

CAVA NUOVA BARTOLINA S. r. l.

GAVORRANO (GROSSETO)

CAVA “POGGIO GIROTONDO”

**PROGETTO DI COLTIVAZIONE
E RECUPERO AMBIENTALE**

(Ai sensi del. G.R. 11/02/2002 n° 138, punto 5)

VARIANTE IN AMPLIAMENTO

Agosto 2009

ALLEGATO 1

**RELAZIONE GEOSTRUTTURALE E GEOMECCANICA
E VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO**

Art. 52 D.Lgs. 624/1996

APPENDICE 2 – VERIFICHE DI STABILITÀ NUMERICHE

**G e o s t u d i o
DR. MAURO ROCCHI**

**Consulenze geologiche, ambientali e minerarie
Indagini geotecniche * Prospezioni geofisiche**

INDICE

- 1. PREMESSA**
- 2. FRONTE SUD**
- 3. FRONTE EST**
- 4. FRONTE NORD**
- 5. FRONTE SUD-OVEST**

1 PREMESSA

Le geometrie di instabilità critiche riscontrate a livello geometrico-cinematico (Allegato I) sono state verificate ulteriormente applicando dei codici di calcolo basati sul metodo dell'equilibrio limite nelle classiche formulazioni di Hoek & Bray, 1981, per geometrie cuneiformi (Wedge Failure analysis) e di scivolamento planare (Plane Failure Analysis) . Per la verifica di stabilità dell'intero versante di cava sono state considerate le geometrie cuneiformi più ricorrenti identificate con l'analisi geometrica. I parametri geomeccanici sono stati scelti come i più cautelativi in considerazione delle caratteristiche scadenti di gran parte dell'ammasso .

LEGENDA DEI SIMBOLI

Parametri di resistenza al taglio

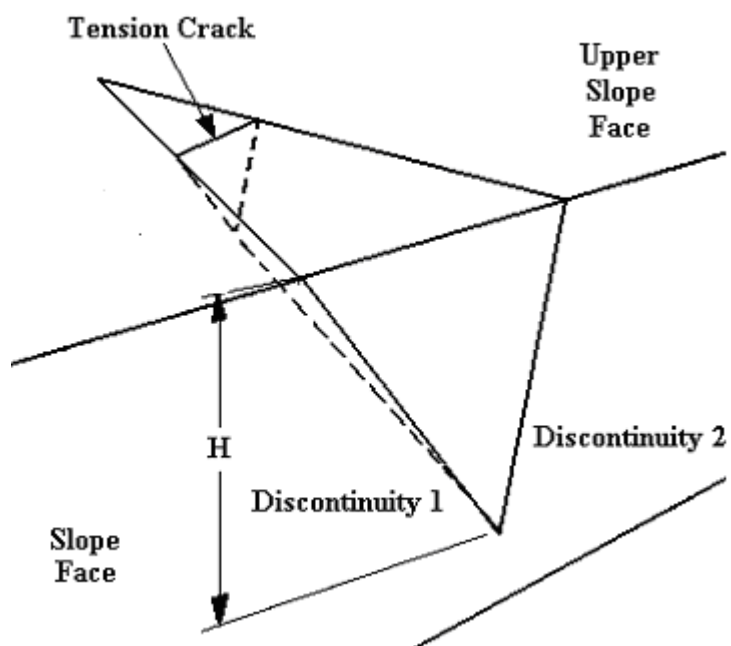
ϕ = angolo di attrito interno (°)
 γ = peso di volume (KN/mc)
 c = coesione (KPa)

Coefficiente di sicurezza

FSd= drenato
FSs= saturo (completa saturazione all'interno delle discontinuità)
FSps= parzialmente saturo (50% dell'altezza d'acqua nelle discontinuità)

