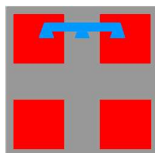


Regione Piemonte



Provincia di Cuneo



Comune di Fossano



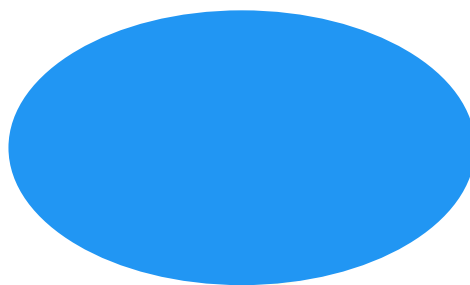
**Analisi di stabilità dei fronti di scavo della
cava di inerti per calcestruzzi “Santo
Stefano”, nel comune di Fossano –
Aggiornamento anno 2025
(art. 52 – D.Lgs. 624/96)**

La Ditta



Unical S.p.A.
Responsabile
Attività Estrattive
Stefano Mario Vettore

Il tecnico



Casale Monferrato, giugno 2025

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	SISMICITÀ	4
2.1	Generalità	4
2.2	Individuazione della pericolosità del sito	6
2.3	Scelta della strategia di progettazione	7
2.4	Determinazione dell'azione di progetto	9
3	PARAMETRI GEOTECNICI E DINAMICHE DI ROTTURA.....	10
3.1	Parametri geotecnici.....	10
3.2	Criteri di verifica	10
3.3	Franamenti in terreni alluvionale: dinamiche di rottura	12
4	STABILITÀ DEI FRONTI DI COLTIVAZIONE.....	13
4.1	Situazione riscontrata	13
4.2	Verifiche di stabilità	13
5	CONCLUSIONI.....	20

ALLEGATI

Riprese fotografiche del sito

Planimetria in scala 1:3000

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata all'aggiornamento annuale dello studio di stabilità, previsto dalla normativa vigente, delle scarpate di scavo della cava di inerte denominata “Santo Stefano”, ubicata nel comune di Fossano (CN). Si tratta di una cava dalla quale si estrae la materia prima che alimenta l'impianto di vagliatura di Unical S.p.A. contiguo ad essa. I prodotti vagliati (pietrisco, pietrischetto e sabbia) sono destinati all'autoconsumo nelle centrali di betonaggio della Unical S.p.A. ubicate nelle aree limitrofe.

Il sito in oggetto è posto a sud dell'abitato di Fossano, sulla sponda sinistra idrografica del fiume Stura di Demonte. Dal centro abitato di Fossano il sito dista circa 4 km mentre dal paese di Sant'Albano Stura circa 0,8 km, e dalla frazione Santo Stefano circa 2 km. La cava si trova in prossimità della cascina Cascinotto. Ad esclusione di questa, non vi sono altre abitazioni nelle vicinanze. L'ubicazione è individuabile cartograficamente nella Sezione 2100050 della Carta Tecnica Regionale, in scala 1:10.000 della Regione Piemonte.

In particolare, l'intervento riguarda due superfici di terrazzo fluviale poste tra la piana che ospita l'abitato di San Sebastiano e il corso della Stura di Demonte.



***Fotografia 1.1:** ripresa panoramica della cava Santo Stefano vista sa SO.*

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di studio fa parte della serie di terrazzi alluvionali di età quaternaria (Pleistocenica) che bordano, nei pressi di Fossano, la valle dello Stura, incisa nella pianura principale cuneese. Alla base delle scarpate dei terrazzi e lungo l'alveo dello Stura affiorano i sedimenti del ciclo Plio-Pleistocenico Villafranchiano. Il modellamento dovuto ai processi erosivo – deposizionali di origine fluviale ha prodotto, nel versante sinistro della valle dello Stura, tre ordini di terrazzi.

