersezione tra le due rette a pendenza diversa

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 248 di 351

$t_0$  = tempo corrispondente al punto di intersezione tra la retta rappresentativa del regime transitorio e l'asse dei tempi

Nel caso specifico si ha:

$$\begin{aligned}r' &= 4 \text{ m} \\t_1 &= 83000 \text{ secondi} \\t_0 &= 8141 \text{ secondi}\end{aligned}$$

Quindi da tali valori si ottiene :

$$\mathbf{D = 8,4 \text{ m}}$$

Che dovrebbe corrispondere alla distanza del limite idrogeologico che ha causato la variazione di pendenza della retta rappresentativa dell'andamento degli abbassamenti.

Dalle informazioni provenienti dalle indagini geognostiche dirette e indirette e dagli studi geologici condotti nell'area, ne deriva che tale limite può essere imputato a passaggi intraformazionali verso zone più tettonizzate, e quindi maggiormente fratturate.

Nel caso, invece della variazione di pendenza tra il 4° e il 5° ciclo, se si considera la retta rappresentativa del 4° ciclo e l'intersezione di questa con la retta indicativa del 5° ciclo, si può calcolare la distanza teorica (D) esistente tra il pozzo ed i limiti a minore permeabilità con la seguente formula (CASTANY, 1982):

$$\mathbf{D = [(r'/2) \sqrt{(t_1/t_0)}] + r'/2}$$

dove:

$r'$  = distanza tra pozzo e piezometro

$t_1$  = tempo corrispondente al punto di intersezione tra le due rette a pendenza diversa

$t_0$  = tempo corrispondente al punto di intersezione tra la retta rappresentativa del regime transitorio e l'asse dei tempi

Nel caso specifico si ha:

$$\begin{aligned}r' &= 4 \text{ m} \\t_1 &= 10000 \text{ secondi} \\t_0 &= 1831 \text{ secondi}\end{aligned}$$

Quindi da tali valori si ottiene :

$$\mathbf{D = 6,7 \text{ m}}$$

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 249 di 351

Che dovrebbe corrispondere alla distanza del limite idrogeologico che ha causato la variazione di pendenza della retta rappresentativa dell'andamento degli abbassamenti.

Dalle informazioni provenienti dalle indagini geognostiche dirette e indirette e dagli studi geologici condotti nell'area, ne deriva che tale limite può essere imputato a passaggi intraformazionali da zone più tettonizzate, e quindi più fratturate, a zone meno fratturate .

I parametri da adottare sono quelli derivanti dal 6° ciclo logaritmico del tempo (intervallo tra le 28 h e le 48 h), in quanto maggiormente rappresentativo delle condizioni al contorno della stazione di prova e, conseguentemente, dei volumi sotterranei interessati dalle operazioni di scavo. Il 5° ciclo, difatti, rappresenta una zona interposta tra i due punti della stazione (pozzo e piezometro) di ampiezza pari a qualche metro e con minore fratturazione rispetto alla zona circostante.

### FASE DI RISALITA

T [secondi]	Abbassamenti in PZ3 (m)	Abbassamenti in SI43 (m)	Livello PZ3 (m da p.c.)	Livello SI43 (m da p.c.)	T [minuti]	t'	(t+t')/t'	T [ore]
1	68,44	4,70	64,55	43,32	0			
60	64,18	4,70	56,84	43,31	1	60	4321,00	
120	53,01	4,70	53,62	43,29	2	120	2161,00	
180	52,08	4,70	50,90	43,22	3	180	1441,00	
240	51,54	4,70	49,02	43,09	4	240	1081,00	
300	50,79	4,70	47,34	42,97	5	300	865,00	
360	50,08	4,70	46,25	42,84	6	360	721,00	
420	50,47	4,70	45,15	42,79	7	420	618,14	
480	48,68	4,70	44,20	42,56	8	480	541,00	
540	47,99	4,70	87,46	23,25	9	540	481,00	
600	47,34	4,70	83,20	23,25	10	600	433,00	
660	46,85	4,70	72,03	23,25	11	660	393,73	
720	46,12	4,70	71,10	23,25	12	720	361,00	
780	45,16	4,70	70,56	23,25	13	780	333,31	
840	44,93	4,70	69,81	23,25	14	840	309,57	
900	44,26	4,70	69,10	23,25	15	900	289,00	
1200	41,40	4,70	69,49	23,25	20	1200	217,00	
1500	38,29	4,70	67,70	23,25	25	1500	173,80	
1800	35,51	4,70	67,01	23,25	30	1800	145,00	
2100	32,61	4,70	66,36	23,25	35	2100	124,43	
2400	29,66	4,70	65,87	23,25	40	2400	109,00	
2700	26,91	4,70	65,14	23,25	45	2700	97,00	
3000	24,42	4,70	64,18	23,25	50	3000	87,40	
3300	22,36	4,70	63,95	23,25	55	3300	79,55	
3600	21,66	4,70	63,28	23,25	60	3600	73,00	1
4200	19,52	4,70	60,42	23,25	70	4200	62,71	
4800	17,88	4,70	57,31	23,25	80	4800	55,00	
5400	16,23	4,70	54,53	23,25	90	5400	49,00	
6000	14,79	4,70	51,63	23,25	100	6000	44,20	
6600	13,41	4,70	48,68	23,25	110	6600	40,27	
7200	11,94	4,70	45,93	23,25	120	7200	37,00	2
9000	8,30	4,67	43,44	23,25	150	9000	29,80	
10800	6,28	4,63	41,38	23,25	180	10800	25,00	3
12600	4,83	4,53	40,68	23,25	210	12600	21,57	
14400	3,94	4,46	38,54	23,25	240	14400	19,00	4

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 250 di 351

T [secondi]	Abbassamenti in PZ3 (m)	Abbassamenti in SI43 (m)	Livello PZ3 (m da p.c.)	Livello SI43 (m da p.c.)	T [minuti]	t'	(t+t')/t'	T [ore]
16200	3,31	4,28	36,90	23,25	270	16200	17,00	
18000	2,92	4,13	35,25	23,25	300	18000	15,40	5
19800	2,64	4,00	33,81	23,25	330	19800	14,09	
21600	2,43	3,81	32,43	23,25	360	21600	13,00	6
23400	2,24	3,65	30,96	23,25	390	23400	12,08	
25200	2,13	3,40	27,32	23,22	420	25200	11,29	7
27000	2,00	3,22	25,30	23,18	450	27000	10,60	
28800	1,88	3,07	23,85	23,08	480	28800	10,00	8
30600	1,78	2,92	22,96	23,01	510	30600	9,47	
32400	1,69	2,77	22,33	22,83	540	32400	9,00	9
36000	1,59	2,59	21,94	22,68	600	36000	8,20	10
39600	1,47	2,41	21,66	22,55	660	39600	7,55	11
43200	1,35	2,23	21,45	22,36	720	43200	7,00	12
46800	1,23	2,05	21,26	22,20	780	46800	6,54	13
50400	1,12	1,88	21,15	21,95	840	50400	6,14	14
54000	1,03	1,70	21,02	21,77	900	54000	5,80	15
57600	0,91	1,54	20,90	21,62	960	57600	5,50	16
61200	0,81	1,36	20,80	21,47	1020	61200	5,24	17
64800	0,72	1,16	20,71	21,32	1080	64800	5,00	18
68400	0,66	0,95	20,61	21,14	1140	68400	4,79	19
72000	0,55	0,70	20,49	20,96	1200	72000	4,60	20
86400	0,44	0,46	20,37	20,78	1440	86400	4,00	24
100800	0,33	0,42	20,25	20,6	1680	100800	3,57	28
115200	0,21	0,25	20,14	20,43	1920	115200	3,25	32
129600	0,11	0,10	20,05	20,25	2160	129600	3,00	36
144000	0,03	-0,02	19,93	20,09	2400	144000	2,80	40

Tabella 11.15 – Dati registrati durante la fase di risalita alla fine della prova condotta sulla stazione di prova PZ3-SI43

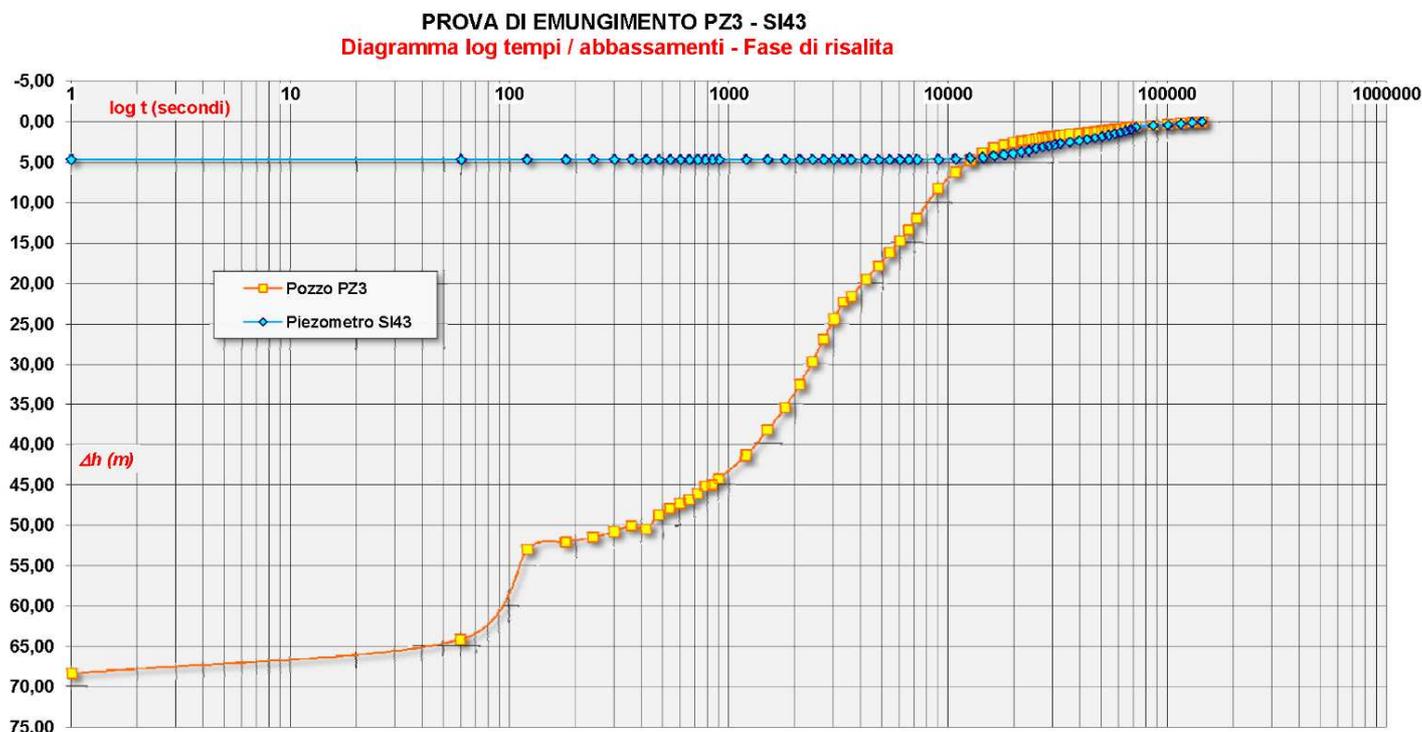


Grafico 11.8 – Andamenti dei valori di risalita nel pozzo e nel piezometro riscontrati successivamente alle 48 ore di prova

PROVA DI EMUNGIMENTO POZZO PZ3 - PIEZOMETRO SI43  
 Diagramma  $\text{Log}[(t+t')/t']$ / abbassamenti nel piezometro - Fase di risalita

Rappresentazione delle rette di regressione

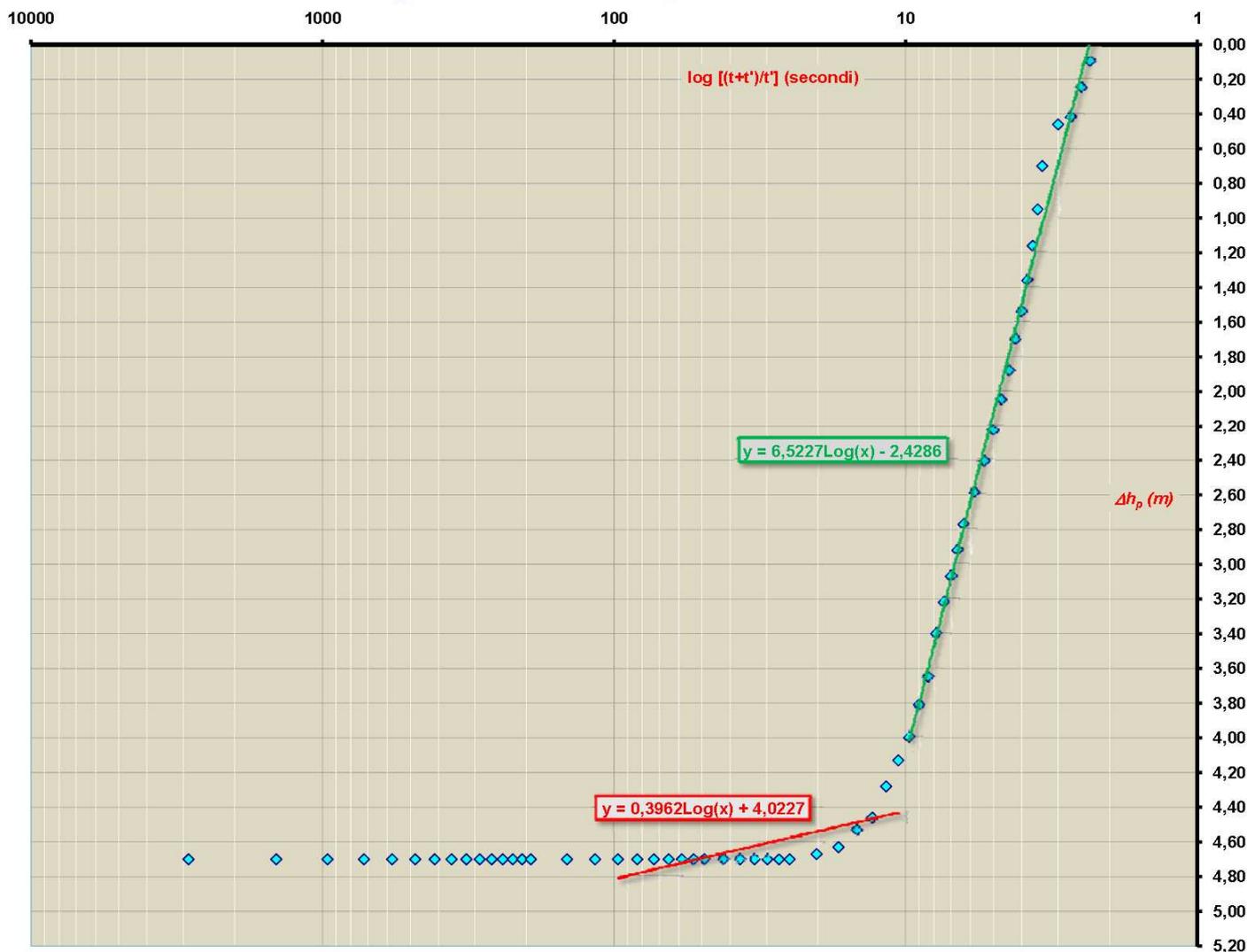


Grafico 11.9 – Diagramma logaritmico dei dati di risalita riscontrati nel piezometro successivamente alle 48 ore di prova; è rappresentata anche la retta di regressione da cui si ricava il coefficiente angolare  $C$  da adottare nelle formule di Jacob (cfr. § 2.1.2)

L'elaborazioni dei dati secondo la teoria illustrata nel § 6.4.2 ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

<b>CICLO 3 (intervallo 30' - 5h)</b>
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>
$T = 0,183Q/C = 4,62E-05 \text{ mq/s}$
$K = T/e = 2,31E-06 \text{ m/s}$

<b>CICLO 4 (intervallo 5h30' - 40h)</b>
<b>PARAMETRI IDRODINAMICI</b>
<b>T = 0,183Q/C = 2,81E-06 mq/s</b>
<b>K = T / e = 1,40E-07 m/s</b>

I valori sopra riportati per il 3° ciclo temporale logaritmico sono alquanto simili a quelli ottenuti nel 4° e nel 6° ciclo logaritmico della prova in fase di emungimento, mentre quelli del 4° ciclo si avvicinano ai valori del 5° ciclo della prova in fase di emungimento.

### **Conclusione**

Considerando i parametri ottenuti dalla prova sia in **fase di emungimento** che in **risalita** e le condizioni al contorno, per la zona circostante la stazione di prova considerata si può assumere come verosimile il valore medio di **permeabilità** pari a:

$$**K = 2x10^{-7} m/s**$$

I valori ottenuti dei parametri idrogeologici e le caratteristiche della prova, rilevano che la falda idrica sotterranea gravante sul cavo della galleria, in corrispondenza della stazione di prova, ha caratteristiche di buona ricarica e condizioni idrauliche che permettono un significativo afflusso idrico su tale opera, sia in fase di scavo che in fase di esercizio, con un carico idraulico di quasi 50 m.

#### **11.6.3. Prova a gradini di portata sulla stazione PZ2-SI42**

Sulla stazione di prova PZ2-SI42 al fine di verificare la capacità di immagazzinamento e rilascio di acqua da parte dell'acquifero interessato, è stata effettuata una ulteriore prova condotta a gradini di portata sino alla potenza massima della pompa utilizzata. Si è potuto, così verificare la risposta dell'acquifero in condizioni di stress idraulico.

La prova è stata condotta con tre gradini di portata, registrando manualmente gli abbassamenti e le risalite determinate dalla fase di funzionamento e spegnimento della pompa.

La portata indizionale è stata di 1,8 l/s per una durata della fase di pompaggio di 6 h, a cui è seguita la fase di spegnimento della pompa e, successivamente, gli altri due gradini con portate di 2,5 e 3,3 l/s, per una durata per ciascuna fase di emungimento di 12 h, cui è seguita la fase di stasi della pompa.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 253 di 351

Le modalità esecutive sono quelle riportate al § 6.4.2, mentre nel seguito se ne riportano sinteticamente i dati registrati.

### **Prova a 1,8 l/s**

#### **Fase di pompaggio**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello statico ( $t_0$ )	-34,42	-33,84

#### **Fine emungimento (6 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico ( $t_6$ )	-55,96	-38,40

#### **Risalita (2 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico	-35,73	-34,80
Residuo rispetto a $t_0$	1,31	0,96

### **Prova a 2,5 l/s**

#### **Fase di pompaggio**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello statico ( $t_0$ )	-35,01	-33,84

#### **Fine emungimento (12 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico ( $t_6$ )	-68,98	-42,13

#### **Risalita (2 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico	-38,08	-37,00
Residuo rispetto a $t_0$	3,07	3,16

### **Prova a 3,3 l/s**

#### **Fase di pompaggio**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello statico ( $t_0$ )	-36,38	-35,36

### **Fine emungimento (6 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico ( $t_6$ )	-78,79	-44,30

### **Risalita (2 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico	-39,89	-38,12
Residuo rispetto a $t_0$	3,51	2,76

### **Risalita (12 h)**

	<b>PZ2 (m da p.c.)</b>	<b>SI42 (m da p.c.)</b>
Valore livello dinamico	-37,77	-36,38
Residuo rispetto a $t_0$	1,39	1,02

Nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG017 "Rapporto di prova generale – 3<sup>a</sup> fase" sono riportati tutti i dati registrati e i relativi diagrammi temporali.

La prova effettuata è una prova di tipo qualitativo ossia dà indicazioni sulla risposta dell'acquifero alle sollecitazioni applicate dall'emungimento, soprattutto in condizioni di stress come sono quelle applicate con il terzo gradino di prova che con una portata di 3,33 l/s pari a 11,988 mc/h in 12 ore ha permesso di emungere 143,86 mc di acqua.

I dati sopra riportati, soprattutto quelli relativi al terzo gradino, evidenziano un notevole e rapido recupero dell'acquifero, il che indica una capacità di immagazzinamento significativa e, conseguentemente, una notevole difficoltà per effettuare eventuali spurghi ed allontanamenti delle acque per provocare abbassamenti del carico piezometrico sulla volta della galleria, che in tale settore può raggiungere valori di oltre 70 m.

#### **11.6.4. Slug test sui piezometri**

Nel seguito si riporta quanto riscontrato in fase di esecuzione delle prove idrauliche dette "slug test", effettuate sui piezometri sotto riportati:

<b>Sigla</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Misure medie livello statico (m)</b>	<b>Formazione geologica interessata</b>	<b>Note</b>
S8	Casagrande	130	34	Argille brecciate	
S9	Casagrande	110	12,3	Argille brecciate	

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 255 di 351

Sigla	Tipologia	Prof. (m)	Misure medie livello statico (m)	Formazione geologica interessata	Note
S10	Casagrande	130	19,5	Argille brecciate	
SI40	Casagrande	120	21,5	Argille brecciate	
SI41	Casagrande	100	26	Argille brecciate	
SI43	Casagrande	105	20	Argille brecciate	
SI45	Tubo aperto 3"	130	42	Trubi e Argille brecciate	Fenestrazione tra 90 e 130 m
SI46	Casagrande	110	44,3	Argille brecciate	

### **Prova su SI40**

Dopo aver avviato la prova, in data 20/07/2011, con le modalità concordate per lo spurgo, raggiunta la pressione di 9 bar, il motocompressore è andato in protezione spegnendosi ed i livelli dei due tubi piezometrici, calandratati sulla cella di Casagrande posta a -120 m da p.c. (nelle argille brecciate), da un livello piezometrico iniziale, stabilizzatosi a -28 m da p.c., si portavano entrambi (senza differenza di quota reciproca) a -39 m, senza che vi fosse alcuna venuta d'acqua in superficie dal tubo scarico.

Dopo qualche minuto, successivo allo stacco (provocato, come detto, dal blocco di protezione) del compressore, i livelli piezometrici si riportavano alle condizioni iniziali, e cioè, di -28 m da p.c.. Si è provveduto perciò a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 2.8 bar sul tetto della piezometrica) osservando altresì un rapido abbassamento del livello idrico nei tubi; tale effetto ha costretto a continui rabbocchi. Raggiunto successivamente un equilibrio, seppure instabile, si è insufflata nel tubo di mandata, nuovamente, aria compressa in bassa pressione, regolandola, per circa 30 min. A seguito di rottura di detto tubo dell'aria compressa (per raggiunta resistenza) si sospendeva la prova e si leggevano i livelli freaticometrici; essi venivano riscontrati ad una quota di -39.50 m dal p.c., analogamente a quanto rilevato nella prima fase. Anche in questa seconda fase si è osservata una rapida risalita del livello piezometrico.

### **Prova su SI46**

Prima di avviare la prova con le modalità concordate per lo spurgo, si è provveduto a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 4.4 bar sulla piezometrica); insufflando aria compressa in uno dei due tubi della cella Casagrande posta a -110 m, si è osservata una

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 256 di 351

risalita di acqua nel tubo di scarico, che culminava dopo 75' con lo "svuotamento" del tubo. Completata la prima fase iniziava il monitoraggio della "risalita" che ha dato i seguenti risultati:

Data	Ora	Livello Piezometrico (prof. da p.c.)
20/07/11	13.15	44,35 (Prima dello spurgo)
20/07/11	14.30	105,80 (Dopo lo spurgo)
20/07/11	15.30	93.94
20/07/11	16.30	93.26
20/07/11	17.30	92.95
20/07/11	18.30	92.60
20/07/11	19.30	92.40
20/07/11	20.30	92.12
21/07/11	03.30	91.30
21/07/11	09.30	90.40
21/07/11	15.30	89.62
22/07/11	3.30	88.50
22/07/11	15.30	88.75
23/07/11	15.30	76.35
24/07/11	15.30	53.60
25/07/11	15.30	44.95
26/07/11	15.30	44.95
27/07/11	15.30	44.94

### **Prova su S8**

Dopo aver avviato la prova, in data 20/07/2011, con le modalità concordate per lo spurgo, si è provveduto a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 3.3 bar sul tetto della piezometrica), insufflando aria compressa in uno dei due tubi della cella Casagrande posta a maggiore profondità. Si è osservata una risalita di aria nei due tubi della cella posta più in alto.

Dopo 120' di pompaggio di aria, non riscontrando nessuna variazione nel tubo di scarico e continuando a registrare la risalita di aria nei tubi posti a minore profondità, si è provveduto allo spegnimento del motocompressore ed all'interruzione della prova.

### **Prova su SI41**

Prima di avviare la prova, in data 21/07/2011, con le modalità concordate per lo spurgo, si è provveduto a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 2.3 bar sul tetto della piezometrica), e successivamente insufflando aria compressa in uno dei due tubi della cella

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 257 di 351

Casagrande posta a -100 m. Si è osservata una risalita molto lenta di acqua nel tubo di scarico. Tale risalita di acqua si concludeva dopo 100', avendo la consapevolezza che il tubo non si sarebbe riuscito a svuotare del tutto. Si staccava il compressore e si iniziava il monitoraggio che fino alla data del 27/07 è il seguente:

Data	Ora	Livello Piezometrico
21/07/11	11.45	23,75 (Prima dello spurgo)
21/07/11	13.25	58,50 (Dopo lo spurgo)
21/07/11	14.25	50.86
21/07/11	15.25	48.05
21/07/11	16.25	44.30
21/07/11	17.25	42.40
21/07/11	18.25	39.50
21/07/11	19.25	37.25
22/07/11	01.25	31.25
22/07/11	7.25	24.50
22/07/11	13.25	24.30
23/07/11	13.25	24.13
24/07/11	13.25	24.07
25/07/11	13.25	24.04
25/07/11	13.25	24.02
25/07/11	13.25	24.02

### **Prova su S9**

Dopo aver avviato la prova, in data 21/07/2011, con le modalità concordate per lo spurgo, si è provveduto a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 1.2 bar sul tetto della piezometrica), insufflando aria compressa in uno dei due tubi della cella Casagrande posta a maggiore profondità. Si è osservato che nel tubo di scarico, da un livello piezometrico iniziale, stabilizzatosi a -12.50 m, si è giunti a -17.44 m, senza che vi fosse alcuna venuta d'acqua in superficie e si notava una risalita di aria nel terreno circostante i tubi.

