

A	DICEMBRE 2011	EMISSIONE			P. LO CASCIO	L. BELLONI	F.BUSOLA															
REV.	DATA	DESCRIZIONE			ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO															
SOSTITUISCE L'ELABORATO N~					SOSTITUITO DALL'ELABORATO N~																	
<b>CONSORZIO PER LE AUTOSTRADE SICILIANE</b> <b>AUTOSTRADA SIRACUSA – GELA</b> <b>2° TRONCO: ROSOLINI – RAGUSA</b> <b>LOTTO 10/11</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																						
IDENTIFICAZIONE ELABORATO																						
E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	
PROG.	STRADA	LOTTO	MACRO OPERA	OPERA		PARTE DI OPERA		TIPOLOGIA ELABORATO	N. ELABORATO	REV.												
<b>LOTTO 10 "IRMINIO"</b>  <b>RELAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA</b>																						
DATA	DICEMBRE 2011				PROGETTAZIONE																	
CODICE CAD-FILE	EA1810T00GG00GETRE001A.doc				IL RESPONSABILE :		DOTT. ING. F. BUSOLA															
<small>OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N. 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI  QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE</small>																						

 <b>GEOTECNICA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 1
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

**AUTOSTRADA SIRACUSA-GELA**

**2° TRONCO ROSOLINI - RAGUSA**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LOTTO 10 "IRMINIO"**

**GEOTECNICA**

**RELAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA**

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 2
	Pr	Strada	Lotto	Macro opera	Opera	Parte di opera	Tipo elab	N. Elab.	Rev														

## INDICE

ELENCO SIMBOLI ED UNITA' DI MISURA	4
1. INTRODUZIONE	6
2. OGGETTO E SCOPO	7
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
4. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	9
5. INDAGINE ESEGUITA	10
6. PROFILO GEOLOGICO DEL TRACCIATO	14
7. METODI DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA	18
7.1. Ammassi rocciosi	18
7.2. Materiali sciolti	22
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRACCIATO	23
8.1. Copertura detritica	23
8.2. Depositi alluvionali attuali e recenti	24
8.3. Calcareniti pleistoceniche, conglomerati e trubi	24
8.4. Formazione Tellaro	24
8.5. Formazione Ragusa	28
9. CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE	33
10. PROFILI GEOMECCANICI	34
11. VERIFICA DI STABILITÀ DELLE TRINCEE	35
11.1. Verifiche di stabilità delle trincee naturali	36
11.1.1. Introduzione	36
11.1.2. Metodologia di calcolo	36
11.1.3. Risultati delle analisi – Trincea in F.Ragusa	39
11.1.4. Risultati delle analisi – Trincea in F.Tellaro	42
11.1.5. Considerazioni conclusive	44
12. OPERE D'ARTE	45
13. RILEVATO COTTONARI	46
13.1. Introduzione	46
13.2. Analisi dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato	49
13.3. Analisi di stabilità	51
13.4. Interazione con le acque meteoriche	56
13.5. Monitoraggio dei cedimenti del rilevato	57
13.6. Considerazioni conclusive	57
14. GALLERIE NATURALI	59

 <b>GENERAL</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 3
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

15. GALLERIE ARTIFICIALI	60
16. PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA	61
17. MONITORAGGI	68

**Allegati:**

Stazioni di rilievo geostrutturale: affioramenti calcare della formazione Ragusa

Stazioni di rilievo geostrutturale: affioramenti marne della formazione Tellaro

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 4
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## ELENCO SIMBOLI ED UNITA' DI MISURA

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	=	peso di volume totale
IP (%)	=	indice di plasticità
LL (%)	=	limite liquido
w <sub>n</sub> (%)	=	contenuto d'acqua naturale
LP (%)	=	limite plastico
G <sub>s</sub> (-)	=	peso specifico dei grani
DR (%)	=	densità relativa = $(e_{\max} - e_o)/(e_{\max} - e_{\min})$
e <sub>o</sub> (-)	=	indice dei vuoti in sito
n (%)	=	porosità
$\sigma_{vo}$ (MPa)	=	pressione verticale totale in sito
$\sigma'_{vo}$ (MPa)	=	pressione verticale efficace in sito
k <sub>o</sub> (-)	=	coefficiente di spinta a riposo
OCR (-)	=	grado di sovraconsolidazione
c <sub>u</sub> (kPa)	=	resistenza al taglio non drenata non consolidata
c' (kPa)	=	coesione, in sforzi efficaci
$\phi'$ (°)	=	angolo di attrito di picco, in sforzi efficaci
E <sub>u</sub> (MPa)	=	modulo di deformazione non drenato
E <sub>max</sub> (MPa)	=	modulo di deformazione iniziale (deformazione 1E-6%)
E (MPa)	=	modulo di elasticità alle piccole deformazioni
G (MPa)	=	modulo di taglio
G <sub>max</sub> (MPa)	=	modulo di elasticità tangenziale iniziale (deformazione 10E-6)
$\nu$ (-)	=	coefficiente di Poisson
g (m/s <sup>2</sup> )	=	accelerazione di gravità
V <sub>s</sub> (m/s)	=	velocità delle onde di taglio
k (m/s)	=	coefficiente di permeabilità
N <sub>SPT</sub> (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi per la penetrazione di 0,3 m (= 1 piede)
N <sub>1</sub> (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi normalizzato
N <sub>60</sub> (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi corrispondente al 60% dell'energia di battitura nominale

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 5
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

$(N_1)_{60}$  (colpi/0,3 m) = numero di colpi normalizzato ( $N_1$ ) corrispondente al 60% dell'energia nominale

RQD	=	Rock Quality Designation
RMR <sub>89</sub>	=	Rock Mass Rating (Bieniawski 1989)
GSI	=	Geological Strength Index (Hoek-Brown)
m	=	parametro sperimentale che definisce l'inclinazione corrente dell'involuppo di Hoek e Brown
s	=	parametro sperimentale che definisce la posizione dell'involuppo di Hoek e Brown
$\sigma_c$	=	resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta
$\sigma_1$	=	sforzo principale massimo a rottura
$\sigma_3$	=	sforzo principale minimo a rottura
$m_i$	=	parametro della roccia intatta nel criterio di resistenza di Hoek e Brown
a	=	esponente dell'involuppo di rottura di Hoek e Brown
$\sigma_t$	=	resistenza a trazione della roccia intatta
$m_p$	=	valore di picco del parametro m per l'ammasso roccioso
$s_p$	=	valore di picco del parametro s per l'ammasso roccioso
$m_r$	=	valore residuo del parametro m per l'ammasso roccioso
$s_r$	=	valore residuo del parametro s per l'ammasso roccioso
$\sigma_{gd}$	=	resistenza a compressione dell'ammasso roccioso
$\sigma_{tg}$	=	resistenza a trazione dell'ammasso roccioso
$\sigma$	=	sforzo normale agente sulla superficie di rottura
$\tau$	=	sforzo tangenziale agente sulla superficie di rottura
h	=	profondità dell'asse della galleria rispetto alla superficie topografica
$\gamma h$	=	sforzo verticale totale agente in corrispondenza dell'asse della galleria prima dello scavo
D	=	parametro di danneggiamento

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 6
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione descrive da un punto di vista geotecnico-geomeccanico il progetto dell'autostrada Siracusa-Gela, nella tratta compresa fra Scicli e il fiume Irminio, denominata Lotto 10 "Irminio".

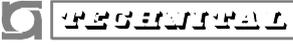
Il lotto in esame rappresenta la naturale prosecuzione del Lotto 9 "Scicli" che prevede, nella sua parte terminale, la realizzazione dello svincolo autostradale di Scicli ed il suo collegamento alla strada statale Scicli-Donnalucata. Il lotto 10 si snoda quasi interamente entro il territorio comunale di Scicli, per terminare in corrispondenza della sponda destra del fiume Irminio, il cui impluvio marca il passaggio al Lotto 11. Tale connessione verrà realizzata mediante un viadotto autostradale a grandi luci sull'impluvio del fiume Irminio.

Il percorso oggetto di studio interessa un tratto dell'altopiano Ibleo, caratterizzato dalla presenza di una successione calcarenitica dell'Oligocene Superiore nota in letteratura come Formazione Ragusa. Su di essa poggiano, in maniera irregolare e discontinua, termini più recenti di età compresa fra il Miocene Medio e l'Olocene.

Lo studio si è basato su dati bibliografici integrati dai risultati di rilievi eseguiti in campagna e dall'interpolazione di alcune indagini in situ e in laboratorio.

La presente relazione è corredata da:

- Planimetrie di ubicazione indagini, che localizzano in relazione alle opere la posizione di sondaggi, pozzetti esplorativi e traverse sismiche;
- Planimetrie geologiche;
- Planimetrie geomorfologiche;
- Planimetrie idrogeologiche;
- Profilo geologico del tracciato lungo la canna direzione Gela;
- Profili geotecnici-geomeccanici del tracciato nelle due direzioni di transito che riportano, oltre ad una sommaria descrizione geologica, la caratterizzazione geotecnico-geomeccanica dei diversi litotipi interferenti col tracciato.

	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 7
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 2. OGGETTO E SCOPO

Oggetto del presente lavoro sono le opere in sotterraneo e all'aperto che costituiscono il tracciato in esame.

Lo scopo è quello di valutare l'interazione fra la geologia e le opere, caratterizzando da un punto di vista geomeccanico l'area di studio e definendo i parametri necessari alla valutazione del comportamento tenso-deformativo dei litotipi intercettati.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 8
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							

### 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Documenti di riferimento appartenenti al Progetto Esecutivo in questione:

- Relazione geologica, idrogeologica e sismica – E-A18-10-T00-GG00-GEO-RE-001-A
- Planimetria geologica - E-A18-10-T00-GG00-GEO-PL-001-A/002-A
- Carta geologica - E-A18-10-T00-GG00-GEO-CG-001-A/002-A
- Planimetria con ubicazione indagini in sito - E-A18-10-T00-GG00-IND-PL-001-A/002-A
- Profilo geologico - E-A18-10-T00-GG00-GEO-FG-001-A/002-A
- Profili geotecnici e geomeccanici asse principale direzione Gela - E-A18-10-T00-GG00-GEO-FT-001-A/002-A/003-A
- Profili geotecnici e geomeccanici asse principale direzione Siracusa - E-A18-10-T00-GG00-GEO-FT-004-A/005-A/006-A

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 9
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

#### 4. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il Lotto 10 “Irminio” presenta uno sviluppo complessivo di circa 5 Km, interessando per quasi tutto il suo tracciato il territorio comunale di Scicli, ad eccezione del tratto terminale che si sviluppa nel comune di Ragusa.

Il tracciato ha inizio in corrispondenza della strada S.P.95, e si colloca in trincea per un tratto di circa 2.7 km, per poi entrare in galleria naturale, denominata Cozzo Truncafila, in prossimità della Contrada omonima per un tratto di circa 1 km. Il tracciato prosegue poi con la realizzazione di un rilevato di circa 600 metri di lunghezza, e della galleria artificiale Cottonari. Si arriva così all’impluvio del fiume Irminio, in cui verrà realizzato un viadotto a grandi luci - viadotto Irminio - della lunghezza di circa 270 metri, a segnare il passaggio dal Lotto 10 al Lotto 11 “Ragusa”.

Da un punto di vista prettamente geologico il tracciato presenta una certa omogeneità litologica, dominata dalla presenza di una formazione calcareo-calcarenitica, denominata Formazione Ragusa, costituita da banchi rocciosi di spessore variabile, a tratti intercalati a livelli marno-sabbiosi. La sequenza deposizionale prevede al di sopra di questa formazione un orizzonte marnoso, denominato Formazione Tellaro, a sua volta sormontato da livelli calcarenitici e conglomeratici più recenti. La notevole erodibilità di tali depositi determina però una copertura discontinua dei calcari della Ragusa ad opera della Formazione Tellaro o di materiali più recenti, il tracciato presenta infatti per più della metà del suo sviluppo la presenza dei calcari della Ragusa affioranti o sub-affioranti, con scarso ricoprimento detritico.

Il tracciato presenta numerose faglie lungo il suo sviluppo, con prevalente direzione NE-SO, prevalentemente di tipo diretto-inverso, che dislocano a quote differenti il contatto Ragusa-Tellaro.

## 5. INDAGINE ESEGUITA

Nel presente capitolo viene fornita la sintesi delle indagini in sito e di laboratorio effettuate nel corso della campagna d'indagine.

Le caratteristiche geotecniche-geomeccaniche ed il comportamento dei terreni e degli ammassi rocciosi interessati dalla realizzazione delle opere sono stati definiti a partire dalle risultanze delle seguenti indagini:

- n° 19 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con profondità variabili fra i 25 ed i 50 metri, di cui i sondaggi denominati S33Pz, S40bPz, S41Pz strumentati con piezometro a tubo aperto;
- prove penetrometriche dinamiche tipo Standard Penetration Test (SPT) eseguite nelle verticali di sondaggio;
- prove di permeabilità tipo Lugeon nell'attraversamento dei materiali lapidei;
- n° 11 pozzetti esplorativi, di profondità variabile tra 0.3 e 1.8 metri;
- n° 6 stazioni di rilievo geostrutturale degli affioramenti rocciosi nella Formazione Ragusa;
- n° 22 stendimenti sismici a rifrazione, di cui n° 21 basi sismiche realizzate con configurazione classica a 12 geofoni e stendimenti di lunghezza pari a 48 m e n° 1 base sismica a rifrazione realizzata con 24 geofoni e stendimento di lunghezza pari a 120 m in corrispondenza del nuovo ponte da realizzare lungo la S.P. n. 37 Scicli-Santa Croce Camerina;
- analisi di laboratorio eseguite su n°66 campioni indisturbati e/o rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni, volte alla caratterizzazione fisica e meccanica dei singoli litotipi, in particolare:

Litotipo	Tipo di prova
Formazione Ragusa	Determinazione delle proprietà fisiche della roccia, $\gamma$ e Gs Prove di compressione monoassiale Prove di taglio assiale su discontinuità
Formazione Tellaro	Determinazione delle proprietà fisiche della roccia, $w_n$ , $\gamma$ e Gs Determinazione delle caratteristiche granulometriche del campione Determinazione degli indici di Atterberg Prove di consolidazione edometrica Prove di compressione a espansione laterale libera Prove di taglio diretto Prove triassiali

Per i certificati relativi alle stratigrafie dei sondaggi, alle prove in situ effettuate ed alle analisi di laboratorio si faccia riferimento ai fascicoli relativi alle indagini dirette e indirette, e a quelli relativi alle indagini di laboratorio.

Nelle tabelle allegate viene fornito il quadro riepilogativo delle attività in sito ed in laboratorio effettuate nell'ambito della campagna d'indagine.

La tabella di sintesi riporta anche dati ricavati da alcuni sondaggi effettuati nel corso della campagna geognostica relativa al Lotto 9, ricadenti all'interno del territorio interessato dal Lotto 10.

<i>Tabella 1 - Attività in situ - Sondaggi</i>						
Sondaggio	Profondità del sondaggio a carotaggio continuo (m da p.c.)	Prelievo campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati di terreno	Prove S.P.T.	Prove di permeabilità Lugeon	Piezometri a tubo aperto
29	25	-	3	-	2	-
30	25	-	3	-	1	-
31	25	-	5	-	1	-
31b	35	3	-	9	-	-
32	25	-	4	3	-	-
33Pz	30.3	1	4	3	-	1
34	50	-	4	-	1	-
35	40	-	3	-	1	-
36	30	-	4	-	1	-
37	25	-	4	-	1	-
38	25	-	3	2	1	-
39	25	-	4	-	1	-
40	25	-	3	-	1	-
40bPz	25	-	4	-	-	1
40t	25	-	4	-	1	-
41Pz	25	-	3	-	1	1
42	25	-	3	-	1	-
43	25	-	3	-	1	-
44	25	-	4	-	1	-

L'ubicazione sul territorio delle verticali d'indagine è rappresentata nelle "Planimetrie con ubicazione indagini in sito", mentre sui profili stratigrafici sono rappresentate le stratigrafie geologico geotecniche ricavate dai sondaggi e gli esiti delle prove effettuate.





 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 14
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 6. PROFILO GEOLOGICO DEL TRACCIATO

Il lotto 10 ha inizio nella zona prossima alla sponda destra del Torrente Modica e termina in corrispondenza del Fiume Irminio, coprendo una distanza pari a circa 5.080 m.

