

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	T	R	E	0	0	2	A
PROG.	STRADA	LOTTO	MACRO OPERA	OPERA		PARTE DI OPERA		TIPOLOGIA ELABORATO	N. ELABORATO	REV.											
LOTTO 11 "RAGUSA" RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO SCAVO E STABILITA' DELLE TRINCEE E DELLE GALLERIE																					
DATA	DICEMBRE 2011					PROGETTAZIONE															
CODICE CAD-FILE	EA1811T00GG00GETRE002A.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	2	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 TECNICA E DI CALCOLO SCAVO E STABILITA' DELLE TRINCEE E DELLE GALLERIE

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

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	OGGETTO E SCOPO	4
3.	INDICAZIONI RELATIVE ALLA SCELTA DEL METODO DI SCAVO	5
3.1.	Metodologia	5
3.1.1.	Confronto dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche	5
3.1.2.	Confronto in relazione ai tempi esecutivi	6
3.2.	Applicazione al caso in esame	11
3.3.	Considerazioni conclusive	15
4.	PREVISIONE GRANULOMETRICA DELL'ABBATTUTO E POSSIBILI IMPIEGHI DELLO SMARINO	17
5.	STABILITA' DEI CUNEI DI ROCCIA	19
5.1.	Metodologia adottata	21
5.2.	Stabilità dei cunei di roccia in galleria	22
5.2.1.	Ipotesi di base	22
5.2.2.	Galleria Caddame	24
5.2.3.	Galleria Occhipinti	27
5.2.4.	Considerazioni conclusive – Interventi di stabilizzazione	29
5.3.	Stabilità dei cunei di roccia in trincea	31
5.3.1.	Rilievi geomeccanici di riferimento	32
5.3.2.	Analisi di stabilità	34
5.3.3.	Considerazioni conclusive	37
5.4.	Note conclusive	38
6.	CONCLUSIONI	41

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 3
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

1. INTRODUZIONE

La presente relazione analizza alcune tematiche particolari che riguardano lo scavo delle trincee e delle gallerie naturali previste nell'ambito del lotto 11 del Progetto Esecutivo dell'Autostrada Siracusa-Gela.

Nei capitoli seguenti verranno affrontate nell'ordine le seguenti tematiche:

- le modalità di scavo più idonee nei diversi litotipi che caratterizzano il tracciato, alla luce delle caratteristiche geomeccaniche della roccia oggetto di scavo e dei tempi realizzativi associati al ciclo di lavorazione delle diverse metodologie di abbattimento della roccia;
- la previsione della granulometria dell'abbattuto, alla luce delle indicazioni fornite in merito alla metodologia di scavo più idonea per i diversi litotipi;
- i possibili impieghi dello smarino, in relazione a qualità della roccia e granulometria dell'abbattuto;
- la previsione dei possibili cunei instabili al contorno di scavo, e la definizione dei criteri di sostegno e disaggio dei blocchi di roccia isolati dalla massa rocciosa retrostante dai sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso e da ulteriori superfici rappresentate dalle pareti di scavo.

 TECNOLOGIA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 4
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

2. OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione sono le gallerie naturali e le trincee previste lungo il tracciato dell'Autostrada Siracusa-Gela, nel lotto 11.

Lo scopo è quello fornire alcune indicazioni pratiche in relazione a modalità di scavo, granulometria dell'abbattuto e riuso dello smarino, oltre che analizzare le condizioni di stabilità locale dei profili di scavo alla luce dei possibili cunei instabili che le discontinuità dell'ammasso isolano dalla roccia retrostante.

 GENERAL	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 5
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

3. INDICAZIONI RELATIVE ALLA SCELTA DEL METODO DI SCAVO

3.1. Metodologia

La scelta del metodo di scavo è una decisione particolarmente critica, in quanto può influenzare in modo significativo tempi e modalità di realizzazione di una galleria.

Il confronto tra le possibili metodologie, può essere realizzato su due livelli:

- Confronto in relazione alle caratteristiche geomeccaniche della roccia;
- Confronto in relazione al ciclo produttivo che caratterizza ogni metodologia di scavo, e quindi in relazione ai tempi esecutivi.

Si considerano due tipologie di abbattimento della roccia, meccanico, a sua volta distinguibile fra martellone e fresa ad attacco puntuale, road-header, e abbattimento con l'uso di micro cariche esplosive.

3.1.1. Confronto dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche

Nelle pagine seguenti si propongono quattro diversi approcci di confronto:

1. Metodo proposto da Boky (1967), basato sul fattore f di Protodyakonov. Per una roccia il fattore f è definibile come un decimo della resistenza a compressione della matrice rocciosa, ovvero:

$$f = \frac{\sigma_c}{10}$$

Boky propone il seguente criterio:

se $f < 2$ è preferibile l'uso del martellone

se $5 < f \leq 20$ è preferibile l'uso dell'esplosivo

2. Metodologia che fa riferimento alla resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta:

$\sigma_c > 20MPa \rightarrow$ esplosivo

$\sigma_c < 150MPa \rightarrow$ fresa puntuale oppure, nel caso di roccia fratturata, martellone

3. Criterio che fa riferimento alla velocità delle onde sismiche nell'ammasso:

$V_s > 2100m/s \rightarrow$ esplosivo

$V_s < 1800m/s \rightarrow$ martellone

$1800 < V_s < 2100m/s \rightarrow$ indifferente

4. Metodo proposto da Louis (1974), Figura 1, che suggerisce la metodologia di scavo in relazione a:
- σ_c della roccia intatta;
 - RQD dell'ammasso roccioso.

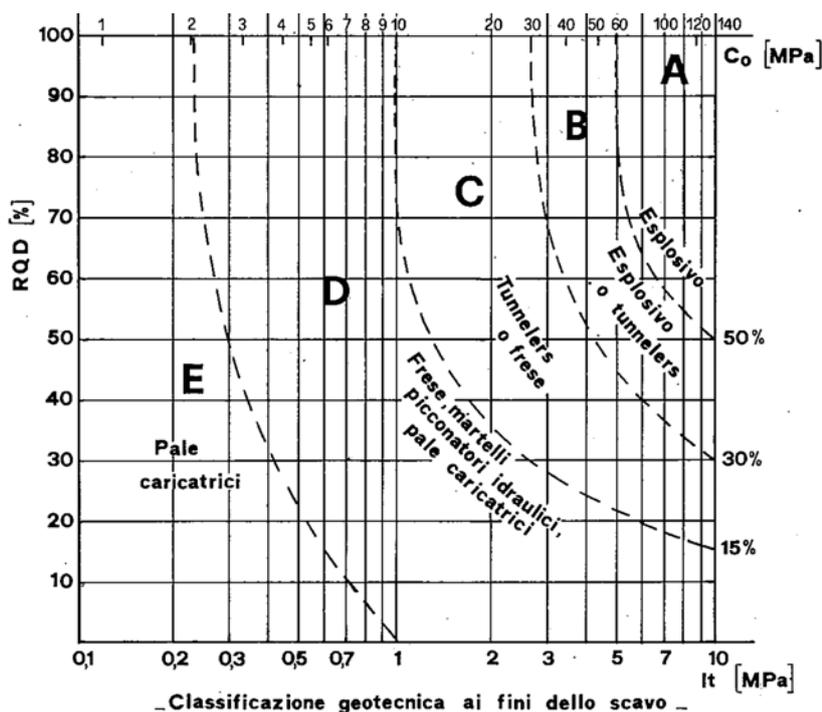


Figura 1 – Abaco di Louis per la determinazione del metodo di scavo

3.1.2. Confronto in relazione ai tempi esecutivi

Nel caso in cui la roccia per la quale si voglia individuare la metodologia di scavo più idonea presenti proprietà geomeccaniche tali da consentire l'impiego di diverse metodologie di scavo, si procede ad un secondo passo di analisi, che realizza un confronto tra i metodi in termini temporali. Si considerano dunque in cronoprogrammi che caratterizzano i diversi metodi di scavo, per un singolo sfondo di avanzamento.

Esplosivo

Si definiscono:

sfondo di avanzamento = x [m]

PF = consumo specifico di esplosivo, valutato in funzione della qualità della roccia, del tipo di esplosivo e del tipo di volata, Figura 2

S = sezione media galleria [m²]

$V = \text{volume di scavo in posto} = S \cdot x$

$Q = \text{quantità esplosivo} = PF \cdot V$

$SD = \text{perforazione specifica di fori da mina, valutato in funzione del PF e della sezione di scavo, Figura 2}$

$V_{BF} = V \cdot BF = \text{volume di scavo sciolto}$

$BF = \text{fattore di incremento di volume della roccia, dopo l'abbattimento, variabile in relazione al tipo di roccia}$

$n = \text{numero totale di fori al fronte} = \frac{SD \cdot S \cdot x}{x}$

$$P.F. \cong \left(\frac{10}{S} + 0.6 \right) \cdot A \cdot B \cdot C$$

$$S.D. \cong 2.3 \cdot \left(\frac{10}{S} + 0.6 \right) \cdot A \cdot B'$$

CLASSE	CLASSE PROTODYAKONOV	ESEMPI	COEFFICIENTE A
1	0	Quarziti, porfidi compatti	1.3
2	I	Graniti e gneiss sani	1
3	II	Calcari compatti	0.9
4	III	Filladi e argilloscisti	0.8
5	IV	Calcari porosi, marne, gessi	0.5

CLASSE	TIPI DI ESPLOSIVO	COEFFICIENTE B
1	Gelatina Gomma ($\gamma > 1.5$)	0.95
2	Gelatina dinamite ad alto tenore di NG ($\gamma > 1.4$)	1
3	Altri esplosivi densi ($\gamma > 1.2$)	1.1
4	Esplosivi al Nitrato c.d. "pulverulenti" ($\gamma < 1.2$)	1.2

CLASSE DI ESPLOSIVO	COEFFICIENTE B'
1	0.6
2	0.65
3	0.80
4	1.2

CLASSE	TIPO DI VOLATA	COEFFICIENTE C
1	A fori convergenti (cuneo, piramide)	1
2	A ventaglio	0.9
3	A fori paralleli	1.45

Figura 2 – Calcolo dei parametri P.F. e S.D. per le volate di mine

Ciclo realizzativo e durata stimata per le diverse lavorazioni:

- perforazione

$$t_p = \frac{n \cdot x}{v_p \cdot n_b \cdot c}$$

Con $v_p = \text{velocità di perforazione}$

$n_b = \text{numero di bracci del jumbo di perforazione}$

$c = \text{fattore di contemporaneità}$

- caricamento fori $t_c = t_c^{1\text{foro}} \cdot n$
- controllo circuito di tiro e brillamento
- sfumo
- disgaggio

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

- smarino, considerando con questo termine l'allontanamento del materiale dal fronte di scavo. A titolo di esempio, in caso di impiego di una pala gommata:

$$t_{sm} = t_{ciclo} \cdot n_{cicli} \quad \text{con} \quad L = \text{distanza fronte-punto di stoccaggio}$$

$$t_{ciclo} = 2 \cdot \frac{L}{v} + \Delta t \quad \Delta t = \text{tempi di manovra}$$

$$n_{cicli} = \frac{V_{BF}}{V_{pala}}$$

- posa sostegni, la cui durata varia in relazione allo sfondo e all'interasse fra i sostegni, oltre che alla tipologia di sostegni previsti.

Martellone

Ciclo realizzativo e durata stimata per le diverse lavorazioni:

- scavo

$$t_s = \frac{V}{P} + \Delta t$$

Con P = produzione [m^3/h], che può essere stimata in relazione alla resistenza a compressione della roccia e alla struttura dell'ammasso roccioso, Figura 3

- controllo circuito di tiro e brillamento
- smarino, valgono le stesse considerazioni fatte per l'esplosivo;
- posa sostegni, valgono le stesse considerazioni fatte per l'esplosivo.