Dopo 100' di pompaggio di aria non avvenendo nessuna risalita di acqua si provvedeva a sospendere la prova.

### **Prova su S10**

Dopo aver avviato la prova, in data 21/07/2011, con le modalità concordate per lo spurgo, si è provveduto a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 1.9 bar sul

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 258 di 351

tetto della piezometrica), insufflando aria compressa in uno dei due tubi della cella Casagrande posta a maggiore profondità. Si è osservato che nel tubo di scarico, da un livello piezometrico iniziale, stabilizzatosi a -19.50 m, si è giunti a -25.60 m, senza che vi fosse alcuna venuta d'acqua in superficie.

Dopo 120' di pompaggio di aria non avvenendo nessuna risalita di acqua si è provveduto a sospendere la prova.

### **Prova su SI43**

Dopo aver avviato la prova, in data 21/07/2011, con le modalità concordate per lo spurgo, si è provveduto a riempire entrambi i tubi fino a livello di p.c. (dando cioè una pressione di 1.7 bar sul letto della piezometrica), insufflando aria compressa in uno dei due tubi della cella Casagrande posta a maggiore profondità si notava una risalita di aria nei due tubi della cella posta più in alto.

Nel dettaglio:

- dopo 90', si riscontrava la variazione di livello nel tubo di scarico (tra -15 m e -6 m in alternanza);
- dopo 150', il livello si abbassava a -28 m;
- dopo 180', si interrompeva la prova in quanto non si è registrato alcun effetto di risalita.

### **Prova su SI45**

Inserita la pompa ad una quota di 78 m dal p.c., si è riscontrato un livello di falda pari a 45,42 m. Avviata la fase di emungimento per 30' (oltre i quali non si pompava acqua per problemi di prevalenza della pompa) si riscontrava un livello di falda pari a 58,95 m.

Il monitoraggio effettuato ha registrato i seguenti dati:

<b>Data</b>	<b>Ora</b>	<b>Livello Piezometrico</b>
25/07/11	17.45	Lettura di zero 45.42
25/07/11	18.15	Termine emungimento 58.95
25/07/11	18.45	58.20
26/07/11	06.15	46.10
26/07/11	12.15	45.88
26/07/11	18.15	45.69
26/07/11	06.15	45.69

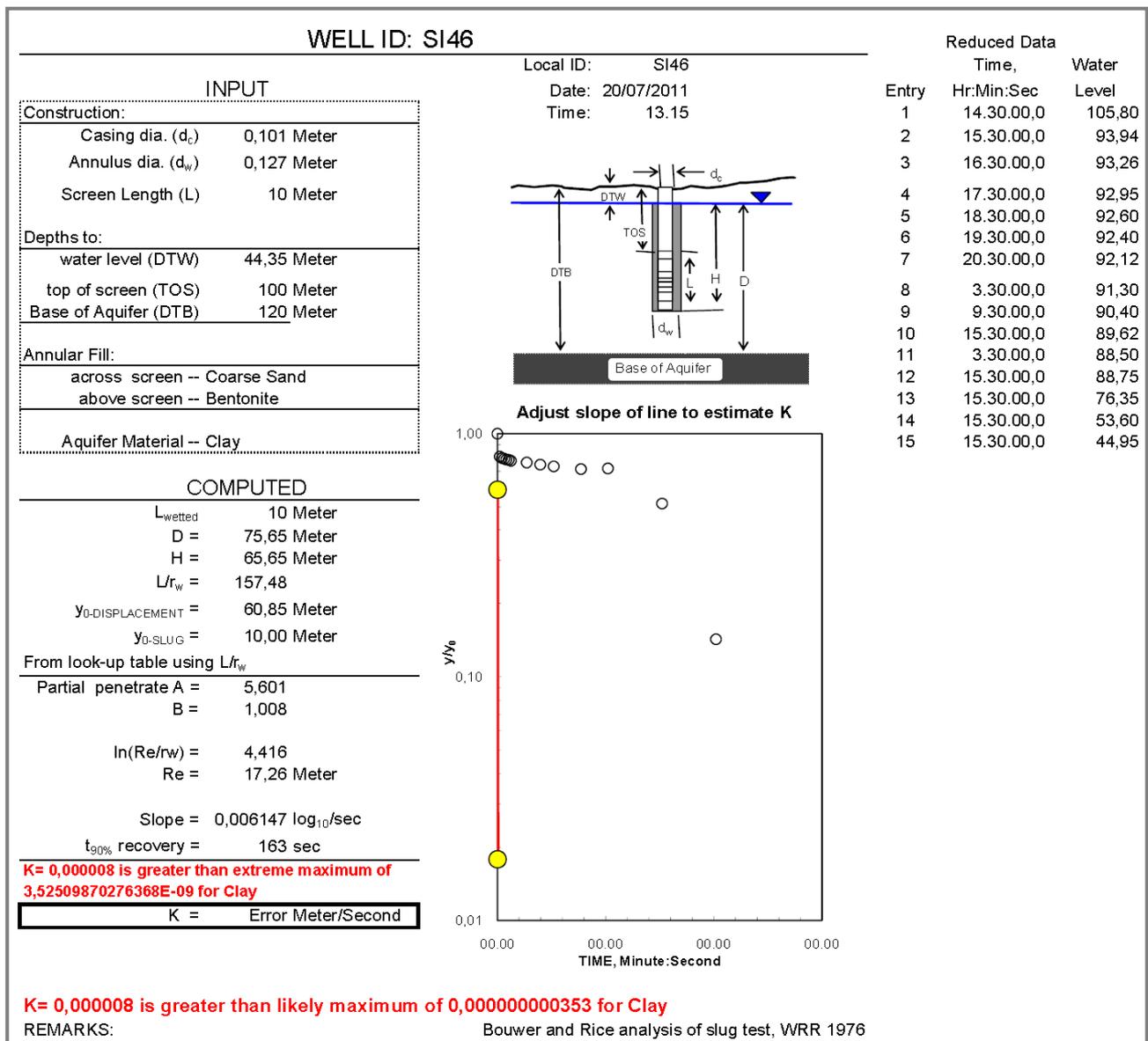
<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 259 di 351

## Risultati

Per applicare la teoria esposta nel § 6.4.2 ai casi in esame si è utilizzato un software proveniente dal sito del USGS (*US Geological Survey – www.usgs.gov*) denominato *Slug\_Bouwer-Rice.xls*, che gira su foglio di calcolo di *Excel*. Nel seguito si espongono le applicazioni ai piezometri SI46, SI41, SI45, unici punti in cui le prove, tra quelle sopra descritte, hanno avuto esito positivo.

### SI46

La figura riportata nel seguito illustra l'output dell'iter di calcolo applicato al caso del piezometro SI46, tramite il suddetto software.



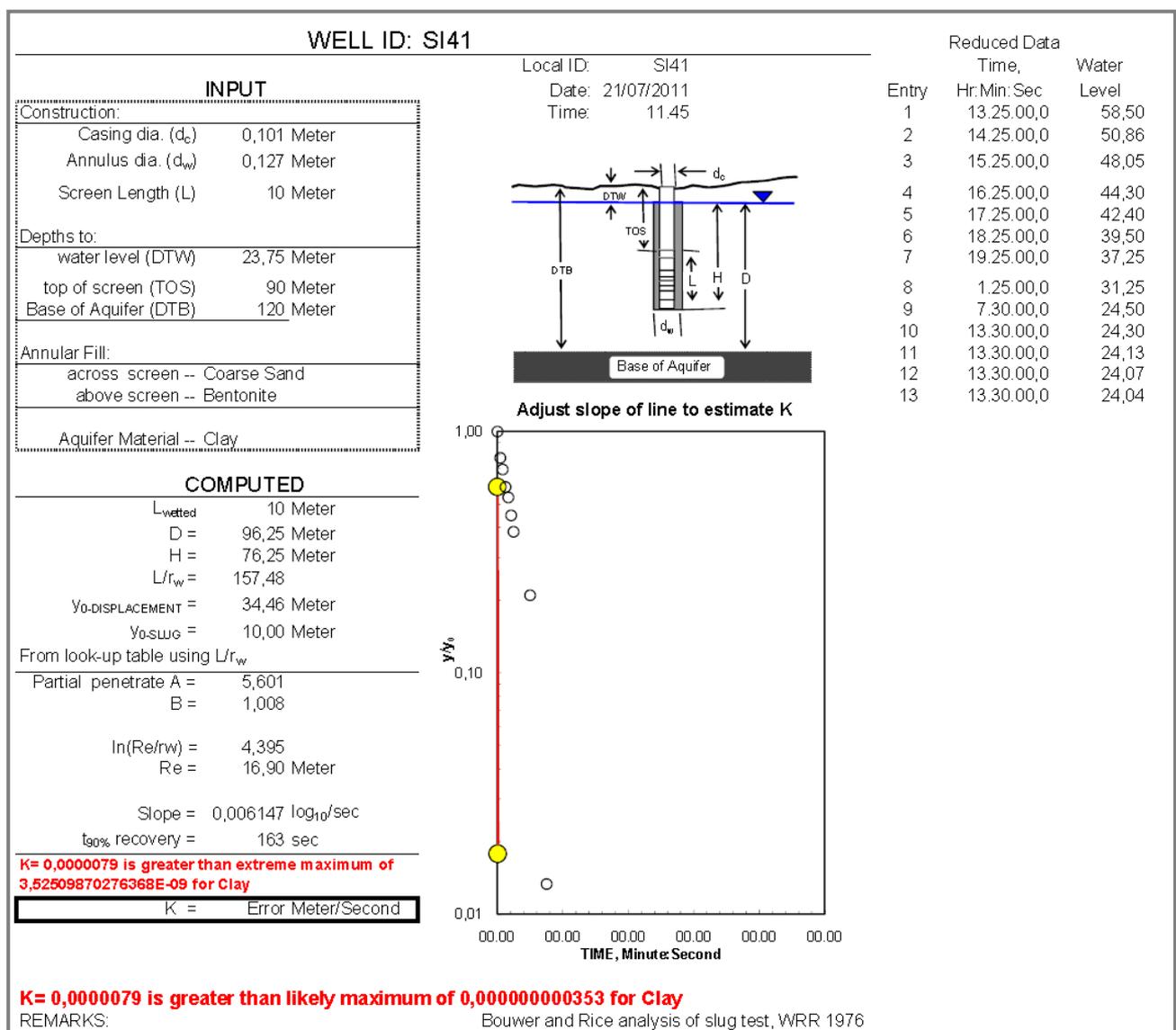
Il valore di permeabilità ottenuto è pari a:

$$K = 8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

L'output grafico sopra riportato evidenzia che il valore di permeabilità ottenuto è anomalo rispetto al valore massimo standard per la litologia considerata (argille) nell'input del sistema di calcolo.

### SI41

La figura riportata nel seguito illustra l'output dell'iter di calcolo applicato al caso del piezometro SI41, tramite il suddetto software.



Il valore di permeabilità ottenuto è pari a:

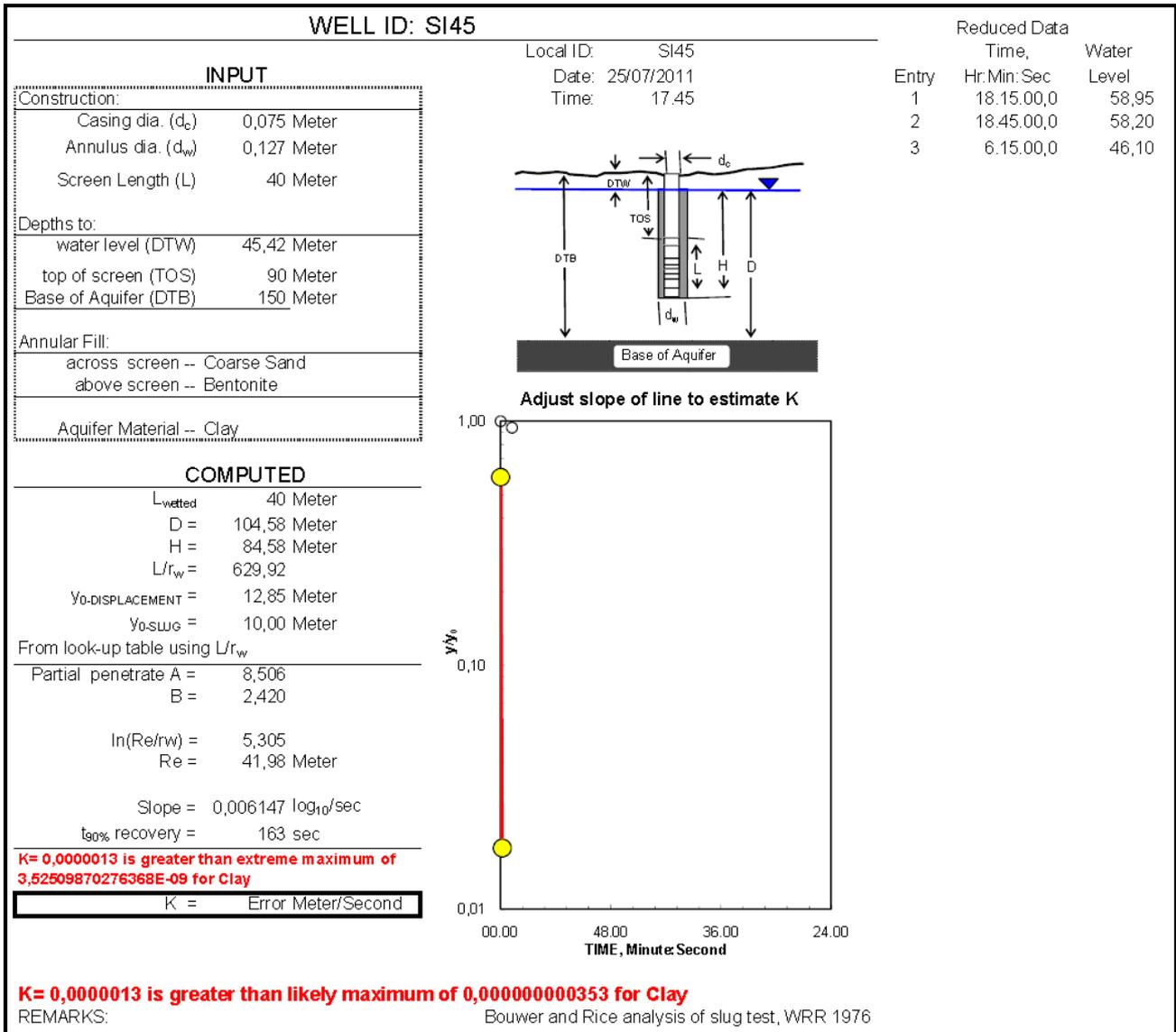
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 261 di 351

**$K = 7,9 \times 10^{-6} \text{ m/s}$**

L'output grafico sopra riportato evidenzia che il valore di permeabilità ottenuto è anomalo rispetto al valore massimo standard per la litologia considerata (argille) nell'input del sistema di calcolo.

**SI45**

La figura riportata nel seguito illustra l'output dell'iter di calcolo applicato al caso del piezometro SI45, tramite il suddetto software.



Il valore di permeabilità ottenuto è pari a:

**$K = 1,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 262 di 351

L'output grafico sopra riportato evidenzia che il valore di permeabilità ottenuto è anomalo rispetto al valore massimo standard per la litologia considerata (argille) nell'input del sistema di calcolo.

### **Considerazioni**

I valori di permeabilità ottenuta sono del tutto simili a quelli derivanti dalle prove in foro (Le Franc) effettuate, però, su altri punti e in corrispondenza di altre formazioni.

Nel caso in esame le celle di Casagrande (SI46 e SI41) sono ubicate in corrispondenza delle argille brecciate, ad eccezione del piezometro a tubo aperto SI45, il cui tratto filtrante ricade in parte nei trubi e in parte nelle argille brecciate, mentre nelle prove in foro ci si trova sempre nelle argille marnose dei trubi.

Ne consegue che nelle zone in prossimità dei tratti filtranti dei piezometri il contesto della matrice solida che contiene l'acqua consente che questa si muova all'interno di essa come se tale matrice avesse una permeabilità di grado medio-basso, anziché bassissimo o nullo come si associa normalmente alle argille.

#### **11.6.5. Confronto tra i valori di permeabilità ottenuti nelle varie prove**

Nel seguito si riporta una tabella riepilogativa di confronto tra i valori di permeabilità ottenuti dalle varie prove effettuate sui piezometri installati e sui sondaggi eseguiti.

Sondaggio	Prova Le Franc		Slug Test		Prova di emungimento		Formazioni geologiche interessate
	Prof. (m)	Permeabilità (m/sec)	Prof. (m)	Permeabilità (m/sec)	Prof. (m)	Permeabilità (m/sec)	
SI39	60	$5,06 \cdot 10^{-5}$	--	--	--	--	Trubi
	81	$4,84 \cdot 10^{-5}$					Trubi
	88	$3,25 \cdot 10^{-5}$					Trubi
SI40	120	$4,35 \cdot 10^{-5}$	--	--	--	--	Argille brecciate
	130	$6,62 \cdot 10^{-5}$					Argille brecciate
SI41	60	$4,59 \cdot 10^{-5}$	100	$7,9 \cdot 10^{-6}$	--	--	Argille brecciate
	100	$4,52 \cdot 10^{-5}$					Argille brecciate
SI42	60,50	$5,95 \cdot 10^{-7}$	--	--	110	$6,3 \cdot 10^{-6}$	Trubi
	70,50	$3,04 \cdot 10^{-5}$					Trubi
	110,00	$7,76 \cdot 10^{-5}$					Calcari
SI43	--	--	--	--	105	$2 \cdot 10^{-7}$	Argille brecciate
SI44	60	$1,67 \cdot 10^{-6}$	--	--	--	--	Trubi
SI45	60	$1,31 \cdot 10^{-7}$	90÷130	$1,3 \cdot 10^{-6}$	--	--	Trubi
							Trubi / Argille brecciate
SI46	60	$1,90 \cdot 10^{-6}$	110	$8 \cdot 10^{-6}$	--	--	Trubi
	95	$1,14 \cdot 10^{-6}$					Argille brecciate

**Tabella 11.16 – Confronto tra i valori di permeabilità ottenuti nelle tre tipologie di prove adottate**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 263 di 351

I valori riportati, laddove confrontabili tra le varie prove (SI41, SI42, SI46), sono tra loro simili e dimostrano, in generale, caratteristiche di conducibilità idraulica delle formazioni interessate non associabili a litotipi quali possono essere quelli a carattere argilloso, ma evidenziano un comportamento riconducibile a mezzi acquiferi più permeabili, confermando quanto affermato nel § 11.5: tali valori, non associabili a formazioni argillose in condizioni normali, sono certamente riconducibili, oltre alla presenza di orizzonti limosi con una certa permeabilità primaria, a situazioni di intensa fratturazione delle suddette argille, causata dalla tettonizzazione riscontrata che induce una permeabilità secondaria per fratturazione che supplisce alla ridotta porosità della matrice argilloso-limosa.

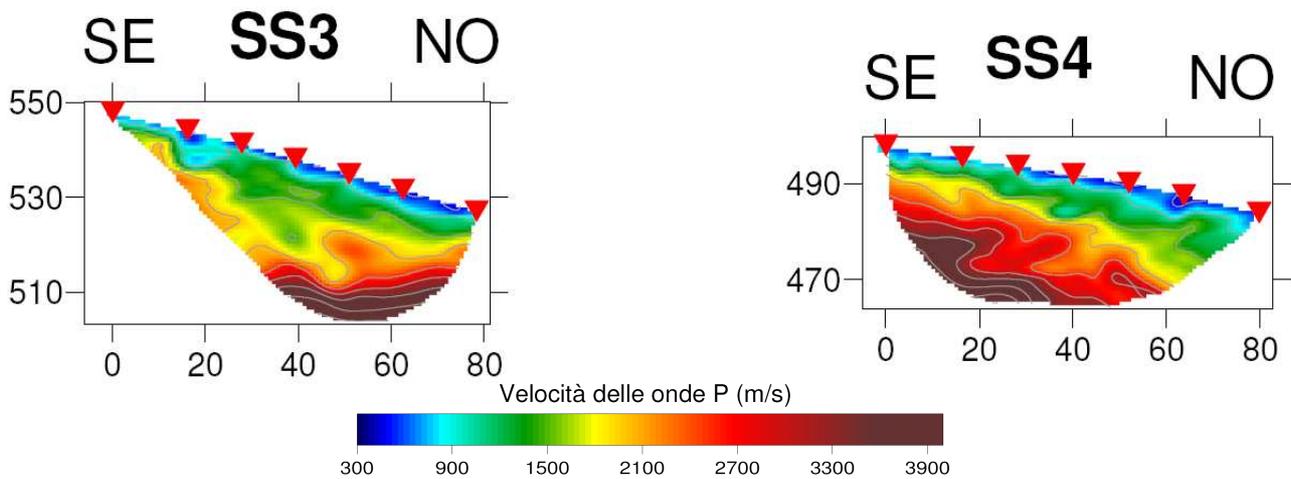
### 11.7. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

In corrispondenza della zona di imbocco lato Sud della galleria "Caltanissetta" e per tutto il corpo della galleria, gli studi condotti hanno evidenziato in superficie un assetto geomorfologico stabile e conservativo. L'ampia contrada S. Elia presenta una "normale" evoluzione del territorio, mentre sono da escludere fenomeni gravitativi superficiali e profondi. Lo stesso non si può dire in merito alla presenza di faglie o discontinuità strutturali che dislocano e complicano l'assetto stratigrafico sia in superficie che in profondità. Il settore si caratterizza in superficie per un esteso deposito afferente alla formazione marnoso – arenacea, che ha ricoperto i Trubi, disponendosi in assetto sub orizzontale a formare un ampio e dolce rilievo collinare.

Per il settore di imbocco lato Nord si ha un contesto geomorfologico differente con affioramenti di argille brecciate a costituire un versante debolmente pendente nel tratto iniziale (dove ricade l'imbocco), che diviene aspro e in assetto calanchivo oltre la galleria in prossimità del viadotto che supera l'asta fluviale. Le argille brecciate plioceniche presentano nella porzione superficiale una fascia alterata di limo argilloso plastico. Le indagini sismiche condotte in tale zona (SS3, SS4) hanno evidenziato determinati spessori ( $\approx 5$  m) di materiali a bassa velocità, imputabili a livelli di terreno superficiale alterato soggetto a fenomeni di dissesto gravitativo (scivolamenti, soliflussi ecc.); a tal fine è stato installato un inclinometro (S11/2010) per monitorare la stabilità del versante.

Il versante in oggetto, è interessato da processi erosivi in atto, che iniziano alla base del pendio, in prossimità del vallone, che operano un continuo scalzamento ed erosione dell'ammasso argilloso (cfr. § 7.4.4). Il versante evolve in assetto calanchivo, determinando una continua denudazione e rapida evoluzione del pendio con arretramento verso monte. Procedendo oltre, nel settore di raccordo tra galleria e viadotto, i fenomeni erosivi si limitano a soliflussi generalizzati che interessano la copertura di suolo che presenta modesti lobi e increspature.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 264 di 351



**Fig. 11.11 – Profili di sismica a rifrazione tomografica effettuati in corrispondenza dell’imbocco lato A19, in cui si evidenziano strati superficiali a minore velocità imputabili a livelli alterati e soggetti a dissesti gravitativi**

Ovviamente nel settore è previsto un intervento di sistemazione idraulica dell’asta fluviale al fine di bloccare l’evoluzione negativa del piede del versante e dell’area calanchiva, a protezione dei manufatti posti a monte. Inoltre i muri di sottoscampa dei rilevati e le altre opere d’arte a corredo dell’imbocco della galleria, sono previste con fondazioni indirette su pali al fine di superare i dissesti superficiali ed ancorarsi al substrato profondo. Per i particolari esecutivi consultare gli specifici elaborati di progetto.

## 11.8. MANIFESTAZIONI DI GAS

### 11.8.1. Presenza di idrocarburi leggeri

In corrispondenza dei sondaggi di Fase 2 (SI 27) e di Fase 3 (SI41 e SI42) (tra le progressive di progetto Km 15+800 e 15+900) alla quota delle argille brecciate tortoniane sottostanti (poste a oltre 110 m di profondità), poste inferiormente ai livelli di calcare evaporitico, a livello organolettico, sono state riscontrate evidenze di idrocarburi in fase gassosa, nella matrice terrosa appena estratta dalle carote dei summenzionati sondaggi.

Per tale motivo, durante il sondaggio SI27 è stato prelevati un campione della matrice gassosa presente in foro tramite fiala a carboni attivi tipo Dräger. I parametri ricercati nelle indagini condotte in laboratorio rientrano tutti nel gruppo dei Composti Organici Volatili (COV) ossia idrocarburi con C inferiore a C<sub>12</sub> che comprendono un ampio spettro di famiglie di idrocarburi quali:

- Aromatici (famiglia dei benzeni, etilbenzeni, tolueni e xileni)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 265 di 351

- Alifatici clorurati
- Alifatici alogenati
- Nitrobenzeni
- Clorobenzeni

Tali idrocarburi sono facilmente volatilizzabili e degradabili in ambiente aerobico e, pertanto, facilmente riscontrabili laddove sono presenti fasi idrocarburiche sia pesanti che leggere che, a contatto con l'aria, tendono a degradarsi per ossidazione dando luogo a molecole aerodispersibili.

Dalla tabella allegata si evince la presenza di determinate concentrazioni di **aromatici**, in particolare:

- **Trimetilbenzene** con concentrazione pari a **1,66 µg/m<sup>3</sup>**
- **Etilbenzene** con concentrazione pari a **4,31 µg/m<sup>3</sup>**
- **m-Xilene + p-Xilene** con concentrazione pari a **16,23 µg/m<sup>3</sup>**
- **o-Xilene** con concentrazione pari a **4,97 µg/m<sup>3</sup>**
- **Toluene** con concentrazione pari a **18,55 µg/m<sup>3</sup>**

Le concentrazioni sopra riportate sono inferiori a quelle percettibili organoletticamente ma ciò si spiega con la metodologia di campionamento. Infatti si è proceduto al campionamento dalle aste di perforazione includendo, pertanto, una miscela fortemente diluita tra aria e idrocarburi. Ne deriva, pertanto, che all'origine ossia direttamente nelle argille le concentrazioni dovrebbero essere molto superiori.