SCIVOLAMENTI DI CUNEI

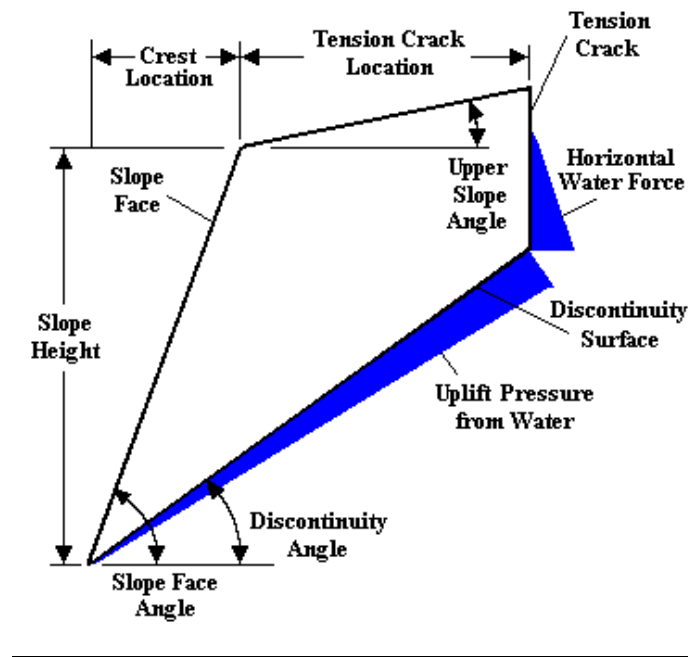
Si considera la geometria cuneiforme individuata dalla intersezione di due discontinuità con o senza frattura di trazione a monte. Il vettore che si sviluppa in coincidenza con l'intersezione rappresenta il vettore scivolamento. La formulazione numerica all'equilibrio limite è quella classica di Hoek e Bray, 1981.



SCIVOLAMENTI PLANARI

Si considera la geometria di scivolamento planare lungo una singola discontinuità a franapoggio isolata lateralmente ed eventualmente a monte da altre discontinuità. La formulazione numerica all'equilibrio limite è quella classica di Hoek e Bray, 1981. Le condizioni generali a cui deve sottostare la verifica di stabilità sono di seguito riportate.

La verifica è stata effettuata solo per gli scivolamenti planari che soddisfano tali condizioni.



The Plane Failure Analysis Module is a modification of the plane failure analysis by Hoek and Bray (1981).

General conditions for plane failure:

In order that sliding should occur on a single plane, the following geometrical conditions must be satisfied:

- The plane on which sliding occurs must strike parallel or nearly parallel (within approximately 20 degrees) to the slope face.
- The failure plane must 'daylight' in the slope face. This means that its dip must be smaller than the dip of the slope face.
- The dip of the failure plane must be greater than the angle of friction of this plane.
- Release surfaces which provide negligible resistance to sliding must be present in the rock mass to define the lateral boundaries of the slide. Alternatively, failure can occur on a failure plane passing through the convex 'nose' of a slope.

For slopes with a tension crack, the following assumptions are made:

- Both sliding surface and tension crack strike parallel to the slope surface.
- The tension crack is vertical and is filled with water to a depth z .
- Water enters the sliding surface along the base of the tension crack and seeps along the sliding surface, escaping at atmospheric pressure where the sliding surface daylights in the slope face. The pressure distribution induced by the presence of water in the tension crack and along the sliding surface is illustrated in the figure.
- The forces W (the weight of the sliding block), U (uplift force due to water pressure on the sliding surface) and V (force due to water pressure in the tension crack) all act through the centroid of the sliding mass.
- The shear strength of the sliding surface is defined by cohesion C and a friction angle ϕ which are related by the equation $\tau = C + \sigma \cdot \tan \phi$.
- A slice of unit thickness is considered and it is assumed that release surfaces are present so that there is no resistance to sliding at the lateral boundaries of the failure.

