


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~															
CONSORZIO PER LE AUTOSTRADE SICILIANE AUTOSTRADA SIRACUSA – GELA 2° TRONCO: ROSOLINI – RAGUSA LOTTO 10/11 PROGETTO ESECUTIVO																					
IDENTIFICAZIONE ELABORATO																					
E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	O	R	E	0	0	1	A
PROG.	STRADA	LOTTO	MACRO OPERA	OPERA		PARTE DI OPERA		TIPOLOGIA ELABORATO	N. ELABORATO	REV.											
LOTTO 11 "RAGUSA" RELAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA																					
DATA	DICEMBRE 2011					PROGETTAZIONE															
CODICE CAD-FILE	EA1811T00GG00GEORE001A.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>																					

 GEOTECNICA	E	A	1	8	1	1	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 11 “RAGUSA”


GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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	11
6. PROFILO GEOLOGICO DEL TRACCIATO	15
7. METODI DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA	19
7.1. Ammassi rocciosi	19
7.2. Materiali sciolti	23
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRACCIATO	24
8.1. Copertura detritica	24
8.2. Depositi alluvionali attuali e recenti	25
8.3. Calcareniti pleistoceniche, conglomerati e trubi	25
8.4. Formazione Tellaro	25
8.5. Formazione Ragusa	30
9. CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE	35
10. PROFILI GEOMECCANICI	36
11. VERIFICA DI STABILITÀ DELLE TRINCEE	37
11.1. Verifiche di stabilità delle trincee naturali	38
11.1.1. Introduzione	38
11.1.2. Metodologia di calcolo	38
11.1.3. Risultati delle analisi – Trincea in F.Ragusa	40
11.1.4. Considerazioni conclusive	42
12. OPERE D'ARTE	43
13. GALLERIE NATURALI	44
14. GALLERIE ARTIFICIALI	46
15. PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA	47
16. MONITORAGGI	54

 GENERAL	E	A	1	8	1	1	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							

Allegati:


Stazioni di rilievo geostrutturale: affioramenti calcare della formazione Ragusa

Stazioni di rilievo geostrutturale: affioramenti marne della formazione Tellaro

	E	A	1	8	1	1	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

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

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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
- RMR₈₉ = 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
- σ_c = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta
- σ_1 = sforzo principale massimo a rottura
- σ_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
- σ_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
- σ_{gd} = resistenza a compressione dell'ammasso roccioso
- σ_{tg} = resistenza a trazione dell'ammasso roccioso
- σ = sforzo normale agente sulla superficie di rottura
- τ = sforzo tangenziale agente sulla superficie di rottura
- h = profondità dell'asse della galleria rispetto alla superficie topografica
- γh = sforzo verticale totale agente in corrispondenza dell'asse della galleria prima dello scavo
- D = parametro di danneggiamento

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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 il fiume Irminio e Ragusa, denominata Lotto 11 "Ragusa".

Il lotto in esame rappresenta la naturale prosecuzione del Lotto 10 "Irminio" che prevede, nella sua parte terminale, la realizzazione di un viadotto autostradale a grandi luci sull'impluvio del fiume Irminio.

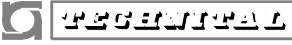
Il Lotto 11 presenta un'estensione lineare di quasi 7 km, e comprende due gallerie naturali, denominate Caddame, di lunghezza media 2130 m, e Occhipinti, di lunghezza 1980 m, per poi proseguire in trincea fino a fine lotto. Tra le progressive 5+300 e 5+550 km, inoltre, è prevista la realizzazione di un viadotto, denominato Viadotto S.Viola-Pulce, che mette in connessione la zona dell'imbocco Ovest della Galleria Occhipinti con la trincea in roccia in prossimità degli abitati di Case Camemi e Villaggio 2000.

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	1	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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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-A18-11-T00-GG00-GEO-RE-001-A
- Planimetria geologica - E-A18-11-T00-GG00-GEO-PL-001-A/002-A
- Carta geologica - E-A18-11-T00-GG00-GEO-CG-001-A/002-A
- Planimetria con ubicazione indagini in sito - E-A18-11-T00-GG00-IND-PL-001-A/002-A
- Profilo geologico - E-A18-11-T00-GG00-GEO-FG-001-A/002-A
- Profili geotecnici e geomeccanici asse principale direzione Gela - E-A18-11-T00-GG00-GEO-FT-001-A/002-A/003-A
- Profili geotecnici e geomeccanici asse principale direzione Siracusa - E-A18-11-T00-GG00-GEO-FT-004-A/005-A/006-A

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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 11 “Ragusa” presenta uno sviluppo complessivo di circa 7 km, di cui una porzione considerevole – circa il 60% – si pone in galleria, mentre la parte restante è quasi ovunque in trincea.

Il tracciato si snoda tra l’incisione del fiume Irminio e la statale di Marina di Ragusa, interessando le zone limitrofe agli abitati di Contrada Occhipinti, Contrada Pulce, Contrada Camemi, per arrivare in corrispondenza di Gatto Corvino allo svincolo che conetterà il lotto in questione con la statale di Marina di Ragusa.


Il percorso interessa un’area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture massime di circa 80-90 m in corrispondenza della Galleria Occhipinti.

Il tracciato ha inizio in corrispondenza della spalla del Viadotto Irminio, che rappresenta l’ultima opera del Lotto 10, ed entra subito in galleria in corrispondenza della Galleria naturale Caddame per un tratto di circa 2100 m. Successivamente, dopo un breve tratto a cielo aperto, è prevista una seconda galleria naturale, denominata Occhipinti, in prossimità della Contrada omonima per un tratto di circa 2000 m. Il tracciato prosegue poi con la realizzazione di un breve viadotto, della lunghezza di circa 70 m, denominato Pulce, per poi proseguire in trincea fino a fine lotto. Unica interruzione è rappresentata dalla galleria artificiale Camemi, di lunghezza pari a circa 100 m, prevista in corrispondenza della progressiva 6+500 km circa.