Come anticipato, l'area in osservazione si trova in prossimità dell'asta torrentizia, dove affiorano i suoi depositi alluvionali recenti costituiti principalmente da ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli. Facendo riferimento alla Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 – per quanto sia una cartografia non di dettaglio e piuttosto antica – l'area ricade nel F°80 Cuneo, dove viene segnalata la presenza di “*Alluvioni sabbioso – ghiaioso – ciottolose recenti (Alluvium)*” dell'Olocene. Facendo invece riferimento al più specifico P.R.G.C. del Comune di Fossano, la zona in parola è cartografata nella Tav. AG1/b – scala 1:10.000 – “Carta Geolitologica”, dove affiorano le “*Ghiaie di Murasso*” e, a monte e a valle, le “*Ghiaie di Consovero*”.

I sedimenti attuali dello Stura sono formati principalmente da ghiaie eterometriche, a matrice sabbiosa subordinata, costituite da ciottoli e blocchi arrotondati di rocce metamorfiche del Cristallino dell'Argentera. I depositi quaternari terrazzati hanno solitamente giacitura suborizzontale. Nel terrazzo di quota 330, a valle di Cascina Cascinotto, la superficie basale delle alluvioni è debolmente inclinata verso E, con valori di pendenza compresi tra 0,8 % e 1%.

La coltivazione del giacimento avviene per splateamenti successivi con altezza del gradone di circa 2 metri. L'asportazione del substrato è eseguita essenzialmente tramite un escavatore cingolato a benna rovescia. Il materiale viene caricato su di camion posizionato sul piano inferiore e da qui trasportato all'impianto di frantumazione e vagliatura.



Fotografia 1.2: coltivazione del substrato e carico su camion.

Il sito minerario viene costantemente drenato, per cui la coltivazione avviene all'asciutto, e la falda a pelo libero si trova appena al di sotto del piano di coltivazione. Il drenaggio delle acque cessa non appena il lotto risulta esaurito e le operazioni di ripristino ambientale terminate.

La scopertura del giacimento avviene tramite escavatore a benna rovescia. Il terreno di scotico viene solitamente riutilizzato immediatamente per i lavori di ripristino ambientale.



Fotografia 1.3: il fosso di drenaggio segna il confine tra l'area già ripristinata ed una pista di carreggio.

2 SISMICITÀ

2.1 Generalità

Il territorio regionale piemontese è circondato a Nord, ad Ovest e a Sud dal sistema alpino occidentale. Tale catena montuosa si è originata a partire dal Cretaceo a causa dell'evento collisionale dovuto allo scontro fra le placche Europea ed Adriatica. Il contesto tettonico pocanzi descritto, unitamente ai regimi geodinamici tutt'ora attivi, porta la regione ad essere interessata da una sensibile attività sismica, che è modesta come intensità, ma si manifesta con notevole frequenza. Gli eventi sismici si manifestano principalmente lungo due direttrici che riflettono chiaramente l'assetto tettonico regionale: esse coincidono, entro un ragionevole margine di distribuzione, l'una con il fronte Pennidico, l'altra con il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana.

Osservando la localizzazione degli epicentri dei terremoti si nota chiaramente una distribuzione dispersa lungo due direttrici principali: una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna, in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità; l'altra più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini

esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle alpi Occidentali francesi. Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa interessando il Nizzardo e l'Imperiese.

A seguito dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 (“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”), è stata introdotta una nuova classificazione sismica. Essa suddivide il territorio nazionale in 4 zone omogenee: le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre per la zona 4, di nuova introduzione, si dà facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

Viene anche introdotto, con la nuova normativa, un riferimento agli intervalli di accelerazione orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g), attesi per ogni zona.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 sono stati approvati i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone, nonché la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 19 gennaio 2010, n. 11-13058, la Regione Piemonte ha provveduto all'aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche. I Comuni piemontesi vengono a ricadere in due zone: livello 3, a basso rischio sismico; livello 4, a rischio molto basso. Inoltre, a seguito dell'entrata in vigore il 1° luglio 2009 del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (approvazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"), viene resa obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il Piemonte. Tale obbligo si applica indistintamente a tutte le costruzioni, indipendentemente dalla zona di classificazione sismica in cui sono realizzate ed è da ritenersi concluso il periodo transitorio durante il quale era consentito alle Regioni di non introdurre la progettazione antisismica in zona 4.

