



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

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA - PARTE I

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | REVISIONE | FOGLIO | SCALA: |
|-----------------|---|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| LO407B D 0501 | | GE02 GET RE01.pdf | | | |
| CODICE ELAB. | | T01GE02GETRE01 | B | di | |
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | REVISIONE a seguito istruttoria ANAS 19/03/07 | Aprile 2007 | E. Mittiga | F. Arciuli | C. Marro |
| A | EMISSIONE | Ottobre 2006 | E. Mittiga | F. Arciuli | C. Marro |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | VERIFICATO RESP. TECNICO | CONTROLLATO RESP. D'ITINERARIO | APPROVATO RESP. DI SETTORE |

INDICE

| | |
|---|---------|
| 1) PREMESSA | pag. 3 |
| 2) DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN PROGETTO | |
| Richiami di geomorfologia e geolitologia generale, individuazione delle problematiche geotecniche connesse | pag. 8 |
| 2.1 – Tratto I.1 – C/da Grottarossa | |
| 2.2 – Tratto I.2 - Prima variante | |
| 2.3 – Tratto I.3 – C/da Grottad’acqua | |
| 2.4 – Tratto II.1 – Seconda variante-tratto iniziale | |
| 2.5 – Tratto II.2 – Galleria Papazzo | |
| 2.6 – Tratto II.3 – Seconda variante-tratto finale | |
| 2.7 – Tratto II.4 – Galleria S.Elia | |
| 2.8 – Tratto II.5 – C/da S.Filippo Neri | |
| 2.9 – Tratto III.1 – C/da Busita | |
| 2.10 – Tratto III.2 – C/da Abbazia Santuzza | |
| 2.11 – Tratto III.3 – C/da Arenella | |
| 2.12 – Tratto III.4 – Cozzo Garlatti | |
| 2.13 – Tratto III.5 – C/da Imera | |
| 3) INDAGINI GEOGNOSTICHE | pag. 37 |
| Descrizione ed interpretazione dei risultati delle indagini | |
| <u>3.1 – Fase 1 – Inquadramento geotecnico generale</u> | pag. 38 |
| 3.1.1 Indagini in sito | pag. 39 |
| 3.1.2 Prove di laboratorio | pag. 46 |
| 3.1.3 Prove pressiometriche | pag. 47 |
| 3.1.4 Prove penetrometriche | pag. 48 |
| 3.1.5 Localizzazione falde | pag. 49 |

| | |
|---|----------|
| <u>3.2 – Campagna geognostica ANAS del 1988</u> | pag. 51 |
| 3.2.1 Indagini in sito | pag. 52 |
| 3.2.2 Prove di laboratorio | pag. 54 |
| <u>3.3 - Caratterizzazione geotecnica</u> | pag. 55 |
| 3.3.1 Attribuzione dei parametri geotecnici ai litotipi <i>(diagrammi di dispersione dei risultati ottenuti)</i> | pag. 55 |
| 3.3.2 Stratigrafie tipo di inquadramento generale | pag. 76 |
| <u>3.4 – Fase 2 – Infittimento di indagine geognostica</u> | pag. 105 |

1) PREMESSA

Il presente studio geotecnico, redatto dal sottoscritto Ing. Domenico D'Alessandro ('62), inerisce al progetto definitivo di raddoppio della carreggiata, con adeguamento della piattaforma stradale al tipo III delle norme CNR, della S.S. 640 “di Porto Empedocle” tratto ricadente nella Provincia di Caltanissetta, dal Km. 44+000 fino allo svincolo con la A19.

L'area su cui ricade l'intervento comprende un'ampia porzione di territorio, dal confine con la provincia di Agrigento, C/da Grottarossa, fino allo svincolo con l' Autostrada A.19, oltre l'alveo del fiume Salso, attraverso i territori comunali di Serradifalco, San Cataldo e Caltanissetta.

L'intero studio geotecnico viene condotto nel rispetto del D.M. 11/03/88 e successivi *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*, e coerentemente a quanto previsto dal Capitolato d'onori A.N.A.S. *“per la redazione del progetto definitivo”*.

Per la redazione del presente elaborato è stata programmata dai consulenti geologo e geotecnico dello staff di progettazione una dettagliata campagna di indagini, propedeutica alla progettazione definitiva.

L'intero programma di indagini geognostiche è stato elaborato prevedendo una suddivisione in due fasi distinte.

La prima fase di indagine, realizzata nel gennaio/marzo 2006, è stata finalizzata alla ricostruzione litostratigrafica generale lungo lo sviluppo del tracciato preliminare, al fine di verificarne il corretto impatto con l'assetto geomorfologico presente nell'area, finalizzato alla scelta del tracciato definitivo.

La seconda fase di indagini realizzata nell'aprile/maggio 2006, ha previsto, una volta definita l'esatta geometria del tracciato definitivo, un mirato infittimento dei sondaggi già eseguiti in prima fase, per la definizione di dettaglio delle stratigrafie e dei parametri geotecnici dei litotipi, soprattutto in corrispondenza delle opere d'arte principali, finalizzata al dimensionamento di tutti i manufatti interagenti con il terreno.

Le indagini geognostiche, realizzate sotto la costante supervisione dei consulenti geologico e geotecnico dello staff progettuale, hanno previsto l'esecuzione di sondaggi meccanici a carotaggio continuo ed a distruzione di nucleo, analisi geotecniche di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni, prove penetrometriche statiche e dinamiche, prospezioni sismiche a rifrazione e down-hole in foro, prove pressiometriche e di permeabilità in foro, pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra, posizionamento di piezometri ed inclinometri.

A seguito dei risultati della campagna geognostica così effettuata viene adesso sviluppato lo studio geotecnico, consistente nella redazione della presente relazione.

Le indagini effettuate sono state altresì integrate dai risultati della campagna geognostica eseguita direttamente dall'ANAS nel 1988, in fase di redazione del progetto preliminare, con punti di sondaggio ubicati in particolari zone lungo tutto lo sviluppo del tracciato esistente.

I risultati delle suddette indagini che ricadono nella zona oggetto di intervento, forniti dall'ANAS al gruppo di progettazione, sono stati integrati con quelli ottenuti dalla fase 1 di indagine.

Gli obiettivi che si sono portati a compimento nella presente parte prima dello studio geotecnico ed i suoi contenuti sono i seguenti:

- ◆ illustrare, commentare ed interpretare i risultati delle indagini geognostiche di **fase I** ed **ANAS 1988** e le tecniche utilizzate per la loro realizzazione (*descrizione sintetica delle indagini di campagna e delle analisi di laboratorio eseguite ed esposizione sintetica dei risultati delle indagini di campagna e delle analisi di laboratorio*);

- ◆ fornire gli esatti parametri geotecnici di calcolo per ciascun litotipo individuato, desunti dalla suddetta interpretazione delle analisi svolte, anche in relazione alle caratteristiche delle varie opere d'arte da realizzare. A tal fine sono stati utilizzati grafici di dispersione dei risultati ottenuti per definire i valori medi ponderati delle caratteristiche di resistenza di ciascuno strato. *(suddivisione dei litotipi già descritti nella relazione geologica in litotipi caratterizzati da omogeneità dei risultati delle indagini ed analisi, attribuzione parametri geotecnici ai vari litotipi ed esposizione della metodologia seguita per tale attribuzione);*
- ◆ individuare, sulla base della caratterizzazione geotecnica effettuata, della geomorfologia dell'area e della geometria del tracciato definitivo, tutti i problemi di interazione terreno-struttura *(definizione del comportamento meccanico del volume di terreno influenzato dalla costruzione dell'infrastruttura);*
- ◆ Completamento ed approfondimento della parametrizzazione geotecnica dei litotipi attraverso i risultati della **fase II** delle indagini.

Nella presente relazione viene innanzitutto effettuata, così come prescrive il D.M. 11/03/88, “un'indagine geotecnica generale per la valutazione d'insieme, preliminarmente la realizzazione dell'opera, dei problemi che la natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni impongono nelle scelte delle soluzioni progettuali e dei corrispondenti procedimenti costruttivi”.

A tal fine viene eseguita una dettagliata descrizione del tracciato di progetto, sia dell'asse principale che della viabilità secondaria, in rapporto al tracciato dell'esistente SS 640, mettendo in evidenza le opere d'arte principali di cui è prevista e necessaria la realizzazione.

Tale descrizione viene effettuata richiamando la geomorfologia generale delle aree sulle quali tali opere saranno realizzate, desunta dagli elaborati geologici, ed individuando contestualmente le problematiche di carattere geotecnico inerenti la loro realizzazione.

Si passerà quindi alla descrizione puntuale della campagna di indagini geognostiche eseguite, e verranno interpretati tutti risultati ottenuti, finalizzati alla ricostruzione di stratigrafie tipo, da utilizzare per i dimensionamenti geotecnici.

Per la rappresentazione di tutte le indagini effettuate si è ritenuto opportuno realizzare una apposita carta di inquadramento geotecnico generale, in scala 1/2000, dove sono indicati i seguenti aspetti riguardanti la geotecnica, reciprocamente correlati:

- ◆ la geometria del tracciato di progetto definitivo, con evidenziate le opere d'arte principali, quali:
 - viadotti e ponti,
 - gallerie artificiali e naturali,
 - svincoli,
 - cavalcavia e sottopassi.
- ◆ le caratteristiche geomorfologiche principali dell'area, desunte dalle carte geologiche, geomorfologiche ed idrologiche che hanno condizionato sia la scelta del tracciato che, conseguentemente, il posizionamento e la tipologia delle indagini da eseguire, quali:
 - fiumi, valloni ed incisioni,
 - laghetti collinari,
 - presenza di roccia in affioramento, (tipo calcari, gessi, etc.)
 - zone di dissesto o in frana,
 - zone di riporti,
 - attraversamenti di terreni compressibili e di zone di ristagno d'acqua.
- ◆ L'ubicazione di tutte le indagini in sito eseguite e da eseguire, distinguendo le varie tipologie di indagine, quali:
 - Sondaggi a carotaggio continuo,
 - Piezometri ed inclinometri,

- prove penetrometriche statiche e dinamiche,
- prospezioni sismiche,
- pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra.

Per lo svolgimento della presente relazione lo scrivente si è avvalso della seguente documentazione:

- elaborati di progetto;
- relazioni geologiche e relativi elaborati grafici;
- risultati delle indagini in sito ed in laboratorio, presentati per esteso in apposito allegato.

Allegati Grafici:

Planimetria ubicazione indagini R 1:2.000 (n°24 Tavole)

2) **DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN PROGETTO.**

RICHIAMI DI GEOMORFOLOGIA E GEOLITOLOGIA GENERALE ED INDIVIDUAZIONE DELLE PROBLEMATICHE GEOTECNICHE CONNESSE.

Nel presente paragrafo, sulla base dei lineamenti geomorfologici dell'area in esame, viene eseguita la caratterizzazione geotecnica generale dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere in progetto, correlata da una puntuale descrizione del nuovo tracciato stradale.

Come detto nelle premesse, l'intervento si inserisce in una vasta area, molto estesa ed articolata, caratterizzata da particolari assetti geomorfologici che influenzano e determinano talune scelte progettuali.

Data la vastità dell'intervento, la seguente descrizione generale dello schema progettuale con l'andamento del tracciato e delle opere da realizzare viene suddivisa nei seguenti tratti.

Tratto I – da progressiva 0 a km. 8+600

Tratto I.1 – C/da Grottarossa - da progressiva 0 a km. 2+400

Tratto I.2 - Prima variante - da progressiva 2+400 a km. 4+400

Tratto I.3 – C/da Grottad'acqua - da progressiva 4+400 a km. 8+600

Tratto II – da progressiva 8+600 a km. 18+100

Tratto II.1 – Seconda variante-tratto iniziale- da progr. 8+600 a km. 10+350

Tratto II.2 – Galleria papazzo - da progressiva 10+350 a km. 10+975

Tratto II.3 – Seconda variante-tratto finale- da progr. 10+975 a km. 12+900

Tratto II.4 – Galleria S.Elia- da progressiva 12+900 a km. 16+890

Tratto II.5 – C/da S.Filippo Neri - da progressiva 16+890 a km. 18+100

Tratto III – da progressiva 18+100 a km. 28+081

Tratto III.1 – C/da Busita - da progressiva 18+100 a km. 19+400

Tratto III.2 – C/da Abbazia Santuzza - da progressiva 19+400 a km. 22+300

Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+150

Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+150 a km. 26+600

Tratto III.5 – C/da Imera - da progressiva 26+600 a km. 28+080

Per quanto riguarda le opere d'arte principali, sono previsti complessivamente n. 17 viadotti lungo l'asse principale, n. 5 gallerie artificiali e n. 4 gallerie naturali, la cui relativa ubicazione e lunghezza sono indicate nelle tabella riepilogativa presentata nella pagina seguente.

Inoltre è previsto il rifacimento o la nuova realizzazione dei seguenti svincoli:

| Denominazione | Centri abitati interessati | Nuovo |
|-------------------------|----------------------------|-------|
| 1) "Serradifalco" | (Serradifalco) | no |
| 2) "Delia-Sommatino" | (Delia-Sommatino) | no |
| 3) "Caltanissetta sud" | (Caltanissetta-S.Cataldo) | si |
| 4) "Caltanissetta nord" | (Caltanissetta-S.Caterina) | no |
| 5) "S.S. 626 " | (Caltanissetta-Gela) | no |
| 6) "Autostrada A.19 | | no |

Ricognizione descrittiva del tracciato definitivo.**Tratto I – da progressiva 0 a km. 8+600**

Dal punto di vista della geomorfologia generale, il primo tratto, in corrispondenza delle contrade Grotta Rossa, Grotta d'Acqua e Favarella, si caratterizza per la presenza del complesso argilloso tortoniano e della formazione evaporitica, interessata a più riprese da una tettonica movimentata che ha dislocato le varie 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.

Tratto I.1 – C/da Grottarossa - da progressiva 0 a km. 2+400 – sezz. 1-97Da sez. 1 a 97

A partire dalla sezione 1 e per tutto il tratto in questione fino alla sez. 97, il raddoppio si affianca in sinistra della carreggiata attuale, ed alla stessa quota altimetrica.

Sono quindi previsti rilevati di modesta entità.

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.

In tali tratti al di sopra del muro di controripa in sinistra è quasi sempre presente la strada di servizio, anch'essa in trincea dal suo lato sinistro.

Da sez. 50 a 52

Nell'ambito di un tratto in trincea, per la eccessiva vicinanza alla carreggiata di un fabbricato esistente a destra, l'opera di contenimento è prevista con paratia piuttosto che con muro di controripa, al fine di ridurre l'ingombro degli scavi.

Da sez. 52 a 63 – svincolo n. 1 “Serradifalco”

In tale tratto è previsto il primo svincolo, denominato “Serradifalco”. 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.