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.

 TECERRELLA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 10
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 11
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

5. INDAGINE ESEGUITA

Nel presente capitolo viene fornita la sintesi delle indagini in sito e di laboratorio effettuate articolata 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. 13 pozzetti esplorativi a mezzo di escavatore spinti sino ad una profondità massima di circa -2,60m dal p.c.;
- n. 20 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti mediamente ad una profondità di -25÷-30m dal p.c. con un massimo di circa -80m dal suddetto piano;
- n. 21 prove di permeabilità "Lugeon" nel corso dell'esecuzione dei sondaggi geognostici;
- n. 6 prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) in fase di avanzamento dei sondaggi geognostici;
- prelievo, durante i sondaggi, di n. 73 campioni di cui gran parte rimaneggiati e alcuni a disturbo limitato;
- installazione di n. 2 piezometri in P.V.C. a tubo aperto per il rilievo dei livelli piezometrici;
- n. 28 basi sismiche a rifrazione con stendimenti di lunghezza pari a 48ml;
- n. 3 basi sismiche a rifrazione con stendimenti pari a 120ml ciascuna interpretate con la tecnica tomografica;
- n. 2 masw per la caratterizzazione sismica dei suoli;
- n. 4 stazioni di rilievo geomeccanico.
- analisi geotecniche di laboratorio eseguite su n. 50 campioni dei 73 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, γ e Gs Prove di compressione monoassiale Prove di taglio assiale su discontinuità
Formazione Tellaro	Determinazione delle proprietà fisiche della roccia, w_n , γ 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 dai sondaggi del Lotto 10 ricadenti effettivamente all'interno del Lotto 11.

<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
43	25	-	3	-	1	-
45	45	-	4	-	1	-
46	60	-	4	-	2	-
47	70	-	4	-	2	-
48	35	-	3	-	1	-
49	25	-	3	-	1	-
50	25	-	4	-	1	-
50bis	30	1	4	3	-	-
51	25	-	3	-	1	-
52	30	-	3	-	1	-
52bis	30	-	4	3	-	-
53	80	-	4	-	2	-
54	80	-	4	-	2	-
55	25	-	4	-	1	-

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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							

6. PROFILO GEOLOGICO DEL TRACCIATO

Il lotto 11 inizia nella zona a ridosso della sponda destra del Fiume Irminio e finisce in prossimità della strada provinciale S.P. 25, coprendo una distanza pari a circa 7.500 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:


 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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							

- *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;
- *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 e conglomerati*, si tratta di calcareniti giallastre a stratificazione poco evidente e di conglomerati mal classati con blocchi e ciottoli calcarei in matrice limo-sabbiosa (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 posizione prevalentemente suborizzontale e modesto stato di fratturazione.

Soltanto nel tratto centrale del lotto - compreso tra la S.P. n. 78 Maggio-Caddame-Ferrante e la S.R. n. 63 Ficazza-Palma - la presenza di faglie orientate all'incirca nord-est/sud-ovest producono l'abbassamento delle calcareniti della Formazione Ragusa e la loro parziale sostituzione con le marne della Formazione Tellaro e relativa coltre detritica a prevalente componente limo-argillosa.

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

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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							

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.

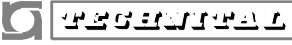
I lineamenti orografici sono contraddistinti da un altopiano calcareo con quote lungo il tracciato variabili da un minimo di circa 120-130m s.l.m. ad inizio lotto, sino ad un massimo di circa m. 250 s.l.m. in prossimità della Contrada Ficazza; nel tratto finale le quote tornano a diminuire portandosi attorno ai circa 200m s.l.m.

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 Galesi.

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio sono governate dalla presenza dei termini calcarei, permeabili per fratturazione, della Formazione Ragusa. In essa è presente una falda idrica libera, o confinata ove presente la Formazione Tellaro, ubicata a profondità elevate (>120 m dal p.c.) e quindi non interferente con i lavori. Solo in corrispondenza delle faglie che attraversano Contrada Lirici si rinvencono delle sorgenti effimere superficiali a seguito del contatto tra le calcareniti della Formazione Ragusa e le marne della Formazione Tellaro.


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.

	E	A	1	8	1	1	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							

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. 2 masw ubicate in aree con diverse successioni geologiche al fine di poter valutare la risposta sismica dei suoli.

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.

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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							

7. METODI DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA

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, ad es. pali di fondazione, 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.

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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							

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 geostrukturali e geologici condotti e della documentazione fotografica di sondaggio secondo i parametri GSI e RMR_{89} . 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 spaziatore medie delle famiglie di discontinuità rilevate in campagna, secondo la seguente correlazione:

$$RQD = 3.3J_v - 1.5 \quad \text{con} \quad J_v = \sum \frac{1}{\text{Spaziatore}}$$
 = indice dei blocchi
 - spaziatore delle discontinuità, definita sulla base degli studi geostrukturali 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 geostrukturali 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' RMR_{89} di riferimento, il valore di resistenza a compressione uniassiale σ_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:

σ_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

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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							

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 come 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 σ_1 e σ_3 .


Le formulazioni adottate sono le seguenti:

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

$$m_r = 0.7m_p$$

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

$$s_r = 0.04s_p$$

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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							

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

in cui:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

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:

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

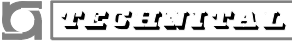
$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{(GSI-10)/40} \quad [\text{GPa}] \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c > 100 \text{ MPa}$$

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 σ_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 σ_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.