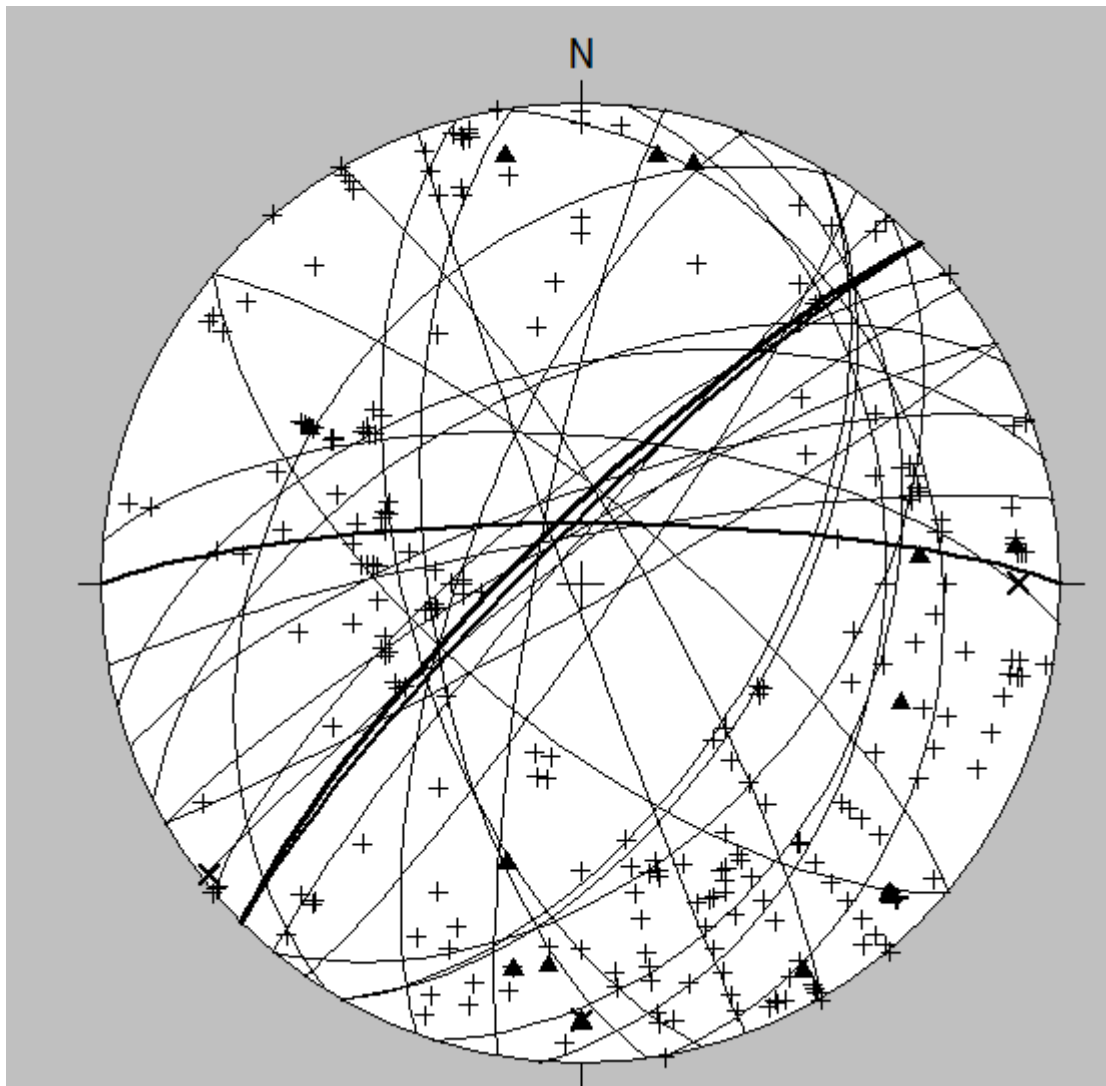
These assumptions are from:

Hoek and Bray, 1981, 'Rock Slope Engineering,' 3rd edition, Chapman & Hall, London

2. FRONTE SUD

Analisi complessiva

L'analisi complessiva ha preso in considerazione singolarmente il fronte generale di altezza di circa 90 m e inclinazione di 80°. Sono state considerate successivamente inclinazioni minori per verificare le variazioni delle condizioni di stabilità in relazione a possibili variazioni di progetto. L'analisi si è concentrata sulle geometrie più critiche rappresentate dai cunei a franapoggio. Dall'analisi geostrutturale sono stati identificati i cunei più ricorrenti considerando tutte le stazioni di rilievo. I cunei a franapoggio più significativi sono stati oggetto di verifiche numeriche di stabilità introducendo i parametri geomeccanici di progetto sopra indicati e le descritte relazioni numeriche. Le verifiche sono state realizzate in condizioni non drenate. La figura che segue rappresenta la proiezione stereografica complessiva dei piani rilevati mentre la tabella mostra i risultati delle verifiche.



Discontinuità cunei	Fronte	FS (drenato)
	355/80 H=90 m	
260/65 ⁵ /65	80°	0,94
	70°	1,04
	65°	1,25
220/67 ³ /63	80°	2,35
223/65 ³ 330/55	80°	0,80
	75°	1,31
	<75°	non si forma cuneo
60/80 ² 290/70	80°	1,21
	70°	1,36

Dalle verifiche si ottengono valori del coefficiente di sicurezza inferiori all'unità con inclinazione generale del fronte di 80°. Con una inclinazione di 70° si ottengono valori superiori all'unità. Con inclinazioni inferiori ai 70° si ottengono condizioni generali di stabilità a medio termine in termini non drenati.

Analisi singoli gradoni

Per quanto riguarda i singoli gradoni, con fronti inclinati 80° si rilevano delle generali condizioni di stabilità in termini drenati. Introducendo un'altezza di battente idrico di un metro all'interno delle discontinuità si ottengono coefficienti di sicurezza che in alcuni casi sono di poco superiori all'unità.