L'intervento si inserisce all'interno del territorio comunale di Fossano. Sulla base di quanto sopra esposto, tale comune risulta caratterizzato da sismicità bassa ed è classificato in zona 3. Di questo dato si è tenuto conto per la verifica di stabilità dei fronti di scavo, come meglio illustrato qui di seguito.

Le N.T.C. 2008 prevedono che l'analisi di un pendio in condizioni sismiche possa essere eseguita mediante metodi pseudostatici e che nelle verifiche allo stato limite ultimo in mancanza di studi specifici, l'azione sismica possa essere rappresentata da un'azione statica equivalente, le cui componenti orizzontale e verticale possono essere espresse come:

$$F_h = k_h * W \quad (1)$$

$$F_v = k_v * W \quad (2)$$

dove

W = peso di volume di terreno potenzialmente instabile

$$k_h = \beta_s * (a_{max}/g) \quad (3)$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h \quad (4)$$

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

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

In assenza di analisi specifiche i coefficienti k_h e k_v possono essere calcolati utilizzando le indicazioni del paragrafo 7.11.3.5.2 delle N.T.C. ed eventualmente utilizzando il programma “Spettri di risposta” il quale “fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. L'utente potrà visualizzare e stampare i risultati delle elaborazioni – in forma sia grafica che numerica – nonché i relativi riferimenti alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n. 29 del 04.02.2008 Suppl. Ordinario n.30.” Tale programma è scaricabile dal sito www.cslp.it “(Spettri-NTC ver 1.03)”.

2.2 Individuazione della pericolosità del sito

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008). Il territorio nazionale è stato suddiviso in una maglia di punti quadrata i cui nodi non distano più di 10 km. I nodi del reticolo comprensivo del comune di Fossano sono: 15790, 15791, 16012, 16013, le cui coordinate sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 2.1: identificazione del sito analizzato

Id. nodo	Longitudine	Latitudine
15790	7.6623	44.592
15791	7.7323	44.596
16012	7.6671	44.543
16013	7.7371	44.546

2.3 Scelta della strategia di progettazione

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo alla quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di è quella qui di seguito riportata.

Tabella 2.2: Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

In presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Tabella 2.3: Classi d'uso

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso <i>III</i> o in Classe d'uso <i>IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso <i>IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

$$V_R = V_N * C_U$$

Il coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente tabella.

Tabella 2.4: Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1	1,5	2

Nel caso in parola, per un'opera ordinaria (2) che ricade in classe d'uso I, il periodo di riferimento $V_R = 35$ anni.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente nei vari stati limite definiti dalla normativa vigente, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC-18, qui di seguito integralmente riportata.

Tabella 2.5: Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato.

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO – Stato Limite di Operatività	81%
	SLD – Stato Limite di Danno	63%
Stati limite ultimi	SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%
	SLC – Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale. I valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno Stato Limite sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 2.6: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno Stato Limite

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
SLO	30	0,028	2,513	0,194
SLD	35	0,030	2,529	0,199
SLV	332	0,066	2,652	0,278
SLC	682	0,081	2,709	0,293

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

2.4 Determinazione dell'azione di progetto

La categoria di sottosuolo specifica del sito di interesse è stata assunta cautelativamente come la C (vedi tabella seguente).

Tabella 2.7: Categorie di sottosuolo

CATEGORIA	DESCRIZIONE
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

L'accelerazione orizzontale massima nel sito utilizzata per le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi risulta $a_g = 0,066$ g, mentre allo stato limite di esercizio risulta $a_g = 0,030$ g.

Sulla base di quanto indicato nel Paragrafo 7.11.4 delle NTC18, risulta: $\beta_s = 0.38$ per lo stato limite ultimo SLV e $\beta_s = 0.47$ per lo stato limite di esercizio SLD. Ponendo tali valori nella formula (3), ed essendo g l'accelerazione di gravità, l'accelerazione a_{max} (accelerazione orizzontale massima attesa nel sito) è data dall'espressione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove si sono posti: S coefficiente che comprende l'amplificazione stratigrafica (S_S) e topografica (S_T). Il caso specifico viene classificato come Categoria T2 – superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$.