	E	A	1	8	1	1	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							

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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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. 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 $E = 40 \text{ MPa}$

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 25
	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 e Figura 2, 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 in corrispondenza del Lotto 10 sia da esperienze precedenti in contesti analoghi.

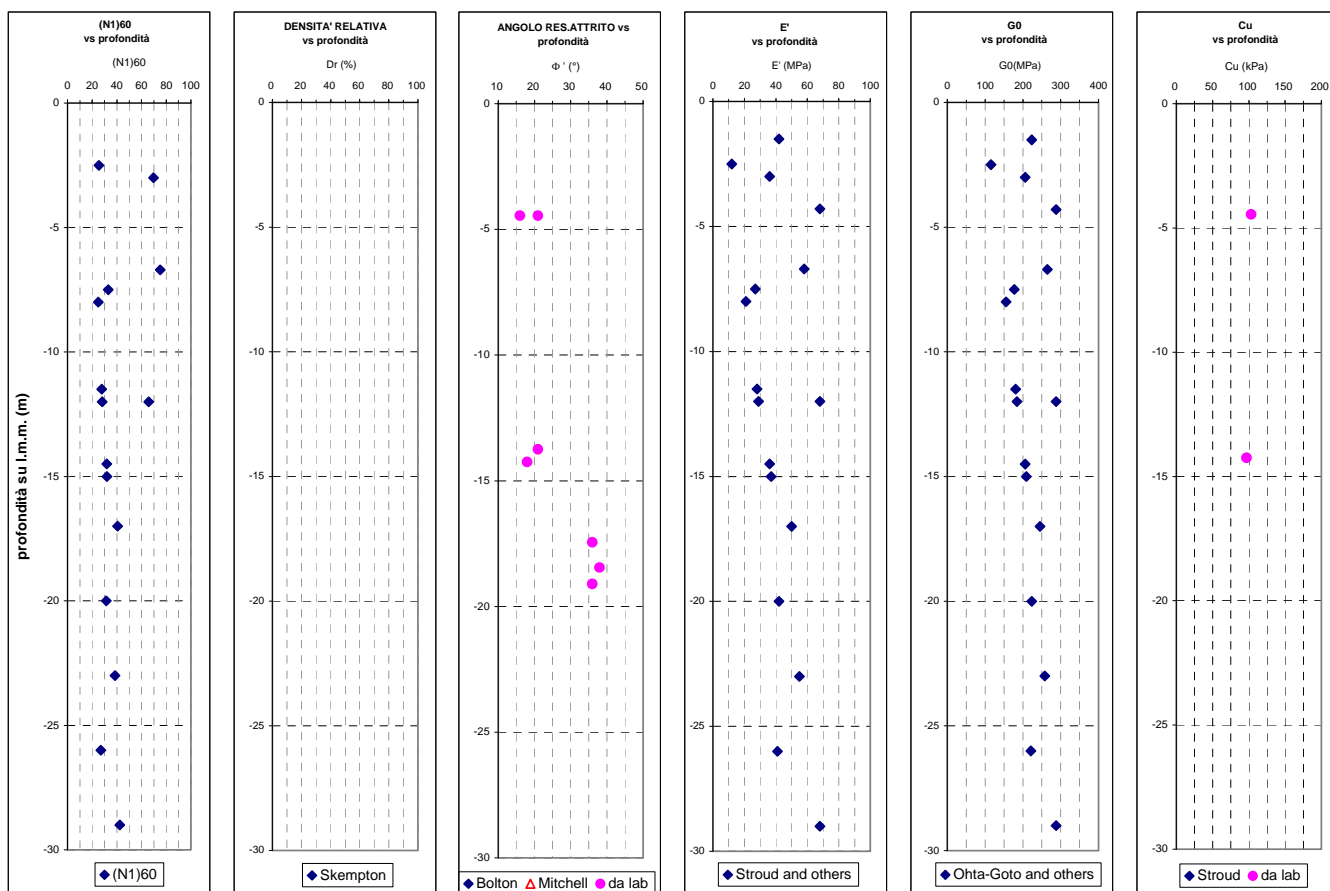


Figura 1 – Interpretazione delle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio relativamente alle marne del Tellaro, Lotto 10