In tale zona è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 67 a 90

Si attraversa una zona in cui i terreni superficiali sono stati caratterizzati come fortemente compressibili, sia per la presenza di ristagno d'acqua che per le caratteristiche stesse del litotipo costituente lo strato superficiale della stratigrafia.

In attraversamento di tali aree si prevede di approfondire lo strato di bonifica al di sotto della fondazione dei rilevati.

In questa zona, il tratto su rilevato è previsto tra le sezioni 67 e 72, sempre in allargamento a sinistra del rilevato esistente, con un'altezza massima prevista di m. 8.00 nella sez. 69, dove è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 93 a 97

A partire dalla sezione 93 il nuovo tracciato si discosta dal tracciato esistente.

Tratto I.2 - Prima variante - da progressiva 2+400 a km. 4+400 – sezz. 97-177

Tratto in variante in cui il nuovo tracciato taglia un tratto in curva della esistente SS 640. Nella suddetta variante, che attraversa una morfologia caratterizzata da una collina seguita da un'ampia vallata, sono previste come opere d'arte una galleria artificiale ed un viadotto.

Da sez. 97 a 109

Tratto in trincea prima della galleria artificiale

Da sez. 109 a 120 – galleria artificiale “Rovetello” – GA01

Tratto in galleria artificiale di lunghezza ml 283, con altezze di scavo massime previste di 18.00 m. in corrispondenza della sez. 117. Non sono presenti abitazioni in prossimità della galleria, quindi possono svilupparsi gli scavi provvisori a grande sezione per la realizzazione dell'opera d'arte, con successivo ritombamento dell'opera.

Da sez. 120 a 127

Tratto in trincea compreso tra l'uscita della galleria artificiale e l'inizio del successivo viadotto.

Da sez. 127 a 159 – viadotto “Giulfo” – VI01

Viadotto di lunghezza L= 795 m. a 13 campate (1x42.50 +1x65 +1x64.96 +2x64.71 +5x64.37 +1x64.31+1x42.18) (carreggiata sx) e L= 805 m. a 13 campate (1x45.00 +11x65 +1x45) (carreggiata dx).

Il viadotto attraversa un'ampia vallata con terreni a prevalente natura argillosa; solamente in una ristretta fascia a cavallo dell'impluvio sono presenti le alluvioni fini.

Le ultime due pile e la spalla B interessano una stratigrafia caratterizzata in superficie dalla presenza di terreni elucolluviali (terre nere).

Da sez. 159 a 177

Ultimo tratto in trincea da entrambi i lati della prima variante al tracciato.

In questo tratto la nuova strada si riavvicina all'esistente tracciato e vi si affianca a destra alla sezione 177.

Tratto I.3 – C/da Grottad'acqua - da progr. 4+400 a km. 8+600 – sezz. 177-345

Da sez. 177 a 205

La nuova strada si mantiene in affiancamento a destra, generalmente su rilevato, all'esistente tracciato, con rilevati di modesta entità di altezza massima m. 1.00/2.00.

Dalla sez. 185 alla 200 si attraversa una zona di terreni di elevata compressibilità.

In tale zona i rilevati più alti si sono riscontrati tre le sezz. 199 e 204, con altezze fino a m. 4.00. Nella zona è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 205 a 241

La nuova strada si mantiene in affiancamento a sinistra, generalmente su rilevato, mentre la carreggiata destra si adagia sulla esistente alla stessa quota.

Dalla sez. 217 alla 237 si attraversa un'altra zona di terreni di elevata compressibilità.

In tale zona i rilevati più alti si sono riscontrati con altezze fino a m. 4.00.

Nella zona sono stati eseguiti due pozzetti esplorativi per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 241 a 261

La nuova strada effettua una piccola variante migliorativa di una curva presente sull'esistente tracciato con un tratto in trincea.

Da sez. 261 a 306

La nuova strada si mantiene in affiancamento a destra.

Sono presenti un tratto in trincea, tra la sez. 261 e la 271, ed uno su rilevato in allargamento a destra, tra la sez. 274 e la 293.

Dalla sez. 273 alla 285 si attraversa una zona di terreni di elevata compressibilità.

In tale zona i rilevati più alti si sono riscontrati alla sez. 282, con altezza di m. 7.00.

Nella zona sono stati eseguiti due pozzetti esplorativi per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Un altro tratto in trincea si individua tra la sez. 293 e la 306, in cui si attraversa un'altra zona di terreni compressibili.

Da sez. 306 a 320 - svincolo 2 “Delia-Sommatino”

E' previsto il secondo svincolo, denominato “Delia-Sommatino”.

Nella rampa 1 dello svincolo, che dalla carreggiata sinistra raccorda le corsie di innesto ed uscita verso il cavalcavia, per la presenza di un fabbricato in prossimità del tracciato e per un ramo di viabilità secondaria posto a monte e molto vicino alla rampa, sono previste opere di contenimento costituite da paratie da entrambi i lati, che raggiungono altezze di oltre 10 m.

Da sez. 320 a 345

La nuova strada si mantiene in affiancamento a destra.

Dalla sez. 325 alla 345 si attraversa un'altra zona di terreni di elevata compressibilità.

In tale zona i rilevati più alti si sono riscontrati con altezze fino a m. 4.00, in corrispondenza della sez. 329, dove è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Tra le sezz. 329 e 330 è ubicato un ponte monocampata di luce 30 m. (VI16), denominato “Ponte Serra”, per l'attraversamento di un piccolo vallone.

Viabilità di servizio - I tratto

In questo primo tratto di raddoppio, la viabilità di servizio è presente in affiancamento da entrambi i lati dall’inizio fino alla svincolo n. 1 (sez. 51-63).

Dallo svincolo in poi rimane il ramo sul lato dx in accostamento alla nuova statale fino alla fine del tratto I.1, sez. 97, dove si ricuce al tratto dismesso della esistente statale per tutto il tratto in variante denominato I.2.

Alla fine del tratto I.2 , laddove la nuova strada si riposiziona sull’esistente, riparte il ramo di secondaria, sempre in accostamento sul lato dx fino alla sez. 233.

In corrispondenza di tale sezione, per la presenza di capannoni industriali a bordo strada, la secondaria si discosta dalla principale passando a tergo dei capannoni e si riaffianca sempre dal lato destro in corrispondenza della sez. 265, dove è ubicato un attraversamento con cavalcavia.

Quindi si mantiene in tale posizione di affiancamento da destra fino alla sez. 285.

Da tale sezione in poi la viabilità secondaria si discosta nuovamente dalla principale fino alla ricongiunzione in corrispondenza dello svincolo n. 2, ubicato tra le sezz. 296 e 320.

Dallo svincolo in poi sono presenti da entrambi i lati della statale due rami di viabilità secondaria fino alla fine del tratto I.

Tratto II – da progressiva 8+600 a km. 18+100

Dal punto di vista della geomorfologia generale, il secondo tratto, soprattutto in corrispondenza delle contrade Papazzo, Niscima, Scalazza e S. Elia mostra la prevalenza della formazione marnoso-arenacea del Plio-pleistocene, caratterizzata da argille – sabbie e calcareniti, depositatesi a copertura dei terreni sottostanti e scarsamente interessati da fenomeni tettonici. Pertanto il settore si caratterizza morfologicamente per un’ampia superficie pianeggiante o debolmente pendente, complessivamente stabile e scarsamente interessata da fenomeni morfogenetici importanti. 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 della zona.

Tratto II.1 – Seconda variante - tratto iniziale- da progr. 8+600 a 10+350 sezz. 345-415Da sez. 345 a 381

il tratto in raddoppio si affianca in destra della carreggiata attuale, ed alla stessa quota altimetrica. Sono quindi previsti rilevati di modesta entità.

Dalla sez. 345 alla 365 si attraversa una zona di terreni di elevata compressibilità.

Da sez. 381 a 390

Il tracciato si discosta dall’esistente per modifica della geometria stradale e taglia l’esistente curva con un tratto in trincea.

Da sez. 390 a 402 – Galleria artificiale favarella

La collina che l’esistente tracciato aggira alla base, viene invece tagliata con il nuovo tracciato ed attraversata in galleria artificiale per una lunghezza di circa 150 m.

Subito a monte del taglio da eseguire per la galleria artificiale è presente la linea ferroviaria Agrigento-Caltanissetta.

Occorre quindi prevedere un’opera di contenimento provvisoria dello scavo dal lato sinistro (paratia con più ordini di tiranti) per salvaguardare la linea ferrata.

Da sez. 402 a 405

Le due carreggiate si riavvicinano, ma mentre la sx rimane in trincea, la dx si sviluppa su rilevato di notevole altezza, la cui fondazione si adagia lungo un pendio.

A protezione della fondazione e del piede del rilevato occorrono quindi muri di sotto-scarpa su pali.

Nella zona è stata eseguita una verifica di stabilità per accertare le condizioni di stabilità globale, data la notevole pendenza del pendio sul quale va attestata l'opera stradale (sez. 404).

Da sez. 405 a 410 – viadotto “Favarella” – VI02

Viadotto di lunghezza L= 122 m. a 4 campate (1x30+2x31+1x30) (carreggiata sx) e L= 122 m. a 4 campate (1x30+2x31+1x30) (carreggiata dx).

Attraversa un vallone molto inciso con al centro le alluvioni affioranti a grana fina sulle argille plioceniche di substrato.

Da sez. 410 a 415

Tratto di passaggio tra la spalla del viadotto 2 e l'inizio della galleria papazzo.

Tratto II.2 – Galleria Papazzo - da progr. 10+350 a 10+975 – sezz. 415-440

Da sez. 415 a 440 – Galleria naturale Papazzo - GN01

L'intero tratto è costituito dall'attraversamento in galleria naturale della cresta sabbiosa di C/da “Papazzo” sulla quale sorge un agglomerato industriale costituito da numerosi capannoni con fondazioni di tipo indiretto.

Lo spessore di ricoprimento sulla galleria varia tra i 35.00 ed i 40 m.

I piezometri installati hanno individuato la presenza della falda ad una quota di circa 25.00 m. da piano campagna.

Al di sotto delle sabbie, nell'ambito della formazione marnoso-arenacea, il substrato interessato dallo scavo della galleria è costituito dalle argille marnose plioceniche.

Tratto II.3 – Seconda variante-tratto finale- da progr. 10+975 a 12+900 – sezz. 440-517

Da sez. 440 a 445

Tratto di passaggio tra lo sbocco della galleria papazzo e la spalla del viadotto 3.

Da sez. 445 a 462 – viadotto “Fosso Mumia” – VI03

Viadotto di lunghezza L= 422.92 m. a 8 campate (1x34.24 +1x48.98 +1x63.87 +1x63.81 +1x63.93 +1x64.16+1x49.30+1x34.63) (carreggiata sx) e L= 430 m. a 8 campate (1x35 +1x50+4x65+1x50+1x35) (carreggiata dx).

Attraversa un’ampia vallata con alluvioni affioranti a grana fina sulle argille di base e presenza d’acqua riscontrata nei sondaggi effettuati.

Il substrato è sempre costituito dalle argille marnose plioceniche.

Da sez. 462 a 472 – Galleria artificiale S.Cataldo - GA02

Attraversamento in galleria di una cresta sabbiosa come la galleria precedente, ma a quota più superficiale. Difatti mentre per la galleria papazzo la scavo interesserà le argille marnose che a quota -20 si alternano alle sabbie, nella galleria S. Cataldo si rimane nello strato superficiale sabbioso. Le sabbie sono intervallate da strati calcarenitici e quarzarenitici più o meno cementati di spessore centimetrico.

Per la presenza di fabbricati a ridosso dello scavo, vanno previste paratie di contenimento provvisoriale sul lato sinistro.

Da sez. 472 a 481

Tratto di uscita dalla galleria con una trincea (da sez. 472 a sez. 475) e con un successivo tratto su rilevato (da sez. 475 a sez. 481).

In questa zona il rilevato raggiunge un’altezza massima di m. 5.00 in corrispondenza della sez. 479, dove è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 481 a 500

Tratto di riavvicinamento al tracciato esistente.

Quindi il nuovo tracciato rimane in affiancamento a destra all’esistente.

Tra le sezz. 493 e 495 è ubicato un ponte monocampata di luce 45 m. (VI17) per l’attraversamento di una strada e della ferrovia AG-CL, denominato “Ponte Cavalcaferrovia Grotticelle”.

Da sez. 500 a 505 – svincolo 3 “Caltanissetta sud”

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.

In tale zona è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 505 a 517

Il nuovo tracciato si discosta nuovamente dalla strada esistente e si avvicina all'imbocco della galleria al di sotto del centro abitato di Caltanissetta.

Tratto II.4 – Galleria S.Elia - da progressiva 12+900 a 16+890 – sezz. 517-677

Da sez. 517 a 677 – Galleria naturale S.Elia - GN02

L'intero tratto è costituito dall'attraversamento in galleria naturale del centro abitato di Caltanissetta. L'importante opera di scavo in sotterraneo è interamente caratterizzata dalla presenza delle argille marnose grigio chiaro, con locali intercalazioni di marne calcaree. Sono presenti anche intercalazioni di argille grigie a struttura brecciata.

Tratto II.5 – C/da S.Filippo Neri - da progr. 16+890 a 18+100 – sezz. 677-724

Da sez. 677 a 681

Allo sbocco della galleria S.Elia si attraversa una serie di incisioni calanchive molto profonde.

Per valutare la stabilità nella zona è stato inserito un inclinometro nel sondaggio S53.

Tra le sezz. 680 e 681 è ubicato un viadotto (**VI04**), denominato “S. Giuliano” per l'attraversamento della prima incisione calcanchiva, molto stretta che si incontra subito dopo lo sbocco della galleria.

Tale viadotto risulta essere monocampata di luce 30 m. per la carreggiata destra, mentre per la sinistra diventa a 5 luci di ml 30 ciascuna.

Da sez. 681 a 689

Tratto su rilevato che si appoggia su di una cresta argillosa compresa tra due incisioni calanchive. Il tratto va difeso 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, data la notevole pendenza del pendio sul quale va attestata l'opera stradale (sez. 687), inoltre è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 689 a 697 – viadotto “S. Filippo Neri” – **VI05**

Viadotto di lunghezza L= 188 m. a 4 campate (1x43+1x45+1x60+1x40) (carreggiata sx) e L= 170 m. a 4 campate (1x25+1x45+1x60+1x40) (carreggiata dx).

Attraversa un'altra incisione calanchiva con presenza di argille affioranti.

Da sez. 697 a 707 – Galleria naturale S.Filippo - **GN03**

Attraversamento in galleria di una cresta argillosa ad una quota molto superficiale. 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. Lo scavo interesserà le argille grigio azzurre tortoniane e le marne argillose con cristalli di gesso e livelli conglomeratici

Da sez. 707 a 717 – viadotto “Busita 1” – **VI06**

Viadotto di lunghezza L= 252 m. a 5 campate (1x32+1x55+1x65+2x50) (carreggiata sx) e L= 229 m. a 5 campate (1x32+1x50+1x65+1x50+1x32) (carreggiata dx).