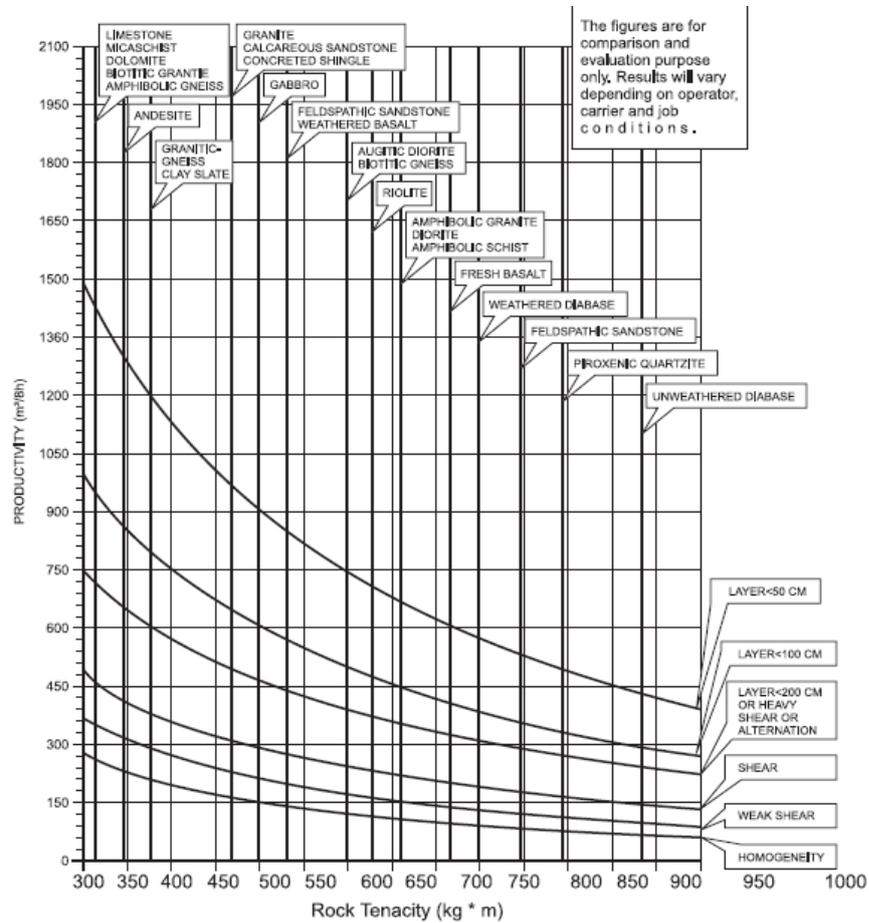


Figura 3 – Abaco per la determinazione della produttività di un martellone in relazione alla roccia

Fresa ad attacco puntuale

La fresa puntuale, road-header, lavora per passate successive, dall'alto verso il basso o viceversa, mediante l'affondo della testa di scavo nella roccia (sump) ed il brandeggio successivo per passate orizzontali. Di conseguenza, considerato che lo sfondo di avanzamento presenta una dimensione ben maggiore della profondità della testa, saranno necessarie alcune serie di affondamenti e brandeggi per realizzare l'abbattimento dell'intero sfondo di scavo.

Si definiscono:

$$q = n^{\circ} \text{ sump} = \frac{x}{p}, \text{ con } p = \text{profondità della testa}$$

$$m = n^{\circ} \text{ passate orizzontali} = \frac{h_{\text{galleria}}}{d}, \text{ con } d = \text{diametro della testa}$$

V_p = volume di roccia abbattuta con una passata = $p \cdot d \cdot L_g$, con L_g = lunghezza galleria

Ciclo realizzativo e durata stimata per le diverse lavorazioni:

- scavo

$$t_s = (t_{sc} + \Delta t) \cdot q$$

Con $t_{sc} = t_{1p} \cdot m$ = tempo di puro scavo

$$\Delta t = 5 \cdot m \cdot q \cdot 1.5 = \text{tempo di brandeggio}$$

$$t_{1p} = \frac{V_p}{P} = \text{tempo di una passata}$$

P = produzione della fresa, dipendente dalla σ_c della roccia e dalla potenza installata, Figura 4

- smerino, valgono le stesse considerazioni fatte per l'esplosivo;
- posa sostegni, valgono le stesse considerazioni fatte per l'esplosivo.

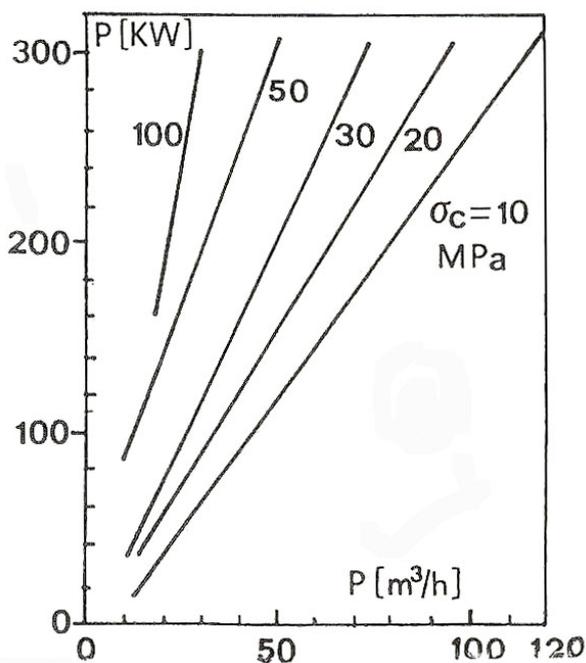


Figura 4 – Abaco per la determinazione delle produttività di una fresa puntuale in relazione alla roccia

Il confronto tra le tre metodologie di scavo proposte viene realizzato valutando, per ciascun metodo, un “fattore tempo” ottenuto dal rapporto fra il tempo totale del

ciclo produttivo e la sfondo di scavo, che si riferisce quindi al tempo di realizzazione di un metro di galleria.

Per ciascuna metodologia di scavo, i tempi totali di un ciclo realizzativo vengono stimati come somma delle singole lavorazioni previste:

- esplosivo: $T = t_p + t_c + t_{brillam} + t_{sfumo} + t_{disg} + t_{sm} + t_{sostegni}$

- martellone: $T = t_s + t_{sm} + t_{sostegni}$

- fresa puntuale: $T = t_s + t_{sm} + t_{sostegni}$

3.2. Applicazione al caso in esame

La metodologia proposta è stata applicata agli ammassi rocciosi intercettati dallo scavo delle gallerie previste nel lotto 11 dell'autostrada Siracusa-Gela, nello specifico le marne argillose della Formazione Tellaro ed i calcari-calcareni della Formazione Ragusa.

Nel caso delle marne della Formazione Tellaro, come visibile in Figura 5, il confronto è stato realizzato in termini di qualità rocciosa, in quanto la bassa resistenza del litotipo e la mancanza di una fratturazione uniforme rendono pressoché scontata la scelta di un abbattimento meccanico con martellone, ed eventualmente escavatore nelle porzioni più alterate. La scelta di una fresa puntuale, seppur adatta ad una roccia tenera, è da escludere in quanto la frazione argillosa della marna, soprattutto in presenza di acqua, potrebbe tendere a “impastare” gli utensili di scavo, limitando notevolmente la produttività della fresa.

SCELTA DEL METODO DI SCAVO			
1° METODO (Protodyakonov, Boky - 1967)		2° METODO (T&T, may 2011)	
Resistenza cx roccia	4 MPa	Resistenza cx roccia	4 MPa
Fattore f di Protodyakonov	0,4	Rocchia fratturata?	si / no
Metodo consigliabile fra esplosivo e martellone		Metodo di scavo	
	martellone	esplosivo	-
		martellone	X
		road-header	-
3° METODO (Velocità onde sismiche)		4° METODO (Louis - 1974)	
Vs	1850 m/s	Resistenza cx roccia	4 MPa
		RQD	50
Metodo di scavo		Metodo di scavo	
esplosivo	-	martellone	
abbattim.meccanico	-		
indifferente	X		

Figura 5 – Valutazione del metodo di scavo in relazione alla qualità della roccia – F.Tellaro

Per quanto riguarda i calcari della Formazione Ragusa, invece, la metodologia è stata applicata in modo completo.

Il confronto dal punto di vista della qualità geomeccanica è stato realizzato esplicitando:

- le caratteristiche di resistenza a compressione della roccia, derivanti da indagini di laboratorio e prove speditive con martello di Schmidt;
- la velocità delle onde elastiche di taglio nell'ammasso roccioso, derivante dalle traverse sismiche a rifrazione;
- l'RQD dell'ammasso, valutato in relazione alle verticali di indagine e ad osservazioni di superficie.

Le quattro metodologie di confronto proposte, in relazione alla qualità della roccia, evidenziano la possibilità di ricorrere a abbattimento meccanico e/o all'esplosivo, Figura 6. Vista l'alternativa, si passa ad un confronto tra le due metodologie in relazione ai tempi di un ciclo di lavorazione.

Per quanto riguarda lo scavo meccanico, si sono considerate due ipotesi diverse, il martellone e la fresa ad attacco puntuale.

SCELTA DEL METODO DI SCAVO					
1° METODO (Protodyakonov, Boky - 1967)			2° METODO (T&T, may 2011)		
Resistenza cx roccia	35	MPa	Resistenza cx roccia	35	MPa
Fattore f di Protodyakonov	3,5		Rocchia fratturata?	si	si/no
Metodo consigliabile fra esplosivo e martellone			Metodo di scavo		
esplosivo			esplosivo	X	
			martellone	X	
			road-header	-	
3° METODO (Velocità onde sismiche)			4° METODO (Louis - 1974)		
Vs	1850	m/s	Resistenza cx roccia	35	MPa
Metodo di scavo			RQD	50	
esplosivo	-		Metodo di scavo		
abbattim.meccanico	-		martellone		
indifferente	X				

Figura 6 - Valutazione del metodo di scavo in relazione alla qualità della roccia – F. Ragusa

La valutazione del tempo di ciclo per l'abbattimento con esplosivo è stata realizzata ipotizzando una sezione media di scavo di 150 m², con uno schema di tiro a fori convergenti e l'utilizzo di esplosivo a base di dinamite (Figura 7). Lo sfondo di tiro è stato posto pari a 5 m, che corrisponde all'avanzamento previsto dalla sezione tipo Ab, in accordo alla lunghezza libera prevista da Bieniawski per i calcari della Formazione Ragusa, ascrivibili alla classe RMR III, mediocri. Si prevedono 110 fori al fronte, con un fabbisogno di circa 340 kg di esplosivo a volata.

PRODUTTIVITA' ESPLOSIVO

Resistenza cx roccia	35	MPa
Fattore di Protodyakonov, f	3,5	
Valutazione del consumo specifico di esplosivo		
Sezione di scavo	150	m2
Coeff. A (TAB.2)	0,8	
Coeff. B (TAB.2)	0,95	
Coeff. C (TAB.2)	1	
P.F.	0,51	kg/m3
Q qtà esplosivo	342	kg/volata
Valutazione del consumo specifico di fori da mina		
Sezione di scavo	150	m2
Coeff. A	0,8	
Coeff. B' (TAB.3)	0,6	
S.D.	0,736	m/m3
Valutazione del numero di fori al fronte		
Sezione di scavo	150	m2
<u>Possibili previsioni:</u>		
1 - grafico (TAB.4)		
2 - da S.D.:		
S.D.	0,736	m/m3
Sfondo teorico	5	m
Sfondo effettivo	4,5	m
Lunghezza totale fori	552	m
Numero fori	110,4	
	111	
Numero fori scelto	110	
Valutazione del volume di smarino		
Volume di scavo in posto	675	m3/volata
B.F. fattore di rigonfiamento (TAB.5)	1,8	
Volume di scavo sciolto	1215	m3/volata

Figura 7 – Valutazione della produttività dell'esplosivo – F.Ragusa

Lo sfondo di avanzamento previsto nel caso di martellone e fresa puntuale è invece più ridotto, pari a 1 m, per permettere la posa dei sostegni preliminari di conserva all'avanzamento e garantire così la sicurezza degli operatori al fronte. La produttività di martellone e road-header è stata definita sulla base degli abachi proposti in Figura 3 e Figura 4.

