



## 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 DEFINITIVO

#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE

**ATI:**  
**TECHNITAL s.p.a. (mandataria)**  
**S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.**  
**DELTA Ingegneria s.r.l.**  
**INFRATEC s.r.l Consulting Engineering**  
**PROGIN s.p.a.**

#### I RESPONSABILI DI PROGETTO

Dott. Ing. M. Raccosta  
Ordine Ing. Verona n° A1665  
Prof. Ing. A. Bevilacqua  
Ordine Ing. Palermo n° 4058  
Dott. Ing. M. Carlino  
Ordine Ing. Agrigento n° A628  
Dott. Ing. N. Troccoli  
Ordine Ing. Potenza n° 836  
Dott. Ing. S. Esposito  
Ordine Ing. Roma n° 20837

#### IL GEOLOGO

Dott. Geol. M. Carlino  
Ordine dei Geologi di Sicilia n° 1328

#### IL GEOTECNICO

Ing. Domenico D'Alessandro ('62)  
Ordine degli Ingegneri di Agrigento n° 634

VISTO:IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Massimiliano Fidenzi

VISTO:IL RESPONSABILE DEL  
SERVIZIO PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Antonio Valente

DATA

PROTOCOLLO

## GEOLOGIA

### Relazione geologica

CODICE PROGETTO

LO407B D 0501

NOME FILE

Relazione geologica.Doc

CODICE  
ELAB.

T01GE01GEO RE01

REVISIONE

B

FOGLIO

di

SCALA:

D

C

B

REVISIONE a seguito istruttoria ANAS 19/03/07

Aprile 2007

F. Capozucca

F. Arciuli

C. Marro

A

EMISSIONE

Ottobre 2006

F. Capozucca

F. Arciuli

C. Marro

REV.

DESCRIZIONE

DATA

VERIFICATO  
RESP. TECNICO

CONTROLLATO  
RESP. D'ITINERARIO

APPROVATO  
RESP. DI SETTORE

<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>1. STUDIO PRELIMINARE E PROGRAMMAZIONE INDAGINI .....</b>	<b>9</b>
1.1. CRITERI DI PROGRAMMAZIONE E TIPOLOGIA DELLE INDAGINI: .....	9
1.2. DETTAGLIO CAMPAGNA DI INDAGINE ESEGUITA:.....	11
2.2 STUDIO GEOLOGICO PRELIMINARE.....	16
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>17</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>22</b>
3.1. SUCCESSIONE STRATIGRAFIA.....	24
3.1.1. Formazione delle argille e marne argillose - (Tortoniano) .....	24
3.1.2. Unità delle Sabbie e marne sabbiose .....	26
3.1.3. Unità delle calciruditi e calcareniti.....	28
3.1.4. Tripoli – (Messiniano).....	31
3.1.5. Calcarea di base – (Messiniano sup.) .....	33
3.1.6. Gessi – (Messiniano sup.).....	35
3.1.7. Trubi – (Pliocene Inferiore).....	38
3.1.8. Formazione marnoso – arenacea – (Pliocene medio - Pleistocene inf) .....	40
3.1.9. Depositi elu-colluviali – (Recente) .....	44
3.1.10. Detrito di falda - (Recente) .....	44
3.1.11. Alluvioni e depositi terrazzati – (Recente) .....	45
3.2. TETTONICA.....	47
<b>4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE.....</b>	<b>48</b>
<b>5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>53</b>
<b>6. MACROSISMICITA' DELL'AREA .....</b>	<b>57</b>
6.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	57
6.2. DATI STORICI.....	60
6.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA AREE DI PROGETTO.....	62
6.4. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA INDOTTA .....	63
6.5. CATEGORIE DEL SUOLO DI FONDAZIONE AI FINI DELLE AZIONI SISMICHE .....	66
<b>7. ANALISI DEL TRACCIATO .....</b>	<b>68</b>
7.1. TRATTO I A) “ C.DA GROTTAROSSA”.....	69
7.1.1. Assetto geologico e geotecnico .....	69
7.1.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico.....	73

7.1.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	74
<b>7.2.</b>	<b>TRATTO I B) “PRIMA VARIANTE” .....</b>	<b>75</b>
7.2.1.	Asseto Geologico e geotecnico.....	76
7.2.2.	Asseto Geomorfologico e idrogeologico.....	78
7.2.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	79
<b>7.3.</b>	<b>TRATTO I C) “GROTTA D’ACQUA” .....</b>	<b>81</b>
7.3.1.	Asseto Geologico e geotecnico.....	82
7.3.2.	Asseto Geomorfologico e idrogeologico.....	85
7.3.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	87
<b>7.4.</b>	<b>TRATTO II A) “SECONDA VARIANTE TRATTO INIZIALE” .....</b>	<b>89</b>
7.4.1.	Asseto Geologico e geotecnico.....	90
7.4.2.	Asseto Geomorfologico e idrogeologico.....	94
7.4.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	96
<b>7.5.</b>	<b>TRATTO II B) “GALLERIA PAPAZZO” .....</b>	<b>98</b>
7.5.1.	Asseto geologico e geotecnico .....	99
7.5.2.	Asseto geomorfologico e idrogeologico.....	102
7.5.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	103
<b>7.6.</b>	<b>TRATTO II C) “SECONDA VARIANTE TRATTO FINALE” .....</b>	<b>105</b>
7.6.1.	Asseto geologico e geotecnico.....	106
7.6.2.	Asseto geomorfologico e idrogeologico.....	109
7.6.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	111
<b>7.7.</b>	<b>TRATTO II D) “GALLERIA CALTANISSETTA” .....</b>	<b>113</b>
7.7.1.	Asseto Geologico e geotecnico .....	114
7.7.2.	Asseto Geomorfologico e idrogeologico.....	120
7.7.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	122
<b>7.8.</b>	<b>TRATTO II E) “C.DA SAN FILIPPO NERI” .....</b>	<b>124</b>
7.8.1.	Asseto Geologico e geotecnico .....	125
7.8.2.	Asseto Geomorfologico e idrogeologico.....	128
7.8.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	129
<b>7.9.</b>	<b>TRATTO III A) “C.DA BUSITA”.....</b>	<b>131</b>
7.9.1.	Asseto geologico e geotecnico .....	132
7.9.2.	Asseto geomorfologico ed idrogeologico.....	134
7.9.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	135
7.9.4.	Tratto III b) “C.da Abbazia Santuzza”.....	137
7.9.5.	Asseto geologico e geotecnico .....	138
7.9.6.	Asseto geomorfologico e idrogeologico.....	140
7.9.7.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	141
<b>7.10.</b>	<b>TRATTO III B) “C.DA ARENELLA ” .....</b>	<b>143</b>
7.10.1.	Asseto geologico e geotecnico .....	144

7.10.2.	Assetto geomorfologico e idrogeologico.....	147
7.10.3.	Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi .....	148
7.11.	TRATTO III B) “COZZO GARLATTI” .....	150
7.11.1.	Assetto geologico e geotecnico .....	151
7.11.2.	Assetto geomorfologico e idrogeologico.....	155
7.11.3.	Esame del tracciato: geometria e analisi interventi .....	157
7.12.	TRATTO III B) “CONTRADA IMERA” .....	159
7.12.1.	Assetto geologico e geotecnico .....	160
7.12.2.	Assetto geomorfologico e idrogeologico.....	163
7.12.3.	Esame del tracciato: geometria e analisi interventi .....	165
<b>8.</b>	<b>VALUTAZIONE E STIMA DEI MATERIALI NECESSARI PER LA COSTRUZIONE .....</b>	<b>166</b>

## ALLEGATI GRAFICI:

**STUDIO GEOLOGICO**

- |   |                   |                |
|---|-------------------|----------------|
| • Carta Geologica profili e sezioni interpretative    | R 1:5.000         | (n° 10 Tavole) |
| • Carta Geomorfologica                                | R 1:5.000         | (n° 10 Tavole) |
| • Carta Idrogeologica                                 | R 1:5.000         | (n° 10 Tavole) |
| • Profili geologici di dettaglio                      | R 1:2.000 / 2.000 | (n° 10 Tavole) |
| • Planimetria con suddivisione sismica del territorio | R 1:10.000        | (n° 5 Tavole)  |

**STUDIO AMBIENTALE**

- |  |            |               |
|--|------------|---------------|
| • Carta della sensibilità geomorfologica             | R 1:10.000 | (n° 5 Tavole) |
| • Carta della sensibilità Idrogeologica              | R 1:10.000 | (n° 5 Tavole) |
| • Carta degli impatti sul sistema idrogeomorfologico | R 1:10.000 | (n° 5 Tavole) |

## PREMESSA

La presente relazione espone gli studi e le analisi eseguiti per la ricostruzione del modello geologico ed idrogeomorfologico nell’ambito del progetto 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.*



Vista di un tratto dell’attuale S.S. 640

Il presente elaborato è successivo alla prima fase progettuale (Indagini Geotecniche - Art.3.3 del Capitolato d’oneri), nella quale è stata programmata ed eseguita la campagna di indagini geognostiche propedeutica alla progettazione.

Lo studio è stato condotto coerentemente con la normativa vigente in materia (*D.M. 11/03/1988 e s.m.i.*, Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003 *e s.m.i.*) e secondo quanto previsto dal Capitolato d’Oneri A.N.A.S. per la redazione del progetto definitivo

e lo studio di Impatto Ambientale.

Lo studio è stato condotto seguendo lo schema adottato per le progettazioni geologiche di infrastrutture a sviluppo lineare, analizzando per ogni singola categoria di opere (rilevati, trincee, viadotti e gallerie) l’impatto del corpo stradale sull’ecosistema del territorio.

Pertanto, oltre alla ricostruzione del modello geologico e idro-geomorfologico del territorio, si è provveduto per ogni componente dell’infrastruttura alle seguenti caratterizzazioni:

***Rilevati:***

- definizione del modello geologico e geotecnico locale;
- definizione del grado di portanza dei terreni di imposta e possibili cedimenti;
- presenza di falda e quota indicativa;
- definizione eventuali opere di bonifica dell’area di imposta.

***Trincee:***

- definizione del modello litologico e stratigrafico locale;
- definizione caratteristiche geomorfologiche e tettoniche dell’ammasso roccioso (grado di fratturazione, eventuali fenomeni carsici sui gessi e calcari, fenomeni gravitativi, ecc.)
- presenza di falda e quota indicativa;
- geometria delle pareti di scavo;
- individuazione eventuali opere di protezione delle trincee.

***Viadotti:***

- definizione del modello litologico e stratigrafico locale;
- definizione del modello geotecnico dei terreni di imposta delle pile;
- stabilità dei versanti interessati dall’opera;
- opere di protezione idraulica delle pile in prossimità delle aste fluviali principali.

**Gallerie:**

- definizione del modello geologico e geotecnico dell’area di imbocco e della galleria;
- presenza di eventuali acquiferi, ricostruzione della circolazione idrica sotterranea e del livello freatico;
- definizione dell’ammasso roccioso attraversato, stato di competenza ed omogeneità;
- identificazione della tipologia di scavo e di rivestimento;

La particolarità dell’intervento ha richiesto una puntuale ed approfondita analisi del territorio, nelle sue componenti geologiche e geomorfologiche, attraverso il riconoscimento delle litologie, la ricostruzione della stratigrafia locale, lo studio dell’assetto geomorfologico ed idrogeologico dell’intero territorio interessato dalle opere in progetto.

Complessivamente lo studio è stato articolato sulla base del seguente schema metodologico:

**I FASE - STUDIO PRELIMINARE E PROGRAMMAZIONE INDAGINI**

Fase preliminare mirata a definire il piano delle indagini geognostiche propedeutiche alla progettazione definitiva; nello specifico ha riguardato:

- Verifica del tracciato preliminare delle soluzioni progettuali e possibili varianti;
- Verifica della ricostruzione geologica, geotettonica e geomorfologica del progetto preliminare;
- Raccolta ed elaborazione dati bibliografici ufficiali;
- Sopralluoghi preventivi, coordinati con personale tecnico A.N.A.S.;
- Prima elaborazione di massima della Carta Geologica e Profilo geologico longitudinale;
- Programmazione del piano delle indagini;

- Produzione degli elaborati cartografici preliminari;
- Assistenza tecnica e coordinamento della campagna di indagini.
- Analisi puntuale del progetto:

## II FASE - STUDIO GEOLOGICO GENERALE

Inquadramento generale a grande scala del territorio interessato dai lavori, con ricostruzione dell’assetto geologico generale; in particolare:

- Acquisizione cartografica (cartografia I.G.M.I., cartografia S.A.S., ortofoto, foto aeree);
- Rilevamento geologico di campagna su cartografia ufficiale scala 1: 5.000;
- Redazione dello studio geologico generale comprendente:
  - inquadramento geografico;
  - inquadramento geologico –strutturale generale;
  - aspetti geolitologici dei depositi superficiali e delle formazioni di substrato;
  - lineamenti geomorfologici generali;
  - lineamenti idrogeologici generali;
  - macrosismicità dell’ area;

## III FASE- STUDIO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Fase di analisi puntuale e specifica, per cogliere l’interazione delle opere in progetto con il contesto geologico, geomorfologico ed idrogeologico. Studio di eventuali varianti e soluzioni alternative. Punti dello studio ed analisi affrontati:

- Rilevamento geologico di dettaglio su cartografica scala 1:2.000 (ripresa aerea dedicata e fotopiano digitale);
- Valutazione dell’evoluzione morfologica del territorio tramite comparazione di cartografie georiferite degli anni 1968, 1998 e 2003;
- Geointerpretazione e raffronto foto aeree anni 1998 e 2003;
- Definizione del modello geologico tecnico locale, in relazione alle singole ope-

re d’arte (rilevati, trincee, gallerie, opere di sostegno e salvaguardia) del tracciato principale e della viabilità secondaria;

- Definizione delle problematiche morfologiche ed idrogeologiche legate alla realizzazione dell’opera o innescati dalla sua presenza;
- Interpretazione e sintesi dei dati stratigrafici e geotecnici provenienti dalla campagna d’indagine e definizione delle unità geotecniche di riferimento;
- Redazione dello studio geologico definitivo (Relazioni, Carta Geologica Geomorfologica, Idrogeologica, Profili longitudinali e trasversali);

## 1. STUDIO PRELIMINARE E PROGRAMMAZIONE INDAGINI

In adempimento a quanto previsto dall’Art.3.3 del Capitolato d’oneri, è stato condotto uno studio preliminare volto a verificare il tracciato proposto ed il modello geologico così come ricavabile dal progetto preliminare, e programmare le indagini geognostiche, le prove ed analisi di laboratorio da porre a supporto della progettazione definitiva.

Tale fase è stata condotta congiuntamente con il geotecnico dello staff di progettazione ed in collaborazione con il personale tecnico dell’A.N.A.S..

In questa fase si riportano, per completezza dello studio, le scelte ed i criteri di programmazione delle indagini, mentre il piano dettagliato in tutti gli aspetti tecnici, (ubicazione delle prove in situ, prove di laboratorio, ecc.) è riportato nello Studio Geotecnico.

### 1.1. Criteri di programmazione e tipologia delle indagini:

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.).

La scelta della tipologia d’indagine geognostica più idonea è stata effettuata in relazione alla natura litologica dei terreni, alle condizioni geomorfologiche dell’area, all’entità delle opere d’arte da realizzare.

Il piano di indagine è stato articolato in funzione della specifica opera d’arte da realizzare che sono state suddivise in quattro tipologie principali: gallerie, viadotti, trincee e rilevati.

**Gallerie:** le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell’intera colonna stratigrafica. Nei fori di sondaggio sono stati eseguite prove pressiometriche e sondaggi sismici down hole.

Inoltre si è provveduto al monitoraggio della falda tramite l’inserimento di piezometri.

**Viadotti:** le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza di spalle e pile dei viadotti, con prelievo mediante di n° 3 campioni.

Dove i sondaggi hanno evidenziato la presenza di falda si è provveduto all’installazione di piezometri.

**Trincee:** per le trincee più profonde, sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo lungo lo sviluppo del tracciato, estesi ad una profondità tale da comprendere l’attraversamento del tratto in scavo e la sottostante parte interessata dalle fondazioni indirette dell’opera d’arte.

Per le trincee meno profonde i sondaggi sono stati spinti ad una profondità minore (15 m), al fine di dimensionare i muri di controripa.

Prove penetrometriche e pozzetti esplorativi hanno integrato e completato la campagna.

**Rilevati:** per questa tipologia di opere sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo nei tratti individuati nella prima fase come più problematici, per possibili diverse soluzioni

progettuali, come ad esempio l’inserimento di muri di sostegno al piè di scarpa o la sostituzione dei tratti più alti di rilevato con attraversamenti su viadotto.

Inoltre sono state realizzate prove di carico su piastra per testare portanza e cedimenti dei terreni; prove penetrometriche e pozzetti esplorativi hanno integrato e completato la campagna.

## 1.2. Dettaglio campagna di indagine eseguita:

Complessivamente le indagini eseguite possono così riassumersi:

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

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

### Sondaggi meccanici:

Perforazioni a rotazione con carotaggio continuo e in parte a distruzione di nucleo, finalizzate alla determinazione dei profili stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche dei vari

livelli litologici. Le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state raccolte, catalogate e fotografate nelle apposite cassette, per eseguire la ricostruzione delle stratigrafie.

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

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

#### **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 pressiometro tipo “Menard” nei fori di sondaggio in prossimità delle gallerie Caltanissetta e Papazzo. La prova consiste 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 pressiométrico 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: nessuna
  - 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 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’ordinanza n° 3274 (costruzione in zona sismica).

Le prospezioni eseguite sono state così suddivise:

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

### **Sondaggi sismici Down Hole:**

In corrispondenza dei sondaggi S14 (galleria Papazzo) e S46 (sbocco) sono stati eseguiti dei sondaggi sismici Down Hole con sorgente energizzante in superficie, e geofono da foro calato a diverse profondità di stazionamento. Anche questo tipo di indagini sono 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*” ordinanza n° 3274 (costruzione in zona sismica).

- 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:

*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 il dettaglio delle prove eseguite si rimanda alle tavole riepilogative in appendice allegate.

Le indagini eseguite sono state altresì integrate con quelle della campagna geognostica effettuata direttamente dall’ANAS in fase di redazione del progetto preliminare, i cui risultati sono stati trasmessi dall’ANAS al gruppo di progettazione.

## 2.2 Studio geologico preliminare

A supporto del piano di indagini è stato redatto uno studio geologico preliminare mirato a cogliere l'inquadramento geologico-strutturale generale del territorio, per meglio definire le indagini ed ottimizzare i costi ed i tempi di esecuzione.

Lo studio si è avvalso di numerosi sopralluoghi congiunti con i progettisti, i geotecnici ed il personale tecnico dell'A.N.A.S.

Le informazioni fornite in questo primo stralcio di studio (già in possesso dell'Ente committente) riguardano il riconoscimento delle litologie, con descrizione dei depositi superficiali e delle formazioni di sub-strato; la ricostruzione dei rapporti stratigrafici con valutazione preventiva degli spessori dei litotipi; la definizione dei principali lineamenti morfologici del territorio interagente con il tracciato di progetto.

Elenco degli elaborati prodotti nella fase preliminare:

Carta geolitologici	R 1: 25.000;
Profilo geologico longitudinale tracciato	R 4.000 / 400
Profilo geologico longitudinale gallerie	R 4.000 / 4.000

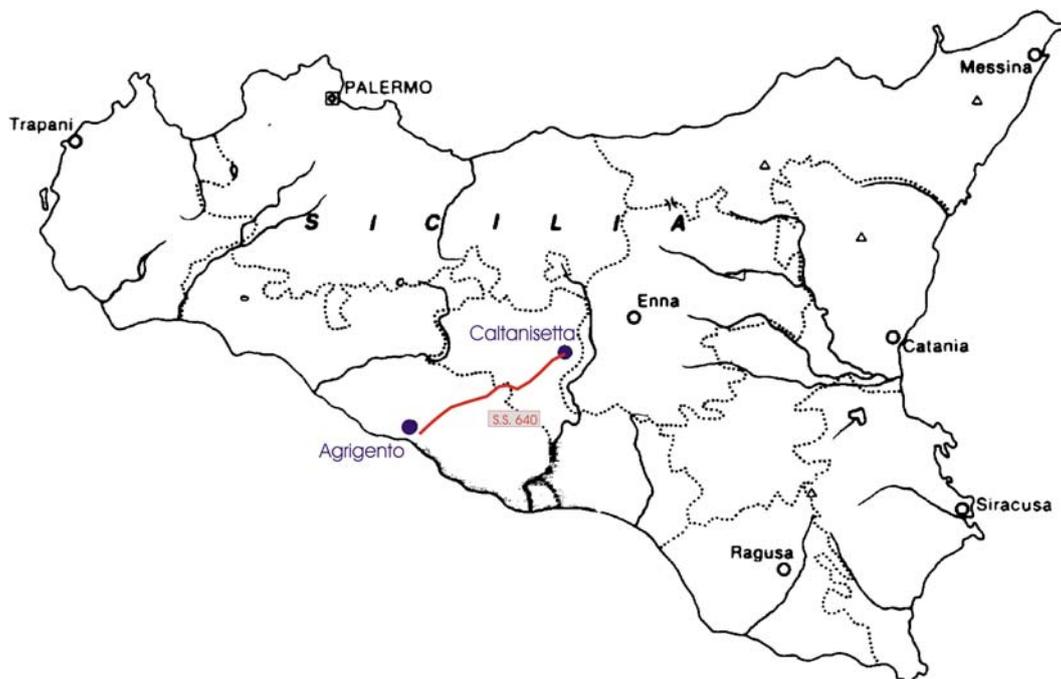
## 2. Inquadramento geografico

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

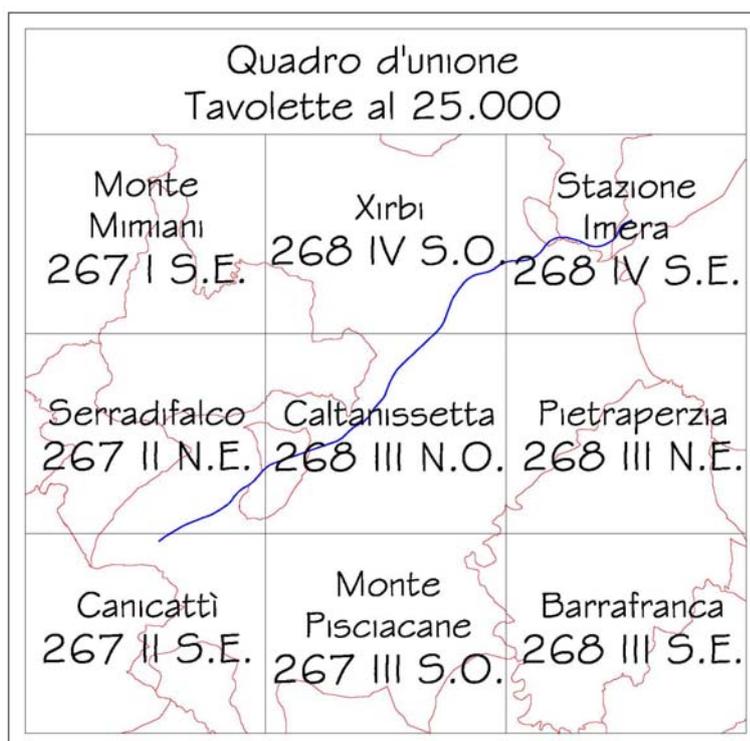
Il tratto della SS 640 oggetto del presente progetto di ammodernamento e raddoppio, ha inizio dal km 44 +100 in territorio comunale di Serradifalco (CL) in prossimità di *Contrada Grotta Rossa* e termina con lo svincolo per l'autostrada A19 Palermo – Catania.

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 :

- F° 267 II S.E. “Canicattì”
- 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”



Nel presente lavoro, al fine di meglio articolare e definire lo studio, il tracciato in progetto, complessivamente esteso Km 28.08, viene suddiviso in tratti omogenei per caratteristiche geologiche ed opere da realizzare; ogni singolo tratto verrà analizzato nello specifico delle componenti geologiche, idrogeomorfologiche e geotecniche nello studio di dettaglio.

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

Tratto	Sottotratto	DENOMINAZIONE TRATTO	PROGRESSIVE
I	1	C.da Grottarossa	0 - 2.400
I	2	Prima variante	2.400 - 4.400
I	3	C.da Grotta d'Acqua	4.400 - 8.600
II	1	Seconda variante - Tratto iniziale	8.600 – 10.350
II	2	Galleria Papazzo	10.350 – 10.975
II	3	Seconda variante - Tratto finale	10.975 – 12.900
II	4	Galleria Caltanissetta	12.900 – 16.890
II	5	C.da San Filippo Neri	16.890 – 18.100
III	1	C.da Busita	18.100 – 19.400
III	2	C.da Abbazia	19.400 – 22.300
III	3	Arenella	22.300 – 25.200
III	4	Cozzo Garlatti	25.200 – 26.600
III	5	Imera	26.600 – 28.080

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Svincolo Serradifalco (Sv01)	1.350	1.5250		4	d)
Galleria artificiale “Rovetello” (GA 01)	109	120	283	4	d)
Viadotto “Giulfo” (VI01)	127	159	795 (SX) 800 (DX)	4	c)

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Svincolo “Delia Sommatino” (Sv 02)	306	320		4	d)
Ponte (PO 01)	329	330	40	4	c)
Galleria artificiale GA 02	390	402	285 (SX) 238 (DX)	4	c)
Viadotto “Favarella” VI 02	405	410	122	4	c)
Galleria naturale “Papazzo” GN 01	415	440	741 (SX) 743 (DX)	4	b)
Viadotto “Mumia” - VI 03	445	462	422.92 (SX) 430 (DX)	4	c)
Galleria “S. Cataldo” - GA 03	462	472	187	4	c)
Ponte PO 02	493	495	45	4	c)
Svincolo “Caltanissetta Sud” - SV03	500	505		4	d)
Galleria naturale “Caltanissetta” GN 02	517	677	4.036 (SX) 4.022 (DX)	4	b)
Ponte “San Giuliano” PO 03	680	681	40 (SX) 31 (DX)	4	c)
Viadotto “San Filippo Neri” VI 04	689	697	188 (SX) 170 (DX)	4	c)
Galleria Naturale GN 03	697	707	178 (SX) 194 (DX)	4	c)
Viadotto “Busita 1” VI 05	707	717	247 (SX) 229 (DX)	4	c)
Galleria artificiale “S. Filippo” GA 04	717	724	- (SX) 120 (DX)	4	c)
Viadotto “Busita 2” VI06	724	737	285 (SX) 251 (DX)	4	c)
Galleria artificiale “Bersaglio” GA05	737	754	305.8 (SX) 300(DX)	4	c)
Viadotto “Busita 3” VI07	754	769	350 (SX) 347.9 (DX)	4	c)
Svincolo Caltanissetta SV04	769	779		4	d)

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Santuzza 1” VI08	793	800	184 (SX) 184 (DX)	4	c)
Viadotto “Santuzza 2” VI09	814	831	425 (SX) 430 (DX)	4	c)
Viadotto “Santuzza 3” VI10	833	842	220 (SX) 218.3 (DX)	4	c)
Viadotto “Arenella 1” VI11	906	914	184.8 (SX) 184 (DX)	4	c)
Ponte P04	940	941	20 (SX) 20 (DX)	4	c)
Viadotto “Arenella 2” VI12	982	988	122 (SX) 122 (DX)	4	c)
Viadotto “Arenella 3” VI13	1007	1034	587 (SX) 618 (DX)	4	c)
Galleria “Garlatti” GN04	1034	1041	183 (SX) 156 (DX)	4	d)
Svincolo “S.S. 626” SV05	1050	1065		4	d)
Viadotto “Salso” VI14	1065	1125	1.484 (SX) 1.487 (DX)	4	c)

### 3. Inquadramento geologico generale

Il territorio in esame ricade nel settore centrale siciliano che geologicamente rappresenta un ampio bacino subsidente durante il plio-pleistocene, definito Avanfossa di Caltanissetta; tale struttura è caratterizzata alla base dal complesso plastico argilloso su cui poggia la serie Evaporitica Messiniana che precede stratigraficamente, i depositi pelagici trasgressivi, per un arco temporale che va dal Miocene al Pleistocene.

Schematicamente abbiamo le seguenti unità stratigrafico deposizionali:

#### **Formazioni pre-evaporitiche:**

- Unità delle calciruditi e calcareniti (Tortoniano)
- Unità delle sabbie e argille sabbiose (Tortoniano)
- Unità delle argille e marne argillose (Tortoniano)

#### **Successione Evaporitica :**

- Unità delle marne silicee “Tripoli” (Messiniano)
- Unità del Calcere di Base (Messiniano sup.)
- Unità dei Gessi (Messiniano sup.)

#### **Formazioni post-evaporitiche:**

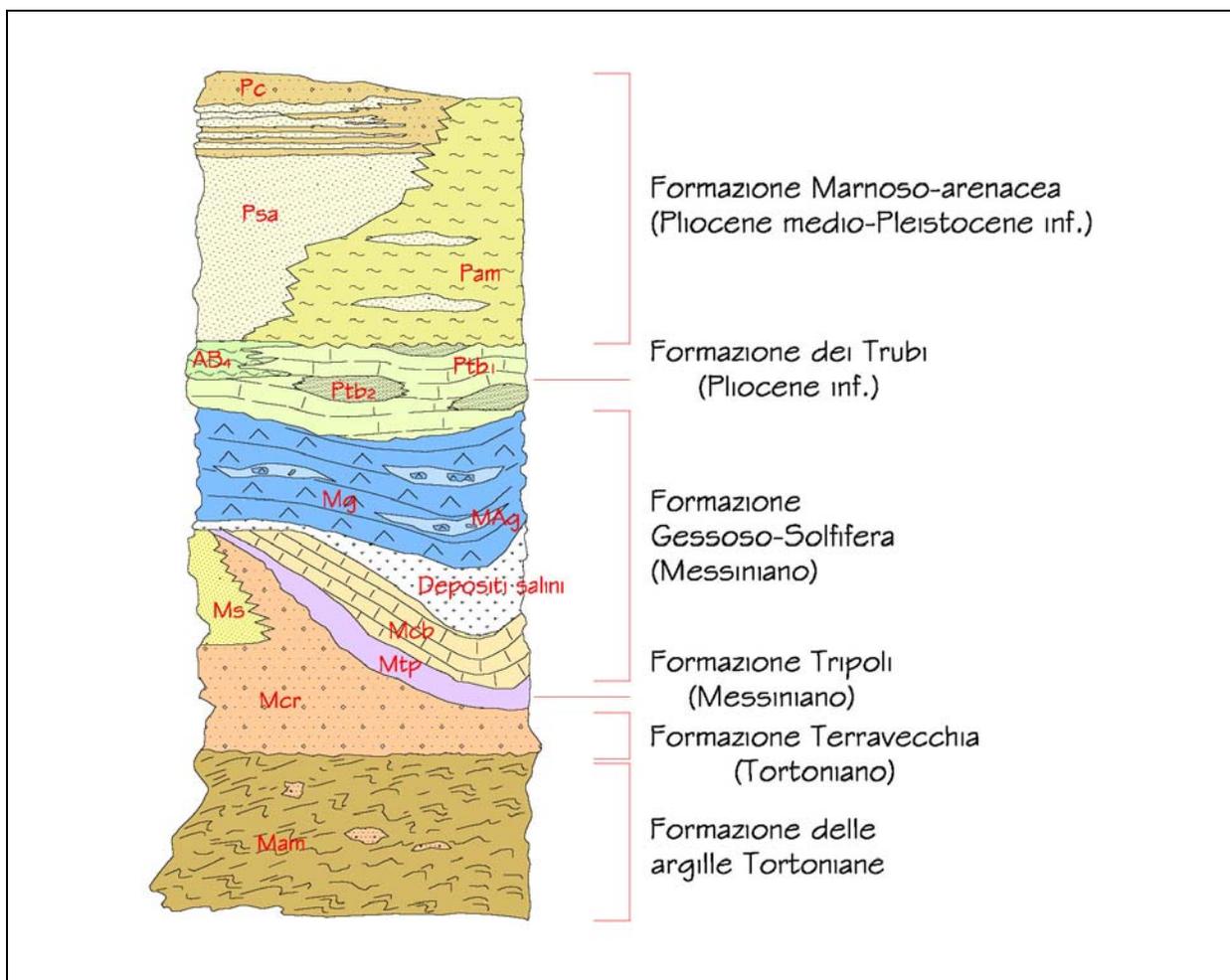
- Unità dei calcari marnosi e marne “Trubi” (Pliocene inf.);
- Unità delle argille marnose - “F.ne Marnoso Arenacea” (Pliocene medio sup.);
- Unità delle sabbie e calcarenite –“F.ne Marnoso Arenacea” (Pliocene sup. - Pleistocene inf).