Attraversa un'altra incisione calanchiva con argille affioranti.

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

Da sez. 717 a 724 – Galleria artificiale S. Filippo- **GA03**

Attraversamento in galleria artificiale di una seconda cresta argillosa ad una quota molto superficiale. Non sono presenti abitazioni in cresta, quindi possono svilupparsi gli scavi provvisori a grande sezione per la realizzazione dell'opera d'arte, con successivo ritombamento dell'opera.

La galleria interessa solamente la carreggiata destra, mentre per la sinistra è prevista una trincea con muri di controripa fino a 6.00 m.

Viabilità di servizio - Il tratto

In questo secondo tratto, la viabilità di servizio si sviluppa in affiancamento da entrambi i lati fino alla sezione 380, in cui il ramo di destra si collega alla esistente viabilità e quello di sinistra termina in corrispondenza di un agglomerato di case.

Da tale sezione in poi, per la presenza di una serie di viadotti e gallerie che non interferiscono con la viabilità esistente, non è necessaria una viabilità di servizio che si sviluppa in affiancamento alla nuova strada, ma è stato sufficiente prevedere localmente piccoli tratti che ricuciono alcuni rami di servizio interrotti dal nuovo tracciato. La viabilità secondaria riprende in corrispondenza dello svincolo denominato “Caltanissetta sud” dove sono previsti alcuni rami di viabilità secondaria che ricollegano attraverso lo stesso svincolo i tratti dismessi della SS640 attuale con la nuova.

Per tutto il resto del II tratto non esiste altra viabilità secondaria in quanto il tratto è costituito quasi esclusivamente da viadotti e gallerie.

Tratto III – da progressiva 18+100 a km. 28+081

Dal punto di vista della geomorfologia generale, il terzo tratto, in corrispondenza delle contrade San Filippo Neri, Busiti, Abazzia Santuzza, Anghillà ed Imera, si caratterizza per l'affioramento di litologie a comportamento plastico con prevalenza di argille e argille sabbiose del tortoniano. 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, Fiume Salso). Le unità morfologiche prevalenti pertanto sono colamenti e creep nei versanti argillosi più critici, ed una morfologia fluviale evidente, con incisione di fondo alveo, erosione di sponda spesso a morfologia calanchiva e fenomeni di esondazione (in particolare ad opera del Fiume Salso in prossimità del raccordo tra la SS 640 e la A19).

Tratto III.1 – C/da Busita - da progressiva 18+100 a km. 19+400 - sezz. 724-779**Da sez. 724 a 737 – viadotto “Busita 2” – VI07**

Viadotto di lunghezza L= 285 m. a 5 campate (1x30+1x45+1x60+1x90+1x60) (carreggiata sx) e L= 251,21 m. a 4 campate (1x44.19+1x59+1x88.67+1x59.35) (carreggiata dx).

Attraversa un'altra incisione calanchiva con argille affioranti. A fondo valle è presente un vallone con una stretta fascia alluvionale a cavallo dell'alveo.

Da sez. 737 a 754 – Galleria artificiale Bersaglio - GA04

Attraversamento in galleria artificiale di una cresta argillosa. Sono presenti fabbricati in cresta a ridosso dello scavo da realizzare.

Sono quindi necessarie paratie di contenimento da entrambi i lati dello scavo da realizzare.

Da sez. 754 a 769 – viadotto “Busita 3” – VI08

Viadotto di lunghezza L= 350 m. a 7 campate (1x35+1x50+3x60+1x50+1x35) (carreggiata sx) e L= 347.90 m. a 7 campate (1x35 +1x50 +1x59.9 +1x59.6 +1x59.3 +1x49.4 +1x34.6) (carreggiata dx).

Attraversa un'altra incisione calanchiva con argille affioranti, più larga delle precedenti per la presenza di due incisioni parallele.

Da sez. 769 a 779 – svincolo 4 “Caltanissetta nord”

In tale tratto è previsto il quarto svincolo, denominato “Caltanissetta nord”, in corrispondenza e rifacimento dell’attuale svincolo sulla esistente SS640 per S. Caterina. Il nuovo tracciato in questo punto si riaccosta al vecchio e si mantiene in affiancamento a sinistra.

Tratto III.2 – C/da Abbazia Santuzza - da progr. 19+400 a km. 22+300 – sez. 779-893Da sez. 779 a 793

Il nuovo tracciato si mantiene in affiancamento a sinistra all’attuale strada. Sulla destra è presente parallelamente al vecchio tracciato un versante calanchivo molto esteso.

Il tratto si sviluppa su rilevato che si appoggia su di una cresta argillosa compresa tra due incisioni calanchive e che va difeso 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, data la notevole acclività del pendio sul quale va attestata l’opera stradale; inoltre è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 793 a 800 – viadotto “Santuzza 1” – VI09

Viadotto di lunghezza L= 184 m. a 6 campate (1x30+4x31+1x30) (carreggiata sx) e L= 184 m. a 6 campate (1x30+4x31+1x30) (carreggiata dx).

Attraversa un avvallamento in testa ad un versante calanchivo molto esteso che corre parallelamente il tracciato.

Da sez. 800 a 814

Il nuovo tracciato si discosta nuovamente dalla vecchia strada.

Il tratto è su rilevato con altezze fino a 3.00 m. ed è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 814 a 842 – viadotti “Santuzza 2 e 3” – VI10 e VI11

Santuzza 2 - Viadotto di lunghezza L= 425.2 m. a 9 campate (1x39.5+ 1x49.5+ 1x49.4 + 1x49.5+ 3x49.4+ 1x49.5+1x39.77) (carreggiata sx) e L= 430 m. a 9 campate (1x40+7x50+1x40) (carreggiata dx).

Santuzza 3 - Viadotto di lunghezza L= 220 m. a 5 campate (1x35+3x50+1x35) (carreggiata sx) e L= 218.30 m. a 5 campate (1x34.9+1x49.8+1x49.6+1x49.4+1x34.6) (carreggiata dx).

I due viadotti sono necessari per superare una depressione che il vecchio tracciato aggirava da destra. L'appoggio a terra tra i due viadotti, compreso tra le sezz. 831 e 833, sfrutta una cresta argillosa presente nella zona. Il tratto su rilevato tra le due spalle va difeso con opere di sottoscarpa su pali da entrambi i lati.

Da sez. 842 a 893

Il nuovo tracciato si mantiene 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.

Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+150 – sezz. 893-1007

Da sez. 893 a 906

Il tracciato si discosta dall'esistente per modifica della geometria stradale e taglia l'esistente curva con un tratto su rilevato ed un viadotto centrale.

Da sez. 906 a 914 – viadotto “Arenella 1” – VI12

Viadotto di lunghezza L= 184,88 m. a 6 campate (1x30,14+4x31.15+1x30.14) (carreggiata sx) e L= 184 m. a 6 campate (1x30+4x31+1x30) (carreggiata dx).

Attraversa il vallone Anghillà, affluente del vallone Arenella, quest'ultimo caratterizzato dalla presenza di un'ampia fascia di depositi alluvionali.

Da sez. 914 a 925

Il tracciato si riaccosta nuovamente all'esistente strada.

Dalla sezione 925 in poi il nuovo tracciato si sviluppa all'interno dell'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 o con scogliere di massi poste alla base del rilevato, quando non sono previste opere di sottoscarpa.

Da sez. 925 a 982

Il tracciato si mantiene su rilevato lungo l'alveo alluvionale del vallone Arenella.

Tra le sezz. 940 e 941 è ubicato uno scatolare di luce 20 m. per l'attraversamento di un affluente del vallone Arenella.

Da sez. 982 a 988 – viadotto “Arenella 2” – VI13

Viadotto di lunghezza L= 122 m. a 4 campate (1x30+2x31+1x30) (carreggiata sx) e L= 122 m. a 4 campate (1x30+2x31+1x30) (carreggiata dx).

Attraversa un altro vallone affluente del vallone Arenella.

Da 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 la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+150 a km. 26+600– sezz. 1007-1007

Da sez. 1007 a 1034 – viadotto “Arenella 3” – VI14

Viadotto di lunghezza L= 587 m. a 19 campate (1x30+17x31+1x30) (carreggiata sx) e L= 618 m. a 20 campate (1x30+18x31+1x30) (carreggiata dx).

Attraversa un'ansa molto estesa del vallone Arenella su di un'ampia area alluvionale, 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). Per verificare la stabilità globale dell'area sono previste verifiche di stabilità in corrispondenza della massime pendenze riscontrate.

Da sez. 1034 a 1041 – Galleria naturale Cozzo Garlatti- GN04

Attraversamento in galleria naturale di una emergenza sabbioso-calcarenitica. Non sono presenti fabbricati in cresta. L'opera è caratterizzata dalla presenza di calciruditi e calcareniti ben stratificate in alternanza con marne sabbiose.

Da sez. 1041 a 1050

Attraversamento su rilevato di notevole altezza per entrambe le carreggiate di un'area golenale del fiume Salso.

Il rilevato di maggiore altezza, m. 4.00, è previsto intorno alla sezione 1045, dove è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Da sez. 1050 a 1065 – Svincolo n. 5 – S.S. 626

Zona dello svincolo con la strada statale 626, che viene interamente ridisegnato.

Il rilevato di maggiore altezza del tratto, m. 4.00, è previsto intorno alla sezione 1059, dove è stato eseguito un pozzetto esplorativo per la identificazione e caratterizzazione del substrato di fondazione del rilevato da realizzare.

Tratto III.5 – C/da Imera - da progressiva 26+600 a km. 28+080 – sezz. 1065-1125

Da sez. 1065 a 1125 – viadotto “Salso” – VI15

Viadotto di notevole lunghezza, L= X m. , a X campate (X) (carreggiata sx) e L= X m. a campate (X) (carreggiata dx), in cui una delle due carreggiate sfrutta in parte le pile dell'esistente viadotto dell'attuale SS. 640.

Questo attraversa tutta la piana alluvionale del fiume Salso fino all'innesto con lo svincolo denominato n. 6, esistente ma riprogettato interamente, sull'autostrada Palermo-Catania A19.

Viabilità di servizio - III tratto

In questo terzo tratto di raddoppio della strada statale SS640, la viabilità di servizio inizia in corrispondenza dello svincolo denominato “Caltanissetta nord”, dalla cui rotatoria si diparte un ramo di viabilità complementare che si sviluppa in affiancamento a destra al nuovo tracciato e sul ciglio di una cresta di un versante calanchivo. Tutto il tratto va dunque protetto al piede con opere di sottoscarpa su fondazioni indirette.

Il ramo termina in corrispondenza del raccordo con un tratto dismesso del tracciato attuale, a cui si innesta, tra le sezz. 805 e 809.

Tutta la parte terminale del III tratto non occorre di altra viabilità di servizio.

- Situazione geomorfologica generale -

I complessi geomorfologici principali presenti nel territorio in oggetto sono qui di seguito riassunti:

- Complesso dei materiali di riporto eterogenei assimilabili a terreni incoerenti;
- Complesso dei depositi continentali di copertura elucolluviali assimilabili a terreni prevalentemente incoerenti o debolmente coesivi comprimibili, con elevata plasticità in corrispondenza della frazione limosa; (Alluvioni, depositi elucolluviali, terre nere).
- Complesso delle rocce prevalentemente lapidee, tenere, stratificate e talora fratturate; (calcarei 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; (calcarei, gessi, calcareniti e Calciruditi tortoniane).
- Complesso dei depositi sabbiosi a cementazione variabile, terreni prevalentemente incoerenti; (sabbie e calcareniti pleistoceniche e sabbie della Fm. Teravecchia).
- Complesso dei terreni argillosi coesivi (unità argillose tortoniane e plioceniche).

Gli aspetti principali emersi per ogni complesso morfologico vengono qui 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 evoluzione gravitativa negativa, che ha 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 mobilizzino elevati spessori di terra, 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.

Forme fluviali

Le principali forme fluviali sono presenti nel settore terminale del comprensorio, in prossimità del Fiume Imera, con 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 Anghilla' 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.

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.

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geomorfologica dell'intero tracciato si rimanda all'apposito capitolo della relazione geologica.

- Situazione geolitologica generale -

Il tracciato, in tutto il suo sviluppo, copre un'area di grande estensione che ricade in un orizzonte geologico complesso che abbraccia formazioni che, così come tutta il settore centromeridionale della Sicilia geologicamente definito Avanfossa di Caltanissetta, sono caratterizzate dalla presenza della Serie Evaporitica Messiniana che poggia sul complesso plastico argilloso e precede stratigraficamente i depositi pelagici trasgressivi, per un arco temporale che va dal Miocene al Pleistocene.

L'area presenta nel suo complesso assetti morfologici vari, derivanti dalle locali condizioni topografiche e strutturali e dalle caratteristiche tecniche dei materiali affioranti, rappresentati da un *complesso plastico* (argille – *formazione pre-evaporitica*), un *complesso clastico* (ghiaie, sabbie e limi - *formazione quaternaria*) ed un *complesso rigido* (calcari, gessi, calcari-marnosi, calcareniti e conglomerati- *formazione post-evaporitica*).

Il *complesso plastico* evidenzia una morfologia di tipo collinare con pendii naturali variamente acclivi con processi erosi dovuti all'azione delle acque meteoriche.

Il *complesso clastico* denota assetti tipici delle aree alluvionali dove gli effetti erosivi risultano limitati in corrispondenza dell'alveo dei numerosi elementi idrografici.

Il *complesso rigido*, grazie alla sua natura litoide, presenta assetti morfologici molto stabili, delicati solo in corrispondenza delle pareti e delle creste, per la fratturazione del materiale.

Da un punto di vista geologico generale ci si trova di fronte ad una sequenza stratigrafica che include termini di varia natura e, di conseguenza, dal comportamento geomeccanico differenziato.

In linea di massima il territorio, pur essendo movimentato nei suoi aspetti morfologici, si presenta generalmente stabile e solo in alcuni tratti manifesta particolari segni di tendenza al degrado o accenni ad instabilità od a situazioni passibili di evoluzione in senso negativo in corrispondenza delle quali si renderanno necessari oppor-

tuni accorgimenti atti ad assicurare la perfetta funzionalità delle opere che ci si accinge a realizzare.

Vengono di seguito riassunte le principali caratteristiche geolitologiche dei litotipi principali maggiormente presenti in zona, desunte dallo studio geologico, ed al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti di dettaglio sull'inquadramento geologico.

R/TV - Materiali di copertura o di riporto, rilevati stradali

In superficie si rilevano isolati depositi di origine antropica, costituiti da accumuli di materiale rimaneggiato di natura eterogenea. Tali materiali provengono da scavi e da movimenti di terra, hanno assetto caotico e risultano soggetti a mobilitazione in quanto non consolidati.

