

LA CAVA Srl -Via Giuseppe Catani 28/c 59100 Prato (PO)

Tel. 0584 790511 - lacavasrl@gmail.com

**PROGETTO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA "FRANCIA"
(LOC. MONTE COSTA) COMUNE DI STAZZEMA , PROVINCIA DI LUCCA**

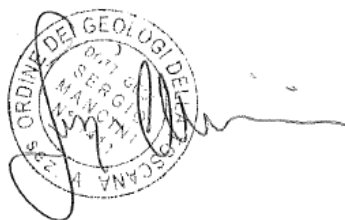


**, STUDIO PRELIMINARE DI STABILITA' DEI CUNEI ROCCIOSI
DELLA PARETE E DELLE AREE DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA FRANCIA
REDATTO CON SOFTWARE DEDICATI (SWEDGE, ROCPLANE, ROSCIENCE)**

ALLEGATO 1B

Geol. Sergio Mancini – Via del Campo 28/E 55047 Seravezza (LU)

Tel. 345 – 1646179 – manser@pec.buffetti.it - mancinisergio50@gmail.com



Maggio 2023

1. PREMESSA E SINTESI DELL'ELABORATO

Nel presente Elaborato, che costituisce parte valutativa di stabilità complessiva degli ammassi rocciosi della parete e dei fronti di coltivazione allo stato attuale e di progetto della Cava "Francia" (sulla base dei dati espressi nel riassunto delle caratteristiche geomeccaniche dell'Allegato 1A cui si fa riferimento) vengono inseriti i dati relativi al fattore di sicurezza e della stabilità dei fronti delle seguenti aree :

- a) *aree relative al Fronte maggiormente instabile della Cava Francia (Stazzema, Lucca); fronte che, come ampiamente descritto in sede della Relazione Tecnica Progettuale con contributo della società SIAG del Dott. D. Coppe, sarà oggetto di bonifica e messa in sicurezza, viste le presenti precarie condizioni di stabilità. Di questo settore si è reso quindi necessario affrontare studi mirati riguardo proprio questo ultimo fattore di instabilità di alcuni grandi cunei, generati da famiglie di giunti che si sviluppano sulla parete; giunti che sono stati studiati in due periodi diversi (Musetti, 2007-2012 e Mancini, 2019-2020).*

Tramite questi studi geomeccanici ed interpretazioni, è stato possibile redigere delle prove di simulazione tramite software dedicati del pacchetto Rocscience (Swedge e Rocplane) che, come verrà esposto nei capitoli successivi, sono strumenti di calcolo idonei per capire ed interpretare quelli che sono i fattori di stabilità o instabilità di cunei rocciosi formati in determinate condizioni geologiche-antropiche, derivate dalle pregresse azioni di apertura della grande parete nei primi decenni del '900 oggi dimensionata in circa 100 metri di altezza per circa 150-160 metri di lunghezza del fronte.

- b) *Le aree relative ai fronti dei cigli della parete verticale di Cava Francia ,dove nel programma di progettazione si intenderà realizzare una bonifica e messa in sicurezza , tramite esecuzione di gradone di avanzamento con tecnica di esplosivistica "presplitting" descritta in specifici elaborati tecnici. Egualmente per queste aree si dispone di dati geomeccanici dei diversi studi compiuti tra il 2007,2012, 2019-2020 dei precedenti progetti autorizzati o presentati.*
- c) *Per le aree relative ai gradoni originari di coltivazione, oggetto della fase C progettuale, i dati a disposizione restano validi quelli delle progettazioni originarie 2007-2012 (Musetti) data l'attuale non idoneità e sicurezza delle aree all'esecuzione di nuovi rilievi sul terreno.*

I software dedicati realizzano dunque valutazioni su :

- a) scivolamenti planari di cunei e ammassi rocciosi derivati da interazioni dei vari giunti rilevati e riuniti nello studio dell'Allegato 1A (Studio Geomeccanico riassuntivo)
- b) Intersezioni (Swedge) di superfici di discontinuità per la valutazione del fattore di sicurezza complessivo dei vari prismi e cunei.

2. DATI DI INPUT E METODOLOGIE DI CALCOLO: ROCPLANE

Come primo approccio al problema relativo alla stabilità generale del Fronte di cava soprastante e facente parte della parete rocciosa sovrastante alle aree di coltivazione C e di ripristino B (area A di abbattimenti controllati), si è proceduto con l'utilizzare il programma ROCPLANE versione 2.029, della software house canadese Rocscience, strumento di calcolo che permette di arrivare ad avere una prima stima dei fattori e delle condizioni che potrebbero portare alla instabilità di blocchi o parti del fronte da mettere in sicurezza.

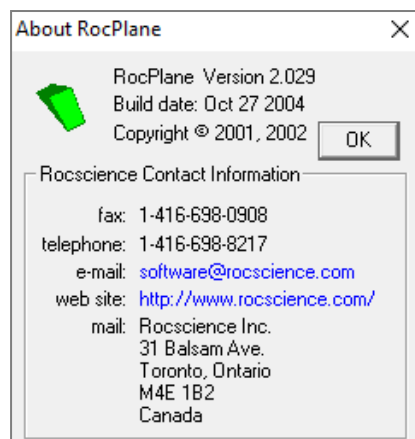


Figura 1 – Licenza utilizzo software ROCPLANE

Come descritto nelle linee guida del software, esso è un valido strumento di analisi che permette di valutare e fare considerazioni sulla possibilità di uno scivolamento di porzioni di roccia, lungo un'ipotetica superficie planare, avente determinate caratteristiche.

Difatti, per quanto riguarda questo primo programma, possiamo arrivare a definire un modello in 2 o 3 dimensioni di un eventuale blocco instabili, servendosi di questi parametri dati di input.