Nel settore inoltre particolare importanza rivestono le coperture superficiali quaternarie che spesso interagiscono direttamente con il tracciato stradale rappresentando il terreno di imposta:

#### **Formazioni Quaternarie:**

- Alluvioni di fondo valle (Recente);

- Detrito di Falda (Recente);
- Depositi eleu-colluviali (Recente).



Colonna stratigrafica tipo dell'area

**(Mam)**: Argille grigio azzurre e marne argillose – **(Mcr)**: Calciruditi e calcareniti stratificate in grossi banchi – **(Ms)**: Sabbie giallastre disposte a lenti – **(Mtp)**: Marne e diatomiti sottilmente laminate, "Tripoli" – **(Mcb)**: Calcare di base – **(Mg)**: Gessi – **(Mag)**: Argille gessose intercalate ai gessi – **(Ptb1)**: Calcari marnosi e marne calcaree "Trubi" - **(Ptb2)**: Marne e marne calcaree risedimentate – **(Ab4)**: Argille brecciate intercalate ai Trubi - **(Pam)**: Argille e argille marnose – **(Psa)**: Sabbie e sabbie argillose debolmente cementate – **(Pc)**: Calcareni giallastre fossilifere -

### 3.1. Successione stratigrafia

Di seguito si riporta la descrizione della successione stratigrafica ricostruita attraverso il rilevamento geologico di campagna, i sondaggi geologici ed i dati bibliografici presenti per il settore. Oltre agli aspetti litologici e strutturali delle formazioni sono stati analizzati gli aspetti geomeccanici connessi alla progettazione stradale e alle specifiche opere d’arte previste.

#### 3.1.1. Formazione delle argille e marne argillose - (Tortoniano)

Affiorano diffusamente sia nel settore iniziale del tracciato (*Carta Geologica Tav 1-2*) che nel tratto finale (*Tav. 8-9-10*); litologicamente l’unità è costituita prevalentemente da argille ed argille marnose grigio azzurre, con passaggi sia laterali che verticali, senza alcuna regolarità, di argille sabbiose e porzioni di conglomerati.



C.da Busita –Affioramenti di argille in prossimità del viadotto esistente.

Spesso le argille presentano in superficie uno strato di copertura alterato dello spessore variabile da 1 a 5 m (vedere lo studio di dettaglio per gli approfondimenti puntuali), costituito da limi argillosi, di colore marrone scuro caratterizzati da una discreta plasticità, decrescente con la profondità.

Oltre tale livello si passa alla formazione argillosa inalterata, costituita da argille marnose e/o sabbiose, di colore grigio-azzurro, mediamente consistenti e plastiche, con generale miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche.

Il complesso argilloso ingloba modesti lembi di terreni marnosi più antichi, ed olistoliti di varie dimensioni, natura ed età.

Le argille presentano varia tessitura: scagliettata, brecciata, puddingoide; solitamente gli elementi stratimetrici sono molto poveri, raramente è possibile riconoscere la stratificazione essendo le giaciture caotiche.

La datazione di quest'unità può essere eseguita sia considerando il contenuto paleontologico dei sedimenti ritenuti normali, sia constatando che sul complesso poggia, in apparente continuità di sedimentazione, la Fm. Terra Vecchia.

L'ambiente di deposizione del complesso argilloso è stato ritenuto in passato, trasgressivo sulle serie più differenti, attualmente è ritenuto regressivo. Probabilmente si tratta di una progradazione di delta fluviali, interessati da fenomeni gravitativi come flussi olistostromici legati a frane sottomarine.

Lo spessore dell'unità è indeterminabile, poiché non affiora il letto dello strato, e poiché i numerosi sondaggi eseguiti non danno indicazioni valide circa lo spessore.

### 3.1.2. Unità delle Sabbie e marne sabbiose

L’unità è stata rilevata in modesti affioramenti, inglobati e circoscritti dalle argille tortoniane, in prossimità di *Contrada Appennati* e *Contrada Cuti*, mentre affiora in continuità e consistenza in *Contrada Garlatti* in destra idraulica al *Fiume Salso*.

L’unità delle sabbie e marne sabbiose appartiene alla Formazione Terravecchia; si tratta di sedimenti sabbiosi disposti a lenti di estensione variabile, di colore grigio - giallastro, stratificate in livelli di spessore decimetrico, a cementazione variabile.



C.da Garlatti - F.ne Terravecchia: sabbie argillose inglobanti un livello decimetrico di conglomerati poligenici.

A luoghi l’unità è caratterizzata da intercalazioni di livelli di conglomerati poligenici in matrice terrosa dello spessore di 20 – 30 centimetri, mentre in altre sezioni naturali presenta grossi corpi di argille sabbiose a struttura brecciata, caotiche a stratificazione indistinta.

Un esempio di tale facies con predominanza della componente marnosa ed argillosa, è visibile in contrada Garlatti dove sono presenti delle collinette argillo- sabbiose interessate da

fenomeni di erosione accelerata che possono evolvere a calanchi.



C.da Garlatti: collinetta di argille sabbiose della F.ne Terravecchia.

Complessivamente l'unità è riferibile ad ambienti sedimentari di transizione fluvio-deltizio connessi al disfacimento dei rilievi emersi a seguito della fase tettonica compressiva inframio-cenica.

### 3.1.3. Unità delle calciruditi e calcareniti

Un affioramento notevole dell'unità si ha in *Contrada Garlatti* in prossimità del tratto finale della SS 640 prossimo al raccordo con la A19; si tratta di un potente banco di calciruditi ben stratificate in grossi banchi passanti verso l'alto a calcareniti visibilmente stratificate.



Contrada Garlatti: affioramento di Calciruditi e Calcareniti. In primo piano la A19 e la piana alluvionale del Salso.

I livelli di calcarenite presentano stratificazione incrociata prodotta da correnti trattive che confermano un ambiente di deposizione fluvio deltizio.

Tale condizione di sedimentazione determina frequenti variazioni di facies con disomogeneità delle granulometrie del pacco arenario, nonché frequenti intercalati tra i livelli di calcare, di modesti lembi di conglomerati con ciottoli quarzarenitici, e livelli decimetrici di argille sabbiose (vedi Foto).



Contrada Garlatti: F.ne Terravecchia, Calcareniti con livello di ghiaie e conglomerati.



Contrada Garlatti: F.ne Terravecchia, Calcareniti con livello di argille sabbiose.

Il tracciato in progetto intercetta in minima parte la formazione in esame; ciò avviene in prossimità della galleria di *Cozzo Garlatti* alla prog. 25.975, che taglia un affioramento di calcareniti giallastre ben stratificate che emergono nell’ambito di un rilievo di sabbie e sabbie marnose sempre della F.ne Terravecchia.

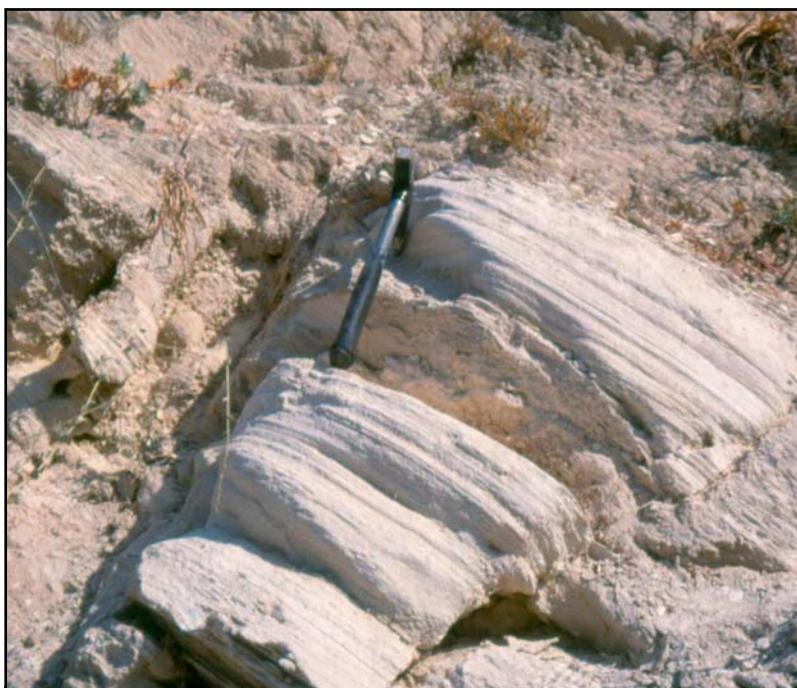


Cozzo Garlatti: affioramento di calcareniti in prossimità della galleria alle prog 25.825– 26.000

### 3.1.4. Tripoli – (Messiniano)

E' l'unità di base della serie Gessoso Solfifera, e segna l'inizio di facies di bacino chiuso evaporitico.

E' presente con modesti affioramenti a ridosso dei calcari in *Contrada Abbazia Santuzza* presso case *Pozzanghero* e in prossimità di *Monte Stretto in Contrada Cuti*.



Affioramento di Tripoli

Generalmente gli spessori sono modesti così come limitata è la continuità laterale del Tripoli, anche se si può presumere una certa continuità del litotipo non riscontrabile a causa degli intensi processi erosivi (naturali ed antropici), che tendono a mascherarlo con spesse coltri eluviali.

Il Tripoli è costituito da un'alternanza di strati diatomitici e marnoso-calcarei, con spicole di Radiolari e gusci di Diatomee.

Si presenta agevolmente fessile, friabile, terroso con perfetta sfaldatura lungo i piani di laminazione, in cui si possono rinvenire resti di pesce; presenta un caratteristico basso peso specifico, che lo rende molto leggero e facilmente riconoscibile.

Verso l'alto il Tripoli presenta le stratificazioni marnoso-calcaree più spesse, ed intercalazioni di sottili straterelli di pochi centimetri di calcare rossastro, che testimonia il graduale passaggio ad un ambiente sempre più evaporitico.

L'ambiente di deposizione del Tripoli doveva possedere caratteristiche lagunari, con acque poco profonde e tranquille, con qualche zona di emersione o di secca.

Questa situazione ha determinato la laminazione ritmica e l'andamento discontinuo e lagunare dei depositi. La presenza del Tripoli segna il passaggio ad un ambiente abbastanza particolare caratterizzato da una concentrazione salina via via crescente ed una mancanza di ossigenazione testimoniata dall'assenza di forme bentoniche; queste situazioni mettono in netta evidenza una separazione più o meno completa del bacino del Mediterraneo rispetto agli oceani.

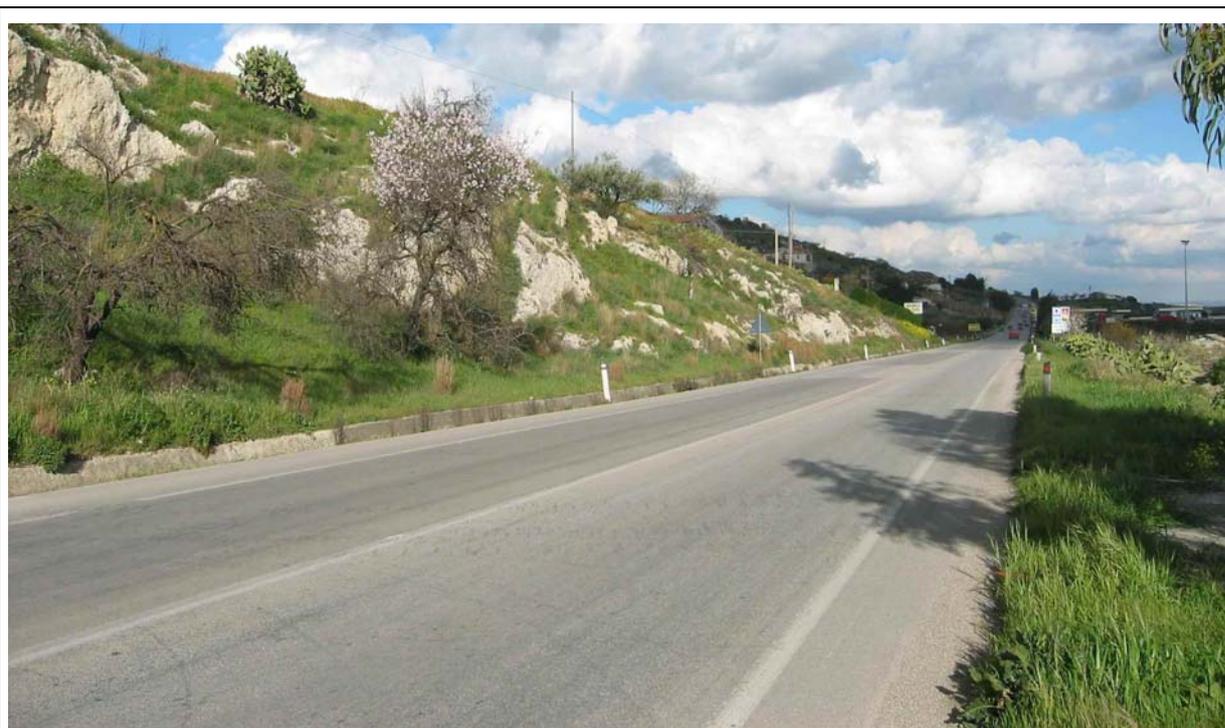
L'età può essere ricavata sia dallo studio della ittofauna, sia considerando i rapporti stratigrafici con le unità a letto e tetto del Tripoli.

La letteratura in proposito indica un'età risalente al Messiniano.

Lo spessore riscontrabile nei nostri affioramenti è di pochi metri (10-15), valore che sembra seguire la tendenza di tutto il bacino evaporitico.

### 3.1.5. Calcare di base – (Messiniano sup.)

Affiora con una buona continuità nel tratto iniziale del settore investigato, in prossimità di *Contrada Grottarossa*, dove sono ubicate numerose attività estrattive proprio sulla litologia in esame.



C.da Grotta Rossa – Affioramento di calcare

Si presenta in grossi banchi in cui è difficile riconoscere l'originaria stratificazione, il colore è grigio-biancastro in superficie tendente al grigio scuro in profondità.

I banchi di calcare sono separati da intercalazioni marnose di pochi decimetri chiamate "partimenti", che contengono a loro volta straterelli calcarei di pochi centimetri. Tali livelli segnano la temporanea variazione delle condizioni di sedimentazione, che ritornano di mare più profondo per poi ridivenire prettamente evaporitiche.

I grossi banchi di calcare sono dati da breccia risedimentata di frammenti di ritmite calca-

rea che in alcune zone conserva ancora indisturbata la sua struttura.

Nel settore di *Grotta Rossa* il calcare mostra forme di erosione carsica superficiale dovute alla dissoluzione della roccia carbonatica; le superfici si presentano con microcarsismi quali scannellature, microsolchi e in generale una spetto cariato.

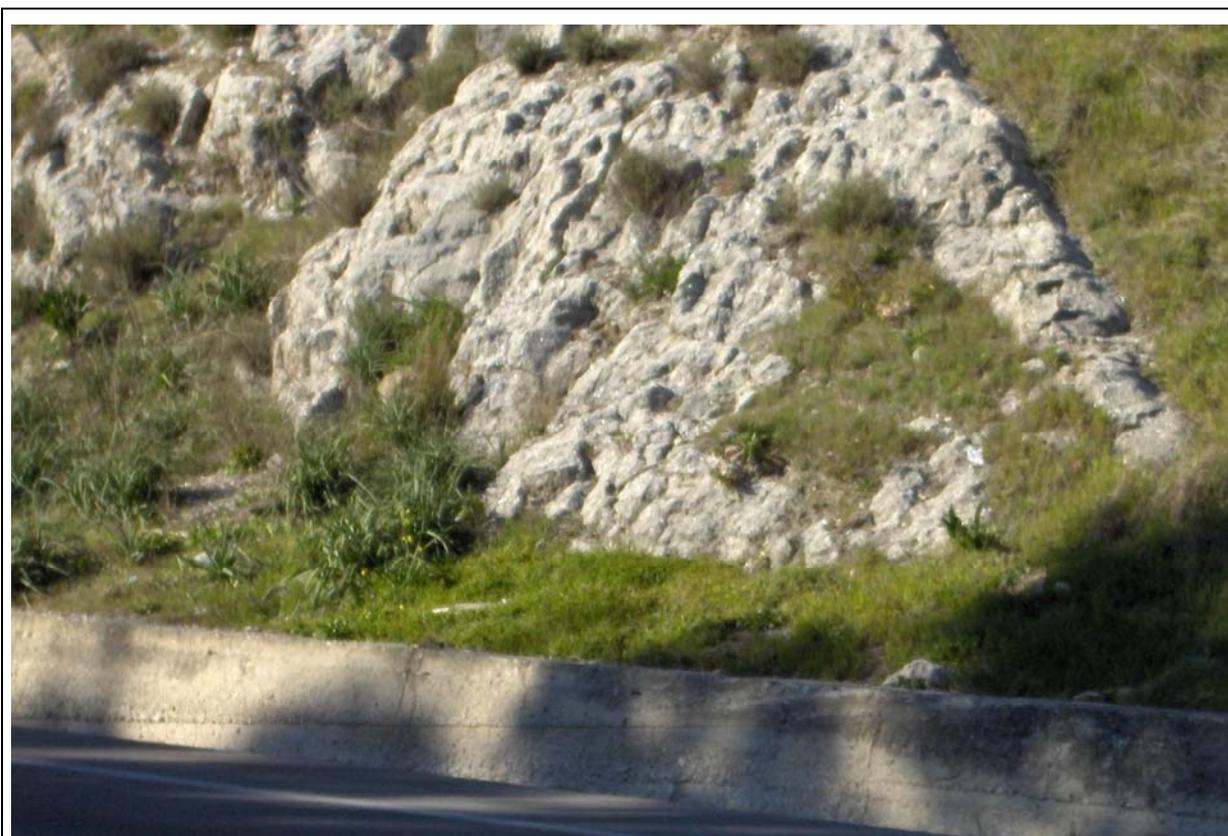
Gli spessori della formazione dei calcari sono assai variabili mostrano valori medi intorno ai 50-70 m.

Il passaggio inferiore dal Tripoli al calcare non avviene in maniera netta ma gradualmente con qualche livello calcareo (10 – 20 centimetri) intercalato alle marne diatomitiche.

Il passaggio stratigrafico superiore con i Gessi di Pasquasia è in discordanza, coincidendo con la tettonica intramessiniana che divide il primo ciclo evaporitico dal secondo.

### 3.1.6. Gessi – (Messiniano sup.)

I gessi non intercettano direttamente il tacciato in progetto, ma affiorano lateralmente all’infrastruttura o in tratti dismessi del vecchio tracciato della S.S. 640.

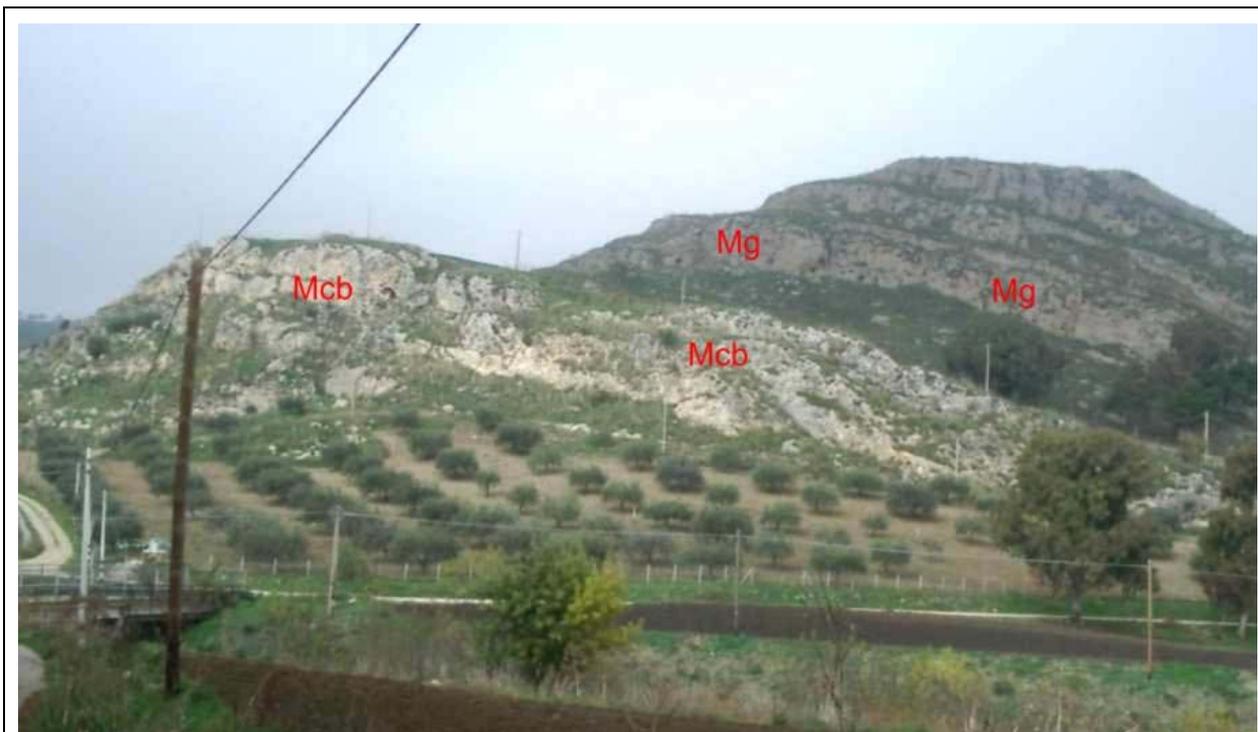


C.da Grotta d’Acqua sud: Affioramento di Gessi in prossimità del deposito Anas (tratto dismesso della SS 640).

La formazione si presenta sia come banchi litoidi di gessi macrocristallini stratificati sia come intercalazioni di argille gessose a contenuto sabbioso. Complessivamente i gessi presenti nella zona, sono quelli del secondo ciclo “Gessi di Pasquasia” con i quali inizia il complesso evaporitico superiore.

Sono costituiti dall’alternanza di potenti banconi di gesso macrocristallino, da livelli di gesso “balatino” e gesso selenitico, separati da intercalazioni marnose.

Le sequenze iniziano con una zona inferiore caratterizzata da sottili strati di Gesso Balatino cui segue una zona di Gesso Selenitico. Il primo presenta un fitto numero di veli di gesso spessi poco più di qualche millimetro, di colore bianco-grigio, di probabile deposito primario; l'attuale stratificazione è disturbata da fenomeni tettonici.



C.da Grotta D'Acqua nord - Contatto Calcari di base (Mcb) – Gessi (Mg).

I banconi di gesso selenitico si presentano con macrocristalli geminati a coda di rondine, di dimensioni comprese fra i 2-3 cm fino ai 15-20 cm.

I gessi in molti casi sono nettamente separati dalle formazioni sottostanti da livelli gessarenitici e da una formazione torbidityca, caotica, inglobante al suo interno oltre che conglomerati a matrice gessosa anche livelli diatomitici e marnosi bituminosi.

In molti casi questa formazione gessosa è presente accompagnata da sedimenti tipicamente argillosi sotto forma di intercalazioni che determinano nella morfologia di superficie degli addolcimenti del rilievo;

A volte i gessi appaiono di spessore molto ridotto o talora assenti; in tal caso i Trubi poggiano direttamente sui calcari.

Lo spessore della formazione è assai variabile, assumendo spesso una conformazione a lente con massimi di 70 - 90 m, e parti dove è totalmente assente. I dati stratigrafici bibliografici, indicano un valore medio di 50 - 60 m.

I Gessi sono tagliati al tetto dalla deposizione in discordanza delle marne a Globigerine o Trubi.

### 3.1.7. Trubi – (Pliocene Inferiore)

La formazione affiora in molti settori sia come terreni lapidei di calcare marnoso e marne calcaree biancastre (*Ptb1*), che come breccie argillose e argille marnose intercalate ai calcari (*Ab4*).

Inoltre in perforazione i Trubi si presentano sotto forma di marne e marne calcaree (*Ptb2*) provenienti dall'erosione e risedimentazione dei calcari marnosi litoidi (sondaggi prosimità della *Galleria Sant'Elia*: S25 – S50 – S 51 - S 27 ed altri).



C.da Grotta d'Acqua: Affioramento di Trubi in prossimità del deposito Anas.

Nella tipica espressione i Trubi sono dei calcari marnosi più o meno cementati passanti a marne calcaree di colore bianco crema fino a grigio chiaro; hanno frattura concoide e contengono tracce di idrossidi di ferro e noduli piritici dispersi uniformemente nella roccia e facilmente vi-

sibile ad occhio nudo. Associate ai trubi a tratti intercalate e frammiste, si rinvencono breccie argillose a struttura caotica con intercalazioni di marna calcarea (Galleria Caltanissetta).



Particolare di calcari marnosi stratificati (Trubi).

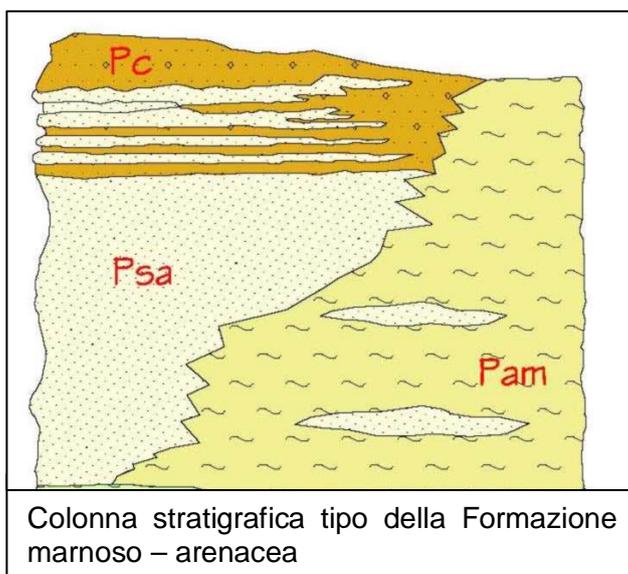
In affioramento si presentano ben stratificati, con strati aventi uno spessore di circa 10 - 20 cm e con delle fratture ortogonali alla stratificazione stessa, talvolta così regolari da potersi confondere con i piani di stratificazione. A volte gli affioramenti sono mascherati da estese coltivazioni e seminativi; la loro presenza è provata dal colore biancastro che assume il terreno in corrispondenza di questo litotipo.

I Trubi si possono considerare a coesione variabile ed aventi una permeabilità complessa. Nella parte alta per spessori di pochi metri sono permeabili per fratturazione ed alterazione, mentre in profondità, essendo delle rocce insolubili in cui non interviene il fenomeno della dissoluzione chimica ad allargare le fessure, sono impermeabili.

### 3.1.8. Formazione marnoso – arenacea – (Pliocene medio - Pleistocene inf)

La formazione è da far risalire ad una deposizione terrigena torbidity che ha colmato in più fasi il bacino prossimo alla linea di costa. Il prevalere della sedimentazione sui fenomeni erosivi, ha determinato un avanzamento della terra emersa con conseguente spostamento della linea di costa in più riprese. Tale meccanismo ha determinato il susseguirsi di più cicli sedimentari ognuno dei quali costituito da argille, argille sabbiose passanti sia lateralmente che verticalmente a sabbie e calcareniti di tipico ambiente deltizio.

Schematicamente possiamo suddividere la formazione, dal basso verso l'alto, in tre differenti unità fra loro intercalate ed alternate, e complessivamente discordanti sui sottostanti Trubi:



- Unità delle argille ed argille marnose (*Pam*);
- Unità delle sabbie e sabbie argillose (*Psa*);
- Unità delle calcareniti e sabbie (*Pc*).

#### UNITA' DELLE ARGILLE ED ARGILLE MARNOSE - (*Pam*);

Affiorano nel settore centrale dell'infrastruttura in progetto (*C.da Grotta d'Acqua, C.da Favarella, Cda Mumia – Papazzo, C.da Giuliano*); l'unità poggia in discordanza sui Trubi ed è costituita da argille ed argille marnose generalmente di colore grigio-azzurro, omogenee a struttura scagliosa, con resti di fossili e a luoghi, minuti cristalli di gesso.

In perforazione si presentano di colore grigio-verde con livelli argillosi alternati ad argille sabbiose e veli di sabbia grigia con minuti resti fossili.

L’unità verso l’alto passa gradualmente a sedimenti sempre più limosi e sabbiosi, pertanto il passaggio all’unità successiva non è mai netto sia in affioramento che in perforazione.

### **UNITA’ DELLE SABBIE E SABBIE ARGILLOSE – (Psa)**

L’unità è costituita da sabbie giallastre con livelli limosi e talora argillosi generalmente poco cementati; si riscontrano inoltre modesti livelli di ghiaia e conglomerati, costituiti da calcareniti e quarzareniti in matrice sabbiosa e nella parte alta della sequenza veli di calcarenite.



C.da Niscima – Portella dell’Arena: affioramento di sabbie e sabbie argillose. Settore interessato da viadotto e successiva galleria artificiale.

Affiorano in continuità con le Argille Marnose (*Pam*) in concomitanza di collinette ed alti strutturali (*Cozzo Giudica, Corno d’Oro, Serra della Destra, C.da Papazzo, Borgata Fa-*

varella), inoltre le sabbie affiorano estesamente in tutta la *contrada Sant’Elia- Scalazza*, anche se non intersecano l’infrastruttura in progetto che nel settore è in galleria.

Si tratta di un tipico deposito di mare basso con una facies eteropica passante dalle argille-sabbiose grigie alle sabbie sciolte o debolmente cementate, per poi passare a calcareniti cementate molto ricche in fossili.

Il passaggio alle calcareniti avviene gradatamente prima passando ad argille sabbiose quindi a calcareniti vere e proprie con intercalazioni irregolari di argille sabbiose.

### **UNITA’ DELLE CALCARENITI E SABBIE – (Pc)**

Il termine classico di questa unità è rappresentato da una biocalcarenite bruno-giallastra a stratificazione piano-parallela e laminazione incrociata, generalmente cementata e ricca di resti fossili (macrofauna ad ostreidi, pectinidi e molluschi in genere).



Contrada Papazzo – Sezione naturale di sabbie a calcareniti stratificate in banchi decimetrici.

Nel settore in esame l’unità mostra numerosi passaggi, sia laterali che verticali, dei banchi decimetrici di biocalcareniti con livelli sabbiosi totalmente sciolti o scarsamente cementati, che risultano fortemente incisi da fenomeni di erosione selettiva.



Contrada Giglio: sezione naturale di calcareniti

Le calcareniti rappresentano una litologia di facies deltizia così come dimostrato dalle tipiche strutture di sedimentazione di questo ambiente (laminazione incrociata). Inoltre è ipotizzabile una sedimentazione sul fondo subacqueo debolmente inclinato, con avanzamento dello stesso in avanti facendo così progredire la terra emersa e spostare la linea di costa.



Particolare calcarenite ben cementata con stratificazione millimetrica

### 3.1.9. Depositi elu-colluviali – (Recente)

Si tratta di depositi continentali che hanno subito un certo trasporto per opera delle acque dilavanti e di ruscellamento accumulandosi nelle aree pianeggianti o depresse.