Per quanto attiene i rilevati, si tratta del corpo stradale esistente, costituito da materiali costipati e stabilizzati.

I terreni di copertura superficiale hanno scarse caratteristiche meccaniche e spessore variabile. Sono classificabili come terreni sciolti, scarsamente addensati e granulometricamente passanti da sabbia a limo-argilloso con inclusi lapidei. Il grado di coesione è scarso e legato alla presenza più o meno apprezzabile della frazione limosa.

DT – Detriti di falda

Sono terreni recenti, dovuti allo smantellamento dei terreni preesistenti ad opera degli agenti chimico-fisici di tipo esogeno e presenti in vicinanza dei rilievi rocciosi e formanti coltri di ricoprimento.

La genesi di tali coperture detritiche è determinata dalla costituzione litologica delle rocce madri da cui derivano e quindi sono di natura diversa a secondo dei diversi termini litologici rilevati.

Per questa formazione le caratteristiche meccaniche sono molto variabili, in funzione della granulometria e del grado di addensamento. Granulometricamente prevale la

sabbia con elementi delle dimensioni delle ghiaie; si tratta quindi di terreni ad elevata permeabilità, di tipo sciolto e facilmente erodibili.

Si tratta di una coltre di copertura delle formazioni in posto con spessori variabili da pochi decimetri a 3-4 m.

Una buona continuità della formazione è stata riscontrata nel settore iniziale, C.da Grotta Rossa, dove maschera e ricopre il Calcarea di base.

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

ALF/ALG - Depositi alluvionali

In corrispondenza dei margini degli elementi idrografici principali si rilevano depositi sotto forma di alluvioni fluviali terrazzate, talvolta in più ordini, di spessore anche consistente, generalmente costituiti da elementi vari per forma e dimensioni con predominio della frazione ghiaiosa.

In relazione alla loro natura e composizione granulometrica ed in funzione degli spessori possono essere sede di circolazione idrica sotterranea con falda di subalveo. Questi depositi danno origine ad un suolo agrario di colore bruno, fertile, limo-argilloso con sostanza organica ed inclusi litoidi.

La loro natura presenta una costituzione sedimentologica estremamente rappresentativa dei terreni di genesi primaria e risulta caratterizzata da elementi a granulometria variabile ed aventi un grado di arrotondamento strettamente dipendente dall'entità del trasporto operato.

Sono presenti nei fondi valle dei corsi d'acqua e valloni principali; in particolare 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.

Nella Contrada Imera la particolare morfologia pianeggiante e la significativa presen-

za del Fiume Imera e relativi affluenti, hanno consentito una importante sedimentazione di tipo continentale con la formazione di un vasto deposito alluvionale.

MA/TB/AB – marne argillose – marne calcaree – trubi – breccia argillosa

Sono marne calcaree di colore bianco, tendente al grigio o giallastro fino a bruno con evidenti tracce di noduli ferrosi.

Trattasi di calcari marnosi fortemente tettonizzati, passanti a marne o ad argille marnose, in affioramento friabili, con stratificazione caratterizzata da strati non sempre ben evidenti, più o meno coerenti ed alternati a livelli argillosi variamente disposti. Generalmente presentano una potenza di qualche centinaio di metri e nell'area in studio affiorano a grandi linee in molti punti del tracciato.

I Trubi sono dei calcari marnosi più o meno cementati passanti a marne calcaree di colore bianco crema fino a grigio chiaro.

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.

Associate ai trubi a tratti intercalate e frammiste ad esse, si rinvencono brecce argillose a struttura caotica con intercalazioni di marna calcarea.

i Trubi si possono considerare a coesione variabile e di complessa permeabilità. 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.

La formazione affiora in molti settori sia come terreni lapidei di calcare marnoso e marne calcaree biancastre, che come brecce argillose e argille marnose intercalate ai calcari; inoltre in perforazione i trubi si presentano sotto forma di marne e marne calcaree provenienti dell'erosione e risedimentazione dei calcari marnosi litoidi .

I calcari marnosi e le marne calcaree presentano intercalazioni di breccia argillosa a struttura caotica.

FORMAZIONE MARNOSO – ARENACEA

S/SA - sabbie e sabbie argillose

L'unità fa parte della Formazione marnoso – arenacea ed 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.

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 Favarella), inoltre le sabbie affiorano estesamente in tutta la contrada Sant'Elia-Scalazza, anche se non intersecano l'infrastruttura in progetto che in galleria.

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

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.

La parte più prettamente argillosa della formazione marnoso-arenacea, affiora nel settore centrale della zona attraversata dall'infrastruttura in progetto (C.da Grotta d'Acqua, C.da Favarella, Cda Mumia – Papazzo, C.da Giuliano); l'unità 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. Si presentano di colore grigio-verde con livelli argillosi alternati ad argille sabbiose e veli di sabbia grigia con minuti resti fossili.

G/AG - Serie Gessoso-Solfifera- Gessi – Argille gessose

Successione di sedimenti prevalentemente evaporitici. Nonostante i gessi ed i calcari denotino fenomeni di carsismo, entrambi hanno alta resistenza a rottura.

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

La formazione si presenta sia come banchi litoidi di gessi macrocristallini stratificati sia come intercalazioni di argille gessose a contenuto sabbioso.

FB - Complesso Argillo–marnoso basale – LA/AMT/AMP

E' rappresentato da argille ed argille marnose di età tortoniana (AMT) o pliocenica (AMP), a struttura scagliettata, che in genere evidenziano grande diffusione e rilevante spessore. Sono caratterizzati da un assetto caotico conseguente alla tettonica molto intensa che li ha interessati.

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.

Dal punto di vista litologico sono definibili come argille debolmente marnose di colore grigio-azzurro, talora a scaglette e presenza di superfici lucenti, mediamente consistenti e plastiche, con generale miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche.

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.

In genere presentano un livello superficiale di alterazione di colore marrone, con caratteristiche meccaniche a volte più scadenti rispetto al substrato non alterato, costituito da limi argillosi (LA) di discreta plasticità, decrescente con la profondità.

Affiorano diffusamente sia nel settore iniziale del tracciato che nel tratto finale; 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.

CL- calcari evaporitici

Il Calcare di base è senza dubbio uno dei litotipi che imprime alla morfologia della zona rilevata una notevole impronta. Infatti le serre ed i cozzi, che caratterizzano il tipico paesaggio collinare dell'area, sono costituiti da questa litologia.

Si presenta in grossi banchi, separati da intercalazioni marnose, che contengono a

loro volta straterelli calcarei di pochi centimetri. Gli spessori assai variabili mostrano valori medi intorno ai 50-70 m .

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.

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

Mcr - calciruditi e calcareniti

Un affioramento notevole di calciruditi si riscontra 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.

Intercalati ai banconi di calcare si rinvencono alcuni modesti lembi di conglomerati e livelli arenitici sciolti di colore giallo scuro. Questi ultimi sono costituiti da sedimenti sabbiosi disposti a lenti di estensione variabile, di colore grigio - giallastro, stratificati in livelli di spessore decimetrico, a cementazione variabile, con intercalazioni di livelli di conglomerati poligenici in matrice terrosa dello spessore di 20 - 30 centimetri.

TN - Terre nere

Si tratta di depositi continentali, palustri che si sono accumulati nelle aree pianeggianti o depresse. La natura è prevalentemente limoso - sabbiosa con abbondanti resti vegetali sia decomposti (Humus), che parzialmente decomposti.

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

(M)T – Tripoli – (marne tripolacee)

E' l'unità di base della serie Gessoso Solfifera ed è presente con modesti affioramenti a ridosso dei calcari in Contrada Abbazia Santuzza presso case Pozzanghero e in prossimità di Monte Stretto in Contrada Cuti.

Generalmente gli spessori sono modesti così come limitata è la sua continuità laterale

E' costituito da una alternanza di strati diatomitici e marnoso-calcarei; si presenta friabile, terroso, con nette sfaldature lungo i piani di laminazione, 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.

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

Si passa adesso ad esaminare più in dettaglio la caratterizzazione geotecnica dei litotipi interessati dal tratto in progetto, in base ai risultati delle campagne di indagini effettuate.

3) INDAGINI GEOGNOSTICHE

DESCRIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI

Per la redazione del progetto definitivo si è predisposta e portata a compimento una specifica campagna di indagini geognostiche, suddivisa in due fasi:

La prima fase è stata mirata alla ricostruzione litostratigrafica generale lungo il tracciato previsto nel progetto preliminare, al fine di verificarne il corretto impatto con l'assetto geomorfologico presente nell'area e per inquadrare i terreni attraversati dal punto di vista geologico e geotecnico, in modo da indirizzare la scelta del tracciato di progetto più appropriata

La seconda fase, eseguita dopo avere definito con esattezza la geometria del tracciato stradale del progetto definitivo e stabilito l'ubicazione, lo sviluppo e la tipologia esecutiva delle opere d'arte, prevede l'infittimento delle indagini per la definizione di dettaglio delle stratigrafie e dei parametri geotecnici dei terreni, finalizzata al dimensionamento di tutti i manufatti interagenti con il terreno.

Per la definizione delle indagini di infittimento di fase II si sono ovviamente utilizzati i risultati ottenuti dalla fase I, che hanno permesso di tarare le profondità dei sondaggi da realizzare e di scegliere il tipo di analisi di laboratorio più appropriato, proprio sulla base di quanto già ottenuto.

Le indagini eseguite nella fase I sono state altresì integrate con quelle della campagna geognostica effettuata direttamente dall'ANAS nel 1988 in fase di redazione del progetto preliminare, i cui risultati che ricadono nella parte di tracciato oggetto del presente progetto di raddoppio sono stati trasmessi dall'ANAS al gruppo di progettazione.

3.1 - FASE I – INQUADRAMENTO GEOTECNICO GENERALE

Per la scelta delle tipologie di indagini finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica generale lungo lo sviluppo del tracciato, sono state prese in considerazione i seguenti aspetti di interazione con il terreno, previsti già nel progetto preliminare:

Opere d'arte principali: Viadotti e ponti

- Sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza di spalle e pile, spinti ad una profondità di almeno 25.00 m., con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica, per il dimensionamento delle fondazioni.

- Inserimento di piezometri in corrispondenza di eventuale rinvenimento di falda, del tipo a tubo aperto o casagrande.

Trincee e rilevati

Per le trincee più profonde si sono previsti sondaggi a carotaggio continuo, 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 da realizzare.

Per i rilevati più alti, si sono previsti sondaggi a carotaggio continuo o prove penetrometriche, estesi ad una profondità tale da caratterizzare lo strato superficiale che interagisce con la base del rilevato.

Gallerie

Alcune indagini della fase 1 sono state previste in corrispondenza delle numerose gallerie artificiali e naturali previste nel progetto. I sondaggi effettuati lungo le gallerie naturali sono stati spinti ad una profondità di almeno 5.00 m. al di sotto della quota prevista per l'arco rovescio.

I risultati delle indagini eseguite in questa fase hanno permesso di parametrizzare tutte le varie tipologie di terreno che sono interessate dal tracciato di progetto, dal punto di vista della caratterizzazione geomeccanica.

Con l'ausilio di tale parametrizzazione per litotipi si è potuto quindi costruire una serie di stratigrafie tipo di inquadramento generale, in relazione a determinati punti salienti del tracciato.

3.1.1 INDAGINI IN SITO

Le indagini geognostiche eseguite hanno riguardato i seguenti punti:

- 1) Studio particolareggiato del substrato attraverso l'esecuzione di sondaggi meccanici a carotaggio continuo, spinti a profondità variabile, in modo da ricostruire l'intero profilo stratigrafico soprattutto per le aree interessate dalla realizzazione delle opere d'arte principali.
- 2) Prelevamento di campioni indisturbati ad opportune profondità, compatibilmente con la natura dei terreni individuati, sui quali eseguire analisi geotecniche.
- 3) Prelevamento di campioni semidisturbati di roccia dal carotaggio continuo, per l'esecuzione di prove di schiacciamento.
- 4) Analisi geotecniche di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica, la classificazione dei terreni e la caratterizzazione sulla resistenza meccanica dei litotipi presenti.
- 5) Prove penetrometriche statiche e dinamiche, eseguite ad infittimento dei sondaggi a carotaggio continuo, volte soprattutto alla caratterizzazione geotecnica dei diversi tipi di terreno presenti.

Qui di seguito vengono descritti i sondaggi eseguiti per ogni zona cui è stato precedentemente suddiviso il progetto.

Data la vastità del progetto in questione l'ubicazione delle indagini è stata suddivisa in zone a secondo dell'area di intervento e secondo il seguente schema:

Tratto I – da progressiva 0 a km. 8+600

Tratto I.1 – C/da Grottarossa

Tratto I.2 - Prima variante

Tratto I.3 – C/da Grottad'acqua

Tratto II – da progressiva 8+600 a km. 18+100

Tratto II.1 – Seconda variante-tratto iniziale

Tratto II.2 – Galleria Papazzo

Tratto II.3 – Seconda variante-tratto finale

Tratto II.4 – Galleria S.Elia

Tratto II.5 – C/da S.Filippo Neri

Tratto III – da progressiva 18+100 a km. 28+081

Tratto III.1 – C/da Busita

Tratto III.2 – C/da Abbazia S.

Tratto III.3 – C/da Arenella

Tratto III.4 – Cozzo Garlatti

Tratto III.5 – C/da Imera

Qui di seguito vengono ricapitolate in tabelle riassuntive tutte le indagini svolte, sia in sito che in laboratorio.

L'ubicazione di tutte le indagini in sito eseguite nella prima fase è riportata negli elaborati grafici in scala 1/2000 allegati al presente studio.

Circa le modalità esecutive delle prove eseguite si rimanda all'apposito elaborato descrittivo dei risultati delle indagini Fase I.

