



PROVINCIA DI SIENA

COMUNE DI SARTEANO

**PROGETTO DI ESCAVAZIONE E RIPRISTINO
DELLA CAVA DENOMINATA SFERRACAVALLI
IN LOCALITA' MADONNA LA TEA**

VERIFICHE DI STABILITA'

Committente: **GOSTI S.R.L.**
Località Stradone
Moiano (PG)

Siena, ottobre 2011

GEOSOL s.r.l.

Dott. Geol. Mauro Cartocci



GEOSOL s.r.l.

Viale Europa 31
53100 Siena
Tel. 0577.44470
Fax 0577.222011
e-mail: studio@geosol.it

Partita IVA IT 00707530523
CCIAA Siena n. 85428
Isc. Trib. Siena n.6345 Vol.8133

numero archivio:
4536b

1. PREMESSA

La presente verifica di stabilità è stata redatta in base alle richieste di integrazione pervenute dal Dipartimento Provinciale Arpat di Siena, n. protocollo 58035 in data 01.09.2011.

In particolare il seguente documento riporta la verifica di stabilità dei pendii in roccia riferita allo scivolamento su piani, di cunei ed al ribaltamento, relativamente al progetto di coltivazione e ripristino della cava di Sferracavalli posta nel territorio comunale di Sarteano, in località Madonna La Tea.

2. VERIFICHE DI STABILITA' DEI PENDII IN ROCCIA

2.1 ANALISI CINEMATICA: CENNI SULLA TEORIA DEI BLOCCHI

L'analisi di stabilità di un pendio in roccia è basata sulla caratterizzazione dell'ammasso litoide inteso come un volume lapideo suddiviso in blocchi da superfici di discontinuità.

Negli ammassi a struttura orientata, in cui le discontinuità non costituiscono un sistema caotico ma sono caratterizzate da un numero più o meno grande, ma comunque limitato, di giaciture esse possono essere raggruppate in insiemi detti famiglie, costituiti da superfici parallele o subparallele.

Quando sono note la posizione e la giacitura delle discontinuità (direzione ed immersione) è possibile rappresentare l'ammasso roccioso in un insieme di blocchi indipendenti tra loro; i blocchi per i quali è ammissibile uno spostamento senza movimenti o rotture dei blocchi adiacenti si definiscono rimovibile ed il loro spostamento cinematicamente ammissibile.

L'analisi di stabilità cinematica viene eseguita considerando i movimenti di blocchi discreti senza tener conto delle forze che lo determinano. Le rocce infatti generalmente hanno una resistenza al taglio così elevata che i cedimenti sotto la forza di gravità sono possibili solo se le discontinuità presenti nell'ammasso roccioso permettono il movimento.

Quando nell'ammasso roccioso sono presenti uno o più sistemi di discontinuità, i cedimenti dei blocchi avvengono secondo una o più delle tre seguenti modalità:

A) Scivolamento su un piano

Uno scivolamento di un blocco avviene solo quando questo poggia su un piano di discontinuità inclinato che viene a giorno lungo il pendio (franapoggio) e l'inclinazione del piano di scivolamento è maggiore dell'angolo di attrito dell'ammasso roccioso.

La verifica viene effettuata riportando in proiezione stereografica i vettori inclinazione che rappresentano i piani di frattura rilevati, la direzione e l'inclinazione del fronte di scavo da sottoporre ad analisi di stabilità ed il cerchio di raggio $r=90^\circ/\phi$ dove ϕ è l'angolo di attrito dell'ammasso roccioso considerato prudenzialmente nel presente studio pari a 38° .

B) Scivolamento su un cuneo

Lo scivolamento di un cuneo avviene solo quando i piani di debolezza che lo determinano si intersecano delimitando una linea che viene a giorno sul pendio e l'inclinazione di questa è maggiore dell'angolo di attrito dell'ammasso roccioso.

La verifica allo scivolamento dei cunei viene eseguita riportando in proiezione stereografica anziché i vettori inclinazione, le linee di intersezione dei piani di fratturazione "lij", seguendo esattamente la procedura precedentemente descritta per la verifica allo scivolamento su piano.



C) Ribaltamento

Il cedimento per ribaltamento possono avere luogo in rocce interessate da superfici di discontinuità planari e parallele tra loro: si ha quando i piani di debolezza sono fortemente inclinati, hanno direzione circa parallela a quella del versante e sono e disposti a reggipoggio rispetto al pendio.

Quest'ultima e terza verifica viene eseguita riportando nelle proiezioni stereografiche i poli Ni dei piani di frattura, la proiezione ciclografica del pendio, la linea ciclografica di direzione uguale al pendio e inclinata al di sotto del pendio di un angolo ϕ pari all'angolo di resistenza dell'ammasso roccioso e due piccoli cerchi perpendicolari alla direzione del pendio e a 30° dal centro dello stereogramma.

2.2 ANALISI DI STABILITÀ

Le verifiche di stabilità sono state eseguite analizzando la distribuzione dei piani di debolezza rilevati nell'ammasso roccioso rispetto all'orientazione dei fronti di cava.

Sono stati considerati i fronti di scavo che attualmente e durante la coltivazione risultano a maggiore rischio: come indicato nella planimetria di fig. 1 allegata, si è esaminato la zona sud/sud-ovest dell'area di coltivazione in relazione alla presenza di superfici di fratturazione (si vedano la documentazione fotografica allegata), che invece sono assenti nella zona ovest in cui la formazione calcarea affiorante si trova allo stato incoerente a seguito dei processi di disaggregazione ed alterazione dell'ammasso lapideo originario ed è pertanto priva di fratturazioni riconducibili a sistemi disorientati (si vedano le foto seguenti).



In particolare, la zona da scavare è stata discretizzata in base alla sua forma piuttosto irregolare in cinque fronti di scavo; le verifiche di stabilità sono state effettuate considerando che lo stato finale di progetto possieda il medesimo orientamento rispetto allo stato attuale e che quindi, sebbene ci sia un arretramento con l'avanzamento della fase di coltivazione, i rapporti giacitureali tra i fronti di escavazione allo stato attuale e le fratture presenti siano gli stessi rispetto a quelli tra i fronti di escavazione allo stato finale e le fratture.

I cinque fronti di scavo analizzati possiedono i seguenti andamenti (fig.1):

- SETTORE 1 \Rightarrow Direzione = 317° , Inclinazione = 36° e 60° ;
- SETTORE 2 \Rightarrow Direzione = 23° , Inclinazione = 36° e 60° ;
- SETTORE 3 \Rightarrow Direzione = 359° , Inclinazione = 36° e 60° ;
- SETTORE 4 \Rightarrow Direzione = 13° , Inclinazione = 36° e 60° ;
- SETTORE 5 \Rightarrow Direzione = 68° , Inclinazione = 36° e 60° .

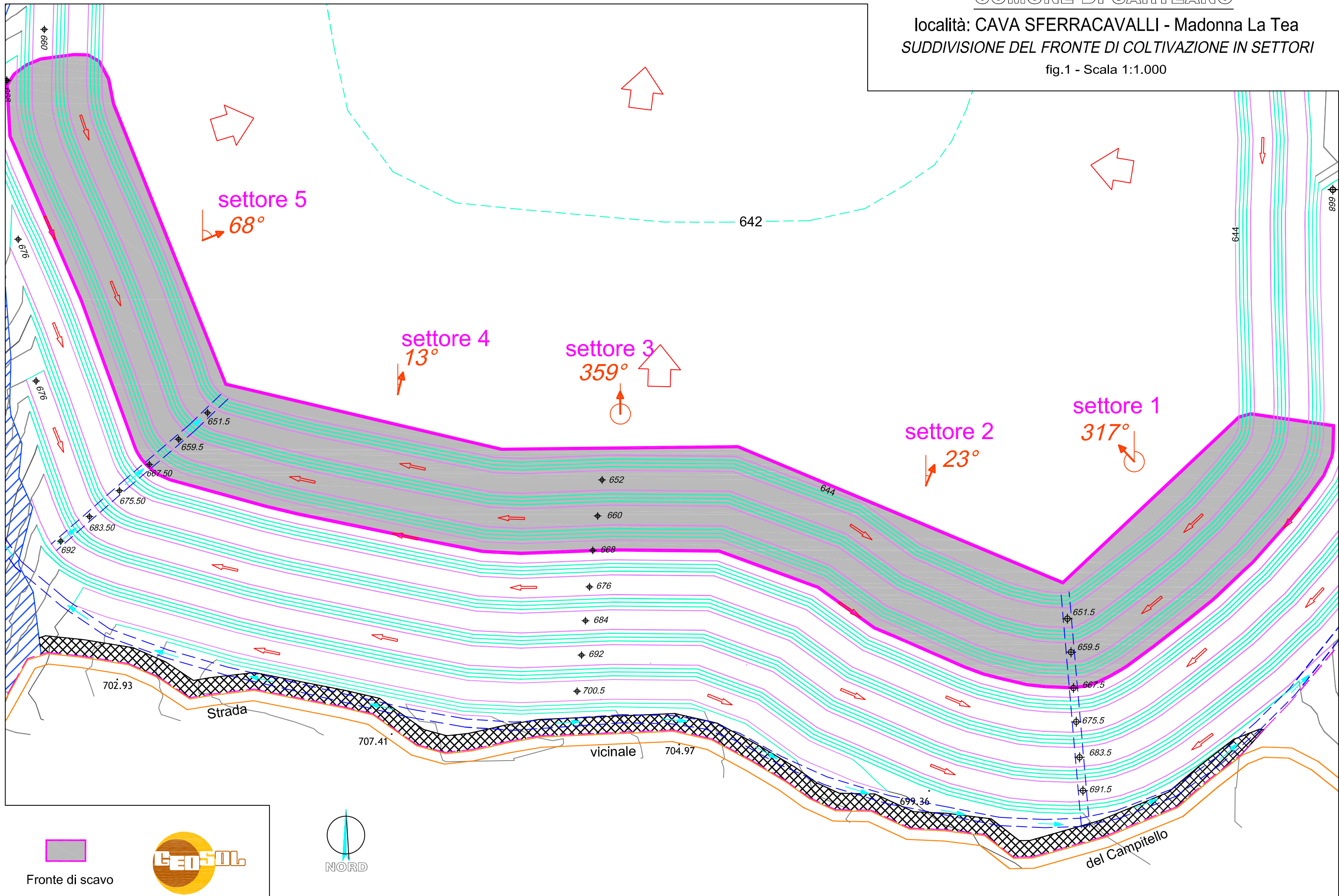
I valori delle inclinazioni considerati, corrispondono a quelli del fronte di coltivazione allo stato attuale e di progetto. In particolare, ogni gradone presenta la seguente geometria: larghezza pari a 6.00 m, altezza di 8.00 m con una pendenza dell'alzata rispetto all'orizzontale di 60° ed un'inclinazione complessiva del fronte di scavo di circa 36° .