Dalle informazioni derivanti dalla consultazione della letteratura geologica e dal confronto con esperienze in situazioni simili in zone geologicamente confrontabili, si deduce che la presenza degli idrocarburi è derivante dal processo di dilavamento e degradazione dei livelli bituminosi presenti nei calcari evaporitici sovrastanti le argille tortoniane. Tali situazioni sono, pertanto, comunemente riscontrabili nelle zone di contatto tra la base della serie evaporitica messiniana (Calcari di Base) e il top della formazione Terravecchia con le marne argillose del Tortoniano.

I composti ritrovati sono associabili, quindi, ai prodotti derivanti dalla lenta degradazione degli idrocarburi pesanti che costituiscono i summenzionati livelli bituminosi, prodotti naturali che per la loro costituzione molecolare sono simili agli aromatici, notoriamente derivanti dalla distillazione del pe-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 266 di 351

trolio, ad eccezione dell'Etilbenzene e degli Xileni che si trovano naturalmente nel petrolio e nel catrame.

Si rende noto che in altri sondaggi (SI41, SI42, PZ2) effettuati durante l'esecuzione della campagna di Fase 3 delle indagini integrative è stata riscontrata la medesima presenza organolettica di idrocarburi, proprio in corrispondenza dei livelli basali evaporitici e del top delle argille Tortoniane.

#### **11.8.2. Presenza di metano e altri gas**

Alla luce di tutto ciò sono stati effettuati ulteriori controlli sulle matrici acqua e gas prelevati nei summenzionati sondaggi, in particolare in quelli campionabili quali SI27 e PZ2.

Le analisi condotte sul pozzo effettuato per la prova di emungimento, il PZ2, i cui risultati sono riportati nella seguente figura (*cf. Fig. 11.12*), hanno evidenziato la presenza di solfati ( $\text{SO}_4^-$ ), cloruri ( $\text{Cl}^-$ ) e idrogeno solforato ( $\text{H}_2\text{S}$ ) con valori di concentrazioni particolarmente interessanti, rispettivamente pari a:

- 785 mg/l per i solfati,
- 1360 mg/l per i cloruri,
- 91,9 mg/l per l'idrogeno solforato.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 267 di 351

Fig. 11.12 – Stralcio del RdP sulle analisi delle acque del PZ2

 C.F. - Iscr. C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874 P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale. € 102.774,92		Timbro a secco		Laboratorio: C.da Calderaro (Zona Ind.) C.P. 287 – 93100 Caltanissetta
		Certificato N. CCC 019 235      03/05/2011	Protocollo N. CCA 004 042 Data accettazione: 15/04/2011 Data prova: inizio 15/04/2011 fine 28/04/2011 Materiale: acqua	Tel.: 0934 565012 Fax.: 0934 575422 e-mail: info@sidercem.it

Analisi chimica Acqua

Prova	U.d.m.	Campione C1	Metodo
Temperatura	°C	16.9	Manuale APAT IRSA CNR 29/2003 – Sezione 2060
pH	unità di pH	7.76	Manuale APAT IRSA CNR 29/2003 – Sezione 2060
Conducibilità	µS/cm	5498	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Solidi Totali Disciolti	ppm	4317	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Salinità	ppm	5966	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Durezza totale	°F	31.2	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Solfati (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	785	Manuale APAT IRSA CNR 29/2003 – Sezione 4140 – Metodo B
Cloruri	mg/l	3000	Manuale APAT IRSA CNR 29/2003 – Sezione 4090 – Metodo A1
Fluoruri	mg/l	4.25	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/l	< 5	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/l	< 0.05	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Sodio	mg/l	637.3	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Calcio	mg/l	76.97	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Magnesio	mg/l	29.05	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Potassio	mg/l	26.37	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Bicarbonati (HCO <sub>3</sub> )	meq/l	16.0	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
CO <sub>2</sub> aggressiva	mg/l	46.2	UNI 8981
Idrogeno solforato (H <sub>2</sub> S)	µg/l	91900	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006
Silice (SiO <sub>2</sub> )	mg/l	67.6	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006

Documentazione fotografica



Pozzo PZ2



Prelievo campione PZ2

Il Consulente Responsabile di Commessa  
 dott. ing. *Marcella Venturelli*

Il Vice Direttore di Laboratorio  
 dott. geol. *Sabrina Chiavetta*

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCER s.r.l.

Foglio 2 di 2

Per quanto riguarda il campionamento effettuato nel piezometro SI27 le analisi condotte sui gas estratti tramite gorgogliamento dalla matrice acqua, i cui risultati sono riportati nella seguente figura (cfr. Fig. 11.13), hanno evidenziato la presenza di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> con valori di concentrazioni particolarmente interessanti, rispettivamente pari a:

- 4,5÷4,6 % per l'anidride carbonica,
- 170 ppm per il metano.

<b>Analisi sostanze organiche volatili – SI27</b>	
<b>Sostanze organiche volatili</b>	<b>Concentrazione</b>
CO <sub>2</sub>	4.5 – 4.6 %
CH <sub>4</sub>	170 ppm

Il Consulente Responsabile di Commessa  
 dott. ing. *Marcella Venturelli*

Il Vice Direttore di Laboratorio  
 dott. *geol. Sabrina Chiavetta*

**Fig. 11.13 – Stralcio del RdP sulle analisi dei gas derivante da gorgogliamento delle acque di SI27**

### Dati storici

Al fine di ampliare il quadro conoscitivo della fenomenologia riscontrata, sono state condotte delle ricerche bibliografiche presso gli uffici dell'URIG (Ufficio Regionale per gli Idrocarburi e la Geotermia) dell'Assessorato Regionale Industria – Corpo Regionale delle Miniere.

Le ricerche svolte hanno condotto all'acquisizione di documenti (stratigrafie di perforazioni per le ricerche di idrocarburi) in cui si evince la presenza di manifestazioni di gas, avvenute durante le perforazioni condotte per la ricerca di idrocarburi in territorio nisseno, riscontrate alle quote corrispondenti alle formazioni argillose del Tortoniano, le medesime in cui si è evidenziata la presenza organolettica di idrocarburi, a profondità comunque notevoli (oltre i 1000 m dal p.c.) rispetto a quanto rinvenuto nei sondaggi eseguiti nel progetto esecutivo in oggetto.

In particolare i pozzi, perforati nel 1970 (il primo) e nel 1959 (gli altri 3), di cui si sono acquisite le documentazioni stratigrafiche sono:

<b>ID</b>	<b>Località</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Coord. geografiche</b>	<b>Prof. manifest. gas</b>
Pozzo n° 1	Enna	4739	37°32'38,6"N - 1°43'54,5"E	233 0 m
Villarosa 1	Villarosa (Enna)	1304	37°39'55"N - 1°42 '46"E	1070 m
Villarosa 2	Villarosa (Enna)	1393	37°40'28"N - 1°44 '30"E	860 m
Villarosa 3	Villarosa (Enna)	1340	37°38'12"N - 1°44 '12"E	nessuna

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 269 di 351

Nel sito di internet dell'Ufficio Nazionale Minerario per gli idrocarburi e la geotermia, inoltre, sono state acquisite ulteriori informazioni sulla seguente perforazione eseguita per la ricerca petrolifera nei pressi della zona in esame:

<b>ID</b>	<b>Località</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Coord. geografiche</b>	<b>Prof. manifest. gas</b>
S. Cataldo 1	S. Cataldo (CL)	-	37°32'09"N - 1°32'41 "E	Non nota

### **11.8.3. Correlazioni con i fenomeni delle maccalube di Caltanissetta**

Il riscontro di tali gas, congiuntamente con i valori analitici delle acque del PZ2, induce ad associare tali valori ai fenomeni dei vulcanelli di fango, noti come "maccalube", manifestatisi nella zona di Caltanissetta in tempi storici e recenti.

#### **Descrizione del fenomeno dei vulcanelli di fango**

In particolare le "Maccalube" (dall'arabo *maq'lub*, terra che si rivolta) sono un particolare quanto raro fenomeno di vulcanesimo sedimentario che si è manifestato con notevole evidenza nell'agosto 2008 nella zona nissena di Terrapelata, la cosiddetta Collina dei vulcanelli, vicino al Villaggio Santa Barbara.

L'area delle Maccalube è una zona, brulla da ciò deriva il nome della località Terra Pelata, che presenta dei colori predominanti che variano dal biancastro al grigio scuro, e in cui si trovano una serie di vulcanelli di fango alti intorno al metro, protagonisti del vulcanesimo sedimentario. Il fenomeno è legato alla presenza di terreni argillosi poco consistenti, intercalati da livelli di acqua salmastra, che sovrastano bolle di gas metano sottoposto ad una certa pressione. Il gas, attraverso discontinuità del terreno, affiora in superficie, trascinando con sé sedimenti argillosi ed acqua, che danno luogo ad un cono di fango, la cui sommità è del tutto simile ad un cratere vulcanico. La migrazione del gas e di fango verso la superficie avviene lungo lineamenti di debolezza strutturale. Il motore che ne causa la risalita va ricercato nell'effetto combinato della spinta di galleggiamento dei sedimenti sepolti e nell'incremento della pressione interstiziale dei fluidi all'interno degli stessi sedimenti.

#### **Osservazioni geochimiche**

Il gas emesso dai vulcanelli di fango è prevalentemente costituito da idrocarburi ed in particolare da metano, l'idrocarburo gassoso più leggero in concentrazioni in molti casi superiori al 90% in volume. Altri gas come l'anidride carbonica, l'elio, l'idrogeno solforato, l'azoto, l'ossigeno e gli idrocarburi gassosi superiori sono presenti in concentrazioni minori e variabili da sito a sito. L'acqua

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 270 di 351

associata alle emissioni gassose è generalmente salata o salmastra poiché attraversa anche depositi evaporitici. Tuttavia processi di interazione tra fluidi e sedimenti determinano sostanziali modifiche della composizione chimica.

I quantitativi, davvero modesti di gas e le pressioni molto basse con il quale il gas fuoriesce portano a supporre che si tratti del metano originato dagli strati di Tripoli, migrato negli strati di calcare e gesso e, solo parzialmente, "intrappolato" dalle argille brecciate.

### **Considerazioni**

Dall'analisi di quanto detto sopra e dalla verifica dei dati chimici derivanti dalle analisi svolte sulle acque e sui gas (presenza di metano, anidride carbonica, idrogeno solforato, solfati e cloruri), storici e di letteratura, ne deriva che non è affatto azzardato associare quanto riscontrato con i fenomeni appena descritti.

In fase di realizzazione dello scavo e di messa in opera delle strutture della galleria, si evidenzia, pertanto la possibilità di poter incontrare sacche di gas con presenza dei summenzionati composti, con la conseguente adozione dei dovuti accorgimenti quali monitoraggi e sistemi di prevenzione e misure di sicurezza.

Non meno importante è la situazione in fase di esercizio dell'opera, in cui le strutture potrebbero essere soggette ad infiltrazioni di tali gas con le dovute conseguenze del caso.

I sistemi di aereazione forzata, in entrambi i casi, sono indispensabili e da considerarsi come soluzione complementare ai monitoraggi in continuo insieme ad altre soluzioni che i progettisti ritengono più opportune.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 271 di 351

## 12. GALLERIA NATURALE SAN FILIPPO: ASSETTO GEOLOGICO

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Galleria Naturale "S. Filippo"	17+450	17+640	176 (SX) 192 (DX)

### 12.1. GEOLOGIA

La tipologia costruttiva della Galleria naturale "San Filippo", prevede l'attraversamento della formazione delle brecce argillose tortoniane. Specificatamente dalla prog. 17+000 alla 17+640 il tracciato, dopo la galleria Caltanissetta, ritorna in affioramento sino alla galleria San Filippo e ricade ancora nelle brecce argillose tortoniane (**TRVB** – cfr. § 2.4.1).

La campagna di indagine eseguita, ha evidenziato un orizzonte superficiale alterato della formazione argillosa con spessori inferiori ai 5 m, caratterizzato da limi argillosi giallastri. Particolare attenzione dovrà essere, quindi, tenuta in corrispondenza degli imbocchi dove si incontreranno i livelli sommitali alterati della argille, con caratteristiche geotecniche più scadenti.

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati a diverse profondità hanno evidenziato all'interno dello stesso litotipo un comportamento geotecnico differente.

In sintesi la formazione che interessa direttamente la galleria è la seguente:

Opere d'arte principali	Progressive		Formazione geologica interessata
	Inizio	Fine	
Galleria Naturale "S. Filippo"	17+450	17+640	Brecce argillose ( <b>TRVB</b> ) da 0 m da p.c. - livello alterato da 0 a -5 m da p.c. - Brecce Argillose intermedie da -5 a -15 m da p.c. - Brecce Argillose profonde da -15 m sino in prof.

**Tabella 12.1 – Opere d'arte del tratto 2**

Per le stratigrafie di calcolo specifiche e per tutte le analisi e prove eseguite si rimanda ai relativi elaborati geotecnici e geomeccanici.

### 12.2. IDROGEOLOGIA

In merito alla Galleria San Filippo, l'affioramento del complesso argilloso impermeabile ha determinato l'assenza di falda o potenziali acquiferi significativi. Sono riscontrabili solo deflussi sub-superficiali di acque presenti nei livelli sommitali alterati delle argille e che seguono, pertanto, la morfologia esterna. Tali deflussi sono più che altro stagionali e tendono ad alimentare solo le ac-

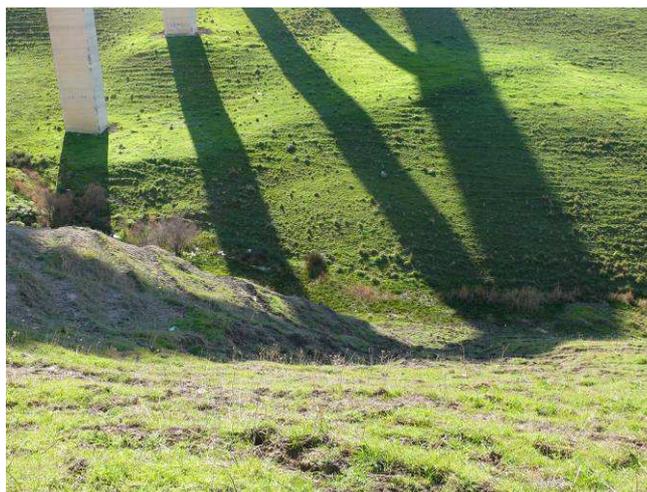
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 272 di 351

que di scorrimento superficiale che alimentano i vari corsi d'acqua presenti negli impluvi e nelle vallate.

### 12.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La contrada San Filippo Neri si caratterizza per un vasto e continuo affioramento argilloso in assetto collinare, con creste argillose allungate in senso N-O / S-E e sub parallele tra loro, solcate da impluvi e valloni che hanno determinato delle ampie valli a "V".

I versanti presentano processi di denudazione e modellamento causati dal ruscellamento diffuso e dall'erosione al piede del versante esercitata dai valloni e torrenti, sebbene non è proprio il caso del torrente che scorre al piede del versante dove insisterà l'imbocco lato Caltanissetta della galleria (cfr. figg. 12.1 e 12.2)



**Fig. 12.1 – Torrente sottostante il pendio interessato dall'imbocco lato Caltanissetta della galleria**



**Fig. 12.2 – Vista del medesimo torrente della fig. 12.1, nel suo corso poco più a valle**

I pendii più dolci presentano soliflussi generalizzati con increspature del terreno e lobi, che possono evolvere in colamenti superficiali dove la pendenza è maggiore. Alcuni versanti molto rapidi in prossimità delle aste fluviali hanno assunto un assetto tipicamente calanchivo.

Le indagini sismiche in risoluzione tomografica (cfr. fig. 7.4.8), effettuate in corrispondenza del Viadotto S. Filippo Neri e dell'imbocco della galleria lato Caltanissetta, hanno evidenziato la presenza di zone alterate e decomprese con valori di velocità sismica ( $V_p$ ) compresi tra circa 900 m/s e 1500 m/s, associabili alla presenza di argille rimaneggiate, con uno spessore variabile da 3 a 5 metri, che poggiano sopra un substrato caratterizzato da maggiori valori di velocità sismica (che gradualmente arrivano anche oltre i 3000 m/s) interpretabile con la presenza di argille maggior-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 273 di 351

mente consolidate. L'andamento geometrico irregolare dell'interfaccia tra queste litologie è dovuto a fenomeni di dissesto gravitativo.



**Fig. 12.3 – Dissesti gravitativi superficiali verificatisi nella zona immediatamente sovrastante l'imbocco della GN S. Filippo**



**Fig. 12.4 - Particolare del versante rappresentato nella fig. 12.3, con evidenza delle zolle di terreno interessate dagli scorrimenti superficiali**

La rete idrografica risulta sviluppata, con numerosi impluvi di primo e secondo grado a *pattern* convergente e/o subdentritico. I valloni presenti in zona, San Giuliano e S. Filippo Neri sono a regime stagionale limitato al periodo invernale e presentano processi erosivi di fondo con incisione dell'alveo e delle sponde. In tal senso è già nel PD è stato programmato un intervento di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, da riconfermare nel Progetto Esecutivo.

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 274 di 351

### 13. GALLERIA NATURALE COZZO GARLATTI: ASSETTO GEOLOGICO

Denominazione	Progressive		Lunghezza
	Inizio	Fine	
Galleria naturale "Cozzo Garlatti"	25+830	26+010	192 (SX) 175 (DX)

#### 13.1. GEOLOGIA

Dal Km 25+830, dove è prevista l'unica galleria naturale della parte terminale di tracciato (Galleria "Cozzo Garlatti") che interseca la formazione Terravecchia, l'area è interessata da una importante piega anticlinale il cui lato occidentale ricade lungo il tracciato di progetto ed insiste in due differenti litologie e modelli geologico-tecnici. Si tratta di arenarie conglomeratiche e conglomerati con ciottoli quarzarenitici e in minore misura granitoidi. Comune è la stratificazione incrociata prodotta da correnti trattive e frequenti sono le interstratificazioni di livelli decimetrici di argille marnoso – sabbiose. E' probabile che la presenza di queste interstratificazioni abbia provocato dei fenomeni superficiali di dissesto con movimenti di scivolamento proprio a contatto di strati meno coerenti in occasione dei maggiori eventi pluviometrici (vedi carta geomorfologica). Anche la stessa giacitura degli strati, con una pendenza che va dai 40-45° a franapoggio può favorire l'innescio di tali fenomeni franosi superficiali. Ad Ovest del rilievo in esame, sembrerebbe decorrere una struttura distensiva che interessa la formazione argillosa.

##### 13.1.1. Assetto geostrutturale

L'ammasso roccioso è costituito da calcareniti, sabbie e conglomerati in strati, spessi mediamente da 20 a 60 cm, fino ad un massimo di 170 cm ca., separati da partimenti prevalentemente argilloso - limoso - sabbiosi. La facies sabbiosa, appartenente alla Formazione "Terravecchia", è ascrivibile al Tortoniano ed è costituita da sabbie di colore giallastro, talora ben classate, e con una composizione quasi esclusivamente quarzosa, e dalle arenarie (**TRVA**), di colore giallastro, in banconi separati da interstrati marnoso - sabbiosi poco compatti; a luoghi sono anche presenti affioramenti calciruditici e calcarenitici a stratificazione incrociata relazionabile a correnti trattive che testimoniano un ambiente di deposizione fluvio – deltizio

I livelli prettamente calcarenitici, spesso duri e compatti, si alternano più o meno ritmicamente alle sabbie ed ai conglomerati, ma presentano spessori più esigui delle componenti incoerenti.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 275 di 351

A grande scala, il comportamento dell'ammasso è da considerare al passaggio tra una roccia debole (weak rock) ed un terreno.

Le misure condotte presso le 3 stazioni di rilievo ricadenti nel dominio strutturale considerato sono state restituite nelle singole schede in appendice alla Relazione geologico-strutturale (elaborato progettuale GE208GI01ZRD007B); i dati complessivi sono stati riportati, infine, in diagrammi di frequenza, rappresentativi del dominio di appartenenza.

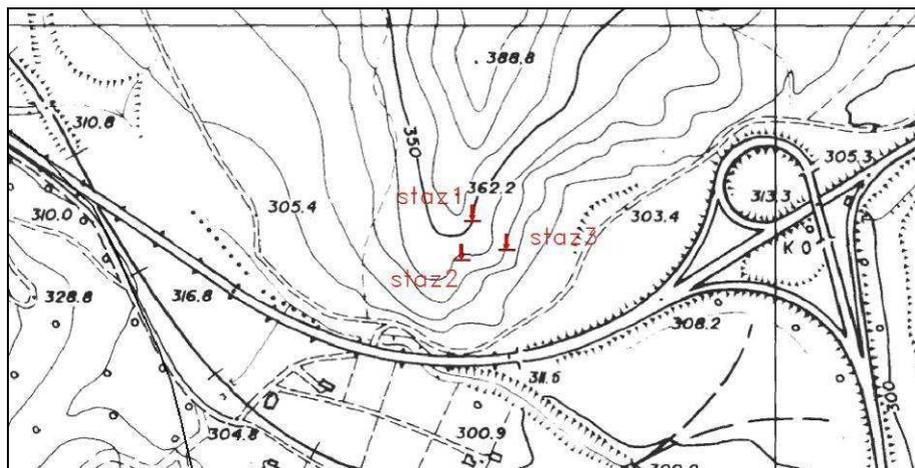


Figura 13.1 - Ubicazione delle stazioni 1, 2 e 3, presso la progressiva PK 25+900

### STAZIONE 1



Figura 13.2 - Panoramica della stazione 1, con rappresentazione schematica delle principali discontinuità.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 276 di 351

Nella fig. 13.2 è riportata la panoramica della stazione 1, con rappresentazione schematica delle principali discontinuità: in blu la ciclografica del set n.1, in rosso quella del set n.2, in giallo quella del set n.3. La ciclografica in verde fitta la giacitura media di strato. N. dati: 58; intervalli di frequenza: 2, 4, 8, 16%; frequenza massima: 32,76%.

La descrizione strutturale dell'affioramento litoide della stazione 1 è la seguente:

*Sabbie e conglomerati a ciottoli eterometrici arrotondati, spessi da 30/60 cm fino ad un massimo di 170 cm ca., separati da livelletti di sabbie limose, limi e argille grigiastre spessi mediamente 8/12 cm. Gli strati sabbioso-ghiaiosi presentano variazioni considerevoli di competenza al loro interno: le sabbie addensate passano ad arenarie più o meno cementate. La parte superiore dell'affioramento sembra interessata da un thrust, ma le caratteristiche di fratturazione sopra e sotto si mantengono pressochè costanti. La sabbia addensata e la ghiaia sono classificabili come R1 (ISRM); i partimenti argillosi hanno resistenza compresa tra S3 ed S4. Instabilità potenziale a piccola e media scala per crolli e ribaltamenti; instabilità potenziale a media-grande scala per scorrimenti rotazionali, a causa della bassa resistenza della roccia intatta e del grado di fratturazione.*

## **STAZIONE 2**



**Figura 13.3 - Panoramica della stazione 2, con rappresentazione schematica delle principali discontinuità.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 277 di 351

Nella fig. 13.3 è riportata la panoramica della stazione 2, con rappresentazione schematica delle principali discontinuità: in rosso la ciclografica del set n.2, in arancio quella del set n.4. La ciclografica in verde fitta la giacitura media di strato. N. dati: 58; intervalli di frequenza: 2, 4, 8, 16, 32 %; frequenza massima: 41,38%.

La descrizione strutturale dell'affioramento litoide della stazione 2 è la seguente:

*Strati e banchi costituiti da arenarie, sabbie e conglomerati a ciottoli eterometrici arrotondati, spessi da 30/60 cm fino ad un massimo di 170 cm ca., separati da livelletti di sabbie limose, limi e argille grigiastre spessi mediamente 8/12 cm. Gli strati sabbioso-ghiaiosi presentano variazioni considerevoli di competenza al loro interno: le sabbie addensate passano ad arenarie più o meno cementate. La sabbia addensata e la ghiaia sono classificabili come R1 (ISRM); i partimenti argillosi hanno resistenza compresa tra S3 ed S4. Instabilità potenziale a piccola e media scala per crolli e ribaltamenti; instabilità potenziale a media-grande scala per scorrimenti rotazionali, a causa della bassa resistenza della roccia intatta e del grado di fratturazione. Determinazione del peso di volume di un campione di calcarenite tenera prelevato in affioramento:  $g = 2,102 \text{ t/mc}$ .*

### **STAZIONE 3**



**Figura 13.4 - Panoramica della stazione 3, con rappresentazione schematica delle principali discontinuità.**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 278 di 351

Nella fig. 13.4 è riportata la panoramica della stazione 3, con rappresentazione schematica delle principali discontinuità: in rosso la ciclografica del set n. 2, in viola quella del set n.5, in celeste del n. 6. La ciclografica in verde fitta la giacitura media di strato. N. dati: 34; intervalli di frequenza: 3, 6, 8, 12, 24%; frequenza massima: 29,41%.

La descrizione strutturale dell'affioramento litoide della stazione 3 è la seguente:

*Strati e banchi costituiti da arenarie, sabbie e conglomerati a ciottoli eterometrici arrotondati, spessi da 20/35 cm fino ad un massimo di 100 cm ca., separati da livelletti di sabbie limose, limi e argille grigiastre spessi mediamente 8/12 cm. Gli strati sabbioso-ghiaiosi presentano variazioni considerevoli di competenza al loro interno: le sabbie addensate passano ad arenarie più o meno cementate. La sabbia addensata e la ghiaia sono classificabili come R1 (ISRM); i partimenti argillosi hanno resistenza compresa tra S3 ed S4. Instabilità potenziale a piccola e media scala per crolli e ribaltamenti; instabilità potenziale a media-grande scala per scorrimenti rotazionali, a causa della bassa resistenza della roccia intatta e del grado di fratturazione. L'ammasso presenta nel complesso un grado d'alterazione maggiore rispetto alle altre due stazioni: III-IV (ISRM, 1979-1981).*

Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche strutturali e sulle classificazioni geomeccaniche si consulti la relazione geologico-strutturale.

### 13.2. IDROGEOLOGIA

In merito alla Galleria Cozzo Garlatti, l'esiguità dell'affioramento roccioso interessato non determina l'esistenza di falda idriche di una certa importanza, nonostante la serie arenacea costituisca un buon acquifero con caratteristiche di permeabilità secondaria (per fessurazione e fratturazione) con un grado medio-alto.