Tratto I – da progressiva 0 a km. 8+600

Indagini eseguite:

Sondaggi a carotaggio continuo:

| <i>Sond.</i> | <i>Profondità</i> | <i>Ubicazione</i> | <i>Campioni prelevati</i> |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|

Tratto I.1 – C/da Grottarossa - da progressiva 0 a km. 2+400

| | | | |
|------------|-------------|--------------------|---|
| S.1 | L = m.15.00 | tratto in rilevato | 1 |
| S.2 | L = m.15.00 | tratto in rilevato | 3 |
| S.3 | L = m.15.00 | tratto in rilevato | 2 |

Tratto I.2 - Prima variante - da progressiva 2+400 a km. 4+400

| | | | |
|-------------|-------------|---------------------------|---|
| S.5 | L = m.30.00 | galleria artificiale GA01 | 3 |
| S.6 | L = m.25.00 | galleria artificiale GA01 | 3 |
| S.11 | L = m.20.00 | tratto in trincea | 3 |

Tratto I.3 – C/da Grottad'acqua - da progressiva 4+400 a km. 8+600

| | | | |
|-------------|-------------|--------------------|---|
| S.12 | L = m.20.00 | tratto in rilevato | 3 |
| S.13 | L = m.15.00 | tratto in rilevato | 3 |
| S.15 | L = m.25.00 | viadotto VI16 | 4 |

Tratto II – da progressiva 8+600 a km. 18+100

Indagini eseguite:

Sondaggi a carotaggio continuo:

| <i>Sond.</i> | <i>Profondità</i> | <i>Ubicazione</i> | <i>Campioni prelevati</i> |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|

Tratto II.1 – Seconda variante-tratto iniziale- da progr. 8+600 a km. 10+350

| | | | |
|-------------|-------------|--------------------------------|---|
| S.16 | L = m.25.00 | galleria artificiale favarella | 3 |
| S.17 | L = m.30.00 | viadotto favarella VI02 | 3 |
| S.18 | L = m.30.00 | viadotto favarella VI02 | 4 |

Prove penetrometriche statiche:

| <i>N.</i> | <i>Lungh. prova</i> | <i>Ubicazione</i> |
|-------------|---------------------|--------------------|
| CPT1 | L = m. 10.00 t | tratto in rilevato |
| CPT2 | L = m. 10.00 t | tratto in rilevato |

Tratto II.2 – Galleria papazzo - da progressiva 10+350 a km. 10+975

| | | | |
|-------------|-------------|--------------------------------|---|
| S.19 | L = m.40.00 | galleria naturale papazzo GN01 | 3 |
| S.20 | L = m.40.00 | galleria naturale papazzo GN01 | 3 |

Tratto II.3 – Seconda variante-tratto finale- da progr. 10+975 a km. 12+900

| | | | |
|-------------|-------------|---------------------------|---|
| S.21 | L = m.30.00 | viadotto fosso mumia VI03 | 3 |
| S.22 | L = m.25.00 | viadotto fosso mumia VI03 | 3 |
| S.23 | L = m.25.00 | galleria artificiale GA02 | 2 |
| S.24 | L = m.25.00 | cavalcaferrovia VI17 | 2 |

Tratto II.4 – Galleria Caltanissetta- da progressiva 12+900 a km. 16+890

| | | | |
|-------------|----------------------|------------------------|---|
| S.25 | L = m.60(dis)+70(cc) | galleria naturale GN02 | 3 |
| S.26 | L = m.50(dis)+30(cc) | galleria naturale GN02 | 3 |
| S.27 | L = m.60(dis)+70(cc) | galleria naturale GN02 | 3 |
| S.28 | L = m.50(dis) | galleria naturale GN02 | |
| S.29 | L = m.30(dis)+25(cc) | galleria naturale GN02 | 3 |

Tratto II.5 – C/da S.Filippo Neri - da progressiva 16+890 a km. 18+100

S.31 L = m.35.00 galleria naturale GN03 3

Prove penetrometriche dinamiche:

| <i>N.</i> | <i>Lungh. prova</i> | <i>Ubicazione</i> |
|------------|---------------------|------------------------------|
| PD3 | L = m. 15.00 | viadotto S.Filippo Neri VI05 |
| PD4 | L = m. 15.00 | viadotto Busita 1 VI06 |

Tratto III – da progressiva 18+100 a km. 28+081

Indagini eseguite:

Sondaggi a carotaggio continuo:

| <i>Sond.</i> | <i>Profondità</i> | <i>Ubicazione</i> | <i>Campioni prelevati</i> |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|

Tratto III.1 – C/da Busita - da progressiva 18+100 a km. 19+400

| | | | |
|-------------|-------------|---------------------------|---|
| S.36 | L = m.25.00 | galleria artificiale GA03 | 2 |
| S.37 | L = m.30.00 | viadotto Busita 3 VI08 | 3 |

Tratto III.2 – C/da Abbazia S. - da progressiva 19+400 a km. 22+300

| | | | |
|-------------|-------------|--------------------------|---|
| S.38 | L = m.25.00 | viadotto Santuzza 1 VI09 | 2 |
| S.39 | L = m.30.00 | viadotto Santuzza 2 VI10 | 3 |
| S.40 | L = m.30.00 | viadotto Santuzza 3 VI11 | 3 |

Prove penetrometriche dinamiche:

| <i>N.</i> | <i>Lungh. prova</i> | <i>Ubicazione</i> |
|------------|---------------------|--------------------|
| PD5 | L = m. 10.00 | tratto su rilevato |
| PD6 | L = m. 10.00 | tratto su rilevato |

Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+150

| | | | |
|-------------|-------------|--------------------------|---|
| S.42 | L = m.25.00 | viadotto Arenella 2 VI13 | 3 |
|-------------|-------------|--------------------------|---|

Prove penetrometriche dinamiche:

| <i>N.</i> | <i>Lungh. prova</i> | <i>Ubicazione</i> |
|------------|---------------------|--------------------|
| PD7 | L = m. 10.00 | tratto su rilevato |
| DP8 | L = m. 10.00 | tratto su rilevato |

Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+150 a km. 26+600

| | | | |
|-------------|-------------|--------------------------|---|
| S.43 | L = m.30.00 | viadotto Arenella 3 VI14 | 3 |
|-------------|-------------|--------------------------|---|

Prove penetrometriche dinamiche:

| <i>N.</i> | <i>Lungh. prova</i> | <i>Ubicazione</i> |
|------------|---------------------|--------------------------|
| PD9 | L = m. 10.00 | viadotto Arenella 3 VI14 |

PD10 L = m. 10.00 viadotto Arenella 3 VI14

Tratto III.5 – C/da Imera - da progressiva 26+600 a km. 28+080

S.45 L = m.30.00 viadotto Salso VI15 3

Prove penetrometriche dinamiche:

| <i>N.</i> | <i>Lungh. prova</i> | <i>Ubicazione</i> |
|-------------|---------------------|---------------------|
| PD11 | L = m. 10.00 | viadotto Salso VI15 |
| PD12 | L = m. 10.00 | viadotto Salso VI15 |

Nelle pagine seguenti sono riproposte le stratigrafie dei sondaggi effettuati, desunte dagli elaborati relativi alla presentazione dei risultati della campagna geognostica.

3.1.2 - PROVE DI LABORATORIO

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi meccanici è stato possibile prelevare complessivamente n. 87 campioni, tra indisturbati o semidisturbati, di cui 68 sono stati sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio.

Oltre alla rutinaria serie di analisi di identificazione e riconoscimento, quali contenuto d'acqua, peso specifico, peso di volume, etc., sono state determinate le caratteristiche di resistenza in condizioni drenate e non drenate, in dipendenza del tipo di campione analizzato.

A tale scopo si sono realizzate prove di taglio diretto in condizioni drenate, con velocità di rottura 0.01 mm/sec. ,prove di compressione con espansione laterale libera, prove triassiali del tipo UU, CU e CD.

Nelle pagine seguenti sono riassunte in tabella tutte le prove eseguite sui campioni prelevati.

La relazione dettagliata su tutte le prove svolte viene invece fornita in apposito allegato, a cui si rimanda per approfondimenti di dettaglio sulle singole prove eseguite.

3.1.3 - PROVE PRESSIOMETRICHE

In corrispondenza dei sondaggi effettuati nelle gallerie naturali, Papazzo e S.Elia, si sono effettuate due prove pressiometriche in foro per ciascun sondaggio, alla profondità relativa alla quota della galleria.

Si è utilizzata una sonda cilindrica che espandendosi deforma le pareti del foro.

Le pressioni e le deformazioni della parete del foro sono rilevate dalla sonda cilindrica per determinare il grafico tensione/deformazione.

Per la visione dei risultati di tutte le prove pressiometriche effettuate si rimanda allo specifico elaborato sulle indagini in sito allegato ai risultati della campagna geognostica.

3.1.4 - PROVE PENETROMETRICHE

Ad infittimento dei sondaggi a carotaggio continuo, sono state effettuate due prove penetrometriche statiche e dieci prove penetrometriche dinamiche.

Data la natura dei terreni, costituiti prevalentemente da argille compatte e consistenti e depositi alluvionali nei valloni attraversati su viadotto, dopo un tentativo costituito dall'esecuzione delle prime due prove penetrometriche di tipo statico (Cone penetration test) si è optato per l'esecuzione delle ulteriori prove con un penetrometro di tipo dinamico leggero in quanto lo statico non riusciva ad andare oltre i primi metri di sottosuolo.

Come si evince infatti dai risultati, mentre le prime due prove statiche si fermano ad una profondità di circa 5.00 m., le successive prove di tipo dinamico hanno tutte raggiunto la profondità che si intendeva indagare, pari a circa 10.00 m.

Lo scopo di tali indagini era quello di caratterizzare ed individuare con maggiore dettaglio lo strato alterato superficiale delle argille di substrato, che non supera generalmente i 10.00 m. di spessore.

Per la visione dei risultati di tutte le prove penetrometriche effettuate si rimanda allo specifico elaborato sulle indagini in sito allegato ai risultati della campagna geognostica.

3.1.5 - LOCALIZZAZIONE FALDE

In relazione alle caratteristiche geologiche e strutturali dell'area di studio, gli aspetti idrogeologici sono condizionati dai mutui rapporti stratigrafici esistenti tra le formazioni permeabili (sabbie, alluvioni, calcari fratturati) e le formazioni impermeabili (limi e argille).

In tutta l'area di studio gli acquiferi significati si sono localizzati in alcuni punti, caratterizzati da una significativa presenza di falda, oltre che alcune aree alluvionali dove vengono captati gli apporti dei subalvei dei corpi idrici superficiali.

- Di tutti i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti, in circa 10 sondaggi si è rinvenuta una significativa presenza d'acqua nei fori di sondaggio, che sono stati strumentati con tubi piezometrici sia a tubo aperto che casagrande.

Le zone dove si è rinvenuta la presenza di falda, sia per riscontro diretto in foro di sondaggio che da altre ricognizioni effettuate dal geologo, sono le seguenti:

- **C/da Grottad'acqua:** riguarda interamente il tratto I.3 denominato appunto grottad'acqua, che va dalla progressiva 4400 alla progressiva 9000. Tutta la zona è caratterizzata da un substrato coesivo argilloso, costituito da argille plioceniche, con lo strato superficiale caratterizzato da depositi elucolluviali variabili dal detritio alle terre nere o ai limi alterati; in molti punti si evidenziano zone di ristagno d'acqua e conseguente elevata compressibilità dei terreni; si denota una diffusa presenza di laghetti e di accumuli d'acqua lungo tutto il tratto.

La profondità di falda è risultata variabile da -2.00 a -15.00 m.

(Sondaggi S12,S13,S9 e PD09)

- **Galleria Papazzo:** riguarda interamente il tratto II.2 denominato appunto papazzo, che va dalla progressiva 10350 alla progressiva 10975. L'area è caratterizzata da depositi sabbiosi posti su substrato argilloso. La falda si è rinvenuta all'interno dello strato di argille plioceniche poste al di sotto del pacco permeabile superficiale costituito dalle sabbie e quarzareniti, ad una quota variabile tra -24.00 e -25.40 m. da p.c.

La profondità di falda è risultata variabile da -24.00 a -15.40 m.

(Sondaggi S19,S20)

- **Vallone compreso tra c/da Mumia e c/da Niscima:** subito sopra la galleria papazzo è presente un'ampia vallata superata dal viadotto 3 denominato "Mumia". Al centro della vallata scorre un torrente, nel cui alveo sono presenti dei depositi alluvionali con presenza di falda, rinvenuta in subalveo ed all'interno del deposito alluvionale, ad una quota di -3.20 m. da p.c.

La profondità di falda è risultata a -3.20 m.

(Sondaggio S22)

- **Galleria S.Elia:** riguarda interamente il tratto II.4 denominato appunto S.Elia, che va dalla progressiva 12900 alla progressiva 16890. La falda si è rinvenuta molto al di sopra rispetto alla quota di scavo della galleria, nell'ambito degli strati superficiali ad una quota variabile da -11.50 a -42.00 m. da p.c.

La profondità di falda è risultata variabile da -11.50 a -42.00 m.

(Sondaggi S25,S26,S27,S28,S29)

- **Vallone Arenella e Fiume Salso:** tutto il tratto terminale del tracciato in progetto si sviluppa lungo gli alvei del vallone Arenella e del fiume Salso. I tratti in questione sono III.3, III.4 e III.5, con progressive comprese tra 22300 e 28080. Nella zona, caratterizzata da una diffusa presenza di depositi alluvionali, la falda è stata rinvenuta in subalveo ed all'interno del deposito alluvionale, ad una quota variabile tra -2.30 e -4.40 m. da p.c.

La profondità di falda è risultata variabile da -2.30 a -4.40 m.

(Sondaggi S42,S45, PD08, PD09, PD10)

Dai risultati dello studio idrogeologico sulla localizzazione delle falde, si ricava che l'interazione tra la falda e l'opera in progetto appare limitata ad alcuni punti, ed in particolare:

- per quanto riguarda le opere in terra, limitatamente ai rilevati da realizzare nelle zone capod'acqua e grottad'acqua e nella piana alluvionale del vallone arenella e del fiume salso;

- per quanto riguarda le fondazioni dei viadotti, la falda è stata rinvenuta esclusivamente in prossimità di alcuni attraversamenti, in subalveo ed all'interno del deposito alluvionale.

3.2 – CAMPAGNA GEOGNOSTICA ANAS DEL 1988

Come già anticipato, in fase di redazione del progetto preliminare per il raddoppio della S.S.640, l'ANAS ha portato a compimento, nel 1988, una campagna geognostica lungo tutto lo sviluppo della strada statale, da Agrigento fino a Caltanissetta, consistente nell'esecuzione di 46 sondaggi a carotaggio continuo.

I risultati di tali indagini hanno permesso di parametrizzare ulteriormente, dal punto di vista della caratterizzazione geomeccanica, le tipologie di terreno interessate dal tracciato di progetto, in altre zone rispetto a quelle già indagate dalla fase I delle indagini eseguite.

Di tutte le perforazioni a carotaggio continuo eseguite lungo lo sviluppo dei 56 km di strada statale, i 17 sondaggi che ricadono nel tratto oggetto del presente progetto definitivo, ricadenti cioè nella Provincia di Caltanissetta, vengono qui di seguito ricapitolati ed analizzati.

3.2.1 INDAGINI IN SITO

Le indagini geognostiche effettuate, concentrate in particolari zone del tracciato, hanno riguardato i seguenti punti:

1. Studio particolareggiato del substrato attraverso l'esecuzione di sondaggi meccanici a carotaggio continuo, spinti a profondità massima di 25.00 m.
2. Prelevamento di campioni indisturbati ad opportune profondità, compatibilmente con la natura dei terreni individuati, sui quali eseguire analisi geotecniche.
3. Analisi geotecniche di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica, la classificazione dei terreni e la caratterizzazione sulla resistenza meccanica dei litotipi presenti.