Lo studio geologico del lotto in questione è stato eseguito in diverse fasi che possono così sintetizzarsi:

- ricerca bibliografica ed individuazione dell'assetto geologico generale del territorio;
- analisi di foto aeree per il riconoscimento dei lineamenti geomorfologici e l'individuazione dell'assetto tettonico dell'area;
- rilievi geologici di dettaglio;
- esecuzione delle indagini geognostiche in sito e di laboratorio;
- esecuzione dei rilievi geomeccanici.

Per quanto riguarda l'assetto geologico generale della zona e l'individuazione dell'assetto tettonico è noto come l'area mediterranea, al centro della quale si trova la Sicilia, per la sua naturale connessione tra la *Catena Appenninica* e quella *Nord-Africana*, è stata trasformata, durante una complessa storia deformativa, in un edificio a «falde» in cui è possibile distinguere due elementi principali: il primo essenzialmente indeformato costituisce *l'Avampaese Africano*, il secondo, riconducibile ad un complesso di falde e scaglie tettoniche, disegna la *Catena Appenninico-Maghrebide*. L'altopiano Ibleo rappresenta il margine settentrionale della placca africana e costituisce, quindi, il margine estremo, poco deformato, di tale placca, contiguo ad un'area più settentrionale di grandi deformazioni orogeniche.

Le *caratteristiche geologiche* del lotto sono quelle tipiche dell'altopiano Ibleo, dominato da una successione calcarenitica dell'Oligocene superiore nota in letteratura come Formazione Ragusa. Su di essa poggiano, in maniera irregolare e discontinua, termini più recenti di età compresa fra il Miocene medio e l'Olocene.

Nel dettaglio la successione stratigrafica può schematizzarsi, dal basso verso l'alto, come segue:

- *Formazione Ragusa*, costituita prevalentemente da calcareniti e calcari di colore bianco-grigiastro ben cementate e suddivise in strati di spessore variabile, localmente separate da intercalazioni marnose o calcareo-sabbiose;

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 15
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

- *Formazione Tellaro*, data da marne ed argille marnose grigio-azzurre, se integre, e giallastre se alterate, con sporadici livelli calcareo-marnosi (Miocene medio-superiore);
- *Trubi*, rappresentati da calcari marnosi a frattura concoide, marne e marne argillose dal caratteristico colore bianco-crema (Pliocene inferiore);
- *Calcareniti* di colore giallastro a stratificazione poco evidente e con frammenti di gusci (Pleistocene inferiore-medio);
- *Coni di detrito*, si tratta di ghiaie e ciottoli in scarsa matrice fina, ubicati nelle zone di transizione tra le strette valli in termini calcarei e la zona pianeggiante (Pleistocene medio-superiore);
- *Depositi alluvionali recenti ed attuali*, ubicati lungo l'alveo dei torrenti, costituiti da sabbie e ghiaie con ciottoli eterometrici arrotondati (Olocene);
- *Coperture detritiche*, ubicati ai piedi di versanti acclivi ma anche in zone subpianeggianti, costituite da materiali a prevalente componente coesiva oppure da blocchi calcarei con scarsa matrice limo-argillosa (Olocene).

Nel tratto di territorio indagato prevale in affioramento la Formazione Ragusa. La maggior parte delle opere e del tracciato sono quindi impostati entro le calcareniti in strati di spessore decimetrico, con stratificazione prevalentemente suborizzontale e modesto grado di fratturazione.

Soltanto nel tratto centrale del lotto - tra la strada Lincino-Spinazza-Donnalucata e la masseria San Diego - la presenza di faglie orientate all'incirca nord-est/sud-ovest fanno sì che le calcareniti della Formazione Ragusa siano a contatto con le marne della Formazione Tellaro.

Nel tratto finale, in corrispondenza del Fiume Irminio, si riscontrano, invece, i depositi alluvionali che coprono le calcareniti della stessa Formazione Ragusa.

Le caratteristiche geomorfologiche del tratto di territorio studiato, definite sulla base del rilievo di dettaglio e l'analisi stereoscopica di foto aeree a colori, sono quelle tipiche di un ambiente caratterizzato da condizioni generali di *bassa pericolosità geomorfologica*. I fenomeni di erosione che si esplicano nel tratto di territorio in studio sono sempre molto limitati e circoscritti. In asse autostradale non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto, in atto o potenziali. Sulla base degli studi e rilievi condotti il tratto indagato può quindi considerarsi geomorfologicamente stabile.

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 16
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

I lineamenti orografici sono contraddistinti da un altopiano calcareo con quote lungo il tracciato variabili da un minimo di circa 120-130m s.l.m. ad inizio lotto, sino ad un massimo di circa m. 200 s.l.m. in prossimità della Contrada Falomo; nel tratto finale le quote tornano a diminuire sino a toccare i circa 85m s.l.m. in corrispondenza dell'alveo del Fiume Irminio.

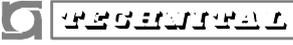
Il reticolo idrografico è mediamente evoluto, con incisioni anche marcate che si sviluppano generalmente con direzione all'incirca N-S. Gli impluvi sono spesso confinati entro profonde incisioni con valli che disegnano pareti subverticali (“*forre*” o “*canyon*”). Non è infrequente la presenza di ampi meandri incassati nella roccia come quelli che si sviluppano lungo il Fiume Irminio in prossimità delle Case Schinina.

Lo studio idrogeologico ha evidenziato l'assenza di falde acquifere alle quote di progetto. L'unica falda presente a livello superficiale, di subalveo, si colloca in corrispondenza dei depositi detritici e alluvionali del Torrente Modica e del fiume Irminio, a carattere prettamente stagionale, captata con gallerie drenanti a scopi irrigui: tale livello idrico nulla a che fare con la falda profonda, che presenta una soggiacenza rispetto al piano campagna di circa 100-120 metri.

Dal punto di vista della sismicità l'altopiano Ibleo presenta una configurazione strutturale e tettonica che determina un regime sismico caratterizzato da rilasci di energia importanti (si ricordano in particolare i terremoti distruttivi del 1169, 1693 e 1908) che hanno epicentro prevalentemente al largo delle coste di Augusta e Catania.

Va segnalato, inoltre, come nella zona di Scicli sia presente un allineamento tettonico orientato all'incirca in direzione nord-nord/est - sud-sud/ovest che pare essere responsabile di alcuni eventi sismici recenti locali, a modesta magnitudo ( $M < 4.5$ ), fra cui l'evento del 23 gennaio 1980.

In tale contesto si ritiene che l'area in studio possa considerarsi fra quelle che presentano un elevato rischio sismico, anche in relazione all'urbanizzazione, alla particolare ubicazione dei principali centri abitati e delle relative caratteristiche costruttive degli edifici. Lungo il lotto in questione in ottemperanza alle norme tecniche vigenti (D.M. 14 gennaio 2008) sono state eseguite n.4 indagini sismiche MASW ubicate in aree con diverse successioni geologiche al fine di poter valutare la risposta sismica dei suoli.

	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 17
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Il comportamento meccanico dei terreni presenti nel lotto è stato indagato mediante apposite indagini geognostiche in situ e prove di laboratorio alle quali sono seguiti i rilievi geomeccanici.

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 18
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 7. METODI DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA

I parametri geotecnici di seguito forniti sono da intendersi come caratteristici, ovvero frutto di stima ragionata e cautelativa alla luce dei riscontri della campagna d'indagine. Per scelta progettuale si è fornito un unico valore per ogni parametro geotecnico, piuttosto che un campo di variazione.

I valori forniti, per quanto detto sopra, si pongono in ogni caso nella fascia medio bassa di variabilità.

A valle della parametrizzazione geotecnica fornita in questa sede, i parametri da normativa per il dimensionamento delle opere vengono applicati e definiti dal progettista strutturale in relazione agli schemi statici ed ai requisiti di deformabilità da imporre alle varie strutture.

La posizione delle prove in situ adottate quale riferimento per la caratterizzazione geotecnica è riportata sui profili geotecnici-geomeccanici, nei quali è proposta la caratterizzazione geotecnica per settori di tracciato a comportamento uniforme. Lungo le verticali di sondaggio, nel profilo geotecnico sono riportati i valori ottenuti dalle prove in situ, vale a dire:

- numero di colpi SPT necessari per l'infissione di 30 cm del penetrometro statico;
- coefficiente di permeabilità equivalente  $k$  da prove Lugeon;
- misura del livello di acqua nel foro di sondaggio.

I campioni prelevati lungo le verticali di sondaggio sono stati analizzati in laboratorio, eseguendo, nel caso di materiali sciolti analisi granulometriche e limiti di Atterberg, prove di compressione e di taglio lungo giunti per quanto riguarda invece i materiali litoidi.

### 7.1. Ammassi rocciosi

Le opere in sotterraneo e le zone di trincea attraversano sia materiali litoidi di buona qualità geomeccanica, quali i calcari della Formazione Ragusa, sia rocce deboli appartenenti alla Formazione Tellaro. Per scelta progettuale si è proceduto a caratterizzare i due materiali secondo un approccio metodologico unitario, pur tenendo conto del diverso comportamento degli stessi.

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 19
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

I materiali litoidi sono stati caratterizzati da un punto di vista geomeccanico, ovvero si è proceduto a definire:

- il comportamento meccanico della roccia intatta secondo una serie di prove di laboratorio e in situ, definendo i valori di resistenza a compressione uniassiale in relazione alle diverse tratte a comportamento omogeneo. Il parametro  $m_i$  è stato definito sulla base dei valori forniti da Hoek e Marinos (2004) in rapporto al litotipo;
- classificazione della qualità dell'ammasso roccioso sulla base dell'analisi degli studi geostrutturali e geologici condotti e della documentazione fotografica di sondaggio secondo i parametri GSI e RMR89. I parametri considerati sono:

- compressione uniassiale della roccia intatta;
- grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, definito tramite i valori di RQD sondaggio derivanti dai dati forniti dalle perforazioni e dalle spaziature medie delle famiglie di discontinuità rilevate in campagna, secondo la seguente correlazione:

$$RQD = 3.3J_v - 1.5 \quad \text{con} \quad J_v = \sum \frac{1}{\text{Spaziature}} = \text{indice dei blocchi}$$

- spaziatura delle discontinuità, definita sulla base degli studi geostrutturali in campagna e dell'analisi della documentazione fotografica allegata alle stratigrafie di sondaggio, tenuto conto della fratturazione aggiuntiva dovuta alle operazioni di perforazione ed estrazione della carota;
  - condizione dei giunti, definita sulla base dei rilievi geostrutturali e dell'analisi della documentazione fotografica allegata alle stratigrafie di sondaggio.
- definizione del comportamento deformativo dell'ammasso roccioso sulla base della correlazione tra GSI e modulo E, definita da Hoek e Diederics (2006).

La caratterizzazione geomeccanica dei materiali lapidei è stata realizzata mediante l'involuppo di rottura per gli ammassi rocciosi di Hoek-Brown, considerando il valore di GSI corrispondente all'RMR89 di riferimento, il valore di resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_c$  ed il parametro  $m_i$  della roccia intatta.

L'involuppo di rottura è espresso dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2)^a$$

Dove:

$\sigma_c$  = resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (MPa);

$m$  = parametro sperimentale che definisce l'incremento di resistenza della roccia all'aumentare della tensione di confinamento. Si indica con  $m_i$  nel caso in cui il

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 20
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

criterio di rottura faccia riferimento alla roccia intatta, con m se questo si riferisce all'ammasso roccioso. In questo secondo caso il coefficiente può assumere valori di picco  $m_p$  e residui  $m_r$ ;

s = parametro sperimentale che definisce la posizione dell'involuppo di Hoek - Brown. Il suo valore è unitario nel caso in cui il criterio faccia riferimento alla roccia intatta. Se il criterio si riferisce all'ammasso roccioso, s assume valori di picco  $s_p$  e residui  $s_r$ ;

a = esponente dell'involuppo di rottura, pari a 0.5 per la roccia intatta.

Il passaggio dai parametri di Hoek-Brown per la roccia intatta a quelli relativi all'ammasso roccioso viene realizzato mediante un programma di calcolo, per tratte con valori di copertura assimilabili. La copertura infatti determina lo stato tensionale dell'involuppo di rottura, portando a definire valori di resistenza e deformabilità validi per quel determinato campo tensionale.

Il programma necessita dei seguenti dati di ingresso:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
- parametro GSI o  $RMR_{89 \text{ base}}$ ;
- profondità asse galleria dalla superficie topografica;
- peso di volume dell'ammasso roccioso;
- parametro di danneggiamento D.

Il programma deriva in prima fase i valori dei parametri caratteristici m ed s dell'ammasso roccioso e l'involuppo di rottura di Hoek – Brown secondo le ultime correlazioni fornite dagli Autori.

L'involuppo di rottura viene calcolato nel piano delle tensioni applicate alla superficie di rottura, ovvero il programma calcola l'involuppo equivalente di rottura secondo Mohr – Coulomb a quello di Hoek – Brown, che è espresso invece nel campo delle tensioni principali massima e minima  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ .

Le formulazioni adottate sono le seguenti:

$$m_p = m_i \cdot \exp((GSI-100)/(28-14D))$$

$$m_r = 0.7m_p$$

$$s_p = \exp((GSI-100)/(9-3D))$$

$$s_r = 0.04s_p$$

$$a = 0.5 + 1/6 \cdot (\exp(-GSI/15) - \exp(-20/3))$$

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 21
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

in cui:

$$GSI = RMR_{89 \text{ base}} - 5$$

$D$  = parametro di danneggiamento dell'ammasso roccioso, considerato nullo.

L'indice geomeccanico  $RMR_{89 \text{ base}}$  corrisponde ad un valore di RMR calcolato in condizioni asciutte, senza considerare il parametro R6 che corregge l'indice di qualità geomeccanica in relazione alla tipologia di opera e alla direzione di scavo rispetto alla giacitura delle discontinuità principali.

Anche il modulo elastico dell'ammasso roccioso è stato valutato a partire dall'indice GSI, adottando le seguenti formulazioni empiriche:

$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad [\text{GPa}] \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c < 100 \text{ MPa}$$

$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{(GSI-10)/40} \quad [\text{GPa}] \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c > 100 \text{ MPa}$$

Una volta valutati i parametri di Hoek-Brown per l'ammasso roccioso per la classe di copertura adeguata alla condizione in esame, si procede alla linearizzazione dell'involuppo curvilineo. La procedura viene realizzata sulla base delle equazioni proposte da Balmer in "A general analytical solution for Mohr's envelope" - Am.Soc.Test.Mat. (1952), definendo una bilatera composta da due spezzate passanti per i seguenti valori di tensione verticale:

- 0 e  $0.2\sigma_v$
- $0.5\sigma_v$  e  $\sigma_v$

Sulla base della definizione di questi livelli tensionali, il profilo geomeccanico del tracciato riporta per tutti i tratti in roccia i parametri caratteristici in corrispondenza dell'origine, definiti per il livello tensionale compreso tra 0 e  $0.2\sigma_v$ , e della copertura, definiti per un livello tensionale compreso tra  $0.5\sigma_v$  e  $\sigma_v$ .

La scelta fra i parametri all'origine e quelli alla copertura dipende dallo stato tensionale. Per i parametri geomeccanici si forniscono i valori di picco e residui, l'adozione di una delle coppie di valori per le analisi di stabilità si dovrà basare sulle deformazioni attese in funzione delle modalità costruttive.

 <b>TECNOFERRA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 22
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							

## 7.2. Materiali sciolti

I materiali sciolti che caratterizzano localmente i tratti terminali delle gallerie e la porzione sommitale di alcuni tratti in trincea sono stati caratterizzati da un punto di vista geotecnico basandosi prevalentemente sulle campagne geognostiche dei lotti precedenti. Si rimanda al successivo capitolo 8 per la descrizione dei parametri geotecnici che competono ai depositi sciolti interessati dal tracciato.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 23
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev					

## 8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRACCIATO

L'integrazione dei risultati delle analisi di laboratorio con le indagini realizzate in situ e delle stazioni di rilievo geomeccanico sugli affioramenti della Formazione Ragusa e Tellaro hanno permesso di individuare i valori caratteristici dei parametri geotecnici di ciascun terreno e/o ammasso roccioso.