STAZIONE	FRONTE	DISCONTINUITA'	FS
1	270/80	220/65^350/70	1,90 (1,70)
2	355/80	265/80^15/75 330/87^15/75	2,0 >3,0
3	355/80	322/85^60/80	>3,0
4	355/80	300/36^95/37	>3,0
5	315/80	250/85^5/65	2,5
6	315/80	255/60^340/75 255/60^330/80	1,83 2,80 (1,10)
6bis	355/80	300/65^50/70 340/65^20/65	1,75 (1,30) 1,28 (1,15)
7	355/80	330/45^15/75	1,30 (1,15)
8	315/80	285/73^30/74	1,85 (1,60)

Risultati dell'analisi

Dai risultati delle verifiche numeriche condotte in condizioni drenate non si rilevano valori del coefficiente di sicurezza inferiori all'equilibrio ($FS > 1,0$). Nel caso delle stazioni 1, 7 ed 8 si hanno coefficienti più bassi. Laddove sono presenti fratture di tensione i coefficienti subiscono una minima riduzione. Qualora si instaurassero filtrazioni idriche all'interno di tali discontinuità si avrebbero dei coefficienti sensibilmente inferiori. Nel caso della stazione 4 la direzione della discontinuità potenzialmente instabile non soddisfano le condizioni previste dalla formulazione di Hoek e Bray anche se una rotazione locale di alcuni gradi dell'orientazione del fronte o di porzioni dello stesso potrebbe introdurre delle potenziali instabilità. Negli altri casi si hanno condizioni di stabilità perché le pendenze dei fronti non consentono lo scivolamento oppure si hanno coefficienti di sicurezza piuttosto elevati.

TABELLA DI SINTESI		
	Discontinuità	FS
Stazione 1		
	265/60	1,12
Stazione 2		
	5/70	1,33 1,52 con frattura di tensione
Stazione 4		
	330/56	(1,20) non sono soddisfatte le condizioni del criterio di scivolamento planare
Stazione 5		
	320/75	>2,0
Stazione 6		
	330/80	>3,0
Stazione 6bis		
	355/70	1,50
Stazione 7		
	360/80 5/65	Stabile 1,22 1,10 con frattura di tensione
Stazione 8		
	320/70 310/60	1,52 1,12

3. FRONTE EST

Analisi dei singoli gradoni

Fronte est		
Stazioni 1-2-3-4 (gradone 1)		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ $c=230$		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Planare 295/68	FSd=2.0 c=230 FSd=1.10 c=100 FSps=1.41 FSps=1.05 tension crack a 5 m dal ciglio (condizione più critica) FSd=1.41 tension crack a 5 m dal ciglio	In presenza di valori di coesione minori, di parziale saturazione e di tension crack si ha un abbassamento del coefficiente di sicurezza senza scendere sotto l'unità Instabilità medio-bassa con presenza di tension crack e saturazione
Cunei 150/47-270/65	FSd=3.0 c=230 FSd=1.5 c=100 FSs=0.8 FSs=1.4	In condizioni di saturazione totale si ha instabilità per saturazione parziale si passa da una condizione di stabilità che decade progressivamente. Instabilità medio-bassa con saturazione

Fronte est		
Stazioni 5-6-7		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ $C=230$		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Cunei 210/5-336/48	FSd=2.46 c=230 FSs=2.15 c=100 FSd=1.6 c=100 FSs=1.17 c=0	Condizioni di stabilità generali. Anche con coesione nulla e condizioni sature FS è superiore all'unità. Condizioni di stabilità.

Fronte est		
Stazioni 8-9-10		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Planare 280/65	FSd=1.7 c=230	Condizioni generali di stabilità
Cunei 5/70 – 250/65	FSd=2.44 c=230 FSd=1.77 c=100 FSs=1.97	Condizioni di stabilità anche in condizioni sature e con valori bassi di coesione

Fronte est		
Stazioni 11-12-13		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Planare 280/48	FSd=1.07 c=230	Condizioni di instabilità
Cunei 6/70 – 234/67	FSd=2.65 c=230 FSd=1.77 c=100 FSs=1.34	Condizioni di stabilità anche in condizioni sature e con valori bassi di coesione

Fronte est		
Stazioni 14-15-16-17		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Planare 265/52	FSd=1.10 c=230 FSd= 0.74 c=100	
Cunei 350/70 – 325/65	FSd>3 c>0 FSs=0.8 c=230	Condizioni di stabilità in condizioni drenate, FS decade nettamente in condizioni sature

Fronte est		
Stazioni 18-19-20 (gradone secondo lato NE)		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 210/70		
Tetto 210/5		
H=10 m		
Cunei 310/75 – 200/52	FSd=1.81 c=230 FSd=1.25 c=100 FSs=1.53 c=230 FSs=0.96 c=100	Stabilità in condizioni drenate, FS decade nettamente in condizioni sature