Qui di seguito vengono descritti i sondaggi eseguiti dall'ANAS che ricadono nelle zone cui è stato precedentemente suddiviso il progetto, ricapitolando in tabelle riassuntive tutte le indagini svolte, sia in sito che in laboratorio.

Tratto I – da progressiva 0 a km. 8+600

Indagini eseguite:

Sondaggi a carotaggio continuo:

| <i>Sond.</i> | <i>Profondità</i> | <i>Campioni prelevati</i> |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| A.9 | L = m.25.00 | 3 |
| A.11 | L = m.22.00 | 2 |
| A.14 | L = m.11.00 | 2 |
| A.16 | L = m.13.00 | 2 |
| A.20 | L = m.25.00 | 3 |
| A.23 | L = m.22.00 | 2 |
| A.26 | L = m.7.00 | 1 |
| A.29 | L = m.19.00 | 1 |
| A.30 | L = m.22.00 | 2 |
| A.31 | L = m.10.00 | 1 |
| A.32 | L = m.7.00 | 1 |
| A.33 | L = m.22.00 | 1 |
| A.34 | L = m.19.00 | 1 |
| A.39 | L = m.14.00 | 1 |
| A.40 | L = m.25.00 | 2 |

Tratto II – da progressiva 8+600 a km. 18+100

Indagini eseguite:

Sondaggi a carotaggio continuo:

| <i>Sond.</i> | <i>Profondità</i> | <i>Campioni prelevati</i> |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| A.37 | L = m.14.00 | 1 |
| A.39 | L = m.25.00 | 1 |

Tratto III – da progressiva 18+100 a km. 28+081

Nessuna indagine eseguita

Nelle pagine seguenti sono riproposte le stratigrafie dei sondaggi effettuati.

3.2.2 - PROVE DI LABORATORIO

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi meccanici presi in considerazione sono stati prelevati complessivamente n. 27 campioni indisturbati o semidisturbati, per l'esecuzione delle analisi geotecniche di laboratorio.

Oltre alla rutinaria serie di analisi di identificazione e riconoscimento, quali contenuto d'acqua, peso specifico, peso di volume, etc., sono state determinate le caratteristiche di classificazione, consistenti nei limiti di Atterberg, e quelle di resistenza in condizioni drenate e non drenate, in dipendenza del tipo di campione analizzato.

A tale scopo si sono realizzate prove di taglio diretto in condizioni drenate, prove di compressione con espansione laterale libera, prove triassiali del tipo UU.

Nelle pagine seguenti sono riassunte in tabella tutte le prove eseguite sui campioni prelevati.

L'elenco dettagliato di tutte le prove svolte viene invece fornita in apposito allegato di documentazione della campagna di indagini, a cui si rimanda.

3.3 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei risultati ottenuti nelle varie prove di laboratorio sia della campagna di indagine di fase 1 che in quella dell'ANAS del 1988, viene appresso eseguita la caratterizzazione geotecnica dei vari litotipi individuati e la relativa classificazione dei terreni in base alle norme CNR UNI, distinta in zone e fasce di profondità omogenee.

I risultati così ottenuti sono stati quindi utilizzati per ricostruire delle stratigrafie tipo di caratterizzazione geotecnica generale lungo tutto il tracciato della strada in progetto, che verranno poi utilizzate nelle successive analisi geotecniche.

3.3.1 – Attribuzione dei parametri geotecnici ai litotipi

Nelle pagine seguenti viene eseguita l'interpretazione dei risultati delle prove effettuate sui campioni indisturbati sottoposti ad analisi geotecniche, prelevati in corrispondenza dei vari litotipi, in modo da attribuire a ciascuno di essi dei parametri geotecnici medi ponderati sia di resistenza che di classificazione.

Tale attribuzione è stata effettuata con l'ausilio di diagrammi di dispersione dei risultati delle indagini, accorpando i vari campioni per litotipo, per zone omogenee e per fasce di profondità di prelievo.

LITOTIPI R e TV

Terreni di copertura: materiali di riporto o terreno vegetale (TV), rilevati stradali (R);
In tali stratificazioni, che costituiscono la parte corticale, se presente, delle varie colonne stratigrafiche, e che generalmente viene bonificata prima della realizzazione dell'opera, non sono stati prelevati campioni indisturbati.

Dove presenti, si considerano i seguenti valori:

TV - materiali di riporto di vario genere, terreno agrario

$$\gamma = 1.70 \text{ t/mc}$$

R - rilevati stradali

$$\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$$

$$c' = 0.2 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 30^\circ$$

LITOTIPO AL (a)

Depositi alluvionali: ghiaie o sabbie di natura calcarea in matrice limosa;

ALG – Alluvioni a grana grossa: sabbie e ghiaie

(si è rinvenuto soprattutto nel III tratto, zone III.3, III.4 e III.5)

Campioni analizzati: **S24C1**

- Contenuto d'acqua 18.8%

$$\gamma = 1.98 \text{ t/mc}$$

$$c' = 0.00 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 27^\circ$$

ALF – Alluvioni fini: sabbie e limi sabbiosi

(si è rinvenuto soprattutto nel II tratto, zone II.1 e II.3)

Campioni analizzati: **S22C1**

- Contenuto d'acqua 32.8%

$$\gamma = 1.86 \text{ t/mc}$$

$$Cu = 0.75 \text{ kg/cmq}$$

$$c' = 0.50 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 16^\circ$$

LITOTIPO LA

Limo argilloso di colore marrone scuro – plastico ed alterato

E' presente nella parte superficiale della colonna stratigrafica e si rinviene su quasi tutta la fascia indagata, a quote comprese tra 1.00 e 5.00 m. da p.c., e costituisce la parte superficiale alterata della formazione argillosa di substrato.

Risulta variamente alterato e con un elevato contenuto d'acqua, spesso, in corrispondenza degli impluvi si rinviene in alternanza alle alluvioni a grana grossa, di cui ne costituisce la matrice.

Ha una piccola frazione sabbiosa che può risultare variabile tra 0 e 10%.

La frazione argillosa presente è risultata mediamente compresa tra 50 e 65%.

Si riassumono i risultati ed i valori dei vari campioni analizzati, accorpati per zone:

Zone I.1, I.2 e I.3

Campioni analizzati:

S3C1, S13C2, S15C1, S5C1, S6C1, A9C1, A14C1, A20C1, A40CR1

- Contenuto d'acqua variabile da 27.3 a 35.9% – media **31.8%**

- Peso di volume variabile da 1.84 a 1.90 – media **1.87 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **0.5 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.19 Kg/cmq**

- ϕ' media = **16.3°**

ricapitolando, per le zone I.1, I.2 e I.3:

$$\gamma = 1.87 \text{ t/mc} \quad W_n = 31.8$$

$$C_u = 0.5 \text{ kg/cmq}$$

$$c' = 0.2 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 16^\circ$$

Classificazione:

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 57.0 (limite liquido)

WP = 29.4 (limite plastico)

IP = 27.6 (indice plastico)

WN = 31.8 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 0.95**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ...**Consistenza solido-plastica**

Zona II.1

Campioni analizzati:

S17C1, S18C1

- Contenuto d'acqua variabile da 23.8 a 33.4% – media **28.6%**

- Peso di volume variabile da 1.86 a 1.95 – media **1.91 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **0.75 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.3 Kg/cmq**

- ϕ' media = **16.2°**

ricapitolando, per la zona II.1:

$\gamma = 1.91 \text{ t/mc}$ $W_n=28.6$

$C_u = 0.75 \text{ kg/cmq}$

$c' = 0.3 \text{ kg/cmq}$

$\phi' = 16^\circ$

Classificazione:

Limiti di Atterberg (valori mediati):

WL = 47 (limite liquido)

WP = 29 (limite plastico)

IP = 18 (indice plastico)

WN = 28.6 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.02**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ...**Consistenza solido-plastica**

Zone III.1 e III.2

Campioni analizzati:

S36C1, S39C1

- Contenuto d'acqua – media **25.5%**

- Peso di volume – media **1.97 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **1.65 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.15 Kg/cmq**

- ϕ' media = **18,9°**

ricapitolando, per le zone III.1 e III.2:

$$\gamma = 1.97 \text{ t/mc} \quad W_n=25.5$$

$$Cu = 1.65 \text{ kg/cmq}$$

$$c' = 0.15 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 19^\circ$$

Classificazione:

Limiti di Atterberg (valori mediati):

WL = 55.5 (limite liquido)

WP = 33.5 (limite plastico)

IP = 22 (indice plastico)

WN = 25.5 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.39**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semisolida**

Commento ai risultati delle analisi geotecniche

Dall'analisi dei risultati si evince una notevole omogeneità nei dati di resistenza relativi al litotipo LA in tutto lo sviluppo della fascia indagata, con un leggero incremento dei parametri meccanici sia drenati che non drenati, e quindi dell'indice di consistenza, quando il contenuto d'acqua risulta più basso. Il litotipo è caratterizzato mediamente da un elevato contenuto d'acqua, dovuto all'interazione con le acque di percolazione dalla superficie ad alla presenza di falda nel sottosuolo.

Si evince inoltre, per questo livello, una buona omogeneità di correlazione nei dati tra quelli ottenuti dalla prima fase di indagine e questi derivanti dalla campagna geognostica ANAS 1988.

Nelle pagine seguenti sono presentati i diagrammi di dispersione dei risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni attribuiti al litotipo LA.

LITOTIPO LS

Limo sabbioso di colore marrone chiaro – poco plastico

E' presente anch'esso nella parte superficiale della colonna stratigrafica e si rinviene a quote comprese tra 1.00 e 8.00 m. da p.c., risulta poco alterato e con un minore valore del contenuto d'acqua rispetto al livello LA.

Ha una sensibile frazione sabbiosa che può risultare variabile tra 5 e 25%.

La frazione argillosa presente è risultata compresa tra 30% e 60%.

Si riassumono i risultati ed i valori dei vari campioni analizzati:

Zona II.1

Campioni analizzati: **S21C1**

- Contenuto d'acqua **13.9%**

- Peso di volume **2.02 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **0.6 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.4 Kg/cmq**

- ϕ' media = **17°**

ricapitolando:

$$\gamma = 2.02 \text{ t/mc} \quad W_n = 13.9 \%$$

$$C_u = 0.6 \text{ kg/cmq}$$

$$c' = 0.4 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 17^\circ$$

LITOTIPO SL

Sabbia limosa con inclusi calcarei

Si rinviene nei livelli alluvionali alternata alle alluvioni più fini.

Campioni analizzati: **S42C1**

- Contenuto d'acqua **18.8%**

- Peso di volume **1.98 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza drenati, le prove effettuate hanno dato i seguenti risultati:

- $c' = 0 \text{ Kg/cmq}$

- $\varphi' = 27^\circ$

LITOTIPO MA (m)

Marne più o meno argillose, plastiche - trubi

Dal punto di vista granulometrico sono caratterizzate generalmente da una pari percentuale di limo ed argilla (50%).

Le marne si rinvengono superficialmente soprattutto all'inizio dello sviluppo del tracciato, lungo tutta la zona I.

Zone I.1, I.2 e I.3

Campioni analizzati: **S2C1, S2C2**

- Contenuto d'acqua **23.06%**

- Peso di volume **1.85 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- $C_u \text{ media} = 0.62 \text{ Kg/cmq}$

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.32 Kg/cm^q**

- ϕ' media = **25°**

ricapitolando:

$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $W_n=23.06$

$C_u = 0.62 \text{ kg/cm}^q$

$c' = 0.32 \text{ kg/cm}^q$

$\phi' = 25^\circ$

Classificazione:

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 41 (limite liquido)

WP = 27 (limite plastico)

IP = 14 (indice plastico)

WN = 23.06 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.38**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semisolida**

Nelle pagine seguenti sono presentati i diagrammi di dispersione dei risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni attribuiti al litotipo MA.

LITOTIPO FB (AMT-AMP)

Formazione di base costituita da argilla a volte marnosa di colore grigio-azzurro, compatta e poco plastica, a volte con presenti livelli più sabbiosi.

La formazione delle argille marnose di base può essere, a secondo della zona, di età tortoniana (AMT-Mam) o pliocenica (AMP-Pam).

La frazione argillosa è risultata sempre maggiore di 55-60%.

Si rinviene in tutto lo sviluppo del tracciato.

Zone I.2, I.3

Campioni analizzati:

Fascia superficiale da 5.00 a 10.00 m. : **S3C2, S11C1, S15C2, S5C2, A31C1**

- Contenuto d'acqua **31.97%**

- Peso di volume **1.82 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **1.0 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.3 Kg/cmq**

- φ' media = **21.5°**

Fascia intermedia da 10.00 a 15.00 m. : **S1C1, S11C2, S15C3, S6C2,A11C1**

- Contenuto d'acqua **28.46%**

- Peso di volume **1.91 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **1.00 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.40 Kg/cm^q**

- ϕ' media = **19.6°**

Fascia profonda da 15.00 m. in prof. : **S11C3, S5C3, S6C3, A9C2, A11C2, A20C2, A23C2, A29C1, A30C2, A33C1, A34C1, A40C1.**

- Contenuto d'acqua medio **25.66%**

- Peso di volume medio **1.96 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- C_u media = **1.7 Kg/cm^q**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.55 Kg/cm^q**

- ϕ' media = **21.1°**

ricapitolando, per le zone I.2, I.3 :

| fascia superficiale | fascia intermedia | fascia in profondità |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| $\gamma=1.82$ t/mc, $W_n=31.97$ | $\gamma=1.91$ t/mc, $W_n=28.46$ | $\gamma= 1.96$ t/mc, $W_n=25.66$ |
| $C_u = 1.0$ kg/cm ^q | $C_u = 1.0$ kg/cm ^q | $C_u = 1.7$ kg/cm ^q |
| $c'= 0.3$ kg/cm ^q | $c'= 0.4$ kg/cm ^q | $c'= 0.55$ kg/cm ^q |
| $\phi'= 21.5^\circ$ | $\phi'= 19.6^\circ$ | $\phi'= 21.1^\circ$ |

Classificazione: Fascia superficiale

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 67.25 (limite liquido)

WP = 39 (limite plastico)

IP = 28.25 (indice plastico)

WN = 31.97 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.23**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Classificazione: Fascia intermedia

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 62.07 (limite liquido)

WP = 32.01 (limite plastico)

IP = 24.99 (indice plastico)

WN = 28.41 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.10**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA **Consistenza semi-solida**

Classificazione: Fascia profonda

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 54.19 (limite liquido)

WP = 27.31 (limite plastico)

IP = 26.89 (indice plastico)

WN = 25.66 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.05**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Zone II.1, II.3

Campioni analizzati:

Fascia superficiale da 5.00 a 10.00 m. : **S18C2, S21C2, S16C1**

- Contenuto d'acqua **24.9%**

- Peso di volume **1.93 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **1.1 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.22 Kg/cmq**

