



## 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 II

CODICE PROGETTO		NOME FILE	REVISIONE	FOGLIO	SCALA:
LO407B D 0501		GE02 GET RE02.pdf			
CODICE ELAB.		T01GE02GETRE02	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- parte II**

1)	<b>PREMESSA</b>	pag. 4
2)	<b>RIEPILOGO ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE EFFETTUATE</b>	pag. 8
3)	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	pag. 14
	<b>Descrizione ed interpretazione dei risultati delle indagini di FASE II</b>	
	3.1 - Indagini in sito	pag. 16
	3.2 - Prove di laboratorio	pag. 24
	3.3 - Prove penetrometriche	pag. 25
	3.4 - Prove pressiometriche	pag. 26
	3.5 - Prove sismiche	pag. 27
	3.5.1 - Prospezioni sismiche a rifrazione	pag. 27
	3.5.2 - Prove sismiche down hole	pag. 59
	3.6 – Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra	pag. 60
	3.7 – Prove inclinometriche	pag. 66
	3.8 - Caratterizzazione geotecnica	pag. 67
4)	<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>	pag. 68
	<b><u>4.1 – OPERE D’ARTE MINORI</u></b>	pag. 68
	<b>4.1.1 – Opere di contenimento di scavi e rilevati</b>	pag. 68
	<i>(individuazione e verifica delle tipologie delle opere di sostegno e metodi di scavo)</i>	
	4.1.1.1 – Opere di contenimento con muri in c.a.	pag. 69
	4.1.1.2 – Opere di contenimento in terre armate	pag. 72

4.1.1.3 – Opere di contenimento con paratie	pag. 74
<b>4.1.2 – Rilevati e trincee</b>	pag. 78
4.1.2.1 – Verifica di stabilità delle scarpate	pag. 81
<i>(individuazione e verifica delle pendenze da attribuire agli scavi in trincea ed ai rilevati)</i>	
4.1.2.2 – Verifica dei cedimenti	pag. 83
<i>(verifica della compatibilità dei cedimenti del corpo stradale)</i>	
4.1.2.3 – Interventi di bonifica e di stabilizzazione	pag. 101
<i>(individuazione delle tratte da bonificare, in trincea e rilevato, con gli spessori di terreno superficiale da sostituire)</i>	
<b><u>4.2 – CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI</u></b>	pag. 105
4.2.1 – Materiali da cava di prestito	pag. 105
4.2.2 – Riutilizzo di materiali provenienti dagli scavi	pag. 106

## **INDICE- parte III**

### **4.3 – OPERE D'ARTE MAGGIORI**

<b><u>Profili geotecnici e dimensionamento fondazioni</u></b>	pag. 108
<i>(individuazione e verifica delle tipologie delle fondazioni delle opere d'arte)</i>	
4.3.1 – Viadotto Giulfo (VI01)	pag. 109
4.3.2 – Viadotto Favarella (VI02)	pag. 115
4.3.3 – Viadotto Fosso Mumia (VI03)	pag. 120
4.3.4 – Viadotto S.Giuliano (VI04)	pag. 126
4.3.5 – Viadotto S.Filippo Neri (VI05)	pag. 131
4.3.6 – Viadotto Busita 1 (VI06)	pag. 136
4.3.7 – Viadotto Busita 2 (VI07)	pag. 142
4.3.8 – Viadotto Busita 3 (VI08)	pag. 147
4.3.9 – Viadotto Santuzza 1 (VI09)	pag. 152
4.3.10– Viadotto Santuzza 2 (VI10)	pag. 157

4.3.11– Viadotto Santuzza 3 (VI11)	pag. 162
4.3.12 – Viadotto Arenella 1 (VI12)	pag. 167
4.3.13– Viadotto Arenella 2 (VI13)	pag. 173
4.3.14 – Viadotto Arenella 3 (VI14)	pag. 178
4.3.15 – Viadotto Salso (VI15)	pag. 185
4.3.16 – Viadotti VI16 e VI17	pag. 190
4.3.17 – Ponti secondarie	pag. 196
4.3.18 – Cavalcavia svincoli	pag. 203
4.3.19 – Cavalcavia e sottovia secondarie	pag. 218
4.3.20 – Determinazione coefficiente di gruppo	pag. 236
4.3.21– Analisi cedimento del palo singolo	pag. 237
5) <b>VERIFICHE DI STABILITÀ’ GLOBALE</b> <i>(pendii naturali)</i>	pag. 241
6) <b>GALLERIE NATURALI</b> <i>(caratterizzazione geotecnica)</i>	pag. 255
7) <b>SISMICITA’ DELL’AREA</b> <i>(interazione suolo-struttura)</i>	pag. 275
8) <b>CONCLUSIONI</b>	pag. 284

**APPENDICI ALLEGATE:**

APPENDICE A – Capacità portante pali di fondazione	– tabulati di calcolo
APPENDICE B – Opere di contenimento in terre armate	– tabulati di calcolo
APPENDICE C – Analisi dei cedimenti rilevati	– tabulati di calcolo
APPENDICE D – Verifiche di stabilità globale	– tabulati di calcolo

## 1) PREMESSA

Nella seconda parte dello studio geotecnico viene affrontato il dimensionamento e la verifica, dal punto di vista geotecnico, di tutti i manufatti principali previsti in progetto ed interagenti con il terreno, coerentemente a quanto previsto dal Capitolato d'oneri A.N.A.S. “*Norme tecniche per la redazione del progetto definitivo*”.

Il presente elaborato è successivo alla prima fase dello studio geotecnico, che è stata finalizzata essenzialmente all'individuazione delle problematiche geotecniche lungo il tracciato ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni a seguito della prima parte della campagna di indagini eseguita.

L'intero programma di indagini geognostiche è stato sviluppato in due fasi.

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

La seconda ha previsto un mirato infittimento dei punti di sondaggio per la definizione di dettaglio delle stratigrafie e dei parametri geotecnici dei litotipi, finalizzata soprattutto al dimensionamento delle opere d'arte interagenti con il terreno.

A conclusione dell'intero programma di indagini geognostiche così portato a compimento, viene adesso sviluppata la seconda parte dello studio geotecnico.

Gli obiettivi che si sono portati a compimento sono i seguenti:

- illustrare, commentare ed interpretare i risultati delle indagini geognostiche di fase II, eseguite in questa fase ad integrazione di quelle precedenti, 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*);
- commentare ed interpretare i risultati di tutte le indagini idrologiche svolte per valutare l'interazione della falda idrica con le opere da realizzare (*localizzazione delle falde acquifere*);
- ricostruire i profili geotecnici di dettaglio in corrispondenza di viadotti, cavalcavia, gallerie e manufatti principali e dimensionarne le opere in fondazione (*individuazione e verifica delle tipologie delle fondazioni delle opere d'arte*);

- dimensionare le opere di contenimento, sia sottoscarpa che controripa, previste del tipo in c.a., in terre armate o con paratie (*individuazione e verifica delle tipologie delle opere di sostegno degli scavi a cielo aperto e dei metodi di scavo*);
- individuare e caratterizzare le opere di contenimento provvisoriale per le gallerie artificiali previste nel progetto (*individuazione di massima delle classi di scavo in sotterraneo e di eventuali interventi di consolidamento dei terreni*);
- verificare cedimenti e stabilità dei tratti su rilevato ed in trincea in funzione dei terreni attraversati e dimensionare gli eventuali interventi di bonifica (*individuazione e verifica delle pendenze da attribuire agli scavi in trincea ed ai rilevati*), (*verifica della compatibilità dei cedimenti del corpo stradale*) , (*individuazione delle tratte da bonificare, in trincea e rilevato, con gli spessori di terreno superficiale da sostituire*);
- fornire indicazioni sulle caratteristiche dei terreni scavati per il riutilizzo degli stessi nei ricolmi e nella costituzione di rilevati (*descrizione delle caratteristiche geotecniche dei materiali da costruzione*);
- eseguire verifiche di stabilità globale dei pendii naturali in alcuni punti lungo lo sviluppo del tracciato individuati come instabili, al fine di valutarne il coefficiente di sicurezza alla stabilità globale.
- verificare l'interazione dinamica suolo – struttura relativa al dimensionamento geotecnico delle fondazioni delle opere d'arte, in modo da stabilire e determinare il coefficiente di fondazione da assegnare per le opere d'arte da realizzare in zone classificate come sismiche (*microzonazione sismica*).

Nella presente relazione verrà innanzitutto riproposta una ricapitolazione finale per tratti di tutte le opere d'arte dimensionate e le problematiche geotecniche affrontate nel corso del presente studio.

Si passerà quindi alla descrizione della seconda parte della campagna di indagini geognostiche eseguite, e verranno interpretati i risultati ottenuti, confrontandoli ed interpolandoli con i precedenti, per la ricostruzione dei profili stratigrafici di dettaglio per i dimensionamenti geotecnici delle opere d'arte.

Infine, verrà sviluppato il capitolo delle analisi geotecniche, dove saranno trattati nel dettaglio tutti i punti elencati in precedenza sui dimensionamenti geotecnici.

In particolare saranno effettuati i seguenti dimensionamenti:

### Opere di contenimento di scavi e rilevati.

Queste sono state dimensionate in funzione della conformazione e natura del terreno di fondazione e della geomorfologia dell'area, della presenza di immobili in prossimità dell'opera da realizzare e dei volumi di scavo o di rilevato interessati.

In particolare le opere di controripa saranno dimensionate e verificate come muri in c.a. o come paratie, in funzione dell'altezza e della possibilità o meno di effettuare lo scavo provvisorio a tergo dell'opera.

Le opere di sottoscarpa saranno dimensionate e verificate come muri in c.a. o terre armate, in funzione dell'altezza del rilevato da realizzare e della geomorfologia.

### Rilevati e trincee

Sarà eseguita la verifica di stabilità delle scarpate di rilevati e trincee per stabilire la pendenza da attribuire e saranno individuati i tratti da sottoporre a bonifica.

Per quanto riguarda i rilevati, sarà verificata la compatibilità dei cedimenti e verranno fornite indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei materiali da utilizzare, valutando l'eventuale riutilizzo dei materiali provenienti dagli scavi.

### Dimensionamento fondazioni opere d'arte

Verrà eseguito il dimensionamento fondale delle opere d'arte principali, costituite dai nuovi viadotti, dai cavalcavia e dai sottovia, basato sulle stratigrafie di calcolo e sul corrispondente profilo geotecnico di dettaglio su base geologica, ricostruiti appositamente per ciascuna opera d'arte da realizzare in base ai risultati delle analisi di laboratorio ed alle stratigrafie dei sondaggi effettuati.

### Verifiche di stabilità

Dalla ricognizione geomorfologia effettuata si sono individuate lungo lo sviluppo del tracciato alcune aree di probabile instabilità. Tali aree sono state oggetto di specifiche indagini nell'ambito delle varie campagne geognostiche effettuate.

Per ogni sito così individuato ed indagato verrà eseguita la verifica di stabilità per l'accertamento delle condizioni di stabilità globale, finalizzata alla valutazione dell'opportunità di realizzare una eventuale opera di contenimento o consolidamento.

## Gallerie

Sono previsti in progetto numerosi tratti in galleria sia artificiale che naturale; per ognuno di essi verrà caratterizzata la stratigrafia e la parametrizzazione geotecnica dei terreni interessati dagli scavi, demandando alle specifiche relazioni di calcolo il dimensionamento strutturale delle opere di contenimento provvisoriale agli scavi e le relative fasi di realizzazione e delle opere di contenimento in corrispondenza degli imbocchi.

### Elaborati e Grafici Allegati:

Profili geotecnici di dettaglio R 1:2.000/1:200 (n°13 Tavole)

Risultati indagini campagna geognostica ANAS 1988

Risultati indagini campagna geognostica fase 1

Risultati indagini campagna geognostica fase 2

## 2) RIEPILOGO ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE EFFETTUATE

Nel presente paragrafo, sulla base della caratterizzazione geotecnica dei terreni individuati e della puntuale ricognizione del tracciato presentata nella parte I dello studio geotecnico, viene effettuata, suddivisa per tratti, una ricapitolazione di tutte le opere d'arte puntuali da dimensionare dal punto di vista geotecnico, evidenziando le varie problematiche affrontate nel corso del presente studio.

La suddetta ricognizione viene suddivisa nei seguenti tratti, nei quali è stato ripartito l'intero tracciato:

### **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 Caltanissetta- 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 S. - da progressiva 19+400 a km. 22+300

Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+200

Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+200 a km. 26+600

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

## **TRATTO I – DA PROGRESSIVA 0 A KM. 8+600**

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 1+100 altezza massima H=3.00 m.