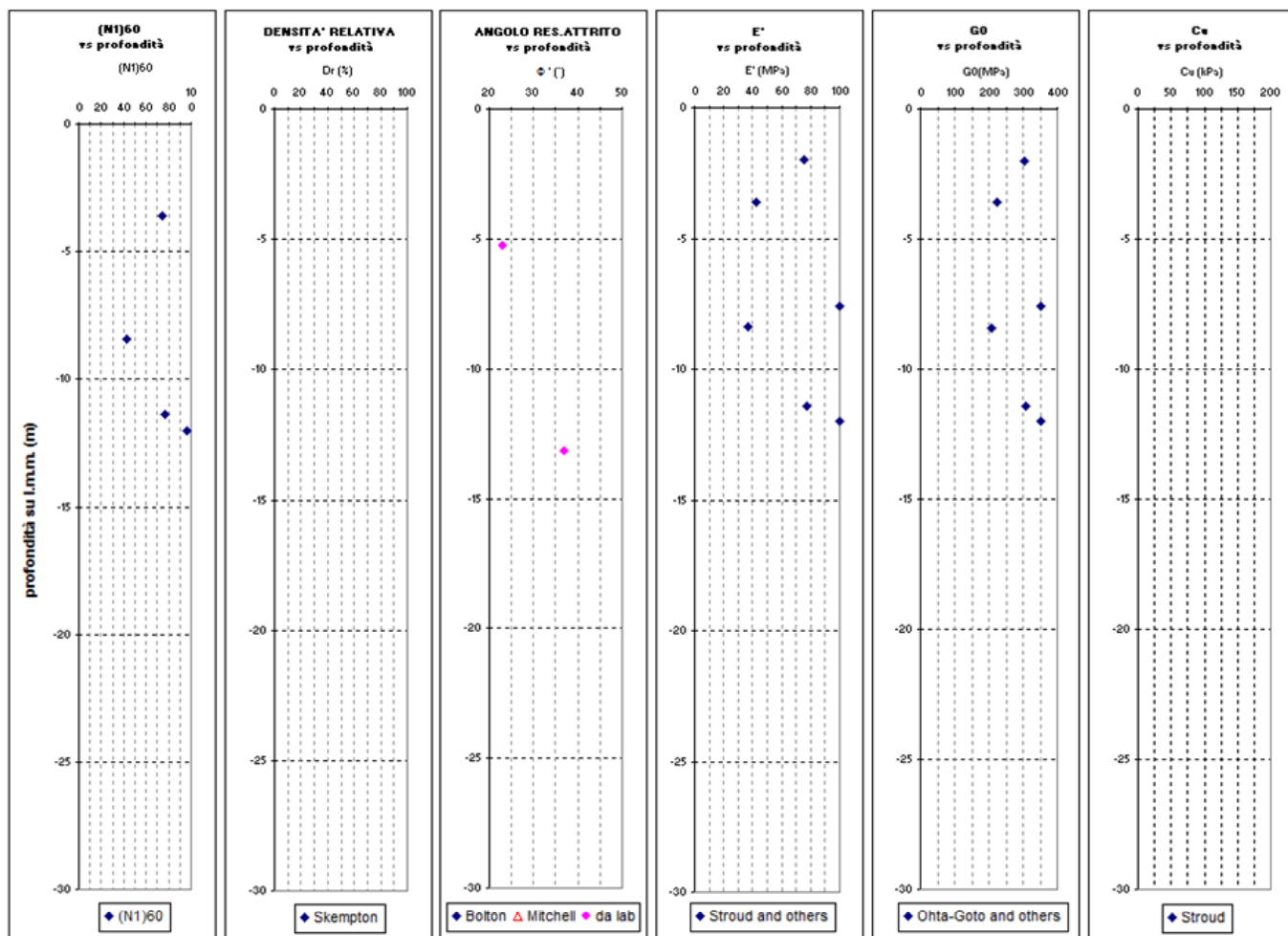



Figura 2 - Interpretazione delle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio relativamente alle marne del Tellaro, Lotto 11

Le prove SPT hanno evidenziato un valore medio di colpi N60 pari a 40-50, a cui corrisponde una resistenza non drenata pari 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.

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

 TRUNCAFILA	E	A	1	8	1	1	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														

probabilmente ascrivibile all'alterazione della roccia sottostante. Localmente l'affioramento marnoso è inoltre sormontato da lenti calcarenitiche.

In Figura 3 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.

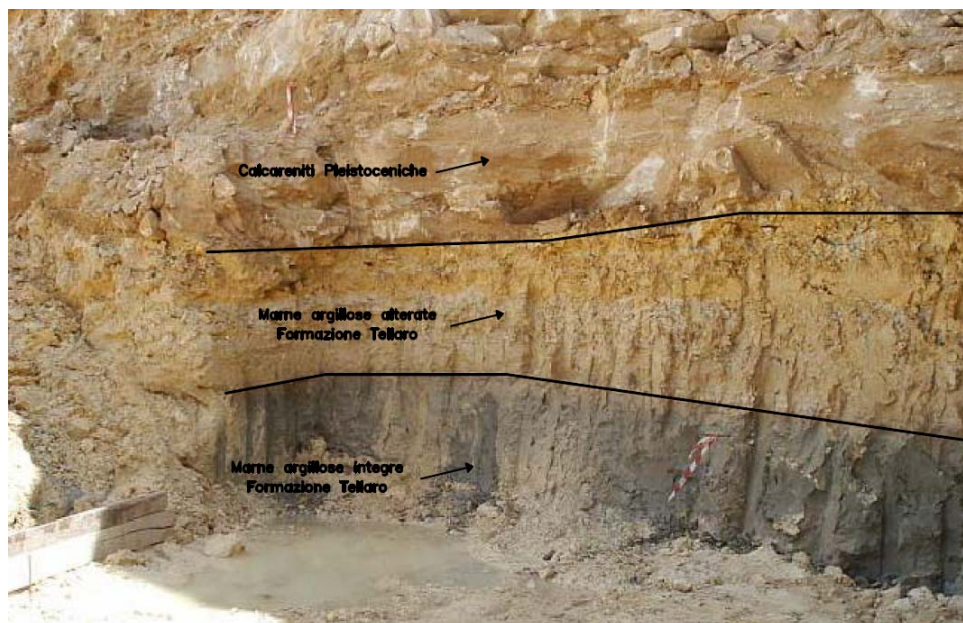


Figura 3 – Vista di un fronte di scavo nell'ambito del Lotto 4 "Noto"

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 4, 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 4 – 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
σ_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
Indice RMR_{89}	-	35

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 Lotto11, e deriva fundamentalmente dall'indice RMR_{89} precedentemente calcolato, tenendo conto della copertura che

 INGENIERIA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 30
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

competete 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/m³ 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 nella quasi totalità il tracciato del Lotto 11.

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° 4 stazioni di rilievo geostrutturale, che hanno fornito indicazioni relative alla struttura dell'ammasso roccioso e alle famiglie di discontinuità in esso presenti.

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


 TECENITAL	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 31
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							



Figura 5 – 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 11, sono state realizzate 4 stazioni di rilievo geostrutturale, Figura 6.