Sono riscontrabili, pertanto, minime circolazioni tra i giunti e le fratture legate alla stagionalità e al regime pluviometrico.

### 13.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Il rilievo di Cozzo Garlatti è costituito da arenarie conglomeratiche con frequenti interstratificazioni di livelli di argille marnose. Tali livelli incoerenti o poco coerenti, possono provocare fenomeni superficiali di dissesto con crolli e movimenti di scivolamento, favoriti dalla stessa giacitura degli strati a franapoggio con pendenza che varia da 40° a 45°.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 279 di 351

Attualmente sono riconoscibili sul versante est del crinale, tre nicchie di distacco per crollo del bancone calcarenitico che ha coinvolto una porzione superficiale di terreno di spessore pari a circa 3-4 metri scivolati a valle con superficie di scorrimento roto traslativa.

Le frane al momento non sono attive e sono state ricoperte da vegetazione spontanea; come detto la causa di tali fenomeni è legata alla presenza dei livelli argillo –marnosi intercalati ai banconi di calcarenite, che in occasione di abbondanti piogge si imbibiscono, perdono coerenza e determinano dei piani di scivolamento coincidenti con gli strati calcarenitici disposti a franapoggio.

Di tali dissesti si è tenuto conto nella progettazione della galleria (ed opere a corredo), la cui geometria è stata più volte verificata e variata. Il versante in esame è stato inoltre oggetto di una verifica di stabilità che ha individuato gli interventi a carattere geotecnico a salvaguardia dell'integrità delle opere da realizzare e dell'assetto naturale dei luoghi (vedi elaborati geotecnici).

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 280 di 351

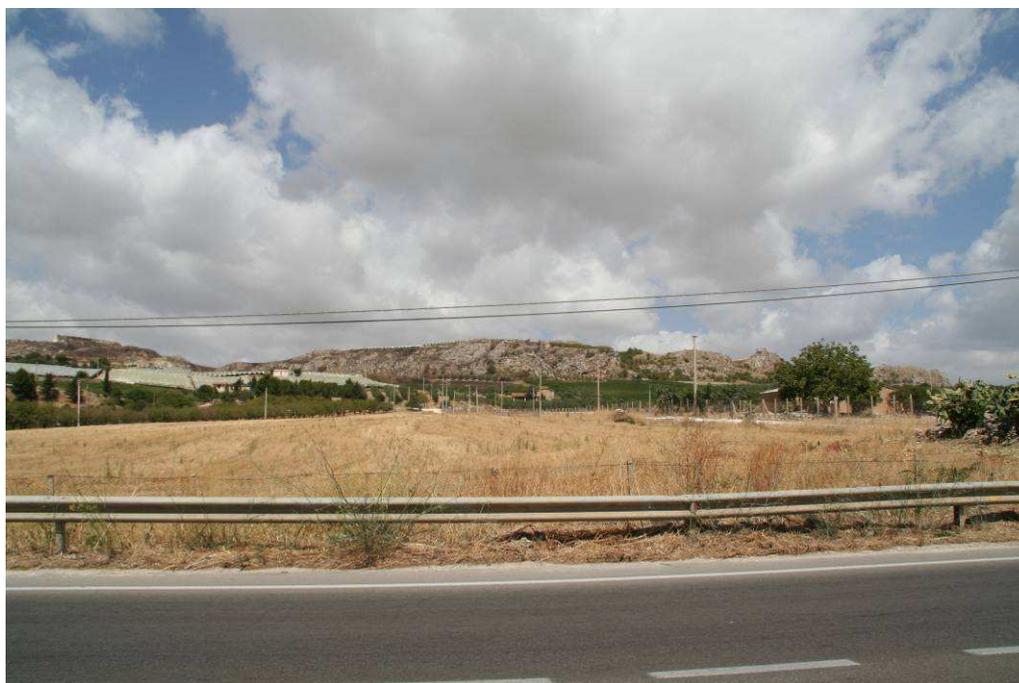
## **APPENDICE 1**

### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 281 di 351



**Foto 1** Tracciato attuale della SS640 alla progr. 0+150



**Foto 2** Tracciato attuale della SS640 con visibili sullo sfondo i rilievi gessosi

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 282 di 351



**Foto 3 Zona dello Svincolo Serradifalco**



**Foto 4 Rilievi collinari argillosi presso lo Svincolo Serradifalco**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 283 di 351



**Foto 5** Sullo sfondo la zona che verrà attraversata dal Viadotto Giulfo



**Foto 6** Sullo sfondo i rilievi su cui poggerà la spalla lato AG del Viadotto Giulfo

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 284 di 351



**Foto 7 – Tratto 1-B: F.ne Gessoso – Solfifera**



**Foto 8 – Tratto 1-B: F.ne Gessoso – Solfifera**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 285 di 351



**Foto 9 – Tratto 1-C: Calcareniti plioceniche**



**Foto 10 – Tratto 1-C: Calcareniti e sabbie plioceniche**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 286 di 351



**Foto 11 – Tratto 2: Morfologia calanchiva e fenomeni gravitativi sui litotipi argillosi**



**Foto 12 – Tratto 3-A: Fenomeni gravitativi sui litotipi argillosi**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 287 di 351



**Foto 13 – Tratto 3-A: Morfologia calanchiva e fenomeni gravitativi sui litotipi argillosi**



**Foto 14 – Tratto 3-B: C.zzo Sgarlatti**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 288 di 351



**Foto 15 – Tratto 3-B: C.zzo Sgarlatti**



**Foto 16 – Tratto 3-C: Viadotto attuale su valle del F.me Salso**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 289 di 351



**Foto 17 – Tratto 3-C: Monoclinale su calcareniti tortoniane**



**Foto 18 – Tratto 3-C: F.me Salso dissesti su sponde artificiali**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 290 di 351

## **APPENDICE 2**

### **MONOGRAFIE DISSESTI GEOMORFOLOGICI**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 291 di 351

## MONOGRAFIE DISSESTI GEOMORFOLOGICI

### INTRODUZIONE

A completamento e sintesi del Cap. 3 della Relazione geologica esecutiva (Inquadramento geomorfologico generale) la seguente nota individua tutte le forme, rilevate in cartografia geomorfologica (000GE208GI03ZG6001-4A), che incidono direttamente sul tracciato di progetto o che rientrano all'interno di un offset, delimitato dallo scrivente, a partire dall'asse mediano stradale ed avente uno sviluppo di 100 m.

Sono state rappresentate, ad esclusione degli Agenti Antropici e Acque, tutte le forme del *dissesto* che con la loro attività potrebbero incidere sulla realizzazione dell'opera e sulla successiva operatività oltre ad essere direttamente influenzate e/o attivate dalla costruzione dell'opera o dal suo normale esercizio.

Ad ogni dissesto è stata associata una monografia che comprende le seguenti informazioni: **ID** progressivo; **chilometrica** in coordinate lineari riferita ai due assi (Sx - Dx) o, nel caso di dissesto incidente nell'area di offset, singola chilometrica di riferimento; numero di **Tav.** aerofotogrammetria; **coordinate** in Gauss Boaga (**GB**) del punto mediano del dissesto; **Tratto (Trat.)** di riferimento; **Opere d'arte** eventualmente coinvolte; **Tipologia** della forma.

ID	chilometrica (coord. lineari)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
----	----------------------------------	------	----	-------	--------------	-----------

Schema tabella

La monografia è inoltre completata da una duplice rappresentazione cartografica (topografia – foto aerea) che comprende oltre al/ai dissesto/i rilevato/i anche il tracciato stradale di progetto ed una breve descrizione degli elementi rilevati.

In totale sono stati rilevati n. 38 elementi morfologici schematizzati in n. 13 schede, procedendo quindi ad una unificazione in presenza di forme morfologiche multiple ravvicinate.

E' stato rilevato che il n. maggiore di dissesti (15) con una percentuale di incidenza del 39.47% coincide con gli affioramenti del **TrbA** (Brecce Argillose); mentre la tipologia prevalente come numero (13) e percentuale di incidenza del 34.21% corrisponde con la forma **Erosione Diffusa**, seguita dalla forma **Scoscendimenti Superficiali** in numero (12) e percentuale di incidenza del 31.58% (Tab. 2).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 292 di 351

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 293 di 351

## SCHEDA DI SINTESI

### Elementi rilevati

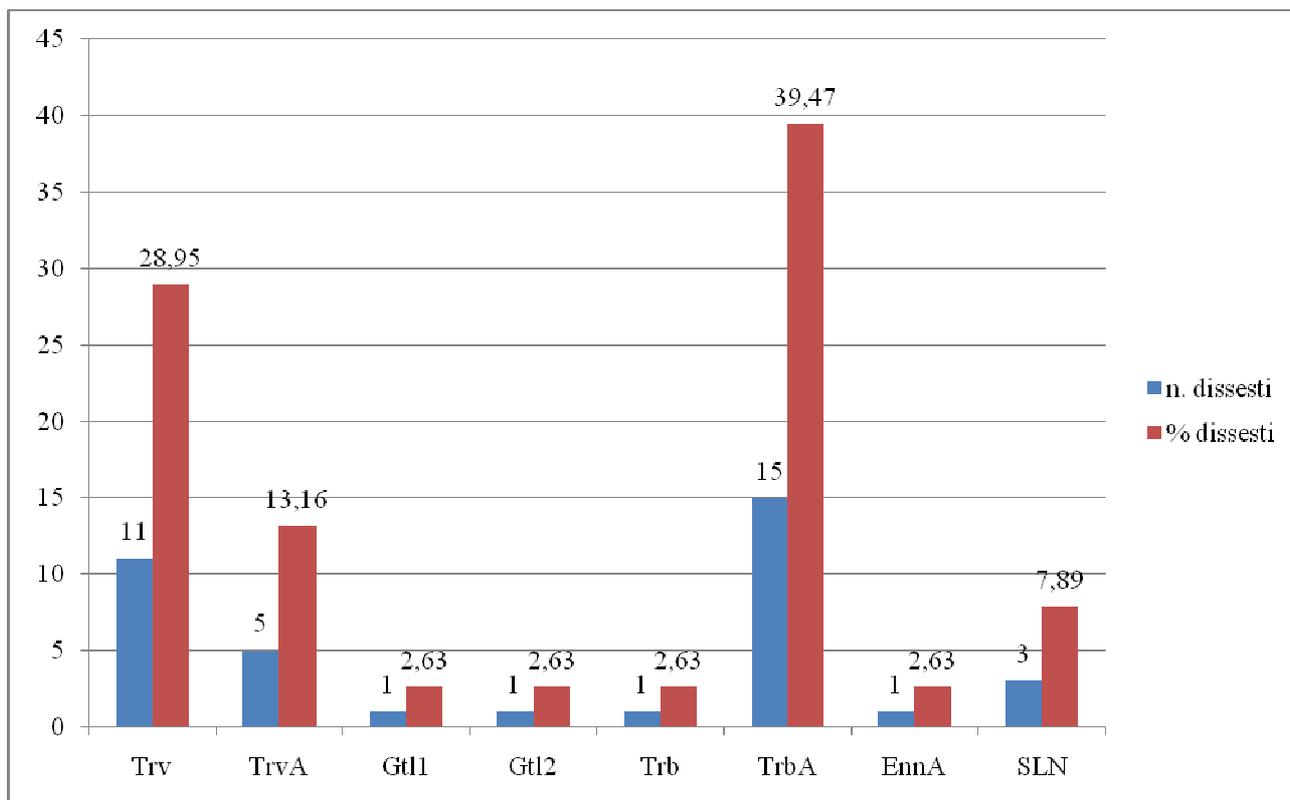
ID	Progressiva chilometrica	Tav.	Coord. metriche Sistema Gauss Boaga	Trat.	Opere d'Arte interessate	Tipologia
1	1+842 – 1+862 (Sx)	74	X=2423979.7200 Y=4142330.8064	1		Erosione Diffusa
2	2+642 – 2+682 (Sx)	74	X=2424745.4968 Y=4142614.0568	1		Erosione Diffusa
3	2+600 (Dx) Interna offset	74	X=2424726.5690 Y=4142448.1700	1		Erosione Diffusa
4	4+980 (Dx) Interna offset	70	X=2426610.1039 Y=4143884.4040	1		Erosione Diffusa
5	5+560 (Dx) Interna offset	70	X=2427042.2046 Y=4144318.2121	1		Erosione Diffusa
6	6+461 (Sx) Interna offset	64	X=2427679.6630 Y=4144976.2952	1		Erosione Diffusa
7	7+062 (Sx) Interna offset	64	X=2428209.1029 Y=4145190.8555	1		Erosione Diffusa
8	Interna offset (100 m)	59	X=2431211.4299 Y=4146480.8619	1	Galleria nat. Papazzo	Crolli
9	12+781 – 12+821 (dx) 12+792 – 12+816 (sx)	48	X=2432921.5949 Y=4148124.3975	2		Erosione Diffusa
10	16+150 (Dx)	39	X=2435112.8362 Y=4150570.0089	2		Aree denudate
11	16+961 – 16+981 (dx) 16+956 – 16+996 (sx)	34	X=2435565.7692 Y=4151251.7440	2	Viadotto S. Giuliano	Calanchi
12	Interna offset 17+001 (dx)	34	X=2435624.6729 Y=4151252.6733	2	Viadotto S. Giuliano	Scoscend. Prof.
13	17+001 – 17+021 (dx)	34	X=2435605.2645 Y=4151286.2057	2	Viadotto S. Giuliano	Calanchi
14	17+001 – 17+021 (dx) Interna offset	34	X=2435588.3705 Y=4151302.8431	2	Viadotto S. Giuliano	Scoscend. Prof.
15	17+061 – 17+101 (dx) 17+016 – 17+096 (sx)	34	X=2435608.0600 Y=4151346.9202	2		Erosione Diffusa
16	Interna offset 17+076 (dx)	34	X=2435534.3968 Y=4151387.7515	2		Scoscend. Sup.
17	17+001 – 17+041 (dx) 17+096 – 17+116 (sx)	34	X=2435627.6348 Y=4151391.2565	2		Scoscend. Sup.
18	17+176 – 17+196 (sx)	34	X=2435607.4666 Y=4151460.3295	2		Scoscend. Sup.
19	17+281 – 17+321 (dx) 17+256 – 17+826 (sx)	34	X=2435691.7646 Y=4151554.8934	2	Viadotto S. Filippo Neri	Erosione Diffusa
20	17+381 – 17+401 (dx)	34	X=2435722.4287 Y=4151633.3278	2	Viadotto S. Filippo Neri	Scoscend. Sup.
21	17+341 – 17+501 (dx) 17+336 – 17+286 (sx)	34	X=2435727.1915 Y=4151652.3598	2	Viadotto S. Filippo Neri GA San Filippo	Calanchi
22	17+401 – 17+421 (dx)	34	X=2435775.8347 Y=4151655.7892	2	Viadotto San Filippo	Scoscend. Prof.
23	Interna offset	34	X=2435823.0690	2	Viadotto	Scoscend.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 294 di 351

ID	Progressiva chilometrica	Tav.	Coord. metriche Sistema Gauss Boaga	Trat.	Opere d'Arte interessate	Tipologia
	17+471 (dx)		Y=4151698.1860		San Filippo	Sup
24	18+121 – 18+261 (dx) 18+159 – 18+299 (sx)	28	X=2436022.2979 Y=4152399.2606	3	Viadotto Busita I	Scoscend. Sup
25	18+321 – 18+461 (dx) 18+299 – 18+459 (sx)	28	X=2436115.3233 Y=4152562.4894	3	Viadotto Busita I Galleria art. Bersaglio	Calanchi
26	19+439 – 19+479 (sx)	19	X=2436776.6515 Y=4153384.4678	3	Svincolo CI Nord	Aree denudate
27	19+459 – 19+479 (sx)	19	X=2436799.4255 Y=4153397.2926	3	Svincolo CI Nord	Erosione Diffusa
28	19+879 – 19+919 (sx)	20	X=2437199.3958 Y=4153573.1775	3		Aree denudate
29	25+838 – 26+081 (dx) 25+859 – 26+119 (sx)	15	X=2442628.2044 Y=4154778.629	3	Galleria nat. Garlatti	Erosione Diffusa
30	Interna offset 25+881 (Sx)	15	X=2442596.6981 Y=4154702.7736	3	Galleria nat. Garlatti	Calanchi
31	Interna offset 25+921 (Sx)	15	X=2442620.9289 Y=4154685.2812	3	Galleria nat. Garlatti	Crolli
32	25+921 – 25+941 (dx) 25+939 – 25+959 (sx)	15	X=2442653.1526 Y=4154768.7620	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
33	Interna offset 25+981 (Sx)	15	X=2442692.9484 Y=4154685.2812	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
34	25+959 – 26+019 (dx) 25+961 – 26+023 (sx)	15	X=2442702.9116 Y=4154767.7982	3	Galleria nat. Garlatti	Crolli
35	Interna offset 25+999 (Sx)	15	X=2442691.4147 Y=4154826.8087	3	Galleria nat. Garlatti	Frana complessa
36	Interna offset 26+079 (Sx)	15	X=2442779.6517 Y=4154834.5184	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
37	Interna offset 26+199 (Sx)	15	X=2442884.5641 Y=4154866.2032	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
38	Interna offset	15	X=2442927.6111 Y=4154891.7876	3	Svincolo SS 626	Erosione Diffusa

**Tabella 1 – Distribuzione percentuale e numerica dei dissesti**

Tipologia	n.	%	Litologia	n.	%
Erosione Diffusa	13	34,21	Trv	11	28,95
Crolli	3	7,89	TrvA	5	13,16
Aree Denudate	3	7,89	Gtl1	1	2,63
Calanchi	5	13,16	Gtl2	1	2,63
Scosendimenti Sup.	12	31,58	Trb	1	2,63
Scosendimenti Prof.	1	2,63	TrbA	15	37,47
Frane Complesse	1	2,63	EnnA	1	2,63
			SLN	3	7,89
<b>Totale</b>	<b>38</b>	<b>100</b>		<b>38</b>	<b>100</b>



**Figura A – Geologia e dissesti**

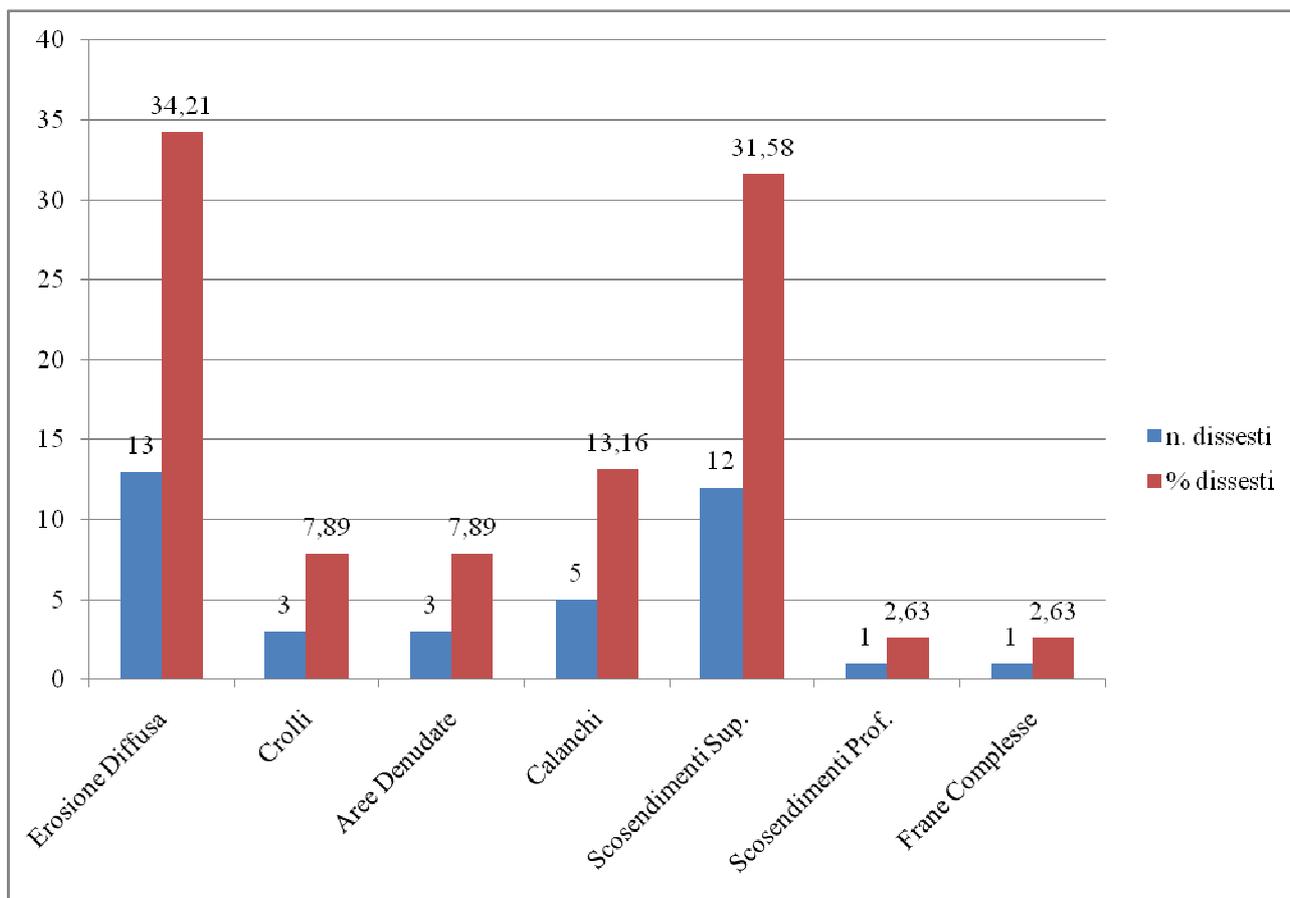


Figura B – Tipologia di dissesto

## Sommario Monografie

MONOGRAFIA N° 1 .....	207
MONOGRAFIA N° 2 .....	300
MONOGRAFIA N° 3 .....	301
MONOGRAFIA N° 4 .....	302
MONOGRAFIA N° 5 .....	303
MONOGRAFIA N° 6 .....	304
MONOGRAFIA N° 7 .....	305
MONOGRAFIA N° 8 .....	306
MONOGRAFIA N° 9 .....	307
MONOGRAFIA N° 10 .....	309
MONOGRAFIA N° 11 .....	310
MONOGRAFIA N° 12 .....	311
MONOGRAFIA N° 13 .....	313

## SOMMARIO FIGURE

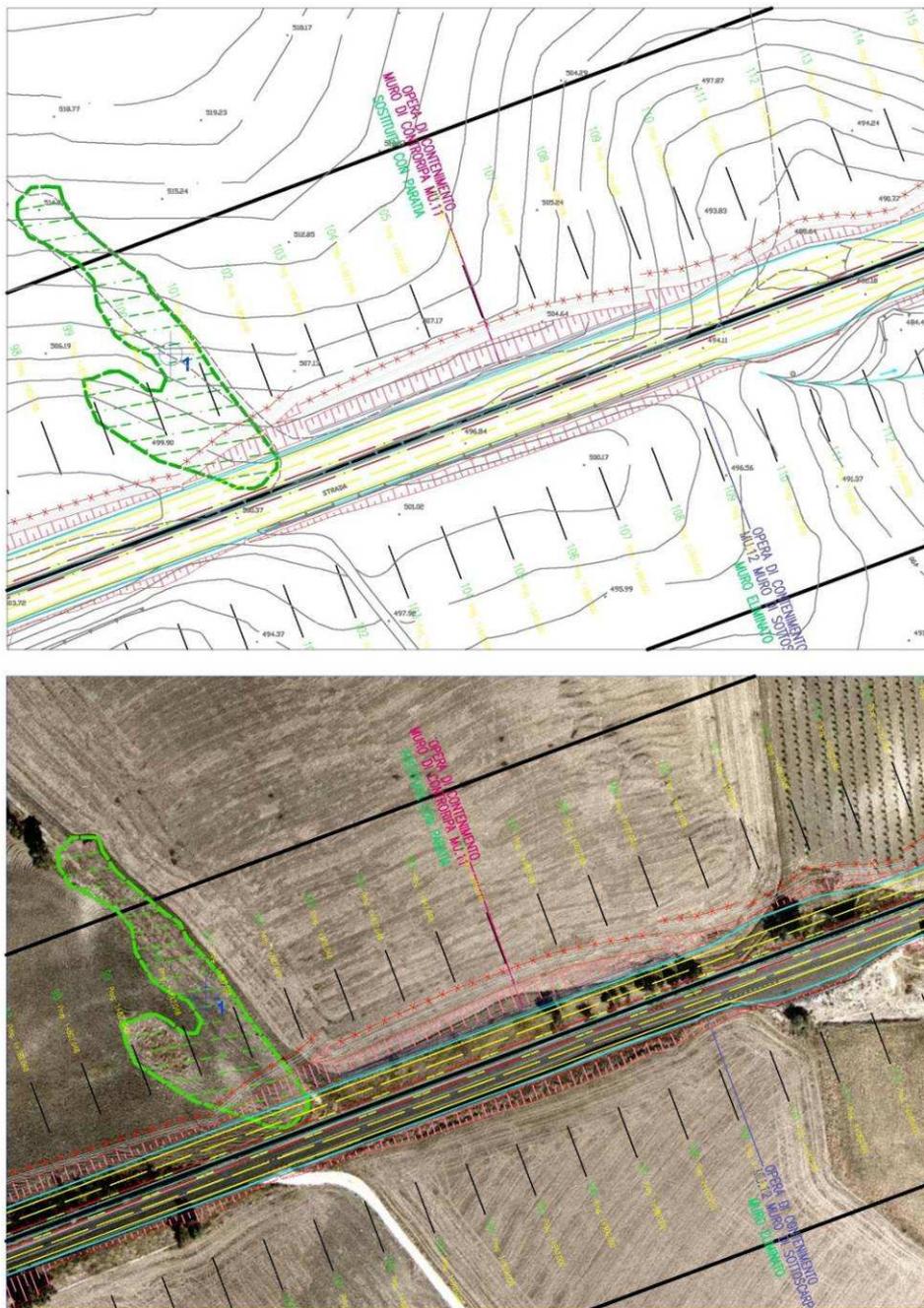
FIGURA 1 – DISSESTO 1 (EROSIONE DIFFUSA).....	299
FIGURA 2 – DISSESTO 2 – 3 (EROSIONE DIFFUSA) .....	301
FIGURA 3 – DISSESTO 4 (EROSIONE DIFFUSA).....	302
FIGURA 4 – DISSESTO 5 (EROSIONE DIFFUSA).....	303
FIGURA 5 – DISSESTI 5 – 6 (EROSIONE DIFFUSA).....	304
FIGURA 6 – DISSESTO 8 (CROLLI) .....	305
FIGURA 7 – DISSESTO 9 (EROSIONE DIFFUSA).....	306
FIGURA 8 – DISSESTO 10 (AREE DENUDATE) .....	307
FIGURA 9 – DISSESTI 11 – 23 (CALANCHI, SCOSCEND. PROF. – SUP., EROSIONE DIFFUSA).....	309
FIGURA 10 – DISSESTI 24 – 25 (EROSIONE DIFFUSA, SCOSCENDIMENTI SUP.) .....	310
FIGURA 11 – DISSESTI 26 – 27 (AREE DENUDATE, EROSIONE DIFFUSA).....	311
FIGURA 12 – DISSESTO 28 (AREE DENUDATE) .....	312
FIGURA 13 – DISSESTI 29 – 38 (CALANCHI, SCOSCEND. SUP., EROSIONE DIFFUSA, CROLLI, COMPLESSA) .....	314

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 298 di 351

## MONOGRAFIA N°1

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
1	1+842 – 1+862 (Sx)	74	X=2423979.7200 Y=4142330.8064	1		Erosione Diffusa

DESCRIZIONE: il dissesto rilevato consiste in una forma di erosione diffusa, accentuata dalla scarsa copertura e dalla locale topografia, incidente sull'asse Sx del tracciato stradale.