Tratto su rilevato progr. 1+400/1+700 altezza massima H=8.00 m. (sez. 69)

Tratto su rilevato progr. 2+100 altezza massima H=4.00 m.

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

– Viadotto Giulfo (VI01)

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

- Galleria artificiale Rovetello (GA01)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 2+500 altezza massima H=3.50 m.

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

– Viadotto Ponte Serra (VI16)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 4+950 altezza massima H=4.00 m. (sez. 200)

Tratto su rilevato progr. 5+500/5+900 altezza massima H=3.00 m. (sez. 221)

Tratto su rilevato progr. 6+800/7+000 altezza massima H=4.00 m. (sez. 272)

Tratto su rilevato progr. 7+200/7+800 altezza massima H=6.00 m. (sez. 312)

## **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**

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

– Viadotto Favarella (VI02)

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria artificiale Favarella

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 10+066 altezza massima H=6.00 m. (sez. 404)

Verifica di stabilità globale:

Sez. 404 in prossimità della spalla A viadotto VI02 Favarella.

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria naturale Papazzo (GN01)

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

– Viadotto Mumia (VI03)

– Viadotto Cavalcaferrovia Grotticelle (VI17)

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria artificiale S.Cataldo (GA02)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 11+950 altezza massima H=5.00 m. (sez. 479)

Tratto su rilevato progr. 12+400/12+750 altezza massima H=5.00 m. (sez. 506)

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria naturale S.Elia (GN02)

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

- Viadotto S. Giuliano (VI04)
- Viadotto S.Filippo Neri (VI05)
- Viadotto Busita 1 (VI06)

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria naturale S.Filippo (GN03)

Galleria artificiale S. Filippo (GA03)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 17+100 altezza massima H=6.00 m. (sez. 686)

Verifica di stabilità globale:

Sezz 683/686 tratto su rilevato tra i viadotti VI04 S. Giuliano e VI05 S.Filippo Neri.

**TRATTO III – DA PROGRESSIVA 18+100 A KM. 28+081**

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

- Viadotto Busita 2 (VI07)
- Viadotto Busita 3 (VI08)

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria artificiale Bersaglio (GA04)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 19+375 altezza massima H=4.00 m. (sez. 768)

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

- Viadotto Santuzza 1 (VI09)
- Viadotto Santuzza 2 (VI10)
- Viadotto Santuzza 3 (VI11)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 19+700 altezza massima H=7.00 m. (sez. 789)

Tratto su rilevato progr. 21+125 altezza massima H=10.00 m. (sez. 847)

Verifica di stabilità globale:

Sez. 801 in prossimità di una cresta su pendio argilloso-calanchivo.

### **Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+200**

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

- Viadotto Arenella 1 (VI12)
- Viadotto Arenella 2 (VI13)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 22+900 altezza massima H=3.00 m.

Tratto su rilevato progr. 24+025/24+900 altezza massima H=4.00 m. (sez. 924)

### **Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+200 a km. 26+600**

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

- Viadotto Arenella 3 (VI14)

Caratterizzazione geotecnica gallerie:

Galleria naturale Cozzo Garlatti (GN04)

Verifica cedimento rilevati:

Tratto su rilevato progr. 26+100/26+400 altezza massima H=4.00 m. (sez. 1061)

Verifica di stabilità globale:

pendio su area lluvionale.

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

Analisi geotecniche puntuali eseguite:

Dimensionamento fondazioni opere d'arte:

– Viadotto Salso (VI15)

### 3) INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### DESCRIZIONE ED INTERPRETAZIONE RISULTATI DELLE INDAGINI FASE II

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 delle fasi precedenti del programma di indagini;
- Definizione della geometria definitiva del tracciato di progetto ed ubicazione 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 ha previsto sia prove da effettuare in sito che analisi di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi.

La metodologia adottata è stata 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 stati analizzati con apposite prove di laboratorio, scelte anche in base al tipo di calcolazioni geotecniche da effettuare, per ottenere una dettagliata caratterizzazione geotecnica dei terreni.

I fori di sondaggio sono stati 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 fase II ha previsto 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 dove si è già riscontrata la presenza d'acqua durante l'esecuzione della fase I di indagine, per verificare e confermare tale presenza d'acqua nel sottosuolo e per monitorarne 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.
- Prospezioni sismiche a rifrazione
- Prove sismiche down hole
- Prove penetrometriche dinamiche
- Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra

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.

### 3.1 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) Analisi geotecniche di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica, la classificazione dei terreni e la caratterizzazione sulla resistenza meccanica dei litotipi.
- 4) Prove penetrometriche dinamiche, eseguite ad infittimento dei sondaggi a carotaggio continuo, volte soprattutto alla caratterizzazione geotecnica dei diversi tipi di terreno presenti nella coltre superficiale.
- 5) Prove sismiche del tipo a rifrazione e down hole.
- 6) Prozzetti esplorativi e prove di carico su piastra, ubicati nei tratti su rilevato individuati come critici sia per l'altezza del rilevato che per la natura del terreno di fondazione. Tre pozzetti esplorativi sono stati ubicati in corrispondenza del corpo di rilevati esistenti che vengono riutilizzati per la nuova piattaforma, in modo da analizzare lo stato e la tipologia degli stessi

L'ubicazione delle indagini è stata suddivisa in zone a secondo dell'area di intervento e secondo lo schema già riportato nella parte I dello studio geotecnico.

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 II.

Qui di seguito vengono descritti i sondaggi e le prove penetrometriche eseguite per ogni zona cui è stato precedentemente suddiviso il progetto.

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

Indagini eseguite:

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.4</b>	L = m.25.00	cavalcavia svincolo	2

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P1</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P2</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato

Prospezioni sismiche a rifrazione:

<b>SS1</b>	L = m. 78.00
<b>SS2</b>	L = m. 78.00
<b>SS3</b>	L = m. 78.00
<b>SS4</b>	L = m. 78.00

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.7</b>	L = m.30.00	viadotto VI01 giulfo – spalla A	3
<b>S.8</b>	L = m.30.00	viadotto VI01 giulfo – pile	3
<b>S.10</b>	L = m.35.00	viadotto VI01 giulfo – pile	3

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P3</b>	L = m. 15.00	viadotto VI01 giulfo – pile
<b>P4</b>	L = m. 15.00	viadotto VI01 giulfo – pile

Prospezioni sismiche a rifrazione:

<b>SS11</b>	L = m. 78.00
<b>SS12</b>	L = m. 78.00
<b>SS13</b>	L = m. 78.00
<b>SS14</b>	L = m. 78.00

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.32</b>	L = m.10.00	tratto in trincea	1

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P5</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P6</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P7</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P8</b>	L = m. 15.00	cavalcavia secondaria
<b>P9</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P10</b>	L = m. 15.00	cavalcavia secondaria

Prospezioni sismiche a rifrazione:

<b>SS24</b>	L = m. 78.00
<b>SS5</b>	L = m. 78.00
<b>SS23</b>	L = m. 78.00
<b>SS21</b>	L = m. 78.00
<b>SS22</b>	L = m. 78.00

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

Indagini eseguite:

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.9</b>	L = m.20.00	accertamento presenza falda 2	

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P11</b>	L = m. 15.00	pile viadotto favarella VI02
<b>P12</b>	L = m. 15.00	pile viadotto favarella VI02

Prospezioni sismiche a rifrazione:

<b>SS20</b>	L = m. 78.00
-------------	--------------

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.14</b>	L = m.40.00	galleria naturale papazzo GN01	3
<b>S.44</b>	L = m.50.00	galleria naturale papazzo GN01	3

Prospezioni sismiche a rifrazione:

<b>SS19</b>	L = m. 78.00
-------------	--------------

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.46</b>	L = m.30.00	spalla B viadotto mumia VI03	2
<b>S.47</b>	L = m.25.00	cavalcavia svincolo	2
<b>S.48</b>	L = m.25.00	cavalcavia svincolo	2

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
-----------	---------------------	-------------------

**P13** L = m. 15.00 pile viadotto mumia VI03

Prospezioni sismiche a rifrazione:

**SS6** L = m. 78.00

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.49</b>	L = m.25.00	imbocco galleria	2
<b>S.50</b>	L = m.110(dis)+30(cc)	gall. naturale GN02	3
<b>S.51</b>	L = m.110(dis)+20(cc)	gall. naturale GN02	3
<b>S.52</b>	L = m.55(dis)+25(cc)	gall. naturale GN02	3
<b>S.53</b>	L = m.30.00	imbocco galleria	3

(sondaggio attrezzato con inclinometro)

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.30</b>	L = m.30.00	viadotto VI05 S. Filippo N.	3
<b>S.33</b>	L = m.25.00	tratto in trincea	2

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P14</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P15</b>	L = m. 15.00	viadotto VI06 Busita 1 – spalla B

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

Indagini eseguite:

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.34</b>	L = m.30.00	spalla viadotto Busita 2 VI07	3
<b>S.35</b>	L = m.30.00	spalla viadotto Busita 2 VI07	3
<b>S.54</b>	L = m.30.00	spalla viadotto Busita 3 VI08	3
<b>S.55</b>	L = m.25.00	spalla viadotto Busita 3 VI08	3

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P16</b>	L = m. 15.00	viadotto VI07 Busita 2 - pile
<b>P17</b>	L = m. 15.00	imbocco galleria
<b>P18</b>	L = m. 15.00	cavalcavia svincolo

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.56</b>	L = m.30.00	viadotto Santuzza 2 VI10	3

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P19</b>	L = m. 1500	viadotto Santuzza 1 VI09
<b>P20</b>	L = m. 15.00	viadotto Santuzza 1 VI09
<b>P21</b>	L = m. 15.00	viadotto Santuzza 2 VI10
<b>P22</b>	L = m. 15.00	viadotto Santuzza 2 VI10
<b>P23</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato
<b>P24</b>	L = m. 15.00	tratto su rilevato

Prospezioni sismiche a rifrazione:

<b>SS18</b>	L = m. 78.00
-------------	--------------

**SS16** L = m. 78.00

**SS17** L = m. 78.00

Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+200

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.41</b>	L = m.30.00	viadotto Arenella 1 VI12	3
<b>S.57</b>	L = m.25.00	cavalcavia secondaria	2

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P25</b>	L = m. 15.00	cavalcavia secondaria
<b>P26</b>	L = m. 15.00	viadotto Arenella 1 VI12
<b>P27</b>	L = m. 15.00	viadotto Arenella 2 VI13

Prospezioni sismiche a rifrazione:

**SS15** L = m. 78.00

Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+200 a km. 26+600

Sondaggi a carotaggio continuo:

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.58</b>	L = m.30.00	viadotto Arenella 3 VI14	3

Prove penetrometriche dinamiche:

<i>N.</i>	<i>Lungh. prova</i>	<i>Ubicazione</i>
<b>P28</b>	L = m. 6.00	zona svincolo

Prospezioni sismiche a rifrazione:

**SS10** L = m. 78.00

**SS7** L = m. 78.00

**SS8** L = m. 78.00

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

Sondaggi a carotaggio continuo:

---

<i>Sond.</i>	<i>Profondità</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Campioni prelevati</i>
<b>S.59</b>	L = m.30.00	viadotto Salso VI15	3

Nella tabella presentata nelle pagine seguenti sono riepilogate le motivazioni per le quali ciascun sondaggio a c.c. o prova penetrometrica o sismica è stata effettuata.

Nelle pagine successive sono riproposte le colonne stratigrafiche dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti.

### 3.2 - PROVE DI LABORATORIO

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi meccanici è stato possibile prelevare complessivamente n. 69 campioni indisturbati, per l'esecuzione delle analisi geotecniche di laboratorio.

Oltre alla rutinaria serie di analisi di identificazione, riconoscimento e classificazione, quali contenuto d'acqua, peso specifico, peso di volume, granulometria e limiti di Atterberg, 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 e CU.

Nelle pagine seguenti sono riassunti in tabella i principali risultati ottenuti nel corso delle prove eseguite sui campioni indisturbati prelevati, scelte sulla base della caratterizzazione meccanica che occorre determinare per il tipo di opera da realizzare nel sito di prelievo del campione, dei risultati già ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite per la fase I e del tipo di interazione prevista con il terreno.

La relazione dettagliata su tutte le prove svolte viene invece fornita in apposito allegato, a cui si rimanda.

### 3.3 PROVE PENETROMETRICHE

Ad infittimento dei sondaggi a carotaggio continuo, sono state effettuate 28 prove penetrometriche dinamiche.

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.

L'attrezzatura utilizzata è costituita dal penetrometro dinamico, tipo DPL, con maglio 20-30 kg ed altezza di caduta del maglio 20 cm.