COMUNE DI SARTEANO

località: CAVA SFERRACAVALLI - Madonna La Tea
SUDDIVISIONE DEL FRONTE DI COLTIVAZIONE IN SETTORI

fig.1 - Scala 1:1.000



Lo studio della stabilità è stato eseguito valutando la stabilità sia del gradone singolo sia del fronte di coltivazione nell'insieme; in particolare per procedere all'analisi, ciascun fronte di scavo è composto da gradoni aventi alzate con un'inclinazione di 60°, che formano nell'insieme un fronte di scavo con inclinazione di circa 36°.

Preliminarmente all'analisi di stabilità è stato eseguito un rilievo strutturale delle principali litoclasti presenti nei fronti di scavo; per ogni piano di discontinuità rilevato è stata riportata la direzione ed immersione del piano di discontinuità.

Lo studio ha evidenziato che le fratture sono per lo più poco frequenti, ortogonali alla stratificazione ad andamento subverticale e generalmente a giunti chiusi con alterazione scarsa o nulla e non sono presenti fenomeni di milonizzazione.

In particolare, in ogni settore, sono stati individuati i seguenti piani di fratturazione:

SETTORE 1		
Superficie di fratturazione	Direzione	Inclinazione
1	330°	63°
2	335°	36°
3	325°	35°
4	351°	18°
5	335°	24°

SETTORE 2		
Superficie di fratturazione	Direzione	Inclinazione
1	55°	24°
2	350°	90°
3	338°	90°
4	353°	21°

SETTORE 3		
Superficie di fratturazione	Direzione	Inclinazione
1	70°	50°
2	328°	90°
3	130°	76°
4	350°	28°
5	130°	65°
6	338°	32°
7	353°	37°
8	318°	0°

SETTORE 4		
Superficie di fratturazione	Direzione	Inclinazione
1	350°	35°
2	337°	80°
3	65°	60°
4	340°	30°
5	330°	37°

SETTORE 5		
Superficie di fratturazione	Direzione	Inclinazione
1	80°	80°
2	140°	60°



Per lo studio di stabilità per ogni piano di frattura, nelle proiezioni stereografiche di Wulff, sono state riportate:

- le tracce ciclografiche rappresentative di ogni superficie di fratturazione individuata;
- i vettori inclinazione " D_i ", orientati secondo la massima inclinazione della superficie di fratturazione;
- il vettore normale (polo) " n_i " di ogni ciclografica, perpendicolare al piano di discontinuità;
- linee di intersezione " l_{ij} " di due piani di frattura;
- le tracce ciclografiche corrispondenti al fronte di cava;
- il cerchio di raggio $r=90^\circ - \phi$ dove ϕ è l'angolo di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso.

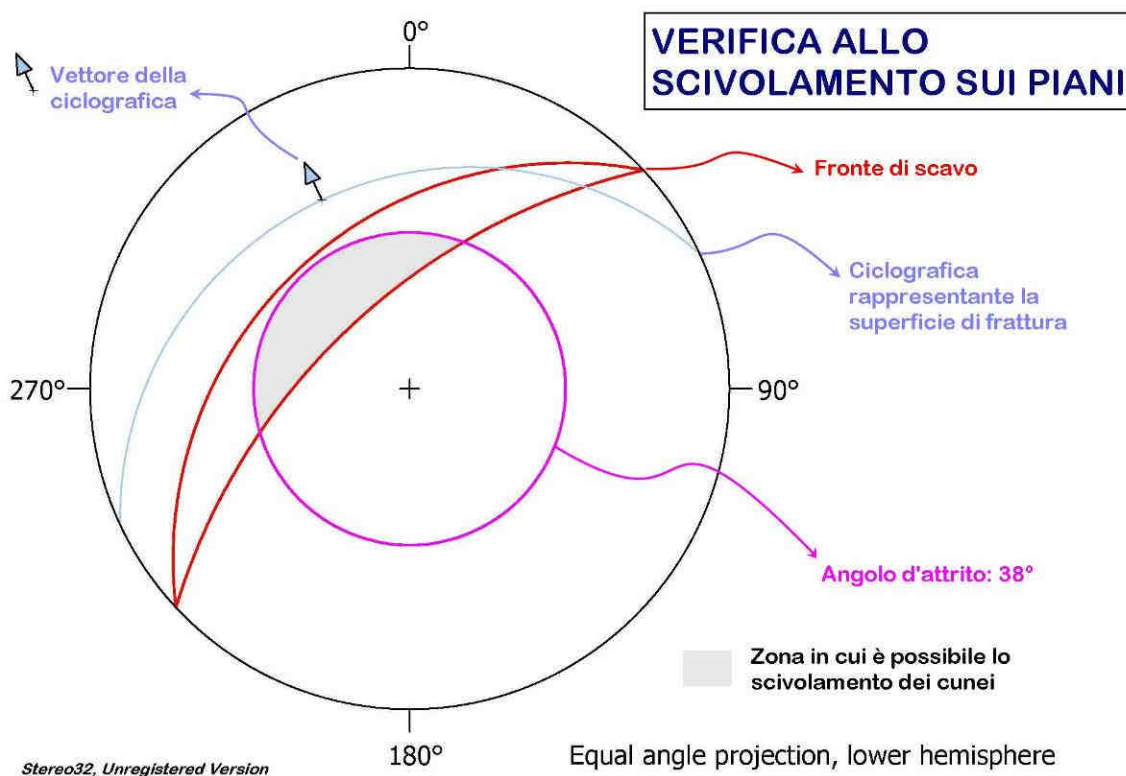
Le verifiche di stabilità sono state realizzate mediante l'utilizzo del software "STEREO 32" Versione 1.0.3, dell'Istituto di Geologia, Mineralogia e Geofisica di Bochum (Germania).

➤ RISULTATI DEI CALCOLI

A) Scivolamento su un piano

L'analisi di stabilità è stata effettuata per ogni settore, considerando le superfici di discontinuità rilevate: in proiezione stereografica sono state riportate le tracce ciclografiche ed i vettori di ciascuna, l'angolo d'attrito (piccolo cerchio) considerando un angolo d'attrito pari a 38° per i litotipi presenti, ed il fronte di scavo con la direzione del settore considerato e le due pendenze di 36° e 60° .

Come si vede dalla proiezione stereografica esemplificativa per l'analisi dello scivolamento su piani qui di seguito riportata, utilizzando il reticolo di Wulff, tutti i vettori ricadenti nell'area del reticolo evidenziata di grigio, indicheranno superfici instabili che possono dare origine a scivolamenti su piani.



- ✓ *Analisi di stabilità del versante di coltivazione globale (inclinazione 36°)*

Come visibile dalle seguenti figure, la direzione ed inclinazione del fronte di scavo ed il cerchio di attrito 38° (avente raggio $r=90^\circ \phi$), non intersecandosi, non determinano alcun campo d'instabilità.