1. Inclinazione delle superficie sommitale del blocco ipotetico (angolo che forma rispetto all'orizzontale)
2. Le direzioni delle Tension Cracks poste dietro il blocco (dip and dip direction)
3. Un piano di scivolamento basale (dip and dip direction)
4. Caratteristiche litologiche dell'ammasso (coesione e angolo di attrito)
5. Fattori sismici che portano a maggiore instabilità (ac. massima al suolo)

In figura 2, possiamo vedere una sintesi della schermata dei dati iniziali richiesti dal software. Successivamente verranno forniti dati più specifici rispetto a questo primo inquadramento.

Figura 2 – dati di input, necessari per avviare la simulazione ed il calcolo delle condizioni di stabilità o instabilità del cuneo roccioso

Oltre a questi primi dati input, viene richiesto secondo quale tipologia di analisi si chiedi di far procedere il calcolo sull'osservare se le condizioni potrebbero superare un determinato fattore di sicurezza (corrispondente al valore di 1.3 secondo le NTC 2018 in ambito minerario e di sicurezza sui fronti di scavo), la scelta dell'analisi è ricaduta su quella DETERMINISTICA, in grado di fornire un fattore di sicurezza 'FS' per un cuneo presente su una parete rocciosa, di cui si conoscono tutti gli input di partenza (figura 3) e di cui si vuole determinare la stabilità in parete.

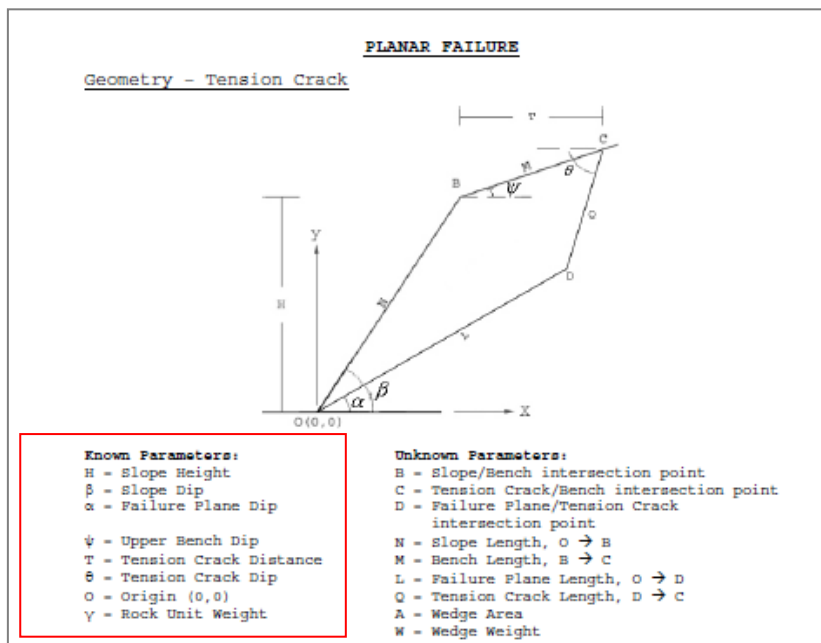


Figura 3 – in rosso, parametri dei calcolo iniziali, necessari per stabilire il fattore di sicurezza del cuneo

Il software permette di osservare anche tutte le tipologie di formule utilizzate dal programma, per andare a stabilire le forze che vanno ad agire sia sul blocco (in movimento oppure no) che sulla superficie planare di scivolamento. Un estratto di tali formule viene riportato in figura 4, nella pagina successiva.

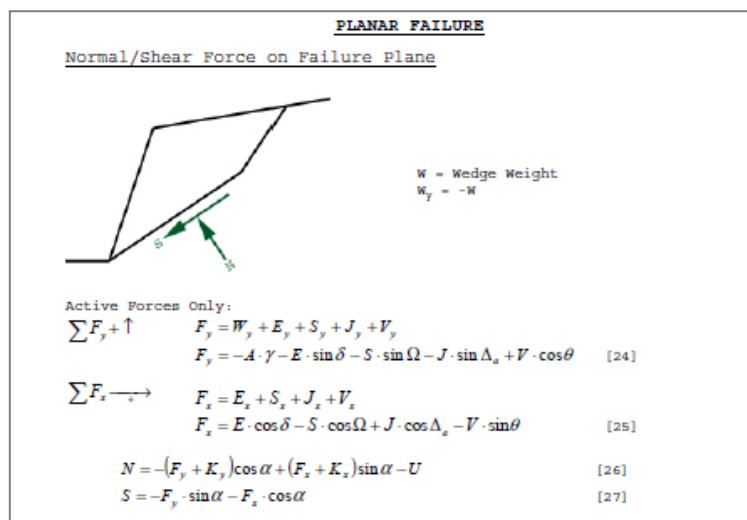
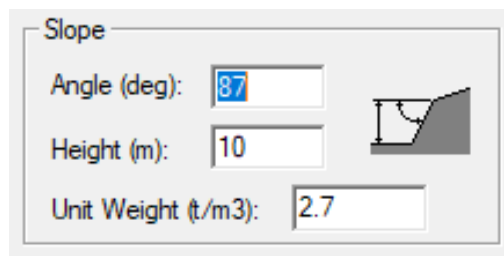


Figura 4 – metodologia di calcolo per forze normali/taglio agenti sia sul blocco che sul piano di scivolamento

Passando all'ultima fase delle operazioni preliminari, vengono di seguito mostrati i valori dei dati utilizzati per andare a calcolare il fattore FS di sicurezza del cuneo roccioso; insieme ai dati, è stata inserita anche un breve descrizioni delle scelte adottate in fase di calcolo e ragionamento.

Dai dati geomeccanici dei pregressi studi di Musetti 2007-2012 e Mancini 2019-2020. Incrociando tali valori e studi, sono state elaborate **caratteristiche tipo** del cuneo potenzialmente instabile che si potrebbe formare.



Il software richiede l'angolo formato dalla superficie frontale (corrispondente con quella del fronte di cava) del cuneo rispetto all'orizzontale, che secondo le osservazioni pregresse era intorno a 87-88°; inoltre si richiede anche l'altezza della superficie, inserita nell'ordine dei 10 metri.