I valori che si ottengono per lo SLV sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 2.8: Accelerazione orizzontale massima e componenti orizzontale e verticale dell'accelerazione sismica per il sottosuolo per lo stato limite SLV

SLV			S	S_S	S_T	a_g
	a_{max}	0,066	1,00	1,00	1,00	0,066
k_h	0,0251					
k_v	$\pm 0,0125$					

Tabella 2.9: Accelerazione orizzontale massima e componenti orizzontale e verticale dell'accelerazione sismica per il sottosuolo per lo stato limite SLD

SLD			S	S_S	S_T	a_g
	a_{max}	0,030	1,00	1,00	1,00	0,030
k_h	0,0141					
k_v	$\pm 0,007$					

Per i coefficienti sismici si fa riferimento a quanto ottenuto per lo stato limite ultimo SLV caratterizzato da valori dei coefficienti sismici maggiori rispetto a quelli ottenuti per lo stato limite di esercizio SLD.

3 PARAMETRI GEOTECNICI E DINAMICHE DI ROTTURA

3.1 Parametri geotecnici

Il substrato escavato nell'area della cava Santo Stefano è stato diffusamente indagato, dal punto di vista geotecnico, in occasione degli studi propedeutici all'apertura della cava stessa. Il litotipo prevalente è rappresentato da ghiaie con ciottoli e blocchi di dimensioni massime decimetriche, ad alto grado di arrotondamento, immersi in una matrice sabbioso – limosa generalmente abbondante. Le prove eseguite hanno permesso di individuare un angolo di attrito interno di 35° . È stato inoltre osservato un discreto grado di cementazione del substrato. La cementazione di un terreno può essere dovuta alla formazione di legami chimici tra i granuli ad opera di leganti quali il carbonato di calcio, la silice, l'allumina, l'ossido di ferro. I materiali cementanti possono derivare dagli stessi minerali presenti nel terreno o possono provenire da soluzioni circolanti nel terreno stesso. La cementazione ha importanti effetti sulle proprietà di molti terreni naturali. Questo parametro, attribuito ai terreni a grana grossa, è assimilabile alla coesione efficace. È stata quindi introdotta, per tenere almeno parzialmente conto della cementazione, una coesione c'_k pari a 5 kPa.

3.2 Criteri di verifica

In accordo con le N.T.C. 2018, le verifiche nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU) devono rispettare la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'effetto delle azioni e la resistenza sono espressi in funzione delle azioni di progetto ($\gamma_F F_k$), dei parametri di progetto ($X_F \gamma_M$) e della geometria di progetto (a_d). L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$. Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) dei fronti di scavo, secondo le N.T.C. 2018, comporta l'applicazione dell'approccio progettuale 1, combinazione 2, nel seguente modo:

Approccio 1 – Combinazione 2: (A2+M2+R2)

I valori dei coefficienti parziali A2 e M2 (vedi Tabelle 6.2.I e 6.2.II – N.T.C. 2018) della combinazione 2 sono riportati nei prospetti che seguono, mentre il valore del Fattore di Sicurezza (uguale a γ_R) è da assumersi pari a 1.1 in condizioni statiche e 1.2 in condizioni sismiche pseudo-statiche.

Tabella 3.1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	(A1)	(A2)
		γ_F (o γ_M)		STR	GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali (*)	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(*) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 3.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
		γ_M		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.00

Le N.T.C. 2018, per le analisi di stabilità in condizioni sismiche, ammettono il ricorso a metodi pseudo-statici. Secondo quanto esplicitato dalla normativa, le verifiche pseudo-statiche si eseguono ponendo pari a 1.0 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici impiegando, come detto, un coefficiente parziale γ_R pari a 1.2.