Per quanto riguarda smarino e posa sostegni le ipotesi di base sono le stesse per tutti i metodi considerati, al fine di confrontare le metodologie in termini di soli tempi di scavo e manovra, e precisamente:

- allontanamento dell'abbattuto dal fronte con pala gommata, per una distanza di 200 m ed una velocità media di carico-scarico di 4 m/s;
- posizionamento di spritz-beton e centine metalliche con interasse 1 m.

Il confronto in termini di tempi realizzativi viene proposto in Figura 8 per le tre metodologie considerate. Dall'istogramma in figura si evidenzia una forte disparità in termini di tempi esecutivi tra esplosivo o fresa e martellone. In particolare è interessante osservare che la fresa risulta vantaggiosa quasi quanto l'esplosivo, nonostante preveda un avanzamento ben più ridotto.

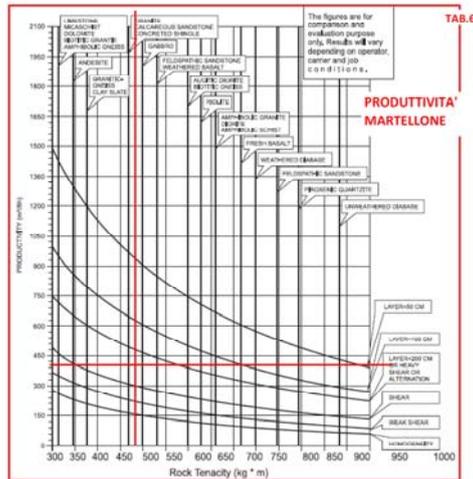
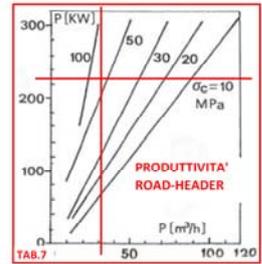
DATI INIZIALI	
Resistenza ex roccia	35 MPa
Fattore di Protodyakonov, f	1.5
Sezione di scavo	150 m ²

numero	valore da inserire
numero	valore calcolato

ESPLOSO	
Cronoprogramma di una volata	
Sezione di scavo	150 m ²
Sfondo teorico	5 m
Sfondo effettivo	4.5 m
Numero fori	110
Velocità perforazione	1.5 m/min
Numero bracci jumbo	2
Coeff contemporaneità	0.9
Tempo perforazione	204 min
T caricam 1 foro	2 min/foro
Tempo caricamento	220 min
Tempo controllo e brillam.	5 min
Tempo di sfumo	20 min
Tempo disaggio	20 min
Volume di scavo in posto	475 m ³ /volata
Fattore di rigonfiamento	1.8
Volume di scavo sciolto	1215 m ³ /volata
Volume pala	8 m ³
Numero cicli carico/scarico	152
Distanza carico-scarico	200 m
Veloc.media a carico/scarico	4 m/s
Tempo 1 ciclo	140 s
Tempo smarinio	355 min
Spaziatura centine	1 m
Numero centine	5
Tempo installaz. Icentina	40 min
Tempo installaz.spritz beton/m	15 min
Tempo installazione sostegni	275 min
Tempo totale	1099 min
	19 h
Fattore tempo/1m	3.80

MARTELLONE	
Cronoprogramma di uno sfondo di avanzamento	
Sezione di scavo	150 m ²
Sfondo	1 m
Produzione da grafico (TAB.6)	250 m ³ /h
Volume da scavare	150 m ³
Tempi di manovra	20 min
Tempo di scavo	5.1 h
Volume da smarinare	270 m ³
Volume pala	8 m ³
Numero cicli carico/scarico	34
Distanza carico-scarico	200 m
Veloc.media a carico/scarico	4 m/s
Tempo 1 ciclo	140 s
Tempo smarinio	80 min
Spaziatura centine	1 m
Numero centine	1
Tempo installaz. Icentina	40 min
Tempo installaz.spritz beton/m	15 min
Tempo installazione sostegni	55 min
Tempo totale	443 min
	8 h
Fattore tempo/1m	6.00

ROAD-HEADER	
Cronoprogramma di uno sfondo di avanzamento	
Sezione di scavo	150 m ²
Sfondo	1 m
Potenza macchina prevista	200 kW
Resistenza roccia	35 MPa
Produzione attesa da grafico (TAB.7)	50 m ³ /h
Profondità sump della fresa	6.5 m
Volume scavo per ogni sump	75 m ³
Diametro fresa	40 cm
Altezza galleria	6 m
Larghezza galleria	6 m
Numero passate orizzontali	10
Volume scavo a passata	2.4 m ³
Tempo per passata	0.048 h
Tempo totale per la sezione	0.48 h
Numero sump per sfondo di scavo	2
Tempo di manovra	150 s
Tempo totale scavo	1 h
Volume pala	8 m ³
Numero cicli carico/scarico	34
Distanza carico-scarico	200 m
Veloc.media a carico/scarico	4 m/s
Tempo 1 ciclo	140 s
Tempo smarinio	80 min
Spaziatura centine	1 m
Numero centine	1
Tempo installaz. Icentina	40 min
Tempo installaz.spritz beton/m	15 min
Tempo installazione sostegni	55 min
Tempo totale	158 min
	4 h
Fattore tempo/1m	4.00



CONFRONTO TRA I DIVERSI METODI DI SCAVO

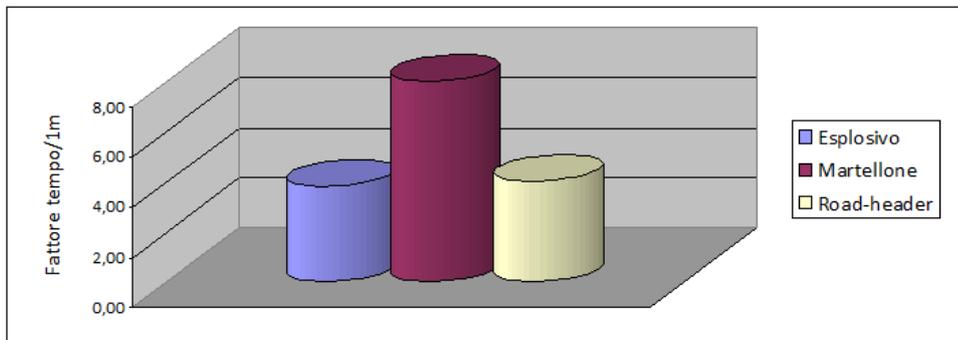


Figura 8 – Confronto tra i metodi di scavo in termini di tempi realizzativi – F. Ragusa

 INGEGNERIA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 15
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

3.3. Considerazioni conclusive

Il tracciato in esame interessa, nelle gallerie naturali previste nel lotto 11, due diversi litotipi, le marne argillose della Formazione Tellaro e i calcari marnosi della Formazione Ragusa. Per ciascuno dei due litotipi è stata realizzata una valutazione preliminare relativa alle metodologie di scavo più vantaggiose, applicando semplici considerazioni di tipo geomeccanico e definendo i relativi tempi di ciclo.

Si sono considerate due diverse metodologie di scavo, l'abbattimento meccanico con martellone o fresa puntuale, e l'abbattimento con esplosivo.

Per quanto riguarda la Formazione Tellaro, il confronto dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche ha evidenziato la vantaggiosità di un avanzamento con martellone.

Per la Formazione Ragusa, i quattro criteri di valutazione relativi alla qualità geomeccanica dell'ammasso forniscono risultati contrastanti. Il confronto viene dunque portato nell'ambito dei tempi realizzativi di un ciclo di avanzamento, valutando per ciascuna metodologia di scavo un "fattore tempo" associato ad un metro di avanzamento.

Tale confronto evidenzia il vantaggio di un avanzamento realizzato con esplosivo o fresa puntuale, a parità di sistema di smarino e di sostegni preliminari adottati.

Naturalmente ciascuna metodologia può presentare elementi negativi, quali:

- per quanto riguarda l'esplosivo, la necessità di ricevere giorno per giorno l'esplosivo necessario, o le vibrazioni indotte nelle eventuali sovrastrutture;
- la stratificazione suborizzontale dei calcari può determinare un forte sovrascavo, in particolar modo in calotta, dove la roccia tenderà a rompersi secondo piani orizzontali: sarà dunque importante prevedere uno schema di volata caratterizzato da mine di profilatura in calotta, che consentano di seguire in modo accurato il profilo di scavo, conservando la curvatura della calotta di progetto;
- per la fresa, la stratificazione accentuata del calcare, che potrebbe risultare vantaggiosa ai fini di un abbattimento con esplosivo, può determinare una maggiore usura degli utensili striscianti della testa di scavo.

Per le trincee, è possibile estendere lo stesso discorso fatto per le gallerie naturali:

- lo scavo delle marne della Formazione Tellaro dovrà essere realizzato con martellone o, nelle zone maggiormente alterate, con escavatore;

 GENERAL	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 16
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							

- l'abbattimento dei calcari della Formazione Ragusa potrà essere realizzato in tempi più ridotti ricorrendo all'impiego di cariche esplosive, che consentiranno il progressivo scavo della trincea per passate successive in approfondimento.

4. PREVISIONE GRANULOMETRICA DELL'ABBATTUTO E POSSIBILI IMPIEGHI DELLO SMARINO

In relazione a quanto previsto nel precedente capitolo riguardo alle metodologie di scavo più idonee per i litotipi intercettati dalle gallerie in progetto, nelle figure seguenti si propongono i fusi granulometrici che descrivono la previsione della granulometria dell'abbattuto in relazione alla metodologia di scavo, per i calcari della Formazione Ragusa e le marne del Tellaro.

In generale si può affermare che:

- La marna della Formazione Tellaro si scava in modo meccanico con martellone, e quindi produrrà uno smarino prevalentemente composto da fine e ciottoli tra i 10-20 cm, con qualche blocco che non supererà i 50 cm. La marna è omogenea, la fratturazione viene generalmente indotta dall'azione del martellone;
- Il calcare della Formazione Ragusa presenta tre famiglie di discontinuità in posto. Si può dunque prevedere uno smarino a pezzatura superiore nel caso in cui l'avanzamento avvenga con martellone, mentre l'esplosivo determinerà una fratturazione maggiore.