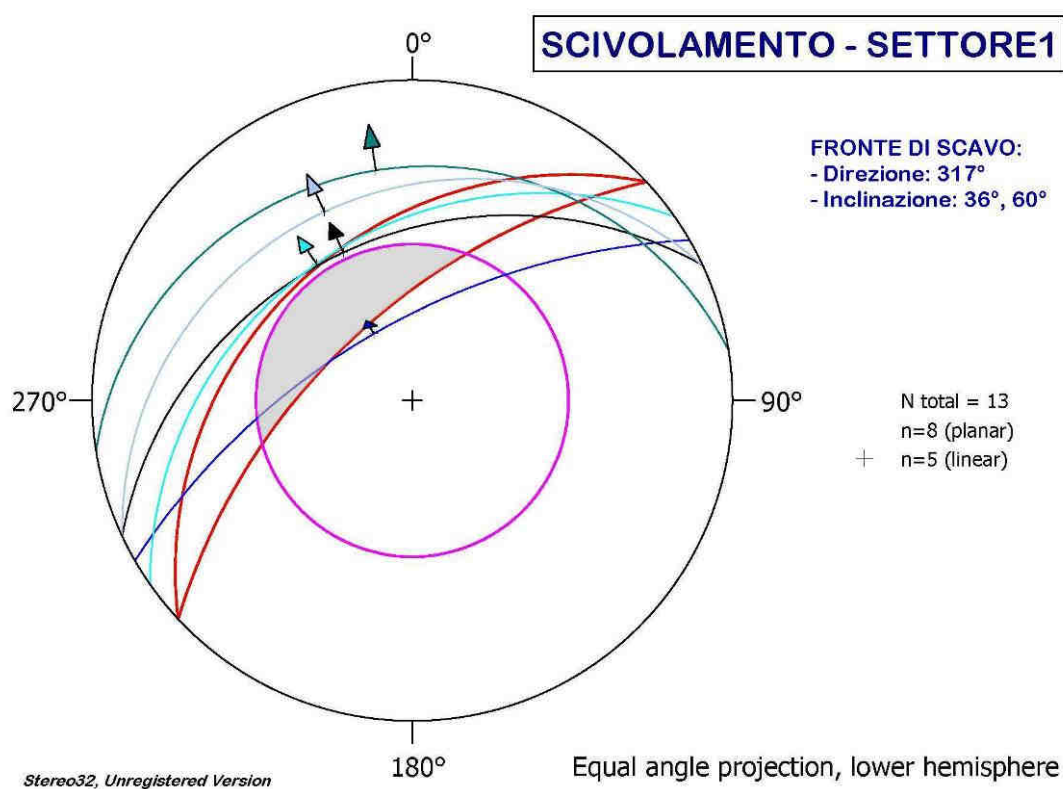
Pertanto, **considerando il fronte di coltivazione globale, non esistono piani di frattura ricadenti nel campo d'instabilità per ogni fronte di escavazione.**

- ✓ *Analisi parziale dei gradoni di coltivazione (inclinazione 60°)*

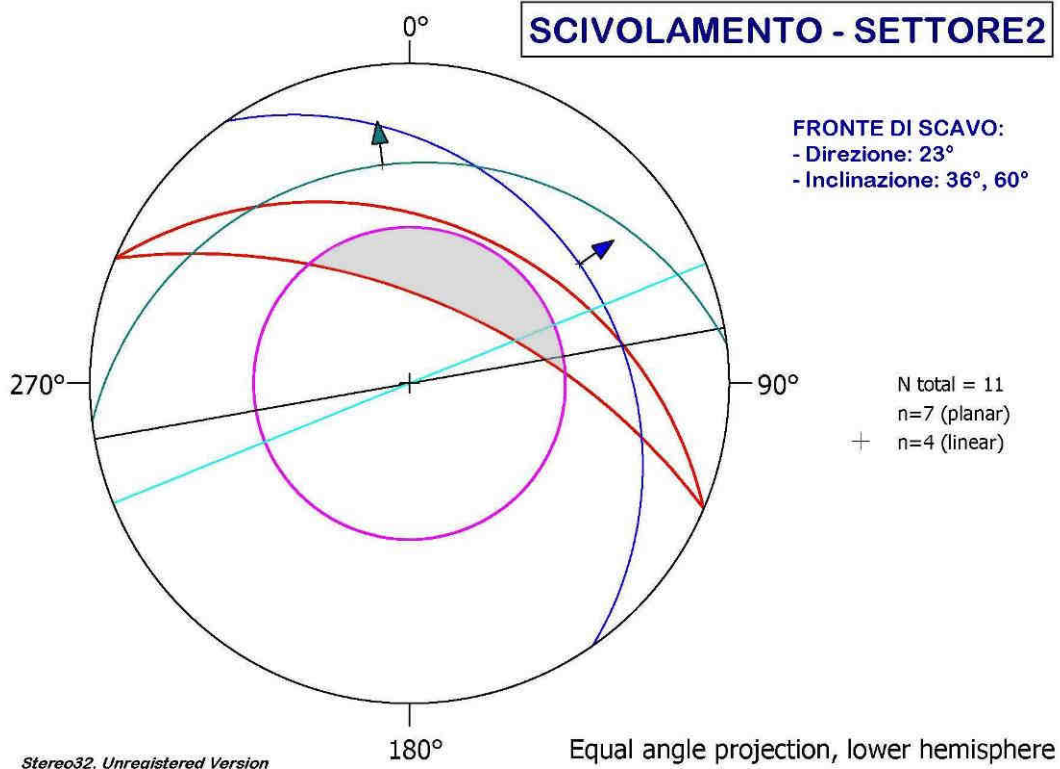
L'analisi di stabilità dei singoli gradoni, come visibile dalle seguenti figure riportanti i risultati ottenuti per ogni settore, mostra che il fronte di scavo e il cerchio di attrito determinano un campo d'instabilità particolarmente ristretto all'interno del quale non ricade nessun vettore dei piani di frattura per ogni settore.

Di conseguenza, anche analizzati singolarmente **i gradoni dei fronti di coltivazione si trovano in condizione di stabilità.**

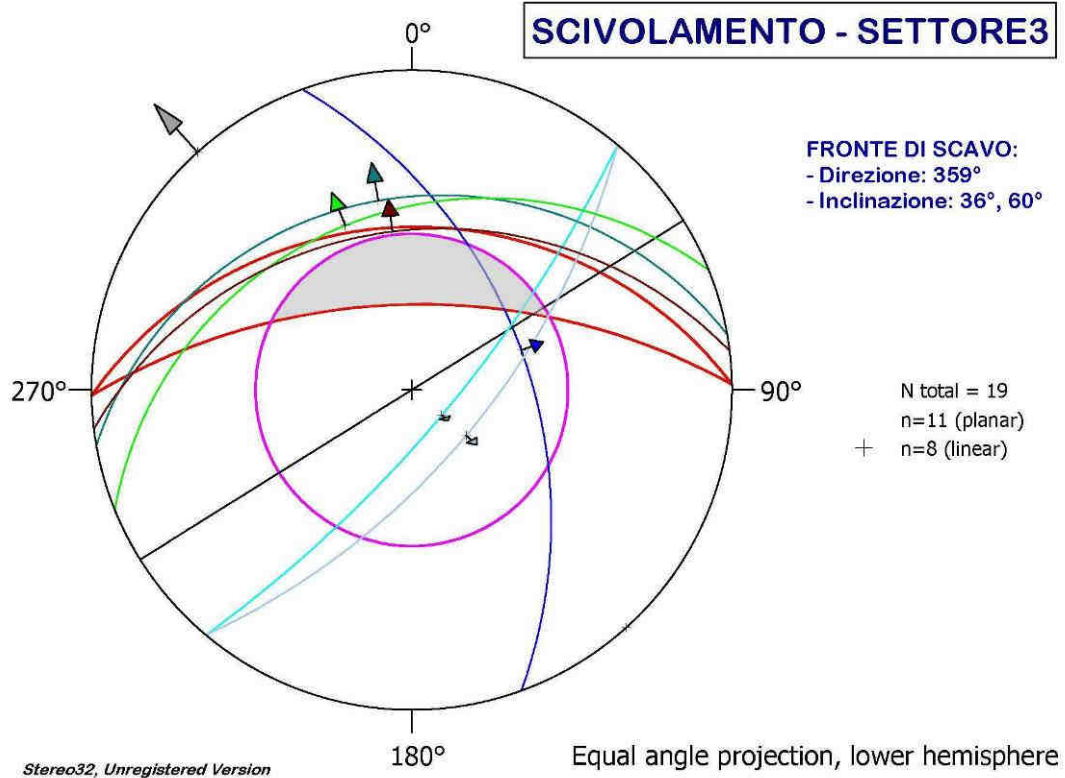
- ✓ *Diagrammi delle proiezioni stereografiche ottenute per ogni settore*