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 di fase II.

### 3.4 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.

### **3.5 PROSPEZIONI SISMICHE**

Sono state eseguite sia prospezioni sismiche a rifrazione che prove di tipo down hole in foro di sondaggio.

#### **3.5.1 Prospezioni sismiche a rifrazione**

Complessivamente sono state eseguite 24 prospezioni sismiche a rifrazione, ciascuna di ml 78 di lunghezza di stendimento.

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

Qui di seguito viene sviluppata la correlazione dei risultati ottenuti con i sondaggi a carotaggio continuo effettuati in prossimità dei vari stendimenti, per caratterizzare la natura geotecnica degli strati individuati dalle prospezioni sismiche.

In tal modo è stato altresì possibile realizzare l'assegnazione della velocità media delle onde sismiche di tipo P ai vari litotipi individuati.

La presentazione degli stendimenti viene effettuata per progressiva di ubicazione lungo il tracciato e non per numerazione progressiva di stendimento.

**STENDIMENTI SISMICI S.S.1 - S.S.2 - S.S.3 - S.S.4****zona SVINCOLO N. 1 – progressive 1200 m. / 1500 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S02 ed S04.

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona dello svincolo 1 la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 2.50	<b>TV/DT</b> – Terreno agrario in superficie e limo argilloso ricco di sostanza organica di colore bruno, con inclusi detritici calcarei
2.50 – 12.00	<b>MA</b> – Marna argillosa-calcareea con livelli calcarei biancastri
12.00 – prof.	<b>FB</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana, parte sup.

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dai quattro stendimenti sismici eseguiti in serie si individuano tre stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche medie:

<b>strato 1</b>	velocità media onde P:443.4	spessore medio da 4.00 m. a 4.00 m.
<b>strato 2</b>	velocità media onde P:1152.1	spessore medio da 12.50 m. a 10.0 m.
<b>strato 3</b>	velocità media onde P:2121.6	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dai detriti, compresi tra 0.00 ed un profondità variabile da 2.50 a 4.00 m. di profondità .

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia centrale, costituita dalle marne calcaree passanti a calcare fratturato, con uno spessore variabile da 12.50 a 10.00 m. al di sotto del detrito

Il terzo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 14/16 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 4.00	da 0.00 a 1.00/2.50 m.	Detrito
Strato 2	da 4.00 a 14.00/16.50	da 1.0/2.50 a 12.0/14.0 m.	Marnacalcarea
Strato 3	da 14.00/16.50 in prof.	da 12.0/14.0 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati degli stendimenti sismici SS1, SS2, SS3 ed SS4 e le colonne stratigrafiche desunte dai sondaggi a carotaggio continuo S02 ed S04.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>DT - detrito</b>	velocità media onde P: <b>443.4 m/s</b>
<b>MA - marna calcarea</b>	velocità media onde P: <b>1152.1 m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto I.1</b>	velocità media onde P: <b>2121.6 m/s</b>

**STENDIMENTI SISMICI S.S.11 - S.S.12 - S.S.13 - S.S.14****zona VIADOTTO GIULFO VI01 – progressive 3450 m. / 3750 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S08 ed S10.

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona del viadotto Giulfo è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 4.00	<b>LA</b> - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.
4.00 – in prof.	<b>FB/AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dai quattro stendimenti sismici eseguiti in serie si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche medie:

<b>strato 1</b>	velocità media onde P:836.7	spessore medio da 5.0 m. a 4.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità media onde P:2716.35	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal limo argilloso alterato, compresi tra 0.00 ed una profondità variabile da 4.00 a 5.00 m. di profondità .

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base delle argille marnose, rilevate a partire da 4.0/5.0 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 4.00/5.00	da 0.00 a 2.50/5.50 m.	Limo argilloso
Strato 2	da 4.00/5.00 in prof.	da 2.50/5.50 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati degli stendimenti sismici SS11, SS12, SS13 ed SS14 e le colonne stratigrafiche desunte dai sondaggi a carotaggio continuo S08 ed S10.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>LA – Limo argilloso alterato</b>	velocità media onde P: <b>836.7 m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto I.2</b>	velocità media onde P: <b>2716.3 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 24****zona terreni compressibili – progres. 4500 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S11

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 6.00	<b>TN</b> – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile.
6.00 – in prof.	<b>FB/AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana

Dall’esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell’onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:455.4	spessore da 4.0 m. a 4.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:1908.6	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal deposito elucolluviale, compreso tra 0.00 ed una profondità di 4.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 4.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

---

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 4.00	da 0.00 a 6.00 m.	Terre nere
Strato 2	da 4.00 in prof.	da 6.00 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS24 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S11.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>TN – Terre nere</b>	velocità media onde P: <b>455.4 m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto I.3</b>	velocità media onde P: <b>1908.6 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 5****zona calcare affiorante – progres. 5300 m.**

Correlazione con i sondaggi a carotaggio continuo S32,A23

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 8.00	<b>LA/TN</b> –limo argilloso, alterato, colore bianco-giallastro, con inclusi di natura calcarea passante e deposito elucluviale compressibile.
8.00 – 15.00	<b>MA</b> - Argilla marnosa grigia con livelli di sabbia bruna, passante a marna argillosa.
15.00 – in prof.	<b>FB/AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica

Dall’esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell’onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:499.4	spessore da 2.5 m. a 7.5 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:1536.3	spessore da 23 m. a 3 m.
<b>strato 3</b>	velocità onde P:3478.3	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal deposito elucluviale, compreso tra 0.00 ed una profondità media di 5.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia intermedia di marna argillosa di spessore variabile da 23.00 a 3.00 m.

Il terzo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 25.00/10.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 5.00	da 0.00 a 8.00 m.	Limo/Terre nere
Strato 2	da 5.00 a 19.00	da 8.00 m. a 15.00	Marna argillosa
Strato 3	da 19.00 in prof.	da 15.00 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una discreta correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS5 e le colonne stratigrafiche desunte dai sondaggi a carotaggio continuo S32 ed A23.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>TN – Terre nere</b>	velocità media onde P: <b>499.4 m/s</b>
<b>MA – marna argillosa</b>	velocità media onde P: <b>1536.3 m/s</b>
<b>AMP – argilla marnosa di sub.-tratto I.3</b>	velocità media onde P: <b>3478.3 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 23****zona terreni compressibili – progres. 5900 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S12

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 13.50	<b>TN</b> – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile.
13.50 – in prof.	<b>FB/AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica

Dall’esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell’onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:591.9	spessore da 10.0 m. a 8.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:2492.2	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal deposito elucolluviale, compreso tra 0.00 ed una profondità di 9.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 9.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

---

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 9.00	da 0.00 a 13.5 m.	Terre nere
Strato 2	da 9.00 in prof.	da 13.50 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS23 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S12.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>TN – Terre nere</b>	velocità media onde P: <b>591.9 m/s</b>
<b>AMP – argilla marnosa di sub.-tratto I.3</b>	velocità media onde P: <b>2578.0 m/s</b>

**STENDIMENTI SISMICI S.S.21 - S.S.22****zona terreni compressibili – progressive 6400 m. / 6900 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S13.

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 5.00	<b>TN</b> – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile.
5.00 – 14.00	<b>LA</b> - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro.
14.00 – in prof.	<b>FB/AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dai due stendimenti sismici eseguiti in serie si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche medie:

<b>strato 1</b>	velocità media onde P:388.60	spessore medio da 4.0 m. a 5.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità media onde P:1654.4	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal deposito elucolluviale, compreso tra 0.00 ed una profondità di 4/5.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponde al limo argilloso alterato, rilevato a partire da 4.0/5.0 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 4.00/5.00	da 0.00 a 5.00 m.	terre nere
Strato 2	da 4.00/5.00 in prof.	da 5.00 m. a 14.00.	Limo argilloso
Strato 3	non rilevato	da 14.0 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una discreta correlazione tra i risultati degli stendimenti sismici SS21 ed SS22 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S13.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>TN – Terre nere</b>	velocità media onde P: <b>388.6 m/s</b>
<b>LA – Limo argilloso alterato</b>	velocità media onde P: <b>1654.4 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 20****zona terreni compressibili – progressiva 8800 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S09.

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 7.00	<b>TN</b> – Deposito elu-colluviale costituito da limo argilloso, alterato, colore bruno, ricco di sostanza organica, saturo e compressibile.
7.00 – 10.00	<b>LA</b> - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro.
10.00 – 18.00	<b>S</b> - Sabbie giallastre.
18.00 – in prof.	<b>FB/AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano tre stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:417.70	spessore da 3.5 m. a 3.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:990.70	spessore da 7.0 m. a 10.0 m.
<b>strato 3</b>	velocità onde P:1947.50	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal deposito elucolluviale, compreso tra 0.00 ed un profondità di 3.5/3.0 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponde al limo argilloso alterato, compreso tra 3.5/3.00 .m ed un profondità di 10.5/13.0 m.

Il terzo strato individuato dalla sismica corrisponde al livello delle sabbie giallastre, rilevato a partire da 10.5/13.0 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 3.5/3.00	da 0.00 a 7.00 m.	terre nere
Strato 2	da 3.5/3.00 a 10.5/13.00	da 7.00 m. a 10.00.	Limo argilloso
Strato 3	da 10.5/13.0 in prof.	da 10.0 m. a 17.50	Sabbia giallastra
Strato 4	non rilevato	da 17.50 m. in prof.	Argilla di base

Si denota quindi una discreta correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS20 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S09.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>TN – Terre nere</b>	velocità onde P: <b>417.7 m/s</b>
<b>LA – Limo argilloso alterato</b>	velocità onde P: <b>990.7 m/s</b>
<b>S – Sabbia giallastra</b>	velocità onde P: <b>1947.5 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 19****zona sbocco galleria Papazzo – progressiva 10900 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S14.

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 2.50	<b>LA</b> - Limo argilloso-sabbioso, alterato.
2.50 – 7.50	<b>S</b> - Sabbie giallastre.
7.50 – in prof.	<b>FB/AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano tre stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:517.40	spessore da 3.5 m. a 3.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:1098.7	spessore da 7.0 m. a 3.50 m.
<b>strato 3</b>	velocità onde P:1778.1	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde al limo argilloso – sabbioso alterato, compreso tra 0.00 ed un profondità di 3.5/3.0 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponde al livello delle sabbie giallastre, rilevato a partire da 3.5/3.0 m. di profondità da p.c.e con uno spessore di 3.50/7.00 m.

Il terzo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 6.50/10.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0 a 3.5/3.00	da 0.00 m. a 2.50	Limo sabbioso
Strato 2	da 3.5/3.00 a 6.5/10.00	da 2.50 m. a 7.50	Sabbia giallastra
Strato 3	da 6.5/10.0 in prof.	da 7.50 m. in prof.	Argilla di base

Si denota quindi una discreta correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS19 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S14.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>LA – Limo sabbioso</b>	velocità onde P: <b>517.4 m/s</b>
<b>S – Sabbia giallastra</b>	velocità onde P: <b>1098.7 m/s</b>
<b>AMP – argilla marnosa di sub.-tratto II.2</b>	velocità media onde P: <b>1778.1 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 6****zona galleria artificiale S.Cataldo – progressiva 11800 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S23.

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 4.00	<b>TV/LA</b> – Strato superficiale alterato costituito da terreno vegetale passante a limo argilloso-sabbioso, alterato.
4.00 – 18.50	<b>S</b> - Sabbie giallastre.
18.50 – in prof.	<b>FB/AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica

Dall’esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano tre stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell’onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:404.2	spessore da 2.5 m. a 3.0 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:720.5	spessore da 8.0 m. a 13.0 m.
<b>strato 3</b>	velocità onde P:2578.0	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde al limo argilloso – sabbioso alterato, compreso tra 0.00 ed un profondità di 2.5/3.0 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponde al livello delle sabbie giallastre, rilevato a partire da 2.5/3.0 m. di profondità da p.c.e con uno spessore di 8.0/13.00 m.