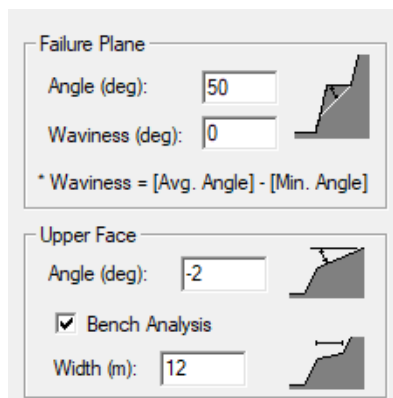
Per questo valore bisogna fare una prima considerazione: è stato inserito tale dato, poiché, secondo la tipologia e spaziatura dei giunti presenti ed osservati nelle pareti studiate, il ragionamento è stato quello di pensare ad un possibile movimento di una serie di cunei instabili per una lunghezza complessiva di 10 metri.

Questo indica che in rari, se non assenti casi, NON si assisterebbe alla formazione di un 'cuneo unico' avente dimensioni di 10 metri, ma ad un insieme di piccoli cunei che potrebbero andare in collasso in fasi successive, portando a generare una zona di distacco dell'ordine del valore indicato all'interno dei calcoli, ovvero 10 metri. Relativa spiegazione grafica viene riportata in figura 5 (sottostante).

Infine veniva richiesto di inserire il valore del peso specifico, che, secondo dati di bibliografia riguardanti le tipologie e litologie di marmi presenti, corrisponde a 2.7 g/cm³ (valore anche in t/m³). Successivamente è stato richiesto di inserire dati relativi alle caratteristiche della superficie di scivolamento (failure plane), che in questo caso corrispondeva esattamente ai giunti definiti nelle relazioni geomeccaniche come **K3 a basso angolo**, quindi con **inclinazione media 50°**.

Infine si è potuto inserire dati relativi alla faccia superiore del cuneo tipo, che corrisponderebbe alla zona in cui si andrebbe a realizzare la viabilità di accesso per la successiva messa in sicurezza del Fronte I di cava.

Veniva richiesta l'inclinazione della superficie superiore (upper face), messa come -2° poiché correlata alla strada di accesso superiore al fronte, che verrà creata secondo le procedure descritte nella relazione tecnica dei lavori di bonifica, e anche la larghezza di tale superficie superiore (upper face), approssimata all'incirca a 12 metri.



Come ultima tipologia di questo tipo di dati, veniva richiesto di inserire i valori della Tension Cracks, ovvero delle tensioni interne che si originano al contatto tra la parte posteriore del cuneo e la superficie del fronte. In questo caso, secondo un ragionamento dedotto dalle fratture presenti e riportate in figura 5, è stato utilizzato il valore del giunto definito come K3a o K4, ovvero il contro ad alto angolo riscontrato sia secondo lo studio di Musetti che di Mancini.

In questo giunto, la direzione media di inclinazione era intorno ai 70° con una distanza dalla cresta (parte frontale del giunto) di circa 5 metri, secondo la persistenza messa in evidenza dallo studio geomeccanico antecedente a questo. Tali valori sono stati inseriti come riportato di seguito.

Viene ora riportato uno schema di **sintesi** delle fratture presenti e dedotte nel Fronte I, al di sotto della zona in cui verrà costruita la strada di accesso necessaria, come specificato in sede di relazione di progetto, per la bonifica e messa in sicurezza dell'area al di sotto di essa.

Come *Tension Crack*, si è deciso di usare la frattura evidenziata in rosso con andamento 60/70; come piano di scivolamento, invece, è stato utilizzato il giunto avente direzione 70/50 (il tutto è visibile nella figura 5). I giunti utilizzati, corrispondono quindi a quelle definiti in relazione come 'contro': in rosso abbiamo quindi K3a o ad alto angolo (tension crack), mentre quello in blu rappresenta le famiglie di giunti K3 del "contro" a basso angolo, frattura tipica della parete.

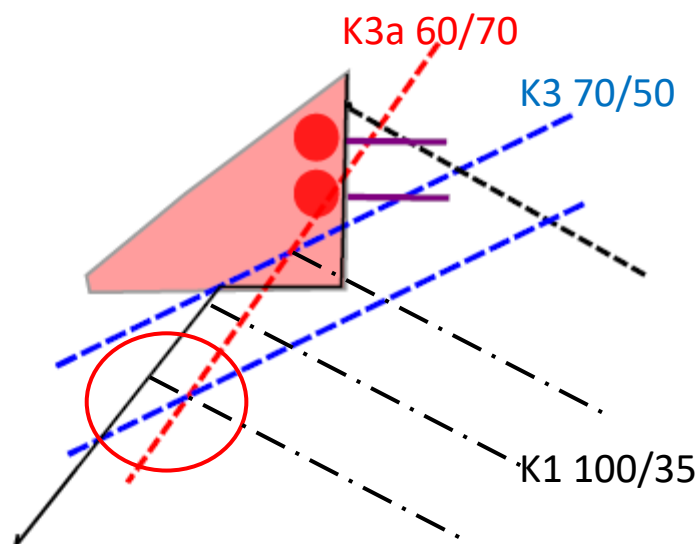


Figura 5 – nel cerchio rosso viene evidenziato il piccolo cuneo che si forma dall'interazione tra K3, K3a o K4 e K1; le dimensioni di esso non sono dell'ordine di 10 metri, ma essendoci una spaziatura molto ristretta del K3 e K1, si potrebbero formare cunei instabili in serie, che arriverebbero a formare una superficie lunga 10-12 metri complessiva.