**Figura 2 – Disseso n°1 (Erosione diffusa)**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 299 di 351

## MONOGRAFIA N°2

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
2	2+642 – 2+682 (Sx)	74	X=2424745.4968 Y=4142614.0568	1		Erosione Diffusa
3	2+600 (Dx) Interna offset	74	X=2424726.5690 Y=4142448.1700	1		Erosione Diffusa

DESCRIZIONE: i dissesti rilevati consistono in erosione diffusa, accentuata dalla scarsa copertura e dalla locale topografia, incidente sull'asse Sx del tracciato stradale e sull'offset di riferimento in asse Dx.



Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 300 di 351

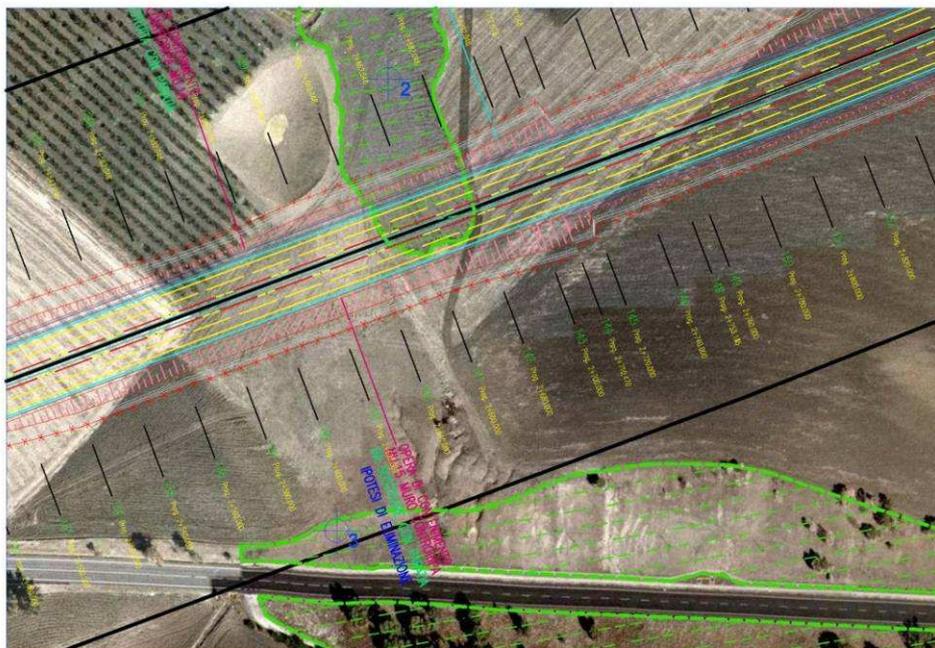


Figura 3 – Dissesto n°2 – 3 (Erosione diffusa)

**MONOGRAFIA N°3**

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
4	4+980 (Dx) Interna offset	70	X=2426610.1039 Y=4143884.4040	1		Erosione Dif- fusa

DESCRIZIONE: Il dissesto rilevato consiste in una forma di erosione diffusa, accentuata dalla scarsa copertura e dalla locale topografia, incidente sull'asse Dx del tracciato stradale



Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 301 di 351



Figura 4 – Dissesto n°4 (Erosione diffusa)

### **MONOGRAFIA N°4**

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
5	5+560 (Dx) Interna offset	70	X=2427042.2046 Y=4144318.2121	1		Erosione Diffusa

DESCRIZIONE: Il dissesto rilevato consiste in una forma di erosione diffusa, accentuata dalla scarsa copertura e dalla locale topografia, incidente sull'asse Dx del tracciato stradale

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 302 di 351



Figura 5 – Dissesto n°5 (Erosione diffusa)

### **MONOGRAFIA N°5**

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
6	6+461 (Sx) Interna offset	64	X=2427679.6630 Y=4144976.2952	1		Erosione Diffusa
7	7+062 (Sx)	64	X=2428209.1029	1		Erosione

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 303 di 351

Interna offset	Y=4145190.8555	Diffusa
----------------	----------------	---------

DESCRIZIONE: I dissesti rilevati consistono in erosione diffusa, accentuata dalla scarsa copertura e dalla locale topografia, incidenti sull'offset di riferimento in asse Sx.

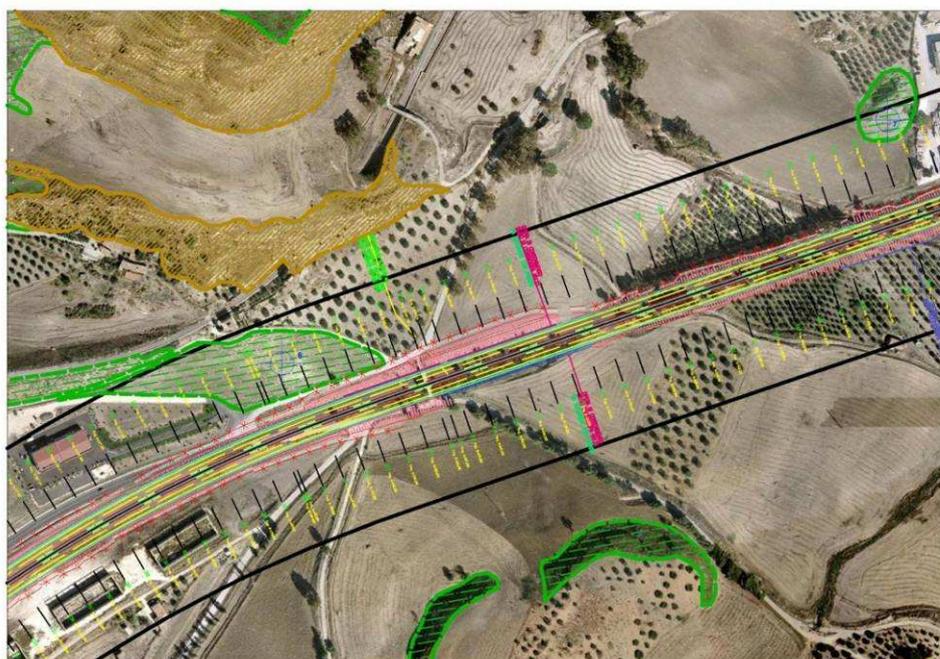
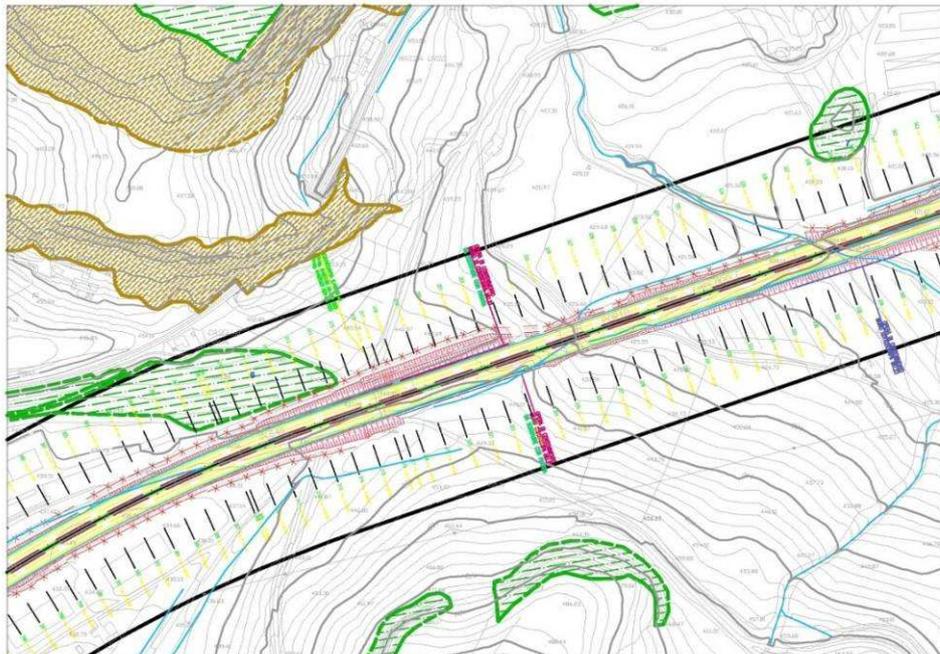


Figura 6 – Dissesti n°5 – 6 (Erosione diffusa)

**MONOGRAFIA N°6**

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
8	Interna offset	59	X=2431211.4299	1	Galleria nat. Papazzo	Crolli

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 304 di 351

(100 m)	Y=4146480.8619		
---------	----------------	--	--

DESCRIZIONE: Il dissesto rilevato consiste in crolli, accentuati dalla locale topografia e litologia, incidente sull'offset di riferimento in asse Sx.

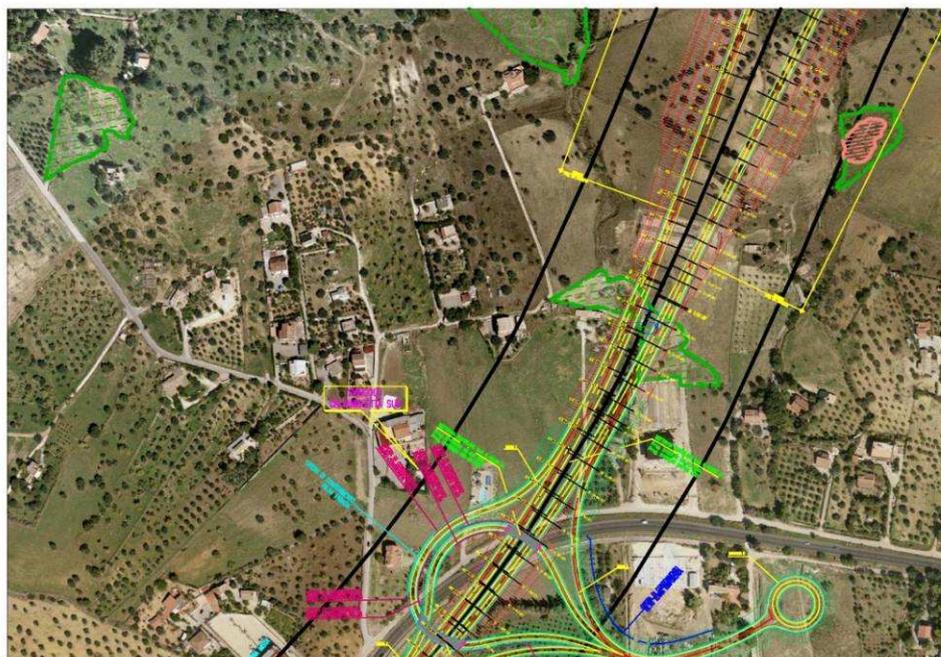


Figura 7 – Dissesto 8 (Crolli)

## **MONOGRAFIA N°7**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 305 di 351

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
9	12+781 – 12+821 (dx) 12+792 – 12+816 (sx)	48	X=2432921.5949 Y=4148124.3975	2		Erosione Dif- fusa

DESCRIZIONE: Il dissesto rilevato consiste in forme di erosione diffusa, accentuata dalla locale topografia e litologia, incidente su entrambi gli assi.

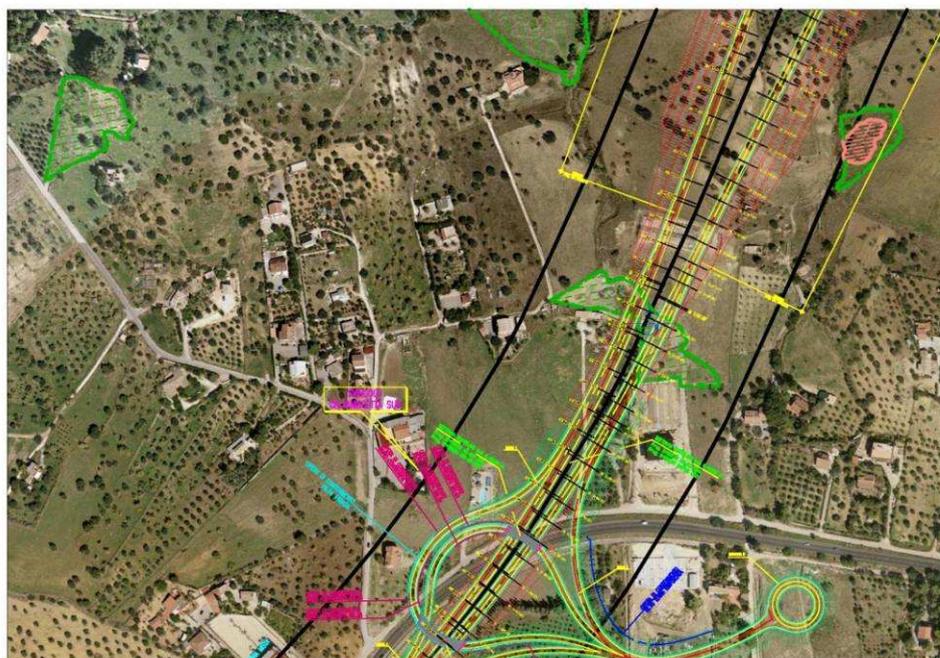
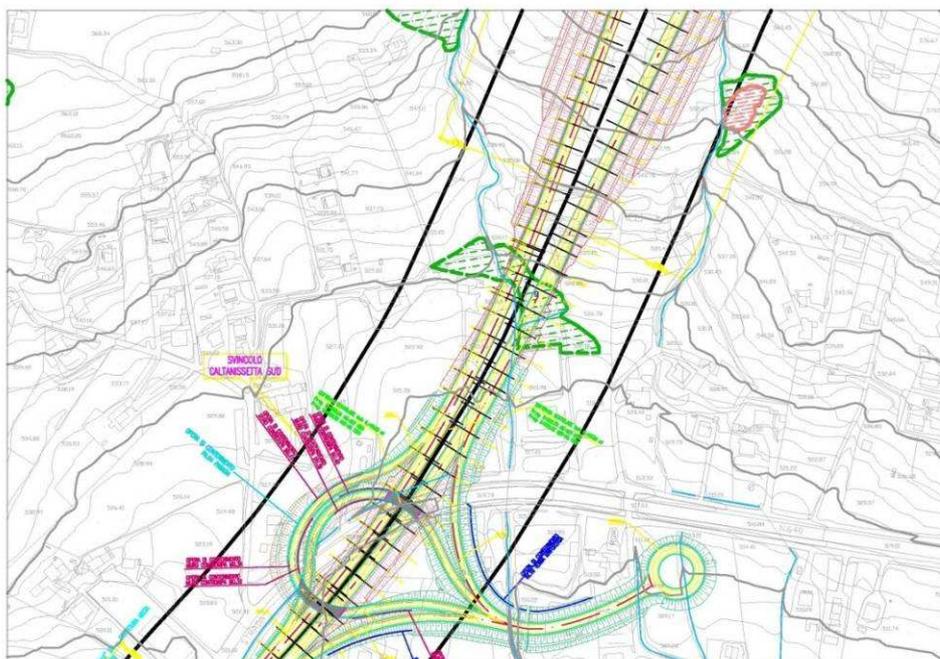


Figura 8 – Dissesto n°9 (Erosione diffusa)

## **MONOGRAFIA N°8**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 306 di 351

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
10	16+150 (Dx)	39	X=2435112.8362 Y=4150570.0089	2		Aree denudate

DESCRIZIONE: Il dissesto rilevato consiste in aree denudate con possibile evoluzione gravitativa, incidente sull'offset di riferimento in asse Dx

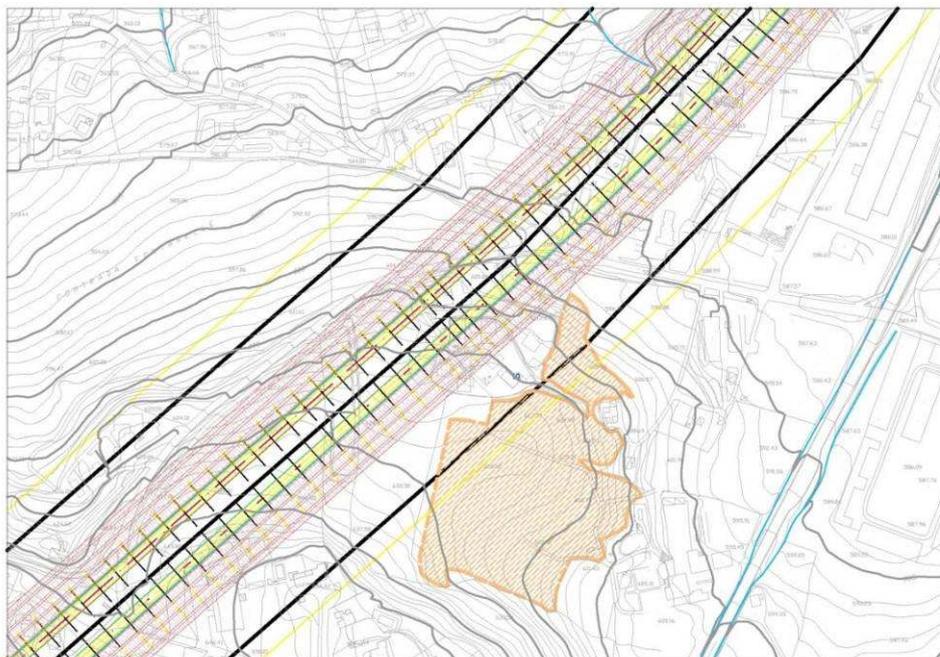


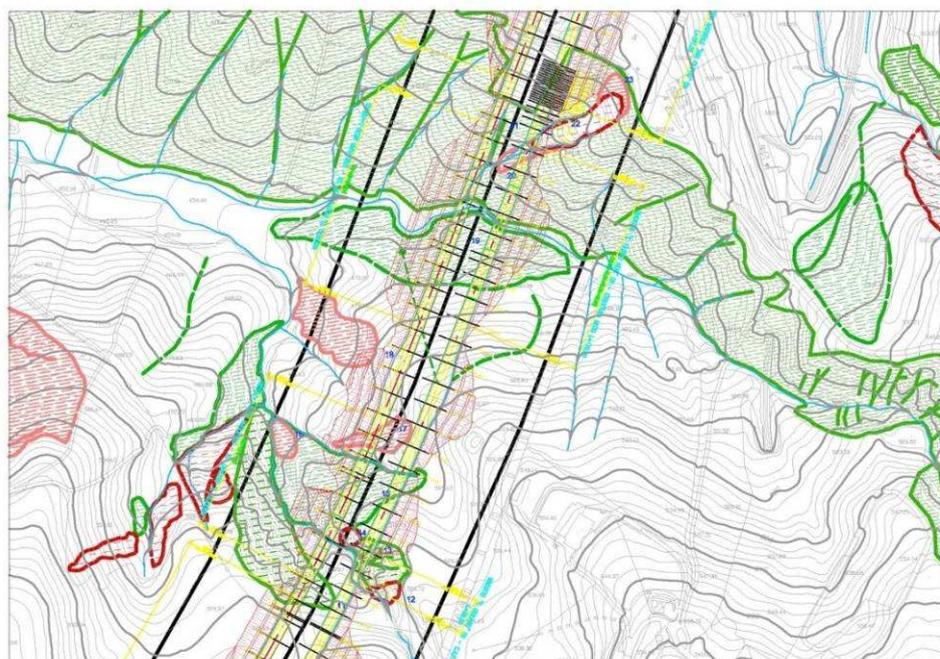
Figura 9 – Dissesto n°10 (Aree denudate)

## **MONOGRAFIA N°9**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 307 di 351

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
11	16+961 – 16+981 (dx) 16+956 – 16+996 (sx)	34	X=2435565.7692 Y=4151251.7440	2	Viadotto San Giuliano	Calanchi
12	Interna offset 17+001 (dx)	34	X=2435624.6729 Y=4151252.6733	2	Viadotto San Giuliano	Scoscend. Prof.
13	17+001 – 17+021 (dx)	34	X=2435605.2645 Y=4151286.2057	2	Viadotto San Giuliano	Calanchi
14	17+001 – 17+021 (dx) Interna offset	34	X=2435588.3705 Y=4151302.8431	2	Viadotto San Giuliano	Scoscend. Prof.
15	17+061 – 17+101 (dx) 17+016 – 17+096 (sx)	34	X=2435608.0600 Y=4151346.9202	2		Erosione Diffusa
16	Interna offset 17+076 (dx)	34	X=2435534.3968 Y=4151387.7515	2		Scoscend. Sup.
17	17+001 – 17+041 (dx) 17+096 – 17+116 (sx)	34	X=2435627.6348 Y=4151391.2565	2		Scoscend. Sup.
18	17+176 – 17+196 (sx)	34	X=2435607.4666 Y=4151460.3295	2		Scoscend. Sup.
19	17+281 – 17+321 (dx) 17+256 – 17+826 (sx)	34	X=2435691.7646 Y=4151554.8934	2	Viadotto San F. Neri	Erosione Diffusa
20	17+381 – 17+401 (dx)	34	X=2435722.4287 Y=4151633.3278	2	Viadotto San F. Neri	Scoscend. Sup.
21	17+341 – 17+501 (dx) 17+336 – 17+286 (sx)	34	X=2435727.1915 Y=4151652.3598	2	Viadotto San F. Neri GN San Filippo	Calanchi
22	17+401 – 17+421 (dx)	34	X=2435775.8347 Y=4151655.7892	2	Viadotto San Filippo	Scoscend. Prof.
23	Interna offset 17+471 (dx)	34	X=2435823.0690 Y=4151698.1860	2	Viadotto San Filippo	Scoscend. Sup.

DESCRIZIONE: I dissesti (Calanchi, Scoscendimenti Prof. – Sup., Erosione diffusa) incidono sulla parte di tracciato compresa, grosso modo, tra i viadotti S. Filippo e S. Giuliano e sono strettamente legati alla natura litologica (argille tettonizzate e livelli alterati) ed alla conformazione dei versanti.



Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 308 di 351



Figura 10 – Dissesti n°11 – 23 (Calanchi, Scoscend . Prof. – Sup., Erosione diffusa)

### MONOGRAFIA N°10

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
24	18+121 – 18+261 (dx) 18+159 – 18+299 (sx)	28	X=2436022.2979 Y=4152399.2606	3	Viadotto Busita I	Scoscend. Sup
25	18+321 – 18+461 (dx) 18+299 – 18+459 (sx)	28	X=2436115.3233 Y=4152562.4894	3	Viadotto Busita I GA Bersaglio	Calanchi

DESCRIZIONE: I dissesti (Calanchi, Scoscendimenti Sup.) incidono sulla parte di tracciato compresa, grosso modo, tra il viadotto Busita I e la Galleria art. Bersaglio e sono strettamente legati alla natura litologica (argille tettonizzate e livelli alterati) ed alla conformazione dei versanti.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo:                      RELAZIONI GEOLOGICHE  <b>Relazione Geologica</b>	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc		Pagina 309 di 351

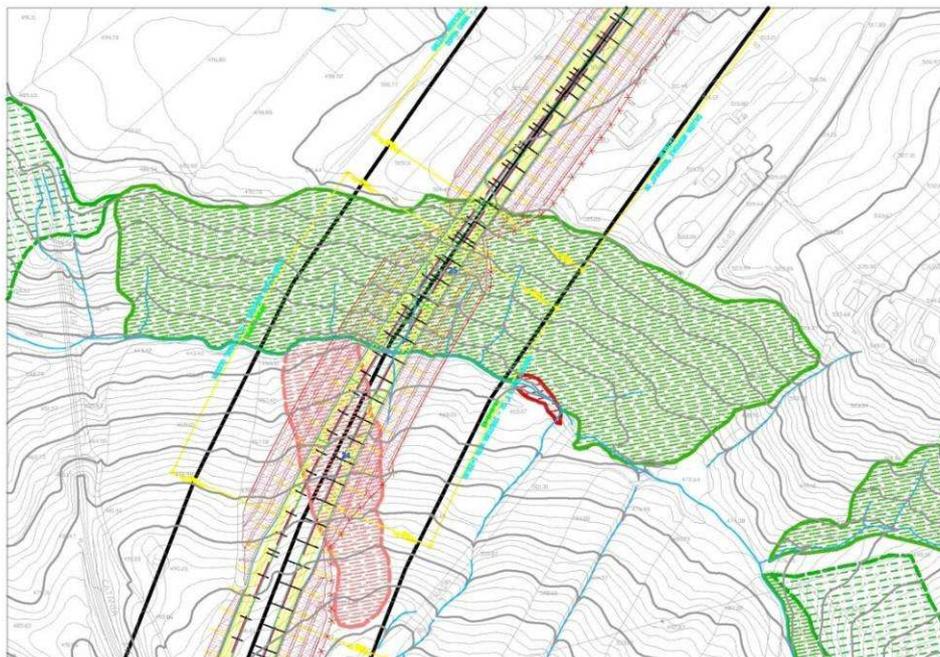


Figura 11 – Dissesti n°24 – 25 (Erosione diffusa, Scoscendimenti Sup.)