Il terzo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 8.0/13.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0 a 3.00	da 0.00 m. a 4.00	Limo sabbioso
Strato 2	da 3.00 a 16.0/10.00	da 4.00 m. a 18.50	Sabbia giallastra
Strato 3	da 16.0/10.0 in prof.	da 18.50 m. in prof.	Argilla di base

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS06 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S23.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>LA – Limo sabbioso</b>	velocità onde P: <b>404.2 m/s</b>
<b>S – Sabbia giallastra</b>	velocità onde P: <b>720.5 m/s</b>
<b>AMP – argilla marnosa di sub.-tratto II.2</b>	velocità media onde P: <b>2578.0 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 18****zona viadotto santuzza II – progres. 20700 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S39

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 7.50	<b>LA</b> - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.
7.50 – in prof.	<b>FB/AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:423	spessore da 5.5 m. a 6.5 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:1766.5	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal limo argilloso alterato, compreso tra 0.00 ed una profondità di 6.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 6.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

---

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 6.00	da 0.00 a 7.5 m.	limo argilloso
Strato 2	da 6.00 in prof.	da 7.50 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS18 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S39.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>LA – Limo argilloso</b>	velocità media onde P: <b>423 m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto III.2</b>	velocità media onde P: <b>1766.5 m/s</b>

**STENDIMENTI SISMICI S.S. 16 e S.S. 17****zona C/da abbazia Santuzza – progres. 21800 m.**

Correlazione con la prova penetrometrica P24

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 4.00	<b>LA</b> - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.
4.00 – in prof.	<b>FB/AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana

Dall’esame del profilo stratigrafico ricostruito dai due stendimenti sismici eseguiti si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell’onda sismica, con le seguenti caratteristiche medie:

<b>strato 1</b>	velocità media onde P:481.7	spessore medio da 3.5 m. a 3 m.
<b>strato 2</b>	velocità media onde P:1872.7	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal limo argilloso alterato, compreso tra 0.00 ed una profondità di 3.50 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 3.50 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

---

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 3.00	da 0.00 a 4.00 m.	limo argilloso
Strato 2	da 3.00 in prof.	da 4.00 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati degli stendimenti sismici SS16 ed SS17 e la colonna stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica P24.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>LA – Limo argilloso</b>	velocità media onde P: <b>481.7m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto III.2</b>	velocità media onde P: <b>1872.7 m/s</b>

**STENDIMENTO SISMICO S.S. 15****zona C/da Arenalle – progres. 22500 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S41

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 4.50	<b>LA</b> - Limo argilloso, poco plastico, alterato, colore giallastro ed inclusi gessosi.
4.50 – in prof.	<b>FB/AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche:

<b>strato 1</b>	velocità onde P:425.9	spessore da 3.5 m. a 4 m.
<b>strato 2</b>	velocità onde P:1593.5	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal limo argilloso alterato, compreso tra 0.00 ed una profondità di 4.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 4.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

---

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 4.00	da 0.00 a 4.5 m.	limo argilloso
Strato 2	da 4.00 in prof.	da 4.50 m. in prof.	Argilla marnosa

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati dello stendimento sismico SS15 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio a carotaggio continuo S41.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>LA – Limo argilloso</b>	velocità media onde P: <b>425.9 m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto III.3</b>	velocità media onde P: <b>1593.5 m/s</b>

**STENDIMENTI SISMICI S.S. 10 – S.S. 7****zona imbocco e sbocco galleria Cozzo Garlatti – progres. 25750/26100 m.**

Correlazione con la prova penetrometrica PD10

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 6.00	<b>LA /AL-</b> Limo argilloso, poco plastico, alterato passante a deposito alluvinale costituito da sabbia limosa
6.00 – in prof.	<b>FB-</b> Formazione di base – Calcarenie/calcidurite

Dall’esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell’onda sismica, con le seguenti caratteristiche medie:

<b>strato 1</b>	velocità media onde P:729.8	spessore medio 5.00 m.
<b>strato 2</b>	velocità media onde P:3251.2	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita dal limo argilloso alterato che nella zona in oggetto passa a deposito alluvinale costituito da sabbie limosa, compreso tra 0.00 ed un profondità di 5.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponderebbe allo strato di base che nella zona in oggetto dovrebbe corrispondere alla formazione di “Cozzo Garlatti” costituita da un banco di calcareniti e calciduriti, rilevato a partire da 5.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

---

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 5.00	da 0.00 a 6.00 m.	Alluvioni
Strato 2	da 5.00 in prof.	da 6.00 m. in prof.	Calciduriti

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati degli stendimenti sismici SS10 e SS7e la colonna stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica PD10.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

**AL – deposito alluvionale**

velocità onde P: **729.8 m/s**

**Calcareniti e calciduriti**

velocità onde P: **3251.2 m/s**

**STENDIMENTI SISMICI S.S. 8 – S.S. 9****zona svincolo n. 5 – progressive 26200/26600 m.**

Correlazione con il sondaggio a carotaggio continuo S45

La colonna stratigrafica ottenuta per la zona in oggetto è la seguente:

<i>Profondità (m)</i>	<i>Descrizione</i>
0.00 – 5.00	<b>AL-</b> Deposito alluviale costituito da sabbia limosa
5.00 – in prof.	<b>FB-</b> Formazione di base – argilla marnosa tortoniana

Dall'esame del profilo stratigrafico ricostruito dallo stendimento sismico eseguito si individuano due stratificazioni, suddivise in base alla velocità di propagazione dell'onda sismica, con le seguenti caratteristiche medie:

<b>strato 1</b>	velocità media onde P:1053.8	spessore medio 5.00 m.
<b>strato 2</b>	velocità media onde P:2388	spessore in profondità

Il primo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia superficiale della colonna stratigrafica costituita deposito alluviale costituito da sabbie limosa, compreso tra 0.00 ed un profondità di 5.00 m.

Il secondo strato individuato dalla sismica corrisponde alla fascia profonda costituita dalla formazione di base della argille marnose, rilevate a partire da 5.00 m. di profondità da p.c.

Si può quindi considerare la seguente correlazione

	Sondaggio Sismico	Colonna stratigrafica	Descrizione
Strato 1	da 0.00 a 5.00	da 0.00 a 5.00 m.	Alluvioni
Strato 2	da 5.00 in prof.	da 5.00 m. in prof.	Argille marnose

Si denota quindi una ottima correlazione tra i risultati degli stendimenti sismici SS8 e SS9 e la colonna stratigrafica desunta dal sondaggio S45.

Assegnazione velocità onde sismiche P al corrispondente litotipo:

<b>AL – deposito alluvionale</b>	velocità onde P: <b>1053.8 m/s</b>
<b>AMT – argilla marnosa di sub.-tratto III.3</b>	velocità onde P: <b>2388 m/s</b>



---

<b>LA – Limo sabbioso (SS06)</b>	velocità onde P: <b>404.2 m/s</b>
<b>LA – Limo argilloso (SS18)</b>	velocità onde P: <b>423 m/s</b>
<b>LA – Limo argilloso (SS16,SS17)</b>	velocità onde P: <b>481.7m/s</b>
<b><u>LA – Limo argilloso (SS15)</u></b>	velocità onde P: <b><u>425.9 m/s</u></b>
	velocità media : <b>433.9 m/s</b>

**LITOTIPO TN – depositi elucolluviali-terre nere**

<b>TN – Terre nere (SS24)</b>	velocità onde P: <b>455.4 m/s</b>
<b>TN – Terre nere (SS5)</b>	velocità onde P: <b>499.4 m/s</b>
<b>TN – Terre nere (SS23)</b>	velocità onde P: <b>591.9 m/s</b>
<b>TN – Terre nere (SS21,SS22)</b>	velocità onde P: <b>388.6 m/s</b>
<b><u>TN – Terre nere (SS20)</u></b>	velocità onde P: <b><u>417.7 m/s</u></b>
	velocità media : <b>470.6 m/s</b>

**LITOTIPO AMT – Formazione di base argille marnose tortoniane - I tratto**

<b>AMT – argilla m. di sub.-tratto I.1</b>	velocità onde P: <b>2121.6 m/s</b>
<b>AMT – argilla m. di sub.-tratto I.2</b>	velocità onde P: <b>2716.3 m/s</b>
<b><u>AMT – argilla m. di sub.-tratto I.3 (SS24)</u></b>	velocità onde P: <b><u>1908.6 m/s</u></b>
	velocità media : <b>2248.8 m/s</b>

**LITOTIPO AMP – Formazione di base argille marnose plioceniche**

<b>AMP – argilla m. di sub.-tratto I.3 (SS5)</b>	velocità onde P: <b>3478.3 m/s</b>
<b>AMP – argilla m. di sub.-tratto I.3 (SS23)</b>	velocità onde P: <b>2578.0 m/s</b>
<b>AMP – argilla m. di sub.-tratto II.2 (SS19)</b>	velocità onde P: <b>1778.1 m/s</b>

---

**AMP – argilla m. di sub.-tratto II.2 (SS06)      velocità onde P:2578.0 m/s**

velocità media : **2603.1 m/s**

**LITOTIPO S – Sabbia giallastra formazione marnoso-arenacea**

**S – Sabbia giallastra (SS20)                      velocità onde P: 1947.5 m/s**

**S – Sabbia giallastra (SS19)                      velocità onde P: 1098.7 m/s**

**S – Sabbia giallastra (SS06)                      velocità onde P: 720.5 m/s**

velocità media : **1883.35m/s**

**LITOTIPO AMT – Formazione di base argille marnose tortoniane - III tratto**

**AMT – argilla m. di sub.-tratto III.2 (SS18)      velocità onde P:1766.5 m/s**

**AMT – argilla m. di sub.-tratto III.2 (SS16,SS17) velocità onde P:1872.7 m/s**

**AMT – argilla m. di sub.-tratto III.3 (SS15)      velocità onde P:1593.5 m/s**

**AMT – argilla m. di sub.-tratto III.4 (SS8,SS9) velocità onde P: 2388 m/s**

velocità media : **1905.2m/s**

**LITOTIPO AL – Deposito alluvionale**

**AL – deposito alluvionale (SS7,SS10)              velocità onde P: 729.8 m/s**

**AL – deposito alluvionale (SS8,SS9)              velocità onde P: 1053.8 m/s**

velocità media : **891.3 m/s**

**LITOTIPO costituito dalle calcareniti e calciduriti di Cozzo garlatti**

**Calcariniti e calciduriti                              velocità onde P:3251.2 m/s**

velocità media : **3251.2 m/s**

### 3.5.2 Prove simiche down hole

Complessivamente sono state eseguite 2 prove sismiche tipo down hole nei fori sei sondaggi S14 ed S46, ciascuna rispettivamente di ml 40 e 30 di lunghezza.

Circa le modalità esecutive delle prove eseguite si rimanda all’apposito elaborato dei risultati delle indagini di Fase II.

Riassumendo i risultati ottenuti si sono ricavate le seguenti correlazioni tra i litotipi individuati nelle colonne stratigrafiche e la velocità delle onde sismiche di taglio.

#### Sondaggio S14 – prova DH01

0.00 – 2.00	<b>LS</b> – Limo sabbioso di colore rossastro <b>VS30 198 m/s</b>
2.00 – 8.00	<b>S</b> – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici. <b>VS30 700 m/s</b>
8.00 – in prof.	<b>FB</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica. <b>VS30&gt;700 m/s</b>

#### Sondaggio S46 – prova DH02

0.00 – 2.00	<b>LS</b> – Limo sabbioso di colore rossastro <b>VS30 202 m/s</b>
2.00 – 14.00	<b>S</b> – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici. <b>VS30 442 m/s</b>
14.00 – 24.00	<b>FB</b> - Formazione di base – Argilla limosa - marnosa pliocenica. <b>VS30 873 m/s</b>
24.00 – 26.00	<b>S</b> – Sabbie giallastre con frammenti quarzarenitici. <b>VS30 698 m/s</b>
26.00 – in prof.	<b>FB</b> - Formazione di base – Argilla limosa - marnosa pliocenica. <b>VS30 973 m/s</b>

### 3.6 - POZZETTI ESPLORATIVI E PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Complessivamente sono stati eseguiti lungo tutto il tracciato n. 31 pozzetti esplorativi, di cui 28 in corrispondenza del piano di fondazione dei tratti dove sono previsti i rilevati più alti, e tre nei rilevati esistenti dell'attuale strada, laddove è prevista la sopraelevazione degli stessi.

In corrispondenza dei tratti con i rilevati più alti ed in presenza dei terreni di fondazione più compressibili sono state eseguite n. 14 prove di carico su piastra.

In ciascun pozzetto è stato prelevato a fondo scavo un campione rimaneggiato per la classificazione del terreno.

Su tali campioni sono state eseguite le seguenti prove:

Sui tre campioni prelevati in corrispondenza dei pozzetti sui rilevati esistenti, finalizzati a valutare la natura ed il grado di costipazione del materiale costituente il rilevato stradale, sono state eseguite tre prove di costipamento di tipo AASHO; nel pozzetto è invece stata eseguita una prova di densità in sito.