La natura è prevalentemente limosa ed argillo - sabbiosa, con matrice terrosa e frammenti rocciosi di varia dimensione e natura composizionale, che provengono dallo smantellamento delle formazioni topograficamente sovrastanti, costituendo un mantello di detrito eluviale che ricopre le formazioni in posto.

Il deposito inoltre presenta abbondanti resti vegetali sia decomposti (Humus), che parzialmente decomposti.

Sono caratterizzate da fenomeni di compressibilità e variazioni di volume in relazione al contenuto d’acqua che possono interagire negativamente con le opere stradali da realizzare.

### 3.1.10. Detrito di falda - (Recente)

Si tratta di una coltre di copertura delle formazioni in posto con spessori variabili da pochi decimetri a 3-4 m, è presente in svariati settori ed intercetta più volte il tracciato; una buona continuità della formazione è stata riscontrata nel settore iniziale C.da *Grotta Rossa*, dove maschera e ricopre il Calcarea di base e in c.da *Passo Babbaurra* dove il tracciato in realtà non interseca l’affioramento essendo in galleria.

Generalmente è costituito da ghiaie, brecce, variamente cementate a luoghi misti a matrice terrosa o sabbioso-argillosa. I frammenti sono generalmente di natura calcarea, calcareo - marnosa e gessosa, provengono dallo smantellamento delle formazioni topograficamente sovrastanti.

### 3.1.11. Alluvioni e depositi terrazzati – (Recente)

Le alluvioni sono presenti con modeste coperture in corrispondenza dei corsi d’acqua e valloni in tutto il territorio, ma il maggiore affioramento è in prossimità del tratto finale dell’infrastruttura dove l’asse stradale si sviluppa in viadotto sul fondo valle del *Vallone Arenella* e del *Fiume Imera*.



C.da Imera: vista dell’attuale S.S.640

Nella *Contrada Imera* la particolare morfologia pianeggiante e la significativa presenza del *Fiume Imera* e relativi affluenti, hanno consentito un’importante sedimentazione di tipo continentale con la formazione di un vasto deposito alluvionale. Trattasi di depositi continentali costituiti da un insieme sciolto o scarsamente cementato di limi argillosi frammisti a ghiaia, sabbia e ciottoli; talora si rinvencono blocchi e livelli conglomeratici grossolani che si ricollegano all’azione di trasporto della rete idrografica a regime torrentizio che sfiora sulle zone di pianura.

I depositi presentano inoltre abbondanti resti vegetali sia decomposti (Humus), che parzialmente decomposti; ciò determina fenomeni di compressibilità e variazioni di volume in relazione al contenuto d'acqua che possono interagire negativamente con le opere stradali da realizzare.

La variabilità di questi depositi è notevole anche su spazi molto brevi, sia in senso orizzontale che verticale.

Le alluvioni in esame presentano scarsa permeabilità essendo molto abbondante la frazione limosa e argillosa; non di rado sono frequenti fenomeni di ristagno superficiale delle acque meteoriche.

## 3.2. Tettonica

### Considerazioni strutturali generali

La “storia” geologica dell'area in esame è caratterizzata da ripetute fasi tettoniche che hanno fortemente dislocato e smembrato le unità litologiche, determinato forti variazioni degli ambienti deposizionali e delle relative facies, passando da situazioni di mare aperto a bacini chiusi evaporitici, con ripetute fasi di ingressioni e regressioni marine.

In particolare il settore in esame (Prov. di Agrigento e Caltanissetta) ricade all'interno della cosiddetta "Fossa di Caltanissetta" che andò formandosi dal Miocene al Pliocene medio a causa della deformazione del margine del promontorio Africano.

La fase tettonica verificatasi nel Tortoniano inferiore provocò le deformazioni maggiori di questo promontorio; si ebbe, infatti, un sollevamento ed un'erosione dell'area della Sicilia tirrenica con conseguente deposizione dei prodotti di smantellamento all'interno della avanfossa (Fm. Terravecchia).

Questo stesso evento tettonico causa l'istaurarsi di condizioni euxiniche con diminuzione della profondità del bacino che progredirà a bacino chiuso evaporitico. Si vengono così a deporre le marne a diatomee della Fm. Tripoli, cui segue il primo ciclo evaporitico.

Nel Messiniano si verificò un'altra crisi tettonica testimoniata dalla discordanza angolare che separa l'unità evaporitica inferiore da quella superiore.

Con l'inizio della deposizione dei gessi del secondo ciclo, si interruppero definitivamente le comunicazioni tra l'Oceano Atlantico ed il Mediterraneo, comunicazioni che si sarebbero ristabilite poi nel Pliocene inferiore, con la deposizione dei Trubi trasgressivi sui gessi.

La tettonica Pliocenica portò alla deformazione del fondo dell'avanfossa con la formazione di pieghe con assi in direzione NE-SW.

Il Pliocene superiore ed il Pleistocene vedono l'inversione dello stile tettonico, abbiamo infatti faglie normali ad alto angolo che dislocano i terreni in un'evidente dinamica distensiva.

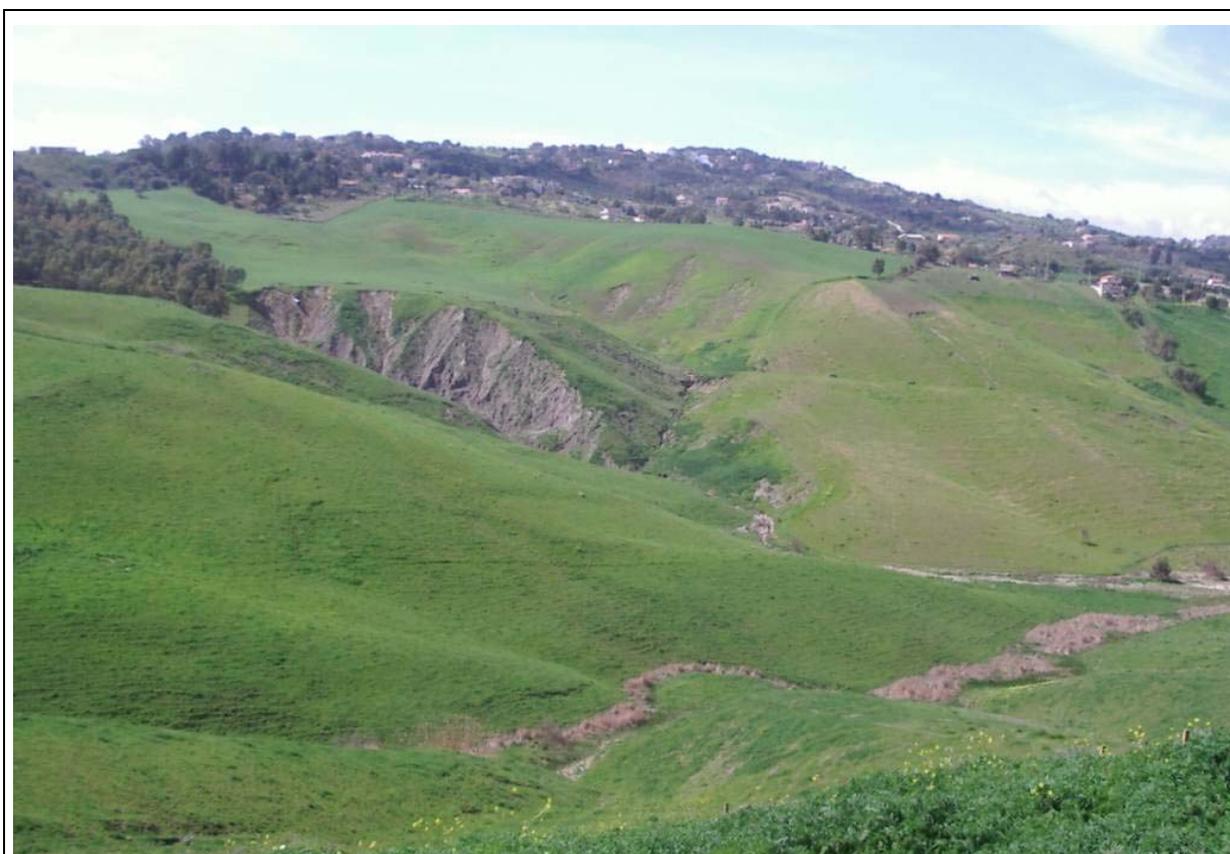
## 4. Inquadramento Geomorfologico Generale

Nel presente capitolo sarà delineato il quadro geomorfologico generale del territorio, mentre lo studio particolareggiato, le specifiche criticità e l’interazione dell’infrastruttura con l’assetto geomorfologico sarà affrontato nello studio di dettaglio del tracciato.

Complessivamente il territorio può essere suddiviso secondo tre modelli morfogenetici generali strettamente legati alla natura e al comportamento delle litologie presenti:

- Il primo tratto, in corrispondenza delle contrade *Grotta Rossa, Grotta d’Acqua e Favarella* (Carta geomorfologica Tav 1 – 2 -3 -4), si caratterizza per la presenza del complesso argilloso tortoniano e della formazione Evaporitica, interessata a più riprese da una vivace tettonica compressiva che ha dislocato le unità litologiche. Ciò ha comportato la presenza di rilievi, serre e cozzi di natura calcareo-gessosa, variamente piegati e fagliati, alternati a morfologie dolci e modellate. Le unità morfologiche conseguenti sono modesti crolli e caduta di detrito nelle pareti rocciose, piccoli colamenti nei versanti argillosi ed una blanda morfologia fluviale.
- Il tratto centrale in corrispondenza delle contrade *Papazzo, Niscima, Scalazza, S. Elia* (Carta geomorfologica Tav 5 – 6) mostra la prevalenza della formazione marnoso arenacea del Plio-pleistocene, caratterizzata da argille –sabbie e calcareniti, depositatasi a copertura dei terreni sottostanti e scarsamente interessata da fenomeni tettonici. Pertanto il settore morfologicamente si caratterizza per un’ampia superficie pianeggiante o debolmente pendente, complessivamente stabile e scarsamente interessata da fenomeni morfogenetici rilevanti. Le aree in esame risultano interessate da una recente ed intensa espansione urbana (zona di sviluppo industriale di San Cataldo e periferia urbana di Caltanissetta) che ha orientato le scelte progettuali all’attraversamento in galleria del settore.
- Il tratto finale del territorio investigato, contrade *San Filippo Neri, Busiti, Abbazia Santuzza, Anghillà, Imera*, (Carta geomorfologica Tav 7 – 8 -9 -10), si caratterizza per l’affioramento di litologie a comportamento plastico con assoluta prevalenza di argille

e argille sabbiose. Tale assetto geologico comporta un sistema di collinette e mammelloni dolci e modellate, inciso dalla rete fluviale minore e dai corsi d’acqua principali (*Torrente Anghillà, Arenella, Fiume Salso*). Le unità morfologiche prevalenti pertanto sono frane, colamenti e creep nei versanti argillosi più critici, oltre a ruscellamento diffuso con denudazione che può evolvere a calanchi. Anche la morfologia fluviale è evidente, con incisione di fondo alveo, erosione di sponda e fenomeni di esondazione (*Torrente S. Filippo Neri, S. Giuliana, Busita, Arenella, Fiume Salso*).



Contrada Busiti: tipico paesaggio del settore con versanti argillosi interessati da creep, soliflussioni complesse, fenomeni di erosione accelerata, calanchi.

Il quadro geomorfologico di dettaglio e la costruzione delle specifiche carte tematiche, è stato preceduto dalla definizione dei complessi morfologici, cioè quelle unità di base caratterizzati da aspetti geo-litologici e geotecnici assimilabili, che hanno un comportamento simile

in relazione agli agenti esogeni (vedi allegato Carta Geomorfológica).

Nello specifico le formazioni presenti sono state accorpate nei seguenti complessi morfologici:

- Complesso dei materiali di riporto eterogenei ed eterogranulari assimilabili a terreni incoerenti;
- Complesso dei depositi continentali di copertura colluviali ed eluviali assimilabili a terreni prevalentemente incoerenti o debolmente coesivi comprimibili, con elevata plasticità in corrispondenza della frazione limosa; (Alluvioni, depositi elu-colluviali).
- Complesso delle rocce prevalentemente lapidee, tenere, stratificate e talora fratturate; (calcari marnosi della formazione dei Trubi e Tripoli).
- Complesso delle formazioni lapidee massive o stratificate in grossi banchi, scomposte in blocchi di grosse dimensioni, con intervalli teneri e friabili; (calcari, gessi, calcareniti e Calciruditi tortoniane).
- Complesso dei depositi sabbiosi a cementazione variabile, terreni prevalentemente incoerenti; (sabbie e calcareniti pleistoceniche e sabbie della Fm. Terravecchia).
- Complesso dei terreni argillosi coesivi (unità argillose tortoniane e plioceniche).

Per ogni complesso morfologico sono stati evidenziati i processi morfogenetici e le conseguenti forme che caratterizzano lo stato ed il trend evolutivo del territorio.

Gli aspetti principali per ogni complesso emersi vengono di seguito sintetizzati:

#### Fenomeni gravitativi

Lungo il settore di *San Filippo Neri, Busiti, Abbazia Santuzza*, sono state rilevate in corrispondenza dei versanti argillosi, diverse aree con presenza di nicchie di distacco, contropendenze ed avvallamenti che hanno conferito un aspetto irregolare ai pendii, denotando processi morfogenetici in atto. Diverse zone, infatti, si caratterizzano per denudazione dei versanti per ruscellamento diffuso, evoluzione gravitativa negativa, che hanno determinato frane di colamento più o meno diffuse, creep, forme di erosione accelerata e calanchi.

Le forme rilevate risultano prevalentemente attive e riattivate, e sebbene non mobilitino elevati spessori di roccia, in vari settori la loro diffusione è così estesa da determinare una condizione di dissesto elevato.

Tali criticità geomorfologiche in relazione con l’infrastruttura in progetto, sono state di volta in volta evidenziate e verificate dallo staff di progettazione, variando dove necessario il tracciato e le relative opere d’arte di corredo.

Altri fenomeni gravitativi di secondaria importanza sono il potenziale distacco di detrito e modesti crolli che caratterizzano le scarpate rocciose; questa situazione è stata evidenziata nel tratto iniziale in *Contrada Grotta Rossa e Grotta d’Acqua*.

### Forme fluviali

Le principali forme fluviali sono state rilevate nel settore centrale *Contrade S. Filippo Neri, Busita*, e nelle tavoli finali del comprensorio (Tav 9 -10), in relazione alla rete idrografica del Bacino del *Fiume Imera*, che presenta un esteso bacino ed un regime permanente, mentre i restanti corsi d’acqua sono a regime temporaneo strettamente legati ai cicli stagionali piovosi.

Le principali forme rilevate riguardano l’erosione fluviale di fondo e l’erosione spondale dei corsi d’acqua, che a luoghi può comportare fenomeni di richiamo a monte innescando dissesti e colamenti superficiali.

In prossimità delle contrade *Arenella* ed *Imera* evidenti sono le morfologie legate alle esondazioni degli omonimi corsi d’acqua, che hanno determinato un’importante sedimentazione di tipo alluvionale che contraddistingue il settore.

Per tali corsi d’acqua in prossimità della sezione di interferenza con il tracciato stradale, si è verificato il rischio di esondazione del torrente e la conseguente interazione con i manufatti da realizzare. Lo studio idrologico mette in relazione la morfologia del territorio con le portate di calcolo elaborate dalla base dei valori di pioggia riportati negli annali idrologici del servizio idrografico. In particolare per le elaborazioni sono stati adottati tempi di ritorno di 50

– 100 e 200 anni che consentono di definire la probabilità statistica che si verifichi il fenomeno di piena e la relativa geometria del piano di esondazione.

### Forme antropiche

Il modellamento antropico contribuisce notevolmente, sia in modo diretto che indiretto, nel cambiamento dell’assetto naturale del territorio. Nell’ambito della finalità del progetto stradale si è proceduto al rilevamento dei laghetti artificiali diffusi nelle zone argillose, nelle aree di cava localizzate in corrispondenza di alcuni affioramenti calcarei e negli accumuli di materiale di riporto in grado di alterare in misura più o meno marcata la naturalità del paesaggio.

## 5. Inquadramento Idrogeologico Generale

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti insieme al loro assetto strutturale determinano le condizioni favorevoli o meno alla formazione di idrostrutture in cui si instaurano falde freatiche significative. Al fine di definire il modello idrogeologico del settore interessato alla costruzione dell’infrastruttura sono stati definiti, n° 6 complessi idrogeologici, intendendo con tale denominazione l’insieme dei termini litologici simili, aventi una comprovata unità spaziale e giacitura, un tipo e grado di permeabilità omogenea.

In tal senso è stata eseguita un’interpretazione idrostrutturale, combinando 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.

I complessi individuati sono stati così distinti:

- **Complesso idrogeologico delle sabbie e delle calcareniti:** terreni a permeabilità molto elevata per porosità, tendente a diminuire in concomitanza di livelli argillo-limosi. Coefficiente di permeabilità:  $K > 10^{-2}$  m/s.

Il complesso si localizza principalmente nelle sabbie e calcareniti della formazione marnoso arenacea affiorante con continuità nel settore centrale del settore (*Contrada papazzo, Contrada Sant’Elia*). E’ sede di un modesto acquifero, sostenuto alla base dalle argille plioceniche; la geometria dell’acquifero è variabile sia in senso orizzontale che verticale; spesso si tratta di modeste idrostrutture sovrapposte ed isolate lateralmente, localizzate nei livelli sabbiosi. Ne consegue un livello piezometrico non 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*).

- **Complesso idrogeologico dei detriti di falda e degli accumuli di riporto:** terreni ad elevata

permeabilità per porosità. Coefficiente di permeabilità:  $10^{-3} < K > 10^{-2}$  m/s.

Sono sede di limitate falde superficiali, generalmente poco importanti.

- **Complesso idrogeologico dei depositi elu-colluviali ed alluvioni:** terreni a media permeabilità per porosità. Coefficiente di permeabilità:  $10^{-4} < K > 10^{-3}$  m/s..

Trattasi dei livelli di depositi continentali costituiti da limi argillosi frammisti a ghiaia, sabbia e ciottoli; la permeabilità può variare in relazione all’abbondanza della frazione limo-argillosa.

In contrada *Favarella* dove il deposito assume una certa consistenza sono presenti delle modeste falde superficiali direttamente alimentate alle piogge e dai ristagni d’acqua.

Nel settore terminale del progetto, in *Contrada Salso*, il complesso è presente con buona continuità e spessore (mediamente 10 metri), sostenuto in profondità dalle argille tortoniane. Il complesso ospita un modesto acquifero strettamente legato all’alimentazione diretta esercitata dal corso d’acqua.

- **Complesso idrogeologico dei Trubi e del Tripoli:** terreni a permeabilità modesta per porosità, tendente ad aumentare in funzione della fratturazione del litotipo. Coefficiente di permeabilità:  $10^{-6} < K > 10^{-5}$  m/s.

Possono ospitare modeste falde freatiche localizzate nei livelli fratturati ed alterati dei trubi, a volta può esserci continuità con il complesso dei calcari e gessi sottostanti ai Trubi.

Nel settore in studio non sono emerse falde significative in tale complesso.

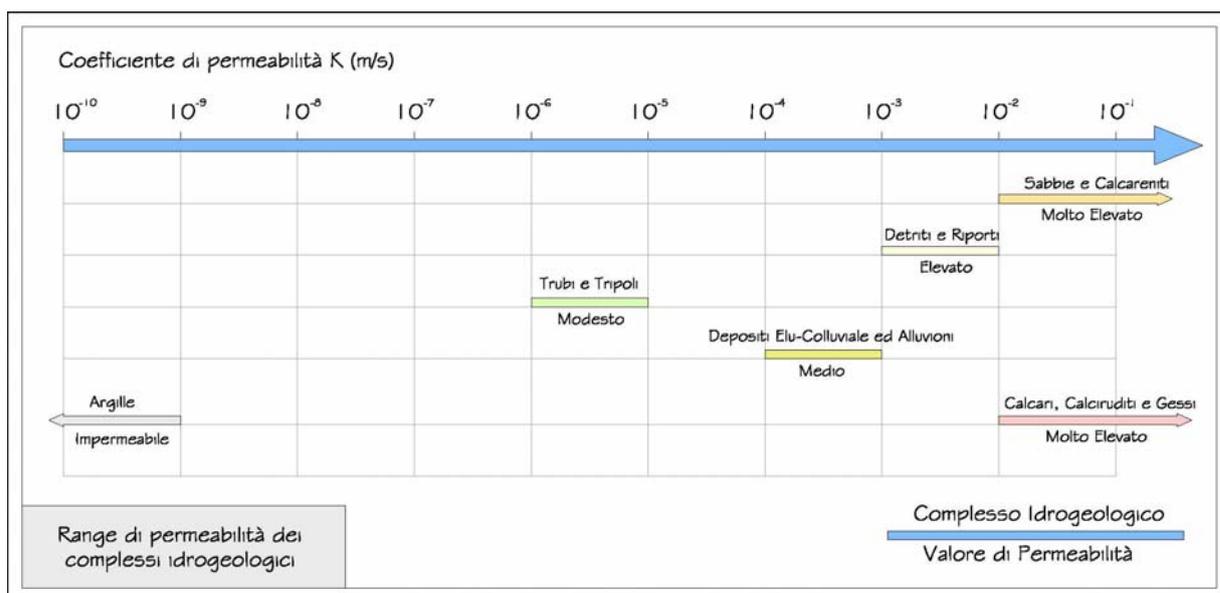
- **Complesso idrogeologico dei Calcari e Gessi:** Rocce a permeabilità molto elevata per fessurazione e carsismo. Coefficiente di permeabilità:  $K > 10^{-2}$  m/s.

Il complesso si localizza principalmente nel settore iniziale dell’area di progetto nelle contrade *Grotta Rossa e Grotta d’Acqua*. Si tratta di vasti affioramenti di calcari e gessi evaporitici che possono ospitare falde relativamente profonde (superiore ai 30 m dal p.c.) ed importanti.

Il rilevamento ed il censimento dei pozzi, tuttavia ha mostrato un depauperamento della falda per l'intenso sfruttamento degli ultimi decenni, che ha determinato un approfondimento del livello piezometrico e la formazione di singoli bacini profondi in discontinuità idraulica con l'idrostruttura complessiva.

- **Complesso idrogeologico delle argille:** terreni praticamente impermeabili. Coefficiente di permeabilità:  $K < 10^{-9}$  m/s.

Il livello corticale alterato può assumere una modesta permeabilità capace di favorire una circolazione idrica sub-superficiale. Costituiscono la soglia di permeabilità più diffusa degli acquiferi esistenti.



L'analisi di tutte le informazioni acquisite ha permesso di identificare le idrostrutture principali che sono interessate dal percorso stradale; questi possono essere suddivisi in tre grandi categorie:

- Acquiferi pleistocenici: falde presenti nel complesso delle sabbie e argille sabbiose (roccia serbatoi) e sostenute dalle argille sottostanti (soglia impermeabile).
- Acquiferi evaporitici: falde contenute nei calcari e gessi messiniani e sostenute dalle argille tortoniane.
- Acquiferi continentali: falde nell’ambito dei depositi superficiali elucluviali e delle alluvioni.

Di seguito nello studio di dettaglio si esamineranno zona per zona, gli acquiferi presenti la loro geometria e l’interazione con l’infrastruttura in progetto.

## 6. Macrosismicità dell'area

Il presente capitolo riporta le considerazioni in ordine alla macrozonizzazione sismica del territorio interessato dai lavori in progetto.

Lo studio riferisce della pericolosità sismica del territorio, intesa come la probabilità statistica che si verifichi un evento sismico e la conseguente pericolosità indotta, legata a fattori locali geologici e geomorfologici che possono amplificare o attenuare le vibrazioni sismiche.

Lo studio è stato articolato secondo il seguente schema concettuale:

- Analisi della nuova normativa di riferimento (Classificazione 2003);
- Ricerca storica dei principali terremoti che negli ultimi 200 anni hanno interessato un areale di riferimento significativo, al fine di verificare la propensione statistica all'evento sismico;
- Analisi della pericolosità sismica indotta, riferita al contesto geologico e geomorfologico locale.

### 6.1. Normativa di riferimento

Alla base dello studio è posta la normativa vigente (Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003 pubblicata nella G.U. n. 105 8/5/2003 recepita dalla Regione Sicilia con delibera di Giunta regionale n° 408 del 19/12/2003 e successivo decreto del Dipartimento Regionale Protezione Civile del 15 gennaio 2004 - G.U.R.S. n° del 13/02/2004) in tema di classificazione sismica del territorio, che ha suddiviso il territorio nazionale in quattro zone a seconda della probabilità ed intensità dell'evento sismico (riferita ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ ).

La nuova classificazione è articolata in quattro zone, le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge n. 64 del 2 Febbraio

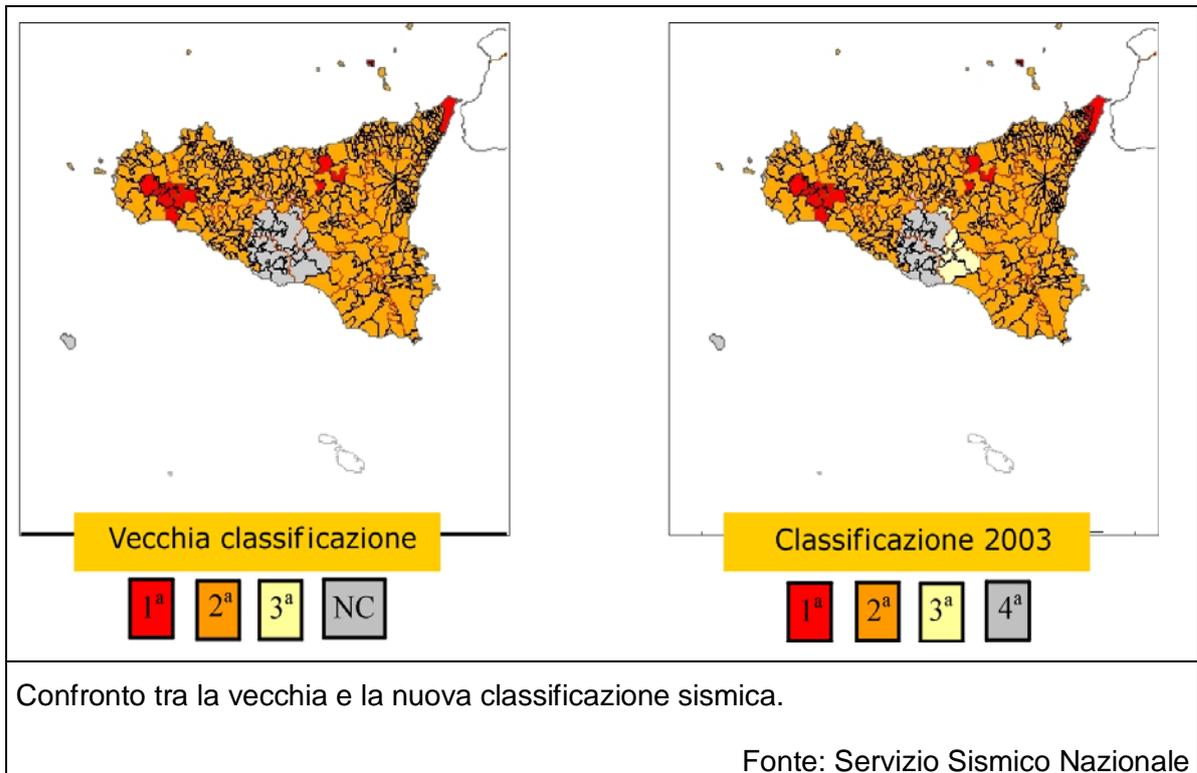
1974 e dei successivi decreti ministeriali, alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), mentre la zona 4 è di nuova introduzione ed è data facoltà alle regioni di imporre l’obbligo della progettazione antisismica.

<b>Classificazione L. 64 del 2/2/74</b>	<b>Classificazione 2003 Ord. P.C. n°3274 del 20/3/03</b>
Sismicità alta S =12	1
Sismicità media S =9	2
Sismicità bassa S =6	3
N.C.	4

La nuova normativa, oltre a prevedere i criteri per l’individuazione delle zone sismiche e la loro classificazione, detta specifiche norme tecniche secondo la tipologia costruttiva da realizzare o adeguare, in particolare:

- Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti;
- Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l’adeguamento sismico degli edifici;
- Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

L’introduzione della nuova classificazione comporta per il territorio siciliano, oltre alla scomparsa delle zone *non classificate* che divengono di 4° livello (con facoltà della Regione di applicare eventuali norme tecniche specifiche), un complessivo aumento delle zone sismiche di 1° livello che passano da 18 Comuni a 36, tutte ristrette nel settore della Valle del Belice (Trapani) e in Provincia di Messina.

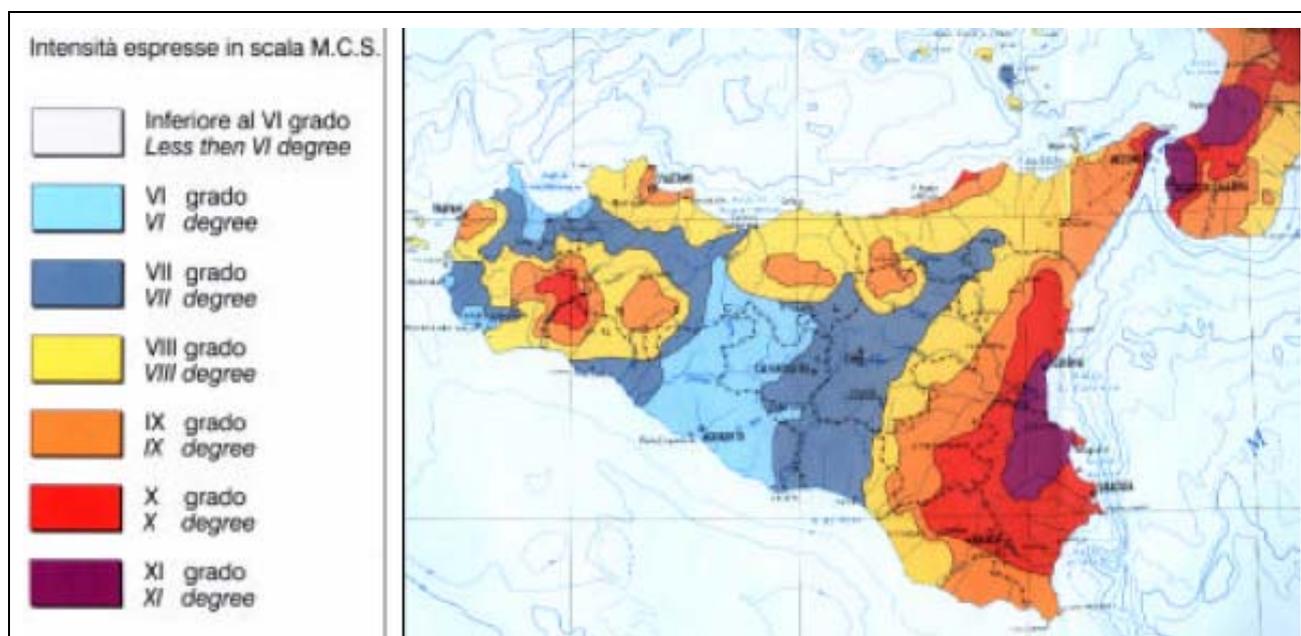


## 6.2. Dati storici

La ricerca storica degli eventi sismici ha evidenziato che il settore maggiormente colpito in passato, e al tempo stesso maggiormente indiziato di un possibile ripetersi di calamità sismiche, è rappresentato dalla fascia orientale della Sicilia, dal Basso Tirreno al Canale di Sicilia e dal settore della Valle del Belice già in passato oggetto di violenti eventi sismici.