Immagine di archivio della parete della Cava Francia con evidenza delle superfici K3 70/50

Per la stima sono stati inseriti ulteriori dati relativi alla tipologia di formula da utilizzare per calcolare la forza di resistenza tangenziale alla superficie di scivolamento; visto i dati a disposizione, la scelta logica da seguire è stata quella di utilizzare il teorema di Mohr-Coulomb che permette di ricavare il valore di resistenza tangenziale tau, dalla seguente formula:

Shear Strength Model:

Mohr-Coulomb

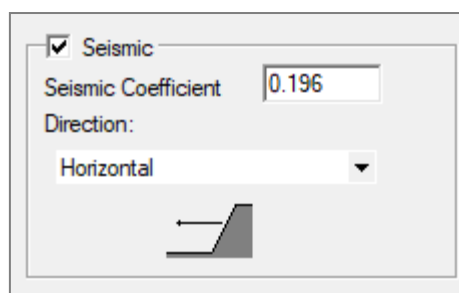
$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$$

Friction Angle (deg):

Cohesion (t/m2):

Dove con c si intende il valore medio di coesione, corrispondente a circa 27 t/m2, mentre phi corrispondeva all'angolo di attrito interno del materiale, che secondo pregressi studi e correlazioni con il RMRB di Bieniawski effettuato sull'ammasso, si aggirava intorno a 30-32°.

Come ultimo fattore necessario al calcolo delle forze agenti sul cuneo, veniva richiesta l'accelerazione massima attesa al suolo in caso di evento sismico; tramite lo studio delle NTC2018, ed in base ad analisi precedenti (Ing. Giacomo del Nero, relazione tecnica del 2020), è stato stimato un valore di accelerazione sismica corrispondente a 0.196 g – per un sisma con periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).



3. RISULTATI E DISCUSSIONI ELABORATO ROCPLANE

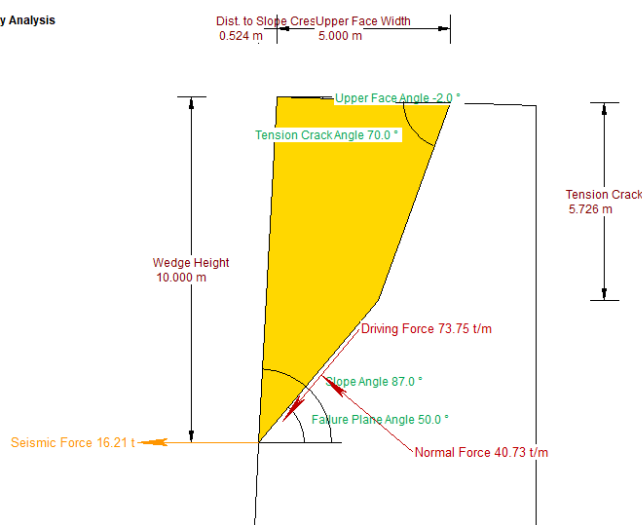
Queste prime discussioni e risultati, fanno riferimento ai soli dati ottenuti dal singolo software ROCPLANE. In figura 8 è stato inserito un estratto grafico dal programma appena citato; estratto in 2D che permette di andare ad osservare tutte quelle forze in gioco, ricavate in base ai parametri e dati di input inseriti all'inizio dello studio.

In base alle osservazioni fatte in precedenza riguardo l'altezza della superficie frontale del cuneo giallo, (definita nei risultati come Wedge Height), importanti variazioni al FS si hanno con minime differenze positive: basta infatti aumentare di un metro tale altezza (da 10 metri si passa ad 11 metri), che il FS diminuisce fino al valore di 1.846.

Situazione che potrebbe diventare reale visto che, come già spiegato in precedenza, il cuneo nella realtà non viene considerato come uno singolo, ma è un cuneo derivante dalla formazione di molti piccole sub unità che si distaccherebbe in maniera non simultanea, andando però a formare un vuoto corrispondente alle dimensioni del cuneo giallo presente in figura 6.

Questo lo si deve al fatto che in base a studi di Mancini, 2019-2020 (sulla strada al di sopra del fronte), sono stati ritrovati e confermati la tipologia di giunti K3 a basso angolo, con spaziature di 80-100 cm, quindi mediamente ravvicinate. Se questa situazione si ripetesse anche in parete, l'unione del giunto K3 con quello K3a o K4 e del K1 (definito anche come scistosità), porterebbe alla formazione di cunei potenzialmente instabili, che in situazioni sia statiche che dinamiche, potrebbero evolvere in crolli che in alcuni periodi, con riferimento all'area dello spigolo ovest della Cava, si sono verificati anche in periodi relativamente recenti.

Filename: RocPlane1
Project Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis



Factor of Safety	2.30
Driving Force	73.75t/m
Resisting Force	169.95t/m
Wedge Weight	82.68t/m
Wedge Volume	30.62m³/m
Shear Strength	169.95t/m²
Normal Force	40.73t/m
Seismic Force	16.21t
Plane Waviness	0.0°

Figura 6 – risultati finali di ROCPLANE, con indicata, in fondo a destra, la tabella con il valore di FS.

Considerando un FS richiesto minimo di 1.3, in queste condizioni appena descritte, il fattore di

sicurezza del fronte al di sopra di tale valore (**FS calcolato = 2.304**), rendendo quindi l'idea di come la parete, o parte di essa, sia in condizioni di sostanziale equilibrio ma con possibilità di cunei composti non del tutto stabili.

In figura 7 si propone uno zoom sulla parte finale del cuneo, laddove si potrebbe avere interferenza tra i giunti K1 K3 e K3a o K4; l'intersezione con il K1, potrebbe portare alla formazione del cuneo responsabile del primo movimento di materiale lungo il fronte.