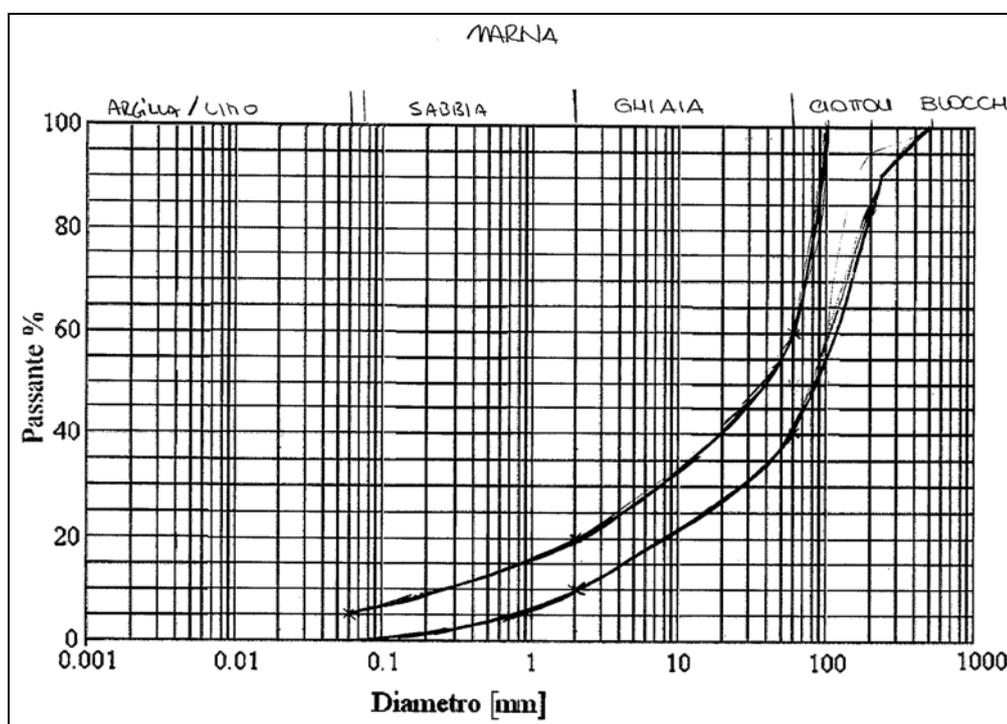


Figura 9 – Fuso granulometrico per le marne del Tellaro

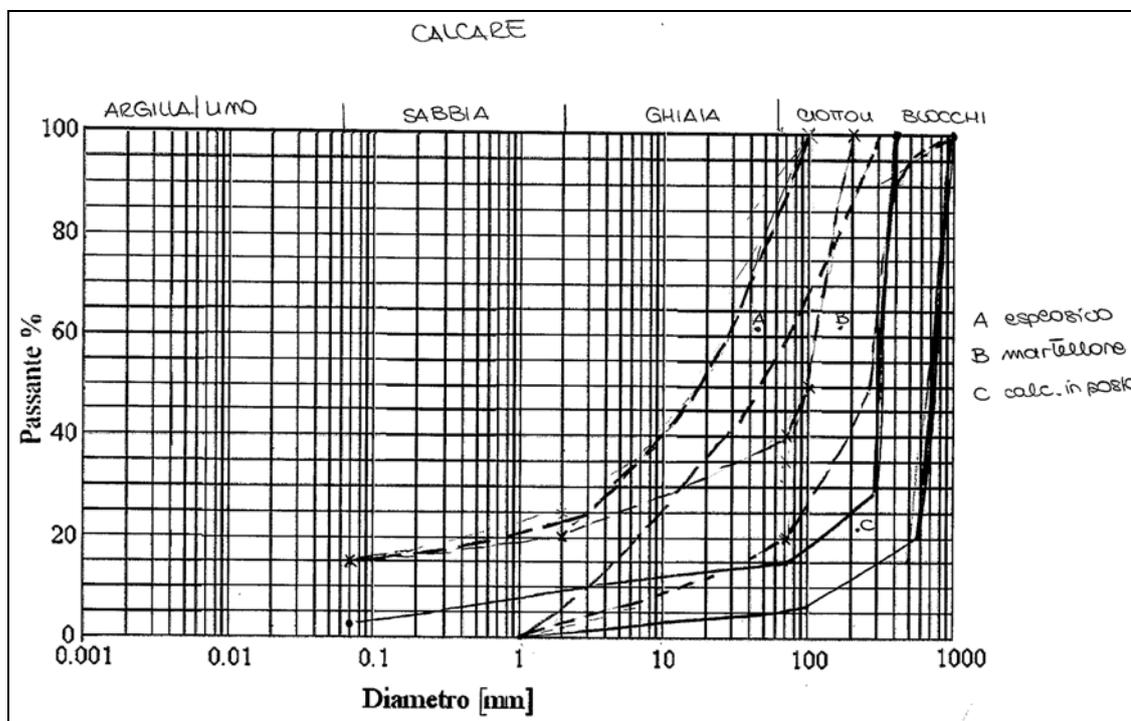


Figura 10 – Fuso granulometrico per i calcari della Formazione Ragusa

L'abbattuto potrà essere riutilizzato con diverse finalità, in particolare la marna verrà portata a discarica, mentre il calcare potrà essere utilizzato per la realizzazione di:

- rilevati, previa eliminazione dei massi con dimensioni superiori a 40 cm;
- ricoprimento della gallerie artificiali, previa eliminazione della frazione grossolana fino a 20 cm;
- inerti e pavimentazioni, a seguito di frantumazione e vagliatura.

I materiali destinati alla messa a discarica verranno utilizzati per il ripristino ambientale della Cava Truncafila, per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati di progetto.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 19
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

5. STABILITA' DEI CUNEI DI ROCCIA

Il tracciato in esame presenta una lunghezza complessiva di circa 5.1 km, di cui una porzione considerevole si pone in galleria, artificiale o naturale, ed in trincea. I litotipi interessati dalle operazioni di scavo sono due:

- i calcari e calcareniti della Formazione Ragusa, caratterizzati da una struttura massiva organizzata in bancate di spessore decimetrico e metrico, con stratificazione sub orizzontale;
- le marne argillose della Formazione Tellaro, caratterizzati da una struttura più omogenea, con livelli di spessore centimetrico e caratteristiche geomeccaniche ben più scadenti.

Da un punto di vista litologico il litotipo che interessa maggiormente il tracciato è quello dei calcari della Formazione Ragusa, caratterizzati da una buona qualità geomeccanica, con indici RMR89 variabili fra 45 e 60 punti.

Le analisi di stabilità realizzate nei calcari in corrispondenza delle gallerie, degli imbocchi, delle scarpate che compongono le trincee, hanno evidenziato una buona risposta geomeccanica, con deformazioni ridotte ed un comportamento dell'ammasso roccioso quasi completamente elastico.

La problematica da considerare nell'ambito dello scavo in calcare non è dunque la stabilità globale di versanti e scavi, quanto la stabilità locale di singoli blocchi di roccia instabili, isolati dal resto della massa rocciosa dalle discontinuità presenti nell'ammasso. Evidenze di questi fenomeni sono riconoscibili ai piedi dei pendii, Figura 11, dove spesso si rinvengono blocchi isolati di calcare, di volume pari a qualche metro cubo, probabilmente distaccatisi dai versanti rocciosi sovrastanti.

 TECENITAL	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 20
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							



Figura 11 – Blocchi calcarei isolati

A tale scopo sono stati realizzati alcuni rilievi geomeccanici in corrispondenza di affioramenti calcarei posti in prossimità del tracciato, Figura 12, che hanno consentito di rilevare le discontinuità principali presenti nella massa rocciosa, e caratterizzarle in relazione a spaziatura, apertura, eventuale riempimento.

Per quanto riguarda il Lotto 11, le stazioni geomeccaniche di riferimento sono 4, di cui una nella zona del Viadotto Irminio, una in prossimità dell'imbocco della Galleria Caddame, e due che si collocano in prossimità del lungo tratto di trincea che chiude il tracciato del lotto in questione in corrispondenza dell'abitato di Case Camemi.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 21
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

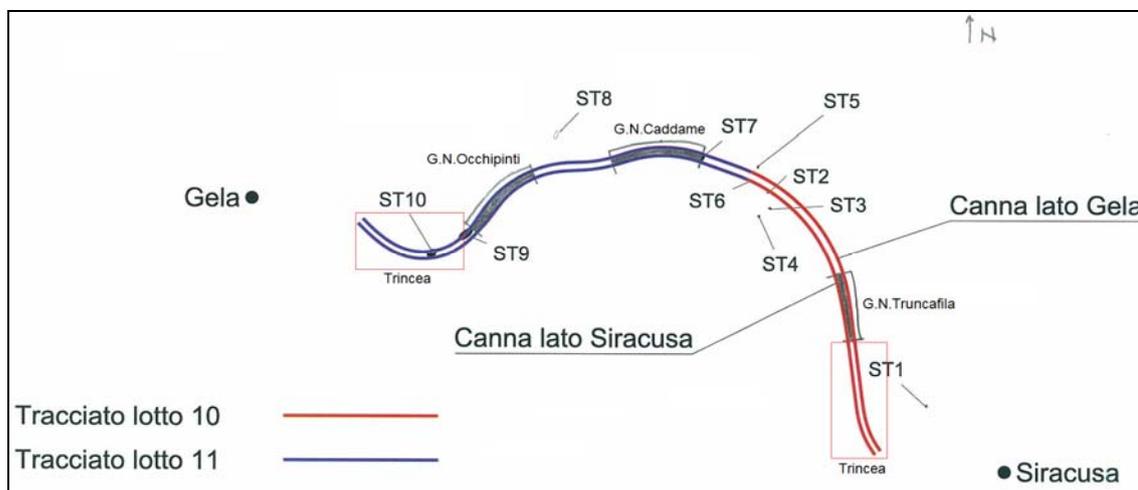


Figura 12 – Posizione dei rilievi geostrutturali (STn) in relazione a gallerie e zone di trincea

Nel presente capitolo si presentano le analisi di stabilità dei cunei in roccia, per quanto riguarda i tratti in galleria naturale ed in trincea.

5.1. Metodologia adottata

L'analisi delle possibili instabilità che possono verificarsi in corrispondenza delle gallerie in progetto è stata realizzata con il software Unwedge, che consente l'analisi tridimensionale dei volumi instabili di roccia in relazione alla direzione di scavo, alla sezione di scavo, e alle caratteristiche di giacitura e resistenza delle principali famiglie di discontinuità.

Le ipotesi di base dell'analisi sono le seguenti:

- la movimentazione dei cunei si verifica lungo le discontinuità, i cunei si muovono come corpi rigidi senza deformazioni e rotture interne;
- i cunei si formano dall'intersezione di tre famiglie di discontinuità diverse, variamente disposte nello spazio tridimensionale;
- le discontinuità possono essere posizionate in ogni punto della massa rocciosa.

Nel caso in esame l'analisi è stata realizzata senza considerare il contributo degli sforzi gravitazionali, in quanto, come evidenziato dalle analisi di stabilità svolte nei calcari delle Formazione Ragusa, l'ammasso roccioso ha un comportamento pressoché elastico. Inoltre tale analisi risulta conservativa nei riguardi dell'analisi di stabilità dei blocchi.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 22
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

L'analisi viene realizzata mediante l'approccio dell'equilibrio limite: per ciascun blocco si valutano le forze agenti e quelle resistenti, il rapporto tra queste due grandezze ne definisce il corrispondente fattore di sicurezza.

L'analisi viene realizzata in primo luogo ipotizzando che le discontinuità possano svilupparsi in ogni punto della massa rocciosa, e siano infinitamente continue nello spazio: quest'ipotesi consente di individuare i blocchi di volume massimo che si possono formare lungo il profilo di scavo in relazione ai sistemi di discontinuità presenti nella roccia.

Successivamente, si procede all'imposizione di alcuni fattori limitanti, ad esempio la persistenza dei giunti, che consentono di ricondursi ad una situazione di instabilità più vicina alla configurazione reale, partendo dall'ipotesi secondo cui in un ammasso roccioso la dimensione dei cunei potenzialmente instabili è direttamente correlata a persistenza e spaziatura delle famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso.

5.2. Stabilità dei cunei di roccia in galleria

5.2.1. Ipotesi di base

Le gallerie naturali scavate nei calcari della Formazione Ragusa sono di per se stesse generalmente autostabili, con comportamento pressoché elastico del cavo e del fronte. I possibili eventi di instabilità potranno dunque riguardare non tanto la stabilità globale, quanto locali distacchi di singoli blocchi in calotta, in ragione di una stratificazione sub orizzontale e della presenza di due famiglie di discontinuità principali, verticali e ortogonali fra loro.

Lo scopo del sostegno diventa quindi essenzialmente quello di sopportare il peso di una massa di roccia potenzialmente instabile, isolata dal resto dell'ammasso roccioso dalle discontinuità in esso presenti.

I rilievi geostrutturali realizzati su affioramenti di calcare della Formazione Ragusa hanno evidenziato due caratteristiche peculiari di tale formazione:

- stratificazione sub orizzontale, inclinazione media 5°, struttura organizzata in banchi di spessore decimetrico o metrico;
- sistemi di discontinuità sub verticali e ortogonali fra loro e con i piani di strato.

La presenza di due sistemi di discontinuità e dei giunti di strato determina una suddivisione della massa rocciosa in volumi unitari, che, se non sufficientemente confinati, possono mobilitarsi e cadere all'interno del cavo. Vista la stratificazione sub orizzontale, questo fenomeno può verificarsi prevalentemente in calotta, dove lo scavo determina l'annullamento del confinamento dell'eventuale blocco instabile.

Naturalmente, il fenomeno è strettamente legato alla persistenza dei sistemi di discontinuità che concorrono all'isolamento del blocco stesso.

In Figura 13 sono illustrati i due meccanismi di instabilità che possono verificarsi al contorno di una galleria. Nel primo caso, l'instabilità del blocco si manifesta con lo scivolamento del prisma lungo una delle superfici di discontinuità. Il verificarsi del meccanismo è dunque strettamente correlato alle caratteristiche di rugosità della superficie di scivolamento.