La vivace tettonica regionale che contraddistingue il settore orientale, si esprime attraverso il frequente manifestarsi di terremoti nella provincia di Messina e Catania e trova un'ulteriore testimonianza nella presenza di vulcani attivi quali l'Etna, Vulcano e Stromboli.

Il settore occidentale siciliano a cavallo della Valle del Belice è stato interessato nel 1968 da una serie di forti scosse sismiche che provocarono gravissimi danni e vittime specialmente negli abitati di Gibellina, Montevago, S. Margherita Belice, Salemi Partanna, Menfi



Mappa delle massime intensità macrosismiche.

(Fonte: Dipartimento della Protezione Civile)

I restanti settori della Sicilia, non presentano eventi sismici storicamente significativi e statisticamente ricorrenti, così come tutto il settore attraversato dai lavori in progetto, ad esclusione di scosse o sciami sismici secondari.

Nella tabella di seguito riportata, tratta dal sito del Servizio Sismico Nazionale, sono elencati i terremoti storici che hanno interessato la provincia di Caltanissetta.

Tab. 1 - Sismicità registrata nella Provincia di Caltanissetta dal 1693  
(Fonte: Servizio Sismico Nazionale)

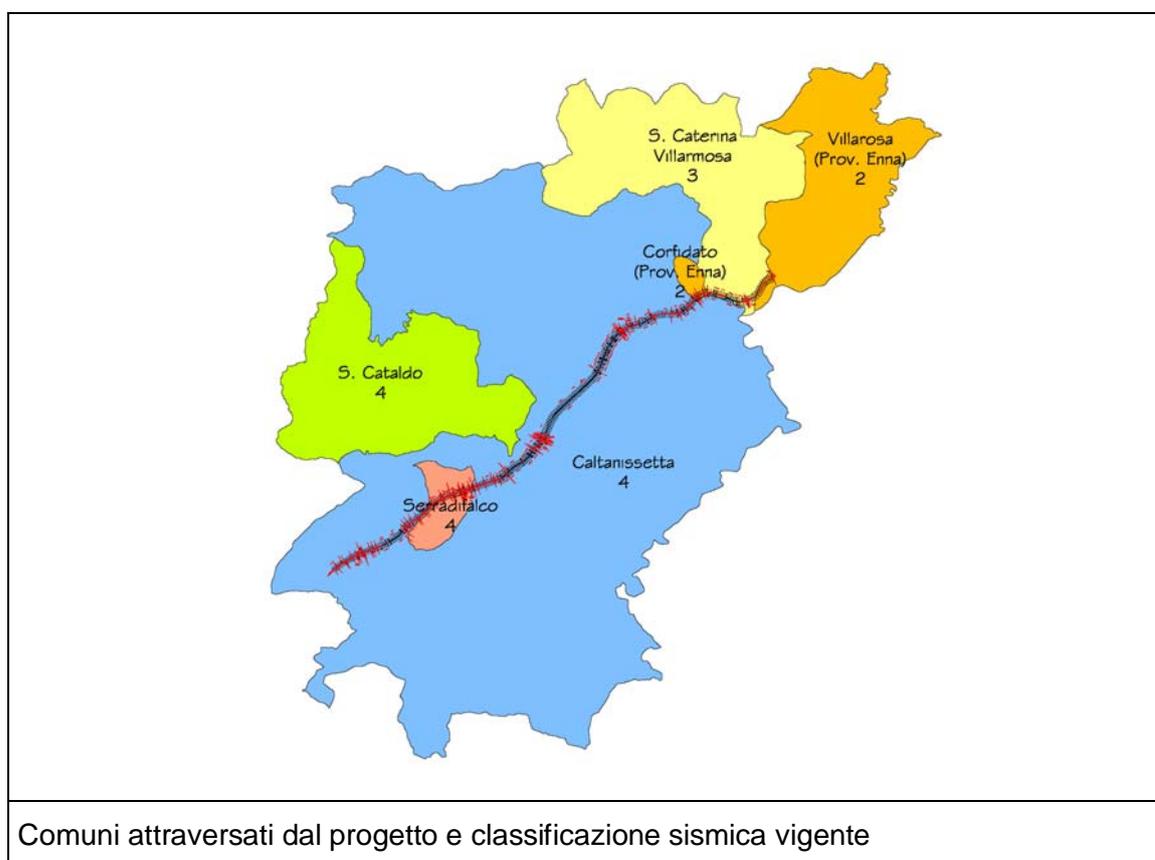
Anno	Intensita' M.s.k. - 64	Epicentro
1823	5	Sicilia nord - occidentale
1848	3	Augusta
1908	6	Calabro – Messinese
1934	2	Areale delle Madonie
1959	5	Piana di Catania
1967	4.5	Sperlinga
1968	5	Valle del Belice
1978	3	Golfo di Patti

### 6.3. Classificazione sismica aree di progetto

I Comuni attraversati dal progetto di ricadono in aree che hanno classe sismica compresa tra 2 e 3. (vedi tabella)

Tab. 1 – Elenco dei comuni interessati e relativa classificazione

Comune	Progressive Tratto di progetto	Classificazione L. 64 del 2/2/74	Classificazione 2003 Ord. P.C. n°3274 del 20/3/03
<b>Caltanissetta</b>	0 – 5.100 8.250 - 23.462	N.C	4
<b>Serradifalco (CI)</b>	5.100 – 8.250	N.C.	4
<b>Corfidato - Enna</b>	23.462 – 24.250	N.C.	2
<b>S. Caterina (CI)</b>	24.250 – 26.850	3	3
<b>Villarosa (En)</b>	26.825 – 28.080	3	2



## 6.4. Analisi della pericolosità sismica indotta

La conoscenza dell’assetto tettonico e geomorfologico dell’area in studio, integrata da considerazioni di carattere sismico (classificazione sismica, dati storici) ha consentito di valutare la pericolosità sismica indotta dell’area in studio.

Questa dipende da fattori locali geologici sia delle formazioni superficiali che del substrato profondo, che possono amplificare o ridurre le vibrazioni sismiche ed innescare situazioni di precario equilibrio geomorfologico.

La valutazione della macrosismicità dell’area e del rischio sismico indotto, è stata eseguita attraverso una serie di indagini ed analisi che possono così riassumersi:

- indagini morfoneotettoniche per l’individuazione di strutture tettoniche attive;
- analisi geomorfologiche e morfometriche finalizzate a particolari situazioni che possono amplificare l’evento sismico.
- Prospezioni sismiche a rifrazione con stendimento di 60 m finalizzate a cogliere eventuali anomalie o discontinuità strutturali nei complessi calcarei.

Nello specifico del progetto in esame le più importanti situazioni geomorfologiche che possono condizionare la pericolosità sismica indotta sono:

- elevata acclività e degradazione per erosione dei versanti
- cavità sotterranee

### **Acclività dei versanti e versanti in degradazione.**

A parità di altre variabili (litologia, umidità, grado di fratturazione, ecc.), i versanti con maggiore acclività assumono condizioni di crescente instabilità in concomitanza con terremoti o sciami sismici che favoriscono e/o possono attivare fenomeni franosi.

L’ area in studio è caratterizzata da un assetto morfologico prevalentemente collinare con

morfologie e pendenze generalmente non suscettibili di pericolosità sismica.

Le uniche situazioni da segnalare ed oggetto di specifica attenzione in fase progettuale, sono i seguenti settori:

- In corrispondenza della dorsale calcareo-gessosa delle *Contrade Grotta d’Acqua* e *Capo d’Acqua* dalla cui porzione sommitale sono possibili crolli e distacchi, ma osservando le traiettorie dei blocchi già distaccati, queste non sono tali da interferire con il tracciato previsto.
- In contrada *San Filippo* in prossimità dei viadotti San Filippo e Busita, dove i pendii argillosi sono interessati da diffusi fenomeni di colamento superficiale, creep e calanchi, che testimoniano una condizione di generale instabilità. Anche in questo caso la soluzione adottata, del viadotto o dei muri di sottoscarpa dei rilevati con fondazioni indirette su pali, consente di superare il rischio sismico indotto legato a possibili attivazioni di soliflussioni superficiali.
- Nel rilievo di Cozzo Garlatti, contrada Imera, dove il crinale lato est presenta dei dissesti superficiali con frane per crollo dell’unità delle calcareniti e conglomerati tortoniani, che mobilitano la coltre superficiale per uno spessore di circa 4 metri. Nel settore in esame il tracciato si sviluppa in galleria naturale prevedendo allo sbocco le opportune opere di protezione per possibili attivazioni delle frane (vedi elaborati di progetto)

### Cavità sotterranee

Spesso i terremoti provocano la riattivazione di avvenimenti franosi verificatisi in passato o il cedimento di volte di cavità sotterranee.

L’area in studio è caratterizzata dalla successione evaporitica con presenza di formazioni calcaree e gessose che sono potenzialmente soggette a fenomeni di dissoluzione carsica con formazioni di cavità sotterranee più o meno continue.

Nei settori dove sono presenti i maggiori spessori delle formazioni calcaree e gessose

sono stati eseguiti dei profili (I fase della campagna di indagine) al fine di verificare possibili discontinuità della roccia e presenza di cavità carsiche.

I profili sismici sono stati eseguiti nei seguenti settori:

- C.da Grotta Rossa (SS01 – SS02 – SS03 – SS04)
- C.da Grotta D’Acqua (SS05 – SS23 – SS21- SS22);
- C.da Favarella (SS20)
- C.da Papazzo (SS19)
- Zona Portella Arena – Galleria S. Cataldo ( SS06)

La campagna di indagini ha evidenziato per tutti gli stendimenti l’assenza di cavità e discontinuità significative per l’orizzonte investigato (circa 15 m dal p.c.).

Tale situazione porta ovviamente a minimizzare anche tutti i rischi legati ad un evento sismico nel settore di intervento.

## 6.5. Categorie del suolo di fondazione ai fini delle azioni sismiche

In ottemperanza alla nuova normativa in materia di costruzione in zona sismica è stato condotto uno studio specifico per valutare le componenti geologiche in relazione ad eventuali fenomeni sismici.

Alla base dello studio è posta la normativa vigente (Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003 pubblicata nella G.U. n. 105 8/5/2003 recepita dalla Regione Sicilia con delibera di Giunta regionale n° 408 del 19/12/2003 e successivo decreto del Dipartimento Regionale Protezione Civile del 15 gennaio 2004 - G.U.R.S. n° del 13/02/2004) in tema di classificazione sismica del territorio, che ha suddiviso il territorio nazionale in quattro zone secondo la probabilità ed intensità dell'evento sismico (riferita ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ ).

In relazione alla nuova classificazione si è provveduto a verificare le prescrizioni relative ai terreni di fondazione che risultano esenti da rischio di instabilità e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoti.

Inoltre ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si è definito il profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai sensi dell'art. 3.1 “*categorie di suolo di fondazione*” dell'ordinanza n° 3274.

Nella planimetria allegata allo studio sismico (*Planimetria con classificazione sismica del territorio all. GE03GEOCS01*) è riportata la suddivisione del tracciato secondo il profilo stratigrafico – geotecnico del suolo di fondazione; nel redigere la carta si è tenuto conto dei seguenti criteri:

- per le trincee e rilevati che presentano fondazioni dirette, si è valutata la litologia affiorante ed i primi metri di stratigrafia (2-3), che rappresentano la sezione rappresentativa ai fini delle fondazioni.
- Per i viadotti con fondazioni indirette su pali si è valutato l'intero inviluppo del terreno attraversato dalle fondazioni, escludendo i primi metri non rappresentativi al fine del calcolo.

- Per le gallerie sono state valutate solamente le litologie direttamente attraversate dallo scavo, tralasciando le formazioni soprastanti e quelle affioranti.

## 7. ANALISI DEL TRACCIATO

Di seguito si analizzerà nel dettaglio l'interazione tra il tracciato in progetto 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.

Al fine di meglio articolare lo studio, il tracciato, complessivamente esteso Km 28.080 è stato suddiviso in tratti omogenei per caratteristiche geologiche ed opere da realizzare; di seguito si riporta la suddivisione riferita alle nuove progressive chilometriche di progetto:

Tratto	Sottotratto	DENOMINAZIONE TRATTO	PROGRESSIVE	SEZIONI
I	a	C.da Grottarossa	0 - 2.400	0 – 97
I	b	Prima variante	2.400 - 4.400	97 - 177
I	c	C.da Grotta d'Acqua	4.400 - 8.600	177 - 345
II	a	Seconda variante - Tratto	8.600 – 10.350	345 – 415
II	b	Galleria Papazzo	10.350 – 10.975	415 – 440
II	c	Seconda variante - Tratto	10.975 – 12.900	440 – 517
II	d	Galleria Caltanissetta	12.900 – 16.890	517 – 677
II	e	C.da San Filippo Neri	16.890 – 18.100	677 – 724
III	a	C.da Busita	18.100 – 19.400	724 – 779
III	b	C.da Abbazia	19.400 – 22.300	779 – 893
III	c	Arenella	22.300 – 25.200	893 – 1.007
III	d	Cozzo Garlatti	25.200 – 26.600	1.007 – 1.065
III	e	Imera	26.600 – 28.080	1.065 – 1.125

## 7.1. Tratto I a) “ C.da Grottarossa”



C.da Grotta Rossa: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tab.1: Opere d'arte principali tratto Grottarossa – prog. 000 - 2.400

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Svincolo Serradifalco (Sv01)	1.350	1.5250		4	d)

### 7.1.1. Assetto geologico e geotecnico

Il settore di Contrada Grotta Rossa, primo tratto in studio, può essere suddiviso geologicamente in due differenti modelli stratigrafico - strutturali:

- dalla prog. 0 alla 1.420 il tracciato ricade sull'unità dei calcari evaporitici messiniani ricoperti da un ampio mantello detritico eluviale;

- dalla prog. 1.420 alla 2.400 si passa al complesso plastico delle argille ed argille marnose del tortoniane.



Pozzetto 1

Pozzetto 01–(0-2 metri) Limo sabbioso di colore bruno con presenza detritica di origine calcarea.

Per il primo settore il rilevamento di campagna e le indagini eseguite (sondaggi S1 – S2, pozzetti esplorativi Pz1 e profili sismici SS1 – SS2 – SS3 -SS4) hanno evidenziato la presenza di un deposito eluviale dello spessore di 5 -6 metri circa, costituito da limo argilloso di colore brunastro con abbondante frazione detritica di origine calcarea. Verticalmente la frazione litoide tende sensibilmente ad aumentare con la profondità fino a di-

venire un livello prettamente detritico che passa ai sottostanti calcari evaporitici del Messiniano.



S01 (6 m): Calcarea vacuolare evaporiti-

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. 500-525 (*Enopolio*) e prog. 1.250- 1.325 (prima dello svincolo 01 Serradifalco).

Il secondo settore, dalla prog 1.420 in poi, presenta un differente contesto geologico, passando dal Messiniano (calcarea di base) al Tortoniano con un vasto affioramento del complesso argilloso. Il litotipo presenta un primo livello sommitale costituito da argille e argille limo-sabbiose alterate e plastiche dello spessore variabile di 6- 7 metri



S01- Cassetta n.2 (5-10 m). Calcari vacuolari fratturati

seguite in profondità da un livello basale di argille grigio azzurre compatte a tratti scagliose, con migliori caratteristiche geotecniche (Sondaggio S3 – Pozzetti Pz 03, Pz 04, Pz 05– penetrometrie P01 - P02).



Sondaggio S3 cassetta n°2 (5 -10 m): Limi sabbiosi e argillosi (livello sommitale) passanti ad argille grigio azzurre scagliose.

Modello geotecnico prog. 0 a prog.1.420 (sondaggio S1)

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 2.00	<u>Depositi elu -colluviali:</u> limo argilloso di colore brunastro con presenza di sostanza organica e frazione detritica	$\gamma = 1.70\text{T/mc}$
		$Cu = --$
		$c' = 0.00\text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 18^\circ$
2.0 – 5.0	<u>Depositi elu -colluviali:</u> limo sabbioso con abbondante detrito calcareo.	$\gamma = 1.93\text{ T/mc}$
		$Cu = 1.50\text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.4\text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 20^\circ$
5.0 – 13	<u>Calcarea e calcarea marnoso:</u> calcari e Marna argillosa calcarea con livelli litoidi.	$\gamma = 1.85\text{ T/mc}$
		$Cu = 0.6\text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.3\text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 25^\circ$
13 – in prof.	<u>Argilla tortoniana:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.95\text{ T/mc}$
		$Cu = 1.7\text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.6\text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 21.5^\circ$

Modello geotecnico prog. 1.420 -.2.400

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7.00	<u>Complesso argilloso livello sommitale:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.87\text{T/mc}$
		$Cu = 0.5\text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.19\text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 16^\circ$
7.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.90\text{ T/mc}$
		$Cu = 1.00\text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.3\text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 19.6^\circ$

### 7.1.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico

Il settore di Contrada Grottarossa 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.

Dal punto di vista idrogeologico il primo tratto del settore, è caratterizzato da un esteso affioramento di formazioni permeabili costituite da unità calcaree e calcareo-marnose, 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 quest’ambito s’inserisce la *Sorgente Savuco* (fuori carta) che viene alimentata dall’acquifero di C.da Grotta Rossa.

I sondaggi eseguiti (S01 – S02) ed i dati a nostra disposizione, non hanno evidenziato nella fascia di progetto la presenza di falda idrica nei metri investigati (15 m).

Il secondo tratto del settore (dallo svincolo SV01 Serradifalco in poi) per la natura impermeabile delle formazioni consente solamente il ruscellamento superficiale delle acque senza alcuna possibilità di formazione di falda.

### 7.1.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il nuovo tracciato, in tutto il settore in esame (prog. 0 – 2.400), si affianca in sinistra della carreggiata attuale, ed alla stessa quota altimetrica, con alternanza di tratti in trincea e tratti in rilevato.

I rilevati generalmente sono di modesta entità, ad esclusione del tratto tra le sezioni 67 e 72, dove raggiungerà un'altezza massima di 9 metri.

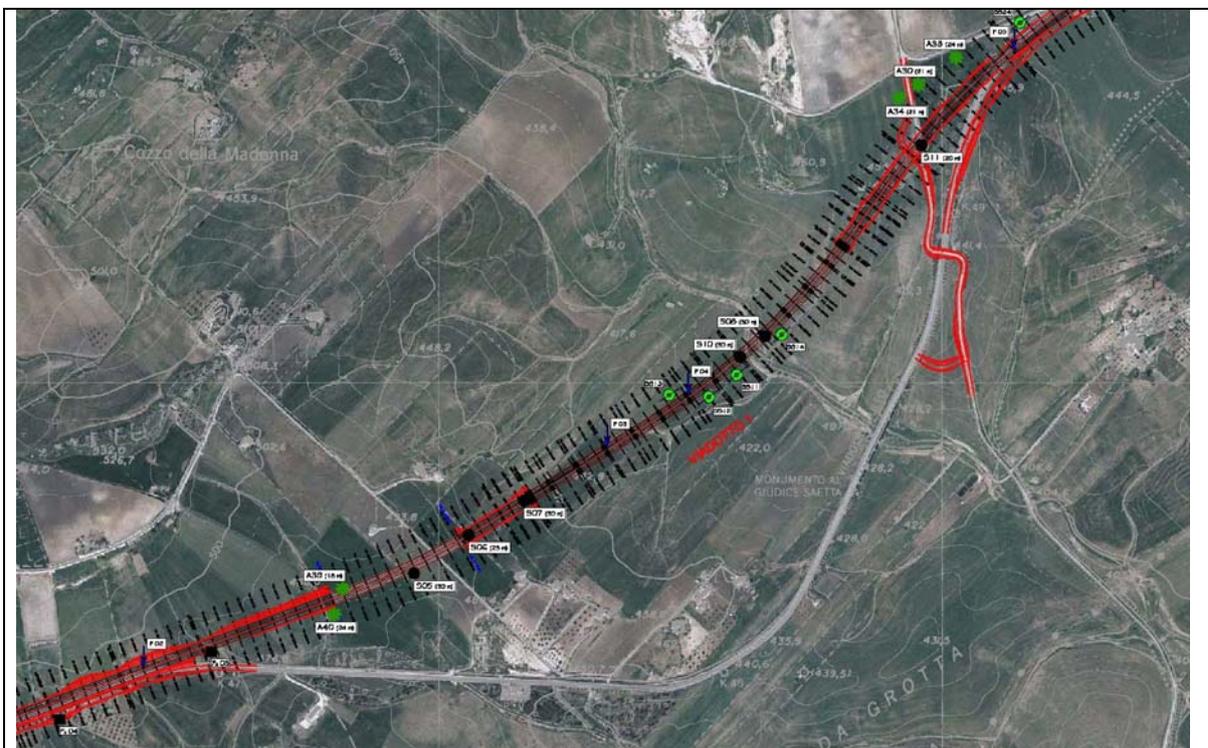
In questo settore la presenza di livelli vegetali e detritico eluviali compressibili (limo e argille sabbiose con resti organici) rende necessaria la bonifica del piano fondale dei rilevati per uno spessore di 1 – 1.5 metri con asportazione del terreno e sostituzione con tout -venant di cava. Inoltre al fine di aumentare la capacità portante del terreno, ed eliminare la tendenza al rigonfiamento delle argille e dei limi, è prevista l'introduzione di un geocomposito (costituito da un geotessuto abbinato ad una geogriglia), posto alla base dello strato di bonifica a diretto contatto con il terreno in situ.

Per i particolari tecnico - esecutivi e lo specifico dimensionamento dell'opera si rimanda agli allegati progettuali.

I tratti in trincea, sempre a sinistra ed in corrispondenza della nuova carreggiata, sono compresi tra le sezioni: 19-26; 37-41;48-59;73-83 e 87-96. Da segnalare in corrispondenza delle sez. 50 - 52 l'inserimento di una paratia piuttosto che di un muro di controripa, al fine di ridurre l'ingombro degli scavi essendo la carreggiata vicina ad un fabbricato esistente.

Nel tratto in esame, dalla sez. 52 alla 63, è previsto il primo svincolo, denominato “Ser-radifalco”. La rampa che raccorda le due corsie di innesto e uscita della carreggiata destra verso il cavalcavia presenta rilevati di notevole altezza, fino a 5.00 m. Per i rilevati pertinenti allo svincolo è prevista la semplice bonifica del terreno di imposta.

## 7.2. Tratto I b) “Prima variante”



C.da Rovetello, settore “prima variante”: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella delle opere d'arte principali tratto “Prima Variante” – prog. 2.400 - 4.400

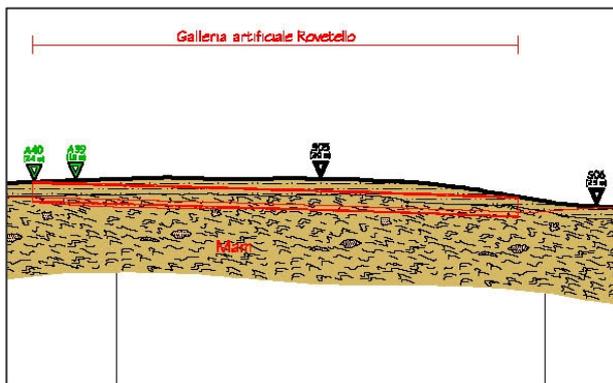
Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Galleria artificiale “Rovetello” (GA 01)	109	120	283	4	c)
Viadotto “Giulfo” (VI01)	127	159	795 (SX) 800 (DX)	4	c)

### 7.2.1. Asseto Geologico e geotecnico

Il settore in esame abbandona il vecchio tracciato (in prossimità del monumento al Giudice Saetta) e procede in variante nell’ambito di una vallata di argille tortoniane del *Vallone Giulfo*. Le opere d’arte più rilevanti sono la galleria artificiale Rovetello e il viadotto Giulfo entrambe ricedenti sulla formazione delle argille tortoniane.

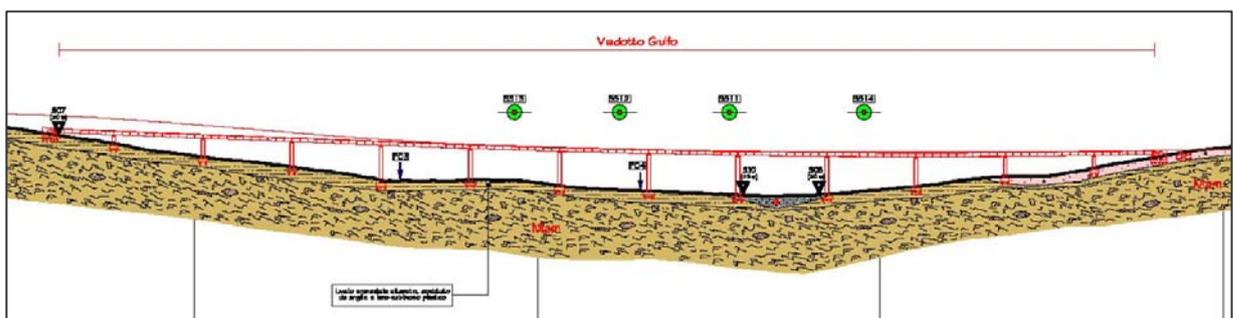
La campagna di indagine ha evidenziato nell’ambito della formazione argillosa un primo livello sommitale costituito da argille e argille limo-sabbiose alterate e plastiche dello spessore variabile da 5 a 8 metri seguite in profondità da un livello basale di argille grigio azzurre compatte a tratti scagliose,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

#### Profilo geologico galleria artificiale “Rovetello”



Lo scavo della galleria e le relative opere di contenimento interesseranno sia i limi argillosi alterati per i primi 7 metri, che le argille compatte soggiacenti (sondaggio S5). Il costruendo viadotto Giulfo sarà realizzato con fondazioni indirette, che attraverseranno il livello sommitale limo argilloso (spessore medio 7 metri) per poi raggiungere sulle argille compatte (sondaggi S7 – S10- S8 – Penetrometrie P3 – P4).

#### Profilo geologico viadotto “Giulfo”





Sondaggio S05 – Cassetta n.2 (5-10 m). Complesso argilloso sommitale passante al livello profondo di argille grigio azzurre compatte e poco plastiche.

Di seguito si riporta il modello geotecnico di massima ricostruito per il settore in esame.

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7.00	<u>Complesso argilloso livello sommitale:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.87 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 16.3^\circ$
6.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$C_u = 1.00 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 19.6^\circ$

## 7.2.2. Asseto Geomorfologico e idrogeologico

Il nuovo tracciato si sposta a nord della SS 640 esistente, attraversando un’ampia valle afferente al *Vallone Giulfo*. Il settore si caratterizza per una dolce collinetta con 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.

Pur tuttavia il rilevamento di campagna ha evidenziato dei processi erosivi in atto con erosione di fondo, incisione e approfondimento dell’alveo. In tal senso per il viadotto Giulfo che interseca il vallone, sono previste adeguate opere di protezione delle pile (vedi cap. 7.2.3 ed elaborati progettuali).

Nel settore in esame non sussistono le condizioni per la formazione di acquiferi e relativa falda.

### 7.2.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il Tratto è compreso tra le prog. 2.400 – 4.400, è rappresenta il primo settore dove il nuovo tracciato abbandona l'esistente SS640 per migliorare la geometria ed eliminare una lunga curva.

Dopo un breve tratto in trincea si sviluppa la galleria artificiale “Rovetello” - GA01, (sez. 109 a 120) lunga m 283, con altezze di scavo massime previste di 18.00 m. in corrispondenza della sez. 117.

Anche in questo settore l'assetto litologico – stratigrafico rende necessario un intervento di bonifica del piano di imposta dei rilevati, con asportazione del terreno e sostituzione con materiale arido per uno spessore di circa 1 – 1.5 metri.

Non sono presenti infrastrutture e costruzioni in prossimità della galleria tali da impedire o condizionare gli scavi.

Oltre la galleria breve tratto in trincea (bonifica 1 metro) prima del viadotto “Giulfo” -VI01, (sez. 127 a 159) di lunghezza L= 795 m. a 13 campate (carreggiata sx) e L= 805 m. a 13 campate (carreggiata dx).

Il vallone Giulfo come detto, è interessato a fenomeni erosivi che possono interferire con le opere fondali del viadotto; in tal senso è stato definito un intervento di protezione e sistemazione del tratto di vallone intercettato, previo studio idraulico con verifica delle aree di esondazione e relativa altezza massima del livello d'acqua con portata massima stimata con tempo di ritorno di 200 anni (vedi elaborato ID03 IDR PL01 “Sistemazioni Idrauliche – Vallone Giulfo”).

L'intervento è improntato a soluzioni di ingegneria naturalistica con esclusione di opere in c.a. e/o opere rigide, e l'utilizzo di scogliere, gabbionate, soglie di fondo in pietrame e interventi di rinaturalizzazione dell'area.

In particolare l'intervento può così sintetizzarsi:

- protezione passiva delle pile del viadotto con inserimento di scogliera disposta a *rip rap* per evitare fenomeni di scalzamento al piede delle fondazioni;

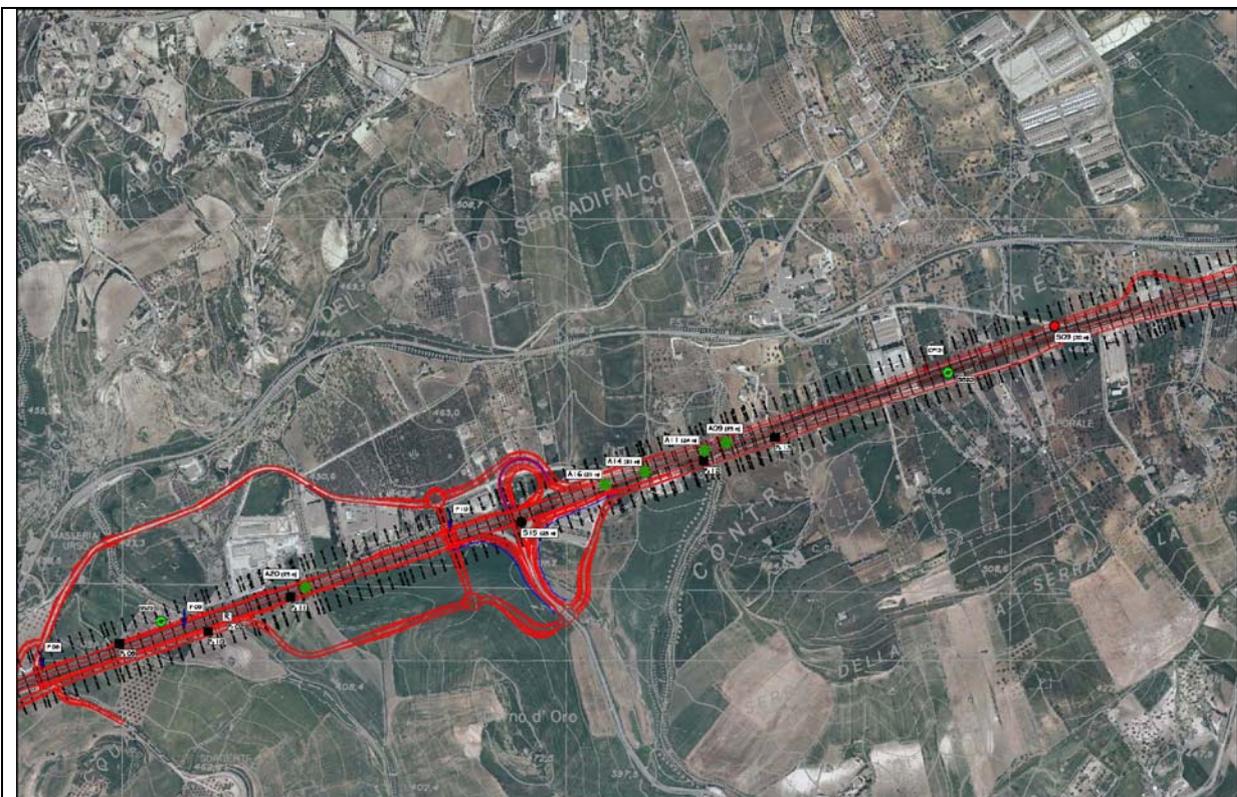
- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.