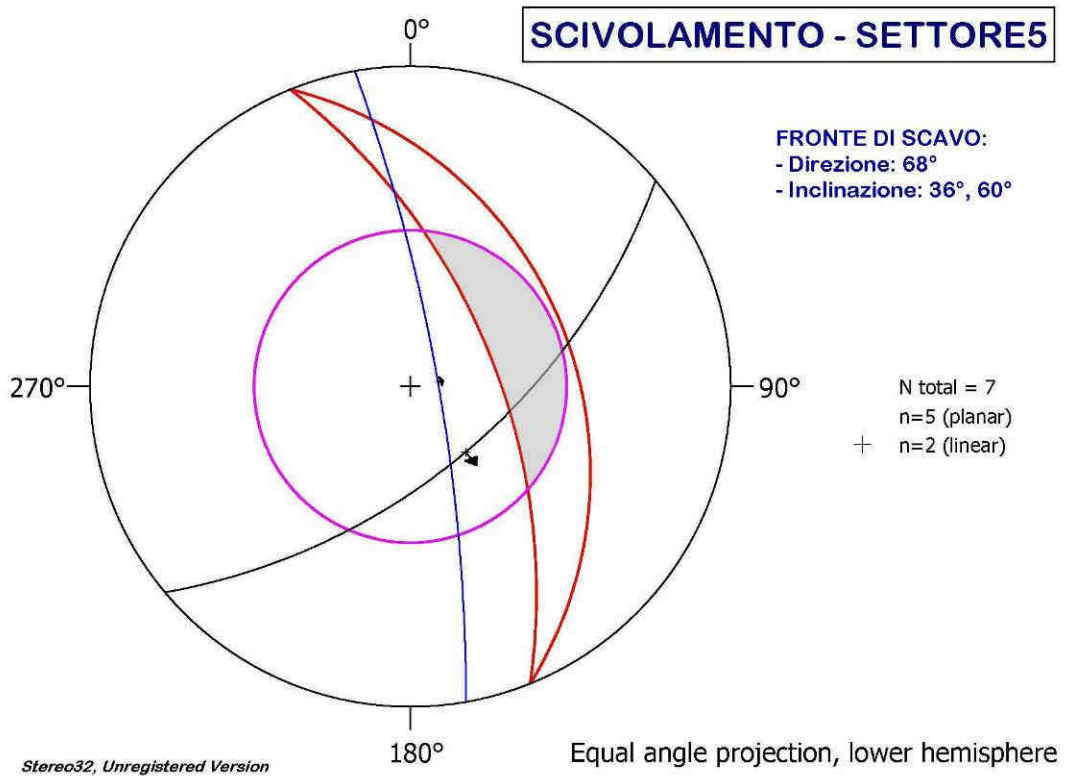
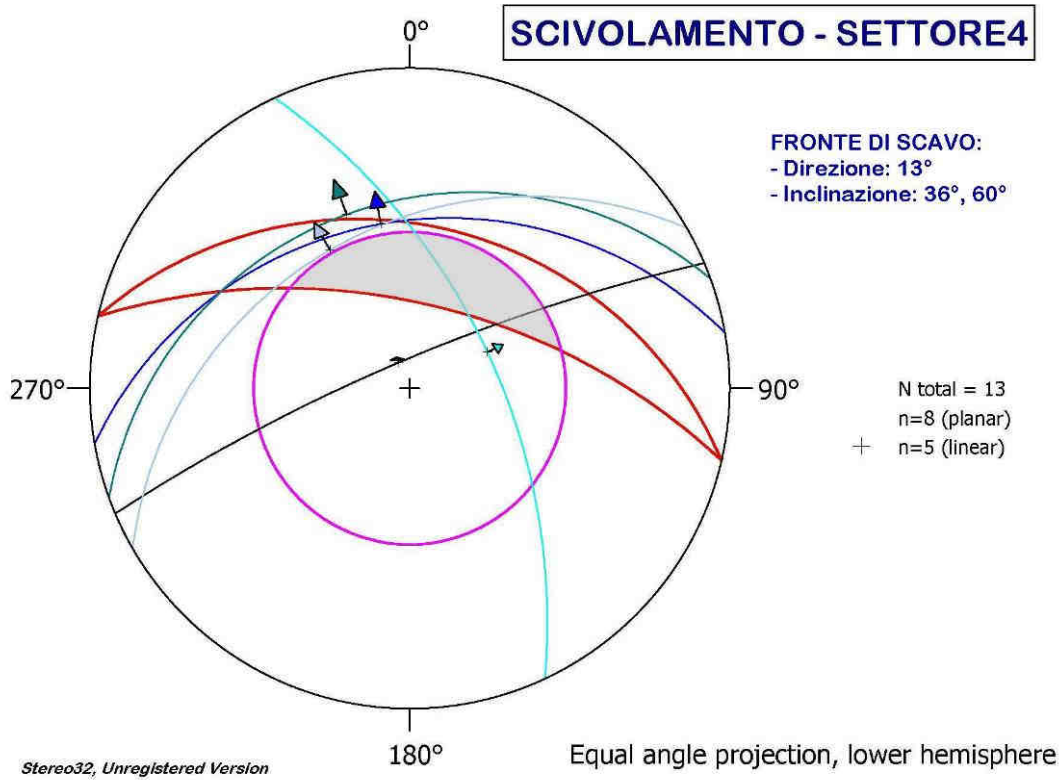


SCIVOLAMENTO - SETTORE2



SCIVOLAMENTO - SETTORE3

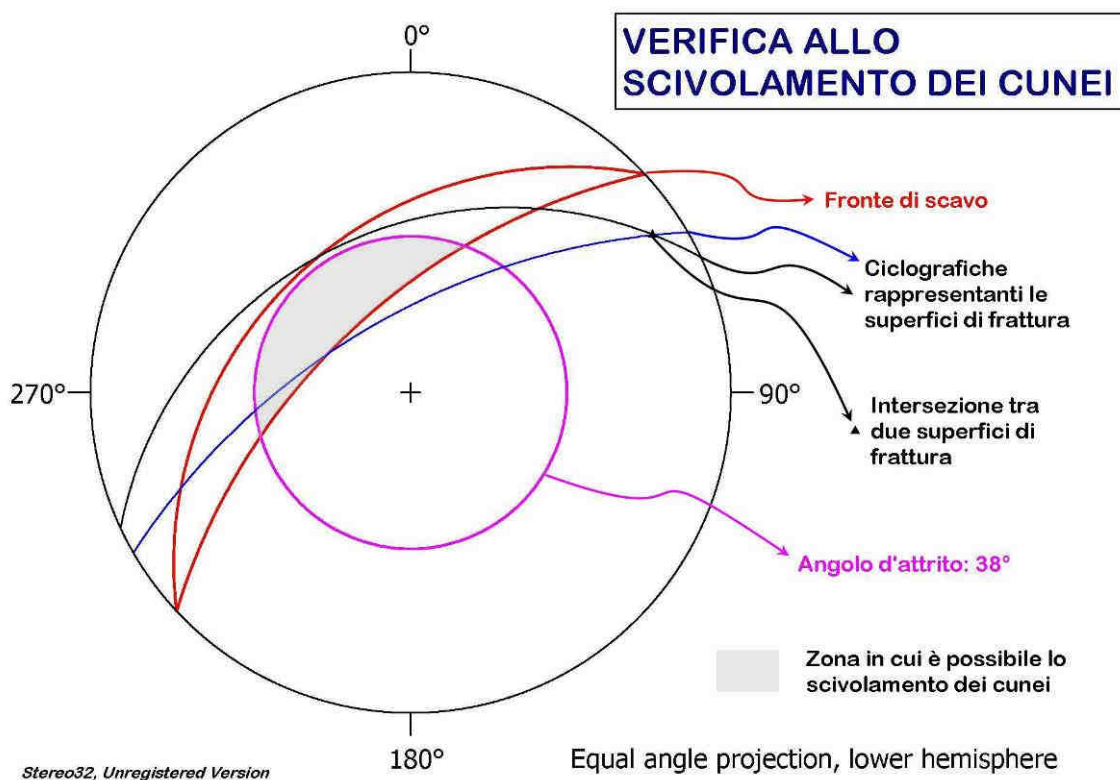




B) Scivolamento di un cuneo

L'analisi di stabilità è stata effettuata per ogni settore, considerando le superfici di discontinuità rilevate: in proiezione stereografica sono state riportate le tracce ciclografiche e le intersezioni di ciascuna coppia di ciclografiche, l'angolo d'attrito (piccolo cerchio) considerando un angolo d'attrito pari a 38° per i litotipi presenti, ed il fronte di scavo con la direzione del settore considerato e le due pendenze di 36° e 60° .

Come si vede dalla proiezione stereografica esemplificativa per l'analisi dello scivolamento su di un cuneo, utilizzando il reticolo di Wulff, tutte le linee di intersezioni individuate ricadenti nell'area del reticolo evidenziata di grigio, indicheranno superfici instabili che possono dare origine a scivolamenti su piani.



- ✓ *Analisi di stabilità del versante di coltivazione globale (inclinazione 36°)*

Come visibile dalle seguenti figure, la direzione ed inclinazione del fronte di scavo ed il cerchio di attrito 38° (avente raggio $r=90^\circ \cdot \phi$), non intersecandosi, non determinano alcun campo d'instabilità.