Per la determinazione dei coefficienti sismici si rimanda al precedente capitolo della relazione, di cui si riportano i valori calcolati per lo stato limite ultimo SLV:

$$k_h = 0.0251$$

$$k_v = \pm 0.0125$$

Per le analisi in esame è stato assunto come criterio di resistenza il criterio di Mohr-Coulomb, i cui parametri di resistenza di progetto sono stati calcolati dal rapporto dei

valori caratteristici di coesione e tangente dell'angolo di attrito, ottenuti dalla caratterizzazione geotecnica di cui al paragrafo precedente, per il coefficiente $\gamma_M = 1.25$:

$$c'_d = \frac{c'_k}{1.25} \qquad \qquad \qquad \text{tg}\phi'_d = \frac{\text{tg}\phi'_k}{1.25}$$

I valori dei parametri di resistenza di progetto adottati nei calcoli di verifica per il substrato alluvionale coltivato nella cava Santo Stefano, sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 3.3: parametri di resistenza caratteristici e di progetto delle discontinuità

c'_k (kPa)	c'_d (kPa)	ϕ'_k (°)	ϕ'_d (°)	γ (kN/m ³)
5	4	35	29.3	19

Infine, al peso di volume (19 kN/m³) è stato assegnato un coefficiente parziale moltiplicativo pari a 1.

3.3 Franamenti in terreni alluvionale: dinamiche di rottura

Le frane nei terreni alluvionali sono il risultato di una serie di processi che provocano il distacco di porzioni di tali terreni, che cadono a opera della forza di gravità. Solitamente la massa distaccata si muove lungo una superficie. Un versante è stabile finché alla forza di gravità si oppone la resistenza interna del materiale stesso. Diversi fattori, naturali e no, possono alterare questo equilibrio di forze e originare una frana. L'escavazione è uno di questi fattori.

Al fine di verificare la stabilità delle scarpate di scavo è stato usato il programma I.L.A. 32, prodotto dalla Società Geo & Soft di Torino. I.L.A. è dedicato alla verifica della stabilità dei pendii multistrati ed alla progettazione delle opere di sostegno.

La verifica della stabilità può essere eseguita utilizzando i metodi classici di Bishop, Jambu, Morgenstern e Price, Bell ed il metodo di analisi proposto da S. Sarma e sviluppato da E. Hoek. Le superfici di scivolamento possono essere definite per famiglie circolari o piane oppure singolarmente ed avere quindi forma qualsiasi.

I calcoli si riferiscono alla verifica di stabilità di una scarpata per la quale ci si prefigge di determinare il livello di sicurezza posseduto. Ciò si attua attraverso il calcolo del coefficiente di sicurezza inteso come rapporto fra forze stabilizzanti ed instabilizzanti.

Dette forze derivano dai parametrici geotecnici, dalla geometria del profilo topografico, dalla conformazione dei vari strati e dalle azioni esterne, che presumibilmente possono agire, quali quelle imposte dalla normativa connesse alle zone sismiche. I calcoli relativi si esplicitano in corrispondenza di determinate porzioni del substrato, individuate dal tecnico, nelle quali si può, responsabilmente, ipotizzare l'insorgenza di superfici di scorrimento. In queste si procederà al calcolo delle forze resistive che si oppongono a quelle che tendono a produrre instabilità. Il rapporto di queste entità, come precedentemente affermato, definisce il coefficiente di sicurezza che, in condizioni di stabilità, deve risultare maggiore dell'unità (stato di equilibrio limite). È giusto, pertanto, accertare che tale parametro risulti superiore al limite anzidetto con un margine di sicurezza sufficientemente elevato.

In aderenza a quanto precedentemente esposto, si è proceduto alla verifica della scarpata di scavo in prossimità del fronte di altezza massima, adottando la metodologia di Sarma e facendo passare le ipotetiche superfici di scivolamento circolari al piede del pendio.

4 STABILITÀ DEI FRONTI DI COLTIVAZIONE

4.1 Situazione riscontrata

Le condizioni di stabilità riscontrate in cava sono attualmente favorevoli sia a causa della bontà delle caratteristiche geotecniche del substrato coltivato, sia per le modalità di coltivazione adottate: il metodo di coltivazione prevede il progressivo splateamento del substrato sedimentario tramite mezzi meccanici tramite fronti, solitamente poco acclivi, alti circa due metri. Attualmente si riscontra la presenza di un tratto di fronte alto quasi 5 metri, generato da due splateamenti successivi. Le condizioni di tale fronte non destano al momento preoccupazioni e ottemperano quanto previsto dalla normativa vigente.