- ϕ' media = **19.5°**

Fascia intermedia da 10.00 a 15.00 m. : **S17C2, S18C3, S22C2, S16C2**

- Contenuto d'acqua **23.6%**

- Peso di volume **1.93 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **2.44 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.4 Kg/cmq**

- ϕ' media = **21.2°**

Fascia profonda da 15.00 m. in prof. : **S23C1, S23C2, S17C3, S18C4, S24C2, S22C3, S21C3, S16C3**

- Contenuto d'acqua medio **23.85%**

- Peso di volume medio **1.98 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **2.19 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.38 Kg/cmq**

- ϕ' media = **21.96°**

ricapitolando, per le zone II.1 e II.3 :

| fascia superficiale | fascia intermedia | fascia in profondità |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| $\gamma=1.93$ t/mc, $W_n=24.9$ | $\gamma=1.93$ t/mc, $W_n=23.6$ | $\gamma= 2.00$ t/mc, $W_n=23.85$ |
| $C_u = 1.1$ kg/cmq | $C_u = 2.4$ kg/cmq | $C_u = 2.2$ kg/cmq |
| $c'= 0.22$ kg/cmq | $c'= 0.4$ kg/cmq | $c'= 0.4$ kg/cmq |
| $\phi'= 19.15^\circ$ | $\phi'= 21.2^\circ$ | $\phi'= 22^\circ$ |

Classificazione fascia superficiale:

Limiti di Atterberg (valori mediati):

WL = 54.67 (limite liquido)

WP = 30.33 (limite plastico)

IP = 24.33 (indice plastico)

WN = 24.90 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.1**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Classificazione fascia intermedia:

Limiti di Atterberg (valori mediati):

WL = 53.75 (limite liquido)

WP = 27.50 (limite plastico)

IP = 26.25 (indice plastico)

WN = 23.56 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.1**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Classificazione fascia profonda:

Limiti di Atterberg (valori mediati):

WL = 59.38 (limite liquido)

WP = 31.50 (limite plastico)

IP = 27.88 (indice plastico)

WN = 23.85 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.3**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Zona III

Campioni analizzati:

Fascia superficiale da 5.00 a 10.00 m. : **S37C1,S39C2,S43C2,S45C1**

- Contenuto d'acqua **20.83%**

- Peso di volume **1.95 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- Cu media = **1.6 Kg/cmq**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.27 Kg/cmq**

- ϕ' media = **18.8°**

Fascia intermedia da 10.00 a 15.00 m. : **S37C2,S38C2,S40C2,S42C2**

- Contenuto d'acqua **18.4%**

- Peso di volume **2.01 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- C_u media = **1.53 Kg/cm^q**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.4 Kg/cm^q**

- ϕ' media = **19.87°**

Fascia profonda da 15.00 m. in prof. : **S36C2, S39C3,S40C3,S43C3,S45C3**

- Contenuto d'acqua medio **19%**

- Peso di volume medio **1.96 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- C_u media = **1.6 Kg/cm^q**

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- c' media = **0.22 Kg/cm^q**

- ϕ' media = **22.4°**

ricapitolando, per la zona III :

| fascia superficiale | fascia intermedia | fascia in profondità |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $\gamma=1.95$ t/mc, $W_n=20.83$ | $\gamma=2.01$ t/mc, $W_n=18.4$ | $\gamma= 1.96$ t/mc, $W_n=19$ |
| $C_u = 1.6$ kg/cm ^q | $C_u = 1.5$ kg/cm ^q | $C_u = 1.6$ kg/cm ^q |
| $c'= 0.27$ kg/cm ^q | $c'= 0.4$ kg/cm ^q | $c'= 0.22$ kg/cm ^q |
| $\phi'= 18.8^\circ$ | $\phi'= 19.8^\circ$ | $\phi'= 22.4^\circ$ |

Classificazione fascia superficiale:

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 71.75 (limite liquido)

WP = 34.75 (limite plastico)

IP = 37 (indice plastico)

WN = 20.83 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.4**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Classificazione fascia intermedia:

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 60.50 (limite liquido)

WP = 32 (limite plastico)

IP = 28.5 (indice plastico)

WN = 18.38 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.44**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Classificazione fascia profonda:

Limiti di Attemberg (valori mediati):

WL = 53.6 (limite liquido)

WP = 28.2 (limite plastico)

IP = 25.4 (indice plastico)

WN = 19 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 1.46**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza semi-solida**

Commento ai risultati delle analisi geotecniche

Trattandosi della formazione di base il contenuto d'acqua è sempre piuttosto basso, mediamente intorno al 20% per quanto riguarda la fascia profonda oltre i 15 m. di profondità.

Per gli strati superficiale ed intermedio, fino a 15.00 m. di profondità, il contenuto d'acqua è risultato invece più elevato, mediamente oltre il 25%

Riguardo ai parametri di resistenza, mentre i parametri drenati si presentano pressochè costanti all'aumentare della profondità, per quelli non drenati si evidenzia un sensibile aumento della Cu proporzionale con la profondità di prelievo del campione analizzato.

Nelle pagine seguenti sono presentati tutti i diagrammi di dispersione dei risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni attribuiti al litotipo FB, suddivisi oltre che per zone omogenee anche per fasce di profondità.

LITOTIPO CL

Calcari fratturati di colore chiaro

In tale strato è stata eseguita una prova di schiacciamento a compressione in un campione semidisturbato prelevato durante il carotaggio da cui si è ottenuto

$$\gamma = 2.30 \text{ t/mc}$$

$$R_c = 196 \text{ kg/cmq}$$

Per le successive analisi geotecniche si considerano i seguenti valori:

$$\gamma = 2.30 \text{ t/mc}$$

$$\phi' = 40^\circ$$

LITOTIPO DT

Detrito

In tale stratificazione, che costituiscono la parte più superficiale, ove presente, delle colonne stratigrafiche, non sono stati prelevati campioni indisturbati.

Dove presente, si considerano i seguenti valori:

$$\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$$

$$c' = 0.0 \text{ kg/cmq}$$

$$\phi' = 20^\circ$$

LITOTIPO AS

Argilla sabbiosa

Fa parte della formazione di base ed infatti si trova sempre come passaggio più sabbioso nell'ambito della formazione delle argille marnose FB.

Ha una sensibile frazione sabbiosa che può risultare variabile tra 15 e 20%.

La frazione argillosa è sempre risultata maggiore del 55%.

Si riassumono i risultati ed i valori dei vari campioni analizzati, suddivisi ed accorpati per zone limitrofe:

Zona II.3

Campioni analizzati: **S24C1**

- Contenuto d'acqua **22.53%**

- Peso di volume **1.98 T/mc**

Riguardo ai parametri di resistenza, si sono ottenuti i seguenti valori:

- $C_u = 2.10 \text{ Kg/cm}^2$

Circa i parametri drenati, le prove di taglio e triassiali hanno dato i seguenti risultati:

- $c' = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$

- $\phi' = 24^\circ$

ricapitolando:

$$\gamma = 1.98 \text{ t/mc} \quad W_n = 22.53$$

$$C_u = 2.10 \text{ kg/cm}^2$$

$$c' = 0.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi' = 24^\circ$$

LITOTIPO TN (de)

Limo-sabbioso di colore marrone scuro, plastico ed alterato, con presenza di sostanza organica, saturo e compressibile (depositi elu-colluviali) – terre nere

E' presente nella parte superficiale della colonna stratigrafica e si è rinvenuto soprattutto nella zona I a quote comprese tra 1.00 e 5.00 m. da p.c., risulta alterato e con elevati contenuti d'acqua e di sostanza organica (humus), e per tali caratteristiche risulta essere molto compressibile e dotato di scarse caratteristiche di resistenza. Si riassumono i risultati ed i valori dei vari campioni analizzati:

Zona I

Campioni analizzati: **S12C1, S12C2, A20CR1, A23C1, A26C1, A32C1**

Parametri mediati:

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.92 \text{ t/mc} & W_n &= 29.74 \\ Cu &= 0.6 \text{ kg/cm}^2 \\ c' &= 0.26 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi' &= 18.5^\circ \end{aligned}$$

Classificazione:

Limiti di Atterberg (valori mediati):

WL = 50.68 (limite liquido)

WP = 26.03 (limite plastico)

IP = 24.65 (indice plastico)

WN = 29.74 (contenuto naturale d'acqua)

Indice di consistenza **IC= 0.86**

CLASSIFICAZIONE NORME CNR UNI 10006 **A7-5**

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA CONSISTENZA ... **Consistenza solido-plastica**

Nelle pagine seguenti sono presentati tutti i diagrammi di dispersione dei risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni attribuiti al litotipo TN, suddivisi oltre che per zone omogenee anche per fasce di profondità.

3.3.2 – STRATIGRAFIE TIPO DI INQUADRAMENTO GENERALE

Sulla base della precedente interpretazione geotecnica dei risultati delle prove di laboratorio, vengono qui di seguito riassunte le stratigrafie di calcolo con i parametri geotecnici attribuiti ai vari litotipi, finalizzate all'inquadramento geomeccanico generale di tutta la fascia indagata nel corso della fase I della campagna di indagine, che sono state ricostruite in corrispondenza di particolari punti lungo lo sviluppo del tracciato.

Complessivamente sono state ricostruite n. 28 stratigrafie tipo, riguardanti i vari siti analizzati con le indagini.

ZONA I.1 – C.da Grottarossa - da prog. 0 a prog. 2400

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. I.1a – C.da Grottarossa – parte iniziale

*(sondaggi di riferimento S1,S2-fase 1; S4-fase 2)**(progressiva di riferimento da 0 a 1500)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 2.00 | <p>TV/TN – Terreno agrario o limo argilloso ricco di sostanza organica di colore bruno</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$</p> |
| 2.00 – 5.00 | <p>DT- Detrito calcareo marnoso passante in profondità a marna calcarea.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.80 \text{ T/mc}$ $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$</p> |
| 5.00 – 13.00 | <p>MA – Marna argillosa-calcarea con livelli calcarei biancastri</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ $Cu = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 25^\circ$</p> |
| 13.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana</p> <p>parte profonda</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$</p> |

FALDA NON PRESENTE

ZONA I.1 – C.da Grottarossa - da prog. 0 a prog. 2400**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. I.1b – C.da Grottarossa – parte finale***(sondaggi di riferimento S3,S5,S6-fase 1; A39,A40-anas88)**(progressiva di riferimento da 1500 a 2400)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV - Materiale di riporto di vario genere $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 7.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.87 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 0.5 Kg/cmq)</i> $c' = 0.19 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 16^\circ$ |
| 7.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte superiore $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.00 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19.6^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte profonda $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA I.2 – Prima variante - da prog. 2400 a prog. 4400

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. I.2a – galleria artificiale Rovetello GA01

*(sondaggi di riferimento S3,S5,S6-fase 1; A39,A40-anas88)**(progressiva di riferimento da 2400 a 3000)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 1.00 | R/TV - Materiale di riporto di vario genere $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ |
| 1.00 – 6.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.87 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 0.5 Kg/cmq)</i> $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 16.3^\circ$ |
| 6.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte superiore $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.0 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19.6^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte profonda $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA I.2 – Prima variante - da prog. 2400 a prog. 4400STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **I.2b** – viadotto giulfo VI01*(sondaggi di riferimento S6-fase 1; S7,S8,S10-fase 2)**(progressiva di riferimento da 3000 a 4000)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 0.50 | R/TV - Materiale di riporto di vario genere $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 0.50 – 4.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi, passante ad alluvioni nella parte centrale $\gamma = 1.87 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 0.5 Kg/cmq)</i> $c' = 0.19 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 16^\circ$ |
| 4.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.00 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19.6^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte profonda $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA I.3 – C/da Grottad’acqua - da prog. 4400 a prog. 8600STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **I.3a** – c/da grottad’acqua – parte iniziale*(sond. di riferimento S11,S12-fase1;S32-fase2;A23,A26,A30,A31,A32,A33,A34-anas88)**(progressiva di riferimento da 4400 a 6000)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 0.50 | R/TV - Materiale di riporto di vario genere $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 0.50 – 10.00 | TN – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile. $\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 0.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.25 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18.5^\circ$ |
| 10.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.00 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19.6^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte profonda $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$ |

FALDA RINVENUTA A QUOTA –2.00 DA P.C.

ZONA I.3 – C/da Grottad’acqua - da prog. 4400 a prog. 8600STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **I.3b** – c/da grottad’acqua – parte finale*(sondaggi di riferimento S13,S15-fase 1; A20-anas88)**(progressiva di riferimento da 6000 a 8000)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 0.50 | R/TV - Materiale di riporto di vario genere $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 0.50 – 9.00 | TN/LA – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile. In profondità tale deposito passa a limo argilloso di colore giallastro con inclusi gessosi $\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$ $(Cu = 0.55 \text{ Kg/cmq})$ $c' = 0.20 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 17^\circ$ |
| 9.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.00 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19.6^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica, parte profonda $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$ |

FALDA RINVENUTA A QUOTA –3.60 DA P.C.

ZONA II.1 – Seconda variante tratto iniziale - da prog. 8600 a prog. 10350STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.1a** – c/da Favarella*(sondaggi di riferimento S9- fase 2; A9,A11,A14,A16-anas88)**(progressiva di riferimento da 8000 a 9500)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV - Materiale di riporto di vario genere $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ |
| 1.00 – 9.00 | TN/LA – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile. In profondità tale deposito passa a limo argilloso di colore giallastro con inclusi gessosi $\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 0.55 Kg/cmq)</i> $c' = 0.20 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 17^\circ$ |
| 9.00 – 15.00 | S – Sabbie giallastre con intercalazioni calcarenitiche $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 30^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica, parte profonda $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.7 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.6 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.5^\circ$ |

FALDA RINVENUTA A QUOTA –15.00 DA P.C.

ZONA II.1 – Seconda variante tratto iniziale - da prog. 8600 a prog. 10350STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.1b** – galleria artificiale*(sondaggi di riferimento S16-fase 1)**(progressiva di riferimento da 9500 a 10000)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 8.00 | <p>LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi, passante ad alluvioni nella parte centrale</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ ($Cu = 0.75 \text{ Kg/cmq}$) $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 16^\circ$</p> |
| 8.00 – 15.00 | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica, parte superiore.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.10 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$</p> |
| 15.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica, parte profonda.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.2 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$</p> |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.1 – Seconda variante tratto iniziale - da prog. 8600 a prog. 10350STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.1c** – viadotto favarella VI02*(sondaggi di riferimento S17,S18-fase 1)**(progressiva di riferimento da 10000 a 10350)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 2.00 | ALF – Alluvioni fini costituite da limo argilloso con inclusi lapidei $\gamma = 1.8 \text{ T/mc}$ $(Cu = 0.75 \text{ Kg/cm}^2)$ $c' = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 16^\circ$ |
| 2.00 – 7.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi, passante ad alluvioni nella parte centrale $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $(Cu = 0.75 \text{ Kg/cm}^2)$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 16^\circ$ |
| 7.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.10 \text{ Kg/cm}^2$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica, parte profonda $\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.2 \text{ Kg/cm}^2$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.2 – Galleria Papazzo - da prog. 10350 a prog. 10975

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. II.2 – galleria papazzo GN01

*(sondaggi di riferimento S19,S20,S21-fase 1; S14,S44-fase 2)**(progressiva di riferimento da 10350 a 10975)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 2.00 | LS – Limo sabbioso di colore rossastro |
| 2.00 – 18.00 | S – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici, intercalazioni argillose |
| 18.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla limosa - marnosa pliocenica. |

FALDA RINVENUTA A QUOTA VARIABILE –24.00/-25.40 DA P.C.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni in corrispondenza delle gallerie naturali si rimanda allo specifico capitolo 6 della parte seconda della presente relazione geotecnica.