Il secondo caso descrive invece l'instabilità di un blocco in calotta: come è evidente dal disegno, in questo caso il movimento del cuneo è strettamente correlato alla gravità e alla possibile cementazione dei giunti, non vi è alcun tipo di interazione attrittiva tra discontinuità, il blocco cade in relazione al volume che lo caratterizza, e quindi al peso proprio.

L'analisi realizzata considera entrambi i meccanismi di instabilità, e per ciascun blocco individuato valuta il corrispondente fattore di sicurezza calcolato tenendo conto delle resistenze in gioco.

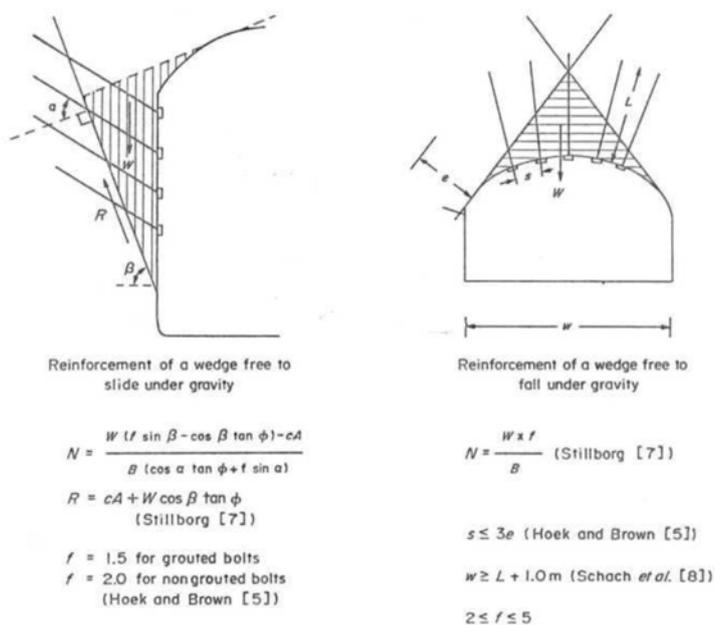


Figura 13 – Meccanismi di instabilità di cunei di roccia al contorno galleria

La direzione di scavo risulta fondamentale nei riguardi della formazione di cunei instabili in quanto può influenzare in maniera evidente il volume dei blocchi isolati. Per ciascuna galleria si è dunque proceduto ad evidenziare zone omogenee caratterizzate da una direzione di avanzamento pressoché costante, rispetto alle quali definire tridimensionalmente i possibili blocchi di roccia:

Galleria	Tratta omogenea	Direzione media di avanzamento
Truncafila	tutta la galleria	340°
Caddame	I	265°
	II	285°
Occhipinti	I	260°
	II	210°

Si considerano i cunei che le famiglie di discontinuità possono isolare sia al contorno galleria, sia in corrispondenza del fronte di avanzamento. Quest'ultima analisi viene realizzata considerando, per una tratta di galleria limitata, i fronti di scavo alle due estremità, al fine di considerare la possibilità che l'avanzamento si realizzi dall'imbocco est o ovest.

Si precisa che il metodo di analisi si considera quali dati di ingresso la giacitura delle discontinuità e le caratteristiche di resistenza lungo le pareti del giunto.

Il volume dei possibili cunei di roccia è però fortemente influenzato anche dalla persistenza delle discontinuità, ovvero dall'estensione spaziale della traccia della discontinuità.

Questa informazione, per quanto monodimensionale, può derivare dalla semplice osservazione della lunghezza delle tracce dei giunti in corrispondenza di un affioramento roccioso. Nel caso in esame, si assume una lunghezza delle tracce dei giunti dei sistemi k e j pari a 3 m per tutte le analisi realizzate.

Tale informazione, dunque, deve essere inserita quale fattore limitante il volume dei cunei nel modello di calcolo.

Nei paragrafi seguenti si propongono i risultati ottenuti dall'analisi tridimensionale dei cunei di roccia in relazione alla direzione di avanzamento, per tutte le gallerie naturali in progetto.

5.2.2. Galleria Caddame

Le stazioni geomeccaniche di riferimento per l'individuazione delle caratteristiche medie dei sistemi di discontinuità sono i rilievi ST7 ed ST8.

Nella seguente tabella si elencano le caratteristiche medie di giacitura e condizioni dei giunti che sono state associate alle superfici di strato e alle famiglie di discontinuità k e j:

Famiglia	Immersione	Inclinazione	JRC
sc	300	5	9
k	145	85	7
j	75	85	7

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 25
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

La galleria in esame presenta un'estensione lineare di circa 2 km. L'analisi è stata quindi realizzata suddividendo il tracciato della galleria in due tratte a direzione omogenea:

Tratta	Direzione media	Progressive (approssimate)
I	265°	0+150 - 1+500 km
II	285°	1+500 - 2+250 km

Si assume cautelativamente un valore di resistenza a compressione lungo le superfici di discontinuità pari a 30 MPa, più ridotto rispetto a quello rilevato in campagna con martello di Schmidt.

L'angolo di attrito di base è posto pari a 30°.

Le Figura 14 e Figura 15 presentano i risultati dell'analisi condotto per la Galleria Caddame.

I risultati relativi alle due tratte sono piuttosto uniformi, evidenziando entrambi la possibile formazione di due cunei di roccia instabili al contorno di scavo, denominati 4s e 6s, caratterizzati da un volume mediamente superiore al metro cubo.

Anche in questo caso, dunque, al fine di ridurre i fuori sagoma in calotta, si dovrà necessariamente prevedere il sostegno dei prismi instabili mediante bullonatura.

Per quanto riguarda il fronte di scavo, in entrambe le direzioni di avanzamento si isoleranno prismi rocciosi di volume ridotto, 9s e 10s, da eliminare mediante semplice disaggio.

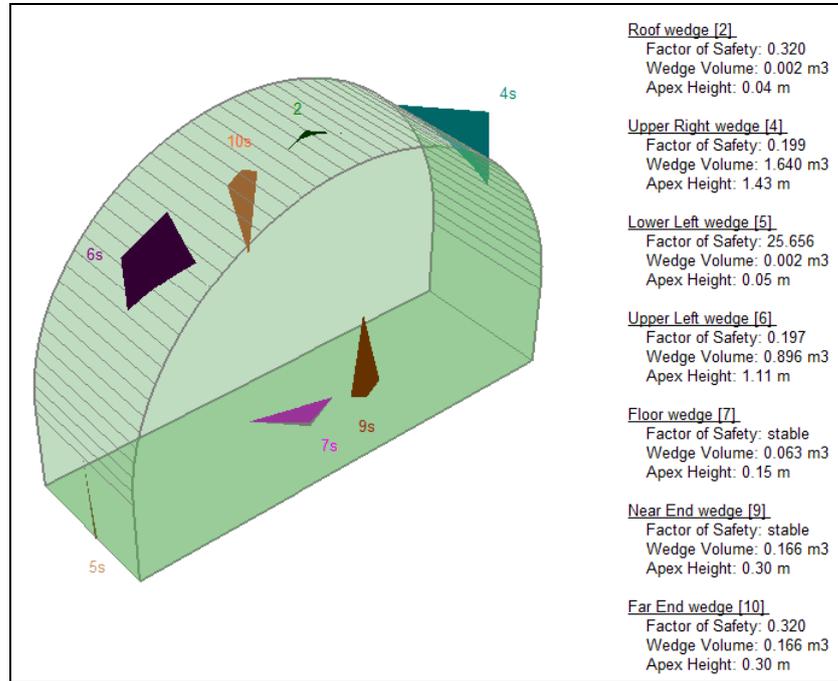


Figura 14 - Possibili cunei instabili, galleria Caddame, per il tratto I con direzione media di avanzamento pari a 265°

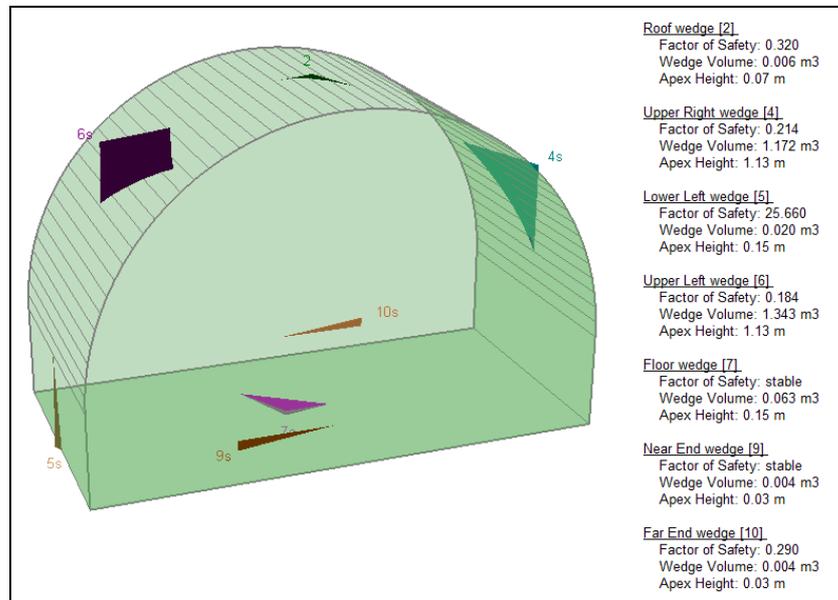


Figura 15 - Possibili cunei instabili, galleria Caddame, per il tratto II con direzione media di avanzamento pari a 285°

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 27
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev						

5.2.3. Galleria Occhipinti

L'analisi dei cunei di roccia per la Galleria Occhipinti è stata realizzata considerando le caratteristiche medie delle discontinuità rilevate nel corso dei rilievi geomeccanici ST8 e ST9:

Famiglia	Immersione	Inclinazione	JRC
sc	300	5	8
k	140	87	9
j	80	85	7

La galleria presenta un'estensione lineare di circa 2 km, con una curvatura abbastanza accentuata nella parte centrale. L'analisi è stata dunque realizzata suddividendo il tracciato della galleria in due tratti a direzione di avanzamento circa costante:

Tratto	Direzione media	Progressiva (approssimate)
I	260°	3+000 – 3+800 km
II	210°	3+800 – 4+700 km

Si assume cautelativamente un valore di resistenza a compressione lungo le superfici di discontinuità pari a 30 MPa, più ridotto rispetto a quello rilevato in campagna con martello di Schmidt.

L'angolo di attrito di base è posto pari a 30°.

In Figura 16 e Figura 17 sono illustrati i possibili cunei di roccia isolati dalle discontinuità dell'ammasso roccioso in corrispondenza della Galleria Occhipinti, per le due tratte a direzione omogenea di scavo. Gli eventuali cunei al fronte risultano del tutto trascurabili in entrambe le analisi. I possibili fenomeni di instabilità si verificheranno in corrispondenza del contorno di scavo, ed in particolare in calotta, laddove si prevede la formazione di cunei di volume compreso fra 1 e 1.3 m³ nel caso in cui l'avanzamento si verifichi con direzione 260° rispetto al nord, dell'ordine di 0.3-0.8 m³ per un avanzamento con direzione 210°.