L'ubicazione dei pozzetti esplorativi e delle prove su piastra eseguite è la seguente:

#### **TRATTO I – DA PROGRESSIVA 0 A KM. 8+600**

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

<b>Pz 1</b>	progr. 0+175	altezza max H=2.00 m.	
<b>Pz 2</b>	progr. 1+400	altezza max H=5.00 m.	
<b>Pz 3</b>	progr. 1+700	altezza max H=8.00 m.	prova su piastra
<b>Pr 1</b>	progr. 1+700	pozzetto esplorativo su rilevato esistente	
<b>Pz 4</b>	progr. 2+100	altezza max H=4.00 m.	prova su piastra

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

<b>Pz 5</b>	progr. 2+500	altezza max H=3.50 m.	
-------------	--------------	-----------------------	--

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

<b>Pz 6</b>	progr. 4+950	altezza max H=4.00 m.	prova su piastra
-------------	--------------	-----------------------	------------------

<b>Pz 7</b>	progr. 5+500	altezza max H=3.00 m.	prova su piastra
<b>Pz 8</b>	progr. 5+700	altezza max H=2.00 m.	
<b>Pz 9</b>	progr. 6+800	altezza max H=4.00 m.	prova su piastra
<b>Pz 10</b>	progr. 7+000	altezza max H=6.00 m.	prova su piastra
<b>Pr 2</b>	progr. 7+050	pozzetto esplorativo su rilevato esistente	
<b>Pz 11</b>	progr. 7+200	altezza max H=6.00 m.	
<b>Pz 12</b>	progr. 8+200	altezza max H=6.00 m.	prova su piastra

**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**

<b>Pz 13</b>	progr. 8+350	altezza max H=4.00 m.	
--------------	--------------	-----------------------	--

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

nessuno

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

<b>Pz 14</b>	progr. 11+950	altezza max H=5.00 m.	
<b>Pz 15</b>	progr. 12+600	altezza max H=6.00 m.	prova su piastra
<b>Pz 16</b>	progr. 12+750	altezza max H=4.00 m.	prova su piastra

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

nessuno

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

<b>Pz 17</b>	progr. 17+100	altezza max H=6.00 m.	prova su piastra
--------------	---------------	-----------------------	------------------

**TRATTO III – DA PROGRESSIVA 18+100 A KM. 28+081****Tratto III.1 – C/da Busita - da progressiva 18+100 a km. 19+400**

<b>Pz 18</b>	progr. 19+375	altezza max H=4.00 m.	
--------------	---------------	-----------------------	--

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

<b>Pz 19</b>	progr. 19+700	altezza max H=7.00 m.	prova su piastra
<b>Pz 20</b>	progr. 20+050	altezza max H=3.00 m.	
<b>Pz 21</b>	progr. 21+125	altezza max H=10.00 m.	prova su piastra
<b>Pr 3</b>	progr. 21+125	pozzetto esplorativo su rilevato esistente	

**Tratto III.3 – C/da Arenella - da progressiva 22+300 a km. 25+200**

<b>Pz 22</b>	progr. 22+900	altezza max H=3.00 m.	
<b>Pz 23</b>	progr. 23+275	altezza max H=2.00 m.	
<b>Pz 24</b>	progr. 24+025	altezza max H=4.00 m.	
<b>Pz 25</b>	progr. 24+900	altezza max H=3.00 m.	
<b>Pz 26</b>	progr. 25+100	altezza max H=6.00 m.	prova su piastra

**Tratto III.4 – Cozzo Garlatti - da progressiva 25+200 a km. 26+600**

<b>Pz 27</b>	progr. 26+100	altezza max H=4.00 m.	
<b>Pz 28</b>	progr. 26+400	altezza max H=4.00 m.	prova su piastra

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

nessuno

In apposito allegato è presentata la documentazione fotografica dei pozzetti eseguiti e le prove effettuate sui campioni prelevati.

Nella pagina successiva è presentata la tabella riepilogativa delle prove effettuate e dei risultati ottenuti.

I risultati delle prove di carico su piastra vengono più avanti utilizzati per l'analisi dei cedimenti dei tratti su rilevato.

Per i tre campioni prelevati nei pozzetti PR1, PR2 e PR3 sul materiale costituente i rilevati esistenti, nei tratti in cui questi sono riutilizzati per la nuova strada, si sono ottenuti i seguenti risultati:

### **Campione da PR1**

#### **Contenuto d'acqua:**

CA=23.29 %

#### **Analisi granulometrica:**

sabbia 72%

ghiaia 28%

#### **Classificazione CNR-UNI:**

classe di appartenenza A1,A2,A3

#### **Densità in sito:**

PV= 1.78

#### **Prova di costipamento:**

PV ottimale = 2.24

CA ottimale = 12%

### **Campione da PR2**

#### **Contenuto d'acqua:**

CA=18.23 %

#### **Analisi granulometrica:**

sabbia 64%

ghiaia 36%

#### **Classificazione CNR-UNI:**

classe di appartenenza A1,A2,A3

#### **Densità in sito:**

PV= 1.82

**Prova di costipamento:**

PV ottimale = 2.16

CA ottimale = 10.5%

**Campione da PR1**

**Contenuto d'acqua:**

CA=15.70 %

**Analisi granulometrica:**

sabbia 64%

ghiaia 36%

**Classificazione CNR-UNI:**

classe di appartenenza A1,A2,A3

**Densità in sito:**

PV= 1.78

**Prova di costipamento:**

PV ottimale = 2.27

CA ottimale = 12.3%

Commento ai risultati:

Il materiale costituente i rilevati esistenti si presenta privo di componente limo-argillosa e con una percentuale di sabbia e ghiaia che lo fa ricadere nelle classi CNR-UNI A1,A2,A3.

Riguardo ai parametri di contenuto d'acqua e densità in sito questi sono distanti dai valori ottimali ottenuti dalle prove di costipamento, e ciò è indice di un non ottimale grado di costipamento dello stesso.

Si conclude quindi che per utilizzare i rilevati esistenti nel corpo dei nuovi rilevati occorre omogeneizzare e rinforzare la parte esistente tramite l'inserimento di un geocomposito di rinforzo all'attacco del nuovo rilevato con il vecchio, così come indicato nelle tavole grafiche sugli interventi di bonifica dei rilevati.

### 3.7 – PROVE INCLINOMETRICHE

In corrispondenza del foro del sondaggio S53, ricadente nella zona di sbocco della galleria di Caltanissetta, è stato inserito un inclinometro.

Il tratto in oggetto è caratterizzato dalla presenza di calanche in prossimità dell'area di sbocco della galleria e della spalle dei viadotti S. Giuliano e S. Filippo Neri.

Scopo dell'indagine inclinometrica è quella di monitorare la stabilità del versante per un tempo che comprende un intero ciclo stagionale.

Sono state già effettuate le prime letture, nel periodo 05/9 2006 e l'indagine sarà conclusa nel maggio 2007.

Risulta quindi prematuro commentare i risultati fino a qui ottenuti dalle poche letture effettuate, che si presentano nella figura successiva.

Per la visione di tutti i risultati e delle modalità di indagine inclinometrica si rimanda allo specifico elaborato allegato ai risultati della campagna geognostica.

### 3.8 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I risultati di tutte le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi della Fase II sono stati utilizzati per ricostruire le stratigrafie di dettaglio in corrispondenza delle varie opere d'arte da realizzare, integrando i dati già ottenuti con le precedenti campagne di indagine.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica di dettaglio dei terreni in corrispondenza dei viadotti si rimanda al CAP. 4.3 sulle opere d'arte maggiori della presente relazione.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica di dettaglio dei terreni in corrispondenza delle gallerie, sia naturali che artificiale, si rimanda al CAP. 6 della presente relazione.

## **4) ANALISI GEOTECNICHE**

Nel presente paragrafo verranno verificati, sulla base dei parametri geotecnici attribuiti ai litotipi desunti dalle prove di laboratorio effettuate su tutti i campioni prelevati nel corso delle varie campagne di indagine eseguite, i dimensionamenti geotecnici di tutti i manufatti interagenti con il terreno.

### **4.1 – OPERE D'ARTE MINORI**

#### **4.1.1 – Opere di contenimento di scavi e rilevati**

Le opere di contenimento da realizzare sono state scelte e dimensionate facendo riferimento alle seguenti problematiche geotecniche:

- conformazione e natura del terreno di fondazione e della geomorfologia;
- presenza o meno di immobili in prossimità dell'opera da realizzare;
- volumi di scavo o rilevato relativi alla specifica opera di contenimento.

In particolare, le opere di controripa agli scavi sono state dimensionate e verificate come muri in c.a. o come paratie, in funzione dell'altezza dell'opera e della possibilità o meno di effettuare lo scavo provvisorio a tergo dell'opera stessa per la presenza di eventuali fabbricati in prossimità dello scavo.

Le opere di sottoscarpa sono state dimensionate e verificate come muri in c.a. o come terre armate, in funzione dei volumi di rilevato da realizzare e della geomorfologia della zona di imposta dell'opera.

#### 4.1.1.1 – Opere di contenimento con muri in c.a.

Per il dimensionamento parametrico delle opere di contenimento in c.a. da realizzare lungo lo sviluppo del tracciato stradale, quali muri di sottoscarpa e di controripa, viene appresso eseguita la tipizzazione di tutti i terreni presenti in superficie lungo l'area di indagine in categorie, in base alle caratteristiche geomeccaniche medie, in modo da poter dimensionare la tipologia fondale adeguata.

I litotipi individuati nella parte superficiale della stratigrafia dell'area indagata sono i seguenti:

**D** – Detriti di falda limo argillosi con frammenti lapidei

**TN** – Terre nere, depositi limo argillosi compressibili

**LA** – limi argillosi alterati

**AL** – Depositi alluvionali limo argillosi

**AS** – Argille sabbiose

**LS** – Limi sabbiosi

**MA** – Marne argillose, trubi

**FB** – Formazione di base affiorante delle argille grigio-azzurre tortoniane o plioceniche

**CL** – Calcari, calcari marnosi

In base alle caratteristiche meccaniche ottenute dalle analisi geotecniche, tali terreni, presenti in condizioni di affioramento, vengono suddivisi nelle seguenti classi, ai fini della scelta della tipologia fondale dell'opera di contenimento.

#### **CLASSE A – Caratteristiche meccaniche scadenti**

**D** – Detriti di falda

**TN** – Terre nere compressibili

**LA** – limi argillosi alterati

#### **CLASSE B – Caratteristiche meccaniche medie**

**AL** – Depositi alluvionali limo argillosi

**AS** – Argille sabbiose

**LS** – Limi sabbiosi

**MA** – Marne argillose, trubi

**CLASSE C – Caratteristiche meccaniche buone****FB** – Formazione di base delle argille grigio-azzurre, in affioramento**CL** – Calcari, calcari marnosi

Ai fini del dimensionamento fondale, le caratteristiche di resistenza medie relative alle tre classi individuate, basate sulla interpolazione dei risultati delle analisi eseguite sui vari tipi di terreno appartenenti alla stessa classe, sono le seguenti:

**CLASSE A - Caratteristiche meccaniche scadenti**

$$\gamma = 1.70/1.90 \text{ T/mc}$$

$$C_u = 0/0.25 \text{ Kg/cm}^2$$

$$c' = 0/0.1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\varphi' = 15/20^\circ$$

**CLASSE B - Caratteristiche meccaniche medie**

$$\gamma = 1.90/2.00 \text{ T/mc}$$

$$C_u = 0.25/1.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$c' = 0.2/0.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\varphi' = 22/25^\circ$$

**CLASSE C - Caratteristiche meccaniche buone**

$$\gamma = >2.00 \text{ T/mc}$$

$$C_u = > 1.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$c' = >0.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\varphi' = > 30^\circ$$

Con l'ausilio di tali parametri sono stati dimensionati i muri in c.a. di sottoscarpata e controripa.

La scelta del tipo di fondazione, diretta o indiretta, è stata eseguita in base a spessore e natura del terreno superficiale riscontrate nella zona di imposta della specifica opera.

I tabulati di calcolo di tale dimensionamento sono presentati in apposito allegato, suddiviso in due parti:

- parte A – Dimensionamenti strutturali muri;
- parte B – verifiche di stabilità globale complesso muro-pendio;

Per quanto riguarda i muri di sottoscarpa su pali da eseguire in corrispondenza di rilevati alti e terreno superficiale compressibile, è opportuno segnalare la esigenza di realizzare per fasi il complesso rilevato –muro per evitare fenomeni di attrito negativo nei pali dovuti al cedimento di consolidazione dello strato compressibile.