Pertanto, **considerando il fronte di coltivazione globale, non esistono cunei ricadenti nel campo d'instabilità per ogni fronte di escavazione.**

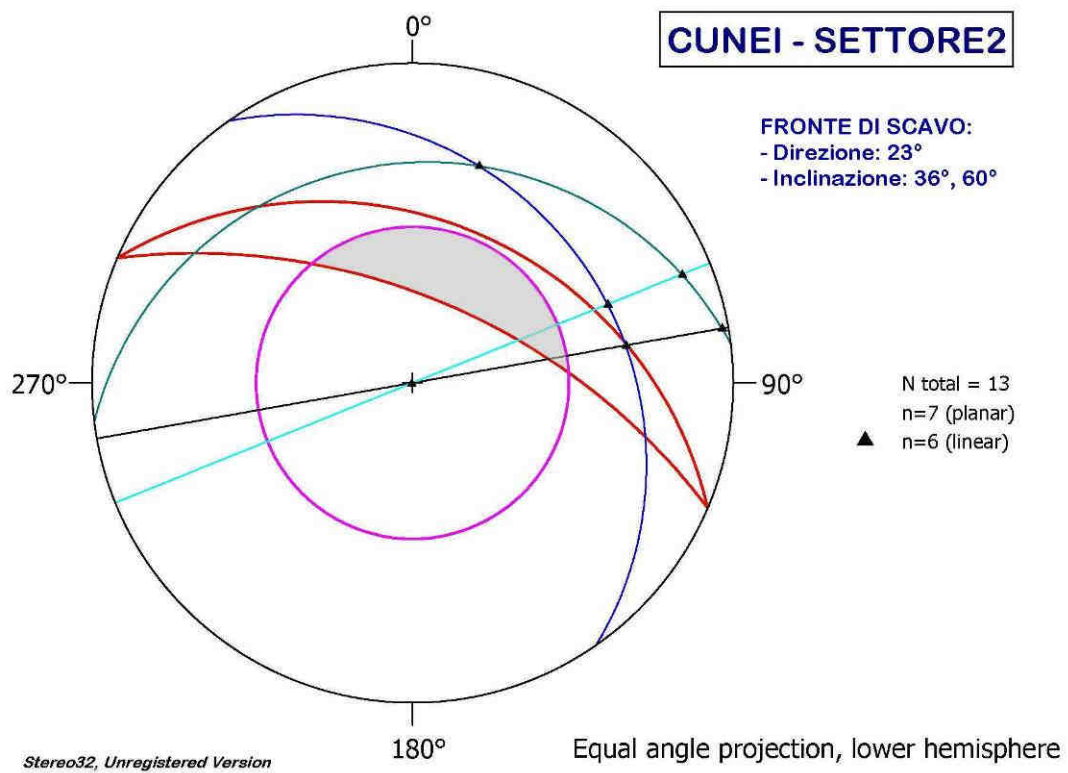
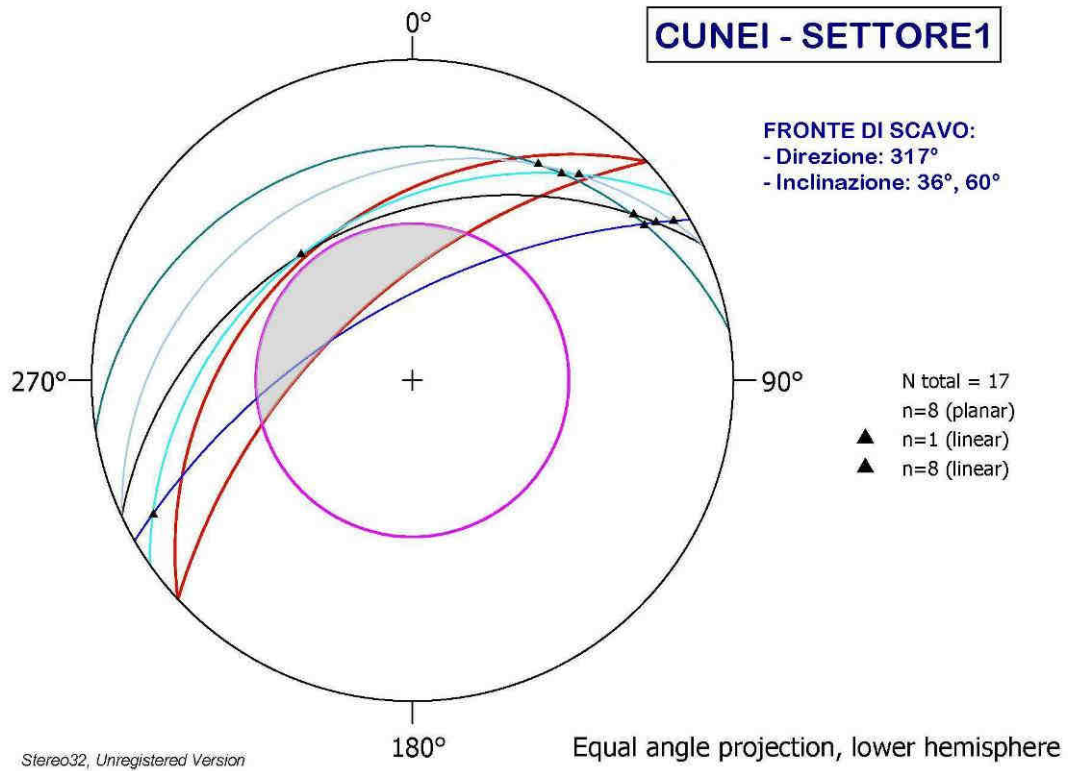
- ✓ *Analisi parziale dei gradoni di coltivazione (inclinazione 60°)*

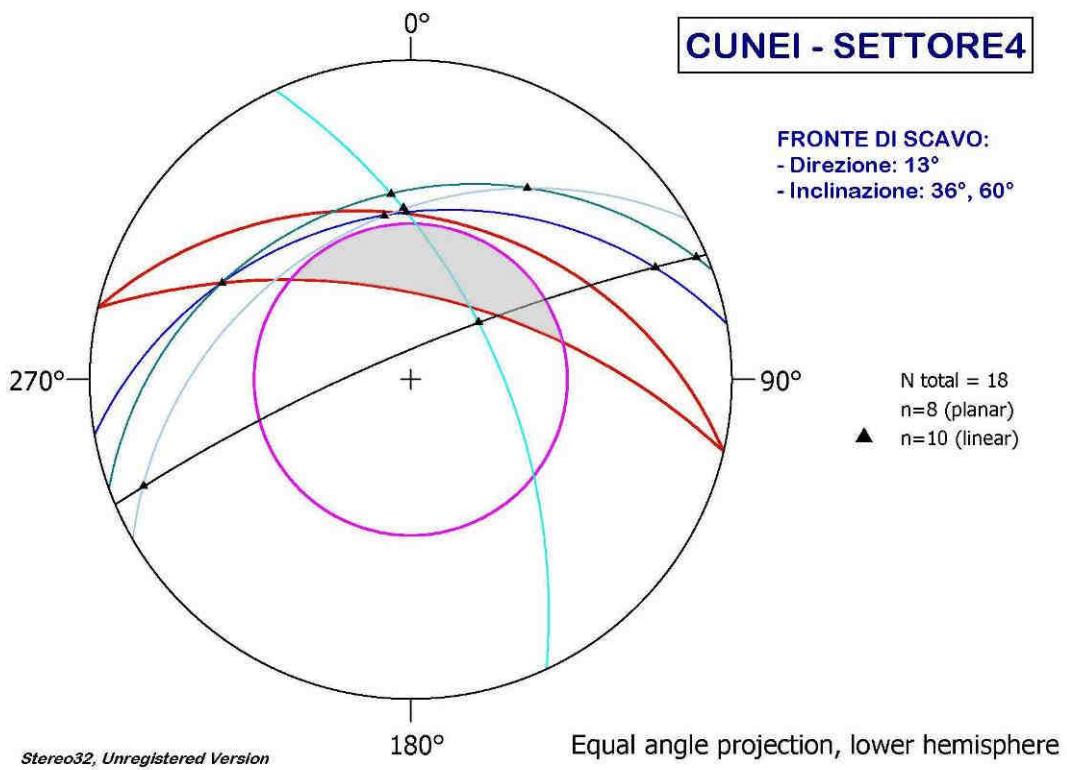
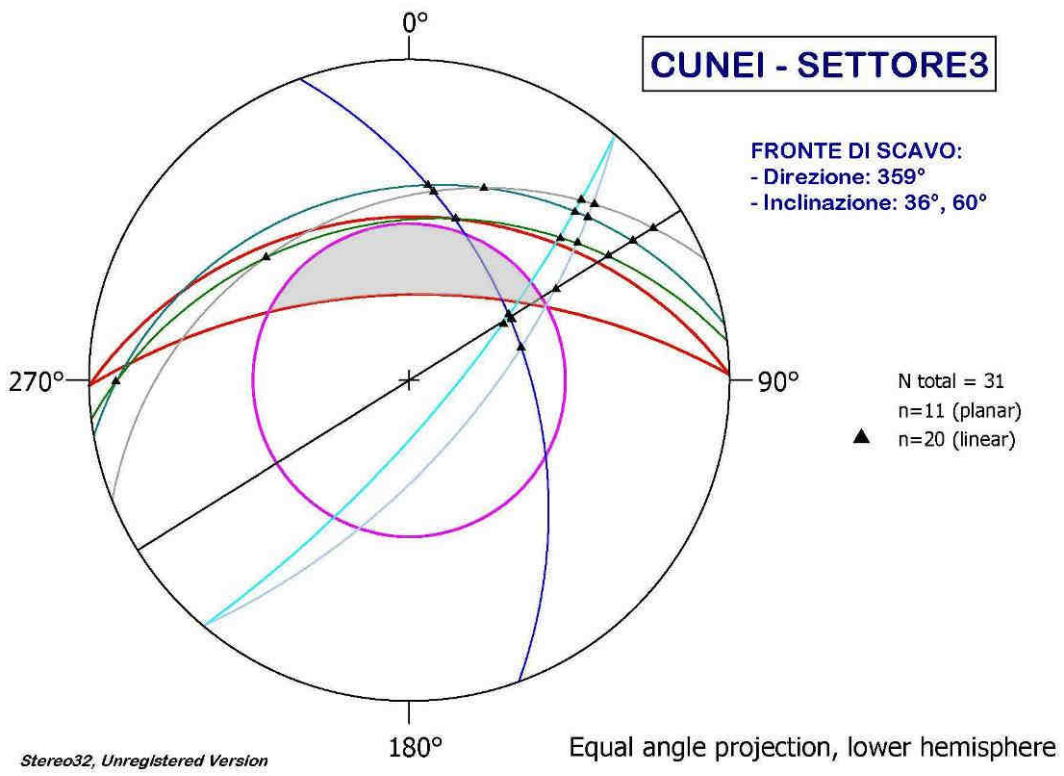
L'analisi di stabilità dei singoli gradoni, come visibile dalle seguenti figure riportanti i risultati ottenuti per ogni settore, mostra che il fronte di scavo ed il cerchio di attrito determinano un campo d'instabilità particolarmente ristretto all'interno del quale non ricade nessuna linea di intersezione tra coppie di piani rappresentanti le discontinuità per ogni settore.