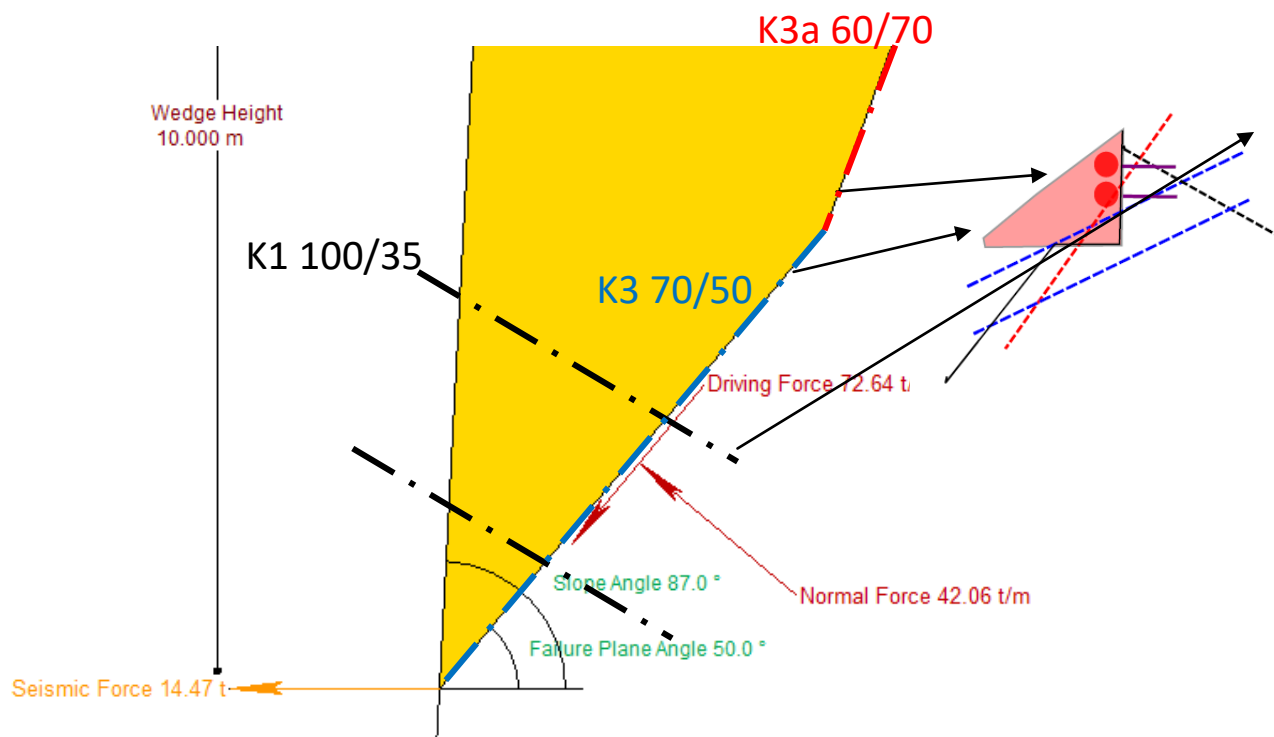


Figura 7 – in nero viene indicato il giunto K1, in blu l'orientazione del K3 ed infine in rosso l'orientazione del K3a o K4. La figura rosa, in alto a destra, serve per correlare le direzioni dei giunti usati con ROCPLANE, con quelli osservati durante le campagne geomeccaniche (Mancini, 2019) eseguite nella zona al di sopra il Fronte I, lungo la strada di arroccamento preesistente.

PRIME CONCLUSIONI DELL SITUAZIONE DI STABILITA' CON ROCPLANE

L'effettuazione delle stime di stabilità con Rocplane 2.029 porta alla conferma che le operazioni possibili in rapporto alle attività di bonifica e messa in sicurezza :

- Si debbano limitare alle sole operazioni di scavo del gradone (ambito A) di realizzazione dell'infrastruttura di collegamento con i prismi più instabili dello spigolo E della Cava Francia, con dimensioni tecniche descritte dalla Relazione Tecnica Progettuale e dallo specifico Allegato Bonifiche, con dimensioni di m. 18,0 di pedata e m.12,0 di altezza, previamente e durante i lavori di progressione sostenuti da interventi di chiodatura preventiva atta al contenimento dei fenomeni di intersezione tra K3 e "tension cracks".
- Al di sotto del gradone che costituirà ambito A del progetto , in considerazione dei dati geomeccanici complessivi e dei valori del Fattore di Sicurezza riscontrato, verranno impostate a monte dell'alzata e alla base del gradone stesso in avanzamento, opportune chiodature sulla base dei dati ingegneristici del 2020 (Ing. Del Nero) per la stabilità ulteriore dell'opera.
- Le attività operative per la costruzione del gradone dell'ambiente A necessario per il raggiungimento saranno effettuate con macchinari in remoto.

4. DATI DI INPUT E METODI DI CALCOLO: SWEDGE

In aiuto a quanto osservato tramite il software precedente, è stato deciso di utilizzare un ulteriore programma della casa ROCSCIENCE, ovvero SWEDGE; quest'ultimo permette di prendere in considerazione i dati relativi a n° 3 giunti per ogni prova effettuata.

Riassumendo sono stati inseriti i dati delle discontinuità definite come K2 (340/85°), K3 basso angolo (70/50°) ed anche il K3a o K4 (secondo lo studio Ing. Del Nero, 100/80°); al contrario, nel caso di studio con ROCPLANE, venivano presi in carico i dati dei sistemi di giunti K3 e K3a o K4, il K1 era inserito solo per motivi grafici per mettere in evidenza la possibilità della formazione di un cuneo specifico, ma non sono stati utilizzati dati geomeccanici nel corso delle prove.

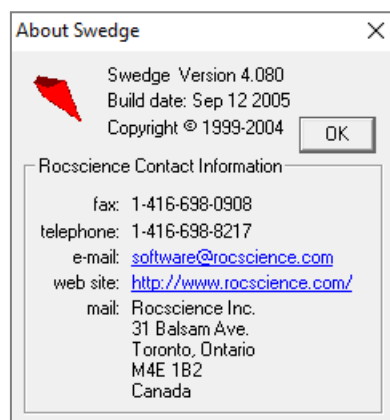


Figura 8 – licenza utilizzo software SWEDGE

Il programma utilizzato, consente di osservare quello che è il comportamento di un cuneo generato dall'interazione di 2 giunti principali, definiti come Joint Set 1 e 2, e di un giunto definito come Tension Crack, ovvero quello che si viene a formare dall'unione dei primi due. Di seguito si lascia un estratto grafico della pagina iniziale del programma SWEDGE.