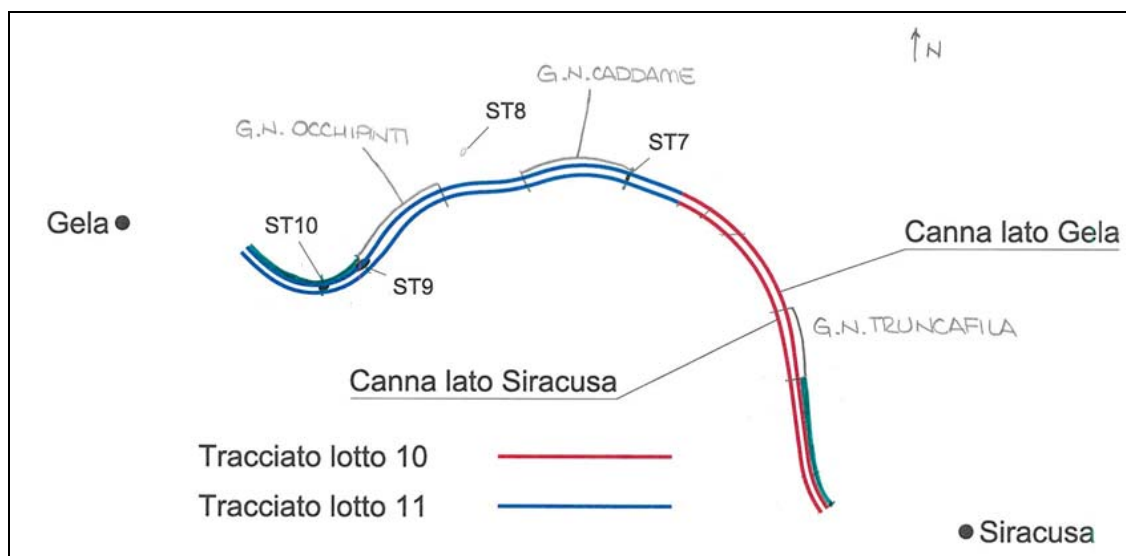


Figura 6 – Ubicazione delle stazioni di rilievo geostrutturale, Lotto 11

Nella tabella seguente si elencano i principali risultati delle diverse stazioni di rilievo geostrutturale, limitatamente a quelle che hanno integrato una descrizione prettamente qualitativa dell'affioramento a misure in sito di giacitura e caratteristiche dei giunti. 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 7.

Tabella 4 – Stazioni di rilievo geostrutturale del Lotto 11

Stazione geomeccanica	Famiglia	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Spaziatura media [cm]	JRC
7	sc	150	7	40	9
	k	150	85	45	5
	j	250	85	75	7
8	sc	280	2	54	9
	k	140	88	98	9
	j	80	88	58	7
9	sc	320	5	50	7
	k	145	85	97	9
	j	75	85	58	7
10	sc	240	5	45	9
	k	145	85	113	11
	j	75	85	159	13

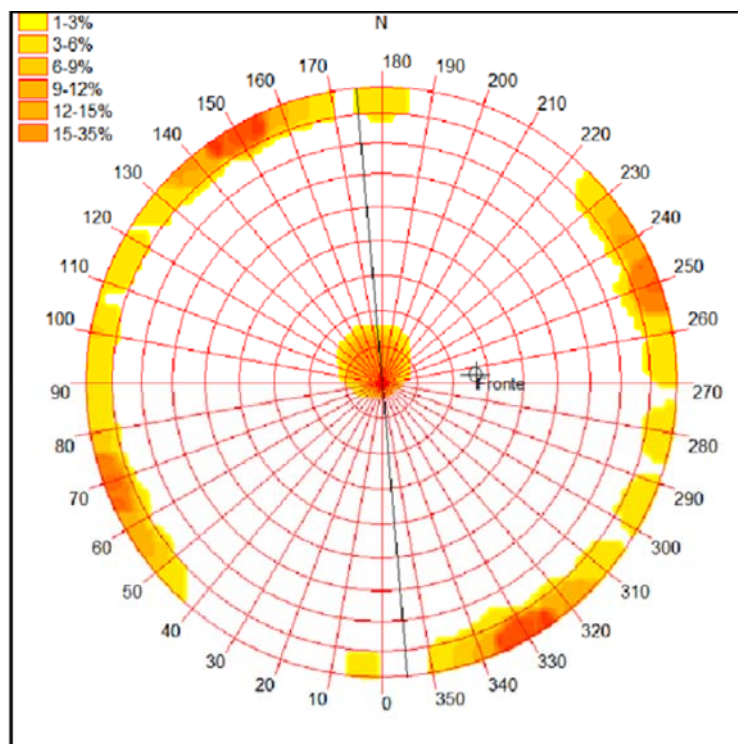



Figura 7 – Stereogramma delle discontinuità relativo alla stazione ST7

Nella tabella seguente si fornisce l'intervallo di valori associati all'indice RMR_{89} di Bieniawski per il tracciato che compete al Lotto 11.

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

Parametro	Valore	Coefficiente numerico
σ_c	30-40 MPa	4-6
RQD	35-40%	8
Spaziatura discontinuità	20-60 cm	10
Stato discontinuità	superfici ondulate, locale riempimento marnoso	12
Condizioni idrauliche	asciutto	15
Indice RMR_{89}	-	47-55

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

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	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						

misurazioni hanno evidenziato valori di σ_c ben superiori ai risultati di laboratorio, 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 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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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							

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.

Lotto 11 - livelli falda		
Sondaggio	Quota boccaforo	Soggiacenza falda [m da p.c.]
53	274 m	53
58	202 m	asciutto

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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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							


10. PROFILI GEOMECCANICI

Tutte le caratterizzazioni dei litotipi intercettati dal tracciato del Lotto 11 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_{89} 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_{89} 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_{89} 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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 37
	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 11 possono essere distinte secondo le seguenti tipologie:

- Trincee naturali.