Fronte est		
Stazioni 21-22-23-24-25-26-27-28-29 (gradone quarto)		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Cunei 308/55 – 240/73 308/55 - 164/85	FSd=2.25 c=230 FSd=1.22 c=100 FSs=0.89 c=230 FSps=1.12	Stabilità in condizioni drenate, FS decade nettamente in condizioni sature

Fronte est		
Stazioni 30-31-32 (gradone quarto)		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 250/70		
Tetto 250/5		
H=10 m		
Cunei 240/53 – 108/76 220/35 - 123/76	FSd=2.28 c=230 FSd=1.23 c=100 FSs=2.0 c=230 FSs=0.8 c=100 FSd=1.74 c=230 FSd=1.24 c=100 FSs=1.51 c=230 FSs=1.0 c=100	Stabilità in condizioni drenate, FS decade anche a valori inferiori all'unità in condizioni sature con minore coesione.

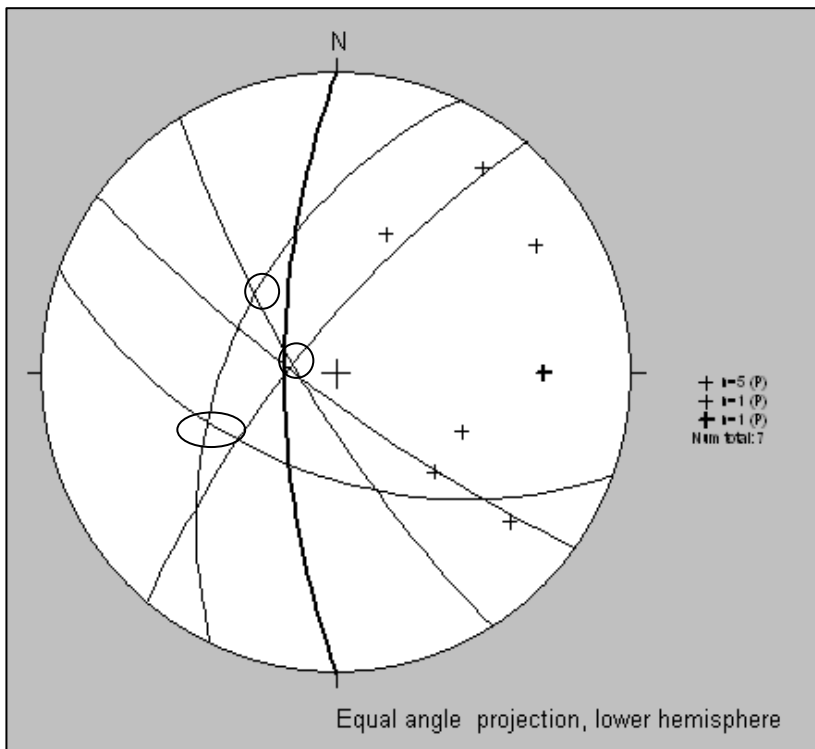
Fronte est		
Stazioni 34-35-36 (gradone terzo)		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ $C=230$		
Fronte 270/70		
Tetto 270/5		
H=10 m		
Cunei 186/50 – 315/50	FSd=2.64 c=230 FSd=2.06 c=100 FSs=2.32 c=230 FSs=1.74 c=100	Stabilità in condizioni drenate e sature.
315/50 - 216/81	FSd=1.96 c=230 FSd=1.22 c=100 FSs=1.08 c=230 FSs=0.64 c=100	
		Stabilità in condizioni drenate, FS decade anche a valori inferiori all'unità in condizioni sature con minore coesione.

Fronte est		
Stazioni 47-48-49-50 (gradone sesto)		
$\varphi=31$ $\gamma =29$ $C=230$		
Fronte 260/70		
Tetto 260/5		
H=10 m		
Cunei 238/77 – 295/50	FSd=1.58 c=230 FSd=0.97 c=100 FSs=0.90 c=230	Stabilità in condizioni drenate. I valori di FS decadono sotto l'unità sia con minore coesione sia in condizioni sature.
6/80 - 238/72	FSd> 3.0 c=230 FSd=2.52 c=100 FSs=1.17 c=230	
Planari 295/50	FSd=1.1	Condizioni di instabilità
		Stabilità in condizioni drenate, FS superiore all'unità in condizioni sature e con minore coesione.