Nei paragrafi successivi verranno presentati da un punto di vista geotecnico i seguenti litotipi:

- copertura detritica;
- depositi alluvionali attuali e recenti;
- terrazzi fluviali;
- marne argillose ed argille marnose;
- trubi;
- calcari e calcareniti.

### 8.1. Copertura detritica

I materiali detritici presentano generalmente uno spessore molto ridotto, coprono localmente le formazioni rocciose sottostanti e si collocano generalmente ai piedi dei rilievi carbonatici o in corrispondenza delle zone di basso morfologico laddove la Formazione Tellaro è sub affiorante. La presenza di detrito in prossimità dei calcari della Ragusa o delle marne della Tellaro ne determina una forte differenziazione in termini litologici. I detriti di origine carbonatica infatti risultano costituiti da un materiale sabbioso-limoso frammisto a blocchi calcarei, mentre la copertura derivante dall'alterazione della Tellaro è di tipo limo-argilloso, con frammenti litoidi di origine calcarenitica.

Il tracciato in esame vede la presenza di scarsi tratti in detrito, generalmente ascrivibile ad un materiale coesivo di alterazione della sottostante formazione Tellaro, che può essere descritto mediante i seguenti parametri geotecnici medi, derivati dalle caratterizzazione geotecniche dei lotti precedenti:

- peso di volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- coesione  $c' = 5 \text{ kPa}$
- angolo di attrito  $\varphi' = 25^\circ$
- modulo di Young  $E = 40 \text{ MPa}$

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 24
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 8.2. Depositi alluvionali attuali e recenti

I suddetti litotipi, costituiti da ghiaie e sabbie limose, non sono campionabili in maniera indisturbata. Per la relativa caratterizzazione si è quindi fatto ricorso a quanto precedentemente teorizzato nei lotti precedenti.

- peso di volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- coesione  $c' = 0 \text{ kPa}$
- angolo di attrito  $\varphi' = 40^\circ$
- modulo di Young  $E = 30 \text{ MPa}$

## 8.3. Calcareniti pleistoceniche, conglomerati e trubi

Si tratta di formazioni recenti, databili Pleistocene inferiore-medio.

Le calcareniti ed i conglomerati pleistocenici interessano il tracciato in modo non rilevante, configurandosi come lenti superficiali a spessore metrico. Si tratta di calcareniti giallastre a stratificazione poco accentuata e conglomerati composti da blocchi e ciottoli calcarei.

I trubi sono marne calcaree e calcari marnosi a frattura concoide, mai presenti lungo il tracciato autostradale.

Alla luce della scarsa rilevanza di questi litotipi in relazione alle opere in progetto, non se ne propone alcuna caratterizzazione geotecnica.

## 8.4. Formazione Tellaro

La Formazione del Tellaro è costituita da marne argillose ben stratificate, organizzate in livelli suborizzontali di spessore molto ridotto, di ordine centimetrico o decimetrico, con intercalati strati più prettamente marnosi a frattura concoide. L'ammasso presenta globalmente una struttura poco definita, localmente si riconoscono superfici di discontinuità con tagli pressappoco verticali.

La caratterizzazione della formazione in questione è stata realizzata in modo congiunto in relazione a:

- risultanze delle indagini SPT realizzate nei fori di sondaggio, vedi Figura 1, la cui interpretazione ha consentito di definire in particolar modo i parametri di comportamento non drenato dell'ammasso roccioso;
- valutazione dell'indice  $RMR_{89}$  associato al litotipo marnoso a partire da osservazioni in campo, esplicitate nell'ambito del rilievo geomeccanico di

sintesi proposto in allegato alla presente relazione. Tale rilievo non è stato incluso nell'ambito dei fascicoli indagini in quanto non si riferisce ad un particolare affioramento roccioso, ma integra in una scheda di indagine informazioni derivanti sia da un fronte esposto in roccia sia da esperienze precedenti in contesti analoghi.

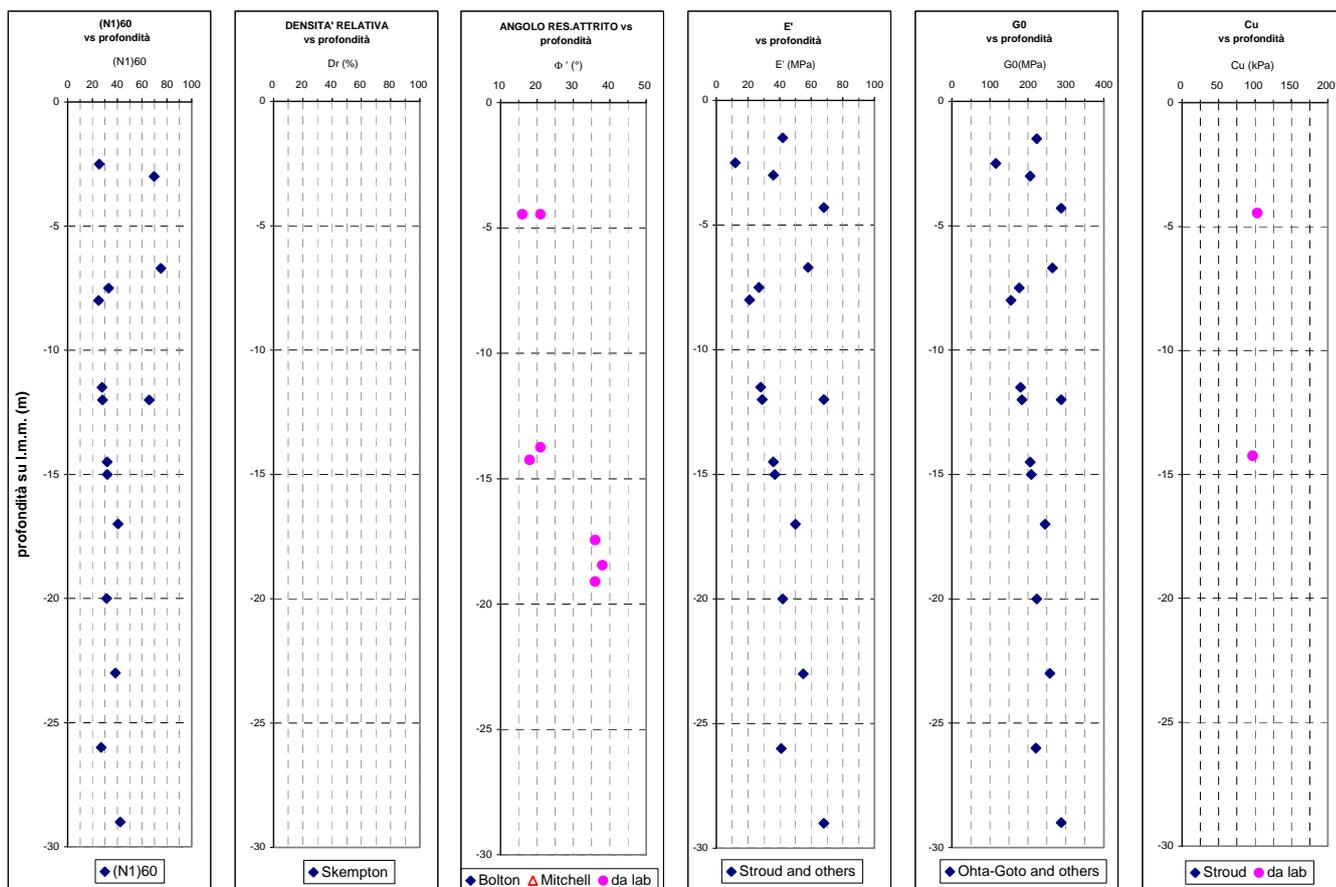


Figura 1 – Interpretazione delle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio relativamente alle marne del Tellaro

Le prove SPT hanno evidenziato un valore medio di colpi N60 pari a 40, a cui corrisponde una resistenza non drenata par a 100 kPa.

Per quanto riguarda la caratterizzazione del litotipo in termini di parametri di resistenza e deformabilità da associare alle marne del Tellaro in relazione alle diverse condizioni di copertura, è stato privilegiato un approccio di tipo geomeccanico, basato sulla stima dell'indice  $RMR_{89}$  da osservazioni in campagna.

 <b>GENERALI</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 26
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

Le tratte in cui il tracciato interessa il litotipo marnoso sono generalmente caratterizzate da una morfologia poco acclive, a testimonianza della scarsa qualità geomeccanica del litotipo in esame. Gli affioramenti sono molto limitati, le marne sono infatti generalmente obliterate da una copertura detritica di spessore metrico la cui origine è probabilmente ascrivibile all'alterazione della roccia sottostante. Localmente l'affioramento marnoso è inoltre sormontato da lenti calcarenitiche.

In Figura 2 è presentato un fronte di scavo relativo ad un lotto precedente, che ben evidenzia la particolare struttura dell'ammasso roccioso in questione. La sequenza che si può riconoscere nella foto è costituita dalle calcareniti pleistoceniche, al di sotto delle quali si riconosce la struttura caotica propria delle marne del Tellaro. Dalla fotografia è evidente come tale ammasso si ponga al limite tra un deposito terrigeno ed una *weak rock*, con una buona capacità di autosostegno a breve termine.

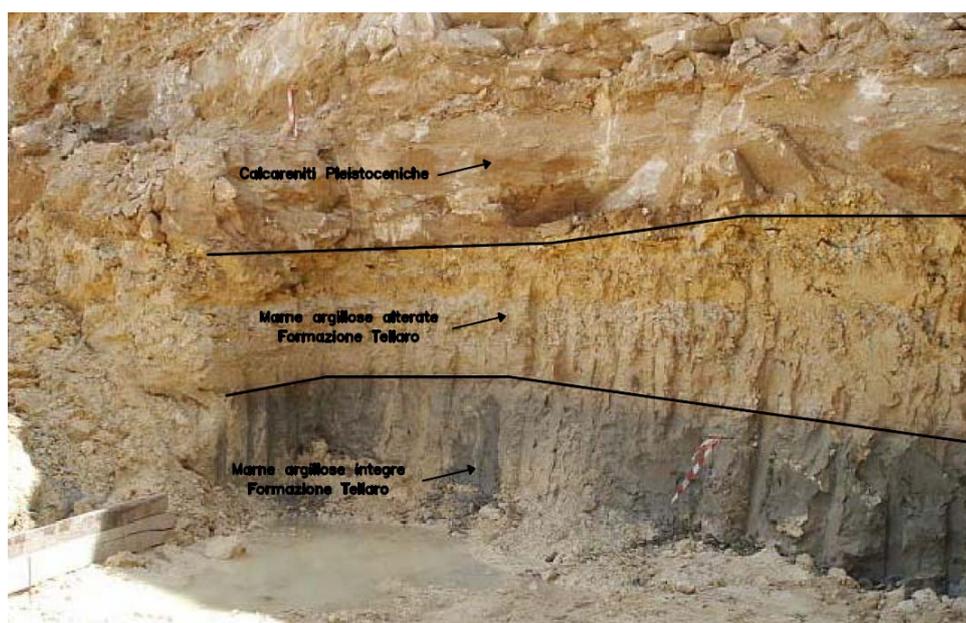


Figura 2 – Vista di un fronte di scavo nell'ambito del Lotto 4 "Noto"

La stima dell' $RMR_{89}$  è dunque stata realizzata, come presentato approfonditamente nel rilievo allegato alla presente relazione, facendo riferimento da un lato all'unico fronte esposto in marna nella zona del Lotto 10, rappresentato dai versanti laterali della Cava Truncafila, Figura 3, ad oggi abbandonata, dall'altro ad osservazioni e informazioni fotografiche relative ad opere di scavo realizzate in materiali analoghi nell'ambito dei lotti precedenti.



*Figura 3 – Panoramica dei fronti della Cava Truncafila*

Nella tabella seguente si propone la stima dell'indice  $RMR_{89}$  per il litotipo in esame:

*Tabella 3 – Stima dell'indice  $RMR_{89}$  per le marne del Tellaro*

Parametro	Valore	Coefficiente numerico
$\sigma_c$	2-4 MPa	1
RQD	25%	4
Spaziatura discontinuità	inferiore a 6 cm	5
Stato discontinuità	presenza di livelli di tipo argilloso	10
Condizioni idrauliche	asciutto	15
<b>Indice <math>RMR_{89}</math></b>	-	<b>35</b>

La resistenza a compressione monoassiale è stata posta pari a 2-4 MPa sulla base di evidenze di campagna, associando un valore di 4 MPa alla marna in galleria, di 2 MPa nel caso in cui lo scavo intercetti la marna del Tellaro in trincea o a cielo aperto.

La caratterizzazione del litotipo in termini di parametri di resistenza e deformabilità è proposta nei Profili geotecnici-geomeccanici del Lotto 10, e deriva fundamentalmente

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 28
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

dall'indice  $RMR_{89}$  precedentemente calcolato, tenendo conto della copertura che compete ad ogni singolo tratto di scavo. La metodologia adottata è già stata esposta nel capitolo 7.1. Il peso di volume del litotipo è stato posto pari a 20 kN/m<sup>3</sup> a partire dalle prove di laboratorio di determinazione delle caratteristiche fisiche della roccia.

### 8.5. Formazione Ragusa

La Formazione Ragusa è costituita da calcari e calcareniti compatte, suddivise in banchi di spessore da decimetrico a metrico, con locali intercalazioni di natura marnosa. I calcari della Formazione Ragusa presentano generalmente una stratificazione molto accentuata, con un ridotto grado di fratturazione.

Questo litotipo interessa il tracciato per circa l'80% del suo sviluppo.

La caratterizzazione del litotipo è stata realizzata sulla base di:

- sondaggi a carotaggio, che hanno fornito indicazioni relative alla stratigrafia e alla percentuale di carotaggio RQD;
- prove di laboratorio, in particolare prove di resistenza a compressione monoassiale;
- n° 6 stazioni di rilievo geostrutturale, che hanno fornito indicazioni relative alla struttura dell'ammasso roccioso e alle famiglie di discontinuità in esso presenti.

Tutti i risultati delle indagini e le schede dei rilievi geostrutturali relativi al lotto n questione sono disponibili nei relativi fascicoli indagini.

L'area di studio è caratterizzata da numerosi affioramenti di calcare della Formazione Ragusa, Figura 4, che presentano una tipica disposizione a gradoni in relazione ad una stratificazione prevalentemente orizzontale o debolmente inclinata (5-8°).

 <b>TECENITAL</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 29
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							



*Figura 4 – Scavo esposto in calcari della Formazione Ragusa*

La classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso in esame si basa principalmente sui rilievi geologico – strutturali di superficie e sulle stratigrafie dei sondaggi, utilizzando le risultanze delle perforazioni di sondaggio ai fini di un'estrapolazione in profondità della qualità rocciosa, e quale confronto qualitativo.

Per quanto riguarda il Lotto 10, le stazioni di rilievo geostrutturale sono state realizzate prevalentemente in corrispondenza delle pareti rocciose esposte lungo l'impluvio del fiume Irmínio, a cavallo tra Lotto 10 e 11, Figura 5.

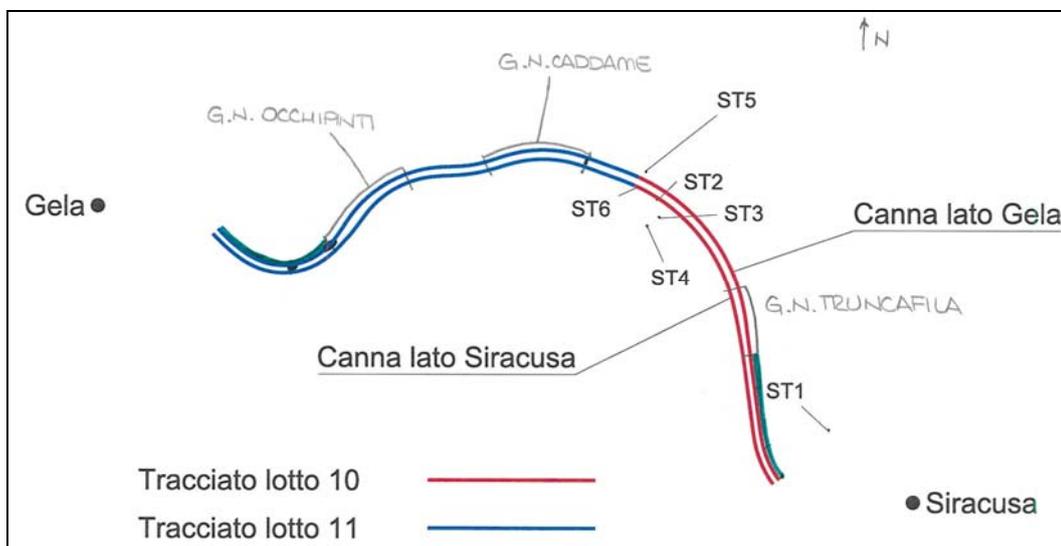


Figura 5 – Ubicazione delle stazioni di rilievo geostrutturale, Lotto 10

Nella tabella seguente si elencano i principali risultati delle diverse stazioni di rilievo geostrutturale, limitatamente a quelle che hanno integrato una descrizione prettamente qualitativa a misure in sito di giacitura e caratteristiche dei giunti, quindi la Tabella 4 non riporta le stazioni 3 e 5.