**MONOGRAFIA N°11**

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
26	19+439 – 19+479 (sx)	19	X=2436776.6515 Y=4153384.4678	3	Svincolo CI Nord	Aree denudate
27	19+459 – 19+479 (sx)	19	X=2436799.4255 Y=4153397.2926	3	Svincolo CI Nord	Erosione Diffusa

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 310 di 351

DESCRIZIONE: I dissesti (Aree denudate, Erosione diffusa) incidono sulla parte di tracciato coincidente con lo svincolo CL Nord e sono strettamente legati alla natura litologica (argille tettonizzate e livelli alterati) ed alla conformazione dei versanti.

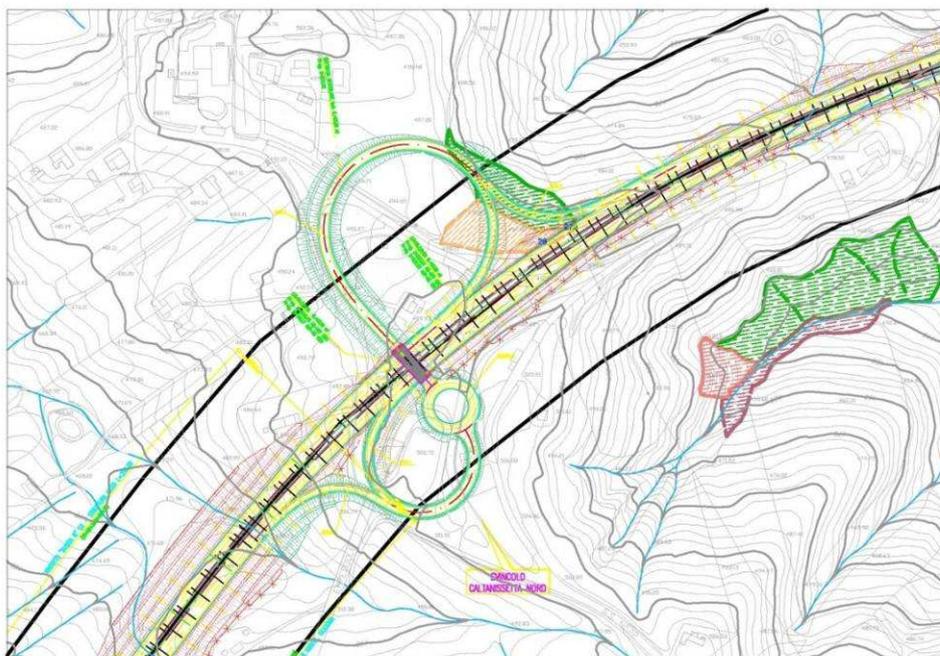


Figura 12 – Dissesti n° 26 – 27 (Aree denudate, Ero sione diffusa)

**MONOGRAFIA N° 12**

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
28	19+879 – 19+919 (sx)	20	X=2437199.3958 Y=4153573.1775	3		Aree denudate

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 311 di 351

DESCRIZIONE: Il dissesto rilevato consiste in aree denudate con possibile evoluzione gravitativa, incidente sull' asse Sx del tracciato.

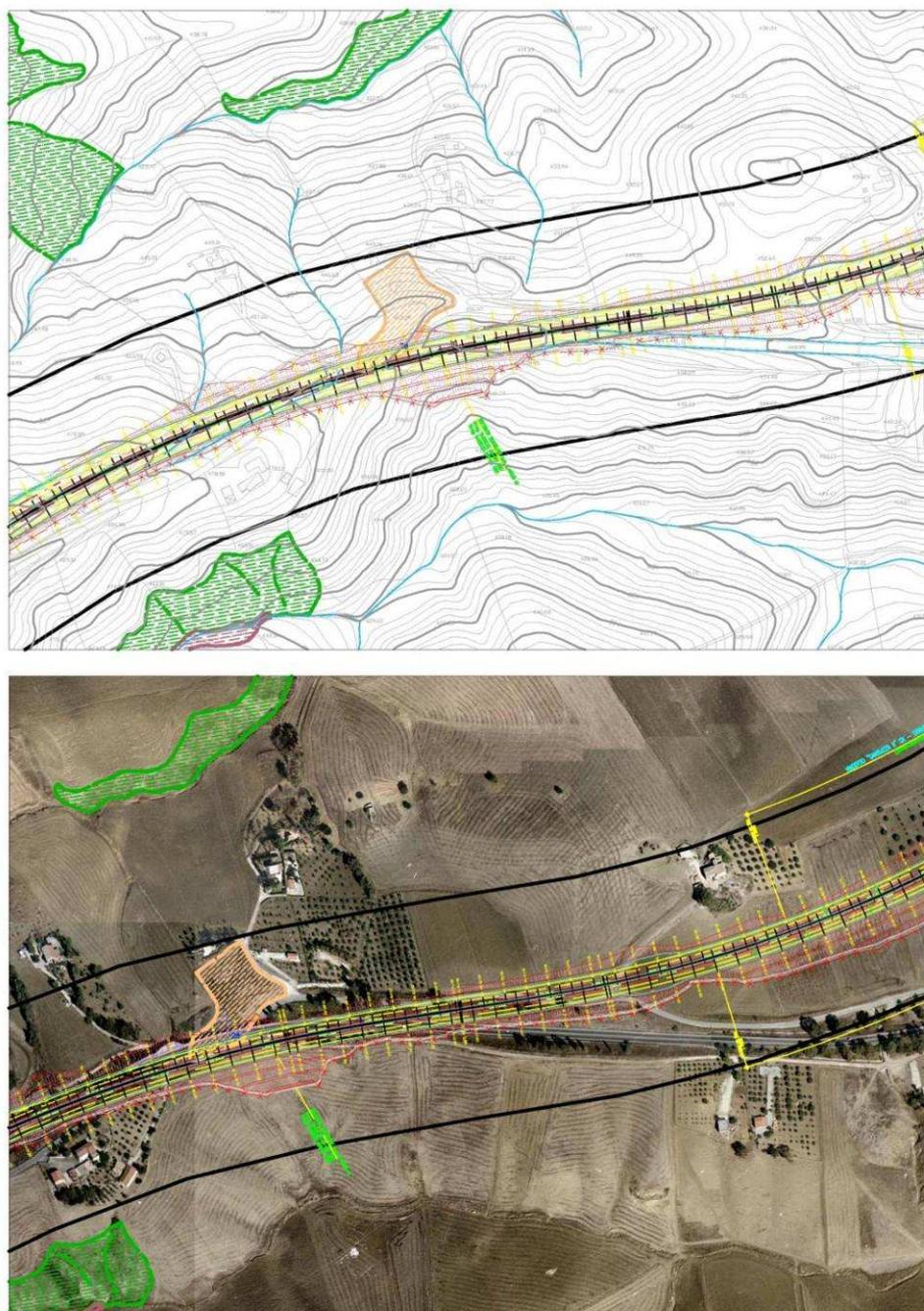


Figura 13 – Dissesto n° 28 (Aree denudate)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 312 di 351

## MONOGRAFIA N°13

ID	Progressiva (Km)	Tav.	GB	Trat.	Opere d'Arte	Tipologia
29	25+838 – 26+081 (dx) 25+859 – 26+119 (sx)	15	X=2442628.2044 Y=4154778.4629	3	Galleria nat. Garlatti	Erosione Diffusa
30	Interna offset 25+881 (Sx)	15	X=2442596.6981 Y=4154702.7736	3	Galleria nat. Garlatti	Calanchi
31	Interna offset 25+921 (Sx)	15	X=2442620.9289 Y=4154685.2812	3	Galleria nat. Garlatti	Crolli
32	25+921 – 25+941 (dx) 25+939 – 25+959 (sx)	15	X=2442653.1526 Y=4154768.7620	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
33	Interna offset 25+981 (Sx)	15	X=2442692.9484 Y=4154685.2812	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
34	25+959 – 26+019 (dx) 25+961 – 26+023 (sx)	15	X=2442702.9116 Y=4154767.7982	3	Galleria nat. Garlatti	Crolli
35	Interna offset 25+999 (Sx)	15	X=2442691.4147 Y=4154826.8087	3	Galleria nat. Garlatti	Frana complessa
36	Interna offset 26+079 (Sx)	15	X=2442779.6517 Y=4154834.5184	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
37	Interna offset 26+199 (Sx)	15	X=2442884.5641 Y=4154866.2032	3	Galleria nat. Garlatti	Scoscend. Sup
38	Interna offset	15	X=2442927.6111 Y=4154891.7876	3	Svincolo SS 626	Erosione Dif- fusa

DESCRIZIONE: I dissesti (Calanchi, Scoscendimenti Sup., Erosione diffusa, Crolli, Frane complesse) incidono sulla parte di tracciato coincidente con la galleria Garlatti e sono strettamente legati alla natura litologica (argille tettonizzate e livelli alterati, calcareniti fratturate) ed alla conformazione dei versanti.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 313 di 351

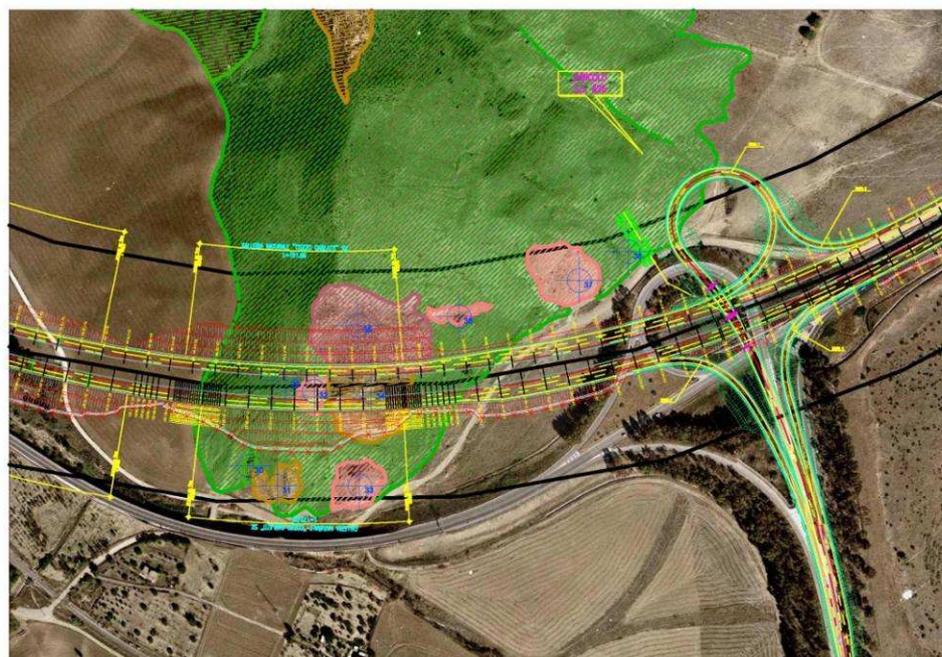
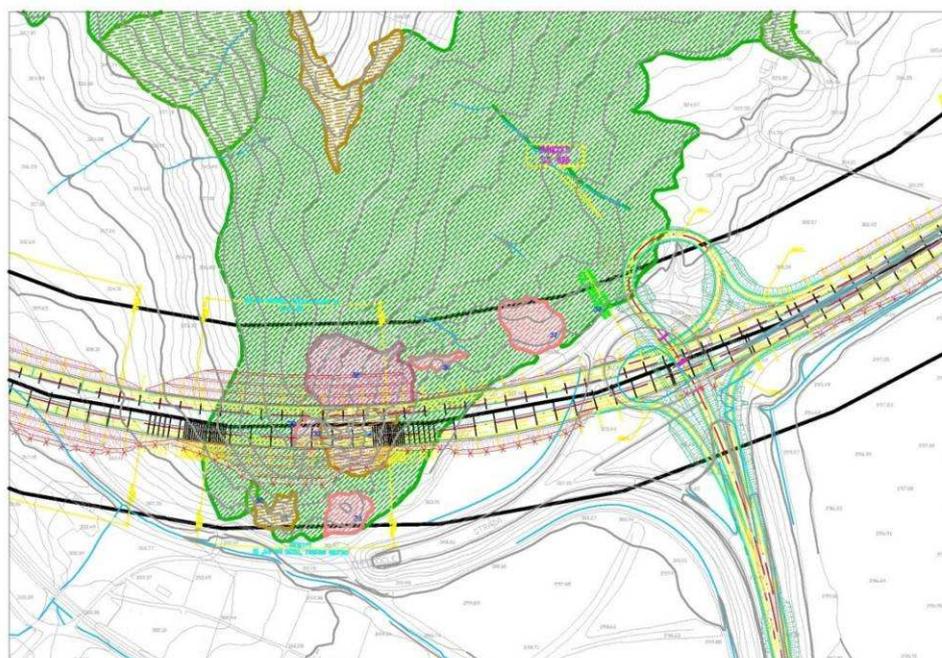


Figura 14 – Dissesti n° 29 – 38 (Calanchi, Scoscend . Sup., Erosione diffusa, Crolli, Complessa)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 314 di 351

## APPENDICE 3

### TABELLA CLASSI DI ESPOSIZIONE AGGRESSIVITÀ SUI CLS PER LE OPERE D'ARTE

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 315 di 351

## CLASSI DI ESPOSIZIONE CLS

**Ai sensi della norma UNI EN 206-1-2006 con riferimento al prospetto 2 ("Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno")**

OPERE D'ARTE	PROG. DEF.	PROG. ESEC.	SITUAZIONE
<b>1. VIADOTTI</b>			
<b>1.1 Viadotto Giulfo</b>			
1.1.1	PALI	XC2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti sia dalla medesima formazione in cui insiste il piezometro SI23 (spalla Sud) sia da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalla Nord) derivanti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e gessi) posti topograficamente a quote superiori
1.1.2	FONDAZIONI	XC2	
<b>1.2 Viadotto Favarella</b>			
1.2.1	PALI	XC2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalle) derivanti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
1.2.2	FONDAZIONI	XC2	
<b>1.3 Viadotto Fosso Mumia</b>			
1.3.1	PALI	XC2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti sia dalla medesima formazione in cui insiste il piezometro SI25 (spalla Sud) sia da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalla Nord) derivanti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente
1.3.2	FONDAZIONI	XC2	

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 316 di 351

a quote superiori.

#### 1.4 Viadotto San Giuliano

1.4.1	PALI	XC2	XA1
1.4.2	FONDAZIONI	XC2	XA2

Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalle) derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.

#### 1.5 Viadotto San Filippo Neri

1.5.1	PALI	XC2	XC2
1.5.2	FONDAZIONI	XC2	XA1

Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalle) derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni scarsamente permeabili e quindi con irrilevante presenza di acqua.

#### 1.6 Viadotto Busita I

1.6.1	PALI	XC2	XC2
1.6.2	FONDAZIONI	XC2	XA1

Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalle) derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni scarsamente permeabili e quindi con irrilevante presenza di acqua.

#### 1.7 Viadotto Busita II

1.7.1	PALI	XC2	XC2
1.7.2	FONDAZIONI	XC2	XA1

Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque superficiali defluenti in alveo e in subalveo (pile centrali) e su versante (spalle) derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topografica-

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 317 di 351

				mente a quote superiori. I pali insistono su formazioni scarsamente permeabili e quindi con irrilevante presenza di acqua.
<b>1.8 Viadotto Busita III</b>				
1.8.1 PALI	XC2	XC2		
1.8.2 FONDAZIONI	XC2	XC2		Zona poco soggetta a deflussi di acque.
<b>1.9 Viadotto Santuzza I</b>				
1.9.1 PALI	XC2	XC2		
1.9.2 FONDAZIONI	XC2	XC2		Zona poco soggetta a deflussi di acque.
<b>1.10 Viadotto Santuzza II</b>				
1.10.1 PALI	XC2	XC2		
1.10.2 FONDAZIONI	XC2	XC2		Zona poco soggetta a deflussi di acque.
<b>1.11 Viadotto Santuzza III</b>				
1.11.1 PALI	XC2	XC2		
1.11.2 FONDAZIONI	XC2	XC2		Zona poco soggetta a deflussi di acque.
<b>1.12 Viadotto Arenella I</b>				
1.12.1 PALI	XC2	XA2		
1.12.2 FONDAZIONI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
<b>1.13 Viadotto Arenella II</b>				
1.13.1 PALI	XC2	XA2		
1.13.2 FONDAZIONI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
<b>1.14 Viadotto Arenella III</b>				
1.14.1 PALI	XC2	XA2		
1.14.2 FONDAZIONI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI36.
<b>1.15 Viadotto Salso</b>				
1.15.1 PALI	XA2	XD3		
1.15.2 FONDAZIONI	XA2	XD3		Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) con riconosciuti apporti di composti aggressivi (solfati e cloruri). I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI38.

## 2. PONTI

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 318 di 351

<b>2.1. Ponte Serra</b>				
2.1.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
2.1.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>2.2 Cavalcaferrovia Grotticelle</b>				
2.2.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale della formazione sabbiosa.
2.1.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>3. GALLERIE ARTIFICIALI</b>				
<b>3.1. Galleria Rovetello</b>				
3.1.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI23.
3.1.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>3.2 Galleria Favarella</b>				
3.2.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a presenza di acque interstiziali e gravifiche (sebbene contenute in acquiferi a bassa permeabilità) influenzate da apporti provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
3.2.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>3.3 Galleria S. Cataldo</b>				
3.3.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a presenza di acque interstiziali e gravifiche (sebbene contenute in acquiferi a bassa permeabilità) influenzate da matrici arricchite in solfati apportati da formazioni evaporitiche (calcari di base e/o gessi) presenti nelle zone circostanti.
3.3.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>3.4 Galleria S. Filippo</b>				
3.4.1	PALI	XC2	XC2	Zona poco soggetta a deflussi di acque.
3.4.2	FONDAZIONI	XC2	XC2	
<b>3.5 Galleria Bersaglio</b>				

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 319 di 351

3.5.1	PALI	XC2	XC2	Zona poco soggetta a deflussi di acque.
3.5.2	FONDAZIONI	XC2	XC2	
<b>4. GALLERIE NATURALI</b>				
<b>4.1. Galleria Papazzo</b>				
4.1.1	Strutture	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquiferi più o meno permeabili, con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati) tramite indagini dirette (piezometro SI25)
<b>4.2 Galleria Caltanissetta</b>				
4.2.1	Strutture	XA2	XD3	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquiferi più o meno permeabili, con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati e cloruri) tramite indagini dirette (piezometro SI27, PZ2, PZ3)
<b>4.3 Galleria S. Filippo</b>				
4.3.1	Strutture	XC2	XC2	Zona poco soggetta a deflussi di acque.
<b>4.4 Galleria Cozzo Garlatti</b>				
4.4.1	Strutture	XC2	XC2	Zona poco soggetta a deflussi di acque.
<b>5. MURI IN C.A.</b>				
<b>5.1. Mu01 km 0+000</b>				
5.1.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.1.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.2. Mu02 km 0+450.49</b>				
5.2.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.2.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.3. Mu03 km 0+457.59</b>				
5.3.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.3.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.4. Mu04 km 0+775.00</b>				
5.4.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 320 di 351

5.4.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
<b>5.5.</b>	<b>Mu05 km 0+900.60</b>			
5.5.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.5.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.6.</b>	<b>Mu06 km 1+115.60</b>			
5.6.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.6.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.7.</b>	<b>Mu07 km 1+225.29</b>			
5.7.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.7.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.8.</b>	<b>Mu08 km 1+200.45</b>			
5.8.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabili (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
5.8.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.9.</b>	<b>Mu09 km 1+479.79</b>			
5.9.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcare di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.9.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.10.</b>	<b>Mu10 km 1+551.02</b>			
5.10.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcare di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su
5.10.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	

				formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
<b>5.11.</b>	<b>Mu11 km 1+876.03</b>			
5.11.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.11.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.12.</b>	<b>Mu12 km 1+900.00</b>			
5.12.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.12.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.13.</b>	<b>Mu13 km 2+151.03</b>			
5.13.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.13.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.14.</b>	<b>Mu14 km 2+476.03</b>			
5.14.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.14.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.15.</b>	<b>Mu15 km 2+525.00</b>			
5.15.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcarei di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.15.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.16.</b>	<b>Mu16 km 3+015.72</b>			
5.16.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 322 di 351

5.16.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI23.
<b>5.17.</b>	<b>Mu17 km 3+014.62</b>			
5.17.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI23.
5.17.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.18.</b>	<b>Mu18 km 4+022.56</b>			
5.18.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.18.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.19.</b>	<b>Mu19 km 4+023.00</b>			
5.19.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.19.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.20.</b>	<b>Mu20 km 5+150.24</b>			
5.20.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.20.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.21.</b>	<b>Mu21 km 6+625.99</b>			
5.21.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.21.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.22.</b>	<b>Mu22 km 6+525.00</b>			
5.22.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.22.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.23.</b>	<b>Mu23 km 6+975.00</b>			
5.23.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.23.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	

				atici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
<b>5.24.</b>	<b>Mu24 km 7+590.91</b>			
5.24.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.24.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.25.</b>	<b>Mu25 Tronco 15</b>			
5.25.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.25.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.26.</b>	<b>Mu26 Tronco 15</b>			
5.25.2	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.25.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.27.</b>	<b>Mu27 Svincolo Delia-Sommatino</b>			
5.27.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.27.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.28.</b>	<b>Mu28 km 7+929.22</b>			
5.28.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.28.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.29.</b>	<b>Mu29 km 7+959.28</b>			
5.29.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.29.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.30.</b>	<b>Mu30 km 8+274.81</b>			
5.30.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.30.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.31.</b>	<b>Mu31 km 9+500.99</b>			
5.31.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di

5.31.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
<b>5.32. Mu32 Tronco 20</b>				
5.32.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.32.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.33. Mu33 km 11+782.11</b>				
5.30.2	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.30.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.34. Mu34 km 11+889.47</b>				
5.34.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.34.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.35. Mu35 km 11+925.00</b>				
5.35.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.35.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.36. Mu36 Sottovia Scatolare Km 12+476.00</b>				
5.36.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.36.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.37. Mu37 Sottovia Scatolare Km 12+482.00</b>				
5.37.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi)
5.37.1	FONDAZIONI	XC2	XA1	

				posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
<b>5.38. Mu38 Sottovia Scatolare</b>				
<b>Km 12+476.00</b>				
5.38.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.38.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.39. Mu39 Sottovia Scatolare</b>				
<b>Km 12+588.00</b>				
5.39.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.39.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.40. Mu40 Sottovia Scatolare</b>				
<b>Km 12+588.00</b>				
5.40.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.40.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.41. Mu41 Svincolo Caltanissetta Sud</b>				
5.41.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.
5.41.2	FONDAZIONI	XC2	XA1	
<b>5.42. Mu42 Km 17+025.00</b>				
5.42.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque di versante derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di
5.42.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	

			acqua.
<b>5.43. Mu43 Km 17+100.00</b>			
5.43.1 PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque di versante derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.43.2 FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.44. Mu44 Km 17+137.13</b>			
5.44.1 PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque di versante derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.44.2 FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.45. Mu45 Km 17+173.04</b>			
5.45.1 PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque di versante derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.45.2 FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.46. Mu46 Km 17+950.89</b>			
5.46.1 PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque di versante derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.46.2 FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.47. Mu47 Km 17+950.05</b>			
5.47.1 PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da formazioni alimentate da acque di versante derivanti da affioramenti evaporitici (trubi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
5.47.2 FONDAZIONI	XC2	XA2	

bi, calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.

<b>5.48. Mu48 Tronco 32</b>			
5.48.1	PALI	XC2	XC2
5.48.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.49. Mu49 km 19+289.72</b>			
5.49.1	PALI	XC2	XC2
5.49.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.50. Mu50 Svincolo Caltanissetta Nord</b>			
5.50.1	PALI	XC2	XC2
5.50.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.51. Mu51 Tronco 40</b>			
5.51.1	PALI	XC2	XC2
5.51.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.52. Mu52 km 21+300.00</b>			
5.52.1	PALI	XC2	XC2
5.52.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.53. Mu53 km 22+181.46</b>			
5.53.1	PALI	XC2	XC2
5.53.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.54. Mu54 km 22+455.28</b>			
5.54.1	PALI	XC2	XC2
5.54.2	FONDAZIONI	XC2	XC2
<b>5.55. Mu55 km 23+133.00</b>			
5.55.1	PALI	XC2	XA2
5.55.2	FONDAZIONI	XC2	XA2
<b>5.56. Mu56 Tronco 45</b>			
5.56.1	PALI	XC2	XA2
5.56.2	FONDAZIONI	XC2	XA2
<b>5.57. Mu57 km 23+375.37</b>			
5.57.1	PALI	XC2	XA2
5.57.2	FONDAZIONI	XC2	XA2
<b>5.58. Mu58 Tronco 45</b>			
5.58.1	PALI	XC2	XA2

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 328 di 351

5.58.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
<b>5.59. Mu59 km 23+575.00</b>				
5.59.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.59.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.60. Mu60 km 24+000.00</b>				
5.60.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.60.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.61. Mu61 km 25+100.00</b>				
5.61.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.61.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>5.62. Mu62 Svincolo SS626</b>				
5.62.1	PALI	XC2	XD3	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) del F. Salso con riconosciuti apporti di composti aggressivi (solfati e cloruri). I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI38
5.62.2	FONDAZIONI	XC2	XD3	
<b>5.63. Mu63 Svincolo SS626</b>				
5.63.1	PALI	XC2	XD3	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) del F. Salso con riconosciuti apporti di composti aggressivi (solfati e cloruri). I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI38
5.63.2	FONDAZIONI	XC2	XD3	
<b>5.64. Mu64 km 26+436.38</b>				
5.64.1	PALI	XC2	XD3	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) del F. Salso con riconosciuti apporti di composti aggressivi (solfati e cloruri). I dati derivano anche
5.64.2	FONDAZIONI	XC2	XD3	

				da riscontri diretti con il piezometro SI38
<b>5.65. Mu65 km 26+534.00</b>				
5.65.1 PALI	XC2	XD3		Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) del F. Salso con riconosciuti apporti di composti aggressivi (solfati e cloruri). I dati derivano anche da riscontri diretti con il piezometro SI38
5.65.1 FONDAZIONI	XC2	XD3		
<b>5.66. Mu66 km 24+951.31</b>				
5.66.1 PALI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
5.66.2 FONDAZIONI	XC2	XA2		
<b>6. PARATIE</b>				
<b>6.1. PA01 km 1+250.10</b>				
6.1.1 PALI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque sotterranee, in acquifero permeabile (calcare evaporitico), con riconosciuta presenza di composti aggressivi (solfati). I pali insistono nella falda superficiale.
6.1.2 FONDAZIONI	XC2	XA1		
<b>6.2. PA02 km 2+476.03</b>				
6.2.1 PALI	XC2	XA1		Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
6.2.2 FONDAZIONI	XC2	XA2		
<b>6.3 PA03 Svincolo Delia Sommatino</b>				
6.3.1 PALI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
6.3.2 FONDAZIONI	XC2	XA2		
<b>6.4 PA04 Svincolo Caltanissetta Sud</b>				
6.4.1 PALI	XC2	XA2		Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote
6.4.2 FONDAZIONI	XC2	XA1		

superiori. I pali insistono nella falda superficiale dell'acquifero sabbioso.