L’intervento si conclude con la piantumazione di Salici e Tamerici, tipiche essenze arbustive spontanee dei corsi d’acqua della Sicilia meridionale, lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di rinaturalizzare il contesto ambientale.

Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto (*Sistemazione idraulica Vallone Giulfo* –allegato *ID03IDRP101*).

Oltre il viadotto breve tratto in trincea per poi riavvicinarsi all’esistente tracciato.

### 7.3. Tratto I c) “Grotta d’Acqua”



Settore “seconda variante”: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella delle opere d’arte principali tratto “Grotta d’Acqua” – prog. 4.400 - 8.600

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Svincolo “Delia Sommatino” (Sv 02)	306	320		4	c)
Ponte (P0 01)	329	330	40	4	c)

### 7.3.1. Asseto Geologico e geotecnico

L'ampio tratto in esame ricade nel settore sub-pianeggiante di contrada Grotta D'Acqua. Il tracciato, dal punto di vista geologico, insiste su differenti profili stratigrafici che testimoniano il passaggio dal Tortoniano-Messiniano (complesso argilloso e successione evaporitica) al Pliocene con i Trubi e depositi della marnoso arenacea.

Nello specifico i profili stratigrafici possono così riassumersi:

- dalla prog 4.400 alla prog 5.250 sono presenti depositi eluolluviali a copertura del complesso argilloso tortoniano
- dalla prog. 5.250 alla 5.400 i depositi eluolluviali ricoprono la formazione delle marne e calcari marnosi del pliocene inf. (Trubi nell'espressione prettamente marnosi);
- dalla prog. 5.400 alla 5.800 affiora l'unità delle argille e argille marnose plioceniche con uno spesso livello sommitale costituito da limi sabbiosi alterati.



Pozzetto 06 – (0-2 metri): Limo argilloso e sabbioso bruno giallastro con frammenti litici e sostanza organica.

I depositi elu-colluviali sono costituiti da limi e limi sabbiosi di colore bruno-giallastro, alterati e plastici, con presenza di inclusi lapidei, minuti cristalli di gesso e sostanza organica.

Lo spessore del litotipo è mediamente di 12 metri nel settore ove ricopre il complesso argilloso (campagna indagini Anas 1988, mentre nel tratto a copertura delle marne argillose del pliocene lo spessore è di poco superiore agli 8 metri (sondaggio S 32).



Sondaggio S32 – Cassetta n.2 (5-10 m). Limo argillo - sabbio passante a marne e marne argillose.

Tali depositi a causa della presenza di limi e sostanza organica abbondante nei primi metri (1 – 1.5), si caratterizzano per elevata plasticità e compressibilità del litotipo, oltre che per variazione di volume al variare del contenuto d’acqua.

Pertanto è opportuno operare un intervento di bonifica e rafforzamento strutturale del piano di imposta dei rilevati previsti.

Il tratto successivo (prog 5.400 / 8.600) si caratterizza per la presenza di una copertura limo argillosa giallastra con presenza di livelli sabbiosi e punti gessosi. Il litotipo è afferente al complesso delle argille sabbiose del pliocene è rappresenta il livello superficiale alterato e rimaneggiato della formazione che in taluni casi ha subito un minimo processo di trasporto ed accumulo. Lo spessore di tale livello mediamente è di 13 metri, sondaggi S12 e S13.



Sondaggio S13 – Cassetta n.2 (5-10 m). Limo argilloso con sabbia, afferente al complesso argilloso pliocenico.

Anche in questo settore così come nel precedente, la sede stradale è prevista in rilevato con preventiva bonifica del piano fondale dei rilevati.

Al fine della definizione di un modello geotecnico – stratigrafico del settore si ipotizzano due 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.

Modello geotecnico dalla prog. 4.400 a prog. 5.400

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 10.00	<u>Depositi elu-colluviali:</u> Limo argilloso e sabbioso bruno giallastro con frammenti litici e sostanza organica. Alterato e compressibile.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.6 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.25 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 18.5^\circ$
10.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso tortoniano:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$C_u = 1.00 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 19.6^\circ$

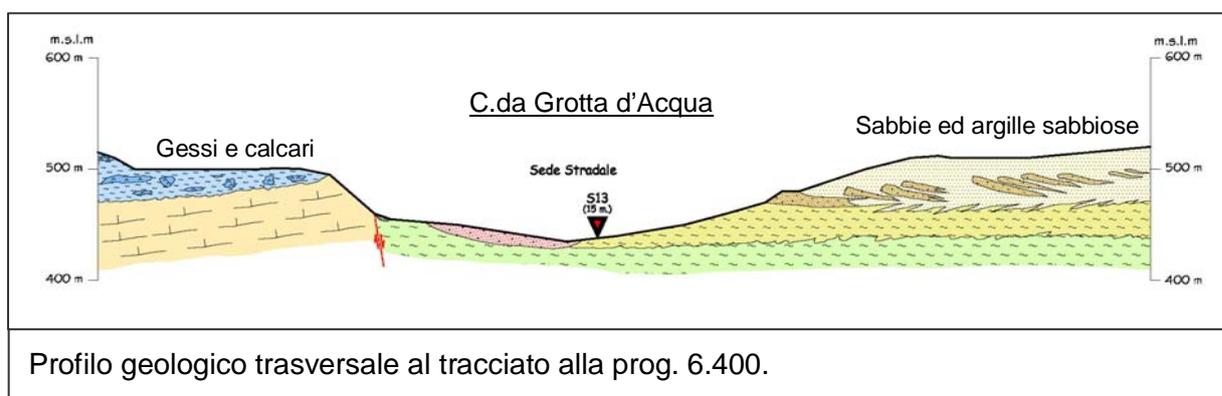
Modello geotecnico dalla prog. 5.400 a prog. 8.600

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 13.00	<u>Livello sommitale:</u> limo argilloso giallastro con presenza di livelli sabbiosi, punti gessosi e sostanza organica. Livello alterato e compressibile.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.55 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 19.6^\circ$
13.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla con limo e punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$C_u = 1.00 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 19.6^\circ$

### 7.3.2. Assetto Geomorfologico e idrogeologico

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 che ha subito un certo trasporto ad opera delle acque dilavanti e di ruscellamento; si è pertanto formato un mantello detrito eluviale dello spessore medio di 10-13 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 saturate con ristagni idrici legati alle acque piovane invernali che hanno scarsa possibilità di deflusso superficiale o drenaggio profondo (vedi allegato GE01GEOCM03 carta geomorfologica Tav 3).

Tale contesto geomorfologico determina inoltre la formazione di modeste falde superficiali stagionali contenute nei limi sabbiosi, così come evidenziato dalla lettura dei livelli freatici nei sondaggi S12 e S13 attrezzati con piezometro.

Alla luce di quanto emerso è stato previsto un intervento di bonifica del piano di im-

sta dei rilevati e la realizzazione di opere di drenaggio e allontanamento delle acque (vedi capitolo successivo).

### 7.3.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il tratto ha inizio con la prog. 4.400 e termina alla prog 8.600 sviluppandosi nelle contrade denominate Grotta d’Acqua e Favarella.

Complessivamente la nuova strada si mantiene in affiancamento, generalmente su rilevato, all’esistente tracciato, con rilevati di altezza 2 -3 metri con un massimo di 8 metri in corrispondenza della sez. 282.

Tra le sez. 241- 261 la nuova strada effettua una piccola variante migliorativa addolcendo la geometria della curva presente sull’esistente tracciato in trincea.

Tra le sez. 306 - 320 è previsto il secondo svincolo, denominato “Delia-Sommatino”. Nella rampa 1 dello svincolo, per la presenza di un fabbricato in prossimità del tracciato, sono previste opere di contenimento costituite da paratie da entrambi i lati, che raggiungono altezze di oltre 10 m.

Come evidenziato nei capitoli precedenti, il particolare assetto geomorfologico del settore, determina la necessità di operare un intervento di bonifica del piano di imposta dei nuovi rilevati, oltre che un intervento di uniformazione tra i rilevati esistenti ed i nuovi.

Gli obiettivi del progetto di bonifica possono così riassumersi:

- aumentare la capacità portante complessiva del terreno di imposta dei rilevati risultata non idonea ai carichi previsti;
- contrastare la compressibilità e la tendenza al rigonfiamento dei terreni caratterizzati da limi argillosi con presenza di sostanza organica;
- favorire il drenaggio delle acque superficiali e di infiltrazione, in particolar modo nelle aree caratterizzate da ristagni d’acqua e falde stagionali superficiali.

Alla luce di tali direttrici di intervento si prevedono tre tipologie primarie di interventi di bonifica secondo l’assetto stratigrafico e geomorfologico e la consistenza del manufatto da realizzare:

1. Bonifica con geogriglia: consiste in una bonifica di sottofondo con asportazione del terreno per circa 1 – 1.5 metri, e sostituzione con tout -venant di cava. Inoltre al fine

di aumentare la capacità portante del terreno è prevista l'introduzione di una geogriglia alla base dello strato di bonifica.

2. Bonifica con geocomposito: consiste nell'intervento base di bonifica di sottofondo (asportazione del terreno e sostituzione con tout -venant di cava) e l'utilizzo alla base del rilevato di un geocomposito, costituito da geotessuto + geogriglia (resistenza complessiva a trazione di 24 Kn/ml), al fine di migliorare notevolmente la capacità portante ed eliminare la tendenza al rigonfiamento i cedimenti di consolidazione.
3. Bonifica con dreni verticali. E' l'intervento più complesso, da effettuare nelle zone sature o con ristagni d'acqua dove necessita abbattere le pressioni neutre e favorire i moti di filtrazione e drenaggio al fine di controllare i cedimenti di consolidazione.

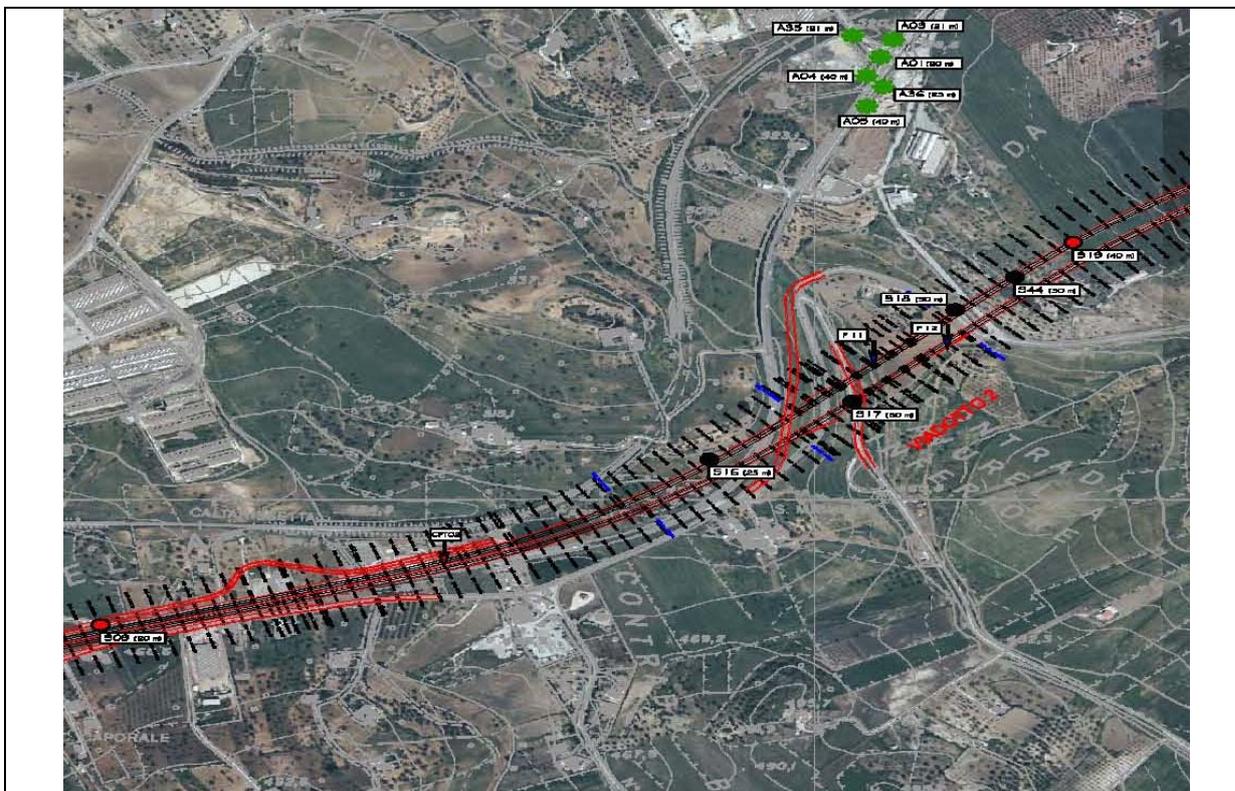
Consiste nella installazione di un sistema di dreni verticali a nastro infissi nel terreno sotto il piano di imposta del rilevato, che hanno il compito di favorire i moti di filtrazione in direzione orizzontale e la risalita capillare verso l'alto. Le acque di risalita vengono poi allontanate verso l'esterno da un materasso drenante posta alla base del rilevato.

Completa l'intervento il rafforzamento strutturale e l'incremento della capacità portante del terreno tramite georete di rinforzo ad elevata tenacità.

Si rimanda agli elaborati geotecnici di progetto per i particolari tecnico – costruttivi e il dettaglio delle sezioni di progetto interessate dalle diverse tipologie di intervento.

Tra le sezz. 329 e 330 è ubicato un ponte monocampata di luce 40 m. **(PO01)** per l'attraversamento di un piccolo vallone; non si prevedono particolari opere in relazione all'assetto geologico.

### 7.4. Tratto II a) “Seconda variante tratto iniziale”



Settore “seconda variante”: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella delle opere d’arte principali tratto “Seconda variante iniziale” – prog. 8.600 – 10.350

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Galleria artificiale GA 02	390	402	285 (SX) 238 (DX)	4	c
Viadotto “Favarella” VI 02	405	410	122	4	c

#### 7.4.1. Asseto Geologico e geotecnico

Nel settore in esame la nuova sede stradale insisterà su tre differenti profili stratigrafici:

- dalla prog. 8.600 alla 9.400, si riscontrano depositi elu-colluviali;
- dalla prog. 9.400 alla 10.080 (galleria artificiale GA02) argille e argille sabbiose del pliocene (Pam);
- dalla prog. 10.080 alla 10.200, in corrispondenza del viadotto Favarella, affiorano depositi alluvionali a copertura delle argille sabbiose (Pam)

I depositi elu-colluviali rilevati in contrada Favarella, presentano mediamente uno spessore di circa 7 metri, sono costituiti da limi sabbiosi alterati e plastici ricchi di sostanza organica ed elementi lapidei di varia natura.

Oltre tale livello si rinviene una lente di sabbie giallastre con intercalazioni quarzarenitiche dello spessore di circa 6 metri (sondaggio S9).



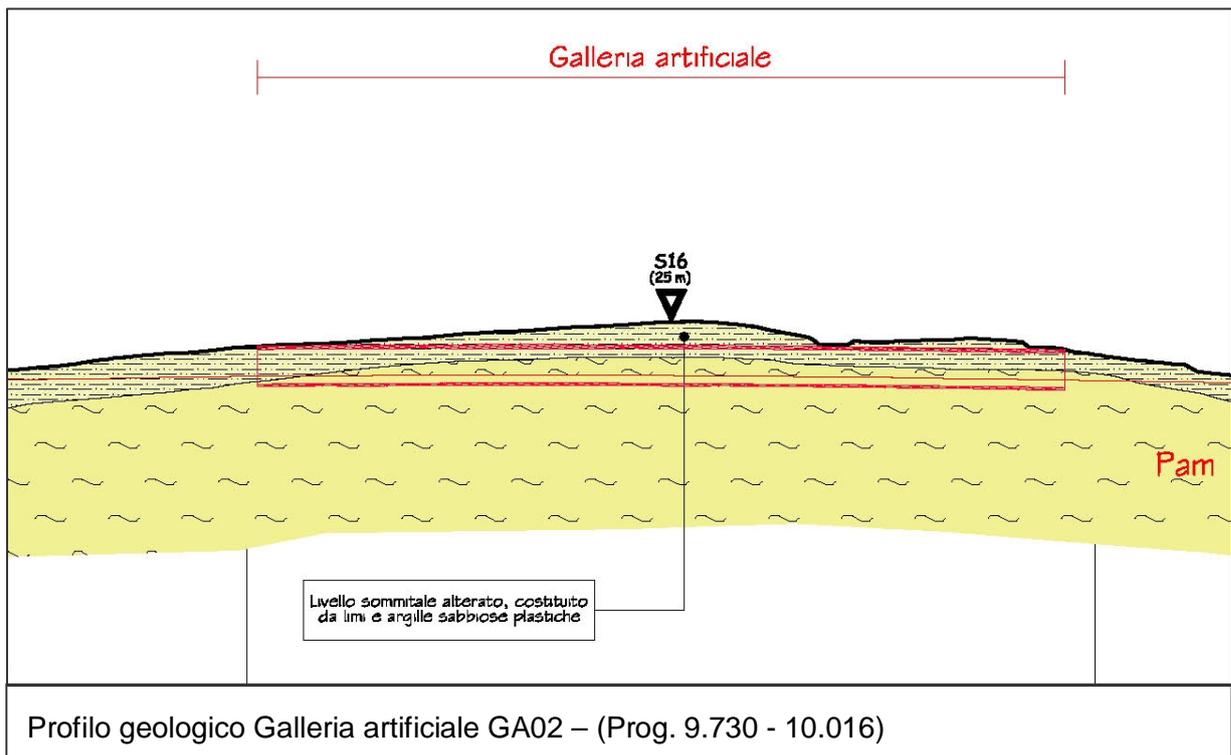
Sondaggio S9 – Cassetta n.3 (10-15 m). Sabbie giallastre con intercalazioni quarzarenitiche



S16 – (6 m): Limo argilloso giallastro alterato, mediamente consistente.

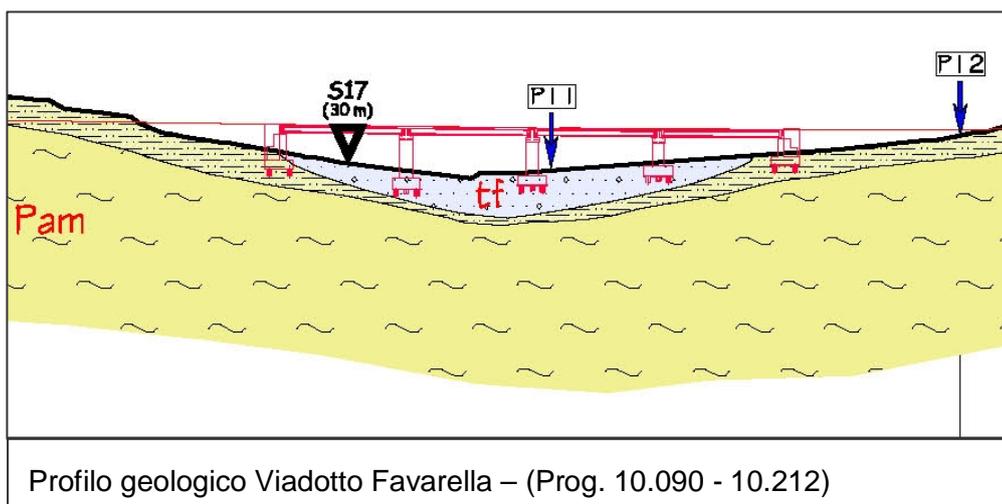
In riferimento alla galleria artificiale GA02 lo scavo interesserà un livello di spessore pari a 8 metri di argille e limo argilloso di colore giallastro, alterato e plastico, con presenza di sostanza organica, e frazioni gessose.

Tale litotipo costituisce il livello sommitale alterato e rimaneggiato delle argille plioceniche (Pam) che seguono in profondità (sondaggio S16).





Il settore in esame si conclude con il viadotto Favarella, le cui fondazioni su pali intersecano un primo livello di depositi alluvionali limo argillosi di spessore 2-3 metri, cui seguono in profondità le argille plioceniche con il classico livello alterato sommitale spesso circa 5-7 metri a copertura delle argille grigie scure consistenti (sondaggio S17).



Di seguito si riporta per ogni settore il modello geotecnico di riferimento:

Modello geotecnico dalla prog. 8600 a prog. 9500

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 9.00	<u>Depositi elu-colluviali</u> limi, argille alterate e sabbie ricche di sostanza organica.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.55 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.20 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 17^\circ$
09.00 – 15.00	<u>Sabbie</u> Sabbie giallastre sciolte con livelli quarza-renitici di spessore variabile	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$Cu =$
		$c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 30^\circ$
15.00-in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 21.5^\circ$

Modello geotecnico galleria artificiale dalla prog. 9500 a prog. 10.000

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 8.00	<u>Complesso argilloso pliocenico livello sommitale:</u> Limo argilloso, plastico, con presenza di sostanza organica	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 16^\circ$
8.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 20^\circ$

Modello geotecnico viadotto Favarella dalla prog. 10.000 a prog. 10.350

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 2.00	<u>Alluvioni terrazzate:</u> limo argilloso, plastico con inclusi lapidei	$\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.50 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 16^\circ$
2.00-7.00	<u>Complesso argilloso pliocenico livello sommitale:</u> Limo argilloso, poco plastico, alterato.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 16^\circ$
8.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 20^\circ$

#### 7.4.2. Assetto Geomorfologico e idrogeologico

Il settore di contrada Favarella nel primo segmento, si mostra in continuità morfologica con Contrada Grotta d’Acqua, presentando un assetto complessivamente sub-pianeggiante debolmente pendente in direzione sud sud –ovest.

Nel tratto finale (dalla prog. 9.600 in poi) cambia la morfologia del paesaggio con la presenza di dolci collinette argillose ed incisioni vallive (Vallone Favarella) che vengono superate con una modesta galleria artificiale ed un viadotto.

Complessivamente il tracciato per tutto lo sviluppo, 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.

Come per il precedente tratto esaminato, il settore sub-pianeggiante si caratterizza per l’accumulo di materiale detritico che ha subito un certo trasporto ad opera delle acque dilavanti e di ruscellamento. Tale situazione ha determinato la presenza in affioramento di coperture elu-colluviali di spessore 8 – 9 metri a copertura delle formazioni Plioceniche in posto.

La natura del deposito è prevalentemente limosa e limo-sabbiosa con frammenti detritici e sostanza organica, cui deriva scarsa parametrizzazione geotecnica e fenomeni di compressibilità.

Nello stesso tratto l’assetto morfologico e la presenza di formazioni scarsamente permeabili, determina no la formazione di zone sature con ristagni idrici legati alle acque piovane invernali che hanno scarsa possibilità di deflusso superficiale o drenaggio profondo (vedi allegato GE01GEOCM04 carta geomorgologica Tav 4).

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 metri dal piano di campagna.

### 7.4.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il segmento in esame è compreso tra le prog. 8.600 e 10.350; il primo il tratto in raddoppio si affianca in destra della carreggiata attuale, ed alla stessa quota altimetrica.

I rilevati previsti tra le sez. 374-378 di altezza massima 4 metri, insistono su terreni che è necessario bonificare con un intervento specifico di rafforzamento strutturale per aumentare la capacità portante; nello specifico si prevede una bonifica con asportazione di circa 1 metro di terreno e sostituzione con materiale arido di cava, inserimento di geocomposito (geogriglia + geotessuto) di rinforzo alla base del rilevato.

Dalla sez. 381 alla 390 l'infrastruttura in progetto si discosta dall'esistente SS640 e taglia l'esistente curva con un tratto in trincea.

In prossimità delle sez. 390 a 402 la collinetta che l'esistente tracciato aggira alla base, viene invece tagliata con il nuovo tracciato ed attraversata in galleria artificiale per una lunghezza di 150 m, per la carreggiata di monte (sinistra). La carreggiata di destra, taglia la collina ad una quota più bassa, con un tratto in trincea al centro e a mezzacosta ai lati.

Oltre la sez. 402 le due carreggiate si riavvicinano, con la sinistra in trincea, mentre la destra si sviluppa su rilevato di notevole altezza (7 metri) di raccordo tra la galleria artificiale e il successivo viadotto Favarella.

L'opera si inserisce in un versante soggetto a soliflussioni e piccoli dissesti superficiali visibili nella viabilità esistenti che presenta piccole sconnesioni della pavimentazione stradale.

Al fine di verificare la stabilità globale del pendio è stata eseguita una verifica di stabilità alla sez. 404 (vedi relazione geotecnica). Le elaborazioni e gli studi condotti hanno confermato la stabilità complessiva del versante a meno di uno strato superficiale con coefficiente di sicurezza al limite. Pertanto, oltre alle opere di regolarizzazione delle acque superficiali e alla bonifica profonda con geogriglia di rinforzo strutturale, è prevista l'introduzione di un muro di sottoscarpa del rilevato con fondazioni indirette su pali (per i particolari costruttivi vedi elaborati progettuali). Tali opere consentono di superare i problemi di possibili cedimenti o smottamenti del rilevato.

Passando oltre, la nuova strada taglia il vallone Favarella con un viadotto di lunghezza  $L= 122$  m. a 4 campate con fondazioni indirette su pali.

Il vallone Favarella pur non interessato da importanti processi erosivi è oggetto di un intervento di protezione e sistemazione, soprattutto in relazione alla stabilità complessiva del versante destro dove poggia il rilevato prima descritto.

Per il corso d’acqua è stato condotto lo studio idraulico con verifica delle aree di esondazione e relativa altezza massima del livello d’acqua (tempo di ritorno di 200 anni), al fine di definire e dimensionare gli interventi.

L’intervento è improntato a soluzioni di ingegneria naturalistica con esclusione di opere in c.a. e/o opere rigide, e l’utilizzo di scogliere, gabbionate, soglie di fondo in pietrame e interventi di rinaturalizzazione dell’area.

In particolare l’intervento può così sintetizzarsi:

- protezione passiva delle pile del viadotto con inserimento di scogliera disposta a *rip rap* per evitare fenomeni di scalzamento al piede delle fondazioni;
- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.
- piantumazione di Salici e Tamerici lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di ricostruire il contesto ambientale attuale.

Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto (elaborato ID03 IDR PL02 “*Sistemazioni Idrauliche – Vallone Favarella*”).

## 7.5. Tratto II b) “Galleria Papazzo”

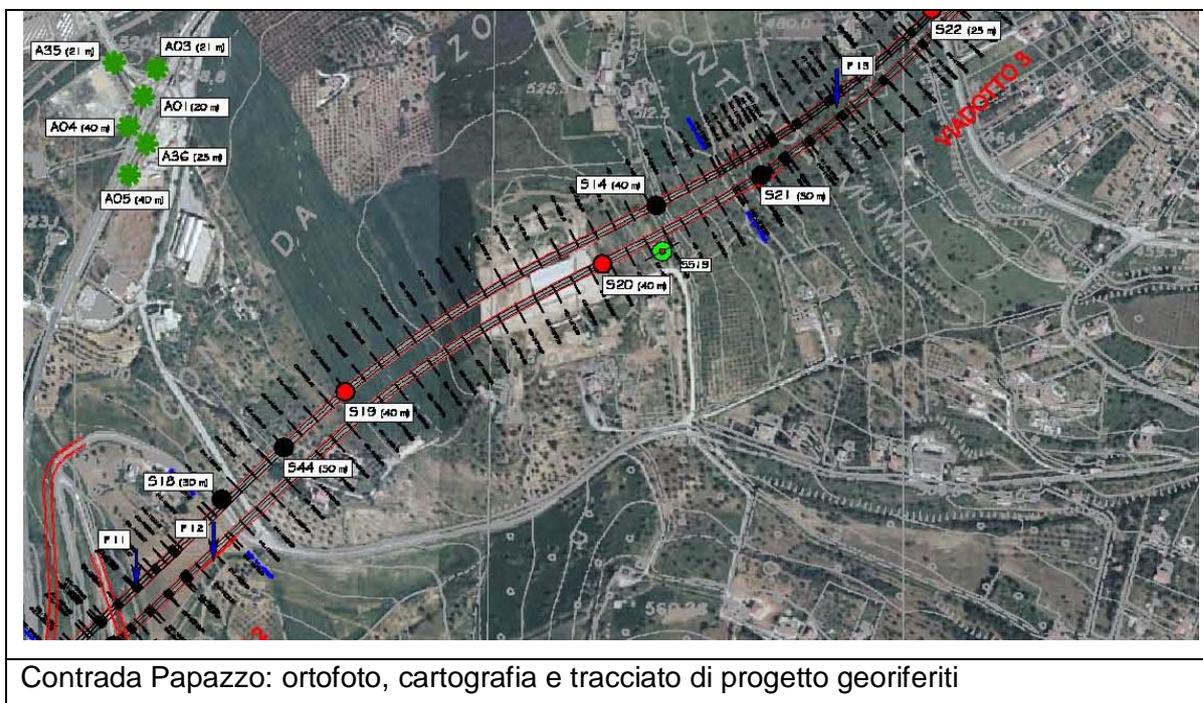


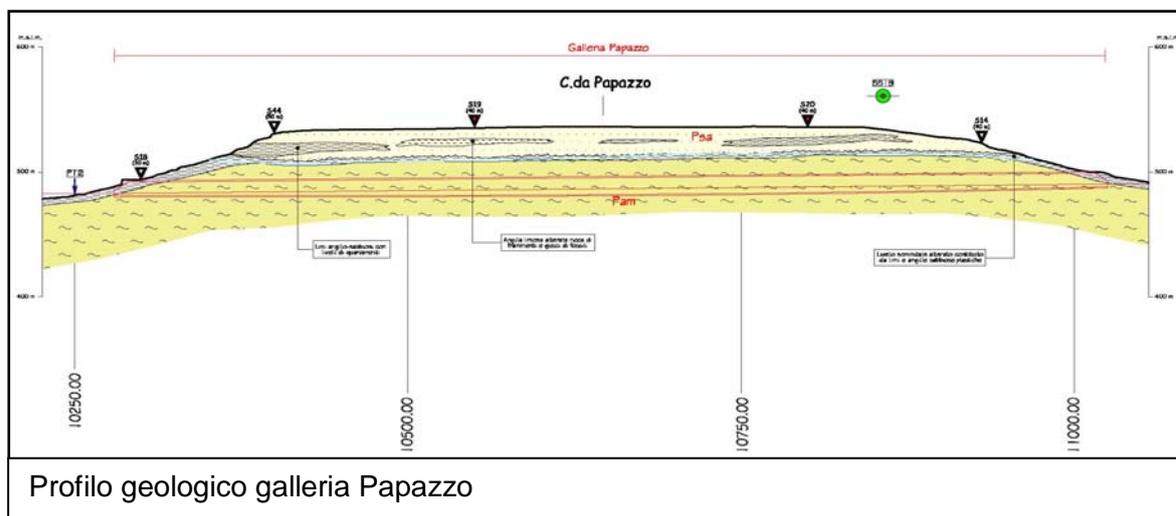
Tabella delle opere d'arte principali tratto “Galleria Papazzo” – prog. 10.350 - 10.975

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Galleria naturale “Papazzo” GN 01	415	440	741 (SX) 743 (DX)	4	c

### 7.5.1. Assetto geologico e geotecnico

La contrada Papazzo, dove è prevista l’omonima galleria naturale, si caratterizza per la presenza delle litologie della Formazione Marnoso-arenacea del Pliocene medio – Pleistocene inf. L’opera prevista, consente di attraversare la collinetta espressione della tipica deposizione terrigena torboidica 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, l’*Unità delle sabbie e sabbie argillose (Psa)* e l’*unità delle argille ed argille marnose (Pam)*



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.