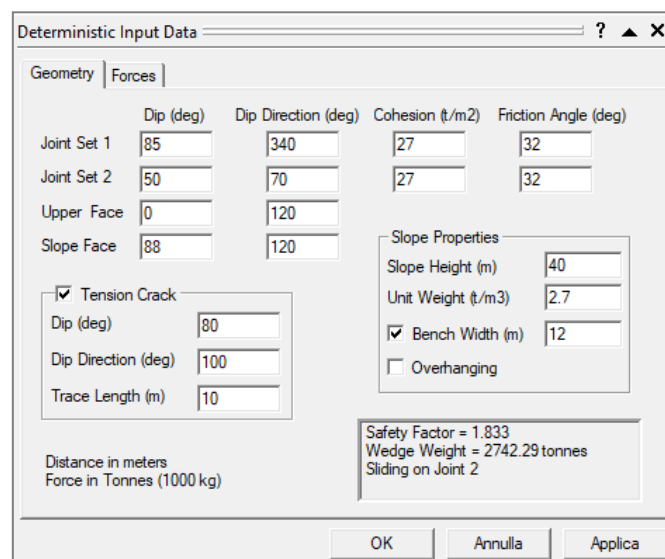


Figura 9 – pagina iniziale con i dati di input richiesti dal programma

Nello specifico, il software, richiedeva di inserire i seguenti parametri, indicati qua sotto:

- Inclinazione e direzione dei joint 1 e 2 (scelti seguendo i dati del K2 340/85° e K3 basso angolo 70/50°)
- Valori di coesione ed angolo di attrito interno del materiale ($c = 27 \text{ ton/m}^2$ e angolo di attrito medio 30-32°)
- Alcune proprietà della facciata del Fronte dell'Ambito A (tra cui altezza media, peso specifico del materiale e larghezza della superficie planare al di sopra del cuneo che si andrà a generare)
- Direzione ed inclinazione della Tension Crack (ovvero la K3a o K4 ad alto angolo 100-120/70)
- Accelerazione sismica al suolo massima attesa ($a_g = 0.196g$ come indicato tramite NTC 2018 e Studi precedenti)

Oltre a questi primi dati input, viene richiesto secondo quale tipologia di analisi si chiedi di far procedere il calcolo: essendo basato tutto sull'osservare se le condizioni potrebbero superare un determinato fattore di sicurezza (corrispondente al valore di 1.3 secondo le NTC 2018 in ambito minerario e di sicurezza sui fronti di scavo), la scelta dell'analisi è ricaduta su quella DETERMINISTICA, in grado di fornire un fattore di sicurezza per un cuneo presente su una parete rocciosa, di cui si conoscono tutti gli input di partenza (figura 10).

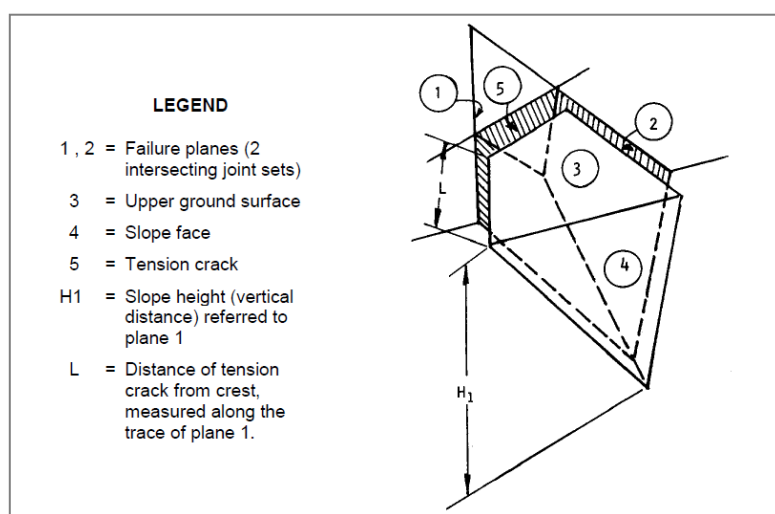


Figura 10 – dati di partenza per calcolo instabilità cuneo.

Passando ai valori inseriti nel programma, per iniziare il calcolo delle forze e direzioni agente sul cuneo, possiamo trovare un estratto nella figura sottostante a questa descrizione.

Il software, in questa prima parte, chiedeva di inserire i valori relativi a:

- direzione ed inclinazione dei joint K2 e K3 basso angolo,
- direzione ed inclinazione della parete sommitale del cuneo (sarebbe quella su cui si andrebbe a creare la strada necessaria per la bonifica del Fronte I, come indicato nelle altre relazione tecniche)
- direzione ed inclinazione della *slope face*, ovvero della parete del Fronte I.
-

Di seguito sono riportati i valori inseriti all'interno delle apposite caselle del programma SWEDGE.

	Dip (deg)	Dip Direction (deg)
Joint Set 1	85	340
Joint Set 2	50	70
Upper Face	0	120
Slope Face	88	120

Successivamente sono stati inseriti i dati di coesione ed angolo di attrito medio del materiale, riportati di seguito. I valori di riferimento sono relativi a dati di bibliografia secondo un confronto tra lo studio geomeccanico di Musetti, 2007 e le più recenti indagini Mancini, 2019-2020, con dati complessivi riuniti dall'Allegato 1A.