4.2 Verifiche di stabilità

Tutti gli anni vengono eseguiti rilievi fisici del sito minerario da parte dei topografi della Direzione Cave e Miniere di Unical. Le verifiche di stabilità riguardano il settore settentrionale della cava, ove insistono attualmente i lavori di estrazione, le cui caratteristiche geometriche sono state misurate il 10 gennaio 2025.

In corrispondenza del fronte di coltivazione avente maggiore pendenza (circa 45°) e altezza (circa 5 m) è stata ricostruita una sezione, ubicata come da planimetria in allegato, e le verifiche sono state effettuate tramite il programma I.L.A. 32 sia in condizioni statiche, sia in condizioni pseudo-statiche. La superficie della falda è stata ubicata appena

al di sotto del piano campagna. Per queste caratteristiche geometriche ed idrauliche, le verifiche testimoniano una situazione di generale stabilità, con valori del fattore di sicurezza superiori alla condizione di equilibrio limite.

Cava Santo Stefano
Stabilità dei fronti - Aggiornamento annuale

VERIFICA DI STABILITÀ IN CONDIZIONI PSEUDO-STATICHE
(PRESENZA DI SISMA)

PIANO DI CAMPAGNA
PARAMETRI GEOTECNICI

Angolo di attrito [°]	35
Coesione [kN/m ²]	5
Peso di volume [kN/m ³]	19

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	0.0	324.7
2	10.8	324.6
3	13.3	323.9
4	17.0	323.9
5	21.7	328.7
6	50.0	328.8

SUPERFICIE FALDA

Peso di volume dell'acqua [kN/m ³]	10
--	----

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	0.0	323.9
2	17.0	323.9
3	50.0	323.9

COMPONENTI SISMICHE

Componente sismica orizzontale	0.0251
Componente sismica verticale	0.0125

SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO
TIPOLOGIA SUPERFICI: CIRCOLARI PASSANTI PER UN PUNTO

DESCRIZIONE MAGLIA DEI CENTRI

Altezza maglia [m]	10.0
Larghezza maglia [m]	15.0
N. centri base	6.0
N. centri lato	4.0
Inclinazione maglia [°]	45.0
Ascissa punto passaggio [m]	17.0
Ordinata punto passaggio [m]	323.9


RISULTATI DEL CALCOLO

N.	Asc.	Ord.	FS
1	13.50	326.50	>5
2	16.50	326.50	1.80
3	19.50	326.50	1.67
4	22.50	326.50	2.49
5	25.50	326.50	3.43
6	28.50	326.50	4.37
7	13.50	329.83	>5
8	16.50	329.83	2.20
9	19.50	329.83	1.42
10	22.50	329.83	1.93
11	25.50	329.83	2.65
12	28.50	329.83	3.51
14	16.50	333.17	2.67
15	19.50	333.17	1.38
16	22.50	333.17	1.67
17	25.50	333.17	2.18
18	28.50	333.17	2.83
20	16.50	336.50	3.16
21	19.50	336.50	1.41
22	22.50	336.50	1.55
23	25.50	336.50	1.91
24	28.50	336.50	2.41
1	13.50	326.50	>5

LEGENDA

CODICE	DESCRIZIONE
N.	Numero superficie
Asc.	Ascissa del centro [m]
Ord.	Ordinata del centro [m]
FS	Fattore di sicurezza