Lo spessore complessivo del litotipo delle sabbie e sabbie argillose (Psa) è stato ricostruito per il settore tra 17 e 19 metri dal p.c. (sondaggio S44 - S19 – S20) oltre i quali si rinvenivano le argille plioceniche.

Le argille plioceniche sono costituite da argille ed argille sabbiose generalmente di colore grigio-azzurro, con resti di fossili e, tal volta, 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 a struttura scagliosa.

Il tracciato della galleria è stata più volte verificato e cambiato in corso di progettazione nella sua geometria e nella quota, alla luce del modello geologico ricostruito; in particolare la quota della galleria è stata abbassata in modo tale da attraverserà per intero l'unità delle argille (Pam) evitando i livelli sabbiosi sciolti e la relativa falda.



S44 (m 40) – Argilla sabbiosa ricca di fossili. Consistente, scagliosa.



Prova pressiométrica sondaggio S14

Al fine di definire il modello geotecnico oltre ai sondaggi e le prove di laboratorio sono state eseguite delle prove pressiométriche nei fori di sondaggio (S44 – S14) al fine di definire in corrispondenza delle gallerie il modello geotecnico del sottosuolo. Le prove hanno consentito di ricavare il comportamento deformativo dei terreni, il modulo pressiométrico 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 agli appositi capitoli; di seguito si riporta il modello geologico – geotecnico di riferimento.

## Modello geotecnico galleria Papazzo

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 19.00	<u>Sabbie e Sabbie argillose:</u> Sabbie giallastre con livelli limosi e argillosi poco cementati; presenza di livelli di calcareniti e quarzareniti.	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 25^\circ$
19.00 – 25.00	<u>Complesso argilloso pliocenico livello sommitale:</u> Limo argilloso con sabbia poco plastico, alterato.	$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.75 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
25.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$
		$C_u = 2.5 - 3.0 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 25^\circ$
Falda a quota - 24 m dal p.c. confinata nelle sabbie e nel complesso argilloso alterato.		

## 7.5.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico

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 così come nei versanti dove insistono gli imbocchi della galleria.

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). Anche tale circostanza ha orientato lo staff di progettazione ad optare per un tracciato in galleria naturale.

Dal punto di vista idrogeologico è stato rilevato un acquifero di spessore complessivo di circa 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 plioce-niche. L'acquifero è sostenuto dalle stesse argille che oltre i primi metri presentano minore componente sabbiosa e sono pressoché impermeabili ed asciutte.

La falda è stata monitorata attraverso piezometro installato nei sondaggi S19 e S20, le letture a falda stabilizzata disegnano un livello piezometrico a circa 25 metri dal p.c.

Lo scavo della galleria è previsto a circa 35-40 metri dal p.c. e pertanto non intercetta l'acquifero posto superiormente; ciò nonostante la presenza di livelli sabbiosi sinsedimentari all'interno delle argille, determina l'opportunità di prevedere in fase progettuale modeste venute d'acqua discontinue e pertanto la possibilità di eventuali opere di drenaggio, in modo particolare in prossimità degli sbocchi dove il ricoprimento è minore.

Gli studi condotti consentono di esprimere la fattibilità geologica dell’opera e la compatibilità delle soluzioni progettuali adottate con l’assetto geomorfologico del settore, che si caratterizza per buona stabilità complessiva ed assenza di criticità.

### 7.5.3. Esame del tracciato: geometra ed analisi interventi

L’intero tratto è costituito dall’attraversamento in galleria naturale della cresta sabbiosa di C/da “Papazzo” sulla quale sorge un piccolo insediamento industriale costituito da costruzioni commerciale e capannoni.

La galleria è compresa tra le sez. 415 e 440, presenta uno sviluppo di 741 m per la canna sinistra e 743 m per quella destra, lo spessore di ricoprimento varia tra i 35-40 metri nel tratto centrale. La galleria interessa per intero la formazione delle argille e argille sabbiose del Pliocene (Pam), il litotipo si presenta consistente, impermeabile e sovraconsolidato con alti valori di coesione ( $3 \text{ Kg/cm}^2$ ).

L’opera in esame è stata più volte verificata e cambiata in corso di progettazione nella sua geometria e nella quota, alla luce del modello geologico scaturito dalla campagna di indagine; in particolare la quota della galleria è stata abbassata in modo da non intercettare le sabbie sciolte della F.ne Marnoso arenacea, ed il relativo acquifero, ed impostarsi sulle argille ed argille-sabbiose sottostanti.

La galleria è prevista con scavo tradizionale a piena sezione con rivestimenti definitivi con arco rovescio, murette e calotta; previsti inoltre interventi di precontenimento e priverivestimento del fronte e/o del cavo.

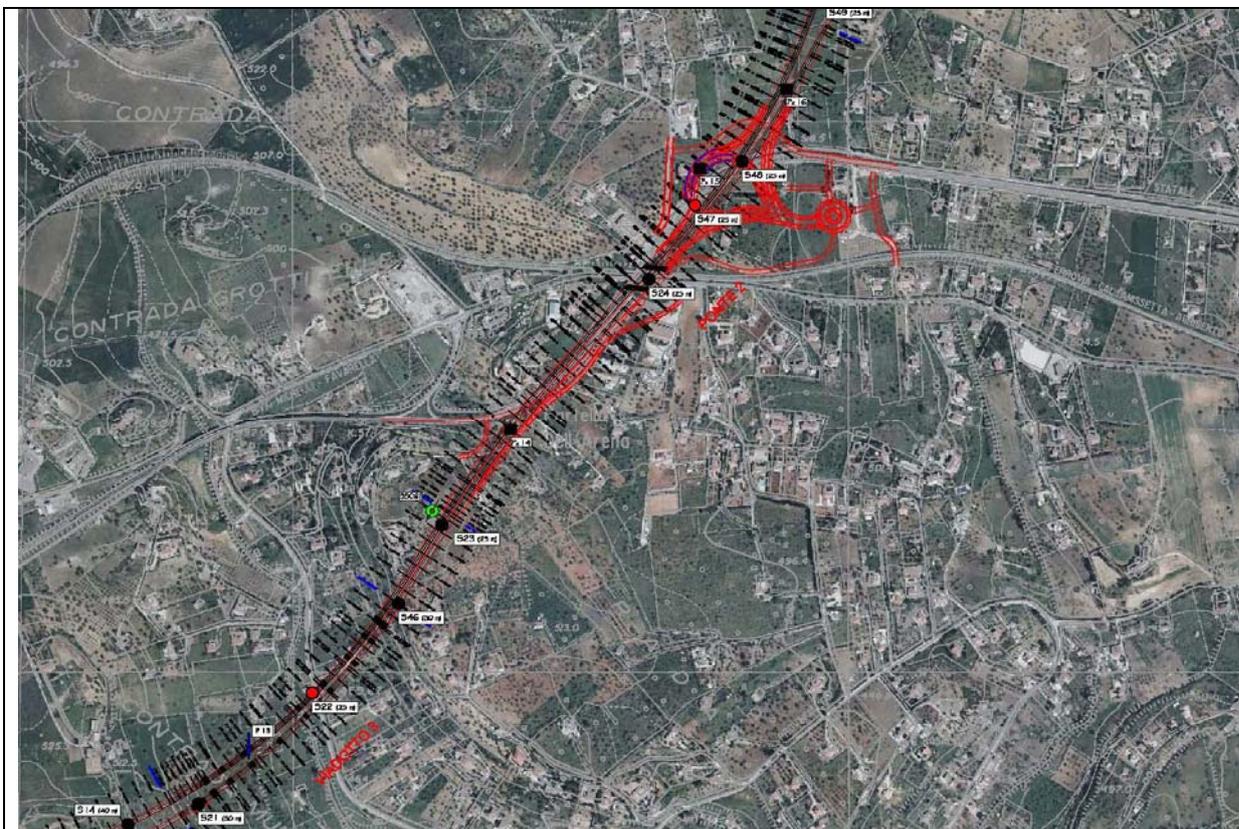
Per ogni campo di avanzamento si prevedono sinteticamente i seguenti interventi:

- eventuali inserimento di drenaggi in avanzamento, nel caso si intercettino zone sature e falde confinate nei livelli sabbiosi sinsedimentari delle argille;
- stabilizzazione del fronte di scavo a fine campo di avanzamento, con spritz-beton fibrorinforzato;

- eventuale preconsolidamento del fronte e del piede delle centine, realizzato mediante elementi strutturali in VTR cementati in foro con miscele di cemento;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Realizzazione arco rovescio, murette e calotta gettate in opera.

Per i dettagli tecnico costruttivi il dimensionamento e gli elaborati di calcolo si rimanda agli specifici elaborati di progetto.

## 7.6. Tratto Il c) “Seconda variante tratto finale”



Settore “seconda variante”: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “Seconda variante tratto finale” – prog. 10.975 – 12.900

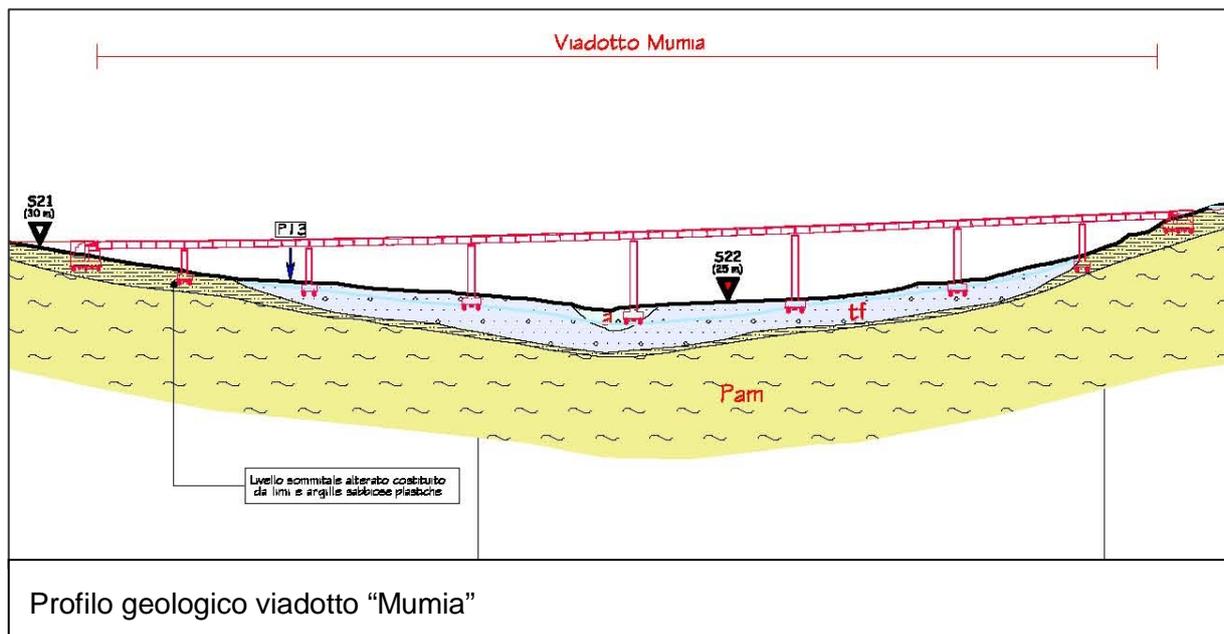
Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Mumia” - VI 03	445	462	422.92 (SX) 430 (DX)	4	c
Galleria “S. Cataldo” - GA 03	462	472	187	4	c
Ponte PO 02	493	495	45	4	c
Svincolo “Caltanissetta Sud” - SV03	500	505		4	d

### 7.6.1. Assetto geologico e geotecnico

Il settore in studio ricade nell’ambito della formazione marnoso-arenacea del Pliocene medio – Pleistocene inf., localmente ricoperta da depositi continentali di tipo alluvionale (*Vallone Mumia*).

Le opere più rilevanti da realizzare sono il viadotto Mumia, la galleria artificiale “San Cataldo” e lo svincolo Caltanissetta sud.

Il costruendo viadotto consente 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 (sondaggi S21-S22-S46 prova penetrometrica P13), evidenziano uno spessore medio dei depositi eluviali variabile tra i 4 e 9 metri, al di sotto dei quali si riscontra la formazione delle argille marnose plioceniche.



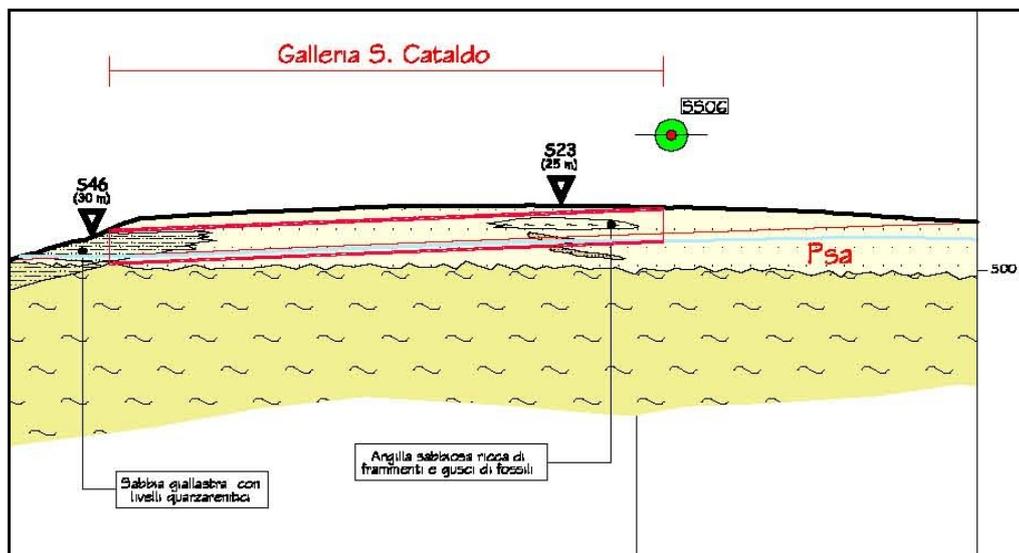
La galleria artificiale “S. Cataldo” attraversa le argille plioceniche per un breve tratto iniziale e ricade poi per tutta la sua lunghezza nelle sabbie plioceniche. Come detto precedentemente i contatti tra queste litologie non sono netti sia in senso orizzontale che verticale, con passaggi

spesso graduali e interdigitazioni tra sabbie limose e argille sabbiose.



Sondaggio S46 – Cassetta n.3 (10-15 m). Sabbie con livelli quarzarenitici passanti ad argille e argille sabbiose.

I sondaggi eseguiti S46e S23 hanno evidenziato uno spessore dei depositi sabbiosi variabile da 15 a 25 metri al di sotto dei quali si riscontrano le argille plioceniche (Pam).



Per quanto concerne lo svincolo “Caltanissetta sud” l’opera ricade esclusivamente sulle sabbie plioceniche che in loco raggiungono uno spessore di 15-20 metri (sondaggi S24-S47-S48).

Le campagne di indagine e le prove di laboratorio orientano a adottare per i settori in esame i seguenti profili geologico-geotecnici.

Modello geotecnico viadotto Mumia dalla prog. 11.000 a prog. 11.500

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 9.00	<u>Alluvioni terrazzate e recenti:</u> limo sabbioso, con inclusi lapidei	$\gamma = 1.80\text{T/mc}$
		$Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.5 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 16^\circ$
9.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.93\text{T/mc}$
		$Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 20^\circ$

Modello geotecnico galleria artificiale S. Cataldo dalla prog. 11.600 a prog. 11.900

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 20.00	<u>Sabbie e Sabbie argillose:</u> Sabbie giallastre con livelli costituiti da calcareniti e quarzareniti e intercalazioni di argille sabbiose con gusci fossili.	$\gamma = 1.90\text{T/mc}$
		$c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 30^\circ$
20.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.93\text{T/mc}$
		$Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 20^\circ$

Modello geotecnico svincolo Caltanissetta sud dalla prog. 11.900 a prog. 12.900

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 18.00	<u>Sabbie e Sabbie argillose:</u> Sabbie giallastre con livelli di argille limo-sabbiose con gusci fossili intercalati a livelli quarzarenitici	$\gamma = 1.90\text{T/mc}$
		$c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 28^\circ$
20.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso pliocenico:</u> argilla-limosa con punti sabbiosi a tratti scagliosa, consistente.	$\gamma = 1.93\text{T/mc}$
		$Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 20^\circ$

## 7.6.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico

L’assetto geomorfologico di contrada Portella Arena, così come tutto il settore di contrada Papazzo e Sant’Elia, 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 ricoprendole a mo’ di mantello 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.

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.

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



Vallone Mumia: Vista di briglie in c.a. esistenti.

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 e le letture dei piezometri, hanno però evidenziato una falda modesta e discontinua, e in alcuni settori potenzialmente favorevoli, totalmente assente. Ciò si è constatato in prossimità dello svincolo San Cataldo, dove il piezometro installato al sondaggio S47 non ha rilevato presenza di acqua.

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,

Così come per il precedente settore esaminato, si può esprimere la fattibilità geologica dell'opera, che si inserisce in un contesto geomorfologico stabile, privo di processi morfogenetici importanti o situazioni di criticità.

### 7.6.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il tracciato in esame (progr. 10.975 – 12.900 – sezz. 440-517) attraversa le contrade Mumia e Portella Arena, e rappresenta la congiunzione tra la galleria Papazzo e la successiva galleria Caltanissetta

La prima importante opera d’arte è il viadotto “Mumia” che attraversa un’ampia vallata interessata anche da costruzioni residenziali; il viadotto è compreso tra le sezz. 445 – 462, presenta n°8 campate e una lunghezza  $L=422.92$  m (carreggiata sx) e  $L=430$  m (carreggiata dx).

Per il tratto del Vallone Mumia che interseca il viadotto in progetto, è stato definito un intervento di sistemazione idraulica che ha tenuto conto delle opere già presenti a monte e valle (briglie, soglie di fondo, cunette laterali tutte in c.a.), cercando di razionalizzare gli interventi e rinaturalizzare l’area. L’intervento è improntato a soluzioni di ingegneria naturalistica con esclusione di opere in c.a. e/o opere rigide, e l’utilizzo di scogliere, gabbionate, soglie di fondo in pietrame e interventi di piantumazione.

In particolare l’intervento può così sintetizzarsi:

- protezione passiva delle pile del viadotto con inserimento di scogliera disposta a *rip rap* per evitare fenomeni di scalzamento al piede delle fondazioni;
- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.
- piantumazione di Salici e Tamerici lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di ricostruire il contesto ambientale attuale.

Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto (elaborato ID03 IDR PL03 “Sistemazioni Idrauliche – Vallone Fosso Mumia”).

Oltre il viadotto si sviluppa la Galleria artificiale S.Cataldo (sez. 462 a 472) che attraversa una cresta calcareo - sabbiosa della stessa natura della galleria Papazzo, ma a quota più alta.

Il tracciato prosegue in contrada Portella Arena con rilevati di altezza massima di 5 metri e trincee con modesti sbancamenti. Per i rilevati è prevista la semplice bonifica del piano di imposta con geogriglia di rinforzo alla base del rilevato.

In tale tratto è previsto il terzo svincolo, denominato “Caltanissetta sud”.

La rampa che raccorda le corsie di innesto ed uscita dalla carreggiata sinistra verso il cavalcavia presenta rilevati di notevole altezza, fino a 6.00 m. (bonifica e geogriglia).

Oltre lo svincolo il nuovo tracciato si discosta nuovamente dalla strada esistente e si avvicina all’imbocco della galleria al di sotto del centro sub-urbano di Caltanissetta (C.da Sant’Elia).

## 7.7. Tratto II d) “Galleria Caltanissetta”



C.da S. Elia, tratto galleria Caltanissetta: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

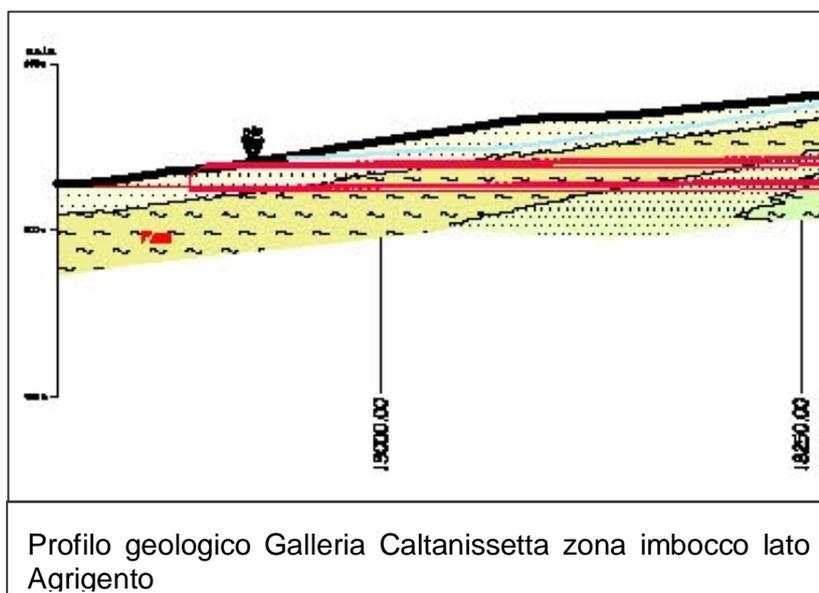
Tabella opere d'arte principali tratto “Galleria Caltanissetta” – prog. 12.900 – 16.890

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Galleria naturale “Caltanissetta” GN 02	517	677	4.036 (SX) 4.022 (DX)	4	b)

### 7.7.1. Assetto Geologico e geotecnico

L'intero tratto coincide con la realizzazione della Galleria Caltanissetta, che consente di attraversare la Contrada S.Elia divenuta sede di recente espansione urbana di Caltanissetta. Il modello geologico generale del settore prevede in affioramento 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).

La zona di imbocco della galleria lato Agrigento, insiste per intero sulla formazione della sabbie e sabbie argillose presenti per uno spessore di circa 17 metri (Sondaggio S49). Nello specifico si tratta di sabbie e limo sabbioso debolmente cementato, di colore giallo bruno alterato e plastico nei primi metri e consistente in profondità. Sono presenti nel litotipo intercalazioni di calcareniti e quarzareniti compatte che possono raggiungere spessore di alcuni decimetri. Tali intercalazioni non seguono regole stratigrafiche ben precise e di evenienza bisogna tenerne conto per l'esecuzione della galleria nel primissimo tratto dall'imbocco, sez. 516 fino alla sez. 525.



Oltre tale sezione lo scavo della galleria taglia un passaggio di argille sabbiose plioceniche (Pam) per poi intercettare per intero la formazione delle argille e marne argillose plioceniche.

Oltre la zona di imbocco la galleria interessa per tutto il suo sviluppo la formazione dei Trubi (pliocene inf.).

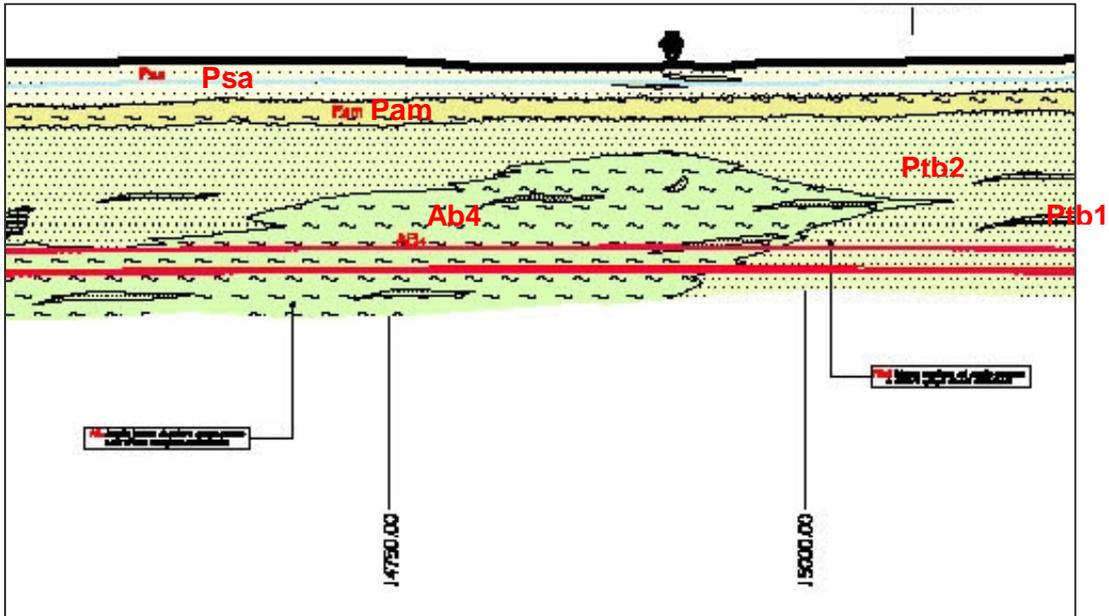
La formazione non si presenta con il classico membro dei calcari marnosi o marne calcaree a consistenza litoide; le perforazioni eseguite hanno mostrato la formazione dei Trubi come marne argillose consistenti (ma non litoidi) di colore grigio chiaro con intercalazioni in eteropia di facies di argille brecciate e livelletti calcarei.

In particolare nel profilo geologico di dettaglio della galleria (allegato *GE-OIGEOFG05*) sono stati distinti le seguenti unità:

- **Ptb<sub>2</sub>**: Marne argillose ed argille marnose di colore grigio chiaro consistenti. Tali materiali derivano dall’erosione e risedimentazione sindeposizionale degli stessi calcari marnosi. Si caratterizzano per il colore biancastro sono consistenti, sovraconsolidate ed impermeabili.
- **Ab<sub>4</sub>**: Argilla limosa di colore grigio azzurro a struttura scagliosa consistenti. Tali argille si differenziano per la presenza di una struttura costituita da minute scaglie argillitiche di aspetto traslucido immerse in una pasta di fondo limo argillosa. Si caratterizzano per il colore scuro, la struttura scagliosa e l’elevata consistenza, sono sovraconsolidate ed impermeabili.
- **Ptb<sub>1</sub>**: Calcari marnosi litoidi di colore bianco crema. Sono presenti in maniera limitata, si tratta di intercalazioni generalmente non estese di spessore decimetrico (30 – 40 cm) costituite da marne e calcari marnosi compatti che ricordano la tipica espressione litoide dei trubi.

La presenza dei differenti litotipi ha un’estrema variabilità sia verticalmente che lateralmente senza che regole stratigrafiche e geologiche consentano di prevederne l’esatta successione.

Le unità Ptb<sub>2</sub> e Ab<sub>4</sub> pur essendo geologicamente differenti, evidenziano caratteristiche di resistenza e deformabilità dello stesso ordine di grandezza e nell’ambito della caratterizzazione geotecnica sono state accomunate in un unico orizzonte litostratigrafico.



Profilo geologico galleria Caltanissetta zona centrale.



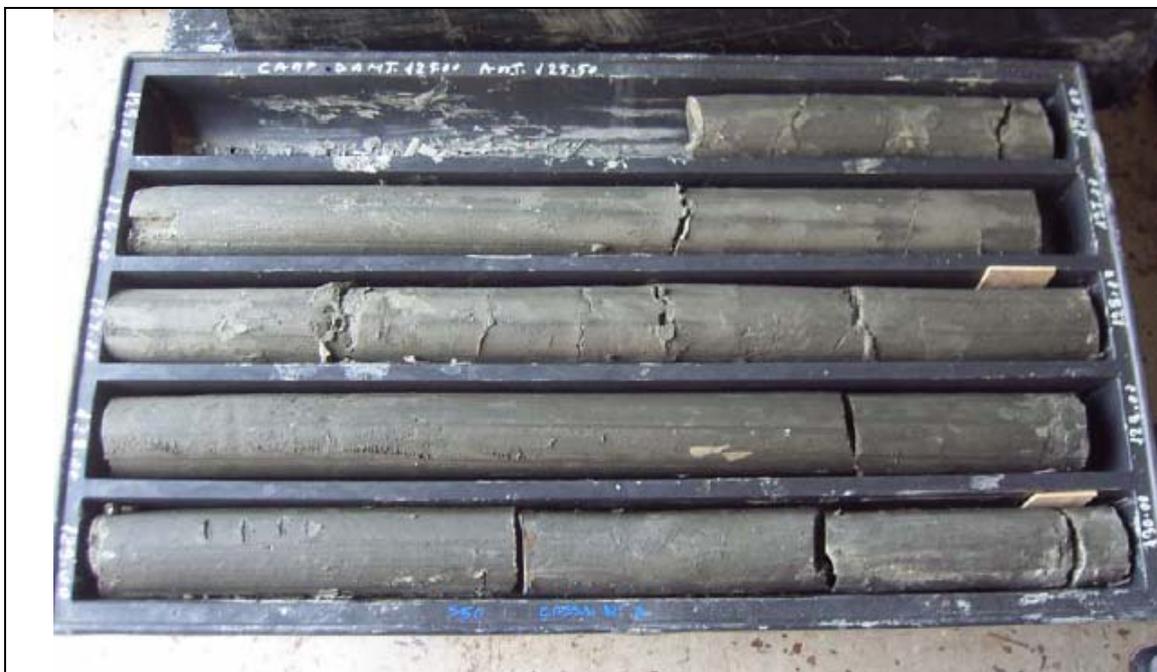
Sondaggio S27 – Cassetta n.12 (115-120 m). Argille marnose grigio chiaro consistenti ( Ptb2)



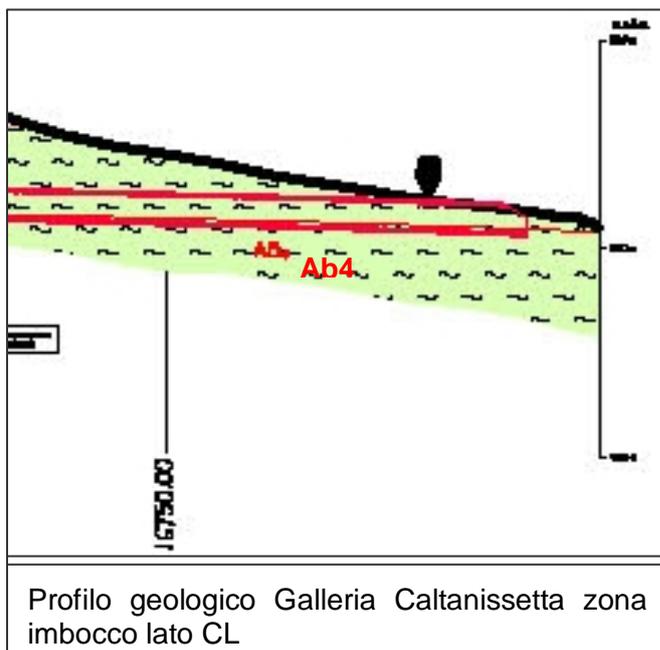
Argilla marnosa grigio chiara consistente (PtB2)



Argilla limosa grigio scura consistente (Ab4)



Sondaggio S50 – Cassetta n.4 (125-130 m). Argilla limosa grigio scura consistente a struttura scagliosa ( Ab4).



Per quanto concerne l’imbocco della galleria in direzione Caltanissetta questo ricade per intero sulle argille brecciate (Ab4) che presentano nella porzione superficiale una fascia alterata di limo argilloso plastico.

Al fine di definire il modello geotecnico oltre ai sondaggi e le prove di laboratorio sono state eseguite delle prove pressiometriche nei fori di sondaggio (S25 -S26 -S27 -S29 -S50 -S51 -S5244 -S14) al fine di definire in

corrispondenza delle gallerie il modello geotecnico del sottosuolo. 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.

L’interpretazione delle prove di laboratorio e le prove pressiometriche, evidenzia che alla profondità di scavo della galleria (mediamente oltre i 110 m), geotecnicamente le diverse litologie riscontrate in perforazione (Ab4 - Ptb2 – Ptb1) hanno



Prova pressiometrica Sondaggio S50

comportamento geotecnico assimilabile. Difatti non sono state colte significative differenze sia dal punto di vista granulometrico, che delle grandezze indice, dei valori di resistenza e deformabilità. Per le stratigrafie di calcolo specifiche e per tutte le analisi e prove eseguite si riman-

da agli elaborati geotecnici; di seguito si riporta il modello geologico – geotecnico di riferimento.