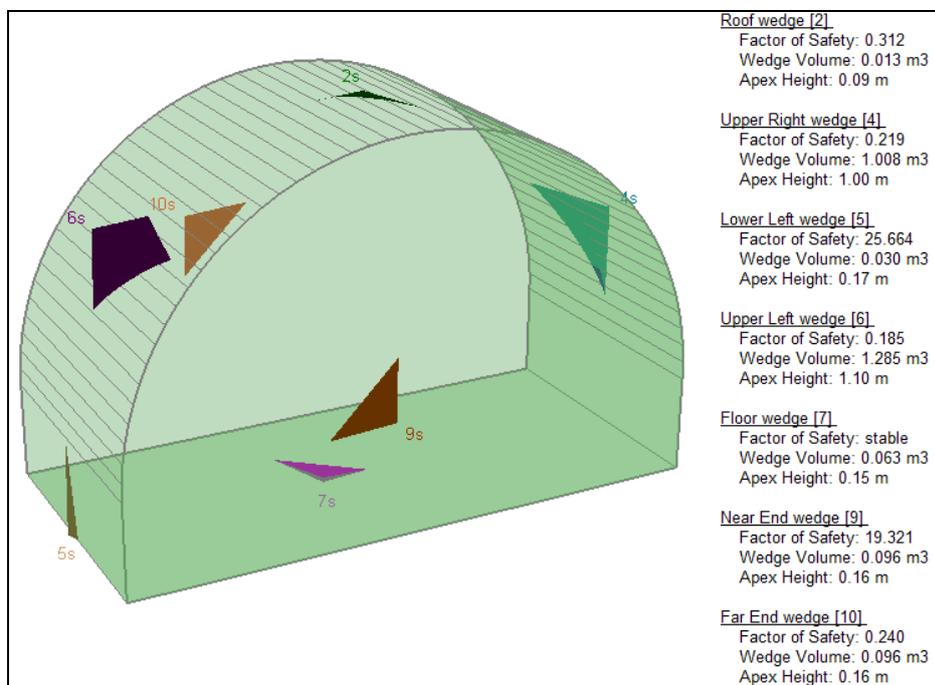


Figura 16 - Possibili cunei instabili, galleria Occhipinti, per il tratto I con direzione media di avanzamento pari a 260°

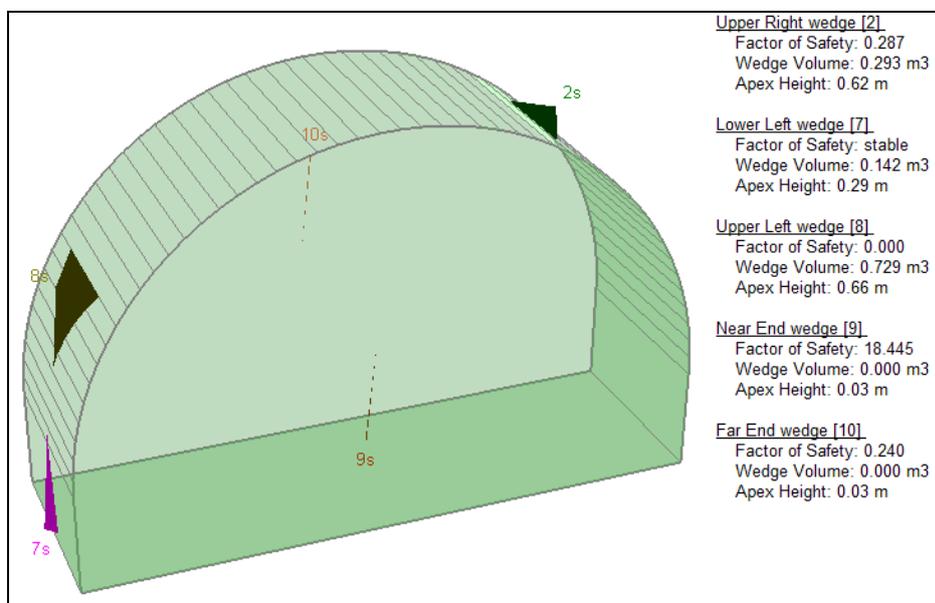


Figura 17 - Possibili cunei instabili, galleria Occhipinti, per il tratto II con direzione media di avanzamento pari a 210°

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 29
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev						

5.2.4. Considerazioni conclusive – Interventi di stabilizzazione

Le analisi presentate ai paragrafi precedenti hanno permesso di individuare, per tutte le gallerie in progetto, e al variare della direzione di avanzamento, i possibili cunei, definendone per ciascun caso posizione, geometria e volume, oltre che il corrispondente fattore di sicurezza.

Osservando le analisi nel complesso, si può concludere che per tutte le gallerie i possibili cunei instabili si collocano in calotta, in posizioni analoghe anche al variare della direzione di avanzamento, con volumi variabili fra un minimo di 0.3 m³ fino ad un massimo di 1.6 m³.

Al fronte di scavo i possibili blocchi di roccia isolati dai giunti presentano generalmente volumi ridotti, inferiori a 0.35 m³.

La probabilità che tali blocchi possano cadere è proporzionale alla presenza di ponti di roccia o strati di cementazione fra i giunti.

In termini generali, tutti i blocchi evidenziati dalle analisi, nel caso in cui non si movimentino in seguito alle vibrazioni indotte dallo scavo, dovranno essere eliminati mediante disaggio oppure stabilizzati per garantire la sicurezza delle maestranze nelle operazioni di cantiere.

I blocchi di volume ridotto, inferiore a 0.5 m³, verranno movimentati mediante disaggio, mentre i blocchi di volume maggiore dovranno essere stabilizzati nella loro posizione originaria mediante bullonatura.

Per ridurre i tempi di installazione e garantire una istantanea azione stabilizzante, si potranno utilizzare bulloni ad aderenza continua tipo Swellex, già previsti nell'ambito della sezione tipo di avanzamento Ab.

Considerato che la massima estensione dei cunei instabili è pari a 1.5 m, e che il volume massimo dei cunei è pari a 1.7 m³, è possibile valutare la lunghezza che il bullone dovrà avere per garantire una resistenza a sfilamento sufficiente a sostenere il prisma di roccia instabile con un adeguato fattore di sicurezza.

La roccia calcarea della Formazione Ragusa presenta un peso specifico pari a 23 kN/m³, il peso massimo dei cunei instabili in calotta è dunque pari a:

$$W = \gamma \cdot V = 23 \cdot 1.7 = 39 \text{ kN}$$

Se ammettiamo che la massima forza a cui è soggetto il bullone è pari a W, e che la resistenza laterale attrittiva del bullone è pari a 120 kN/m, la lunghezza resistente che il bullone dovrà avere per garantire la stabilità del cuneo è pari a:

$$L_{\text{resistente}} = \frac{W \cdot F_s}{R_L} = \frac{39 \cdot 2}{120} \cong 0.7 \text{ m}$$

La lunghezza attiva è data dalla massima estensione del cuneo instabile, in direzione ortogonale al profilo di scavo, ovvero 1.5 m circa, di conseguenza la minima lunghezza del bullone necessaria a garantire la stabilità del blocco è pari a:

$$L_{TOT} = L_{resistente} + L_{blocco} = 0.7 + 1.5 = 2.2m$$

Considerata l'approssimazione della metodologia adottata, si adotteranno bulloni Swellex con lunghezza 2.5 m, la cui installazione consentirà di portare al di sopra dell'unità i coefficienti di sicurezza di tutti i blocchi instabili in calotta, come visibile a titolo di esempio in Figura 18 e Figura 19, per le Gallerie Occhipinti e Caddame, che presentavano le maggiori volumetrie dei blocchi di roccia instabili.

La tratta di galleria analizzata presenta una lunghezza pari a 3 metri, corrispondente alla lunghezza delle tracce delle discontinuità appartenenti alle famiglie k e j, di conseguenza tale lunghezza rappresenta anche la spaziatura in direzione longitudinale fra due successivi cunei instabili.

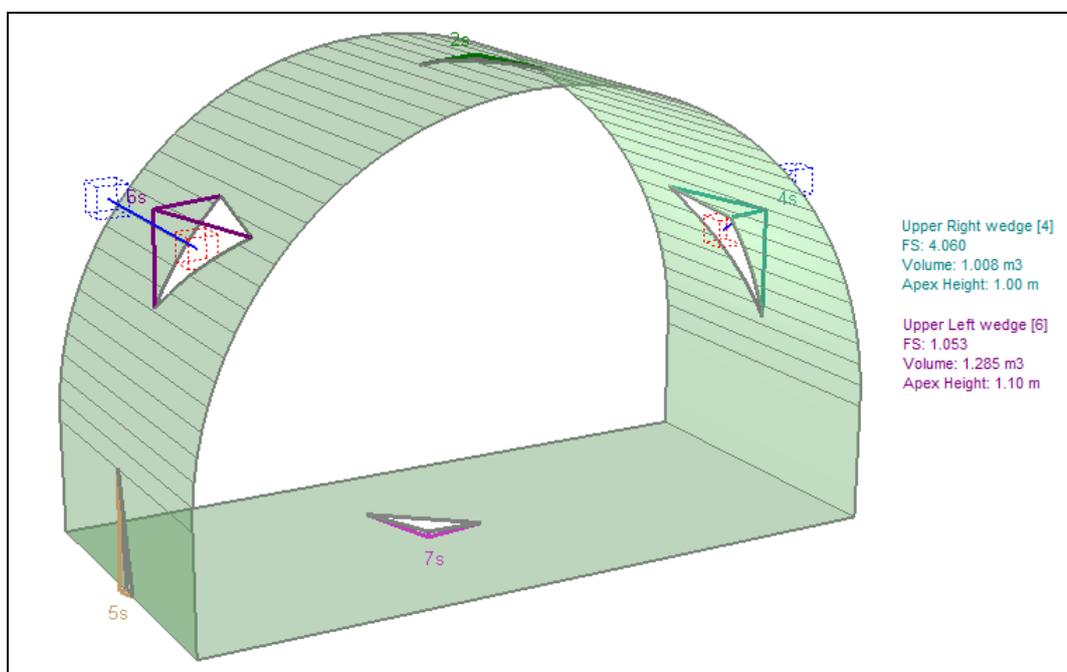


Figura 18 – Galleria Occhipinti, Fs dei cunei instabili dopo la posa dei bulloni Swellex

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 31
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.	Rev							

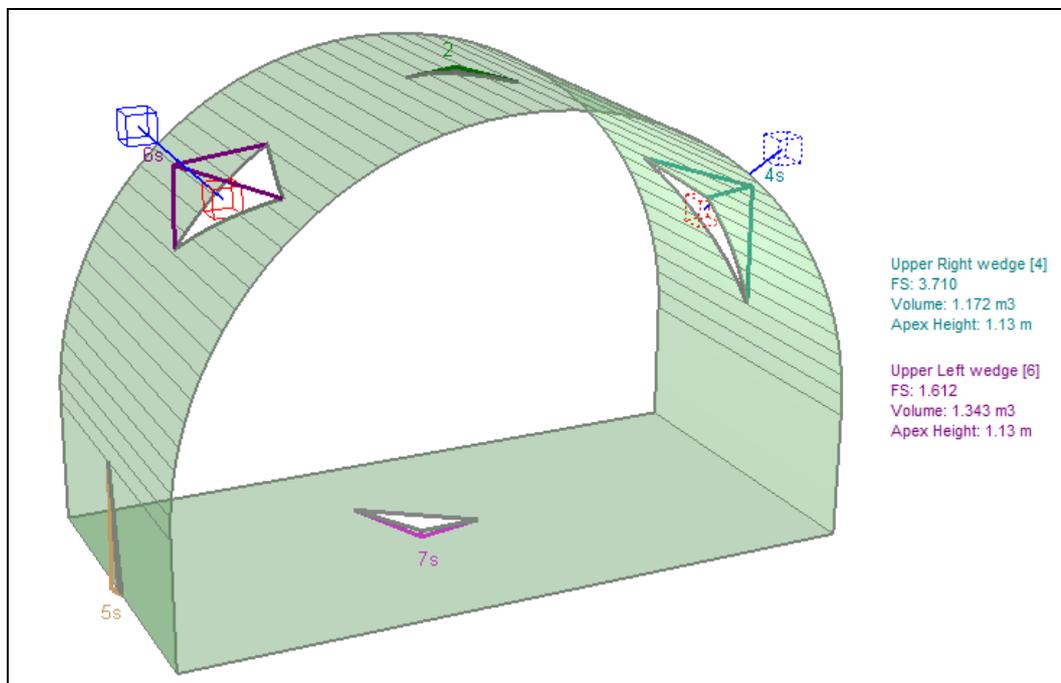


Figura 19 – Galleria Caddame, Fs dei cunei instabili dopo la posa dei bulloni Swellex

5.3. Stabilità dei cunei di roccia in trincea

Il lotto 11 presenta un esteso tratto in trincea, che si colloca a fine lotto e si estende per un tratto di circa 2 km nei calcari della Formazione Ragusa. La sezione di scavo presenta un'altezza media di 6 m, con scarpate modellate mantenendo una pendenza di 1:5, con berme orizzontali di 1 m di larghezza ogni 5 metri di altezza.