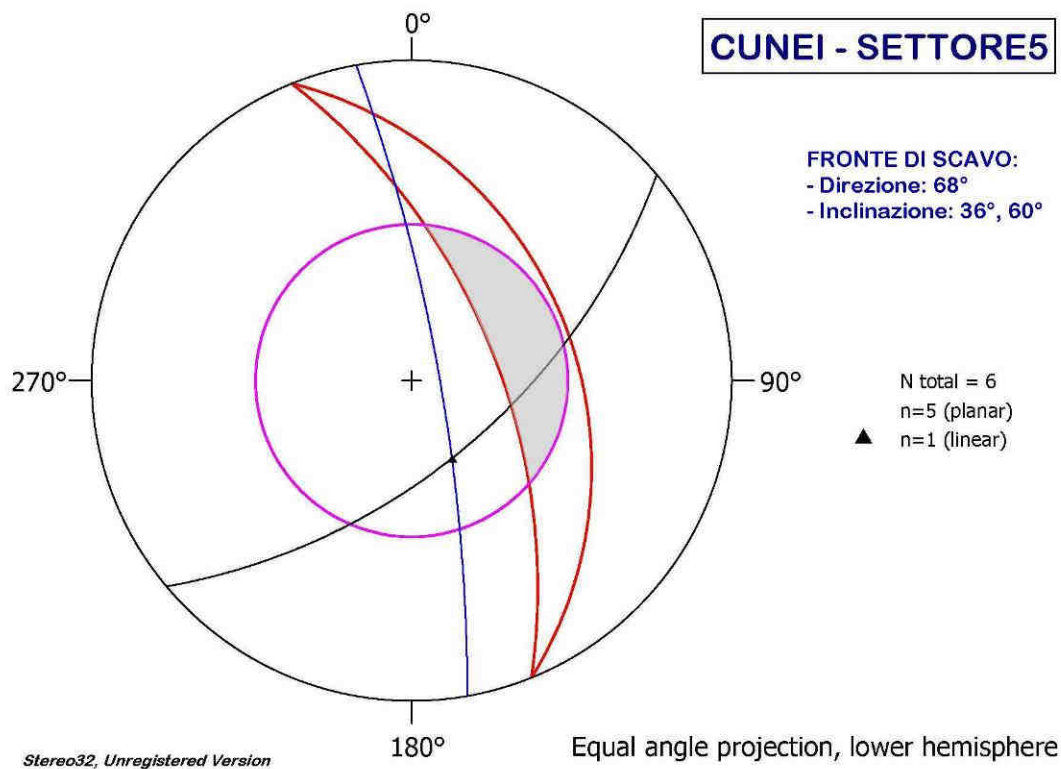
Di conseguenza, anche per lo scivolamento dei cunei, **i gradoni dei fronti di coltivazione analizzati singolarmente si trovano in condizione di stabilità.**



✓ Diagrammi delle proiezioni stereografiche ottenute per ogni settore



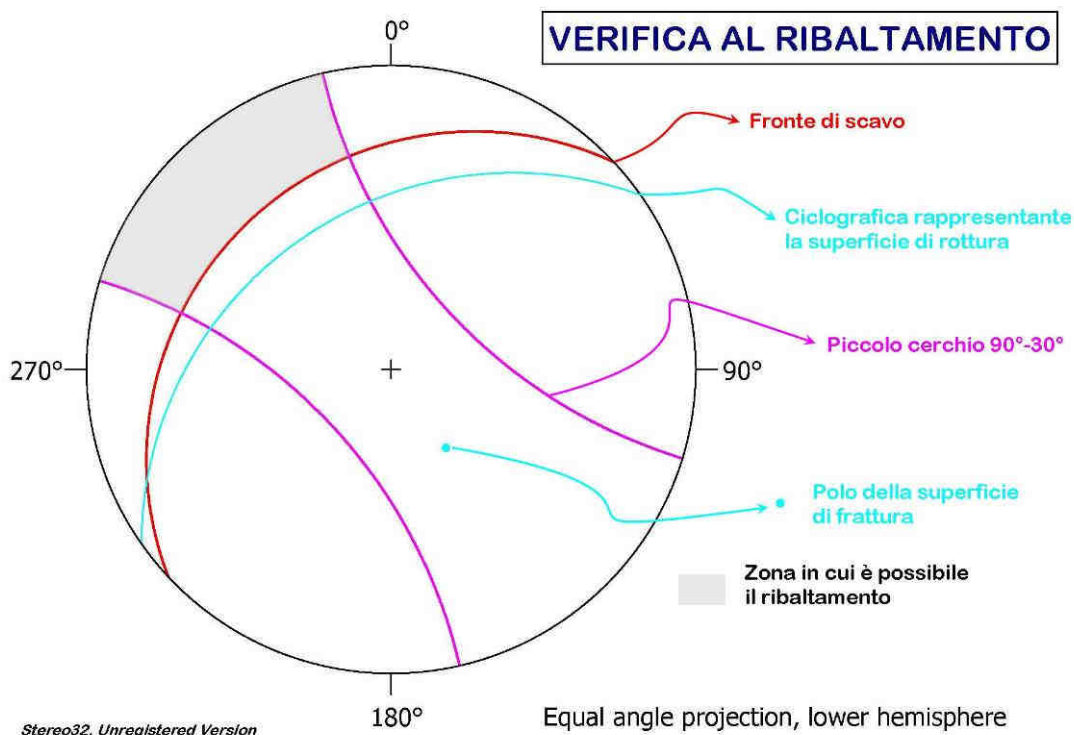




C) Ribaltamento

L'analisi di stabilità è stata effettuata per ogni settore, considerando le superfici di discontinuità rilevate: in proiezione stereografica sono state riportate le tracce ciclografiche ed i poli di ciascuna ciclografica, i piccoli cerchi con asse orizzontale e apertura $90^\circ-30^\circ = 60^\circ$ (poiché le superfici di discontinuità che possono dare origine a ribaltamento hanno la stessa direzione del versante o comunque ne differiscono di $\pm 30^\circ$), ed il fronte di scavo con la direzione del settore considerato e l'inclinazione diminuita del valore dell'angolo d'attrito.

Come si vede dalla proiezione stereografica esemplificativa per l'analisi al ribaltamento,



utilizzando il reticolo di Wulff, tutte i poli individuati ricadenti nell'area del reticolo evidenziata di grigio, indicheranno superfici instabili che possono dare origine a ribaltamenti.