La tratta si sviluppa per un lungo tratto, principalmente nella parte terminale del lotto, in sezioni di scavo, per cui la presenza di trincee 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 lato Siracusa della Galleria Occhipinti, le trincee si sviluppano per un breve tratto 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 11. 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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 38
	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 11 è caratterizzato da un lungo tratto in trincea, che si sviluppa tra la progressiva 4+900 km circa e fine lotto (6+930 km circa), con una breve interruzione rappresentata dal Viadotto Pulce. Inoltre, in prossimità della progressiva 6+400 km, la trincea lascia localmente il posto ad una galleria artificiale, denominata Galleria Camemi.

Il tratto in trincea interessa per circa tutto il 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 un massimo di circa 12 m in prossimità della spalla destra del Viadotto Pulce.

11.1.2. Metodologia di calcolo

Le analisi di stabilità delle trincee sono state realizzate per la sezione di massima copertura.

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	γ_{carichi}	= 1
		γ_{geo}	= 1.25 per $\text{tg}\phi, c$ 1 per γ
		γ_{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

descrizione	γ	c'	ϕ'	E	ν
	kN/m ³	kPa	°	MPa	
Ragusa	23	100	50	4000	0,2

Tabella 8 – Parametri geotecnici di progetto dei litotipi considerati

descrizione	γ	c'	ϕ'	E	ν
	kN/m ³	kPa	°	MPa	
Ragusa	23	80	43.6	4000	0,2

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

L'analisi viene realizzata per la sezione ritenuta più critica, caratterizzata da un'altezza complessiva di 12 metri. I parametri geomeccanici adottati per caratterizzare la Formazione Ragusa risultano cautelativi rispetto ai parametri dichiarati nel profilo geomeccanico in asse, per tener conto della 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 metodo pseudostatico, 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;

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito.

Tabella 9 – Valori del coefficiente β_s in relazione alla categoria di sottosuolo

Valori del coefficiente β_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, cui si associa un'accelerazione sismica a_g pari a 0.250g. Il coefficiente β_s è dunque pari a 0.3. Si valutano quindi i coefficienti moltiplicatori:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.075$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = \pm 0.0375$$

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 della parte conclusiva del lotto 11, 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.

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

In Figura 8 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 9 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 2.07, nuovamente superiore ai limiti normativi.