Le sigle delle opere di contenimento inserite lungo tutto lo sviluppo della strada si riferiscono alla seguente legenda:

*prime due lettere: tipologia opera di contenimento*

**MS** ..... opera di sottoscarpa

**MC** ..... opera di controripa

*Terza lettera: tipologia di realizzazione*

**O** ..... c.a. ordinaria

**P** ... prefabbricata

**PA** ..... paratia di pali

**(T)** ..... presenza di tirante in testa paratia

**TA** ..... terra armata

*Quarta lettera: tipologia fondale ( per i soli muri in c.a.)*

**D** ..... fondazione diretta

**P** ..... fondazione indiretta

*Numero finale: altezza in metri*

**n** .... Altezza dell'opera di contenimento

*Lettera finale: tipo di terreno interessato dalle fondazioni*

**A,B,C** .... Classe di terreno di fondazione

Nelle pagine seguenti sono presentate le tabelle riepilogative di dimensionamento dei muri in c.a.

#### 4.1.1.2 – Opere di contenimento in terre armate

La scelta dell’inserimento di un’opera di contenimento di sottoscarpa in terra armata consente un minor impatto ambientale rispetto ad un’opera in calcestruzzo.

Le caratteristiche geometriche, costruttive e strutturali delle opere di contenimento in terra armata sono mostrate nelle tavole di progetto; nel seguito viene riportata una sintetica descrizione.

L’opera di sottoscarpa o di sostegno in terra armata viene verificata con altezze variabili da 1.00 fino ad un massimo di 8.00 m.

Al di sopra del muro il pendio viene profilato con pendenza 2V/3H fino al piano stradale, per una altezza variabile da minimo 1.50 m. ad un massimo di 4.00 m.

Nella figura seguente è indicata la sezione generica della struttura in terra armata con evidenziati i principali parametri costruttivi, che sono i seguenti:

##### *Paramento esterno*

Il paramento esterno viene progettato in due diverse tipologie, per ognuna delle quali viene eseguito uno specifico dimensionamento strutturale:

- 1) Paramento esterno inclinato, in terra ed inerbito; (inclinazione 25°)
- 2) paramento esterno inclinato, rivestito con gabbioni; (inclinazione 10%)

##### *Rilevato strutturale*

Il rilevato strutturale, che indica la parte del rilevato nella quale sono presenti i rinforzi, ha una larghezza proporzionale all’altezza del rilevato stesso, in genere  $Base \Rightarrow 1.2H$ .

##### *Struttura di rinforzo:*

La struttura di rinforzo è costituita dal rilevato strutturale, dagli elementi di rinforzo, dal terreno di riempimento a tergo e dalla presenza o meno dei gabbioni sul paramento.

##### *Rinforzo*

Elemento resistente a trazione in virtù dell’attrito con il terreno, disposto lungo piani di posa orizzontali; può essere principale ed in tal caso è dotato di risvolto sul lato di valle oppure secondario.

### *Gabbioni*

Struttura in pietrame che costituisce il paramento utilizzato con funzione di drenaggio o antierosione in prossimità degli alvei fluviali, oppure per dare al paramento stesso maggiore rigidità qualora si voglia ottenere una parete prossima alla verticale.

### *Ancoraggio*

Lunghezza del rinforzo esterna alla superficie di rottura.

La scelta dello specifico tipo di paramento esterno è stata effettuata in base a valutazioni sull'area di imposta dell'opera, sulla funzionalità dell'opera di contenimento come semplice sottoscarpa o come argine a ridosso di impluvi.

In allegato ( B ) sono presentati i tabulati di dimensionamento delle varie altezze individuate delle opere di sottoscarpa in terra armata per entrambe le tipologie di paramento, inerbito o con rivestimento in gabbioni e per le altezze previste.

Qui di seguito sono presentate le sezioni grafiche di verifica per ciascuna altezza verificata, che varia da 1.00 a 8.00 m. per il paramento inerbito e da 1.00 a 3.00 m. per il paramento rivestito con gabbioni.

Il dimensionamento delle terre armate è stato effettuato considerando un'altezza massima di rilevato sovrastante di m. 4.00, che è la massima altezza riscontrata in tutte le sezioni progressive visionate in corrispondenza della realizzazione in un contenimento di sottoscarpa da effettuare con terre armate.

#### 4.1.1.3 – Opere di contenimento con paratie

Quando la presenza di fabbricati a ridosso di trincee o la notevole altezza dell'opera di contenimento prevista non consente la realizzazione di un muro di controripa in c.a. è prevista la realizzazione di paratia di pali trivellati, con le seguenti tipologie:

Altezza fuori terra(m)	Diam. palo(mm)	Lunghezza palo (m)	Tipologia
3	800	9.00	a sbalzo
4	800	12.00	a sbalzo
5	800	15.00	a sbalzo
6	800	18.00	a sbalzo
7	1000	15.00	con tirante in testa
8	1000	18.00	con tirante in testa
9	1000	21.00	con tirante in testa
10	1000	24.00	con tirante in testa

Per quanto riguarda le tipologie costruttive e le fasi di realizzazione delle paratie si rimanda allo specifico elaborato grafico di progetto.

Le paratie di pali trivellati  $\phi$  800 o  $\phi$  1000 saranno provviste di un cordolo di collegamento in testa, a cui sarà agganciata la paretina di rivestimento.

Qui di seguito sono presentati i dimensionamenti geotecnici delle varie altezze di paratie previste in progetto.

La situazione stratigrafica schematizzata è costituita da uno strato superficiale di porzione alterata della formazione argillosa, costituita da limo argilloso plastico (LA), il cui spessore varia da 3.00 a 6.00 m.

Come formazione di base si considerano le argille marnose tortoniane a struttura scagliosa (AMT).

Viene dunque analizzata la seguente caratterizzazione media:

0.00 – 3/6.00 m.	<b>LA</b> –Limo argilloso plastico. $\gamma = 19 \text{ KN/mc}$ $c' = 15 \text{ Kpa}$ $\phi' = 19^\circ$ $C_u = 70 \text{ Kpa}$
3/6.00 m. – prof.	<b>AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana $\gamma = 20 \text{ KN/mc}$ $c' = 25 \text{ Kpa}$ $\phi' = 23^\circ$ $C_u = 130 \text{ Kpa}$

Il dimensionamento è stato effettuato per la situazione più svantaggiosa, corrispondente alla zona sismica di classe 2.

Nelle pagine e figure seguenti sono riportati gli schemi di calcolo e le sollecitazioni ottenute per ciascuna altezza di paratia analizzata, da 3 m. fino a 10 m.

*Verifica allo sfilamento del tirante*

Riguarda le tipologie di paratia di maggiore altezza, da 7.00 a 9.00 m. fuori terra.

Dai tabulati di verifica, gli sforzi di trazione nei tiranti sono risultati i seguenti:

Paratia H= 7.00 m.	Trazione sul tirante T= 16.40 t/m. di paratia
Paratia H= 8.00 m.	Trazione sul tirante T= 22.81 t/m. di paratia
Paratia H= 9.00 m.	Trazione sul tirante T= 30.69 t/m. di paratia
Paratia H= 10.00 m.	Trazione sul tirante T= 39.70 t/m. di paratia

La posizione del tirante è fissata in testa paratia, in corrispondenza del cordolo, con i seguenti interassi:

Par. H= 7.00 m.	int. tirante i = 3.00 m.	Trazione sul singolo tirante ... 49.20 T
Par. H= 8.00 m.	int. tirante i = 2.00 m.	Trazione sul singolo tirante.... 45.62 T
Par. H= 9.00 m.	int. tirante i = 1.50 m.	Trazione sul singolo tirante ... 46.03 T
Par. H= 10.00 m.	int. tirante i = 1.25 m.	Trazione sul singolo tirante ... 49.60 T

Si considerano tiranti da 60 T a quattro trefoli.

Lunghezza complessiva del tirante L= 30.00 m., di cui 16.00 di lunghezza libera e 14.00 m. di ancoraggio.

Lunghezza bulbo di ancoraggio minima da verificare L= 14.00 m.

Per il livello stratigrafico di ancoraggio del tirante, costituito dalla formazione AMT, si utilizzano i seguenti parametri geotecnici:

**AMT** — Argilla marnosa tortoniana

$$\gamma = 20 \text{ KN/mc}$$

$$c' = 25 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 23^\circ$$

$$C_u = 130 \text{ Kpa}$$

Si utilizza la formula:

$$Nu = \pi * Dm * Lo * \tau$$

Dove:

Nu tiro ultimo

Dm diametro medio bulbo

Lo lunghezza ancoraggio

$\tau$  tensione di aderenza pari a  $\alpha C_u$ , nel caso di terreni prevalentemente coesivi.

Considerando una perforazione di diametro cm 15, il diametro medio del bulbo di fondazione, per effetto dell'iniezione in pressione, si pone pari a  $Dm=25$  cm.

Inoltre si pone  $\alpha=0.9$

Si ottiene quindi:

$$Nu = 3.14 * 0.25 * 14 * 0.9 * 13 = 128 \text{ t}$$

Coefficiente di sicurezza ottenuto per l'utilizzo di tiranti da 60 t a quattro trefoli, trazione max ottenuta pari a 49.6 t:

$$128/49.6 = 2.60$$

La determinazione della lunghezza complessiva del tirante e della lunghezza minima del bulbo di ancoraggio verificata rispetta quanto indicato nella figura successiva circa l'attraversamento del cuneo di spinta della parte libera del tirante.

#### 4.1.2 – Rilevati e trincee

In relazione alla tipologia delle opere in terra da realizzare e degli scavi per l'apertura di trincee previsti in progetto, si affrontano qui di seguito i seguenti argomenti di verifica geotecnica:

- Verifica di stabilità delle scarpate di rilevati e trincee;
- Verifica e calcolo dei cedimenti dei rilevati, analisi e decorso;
- Interventi di bonifica di rilevati e trincee e di stabilizzazione delle scarpate;

Lungo il tracciato stradale sono previsti in progetto numerosi tratti in rilevato ed in trincea.

Per valutare i tratti più critici da sottoporre a verifica, sia per altezza che per natura del terreno di imposta o di scavo, è stato eseguito un esame congiunto comparativo dei seguenti aspetti di caratterizzazione geotecnica:

- tipologia strada per tratti omogenei;
- studio compressibilità terreni superficiali lungo lo sviluppo del tracciato (presentato nella tabella di pagina successiva);
- Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi.

Da tale confronto si sono individuati i tratti considerati più critici sia per i rilevati che per le trincee.

##### rilevati

Si sono individuati i rilevati più alti in corrispondenza di presenza di terreni compressibili o di ridotta capacità portante.

Per tali sezioni verrà dimensionato, in base a valutazioni sulla portanza e sui cedimenti, lo spessore della bonifica del piano fondale da effettuare oltre i 30 cm. di scotico, già previsti nella sezione tipo in tutti i tratti su rilevato.

Le sezioni critiche che si sono individuate sono le seguenti:

Sez.	Progressiva	Altezza max	Tipo rilevato	Tipo di terreno in sup.
69	1+700	6.00 m.	allargamento di esistente a sx	Limo argilloso
200	4+950	4.00 m.	allargamento in asse	Terre nere
221	5+500	4.00 m.	allargamento di esistente a sx	Terre nere
272	6+785	4.00 m.	nuovo	Limo argilloso
312	7+775	6.00 m.	nuovo	Terre nere
404	10+071	6.00 m.	nuovo	Limo argilloso
479	11+950	6.00 m.	nuovo	sabbia/limo sabbioso
506	12+625	8.00 m.	nuovo	sabbia/limo sabbioso
686	17+125	9.00 m.	nuovo	Limo argilloso
768	19+180	5.00 m.	nuovo	Limo argilloso
789	19+700	8.00 m.	allargamento di esistente a sx	Limo argilloso
847	21+150	7.00 m.	nuovo	Limo argilloso
924	23+075	7.00 m.	nuovo	Alluvioni/limo sabbioso
1061	26+486	5.00 m.	nuovo	Alluvioni/limo sabbioso

Per ogni sezione critica verrà ricostruita, in base alla caratterizzazione geotecnica generale delle varie unità litostratigrafiche dei terreni, la stratigrafia di calcolo che interagisce con la struttura in terra e che consente di verificare il rilevato sia alla stabilità ed alla portanza che per l'ammissibilità del cedimento.

trincee

Si sono individuati i tratti in trincea in corrispondenza di presenza di terreni con bassi parametri di resistenza, nonché quelli che interessano terreni di scarsa portanza o che sono soggetti a possibile erosione accelerata.