Modello geotecnico Galleria Caltanissetta

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
120- 130 m dal p.c. (cavo della galleria)	Marne argillose e argille limose molto consistenti e sovraconsolidate	$\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$
		$C_u = 2.5 - 3.5 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.2 - 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 22 - 24^\circ$

### 7.7.2. Assetto Geomorfológico e idrogeológico

Per la zona di imbocco lato Ag e per tutto il corpo della galleria, gli studi condotti hanno evidenziato un assetto geomorfologico stabile e conservativo sia in superficie che in profondità. L'ampia contrada S.Elia presenta una “normale” evoluzione del territorio, mentre sono da escludere fenomeni deformativi profondi, faglie o discontinuità strutturali tali da dislocare e complicare l'assetto stratigrafico. Il settore si caratterizza 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 Caltanissetta si ha un contesto geomorfologico differente con affioramenti di argille brecciate (Ab4) 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.



Galleria Caltanissetta settore finale; cerchiato in rosso la zona imbocco lato CL

Il versante in oggetto, è interessato da processi erosivi in atto, che iniziano alla base del pendio, in prossimità del vallone, che opera 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.

Al fine di verificare la stabilità complessiva del versante il foro del sondaggio S53, realizzato in corrispondenza dell’imbocco in oggetto, è stato attrezzato con tubo inclinometrico per eseguire delle misurazioni dal p.c. a -20 m. Il monitoraggio ha avuto inizio il 15 maggio 2006 ed è stato programmato per un intero anno (fino al maggio 2007) con letture mensili; le letture fin qui eseguite (ultima disponibile 14/9/06) non hanno evidenziato movimenti dell’ammasso roccioso sia nei livelli superficiali che profondi. Tale indagine conferma quanto il rilevamento di superficie aveva evidenziato, vale dire delle modeste deformazioni superficiali che non proseguono in profondità.

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 sub-strato profondo. Per i particolari esecutivi vedi gli specifici elaborati di progetto.

Dal punto di vista idrogeologico la galleria non intercetta alcuna falda ad esclusione del breve tratto iniziale imbocco lato AG, dove le sabbie attraversate possono intercettare delle venute d’acqua (sez. 517 – 533).

L’acquifero ricostruito in zona è limitato alle sabbie e sabbie argillose della marnoso – arenacea che affiorano in superficie e presentano spessore di 25-30 m., mentre l’opera in progetto ricade nelle sottostanti argille impermeabili ad una profondità dal p.c. di circa 130 m.

### 7.7.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

L'intero tratto è costituito dall'attraversamento in galleria naturale delle contrada S. E-lia; la galleria rappresenta la più importante opera d'arte dell'infrastruttura in progetto, è lunga 4.036 metri (canna sinistra) e 4.022 m (canna destra) con un ricoprimento che nella parte centrale supera 130 m.

L'infrastruttura è a doppia canna, con i fori mediamente distanti circa 25 m, ad esclusione del primo tratto in curva dove per esigenze geometriche distano circa 75 metri. L'imbocco lato Agrigento è ubicato alla sez. 517 in contrada Cialagra, lo sbocco in direzione A19 alla sez. 677 in contada S. Filippo Neri.

La galleria è prevista con scavo mediante fresa a piena sezione, il rivestimento definitivo è previsto con un anello composto da 7 conci prefabbricati dello spessore di 45 cm.

Lo spazio anulare tra l'estradosso dei conci ed il profilo di scavo, dell'ordine di alcuni centimetri, verrà colmato con pompaggio di un'apposita malta cementizia che consente l'inghissaggio dei conci e la saturazione dei vuoti.

Nel settore di sbocco della galleria lato Cl, come detto nel paragrafo precedente, il versante argilloso è soggetto a fenomeni erosivi che hanno inizio con il vallone S.Giuliano e proseguono a ritroso verso monte.

Per contrastare il fenomeno erosivo e proteggere le infrastrutture da realizzare, è stato condotto uno studio idraulico al fine di definire e dimensionare gli interventi.

Complessivamente si interviene con soluzioni di ingegneria naturalistica tramite utilizzo di scogliere, gabbionate, soglie di fondo in pietrame e interventi di rinaturalizzazione dell'area.

In particolare l'intervento può così sintetizzarsi:

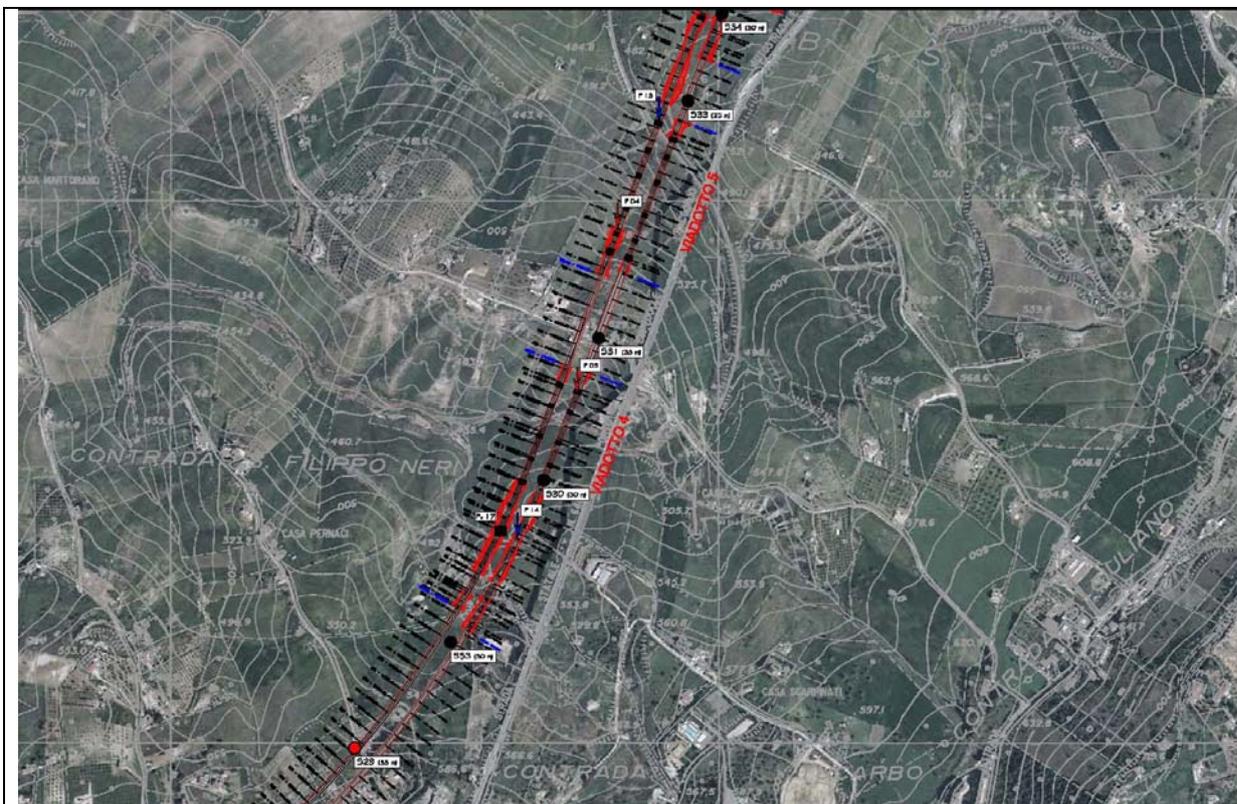
Per l'area calanchiva è previsto un ampio fosso di guardia realizzato con gabbionate e materassi tipo reno in pietrame, che si estende a coronamento dell'area e prosegue lateralmente verso il basso. Tale opera ha la funzione di intercettare le acque piovane di monte e convogliarle a valle con un canale di scolo realizzato con gli stessi gabbioni e materassi reno.

Per il vallone al fine di contrastare l’incisione di fondo e l’erosione laterale sono previsti:

- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.
- piantumazione di Salici e Tamerici lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di ricostruire il contesto ambientale attuale.

Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto (elaborato ID03 IDR PL04 “*Sistemazioni Idrauliche – Vallone S. Giuliano*”).

## 7.8. Tratto II e) “C.da San Filippo Neri”



Settore C.da S. Filippo Neri: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “C.da San Filippo Neri” – prog. 16.890 – 18.100

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Ponte “San Giuliano” PO 03	680	681	40 (SX) 31 (DX)	4	C
Viadotto “San Filippo Neri” VI 04	689	697	188 (SX) 170 (DX)	4	C
Galleria Naturale GN 03	697	707	178 (SX) 194 (DX)	4	C
Viadotto “Busita 1” VI 05	707	717	247 (SX) 229 (DX)	4	C
Galleria artificiale “S. Filippo” GA 04	717	724	- (SX) 120 (DX)	4	C

### 7.8.1. Assetto Geologico e geotecnico

Il settore in esame dal punto di vista litologico si presenta uniforme, infatti, affiorano esclusivamente le argille brecciate del Pliocene Inferiore (AB4) a meno di una stretta fascia di alluvioni recenti presenti lungo l'incisione fluviale che interseca il tracciato alla progressiva 17+325.00

Come ampiamente descritto trattasi di argille e argille limose di colore grigio scuro, consistenti e scagliose con inclusi rari cristalli di gesso.

I sondaggi eseguiti in zona tra le progressive 16+950 e 17+500 (S53, dotato di inclinometro e S30) e le analisi di laboratorio dei campioni prelevati a diverse profondità hanno evidenziato all'interno dello stesso litotipo un comportamento geotecnico differente.

Come si evince dalla tabella sottostante, dopo i primi metri costituiti da limi argillosi seguono le argille brecciate con un primo livello sommitale con discrete caratteristiche geotecniche, cui segue oltre i 15 metri un secondo livello con parametri geotecnici decisamente superiori (coesione non drenata da 1.60 a 2.2 Kg/cmq, angolo di attrito da 17.5° a 23°).

#### Modello geotecnico Ponte PO03 e Viadotto S. Filippo Neri

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 2.0	<u>Livello sup. alterato delle argille brecciate:</u> limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$
		$C_u = 0.50 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 19^\circ$
2.0 – 15.0	<u>Complesso argilloso brecciato</u> <u>parte superiore:</u> argilla limosa a tratti scagliose	$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$
		$C_u = 1.60 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.25 \text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 17.5^\circ$
15.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso brecciato:</u> <u>parte profonda</u> argilla e argilla limosa consistente brecciate scagliose consistenti	$\gamma = 2.0 \text{ T/mc}$
		$C_u = 2.2 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.25 \text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 23^\circ$

Per la zona seguente dalla progressiva 17+500 alla 17+600, dove verrà realizzata la galleria naturale GN03 la stratigrafia ricostruita (sondaggio S31) presenta un livello superficiale alterato molto più ampio del settore precedente (circa 7 m) cui seguono le argille brecciate;

in particolare:

Modello geotecnico Galleria GN03

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7	<u>Livello sup. alterato delle argille brecciate:</u> limo argilloso e argilla limosa plastica e alterata	$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$
		$Cu = 0.6 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 19^\circ$
7.0 – 15.0	<u>Complesso argilloso brecciato</u> <u>parte superiore:</u> argille brecciate scagliose	$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.4 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 20^\circ$
15.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso brecciato:</u> <u>parte profonda</u> argille brecciate scagliose, consistente	$\gamma = 2.10 \text{ T/mc}$
		$Cu = 4.5 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 21.6^\circ$

Anche in questo settore come risulta evidente dalla tabella le caratteristiche geomeccaniche delle argille brecciate migliorano sensibilmente con la profondità.



Sondaggio S30 – Cassetta n.5 (20-25 m). Argille brecciate scagliose, parte profonda con ottime caratteristiche geotecniche.

Dalla progressiva 17+600 alla 18+100 area dove sarà realizzato il viadotto Busita 1e la galleria artificiale S. Filippo Neri sono stati presi come riferimento il sondaggio S33 e la prova penetrometrica P 4; per la caratterizzazione di massima del modello geotecnico.

Modello viadotto Busita I e galleria artificiale S. Filippo Neri

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7	Porzione superficiale alterata delle argille brecciate: limo argilloso e argilla limosa plastica e alterata	$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$
		$Cu = --$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$
7.0 – 15.0	Complesso argilloso brecciato parte superiore: argille brecciate scagliose	$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$
15.0 – in prof.	Complesso argilloso brecciato: argille brecciate scagliose, parte profonda.	$\gamma = 2.10 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 22^\circ$



Sondaggio S33 – Cassetta n.2 (5-10 m). Passaggio dai limi argillosi alterati alle argille brecciate scagliose.

## 7.8.2. Assetto Geomorfologico e idrogeologico

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.

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.

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 pattern convergente e/o subdentritico. I valloni presenti in zona, San Giuliano, S.Filippo Neri e Busita sono a regime stagionale limitato al periodo invernale; presentano processi erosivi di fondo con incisione dell’alveo e delle sponde. In tal senso è stato programmato un intervento di sistemazione idraulica dei corsi d’acqua.

### 7.8.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il tratto ha inizio alla prog. 16.890 allo sbocco della galleria Caltanissetta e termina alla prog 18.100; il settore si caratterizza per il susseguirsi di viadotti e gallerie che consentono di oltrepassare due incisioni vallive e due collinette argillose.

Il primo segmento (sez. 677 a 681) attraversa un pendio con incisioni calanchive profonde oggetto di specifiche verifiche di stabilità. Segue il viadotto San Giuliano per l’attraversamento della prima incisione calcanchiva, molto stretta che si incontra subito dopo lo sbocco della galleria.

Segue un tratto in rilevato che si appoggia su di una cresta argillosa compresa tra due incisioni calanchive. Alle sez. 689 - 697 è previsto il viadotto a 4 campate denominato “S. Filippo Neri” – VI04 di lunghezza L= 188 m (carreggiata sx) e L= 170 m (carreggiata dx).

Al viadotto segue la galleria naturale - GN03 (sez. 697 - 707) lunga 178 m (canna Sinistra) e 194 m (canna destra); lo spessore del ricoprimento è minimo, meno di 20 m., con presenza di fabbricati ed abitazioni sulla cresta da attraversare, che rendono necessaria la galleria naturale nonostante l’esiguità del ricoprimento.

La successiva vallata viene superata con il viadotto a 5 campate “Busita 1” – VI05 (sez. 707 – 717) di lunghezza L= 252 m (carreggiata sx) e L= 229 m(carreggiata dx).

A fondo valle è presente la ferrovia PA-CT che corre parallelamente l’alveo e che viene superata dal viadotto stesso.

Dalla sez. 717 alla 724 – è ubicata un’altra galleria (GA03) per attraversare una seconda cresta argillosa ad una quota molto superficiale; la galleria interessa solamente la carreggiata destra, mentre per la sinistra è prevista una trincea con muri di controripa fino a 6.00 m.

Per tutti i corsi d’acqua attraversati in viadotto (S. Giuliano, S. Filippo Neri, Busita 1) come già anticipato, è stato progettato un intervento a protezione dell’erosione fluviale e di conseguenza a miglioramento della stabilità complessiva dei versanti.

Per le aree calanchive è previsto un ampio fosso di guardia realizzato con gabbionate e materassi tipo reno in pietrame, che si estende a coronamento dell’area e prosegue lateralmente

verso il basso. Tale opera ha la funzione di intercettare le acque piovane di monte e convogliarle a valle con un canale di scolo realizzato con gli stessi gabbioni e materassi reno.

Per il vallone al fine di contrastare l’incisione di fondo e l’erosione laterale sono previsti:

- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.
- piantumazione di Salici e Tamerici lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di ricostruire il contesto ambientale attuale.

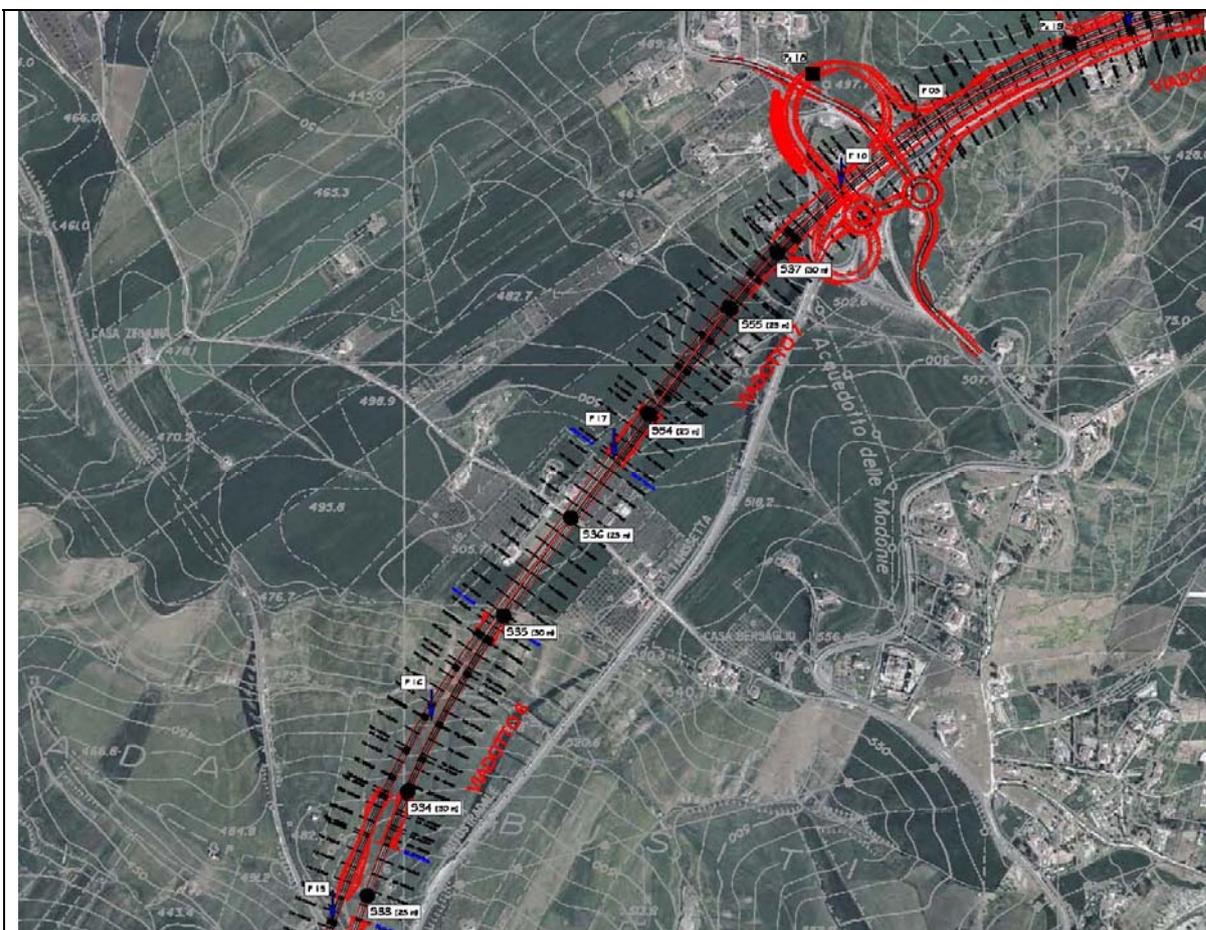
Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto ( “*Sistemazioni Idrauliche – S. Giuliano, S. Filippo Neri, Busitalia*”).

In relazione alla galleria naturale GN 02 questa è prevista con scavo tradizionale a piena sezione con rivestimenti definitivi con arco rovescio, murette e calotta; previsti inoltre interventi di precontenimento e prerivestimento del fronte di scavo e del cavo.

Per ogni campo di avanzamento si prevedono sinteticamente i seguenti interventi:

- eventuali inserimento di drenaggi in avanzamento, nel caso si intercettino zone sature;
- stabilizzazione del fronte di scavo a fine campo di avanzamento, con spritz-beton fibrinforzato;
- eventuale preconsolidamento del fronte e del piede delle centine, realizzato mediante elementi strutturali in VTR cementati in foro con miscele di cemento;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Realizzazione arco rovescio, murette e calotta gettate in opera.

## 7.9. Tratto III a) “C.da Busita”



C.da Busita: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “C.da Busita” – prog. 18.100 – 19.400

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Busita 2” VI06	724	737	285 (SX) 251 (DX)	4	c
Galleria artificiale “Bersaglio” GA05	737	754	305.8 (SX) 300(DX)	4	c
Viadotto “Busita 3” VI07	754	769	350 (SX) 347.9 (DX)	4	c
Svincolo Caltanissetta SV04	769	779		4	c

### 7.9.1. Assetto geologico e geotecnico

Il tratto in esame ricade nelle contrade *S. Filippo Neri e Busita* che si caratterizzano per il susseguirsi di una serie di creste argillose solcate da impluvi e valloni che hanno determinato delle ampie valli a “V”.



C.da Busita: viadotto esistente della SS640 su versante argilloso

Le litologie dominanti nel settore sono le argille brecciate del Pliocene inf. (AB4) afferenti alla formazione dei Trubi e le argille grigio azzurre del complesso argillosoortoniano (Mam). Le due litologie, differenti per età ed ambienti paleogenetici, difficilmente sono distinguibili al rilevamento di campagna; il passaggio da una litologia all'altra non è rappresentato da evidenze morfologiche o cambiamenti

strutturali di superficie ma è stato ricostruito a seguito della campagna di indagine e dai dati bibliografici disponibili. Nello specifico il contatto è stato ricostruito in prossimità dell'asta fluviale che interseca il tracciato alla progressiva 18.300 in contrada Busiti.

I sondaggi effettuati in zona S34-S35-S36-S37-S54-S55 integrati dalle prove penetrometriche P05-P16-P17-P18 hanno consentito di ricostruire la stratigrafia di dettaglio del settore; in particolare si segnala una sostanziale uniformità litologica con la presenza di uno strato sommitale costituito da argille e limo argilloso alterato e plastico dello spessore di circa 5 metri seguito in profondità da argille di colore grigio chiaro consistente a tratti scagliosa con qualche minuto cristallo di gesso.

Unica eccezione nella zona è il sondaggio S36 che presenta un livello sommitale più spesso (circa 8.5 metri) costituito da limo argillo-sabbioso alterato e plastico.



Di seguito si riporta la stratigrafia ricostruita in zona:

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 5.00	<u>Complesso argilloso livello sommitale:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$
		$Cu = \text{-- Kg/cm}^2$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 19^\circ$
5.00 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio az-zurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.6 \text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.2 \text{ Kg/cm}^2$
		$\varphi' = 22^\circ$

## 7.9.2. Assetto geomorfologico ed idrogeologico

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.

In prossimità del viadotto Busita 2 il versante in sinistra idraulica presenta rapida evoluzione con assetto calanchivo.

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 pattenrs convergente e/o subdentritico. La rete idrografica è a regime stagionale con deflussi limitati al periodo invernale.

### 7.9.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il settore in esame, così come il precedente, presenta una serie di incisioni vallive e creste di natura argillosa che vengono superate con il susseguirsi di viadotti e gallerie.

Il settore in studio, compreso tra le prog. 18.100 e 19.400, ha inizio con il viadotto “Busita 2” (sez. 724 a 737) di lunghezza  $L= 285$  m (carreggiata sx) e  $L= 251,21$  (carreggiata dx), e prosegue con la Galleria artificiale “Bersaglio” (sez. 737 a 754) lunga 300 m.

La galleria presenta nelle vicinanze della cresta argillosa oggetto di scavo, dei fabbricati; pertanto è stato necessario progettare un sistema di paratie di contenimento da entrambi i lati dello scavo.

La nuova strada prosegue con il viadotto “Busita 3” (sez. 754 a 769) a 7 campate di lunghezza  $L= 350$  m (carreggiata sx) e  $L= 347.90$  m a 7 campate (carreggiata dx).

In tale tratto è previsto il quarto svincolo, denominato “Caltanissetta nord”, in corrispondenza dell’attuale svincolo sulla esistente SS640 per S. Caterina.

Come evidenziato il settore necessita di operare un intervento di bonifica del piano di imposta dei nuovi rilevati. Gli obiettivi del progetto di bonifica possono così riassumersi:

- aumentare la capacità portante complessiva del terreno di imposta dei rilevati risultata non idonea ai carichi previsti;
- contrastare la compressibilità e la tendenza al rigonfiamento dei terreni caratterizzati da limi argillosi con presenza di sostanza organica;

In zona è prevista la bonifica con geogriglia e geocomposito:

Bonifica con geogriglia: consiste in una bonifica di sottofondo con asportazione del terreno per circa 1 – 1.5 metri, e sostituzione con tout -venant di cava. Inoltre al fine di aumentare la capacità portante del terreno è prevista l’introduzione di una geogriglia alla base dello strato di bonifica.

Bonifica con geocomposito: consiste nell’intervento base di bonifica di sottofondo (asportazione del terreno e sostituzione con tout -venant di cava) e l’utilizzo alla base del rilevato di un geocomposito, costituito da geotessuto + geogriglia (resistenza complessiva a tra-

zione di 24 Kn/ml), al fine di migliorare notevolmente la capacità portante ed eliminare la tendenza al rigonfiamento i cedimenti di consolidazione.

Si rimanda agli elaborati geotecnici di progetto per i particolari tecnico –costruttivi e il dettaglio delle sezioni di progetto interessate dalle diverse tipologie di intervento.

## 7.9.4. Tratto III b) “C.da Abbazia Santuzza”



Settore C.da Abbazia Santuzza: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “C.da Abbazia Santuzza” – prog. 19.400 – 22.300

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Santuzza 1” VI08	793	800	184 (SX) 184 (DX)	4	c
Viadotto “Santuzza 2” VI09	814	831	425 (SX) 430 (DX)	4	c
Viadotto “Santuzza 3” VI10	833	842	220 (SX) 218.3 (DX)	4	c

### 7.9.5. Assetto geologico e geotecnico

Elemento dominante della zona è il complesso argilloso tortoniano che affiora diffusamente in tutto il settore di Contrada Abbazia Santuzza e Appennati. L’uniformità dell’area è interrotta a sud di Masseria Appennati, da affioramenti di sabbie e marne sabbiose inglobate dalle argille tortoniane; si tratta di sedimenti sabbiosi di colore grigio - giallastro a cementazione variabile disposti a lente, e stratificate in livelli di spessore decimetrico.



Contrada Appennati: affioramento di sabbie e marne sabbiose.

Le opere più rilevanti da realizzare nel settore in esame sono tre viadotti in successione (Santuzza 1, 2 e 3) intervallati da tratti in rilevato. I sondaggi eseguiti in zona S38-S39-S56 e S40 integrate delle prove penetrometriche P19-P20-P21-P22, 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 argillosi alterati plastici, passanti in profondità ad argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.



Dal punto di vista geologico non sono state riscontrate criticità o elementi negativi che possono inficiare le opere così come progettate.

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7.5	<u>Complesso argilloso livello sommitale:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$
		$Cu = --$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 19^\circ$
7.5 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$
		$\phi' = 22^\circ$

### 7.9.6. Assetto geomorfologico e idrogeologico

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 a U. A sud del tracciato e da questo distante e non interagente, sono state mappate 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.

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 subdentrico. La rete idrografica è a regime stagionale con deflussi limitati al periodo invernale.

### 7.9.7. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Nel primo tratto dalla sez. 779 a 793 il nuovo tracciato si mantiene in affiancamento a sinistra all'attuale strada; l'opera, prevista in rilevato, poggia su di una cresta argillosa compresa tra due incisioni calanchive e pertanto va difesa con opere di contenimento al piede su pali da entrambi i lati del rilevato. Nella zona è stata eseguita una verifica di stabilità per accertare le condizioni di stabilità globale del versante.

Il tracciato prosegue con tre viadotti in successione intervallati da tratti in rilevato, che consentono di attraversare delle modeste incisioni pluviali; in particolare è previsto alle sez. 793-800 il viadotto “Santuzza 1”, alle sez. 814- 831 il viadotto “Santuzza 2” e alle sez. 833 – 842 “Santuzza 3”.

Il nuovo tracciato prosegue in affiancamento a destra alla vecchia strada. Nel primo tratto su rilevato compreso tra le sezz. 843 e 853, che raggiunge altezze di oltre 10 m., è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Per i rilevati da realizzare, che in alcuni tratti raggiungono 8 -10 m di altezza, occorre opera un intervento di bonifica del piano di imposta. Gli obiettivi del progetto di bonifica possono così riassumersi:

- aumentare la capacità portante complessiva del terreno di imposta dei rilevati risultata non idonea ai carichi previsti;
- contrastare la compressibilità e la tendenza al rigonfiamento dei terreni caratterizzati da limi argillosi con presenza di sostanza organica;

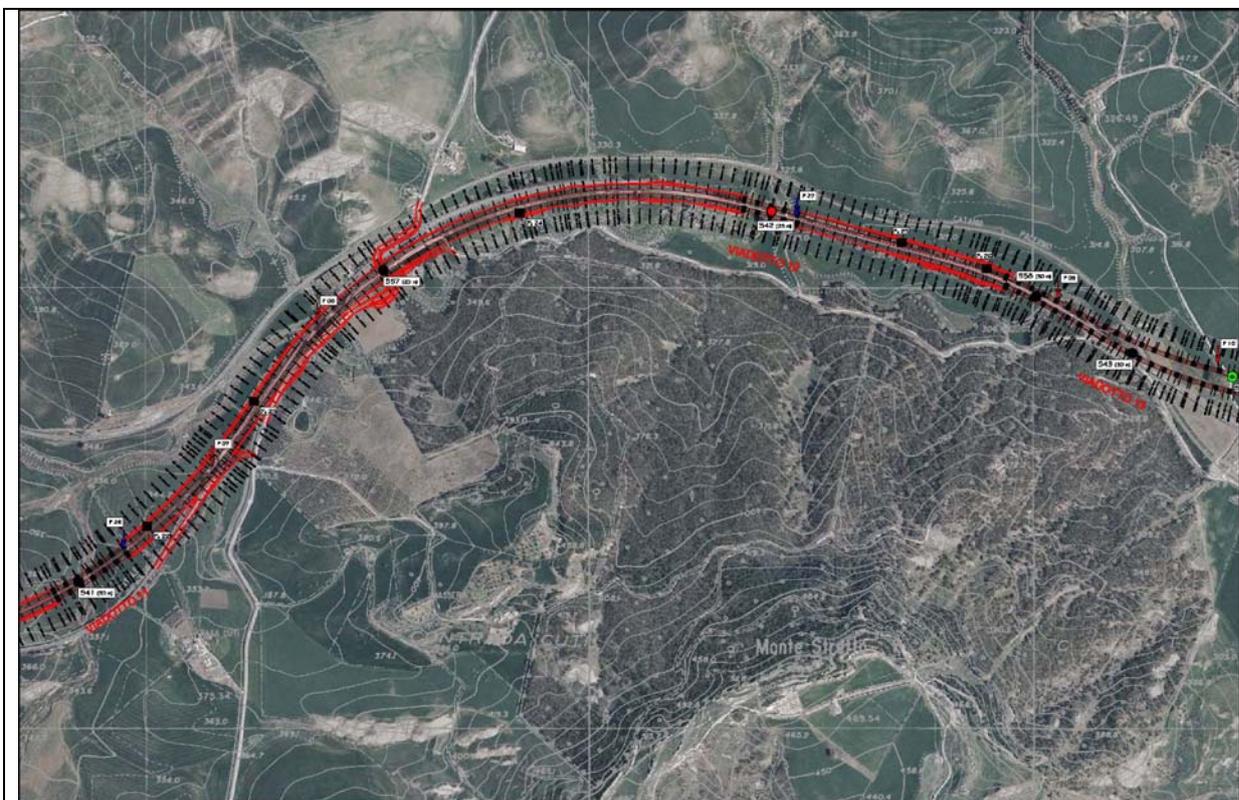
In zona è prevista la bonifica con geogriglia e geocomposito:

Bonifica con geogriglia: consiste in una bonifica di sottofondo con asportazione del terreno per circa 1 – 1.5 metri, e sostituzione con tout -venant di cava. Inoltre al fine di aumentare la capacità portante del terreno è prevista l'introduzione di una geogriglia alla base dello strato di bonifica.