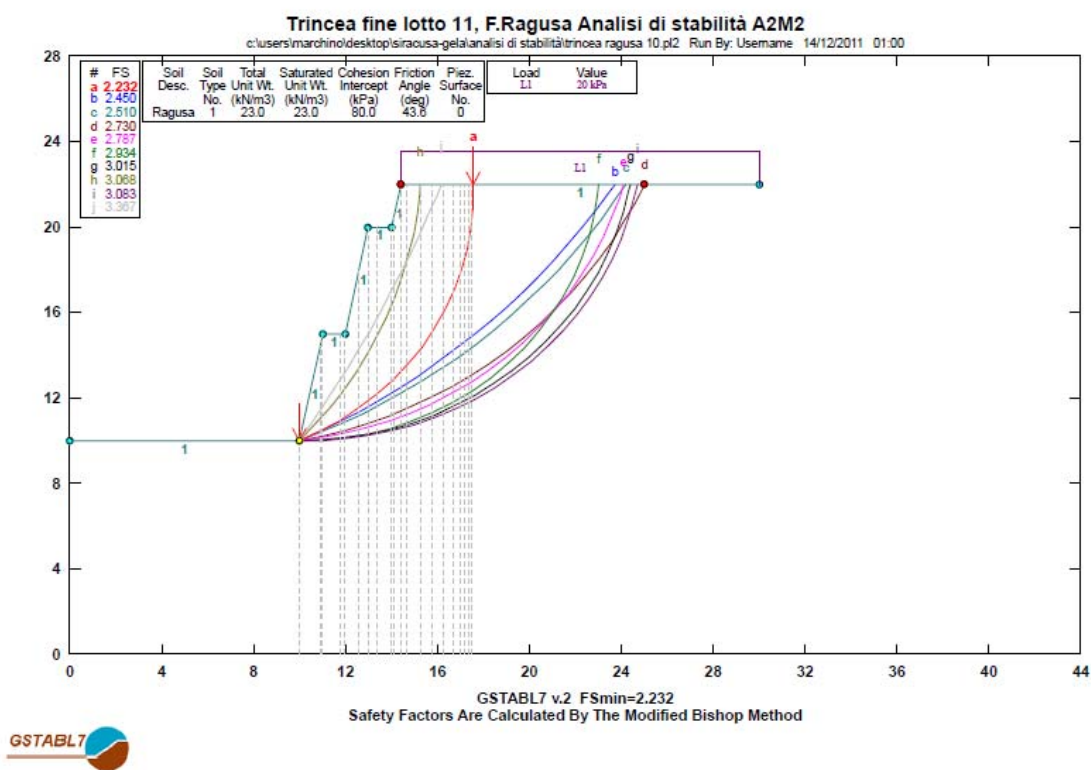


Figura 8 – Analisi di stabilità in condizione statica - F.Ragusa

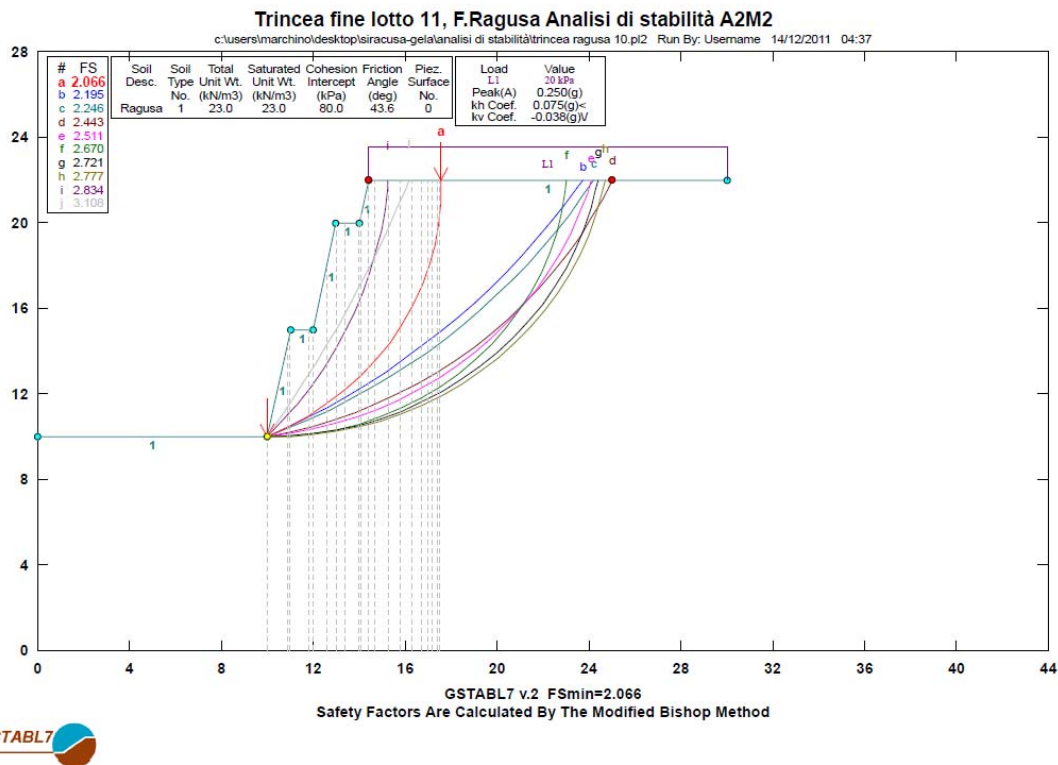



Figura 9 - Analisi di stabilità in condizione dinamica - F.Ragusa

11.1.4. 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 al termine del Lotto 11. Le analisi riguardano le trincee in calcari della Formazione Ragusa, che verranno modellate con scarpate successive con pendenza 1:5 interrotte da berme orizzontali.

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 che in presenza di sisma.

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 43
	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 11 dell'Autostrada Siracusa-Gela sono:

- Galleria naturale Caddame, di lunghezza media 2100 m, interamente in roccia calcarea;
- Galleria naturale Occhipinti, di lunghezza media 2000 m, interamente in roccia calcarea;
- Viadotto Pulce, di lunghezza media 70 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 Pulce e le gallerie naturali Caddame e Occhipinti, 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 Pulce, 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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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							

13. GALLERIE NATURALI

Il tracciato in esame prevede due gallerie naturali, denominate Galleria Occhipinti e Galleria Caddame.


Entrambe le gallerie presentano una configurazione a doppia canna affiancata, 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 90 cm nel caso della Galleria Caddame, 125 cm per la Galleria Occhipinti. 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 Caddame presenta una lunghezza complessiva di 2119 m per quanto riguarda la canna lato Gela, e 2158,38 m per la canna lato Siracusa, con un tratto comprendente il portale, l'artificiale e la dima di attacco che lato Siracusa è pari a 49,67 m nella pista per Gela e a 50 m in quella per Siracusa, mentre sul lato opposto le relative lunghezze sono di 62,3 m e 68,58 m rispettivamente. Per quanto riguarda la tratta in naturale, la sua lunghezza nella pista per Gela è pari a 2007,03 m, mentre in quella per Siracusa a 2039,80 m.

La galleria Occhipinti presenta invece una lunghezza complessiva di 2019,20 m per quanto riguarda la canna lato Gela, e 1947,50 m per la canna lato Siracusa, con un tratto comprendente il portale, l'artificiale e la dima di attacco che lato Siracusa è pari a 62,47 m nella pista per Gela e a 113,28 m in quella per Siracusa, mentre sul lato opposto le relative lunghezze sono di 18 m e 32,50 m rispettivamente. Per quanto riguarda la tratta in naturale, la sua lunghezza nella pista per Gela è pari a 1938,73 m, mentre in quella per Siracusa a 1801,72 m.

Entrambe le gallerie prevedono, conformemente alle Linee Guida ANAS, by pass pedonali con interasse di 300 m e carrabili ogni 900, oltre a piazzole di sosta lunghe 50 m ad interasse massimo di 600 m; sono previste infine anche nicchie ogni 150 m sul lato destro della galleria.


Il tracciato si snoda tra l'incisione del fiume Irminio e la statale di Marina di Ragusa, interessando le zone limitrofe agli abitati di Contrada Occhipinti, Contrada Pulce, Contrada Camemi, per arrivare in corrispondenza di Gatto Corvino allo svincolo che conetterà il lotto in questione con la statale di Marina di Ragusa.

 TECNOFERRAL	E	A	1	8	1	1	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							

Il percorso interessa un'area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture massime di circa 75 m in corrispondenza della Galleria Occhipinti e di 60 m della Caddame.

Procedendo da Siracusa verso Gela gli scavi della quasi totalità del lotto interessano la Formazione Ragusa.


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

 GENERALI	E	A	1	8	1	1	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							

14. GALLERIE ARTIFICIALI

Il tracciato prevede la realizzazione di una galleria artificiale, denominata Galleria Camemi, di lunghezza media pari 100 m, che si sviluppa entro un poggio interamente in roccia calcarea della Formazione Ragusa. La galleria artificiale verrà realizzata previo scavo di trincee in roccia, adottando la stessa sezione autostradale delle gallerie naturali. Solo una volta realizzato il getto del rivestimento della galleria artificiale, si procederà al ritombamento ed al rimodellamento dei versanti, secondo il progetto stradale.