Le sezioni critiche che si sono individuate sono le seguenti:

<u>Carreg.</u>	<u>da sez. a sez.</u>	<u>H. max scavo</u>	<u>Tipo terreno</u>	<u>Tipo intervento</u>
sinistra	162-172	6.00 m.	Terre nere	geocomposito
sinistra	206-214	5.00 m.	limo alterato	geocomposito
sinistra	718-723	11.00 m.	argille	rivestim.scarpata
sinistra	779-783	5.00 m.	argille	rivestim.scarpata
destra	161-169	5.00 m.	terre nere	geocomposito
destra	206-214	5.00 m.	limo alterato	geocomposito
destra	685-688	5.00 m.	argille	rivestim.scarpata
destra	948-955	5.00 m.	alluvioni	rivestim.scarpata

Per tali sezioni critiche vengono previsti ulteriori accorgimenti di bonifica oltre a quello già previsto nella sezione tipo, consistente nella bonifica di m. 1.00 di terreno al di sotto dello strato di misto granulare e di sostituzione dello stesso con materiale proveniente da cava di prestito.

Gli accorgimenti previsti, per i terreni individuati di scarsa portanza, sono costituiti dall'inserimento di un geocomposito di aumento della capacità portante del terreno, da collocare alla base dello scavo di bonifica.

Inoltre, nel caso di scarpate argillose tendenti ad erosione accelerata, si è previsto il rivestimento e l'inerbimento delle stesse con una struttura cellulare riempita di terreno vegetale.

I particolari esecutivi di tali interventi sono presentati in un apposito elaborato grafico, a cui si rimanda.

#### 4.1.2.1 – Verifica di stabilità delle scarpate

Sia le scarpate dei rilevati che quelle di risagomatura degli scavi delle trincee sono state previste con pendenza 2V/3H.

##### Rilevati

Se lungo lo sviluppo dei rilevati sono presenti opere di contenimento rigido o flessibile del piede dello stesso, la verifica di stabilità globale è inserita nelle relative verifiche statiche, a cui si rimanda.

Qui di seguito viene verificata alla stabilità globale la scarpata del rilevato senza opera di protezione al piede, ovvero la parte di scarpata sovrastante l'opera di contenimento.

Si sono considerate le seguenti condizioni di carico:

- a) caso statico con sovraccarico sulla piattaforma stradale pari a 20 Kpa (2000 kg/mq)
- b) caso sismico (classe 2) con sovraccarico pari a 10 Kpa (1000 kg/mq)

Per il terreno che costituisce il corpo del rilevato si sono considerati i seguenti parametri geotecnici:

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

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

$$\varphi' = 33^\circ$$

Circa la geometria della sezione si considera il rilevato di forma trapezoidale.

Nelle pagine seguenti sono presentate le verifiche di stabilità della scarpa del rilevato, svolte con il sistema dell'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza ottenuto, da confrontare con il valore minimo di 1,3, è il seguente:

a) caso statico  $f = 1.551 > 1.3$

b) caso sismico  $f = 1.307 > 1.3$

## Trincee

Vengono effettuati due tipi di verifica di stabilità di pendenza di sagomatura di scavo:

- scarpata provvisoria per realizzazione opera di controripa ... pendenza 1V/1H
- scarpata definitiva di risagomatura in testa muro ... pendenza 2V/3H

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza da prendere in considerazione si distinguono i due casi:

### apertura scavo con pendenza 1V/1H

Si considera la parametrizzazione geotecnica del litotipo interessato dallo scavo. Considerando il carattere provvisorio dello scavo l'analisi viene fatta a breve termine in condizioni non drenate.

### Sagomatura scarpata in testa muro con pendenza 2V/3H

Si considerano i parametri di resistenza relativi ad un ricolmo con materiale proveniente dagli scavi, sagomato a scarpata e costipato. Considerando il carattere definitivo della sagomatura della scarpata l'analisi viene fatta a lungo termine in condizioni drenate.

I parametri geotecnici medi presi in considerazione sono i seguenti:

#### Litotipo in posto da sagomare con pendenza 1V/1H:

**LA** –Limo argilloso.

$$\gamma = 19 \text{ KN/mc} \quad C_u = 60 \text{ Kpa} \quad c' = 15 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 19^\circ$$

#### Terreno di riempimento da sagomare con pendenza 2V/3H, costipato:

**TR** – Riempimento proveniente dagli scavi.

$$\gamma = 18 \text{ KN/mc} \quad c' = 20 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 25^\circ$$

I risultati delle verifiche di stabilità sono i seguenti:

**caso 1**

scarpata provvisoria 1V/1H per realizzazione muro di controripa

analisi in assenza di sisma

tipo terreno: **LA**

condizione di calcolo: non drenata

coefficiente di sicurezza ottenuto **1.72**

Nella figure seguenti è presentato il grafico di verifica.

**caso 2**

scarpata definitiva 2V/3H in testa muro di controripa di risagomatura

analisi in presenza di sisma

tipo terreno: **TR**

condizione di calcolo: drenata

coefficiente di sicurezza ottenuto **1.55**

Nella figure seguenti è presentato il grafico di verifica.

**caso 3**

scarpata definitiva 2V/3H in trincea senza muro di controripa

analisi in presenza di sisma

tipo terreno: **LA**

condizione di calcolo: drenata

coefficiente di sicurezza ottenuto **1.3**

Nella figure seguenti è presentato il grafico di verifica.

In allegato D sono riportati i tabulati di calcolo di tutti e tre i casi analizzati.

#### 4.1.2.2 – Verifica dei cedimenti

S procede qui di seguito alla verifica dei rilevati nei confronti dei cedimenti del terreno di fondazione

Dal punto di vista teorico si può schematizzare il cedimento di un deposito coesivo saturo sottoposto all'azione di un carico di dimensioni finite secondo le seguenti componenti:

- a) cedimento immediato: data la bassa permeabilità del terreno, la fase di carico avviene in condizioni non drenate con generazione di sovrappressioni interstiziali; i materiali argillosi si deformano allora a volume costante.
- b) Cedimento di consolidazione primaria: il trasferimento del carico dall'acqua allo scheletro solido comporta ulteriori cedimenti, la cui velocità nel tempo è legata principalmente alle caratteristiche di permeabilità dell'argilla alle condizioni di drenaggio.
- c) Cedimento secondario: ultimato il processo di consolidazione primaria, anche quando le sovrappressioni nell'acqua risultano nulle, continuano a svilupparsi assestamenti dovuti a fenomeni di natura plastico viscosa in condizioni non drenate.

Qui di seguito viene calcolato il cedimento totale per ciascuna sezione individuata come critica.

L'analisi è stata svolta mediante l'ausilio di un programma automatico, con il metodo di Terzaghi.

L'area di carico è schematizzata come impronta di carico di rigidità nulla e gli incrementi tensionali indotti sono valutati per via elastica con il metodo di Boussinesq.

Si è considerato un sovraccarico stradale sull'intera piattaforma pari a 20 Kpa.

I parametri di compressibilità dei vari strati al di sotto dei rilevati sono ricavati dalle varie prove edometriche ovvero dalle prove di carico su piastra eseguite nei pozzetti esplorativi ubicati proprio in corrispondenza di molte sezioni individuate come critiche.

I tabulati relativi al calcolo del cedimento sono presentati nell'apposito allegato C.

Nella pagina successiva è presentata in tabella riassuntiva l'analisi svolta sulla compressibilità dei terreni.

Per ciascuna sezione individuata come critica viene fornita la caratterizzazione geomeccanica e di compressibilità del terreno su cui insisterà il rilevato e viene indicato il valore del cedimento stimato con e senza l'intervento di bonifica previsto in tale sezione.

**SEZIONE 69****(pozzetto esplorativo PZ3)**

Progressiva 1+700  
Rilevato di altezza H=6.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 8.00      **LA** –Limo argilloso.  
 $\gamma = 18.7 \text{ KN/mc}$   
 $c' = 19 \text{ Kpa} \quad \phi' = 16^\circ$   
 $E_d = 9146 \text{ Kpa} \quad C_v = 0.0065 \text{ cmq/sec}$

8.00 – prof.      **AMT** - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana  
 $\gamma = 19 \text{ KN/mc}$   
 $c' = 30 \text{ Kpa} \quad \phi' = 19^\circ$   
 $E_d = 15720 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico è stato considerato a piano campagna.  
(zona di ristagno d'acqua)

Cedimento totale stimato: **17.91 cm.**  
 Bonifica prevista cm 150  
 Cedimento totale stimato con intervento di bonifica **17.02 cm.**







**SEZIONE 312****(pozzetto esplorativo PZ12)**

Progressiva 7+775  
Rilevato di altezza H=6.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 5.00	<b>TN</b> – Depositi eluocolluviali.	$\gamma = 18.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 10 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 16^\circ$ $E_d = 8084 \text{ Kpa} \quad C_v = 0.0021 \text{ cmq/sec}$
5.00 – 15.00	<b>AMT</b> - Argilla marnosa tortoniana - parte superficiale	$\gamma = 18.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 23^\circ$ $E_d = 13.430 \text{ Kpa}$
15.00 – prof.	<b>AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana	$\gamma = 18.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 23^\circ$ $E_d = 19.470 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico è stato considerato a piano campagna.  
(zona di ristagno d'acqua)

Cedimento totale stimato: **21.63 cm.**  
Bonifica prevista cm 150  
Cedimento totale stimato con intervento di bonifica **20.52 cm.**

**SEZIONE 404**

Progressiva 10+071  
Rilevato di altezza H=6.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 6.00	<b>LA</b> –Limo argilloso.	$\gamma = 19 \text{ KN/mc}$ $c' = 40 \text{ Kpa}$ $\phi' = 14^\circ$ $E_d = 7680 \text{ Kpa}$ $C_v = 0.00463 \text{ cmq/sec}$
6.00 – 15.00	<b>AMP</b> - Argilla marnosa pliocenica – parte superficiale	$\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa}$ $\phi' = 20^\circ$ $E_d = 13.430 \text{ Kpa}$
15.00 – prof.	<b>AMP</b> - Formazione di base – Argilla marnosa pliocenica	$\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa}$ $\phi' = 20^\circ$ $E_d = 19.470 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico non è stato considerato.

Cedimento totale stimato: **20.57 cm.**  
Bonifica prevista cm 150  
Cedimento totale stimato con intervento di bonifica **19.92 cm.**

**SEZIONE 479****(pozzetto esplorativo PZ14 e PZ15)**

Progressiva 11+950  
Rilevato di altezza H=6.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 7.50	<b>S</b> – Sabbia gaillastra con intercalazioni di limo sabbioso. $\gamma = 19 \text{ KN/mc}$ $c' = 0 \text{ Kpa}$ $\phi' = 30^\circ$ $E_d = 30260 \text{ Kpa}$ $C_v = 0.00635 \text{ cmq/sec}$
7.50 – 15.00	<b>AS</b> – Argilla sabbiosa – parte superficiale $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa}$ $\phi' = 23^\circ$ $E_d = 10130 \text{ Kpa}$
15.00 – prof.	<b>AS</b> – Argilla sabbiosa – parte profonda $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa}$ $\phi' = 23^\circ$ $E_d = 17050 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico non è stato considerato.

Cedimento totale stimato: **19.03 cm.**  
Bonifica prevista    cm 100

**SEZIONE 506****(pozzetto esplorativo PZ16)**

Progressiva 12+625  
Rilevato di altezza H=8.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 5.00	<b>S</b> – Sabbia gaillastra con intercalazioni di limo sabbioso. $\gamma = 19 \text{ KN/mc}$ $c' = 0 \text{ Kpa}$ $\phi' = 30^\circ$ $E_d = 30260 \text{ Kpa}$ $C_v = 0.00635 \text{ cmq/sec}$
5.00 – 15.00	<b>AS</b> – Argilla sabbiosa – parte superficiale $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa}$ $\phi' = 23^\circ$ $E_d = 10130 \text{ Kpa}$
15.00 – prof.	<b>AS</b> – Argilla sabbiosa – parte profonda $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 30 \text{ Kpa}$ $\phi' = 23^\circ$ $E_d = 17050 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico è stato considerato a piano campagna.

Cedimento totale stimato: **25.83 cm.**  
Bonifica prevista cm 100

**SEZIONE 686****(pozzetto esplorativo PZ17)**

Progressiva 17+125  
Rilevato di altezza H=9.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 2.00	<b>LA</b> – Limo argilloso.	$\gamma = 18.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 15 \text{ Kpa}$ $\phi' = 19^\circ$ $E_d = 14070 \text{ Kpa}$ $C_v = 0.0021 \text{ cmq/sec}$
2.00 – 15.00	<b>AB1</b> – Breccia argillosa – parte superficiale	$\gamma = 19 \text{ KN/mc}$ $c' = 25 \text{ Kpa}$ $\phi' = 17.5^\circ$ $E_d = 13050 \text{ Kpa}$
15.00 – prof.	<b>AB1</b> – Breccia argillosa – parte profonda	$\gamma = 19 \text{ KN/mc}$ $c' = 25 \text{ Kpa}$ $\phi' = 17.5^\circ$ $E_d = 17050 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico no è stato considerato.