Cohesion (t/m ²)	Friction Angle (deg)
27	32
27	32

Oltre ai valori dei Joint K2 e K3 basso angolo, è stato deciso di inserire il valore relativo alle fratture denominate *Tension Crack*, ovvero il K3a o K4 (il giunto creato dalla intersezione dei K1+K2, che forma un piano di intersezione ad alto angolo). Proprio grazie a questi dati presi tramite rilevamento geomeccanico, è stato possibile inserire un dato in più all'interno del software, necessario per rendere il caso studiato tramite computer, più simile alla situazione reale presente in parete. Difatti, i giunti K3a o K4, insieme al K3 basso angolo, sono quelli indicati come maggior discontinuità atte a provocare fenomeni di instabilità lungo tutto il fronte.

☒ Tension Crack	
Dip (deg)	80
Dip Direction (deg)	100
Trace Length (m)	10

Infine, come nel caso precedente durante l'uso di ROCPLANE, è stato inserito il valore relativo all'accelerazione massima al suolo attesa, prendendo come valore (dati di Bibliografia INGV per il Comune di Stazzema), $a_g=0.196g$. Questo è stato utile per studiare il caso e l'instabilità in condizioni non statiche.

☒ Seismic	
Seismic Coefficient	0.196
Direction:	
Line of Intersection ▼	

5. DISCUSSIONE ELABORATO FINALE SWEDGE

Dall'analisi dei risultati derivanti dal programma SWEDGE, si nota un fattore di sicurezza FS simile a quello ottenuto tramite il programma ROCPLANE; infatti, per quanto riguarda il programma SWEDGE, in fondo ai calcoli eseguite da esso, **si trova un valore di FS = 1.843** (molto simile al valore ottenuto con ROCPLANE = 1.833). Il tutto viene riportato in figura 11.

Questo può indicare come la maggior parte dei cunei che si formano per l'intersezione tra i giunti K2 e K3 basso angolo, possano essere in condizioni di precaria stabilità.

Considerando un FS di sicurezza richiesto dalle norme vigenti (NTC 2018) corrispondente al valore di 1.3, si può ben vedere come in entrambi i casi studiati dai differenti software, la situazione che viene riportata sia ricompresa nel limite di stabilità consentito, mettendo però in evidenza come le condizioni del fronte, in maniera del tutto ipotetica e da condizioni simulata dai software, siano come da considerarsi come condizionati da necessità di disaggi anche diffusi e chiodature localizzate.

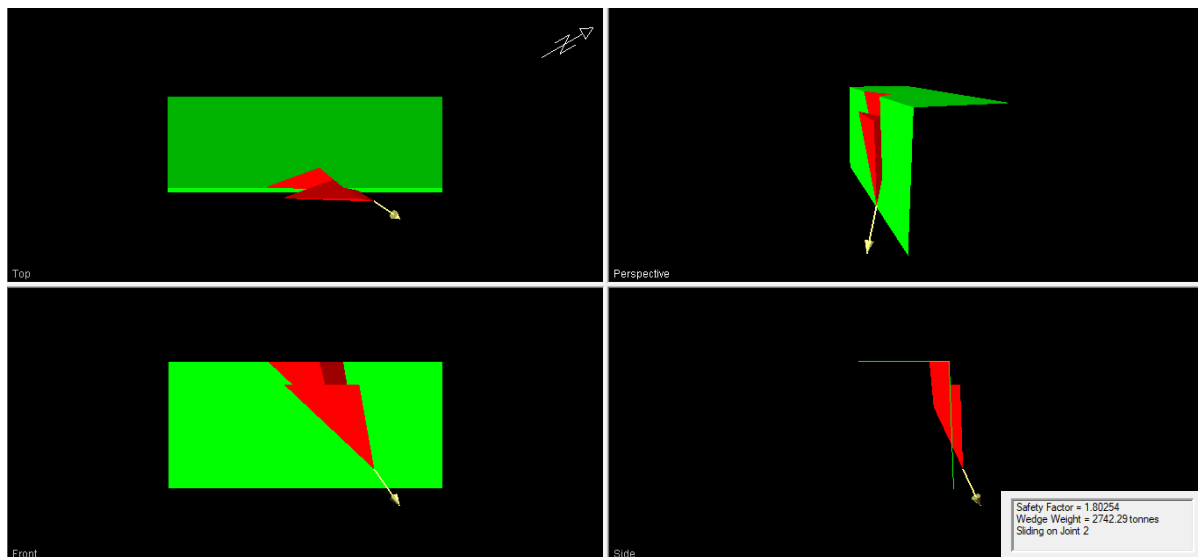


Figura 11 – forma del cuneo, con riportato il valore di FS = 1.803

Sempre lo stesso software, permette di riportare tutte le variabili utilizzate, in formato di file scritto, dove è possibile andare a visualizzare ulteriori dati, rispetto al solo dato visivo della figura precedente. Un estratto dei valori ottenuto tramite il calcolo, si riporta qua di seguito.

Un dato interessante, che permette di correlare i metodi e le conclusioni delle due relazione geomeccaniche di Mancini e Musetti, riguarda la superficie di scivolamento del possibile cuneo instabile: come già accennato nel corso dello studio di Mancini (2019) e Musetti (2007) una possibile superficie di scivolamento era quella definita come K3 a basso angolo.

Anche il software (messo in evidenza **in giallo** nelle righe successive, sotto la voce *failure mode*) identifica in questo giunto la possibile superficie di scivolamento ideale, in tutto in correlazione con quanto osservato dai due autori durante le fasi di rilevamento sul campo.