La famiglia di giunto prevalente è quella relativa alla stratificazione. Sono inoltre state individuate altre due famiglie di giunto principali, a inclinazione sub verticale, pressoché perpendicolari fra loro, come visibile in Figura 6.

Tabella 4 – Stazioni di rilievo geostrutturale del Lotto 10

Stazione geomeccanica	Famiglia	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Spaziatura media [cm]	JRC
1	sc	130	5	47	7
	k	160	85	88	9
	j	80	85	132	11
2	sc	100	8	63	7
	k	330	85	81	5
	j	260	85	120	9
4	sc	180	2	59	7
	k <sub>1</sub>	340	88	36	11
	k <sub>2</sub>	285	85	40	5
	j	225	85	41	11
6	sc	300	6	69	7
	k <sub>1</sub>	160	88	83	5
	k <sub>2</sub>	130	85	138	5
	j	145	85	70	9

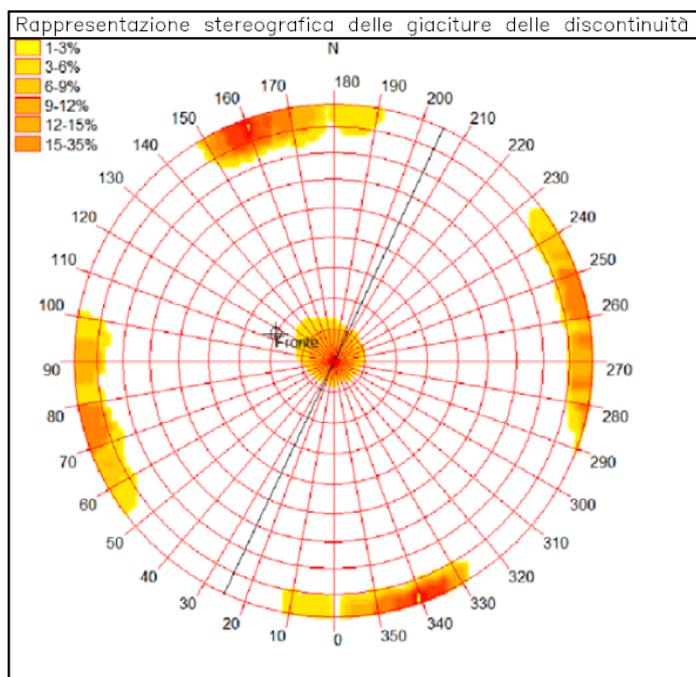


Figura 6 – Stereogramma delle discontinuità relativo alla stazione ST1

Nella tabella seguente si fornisce l'intervallo di valori associati all'indice  $RMR_{89}$  di Bieniawski per il tracciato che compete al Lotto 10.

Tabella 5 – Stima dell'indice  $RMR_{89}$  per i calcari della F. Ragusa

Parametro	Valore	Coefficiente numerico
$\sigma_c$	28-30 MPa	4-6
RQD	35-40%	8
Spaziatura discontinuità	20-60 cm, localmente 0.2-0.6 m	12
Stato discontinuità	superfici ruvide, locale riempimento marnoso	17
Condizioni idrauliche	asciutto	15
<b>Indice <math>RMR_{89}</math></b>	-	<b>56-58</b>

La resistenza a compressione della roccia intatta proposta in tabella fa riferimento alle risultanze delle prove di laboratorio su campioni indisturbati. Lo stesso parametro è stato determinato per via indiretta anche nel corso dei rilievi geomeccanici in sito, attraverso misure con il martello di Schmidt su superfici di roccia alterata e sana. Tali misurazioni hanno evidenziato valori di  $\sigma_c$  ben superiori ai risultati di laboratorio,

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 32
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

variabili fra 35 e 55 MPa. Per ragioni di cautelatività, comunque, si è preferito in questa fase fare riferimento ai valori più ridotti derivanti dalle indagini di laboratorio.

Il valore di RQD utilizzato per la definizione dell'indice RMR deriva dalle carote di sondaggio.

Le caratteristiche di spaziatura e condizione dei giunti sono state definite sulla base dei risultati delle stazioni di rilievo geomeccanico.

L'eventuale distinzione in tratte omogenee realizzata nei profili geomeccanici è prevalentemente connessa a locali variazioni della resistenza a compressione monoassiale, derivante dalle indagini di laboratorio. L'indice  $RMR_{89}$  proposto fa riferimento a condizioni idrauliche asciutte, senza considerare la correzione per l'orientazione dei giunti in rapporto alla tipologia di opera in progetto e alla direzione di avanzamento.

La definizione dei parametri di resistenza e deformabilità del litotipo in esame è stata realizzata, per tratte omogenee e tenendo conto delle diverse condizioni di copertura, secondo la metodologia descritta al capitolo 7.1. Il peso di volume del litotipo è stato posto pari a  $23 \text{ kN/m}^3$  a partire dalle prove di laboratorio di determinazione delle caratteristiche fisiche della roccia.

Nei profili geomeccanici è presentata la caratterizzazione geotecnico-geomeccanica dell'intero tratto in cui il tracciato interessa la Formazione Ragusa.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 33
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

## 9. CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE

Le condizioni idrogeologiche del territorio sono governate dalla presenza di termini calcarei permeabili per fratturazione, entro cui è presente una falda libera, o localmente confinata se limitata superiormente dalle marne della Tellaro, ad una profondità media di 100-120 metri dal piano campagna. Non si ritiene quindi che tale livello idrico profondo possa presentare alcun tipo di interferenza con i lavori di scavo.

Ciò nonostante, la bassa permeabilità delle formazioni rocciose, evidenziata dalle prove Lugeon, può determinare la presenza di locali accumuli idrici superficiali, di rilevanza modesta. Durante la realizzazione dei sondaggi, sono state investigate realizzate misure del livello di acqua in foro, allo scopo di individuare eventuali accumuli idrici sospesi lungo le profondità indagate.

Alcune verticali di sondaggio inoltre, al termine della perforazione sono state attrezzate con piezometri a tubo aperto.

Le indicazioni sulle profondità della falda superficiale sono inserite in localmente sul profilo geotecnico.

Nella tabella sottostante vengono riportate le misure piezometriche del livello idrico, come profondità in metri rispetto al piano di campagna. Le letture piezometriche sono state realizzate al termine delle perforazioni di sondaggio.

<b>Lotto 10 - livelli falda</b>		
<b>Sondaggio</b>	<b>Quota boccaforo</b>	<b>Soggiacenza falda [m da p.c.]</b>
33		asciutto
40bis	202.2 m	5.5
41	88.9 m	5.6

Sulla base di questa situazione, si deduce che le opere lungo la tratta non saranno soggette ad alcuna interazione con la falda freatica profonda. Non si può comunque escludere la presenza di limitati superficiali accumuli idrici sospesi a variabilità stagionale, che potranno essere localmente intercettati dalle opere principalmente in corrispondenza di faglie o zone detritiche in aree di impluvio, senza influenze significative sulle lavorazioni.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 34
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 10. PROFILI GEOMECCANICI

Tutte le caratterizzazioni dei litotipi intercettati dal tracciato del Lotto 10 sono state riassunte in specifici profili geotecnico-geomeccanici relativi alle due piste autostradali. I suddetti profili contengono, per ciascuna tratta omogenea da un punto di vista litologico e di condizioni di copertura:

- per i materiali litoidi:
  - indici di classificazione geomeccanica RMR<sub>89</sub> e GSI;
  - resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
  - parametri di resistenza e deformabilità;
- per i materiali sciolti:
  - parametri di resistenza e deformabilità.

L'indice RMR<sub>89</sub> proposto fa riferimento ad una condizione idraulica asciutta, senza considerare la correzione per l'orientazione dei giunti in rapporto alla tipologia di opera in progetto e alla direzione di avanzamento.

La caratterizzazione delle zone di faglia e di asse di piega negli ammassi rocciosi non è stata inclusa nei profili geomeccanici dell'intero lotto, ma solo in quelli specifici relativi alle gallerie naturali del lotto in questione. In termini generali, comunque, l'approccio adottato è consistito nel ridurre di 10 punti l'indice RMR<sub>89</sub> in corrispondenza delle faglie, di 5 punti per le pieghe, a parità di resistenza compressione della roccia intatta, per tener conto di un locale aumento del grado di fratturazione della roccia in posto.

 <b>INGEGNERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 35
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 11. VERIFICA DI STABILITÀ DELLE TRINCEE

Le trincee previste lungo il tracciato del Lotto 10 possono essere distinte secondo le seguenti tipologie:

- Trincee naturali.

La tratta si sviluppa per lunga parte in sezioni di scavo, per cui la presenza di trincee naturali risulta significativa. Il piano della livelletta è posto ad una profondità variabile in media tra i 5 e i 10 m rispetto all'attuale piano campagna, con profondità massime che localmente raggiungono i 12 m. Il litotipo che verrà generalmente interessato dallo scavo saranno i calcari della Formazione Ragusa, localmente, in prossimità dell'imbocco Sud della Galleria Truncafila, le trincee si sviluppano entro le marne argillose della Formazione Tellaro.

Le pendenze delle scarpate sono definite secondo il progetto stradale come segue:

- scarpate con pendenza 1:5 e berme orizzontali di ampiezza 1 metro in corrispondenza dei calcari della Formazione Ragusa;
- scarpate con pendenza 1:1 e berme di larghezza pari a 2 m nelle marne del Tellaro;
- scarpate con pendenza 2:1 nel detrito superficiale, dove presente.

Informazioni più precise su spessori e caratteristiche geotecniche degli strati interessati dall'opera sono riportate nel profilo geotecnico-geomeccanico del Lotto 10. La loro posizione lungo il tracciato è invece deducibile dagli elaborati planimetrici.

- Trincee temporanee, in corrispondenza delle quali verranno realizzate gallerie artificiali.

Queste opere sono diffuse lungo tutto il tracciato, presentando lunghezze variabili ma comunque limitate. La livelletta di progetto solitamente si mantiene su profondità medie limitate tra 5-8 m. Trattandosi di opere temporanee, le pendenze adottate per la modellazione delle scarpate è differente rispetto alle trincee a lungo termine:

- scarpate con pendenza 1:5 e berme orizzontali di ampiezza 1 metro in corrispondenza dei calcari della Formazione Ragusa;
- scarpate con pendenza 1:5 e berme di larghezza pari a 1 m nelle marne del Tellaro;
- scarpate con pendenza 2:1 nel detrito superficiale, dove presente.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 36
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Per le analisi di stabilità relative alle trincee temporanee in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie naturali si rimanda agli specifici elaborati di calcolo.

## 11.1. Verifiche di stabilità delle trincee naturali

### 11.1.1. Introduzione

Il lotto 10 è caratterizzato da un lungo tratto in trincea, che si sviluppa tra inizio lotto e la progressiva 2+400 km circa, punto in cui il tracciato viene a giorno, per poi entrare in galleria, Galleria Truncafila, all'altezza della sezione 2+700 km circa.

Il tratto in trincea interessa per circa l'80% del suo sviluppo i calcari della Formazione Ragusa, caratterizzati da una stratificazione sub orizzontale ed una buona qualità geomeccanica. Il piano della livelletta è posto ad una profondità variabile in media tra i 5 e i 10 m rispetto all'attuale piano campagna, con profondità massime che localmente raggiungono i 12 m

Solo in corrispondenza dell'ultimo tratto di trincea, in prossimità dell'imbocco della Galleria Truncafila, la presenza di una faglia diretta circa alla progressiva 2+250 km, porta a giorno le marne della Formazione Tellaro. L'ultimo tratto di trincea quindi, tra le progressive 2+250 e 2+400 km, si colloca in un ammasso roccioso di natura marnosa con coperture mediamente pari a 4-5 m, che raggiungono nell'ultimo tratto i 10 m rispetto al piano della livelletta.

### 11.1.2. Metodologia di calcolo

Le analisi di stabilità delle trincee sono state realizzate per le sezioni di massima copertura, per entrambi i litotipi considerati.

Le verifiche sono state realizzate con l'approccio DA-1-C2, ovvero facendo riferimento ai parametri ridotti dei materiali, secondo i seguenti criteri:

*Tabella 6 – Coefficienti parziali adottati nei calcoli di stabilità*

VERIFICA	APPROCCIO PROGETTUALE	COEFFICIENTI PARZIALI
Stabilità globale	A2 + M2 + R2	$\gamma_{\text{carichi}} = 1$ $\gamma_{\text{geo}} = 1.25$ per $\text{tg}\phi, c$ $1$ per $\gamma$ $\gamma_{\text{res}} = 1.10$ in condizioni statiche $1.00$ in condizioni sismiche

Nelle tabelle seguenti sono riportati i parametri caratteristici dei litotipi interessati dagli scavi in trincea, e quelli ridotti, utilizzati per le analisi di stabilità delle scarpate.

*Tabella 7 – Parametri geotecnici caratteristici dei litotipi considerati*

strato	descrizione	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	E	$\nu$
		kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	MPa	-
1	Tellaro	20	55	25	450	0,25
2	Ragusa	23	100	50	4000	0,2

*Tabella 8 – Parametri geotecnici di progetto dei litotipi considerati*

strato	descrizione	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	E	$\nu$
		kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	MPa	-
1	Tellaro	20	44	20.5	450	0,25
2	Ragusa	23	80	43.6	4000	0,2

La falda è ovunque assente, e non è quindi stata considerata nel corso delle analisi.

I parametri geomeccanici adottati per caratterizzare la Formazione Ragusa risultano cautelativi rispetto ai parametri dichiarati nel profilo geomeccanico in asse, per tener conto della possibile riduzione locale della qualità geomeccanica in corrispondenza di faglie o zone di alterazione superficiale.

Le analisi di stabilità delle scarpate in condizioni sismiche sono state eseguite mediante il metodo pseudo-statico, ovvero rappresentando l'azione sismica mediante un'azione statica equivalente, costante nel tempo e nello spazio. Tale forza viene determinata in relazione al peso del cuneo di terreno potenzialmente instabile e alla capacità del terreno di subire spostamenti senza importanti riduzioni di resistenza.

Si definiscono  $k_h$  e  $k_v$  i coefficienti moltiplicatori del peso  $W$  del cuneo instabile, valutati come segue:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Con:

$a_{\max}$  = accelerazione massima attesa nel sito di interesse;

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito.

**Tabella 9 – Valori del coefficiente  $\beta_s$  in relazione alla categoria di sottosuolo**

Valori del coefficiente $\beta_s$	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Nel caso in esame il tratto in trincea nei calcari della Formazione Ragusa è classificato quale categoria di suolo A, a partire dalle risultanze dell'indagine MASW M1, che ha evidenziato un'accelerazione sismica media  $VS_{30}$  pari a 1125 m/s. Si considera dunque un'accelerazione orizzontale su suolo rigido  $a_g$  pari a 0.261g per un tempo di ritorno di 1900 anni, corrispondente ad un SLV con  $V_r = 200$  anni.

Il coefficiente  $\beta_s$  è dunque pari a 0.3. Si valutano quindi i coefficienti moltiplicatori:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.078$$

 <b>TRUNCAFILA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 39
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = \pm 0.039$$

Per il tratto in Tellaro, in prossimità dell'imbocco Sud della Galleria Truncafila, la formazione delle marne è classificata in categoria di suolo B, con una  $a_g$  pari a 0.273g, che diventa  $a_{\max} = 0.308g$  applicando una correzione stratigrafica pari a 1.13. Tale classificazione deriva dallo stendimento MASW M2 che individua una  $V_{S30}$  media di 320 m/s.