Bonifica con geocomposito: consiste nell'intervento base di bonifica di sottofondo (asportazione del terreno e sostituzione con tout -venant di cava) e l'utilizzo alla base del rilevato di un geocomposito, costituito da geotessuto + geogriglia (resistenza complessiva a trazione di 24 Kn/ml), al fine di migliorare notevolmente la capacità portante ed eliminare la tendenza al rigonfiamento i cedimenti di consolidazione.

Si rimanda agli elaborati geotecnici di progetto per i particolari tecnico –costruttivi e il dettaglio delle sezioni di progetto interessate dalle diverse tipologie di intervento.

## 7.10. Tratto III b) “C.da Arenella ”



C.da Arenella: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “C.da Arenella” – prog. 22.300 – 25.150

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Arenella 1” VI11	906	914	184.8 (SX) 184 (DX)	4	c
Ponte P04	940	941	20 (SX) 20 (DX)	2	c
Viadotto “Arenella 2” VI12	982	988	122 (SX) 122 (DX)	3	c

### 7.10.1. Assetto geologico e geotecnico

Il tratto in esame è per tutta la sua lunghezza 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.



Sondaggio S42 – Cassetta n.1 (0-5 m). Depositi alluvionali costituiti sabbia limosa con ghiaia e ciottoli di diversa natura.

I sondaggi eseguiti in zona, S41 - S42 - S59, e le prove penetrometriche P26 - P27 - P07 e P08, 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.



Sondaggio S41 – Cassetta n.1 (0-5 m). Complesso argilloso livello sommitale: argilla limo - sabbiosa alterata, plastica



Sondaggio S57 – Cassetta n.4 (15-20 m). Complesso argilloso: argilla limo-sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.

I viadotti in progetto verranno realizzati con fondazioni indirette con pile di 25 – 30 metri che si ammorseranno nel complesso argilloso di base.

Al fine di definire un modello geotecnico di massima, si adottano i seguenti valori di riferimento; per le stratigrafie di calcolo specifiche e per tutte le analisi e prove eseguite si rimanda agli appositi capitoli.

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7,0	<u>Alluvioni:</u> sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa.	$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$
		$c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 27^\circ$
7.0 – 15.0	<u>Complesso argilloso livello sommitale:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 20^\circ$
15.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio az-zurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 22^\circ$

## 7.10.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico

Il settore di contrada 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.

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.

Per il vallone in esame si è condotto uno studio idraulico al fine di individuare le aree a rischio di esondazione, e valutare l’interazione tra manufatti da realizzare e tali aree statisticamente predeterminate.

Lo studio mette in relazione la morfologia del territorio con le portate di calcolo elaborate dalla base dei valori statistici di pioggia riportati negli annali idrologici del servizio idrografico. In particolare per le elaborazioni sono stati adottati tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni che consentono di definire la probabilità statistica che si verifichi il fenomeno di pie-

na e la relativa geometria del piano di esondazione (vedi carta Geomorfologica Tav 9/10 e studio idraulico).

### 7.10.3. Esame del tracciato: geometria ed analisi interventi

Il settore in esame attraversa la contrada denominata Arenella ed è compreso tra le progressive di progetto 22.300 – 25.150.

Nel primo tratto il tracciato si discosta dalla SS640 esistente e taglia la curva con un tratto su rilevato ed un viadotto centrale denominato “Arenella 1” (sez. 906 a 914) a 6 campate di lunghezza  $L= 184$ .

Dalla sezione 925 in poi il nuovo tracciato si sviluppa lungo l’alveo del vallone Arenella, in destra idraulica; il piede dei rilevati in sinistra va dunque difeso dall’erosione delle acque di scorrimento del vallone con opere di sottoscarpa su fondazione indiretta.

Tra le sezz. 940 e 941 è ubicato un ponte monocampata di luce 20 m. **(PO04)** per l’attraversamento di un affluente del vallone Arenella.

Il progetto prosegue con il viadotto “Arenella 2” (sez. 982 – 988) a 4 campate e  $L= 122$  m, che taglia un’altra incisione valliva del bacino del vallone Arenella.

Dalla sez. 988 a 1007 il tracciato si mantiene su rilevato lungo l’alveo alluvionale del vallone Arenella; il rilevato di maggiore altezza, m. 6.00, è previsto intorno alla sezione 1005, dove è stato eseguito un pozzetto esplorativo per l’identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

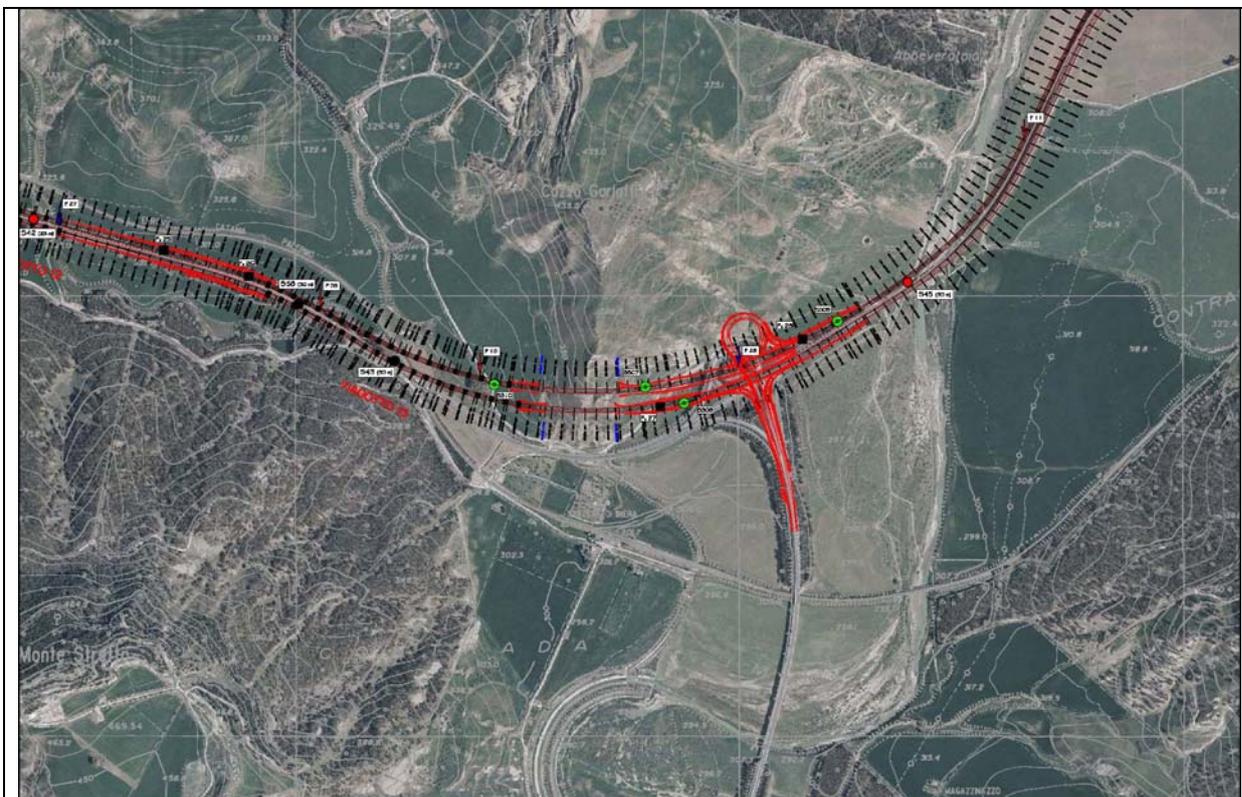
Per le sezioni del corso d’acqua che intercettano il tracciato in viadotto (Arenella I e II), è stato progettato un intervento a protezione dell’erosione fluviale e di conseguenza a miglioramento della stabilità complessiva dei versanti. In particolare sono previsti:

- protezione passiva delle pile del viadotto con inserimento di scogliera disposta a *rip rap* per evitare fenomeni di scalzamento al piede delle fondazioni;

- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.
- piantumazione di Salici e Tamerici lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di ricostruire il contesto ambientale attuale.

Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto ( “*Sistemazioni Idrauliche – Arenella I, II, II*”).

## 7.11. Tratto III b) “Cozzo Garlatti”



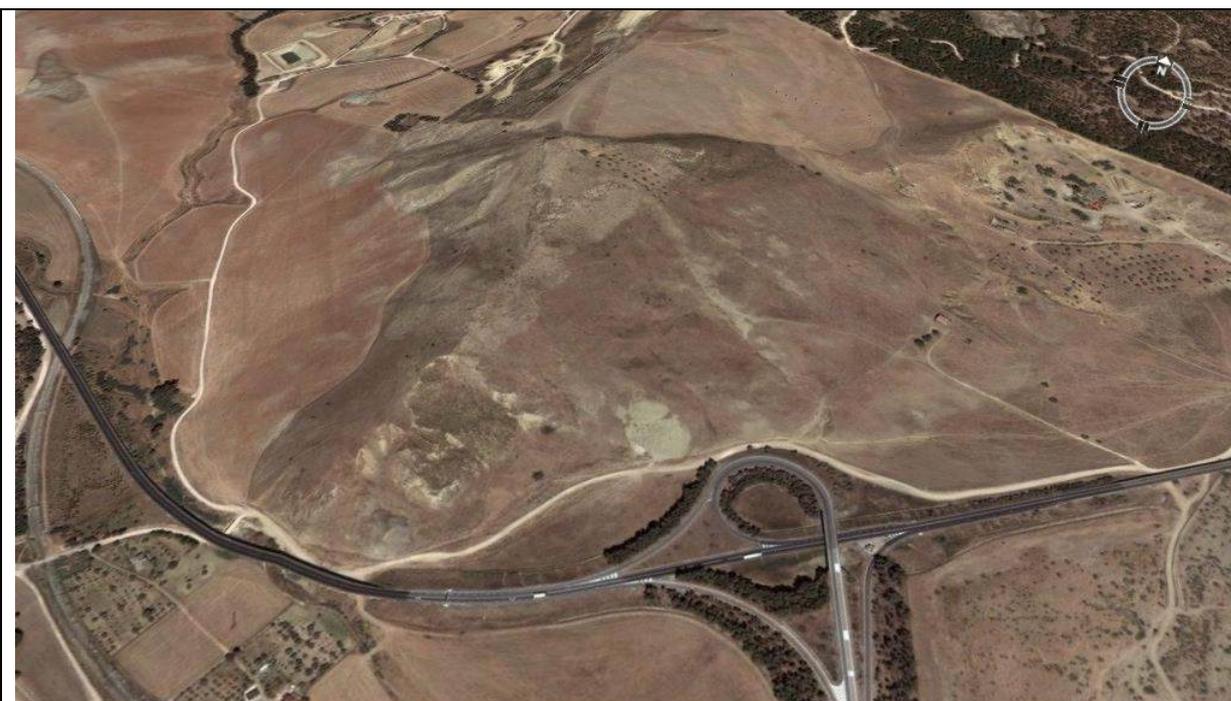
Cozzo Garlatti: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “Cozzo Garlatti” – prog. 25.150 – 26.600

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Arenella 3” VI13	1007	1034	587 (SX) 618 (DX)	4	c
Galleria “Garlatti” GN04	1034	1041	183 (SX) 156 (DX)	4	c
Svincolo “S.S. 626” SV05	1050	1065		4	c

### 7.11.1. Assetto geologico e geotecnico

L’infrastruttura nel settore in esame, insiste in due differenti litologie e modelli geologico-tecnici: il primo tratto (viadotto Arenella VI 13) e il segmento finale (svincolo sulla SS 626 – SV 05) ricadono sui depositi continentali di tipo alluvionale; il tratto centrale (Galleria Garlatti GN04) interseca la formazione Terravecchia.



C.da Imera: vista della piana alluvionale e del rilievo tortoniano di cozzo Garlatti.

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.

Il sondaggio (S43) eseguito in corrispondenza del viadotto da realizzare mostra un primo strato di sabbie limose con ghiaia fino a 5.50 metri dal p.c., assimilabili a depositi alluvionali, cui seguono in profondità le argille tortoniane con un livello sommitale alterato (da 5.5 a 9.0 m) costituito da limo argillo – sabbioso, cui segue la classica argilla grigia consistente oltre i 9.0 metri.



Sondaggio S43 – Cassetta n.1 (0 – 5 m). Alluvioni recenti costituite da sabbia limosa debolmente ghiaiosa con qualche blocco calcareo.



Sondaggio S43 – Cassetta n.2 (5–10 m). Passaggio tra limo sabbioso alterato e argille di base tortoniane.

La prevista galleria Garlatti, come sopra anticipato, interessa la formazione Terravecchia di età tortoniana; alla base del rilievo sono poste le argille grigio-azzurre e le marne argillose sempre del Tortoniano, cui seguono le arenarie a prevalente comportamento litoide.



Cozzo garlatti: passaggio marne argillose – calcareniti giallastre stratificate

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).



Livelli decimetrici di argille marnose intercalate ai livelli calcarenitici.

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.

La campagna di indagine eseguita e le prove di laboratorio orientano ad adottare per i settori in esame i seguenti profili geologico-tecnici:

Modello geotecnico Viadotto Arenella e Svincolo S.S. 626

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 5,50	<u>Alluvioni:</u> sabbia limosa debolmente ghiaiosa con qualche blocco calcareo.	$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$
		$c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 27^\circ$
5.50 – 9.00	Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro	$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$
		$c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 19^\circ$
9.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$
		$C_u = 1.5 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 22^\circ$

Modello geotecnico galleria Garlatti (Per l'opera in oggetto si descrive il litotipo interessato dalle opere di scavo)

	Litotipo	Parametri Geotecnici
<b>Calciruditi e calcareniti stratificate a cementazione variabile con lenti sabbiose e intercalazioni di argille e argille sabbiose</b>		
	Calciruditi e calcareniti	$\gamma = 2.30 \text{ T/mc}$
		$R_c = 190 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 40^\circ$
	Lenti sabbiose e livelli argillo -sabbiosi	$\gamma = 2.02 \text{ T/mc}$
		$c' = 0 / 0.4 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 32^\circ$

### 7.11.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico

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 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.

Il rilievo 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 40-45°.

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 spes-



sore 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.

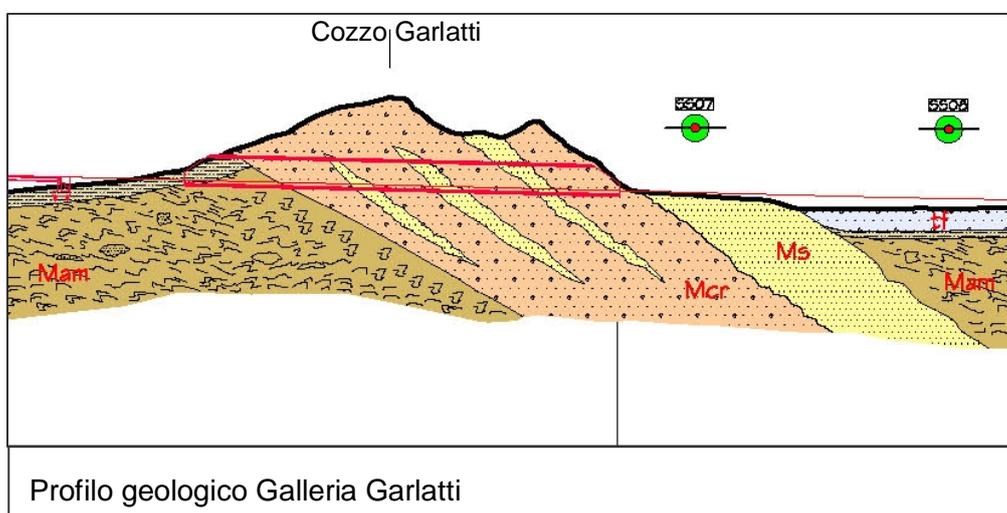
Di tali dissesti si è tenuto conto nella progettazione della galleria (ed opere a corredo), la cui geometria è stata più volte verificata e variata. Il versante in esame è stato inoltre oggetto di una verifica di stabilità che ha individuato gli interventi a carattere geotecnico a salvaguardia dell’integrità delle opere da realizzare e dell’assetto naturale dei luoghi (vedi elaborati geotecnici).

Nel settore non è stata ricostruita alcuna falda.

### 7.11.3. Esame del tracciato: geometria e analisi interventi

Il settore ha inizio con il viadotto “Arenella 3” (sez. 1007 – 1034) di lunghezza  $L= 587$  m. a 19 campate (carreggiata sx) e  $L= 618$  m. a 20 campate (carreggiata dx). Il viadotto attraversa un’ampia area alluvionale del vallone Arenella, sulla quale si sviluppa la ferrovia PA-CL che viene anch’essa sovrappassata dal viadotto. La zona è classificata come a rischio elevato R3 (Fonte PAI 2001).

Il tracciato prosegue con la galleria naturale denominata “Garlatti” come l’omonimo cozzo che attraversa.



L’opera è prevista tra le sez 1.034 – 1.041, è lunga 183 metri (canna sinistra) e 156 m (canna destra) con un ricoprimento che nella parte centrale supera 25 m, in cresta alla galleria non sono presenti fabbricati.

Oltre la galleria l’infrastruttura prosegue in rilevato con altezze massime di 4 m alla sez. 1045. Il tratto finale prevede lo svincolo con la strada statale 626, che viene interamente ridisegnato.

La galleria in progetto è prevista con scavo tradizionale a piena sezione, con sagomatura del fronte a forma concava, preceduto da eventuali interventi di precontenimento del fronte e/o del cavo, seguito dalla realizzazione del prerivestimento e dei rivestimenti definitivi (arco rovescio, murette e calotta).

Per ogni campo di avanzamento si prevedono sinteticamente i seguenti interventi:

- eventuali inserimento di drenaggi in avanzamento, nel caso si intercetti falda;
- stabilizzazione del fronte di scavo a fine campo di avanzamento, con spritz-beton fibrinforzato;
- eventuale preconsolidamento del fronte e del piede delle centine, realizzato mediante elementi strutturali in VTR cementati in foro con miscele di cemento;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Realizzazione arco rovescio, murette e calotta gettate in opera.

7.12. Tratto III b) “Contrada Imera”



Contrada Imera: ortofoto, cartografia e tracciato di progetto georiferiti

Tabella opere d'arte principali tratto “Contrada Imera” – prog. 26.600 – 28.080

Denominazione	Sezioni		Lunghezza (m)	Zona Sismica (classif. 2003)	Categoria Ord. n.3274 - (costruz. zona sismica)
	Iniz.	Fine			
Viadotto “Salso” VI14	1065	1125	1.484 (SX) 1.487 (DX)	4	

### 7.12.1. Assetto geologico e geotecnico

Il costruendo viadotto “Salso” ricade per tutta la sua lunghezza l’ampia piana alluvionale di *Contrada Imera*, alla confluenza del *Fiume Salso* con il *vallone Arenella*.

Nella zona sono stati rilevati sia alluvioni recenti in prossimità dell’attuale alveo del fiume, sia depositi terrazzati di alluvioni in prossimità delle aree più distali.

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.



Sondaggio S59 – Cassetta n.2 (5-10 m). Tipici depositi alluvionali costituiti da ghiaia e sabbia in scarsa matrice limo sabbiosa.

I sondaggi eseguiti in zona, S45 – S59, e le prove penetrometriche P11 - P12, evidenziano uno spessore dei depositi alluvionali variabile da 5 a 9 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 presenta plastico ed alterato nei livelli sommitali mentre in profondità, oltre 15 metri, assume consistenza solido plastica con buoni parametri di resistenza.



Sondaggio S45 – Cassetta n.3 (10-15 m). Complesso delle argille tortoniane.

Il viadotto in progetto verrà realizzato con fondazioni indirette con pile di 25 – 30 metri che si ammorseranno nel complesso argilloso di base.

Al fine di definire un modello geotecnico per il settore del viadotto Salso, si rappresentano di seguito in tabella, i valori di riferimento per ogni litotipo desunti dalle prove di laboratorio.

Per le stratigrafie di calcolo specifiche e per tutti le analisi e prove eseguite si rimanda agli appositi capitoli.

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0 – 7,0	<u>Alluvioni:</u> sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa.	$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$
		$c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 27^\circ$
7.0 – 15.0	<u>Complesso argilloso livello sommitale:</u> argilla limo - sabbiosa alterata, plastica	$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$
15.0 – in prof.	<u>Complesso argilloso:</u> argilla limo- sabbiosa di colore grigio azzurro consistente a tratti scagliosa.	$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$
		$Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$
		$c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$
		$\varphi' = 22^\circ$

## 7.12.2. Assetto geomorfologico e idrogeologico

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 Garlatti) 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 meandriforme 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.

Per il vallone in esame si è condotto uno studio idraulico al fine di individuare le aree a rischio di esondazione, e valutare l’interazione tra manufatti da realizzare e tali aree statisticamente predeterminate.

Lo studio mette in relazione la morfologia del territorio con le portate di calcolo elaborate dalla base dei valori statistici di pioggia riportati negli annali idrologici del servizio idrografico. In particolare per le elaborazioni sono stati adottati tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni che consentono di definire la probabilità statistica che si verifichi il fenomeno di piena e la relativa geometria del piano di esondazione (vedi carta Geomorfologica Tav 10/10 e studio idraulico).

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.

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 mostrano un livello della falda a – 4.5 m dal p.c.

### 7.12.3. Esame del tracciato: geometria e analisi interventi

Il settore coincide per intero con il viadotto sul Fiume Salso che attraversa tutta la piana alluvionale del fiume fino all’innesto con lo svincolo esistente sull’A19. Il settore si contraddistingue per la presenza del viadotto più importante del progetto, denominato viadotto Salso, compreso tra le sez.1.065 e 1.125, di lunghezza  $L= 1.484$  m (carreggiata sx) e  $L= 1.487$  (carreggiata dx).

Per il lungo viadotto sono previste delle opere di protezione delle pile nelle sezioni che intercettano il Fiume Salso, le linee guida dell’intervento prevedono:

- protezione passiva delle pile del viadotto con inserimento di scogliera disposta a *rip rap* per evitare fenomeni di scalzamento al piede delle fondazioni;
- inserimento di soglie di fondo in pietrame e materassi tipo reno, disposti trasversalmente al corso d’acqua, per contrastare l’azione erosiva e l’approfondimento dell’alveo;
- inserimento di gabbionate in pietrame poste sulle sponde del vallone per contrastare l’evoluzione negativa dell’impluvio in prossimità dei tratti concavi in erosione.
- piantumazione di Salici e Tamerici lungo le sponde e nelle aree di intervento al fine di ricostruire il contesto ambientale attuale.

Per i particolari costruttivi il dimensionamento delle opere e lo studio idraulico si rimanda agli appositi elaborati di progetto ( “*Sistemazioni Idrauliche – Fiume Salso*”).

## 8. VALUTAZIONE E STIMA DEI MATERIALI NECESSARI PER LA COSTRUZIONE

Nel presente capitolo si procederà a valutare le caratteristiche delle terre provenienti dagli scavi e la possibilità di riutilizzo per la costruzione dell’opera, inoltre si provvederà a stimare i volumi mobilizzati individuando le quantità da acquisire da cava e quelli da smaltire.

Analizzando il progetto e le relative opere previste sono stati individuate le seguenti classi di materiali che verranno mobilizzati per la costruzione dell’opera:

- Terreno vegetale proveniente dagli strati superficiali di scavo;
- Terre provenienti dagli scavi e sbancamenti;
- Sfabbricidi e materiali di risulta provenienti dalla demolizione di opere d’arte esistenti;
- Conglomerati ed inerti da scarifica delle sedi stradali esistenti;

### **Terreno vegetale proveniente dagli strati superficiali di scavo**

Trattasi del materiale proveniente dallo scotico effettuato nei tratti di tracciato “nuovi” o di “allargamento” che insistono direttamente sul suolo e non ricadono sulla strada esistente.

Il materiale in oggetto rappresenta il livello di copertura dello spessore di circa 25-30 centimetri che viene comunemente definito terreno agrario. Trattasi di depositi elu-colluviali generalmente costituiti da limi argille e sabbie con frammenti litici ed abbondante sostanza organica.

Il terreno in esame può essere riutilizzato, senza alcun trattamento preventivo, per la formazione delle scarpate e per tutti gli interventi di rinaturalizzazione e piantumazione previsti.

La successiva tabella fornisce la stima delle quantità di terreno vegetale complessivamente mobilizzato (risulta da scavi e fabbisogno per realizzazioni); il calcolo delle quantità, in rela-

zione alle caratteristiche geometriche delle opere d’arte, è stato eseguito negli elaborati contabili e nello studio di impatto ambientale che qui si intendono riportati.

#### Bilancio terreno vegetale mobilizzato

<b>Risulta</b>	<b>Riutilizzabile</b>	<b>Fabbisogno</b>
98.000 m <sup>3</sup> proveniente da scavi	98.000 m <sup>3</sup>	16.800 m <sup>3</sup> per scarpate

#### **Terre provenienti dagli scavi e sbancamenti**

In questa classe rientrano tutti i materiali che verranno mobilizzati per realizzare le trincee le gallerie e tutte le opere di bonifica, livellamento e sbancamento atte a definire la geometria del tracciato.

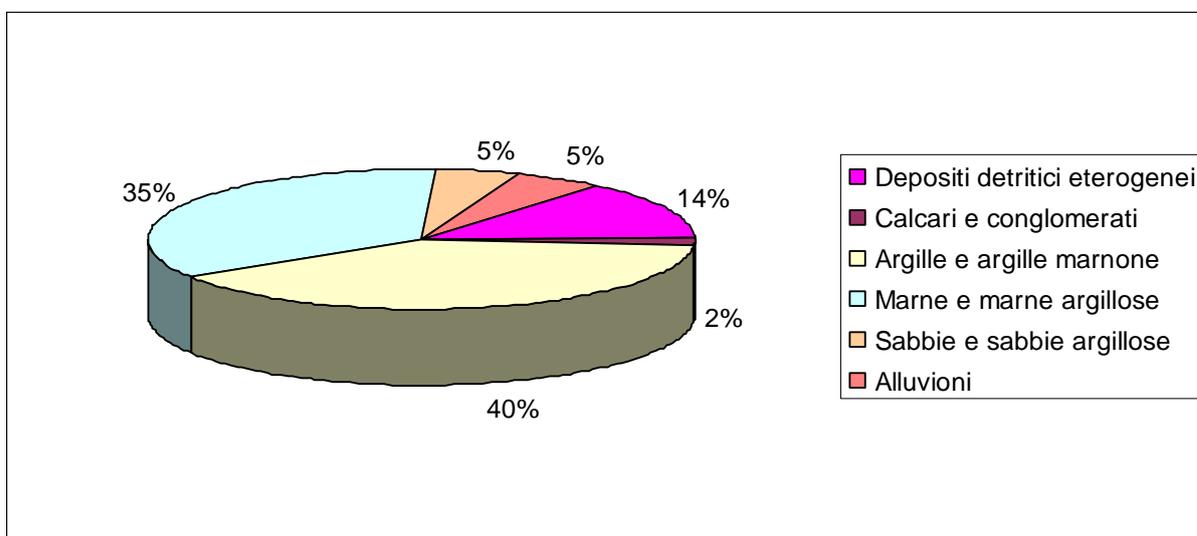
A differenza del “terreno vegetale”, per i materiali di questa classe si è provveduto a differenziare il prodotto dello scavo a seconda dell’unità geologica e geotecnica cui appartiene. Pertanto per ogni opera d’arte in progetto è stata verificata l’interazione con l’assetto geologico al fine di definire la natura dei materiali di risulta e la stima delle quantità.

Dall’analisi del progetto e del computo metrico estimativo, si evince che complessivamente i materiali prodotti dagli scavi sono circa 4.600.000 m<sup>3</sup> così suddivisi:

- Sterro da Gallerie 2.042.000 m<sup>3</sup>
- Sterro da sbancamenti 1.632.000 m<sup>3</sup>
- Bonifiche tratti in rilevato 316.000 m<sup>3</sup>
- Fossi di guardia, canali ecc. 100.000 m<sup>3</sup>
- Altro (scavi per muri, trivellazioni, ecc) 510.000 m<sup>3</sup>

I terreni provenienti dagli scavi sono di differente natura a seconda della formazione geologica interessata; le varie unità stratigrafiche sono state raggruppate tenendo conto delle caratteristiche geotecniche e meccaniche dei terreni e prefigurando un possibile riutilizzo come materiale da costruzione. Di seguito si riportano i litotipi così individuati e la relativa percentuale di incidenza sul complessivo del materiale mobilizzato.

Litotipo	Incidenza
Depositi detritici eterogenei (de+dt)	14 %
Calcari evaporitici e calcareniti (Mcb+Mcr+ Pc)	1 %
Argille ed Argille limose (Mam + Pam)	40 %
Marne e marne argillose (Ptb + Ptb1 + Ptb2)	35 %
Sabbie e sabbie argillose (Psa)	5 %
Alluvioni (a)	5 %



Dei litotipi sopra individuati i depositi detritici le marne, le sabbie argillose e le alluvioni presentano caratteristiche geotecniche e petrografiche tali da renderli non idonei per il riutilizzo come materiale da costruzione.

Le argille ed argille limose, che rappresentano circa il 40 % degli scavi, sono state caratterizzate come A.7-5 ai sensi delle norme CNR 10006, e pertanto possono essere riutilizzate per la formazione dei rilevati con trattamento di stabilizzazione a calce.

Tale procedimento consente nei terreni di natura argillosa di incrementare alcune proprietà fisico-meccaniche del terreno in sito affinché possa essere utilizzato a fini strutturali per la formazione dei livelli di base dei rilevati. Gli effetti tipici della stabilizzazione con calce sono la riduzione dell'umidità, la modifica dei limiti di atterberg, l'aumento della coesione, la minore sensibilità al rigonfiamento e al ritiro, con il conseguente aumento della resistenza meccanica complessiva.

La quantità di calce e l'umidità ottimale della miscela di progetto dovranno essere determinate sperimentalmente in fase esecutiva attraverso prove CBR e prove di rottura a compressione.

Secondo quanto prescritto dai capitolati specifici, l'utilizzo di argille stabilizzate a calce nella formazione del corpo del rilevato può avvenire fino alla profondità di 1.00 dal piano di posa della sovrastruttura e per i tratti di rilevato con altezza superiore a m. 3.

Alla luce di tale prescrizione la possibilità di l'utilizzo delle argille stabilizzate si riduce notevolmente di quantità al punto di avere valori scarsamente significativi, che non vengono considerati nel bilancio complessivo del materiale riutilizzabile.

Per quanto attiene alla frazione proveniente da scavi in materiali calcarei può essere riutilizzata come inerti per la formazione dei rilevati; preventivamente si dovrà verificare che tali materiali siano del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali o organiche e siano privi di partimenti marnosi che possono presentarsi nei banconi di calcare evaporitico.

Per tale litotipo si è stimato di poter riutilizzare come inerti calcarei circa 18.000 m<sup>3</sup>

Complessivamente il bilancio di materiale di risulta dagli scavi da portare in discarica e degli inerti occorrenti per la realizzazione delle opere è il seguente:

Bilancio materiali di risulta dagli scavi mobilizzati

<b>Risulta</b>	<b>Riutilizzabile</b>	<b>Fabbisogno</b>
4.600.000 m <sup>3</sup> proveniente da scavi da portare in discarica	18.000 m <sup>3</sup> Inerti calcarei da riutilizzare nei rilevati	1.700.000 m <sup>3</sup> Inerti per rilevati e fonda- zioni da prelevare in cava