<b>7. CAVALCAVIA</b>				
<b>7.1. Cavalcavia 1+621</b>				
7.1.1	PALI	XC2	XA1	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori. I pali insistono su formazioni meno permeabili e quindi con minore presenza di acqua.
7.1.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>7.2. Cavalcavia 4+178</b>				
7.2.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
7.2.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>7.3. Cavalcavia 5+600</b>				
7.3.1	PALI	CIPE	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
7.3.2	FONDAZIONI	CIPE	XA2	
<b>7.4. Cavalcavia 6+618.46</b>				
7.4.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
7.4.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>7.5. Cavalcavia 7+583.38</b>				
7.5.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque sub-superficiali provenienti da affioramenti evaporitici (calcari di base e/o gessi) posti topograficamente a quote superiori.
7.5.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	
<b>7.6. Cavalcavia 19+380.07</b>				
7.6.1	PALI	XC2	XC2	Zona poco soggetta a deflussi di acque.
7.6.2	FONDAZIONI	XC2	XC2	
<b>7.7. Cavalcavia 22+353.81</b>				
7.7.1	PALI	XC2	XC2	Zona poco soggetta a deflussi di acque.
7.7.2	FONDAZIONI	XC2	XC2	
<b>7.8. Cavalcavia 23+640.90</b>				
7.8.1	PALI	XC2	XA2	Zona soggetta a deflussi di acque superficiali e sub-superficiali (subalveo) provenienti da affioramenti evaporitici.
7.8.2	FONDAZIONI	XC2	XA2	

atici (calcari di base e/o gessi)  
 posti topograficamente a quote  
 superiori.

**7.9. Cavalcavia 1.1 Svincolo  
 Serradifalco**

7.9.1 PALI XC2 **XA2**  
 7.9.2 FONDAZIONI XC2 **XA1**

Zona soggetta a deflussi di  
 acque sub-superficiali prove-  
 nienti da affioramenti evapori-  
 tici (calcari di base e/o gessi)  
 posti topograficamente a quote  
 superiori. I pali insistono nella  
 falda superficiale.

**7.10. Cavalcavia 4.1 Svincolo  
 Caltanissetta Nord**

7.7.2 PALI XC2 **XC2**  
 7.7.2 FONDAZIONI XC2 **XC2**

Zona poco soggetta a deflussi  
 di acque.

**7.11. Cavalcavia 5.1 Svincolo  
 SS626**

7.7.3 PALI XC2 **XD3**  
 7.7.2 FONDAZIONI XC2 **XD3**

Zona soggetta a deflussi di  
 acque superficiali e sub-  
 superficiali (subalveo) del F.  
 Salso con riconosciuti apporti  
 di composti aggressivi (solfati  
 e cloruri). I dati derivano anche  
 da riscontri diretti con il piezo-  
 metro SI38

## **APPENDICE 4**

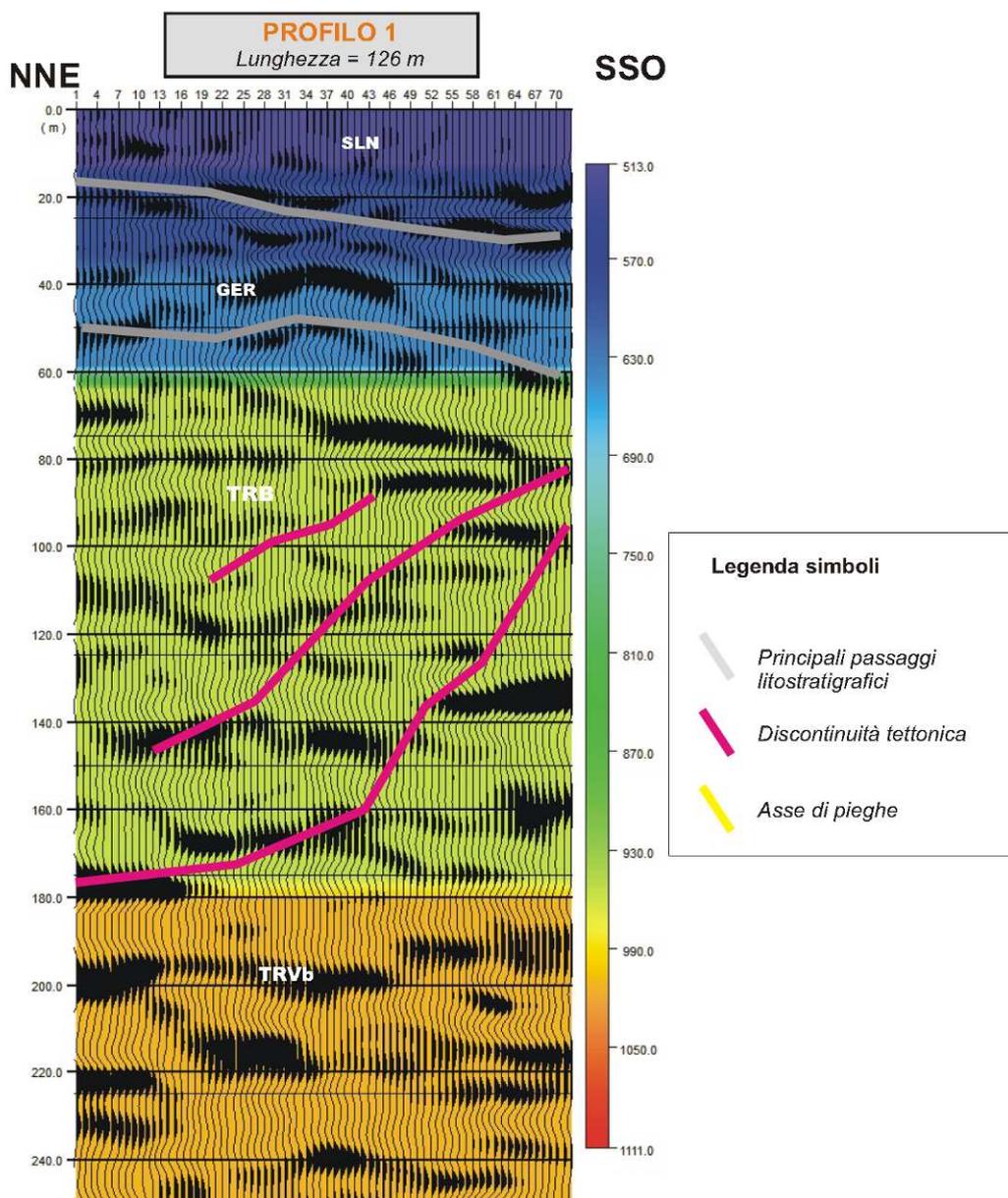
### **INTERPRETAZIONE DEI PROFILI DI SISMICA A RIFLESSIONE**

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 333 di 351

**ELENCO PROFILI DI SISMICA A RIFLESSIONE**

	<b>Sigla</b>	<b>Lungh. (m)</b>	<b>Prog. di progetto (*) (Km)</b>	<b>Orientamento</b>	<b>Azimut</b>
1	<b>SSR1</b>	126	13+455	N-S	N-210°
2	<b>SSR2</b>	101	13+433	E-O	N-265°
3	<b>SSR3</b>	132	14+470	OSO-ENE	N-250°
4	<b>SSR4</b>	58	14+108	N-S	N-190°
5	<b>SSR5</b>	46	14+139	N-S	N-190°
6	<b>SSR6</b>	85	13+997	NE-SO	N-195°
7	<b>SSR7</b>	68	14+266	SO-NE	N-55°
8	<b>SSR8</b>	100	13+507	OSO-ENE	N-10°
9	<b>SSR09</b>	252	15+771	NE-SO	N-260°
10	<b>SSR10</b>	114	13+349	S-N	N-350°
11	<b>SSR11</b>	75	15+055	S-N	N-355°
12	<b>SSR12</b>	72	15+207	NNE-SSO	N-230°

**(\*) La progressiva indicata è riferita al punto iniziale della traversa sismica**



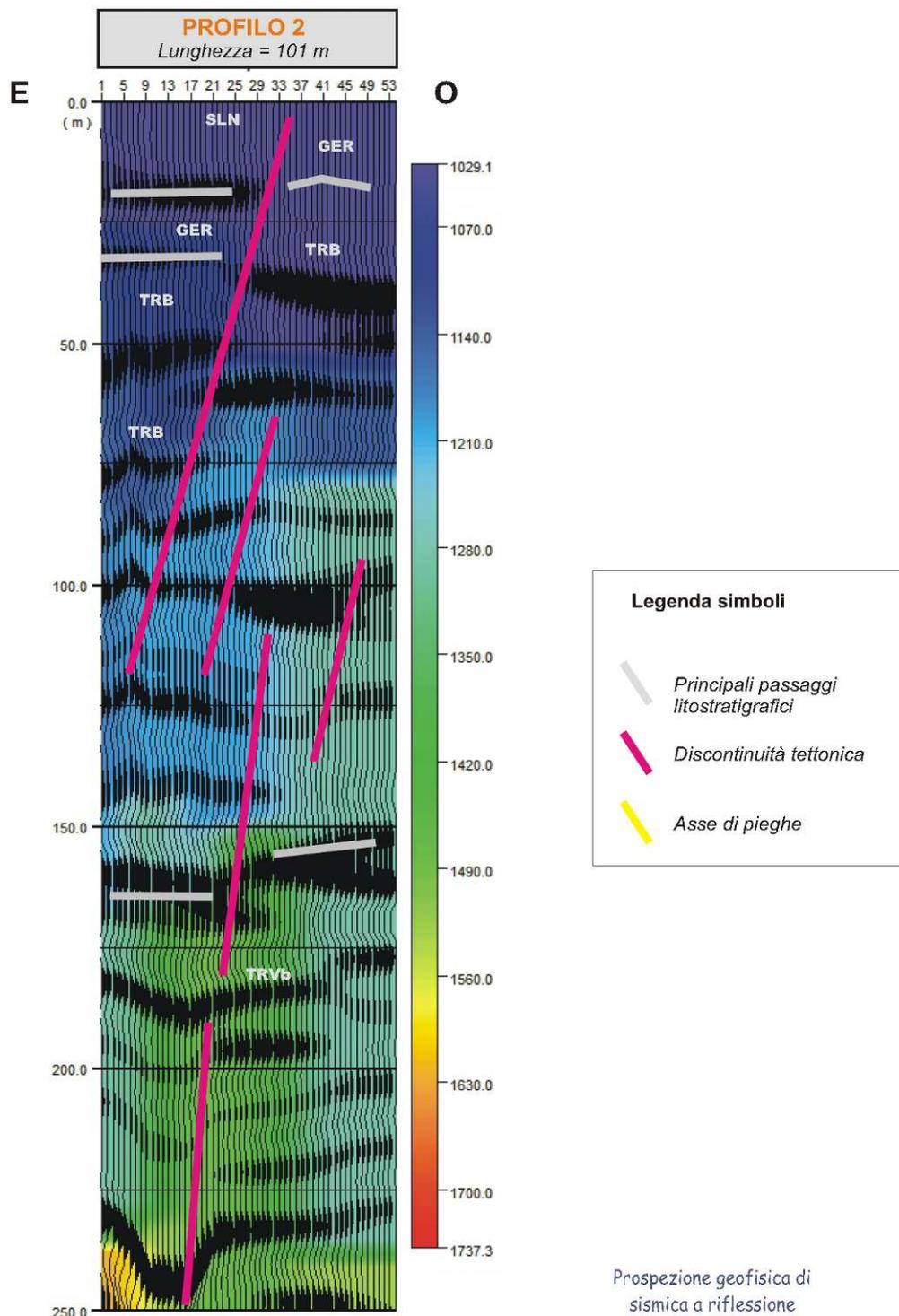
Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Prospezione geofisica di  
 sismica a riflessione

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 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+00 allo svincolo con l'A19

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 335 di 351

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 336 di 351

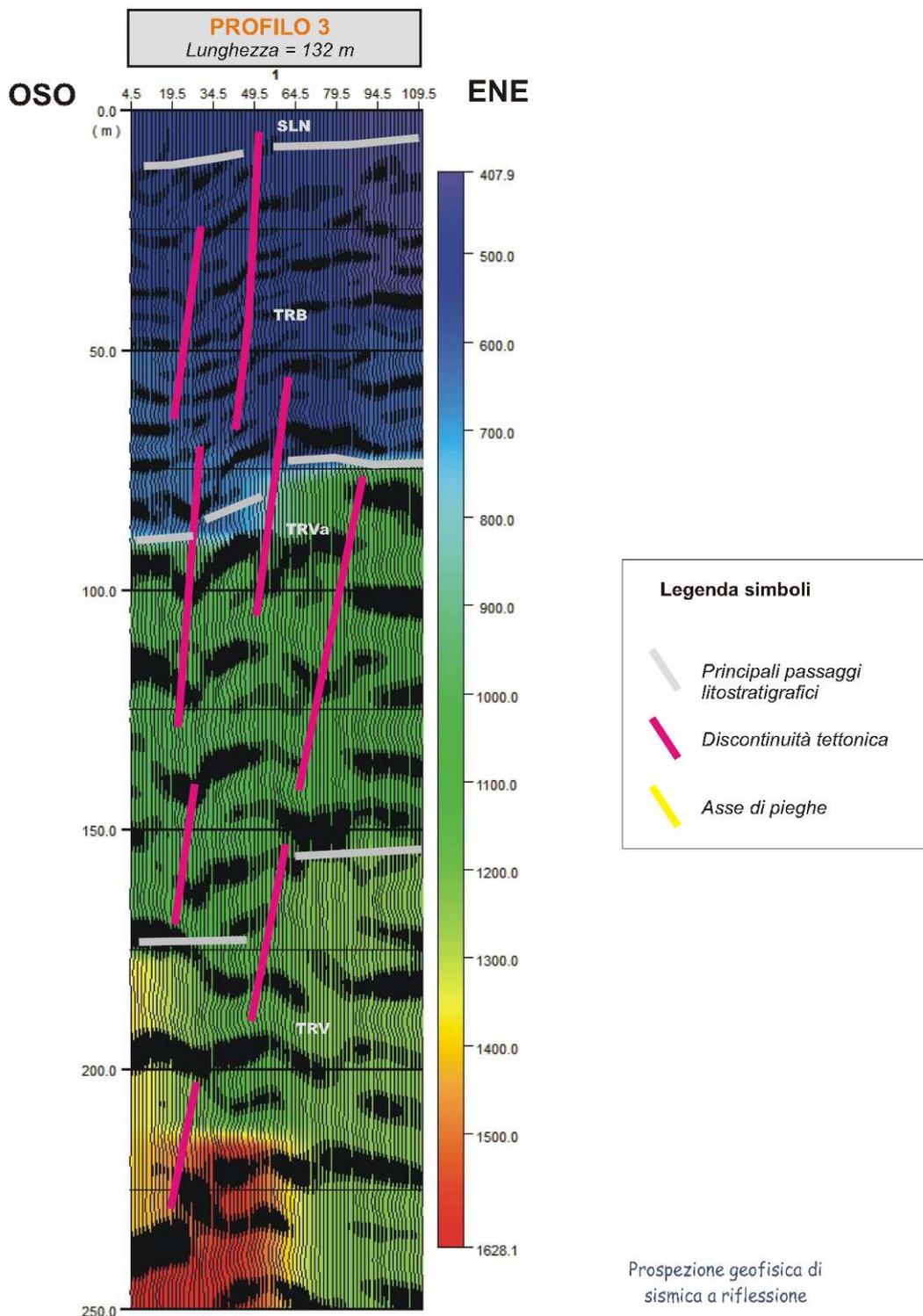


Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 337 di 351

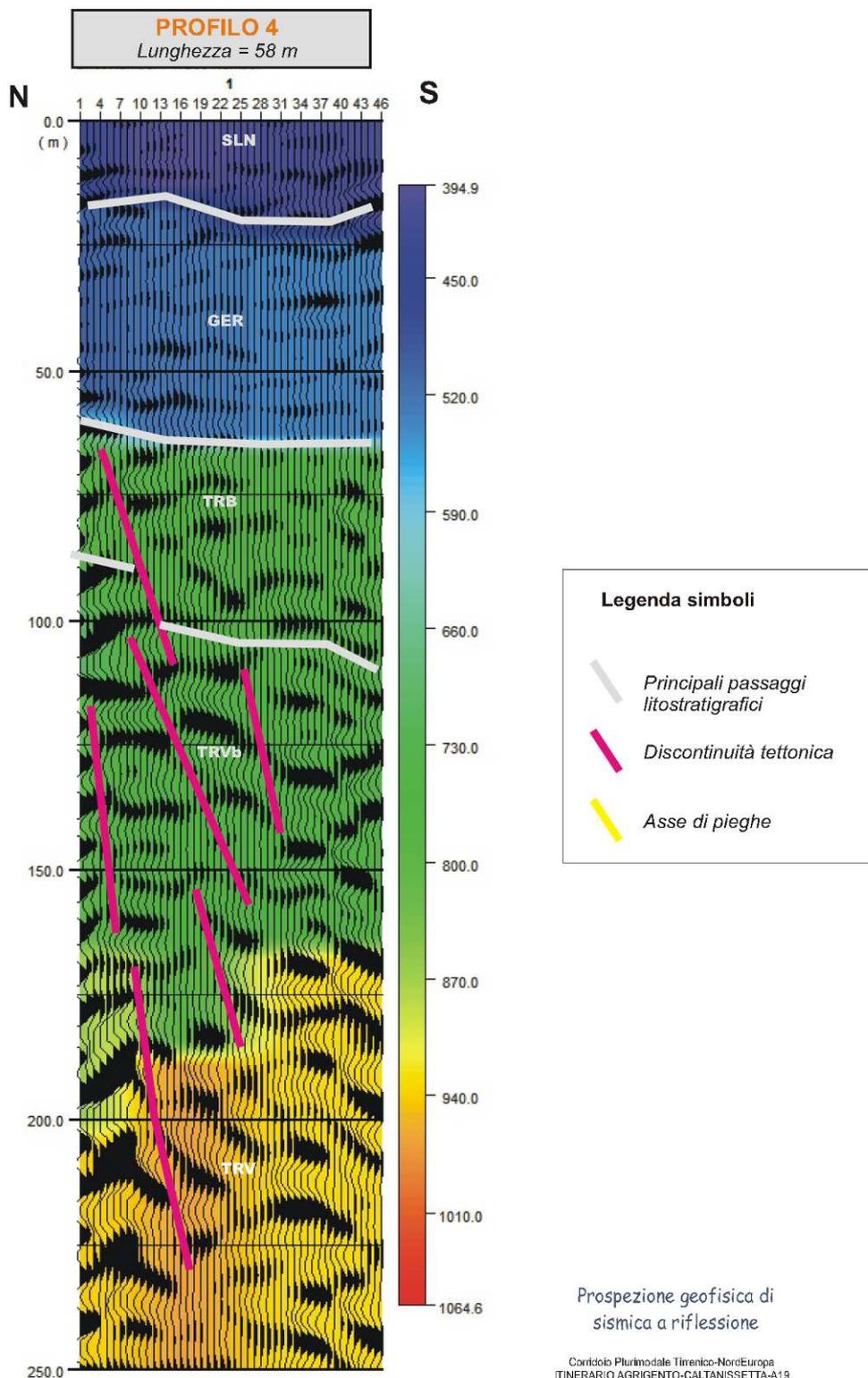
<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 338 di 351



Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 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

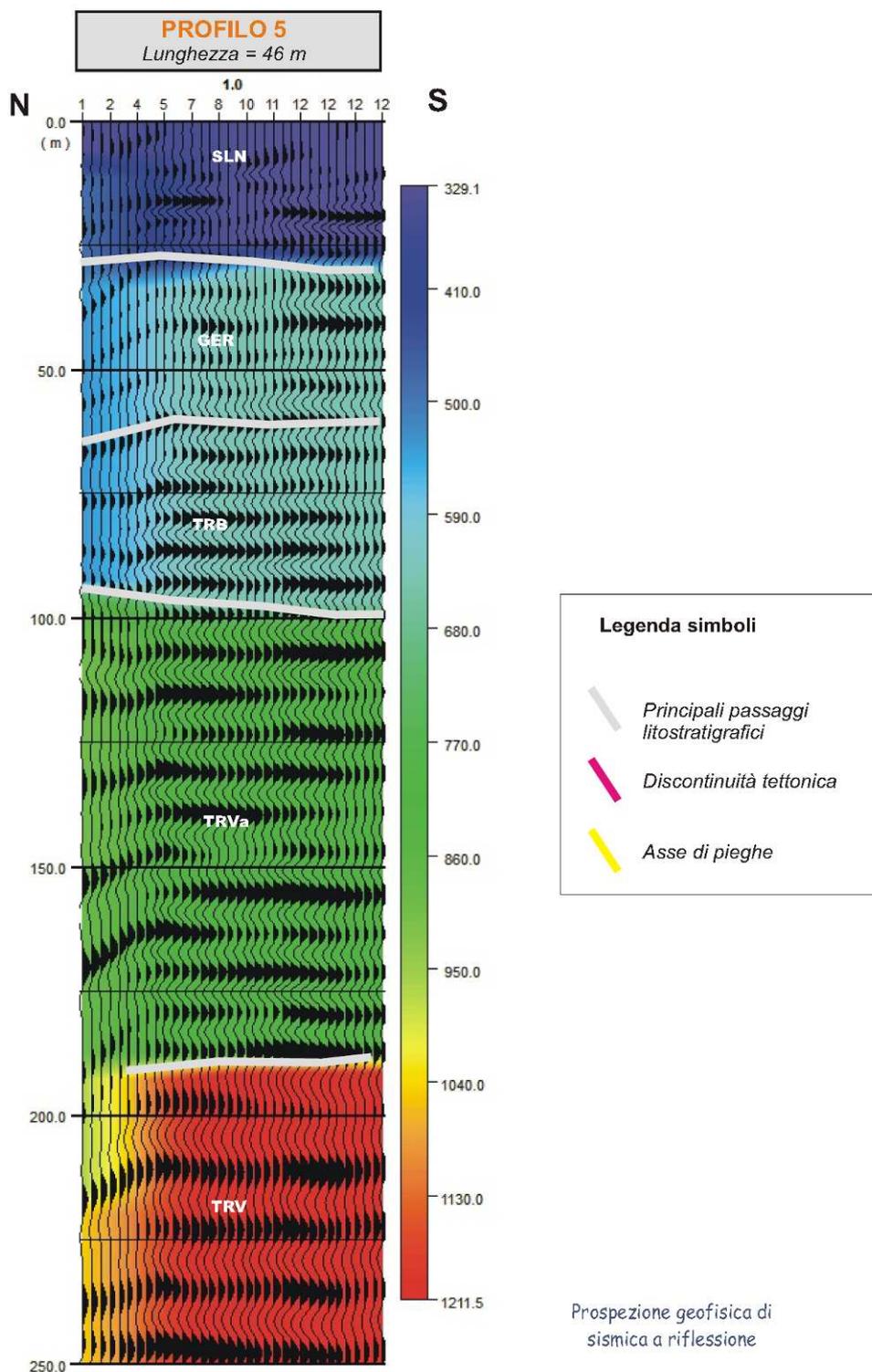
Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 339 di 351



Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 340 di 351

<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 341 di 351



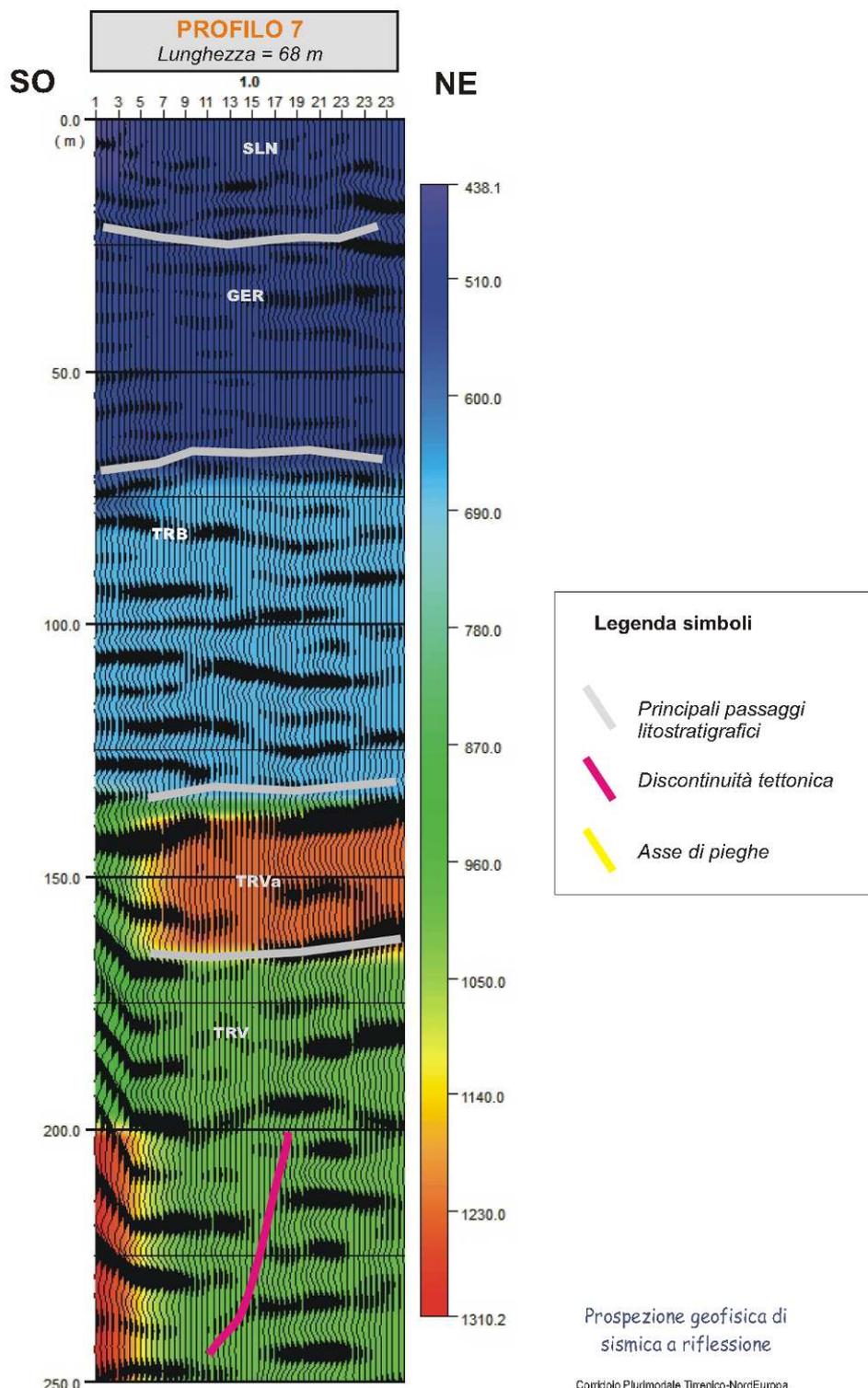
Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 ITINERARIO AGRIGENTO-CALTANISSETTA-A19  
 S.S. N°640s DI PORTO EMPEDOCLE  
 AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001  
 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 342 di 351

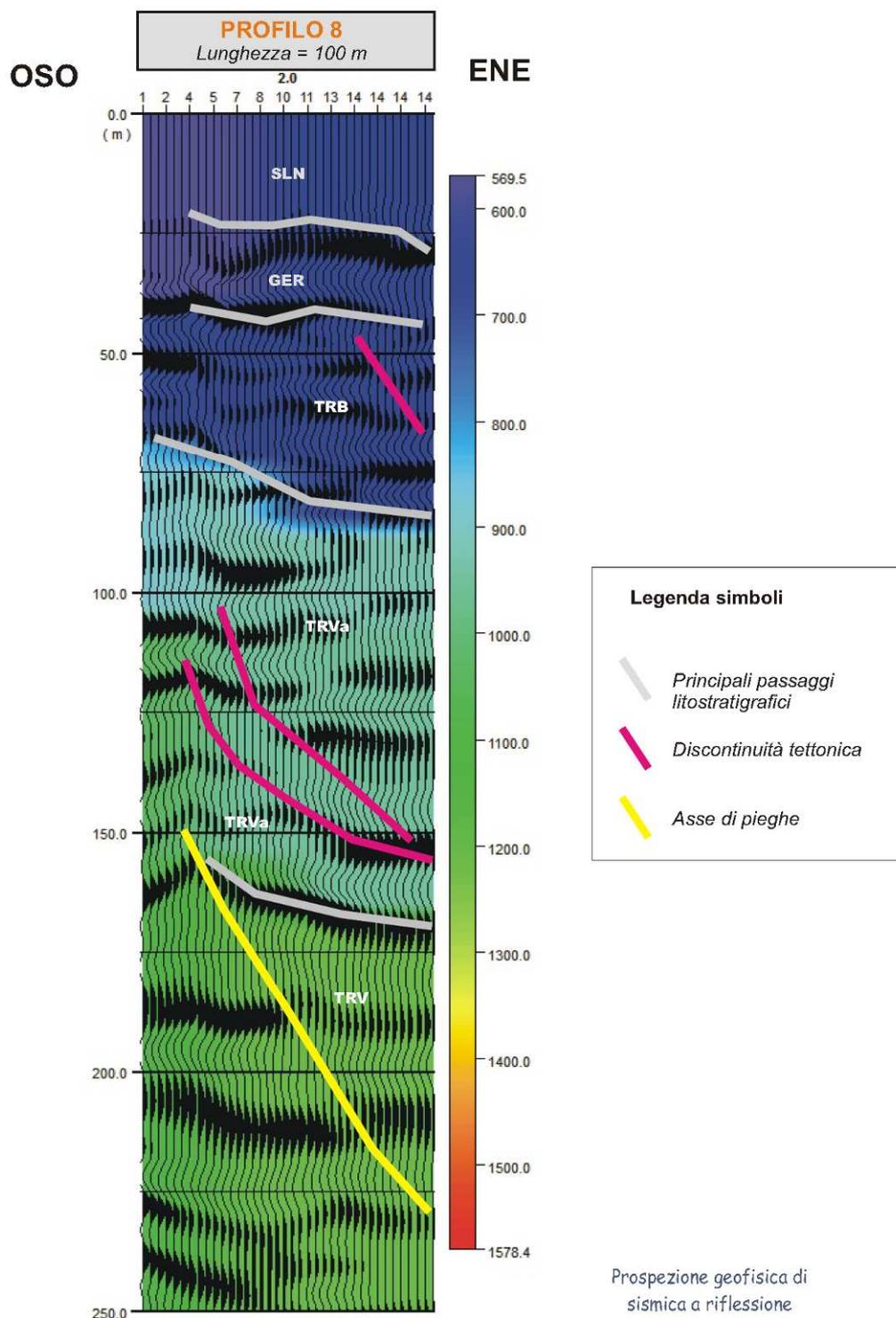
<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 343 di 351





Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

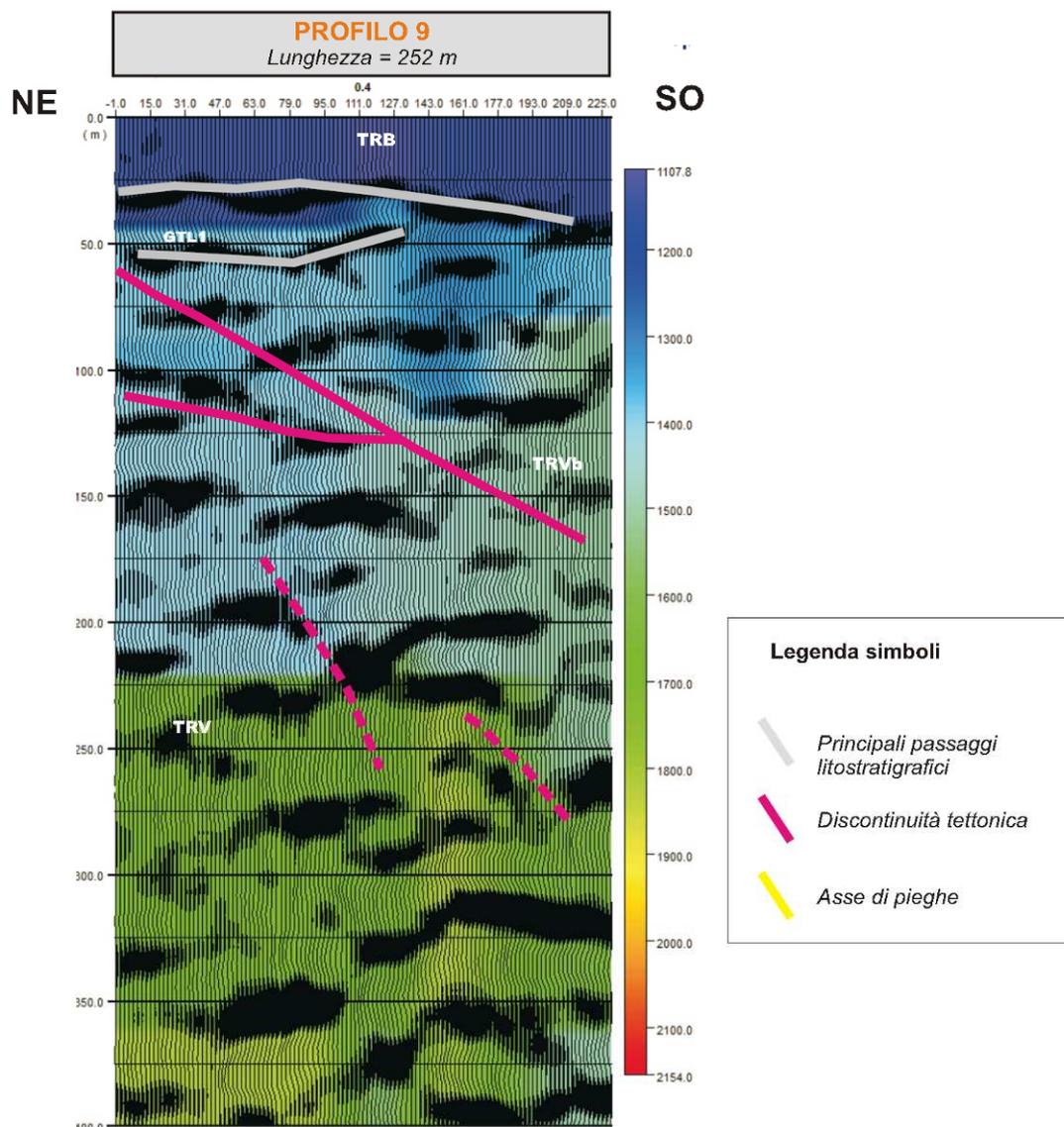
<i>Cod. elab.:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F	<i>Titolo:</i> RELAZIONI GEOLOGICHE	<i>Data:</i> 31/08/11
<i>Nome file:</i> GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	<i>Pagina</i> 345 di 351



Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 ITINERARIO AGRIGENTO-CALTANISSETTA-A19  
 S.S. N°640«D» PORTO EMPEDOCLE  
 AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001  
 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 346 di 351

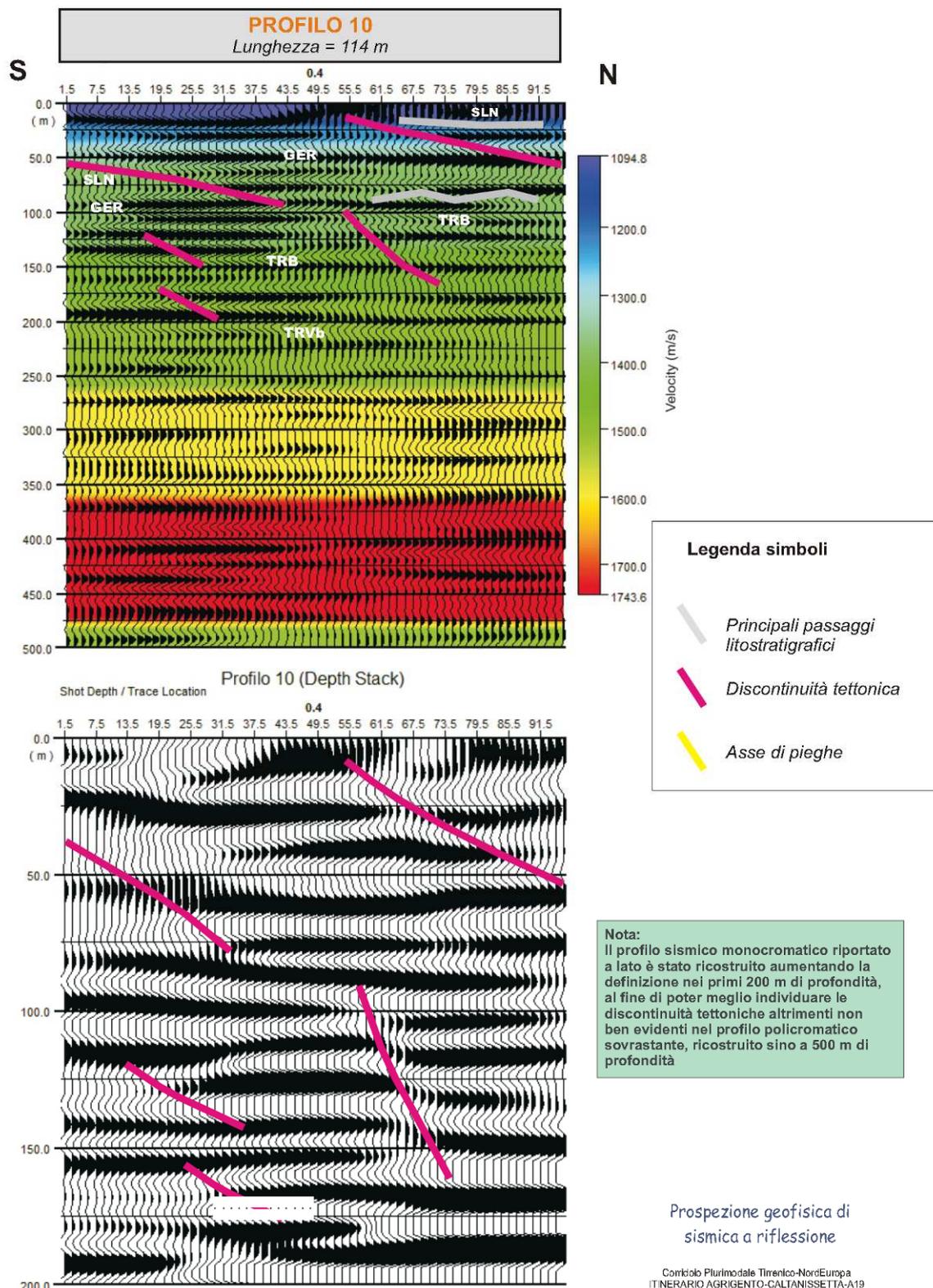


Prospezione geofisica di  
sismica a riflessione

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 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+00 allo svincolo con l'A19

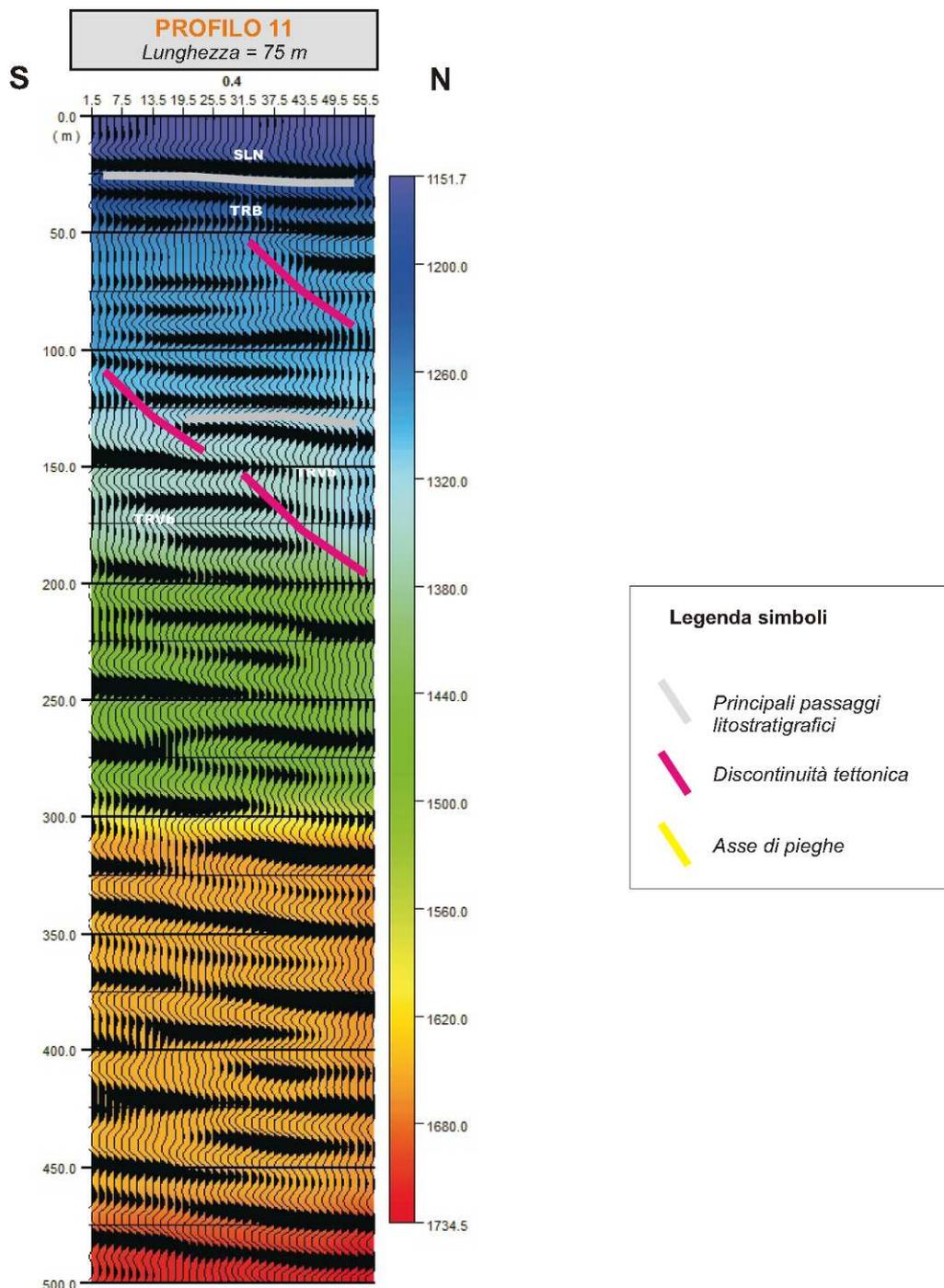
Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 347 di 351



Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	<b>Relazione Geologica</b>	Pagina 348 di 351

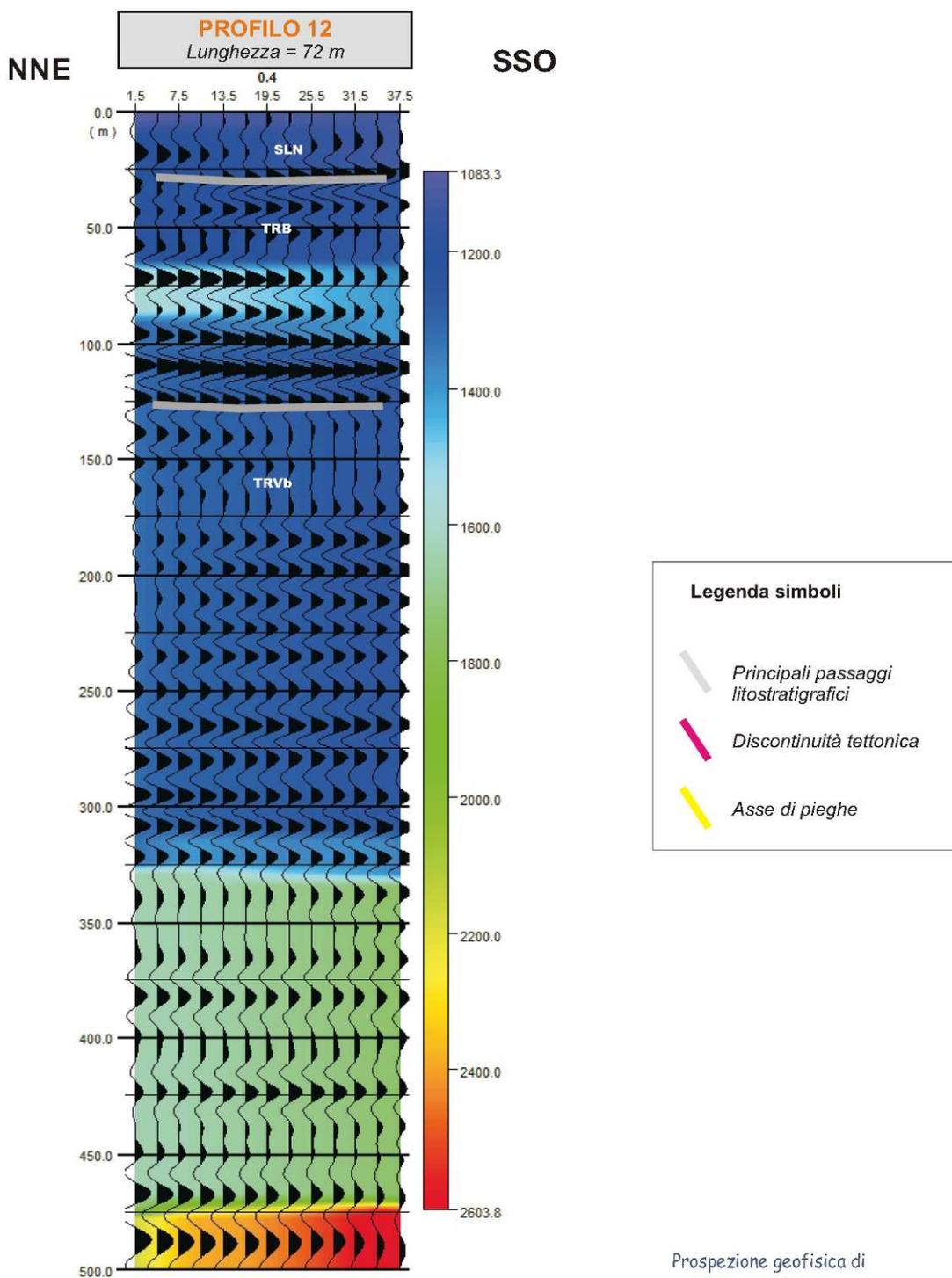


Prospezione geofisica di  
sismica a riflessione

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 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+00 allo svincolo con l'A19

Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 349 di 351



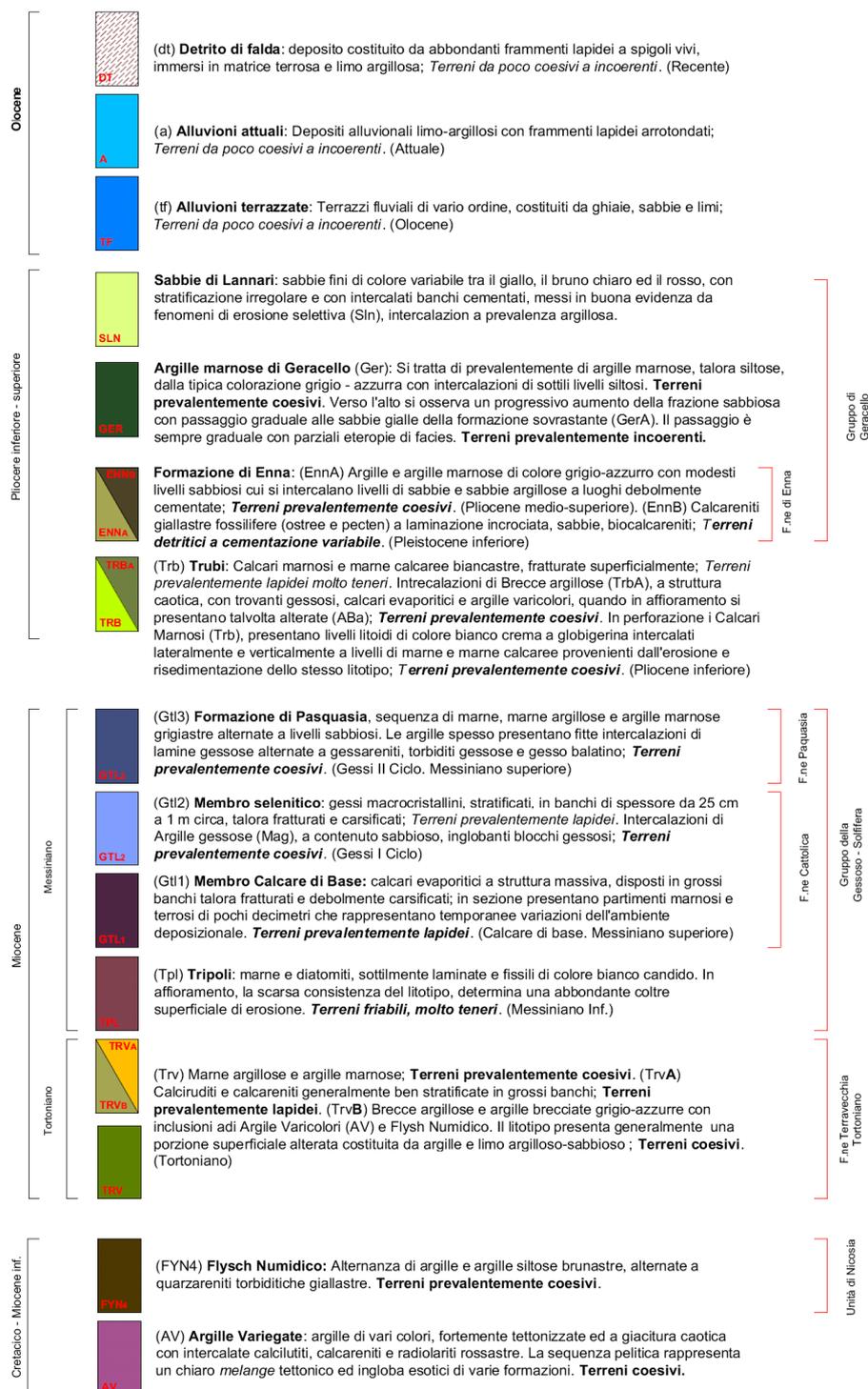
Committenza: Sidercem s.r.l.  
 Elaborazione ed esecuzione: dott.geol. Giuseppe Marino

Corridoio Plurimodale Tirrenico-NordEuropa  
 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+00 allo svincolo con l'A19

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 _F	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 31/08/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-005 _F.doc	Relazione Geologica	Pagina 350 di 351

## SEQUENZA STRATIGRAFICA

(I colori sono quelli riportati nella cartografia geologica e non quelli riportati nei profili sismici, che invece sono associati alle velocità delle onde P)



Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-005 \_F

Titolo:

RELAZIONI GEOLOGICHE

Data: 31/08/11

Nome file: GE208-GI01ZRD-005 \_F.doc

Relazione Geologica

Pagina 351 di 351