In questo caso  $\beta_s$  è pari a 0.28. Si valutano quindi i coefficienti moltiplicatori:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.086$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = \pm 0.043$$

L'adozione di un coefficiente moltiplicativo  $k_v$  di segno positivo o negativo, ovvero l'applicazione di una forza equivalente rivolta verso l'alto o il basso, è conseguente alla valutazione del verso di  $k_v$  che determina il minor grado di sicurezza nei confronti della stabilità locale.

A titolo cautelativo si è applicato un carico distribuito pari a 20 kPa in testa alle trincee esaminate, sia per le analisi in condizioni statiche che per quelle in condizioni sismiche. Tale sovraccarico consente di tenere in conto da un lato della lieve pendenza della superficie topografica a monte dello scavo, dall'altro dell'eventuale presenza di mezzi d'opera durante le fasi realizzative.

### 11.1.3. Risultati delle analisi – Trincea in F.Ragusa

Le analisi sono state realizzate considerando la profondità massima che la trincea raggiunge in corrispondenza dell'inizio del lotto 10, pari a 12 m. La geometria analizzata consiste in tre scarpate successive con pendenza 1:5, di cui le due inferiori presentano un'altezza di 5 m, quella sommitale di soli 2 m. Le scarpate sono interrotte da berme orizzontali di spessore 1 m.

 <b>INGENIERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 40
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Le analisi sono state realizzate considerando il piede della scarpata inferiore quale punto terminale di tutte le possibili superfici di rottura. L'analisi è stata eseguita, sia in condizione statica che sismica, applicando il metodo di Bishop modificato.

In ciascuna analisi si applica un sovraccarico distribuito in testa alla scarpata di 20 kPa.

In Figura 7 si presentano i risultati dell'analisi in condizione statica: si osserva come la superficie di rottura critica sia piuttosto corticale, e presenti un fattore di sicurezza pari a 2.32, ben superiore ai limiti normativi, che per la configurazione statica definiscono un coefficiente R2 pari a 1.1.

In Figura 8 si presentano i risultati della stessa analisi in presenza di sisma: la superficie critica presenta la stessa geometria del caso statico con un fattore di sicurezza pari a 2.06, nuovamente superiore ai limiti normativi.

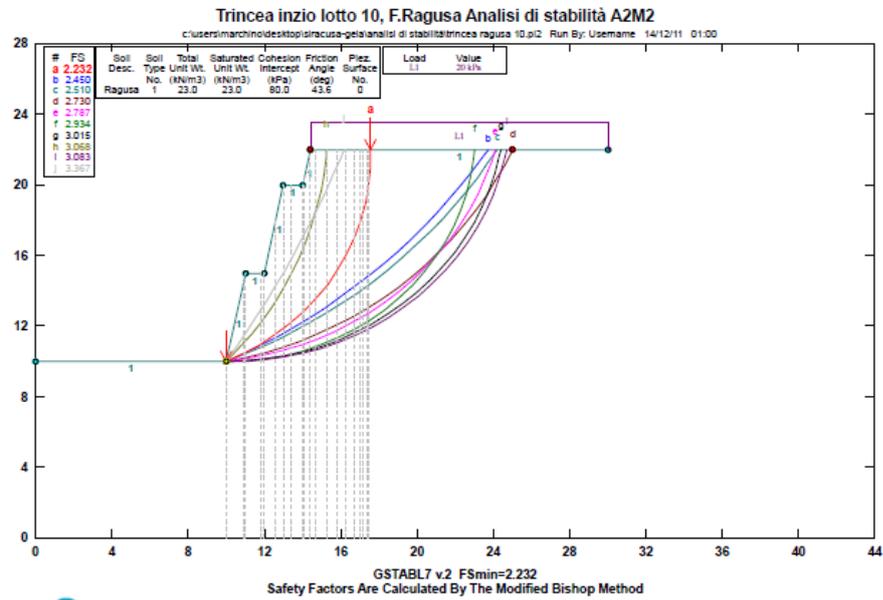


Figura 7 – Analisi di stabilità in condizione statica - F. Ragusa

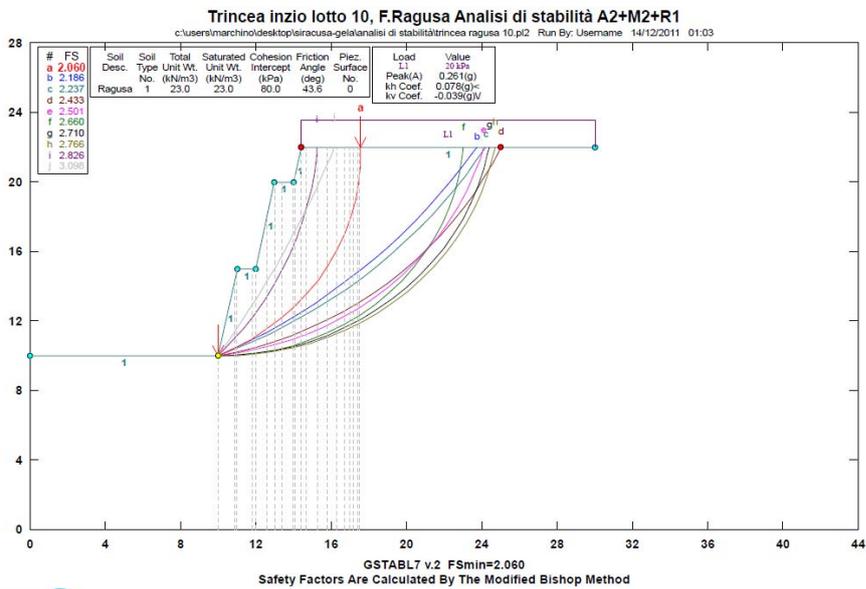


Figura 8 - Analisi di stabilità in condizione dinamica - F. Ragusa

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 42
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

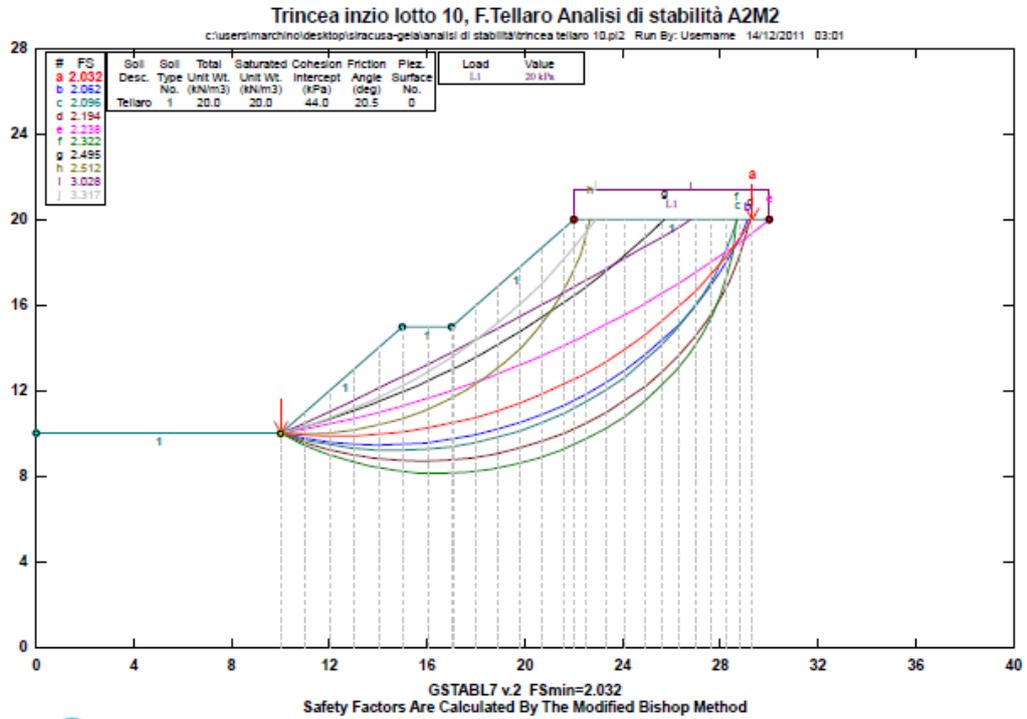
#### 11.1.4. Risultati delle analisi – Trincea in F.Tellaro

Le analisi sono state realizzate considerando la profondità massima che la trincea raggiunge in corrispondenza della parte terminale della trincea a inizio lotto 10, pari a 10 m. La geometria analizzata consiste nella successione di due scarpate con pendenza 1:1, così come definito dal progetto stradale, divise da una berma orizzontale di ampiezza 2 m.

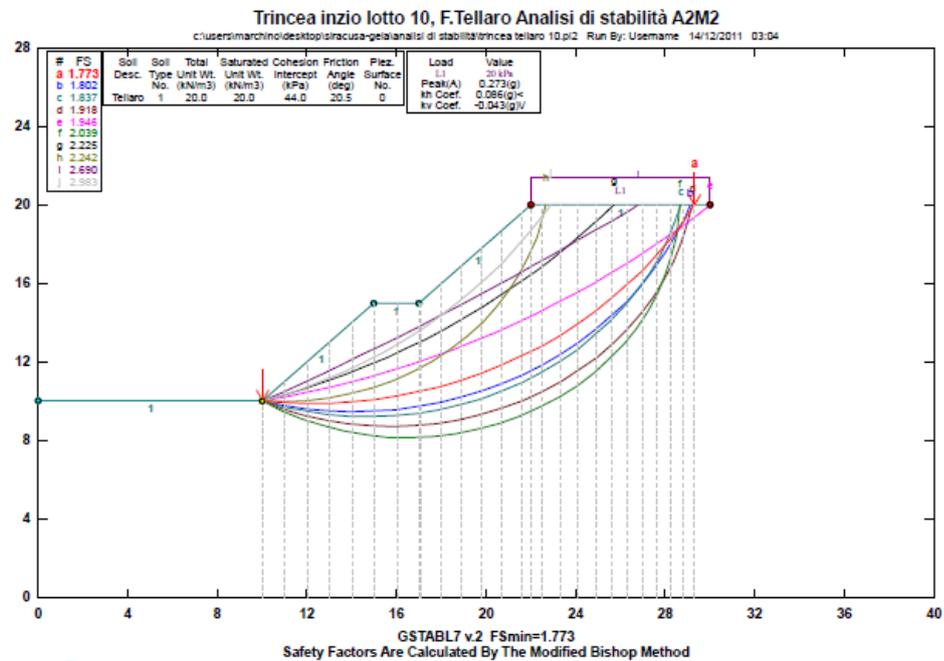
Le analisi sono state realizzate considerando il piede della scarpata inferiore quale punto terminale di tutte le possibili superfici di rottura. L'analisi è stata eseguita, sia in condizione statica che sismica, applicando il metodo di Bishop modificato.

In ciascuna analisi si applica un sovraccarico distribuito in testa alla scarpata di 20 kPa.

In Figura 9 e Figura 10 si propongono i risultati delle verifiche di stabilità effettuate per le scarpate in marne della Formazione Tellaro, in assenza e presenza di sisma. Entrambe le analisi forniscono fattori di sicurezza superiori ai limiti normativi, nello specifico il coefficiente di sicurezza associato alla superficie critica nel caso statico è pari a 2.03, che si riduce a 1.77 nel caso dinamico.



*Figura 9 – Analisi di stabilità in condizione statica - F.Tellaro*



*Figura 10 – Analisi di stabilità in condizione dinamica - F.Tellaro*

 <b>TECNOFERRA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 44
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

#### 11.1.5. Considerazioni conclusive

Nel presente capitolo si sono presentate le verifiche di stabilità realizzate in corrispondenza delle sezioni più critiche per il tratto di trincea posizionato all'inizio del Lotto 10. Le analisi riguardano sia le trincee in calcari della Formazione Ragusa, che verranno modellate con scarpate successive con pendenza 1:5, sia le marne della Formazione del Tellaro, le cui scarpate presenteranno, secondo il progetto stradale, una pendenza 1:1.

Le analisi sono state realizzate secondo l'approccio DA-1-C2 delle NTC, ovvero riducendo i parametri caratteristici dei litotipi interessati dallo scavo delle trincee.

Tutte le verifiche hanno dato esito positivo, fornendo fattori di sicurezza ben superiori ai limiti normativi, sia in condizioni statiche sia in presenza di sisma.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 45
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 12. OPERE D'ARTE

Le opere d'arte maggiori previste nell'ambito del Lotto 10 dell'Autostrada Siracusa-Gela sono:

- Galleria Truncafila, di lunghezza media pari a 740 m per il tratto in naturale e 860 m di sviluppo complessivo;
- Galleria artificiale Cottonari, di lunghezza media 430 m, interamente in roccia calcarea;
- Rilevato Cottonari, della lunghezza media di 700 m, a connessione della Galleria Truncafila lato Est con la Galleria artificiale Cottonari;
- Viadotto Irminio, di lunghezza media 280 m.

Il progetto comprende poi tutta una serie di opere d'arte e manufatti minori, quali ponti di scavalco del tracciato autostradale, cavalcavia di collegamento con le viabilità locali, sottopassi di collegamento con le viabilità locali, rilevati, riempimenti.

La posizione di ogni opera è riportata in planimetria, mentre sul profilo geotecnico sono dettagliatamente riportate le caratterizzazioni dei terreni interessati dalle singole opere. Per le opere principali, quali il Viadotto Irminio e la Galleria naturale Truncafila, sono stati realizzati profili geotecnici di dettaglio che illustrano la situazione geologico-geomeccanica del tratto di interesse per entrambe le piste autostradali.

In merito al Viadotto Irminio, ed in particolare alla categoria di sottosuolo da considerare per i terreni di fondazione, le indagini MASW effettuate in corrispondenza del sito hanno consentito di definire come categoria di sottosuolo al piano di imposta delle fondazioni la categoria "A", per cui  $V_{S30} > 800$  m/s.

Tale precisazione è doverosa, in quanto nelle planimetrie sismiche, in corrispondenza dell'opera risulta una categoria di sottosuolo inferiore, essendo in quella sede rappresentata la categoria che scaturisce dal  $V_{S30}$  misurato da piano campagna, ovvero comprensivo della copertura alluvionale/detritica su cui le fondazioni in oggetto non poggiano.

Tale indicazione è riportata anche sui profili geotecnici di pertinenza dell'opera.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 46
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

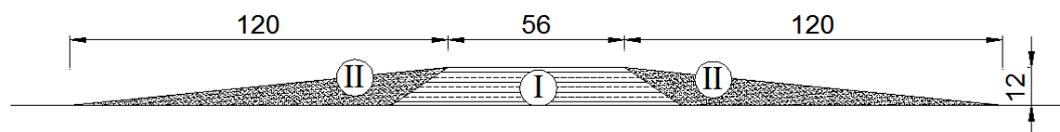
### 13. RILEVATO COTTONARI

#### 13.1. Introduzione

Nell'ambito del Lotto 10, tra la galleria naturale Truncafila e la galleria artificiale Cottonari è prevista la realizzazione di un rilevato, di altezza massima pari a circa 12 m.

Il rilevato presenta un corpo centrale (I), costituito esclusivamente da materiale di scavo della Formazione Ragusa, opportunamente vagliato e compattato, con scarpate laterali con pendenza 3:2. A questo rilevato si appoggia lateralmente un secondo corpo (II), costituito da materiali di varia natura non compattati, le cui scarpate vengono modellate con pendenza 10:1, vedi Figura 11.

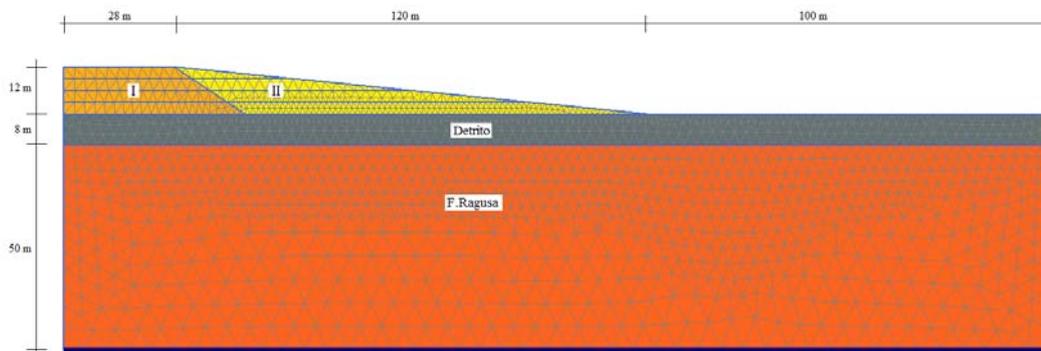
Il rilevato presenta un piano orizzontale in testa di larghezza pari a circa 56 metri.