Analisi complessiva

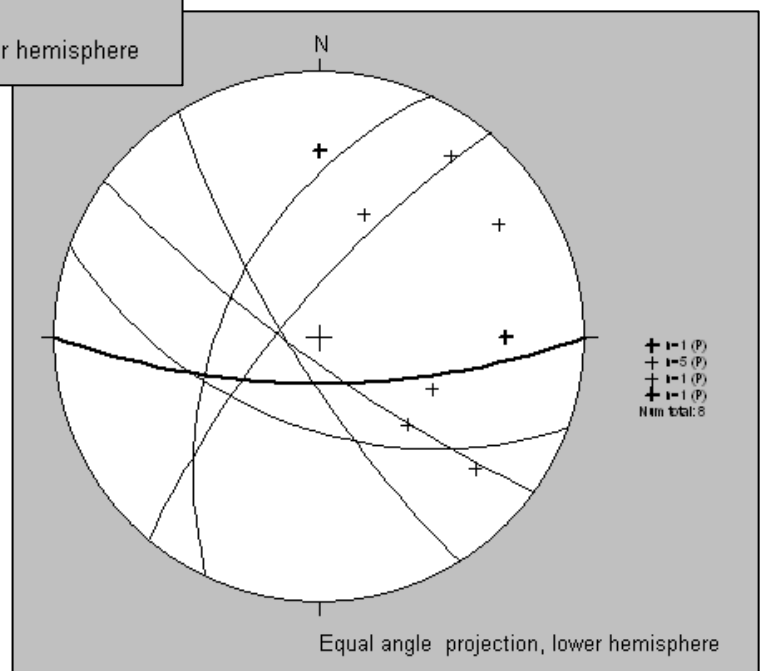
Si considera un' altezza del fronte pari a $H=90$ m ed un'inclinazione di 80° . Dalle verifiche si riscontra che con fronte meno inclinato di 70° si eliminano parte delle instabilità più critiche (vettore medio 273/72).

Permangono instabilità cuneiformi con vettori 313/50, 293/50, 250/40, 235/46. I coefficienti di sicurezza associati sono maggiori o uguali a $FS=1.3$ in condizioni drenate per inclinazioni del fronte inferiori ai 55° . In condizioni sature le condizioni di instabilità sono maggiormente critiche