ZONA II.3 – Seconda variante tratto finale - da prog. 10975 a prog. 12900STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.3a** – viadotto fosso mumia VI03*(sondaggi di riferimento S21,S22-fase 1; S46-fase 2)**(progressiva di riferimento da 11100 a 11500)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 9.00 | ALF – Alluvioni fini costituite da limo argilloso con inclusi lapidei $\gamma = 1.8 \text{ T/mc}$ $(Cu = 0.75 \text{ Kg/cm}^2)$ $c' = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 16^\circ$ |
| 9.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.10 \text{ Kg/cm}^2$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica, parte profonda $\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.2 \text{ Kg/cm}^2$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA RINVENUTA A QUOTA -3.20 DA P.C.

ZONA II.3 – Seconda variante tratto finale - da prog. 10975 a prog. 12900STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.3b** – galleria artificiale S.Cataldo - GA02*(sondaggi di riferimento S23-fase 1; S46-fase 2)**(progressiva di riferimento da 11600 a 11900)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ |
| 1.00 – 14/18.00 | S – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici, intercalazioni di argilla sabbiosa con gusci fossili $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 30^\circ$ |
| 14/18.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla limo-marnosa pliocenica, a tratti sabbiosa $\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$ $C_u = 2.2 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.3 – Seconda variante tratto finale - da prog. 10975 a prog. 12900STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.3c** – svincolo n. 3 Caltanissetta sud*(sondaggi di riferimento S24-fase 1; S47,S48,S49-fase 2)**(progressiva di riferimento da 12900 a 12900)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 8.00 | S – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici, intercalazioni di argilla sabbiosa con gusci fossili $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 30^\circ$ |
| 8.00 – 16.00 | AS – Passaggio di argilla limo-sabbiosa, consistente $\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $c' = 0.1 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 24^\circ$ |
| 16.00 – 17.50 | S – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici, intercalazioni di argilla sabbiosa con gusci fossili $\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 30^\circ$ |
| 17.50 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla limosa - marnosa pliocenica. $\gamma = 2.00 \text{ T/mc}$ $Cu = 2.2 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.5 – C/da S.Filippo Neri - da prog. 16890 a prog. 18100**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N.II.5a –Viadotti S. Giuliano e S.Filippo Neri - VI04 e VI05***(sondaggi di riferimento PD3 - fase 1; S53, S30 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 16950 a 17500)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 2.00 | <p>LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$ $C_u = 0.5 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$</p> |
| 2.00 – 15.00 | <p>FB - Formazione di base – Breccia argillosa scagliosa, parte superiore</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.90 \text{ T/mc}$ $C_u = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.25 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 17.5^\circ$</p> |
| 15.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Breccia argillosa scagliosa. parte profonda</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 2.0 \text{ T/mc}$ $C_u = 2.2 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.25 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 23^\circ$</p> |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.5 – C/da S.Filippo Neri - da prog. 16890 a prog. 18100STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **II.5b** – Galleria GN03*(sondaggi di riferimento S31 - fase 1)**(progressiva di riferimento da 17500 a 17600)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 7.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 1.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 7.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Breccia argillosa scagliosa, parte superiore $\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Breccia argillosa scagliosa, parte profonda $\gamma = 2.10 \text{ T/mc}$ $Cu = 4.5 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.6^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.5 – C/da S.Filippo Neri - da prog. 16890 a prog. 18100**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. II.5c – Viadotto Busita 1 - VI06***(sondaggi di riferimento PD4 - fase 1; S32, S33 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 17600 a 17900)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 5.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 1.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 5.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.93 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. parte profonda $\gamma = 2.10 \text{ T/mc}$ $Cu = 4.5 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.3 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 21.6^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA II.5 – C/da S.Filippo Neri - da prog. 16890 a prog. 18100

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. II.5d – Galleria artificiale S.Filippo - GA03

*(sondaggi di riferimento S33 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 17900 a 18100)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 8.50 | <p>LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ ($C_u = 1.6 \text{ Kg/cmq}$) $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$</p> |
| 8.50 – 15.00 | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte superiore</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $C_u = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$</p> |
| 15.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa, parte profonda</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $C_u = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$</p> |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.1 – C/da Busita - da prog. 18100 a prog. 19400**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.1a – Viadotto Busita 2 - VI07***(sondaggi di riferimento S34, S35 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 18100 a 18500)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 4.50 | <p>LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ ($C_u = 1.6 \text{ Kg/cmq}$) $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$</p> |
| 4.50 – 15.00 | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte superiore</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $C_u = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$</p> |
| 15.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa, parte profonda</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $C_u = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$</p> |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.1 – C/da Busita - da prog. 18100 a prog. 19400

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.1b – Galleria artificiale Bersaglio GA04

*(sondaggi di riferimento S36 - fase 1)**(progressiva di riferimento da 18100 a 18500)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ |
| 1.00 – 8.50 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 1.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 8.50 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte superiore $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa, parte profonda $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.1 – C/da Busita - da prog. 18100 a prog. 19400**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.1c – Viadotto Busita 3 - VI08***(sondaggi di riferimento S37 - fase 1; S54, S55 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 18800 a 19200)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 4.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 1.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 4.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. parte profonda $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.1 – C/da Busita - da prog. 18100 a prog. 19400

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.1d – Svincolo Caltanissetta nord

*(sondaggi di riferimento S37, PD5 - fase 1;)**(progressiva di riferimento da 19200 a 19400)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 4.50 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. Passaggi di sabbia limosa. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ $(Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq})$ $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 4.50 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. parte profonda $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.2 – C/da Abbazia Santuzza - da prog. 19400 a prog. 22300**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.2a – Viadotto Santuzza 1 - VI09***(sondaggi di riferimento S38 - fase 1;)**(progressiva di riferimento da 19500 a 20000)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 5.00 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 1.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 5.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. parte profonda $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.2 – C/da Abbazia Santuzza - da prog. 19400 a prog. 22300**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.2b – Viadotti Santuzza 2 e 3- VI10 - VI11***(sondaggi di riferimento S39,S40 - fase 1; S56 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 20300 a 21100)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 1.00 | R/TV – Riporto o terreno di copertura vegetale $\gamma = 1.7 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 18^\circ$ |
| 1.00 – 7.5 | LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi. $\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ <i>(Cu = 1.6 Kg/cmq)</i> $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$ |
| 7.5 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. parte profonda $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.3 – C/da Arenella - da prog. 22300 a prog. 25150**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.3a – C/da Arenella : Viadotti Arenella 1e2 - VI12-VI13***(sondaggi di riferimento S42, PD7,PD8 - fase 1; S41,S57,S58 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 22300 a 25200)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 5.00 | <p>ALG – Alluvioni costituite da sabbia-limosa con inclusi lapidei ghiaiosi</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$</p> <p style="text-align: right;">$c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$</p> <p style="text-align: right;">$\phi' = 27^\circ$</p> |
| 5.00 – 9.00 | <p>LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$</p> <p style="text-align: right;">$c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$</p> <p style="text-align: right;">$\phi' = 19^\circ$</p> |
| 9.00 – 15.00 | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$</p> <p style="text-align: right;">$C_u = 1.50 \text{ Kg/cmq}$</p> <p style="text-align: right;">$c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$</p> <p style="text-align: right;">$\phi' = 20^\circ$</p> |
| 15.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa.</p> <p>parte profonda</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$</p> <p style="text-align: right;">$C_u = 1.6 \text{ Kg/cmq}$</p> <p style="text-align: right;">$c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$</p> <p style="text-align: right;">$\phi' = 22^\circ$</p> |

FALDA RINVENUTA A -2.90 DA P.C.

ZONA III.4 – Cozzo Garlatti - da prog. 25150 a prog. 26600**STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.4a –Viadotto Arenella 3 - VI14***(sondaggi di riferimento S43, PD9,PD10 - fase 1; S58 - fase 2)**(progressiva di riferimento da 25200 a 25800)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|--|
| 0.00 – 5.00 | <p>ALG – Alluvioni costituite da sabbia-limosa con inclusi lapidei ghiaiosi</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 27^\circ$</p> |
| 5.00 – 9.00 | <p>LA - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.97 \text{ T/mc}$ $c' = 0.15 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 19^\circ$</p> |
| 9.00 – 15.00 | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$</p> |
| 15.00 – in prof. | <p>FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa.</p> <p>parte profonda</p> <p style="text-align: right;">$\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$</p> |

FALDA NON PRESENTE

ZONA III.4 – Cozzo Garlatti - da prog. 25150 a prog. 26600

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. **III.4b** –Galleria GN04 – Cozzo Garlatti

(progressiva di riferimento da 25800 a 26600)

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – in prof. | Formazione costituita da un banco di calciruditi ben stratificate passanti verso l'alto a calcareniti stratificate, con intercalati modesti lembi di conglomerati e livelli arenitici sciolti di colore giallo scuro. |

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni in corrispondenza delle gallerie naturali si rimanda allo specifico capitolo 6 della parte seconda della presente relazione geotecnica.

ZONA III.4 – Cozzo Garlatti - da prog. 25150 a prog. 26600

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.4c – Zona svincolo SS626

*(sondaggi di riferimento P28 – fase 2)**(progressiva di riferimento da 25800 a 26600)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> |
|-----------------------|---|
| 0.00 – 5.00 | ALG – Alluvioni costituite da sabbia-limosa con inclusi lapidei ghiaiosi $\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 27^\circ$ |
| 5.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. parte profonda $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\phi' = 22^\circ$ |

FALDA RINVENUTA A -4.00 DA P.C.

ZONA III.5 – C/da Imera - da prog. 26600 a prog. 28080

STRATIGRAFIA DI CALCOLO N. III.5a – viadotto Salso - VI15

*(sondaggi di riferimento S45, PD11,PD12 - fase 1 ; S59 - fase2)**(progressiva di riferimento da 26600 a 28080)*

| <i>Profondità (m)</i> | <i>Descrizione e parametri geotecnici</i> | |
|-----------------------|---|--|
| 0.00 – 7.00 | ALG – Alluvioni costituite da sabbia-limosa con inclusi lapidei ghiaiosi | $\gamma = 1.98 \text{ T/mc}$ $c' = 0.0 \text{ Kg/cmq}$ $\varphi' = 27^\circ$ |
| 7.00 – 15.00 | FB - Formazione di base – Argilla marnosa, parte superiore | $\gamma = 1.95 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.50 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.4 \text{ Kg/cmq}$ $\varphi' = 20^\circ$ |
| 15.00 – in prof. | FB - Formazione di base – Argilla marnosa grigio-azzurra tortoniana, passante a marna argillosa. | |
| | parte profonda | $\gamma = 1.96 \text{ T/mc}$ $Cu = 1.6 \text{ Kg/cmq}$ $c' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$ $\varphi' = 22^\circ$ |

FALDA RINVENUTA A -4.00 DA P.C.

3.4 – FASE II – INFITTIMENTO DI INDAGINE GEOGNOSTICA

La definizione del programma di **FASE II**, consistente nella scelta delle varie tipologie di indagine, sia in sito che in laboratorio, e nella loro esatta ubicazione, è stata basata sui seguenti criteri di valutazione:

- Risultati della fase I del programma di indagini, già portato a compimento;
- Risultati della campagna geognostica ANAS, eseguita nel 1988;
- Definizione della geometria definitiva del tracciato di progetto ed ubicazione puntuale delle opere d'arte principali;
- Individuazione delle varie problematiche geotecniche connesse alla realizzazione delle suddette opere ed alla loro interazione col terreno;
- Caratterizzazione geomorfologica dell'area interessata;

Il piano di indagini prevede sia prove da effettuare in sito che analisi di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi.

La metodologia adottata è quella di eseguire perforazioni a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati, compatibilmente con la natura dei terreni, ovvero prove SPT in foro di sondaggio laddove non è stato possibile campionare.

I campioni prelevati nel corso dei sondaggi meccanici sono analizzati con apposite prove di laboratorio, scelte in base al tipo di calcolazioni geotecniche da effettuare, per ottenere una dettagliata caratterizzazione geotecnica dei terreni.

I fori di sondaggio sono attrezzati con piezometro o con inclinometro in base alle risultanze della caratterizzazione geomorfologica e idrologica del sito, anche in relazione ai risultati ottenuti nella fase I del programma di indagini.

La prima fase di indagine è stata finalizzata alla ricostruzione litostratigrafica generale lungo lo sviluppo del tracciato preliminare, al fine di verificarne il corretto impatto con l'assetto geomorfologico presente nell'area.

La fase II prevede un infittimento dei sondaggi già eseguiti, per la definizione di dettaglio delle stratigrafie e dei parametri geotecnici dei litotipi, finalizzata al dimensionamento dei manufatti principali interagenti con il terreno.

Tale fase prevede specificatamente le seguenti tipologie d'indagine:

- sondaggi a carotaggio continuo localizzati in corrispondenza dell'esatta ubicazione delle opere d'arte;
- piezometri a tubo aperto o casagrande, da posizionare in foro di sondaggio, ubicati in corrispondenza dei carotaggi dove si è già riscontrata la presenza d'acqua durante l'esecuzione delle fasi precedenti di indagine, per verificare e confermare tale presenza d'acqua nel sottosuolo e per monitorare l'altezza della falda.
- inclinometri, da posizionare in foro di sondaggio, posizionati nelle aree individuate dalla ricognizione geomorfologica come aree di dissesto e che interagiscono con il tracciato di progetto.
- Prove penetrometriche dinamiche, eseguite ad infittimento dei sondaggi a carotaggio continuo, volte soprattutto alla caratterizzazione geotecnica dei diversi tipi di terreno presenti.
- Prove sismiche del tipo a rifrazione e down-hole.
- Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra, ubicati nei tratti su rilevato individuati come degni da attenzionare sia per l'altezza del rilevato che per la natura del terreno di fondazione dello stesso.

Sui campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni a carotaggio continuo sono state eseguite prove di laboratorio per la caratterizzazione meccanica dei terreni interessati dalle fondazioni dei vari manufatti.