Swedge Analysis Information

Document Name:

Swedge1

Job Title:

SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.80254
Wedge height(on slope)=27.4335 m
Wedge width(on upper face)=6.42788 m
Wedge volume=1015.66 m3
Wedge weight=2742.29 tonnes

Normal force (joint1)=-140.696 tonnes
Normal force (joint2)=1754.82 tonnes
Driving force=2637.24 tonnes
Resisting force=4753.75 tonnes

Seismic Force:

Seismic force=537.488 tonnes

Failure Mode:

Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

plunge=49.8474 deg, trend=64.0476 deg
length=16.5044 m

Trace Lengths:

Joint1 on slope face=27.8798 m
Joint2 on slope face=40.1103 m
Joint1 on upper face=10 m
Joint2 on upper face=0.650283 m
Tension crack on upper face=17.3374 m

Maximum Persistence:

Joint1=31.0532 m
Joint2=40.1103 m

Intersection Angles:

J1&J2 on slope face = 36.7424 deg
J1&Crest on slope face = 100.072 deg
J1&Crest on upper face = 40 deg
J2&Crest on slope face = 43.1859 deg
J2&Crest on upper face = 50 deg
J1&TC on upper face = 120 deg
J2&TC on upper face = 150 deg

Joint Set 1 Data:

dip=85 deg, dip direction=340 deg
cohesion=27 tonnes/m2, friction angle=32 deg

Joint Set 2 Data:

dip=50 deg, dip direction=70 deg
cohesion=27 tonnes/m², friction angle=32 deg

Slope Data:

dip=88 deg, dip direction=120 deg
slope height=40 meters
bench width=12 meters
rock unit weight=2.7 tonnes/m³
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=YES

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=120 deg

Tension Crack Data:

dip=80 deg, dip direction=100 deg
trace length=10 meters

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.196
Direction=line of intersection J1&J2
trend=64.0476 deg, plunge=49.8474 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope, 5=Tension Crack
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -3.27, -3.74, 27.4
Point 234: -15.5, -24.8, 27.4
Point 135: -12.7, -7.16, 27.4
Point 125: -9.57, -4.66, 12.6
Point 235: -15.7, -24.2, 27.4

6. CONCLUSIONI FINALI: CONFRONTI FRA I RISULTATI

Volendo riassumere quelli che sono i dati finali relativi allo studio tramite gli utilizzati software, sorge spontaneo osservare come entrambi, seppur con dati di input leggermente differenti, portino ad avere risultati abbastanza simili (in termini di fattore di SICUREZZA).

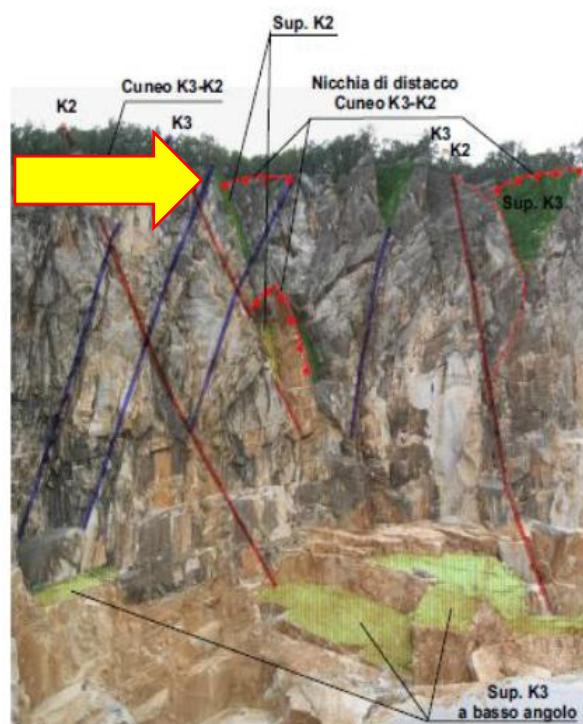
Nel primo caso studiato (ROCPLANE), le superfici inserite erano soltanto due, corrispondenti al K3 basso angolo e K3a o K4 alto angolo, con un valore di $FS = 2.304$; nel secondo software (SWEDGE), aumentando le variabili considerate, si è andati a studiare il comportamento del cuneo lungo 3 giunti: K2, K3 basso angolo e anche K3a o K4 alto angolo. Questo ha portato alla conclusione di un $FS = 1.803$.

Come già accennato in precedenza, il risultato ottenuto di FS, si distacca non di molto da quello richiesto in fase di NTC 2018 e sicurezza sui luoghi di lavoro (miniere o cave), corrispondente a 1.3. Questo pone una maggior attenzione sul fatto di come alcune dei cunei presenti sul Fronte I, possano essere in condizioni di precaria stabilità (il tutto assunto in maniera ipotetica in base ai due

software utilizzati).

La considerazione tecnica di un valore di $F_s = 1,803$ nella stima con swedge che prende in esame le possibili intersezioni che riguarderebbero le superfici geomeccaniche, individuate già dagli studi del 2007-2012 per i giunti di incrocio K3-K2, induce alle seguenti linee progettuali.

- a) Limitata lavorazione della superficie di abbattimento A sul ciglio superiore della parete, con ovvia lavorazione in sicurezza a partire da m. 18 indietro allo stesso ciglio di cava, con avanzamento da EST a OVEST, evidenziato con schema a freccia sulla figura seguente e come descritto dallo specifico ed esteso *Allegato Tecnico* di Bonifica e abbattimento con metodologie di "presplitting" (Allegato 1C).
- b) Successivo abbattimento delle superfici di maggiore instabilità riconosciute e identificate in Relazione Tecnica e tutti gli Allegati 1A, 1B, 1C concentrate nell'area dello spigolo Ovest della parete tramite identificazione con Drone e indagini SIAG srl.



- c) Importante e contemporaneamente di forte supporto all'avvio di una fase preliminare di Ripristino Ambientale richiesta anche dagli enti competenti (Comune di Stazzema) si e' progettata un'ampia e molto estesa area B di ripristino contestuale all'avvenuta esecuzione delle precedenti fasi concernenti l'ambiente A, con funzione di:
 - Contenimento con valli paramassi e berme di protezione, il cui dimensionamento e' stato calcolato tramite utilizzo del Software ROCFALL (Allegato 1D) e raffigurate nelle Tavole Progettuali e degli Ambiti, a separazione tra la parete rocciosa nella sua parte media inferiore e gli ambiti di coltivazione C consistenti in gradoni a cielo aperto.

Seravezza, Maggio 2023, Il tecnico, Geol. Sergio Mancini.