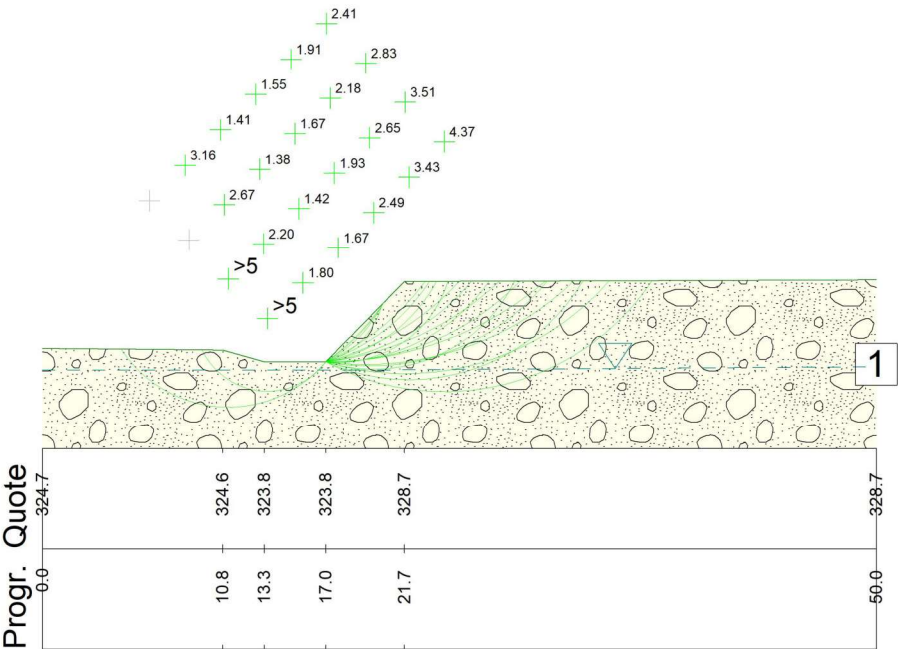
Cava Santo Stefano
Verifica di stabilità dei fronti
Aggiornamento anno 2025
Condizioni pseudo-statiche
scala 1:500

 Litotipo 1:
Gamma acqua [kN/m³] =10
Metodo: Sarma

phi [°] = 35
Comp. sismica orizz.=.0251

c [kN/m²] = 5
Comp. sismica vert.=.0125

gamma [kN/m³] = 19



Cava Santo Stefano
Stabilità dei fronti - Aggiornamento annuale

VERIFICA DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE
(ASSENZA DI SISMA)

Metodo: Sarma

PIANO DI CAMPAGNA
PARAMETRI GEOTECNICI

Angolo di attrito [°]	29.3
Coesione [kN/m ²]	4.0
Peso di volume [kN/m ³]	19.0

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	0.0	324.7
2	10.8	324.6
3	13.3	323.9
4	17.0	323.9
5	21.7	328.7
6	50.0	328.8

SUPERFICIE FALDA

Peso di volume dell'acqua [kN/m ³]	10
--	----

PUNTI

N. punto	Progressiva [m]	Quota [m]
1	0.0	323.9
2	17.0	323.9
3	50.0	323.9

SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

TIPOLOGIA SUPERFICI: CIRCOLARI PASSANTI PER UN PUNTO

DESCRIZIONE MAGLIA DEI CENTRI

Altezza maglia [m]	10.0
Larghezza maglia [m]	15.0
N. centri base	6.0
N. centri lato	4.0
Inclinazione maglia [°]	45.0
Ascissa punto passaggio [m]	17.0
Ordinata punto passaggio [m]	323.9

RISULTATI DEL CALCOLO

N.	Asc.	Ord.	FS
1	13.50	326.50	>5
2	16.50	326.50	1.50
3	19.50	326.50	1.40
4	22.50	326.50	2.10
5	25.50	326.50	2.94
6	28.50	326.50	3.87
7	13.50	329.83	>5
8	16.50	329.83	1.83
9	19.50	329.83	1.20
10	22.50	329.83	1.65
11	25.50	329.83	2.28
12	28.50	329.83	3.04
14	16.50	333.17	2.23
15	19.50	333.17	1.16
16	22.50	333.17	1.42
17	25.50	333.17	1.88
18	28.50	333.17	2.48
20	16.50	336.50	2.62
21	19.50	336.50	1.18
22	22.50	336.50	1.31
23	25.50	336.50	1.63
24	28.50	336.50	2.08
1	13.50	326.50	>5

LEGENDA

CODICE	DESCRIZIONE
N.	Numero superficie
Asc.	Ascissa del centro [m]
Ord.	Ordinata del centro [m]
FS	Fattore di sicurezza