*Figura 11 – Geometria tipo del rilevato*

Il rilevato poggia su un deposito detritico costituito da limi e argille con clasti eterometrici, la cui origine è principalmente ascrivibile all'alterazione della Formazione Tellaro. Il detrito ha una potenza media di 6-8 metri, e poggia sulla sottostante Formazione Ragusa, costituita da calcari marnosi in banchi sub-orizzontali.

Le analisi di stabilità e la previsione dei cedimenti indotti dalla costruzione del Rilevato Cottonari sono state realizzate mediante un modello di calcolo agli elementi finiti bidimensionale, considerando una condizione di simmetria. In Figura 12 si illustra la geometria utilizzata per la modellazione del rilevato, che fa riferimento alla sezione posta alla progressiva 4000 m, considerata rappresentativa per l'intero corpo del rilevato.



*Figura 12 – Modello di calcolo*

Nella tabella seguente si elencano i parametri utilizzati per caratterizzare i diversi materiali che compongono il rilevato e le fondazioni dello stesso:

*Tabella 10 – Parametri geotecnici utilizzati per le verifiche del Rilevato Cottonari*

Parametro	Detrito	Ragusa	Rilevato I	Rilevato II
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19	23	20	18
c [kPa]	5	300	5	1
$\phi$ [°]	25	50	38	36
E [MPa]	40	4000	40	30
$\nu$ [-]	0.3	0.2	0.3	0.3
$k_0$	0.5	1	0.5	0.5

La realizzazione del rilevato viene realizzata per fasi successive, a ciascuna delle quali compete la messa in opera di uno strato di 3 m di terreno. A favore di sicurezza si assume che la realizzazione del corpo I del rilevato venga realizzata e completata prima che inizi la posa in opera del materiale che costituisce il corpo II.

Si considerano le seguenti fasi di calcolo:

Fase 0 – Condizione geostatica

Fase 1 – Realizzazione del primo strato del corpo I

Fase 2 – Realizzazione del secondo strato del corpo I

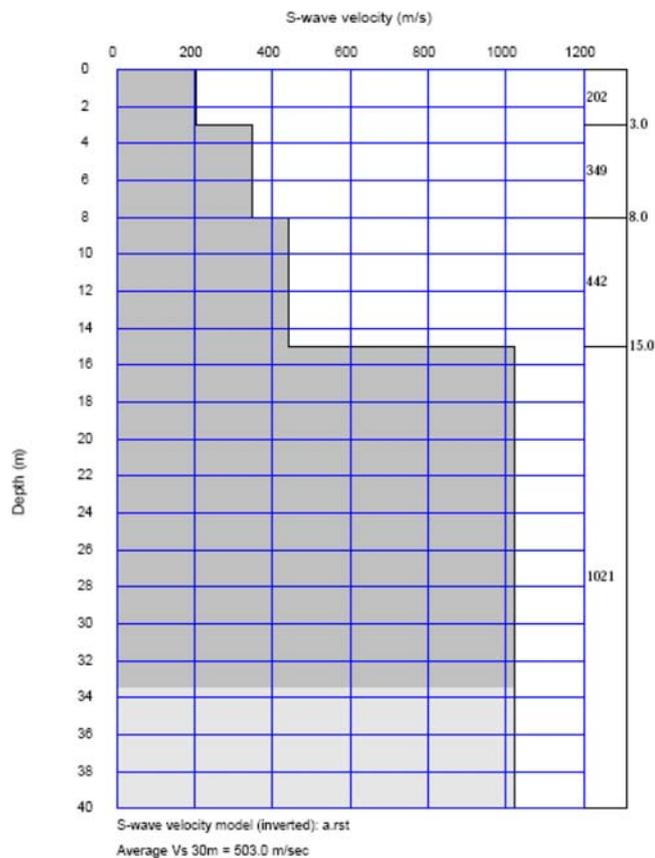
Fase 3 – Realizzazione del terzo strato del corpo I

 <b>INGENIERIA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 48
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

- Fase 4 – Realizzazione del quarto strato del corpo I
- Fase 5 – Realizzazione del primo strato del corpo II
- Fase 6 – Realizzazione del secondo strato del corpo II
- Fase 7 – Realizzazione del terzo strato del corpo II
- Fase 8 – Realizzazione del quarto strato del corpo II
- Fase 9 – Applicazione del carico di varo  $q = 50$  kPa
- Fase 10 – Applicazione del carico di esercizio  $q = 20$  kPa
- Fase 11 – Analisi in presenza di sisma

Le analisi di stabilità sono state realizzate attraverso la procedura di riduzione dei parametri di resistenza dei materiali, che consente la valutazione del coefficiente di sicurezza associato alla configurazione in esame. Tali analisi sono state eseguite dopo la Fase 4, dopo le Fasi 9 e 10 ed ancora in presenza di sisma, dopo la Fase 11.

L'analisi sismica considera un'accelerazione sismica al suolo rigido pari a 0.279 g. L'area in cui si colloca il rilevato Cottonari è stata classificata come suolo di tipo B, a partire dalle risultanze dell'indagine sismica MASW M3, Figura 13, che ha fornito un valore di  $V_{S30}$  medio pari a 500 m/s. Di conseguenza, applicando una correzione stratigrafica pari a 1.13 ed una correzione topografica pari all'unità, si calcola un'accelerazione massima al sito  $a_{max}$  pari a 0.315 g.



*Figura 13 – Risultati della prova MASW M3*

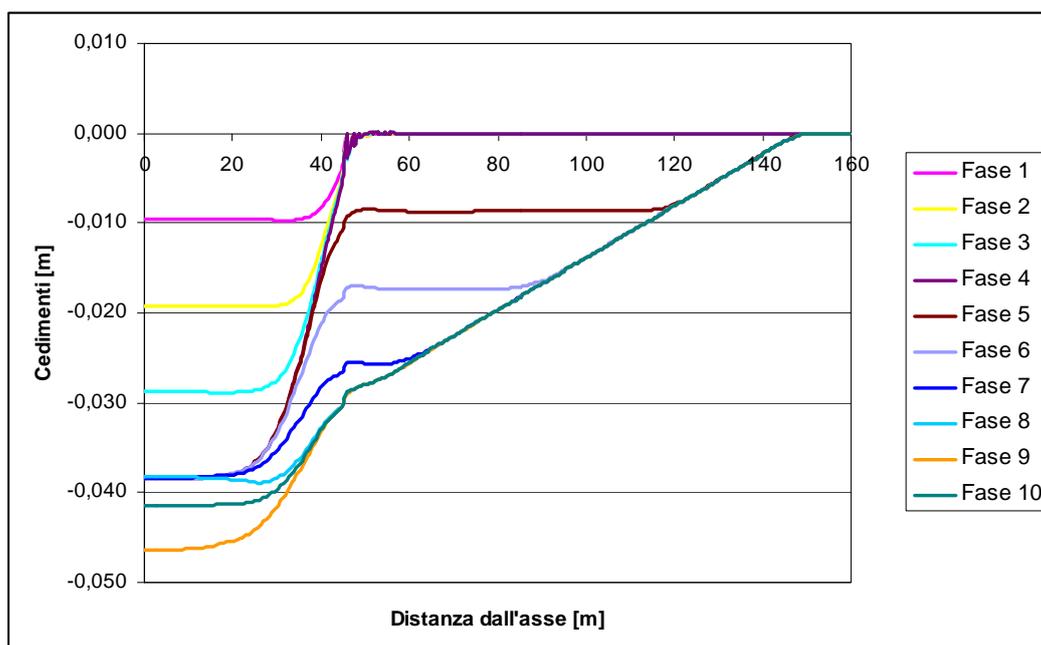
Tutte le analisi sono state realizzate in assenza di falda, in quanto la falda che caratterizza tali zone presenta un'elevata soggiacenza rispetto al piano campagna, e non interferisce in alcun modo con le opere in progetto.

### **13.2. Analisi dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato**

In Figura 14 è rappresentato l'andamento dei cedimenti al di sotto del rilevato, rispetto al piano campagna. Tali valori fanno riferimento ai cedimenti previsti sia in fase di realizzazione, fasi da 1 a 9, sia in fase di esercizio, fase 10.

I valori di cedimento risultano inferiori a 4 cm una volta completata la realizzazione del corpo I, e non subiscono ulteriori incrementi significativi con la posa in opera del corpo II. L'applicazione del carico di varo determina un cedimento massimo al centro del rilevato pari a 4.7 cm, mentre al carico di esercizio corrisponde un cedimento massimo

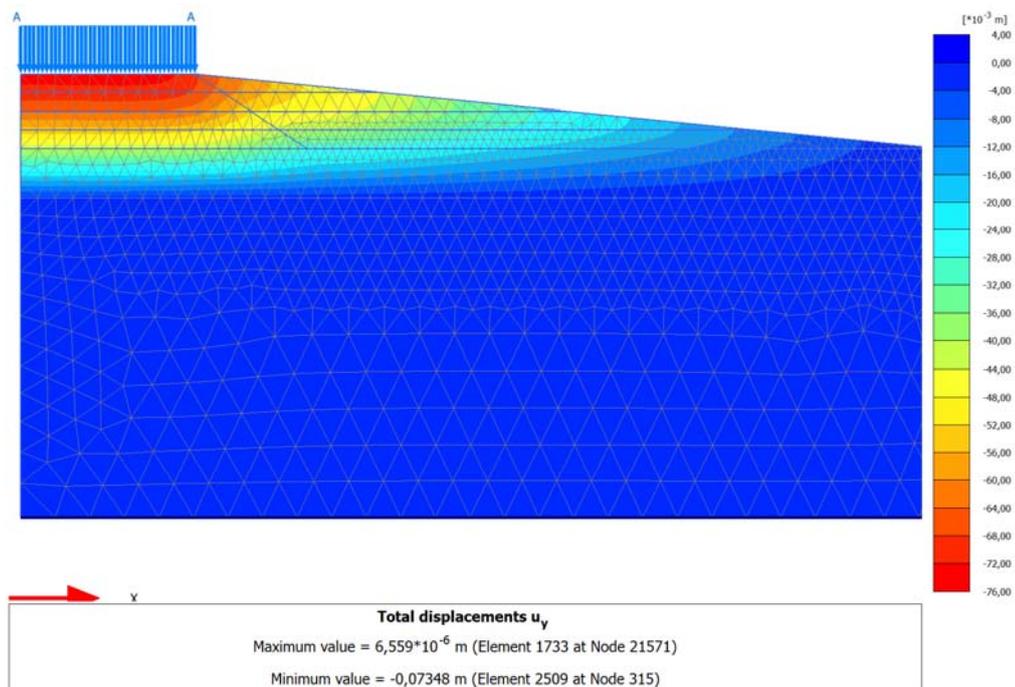
pari a 4.2 cm. E' dunque evidente che il passaggio tra le fasi 9 e 10, e dunque la riduzione del carico applicato in testa al rilevato, si traduce in uno scarico tensionale. Le analisi evidenziano che i cedimenti indotti dal rilevato si esauriscono ad una distanza di circa 50 m dall'asse, per quanto riguarda la sola messa in opera del corpo I, che si estende ad una distanza di 150 m dall'asse del rilevato con la realizzazione del corpo II.



*Figura 14 – Andamento dei cedimenti rispetto al piano campagna*

In Figura 15 è rappresentata la distribuzione degli spostamenti verticali indotti nei terreni di fondazione dalla realizzazione del rilevato. Tali cedimenti fanno riferimento alla fase 10, corrispondente alla fase di esercizio con carico applicato  $q$  pari a 20 kPa. I cedimenti si distribuiscono all'interno del corpo del rilevato, a livello della fondazione gli spostamenti verticali sono compresi fra 1 e 3.5 cm, con un massimo di circa 4.2 cm al centro del rilevato.

	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 51
	Pr	Strada	Lotto	Macro opera	Opera	Parte di opera	Tipo elab	N. Elab.	Rev														



*Figura 15 – Spostamenti indotti dal rilevato, fase 10*

In conclusione, vista la natura granulare dei terreni che costituiscono il terreno di fondazione e il corpo del rilevato, è possibile osservare che i cedimenti indotti dalla realizzazione dell'opera in oggetto si svilupperanno in modo immediato di pari passo con la progressiva messa in opera degli strati di terreno compattato. Si può quindi considerare, ai fini progettuali, che al termine della costruzione tutti i cedimenti saranno esauriti e non vi saranno ulteriori cedimenti apprezzabili nel tempo.

### 13.3. Analisi di stabilità

Nelle figure seguenti si propongono i risultati significativi delle analisi di stabilità. Le analisi sono state realizzate considerando i due approcci proposti dalla normativa:

- DA-1-C1, utilizzando i parametri caratteristici dei materiali;
- DA-1-C2, utilizzando i parametri ridotti dei materiali che costituiscono il rilevato.

Tutte le immagini fanno riferimento, a titolo di esempio, all'analisi realizzata con l'approccio DA-1-C1.

Le analisi fanno riferimento a tre diverse configurazioni geometriche e di carico:

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 52
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

- Configurazione 1, corrispondente alla messa in opera del solo corpo I del rilevato;
- Configurazione 2, in presenza del rilevato nella sua configurazione finale (corpi I+II), con applicazione del carico di esercizio;
- Configurazione 3, in presenza del rilevato nella sua configurazione finale (corpi I+II), con applicazione del carico di varo;
- Configurazione 4, in presenza del rilevato nella sua configurazione finale (corpi I+II), con applicazione del carico di esercizio ed in presenza di sisma.

In Figura 16 e Figura 17 si illustrano gli spostamenti incrementali associati alle analisi di stabilità in presenza del solo corpo I, Configurazione 1, e per l'intero rilevato in presenza di sisma, Configurazione 4. L'involuppo di tali spostamenti consente di delineare l'andamento della superficie di scivolamento critica, per la quale il programma di calcolo definisce il corrispondente coefficiente di sicurezza. Analogamente, in Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21 si illustra la distribuzione dei punti plastici all'interno del corpo del rilevato, in presenza rispettivamente del solo corpo I (Figura 18 – Configurazione 1), del rilevato nella sua configurazione finale, con sovraccarico di esercizio (Figura 19 - Configurazione 2), del rilevato con transito in testa del carro di varo (Figura 20 - Configurazione 3) ed infine del rilevato con q esercizio applicato in testa ed in presenza di sisma (Figura 21 - Configurazione 4).