✓ *Analisi di stabilità del versante di coltivazione globale (inclinazione 36°)*

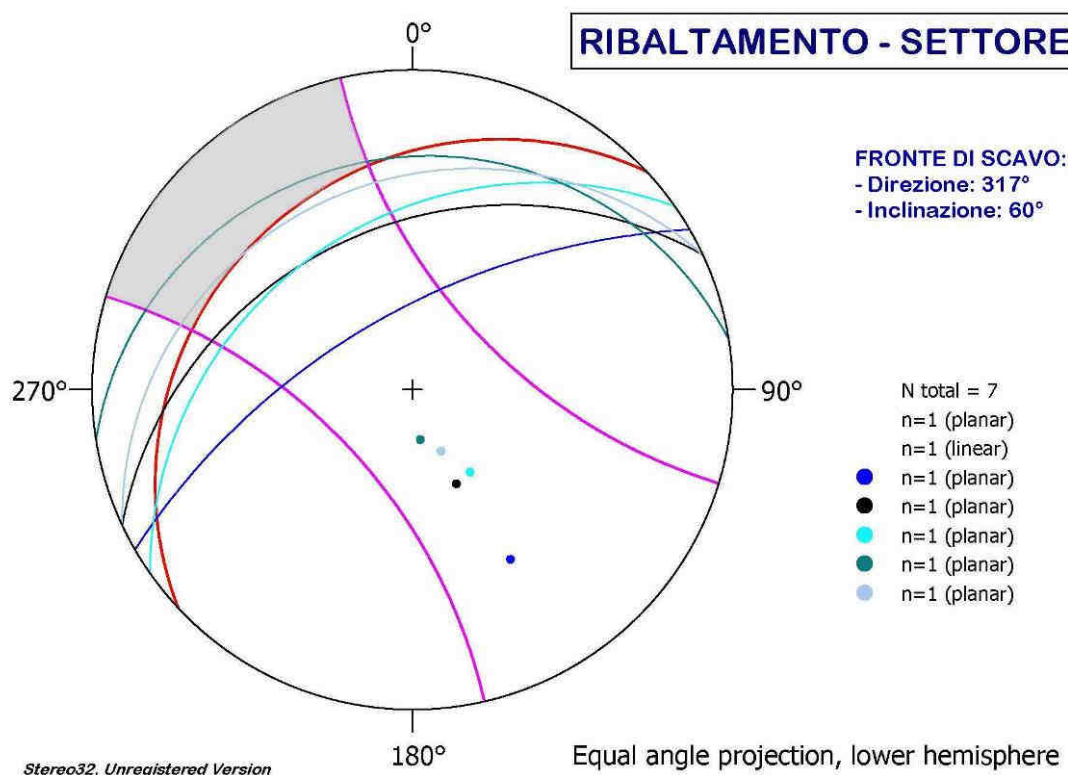
Avendo nel nostro caso un versante dotato di un'inclinazione $\alpha=36^\circ$ e un angolo di resistenza dell'ammasso roccioso $\phi = 38^\circ$ si ottiene un valore di inclinazione della linea ciclografica pari a: $36^\circ-38^\circ = -2^\circ$ non rappresentabile in proiezione stereografica; pertanto, in base alla sua inclinazione ed all'angolo di attrito del materiale, non vi sono condizioni d'instabilità e conseguentemente **esso si trova sempre in condizioni di stabilità relativamente al ribaltamento.**

✓ *Analisi parziale dei gradoni di coltivazione (inclinazione 60°)*

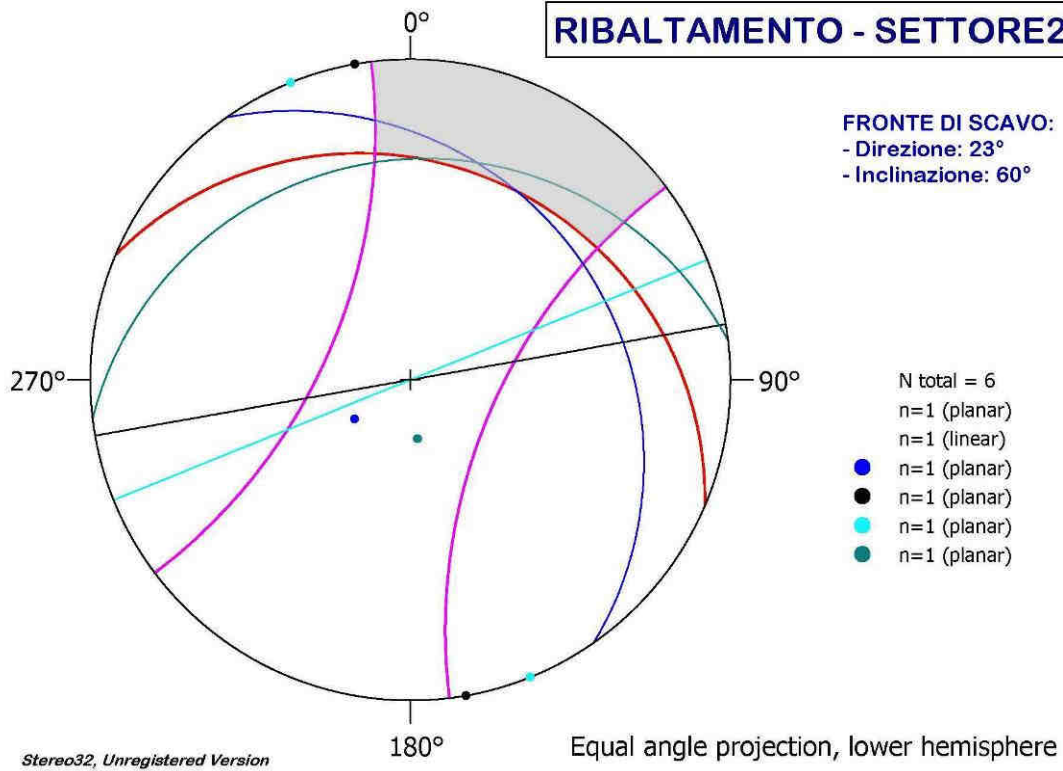
La verifica al ribaltamento effettuata per ogni settore e per ogni singolo gradone, come visibile dalle seguenti figure riportanti i risultati ottenuti per ogni settore, mostra che il fronte di scavo ed il cerchio di attrito determinano un campo d'instabilità particolarmente ristretto all'interno del quale non ricade nessun polo dei piani rappresentanti le discontinuità.

Di conseguenza, anche per il ribaltamento di blocchi, **i gradoni dei fronti di coltivazione analizzati singolarmente si trovano in condizione di stabilità.**

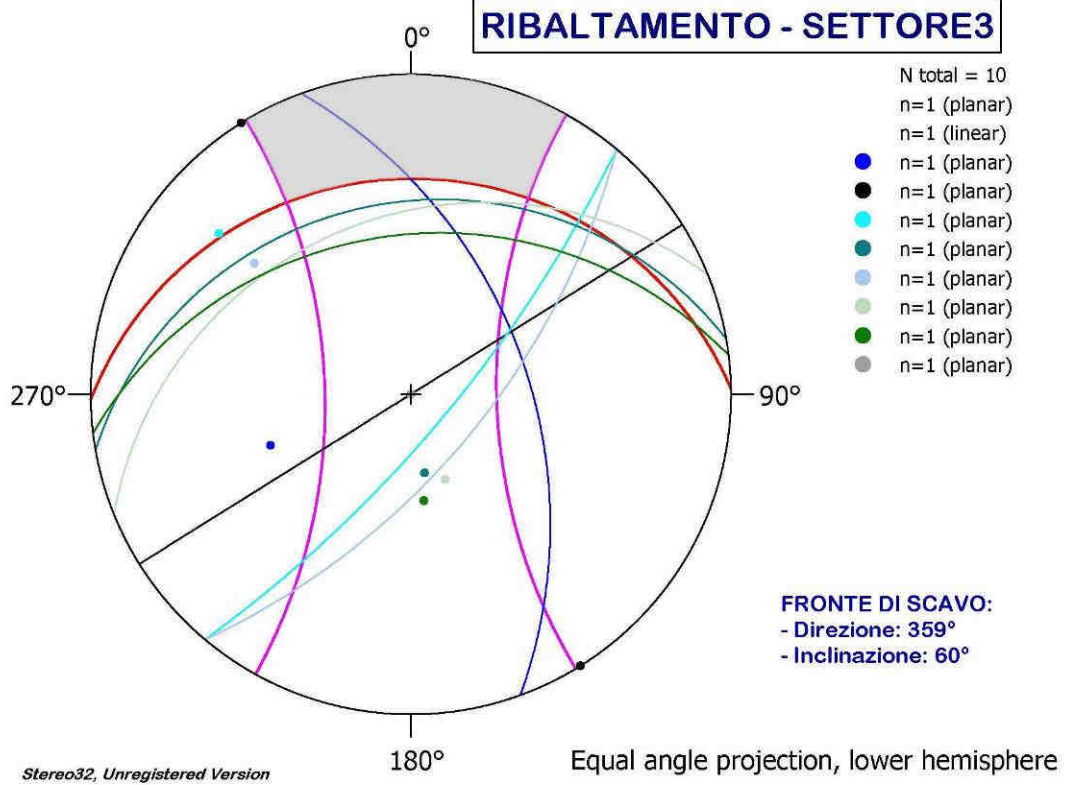
✓ *Diagrammi delle proiezioni stereografiche ottenute per ogni settore*