Cava Santo Stefano
Verifica di stabilità dei fronti
Aggiornamento anno 202
Condizioni statiche
scala 1:500



Litotipo 1:

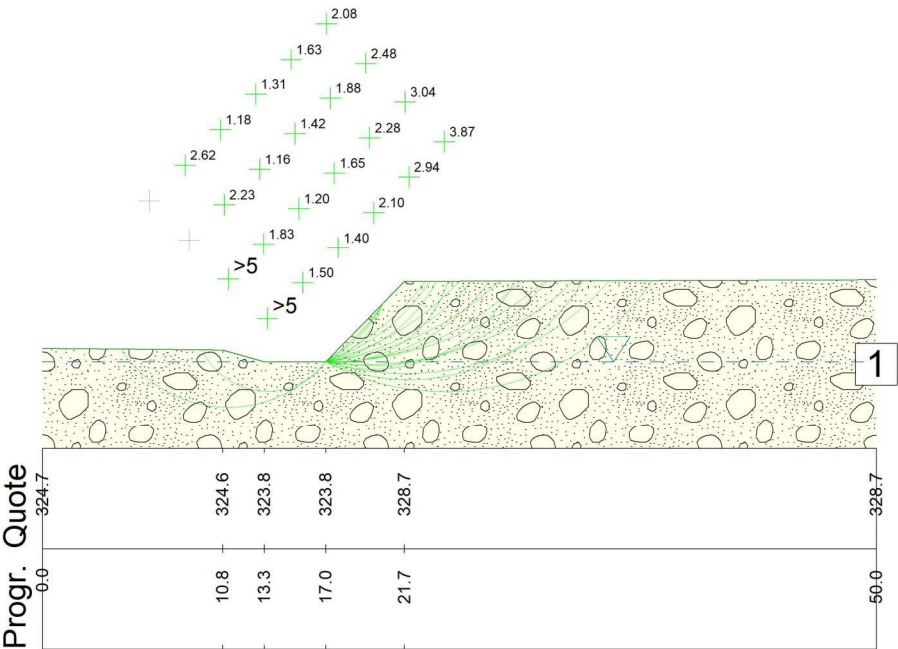
ϕ [°] = 29.3

c [kN/m²] = 4

γ [kN/m³] = 19

Gamma acqua [kN/m³] = 10

Metodo: Sarma



5 CONCLUSIONI

I risultati conseguiti con le verifiche di stabilità, riportati nei paragrafi precedenti, riconfermano una situazione di generale stabilità dei fronti di coltivazione, così come richiesto dalle normative vigenti.

In fase di verifica, sono stati utilizzati parametri geotecnici ampiamente cautelativi, a tutto vantaggio della sicurezza. La geometria del fronte in fase di coltivazione – verificata alla luce di tali parametri – risulta stabile. Si può pertanto escludere l'esistenza di rischi legati alle condizioni di stabilità dei fronti di coltivazione, fase durante la quale si consiglia comunque di non lavorare in condizione di sub-verticalità.

Riguardo le caratteristiche idrogeologiche del sito, data l'elevata permeabilità della formazione coltivata, si possono escludere accumuli di sottopressioni idrauliche. Il sito risulta correttamente regimato dal punto di vista idrologico, e la rete di drenaggio risulta pienamente efficiente.

Inoltre, nel caso in cui venisse a mancare la regolarità geo-litologica della formazione scavata, fatto molto improbabile e comunque non preventivabile, dovrà essere data da parte della Direzione dei Lavori opportuna e tempestiva segnalazione, per una corretta valutazione del caso.

ALLEGATI



Figura n°A1: ripresa fotografica laterale del fronte analizzato.



Figura n° A2: ripresa fotografica frontale del fronte analizzato

LEGENDA

- Limite area autorizzata
- Limite di coltivazione
- Confine comunale
- Piezometri
- Fabbricati
- Linea elettrica alta tensione
- Strada asfaltata
- Strada sterrata
- Curve di livello equidistanza 1m
- Area in fase di scavo
- Area in fase di ripristino
- Stoccaggio materiale di scavo