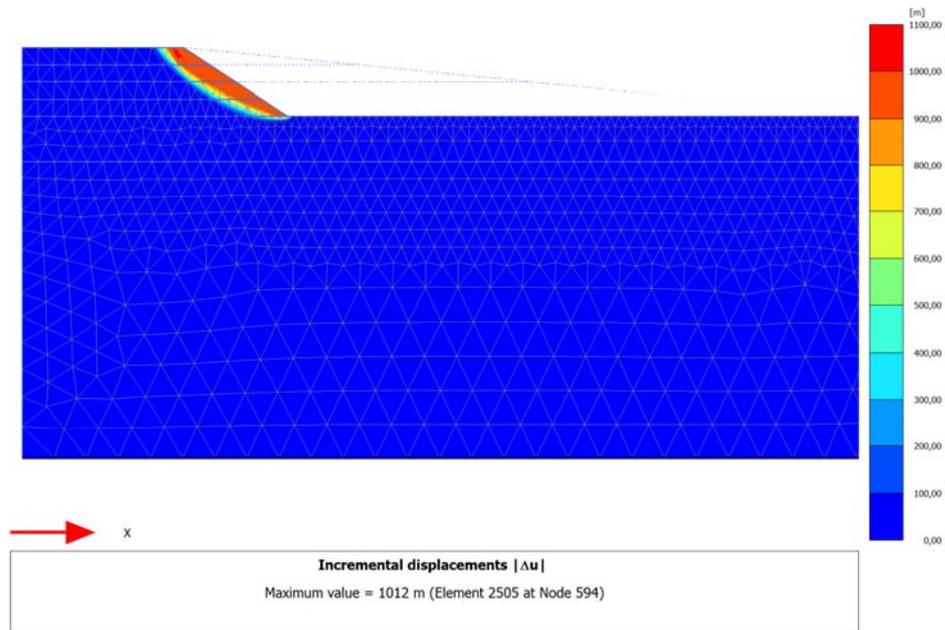


Figura 16 – Analisi di stabilità – Configurazione 1- approccio A1M1

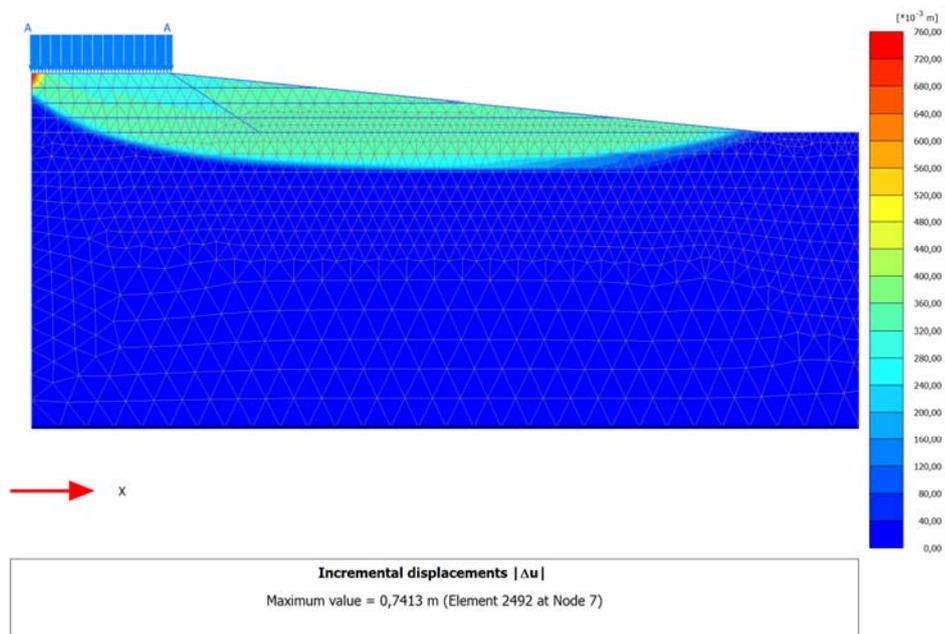
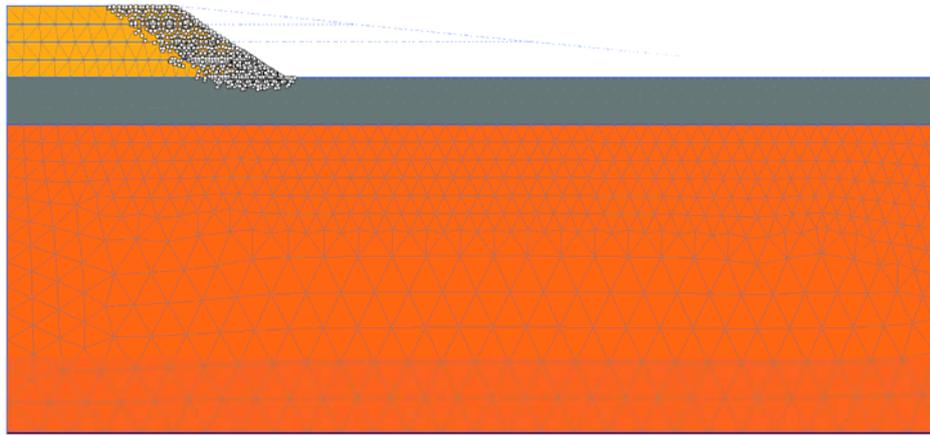
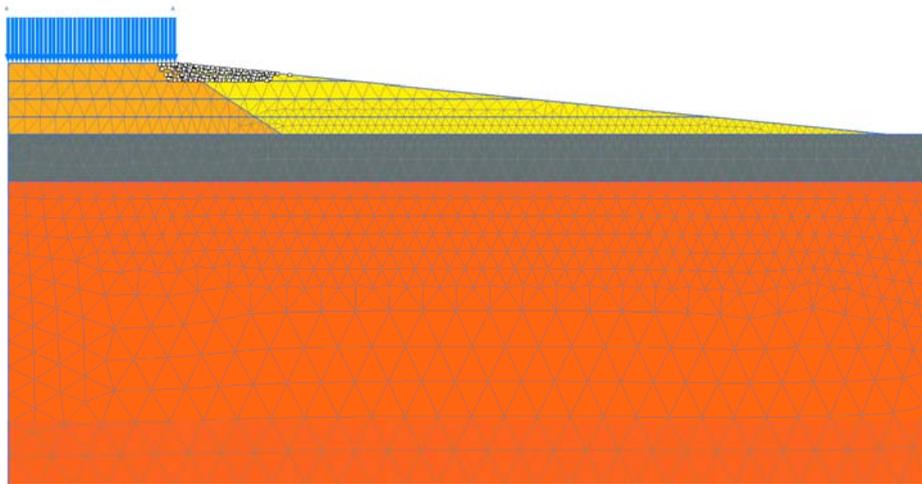


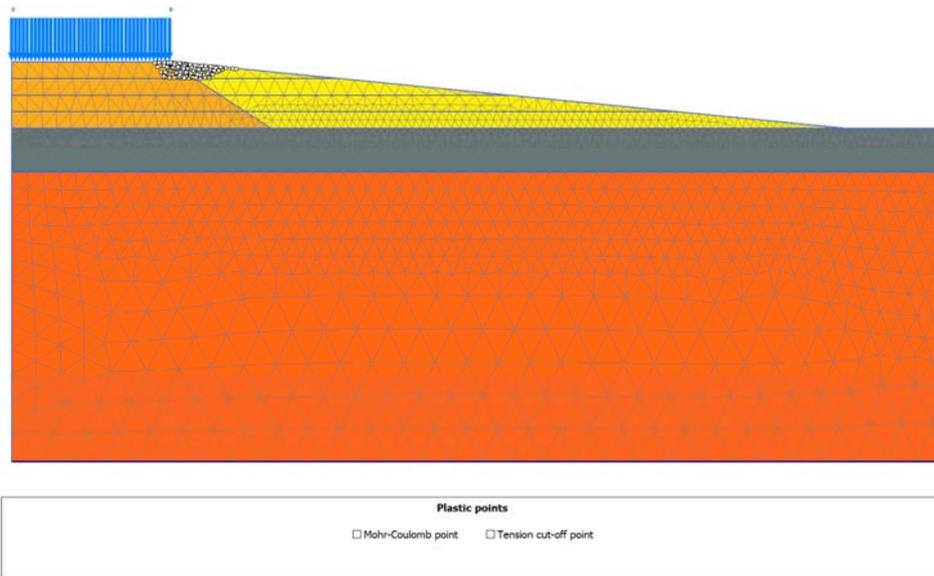
Figura 17 – Analisi di stabilità - Configurazione 3 - approccio A1M1



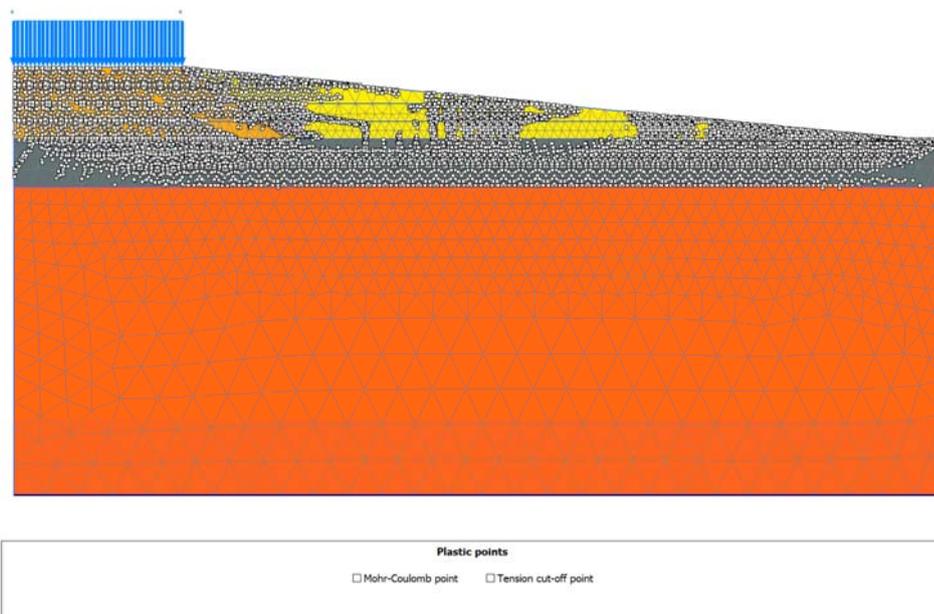
*Figura 18 – Analisi di stabilità - Configurazione 1- approccio A1M1*



*Figura 19 - Analisi di stabilità - Configurazione 2 - A1M1*



*Figura 20 - - Analisi di stabilità - Configurazione 3 - A1M1*



*Figura 21 – Analisi di stabilità - Configurazione 4 - approccio A1M1*

Nella tabella seguente si elencano i risultati delle analisi di stabilità in assenza e presenza di sisma, realizzate secondo i due approcci proposti da normativa.

*Tabella 11 – Risultati delle analisi di stabilità*

Approccio	Configurazione	FS
DA-1-C1	1	1.41
	2	4.36
	3	2.73
	4 (sisma)	1.25
DA-1-C2	1	1.22
	2	3.49
	3	2.18
	4 (sisma)	1.22

Dall'osservazione di quanto elencato nella precedente Tabella 11 si può concludere che l'opera risulta stabile sia in condizioni statiche che dinamiche.

Le analisi di stabilità in assenza di sima, considerando la Configurazione 3 corrispondente alla situazione più gravosa di rilevato completato e transito del carro di varo, hanno evidenziato un coefficiente di sicurezza minimo pari a 2.73 adottando i parametri caratteristici dei materiali che costituiscono il rilevato, pari a 2.18 con i parametri ridotti. Questo risultato, soprattutto nel caso della Configurazione 2, è del tutto scontato, in quanto la pendenza delle scarpate del corpo II risulta inferiore all'angolo di attrito interno del materiale che costituisce il rilevato.

In condizioni sismiche ( $a_{max} = 0.315g$ ) e considerando il rilevato completato in presenza del carico di esercizio, si è invece calcolato un coefficiente di sicurezza alla stabilità globale pari a 1.25 con i valori caratteristici dei materiali, a 1.22 adottando i parametri geotecnici ridotti.

### **13.4. Interazione con le acque meteoriche**

Come precedentemente dichiarato, il rilevato verrà realizzato con materiali granulari, sabbie e ghiaie, con ciottoli decimetrici e poco fine. I materiali verranno compattati a

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 57
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev						

una densità secca pari a quella ottenuta con l'energia modificata della prova Proctor, tale energia dovrà essere superiore al 95%.

Si prescrive inoltre di compattare tali materiali al contenuto di acqua ottimo corrispondente.

Tali prescrizioni consentono di escludere l'eventualità che variazioni temporanee del grado di saturazione dei materiali producano rilevanti cambiamenti di volume, e influiscano quindi sulla stabilità globale dell'opera.

### 13.5. Monitoraggio dei cedimenti del rilevato

Per il monitoraggio dei cedimenti indotti dalla costruzione del rilevato Cottonari si prevede la messa in opera di una sezione strumentata, la sezione alla progressiva 4 km, corrispondente alla sezione di calcolo. In corrispondenza di questa sezione si installeranno n° 3 piastre assestometriche, che consentano di monitorare i cedimenti del rilevato durante la costruzione, alle due estremità del rilevato, e nella parte centrale dello stesso.

La frequenza prevista per le misurazioni è di 1 lettura al mese, a fine costruzione le piastre non verranno più lette, in quanto i cedimenti del rilevato si esauriranno in fase di costruzione.

### 13.6. Considerazioni conclusive

La connessione della Galleria Truncafila con la successiva Galleria artificiale Cottonari verrà realizzata mediante la messa in opera di un rilevato in terra, costituito prevalentemente dai materiali di smarino delle gallerie e delle trincee in progetto. Il presente capitolo analizza nello specifico la stabilità del rilevato e i cedimenti che la sua realizzazione potrà determinare sui terreni di fondazione.

Tutte le analisi hanno evidenziato l'assenza di rilevanti problematiche dal punto di vista geotecnico, sia per quanto riguarda i cedimenti che la stabilità globale dell'opera. Il rilevato verrà costruito con i materiali di recupero degli scavi in roccia, opportunamente vagliati e selezionati da un punto di vista granulometrico.

Il rilevato è composto da un corpo centrale, con scarpate di pendenza 3:2 costituito esclusivamente da materiali calcarei della Formazione Ragusa, opportunamente compattati, ed un secondo corpo laterale, con scarpate 10:1, come descritto in Figura 11.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 58
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Tutte le scarpate dovranno essere inerbite per ridurre i fenomeni di ruscellamento delle acque meteoriche.

Per quanto riguarda i cedimenti indotti dalla costruzione del rilevato, le analisi hanno evidenziato cedimenti massimi dell'ordine dei 4 cm, che vanno ad annullarsi ad una distanza di circa 150 metri dall'asse del rilevato stesso. Tali cedimenti sono immediati, e verranno pertanto compensati durante le fasi di costruzione: è quindi presumibile supporre che al termine della costruzione tutti i cedimenti saranno esauriti e non vi saranno ulteriori cedimenti secondari nel lungo termine.

In conclusione, l'opera risulta stabile in tutte le configurazioni esaminate, con cedimenti centimetrici che si esauriranno in sede di costruzione del rilevato stesso. Per questi motivi il monitoraggio previsto si esaurisce in fase di costruzione. Le misure verranno realizzate mediante piastre assestometriche che consentiranno di monitorare i cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato, di pari passo con la messa in opera degli strati che lo compongono. Tale monitoraggio verrà messo in opera per la sezione di calcolo, e consentirà dunque di validare le previsioni presentate nel presente capitolo.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 59
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

#### 14. GALLERIE NATURALI

Il tracciato in esame prevede un'unica galleria naturale, denominata Galleria Truncafila.

La galleria presenta una configurazione a doppia fornice, con una sezione a ferro di cavallo ed un diametro equivalente di circa 15 metri. Le sezioni corrispondenti alle due canne autostradali non sono esattamente uguali, in quanto la sezione di scavo lato Gela presenta un allargamento costante verso l'interno, pari a 40 cm. Ciascuna canna della galleria è sede di due corsie di marcia di larghezza pari a 3.75 m, una corsia di marcia di 3 m ed una banchina da 0.7 m.

La galleria presenta una lunghezza complessiva di 861 m per quanto riguarda la canna lato Gela, e 855 m per la canna lato Siracusa. Il tracciato si snoda tra la zona morfologicamente pianeggiante di Contrada Lincino, caratterizzata dalla presenza di numerose serre, in parte interferenti col tracciato, e la località Cottonari nel comune di Scicli. Le coperture sono variabili da pochi metri, in corrispondenza degli imbocchi, a circa 35 metri rispetto alla quota della livelletta, nella parte centrale della galleria.

La galleria interessa i terreni terziari che costituiscono l'ossatura dell'Altipiano Ibleo. Tali terreni, denominati in geologia come "Formazione Ragusa" e "Formazione Tellaro", sono sovrapposti l'uno all'altro e coprono l'intervallo di tempo compreso tra l'Oligo-Miocene e il Miocene medio-superiore. Si tratta di terreni con caratteristiche geomeccaniche diverse sui quali poggiano, localmente, litotipi più recenti rappresentati dai Trubi, dalle calcareniti pleistoceniche e dai depositi alluvionali e detritici.

Procedendo da Siracusa verso Gela gli scavi della parte iniziale del lotto interessano la Formazione Ragusa. Superata la progressiva 2+200 km circa da inizio lotto, la presenza di un sistema di faglie orientato in direzione all'incirca nord/est-sud/ovest determina un abbassamento della successione carbonatica, con conseguente affioramento della sovrastante Formazione Tellaro generalmente mancante per erosione. Quest'ultima formazione si riscontra in affioramento sino alla progressiva di circa 3+300 km, interessando per 300 m il tracciato in galleria.