Cedimento totale stimato: **20.49** cm.  
Bonifica prevista cm 100  
Cedimento totale stimato con intervento di bonifica **20.56** cm.

**SEZIONE 768****(pozzetto esplorativo PZ18 e PZ19)**

Progressiva 19+180  
Rilevato di altezza H=5.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 4.50	<b>LA</b> – Limo argilloso	$\gamma = 195 \text{ KN/mc}$ $c' = 10 \text{ Kpa} \quad \phi' = 19^\circ$ $E_d = 14070 \text{ Kpa} \quad C_v = 0.0021 \text{ cmq/sec}$
4.50 – prof.	<b>AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana	$\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 40 \text{ Kpa} \quad \phi' = 20^\circ$ $E_d = 17193 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico non è stato considerato.

Cedimento totale stimato:	<b>14.33 cm.</b>
Bonifica prevista cm 100	
Cedimento totale stimato con intervento di bonifica	<b>14.19 cm.</b>

**SEZIONE 789****(pozzetto esplorativo PZ19)**

Progressiva 19+700  
Rilevato di altezza H=8.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 5.00	<b>LA</b> – Limo argilloso	$\gamma = 195 \text{ KN/mc}$ $c' = 10 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 19^\circ$ $E_d = 14070 \text{ Kpa} \quad C_v = 0.0021 \text{ cmq/sec}$
5.00 – prof.	<b>AMT</b> - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana	$\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$ $c' = 40 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 20^\circ$ $E_d = 17193 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico non è stato considerato.

Cedimento totale stimato:	<b>22.22 cm.</b>
Bonifica prevista cm 100	
Cedimento totale stimato con intervento di bonifica	<b>22.00 cm.</b>

**SEZIONE 847****(pozzetto esplorativo PZ21)**

Progressiva 21+150  
Rilevato di altezza H=7.00 m.

Stratigrafia terreno di fondazione rilevato:

0.00 – 4.00      **LA** –Limo argilloso.  
 $\gamma = 19.5 \text{ KN/mc}$   
 $c' = 15 \text{ Kpa} \quad \phi' = 19^\circ$   
 $E_d = 14070 \text{ Kpa} \quad C_v = 0.0021 \text{ cmq/sec}$

4.00 – prof.      **AMT** - Formazione di base – Argilla marnosa tortoniana  
 $\gamma = 20 \text{ KN/mc}$   
 $c' = 20 \text{ Kpa} \quad \phi' = 20^\circ$   
 $E_d = 21419 \text{ Kpa}$

Il livello piezometrico non è stato considerato.

Cedimento totale stimato: **17.23 cm.**  
 Bonifica prevista cm 100  
 Cedimento totale stimato con intervento di bonifica **16.93 cm.**





I cedimenti che sono stati valutati per ciascun tratto di rilevato individuato come critico per altezza e per natura di terreno sono ricapitolati nella seguente tabella, dove il cedimento totale indicato tiene già conto degli interventi di bonifica previsti.

Dato che si è sempre in presenza di terreni essenzialmente coesivi viene distinto il cedimento immediato dal cedimento di consolidazione.

Sez.	H rilevato (m)	Ced. immed. (cm)	Ced. di consol. (cm)	Ced. totale (cm)
69	6.00	1.55	15.47	17.02
200	4.00	1.44	14.43	15.87
221	4.00	1.88	18.84	20.72
272	4.00	1.21	12.12	13.33
312	6.00	1.87	18.65	20.52
404	6.00	1.81	18.11	19.92
479	6.00	1.73	17.30	19.03
506	8.00	2.35	23.48	25.83
686	9.00	1.87	18.69	20.56
768	5.00	1.29	12.90	14.19
789	8.00	2.00	20.00	22.00
847	7.00	1.54	15.39	16.93
924	7.00	1.55	15.46	17.01
1061	5.00	1.05	10.48	11.53

#### 4.1.2.3 – Interventi di bonifica e di stabilizzazione

In conclusione alla valutazione dei cedimenti, viene fornita la tabella riepilogativa dei tratti su rilevato presenti in progetto con indicato lo spessore di bonifica necessario per ciascun tratto, oltre lo scotico, in base sia alla valutazione del cedimento che alla natura del terreno di sedime.

Con riferimento al decorso del cedimento nel tempo, la verifica per ciascuna sezione, in base alla teoria monodimensionale di Terzaghi, è presentata nelle tabelle riportate nell'apposito allegato ( C ), dove si è valutato l'andamento del grado di consolidazione in funzione del tempo, in base al coefficiente di consolidazione verticale misurato nelle prove edometriche.

Dall'analisi di tali tabelle si desume che i cedimenti massimi ottenuti nelle sezioni più critiche sono compresi tra i 15 ed i 25 cm.

Con riferimento al decorso del cedimento nel tempo, stimando un tempo di esecuzione del rilevato di circa 14/18 mesi, il decorso stimato appare sufficientemente rapido e tale da esaurire il processo di consolidazione durante la fase di realizzazione dell'opera.

I cedimenti residui, a partire dalla fine della costruzione, si sono stimati inferiori ai 5 cm, così come indicato nelle norme tecniche ANAS sulla realizzazione dei rilevati, dove è specificato che la costruzione del rilevato dovrà essere programmata in maniera tale che il cedimento residuo, terminati i lavori, non sia superiore ai 5 cm.

Dall'analisi dei cedimenti svolta, tale condizione è risultata quasi sempre verificata. Solamente in due zone si sono stimati cedimenti che non si esauriscono entro la fase di realizzazione dell'opera.

Entrambe le zone in oggetto sono ricadenti in c/da Grottad'acqua ed in particolare da sez. 217 a sez. 316 e da sez. 325 a sez. 378.

Nei rilevati ricadenti in tale zona, il terreno di fondazione è costituito da depositi elucolluviali (terre nere limo argillose), sature d'acqua e compressibili, di spessore variabile da pochi metri a oltre 10.00 m.

Per tali rilevati il decorso dei cedimenti non si esaurisce nella fase di costruzione ed inoltre il terreno di fondazione non garantisce sufficiente stabilità alla portanza.

In tali zone si prevede dunque, al fine di migliorare la capacità portante del terreno di fondazione, di porre alla base del rilevato una geogriglia di rinforzo, con sovrastante strato anticapillare posto tra due teli di separazione di tessuto non tessuto e di realizzare dreni verticali a nastro prefabbricati per favorire ed accelerare il processo di consolidazione.

In altri tratti, individuati come di scarsa capacità portante, è sufficiente inserire una geogriglia di rinforzo alla base del rilevato per aumentare la capacità portante del terreno.

Inoltre, così come indicato nelle norme tecniche, occorre programmare la realizzazione dei rilevati più alti previsti in tali zone in più fasi, in modo da consentire l'esaurirsi del cedimento di consolidazione entro il termine dei lavori.

Sempre dall'esame della tabella di analisi della struttura del tracciato si sono individuati i tratti di riutilizzo dei rilevati esistenti sui quali occorre intervenire con interventi di bonifica.

Tutte le varie tipologie di intervento di bonifica dei rilevati sono riportate nell'apposito allegato grafico, a cui si rimanda.

Qui di seguito viene ricapitolato in tabella l'ubicazione, tratto per tratto, delle varie tipologie di intervento di bonifica previste nei rilevati.



### Dimensionamento geogriglia

In allegato (D) è presentato il dimensionamento dello sforzo di trazione della geogriglia di rinforzo da porre alla base del rilevato in corrispondenza di terreni di scarse caratteristiche di portanza.

Il calcolo è stato eseguito per un rilevato tipo di altezza m. 6.00, con sovrastante carico stradale, poggiato su di un terreno con le seguenti caratteristiche geomecniche:

#### TERRE NERE COMPRESSIBILI

$$\gamma = 18 \text{ KN/mc}$$

$$c' = 12 \text{ Kpa} \quad \varphi' = 12^\circ$$

La falda, a vantaggio di sicurezza, si è considerata in condizioni di affioramento.

Dall'esame dei risultati ottenuti su evince che tale geogriglia, per ottenere un coefficiente di sicurezza alla stabilità globale di minimo 1.3 deve sviluppare un sforzo di trazione longitudinale di almeno 50 KN/ml.

## **4.2 – CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI**

### **4.2.1– Materiali da cava di prestito**

Il materiale proveniente da cava di prestito da utilizzare per la formazione dei rilevati stradali, sia normali che in terra rinforzata, dovrà avere una classificazione ed un gruppo di appartenenza conforme alle norme CNR 10006, di cui alla Tabella allegata nella pagina seguente.

In particolare dovranno essere impiegati materiali appartenenti ai gruppi A<sub>1</sub>, A<sub>2-4</sub>, A<sub>2-5</sub>, A<sub>3</sub>; tali materiali dovranno essere del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali, organiche e da elementi solubili, gelivi o comunque instabili nel tempo e non essere di natura argillosa.

La stesa del materiale dovrà essere eseguita per strati di spessore costante e con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.

Durante le fasi di lavoro si dovrà garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche conferendo sagomature aventi pendenza trasversale non inferiore al 2%. In presenza di strati di rilevati rinforzati, o di muri di sostegno in genere, la pendenza trasversale sarà contrapposta ai manufatti.

Lo spessore di ogni singola stesa dovrà essere pari a 50 cm per rilevati stradali formati con terre appartenenti ai gruppi A<sub>1</sub>, A<sub>2-4</sub>, A<sub>2-5</sub>, A<sub>3</sub> o con rocce frantumate ed a 40 cm per rilevati in terra rinforzata.

#### 4.2.2– Riutilizzo di materiali provenienti dagli scavi

Nel corso della campagna di indagini geognostiche svolta sono state programmate ed eseguite prove di laboratorio sui campioni prelevati volte alla valutazione della classificazione delle terre C.N.R. UNI, per valutare la possibilità di reimpiego di materiali provenienti dagli scavi per la formazione dei rilevati.

Sulla base dei risultati ottenuti si conclude che la totalità dei campioni di terreno analizzati, di natura argillo-limosa, è risultata classificata come A.7-5.

Quindi per poter essere riutilizzata per la formazione dei rilevati dovrà essere stabilizzata a calce.

Con il termine stabilizzazione viene indicato il procedimento chimico finalizzato ad incrementare alcune proprietà del terreno in sito affinché possa essere utilizzato a fini strutturali.

Gli effetti tipici della stabilizzazione con calce nei terreni di natura argillosa sono la riduzione dell'umidità, la modifica dei limiti di atterberg, la granularizzazione, la minore sensibilità all'acqua e quindi la modifica del fenomeno del ritiro, con il conseguente aumento della resistenza.

La formazione dei rilevati può essere quindi effettuata impiegando la materie provenienti dagli scavi, appartenenti al gruppo A7, purchè stabilizzate con calce.

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

Per altri tipi di terreno provenienti dagli scavi, come ad esempio scavo delle trincee nei calcari, rocce lapidee o sabbie, questi potranno essere reimpiegati direttamente nella formazione dei rilevati.

L'impiego di rocce frantumate deve presentare però pezzature massime non eccedenti i 20 cm; la pezzatura deve essere disuniforme e non deve costituire più del 30% del volume del rilevato; inoltre dovrà essere realizzato un accurato intasamento

dei vuoti, in modo da ottenere, per ogni strato, una massa ben assestata e compattata.

In ogni caso l'utilizzo di materiali provenienti dagli scavi e stabilizzati a calce nella formazione del corpo del rilevato può avvenire fino alla profondità di 1.00 dal piano di posa della sovrastruttura; tale ultimo strato va realizzato comunque con tout-venant di cava di idonea pezzatura, appartenente ai gruppi A<sub>1</sub>, A<sub>2-4</sub>, A<sub>2-5</sub>, A<sub>3</sub>, secondo quanto prescritto dai capitolati specifici.

Si raccomanda quindi di utilizzare materiale argilloso appartenente al gruppo A/5 stabilizzato con calce per i tratti definiti di rilevato con altezza superiore a m. 3.

I materiali di scavo di natura argillo-limosa, senza la stabilizzazione a calce, potranno essere riutilizzati esclusivamente per i ricolmi delle gallerie artificiali ed i riempimenti a tergo dei muri di controripa.