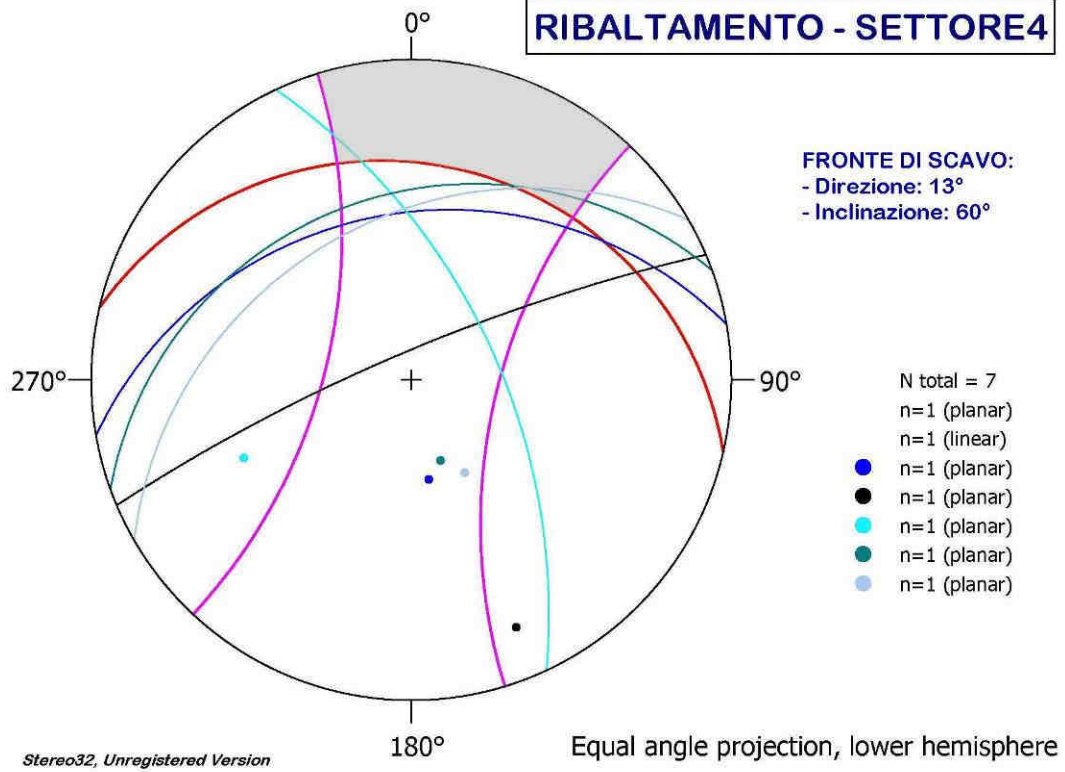
RIBALTAMENTO - SETTORE2



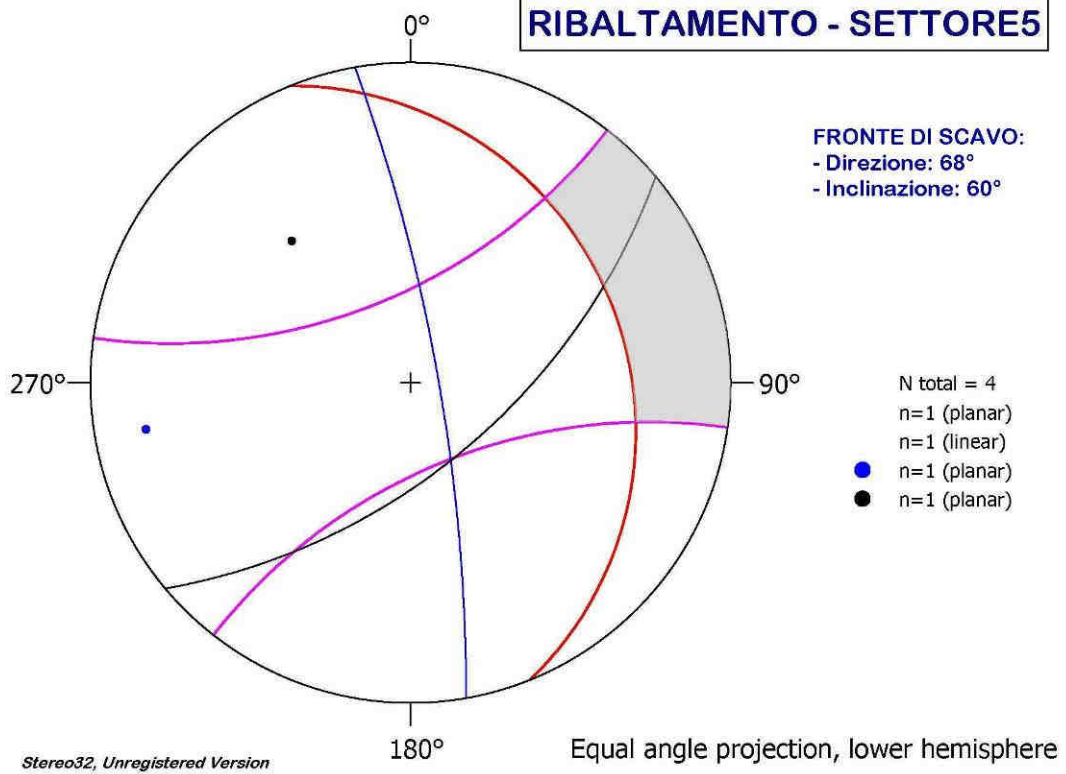
RIBALTAMENTO - SETTORE3



RIBALTAMENTO - SETTORE4



RIBALTAMENTO - SETTORE5



3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio condotto ha dimostrato che le tutte le linee di discontinuità analizzate ed i blocchi e cunei lapidei da esse generati presentano una buona stabilità rispetto alla geometria dei fronti di scavo attuali e di progetto.

In particolare ai fini di una buona rappresentazione il fronte di scavo attuale e di progetto è stato discretizzato in cinque diversi settori, ognuno dei quali è risultato in condizioni di stabilità favorevole sia allo scivolamento dei piani, dei cunei e al ribaltamento, in quanto non vi sono vettori dei piani di frattura rilevati, linee d'intersezione e poli perpendicolari ai piani, ricadenti all'interno dei campi d'instabilità.

Tale situazione si è verificata sia analizzando l'intero fronte di scavo, che parzialmente il singolo gradone di scavo.

Di conseguenza, in base alle considerazioni sopra esposte, si ritiene che per la cava in oggetto non vi siano problematiche connesse alla stabilità dei fronti di scavo per i quali si rendono necessarie solamente nel corso dell'escavazione, le sole operazioni di controllo finalizzate ad accertare la presenza di massi pericolanti ed eventualmente le operazioni di disaggio di quest'ultimi.

Siena, ottobre 2011



GEOSOL s.r.l.

Dott. Geol. Mauro Cartocci

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Mauro Cartocci", written over the printed name.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto1: Ripresa del settore 1.



Foto2: Ripresa del settore 2.

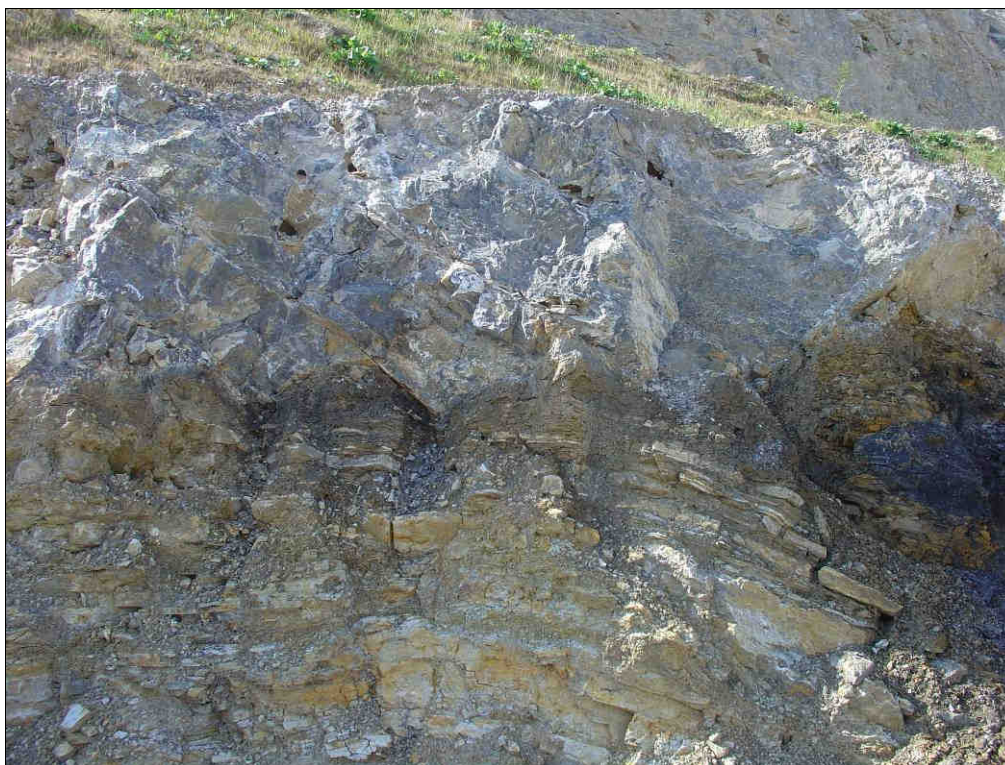


Foto4: Ripresa del settore 3.



Foto3: Ripresa del settore 4.