Si rimanda agli elaborati specifici per i dettagli relativi all'assetto litologico e geomeccanico degli ammassi rocciosi intercettati dalla galleria in esame.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 60
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 15. GALLERIE ARTIFICIALI

Il tracciato prevede la realizzazione di una galleria artificiale, denominata Galleria Cottonari, di lunghezza media pari 380 m, che si sviluppa entro un poggio interamente in roccia calcarea della Formazione Ragusa, Figura 22. La galleria artificiale verrà realizzata previo scavo di trincee in roccia, adottando la stessa sezione autostradale della galleria naturale Truncafila. Solo una volta realizzato il getto del rivestimento della galleria artificiale, si procederà al ritombamento ed al rimodellamento dei versanti, secondo il progetto stradale.



Figura 22 – Poggio entro cui verrà realizzata la Galleria artificiale Cottonari

Altre gallerie artificiali sono previste in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie naturali, a connessione del portale con la dima d'attacco. Tali gallerie presentano una lunghezza variabile, in relazione all'assetto morfologico dell'area di imbocco, e verranno messe in opera solo una volta concluse le operazioni di scavo e rivestimento della galleria naturale adiacente. A seguire, si realizzerà la sistemazione definitiva dei versanti, secondo quanto previsto nel progetto stradale.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 61
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 16. PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA

Il tracciato autostradale del Lotto 10 si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 5 km.

Il primo tratto, dall'inizio del lotto sino alla zona prossima alla S.P. 119 Lincino-Spinazza, ha uno sviluppo di circa 2.450m e sarà realizzato in trincea. Il tracciato prosegue con un breve tratto in rilevato e a seguire un tratto in galleria naturale (Cozzo Truncafila) della lunghezza di circa 860m. Segue un breve tratto in scavo e quindi un tratto in rilevato della lunghezza di circa 700 m (rilevato Cottonari).

Il tratto finale del lotto comprende la galleria artificiale Cottonari della lunghezza di circa 430 m ed il Viadotto Irminio, lungo circa 280m.

Lungo il tracciato sono stati eseguiti nella prima fase della campagna d'indagine 12 pozzetti esplorativi realizzati mediante escavatore meccanico e spinti in profondità fino ad individuare, laddove possibile, la formazione di sottosuolo integra ed inalterata e 18 sondaggi carotaggio continuo, spinti mediamente a 30 m da piano campagna, localmente fino a 50 m.

Tali pozzetti e le risultanze dei sondaggi hanno consentito di caratterizzare in generale il primo metro di terreno di fondazione dei rilevati e di caratterizzare il materiale oggetto di scavo nei tratti in trincea.

Alle profondità raggiunte rispetto al piano campagna non si è mai rinvenuta falda.

Attraverso lo scavo è possibile individuare lo spessore del livello superficiale posto al di sopra del substrato calcareo o del substrato marnoso. In particolare, in presenza del substrato calcareo (Formazione Ragusa) non è stato possibile proseguire con lo scavo a causa dell'elevata tenacità della roccia e della ridotta potenza del mezzo a disposizione. In presenza del substrato marnoso lo scavo è stato proseguito sino a raggiungere una profondità massima di circa -1,80m dal p.c., rimanendo comunque all'interno della coltre di alterazione della Formazione Tellaro.

Nella tabella seguente viene fornito il quadro delle formazioni individuate attraverso i pozzetti geognostici lungo il tracciato e le caratteristiche del tracciato nei tratti investigati, ovvero trincea o rilevato.

**Tabella 12 - Attività in situ - Pozzetti**

Pozzetto	Rilevato /Trincea	Profondità		Descrizione
		da	a	
30	Trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale di colore marrone scuro, poco umido e poco plastico.
		0.40	-	Calcare biancastro compatto.
32	Trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale di colore marrone, umido e poco plastico.
		0.40	-	Sabbie gialle e sabbie argillose a grana media alternate a livelli più cementati (calcarenitici) stratificati, di colore giallastro e fratturati.
33	Trincea	0.00	0.30	Terreno vegetale di colore marrone scuro, poco umido e poco plastico.
		0.30	-	Calcare compatto di colore biancastro a struttura saccaroide.
34	Trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale di colore marrone, umido e poco plastico con inclusi ciottoli eterometrici.
		0.40	-	Calcare compatto di colore grigiastro.
35	Trincea	0.00	0.50	Terreno vegetale di colore marrone-rossastro, umido e poco plastico con inclusi ciottoli eterometrici.
		0.50	-	Calcare compatto di colore grigiastro.
36	Trincea	0.00	0.30	Terreno vegetale di colore nocciola, poco umido e poco plastico.
		0.30	1.00	Calcari marnosi color avorio non diagenizzati, farinosi al tatto.
		1.00	1.50	Argille dure, di colore verdastro con lenti rossastre dovute alla presenza di ossidi di ferro.
36bis	Trincea	0.00	0.30	Terreno vegetale di colore marroncino chiaro, poco umido e poco plastico.
		0.30	1.20	Argilla di colore marroncino-verdastro, plastica con rare inclusioni di elementi eterometrici ed eterogenei di natura prevalentemente carbonatica. Sono presenti inoltre lenti di colore rossastro, dovute alla presenza di ossidi di ferro.
37	Trincea	0.00	0.30	Terreno vegetale di colore verdastro, poco umido e poco plastico.
		0.30	1.00	Argille alterate di colore verdastro-giallognolo con inclusi eterometrici di taglia compresa tra sabbia e ghiaia.
		1.00	1.50	Argille dure, di colore grigio giallastro.
38	Trincea	0.00	0.50	Terreno vegetale di colore verdastro-giallognolo, poco umido e poco plastico.
		0.50	-	Calcare compatto di colore biancastro (Fm. Ragusa).
39	Galleria	0.00	0.80	Terreno vegetale di colore marroncino-verdastro, poco umido e poco plastico.
		0.80	-	Argille dure di colore giallognolo-verdastro con veli di ossidazione di colore giallognolo e rossastri.
40	Viadotto	0.00	1.30	Terreno vegetale limo-sabbioso, sciolto, poco umido e poco plastico.
		1.30	1.80	Ciottoli eterometrici arrotondati di dimensioni decimetriche di chiara origine alluvionale.

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 63
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Il materiale di scotico asportato, potrà essere utilizzato per il rivestimento delle scarpate dei rilevati in progetto, ma non per la realizzazione degli stessi.

Al di sotto del livello di scotico si procederà al bonifico dei terreni per uno spessore che generalmente non supererà i 50 cm.

Il terreno in sito verrà sostituito con materiale granulare selezionato, proveniente dallo scavo delle gallerie naturali e delle trincee all'interno della formazione Ragusa.

La pezzatura di tale materiale, sia esso estratto con martellone che con esplosivo, è tale da ricadere nel gruppo A<sub>1</sub> CNR-UNI 10006.

Il materiale dovrà essere messo in opera a strati di spessore non superiore a 50 cm (materiale sciolto) e compattato fino a raggiungere il 95% della massa volumica del secco massima ottenuta attraverso la prova di compattazione AASHTO modificata (CNR 69-1978), (CNR 22-1972).

Il modulo di deformazione dovrà risultare non inferiore a 20 MPa, nell'intervallo di carico compreso tra 0.05 e 0.15 N/mm<sup>2</sup>.

Vengono di seguito descritte le sezioni tipo dei pacchetti da mettere in opera per la formazione dei piani di fondazione in trincea e dei rilevati.

Le trincee prevedono le sezioni tipo S1 ed S2 in relazione al materiale presente a fondo scavo.

I rilevati prevedono le sezioni tipo R1, R2-40, R2-50 ed R-fs in relazione al materiale presente sul piano di fondazione ed allo spessore del pacchetto di scotico+bonifico.

Sezione Tipo	Applicazione - Natura terreni	Scotico (m)	Bonifico (m)	Anticapillare (m)	Pacchetto Pavimentazione (m)			Note
					MGS - LN	MGS - C	PAV	
S1	Trincea - Calcari a fondo scavo	-	-	-	0.25	0.20	0.22	
S2	Trincea - Marne del Tellaro/Detrimento a fondo scavo	-	-	0.30	0.60	0.20	0.22	
R1	Rilevato - Calcari a piano fondazione	0.30	0.20	-	0.25	0.20	0.22	
R2-40	Rilevato - Marne del Tellaro/Detrimento a piano fondazione	0.40	0.20	0.30	0.25	0.20	0.22	
R2-50	Rilevato - Marne del Tellaro/Detrimento a piano fondazione	0.50	0.20	0.30	0.25	0.20	0.22	
R-fs	Rilevato - Marne del Tellaro/Detrimento a piano fondazione	0.50	-	-	-	-	-	Rilevato Cottonari parte esterna al rilevato autostradale 1/10

Nella tabella seguente vengono riportate le progressive di applicazione e le sezioni del tracciato di progetto in cui è prevista l'applicazione delle sezioni tipo.

AUTOSTRADA SIRACUSA-GELA										
LOTTO 10 "IRMINIO"										
Sez. numero		Carreggiata	Progr. km		lunghezza (m)	Tratto in		Sezione tipo	Natura terreni in sito	
da	a		da	a		Rilevato	Trincea		appoggio rilevato	scavo trincea
0	48	SR/Gela	0	1420	1420		x	S1		Calcari
48	57	SR/Gela	1420	1675	255	x		R1	Calcari	
57	78	SR/Gela	1675	2200	525		x	S1		Calcari
78	88	Siracusa	2200	2485	285		x	S2		Marne del Tellaro
78	90	Gela	2200	2515	315		x	S2		Marne del Tellaro
88	98	Siracusa	2485	2680	195	x		R2-40	Marne del Tellaro	
90	99	Gela	2515	2705	190	x		R2-40	Marne del Tellaro	
98	101	Siracusa	2680	2740	60		x	S2		Marne del Tellaro
99	101	Gela	2705	2740	35		x	S2		Marne del Tellaro
115	119	Siracusa	3610	3650	40		x	S1		Calcari
115	117	Gela	3610	3640	30		x	S1		Calcari
119	142	Siracusa	3650	4220	570	x		R2-50	Marne del Tellaro	
117	142	Gela	3640	4220	580	x		R fs	Marne del Tellaro	
142	144	SR/Gela	4220	4260	40		x	S1		Calcari
144	169	SR/Gela	4260	4655	395		x	S1		Calcari
178	180	SR/Gela	5025	5050	25	x		R1	Calcari	

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 65
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev					

### Realizzazione dei rilevati

Come già indicato in precedenza i rilevati verranno realizzati impiegando i materiali calcarei della formazione “Ragusa”, provenienti dalle gallerie naturali e dallo scavo delle trincee e gallerie artificiali, saranno quindi appartenenti al gruppo A1.

L’impiego dei materiali è condizionato al rispetto di precisi requisiti.

Analogamente è richiesto il rispetto di opportune modalità di messa in opera, stesa e compattazione, nonché di controllo.

I materiali impiegati dovranno essere del tutto esenti da frazioni vegetali, organiche o elementi solubili, gelivi o instabili nel tempo.

L’impiego di roccia frantumata è ammesso nella restante parte del rilevato, se di natura non geliva, se stabile con le variazioni di contenuto d’acqua e se tale da presentare pezzature massime non eccedenti 20 cm.

La dimensione delle massime pezzature ammesse non dovrà eccedere i 2/3 dello spessore dello strato compattato, che dovrà essere non superiore a 50 cm.

Il materiale di pezzatura grossa, compreso tra 7.1 e 20 cm, deve essere di pezzatura disuniforme e non deve costituire più del 30% del volume del rilevato; in particolare dovrà essere realizzato un accurato intasamento dei vuoti , così da ottenere per ogni strato una massa ben assestata e compatta.

Le terre dovranno essere inumidite o essiccate mediante aereazione, fino ad ottenere l’umidità ottimale corrispondente alla densità massima rilevata dalle prove di compattazione.

Prima di eseguire i rilevati, il piano di posa, dovrà essere costipato, mediante rullatura, in modo da ottenere una densità secca non inferiore al 95% della densità AASHTO modificata.

Ogni strato del rilevato autostradale dovrà essere costipato in modo da raggiungere in ogni punto la densità secca pari al 90% della densità AASHTO modificata, prima di porre in opera un altro strato.

Il valore del modulo di deformazione (norma CNR-B.U. n. 9) dovrà risultare non inferiore a 20 MPa, fatta eccezione per l’ultimo strato di costituente il piano di posa

 <b>PROGETTA</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 66
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev					

della fondazione della pavimentazione, che dovrà presentare un grado di costipamento pari o superiore al 95%.

Il modulo di deformazione al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm) dovrà risultare non inferiore a:

- 50 MPa nell'intervallo compreso tra 0.15 e 0.25 N/mm<sup>2</sup> sul piano di posa della fondazione pavimentazione stradale, sia in rilevato che in trincea;
- 20 MPa nell'intervallo compreso tra 0.05 e 0.15 N/mm<sup>2</sup> sul piano di posa del rilevato posto a 1 m da quello della fondazione della pavimentazione stradale;
- 15 MPa nell'intervallo compreso tra 0.05 e 0.15 N/mm<sup>2</sup> sul piano di posa del rilevato posto a 2 m o più da quello della fondazione della pavimentazione stradale;

Nel caso di rilevati di notevole altezza dovranno essere eseguite banchine di m 2 a quota idonea e comunque ad una distanza verticale dal ciglio del rilevato non superiore a m 6.

Nel caso di impiego di frammenti rocciosi, in luogo della prova di densità, si dovranno eseguire, durante la formazione degli strati, solo prove per la determinazione del modulo di deformazione.

La densità AASHTO modificata sarà determinata secondo i metodi delle prove di cui alla norma CNR-B.U. n.69 in relazione alla massima dimensione degli elementi.

Nel caso di sospensione della costruzione del rilevato, alla ripresa del lavoro, il rilevato già eseguito dovrà essere ripulito dalle erbe e dalla vegetazione in genere che vi si fosse insediata, dovrà essere areata, praticandovi, inoltre dei solchi per il collegamento dei nuovi materiali come quelli finora impiegati e dovranno essere ripetute le prove di controllo delle compattazioni.

A ridosso delle spalle dei manufatti, per graduare con continuità la rigidità del sottofondo dal manufatto al rilevato, al di sotto del piano stradale e longitudinalmente all'asse stradale, si dovranno formare uno strato di transizione costituito da misto cementato secondo le indicazioni riportate negli elaborati progettuali.

Come dichiarato in precedenza, il rilevato verrà costruito con materiali granulari.

I materiali verranno compattati a una densità secca pari a quella ottenuta con l'energia modificata della prova di compattazione Proctor.

 <b>GENERAL</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 67
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Infatti si prescrive che tale energia sia superiore al 95%.

Si prescrive inoltre di compattare questi terreni al contenuto d'acqua ottimo corrispondente.

Dopo la messa in opera, questi terreni avranno una densità secca talmente elevata che l'indice di collasso conseguente ad eventuali variazioni del grado di saturazione è trascurabile.

Ciò implica che variazioni temporanee del grado di saturazione, quindi variazioni di tensioni negative nel rilevato, non produrranno rilevanti cambi di volume: di conseguenza la struttura risulterà stabile.

 <b>TECNOFAL</b>	E	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 68
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

## 17. MONITORAGGI

Lungo la tratta non si evidenziano problemi particolari che richiedano monitoraggio specifico e continuativo. L'assenza di falda e la natura dei terreni in situ porta a dei cedimenti attesi di entità minima, sia per quanto riguarda i movimenti causati dallo scavo che a quelli strettamente legati alla trasmissione dei carichi di esercizio da parte delle opere.

Il monitoraggio dovrà essere dunque dedicato esclusivamente alle opere in sotterraneo, così come descritto approfonditamente nell'ambito delle relazioni di calcolo relative alle gallerie naturali in progetto.

 <b>GENERAL</b>	D	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							

## ALLEGATI

 <b>GENERAL</b>	D	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							

Stazioni di rilievo geostrutturale: affioramenti calcare della formazione Ragusa

 <b>TECERRELLA</b>	D	A	1	8	1	0	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							

Stazioni di rilievo geostrutturale: affioramenti marne della formazione Tellaro