Condizioni con
fronte rivolto ad est

Condizioni con
fronte rivolto a sud

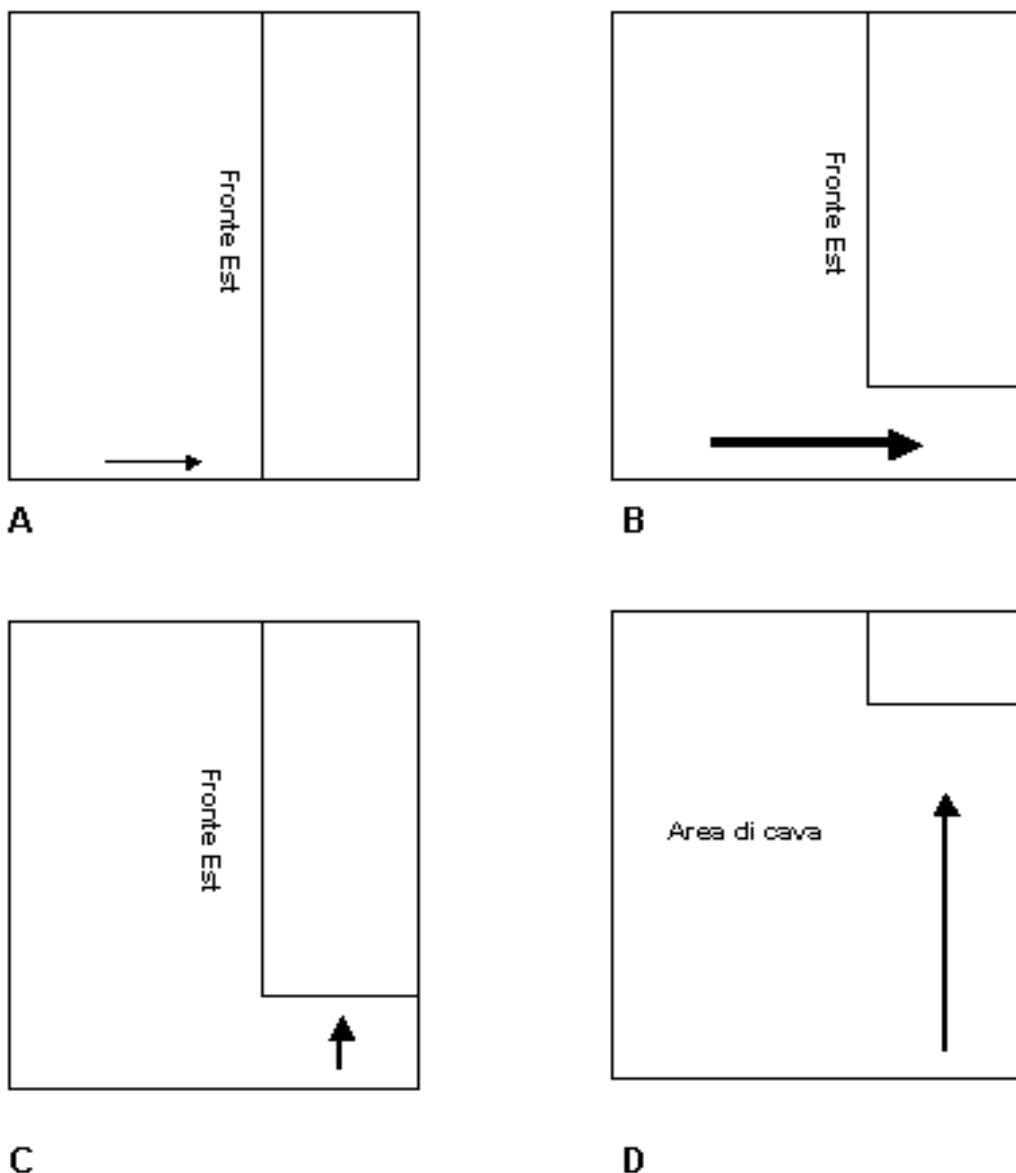


Con fronte rivolto a sud si eliminano in gran parte le instabilità. E' quindi consigliabile operare in avanzamento da ovest verso est per un ridotto settore (parte sud del fronte est) mantenendo un inclinazione totale del fronte non superiore ai 55°-60° e successivamente avanzare partendo dal corridoio scavato, da sud verso nord mantenendo il fronte orientato verso sud.

Tali considerazioni valgono in via preliminare anche per la progettazione del fronte finale est che dovrà avere inclinazione non superiori ai 55°-60°. Tale angolo consente, secondo i dati oggi disponibili, di eliminare le più ricorrenti instabilità. L'assetto finale è ovviamente raggiungibile con varie geometrie di avanzamento con gradonature e splateamenti di varia entità.

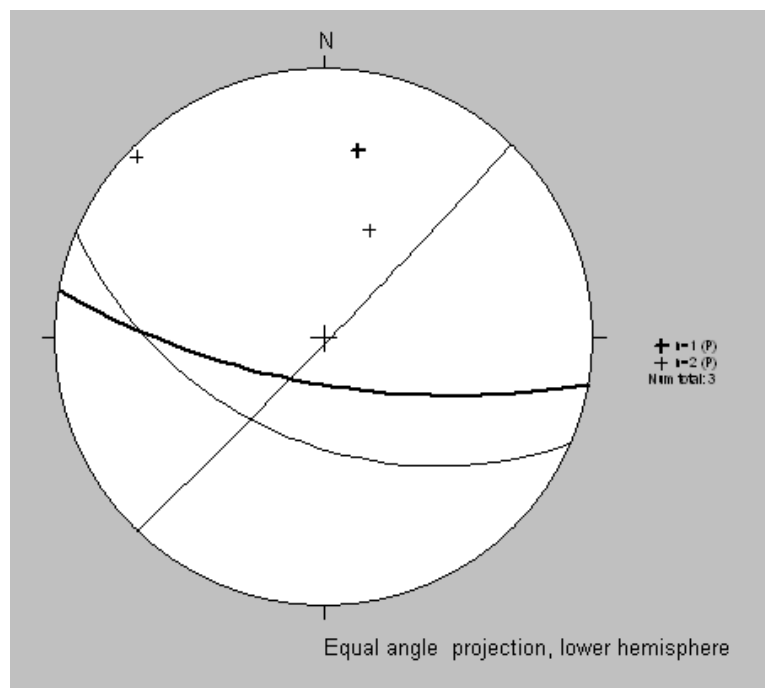
Data la difficoltà ad estrapolare i dati di rilievo su cui si basano le verifiche, sarà necessario aggiornarli con rilievi e verifiche di stabilità future.

Schema del possibile avanzamento del fronte est



4. FRONTE NORD

Fronte nord		
Stazioni 20-33		
$\phi=31$ $\gamma =29$ $C=230$		
Fronte 180/70		
Tetto 180/5		
H=10 m		
Cunei 203/47 – 134/88	FSd=1.43 c=230 FSd=0.94 c=100 FSs=1.13 c=230 FSs=0.65 c=100 FSps=1.29 c=230	Stabilità in condizioni drenate e parzialmente sature, FS decade anche a valori inferiori all'unità in condizioni sature con minore coesione.
203/47 - 56/77	FSd=3.36 c=230 FSs=2.54 c=230	Condizioni di stabilità