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.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 47
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

15. PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA

Il tracciato autostradale del Lotto 11 si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 7.5 km.

Nel primo tratto del lotto autostradale che va fino alla Contrada Lirici, verrà realizzata la galleria naturale Caddame della lunghezza di circa 2100 m. Seguirà un breve tratto in scav, quindi un tratto in rilevato di lunghezza pari a circa 400 m.

Proseguendo sempre in direzione Gela si realizzerà un breve tratto in trincea sino ad approssicare la Galleria Naturale Occhipinti, la cui lunghezza media sarà paria a circa 2000 m.

La galleria sboccherà in Contrada Pulce da cui il tracciato proseguirà in trincea sino a raggiungere la Contrada Camemi, ove è prevista l'omonima galleria artificiale.

Lungo il tracciato sono stati eseguiti nella prima fase della campagna d'indagine 13 pozzetti esplorativi realizzati mediante escavatore meccanico e spinti in profondità fino ad individuare, laddove possibile, la formazione di sottosuolo integra ed inalterata e 20 sondaggi carotaggio continuo, spinti mediamente a 25÷30 m da piano campagna, localmente fino a 80 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.

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.

<i>Tabella 10 - Attività in situ - Pozzetti</i>				
Pozzetto	Rilevato /Trincea	Profondità		Descrizione
		da	a	
40a	galleria	0.00	0.30	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.30	-	Calcarenite di colore giallastra mediamente cementata.
40b	galleria	0.00	0.40	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.40	-	Calcarenite di colore giallastra mediamente cementata.
40c	da trincea a rilevato	0.00	0.60	Terreno vegetale limo-argilloso, marrone, umido e poco plastico.
		0.60	-	Calcareniti di colore giallastro cementati a grana da media a fine.
40d	da rilevato a trincea	0.00	2.60	Terreno vegetale limo-argilloso, marrone, umido e poco plastico con inclusi blocchi calcarei biancastri a struttura saccharoide.
		2.60	-	Calcari di colore bianco a struttura saccharoide.
40e	galleria	0.00	0.40	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, umido e poco plastico e consistente
		0.40	-	Calcarenite giallastra a grana da media a fine, stratificata
40f	trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone scuro, umido, a spessore variabile.
		0.40	-	Calcari marnosi rossastri inglobanti noduli di calcare cristallino disposti caoticamente.
40g	da trincea a rilevato	0.00	0.30	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone scuro, poco umido e poco plastico.
		0.30	-	Calcareniti di colore giallastro cementate e fratturate a grana da media a fine
40h	trincea	0.00	0.30	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.30	-	Calcareniti di colore giallastro cementate e fratturate a grana da media a fine
41	trincea	0.00	0.30	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.30	-	Calcari di colore biancastro cementati.
42	trincea	0.00	0.10	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.10	-	Calcari di colore biancastro compatti.
43	trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.40	-	Calcari cristallini di colore bianco-giallastro, cementati.
44	trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.40	-	Calcareniti giallastre mediamente cementate, stratificate con fratture riempite da croste calcaree risedimentate.
45	trincea	0.00	0.40	Terreno vegetale limo-sabbioso, marrone, poco umido e poco plastico.
		0.40	-	Calcare grigiastro fratturato, alternato a livelli calcarenitici giallastri.

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

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 49
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

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 A₁ 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/mm².

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 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/Detrito 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/Detrito a piano fondazione	0.40	0.20	0.30	0.25	0.20	0.22	
R2-50	Rilevato - Marne del Tellaro/Detrito a piano fondazione	0.50	0.20	0.30	0.25	0.20	0.22	

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 11 "RAGUSA"										
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
1	6	SR/Gela	0	800	800		x	S1		Calcari
27	32	Siracusa	2235	2320	85		x	S1		Calcari
23	40	Gela	2200	2470	270		x	S1		Calcari
32	48	Siracusa	2320	2630	310	x		R2-40	Marne del Tellaro	
40	48	Gela	2470	2630	160	x		R2-40	Marne del Tellaro	
48	60	SR/Gela	2630	2810	180		x	S2		Marne del Tellaro
69	73	Siracusa	4760	4815	55		x	S1		Calcari
72	92	Gela	4850	5355	505		x	S1		Calcari
73	80	Siracusa	4815	4960	145	x		R1	Calcari	
80	90	Siracusa	4960	5270	310		x	S1		Calcari
90	94	Siracusa	5270	5380	110	x		R2-40	Marne del Tellaro	
92	94	Gela	5355	5380	25	x		R2-40	Marne del Tellaro	
103	114	Siracusa	5405	5600	195	x		R2-40	Marne del Tellaro	
103	110	Gela	5445	5570	125	x		R2-40	Marne del Tellaro	
114	fine lotto	Siracusa	5600	6962	1362		x	S1		Calcari
110	fine lotto	Gela	5570	6931	1361		x	S1		Calcari

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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					

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

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	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						

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/mm² 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/mm² 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/mm² 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.


 GENERAL	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 53
	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.

 INGENIERIA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	1	A	Pag. n. 54
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							


16. 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.

 GENERAL	D	A	1	8	1	1	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

 GENERAL	D	A	1	8	1	1	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

 GENERAL	D	A	1	8	1	1	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*.

*Nota: la presente stazione di rilievo geostrutturale viene proposta nell'ambito della presente relazione nonostante faccia riferimento al tracciato del lotto 10, in quanto è stata utile quale riferimento ai fini della caratterizzazione della formazione Tellaro