In questa zona i calcari sono sempre sub affioranti, con copertura detritica di potenza centimetrica o decimetrica.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 32
	Pr	Strada			Lotto	Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.		Rev							



Figura 20 – Affioramento delle teste dei calcari nella zona in cui si realizzerà la trincea

Le scarpate in calcare di Ragusa, come evidenziato dalle analisi di stabilità presentate sia nelle relazioni di dettaglio relative agli imbocchi ad attacco diretto delle gallerie naturali, sia nella Relazione Geomeccanica, non richiedono alcun intervento di stabilizzazione in relazione alla stabilità globale della scarpata. Le uniche problematiche potranno essere connesse alla presenza di blocchi rocciosi isolati dal resto della massa retrostante, che potranno instabilizzarsi in fase di scavo e risultare pericolosi per le maestranze. A tale scopo, in fase di realizzazione delle trincee, dovranno essere previsti i seguenti interventi di sistemazione:

- rimodellazione del versante
- disaggancio di sicurezza
- eventuale posa di bulloni metallici

Le analisi presentate nel presente capitolo hanno la finalità di individuare tridimensionalmente la possibile presenza di blocchi instabili, ed eventualmente definire le caratteristiche degli interventi di bullonatura necessari per il sostegno della scarpata dal punto di vista della stabilità locale.

5.3.1. Rilievi geomeccanici di riferimento

L'analisi tridimensionale dei possibili cunei di roccia instabile ha quale riferimento i dati raccolti nel corso dei rilievi geostrutturali realizzati su affioramenti calcarei posti in prossimità del tracciato.

Per quanto riguarda il tratto in trincea posto al termine del Lotto 11, si prendono a riferimento i rilievi ST9 e ST10, realizzati in corrispondenza di Contrada Pulce nella zona prossima alla strada regionale n.863 Ficazza-Palma.

I rilievi ST9 e ST10 analizzano la stessa scarpata calcarea in due tratti diversi. Globalmente, la scarpata è caratterizzata da una stratificazione sub orizzontale, con leggera componente a reggipoggio (inclinazione 4-5°), e presenta chiaramente due sistemi di discontinuità principali pressappoco ortogonali fra loro e sub verticali. In Figura 21 sono messi a confronto i due diagrammi di Schmidt relativi ai due rilievi considerati: si noti l’analogia in termini di giacitura delle discontinuità rilevate.

Le famiglie di discontinuità sono caratterizzate da superfici lisce-ondulate con valori di JRC variabili fra 6 e 12 in relazione alla famiglia di discontinuità, giunti chiusi o con apertura inferiore al centimetro, generalmente asciutti.

In tabella si forniscono i dati giacaturali dei piani di strato, e delle due famiglie di discontinuità, e i corrispondenti valori di spaziatura media e indice di rugosità JRC definito a partire dai profili delle superfici di discontinuità rilevati con il pettine di Barton:

Famiglia	Immersione	Inclinazione	JRC	Spaziatura media
sc	280°	5°	8	48 cm
k	145°	85°	10	105 cm
j	75°	85°	10	60-160 cm

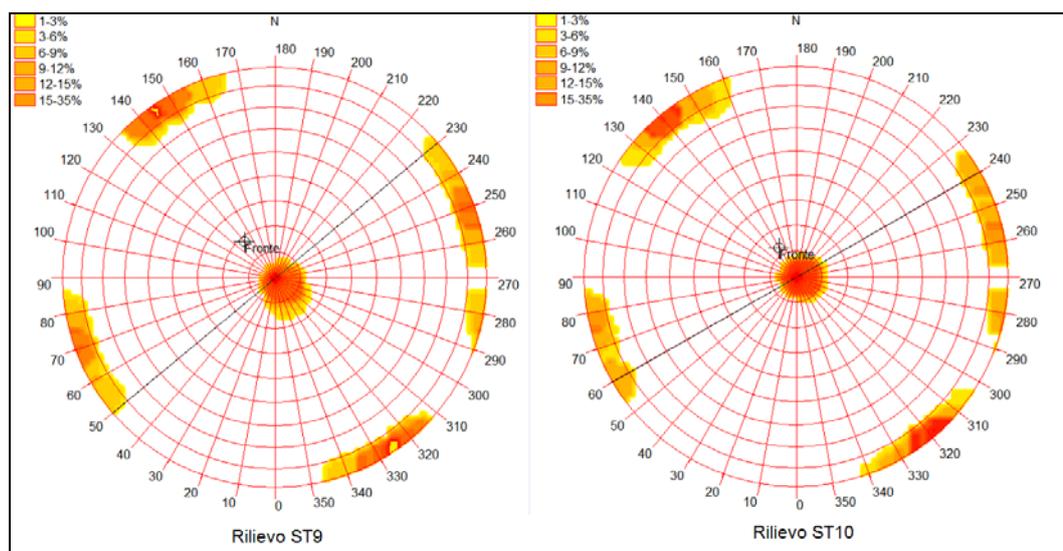


Figura 21 – Diagrammi di Schmidt relativi alle stazioni geostrutturali ST9 e ST10

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 34
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev					

5.3.2. Analisi di stabilità

L'individuazione dei possibili blocchi instabili lungo le scarpate delle trincee in roccia è stata realizzata utilizzando la stessa metodologia messa in opera per l'analisi di stabilità in galleria. L'analisi fa riferimento alla tratta in trincea di circa 2000 m posta a chiusura del Lotto 11.

In Figura 22 si presenta l'intero tracciato dei Lotti 10 e 11, con la posizione delle stazioni di rilievo geostrutturale e delle tratte in trincea. La tratta di trincea relativa al lotto 11 è stata a sua volta suddivisa in tre spezzoni, denominati c, d ed e, in cui la direzione del tracciato risulta all'incirca costante in relazione al nord geografico. In particolare, in corrispondenza dei tratti c il tracciato autostradale forma un angolo di circa 230° con il nord, nel tratto d l'angolo di sfasamento è circa pari a 270° , nell'ultimo tratto e l'angolo tra il nord ed il tracciato è pari a 320° .

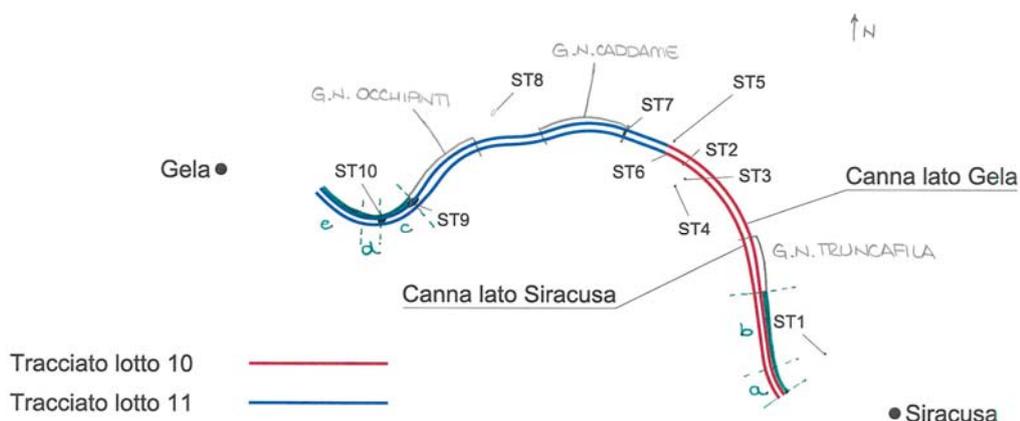


Figura 22 – *Suddivisione dei tratti in trincea in tratte a direzione di avanzamento costante*

L'analisi viene realizzata considerando la sezione media di un tratto in trincea, caratterizzato da due tratti di scarpata 1:5 con una berma orizzontale a metà altezza. Si realizza un'analogia con la sezione di scavo in galleria, in modo che le scarpate laterali con pendenza 1:5 rappresentino i piedritti della sezione di scavo, mentre calotta e arco rovescio vengono fittiziamente modellati come superfici orizzontali, Figura 23. La larghezza della carreggiata stradale è assunta pari a 55 metri complessivi.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 35
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

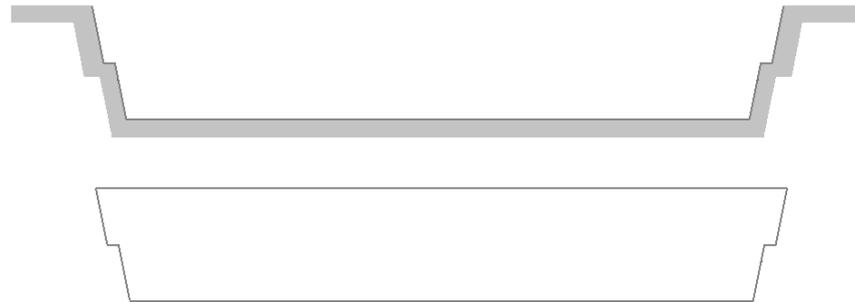


Figura 23 – Analogia tra la trincea ed la “sezione di scavo” adottata per le analisi

La direzione di scavo è posta alternativamente pari a 230°, 270° e 320° per analizzare le condizioni di stabilità dei tratti c, d ed e.

Analogamente a quanto fatto per le tratte in galleria, si assume una persistenza massima per le due famiglie di discontinuità pari a 3 m.

Cautelativamente si assumono i seguenti dati:

$$\sigma_c = 30MPa$$

$$\phi_{base} = 30^\circ$$

Di seguito si presentano i risultati della modellazione per quanto riguarda il tratto c:

Come è possibile osservare dalle immagini presentate, Figura 24, la stratificazione sub orizzontale del calcare determina l’isolamento di blocchi di volume ridotto, in perfetto accordo con l’analisi statistica delle spazature realizzata nell’ambito dei rilievi ST9 e ST10, che evidenzia un volume medio dei blocchi potenzialmente instabili pari a 0.35-0.69 m³, con un massimo di 0.58-0.95 m³.

Osservando il fattore di sicurezza associato al blocco denominato 1s, è chiaro come la tratta in questione non possa andare incontro a problemi rilevanti di instabilità locali di cunei. Sarà comunque buona prassi realizzare un disaggio di sicurezza lungo i versanti rocciosi di conserva con l’approfondimento della trincea, per scongiurare eventuali cadute di piccoli blocchi nell’area di cantiere.



Figura 24 – Possibili cunei di roccia, tratto c

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 36
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

Nella figura sottostante, Figura 25, si propongono gli stessi risultati dell'analisi dei tratti c, ottenuti questa volta portando a 15° l'angolo di inclinazione associato alla stratificazione della roccia. I risultati sono del tutto analoghi a quelli precedenti, il blocco 1s subisce un incremento di volume, ma il fattore di sicurezza ad esso associato è comunque elevato e ne garantisce la stabilità.



Figura 25 – Possibili cunei di roccia in presenza di una stratificazione inclinata di 15°, per i tratti a

In Figura 26 e Figura 27 sono riportati i risultati dell'analisi tridimensionale dei cunei di roccia in corrispondenza dei tratti d ed e: si osserva come in questo caso il volume dei possibili blocchi isolati dalla massa rocciosa dalle discontinuità in essa presenti aumenti in modo significativo, i blocchi presentano un volume variabile fra 1.4 e 2 m³. La stabilità di tutti i blocchi, vista la stratificazione sub orizzontale della roccia, è comunque garantita.

Infine in Figura 28 si riportano i risultati della stessa analisi, effettuata considerando una direzione di avanzamento di 210°: anche in questa configurazione si registrano blocchi di volume ben superiore al metro cubo.