5. FRONTE SUD-OVEST

Fronte sud ovest		
Stazioni 96 - 97 (settimo/sesto gradone)		
$\varphi=35$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 45/70		
Tetto 45/5		
H=10 m		
Cunei		
353/48 – 94/70	FSd=1.86 c=230 FSd=1.27 c=100	Stabilità in condizioni drenate e sature. FS decade a valori inferiori all'unità in condizioni sature con minore coesione.
314/40 – 93/58	FSs=1.56 c=230 FSs=0.97 c=100	
	FSd=3.53 c=230	Condizioni di stabilità.
	FSs=3.11 c=230 FSs=2.41 c=100	
350/74 – 94/70	FSd=3.20 c=230 FSd=1.68 c=100	Stabilità in condizioni drenate e parzialmente sature. FS decade a valori inferiori all'unità in condizioni sature.
	FSs=0.5 c=230 FSps=2.8	
Planare 40/46	FSd=1.1 c=230	Condizioni di instabilità

Fronte sud ovest		
Stazioni 87→ 97		
$\varphi=35$ $\gamma =29$ $C=230$		
Fronte 45/70		
Tetto 45/5		
H=10 m		
Cunei		
11/76-120/62	FSd>3.0 c=230 FSd=1.68 c=100 FSs=1.05 c=230	Stabilità in condizioni drenate. FS decade a valori prossimi all'unità in condizioni sature.
11/76-110/46	FSd= 2.22 c=230 FSd=1.40 c=100 FSs=1.06 c=230	Stabilità in condizioni drenate. FS decade a valori prossimi all'unità in condizioni sature.
26/36-111/47	FSd= 1.82 c=230 FSd=1.40 c=100 FSs=1.60 c=230 FSs=1.17 c=100	Stabilità in condizioni drenate e sature. FS decade a valori prossimi all'unità in condizioni sature.
Planare		
38/64	FSd=1.88 c=230 FSd=0.98 c=100	
23/35	FSd=1.31 c=230 FSd=1.01 c=100	Condizioni di stabilità. Con valori inferiori di coesione FS è prossimo all'unità.

Fronte sud ovest		
Stazioni 82→ 86 (secondo gradone)		
$\varphi=35$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 45/70		
Tetto 45/5		
H=10 m		
Cunei 329/74-100/65	FSd=2.54 c=230 FSd=1.70 c=100 FSs=2.11 c=230 FSs=1.27 c=100	Stabilità in condizioni drenate e sature anche con bassi valori di coesione.
12/80-98/65	FSd>3 c=230 c=100 FSs<1 c=230 FSps<1	Stabilità in condizioni drenate anche con bassi valori di coesione. FS decade a valori inferiori all'unità in condizioni sature con saturazione anche minima.
11/78-125/45	FSd= 2.65 c=230 FSd=1.70 c=100 FSs=1.22 c=230 FSs=0.80 c=100	Stabilità in condizioni drenate e sature. FS decade a valori inferiori all'unità in condizioni sature con bassi valori di coesione.
340/44 –100/68	FSd= 2.26 c=230 FSd=1.69 c=100 FSs=1.96 c=230 FSs=1.38 c=100	Condizioni di stabilità
Planare 35/65	FSd=2.16 c=230 FSd=1.10 c=100	Condizioni di stabilità drenate. Con valori inferiori di coesione FS è prossimo all'unità.

Fronte sud ovest		
Stazioni 82→ 86 (primo gradone - alto)		
$\varphi=35$ $\gamma =29$ C=230		
Fronte 45/70		
Tetto 45/5		
H=10 m		
Cunei 17/75-116/60	FSd=3.34 c=230 FSd=1.76 c=100 FSps=1.21 c=230 FSs=0.50	Stabilità in condizioni drenate anche con bassi valori di coesione. In condizioni parzialmente sature la stabilità diminuisce e scende drasticamente in condizioni sature.
14/77-82/51	FSd=1.41 c=230 FSd=0.90 c=100 FSs=0.73 c=230 FSs=0.50 c=100	Stabilità in condizioni drenate. FS decade a valori inferiori all'unità in condizioni sature e per valori minimi della coesione.
338/64 – 83/50	FSd=1.79 c=230 FSd=1.26 c=100 FSs=1.52 c=230 FSs=0.99 c=100	Stabilità in condizioni drenate e sature. FS decade a valori prossimi all'unità in condizioni sature con bassi valori di coesione.
360/36 -82/50	FSd=1.80 c=230 FSd=1.35 c=100 FSs=1.56 c=230 FSs=1.11 c=100	Condizioni di stabilità. Anche con valori minimi di coesione in condizioni sature si ottiene un FS>1.

Grosseto: Agosto 2009

(Dott.Geol. Mauro Rocchi)