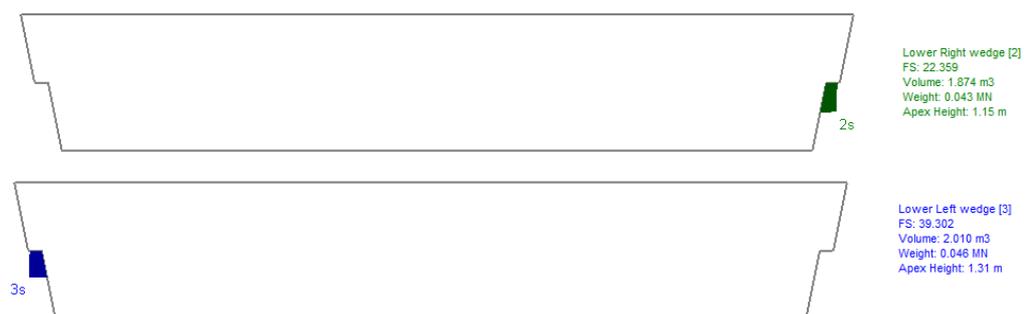


Figura 26 - Possibili cunei di roccia, tratti d

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 37
	Pr	Strada			Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab	N. Elab.	Rev							

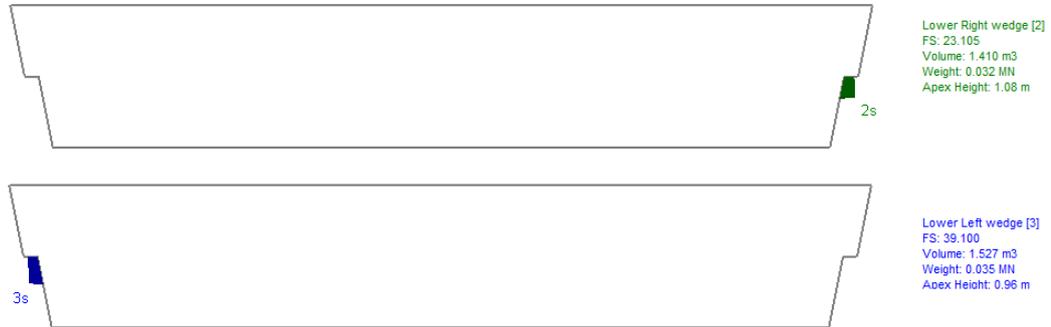


Figura 27 – Possibili cunei di roccia, tratti e



Figura 28 – Possibili cunei di roccia in un tratto e in cui l'avanzamento venga realizzato con una direzione di 210° rispetto al nord

5.3.3. Considerazioni conclusive

Alla luce di questi risultati possiamo affermare che, in funzione delle giaciture medie delle discontinuità rilevate in campagna, la zona di trincea del Lotto 11 che può presentare maggiori criticità dal punto di vista della stabilità locale di singoli cunei di roccia è quella indicata come tratto d ed e, in corrispondenza della quale la disposizione spaziale delle discontinuità in relazione alle scarpate determina la formazione di cunei di roccia di volume compreso fra 1 e 2 m³. Tali blocchi sono sempre isolati dal resto dell'ammasso roccioso inferiormente dai piani di strato, sub orizzontali, e presentano quindi un fattore di sicurezza elevato.

I possibili distacchi e fenomeni di instabilità non sono quindi legati ad una configurazione statica, ma potranno essere dovuti esclusivamente a vibrazioni indotte dalle operazioni di cantiere e/o di abbattimento della roccia. Tali blocchi, distinguibili visivamente in fase di approfondimento dei piani di scavo, potranno essere trattati con due modalità:

- disaggio di sicurezza di conserva con le operazioni di scavo, per blocchi di volume inferiore al metro cubo;
- bullonatura locale con ancoraggi puntuali nel caso di blocchi superiore a 1 m³.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 38
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

5.4. Note conclusive

Nel presente capitolo si sono presentati i risultati dell'analisi tridimensionale dei possibili cunei di roccia che l'associazione dei sistemi di discontinuità che costituiscono l'ammasso roccioso con il profilo di scavo possono isolare al contorno delle gallerie naturali e delle trincee previste in progetto.

Le analisi sono state realizzate per le due gallerie naturali che ricadono nel Lotto 11 dell'Autostrada Siracusa-Gela, e per il tratto in trincea a maggiore estensione, posizionato nella parte terminale del lotto.

Per quanto riguarda le gallerie naturali, le analisi hanno permesso di individuare, al variare della direzione di avanzamento, i possibili cunei di roccia instabile, definendone per ciascun caso posizione, geometria e volume, oltre che il corrispondente fattore di sicurezza.

Considerando in modo congiunto tutti i risultati, si può concludere che per tutte le gallerie i possibili cunei instabili si collocano in calotta, in posizioni analoghe anche al variare della direzione di avanzamento. I possibili blocchi isolati dal resto della massa rocciosa presentano volumi generalmente ridotti, variabili fra un minimo di 0.3 m^3 fino ad un massimo di 1.6 m^3 . Tendenzialmente, si osserva che i blocchi di volume maggiore tendono a formarsi quando la direzione media di avanzamento della galleria varia nell'intervallo $260\text{-}360^\circ$.

La probabilità che tali blocchi possano cadere è comunque proporzionale alla presenza di ponti di roccia o strati di cementazione fra i giunti.

Al fronte di scavo i possibili blocchi di roccia isolati dai giunti presentano generalmente volumi ridotti, inferiori a 0.35 m^3 , indipendentemente dalla direzione di avanzamento considerata.

In termini generali, tutti i blocchi evidenziati dalle analisi, nel caso in cui non si movimentino in seguito alle vibrazioni indotte dallo scavo, sono caratterizzati da fattori di sicurezza inferiori all'unità, e dovranno quindi essere eliminati mediante disaggio oppure stabilizzati in loco per garantire la sicurezza delle maestranze nelle operazioni di cantiere.

I blocchi di volume ridotto, inferiore a 0.5 m^3 , verranno movimentati mediante disaggio, mentre i blocchi di volume maggiore dovranno essere stabilizzati nella loro posizione originaria mediante bullonatura.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 39
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

Per ridurre i tempi di installazione e garantire un'istantanea azione stabilizzante, si potranno utilizzare bulloni ad aderenza continua tipo Swellex, già previsti nell'ambito della sezione tipo di avanzamento Ab.

Questi bulloni dovranno essere disponibili in cantiere e utilizzati a stabilizzazione di singoli cunei di roccia individuati mediante semplice osservazione del fronte e del contorno di scavo. Si sottolinea infatti che l'eventuale impiego di singoli bulloni a sostegno di blocchi di roccia isolati non sostituisce la successiva messa in opera dei rivestimenti di prima fase, ma rappresenta un passo preliminare di cucitura di singoli cunei di roccia, volto a garantire la sicurezza delle maestranze proprio nell'intervallo che intercorre tra l'allontanamento dello smarino dal fronte e l'installazione dei sostegni di prima fase.

I bulloni dovranno presentare una lunghezza minima pari a 2.5 m, la cui installazione consentirà di portare al di sopra dell'unità i coefficienti di sicurezza di tutti i blocchi instabili in calotta.

Le analisi realizzate in corrispondenza del più esteso tratto in trincea del lotto hanno evidenziato la sostanziale stabilità di tutti i blocchi di roccia che si potrebbero formare lungo i versanti rocciosi. Le condizioni di sicurezza in questi tratti dovrebbero quindi essere garantite prevedendo un disgaggio sistematico dei versanti di conserva con l'approfondimento del piano di scavo.

Nel caso in cui sia necessario ricorrere a bullonatura di cunei di roccia lungo i versanti delle trincee, si potrà ricorrere, a differenza di quanto previsto in galleria, a bulloni a cementazione lungo foro, che consentono di cucire il blocco alla massa rocciosa retrostante, garantendo un'azione stabilizzante a lungo termine. Tale differenziazione è legata alla durata dell'azione di stabilizzazione che il bullone deve garantire:

- nel caso di una galleria, infatti, l'impiego del bullone è strettamente legato ad un'azione di cucitura di blocchi instabili a breve termine. Il bullone, dunque, deve stabilizzare il blocco fintanto che i sostegni preliminari non siano stati messi in opera, la sua azione è quindi limitata in un intervallo temporale ridotto. L'uso di bulloni Swellex in questo caso risulta la scelta più idonea, il bullone appena installato entra subito in azione per attrito laterale, non necessitando di alcuna cementazione in foro. Inoltre questa tipologia di sostegno prevede tempi di messa in opera molto ridotti;

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 40
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

- nei versanti in trincea, invece, l'azione stabilizzante del bullone deve essere garantita per un tempo maggiore, corrispondente al raggiungimento della fase di sistemazione finale nel caso di tratti in trincea in cui le pendenze di scavo sono differenti da quelle previste nell'ambito del progetto stradale, a lungo termine anche in fase di esercizio dell'autostrada per le trincee che non subiranno modifiche geometriche di sistemazione definitiva. Il bullone Swellex, non prevedendo alcuna cementazione lungo foro, non garantisce una stabilizzazione a lungo termine: nei tratti all'aperto, dunque, è consigliabile ricorrere a bulloni passivi a cementazione lungo foro, che ne garantisce la protezione dal contatto con l'acqua.

Indipendentemente dalla tipologia del bullone di sostegno utilizzato, ogni bullone dovrà essere corredato da una piastra di ripartizione in testa, che consenta di distribuire su una superficie più estesa l'azione stabilizzante del sostegno.

 PROGETTA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 41
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera			Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev						

6. CONCLUSIONI

Nella presente relazione si sono analizzate alcune tematiche particolari che riguardano lo scavo delle trincee e delle gallerie naturali previste nell'ambito del lotto 11 del Progetto Esecutivo dell'Autostrada Siracusa-Gela.

Il primo capitolo fa riferimento alla valutazione, per i diversi litotipi interessati dallo scavo, della metodologia di abbattimento più idonea in termini di compatibilità con le caratteristiche geomeccaniche della roccia, e tempi realizzativi. Si sono considerate tre diverse metodologie di abbattimento, due di tipo meccanico, quali il martellone e la fresa puntuale, e l'abbattimento mediante l'impiego di esplosivo in microcariche.

L'analisi ha portato a risultati differenti per i due litotipi interessati dallo scavo:

- per quanto riguarda le marne argillose del Tellaro, la scarsa resistenza a compressione della matrice rocciosa determina la necessità di ricorrere ad un abbattimento meccanico, che dovrà essere realizzato con martellone, in quanto la fresa puntuale potrebbe presentare produzioni ridotte in ragione di un comportamento plastico della roccia, soprattutto in presenza di acqua;
- per quanto riguarda i calcari della Formazione Ragusa, la media resistenza a compressione della matrice rocciosa e la possibilità di realizzare sfondi di avanzamento di lunghezza pari a 3-5 m autostabili rende più vantaggioso l'impiego dell'esplosivo. Non si esclude comunque il ricorso a martellone in quelle zone in cui l'accentuata stratificazione della roccia possa rendere vantaggiosa tale tipologia di abbattimento, sfruttando i piani di debolezza che caratterizzano la matrice rocciosa.

La scelta del metodo di scavo presenta ricadute sia in termini organizzativi del cantiere, sia in termini di durata complessiva delle operazioni di scavo, ma influenza anche la granulometria e qualità dell'abbattuto. Alla luce di questa considerazione, nella presente relazione si sono proposte le possibili curve granulometriche relative ai due litotipi oggetto di scavo, in relazione alla modalità di abbattimento adottata.

Infine, per le sole tratte in cui lo scavo viene realizzato nei calcari della Formazione Ragusa, caratterizzati generalmente da un comportamento pressoché elastico e da scavi autoportanti, si è analizzata la stabilità locale dei cunei di roccia che l'associazione dei piani di strato, dei sistemi di discontinuità e le pareti di scavo possono isolare dal resto della massa rocciosa. Tali blocchi, che verranno individuati in fase di scavo dall'osservazione attenta del contorno galleria e delle scarpate laterali nelle aree di

 TECNOFERRA	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	G	E	T	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 42
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

trincea, dovranno essere distaccati mediante disgaggio, se di ridotte dimensioni, oppure stabilizzati mediante bullonatura. In questo modo sarà possibile garantire i necessari livelli di sicurezza per i lavoratori e le macchine sia al fronte di scavo in galleria, sia in fase di approfondimento del piano di scavo nei tratti in trincea.